



ΕΘΝΙΚΟ ΜΕΤΣΟΒΙΟ ΠΟΛΥΤΕΧΝΕΙΟ
ΣΧΟΛΗ ΑΓΡΟΝΟΜΩΝ ΚΑΙ ΤΟΠΟΓΡΑΦΩΝ ΜΗΧΑΝΙΚΩΝ
ΤΟΜΕΑΣ ΕΡΓΩΝ ΥΠΟΔΟΜΗΣ ΚΑΙ ΑΓΡΟΤΙΚΗΣ ΑΝΑΠΤΥΞΗΣ

Διπλωματική Εργασία

**«Διερεύνηση της λειτουργίας ισόπεδων κόμβων
προτεραιότητας με χρήση του λογισμικού
προσομοίωσης Vissim»**

Βανδώρος Βασίλειος

Επίβλεψη: Σπυροπούλου Ιωάννα, Λέκτορας ΕΜΠ

ΕΡΓΑΣΤΗΡΙΟ
ΣΥΓΚΟΙΝΩΝΙΑΚΗΣ ΤΕΧΝΙΚΗΣ



Αθήνα, Νοέμβριος 2014



NATIONAL TECHNICAL UNIVERSITY OF ATHENS
SCHOOL OF RURAL & SURVEYING ENGINEERING
DEP. OF INFRASTRUCTURE AND RURAL DEVELOPMENT

Diploma Thesis

Vandoros Vasileios

Supervisor: Spyropoulou Ioanna

Lecturer NTUA

**LABORATORY OF
TRANSPORTATION ENGINEERING**



Athens, November 2014

ΔΗΛΩΣΗ ΑΝΑΓΝΩΡΙΣΗΣ ΠΝΕΥΜΑΤΙΚΩΝ ΔΙΚΑΙΩΜΑΤΩΝ

Δηλώνω ότι η διπλωματική αυτή εργασία αποτελεί στο σύνολο της δική μου εργασία, και κανένα τμήμα της δεν έχει χρησιμοποιηθεί για την κτήση άλλου τίτλου σπουδών. Όπου έχει χρησιμοποιηθεί υλικό από άλλες πηγές, αυτές έχουν αναφερθεί με ακρίβεια και πληρότητα.

Βανδώρας Βασίλειος

Ευχαριστίες

Θα ήθελα να ευχαριστήσω την κυρία Ιωάννα Σπυροπούλου, επιβλέπουσα της παρούσας διπλωματικής εργασίας, για τις συμβουλές και την καθοδήγηση που μου παρείχε σε κάθε στάδιο εκπόνησής της.

Επίσης θα ήθελα να ευχαριστήσω την οικογένεια μου και τους φίλους μου για την στήριξη και τη βοήθειά τους σε κάθε στάδιο της εργασίας

Βανδώρος Βασίλειος
Αθήνα, Νοέμβριος 2014

Περίληψη

Αντικείμενο της παρούσας διπλωματικής εργασίας είναι η διερεύνηση της λειτουργίας ισόπεδων κόμβων προτεραιότητας με χρήση μικροσκοπικού λογισμικού προσομοίωσης. Για να επιτευχθεί αυτό αρχικά σχεδιάστηκαν με το λογισμικό προσομοίωσης Vissim ένας κυκλικός κόμβος και ένας ισόπεδος τετρασκελής κόμβος που αποτέλεσαν τους υπό διερεύνηση κόμβους. Για τον καθορισμό της προτεραιότητας των εμπλεκόμενων κινήσεων χρησιμοποιήθηκε η λειτουργία “περιοχές εμπλοκής” (conflict areas) του Vissim. Δημιουργήθηκαν σενάρια προσομοίωσης με διαφορετικά χαρακτηριστικά τα οποία αφορούν σε παραμέτρους οι οποίες αναμένεται να είναι κρίσιμες για τη λειτουργία του κόμβου. Οι παράμετροι που διερευνήθηκαν είναι η ταχύτητα προσέγγισης των οχημάτων στον κόμβο, ο κυκλοφοριακός φόρτος του κόμβου και η κατανομή του στις προσβάσεις, καθώς και οι παράμετροι επιλογής διακένου: το εμπρός διάκενο (front gap), πίσω διάκενο (rear gap) και ο συντελεστής απόστασης ασφαλείας (safety distance factor) δημιουργώντας συνολικά 648 σενάρια προσομοίωσης. Πραγματοποιήθηκε διερεύνηση της επιρροής των εξεταζόμενων παραμέτρων στη λειτουργία του κόμβου με χρήση των μεγεθών της μέσης καθυστέρησης, τη μέση ταχύτητα κίνησης καθώς και τον κυκλοφοριακό φόρτο που εξέρχεται από τον κόμβο. Τα αποτελέσματα των προσομοιώσεων υποδεικνύουν την απουσία επίδρασης του πίσω διακένου (rear gap) στον κυκλικό κόμβο και την έντονη επίδραση του safety distance factor στη μέση καθυστέρηση και στη μέση ταχύτητα λειτουργίας του κόμβου, τόσο του κυκλικού όσο και του ισόπεδου τετρασκελούς κόμβου προτεραιότητας. Ακόμη για χαμηλούς και μεσαίους φόρτους ο ισόπεδος τετρασκελής κόμβος προτεραιότητας παρουσιάζει καλύτερο επίπεδο λειτουργίας. Στους υψηλούς φόρτους και χαμηλές τιμές διακένων λειτουργεί καλύτερα ο κυκλικός κόμβος ενώ με υψηλές τιμές διακένων ο ισόπεδος τετρασκελής κόμβος προτεραιότητας. Τέλος προέκυψε ότι υψηλότερη ταχύτητα λειτουργίας παρουσιάζει ο ισόπεδος τετρασκελής κόμβος προτεραιότητας, εκτός από τους υψηλούς φόρτους και μικρές και μεσαίες τιμές διακένων που υψηλότερη ταχύτητα παρουσιάζει ο κυκλικός κόμβος.

λέξεις κλειδιά: κυκλικός κόμβος, ισόπεδος τετρασκελής κόμβος προτεραιότητας, μέση

Abstract

The subject of this thesis is to investigate the operation of priority junctions using microscopic simulation software. A roundabout and a Two-Ways Stop Controlled Intersection (TWSC) were initially designed using the Vissim simulation software to be investigated. The “conflict areas” function was used to determine priority of movements. Simulation scenarios were determined involving different characteristics for the investigated parameters which are expected to be critical of the junction operation. The parameters upon which the simulations were performed were vehicle approach speed, traffic flow, front gap, rear gap and the safety distance factor resulting in a total of 648 simulation scenarios. The impact of the aforementioned parameters was investigated in respect to junction operation as exhibited through average delay, average speed and traffic flow exiting the junctions. Simulation results indicate that rear gap had no effect at the roundabout and the safety distance factor has a strong effect in average delay and average operating speed of the junction, both for the roundabout and Two-Ways Stop Controlled intersection. Also for light and medium flows the TWSC operates better. For heavy flows and small gaps the roundabout presents better level of services, except in cases with large gaps where the TWSC operates better. Finally the TWSC exhibits higher speeds except of the scenarios of heavy flows and low/medium values of gaps where the roundabout exhibits higher speeds.

keywords: Roundabout, Two-Ways Stop Controlled intersection, simulation, average delay, average speed, operational performance, Vissim

Περιεχόμενα

1. Εισαγωγή	1
2. Επιστημονικό υπόβαθρο	3
2.1 Κυκλοφοριακή ροή-Βασικά Μεγέθη και Έννοιες	3
2.2 Κυκλοφοριακή ικανότητα κόμβων	9
2.2.1 Αναλυτικά μοντέλα υπολογισμού κυκλοφοριακής ικανότητας (Μέθοδος HCM).....	11
2.2.1.1 Ισόπεδοι κόμβοι με έλεγχο προτεραιότητας	11
2.2.1.2 Κυκλικό κόμβοι	14
2.2.2 Η Βρετανική Εμπειρική Μέθοδος	15
2.3 Κόμβοι.....	17
2.3.1 Γενικά στοιχεία.....	17
2.3.2 Ισόπεδοι κόμβοι.....	20
2.3.3 Κυκλικό κόμβοι.....	
2.4 Προσομοίωση	23
2.4.1 Πρότυπα Ροής Κυκλοφορίας.....	23
2.4.1.1 Μικροσκοπικά Πρότυπα.....	24
2.4.1.2 Μεσοσκοπικά Πρότυπα.....	27
2.4.1.3 Μακροσκοπικά Πρότυπα.....	28
2.4.2 Προγράμματα Προσομοίωσης.....	28
2.4.2.1 Μικροσκοπικά Προγράμματα Προσομοίωσης.....	28
2.4.2.2 Μεσοσκοπικά Προγράμματα Προσομοίωσης	30
2.4.2.3 Μικροσκοπικά Προγράμματα Προσομοίωσης	31
2.4.3 Το Πρόγραμμα Vissim	32
2.4.3.1 Γενικά Στοιχεία	32
2.4.3.2 Το Πρότυπο του Weideman	33
2.4.3.3 Πλεονεκτήματα-Μειονεκτήματα Vissim.....	45
2.5 Προσομοίωση και ανάλυση κυκλοφοριακής ικανότητας	46

3. Μεθοδολογία	
3.1 Στοιχεία Προγράμματος Vissim.....	50
3.2 Σχεδιασμός κόμβων μελέτης.....	56
3.3 Καθορισμός Μεταβλητών και σεναρίων μελέτης.....	60
3.3.1 Επιλογή ταχύτητας μελέτης.....	60
3.3.2 Επιλογή εύρους τιμών διακένων	60
3.3.3 Επιλογή φόρτων μελέτης	62
3.3.4 Τελική διαμόρφωση σεναρίων μελέτης.....	65
4. Επεξεργασία και Ανάλυση Αποτελεσμάτων	66
4.1 Γενικά στοιχεία.....	66
4.2 επιρροή επιλογής διάκενου στη λειτουργία των κόμβων	66
4.2.1 Επιρροή rear gap στον κυκλικό κόμβο	66
4.2.2 Επίδραση safety distance factor στη λειτουργία των κυκλικών κόμβων.....	67
4.2.3 Επιρροή διάκενων στον ισόπεδο τετρασκελή κόμβο προτεραιότητας.....	68
4.2.4 Συνολική ανάλυση επιρροής των παραμέτρων του conflict areas	69
4.3 Σύγκριση επιπέδου λειτουργίας κόμβων	76
4.3.1 Σύγκριση επίπτωσης της κατανομής φόρτου στις προσβάσεις του κόμβου	76
4.3.2 Σύγκριση επιπέδου λειτουργίας ανά τύπο κόμβου	79
4.4 Μέση ταχύτητα λειτουργίας κόμβου.....	87
4.2.2 Μέση ταχύτητα λειτουργίας κόμβου για ταχύτητα προσέγγισης 50 χλμ/ώρα.....	87
4.2.3 Μέση ταχύτητα λειτουργίας κόμβου για ταχύτητα προσέγγισης 30 χλμ/ώρα.....	90
5. Συμπεράσματα	91
5.1 Σύναψη συμπερασμάτων	92
5.2 Προτάσεις για διερεύνηση.....	94
6. Βιβλιογραφία.....	95
6.1 Διεθνής Βιβλιογραφία	95
6.2 Ελληνική Βιβλιογραφία	97

ΚΑΤΑΛΟΓΟΣ ΣΧΗΜΑΤΩΝ

Σχήμα 2.1: Επίπεδα προτεραιότητας σε κόμβους.....	11
Σχήμα 2.2: Φυσική και Λειτουργική περιοχή κόμβου.....	17
Σχήμα 2.3: Τύποι ελιγμών	18
Σχήμα 2.4: Τρίγωνα ορατότητας απευθείας διάσχισης.....	19
Σχήμα 2.5: Τρίγωνα ορατότητας στάσης πριν τη διάσχιση	20
Σχήμα 2.6: Τύποι ισόπεδων κόμβων προτεραιότητας	21
Σχήμα 2.7: Χαρακτηριστικά κυκλικού κόμβου	22
Σχήμα 2.8: Γραφική αναπαράσταση των οριακών τιμών, ταχυτήτων και αποστάσεων	35
Σχήμα 3.1: Κανόνες προτεραιότητας του Vissim	52
Σχήμα 3.2: Conflict areas	53
Σχήμα 3.3: Ορατότητα και παράγοντας απόστασης ασφαλείας Vissim.....	54
Σχήμα 3.4: Ο κυκλικός κόμβος μελέτης	57
Σχήμα 3.5: Ο ισόπεδος τετρασκελής κόμβος προτεραιότητας μελέτης	58
Σχήμα 3.6: Οι κανόνες προτεραιότητας στον κυκλικό κόμβο.....	58
Σχήμα 3.7: Οι κανόνες προτεραιότητας στον ισόπεδο κόμβο (TWSC).....	59
Σχήμα 4.1: Επίδραση safety distance factor στη λειτουργία των κυκλικών κόμβων	67
Σχήμα 4.2: Επιρροή διακένων στον ισόπεδο τετρασκελή κόμβο προτεραιότητας	68
Σχήμα 4.3: Κυκλικός κόμβος 300 οχ/ώρα ανά πρόσβαση $V= 30$ χλμ/ώρα.....	69
Σχήμα 4.4: Ισόπεδος τετρασκελής κόμβος προτεραιότητας 300οχ/ώρα ανά πρόσβαση $V= 30$ χλμ/ώρα.....	70
Σχήμα 4.5: Ισόπεδος τετρασκελής κόμβος προτεραιότητας 300οχ/ώρα ανά πρόσβαση $V= 50$ χλμ/ώρα.....	70
Σχήμα 4.6: Κυκλικός κόμβος 450 χλμ/ώρα ανά πρόσβαση $V=30$ χλμ/ώρα.....	71
Σχήμα 4.7: Ισόπεδος τετρασκελής κόμβος προτεραιότητας 450οχ/ώρα ανά πρόσβαση $V= 30$ χλμ/ώρα.....	72

Σχήμα 4.8: Κυκλικός κόμβος 600οχ/ώρα ανά πρόσβαση $V= 30$ χλμ/ώρα....	73
Σχήμα 4.9: Ισόπεδος τετρασκελής κόμβος προτεραιότητας 600 οχ/ώρα ανά πρόσβαση $V= 30$ χλμ/ώρα.....	74
Σχήμα 4.10: Κυκλικός κόμβος 960οχ/ώραΑ-Δ, 240οχ/ώρα Β-Ν $V= 30$ χλμ/ώρα.	75
Σχήμα 4.11: Φόρτος εισόδου 300 οχ/ώρα ανά πρόσβαση.....	79
Σχήμα 4.12: Φόρτος εισόδου 450 οχ/ώρα ανά πρόσβαση.....	80
Σχήμα 4.13: Φόρτος εισόδου 600 οχ/ώρα ανά πρόσβαση.....	81
Σχήμα 4.14: Κυκλικός κόμβος 960οχ/ώραΑ-Δ, 240οχ/ώρα Β-Ν $V= 30$ χλμ/ώρα.	82
Σχήμα 4.15: Φόρτος εισόδου 720οχ/ώρα στις προσβάσεις Ανατολή και Δυση και 180οχ/ώρα στις πρσβάσεις Βορράς- Νότος.	83
Σχήμα 4.16: Φόρτος εισόδου 960 οχ/ώρα στις προσβάσεις Ανατολή και Δυση και 240 οχ/ώρα στις πρσβάσεις Βορράς- Νότος.....	84
Σχήμα 4.17: Σύγκριση μεσαίου φόρτου σε υψηλές τιμές διακένων	86
Σχήμα 4.18: Μέση ταχύτητα λειτουργίας κόμβου για ταχύτητα προσέγγισης 50 χλμ/ώρα	83
Σχήμα 4.19: Επιρροή διακένων στην ταχύτητα του κόμβου	87
Σχήμα 4.20: Μέση ταχύτητα λειτουργίας κόμβου για ταχύτητα προσέγγισης 30 χλμ/ώρα	90

ΚΑΤΑΛΟΓΟΣ ΠΙΝΑΚΩΝ

Πίνακας 2.1: Βασικές τιμές διάκενου και χρόνου ακολουθίας	12
Πίνακας 2.2: Παράγοντες Βαθμονόμησης Wiedemann99.....	41
Πίνακας 3.1: Τιμές διάκενων	61
Πίνακας 3.2: Συνδυασμοί διάκενων μελέτης	61
Πίνακας 3.3: Κυκλικός κόμβος front gap:0,1 rear gap 0,1 safety distance factor:0,1	62
Πίνακας 3.4: Κυκλικός κόμβος front gap:0,5 rear gap 0,5 safety distance factor:0,7	63
Πίνακας 3.5:Κυκλικός κόμβος front gap:1 rear gap 1safety distance factor:1,5.....	63
Πίνακας 3.6: Ισόπεδος τετρασκελής κόμβος προτεραιότητας front gap:0,1 rear gap 0,1 safety distance factor:0,1.....	63
Πίνακας 3.7: Ισόπεδος τετρασκελής κόμβος προτεραιότητας front gap:0,5 rear gap 0,5 safety distance factor:0,7.....	64
Πίνακας 3.8: Ισόπεδος τετρασκελής κόμβος προτεραιότητας front gap:1 rear gap 1 safety distance factor:1,5	64
Πίνακας 3.9: Παράμετροι σεναρίων μελέτης	65
Πίνακας 4.1: Σύγκριση κατανομής Φόρτος 1200οχ/ώρα V=30χλμ/ώρα	76
Πίνακας 4.2: Σύγκριση κατανομής Φόρτος 1200οχ/ώρα V=50χλμ/ώρα	76
Πίνακας 4.3: Σύγκριση κατανομής Φόρτος 1800οχ/ώρα V=0χλμ/ώρα	77
Πίνακας 4.4: Σύγκριση κατανομής Φόρτος 1800οχ/ώρα V=50χλμ/ώρα	77
Πίνακας 4.5: Σύγκριση κατανομής Φόρτος 2400οχ/ώρα V=30χλμ/ώρα	78
Πίνακας 4.6: Σύγκριση κατανομής Φόρτος 2400οχ/ώρα V=50χλμ/ώρα	78
Πίνακας 4.7: Συγκεντρωτικά αποτελέσματα	85

Κεφάλαιο 1- Εισαγωγή

Γενικά στοιχεία

Αναπόσπαστο και ιδιαίτερα σημαντικό κομμάτι του οδικού δικτύου είναι οι κυκλοφοριακοί κόμβοι. Υπάρχουν πολλές κατηγορίες κόμβων καθώς και διάφορες παραλλαγές αυτών. Μια πρώτη διάκριση είναι σε ισόπεδους και ανισόπεδους κόμβους, ενώ με τη σειρά τους οι ισόπεδοι κόμβοι μπορούν να διακριθούν σε ισόπεδους κόμβους προτεραιότητας και σε σηματοδοτούμενους κόμβους. Οι ισόπεδοι τετρασκελείς κόμβοι μπορούν να διακριθούν σε τρισκελείς, τετρασκελείς και κυκλικούς κόμβους, οι τελευταίοι μάλιστα χρησιμοποιούνται τα τελευταία χρόνια όλο και περισσότερο στα αστικά κυρίως δίκτυα. Κυρίαρχο κριτήριο στο σχεδιασμό των κόμβων πρέπει να είναι η ταχεία και ομαλή διαχείριση και εξυπηρέτηση των κυκλοφοριακών ρευμάτων και η επιλογή του κατάλληλου τύπου κόμβου ο οποίος θα μπορεί να ανταποκριθεί καλύτερα και με ασφάλεια στα χαρακτηριστικά και στη ζήτηση των διασταυρούμενων ρευμάτων .

Σκοπός της εργασίας

Σκοπός της παρούσας διπλωματικής εργασίας είναι να διερευνήσει και να συγκρίνει τη λειτουργία και το επίπεδο εξυπηρέτησης των κυκλικών κόμβων και των ισόπεδων τετρασκελών κόμβων προτεραιότητας βάσει κυκλοφοριακών χαρακτηριστικών όπως η ταχύτητα εισόδου, ο φόρτος εισόδου κάθε πρόσβασης και η τιμές των διακένων αποδοχής, ώστε να γίνεται η κατάλληλη επιλογή κόμβου βάση των υπαρχόντων κάθε φορά χαρακτηριστικών τόσο του κόμβου όσο και των οδηγών. Για να επιτευχθεί αυτό χρησιμοποιήθηκε το μικροσκοπικό λογισμικό προσομοίωσης της κυκλοφοριακής ροής Vissim. Το Vissim αναπτύχθηκε στο πανεπιστήμιο της Καρλσρούης στη Γερμανία διατέθηκε εμπορικά πρώτη φορά από την εταιρία PTV Transworld AG το 1993 και στηρίζει την λειτουργία του στο πρότυπο ακολουθούντος οχήματος του Weidemann.

Η δομή της παρούσας διπλωματικής εργασίας είναι η παρακάτω:

Στο **δεύτερο κεφάλαιο** γίνεται ανασκόπηση της βιβλιογραφίας που μελετήθηκε για την απόκτηση του κατάλληλου επιστημονικού υποβάθρου που ήταν απαραίτητο για την εκπόνηση της παρούσας εργασίας. Αρχικά αναφέρονται βασικές έννοιες κυκλοφοριακής τεχνικής καθώς και των βασικών μεθόδων υπολογισμού της κυκλοφοριακής ικανότητας ενός κόμβου που λειτουργεί με προτεραιότητα. Επιπλέον παρουσιάζονται οι διάφοροι τύποι ισόπεδων κόμβων και τα χαρακτηριστικά αυτών. Στη συνέχεια παρουσιάζεται ο ορισμός της προσομοίωσης, και γίνεται ανάλυση των τριών κατηγοριών προτύπων: μικροσκοπικά, μεσοσκοπικά, μακροσκοπικά, καθώς και μια συνοπτική παρουσίαση διάφορων λογισμικών προσομοίωσης που βασίζονται στα πρότυπα αυτά. Πραγματοποιείται εκτενής παρουσίαση του λογισμικού προσομοίωσης Vissim καθώς και του μοντέλου ακολουθούντος οχήματος του Weidemann πάνω στο οποίο βασίζεται και το λογισμικό. Τέλος αναφέρονται έρευνες

που έχουν πραγματοποιηθεί και σχετίζονται με την διερεύνηση της κυκλοφοριακής ικανότητας και της προσομοίωσης ισόπεδων κόμβων προτεραιότητας και κυκλικών κόμβων.

Στο **τρίτο κεφάλαιο** πραγματοποιείται περιγραφή της μεθοδολογίας που ακολουθήθηκε. Αρχικά περιγράφονται οι λειτουργίες του μικροσκοπικού λογισμικού προσομοίωσης Vissim και οι δυνατότητες του με έμφαση σε αυτές που χρησιμοποιήθηκαν στην παρούσα εργασία. Στη συνέχεια περιγράφεται ο σχεδιασμός του δικτύου στο πρόγραμμα προσομοίωσης και τα γεωμετρικά χαρακτηριστικά των κόμβων, ο καθορισμός των κανόνων προτεραιότητας των κόμβων και οι μετρητές που τοποθετήθηκαν στο δίκτυο ώστε να εξαχθούν τα επιθυμητά αποτελέσματα. Έπειτα γίνεται αναφορά στον τρόπο με τον οποίο επιλέχθηκαν οι παράμετροι – μεταβλητές των προσομοιώσεων που είναι η ταχύτητα εισόδου των οχημάτων στον κόμβων, οι τιμές των παραμέτρων που σχετίζονται με την αποδοχή διάκενου και οι φόρτοι εισόδου των προσβάσεων του κόμβου.

Στο **τέταρτο κεφάλαιο** παρουσιάζονται τα αποτελέσματα που προέκυψαν από τις προσομοιώσεις στους κόμβους. Τα αποτελέσματα παρουσιάζονται με συγκεντρωτικά με μορφή πινάκων αλλά και συνδυαστικά για διάφορες τιμές των παραμέτρων σε διαγράμματα και γίνεται ανάλυση αυτών.

Στο **πέμπτο κεφάλαιο** παρουσιάζονται συνοπτικά τα συμπεράσματα που προέκυψαν από τη διερεύνηση που πραγματοποιήθηκε. Τέλος γίνεται αναφορά σε προτάσεις για μελλοντικές έρευνες στο αντικείμενο της προσομοίωσης για τον καθορισμό της κυκλοφοριακής ικανότητας και ευρύτερα στη σύγκριση της λειτουργίας του κυκλικού κόμβου σε σχέση με τον ισόπεδο κόμβο προτεραιότητας.

Κεφάλαιο 2- Θεωρητικό υπόβαθρο

2.1 Κυκλοφοριακή ροή – Βασικά μεγέθη και έννοιες.

Η κυκλοφοριακή ροή (traffic-flow) αφορά στην κίνηση οχημάτων ή πεζών σε μια οδό και προσδιορίζεται από μεγέθη κυκλοφοριακής ροής (traffic flow variables) όπως ο κυκλοφοριακός φόρτος, η ταχύτητα και πυκνότητα.

Φόρτος: Ως Κυκλοφοριακός Φόρτος ορίζεται ο αριθμός των οχημάτων τα οποία διέρχονται από μια διατομή στη μονάδα του χρόνου. Εκφράζεται σε οχήματα ανά μονάδα χρόνου.

$$Q=n(x)/T$$

όπου $n(X)$ ορίζεται ως ο αριθμός των οχημάτων που διέρχονται από μια διατομή στη θέση x και T είναι το χρονικό διάστημα.

Οι κυκλοφοριακοί φόρτοι, ανάλογα με το χρονικό διάστημα κατά το οποίο μελετώνται, καθώς και με τον τύπο οδού και την περιοχή μελέτης, παρουσιάζουν διακύμανση στον τρόπο που κατανέμονται στο χρόνο και στο χώρο. Η διακύμανση αυτή επηρεάζει σημαντικά τη μελέτη και το σχεδιασμό των συγκοινωνιακών υποδομών.

Όταν ο κυκλοφοριακός φόρτος αναφέρεται στον συνολικό αριθμό οχημάτων που διέρχονται από ένα σημείο ή μια διατομή κατά τη διάρκεια μιας χρονικής περιόδου μικρότερης της ώρας, ανοιγμένος στην ώρα, τότε ορίζεται ως ρυθμός ροής (flow rate). Ο ρυθμός ροής εκφράζεται σε οχήματα ανά ώρα και η περίοδος μέτρησης στην οποία αναφέρεται είναι συνήθως 15 λεπτά, καθώς θεωρείται σε αυτό ότι αυτό είναι το ικανό χρονικό διάστημα στο οποίο ο φόρτος θα παρουσιάζεται σταθερός υπό κανονικές συνθήκες.

Η ζήτηση είναι το κύριο μέτρο κυκλοφορίας και αναφέρεται στα οχήματα που θέλουν να εξυπηρετηθούν από ένα οδικό τμήμα. Απεναντίας ο φόρτος αναφέρεται στα οχήματα που διέρχονται από τη συγκεκριμένη διατομή του οδικού τμήματος. Αν δεν υπάρχει σχηματισμός ουράς τότε η ζήτηση ισοδυναμεί με το φόρτο.

Ο κυκλοφοριακός φόρτος παρουσιάζει τρεις κύκλους διακύμανσης, από τους οποίους προκύπτουν και οι ανάλογες διακυμάνσεις:

- Η μηνιαία ή εποχιακή διακύμανση (monthly or seasonal variation)
- Η ημερήσια διακύμανση του φόρτου
- Η ωριαία διακύμανση του φόρτου

Ο κυκλοφοριακός φόρτος παρουσιάζει σημαντικές διακυμάνσεις κατά τη διάρκεια της ημέρας. Ο τύπος της οδού ως προς τις ωριαίες διακυμάνσεις αντικατοπτρίζει τα διαφορετικά χαρακτηριστικά που σχετίζονται με τις μετακινήσεις που εξυπηρετούνται. Υψηλές τιμές κυκλοφοριακού φόρτου παρουσιάζονται ως επί το πλείστον κατά τις πρωινές και τις απογευματινές ώρες, όπου οι χρήστες πραγματοποιούν μετακινήσεις με σκοπό την εργασία. Η ώρα στην οποία ο κυκλοφοριακός φόρτος παρουσιάζει τη μέγιστη τιμή του ορίζεται ως ώρα αιχμής (peak hour). Η διακύμανση του φόρτου κατά την ώρα αιχμής είναι απαραίτητη για το σχεδιασμό και την λειτουργία

συγκοινωνιακών υποδομών. Η ώρα αιχμής σχετίζεται με διάφορες παραμέτρους όπως η μέρα, η περιοχή κ.α.

Σύνθεση Κυκλοφορίας

Με τον όρο σύνθεση κυκλοφορίας περιγράφεται η ποσοστιαία κατανομή του κυκλοφοριακού φόρτου κατά είδος οχήματος. Ανάλογα με το σκοπό για τον οποίο θα χρησιμοποιηθούν τα στοιχεία σύνθεσης κυκλοφορίας και το αν οι μετρήσεις γίνονται σε αστικές ή υπεραστικές οδούς διακρίνονται διάφορες κατηγορίες οχημάτων. Για αστικές οδούς συνήθως χρησιμοποιούνται οι παρακάτω κατηγορίες:

- Επιβατικά οχήματα (ΙΧ, Ταξί)
- Λεωφορεία, πούλμαν, φορτηγά
- Μεγάλα φορτηγά αυτοκίνητα (περισσότερα από τέσσερα ελαστικά και ωφέλιμο φορτίο πάνω από 1.5 τόνο)
- Μοτοσικλέτες, μοτοποδήλατα
- Ποδήλατα

Για τις υπεραστικές οδούς η κατηγοριοποίηση είναι αναλυτικότερη ενώ αξίζει να αναφερθεί ότι σε κάποιες χώρες (π.χ. ΗΠΑ) τα οχήματα αναψυχής θεωρούνται ξεχωριστή κατηγορία.

Η σύνθεση της κυκλοφορίας είναι ιδιαίτερα σημαντική για την ανάλυση στα παρακάτω:

- Υπολογισμός ικανότητας οδών
- Διαχείριση κυκλοφοριακής ροής
- Ανάλυση οδικών ατυχημάτων
- Μελέτη περιβαλλοντικών επιπτώσεων της κυκλοφοριακής ροής
- Σχεδιασμός και διαχείριση οδοστρωμάτων.

Η σύνθεση της κυκλοφορίας διαφέρει από πόλη σε πόλη αλλά και από περιοχή σε περιοχή ανάλογα με τα χαρακτηριστικά των αντίστοιχων δραστηριοτήτων. Επιπλέον διαφέρει σημαντικά ανάλογα με τη χρήση γης. Τέλος, η σύνθεση κυκλοφορίας μεταβάλλεται χρονικά, ιδιαίτερα κατά τη διάρκεια μιας ημέρας. Σημαντική είναι και η ετήσια μεταβολή της σύνθεσης της κυκλοφορίας εξαιτίας του διαφορετικού ρυθμού μεταβολής των διαφόρων κατηγοριών μηχανοκίνητων οχημάτων.

Ταχύτητα

Ένα από τα βασικότερα χαρακτηριστικά της κυκλοφορίας είναι η ταχύτητα με την οποία κινούνται τα οχήματα σε ένα οδικό δίκτυο. Η ταχύτητα έχει οριστεί ποικιλοτρόπως στην κυκλοφοριακή τεχνική. Βασικούς ορισμούς για την ταχύτητα αποτελούν οι παρακάτω:

Ταχύτητα σημείου: είναι η ταχύτητα που έχει ένα όχημα όταν περνά από δεδομένο σημείο.

Ταχύτητα λειτουργίας: Είναι η μέγιστη ταχύτητα διαδρομής με την οποία μπορεί να κινηθεί ένα όχημα σε δεδομένο τμήμα του οδικού δικτύου κάτω από καλές καιρικές

συνθήκες, με την υπάρχουσα κάθε φορά κυκλοφορία και χωρίς να ξεπεράσει τη μέγιστη ταχύτητα ασφαλείας που εκφράζεται από την ταχύτητα μελέτης, η οποία χρησιμοποιείται για τον υπολογισμό των γεωμετρικών χαρακτηριστικών της οδού.

Ως μέση ταχύτητα ορίζεται ο σταθμισμένος μέσος όρος των ταχυτήτων μελέτης των επιμέρους τμημάτων μιας οδού.

Ταχύτητα ελεύθερης ροής είναι η ταχύτητα λειτουργίας σε ένα οδικό τμήμα, όταν τα οχήματα κινούνται σε συνθήκες ελεύθερης ροής, δηλαδή όταν ο κυκλοφοριακός φόρτος είναι χαμηλός.

Ταχύτητα πορείας είναι η μέση ταχύτητα κίνησης ενός οχήματος σε μια συγκεκριμένη διαδρομή. Ορίζεται ως το πηλίκο της διανυμένης απόστασης προς τον χρόνο διαδρομής χωρίς να υπολογίζονται σε αυτόν καθυστερήσεις από στάσεις.

Ως γραμμική ταχύτητα κίνησης ορίζεται ο λόγος της κατ' ευθείαν γραμμικής απόστασης μεταξύ των άκρων της διαδρομής ενός οχήματος προς το χρόνο που χρειάζεται το όχημα για να πραγματοποιήσει τη διαδρομή στο οδικό δίκτυο υπό τις επικρατούσες οδικές και κυκλοφοριακές συνθήκες.

Πυκνότητα

Η πυκνότητα κυκλοφορίας ορίζεται ως ο αριθμός των οχημάτων που κινούνται σε μία δεδομένη χρονική στιγμή στη μονάδα μήκους του οδικού τμήματος. Η πυκνότητα κυκλοφορίας είναι ένα μακροσκοπικό μέγεθος, γιατί χαρακτηρίζει την ένταση της κυκλοφορίας στη μη διακοπτόμενη ροή. Η πυκνότητα $k(t)$ δίνεται από την παρακάτω σχέση:

$$k(t) = \frac{n(t)}{L}$$

Όπου $n(t)$ ο αριθμός των οχημάτων που βρίσκονται σε ένα οδικό τμήμα μήκους L τη χρονική στιγμή t και L το μήκος του οδικού τμήματος.

Χρονικός και χωρικός διαχωρισμός

Διαχωρισμός σε μία λωρίδα κυκλοφορίας είναι η απόσταση μεταξύ δύο διαδοχικών οχημάτων ως προς ένα σταθερό σημείο αναφοράς τους. Όταν η απόσταση αυτή μετρείται με μονάδες μήκους ορίζεται ως χωρικός διαχωρισμός. Αν $d_j(t)$ είναι ο χωρικός διαχωρισμός του οχήματος j από το προπορευόμενο όχημα κατά τη χρονική στιγμή t , στο οδικό τμήμα μήκους L , τότε ο μέσος χωρικός διαχωρισμός $\bar{d}(t)$ στο τμήμα αυτό κατά τη χρονική στιγμή t δίνεται από τη σχέση:

$$\bar{d}(t) = \frac{\sum_{j=1}^{n(t)} d_j(t)}{n(t)}$$

Στην περίπτωση μεγάλων τιμών του μήκους του οδικού τμήματος L ισχύει:

$$L \approx \sum_{j=1}^{n(t)} d_j(t)$$

βάση του οποίου προκύπτει:

$$k(t) \approx \frac{1}{\bar{d}(t)}$$

Δηλαδή η πυκνότητα την χρονική στιγμή t ισούται με το αντίστροφο του μέσου χρονικού διαχωρισμού τη στιγμή αυτή.

Αντίστοιχα, όταν ο διαχωρισμός μετριέται σε μονάδες χρόνου ονομάζεται χρονικός διαχωρισμός

Φόρτος = $N(x)/T$ χρονικός διαχωρισμός μεταξύ οχημάτων: $h_j(x)$

Μέσος χρονικός διαχωρισμός:

$$\bar{h}(x) = \frac{\sum_{i=1}^{n(x)} h_i(x)}{n(x)}$$

Ροή κορεσμού: Ο μέγιστος κυκλοφοριακός φόρτος που μπορεί να διέλθει από μια διατομή ή ομάδα λωρίδων που εξυπηρετούν από κοινού μια κατεύθυνση υπό τις επικρατούσες κυκλοφοριακές συνθήκες.

Η ροή κορεσμού επηρεάζεται από τους παρακάτω παράγοντες:

- Τις οδικές συνθήκες
- Τις κυκλοφοριακές συνθήκες
- Τις νέες τεχνολογίες

Στις οδικές συνθήκες περιλαμβάνονται τα γεωμετρικά χαρακτηριστικά της οδού. Αυτά είναι γενικότερα σταθερά και μεταβάλλονται μόνο σε περίπτωση κατασκευής νέου οδικού έργου ή βελτίωσης του υπάρχοντος. Παράγοντες που ανήκουν στην κατηγορία αυτή είναι ο αριθμός και το πλάτος των λωρίδων, ο τύπος της οδού, τα πλάτη των ερεισμάτων και η απόσταση που βρίσκονται τα παράπλευρα της οδού εμπόδια, η ταχύτητα μελέτης, η οριζόντια και η κατακόρυφη χάραξη και η ύπαρξη αποκλειστικών λωρίδων στροφής σε διασταυρώσεις.

Οι κυκλοφοριακές συνθήκες εξαρτώνται από τη φύση της κυκλοφορίας σε ένα υπό μελέτη οδικό δίκτυο και μεταβάλλονται χρονικά. Πιο συγκεκριμένα ένα οδικό τμήμα μπορεί να παρουσιάζει διαφορετικές κυκλοφοριακές συνθήκες σε διαφορετικές ώρες της ημέρας. Σε αυτή τη κατηγορία ανήκουν η σύνθεση κυκλοφορίας αλλά και η κατανομή της κυκλοφορίας ανά κατεύθυνση και λωρίδα. Όσον αφορά τη σύνθεση κυκλοφορίας σημαντική είναι η ύπαρξη βαρέων οχημάτων καθώς είναι μεγαλύτερα και καταλαμβάνουν μεγαλύτερο χώρο οδοστρώματος και έχουν χαμηλότερες επιδόσεις σχετικά με την επιτάχυνση και την επιβράδυνση και την ικανότητά τους να διατηρούν την ταχύτητά τους στις ανωφέρειες.

Η ροή κορεσμού επηρεάζεται επίσης από την εισαγωγή νέων τεχνολογιών όπως για παράδειγμα τα συστήματα ελέγχου πορείας (Adaptive Cruise Control (ACC)) που διαθέτουν οχήματα και με τη βοήθεια αισθητήρων επιταχύνουν ή επιβραδύνουν για να διατηρήσουν ένα επιθυμητό χρονικό διαχωρισμό, μια επιθυμητή ταχύτητα ή να αποφύγουν σύγκρουση (Kesting et al,2007).

Βαθμός κορεσμού: Ο κυκλοφοριακός φόρτος που επιθυμεί να διέλθει από μια διατομή (ζήτηση) προς την κυκλοφοριακή ικανότητα της διατομής.

Κυκλοφοριακή ικανότητα: Ο μέγιστος κυκλοφοριακός φόρτος που μπορεί να διέλθει από μια διατομή ή ομάδα λωρίδων που εξυπηρετούν από κοινού μια κατεύθυνση υπό τις επικρατούσες κυκλοφοριακές συνθήκες και συνθήκες ελέγχου. (σηματοδότηση, σήμανση κλπ.)

Παράγοντες που επηρεάζουν την κυκλοφοριακή ικανότητα και την στάθμη εξυπηρέτησης

Οδικές συνθήκες

Οι οδικές συνθήκες (roadway conditions) περιλαμβάνουν τα γεωμετρικά χαρακτηριστικά της οδού και δεν αλλάζουν χρονικά παρά μόνο όταν πραγματοποιηθούν νέες κατασκευές ή βελτιώσεις στην εξεταζόμενη οδό. Τέτοιες είναι:

- Ο αριθμός και το πλάτος των λωρίδων
- Ο τύπος της οδού και το περιβάλλον της
- Τα πλάτη των ερεισμάτων και η απόσταση των κατά πλάτος εμποδίων
- Η ταχύτητα μελέτης
- Η οριζόντια και κατακόρυφη χάραξη
- Η ύπαρξη αποκλειστικών λωρίδων στροφής στις διασταυρώσεις.

Κυκλοφοριακές συνθήκες:

Οι κυκλοφοριακές συνθήκες (traffic conditions) εξαρτώνται από τη φύση της κυκλοφορίας στο εξεταζόμενο οδικό στοιχείο και αλλάζουν χρονικά κατά τις διάφορες περιόδους της ημέρας ή κατά τις διάφορες ημέρες του έτους. Στην κατηγορία αυτή ανήκουν η σύνθεση της κυκλοφορίας και η κατανομή της κυκλοφορίας ανά κατεύθυνση και λωρίδα.

Σύνθεση κυκλοφορίας (traffic composition) ονομάζεται η ποσοστιαία κατανομή του κυκλοφοριακού φόρου ανά είδος οχήματος. Ανάλογα με το σκοπό για τον οποίο θα χρησιμοποιηθούν τα στοιχεία σύνθεσης της κυκλοφορίας και το αν οι μετρήσεις γίνονται σε αστικές ή υπεραστικές οδούς, διακρίνονται διάφορες κατηγορίες οχημάτων. Για αστικές οδούς χρησιμοποιούνται συνήθως οι παρακάτω κατηγορίες:

- Επιβατηγά οχήματα
- Λεωφορεία, πούλμαν, φορτηγά
- Μεγάλα φορτηγά οχήματα
- Μοτοσικλέτες, μοτοποδήλατα
- Ποδήλατα

Η ύπαρξη βαρέων οχημάτων δηλαδή οχημάτων με περισσότερα από τέσσερα ελαστικά που ακουμπούν στο έδαφος , μειώνει ουσιαστικά την κυκλοφοριακή ικανότητα. Τα φορτηγά , τα λεωφορεία και τα οχήματα αναψυχής είναι οι τρεις κατηγορίες βαρέων οχημάτων που επηρεάζουν την κυκλοφοριακή ικανότητα κατά δύο τρόπους:

- Είναι μεγαλύτερα από τα επιβατηγά αυτοκίνητα και καταλαμβάνουν περισσότερο χώρο οδοστρώματος
- Έχουν χαμηλότερες επιδόσεις, ιδιαίτερα όσον αφορά την επιτάχυνση/επιβράδυνση και την ικανότητα να διατηρούν την ταχύτητα τους σε ανωφέρειες. Η δεύτερη αυτή περίπτωση είναι σοβαρότερη, ιδιαίτερα σε υπεραστικές οδούς μιας λωρίδας ανά κατεύθυνση με μεγάλες κατά μήκος κλίσεις και μεγάλη ανισότητα στην κατανομή της κυκλοφορίας ανά κατεύθυνση.

Συνθήκες ελέγχου

Οι συνθήκες ελέγχου (control conditions) αναφέρονται στη ρύθμιση της κυκλοφορίας με κατάλληλες συσκευές και σημάσεις και στους κανόνες κυκλοφορίας που εφαρμόζονται. Στην κατηγορία αυτή εντάσσονται ο τύπος και η χρονική ρύθμιση των σηματοδοτών καθώς και τα διάφορα σήματα στάσης, προτεραιότητας, ρύθμισης στροφών.

Ο καθορισμός ειδικών λωρίδων για λεωφορεία ή λωρίδων εναλλασσόμενης φοράς καθώς και οι μονοδρομήσεις, οι οποίες περιορίζουν τον αριθμό των σημείων συνάντησης των κυκλοφοριακών ρευμάτων, αποτελούν άλλους τρόπους ελέγχου που επηρεάζουν την κυκλοφοριακή ικανότητα.

Νέες τεχνολογίες

Οι συνεχώς αναπτυσσόμενες νέες τεχνολογίες μεταφορών, γνωστές και ως Ευφυή Συστήματα Μεταφορών (Intelligent Transportation Systems-ITS) που στοχεύουν στην αύξηση της ασφάλειας και της αποτελεσματικότητας των οχημάτων και των συστημάτων μεταφορών μπορεί να αυξήσουν ουσιαστικά την κυκλοφοριακή ικανότητα. Η σημασία των ITS τονίζεται και από την ύπαρξη εθνικών οργανισμών ITS σε όλες τις χώρες της Ευρωπαϊκής Ένωσης.(Φραντζεσκάκης, Γκόλιας, Πισάβα, 2009)

Ουρές

Η ουρά είναι μια κατάσταση που εμφανίζεται σε συστήματα όπου ο ρυθμός άφιξης σε ένα σημείο εξυπηρέτησης υπερβαίνει το ρυθμό εξυπηρέτησης που παρέχει το σύστημα. Η υπέρβαση αυτή συμβαίνει μόνο κατά τη διάρκεια ενός συγκεκριμένου χρονικού διαστήματος, οπότε αναπτύσσεται ουρά. Πέρα από αυτό το διάστημα ο ρυθμός αύξησης ελαττώνεται σε επίπεδο χαμηλότερο από τον ρυθμό εξυπηρέτησης και κατά συνέπεια η ουρά μειώνεται. Συνεχής υπέρβαση του ρυθμού αύξησης θα οδηγούσε σε ουρές άπειρου μήκους.

Μερικά συνηθισμένα συστήματα που εμφανίζονται ουρές αναμονής είναι:

- Διασταυρώσεις σε μια αστική περιοχή

- Σταθμοί διοδίων
- Διάδρομοι απογείωσης και προσγείωσης αεροσκαφών
- Check-in σε αεροδρόμια
- Είσοδοι και έξοδοι σε χώρους στάθμευσης
- Εμπορευματικοί σταθμοί
- Λιμένες- πορθμεία.

Η θεωρία των ουρών χρησιμοποιείται για να:

- προβλέψουμε τα χαρακτηριστικά των σειρών αναμονής(ή ουρών)
- προσδιορίσουμε το επίπεδο εξυπηρέτησης που παρέχει ένα μεταφορικό σύστημα
- να προσδιορίσουμε μια οικονομικά αποδοτική λύση που σταθμίζει το κόστος της υποδομής και λειτουργίας και το επίπεδο εξυπηρέτησης.

Μέση Καθυστέρηση : Ως καθυστέρηση ορίζεται η διαφορά του πραγματικού χρόνου διάνυσης ενός οδικού τμήματος με το χρόνο διάνυσης του εάν εξέλειπε ο λόγος που συμβάλει στην μη απρόσκοπτη κίνηση ενός οχήματος.

Στάθμη εξυπηρέτησης: Είναι ένα ποιοτικό μέγεθος που περιγράφει τις συνθήκες λειτουργίας (μέσα σε ένα κυκλοφοριακό ρεύμα) όσον αναφορά μεγέθη όπως η ταχύτητα και ο χρόνος διαδρομής, η ελευθερία ελιγμών, οι διακοπές της κυκλοφοριακής ροής, η ασφάλεια και η άνεση. Έχουν καθιερωθεί έξι στάθμες εξυπηρέτησης, οι οποίες χαρακτηρίζονται με τα στοιχεία A έως F και καλύπτουν όλες τις πιθανές συνθήκες λειτουργίας από την καλύτερη A, ελεύθερη ροή (free flow), μέχρι την χειρότερη F κορεσμός (saturation).

2.2 Κυκλοφοριακή ικανότητα κόμβων

Η κυκλοφοριακή ικανότητα κάθε εισόδου κόμβου είναι ο μέγιστος ρυθμός με τον οποίο τα οχήματα αναμένονται να εισέλθουν στον κόμβο υπό τις επικρατούσες κυκλοφοριακές συνθήκες και τα γεωμετρικά χαρακτηριστικά του κόμβου.

Τα μοντέλα ανάλυσης κόμβων χωρίζονται γενικά σε δύο κατηγορίες:

- Στατιστικά (εμπειρικά) μοντέλα που βασίζονται σε μετρήσεις πεδίου
- Αναλυτικά μοντέλα βασισμένα στη θεωρία της αποδοχής διάκενου.

Τα εμπειρικά μοντέλα συσχετίζονται με γεωμετρικά χαρακτηριστικά και μετρήσεις της λειτουργίας του κόμβου όπως η κυκλοφοριακή ικανότητα, η μέση καθυστέρηση και το μήκος της σχηματιζόμενης ουράς, από δεδομένα που συλλέχθηκαν στο πεδίο. Δημιουργούν μια σχέση μεταξύ της κυκλοφοριακής ροής που προσεγγίζει μια είσοδο του κόμβου και της κυκλοφοριακής ροής μετά από αυτή. Η σχέση αυτή είναι γραμμική ή εκθετική. Τα μοντέλα αυτά θεωρούνται γενικά καλύτερα από τα αναλυτικά αλλά απαιτούν ένα μεγάλο αριθμό κόμβων σε συνθήκες κορεσμού και μπορεί να προσαρμόζονται καλά στις οδικές συνθήκες όλων των χωρών.

Τα αναλυτικά μοντέλα ή μοντέλα αποδοχής διάκενου μπορούν να αναπτυχθούν χωρίς να υπάρχει κατάσταση συμφόρησης, και στηρίζονται στο ότι ο οδηγός που

φτάνει στην είσοδο το κόμβου πρέπει να επιλέξει ένα αποδεκτό από αυτόν κενό στην κυκλοφοριακή ροή ώστε να εισέλθει στον κόμβο. Το κενό αυτό είναι ο διαχωρισμός μεταξύ δύο συνεχόμενων οχημάτων οπότε το κρίσιμο κενό είναι το ελάχιστος διαχωρισμός που γίνεται αποδεκτός από τον οδηγό. Εάν το αποδεχόμενο κενό είναι μεγαλύτερο από το ελάχιστο, τότε περισσότερα από ένα οχήματα μπορούν να διασχίσουν τον κόμβο. Ο χρόνος που απαιτείται για το δεύτερο όχημα να εισέλθει στον κόμβο χρησιμοποιώντας το ίδιο διάκενο ονομάζεται χρόνος ακολουθίας.

Κρίσιμο Διάκενο (Critical Gap)

Ορισμός κατά HCM: Το κρίσιμο διάκενο είναι η διάμεσος (median) των χρονικών διακένων μεταξύ δύο διαδοχικών οχημάτων στον πρωτεύοντα δρόμο που γίνονται αποδεκτά από τους οδηγούς που εκτελούν τον υπό εξέταση ελιγμό (HCM 2000).

Εναλλακτικός Ορισμός: Το κρίσιμο διάκενο είναι το διάκενο για το οποίο ο αριθμός αποδοχής μεγαλύτερων διακένων ισούται με τον αριθμό απόρριψης μικρότερων διακένων.

Το κρίσιμο διάκενο εξαρτάται από τον τύπο του ελιγμού, το σύστημα προτεραιότητας (STOP ή προτεραιότητα από δεξιά), τη μέση ταχύτητα στον πρωτεύοντα δρόμο, τον αριθμό λωρίδων στον πρωτεύοντα, τη γεωμετρία και τις συνθήκες του περιβάλλοντος.

Χρόνος ακολουθίας

Ο χρόνος ανάμεσα στην αναχώρηση ενός οχήματος από τον δευτερεύοντα δρόμο και στην αναχώρηση του επόμενου οχήματος που χρησιμοποιεί το ίδιο διάκενο επί του πρωτεύοντα δρόμου, κάτω από συνθήκες ουράς στον δευτερεύοντα δρόμο (HCM 2000).

Τα αναλυτικά μοντέλα συνεπώς υπολογίζουν την κυκλοφοριακή ικανότητα του κόμβου ως συνάρτηση του κρίσιμου διακένου, του χρόνου ακολουθίας και του φόρτου. Παρόλα αυτά για την εκτίμηση της κυκλοφοριακής ικανότητας απαιτείται να γίνουν κάποιες παραδοχές:

- Σταθερές τιμές για το κρίσιμο διάκενο t_c και το χρόνο ακολουθίας t_f .
- Εκθετική κατανομή για τα διακένα στην κυκλοφοριακή ροή
- Σταθερές τιμές φόρτων

Αυτές οι παραδοχές κάνουν την χρήση αυτών των μοντέλων δύσκολη στην πράξη. Επιπροσθέτως υπάρχουν και ορισμένοι ακόμα περιορισμοί, όπως:

- Η εκτίμηση του κρίσιμου διακένου δεν είναι εύκολη.
- Οι παράγοντες που σχετίζονται με την γεωμετρία του κόμβου δεν προσμετρούνται άμεσα
- Τα ασύμφωνα κενά δεν υπολογίζονται στη θεωρία.

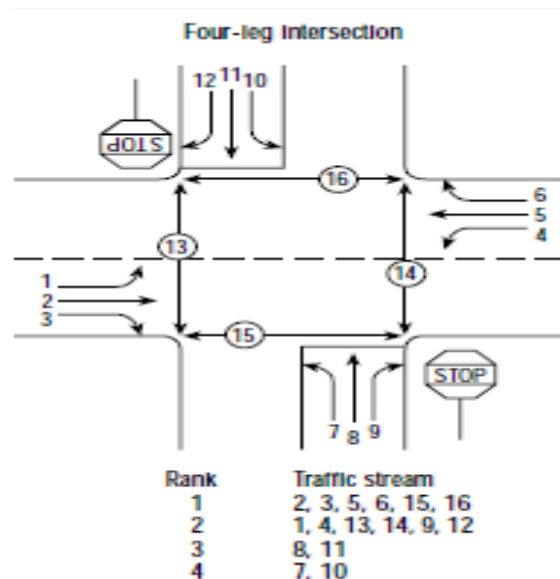
2.2.1 Αναλυτικά μοντέλα υπολογισμού κυκλοφοριακής ικανότητας (Μέθοδος HCM).

2.2.1.1 Ισόπεδοι κόμβοι με έλεγχο προτεραιότητας

Στους κόμβους αυτούς υπάρχει ένα κύριο ρεύμα κυκλοφορίας και ένα δευτερεύον το οποίο ελέγχεται με πινακίδα STOP (Two Way Stop Control intersections). Για τον υπολογισμό της κυκλοφοριακής ικανότητας ορίζονται επίπεδα προτεραιότητας για όλες τις κινήσεις που εκτελούνται στον κόμβο. Υπάρχουν τέσσερα επίπεδα προτεραιότητας :

- Το πρώτο επίπεδο περιλαμβάνει τις ευθείες κινήσεις και τις δεξιές στρέφουσες κινήσεις από τον κύριο δρόμο.
- Το δεύτερο επίπεδο προτεραιότητας περιλαμβάνει τις αριστερές στρέφουσες κινήσεις από την κύρια οδό και τις δεξιές στρέφουσες κινήσεις από την δευτερεύουσα προς την κύρια οδό.
- Το τρίτο επίπεδο προτεραιότητας περιλαμβάνει τις ευθείες κινήσεις από την δευτερεύουσα οδό
- Το τέταρτο επίπεδο προτεραιότητας περιλαμβάνει τις αριστερές στροφές από την δευτερεύουσα οδό. Το τέταρτο επίπεδο υπάρχει μόνο στους τετρασκελιείς κόμβους.

Το πρώτο επίπεδο έχει πάντα προτεραιότητα στις κινήσεις. Το δεύτερο επίπεδο παραχωρεί προτεραιότητα στο πρώτο, το τρίτο στο δεύτερο και στο πρώτο, ενώ το τέταρτο επίπεδο παραχωρεί προτεραιότητα σε όλες τις υπόλοιπες κινήσεις του κόμβου.



Σχήμα 2.1: Επίπεδα προτεραιότητας σε κόμβους- Πηγή HCM 2000

Κάθε κίνηση σε ένα κόμβο προτεραιότητας έχει διαφορετικά σημεία εμπλοκής με τις υπόλοιπες κινήσεις, τα οποία εξαρτώνται από την φύση της κίνησης. Ακόμη υπάρχουν 2 κατηγορίες κινήσεων, αυτές που διασχίζουν τον κόμβο σε μία φάση και αυτές που η διάσχιση του κόμβου γίνεται σε δύο φάσεις και τα οχήματα αναμένουν στο μέσο του κόμβου μεταξύ των δύο φάσεων.

Για τον υπολογισμό της κυκλοφοριακής ικανότητας αρχικά υπολογίζονται οι φόρτοι εμπλοκής κάθε κίνησης.

Στη συνέχεια υπολογίζονται οι τιμές το κρίσιμου διάκενου και του χρόνου ακολουθίας κάθε κίνησης του κόμβου. Το κρίσιμο διάκενο υπολογίζεται από την εξίσωση:

$$t_{c,x} = t_{c,base} + t_{c,HV} * P_{HV} + t_{c,G} * G - t_{c,t} - t_{3,LT}$$

Όπου:

$t_{c,x}$: κρίσιμο διάκενο για την x κίνηση

$t_{c,base}$: βασική τιμή που λαμβάνεται από πίνακα

$t_{c,HV}$: συντελεστής προσαρμογής για βαρέα οχήματα

P_{HV} : αναλογία βαρέων οχημάτων εξεταζόμενης κίνησης

$t_{c,G}$: συντελεστής προσαρμογής για κλίση (0,1 για τις κινήσεις 9, 12 και 0,2 για τις κινήσεις 7,8,10, 11)

G : κλίση της εξεταζόμενης κίνησης.

$t_{c,t}$: συντελεστής προσαρμογής για πραγματοποίηση ελιγμού σε δύο φάσεις (1.0 για την πρώτη ή τη δεύτερη φάση, 0 αν υπάρχει μόνο μια φάση)

$t_{3,LT}$: Συντελεστής προσαρμογής για γεωμετρία κόμβου (0,7 για αριστερόστροφες κινήσεις από δευτερεύοντα δρόμο σε τρισκελείς κόμβους τύπου T, 0 σε όλες τις άλλες περιπτώσεις

Αντίστοιχα ο χρόνος ακολουθίας υπολογίζεται από την ακόλουθη σχέση:

$$t_{f,x} = t_{f,base} + t_{f,HV} P_{HV} \quad \text{Όπου:}$$

$t_{f,x}$: ο χρόνος ακολουθίας μιας δευτερεύουσας κίνησης

$t_{f,base}$: βασική τιμή που λαμβάνεται από πίνακα

$t_{f,hv}$: συντελεστής προσαρμογής για βαρέα οχήματα

P_{hv} : αναλογία βαρέων οχημάτων.

Ακολουθεί πίνακας με τις βασικές τιμές του κρίσιμου διάκενου και το χρόνο ακολουθίας για κάθε κίνηση:

Βασικές τιμές κρίσιμου διάκενου και χρόνου ακολουθίας (sec)			
	Βασική τιμή κρίσιμου διάκενου $t_{c,base}$		Βασική τιμή χρόνου ακολουθίας $t_{f,base}$
	Πρωτεύων δρόμος 2 λωρίδων - συνολικά	Πρωτεύων δρόμος 4 λωρίδων - συνολικά	
Αριστερές στροφές από πρωτεύοντα	4,1	4,1	2,2
Δεξιές στροφές από δευτερεύοντα	6,2	6,9	3,3
Ευθεία κίνηση επί του δευτερεύοντος	6,5	6,5	4,0
Αριστερές στροφές από δευτερεύοντα	7,1	7,5	3,5

Πίνακας 2.1-Βασικές τιμές διάκενου και χρόνου ακολουθίας-Πηγή :Σημειώσεις μαθήματος Οδοποιία ΙΙΙ ΣΑΤΜ-ΕΜΠ

Στην συνέχεια υπολογίζεται η μέγιστη κυκλοφοριακή ικανότητα για κάθε κίνηση στον κόμβο:

$$C_{p,x} = v_{c,x} \frac{e^{-v_{c,x} t_{c,x} / 3600}}{1 - e^{-v_{c,x} t_{f,x} / 3600}}$$

$C_{p,x}$: μέγιστη δυνατή κυκλοφοριακή ικανότητα της x κίνησης

$v_{c,x}$: φόρτος εμπλοκής της x κίνησης

$t_{c,x}$: κρίσιμο διάκενο

$t_{f,x}$: χρόνος ακολουθίας

Η μέγιστη δυνατή κυκλοφοριακή ικανότητα καθορίζεται ως η κυκλοφοριακή ικανότητα μιας κίνησης στην οποία ισχύουν οι ακόλουθες βασικές καταστάσεις:

- Ροή από προηγούμενες διασταυρώσεις δεν προστίθεται στην υπάρχουσα διασταύρωση
- Μια ξεχωριστή λωρίδα υπάρχει για αποκλειστική χρήση από κάθε δευτερεύουσα κίνηση
- Δεν υπάρχει ανάντι σήμανση που να επηρεάζει τον ρυθμό άφιξης στον πρωτεύοντα δρόμο
- Καμία άλλη κίνηση δεν εμποδίζει την εξεταζόμενη (HCM)

Το μήκος της σχηματιζόμενης ουράς κάθε κίνησης δίνεται από την σχέση

$$Q_{95} = 900 * T * \left[\left(\frac{V_x}{C_{m,x}} \right) - 1 + \sqrt{\left(\left(\frac{V_x}{C_{m,x}} \right) - 1 \right)^2 + \frac{\left(\frac{3600}{C_{m,x}} \right) \left(\frac{V_x}{C_{m,x}} \right)}{150T}} \right] \left(\frac{C_{m,x}}{3600} \right)$$

Υπολογισμός μέσης καθυστέρησης δευτερεύουσας κίνησης:

Τα αναλυτικά μοντέλα που χρησιμοποιούνται για την εκτίμηση της καθυστέρησης θεωρούν ότι η ζήτηση είναι λιγότερη από την κυκλοφοριακή ικανότητα για την περίοδο της ανάλυσης. Εάν ο βαθμός κορεσμού είναι πάνω από 0,9 τότε η μέση καθυστέρηση επηρεάζεται σημαντικά από τη χρονική περίοδο ανάλυσης. Στις περισσότερες περιπτώσεις η συνιστώμενη περίοδος μελέτης είναι 15 λεπτά. Εάν η ζήτηση ξεπερνά την κυκλοφοριακή ικανότητα κατά τη διάρκεια μιας 15λεπτης περιόδου τα αποτελέσματα υπολογισμού της καθυστέρησης μπορεί να μην είναι ακριβή. Σε αυτήν την περίπτωση η περίοδος ανάλυσης πρέπει να επεκταθεί ώστε να συμπεριλάβει την περίοδο υπερκορεσμού (HCM, 2000).

$$d = \left(\frac{3600}{C_{m,x}} \right) + 900 * T * \left[\left(\frac{V_x}{C_{m,x}} \right) - 1 + \sqrt{\left(\left(\frac{V_x}{C_{m,x}} \right) - 1 \right)^2 + \frac{\left(\frac{3600}{C_{m,x}} \right) \left(\frac{V_x}{C_{m,x}} \right)}{450T}} \right] + 5$$

Επίσης καθυστέρηση παρατηρείται και στις κινήσεις του πρώτου επιπέδου στις περιπτώσεις που υπάρχει μοιραζόμενη λωρίδα με τις αριστερές στροφές από τον πρωτεύοντα δρόμο. Η καθυστέρηση αυτή επηρεάζει και τις κινήσεις των χαμηλότερων επιπέδων.

Η μέση καθυστέρηση των κινήσεων του πρώτου επιπέδου προτεραιότητας υπολογίζεται από την ακόλουθη εξίσωση:

$$d_{rank1} = \left\{ \begin{array}{l} \frac{(1-p_{0j})d_{M,LT}(\frac{v_{i,1}}{N})}{v_{i,1}+v_{i,2}} \quad N > 1 \\ (1-p_{0j})d_{M,LT} \quad N = 1 \end{array} \right\} \quad \text{Όπου:}$$

d_{rank1} : Καθυστέρηση στα οχήματα του πρώτου επιπέδου προτεραιότητας

N : Αριθμός λωρίδων ευθείας κίνησης πρωτεύοντα δρόμου

p_{0j} : Πιθανότητα ότι τα οχήματα της το πρώτου επιπέδου προτεραιότητας δεν εμποδίζονται

d_{MLT} : Καθυστέρηση στα οχήματα της αριστερά στρέφουσας από τον πρωτεύοντα δρόμο κίνησης

$v_{i,1}$: Τα οχήματα της ευθείας κίνησης του πρωτεύοντα δρόμου που βρίσκονται σε μοιραζόμενη λωρίδα

$v_{i,2}$: Τα οχήματα της δεξιάς στρέφουσας κίνησης του πρωτεύοντα δρόμου που βρίσκονται σε μοιραζόμενη λωρίδα

Αφού έχει υπολογιστεί η καθυστέρηση κάθε κίνησης μπορεί να υπολογιστεί η καθυστέρηση κάθε πρόσβασης του κόμβου και στη συνέχεια η μέση καθυστέρηση όλου του κόμβου. Η καθυστέρηση κάθε πρόσβασης δίνεται από τη σχέση:

$$d_A = \frac{d_r v_r + d_t v_t + d_l v_l}{v_r + v_t + v_l}$$

Τέλος η μέση καθυστέρηση τετρασκελούς κόμβου δίνεται από τη σχέση:

$$d_l = \frac{d_{A,1} v_{A,1} + d_{A,2} v_{A,2} + d_{A,3} v_{A,3} + d_{A,4} v_{A,4}}{v_{A,1} + v_{A,2} + v_{A,3} + v_{A,4}}$$

$d_{a,x}$: η μέση αναμονή της πρόσβασης x (s/veh)

$v_{a,x}$: φόρτος της πρόσβασης x (veh/h)

2.2.2.2 Κυκλικό Κόμβοι

Αντίστοιχα και στην περίπτωση των κυκλικών κόμβων χρησιμοποιούνται αναλυτικά μοντέλα που στηρίζονται στο κρίσιμο διάκενο και το χρόνο ακολουθίας για τον υπολογισμό της κυκλοφοριακής ικανότητας.

Μια εκτίμηση της κυκλοφοριακής ικανότητας μιας πρόσβασης κυκλικού κόμβου δίνεται από την ακόλουθη σχέση:

$$c_a = \frac{v_{c,x} e^{-v_c t_c / 3600}}{1 - e^{-v_c t_c / 3600}} \quad \text{Όπου}$$

c_a : κυκλοφοριακή ικανότητα πρόσβασης (οχ/ ώρα)
 v_c : φόρτος εμπλοκής (οχ/ ώρα)
 t_c : κρίσιμο διάκενο (s)
 t_f : χρόνος ακολουθίας (s)

Επειδή οι κυκλικόι κόμβοι κάνουν τους οδηγούς να εισέλθουν στο κόμβο κάνοντας δεξιά στροφή , τα χαρακτηριστικά αποδοχής διάκενου θεωρούνται ίδια με αυτά των οδηγών που εκτελούν στρέφουσα κίνηση σε ισόπεδους κόμβους ελέγχου προτεραιότητας (TWSC).

Οι τιμές του κρίσιμου διάκενου κυμαίνονται μεταξύ 4.1 και 4,6 sec, ενώ του χρόνου ακολουθίας από 2.6 έως 3.1 sec.

2.2.3 Η Βρετανική Εμπειρική Μέθοδος

Σχεδόν σε κάθε χώρα πλην της Μεγάλης Βρετανίας χρησιμοποιείται η αναλυτική μέθοδος του HCM που στηρίζεται στην αποδοχή του κρίσιμου διάκενου. Οι Kimber and Coombe, Kimber και Semmens, όλοι από το UK's Transport Road Research Laboratory ανέπτυξαν εμπειρικά μοντέλα προσδιορισμού της κυκλοφοριακής ικανότητας τα οποία βασίζονται στους φόρτους κυκλοφορίας και στα γεωμετρικά χαρακτηριστικά.

Η γενική εξίσωση προσδιορισμού της κυκλοφοριακής ικανότητας Q δευτερεύουσας δευτερεύουσας κίνησης δίδεται από την ακόλουθη σχέση:

$$Q = X [q_e - \sum_i (Y a_i q_i + Z)]$$

όπου X, Y και Z αναπαριστούν συναρτήσεις των γεωμετρικών παραμέτρων του κόμβου:

- Το $X = (1+hw)$ όπου w είναι το πλάτος της λωρίδας και h μια παράμετρος που πρέπει να καθορισθεί
- Το $Y = (1+jW)$ όπου W είναι το πλάτος του πρωτεύοντα δρόμου και j μια παράμετρος που πρέπει να καθορισθεί

Αλλαγές στο X προκαλούν αναλογικές αλλαγές στην κυκλοφοριακή ικανότητα, αλλαγές στο Y ορίζουν το κατά πόσο αλλαγές φόρτο εμποδίζουν την κυκλοφοριακή ικανότητα και τέλος οι αλλαγές στο Z αντιπροσωπεύουν τον τρόπο με τον οποίο η αλλάζει η ροή κορεσμού ανάλογα με τα γεωμετρικά χαρακτηριστικά .

Η κυκλοφοριακή ικανότητα των αριστερά στρεφουσών κινήσεων δίνεται από τη σχέση:

$$Q_{BA} = X_1 [635 - 0,9387 w] [0,404 q_{AC} + 0,149 q_{AB} + 0,278 q_{CA} + 0,514 q_{CB}]$$

όπου $XI = [1 + 0,094 (w - 3,65)] [1 + 0,00009 (V_t - 120)] * [1 + 0,00006 (S_t - 150)]$

- w είναι το πλάτος της αριστερά στρέφουσας κίνησης από τη δευτερεύουσα οδό
- V_r είναι ο βαθμός ορατότητας.

Όταν οι συνθήκες είναι ιδεατές τότε το X_1 ισούται με 1.

Η κυκλοφοριακή ικανότητα των δεξιά στρεφουσών κινήσεων δίνεται από τη σχέση:

$$Q_{BC} = X_2 [742 - (1 - 0,089 W_n)] [0,485 q_{AC} + 0,226 q_{ab}]$$

$$\text{με : } X_2 = [1 + 0,094 (w - 3,65)] [1 + 0,0009 (V_r - 120)]$$

- W_n είναι το μισό του πλάτους του πρωτεύοντα δρόμου
- V_r είναι ο βαθμός ορατότητας στα αριστερά

Η κυκλοφοριακή ικανότητα των στρεφουσών κινήσεων του δευτερεύοντα δρόμου μπορεί να εκφραστεί βάση των φόρτων του πρωτεύοντα δρόμου ή των διασταυρούμενων φόρτων.

$$Q_{BA} = Q_{RT} = 635 - 0,875 q_p$$

$$Q_{BC} = Q_{LT} = 742 - 0,422 q_p$$

Οι δύο αυτές εξισώσεις μπορούν να συνδυαστούν σε μία σχέση που θα εκφράζει τη μέση κυκλοφοριακή ικανότητα της δευτερεύουσας οδού

$$Q_n = 689 - 0,649 q_p$$

όπου Q_n είναι η κυκλοφοριακή ικανότητα της πρόσβασης και q_p είναι ο φόρτος στον πρωτεύοντα δρόμο.

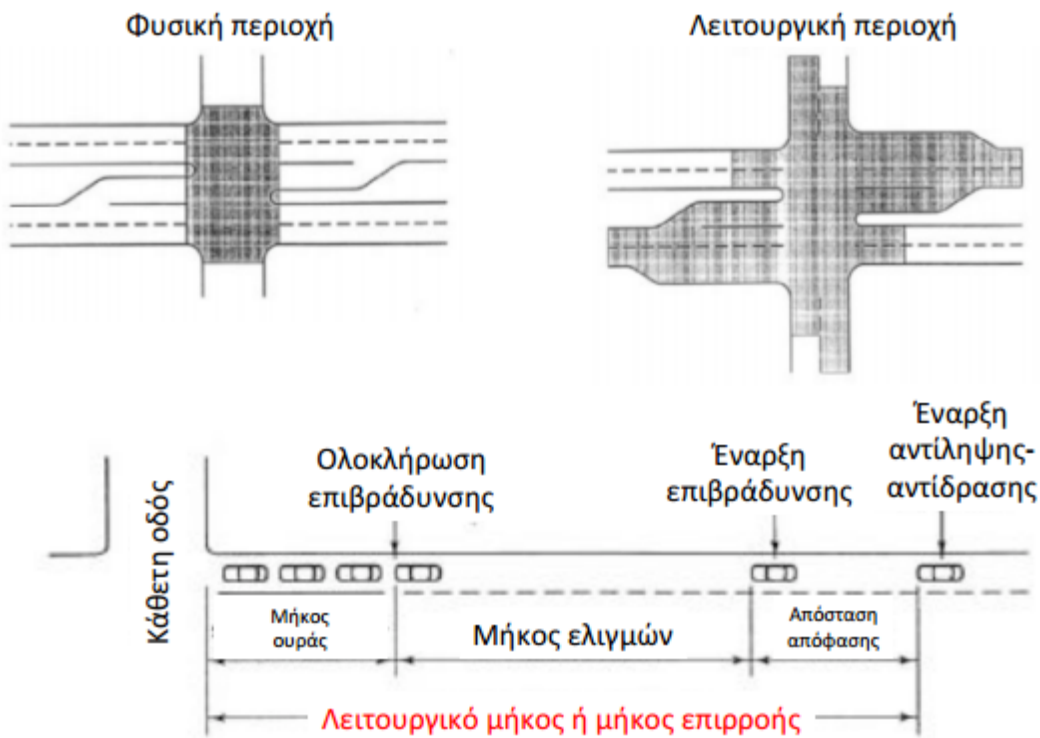
2.3 Κόμβοι

2.3.1 Γενικά στοιχεία

Κόμβος: Στοιχείο που απαιτείται για την εξυπηρέτηση διαφορετικών κινήσεων οι οποίες τέμνονται σε ένα σημείο. Οι κόμβοι διακρίνονται σε δύο μεγάλες κατηγορίες: τους ισόπεδους κόμβους που περιλαμβάνουν και τις διαμορφώσεις και εξοπλισμό των οδών και του παράοδου χώρου για την εξυπηρέτηση της κυκλοφορίας και τους ανισόπεδους κόμβους που περιλαμβάνουν επίσης τα έργα υψομετρικού διαχωρισμού, τις ράμπες και τις διαμορφώσεις – εξοπλισμό του παράοδου χώρου.

Λειτουργική περιοχή ενός κόμβου περιλαμβάνει την απόσταση που διανύει ένα όχημα κατά την αντίληψη – αντίδραση και ελιγμό (επιβράδυνση και αλλαγή λωρίδας) και το μήκος που απαιτείται για την αποθήκευση οχημάτων (μεγαλύτερη ουρά που αναμένεται με κάποια περιοδικότητα).

Φυσική περιοχή του κόμβου είναι ο κοινός χώρος των διασταυρούμενων οδών.



Σχήμα 2.2- Φυσική και Λειτουργική περιοχή κόμβου – Πήγη: Αντωνίου, Παπαδημητρίου 2012

Η λειτουργικότητα των κόμβων αξιολογείται με βάση:

- Την προσαρμογή της ροής κυκλοφορίας με την κυκλοφορία της οδού.
- Το επίπεδο οδικής ασφάλειας για τους χρήστες.
- Τη σχέση κυκλοφοριακής ικανότητας και εξυπηρετούμενου κυκλοφοριακού φόρτου.
- Το κόστος κατασκευής.

- Προσαρμογή στον περιβάλλοντα χώρο.
 Στους κόμβους εκτελούνται τρεις βασικοί ελιγμοί.: α)συμβολή(merging) β) μερισμός(diverging) γ) διασταύρωση (crossing). Όταν δε, ένας ελιγμός συμβολής δύο ρευμάτων ακολουθείται σε μικρή απόσταση από έναν ελιγμό μερισμού δημιουργείται ένας σύνθετος ελιγμός που ονομάζεται πλέξη (weaving) (Κανελαΐδης κ.α., 2008). Οι ελιγμοί αυτοί ονομάζονται α)στοιχειώδεις όταν συναντώνται μόνο δύο κυκλοφοριακά ρεύματα μιας λωρίδας και μιας κατεύθυνσης β) πολλαπλοί όταν συναντώνται περισσότερα ρεύματα μιας λωρίδας και μιας κατεύθυνσης.

α) Διαχωρισμός



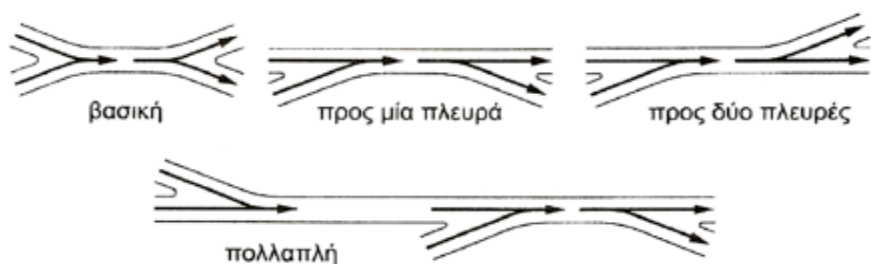
β) Συμβολή



γ) Διασταύρωση



δ) Πλέξη



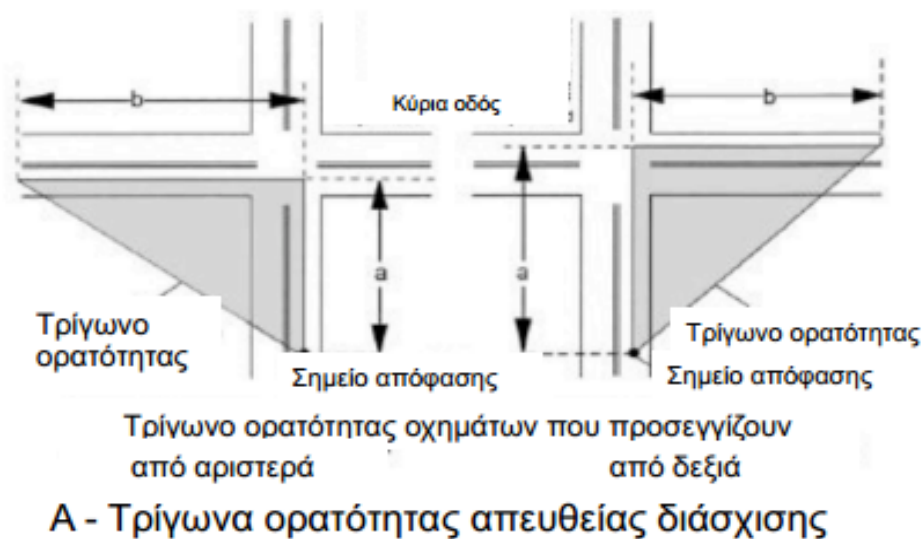
Σχήμα 2.3 : Τύποι ελιγμών- Πηγή: Φραντζεσκάκης, Γκόλιας, Πιτσάβα, 2009

Όσο αυξάνεται ο αριθμός των σκελών ενός κόμβου, αυξάνεται και ο αριθμός εμπλοκής των κυκλοφοριακών ρευμάτων. Η αύξηση αυτή είναι ακόμα μεγαλύτερη όταν υπάρχουν παραπάνω από μία λωρίδες ή ρεύματα κυκλοφορίας.

Ορατότητα σε κόμβους

Κάθε τεταρτημόριο μιας διασταύρωσης πρέπει να περιλαμβάνει μια τριγωνική περιοχή χωρίς εμπόδια που μπορεί να περιορίσουν το οπτικό πεδίο ενός οδηγού που προσεγγίζει τον κόμβο, πιθανά αποκρύπτοντας εμπλεκόμενα οχήματα. Το μήκος του κάθε σκέλους της τριγωνικής αυτής επιφάνειας, κατά μήκος των διασταυρούμενων οδών, πρέπει να είναι τέτοιο ώστε οι οδηγοί να μπορούν να δουν τυχόν πιθανά εμπλεκόμενα οχήματα σε χρόνο αρκετό ώστε να μειώσουν ταχύτητα ή να ακινητοποιηθούν πριν συγκρουστούν με αυτά στη διασταύρωση. Οι διαστάσεις των τριγώνων ορατότητας εξαρτώνται από την ταχύτητα μελέτης και τον τύπο ελέγχου της πρόσβασης.

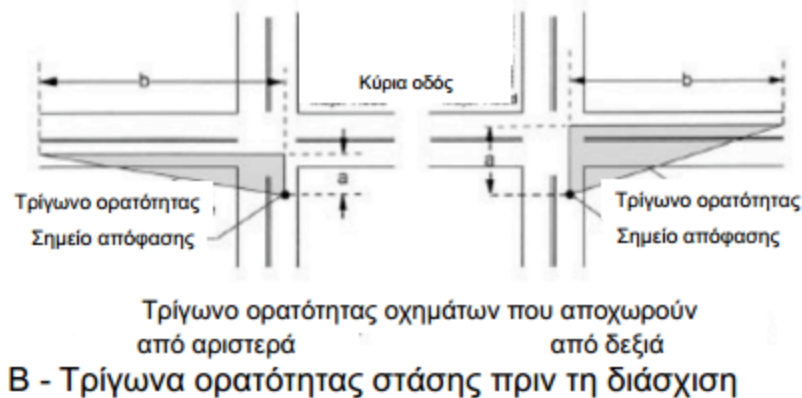
Υπάρχουν δύο ειδών τρίγωνα ορατότητας :α)Τρίγωνα ορατότητας απευθείας διάσχησης και β)τρίγωνα ορατότητας στάσης πριν τη διάσχηση.



Σχήμα 2.4- Τρίγωνα ορατότητας απευθείας διάσχησης – Πηγή: Αντωνίου, Παπαδημητρίου 2012
Σχήμα 2.4 : Τρίγωνα ορατότητας απευθείας διάσχησης- Πηγή:Αντωνίου, Παπαδημητρίου 2012

Η ακμή του τριγώνου ορατότητας στην πρόσβαση της δευτερεύουσας οδού (ή μια προσβάσεως χωρίς έλεγχο) αντιπροσωπεύει το σημείο απόφασης για τον οδηγό επί της δευτερεύουσας οδού). Το σημείο αυτό είναι η θέση στην οποία ο οδηγός του κινούμενου επί της δευτερεύουσας οδού οχήματος ξεκινά την πέδηση προς στάση αν αντιληφθεί άλλο όχημα σε μια διασταυρούμενη πρόσβαση. Η απόσταση αυτή είναι η διάσταση a . Η γεωμετρία του τριγώνου ορατότητας απευθείας διάσχησης είναι τέτοια α)τη σχηματιζόμενη ουρά (95% queue), β) τη μέση καθυστέρηση (average delay), γ) τη μέγιστη καθυστέρηση κάθε πρόσβασης δ) την αναλογία σταματημένων οχημάτων (proportion stopped), ε) το μέγιστο αριθμό στάσεων ανά πρόσβαση, στ) το βαθμό κορεσμού (saturation flow).ώστε όταν ο οδηγός ενός οχήματος χωρίς προτεραιότητα δει ένα όχημα το οποίο έχει προτεραιότητα σε μια διασταυρούμενη πρόσβαση, ο οδηγός αυτού του πιθανά εμπλεκόμενου οχήματος να μπορεί επίσης να δει το πρώτο όχημα. Η διάσταση b αντιπροσωπεύει αυτό το σκέλος του τριγώνου ορατότητας. Τα τρίγωνα ορατότητας απευθείας διάσχησης δεν είναι απαραίτητα για προσβάσεις που ελέγχονται με σήματα STOP ή φωτεινή σηματοδότηση (παρόλο που είναι επιθυμητά

σε διασταυρώσεις υψηλών φόρτων), καθώς τα οχήματα ακινητοποιούνται πριν τη πινακίδα STOP ή το φωτεινό σηματοδότη, χωρίς να απαιτείται η παρουσία άλλων οχημάτων στις υπόλοιπες προσβάσεις (AASHTO, 2001).



Σχήμα 2.5 : Τρίγωνα ορατότητας στάσης πριν τη διάσχιση – Πήγη: Αντωνίου, Παπαδημητρίου 2012

Τα τρίγωνα ορατότητας στάσης πριν τη διάσχιση παρέχουν επαρκή ορατότητα στον οδηγό ακινητοποιημένου οχήματος επί της δευτερεύουσας οδού ώστε να εισέλθουν ή να διασχίσουν τη κύρια οδό. Αυτά τα τρίγωνα ορατότητας πρέπει να εξασφαλίζονται σε κάθε διασταύρωση με έλεγχο προσβάσεων με πινακίδες STOP, ενώ πρέπει να εξασφαλίζονται και σε ορισμένες περιπτώσεις σηματοδοτούμενων κόμβων. Επιτρέπουν επίσης στους οδηγούς επί της κύριας οδού να αντιληφθούν ακινητοποιημένα οχήματα επί τη δευτερεύουσας οδού επιτρέποντας τους να επιβραδύνουν ή να ακινητοποιηθούν αν κριθεί απαραίτητο. Οι διαστάσεις των τριγώνων αυτών βασίζονται σε μελέτες πεδίου για την συμπεριφορά των οδηγών κατά την αποδοχή διακένων (Αντωνίου Κ, Παπαδημητρίου Ε, 2012).

2.3.2 Ισόπεδοι κόμβοι

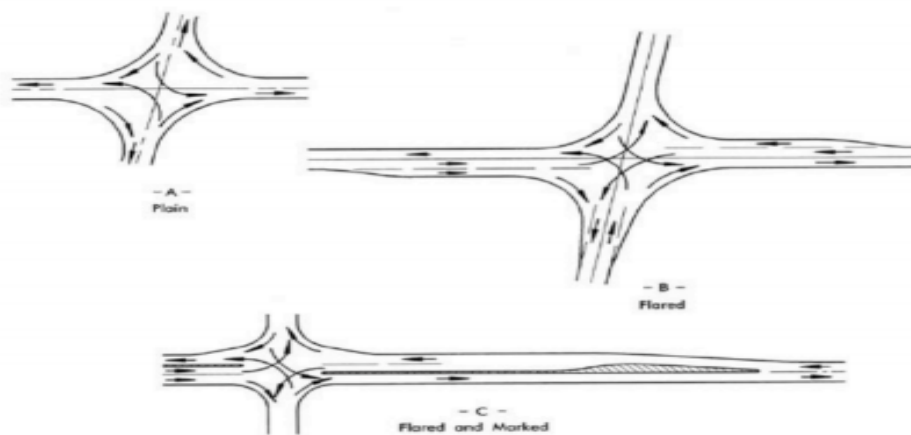
Οι ισόπεδοι κόμβοι μπορούν να κατηγοριοποιηθούν ανάλογα με:

- Τον αριθμό των σκελών τους (τριών, τεσσάρων, πολυσκελείς)
- Την μορφή τους (ταυ(T) ύψιλον (Υ) κλπ)
- Τον τρόπο διαμόρφωσης τους (με ή χωρίς διαχωριστικές νησίδες, λωρίδα αριστερών στρόφων κλπ)
- Τον τρόπο ρύθμισης της κυκλοφορίας (σηματοδοτούμενοι ή όχι, με ή χωρίς σήμανση)

Σε κάθε περίπτωση ο τύπος του κόμβου επιλέγεται κυρίως με βάση τον αριθμό των ρευμάτων κυκλοφορίας, την τοπογραφία της περιοχής, την κατηγορία των διασταυρούμενων οδών, το μέγεθος και τη διακύμανση των κυκλοφοριακών φόρτων, τις ταχύτητες και το επιθυμητό επίπεδο λειτουργίας.

Τετρασκελείς κόμβοι:

Ο κόμβος τύπου T προσφέρεται όταν συναντιούνται δυο δευτερεύουσες οδοί, η μια δευτερεύουσα με μια κύρια όπου η γωνία συμβολής δεν διαφέρει πάνω από 30 μοίρες από τη ορθή. Εκτός αστικών περιοχών συναντάται κυρίως για τη συμβολή δύο λωρίδων κυκλοφορίας με χαμηλό φόρτο, ενώ σε αστικές και υπεραστικές μπορεί να χρησιμοποιηθεί και σε οδούς τεσσάρων ή περισσότερων λωρίδων, καθώς και σε υψηλότερους φόρτους. Η γωνία συμβολής δεν πρέπει να διαφέρει πάνω από 30 μοίρες από την ορθή, ενώ γίνονται και διαπλάτυνσεις των οδών ώστε να προσφερθεί επιπλέον χωρητικότητα στις διαμπερείς και στρέφουσες κινήσεις στον κόμβο. Επιπλέον βοηθητικές λωρίδες επιτρέπουν σε κινούμενα οχήματα να περάσουν βραδυπορούντα οχήματα, καθώς και οχήματα που περιμένουν να στρίψουν.



Σχήμα 2.6: Τύποι ισόπεδων κόμβων προτεραιότητας – Πήγη: Αντωνίου, Παπαδημητρίου 2012

2.3.3 Κυκλικό κόμβοι

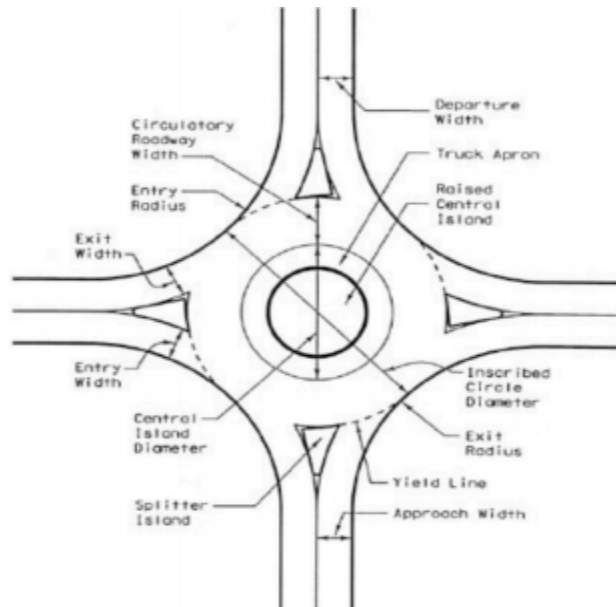
Είναι μια κατηγορία κόμβων όπου τα οχήματα κινούνται συνεχώς με φορά αντίθετη από αυτή των δεικτών του ρολογιού γύρω από μία νησίδα συνηθέστερα κυκλική. Στους κυκλικούς κόμβους δεν έχουμε διασταύρωση κυκλοφοριακών ρευμάτων αλλά αντίθετα έχουμε πολλαπλά σημεία μερισμού και συμβολής αυτών, δημιουργώντας μία περιοχή συνεχούς πλέξης (Φραντζεσκάκης και Γιαννόπουλος, 1986).

Προτεραιότητα στους κυκλικούς κόμβους έχουν τα οχήματα που κινούνται εντός αυτού. Τα οχήματα που πλησιάζουν και θέλουν να εισέλθουν στον κόμβο προειδοποιούνται με κατάλληλη σήμανση (πινακίδα STOP κ.λπ.) ώστε να παραχωρήσουν προτεραιότητα στα εντός του κόμβου κινούμενα οχήματα. Επισημαίνεται ότι ανάλογα με τις υπάρχουσες κυκλοφοριακές συνθήκες είναι δυνατόν στους ισόπεδους κυκλικούς κόμβους να υπάρχει φωτεινή σηματοδότηση.

Στην Ελλάδα και σε αντίθεση με την συντριπτική πλειοψηφία των χωρών του εξωτερικού προτεραιότητα έχουν τα οχήματα που εισέρχονται στον κυκλικό κόμβο, ισχύει δηλαδή η από δεξιά προτεραιότητα. Πρόκειται για κόμβους που έχουν κατασκευαστεί σε μεγάλο αριθμό στο παρελθόν στο αστικό οδικό δίκτυο

προκαλώντας πολλά προβλήματα τόσο καθυστερήσεων στους οδηγούς όσο και ασφάλειας των οδηγών και των πεζών που κάνουν χρήση του κόμβου.

Η τυπική μορφή ενός κυκλικού κόμβου μαζί με τα γεωμετρικά χαρακτηριστικά του φαίνονται στην παρακάτω εικόνα:



Σχήμα 2. 7 : Χαρακτηριστικά κυκλικού κόμβου - Πηγή: Αντωνίου, Παπαδημητρίου 2012

Οι ισόπεδοι κυκλικοί κόμβοι που απασχολούν και την παρούσα εργασία είναι:

- α) ισόπεδοι κυκλικοί κόμβοι μικρής διαμέτρου
 - β) ισόπεδοι κυκλικοί κόμβοι μίας λωρίδας κυκλοφορίας
 - γ) ισόπεδοι κυκλικοί κόμβοι πολλών λωρίδων κυκλοφορίας
- Κυκλικοί κόμβοι μικρής διαμέτρου

Εμφανίστηκαν πρώτη φορά στην Βρετανία και αναπτύχθηκαν εκεί. Πρόκειται για κόμβους κατάλληλους για το αστικό οδικό δίκτυο όπου επικρατούν χαμηλές λειτουργικές ταχύτητες (δεν ξεπερνούν τα 50 km/h). Κύριο χαρακτηριστικό τους είναι η πλήρως προσπελάσιμη κεντρική νησίδα. Αυτή είναι προσβάσιμη από τα βαρέα οχήματα προκειμένου να διευκολύνει την κίνηση τους αλλά όχι από τα υπόλοιπα που χρησιμοποιούν τον κόμβο. Η διάμετρος του εγγεγραμμένου κύκλου κυμαίνεται μεταξύ 13-27 m. Η ταχύτητα εισόδου δεν επιθυμείται να ξεπερνά τα 30 km/h ενώ μπορεί να εξυπηρετήσει περίπου 15.000-20.000 οχήματα ανα ημέρα. (NCHRP&FHWA, 2010)

Κυκλικός κόμβος μίας λωρίδας κυκλοφορίας.

Οι κυκλικοί κόμβοι μίας λωρίδας κυκλοφορίας έχουν μία λωρίδα στον κυκλικό δακτύλιο, μία λωρίδα εισόδου και μία λωρίδα εξόδου σε όλα τα σκέλη του κόμβου. Η κεντρική νησίδα είναι συνήθως υπερυψωμένη και η χάραξη και η γεωμετρία του επιτρέπουν ελαφρώς υψηλότερες ταχύτητες εισόδου και εξόδου. Η διάμετρος του εγγεγραμμένου κύκλου κυμαίνεται μεταξύ 25m και 55m. Οι επιθυμητές ταχύτητες

εισόδου είναι 30-40 km/h. Η χωρητικότητα ενός κυκλικού κόμβου μιας λωρίδας κυκλοφορίας δεν ξεπερνά τα 25.000 οχήματα ανά ημέρα (NCHRP&FHWA, 2010).

Κυκλικός κόμβος δύο ή περισσότερων λωρίδων κυκλοφορίας.

Οι κυκλικοί κόμβοι δύο λωρίδων κυκλοφορίας διαθέτουν δύο λωρίδες στον κυκλικό δακτύλιο, ενώ μπορεί να έχουν μία ή δύο λωρίδες στις εισόδους/εξόδους. Η διάμετρος του εγγεγραμμένου κύκλου κυμαίνεται μεταξύ 46-70 m. Οι επιθυμητές ταχύτητες εισόδου είναι 40-50 km/h. Η χωρητικότητα ενός κόμβου 2 λωρίδων κυκλοφορίας αγγίζει τα 45.000 οχήματα την ημέρα. Ο σχεδιασμός κυκλικού κόμβου 2 λωρίδων περιλαμβάνει μη προσπελάσιμη κεντρική νησίδα, περιμετρική ζώνη βαρέων οχημάτων όπου κριθεί αναγκαίο, υπερυψωμένες κατευθυντήριες νησίδες και γεωμετρικά επιβαλλόμενη εκτροπή τροχιάς εισόδου με κατάλληλη διαμόρφωση των τόξων εισόδου (entry path deflection), αποσκοπώντας στη μείωση της ταχύτητας των εισερχομένων οχημάτων. Όταν κρίνεται αναγκαίο και προκειμένου να αυξηθεί η χωρητικότητα και η κυκλοφοριακή ικανότητα του κόμβου δύνανται να κατασκευάζονται παρακαμπτήριες λωρίδες (NCHRP&FHWA, 2010).

2.4 Προσομοίωση

Προσομοίωση είναι η χρήση ενός μοντέλου που αποτυπώνει μια πραγματική διαδικασία με υπολογιστικές μεθόδους και πλεονεκτεί στο γεγονός ότι μπορεί να χρησιμοποιηθεί για την ανάλυση και διερεύνηση συστημάτων τα οποία είναι αρκετά πολύπλοκα και για τα οποία δεν είναι δυνατό να εφαρμοστεί μια απλή μαθηματική ανάλυση. Οι μέθοδοι προσομοίωσης μπορούν να χρησιμοποιηθούν για λεπτομερή διερεύνηση της λειτουργίας οδικών δικτύων εμπεριέχοντας χαρακτηριστικά που αφορούν τη δυναμική τους συμπεριφορά. Επιτυγχάνεται με τη χρήση διαφόρων προτύπων κυκλοφοριακής ροής

2.4.1 Πρότυπα Ροής Κυκλοφορίας

Τα πρότυπα ροής της κυκλοφορίας βασίζονται σε θεμελιώδεις νόμους για την περιγραφή της κίνησης των οχημάτων στο χώρο και τον χρόνο. Παρέχουν γνώση για τον τρόπο με τον οποίο μεταβάλλεται κάτω από συγκεκριμένες κυκλοφοριακές και οδικές συνθήκες ενός οδικού συστήματος κι αποτελούν αναπόσπαστο και θεμελιώδες κομμάτι των μοντέλων προσομοίωσης. Τα μοντέλα αυτά μπορούν να κατηγοριοποιηθούν ανάλογα με:

- Την περιοχή εφαρμογής (δίκτυο, κόμβοι, αρτηρίες)
- Τη μεθοδολογία ανάπτυξης (αναλυτικά, προσομοίωση)
- Το είδος των μεταβλητών (συνεχή, διακριτά ή μεικτά πρότυπα)
- Την αναπαράσταση της κυκλοφορίας (ντετερμινιστικά στοχαστικά κλπ.)

Με βάση το επίπεδο λεπτομέρειας τα μαθηματικά πρότυπα χωρίζονται σε μικροσκοπικά, μεσοσκοπικά και μακροσκοπικά. Τα μικροσκοπικά μαθηματικά πρότυπα βασίζονται στην περιγραφή της κίνησης κάθε μεμονωμένου οχήματος χωριστά. Το κάθε όχημα αντιπροσωπεύεται από ένα διάνυσμα με συνιστώσες τη θέση στο χώρο την ταχύτητα και την επιτάχυνση. Τα πρότυπα αυτά διέπονται από

κανόνες ανανέωσης των τριών αυτών μεγεθών με βάση την κατάσταση των γειτονικών οχημάτων. Ανάλογα με τη θεώρηση για την εξέλιξη των κυκλοφοριακών μεγεθών με το χρόνο, τα μικροσκοπικά πρότυπα μπορεί να είναι συνεχή σε χώρο και χρόνο (Πρότυπα Ακολουθούντος Οχήματος), διακριτά σε χρόνο αλλά συνεχή σε χώρο (Πρότυπα Προσομοίωσης), ή διακριτά σε χώρο και χρόνο (Cellular Automata). Τα μεσοσκοπικά πρότυπα, όσον αναφορά στο επίπεδο λεπτομέρειας βρίσκονται ανάμεσα στα μικροσκοπικά και τα μακροσκοπικά πρότυπα. Παρόλο που ακολουθούν την μακροσκοπική προσέγγιση ενισχύονται από μια συνάρτηση διόρθωσης η οποία αντισταθμίζει το χαμένο επίπεδο λειτουργίας του προτύπου. Από την άλλη στα μακροσκοπικά πρότυπα η κυκλοφορία των οχημάτων εξετάζεται συνολικά και στόχος είναι η διερεύνηση του συνολικού συστήματος της κυκλοφορίας με βάση τις σχέσεις των βασικών κυκλοφοριακών μεγεθών. Τα μακροσκοπικά υδροδυναμικά πρότυπα αποτελούν χαρακτηριστικό παράδειγμα μακροσκοπικού προτύπου.

2.4.1.1 Μικροσκοπικά πρότυπα

Τα μικροσκοπικά πρότυπα περιλαμβάνουν τα πρότυπα αλλαγής λωρίδας, τα πρότυπα επιλογής διάκενου και τα πρότυπα ακολουθούντος οχήματος.

Πρότυπα αλλαγής λωρίδας

Πρόκειται για μια κατηγορία αλγόριθμων τα οποία χρησιμοποιούνται για την περιγραφή της συμπεριφοράς των οδηγών κατά την επιλογή λωρίδας, την αποδοχή των κατάλληλων διακένων σε αυτή και την εκτέλεση της αλλαγής. Αποτελούν πολύπλοκες διαδικασίες που περιλαμβάνουν τη συμπεριφορά των οδηγών, τις επιδόσεις του οχήματος, και τις συνθήκες ροής της κυκλοφορίας. Οι οδηγοί επιλέγουν να πραγματοποιήσουν αλλαγή λωρίδας για διαφορετικούς λόγους, οι οποίοι περιλαμβάνουν συνήθως υποχρεωτικές αλλαγές λωρίδων, αλλαγή θέσης (επιλογή κατάλληλης λωρίδας για την πραγματοποίηση στρέφουσας κίνησης), καθώς και αλλαγή λωρίδας με σκοπό την προσπέραση.

Από τη στιγμή που ο οδηγός θα επιλέξει την πραγματοποίηση αλλαγής λωρίδας θα πρέπει να επιλέξει το κατάλληλο και αποδεκτό από αυτόν κενό στη διπλανή λωρίδα και αφού κρίνει ότι οι ταχύτητες των οχημάτων στη λωρίδα αυτή δεν καθιστούν τον ελιγμό επικίνδυνο να πραγματοποιήσει την επιθυμητή αλλαγή. Τα μοντέλα αλλαγής λωρίδας είναι μοντέλα εξαιρετικά πολύπλοκα και δύσκολα στην πραγματοποίηση τους και επιτελούν συχνή πηγή σφαλμάτων στην προσομοίωση.

Πρότυπα αποδοχής διάκενου

Τα πρότυπα αποδοχής διάκενου ελέγχουν το τρόπο με τον οποίο προσομοιωμένα οχήματα στρέφουν σε αντικρουόμενα ρεύματα κυκλοφορίας. Χαρακτηριστικό παράδειγμα αποτελεί ένα όχημα που αναμένει σε μία διασταύρωση το κατάλληλο κενό στην ροή της κυκλοφορίας ώστε να πραγματοποιήσει την κίνηση που επιθυμεί. Το μέγεθος του κενού που θα περιμένει ο οδηγός επηρεάζει σημαντικά τη ρεαλιστικότητα της προσομοίωσης. Μεγάλα κενά μπορεί να επιφέρουν υπερβολικά μεγάλες ουρές, ενώ αντίθετα μικρά κενά μπορεί να επιφέρουν μη ρεαλιστική επιθετική συμπεριφορά των οδηγών και ταυτόχρονα υποτίμηση των καθυστερήσεων στις διασταυρώσεις.

Πρότυπο Ακολουθούντος Οχήματος

Το πρότυπο ακολουθούντος οχήματος (car-following model) είναι ένα μικροσκοπικό πρότυπο. Βασική προϋπόθεση είναι η συνέχεια της κυκλοφοριακής ροής σε χώρο και χρόνο. Τα μοντέλα ακολουθούντος οχήματος ελέγχουν τη συμπεριφορά του οδηγού με σεβασμό στο προπορευόμενο όχημα. Ένα όχημα ορίζεται ως ακόλουθο όταν περιορίζεται από ένα προπορευόμενο όχημα και η οδήγηση με την επιθυμητή ταχύτητα θα οδηγήσει σε σύγκρουση. Όταν ένα όχημα δεν περιορίζεται από κάποιο άλλο όχημα τότε θεωρείται ως ελεύθερο και κινείται με την επιθυμητή για αυτό ταχύτητα. Οι ενέργειες του ακολουθούντος οχήματος καθορίζονται από την επιτάχυνση του, αν και υπάρχουν ορισμένα μοντέλα όπως αυτό του Gipps όπου οι ενέργειες του ακολουθούντος οχήματος καθορίζονται από την ταχύτητα του. Η επιτάχυνση κάθε οχήματος μπορεί να θεωρηθεί ως απάντηση στο ερέθισμα από κάποιο εξωγενή ή ενδογενή παράγοντα της κυκλοφορίας. Για το i -οστό όχημα ισχύει:

$$[Επιτάχυνση]_i = [Ευαισθησία]_i \chi [Ερέθισμα]_i$$

Το ερέθισμα είναι μια συνάρτηση της θέσης των οχημάτων x_i και των ταχυτήτων του και προσδιορίζεται από την ταχύτητα του οχήματος U_k , τη διαφορά ταχυτήτων του οχήματος από το προπορευόμενο του Δu_n , την απόσταση ή το χρονικό διαχωρισμό Δx_i οπότε για την επιτάχυνση a ισχύει:

$$a = f_{sti}(u_i, \Delta x_i, \Delta u_i)$$

όπου f_{sti} η συνάρτηση που περιγράφει το ερέθισμα από το όχημα i .

Έστω δύο διαδοχικά οχήματα n και $n+1$ σε μια λωρίδα οδού και x_n και x_{n+1} οι θέσεις τους. Σύμφωνα και με τους ορισμούς η γενικά μορφή ακολουθούντος οχήματος δίνεται από τη σχέση:

$$x_{n+1}''(t + \Delta t) = \lambda [x_n'(t) - x_{n+1}'(t)]$$

Ο παράγοντας λ λέγεται παράγοντας ευαισθησίας του προτύπου

$$\lambda = \frac{x_{n+1}^m(t + \Delta t)}{[x_n(t) - x_{n+1}(t)]^l}$$

όπου α η σταθερά ευαισθησίας, m η παράμετρος που ελέγχει την ευαισθησία του προτύπου ως προς την ταχύτητα του προπορευόμενου οχήματος και l η παράμετρος που ελέγχει την ευαισθησία του προτύπου ως προς την απόσταση του οχήματος $n+1$ από το προπορευόμενο του n . Ο παράγοντας ευαισθησίας λ είναι :

- σταθερός όταν $m=l=0$ και το πρότυπο που προκύπτει είναι γραμμικό.
- εξαρτώμενος από το χωρικό διαχωρισμό τη χρονική στιγμή t όταν: $m=0, l \neq 0$
- εξαρτώμενος από την ταχύτητα του οχήματος που ακολουθεί τη χρονική στιγμή $t+T$, όταν $l=0, m \neq 0$

Για τιμές $m=0$ και $l=1$ από τις προηγούμενες σχέσεις ισχύει:

$$x_{n+1}''(t + \Delta t) = \frac{\alpha}{[x_n(t) - x_{n+1}(t)]} * [x_n'(t) - x_{n+1}'(t)]$$

όπου μπορεί να απλοποιηθεί στην παρακάτω σχέση:

$$\frac{\partial u}{\partial t} = \frac{a}{s} \frac{\partial s}{\partial t}$$

όπου $s = x_n - x_{n+1}$

Η παραπάνω σχέση είναι παράγωγος της:

$$u = a \ln s + c$$

Επειδή $s = 1/k$, αν $k = k_j$ τότε $u = 0$ κι προκύπτει:

$$c = a * \ln k_j \text{ το οποίο γίνεται } u = a \ln(k_j / k)$$

όπου a η ταχύτητα u όταν ο φόρτος παίρνει τη μέγιστη του τιμή. Η σχέση αυτή αποτελεί το πρότυπο Greenberg.

Ορισμένα μοντέλα ακολουθώντας οχήματος περιγράφουν την συμπεριφορά του οδηγού όταν κυριολεκτικά ακολουθούν ένα άλλο όχημα, ενώ άλλα μοντέλα είναι πιο ολοκληρωμένα και καθορίζουν την συμπεριφορά του οδηγού σε όλες τις περιστάσεις. Το κάθε μοντέλο ακολουθώντας οχήματος λοιπόν θα πρέπει να καθορίζει σε τι κατάσταση βρίσκεται το κάθε όχημα και τι ενέργειες θα πρέπει να πραγματοποιηθούν σε κάθε κατάσταση. Τα περισσότερα μοντέλα ακολουθώντας οχήματος χρησιμοποιούν μια πληθώρα παραμέτρων για να περιγράψουν τη συμπεριφορά του οδηγού.

Είδη προτύπων ακολουθώντας οχήματος

Το μοντέλο Gazis-Herman- Rothery (GHR) αναφέρεται κάποιες φορές ως το γενικό μοντέλο ακολουθώντας οχήματος ενώ είναι και αυτό που έχει μελετηθεί περισσότερο. Αναπτύχθηκε πρώτη φορά το 1958 και από τότε εξελίσσεται συνεχώς. Η βασική σχέση μεταξύ ενός προπορευόμενου και ενός ακόλουθου οχήματος είναι μια συνάρτηση ερεθίσματος – αντίδρασης. Το μοντέλο GHR θεωρεί ότι η επιτάχυνση του ακολουθώντας οχήματος είναι ανάλογη της ταχύτητας του ακολουθώντας οχήματος, της διαφοράς ταχύτητας προπορευόμενου και ακολουθημένου και τέλος της μεταξύ τους απόστασης (Brackstone and McDonald 1998).

Τα μοντέλα ασφαλώς απόστασης ή αποφυγής σύγκρουσης αποτελούν μια άλλη κατηγορία μοντέλων ακολουθώντας οχήματος. Σε αυτά τα μοντέλα το όχημα και ο οδηγός υποτίθεται ότι πάντα διατηρούν απόσταση ασφαλείας από το προπορευόμενο όχημα. Η απόσταση ασφαλείας καθορίζεται από τις εξισώσεις του Νεύτωνα για την κίνηση. Σε κάποια μοντέλα αυτού του τύπου η απόσταση καθορίζεται ως η απόσταση που απαιτείται για την αποφυγή της σύγκρουσης εάν το προπορευόμενο όχημα επιβραδύνει έντονα. Το πρώτο μοντέλο αυτού του τύπου παρουσιάστηκε από τους Komatani και Sasaki το 1959 (Brackstone and McDonald 1998). Το 1981 ο Gipps παρουσίασε μια ενισχυμένη μορφή του αυθεντικού μοντέλου. Στο μοντέλο του Gipps το ακόλουθο όχημα εγγυάται ότι δεν θα συγκρουστεί με το

προπορευόμενο εάν το χρονικό κενό μεταξύ τους είναι ίσο με $3T/2$ και η εκτίμηση του ακολουθούστος οχήματος για την επιβράδυνση του προπορευόμενου οχήματος είναι μεγαλύτερη ή ίση με την πραγματική επιβράδυνση του προπορευόμενου.

Ο Michaels (1963) παρουσίασε μια νέα προσέγγιση μοντέλων ακολουθούστος οχήματος. Τα μοντέλα που χρησιμοποιούν αυτή την προσέγγιση ονομάζονται ψυχο-φυσικά μοντέλα. Τα GHR μοντέλα θεωρούν ότι το ακόλουθο όχημα αντιδρά στις ενέργειες του προπορευόμενου ακόμα και αν η μεταξύ τους απόσταση είναι πολύ μεγάλη και η απόκριση του ακολουθούμενου σταματά όταν η σχετική τους ταχύτητα γίνει μηδέν. Αυτό μπορεί να διορθωθεί είτε επεκτείνοντας τα GHR με εναλλακτικά χαρακτηριστικά (π.χ. ελεύθερη οδήγηση, επιβράδυνση έκτακτης ανάγκης) είτε χρησιμοποιώντας ψυχο-φυσικά μοντέλα. Τα ψυχο-φυσικά μοντέλα χρησιμοποιούν κατώτατα όρια ή σημεία δράσης στα οποία ο οδηγός αλλάζει την συμπεριφορά του.

Χαρακτηριστικά παραδείγματα των ψυχοσωματικών μοντέλων είναι αυτά που αναπτύχθηκαν από τους Wiedemann και Reiter (1992) και Fritzsche (1994).

Τέλος τα fuzzy-logic είναι άλλη μια προσέγγιση η οποία χρησιμοποιείται στα μοντέλα ακολουθούστος οχήματος. Τα μοντέλα αυτά χρησιμοποιούν ασαφή πλαίσια ώστε να ορίσουν για παράδειγμα την έννοια του «πολύ κοντά» στην απόσταση δύο οχημάτων. Αυτά τα πλαίσια μπορούν να χρησιμοποιηθούν σε λογικούς κανόνες όπως αν ένα όχημα φτάσει «πολύ κοντά» στο προπορευόμενο του τότε να επιβραδύνει. Στα μοντέλα ακολουθούστος οχήματος που προαναφέρθηκαν ο οδηγός πρέπει να γνωρίζει την ακριβή του ταχύτητα, την απόσταση του από το προπορευόμενο όχημα κλπ. Εν αντιθέσει στα fuzzy logic μοντέλα ο οδηγός αρκεί να γνωρίζει αν η ταχύτητα του προπορευόμενου οχήματος είναι πολύ χαμηλή, χαμηλή, μέτρια, υψηλή ή πολύ υψηλή. Τα ασαφή (fuzzy) αυτά πλαίσια μπορεί να υπερεκαλύψουν το ένα το άλλο σε ορισμένες περιπτώσεις, οπότε και απαιτείται μια πιθανολογική συνάρτηση που θα καθορίζει τον τρόπο με τον οποίο ο οδηγός αντιλαμβάνεται την κάθε μεταβλητή, για παράδειγμα αν η ταχύτητα του προπορευόμενου οχήματος είναι χαμηλή ή μέτρια. Έχουν γίνει προσπάθειες να προσαρμοστούν στη λογική fuzzy τόσο το μοντέλο GHR και όσο και το μοντέλο MISSION (Wiedemann and Reiter, 1992). Ο Al-Shihabi Mourant (2003) χρησιμοποίησε μοντέλα fuzzy-logic για να προσομοιώσει την κυκλοφορία σε ένα προσομοιωτή οδήγησης στο πανεπιστήμιο του Northeastern (Olstam JJ, Tapani A, 2004).

2.4.1.2 Μεσοσκοπικά πρότυπα

Πρότυπο TRANSYT

Το πρότυπο TRANSYT είναι ένα μεσοσκοπικό πρότυπο καθώς περιλαμβάνει δύο μακροσκοπικά πρότυπα. Ο τρόπος που αναπαριστά και μοντελοποιεί ένα δίκτυο είναι μακροσκοπικό καθώς προσομοιώνει την κυκλοφορία σαν σύνολο και όχι σαν μεμονωμένα οχήματα. Είναι ένα πρόγραμμα διακριτού χρόνου και δεν διαθέτει στοιχεία του χώρου.

Οι παράμετροι που χρησιμοποιεί το συγκεκριμένο μοντέλο είναι το χρονικό βήμα (με τιμές που κυμαίνονται μεταξύ 1-3 sec), η ταχύτητα ελεύθερης ροής των οδικών τμημάτων και το προφίλ GO το οποίο αντιστοιχεί στη ροή κορεσμού ενός ρεύματος κυκλοφορίας κατά τη διάρκεια πράσινης ένδειξης και είναι ίσο με μηδέν κατά τη διάρκεια ενεργής κόκκινης ένδειξης. Επίσης υπάρχουν και δύο έμμεσες παράμετροι α

και β μέσω των οποίων γίνεται ο υπολογισμός του μέσου χρόνου διαδρομής t και ένας παράγοντας εξομάλυνσης F ο οποίος επηρεάζει το σχηματισμό φαλάγγων. Οι τιμές α και β έχουν προσδιοριστεί εμπειρικά και λαμβάνουν τιμές $\alpha=0,8$ και $\beta=0,35$ (Vincent, Mitchell, Robinson, 1980). Το TRANSYT διαθέτει συναρτήσεις για τη ροή των οχημάτων που φτάνουν στη γραμμή STOP μιας πρόσβασης ενός κόμβου, για τη ροή των οχημάτων που εξέρχονται από τη πρόσβαση ενός κόμβου και τέλος για τον υπολογισμό της κατακόρυφης ουράς που σχηματίζεται στη γραμμή STOP της πρόσβασης ενός κόμβου.

2.4.1.3 Μακροσκοπικά πρότυπα

Μακροσκοπικά Υδροδυναμικά Πρότυπα (Φραντζεσκάκης, Γκόλιας, Πιτσιάβα 2009)

Προσομοιώνουν την κίνηση των οχημάτων με τη ροή των ρευστών και βασίζονται στην υπόθεση του συνεχούς μέσου (continuum). Για την περιγραφή της κίνησης της κυκλοφοριακής ροής σε χώρο και χρόνο εφαρμόζεται η αρχή της συνέχειας της κλασσικής φυσικής. Τα βασικά μεγέθη κυκλοφοριακής ροής που χρησιμοποιούνται είναι ο φόρτος q και η πυκνότητα k που, στη θέση x και σε χρόνο t συνδέονται μεταξύ τους με την παρακάτω σχέση:

$$\frac{\partial k(x,t)}{\partial t} + \frac{\partial q(x,t)}{\partial x} = 0$$

Η σχέση αυτή ισχύει για οδικό τμήμα χωρίς εισόδους και εξόδους. Ένα από βασικά υδροδυναμικά πρότυπα είναι το πρότυπο LWR (Lighthill-Whitham- Richards).

2.4.2 Προγράμματα προσομοίωσης

Τα τελευταία χρόνια έχει αναπτυχθεί μια πληθώρα προγραμμάτων προσομοίωσης διαφόρων οργανισμών και εταιρειών. Αξιοποιώντας τις δυνατότητες που προσφέρουν η ανάπτυξη των μαθηματικών, της μηχανικής, και της επιστήμης των υπολογιστών, τα προγράμματα προσομοίωσης γίνονται γρηγορότερα, ισχυρότερα, περισσότερο λεπτομερή και ρεαλιστικά. Τα προγράμματα αυτά είναι μακροσκοπικά, μεσοσκοπικά ή μικροσκοπικά και στηρίζονται σε αντίστοιχα πρότυπα κυκλοφοριακής ροής.

2.4.2.1 Μικροσκοπικά προγράμματα προσομοίωσης.

AIMSUN2

Το AIMSUN2 αναπτύχθηκε από τους Barcelo και Ferrer στο Πολυτεχνείο της Καταλανίας στη Βαρκελώνη. Είναι ένα πρόγραμμα ικανό να παράγει πραγματικές κυκλοφοριακές συνθήκες σε ένα αστικό δίκτυο το οποίο περιλαμβάνει τόσο οδούς ταχείας κυκλοφορίας όσο απλές οδούς. Η συμπεριφορά κάθε μεμονωμένου οχήματος προσομοιώνεται συνεχώς με χρήση διαφόρων μοντέλων οδηγικής συμπεριφοράς (μοντέλο ακολουθούντος οχήματος, μοντέλο αλλαγής λωρίδας, μοντέλο κρίσιμου διάκενου). Παρόλο που το Aimsun2 υπήρχε για χρόνια σαν προϊόν

για ερευνητικούς σκοπούς πρόσφατα άρχισε και η εμπορική εκμετάλλευση του (www.its.leeds.uk).

Corsim

Το Corsim αναπτύχθηκε από την FHWA και είναι το πρώτο windows -based πρόγραμμα προσομοίωσης. Ενσωματώνει τα προϋπάρχοντα μοντέλα NETSIM και FRESIM. Το Corsim είναι ένα μικροσκοπικό στοχαστικό πρόγραμμα προσομοίωσης της κυκλοφορίας το οποίο δύναται να απεικονίσει με ρεαλιστικό τρόπο το πραγματικό κυκλοφοριακό περιβάλλον. Μοντελοποιεί τέσσερις διαφορετικούς τύπους μετρητή (ώρα, ζήτηση/χωρητικότητα, έλεγχος ταχύτητας, αποδοχή διάκενου). Το Corsim διαθέτει το πιο πολύπλοκο μοντέλο ακολουθώντας οχήματος και αλλαγής λωρίδας για την προσομοίωση της κίνησης των οχημάτων κάθε δευτερόλεπτο. Το CORSIM διατίθεται από την FHWA και για εμπορική χρήση (www.trucksim.com).

SUMO

Το Sumo είναι ένα δωρεάν μικροσκοπικό πρόγραμμα προσομοίωσης κυκλοφορίας που αναπτύχθηκε από το Γερμανικό Κέντρο Αεροδιαστημικής. Περιλαμβάνει το πρότυπο ακολουθώντας οχήματος του Krauss, μια επέκταση του μοντέλου του Girps και το πρότυπο αλλαγής λωρίδας του Krajzewicz. Έχει μια προσέγγιση διακριτή στο χώρο και στο χρόνο. Οι δυνατότητες προσομοίωσης του περιλαμβάνουν διάφορους τύπους οχημάτων, διασταυρώσεων με ή χωρίς σηματοδότηση για δίκτυα που μπορούν να ξεπεράσουν τους 10.000 συνδέσμους. Δίνει τη δυνατότητα να δυσδιάστατη γραφική απεικόνιση της κυκλοφορίας.

PARAMICS

Το PARAMICS αναπτύχθηκε από την Edinburgh Parallel Compting Center στη Σκωτία. Το PARAMICS είναι πρόγραμμα προσομοίωσης κορεσμένων οδικών δικτύων στο επίπεδο κάθε οχήματος ξεχωριστά. Περιλαμβάνει ένα πολύπλοκο μοντέλο ακολουθώντας οχήματος και αλλαγής λωρίδας για οδούς πλάτους μέχρι και 32 λωρίδων. Κάθε όχημα στην προσομοίωση αντιπροσωπεύει μια μονάδα όχημα-οδηγός με κοινά χαρακτηριστικά και σαν συνέπεια τα συστήματα ΑΤΤ, οι διαδρομές που επιλέγονται και η παρακολούθηση της ρύπανσης μπορούν να μοντελοποιηθούν με μεγάλη ακρίβεια. Κυκλοφόρησε σε εμπορική μορφή το 1996. Το πρόγραμμα δίνει τη δυνατότητα στο χρήστη να πραγματοποιεί ένα μεγάλο αριθμό μετρήσεων όσο η προσομοίωση βρίσκεται σε εξέλιξη για συνεχή ροή αποτελεσμάτων και καλύτερη ανάλυση. Τέλος το πρόγραμμα προσφέρεται για ανάλυση της διαδραστικής σχέσης μεταξύ οδηγού και Ευφυών Συστημάτων Μετακίνησης(ITS). (Quadstone Limited, 1999)

SITRA-B+

Το SITRA αναπτύχθηκε από τη CERT και είναι ικανό να μοντελοποιεί μεσαίου μεγέθους αστικά οδικά δίκτυα συμπεριλαμβανομένου περίπλοκων διασταυρώσεων.

Μπορεί αν πραγματοποιήσει εκτιμήσεις στρατηγικών UTC σε πραγματικό χρόνο όπως προτεραιότητα λεωφορείων και στρατηγικές καθοδήγησης διαδρομής. Η προσομοίωση είναι μικροσκοπική συνεπώς κάθε όχημα είναι μία ξεχωριστή ενότητα. Η αλλαγή μεταξύ των διαφόρων σταδίων προσομοίωσης γίνεται σε διακριτές χρονικές στιγμές και ο κανόνας ακολουθώντας οχήματος είναι ένας γραμμικός συνδυασμός της σχετικής ταχύτητας και της απόστασης μεταξύ του εξεταζόμενου οχήματος και του προπορευόμενου του. Το SITRA-B+ είναι ένα πρόγραμμα για ερευνητικούς σκοπούς και μεταξύ άλλων έχει χρησιμοποιηθεί στο ερευνητικό έργο DRIVE. (www.its.leeds.uk)

2.4.2.2 Μεσοσκοπικά προγράμματα προσομοίωσης.

DynaMIT

Το είναι ένα πρόγραμμα προσομοίωσης πραγματικού χρόνου σχεδιασμένο για την αποτελεσματική υποστήριξη Προχωρημένων Συστημάτων Διαχείρισης Κυκλοφορίας (Advanced Traffic Management Systems-ATMS). Το κλειδί στην λειτουργία του είναι η λεπτομερής αναπαράσταση του δικτύου σε συνδυασμό με μοντέλα οδηγικής συμπεριφοράς. Υποστηρίζει τα εξής χαρακτηριστικά: α) λειτουργία πραγματικού χρόνου β) μεγάλου μεγέθους ολοκληρωμένα δίκτυα γ) εκτίμηση και πρόβλεψη καιρικών συνθηκών δ) ανάλυση στρατηγικών διαχείρισης κυκλοφορίας ή αντίδρασης σε έκτακτα συμβάντα. Προσομοιώνει μεταξύ άλλων τη δυναμική φύση του κυκλοφοριακού δικτύου, τη δημιουργία και εκτόνωση ουρών στα σημεία μείωσης χωρητικότητας, την αλληλεπιρροή ουρών (spill-backs) καθώς και τις επιπτώσεις της συμφόρησης. Τέλος επικοινωνεί και αλληλεπιδρά με προσομοιωτή ζήτησης, με συστήματα ελέγχου και με συστήματα συλλογής κυκλοφοριακών μετρήσεων (www.ivhs.mitt.edu).

Dynemo

Το πρόγραμμα Dynemo είναι ένα δυναμικό πρόγραμμα προσομοίωσης υπό την έννοια ότι προσομοιώνει την κυκλοφορία βάση κυκλοφοριακών συνθηκών πραγματικού χρόνου, το οποίο οδηγεί σε πιο ρεαλιστικά αποτελέσματα σε μια καθορισμένη χρονική περίοδο. Το μεσοσκοπικό μοντέλο που χρησιμοποιείται χρησιμοποιεί τη λογική τόσο μακροσκοπικών, όσο και μικροσκοπικών μοντέλων. Τα Μακροσκοπικά χαρακτηριστικά του προγράμματος χρησιμοποιούνται για την συμπεριφορά των οχημάτων στο δίκτυο. Τα μικροσκοπικά χαρακτηριστικά χρησιμοποιούνται για έλεγχο των οχημάτων στα σημεία εμπλοκής όπου οι κανόνες προτεραιότητας καθορίζουν τη συμπεριφορά των οχημάτων. Τα χαρακτηριστικά του προγράμματος περιλαμβάνουν δυναμική διαχείριση της κυκλοφορίας με έλεγχο των κύκλων φωτεινής σηματοδότησης και των σημείων ύπαρξης πινακίδων STOP. Δίνει τη δυνατότητα στο χρήστη να εισάγει μητρώα προέλευσης – προορισμού από το EMME/2 αλλά και να εξάγει διαδρομές στο πρόγραμμα Vissim. Ακόμα προσφέρει τη δυνατότητα οπτικοποίησης κάνοντας τη χρήση του προγράμματος εφικτή από χρηστές διαφόρων επιπέδων εμπειρίας σε προγράμματα προσομοίωσης. Με αυτό τον τρόπο ελαχιστοποιείται το κόστος, ο χρόνος, αλλά και η περίπτωση σφάλματος

του χρήστη κατά το σχεδιασμό (Boxill&Yu,An evaluation of traffic simulation models for supporting ITS development).

METROPOLIS

Το πρόγραμμα metropolis είναι ένα διαδραστικό περιβάλλον το οποίο προσομοιώνει την κυκλοφορία σε μεγάλες αστικές περιοχές. Ο πυρήνας του συστήματος είναι ένας δυναμικός προσομοιωτής ο οποίος εντάσσει την ώρα άφιξης και την συμπεριφορά επιλογής διαδρομής από τους μετακινούμενους σε μεγάλα δίκτυα. Το Metropolis είναι ένα μεσοσκοπικό πρόγραμμα το οποίο βασίζεται σε μια συμπεριφοριακή, πληροφοριακή οδηγική διαδικασία. Επιτρέπει προσομοιώσεις πραγματικού και μη χρόνου. Έχει δοκιμαστεί σε πραγματικές εφαρμογές στο δίκτυο της Γενεύης (www.itpsgl.ch).

TRANSYT

Το πρόγραμμα TRANSYT βασίζεται στο αντίστοιχο μεσοσκοπικό πρότυπο κυκλοφοριακής ροής. Χρησιμοποιείται ευρέως για τον υπολογισμό και τη διερεύνηση χρόνων σηματοδότησης σε αστικά δίκτυα. Αποτελείται από δύο στοιχεία, το κυκλοφοριακό μοντέλο και τη διαδικασία βελτιστοποίησης. Η διαδικασία που ακολουθεί είναι η εισαγωγή των προγραμμάτων σηματοδότησης και η χρήση του μοντέλου προκειμένου να προσομοιώσει την κυκλοφορία με κωδικοποιημένους τους κόμβους και τους συνδέσμους προκειμένου να γίνει η επεξεργασία των κυκλοφοριακών δεδομένων (<http://mctrans.ce.ufl.edu/mct/>).

2.4.2.3 Μακροσκοπικά προγράμματα προσομοίωσης.

CONTRAM

Το CONTRAM είναι ένα μακροσκοπικό πρόγραμμα προσομοίωσης. Ο χρήστης εισάγει ως δεδομένα τον ορισμό του δικτύου καθώς και τη ζήτηση σε χρόνο για μετακίνηση μεταξύ των περιοχών προέλευσης-προορισμού και εξάγει ως αποτελέσματα την κυκλοφοριακή ροή του δικτύου, τις διαδρομές και τους χρόνους ταξιδιού (Taylor B. Nicholas, the CONTRAM dynamic traffic assignment model, 2003). Αναπτύχθηκε από την εταιρεία TRL στο τέλος της δεκαετίας του 1970. Από τότε εξελίσσεται συνεχώς και εκδίδονται νέες εκδόσεις του. Το πρόγραμμα είναι κατάλληλο για μεγάλης κλίμακας οδικά δίκτυα, για προσομοίωση με πολύπλοκες οδηγικές συμπεριφορές και σημαντικές επιπτώσεις σε παραμέτρους όπως η επιλογή διαδρομής. Έχει χρησιμοποιηθεί για την προσομοίωση του αυτοκινητόδρομου της Santa Monica του Los Angeles από την UC Berkeley (www.TRL.com, 1999).

Visum.

Το Visum αναπτύχθηκε από την εταιρεία PTV. Χρησιμοποιείται για προσομοίωση μεγάλων οδικών δικτύων και ζήτησης μετακινήσεων, στην ανάλυση προσδοκώμενης κυκλοφοριακής ροής, στο σχεδιασμό δημόσιων υπηρεσιών μετακίνησης και στην ανάπτυξη στρατηγικών και λύσεων (PTV.com).

2.4.3 Το πρόγραμμα Vissim

2.4.3.1 Γενικά στοιχεία

Το Vissim είναι ένα λογισμικό προσομοίωσης που έχει αναπτυχθεί με σκοπό να μπορεί να αναλύσει όλο το φάσμα των λειτουργικά κατηγοριοποιημένων οδών και των λειτουργιών δημόσιας μεταφοράς. Βασίζεται στη μικροσκοπική κλίμακα, στο χρονικό βήμα και στην συμπεριφορά του οδηγού. Το Vissim μοντελοποιεί ολοκληρωμένα δίκτυα οδικών αξόνων. Επίσης μοντελοποιεί κυκλοφορία γενικού σκοπού, λεωφορεία, ελαφρούς σιδηρόδρομους, βαρείς σιδηρόδρομους, φορτηγά, πεζούς και ποδηλάτες. Με λειτουργικούς όρους αυτό καθιστά το Vissim εξαιρετικά ευέλικτο. Έχει την ικανότητα να μοντελοποιεί πολύπλοκες στρατηγικές ελέγχου των συστημάτων μεταφοράς (π.χ. ράμπες μέτρησης, συστήματα σηματοδότησης). Το μοντέλο του Vissim αναπτύχθηκε στο πανεπιστήμιο της Καρλσρούης στη Γερμανία τη δεκαετία του 70. Η εμπορική διάθεση του Vissim ξεκίνησε το 1993 από την PTV AG η οποία μαζί με την Innovative Transportation Concepts στη Βόρεια Αμερική συνεχίζει να αναπτύσσει και να διανέμει το Vissim.

Το Vissim είναι μοναδικό ως προς τον τρόπο με τον οποίο κωδικοποιείται η γεωμετρία του οδικού δικτύου. Χρησιμοποιούνται σύνδεσμοι (links) και υποδοχές (connectors). Αυτή η προσέγγιση επιτρέπει στο χρήστη να ελέγχει τις διαδρομές των οχημάτων όσο και την αλληλεπίρροή των οχημάτων στις διασταυρώσεις. Η δομή σύνδεσμος – κόμβος (link – node) που χρησιμοποιούν τα άλλα προγράμματα προσομοίωσης παρέχει μικρότερη ευελιξία στο χρήστη ως προς τον έλεγχο της κίνησης και των διασταυρώσεων. Με το Vissim είναι εφικτό να μοντελοποιηθεί οποιοδήποτε είδος διασταύρωσης με ακρίβεια ως και ένα χιλιοστό.

Το Vissim αποτελείται από τον προσομοιωτή κυκλοφορίας και έναν αλγόριθμο υπολογισμού των ενδείξεων του φωτεινού σηματοδότη. Ο προσομοιωτής κυκλοφορίας είναι ένα μικροσκοπικής κλίμακας μοντέλο προσομοίωσης της κυκλοφοριακής ροής που περιλαμβάνει τη λογική του ακολουθούντος οχήματος (car following) και της αλλαγής λωρίδας (lane changing). Το λογισμικό φωτεινής σηματοδότησης λαμβάνει πληροφορίες από την προσομοίωση των οχημάτων σε μια διακριτή βάση χρονικού βήματος (έως και 1/10 του δευτερολέπτου). Στη συνέχεια καθορίζει τις ενδείξεις του φωτεινού σηματοδότη για το επόμενο χρονικό βήμα και επιστρέφει αυτή την πληροφορία στο προσομοιωτή οχημάτων (PTV 2011).

Στο Vissim η προσομοίωση δημιουργεί μία ζωντανή οπτικοποίηση της κίνησης ενώ παράλληλα δημιουργεί τα αρχεία εξόδου που περιέχουν στατιστικά δεδομένα όπως χρόνους μετακίνησης, μήκη ουράς κλπ.

Ο προσομοιωτής κίνησης του Vissim επιτρέπει στους οδηγούς οδών πολλαπλών λωρίδων να αντιδρούν σε προπορευόμενα οχήματα, αλλά και στα γειτονικά οχήματα στις πλαϊνές λωρίδες.

Το Vissim προσομοιώνει την κυκλοφοριακή ροή με το να κινεί τη μονάδα «οδηγός – όχημα» μέσα σε ένα δίκτυο. Κάθε οδηγός με τα συγκεκριμένα και ατομικά χαρακτηριστικά οδηγικής συμπεριφοράς αντιστοιχίζεται σε ένα συγκεκριμένο όχημα.

Αυτό συνεπάγεται ότι η οδηγική συμπεριφορά ανταποκρίνεται στις τεχνικές δυνατότητες του οχήματος.

Τα γνώρισμα που χαρακτηρίζουν κάθε ενότητα «οδηγός – όχημα» μπορούν να διαχωριστούν σε τρεις κατηγορίες:

- Τεχνικά χαρακτηριστικά του οχήματος (μήκος, μέγιστη ταχύτητα, δυναμική επιτάχυνση, πραγματική θέση στο δίκτυο, πραγματική ταχύτητα και επιτάχυνση)
- Συμπεριφορά της μονάδας «οδηγός – όχημα» (ψυχοφυσική ευαισθησία του οδηγού, μνήμη του οδηγού, επιτάχυνση βασισμένη στην πραγματική και την επιθυμητή από τον οδηγό ταχύτητα).
- Ανεξαρτησία της «μονάδας οδηγός – όχημα» (σχέση προπορευόμενου και ακόλουθου οχήματος τόσο στη λωρίδα κίνησης όσο και στις πλαϊνές, αναφορά στο υπάρχον σύνδεσμο και στην επόμενη διασταύρωση, αναφορά στο επόμενο σήμα διαχείρισης κυκλοφορίας).

Η ακρίβεια ενός προγράμματος προσομοίωσης της κίνησης εξαρτάται κυρίως από την ποιότητα των προτύπων της κίνησης. Σε αντίθεση με λιγότερο πολύπλοκα πρότυπα που χρησιμοποιούν σταθερές ταχύτητες και ντετερμινιστικά πρότυπα οχήματος ακολουθίας, το VISSIM χρησιμοποιεί το ψυχοφυσικό πρότυπο του Wiedemann.

2.4.3.2 Το πρότυπο του Wiedemann

Το πρότυπο Wiedemann είναι ένα ψυχο-φυσικό μοντέλο που αναπτύχθηκε από τον Weidmann αρχικά το 1974 και από τότε βελτιώνεται συνεχώς. Είναι ένα διακριτό, στοχαστικό μοντέλο όπου οι μονάδες οδηγός-όχημα θεωρούνται ως μία ενότητα. Αποτελείται από ένα μοντέλο ακολουθούντος οχήματος και ένα μοντέλο αλλαγής λωρίδας. Το μοντέλο είναι παρόμοιο με αυτό του Fritzsche και αποτελείται από κατώφλια (κατώτατα όρια) που δημιουργούν και οριοθετούν διαφορετικές περιπτώσεις αλληλεπίρροής μιας ενότητας όχημα-οδηγός με την προπορευόμενη της. Η ακριβής διαφορά του μοντέλου που χρησιμοποιείται στο Vissim και του μοντέλου Wiedemann – Reiter δεν είναι δημόσια γνωστή.

Η στοχαστική κατανομή της ταχύτητας και των χωρικών ορίων αναπαράγουν ατομικά χαρακτηριστικά οδηγικής συμπεριφοράς. Το μοντέλο δημιουργήθηκε με χρήση πολλών μετρήσεων πεδίου στο Technical University of Karlsruhe στη Γερμανία. Στη συνέχεια, έγιναν και άλλες περιοδικές μετρήσεις πεδίου τα αποτελέσματα των οποίων αναβάθμισαν το μοντέλο και έδωσαν τη δυνατότητα οι αλλαγές στην οδική συμπεριφορά και οι βελτιώσεις στα οχήματα να ενσωματωθούν σε αυτό.

Το μοντέλο ακολουθούντος οχήματος

Η βασική ιδέα πίσω από το μοντέλο του Wiedemann είναι ότι ο οδηγός μπορεί να είναι σε μία από τις ακόλουθες καταστάσεις οδήγησης:

Ελεύθερη οδήγηση: δεν υπάρχει παρατηρούμενη επιρροή προπορευόμενων οχημάτων. Ο οδηγός αναζητά να φτάσει και να διατηρήσει μια συγκεκριμένη ταχύτητα, την ατομική επιθυμητή ταχύτητα. Στην πραγματικότητα αυτή η ταχύτητα δεν διατηρείται σταθερή αλλά κυμαίνεται κοντά στην επιθυμητή ταχύτητα λόγω ατελούς ελέγχου της επιτάχυνσης του αυτοκινήτου από τον οδηγό.

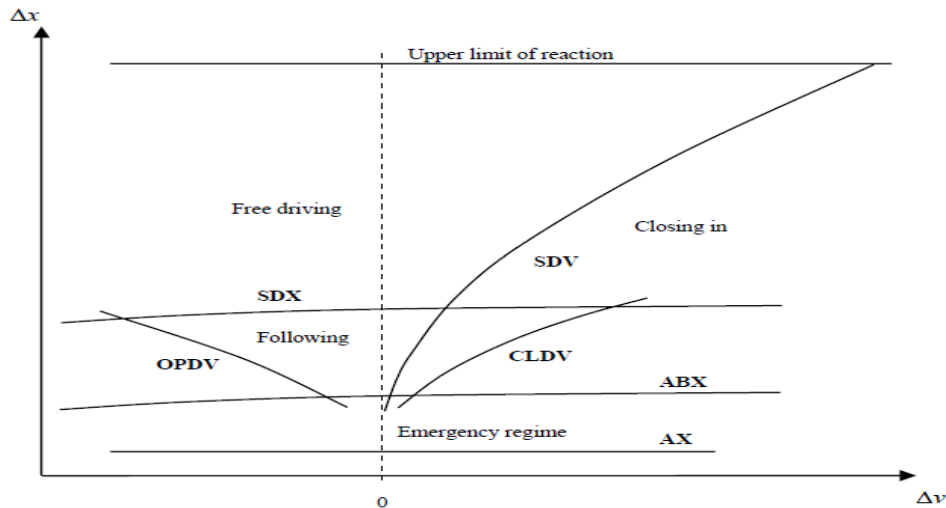
Προσέγγιση: Η διαδικασία προσαρμογής της ταχύτητας του οδηγού στην χαμηλότερη ταχύτητα του προπορευόμενου οχήματος. Ο οδηγός επιβραδύνει το όχημα ώστε η διαφορά ταχύτητας των δύο οχημάτων να είναι μηδέν τη στιγμή που το δεύτερο όχημα θα φτάσει στη επιθυμητή απόσταση ασφαλείας από το πρώτο.

Ακολουθία: Ο οδηγός ακολουθεί το προπορευόμενο όχημα χωρίς κάποια επιτάχυνση ή επιβράδυνση. Διατηρεί την απόσταση ασφαλείας και η διαφορά ταχύτητας των δύο οχημάτων είναι κοντά στο μηδέν.

Πέδηση: Η εφαρμογή μέτριας προς μεγάλης επιβράδυνσης εάν η απόσταση μεταξύ του οχήματος και του προπορευόμενου του είναι χαμηλότερη από την απόσταση ασφαλείας. Αυτό μπορεί να συμβεί αν το προπορευόμενο όχημα αλλάξει απότομα την ταχύτητα του ή εάν ένα τρίτο όχημα αλλάξει λωρίδα μπροστά από τον παρατηρούμενο οδηγό.

Σε καθεμία από τις καταστάσεις αυτές η επιτάχυνση περιγράφεται ως το αποτέλεσμα της ταχύτητας, της διαφοράς ταχύτητας, της απόστασης και των ατομικών χαρακτηριστικών του οδηγού και του οχήματος. Ο οδηγός εναλλάσσεται από τη μία κατάσταση στην άλλη όταν φτάσει σε ένα κατώτατο όριο που μπορεί να εκφραστεί σαν συνδυασμός διαφοράς ταχύτητας- απόστασης. Ο οδηγός ενός ταχύτερα κινούμενου οχήματος ξεκινά να επιβραδύνει όταν υποπέσει στην αντίληψη του ένα προπορευόμενο όχημα κινούμενο με πιο χαμηλή ταχύτητα. Εφόσον δεν μπορεί να καθορίσει ακριβώς την ταχύτητα του οχήματος, η ταχύτητα του θα γίνει χαμηλότερη από εκείνου έως ότου επιταχύνει ελαφρώς ξανά αφού φτάσει σε ένα άλλο όριο (κατώφλι) και αλλάξει εκ νέου την οδηγική συμπεριφορά του.

Τα όρια αυτά παρουσιάζονται στο παρακάτω σχήμα για μια μονάδα οχήματος-οδηγού και ένα πραγματικό επίπεδο ταχύτητας. Ο οριζόντιος άξονας παρουσιάζει τη διαφορά ταχύτητας, ενώ στον κάθετο άξονα παρουσιάζεται η απόσταση με το προπορευόμενο όχημα.



Σχήμα 8: Γραφική αναπαράσταση των οριακών τιμών, ταχυτήτων και αποστάσεων- Πηγή Weidemann 1974

AX είναι η επιθυμητή απόσταση μεταξύ ακίνητων οχημάτων (απόσταση εμπρόςθιου τμήματος ενός οχήματος από το εμπρόςθιο τμήμα του προπορευόμενου του).

$$AX=L_{n-1}+AX_{add}+RND1*AX_{mult}$$

Περιλαμβάνει το μήκος του προπορευόμενου οχήματος L. Το AX_{add} και το AX_{mult} είναι παράμετροι βαθμονόμησης του μοντέλου. Το RND1 είναι εξαρτημένη μεταβλητή και αφορά στην ανάγκη ασφαλείας του οδηγού. Λαμβάνει τιμές μεταξύ 0 και 1 με 0.5 ως μέση τιμή και έχει καθοριζόμενη απόκλιση της τάξης του 0.15.

Ως ABX ορίζεται η επιθυμητή ελάχιστη απόσταση ακολουθίας σε μικρές διαφορές ταχυτήτων. Μετρήσεις έδειξαν ότι οι αποστάσεις στην πραγματική κυκλοφορία δεν είναι ανάλογες με την ταχύτητα (Todosiev 1963, Hoefs 1972). Οι αποστάσεις ασφαλείας υπάρχει η τάση να υποεκτιμούνται από τους οδηγούς κάνοντας τους να οδηγούν πιο επικίνδυνα και επιθετικά στις μεγάλες ταχύτητες. Αυτό αναπαρίσταται με μια παραβολική σχέση μεταξύ του BX και της πραγματικής ταχύτητας. Η σχέση με την οποία υπολογίζεται είναι:

$$ABX=AX+BX \text{ με}$$

$$BX=(BX_{add} + BX_{mult} * RND1) * \sqrt{v}$$

Τα Bx_{add} και Bx_{mult} είναι παράγοντες βαθμονόμησης ενώ η ταχύτητα v καθορίζεται ως v_{n-1} όταν v_n είναι μεγαλύτερο του v_{n-1} ενώ αντίθετα όταν v_n είναι μικρότερο ή ίσο του v_{n-1} τότε η ταχύτητα παίρνει την τιμή v_n

Η μέγιστη απόσταση ακολουθίας SDX λαμβάνει τιμές 1.5 με 2.5 φορές μεγαλύτερες από την ελάχιστη απόσταση ακολουθίας ABX. Ορίζεται ως:

$$SDX=AX+EX*BX \text{ όπου}$$

$$EX=EXadd+EXmult*(NRND-RND2n)$$

Το Exadd και το Exmult είναι παράγοντες βαθμονόμησης, το NRND είναι ένας φυσικά διανεμημένος τυχαίος αριθμός ενώ το RND2n είναι μεταβλητή που εξαρτάται από τον οδηγό.

Ένα άλλο κατώφλι που χρησιμοποιεί το μοντέλο του Wiedemann είναι το σημείο προσέγγισης SDV. Χρησιμοποιείται για να δείξει το σημείο στο οποίο ο οδηγός του ακολουθούστος οχήματος αντιλαμβάνεται ότι προσεγγίζει ένα όχημα που κινείται με χαμηλότερη από αυτόν ταχύτητα.

$$SDV = \frac{Ax - L - AX^2}{CX}$$

όπου $CX=CXconst*(CXadd=CXmult*(RND1n+RND2n))$.

Στην ίδια λογική με το SDV είναι και η ελαττώμενη διαφορά ταχύτητας CLDV η οποία χρησιμοποιείται στο μοντέλο Wiedemann and Reiter (1992) για να μοντελοποιήσει μικρές διαφορές ταχύτητας σε κοντινές ελαττώμενες αποστάσεις. Το συγκεκριμένο κατώφλι δεν υπάρχει στην εκδοχή του μοντέλου του Wiedemann που χρησιμοποιεί το Vissim και έχει αντικατασταθεί ως ίσο από το SDV.

Στην συνέχεια υπάρχει η αυξανόμενη διαφορά ταχύτητας OPDV, που περιγράφει το σημείο κατά το οποίο ο οδηγός του ακολουθούστος οχήματος αντιλαμβάνεται ότι κινείται με ταχύτητα χαμηλότερη από αυτή του προπορευόμενου οχήματος.

Ορίζεται ως: $OPDV=CLDV*(-OPDVadd-OPDVmult*NRND)$

Το OPDVadd και το OPDVmult είναι παράγοντες βαθμονόμησης, το NRND είναι ένας φυσικά διανεμημένος τυχαίος αριθμός.

Τα κατώφλια αυτά καθορίζουν τις τέσσερις καταστάσεις οδήγησης που αναφέρθηκαν παραπάνω: α)ελεύθερη οδήγηση, β)ακολουθία, γ)προσέγγιση, δ)πέδηση.
Αναλυτικότερα:

Ακολουθία:

Τα κατώφλια SDV, SDX, OPDV και ABX σχετίζονται με αυτή την κατάσταση οδήγησης. Λόγω του ανακριβούς χειρισμού της επιτάχυνσης του οχήματος θεωρείται ότι έχει τιμές πάντα διάφορες του μηδενός. Όταν ένα όχημα βρίσκεται στην κατάσταση ακολουθίας, τότε περνώντας το όριο SDV ή ABX έχει ρυθμό επιτάχυνσης

-bnull (επιβράδυνση) ενώ όταν περάσει τα κατώφλια OPDV ή SDX τότε έχει επιτάχυνση bnull.

Η επιτάχυνση ή επιβράδυνση bnull ορίζεται ως:

$$bnull = BNULLmult * (RND4n + NRND)$$

Το BNULLmult είναι παράγοντας βαθμονόμησης, το NRND είναι ένας φυσικά διανεμημένος τυχαίος αριθμός ενώ το RND4n είναι μεταβλητή που εξαρτάται από τον οδηγό.

Ελεύθερη οδήγηση:

Το όχημα βρίσκεται πάνω από όλα τα όρια (κατώφλια) του διαγράμματος και κινείται ανεπηρέαστο. Χρησιμοποιεί την μέγιστη διαθέσιμη επιτάχυνση ώστε να φτάσει στην επιθυμητή ταχύτητα.

Όταν το όχημα φτάσει στην επιθυμητή ταχύτητα και λόγω ελλιπούς ελέγχου του γκαζιού το όχημα αποκτά ρυθμό επιτάχυνσης -bnull ή bnull. Η μέγιστη επιτάχυνση bmax για επιβατηγά οχήματα ορίζεται ως:

$$bmax = BMAXmult * (vmax - v * FaktorV) \text{ με:}$$

$$FaktorV = \frac{vmax}{vdes + FAKTORVmult * (vmax - vdes)}$$

όπου το vmax είναι η μέγιστη ταχύτητα του οχήματος και το FAKTORVmult είναι παράγοντας βαθμονόμησης.

Προσέγγιση:

Όταν περνά το κατώφλι του σημείου προσέγγισης SDV ο οδηγός αντιλαμβάνεται ότι πλησιάζει προς ένα όχημα που κινείται με χαμηλότερη ταχύτητα από αυτόν. Συνεπώς επιβραδύνει ώστε να αποφύγει την σύγκρουση. Η επιβράδυνση αυτή ορίζεται ως:

$$bn = \frac{1}{2} * \left(\frac{\Delta v^2}{ABX - (\Delta x - L(n-1))} \right) + b(n-1)$$

όπου το bn-1 είναι η επιβράδυνση του προπορευόμενου οχήματος.

Πέδηση έκτακτης ανάγκης:

Όταν η απόσταση μεταξύ του ακολουθούντος και του προπορευόμενου οχήματος γίνει μικρότερη από ABX, λόγω κάποιας απρόβλεπτης κατάστασης που αναγκάζει το προπορευόμενο όχημα να επιβραδύνει, τότε το όχημα που ακολουθεί προσαρμόζει

αν είναι αναγκαίο την ταχύτητα του επιβραδύνοντας όσο χρειάζεται προκειμένου να αποφύγει την σύγκρουση.

$$bn = \frac{1}{2} * \left(\frac{\Delta v^2}{AX - (\Delta x - L(n-1))} \right) + b(n-1) + bmin * \left(\frac{ABX - (\Delta x - L(n-1))}{BX} \right)$$

Η ελάχιστη επιβράδυνση του οχήματος $bmin$ ορίζεται ως:

$$bmin = -BMINadd - BMINmult * RND3n + BMINmult * vn$$

Το πρόγραμμα VISSIM χρησιμοποιεί δύο εκδοχές του μοντέλου του Wiedemann το Wiedemann74 και το Wiedemann99.

Wiedemann74

Στην περίπτωση του Wiedemann74 η επιθυμητή απόσταση είναι ένα διάστημα ($ABX < s < SDX$) αντί μίας μεμονωμένης τιμής. Οι αναμενόμενες τιμές των ABX και SDX μπορούν να υπολογιστούν ως:

$$E(AX) = o_j + AXadd + AXmult * E(RND1n) = o_j + 0,5 \approx o_j$$

$$E(ABX) = E(AX) + E(BX) * \sqrt{u} = o_j + E(BX) * \sqrt{u} \quad \text{όπου } u \leq u_{desired}$$

$$E(SDX) = o_j + E(BX) * E(EX) \sqrt{u} \quad \text{όπου } u \leq u_{desired}$$

Τα BX και EX είναι τυχαίες μεταβλητές και υπολογίζονται ως:

$$BX = BXadd + BXmult * RND1n \text{ και} \\ EX = EXadd + BXmult * (NRND - RND2n)$$

Τα RND1n, RND2n και NRND είναι τυχαίες μεταβλητές με μέση τιμή 0.5 και απόκλιση 0,15. Η αναμενόμενη τιμή του SDX που εδώ υπολογίζεται ως $E(SDX)$ έχει εύρος μεταξύ 1.5 και 2.5 φορές την αναμενόμενη τιμή του ABX εδώ $E(ABX)$, όπου τα Bxadd, Bxmult, Exadd, Exmult είναι παράμετροι βαθμονόμησης καθορισμένοι από τον χρήστη. Οι εξισώσεις δείχνουν ότι οι παράμετροι ABX και SDX δεν έχουν κάποιο περιορισμό και για αυτό το λόγο πρέπει να εισαχθεί ένας περιορισμός για τη μέγιστη ταχύτητα

Η βαθμονόμηση του Wiedemann74 μοντέλου μπορεί να επιτευχθεί υπολογίζοντας τη σχέση ταχύτητας- ροής για καταστάσεις συμφόρησης:

$$q = \frac{1000u}{\frac{1000}{k_j} + \frac{E(BX) * E(EX)}{\sqrt{3,6}} * \sqrt{u}}$$

Εδώ το u είναι η μέση χωρική ταχύτητα (χλμ/ώρα) της κυκλοφοριακής ροής, το q είναι ο ρυθμός κυκλοφοριακής ροής (οχήματα/ώρα). Υπολογίζοντας την παράγωγο της κυκλοφοριακής ροής ως προς την ταχύτητα, η σχέση έχει αποδειχτεί ότι είναι μια αυστηρά μονότονη συνάρτηση, όπως φαίνεται στην παρακάτω εξίσωση:

$$\frac{\partial q}{\partial u} = \frac{1000 \left(\frac{1000}{k_j} + \frac{E(BX) * E(EX)}{2 * \sqrt{3,6}} * \sqrt{u} \right)}{\left(\frac{1000}{k_j} + \frac{E(BX) * E(EX)}{\sqrt{3,6}} * \sqrt{u} \right)^2} > 0$$

Κατά συνέπεια η μέγιστη κυκλοφοριακή ροή λαμβάνει χώρα στο όριο της σχέσης δηλαδή στη μέγιστη επιθυμητή ταχύτητα ή αλλιώς ταχύτητα ελεύθερης ροής. Εισάγοντας την ταχύτητα ελεύθερης ροής και τη μέγιστη χωρητικότητα στην προτελευταία εξίσωση και αφαιρώντας τον όρο $E(EX)$ για να υπολογίσουμε το άνω όριο της χωρητικότητας η αναμενόμενη τιμή του BX μπορεί να υπολογιστεί ως:

$$E(BX) = 1000 * \sqrt{3,6} * \sqrt{u_f} * \left(\frac{1}{aq_c} - \frac{1}{k_j * u_f} \right)$$

Θεωρώντας ότι η αναμενόμενη τιμή του SDX είναι α φορές την αναμενόμενη τιμή του ABX , όπου η παράμετρος a έχει εύρος 1.5-2.5, τότε η αναμενόμενη τιμή του EX μπορεί να υπολογιστεί ως :

$$E(EX) = \frac{\left(\frac{k_j * u_f}{q_c} - 1 \right)}{\left(\frac{k_j * u_f}{aq_c} - 1 \right)} \approx a$$

Wiedemann 99

Το Vissim διαθέτει ένα ακόμη μοντέλο ακολουθούστος οχήματος το Wiedemann 99. Το πρότυπο αυτό περιγράφεται από τη σχέση:

$$u_n * (t + \Delta t) = \left\{ \begin{array}{l} u_n(t) + 3,6 * \left(CC8 + \frac{CC8 - CC9}{80} * u_n(t) * \Delta t \right) \\ 3,6 * \left(\frac{s_n(t) - CCO - L_{n-1}}{u_n(t)} \right) \end{array} \right. , u_f$$

Το πρότυπο αυτό υπολογίζει την ταχύτητα ενός οχήματος ως το ελάχιστο δύο ταχυτήτων: μίας βασισμένης στο περιορισμό της επιτάχυνσης του οχήματος και μίας άλλης βασισμένης σε ένα πρότυπο ακολουθούστος οχήματος σταθερής κατάστασης. Το μοντέλο θεωρείται ως ένα μοντέλο κινηματικής οχήματος με μια γραμμική σχέση ταχύτητας επιτάχυνσης, όπου το $CC8$ είναι η μέγιστη επιτάχυνση του οχήματος στην ταχύτητα των 0km/h και το $CC9$ είναι η μέγιστη επιτάχυνση του οχήματος στην ταχύτητα των 80 km/h. Το λογισμικό του Vissim επιτρέπει επίσης στο χρήστη να εισάγει ένα κινηματικό μοντέλο οχήματος που μπορεί να υπερβαίνει το γραμμικό.

Αυτό δίνει τη δυνατότητα στον χρήστη να τροποποιεί τη σχέση ταχύτητας – επιτάχυνσης. Το δεύτερο σκέλος της παραπάνω εξίσωσης υπολογίζει την επιθυμητή ταχύτητα του οχήματος χρησιμοποιώντας ένα γραμμικό μοντέλο ακολουθώντας οχήματος και οι σταθερές του μοντέλου CC0 και CC1 (Παράγοντας Ευαισθησίας Οδηγού) υπολογίζονται ως εξής:

$$CC0 = \frac{1000}{k_j} - L \quad \text{και}$$

$$CC1 = 3600 \cdot \left(\frac{1}{q_c} - \frac{1}{k_f \cdot u_f} \right)$$

Όπου το CC0 είναι το διάστημα μεταξύ του εμπρόσσιου προφυλακτήρα του εξεταζόμενου οχήματος και του οπίσθιου προφυλακτήρα του προπορευόμενου οχήματος και ισούται με τη διαφορά της πυκνότητας κυκλοφορίας από το μέσο μήκος οχήματος. Ο παράγοντας οδηγικής συμπεριφοράς CC1 μπορεί να βαθμονομηθεί χρησιμοποιώντας τρεις μακροσκοπικές παραμέτρους :

- την κυκλοφοριακή ικανότητα οδικού τμήματος
- την πυκνότητα
- την ταχύτητα ελεύθερης ροής.

Αριθμός Στοιχείου Βαθμονόμησης	Περιγραφή
CC0	Απόσταση στάσης (Stopped condition distance)
CC1	Χρόνος ακολουθίας (Headway time)
CC2	Ταλάντωση (Following variation-Oscillation)
CC3	Κατώφλι εισόδου στην κατάσταση ακολουθίας (Threshold for entering Following)
CC4	Κατώφλι αρνητικής ταχύτητας ακολουθίας (Negative speed following thresholds)
CC5	Κατώφλι θετικής ταχύτητας ακολουθίας (Positive speed following thresholds)
CC6	Εξάρτηση ταλάντωσης από ταχύτητα (Speed dependency of oscillation)
CC7	Επιτάχυνση ταλάντωσης (Oscillation Acceleration)

CC8	Επιτάχυνση στην ταχύτητα των 0 km/h (Stopped Condition Acceleration)
CC9	Επιτάχυνση στην ταχύτητα των 80 km/h (Acceleraton at 80 km/h)

Πίνακας 2- Παράγοντες Βαθμονόμησης Wiedemann99- Πηγή: Lownes και Manchamal 2006

Το πρότυπο αλλαγής λωρίδας

Το πρότυπο αλλαγής λωρίδας που χρησιμοποιείται είναι αυτό του Mission (Wiedemann- Reiter 1972) και βασίζεται στις έρευνες και στις μετρήσεις των Willman(1978) και Sparman(1978).

Ο Willman ανέπτυξε ένα θεωρητικό πρότυπο που παρουσιάζει τις ανθρώπινες διαδικασίες απόφασης κατά την αλλαγή λωρίδας. Από τη στιγμή που και οι δύο κινήσεις οχημάτων βασίζονται σε ανθρώπινες αποφάσεις που επηρεάζονται από την ανθρώπινη αντίληψη για τα περιβάλλοντα οχήματα και τα δύο πρότυπα έχουν την ίδια βάση: την αντιπροσώπευση της ανθρώπινης αντίληψης για την σχετική κίνηση των οχημάτων. Το μοντέλο αλλαγής λωρίδας είναι στενά συνδεδεμένο και καθορίζεται βάση του μοντέλου ακολουθούντος οχήματος.

Εκτεταμένες μετρήσεις, τόσο σε μακροσκοπική όσο και μικροσκοπική κλίμακα, πραγματοποιήθηκαν από τον Sparman ώστε να ερευνηθεί την ανθρώπινη συμπεριφορά κατά την αλλαγή λωρίδας σε οδούς μίας κατεύθυνσης. Τα αποτελέσματα αυτών των μετρήσεων χρησιμοποιήθηκαν ώστε να βελτιωθεί το θεωρητικό μοντέλο, να βαθμονομηθεί και να επαληθευτεί.

Η επιλογή λωρίδας από ένα οδηγό επηρεάζεται από τις προσωπικές του επιθυμίες για την οδήγηση, για παράδειγμα από την αντίληψη μια συγκεκριμένης ταχύτητας μετακίνησης η οποία εκφράζεται ως η επιθυμητή ταχύτητα του οδηγού και από της πραγματικές κυκλοφοριακές συνθήκες σε διάφορες λωρίδες. Η απόφαση για αλλαγή λωρίδας είναι αποτέλεσμα μιας περίπλοκης διαδικασίας λήψης απόφασης. Σε κάθε οδηγική κατάσταση ο οδηγός απαντά τις ακόλουθες ερωτήσεις:

- Υπάρχει επιθυμία για αλλαγή λωρίδας;
- Είναι επιθυμητή η οδηγική κατάσταση στις γειτονικές λωρίδες;
- Είναι εφικτή η μετακίνηση σε γειτονική λωρίδα;

Εφόσον και τρεις αυτές ερωτήσεις απαντηθούν θετικά τότε πραγματοποιείται αλλαγή λωρίδας.

Η πρώτη αφορά στη διάκριση μεταξύ αλλαγών από μια πιο αργή σε γρηγορότερη λωρίδα και αντίστροφα. Η επιθυμία για αλλαγή σε ταχύτερη λωρίδα είναι απόρροια οχλήσεων στην λωρίδα κίνησης που προκαλούνται από ένα πιο αργό όχημα που προπορεύεται επηρεάζοντας την κίνηση του εξεταζόμενου οχήματος. Ο βαθμός της όχλησης είναι συνάρτηση της διαφοράς μεταξύ της πραγματικής ταχύτητας του

προπορευόμενου τμήματος και της επιθυμητής ταχύτητας του εξεταζόμενου οχήματος. Η επιθυμία για αλλαγή σε μια πιο αργή λωρίδα είναι απόρροια του γενικού κανόνα κίνησης στα δεξιά ή της πραγματικής ανάγκης να κινηθεί το όχημα στην άκρη ώστε να επιτρέψει την διέλευση ενός ταχύτερα κινούμενου οχήματος.

Η αλλαγή λωρίδας σε μια ταχύτερη λωρίδα είναι επιθυμητή εάν το όχημα δεν εμποδίζεται από το προπορευόμενο του όχημα στη λωρίδα αυτή. Η αλλαγή σε ταχύτερη λωρίδα εκτιμάται ως επιθυμητή παρότι ένα όχημα στην νέα λωρίδα διακόπτει την κίνηση του, αν το επίπεδο διακοπής στην παρούσα λωρίδα υπερβαίνει κάποια συγκεκριμένα όρια και αν η ταχύτητα του νέου προπορευόμενου οχήματος είναι θεωρητικά υψηλότερη από την ταχύτητα του παρόντος προπορευόμενου οχήματος. Η αλλαγή σε πιο αργή λωρίδα είναι αποδεκτή στην περίπτωση που το όχημα είναι ικανό να κινηθεί στην λωρίδα αυτή χωρίς να διακόπτεται μέσα σε ένα συγκεκριμένο χρονικό όριο.

Αλλαγές τόσο σε ταχύτερες όσο και πιο αργές λωρίδες είναι εφικτές, αν δεν προκύπτουν επικίνδυνες καταστάσεις από την πραγματοποίηση του ελιγμού. Η ασφάλεια κάθε ελιγμού υπολογίζεται, εκτιμώντας αποστάσεις και διαφορές ταχύτητας από τα προπορευόμενα και ακολουθούντα οχήματα στις αντίστοιχες λωρίδες.

Όπως αναφέρθηκε και νωρίτερα όλες οι ανθρώπινες αποφάσεις βασίζονται στην ανθρώπινη αντίληψη. Ένα ανάλογο μοντέλο αντίληψης χρησιμοποιείται για να αντιπροσωπεύσει την ανθρώπινη εκτίμηση των αποστάσεων και των διαφορών ταχύτητας στις αποφάσεις αλλαγής λωρίδας ή ακολουθίας οχήματος. Στο μοντέλο ακολουθούντος οχήματος η επιρροή ενός πιο αργά κινούμενου προπορευόμενου οχήματος καθορίζεται από την απόσταση SDX ενώ το όριο για διαφορές ταχυτήτων είναι το SDV. Στο μοντέλο αλλαγής λωρίδας, αυτού του είδους η επιρροή ονομάζεται άμεση επιρροή. Ένας οδηγός παρατηρεί συνεχώς τα περιβάλλοντα οχήματα, τις αποστάσεις και τις διαφορές ταχυτήτων. Καταγράφει τις αλλαγές και είναι ικανός να εκτιμήσει πως οι αλλαγές αυτές εξελίσσονται. Με αυτόν τον τρόπο σκέφτεται πιθανές καταστάσεις για τις μελλοντικές αποφάσεις του για αλλαγή λωρίδας. Στο μοντέλο, αυτό αντιπροσωπεύεται ως έμμεση επιρροή.

Η πιθανή επιρροή αντιπροσωπεύει όλες εκείνες τις καταστάσεις όταν ο οδηγός δεν έχει επηρεαστεί από ένα προπορευόμενο όχημα, επειδή για παράδειγμα δεν είναι ακόμα σε θέση να εκτιμήσει την διαφορά ταχύτητας, αλλά υποθέτει ότι είναι πιθανό να επηρεαστεί στο κοντινό μέλλον.

Τα κατώφλια που καθορίζουν την περιοχή της πιθανής επιρροής SDXP, SDVP είναι πολλαπλάσια αυτών της άμεσης επιρροής και ορίζονται ως :

$$SDXP=AX+FX*BX$$

$$SDVP=FV*SDV$$

Η έμμεση επιρροή είναι πιο ευαίσθητη από την άμεση επιρροή, και χρησιμοποιείται στις ανθρώπινες αποφάσεις αλλαγής λωρίδας.

Οι πολλαπλασιαστικοί παράγοντες FX και FV ποικίλουν ανάλογα με το ποιο από τα περιβάλλοντα οχήματα παρατηρεί ο οδηγός. Αυτή η ποικιλία θεωρείται ανθρώπινη εκτίμηση για τις αποστάσεις και τις διαφορές ταχύτητας των οχημάτων που προπορεύονται και των οχημάτων που ακολουθούν το εξεταζόμενο όχημα.

Ο Sparmann καθόρισε διαφορετικούς τύπους αλλαγών λωρίδας, τέσσερις τύπους αλλαγής από λωρίδες υψηλής ταχύτητας και δύο τύπους αλλαγών προς λωρίδες χαμηλής ταχύτητας χρησιμοποιώντας τις ακόλουθες παραμέτρους:

Για αλλαγές σε ταχύτερες λωρίδες:

TR: Χρονικός διαχωρισμός αντίδρασης: απόσταση μεταξύ του οχήματος που εκτελεί αλλαγή λωρίδας και του μπροστά οχήματος στη λωρίδα που βρίσκεται. Μετριέται σε δευτερόλεπτα.

LR: Απόσταση αντίδρασης: είναι ο χωρικός διαχωρισμός μεταξύ του οχήματος που εκτελεί αλλαγή λωρίδας και του μπροστά οχήματος στη λωρίδα που βρίσκεται. μετριέται σε μέτρα.

LEAD: Χρονικός διαχωρισμός μεταξύ του οχήματος που αλλάζει λωρίδα και του μπροστινού οχήματος στην ταχύτερη λωρίδα.

LAG: Χρονικός διαχωρισμός μεταξύ εμπρόσθιων μερών μεταξύ του οχήματος που αλλάζει λωρίδα και του οχήματος που ακολουθεί στη λωρίδα υψηλότερης ταχύτητας.

GAP: Χρονικός διαχωρισμός μεταξύ του πίσω μέρους του προπορευόμενου οχήματος και του εμπρόσθιου μέρους του ακολουθούντος οχήματος στην λωρίδα υψηλότερης ταχύτητας.

Για αλλαγές σε πιο αργές λωρίδες:

TR: Χρονικός διαχωρισμός αντίδρασης: χρονικός διαχωρισμός του εμπρόσθιου μέρους οχήματος που εκτελεί αλλαγή λωρίδας και του εμπρόσθιου τμήματος του ακολουθούντος οχήματος στη λωρίδα χαμηλότερης ταχύτητας.

LR: Απόσταση αντίδρασης, ο χωρικός διαχωρισμός του εμπρόσθιου μέρους του οχήματος που εκτελεί αλλαγή λωρίδας και του ακολουθούντος οχήματος στη λωρίδα χαμηλότερης ταχύτητας.

GAP: Χρονικός διαχωρισμός μεταξύ του προπορευόμενου οχήματος και του ακολουθούντος στην λωρίδα χαμηλότερης ταχύτητας.

TB: Χρονικός διαχωρισμός μεταξύ των εμπρόσθιων μερών του οχήματος που αλλάζει λωρίδα και του οχήματος που ακολουθεί στην παρούσα λωρίδα.

Και για τις δύο περιπτώσεις:

TS: Διάρκεια του ελιγμού αλλαγής λωρίδας

LS: Μήκος του ελιγμού αλλαγής λωρίδας

Οι τέσσερις τύποι αλλαγής σε ταχύτερες λωρίδες είναι:

- Ελεύθερες αλλαγές λωρίδας

Το όχημα που αλλάζει λωρίδα επηρεάζεται μόνο από το προπορευόμενο όχημα στην λωρίδα που βρίσκεται. Το μπροστινό καθώς και το όχημα που ακολουθεί στην ταχύτερη λωρίδα δεν επηρεάζουν τον ελιγμό.

- Αλλαγές τύπου LEAD

Το προπορευόμενο όχημα στην ταχύτερη λωρίδα είναι πιο κοντά στο όχημα που εκτελεί αλλαγή λωρίδας από το προπορευόμενο όχημα στην αρχική λωρίδα και το όχημα που ακολουθεί στην ταχύτερη λωρίδα δεν επηρεάζεται.

- Αλλαγές τύπου LAG: Το όχημα που ακολουθεί το εξεταζόμενο όχημα στην ταχύτερη λωρίδα, επηρεάζεται από τον ελιγμό και το προπορευόμενο όχημα στην αρχική λωρίδα είναι πιο κοντά από το προπορευόμενο όχημα στην ταχύτερη λωρίδα.
- Αλλαγές τύπου GAP:

Τόσο το όχημα που ακολουθεί το εξεταζόμενο στην ταχύτερη λωρίδα, όσο και το προπορευόμενο του επηρεάζονται από τον ελιγμό. Αυτός ο τύπος αλλαγής λωρίδας είναι συνδυασμός των LEAD και LAG.

Οι δύο τύποι αλλαγής σε πιο αργές λωρίδες είναι:

- Ελεύθερες αλλαγές λωρίδας

Ο ελιγμός δεν επηρεάζεται από κάποιο όχημα που ακολουθεί το εξεταζόμενο στην αρχική λωρίδα.

- Αλλαγές τύπου ACCEL

Το όχημα που ακολουθεί στη λωρίδα επηρεάζει το όχημα που πραγματοποιεί ελιγμό αλλαγής λωρίδας.

Το μοντέλο αλλαγής λωρίδας στο Vissim

Το μοντέλο αλλαγής λωρίδας που χρησιμοποιεί το πρόγραμμα Vissim αναπτύχθηκε από τους Willman και Sparmann(1978). Στο μοντέλο αυτό η συμπεριφορά για αλλαγή λωρίδας χωρίζεται σε δύο τύπους:

- Αλλαγή λωρίδας προς ταχύτερη λωρίδα
- Αλλαγή λωρίδας προς πιο αργή λωρίδα

Για την πραγματοποίηση αλλαγής λωρίδας αξιολογούνται τρεις ερωτήσεις. Αν υπάρχει θέληση από τον οδηγό για πραγματοποίηση αλλαγής λωρίδας, αν η παρούσα οδηγική κατάσταση στην διπλανή λωρίδα είναι καλύτερη και αν είναι εφικτή

η πραγματοποίηση του κατάλληλου ελιγμού για την αλλαγή λωρίδας (Kan and Bhan, 2007). Στο πρόγραμμα Vissim είναι δυνατοί δύο τύποι αλλαγής λωρίδας: ελεύθερες αλλαγές λωρίδας και υποχρεωτικές αλλαγές λωρίδας. Οι ελεύθερες αλλαγές λωρίδας πραγματοποιούνται όταν ένα όχημα αναζητεί περισσότερο χώρο και υψηλότερη ταχύτητα. Οι υποχρεωτικές αλλαγές λωρίδας πραγματοποιούνται όταν ένα όχημα απαιτείται να φτάσει στο κατάλληλο συνδετήριο τμήμα ώστε να μεταβεί στον επιθυμητό για αυτό σύνδεσμο. Ανεξαρτήτως τύπου αλλαγής λωρίδας, το πρώτο βήμα που πραγματοποιούν τα οχήματα στο λογισμικό Vissim είναι η αναζήτηση του κατάλληλου χρονικού διαχωρισμού για την πραγματοποίηση ελιγμού (PTV 2007).

2.4.3.3 Πλεονεκτήματα-Μειονεκτήματα Vissim (Κουκουτίμπας, 2011)

Πλεονεκτήματα

- Ενσωματώνει αυτοκινητοδρόμους και αστικές οδούς χωρίς προβλήματα
- Επιτρέπει προκαθορισμένη και επενεργούμενη από την κυκλοφορία σηματοδότηση καθώς και ramp metering
- Ενσωματώνει λωρίδες υψηλής πλήρωσης (HOV) και στοιχεία μαζικών μεταφορών
- Ενσωματώνει σιδηροδρομικά συστήματα και συστήματα Transit) στην κύρια ροή της κυκλοφορίας.
- Οι παράμετροι συμπεριφοράς του οδηγού ρυθμίζονται για να παρέχουν ευελιξία στην βαθμονόμηση και την επικύρωση.
- Γραφικά τριών διαστάσεων 3D με την προβολή από οποιαδήποτε θέση και γωνία.
- Δυνατότητα εισαγωγής στοιχείων περιβάλλοντος όπως κτίρια, δέντρα, ανθρώπους, για υψηλής ποιότητας γραφικά.
- Δεν υπάρχουν περιορισμοί στον αριθμό των κόμβων, των συνδέσμων και των οχημάτων
- Δυναμικός καταμερισμός της κυκλοφορίας – δυνατότητα χρήσης πινάκων Π-Π
- Δυνατότητα χρήσης GIS και/ή ορθοφωτοχαρτών.
- Δυνατότητα αυτόματης επίλυσης σηματοδοτημένου κόμβου.

Μειονεκτήματα

- Δύσκολη εκμάθηση λόγω πολλών και πολύπλοκων χαρακτηριστικών του λογισμικού.
- Δεν προσομοιώνει κυκλικούς κόμβους άμεσα.
- Υψηλό κόστος αγοράς λογισμικού
- Η προσομοίωση και η ανάλυση βασίζεται σε θεωρίες gap-acceptance και ως εκ τούτου τα αποτελέσματα μπορεί να διαφέρουν από το HCM.

2.5 Προσομοίωση και ανάλυση κυκλοφοριακής ικανότητας

Σύγκριση των μεθόδων ανάλυσης για κόμβους υψηλής κυκλοφοριακής ικανότητας πραγματοποιήθηκε από τους David Stanek και Ronald T. Milam (2004). Πιο συγκεκριμένα αναλύθηκαν πέντε μεθοδολογίες- τρόποι ανάλυσης: οι εξισώσεις του FHWA, το RODEL, το aaSIDRA που έχουν μακροσκοπική λογική και το PRAMICS και το Vissim που είναι μικροσκοπικά προγράμματα προσομοίωσης της κυκλοφορίας. Αντικείμενο της ανάλυσης ήταν δύο κυκλικοί κόμβοι δύο λωρίδων κυκλοφορίας υψηλής κυκλοφοριακής ικανότητας. Βάση των αποτελεσμάτων της μελέτης τα μακροσκοπικά μοντέλα (FHWA, Rodel και aaSIDRA) είναι καλύτερα στην ανάλυση μόνο μη κορεσμένων κυκλικών κόμβων ή για απομονωμένες περιοχές με τυπικά γεωμετρικά χαρακτηριστικά. Τα μικροσκοπικά μοντέλα (Paramics και Vissim) μπορούν να χρησιμοποιηθούν σε καταστάσεις υπερκορεσμού αλλά και σε κόμβους με ιδιαίτερα και μοναδικά χαρακτηριστικά.

Οι Bared J. και Edara P. (2005) στην έρευνα τους μελέτησαν δυο προβλήματα: α) συνέκριναν το Vissim με ένα εμπειρικό (RODEL) και ένα αναλυτικό (aaSIDRA) πρόγραμμα προσομοίωσης ως προς την προσομοίωση κυκλικών κόμβων μίας και δύο λωρίδων κυκλοφορίας, κάνοντας και ταυτόχρονη σύγκριση με δεδομένα που συλλέχθηκαν από διάφορους κόμβους των Η.Π.Α και β) την επιρροή που έχει σε έναν κυκλικό κόμβο ένας σηματοδοτούμενος κόμβος τοποθετημένος σε μικρή απόσταση ανάντι του κυκλικού. Πιο συγκεκριμένα μελετήθηκε η τοποθέτηση ενός κυκλικού κόμβου δύο λωρίδων κυκλοφορίας σε μία οδική αρτηρία μεταξύ δύο συντονισμένων σηματοδοτούμενων κόμβων. Κάθε κόμβος απέχει από τον άλλο 400 μέτρα. Τα αποτελέσματα της μελέτης έδειξαν ότι η κυκλοφοριακή ικανότητα των κυκλικών κόμβων μίας λωρίδας στο Vissim είναι αρκετά χαμηλότερη από το Rodel και το aaSidra, όμως ανταποκρίνεται στα δεδομένα που έχουν συλλεχθεί από τις μετρήσεις πεδίου. Στους κυκλικούς κόμβους δύο λωρίδων κυκλοφορίας η κυκλοφοριακή ικανότητα που προσομοιώθηκε στο Vissim είναι σημαντικά χαμηλότερη από αυτή του RODEL και aaSidra και είναι συγκρίσιμη με τα δεδομένα πεδίου. Από τις προσομοιώσεις προέκυψε ότι ένας κυκλικός κόμβος τοποθετημένος σε μια αρτηρία ανάμεσα σε δύο σηματοδοτούμενους κόμβους, παρουσιάζει τα ίδια επίπεδα καθυστέρησης με μία πλήρως σηματοδοτούμενη οδική αρτηρία. Αυτό ανταποκρίνεται στην πραγματικότητα όταν ο κυκλικός κόμβος λειτουργεί στην μέγιστη κυκλοφοριακή του ικανότητα ή κάτω από αυτή.

Οι Greg Latrrell, Eugene Russell και Margaret Rys συνέκριναν τη λειτουργία ενός κυκλικού κόμβου με δύο ισόπεδους κόμβους προτεραιότητας. Χρησιμοποιήθηκαν στοιχεία τα οποία συλλέχθηκαν από κάμερες που τοποθετήθηκαν στους κόμβους και αναλύθηκαν με το λογισμικό aaSIDRA. Τα αποτελέσματα αφορούσαν: Τα αποτελέσματα υποδεικνύουν ότι στατιστικά οι κυκλικοί κόμβοι λειτουργούσαν καλύτερα με βάση κατάλληλα επιλεγμένα μεγέθη αξιολόγησης όπως τη σχηματιζόμενη ουρά (95% queue), τη μέση καθυστέρηση (average delay), τη μέγιστη καθυστέρηση κάθε πρόσβασης, την αναλογία σταματημένων οχημάτων (proportion stopped), το μέγιστο αριθμό στάσεων ανά πρόσβαση, το βαθμό κορεσμού (saturation flow). Συγκεκριμένα οι κυκλικοί κόμβοι λειτουργούσαν καλύτερα με βάση τα μεγέθη της μέγιστης καθυστέρησης ανά πρόσβαση, των μέγιστων στάσεων αν πρόσβαση και του βαθμού κορεσμού. Με βάση το μέγεθος της μέσης καθυστέρησης λειτουργεί

καλύτερα ο ισόπεδος τετρασκελής κόμβος προτεραιότητας, ενώ στα μεγέθη της σχηματιζόμενης ουράς και της αναλογίας σταματημένων οχημάτων τα αποτελέσματα ήταν πολύ κοντά μεταξύ τους και δεν μπορεί να καθοριστεί ποιος τύπος κόμβου ανταποκρίνεται καλύτερα.

Οι Abishai Polus, Evdokia Vlachos (2005) συνέκριναν τη λειτουργία ενός κυκλικού κόμβου με ένα ισόπεδο κόμβο προτεραιότητας και έναν σηματοδοτούμενο κόμβο, χρησιμοποιώντας το πρόγραμμα aaSIDRA ενώ τα δεδομένα και ελήφθησαν από υπαρκτούς κόμβους έτσι ώστε να ανταποκρίνονται καλύτερα σε πραγματικές συνθήκες. Οι επιτόπιες μετρήσεις έδειξαν ότι το κρίσιμο διάκενο ήταν μεταξύ 3,85δλ και 3,91δλ ενώ το HCM2000 προτείνει 4,1 έως 4,65δλ. Αντίστοιχα και ο χρόνος ακολουθίας ήταν μεταξύ 2,1-2,31δλ ενώ το HCM2000 προτείνει 2,6-3,1δλ. Τα μεγέθη που επιλέχθηκαν για την αξιολόγηση της λειτουργίας των κόμβων είναι η κυκλοφοριακή ικανότητα του κόμβου συνολικά, η κυκλοφοριακή ικανότητα των κύριων και δευτερευουσών προσβάσεων, η μέση καθυστέρηση των κύριων και δευτερεύουσών προσβάσεων, το μήκος της σχηματιζόμενης ουράς και οι εκπεμπόμενοι ρύποι (CO, Nox, HC, CO₂). Η πρωτεύουσα οδός στον κόμβο προτεραιότητας δεν υπολογίζεται στις συγκρίσεις γιατί έχει πάντα προτεραιότητα και κίνηση των οχημάτων δεν σταματά ποτέ. Οι συγκρίσεις έγιναν μεταξύ ισόπεδου κόμβου προτεραιότητας και κυκλικού για χαμηλούς προς μεσαίους φόρτους και σηματοδοτούμενου κόμβου και κυκλικού για μεσαίους προς υψηλούς φόρτους. Από την ανάλυση προέκυψε ότι ο ισόπεδος τετρασκελής κόμβος προτεραιότητας (TWSC) λειτουργεί καλύτερα σε χαμηλούς φόρτους, ο κυκλικός κόμβος λειτουργεί καλύτερα σε μεσαίους φόρτους, ενώ ο σηματοδοτούμενος κόμβος λειτουργεί καλύτερα σε υψηλούς φόρτους. (Evaluation of roundabouts versus signalized and unsignalized intersections in Delaware)

Οι Federico Cicu, Pier Fabrizio Illota, Joe Bared και Hillary Isebrands (2010) σε έρευνα τους μελέτησαν και ανέλυσαν τη λειτουργία απομονωμένων κυκλικών κόμβων καθώς και την αλληλεπίρροή τους με ισόπεδους κόμβους προτεραιότητας (TWSC) και σηματοδοτούμενους κόμβους. Τα δεδομένα που χρησιμοποιήθηκαν συλλέχθηκαν από τρεις υπάρχοντες κυκλικούς κόμβους δύο λωρίδων κυκλοφορίας, ενώ κατηγοριοποιήθηκαν σε εξωτερική και εσωτερική λωρίδα κυκλοφορίας. Οι μεταβλητές που χρησιμοποιήθηκαν προκειμένου να παραχθούν πιο ρεαλιστικά αποτελέσματα είναι τα προσωρινά διάκενα μεταξύ των οχημάτων (ελάχιστο διάκενο), η ταχύτητα των προσβάσεων και του κόμβου, μεταβλητές που σχετίζονται με το μοντέλο ακολουθούντος οχήματος (average distance, additive part of safety distance, multiplicative part of safety distance). Τα αποτελέσματα της μελέτης έδειξαν ότι: οι καλύτερες τιμές του ελάχιστου διακενου κυμαίνονται από 3 έως 3,10 δλ, Επιπλέον η ταχύτητα τη εσωτερικής όσο και της εξωτερικής λωρίδας εισόδου πρέπει να είναι 25,6km/h ενώ μέσα στον κυκλικό κόμβο η ταχύτητα στην εσωτερική λωρίδα πρέπει να είναι 28,4 km/h και στην εξωτερική 30,3 km/h, Τέλος οι καλύτερες τιμές των παραμέτρων που σχετίζονται με το μοντέλο ακολουθούντος οχήματος είναι, average distance: 2μ, additive part of safety distance: 4μ, multiplicative part of safety distance: 6μ.

Αντίστοιχη έρευνα διερεύνησε το ότι μια πρόσβαση στον κυκλικό κόμβο μπορεί να χωριστεί σε τέσσερις διαφορετικές ζώνες ταχύτητας οι οποίες αντικατοπτρίζουν διαφορετικά στάδια επιβράδυνσης του οχήματος. Διερευνήθηκαν η κατάλληλη

τοποθεσία, το μήκος, η κατανομή της ταχύτητας και ο ρυθμός επιβράδυνσης των περιοχών μειωμένης ταχύτητας (Reduced Speed Areas) του VISSIM. Πραγματοποιήθηκε σύγκριση μεταξύ των επιλογών καθορισμού της προτεραιότητας στο Vissim που είναι οι περιοχές εμπλοκής (conflict areas) και οι κανόνες προτεραιότητας priority rules ενώ έγινε ανάλυση ευαισθησίας στο ελάχιστο διάκενο και στο χρόνο ακολουθίας, στη κατανομή της ταχύτητας και του ρυθμού επιβράδυνσης στις RSA και τέλος στους παράγοντες additive part of safety distance και multiplicative part of safety distance του μοντέλου ακολουθούστος οχήματος Wiedemann 74. Βάση των αποτελεσμάτων των προσομοιώσεων προτείνεται η περιοχή ελάττωσης ταχύτητας να ξεκινά 2,5 μέτρα από τη γραμμή προτεραιότητας και το μήκος της να είναι τουλάχιστον 5 μέτρα. Ακόμη προκύπτει ότι η επιλογή Priority Rules πρέπει να προτιμώνται από τα Conflict Areas διότι λειτουργούν καλύτερα στους κυκλικούς κόμβους επιτρέποντας σταθερή και επαναλαμβανόμενη συμπεριφορά αποδοχής διακέπων. Η additive part of safety distance του Wiedemann 74 καθώς και η κατανομή ταχύτητας των RSA είναι παράμετροι που προτιμάται να μην αλλάζουν αλλά να χρησιμοποιούνται οι τιμές του Vissim ,γιατί επηρεάζουν ταυτόχρονα τόσο το κρίσιμο διάκενο όσο και το χρόνο ακολουθίας. Τέλος η παράμετρος Multiplicative setting of safety distance επηρεάζει μόνο τον χρόνο ακολουθίας, οπότε μπορεί να πάρει διάφορες τιμές για την καλύτερη παραμετροποίηση του κυκλικού κόμβου.(Zhivya Li, Michali deAmico, Modhavi Chitturi, Andrea Bill, David Noyce, 2013)

Ο Rahmi Akcelik (2008) διερεύνησε τη σχέση της κυκλοφοριακής ικανότητας με τη συμπεριφορά του οδηγού σε αναλυτικά μοντέλα με τα αποτελέσματα της συγκεκριμένης έρευνας να υποδεικνύουν ότι τα υψηλά επίπεδα κυκλοφοριακής πίεσης (υψηλή ζήτηση σε φόρτο, υψηλή ροή κορεσμού, μεγάλες καθυστερήσεις και ουρές) μπορούν να αναγκάσουν τους οδηγούς να αφήνουν πιο μικρές αποστάσεις στις ουρές, να είναι πιο επιθετικοί κατά τις εκκινήσεις τους και να χρησιμοποιούν υψηλότερες ταχύτητες κορεσμού, το οποίο έχει ως αποτέλεσμα υψηλότερη ροή κορεσμού και άρα μεγαλύτερη κυκλοφοριακή ικανότητα. Επιπλέον οι οδηγοί στους κυκλικούς κόμβους αναζητούν διάκενα σε μία μοναδική χαμηλής ταχύτητας λωρίδα το οποίο βοηθά τους οδηγούς να αντιδρούν σε μικρότερα χρονικά διαστήματα και συνεπώς οδηγεί σε μικρότερα διαστήματα ακολουθίας και μεγαλύτερη κυκλοφοριακή ικανότητα στους κυκλικούς κόμβους (Rahmi Akcelik 2008)

Οι Irvana J και Rondahl S. (2010) έδειξαν ότι οι κυκλικοί κόμβοι στη ροή κορεσμού έχουν χαμηλότερους χρόνους ακολουθίας από τους χρόνους ακολουθίας που παράγει το Vissim, και ότι η μεταβολή του κρίσιμου διακενου δεν επηρεάζει το χρόνο ακολουθίας στο Vissim. Τέλος η χρήση των Περιοχών Εμπλοκής (Conflict Areas) σε κυκλικούς κόμβους δίνει λιγότερο ακριβή αποτελέσματα από τη χρήση Κανόνων Προτεραιότητας (Priority Rules) επειδή παραλείπονται μεγάλα διάκενα και έτσι μειώνεται η κυκλοφοριακή ικανότητα της πρόσβασης.

Η ισχυρή εξάρτηση του κρίσιμου διακενου με τη μέση καθυστέρηση φαίνεται και στην διερεύνηση των Christopher Kinzel και Michael Trueblood. Η έρευνα έγινε πάνω σε ένα τετρασκελή κυκλικό κόμβο με διάμετρο κεντρικής νησίδας 25 μέτρα και λωρίδα κυκλοφορίας 6.25 μέτρα ενώ η ταχύτητα μέσα στον κυκλικό κόμβο ήταν 32 χλμ/ωρα. Δημιουργήθηκαν τρία σενάρια φόρτων: ισορροπημένοι φόρτοι, μη-ισορροπημένοι

φόρτοι και φόρτος συμφόρησης. Η καθυστέρηση για το ισορροπημένο σενάριο είναι από 14 έως 316 sec, για το μη – ισορροπημένο σενάριο είναι από 9 δλ έως 375 δλ ενώ για το σενάριο συμφόρησης είναι από 147 έως 707 δλ. Από την ανάλυση των αποτελεσμάτων προέκυψε ότι μεταβάλλοντας το διαχωρισμό προκύπτουν σημαντικές μεταβολές στην καθυστέρηση, η οποία όμως είναι πολύ πιο ευαίσθητη στις μεταβολές του κρίσιμου διάκενου.

Οι Galleli και Vaiana (2008) διερεύνησαν με τη χρήση του Vissim το πως τα γεωμετρικά χαρακτηριστικά των κυκλικών κόμβων και η συμπεριφορά των οδηγών επηρεάζουν την κυκλοφοριακή ικανότητα. Στα τρία διαφορετικά σενάρια που δημιουργήθηκαν μελετήθηκε το πως επηρεάζει την κυκλοφοριακή ικανότητα η διάμετρος του εγγεγραμμένου κύκλου, το πλάτος της διαχωριστικής νησίδας της πρόσβασης, το πλάτος της λωρίδας του κυκλικού κόμβου, ενώ πρόσθετοι παράγοντες αποτελούν ο φόρτος εισόδου, η ταχύτητα των οχημάτων, καθώς και η τιμή του κρίσιμου διάκενου. Τα αποτελέσματα παρουσιάστηκαν από τη σκοπιά της καθυστέρησης στην γραμμή STOP. Συνολικά δημιουργήθηκαν και προσομοιώθηκαν 432 σενάρια. Τα αποτελέσματα έδειξαν συσχέτιση της καθυστέρησης και των γεωμετρικών χαρακτηριστικών ενώ έδειξαν και πολύ ισχυρή εξάρτηση της καθυστέρησης με την τιμή του κρίσιμου διάκενου η οποία γίνεται ακόμα μεγαλύτερη για μεγάλε τιμές φόρτων.

Οι ίδιοι επίσης ανέλυσαν το πως επηρεάζουν κινηματικές και συμπεριφορικές παράμετροι του Vissim τη λειτουργία της ευθείας κίνησης των κυκλικών κόμβων μίας λωρίδας. Χρησιμοποιήθηκαν δεδομένα πεδίου αλλά και αποτελέσματα προσομοιώσεων με χρήση του Vissim τα οποία και συγκρίθηκαν. Για το σκοπό αυτό δημιουργήθηκαν 216 σενάρια. Τα σταθερά χαρακτηριστικά του κόμβου στην προσομοίωση ήταν: ο φόρτος, το εύρος μεταβολής της ταχύτητας στον κυκλικό κόμβο, και το εύρος μεταβολής της ταχύτητας στις περιοχές ελάττωσης ταχύτητας (reduced speed areas). Οι μεταβλητές των προσομοιώσεων ήταν: το μήκος της περιοχής ελάττωσης ταχύτητας, η θέση των σημείων επιθυμητής ταχύτητας (desired speed), και το μέγεθος του ελάχιστου διάκενου. Από την ανάλυση των αποτελεσμάτων προέκυψε ότι το μήκος των RSA πρέπει να είναι τουλάχιστον 6-8 μ, η θέση των σημείων επιθυμητής ταχύτητας πρέπει να είναι ακριβώς μετά το σημείο εξόδου από τον κόμβο και ότι η τιμή του ελάχιστου διάκενου πρέπει να είναι μεταξύ 3,5 και 4 δλ διότι δίνει τις πιο ακριβείς προσομοιώσεις και είναι πιο κοντά στα πραγματικά δεδομένα.

Κεφάλαιο 3- Μεθοδολογία

3.1 Στοιχεία προγράμματος προσομοίωσης Vissim.

Το λογισμικό προσομοίωσης Vissim αντιλαμβάνεται κάθε οδικό δίκτυο και κατά συνέπεια και τους κόμβους σαν μια αλληλουχία συνδέσμων (links) και συνδετήριων οδικών τμημάτων (connectors). Δύο σύνδεσμοι ενώνονται μεταξύ τους αποκλειστικά με χρήση συνδετήριων οδικών τμημάτων. Το Vissim επιτρέπει στο χρήστη να ρυθμίσει διάφορες παραμέτρους που αφορούν στους συνδέσμους όπως: τον αριθμό των λωρίδων του συνδέσμου, το πλάτος της λωρίδας, το τύπο της οδηγικής συμπεριφοράς που θα έχουν τα οχήματα στο συγκεκριμένο σύνδεσμο, καθώς και ρυθμίσεις που δεν αφορούν στην κυκλοφορία αλλά στην οπτικοποίηση του δικτύου. Τα συνδετήρια οδικά τμήματα περιλαμβάνουν τα ίδια χαρακτηριστικά ενώ επιπροσθέτως ο χρήστης μπορεί να ρυθμίσει την απόσταση αλλαγής λωρίδας και την απόσταση έκτακτης ανάγκης. Η απόσταση αλλαγής λωρίδας ορίζει την απόσταση στην οποία το όχημα-οδηγός ξεκινά να επιχειρεί να αλλάξει λωρίδα. Η απόσταση έκτακτης ανάγκης ορίζεται ως η τελευταία δυνατή θέση για ένα όχημα ώστε να πραγματοποιήσει αλλαγή λωρίδας. Τόσο ο κάθε σύνδεσμος όσο και το κάθε συνδετήριο οδικό τμήμα έχουν από το πρόγραμμα μοναδική κωδικοποίηση η οποία μπορεί να προσαρμοστεί από το χρήστη.

Αφού κωδικοποιηθούν οι κόμβοι στη συνέχεια και μέσω της επιλογής «routes» γίνεται κατανομή των μετακινήσεων από κάθε σύνδεσμο προς τους υπόλοιπους συνδέσμους που επιλέγει ο χρήστης. Απαραίτητη προϋπόθεση είναι οι σύνδεσμοι να ενώνονται μεταξύ τους με συνδετήρια οδικά τμήματα δημιουργώντας μια συνέχεια συνδέσμων – συνδετήριων τμημάτων. Το πρόγραμμα διαθέτει διάφορους τύπους κατανομής των μετακινήσεων (διαδρομών) οι οποίοι είναι:

- Στατικές διαδρομές: Τα οχήματα κατευθύνονται από ένα καθορισμένο αρχικό σημείο σε ένα καθορισμένο σημείο προορισμού.
- Μερικώς στατικές διαδρομές: ένας τομέας από στατικές διαδρομές όπου τα οχήματα κατανέμονται τυχαία με βάση ποσοστά που συσχετίζονται με την εκάστοτε διαδρομή.
- Διαδρομές προς θέσεις παρκαρίσματος: δημιουργεί αυτόματα διαδρομές που οδηγούν σε θέσεις παρκαρίσματος και διαδρομών από τις θέσεις παρκαρίσματος πίσω στο δίκτυο.
- Διαδρομές μέσω λωρίδων με διαχείριση: δημιουργεί δύο παράλληλες διαδρομές από το σημείο απόφασης στο σημείο προορισμού ενώ απαιτείται και ένα καθορισμένο από το χρήστη μοντέλο διοδίων.

Στην παρούσα εργασία χρησιμοποιήθηκε ο τύπος των στατικών διαδρομών.

Η ταχύτητα είναι ένας πολύ σημαντικός παράγοντας του Vissim και κάθε όχημα έχει την δική του ταχύτητα κατά την είσοδο του στο οδικό δίκτυο. Οι ταχύτητες βασίζονται σε μια εμπειρική καμπύλη η οποία μπορεί να καθοριστεί από το χρήστη ώστε να ανταποκρίνεται στα δεδομένα του πεδίου. Κάθε όχημα στο δίκτυο κινείται με την επιθυμητή του ταχύτητα μέχρι τα γεωμετρικά χαρακτηριστικά της οδού, ή το προπορευόμενο όχημα ή οι ζώνες ταχύτητας του προγράμματος το αναγκάσουν να αλλάξει την ταχύτητα του. Το Vissim επηρεάζει και αλλάζει την ταχύτητα των

οχημάτων με δύο λειτουργίες: τις περιοχές ελάττωσης ταχύτητας (προσωρινή αλλαγή) και με τα σημεία καθορισμού ταχύτητας (μόνιμη αλλαγή της ταχύτητας).

Όταν ένα όχημα εισέρχεται σε μια ζώνη ελάττωσης ταχύτητας και η επιθυμητή του ταχύτητα είναι υψηλότερη από την ταχύτητα της περιοχής αρχίζει να επιβραδύνει έως ότου φτάσει στην ταχύτητα της περιοχής, ενώ ο ρυθμός επιβράδυνσης καθορίζεται από τον χρήστη. Η επιτρεπόμενη ταχύτητα στις περιοχές ελάττωσης ταχύτητας καθορίζεται για κάθε τύπο οχημάτων ξεχωριστά.

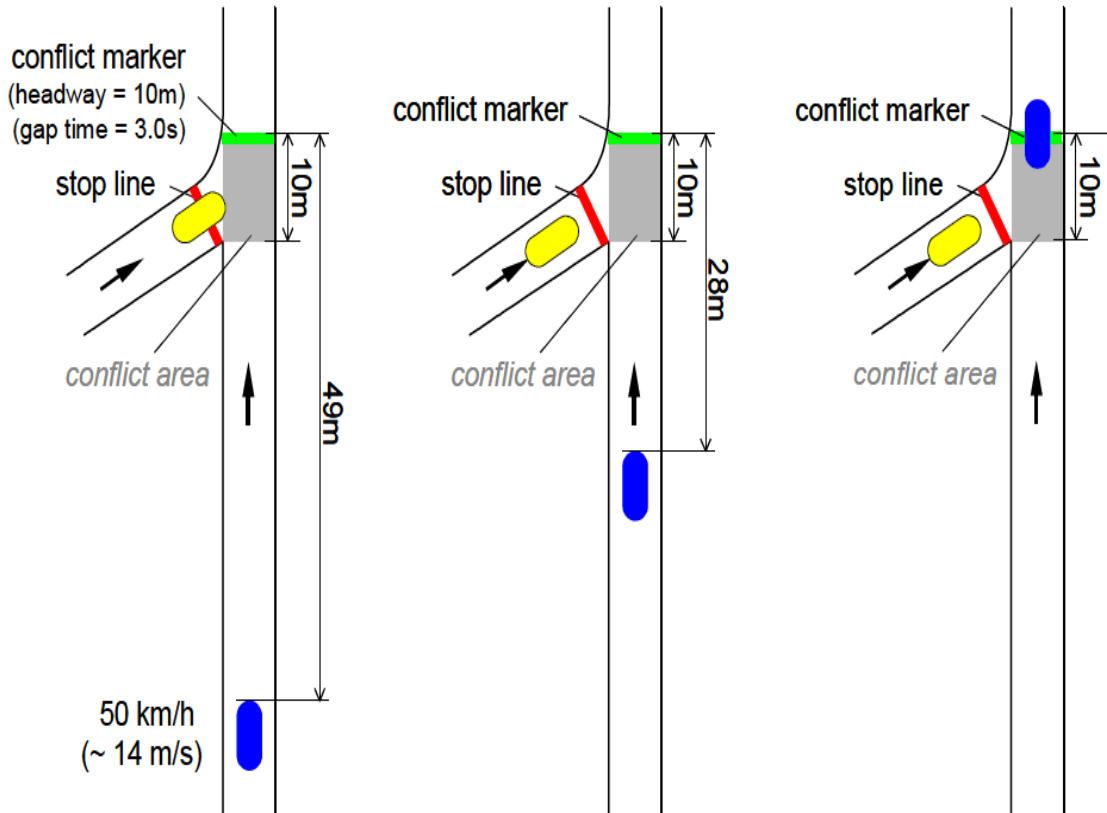
Ο χρήστης έχει τη δυνατότητα να καθορίσει μια μέση τιμή και την κατάλληλη κατανομή για τις τιμές της επιθυμητής ταχύτητας. Το Vissim προσφέρει στον χρήστη συγκεκριμένες τιμές για τα όρια ταχύτητας από προεπιλογή, αλλά δίνει και τη δυνατότητα στον χρήστη μέσω της επιλογής κατανομή της ταχύτητας (speed distribution) να καθορίσει ο ίδιος μια διαφορετική τιμή και κατανομή ταχυτήτων με την οποία επιθυμεί να κινούνται τα οχήματα στο δίκτυο.

Κανόνες προτεραιότητας

Οι κανόνες προτεραιότητας είναι ιδιαίτερα σημαντικοί στο Vissim και χρησιμοποιούνται κατά κύριο λόγο σε διασταυρώσεις οδών όπου δεν υπάρχει σύστημα σηματοδότησης. Οι κανόνες προτεραιότητας μπορούν να οριστούν στο Vissim με δύο τρόπους είτε με χρήση της επιλογής priority rules είτε με χρήση της επιλογής conflict areas.

Priority Rules (Κανόνες προτεραιότητας)

Ρυθμίζουν προτεραιότητα σε διασταυρωμένες κινήσεις χωρίς σηματοδότηση. Αποτελούνται από μια γραμμή Stop και ένα ή περισσότερα σημεία σύγκρουσης που σχετίζονται με το Stop. Ανάλογα με τις εκάστοτε συνθήκες στα σημεία σύγκρουσης, τα οχήματα που βρίσκονται στη γραμμή Stop επιτρέπεται ή όχι να περάσουν. Οι συνθήκες αυτές που πρέπει να ικανοποιηθούν αφορούν στο ελάχιστο κρίσιμο διάκενο και στην ελάχιστη απόσταση σύγκρουσης. Ο χρήστης μπορεί να επιλέξει αν θα χρησιμοποιήσει κάποιες από τις δύο μεμονωμένα ή και τις δύο σαν συνδυασμό το οποίο είναι και αυτό που προτείνεται. Για κίνηση ελεύθερης ροής στην κύρια οδό το ελάχιστο κρίσιμο διάκενο είναι ο σημαντικότερος παράγοντας. Για χαμηλές ταχύτητες ή καταστάσεις ουράς η ελάχιστη απόσταση σύγκρουσης επηρεάζει περισσότερο τη λειτουργία του κόμβου. (Galleli & Vaiano 2008 p6, PTV 2009 p 242-253, Trueblood & Dale 2003 p9).

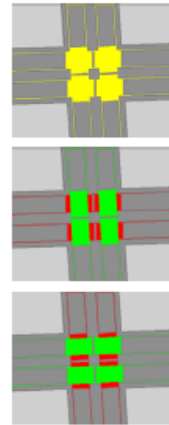
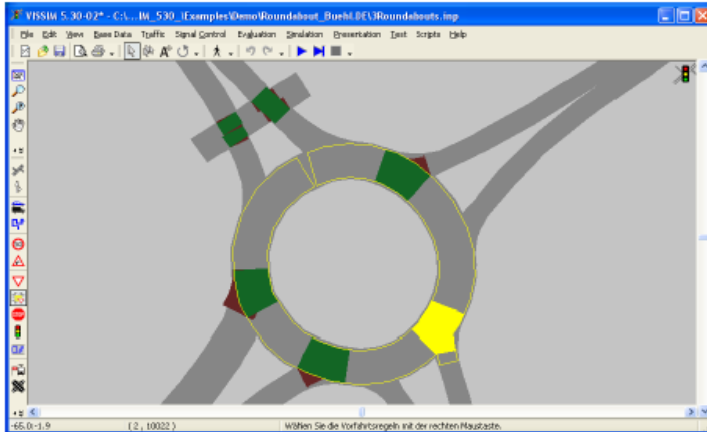


Σχήμα 3.1 : Κανόνες προτεραιότητας του Vissim- Πηγή: PTV 2011

Conflict Areas

Οι περιοχές εμπλοκής (conflict areas) είναι μια εναλλακτική επιλογή για το καθορισμό των κανόνων προτεραιότητας σε κόμβους και γενικότερα σε σημεία που ενώνονται δύο σύνδεσμοι. Η συγκεκριμένη θεώρηση αποτελεί νεώτερη προσθήκη στις δυνατότητες του προγράμματος, και είναι ευκολότερο να καθοριστούν σε σχέση με την έτερη επιλογή των priority rules ενώ επιτρέπουν και πιο αντιπροσωπευτική συμπεριφορά του οχήματος μέσα στο δίκτυο. Για κάθε περιοχή σύγκρουσης ο χρήστης μπορεί να καθορίσει ποιος από τους εμπλεκόμενους συνδέσμους είναι αυτός με την προτεραιότητα.

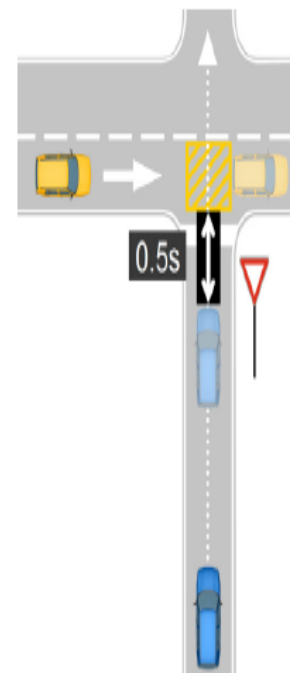
Η οδηγική συμπεριφορά των οχημάτων που προσεγγίζουν μία περιοχή εμπλοκής παρέχουν τη μέγιστη δυνατή ροή για τον δευτερεύων δρόμο χωρίς να επεμβαίνουν στην ροή των οχημάτων του κύριου δρόμου. Στην περίπτωση που έχουμε κατάσταση συμβολής τα οχήματα που προέρχονται από τον δευτερεύων δρόμο μπορούν να παρέμβουν στην ροή στον κύριο δρόμο. Ο βαθμός παρεμβολής εξαρτάται από τον παράγοντα απόστασης ασφαλείας ο οποίος ρυθμίζεται από τον χρήστη.



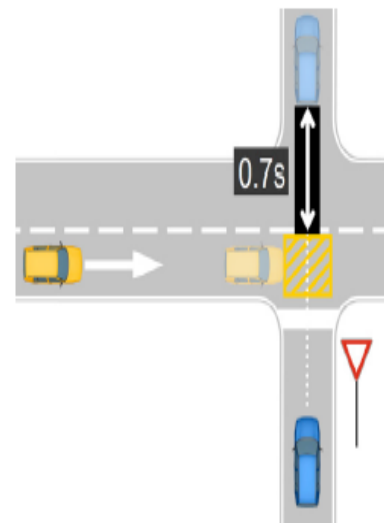
Σχήμα 3.2 : Conflict areas – Πηγή : PTV 2011

Οι περιοχές εμπλοκής στο Vissim έχουν τρία χαρακτηριστικά που σχετίζονται με την αποδοχή διάκενου: το εμπρός διάκενο (front gap), το πίσω διάκενο (rear gap) και ο παράγοντας απόστασης ασφαλείας (safety distance factor).

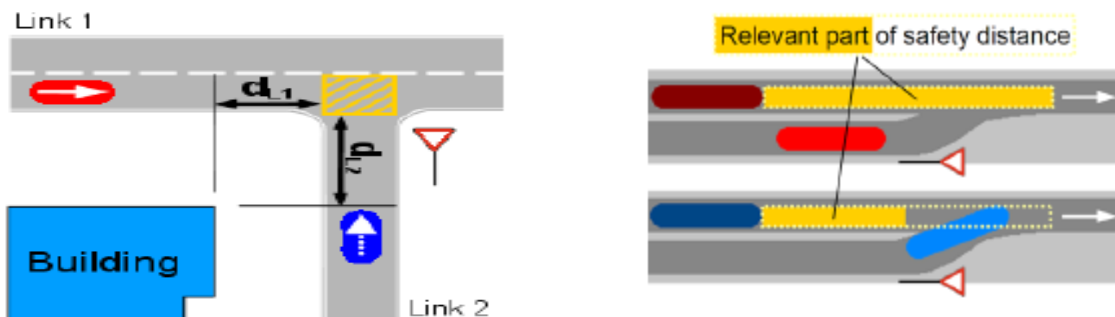
Το εμπρός διάκενο (front gap) είναι το ελάχιστο διάκενο σε δευτερόλεπτα μεταξύ του πίσω μέρους ενός οχήματος στον κύριο δρόμο και του εμπρός μέρους ενός οχήματος στον δευτερεύων δρόμο. Πρόκειται ουσιαστικά για το χρόνο που μεσολαβεί από τη στιγμή που το όχημα με προτεραιότητα φύγει από την περιοχή πρόσβασης μέχρι τη στιγμή που το όχημα στη δευτερεύουσα οδό εισέλθει στην περιοχή εμπλοκής. PTV 274



Το πίσω διάκενο (rear gap) είναι το ελάχιστο διάκενο σε δευτερόλεπτα μεταξύ του πίσω μέρους ενός οχήματος που μόλις διέσχισε τη δευτερεύουσα οδό και του μπροστά μέρους του επόμενου οχήματος που ακολουθεί στην κύρια οδό.



Δύο ακόμη παράγοντες που σχετίζονται με τις περιοχές σύγκρουσης είναι η ορατότητα (visibility) και ο παράγοντας απόστασης ασφαλείας (safety distance). Η ορατότητα είναι μέγιστη απόσταση από την οποία ένα όχημα που προσεγγίζει τη διασταύρωση μπορεί να αντιληφθεί ένα όχημα σε κάποιο άλλο σύνδεσμο. Ο παράγοντας απόστασης ασφαλείας χρησιμοποιείται σε περιπτώσεις συμβολής και πολλαπλασιάζεται με τη κανονική επιθυμητή απόσταση ασφαλείας στον πρωτεύοντα δρόμο, καθορίζοντας τον ελάχιστο διαχωρισμό που πρέπει να έχει ένα όχημα από τον δευτερεύον δρόμο τη στιγμή που διασχίζει την περιοχή σύγκρουσης.



Σχήμα 3.3 Ορατότητα και παράγοντας απόστασης ασφαλείας Vissim – Πηγή : PTV 2011

Προσομοίωση

Περίοδος (Period): Η χρονική περίοδος η οποία προσομοιώνεται. Στην περίοδο αυτή πρέπει να υπολογίζεται και η περίοδος προθέρμανσης αν χρησιμοποιηθεί.

Ανάλυση Προσομοίωσης (Simulation Resolution): Καθορίζει το πόσες φορές θα υπολογιστεί η θέση ενός οχήματος σε κάθε προσομοιωμένο δευτερόλεπτο. Παίρνει τιμές από 1 έως 10 όπου με τη τιμή 1 τα οχήματα κινούνται μία φορά κάθε δευτερόλεπτο ενώ με την τιμή 10 η θέση κάθε οχήματος υπολογίζεται 10 φορές σε κάθε δευτερόλεπτο προσομοίωσης.

Τυχαίος Αριθμός (Random Seed): η παράμετρος αυτή αναφέρεται στη γεννήτρια τυχαίων αριθμών του προγράμματος. Προσομοιώσεις με απaráλλαχτα χαρακτηριστικά και random seed δημιουργούν ολόιδια αποτελέσματα. Χρησιμοποιώντας διαφορετικό random seed αλλάζει το προφίλ της ροής των οχημάτων προκαλώντας και πιθανή αλλαγή στα αποτελέσματα. Με αυτό τον τρόπο μπορεί να προσομοιωθεί η στοχαστική μεταβολή των οχημάτων που εισέρχονται στο δίκτυο.

Το Vissim δίνει την δυνατότητα να γίνονται πολλαπλές προσομοιώσεις μεταβάλλοντας κάθε φορά το random seed διευκολύνοντας το χρήστη.

Ταχύτητα Προσομοίωσης (Simulation Speed): Ο αριθμός των δευτερόλεπτων προσομοίωσης μέσα σε ένα πραγματικό δευτερόλεπτο. Η επιλογή αυτή δεν επηρεάζει τα αποτελέσματα της προσομοίωσης.

Τέλος το Vissim δίνει τη δυνατότητα στο χρήστη μέσω της επιλογής multiple runs να πραγματοποιεί πολλαπλές προσομοιώσεις με διαφορετικό random seed χωρίς να απαιτείται να το αλλάζει κάθε φορά ο χρήστης. Αρκεί να καθορίσει το αρχικό random seed το μέγεθος της αύξησης του σε κάθε προσομοίωση και τον αριθμό των προσομοιώσεων που επιθυμεί.

Αξιολόγηση Οδικού Δικτύου:

Το Vissim προσφέρει μια πληθώρα εργαλείων αξιολόγησης, απαραίτητη προϋπόθεση όμως ώστε να εξαχθεί οποιοδήποτε αποτέλεσμα είναι να ορισθούν μέσα στο δίκτυο σημεία ή περιοχές στα οποία γίνονται οι αντίστοιχες μετρήσεις. Κάθε παράμετρος μετριέται μέσα σε αυτά τα σημεία ή περιοχές.

Ένας τρόπος συλλογής δεδομένων είναι μέσω των κόμβων (nodes). Χρησιμοποιούνται σε περιοχές κόμβων ώστε να μην απαιτείται να τοποθετούνται σημεία συλλογής δεδομένων ξεχωριστά για κάθε κίνηση. Όλα τα αποτελέσματα από αυτή την επιλογή παρουσιάζονται βάση κάθε διαδρομής που τα οχήματα ακολούθησαν. Τα αποτελέσματα που μπορούν να εξαχθούν είναι: το μέσο μήκος ουράς (average queue length), ο χρόνος καθυστέρησης (delay time), μέγιστο μήκος ουράς (max queue length), η καθυστέρηση σε στάση (stopped delay) και ο αριθμός στάσεων ανά όχημα (stops).

Ένας άλλος τρόπος συλλογής δεδομένων είναι τα σημεία συλλογής δεδομένων (data collection points). Σε αντίθεση με τα nodes που χρησιμοποιούνται για συλλογή στοιχείων από ολόκληρο τον κόμβο, τα σημεία συλλογής δεδομένων χρησιμοποιούνται σε συγκεκριμένα σημεία μέσα στο δίκτυο. Τα αποτελέσματα που μπορούν να εξαχθούν είναι: ο αριθμός των οχημάτων που πέρασαν από κάθε σημείο (vehicles), η μέση επιτάχυνση των οχημάτων (accelaration), η μέση ταχύτητα των οχημάτων (speed), ο χρόνος που τα οχήματα πέρασαν σε κατάσταση συμφόρησης (queue delay).

Ένα σημαντικό εργαλείο που διαθέτει το Vissim είναι το travel time sections το οποίο δίνει τη δυνατότητα να μετρηθεί ο χρόνος που κάνουν τα οχήματα να φτάσουν από ένα καθορισμένο σημείο σε ένα άλλο, ενώ μέσω αυτού μπορεί να μετρηθεί και η

καθυστέρηση μεταξύ αυτών των δύο σημείων. Αντίστοιχα με χρήση των μετρητών ουράς μπορεί να μετρηθεί το μήκος μια ουράς από τη θέση του μετρητή έως το τελευταίο όχημα που εισέρχεται στο δίκτυο. Το πρόγραμμα θεωρεί ότι ένα όχημα μπαίνει σε κατάσταση ουράς εάν η ταχύτητα του είναι κάτω από 5 χλμ/ώρα και έως ότου υπερβεί στη συνέχεια τα 10 χλμ/ώρα. Με τη χρήση των μετρητών ουράς μπορεί να προσδιοριστεί το μέσο μήκος ουράς ανάντι του μετρητή, το μέγιστο μήκος ουράς σε κάθε χρονική στιγμή κατά την προσομοίωση και ο αριθμός των στάσεων που το όχημα πραγματοποιεί στην κατάσταση ουράς.

Το Vissim δίνει τη δυνατότητα αξιολόγησης όλου του δικτύου συνολικά βάση διάφορων παραμέτρων που συλλέχθηκαν κατά τη διάρκεια της προσομοίωσης, λαμβάνοντας υπόψη τόσο τα οχήματα που είχαν εγκαταλείψει το δίκτυο στο τέλος της προσομοίωσης όσο και αυτά που παρέμειναν. Με το εργαλείο αυτό (network performance) μπορεί να προσδιοριστεί: ο συνολικός αριθμός των οχημάτων που έφυγαν από το δίκτυο, παρέμειναν σε αυτό ή δεν μπόρεσαν να μπουν ως το τέλος της προσομοίωσης, η μέση ταχύτητα των οχημάτων στο δίκτυο, ο αριθμός των στάσεων που έκαναν τα οχήματα στο δίκτυο, ο αριθμός των οχημάτων που δεν κατάφεραν να εισέλθουν στο δίκτυο έως το τέλος της προσομοίωσης, ο συνολικός χρόνος μετακίνησης όλων των οχημάτων. Η καθυστέρηση των οχημάτων που έφυγαν ή βρίσκονται ακόμα στο δίκτυο, η συνολική καθυστέρηση των οχημάτων σε στάση και η συνολική απόσταση που διένυσαν όλα τα οχήματα που βρίσκονται στο δίκτυο ή πέρασαν από αυτό.

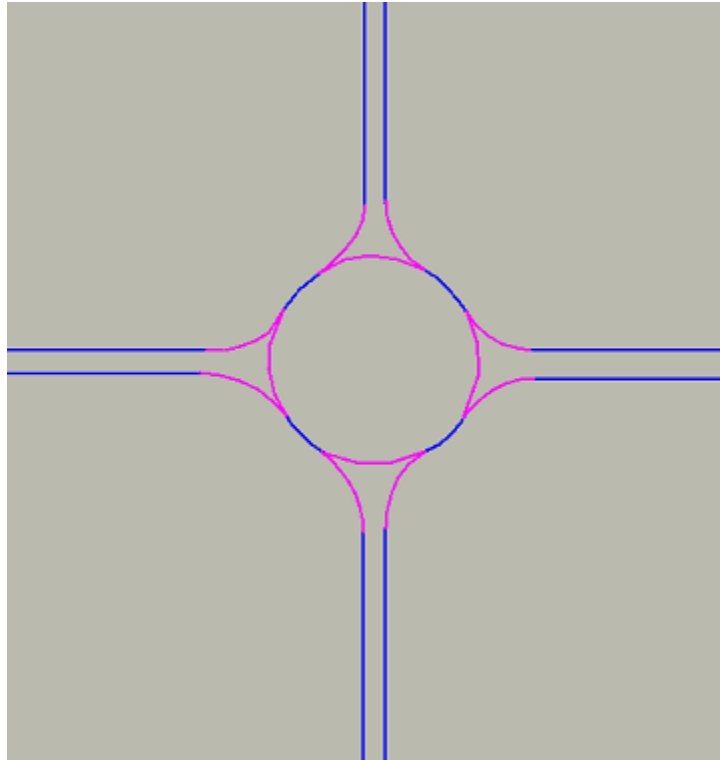
Τέλος το πρόγραμμα δίνει τη δυνατότητα στο χρήστη να καταγράφει όλα τα δεδομένα των προσομοιώσεων σε μία βάση δεδομένων και στο τέλος με τη χρήση του εργαλείου Analyzer Report το πρόγραμμα παρουσιάζει τα δεδομένα αυτά στο χρήστη τόσο για όλο το δίκτυο συνολικά όσο και για τα επιμέρους τμήματα του, ενώ δίνει και η στάθμη εξυπηρέτησης του κόμβου.

3.2 Σχεδιασμός κόμβων μελέτης

Η ανάλυση της κυκλοφοριακής ικανότητας πραγματοποιήθηκε σε ισόπεδους κόμβους με χρήση του λογισμικού προσομοίωσης Vissim και συγκεκριμένα την έκδοση 4.30. Προσομοιώθηκαν ισόπεδοι κόμβοι που λειτουργούν με προτεραιότητα (Two Way Stop Controlled intersections – TWSC) καθώς και ισόπεδοι κυκλικοί κόμβοι μίας λωρίδας ανά κατεύθυνση. Προκειμένου να υπάρχει σαφήνεια και ακρίβεια ως προς τα γεωμετρικά χαρακτηριστικά οι κόμβοι αρχικά σχεδιάστηκαν σε πρόγραμμα CAD και τα σχέδια αυτά στη συνέχεια χρησιμοποιήθηκαν ως υπόβαθρο στο Vissim, ώστε να σχεδιαστούν οι υπό μελέτη κόμβοι.

Κυκλικός κόμβος.

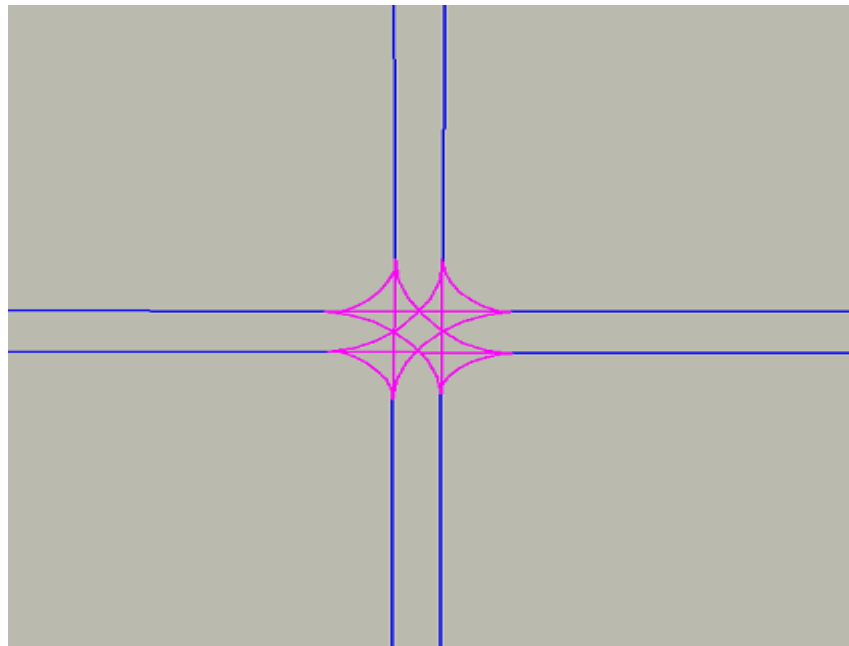
Δημιουργήθηκε ένας κυκλικός κόμβος μίας λωρίδας κυκλοφορίας ανά πρόσβαση. Το πλάτος λωρίδας των προσβάσεων του κόμβου είναι 3,5 μέτρα, το πλάτος λωρίδας του κυκλικού κόμβου είναι 6 μέτρα ενώ η διάμετρος του εγγεγραμμένου κύκλου ορίστηκε στα 41 μέτρα.



Σχήμα 3.4 : Ο κυκλικός κόμβος μελέτης

Ισόπεδος τετρασκελής κόμβος με έλεγχο προτεραιότητας

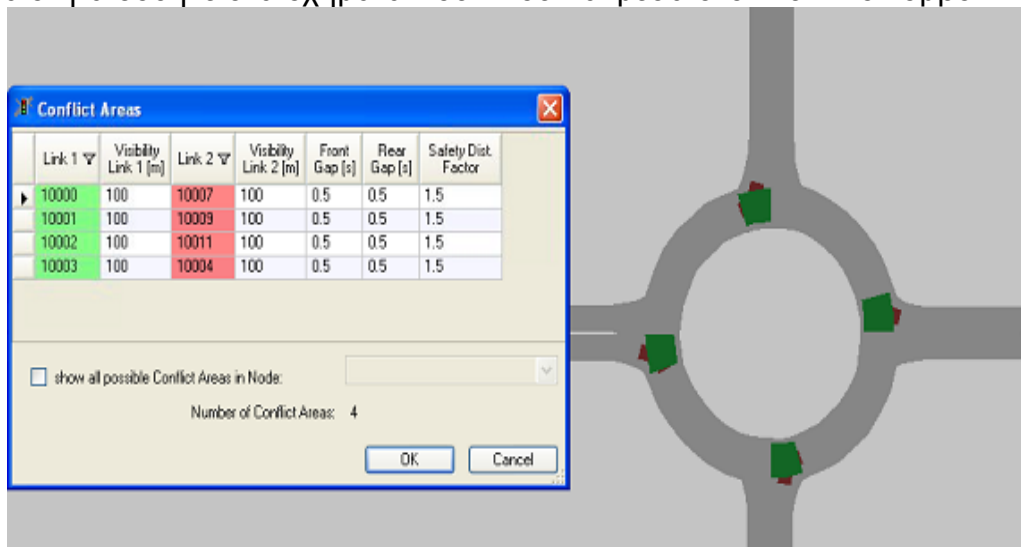
Αντίστοιχα με τον κυκλικό κόμβο δημιουργήθηκε ένας ισόπεδος τετρασκελής κόμβος προτεραιότητας (TWSC) μίας λωρίδας ανά κατεύθυνση. Το πλάτος λωρίδας ορίστηκε στα 3.5 μέτρα. Το μήκος των συνδέσμων και στους δύο τύπους ισόπεδων κόμβων είναι 1000 μέτρα προκειμένου να υπάρχει ομαλοποιημένη άφιξη της ροής των οχημάτων στον κόμβο, ενώ στην αρχή κάθε συνδέσμου ορίστηκαν σημεία επιθυμητής ταχύτητας (desired speed points) ώστε να ορίζεται το επιθυμητό όριο ταχύτητας των οχημάτων που κινούνται προς το εκάστοτε κόμβο.



Σχήμα 3.5 Ο ισόπεδος τετρασκελής κόμβος προτεραιότητας μελέτης

Ορισμός κανόνων προτεραιότητας.

Για τον ορισμό των κανόνων προτεραιότητας των κόμβων μελέτης χρησιμοποιήθηκε η επιλογή των conflict areas του Vissim η οποία είναι νεότερη προσθήκη στο πρόγραμμα και θεωρείται ότι προσομοιώνει με πιο αντιπροσωπευτικό τρόπο τη συμπεριφορά του οδηγού (PTV, 2007). Στους κυκλικούς κόμβους υπάρχουν τέσσερα σημεία εμπλοκής που ορίζονται conflict areas, στα σημεία που τα οχήματα των προσβάσεων προσπαθούν να εισέλθουν στην κυκλοφορία του κυκλικού κόμβου. Προτεραιότητα δόθηκε στα οχήματα που κινούνται μέσα στον κυκλικό κόμβο.



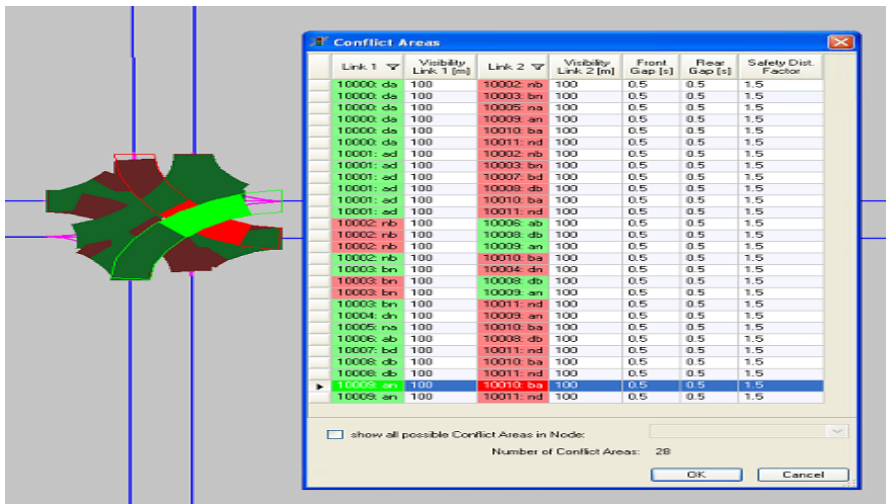
Σχήμα 3.6 Οι κανόνες προτεραιότητας στον κυκλικό κόμβο

Στον ισόπεδο κόμβο με προτεραιότητα θεωρήθηκε ότι έχει η κίνηση Ανατολή-Δύση και αντίστροφα και ορίστηκαν 28 σημεία εμπλοκής, ενώ στις περιπτώσεις εμπλοκής κινήσεων ίδιου επιπέδου προτεραιότητας ισχύει η από δεξιά προτεραιότητα. Τα

επίπεδα προτεραιότητας στον ισόπεδο κόμβο προτεραιότητας διαμορφώθηκαν ως εξής:

Πίνακας 3.1 Επίπεδα προτεραιότητας

1ο επίπεδο	Δ-A, Δ-N, A-Δ, A-B
2ο επίπεδο	Δ-B, A-N
3ο επίπεδο	B -N, B-Δ, N-B, N-A
4ο επίπεδο	B-A, N-Δ



Σχήμα 3.7 Οι κανόνες προτεραιότητας στον ισόπεδο κόμβο (TWSC)

Καθορισμός περιοχών και σημείων συλλογής δεδομένων

Για την συλλογή δεδομένων που αφορούν στη λειτουργία του κόμβου από τις προσομοιώσεις χρησιμοποιήθηκαν πέντε τρόποι- επιλογές που δίνει το Vissim:

α) συλλογή δεδομένων από κόμβο (nodes evaluation). Δημιουργήθηκε ένα πολύγωνο το οποίο ορίζει την περιοχή του κόμβου (node). Με την επιλογή αυτή μετρήθηκε ο αριθμός των οχημάτων τα οποία πέρασαν από κάθε σύνδεσμο προς κάθε άλλο σύνδεσμο κατά την διάρκεια της προσομοίωσης

β) συλλογή δεδομένων από travel time sections. Δημιουργήθηκαν travel time sections για κάθε ξεχωριστή κίνηση, δηλαδή 12 για κάθε κόμβο. Η αρχή μέτρησης ορίστηκε στα 1000μέτρα πριν τη διασταύρωση, δηλαδή στην αρχή κάθε συνδέσμου πρόσβασης, ενώ το τέλος στην αρχή κάθε συνδέσμου αμέσως αφού το κάθε όχημα διασχίσει τη διασταύρωση. Τα travel time sections στην συνέχεια έγιναν ομάδες των τριών ώστε να δίνουν σαν αποτέλεσμα την μέση καθυστέρηση ανά πρόσβαση ως συνδυασμό των καθυστερήσεων κάθε μίας από τις τρεις κινήσεις κάθε πρόσβασης.

χρήση μετρητών ουράς.

γ) χρήση του εργαλείου network performance. Με το εργαλείο αυτό μετρήθηκε η συνολική μέση καθυστέρηση ολόκληρου του δικτύου.

Τέλος τα δεδομένα των παραπάνω εργαλείων συλλογής επιλέχθηκε να αποθηκεύονται σε μια βάση δεδομένων Ms Access και στη συνέχεια μέσω του Analyzer Report δημιουργήθηκαν αναφορές σε μορφή αρχείων .xls για την συνολική λειτουργία του δικτύου.

3.3 Καθορισμός μεταβλητών και σεναρίων μελέτης

3.3.1 Επιλογή ταχύτητας μελέτης.

Προκειμένου τα αποτελέσματα να ανταποκρίνονται σε αυτά ενός αστικού κόμβου επιλέχθηκε οι αντίστοιχες ταχύτητες μελέτης να είναι αυτές που έχει η πλειοψηφία των οδηγών που κινείται στο αστικό δίκτυο. Σε αντίστοιχες εργασίες, οι ταχύτητες μελέτης που χρησιμοποιήθηκαν ήταν 30-40 χλμ/ώρα, 40-50 χλμ/ώρα, 56-60 χλμ/ώρα (Galleli, Vaiana, 2008). Στο πλαίσιο της παρούσας εργασίας δημιουργήθηκαν δύο σενάρια, στο πρώτο εκ των οποίων η ταχύτητα με την οποία τα οχήματα κινούνται προς τον κόμβο είναι 30 χλμ/ώρα ενώ στο δεύτερο η ταχύτητα των οχημάτων που κινούνται προς τον κόμβο είναι 50 χλμ/ώρα. Οι τιμές της ταχύτητας αυτές ανταποκρίνονται στην ταχύτητα με την οποία κινούνται οι οδηγοί στο αστικό δίκτυο τόσο σε επίπεδο τοπικών οδών (30 χλμ/ώρα) όσο και στο επίπεδο συλλεκτήριων ή μεγαλύτερων οδών (50 χλμ/ώρα). Για τον καθορισμό της επιθυμητής ταχύτητας ορίστηκαν τέσσερα σημεία επιθυμητής ταχύτητας (desired speed decision) τα οποία τοποθετήθηκαν στην αρχή κάθε συνδέσμου για κάθε κατηγορία οχημάτων που κινείται στον κόμβο.

3.3.2 Επιλογή εύρους τιμών διακένων

Για τον καθορισμό της προτεραιότητας των εμπλεκόμενων κινήσεων στον κόμβο χρησιμοποιήθηκε η επιλογή των conflict areas. Η μέθοδος αυτή καθορισμού της προτεραιότητας έχει τρεις παραμέτρους που σχετίζονται με την αποδοχή του διάκενου. Το front gap το rear gap και το safety distance factor. Οι τιμές αυτών των παραγόντων που δίνει το Vissim ως προεπιλογή είναι front gap: 0,5 δλ, rear gap: 0,5 δλ, safety distance factor: 1,5 δλ. Επειδή οι παράγοντες που επηρεάζουν την αποδοχή του διάκενου είναι μία από τις μεταβλητές των προσομοιώσεων, ελέγχθηκε το πως οι διάφορες τιμές αυτών των μεταβλητών και ο συνδυασμός αυτών επηρεάζουν την κυκλοφοριακή ικανότητα των κόμβων. Ο έλεγχος πραγματοποιήθηκε και στους δύο τύπους κόμβων μίας λωρίδας ανά πρόσβαση. Ο φόρτος ορίστηκε στα 600 οχήματα ανά πρόσβαση ενώ η ταχύτητα με την οποία τα οχήματα προσεγγίζουν τον κόμβο ορίστηκε στα 50 χλμ/ώρα. Οι τιμές που ελέγχθηκαν είναι για το front gap: 0,1- 0,3- 0,7- 1, για το rear gap: 0,1- 0,3- 0,7- 1 και για το safety distance factor: 0,1- 0,5- 1- 1,5.

Λόγω του ότι η επιλογή του conflict areas είναι νεώτερη προσθήκη στις δυνατότητες του προγράμματος δεν έχει χρησιμοποιηθεί εκτενώς και στο ίδιο βαθμό με την έτερη επιλογή καθορισμού της προτεραιότητας που είναι το priority rules. Στον ακόλουθο πίνακα φαίνονται ενδεικτικές τιμές που έχουν χρησιμοποιηθεί σε μελέτες που έγιναν με χρήση της λειτουργίας conflict areas.

Πίνακας 3.1 Τιμές διακένων

Πηγή	Fron gap	Rear gap	Safety distance factor
Peach M.	0,5	2,15	-
Οι Erik Eidmar Johan Hultman (2014)	0,5	0,7	0,5
Kang N, Nakamura H, Chen P, Asano M (2013)	1	2,5	1
Schroeder B. (2012)	-	0,1-0,9	-

Βάση των αποτελεσμάτων αλλά και της υπάρχουσας βιβλιογραφίας επιλέχθηκαν οι ακόλουθες τιμές για τις μεταβλητές αυτές, που χρησιμοποιήθηκαν στα σενάρια μελέτης:

front gap (δλ): 0,1-0,5-1

rear gap (δλ): 0,1-0,5-1

safety distance factor: 0,1-0,7-1,5

Δημιουργήθηκαν συνολικά 27 πιθανοί συνδυασμοί για τις διάφορες τιμές των παραμέτρων του conflict areas οι οποίοι φαίνονται στον ακόλουθο πίνακα.

Πίνακας 3.2 Συνδυασμοί διακένων μελέτης

Front gap (δλ)	Rear gap (δλ)	Safety distance factor
0,1	0,1	0,1
0,1	0,1	0,7
0,1	0,1	1,5
0,1	0,5	0,1
0,1	0,5	0,7
0,1	0,5	1,5
0,1	0,5	0,1
0,1	1	0,7
0,1	1	1,5
0,1	1	0,1
0,5	0,1	0,7
0,5	0,1	1,5
0,5	0,1	0,1
0,5	0,5	0,7
0,5	0,5	1,5

0,5	0,5	0,1
0,5	0,5	0,7
0,5	1	1,5
0,5	1	0,1
0,5	1	0,7
1	0,1	1,5
1	0,1	0,1
1	0,1	0,7
1	0,5	1,5
1	0,5	0,1
1	0,5	0,7
1	0,5	1,5
1	1	0,1
1	1	0,7
1	1	1,5

3.3.3Επιλογή φόρτων μελέτης

Προκειμένου να επιλεχθούν οι κατάλληλοι φόρτοι για τις προσομοιώσεις ελέγχθηκαν πως με σταθερές τιμές των διακένων και της ταχύτητας επηρεάζεται η λειτουργία του κόμβου για διαφορετικές τιμές των φόρτων εισόδου. Ως ταχύτητα προσέγγισης των οχημάτων στον κόμβο ορίστηκε τα 50 χλμ/ώρα, ενώ οι δοκιμές έγιναν με τρία διαφορετικά σενάρια τιμών των μεταβλητών του conflict areas που σχετίζονται με την επιλογή διάκενου. Ως φόρτοι δοκιμών ορίστηκαν τα 300, 400, 450, 500, 600, 700 οχήματα ανά ώρα πρόσβαση ενώ εξετάστηκε και ένα σενάριο όπου στις προσβάσεις Ανατολή-Δύση φτάνουν 960 οχήματα ενώ στις προσβάσεις Βορράς- Νότος φτάνουν 240 οχήματα. Στους ακόλουθους πίνακες φαίνεται η μέση καθυστέρηση του κόμβου και η μέση καθυστέρηση της κάθε πρόσβασης, για τους δύο τύπους κόμβου και για τις τρεις διαφορετικές τιμές των διακένων.

Πίνακας 3.3 Κυκλικός κόμβος front gap:0,1 rear gap 0,1 safety distance factor:0,1

Φόρτος	300	400	450	500	600	700	960/240
							0
Μέση Καθυστέρηση (δλ)	3,2	4,9	5,8	7,5	15	67,8	14,1
B	2,9	4,4	5,6	7,1	11,3	36,7	6,5
A	3,8	5,5	6	8,6	16,1	85	18,3
N	3,3	5,1	6,5	7,1	17,3	74,5	7,1
Δ	2,8	4,4	5,1	7,1	15,2	73,1	13,4

Πίνακας 3.4 Κυκλικός κόμβος front gap:0,5 rear gap 0,5 safety distance factor:0,7

Φόρτος	300	400	450	500	600	700	960/240
Μέση Καθυστέρηση (δλ)	3,9	6,9	9,3	14,4	47,7	232,4	118,3
B	3,8	7,6	10,3	12,7	40,9	197	15,3
A	4,1	6,7	9,6	17,2	43,3	255	109,5
N	4	6,9	9,1	14,3	55	273	19,8
Δ	3,9	6,5	8,2	13,3	51,5	207	184,3

Πίνακας 3.5 Κυκλικός κόμβος front gap:1 rear gap 1 safety distance factor:1,5

Φόρτος	300	400	450	500	600	700	960/240
Μέση Καθυστέρηση (δλ)	7,4	24,3	75,1	158,1	419,6	522,1	272,9
B	7	15,9	57,5	83	464,2	556	48,3
A	8	23,5	135,8	279,9	450,3	448	278,1
N	8,4	33,9	81,4	131,9	305,8	517	26,1
Δ	6,2	24	30,31	151,3	464,5	522	442,3

Πίνακας 3.6 Ισόπεδος τετρασκελής κόμβος προτεραιότητας front gap:0,1 rear gap 0,1 safety distance factor:0,1

Φόρτος	300	400	450	500	600	700	960/240
Μέση Καθυστέρηση (δλ)	1,1	1,8	2,8	5,5	65,4	327,2	50
B	1,6	2,7	4,8	11,2	144,9	600,9	185,2
A	0,6	0,9	1	1,2	1,7	2,2	11,5
N	1,6	2,8	4,3	8,4	134,8	396,5	267,61
Δ	0,5	0,8	1	1,2	1,7	2,6	12

Πίνακας 3.7 Ισόπεδος τετρασκελής κόμβος προτεραιότητας front gap:0,5 rear gap 0,5 safety distance factor:0,7

Φόρτος	300	400	450	500	600	700	960/240
Μέση Καθυστέρηση (δλ)	1,2	4,7	11,9	34	242	266,3	126,5
B	2,2	9,7	25,8	70,3	311	845	1445
A	0,3	1,1	1,5	1,5	2,7	3,3	30,2
N	0,1	6,6	18,6	62,5	590	846	1228
Δ	1,2	1,1	1,6	1,4	2,2	3,1	26

Πίνακας 3.8 Ισόπεδος τετρασκελής κόμβος προτεραιότητας front gap:1 rear gap 1 safety distance factor:1,5

Φόρτος	300	400	450	500	600	700	960/240
Μέση Καθυστέρηση (δλ)	3,8	21,8	84,3	142,4	259,8	232,9	99,2
B	6,8	32,3	136,2	78	697	1180,4	581,2
A	0,8	1,4	1,4	1,8	2,9	4,6	63
N	6,6	517	223,1	692	1055	1021	982
Δ	0,7	1,4	1,4	1,6	2,5	4,2	93

Βάση των αποτελεσμάτων αυτών και της υπάρχουσας βιβλιογραφίας επιλέχθηκαν οι κατάλληλοι φόρτοι για τα σενάρια της μελέτης. Επιλέχθηκαν έξι σενάρια φόρτων εκ των οποίων τα 3 έχουν τον ίδιο φόρτο ανά πρόσβαση ενώ στα υπόλοιπα 3 το 80% του συνολικού φόρτου μοιράζεται εξ ημισείας στις προσβάσεις Ανατολή-Δύση και το υπόλοιπο 20% εξ ημισείας στις προσβάσεις Βορράς-Νότος. Οι φόρτοι που επιλέχθηκαν είναι: 300 οχ/ώρα ανά πρόσβαση, 450 οχ/ώρα ανά πρόσβαση, 600 οχ/ώρα ανά πρόσβαση, δ) 480 οχ/ώρα Ανατολή και Δύση – 120 οχ/ώρα Βορρά και Νότο, ε) 720 οχ/ώρα Ανατολή και Δύση – 180 οχ/ώρα Βορρά και Νότο, στ) 940 οχ/ώρα Ανατολή και Δύση – 260 οχ/ώρα Βορρά και Νότο.

Στη συνέχεια σε όλο τους κόμβους ορίστηκαν οι επιθυμητές διαδρομές των οχημάτων από κάθε πρόσβαση. Καθορίστηκε από το σύνολο των οχημάτων που φτάσουν σε κάθε πρόσβαση του κόμβου το 60% να επιλέγει να κινηθεί ευθεία, το 20% να στρίψει δεξιά και το 20% να στρίψει αριστερά. Η σύνθεση της κυκλοφορίας είναι 99,9% επιβατηγά οχήματα και 0,1% βαρέα οχήματα και είναι αυτή η οποία ορίζεται ως προεπιλογή από τον κατασκευαστή του προγράμματος (PTV 2007).

3.3.4 Τελική διαμόρφωση σεναρίων μελέτης

Δημιουργήθηκαν συνολικά 324 σενάρια για τον κυκλικό κόμβο και 324 σενάρια για τον ισόπεδο κόμβο προτεραιότητας τα οποία καλύπτουν όλους τους πιθανούς συνδυασμούς των υπό εξέταση μεταβλητών οι οποίες είναι:

- οι 3 παράγοντες που σχετίζονται με την αποδοχή διάκενου front gap, rear gap και safety distance factor.
- φόρτοι εισόδου στον κόμβο
- η ταχύτητα με τη οποία κινούνται τα οχήματα προς τον κόμβο

Πίνακας 3.10 Παράμετροι σεναρίων μελέτης

Μεταβλητές	Τιμές Μεταβλητής
φόρτος εισόδου (οχ/ώρα)	300 , 450, 600, 480-120 , 720-180 , 960-240
ταχύτητα εισόδου (χλμ/ώρα)	30 χλμ/ώρα , 50 χλμ/ώρα
front gap (δλ)	0,1 0,5 1
rear gap (δλ)	0,1 0,5 1
safety distance factor	0,1 0,7 1,5

Τέλος το κάθε σενάριο προσομοιώθηκε με 10 random seed ξεκινώντας με αρχική τιμή 8 και αυξάνοντας κάθε φορά κατά 8 ώστε τα αποτελέσματα για κάθε σενάριο να είναι στατιστικά ορθότερα. Τα στοιχεία που μετρήθηκαν από τις προσομοιώσεις αυτές είναι η μέση καθυστέρηση του κόμβου, μέση καθυστέρηση κάθε πρόσβασης, ο συνολικός φόρτος οχημάτων που διέσχισαν τον κόμβο και η μέση ταχύτητα με τα οποία τα οχήματα κινούνταν στον κόμβο.

Κεφάλαιο 4: Επεξεργασία και Ανάλυση Αποτελεσμάτων

4.1 Γενικά στοιχεία

Στο κεφάλαιο αυτό γίνεται επεξεργασία και ανάλυση των αποτελεσμάτων που προέκυψαν από τις προσομοιώσεις που πραγματοποιήθηκαν με το λογισμικό Vissim. Τα αποτελέσματα ομαδοποιήθηκαν σε 24 πίνακες, όπου κάθε πίνακας αναφέρεται σε συγκεκριμένο τύπο κόμβου, για συγκεκριμένη ταχύτητα προσέγγισης και με συγκεκριμένο φόρτο εισόδου, για παράδειγμα: κυκλικός κόμβος, ταχύτητα προσέγγισης 30 χλμ/ώρα και φόρτος 300 οχ/ώρα ανά πρόσβαση. Οι πίνακες είναι διαστάσεων 27 επί 7 και περιέχουν για κάθε συνδυασμό των τριών παραμέτρων των περιοχών εμπλοκής (conflict areas) του Vissim (front gap, rear gap, safety distance factor) την μέση καθυστέρηση του κόμβου, τη μέση καθυστέρηση κάθε πρόσβασης, τον συνολικό φόρτο που διήλθε του κόμβου κατά τη διάρκεια της προσομοίωσης, και τη μέση ταχύτητα με την οποία κινούνταν τα οχήματα. Το σύνολο των πινάκων εμφανίζεται στο Παράρτημα.

4.2 Επιρροή επιλογής διάκενου στη λειτουργία των κόμβων

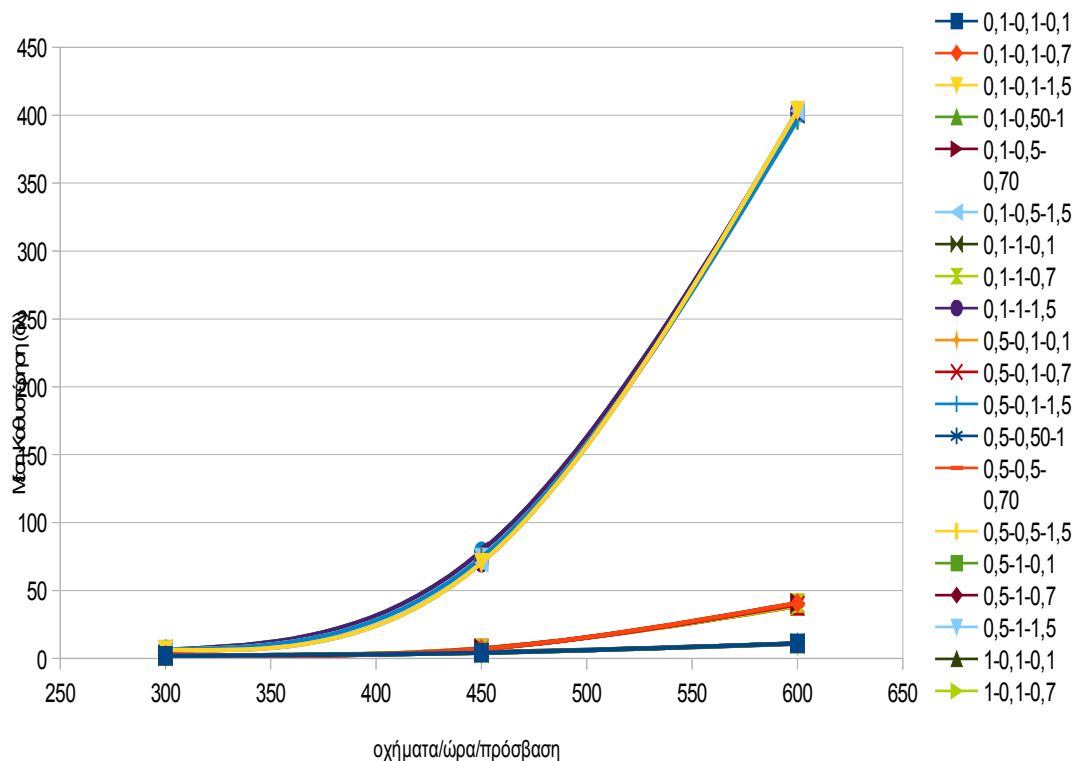
Στο υποκεφάλαιο αυτό γίνεται ανάλυση μέσα από διαγράμματα της επιρροής που έχουν οι τρεις παράμετροι του conflict areas στη λειτουργία του κυκλικού κόμβου και του ισόπεδου τετρασκελούς κόμβου προτεραιότητας.

4.2.1 Επιρροή rear gap στον κυκλικό κόμβο

Από τα εξαγόμενα από τις προσομοιώσεις αποτελέσματα, όπως αποτυπώνονται και στο παραπάνω διάγραμμα παρατηρούμε ότι η μεταβολή του rear gap δεν επιδρά στην μέση καθυστέρηση του κυκλικού κόμβου. Εξ ορισμού το rear gap αναφέρεται σε διασταυρούμενες κινήσεις (crossing) και ορίζεται ως το ελάχιστο διάκενο σε δευτερόλεπτα μεταξύ του πίσω μέρους ενός οχήματος που μόλις διέσχισε τη δευτερεύουσα οδό και του μπροστά μέρους του επόμενου οχήματος που ακολουθεί στην κύρια οδό, ενώ ο κατασκευαστής αναφέρει ότι επηρεάζει μόνο τις διασταυρούμενες κινήσεις (PTV 2007). Στον κυκλικό κόμβο μιας λωρίδας κυκλοφορίας οι κινήσεις που πραγματοποιούνται είναι μόνο κινήσεις συμβολής και μερισμού δικαιολογώντας την έλλειψη επιρροής του rear gap στους κυκλικούς κόμβους μιας λωρίδας κυκλοφορίας.

4.2.2 Επίδραση safety distance factor στη λειτουργία των κυκλικών κόμβων.

Επίδραση του safety distance factor



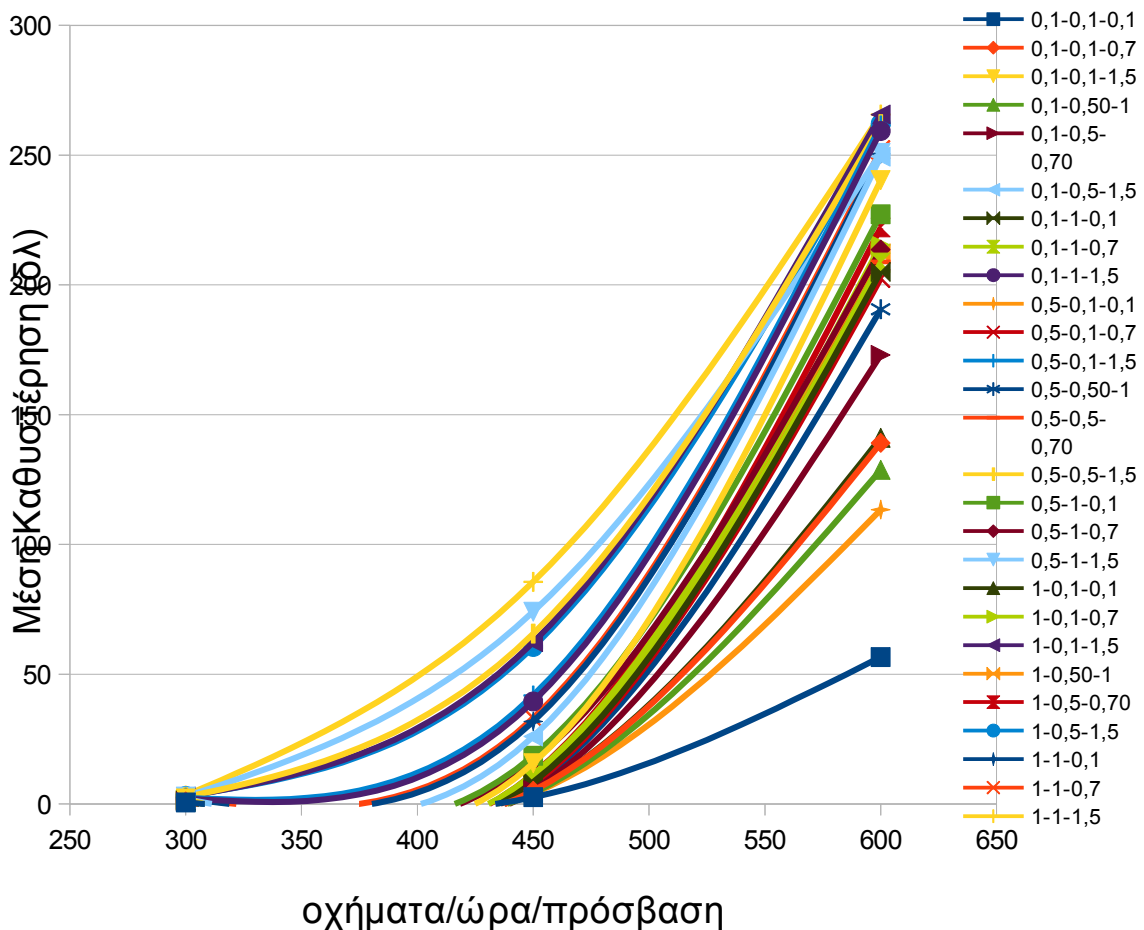
Σχήμα 4.1 Επίδραση safety distance factor στη λειτουργία των κυκλικών κόμβων.

Στο παραπάνω διάγραμμα παρουσιάζονται οι τιμές της μέσης καθυστέρησης που λαμβάνει ο κάθε συνδυασμός των παραμέτρων του conflict areas για τους φόρτους 300οχ/ώρα ανά πρόσβαση, 450οχ/ώρα ανά πρόσβαση, 600οχ/ώρα ανά πρόσβαση. Ερμηνεύοντας το διάγραμμα φαίνεται ότι οι τριάδες των συνδυασμών έχουν ομαδοποιηθεί διακριτά σε τρεις ομάδες. Στην πρώτη ομάδα βρίσκονται οι τριάδες με safety distance factor:0,1, στην δεύτερη ομάδα βρίσκονται οι τριάδες με safety distance factor:0,7 και στην τρίτη ομάδα οι τριάδες με safety distance factor:1,4. Παρατηρούμε ότι στους μικρούς φόρτους οι τρεις ομάδες βρίσκονται κοντά μεταξύ τους και αντιστοιχούν σε χαμηλά επίπεδα μέσης καθυστέρησης ενώ όσο ο φόρτος αυξάνεται οι τρεις ομάδες γίνονται πιο διακριτές. Όσο μεγαλώνουν οι φόρτοι οι ομάδες με safety distance factor 0,1 και 0,7 βρίσκονται κοντά μεταξύ τους, με την ομάδα για s.d.f:0,7 να έχει ελαφρώς μεγαλύτερη κλίση και να δίνει αρκετά μεγαλύτερη μέση καθυστέρηση. Η ομάδα με s.d.f:1,5 αντίθετα έχει έντονα ανοδική κλίση όσο μεγαλώνουν οι φόρτοι και δίνει πολύ μεγαλύτερες καθυστερήσεις επηρεάζοντας πολύ πιο έντονα τη λειτουργία του κυκλικού κόμβου από τους άλλους δύο παράγοντες του conflict areas η επιρροή των οποίων φαίνεται από το πόσο τείνουν οι γραμμές κάθε ομάδας να απομακρύνονται μεταξύ τους. Με φόρτο 600οχ/ώρα ανά πρόσβαση οι τιμές της μέσης καθυστέρησης για s.d.f 0,1 και 0,7 βρίσκονται κάτω από τα 50 δλ ενώ αντίστοιχα για s.d.f: 1,5 οι τιμές της καθυστέρησης είναι μεταξύ 350- 400 δλ., κάτι που αντιστοιχεί σε αύξηση 215% περίπου από το φόρτο 450 σε 600.Συμπερασματικά

μπορούμε να τονίσουμε την μεγάλη επιρροή του safety distance factor στον κυκλικό κόμβο που γίνεται ακόμα πιο έντονη όσο αυξάνει ο φόρτος.

4.2.3 επιρροή διακένων στον ισόπεδο τετρασκελή κόμβο προτεραιότητας

Ισόπεδος τετρασκελής κόμβος προτεραιότητας



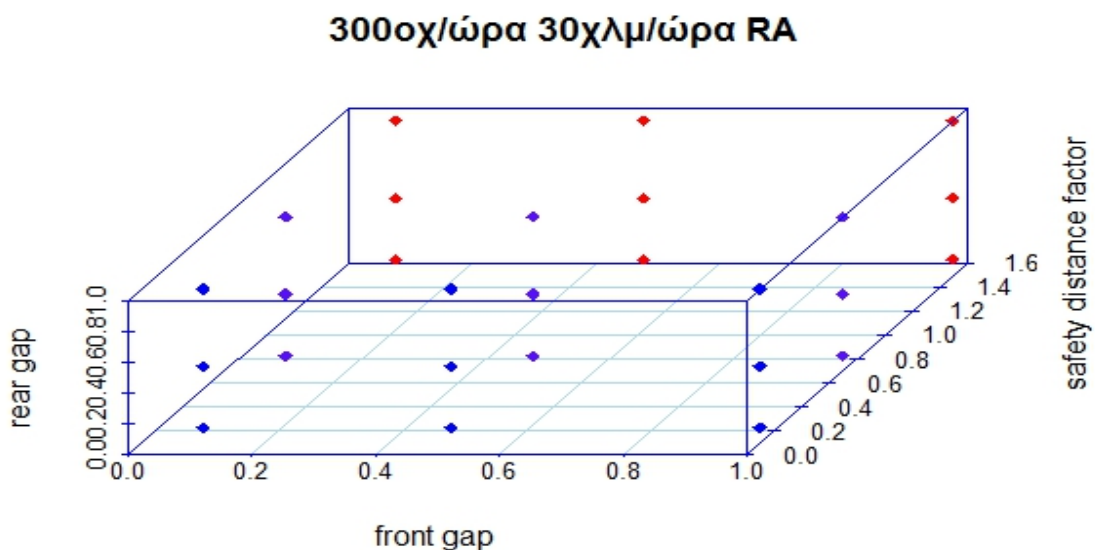
Σχήμα 4.2 επιρροή διακένων στον ισόπεδο τετρασκελή κόμβο προτεραιότητας

Αντίστοιχα με τον κυκλικό κόμβο και για το ισόπεδο τετρασκελή κόμβο προτεραιότητας παρουσιάζονται οι τιμές της μέσης καθυστέρησης που λαμβάνει ο κάθε συνδυασμός των παραμέτρων του conflict areas για τους φόρτους 300οχ/ώρα ανά πρόσβαση, 450οχ/ώρα ανά πρόσβαση, 600οχ/ώρα ανά πρόσβαση. Στον ισόπεδο τετρασκελή κόμβο παρατηρούμε ότι οι γραμμές που αντιστοιχούν σε υψηλές τιμές το safety distance factor και rear gap αποκτούν διακριτά μεγάλες κλίσεις από τους μικρούς φόρτους και ξεχωρίζουν από τις υπόλοιπες τιμές του διαγράμματος. Άλλη μια διακριτή ομάδα είναι αυτή με υψηλές τιμές του safety distance factor αλλά μικρές τιμές των υπόλοιπων διακένων που αποκτά έντονη ανοδική κλίση στους μεσαίους φόρτους. Η τρίτη ομάδα που είναι και η μεγαλύτερη περιλαμβάνει τις γραμμές που αντιπροσωπεύουν μεσαίες τιμές του safety distance factor, και αυτές

που αντιπροσωπεύουν χαμηλές τιμές του safety distance factor και υψηλές τιμές των άλλων δύο διακένων και παρουσιάζουν έντονα ανοδική κλίση και καθυστέρηση στους μεσαίους προς υψηλούς φόρτους. Τέλος υπάρχουν και οι γραμμές με μικρές κλίσεις κοντά στους υψηλούς φόρτους (2400οχ/ώρα) που αντιπροσωπεύουν χαμηλές τιμές όλων των διακένων. Είναι σαφές πως στον ισόπεδο τετρασκελή κόμβο προτεραιότητας είναι πιο σφαιρική η επιρροή των διακένων καθώς πέρα του safety distance factor τόσο το front gap όσο και κυρίως το rear gap επηρεάζουν σημαντικά τη λειτουργία του κόμβου ιδίως στους μεσαίους και μεγάλους φόρτους.

4.2.4 Συνολική ανάλυση επιρροή των παραμέτρων του conflict areas

Οι επιδράσεις των παραμέτρων του conflict areas σε κάθε φόρτο ξεχωριστά φαίνονται καλύτερα στα ακόλουθα τετρασδιάστατα (4D) διαγράμματα όπου οι τρεις άξονες αντιπροσωπεύουν το front gap, το rear gap και το safety distance factor, ενώ ως τέταρτη διάσταση η μέση καθυστέρηση του κόμβου δίνεται ποιοτικά βάση χρώματος, με τις μικρότερες καθυστερήσεις να είναι με μπλε χρώμα και οι μεγαλύτερες με κόκκινο με τις ενδιάμεσες τιμές να λαμβάνουν ενδιάμεσα χρώματα μοβ, πράσινο, κίτρινο, πορτοκαλί, στα πλαίσια του προτύπου RGB (red- green- blue). Σε κάθε κόμβο συνεπώς βάση της ελάχιστης (μπλε χρώμα) και μέγιστης (κόκκινο χρώμα) τιμής της καθυστέρησης όλες οι ενδιάμεσες τιμές εκφράζονται βάση έξι συνόλων κάθε ένα από τα οποία αντιστοιχεί σε ένα χρώμα και στις αποχρώσεις του.

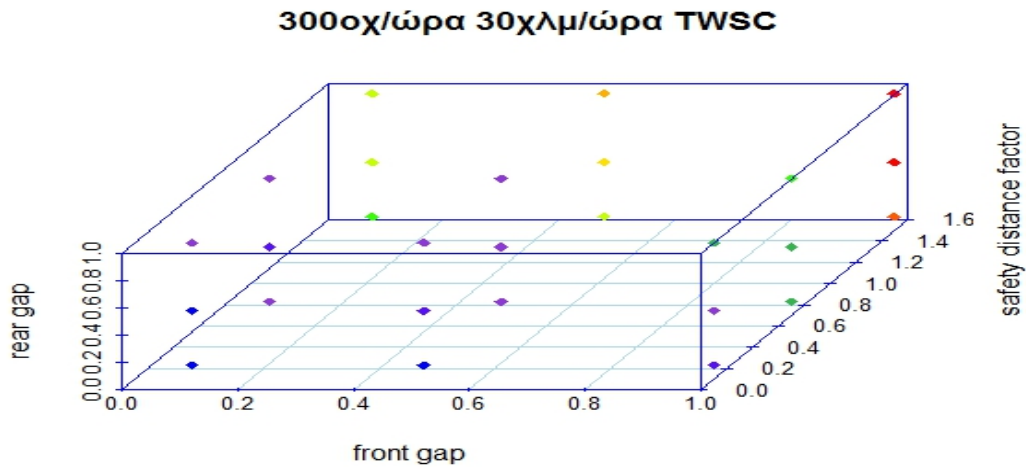


Χρώμα	1,9- 2,6	2,7- 3,4	3,5- 4,2	4,3- 5,0	5,1-5,8	5,8- 6,5
Μέση Καθυστέρηση (δλ)	1,9- 2,6	2,7- 3,4	3,5- 4,2	4,3- 5,0	5,1-5,8	5,8- 6,5

Σχήμα 4.3 Κυκλικός κόμβος 300 οχ/ώρα ανά πρόσβαση V= 30 χλμ/ώρα

Όπως αναμένεται για τον κυκλικό κόμβο παρατηρούμε μικρές τιμές της μέσης καθυστέρηση για safety distance factor 0,1 και 0,7 ενώ για safety distance factor 1,5 πολύ υψηλή μεταβολή της μέσης καθυστέρησης. Το front gap δεν δείχνει να έχει

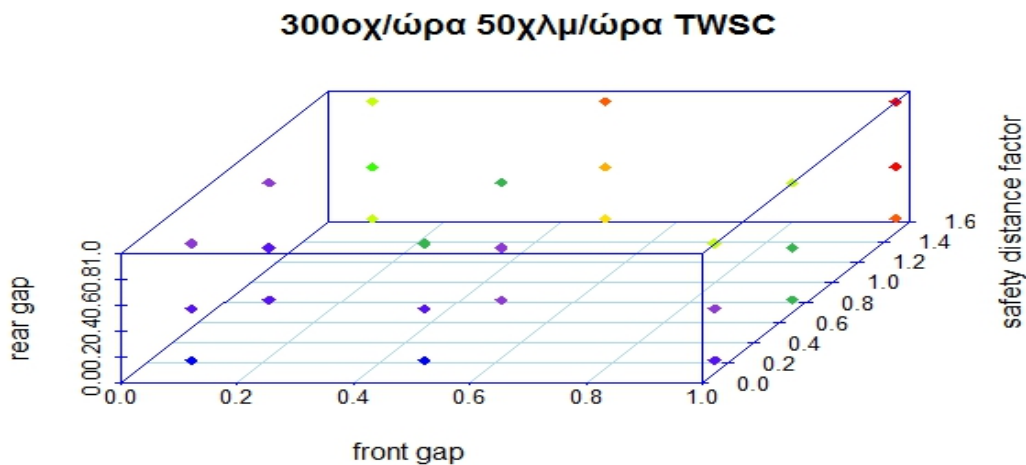
σημαντική επιρροή στη μέση καθυστέρηση καθώς για ίδια τιμή του safety distance factor τα σημεία έχουν ίδιο χρώμα.



Χρώμα	1,9-2,6	2,7-3,3	03/04/04	4,1-4,6	4,7-5,3	5,4-6,0
Μέση Καθυστέρηση (δλ)						

Σχήμα 4.4 Ισόπεδος τετρασκελής κόμβος προτεραιότητας 300οχ/ώρα ανά πρόσβαση $V = 30$ χλμ/ώρα

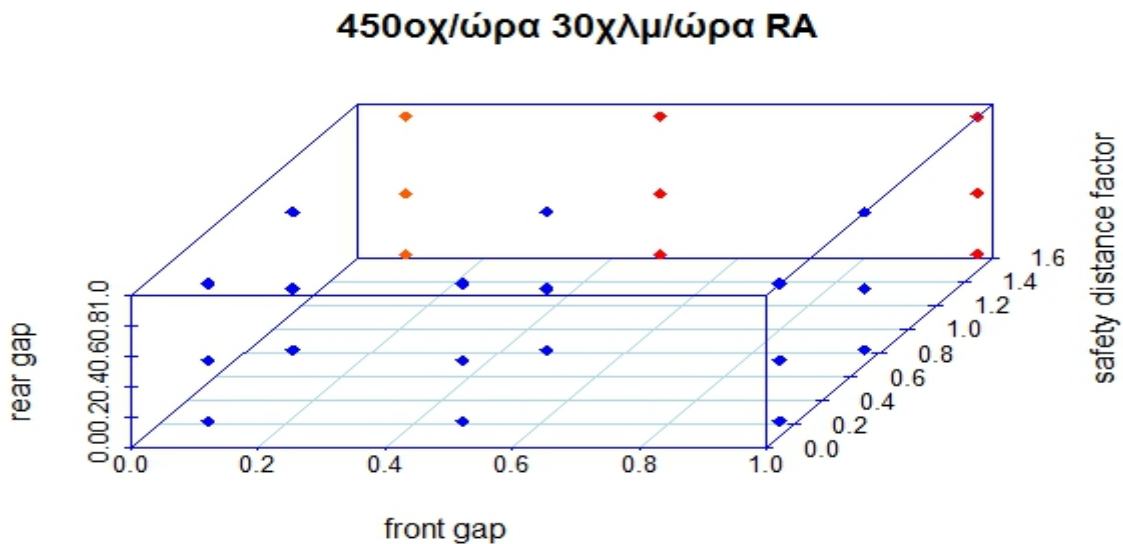
Στον ισόπεδο τετρασκελή κόμβο προτεραιότητας σε αντίθεση με τον κυκλικό κόμβο παρατηρούμε την επιρροή του front gap και rear gap στη λειτουργία του κόμβου με αλλαγές χρωματισμών κατά τους δύο αυτούς άξονες που είναι εντονότερη για μεγαλύτερες τιμές του safety distance factor.



Χρώμα	0,6-1,0	1,1- 1,4	1,5- 1,8	1,9- 2,1	2,2- 2,55	2,56- 2,9
Μέση Καθυστέρηση (δλ)						

Σχήμα 4.5 Ισόπεδος τετρασκελής κόμβος προτεραιότητας 300οχ/ώρα ανά πρόσβαση $V = 50$ χλμ/ώρα.

Για ταχύτητα προσέγγισης 50χλμ/ώρα στον ισόπεδο τετρασκελή κόμβο προτεραιότητας φαίνεται η επιρροή των front gap και rear gap στον κόμβο όπου παρατηρούμε ότι όσο αυξάνεται η τιμή του front gap είναι εντονότερη και η επιρροή του rear gap . Τέλος παρατηρούμε συγκρίνοντας το διάγραμμα αυτό με το αντίστοιχο για 30χλμ/ώρα ότι την ελαφρώς αυξημένη επιρροή που έχουν οι παράμετροι του conflict areas στην ταχύτητα των 50 χλμ/ώρα.

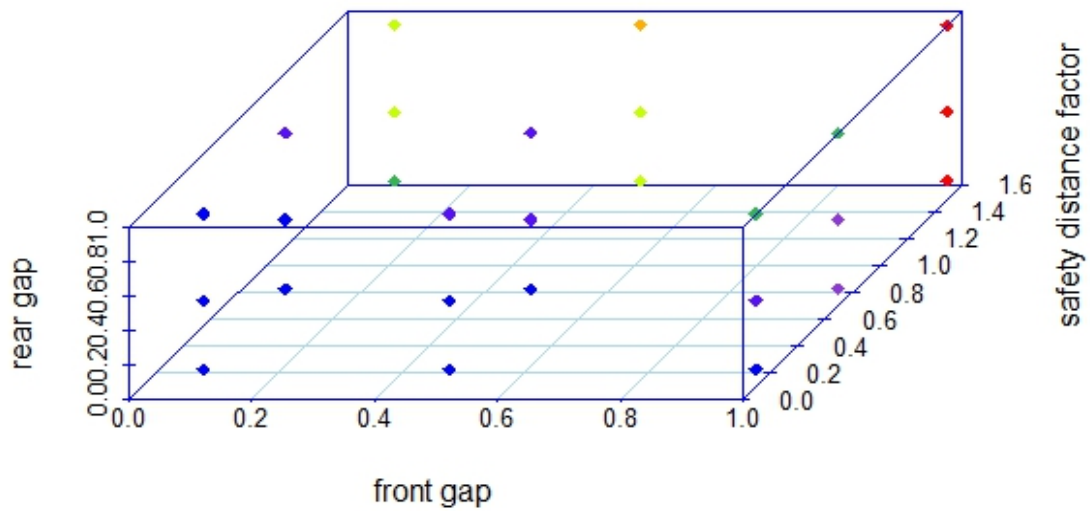


Χρώμα						
Μέση Καθυστέρηση (δλ)	4,2- 15,9	16- 27,6	27,7- 39,3	39,4- 50,9	51- 62,6	62,7- 74,3

Σχήμα 4.6 Κυκλικός κόμβος 450οχ/ώρα ανά πρόσβαση V= 30 χλμ/ώρα

Με φόρτο 450οχ/ώρα ανά πρόσβαση παρατηρούμε μια μικρή επιρροή του front gap στον κυκλικό κόμβο στην μέγιστη τιμή του safety distace factor . Όπως αναμένεται παρατηρούμε και την μεγάλη επιρροή του safety distance factor όπου η μεταβολή του από 0,7 σε 1,5 δίνει περίπου 5 φορές μεγαλύτερη μέση καθυστέρηση.

450οχ/ώρα 30χλμ/ώρα TWSC

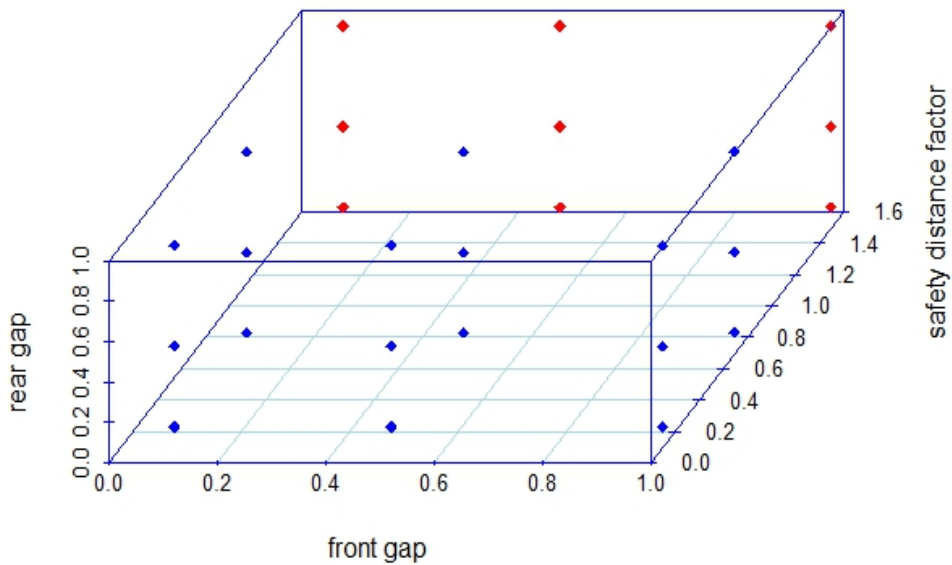


Χρώμα						
Μέση Καθυστέρηση (δλ)	6- 33,5	33,6- 61	61,1- 88,5	88,6- 116	116,1- 143,5	143,6- 171

Σχήμα 4.7 Ισόπεδος τετρασκελής κόμβος προτεραιότητας 450οχ/ώρα ανά πρόσβαση V= 30 χλμ/ώρα.

Στον ισόπεδο τετρασκελή κόμβο προτεραιότητας παρατηρούμε την επιρροή και των τριών παραμέτρων του conflict areas στη λειτουργία του κόμβου. Η μεγαλύτερη επιρροή είναι αυτή του safety distance factor που γίνεται ακόμα πιο έντονη όσο αυξάνεται η τιμή του front gap και του rear gap. .

600οχ/ώρα 30χλμ/ώρα RA

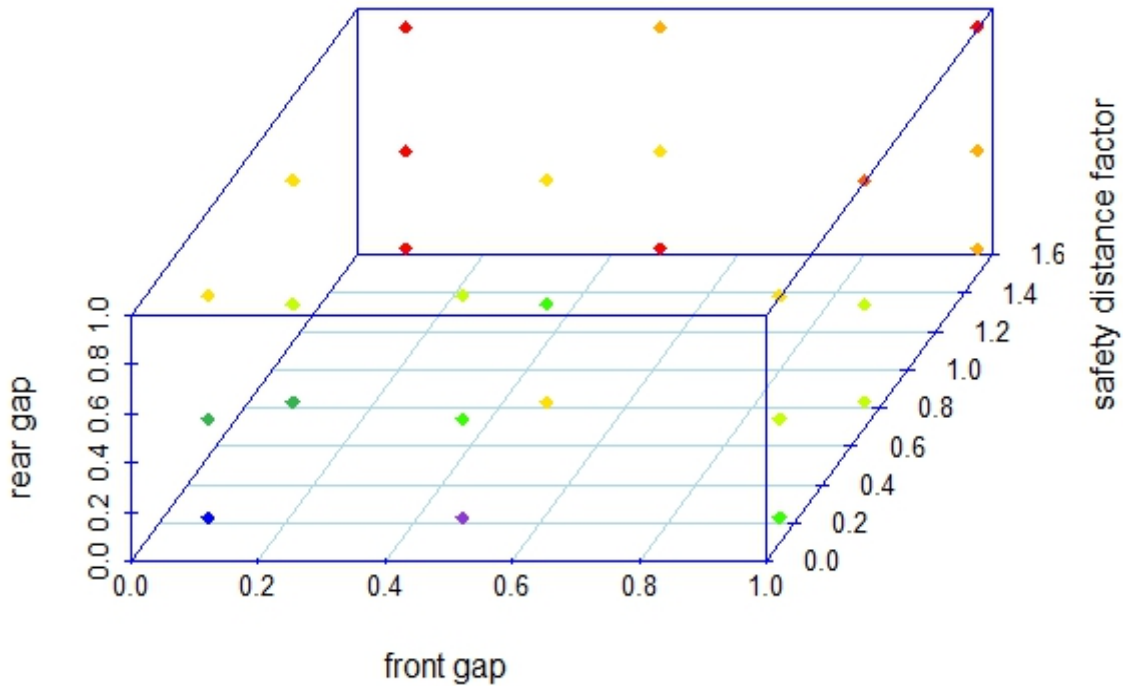


Χρώμα						
Μέση Καθυστέρηση (δλ)	11,1- 76,1	76,2- 141,1	141,2- 206,1	206,2- 271	271,1- 336-	336,1- 401

Σχήμα 4.8 Κυκλικός κόμβος 600οχ/ώρα ανά πρόσβαση V= 30 χλμ/ώρα

Και για φόρτο 600 οχήματα ανά ώρα ανά πρόσβαση στον κυκλικό κόμβο παρατηρούμε μικρές τιμές της μέσης καθυστέρηση για safety distance factor 0,1 και 0,7 ενώ για safety distance factor 1,5 πολύ υψηλές τιμές της μέσης καθυστέρησης. Στην χρωματική κλίμακα που έχει οριστεί ισοδυναμεί με έξι φορές περίπου μεγαλύτερη καθυστέρηση για αύξηση του safety distance factor από 0,7 σε 1,4. Το front gap δεν δείχνει να έχει σημαντική επιρροή στη μέση καθυστέρηση καθώς για ίδια τιμή του safety distance factor τα σημεία έχουν ίδιο χρώμα, κάτι που δείχνει την πολύ έντονη επιρροή του safety distance factor στον κυκλικό κόμβο. Εξορισμού το safety distance factor αναφέρεται σε κινήσεις μερισμού που είναι και η βασική κίνηση που πραγματοποιείται στον κυκλικό κόμβο κάτι που δικαιολογεί και την έντονη επιρροή του στη λειτουργία του κυκλικού κόμβου.

600οχ/ώρα 30χλμ/ώρα TWSC

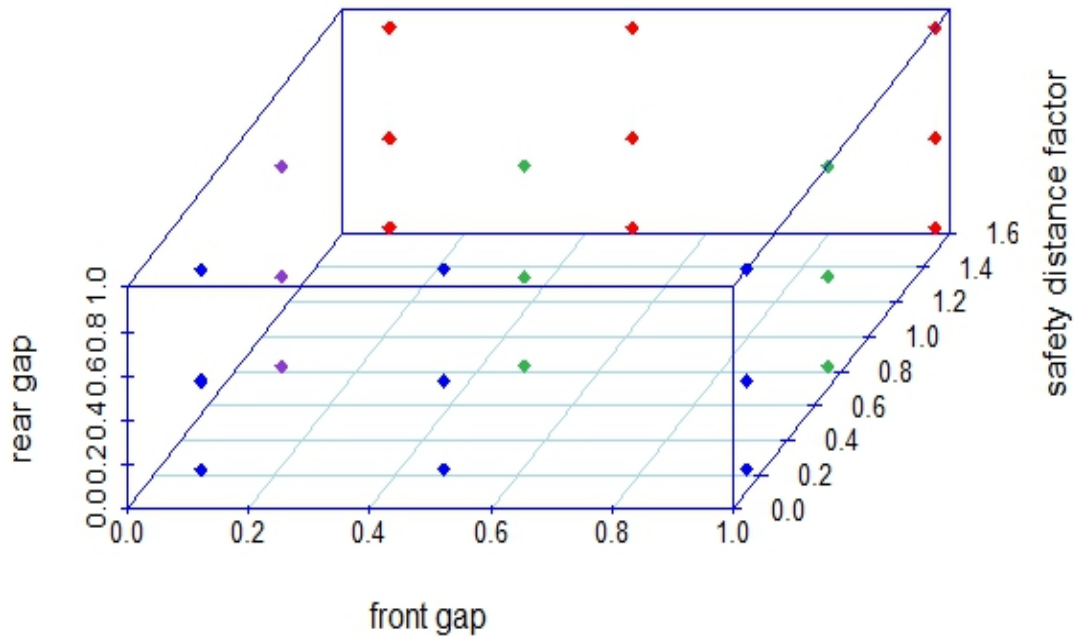


Χρώμα						
Μέση Καθυστέρηση (δλ)	138-162,8	162,9- 187,7	187,7- 212,5	206,2- 271	237,3- 262,2	287

Σχήμα 4.9 Ισόπεδος τετρασκελής κόμβος προτεραιότητας 600 οχ/ώρα ανά πρόσβαση V= 30 χλμ/ώρα

Στον ισόπεδο τετρασκελή κόμβο προτεραιότητας παρατηρούμε πάλι την μεγάλη επιρροή του safety distance factor καθώς για σταθερές τιμές front gap:0,1, rear gap:0,1 μέση καθυστέρηση γίνεται μπλε-πράσινη-κόκκινη κάτι που δείχνει τη έντονη μεταβολή της. Ακόμη σε αντίθεση με τον κυκλικό κόμβο που η μεταβολή του safety distance actor από 0,1 σε 0,7 δίνει μπλε- μπλε, εδώ η μεταβολή στην τιμή του safety distance factor από 0,1 σε 0,7 είναι μπλε-πράσινο που δείχνει μεγαλύτερες τιμές της μέσης καθυστέρησης. Επίσης στον ισόπεδο τετρασκελή κόμβο λόγω και του μεγάλου φόρτου φαίνονται πιο καθαρά από τις προηγούμενες περιπτώσεις και οι μεταβολές στη μέση καθυστέρηση λόγω των front gap και rear gap. Για σταθερό safety distance παρατηρούμε χρωματικές μεταβολές (γειτονικών χρωμάτων) τόσο κατά τον άξονα του front gap όσο και κατά τον άξονα του rear gap. Παρατηρούμε εντονότερη μεταβολή της καθυστέρησης λόγω του rear gap από αυτή του front gap .

960-240οχ/ώρα 30χλμ/ώρα RA



Χρώμα						
Μέση Καθυστέρηση (δλ)	14- 52,3	52,4- 90,7	90,8- 129	129,1- 167,3	167,4- 205,7	205,8- 244

Σχήμα 4.10Κυκλικός κόμβος 960οχ/ώραΑ-Δ, 240οχ/ώρα Β-Ν V= 30 χλμ/ώρα

Στο διάγραμμα αυτό μπορούμε να δούμε την επιρροή του front gap στον κυκλικό κόμβο με ταχύτητα προσέγγισης 30 χλμ/ώρα και φόρτο 960οχ/ώρα στις προσβάσεις Ανατολή και Δύση και 240οχ/ώρα στις προσβάσεις Βορρά και Νότο. Για safety distance factor 0,7 παρατηρούμε ότι η αύξηση του front gap 0,1- 0,5- 1 προκαλεί αύξηση της καθυστέρησης του κόμβου που φαίνεται στην χρωματική εναλλαγή από μοβ- σκούρο πράσινο- πράσινο, ενώ αντίστοιχα για safety distance factor 1,5 έχουμε χρωματική μεταβολή ανοιχτό κόκκινο κόκκινο κάτι που δικαιολογείται από την υψηλή επιρροή των μεγάλων τιμών του safety distance factor στην λειτουργία των κυκλικών κόμβων.

Σαν γενικότερη παρατήρηση στην επιρροή των παραμέτρων του conflict areas παρατηρούμε την καταλυτική επιρροή του safety distance factor στη λειτουργία του κόμβου καθώς και μια έντονη εξάρτηση των παραμέτρων μεταξύ τους όπου η μεταβολή του ενός μεγέθους επηρεάζει και την μεταβολή του άλλου στη λειτουργία του κόμβου.

4.3 Σύγκριση επίπεδου λειτουργίας κόμβων

4.3.1 Σύγκριση επίπτωσης της κατανομής φόρτου στις προσβάσεις του κόμβου

Στην παρούσα διπλωματική εργασία ο κάθε κόμβος προσομοιώθηκε με τρία βασικά σενάρια φόρτου εισόδου τα οποία είναι 1200οχ/ώρα, 1800οχ/ώρα και 2400οχ/ώρα. Καθένας από αυτούς τους φόρτους χωρίστηκε σε 2 κατηγορίες, η πρώτη ήταν με 25% του συνολικού φόρτου από κάθε πρόσβαση και η δεύτερη με το 80% του συνολικού φόρτου καταμετρημένο ίσα στις προσβάσεις Ανατολή και Δύση και το υπόλοιπο 20% στις προσβάσεις Βορράς και Νότος. Στους ακόλουθους πίνακες παρουσιάζεται πως λειτουργεί ο κάθε τύπος κόμβου για τις δύο ταχύτητες προσέγγισης, ανάλογα με την κατανομή του φόρτου στις προσβάσεις. Τα διάκενα είναι με τη σειρά front gap, rear gap και safety distance factor.

Συνολικός φόρτος Κόμβου 1200οχ/ώρα.

Πίνακας 4.1 Σύγκριση κατανομής Φόρτος 1200οχ/ώρα V=30χλμ/ώρα

V=30χλμ/ώρα				
Διάκενα	0,1-0,1-0,1		1-1-1,5	
	Κύκλικός	Ισόπεδος τετρασκελής	Κύκλικός	Ισόπεδος τετρασκελής
300	1,9	2,6	6,5	6
480-120	2,1	2,1	6,7	4,6

Παρατηρούμε ότι και για τις ελάχιστες όσο και τις μέγιστες τιμές των διακένων ο κυκλικός κόμβος παρουσιάζει μικρότερη καθυστέρηση για φόρτο 300οχ/ώρα ανά πρόσβαση. Αντίθετα ο ισόπεδος τετρασκελής κόμβος παρουσιάζει μικρότερη καθυστέρηση για 480οχ/ώρα A-Δ και 120οχ/ώρα B-N

Πίνακας 4.2 Σύγκριση κατανομής Φόρτος 1200οχ/ώρα V=50χλμ/ώρα

V=50χλμ/ώρα				
Διάκενα	0,1-0,1-0,1		1-1-1,5	
	Κύκλικός	Ισόπεδος τετρασκελής	Κύκλικός	Ισόπεδος τετρασκελής
300	2,5	0,6	7,3	3,3
480-120	2,8	2,1	7,1	4,6

Για ταχύτητα προσέγγισης του κόμβου βλέπουμε ότι για μικρές τιμές των διακένων και οι δύο κόμβοι παρουσιάζουν χαμηλότερη μέση καθυστέρηση για φόρτο καταμετρημένο κατά 25% σε κάθε πρόσβαση, ενώ για υψηλές τιμές των διακένων παρατηρούμε ότι ο κυκλικός κόμβος παρουσιάζει ελαφρώς μικρότερη καθυστέρηση

για κατανομή του φόρου 80-20 στις προσβάσεις ενώ ο ισόπεδος τετρασκελής κόμβος παρουσιάζει χαμηλότερη μέση καθυστέρηση για φόρτο 300οχ/ώρα ανά πρόσβαση

Συνολικός φόρτος Κόμβου 1800οχ/ώρα.

Πίνακας 4.3 Σύγκριση κατανομής Φόρτος 1800οχ/ώρα V=30χλμ/ώρα

V=30χλμ/ώρα				
Διάκενα	0,1-0,1-0,1		1-1-1,5	
	Κυκλικός	Ισόπεδος τετρασκελής	Κύκλικός	Ισόπεδος τετρασκελής
450	4,2	6	78,9	171,5
720-80	4,4	6	123	90,7

Για συνολικό φόρτο εισόδου στον κόμβο 1800οχ/ώρα παρατηρούμε ότι για μικρές τιμές των διακένων ο κυκλικός κόμβος παρουσιάζει μικρότερη μέση καθυστέρηση στην περίπτωση των 450 οχημάτων ανά πρόσβαση, ενώ ο ισόπεδος κυκλικός κόμβος προτεραιότητας παρουσιάζει ίδιο επίπεδο μέσης καθυστέρησης. Για υψηλές τιμές των κρίσιμων διακένων ο κυκλικός κόμβος παρουσιάζει χαμηλότερη καθυστέρηση για 450οχ/ώρα ανά πρόσβαση ενώ ο ισόπεδος τετρασκελής κόμβος λειτουργεί καλύτερα για κατανομή φόρτου 80%- 20%.

Πίνακας 4.4 Σύγκριση κατανομής Φόρτος 1800οχ/ώρα V=50χλμ/ώρα

V=50χλμ/ώρα				
Διάκενα	0,1-0,1-0,1		1-1-1,5	
	Κύκλικός	Ισόπεδος τετρασκελής	Κύκλικός	Ισόπεδος τετρασκελής
450	5	2,6	83,5	85,6
720-80	5,4	2,7	101,3	27,8

Αντίστοιχα και με αλλαγή της ταχύτητας προσέγγισης από 30 χλμ/ώρα σε 50 χλμ/ώρα βλέπουμε ότι για τις μικρές τιμές των παραμέτρων του conflict areas και οι δύο τύποι κόμβου παρουσιάζουν χαμηλότερη μέση καθυστέρηση για συνολικό φόρτο κατανεμημένο κατά 25% σε κάθε πρόσβαση. Αντίθετα στις υψηλές τιμές των διακένων όπως και στην ταχύτητα προσέγγισης 30 χλμ/ώρα ο κυκλικός κόμβος παρουσιάζει μικρότερες καθυστερήσεις για φόρτο 450οχ/ώρα ανά πρόσβαση, ενώ ο ισόπεδος τετρασκελής κόμβος παρουσιάζει σημαντικά χαμηλότερο φόρτο στην περίπτωση των 720οχ/ώρα Α-Δ και 180οχ/ώρα Β-Ν.

Συνολικός φόρτος Κόμβου 2400οχ/ώρα.

Πίνακας 4.5 Σύγκριση κατανομής Φόρτος 2400οχ/ώρα V=30χλμ/ώρα

V=30χλμ/ώρα				
Διάκενα	0,1-0,1-0,1		1-1-1,5	
	Κύκλικός	Ισόπεδος τετρασκελής	Κύκλικός	Ισόπεδος τετρασκελής
600	11,1	138,9	401,1	287,8
960-240	14,3	176,2	244,5	178,6

Με συνολικό φόρτο 2400οχ/ώρα παρατηρούμε ότι για μικρές τιμές διακένων τόσο ο κυκλικός κόμβος όσο και ο ισόπεδος τετρασκελής κόμβος προτεραιότητας παρουσιάζουν χαμηλότερη μέση καθυστέρηση για φόρτο 600οχ/ώρα ανά πρόσβαση, ενώ για υψηλές τιμές των διακένων και οι δύο τύποι κόμβου παρουσιάζουν σημαντικά χαμηλότερη καθυστέρηση για φόρτο 960 οχ/ώρα Ανατολή- Δύση και 240οχ/ώρα Βορρά- Νότο.

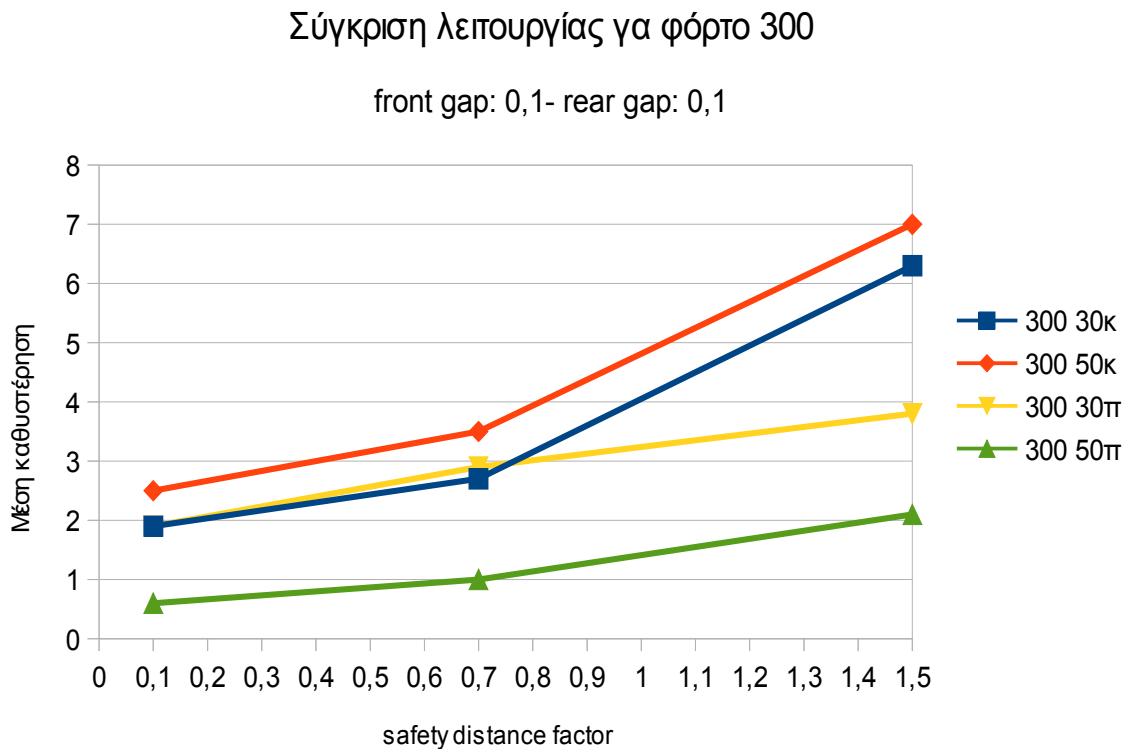
Πίνακας 4.6 Σύγκριση κατανομής Φόρτος 2400οχ/ώρα V=50χλμ/ώρα

V=50χλμ/ώρα				
Διάκενα	0,1-0,1-0,1		1-1-1,5	
	Κύκλικός	Ισόπεδος τετρασκελής	Κύκλικός	Ισόπεδος τετρασκελής
600	12,4	56,6	417,2	252,1
960-240	15,6	39	265,1	117

Στον ίδιο φόρτο για 2400οχ/ώρα με ταχύτητα προσέγγισης 50χλμ/ώρα παρατηρούμε ότι για μικρά διάκενα ο κυκλικός παρουσιάζει μικρότερη καθυστέρηση για φόρτο 600οχ/ώρα ανά πρόσβαση, σε αντίθεση με τον ισόπεδο τετρασκελή κόμβο προτεραιότητας όπου παρουσιάζει μικρότερη καθυστέρηση για κατανομή φόρτου 80%- 20%. Για υψηλές τιμές διακένων και οι δύο τύποι κόμβου παρουσιάζουν το καλύτερο επίπεδο λειτουργίας για φόρτο με κατανομή 80% στις προσβάσεις Ανατολή- Δύση και 20% στις προσβάσεις Βορράς- Νότος.

4.3.2 Σύγκριση επιπέδου λειτουργίας ανά τύπο κόμβου

Δεδομένου της μεγάλης επιρροής του safety distance factor και στους δύο τύπους κόμβου ελέγχθηκε ποιος τύπος κόμβου έχει καλύτερο επίπεδο λειτουργίας σε κάθε φόρτο. Η τιμή του front gap επιλέχθηκε να είναι 0,1 και του rear gap 0,1.

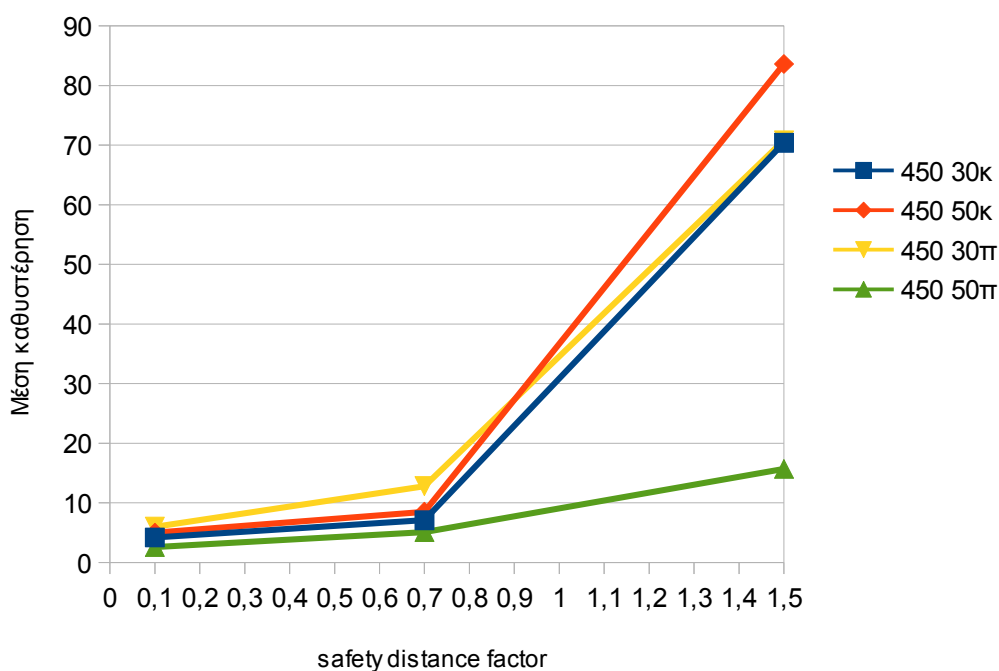


Σχήμα 4.11 Φόρτος εισόδου 300 οχημάτων ανά πρόσβαση

Με φόρτο εισόδου 300 οχήματα ανά ώρα ανά πρόσβαση παρατηρούμε ότι ο ισόπεδος τετρασκελής κόμβος προτεραιότητας με ταχύτητα 50χλμ/ώρα λειτουργεί καλύτερα από όλους. Ο κυκλικός κόμβος με ταχύτητα 30 χλμ/ώρα λειτουργεί παραπλήσια με τον ισόπεδο τετρασκελή κόμβο προτεραιότητας μέχρι και safety distance factor 0,7, όπου από εκεί και πέρα ο κυκλικός κόμβος δίνει αρκετά υψηλότερη καθυστέρηση. Το χειρότερο επίπεδο λειτουργίας παρατηρείται στον κυκλικό κόμβο με ταχύτητα εισόδου 50 χλμ/ώρα. Επίσης παρατηρούμε και εδώ ότι ο κυκλικός κόμβος με 30 χλμ/ώρα λειτουργεί καλύτερα από τον κυκλικό κόμβο με 50 χλμ/ώρα ενώ αντίθετα ο ισόπεδος τετρασκελής κόμβος προτεραιότητας με 30 χλμ/ώρα λειτουργεί χειρότερα από τον αντίστοιχο με 50 χλμ/ώρα.

Σύγκριση λειτουργίας για φόρτο 450

front gap: 0,1- rear gap: 0,1

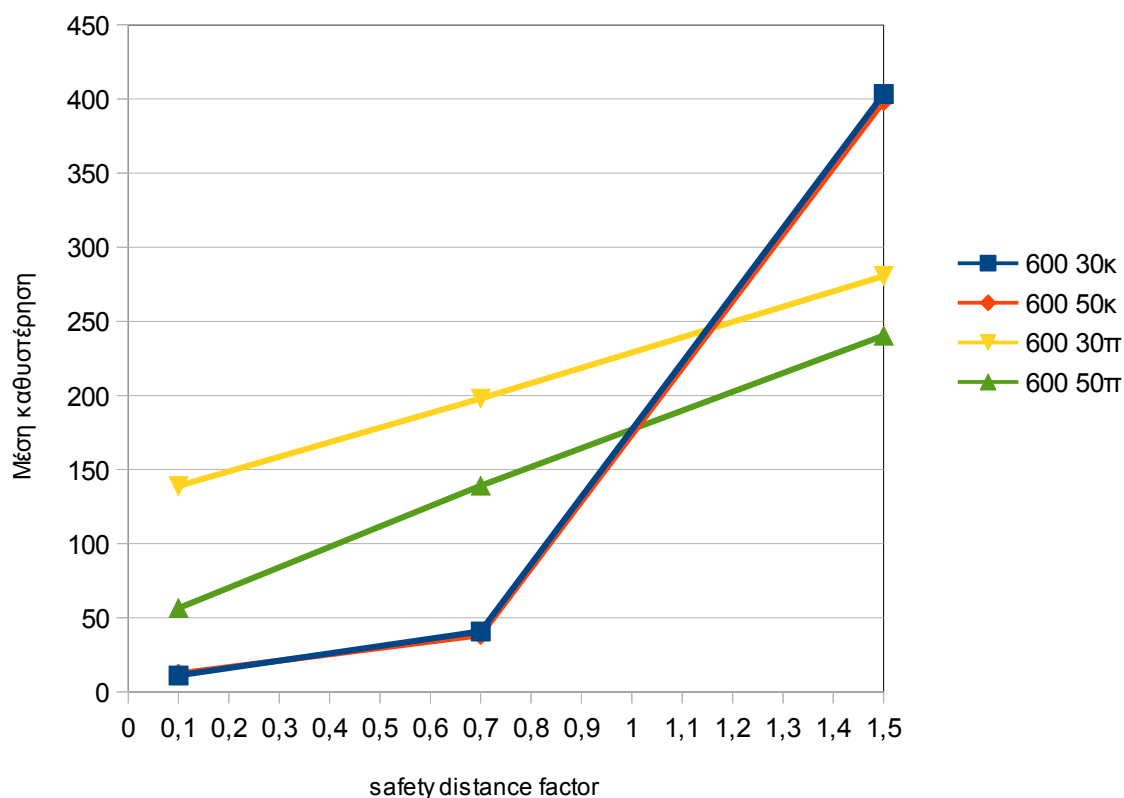


Σχήμα 4.12 Φόρτος εισόδου 450 οχ/ώρα ανά πρόσβαση

Αντίστοιχα με το φόρτο των 300 οχ/ώρα, στα 450 οχ /ώρα ανά πρόσβαση ο ισόπεδος τετρασκελής κόμβος προτεραιότητας με ταχύτητα 50 χλμ/ώρα έχει το καλύτερο επίπεδο λειτουργίας ιδιαίτερα στις μεγάλες τιμές του safety distance factor όπου για s.d.f :1,5 δίνει μέση καθυστέρηση 15 δλ ενώ οι άλλοι 3 κόμβοι δίνουν από 70 έως 80 δλ. Για safety distace factor 1,5 όλοι οι κόμβοι πλην του ισόπεδου τετρασκελούς κόμβου προτεραιότητας βρίσκονται σε κατάσταση κορεσμού .

Σύγκριση λειτουργίας για φόρτο 600

front gap: 0,1- rear gap: 0,1

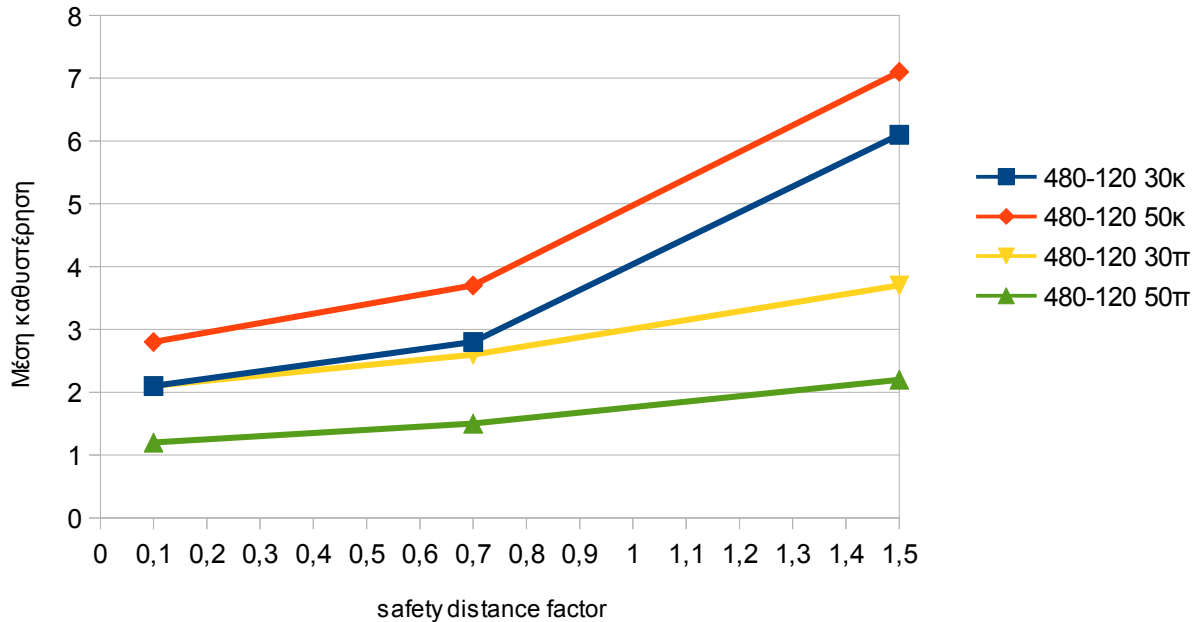


Σχήμα 4.13 Φόρτος εισόδου 600 οχ/ώρα ανά πρόσβαση

Με φόρτο οχημάτων 600 οχήματα ανά ώρα ανά πρόσβαση παρατηρούμε ότι οι δύο κυκλικοί κόμβοι παρουσιάζουν παρόμοιες καθυστερήσεις. Για τιμές του safety distance factor 0,1 και 0,7 οι κυκλικοί κόμβοι τόσο με ταχύτητα 30χλμ/ώρα όσο και με 50 χλμ/ώρα παρουσιάζουν καλύτερο επίπεδο λειτουργίας και δίνουν πολύ χαμηλότερη μέση καθυστέρηση από τους ισόπεδους τετρασκελείς κόμβους. Για τιμές του safety distance factor 1,5 οι ισόπεδοι τετρασκελείς κόμβοι προτεραιότητας έχουν μικρότερες καθυστερήσεις αν και όλοι οι κόμβοι βρίσκονται σε κατάσταση κορεσμού. Τέλος ο ισόπεδος τετρασκελής κόμβος με ταχύτητα εισόδου 50 χλμ/ώρα δίνει μικρότερες καθυστερήσεις από αυτόν με ταχύτητα εισόδου 30 χλμ/ώρα.

Σύγκριση λειτουργίας για φόρτο 480-120

front gap: 0,1- rear gap: 0,1

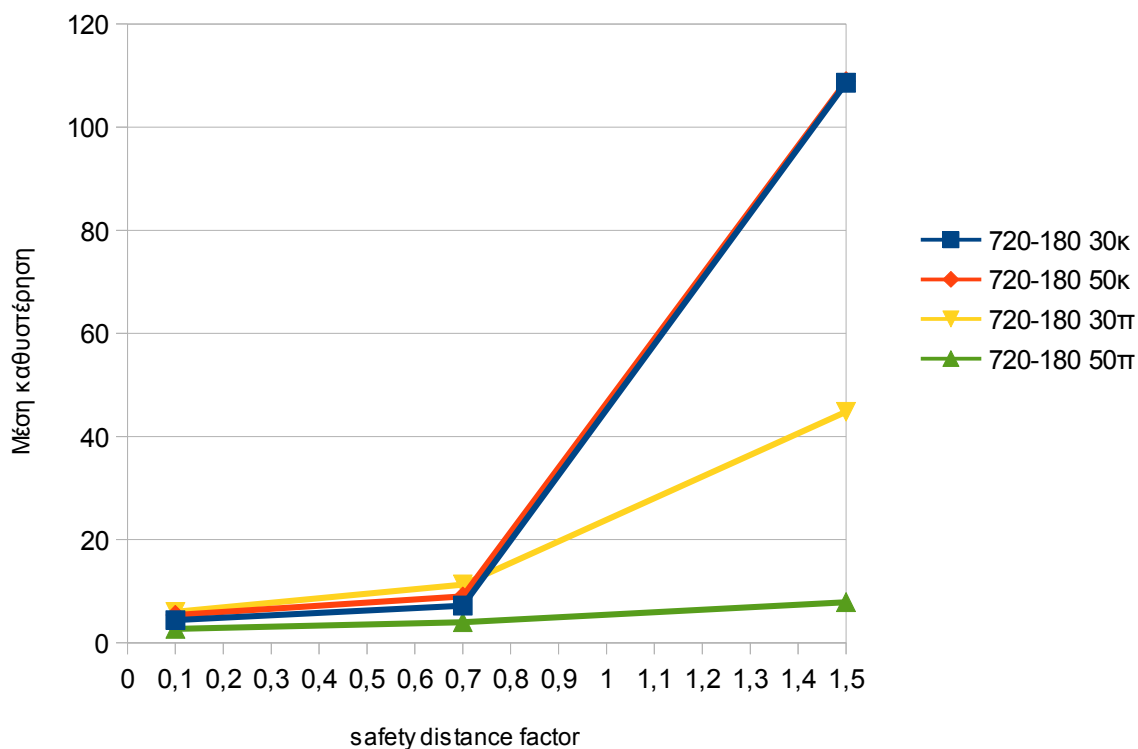


Σχήμα 4.14 Φόρτος εισόδου 480οχ/ώρα στις προσβάσεις Ανατολή και Δυση και 120οχ/ώρα στις προσβάσεις Βορράς- Νότος.

Σε αντίθεση με τους προηγούμενους κόμβους που ο φόρτος που προσεγγίζει τον κόμβο από κάθε πρόσβαση είναι ίσος, εδώ 480 οχ/ώρα προσεγγίζουν τον κόμβο σε κάθε πρόσβαση Ανατολή και Δύση, και 120 οχ/ώρα προσεγγίζουν τον κόμβο σε κάθε πρόσβαση Βορρά και Νότο. Όπως και στην περίπτωση των 300οχ/ώρα ανά πρόσβαση ο ισόπεδος τετρασκελής κόμβος προτεραιότητας με ταχύτητα προσέγγισης 50χλμ/ώρα λειτουργεί καλύτερα από τους υπόλοιπους κόμβους, και ο κυκλικός κόμβος με ταχύτητα 50 χλμ/ώρα παρουσιάζει το χειρότερο επίπεδο λειτουργίας. Ο κυκλικός κόμβος με ταχύτητα 30 χλμ/ώρα και ο ισόπεδος τετρασκελής κόμβος με ταχύτητα προσέγγισης 30 χλμ/ώρα βρίσκονται ενδιάμεσα με παρόμοια επίπεδα λειτουργίας μέχρι και για safety distance factor 0,7 όπου από εκεί και έπειτα λειτουργεί καλύτερα ο ισόπεδος τετρασκελής κόμβος προτεραιότητας. Όλοι οι κόμβοι παρουσιάζουν χαμηλά επίπεδα μέσης καθυστέρησης, μικρότερα των 10 δλ. Επίσης παρατηρούμε και εδώ ότι ο κυκλικός κόμβος με 30 χλμ/ώρα λειτουργεί καλύτερα από τον κυκλικό κόμβο με 50 χλμ/ώρα ενώ αντίθετα ο ισόπεδος τετρασκελής κόμβος προτεραιότητας με 30 χλμ /ώρα λειτουργεί χειρότερα από τον αντίστοιχο με 50 χλμ/ώρα.

Σύγκριση λειτουργίας για φόρτο 720-180

front gap: 0,1- rear gap: 0,1

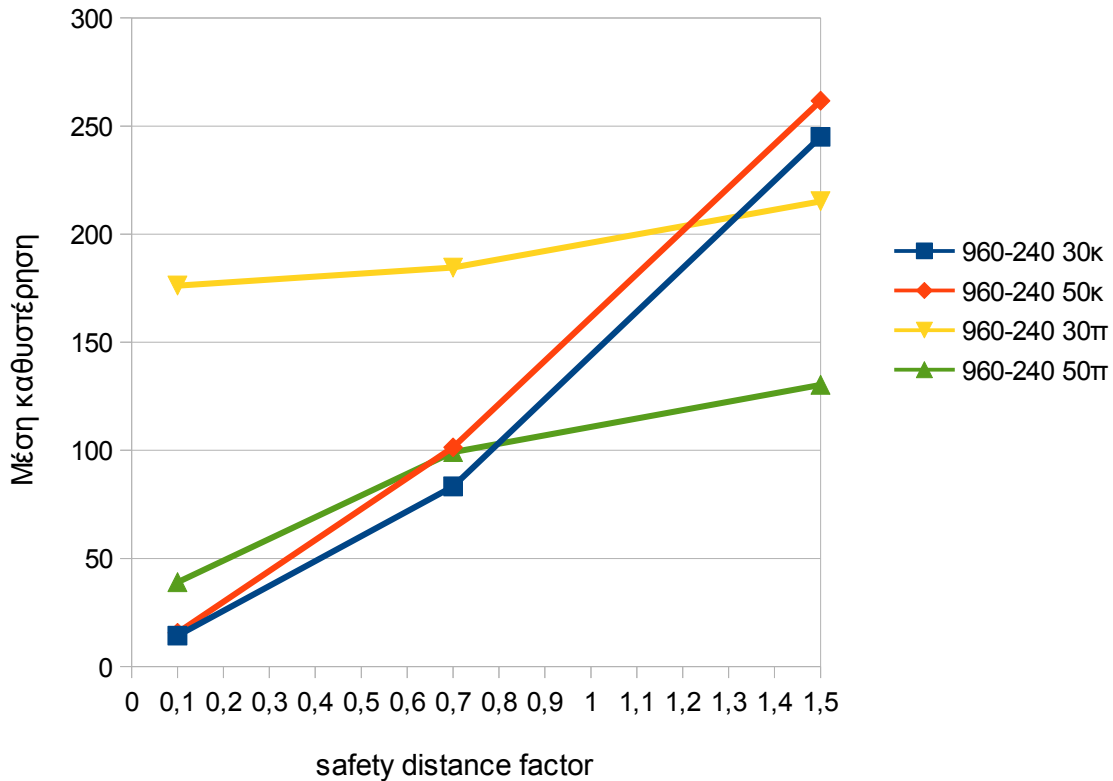


Σχήμα 4.15 Φόρτος εισόδου 720οχ/ώρα στις προσβάσεις Ανατολή και Δυση και 180οχ/ώρα στις προσβάσεις Βορράς- Νότος.

Στην περίπτωση αυτή ο ισόπεδος τετρασκελής κόμβος με ταχύτητα πρόσέγγισης 50 χλμ/ώρα λειτουργεί καλύτερα από τους υπόλοιπους. Ως την τιμή 0,7 του safety distance factor όλοι οι κόμβοι δίνουν μικρά επίπεδα μέσης καθυστέρησης, ενώ οι κυκλικοί κόμβοι λειτουργούν ελαφρώς καλύτερα από τον ισόπεδο τετρασκελή κόμβο προτεραιότητας με ταχύτητα 30 χλμ/ώρα. Στις μεγάλες τιμές του safety distance factor οι διαφορές γίνονται πιο ευδιάκριτες, όπου ο ισόπεδος τετρασκελής κόμβος με 50 χλμ/ώρα έχει μέση καθυστέρηση 10 δλ, ο ισόπεδος τετρασκελής κόμβος με 30 χλμ/ώρα έχει μέση καθυστέρηση 43 δλ και οι κυκλικοί κόμβοι που λειτουργούν πολύ χειρότερα από τους ισόπεδους τετρασκελής κόμβους προτεραιότητας, παρουσιάζουν σχεδόν ίδιο επίπεδο λειτουργίας και έχουν μέση καθυστέρηση 108 δλ.

Σύγκριση λειτουργίας για φόρτο 960-240

front gap: 0,1- rear gap: 0,1



Σχήμα 4.16 Φόρτος εισόδου 960οχ/ώρα στις προσβάσεις Ανατολή και Δύση και 240οχ/ώρα στις προσβάσεις Βορράς- Νότος.

Στο διάγραμμα αυτό που αναφέρεται σε φόρτο 960 οχ/ώρα σε κάθε πρόσβαση Ανατολή Δύση και 240 οχ/ώρα παρατηρούμε ότι ο ισόπεδος τετρασκελής κόμβος με 30 χλμ/ώρα έχει καθυστέρηση πάνω από 170 δλ με μικρή σταθερή κλίση κατά τη μεταβολή του safety distance factor. Ο κυκλικός κόμβος με ταχύτητα 30 χλμ/ώρα λειτουργεί καλύτερα μέχρι safety distance factor ως 0,7. Ο κυκλικός κόμβος με ταχύτητα 50 χλμ/ώρα λειτουργεί καλύτερα από τον ισόπεδο τετρασκελή κόμβο προτεραιότητας με ταχύτητα 50χλμ/ώρα μέχρι την τιμή 0.7 του safety distance factor όπου συγκλίνουν και για μεγαλύτερες τιμές λειτουργεί καλύτερα ο ισόπεδος τετρασκελής κόμβος προτεραιότητας με ταχύτητα 50χλμ/ώρα. Επίσης και εδώ είναι εμφανές ότι ο κυκλικός κόμβος με 30 χλμ/ώρα λειτουργεί καλύτερα από τον κυκλικό κόμβο με 50 χλμ/ώρα ενώ αντίθετα ο ισόπεδος τετρασκελής κόμβος προτεραιότητας με 30 χλμ /ώρα λειτουργεί χειρότερα από τον αντίστοιχο με 50 χλμ/ώρα.

Συγκεντρωτικά αποτελέσματα

Στον ακόλουθο πίνακα φαίνεται συγκεντρωτικά ποιος τύπος κόμβου έχει καλύτερο επίπεδο λειτουργίας σε κάθε φόρτο και για κάθε τιμή του safety distance factor.

Πίνακας 4.7 Συγκεντρωτικά αποτελέσματα επιπέδου λειτουργίας

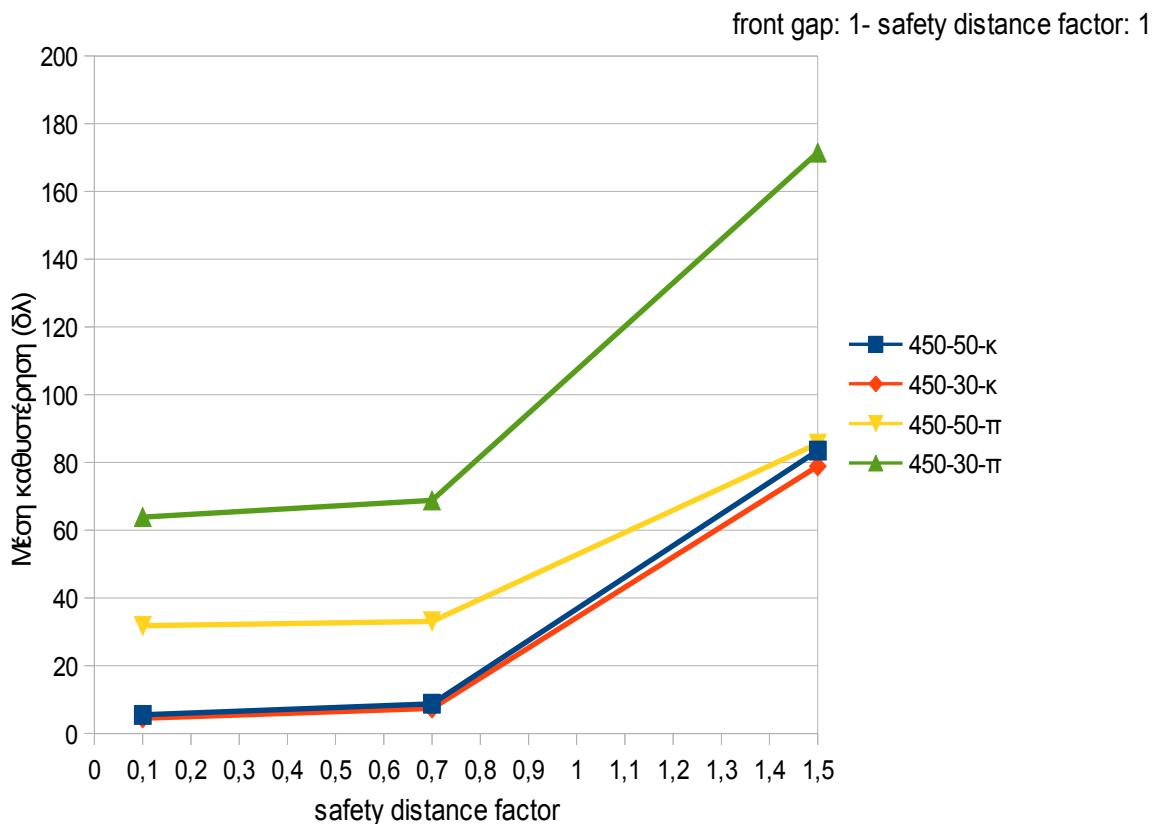
Φόρτος ανά οχή/ώρα	εισόδου πρόσβαση	Safety distance factor 0,1	Safety distance factor 0,7	Safety distance factor 1,5
300		Ισόπεδος τετρασκελής κόμβος προτεραιότητας 50 χλμ/ώρα	Ισόπεδος τετρασκελής κόμβος προτεραιότητας 50 χλμ/ώρα	Ισόπεδος τετρασκελής κόμβος προτεραιότητας 50 χλμ/ώρα
450		Ισόπεδος τετρασκελής κόμβος προτεραιότητας 50 χλμ/ώρα	Ισόπεδος τετρασκελής κόμβος προτεραιότητας 50 χλμ/ώρα	Ισόπεδος τετρασκελής κόμβος προτεραιότητας 50 χλμ/ώρα
600		Κυκλικός κόμβος ταχύτητα 50 χλμ/ώρα	Κυκλικός κόμβος ταχύτητα 50 χλμ/ώρα	Ισόπεδος τετρασκελής κόμβος προτεραιότητας 50 χλμ/ώρα
480-120		Ισόπεδος τετρασκελής κόμβος προτεραιότητας 50 χλμ/ώρα	Ισόπεδος τετρασκελής κόμβος προτεραιότητας 50 χλμ/ώρα	Ισόπεδος τετρασκελής κόμβος προτεραιότητας 50 χλμ/ώρα
720-180		Ισόπεδος τετρασκελής κόμβος προτεραιότητας 50 χλμ/ώρα	Ισόπεδος τετρασκελής κόμβος προτεραιότητας 50 χλμ/ώρα	Ισόπεδος τετρασκελής κόμβος προτεραιότητας 50 χλμ/ώρα
960-240		Κυκλικός κόμβος ταχύτητα 30 χλμ/ώρα	Κυκλικός κόμβος ταχύτητα 30 χλμ/ώρα	Ισόπεδος τετρασκελής κόμβος προτεραιότητας 50 χλμ/ώρα

Παρατηρούμε ότι ο ισόπεδος τετρασκελής κόμβος προτεραιότητας λειτουργεί καλύτερα στους φόρτους 300 και 450 οχήματα ανά πρόσβαση. Με 600 οχή/ώρα ανά πρόσβαση να προσεγγίζουν τον κόμβο, λειτουργεί καλύτερα ο κυκλικός κόμβος με 50 χλμ/ώρα για τιμές του safety distance factor 0,1 και 0,7, με τον κυκλικό κόμβο με 30χλμ/ώρα να έχει ελάχιστα μεγαλύτερη μέση καθυστέρηση. Με safety distance factor 1,5 έχει μικρότερη καθυστέρηση ο ισόπεδος τετρασκελής κόμβος

προτεραιότητας, μια αλλαγή που έχει ως αιτία την πολύ μεγαλύτερη επιρροή που έχει το safety distance factor στον κυκλικό κόμβο από ότι στον ισόπεδο τετρασκελή κόμβο προτεραιότητας. Αντίστοιχα στους άνισους ανά πρόσβαση φόρτους 480οχ/ώρα Α-Δ , 120 οχ/ώρα Β-Ν και 720 οχ/ώρα Α-Δ, 180 οχ/ώρα Β-Ν ο ισόπεδος τετρασκελής κόμβος προτεραιότητας με 50 χλμ/ ώρα παρουσιάζει συνολικά τη μικρότερη μέση καθυστέρηση. Με φόρτο 960οχ/ώρα Α-Δ, 240οχ/νκώρα Β-Ν και για τιμές του safety distance factor 0,1 και 0,7 τις μικρότερες καθυστερήσεις παρουσιάζει ο κυκλικός κόμβος με ταχύτητα προσέγγισης 30 χλμ/ώρα , ενώ για safety distance factor:1,5 μικρότερη καθυστέρηση παρουσιάζει ο ισόπεδος τετρασκελής κόμβος προτεραιότητας με ταχύτητα προσέγγισης 50 χλμ/ώρα

Ένα σημαντικό στοιχείο που προέκυψε από τα αποτελέσματα είναι ότι για φόρτο εισόδου 960 οχ/ώρα στις προσβάσεις Ανατολή- Δύση και 240 οχ/ώρα στις προσβάσεις Βορράς- Νότος ο κυκλικός κόμβος έχει χαμηλότερα επίπεδα μέσης καθυστέρησης τουλάχιστον για τιμές του safety distance factor 0,1 και 0,7 παρόλο που στον ισόπεδο τετρασκελή κόμβο προτεραιότητας το 80% του φόρτου του κόμβου εισέρχεται από τις δύο προσβάσεις που έχουν προτεραιότητα.

Στις παραπάνω συγκρίσεις χρησιμοποιήθηκαν ως τιμές διακένων front gap:0,1 και rear gap: 0,1 τιμές που αν και χαμηλές αποτυπώνουν την ευρύτερη συμπεριφορά του κόμβου. Εξάιρεση αποτελούν οι μεσαίοι φόρτοι και συγκεκριμένα μόνο η περίπτωση των 450 οχ/ώρα ανά πρόσβαση όπου παρατηρούμε ότι για μέγιστες τιμές του front και rear gap ο κυκλικός κόμβος παρουσιάζει χαμηλότερη μέση καθυστέρηση ακόμα και για safety distance factor 1.5



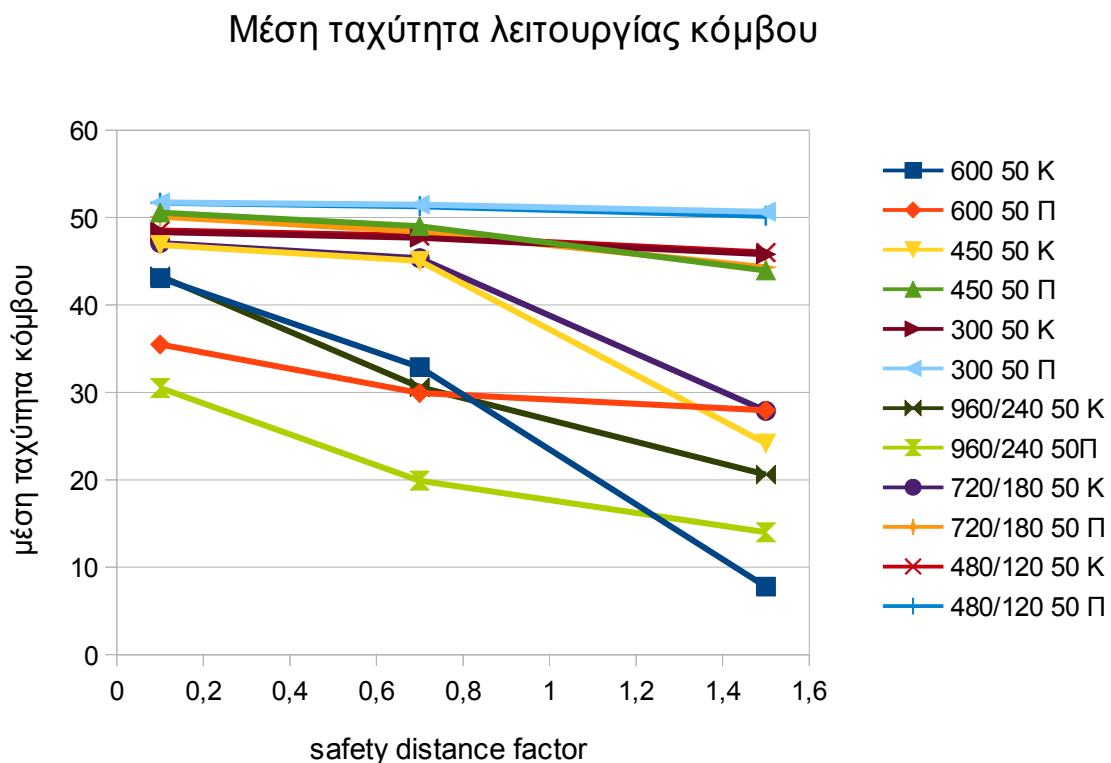
Σχήμα 4.17 Σύγκριση μεσαίου φόρτου σε υψηλές τιμές διακένων

Παρόλο την καθοριστική επιρροή του safety distance factor στη λειτουργία του κυκλικού κόμβου, στην συγκεκριμένη περίπτωση παρουσιάζει ελαφρώς μικρότερη μέση καθυστέρηση από τον ισόπεδο τετρασκελή κόμβο προτεραιότητας με ταχύτητα προσέγγισης 50 χλμ/ώρα και σημαντικά χαμηλότερη από αυτόν με 30 χλμ/ώρα. Αυτό αποτυπώνει την έντονη επίδραση των front gap, rear gap στην λειτουργία του ισόπεδου τετρασκελούς κόμβου προτεραιότητας.

4.4 Μέση ταχύτητα λειτουργίας κόμβου

Μία από τις κατηγορίες στις οποίες ομαδοποιούνται οι υπό εξέταση κόμβοι αυτής της εργασίας είναι ανάλογα με την ταχύτητα με την οποία τα οχήματα προσεγγίζουν τον κόμβο. Επιλέχθηκε τα οχήματα να προσεγγίζουν τον κόμβο με 30 χλμ/ώρα και με 50 χλμ/ώρα εκφράζοντας ταχύτητες με τις οποίες κινούνται οι οδηγοί στο αστικό δίκτυο. Στην συνέχεια διερευνάται για κάθε ταχύτητα προσέγγισης ποια είναι η μέση ταχύτητα με την οποία τα οχήματα κινούνται στο οδικό δίκτυο που προσομοιώθηκε υπό την επιρροή των εμπλεκόμενων φόρτων και των παραμέτρων του conflict areas.

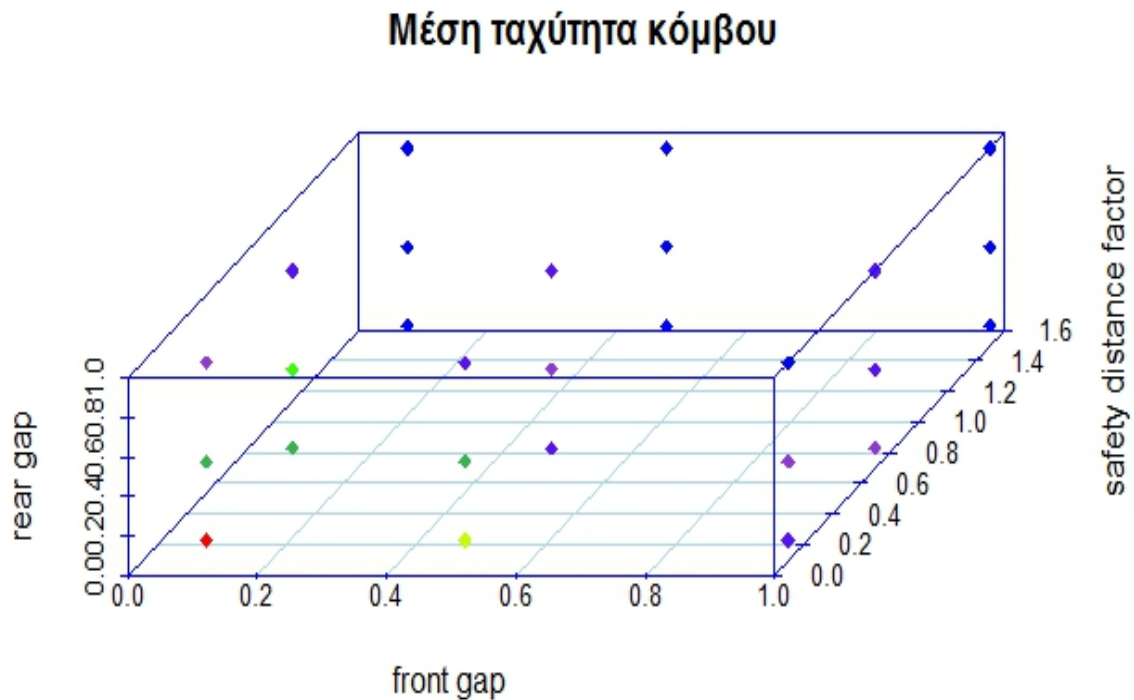
Στο ακόλουθο διάγραμμα παρουσιάζεται η ταχύτητα λειτουργίας το κόμβου για ταχύτητα προσέγγισης 50 χλμ/ώρα βάση της επιρροής του safety distance factor που είναι ο παράγοντας που επηρεάζει σε εντονότερο βαθμό τη λειτουργία τόσο του κυκλικού όσο και του τετρασκελή ισόπεδου κόμβου προτεραιότητας. Οι τιμές του front gap και του rear gap είναι 0,1



Σχήμα 4.18 Μέση ταχύτητα λειτουργίας κόμβου για ταχύτητα προσέγγισης 50 χλμ/ώρα.

.Αναλύοντας το παρακάτω διάγραμμα μια πρώτη παρατήρηση είναι όσο μικρότερος είναι ο φόρτος τόσο μεγαλύτερη είναι η ταχύτητα λειτουργίας του κόμβου. Την υψηλότερη ταχύτητα λειτουργίας παρουσιάζουν ο ισόπεδος τετρασκελής κόμβος προτεραιότητας με φόρτο 300 οχ/ώρα ανά πρόσβαση και φόρτο 480οχ/ώρα Ανατολή – Δύση και 120οχ/ώρα Βορρά- Νότο. Ακολουθούν οι κυκλικοί με φόρτο 300 οχ/ώρα ανά πρόσβαση και φόρτο 480οχ/ώρα Ανατολή – Δύση και 120 οχ/ώρα Βορρά- Νότο και οι ισόπεδοι τετρασκελείς κόμβοι προτεραιότητας με φόρτο 450 οχ/ώρα ανά πρόσβαση και φόρτο 720οχ/ώρα Ανατολή – Δύση και 180 οχ/ώρα Βορρά- Νότο με μέση ταχύτητα λειτουργίας λίγο κάτω από 50 χλμ/ώρα. Οι κυκλικοί κόμβοι με φόρτο 450 οχ/ώρα ανά πρόσβαση και φόρτο 720οχ/ώρα Ανατολή – Δύση και 180 οχ/ώρα Βορρά- Νότο έχουν ταχύτητα λειτουργίας 45- 47 χλμ/ώρα για τιμές 0,1 και 0,7 του safety distance factor αλλά για safety distance factor: 1,5 η μέση ταχύτητα λειτουργίας είναι κάτω από 30χλμ/ώρα. Στους μεγαλύτερους φόρτους δηλαδή για 2400οχ/ώρα συνολικά στον κόμβο (600 οχ/ώρα ανά πρόσβαση και φόρτο 960οχ/ώρα Ανατολή – Δύση και 240 οχ/ώρα Βορρά- Νότο) παρατηρούμε ότι ο κυκλικός κόμβος παρουσιάζει μεγαλύτερη μέση ταχύτητα λειτουργίας από τον ισόπεδο τετρασκελή κόμβο για τιμές 0,1 και 0,7 του safety distance factor. Για safety distance factor 1,5 ο τετρασκελής κόμβος παρουσιάζει μεγαλύτερη ταχύτητα λειτουργίας από τον κυκλικό, στον οποίο για s.d.f από 0,7 σε 1,5 η μέση ταχύτητα μεταβάλλεται από 35χλμ/ώρα σε 7χλμ/ώρα στην περίπτωση του κυκλικού κόμβου με 600οχ/ ώρα ανά πρόσβαση. Αντίθετα για φόρτο εισόδου 960οχ/ώρα Ανατολή – Δύση και 240οχ/ώρα Βορρά- Νότο ο κυκλικός κόμβος παρουσιάζει πάντα υψηλότερη μέση ταχύτητα λειτουργίας από τον αντίστοιχο ισόπεδο τετρασκελή. κόμβο προτεραιότητας. Ακόμη παρατηρούμε τη επιρροή του safety distance factor και στην μέση ταχύτητα λειτουργίας του ισόπεδου τετρασκελή κόμβου με σαφώς όμως μικρότερες μεταβολές από ότι στους κυκλικούς κόμβους. Τέλος παρατηρούμε ότι ο ισόπεδος τετρασκελής κόμβος με 600οχ/ώρα ανά πρόσβαση παρουσιάζει αρκετά υψηλότερη μέση ταχύτητα λειτουργίας από τον αντίστοιχο ισόπεδο τετρασκελή κόμβο με φόρτο 960οχ/ώρα Ανατολή – Δύση και 240οχ/ώρα Βορρά- Νότο παρόλο που στον δεύτερο το 80% του συνολικού φόρτου του κόμβου προέρχεται από τις προσβάσεις με προτεραιότητα. Αυτό ερμηνεύεται λόγω του ιδιαίτερα υψηλού εμπλεκόμενου φόρτου που συναντούν οι αριστερές από τον πρωτεύοντα δρόμο στρέφουσες κινήσεις περιμένοντας αρκετή ώρα να πραγματοποιήσουν τον επιθυμητό ελιγμό καθυστερώντας τα υπόλοιπα οχήματα της πρόσβασης. Φαίνεται έντονα η επιρροή του safety distance factor στην μέση ταχύτητα λειτουργίας του κόμβου η οποία γίνεται εντονότερη όσο μεγαλώνει ο φόρτος, ιδιαίτερα στους κυκλικούς κόμβους με μεγαλύτερες κλίσεις στο διάγραμμα από αυτές των ισόπεδων τετρασκελών κόμβων.

Στο ακόλουθο διάγραμμα μπορούμε να δούμε πως επηρεάζει τη λειτουργία του ισόπεδου τετρασκελούς κόμβου προτεραιότητας με φόρτο 960οχ/ώρα Ανατολή – Δύση και 240οχ/ώρα Βορρά- Νότο το σύνολο των παραμέτρων του conflict areas του Vissim.

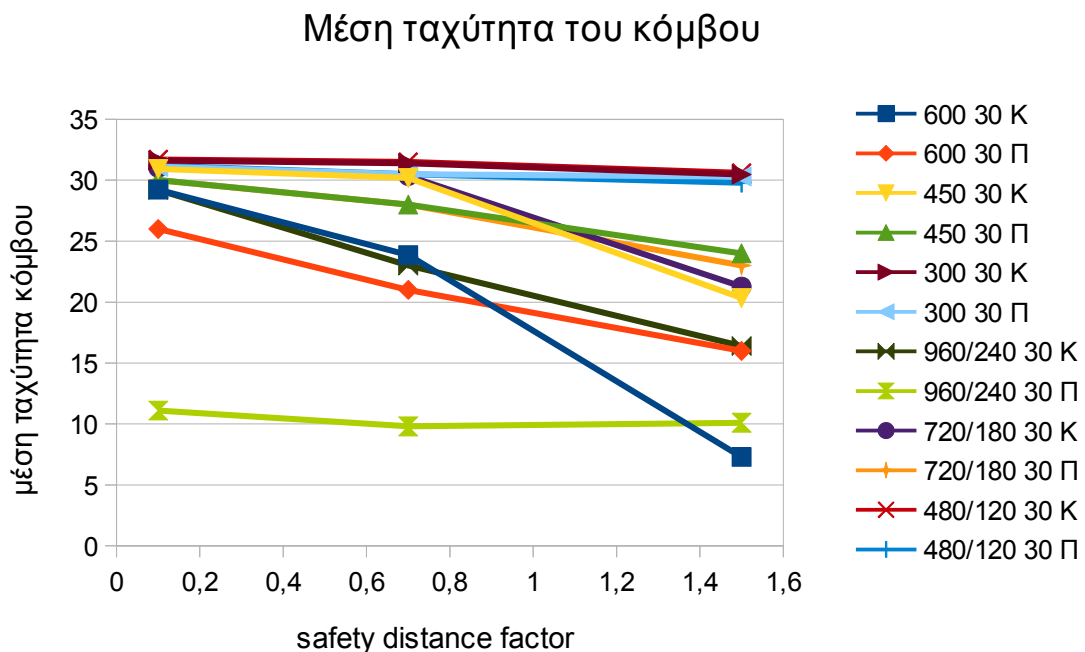


Χρώμα						
Ταχύτητα χλμ./ώρα	30- 27,5	27,4- 24,9	24,8- 22,4	22,3- 19,8	19,7-17,3	17,2- 14,7

Σχήμα 4.19 Επιρροή διακένων στην ταχύτητα του κόμβου.

Παρατηρούμε μια αρκετά σημαντική επιρροή τόσο του front gap όσο και το rear gap ιδιαίτερα για μικρές τιμές του safety distance factor. Το front gap μεταβάλλεται από κόκκινο σε κίτρινο και σκούρο μοβ ενώ αντίστοιχα το rear gap από κόκκινο σε πράσινο και στη συνέχεια ανοιχτό μοβ. Για safety distance factor 0,1 συνεπώς είναι εντονότερη η επιρροή του front gap. Για μεγαλύτερες τιμές του safety distance factor οι διαφορές γίνονται πιο ομαλές.

Αντίστοιχα στο παρακάτω διάγραμμα παρουσιάζεται η μέση ταχύτητα λειτουργίας του κόμβου για ταχύτητα προσέγγισης 30 χλμ/ώρα.



Σχήμα 4.20 Μέση ταχύτητα λειτουργίας κόμβου για ταχύτητα προσέγγισης 30 χλμ/ώρα.

Από το διάγραμμα αυτό προκύπτει ότι την υψηλότερη ταχύτητα λειτουργίας παρουσιάζουν οι κόμβοι με συνολικό φόρτο 1200οχ/ώρα. Οι κόμβοι με φόρτο 450 οχ/ώρα ανά πρόσβαση και φόρτο 720οχ/ώρα Ανατολή – Δύση και 1800οχ/ώρα Βορρά- Νότο έχουν μέση ταχύτητα κοντά στα 30 χλμ την ώρα για safety distance factor 0,1 και 0,7 με τον κυκλικό κόμβο να έχει ελαφρώς υψηλότερη ταχύτητα λειτουργίας, αλλά για safety distance factor 1,5 η μέση ταχύτητα του κόμβου μειώνεται αισθητά, με πολύ μεγαλύτερη κλίση στον κυκλικό κόμβο από ότι στον ισόπεδο τετρασκελή κόμβο προτεραιότητας ο οποίος παρουσιάζει πλέον και υψηλότερη ταχύτητα λειτουργίας. Στους υψηλότερους φόρτους παρατηρούμε ότι ο ισόπεδος τετρασκελής κόμβος προτεραιότητας με φόρτο 960οχ/ώρα Ανατολή – Δύση και 240οχ/ώρα Βορρά- Νότο παρουσιάζει ιδιαίτερα χαμηλά και σταθερά, σε σχέση με την ταχύτητα προσέγγισης επίπεδα μέσης ταχύτητας λειτουργίας στα 10χλμ/ώρα. Οι κυκλικοί κόμβοι με φόρτο 240οχ/ώρα συνολικά έχουν επίπεδα μέσης ταχύτητας 30 χλμ/ώρα για safety distance factor:0,1, 23 χλμ/ώρα για safety distance factor:0,7, ενώ όσο αυξάνεται το s.d.f ο κυκλικός κόμβος με φόρτο 960οχ/ώρα Ανατολή – Δύση και 240οχ/ώρα Βορρά- Νότο διατηρεί σταθερή κλίση μέχρι τα 17 χλμ/ώρα όπου συγκλίνει με τον ισόπεδο τετρασκελή κόμβο με 600οχ/ώρα. Τέλος ο κυκλικός κόμβος με 600οχ/ώρα ανά πρόσβαση μετά την τιμή 0,7 του safety distance factor αποκτά απότομη κλίση και φτάνει την χαμηλότερη μέση ταχύτητα λειτουργίας στα 7χλμ/ώρα.

Κεφάλαιο 5: Συμπεράσματα

Στο κεφάλαιο αυτό παρατίθενται τα συμπεράσματα που προέκυψαν από την επεξεργασία και ανάλυση των αποτελεσμάτων των προσομοιώσεων που πραγματοποιήθηκαν στους υπό μελέτη κόμβους. Στη συνέχεια, γίνονται προτάσεις για μελλοντική διερεύνηση πάνω στην προσομοίωση ισόπεδων κόμβων με προτεραιότητα με χρήση μικροσκοπικό λογισμικό προσομοίωσης.

5.1 Σύνοψη συμπερασμάτων

Επιρροή παραμέτρων conflict areas

Στην παρούσα εργασία χρησιμοποιήθηκαν οι τρεις παράμετροι που σχετίζονται με την επιλογή διάκενου της λειτουργίας conflict area του Vissim. Οι παράμετροι αυτοί είναι το εμπρός διάκενο (front gap) ,το πίσω διάκενο (rear gap και ο παράγοντας απόστασης ασφαλείας safety distance factor. Χαμηλές τιμές των διάκενων αντιστοιχούν σε πιο επιθετική οδηγική συμπεριφορά.

Ένα πρώτο συμπέρασμα που προέκυψε είναι ότι η παράμετρος που σχετίζεται με την επιλογή διακένου (rear gap) δεν επηρεάζει την λειτουργία του κυκλικού κόμβου μιας λωρίδας κυκλοφορίας. Αυτό αντιτίθεται στη διερεύνηση του Schroeder B(2012) για κυκλικούς κόμβους δύο λωρίδων κυκλοφορίας, ο οποίος τόνισε τη σημασία του rear gap για τη λειτουργία των κυκλικών κόμβων. Το rear gap αφορά διασταυρούμενες κινήσεις (crossing) και ορίζεται ως το ελάχιστο διάκενο σε δευτερόλεπτα μεταξύ του πίσω μέρους ενός οχήματος που μόλις διέσχισε τη δευτερεύουσα οδό και του μπροστά μέρους του επόμενου οχήματος που ακολουθεί στην κύρια οδό. Στον κυκλικό κόμβο μιας λωρίδας κυκλοφορίας οι κινήσεις που πραγματοποιούνται είναι μόνο κινήσεις συμβολής και μερισμού δικαιολογώντας την έλλειψη επιρροής του rear gap στους κυκλικούς κόμβους μιας λωρίδας κυκλοφορίας. Ένα άλλο συμπέρασμα είναι η έντονη επιρροή του safety distance factor στην λειτουργία των κόμβων, κυρίως του κυκλικού όπου οι μεγάλες τιμές του safety distance factor έχουν σημαντικότερη επιρροή στη μέση καθυστέρηση του κόμβου. Η επιρροή του safety distance factor στον ισόπεδο τετρασκελή κόμβο είναι σημαντική αλλά λιγότερο καθοριστική από ότι στο κυκλικό κόμβο. Αυτό δικαιολογείται γιατί το safety distance factor αναφέρεται σε κινήσεις μερισμού (merge) που είναι η βασική κίνηση που πραγματοποιείται στο κυκλικό κόμβο. Η παράμετρος front gap επηρεάζει σε μικρό βαθμό τον κυκλικό κόμβο και η επιρροή του μεγαλώνει όσο μεγαλώνει ο φόρτος και κυρίως για τις μικρές ταχύτητες προσέγγισης. Στον ισόπεδο τετρασκελή κόμβο προτεραιότητας υπάρχει αισθητά σημαντικότερη επιρροή του front gap και του rear gap η οποία όμως μειώνεται όσο αυξάνεται η τιμή του safety distance factor. Η επιρροή τους στον κόμβο είναι αλληλεξαρτώμενη όπου η μεταβολή τους ενός επηρεάζει την επιρροή το άλλου στην μέση καθυστέρηση του κόμβου. Τέλος μικρότερες τιμές των διάκενων οδηγούν σε μικρότερη μέση καθυστέρηση του κόμβου κάτι που επιβεβαιώνεται και από άλλες αντίστοιχες διερευνύσεις.(Polus, Vlahos, 2005) ,(Gallelli, Vaianna 2008).

Επιρροή κατανομής φόρτου στις προσβάσεις.

Από την ανάλυση για την επιρροή της κατανομής του συνολικού φόρτου του κόμβου στις προσβάσεις, συμπεραίνουμε ότι για ταχύτητα προσέγγισης των οχημάτων στον κόμβο 30χλμ/ώρα ο κυκλικός κόμβος παρουσιάζει μικρότερη μέση καθυστέρηση για φόρτο 25% του συνολικού σε κάθε πρόσβαση. Αυτό αλλάζει για υψηλές τιμές των διακένων όπου κατανομή φόρτου 80% Α-Δ και 20% Β-Ν παρουσιάζει χαμηλότερη μέση καθυστέρηση. Στον ισόπεδο τετρασκελή κόμβο για μικρές τιμές των διακένων οι δύο κατανομές φόρτων δίνουν παρόμοια επίπεδα μέσης καθυστέρησης εκτός από τον φόρτο 2400οχ/ώρα όπου μικρότερη καθυστέρηση παρουσιάζει η κατανομή φόρτου 25% ανά πρόσβαση. Στα μεγάλα διάκενα ο ισόπεδος τετρασκελής κόμβος παρουσιάζει μικρότερη μέση καθυστέρηση για κατανομή φόρτου 80% Α-Δ και 20% Β-Ν εκτός από την περίπτωση των 1200οχ/ώρα όπου χαμηλότερη μέση καθυστέρηση παρουσιάζει ο κόμβος με φόρτο 300οχ/ώρα ανά πρόσβαση.

Με ταχύτητα προσέγγισης 50χλμ/ώρα στον κυκλικό κόμβο για μικρά διάκενα καλύτερο επίπεδο λειτουργίας παρουσιάζει το σενάριο με φόρτο 25% ανά πρόσβαση. Στις υψηλές τιμές των παραμέτρων του conflict areas για συνολικό φόρτο 1200οχ/ώρα λειτουργεί καλύτερα το σενάριο 300οχ/ώρα ανά πρόσβαση ενώ για τους υπόλοιπους φόρτους το σενάριο φόρτου 80% Α-Δ και 20% Β-Ν. Για τον ισόπεδο τετρασκελή κόμβο στα μικρά διάκενα χαμηλότερες καθυστερήσεις δίνει το σενάριο φόρτου 25% ανά πρόσβαση εκτός από τον φόρτο 2400οχ/ώρα όπου μικρότερη καθυστέρηση παρουσιάζει η κατανομή φόρτου 80% Α-Δ και 20% Β-Ν. Στις μεγάλες τιμές των διακένων μικρότερη μέση καθυστέρηση παρουσιάζει το σενάριο 80% Α-Δ και 20% Β-Ν για όλους τους φόρτους.

Επίπεδο λειτουργίας ανά τύπο κόμβου.

Σαν γενικό συμπέρασμα εδώ προκύπτει ότι στους μικρούς και μεσαίους φόρτους δηλαδή 1200οχ/ώρα και 1800οχ/ώρα καλύτερο επίπεδο λειτουργίας έχει ο ισόπεδος τετρασκελής κόμβος προτεραιότητας με ταχύτητα προσέγγισης 50 χλμ/ώρα. Εξαιρεση αποτελεί ο φόρτος 450 οχ/ώρα ανά πρόσβαση (1800οχ/ώρα συνολικά) όπου στις υψηλές τιμές του εμπρός και πίσω διακένου ο κυκλικός κόμβος παρουσιάζει καλύτερο επίπεδο λειτουργίας από τον ισόπεδο τετρασκελή κόμβο προτεραιότητας. Σε φόρτο 600οχ/ώρα ανά πρόσβαση (2400οχ/ώρα συνολικά) καλύτερο επίπεδο λειτουργίας έχει ο κυκλικός κόμβος με ταχύτητα προσέγγισης 50χλμ/ώρα για safety distance factor 0,1 και 0,7 ενώ για μεγάλες τιμές του s.d.f καλύτερο επίπεδο λειτουργίας έχει ο ισόπεδος τετρασκελής κόμβος προτεραιότητας με ταχύτητα προσέγγισης 50 χλμ/ώρα. Σε φόρτο 960οχ/ώρα στις προσβάσεις Ανατολή- Δύση και 260οχ/ώρα στις προσβάσεις Βορρά- Νότο καλύτερο επίπεδο λειτουργίας έχει ο κυκλικός κόμβος με ταχύτητα προσέγγισης 30χλμ/ώρα για μικρές και μεσαίες τιμές του safety distance factor ενώ για μεγάλες τιμές έχει ο ισόπεδος τετρασκελής κόμβος προτεραιότητας με ταχύτητα 50 χλμ/ώρα.

Μέση ταχύτητας λειτουργίας κόμβου

Σαν γενικό συμπέρασμα προκύπτει ότι όσο αυξάνει ο φόρτος του κόμβου, και τα διάκενα μειώνεται η μέση ταχύτητα με την οποία τα οχήματα κινούνται στον κόμβο. Για ταχύτητα προσέγγισης 50 χλμ/ώρα υψηλότερη μέση ταχύτητα λειτουργίας

παρουσιάζει ο ισόπεδος τετρασκελής κόμβος προτεραιότητας στους μικρούς και μεσαίους φόρτους (1200οχ/ώρα και 1800οχ/ώρα) ενώ στους μεγάλους φόρτους (2400οχ/ώρα) ο κυκλικός κόμβος έχει αρκετά υψηλότερη μέση ταχύτητα για μικρές και μεσαίες τιμές του safety distance factor, ενώ για μεγάλες τιμές του safety distance factor καλύτερα επίπεδα μέσης ταχύτητας παρουσιάζει ο ισόπεδος τετρασκελής κόμβος προτεραιότητας λόγω και την ιδιαίτερα καθοριστικής επιρροής του safety distance factor στη λειτουργία του κυκλικού κόμβου.

Όταν τα οχήματα προσεγγίζουν τον κόμβο με ταχύτητα 30χλμ/ώρα οι ισόπεδοι κόμβοι προτεραιότητας έχουν πάλι υψηλότερη μέση ταχύτητα λειτουργίας στους μικρούς και μεσαίους φόρτους ενώ η επιρροή του safety distance factor στη μέση ταχύτητα στον κυκλικό κόμβο είναι πιο έντονη και στους μεσαίους φόρτους (2400οχ/ώρα). Στους μεγάλους φόρτους (2400οχ/ώρα) ο κυκλικός κόμβος παρουσιάζει υψηλότερη ταχύτητα εκτός από τις μεγάλες τιμές του safety distance factor όπου υψηλότερη μέση ταχύτητα λειτουργίας παρουσιάζει ο κυκλικός κόμβος.

Συμπερασματικά το safety distance factor και ο φόρτος είναι αμφότεροι οι σημαντικότεροι από τους παράγοντες που επηρεάζουν την λειτουργία των κόμβων αφού και οι δύο έχουν καθοριστική επιρροή στη μέση καθυστέρηση, ενώ η επίδραση του ενός εξαρτάται από το μέγεθος του άλλου. Η ταχύτητα προσέγγισης στον κόμβο παίζει σημαντικό ρόλο αλλά η επίδραση της δεν είναι εξίσου καθοριστική με των άλλων δύο παραμέτρων.

5.2 Προτάσεις για διερεύνηση.

Με την ολοκλήρωση αυτής της διπλωματικής εργασίας πάνω στη λειτουργία των ισόπεδων κόμβων με χρήση λογισμικού προσομοίωσης προτείνονται περαιτέρω έρευνες που μπορούν να πραγματοποιηθούν. Αρχικά προτείνεται να πραγματοποιηθεί αντίστοιχη διερεύνηση για ισόπεδους κόμβους δύο λωρίδων κυκλοφορίας καθώς και για διαφορετικά γεωμετρικά χαρακτηριστικά του κυκλικού κόμβου, όπως διάμετρος εγγεγραμμένου κύκλου, το πλάτος της λωρίδας του κυκλικού κόμβου και το πλάτος της διαχωριστικής νησίδας των προσβάσεων.

Άλλη μια διερεύνηση με ιδιαίτερο ενδιαφέρον θα είναι να μελετηθούν εκτενέστερα οι παράμετροι που σχετίζονται με την επιλογή διάκενου και οι επιδράσεις τους στους ισόπεδους κόμβους και να πραγματοποιηθεί ανάλυση ευαισθησίας (sensitivity analysis) με μικρότερο βήμα τιμών από αυτό της παρούσας εργασίας και ο σχεδιασμός μοντέλου που εκφράζει την μεταβολή της λειτουργίας του κόμβου με βάση τα εξαρτώμενα μεγέθη. Ενώ αναγκαία κρίνεται και διερεύνηση για μαθηματική αντιστοιχία των παραμέτρων του conflict areas με το κρίσιμο διάκενο και των χρόνων ακολουθίας των αναλυτικών μοντέλων υπολογισμού της κυκλοφοριακής ικανότητας.

Επίσης μια ενδιαφέρουσα διερεύνηση θα ήταν η σύγκριση της λειτουργίας ενός κυκλικού κόμβου και ενός τετρασκελούς ισόπεδου κόμβου προτεραιότητας στα πλαίσια ενός οδικού δικτύου μεταξύ δύο σηματοδοτούμενων κόμβων.

Τέλος ενδιαφέρον θα είχε η υπάρχουσα διερεύνηση να πραγματοποιηθεί με ένα διαφορετικό λογισμικό προσομοίωσης από το Vissim ώστε να γίνει σύγκριση των

αποτελεσμάτων και να μελετηθεί η επιρροή που έχει το λογισμικό προσομοίωσης στα αποτελέσματα.

Κεφάλαιο 6- Βιβλιογραφία

6.1 Διεθνής βιβλιογραφία

Akcelik R, (2008), The Relationship between Capacity and Driver Behaviour, TRB National Roundabout Conference.

Al-Shihabi T, Mourant R.R, (2003), Toward More Realistic Driving Behavior Models for Autonomous Vehicles in Driving Simulators. 82nd Annual Meeting of the Transportation Research Board.

Bared J, Edara P, (2005) Simulated Capacity of Roundabouts and Impact of Roundabout Within a Progressed Signalized Road, National Roundabout Conference 2005 Draft.

Boxill S, Yu Lei, (2000), An Evaluation of Traffic Simulation Models For Supporting ITS Development, Diploma Thesis, pp 24-69.

Brakstone M, McDonald M, (1998), Car Following: A Historical Review, Transportation Research F 2, pp 181-196.

Cicu F, Illota P.F, Bared J, Isebrands H, (2010), VISSIM Calibration of Roundabouts Traffic Performance, TRB 2011 Annual Meeting.

Eidmar E, Hultman J, (2014) Traffic Network Evaluation using Microscopic Simulation and Analytical Modeling, Diploma Thesis, pp 18-22 & 45-49.

Fritzsche H-T, (1994), A Model for Traffic Simulation, Transportation Engineering Contribution 5, pp 317-321.

Gallelli V, Vaiana R, (2008), Roundabout Intersections: Evaluation of Geometric and Behavioural Features with Vissim, National Roundabout Conference 2008.

Gipps P.G, (1980), A Behavioural Car- Following Model For Computer Simulation.

Highway Capacity Manual 2000, Transportation Research Board.

Irvena J, Randahl S, (2010), Analysis of gap acceptance in a saturated two-lane roundabout and implementation of critical gaps in Vissim, Diploma Thesis, pp 53-59.

Kang N, Nakamura H, Chen P, Asano M, (2013), Simulation of Entry Capacity at Single-lane Roundabout Consideration Pedestrian Impact, Proceedings of the Eastern Asia Society For Transportation Values, Vol 9, 2013, pp 5.

Kinzel Ch, Trueblood M, (2004) The Effects of Operational Parameters in the Simulation of Roundabouts, ITE 2004 Annual Meeting and Exhibit

Kometani E, Sasaki T, (1959), Dynamic behaviour of traffic with a nonlinear spacing-speed relationship, In Proceedings of the Symposium on Theory of Traffic Flow, Research Laboratories, General Motors, pp 105-119.

Kyte M, Lall K.B, Manfood N, (1991), An empirical method to estimate capacity and delay on the minor street approach of a Two Way Stopped Controlled intersection, Draft Final Report.

Li Z, DeAmico M, Chitturi M, Bill A, Noyce D (2013), Calibration of Vissim Roundabout Model: A Critical Gap and Follow Up Headway Approach, Transportation Research Board.

Lighthill M.J, Whitham G.B, (1995), On Kinematic waves. I. Flood movement in long rivers, Proc. Roy. Soc. Lond. A 299, 281-316

Michaels R.M (1965), Acceleration Noise and Clustering Tendency of Vehicular Traffic, Proceedings of 1st International Symposium on Theory of Traffic Flow.

Johnson M, Moule M, Lyon G, Persaud B, Hallmark S, Isebrands H, Crown B, Guichet B, O'Brien A,(2010), Roundabouts: An Informational Guide, second edition, FHWA NCHRP Report 672., Chapter 1, pp 10-18.

Olstam JJ, Tapani A, (2004), A Comparison of Car – Following Models, Swedish National Road and Transport Research Institute.

Peach M, (2012), Track Clearance Interval Derivation for Roundabouts Adjacent to Highway/ Railway At- Grade Crossings, ITE 2012 Annual Meeting & Exhibit, pp 11.

PTV Vissim 5.40 Users Manual.

Richards P.I, (1956), Shock waves on highways, Oper. Res., 4, 42.

Schroeder B, (2012), Calibrating Roundabout Simulation Models to Deterministic Capacity Relationships, Roundabouts Now 4th Edition 2012.

Stanek D, Milam R, (2004), High Capacity Roundabout Intersection Analysis: Going Around in Circles.

Todosiev E.P, (1963), The action- point model of the driver- vehicle system, The Ohio State University, Report 202 A-3.

Trueblood M, Dale J,(2003) , Simulating Roundabouts With VISSIM, 2nd Urban Street Symposium.

Vaiana R, Gallelli V (2011), The Calibration of Traffic Microscopic Simulation Models: Kinematic Approach to the Through Movement on Roundabouts, TRB annual meeting 2011.

Vlahos E, Polus A, (2005), Evaluation of Roundabouts versus Signalized and Unsignalized Intersections in Delaware, Delaware Center of Transportation, University of Delaware.

Weidemann R, Reiter U, (1992), Microscopic Traffic Simulation the Simulation System MISSION.

Wong S.C., (1995), On the Reserve Capacities of Priority Junctions and Roundabouts, Transpn Res-B, Vol 30, No 6, pp 441-453, 1996.

6.2 Ελληνική Βιβλιογραφία

Αντωνίου Κ, Παπαδημητρίου Ε, (2012), Σημειώσεις Μαθήματος Σχεδιασμός – Μελέτη – Λειτουργία Κόμβων, ΣΑΤΜ, ΕΜΠ.

Κουκουτίμπας Ε, (2011), Διαχείριση της κυκλοφορίας με τη χρήση λογισμικού προσομοίωσης, Διπλωματική Εργασία, Κεφ 4, σελ 76- 93.

Φραντζεσκάκης Ι, Γιαννόπουλος (1986), Σχεδιασμός των μεταφορών και κυκλοφοριακή τεχνική.

Φραντζεσκάκης Ι, Γκόλιας Ι, Πιτσιάβα- Λατινοπούλου Μ.Χ, (2009), Κυκλοφοριακή Τεχνική, Εκδόσεις Παπασωτηρίου.

Παράρτημα

Συγκεντρωτικά αποτελέσματα προσομοιώσεων

Πίνακας 4.1: Κυκλικός Κόμβος

Διάκενα (front gap, rear gap, safety distance)	Μέση καθυστέρηση (δλ)	Φόρτος 300 οχ/ώρα		Ταχύτητα 30 χλμ/ώρα		Κυκλοφοριακή Ικανότητα (οχ/ώρα)	μέση ταχύτητα (χλμ/ώρα)
		Βορράς	Ανατολή	Νότος	Δύση		
0,1-0,1-0,1	1,9	1,8	1,8	1,9	1,9	1175	31,61
0,1-0,1-0,7	2,7	2,6	2,6	2,9	2,6	1175	31,39
0,1-0,1-1,5	6,3	6,2	6,3	6,4	6,3	1173	30,46
0,1-0,50-1	1,9	1,8	1,8	1,9	1,9	1175	31,61
0,1-0,5-0,7	2,7	2,6	2,6	2,9	2,6	1175	31,39
0,1-0,5-1,5	6,3	6,2	6,3	6,4	6,3	1173	30,46
0,1-1-0,1	1,9	1,8	1,8	1,9	1,9	1175	31,61
0,1-1-0,7	2,7	2,6	2,6	2,9	2,6	1175	31,39
0,1-1-1,5	6,3	6,2	6,3	6,4	6,3	1173	30,46
0,5-0,1-0,1	1,9	1,8	1,9	1,9	1,9	1175	31,60
0,5-0,1-0,7	2,7	2,7	2,8	2,8	2,6	1175	31,35
0,5-0,1-1,5	6,5	6,6	6,4	6,9	6,3	1173	30,41
0,5-0,50-1	1,9	1,8	1,9	1,9	1,9	1175	31,60
0,5-0,5-0,7	2,7	2,7	2,8	2,8	2,6	1175	31,35
0,5-0,5-1,5	6,5	6,6	6,4	6,9	6,3	1173	30,41
0,5-1-0,1	1,9	1,8	1,9	1,9	1,9	1175	31,60
0,5-1-0,7	2,7	2,7	2,8	2,8	2,6	1175	31,35
0,5-1-1,5	6,5	6,6	6,4	6,9	6,3	1173	30,41
1-0,1-0,1	2	1,9	2,1	2,1	2,1	1174,8	31,58
1-0,1-0,7	2,8	2,8	2,9	3	2,7	1174	31,31
1-0,1-1,5	6,5	6,5	6,4	6,9	6,3	1173	30,43
1-0,50-1	2	1,9	2,1	2,1	2,1	1174,8	31,58
1-0,5-0,7	2,8	2,8	2,9	3	2,7	1174	31,31
1-0,5-1,5	6,5	6,5	6,4	6,9	6,3	1173	30,43
1-1-0,1	2	1,9	2,1	2,1	2,1	1174,8	31,58
1-1-0,7	2,8	2,8	2,9	3	2,7	1174	31,31
1-1-1,5	6,5	6,5	6,4	6,9	6,3	1173	30,43

Πίνακας 4.2: Κυκλικός Κόμβος

Διάκενα (front gap, rear gap, safety distance)	Μέση καθυστέρηση (δλ)	Φόρτος 300οχ/ώρα		Ταχύτητα 50 χλμ/ώρα		Κυκλοφοριακή Ικανότητα (οχ/ώρα)	μέση ταχύτητα (χλμ/ώρα)
		Βορράς	Ανατολή	Νότος	Δύση		
0,1-0,1-0,1	2,5	2,5	2,5	2,6	2,4	1200	48,32
0,1-0,1-0,7	3,5	3,6	3,4	3,6	3,3	1146	47,71
0,1-0,1-1,5	7	7,4	6,7	7,2	6,6	1200	45,80
0,1-0,50-1	2,5	2,5	2,5	2,6	2,4	1200	48,32
0,1-0,5-0,7	3,5	3,6	3,4	3,6	3,3	1146	47,71
0,1-0,5-1,5	7	7,4	6,7	7,2	6,6	1200	45,80
0,1-1-0,1	2,5	2,5	2,5	2,6	2,4	1200	48,32
0,1-1-0,7	3,5	3,6	3,4	3,6	3,3	1146	47,71
0,1-1-1,5	7	7,4	6,7	7,2	6,6	1200	45,80
0,5-0,1-0,1	2,5	2,5	2,6	2,7	2,4	1200	48,32
0,5-0,1-0,7	3,6	3,7	3,5	3,7	3,4	1200	47,68
0,5-0,1-1,5	7,1	7	6,9	6,9	6,3	1199	45,86
0,5-0,50-1	2,5	2,5	2,6	2,7	2,4	1200	48,32
0,5-0,5-0,7	3,6	3,7	3,5	3,7	3,4	1200	47,68
0,5-0,5-1,5	7,1	7	6,9	6,9	6,3	1199	45,86
0,5-1-0,1	2,5	2,5	2,6	2,7	2,4	1200	48,32
0,5-1-0,7	3,6	3,7	3,5	3,7	3,4	1200	47,68
0,5-1-1,5	7,1	7	6,9	6,9	6,3	1199	45,86
1-0,1-0,1	2,8	2,8	2,8	2,8	2,6	1200	48,17
1-0,1-0,7	3,7	3,8	3,7	3,8	3,6	1200	47,58
1-0,1-1,5	7,3	7,9	7,1	7,5	6,8	1199	45,60
1-0,50-1	2,8	2,8	2,8	2,8	2,6	1200	48,17
1-0,5-0,7	3,7	3,8	3,7	3,8	3,6	1200	47,58
1-0,5-1,5	7,3	7,9	7,1	7,5	6,8	1199	45,60
1-1-0,1	2,8	2,8	2,8	2,8	2,6	1200	48,17
1-1-0,7	3,7	3,8	3,7	3,8	3,6	1200	47,58
1-1-1,5	7,3	7,9	7,1	7,5	6,8	1199	45,6

Πίνακας 4.3 Ισόπεδος κόμβος προτεραιότητας

Διάκενα (front gap, rear gap, safety distance)	Μέση καθυστέρηση (δλ)	Φόρτος 300αχ/ώρα		Ταχύτητα 30 χλμ/ώρα		Κυκλοφοριακή Ικανότητα (αχ/ώρα)	μέση ταχύτητα (χλμ/ώρα)
		Βορράς	Ανατολή	Νότος	Δύση		
0,1-0,1-0,1	1,9	4,3	1	3,9	1	1188,6	31,61
0,1-0,1-0,7	2,9	2,8	1	2,9	1	1188,6	31,39
0,1-0,1-1,5	3,8	6,3	1,2	6,5	1,2	1188,4	30,46
0,1-0,50-1	2,3	3,7	1	3,5	1	1024	31,61
0,1-0,5-0,7	2,7	4,7	1	4,1	1,1	1188,6	31,39
0,1-0,5-1,5	4	6,7	1,2	6,8	1,2	1188,4	30,46
0,1-1-0,1	2,8	4,7	1	4,3	1,1	1188,6	31,61
0,1-1-0,7	2,9	5	1	4,5	1,1	1188,6	31,39
0,1-1-1,5	4,3	7,5	1,2	7,3	1,2	1188,2	30,46
0,5-0,1-0,1	2,1	3,2	1	3,3	1	1188,6	31,60
0,5-0,1-0,7	2,9	5	1	4,4	1,1	1188,6	31,35
0,5-0,1-1,5	4,3	7,5	1,2	7,5	1,2	1188,4	30,41
0,5-0,50-1	2,5	4,2	1	3,8	1,1	1188,6	31,60
0,5-0,5-0,7	2,9	5,2	1	4,5	1,1	1188,6	31,35
0,5-0,5-1,5	4,5	8	1,2	7,7	1,2	1188	30,41
0,5-1-0,1	3	5,2	1	4,7	1,1	1024	31,60
0,5-1-0,7	3,1	5,4	1,1	4,8	1,2	1083,8	31,35
0,5-1-1,5	4,9	8,9	1,2	8,2	1,2	1188	30,41
1-0,1-0,1	2,4	3,8	1	3,9	1,1	1188,4	31,58
1-0,1-0,7	3,2	5,8	1	4,9	1,2	1083,8	31,31
1-0,1-1,5	5,4	10,4	1,2	8,7	1,3	1188,2	30,43
1-0,50-1	2,9	5	1	4,4	1,1	1024	31,58
1-0,5-0,7	3,3	6,1	1	5,1	1,2	1188,4	31,31
1-0,5-1,5	5,7	11	1,2	9,4	1,3	1187,8	30,43
1-1-0,1	3,5	6,2	1	5,6	1,2	1188,4	31,58
1-1-0,7	3,7	6,8	1	5,9	1,2	1188,4	31,31
1-1-1,5	6	11,5	1,2	10,2	1,3	1186,8	30,43

Πίνακας 4.4 Ισόπεδος Κόμβος προτεραιότητας

Διάκενα (front gap, rear gap, safety distance)	Μέση καθυστέρηση (δλ)	Φόρτος 300οχ/ώρα		Ταχύτητα 50 χλμ/ώρα		Κυκλοφοριακή Ικανότητα (οχ/ώρα)	μέση ταχύτητα (χλμ/ώρα)
		Βορράς	Ανατολή	Νότος	Δύση		
0,1-0,1-0,1	0,6	1	0,2	1	0,2	1191,4	51,73
0,1-0,1-0,7	1	1,7	0,2	1,6	0,2	1191,4	51,48
0,1-0,1-1,5	2,1	3,9	0,4	3,5	0,3	1176	50,66
0,1-0,50-1	0,9	1,5	0,2	1,4	0,2	1191,4	51,55
0,1-0,5-0,7	1	1,7	0,2	1,6	0,2	1128,6	51,46
0,1-0,5-1,5	1,9	3,7	0,4	3,2	0,3	1191,4	50,79
0,1-1-0,1	1,3	2,3	0,3	2,1	0,3	1191,4	50,79
0,1-1-0,7	1,3	2,3	0,3	2,1	0,3	1191,4	51,24
0,1-1-1,5	2,1	4,1	0,4	3,4	0,3	1191,4	50,66
0,5-0,1-0,1	0,8	1,4	0,2	1,4	0,2	1191,4	51,59
0,5-0,1-0,7	1,2	2,1	0,3	2	0,2	1191,4	51,29
0,5-0,1-1,5	2,4	4,9	0,4	3,8	0,4	1191,4	50,46
0,5-0,50-1	1,1	2	0,3	1,8	0,2	1191,4	51,37
0,5-0,5-0,7	1,2	2,2	0,3	2	0,3	1128,6	51,28
0,5-0,5-1,5	2,6	5,4	0,4	4	0,4	1191,4	50,33
0,5-1-0,1	1,6	3,1	0,3	2,7	0,3	1191,4	51,73
0,5-1-0,7	1,6	3	0,3	2,7	0,3	1191,4	51,48
0,5-1-1,5	2,8	6	0,4	4,3	0,4	1191,4	50,66
1-0,1-0,1	1,1	1,9	0,3	1,8	0,3	1191,4	51,55
1-0,1-0,7	1,5	3	0,3	2,4	0,3	1191,4	51,46
1-0,1-1,5	2,9	5,9	0,4	4,5	0,4	1191,4	50,79
1-0,50-1	1,4	2,5	0,3	2,2	0,3	1191,4	50,79
1-0,5-0,7	1,6	3,1	0,3	2,5	0,3	1191,4	51,24
1-0,5-1,5	3,1	6,2	0,4	4,9	0,4	1191,4	50,66
1-1-0,1	2,1	4,2	0,4	3,5	0,3	1191,4	51,59
1-1-0,7	2,2	4,3	0,4	3,6	0,3	1191,4	51,29
1-1-1,5	3,3	6,6	0,4	5,3	0,4	1191,4	50,46

Πίνακας 4.5 Κυκλικός κόμβος

Διάκενα (front gap, rear gap, safety distance)	Μέση καθυστέρηση (δλ)	Φόρτος 450 οχ/ώρα		Ταχύτητα 30 χλμ/ώρα		Κυκλοφοριακή Ικανότητα (οχ/ώρα)	μέση ταχύτητα (χλμ/ώρα)
		Βορράς	Ανατολή	Νότος	Δύση		
0,1-0,1-0,1	4,2	4,2	4,1	4,4	4,2	1786	30,93
0,1-0,1-0,7	7,1	7,2	6,6	7,6	6,9	1783	30,18
0,1-0,1-1,5	70,4	65,5	57	106,6	53,3	1733	20,33
0,1-0,5-1	4,2	4,2	4,1	4,4	4,2	1786	30,93
0,1-0,5-0,7	7,1	7,2	6,6	7,6	6,9	1783	30,18
0,1-0,5-1,5	70,4	65,5	57	106,6	53,3	1733	20,33
0,1-1-0,1	4,2	4,2	4,1	4,4	4,2	1786	30,93
0,1-1-0,7	7,1	7,2	6,6	7,6	6,9	1783	30,18
0,1-1-1,5	70,4	65,5	57	106,6	53,3	1733	20,33
0,5-0,1-0,1	4,2	4,3	4,1	4,3	4,1	1785	30,93
0,5-0,1-0,7	7	7	6,9	7,4	6,8	1784	30,20
0,5-0,1-1,5	74,3	93,9	60,1	85,2	57,9	1732	19,92
0,5-0,5-1	4,2	4,3	4,1	4,3	4,1	1785	30,93
0,5-0,5-0,7	7	7	6,9	7,4	6,8	1784	30,20
0,5-0,5-1,5	74,3	93,9	60,1	85,2	57,9	1732	19,92
0,5-1-0,1	4,2	4,3	4,1	4,3	4,1	1785	30,93
0,5-1-0,7	7	7	6,9	7,4	6,8	1784	30,20
0,5-1-1,5	74,3	93,9	60,1	85,2	57,9	1732	19,92
1-0,1-0,1	4,5	4,6	4,4	4,6	4,4	1785	30,83
1-0,1-0,7	7,4	7,4	6,8	7,5	8,1	1752	30,07
1-0,1-1,5	78,9	84,6	69,6	66	57	1734	20,53
1-0,50-1	4,5	4,6	4,4	4,6	4,4	1785	30,83
1-0,5-0,7	7,4	7,4	6,8	7,5	8,1	1752	30,07
1-0,5-1,5	78,9	84,6	69,6	66	57	1734	20,53
1-1-0,1	4,5	4,6	4,4	4,6	4,4	1785	30,83
1-1-0,7	7,4	7,4	6,8	7,5	8,1	1752	30,07
1-1-1,5	78,9	84,6	69,6	66	57	1734	20,53

Πίνακας 4.6 Κυκλικός κόμβος

Διάκενα (front gap, rear gap, safety distance)	Μέση καθυστέρηση (δλ)	Φόρτος 450 οχ/ώρα		Ταχύτητα 50 χλμ/ώρα		Κυκλοφοριακή Ικανότητα (οχ/ώρα)	μέση ταχύτητα (χλμ/ώρα)
		Βορράς	Ανατολή	Νότος	Δύση		
0,1-0,1-0,1	5	5,1	5	5,2	5	1806,4	46,86
0,1-0,1-0,7	8,5	8,8	8	8,9	8,3	1804,1	45,03
0,1-0,1-1,5	83,6	83,9	74,6	109,5	66,6	1744,4	24,16
0,1-0,50-1	5	5,1	5	5,2	5	1806,4	46,86
0,1-0,5-0,7	8,5	8,8	8	8,9	8,3	1804,1	45,03
0,1-0,5-1,5	83,6	83,9	74,6	109,5	66,6	1744,4	24,16
0,1-1-0,1	5	5,1	5	5,2	5	1806,4	46,86
0,1-1-0,7	8,5	8,8	8	8,9	8,3	1804,1	45,03
0,1-1-1,5	83,6	83,9	74,6	109,5	66,6	1744,4	24,16
0,5-0,1-0,1	5,1	5,1	5	5,2	4,9	1806,1	46,88
0,5-0,1-0,7	8,4	8,8	8,1	8,5	8,3	1360	45,05
0,5-0,1-1,5	71,2	72,8	80,1	81,7	49,5	1319,2	26,17
0,5-0,50-1	5,1	5,1	5	5,2	4,9	1806,1	46,88
0,5-0,5-0,7	8,4	8,8	8,1	8,5	8,3	1360	45,05
0,5-0,5-1,5	71,2	72,8	80,1	81,7	49,5	1319,2	26,17
0,5-1-0,1	5,1	5,1	5	5,2	4,9	1806,1	46,88
0,5-1-0,7	8,4	8,8	8,1	8,5	8,3	1360	45,05
0,5-1-1,5	71,2	72,8	80,1	81,7	49,5	1319,2	26,17
1-0,1-0,1	5,5	5,6	5,3	5,8	5,4	1806	46,58
1-0,1-0,7	8,8	9	8,5	9,2	8,4	1804	44,88
1-0,1-1,5	83,5	87,3	77,9	104,3	64,5	1741	24,1
1-0,50-1	5,5	5,6	5,3	5,8	5,4	1806	46,58
1-0,5-0,7	8,8	9	8,5	9,2	8,4	1804	44,88
1-0,5-1,5	83,5	87,3	77,9	104,3	64,5	1741	24,1
1-1-0,1	5,5	5,6	5,3	5,8	5,4	1806	46,58
1-1-0,7	8,8	9	8,5	9,2	8,4	1804	44,88
1-1-1,5	83,5	87,3	77,9	104,3	64,5	1741	24,1

Πίνακας 4.7 Ισόπεδος κόμβος προτεραιότητας

Διάκενα (front gap, rear gap, safety distance)	Μέση καθυστέρηση (δλ)	Φόρτος 450 οχ/ώρα		Ταχύτητα 30 χλμ/ώρα		Κυκλοφοριακή Ικανότητα (οχ/ώρα)	μέση ταχύτητα (χλμ/ώρα)
		Βορράς	Ανατολή	Νότος	Δύση		
0,1-0,1-0,1	6	9,8	1,8	10,7	1,8	1769,4	30
0,1-0,1-0,7	12,8	23,9	1,8	24,2	1,9	1795,2	28
0,1-0,1-1,5	70,8	81,9	2,2	220,7	2,4	1727	24
0,1-0,50-1	9	16,1	1,8	16,3	1,9	1797,2	29,8
0,1-0,5-0,7	18,5	35,9	1,8	35,1	1,9	1792,6	27
0,1-0,5-1,5	91,7	116,8	2,2	287,1	2,4	1694,8	23
0,1-1-0,1	19,3	33,8	1,8	40,3	2	1791,4	29
0,1-1-0,7	28,7	41,4	1,9	71,9	2,1	1589	27
0,1-1-1,5	103,3	157,8	2,1	297,9	2,3	1668,2	23
0,5-0,1-0,1	7,8	14	1,8	13,9	1,8	1796,8	29
0,5-0,1-0,7	19,8	36,4	1,8	40,1	2	1787,8	28
0,5-0,1-1,5	98,4	160,3	2,3	264,6	2,4	1693,6	24
0,5-0,5-1	13,8	28,9	1,8	23	1,9	1793,4	29
0,5-0,5-0,7	24,2	33,8	1,8	60,9	2	1788,4	26
0,5-0,5-1,5	103,5	129,3	2,3	343,8	2,4	1661	23
0,5-1-0,1	26,1	42,6	1,9	59,7	2,1	1780,4	29
0,5-1-0,7	30,4	51,4	1,9	68,4	2,1	1780,6	26
0,5-1-1,5	132,1	144,2	2,5	489,6	2,4	1636	23
1-0,1-0,1	13,2	28,2	1,9	21,1	1,9	1796,2	29
1-0,1-0,7	47	52	1,9	141,1	2,1	1758,8	26
1-0,1-1,5	159,2	193,9	2,5	583,5	2,5	1604,4	23
1-0,50-1	26,7	48,2	1,9	56,4	2	1787,6	28
1-0,5-0,7	50,4	74,6	2	131	2	1757	26
1-0,5-1,5	166	236,6	2,4	579,1	2,5	1586,2	22
1-1-0,1	63,9	113	2	150,3	2,1	1743,2	28
1-1-0,7	68,8	104,4	1,9	181,1	2,3	1732,2	26
1-1-1,5	171,5	309,6	2,4	506,9	2,6	1582,8	20

Πίνακας 4.8: Ισόπεδος κόμβος προτεραιότητας

Διάκενα (front gap, rear gap, safety distance)	Μέση καθυστέρηση (δλ)	Φόρτος 450 οχ/ώρα		Ταχύτητα 50 χλμ/ώρα		Κυκλοφοριακή Ικανότητα (οχ/ώρα)	μέση ταχύτητα (χλμ/ώρα)
		Βορράς	Ανατολή	Νότος	Δύση		
0,1-0,1-0,1	2,6	4,5	1	3,9	1,1	1803,2	50,57
0,1-0,1-0,7	5,1	9,9	1,1	8,3	1,2	1802,6	49,01
0,1-0,1-1,5	15,7	28,9	1,4	31,9	1,5	1794,8	43,95
0,1-0,5-1	4,2	8,1	1,1	6,7	1,1	1802,2	49,53
0,1-0,5-0,7	5,3	10,9	1,1	8,3	1,2	1802,6	48,88
0,1-0,5-1,5	26	36,1	1,4	67,1	1,5	1787,2	40,92
0,1-1-0,1	8,5	17	1,2	15	1,3	1799,8	47,08
0,1-1-0,7	9,2	18,9	1,2	16	1,2	1799,6	46,71
0,1-1-1,5	39,5	59,8	1,4	101,2	1,4	1636,6	37,75
0,5-0,1-0,1	4	7,3	1,1	6,5	1,2	1802,4	49,65
0,5-0,1-0,7	7,4	14,2	1,1	13,3	1,2	1798	47,68
0,5-0,1-1,5	41,8	63,2	1,6	105,6	1,6	1774,4	37,64
0,5-0,5-1	6,9	13	1,1	12,7	1,2	1800,4	47,93
0,5-0,5-0,7	8,4	14,7	1,2	16,9	1,3	1796,4	47,16
0,5-0,5-1,5	65,6	79,3	1,6	198,6	1,6	1741,4	35,08
0,5-1-0,1	18,6	38,8	1,3	34,1	1,4	1790,2	42,96
0,5-1-0,7	16,7	29,1	1,3	35,8	1,3	1795,2	43,53
0,5-1-1,5	74,1	108,1	1,5	206,4	1,6	1719,4	33,99
1-0,1-0,1	5,1	9,3	1,1	8,8	1,3	1460,4	48,83
1-0,1-0,7	11,4	22,9	1,3	20,4	1,4	1797,6	45,71
1-0,1-1,5	62,3	83,8	1,6	177,7	1,7	1740,6	35,18
1-0,5-1	9,6	17,8	1,2	18,3	1,3	1800,4	46,59
1-0,5-0,7	11,5	20,5	1,2	23,4	1,4	1798	45,65
1-0,5-1,5	60,5	89,5	1,6	167,2	1,6	1529,6	34,9
1-1-0,1	31,8	63,2	1,4	63,7	1,4	1784,6	39,41
1-1-0,7	33,1	55,1	1,4	77,5	1,4	1785	39,18
1-1-1,5	85,6	150,2	1,6	218,3	1,6	1704,6	32,88

Πίνακας 4.9 Κυκλικός Κόμβος

Διάκενα (front gap, rear gap, safety distance)	Μέση καθυστέρηση (δλ)	Φόρτος 600οχ/ώρα		Ταχύτητα 30 χλμ/ώρα		Κυκλοφοριακή Ικανότητα (οχ/ώρα)	μέση ταχύτητα (χλμ/ώρα)
		Βορράς	Ανατολή	Νότος	Δύση		
0,1-0,1-0,1	11,1	10,8	11,4	11,5	10,6	2324	29,23
0,1-0,1-0,7	40,8	45,3	39,5	47,1	31,1	2356	23,86
0,1-0,1-1,5	403,4	450	360,4	466,5	347,7	1799	7,29
0,1-0,50-1	11,1	10,8	11,4	11,5	10,6	2324	29,23
0,1-0,5-0,7	40,8	45,3	39,5	47,1	31,1	2356	23,86
0,1-0,5-1,5	403,4	450	360,4	466,5	347,7	1799	7,29
0,1-1-0,1	11,1	10,8	11,4	11,5	10,6	2324	29,23
0,1-1-0,7	40,8	45,3	39,5	47,1	31,1	2356	23,86
0,1-1-1,5	403,4	450	360,4	466,5	347,7	1799	7,29
0,5-0,1-0,1	10,9	10,8	11,2	11,5	10,1	2383	29,28
0,5-0,1-0,7	40	37,5	34,5	48,9	39,2	2351	24,02
0,5-0,1-1,5	396,6	472,6	337,5	471,3	323,4	1631	7,29
0,5-0,50-1	10,9	10,8	11,2	11,5	10,1	2383	29,28
0,5-0,5-0,7	40	37,5	34,5	48,9	39,2	2351	24,02
0,5-0,5-1,5	396,6	472,6	337,5	471,3	323,4	1631	7,29
0,5-1-0,1	10,9	10,8	11,2	11,5	10,1	2383	29,28
0,5-1-0,7	40	37,5	34,5	48,9	39,2	2351	24,02
0,5-1-1,5	396,6	472,6	337,5	471,3	323,4	1631	7,29
1-0,1-0,1	11	10,9	11,1	11,1	10,8	2379	29,25
1-0,1-0,7	38,6	34,7	40,2	41	38,4	2295	24,27
1-0,1-1,5	401,1	438,6	368,5	451	353,3	1799	7,29
1-0,50-1	11	10,9	11,1	11,1	10,8	2379	29,25
1-0,5-0,7	38,6	34,7	40,2	41	38,4	2295	24,27
1-0,5-1,5	401,1	438,6	368,5	451	353,3	1799	7,29
1-1-0,1	11	10,9	11,1	11,1	10,8	2379	29,25
1-1-0,7	38,6	34,7	40,2	41	38,4	2295	24,27
1-1-1,5	401,1	438,6	368,5	451	353,3	1799	7,29

Πίνακας 4.10: Κυκλικός κόμβος

Διάκενα (front gap, rear gap, safety distance)	Μέση καθυστέρηση (δλ)	Φόρτος 600 οχ/ώρα		Ταχύτητα 50 χλμ/ώρα		Κυκλοφοριακή Ικανότητα (οχ/ώρα)	μέση ταχύτητα (χλμ/ώρα)
		Βορράς	Ανατολή	Νότος	Δύση		
0,1-0,1-0,1	12,4	12,7	12,2	13	11,7	2412	43,07
0,1-0,1-0,7	38,3	46,2	32,6	50,6	31,7	2360	32,90
0,1-0,1-1,5	398,4	449	386,5	470	299,1	1800	7,79
0,1-0,50-1	12,4	12,7	12,2	13	11,7	2412	43,07
0,1-0,5-0,7	12,4	12,7	12,2	13	11,7	2412	43,07
0,1-0,5-1,5	398,4	449	386,5	470	299,1	1800	7,79
0,1-1-0,1	12,4	12,7	12,2	13	11,7	2412	43,07
0,1-1-0,7	12,4	12,7	12,2	13	11,7	2412	43,07
0,1-1-1,5	398,4	449	386,5	470	299,1	1800	7,79
0,5-0,1-0,1	12,4	12,1	12,9	12,9	11,8	2412	43,06
0,5-0,1-0,7	44,5	44,7	44,3	53	36	2376	31,72
0,5-0,1-1,5	426,7	475,5	374,1	499,5	369,8	1806	7,58
0,5-0,50-1	12,4	12,1	12,9	12,9	11,8	2412	43,06
0,5-0,5-0,7	44,5	44,7	44,3	53	36	2376	31,72
0,5-0,5-1,5	426,7	475,5	374,1	499,5	369,8	1806	7,58
0,5-1-0,1	12,4	12,1	12,9	12,9	11,8	2412	43,06
0,5-1-0,7	44,5	44,7	44,3	53	36	2376	31,72
0,5-1-1,5	426,7	475,5	374,1	499,5	369,8	1806	7,58
1-0,1-0,1	13	12,8	13,6	13,3	12,3	2411	42,75
1-0,1-0,7	40,3	46,2	32,6	50,6	31,7	2360	32,90
1-0,1-1,5	417,2	472,2	374,5	484,6	349,6	1808	7,60
1-0,50-1	13	12,8	13,6	13,3	12,3	2411	42,75
1-0,5-0,7	40,3	46,2	32,6	50,6	31,7	2360	32,90
1-0,5-1,5	417,2	472,2	374,5	484,6	349,6	1808	7,60
1-1-0,1	13	12,8	13,6	13,3	12,3	2411	42,75
1-1-0,7	40,3	46,2	32,6	50,6	31,7	2360	32,90
1-1-1,5	3,3	6,6	0,4	5,3	0,4	1191,4	50,46

Πίνακας 4.10: Ισόπεδος κόμβος προτεραιότητας

Διάκενα (front gap, rear gap, safety distance)	Μέση καθυστέρηση (δλ)	Φόρτος 600οχ/ώρα		Ταχύτητα 30 χλμ/ώρα		Κυκλοφοριακή Ικανότητα (οχ/ώρα)	μέση ταχύτητα (χλμ/ώρα)
		Βορράς	Ανατολή	Νότος	Δύση		
0,1-0,1-0,1	138,9	293,2	3,1	323,3	3	2188,2	26
0,1-0,1-0,7	197,9	461	3,3	536,6	3,1	1727,2	21
0,1-0,1-1,5	280,6	756	4	1038,2	3,8	1771,8	16
0,1-0,50-1	198,8	475,2	3,1	478,7	3,1	2066	26
0,1-0,5-0,7	226,5	523,3	3,2	650,6	3,1	1971,2	21
0,1-0,5-1,5	284,9	852	3,9	1010	4	1746,2	16
0,1-1-0,1	240,5	563,2	3,4	726,8	3,4	1934,4	26
0,1-1-0,7	244,3	593,3	3,3	719,5	3,3	1926,4	21
0,1-1-1,5	290,5	807,8	4,2	1235,3	4	1716	16
0,5-0,1-0,1	175,9	331,5	3,4	497,7	3,5	2115	26
0,5-0,1-0,7	243,1	566,8	3,5	751,1	3,3	1925	21
0,5-0,1-1,5	292,8	837	4,4	1163,8	4,1	1723	16
0,5-0,50-1	202,9	391,5	3,7	684,2	2,8	1969	26
0,5-0,5-0,7	213,6	504,5	3,9	647,8	3,5	1938	21
0,5-0,5-1,5	246,1	794,4	4,8	951	4,1	1709	16
0,5-1-0,1	222,3	534,7	4,4	753,7	3,6	1867	26
0,5-1-0,7	231,9	682	4,2	649,3	3,4	1872	21
0,5-1-1,5	247	868,8	4,7	936,8	4,2	1684	16
1-0,1-0,1	213,1	605,9	4	591,8	3,5	1893	26
1-0,1-0,7	225,2	459,6	4,4	1009,9	4,1	1773	21
1-0,1-1,5	248,3	864,8	5,2	1399,7	4,7	1591	16
1-0,50-1	225,2	459,6	4,4	1009,9	4,1	1773	25
1-0,5-0,7	222,5	470,8	4,1	929,9	3,7	1826	20
1-0,5-1,5	255,3	860,3	4,7	1288,5	5,5	1622	16
1-1-0,1	237,9	643	4,1	878	3,8	1776	24
1-1-0,7	264,9	701,7	3,7	834,7	3,5	1845	20
1-1-1,5	287,8	969,2	4,5	1141,2	4,6	1665,2	15

Πίνακας 4.11 Ισόπεδος κόμβος προτεραιότητας

Διάκενα (front gap, rear gap, safety distance)	Μέση καθυστέρηση (δλ)	Φόρτος 600οχ/ώρα		Ταχύτητα 50 χλμ/ώρα		Κυκλοφοριακή Ικανότητα (οχ/ώρα)	μέση ταχύτητα (χλμ/ώρα)
		Βορράς	Ανατολή	Νότος	Δύση		
0,1-0,1-0,1	56,6	100,5	1,6	131,3	1,8	2339	35,48
0,1-0,1-0,7	139,1	348,2	1,8	284,1	1,9	1951,6	29,93
0,1-0,1-1,5	240,3	537,5	2,2	759,7	2,3	1941,8	27,95
0,1-0,50-1	128,7	336,6	1,7	236,1	1,8	2198,8	30,78
0,1-0,5-0,7	173	385,6	1,7	409	1,9	2140,2	29,41
0,1-0,5-1,5	249,4	572,4	2,1	852,1	2,3	1891,8	27,74
0,1-1-0,1	205	500,8	1,9	508,7	2,1	2035,4	28,58
0,1-1-0,7	208,6	506,6	1,9	514,1	2,1	2044	28,58
0,1-1-1,5	259,3	566,7	2,2	1000,7	2,4	1863	27,59
0,5-0,1-0,1	113,4	209,1	1,7	284,9	1,9	2241,2	31,35
0,5-0,1-0,7	202,5	440,3	1,9	541,6	2,1	2063,6	28,72
0,5-0,1-1,5	261,4	561,7	2,4	1011,7	2,6	1862	27,5
0,5-0,50-1	190,6	398	1,8	506,3	1,9	2100,8	29
0,5-0,5-0,7	208,9	416,8	1,9	637,1	2,1	2031	28,58
0,5-0,5-1,5	261,9	603,7	2,4	1019	2,5	1832,4	27,44
0,5-1-0,1	227,2	474,8	2	742,1	2,3	1963,2	28,17
0,5-1-0,7	213,6	458,1	1,9	680,7	2,2	1598	28,13
0,5-1-1,5	250,8	565,5	2,3	1036,4	2,6	1629,8	27,36
1-0,1-0,1	141,1	289,5	2	343,5	2	2184,6	30,18
1-0,1-0,7	215,3	467,2	2,1	623,3	2,2	2011,6	28,37
1-0,1-1,5	265,6	666,9	2,6	976,9	2,8	1812,4	27,25
1-0,50-1	212,2	473,2	2	572,4	2,3	2040,4	28,47
1-0,5-0,7	222,1	499,7	2,1	632,2	2,3	1999	28,27
1-0,5-1,5	262,1	651	2,6	1018,1	2,7	1795,4	27,28
1-1-0,1	250,5	667,4	2,3	677	2,6	1927	27,72
1-1-0,7	252,1	538,7	2,2	898,7	2,5	1899,2	27,71
1-1-1,5	265,6	666,9	2,6	976,9	2,8	1812,4	27,25

Πίνακας 4.12 Κυκλικός κόμβος

Διάκενα (front gap, rear gap, safety distance)	Μέση καθυστέρηση (δλ)	Φόρτος 480-120οχ/ώρα		Ταχύτητα 30 χλμ/ώρα		Κυκλοφοριακή Ικανότητα (οχ/ώρα)	μέση ταχύτητα (χλμ/ώρα)
		Βορράς	Ανατολή	Νότος	Δύση		
0,1-0,1-0,1	2,1	1,5	2,3	1,5	2,3	1190	31,7
0,1-0,1-0,7	2,8	2,3	2,9	2,3	3	1190	31,5
0,1-0,1-1,5	6,1	6	6,1	5,6	6,3	1142	30,6
0,1-0,50-1	2,1	1,5	2,3	1,5	2,3	1190	31,7
0,1-0,5-0,7	2,8	2,3	2,9	2,3	3	1190	31,5
0,1-0,5-1,5	6,1	6	6,1	5,6	6,3	1142	30,6
0,1-1-0,1	2,1	1,5	2,3	1,5	2,3	1190	31,7
0,1-1-0,7	2,8	2,3	2,9	2,3	3	1190	31,5
0,1-1-1,5	6,1	6	6,1	5,6	6,3	1142	30,6
0,5-0,1-0,1	2,1	1,5	2,3	1,5	2,3	1190	31,7
0,5-0,1-0,7	2,8	2,5	2,9	2,4	2,9	1189	31,4
0,5-0,1-1,5	6,2	5,9	6,1	5,6	6,4	1115	30,6
0,5-0,50-1	2,1	1,5	2,3	1,5	2,3	1190	31,7
0,5-0,5-0,7	2,8	2,5	2,9	2,4	2,9	1189	31,4
0,5-0,5-1,5	6,2	5,9	6,1	5,6	6,4	1115	30,6
0,5-1-0,1	2,1	1,5	2,3	1,5	2,3	1190	31,7
0,5-1-0,7	2,8	2,5	2,9	2,4	2,9	1189	31,4
0,5-1-1,5	6,2	5,9	6,1	5,6	6,4	1115	30,6
1-0,1-0,1	2,3	1,6	2,4	1,7	2,4	1189	31,7
1-0,1-0,7	2,9	2,7	3	2,5	3	1189	31,4
1-0,1-1,5	6,7	6,2	6,4	5,9	6,6	1115	30,7
1-0,50-1	2,3	1,6	2,4	1,7	2,4	1189	31,7
1-0,5-0,7	2,9	2,7	3	2,5	3	1189	31,4
1-0,5-1,5	6,7	6,2	6,4	5,9	6,6	1115	30,7
1-1-0,1	2,3	1,6	2,4	1,7	2,4	1189	31,7
1-1-0,7	2,9	2,7	3	2,5	3	1189	31,4
1-1-1,5	6,7	6,2	6,4	5,9	6,6	1115	30,7

Πίνακας 4.13: Κυκλικός κόμβος

Διάκενα (front gap, rear gap, safety distance)	Μέση καθυστέρηση (δλ)	Φόρτος 480-120οχ/ώρα		Ταχύτητα 50 χλμ/ώρα		Κυκλοφοριακή Ικανότητα (οχ/ώρα)	μέση ταχύτητα (χλμ/ώρα)
		Βορράς	Ανατολή	Νότος	Δύση		
0,1-0,1-0,1	2,8	1,9	3	1,8	3	1203	48,5
0,1-0,1-0,7	3,7	2,8	4	2,7	3,9	1203	47,9
0,1-0,1-1,5	7,1	5,8	7,4	5,8	7,5	1202	46,0
0,1-0,50-1	2,8	1,9	3	1,8	3	1203	48,5
0,1-0,5-0,7	3,7	2,8	4	2,7	3,9	1203	47,9
0,1-0,5-1,5	7,1	5,8	7,4	5,8	7,5	1202	46,0
0,1-1-0,1	2,8	1,9	3	1,8	3	1203	48,5
0,1-1-0,7	3,7	2,8	4	2,7	3,9	1203	47,9
0,1-1-1,5	7,1	5,8	7,4	5,8	7,5	1202	46
0,5-0,1-0,1	2,8	1,9	3,1	2	3	1203	48,4
0,5-0,1-0,7	3,7	3	4	2,6	3,9	626	47,8
0,5-0,1-1,5	7,1	5,8	7,4	5,8	7,5	1202	46,0
0,5-0,50-1	2,8	1,9	3,1	2	3	1203	48,4
0,5-0,5-0,7	3,7	3	4	2,6	3,9	626	47,8
0,5-0,5-1,5	7,1	5,8	7,4	5,8	7,5	1202	46,0
0,5-1-0,1	2,8	1,9	3,1	2	3	1203	48,4
0,5-1-0,7	3,7	3	4	2,6	3,9	626	47,8
0,5-1-1,5	7,1	5,8	7,4	5,8	7,5	1202	46,0
1-0,1-0,1	3	2,1	3,2	2,1	3,2	1203	48,3
1-0,1-0,7	4	3,1	4,2	2,9	4,2	1119	47,7
1-0,1-1,5	7,1	6,4	7,4	6,2	7,3	1202	45,9
1-0,50-1	3	2,1	3,2	2,1	3,2	1203	48,3
1-0,5-0,7	4	3,1	4,2	2,9	4,2	1119	47,7
1-0,5-1,5	7,1	6,4	7,4	6,2	7,3	1202	45,9
1-1-0,1	3	2,1	3,2	2,1	3,2	1203	48,3
1-1-0,7	4	3,1	4,2	2,9	4,2	1119	47,7
1-1-1,5	7,1	6,4	7,4	6,2	7,3	1202	45,9

Πίνακας 4.15: Ισόπεδος κόμβος προτεραιότητας

Διάκενα (front gap, rear gap, safety distance)	Μέση καθυστέρηση (δλ)	Φόρτος 480-120οχ/ώρα		Ταχύτητα 30 χλμ/ώρα		Κυκλοφοριακή Ικανότητα (οχ/ώρα)	μέση ταχύτητα (χλμ/ώρα)
		Βορράς	Ανατολή	Νότος	Δύση		
0,1-0,1-0,1	2,1	3,5	1,7	3,3	1,8	1020	31,7
0,1-0,1-0,7	2,6	5,2	1,9	4,8	2,2	1204,6	31,5
0,1-0,1-1,5	3,7	8,5	2,4	8,8	2,6	1204,2	30,6
0,1-0,50-1	2,3	4,1	1,8	4	2	1204,6	31,7
0,1-0,5-0,7	2,7	5,3	1,9	5	2,1	1204,6	31,5
0,1-0,5-1,5	3,7	8,6	2,4	9	2,6	1204,2	30,6
0,1-1-0,1	2,7	5,7	2	5	2,2	1204,6	31,7
0,1-1-0,7	2,8	5,8	2	5,4	2,2	1204,6	31,5
0,1-1-1,5	3,7	8,9	2,4	9,3	2,5	1204,2	30,6
0,5-0,1-0,1	2,2	3,6	1,8	3,7	1,9	1204,6	31,7
0,5-0,1-0,7	2,8	5,5	2,1	5,4	2,2	1204,6	31,4
0,5-0,1-1,5	4,1	9,4	2,6	10,2	2,7	1204,2	30,6
0,5-0,50-1	2,5	4,8	1,9	4,6	2,1	1204,6	31,7
0,5-0,5-0,7	2,8	5,7	2,1	5,6	2,2	1204,6	31,4
0,5-0,5-1,5	4,1	9,6	2,6	10,5	2,7	1204,2	30,6
0,5-1-0,1	3	6,2	2,1	5,7	2,3	1086,4	31,7
0,5-1-0,7	2,9	6,4	2,1	5,8	2,2	1204,6	31,4
0,5-1-1,5	4,2	9,8	2,6	11,1	2,7	1204,2	30,6
1-0,1-0,1	3,2	7,1	2,2	6,6	2,3	1204,6	31,7
1-0,1-0,7	3,1	6,8	2,2	6,3	2,3	1204,6	31,5
1-0,1-1,5	4,4	10,8	2,7	11,3	2,9	1204	30,6
1-0,50-1	2,7	5,5	2	5,1	2,2	1204,6	31,7
1-0,5-0,7	3,1	7,1	2,2	6,4	2,3	1204,6	31,5
1-0,5-1,5	4,4	11,2	2,7	11,5	2,9	1204	30,6
1-1-0,1	3,2	7,1	2,2	6,6	2,3	1204,6	31,7
1-1-0,7	3,2	7,4	2,3	6,9	2,3	1204,6	31,5
1-1-1,5	4,6	12,3	2,7	12,3	2,9	1204	30,6

Πίνακας 4.16: Ισόπεδος κόμβος προτεραιότητας

Διάκενα (front gap, rear gap, safety distance)	Μέση καθυστέρηση (δλ)	Φόρτος 480-120οχ/ώρα		Ταχύτητα 50 χλμ/ώρα		Κυκλοφοριακή Ικανότητα (οχ/ώρα)	μέση ταχύτητα (χλμ/ώρα)
		Βορράς	Ανατολή	Νότος	Δύση		
0,1-0,1-0,1	1,2	1,4	1,1	1,4	1,2	1153,5	51,7
0,1-0,1-0,7	1,5	2,5	1,2	2,3	1,3	1205,4	51,3
0,1-0,1-1,5	2,2	5,4	1,4	4,9	1,6	1205,8	50,2
0,1-0,50-1	1,3	2,2	1,1	2,1	1,2	1205,8	51,4
0,1-0,5-0,7	1,5	2,8	1,1	2,5	1,3	1093,2	51,2
0,1-0,5-1,5	2,2	5,1	1,4	4,8	1,6	1205,8	50,3
0,1-1-0,1	1,7	3,4	1,2	3,3	1,4	1205,8	50,9
0,1-1-0,7	1,7	3,5	1,2	3,5	1,4	1205,8	50,8
0,1-1-1,5	2,2	4,8	1,6	4,6	1,6	1205,5	50,4
0,5-0,1-0,1	1,3	2,1	1,1	2	1,2	1205,6	51,4
0,5-0,1-0,7	1,6	3,4	1,2	2,9	1,3	1205,6	51,0
0,5-0,1-1,5	2,5	6,3	1,7	5,5	1,7	1205,2	50,0
0,5-0,50-1	1,5	3,1	1,1	2,8	1,3	1205,6	51,1
0,5-0,5-0,7	1,6	3,5	1,2	3	1,3	1205,6	51,0
0,5-0,5-1,5	2,5	6,3	1,5	5,9	1,7	1205,8	49,9
0,5-1-0,1	1,9	4,2	1,2	3,9	1,4	1205,6	50,6
0,5-1-0,7	1,9	4,3	1,2	4,1	1,4	1205,6	50,6
0,5-1-1,5	2,6	6,7	1,5	6,1	1,7	1196,8	49,8
1-0,1-0,1	1,5	2,7	1,1	2,4	1,3	1205,6	51,2
1-0,1-0,7	1,8	4,1	1,2	3,4	1,4	1205,6	50,8
1-0,1-1,5	2,7	6,9	1,6	6,5	1,8	1205,6	49,7
1-0,50-1	1,7	3,8	1,2	3,2	1,4	1205,6	50,8
1-0,5-0,7	1,9	4,5	1,2	3,7	1,4	1004,8	50,7
1-0,5-1,5	2,7	7,2	1,6	6,6	1,8	1196,8	49,6
1-1-0,1	2,2	5,9	1,3	4,4	1,6	1004,8	50,3
1-1-0,7	2,2	5,6	1,3	4,7	1,6	1205,6	50,2
1-1-1,5	2,8	7,8	1,6	6,6	1,8	1205,6	49,5

Πίνακας 4.17: Κυκλικός κόμβος

Διάκενα (front gap, rear gap, safety distance)	Μέση καθυστέρηση (δλ)	Φόρτος 720-180οχ/ώρα		Ταχύτητα 30 χλμ/ώρα		Κυκλοφοριακή Ικανότητα (οχ/ώρα)	μέση ταχύτητα (χλμ/ώρα)
		Βορράς	Ανατολή	Νότος	Δύση		
0,1-0,1-0,1	4,4	3,1	4,8	2,8	4,9	1784	31,02
0,1-0,1-0,7	7,2	5,2	8	5,1	7,5	1780	30,35
0,1-0,1-1,5	108,6	22,1	153,2	26,3	109,5	1680	21,27
0,1-0,50-1	4,4	3,1	4,8	2,8	4,9	1784	31,02
0,1-0,5-0,7	7,2	5,2	8	5,1	7,5	1780	30,35
0,1-0,5-1,5	108,6	22,1	153,2	26,3	109,5	1680	21,27
0,1-1-0,1	4,4	3,1	4,8	2,8	4,9	1784	31,02
0,1-1-0,7	7,2	5,2	8	5,1	7,5	1780	30,35
0,1-1-1,5	108,6	22,1	153,2	26,3	109,5	1680	21,27
0,5-0,1-0,1	4,5	3	4,9	3	4,8	1784	30,98
0,5-0,1-0,7	7,5	5,4	8,3	5,2	7,9	1783	30,31
0,5-0,1-1,5	112,9	27,7	159,3	25,7	113,1	1679	20,82
0,5-0,50-1	4,5	3	4,9	3	4,8	1784	30,98
0,5-0,5-0,7	7,5	5,4	8,3	5,2	7,9	1783	30,31
0,5-0,5-1,5	112,9	27,7	159,3	25,7	113,1	1679	20,82
0,5-1-0,1	4,5	3	4,9	3	4,8	1784	30,98
0,5-1-0,7	7,5	5,4	8,3	5,2	7,9	1783	30,31
0,5-1-1,5	112,9	27,7	159,3	25,7	113,1	1679	20,82
1-0,1-0,1	4,7	3,4	5	3,2	5,1	1784	30,95
1-0,1-0,7	7,5	5,6	8,2	5,3	7,9	1783	30,29
1-0,1-1,5	123	27,6	138	25,6	114	1667	21,41
1-0,50-1	4,7	3,4	5	3,2	5,1	1784	30,95
1-0,5-0,7	7,5	5,6	8,2	5,3	7,9	1783	30,29
1-0,5-1,5	123	27,6	138	25,6	114	1667	21,41
1-1-0,1	4,7	3,4	5	3,2	5,1	1784	30,95
1-1-0,7	7,5	5,6	8,2	5,3	7,9	1783	30,29
1-1-1,5	123	27,6	138	25,6	114	1667	21,41

Πίνακας 4.18: Κυκλικός κόμβος

Διάκενα (front gap, rear gap, safety distance)	Μέση καθυστέρηση (δλ)	Φόρτος 720-180οχ/ώρα		Ταχύτητα 50 χλμ/ώρα		Κυκλοφοριακή Ικανότητα (οχ/ώρα)	μέση ταχύτητα (χλμ/ώρα)
		Βορράς	Ανατολή	Νότος	Δύση		
0,1-0,1-0,1	5,4	3,3	6	3,3	5,8	1803	47,09
0,1-0,1-0,7	9	5,9	9,9	5,7	9,7	1802	45,35
0,1-0,1-1,5	108,9	26,4	146,2	27,8	115,2	1709	27,88
0,1-0,50-1	5,4	3,3	6	3,3	5,8	1803	47,09
0,1-0,5-0,7	9	5,9	9,9	5,7	9,7	1802	45,35
0,1-0,5-1,5	108,9	26,4	146,2	27,8	115,2	1709	27,88
0,1-1-0,1	5,4	3,3	6	3,3	5,8	1803	47,09
0,1-1-0,7	9	5,9	9,9	5,7	9,7	1802	45,35
0,1-1-1,5	108,9	26,4	146,2	27,8	115,2	1709	27,88
0,5-0,1-0,1	5,5	3,4	6,1	3,6	5,8	1803	47,03
0,5-0,1-0,7	9	6	9,8	5,9	9,6	1802	45,32
0,5-0,1-1,5	113,8	26	152,1	27,4	121,8	1703	27,72
0,5-0,50-1	5,5	3,4	6,1	3,6	5,8	1803	47,03
0,5-0,5-0,7	9	6	9,8	5,9	9,6	1802	45,32
0,5-0,5-1,5	113,8	26	152,1	27,4	121,8	1703	27,72
0,5-1-0,1	5,5	3,4	6,1	3,6	5,8	1803	47,03
0,5-1-0,7	9	6	9,8	5,9	9,6	1802	45,32
0,5-1-1,5	113,8	26	152,1	27,4	121,8	1703	27,72
1-0,1-0,1	5,8	3,9	6,3	3,7	6,2	1803	46,85
1-0,1-0,7	9,1	6,1	9,9	6,3	9,8	1802	45,16
1-0,1-1,5	101,3	25,1	131,1	28,5	110,6	1703	28,32
1-0,50-1	5,8	3,9	6,3	3,7	6,2	1803	46,85
1-0,5-0,7	9,1	6,1	9,9	6,3	9,8	1802	45,16
1-0,5-1,5	101,3	25,1	131,1	28,5	110,6	1703	28,32
1-1-0,1	5,8	3,9	6,3	3,7	6,2	1803	46,85
1-1-0,7	9,1	6,1	9,9	6,3	9,8	1802	45,16
1-1-1,5	101,3	25,1	131,1	28,5	110,6	1703	28,32

Πίνακας 4.19: Ισόπεδος κόμβος προτεραιότητας

Διάκενα (front gap, rear gap, safety distance)	Μέση καθυστέρηση (δλ)	Φόρτος 720-180οχ/ώρα		Ταχύτητα 30 χλμ/ώρα		Κυκλοφοριακή Ικανότητα (οχ/ώρα)	μέση ταχύτητα (χλμ/ώρα)
		Βορράς	Ανατολή	Νότος	Δύση		
0,1-0,1-0,1	6	11,1	4,9	11,8	4,4	1800,4	30
0,1-0,1-0,7	11,3	38,8	5,8	30,5	5,8	1797,2	28
0,1-0,1-1,5	44,8	215,4	11,9	192	9,3	1765,6	23
0,1-0,50-1	9	25,2	5,7	22,9	5,1	1798,6	29
0,1-0,5-0,7	11,3	38,1	5,9	32	5,6	1796,8	27
0,1-0,5-1,5	48,4	221,2	11,1	243,1	8,8	1757	22
0,1-1-0,1	15,1	54	6,7	49,2	6,3	1796,6	29
0,1-1-0,7	14,2	47,2	6,6	49,8	5,8	1793,8	27
0,1-1-1,5	56	216,1	10,4	368,3	7,8	1750,2	21
0,5-0,1-0,1	7,3	17,6	5	16,8	5	1801	30
0,5-0,1-0,7	12,6	43,6	5,9	40,6	5,6	1796,6	28
0,5-0,1-1,5	60	446	11,6	528	9,2	1762,6	23
0,5-0,50-1	10	27,2	5,8	28,6	5,9	1797,8	29
0,5-0,5-0,7	14,1	50,3	6,3	46,8	5,8	1796,6	27
0,5-0,5-1,5	66,3	452	12,7	627	9,6	1739,8	22
0,5-1-0,1	17,9	60,4	7,2	68,8	6,9	1794,2	29
0,5-1-0,7	18,1	66,1	7,2	67,1	6,4	1794,6	27
0,5-1-1,5	77,8	714	12,3	558,4	9	1723,2	21
1-0,1-0,1	9,6	28,3	5,8	24,6	5,4	1797,4	30
1-0,1-0,7	21,3	83,8	7,1	82,7	6,6	1792,6	28
1-0,1-1,5	80,3	433,7	14,3	542,4	10,2	1698,4	23
1-0,50-1	15,8	58,7	6,6	53,2	6,2	1793	29
1-0,5-0,7	30,2	150,4	7,6	113,7	6,6	1782,8	27
1-0,5-1,5	77,4	449,9	13,3	491,8	9,9	1696,8	22
1-1-0,1	28,4	131,9	7,4	116,6	7,1	1611,6	29
1-1-0,7	29,7	137,1	8,4	121,2	7,5	1550,4	27
1-1-1,5	90,7	509,7	15,2	722,6	10,7	1673,6	21

Πίνακας 4.20: Ισόπεδος κόμβος προτεραιότητας

Διάκενα (front gap, rear gap, safety distance)	Μέση καθυστέρηση (δλ)	Φόρτος 720-180οχ/ώρα		Ταχύτητα 50 χλμ/ώρα		Κυκλοφοριακή Ικανότητα (οχ/ώρα)	μέση ταχύτητα (χλμ/ώρα)
		Βορράς	Ανατολή	Νότος	Δύση		
0,1-0,1-0,1	2,7	4,7	2,2	4,6	2,3	1803,6	50,1
0,1-0,1-0,7	4	10,8	2,5	8,7	2,8	1803,4	48,4
0,1-0,1-1,5	7,9	25	3,7	26,1	3,8	1801,4	44,3
0,1-0,50-1	3,4	7,8	2,4	6,7	2,5	1803	49,2
0,1-0,5-0,7	3,8	9,6	2,4	8,2	2,7	1803,4	48,7
0,1-0,5-1,5	8,4	25,6	3,6	30,5	3,9	1801,4	43,8
0,1-1-0,1	5	14,3	2,9	12,6	3	1802	47,3
0,1-1-0,7	5	15,5	2,7	12,2	3	1802,4	47,2
0,1-1-1,5	9,8	35,1	3,8	34,8	3,9	1801,2	42,3
0,5-0,1-0,1	3,2	6,4	2,4	6,5	2,5	1502,8	49,4
0,5-0,1-0,7	4,6	11,7	2,7	11,8	2,9	1803,2	47,8
0,5-0,1-1,5	12,4	42,4	4,2	51,1	4,3	1800	40,5
0,5-0,50-1	4,4	11,4	2,7	10,4	2,9	1466,6	48,1
0,5-0,5-0,7	4,8	13,7	2,7	13	2,9	1803,2	47,4
0,5-0,5-1,5	14,7	61	4,3	56	4,3	1800,2	39,0
0,5-1-0,1	7	22,7	3,4	22,2	3,2	1802,6	44,9
0,5-1-0,7	7,1	23,5	3,3	23,5	3,2	1801,8	44,7
0,5-1-1,5	17,8	69	4,3	67	4,3	1800,2	39,0
1-0,1-0,1	4	9,7	2,6	9,2	2,8	1803,2	48,5
1-0,1-0,7	6	19,9	3,3	17,5	2,9	1509,6	46,0
1-0,1-1,5	19,6	74,4	4,6	92	4,9	1797,4	36,6
1-0,50-1	5,9	18,5	3,3	16,7	3,1	1802	46,1
1-0,5-0,7	7	22,7	3,4	22,2	3,2	1802,6	46,0
1-0,5-1,5	26,2	106,8	4,6	131,7	4,8	1793	34,3
1-1-0,1	8,9	31,5	3,5	32,3	3,5	1801,4	42,9
1-1-0,7	9,6	34,3	3,5	36,5	3,5	1801,4	42,4
1-1-1,5	27,8	103,4	4,6	154,5	4,8	1790,6	33,8

Πίνακας 4.21: Κυκλικός κόμβος

Διάκενα (front gap, rear gap, safety distance)	Μέση καθυστέρηση (δλ)	Φόρτος 960-240 οχ/ώρα		Ταχύτητα 30 χλμ/ώρα		Κυκλοφοριακή Ικανότητα (οχ/ώρα)	μέση ταχύτητα (χλμ/ώρα)
		Βορράς	Ανατολή	Νότος	Δύση		
0,1-0,1-0,1	14,3	6,1	17,1	5,8	15,6	2361	29,2
0,1-0,1-0,7	83,3	12,3	110,7	13,1	93,2	2278	23,0
0,1-0,1-1,5	245	35,8	338,6	45,1	305,2	1734	16,4
0,1-0,50-1	14,3	6,1	17,1	5,8	15,6	2361	29,2
0,1-0,5-0,7	83,3	12,3	110,7	13,1	93,2	2278	23,0
0,1-0,5-1,5	245	35,8	338,6	45,1	305,2	1734	16,4
0,1-1-0,1	14,3	6,1	17,1	5,8	15,6	2361	29,2
0,1-1-0,7	83,3	12,3	110,7	13,1	93,2	2278	23,0
0,1-1-1,5	245	35,8	338,6	45,1	305,2	1734	16,4
0,5-0,1-0,1	14,4	6,4	16,7	5,9	16,2	2371	29,3
0,5-0,1-0,7	85,9	11,6	115,4	13	95,4	2273	23,2
0,5-0,1-1,5	240,3	37	332,6	39,7	300,3	1718	16,4
0,5-0,50-1	14,4	6,4	16,7	5,9	16,2	2371	29,3
0,5-0,5-0,7	85,9	11,6	115,4	13	95,4	2273	23,2
0,5-0,5-1,5	240,3	37	332,6	39,7	300,3	1718	16,4
0,5-1-0,1	14,4	6,4	16,7	5,9	16,2	2371	29,3
0,5-1-0,7	85,9	11,6	115,4	13	95,4	2273	23,2
0,5-1-1,5	240,3	37	332,6	39,7	300,3	1718	16,4
1-0,1-0,1	15,2	7	18,2	6,7	16,4	2370,3	29,1
1-0,1-0,7	85,9	12,8	115,7	12,4	95	2274	23,0
1-0,1-1,5	244,5	35,2	340,7	44	302,6	1737	16,5
1-0,50-1	15,2	7	18,2	6,7	16,4	2370,3	29,1
1-0,5-0,7	85,9	12,8	115,7	12,4	95	2274	23,0
1-0,5-1,5	244,5	35,2	340,7	44	302,6	1737	16,5
1-1-0,1	15,2	7	18,2	6,7	16,4	2370,3	29,1
1-1-0,7	85,9	12,8	115,7	12,4	95	2274	23,0
1-1-1,5	244,5	35,2	340,7	44	302,6	1737	16,5

Πίνακας 4.21 Κυκλικός κόμβος

Διάκενα (front gap, rear gap, safety distance)	Μέση καθυστέρηση (δλ)	Φόρτος 960-240 οχ/ώρα		Ταχύτητα 50 χλμ/ώρα		Κυκλοφοριακή Ικανότητα (οχ/ώρα)	μέση ταχύτητα (χλμ/ώρα)
		Βορράς	Ανατολή	Νότος	Δύση		
0,1-0,1-0,1	15,6	7	19	6,1	16,9	2398	43,3
0,1-0,1-0,7	101,4	14,3	135,5	13,5	114	2281	30,6
0,1-0,1-1,5	261,7	34	354,1	50,4	332,1	1760	20,6
0,1-0,50-1	15,6	7	19	6,1	16,9	2398	43,3
0,1-0,5-0,7	101,4	14,3	135,5	13,5	114	2281	30,6
0,1-0,5-1,5	261,7	34	354,1	50,4	332,1	1760	20,6
0,1-1-0,1	15,6	7	19	6,1	16,9	2398	43,3
0,1-1-0,7	101,4	14,3	135,5	13,5	114	2281	30,6
0,1-1-1,5	261,7	34	354,1	50,4	332,1	1760	20,6
0,5-0,1-0,1	15,4	7	18,7	6,6	16,4	2398	43,2
0,5-0,1-0,7	95,7	14,9	128,9	14	105,8	2293	30,9
0,5-0,1-1,5	266,1	33,4	371,6	46,1	331,6	1746	20,9
0,5-0,50-1	15,4	7	18,7	6,6	16,4	2398	43,2
0,5-0,5-0,7	95,7	14,9	128,9	14	105,8	2293	30,9
0,5-0,5-1,5	266,1	33,4	371,6	46,1	331,6	1746	20,9
0,5-1-0,1	15,4	7	18,7	6,6	16,4	2398	43,2
0,5-1-0,7	95,7	14,9	128,9	14	105,8	2293	30,9
0,5-1-1,5	266,1	33,4	371,6	46,1	331,6	1746	20,9
1-0,1-0,1	16,7	7,9	19,9	7,4	18,1	2397	42,7
1-0,1-0,7	84,4	14	115	14,2	90,6	2300	31,8
1-0,1-1,5	265,1	34,1	373,4	45,9	326,6	1754	20,8
1-0,50-1	16,7	7,9	19,9	7,4	18,1	2397	42,7
1-0,5-0,7	84,4	14	115	14,2	90,6	2300	31,8
1-0,5-1,5	265,1	34,1	373,4	45,9	326,6	1754	20,8
1-1-0,1	16,7	7,9	19,9	7,4	18,1	2397	42,7
1-1-0,7	84,4	14	115	14,2	90,6	2300	31,8
1-1-1,5	265,1	34,1	373,4	45,9	326,6	1754	20,8

Πίνακας 4.23: Ισόπεδος κόμβος προτεραιότητας

Διάκενα (front gap, rear gap, safety distance)	Μέση καθυστέρηση (δλ)	Φόρτος 960-240 οχ/ώρα		Ταχύτητα 30 χλμ/ώρα		Κυκλοφοριακή Ικανότητα (οχ/ώρα)	μέση ταχύτητα (χλμ/ώρα)
		Βορράς	Ανατολή	Νότος	Δύση		
0,1-0,1-0,1	176,2	945,8	169,7	997	150,5	1716,4	11,1
0,1-0,1-0,7	184,5	898,9	155,8	1074	151,8	1787	9,8
0,1-0,1-1,5	215,2	791,3	145,3	872	155,9	1909,4	10,1
0,1-0,50-1	178,6	877,2	166,2	1044,2	162	1720,2	9,4
0,1-0,5-0,7	199,4	1017,3	159,9	1225,7	175,6	1761,6	9,2
0,1-0,5-1,5	214,1	865	185,1	1015,7	166,5	1792,6	9,2
0,1-1-0,1	179,3	658,9	162,7	402,6	109,6	1723	9,1
0,1-1-0,7	188,2	540,9	204,4	1023,6	139,1	1737	9,2
0,1-1-1,5	189,4	672,8	170	1269,6	167,5	1742	9,4
0,5-0,1-0,1	180,1	508,8	120,2	1101,6	214,8	1705	10,6
0,5-0,1-0,7	179,5	584,6	190,4	1101,8	121,1	1718	10,3
0,5-0,1-1,5	209,1	773,6	87,6	733,1	242,4	1864	10,9
0,5-0,50-1	182,1	691,5	186	927,7	157,6	1716,2	9,7
0,5-0,5-0,7	184,8	801	163,9	1268	155,3	1753,4	9,7
0,5-0,5-1,5	223,4	1047,1	192,6	1012,1	173,1	1774,6	8,8
0,5-1-0,1	171	326,8	126,9	383,2	205,1	1713	11,9
0,5-1-0,7	174,3	979,9	172,8	1137,2	134,2	1702	9,9
0,5-1-1,5	186,9	723,1	130,5	1028,1	192,4	1748	10,0
1-0,1-0,1	174	360,4	215,3	847	116,6	1711	11,7
1-0,1-0,7	188,3	636,5	214,6	1092,8	125,5	1722	10,1
1-0,1-1,5	211	871,5	143	837	208,6	1808	9,4
1-0,50-1	191,2	867,1	151,1	925,6	213,1	1701,6	9,2
1-0,5-0,7	188,3	636,5	214,6	1092,8	125,5	1722	10,1
1-0,5-1,5	211	871,5	143	837	208,6	1808	9,4
1-1-0,1	172,7	1082,8	160,5	865,4	162,6	1704,2	9,5
1-1-0,7	182,4	909,4	176,4	1352,2	149,4	1727,6	9,4
1-1-1,5	178,6	954,2	163,9	1228,4	153,3	1459,4	9,4

Πίνακας 4.24: Ισόπεδος κόμβος προτεραιότητας

Διάκενα (front gap, rear gap, safety distance)	Μέση καθυστέρηση (δλ)	Φόρτος 960-240 οχ/ώρα		Ταχύτητα 50 χλμ/ώρα		Κυκλοφοριακή Ικανότητα (οχ/ώρα)	μέση ταχύτητα (χλμ/ώρα)
		Βορράς	Ανατολή	Νότος	Δύση		
0,1-0,1-0,1	39	196,5	9,9	151,5	9,8	2376,2	30,5
0,1-0,1-0,7	99,2	599,2	34,9	597,1	36,6	2162	19,9
0,1-0,1-1,5	130,3	1042,8	84,7	944,5	74,5	1985,8	14,0
0,1-0,50-1	106,2	744,5	30,1	588,1	46,5	2154,4	19,4
0,1-0,5-0,7	92,3	673,2	28,6	646,9	24,5	2152,8	21,4
0,1-0,5-1,5	119,1	984,2	66,1	934,9	74	1995,4	14,9
0,1-1-0,1	94	784,8	48	789	48,7	2042,8	17,6
0,1-1-0,7	101,8	800,1	57,1	781	52	2042,2	16,8
0,1-1-1,5	104,7	777	70,3	1017,1	62,5	1978,8	15,4
0,5-0,1-0,1	82,3	389,9	20	616,6	22,1	2040	23,3
0,5-0,1-0,7	99,5	813,2	49,7	981,3	48,5	2045,4	17,3
0,5-0,1-1,5	107,7	895,5	71,5	1090,5	64,6	1968	15,0
0,5-0,50-1	100	795,8	32,5	877,7	38,6	2093,8	19,3
0,5-0,5-0,7	100,1	816,9	37,9	1038,3	37,5	2071,8	18,9
0,5-0,5-1,5	102,5	875,7	74,5	1033	62,7	1955	15,0
0,5-1-0,1	92,4	918,7	48,9	904,5	48,3	1962,8	17,0
0,5-1-0,7	97,9	856,6	47,4	976,4	59,1	2005	16,7
0,5-1-1,5	117,4	978,8	78,4	1249,9	78,4	1949,2	14,0
1-0,1-0,1	92,4	918,7	48,9	904,5	48,3	1962,8	17,0
1-0,1-0,7	109,9	850,2	48,8	1067,7	44,2	2051,6	17,4
1-0,1-1,5	116	1088,4	73,2	1087,1	64,2	1964	14,8
1-0,50-1	95,2	825,8	41,7	839,7	39,6	2062,8	18,6
1-0,5-0,7	100	801,5	48,4	959,7	51,4	2030,6	17,2
1-0,5-1,5	105,2	1051,7	74,3	938,9	64,8	1696,4	14,9
1-1-0,1	105,5	865,3	61,5	1102,2	64,8	1983,4	15,5
1-1-0,7	96,4	963,7	55,2	995,4	49,6	1996,2	16,7
1-1-1,5	117	1116,9	65,4	1106,7	76	1940	14,7