



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

Διπλωματική Εργασία

**«Διερεύνηση λειτουργίας κόμβων προτεραιότητας με χρήση
μικροσκοπικής προσομοίωσης»**

Μακρυπούλιας Γιώργος

Επίβλεψη: Σπυροπούλου Ιωάννα, Επίκουρη Καθηγήτρια ΕΜΠ

ΕΡΓΑΣΤΗΡΙΟ
ΣΥΓΚΟΙΝΩΝΙΑΚΗΣ ΤΕΧΝΙΚΗΣ



Αθήνα, Ιούλιος 2017

Ευχαριστίες

Θα ήθελα να ευχαριστήσω τη κυρία Ιωάννα Σπυροπούλου, επιβλέπουσα της παρούσας διπλωματικής εργασίας, για την σημαντική και ουσιαστική καθοδήγησή της. Επιπλέον, θα ήθελα να ευχαριστήσω την οικογένειά μου και τους φίλους μου για τη διαρκή στήριξή τους σε όλα τα στάδια εκπόνησης της εργασίας.

Μακρυπούλιας Γιώργος

Αθήνα, Ιούλιος 2017

Περίληψη

Αντικείμενο της παρούσας διπλωματικής εργασίας αποτελεί η διερεύνηση της λειτουργίας κόμβων προτεραιότητας με τη χρήση μικροσκοπικής προσομοίωσης. Σκοπός της εργασίας είναι η διερεύνηση της επιρροής παραμέτρων που αφορούν στην κίνηση των οχημάτων σε κόμβους προτεραιότητας, σε διαφορετικά επίπεδα κυκλοφοριακού φόρτου. Για την επίτευξη του στόχου προσομοιώθηκε η κυκλοφορία των κόμβων, χρησιμοποιώντας το λειτουργικό προσομοίωσης AIMSUN. Η προσομοίωση πραγματοποιήθηκε σε έναν κόμβο προτεραιότητας T και έναν κυκλικό κόμβο μίας και δύο λωρίδων κυκλοφορίας, μεταβάλλοντας προκαθορισμένες παραμέτρους επιρροής. Οι παράμετροι επιρροής που διερευνήθηκαν ήταν ο κυκλοφοριακός φόρτος, η παράμετρος ευαισθησίας (sensitivity factor) που αφορά το πρότυπο ακολουθίας οχήματος, και η παράμετρος του μέγιστου χρόνου παραχώρησης προτεραιότητας (max give-way time). Για την αποτελεσματική και μεθοδευμένη διερεύνηση και ανάλυση των αποτελεσμάτων, σχεδιάστηκαν σενάρια με βάση τις διαφορετικές τιμές των παραμέτρων επιρροής. Παρατηρήθηκε η έντονη επίδραση της παραμέτρου ευαισθησίας (sensitivity factor) στη μέση καθυστέρηση τόσο στον κόμβο προτεραιότητας T όσο και στον κυκλικό, σε αντίθεση με τη λιγότερο σημαντική επίδραση της παραμέτρου παραχώρησης προτεραιότητας. Τέλος, αναδείχθηκε ο λειτουργικότερος κόμβος, εκείνος δηλαδή με το καλύτερο επίπεδο λειτουργίας, τόσο για τους κόμβους μίας λωρίδας όσο και για τους κόμβους δύο λωρίδων.

Λέξεις κλειδιά: κόμβος προτεραιότητας, κυκλικός κόμβος, μικροσκοπική προσομοίωση, AIMSUN, μέση καθυστέρηση, επίπεδο λειτουργίας κόμβου

Abstract

The objective of this diploma thesis is to investigate the operation of priority intersections with the use of microscopic simulation. The aim of the thesis is to investigate the impact of scientific parameters considering vehicle movement in priority junctions. To achieve this goal, priority junctions were simulated using Aimsun, a microsimulation program. The simulation was performed on a priority T-junction and a roundabout with one and two traffic lanes, while varying specific predefined traffic influence parameters. The investigated parameters were the traffic flow, the sensitivity factor, which refers to the car-following model and the maximum give-way time parameter. In order to effectively and methodically investigate and analyze the results, scenarios were designed based on the different values of the influence parameters. The high effect of sensitivity factor on average delay was observed, considering both the T-junction and roundabout. The effect of the maximum give-way time parameter was not found to be significant. Last, the junction exhibiting the highest operational performance was identified both for the cases of single lane and the two-lane junctions.

Key words: priority junction, roundabout, microsimulation, AIMSUN, mean delay, level of service

Περιεχόμενα

1. Εισαγωγή	1
2. Βιβλιογραφική ανασκόπηση	3
2.1 Βασικά μεγέθη και έννοιες κυκλοφοριακής ροής	3
2.2 Υπολογισμός κυκλοφοριακής ικανότητας κόμβων.....	8
2.2.1 Ισόπεδοι κόμβοι με έλεγχο προτεραιότητας	9
2.2.2 Κυκλικοί κόμβοι.....	14
2.3 Κόμβοι	16
2.3.1 Γενικά στοιχεία κόμβων	16
2.3.2 Ισόπεδοι κόμβοι	19
2.3.3 Κυκλικοί κόμβοι.....	20
2.4 Κυκλοφοριακή προσομοίωση	24
2.4.1 Γενικά στοιχεία προσομοίωσης	24
2.4.2 Μαθηματικά πρότυπα προσομοίωσης.....	25
2.4.3 Υπολογιστικά προγράμματα προσομοίωσης.....	31
2.5 Το λογισμικό AIMSUN	33
2.6 Σύγκριση μεθόδων στην ανάλυση κυκλοφοριακής ικανότητας.....	39
3. Μεθοδολογία	44
3.1 Σχεδιασμός δικτύου	44
3.1.1 AIMSUN	44
3.1.2 Σχεδιασμός κόμβου T.....	46
3.1.3 Σχεδιασμός κυκλικού κόμβου	56
3.2 Σχεδιασμός σεναρίων.....	61
3.2.1 Παράμετροι επιρροής σεναρίων.....	63
3.2.2 Προσδιορισμός τιμών σεναρίων προσομοίωσης	64
3.2.3 Σενάρια προσομοίωσης	68
3.3 Εξαγωγή αποτελεσμάτων της προσομοίωσης σεναρίων	72
4. Ανάλυση και σύγκριση αποτελεσμάτων	75
4.1 Γενικά.....	75
4.2 Κόμβος προτεραιότητας T μίας λωρίδας	75
4.2.1 Ανάλυση ανά κίνηση	75
4.2.2 Ανάλυση συνολικού κόμβου	91
4.3 Κόμβος προτεραιότητας T δύο λωρίδων	94
4.3.1 Ανάλυση ανά κίνηση	94
4.3.2 Ανάλυση συνολικού κόμβου	104
4.4 Κυκλικός κόμβος μίας λωρίδας.....	107

4.4.1 Ανάλυση ανά κίνηση	107
4.4.2 Ανάλυση συνολικού κόμβου	114
4.5 Κυκλικός κόμβος δύο λωρίδων	116
4.5.1 Ανάλυση ανά κίνηση	116
4.5.2 Ανάλυση συνολικού κόμβου	123
5. Συμπεράσματα	127
5.1 Σύναψη συμπερασμάτων.....	127
5.2. Προτάσεις για διερεύνηση.....	131
6. Βιβλιογραφία.....	132
6.1 Διεθνής βιβλιογραφία.....	132
6.2 Ελληνική βιβλιογραφία	133

ΛΙΣΤΑ ΣΧΗΜΑΤΩΝ

Σχήμα 2.1- Κόμβος προτεραιότητας (τετρασκελής και τύπου T)- Πηγή: Σημειώσεις Οδοποιίας III ΣΑΤΜ-ΕΜΠ	10
Σχήμα 2.2- Επίπεδα προτεραιότητας και κινήσεις τετρασκελούς και τύπου T κόμβων- Πηγή: Σημειώσεις Οδοποιίας III ΣΑΤΜ-ΕΜΠ	10
Σχήμα 2.3- Κυκλικός κόμβος με τέσσερα σκέλη- Πηγή: Σημειώσεις μαθήματος Οδοποιίας III ΣΑΤΜ-ΕΜΠ	15
Σχήμα 2.4- Κυκλικός κόμβος με τρία σκέλη (T)- Πηγή: Rahmi Akcelik, 2009	15
Σχήμα 2.5- Φυσική και λειτουργική περιοχή κόμβου- Πηγή: Αντωνίου, Παπαδημητρίου, 2012.....	17
Σχήμα 2.6- Τύποι ελιγμών- Πηγή: Φραντζεσκάκης, Γκόλιας, Πιτσάβα, 2009.....	17
Σχήμα 2.7- Τρίγωνα ορατότητας (προσέγγισης και αναχώρησης)- Πηγή: Σημειώσεις Β. Ψαριανού ΣΑΤΜ-ΕΜΠ.....	18
Σχήμα 2.8- Παραδείγματα ισόπεδων τετρασκελών και τύπου T κόμβων- Πηγή: FHWA- Department of Transportation και waynewright.com.....	19
Σχήμα 2.9- Διαμόρφωση μικρού κυκλικού κόμβου- Πηγή: National Cooperative Highway Research Program, 2010	21
Σχήμα 2.10- Παράδειγμα μικρού κυκλικού κόμβου στο Μπόχουμ- Πηγή: Brilon, 2005	21
Σχήμα 2.11- Διαμόρφωση κυκλικού κόμβου μίας λωρίδας- Πηγή: National Cooperative Highway Research Program, 2010.....	22
Σχήμα 2.12- Παράδειγμα κυκλικού κόμβου μίας λωρίδας στο Φράμπουργκ- Πηγή: Brilon, 2005.....	22
Σχήμα 2.13- Διαμόρφωση κυκλικού κόμβου δύο λωρίδων- Πηγή: National Cooperative Highway Research Program, 2010.....	23
Σχήμα 2.14- Παράδειγμα κυκλικού κόμβου δύο λωρίδων στο Bad Aibling- Πηγή: Brilon, 2005	23
Σχήμα 2.15- Παράδειγμα κυκλικού κόμβου τριών λωρίδων στο Michigan (USA)- Πηγή: National Cooperative Highway Research Program, 2010	24
Σχήμα 2.16- Το όχημα που οδηγεί και το όχημα που ακολουθεί, καθώς και η απόσταση της μεταξύ τους πορείας- Πηγή: Kazi Iftekhar Ahmed, MASSACHUSETTS INSTITUTE OF TECHNOLOGY, 1999	27
Σχήμα 2.17- Η δομή του μοντέλου αλλαγής λωρίδας- Πηγή: Kazi Iftekhar Ahmed, MASSACHUSETTS INSTITUTE OF TECHNOLOGY, 1999	28
Σχήμα 2.18- Αναπαράσταση των διάκενων και της διαδικασίας αποδοχής τους από τον οδηγό- Πηγή: Kazi Iftekhar Ahmed, MASSACHUSETTS INSTITUTE OF TECHNOLOGY, 1999... ..	30
Σχήμα 2.19- Ενοποιημένο μοντέλο συμπεριφοράς οδηγού- Πηγή: Αντωνίου, Σπυροπούλου, 2015.....	31
Σχήμα 2.20- Αλγόριθμος που εξετάζει αν το διάκενο για αλλαγή λωρίδας είναι αποδεκτό ή όχι- Πηγή: Jaime Barceló, Jordi Casas.	37
Σχήμα 2.21- Αναπαράσταση διασταύρωσης με παραχώρηση προτεραιότητας- Πηγή: Jaime Barceló, Jordi Casas.	38
Σχήμα 3.1- Σχεδιασμός κόμβου T μίας λωρίδας στο Autocad	47
Σχήμα 3.2- Δημιουργία οδικού τμήματος μίας λωρίδας και αντίθετης του κατεύθυνσης	47
Σχήμα 3.3- Επιλογή τύπου δρόμου του οδικού τμήματος στον κόμβο T	47
Σχήμα 3.4- Επιλογή τυπικού πλάτους λωρίδας για τον κόμβο T.....	48

Σχήμα 3.5- Επιλογή χωρητικότητας για τον δυτικό κλάδο κόμβου μίας λωρίδας	48
Σχήμα 3.6- Επιλογή χωρητικότητας για τον ανατολικό κλάδο κόμβου μίας λωρίδας	48
Σχήμα 3.7- Επιλογή χωρητικότητας για τον νότιο κλάδο κόμβου μίας λωρίδας	48
Σχήμα 3.8- Φάκελος πληροφοριών οδικού τμήματος κόμβου T.....	49
Σχήμα 3.9- Αναπαράσταση κεντροειδούς.....	49
Σχήμα 3.10- Ελιγμοί κινήσεων στον κόμβο T μίας λωρίδας κυκλοφορίας.....	50
Σχήμα 3.11- Φάκελος κόμβου T μίας λωρίδας	51
Σχήμα 3.12- Ορισμός προτεραιότητας αριστερής στροφής ανατολικής πρόσβασης έναντι αριστερής νότιας πρόσβασης	52
Σχήμα 3.13- Όχημα του 3ου επιπέδου προτεραιότητας παίρνει τη προτεραιότητα του οχήματος της ανατολικής πρόσβασης 2ου επιπέδου προτεραιότητας	52
Σχήμα 3.14- Όχημα του 2ου επιπέδου προτεραιότητας παίρνει τη προτεραιότητα του οχήματος της νότιας πρόσβασης 3ου επιπέδου προτεραιότητας	53
Σχήμα 3.15- Παράδειγμα κυκλοφοριακής κατάστασης στον κόμβο T.....	53
Σχήμα 3.16- Παράδειγμα κυκλοφοριακής ζήτησης κόμβου T	54
Σχήμα 3.17- Ελιγμοί κινήσεων στον κόμβο T δύο λωρίδων κυκλοφορίας.....	54
Σχήμα 3.18- Φάκελος κόμβου T δύο λωρίδων	55
Σχήμα 3.19- Επιλογή ροής κορεσμού δυτικής πρόσβασης κόμβου δύο λωρίδων.....	55
Σχήμα 3.20- Επιλογή ροής κορεσμού ανατολικής πρόσβασης κόμβου δύο λωρίδων.....	55
Σχήμα 3.21- Επιλογή ροής κορεσμού νότιας πρόσβασης κόμβου δύο λωρίδων.....	56
Σχήμα 3.22- Σχεδιασμός κυκλικού κόμβου μίας λωρίδας στο Autocad	56
Σχήμα 3.23- Επιλογή τύπου οδικού τμήματος του οδικού τμήματος στον κυκλικό κόμβο ...	56
Σχήμα 3.24- Επιλογή τύπου οδικού τμήματος του οδικού τμήματος στον κυκλικό κόμβο ...	57
Σχήμα 3.25- Επιλογή πλάτους στα οδικά τμήματα του κλάδου και στον κυκλικό δακτύλιο για τον κυκλικό κόμβο μίας λωρίδας	57
Σχήμα 3.26- Επιλογή ροών κορεσμού για τα οδικά τμήματα του κυκλικού κόμβου μίας λωρίδας	57
Σχήμα 3.27- Φάκελος οδικού τμήματος κυκλικού κόμβου μίας λωρίδας.....	58
Σχήμα 3.28- Φάκελος τμήματος κυκλικού δακτυλίου κυκλικού κόμβου μίας λωρίδας	58
Σχήμα 3.29- Ελιγμοί κινήσεων στον κυκλικό κόμβο μίας λωρίδας.....	58
Σχήμα 3.30- Παράδειγμα πίνακα προέλευσης-προορισμού στον κυκλικό κόμβο	59
Σχήμα 3.31- Παράδειγμα κυκλοφοριακής ζήτησης κυκλικού κόμβου	59
Σχήμα 3.32- Επιλογή πλάτους οδικού τμήματος κυκλικού δακτυλίου στον κυκλικό κόμβο δύο λωρίδων	60
Σχήμα 3.33- Φάκελος αστικού οδικού τμήματος κλάδου για τον κυκλικό κόμβο δύο λωρίδων	60
Σχήμα 3.34- Φάκελος οδικού τμήματος δακτυλίου για τον κυκλικό κόμβο δύο λωρίδων	61
Σχήμα 3.35- Ελιγμοί κινήσεων στον κυκλικό κόμβο δύο λωρίδων.....	61
Σχήμα 3.36- Αναπαράσταση δυναμικού σεναρίου, πειράματος, μέσου όρου και αναπαραγωγών	61
Σχήμα 3.37- Φάκελος δυναμικού σεναρίου	62
Σχήμα 3.38- Φάκελος δυναμικού πειράματος.....	62
Σχήμα 3.39- Κατάσταση κόμβου μετά το τέλος του χρόνου προθέρμανσης	63
Σχήμα 3.40- Εκκίνηση χρόνου προσομοίωσης μετά τη προθέρμανση.....	63
Σχήμα 3.41- Φάκελος αναπαραγωγής	63
Σχήμα 3.42- Ανάλυση της ευθείας κίνησης δυτικής πρόσβασης του κόμβου προτεραιότητας T σε μεσαίο φόρτο ως προς 20 επαναλήψεις.....	65

Σχήμα 3.43- Ανάλυση της ευθείας κίνησης δυτικής πρόσβασης του κόμβου προτεραιότητας T σε πολύ υψηλό φόρτο ως προς 20 επαναλήψεις	65
Σχήμα 3.44- Ανάλυση της δεξιάς στροφής της νότιας πρόσβασης του κόμβου προτεραιότητας T σε μεσαίο φόρτο ως προς 20 επαναλήψεις	66
Σχήμα 3.45- Ανάλυση της δεξιάς στροφής της νότιας πρόσβασης του κόμβου προτεραιότητας T σε πολύ υψηλό φόρτο ως προς 20 επαναλήψεις.....	66
Σχήμα 4.1- Κινήσεις δυτικής πρόσβασης στον κόμβο προτεραιότητας T μίας λωρίδας (max give-way time 10s).....	76
Σχήμα 4.2- Κινήσεις ανατολικής πρόσβασης στον κόμβο προτεραιότητας T μίας λωρίδας (max give-way time 10s).....	77
Σχήμα 4.3- Κινήσεις ανατολικής πρόσβασης στον κόμβο προτεραιότητας T μίας λωρίδας (σε μικρότερη κλίμακα, max give-way time 10s).....	78
Σχήμα 4.4- Κινήσεις νότιας πρόσβασης στον κόμβο προτεραιότητας T μίας λωρίδας (max give-way time 10s).....	79
Σχήμα 4.5- Κινήσεις νότιας πρόσβασης στον κόμβο προτεραιότητας T μίας λωρίδας (σε μικρότερη κλίμακα, max give-way time 10s).....	80
Σχήμα 4.6- Ευθεία κίνηση δυτικής πρόσβασης στον κόμβο προτεραιότητας T μίας λωρίδας (sensitivity factor 1).....	81
Σχήμα 4.7- Δεξιά στροφή δυτικής πρόσβασης στον κόμβο προτεραιότητας T μίας λωρίδας (sensitivity factor 1).....	81
Σχήμα 4.8- Κινήσεις ανατολικής πρόσβασης στον κόμβο προτεραιότητας T μίας λωρίδας (sensitivity factor 1).....	82
Σχήμα 4.9- Κινήσεις ανατολικής πρόσβασης στον κόμβο προτεραιότητας T μίας λωρίδας (σε μικρότερη κλίμακα, sensitivity factor 1)	83
Σχήμα 4.10- Κινήσεις νότιας πρόσβασης στον κόμβο προτεραιότητας T μίας λωρίδας (sensitivity factor 1).....	84
Σχήμα 4.11- Κινήσεις νότιας πρόσβασης στον κόμβο προτεραιότητας T μίας λωρίδας (σε μικρότερη κλίμακα, sensitivity factor 1)	85
Σχήμα 4.12- Κινήσεις ανατολικής πρόσβασης στον κόμβο προτεραιότητας T μίας λωρίδας (sensitivity factor 0.5).....	86
Σχήμα 4.13- Κινήσεις νότιας πρόσβασης στον κόμβο προτεραιότητας T μίας λωρίδας (sensitivity factor 0.5).....	87
Σχήμα 4.14- Κινήσεις ανατολικής πρόσβασης στον κόμβο προτεραιότητας T μίας λωρίδας (sensitivity factor 1.5).....	88
Σχήμα 4.15- Κινήσεις ανατολικής πρόσβασης στον κόμβο προτεραιότητας T μίας λωρίδας (σε μικρότερη κλίμακα, sensitivity factor 1.5)	89
Σχήμα 4.16- Κινήσεις νότιας πρόσβασης στον κόμβο προτεραιότητας T μίας λωρίδας (sensitivity factor 1.5).....	90
Σχήμα 4.17- Κινήσεις νότιας πρόσβασης στον κόμβο προτεραιότητας T μίας λωρίδας (σε μικρότερη κλίμακα, sensitivity factor 1.5)	91
Σχήμα 4.18- Ανάλυση συνολικού κόμβου προτεραιότητας μίας λωρίδας ως προς τη μέση καθυστέρηση.....	92
Σχήμα 4.19- Ανάλυση συνολικού κόμβου προτεραιότητας μίας λωρίδας ως προς τη μέση ταχύτητα.....	93
Σχήμα 4.20- Ανάλυση συνολικού κόμβου προτεραιότητας μίας λωρίδας ως προς τον μέσο χρόνο μετακίνησης.....	94

Σχήμα 4.21- Κινήσεις δυτικής πρόσβασης στον κόμβο προτεραιότητας T δύο λωρίδων (max give-way time 10s).....	95
Σχήμα 4.22- Κινήσεις ανατολικής πρόσβασης στον κόμβο προτεραιότητας T δύο λωρίδων (max give-way time 10s).....	96
Σχήμα 4.23- Κινήσεις ανατολικής πρόσβασης στον κόμβο προτεραιότητας T δύο λωρίδων (σε μικρότερη κλίμακα, max give-way time 10s).....	97
Σχήμα 4.24- Κινήσεις νότιας πρόσβασης στον κόμβο προτεραιότητας T δύο λωρίδων (max give-way time 10s).....	98
Σχήμα 4.25- Κινήσεις νότιας πρόσβασης στον κόμβο προτεραιότητας T δύο λωρίδων (σε μικρότερη κλίμακα, max give-way time 10s).....	99
Σχήμα 4.26- Αριστερή στροφή ανατολικής πρόσβασης στον κόμβο προτεραιότητας T δύο λωρίδων (max give-way time 1s)	100
Σχήμα 4.27- Κινήσεις δυτικής πρόσβασης στον κόμβο προτεραιότητας T δύο λωρίδων (sensitivity factor 1).....	101
Σχήμα 4.28- Κινήσεις ανατολικής πρόσβασης στον κόμβο προτεραιότητας T δύο λωρίδων (sensitivity factor 1).....	102
Σχήμα 4.29- Κινήσεις ανατολικής πρόσβασης στον κόμβο προτεραιότητας T δύο λωρίδων (σε μικρότερη κλίμακα, sensitivity factor 1)	103
Σχήμα 4.30- Κινήσεις νότιας πρόσβασης στον κόμβο προτεραιότητας T δύο λωρίδων (sensitivity factor 1).....	104
Σχήμα 4.31- Ανάλυση συνολικού κόμβου προτεραιότητας δύο λωρίδων ως προς τη μέση καθυστέρηση.....	105
Σχήμα 4.32- Ανάλυση συνολικού κόμβου προτεραιότητας δύο λωρίδων ως προς τη μέση ταχύτητα.....	106
Σχήμα 4.33- Ανάλυση συνολικού κόμβου προτεραιότητας δύο λωρίδων ως προς τον μέσο χρόνο μετακίνησης.....	107
Σχήμα 4.34- Κίνηση νότιας πρόσβασης στον κυκλικό κόμβο μίας λωρίδας (max give-way time 10s).....	108
Σχήμα 4.35- Κίνηση ανατολικής πρόσβασης στον κυκλικό κόμβο μίας λωρίδας (max give-way time 10s)	109
Σχήμα 4.36- Κίνηση δυτικής πρόσβασης στον κυκλικό κόμβο μίας λωρίδας (max give-way time 10s).....	109
Σχήμα 4.37- Κίνηση νότιας πρόσβασης στον κυκλικό κόμβο μίας λωρίδας (sensitivity factor 1).....	110
Σχήμα 4.38- Κίνηση ανατολικής πρόσβασης στον κυκλικό κόμβο μίας λωρίδας (sensitivity factor 1)	111
Σχήμα 4.39- Κίνηση δυτικής πρόσβασης στον κυκλικό κόμβο μίας λωρίδας (sensitivity factor 1).....	111
Σχήμα 4.40- Κίνηση ανατολικής πρόσβασης στον κυκλικό κόμβο μίας λωρίδας (sensitivity factor 0.5)	112
Σχήμα 4.41- Κίνηση ανατολικής πρόσβασης στον κυκλικό κόμβο μίας λωρίδας (sensitivity factor 1.5)	113
Σχήμα 4.42- Κίνηση δυτικής πρόσβασης στον κυκλικό κόμβο μίας λωρίδας (sensitivity factor 1.5).....	113
Σχήμα 4.43- Ανάλυση συνολικού κυκλικού κόμβου μίας λωρίδας ως προς τη μέση καθυστέρηση.....	114
Σχήμα 4.44- Ανάλυση συνολικού κυκλικού κόμβου μίας λωρίδας ως προς τη μέση ταχύτητα	115

Σχήμα 4.45- Ανάλυση συνολικού κυκλικού κόμβου μίας λωρίδας ως προς τον μέσο χρόνο μετακίνησης	116
Σχήμα 4.46- Κίνηση νότιας πρόσβασης στον κυκλικό κόμβο δύο λωρίδων (max give-way time 10s).....	117
Σχήμα 4.47- Κίνηση ανατολικής πρόσβασης στον κυκλικό κόμβο δύο λωρίδων (max give-way time 10s)	118
Σχήμα 4.48- Κίνηση δυτικής πρόσβασης στον κυκλικό κόμβο δύο λωρίδων (max give-way time 10s).....	118
Σχήμα 4.49- Κίνηση νότιας πρόσβασης στον κυκλικό κόμβο δύο λωρίδων (max give-way time 1s).....	119
Σχήμα 4.50- Κίνηση νότιας πρόσβασης στον κυκλικό κόμβο δύο λωρίδων (max give-way time 50s).....	120
Σχήμα 4.51- Κίνηση νότιας πρόσβασης στον κυκλικό κόμβο δύο λωρίδων (sensitivity factor 1).....	120
Σχήμα 4.52- Κίνηση ανατολικής πρόσβασης στον κυκλικό κόμβο δύο λωρίδων (sensitivity factor 1)	121
Σχήμα 4.53- Κίνηση δυτικής πρόσβασης στον κυκλικό κόμβο δύο λωρίδων (sensitivity factor 1).....	121
Σχήμα 4.54- Κίνηση νότιας πρόσβασης στον κυκλικό κόμβο δύο λωρίδων (sensitivity factor 0.5).....	122
Σχήμα 4.55- Κίνηση νότιας πρόσβασης στον κυκλικό κόμβο δύο λωρίδων (sensitivity factor 1.5).....	123
Σχήμα 4.56- Ανάλυση συνολικού κυκλικού κόμβου δύο λωρίδων ως προς τη μέση καθυστέρηση.....	124
Σχήμα 4.57- Ανάλυση συνολικού κυκλικού κόμβου δύο λωρίδων ως προς τη μέση ταχύτητα	125
Σχήμα 4.58- Ανάλυση συνολικού κυκλικού κόμβου δύο λωρίδων ως προς τον μέσο χρόνο μετακίνησης	126

ΛΙΣΤΑ ΠΙΝΑΚΩΝ

Πίνακας 2.1- Αντιστοιχία βασικών κυκλοφοριακών μεγεθών σε μικροσκοπικό και μακροσκοπικό επίπεδο- Πηγή: Φραντζεσκάκης, Γκόλιας, Πιτσιάβα, 2009.....	3
Πίνακας 2.2- Βασικές τιμές κρίσιμου διάκενου και χρόνου ακολουθίας- Πηγή: Σημειώσεις Οδοποιία III ΣΑΤΜ-ΕΜΠ	11
Πίνακας 2.3- Στάθμη εξυπηρέτησης για ισόπεδους κόμβους με προτεραιότητας- Πηγή: Σημειώσεις Αντωνίου, Σπυροπούλου ΣΑΤΜ-ΕΜΠ.....	14
Πίνακας 2.4- Εύρος τιμών για το κρίσιμο διάκενο και τον χρόνο ακολουθίας- Πηγή: Σημειώσεις μαθήματος Οδοποιία III ΣΑΤΜ-ΕΜΠ	15
Πίνακας 3.1- Κινήσεις και επίπεδα προτεραιότητας	50
Πίνακας 3.2- Σχέση επιπέδων προτεραιότητας και σημάνσεων	51
Πίνακας 3.3- Δοκιμή τιμών Sensitivity factor 1.5, 2.5, 5 στο σενάριο μεσαίων και υψηλών φόρτων του κόμβου T μίας λωρίδας.....	67
Πίνακας 3.4- Σενάρια τύπου κόμβου	68
Πίνακας 3.5- Σενάρια προσθήκης αλλαγής λωρίδας	68
Πίνακας 3.6- Σενάρια κυκλοφοριακών φόρτων.....	69
Πίνακας 3.7- Σενάρια παραμέτρου ευαισθησίας	70
Πίνακας 3.8- Σενάρια μέγιστου χρόνου παραχώρησης.....	71
Πίνακας 3.9- Τελικός πίνακας σεναρίων.....	71
Πίνακας 3.10- Μορφή πίνακα MISYS	73
Πίνακας 3.11- Μορφή πίνακα MITURN	74
Πίνακας 5.1- Συγκεντρωτικά αποτελέσματα σύγκρισης κόμβου T και κυκλικού κόμβου ως προς τη μέση καθυστέρηση στις προεπιλεγμένες τιμές των παραμέτρων επιρροής.....	130

1. Εισαγωγή

Ένα ιδιαίτερα σημαντικό στοιχείο του οδικού δικτύου και των συγκοινωνιακών έργων, είναι ο κόμβος. Οι τύποι κόμβων ποικίλλουν αναλόγως με το αν βρίσκονται στο ίδιο επίπεδο (ισόπεδοι ή ανισόπεδοι), με τον αριθμό των σκελών τους (τετρασκελής ή τρισκελής) ή μπορούν να διαχωριστούν σε κατηγορίες ανάλογα με το αν η κυκλοφορία τους ρυθμίζεται από φωτεινή σηματοδότηση ή βάσει κανόνων προτεραιότητας. Στη παρούσα διπλωματική εργασία, διερευνήθηκαν ισόπεδοι κόμβοι προτεραιότητας σχήματος T , καθώς και κυκλικοί τρισκελείς κόμβοι.

Στόχο αποτέλεσε η διερεύνηση των υπό μελέτη κόμβων (κόμβων προτεραιότητας T και κυκλικών), χρησιμοποιώντας τεχνικές μικροσκοπικής προσομοίωσης μέσω του λογισμικού προσομοίωσης AIMSUN. Μέρος της διερεύνησης αποτέλεσε η μεταβολή της επιρροής συγκεκριμένων παραμέτρων επιρροής της κυκλοφορίας και η σύγκριση του επιπέδου λειτουργίας των κόμβων. Οι παράμετροι επιρροής που διερευνήθηκαν ήταν ο αριθμός των λωρίδων κυκλοφορίας (μία και δύο λωρίδες), ο κυκλοφοριακός φόρτος, η παράμετρος ευαισθησίας (sensitivity factor) του προτύπου ακολουθίας οχήματος και η παράμετρος του μέγιστου χρόνου παραχώρησης προτεραιότητας (max give-way time).

Η δομή της παρούσας διπλωματικής εργασίας είναι η εξής:

Στο δεύτερο κεφάλαιο, πραγματοποιείται η ανασκόπηση της βιβλιογραφίας που χρησιμοποιήθηκε ώστε να αντληθεί το κατάλληλο επιστημονικό υπόβαθρο που ήταν απαραίτητο για την εκπόνηση της εργασίας. Αναφέρονται βασικές έννοιες της κυκλοφοριακής τεχνικής, ορισμοί και χαρακτηριστικά για τους διαφορετικούς τύπους κόμβων που διερευνήθηκαν, καθώς και βασικά στοιχεία που αφορούν τη τεχνική της προσομοίωσης, κυρίως μέσω του λογισμικού AIMSUN. Επιπλέον, αναφέρονται διάφορα μαθηματικά πρότυπα προσομοίωσης, ενώ έγινε αναφορά σε έρευνες που σχετίζονται με το αντικείμενο της παρούσας εργασίας.

Στο τρίτο κεφάλαιο, πραγματοποιείται περιγραφή του σχεδιασμού του δικτύου τόσο στους κόμβους προτεραιότητας T όσο και στους κυκλικούς κόμβους. Ακόμη, αναφέρονται οι έννοιες που χρησιμοποιήθηκαν από το λογισμικό AIMSUN, ενώ πραγματοποιείται η περιγραφή του σχεδιασμού των σεναρίων που προσομοιώθηκαν. Αναφέρθηκαν οι τιμές των παραμέτρων επιρροής που διερευνήθηκαν, καθώς και δοκιμές που έγιναν πριν την τελική προσομοίωση. Τέλος, πραγματοποιείται περιγραφή του τρόπου που επιλέχθηκαν τα αποτελέσματα της προσομοίωσης των σεναρίων.

Στο τέταρτο κεφάλαιο, ακολούθησε η ανάλυση των αποτελεσμάτων τόσο στις επιμέρους κινήσεις των κόμβων όσο και στα αποτελέσματα κάθε κόμβου συνολικά. Τα αποτελέσματα αυτά περιγράφουν τη λειτουργία του κόμβου και είναι η μέση καθυστέρηση, η μέση ταχύτητα και το μέσος χρόνος μετακίνησης. Χρησιμοποιήθηκαν διαγράμματα για την οπτικοποίηση των αποτελεσμάτων.

Στο πέμπτο κεφάλαιο, πραγματοποιήθηκε η σύνοψη των συμπερασμάτων σχετικά με τα αποτελέσματα που εξήχθησαν και αναλύθηκαν στο τέταρτο κεφάλαιο. Τα συμπεράσματα

αφορούσαν γενικές και ποιοτικές παρατηρήσεις, ενώ επίσης αναδείχθηκε ο λειτουργικότερος κόμβος σε κάθε περίπτωση.

2. Βιβλιογραφική ανασκόπηση

2.1 Βασικά μεγέθη και έννοιες κυκλοφοριακής ροής

Η κυκλοφοριακή ροή (traffic flow) αφορά στη κίνηση οχημάτων ή πεζών σε μια οδό και προσδιορίζεται από κάποια βασικά μεγέθη κυκλοφοριακής ροής, που είναι δυνατό να μετρηθούν και τα οποία είναι ο κυκλοφοριακός φόρτος (traffic volume), η ταχύτητα (speed) των οχημάτων και η πυκνότητα (density). Τα μεγέθη αυτά αναφέρονται συνήθως στη περίπτωση που εξετάζεται συνολικά η κίνηση των οχημάτων σε ένα οδικό τμήμα, δηλαδή σε μακροσκοπικό επίπεδο. Υπάρχει και η περίπτωση εξέτασης κάθε οχήματος ξεχωριστά σε ένα οδικό τμήμα, δηλαδή σε μικροσκοπικό επίπεδο. Η αντιστοιχία των βασικών κυκλοφοριακών μεγεθών στα δύο αυτά επίπεδα παρουσιάζεται και στον παρακάτω πίνακα.

Πίνακας 2.1- Αντιστοιχία βασικών κυκλοφοριακών μεγεθών σε μικροσκοπικό και μακροσκοπικό επίπεδο- Πηγή: Φραντζεσκάκης, Γκόλιας, Πιτσιάβα, 2009

Μικροσκοπικό επίπεδο	Μακροσκοπικό επίπεδο
Χρονικός διαχωρισμός	Φόρτος
Ταχύτητα Σημείου	Μέση Ταχύτητα
Χωρικός διαχωρισμός	Πυκνότητα

Κυκλοφοριακός φόρτος (traffic volume):

Είναι ο συνολικός αριθμός οχημάτων που περνούν από ένα σημείο ή μια διατομή οδού στη μονάδα του χρόνου (Φραντζεσκάκης, Γκόλιας, Πιτσιάβα, 2009). Εκφράζεται σε *οχήματα ανά μονάδα χρόνου*, για παράδειγμα, οχήματα ανά ώρα, ημέρα κλπ. Αν $n(x)$ είναι ο αριθμός οχημάτων που περνούν από μία διατομή στη θέση x κατά το χρονικό διάστημα T , τότε ο φόρτος $q(x)$ στη θέση x δίνεται από τη σχέση:

$$q(x) = \frac{n(x)}{T}$$

Όταν ο αριθμός οχημάτων αναχθεί στον αντίστοιχο αριθμό οχημάτων ανά ώρα, τότε προκύπτει ο ρυθμός ροής. Ο κυκλοφοριακός φόρτος παρουσιάζει τρεις κύκλους διακύμανσης: κατά τη διάρκεια ενός έτους, μιας εβδομάδας και μια ημέρας. Από αυτούς τους κύκλους προκύπτουν οι αντίστοιχες διακυμάνσεις:

- Μηνιαίες (εποχιακές) διακυμάνσεις (monthly or seasonal variation), οι οποίες αντανakλούν τα κοινωνικά και οικονομικά χαρακτηριστικά μιας περιοχής.
- Ημερήσιες διακυμάνσεις, οι οποίες κατά τη διάρκεια μιας εβδομάδας εξαρτώνται από τον τύπο της οδού. Οδοί με σημαντική κυκλοφορία αναψυχής παρουσιάζουν αυξημένους φόρτους κατά τη διάρκεια του Σαββατοκύριακου, ενώ οδοί με σημαντική κυκλοφορία σε εργάσιμες ώρες παρουσιάζουν υψηλούς φόρτους τις καθημερινές ημέρες.
- Ωριαίες διακυμάνσεις. Οι διαφορές στους τύπους οδού ως προς τις ωριαίες διακυμάνσεις, τόσο τις καθημερινές όσο και τα Σαββατοκύριακα, αντικατοπτρίζουν τα διαφορετικά χαρακτηριστικά που σχετίζονται με τις μετακινήσεις που

εξυπηρετούνται, όπως για παράδειγμα ο σκοπός μετακίνησης και το ωράριο εργασίας.

Η σημαντικότερη ώρα της ημέρας είναι εκείνη όπου ο φόρτος παίρνει, συνολικά, την υψηλότερή του τιμή και ονομάζεται ώρα αιχμής. Η διακύμανση του φόρτου κατά την ώρα αιχμής είναι σημαντική για το σχεδιασμό και τη λειτουργία των συγκοινωνιακών υποδομών.

Ρυθμός ροής (flow rate):

Είναι ο συνολικός αριθμός οχημάτων που περνούν από ένα σημείο ή διατομή οδού κατά τη διάρκεια μιας χρονικής περιόδου μικρότερης της ώρας, ανηγμένος στην ώρα (ισοδύναμος ωριαίος κυκλοφοριακός φόρτος). Προφανώς εκφράζεται πάντοτε σε οχήματα ανά ώρα. Η περίοδος μέτρησης στην οποία αναφέρεται συνήθως ο ρυθμός ροής έχει διάρκεια 15 λεπτά.

Σύνθεση κυκλοφορίας (traffic composition):

Περιγράφει τη 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 τις αστικές οδούς χρησιμοποιούνται κατά κύριο λόγο οι παρακάτω κατηγορίες:

- Επιβατικά οχήματα (ΙΧ, ταξί)
- Λεωφορεία, πούλμαν, φορτηγά
- Μεγάλα φορτηγά αυτοκίνητα
- Μοτοσικλέτες, μοτοποδήλατα
- Ποδήλατα

Η σύνθεση κυκλοφορίας είναι πολύ σημαντική για την ανάλυση των παρακάτω:

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

Είναι σημαντικό να αναφερθεί ότι η σύνθεση κυκλοφορίας δεν είναι καθολική. Δεν ισχύει δηλαδή, για όλες τις πόλεις αλλά διαφέρει από περιοχή σε περιοχή ανάλογα με τα χαρακτηριστικά των αντίστοιχων δραστηριοτήτων και των χρήσεων γης. Είναι δυνατό ακόμα να διαφέρει και ανάμεσα στις δύο κατευθύνσεις μιας οδού. Τέλος, η σύνθεση κυκλοφορίας μεταβάλλεται χρονικά, ιδιαίτερα κατά τη διάρκεια μιας ημέρας. Σημαντική είναι και η ετήσια μεταβολή της σύνθεσης της κυκλοφορίας λόγω του διαφορετικού ρυθμού μεταβολής των διάφορων κατηγοριών μηχανοκίνητων οχημάτων.

Ταχύτητα διαδρομής (travel speed):

Είναι η μέση ταχύτητα με την οποία κινήθηκε ένα όχημα από το σημείο προέλευσης στο σημείο προορισμού, υπολογισμένων και των καθυστερήσεων λόγω στάσεων. Για τον υπολογισμό της διαιρείται η συνολική διανυθείσα απόσταση μεταξύ των δύο άκρων της διαδρομής με το συνολικό χρόνο που απαιτήθηκε για τη διαδρομή, συμπεριλαμβανομένου του χρόνου των στάσεων.

Ταχύτητα λειτουργίας (operating speed):

Είναι η μέγιστη ταχύτητα διαδρομής με την οποία είναι δυνατό 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.

Ταχύτητα ελεύθερης ροής (free flow speed):

Είναι η ταχύτητα λειτουργίας σε τμήμα μιας αρτηρίας, στη περίπτωση που ο κυκλοφοριακός φόρτος είναι πολύ χαμηλός (συνθήκες ελεύθερης ροής).

Ένα ακόμη σημαντικό μέγεθος για τη μελέτη και τη κατανόηση της κυκλοφοριακής ροής είναι ο διαχωρισμός (headway), που χωρίζεται σε χρονικό και χωρικό. Ο διαχωρισμός σε μια λωρίδα κυκλοφορίας είναι η απόσταση μεταξύ διαδοχικών οχημάτων ως προς ένα σταθερό σημείο αναφοράς τους, για παράδειγμα, ο μπροστινός προφυλακτήρας οχήματος ή οι μπροστινοί τροχοί. Η απόσταση αυτή μετρείται σε μήκος για το χωρικό διαχωρισμό (space headway) ή σε χρόνο για το χρονικό διαχωρισμό (time headway). Με αφορμή τους δύο αυτούς όρους, ορίζονται και οι αντίστοιχοι μέσοι όροι τους, δηλαδή ο μέσος χρονικός και ο μέσος χωρικός διαχωρισμός.

Μέσος χρονικός διαχωρισμός:

Αν $h_i(x)$ είναι ο χρονικός διαχωρισμός του οχήματος i από το επόμενο όχημα στη θέση x , ο μέσος χρονικός διαχωρισμός $\bar{h}(x)$ στη θέση x για το χρονικό διάστημα T δίνεται από τη παρακάτω σχέση:

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

Στη περίπτωση μεγάλων τιμών T ισχύει: $T \approx \sum_{i=1}^{n(x)} h_i(x)$. Επομένως, από τη παραπάνω σχέση και τη σχέση του κυκλοφοριακού φόρτου, προκύπτει:

$$q(x) \approx \frac{1}{\bar{h}(x)}$$

Μέσος χωρικός διαχωρισμός:

Αν $d_j(t)$ είναι ο χωρικός διαχωρισμός του οχήματος j από το προπορευόμενο όχημα κατά τη χρονική στιγμή t , στο τμήμα μήκους L , ο μέσος χωρικός διαχωρισμός $\bar{d}(t)$ στο τμήμα αυτό κατά τη χρονική στιγμή t δίνεται από τη σχέση:

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

Στη περίπτωση μεγάλων τιμών L ισχύει: $L \approx \sum_{j=1}^{n(t)} d_j(t)$. Βάσει της παραπάνω σχέσης και της σχέσης της πυκνότητας, προκύπτει:

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

Κρίνεται απαραίτητο να οριστούν κάποιες βασικές έννοιες της κυκλοφοριακής ικανότητας, ώστε να καταστεί δυνατός ο υπολογισμός και η αξιολόγηση βασικών μεγεθών που διέπουν τη λειτουργία και την απόδοση ενός κόμβου, είτε αυτός είναι ισόπεδος κόμβος προτεραιότητας, είτε κυκλικός.

Ροή κορεσμού (saturation flow):

Ο μέγιστος κυκλοφοριακός φόρτος που είναι δυνατό να διέλθει από μία διατομή ή ομάδα λωρίδων που εξυπηρετούν από κοινού μια κατεύθυνση υπό τις επικρατούσες οδικές και κυκλοφοριακές συνθήκες.

Βαθμός κορεσμού (degree of saturation):

Ορίζεται ως το πηλίκο του κυκλοφοριακού φόρτου που θέλει να εξυπηρετηθεί από μία διατομή (ζήτηση), προς τη κυκλοφοριακή ικανότητα της διατομής.

Κυκλοφοριακή ικανότητα (traffic capacity):

Η κυκλοφοριακή ικανότητα εκφράζει το μέγιστο ωριαίο ρυθμό ροής οχημάτων ή προσώπων, δηλαδή τα οχήματα ή πρόσωπα που είναι δυνατό να περάσουν από ένα δεδομένο σημείο ή ένα ομοιόμορφο τμήμα λωρίδας κυκλοφορίας ή οδού, κατά μία κατεύθυνση ή και κατά τις δύο κατευθύνσεις, κατά τη διάρκεια μιας δεδομένης χρονικής περιόδου, υπό τις οδικές και κυκλοφοριακές συνθήκες καθώς και τις συνθήκες ελέγχου της κυκλοφορίας που επικρατούν.

Στάθμη εξυπηρέτησης (level of service):

Αποτελεί ένα ποιοτικό μέγεθος που εκφράζει τις συνθήκες στις οποίες λειτουργεί ένα ρεύμα κυκλοφορίας, όπως τις αντιλαμβάνονται οι οδηγοί ή οι επιβάτες (Φραντζεσκάκης, Γκόλιας, Πιτσιάβα, 2009). Ουσιαστικά καθορίζονται κάποιες στάθμες εξυπηρέτησης με βάση ορισμένες οριακές τιμές ή κατώφλια τιμών παραμέτρων, όπως είναι η ταχύτητα και ο χρόνος μετακίνησης, η πυκνότητα και οι καθυστερήσεις. Οι παράμετροι αυτοί ονομάζονται δείκτες εξυπηρέτησης και από το 1965 (ΗΠΑ) έχουν καθιερωθεί έξι στάθμες εξυπηρέτησης σε μία κλίμακα από το γράμμα Α έως το F, καλύπτοντας όλες τις πιθανές συνθήκες λειτουργίας από τη καλύτερη: Α, ελεύθερη ροή (free flow), μέχρι τη χειρότερη: F, κορεσμός και κατάρρευση κυκλοφορίας (saturation).

Παράγοντες που επηρεάζουν τη κυκλοφοριακή ικανότητα και τη στάθμη εξυπηρέτησης:

Η κυκλοφοριακή ικανότητα, καθώς και η στάθμη εξυπηρέτησης επηρεάζονται από τέσσερις βασικούς παράγοντες. Η ποσοτική έκφραση της κυκλοφοριακής ικανότητας για διάφορες στάθμες εξυπηρέτησης έχει νόημα μόνο όταν είναι γνωστοί αυτοί οι παράγοντες:

- Οδικές συνθήκες (roadway conditions). Περιλαμβάνουν τα γεωμετρικά χαρακτηριστικά της οδού και δεν αλλάζουν χρονικά παρά μόνο όταν πραγματοποιηθούν νέες κατασκευές ή κάποιες βελτιώσεις στην εξεταζόμενη οδό.

Στη κατηγορία αυτή ανήκουν:

- ❖ 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 (traffic conditions). Εξαρτώνται από τη φύση της κυκλοφορίας στο υπό εξέταση οδικό τμήμα 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. Η κυκλοφοριακή ικανότητα είναι δυνατό να μειωθεί σημαντικά λόγω των βαρέων οχημάτων (φορτηγών, λεωφορείων, οχημάτων αναψυχής) κατά δύο τρόπους:
 - ❖ Είναι σαφώς μεγαλύτερα από τα επιβατικά οχήματα και καταλαμβάνουν περισσότερο χώρο οδοστρώματος.
 - ❖ Έχουν χαμηλότερες επιδόσεις, κυρίως όσον αφορά την επιτάχυνση/επιβράδυνση και την ικανότητα να διατηρούν τη ταχύτητά τους σε ανωφέρειες.
- Συνθήκες ελέγχου (control conditions). Αναφέρονται στη ρύθμιση της κυκλοφορίας με κατάλληλες συσκευές και σημάσεις και στους κανόνες κυκλοφορίας που εφαρμόζονται. Κάποιοι σημαντικοί τρόποι ελέγχου που επηρεάζουν τη κυκλοφοριακή ικανότητα είναι 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.
- Νέες τεχνολογίες, γνωστές και ως Ευφυή Συστήματα Μεταφορών (Intelligent Transportation Systems – ITS). Στοχεύουν στην αύξηση της ασφάλειας και της αποτελεσματικότητας των οχημάτων των συστημάτων μεταφορών και είναι δυνατό να αυξήσουν σημαντικά τη κυκλοφοριακή ικανότητα. Η σημασία των νέων τεχνολογιών τονίζεται και από την ύπαρξη εθνικών οργανισμών ITS σε όλες τις χώρες της Ευρωπαϊκής Ένωσης (Φραντζεσκάκης, Γκόλιας, Πιτσάβα 2009).

Ρυθμός ροής εξυπηρέτησης (service flow rate):

Αποτελεί το μέγιστο ωριαίο ρυθμό ροής οχημάτων ή πεζών που είναι δυνατό να περάσουν από ένα οδικό στοιχείο σε μια ορισμένη χρονική περίοδο ώστε οι συνθήκες λειτουργίας να διατηρούνται σε αυτή τη στάθμη εξυπηρέτησης. Έτσι, σε κάθε στάθμη αντιστοιχεί ένας ρυθμός ροής εξυπηρέτησης που αν ξεπεραστεί μεταφερόμαστε στην επόμενη (χειρότερη) στάθμη εξυπηρέτησης.

Ουρά (queue):

Αποτελεί ένα ποσοτικό μέγεθος, σημαντικό για το σχεδιασμό και τη λειτουργία συγκοινωνιακών δικτύων, που χρησιμοποιείται για την αποτύπωση των συνθηκών κυκλοφορίας που επικρατούν (Φραντζεσκάκης, Γκόλιας, Πιτσάβα, 2009). Δημιουργείται σε κάποιο σύστημα όταν η ζήτηση ξεπερνά την ικανότητα για κάποια χρονική περίοδο ή ο ρυθμός άφιξης των οχημάτων είναι μεγαλύτερος του ρυθμού εξυπηρέτησης σε κάποιο σημείο ενός συγκοινωνιακού δικτύου. Συνεχής υπέρβαση του ρυθμού αυτού θα οδηγούσε σε ουρές αναμονής άπειρου μήκους. Είναι δυνατό να εκφραστεί είτε ως αριθμός οχημάτων που βρίσκονται στην ουρά είτε ως μήκος της ουράς αναμονής (θεωρώντας ένα μέσο μήκος οχημάτων). Φαινόμενα ουράς είναι δυνατό να συναντηθούν σε σταθμούς διόδων, σε σηματοδοτούμενους κόμβους λόγω της φωτεινής σηματοδότησης αλλά και σε μη σηματοδοτούμενους κόμβους λόγω της σήμανσης STOP βάσει της οποίας πρέπει να παραχωρηθεί προτεραιότητα, σε σταθμούς εξυπηρέτησης οχημάτων, σε εισόδους – εξόδους χώρων στάθμευσης κ.ά.

Η θεωρία ουρών (queueing theory) στηρίζεται, κυρίως, στη θεωρία πιθανοτήτων και ασχολείται με τη μελέτη οχημάτων ή πεζών που αναμένουν σε μία θέση ενός συστήματος μεταφορών. Χρησιμοποιείται για τη πρόβλεψη των χαρακτηριστικών σε σειρές αναμονής ή για το προσδιορισμό του επιπέδου εξυπηρέτησης που παρέχει ένα μεταφορικό μέσο. Αξίζει επίσης να σημειωθεί ότι η θεωρία ουρών έχει σκοπό να εξετάσει τις κυκλοφοριακές συνέπειες σε ένα συγκοινωνιακό δίκτυο, να προσδιορίσει τους χρόνους αναμονής και να ελαχιστοποιήσει τις αναμενόμενες καθυστερήσεις.

Μέση καθυστέρηση (mean delay):

Όπως και κάποια άλλα μεγέθη που ορίστηκαν, έτσι και η μέση καθυστέρηση, αποτελεί ένα βασικό μέγεθος που χρησιμοποιείται για την αποτύπωση των κυκλοφοριακών συνθηκών (Φραντζεσκάκης, Γκόλιας, Πιτσιάβα, 2009). Ουσιαστικά, αποτελεί τον επιπλέον χρόνο που θα χρειαστεί κάποιο όχημα για να διανύσει ένα οδικό τμήμα στις επικρατούσες οδικές συνθήκες όταν η κίνησή του δεν πραγματοποιείται απρόσκοπτα. Αποτυπώνει τη διαφορά ανάμεσα στο χρόνο διαδρομής με βάση τις επικρατούσες συνθήκες και του χρόνου διαδρομής σε συνθήκες ελεύθερης ροής. Συμπερασματικά, μέση καθυστέρηση για κάποιο όχημα είναι δυνατό να υπάρξει είτε σε συνθήκες χαμηλού φόρτου είτε υψηλού. Στη πρώτη περίπτωση, τα οχήματα κινούνται με χαμηλότερη ταχύτητα από την επιθυμητή του υπό εξέταση οχήματος, ενώ στη δεύτερη περίπτωση τα οχήματα δεν κινούνται απρόσκοπτα. Υπάρχει και η περίπτωση μέσης καθυστέρησης σε συνθήκες ελέγχου κυκλοφορίας όπου η κίνηση των οχημάτων παρεμποδίζονται από εξωγενείς παράγοντες, όπως πχ από σηματοδότηση.

2.2 Υπολογισμός κυκλοφοριακής ικανότητας κόμβων

Ο αναλυτικός υπολογισμός της κυκλοφοριακής ικανότητας και της μέγιστης ροής εξυπηρέτησης για μια δεδομένη στάθμη ή ο καθορισμός της στάθμης εξυπηρέτησης στην οποία λειτουργεί ένα οδικό στοιχείο με συγκεκριμένο κυκλοφοριακό φόρτο πραγματοποιείται με τη βοήθεια μιας σειράς εξισώσεων και με τη βοήθεια πινάκων και σχημάτων. Επίσης, η διαδικασία του υπολογισμού αυτού διαφέρει ανάλογα με τον κόμβο που εξετάζεται και είναι δυνατό να πραγματοποιηθεί από δύο μοντέλα, τα εμπειρικά που βασίζονται σε μετρήσεις πεδίου και τα αναλυτικά που βασίζονται στη θεωρία αποδοχής διακένου.

Τα εμπειρικά μοντέλα αφορούν γεωμετρικά χαρακτηριστικά και μετρήσεις μεγεθών όπως η κυκλοφοριακή ικανότητα, η μέση καθυστέρηση, καθώς και το μήκος ή τα οχήματα της σχηματιζόμενης ουράς, όπως αυτά συλλέχθηκαν από το πεδίο. Η σχέση που δημιουργείται μεταξύ της κυκλοφοριακής ροής που προσεγγίζει μια είσοδο του κόμβου και της κυκλοφοριακής ροής μετά από αυτή, είναι δυνατό να είναι γραμμική ή εκθετική. Για την έγκυρη και αποτελεσματική λειτουργία των μοντέλων, απαιτείται μεγάλος αριθμός κόμβων σε συνθήκες κορεσμού και είναι δυνατό να προσαρμόζονται καλά στις οδικές συνθήκες όλων των χωρών.

Τα αναλυτικά μοντέλα, αντίθετα, είναι δυνατό να αναπτυχθούν χωρίς την ύπαρξη συνθηκών κορεσμού και στηρίζονται στο γεγονός ότι ο οδηγός που προσεγγίζει την είσοδο του κόμβου πρέπει να επιλέξει ένα αποδεκτό κενό (διάκενο) στη κυκλοφοριακή ροή ώστε να εισέλθει στον κόμβο. Γενικά, τα εμπειρικά μοντέλα θεωρούνται καλύτερα από τα αναλυτικά.

Χρονικός χωρισμός ακολουθίας (follow-up time):

Ορίζεται ως ο χρόνος που μεσολαβεί μεταξύ της εκκίνησης δύο διαδοχικών οχημάτων σε συνθήκες «ουράς» της δευτερεύουσας οδού που χρησιμοποιούν το ίδιο κενό για να μπουν στη κύρια αρτηρία.

Κρίσιμο διάκενο (critical gap):

Ορίζεται ο ελάχιστος χρονικός διαχωρισμός μεταξύ δύο οχημάτων στο ρεύμα της κύριας αρτηρίας που επιτρέπει την είσοδο σε όχημα από τη δευτερεύουσα οδό. Η εκτίμηση του κρίσιμου κυκλοφοριακού διακένου βασίζεται σε μετρήσεις του μεγαλύτερου μη αποδεκτού και του μικρότερου αποδεκτού χρονικού διαστήματος στον κόμβο που λαμβάνεται υπόψη.

Κατά HCM, το κρίσιμο διάκενο t_c είναι ο διάμεσος (median) των χρονικών διακένων μεταξύ δύο διαδοχικών οχημάτων στον πρωτεύοντα άξονα που γίνονται αποδεκτά από τους οδηγούς που εκτελούν τον υπό εξέταση ελιγμό (HCM 2000).

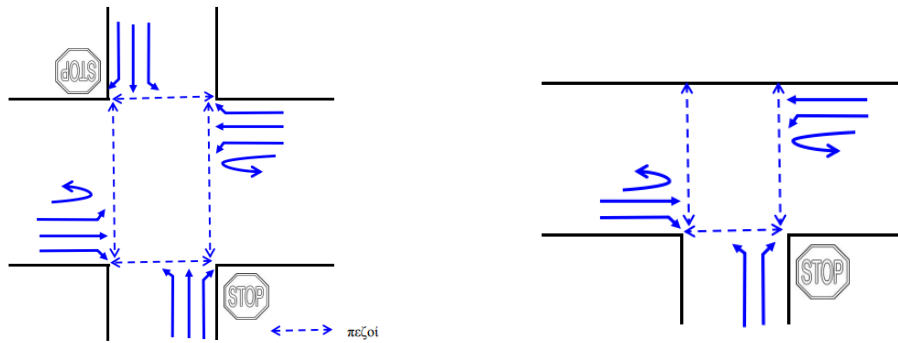
Το κρίσιμο διάκενο εξαρτάται από:

- Τον τύπο ελιγμού
- Το σύστημα προτεραιότητας, STOP ή προτεραιότητα από δεξιά.
- Τη μέση ταχύτητα στον πρωτεύοντα άξονα.
- Τον αριθμό λωρίδων στον πρωτεύοντα άξονα.
- Τη γεωμετρία του κόμβου.
- Τις συνθήκες του περιβάλλοντος.

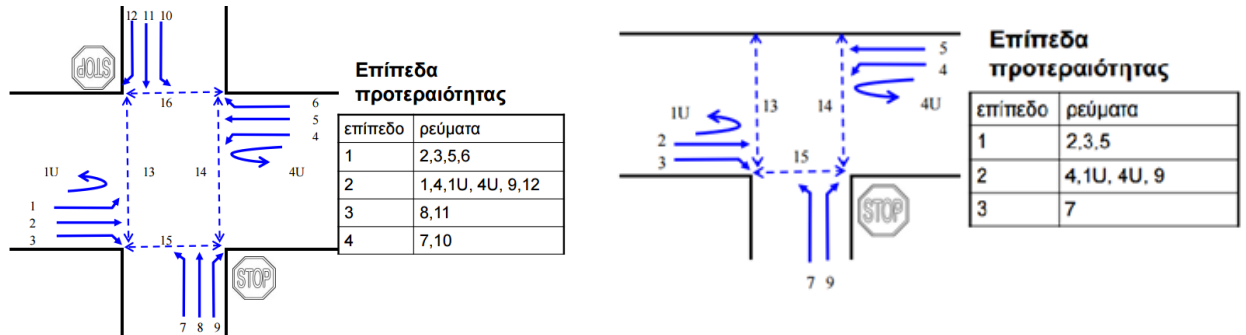
2.2.1 Ισόπεδοι κόμβοι με έλεγχο προτεραιότητας

Οι κόμβοι αυτοί με έλεγχο προτεραιότητας είναι δυνατό να είναι είτε τετρασκελείς, είτε κόμβοι τύπου «T» (οι οποίοι θα αναλυθούν στην παρούσα εργασία). Σε κάθε περίπτωση, αποτελούνται από ένα κύριο και ένα δευτερεύοντα άξονα, ο οποίος ελέγχεται από πινακίδα STOP ή YIELD (παραχώρηση προτεραιότητας στο κύριο ρεύμα κυκλοφορίας), ενώ υπάρχουν επίπεδα προτεραιότητας, τέσσερα για τους τετρασκελείς και τρία για τους «T». Σε κάθε επίπεδο προτεραιότητας αντιστοιχούν τα ρεύματα κυκλοφορίας ή αλλιώς οι κινήσεις των οχημάτων. Τα επίπεδα είναι:

- 1ο επίπεδο: περιλαμβάνει τις κινήσεις προτεραιότητας, δηλαδή τις ευθείες και δεξιές κινήσεις από τον πρωτεύοντα άξονα.
- 2ο επίπεδο: οι κινήσεις σε αυτό το επίπεδο επηρεάζονται/εμποδίζονται μόνο από κινήσεις του 1ου επιπέδου. Αυτές είναι αριστερές κινήσεις από τον κύριο άξονα και δεξιές από τον δευτερεύοντα.
- 3ο επίπεδο: περιλαμβάνει τις κινήσεις που επηρεάζονται/εμποδίζονται από τις κινήσεις του 1ου και 2ου επιπέδου. Αυτές οι κινήσεις είναι ευθείες κινήσεις από τον δευτερεύοντα άξονα.
- 4ο επίπεδο: οι κινήσεις του επιπέδου αυτού επηρεάζονται/εμποδίζονται από όλες τις κινήσεις των προηγούμενων επιπέδων, δηλαδή από κινήσεις του 1ου, 2ου και 3ου επιπέδου και είναι οι αριστερές στρέφουσες κινήσεις από τον δευτερεύοντα άξονα.



Σχήμα 2.1- Κόμβος προτεραιότητας (τετρασκελής και τύπου T)- Πηγή: Σημειώσεις Οδοποιίας ΙΙΙ ΣΑΤΜ-ΕΜΠ



Σχήμα 2.2- Επίπεδα προτεραιότητας και κινήσεις τετρασκελούς και τύπου T κόμβων- Πηγή: Σημειώσεις Οδοποιίας ΙΙΙ ΣΑΤΜ-ΕΜΠ

Διαδικασία υπολογισμού (HCM, 2010):

- Προσδιορισμός των γεωμετρικών και κυκλοφοριακών χαρακτηριστικών.
- Προσδιορισμός των εμπλεκόμενων κυκλοφοριακών ρευμάτων για κάθε κίνηση από τον δευτερεύοντα άξονα και τις αριστερές στροφές από τον πρωτεύοντα.
- Καθορισμός του μεγέθους του διάκενου και χρόνου ακολουθίας στα εμπλεκόμενα κυκλοφοριακά ρεύματα που απαιτείται από ένα όχημα σε κάθε κίνηση που «συγκρούεται» με άλλα κυκλοφοριακά ρεύματα.
- Υπολογισμός της δυναμικής κυκλοφοριακής ικανότητας.
- Προσαρμογή των κυκλοφοριακών ικανοτήτων που έχουν υπολογισθεί έτσι ώστε να αντιμετωπισθούν τα προβλήματα που σχετίζονται με την εμπόδιση πραγματοποίησης κινήσεων.
- Προσαρμογή των κυκλοφοριακών ικανοτήτων που έχουν υπολογισθεί έτσι ώστε να ληφθεί υπόψη η χρήση μία λωρίδας από περισσότερες από μία κινήσεις.

Αφού υπολογιστούν οι εμπλεκόμενοι κυκλοφοριακοί φόρτοι, υπολογίζονται οι τιμές του κρίσιμου διάκενου και του χρόνου ακολουθίας κάθε κίνησης του κόμβου, βάσει της εξίσωσης:

$$t_{c,x} = t_{c,base} + t_{c,HGV}P_{HGV} + t_{c,G}G - t_{3,LT}$$

Όπου:

$t_{c,x}$ = κρίσιμος χρονικός διαχωρισμός για κίνηση x (δευτερόλεπτα)

$t_{c,base}$ = κρίσιμος χρονικός διαχωρισμός βάσης που λαμβάνεται από πίνακα

$t_{c,HGV}$ = ο συντελεστής προσαρμογής για βαρέα οχήματα (1.0 για πρωτεύοντες άξονες 2 λωρίδων, 2.0 για πρωτεύουσα 4 ή 6 λωρίδων)

P_{HGV} = η αναλογία βαρέων οχημάτων εξεταζόμενης κίνησης

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

G= η κλίση της πρόσβασης διαιρούμενης δια του 100

$t_{3,LT}$ = ο συντελεστής προσαρμογής για γεωμετρία κόμβου (0,7 δευτερόλεπτα για αριστερόστροφες κινήσεις από δευτερεύουσα οδό σε διασταύρωση τύπου T, αλλιώς 0,0)

Ο χρονικός διαχωρισμός ακολουθίας δίνεται από τη σχέση:

$$t_{f,x} = t_{f,base} + t_{f,HGV}P_{HGV}$$

Όπου:

$t_{f,x}$ = χρονικός διαχωρισμός ακολουθίας για δευτερεύουσα κίνηση x

$t_{f,base}$ = βασική τιμή χρονικού διαχωρισμού ακολουθίας που λαμβάνεται από πίνακα

$t_{f,HGV}$ = συντελεστής προσαρμογής για βαρέα οχήματα (0,9 δευτερόλεπτα για κύριες οδούς δύο λωρίδων και 1,0 δευτερόλεπτο για κύριες οδούς τεσσάρων λωρίδων)

P_{HGV} = αναλογία βαρέων οχημάτων εξεταζόμενης κίνησης

Ο πίνακας από τον οποίο λαμβάνονται οι βασικές τιμές που αναφέρθηκαν (αυτές του κρίσιμου διάκενου και του χρόνου ακολουθίας) παρουσιάζεται παρακάτω:

Πίνακας 2.2- Βασικές τιμές κρίσιμου διάκενου και χρόνου ακολουθίας- Πηγή: Σημειώσεις Οδοποιία III ΣΑΤΜ-ΕΜΠ

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
Δεξιά 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

Στο σημείο αυτό υπολογίζεται η «δυναμική» κυκλοφοριακή ικανότητα για κάθε κίνηση βάσει του τύπου:

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

Όπου:

$C_{p,x}$ = η «δυναμική» κυκλοφοριακή ικανότητα της κίνησης x

$v_{c,x}$ = ο κυκλοφοριακός φόρτος των εμπλεκόμενων ρευμάτων για τη κίνηση x

$t_{c,x}$ = ο κρίσιμος χρονικός διαχωρισμός για τη κίνηση x

$t_{f,x}$ = ο χρονικός διαχωρισμός ακολουθίας για τη κίνηση x

Τον υπολογισμό της «δυναμικής» κυκλοφοριακής ικανότητας, ακολουθεί ο υπολογισμός των συνεπειών εμπόδισης της κυκλοφορίας. Στη πραγματικότητα, όταν η κυκλοφορία σε μία κίνηση αυξάνεται, εμποδίζει τις κινήσεις χαμηλότερου επιπέδου με προτεραιότητα

(προτεραιότητα επιπέδου 3 και 4) να χρησιμοποιήσουν τα διάκενα, ελαττώνοντας έτσι τη κυκλοφοριακή ικανότητα σε αυτές τις κινήσεις. Η νέα κυκλοφοριακή ικανότητα που προκύπτει, συμβολίζεται $C_{m,k}$ και είναι διορθωμένη. Η διορθωμένη κυκλοφοριακή ικανότητα των κινήσεων του επιπέδου 1 δεν υπολογίζεται καθώς δεν εμποδίζονται. Οι κινήσεις του επιπέδου 2 παρέχουν προτεραιότητα στις κινήσεις του επιπέδου 1, και δεν εμποδίζονται από τα υπόλοιπα ρεύματα χαμηλότερων επιπέδων, επομένως η ικανότητα του ρεύματος j (με j τα ρεύματα 1, 4 ή μόνο το 1 σε περίπτωση κόμβου T), $C_{m,j}$ ισούται με τη μέγιστη δυνατή ικανότητα:

$$C_{m,j} = C_{p,j}$$

Επομένως οι διορθωμένες κυκλοφοριακές ικανότητες στους ισόπεδους τετρασκελείς κόμβους υπολογίζονται μόνο για τις κινήσεις του 3^{ου} και 4^{ου} επιπέδου προτεραιότητας και για τους κόμβους T , για τις κινήσεις του 3^{ου} επιπέδου. Αυτό επιτυγχάνεται με τη βοήθεια των συντελεστών προσαρμογής ικανότητας f_k , όπου k είναι το ρεύμα 8, 11 (ή μόνο το 8 σε περίπτωση κόμβων T):

$$f_k = \prod_j p_{0,j}$$

Όπου $p_{0,j}$ εκφράζει τη πιθανότητα ότι μια χρονική στιγμή δε θα περιμένουν οχήματα σε ουρά.

$$p_{0,j} = 1 - \frac{v_j}{C_{m,j}}$$

Και έτσι η τελική διορθωμένη κυκλοφοριακή ικανότητα θα ισούται με,

$$C_{m,k} = C_{p,k} f_k$$

Ο υπολογισμός του μήκους της σχηματιζόμενης ουράς για κάθε κίνηση πραγματοποιείται με τη σχέση

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

Υπολογισμός μέσης καθυστέρησης ελέγχου:

Η μέση καθυστέρηση αποτελεί τον επιπλέον χρόνο σε σχέση με απρόσκοπτη κίνηση και περιλαμβάνει μια σειρά από λειτουργίες. Ουσιαστικά, ο χρόνος που χρειάζεται για να πραγματοποιηθούν οι λειτουργίες αυτές ισούται και με το χρόνο της καθυστέρησης:

- Επιβράδυνση οχήματος έως να σταματήσει και να αναμείνει στο ανάντη άκρο της ουράς αναμονής.
- Κίνηση εντός της ουράς αναμονής μέχρι να φτάσει στη 1^η θέση της ουράς αναμονής.
- Αναμονή έως τη στιγμή που θα ξεκινήσει τον ελιγμό του για τη πραγματοποίηση της κίνησής του.
- Επιτάχυνση έως τη ταχύτητα ελεύθερης ροής.

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

Τα αναλυτικά μοντέλα που χρησιμοποιούνται για την εκτίμηση της καθυστέρησης θεωρούν πως η ζήτηση των οχημάτων είναι μικρότερη της κυκλοφοριακής ικανότητας για τη περίοδο της ανάλυσης. Στις περισσότερες περιπτώσεις, η περίοδος ανάλυσης είναι 15 λεπτά, αλλά αν η ζήτηση ξεπερνά τη κυκλοφοριακή ικανότητα κατά τη διάρκεια μιας 15λεπτης περιόδου, τα αποτελέσματα της καθυστέρησης μπορεί και να μην είναι ακριβή. Στη περίπτωση αυτή, η περίοδος ανάλυσης πρέπει να επεκταθεί ώστε να συμπεριλάβει τη περίοδο υπερκορεσμού (HCM, 2000).

Υπολογισμός καθυστερήσεων στα ρεύματα του πρωτεύοντα άξονα:

Όταν δε παρέχεται αποκλειστική λωρίδα για τις αριστερές στροφές επί του πρωτεύοντα άξονα, είναι πιθανόν να εμποδίζεται η ευθεία και η δεξιά κίνηση (σε περίπτωση τετρασκελούς κόμβου). Τότε, η μέση καθυστέρηση στα οχήματα στον πρωτεύοντα άξονα υπολογίζεται ως εξής:

$$d_{rank1} = \begin{cases} \frac{\left((1 - p_{0,1}^*) d_{M,LT} \left(\frac{v_{i,1}}{N} \right) \right)}{v_{i,1} + v_{i,2}}, & N > 1 \\ (1 - p_{0,1}^*) d_{M,LT}, & N = 1 \end{cases}$$

Όπου:

d_{rank1} = η καθυστέρηση στα οχήματα του πρωτεύοντα άξονα

$d_{M,LT}$ = η καθυστέρηση αριστερής στρέφουσας από πρωτεύοντα άξονα

N = ο αριθμός των λωρίδων για τις ευθείες κινήσεις ανά κατεύθυνση στον πρωτεύοντα άξονα

$v_{i,1}$ = ο κυκλοφοριακός φόρτος ευθείας κίνησης στη μοιραζόμενη λωρίδα

$v_{i,2}$ = ο κυκλοφοριακός φόρτος δεξιάς κίνησης στη μοιραζόμενη λωρίδα

Υπολογισμός μέσης καθυστέρησης πρόσβασης – ομάδας κινήσεων:

Στο σημείο αυτό έχει υπολογιστεί η μέση καθυστέρηση κάθε κίνησης, αλλά κρίνεται απαραίτητος ο υπολογισμός της μέσης καθυστέρησης αφενός σε κάθε πρόσβαση και αφετέρου σε ολόκληρο τον κόμβο. Η μέση καθυστέρηση σε μία πρόσβαση θα υπολογιστεί ως η σταθμισμένη καθυστέρηση ως προς τους φόρτους όλων των ρευμάτων που καταλήγουν στη συγκεκριμένη πρόσβαση.

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

Όπου:

d_A = η μέση καθυστέρηση στη πρόσβαση A

d_r, d_t, d_l = η καθυστέρηση στη δεξιά στρέφουσα, ευθεία και αριστερά στρέφουσα κίνηση

v_r, v_t, v_l = ο κυκλοφοριακός φόρτος στη δεξιά στρέφουσα, ευθεία και αριστερά στρέφουσα κίνηση

Υπολογισμός καθυστέρησης κόμβου:

Υπολογίζεται η μέση καθυστέρηση όλου του κόμβου από τη σταθμισμένη καθυστέρηση των προσβάσεων ως προς τους φόρτους όλων των προσβάσεων που καταλήγουν στον κόμβο.

$$d_1 = \frac{d_{A,1} \cdot v_{A,1} + d_{A,2} \cdot v_{A,2} + d_{A,3} \cdot v_{A,3} + d_{A,4} \cdot v_{A,4}}{v_{A,1} + v_{A,2} + v_{A,3} + v_{A,4}}$$

Όπου:

d_1 = η μέση καθυστέρηση όλου του κόμβου

$d_{a,x}$ = η καθυστέρηση στη πρόσβαση x

$d_{A,x}$ = ο κυκλοφοριακός φόρτος στη πρόσβαση x

Τέλος, με βάση τις τιμές των μέσων καθυστερήσεων ελέγχου που υπολογίζονται και του βαθμού κορεσμού είναι δυνατή η εκτίμηση της στάθμης εξυπηρέτησης.

Πίνακας 2.3- Στάθμη εξυπηρέτησης για ισόπεδους κόμβους με προτεραιότητας- Πηγή: Σημειώσεις Αντωνίου, Σπυροπούλου ΣΑΤΜ-ΕΜΠ

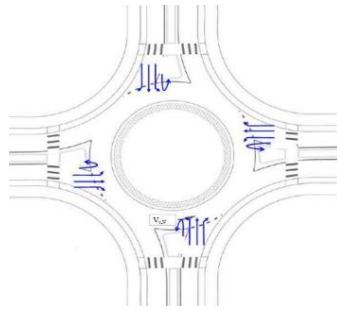
Μέση καθυστέρηση ελέγχου (δλ/σχ)	$\frac{v}{c} \leq 1.0$	$\frac{v}{c} > 1.0$
0-10	A	F
>10-15	B	F
>15-25	C	F
>25-35	D	F
>35-50	E	F
>50	F	F

2.2.2 Κυκλικοί κόμβοι

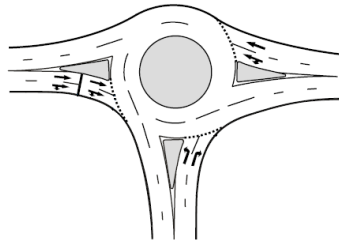
Στους κυκλικούς κόμβους, όπως και προηγουμένως, υπάρχουν δύο κατηγορίες ανάλυσης κόμβων. Τα εμπειρικά πρότυπα, που στηρίζονται στην ανάπτυξη σχέσεων βάσει μετρήσεων πεδίου και τα αναλυτικά, που βασίζονται στη θεωρία αποδοχής του κρίσιμου χρονικού διαστήματος. Όσον αφορά το ποια πρότυπα θα επιλεγθούν, εξαρτάται από τις συνθήκες. Τα εμπειρικά πρότυπα προσφέρουν κυρίως καλύτερη απόδοση, αλλά απαιτούν μεγάλο αριθμό δεδομένων, ενώ τα αναλυτικά είναι δυνατό να εφαρμοσθούν και χωρίς δεδομένα, δηλαδή πριν σχεδιαστεί ο κόμβος.

Ο υπολογισμός της κυκλοφοριακής ικανότητας που πρόκειται να αναφερθεί, θα αφορά κυκλικούς κόμβους μίας λωρίδας κυκλοφορίας. Πρέπει, επίσης, να αναφερθεί ότι η κυκλοφοριακή ικανότητα αυξάνεται με την αύξηση του αριθμού των λωρίδων, αλλά όχι αναλογικά. Αυτό σημαίνει ότι ο διπλασιασμός των λωρίδων δεν συνεπάγεται τον διπλασιασμό της κυκλοφοριακής ικανότητας. Τέλος, η απόδοσή τους εξαρτώνται σε μεγάλο βαθμό από τη γεωμετρία του κόμβου και τα χαρακτηριστικά των οδηγών.

Οι κυκλικοί κόμβοι, όπως και οι ισόπεδοι κόμβοι προτεραιότητας, είναι δυνατό να έχουν διάφορες μορφές και διαφορετικούς αριθμούς κλάδων. Είναι δυνατό για παράδειγμα, να είναι τετρασκελείς κόμβοι (4 κλάδοι) ή και τύπου T (3 κλάδοι).



Σχήμα 2.3- Κυκλικός κόμβος με τέσσερα σκέλη- Πηγή: Σημειώσεις μαθήματος Οδοποιίας ΙΙΙ ΣΑΤΜ-ΕΜΠ



Σχήμα 2.4- Κυκλικός κόμβος με τρία σκέλη (T)- Πηγή: Rahmi Akcelik, 2009

Έχει παρατηρηθεί καλές εκτιμήσεις κυκλοφοριακής ικανότητας σε κυκλικούς κόμβους μίας λωρίδας, αν ο ρυθμός ροής κυκλοφορίας θεωρηθεί τυχαίος. Η συμπεριφορά των οδηγών που εισέρχονται στον κυκλικό κόμβο ως προς την αποδοχή κυκλοφοριακών κενών του κόμβου είναι παρόμοια με αυτή των οδηγών που εκτελούν δεξιόστροφη κίνηση σε κόμβους με έλεγχο προσβάσεων της δευτερεύουσας οδού με σήμα STOP, ειδικά για κυκλικούς κόμβους μίας λωρίδας (Φραντζεσκάκης, Γκόλιας, Πιτσιάβα, 2009).

Υπολογισμός κυκλοφοριακής ικανότητας:

Ο υπολογισμός κυκλοφοριακής ικανότητας μιας πρόσβασης ενός κυκλικού κόμβου δίνεται από τη παρακάτω σχέση.

$$c_a = \frac{v_c e^{-v_c t_c / 3600}}{1 - e^{-v_c t_f / 3600}}$$

Όπου:

- c_a = η κυκλοφοριακή ικανότητα πρόσβασης
- v_c = οι εμπλεκόμενοι κυκλοφοριακοί φόρτοι
- t_c = το κρίσιμο διάκενο (σε δευτερόλεπτα)
- t_f = ο χρόνος ακολουθίας (σε δευτερόλεπτα)

Το εύρος τιμών για τα μεγέθη του κρίσιμου διακένου και το χρόνου ακολουθίας, λαμβάνεται από τον ακόλουθο πίνακα τιμών.

Πίνακας 2.4- Εύρος τιμών για το κρίσιμο διάκενο και τον χρόνο ακολουθίας- Πηγή: Σημειώσεις μαθήματος Οδοποιία ΙΙΙ ΣΑΤΜ-ΕΜΠ

	Κρίσιμο διάκενο (δλ)	Χρόνος ακολουθίας (δλ)
Ανώτατο όριο	4.1	2.6
Κατώτατο όριο	4.6	3.1

Για την επίλυση του κυκλικού κόμβου και την εξαγωγή αποτελεσμάτων με τη μεθοδολογία που αναπτύσσεται, θεωρείται ότι προτεραιότητα έχουν οι κινήσεις εντός του κόμβου (HCM, 2000), ενώ επίσης υπολογίζονται και οι εμπλεκόμενοι κυκλοφοριακοί φόρτοι.

Τέλος, υπολογίζονται οι καθυστερήσεις τόσο σε κάθε πρόσβαση, όσο και στο συνολικό κόμβο, με βάση τις σχέσεις που αναφέρθηκαν και προηγουμένως.

2.3 Κόμβοι

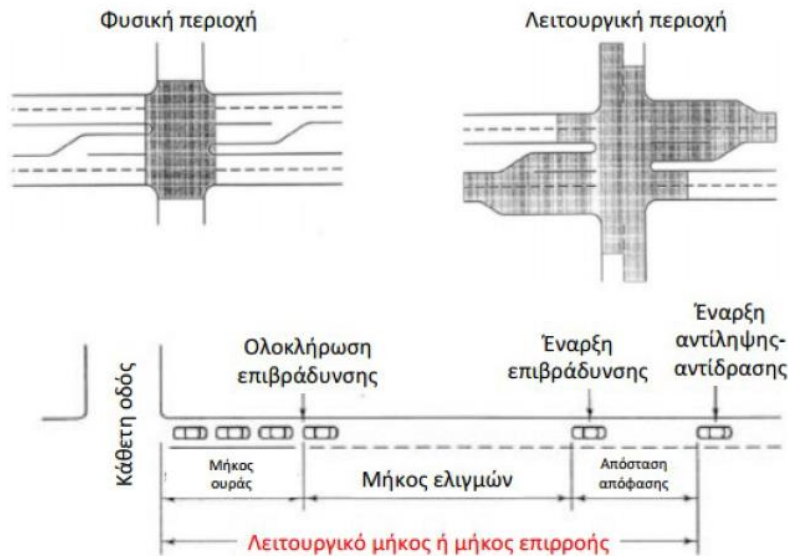
2.3.1 Γενικά στοιχεία κόμβων

Ως κόμβος ορίζεται το οδικό στοιχείο που χρησιμοποιείται για την εξυπηρέτηση πολλών κινήσεων που τέμνονται σε ένα σημείο. Διακρίνονται σε ισόπεδους και ανισόπεδους κόμβους. Οι πρώτοι περιλαμβάνουν τις διαμορφώσεις και τον εξοπλισμό των οδών και του παρόδιου χώρου για την εξυπηρέτηση της κυκλοφορίας, ενώ οι δεύτεροι περιλαμβάνουν τα έργα υψομετρικού διαχωρισμού και ράμπες. Οι κόμβοι αποτελούν κρίσιμα σημεία του οδικού δικτύου. Είναι τα σημεία όπου οι οδηγοί καλούνται να αλλάξουν/επιλέξουν διαδρομές, ώστε να πραγματοποιούνται όλοι οι δυνατοί συνδυασμοί προελεύσεων-προορισμών με το ελάχιστο δυνατό δίκτυο. Ο σχεδιασμός κόμβων πρέπει να είναι προσαρμοσμένος στις ανάγκες των οδηγών και κατανοητός προς τους χρήστες.

Η επιλογή των κόμβων που θα σχεδιαστούν καθώς και η αξιολόγηση της λειτουργικότητάς τους εξαρτάται από πολλούς και σημαντικούς παράγοντες, οι οποίοι είναι:

- Η ασφάλεια της κυκλοφορίας
- Ο λειτουργικός χαρακτήρας του οδικού τμήματος
- Ο κυκλοφοριακός φόρτος και η σύνθεση της κυκλοφορίας
- Η ταχύτητα μελέτης και η λειτουργική ταχύτητα
- Ο καθορισμός προτεραιότητας
- Η γεωμορφολογία της περιοχής
- Ο διαθέσιμος χώρος
- Οι χρήσεις γης της περιοχής
- Οι εξυπηρετήσεις των γειτονικών πληθυσμών
- Η θεώρηση του ίδιου του δικτύου
- Τα περιβαλλοντικά θέματα
- Το κόστος

Στους κόμβους υπάρχουν δύο περιοχές που αφορούν τη λειτουργία τους και την απόδοσή τους, η φυσική και η λειτουργική. Η πρώτη περιλαμβάνει τη περιοχή του κόμβου αυτού καθ' αυτού, δηλαδή τον κοινό χώρο των διασταυρούμενων οδών. Η δεύτερη περιλαμβάνει όλες εκείνες τις περιοχές που έχουν να κάνουν με την απόσταση που διανύει ένα όχημα κατά την αντίληψη-αντίδραση του οδηγού, την επιβράδυνση και αλλαγή λωρίδας του οχήματος, καθώς και το μήκος που απαιτείται για την αποθήκευση οχημάτων. Οι δύο αυτές περιοχές παρουσιάζονται παρακάτω.

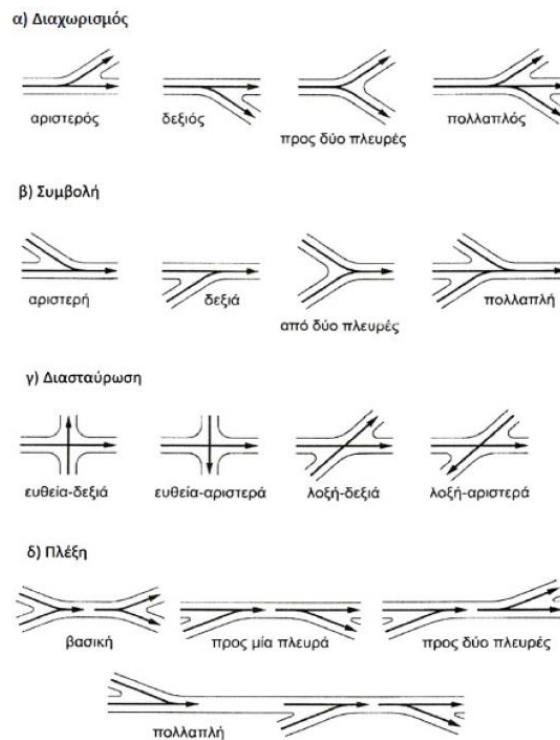


Σχήμα 2.5- Φυσική και λειτουργική περιοχή κόμβου- Πηγή: Αντωνίου, Παπαδημητρίου, 2012

Οι βασικοί ελιγμοί που εκτελούνται στους κόμβους είναι τρεις:

- Συμβολή (merging)
- Μερισμός (diverging)
- Διασταύρωση (crossing)

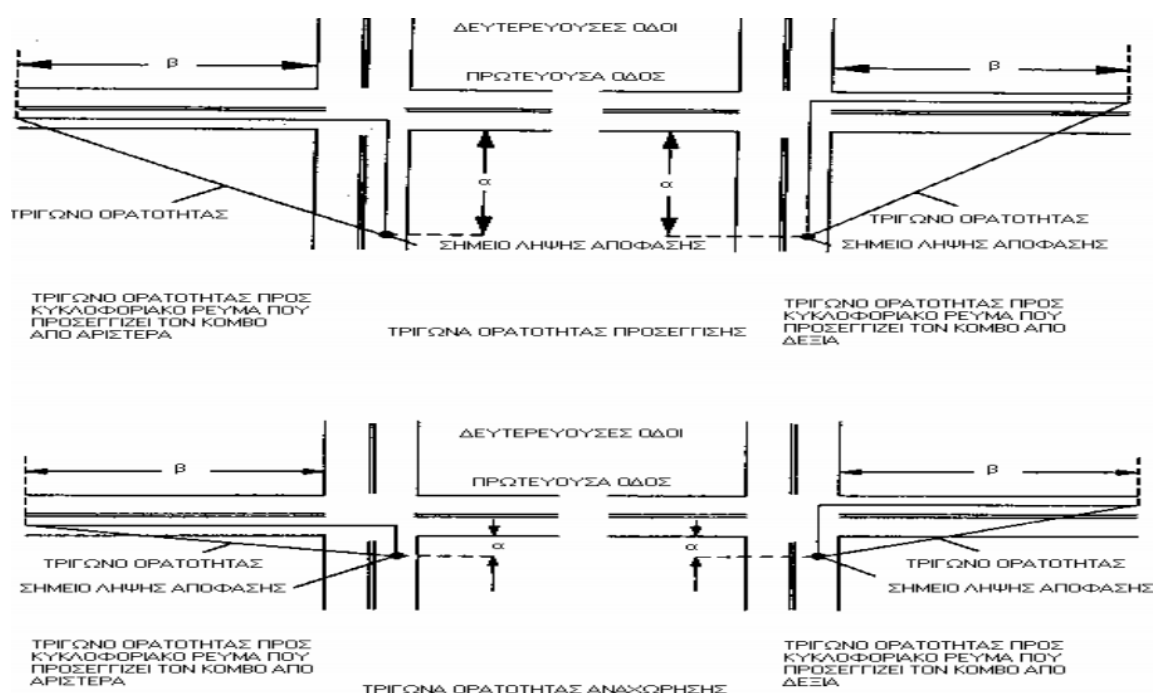
Όταν ένας ελιγμός συμβολής δύο ρευμάτων ακολουθείται σε μικρή απόσταση από έναν ελιγμό μερισμού, τότε ορίζεται ένας σύνθετος ελιγμός που καλείται πλέξη (weaving). Αυτοί, όλοι οι ελιγμοί, ονομάζονται στοιχειώδεις, όταν συναντώνται μόνο δύο κυκλοφορικά ρεύματα μιας λωρίδας και μια κατεύθυνσης και πολλαπλοί, όταν συναντώνται περισσότερα ρεύματα μιας λωρίδας και μιας κατεύθυνσης.



Σχήμα 2.6- Τύποι ελιγμών- Πηγή: Φραντζεσκάκης, Γκόλιας, Πιτσάβα, 2009

Ένα σημαντικό στοιχείο στους πιθανούς ελιγμούς οχημάτων που αναφέρθηκαν, είναι οι εμπλοκές (conflicts). Επίσης, όσο αυξάνεται ο αριθμός των σκελών σε έναν κόμβο, αυξάνεται και ο αριθμός αυτών των εμπλοκών των κυκλοφοριακών ρευμάτων, ενώ αυξάνεται ακόμα περισσότερο αν πρόκειται για οδικά στοιχεία με παραπάνω από μία λωρίδες ή ρεύματα κυκλοφορίας.

Ένας βασικός παράγοντας στους κόμβους, ως προς την ομαλή τους λειτουργία και την ασφάλεια, είναι η ορατότητα. 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. Οι περιοχές αυτές ονομάζονται τρίγωνα ορατότητας και χωρίζονται σε δύο κατηγορίες: i) τα τρίγωνα ορατότητας απευθείας διάσχισης ή τρίγωνα ορατότητας προσέγγισης και ii) τα τρίγωνα ορατότητας στάσης πριν τη διάσχιση ή τρίγωνα ορατότητας αναχώρησης. Γενικά, το μήκος κάθε πλευράς του τριγώνου πρέπει να είναι τέτοιο ώστε να επιτρέπει στον οδηγό να αντιληφθεί πιθανές συγκρούσεις και να έχει τη δυνατότητα επιβράδυνσης ή και ακινητοποίησης του οχήματος για την έγκαιρη αποφυγή τους. Τα μήκη αυτά δεν είναι καθολικά, εξαρτώνται από τον τύπο ελέγχου του κόμβου και τη ταχύτητα μελέτης που έχει οριστεί.



Σχήμα 2.7- Τρίγωνα ορατότητας (προσέγγισης και αναχώρησης)- Πηγή: Σημειώσεις Β. Ψαριανού ΣΑΤΜ-ΕΜΠ

Για τα τρίγωνα ορατότητας προσέγγισης, όπως φαίνεται και στην εικόνα, η κάτω κορυφή του τριγώνου εκφράζει το σημείο λήψης απόφασης για τους οδηγούς που κινούνται επί της δευτερεύουσας οδού. Ουσιαστικά πρόκειται για την απόσταση α από τη πρωτεύουσα οδό. Η διάσταση της απόστασης αυτής θα πρέπει να είναι τέτοια ώστε ο οδηγός να έχει τη δυνατότητα καθαρού πεδίου για αντίληψη τυχόν οχήματος με προτεραιότητα που κινείται προς το σημείο διασταύρωσης. Αντίστοιχα, η απόσταση β αντικατοπτρίζει την απόσταση του οχήματος με προτεραιότητα που κινείται επί της κύριας οδού από τη σημείο εμπλοκής της διασταύρωσης. Να σημειωθεί ότι οι ορατότητες αυτές δεν χρειάζονται στη περίπτωση που οι προσβάσεις ελέγχονται με πρόγραμμα φωτεινής σηματοδότησης ή σήμανση STOP/ YIELD.

Όσον αφορά τα τρίγωνα αναχώρησης, αναφέρονται σε ακινητοποιημένα οχήματα της δευτερεύουσας οδού, λόγω σήμανσης STOP. Παρέχουν σε αυτά τα οχήματα εμφανώς μεγαλύτερη ορατότητα, ώστε να μπορούν να εκτιμήσουν αν είναι δυνατό να εισέλθουν και να διασχίσουν το κόμβο. Να εκτιμήσουν δηλαδή, τη ταχύτητα κίνησης του οχήματος επί της πρωτεύουσας οδού και να βρουν επαρκές διάκενο για τη πραγματοποίηση της κίνησης ή του ελιγμού τους. Αντιστοίχως, στα οχήματα της κύριας οδού παρέχεται (αν και λιγότερη ορατότητα) η δυνατότητα αναγνώρισης οχημάτων που αναμένουν στον δευτερεύοντα άξονα, έτσι ώστε να εκτιμήσουν τη πρόθεσή τους για ελιγμό και να αποφύγουν τυχόν εμπλοκή επιβραδύνοντας το όχημα.

2.3.2 Ισόπεδοι κόμβοι

Ισόπεδοι κόμβοι είναι οι κόμβοι όπου τα οδικά στοιχεία/κλάδοι συνάντησης τέμνονται και βρίσκονται στο ίδιο (υψομετρικά) επίπεδο. Η επιλογή του είδους του κόμβου πραγματοποιείται με βάση τα γεωμετρικά και λειτουργικά χαρακτηριστικά των οδών που συναντώνται αλλά και τα στοιχεία της κυκλοφορίας που εξυπηρετεί η ευρύτερη περιοχή του κόμβου. Εκτός από τον προσδιορισμό του είδους του κόμβου, κρίνεται απαραίτητη η εκλογή της συγκεκριμένης γεωμετρικής μορφής του, που πρέπει να βρίσκεται σε συμφωνία με τα υπόλοιπα στοιχεία σχεδιασμού του οδικού δικτύου καθώς και η ανάγκη για την εγκατάσταση ή μη φωτεινής σηματοδότησης.

Υπάρχουν πολλές κατηγορίες ισόπεδων κόμβων και κατανέμονται με βάση τον αριθμό των σκελών που διαθέτουν, τη μορφή τους, τον τρόπο ρύθμισης της κυκλοφορίας, καθώς και τον τρόπο διαμόρφωσής τους:

- Αριθμός σκελών: τριών σκελών, τεσσάρων ή πολυσκελείς/πολύπλοκοι κόμβοι
- Μορφή κόμβων: κόμβοι τύπου *T* ή τύπου *Y*. Οι πρώτοι είναι κόμβοι τριών κλάδων με διαχωριστές οδοστρώματος και συνήθως αντικαθιστούν τους κόμβους τύπου *Y*, που συχνά κρίνονται ανεπαρκείς και διφορούμενοι, οπότε και αποφεύγονται.
- Τρόπος προγραμματισμού της κυκλοφορίας: με ή χωρίς φωτεινή σηματοδότηση, με ή χωρίς σήμανση STOP.
- Τρόπος διαμόρφωσής τους: με ή χωρίς διαχωριστικές νησίδες, αποκλειστικές λωρίδες αριστερών στροφών κλπ.



Σχήμα 2.8- Παραδείγματα ισόπεδων τετρασκελών και τύπου *T* κόμβων- Πηγή: FHWA-Department of Transportation και waynewright.com

Να σημειωθεί ότι για λόγους ασφαλείας, υπάρχει η τάση οι τετρασκελείς κόμβοι να αντικαθίστανται με δύο κόμβους *T*. Στην Αγγλία, αυτό οδήγησε στη μείωση των ατυχημάτων κατά 70%.

Στη παρούσα εργασία θα μελετηθούν οι ισόπεδοι κόμβοι τύπου *T*, με έλεγχο των προσβάσεων τη δευτερεύουσας οδού με σήμα STOP.

2.3.3 Κυκλικοί κόμβοι

Οι κυκλικοί κόμβοι είναι μια ειδική κατηγορία μορφής κόμβων στην οποία τα οχήματα κινούνται με φορά αντίθετα αυτής των ωρολογιακών δεικτών γύρω από μία κεντρική, συνήθως, κυκλική νησίδα. Στους κυκλικούς κόμβους τα σημεία διασταυρώσεων κυκλοφοριακών ρευμάτων μετατρέπονται σε συνεχόμενα σημεία μερισμών και συμβολών, κάτι που συνεπάγεται δηλαδή σε συνεχείς πλέξεις (Φραντζεσκάκης, Γιαννόπουλος, 1986). Σημαντικό στοιχείο των κυκλικών κόμβων αποτελεί η διάμετρος του εγγεγραμμένου κύκλου, που πρόκειται για τη διάμετρο του κύκλου που περιλαμβάνει και το εξωτερικό όριο της δακτυλικής επιφάνειας του οδοστρώματος του κόμβου καθώς και τη κεντρική νησίδα.

Οι κυκλικοί κόμβοι έχουν χρησιμοποιηθεί με επιτυχία διεθνώς, ενώ η χρήση τους αυξάνεται συνεχώς με όλες και περισσότερους κόμβους να μετατρέπονται σε κυκλικούς. Αυτό οφείλεται και στην ασφάλεια που παρέχουν, η οποία εξαρτάται στο σχεδιασμό τους ώστε οι αλλαγές τροχιάς να πραγματοποιούνται με μικρή καθυστέρηση και με ασφάλεια. Αυτές οι αλλαγές τροχιάς στηρίζονται στον συνδυασμό φόρτου – ταχύτητας και στο κατάλληλο χώρο.

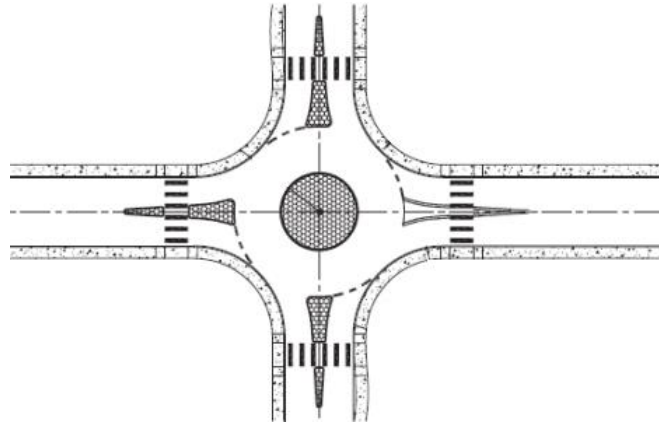
Είναι σημαντικός κανόνας των κυκλικών κόμβων το γεγονός ότι η κυκλοφοριακή ροή των οχημάτων εντός κόμβου έχει προτεραιότητα έναντι της ροής εισόδου. Διαφορετικά, αν τα οχήματα εισόδου στον κόμβο είχαν προτεραιότητα θα υπήρχε κίνδυνος μπλοκαρίσματος του κυκλικού κόμβου από τα οχήματα που κινούνται εντός αυτού. Μόνο στη πρώτη περίπτωση (αυτή της προτεραιότητας των οχημάτων εντός κόμβου) είναι δυνατό να θεωρηθεί ότι ο κυκλικός κόμβος λειτουργεί σωστά (Birgit Stuwe, 1991). Υπάρχει και η περίπτωση ελέγχου κυκλικού κόμβου με φωτεινή σηματοδότηση. Τον κανόνα αυτόν δεν ακολουθεί η Ελλάδα, αφού στους ελληνικούς κυκλικούς κόμβους, προτεραιότητα έχουν τα οχήματα που εισέρχονται στον κόμβο, εκτός αν υπάρχει σήμανση STOP για παραχώρηση προτεραιότητας στα εντός κόμβου οχήματα.

Οι κατηγορίες που μπορούν να διακριθούν οι κυκλικοί κόμβοι είναι οι εξής:

- Μικροί κυκλικοί κόμβοι (mini-roundabouts)
- Κυκλικοί κόμβοι μίας λωρίδας (single-lane roundabouts)
- Κυκλικοί κόμβοι πολλαπλών λωρίδων (multilane roundabouts)

Μικροί κυκλικοί κόμβοι (mini-roundabouts):

Οι μικροί κυκλικοί κόμβοι είναι ιδιαίτερα φιλικόι προς τους πεζούς, με σύντομες αποστάσεις διαβάσεων και αρκετά χαμηλές ταχύτητες κυκλοφορίας των οχημάτων τόσο στις εισόδους όσο και στις εξόδους. Η μέση λειτουργική ταχύτητα στους κόμβους αυτούς δεν υπερβαίνει τα 60 χλμ/ώρα και η μέγιστη ταχύτητα εισόδου κυμαίνεται στα 25 με 30 χλμ/ώρα. Το κόστος κατασκευής τους είναι ιδιαίτερα χαμηλό, ενώ ο σχεδιασμός τους στηρίζεται στις γερμανικές προδιαγραφές περιλαμβάνοντας και στοιχεία από αυτές του Ηνωμένου Βασιλείου. Η διάμετρος του εγγεγραμμένου κύκλου ενός τέτοιου κόμβου κυμαίνεται μεταξύ 13 έως 27 μέτρων και το πλάτος του κυκλικού δακτυλίου από 4.5 έως 6 μέτρα (Νίκου, 2012).



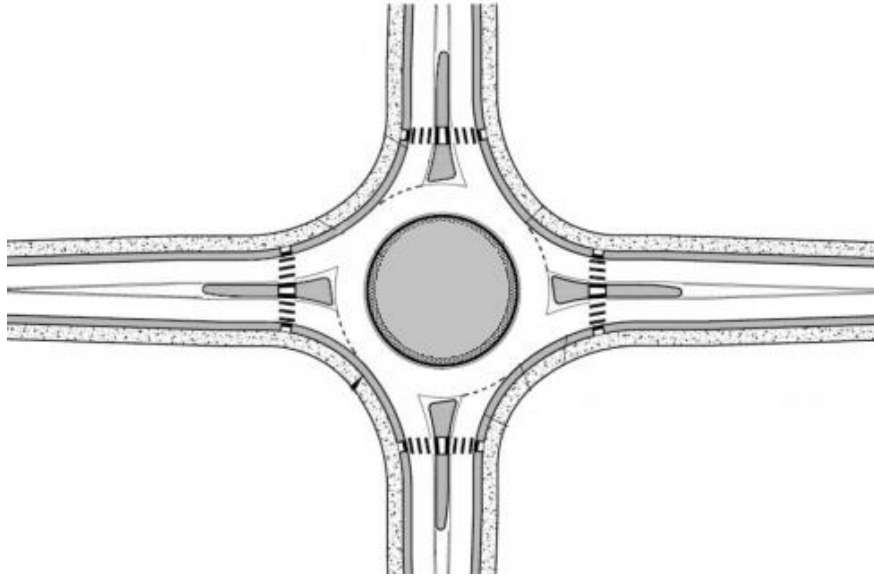
Σχήμα 2.9- Διαμόρφωση μικρού κυκλικού κόμβου- Πηγή: National Cooperative Highway Research Program, 2010



Σχήμα 2.10- Παράδειγμα μικρού κυκλικού κόμβου στο Μόχουμ- Πηγή: Brilon, 2005

Κυκλικοί κόμβοι μίας λωρίδας (single-lane roundabouts):

Στους κυκλικούς κόμβους μίας λωρίδας, ανήκουν οι κυκλικοί κόμβοι που διαθέτουν σε όλα τα σκέλη μία λωρίδα εισόδου, μία λωρίδα εξόδου και μία λωρίδα στον κυκλικό δακτύλιο. Ο σχεδιασμός τους επιτρέπει ελαφρώς μεγαλύτερες ταχύτητες εισόδου, γύρω στα 30 με 40 χλμ/ώρα και εξόδου. Η κατασκευή τους περιλαμβάνει συνήθως υπερυψωμένη κυκλική νησίδα στο κέντρο. Τέλος, η διάμετρος του εγγεγραμμένου κύκλου κυμαίνεται στα 27 με 55 μέτρα, ενώ το πλάτος του οδικού τμήματος στον κυκλικό δακτύλιο είναι από 5.30 έως 6.70 μέτρα (Νίκου, 2012).



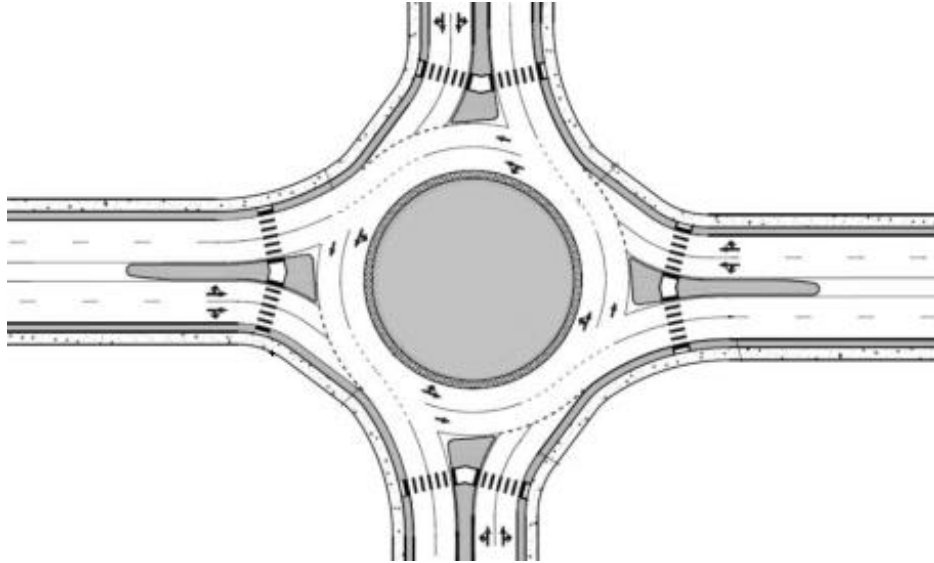
Σχήμα 2.11- Διαμόρφωση κυκλικού κόμβου μίας λωρίδας- Πηγή: National Cooperative Highway Research Program, 2010



Σχήμα 2.12- Παράδειγμα κυκλικού κόμβου μίας λωρίδας στο Φράιμπουργκ- Πηγή: Brilon, 2005

Κυκλικοί κόμβοι δύο λωρίδων (two-lane roundabouts):

Σε αυτή τη κατηγορία κόμβων, ανήκουν οι κόμβοι που διαθέτουν σε όλα τα σκέλη μία ή δύο λωρίδες εισόδου, μία ή δύο λωρίδες εξόδου και δύο λωρίδες κυκλοφορίες στον κυκλικό δακτύλιο. Η μέγιστη ταχύτητα εισόδου ελαφρώς αυξάνεται σχετικά με τη προηγούμενη περίπτωση (40 με 50 χλμ/ώρα), με τις λειτουργικές ταχύτητες να κυμαίνονται στα 40 με 50 χλμ/ώρα. Το μήκος της διαμέτρου του εγγεγραμμένου κύκλου κυμαίνεται από 46 έως 67 μέτρα, ενώ το πλάτος οδικού τμήματος του κυκλικού δακτυλίου 8.60 έως 9.80 μέτρα



Σχήμα 2.13- Διαμόρφωση κυκλικού κόμβου δύο λωρίδων- Πηγή: National Cooperative Highway Research Program, 2010



Σχήμα 2.14- Παράδειγμα κυκλικού κόμβου δύο λωρίδων στο Bad Aibling- Πηγή: Brilon, 2005

Κυκλικοί κόμβοι πολλαπλών λωρίδων (multilane roundabouts):

Υπάρχουν και κόμβοι με περισσότερες των δύο λωρίδων τόσο στην είσοδο και έξοδο των κόμβων, όσο και στη κυκλική δακτύλιο. Τέτοιοι κόμβοι έχουν και μεγαλύτερες διαμέτρους από του κυκλικούς κόμβους που αναφέρθηκαν, ωστόσο η κατασκευή και χρήση τους αποφεύγεται, δεδομένου ότι προκαλεί σύγχυση στους οδηγούς σχετικά με τη οδική τους συμπεριφορά. Για τον λόγο αυτό, δημιουργούνται θέματα ασφάλειας, αν και θα ήταν δυνατό να χρησιμοποιηθούν με τη λειτουργία φωτεινής σηματοδότησης.



Σχήμα 2.15- Παράδειγμα κυκλικού κόμβου τριών λωρίδων στο Michigan (USA)- Πηγή: National Cooperative Highway Research Program, 2010

Στη παρούσα εργασία θα μελετηθούν κυκλικοί κόμβοι μίας (single-lane roundabouts) και δύο λωρίδων (two-lane roundabouts).

2.4 Κυκλοφοριακή προσομοίωση

2.4.1 Γενικά στοιχεία προσομοίωσης

Προσομοίωση της κυκλοφορίας ή προσομοίωση συστημάτων μεταφορών είναι η μαθηματική μοντελοποίηση των συστημάτων μεταφορών (όπως για παράδειγμα διασταυρώσεις αυτοκινητοδρόμων, αρτηριακές διαδρομές, κυκλικοί κόμβοι, κεντρικά δίκτυα κλπ.) με την εφαρμογή λογισμικού ηλεκτρονικών υπολογιστών για τη καλύτερη σχεδίαση και λειτουργία συστημάτων μεταφορών. Η προσομοίωση των συστημάτων μεταφορών ξεκίνησε αρκετά χρόνια πριν και αποτελεί σήμερα σημαντικό τομέα στο σχεδιασμό της κυκλοφορίας και των μεταφορών. Διάφοροι οργανισμοί που συσχετίζονται με θέματα μεταφορών, ακαδημαϊκά ιδρύματα και συμβουλευτικές εταιρίες χρησιμοποιούν τη τεχνική της προσομοίωσης για να βοηθήσουν στη διαχείριση των δικτύων μεταφοράς.

Η προσομοίωση στις μεταφορές είναι σημαντική επειδή δύναται να μελετήσει πολύπλοκα μοντέλα για αναλυτική ή αριθμητική επεξεργασία, να χρησιμοποιηθεί σε πειραματικές διερευνήσεις και γενικά στη προσπάθεια παραγωγής οπτικών αναπαραστάσεων μελλοντικών σεναρίων.

Για να κατανοηθεί η προσομοίωση, είναι σημαντική η κατανόηση της έννοιας της κατάστασης του συστήματος, η οποία είναι ένα σύνολο μεταβλητών που περιέχει αρκετές πληροφορίες για να περιγράψει την εξέλιξη του συστήματος με τη πάροδο του χρόνου. Η κατάσταση του συστήματος δύναται να λαμβάνεται είτε ως διακριτή είτε ως συνεχής. Τα μοντέλα προσομοίωσης της κυκλοφορίας ταξινομούνται ως διακριτό ή συνεχές σε χρόνο, κατάσταση και χώρο.

2.4.2 Μαθηματικά πρότυπα προσομοίωσης

Τα μαθηματικά πρότυπα προσομοίωσης χωρίζονται σε μικροσκοπικά, μεσοσκοπικά και μακροσκοπικά.

Μικροσκοπικά πρότυπα

Τα μικροσκοπικά μαθηματικά πρότυπα προσομοίωσης της κυκλοφορίας προσομοιώνουν τη συμπεριφορά μεμονωμένων οχημάτων εντός ενός προκαθορισμένου οδικού δικτύου και χρησιμοποιούνται για την πρόβλεψη πιθανών επιπτώσεων αλλαγών στα πρότυπα κυκλοφορίας που προκύπτουν από αλλαγές στη ροή της κυκλοφορίας ή από αλλαγές στο φυσικό περιβάλλον. Η μεγαλύτερη δυνατότητα της μικροσκοπικής προσομοίωσης βρίσκεται στη προτυποποίηση των κυκλοφοριακών οδικών δικτύων λόγω της ικανότητάς της να προσομοιώνει τις συνθήκες αναμονής (συνθήκες ουράς). Τα μοντέλα μικροσκοπικής προσομοίωσης θα συνεχίσουν να παρέχουν αποτελέσματα σε υψηλό βαθμό κορεσμού, μέχρι το σημείο απόλυτης κατάρρευσης. Αυτή η δυνατότητα καθιστά αυτό το είδος μοντέλων πολύ χρήσιμο για την ανάλυση κυκλοφοριακών δραστηριοτήτων σε αστικές περιοχές και σε κέντρα πόλης, συμπεριλαμβανομένων των σηματοδοτούμενων και μη κόμβων, κυκλικών κόμβων και των δικτύων περιοχής. Η μικροσκοπική προσομοίωση αντικατοπτρίζει ακόμη και σχετικά μικρές αλλαγές στο φυσικό περιβάλλον, όπως η στένωση λωρίδων ή η μετεγκατάσταση των γραμμών στάσης (stop lines) της διασταύρωσης.

Όπως αναφέρθηκε, αυτά τα μαθηματικά πρότυπα βασίζονται στη προσομοίωση κάθε οχήματος ξεχωριστά. Κάθε όχημα αντικαθίσταται από ένα διάνυσμα, του οποίου οι συνιστώσες είναι η θέση στο χώρο, η ταχύτητα και η επιτάχυνση και οι οποίες ανανεώνονται βάσει της κατάστασης των γειτονικών οχημάτων. Τα μικροσκοπικά πρότυπα προσομοίωσης δύναται να περιέχουν πρότυπα ακολουθούστος οχήματος (car following model), πρότυπα της αλλαγής λωρίδας (lane changing model) και πρότυπα αποδοχής διάκενου (gap acceptance model).

Μεσοσκοπικά πρότυπα

Τα μεσοσκοπικά μαθηματικά πρότυπα προσομοίωσης είναι κατά κάποιο τρόπο ένας συνδυασμός μικροσκοπικών και μακροσκοπικών προτύπων. Δεν περιγράφουν τη συμπεριφορά μεμονωμένων οχημάτων όπως τα μικροσκοπικά, αλλά δεν είναι και μακροσκοπικά. Από τη μία περιγράφουν τη κίνηση των οχημάτων με απλό τρόπο, αλλά από την άλλη χρησιμοποιούν διορθώσεις για τις απλουστεύσεις που χρειάζονται. Ένα χαρακτηριστικό παράδειγμα μεσοσκοπικού προτύπου αποτελεί το πρότυπο TRANSYT.

Μακροσκοπικά πρότυπα

Τα μακροσκοπικά μαθηματικά πρότυπα αντιμετωπίζουν τη κυκλοφοριακή ροή ως ένα σύνολο και είναι βασισμένα στη θεώρηση ότι η συμπεριφορά τη κίνησης εξαρτάται από τις συνθήκες του οδικού περιβάλλοντος και όχι στα μεμονωμένα χαρακτηριστικά των οδηγών ή στην αλληλεπίδραση μεταξύ τους. Θεμελιώδες μακροσκοπικό μαθηματικό πρότυπο είναι το κινηματικό πρότυπο των Lighthill & Whitham (1955), πάνω στο οποίο στηρίχθηκε ο σχεδιασμός μεταγενέστερων προτύπων.

Πρότυπο ακολουθίας οχημάτων (car-following model)

Στο πρότυπο ακολουθίας οχημάτων το κατάλληλο καθεστώς λειτουργίας καθορίζεται από τον χρονικό διαχωρισμό. Ανάλογα με τις τιμές που λαμβάνει ο χρονικός διαχωρισμός,

προκύπτουν και οι αντίστοιχες περιπτώσεις, ξεκινώντας από τον μεγαλύτερο προς τον μικρότερο χρονικό διαχωρισμό:

- Καθεστώς ελεύθερης ροής, όπου τα οχήματα κινούνται ελεύθερα χωρίς να επηρεάζεται η λειτουργική τους ταχύτητα από τα προπορευόμενα οχήματα.
- Καθεστώς ακολουθίας οχημάτων, όπου η ταχύτητα των οχημάτων που ακολουθούν καθορίζεται από τη κίνηση των προπορευόμενων οχημάτων.
- Καθεστώς εκτάκτου ανάγκης, όπου ο χρονικός διαχωρισμός μεταξύ του οχήματος και του προπορευόμενου είναι επικίνδυνα μικρός και η άμεση επέμβαση για αποφυγή ατυχήματος κρίνεται απαραίτητη.

Βασική προϋπόθεση για το πρότυπο αυτό, είναι η συνεχής κυκλοφοριακή ροή σε χώρο και χρόνο. Τα μαθηματικά μοντέλα ακολουθούντος οχήματος μελετούν, μέσω αλγορίθμων, την οδική συμπεριφορά ενός οχήματος (ακόλουθο όχημα), όταν αυτό ακολουθεί ένα άλλο (προπορευόμενο όχημα). Όταν δεν υπάρχει προπορευόμενο όχημα, το ακόλουθο είναι ελεύθερο και δύναται να αναπτύξει την επιθυμητή ταχύτητά του, που αν το έκανε με τη παρουσία κάποιου προπορευμένου, θα οδηγούσε σε σύγκρουση.

Η γενική σχέση που έχει αναπτυχθεί στα τέλη του 1950 και περιγράφει το πρότυπο ακολουθίας οχημάτων είναι η εξής:

$$response_n(t) = sensitivity_n(t - \tau_n) \times stimulus_n(t - \tau_n)$$

Όπου:

t= χρόνος παρατήρησης

τ_n = χρόνος αντίδρασης του οδηγού n

$response_n(t)$ = επιτάχυνση στο χρόνο t

Η σχέση αυτή γράφεται και ως εξής:

$$[επιτάχυνση] = [ευαισθησία] \times [ερέθισμα]$$

Οι Chandler et al. (1958) ανέπτυξαν το πρώτο μοντέλο ακολουθίας οχήματος, το οποίο είναι ένα απλό, γραμμικό μοντέλο:

$$\alpha_n(t) = \alpha \Delta V_n^{front}(t - \tau_n)$$

Όπου:

$\alpha_n(t)$ = επιτάχυνση οδηγού n τη χρονική στιγμή t

α = συνεχές

$\Delta V_n^{front}(t-\tau_n) = [V_n^{front}(t-\tau_n) - V_n(t-\tau_n)]$: ερέθισμα

$V_n(t-\tau_n)$ = ταχύτητα τη χρονική στιγμή (t- τ_n)

$V_n^{front}(t-\tau_n)$ = ταχύτητα προπορευόμενου οχήματος τη στιγμή (t- τ_n)

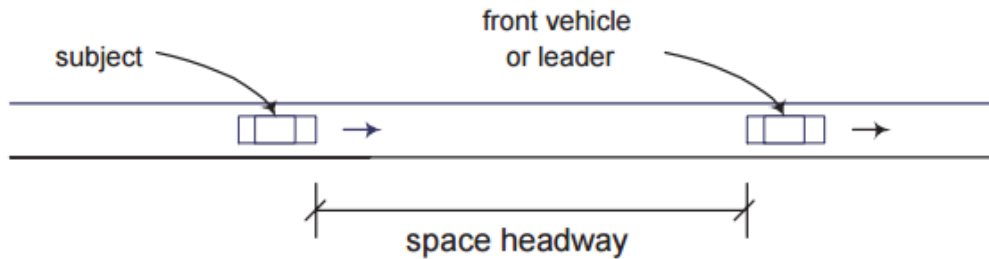
Ένας οδηγός ανταποκρίνεται στο ερέθισμα στο χρόνο (t- τ_n) εφαρμόζοντας την επιτάχυνση στο χρόνο t. Οι ίδιοι όροι ευαισθησίας χρησιμοποιούνται τόσο για την επιτάχυνση όσο και για την επιβράδυνση. Το μοντέλο εκτιμήθηκε χρησιμοποιώντας τη μέθοδο ανάλυσης συσχέτισης, καθώς και μικροσκοπικά δεδομένα ακόλουθου-οχήματος, τα οποία συλλέχθηκαν από ένα δείγμα 8 οδηγών που οδηγούσαν δοκιμαστικά οχήματα σε οδικό τμήμα δύο λωρίδων σε πραγματική κυκλοφορία για 20 με 30 λεπτά.

Οι Gazis et al (1959) αντιμετωπίζουν τη παραπάνω προσέγγιση, με ενσωμάτωση πορείας διαστήματος (space headway) μεταξύ των δύο οχημάτων στον όρο ευαισθησίας. Το μοντέλο τους είναι:

$$\alpha_n = \frac{\alpha}{\Delta X_n(t - \tau_n)} \Delta V_n^{front}(t - \tau_n)$$

Όπου:

$\Delta X_n(t - \tau_n)$ = η πορεία διαστήματος τη χρονική στιγμή $(t - \tau_n)$



Σχήμα 2.16- Το όχημα που οδηγεί και το όχημα που ακολουθεί, καθώς και η απόσταση της μεταξύ τους πορείας- Πηγή: Kazi Iftekhar Ahmed, MASSACHUSETTS INSTITUTE OF TECHNOLOGY, 1999

Το μοντέλο εκτιμήθηκε χρησιμοποιώντας μικροσκοπικά δεδομένα, που συλλέχθηκαν από πειράματα που πραγματοποιήθηκαν στις σήραγγες Holland και Lincoln της Νέας Υόρκης. Οι παράμετροι α και τ υπολογίστηκαν για κάθε οδηγό κάθε συνόλου δεδομένων χρησιμοποιώντας την ανάλυση συσχετισμού. Για κάθε σύνολο δεδομένων, οι κατά μέσο όρο τιμές των παραμέτρων από όλα τα δείγματα αναφέρθηκαν ως εκτιμήσεις.

Ο Eddie (1961) επισήμανε ότι το μοντέλο της τελευταίας εξίσωσης έχει δύο περιορισμούς. Πρώτον, από άποψη συμπεριφοράς, η θεωρία του ακολουθούντος-οχήματος (follow-the-leader theory) δεν εφαρμόζεται σε χαμηλές πυκνότητες. Δεύτερον, η μακροσκοπική σχέση ταχύτητας-πυκνότητας που προκύπτει από τη πάνω σχέση φτάνει άπειρη ταχύτητα, όσο η πυκνότητα προσεγγίζει το μηδέν. Έτσι, λαμβάνοντας υπόψιν αυτούς τους περιορισμούς, ο Eddie άλλαξε τον όρο της ευαισθησίας ως ακολούθως:

$$\alpha_n(t) = \alpha \frac{V_n(t - \tau_n)}{\Delta X_n(t - \tau_n)^2} \Delta V_n^{front}(t - \tau_n)$$

Η ευαισθησία τώρα είναι ανάλογη της ταχύτητας και αντιστρόφως ανάλογη του τετραγώνου του χρονικού διαχωρισμού (headway). Αυτό το μοντέλο απέδωσε καλύτερα από αυτό των Gazis et al. σε χαμηλές πυκνότητες. Ωστόσο, ο όρος του ερεθίσματος αποτελεί συνάρτηση της ταχύτητας του προπορευόμενου οχήματος, κάτι που δεν είναι ρεαλιστικό σε χαμηλές πυκνότητες, ειδικά όταν οι χρονικοί διαχωρισμοί είναι υψηλοί.

Υπήρξαν και άλλοι (Newel 1961, Forbes 1963) που εισήγαγαν τις δικιές τους προσεγγίσεις και δημιούργησαν τα δικά τους μοντέλα, όπως έκανε και ο Girps (1981) που ανέπτυξε το πρώτο γενικό μοντέλο ακολουθούντος-οχήματος που εφαρμόζεται και στο καθεστώς ακολουθούντος-οχήματος, αλλά και σε αυτό της ελεύθερης ροής. Αυτό το μοντέλο υπολογίζει τη μέγιστη επιτάχυνση του οδηγού, έτσι ώστε η ταχύτητα να μην υπερβεί την επιθυμητή και ο χωρικός διαχωρισμός να μην είναι μικρότερος της ελάχιστης απόστασης ασφάλειας. Μηχανικοί περιορισμοί των οχημάτων αντιμετωπίστηκαν με τη χρήση των παραμέτρων μέγιστης επιτάχυνσης και οι πιο σοβαροί, με παραμέτρους επιβράδυνσης. Οι

εξισώσεις νόμων κίνησης χρησιμοποιήθηκαν στους παραπάνω υπολογισμούς. Οι παράμετροι των μοντέλων δεν εκτιμήθηκαν αυστηρά και ο χρόνος αντίδρασης ήταν αυθαίρετος για όλους τους οδηγούς.

Πρότυπο αλλαγής λωρίδας (lane changing model)

Ένα εξίσου πολύ βασικό πρότυπο είναι αυτό της αλλαγής λωρίδας. Οι τύποι ελιγμού αλλαγής λωρίδας διακρίνονται στις εξής κατηγορίες:

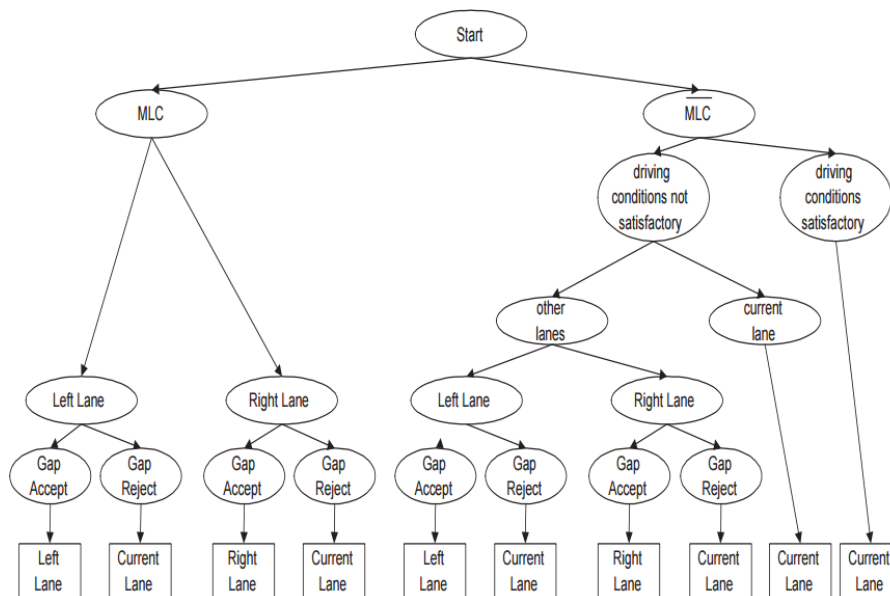
- Κατ' επιλογήν (discretionary lane change, DLC), όταν ο οδηγός εξετάζει τη δυνατότητα αλλαγής λωρίδας για να βελτιώσει τις συνθήκες κίνησής του.
- Υποχρεωτική (mandatory lane change, MLC), όταν ο οδηγός πρέπει να εκτελέσει αλλαγή λωρίδας για να αλλάξει κατεύθυνση. Για παράδειγμα, είναι δυνατό να θελήσει να βγει από κάποια έξοδο του αυτοκινητοδρόμου που κινείται ή να κάνει στρέφουσα κίνηση στο οδικό τμήμα όπου βρίσκεται ο προορισμός του.
- Συνδυασμός των δύο.

Ουσιαστικά, το μαθηματικό αυτό πρότυπο περιλαμβάνει αλγορίθμους που περιγράφουν την οδική συμπεριφορά, όταν οι οδηγοί πρόκειται να αλλάξουν λωρίδα, καθώς επίσης ελέγχουν τα κατάλληλα διάκενα για την πραγματοποίηση μιας αλλαγής. Για το λόγο αυτό τα μοντέλα αλλαγής λωρίδας είναι ιδιαίτερα πολύπλοκα με αποτέλεσμα να αποτελούν πηγή σφαλμάτων κατά τη διαδικασία της προσομοίωσης.

Πιο συνοπτικά, τα στοιχεία της απόφασης αλλαγής λωρίδας περιλαμβάνουν:

- Την απόφαση για αλλαγή λωρίδας.
- Την επιλογή λωρίδας προορισμού, μεταξύ των πιθανών επιλογών.
- Την επιλογή διάκενου, μεταξύ των διαφόρων διαθέσιμων διακένων.
- Την αποδοχή, ή όχι, του διάκενου που έχει επιλεχθεί.

Παρακάτω φαίνεται η λογική δομή που δρα όταν ένας οδηγός πρόκειται να αλλάξει λωρίδα.



Σχήμα 2.17- Η δομή του μοντέλου αλλαγής λωρίδας- Πηγή: Kazi Iftekhar Ahmed, MASSACHUSETTS INSTITUTE OF TECHNOLOGY, 1999

Η διαδικασία επιλογής λωρίδας αποτελείται από τέσσερα κορυφαία επίπεδα ιεραρχίας αποφάσεων όπως φαίνεται και στο σχήμα. Το πιο πάνω επίπεδο, που αφορά στο αν θα πραγματοποιηθεί υποχρεωτική αλλαγή (MLC) ή όχι (\overline{MLC}), είναι δυνατό να μοντελοποιηθεί χρησιμοποιώντας ένα διακριτό μοντέλο επιλογής, για παράδειγμα, ένα δυαδικό μοντέλο logit. Χρησιμοποιώντας τη σύνθεση τυχαίων όρων, η πιθανότητα ο οδηγός n τη χρονική στιγμή t θα ανταποκριθεί στο MLC, υπό τον όρο του μεμονωμένου ειδικού όρου v_n , έχουμε:

$$P_t(MLC|v_n) = \frac{1}{1 + \exp(-X_n^{MLC}(t)\beta^{MLC} - \alpha^{MLC}v_n)}$$

Όπου:

$X_n^{MLC}(t)$ = διάνυσμα επεξηγηματικών μεταβλητών που εκδίδει απόφαση για την απάντηση στις MLC συνθήκες

β^{MLC} = διάνυσμα παραμέτρων

v_n = μεμονωμένος ειδικός τυχαίος όρος που θεωρείται ότι κατανέμεται κανονικά

α^{MLC} = παράμετρος του όρου v_n

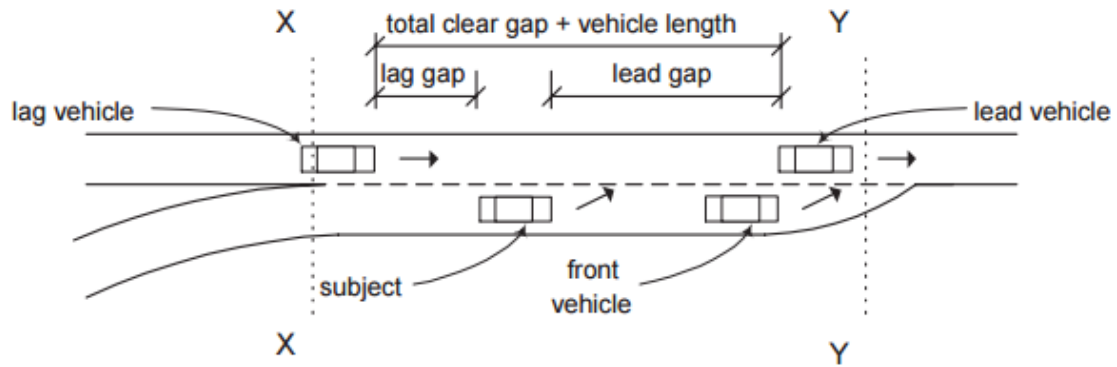
Πρότυπο επιλογής διάκενου

Τα μαθηματικά μοντέλα τέτοιου προτύπου, ελέγχουν τον τρόπο με τον οποία τα οχήματα στρέφουν σε αντικρουόμενα ρεύματα κυκλοφορίας. Το μέγεθος του διακένου που θα αναμένει ένας οδηγός για να πραγματοποιήσει την κίνηση ελιγμού του έχει και τις αντίστοιχες συνέπειες στο σύστημα προσομοίωσης. Εάν ένα οδηγός περιμένει για ένα μεγάλο διάκενο, τότε θα δημιουργήσει πρόβλημα στο σύστημα αναμονής, ενώ αν περιμένει για ένα μικρό διάκενο, τότε η οδική του συμπεριφορά θα χαρακτηριστεί ως επιθετική αλλά ταυτοχρόνως ίσως και μη ρεαλιστική. Παράδειγμα συστήματος αποδοχής διακένου, αποτελεί ένα όχημα που είναι πρώτο στην ουρά αναμονής μιας οδού χαμηλής προτεραιότητας, αναζητώντας ένα διάκενο για να πραγματοποιήσει τον ελιγμό και να εισέλθει στη κύρια οδό προτεραιότητας.

Η αποδοχή διακένου εξαρτάται από το διαθέσιμο και το κρίσιμο διάκενο (critical gap), καθώς και από τη σχέση μεταξύ τους:

- Αν το διαθέσιμο διάκενο είναι μικρότερο του κρίσιμου διακένου, τότε ο οδηγός το απορρίπτει και μένει στη λωρίδα του.
- Αν το διαθέσιμο διάκενο είναι μεγαλύτερο ή ίσο του κρίσιμου διακένου, τότε ο οδηγός το αποδέχεται και προχωρά στην αλλαγή λωρίδας.

Εκτός από το συνολικό διάκενο, ο οδηγός εκτιμά και άλλα δύο διακένα που είναι το μπροστά (lead gap) και το πίσω (lag gap). Το άθροισμα του συνολικού καθαρού διακένου και του μήκους του οχήματος, ισούται με την απόσταση του προπορευόμενου οχήματος και του προηγούμενού του:



Σχήμα 2.18- Αναπαράσταση των διακένων και της διαδικασίας αποδοχής τους από τον οδηγό- Πηγή: Kazi Iftekhar Ahmed, MASSACHUSETTS INSTITUTE OF TECHNOLOGY, 1999

Το κρίσιμο διάκενο εξαρτάται από διάφορες παραμέτρους σχετικές με:

- Τη σχετική ταχύτητα μεταξύ του οχήματος που αλλάζει λωρίδα και των οχημάτων στη λωρίδα-στόχο (subject, lead vehicles).
- Το πρώτο διάκενο που αντιμετώπισε και απέρριψε ο οδηγός.
- Τον συνολικό αριθμό διακένων που απέρριψε ο οδηγός.
- Το εναπομείναν μήκος για την εκτέλεση του ελιγμού.
- Τον αριθμό λωρίδων που πρέπει να διασχίσει ο οδηγός για να εκτελέσει τον ελιγμό αλλαγής λωρίδας.
- Τις επικρατούσες κυκλοφοριακές συνθήκες (πυκνότητα, ταχύτητα).

Οι οδηγοί υποτίθεται ότι έχουν μικρά μήκη αποδοχής μπροστινού και πίσω διακένου τα οποία ορίζονται ως τα κρίσιμα μπροστινά και πίσω διακένα αντίστοιχα. Αυτά τα κρίσιμα διακένα δε ποικίλλουν μόνο μεταξύ διαφόρων οδηγών, αλλά και για έναν συγκεκριμένο οδηγό υπό διαφορετικές κυκλοφοριακές συνθήκες. Το κρίσιμο διάκενο για τον οδηγό n τη χρονική στιγμή t θεωρείται ότι έχει την ακόλουθη μορφή:

$$G_n^{cr,g}(t) = \exp(X_n^g(t)\beta^g + \alpha^g v_n + e_n^g(t))$$

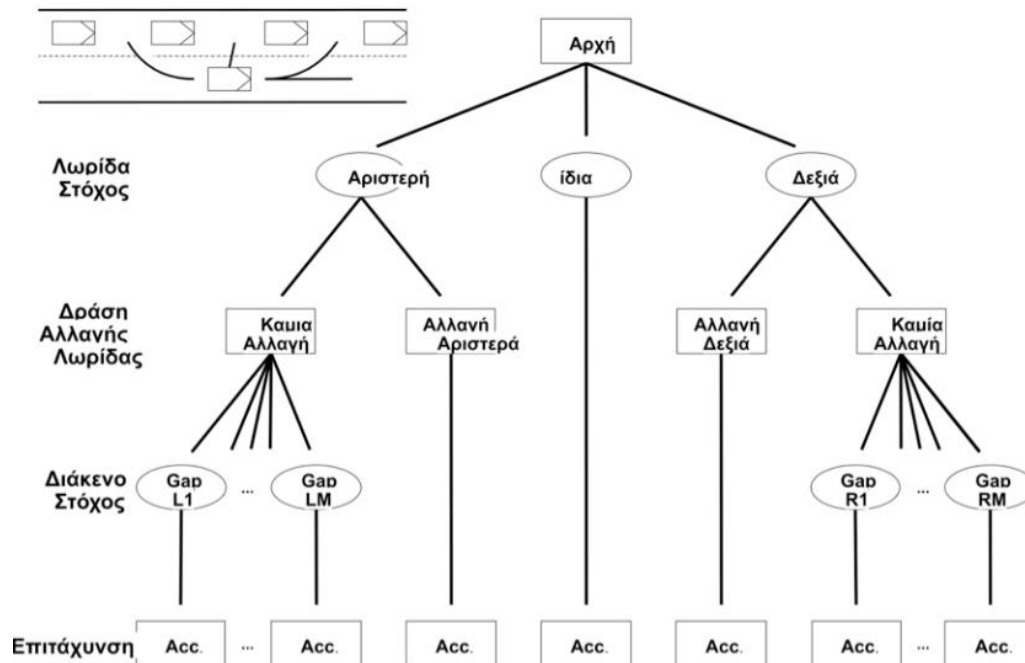
Όπου:

g = ανήκει στο διάστημα {μπροστινό διάκενο, πίσω διάκενο}

α^g = παράμετρος του v_n

$e_n^g(t)$ = γενικός τυχαίος όρος που ποικίλλει για όλες τις διαστάσεις g, t και n .

Τέλος, σε ένα άλλο σχήμα, που συνδυάζει τα δύο τελευταία πρότυπα (αλλαγής λωρίδας και αποδοχής διακένου) παρουσιάζεται η αντίδραση των οδηγών σε μία δράση αλλαγής λωρίδας, η οποία περιλαμβάνει την επιλογή λωρίδας-στόχου, τη διερεύνηση αν απαιτείται αλλαγή λωρίδας και πως αυτή θα πραγματοποιηθεί και τέλος το καθορισμό της ταχύτητας και επιτάχυνσης βάσει των τελευταίων δεδομένων.



Σχήμα 2.19- Ενοποιημένο μοντέλο συμπεριφοράς οδηγού- Πηγή: Αντωνίου, Σπυροπούλου, 2015

2.4.3 Υπολογιστικά προγράμματα προσομοίωσης

Έχουν αναπτυχθεί και προγραμματιστεί πολλά προγράμματα προσομοίωσης, τόσο μικροσκοπικά και μεσοσκοπικά όσο και μακροσκοπικά. Λόγω και της ανάπτυξης της τεχνολογίας, τα προγράμματα αυτά έχουν καταφέρει να προσφέρουν ρεαλιστικές προσομοιώσεις και αξιόπιστα αποτελέσματα, λαμβάνοντας υπόψη μια πληθώρα παραμέτρων που εισάγει ο εκάστοτε χρήστης. Στη συνέχεια θα αναφερθούν ενδεικτικά κάποια μικροσκοπικά προγράμματα προσομοίωσης.

Μικροσκοπικά προγράμματα προσομοίωσης

Aimsun:

Το Aimsun (Barceló et al., 1995), είναι ένα ολοκληρωμένο λογισμικό για τη προτυποποίηση των μεταφορών, το οποίο αναπτύχθηκε και κυκλοφόρησε στην αγορά από την TSS – Transport Simulation Systems (Συστήματα Προσομοίωσης μεταφορών) – με έδρα τη Βαρκελώνη, Ισπανία, από τους Jaime Barceló και Ferrer. Το Aimsun χρησιμοποιείται από κυβερνητικούς οργανισμούς, δήμους, πανεπιστήμια και συμβούλους παγκοσμίως για τη κυκλοφοριακή τεχνική, τη προσομοίωση της κυκλοφορίας, τις διερευνήσεις μεταφορών και τις διερευνήσεις εκκένωσης έκτακτης ανάγκης. Χρησιμοποιείται για τη βελτίωση της οδικής υποδομής, τη μείωση των εκπομπών αερίων, τη μείωση της κυκλοφοριακής συμφόρησης και το σχεδιασμό αστικών περιβαλλόντων για οχήματα και πεζούς.

PTV Vissim:

Το πρόγραμμα PTV Vissim (Fellendorf, 1994), είναι ένα μικροσκοπικό πακέτο λογισμικού προσομοίωσης κυκλοφοριακής ροής πολλαπλών μέσων που αναπτύχθηκε από την εταιρεία PTV (Planung Transport Verkehr AG) στη Καρλσρούη της Γερμανίας. Χρησιμοποιείται για τη προσομοίωση όλου του φάσματος των λειτουργικά κατηγοριοποιημένων οδών και των

λειτουργιών δημόσιας μεταφοράς, καθώς επίσης και για προσομοίωση κυκλοφορίας γενικού σκοπού, όπως λεωφορείων, φορτηγών, πεζών και άλλων.

Paramics:

Το Paramics (Laird et al., 1999), είναι λογισμικό μικροσκοπικής κυκλοφορίας που αναπτύχθηκε από την Quadstone Paramics. Το Paramics δημιουργήθηκε αρχικά στις αρχές της δεκαετίας του 1990 από το υπουργείο μεταφορών του Ηνωμένου Βασιλείου και αναπτύχθηκε περαιτέρω ως έργο του Παραδιδόμενου Παραολυμπιακού Κέντρου του Εδιμβούργου, που εδρεύει στο πανεπιστήμιο του Εδιμβούργου. Με το λογισμικό αυτό ο χρήστης έχει τη δυνατότητα να:

- Προσομοιώνει την οδική κυκλοφορία σε οποιαδήποτε κλίμακα, από απλές διασταυρώσεις μέχρι μεγάλες περιοχές
- Συγκρίνει τις προτάσεις σχεδιασμού μεταφορών.
- Δοκιμάζει διάφορες ενέργειες δημόσιων μεταφορών.
- Πραγματοποιήσει οικονομικές αξιολογήσεις των στρατηγικών οδικού σχεδιασμού.
- Μοιραστεί τις ιδέες του χρησιμοποιώντας εικόνες 3D σε πραγματικό χρόνο.
- Προσομοιώσει μεμονωμένους οδηγούς που συμπεριφέρονται σαν πραγματικοί.
- Δει τα οχήματα να ακολουθούν διαδρομές σύμφωνα με τις συνθήκες κυκλοφορίας.
- Αναλύσει την προσπέραση σε μεμονωμένα οδικά τμήματα.
- Δημιουργήσει δεδομένα εκπομπών οχημάτων.

TSIS-CORSIM:

Το TSIS-CORSIM (Nsour et al., 1994), είναι ένα μικροσκοπικό πακέτο λογισμικού προσομοίωσης κυκλοφορίας για συστήματα φωτεινής σηματοδότησης, συστήματα αυτοκινητόδρομων, συστήματα ελεύθερων λεωφόρων ή συστήματα συνδυασμού φωτεινής σηματοδότησης, αυτοκινητόδρομων και ελεύθερων λεωφόρων. Το CORSIM (CORridor SIMulation) αποτελείται από ένα ολοκληρωμένο πακέτο δύο μικροσκοπικών μοντέλων προσομοίωσης που αντιπροσωπεύουν ολόκληρο το περιβάλλον κυκλοφορίας. Το NETSIM αντιπροσωπεύει τη κυκλοφορία σε αστικές οδούς και το FRESIM τη κυκλοφορία σε αυτοκινητόδρομους και ελεύθερες λεωφόρους. Το TSIS (Traffic Software Integrated System) είναι ένα ολοκληρωμένο περιβάλλον ανάπτυξης που επιτρέπει στους χρήστες να διεξάγουν ανάλυση κυκλοφοριακής κίνησης. Χτισμένο με αρχιτεκτονική εξαρτημάτων, το TSIS επιτρέπει στο χρήστη να επεξεργάζεται το σύνολο των περιλαμβανομένων εργαλείων, να καθορίζει και να διαχειρίζεται τα δίκτυα ανάλυσης κυκλοφορίας, να εκτελεί μοντέλα προσομοίωσης κυκλοφορίας και να ερμηνεύει τα αποτελέσματά τους.

SUMO:

Το SUMO είναι ένα ελεύθερο και ανοιχτό λογισμικό προσομοίωσης κυκλοφορίας, το οποίο είναι διαθέσιμο από το 2001. Το SUMO επιτρέπει τη προτυποποίηση συστημάτων διατροφικής κυκλοφορίας, συμπεριλαμβανομένων των οδικών οχημάτων, των δημόσιων συγκοινωνιών και των πεζών. Περιέχει μια πληθώρα υποστηρικτικών εργαλείων που χειρίζονται εργασίες όπως η εύρεση διαδρομής, η οπτικοποίηση, η εισαγωγή δικτύου και ο υπολογισμός εκπομπών. Το SUMO είναι δυνατό να βελτιωθεί με προσαρμοσμένα μοντέλα και παρέχει διάφορες προγραμματιστικές εφαρμογές γνωστές ως API (Application Programming Interface) για τον έλεγχο της προσομοίωσης από απόσταση.

2.5 Το λογισμικό AIMSUN

Στη παρούσα εργασία για τη κυκλοφοριακή προσομοίωση στους κόμβους διερεύνησης, χρησιμοποιήθηκε το λογισμικό AIMSUN της έκδοσης 8.0.9. Το AIMSUN περιέχει τρία στοιχεία με τα οποία πραγματοποιεί δυναμικές προσομοιώσεις, τον μικροσκοπικό προσομοιωτή, τον μεσοσκοπικό και τον μακροσκοπικό, οι οποίοι μπορούν να ασχοληθούν με διαφορετικά δίκτυα κυκλοφορίας: αστικά δίκτυα, αυτοκινητόδρομους, ελεύθερες λεωφόρους, περιφερειακούς δρόμους, αρτηρίες και οποιονδήποτε συνδυασμό αυτών. Οι δυναμικοί προσομοιωτές έχουν σχεδιαστεί και εφαρμοστεί ως εργαλείο ανάλυσης κυκλοφορίας για να βοηθήσουν τους μηχανικούς στο σχεδιασμό και την αξιολόγηση κυκλοφοριακών συστημάτων και έχουν αποδειχθεί πολύ χρήσιμα εργαλεία για τη δοκιμή νέων συστημάτων ελέγχου της κυκλοφορίας και πολιτικών διαχείρισης. Στην εργασία έχουν χρησιμοποιηθεί οι μικροσκοπικοί προσομοιωτές.

Οι μικροσκοπικοί προσομοιωτές ακολουθούν μια προσέγγιση μικροσκοπικής προσομοίωσης, κάτι που σημαίνει ότι η συμπεριφορά κάθε οχήματος στο δίκτυο διαμορφώνεται συνεχώς καθ' όλη τη διάρκεια της περιόδου προσομοίωσης, ενώ κινείται μέσω του δικτύου κυκλοφορίας, σύμφωνα με διάφορα μοντέλα συμπεριφοράς των οχημάτων. Ο μικροσκοπικός προσομοιωτής στο AIMSUN είναι ένας συνδυασμένος διακριτός/ συνεχής προσομοιωτής. Αυτό σημαίνει ότι υπάρχουν ορισμένα στοιχεία του συστήματος των οποίων οι καταστάσεις αλλάζουν συνεχώς σε προσομοίωση χρόνου, η οποία χωρίζεται σε σύντομα καθορισμένα χρονικά διαστήματα που ονομάζονται κύκλοι προσομοίωσης ή βήματα. Υπάρχουν, επίσης, και άλλα στοιχεία των οποίων οι καταστάσεις αλλάζουν διακριτά σε συγκεκριμένα σημεία του χρόνου προσομοίωσης. Το σύστημα παρέχει πολύ λεπτομερή προτυποποίηση του κυκλοφοριακού δικτύου, διακρίνει διαφορετικούς τύπους οχημάτων και οδηγών, επιτρέπει την αντιμετώπιση ενός ευρέος φάσματος γεωμετρικών δικτύων και είναι δυνατό επίσης να μοντελοποιεί φαινόμενα, όπως συγκρουόμενους ελιγμούς κλπ.

Τα μαθηματικά πρότυπα που υιοθετεί το λογισμικό, περί ακολουθούντος οχήματος (car-following), αλλαγής λωρίδας (lane changing) και αποδοχής διάκενου (gap acceptance) βασίζονται στο μοντέλο του Gipps.

Μοντέλο ακολουθούντος οχήματος (Car-Following Model) (Gipps, 1981)

Οι παράμετροι του μοντέλου αυτού (Gipps, 1981) δεν είναι καθολικές αλλά καθορίζονται από την επίδραση τοπικών παραμέτρων ανάλογα με τον τύπο οδηγού, τη γεωμετρία του οδικού τμήματος (όριο ταχύτητας οδικού τμήματος και στροφών), την επιρροή των οχημάτων σε γειτονικές λωρίδες κλπ. Το μοντέλο επηρεάζεται από δύο μεγέθη, την επιτάχυνση και την επιβράδυνση. Το πρώτο αντιπροσωπεύει τη πρόθεση ενός οχήματος ώστε να αποκτήσει μια ορισμένη επιθυμητή ταχύτητα, ενώ το δεύτερο αναπαράγει τους περιορισμούς που επιβάλλονται από το προπορευόμενο όχημα κατά τη προσπάθεια οδήγησης με την επιθυμητή ταχύτητα.

Το μοντέλο δηλώνει ότι η μέγιστη ταχύτητα με την οποία ένα όχημα n είναι δυνατό να κινηθεί κατά τη διάρκεια μιας χρονικής περιόδου ($t, t+T$) όταν δεν εμποδίζεται από προπορευόμενο όχημα δίνεται από τη σχέση:

$$V_{\alpha}(n, t + T) = V(n, t) + 2.5\alpha(n)T \left(1 - \frac{V(n, t)}{V^*(n)}\right) \sqrt{0.025 + \frac{V(n, t)}{V^*(n)}}$$

Όπου:

$V(n, t)$ = η ταχύτητα του οχήματος n τη χρονική στιγμή t

$V^*(n)$ = η επιθυμητή ταχύτητα του οχήματος n στο τρέχων οδικό τμήμα

$\alpha(n)$ = η μέγιστη επιτάχυνση του οχήματος n

T = ο χρόνος αντίδρασης

Ταυτόχρονα, η μέγιστη ταχύτητα του ίδιου οχήματος (n) που είναι δυνατό να φτάσει κατά τη διάρκεια του ίδιου χρονικού διαστήματος ($t, t+T$), σύμφωνα με τα δικά του χαρακτηριστικά και τους περιορισμούς που επιβάλλει η παρουσία του προπορευόμενου οχήματος (όχημα $n-1$), είναι:

$$V_b(n, t + T) = d(n)T + \sqrt{d(n)^2 T^2 - d(n) \left[2\{x(n-1, t) - s(n-1) - x(n, t)\} - V(n, t)T - \frac{V(n-1, t)^2}{d'(n-1)} \right]}$$

Όπου:

$d(n) (<0)$ = είναι η μέγιστη επιβράδυνση που επιθυμεί ένα όχημα n

$x(n, t)$ = είναι η θέση οχήματος n τη χρονική στιγμή t

$x(n-1, t)$ = είναι η θέση του προηγούμενου οχήματος ($n-1$) τη στιγμή t

$d'(n-1)$ = είναι μια εκτίμηση του οχήματος ($n-1$) που επιθυμεί επιβράδυνση

Σε κάθε περίπτωση, η οριστική ταχύτητα για το όχημα n κατά τη διάρκεια του χρονικού διαστήματος ($t, t+T$) είναι η ελάχιστη από τις προκαθορισμένες ταχύτητες:

$$V(n, t + T) = \min\{V_{\alpha}(n, t + T), V_b(n, t + T)\}$$

Τότε, η θέση του οχήματος n στη τρέχουσα λωρίδα ενημερώνεται λαμβάνοντας τη ταχύτητα στην εξίσωση των κινήσεων:

$$x(n, t + T) = x(n, t) + V(n, t + T)T$$

Το μοντέλο περιλαμβάνει επίσης τον ελάχιστο διαχωρισμό μεταξύ προπορευόμενου και ακολουθούμενου οχήματος, ως το περιορισμό της συνιστάμενης επιβράδυνσης. Αυτός ο περιορισμός εφαρμόζεται πριν από την ενημέρωση της θέσης και της ταχύτητας του οχήματος, δηλαδή, πριν την εφαρμογή της τελευταίας σχέσης. Ο περιορισμός του ελάχιστου διαχωρισμού προόδου καθορίζεται ως:

$$\text{if } x(n-1, t + T) - [x(n, t) + V(n, t + T)T] < V(n, t + T) \cdot \text{MinHW}(n) \\ \text{then } V(n, t + T) = (x(n-1, t + T) - x(n, t)) / (\text{MinHW}(n) + T)$$

Όπου:

$x(n, t)$ = η θέση του οχήματος n τη χρονική στιγμή t

$x(n-1, t)$ = η θέση του ακολουθούμενου οχήματος ($n-1$) τη χρονική στιγμή t

$\text{MinHW}(n)$ = η ελάχιστη πρόοδος του οχήματος n σε σχέση με τον ακόλουθο

Μοντέλο αλλαγής λωρίδας (Lane-Changing Model) (Girps, 1986a και 1986b)

Το μοντέλο αλλαγής λωρίδας (Girps, 1986a και 1986b) στηρίζεται και αυτό στο μοντέλο του Girps. Είναι ένα μοντέλο απόφασης που προσεγγίζει τη συμπεριφορά του οδηγού με τον ακόλουθο τρόπο. Κάθε φορά που ένα όχημα πρέπει να ενημερωθεί, πραγματοποιείται ερώτηση για το αν είναι απαραίτητο να πραγματοποιηθεί αλλαγή λωρίδας. Η απάντηση σε αυτό εξαρτάται από:

- Τη δυνατότητα στροφής στη τρέχουσα λωρίδα
- Την απόσταση από την επόμενη στροφή και
- Τις κυκλοφοριακές συνθήκες στην τρέχουσα λωρίδα

Οι κυκλοφοριακές συνθήκες μετρούνται με βάση τη ταχύτητα και τα μήκη ουρών. Όταν ένας οδηγός κινείται με χαμηλότερη της επιθυμητής του ταχύτητας, προσπαθεί να προσπεράσει το προπορευόμενο όχημα, ενώ όταν κινείται με υψηλές ταχύτητες, τείνει να επιστρέψει στην πιο αργή λωρίδα.

Τα βασικά ερωτήματα που πρέπει να εξετάζονται είναι: το εάν είναι επιθυμητό να πραγματοποιηθεί αλλαγή λωρίδας και το εάν είναι δυνατό να πραγματοποιηθεί αλλαγή λωρίδας. Στη πρώτη περίπτωση ελέγχεται αν θα υπάρξει κάποια βελτίωση στην κυκλοφορία με τη πραγματοποίηση αλλαγή λωρίδας. Η βελτίωση αυτή μετρείται βάσει ταχύτητας και απόστασης. Αν η ταχύτητα στην τελική λωρίδα είναι μεγαλύτερη σε σχέση με τη τρέχουσα ή η ουρά μικρότερη, τότε πραγματοποιείται η αλλαγή. Στη δεύτερη περίπτωση ελέγχεται αν υπάρχει το κατάλληλο διάκενο για να πραγματοποιηθεί ο ελιγμός για αλλαγή λωρίδας με ασφάλεια. Για το σκοπό αυτό, υπολογίζεται τόσο η πέδηση που επιβάλλεται από το μελλοντικό κατάντη όχημα στο μεταβαλλόμενο όχημα, όσο η πέδηση που επιβάλλει το μεταβαλλόμενο όχημα στο μελλοντικό ανάντη όχημα. Εάν είναι αποδεκτές και οι δύο αναλογίες πέδησης τότε είναι δυνατή η αλλαγή λωρίδας.

Μοντέλο αποδοχής διάκενου (Gap Acceptance Model)

Υπάρχει πλήρης συνέπεια του μοντέλου αποδοχής διάκενου με το μοντέλο ακολουθούτσος οχήματος, ώστε να αποφευχθούν οι τεχνητές καταρρεύσεις:

$$V_n(t + \tau_n) = b_n \tau_n + \sqrt{(b_n \tau_n)^2 - b_n \left[2(x_l(t) - x_n(t) - l_l - s_n) - V_n(t) \tau_n - \frac{V_l^2(t)}{b_l} \right]}$$

$$Gap(t) = (x_l(t) - x_n(t) - l_l - s_n) = \frac{V_l^2(t)}{2b_l} - \frac{V_n^2(t + \tau_n)}{2b_n} + (0.5V_n(t) + V_n(t + \tau_n))\tau_n$$

Το μοντέλο ακολουθούμενου οχήματος του Girps είναι σταθερό (δηλαδή δε χρειάζεται να χρησιμοποιηθεί επιβράδυνση πάνω από τη μέγιστη επιθυμητή επιβράδυνση) όταν:

$$V_n(t + \tau_n) \geq \text{Max}(V_n(t) + ab_n \tau_n; 0)$$

Αυτό επιτυγχάνεται όταν:

$$Gap(t) \geq \frac{V_l^2(t)}{2b_l} + 0.5V_n(t)\tau_n + \text{Max} \left[0, -\frac{V_n^2(t)}{2b_n} + (1 - 0.5\alpha)ab_n \tau_n^2 + (1 - \alpha)V_n(t)\tau_n \right]$$

Το μοντέλο ακολουθούμενου οχήματος του Girps δεν συμπεριλαμβάνει συγκρούσεις όταν το διάκενο παραμένει θετικό σε όλη τη διαδικασία επιβράδυνσης. Αυτό εισάγει έναν επιπλέον περιορισμό:

$$Gap(t) \geq \text{Max} \left[0, -\frac{v_l^2(t)}{2b_l} + 0.5V_n(t)\tau_n \right. \\ \left. + \text{Max} \left[0, -\frac{v_n^2(t)}{2b_n} + (1 - 0.5\alpha)ab_n\tau_n^2 + (1 - \alpha)V_n(t)\tau_n \right] \right]$$

Αυτή η προϋπόθεση πρέπει να πληρείται για να εφαρμοστεί το μοντέλο ακολουθούμενου οχήματος του Giprs με ένα νέο προπορευόμενο όχημα όταν ένα όχημα αλλάζει λωρίδα (δηλαδή επιλογή πιθανών οδηγών και αποδοχής διάκενου). Επιπλέον, εφαρμόζοντας αυτόν τον περιορισμό στο τέλος της διαδικασίας επιβράδυνσης, δηλαδή όταν $V_n(t + \tau_n) \cong V_n(t) \cong V_l(t)$, έχουμε:

$$Gap(t) = \frac{V_l^2(t)}{2b_l} - \frac{V_l^2(t)}{2b_n} + 1.5V_l(t)\tau_n \geq 0 \\ b_l \leq \frac{b_n}{1 - \frac{3b_n\tau_n}{V_l(t)}}$$

Η αξιολόγηση της ταχύτητας και της θέσης των οχημάτων τη χρονική στιγμή $t+dt$, υπολογίζεται:

- Για τα οχήματα που έχουν ήδη ενημερωθεί, λαμβάνεται η τρέχουσα ταχύτητα και θέση τους
- Για τα άλλα, υπολογίζεται η ταχύτητα και θέση, υποθέτοντας ότι το όχημα αλλάζει λωρίδα στο χρόνο $t+dt$.

Το διάκενο είναι αποδεκτό αν οι φυσικές ποσότητες στο χρόνο $t+dt$ πληρούν τις ακόλουθες απαιτήσεις:

- Τα διάκενα είναι θετικά
- Οι υπολογισθείσες ταχύτητες είναι θετικές
- Οι επιβραδύνσεις που επιβάλλονται είναι μικρότερες από μία ποσότητα που αφορά στη μέγιστη δυνατή επιβράδυνση.

Επίσης μια συνθήκη συναρτήσεως της χρονικής στιγμής t , πρέπει να εκπληρωθεί τόσο για ανάντη όσο και για τα κατάντη διάκενα:

$$Gap_{Up}(t) \geq \text{Max} \left[0, \frac{v_{lc}^2(t)}{2b_{lc}} + 0.5V_{Up}(t)\tau_{Up} \right. \\ \left. + \text{Max} \left[0, -\frac{v_{Up}^2(t)}{2b_{Up}} + a_{Up}(1 - 0.5a_{Up})b_{Up}\tau_{Up}^2 + (1 - a_{Up})V_{Up}(t)\tau_{Up} \right] \right]$$

$$Gap_{Dw}(t) \geq \text{Max} \left[0, \frac{v_{Dw}^2(t)}{2b_{Dw}} + 0.5V_{lc}(t)\tau_{lc} \right. \\ \left. + \text{Max} \left[0, -\frac{v_{lc}^2(t)}{2b_{lc}} + a_{Dw}(1 - 0.5a_{Dw})b_{lc}\tau_{lc}^2 + (1 - a_{Dw})V_{lc}(t)\tau_{lc} \right] \right]$$

Στην απάντηση της ερώτησης «είναι δυνατό να αλλάξει λωρίδα;», το AIMSUN εφαρμόζει τον παρακάτω αλγόριθμο για να ελεγχθεί αν το διάκενο είναι αποδεκτό ή όχι.

```

Get downstream and upstream vehicles in target lane
Calculate gap between downstream and upstream vehicles: TargetGap
if (TargetGap > VehicleLengh) & (it is aligned) then
    Calculate the distance between vehicle and downstream vehicle in target
    lane: DistanceDown
    Calculate the speed imposed by downstream vehicle to vehicle, according
    to Gipps Car-following Model: ImposedDownSpeed
    if (ImposedDownSpeed is acceptable by vehicle, according to the
    deceleration rate) then
        Calculate the distance between upstream vehicle in target lane and
        vehicle: DistanceUp
        Calculate the speed imposed by vehicle to upstream vehicle, according
        to Gipps Car-following Model: ImposedUpSpeed
        if (ImposedUpSpeed is acceptable by upstream vehicle, according to
        the deceleration rate) then
            Lane Change is Feasible
            CarryOutLaneChange
        else
            The gap is not acceptable because of the upstream vehicle
        endif
    else
        The gap is not acceptable because of the downstream vehicle
    endif
else
    There is no gap aligned with the vehicle
endif

```

Σχήμα 2.20- Αλγόριθμος που εξετάζει αν το διάκενο για αλλαγή λωρίδας είναι αποδεκτό ή όχι- Πηγή: Jaime Barceló, Jordi Casas.

Μοντέλο αποδοχής διάκενου σε παραχώρηση προτεραιότητας (Gap Acceptance Model in give way)

Μια ειδική κατηγορία του μοντέλου αποδοχής διάκενου είναι η περίπτωση διασταύρωσης οδών που η μία είναι υψηλής και η άλλη χαμηλής προτεραιότητας. Το μοντέλο αυτό χρησιμοποιείται για να μοντελοποιήσει τη συμπεριφορά των οχημάτων με χαμηλή προτεραιότητα όταν αυτά προσεγγίζουν μια διασταύρωση και εκτιμάει αν αυτά είναι δυνατό ή όχι να διασταυρωθούν ανάλογα με τις συνθήκες των οχημάτων υψηλότερης προτεραιότητας (θέση και ταχύτητα). Το μοντέλο αυτό λαμβάνει υπόψη την απόσταση των οχημάτων από το υποθετικό σημείο σύγκρουσης, τις ταχύτητες και τα επίπεδα επιτάχυνσης. Στη συνέχεια καθορίζει το χρόνο που χρειάζονται τα οχήματα για να διασχίσουν τη διασταύρωση και παράγει μια απόφαση για το αν θα περάσουν ή όχι, η οποία συνιστά συνάρτηση του επιπέδου κινδύνου για κάθε οδηγό. Πολλές παράμετροι οχημάτων είναι δυνατό να επηρεάσουν τη συμπεριφορά του μοντέλου αποδοχής διάκενου. Αυτές είναι ο ρυθμός επιτάχυνσης, η επιθυμητή ταχύτητα, η αποδοχή ταχύτητας και ο μέγιστος χρόνος παράδοσης προτεραιότητας. Άλλες παράμετροι, είναι η απόσταση ορατότητας στη διασταύρωση και η ταχύτητα στροφής, οι οποίες σχετίζονται με το οδικό τμήμα. Μεταξύ αυτών, ο ρυθμός επιτάχυνσης, ο μέγιστος χρόνος παράδοσης προτεραιότητας και η απόσταση ορατότητας στις διασταυρώσεις είναι τα πιο σημαντικά. Ο ρυθμός επιτάχυνσης

δίνει την ικανότητα επιτάχυνσης του οχήματος και συνεπώς έχει άμεση επίδραση στο απαιτούμενο διάκενο ασφαλείας. Ο μέγιστος χρόνος παράδοσης προτεραιότητας χρησιμοποιείται για να προσδιοριστεί τότε ένας οδηγός θα αρχίσει να νιώθει ανυπόμονος ενώ δεν είναι δυνατό να βρει κάποιο διάκενο. Όταν ο οδηγός περιμένει περισσότερο από αυτόν το χρόνο, μειώνει κατά το μισό το περιθώριο ασφαλείας.

Ο αλγόριθμος που χρησιμοποιείται είναι ο εξής:

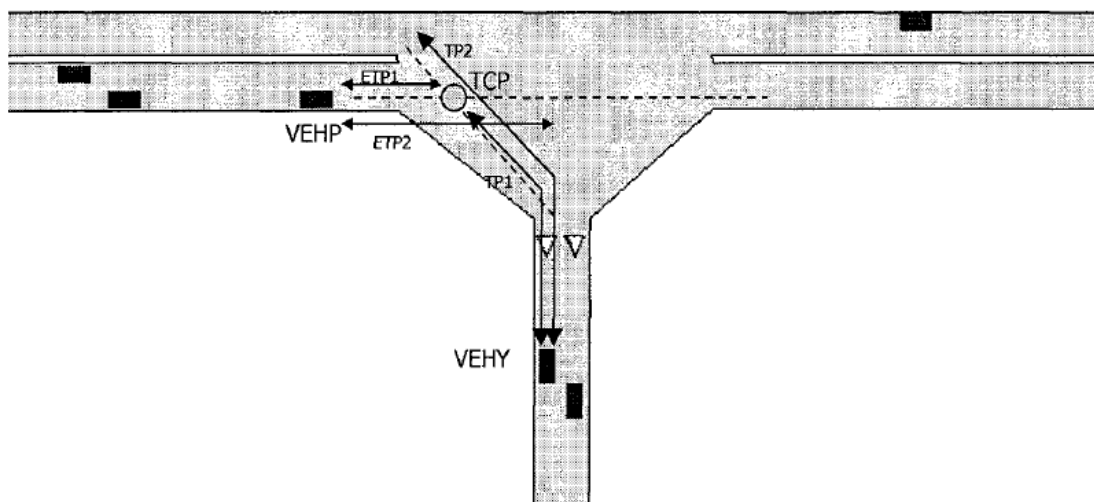
Στην υπόθεση ότι ένα όχημα (VEHY) προσεγγίζει μία διασταύρωση παραχώρησης προτεραιότητας (give way junction),

1. Βρες το κοντινότερο όχημα υψηλής προτεραιότητας (VEHP),
2. Καθόρισε το θεωρητικό σημείο σύγκρουσης (TCP),
3. Υπολόγισε το χρόνο (TP1) που χρειάζεται το όχημα που παραχωρεί προτεραιότητα (VEHY) να φτάσει στο σημείο σύγκρουσης (TCP),
4. Υπολόγισε τον εκτιμώμενο χρόνο (ETP1) που χρειάζεται το όχημα με προτεραιότητα (VEHP) να φτάσει το σημείο σύγκρουσης (TCP),
5. Υπολόγισε τον χρόνο (TP2) που χρειάζεται από το όχημα με χαμηλής προτεραιότητας να διασταυρωθεί με το σημείο σύγκρουσης (TCP),
6. Υπολόγισε τον εκτιμώμενο χρόνο (ETP2) που χρειάζεται το όχημα προτεραιότητας να αφήσει τη διασταύρωση

Αν ο χρόνος TP2 (συν ένα περιθώριο ασφαλείας) είναι μικρότερος του ETP1, το όχημα χαμηλής προτεραιότητας (VEHY) έχει αρκετό χρόνο να διασταυρωθεί και έτσι επιταχύνει και προχωρά στη διασταύρωση.

Διαφορετικά, αν ο χρόνος ETP2 (συν ένα περιθώριο ασφαλείας) είναι μικρότερος του TP1, το όχημα υψηλής προτεραιότητας θα έχει ήδη διασταυρωθεί στο σημείο σύγκρουσης όταν το όχημα χαμηλής προτεραιότητας φτάσει εκεί, τότε ψάξε για το επόμενο κοντινότερο όχημα με υψηλή προτεραιότητα και πήγαινε στο βήμα 2.

Διαφορετικά, το όχημα με χαμηλή προτεραιότητα πρέπει να παραδώσει προτεραιότητα, επιβραδύνοντας και σταματώντας αν αυτό είναι απαραίτητο.



Σχήμα 2.21- Αναπαράσταση διασταύρωσης με παραχώρηση προτεραιότητας- Πηγή: Jaime Barceló, Jordi Casas.

2.6 Σύγκριση μεθόδων στην ανάλυση κυκλοφοριακής ικανότητας

Οι Fisk και Tan (1988) συνέκριναν μεθοδολογίες υπολογισμού μέσης καθυστέρησης σε κόμβους προτεραιότητας, καθώς κάποιες εξισώσεις βασισμένες σε υπολογιστικά πρότυπα που είχαν προηγηθεί, έδειξαν κάποιες αποκλίσεις στα αποτελέσματά τους και γενικά ασυμφωνία ως προς τις παρατηρούμενες τιμές. Στη διερεύνηση χρησιμοποιήθηκαν τα ακόλουθα πρότυπα ανάλυσης ροής/καθυστέρησης: CAPCAL (Peterson et al., 1978), PICADY2 (Semmens, 1985), MULATM (Taylor και Hatjiandreou, 1986), MICROASSIGNMENT (Creighton-Hamburg, 1969) και SATURN (Van Vliet, 1982). Τα MUTLAM (σχέση του Tanner) και MICROASSIGNMENT υιοθετούν το M/M/1 σύστημα αναμονής, όπου λαμβάνεται ο μέσος χρόνος εξυπηρέτησης της τυχαίας άφιξης στον δευτερεύοντα άξονα, όπου ένα όχημα περιμένει για διάκενο στον κύριο. Το CAPCAL, αντίστοιχα, υιοθετεί το M/G/1 σύστημα αναμονής, ενώ το SATURN χρησιμοποιεί μια ανάλυση καθυστερήσεων βασισμένη σε μια γεωμετρική διανομή αφίξεων τόσο για τις κύριες, όσο και για τις δευτερεύουσες προσβάσεις. Αναλύοντας τα πρότυπα αυτά, το M/M/1 παράγαγε μια καλή προσέγγιση, ενώ το M/G/1 είχε παρόμοιους μέσους χρόνους εξυπηρέτησης στις ροές του δευτερεύοντα άξονα, σύμφωνα και με ευρήματα του TRRL (Kimber και Hollis, 1979). Επίσης, έγιναν συγκρίσεις στα αποτελέσματα των καθυστερήσεων που εξήχθησαν, ανάμεσα στις παρατηρούμενες και αυτές που είχαν προβλεφθεί και τα αποτελέσματα ήταν παραπλήσια, με τη μεγαλύτερη διαφορά να είναι 1,49 δευτερόλεπτα. Συμπερασματικά, έγιναν οι εξής παρατηρήσεις: i) το πρότυπο αναμονής M/M/1 παράγει καλή προσέγγιση σχετικά με το M/G/1, αν οι μέσοι χρόνοι εξυπηρέτησης είναι παρόμοιοι, ii) το δυναμικό M/M/1 πρότυπο προσεγγίζεται επαρκώς με μια καμπύλη που παράγεται χρησιμοποιώντας τη τεχνική μετασχηματισμού συντεταγμένων και iii) η ικανότητα μετακίνησης δίνει επαρκή προσέγγιση του μέσου δείκτη εξυπηρέτησης.

Ο Heidemann (1990) μελέτησε τα μήκη ουρών και τους χρόνους αναμονής σε κόμβους προτεραιότητας, όπου τα οχήματα του δευτερεύοντα άξονα πρέπει να παραχωρήσουν προτεραιότητα στα αντίστοιχα του κύριου άξονα. Τα οχήματα και των δύο αξόνων ακολουθούν τη διαδικασία άφιξης του Poisson, ενώ αυτά του δευτερεύοντα άξονα θα ξεκινήσουν να εξυπηρετούνται όταν φτάσουν στη θέση αναμονής και θα θεωρηθεί ότι εισέρχονται στον κόμβο αφού περάσουν τη γραμμή στάσης. Το σύστημα αναμονής, της διερεύνησης, χαρακτηρίζεται από ένα ιδιαίτερο χαρακτηριστικό, καθώς υπάρχουν δύο διανομές εξυπηρέτησης χρόνου αντί για μόνο μία. Η πρώτη αφορά στα οχήματα των δευτερευόντων αξόνων που φτάνουν στην πρώτη θέση αναμονής αμέσως, ενώ η δεύτερη στα υπόλοιπα οχήματα δευτερευόντων αξόνων. Το σύστημα αυτό χαρακτηρίζεται ως M/G2/1 ("M" για τη διαδικασία άφιξης Poisson, "G2" για τις δύο διανομές χρόνου εξυπηρέτησης και "1" για τη μία υπηρεσία εξυπηρέτησης, αυτή της γραμμής στάσης), ενώ το σύστημα M/G/1, το οποίο δεν φάνηκε χρήσιμο στην έρευνα αυτή καθώς οι σχέσεις της περιείχαν διαφορετικές τιμές για τους χρόνους μετακίνησης και τις κρίσιμες χρονικές περιόδους. Έγινε χρήση της γενικευμένης συνάρτησης $G_D(x)$ της D_n κατανομής, καθώς και του Laplace για το χρόνο αναμονής W , ενώ τα αποτελέσματα κυκλοφοριακής ικανότητας έδειξαν ότι η κυκλοφοριακή ικανότητα του δευτερεύοντος άξονα έφτασε το μεγαλύτερο δείκτη απόδοσης στο σύστημα αναμονής.

Ο Brilon (1995) μελέτησε τις καθυστερήσεις σε κορεσμένους μη σηματοδοτούμενους κόμβους βασισμένος σε μη χρησιμοποιηθείσες κυκλοφοριακές ικανότητες. Θεώρησε πολύ

πρακτικό να εκτιμηθούν οι μέσες καθυστερήσεις σε τέτοιους κόμβους, ειδικά σε ώρες αιχμής. Ενώ, είχαν αναπτυχθεί πολλές σχέσεις υπολογισμού καθυστερήσεων, αυτή που τελικά επιλέχθηκε και ήταν η καταλληλότερη, ήταν αυτή του Kremser (1962) στη διατύπωση του Brilon, η οποία είναι βασισμένη στη σχέση του Yeο (1962). Αργότερα, χρησιμοποιήθηκε ένας τύπος προσδιορισμού καθυστερήσεων (Akçelik και Troutbeck, 1991) που εισάγει τη σχέση που συνδέει τον χρόνο και τον βαθμό κορεσμού. Όσον αφορά τις κυκλοφοριακές ικανότητες, σκοπός της εργασίας ήταν η χρησιμοποίηση σχέσεων υπολογισμού μέσω καθυστερήσεων βασισμένες μόνο σε μη χρησιμοποιηθείσες κυκλοφοριακές ικανότητες, βάσει της $R = c - q$, όπου q ο κυκλοφοριακός φόρτος από παρατήρηση οχημάτων το δευτερόλεπτο, ενώ όσον αφορά τις ουρές χρησιμοποιήθηκε το σύστημα D/D/1. Συμπεραίνεται ότι μια πιο ολοκληρωμένη λύση αυτής της εργασίας δεν ήταν δυνατή, καθώς θα έπρεπε να βρεθεί μια πιο γενική προσέγγιση σε κάποιους τύπους, όπως αυτή του R συναρτήσει του d (καθυστέρηση), ενώ θα έπρεπε να βελτιωθεί η διαδικασία προσέγγισης του χρόνου στις ώρες αιχμής. Συνολικά, η κυκλοφοριακή ικανότητα R ήταν πολύ χρήσιμη για την περιγραφή της κυκλοφοριακής απόδοσης στους κόμβους και γενικά όλη η σειρά των εξισώσεων ήταν αποδοτική και συγκρίσιμη με την αντίστοιχη των Kimber και Hollis (1979).

Ο Wu (2001) εισήγαγε τη διαδικασία υπολογισμού κυκλοφοριακής ικανότητας σε μη σηματοδοτούμενους κόμβους (προτεραιότητας) με έναν αυθαίρετο αριθμό ροών αυθαίρετων τάξεων προτεραιότητας. Χώρισε τη διερεύνησή του σε δύο κατηγορίες: η πρώτη αναφέρεται σε ένα κύριο ρεύμα προτεραιότητας και ένα δευτερεύον, ενώ η δεύτερη σε παραπάνω από δύο ρεύματα (παραπάνω από ένα ρεύμα προτεραιότητας). Για το σύστημα ουρών της πρώτης περίπτωσης, χρησιμοποιήθηκαν εξισώσεις που εκφράζουν τη παγκόσμια διαδικασία προσδιορισμού κυκλοφοριακής ικανότητας. Σύμφωνα με τις σχέσεις αυτές, η επίδραση των κρίσιμων διακένων t_g , των κατανεμημένων χρόνων ακολουθίας t_f και των κατανεμημένων ελάχιστων διακένων τ , μπορεί εύκολα να υπολογιστεί. Τα μεγέθη αυτά έδειξαν να παρουσιάζουν διαφορές όσον αφορά τη συνέπεια των οδηγιών ως προς τις πινακίδες σήμανσης και πιο συγκεκριμένα σταθεροποιούνται για συνεπείς και μη συνεπείς οδηγούς. Για τον λόγο αυτό, μπορούν να παραληφθούν, εφόσον η οδική συμπεριφορά στον πραγματικό κόσμο δεν είναι δυνατό να αναλυθεί με ακρίβεια. Η νέα προσέγγιση, που αναφέρεται στην εν λόγω έρευνα, παρέχει μια γενική μορφή από όλες τις σχέσεις που χρησιμοποιήθηκαν αρχικά για μη σηματοδοτούμενους κόμβους, δεδομένου να έχουν προσδιοριστεί οι αρχικές παράμετροι. Συνολικά, η νέα αυτή διαδικασία υπολογισμού κυκλοφοριακής ικανότητας δείχνει σημαντικές δυνατότητες με μεγάλη ακρίβεια τόσο σε κυκλικούς, όσο και σε κόμβους προτεραιότητας.

Ο Fisk (1990), μελέτησε δύο τύπους κυκλικών κόμβων, έναν μίας λωρίδας κυκλοφορίας σε όλους (τέσσερις) τους κλάδους προσέγγισης και έναν δύο λωρίδων αντιστοίχως, ως προς τα αποτελέσματα της απόδοσής τους και με βάση τα πρότυπα προέλευσης-προορισμού, ροές εισόδου και χαρακτηριστικά της συμπεριφοράς των οδηγιών. Όσον αφορά τη πρώτη περίπτωση, χρησιμοποίησε τη σχέση του Tanner (1962) για να εκτιμήσει τη κυκλοφοριακή ικανότητα σε κάθε κλάδο, όταν όλοι ήταν κορεσμένοι. Σε συνδυασμό με τη σχέση αυτή χρησιμοποιήθηκαν και άλλες επαναληπτικές σχέσεις, ώστε να λυθεί το σύστημα εξισώσεων που είχε δημιουργηθεί (επρόκειτο για σχέσεις που αφορούσαν κάθε φορά διαφορετικό κλάδο), όπως αυτές των Gauss-Seidel (Ortega και Rheinboldt, 1970). Συμπεραίνεται ότι, όταν όλες οι προσβάσεις είναι κορεσμένες, τότε οι κυκλοφοριακές ικανότητες των εισόδων καθορίζονται από τη ροή κυκλοφορίας, ενώ όταν δεν είναι κορεσμένες μια αύξηση στη ροή κυκλοφορίας σε μία πρόσβαση είναι δυνατό να επηρεάσει την εκτίμηση του επιπέδου εξυπηρέτησης σε άλλες προσβάσεις και κατ' επέκταση τη καθυστέρηση και το μήκος της

ουράς. Όσον αφορά τη περίπτωση με τον κυκλικό κόμβο δύο λωρίδων κυκλοφορίας, χρησιμοποιήθηκε η ίδια μέθοδος με προηγουμένως. Εξήχθη το συμπέρασμα ότι αυξάνοντας τη ροή κυκλοφορίας σε μία πρόσβαση, υπάρχει μικρή επίδραση στις καθυστερήσεις των άλλων προσβάσεων.

Οι Chung et al. (1992) συνέκριναν την κυκλοφοριακή ικανότητα και τις καθυστερήσεις σε κυκλικό κόμβο μίας λωρίδας διαμέτρου 30 μέτρων με τα αναλυτικά πρότυπα ARRB Special Report 45 (SR 45) και SIDRA και τα πρότυπα προσομοίωσης ModelC και INSECT. Βασισμένοι στη μέθοδο αποδοχής διακένου (gap acceptance method) έκαναν συγκρίσεις για χαμηλά (450 οχ/ώρα), μεσαία (900 οχ/ώρα) και υψηλά (1350 οχ/ώρα) επίπεδα κυκλοφοριακής ροής και για βαθμούς κορεσμού που κυμαίνονταν από 0,10 έως 0,95. Όσον αφορά τις κυκλοφοριακές ικανότητες (capacities), έγιναν συγκρίσεις για τα τρία επίπεδα κυκλοφοριακής ροής από το αναλυτικό πρότυπο SR 45 (που ήταν το ίδιο με το SIDRA) και το πρότυπο προσομοίωσης ModelC. Τα αποτελέσματα έδειξαν ότι τα δύο πρότυπα ήταν αρκετά παραπλήσια (διαφορά της τάξης 4 με 8%) με όλες τις προβλέψεις από το ModelC να είναι κάτω από αυτές του SR 45. Σχετικά με τα αποτελέσματα των μεθόδων SR 45/SIDRA και ModelC για τις μέσες καθυστερήσεις ανά όχημα, παρατηρήθηκε ότι οι καθυστερήσεις μεταξύ των εκτιμήσεων του ModelC και του SR 45 είναι κοντά, ενώ οι διαφορές μεταξύ όλων των μεθόδων αυξάνονται όσο αυξάνεται ο βαθμός κορεσμού. Τέλος, η ModelC εκτιμά διαφορές στη κυκλοφοριακή ικανότητα και στις καθυστερήσεις όταν αλλάζει το μοτίβο προέλευσης-προορισμού της κυκλοφορίας για τις προσβάσεις εισόδου. Αντιθέτως, για τη μέθοδο INSECT, η κυκλοφοριακή ικανότητα και οι καθυστερήσεις εκτιμήθηκαν ως υπέρ-ευαίσθητες σε σχέση με το μοτίβο αυτό. Όταν, ωστόσο, χρησιμοποιείται ένα ισορροπημένο τέτοιο μοτίβο, τα αποτελέσματα της INSECT είναι σαφώς παραπλήσια με αυτά άλλων μεθόδων.

Ο Brilon (2005) μελέτησε διάφορα είδη κυκλικών κόμβων στη Γερμανία, από μικρούς (διαμέτρου 13-25 μέτρων) μέχρι κυκλικούς κόμβους μίας λωρίδας (διαμέτρου 26-40 μέτρων) και δύο λωρίδων (διαμέτρου 40-60 μέτρων) κυρίως ως προς τη κυκλοφοριακή ικανότητα και την οδική ασφάλεια. Χρησιμοποίησε τη μέθοδο αποδοχής διακένου (gap acceptance theory) και την ανάλυση παλινδρόμησης καθώς και άλλες εμπειρικές σχέσεις, όπως αυτή του Tanner (1962), από την οποία παρατηρήθηκε ότι η κυκλοφοριακή ικανότητα της κάθε πρόσβασης εισόδου εξαρτάται από τη κυκλοφοριακή ροή μέσα στον δακτύλιο του κόμβου, καθώς και από τον αριθμό των λωρίδων τόσο στον δακτύλιο όσο και στις εισόδους. Επιπλέον, εκτός της κυκλοφοριακής ικανότητας, έγινε προσέγγιση για τον υπολογισμό της μέσης καθυστέρησης των οχημάτων που εισέρχονται στον κόμβο χρησιμοποιώντας τις εξισώσεις των Kimber και Hollis (1979). Ως συμπέρασμα, εξήχθη το γεγονός ότι οι κυκλικοί κόμβοι είναι από τους πιο συνηθισμένους τύπους κόμβων στη Γερμανία, κυρίως λόγω της υψηλής ασφάλειας και των χαμηλών καθυστερήσεων.

Ο Akcelik (2009) μελέτησε και αξιολόγησε κυκλικούς κόμβους τεσσάρων κλάδων, καθώς και κυκλικούς κόμβους τύπου T, ως προς τη κυκλοφοριακή ικανότητα, το επίπεδο εξυπηρέτησης και την απόδοσή τους, κυρίως με τη βοήθεια των πρότυπων SIDRA (INTERSECTION και Standard) και NCHRP 572. Όσον αφορά τον δεύτερο τύπο κόμβων, έγιναν δύο υποθέσεις: i) ο κυκλικός κόμβος έχει δύο αποκλειστικές λωρίδες εισόδου και μία στον δακτύλιο και ii) ο κυκλικός κόμβος έχει δύο λωρίδες μοιραζόμενες και δύο λωρίδες στον δακτύλιο. Οι εκτιμήσεις για τη κυκλοφοριακή ικανότητα (C) και το βαθμό κορεσμού (v/c) για τις δύο μεθόδους παρουσιάζουν σημαντικές διαφορές στην πρώτη υπόθεση με αυτές του NCHRP 572 να είναι χαμηλότερες για τη κυκλοφοριακή ικανότητα, με αποτέλεσμα μεγαλύτερους βαθμούς κορεσμού για τη νότια και ανατολική πρόσβαση, ειδικά για την ανατολική

(κυκλοφοριακή ικανότητα στην ανατολική πρόσβαση 1286 οχ/ώρα για τη πρώτη μέθοδο και 1304 οχ/ώρα για τη δεύτερη και βαθμός κορεσμού 1,03 και 1,30 αντίστοιχα), ενώ παρουσιάζουν παραπλήσια αποτελέσματα στη δεύτερη υπόθεση (κυκλοφοριακή ικανότητα στην ανατολική πρόσβαση 1438 οχ/ώρα για το πρότυπο SIDRA Standard και 1517 οχ/ώρα για το πρότυπο NCHRP 572 και βαθμός κορεσμού 0,72 και 0,68 αντίστοιχα για τα δύο πρότυπα). Για τα επίπεδα εξυπηρέτησης, το NCHRP 572 πρότεινε τα κριτήρια για τους κυκλικούς κόμβους που είναι ίδια για τους κόμβους προτεραιότητας. Αυτό θα ευνοούσε τους σηματοδοτούμενους κόμβους έναντι των κυκλικών με το να πραγματοποιείται κατανομή ενός καλύτερου βαθμού επιπέδου εξυπηρέτησης για μια δεδομένη καθυστέρηση. Από την άλλη το SIDRA INTERSECTION πρότυπο προσφέρει τη δυνατότητα επιλογής εναλλακτικών κριτηρίων για το επίπεδο εξυπηρέτησης στους κυκλικούς κόμβους, συμπεριλαμβανομένης μιας επιλογής που ονομάζεται SIDRA Roundabout LOS, η οποία διαθέτει κατώφλια καθυστερήσεων που κυμαίνονται ανάμεσα σε εκείνα των σηματοδοτούμενων και μη κόμβων.

Ο Luttinen (2004) μελέτησε τη κυκλοφοριακή ικανότητα και το επίπεδο εξυπηρέτησης σε Φινλανδικούς μη σηματοδοτούμενους κόμβους. Δόθηκε μεγάλη προσοχή στη μεθοδολογία ανάλυσης κυκλοφοριακής ικανότητας, καθώς οι εκτιμήσεις αυτών παίζουν σημαντικό ρόλο στην εκτίμηση άλλων μέτρων απόδοσης, όπως οι καθυστερήσεις και οι ουρές. Η κυκλοφοριακή ικανότητα εκτιμάται για μια μικρή ροή ή μια ομάδα κινήσεων σε μία προσέγγιση. Οι ρυθμοί ροής των ρευμάτων υψηλότερης προτεραιότητας δίνονται, και η κυκλοφοριακή ικανότητα της ροής του χαμηλότερου επιπέδου υπολογίζεται βάσει αυτών των ρυθμών ροής υψηλότερης προτεραιότητας. Αυτό, απαιτεί την εκτίμηση των ποσοστών ροής αναλογίας εισόδου για κάθε κίνηση υπό τις συνθήκες επίτευξης της ικανότητας (Nordqvist et al., 1973). Σε κυκλικούς κόμβους η κυκλοφοριακή ροή δημιουργείται με τη συγχώνευση των διαδικασιών σε κάθε σημείο εισόδου. Σε πρότυπα καθυστέρησης, η συμπεριφορά του οδηγού και η θεωρία αποδοχής διακένου πρέπει να περιγράφονται με όρους της θεωρίας ουράς. Ένα όχημα που βρίσκεται σε ένδειξη STOP ή YIELD (παράδοση προτεραιότητας) είναι υπό εξυπηρέτηση (in service), οχήματα που περιμένουν πίσω από αυτό το πρώτο όχημα είναι σε ουρά (in queue) και τα οχήματα που πλησιάζουν τη διασταύρωση πριν από την ουρά, είναι τα οχήματα άφιξης (arriving vehicles). Τα δύο τελευταία βρίσκονται στο σύστημα, ενώ η επιτάχυνση, επιβράδυνση και οι φυσικές διαστάσεις οχημάτων αγνοούνται. Στη θεωρία ροής κυκλοφορίας οι φυσικές διαστάσεις και άλλες ιδιότητες των οχημάτων, καθώς και οι μεταφορικές εγκαταστάσεις πρέπει να λαμβάνονται υπόψη. Κατά συνέπεια, η καθυστέρηση είναι περισσότερο κατάλληλη ως μέτρο απόδοσης από το χρόνο αναμονής. Τέλος, αναφέρθηκαν κάποια συμπεράσματα σχετικά με τους μη σηματοδοτούμενους και κυκλικούς κόμβους. Για τους πρώτους, ισχύει ότι η θεωρία αποδοχής διακένων είναι η κυρίαρχη στην ανάλυση κυκλοφοριακής ικανότητας, καθώς επίσης και η προτεινόμενη μεθοδολογία για τους Φινλανδικούς κόμβους. Σε διαγράμματα κυκλοφοριακής ικανότητας -αντίθετου ρυθμού ροής (conflicting flow rate), ο ελάχιστος χρόνος προορισμού για τη σχέση του Tanner είναι 1,8 δευτερόλεπτα και για το μετατοπισμένο εκθετικό πρότυπο (shifted exponential model) είναι 1 δευτερόλεπτο. Για τους κυκλικούς κόμβους, η κυκλοφοριακή ικανότητα σε μία πρόσβαση είναι δυνατό να εκτιμηθεί από τη σχέση του Hagring (1998b), αλλά υποθέτοντας μία μετατοπισμένη εκθετική κατανομή προορισμού ($\phi=1$) στο ρεύμα υψηλής προτεραιότητας. Βάσει διαγράμματος κυκλοφοριακής ικανότητας εισόδου (entry capacity)-ρυθμός ροής κυκλοφορίας (circulating flow rate), συμπεραίνεται ότι σε χαμηλούς ρυθμούς ροής κυκλοφορίας, η κυκλοφοριακή ικανότητα

είναι ελαφρώς υψηλότερη από τις ισχύουσες κατευθυντήριες γραμμές, ενώ σε υψηλούς ρυθμούς είναι χαμηλότερες από τις τρέχουσες εκτιμήσεις.

3. Μεθοδολογία

3.1 Σχεδιασμός δικτύου

Στο πλαίσιο της παρούσας διερεύνησης πρόκειται να προσομοιωθούν κόμβοι προτεραιότητας και κυκλικοί κόμβοι μίας και δύο λωρίδων σε κάθε περίπτωση. Στη παρούσα ενότητα περιγράφονται τα επιμέρους στάδια του σχεδιασμού ώστε το «σύστημα» (δίκτυο, σενάρια), να είναι έτοιμο για την προσομοίωση.

Για τον σχεδιασμό του δικτύου τόσο για τον ισόπεδο κόμβο προτεραιότητας T (τρεις κλάδοι), όσο και για τον κυκλικό (τρεις κλάδοι) δημιουργήθηκε ένα υπόβαθρο από το σχεδιαστικό πρόγραμμα Autocad. Αυτό βοήθησε στην ευθυγράμμιση των ευθειών (οδικών τμημάτων), καθώς και στο γρήγορο σχεδιασμό βασικών μεγεθών όπως είναι τα πλάτη λωρίδων κυκλοφορίας ή διάμετρος του κυκλικού κόμβου κ.α. Αφού εισάχθηκε το υπόβαθρο στο λογισμικό προσομοίωσης AIMSUN, ακολούθησε ο σχεδιασμός του δικτύου στο AIMSUN.

Αρχικά, σχεδιάστηκαν τα επιμέρους οδικά τμήματα, ορίστηκαν τα χαρακτηριστικά τους (αστικά) και οι ροές κορεσμού τους, καθώς και τα κεντροειδή τα οποία παράγουν και ελκύουν τη ζήτηση σε κάθε οδικό τμήμα (ένα κεντροειδές για κάθε πρόσβαση). Στη συνέχεια ορίστηκαν οι ελιγμοί των κινήσεων που πραγματοποιούνται από κάθε πρόσβαση (ευθείες, δεξιές και αριστερές στροφές), αλλά και οι πινακίδες ρύθμισης κυκλοφορίας STOP και GIVE WAY ώστε να αποτυπωθούν τα επίπεδα προτεραιότητας στους κόμβους. Μετά από το σημείο αυτό, δημιουργήθηκε η ζήτηση των οχημάτων που θέλουν να εξυπηρετηθούν από κάθε πρόσβαση, ή αλλιώς φορτίστηκαν τα οδικά τμήματα με προκαθορισμένους κυκλοφοριακούς φόρτους. Το προφίλ αυτό περιέχει πληροφορίες σχετικά με τις διαστάσεις του οχήματος, τις παραμέτρους επιτάχυνσης, επιβράδυνσης, το όριο επιτρεπόμενης ταχύτητας, καθώς και παραμέτρους σχετικά με τα πρότυπα ακολουθίας οχήματος, αλλαγής λωρίδας και αποδοχής διάκενου, που αντικατοπτρίζουν τη συμπεριφορά των οδηγών. Αυτό λειτούργησε αντλώντας δεδομένα από το προφίλ των οχημάτων, όπου για λόγους απλούστευσης (και χωρίς να αναμένονται ουσιαστικές διαφορές στα αποτελέσματα) η σύσταση της κυκλοφορίας αποτελούνταν μόνο από ΙΧ οχήματα.

3.1.1 AIMSUN

Στην παρούσα υποενότητα παρουσιάζονται στοιχεία και όροι που αφορούν στην κωδικοποίηση του δικτύου από το AIMSUN.

Οδικό Τμήμα (Section):

Πρόκειται για μια ομάδα συνεχόμενων λωρίδων όπου τα οχήματα κινούνται προς την ίδια κατεύθυνση. Η κατανομή του δικτύου κυκλοφορίας σε τμήματα διέπεται συνήθως από τα φυσικά όρια της περιοχής και την ύπαρξη κινήσεων στροφής. Σε ένα αστικό δίκτυο ένα τμήμα αντιστοιχεί σε οδικό τμήμα μεταξύ διαδοχικών κόμβων. Σε μια περιοχή αυτοκινητόδρομου, ένα τμήμα δύναται να είναι το τμήμα του οδικού τμήματος ανάμεσα σε δύο κλάδους εισόδου/εξόδου.

Κεντροειδές (Centroid):

Τα κεντροειδή αποτελούν θεωρητικά σημεία στα οποία τοποθετούνται και χρησιμοποιούνται ως τα σημεία προέλευσης και προορισμού των μετακινήσεων. Πρόκειται δηλαδή για σημεία στα οποία υπάρχουν «γεννήτριες» οχημάτων που ταυτοχρόνως «παράγουν» και «προσελκύουν» οχήματα ώστε να γίνεται ρεαλιστικό το δίκτυο προσομοίωσης.

Διαμόρφωση κεντροειδών (Centroids Configuration):

Μια διαμόρφωση κεντροειδών διατηρεί ένα σύνολο από κεντροειδή και τους σχετικούς (για τα κεντροειδή) πίνακες και τις διαδρομές προέλευσης-προορισμού. Κάθε κεντροειδές βρίσκεται σε μόνο μία διαμόρφωση.

Πίνακας προέλευσης-προορισμού (O/D matrix)

Ένας τέτοιος πίνακας περιέχει δεδομένα (για παράδειγμα, μετακινήσεις) για κάθε ζεύγος προέλευσης-προορισμού κεντροειδών στη διαμόρφωση κεντροειδών, για μια δεδομένη κατηγορία οχήματος και μια δεδομένη χρονική περίοδο.

Κατάσταση κυκλοφορίας (Traffic State):

Κάθε κατάσταση κυκλοφορίας είναι μια περιγραφή κατάστασης σε κάθε οδικό τμήμα του δικτύου και ορίζεται για ένα χρονικό διάστημα. Η κατάσταση κυκλοφορίας σε ένα τμήμα χαρακτηρίζεται από τις ακόλουθες μέσες μετρήσεις:

- Για τα οδικά τμήματα με καταχωρήσεις που δεν συνδέονται με κανένα άλλο οδικό τμήμα (τμήματα που ενεργούν ως καταχωρήσεις οχημάτων στο δίκτυο): η ροή εισόδου ανά τύπο οχήματος.
- Για κάθε επόμενο οδικό τμήμα και στροφή: αναλογία στροφών.

Σενάριο (Scenario):

Είναι ουσιαστικά ο χώρος για τα δεδομένα εισόδου και τα πειράματα για την εκτέλεση μιας από τις διάφορες διεργασίες: μικροσκοπικές, μεσοσκοπικές και υβριδικές προσομοιώσεις καθώς και για διάφορες άλλες που αφορούν τις δημόσιες μεταφορές. Τα σενάρια για τους μικροσκοπικούς, μεσοσκοπικούς και υβριδικούς προσομοιωτές καλούνται δυναμικά σενάρια. Στη παρούσα εργασία εξετάζεται η μικροσκοπική προσομοίωση. Ένα σενάριο στη περίπτωση αυτή, αποτελείται από διάφορες παραμέτρους, από τις οποίες η κυριότερη είναι η ζήτηση κυκλοφορίας που αφορά το πίνακα προελεύσεων-προορισμών και τις κυκλοφοριακές καταστάσεις. Κάθε δυναμικό σενάριο δύναται να περιέχει διαφορετικά δυναμικά πειράματα (dynamic experiments) και κάθε πείραμα διαφορετικές δυναμικές αναπαραγωγές (dynamic replications), ενώ δύναται να δημιουργηθεί και ο μέσος όρος (average) που θα περιέχει τον μέσο όρο των αποτελεσμάτων των δυναμικών αναπαραγωγών. Οι δυναμικές αναπαραγωγές περιέχουν τα αποτελέσματα για το δυναμικό σενάριο του μικροσκοπικού προσομοιωτή και θα είναι εκείνες που θα προσομοιωθούν.

Το AIMSUN εμπεριέχει τις ακόλουθες πληροφορίες στα δυναμικά σενάρια, δυναμικά πειράματα, αναπαραγωγές και αποτελέσματα:

- Δυναμικό σενάριο:
 1. Ζήτηση κυκλοφορίας, αρχείο εκχώρησης πορείας, δημόσιες γραμμές και σχέδια ελέγχου που θα χρησιμοποιηθούν.
 2. Σύνολο των πραγματικών δεδομένων για την επικύρωση των δεδομένων εξόδου.

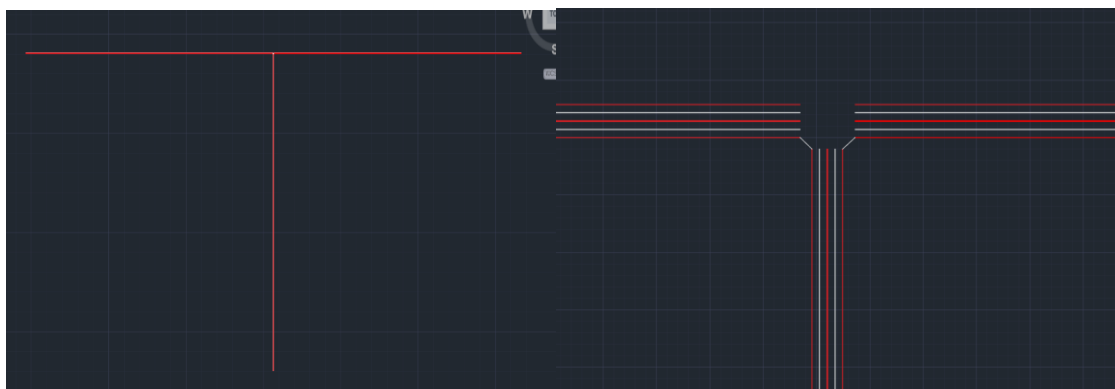
3. Στατιστικά δεδομένα που θα συλλεχθούν και τη τοποθεσία που θα αποθηκευτούν.
 4. Τα APIs (Application Programming Interfaces) που θα χρησιμοποιηθούν.
 5. Οι τιμές των μεταβλητών, εάν υπάρχουν.
 6. Τις στρατηγικές και προϋποθέσεις που θα εφαρμοστούν.
- Δυναμικό πείραμα:
 1. Φόρτωση δικτύου.
 2. Προσέγγιση ανάθεσης.
 3. Παράμετροι συμπεριφοράς προσομοιωτή.
 4. Χρόνοι αντίδρασης.
 5. Τύπος και διάρκεια προθέρμανσης.
 6. Ορισμός αφίξεων.
 7. Παράμετροι δυναμικής εκχώρησης μετακίνησης.
 8. Τιμές μεταβλητών.
 9. Πολιτικές που θα εφαρμοστούν.
 - Αναπαραγωγές:
 1. Τυχαίες κατανομές και αριθμός threads που θα χρησιμοποιηθούν κατά τη διάρκεια της προσομοίωσης.
 2. Αντικείμενο αρχικής κατάστασης που πρέπει να συμπληρωθεί στο τέλος της προσομοίωσης, εάν υπάρχει.
 - Αποτελέσματα:
 1. Τυχαίες κατανομές.

Στο AIMSUN (όπως αναφέρθηκε) μπορούν να καθοριστούν περισσότερα από ένα σενάρια και, για κάθε ένα, μπορούν να δημιουργηθούν περισσότερα από ένα πειράματα. Κάθε σενάριο και πείραμα θα έχει τις δικές του τιμές. Το AIMSUN θα διατηρήσει όλα τα καθορισμένα σενάρια (και, συνεπώς, πειράματα, αναπαραγωγές και αποτελέσματα) μέσα στο δίκτυο.

3.1.2 Σχεδιασμός κόμβου T

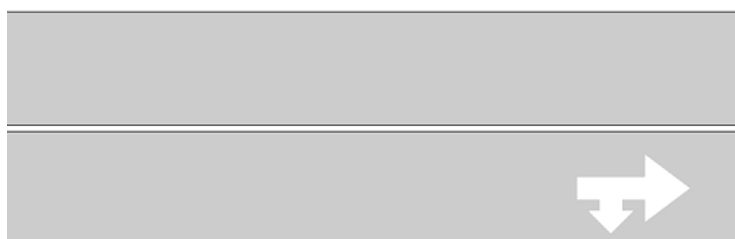
Κόμβος T μίας λωρίδας

Στη παρούσα εργασία υλοποιήθηκαν δύο κόμβοι τύπου T και αυτό αποτελεί ένα μέρος των σεναρίων: ένας με μία λωρίδα κυκλοφορίας σε κάθε κλάδο και ένας με δύο λωρίδες. Οι δύο αυτοί κόμβοι διαφέρουν σε κάποια μεγέθη, αλλά σε κάποια άλλα όχι. Για παράδειγμα, και στις δύο περιπτώσεις το πλάτος λωρίδας είναι 3.5 μέτρα, το μήκος κάθε οδικού τμήματος είναι 5 χιλιόμετρα και ο τύπος του είναι αστικός. Ωστόσο, οι ροές κορεσμού διαφέρουν, αφού ο κόμβος δύο λωρίδων κυκλοφορίας έχει προφανώς μεγαλύτερη ικανότητα σε χωρητικότητα. Επίσης, αφού τα οδικά τμήματα με δύο λωρίδες έχουν μεγαλύτερη ροή κορεσμού, χρησιμοποιήθηκαν και μεγαλύτεροι κυκλοφοριακοί φόρτοι. Στο σημείο αυτό θα αναφερθεί η διαδικασία σχεδιασμού του κόμβου μίας λωρίδας ανά κλάδο και παρακάτω των δύο λωρίδων. Αρχικά δημιουργήθηκε το υπόβαθρο του κόμβου στο σχεδιαστικό πρόγραμμα Autocad:

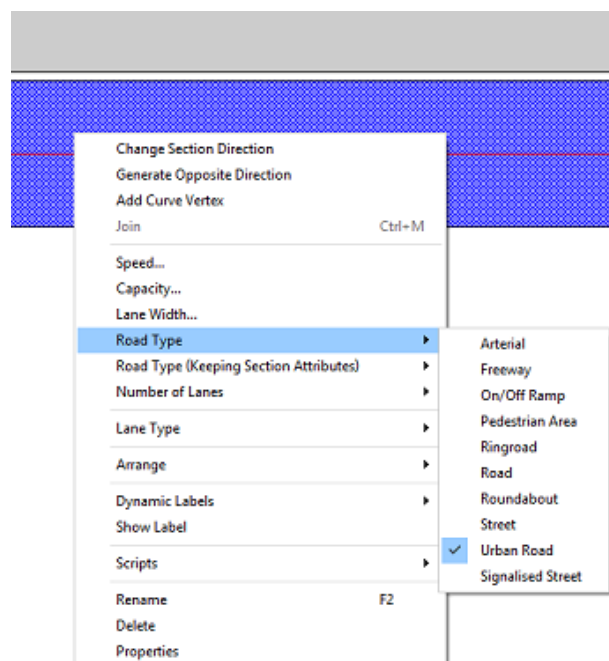


Σχήμα 3.1- Σχεδιασμός κόμβου T μίας λωρίδας στο Autocad

Όσον αφορά το λογισμικό AIMSUN, κατασκευάστηκαν πρώτα τα οδικά τμήματα (sections) με τη βοήθεια του υποβάθρου που εισάχθηκε και ορίστηκε ο τύπος τους σε αστικό τύπο οδικού τμήματος. Με την ενέργεια αυτή δόθηκε αυτομάτως ο περιορισμός στη ταχύτητα του τμήματος στα 50χλμ/ ώρα από το πρόγραμμα:



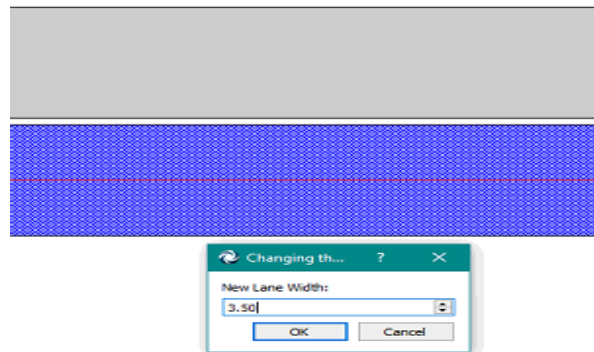
Σχήμα 3.2- Δημιουργία οδικού τμήματος μίας λωρίδας και αντίθετης του κατεύθυνσης



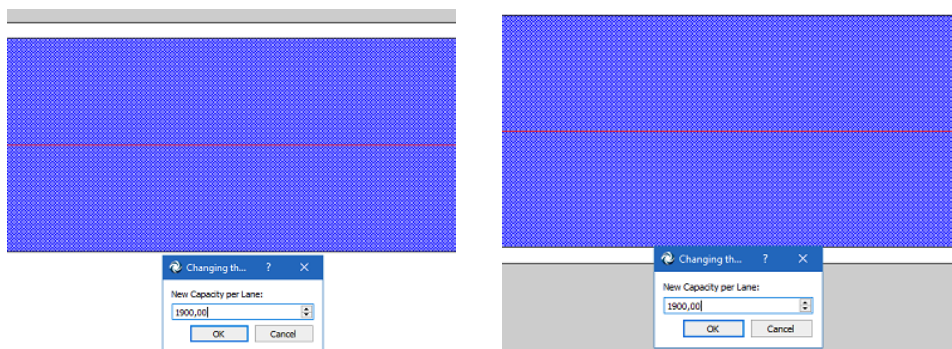
Σχήμα 3.3- Επιλογή τύπου δρόμου του οδικού τμήματος στον κόμβο T

Σε όλα τα οδικά τμήματα των τριών κλάδων (συνολικά έξι τμήματα) επιλέχθηκε το τυπικό πλάτος οδικού τμήματος 3.5 μέτρων, ενώ η χωρητικότητα οδικού τμήματος σε ευθεία ορίστηκε για κάθε ένα τμήμα ξεχωριστά (1900 οχ/ώρα για όλες τις προσβάσεις). Να

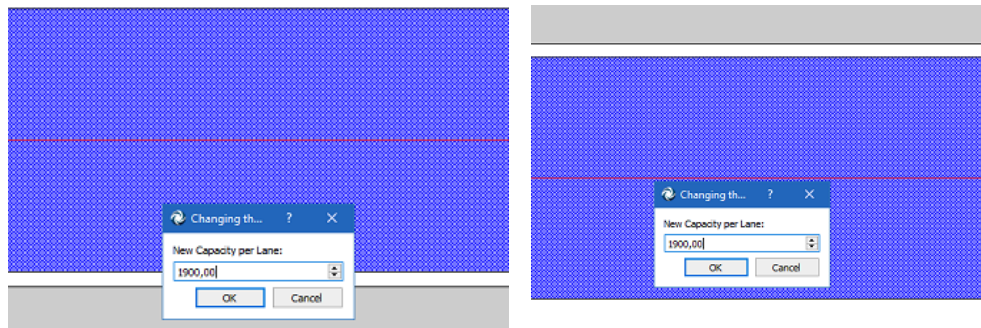
σημειωθεί ότι στο δίκτυο υπάρχουν τρεις κλάδοι, άρα έξι τμήματα, δύο δυτικά, δύο ανατολικά και δύο νότια.



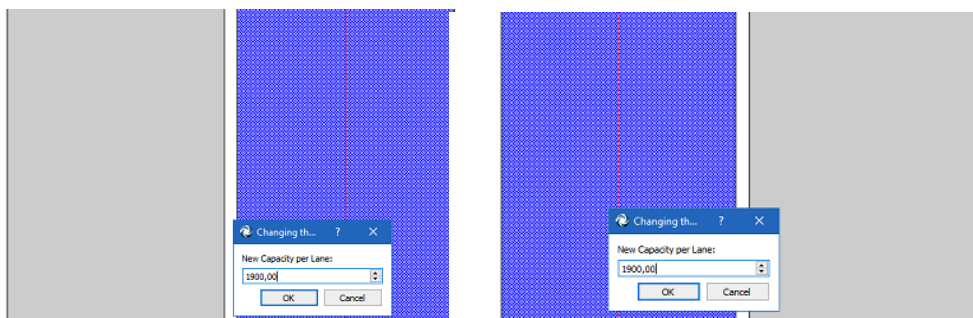
Σχήμα 3.4- Επιλογή τυπικού πλάτους λωρίδας για τον κόμβο T



Σχήμα 3.5- Επιλογή χωρητικότητας για τον δυτικό κλάδο κόμβου μίας λωρίδας



Σχήμα 3.6- Επιλογή χωρητικότητας για τον ανατολικό κλάδο κόμβου μίας λωρίδας



Σχήμα 3.7- Επιλογή χωρητικότητας για τον νότιο κλάδο κόμβου μίας λωρίδας

Οι τιμές αυτές που παρουσιάζονται στις εικόνες για τις χωρητικότητες ανά κλάδο εκφράζουν το μέγιστο φόρτο που δύναται να εξυπηρετηθεί από το οδικό τμήμα χωρίς να υπάρχει

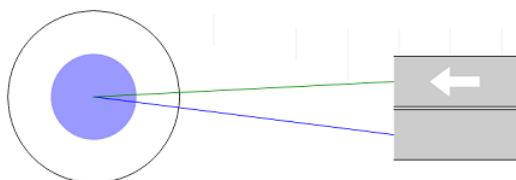
κατάρρευση κυκλοφορίας. Κάθε τμήμα έχει το δικό του φάκελο όπου αναγράφονται οι πληροφορίες σχετικά με τα μεγέθη που αναφέρθηκαν δηλαδή με τη μέγιστη επιτρεπόμενη ταχύτητα πορείας, τον τύπο οδικού τμήματος, τη κυκλοφοριακή ικανότητα καθώς και άλλες πληροφορίες που αφορούν τη κλίση του τμήματος (η οποία δεν εξετάστηκε στη παρούσα εργασία) και το μήκος του.

Σχετικά με το μήκος των οδικών τμημάτων, επιλέχθηκε να είναι 5 χιλιόμετρα. Αυτό συνέβη καθώς εξετάστηκαν, όπως θα αναλυθεί και παρακάτω, αρκετά σενάρια φόρτων. Έτσι για να μην υπάρχει κίνδυνος κάλυψης όλου του μήκους τμήματος από οχήματα, σε περίπτωση δημιουργίας μεγάλης ουράς στο σενάριο του υψηλότερου κυκλοφοριακού φόρτου, κάτι που θα έδινε μη ρεαλιστικά αποτελέσματα, επιλέχθηκε η τιμή των 5 χιλιομέτρων. Έτσι θα καλυφθούν όλες οι περιπτώσεις φόρτων χωρίς να παρατηρηθεί αυτό το φαινόμενο. Συνοπτικά, ένας φάκελος τμήματος περιέχει τις εξής πληροφορίες:

Name:	1	External ID:	
Road Type:	46: Urban Road	Maximum Speed:	50,00 km/h
User-defined Cost:	0,00	Second User-defined Cost:	0,00
Third User-defined Cost:	0,00	Capacity:	1900,00 PCUs/h
Altitude		Initial:	0,00 m
		Final:	0,00 m
		<input checked="" type="checkbox"/> Calculate Intermediates	
Length: 5000 m			
		OK Cancel	

Σχήμα 3.8- Φάκελος πληροφοριών οδικού τμήματος κόμβου T

Μετά τον σχεδιασμό των οδικών τμημάτων, δημιουργήθηκαν τα κεντροειδή για κάθε κλάδο. Η μπλε γραμμή στην εικόνα υποδεικνύει ότι το κεντροειδές παράγει κυκλοφορία στο τμήμα με το οποίο συνδέεται ενώ η πράσινη ελκύει τη κυκλοφορία που έρχεται από το τμήμα προς το κεντροειδές.



Σχήμα 3.9- Αναπαράσταση κεντροειδούς

Όσον αφορά τη σύνδεση των οδικών τμημάτων μεταξύ τους, έγινε ταυτόχρονα με τον ορισμό των ελιγμών των κινήσεων των οχημάτων καθώς επίσης ορίστηκαν τα επίπεδα

προτεραιότητας των κινήσεων τοποθετώντας σημάσεις STOP και GIVE WAY. Στη πρώτη σήμανση τα οχήματα που καταφθάνουν σε αυτή, σταματούν υποχρεωτικά πριν τη πραγματοποίηση της κίνησής τους, ενώ στη δεύτερη περίπτωση τα οχήματα δεν υποχρεούνται να σταματήσουν. Και στις δύο, πάντως, περιπτώσεις τα οχήματα παραχωρούν προτεραιότητα στα οχήματα υψηλότερου επιπέδου προτεραιότητας.

Οι κινήσεις στον κόμβο *T* είναι οι εξής:

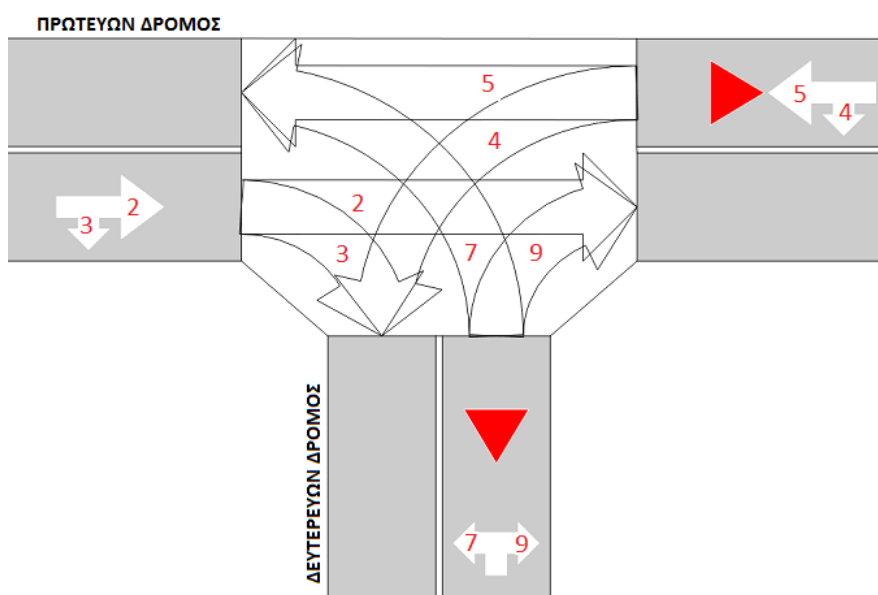
- Κίνηση 2: ευθεία κίνηση επί του πρωτεύοντα άξονα (δυτική πρόσβαση).
- Κίνηση 3: δεξιά στροφή από τον πρωτεύων στον δευτερεύοντα άξονα (δυτική πρόσβαση).
- Κίνηση 4: αριστερή στροφή από τον πρωτεύων στον δευτερεύοντα άξονα (ανατολική πρόσβαση).
- Κίνηση 5: ευθεία κίνηση επί του πρωτεύοντα δρόμου (ανατολική πρόσβαση).
- Κίνηση 7: δεξιά κίνηση από τον δευτερεύων στον πρωτεύοντα άξονα (νότια πρόσβαση).
- Κίνηση 9: αριστερή κίνηση από τον δευτερεύων στον πρωτεύοντα άξονα (νότια πρόσβαση).

Τα επίπεδα προτεραιότητας σε σχέση με τις κινήσεις αναλύθηκαν στο 2^ο κεφάλαιο. Έτσι, προκύπτουν για τον παρόν κόμβο τα εξής:

Πίνακας 3.1- Κινήσεις και επίπεδα προτεραιότητας

Επίπεδο προτεραιότητας	Κίνηση
1 ^ο	2, 3, 5
2 ^ο	4, 9
3 ^ο	7

Σχηματικά, παρουσιάζεται ως ακολούθως:



Σχήμα 3.10- Ελιγμοί κινήσεων στον κόμβο *T* μίας λωρίδας κυκλοφορίας

Παραπάνω, φαίνεται ότι στην ανατολική πρόσβαση έχει τοποθετηθεί πινακίδα GIVE WAY, όπως και στην ανατολική. Αυτό δε σημαίνει ότι η πινακίδα ισχύει και για τη κίνηση 5 ή ότι η

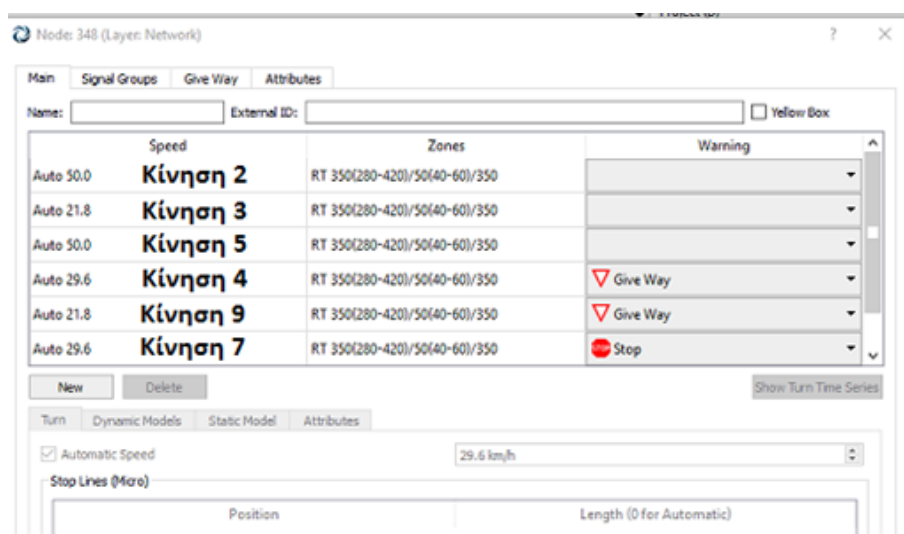
πινακίδα της νότιας πρόσβασης ισχύει και για τις δύο κινήσεις. Σε αυτό το σημείο είναι σημαντικό να αναφερθεί η θεώρηση που έγινε και συνδέει τα επίπεδα προτεραιότητας με τις σημάνσεις των πινακίδων. Η θεώρηση αυτή παρουσιάζεται στον πίνακα:

Πίνακας 3.2- Σχέση επιπέδων προτεραιότητας και σημάνσεων

Επίπεδο προτεραιότητας	Σήμανση
1 ^ο	Καμία
2 ^ο	GIVE WAY
3 ^ο	STOP

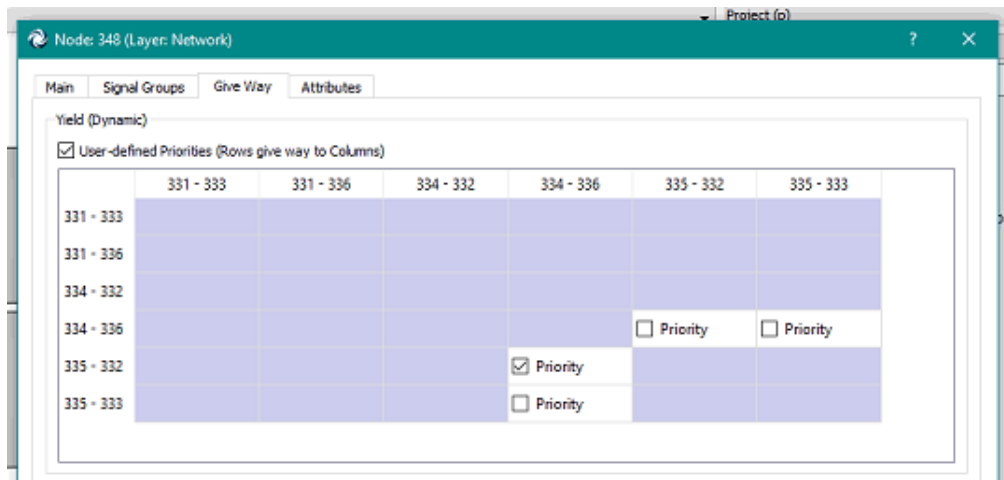
Έτσι λοιπόν οι κινήσεις 2, 3 και 5 δεν χρειάζονται κάποια σήμανση αφού έχουν πάντα προτεραιότητα, οι κινήσεις 4 και 9 χρειάζονται πινακίδα GIVE WAY και η κίνηση 7 STOP. Στην εικόνα 3.10 κάτι τέτοιο δε φαίνεται, αλλά ισχύει απλώς δεν ήταν δυνατή μια τέτοια απεικόνιση από το λογισμικό. Ουσιαστικά, δηλαδή στη νότια πρόσβαση η πινακίδα GIVE WAY επικαλύπτει αυτή του STOP και στην ανατολική πρόσβαση η πινακίδα GIVE WAY αναφέρεται μόνο στη κίνηση 4.

Ο φάκελος του κόμβου στο πρόγραμμα περιλαμβάνει πληροφορίες σχετικά με τους ελιγμούς που αναφέρθηκαν, τις πινακίδες που υπάρχουν, εάν υπάρχουν, για κάθε κίνηση, τις αντίστοιχες ταχύτητες κάθε ελιγμού και άλλες πληροφορίες που θα αναφερθούν παρακάτω.



Σχήμα 3.11- Φάκελος κόμβου T μίας λωρίδας

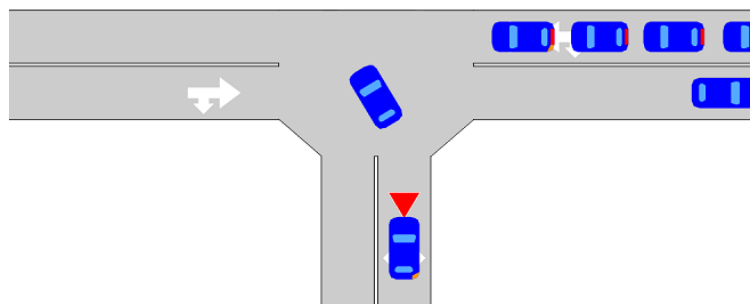
Όπως παρουσιάζεται αναλόγως με την κίνηση, έχει επιλεγθεί αυτόματα από το πρόγραμμα η επιτρεπόμενη ταχύτητα πραγματοποίησης ελιγμού. Στον φάκελο αυτό υπάρχει και το παράθυρο GIVE WAY που εξετάζει τις προτεραιότητες μεταξύ των κινήσεων που έχουν χαμηλή προτεραιότητα και «συγκρούονται», δηλαδή των κινήσεων 4 και 7. Αναφέρθηκε ότι η κίνηση 7 βρίσκεται στο 3^ο επίπεδο προτεραιότητας και για το λόγο αυτό έχει STOP. Επομένως, παραχωρεί προτεραιότητα στη κίνηση 4 που βρίσκεται στο 2^ο επίπεδο με σήμανση GIVE WAY. Αυτό για να γίνει απολύτως σαφές στο πρόγραμμα, ορίστηκε στο παράθυρο GIVE WAY με ένα κλικ στο κελί που υποδεικνύει ότι η κίνηση 7 παραχωρεί προτεραιότητα στη κίνηση 4, όπως φαίνεται και παρακάτω:



Σχήμα 3.12- Ορισμός προτεραιότητας αριστερής στροφής ανατολικής πρόσβασης έναντι αριστερής νότιας πρόσβασης

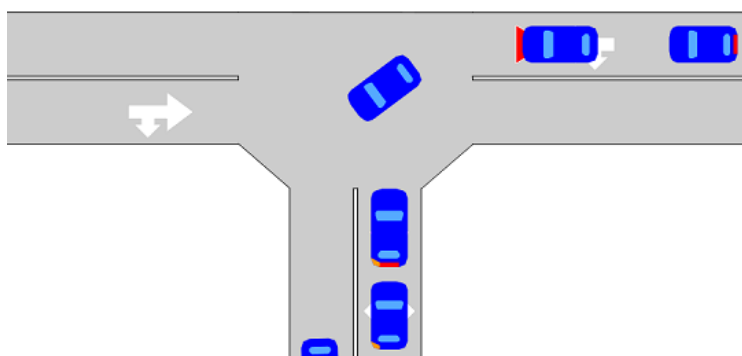
Κατά τη διάρκεια διεκπεραίωσης της εργασίας, στο σημείο αυτό, δηλαδή του ορισμού των επιπέδων προτεραιότητας και των σχετικών πινακίδων, παρατηρήθηκε το εξής φαινόμενο: τα οχήματα του 3^{ου} (χαμηλότερου) επιπέδου προτεραιότητας, δηλαδή αυτά της κίνησης 7, με πινακίδα STOP κάποιες φορές έπαιρναν τη προτεραιότητα των οχημάτων του 2^{ου} επιπέδου προτεραιότητας, δηλαδή της κίνησης 4, ενώ δε θα έπρεπε. Τότε αρχικά δοκιμάστηκε αλλαγή της πινακίδας της κίνησης 7 σε GIVEWAY, κάτι που είχε το ίδιο αποτέλεσμα. Μια εναλλακτική δοκιμή αφορούσε την επιλογή που έδινε ο φάκελος του κόμβου για προτεραιότητα κίνησης έναντι μιας άλλης. Εκεί, επιλέχθηκε η κίνησης 7 να παραχωρεί προτεραιότητα στη κίνηση 4. Παρ' όλα αυτά, εξακολουθούσε να συμβαίνει το ίδιο φαινόμενο, δηλαδή κάποια οχήματα της κίνησης 7 να μη παραχωρούν προτεραιότητα σε αυτά της κίνησης 4. Αυτό συνέβαινε καθώς κάθε οδηγός που στέκεται σε πινακίδα παραχώρησης προτεραιότητας είτε GIVEWAY ή STOP, έχει ένα μέγιστο χρόνο παραχώρησης προτεραιότητας. Δηλαδή, το φαινόμενο αυτό είναι άρρηκτα συνυφασμένο με τη παράμετρο μέγιστου χρόνου παραχώρησης προτεραιότητας. Αυτό πρακτικά σημαίνει ότι εάν ένα όχημα της κίνησης 7 φτάσει πρώτο στο σημείο αναμονής για είσοδο στον κόμβο από το όχημα της κίνησης 4 και ξεπεράσει το μέγιστο χρόνο παραχώρησης προτεραιότητάς του, τότε το επόμενο εφικτό διάκενο για ελιγμό θα το εκμεταλλευτεί το όχημα της κίνησης 7 εις βάρος αυτού της κίνησης 4.

Στο παρακάτω σχήμα παρουσιάζεται το όχημα της νότιας πρόσβασης να πραγματοποιεί ελιγμό εις βάρος της προτεραιότητας που έχει το όχημα της ανατολικής πρόσβασης που αναμένει να προχωρήσει σε αριστερή στροφή. Αυτό συνέβη, όπως εξηγήθηκε παραπάνω, γιατί το όχημα της νότιας πρόσβασης έφτασε πρώτο στο σημείο αναμονής του για ελιγμό από το όχημα της ανατολικής πρόσβασης και πέρασε γρηγορότερα ο μέγιστος χρόνος παραχώρησης προτεραιότητάς του.



Σχήμα 3.13- Οχήμα του 3ου επιπέδου προτεραιότητας παίρνει τη προτεραιότητα του οχήματος της ανατολικής πρόσβασης 2ου επιπέδου προτεραιότητας

Σε άλλη περίπτωση, δηλαδή, αν ένα όχημα της ανατολικής πρόσβασης φτάσει πρώτο στο σημείο στάσης του για είσοδο στο κόμβο, τότε δε θα συμβεί το προηγούμενο φαινόμενο. Αυτή είναι και η “φυσιολογική” περίπτωση, δηλαδή, το όχημα 2^{ου} επιπέδου προτεραιότητας να προηγείται από αυτό του 3^{ου} επιπέδου. Στη περίπτωση αυτή λοιπόν, το όχημα της ανατολικής πρόσβασης, όπου περίμενε να πραγματοποιήσει αριστερή στροφή, βρέθηκε πρώτο στο σημείο αναμονής του από το όχημα του δευτερεύοντα άξονα που περίμενε να προχωρήσει σε αριστερή στροφή, και έτσι πέρασε γρηγορότερα ο χρόνος μέγιστου χρόνου παραχώρησης προτεραιότητάς του με αποτέλεσμα να πραγματοποιήσει τον ελιγμό έναντι του οχήματος χαμηλότερης προτεραιότητας.



Σχήμα 3.14- Όχημα του 2ου επιπέδου προτεραιότητας παίρνει τη προτεραιότητα του οχήματος της νότιας πρόσβασης 3ου επιπέδου προτεραιότητα

Στο σημείο αυτό έχει δημιουργηθεί η υποδομή, οι κινήσεις που μπορούν να πραγματοποιήσουν τα οχήματα, καθώς και οι προτεραιότητες στους ελιγμούς. Όσον αφορά τη ζήτηση κυκλοφορίας, για τον ισόπεδο κόμβο προτεραιότητας T μίας και δύο λωρίδων, δημιουργήθηκαν κυκλοφοριακές καταστάσεις (traffic states) όπου ορίζονται οι κυκλοφοριακοί φόρτοι ανά πρόσβαση και οι αναλογίες στροφών.

Traffic State: 357, Name: Car_State-1

Main Parameters

Name: Car_State-1

Vehicle Type: 53: Car

Headers: ID: Name (External ID)

Input Flow Turn Info

Show Only Entrances

Section	Flow (veh/h)	
331: 1	300	0
334: 2	300	0
335: 3	150	0

Traffic State: 357, Name: Car_State-1

Main Parameters

Name: Car_State-1

Vehicle Type: 53: Car

Headers: ID: Name (External ID)

Input Flow Turn Info

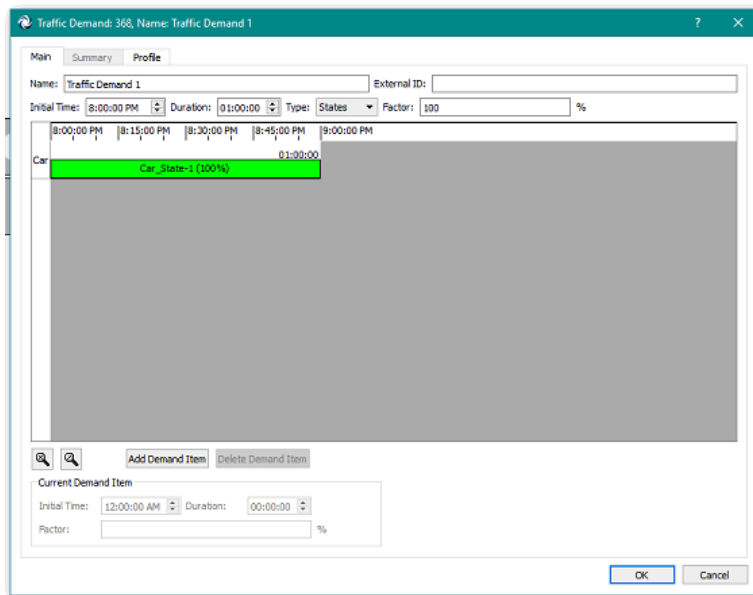
Highlight wrong definitions

Show All Sections

Turn Sections	Turn Percentage	
331: 1 to 333: 1	80	0
331: 1 to 336: 4	20	0
334: 2 to 332: 2	80	0
334: 2 to 336: 4	20	0
335: 3 to 333: 1	50	0

Σχήμα 3.15- Παράδειγμα κυκλοφοριακής κατάστασης στον κόμβο T

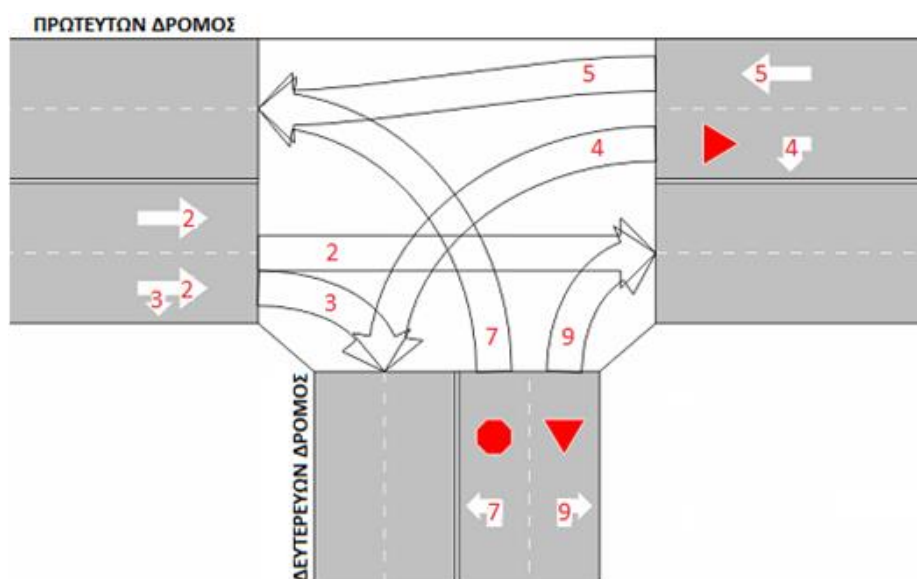
Αφού σχεδιαστούν οι κυκλοφοριακές καταστάσεις, δημιουργούνται οι κυκλοφοριακές ζητήσεις (traffic demands). Στη παρούσα εργασία κάθε κυκλοφοριακή κατάσταση αντιστοιχεί σε μία κυκλοφοριακή ζήτηση. Είναι σημαντικό να αναφερθεί, ότι αν δεν οριστεί ο τύπος οχήματος που αναφέρεται η κυκλοφοριακή κατάσταση, δε μπορεί να συνδεθεί με την κυκλοφοριακή ζήτηση. Στη συγκεκριμένη περίπτωση έχουμε μόνο ΙΧ οχήματα.



Σχήμα 3.16- Παράδειγμα κυκλοφοριακής ζήτησης κόμβου T

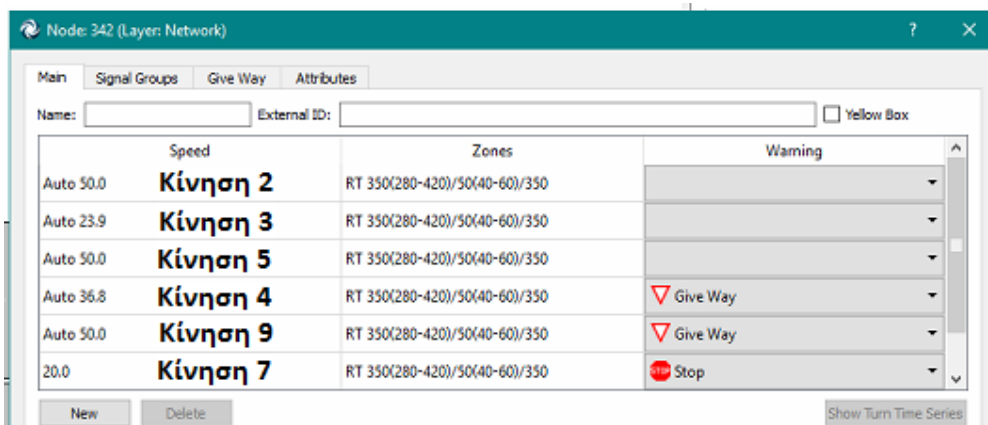
Κόμβος T δύο λωρίδων

Στην υλοποίηση του κόμβου δύο λωρίδων κυκλοφορίας ο τύπος οδικού τμήματος (αστικός), τα πλάτη των λωρίδων (3.5 μέτρα) καθώς και οι κινήσεις των οχημάτων είναι ίδια με τον κόμβο μίας λωρίδας. Όσον αφορά τις λωρίδες, στην δυτική πρόσβαση η λωρίδα για δεξιά στροφή (της κίνησης 3) είναι μοιραζόμενη, στην ανατολική για αριστερή στροφή (της κίνησης 4) υπάρχει αποκλειστική λωρίδα και στη νότια για τις κινήσεις 7 και 9 οι λωρίδες είναι επίσης αποκλειστικές για αριστερή και δεξιά στροφή αντιστοίχως:



Σχήμα 3.17- Ελιγμοί κινήσεων στον κόμβο T δύο λωρίδων κυκλοφορίας

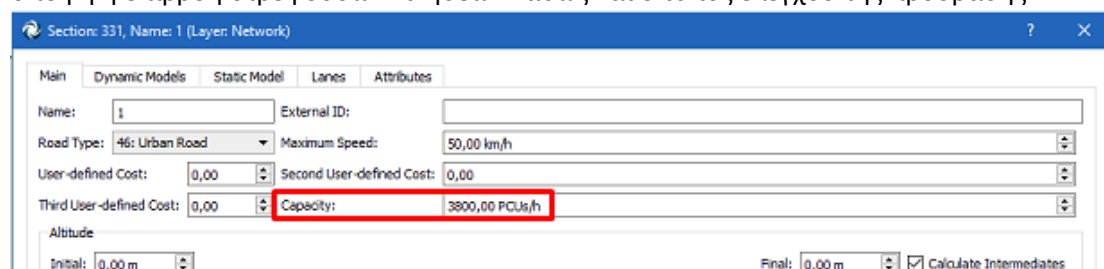
Επίσης, ο φάκελος του κόμβου παρουσιάζει τις κινήσεις καθώς και τις πινακίδες που ισχύουν με βάση τις προτεραιότητες. Να επισημανθεί, ότι οι προτεραιότητες είναι ακριβώς οι ίδιες με τον προηγούμενο κόμβο (μίας λωρίδας). Επίσης, ομοίως με προηγούμενως, επιλέχθηκε το κουτί, σύμφωνα με το οποίο η κίνηση 7 (που έχει STOP) παραχωρεί προτεραιότητα στη κίνηση 4 (που έχει GIVE WAY).



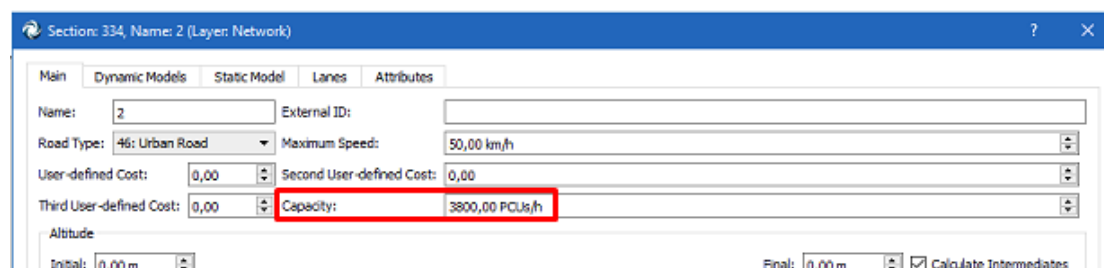
Σχήμα 3.18- Φάκελος κόμβου Τ δύο λωρίδων

Σχετικά με τις χωρητικότητες των οδικών τμημάτων στους κόμβους δύο λωρίδων, είναι σαφώς μεγαλύτερες από τις αντίστοιχες των κόμβων μίας λωρίδας. Στη περίπτωση δύο λωρίδων το οδικό τμήμα λαμβάνεται συνολικά για τις δύο λωρίδες, άρα η χωρητικότητα οδικού τμήματος αθροίζεται και ορίζεται για το σύνολο της πρόσβασης. Όπως και στη περίπτωση οδικού τμήματος μίας λωρίδας, οι χωρητικότητες είναι ίδιες για όλους τους κλάδους. Έτσι, για κάθε οδικό τμήμα πρόσβασης έχουμε 3800 οχ/ώρα, δηλαδή 1900 οχ/ώρα ανά λωρίδα. Επίσης, οι χωρητικότητες ορίστηκαν και στα οδικά τμήματα πέραν των προσβάσεων. Ομοίως, ορίστηκε η χωρητικότητα για ευθεία στα 3800 οχ/ώρα, δηλαδή 1900 οχ/ώρα σε κάθε λωρίδα.

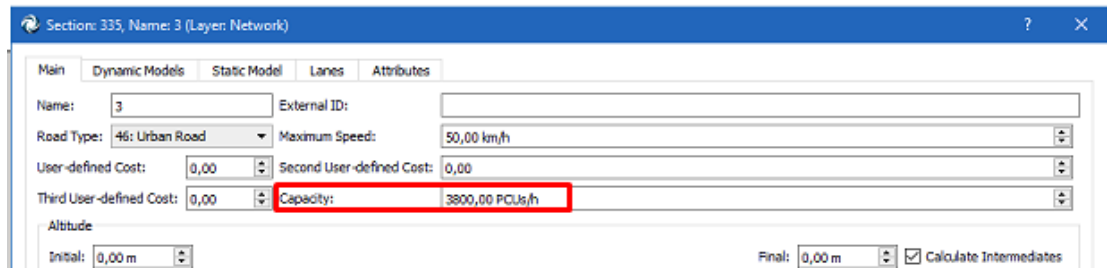
Είναι σημαντικό να αναφερθεί ότι έγιναν κάποιες προσομοιώσεις και έγινε αντιληπτό ότι το “capacity” του AIMSUN δεν είναι ούτε η χωρητικότητα, ούτε η κυκλοφοριακή ικανότητα, αλλά αφορά τη χωρητικότητα της διατομής του οδικού τμήματος δηλαδή δε λαμβάνονται υπόψη η επιρροή στρεφουσών κινήσεων καθώς και ο τύπος ελέγχου της πρόσβασης.



Σχήμα 3.19- Επιλογή ροής κορεσμού δυτικής πρόσβασης κόμβου δύο λωρίδων



Σχήμα 3.20- Επιλογή ροής κορεσμού ανατολικής πρόσβασης κόμβου δύο λωρίδων



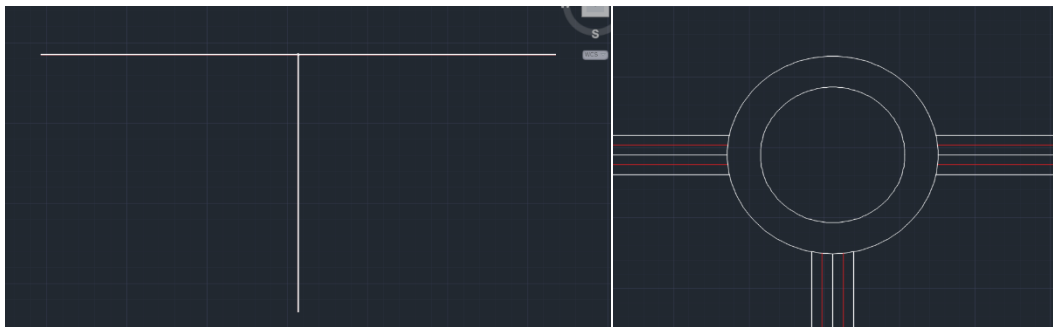
Σχήμα 3.21- Επιλογή ροής κορεσμού νότια πρόσβασης κόμβου δύο λωρίδων

3.1.3 Σχεδιασμός κυκλικού κόμβου

Όπως και στη περίπτωση του κόμβου *T*, έτσι και στον κυκλικό υλοποιήθηκε κόμβος με μία και δύο λωρίδες κυκλοφορίας. Οι λωρίδες κυκλοφορίας στον κυκλικό κόμβο αναφέρονται στις προσβάσεις εισόδου, εξόδου και στον κυκλικό δακτύλιο. Αρχικά, θα αναλυθεί ο σχεδιασμός κυκλικού κόμβου μίας λωρίδας κυκλοφορίας.

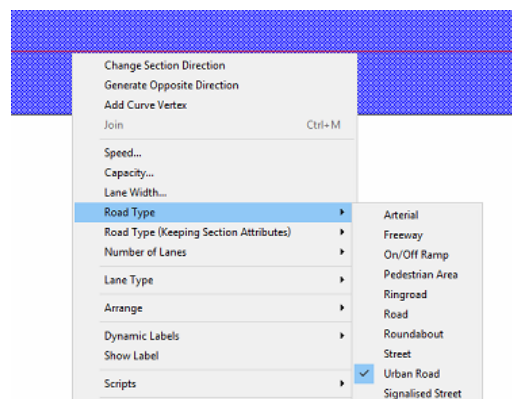
Κυκλικός κόμβος μίας λωρίδας

Πριν τον σχεδιασμό του κόμβου στο λογισμικό AIMSUN, δημιουργήθηκε πρώτα το σχέδιο στο Autocad για πιο ακριβή σχεδίαση:

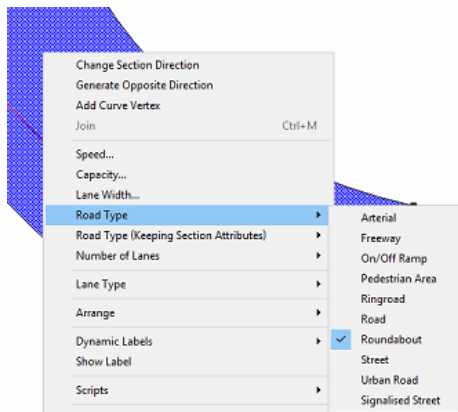


Σχήμα 3.22- Σχεδιασμός κυκλικού κόμβου μίας λωρίδας στο Autocad

Αφού εισάχθηκε το σχέδιο στο λογισμικό προσομοίωσης, ξεκίνησε η δημιουργία του δικτύου του κυκλικού κόμβου. Φτιάχτηκαν τα οδικά τμήματα όπως στον κόμβο προτεραιότητας *T* και ορίστηκαν οι τύποι τους σε αστικό. Η διαφορά στη συγκεκριμένη περίπτωση είναι ότι εκτός από τα οδικά τμήματα που είναι οι κλάδοι του κόμβου, σχεδιάστηκαν και τα τμήματα του κυκλικού δακτυλίου, που ορίστηκαν σε τύπο *Roundabout*.

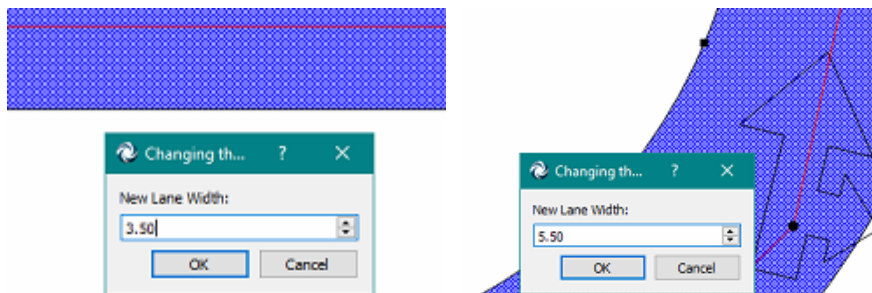


Σχήμα 3.23- Επιλογή τύπου οδικού τμήματος του οδικού τμήματος στον κυκλικό κόμβο



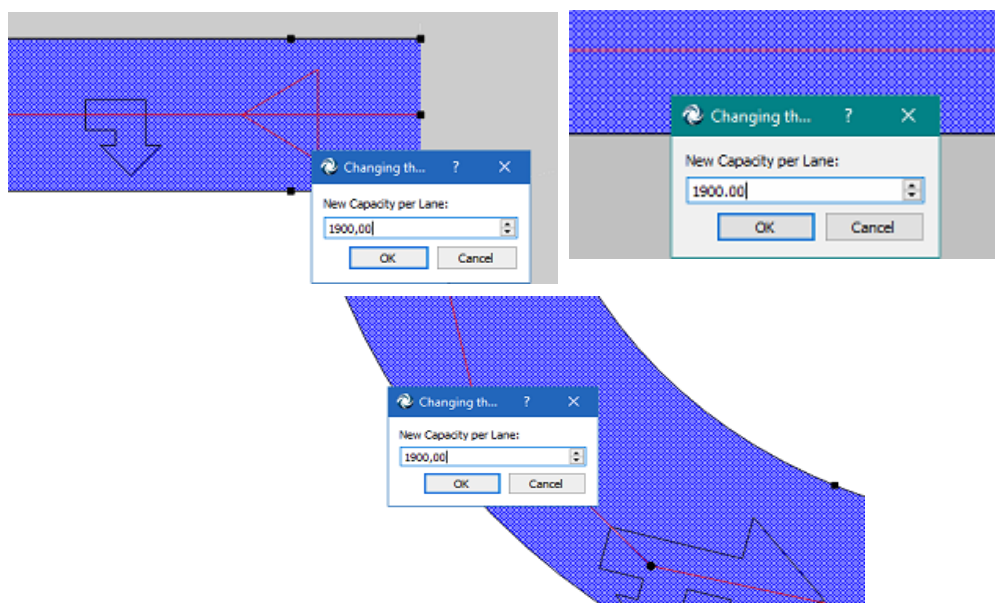
Σχήμα 3.24- Επιλογή τύπου οδικού τμήματος του οδικού τμήματος στον κυκλικό κόμβο

Όσον αφορά τα πλάτη των οδικών τμημάτων, επιλέχθηκε η ίδια τιμή για τα οδικά τμήματα στους κλάδους με προηγουμένως στο κόμβο T, 3.5 μέτρα. Στον κυκλικό κόμβο, ωστόσο, το πλάτος που επιλέχθηκε ήταν 5.5 μέτρα. Η τιμή αυτή είναι εντός των ορίων για τα πλάτη κυκλικών κόμβων μίας λωρίδας, που αναφέρθηκαν στο δεύτερο κεφάλαιο (5.30 – 6.70 μέτρα). Επίσης, η διάμετρος του εγγεγραμμένου κύκλου που επιλέχθηκε είναι 35 μέτρα (με όριο 27 – 55 μέτρα).



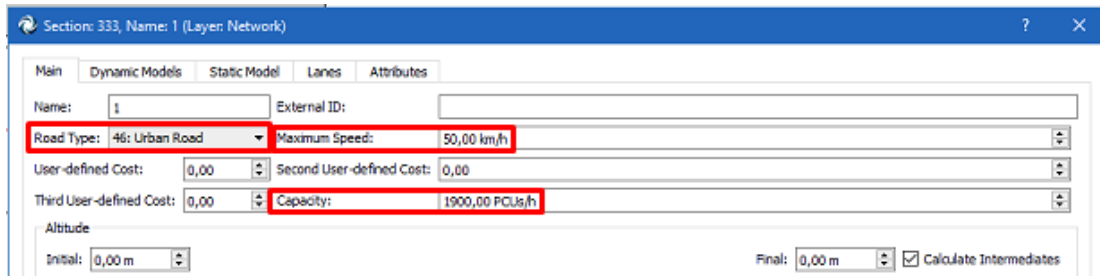
Σχήμα 3.25- Επιλογή πλάτους στα οδικά τμήματα του κλάδου και στον κυκλικό δακτύλιο για τον κυκλικό κόμβο μίας λωρίδας

Οι χωρητικότητες που επιλέχθηκαν για όλες τις προσβάσεις και για τα τμήματα του κυκλικού δακτυλίου ήταν οι ίδιες, 1900οχ/ώρα. Ενδεικτικά:

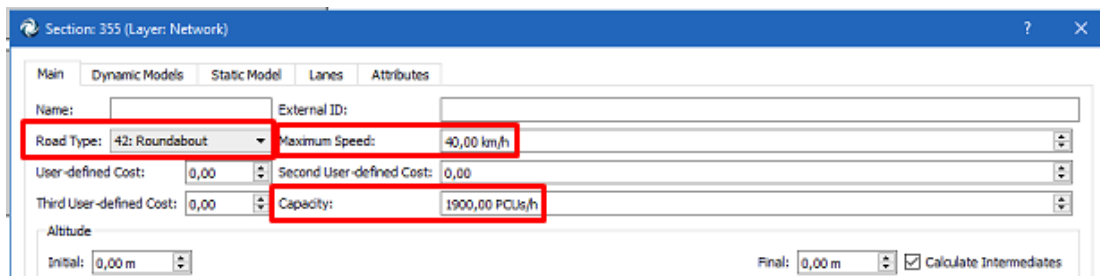


Σχήμα 3.26- Επιλογή ρών κορεσμού για τα οδικά τμήματα του κυκλικού κόμβου μίας λωρίδας

Άλλο ένα στοιχείο που πρέπει να σημειωθεί είναι ότι ενώ για τον αστικό τύπο οδικού τμήματος προτείνεται αυτομάτως από το πρόγραμμα η επιθυμητή ταχύτητα των 50 χλμ/ώρα, στο τύπο *Roundabout* προτείνεται η ταχύτητα των 40 χλμ/ώρα.

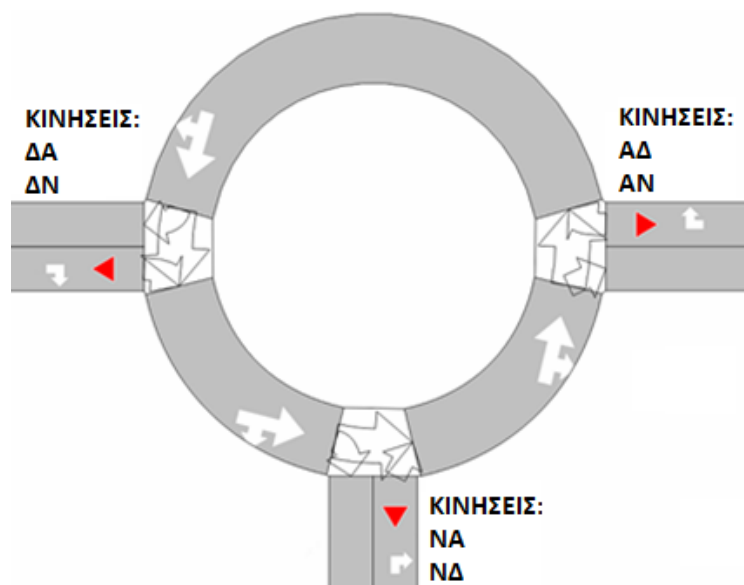


Σχήμα 3.27- Φάκελος οδικού τμήματος κυκλικού κόμβου μίας λωρίδας



Σχήμα 3.28- Φάκελος τμήματος κυκλικού δακτυλίου κυκλικού κόμβου μίας λωρίδας

Σε αντίθεση με τον κόμβο προτεραιότητας *T*, εδώ δεν έχουμε επίπεδα προτεραιότητας. Για την ακρίβεια υπάρχουν και είναι μόνο δύο, οι κινήσεις των οχημάτων που βρίσκονται στον κυκλικό κόμβο και οι κινήσεις των οχημάτων που εισέρχονται σε αυτόν. Στη παρούσα εργασία έχει επιλεγθεί ο κανονισμός που εφαρμόζεται σε πολλές χώρες του εξωτερικού, δηλαδή προτεραιότητα έχουν τα οχήματα που βρίσκονται στον κυκλικό δακτύλιο. Έτσι στις προσβάσεις εισόδου τοποθετήθηκαν σημάνσεις GIVE WAY, ώστε τα οχήματα που περιμένουν για να εισέλθουν στον κόμβο να παραχωρούν προτεραιότητα σε αυτά που βρίσκονται εντός αυτού.



Σχήμα 3.29- Ελιγμοί κινήσεων στον κυκλικό κόμβο μίας λωρίδας

Στο σχήμα 3.24 παρουσιάζεται σε κάθε πρόσβαση η δυνατότητα ελιγμού. Όπως φαίνεται στη δυτική πρόσβαση τα οχήματα κατευθύνονται ανατολικά και νότια, στην ανατολική, δυτικά και νότια και στη νότια πρόσβαση, ανατολικά και δυτικά. Γίνεται αντιληπτό ότι δεν επιτρέπεται η κίνηση για αναστροφή.

Δημιουργήθηκαν τα κεντροειδή σε κάθε κλάδο κυκλοφορίας, όπως ακριβώς και στους κόμβους T , ενώ για τη δημιουργία της ζήτησης οχημάτων σχεδιάστηκαν πίνακες προέλευσης-προορισμού (O/D matrices), σε αντίθεση με τις κυκλοφοριακές καταστάσεις των κόμβων T . Ουσιαστικά, στους πίνακες αυτούς δε καταγράφεται η συνολική ζήτηση οχημάτων ανά πρόσβαση και οι αναλογίες στροφών, αλλά γράφεται κατευθείαν ο κυκλοφοριακός φόρτος των οχημάτων από το σημείο προέλευσης μέχρι το σημείο προορισμού τους.

	367: West	368: East	369: South	Total
367: West		240	60	300
368: East	240		60	300
369: South	45	45		90
Total	285	285	120	690

Σχήμα 3.30- Παράδειγμα πίνακα προέλευσης-προορισμού στον κυκλικό κόμβο

Έπειτα, οι πίνακες αυτοί χρησιμοποιούνται για τον σχεδιασμό της ζήτησης κυκλοφορίας, ομοίως με τις κυκλοφοριακές καταστάσεις (traffic states).

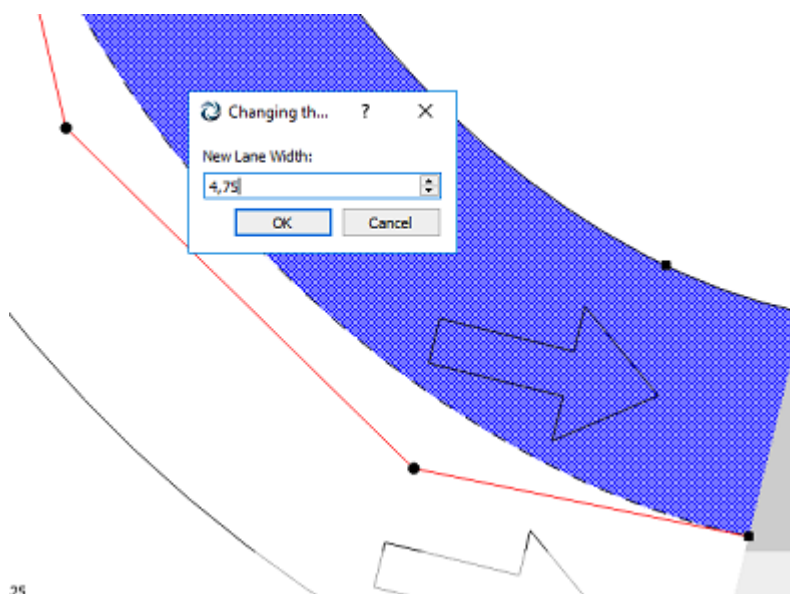
Name: Traffic Demand 1
 External ID:
 Initial Time: 8:00:00 PM | Duration: 01:00:00 | Type: Matrices | Factor: 100 %
 8:00:00 PM | 8:15:00 PM | 8:30:00 PM | 8:45:00 PM | 9:00:00 PM
 Car-Matrice_1 (100%)
 Add Demand Item | Delete Demand Item
 Current Demand Item: Initial Time: 12:00:00 AM | Duration: 00:00:00 | Factor: %
 Traffic Arrivals: None

Σχήμα 3.31- Παράδειγμα κυκλοφοριακής ζήτησης κυκλικού κόμβου

Στο σημείο αυτό έχει ολοκληρωθεί ο σχεδιασμός δικτύου του κυκλικού κόμβου ώστε να δημιουργηθούν τα σενάρια και τα αντίστοιχα πειράματα και να είναι δυνατή η εκτέλεση της προσομοίωσης.

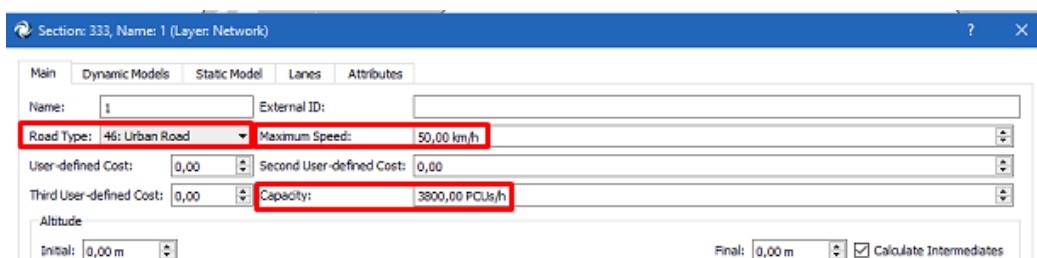
Κυκλικός κόμβος δύο λωρίδων

Κατά τη δημιουργία του κυκλικού κόμβου δύο λωρίδων, αυξάνεται η ροή κορεσμού στα οδικά τμήματα των κλάδων καθώς και στον κυκλικό δακτύλιο, καθώς είναι δύο λωρίδες πρόσβασης εισόδου, εξόδου και κυκλικού δακτυλίου. Επίσης, αλλάζει η κατηγορία κυκλικού κόμβου, καθώς από τη μία λωρίδα περνώντας στις δύο, αυξάνεται το εύρος τιμών τόσο της διαμέτρου του εγγεγραμμένου κύκλου όσο και του πλάτους του τμήματος του δακτυλίου. Λαμβάνοντας υπόψη τα εύρη αυτά που αναφέρθηκαν και στο 2^ο κεφάλαιο, η τιμή της διαμέτρου του εγγεγραμμένου κύκλου που επιλέχθηκε είναι 55 μέτρα (το εύρος είναι 46 έως 67 μέτρα) και το πλάτος οδικού τμήματος του κυκλικού δακτυλίου επιλέχθηκε 9.50 μέτρα (το αντίστοιχο εύρος είναι 8.60 έως 9.80 μέτρα), δηλαδή 4.75 μέτρα ανά λωρίδα.



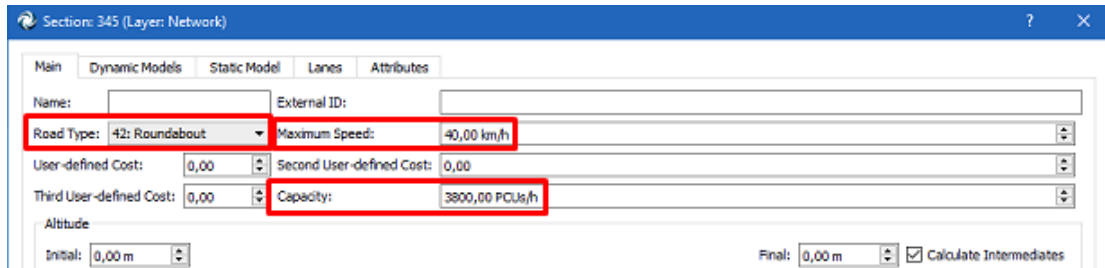
Σχήμα 3.32- Επιλογή πλάτους οδικού τμήματος κυκλικού δακτυλίου στον κυκλικό κόμβο δύο λωρίδων

Η επιλογή πλάτους 3.5 μέτρων στα οδικά τμήματα των κλάδων ισχύει και για τους κυκλικούς κόμβους δύο λωρίδων κυκλοφορίας. Όσον αφορά τις ροές κορεσμού, αυξήθηκαν στο διπλάσιο με τη προσθήκη μίας λωρίδας, δηλαδή από 1900 οχ/ώρα έγιναν 3800 οχ/ώρα σε κάθε οδικό τμήμα.



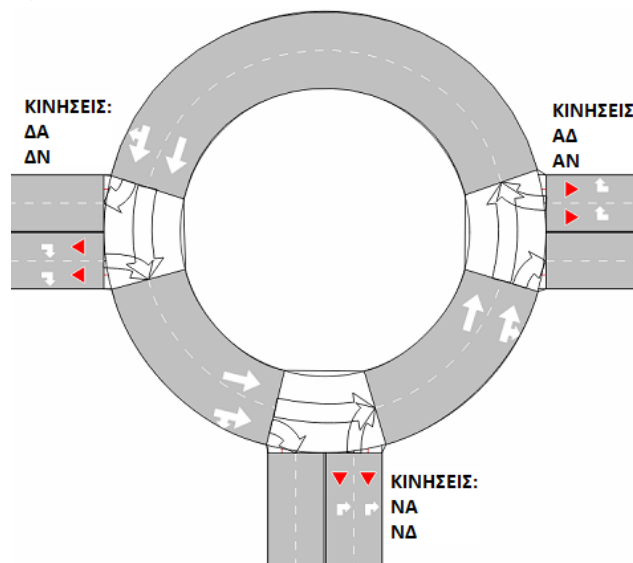
Σχήμα 3.33- Φάκελος αστικού οδικού τμήματος κλάδου για τον κυκλικό κόμβο δύο λωρίδων

Όπως φαίνεται η μέγιστη ταχύτητα παραμένει 50 χλμ/ώρα για τον αστικό τύπο οδικού τμήματος, ενώ μειώνεται όπως θα φανεί παρακάτω όταν τα οχήματα εισέρχονται στον κυκλικό κόμβο όπου η μέγιστη ταχύτητα είναι 40 χλμ/ώρα.



Σχήμα 3.34- Φάκελος οδικού τμήματος δακτυλίου για τον κυκλικό κόμβο δύο λωρίδων

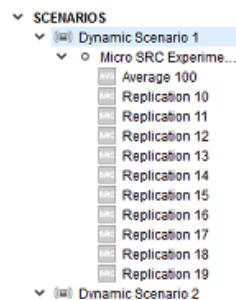
Τέλος, οι κινήσεις του κόμβου φαίνονται στο παρακάτω σχήμα. Όπως και στον κυκλικό κόμβο μίας λωρίδας, έτσι και εδώ προτεραιότητα έχουν τα οχήματα που κινούνται εντός του δακτυλίου, και για το λόγο αυτό τοποθετούνται πινακίδες GIVE WAY στις προσβάσεις εισόδου των κλάδων. Προφανώς η κίνηση ΔΑ εκφράζει τη κίνηση από δυτικά προς ανατολικά, η ΑΔ, ανατολικά προς δυτικά κοκ.



Σχήμα 3.35- Ελιγμοί κινήσεων στον κυκλικό κόμβο δύο λωρίδων

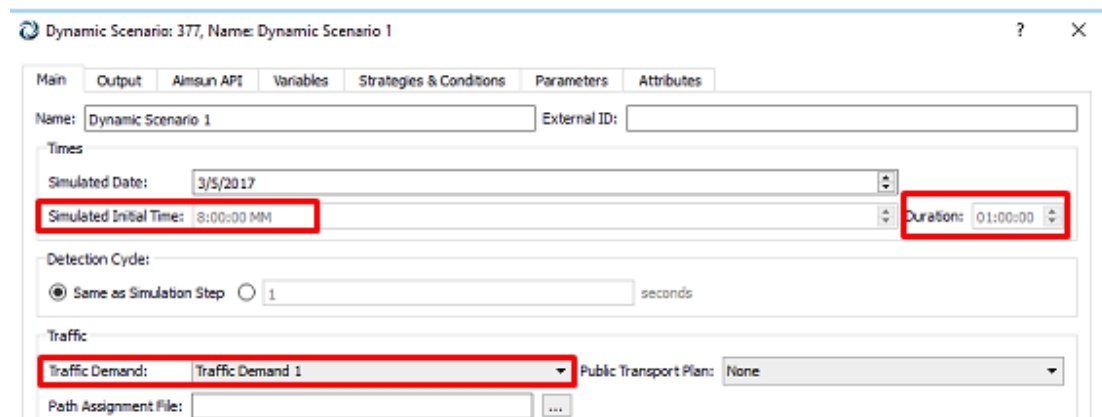
3.2 Σχεδιασμός σεναρίων

Απώτερος σκοπός του σχεδιασμού του δικτύου είναι ο σχεδιασμός σεναρίων και η προσομοίωση της κυκλοφορίας και αυτό ισχύει και για τους τέσσερις κόμβους που δημιουργήθηκαν. Στην παρούσα εργασία κάθε δυναμικό σενάριο περιέχει ένα πείραμα στο οποίο η επιλογή διαδρομής είναι στοχαστική και για το λόγο αυτό περιέχει κατάλληλο αριθμό αναπαραγωγών και έναν μέσο όρο αυτών. Η τιμή του μέσου όρου είναι αυτή που τελικά χρησιμοποιείται για την ανάλυση των αποτελεσμάτων κάθε δυναμικού σεναρίου.



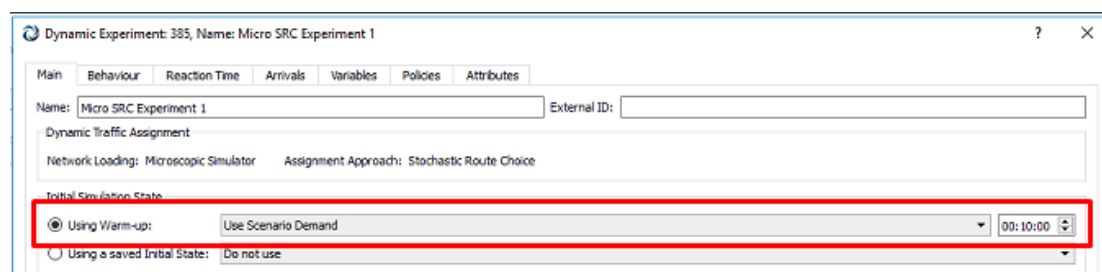
Σχήμα 3.36- Αναπαράσταση δυναμικού σεναρίου, πειράματος, μέσου όρου και αναπαραγωγών

Για να πραγματοποιηθεί μία προσομοίωση είναι απαραίτητο να έχει δημιουργηθεί προηγουμένως κυκλοφοριακή ζήτηση και να έχει συνδεθεί με το δυναμικό σενάριο μέσω του αντίστοιχου φακέλου. Εκεί, ορίζεται επίσης η ώρα εκκίνησης της προσομοίωσης και η διάρκεια προσομοίωσης. Επιλέχθηκε τυχαία η ώρα εκκίνησης στις 8 μμ., ενώ η διάρκεια ορίστηκε στη μία ώρα.



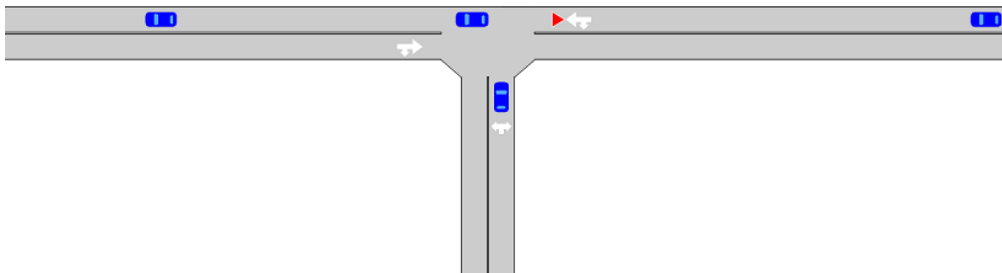
Σχήμα 3.37- Φάκελος δυναμικού σεναρίου

Όσον αφορά τα πειράματα, επιλέγεται στο σχετικό φάκελο να χρησιμοποιηθεί η ζήτηση του σεναρίου. Ένα άλλο χαρακτηριστικό που ορίζεται στον φάκελο αυτό είναι η διάρκεια της προθέρμανσης (warm-up). Ουσιαστικά πρόκειται για τον χρόνο που προηγείται της προσομοίωσης ώστε να δώσει τη δυνατότητα στο δίκτυο να καλυφθεί από κάποια οχήματα και ύστερα να ξεκινήσει η μέτρηση της μία ώρα προσομοίωσης. Προετοιμάζεται, δηλαδή το δίκτυο με κάποια αρχική ζήτηση οχημάτων ώστε τα αποτελέσματα του πειράματος να είναι αντιπροσωπευτικά και να μην λαμβάνεται υπόψη η κυκλοφορία στη χρονική διάρκεια που απαιτείται για να καταφθάσουν τα πρώτα οχήματα στον κόμβο.



Σχήμα 3.38- Φάκελος δυναμικού πειράματος

Όπως φαίνεται στην εικόνα η διάρκεια αυτής της προθέρμανσης ορίστηκε 10 λεπτά. Ο χρόνος αυτός επιλέχθηκε με βάση τον χρόνο που χρειάζονται περίπου τα πρώτα οχήματα να καταφθάσουν στον κόμβο, σύμφωνα με την απλή σχέση: $t = \frac{S}{U}$. Έτσι πρώτα πραγματοποιείται η προθέρμανση των 10 λεπτών και ύστερα ξεκινά η μέτρηση του χρόνου προσομοίωσης από τις 8μμ. για μία ώρα. Ο κόμβος μετά το πέρας της προθέρμανσης παρουσιάζεται όπως στο παρακάτω σχήμα:



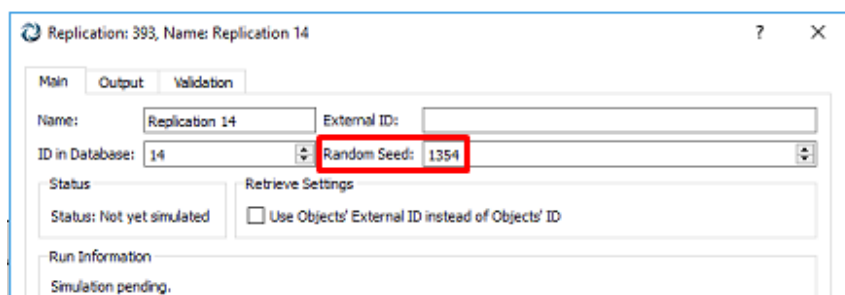
Σχήμα 3.39- Κατάσταση κόμβου μετά το τέλος του χρόνου προθέρμανσης

Επίσης στο ακόλουθο σχήμα φαίνεται ο χρόνος που έχει σταματήσει στα 10 λεπτά της προθέρμανσης και από κει και έπειτα ξεκινά η διάρκεια τη προσομοίωσης από τις 8μμ.



Σχήμα 3.40- Εκκίνηση χρόνου προσομοίωσης μετά τη προθέρμανση

Κάθε αναπαραγωγή περιέχει διαφορετικό αριθμό τυχαίων αριθμών (random number seeds). Αυτό πραγματοποιείται τυχαία και δεν ορίζεται από το χρήστη. Η τυχειότητα αυτή αποδίδει θετικά στα αποτελέσματα αφού έτσι δύναται να υπάρξει καλύτερη κατανομή των αποτελεσμάτων.



Σχήμα 3.41- Φάκελος αναπαραγωγής

Τέλος, στον φάκελο των αναπαραγωγών μπορούν να συμπεριληφθούν τα αποτελέσματα της προσομοίωσης σε συγκεκριμένο παράθυρο.

3.2.1 Παράμετροι επιρροής σεναρίων

Υπάρχουν πολλές παράμετροι οι οποίες επιδρούν στη λειτουργία ενός κόμβου. Αυτές οι παράμετροι μπορεί να αφορούν κάποιο από τα πρότυπα ακολουθίας οχήματος, αλλαγής λωρίδας ή αποδοχής διάκενου. Επιπλέον μέγεθος που μπορεί να αποτελέσει παράμετρο επιρροής ενός σεναρίου είναι ο κυκλοφοριακός φόρτος. Ο φόρτος είναι ένα σημαντικό εργαλείο στον σχεδιασμό σεναρίων, αφού δίνει τη δυνατότητα μελέτης ενός δικτύου υπό διαφορετικές κυκλοφοριακές συνθήκες. Στην παρούσα εργασία, έχουν χρησιμοποιηθεί τέσσερις παράμετροι επιρροής σεναρίων:

- Τύπος κόμβου
- Αριθμός λωρίδων κυκλοφορίας

- Κυκλοφοριακός φόρτος
- Παράμετρος ευαισθησίας (sensitivity factor)
- Μέγιστος χρόνος παραχώρησης προτεραιότητας (maximum give-way time)

3.2.2 Προσδιορισμός τιμών σεναρίων προσομοίωσης

Σκοπός της υποενότητας αποτελεί ο προσδιορισμός των τιμών για συγκεκριμένα μεγέθη της προσομοίωσης, μέσω δοκιμών. Πιο συγκεκριμένα, πραγματοποιήθηκαν «δοκιμαστικές» προσομοιώσεις για τον προσδιορισμό των παρακάτω στοιχείων:

- Φόρτιση του κόμβου
- Αριθμός επαναλήψεων/αναπαραγωγών (replications) σε κάθε δυναμικό σενάριο.
- Ακραίες τιμές των παραμέτρων επιρροής.

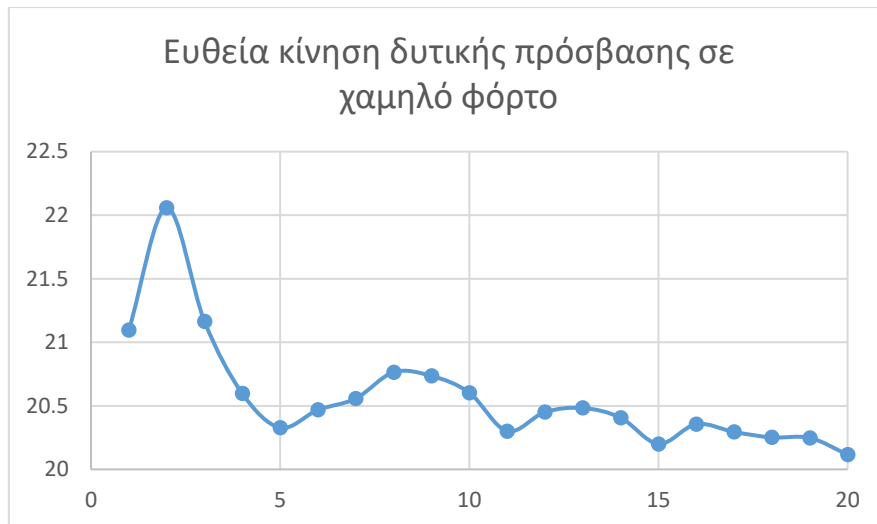
Δοκιμές φόρτισης του κόμβου:

Η πρώτη δοκιμή που πραγματοποιήθηκε αφορά στη φόρτιση του κόμβου καθώς η αρχική θεώρηση φόρτισης αφορούσε τη μεταβολή του βαθμού κορεσμού μέσα από την οποία μεταβαλλόταν ο κυκλοφοριακός φόρτος. Κατά τη προσέγγιση αυτή ακολουθήθηκε η μεθοδολογία και πραγματοποιήθηκαν οι υπολογισμοί που αναφέρθηκαν στην ενότητα 2.2.1. Κατά τους υπολογισμούς που πραγματοποιήθηκαν, η προσέγγιση αυτή είχε ως αποτέλεσμα όλο και χαμηλότερους φόρτους για τον δευτερεύοντα άξονα, κάτι που δεν συνέβαλε στη δημιουργία ρεαλιστικών κυκλοφοριακών συνθηκών, ιδίως στα σενάρια με τους υψηλότερους φόρτους. Η αιτία για αυτά τα αποτελέσματα ήταν η μείωση της κυκλοφοριακής ικανότητας των δευτερευουσών κινήσεων με την αύξηση των φόρτων.

Τελικά, επιλέχθηκε να χρησιμοποιηθούν οι κυκλοφοριακοί φόρτοι αντί των βαθμών κορεσμού ως παράμετρος φόρτισης του κόμβου για διαφορετικά σενάρια, καθώς παρατηρήθηκε ότι η κυκλοφοριακή ικανότητα των δευτερευουσών κινήσεων με βάση την προσομοίωση από το AIMSUN διαφέρει σημαντικά από αυτή που προκύπτει από τα αναλυτικά πρότυπα που αναλύθηκαν στην ενότητα 2.2.1. Έτσι, με τη προσέγγιση αυτή επιτεύχθηκαν ρεαλιστικές κυκλοφοριακές συνθήκες για όλα τα σενάρια που σχεδιάστηκαν.

Δοκιμές για τον αριθμό επαναλήψεων στα δυναμικά σενάρια:

Ο αριθμός των επαναλήψεων της προσομοίωσης ενός σεναρίου είναι ένα μέγεθος που πρέπει να προσδιοριστεί. Χαμηλός αριθμός επαναλήψεων θα έχει ως αποτέλεσμα λιγότερο ακριβή αποτελέσματα, ενώ υψηλός αριθμός επαναλήψεων έχει υψηλό χρόνο προσομοίωσης. Κατά συνέπεια, αναζητείται ο ελάχιστος αριθμός επαναλήψεων πέρα από τον οποίο οι διαφορές μεταξύ των μέσων όρων των μεγεθών που εξετάζονται δεν είναι στατιστικά σημαντικός. Για τον σκοπό αυτό, αρχικά πραγματοποιήθηκαν 20 επαναλήψεις και ως μέγεθος εξέτασης τέθηκε η μέση καθυστέρηση της κάθε κίνησης. Πραγματοποιήθηκαν προσομοιώσεις σε χαμηλό, μεσαίο και υψηλό φόρτο και αναλύθηκαν τα αποτελέσματα με βάση το μέγεθος της μέσης καθυστέρησης για κάθε κίνηση. Ενδεικτικά, στη παρούσα ενότητα παρουσιάστηκαν τα αποτελέσματα για χαμηλό και υψηλό φόρτο για δύο κινήσεις: μία κίνηση προτεραιότητας (κίνηση 2, βλ. σχήμα 3.42) και μία που παραχωρεί προτεραιότητα (κίνηση 9). Για κάθε αριθμό επαναλήψεων υπολογίστηκε ο μέσος όρος καθυστέρησης και τα αποτελέσματα για τις κινήσεις 2 και 9 σε συνθήκες χαμηλού και υψηλού φόρτου παρουσιάζονται στα παρακάτω σχήματα.



Σχήμα 3.42- Ανάλυση της ευθείας κίνησης δυτικής πρόσβασης του κόμβου προτεραιότητας T σε μεσαίο φόρτο ως προς 20 επαναλήψεις

Όπως παρουσιάζεται στο διάγραμμα η συνεισφορά κάθε επόμενης επανάληψης σε καθυστέρηση τείνει να σταθεροποιηθεί από την 15^η επανάληψη και μετά. Ομοίως, στο επόμενο διάγραμμα που αφορά την ίδια κίνηση σε συνθήκες υψηλού φόρτου, η σταθεροποίηση ξεκινά μετά τη 13^η-14^η επανάληψη. Και στις δύο περιπτώσεις παρατηρούνται έντονες διακυμάνσεις έως τις 7-8 πρώτες επαναλήψεις.



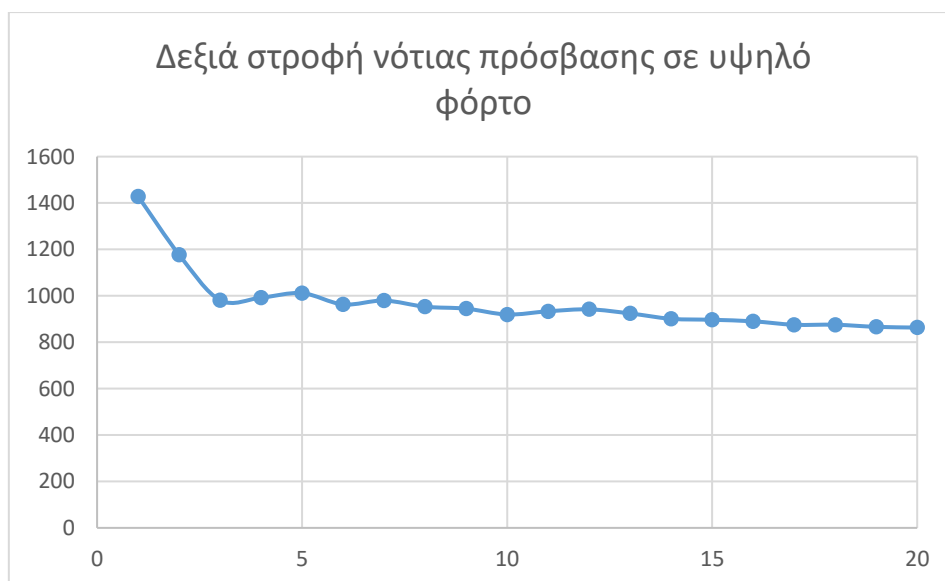
Σχήμα 3.43- Ανάλυση της ευθείας κίνησης δυτικής πρόσβασης του κόμβου προτεραιότητας T σε πολύ υψηλό φόρτο ως προς 20 επαναλήψεις

Παρακάτω παρουσιάζονται οι τιμές για τη κίνηση 9 σε χαμηλό φόρτο, όπου η τάση συνεισφοράς των επαναλήψεων έχει υποστεί μεγάλες διακυμάνσεις, ενώ φαίνεται πως σταθεροποιείται από την 13^η επανάληψη και μετά.



Σχήμα 3.44- Ανάλυση της δεξιάς στροφής της νότιας πρόσβασης του κόμβου προτεραιότητας T σε μεσαίο φόρτο ως προς 20 επαναλήψεις

Στο παρακάτω σχήμα παρουσιάζεται η διακύμανση των επαναλήψεων της κίνησης 9 σε υψηλό φόρτο. Δεν παρατηρούνται μεγάλες διακυμάνσεις όπως το προηγούμενο σχήμα και οι τιμές σταθεροποιούνται από τη 5^η κιόλας επανάληψη.



Σχήμα 3.45- Ανάλυση της δεξιάς στροφής της νότιας πρόσβασης του κόμβου προτεραιότητας T σε πολύ υψηλό φόρτο ως προς 20 επαναλήψεις

Όπως προαναφέρθηκε η ανάλυση αυτή πραγματοποιήθηκε και στις υπόλοιπες κινήσεις του κόμβου, δηλαδή στις κινήσεις 3, 5, 4 και 7, όπου παρατηρήθηκε το ίδιο φαινόμενο δηλαδή αρχικά υπήρχαν μεγάλες διακυμάνσεις και προς την 20^η επανάληψη επικρατούσε σταθερότητα. Για το λόγο αυτό λοιπόν, πραγματοποιήθηκαν 20 επαναλήψεις. Να σημειωθεί επίσης το γεγονός ότι δύναται σε κάποια δυναμικά σενάρια η τάση συνεισφοράς των επαναλήψεων να σταθεροποιούνται πολύ νωρίτερα από τις 20 επαναλήψεις ή αργότερα από αυτές και να έπρεπε να επιλεγθούν 15 ή 25 επαναλήψεις αντίστοιχα. Οι 20 επαναλήψεις που επιλέχθηκαν αφορούσαν τον μέσο όρο σταθεροποίησης της τάσης αυτής σε όλα τα δυναμικά σενάρια.

Δοκιμές για τις ακραίες τιμές των παραμέτρων επιρροής:

Στη συνέχεια πραγματοποιήθηκαν δοκιμές σχετικά με τις οριακές τιμές της παραμέτρου ευαισθησίας (sensitivity factor) και του μέγιστου χρόνου παραχώρησης προτεραιότητας (max give-way time).

Όπως αναφέρθηκε στον σχεδιασμό των σεναρίων, η παράμετρος ευαισθησίας εξετάστηκε για τιμές από 0.5 έως 1.5 με βήμα 0.2, αλλά συμπεριλαμβανομένης και της προεπιλεγμένης τιμής 1. Η παράμετρος αυτή συνδέει τις επιβραδύνσεις μεταξύ δύο διαδοχικών οχημάτων και τη συμπεριφορά του ακολουθούντος οχήματος σε σχέση με το προπορευόμενο. Βάσει του τύπου $d'(n-1) = d(n-1) * \alpha$, όταν η παράμετρος α παίρνει τιμή χαμηλότερη του 1, τότε ο οδηγός του ακολουθούντος υποτιμά την επιβράδυνση του προπορευόμενου οχήματος ενώ όταν παίρνει τιμή μεγαλύτερη του 1, την υπερτιμά. Κατά συνέπεια, καθώς είναι αναγκαίο να διερευνηθούν και οι δύο αυτές συμπεριφορές το εύρος τιμών θα λάμβανε τιμές τόσο χαμηλότερες όσο και υψηλότερες από 1. Η ακραία τιμή 0 δεν είχε νόημα στην εφαρμογή της παραπάνω σχέσης αφού δηλώνει ότι μηδενίζεται η επιβράδυνση, κάτι που πρακτικά δεν συμβαίνει. Η τιμή που επιλέχθηκε για κάτω όριο ήταν τελικά το 0.5. Όσον αφορά την άνω ακραία τιμή, πραγματοποιήθηκαν δοκιμές δίνοντας τιμές από 1 έως 5. Όπως παρουσιάζεται στον παρακάτω πίνακα, όπου επιλέχθηκαν τα σενάρια μεσαίου και υψηλού φόρτου (σενάρια 2 και 3), τα αποτελέσματα καθυστερήσεων πέραν της τιμής 1.5 για την παράμετρο ευαισθησίας δεν είναι αναμενόμενα. Πιο αναλυτικά, όσο αυξάνεται η παράμετρος ευαισθησίας τόσο μεγαλύτερες καθυστερήσεις αναμένουμε στις κινήσεις που έχουν χαμηλή προτεραιότητα αφού τα οχήματα κινούνται με μεγάλα διάκενα μεταξύ τους, αλλά όχι τόσο μεγάλα ώστε τα οχήματα των άλλων κινήσεων να μπορούν να διασχίσουν τον κόμβο. Ο παρακάτω πίνακας είναι χωρισμένος σε σενάρια φόρτων. Στα αποτελέσματα καθυστερήσεων για τους μεσαίους φόρτους, παρατηρείται ότι οι καθυστερήσεις στις κινήσεις 9 και 7 που παραχωρούν προτεραιότητα, μειώνονται καθώς αυξάνεται η τιμή της παραμέτρου ευαισθησίας σε 2.5. Το γεγονός αυτό δεν είναι αναμενόμενο, αφού με την αύξηση της τιμής της παραμέτρου αναμένεται αύξηση των καθυστερήσεων στις κινήσεις αυτές καθώς η εύρεση διακένων δυσχεραίνεται. Δεν ισχύει το ίδιο για τη τιμή 5 της παραμέτρου αυτής, όπου τα αποτελέσματα δείχνουν αναμενόμενα. Σχετικά με τα αποτελέσματα του υψηλού φόρτου, οι καθυστερήσεις αυξάνονται σε τέτοιο βαθμό που παύουν να είναι σημαντικές για διερεύνηση. Για τους λόγους αυτούς, επιλέχθηκε το εύρος διερεύνησης της παραμέτρου ευαισθησίας σε 0.5 έως 1.5.

Πίνακας 3.3- Δοκιμή τιμών Sensitivity factor 1.5, 2.5, 5 στο σενάριο μεσαίων και υψηλών φόρτων του κόμβου T μίας λωρίδας

Σενάριο φόρτου	Κίνηση	Sensitivity factor: 1.5	Sensitivity factor: 2.5	Sensitivity factor: 5
Μεσαίος φόρτος	2	32.9	33.9	35.2
	3	34.0	34.1	35.2
	5	39.3	40.1	43.8
	4	43.5	45.7	50.4
	9	86.1	67.8	96.2
	7	94.6	80.3	110.7
Υψηλός φόρτος	2	41.6	44.2	47.0
	3	43.1	45.3	48.2
	5	70.5	339.5	563.5
	4	70.6	342.0	559.7

	9	826.1	1284.8	1337.5
	7	876.1	1318.3	1382.2

Σχετικά με τις τιμές της παραμέτρου μέγιστου χρόνου παραχώρησης προτεραιότητας, λήφθηκαν από τους Ciuffo et al. (2014), οι οποίοι ασχολήθηκαν εκτενώς με την ανάλυση ευαισθησίας τέτοιων παραμέτρων του AIMSUN. Στη διερεύνηση που πραγματοποίησαν, χρησιμοποίησαν τιμές εύρους 1 έως 50 δευτερόλεπτα με βήμα 10 δευτερολέπτων.

3.2.3 Σενάρια προσομοίωσης

Σε αυτήν την υποενότητα σχεδιάζονται τα τελικά σενάρια λαμβάνοντας υπόψη τις δοκιμές για τον προσδιορισμό των τιμών των σεναρίων που προηγήθηκαν.

Τύπος κόμβου:

Οι δύο τύποι κόμβων που σχεδιάστηκαν είναι ο κόμβος προτεραιότητας T και ο κυκλικός κόμβος. Ουσιαστικά, το αντικείμενο της εργασίας αποτελεί η σύγκριση της απόδοσης των δύο αυτών τύπων, ως προς βασικά μεγέθη όπως η μέση καθυστέρηση και ο μέσος χρόνος μετακίνησης.

Πίνακας 3.4- Σενάρια τύπου κόμβου

Σενάριο	Τύπος κόμβου
1	Ισόπεδος κόμβος προτεραιότητας T
2	Κυκλικός κόμβος τριών κλάδων

Αριθμός λωρίδων κυκλοφορίας:

Επιπλέον διαφοροποίηση στον σχεδιασμό των κόμβων αποτελεί ο αριθμός λωρίδων κυκλοφορίας. Ουσιαστικά, στους δύο τύπους κόμβων μίας λωρίδας (ισόπεδος προτεραιότητας T και κυκλικός), προστίθεται μία λωρίδα. Η προσθήκη επιπλέον λωρίδας κυκλοφορίας δίνει τη δυνατότητα αλλαγής λωρίδας και προσπέρασης οχημάτων με χαμηλότερες ταχύτητες κίνησης πλέον των οχημάτων που αναμένουν διάκενα στις προσβάσεις του κόμβου, αλλάζοντας έτσι τη δυναμική των οχημάτων και πιθανώς και τη λειτουργία του κόμβου. Επιπλέον με αυτόν τον τρόπο η αριστερή στροφή (2^ο επίπεδο προτεραιότητας) με πινακίδα παραχώρησης προτεραιότητας GIVEWAY δεν εμποδίζει την ευθεία κίνηση της ίδιας λωρίδας (1^ο επίπεδο προτεραιότητας).

Πίνακας 3.5- Σενάρια προσθήκης αλλαγής λωρίδας

Σενάριο	Κόμβος
1	Ισόπεδος προτεραιότητας T μίας λωρίδας
2	Ισόπεδος προτεραιότητας T δύο λωρίδων
3	Κυκλικός κόμβος T (τριών κλάδων) μίας λωρίδας
4	Κυκλικός κόμβος T (τριών κλάδων) δύο λωρίδων

Κυκλοφοριακός φόρτος:

Ο κυκλοφοριακός φόρτος χρησιμοποιήθηκε για να μελετηθεί η απόδοση του κόμβου σε διαφορετικές συνθήκες κυκλοφορίας. Αρχικά πραγματοποιήθηκαν προσομοιώσεις στις οποίες καθοριζόταν ο βαθμός κορεσμού μέσω του οποίου μεταβαλλόταν ο φόρτος, τα αποτελέσματα όμως δεν ήταν ακριβή καθώς η κυκλοφοριακή ικανότητα που υπολογιζόταν από τα αναλυτικά μοντέλα δεν ανταποκρινόταν σε αυτή που προέκυπτε από την προσομοίωση του κόμβου (ενότητα 3.2.2) και κατά συνέπεια επιλέχθηκε η μεταβολή του φόρτου και ο προσδιορισμός του σε χαμηλό, μεσαίο, υψηλό και πολύ υψηλό με βάση τη ροή κορεσμού των οδικών τμημάτων. Ειδικότερα, στον δευτερεύοντα άξονα δημιουργήθηκαν δύο θεωρήσεις όσον αφορά τους κυκλοφοριακούς φόρτους. Η πρώτη είναι ότι ο φόρτος του δευτερεύοντα άξονα αποτελεί το 50% του πρωτεύοντα άξονα των αντίστοιχων δυτικών και ανατολικών προσβάσεων και η δεύτερη ότι αποτελεί το 30% αυτού. Στις προσβάσεις του κύριου άξονα, όσον αφορά την αναλογία κινήσεων, θεωρήθηκε ότι το 80% των κινήσεων κινούνται ευθεία και το 20% πραγματοποιούν στροφή (είτε δεξιά, είτε αριστερά), ενώ στον δευτερεύοντα άξονα το ποσοστό των στρεφουσών κινήσεων είναι 50% αριστερά και 50% δεξιά.

Συνοψίζοντας, τα σενάρια που σχεδιάστηκαν όσον αφορά τους κυκλοφοριακούς φόρτους σε όλους τους κόμβους είναι:

Πίνακας 3.6- Σενάρια κυκλοφοριακών φόρτων

Σενάριο	Πρόσβαση	Κυκλοφοριακός φόρτος (οχήματα/ώρα)	Αναλογία κινήσεων (%)	Θεώρηση
Κόμβοι μίας λωρίδας				
1	Ανατολική/Δυτική	300	80-20	1 ^η Θεώρηση: Νότιος φόρτος το 50% του Ανατολικού/ Δυτικού
	Νότια	150	50-50	
2	Ανατολική/Δυτική	600	80-20	
	Νότια	300	50-50	
3	Ανατολική/Δυτική	900	80-20	
	Νότια	450	50-50	
4	Ανατολική/Δυτική	1200	80-20	
	Νότια	600	50-50	
5	Ανατολική/Δυτική	300	80-20	2 ^η Θεώρηση: Νότιος φόρτος το 30% του Ανατολικού/ Δυτικού
	Νότια	90	50-50	
6	Ανατολική/Δυτική	600	80-20	
	Νότια	180	50-50	
7	Ανατολική/Δυτική	900	80-20	
	Νότια	270	50-50	
8	Ανατολική/Δυτική	1200	80-20	
	Νότια	360	50-50	
Κόμβοι δύο λωρίδων				
1	Ανατολική/Δυτική	600	80-20	1 ^η Θεώρηση: Νότιος φόρτος το 50% του Ανατολικού/ Δυτικού
	Νότια	300	50-50	
2	Ανατολική/Δυτική	1200	80-20	
	Νότια	600	50-50	
3	Ανατολική/Δυτική	1800	80-20	
	Νότια	900	50-50	
4	Ανατολική/Δυτική	2400	80-20	

	Νότια	1200	50-50	2 ^η Θεώρηση: Νότιος φόρτος το 30% του Ανατολικού/ Δυτικού
5	Ανατολική/Δυτική	600	80-20	
	Νότια	180	50-50	
6	Ανατολική/Δυτική	1200	80-20	
	Νότια	360	50-50	
7	Ανατολική/Δυτική	1800	80-20	
	Νότια	540	50-50	
8	Ανατολική/Δυτική	2400	80-20	
	Νότια	720	50-50	

Παράμετρος ευαισθησίας (Sensitivity Factor):

Το συγκεκριμένο μέγεθος αποτελεί παράμετρο του μοντέλου ακολουθίας οχήματος (car-following model), και πρόκειται για την εκτίμηση που κάνει ο οδηγός ενός οχήματος όσον αφορά την επιβράδυνση του προπορευόμενου οχήματος. Η παράμετρος αυτή εκφράζει, ουσιαστικά, το πόσο “ευαίσθητος” είναι ένας οδηγός στην επιβράδυνση του προπορευόμενου του οχήματος. Η προεπιλεγμένη τιμή που ορίζει το λογισμικό AIMSUN είναι το 1 όσον αφορά τον μέσο όρο, τη μέγιστη και ελάχιστη τιμή (η τυπική απόκλιση είναι 0). Η εκτίμηση της επιβράδυνσης αυτής από τον οδηγό είναι μια συνάρτηση της παραμέτρου α :

$$d'(n - 1) = d(n - 1) * \alpha.$$

Όταν η παράμετρος α είναι μικρότερη από το 1, ο οδηγός υποτιμά την επιβράδυνση του οχήματος και ως εκ τούτου γίνεται πιο “επιθετικός”, μειώνοντας τον διαχωρισμό του με το προπορευόμενο του όχημα. Όταν το α είναι μεγαλύτερο του 1, ο οδηγός υπερεκτιμά την επιβράδυνση του μπροστινού οχήματος και ως εκ τούτου γίνεται πιο “προσεκτικός”, αυξάνοντας τον διαχωρισμό με το προπορευόμενο όχημα.

Η συγκεκριμένη παράμετρος αποτελεί δείκτη συμπεριφοράς του οδηγού και εμπεριέχεται στις παραμέτρους του μοντέλου ακολουθίας οχήματος. Το εύρος των τιμών που επιλέχθηκαν να μελετηθούν είναι από 0.5 έως 1.5 ανά 0.2 αλλά συμπεριλαμβανομένης και της προεπιλεγμένης τιμής (1). Αυτό επιλέχθηκε καθώς έπρεπε να αναλυθεί και η υπερεκτίμηση της επιβράδυνσης του προπορευόμενου οχήματος από τον οδηγό (παράμετρος ευαισθησίας μεγαλύτερος από 1), αλλά και η υποτίμηση (παράμετρος ευαισθησίας μικρότερους από 1). Όσον αφορά τις οριακές τιμές, επιλέχθηκαν οι 0.5 και 1.5 με βάση τα αποτελέσματα δοκιμών (βλ. ενότητα 3.2.2). Ο παρακάτω πίνακας παρουσιάζει τα σενάρια της παραμέτρου αυτής:

Πίνακας 3.7- Σενάρια παραμέτρου ευαισθησίας

Σενάριο	Παράμετρος ευαισθησίας
1	0,5
2	0,7
3	0,9
4	1
5	1,1
6	1,3
7	1,5

Μέγιστος χρόνος παραχώρησης προτεραιότητας (maximum give-way time):

Το μέγεθος του μέγιστου χρόνου παραχώρησης προτεραιότητας αφορά τα οχήματα που πραγματοποιούν κινήσεις οι οποίες έχουν σήμανση για παραχώρηση προτεραιότητας (πινακίδα GIVEWAY ή STOP). Αποτελεί την οριακή τιμή του χρονικού διαστήματος αναμονής, πάνω από το οποίο ο οδηγός γίνεται “επιθετικός” αναζητώντας πολύ μικρότερα διάκενα. Η προεπιλεγμένη μέση τιμή που ορίζει το AIMSUN για τον μέγιστο χρόνο παραχώρησης είναι 10 δευτερόλεπτα με τυπική απόκλιση 2.5 δευτερόλεπτα. Η ελάχιστη τιμή ορίζεται στα 5 και η μέγιστη στα 15 δευτερόλεπτα. Για παράδειγμα, εάν ένα όχημα καταφθάνει στον κόμβο και αναμένει στη πινακίδα STOP (3^ο επίπεδο προτεραιότητας) πάνω από 10 δευτερόλεπτα, τότε ο οδηγός θα γίνει “νευρικός” και αποφασισμένος να μη δώσει προτεραιότητα σε ένα όχημα που έχει πινακίδα GIVE WAY (2^ο επίπεδο προτεραιότητας) πραγματοποιώντας ελιγμό με μικρότερο διάκενο από ότι θα αναζητούσε φυσιολογικά.

Στη παρούσα εργασία, το εύρος των μέσων τιμών που μελετήθηκαν για την παράμετρο αυτή είναι από 1 έως 50 δευτερόλεπτα με βήμα 10 δευτερόλεπτα. Αυτό προέκυψε από την ανάλυση ευαισθησίας των Ciuffo et al. (2014). Στον παρακάτω πίνακα φαίνονται συγκεντρωμένα οι μέσες τιμές της παραμέτρου, οι τυπικές αποκλίσεις καθώς και τα μέγιστα και ελάχιστα που χρησιμοποιήθηκαν για τη μελέτη των σεναρίων.

Πίνακας 3.8- Σενάρια μέγιστου χρόνου παραχώρησης

Σενάριο	Μέση τιμή μέγιστου χρόνου παραχώρησης (δευτερόλεπτα)	Τυπική απόκλιση μέγιστου χρόνου παραχώρησης (δευτερόλεπτα)	Ελάχιστη τιμή μέγιστου χρόνου παραχώρησης (δευτερόλεπτα)	Μέγιστη τιμή μέγιστου χρόνου παραχώρησης (δευτερόλεπτα)
1	1	0,5	0,5	1,5
2	10	2,5	5	15
3	20	2,5	15	25
4	30	2,5	25	35
5	40	2,5	35	45
6	50	2,5	45	55

Λαμβάνοντας υπόψη όλες τις παραμέτρους επιρροής που αναφέρθηκαν και συνδυάζοντας το πίνακα κάθε παραμέτρου προκύπτει ο τελικός πίνακας των σεναρίων:

Πίνακας 3.9- Τελικός πίνακας σεναρίων

Τύπος κόμβου	Λωρίδες κυκλοφορίας στον κόμβο (ανά κλάδο)	Κυκλοφοριακός φόρτος (οχ/ώρα)			Παράμετρος ευαισθησίας	Μέγιστος χρόνος παραχώρησης προτεραιότητας (s)
		Ανατολική πρόσβαση	Δυτική πρόσβαση	Νότια πρόσβαση		

Προτεραιότητας T	1	300, 600, 900, 1200	300, 600, 900, 1200	150, 300, 450, 600, 90, 180, 270, 360	0.5, 0.7, 0.9, 1, 1.1, 1.3, 1.5	1, 10, 20, 30, 40, 50
Προτεραιότητας T	2	600, 1200, 1800, 2400	600, 1200, 1800, 2400	300, 600, 900, 1200, 180, 360, 540, 720	0.5, 0.7, 0.9, 1, 1.1, 1.3, 1.5	1, 10, 20, 30, 40, 50
Κυκλικός	1	300, 600, 900, 1200	300, 600, 900, 1200	150, 300, 450, 600, 90, 180, 270, 360	0.5, 0.7, 0.9, 1, 1.1, 1.3, 1.5	1, 10, 20, 30, 40, 50
Κυκλικός	2	600, 1200, 1800, 2400	600, 1200, 1800, 2400	300, 600, 900, 1200, 180, 360, 540, 720	0.5, 0.7, 0.9, 1, 1.1, 1.3, 1.5	1, 10, 20, 30, 40, 50

Τα σενάρια προκύπτουν από συνδυασμούς του παραπάνω πίνακα. Αρχικά επιλέγεται ο τύπος κόμβου, ακολούθως ο αριθμός των λωρίδων του σε κάθε κλάδο, στη συνέχεια οι φόρτοι ανά πρόσβαση και τέλος οι παράμετροι ευαισθησίας και μέγιστου χρόνου παραχώρησης προτεραιότητας. Κάθε κόμβος έχει $6 \cdot 7 = 42$ συνδυασμούς όσον αφορά τις δύο τελευταίες στήλες του πίνακα και αν αυτοί εφαρμοστούν σε όλους τους συνδυασμούς των φόρτων που είναι 8, έχουμε $42 \cdot 8 = 336$ σενάρια. Να σημειωθεί ότι για κάθε σενάριο πραγματοποιήθηκαν 20 επαναλήψεις (replications) και λήφθηκε υπόψη ο μέσος όρος τους (average). Οπότε, τα 336 σενάρια εφαρμόστηκαν και στους 4 κόμβους, άρα στο σύνολο πραγματοποιήθηκαν 1344 προσομοιώσεις.

3.3 Εξαγωγή αποτελεσμάτων της προσομοίωσης σεναρίων

Μετά το πέρας κάθε προσομοίωσης μιας αναπαραγωγής (replication) και κατ' επέκταση ενός δυναμικού σεναρίου ή περισσότερων, δημιουργείται μία βάση δεδομένων των αποτελεσμάτων που περιέχει εκτενείς πληροφορίες σχετικά με όλες τις προσομοιώσεις που

εκτελέστηκαν. Οι πληροφορίες που θα περιέχει το αρχείο αποτελεσμάτων, ρυθμίζονται εντός του προγράμματος AIMSUN στο φάκελο ρυθμίσεων των σεναρίων. Εκεί επιλέγεται δηλαδή, αν το αρχείο θα περιέχει πληροφορίες σχετικά με τυχόν υποκατηγορίες των βασικών διαδρομών (subpaths) που έχουν δημιουργηθεί στο δίκτυο ή σχετικά τα χρονικά διαστήματα (time intervals) του χρόνου προσομοίωσης κλπ. Για παράδειγμα στη παρούσα εργασία τα χρονικά διαστήματα ήταν των 10 λεπτών και αφού ο χρόνος προσομοίωσης ορίστηκε στη 1 ώρα, είχαμε 6 χρονικά διαστήματα. Υπάρχει επίσης η δυνατότητα επιλογής στοιχείων για τους πίνακες προέλευσης-προορισμού, για κυκλοφοριακές καταστάσεις (traffic states) ή στοιχεία που καταγράφηκαν από ανιχνευτές κυκλοφορίας, εάν υπήρξαν.

Ειδικότερα, η βάση δεδομένων που παράγεται κατά τη μικροσκοπική προσομοίωση περιέχει κατηγοριοποιημένους πίνακες με βάση διάφορα στοιχεία του δικτύου όπως τον κόμβο, τις στρόφες, τις λωρίδες κλπ. Αναλυτικότερα οι πίνακες που καθορίζονται στα αποτελέσματα της βάσης του AIMSUN είναι οι εξής: MISYS, MISECT, MILANE, MITURN, MINODE, MIDETEC, MICENT_O, MICENT_D, MIODPAIR, MIPT, MISUBPATH, MICONTROLTURN, MICONTROLSIGNAL, MICONTROLMETERING, MICONTROLPHASE, MICONTROLPHASEEVENTS, MITRAFFICMANAGEMENT, MISYSPO, MISECTPO, MITURNPO, MICENTPO_O, MICENTPO_D, MISUBPATHPO, MIPTPO, DETEQUIPVEH, MIVENHTRAJECTORY, MIVENSECTTRAJECTORY, MIVENHDETAILEDTRAJECTORY, MICONTROLTURN, MICONTROLSIGNAL, MICONTROLMETERING, MICONTROLPHASE, MICONTROLPHASEEVENTS και MITRAFFICMANAGEMENT. Το “MI” μπροστά από τα ονόματα των πινάκων εκφράζουν το γεγονός ότι προέρχονται από μικροσκοπική προσομοίωση.

Από τους παραπάνω πίνακες, δεν επιλέχθηκαν όλοι για την ανάλυση των αποτελεσμάτων αλλά μόνο οι MISYS και MITURN. Αυτό έγινε καθώς στη παρούσα εργασία εξετάστηκαν τόσο η λειτουργία κάθε κόμβου στο σύνολό του, όσο και η λειτουργία κάθε κίνησης στον κάθε κόμβο. Επίσης, κάθε πίνακας περιέχει στήλες που η κάθε μία αφορά διαφορετικό μέγεθος για τον κόμβο ή τη στρόφη που αναφέρεται. Ομοίως, από κάθε πίνακα δεν επιλέχθηκαν όλα τα στοιχεία αλλά μόνο αυτά που θεωρήθηκαν ότι είναι κατάλληλα για την περιγραφή του επιπέδου λειτουργίας του κόμβου.

Πιο συγκριμένα, παρακάτω παρουσιάζονται οι πίνακες καθώς και οι στήλες των αποτελεσμάτων τους που επιλέχθηκαν ώστε να ακολουθήσει στο επόμενο κεφάλαιο η σύγκριση και ανάλυσή τους. Ο πίνακας MISYS έχει την εξής μορφή:

Πίνακας 3.10- Μορφή πίνακα MISYS

Όνομα χαρακτήρα	Τύπος	Περιγραφή
did	integer	Αναγνωριστικό αναπαραγωγής ή μέσου όρου
oid	integer	Αναγνωριστικό αναπαραγωγής ή μέσου όρου
eid	character	Εξωτερικό ID της αναπαραγωγή ή του μέσου όρου
sid	integer	Τύπος οχήματος (από 0 για όλα τα οχήματα, έως τον αριθμό των οχημάτων)
ent	integer	Χρονικό διάστημα, από 1 έως N, όπου N είναι ο αριθμός των χρονικών διαστημάτων και 0 για το σύνολο όλων των διαστημάτων
ttime	double	Μέσο χρόνος μετακίνησης (δευτερόλεπτα/χιλιόμετρο)
dtime	double	Μέσος χρόνος καθυστέρησης (δευτερόλεπτα/χιλιόμετρο)

speed	double	Μέση ταχύτητα (χιλιόμετρα/ώρα)
-------	--------	--------------------------------

Ο πίνακας MITURN έχει τη παρακάτω μορφή (βάσει των στοιχείων που επιλέχθηκαν):

Πίνακας 3.11- Μορφή πίνακα MITURN

Όνομα χαρακτήρα	Τύπος	Περιγραφή
did	integer	Αναγνωριστικό αναπαραγωγής ή μέσου όρου
oid	integer	Αναγνωριστικό στροφής
eid	character	Εξωτερικό ID στροφής
sid	integer	Τύπος οχήματος (από 0 για όλα τα οχήματα, έως τον αριθμό των οχημάτων)
ent	integer	Χρονικό διάστημα, από 1 έως N, όπου N είναι ο αριθμός των χρονικών διαστημάτων και 0 για το σύνολο όλων των διαστημάτων
link_ttime	double	Μέσος χρόνος μετακίνησης στο link (δευτερόλεπτα)
link_dtime	double	Μέσος χρόνος καθυστέρησης στο link (δευτερόλεπτα)
link_speed	double	Μέση ταχύτητα στο link (χιλιόμετρα/ώρα)

Το did αναφέρεται στον κωδικό (ID) της επανάληψης (replication) ή του μέσου όρου (average). Το oid αναφέρεται στον κωδικό (ID) του αντικείμενου (object) για το οποίο εξήχθησαν τα αποτελέσματα, δηλαδή για τη περίπτωση του MISYS πίνακα το αντικείμενο είναι ο κόμβος ενώ στο MITURN αντικείμενα είναι οι στροφές του κόμβου. Το oid αφορά τον τύπο του οχήματος, δηλαδή αν είναι ΙΧ, λεωφορείο κλπ., και παίρνει τιμές 1 έως τον αριθμό των οχημάτων. Στη παρούσα εργασία εξετάζονται μόνο ΙΧ οπότε θα πάρει τιμή 1 καθώς και τη τιμή 0 που αναφέρεται στο σύνολο των οχημάτων, οπότε οι τιμές 0 και 1 ταυτίζονται αφού το σύνολο αναφέρεται στο μοναδικό τύπο οχήματος του δικτύου, το ΙΧ. Το ent αφορά στα χρονικά διαστήματα της προσομοίωσης. Όπως αναφέρθηκε, μέσω του φακέλου των δυναμικών σεναρίων, στα outputs, ορίστηκαν τα χρονικά διαστήματα σε 10 λεπτά, οπότε έχουμε 6 διαστήματα για προσομοίωση 60 λεπτών. Επομένως το ent περιέχει τιμές 1, 2, ..., 6 καθώς και τη τιμή 0 που περιέχει το σύνολο (μέσο όρο) των 6 χρονικών διαστημάτων και είναι αυτή που επιλέχθηκε για την εξαγωγή των αποτελεσμάτων. Στη συνέχεια, οι υπόλοιπες στήλες αφορούν τα μεγέθη που περιγράφουν την απόδοση των κόμβων. Επιλέχθηκαν λοιπόν ο μέσος χρόνος μετακίνησης, ο μέσος χρόνος καθυστέρησης και η μέση ταχύτητα οχημάτων.

Όσον αφορά τη περίπτωση των στηλών στον MITURN πίνακα, πρέπει να υπογραμμιστεί ότι τα μεγέθη που επιλέχθηκαν υπήρχαν εις διπλούν στις στήλες απλά χωρίς να ξεκινά η ονομασία τους με το "link_". Υπήρχε δηλαδή "flow" και "link_flow", "ttime" και "link_ttime", "dtime" και "link_dtime", κοκ. Ο λόγος που επιλέχθηκαν τα δεύτερα είναι γιατί αφορούσαν τους συνδέσμους (links), ενώ τα πρώτα αφορούσαν τις στροφές αυτές κάθε αυτές. Η διαφορά των δύο έγκειται στο γεγονός ότι τα στατιστικά στροφής παρέχουν μετρήσεις των οχημάτων όταν εκτελούν την κίνηση, ενώ τα στατιστικά συνδέσμων (links) παρέχουν μετρήσεις που αφορούν την κίνηση των οχημάτων από την αρχή του οδικού τμήματος που προσομοιώνεται μέχρι και την πραγματοποίηση της κίνησής τους εντός του κόμβου. Για το λόγο αυτό, οι συνδέσεις (links) παρέχουν την απαραίτητη πληροφορία για τη παρούσα εργασία.

4. Ανάλυση και σύγκριση αποτελεσμάτων

4.1 Γενικά

Μετά τη προσομοίωση όλων των συνδυασμών των σεναρίων για όλους τους κόμβους, προέκυψαν τα αποτελέσματα, τα οποία πρόκειται να αναλυθούν. Η ανάλυση αφορά τόσο τα αποτελέσματα στους κόμβους ανά κίνηση, όσο και τα συνολικά αποτελέσματα κάθε κόμβου. Στο τέλος θα πραγματοποιηθεί η σύγκριση ανάμεσα στα συνολικά αποτελέσματα των κόμβων ξεχωριστά και θα αποφανθεί ο λειτουργικότερος και τυχόν ομοιότητες και διαφορές μεταξύ τους. Τα σενάρια θα αξιολογηθούν με βάση τους παρακάτω λειτουργικούς δείκτες:

- Μέσος χρόνος καθυστέρησης
- Μέση ταχύτητα
- Μέσος χρόνος μετακίνησης

Σε κάθε περίπτωση κόμβου και κατ' επέκταση κίνησης, αναλύθηκαν οι τάσεις των αποτελεσμάτων και κάποια προφίλ σε σχέση με τις εξεταζόμενες παραμέτρους: κυκλοφοριακού φόρτου, παραμέτρου ευαισθησίας και μέγιστου χρόνου παραχώρησης προτεραιότητας. Τα αποτελέσματα αναλύθηκαν με δύο από τις παραπάνω παραμέτρους να μεταβάλλεται και μία να παραμένει σταθερή. Η διερεύνηση πραγματοποιήθηκε και για τους δύο τύπους κόμβων μίας και δύο λωρίδων.

4.2 Κόμβος προτεραιότητας T μίας λωρίδας

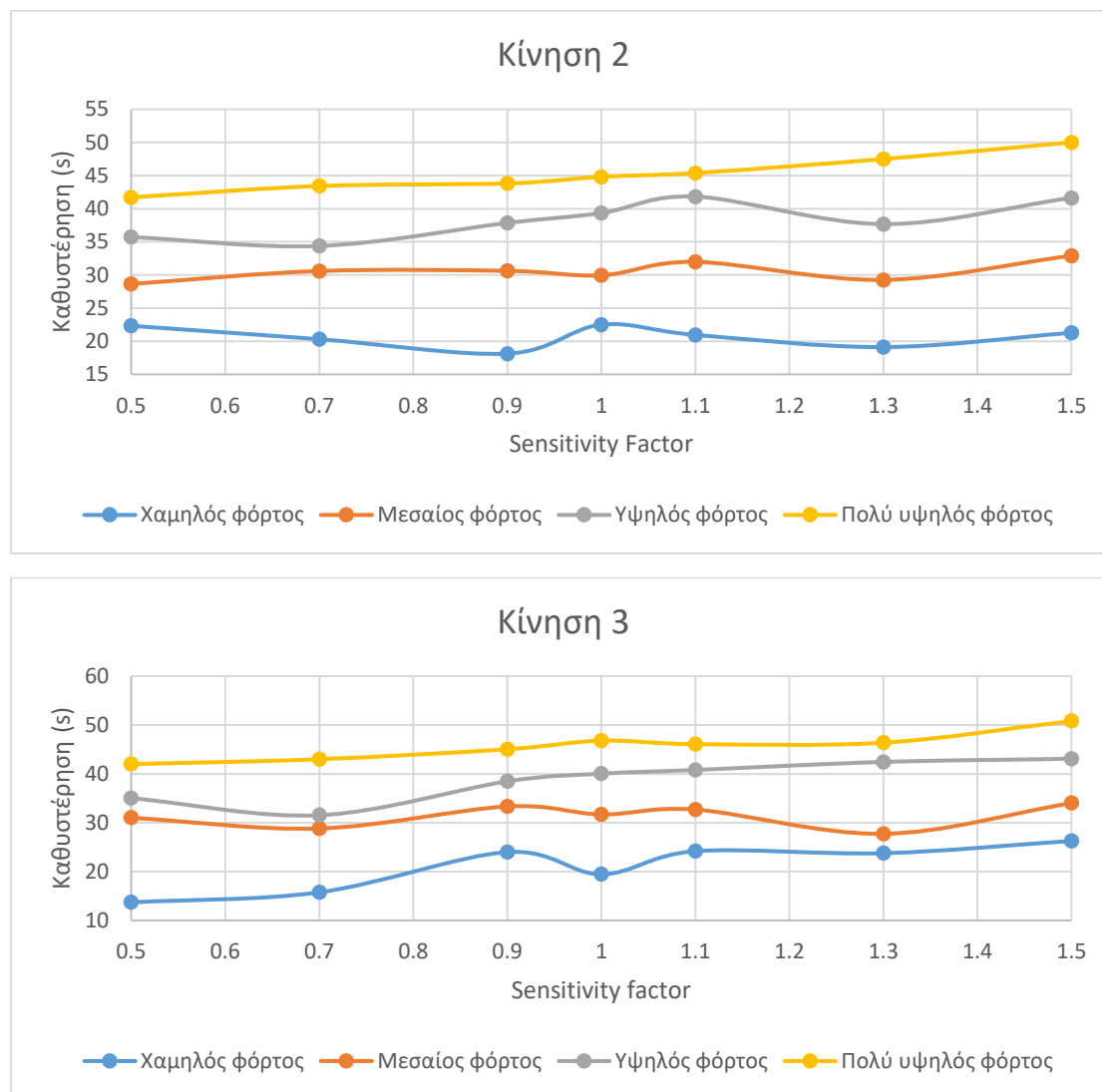
Η διερεύνηση για την επεξεργασία των αποτελεσμάτων όπως αναφέρθηκε, χωρίστηκε σε δύο κατηγορίες. Η πρώτη αφορά την ανάλυση και την τάση των αποτελεσμάτων ανά κίνηση και το πως αυτές επηρεάζονται όταν αναφερόμαστε από τη μία κίνηση στην άλλη, ενώ η δεύτερη αφορά στα συνολικά αποτελέσματα που παρουσιάζει ο κόμβος.

4.2.1 Ανάλυση ανά κίνηση

Η ανάλυση ανά κίνηση αφορά δύο διαφορετικές περιπτώσεις: την περίπτωση που μεταβάλλεται η παράμετρος ευαισθησίας (από 0.5 έως 1.5) και παραμένει σταθερός ο μέγιστος χώρος παραχώρησης προτεραιότητας σε μία τιμή εκ των 1, 10, 20, 30, 50 δευτερολέπτων και τη περίπτωση που μεταβάλλεται ο μέγιστος χρόνος αυτός (από 1 έως 50 δευτερολέπτα) και η παράμετρος ευαισθησίας παραμένει σταθερή σε κάποια τιμή εκ των 0.5, 0.7, 0.9, 1, 1.1, 1.3, 1.5. Και στις δύο περιπτώσεις ο φόρτος κυμαίνεται από χαμηλό έως πολύ υψηλό.

Μεταβαλλόμενη παράμετρος ευαισθησίας – σταθερός μέγιστος χρόνος παραχώρησης προτεραιότητας στα 10s (default)

Το πρώτο στοιχείο που παρατηρήθηκε στη περίπτωση αυτή είναι πως υπάρχει μια κατηγοριοποίηση με παρεμφερή προφίλ όσον αφορά τα αποτελέσματα και τις τάσεις των καθυστερήσεων. Πιο συγκεκριμένα, οι «ομάδες» που δημιουργήθηκαν ήταν ανά πρόσβαση δηλαδή, τα αποτελέσματα των καθυστερήσεων για τις κινήσεις της ανατολικής πρόσβασης ήταν αρκετά παραπλήσια μεταξύ τους, όπως ομοίως ήταν για τις κινήσεις της νότιας πρόσβασης. Δεν ίσχυε το ίδιο για τις κινήσεις της δυτικής πρόσβασης μεταξύ τους καθώς, όπως παρουσιάζεται, υπήρχαν κάποιες διαφοροποιήσεις.

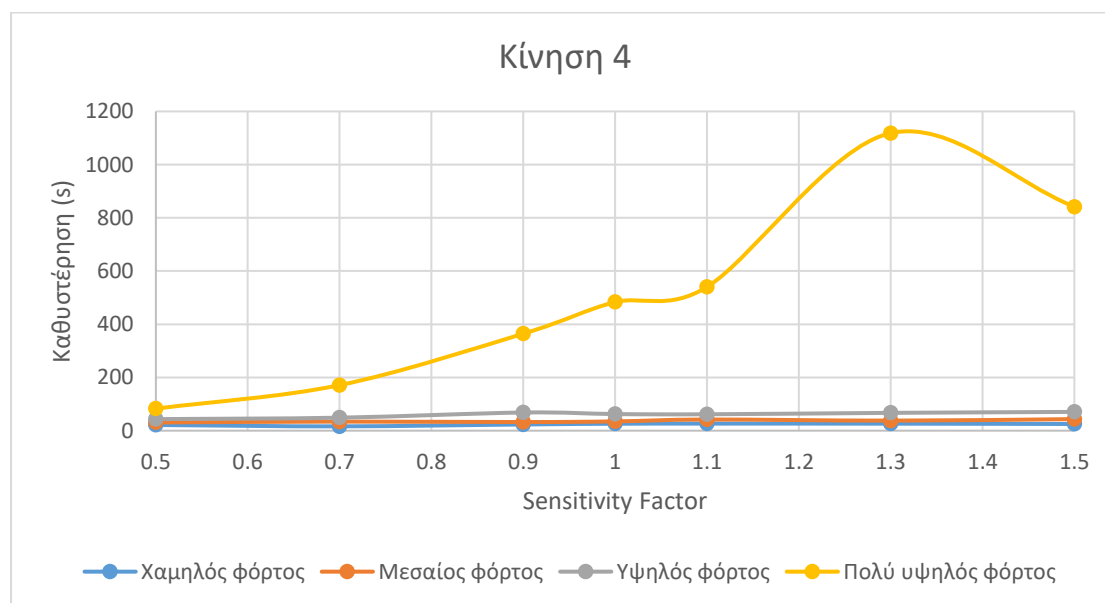
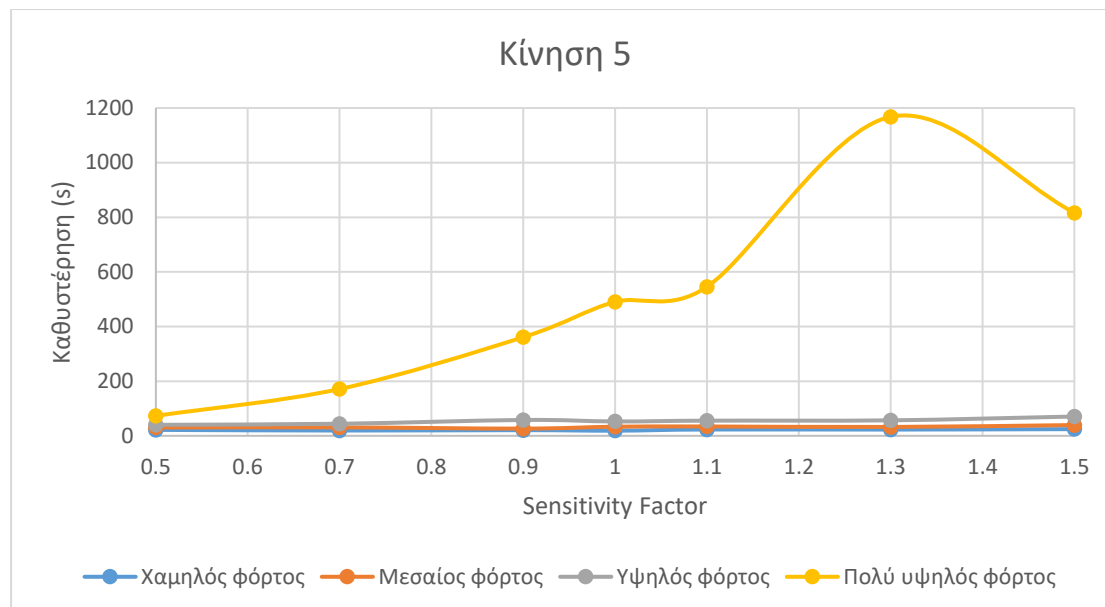


Σχήμα 4.1- Κινήσεις δυτικής πρόσβασης στον κόμβο προτεραιότητας T μίας λωρίδας (max give-way time 10s)

Παρατηρείται ότι ενώ στον πολύ υψηλό, υψηλό και μεσαίο φόρτο οι δύο κινήσεις έχουν παραπλήσιες διακυμάνσεις, δεν ισχύει το ίδιο για τον χαμηλό φόρτο. Σε αυτή τη περίπτωση, για παράμετρο ευαισθησίας 0.5 έως 1 οι κινήσεις έχουν αντίθετες τάσεις (πτωτικές για τη κίνηση 2 και αυξητικές για τη 3), ενώ στη τιμή 1 η κίνηση 2 παρουσιάζει μέγιστο, δεν ισχύει το ίδιο για τη 3. Στο εύρος τιμών 1 έως 1.5 η κίνηση 2 παρουσιάζει πτωτικές τάσεις ενώ η κίνηση 3 διατηρεί σταθερές τάσεις καθυστερήσεων. Γενικώς, και στις δύο κινήσεις οι καθυστερήσεις των πολύ υψηλών φόρτων έχουν αυξητική τάση με πολύ μικρές

διακυμάνσεις, σε σχέση με τους υπόλοιπους φόρτους. Οι υπόλοιποι φόρτοι έχουν επίσης αυξητικές τάσεις παρά τις έντονες διακυμάνσεις τους.

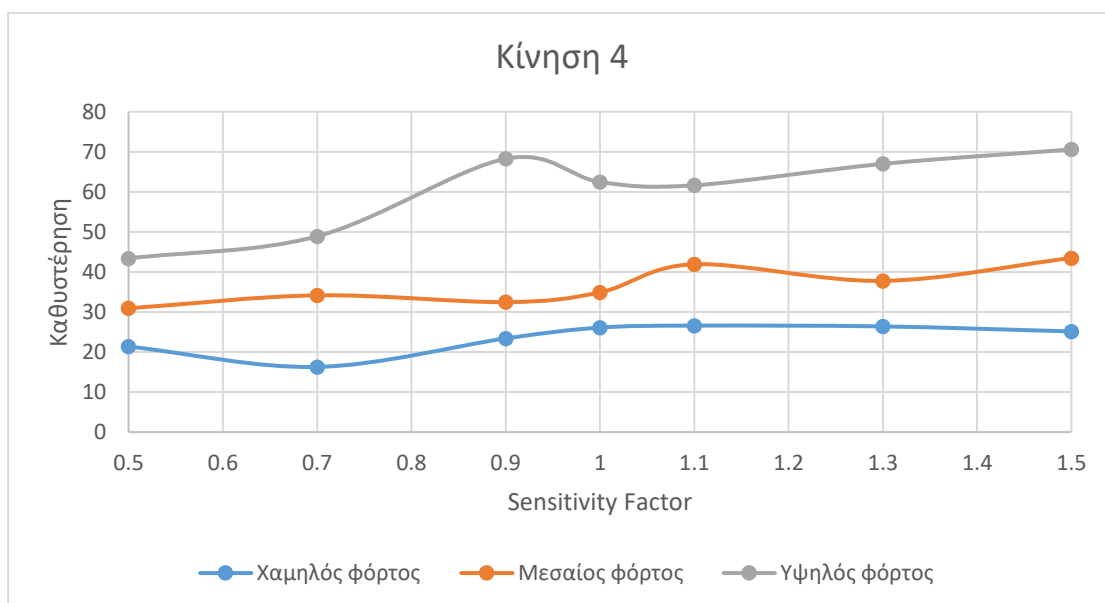
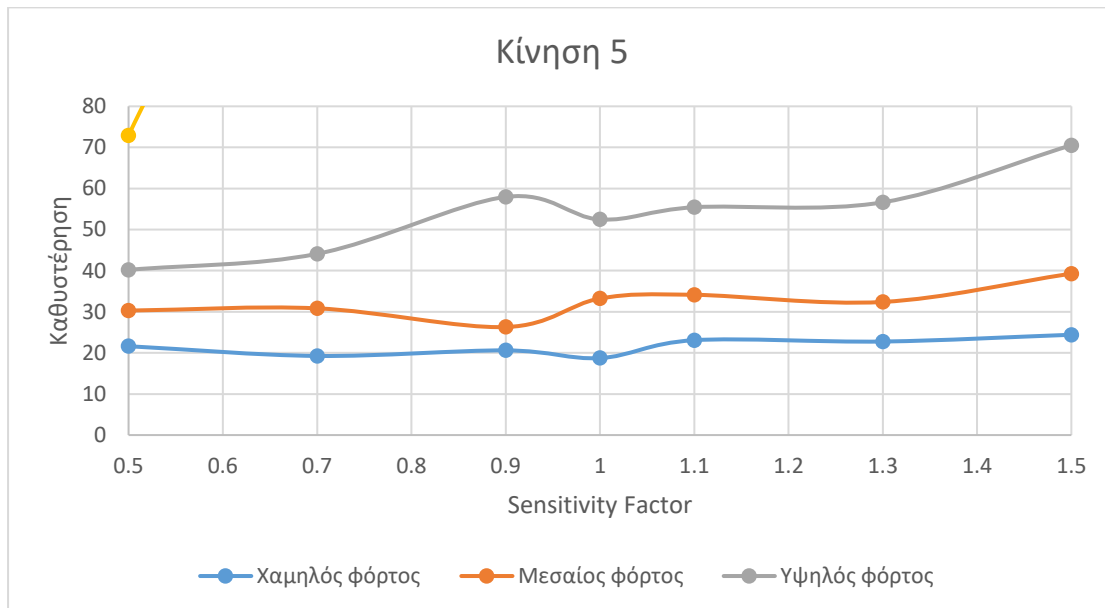
Όπως αναφέρθηκε, οι κινήσεις στην ανατολική και νότια πρόσβαση παρουσιάζουν αρκετά παραπλήσια προφίλ (μεταξύ τους ανά πρόσβαση) ειδικά στους υψηλούς και πολύ υψηλούς φόρτους:



Σχήμα 4.2- Κινήσεις ανατολικής πρόσβασης στον κόμβο προτεραιότητας T μίας λωρίδας (max give-way time 10s)

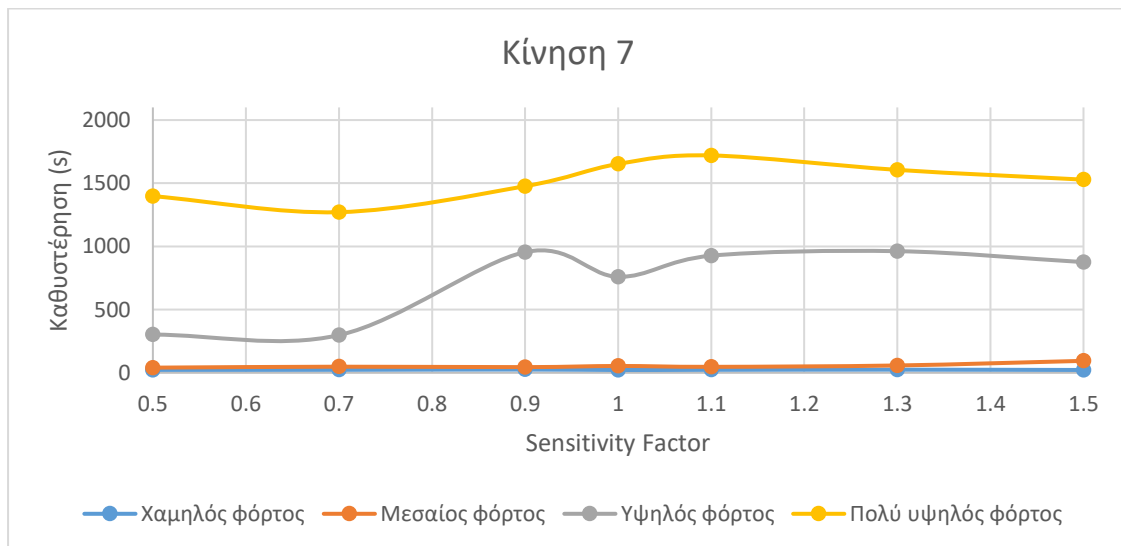
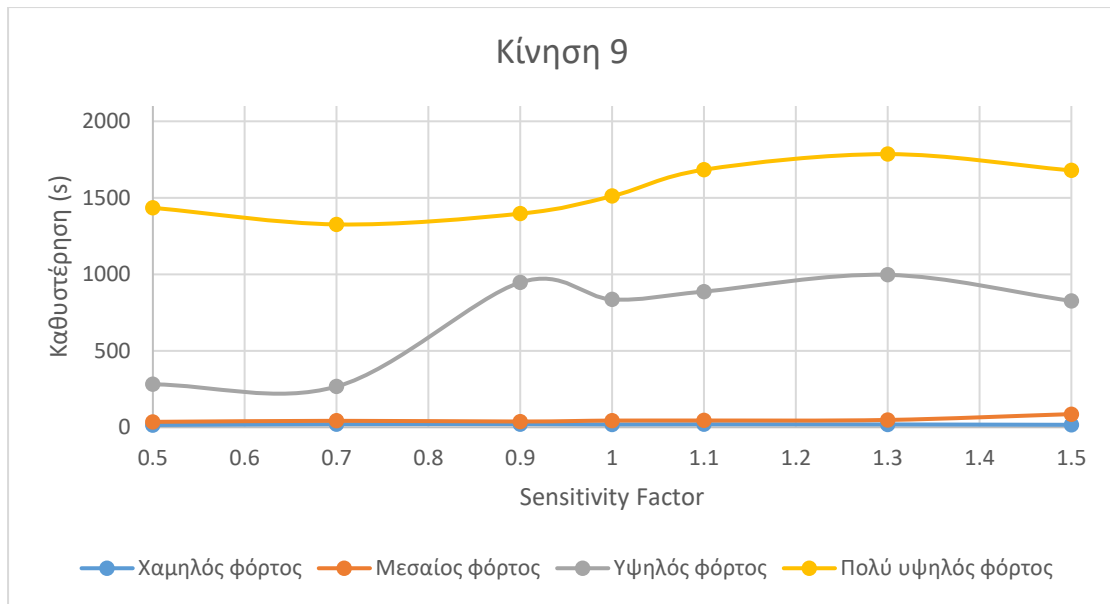
Στις παραπάνω κινήσεις της ανατολικής πρόσβασης οι καθυστερήσεις των πολύ υψηλών φόρτων ήταν εκείνοι που επηρεάστηκαν περισσότερο από όλους (σε κάθε κίνηση) κατά τη μεταβολή της παραμέτρου ευαισθησίας. Συγκεκριμένα, καθώς αυξανόταν από το 0.5 έως το 1.3 οι καθυστερήσεις στους πολύ υψηλούς φόρτους και στις δύο κινήσεις αυξήθηκαν σε πολύ μεγάλο βαθμό. Μετά τη τιμή αυτή, και έως το 1.5 οι καθυστερήσεις μειώθηκαν σημαντικά.

Οι καθυστερήσεις στους μεσαίους φόρτους είχαν έντονες διακυμάνσεις για τιμές από 0.7 έως 1 της παραμέτρου ευαισθησίας, ενώ οι καθυστερήσεις στους χαμηλούς και μεσαίους φόρτους είχαν διακυμάνσεις στο εύρος 0.9 έως 1.1.



Σχήμα 4.3- Κινήσεις ανατολικής πρόσβασης στον κόμβο προτεραιότητας T μίας λωρίδας (σε μικρότερη κλίμακα, max give-way time 10s)

Όσον αφορά τις κινήσεις της νότιας πρόσβασης, η μεταβολή της παραμέτρου ευαισθησίας επηρέασε σημαντικά τις καθυστερήσεις στους υψηλούς φόρτους. Πιο συγκεκριμένα, όπως φαίνεται παρακάτω, για τιμές από το 0.5 έως το 1 υπάρχουν μεγάλες διακυμάνσεις για τις καθυστερήσεις των υψηλών φόρτων.

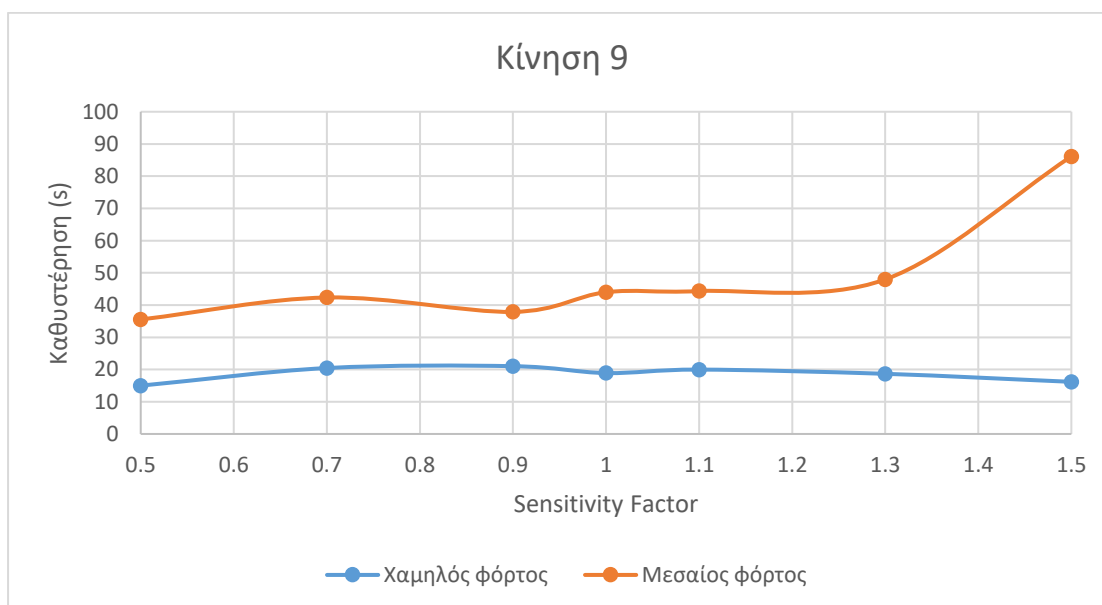
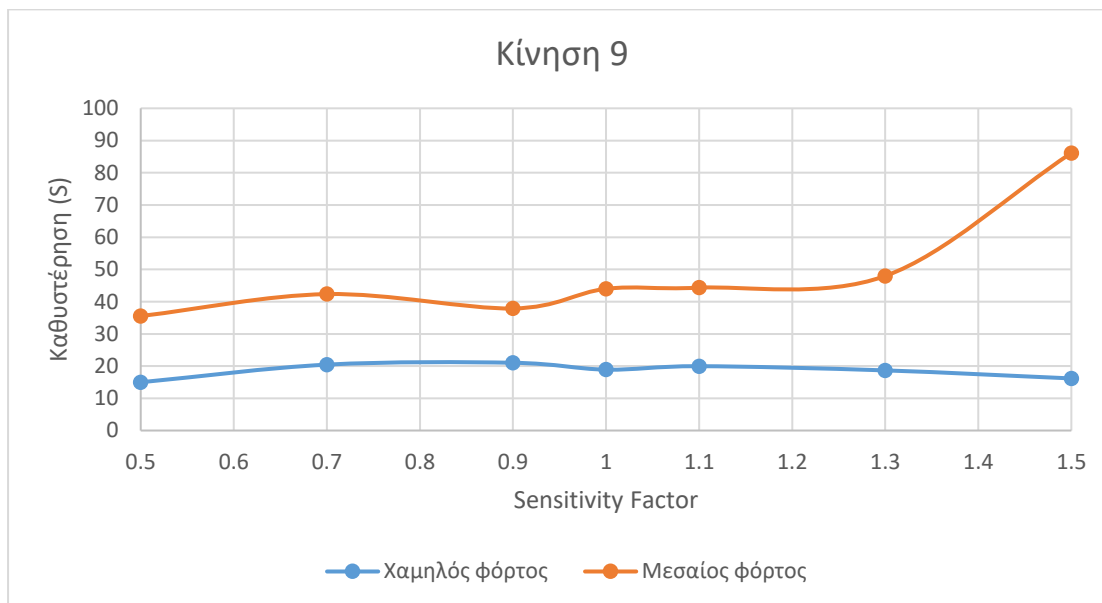


Σχήμα 4.4- Κινήσεις νότιας πρόσβασης στον κόμβο προτεραιότητας T μίας λωρίδας (max give-way time 10s)

Όπως φαίνεται, οι διακυμάνσεις στους υψηλούς φόρτους για τις κινήσεις της νότιας πρόσβασης είναι μεγάλες για τιμές της παραμέτρου ευαισθησίας από 0.5 έως 1. Λαμβάνεται μέγιστη τιμή καθυστέρησης για τιμή 0.9 της παραμέτρου αυτής. Μετά τη τιμή 1, οι καθυστερήσεις ομαλοποιούνται ενώ για τιμή 1.3 της παραμέτρου ευαισθησίας οι καθυστερήσεις παρουσιάζουν μέγιστο. Οι καθυστερήσεις σε συνθήκες πολύ υψηλού φόρτου επηρεάζονται επίσης έντονα για μεταβολές της παραμέτρου ακολουθώντας ένα προφίλ «ταλάντωσης». Πριν τη τιμή του 1, οι καθυστερήσεις είναι μικρότερες σε σχέση με αυτές που παρατηρούνται μετά τη τιμή του 1. Στη δεξιά στροφή από τον δευτερεύοντα άξονα στον πρωτεύοντα (κίνηση 9) η μέγιστη τιμή καθυστέρησης (στους πολύ υψηλούς φόρτους) παρατηρείται στη τιμή 1.3 της παραμέτρου ευαισθησίας, ενώ στην αριστερή στροφή από τον δευτερεύοντα άξονα στον πρωτεύοντα (κίνηση 7) το μέγιστο αυτό στη καθυστέρηση παρατηρείται στη τιμή 1.1 της παραμέτρου ευαισθησίας.

Σε διαφορετική κλίμακα, παρουσιάζεται η επιρροή της μεταβολής της παραμέτρου ευαισθησίας στους χαμηλούς και μεσαίους φόρτους. Οι καθυστερήσεις στους χαμηλούς φόρτους δείχνουν ότι είναι ομαλοποιημένοι και ότι δεν επηρεάζονται τόσο με τη μεταβολή

της παραμέτρου ευαισθησίας. Και στις δύο κινήσεις μπορεί να παρατηρηθεί ότι οι καθυστερήσεις στους χαμηλούς φόρτους είναι περίπου οι ίδιες στις ακραίες τιμές της παραμέτρου (0.5 και 1.5) και ότι από 0.7 έως 1.3 τείνουν να παραμένουν σταθερές.



Σχήμα 4.5- Κινήσεις νότιας πρόσβασης στον κόμβο προτεραιότητας T μίας λωρίδας (σε μικρότερη κλίμακα, max give-way time 10s)

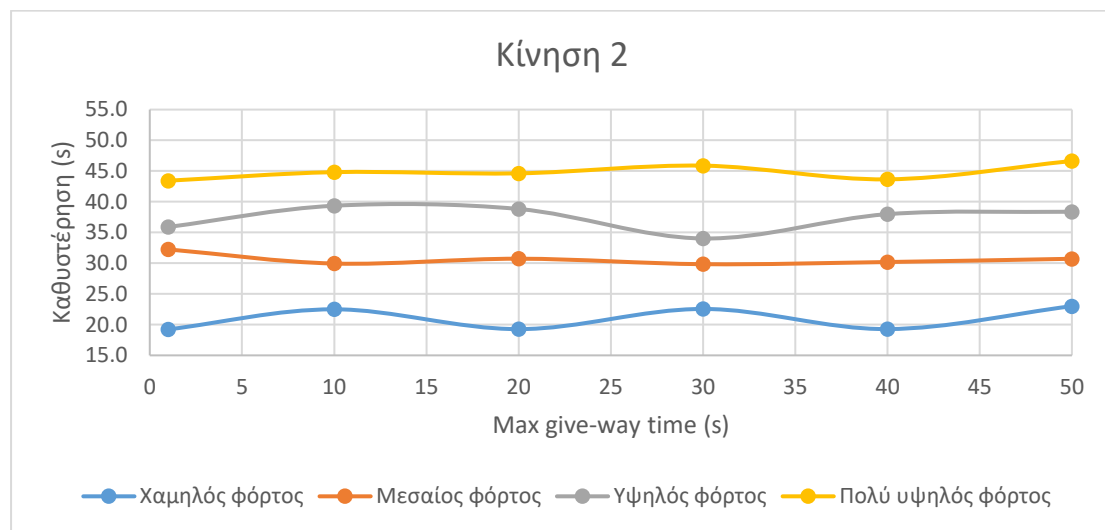
Αντιθέτως, οι καθυστερήσεις στους μεσαίους φόρτους έχουν διακυμάνσεις στις τιμές 0.7 έως 1 της παραμέτρου ευαισθησίας. Και στις δύο περιπτώσεις, επίσης, πέραν της τιμής του 1.3 υπάρχει μια μεγάλη αύξηση στις καθυστερήσεις των μεσαίων φόρτων.

Μεταβαλλόμενος μέγιστος χρόνος παραχώρησης προτεραιότητας – σταθερή η παράμετρος ευαισθησίας στη τιμή 1 (default)

Στην εκδοχή αυτή, αναλύονται τα ίδια διαγράμματα με τη διαφορά ότι τώρα μεταβάλλεται ο μέγιστος χρόνος παραχώρησης προτεραιότητας και η παράμετρος ευαισθησίας παραμένει σταθερή στη τιμή 1. Και στη περίπτωση αυτή, όπως και στη προηγούμενη, παρατηρείται μια

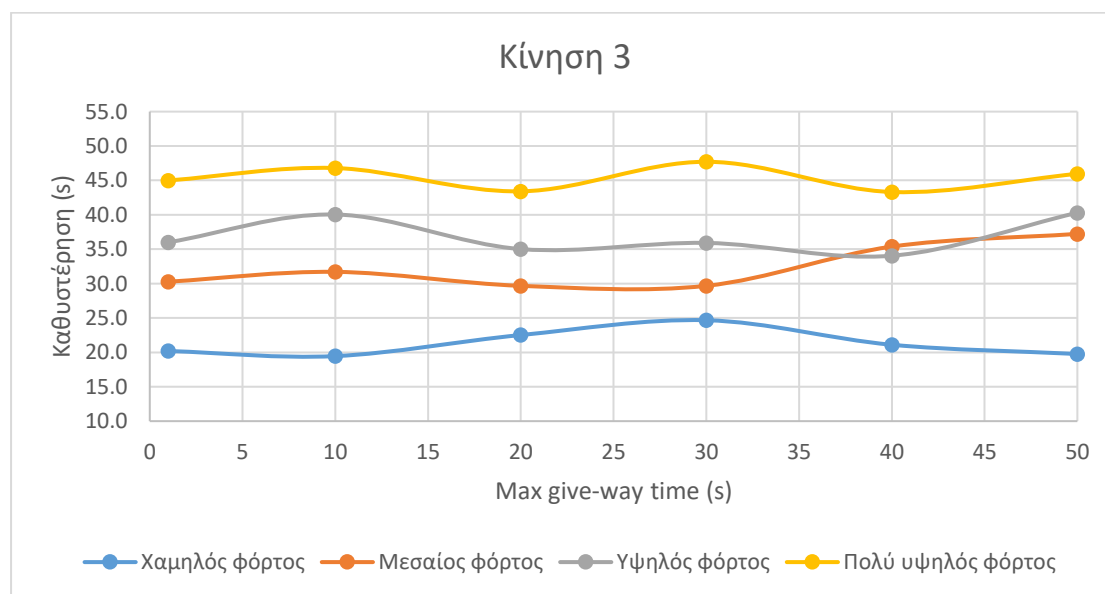
ομαδοποίηση στις κινήσεις ανά πρόσβαση εκτός από τις κινήσεις της δυτικής πρόσβασης όπου φαίνονται κάποιες διαφορές στα αποτελέσματα των καθυστερήσεων. Δηλαδή, οι κινήσεις της νότιας πρόσβασης παρουσιάζουν πολύ παρεμφερή αποτελέσματα μεταξύ τους, όπως και οι κινήσεις της ανατολικής πρόσβασης μεταξύ τους.

Ξεκινώντας από την ευθεία κίνηση της δυτικής πρόσβασης (κίνηση 2), η επιρροή του μέγιστου χρόνου παραχώρησης προτεραιότητας δεν επηρεάζει τις καθυστερήσεις στους μεσαίους και πολύ υψηλούς φόρτους. Αντιθέτως, δημιουργεί διακυμάνσεις στη τάση των καθυστερήσεων στους χαμηλούς και υψηλούς φόρτους. Στους υψηλούς φόρτους παρατηρούνται ελάχιστα στις καθυστερήσεις στα 1 και 30 δευτερόλεπτα της παραμέτρου επιρροής, ενώ μέγιστα στα 10 και 50 δευτερόλεπτα. Στους χαμηλούς φόρτους, οι χαμηλότερες τιμές των καθυστερήσεων παρατηρούνται στα 1, 20 και 40 δευτερόλεπτα της παραμέτρου επιρροής, ενώ η μέγιστη καθυστέρηση συμβαίνει στα 50 δευτερόλεπτα.



Σχήμα 4.6- Ευθεία κίνηση δυτικής πρόσβασης στον κόμβο προτεραιότητας T μίας λωρίδας (sensitivity factor 1)

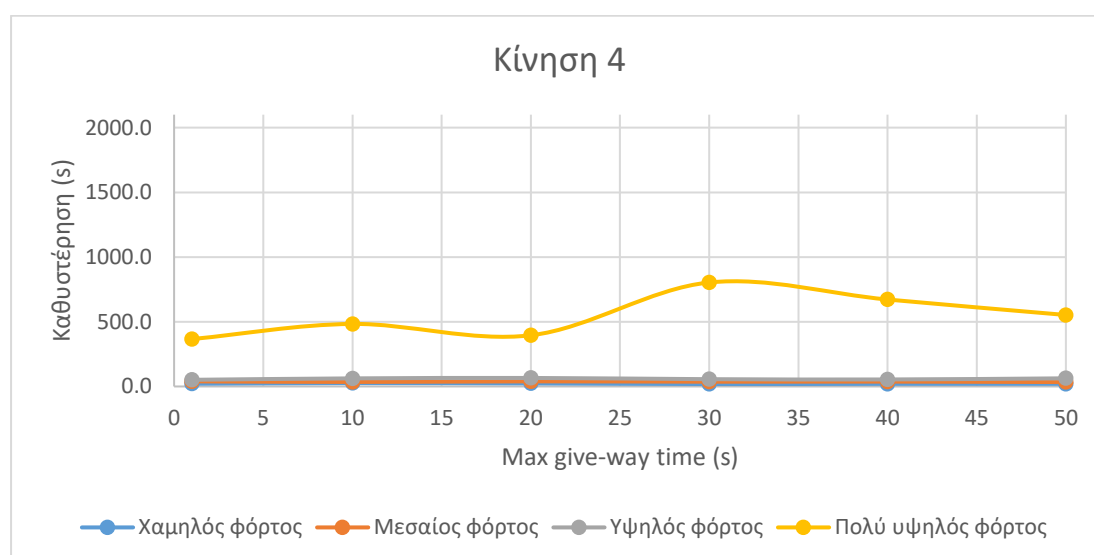
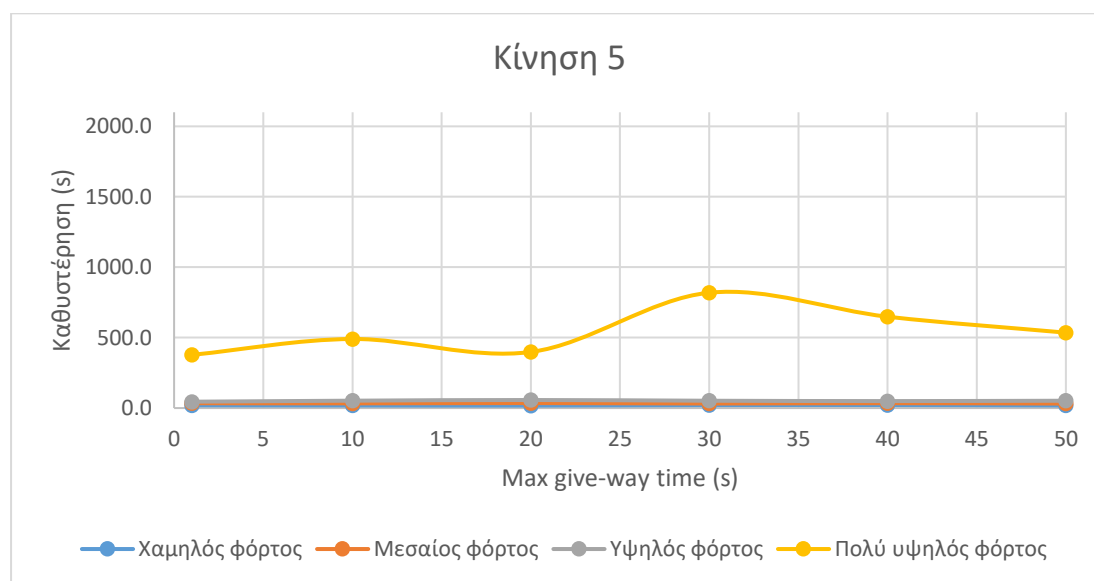
Όσον αφορά τη δεξιά στροφή της δυτικής πρόσβασης, ο μέγιστος χρόνος παραχώρησης προτεραιότητας επηρεάζει τις καθυστερήσεις σε όλα τα επίπεδα φόρτων.



Σχήμα 4.7- Δεξιά στροφή δυτικής πρόσβασης στον κόμβο προτεραιότητας T μίας λωρίδας (sensitivity factor 1)

Πιο συγκεκριμένα, οι καθυστερήσεις των μεσαίων, υψηλών και πολύ υψηλών φόρτων ακολουθούν παρόμοια πορεία από το 1 δευτερόλεπτο έως τα 30, παρουσιάζοντας μέγιστα στα 10 και 30 δευτερόλεπτα και ελάχιστα στα 1 και 20. Από τα 30 δευτερόλεπτα και μετά, οι καθυστερήσεις στους μεσαίους φόρτους σταματούν να ακολουθούν το προφίλ των υψηλών και πολύ υψηλών καθυστερήσεων, υπερβαίνοντας τη καθυστέρηση του υψηλού φόρτου στα 40 δευτερόλεπτα. Οι καθυστερήσεις στους χαμηλούς φόρτους έχουν επίσης διακυμάνσεις, σημειώνοντας μέγιστη τιμή στα 30 δευτερόλεπτα και ελάχιστη στα 10.

Συνεχίζοντας, οι κινήσεις της ανατολικής πρόσβασης παρουσιάζουν παρεμφερή αποτελέσματα στις καθυστερήσεις κατά τη μεταβολή της τιμής του μέγιστου χρόνου παραχώρησης προτεραιότητας.

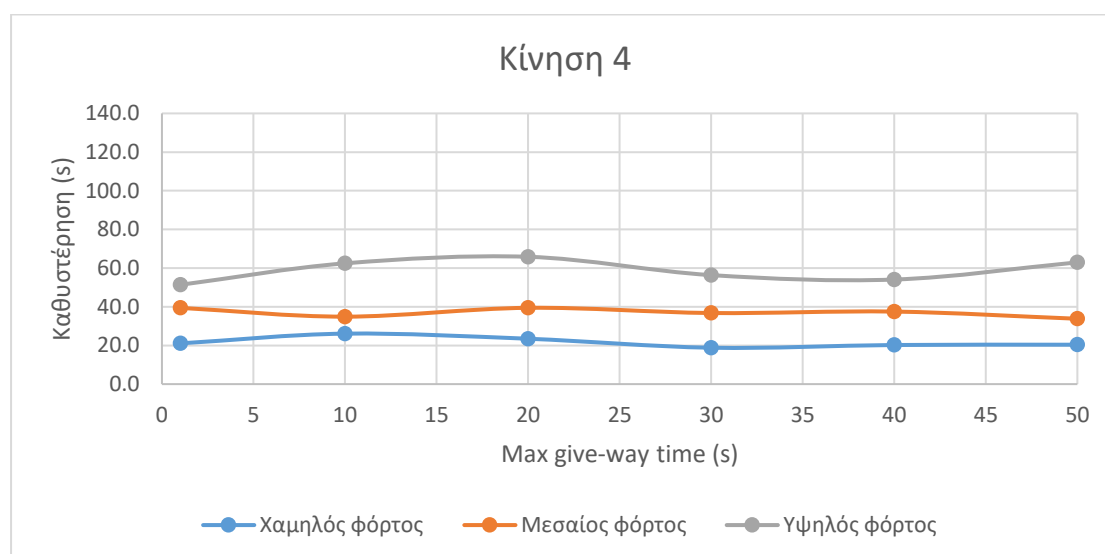
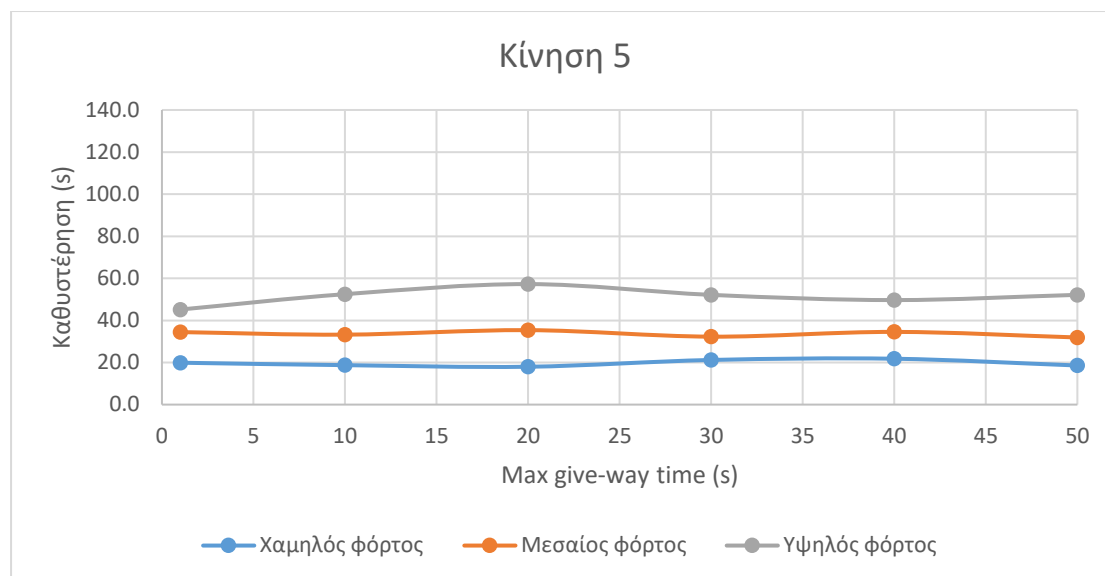


Σχήμα 4.8- Κινήσεις ανατολικής πρόσβασης στον κόμβο προτεραιότητας T μίας λωρίδας (sensitivity factor 1)

Όπως φαίνεται στα παραπάνω διαγράμματα, ο μέγιστος χρόνος παραχώρησης προτεραιότητας έχει μεγάλη επίδραση στη τάση καθυστερήσεων των πολύ υψηλών φόρτων,

η οποία παρουσιάζει μεγάλες διακυμάνσεις κυρίως στο διάστημα των 1 έως 30 δευτερολέπτων, όπου και σημειώνει τη μέγιστη τιμή.

Η επίδραση της μεταβολής του μέγιστου χρόνου παραχώρησης προτεραιότητας φαίνεται να επηρεάζει και τις καθυστερήσεις των υψηλών φόρτων, όπου πραγματοποιούνται διακυμάνσεις με μέγιστη τιμή καθυστέρησης να σημειώνεται στα 20 δευτερόλεπτα.

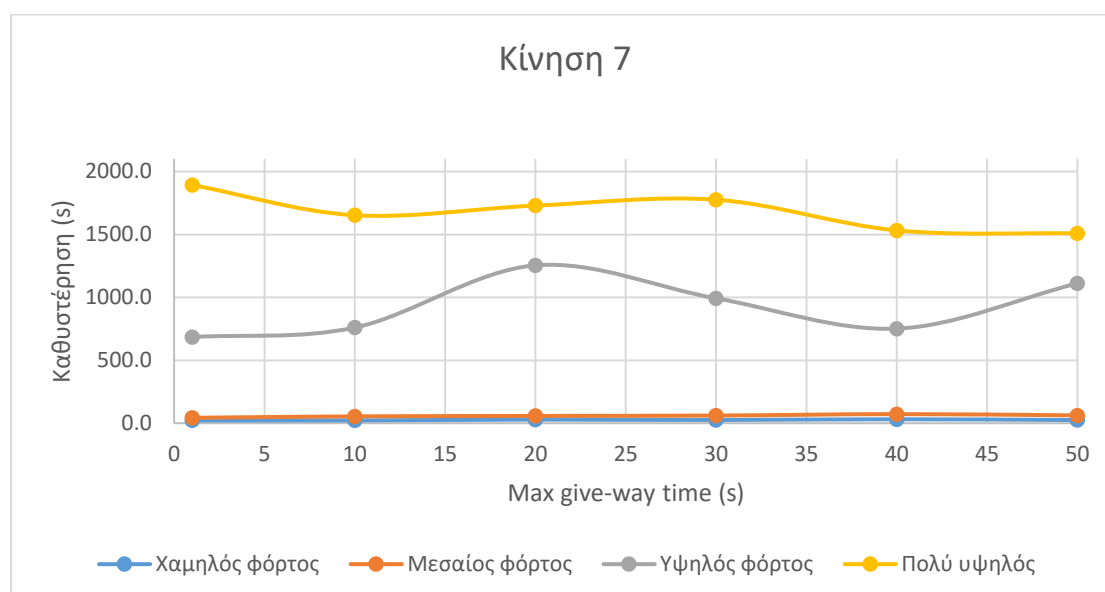
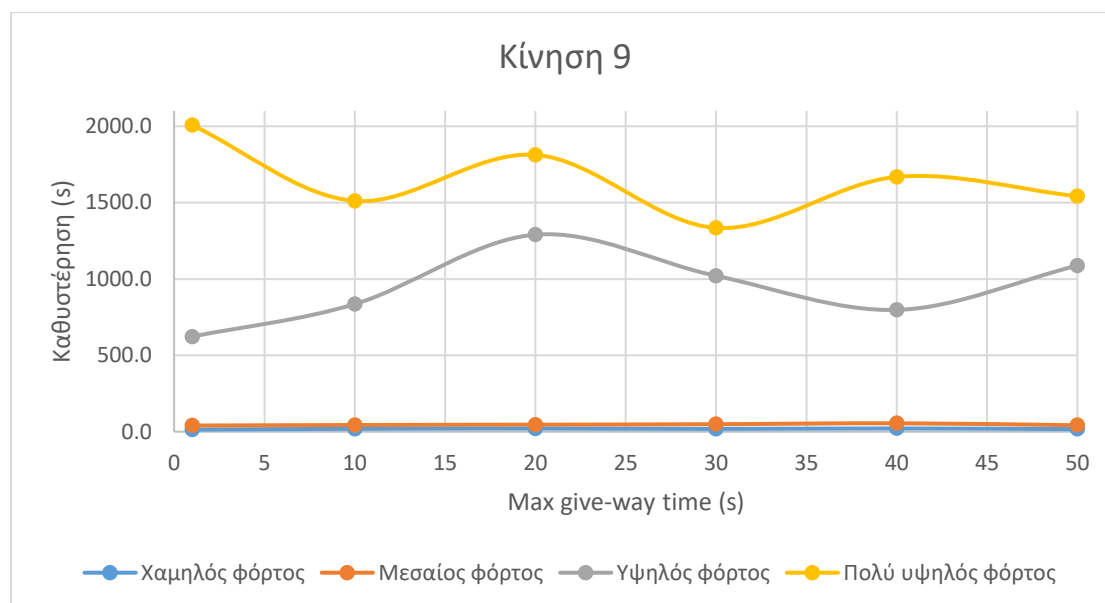


Σχήμα 4.9- Κινήσεις ανατολικής πρόσβασης στον κόμβο προτεραιότητας T μίας λωρίδας (σε μικρότερη κλίμακα, sensitivity factor 1)

Δεν φαίνεται να επηρεάζονται και οι δύο κινήσεις στον ίδιο βαθμό, αφού οι καθυστερήσεις των χαμηλών φόρτων στις δύο αυτές κινήσεις παρουσιάζουν αντίθετες τάσεις. Ωστόσο, οι διακυμάνσεις και στις δύο περιπτώσεις είναι αρκετά μικρές. Οι καθυστερήσεις των μεσαίων φόρτων επίσης φαίνονται ομαλές χωρίς ιδιαίτερη επιρροή από τη μεταβολή του μέγιστου χρόνου παραχώρησης προτεραιότητας.

Όσον αφορά τις κινήσεις της νότιας πρόσβασης, οι τάσεις των καθυστερήσεων στους υψηλούς και πολύ υψηλούς φόρτους, φαίνεται παρακάτω ότι επηρεάζονται σε πολύ μεγάλο βαθμό. Και στις δύο κινήσεις οι τάσεις των καθυστερήσεων στους δύο αυτούς φόρτους

ακολουθούν το ίδιο προφίλ, με τη διαφορά ότι στη πρώτη κίνηση (δεξιά στροφή από δευτερεύοντα άξονα) οι καθυστερήσεις στους πολύ υψηλούς φόρτους έχουν μεγαλύτερες διακυμάνσεις από ότι στη δεύτερη κίνηση (αριστερή στροφή από τον δευτερεύοντα άξονα). Οι καθυστερήσεις στους πολύ υψηλούς φόρτους και στις δύο κινήσεις, έχουν πτωτική τάση.

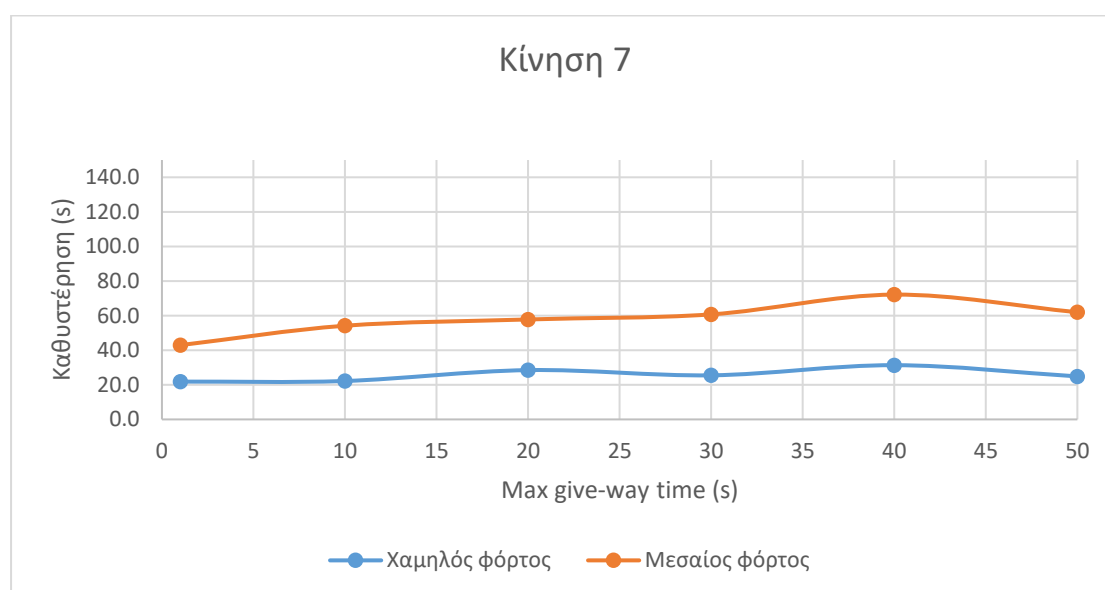
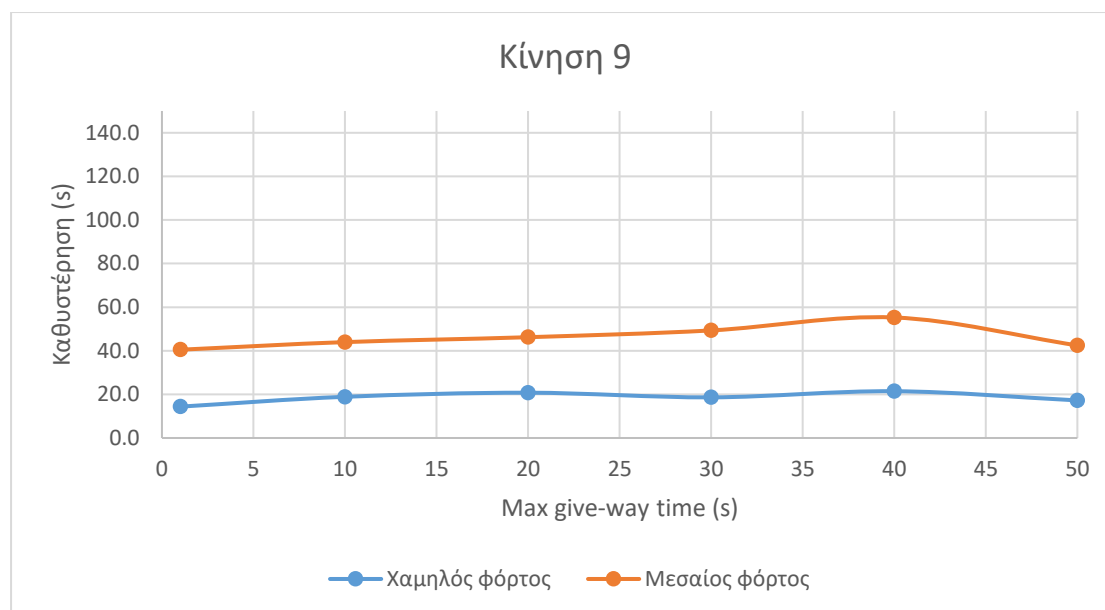


Σχήμα 4.10- Κινήσεις νότιας πρόσβασης στον κόμβο προτεραιότητας T μίας λωρίδας (sensitivity factor 1)

Οι καθυστερήσεις στους υψηλούς φόρτους και για τις δύο κινήσεις, παρουσιάζουν μέγιστα στα 20 και 50 δευτερόλεπτα και ελάχιστα στα 1 και 40 δευτερόλεπτα.

Οι καθυστερήσεις στους μεσαίους και χαμηλούς φόρτους για τις ίδιες κινήσεις, όπως παρουσιάζεται παρακάτω, δεν επηρεάζονται σε τόσο μεγάλο βαθμό από τον μέγιστο χρόνο παραχώρησης προτεραιότητας ειδικά όταν αυτός παίρνει τιμές από 1 έως 30 δευτερόλεπτα. Στο διάστημα αυτό, παρατηρείται σταδιακή αύξηση στις καθυστερήσεις των μεσαίων φόρτων και των δύο κινήσεων. Μετά το σημείο αυτό, αυξάνονται ακόμα περισσότερο στα 40 δευτερόλεπτα και πέφτουν απότομα στα 50. Οι καθυστερήσεις στους χαμηλούς φόρτους έχουν ακόμα μικρότερες διακυμάνσεις και στις δύο κινήσεις με μέγιστες τιμές στα 20 και 40

δευτερόλεπτα του μέγιστου χρόνου καθυστέρησης. Μια άλλη διαφορά που πρέπει να σημειωθεί είναι ότι οι καθυστερήσεις των χαμηλών και μεσαίων φόρτων είναι εμφανώς μεγαλύτερες για τη κίνηση 7 από τη κίνηση 9 (οφείλεται και στο γεγονός ότι η κίνηση 7 είναι στο χαμηλότερο επίπεδο προτεραιότητας).

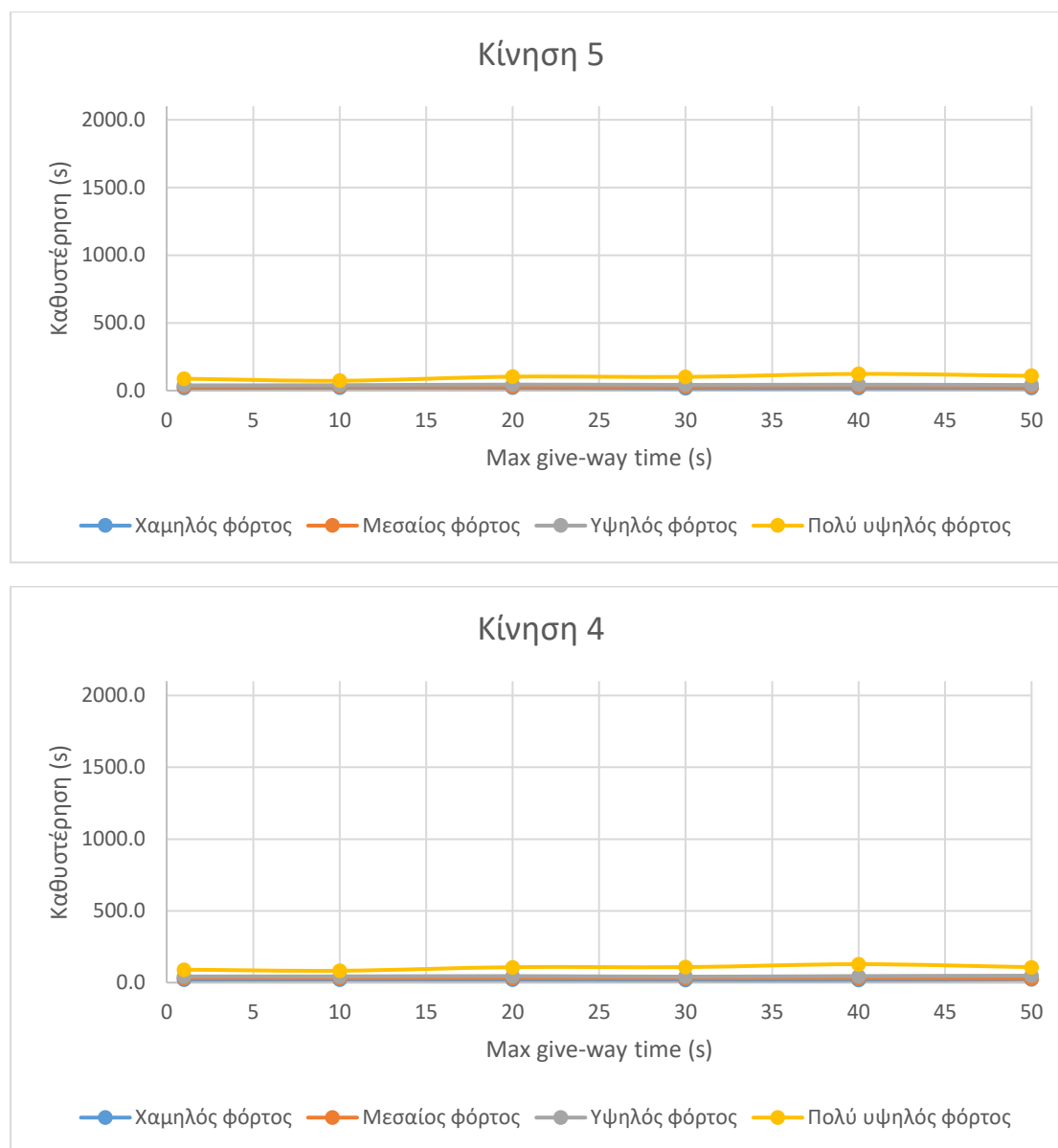


Σχήμα 4.11- Κινήσεις νότιας πρόσβασης στον κόμβο προτεραιότητας T μίας λωρίδας (σε μικρότερη κλίμακα, sensitivity factor 1)

Μεταβαλλόμενος μέγιστος χρόνος παραχώρησης προτεραιότητας – σταθερή η παράμετρος ευαισθησίας στη τιμή 0.5

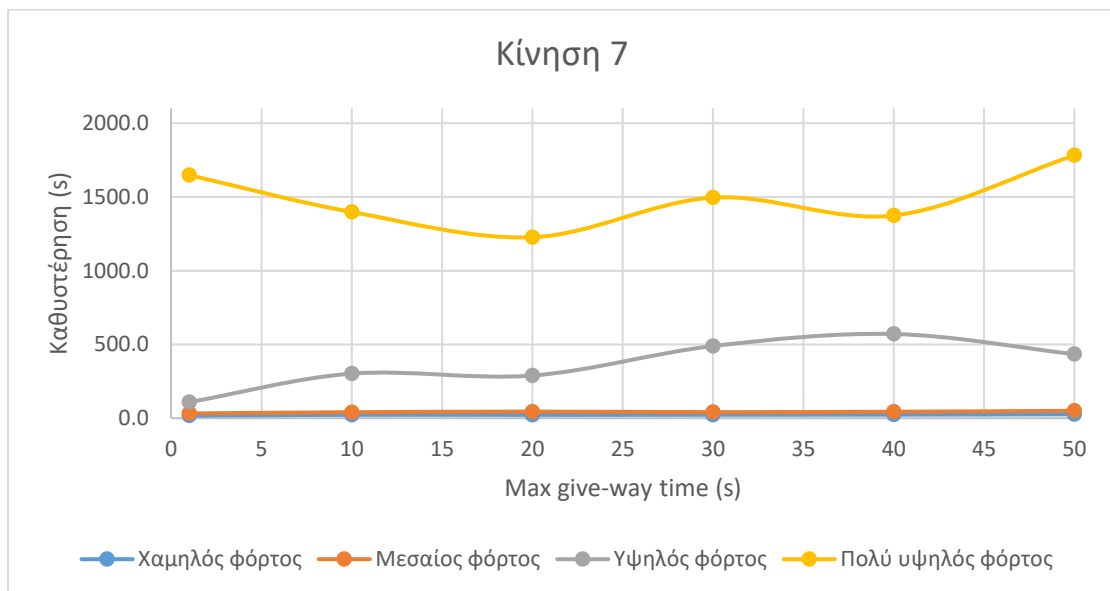
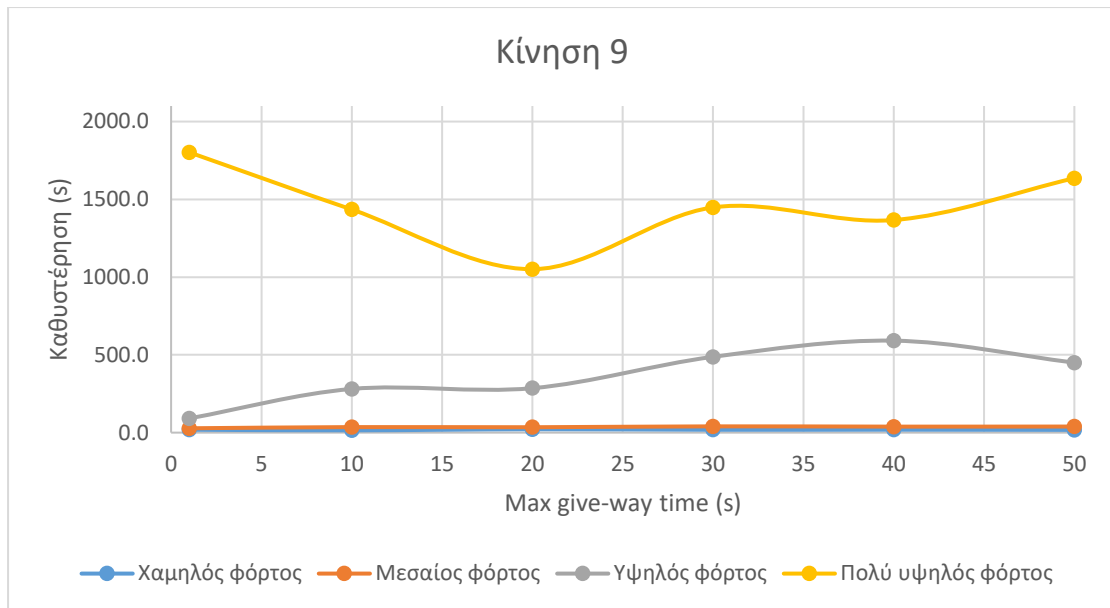
Εξετάστηκε και η περίπτωση που η παράμετρος ευαισθησίας λαμβάνει την ακραία τιμή 0.5 και μεταβάλλεται ο μέγιστος χρόνος παραχώρησης προτεραιότητας. Αυτό συνέβη, για να διερευνηθεί αν υπάρχει διαφορετική συμπεριφορά στις τάσεις των καθυστερήσεων σε κάθε κίνηση. Όντως, υπήρξαν έντονες διαφοροποιήσεις στις κινήσεις της ανατολικής και νότιας πρόσβασης. Οι διαφορές στις κινήσεις της δυτικής πρόσβασης ήταν πολύ μικρές και για αυτό το λόγο δεν παρουσιάζονται. Στο παρακάτω σχήμα φαίνεται το διάγραμμα των

καθυστερήσεων των κινήσεων της ανατολικής πρόσβασης στην ίδια κλίμακα με αυτό του σχήματος 4.8 για λόγους σύγκρισης. Παρουσιάζεται λοιπόν, ότι οι καθυστερήσεις των πολύ υψηλών φόρτων για παράμετρο ευαισθησίας 0.5 είναι πολύ μικρότερες από αυτές των πολύ υψηλών φόρτων για παράμετρο ευαισθησίας 1.



Σχήμα 4.12- Κινήσεις ανατολικής πρόσβασης στον κόμβο προτεραιότητας T μίας λωρίδας (sensitivity factor 0.5)

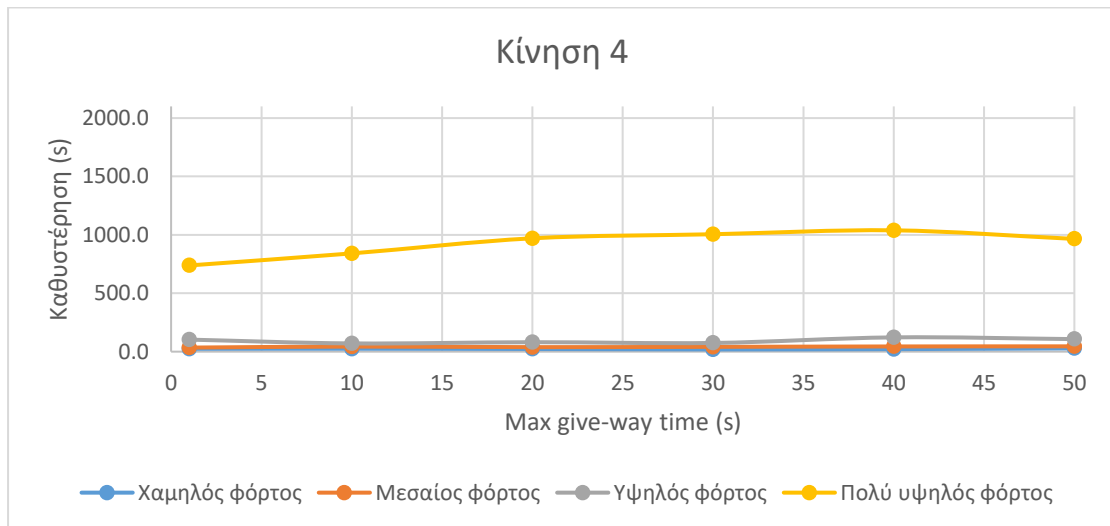
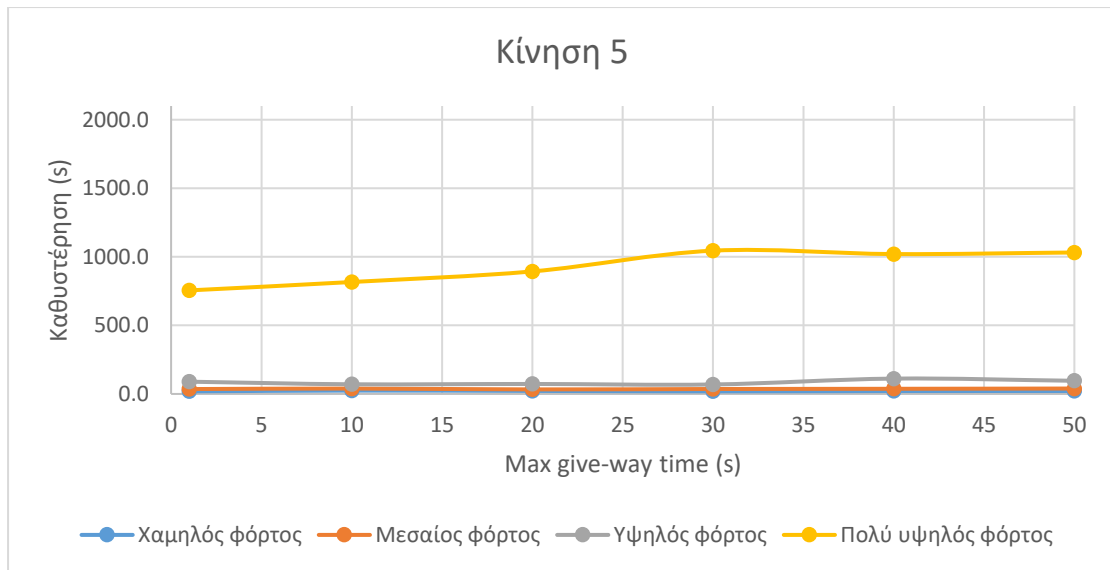
Έντονες διαφορές, επίσης, υπάρχουν στις καθυστερήσεις των κινήσεων της νότιας πρόσβασης σε σχέση με τις αντίστοιχες (της νότιας πρόσβασης) για παράμετρο ευαισθησίας 1 του σχήματος 4.10. Παρακάτω παρουσιάζονται οι τάσεις των καθυστερήσεων στις κινήσεις της νότιας πρόσβασης για τη τιμή 0.5 της παραμέτρου ευαισθησίας. Συγκρίνοντας τα παρακάτω διαγράμματα με αυτά του σχήματος 4.10, εντοπίζονται σημαντικές διαφορές στις καθυστερήσεις των υψηλών φόρτων. Στη τιμή 0.5 είναι πολύ χαμηλότερες από τις αντίστοιχες της τιμής 1, ενώ επίσης έχουν πολύ μικρότερες διακυμάνσεις. Ωστόσο οι καθυστερήσεις στους πολύ υψηλούς φόρτους έχουν σαφώς μεγαλύτερες διακυμάνσεις, ενώ παρουσιάζουν ελάχιστο στα 20 δευτερόλεπτα.



Σχήμα 4.13- Κινήσεις νότιας πρόσβασης στον κόμβο προτεραιότητας T μίας λωρίδας (sensitivity factor 0.5)

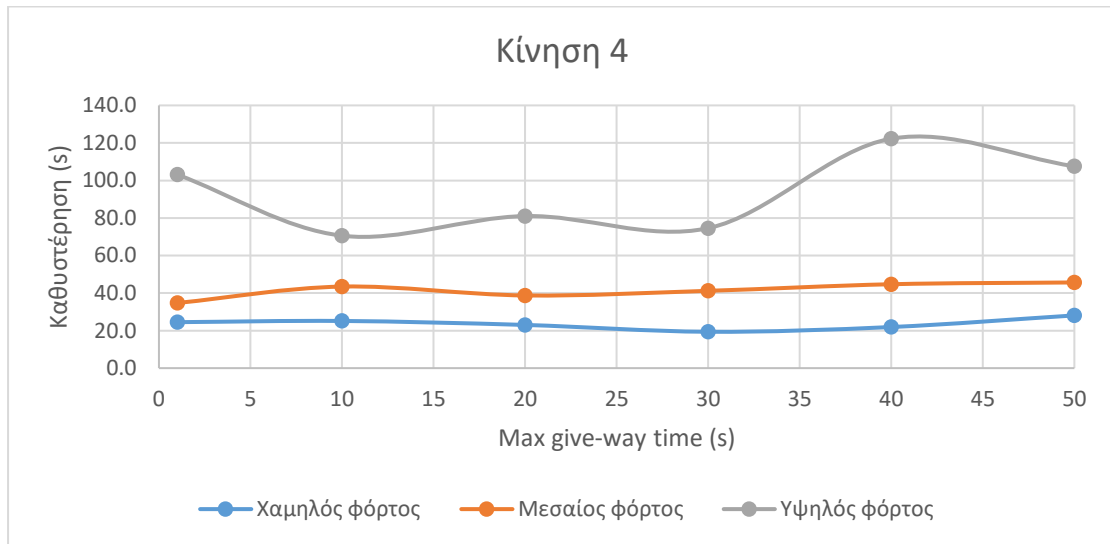
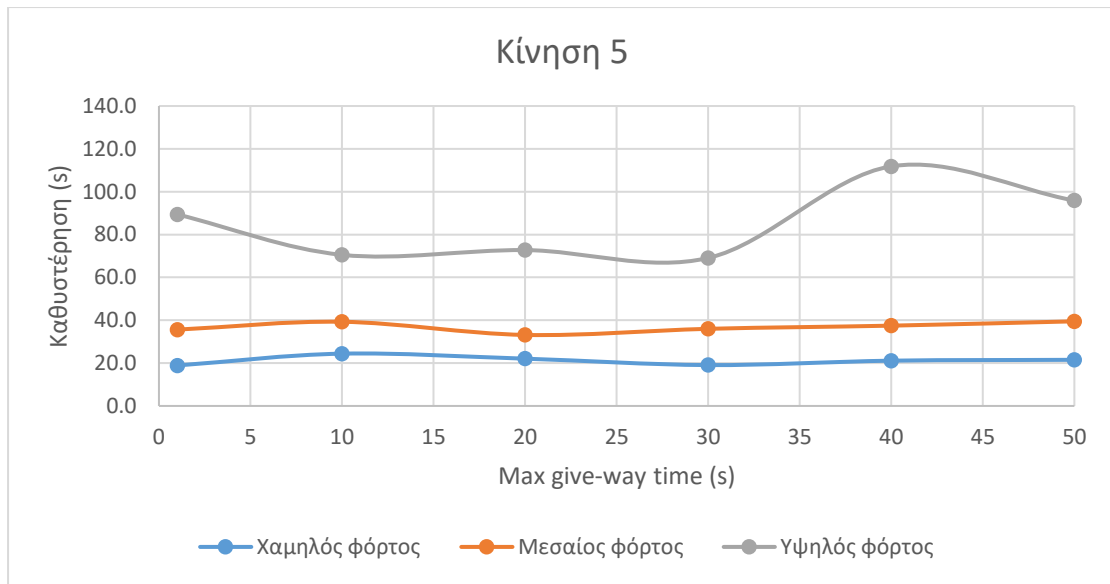
Μεταβαλλόμενος μέγιστος χρόνος παραχώρησης προτεραιότητας – σταθερή η παράμετρος ευαισθησίας στη τιμή 1.5

Επιπλέον, εξετάστηκε και η περίπτωση της άλλης ακραίας τιμής, δηλαδή η παράμετρος ευαισθησίας να είναι σταθερή στο 1.5. Παρακάτω, παρουσιάζονται τα διαγράμματα των καθυστερήσεων για τις κινήσεις της ανατολικής πρόσβασης, τα οποία συγκρίνονται με αυτά των σχημάτων 4.8 και 4.12. Στη περίπτωση αυτή παρατηρείται το γεγονός ότι οι καθυστερήσεις στους πολύ υψηλούς φόρτους κυμαίνονται περίπου στις τιμές του σχήματος 4.8, με τη διαφορά ότι εδώ οι διακυμάνσεις είναι πάρα πολύ μικρές. Υπάρχει μια σταδιακή αύξηση των καθυστερήσεων καθ' όλη τη μεταβολή του μέγιστου χρόνου παραχώρησης προτεραιότητας από 1 έως 50 δευτερόλεπτα.



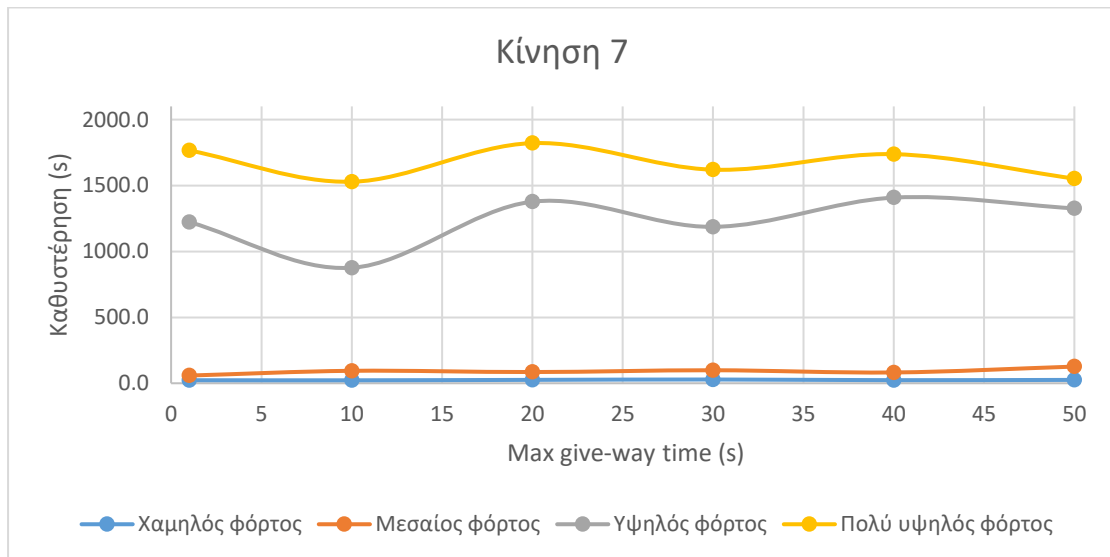
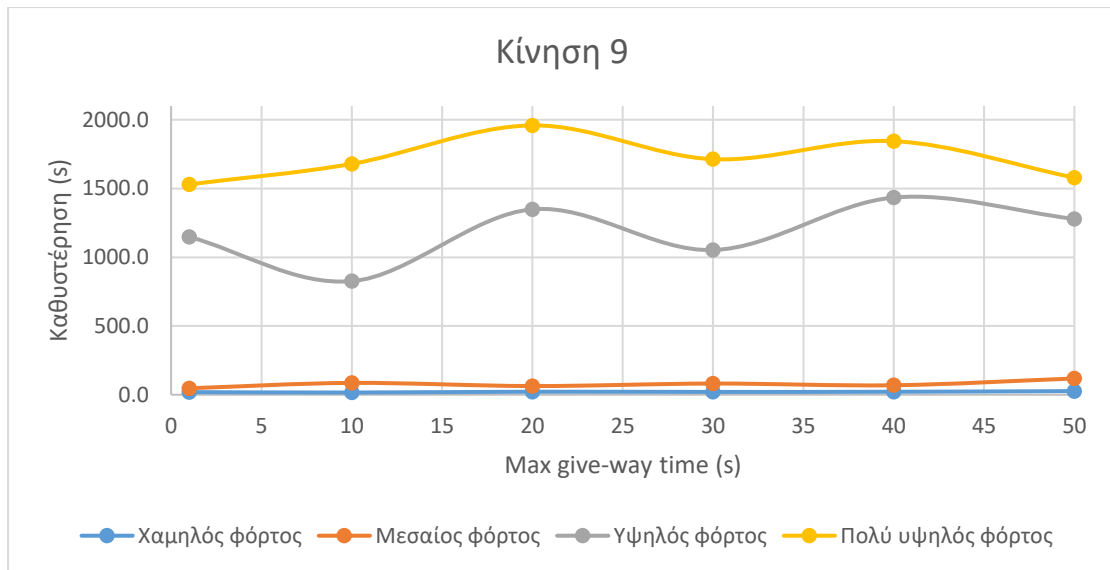
Σχήμα 4.14- Κινήσεις ανατολικής πρόσβασης στον κόμβο προτεραιότητας T μίας λωρίδας (sensitivity factor 1.5)

Όσον αφορά τις καθυστερήσεις στους μεσαίους φόρτους για την ίδια πρόσβαση (ανατολική), αυτή συγκρίνεται με τις αντίστοιχες για τιμή 1 της παραμέτρου ευαισθησίας του σχήματος 4.9. Συγκρίνοντας λοιπόν, τις καθυστερήσεις του μεσαίου φόρτου φαίνεται ότι στο παρακάτω σχήμα (4.15), όχι μόνο έχουν μεγάλη διακύμανση από 30 έως 50 δευτερόλεπτα, αλλά επίσης βρίσκονται και σε υψηλότερες τιμές. Σχετικά με τις καθυστερήσεις των χαμηλών και μεσαίων φόρτων, δεν παρουσιάζεται κάποια ουσιώδη διαφορά σχετικά με τις αντίστοιχες για παράμετρο ευαισθησίας 1.



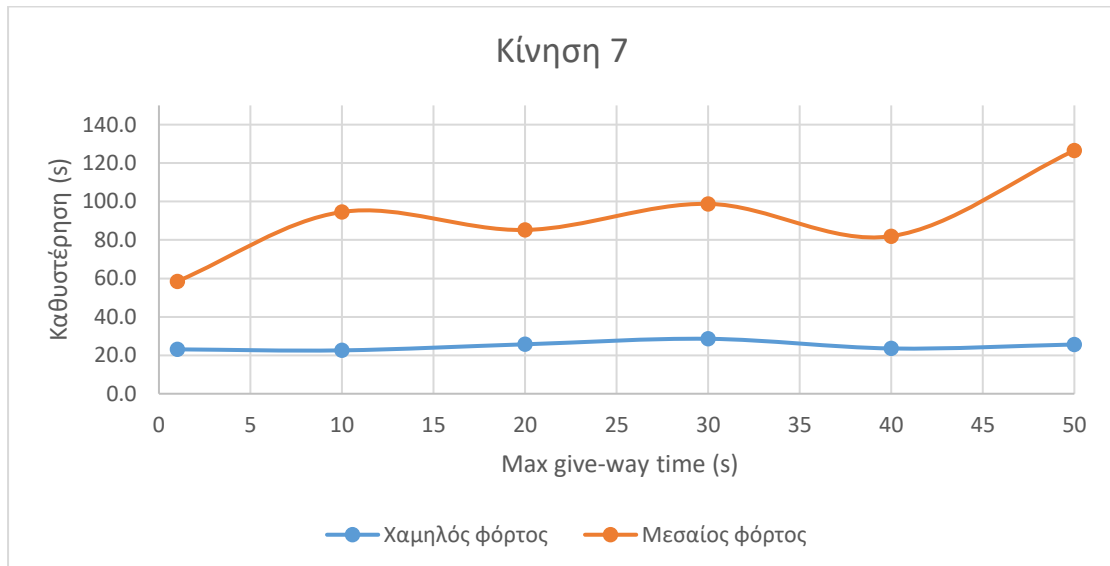
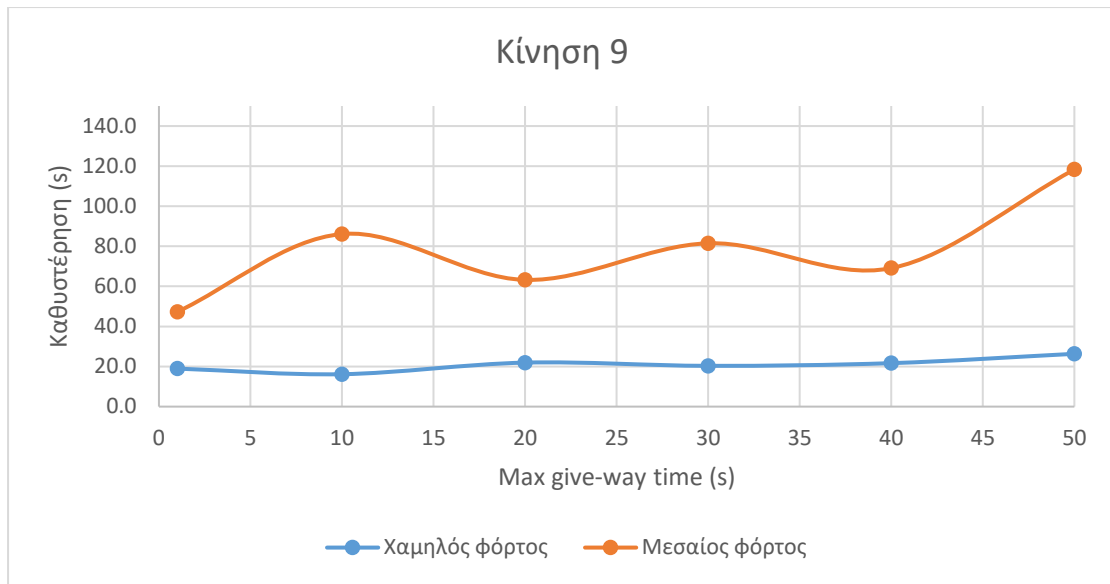
Σχήμα 4.15- Κινήσεις ανατολικής πρόσβασης στον κόμβο προτεραιότητας T μίας λωρίδας (σε μικρότερη κλίμακα, sensitivity factor 1.5)

Τέλος, παρουσιάζονται οι καθυστερήσεις για τις κινήσεις της νότιας πρόσβασης. Η κατανομή των καθυστερήσεων των υψηλών και πολύ υψηλών φόρτων μοιάζει περισσότερο με αυτή του σχήματος 4.10, το οποίο αφορά τις καθυστερήσεις για βαθμό ευαισθησίας 1. Οι έντονες διακυμάνσεις παραμένουν, ενώ σημειώνονται ελάχιστα στα 10 και 30 δευτερόλεπτα. Οι μέγιστες τιμές σημειώνονται στα 20 και 40 δευτερόλεπτα.



Σχήμα 4.16- Κινήσεις νότιας πρόσβασης στον κόμβο προτεραιότητας T μίας λωρίδας (sensitivity factor 1.5)

Όσον αφορά τις καθυστερήσεις και το πως αυτές κατανέμονται για τους χαμηλούς και μεσαίους φόρτους, φαίνεται παρακάτω στο σχήμα 4.17, ότι για τους χαμηλούς φόρτους οι καθυστερήσεις δεν έχουν διακυμάνσεις όπως και αυτές του σχήματος 4.11. Δε συμβαίνει το ίδιο όμως για τις καθυστερήσεις στους μεσαίους φόρτους, όπου συγκρινόμενες με αυτές του σχήματος 4.11, όχι μόνο είναι πολύ πιο αυξημένες αλλά παρουσιάζουν και έντονες διακυμάνσεις κάτι που δε συμβαίνει σε αυτές της παραμέτρου ευαισθησίας 1. Παρουσιάζουν ελάχιστες τιμές στα 1, 20 και 40 δευτερόλεπτα, και μέγιστες τιμές στα 10, 30 και 50. Συγκεκριμένα, η μέγιστη τιμή καθυστέρησης σημειώνεται στα 50 δευτερόλεπτα και υπερβαίνει κατά πολύ την αντίστοιχη μέγιστη που σημειώνεται για παράμετρο ευαισθησίας 1.



Σχήμα 4.17- Κινήσεις νότιας πρόσβασης στον κόμβο προτεραιότητας T μίας λωρίδας (σε μικρότερη κλίμακα, sensitivity factor 1.5)

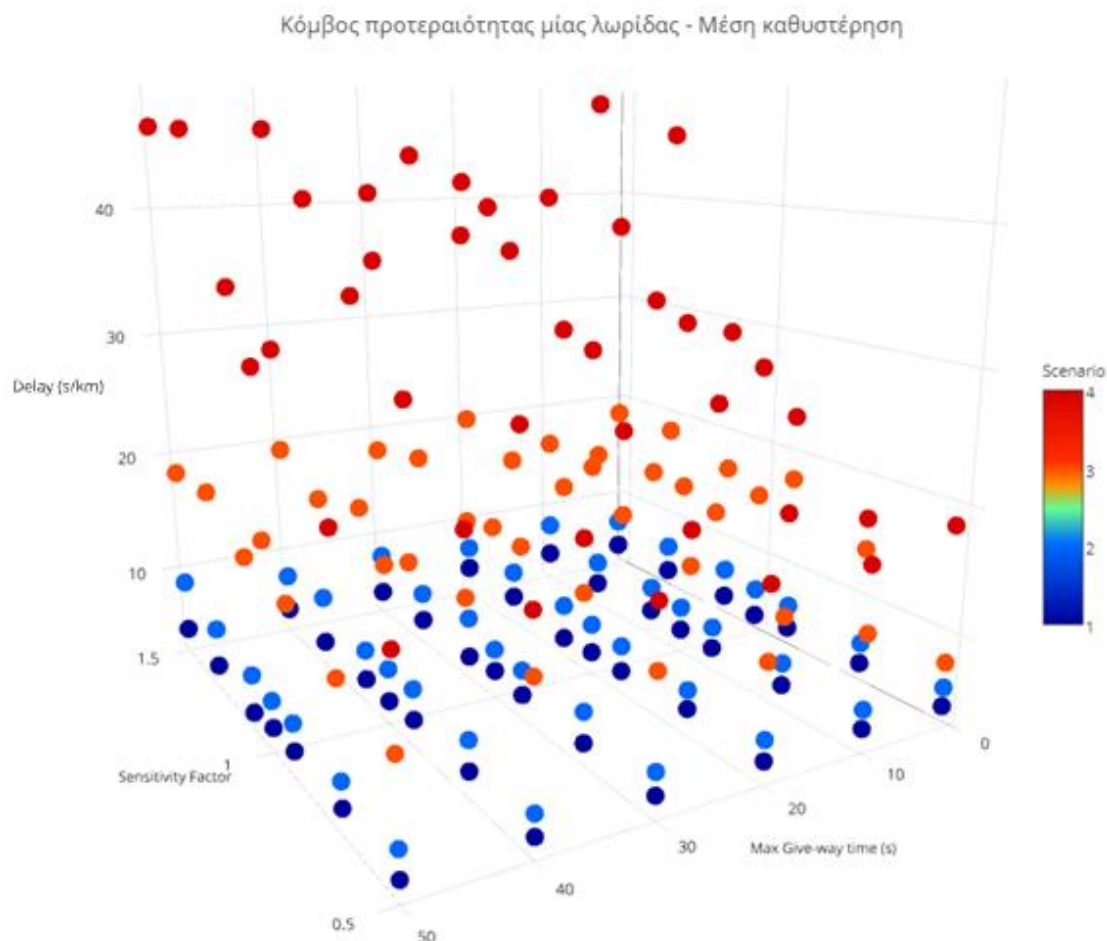
4.2.2 Ανάλυση συνολικού κόμβου

Ο κόμβος συνολικά αναλύθηκε ως προς τέσσερις λειτουργικούς δείκτες: τη μέση καθυστέρηση, τη μέση ταχύτητα και τον μέσο χρόνο μετακίνησης. Και στις τέσσερις αυτές περιπτώσεις δημιουργήθηκαν διαγράμματα 3-D, με άξονα x την παράμετρο ευαισθησίας, άξονα y τον μέγιστο χρόνο παραχώρησης προτεραιότητας και άξονα z κάθε φορά μία από αυτές τις τέσσερις κατηγορίες αποτελεσμάτων.

Ανάλυση κόμβου ως προς τη μέση καθυστέρηση

Στο παρακάτω σχήμα (4.18), παρουσιάζεται η κατανομή των καθυστερήσεων ως προς την παράμετρο ευαισθησίας και τον μέγιστο χρόνο παραχώρησης προτεραιότητας σε τρισδιάστατο διάγραμμα. Ακόμη, με διαφορετικό χρώμα παρουσιάζεται το σενάριο στο οποίο αναφέρεται κάθε σημείο. Συνολικά, οι μεγαλύτερες καθυστερήσεις σημειώνονται στο σενάριο 4, που αναφέρεται στους πολύ υψηλούς φόρτους, και αυξάνονται με την αύξηση

της παραμέτρου ευαισθησίας, ενώ δεν επηρεάζονται τόσο από την αύξηση του μέγιστου χρόνου παραχώρησης προτεραιότητας. Οι καθυστερήσεις των χαμηλών, μεσαίων και υψηλών φόρτων, δηλαδή των σεναρίων 1, 2 και 3 αντιστοίχως, βρίσκονται σε χαμηλότερα επίπεδα ενώ δεν επηρεάζονται τόσο από τις μεταβολές των δύο παραμέτρων. Τα αποτελέσματα ήταν σχετικά αναμενόμενα όσον αφορά τη κατανομή των καθυστερήσεων, αφού καθώς αυξάνονται οι φόρτοι στον κόμβο αναμένονται και μεγαλύτερες καθυστερήσεις.

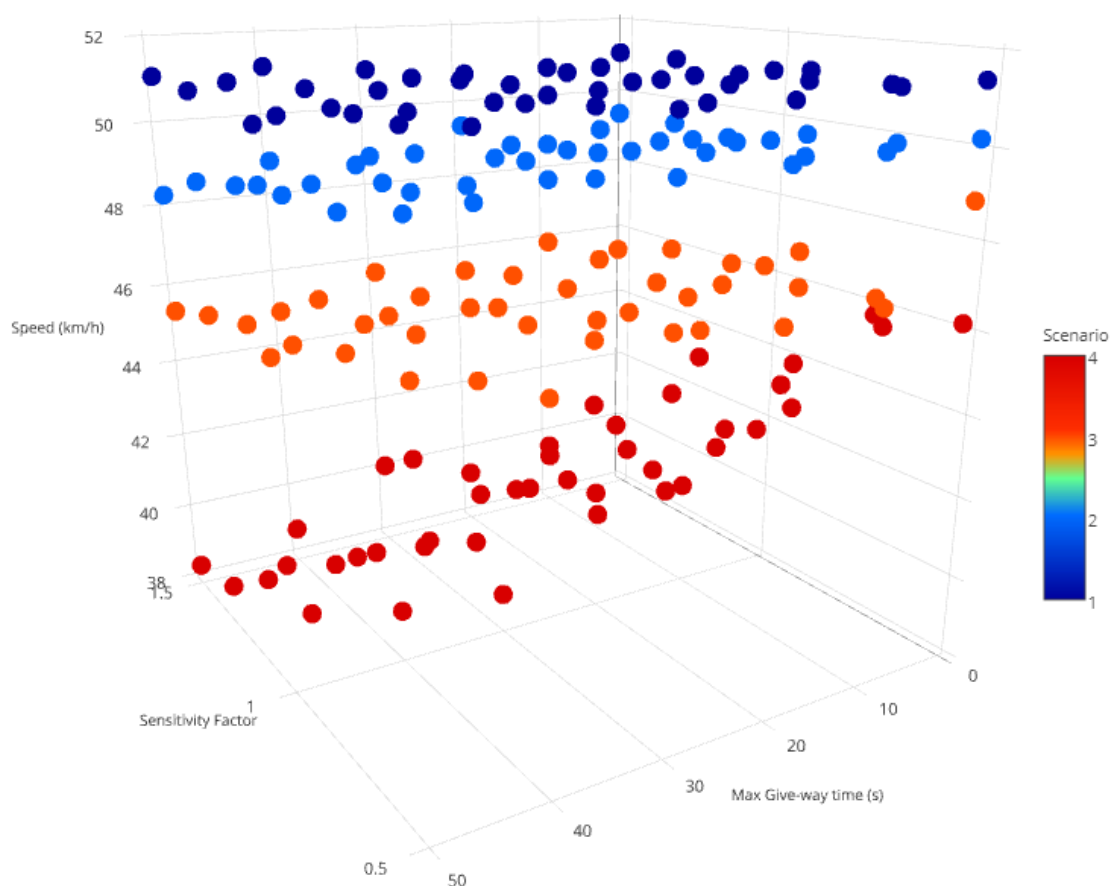


Σχήμα 4.18- Ανάλυση συνολικού κόμβου προτεραιότητας μίας λωρίδας ως προς τη μέση καθυστέρηση

Ανάλυση κόμβου ως προς τη μέση ταχύτητα

Ομοίως, παρουσιάζεται το τρισδιάστατο διάγραμμα της κατανομής των ταχυτήτων βάσει των σεναρίων φόρτων. Παρατηρείται, ότι οι μέσες ταχύτητες στους χαμηλότερους φόρτους είναι πολύ πιο αυξημένες συγκριτικά με εκείνες των υψηλότερων. Ειδικότερα, καθώς αυξάνονται οι φόρτοι τόσο μειώνονται οι μέσες ταχύτητες που κινούνται τα οχήματα εντός του κόμβου, γεγονός που είναι αναμενόμενο εφόσον μειώνονται οι διαχωρισμοί μεταξύ των οχημάτων και δεν πορεύονται με τις επιθυμητές τους ταχύτητες. Όσον αφορά τις ταχύτητες του 4^{ου} σεναρίου φόρτων, μειώνονται καθώς αυξάνεται η παράμετρος ευαισθησίας. Αυτό συμβαίνει επειδή κατά την αύξηση της παραμέτρου αυτής οι διαχωρισμοί μεταξύ των οχημάτων αυξάνονται καθώς οι οδηγοί είναι πιο προσεκτικοί στην επιβράδυνση των προπορευόμενων οχημάτων. Η επίδραση του μέγιστου χρόνου παραχώρησης προτεραιότητας δεν είναι τόσο σημαντική στο διάγραμμα αυτό.

Κόμβος προτεραιότητας μίας λωρίδας - Μέση ταχύτητα



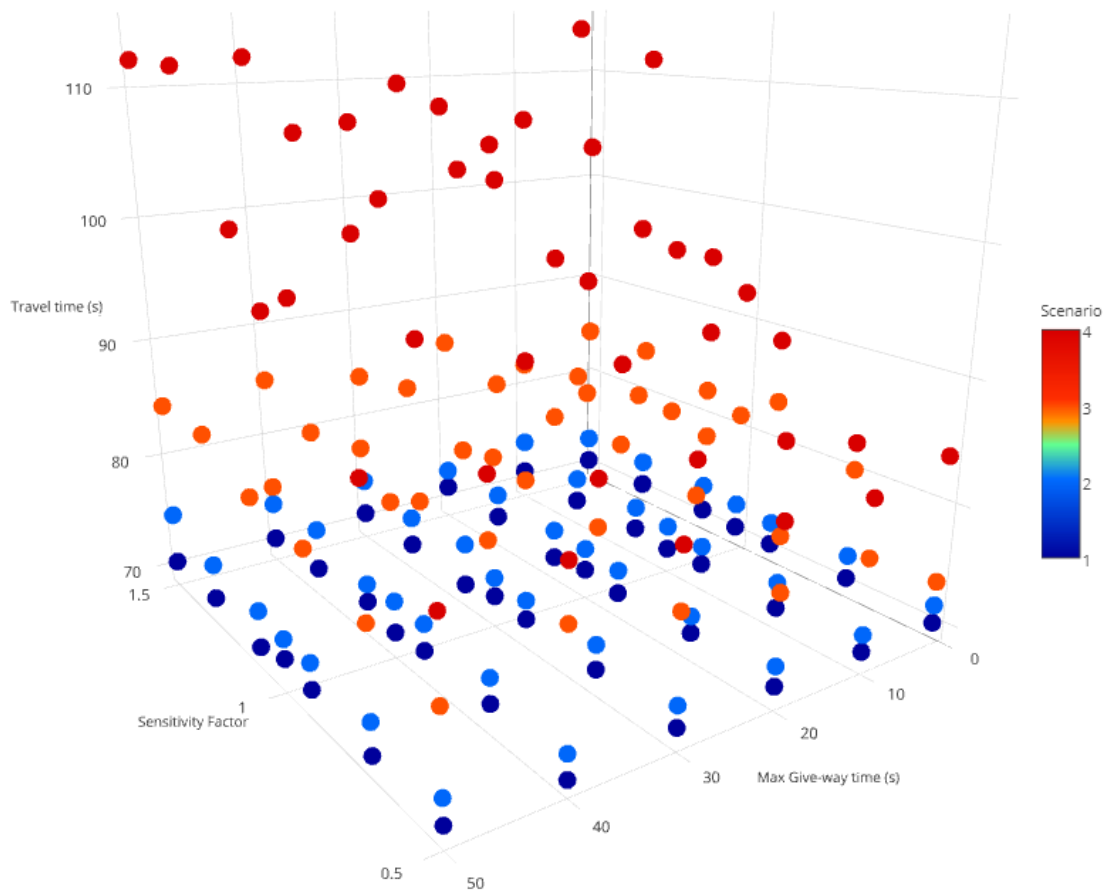
Σχήμα 4.19- Ανάλυση συνολικού κόμβου προτεραιότητας μίας λωρίδας ως προς τη μέση ταχύτητα

Ανάλυση κόμβου ως προς τον μέσο χρόνο μετακίνησης

Τελευταία αποτελέσματα που επιλέχθηκαν για την ανάλυση του κόμβου στο σύνολό του αποτελούν αυτά του μέσου χρόνου μετακίνησης. Παρουσιάζονται στο παρακάτω τρισδιάστατο διάγραμμα συναρτήσεως των δύο παραμέτρων επιρροής, ενώ η χρωματική διαβάθμιση αφορά τα διαφορετικά σενάρια κυκλοφοριακών φόρτων. Συνολικά, ο μέσος χρόνος μετακίνησης των οχημάτων του 1^{ου} και 2^{ου} σεναρίου βρίσκεται σε πολύ χαμηλότερα επίπεδα από εκείνον για τα οχήματα του 3^{ου} και 4^{ου} σεναρίου. Ο μέσος χρόνος μετακίνησης για τα δύο πρώτα σενάρια δεν επηρεάζεται από καμία από τις δύο παραμέτρους επιρροής, σε αντίθεση με των άλλων δύο σεναρίων που επηρεάζεται σε μεγάλο βαθμό. Η σημαντικότερη παρατήρηση, ωστόσο, αφορά τον μέσο χρόνο μετακίνησης των πολύ υψηλών φόρτων, ο οποίος αυξάνεται με την αύξηση της παραμέτρου ευαισθησίας. Οι υψηλότερες τιμές του διαγράμματος σημειώνονται στη τιμή 1.5 της παραμέτρου ευαισθησίας και 40 έως 50 δευτερόλεπτα για τον μέγιστο χρόνο παραχώρησης προτεραιότητας.

Στο σχήμα 4.19 της ανάλυσης ως προς τη μέση ταχύτητα, τα οχήματα των πολύ υψηλών φόρτων σημείωσαν τη μικρότερη μέση ταχύτητα, οπότε είναι λογικό να χρειαστούν περισσότερο χρόνο για να μετακινηθούν εντός του δικτύου. Μπορεί να εξαχθεί, λοιπόν, το συμπέρασμα ότι τα διαγράμματα αυτά είναι αντίστροφα, αφού όσο πιο γρηγορότερα κινείται ένα όχημα σε έναν κόμβο, τόσο μικρότερος χρόνος απαιτείται για να μετακινηθεί εντός αυτού.

Κόμβος προτεραιότητας μίας λωρίδας - Μέσος χρόνος μετακίνησης



Σχήμα 4.20- Ανάλυση συνολικού κόμβου προτεραιότητας μίας λωρίδας ως προς τον μέσο χρόνο μετακίνησης

4.3 Κόμβος προτεραιότητας T δύο λωρίδων

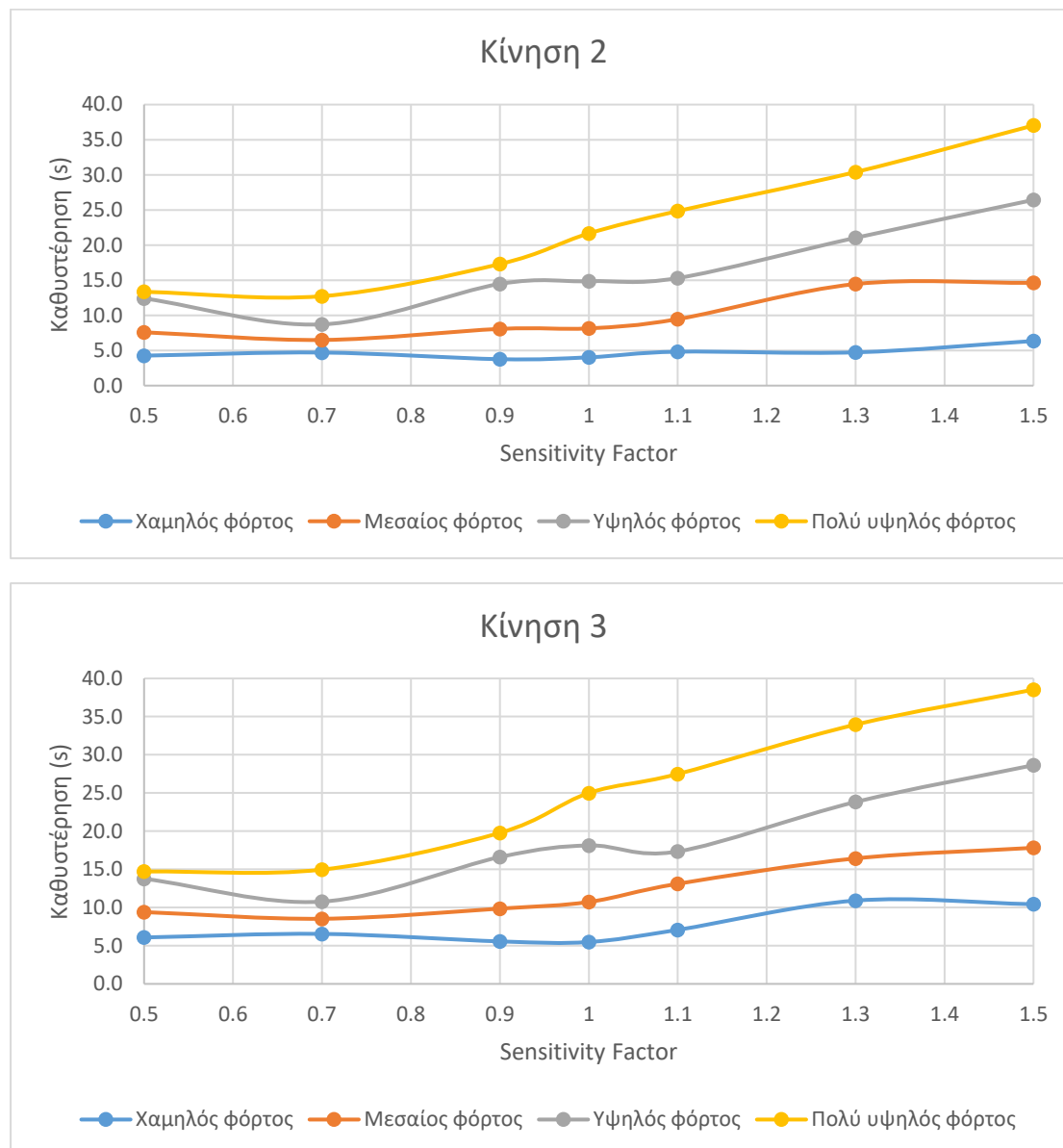
Ομοίως με τη περίπτωση του ισόπεδου κόμβου μίας λωρίδας, αναλύθηκαν τα αποτελέσματα κάθε κίνησης ξεχωριστά, αλλά και τα συνολικά αποτελέσματα του κόμβου δύο λωρίδων ως προς τη μέση καθυστέρηση, τη μέση ταχύτητα και τον μέσο χρόνο μετακίνησης.

4.3.1 Ανάλυση ανά κίνηση

Η ανάλυση που θα ακολουθήσει σχετικά με τη κάθε κίνηση του κόμβου, αφορά σε δύο περιπτώσεις. Η πρώτη περίπτωση είναι η διερεύνηση της μέσης καθυστέρησης καθώς μεταβάλλεται η παράμετρος ευαισθησίας και παραμένει σταθερός ο μέγιστος χρόνος παραχώρησης προτεραιότητας και η δεύτερη περίπτωση αφορά στη διερεύνηση της μέσης καθυστέρησης καθώς μεταβάλλεται ο μέγιστος χρόνος παραχώρησης προτεραιότητας και παραμένει σταθερή η παράμετρος ευαισθησίας.

Μεταβαλλόμενη παράμετρος ευαισθησίας – σταθερός μέγιστος χρόνος παραχώρησης προτεραιότητας στα 10s (default)

Γενικά σε αυτή τη περίπτωση, η μεταβολή της παραμέτρου ευαισθησίας έχει μεγάλη επίδραση στις διακυμάνσεις των καθυστερήσεων στους υψηλούς και πολύ υψηλούς φόρτους σε όλες τις κινήσεις. Συγκριτικά με τον κόμβο T μίας λωρίδας, εδώ δεν δημιουργήθηκαν κατηγοριοποιήσεις προφίλ αποτελεσμάτων ανά πρόσβαση, εκτός από τις κινήσεις της δυτικής πρόσβασης, όπως παρουσιάζεται παρακάτω.

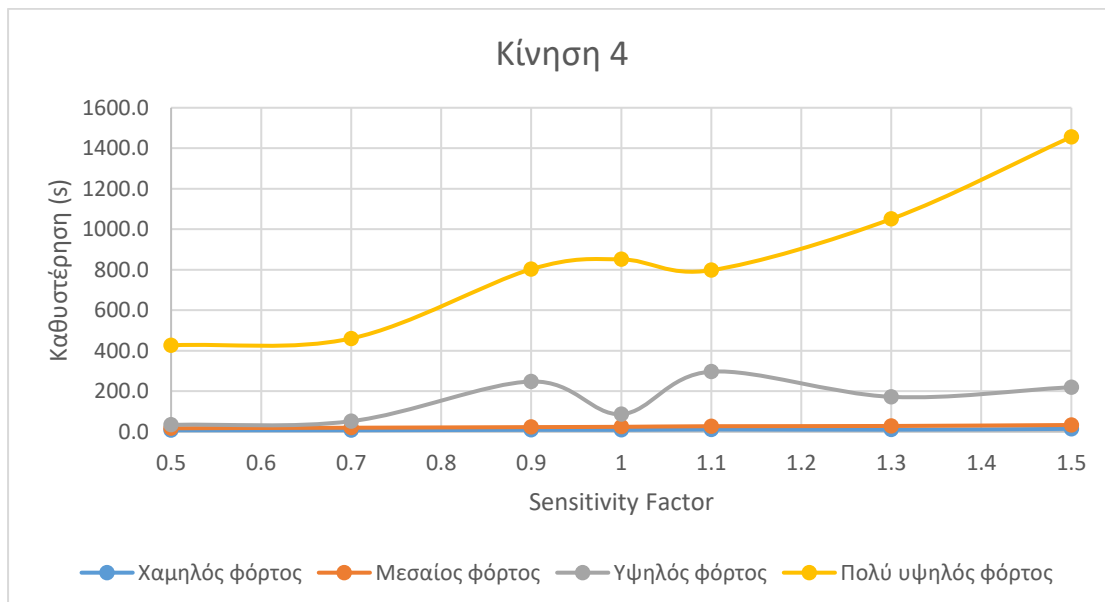
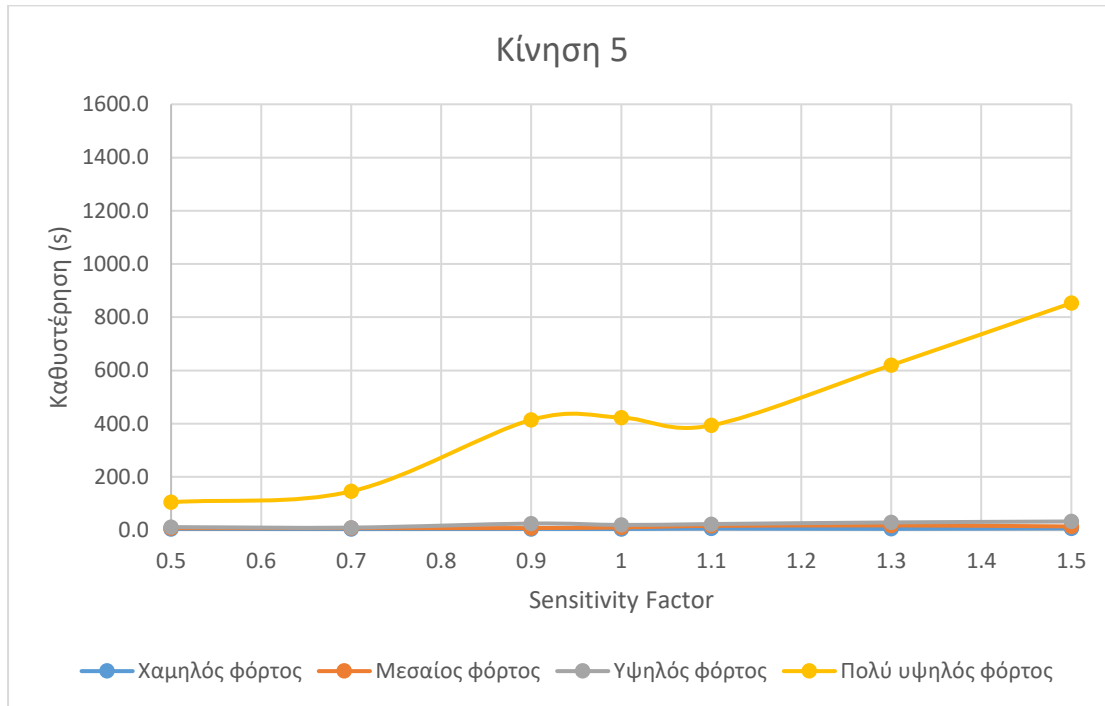


Σχήμα 4.21- Κινήσεις δυτικής πρόσβασης στον κόμβο προτεραιότητας T δύο λωρίδων (*max give-way time 10s*)

Το προφίλ που ακολουθούν οι καθυστερήσεις είναι το ίδιο εκτός από τις καθυστερήσεις στους χαμηλούς φόρτους για παράμετρο ευαισθησίας ίση με 1.3. Εκεί, στη πρώτη κίνηση, οι καθυστερήσεις φαίνονται να παραμένουν σταθερές, ενώ στη δεύτερη κίνηση υπάρχει αυξητική τάση. Γενικώς, κατά τη μεταβολή της παραμέτρου ευαισθησίας οι καθυστερήσεις τείνουν να αυξάνονται για όλα τα επίπεδα φόρτων, ενώ υπάρχουν και διακυμάνσεις κυρίως στο διάστημα τιμών 0.7 έως 1.1, που αφορούν περισσότερο τους μεσαίους φόρτους.

Προχωρώντας στις κινήσεις της ανατολικής πρόσβασης, μπορεί να παρατηρηθεί ότι οι καθυστερήσεις της αριστερής στροφής (κίνηση 4) είναι μεγαλύτερες από αυτές της ευθείας κίνησης (κίνηση 5) στους υψηλούς και πολύ υψηλούς φόρτους κάτι που αποδίδεται στο

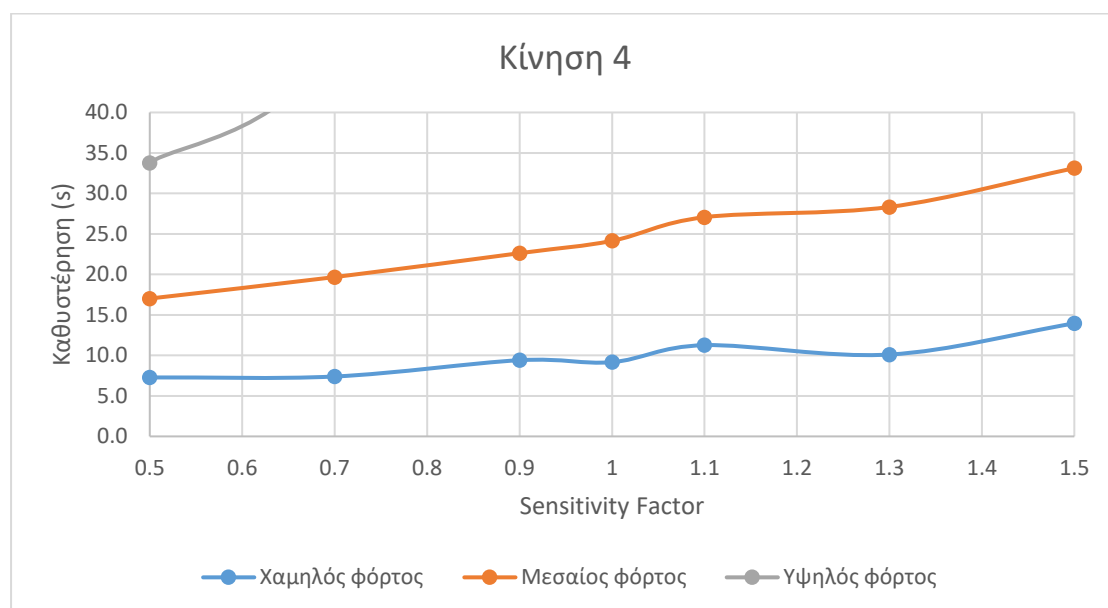
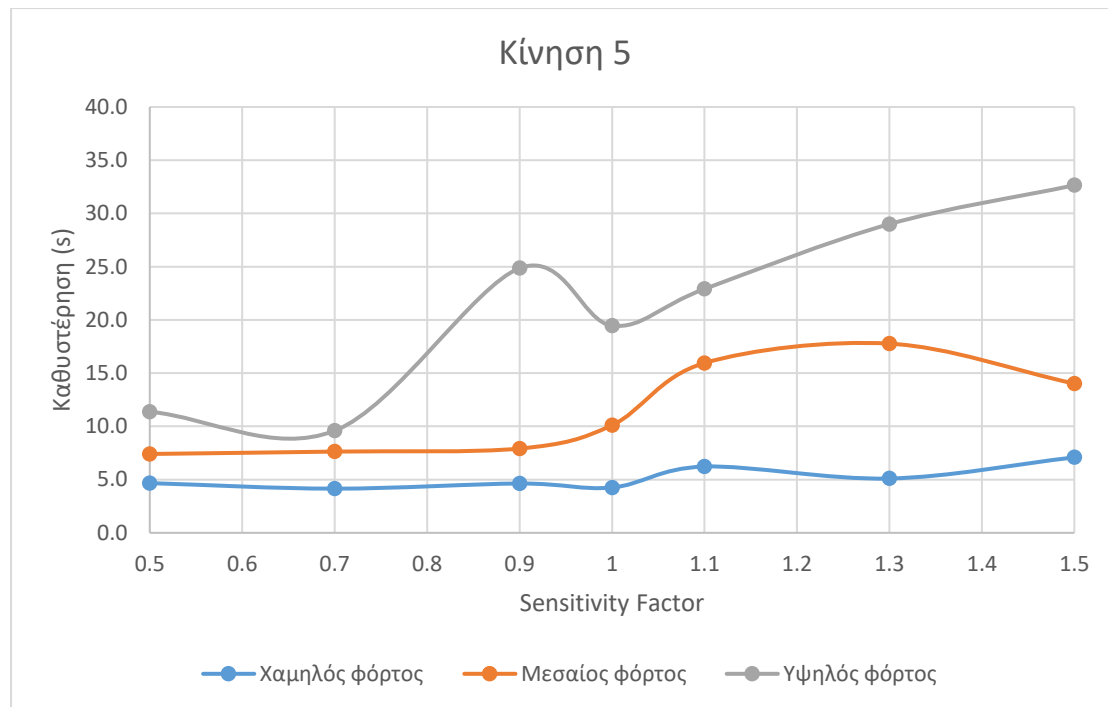
γεγονός ότι η αριστερή στροφή παραχωρεί προτεραιότητα με αποτέλεσμα να έχει μεγαλύτερες καθυστερήσεις. Ωστόσο, η τάση των καθυστερήσεων για τους πολύ υψηλούς φόρτους και των δύο κινήσεων φαίνεται ότι ακολουθούν το ίδιο προφίλ αυξητικής τάσης καθ' όλη τη μεταβολή της παραμέτρου ευαισθησίας, κάτι που δε συμβαίνει με τις καθυστερήσεις των μεσαίων φόρτων στην αριστερή στροφή (κίνηση 4) που έχουν μεγάλες διακυμάνσεις από 0.9 έως 1.1.



Σχήμα 4.22- Κινήσεις ανατολικής πρόσβασης στον κόμβο προτεραιότητας T δύο λωρίδων (max give-way time 10s)

Σε μικρότερη κλίμακα, παρακάτω, παρουσιάζονται οι καθυστερήσεις των χαμηλών και μεσαίων φόρτων των δύο κινήσεων καθώς και των υψηλών φόρτων για την ευθεία κίνηση της ανατολικής πρόσβασης. Για τη τελευταία, οι διακυμάνσεις των καθυστερήσεων είναι μεγάλες για παράμετρο ευαισθησίας από 0.7 έως 1.1. Για τις καθυστερήσεις των μεσαίων φόρτων, στην ευθεία κίνηση φαίνονται σταθεροί έως τη τιμή 1, αυξάνονται απότομα στη τιμή

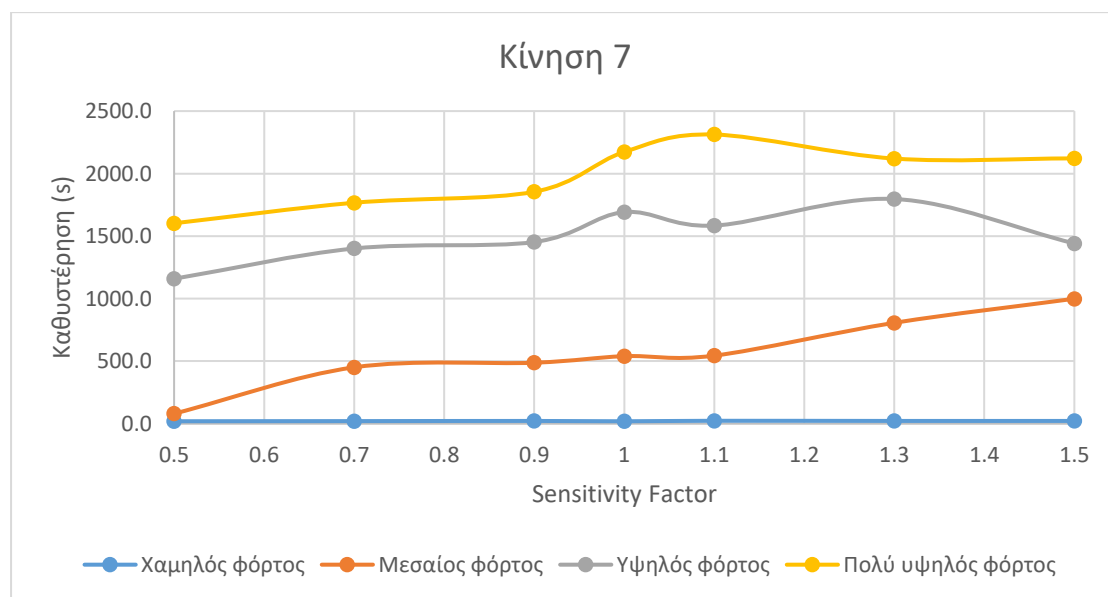
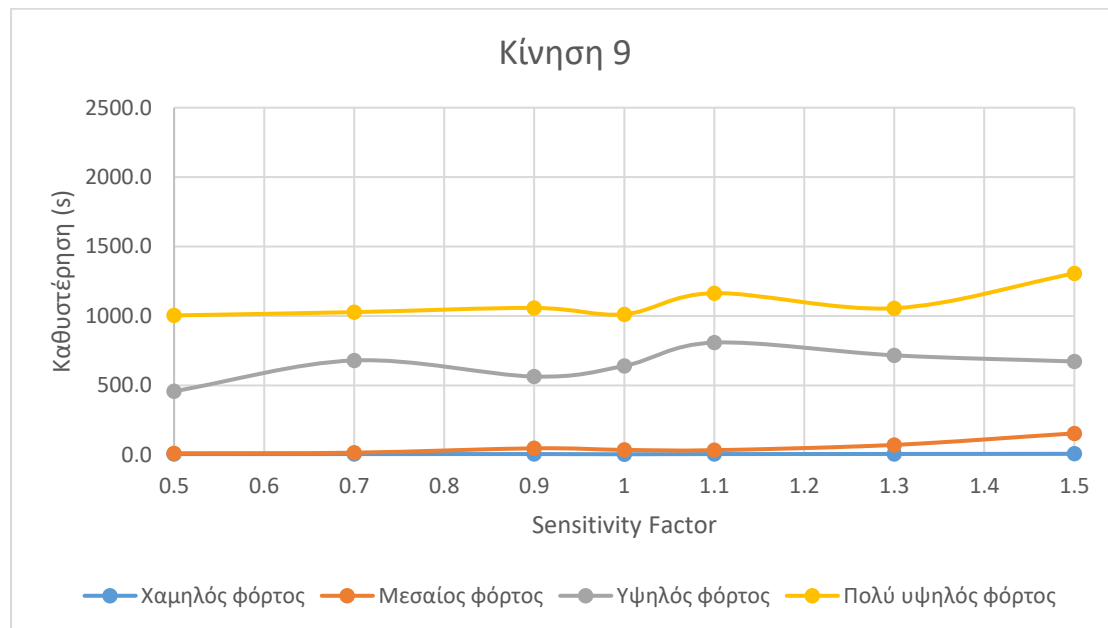
1.1. και ελαττώνονται ελαφρά έως τη τιμή 1.5. Για την αριστερή στροφή, οι καθυστερήσεις των μεσαίων φόρτων σημειώνουν σταδιακή αύξηση καθ' όλες τις τιμές μεταβολής. Όσον αφορά τις καθυστερήσεις των χαμηλών φόρτων, σημειώνουν ίδιο προφίλ διακύμανσης με σταθερή αυξητική τάση και μικρές μεταβολές και στις δύο κινήσεις.



Σχήμα 4.23- Κινήσεις ανατολικής πρόσβασης στον κόμβο προτεραιότητας T δύο λωρίδων (σε μικρότερη κλίμακα, max give-way time 10s)

Το ίδιο φαινόμενο παρατηρείται και στα διαγράμματα καθυστερήσεων για τις κινήσεις της νότιας πρόσβασης. Παρατηρείται δηλαδή, ότι οι καθυστερήσεις για τους μεσαίους, υψηλούς και πολύ υψηλούς φόρτους είναι πολύ μεγαλύτερες στην αριστερή στροφή (κίνηση 7) σε σχέση με τη δεξιά στροφή (κίνηση 9). Αυτό συμβαίνει αφού η αριστερή στροφή βρίσκεται σε χαμηλότερο επίπεδο προτεραιότητας από τη δεξιά. Από τις τιμές 0.5 έως 0.9 της παραμέτρου ευαισθησίας, οι καθυστερήσεις των μεσαίων, υψηλών και πολύ υψηλών φόρτων για την

αριστερή στροφή αυξάνονται σταθερά και από κει και μετά υπάρχουν έντονες διακυμάνσεις. Οι διακυμάνσεις στην δεξιά στροφή είναι πολύ μικρότερες.

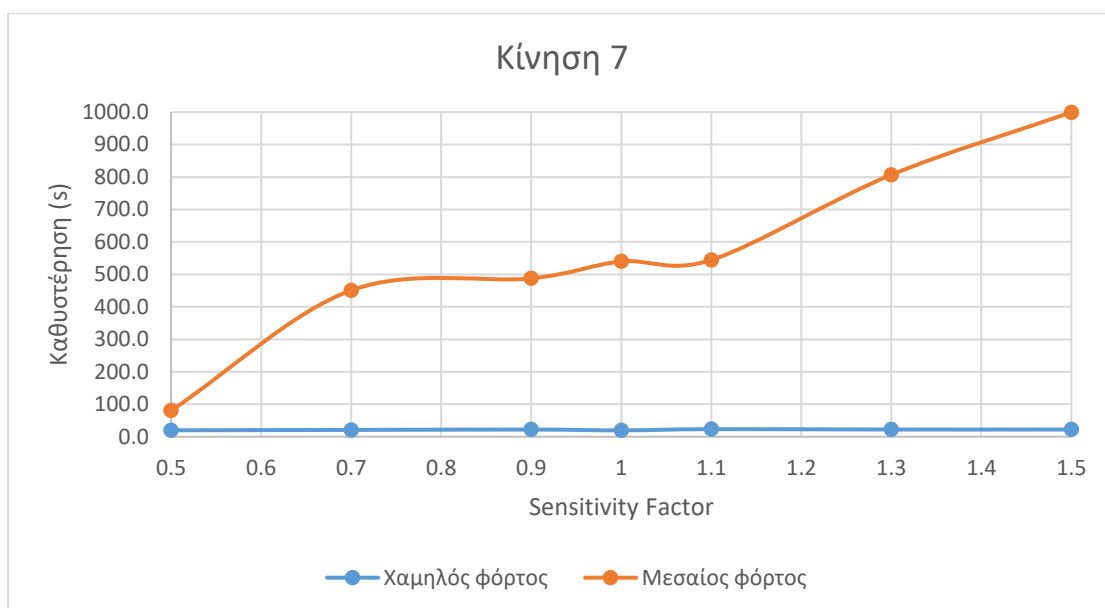
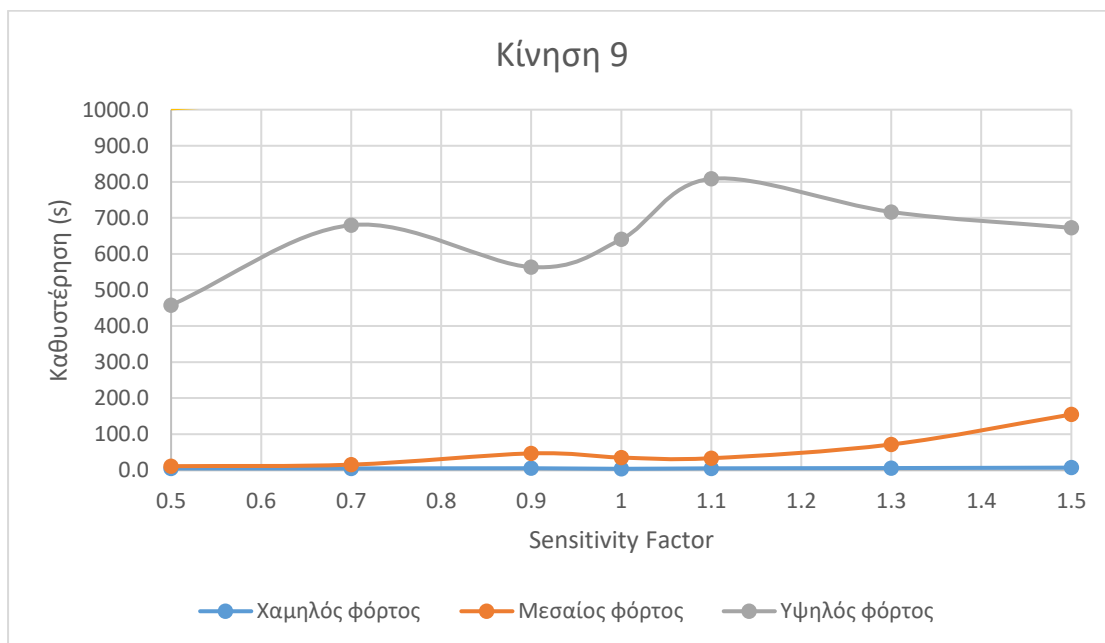


Σχήμα 4.24- Κινήσεις νότιας πρόσβασης στον κόμβο προτεραιότητας T δύο λωρίδων (max give-way time 10s)

Σε μικρότερη κλίμακα, παρουσιάζονται οι έντονες διακυμάνσεις των καθυστερήσεων στην δεξιά στροφή (κίνηση 9) για τιμές 0.7 έως 1.1. Από τη τιμή 1.1 και μετά η τάση των καθυστερήσεων είναι πτωτική έως και τη τιμή 1.5. Οι καθυστερήσεις για τους μεσαίους φόρτους της δεξιάς στροφής έχουν επίσης διακυμάνσεις στο εύρος τιμών 0.7 έως 1. Από τη τιμή 1 και μετά, ωστόσο, έχουν αυξητική τάση. Όσον αφορά τις καθυστερήσεις για τους χαμηλούς φόρτους, βρίσκονται σε πολύ μικρές τιμές και χωρίς διακυμάνσεις.

Για την αριστερή στροφή (κίνηση 7), η τάση των καθυστερήσεων για τους μεσαίους φόρτους είναι έντονα αυξητική στα εύρη τιμών 0.5-0.7 και 1.1-1.5. Στο εύρος 0.7-0.9 οι καθυστερήσεις παραμένουν σχεδόν σταθερές, ενώ από 0.9 έως 1.1 υπάρχουν κάποιες διακυμάνσεις.

Ομοίως, οι καθυστερήσεις για τους χαμηλούς φόρτους της αριστερής στροφής, είναι πολύ χαμηλές με κάποιες διακυμάνσεις στο εύρος 0.9 έως 1.1.

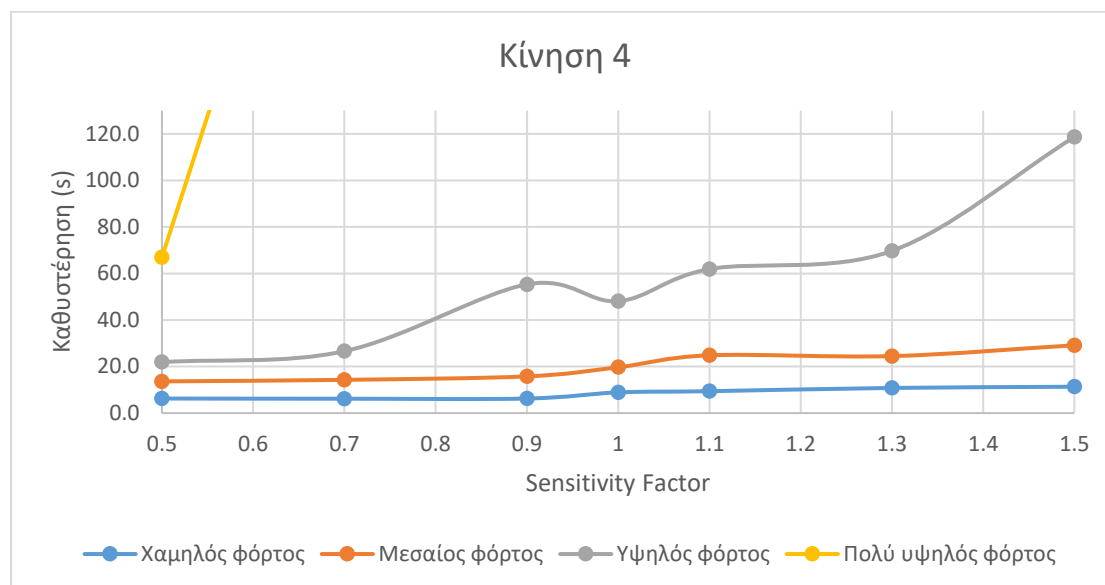


Σχήμα 4.25- Κινήσεις νότια πρόσβασης στον κόμβο προτεραιότητας T δύο λωρίδων (σε μικρότερη κλίμακα, max give-way time 10s)

Μεταβαλλόμενη παράμετρος ευαισθησίας – σταθερός μέγιστος χρόνος παραχώρησης προτεραιότητας στο 1s

Πραγματοποιήθηκε ακόμη η ανάλυση των αποτελεσμάτων των καθυστερήσεων κατά τη μεταβολή της παραμέτρου ευαισθησίας, ενώ ο μέγιστος χρόνος παραχώρησης προτεραιότητας ήταν σταθερός στο 1 δευτερόλεπτο. Η σημαντικότερη διαφορά που παρατηρήθηκε συγκριτικά με τα αντίστοιχα αποτελέσματα της περίπτωσης όπου ο χρόνος αυτός είναι σταθερός στα 10 δευτερόλεπτα, αφορά την αριστερή στροφή της ανατολικής πρόσβασης (κίνηση 4). Αναλυτικότερα, παρατηρήθηκε σημαντική διαφορά μεταξύ των καθυστερήσεων στους υψηλούς φόρτους στις δύο περιπτώσεις. Στο παρακάτω σχήμα (σχ.

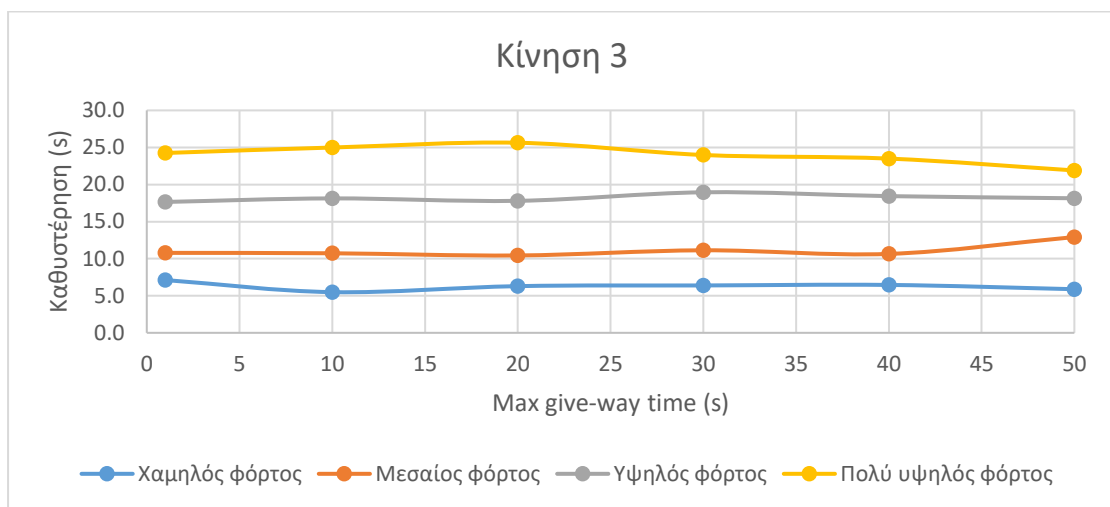
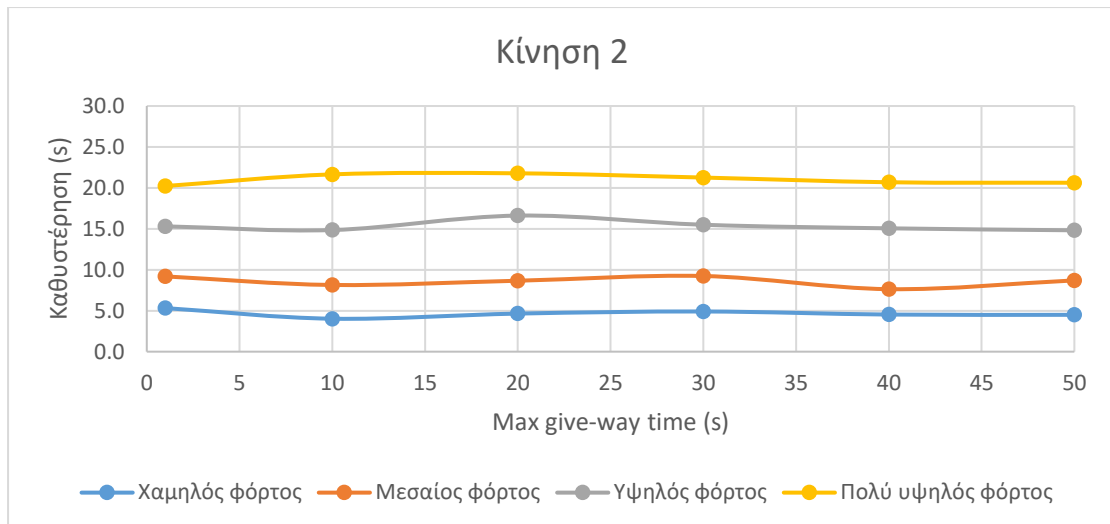
4.26- μέγιστος χρόνος παραχώρησης προτεραιότητας στο 1 δευτερόλεπτο), παρατηρείται ότι οι καθυστερήσεις στους υψηλούς φόρτους ακολουθούν το ίδιο προφίλ με τους αντίστοιχους στο σχήμα 4.22, όπου υπάρχει διακύμανση από τη τιμή 0.9 έως τη τιμή 1.1. Ωστόσο η διαφορά έγκειται στο γεγονός ότι αυτές οι καθυστερήσεις (στο παρακάτω σχήμα) αυξάνονται σημαντικά μετά το 1.3, σε αντίθεση με εκείνες του σχήματος 4.22 όπου σε εκείνο το σημείο μειώνονται. Ακόμη, οι καθυστερήσεις στους υψηλούς φόρτους του σχήματος 4.26 είναι πολύ χαμηλότεροι συγκριτικά με τις αντίστοιχες στο σχήμα 4.22. Σχετικά με τις καθυστερήσεις στους υπόλοιπους φόρτους, δεν παρουσιάζονται κάποιες σημαντικές διαφορές.



Σχήμα 4.26- Αριστερή στροφή ανατολικής πρόσβασης στον κόμβο προτεραιότητας T δύο λωρίδων (max give-way time 1s)

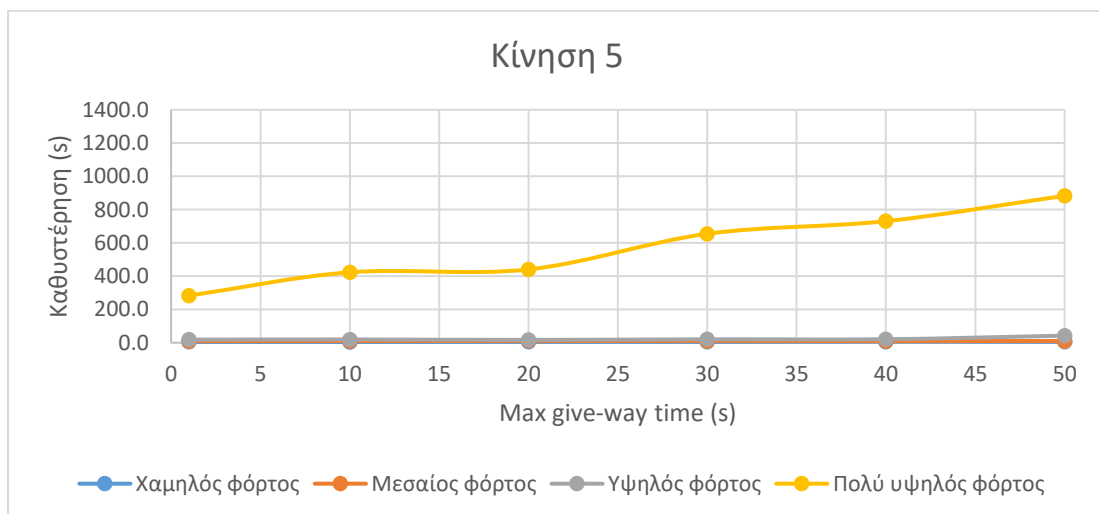
Μεταβαλλόμενος μέγιστος χρόνος παραχώρησης προτεραιότητας – σταθερή η παράμετρος ευαισθησίας στη τιμή 1 (default)

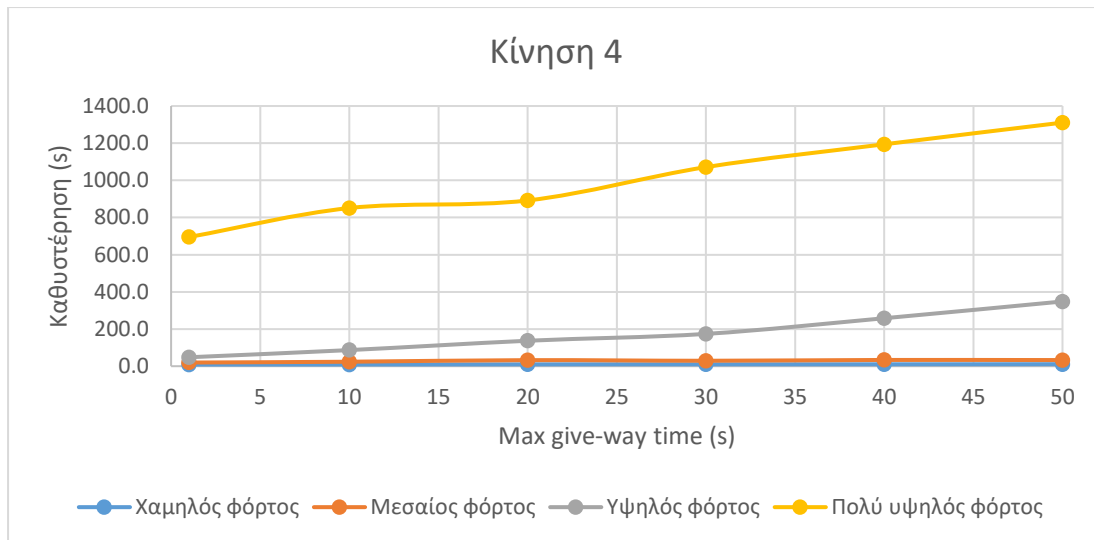
Στο σημείο αυτό παραμένει σταθερή η παράμετρος ευαισθησίας και μεταβάλλεται ο μέγιστος χρόνος παραχώρησης προτεραιότητας από 1 έως 50 δευτερόλεπτα. Παρακάτω παρατίθενται τα διαγράμματα καθυστερήσεων των κινήσεων της δυτικής πρόσβασης, τα οποία ακολουθούν ένα κοινό προφίλ. Και στις δύο κινήσεις φαίνεται ότι με τη μεταβολή του μέγιστου χρόνου παραχώρησης προτεραιότητας, οι καθυστερήσεις επηρεάζονται ελάχιστα. Περισσότερο επηρεάζονται οι καθυστερήσεις στους μεσαίους και υψηλούς φόρτους στα 20 και 40 δευτερόλεπτα αντιστοίχως, της ευθείας κίνησης (κίνησης 2).



Σχήμα 4.27- Κινήσεις δυτικής πρόσβασης στον κόμβο προτεραιότητας T δύο λωρίδων (sensitivity factor 1)

Παρακάτω, παρουσιάζονται οι κινήσεις τις ανατολικής πρόσβασης, των οποίων οι καθυστερήσεις στους πολύ υψηλούς φόρτους φαίνονται να επηρεάζονται με τον ίδιο τρόπο. Είναι εμφανές ότι οι καθυστερήσεις της αριστερής στροφής (κίνηση 4) είναι μεγαλύτερες, λόγω του χαμηλότερου επιπέδου προτεραιότητας από την ευθεία κίνηση (κίνηση 5).

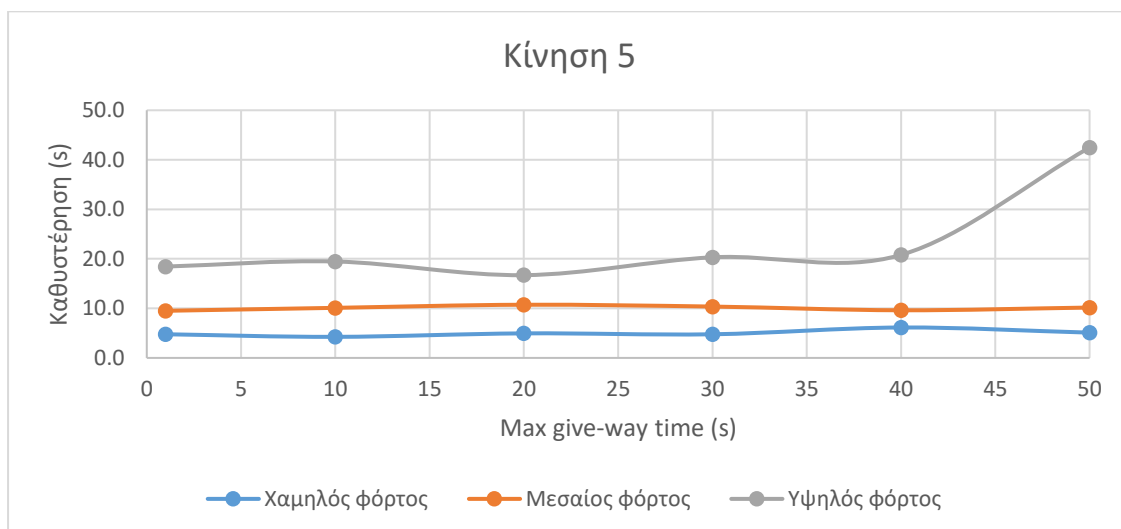


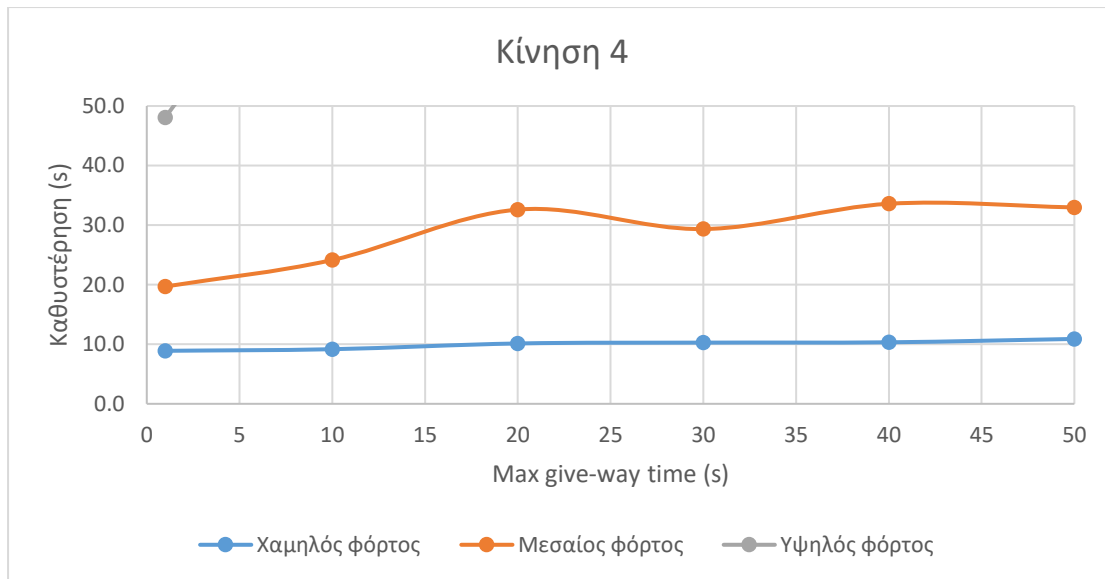


Σχήμα 4.28- Κινήσεις ανατολικής πρόσβασης στον κόμβο προτεραιότητας T δύο λωρίδων (sensitivity factor 1)

Η τάση των καθυστερήσεων στους πολύ υψηλούς φόρτους (και στις δύο κινήσεις) είναι αυξητική καθ' όλη τη μεταβολή του μέγιστου χρόνου παραχώρησης προτεραιότητας. Ομοίως, οι καθυστερήσεις για τους μεσαίους φόρτους της αριστερής στροφής (κίνησης 4) αυξάνονται σταθερά. Ωστόσο, οι αντίστοιχες για την ευθεία κίνηση (κίνηση 5) είναι σχεδόν σταθερές με κάποιες διακυμάνσεις στα 20 δευτερόλεπτα μέγιστου χρόνου παραχώρησης προτεραιότητας, όπως φαίνεται παρακάτω σε μικρότερη κλίμακα. Αυξάνονται, όμως, έντονα μετά τα 40 δευτερόλεπτα.

Όσον αφορά τις καθυστερήσεις στους χαμηλούς και μεσαίους φόρτους της ευθείας κίνησης (κίνηση 5), φαίνεται να μην επηρεάζονται από την μεταβολή του μέγιστου χρόνου παραχώρησης προτεραιότητας. Το ίδιο ισχύει και για τις καθυστερήσεις των χαμηλών φόρτων της αριστερής στροφής, οι οποίες αυξάνονται ελάχιστα κατά τη διάρκεια αύξησης του μέγιστου χρόνου παραχώρησης προτεραιότητας. Ωστόσο, η τάση των καθυστερήσεων για τους μεσαίους της αριστερής στροφής επηρεάζεται σχετικά έντονα, που αν και συνολικώς αυξάνεται, σημειώνει κάποιες διακυμάνσεις από τα 20 έως τα 40 δευτερόλεπτα.

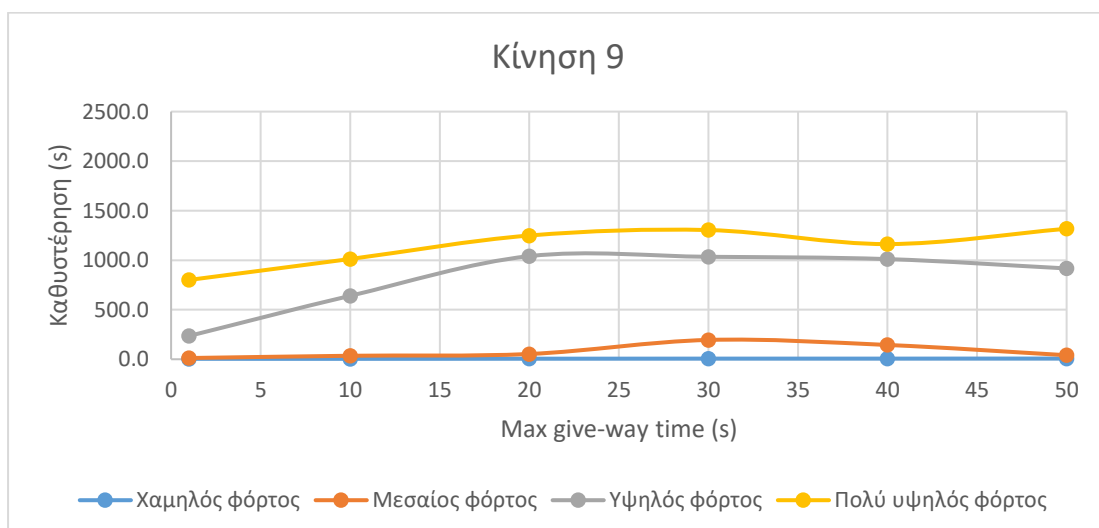


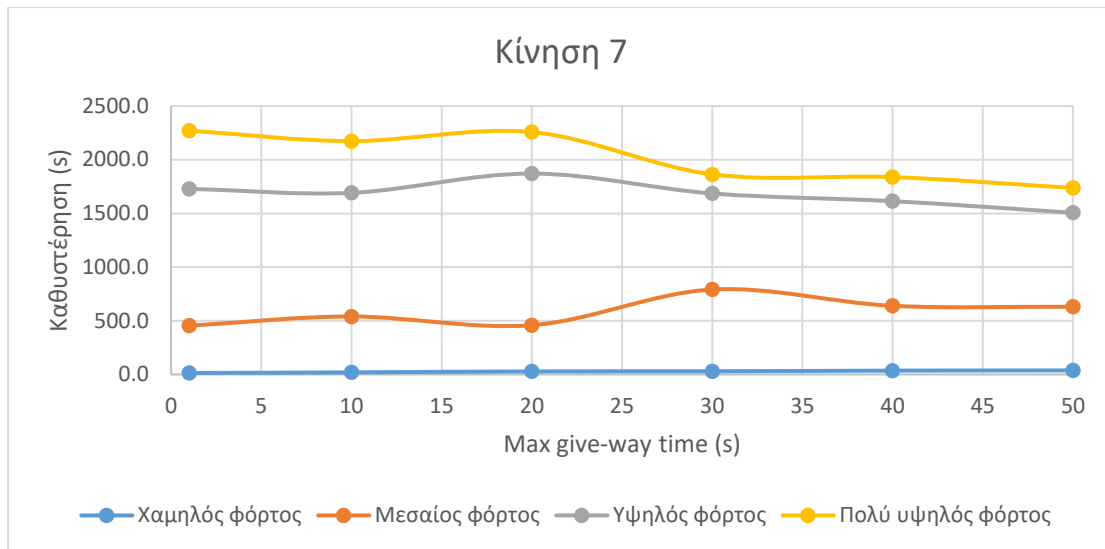


Σχήμα 4.29- Κινήσεις ανατολικής πρόσβασης στον κόμβο προτεραιότητας T δύο λωρίδων (σε μικρότερη κλίμακα, sensitivity factor 1)

Προχωρώντας στις κινήσεις της νότιας πρόσβασης, οι καθυστερήσεις μεταξύ των δύο κινήσεων δεν ακολουθούν το ίδιο προφίλ. Είναι προφανές, ξανά, ότι οι καθυστερήσεις για την αριστερή στροφή (κίνηση 7) είναι μεγαλύτερες από αυτές της δεξιάς στροφής (κίνηση 9) εφόσον η αριστερή στροφή από δευτερεύοντα άξονα βρίσκεται στο χαμηλότερο επίπεδο προτεραιότητας.

Οι τάσεις των καθυστερήσεων των υψηλών και πολύ υψηλών φόρτων για την δεξιά στροφή (κίνηση 9) είναι αυξητικές, σε αντίθεση με τις αντίστοιχες της αριστερής στροφής (κίνηση 7) που είναι μειωτικές. Όσον αφορά τις καθυστερήσεις των μεσαίων φόρτων, στην δεξιά στροφή είναι σχετικά αυξητικές, με ένα απότομο άλμα στα 30 δευτερόλεπτα. Στην αριστερή στροφή, συνολικά από το 1 έως τα 50 δευτερόλεπτα αυξάνονται, έχοντας διακυμάνσεις στο ενδιάμεσο, όπου μειώνονται απότομα στα 20 δευτερόλεπτα και αυξάνονται απότομα στα 30 δευτερόλεπτα. Οι καθυστερήσεις στους χαμηλούς φόρτους είναι σχετικά αυξητικές, αλλά σε γενικές γραμμές δεν επηρεάζονται από τη μεταβολή του μέγιστου χρόνου παραχώρησης προτεραιότητας σχεδόν καθόλου.





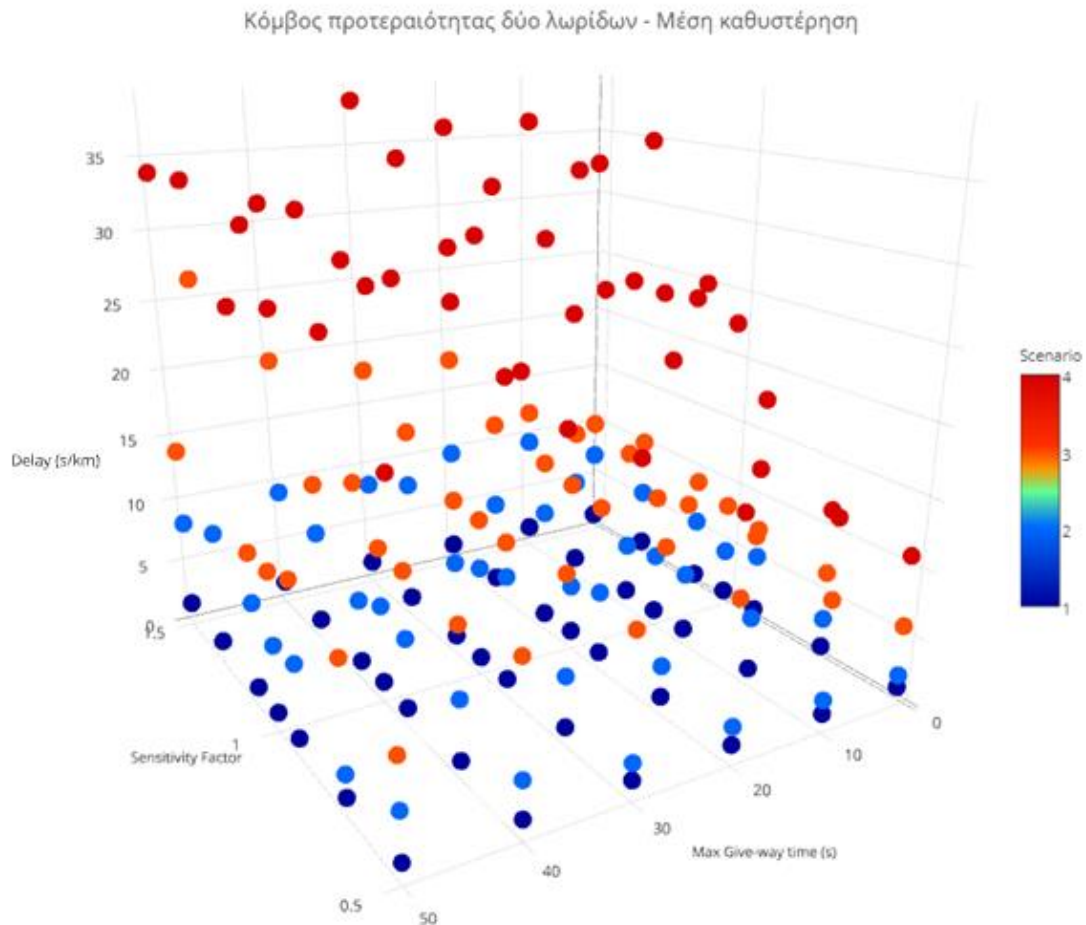
Σχήμα 4.30- Κινήσεις νότιας πρόσβασης στον κόμβο προτεραιότητας T δύο λωρίδων (sensitivity factor 1)

4.3.2 Ανάλυση συνολικού κόμβου

Τα συνολικά αποτελέσματα του κόμβου T δύο λωρίδων αναλύθηκαν σε 3-D διαγράμματα. Τα αποτελέσματα που παρουσιάζονται αφορούν την μέση καθυστέρηση, την μέση ταχύτητα και τον μέσο χρόνο μετακίνησης του κόμβου.

Ανάλυση κόμβου ως προς τη μέση καθυστέρηση

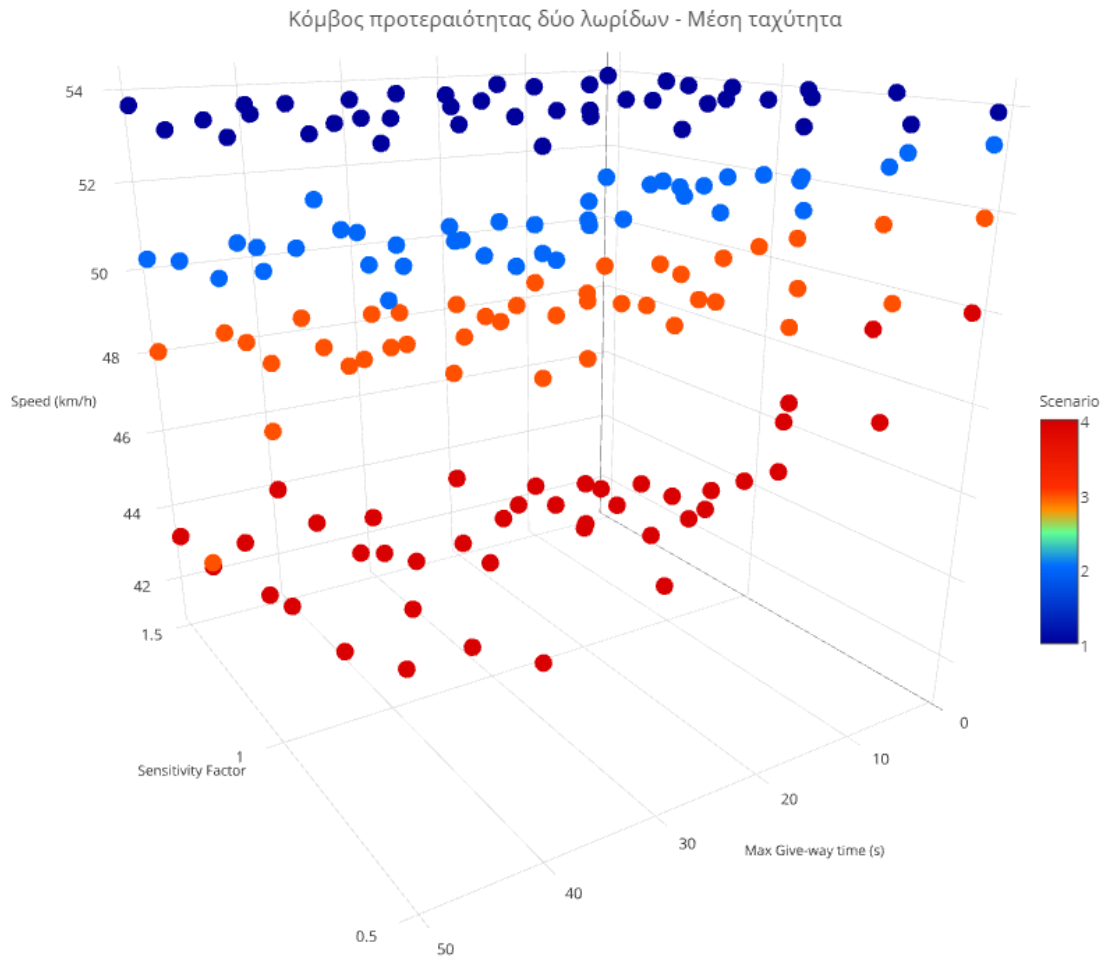
Αρχικά παρουσιάζεται το τρισδιάστατο διάγραμμα της μέσης καθυστέρησης συναρτήσει της παραμέτρου ευαισθησίας και του μέγιστου χρόνου παραχώρησης προτεραιότητας. Γενικά, οι καθυστερήσεις των χαμηλών φόρτων βρίσκονται στο χαμηλότερο επίπεδο και δεν επηρεάζονται από καμία παράμετρο επιρροής. Πάνω από αυτές, βρίσκονται οι καθυστερήσεις του μεσαίου και υψηλού φόρτου οι οποίες σημειώνουν κάποιες διακυμάνσεις με αποτέλεσμα τα σημεία που τις αντιπροσωπεύουν στο παρακάτω σχήματα να παρουσιάζονται κάπως διασκορπισμένα. Οι υψηλότερες τιμές καθυστέρησης είναι συγκεντρωμένες στις στη τιμή 1.5 της παραμέτρου ευαισθησίας και αφορούν τους πολύ υψηλούς φόρτους. Οι καθυστερήσεις αυτές παρατηρείται ότι επηρεάζονται σε μεγάλο βαθμό από τον μέγιστο χρόνο παραχώρησης προτεραιότητας. Πιο συγκεκριμένα, αυξάνονται με την αύξηση της παραμέτρου αυτής. Ακόμη, παρατηρούνται κάποιες πολύ υψηλές καθυστερήσεις στις μικρές τιμές του μέγιστου χρόνου παραχώρησης προτεραιότητας.



Σχήμα 4.31- Ανάλυση συνολικού κόμβου προτεραιότητας δύο λωρίδων ως προς τη μέση καθυστέρηση

Ανάλυση κόμβου ως προς τη μέση ταχύτητα

Το παρακάτω τρισδιάστατο διάγραμμα του κόμβου ως προς τη μέση ταχύτητα των οχημάτων υποδεικνύει ότι σε συνθήκες χαμηλού φόρτου τα οχήματα κινούνται με μεγαλύτερες ταχύτητες συγκριτικά με τις συνθήκες των υπόλοιπων φόρτων. Ειδικότερα, καθώς αυξανόταν ο φόρτος, η μέση ταχύτητα με την οποία κινούνταν τα οχήματα μειωνόταν. Οι παράμετροι επιρροής δείχνουν να επηρεάζουν μόνο τις ταχύτητες στους πολύ υψηλούς φόρτους πιο συγκεκριμένα μειώνονται με την αύξηση της τιμής της παραμέτρου ευαισθησίας και αυξάνονται με την αύξηση του μέγιστου χρόνου παραχώρησης προτεραιότητας. Αυτό είναι αναμενόμενο αφού η αύξηση τιμών στη παράμετρο ευαισθησίας υποδηλώνει ότι οι οδηγοί οδηγούν πιο συντηρητικά από ότι στην αντίθετη περίπτωση.

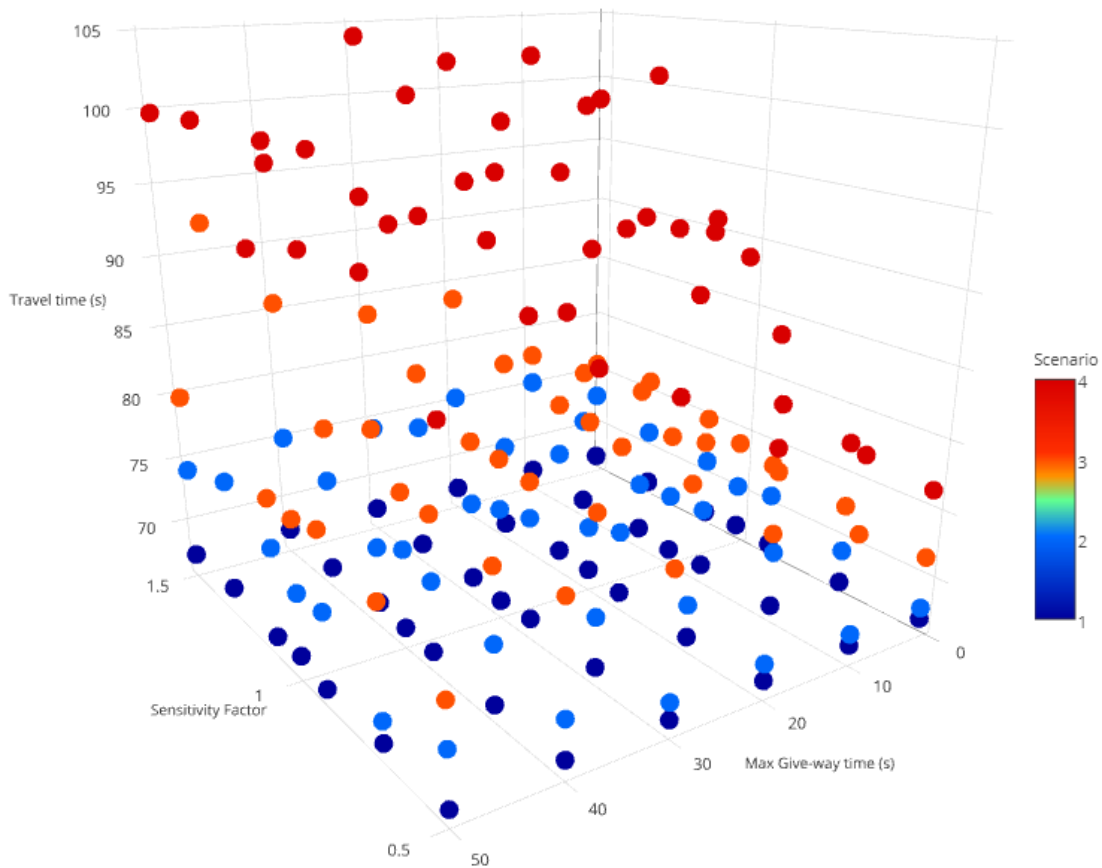


Σχήμα 4.32- Ανάλυση συνολικού κόμβου προτεραιότητας δύο λωρίδων ως προς τη μέση ταχύτητα

Ανάλυση κόμβου ως προς τον μέσο χρόνο μετακίνησης

Τέλος, από την ανάλυση του κόμβου ως προς τα αποτελέσματα του μέσου χρόνου μετακίνησης, συμπεραίνεται ότι η αύξηση των τιμών της παραμέτρου ευαισθησίας και του μέγιστου χρόνου παραχώρησης προτεραιότητας οδηγεί στην αύξηση του μέσου χρόνου μετακίνησης των οχημάτων εντός του κόμβου. Αυτό ισχύει σε μεγάλο βαθμό για τους πολύ υψηλούς φόρτους και λιγότερο για τους χαμηλότερους.

Κόμβος προτεραιότητας δύο λωρίδων - Μέσος χρόνος μετακίνησης



Σχήμα 4.33- Ανάλυση συνολικού κόμβου προτεραιότητας δύο λωρίδων ως προς τον μέσο χρόνο μετακίνησης

4.4 Κυκλικός κόμβος μίας λωρίδας

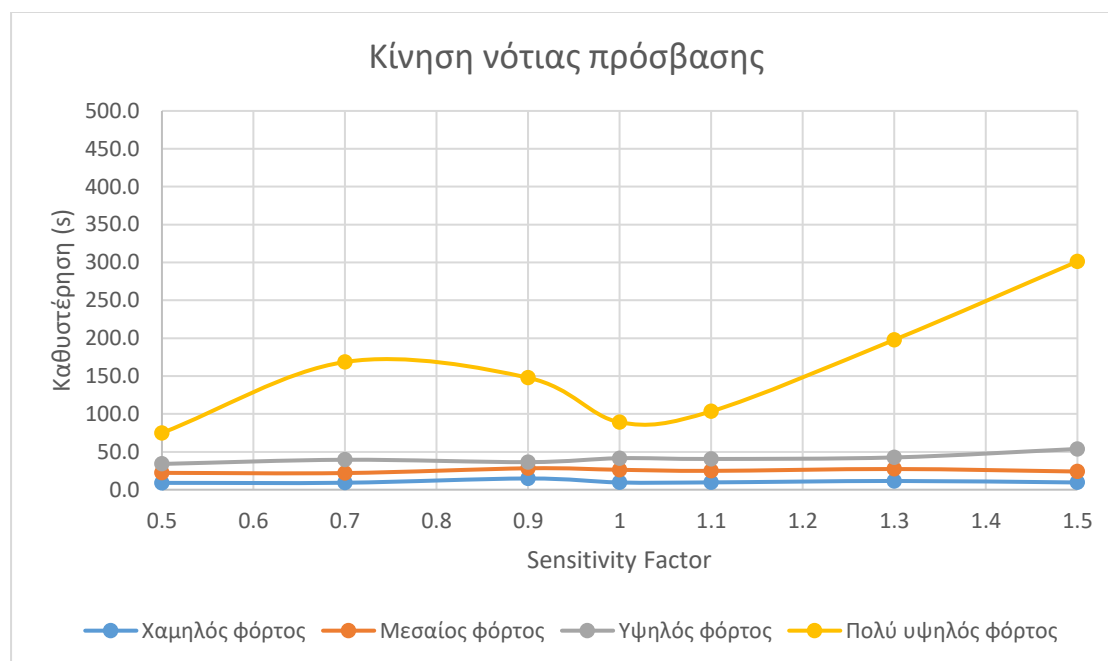
Τα αποτελέσματα του κυκλικού κόμβου θα αναλυθούν τόσο σε κάθε κίνηση ξεχωριστά, όσο και στο σύνολο του κόμβου, όπως δηλαδή έχει προηγηθεί και για τους προηγούμενους κόμβους.

4.4.1 Ανάλυση ανά κίνηση

Η διαφορά στους κυκλικούς κόμβους έγκειται στο γεγονός ότι θα αναλυθούν τρεις κινήσεις σε αντίθεση με τις έξι των T κόμβων προτεραιότητας. Αυτό συμβαίνει καθώς η μία κίνηση του κυκλικού κόμβου ανά πρόσβαση αντιπροσωπεύει δύο κινήσεις του κόμβου T . Για παράδειγμα, η κίνηση της δυτικής πρόσβασης στον κυκλικό κόμβο, την οποία χρησιμοποιούν τα οχήματα για να κατευθυνθούν νότια αλλά και ανατολικά, αντιπροσωπεύει την ευθεία και δεξιά κίνηση της δυτικής πρόσβασης του κόμβου T . Παρ' όλα αυτά, ομοίως με τους κόμβους T , θα αναλυθούν τα αποτελέσματα καθυστερήσεων ανά κίνηση σε δύο περιπτώσεις: όταν μεταβάλλεται η παράμετρος ευαισθησίας και ο μέγιστος χρόνος παραχώρησης προτεραιότητας παραμένει σταθερός και όταν ο μέγιστος χρόνος παραχώρησης προτεραιότητας μεταβάλλεται και η παράμετρος ευαισθησίας παραμένει σταθερή.

Μεταβαλλόμενη παράμετρος ευαισθησίας – σταθερός μέγιστος χρόνος παραχώρησης προτεραιότητας στα 10s (default)

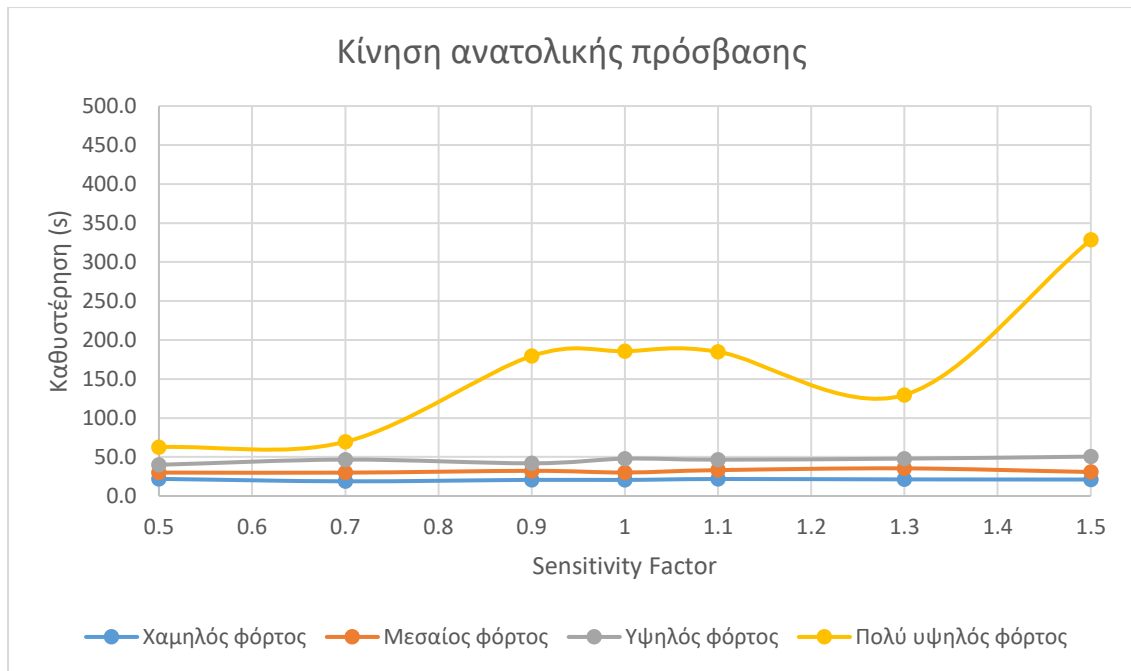
Αρχικά, παρουσιάζεται η κίνηση των οχημάτων που πραγματοποιείται από την νότια πρόσβαση του κυκλικού κόμβου. Οι καθυστερήσεις που επηρεάζονται εμφανώς είναι αυτές των πολύ υψηλών φόρτων, οι οποίες σημειώνουν μεγάλες διακυμάνσεις κυρίως στις τιμές 0.7 έως 1.1 της παραμέτρου ευαισθησίας. Πιο συγκεκριμένα, αυξάνονται έως το 0.7 και στη συνέχεια βυθίζονται έως τη τιμή 1. Από τη τιμή αυτή και μετά, οι καθυστερήσεις αυξάνονται σταδιακά και σημαντικά έως το 1.5. Όσον αφορά τις καθυστερήσεις στα υπόλοιπα επίπεδα φόρτων, δεν δείχνουν να επηρεάζονται σημαντικά παρά μόνο στη τιμή 0.9, όπου οι καθυστερήσεις των χαμηλών και μεσαίων φόρτων αυξάνονται, ενώ αυτές των υψηλών φόρτων μειώνονται.



Σχήμα 4.34- Κίνηση νότιας πρόσβασης στον κυκλικό κόμβο μίας λωρίδας (max give-way time 10s)

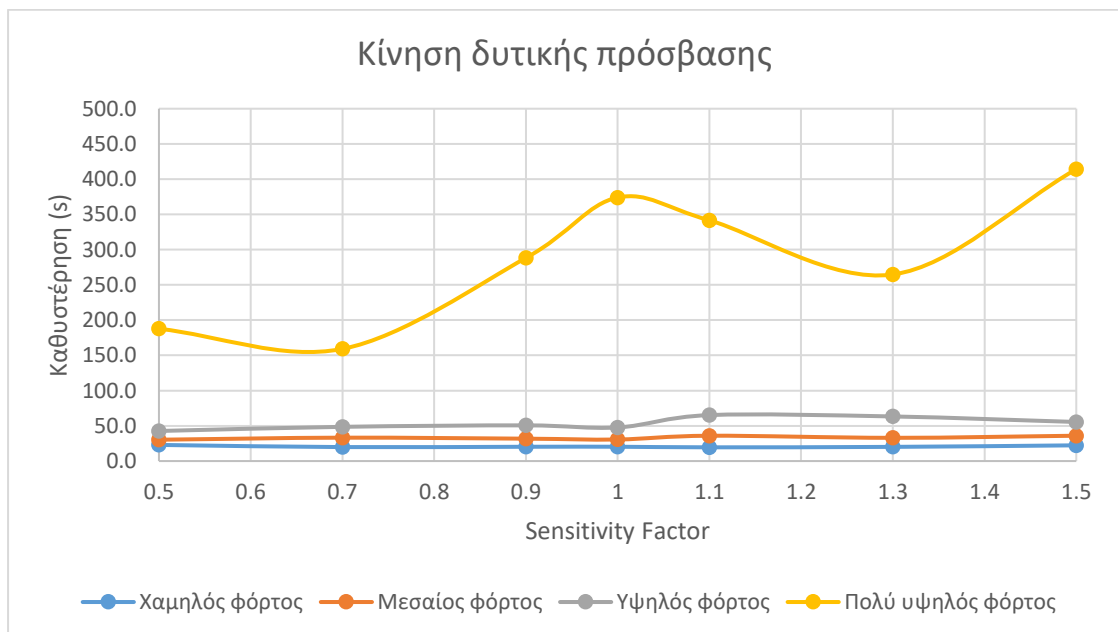
Στη συνέχεια, παρουσιάζεται η κίνηση των οχημάτων που πραγματοποιείται από την ανατολική πρόσβαση. Ομοίως με το σχήμα 4.34 της νότιας πρόσβασης, οι καθυστερήσεις που επηρεάζονται περισσότερο είναι εκείνες των πολύ υψηλών φόρτων. Πιο αναλυτικά, αυξάνονται απότομα από τη τιμή 0.7 έως τη τιμή 0.9 της παραμέτρου ευαισθησίας και παραμένουν σχετικά σταθερές έως το 1.1. Έπειτα, μειώνονται σημαντικά μέχρι τη τιμή 1.3 και αυξάνονται απότομα έως το 1.5.

Όσον αφορά τις καθυστερήσεις των χαμηλών φόρτων, δεν επηρεάζονται σχεδόν καθόλου κατά τη μεταβολή της παραμέτρου ευαισθησίας. Οι καθυστερήσεις των μεσαίων φόρτων παρουσιάζουν διακυμάνσεις γύρω από τη τιμή του 1, ενώ αυξάνονται στο 1.3. Τέλος, οι καθυστερήσεις των υψηλών φόρτων αυξάνονται απότομα στις τιμές 0.7 και 1, ενώ υπάρχει σταδιακή αύξηση από το 1.1 έως το 1.5.



Σχήμα 4.35- Κίνηση ανατολικής πρόσβασης στον κυκλικό κόμβο μίας λωρίδας (max give-way time 10s)

Οι καθυστερήσεις της κίνησης που πραγματοποιείται από τα οχήματα της δυτικής πρόσβασης, επηρεάζονται σε πολύ μεγάλο βαθμό για τους πολύ υψηλούς φόρτους, όπως παρουσιάζεται στο παρακάτω σχήμα. Συνολικά από τη μεταβολή της παραμέτρου ευαισθησίας από 0.5 έως 1.5, οι καθυστερήσεις αυξάνονται αλλά παρουσιάζουν μία απότομη πτώση στη τιμή 1.3. Όσον αφορά τις καθυστερήσεις των χαμηλών φόρτων, δεν επηρεάζονται σχεδόν καθόλου, ενώ εκείνες των μεσαίων φόρτων έχουν μία αύξηση στη τιμή 1.1. Ομοίως, οι καθυστερήσεις των υψηλών φόρτων, αυξάνεται απότομα στη τιμή 1.1 και μειώνονται σταθερά έως το 1.5. Γενικώς παρατηρείται μία αστάθεια στις τάσεις όλων των καθυστερήσεων από το 0.9 έως το 1.1.

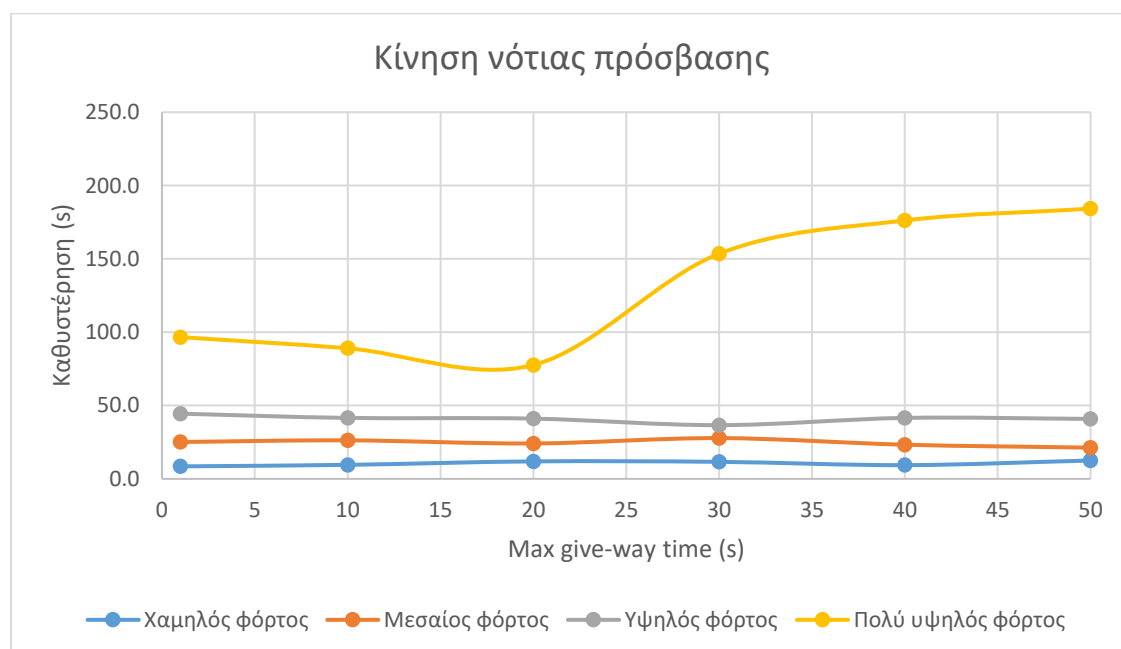


Σχήμα 4.36- Κίνηση δυτικής πρόσβασης στον κυκλικό κόμβο μίας λωρίδας (max give-way time 10s)

Συνολικά, οι μεγαλύτερες καθυστερήσεις παρατηρούνται στις κινήσεις από τη δυτική πρόσβαση, κυρίως για τους υψηλούς και πολύ υψηλούς φόρτους. Οι καθυστερήσεις των χαμηλών και μεσαίων φόρτων κινούνται σε παρεμφερή επίπεδα στην ανατολική και δυτική πρόσβαση, ενώ είναι χαμηλότερες για τη κίνηση στην νότια πρόσβαση.

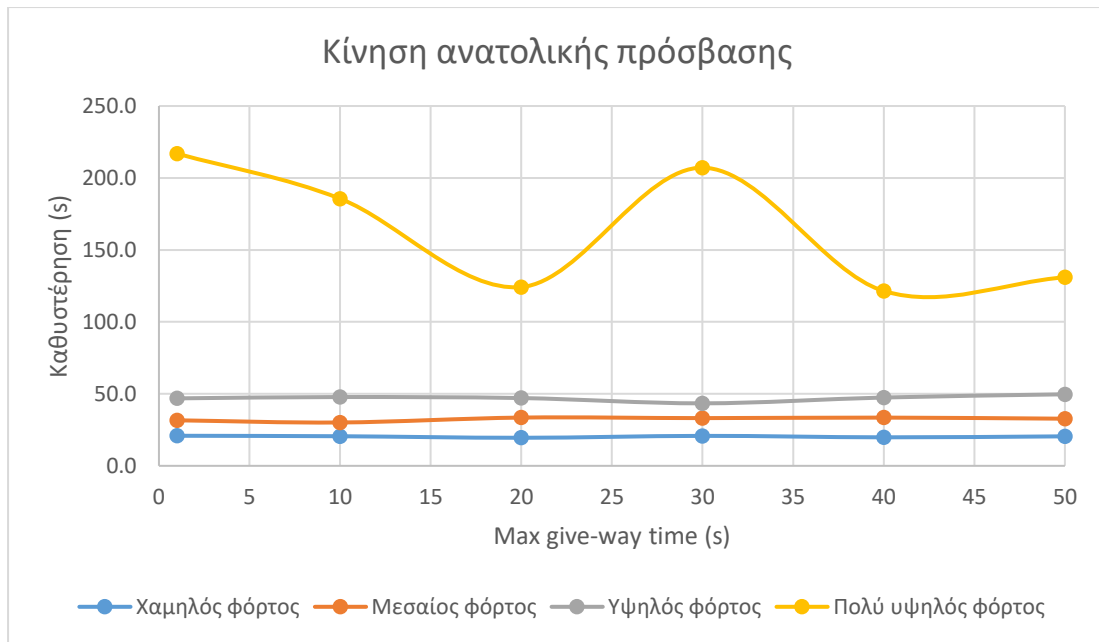
Μεταβαλλόμενος μέγιστος χρόνος παραχώρησης προτεραιότητας – σταθερή η παράμετρος ευαισθησίας στη τιμή 1 (default)

Αρχικά, παρουσιάζεται το διάγραμμα καθυστερήσεων για τη κίνηση των οχημάτων από την νότια πρόσβαση. Οι καθυστερήσεις των πολύ υψηλών φόρτων με τη αύξηση του μέγιστου χρόνου παραχώρησης προτεραιότητας από το 1 έως τα 20 δευτερόλεπτα μειώνονται σταθερά, ωστόσο πέραν των 20 δευτερολέπτων οι καθυστερήσεις αυξάνονται πολύ απότομα έως τα 50 δευτερόλεπτα. Οι καθυστερήσεις των χαμηλών, μεσαίων και υψηλών φόρτων δεν έχουν σημαντικές διαφορές στο 1 και στα 50 δευτερόλεπτα, ωστόσο έχουν αρκετές διακυμάνσεις κατά τη μεταβολή του μέγιστου χρόνου παραχώρησης προτεραιότητας στα 30 δευτερόλεπτα.



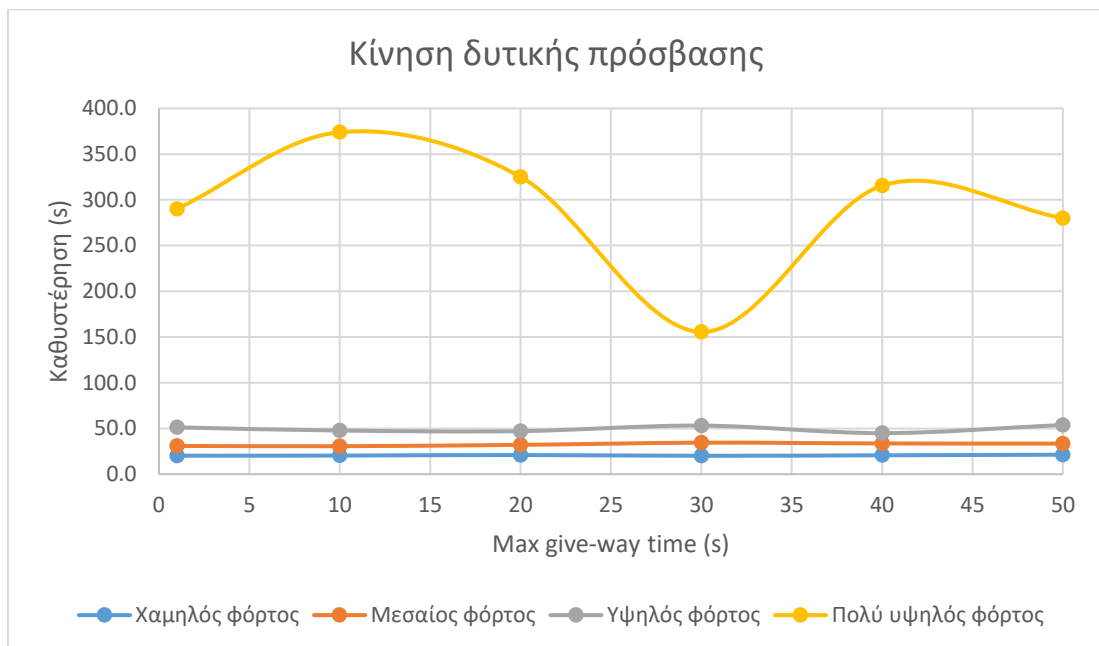
Σχήμα 4.37- Κίνηση νότιας πρόσβασης στον κυκλικό κόμβο μίας λωρίδας (sensitivity factor 1)

Οι καθυστερήσεις της κίνησης των οχημάτων στους πολύ υψηλούς φόρτους στην ανατολική πρόσβαση επηρεάζονται πολύ έντονα με τη μεταβολή των διαφόρων τιμών του μέγιστου χρόνου παραχώρησης προτεραιότητας, όπως παρουσιάζεται παρακάτω. Γενικά, από το 1 έως τα 50 δευτερόλεπτα, οι καθυστερήσεις μειώνονται, ωστόσο υπάρχει μια μεγάλη αύξηση στα 30 δευτερόλεπτα. Οι καθυστερήσεις των χαμηλών, μεσαίων και υψηλών φόρτων δεν επηρεάζονται όσο εκείνες των πολύ υψηλών φόρτων. Πιο συγκεκριμένα, υπάρχει μια μείωση στις καθυστερήσεις των υψηλών φόρτων στα 30 δευτερόλεπτα, αλλά σε γενικές γραμμές τα τρία επίπεδα φόρτων δεν επηρεάζονται σημαντικά ως προς τις καθυστερήσεις.



Σχήμα 4.38- Κίνηση ανατολικής πρόσβασης στον κυκλικό κόμβο μίας λωρίδας (sensitivity factor 1)

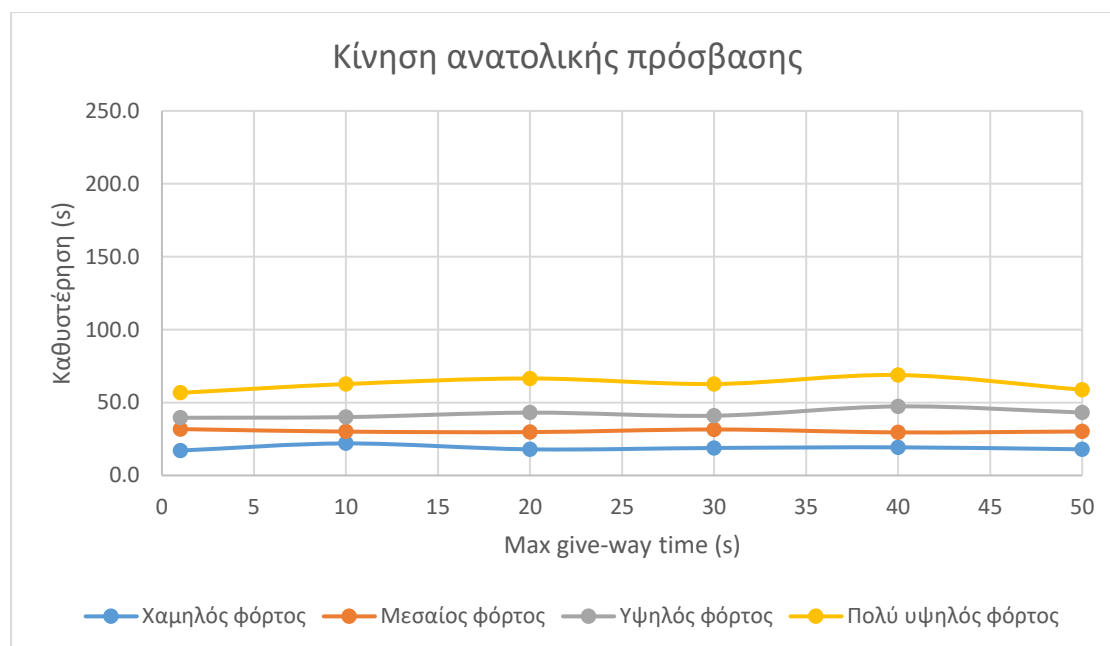
Όσον αφορά τις καθυστερήσεις της κίνησης που πραγματοποιείται από τα οχήματα στην δυτική πρόσβαση, επηρεάζονται σε μεγάλο βαθμό ως προς την αύξηση του μέγιστου χρόνου παραχώρησης προτεραιότητας, ιδίως εκείνες των πολύ υψηλών φόρτων. Στο παρακάτω σχήμα, παρατηρείται η μεγάλη διακύμανση των καθυστερήσεων στους πολύ υψηλού φόρτους. Ενώ από το 1 έως τα 20 δευτερόλεπτα αυτές οι καθυστερήσεις αυξάνονται, μετά από τα 20 δευτερόλεπτα μειώνονται σε πολύ μεγάλο βαθμό έως ότου σημειώσουν ελάχιστη τιμή στα 30 δευτερόλεπτα. Έπειτα, αυξάνονται ξανά απότομα έως τα 40 δευτερόλεπτα για να ξανά μειωθούν στα 50. Σχετικά με τις καθυστερήσεις των υπόλοιπων φόρτων, στους μεσαίους φόρτους υπάρχουν διακυμάνσεις καθ' όλη τη μεταβολή των τιμών, ενώ εκείνες των χαμηλών και μεσαίων δεν επηρεάζονται τόσο.



Σχήμα 4.39- Κίνηση δυτικής πρόσβασης στον κυκλικό κόμβο μίας λωρίδας (sensitivity factor 1)

Μεταβαλλόμενος μέγιστος χρόνος παραχώρησης προτεραιότητας – σταθερή η παράμετρος ευαισθησίας στη τιμή 0.5

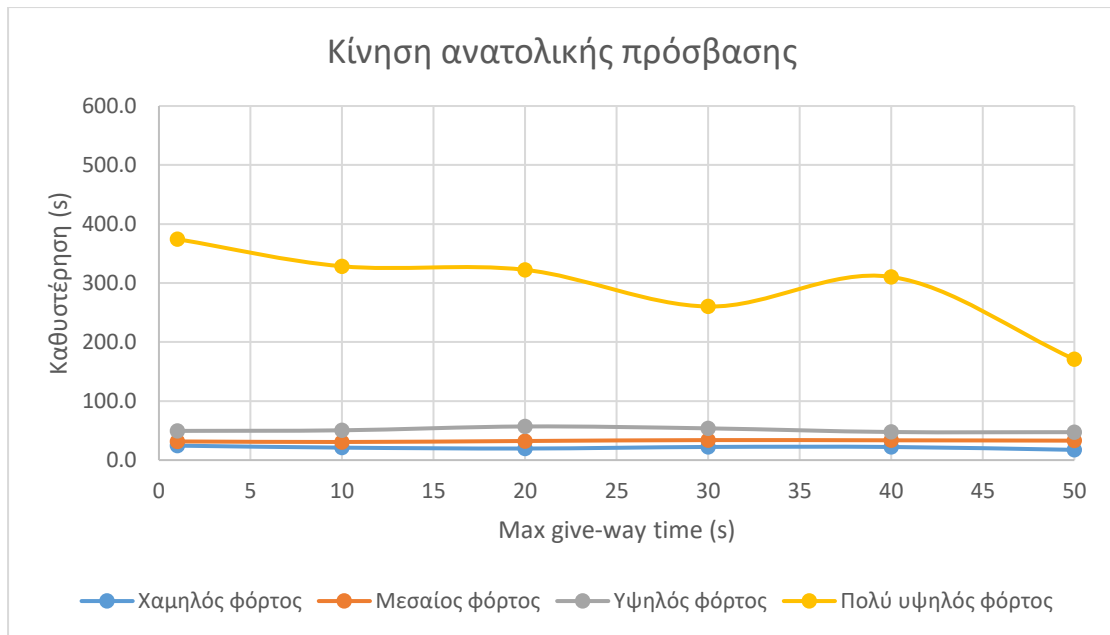
Πραγματοποιήθηκε, ακόμη, η ανάλυση των αποτελεσμάτων με μεταβαλλόμενο τον μέγιστο χρόνο παραχώρησης προτεραιότητας και σταθερή τη παράμετρο ευαισθησίας στο 0.5. Η σημαντικότερη διαφορά στις καθυστερήσεις σε σύγκριση με τη περίπτωση της τιμής 1, βρίσκεται στη κίνηση της ανατολικής πρόσβασης και πιο συγκεκριμένα στις καθυστερήσεις των πολύ υψηλών φόρτων. Όπως παρουσιάζεται στο παρακάτω σχήμα (4.40), οι καθυστερήσεις των πολύ υψηλών φόρτων όχι μόνο έχουν πολύ ομαλότερες διακυμάνσεις σε σχέση με τις καθυστερήσεις των αντίστοιχων φόρτων του σχήματος 4.38, αλλά είναι και αρκετά μικρότερες. Οι καθυστερήσεις των χαμηλών, μεσαίων και υψηλών φόρτων δεν διαφέρουν αρκετά στα δύο αυτά σχήματα.



Σχήμα 4.40- Κίνηση ανατολικής πρόσβασης στον κυκλικό κόμβο μίας λωρίδας (sensitivity factor 0.5)

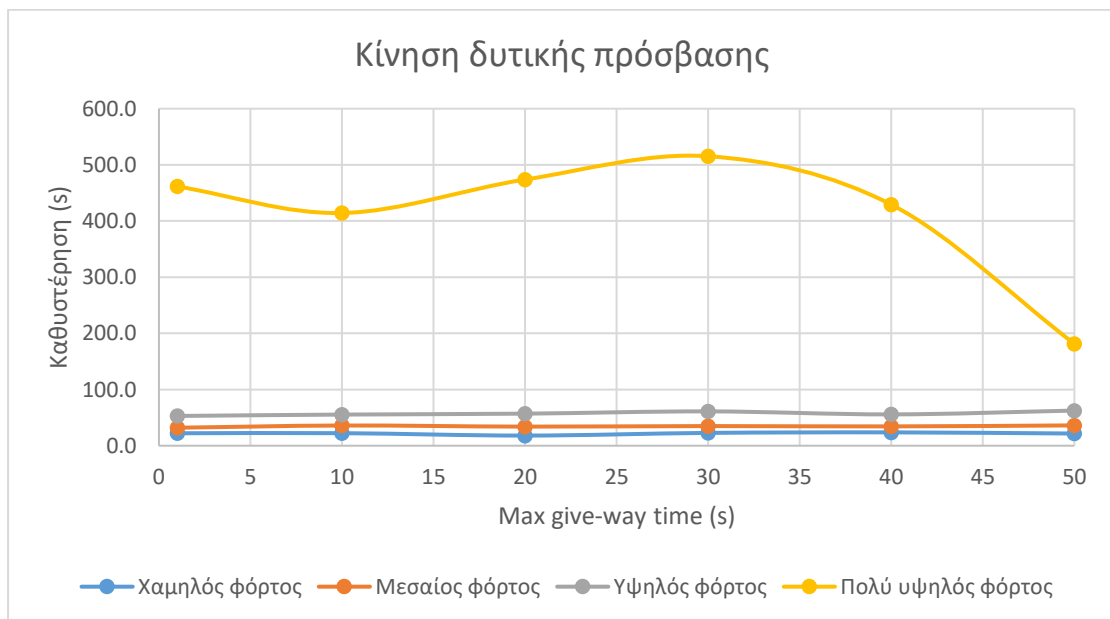
Μεταβαλλόμενος μέγιστος χρόνος παραχώρησης προτεραιότητας – σταθερή η παράμετρος ευαισθησίας στη τιμή 1.5

Πραγματοποιήθηκε ανάλυση και για σταθερή παράμετρο ευαισθησίας στη τιμή 1.5, όπου παρατηρήθηκαν κάποιες διαφορές με τη τιμή 1, κυρίως στις καθυστερήσεις των πολύ υψηλών φόρτων. Ειδικότερα, στη κίνηση της ανατολικής πρόσβασης οι καθυστερήσεις στους πολύ υψηλούς φόρτους στη τιμή 1.5 (σχ. 4.41), παρουσιάζουν διακυμάνσεις μετά τα 30 δευτερόλεπτα μέγιστου χρόνου παραχώρησης προτεραιότητας, σε αντίθεση με τις αντίστοιχες καθυστερήσεις της τιμής 1 του σχήματος 4.38, όπου οι διακυμάνσεις σημειώνονται στα 30 δευτερόλεπτα. Ακόμη, οι καθυστερήσεις των πολύ υψηλών φόρτων του σχήματος 4.41 είναι πολύ υψηλότερες από εκείνες του σχήματος 4.38. Τέλος, οι καθυστερήσεις στους υπόλοιπους φόρτους, δεν παρουσιάζουν σημαντικές διαφορές από το ένα διάγραμμα στο άλλο.



Σχήμα 4.41- Κίνηση ανατολικής πρόσβασης στον κυκλικό κόμβο μίας λωρίδας (sensitivity factor 1.5)

Μία ακόμη τέτοια περίπτωση διαφοράς βρίσκεται στη κίνηση της δυτικής πρόσβασης στα σχήματα 4.39 (παράμετρος ευαισθησίας ίσος με 1) και 4.42 (παράμετρος ευαισθησίας ίση με 1.5). Αναλυτικότερα, η διαφορά βρίσκεται στις καθυστερήσεις των πολύ υψηλών φόρτων, όπου στο σχήμα 4.42 παρατηρείται πολύ απότομη πτώση μετά τα 30 δευτερόλεπτα. Σε αντίθεση, με το σχήμα 4.39 όπου μετά τα 30 δευτερόλεπτα οι αντίστοιχες καθυστερήσεις αυξάνονται. Ακόμη, στη περίπτωση της παραμέτρου ευαισθησίας 1.5 οι καθυστερήσεις αυτές βρίσκονται σε πολύ υψηλότερες τιμές συγκριτικά με τη περίπτωση της παραμέτρου αυτής στη τιμή 1. Όσον αφορά τις καθυστερήσεις στους υπόλοιπους φόρτους δεν εμφανίζονται κάποιες σημαντικές διαφορές μεταξύ των δύο αυτών διαγραμμάτων.



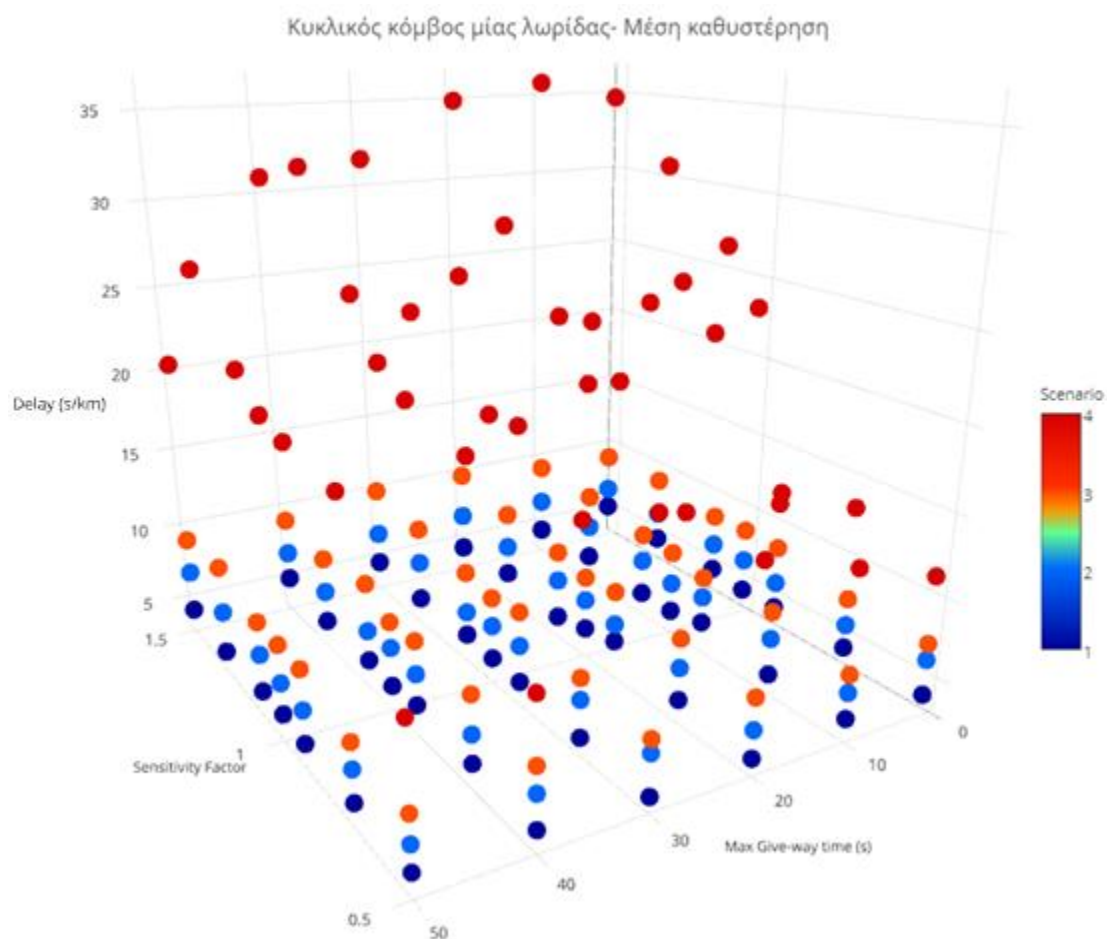
Σχήμα 4.42- Κίνηση δυτικής πρόσβασης στον κυκλικό κόμβο μίας λωρίδας (sensitivity factor 1.5)

4.4.2 Ανάλυση συνολικού κόμβου

Ομοίως με τις περιπτώσεις των T κόμβων προτεραιότητας, ο κυκλικός κόμβος μίας λωρίδας διερευνήθηκε ως προς τα αποτελέσματα που αφορούν τον κόμβο στο σύνολό του. Τα αποτελέσματα αυτά αφορούν τη μέση καθυστέρηση, τη μέση ταχύτητα και τον μέσο χρόνο μετακίνησης. Η ανάλυση έγινε με τη βοήθεια τρισδιάστατων διαγραμμάτων.

Ανάλυση κόμβου ως προς τη μέση καθυστέρηση

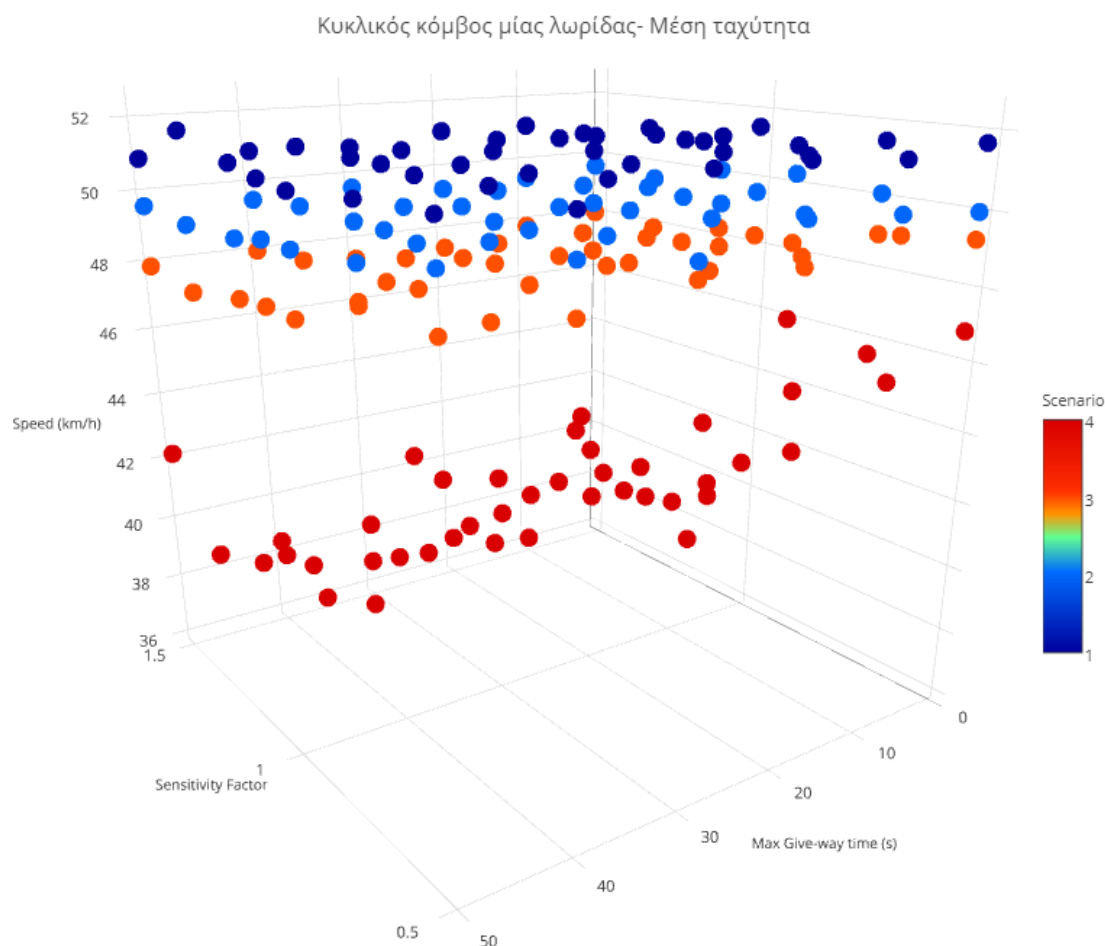
Από το παρακάτω διάγραμμα που παρουσιάζει τις τάσεις των καθυστερήσεων συναρτήσει των παραμέτρων επιρροής, συμπεραίνεται αφενός ότι οι καθυστερήσεις σε συνθήκες χαμηλού, μεσαίου και υψηλού φόρτου δεν επηρεάζονται από τις παραμέτρους επιρροής και αφετέρου ότι οι καθυστερήσεις στις συνθήκες πολύ υψηλών φόρτων επηρεάζονται σε μεγάλο βαθμό. Αυτό οδηγεί τα σημεία που αντιπροσωπεύουν τις καθυστερήσεις αυτές να είναι διασκορπισμένα στο διάγραμμα. Ωστόσο, παρατηρείται ότι αυξάνονται με την αύξηση της τιμής της παραμέτρου ευαισθησίας και της τιμής του μέγιστου χρόνου παραχώρησης προτεραιότητας. Οι υψηλότερες τιμές μέσης καθυστέρησης σημειώνονται για τιμή 1.5 παραμέτρου ευαισθησίας και 1 έως 20 δευτερολέπτων του μέγιστου χρόνου παραχώρησης προτεραιότητας.



Σχήμα 4.43- Ανάλυση συνολικού κυκλικού κόμβου μίας λωρίδας ως προς τη μέση καθυστέρηση

Ανάλυση κόμβου ως προς τη μέση ταχύτητα

Ομοίως με τις αναλύσεις των προηγούμενων κόμβων ως προς τη μέση ταχύτητα, οι ταχύτητες στον κυκλικό κόμβο μίας λωρίδας είναι υψηλές σε συνθήκες χαμηλού φόρτου και μειώνονται όσο αυξάνεται ο κυκλοφοριακός φόρτος. Στα πρώτα τρία σενάρια φόρτου (χαμηλού, μεσαίου και υψηλού) η μέση ταχύτητα των οχημάτων είναι ανεπηρέαστες από τις παραμέτρους επιρροής, σε αντίθεση με εκείνες των πολύ υψηλών φόρτων που μειώνονται με την αύξηση της τιμής της παραμέτρου ευαισθησίας.

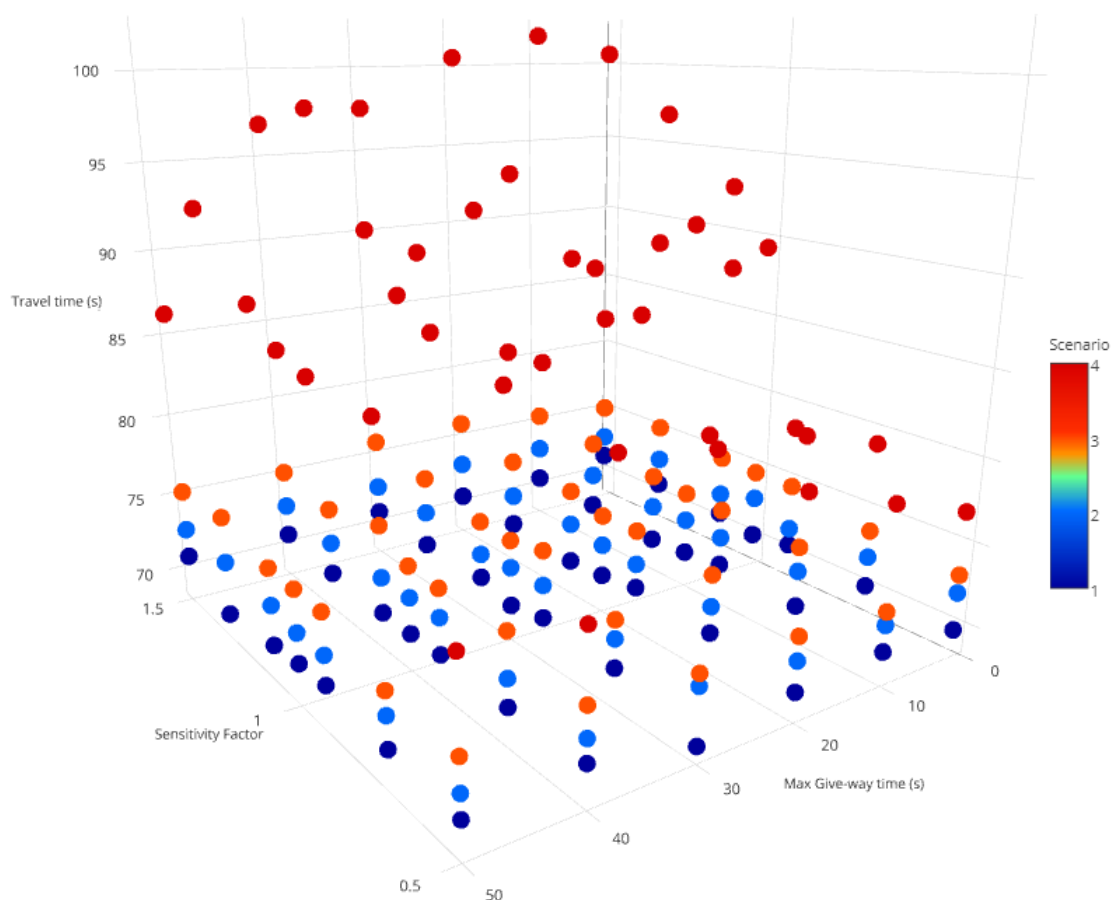


Σχήμα 4.44- Ανάλυση συνολικού κυκλικού κόμβου μίας λωρίδας ως προς τη μέση ταχύτητα

Ανάλυση κόμβου ως προς τον μέσο χρόνο μετακίνησης

Τέλος, στο ακόλουθο σχήμα παρουσιάζεται το τρισδιάστατο διάγραμμα του κυκλικού κόμβου για τον μέσο χρόνο μετακίνησης των οχημάτων ως προς τις παραμέτρους επιρροής. Στα τρία πρώτα σενάρια κυκλοφοριακού φόρτου, οι τιμές του χρόνου μετακίνησης είναι σε χαμηλά επίπεδα, ενώ δεν επηρεάζονται από τις παραμέτρους επιρροής. Ωστόσο, δεν ισχύει το ίδιο για τις τιμές του χρόνου μετακίνησης του τελευταίου σεναρίου φόρτου, οι οποίες επηρεάζονται σε πολύ μεγάλο βαθμό και είναι διασκορπισμένες. Οι υψηλότερες τιμές τείνουν να βρίσκονται σε χαμηλές τιμές των παραμέτρων ευαισθησίας και μέγιστου χρόνου παραχώρησης προτεραιότητας.

Κυκλικός κόμβος μίας λωρίδας- Μέσος χρόνος μετακίνησης



Σχήμα 4.45- Ανάλυση συνολικού κυκλικού κόμβου μίας λωρίδας ως προς τον μέσο χρόνο μετακίνησης

4.5 Κυκλικός κόμβος δύο λωρίδων

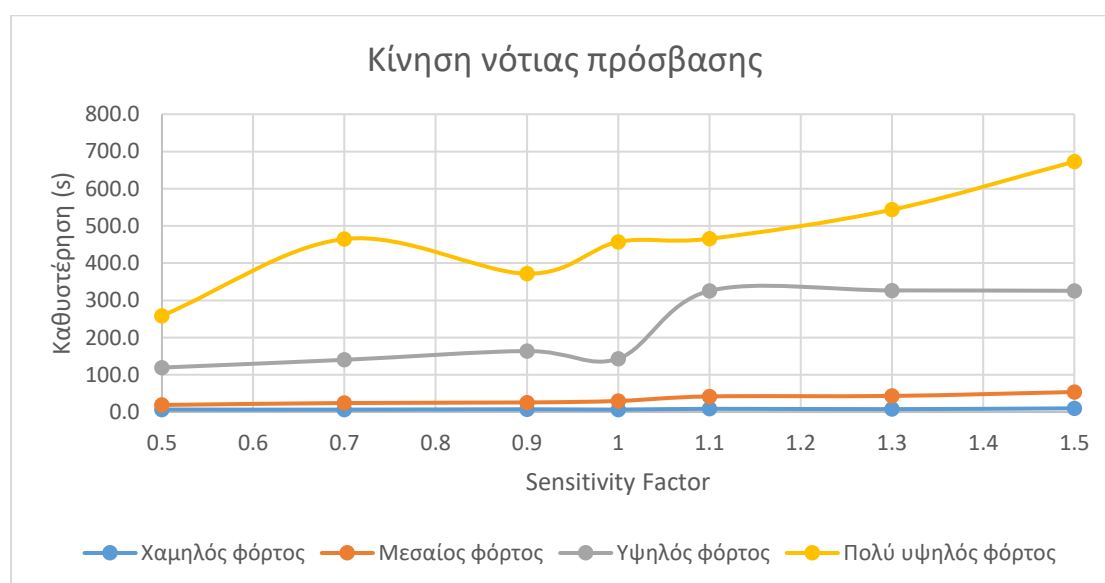
Τα αποτελέσματα και σε αυτή τη περίπτωση κόμβου, θα αναλυθούν ως προς κάθε κίνηση όσον αφορά τις καθυστερήσεις αλλά και ως προς το σύνολο του κόμβου όσον αφορά τη μέση καθυστέρηση, τη μέση ταχύτητα και τον μέσο χρόνο μετακίνησης.

4.5.1 Ανάλυση ανά κίνηση

Τα αποτελέσματα των καθυστερήσεων αναλύθηκαν για τις τρεις διαφορετικές κινήσεις του κυκλικού κόμβου όπως ακριβώς στη περίπτωση της μίας λωρίδας. Οι κινήσεις αυτές αφορούν τις κινήσεις των οχημάτων που πραγματοποιούνται στη νότια, ανατολική και δυτική πρόσβαση. Αναλύθηκε η περίπτωση όπου μεταβάλλεται η παράμετρος ευαισθησίας και ο μέγιστος χρόνος παραχώρησης προτεραιότητας παραμένει σταθερός, καθώς και η περίπτωση όπου μεταβάλλεται ο μέγιστος χρόνος παραχώρησης προτεραιότητας και η παράμετρος ευαισθησίας παραμένει σταθερή.

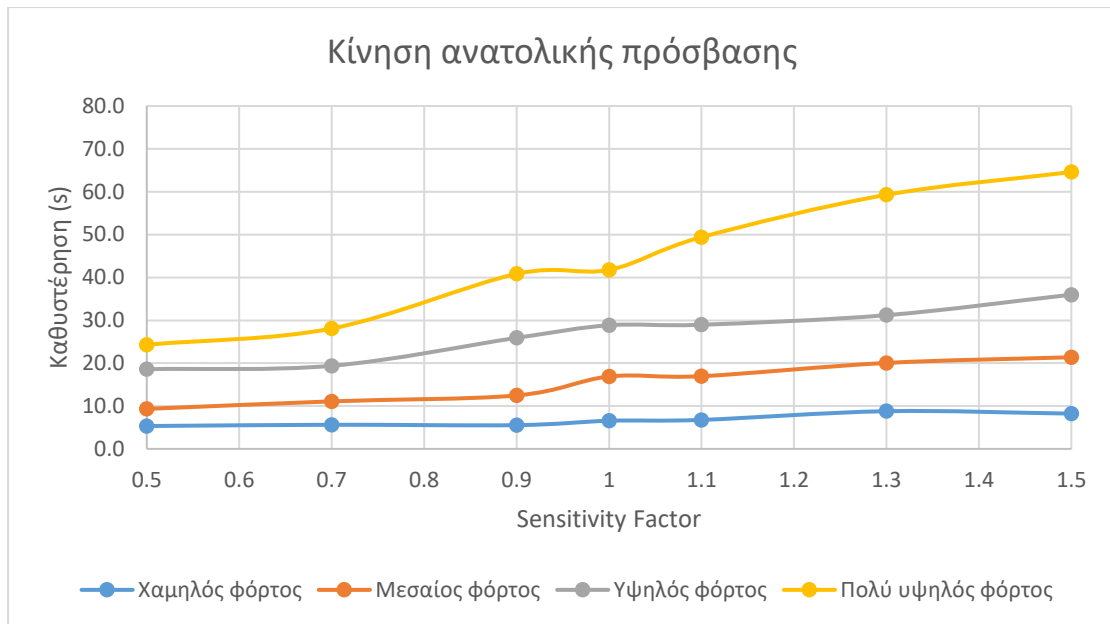
Μεταβαλλόμενη παράμετρος ευαισθησίας – σταθερός μέγιστος χρόνος παραχώρησης προτεραιότητας στα 10s (default)

Αρχικά παρουσιάζεται η κίνηση που πραγματοποιούν τα οχήματα στη νότια πρόσβαση. Συνολικά, οι καθυστερήσεις που επηρεάζονται περισσότερο κατά τη μεταβολή της παραμέτρου ευαισθησίας είναι εκείνες των υψηλών και πολύ υψηλών φόρτων. Για τις καθυστερήσεις των πολύ υψηλών φόρτων, υπάρχουν έντονες διακυμάνσεις από το 0.5 έως το 0.9 ενώ από το 0.9 και μετά αυξάνονται σταθερά. Οι καθυστερήσεις των υψηλών φόρτων έχουν επίσης έντονες διακυμάνσεις αφού μειώνονται ελαφρά μετά το 0.9 για να αυξηθούν απότομα στο 1.1. Και στις δύο αυτές περιπτώσεις οι τάσεις των καθυστερήσεων είναι ασταθείς γύρω από το 1 (0.9 έως 1.1.). Σχετικά με τις καθυστερήσεις των μεσαίων φόρτων, έχουν μια σταδιακή αύξηση καθ' όλη τη μεταβολή της παραμέτρου ευαισθησίας με σημαντικότερη την αύξηση στη τιμή 1.1. Οι καθυστερήσεις των χαμηλών φόρτων δεν επηρεάζονται σχεδόν καθόλου.



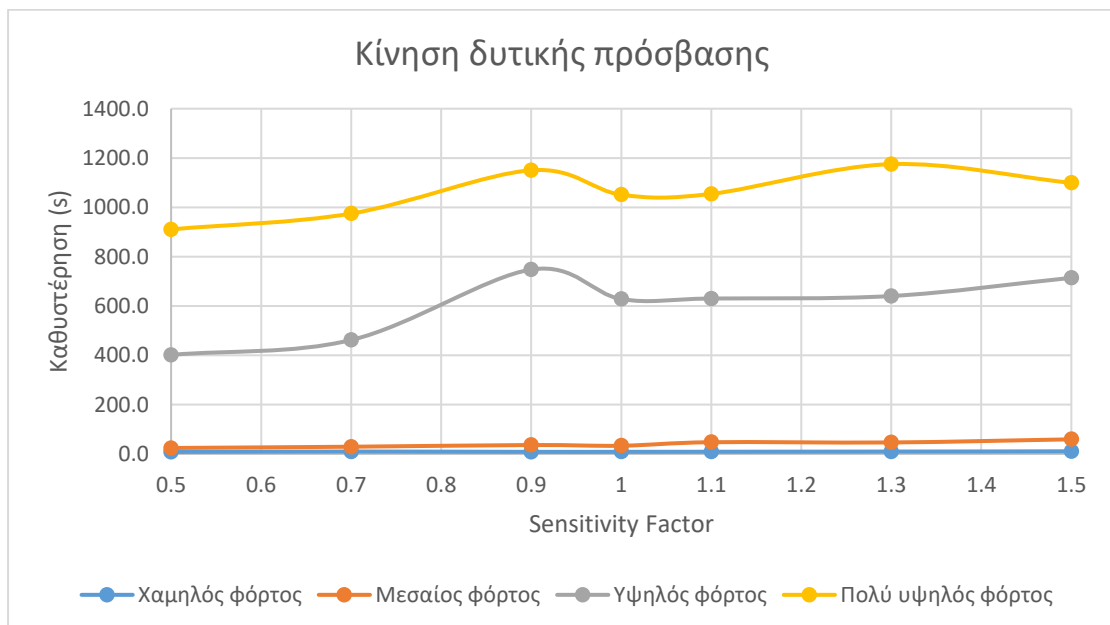
Σχήμα 4.46- Κίνηση νότιας πρόσβασης στον κυκλικό κόμβο δύο λωρίδων (max give-way time 10s)

Ακολούθως, παρουσιάζεται η κίνηση των οχημάτων στην ανατολική πρόσβαση του κυκλικού κόμβου. Γενικώς, οι καθυστερήσεις όλων των φόρτων είχαν μια γενική αύξηση στο εύρος τιμών της παραμέτρου ευαισθησίας. Μεγαλύτερη αύξηση, ωστόσο, σημείωσαν οι καθυστερήσεις των πολύ υψηλών φόρτων, ενώ τη μικρότερη αύξηση είχαν οι καθυστερήσεις των χαμηλών φόρτων. Στις καθυστερήσεις των μεσαίων, υψηλών και πολύ υψηλών φόρτων υπήρχαν αστάθειες γύρω από τη τιμή του 1 (0.9 έως 1.1).



Σχήμα 4.47- Κίνηση ανατολικής πρόσβασης στον κυκλικό κόμβο δύο λωρίδων (max give-way time 10s)

Σχετικά με τη κίνηση που πραγματοποιείται από τα οχήματα της δυτικής πρόσβασης, η κατανομή των καθυστερήσεων για τους υψηλούς και πολύ υψηλούς φόρτους επηρεάστηκε έντονα από τη μεταβολή της παραμέτρου ευαισθησίας. Αναλυτικότερα, ακολουθούν παρεμφερή προφίλ μέσης καθυστέρησης από τη τιμή 0.5 έως τη τιμή 1.1 που περιλαμβάνει διακυμάνσεις στο εύρος του 0.7 έως το 1. Όσον αφορά τις καθυστερήσεις των μεσαίων φόρτων, έχουν μια σταθερή αύξηση εκτός της τιμής 1, όπου μειώνονται απότομα.

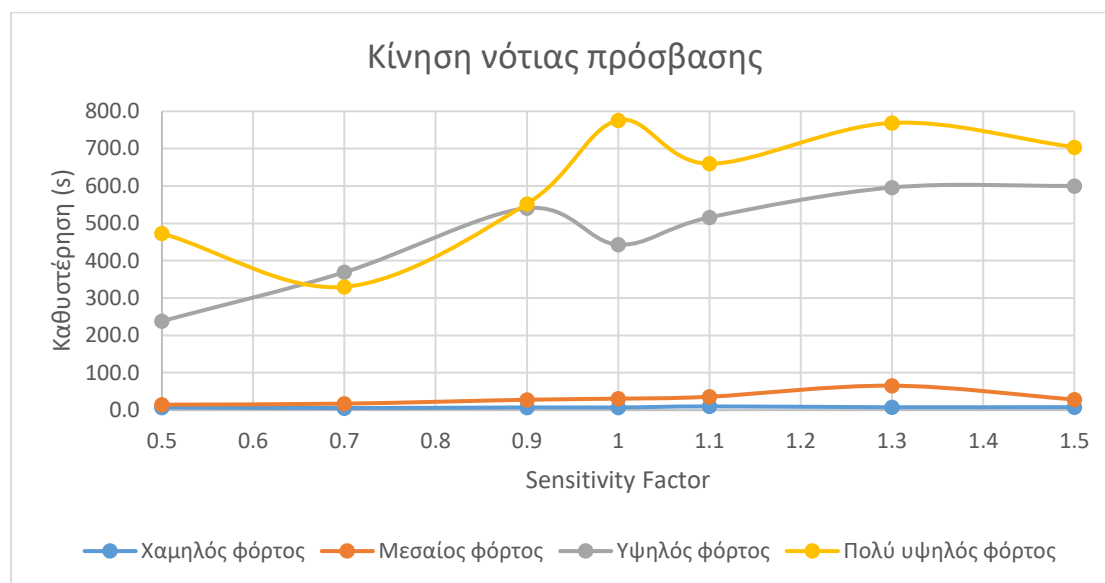


Σχήμα 4.48- Κίνηση δυτικής πρόσβασης στον κυκλικό κόμβο δύο λωρίδων (max give-way time 10s)

Μεταβαλλόμενη παράμετρος ευαισθησίας – σταθερός μέγιστος χρόνος παραχώρησης προτεραιότητας στο 1s

Διερευνήθηκαν τα αποτελέσματα των καθυστερήσεων κατά τη μεταβολή της παραμέτρου ευαισθησίας, ενώ ο μέγιστος χρόνος παραχώρησης προτεραιότητας παρέμεινε σταθερός στο

1 δευτερόλεπτο. Η σημαντικότερη διαφορά που παρατηρήθηκε ήταν μεταξύ του σχήματος 4.46 και του σχήματος 4.49 που αφορούν τη κίνηση που πραγματοποιείται από τα οχήματα της νότιας πρόσβασης του κυκλικού κόμβου. Πιο συγκεκριμένα, στο σχήμα 4.49, οι καθυστερήσεις για τους υψηλούς και πολύ υψηλούς φόρτους όχι μόνο αυξήθηκαν, αλλά υπέστησαν και μεγάλες διακυμάνσεις κυρίως στα εύρη 0.9 έως 1.1 και 0.5 έως 1.1 για τους υψηλούς και πολύ υψηλούς φόρτους αντίστοιχα. Όσον αφορά τις καθυστερήσεις των μεσαίων φόρτων στο παρακάτω σχήμα, αυξήθηκαν απότομα στη τιμή 1.3 σε σύγκριση με το σχήμα 4.46 όπου δε συμβαίνει το ίδιο. Οι καθυστερήσεις για τους χαμηλού φόρτους παρέμειναν σταθεροί χωρίς καμία διαφοροποίηση από του αντίστοιχους του σχήματος 4.46.

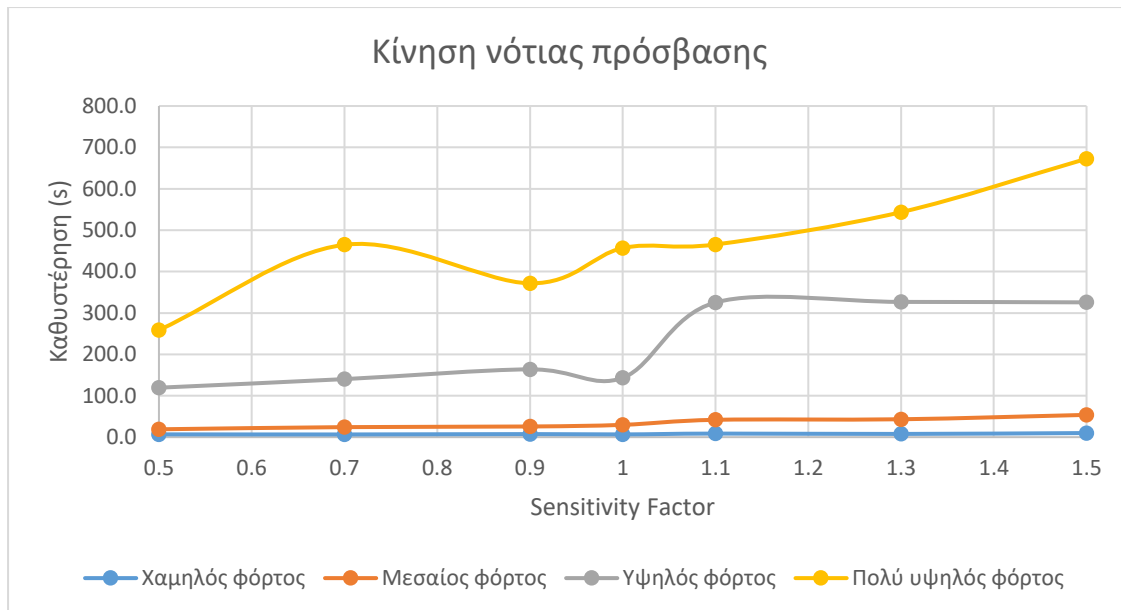


Σχήμα 4.49- Κίνηση νότιας πρόσβασης στον κυκλικό κόμβο δύο λωρίδων (max give-way time 1s)

Η διερεύνηση αυτή, δηλαδή να παραμένει σταθερός ο μέγιστος χρόνος παραχώρησης προτεραιότητας στο 1 δευτερόλεπτο, πραγματοποιήθηκε και για τις υπόλοιπες κινήσεις απλώς δεν παρατηρήθηκε κάποια αξιοσημείωτη διαφορά σε σχέση με τη περίπτωση σταθερού μέγιστου χρόνου παραχώρησης προτεραιότητας των 10 δευτερολέπτων.

Μεταβαλλόμενη παράμετρος ευαισθησίας – σταθερός μέγιστος χρόνος παραχώρησης προτεραιότητας στα 50s

Πραγματοποιήθηκε, ακόμη, η διερεύνηση της επιρροής των καθυστερήσεων καθώς παραμένει σταθερός ο μέγιστος χρόνος παραχώρησης προτεραιότητας στα 50 δευτερόλεπτα και μεταβάλλεται η παράμετρος ευαισθησίας. Η σημαντικότερη διαφορά συγκριτικά με την περίπτωση σταθερού μέγιστου χρόνου παραχώρησης προτεραιότητας στα 10 δευτερόλεπτα, έγκειται στην κίνηση των οχημάτων της νότιας πρόσβασης. Οι καθυστερήσεις των υψηλών και πολύ υψηλών φόρτων είναι εμφανώς μειωμένες, ενώ υπάρχουν διακυμάνσεις στη τιμή 0.9 και 1. Οι καθυστερήσεις των χαμηλών και μεσαίων φόρτων δε παρουσιάζουν κάποια σημαντική διαφοροποίηση μεταξύ των σχημάτων 4.50 και 4.46.

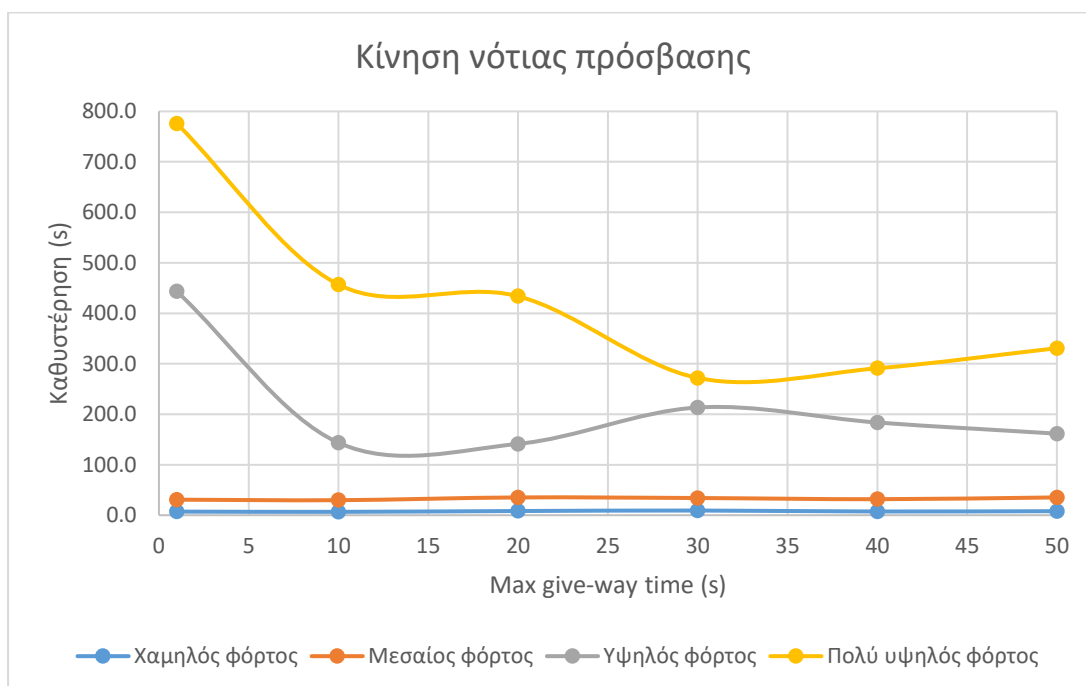


Σχήμα 4.50- Κίνηση νότια πρόσβασης στον κυκλικό κόμβο δύο λωρίδων (max give-way time 50s)

Ομοίως, η διερεύνηση αυτή πραγματοποιήθηκε και για τις υπόλοιπες κινήσεις, χωρίς να σημειώνεται κάποια σημαντική διαφορά.

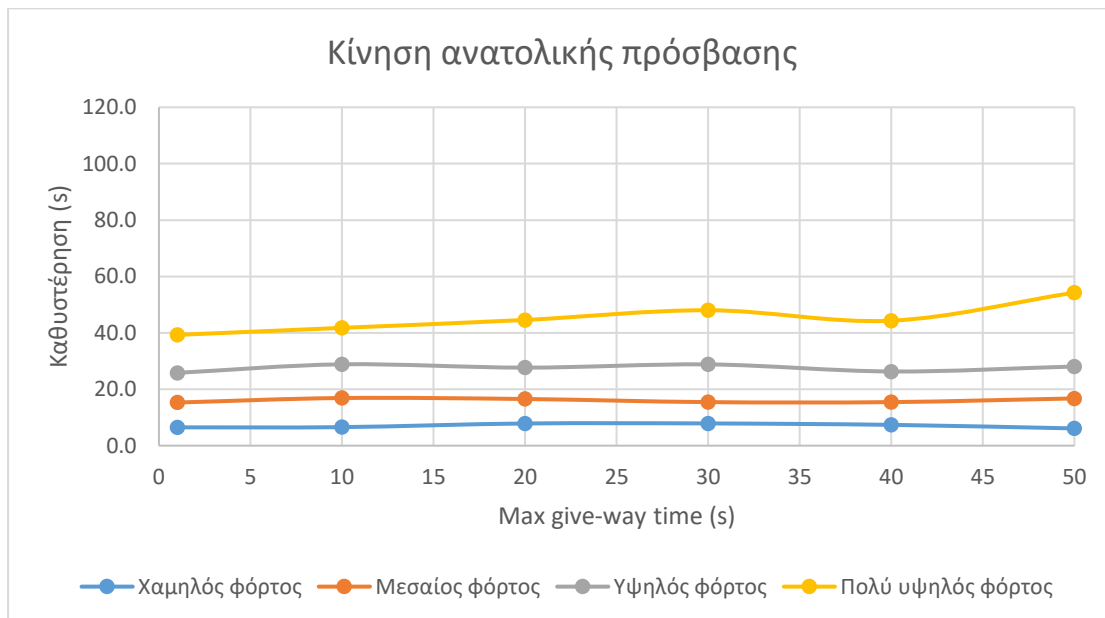
Μεταβαλλόμενος μέγιστος χρόνος παραχώρησης προτεραιότητας – σταθερή η παράμετρος ευαισθησίας στη τιμή 1 (default)

Αρχικά παρουσιάζεται η κίνηση της νότια πρόσβασης καθώς μεταβάλλεται ο μέγιστος χρόνος παραχώρησης προτεραιότητας. Συνολικά, οι καθυστερήσεις των υψηλών και πολύ υψηλών φόρτων μειώνονται έχοντας διακυμάνσεις από τα 10 έως τα 30 δευτερόλεπτα. Οι καθυστερήσεις των χαμηλών και μεσαίων φόρτων έχουν κάποιες αυξομειώσεις αλλά σε γενικές γραμμές παραμένουν σταθερές.



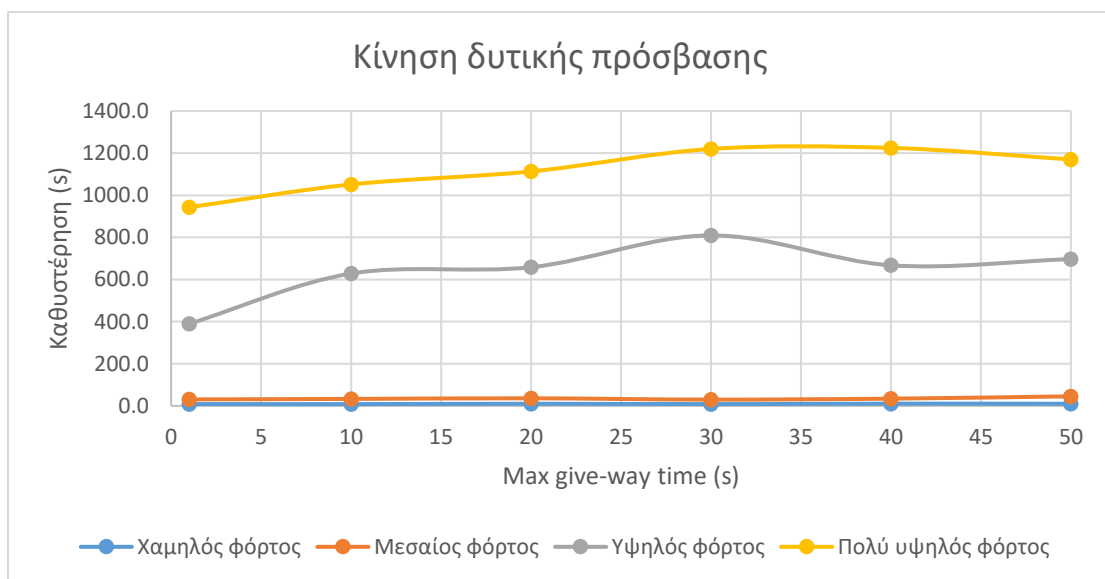
Σχήμα 4.51- Κίνηση νότια πρόσβασης στον κυκλικό κόμβο δύο λωρίδων (sensitivity factor 1)

Όσον αφορά τη κίνηση της ανατολικής πρόσβασης, οι καθυστερήσεις δείχνουν να μην επηρεάζονται σε μεγάλο βαθμό από τη μεταβολή του μέγιστου χρόνου παραχώρησης προτεραιότητας. Ειδικότερα, οι καθυστερήσεις των χαμηλών, μεσαίων και υψηλών φόρτων επηρεάζονται σε πολύ μικρό βαθμό ενώ εκείνες των πολύ υψηλών φόρτων σημειώνουν σταδιακή αύξηση έως τα 30 δευτερόλεπτα και στη συνέχεια μία διακύμανση έως τα 50 δευτερόλεπτα.



Σχήμα 4.52- Κίνηση ανατολικής πρόσβασης στον κυκλικό κόμβο δύο λωρίδων (sensitivity factor 1)

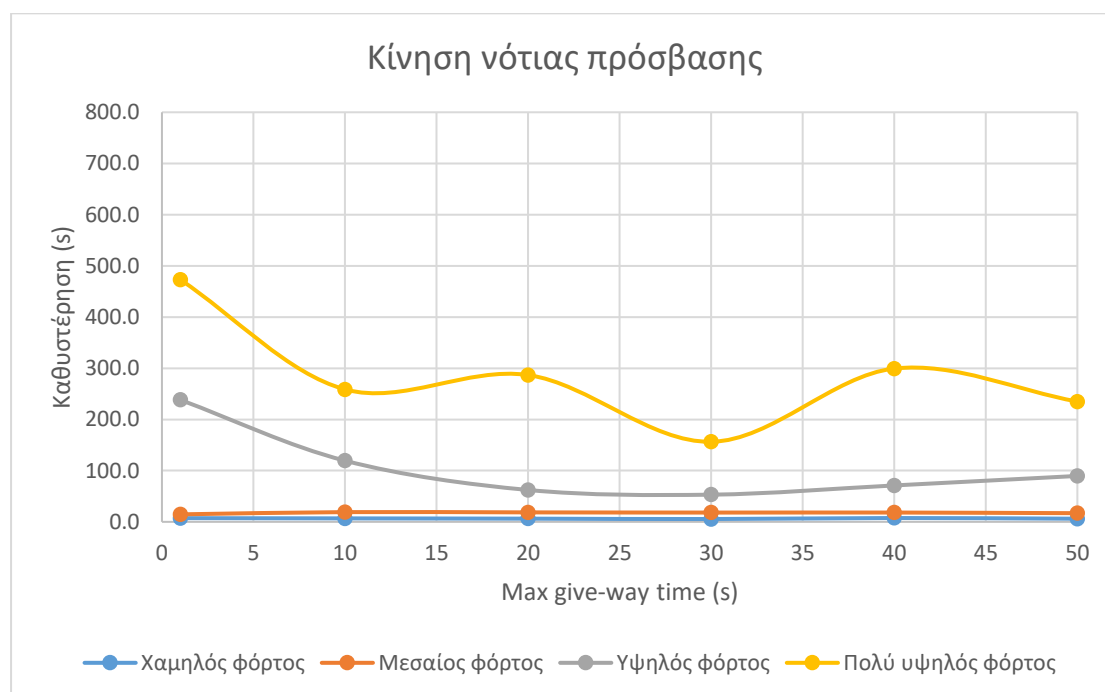
Σχετικά με τη κίνηση της δυτικής πρόσβασης, οι καθυστερήσεις των πολύ υψηλών φόρτων επηρεάζονται ομαλά, παρουσιάζοντας σταδιακή αύξηση χωρίς διακυμάνσεις. Αντιθέτως, εκείνες των υψηλών φόρτων σημειώνουν διακυμάνσεις στα 20 με 40 δευτερόλεπτα. Οι καθυστερήσεις των μεσαίων φόρτων αυξάνονται ελαφρώς κυρίως μετά τη τιμή των 30 δευτερολέπτων. Τέλος, οι καθυστερήσεις των χαμηλών φόρτων έχουν κάποιες αυξομειώσεις αλλά σε γενικές γραμμές παραμένουν σταθερές.



Σχήμα 4.53- Κίνηση δυτικής πρόσβασης στον κυκλικό κόμβο δύο λωρίδων (sensitivity factor 1)

Μεταβαλλόμενος μέγιστος χρόνος παραχώρησης προτεραιότητας – σταθερή η παράμετρος ευαισθησίας στη τιμή 0.5

Διερευνήθηκε η περίπτωση σταθερής παραμέτρου ευαισθησίας στη τιμή 0.5, με σημαντικότερη διαφορά σε σύγκριση με τη τιμή 1, τις καθυστερήσεις της κίνησης της νότιας πρόσβασης. Αναλυτικότερα η διαφορά του σχήματος 4.54 με το σχήμα 4.51 έγκειται στις καθυστερήσεις των υψηλών και πολύ υψηλών φόρτων. Οι καθυστερήσεις των υψηλών φόρτων στο σχήμα 4.54 μειώνονται ομαλότερα από τις αντίστοιχες του σχήματος 4.51, ενώ είναι επίσης πολύ χαμηλότερες. Ακόμη, οι καθυστερήσεις των πολύ υψηλών φόρτων αν και ακολουθούν το ίδιο προφίλ, εκείνες του παρακάτω σχήματος είναι πολύ χαμηλότερες. Τέλος οι καθυστερήσεις των χαμηλών και μεσαίων φόρτων δεν παρουσιάζουν ουσιώδης διαφορές.

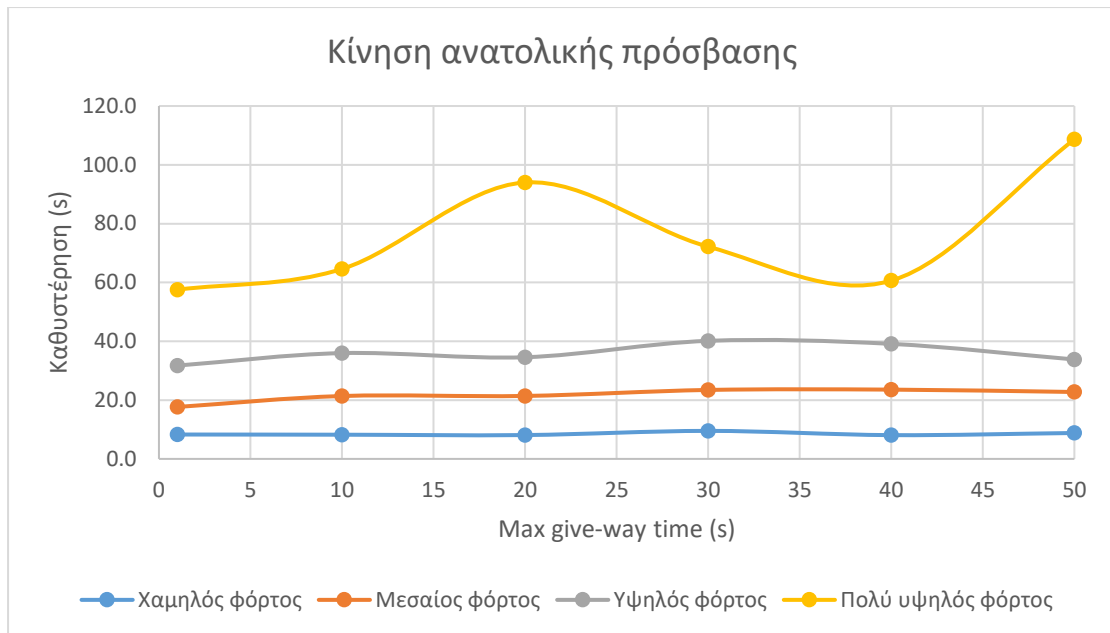


Σχήμα 4.54- Κίνηση νότιας πρόσβασης στον κυκλικό κόμβο δύο λωρίδων (sensitivity factor 0.5)

Η διερεύνηση αυτή πραγματοποιήθηκε και για τις υπόλοιπες κινήσεις χωρίς να σημειωθούν αξιόλογες διαφορές σε σχέση με τη περίπτωση όπου η παράμετρος ευαισθησίας έχει τη τιμή 1.

Μεταβαλλόμενος μέγιστος χρόνος παραχώρησης προτεραιότητας – σταθερή παράμετρος ευαισθησίας στη τιμή 1.5

Πραγματοποιήθηκε, ακόμη, η διερεύνηση της τάσης των καθυστερήσεων καθώς η παράμετρος ευαισθησίας παρέμεινε σταθερή στη τιμή 1.5. Η σημαντικότερη παρατήρηση αφορά την κίνηση που πραγματοποιείται από τα οχήματα της ανατολικής πρόσβασης. Αναλυτικότερα, πραγματοποιείται σύγκριση του παρακάτω σχήματος και του σχήματος που αφορά τη τιμή 1 της παραμέτρου ευαισθησίας (σχήμα 4.52). Παρουσιάζεται μεγάλη διαφορά στις καθυστερήσεις των πολύ υψηλών φόρτων, όπου στο παρακάτω σχήμα φαίνονται να επηρεάζονται σε μεγάλο βαθμό κατά τη μεταβολή του μέγιστου χρόνου παραχώρησης προτεραιότητας. Πιο συγκεκριμένα, οι καθυστερήσεις των πολύ υψηλών φόρτων παρουσιάζουν έντονες διακυμάνσεις στα 20 και 40 δευτερόλεπτα, κάτι που δε συμβαίνει στο σχήμα 4.52. Οι καθυστερήσεις των υπόλοιπων φόρτων δεν διαφοροποιούνται πολύ, εκτός από το γεγονός ότι στο παρακάτω σχήμα έχουν υψηλότερες τιμές.



Σχήμα 4.55- Κίνηση νότια πρόσβασης στον κυκλικό κόμβο δύο λωρίδων (sensitivity factor 1.5)

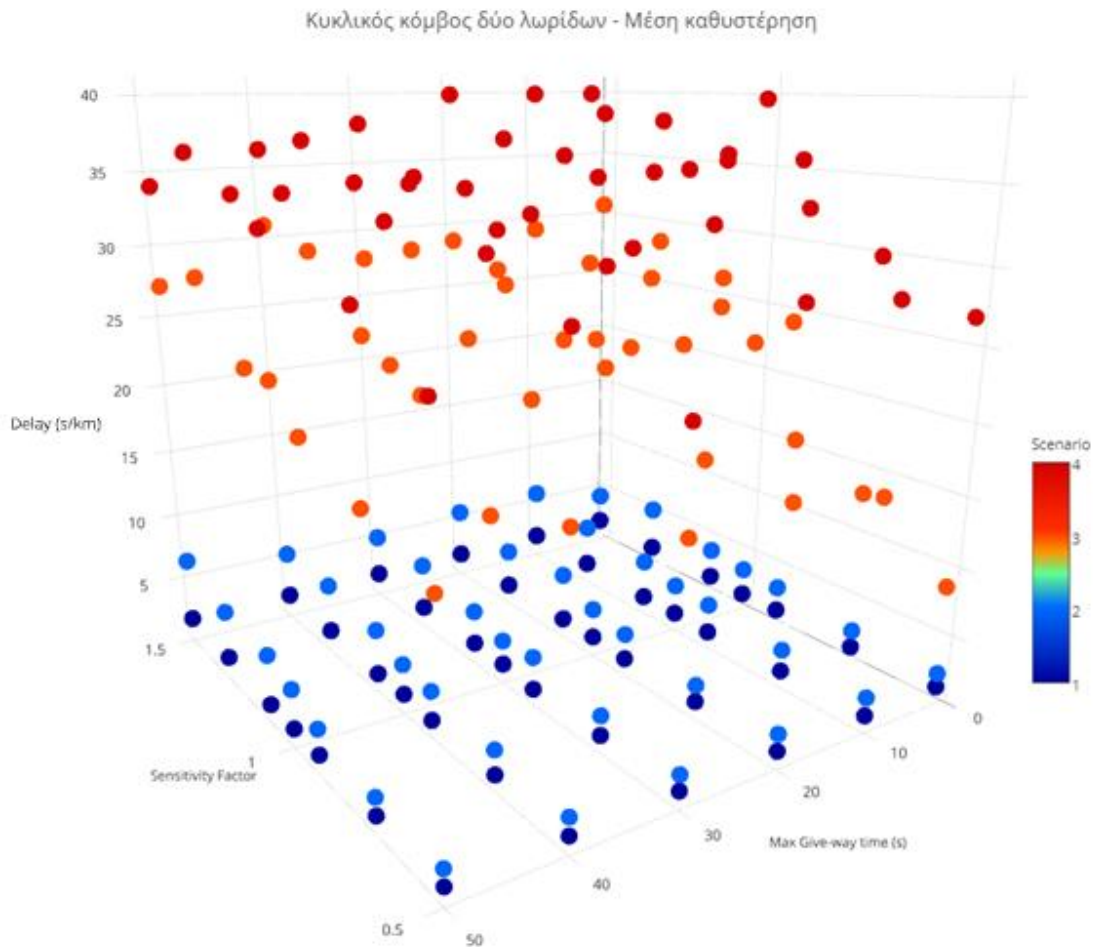
Η διερεύνηση της τάσης των καθυστερήσεων κατά τη μεταβολή του μέγιστου χρόνου παραχώρησης προτεραιότητας, ενώ η παράμετρος ευαισθησίας είναι σταθερή στο 1.5, πραγματοποιήθηκε και στις υπόλοιπες κινήσεις, αλλά δεν εντοπίστηκε παρόμοια ουσιαστική διαφορά στα διαγράμματα όπως η προηγούμενη στην ανατολική πρόσβαση.

4.5.2 Ανάλυση συνολικού κόμβου

Η ανάλυση των συνολικών αποτελεσμάτων για τον κυκλικό κόμβο δύο λωρίδων περιλαμβάνει τα τρισδιάστατα διαγράμματα της μέσης καθυστέρησης, της μέσης ταχύτητας και του μέσου χρόνου μετακίνησης ως προς τις παραμέτρους ευαισθησίας και μέγιστου χρόνου παραχώρησης προτεραιότητας.

Ανάλυση κόμβου ως προς τη μέση καθυστέρηση

Κατά την ανάλυση της μέσης καθυστέρησης στον κόμβο, προέκυψε ότι, όπως παρουσιάζεται στο παρακάτω διάγραμμα, οι καθυστερήσεις σε συνθήκες χαμηλού και μεσαίου φόρτου κινήθηκαν σε πολύ χαμηλά επίπεδα, ενώ επίσης δεν επηρεάζονταν από μεταβολές των παραμέτρων επιρροής. Οι καθυστερήσεις, ωστόσο, υπό συνθήκες υψηλού και πολύ υψηλού φόρτου ήταν ιδιαίτερα αυξημένες και αυξάνονταν με την αύξηση της παραμέτρου ευαισθησίας. Η παράμετρος παραχώρησης προτεραιότητας δεν δείχνει να επηρεάζει σε μεγάλο βαθμό τις καθυστερήσεις υψηλού και πολύ υψηλού φόρτου. Οι υψηλότερες καθυστερήσεις στον κόμβο τείνουν να συγκεντρώνονται στις χαμηλές τιμές της παραμέτρου παραχώρησης προτεραιότητας και στις υψηλές της παραμέτρου ευαισθησίας.

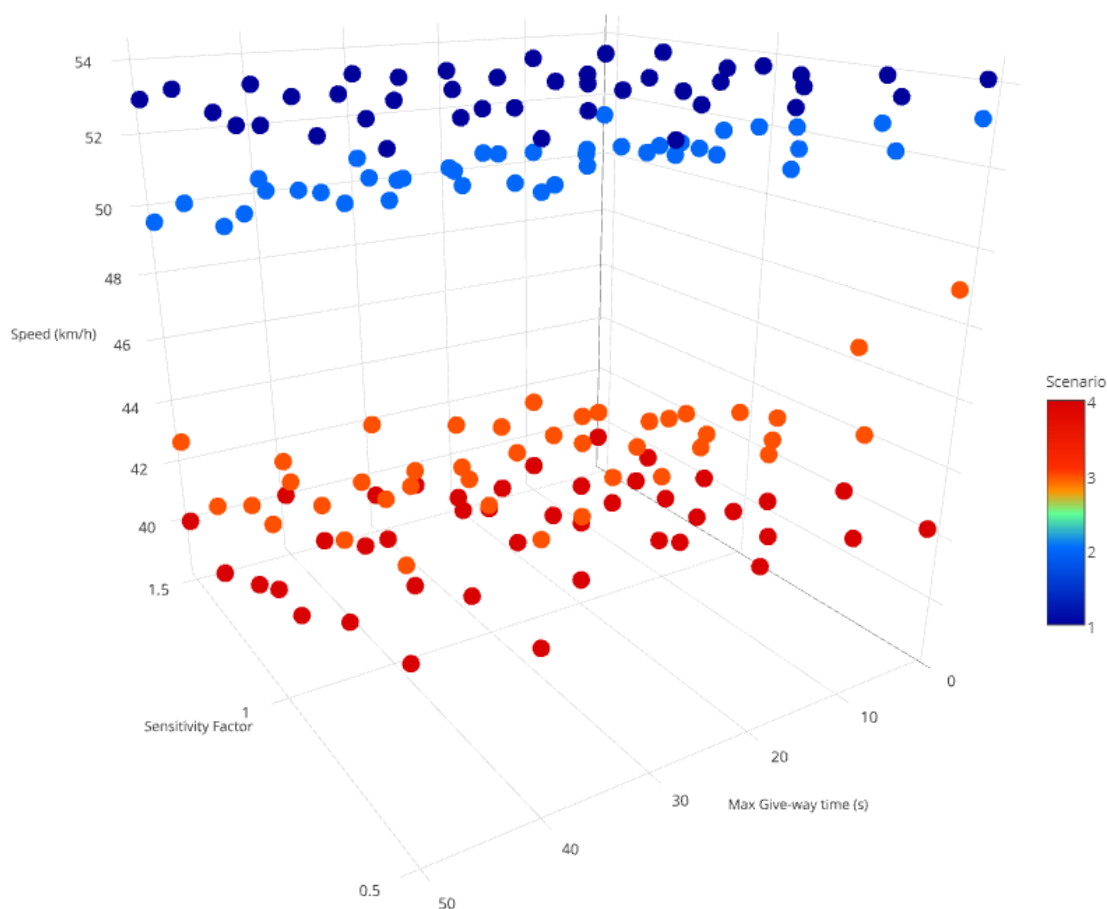


Σχήμα 4.56- Ανάλυση συνολικού κυκλικού κόμβου δύο λωρίδων ως προς τη μέση καθυστέρηση

Ανάλυση κόμβου ως προς τη μέση ταχύτητα

Κατά την ανάλυση του κυκλικού κόμβου ως προς αποτελέσματα της μέσης ταχύτητας, προκύπτει το συμπέρασμα που παρατηρήθηκε και στους προηγούμενους κόμβους. Δηλαδή, τα οχήματα κινούνται με μεγαλύτερες ταχύτητες υπό συνθήκες χαμηλού φόρτου και οι ταχύτητες αυτές μειώνονται καθώς αυξάνεται ο φόρτος. Οι ταχύτητες χαμηλού φόρτου επίσης, δείχνουν ότι δεν επηρεάζονται από τις παραμέτρους επιρροής. Αντιθέτως, οι ταχύτητες σε συνθήκες μεσαίου, υψηλού και πολύ υψηλού επηρεάζονται σημαντικά από τη παράμετρο ευαισθησίας. Αναλυτικότερα, μειώνονται καθώς αυξάνεται η τιμή της παραμέτρου αυτής. Οι χαμηλότερες τιμές μέσης ταχύτητας παρατηρούνται στη τιμή 1.5 της παραμέτρου ευαισθησίας.

Κυκλικός κόμβος δύο λωρίδων - Μέση ταχύτητα

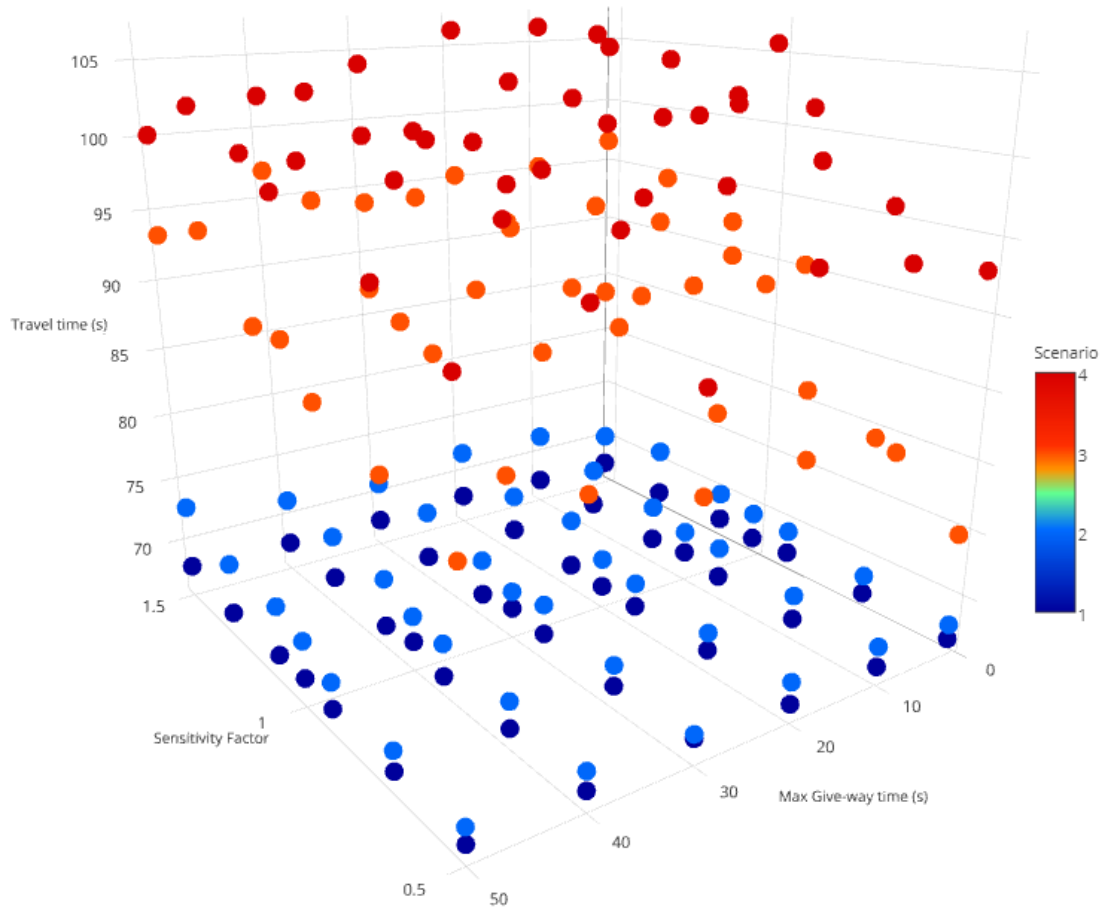


Σχήμα 4.57- Ανάλυση συνολικού κυκλικού κόμβου δύο λωρίδων ως προς τη μέση ταχύτητα

Ανάλυση κόμβου ως προς τον μέσο χρόνο μετακίνησης

Η ανάλυση του κυκλικού κόμβου βάσει των αποτελεσμάτων του μέσου χρόνου μετακίνησης των οχημάτων, αρχικά υποδεικνύει ότι καθώς αυξάνεται ο κυκλοφοριακός φόρτος, αυξάνεται και ο χρόνος μετακίνησης. Οι χρόνοι μετακίνησης των οχημάτων υπό συνθήκες χαμηλού φόρτου δεν επηρεάζονται καθόλου από τις παραμέτρους επιρροής, ενώ οι χρόνοι μετακίνησης των οχημάτων σε συνθήκες μεσαίου φόρτου αυξάνονται με την αύξηση της παραμέτρου ευαισθησίας και δεν επηρεάζονται καθόλου από την παράμετρο παραχώρησης προτεραιότητας. Επιπλέον, οι χρόνοι μετακίνησης των υψηλών φόρτων αυξάνονται σημαντικά με την αύξηση τη τιμής της παραμέτρου ευαισθησίας καθώς και με την αύξηση του μέγιστου χρόνου παραχώρησης προτεραιότητας. Το ίδιο ισχύει για τον μέσο χρόνο μετακίνησης των οχημάτων του σεναρίου πολύ υψηλών φόρτων. Οι υψηλότερες τιμές χρόνου μετακίνησης στον κυκλικό κόμβο τείνουν να συγκεντρώνονται στην τιμή 1.5 και κάποιες στην τιμή 1.3 της παραμέτρου ευαισθησίας και στα 1 έως 20 δευτερόλεπτα του μέγιστου χρόνου παραχώρησης προτεραιότητας.

Κυκλικός κόμβος δύο λωρίδων - Μέσος χρόνος μετακίνησης



Σχήμα 4.58- Ανάλυση συνολικού κυκλικού κόμβου δύο λωρίδων ως προς τον μέσο χρόνο μετακίνησης

5. Συμπεράσματα

5.1 Σύναψη συμπερασμάτων

Σε αυτό το κεφάλαιο συγκεντρώνονται τα συμπεράσματα που αφορούν τα αποτελέσματα της ανάλυσης που προηγήθηκε στους υπό μελέτη κόμβους. Τα συμπεράσματα μπορούν να ταξινομηθούν σε δύο κατηγορίες: η πρώτη περιλαμβάνει τα συμπεράσματα που εξήχθησαν από την ανάλυση των κόμβων ως προς τα αποτελέσματα των κινήσεων και η δεύτερη περιλαμβάνει τα συμπεράσματα ως προς τη γενική λειτουργία των κόμβων. Σχετικά με τις δύο κατηγορίες, συγκεντρώνονται βασικές παρατηρήσεις που αφορούν τις δύο παραμέτρους επιρροής, τη παράμετρο ευαισθησίας και τον μέγιστο χρόνο παραχώρησης προτεραιότητας. Συμπεραίνεται δηλαδή, κατά πόσο αυτές οι παράμετροι επηρεάζουν τη κυκλοφορία τόσο σε κάθε κίνηση όσο και στη γενική λειτουργία των κόμβων και πως αλληλεπιδρούν στα διαφορετικά σενάρια κυκλοφοριακών φόρτων.

Επιρροή των παραμέτρων στις κινήσεις

Στη παρούσα διπλωματική εργασία χρησιμοποιήθηκαν δύο παράμετροι επιρροής για τη διερεύνηση της λειτουργίας των υπό μελέτη κόμβων. Η πρώτη είναι η παράμετρος ευαισθησίας (sensitivity factor) και χαρακτηρίζει την ευαισθησία των οδηγών ως προς την επιβράδυνση του προπορευόμενου οχήματος. Η προεπιλεγμένη τιμή της παραμέτρου είναι το 1 και τιμές κάτω από αυτή συνεπάγονται επιθετική συμπεριφορά των οδηγών μειώνοντας τον διαχωρισμό από το προπορευόμενο όχημα. Αντιθέτως, τιμές πάνω από το 1 συνεπάγονται συνετή συμπεριφορά των οδηγών, οι οποίοι αυξάνουν τον διαχωρισμό από το προπορευόμενο όχημα. Το εύρος των τιμών που διερευνήθηκε είναι από 0.5 έως 1.5. Η δεύτερη παράμετρος επιρροής είναι ο μέγιστος χρόνος παραχώρησης προτεραιότητας και αφορά τους οδηγούς που παραχωρούν προτεραιότητα. Εκφράζει τον χρόνο πάνω από τον οποίο οι οδηγοί ξεκινούν να αναζητούν μικρότερα διάκενα για τη πραγματοποίηση της κίνησής τους με αποτέλεσμα να γίνονται πιο επιθετικοί. Το εύρος των τιμών που διερευνήθηκε είναι από 1 έως 50 δευτερόλεπτα.

Αρχικά, το πρώτο συμπέρασμα που μπορεί να εξαχθεί είναι ότι οι καθυστερήσεις υπό συνθήκες χαμηλού φόρτου δεν επηρεάζονται ιδιαίτερα από καμία παράμετρο και αυτό ισχύει σε όλους τους κόμβους μελέτης. Το γεγονός αυτό είναι αναμενόμενο καθώς σε χαμηλούς φόρτους, δεν υπάρχουν οι προϋποθέσεις κυκλοφορίας ώστε οι παράμετροι να επιδράσουν στις διακυμάνσεις των καθυστερήσεων καθ' όσον είναι ήδη χαμηλές και δεν έχουν σχηματιστεί ουρές στις κινήσεις που παραχωρούν προτεραιότητα.

Σχετικά με τον κόμβο προτεραιότητας T μίας λωρίδας, κατά την αύξηση της τιμής παραμέτρου του μέγιστου χρόνου παραχώρησης προτεραιότητας επηρεάζονται τόσο οι κινήσεις της νότιας πρόσβασης όσο και οι κινήσεις της ανατολικής (αυτές δηλαδή που ανήκουν σε προσβάσεις μία ή και οι δύο κινήσεις των οποίων παραχωρούν προτεραιότητα). Υπό συνθήκες υψηλού φόρτου (900 οχ/ώρα στις προσβάσεις του κύριου άξονα και 450 οχ/ώρα στον δευτερεύοντα άξονα) οι καθυστερήσεις των κινήσεων της νότιας πρόσβασης αυξάνονταν, ενώ σε συνθήκες πολύ υψηλού φόρτου (1200 οχ/ώρα στις προσβάσεις του κύριου άξονα και 600 οχ/ώρα στον δευτερεύοντα άξονα) μειώνονταν με μεγάλες

διακυμάνσεις. Οι καθυστερήσεις της ανατολικής πρόσβασης σε πολύ υψηλό φόρτο αυξάνονταν. Η αύξηση στις καθυστερήσεις είναι αναμενόμενη για τις κινήσεις της ανατολικής και νότιας πρόσβασης, αφού καθώς αυξάνεται η τιμή της παραμέτρου παραχώρησης προτεραιότητας αυξάνεται η «υπομονή» των οδηγών που αναμένουν διάκενο επομένως αυξάνεται η καθυστέρησή τους. Το γεγονός ότι η ευθεία κίνηση της ανατολικής πρόσβασης, που έχει προτεραιότητα, έχει παραπλήσιες καθυστερήσεις με την δεξιά στροφή της ίδιας πρόσβασης οφείλεται στο ότι τα οχήματα που κατευθύνονται ευθεία καθυστερούνται από εκείνα που πραγματοποιούν δεξιά στροφή καθώς μοιράζονται την ίδια λωρίδα. Κατά την αύξηση της τιμής της παραμέτρου ευαισθησίας επηρεάζονται όλες οι κινήσεις όλων των προσβάσεων. Αυτό συμβαίνει σε συνθήκες μεσαίου (600οχ/ώρα στις προσβάσεις του κύριου άξονα και 300 οχ/ώρα στον δευτερεύοντα άξονα), υψηλού και πολύ υψηλού φόρτου. Το γεγονός αυτό, οφείλεται στο ότι οι κινήσεις που δεν έχουν προτεραιότητα βρίσκουν δυσκολότερα διάκενα για να πραγματοποιήσουν τη κίνησή τους, δεδομένου ότι τα οχήματα κινούνται με μεγάλους διαχωρισμούς μεταξύ τους, αλλά όχι τέτοιους ώστε τα διάκενα να είναι αποδεκτά. Από την άλλη, οι οδηγοί των οχημάτων που έχουν προτεραιότητα κινούνται με μικρότερη ταχύτητα από την επιθυμητή τους, αφού υπερεκτιμούν την επιβράδυνση του προπορευόμενου οχήματος και άρα αυξάνονται οι καθυστερήσεις τους. Μία ακόμη παρατήρηση είναι ότι γύρω από τη τιμή 1 της παραμέτρου ευαισθησίας υπήρχε μεγάλη αστάθεια σε όλες τις καθυστερήσεις.

Συμπερασματικά στον κόμβο T μίας λωρίδας, παρατηρείται συνεχής αύξηση της μέσης καθυστέρησης (για όλες τις κινήσεις εκτός της αριστερής στροφής της νότιας πρόσβασης) με την αύξηση της τιμής της παραμέτρου ευαισθησίας για πολύ υψηλούς φόρτους. Ακόμη, συμπεραίνεται ότι η μέση καθυστέρηση παρουσιάζει σταθερότητα σε χαμηλούς και μεσαίους φόρτους καθώς μεταβάλλεται η παράμετρος παραχώρησης προτεραιότητας, ενώ μεταβάλλεται έντονα σε υψηλούς και πολύ υψηλούς. Για τις κινήσεις προτεραιότητας οι διακυμάνσεις καθυστέρησης είναι μικρές ανεξαρτήτως φόρτου.

Στον κόμβο προτεραιότητας T δύο λωρίδων, αρχικά συμπεραίνεται ότι οι καθυστερήσεις για την ευθεία κίνηση της ανατολικής πρόσβασης και την δεξιά στροφή της νότιας πρόσβασης μειώνονται σε σχέση με τη περίπτωση μίας λωρίδας εφόσον έχουν αποκλειστική λωρίδα. Ωστόσο, όσο αυξάνεται ο φόρτος, καθυστερούνται σε κάποιο βαθμό όταν υπάρχει σύγχυση στην αλλαγή λωρίδων. Καθώς αυξάνεται η τιμή παραμέτρου παραχώρησης προτεραιότητας, επηρεάζονται μόνο οι κινήσεις που παραχωρούν προτεραιότητα της ανατολικής και νότιας πρόσβασης σε όλες τις συνθήκες φόρτου εκτός από του χαμηλού. Αυτό αποδίδεται στον ίδιο λόγο με τη περίπτωση μίας λωρίδας, δηλαδή, στο ότι αυξάνεται ο χρόνος αναμονής των οχημάτων που δεν έχουν προτεραιότητα με αποτέλεσμα την αύξηση των καθυστερήσεων ειδικά σε αυξημένους φόρτους. Ομοίως με το κόμβο μίας λωρίδας, η αύξηση στη τιμή της παραμέτρου ευαισθησίας έχει σημαντική επίδραση στη μέση καθυστέρηση και ειδικότερα οδηγεί στις αυξήσεις όλων των καθυστερήσεων σε όλα τα σενάρια κόμβου εκτός του χαμηλού. Γενικώς, παρατηρείται αστάθεια στις καθυστερήσεις γύρω από τη τιμή 1 της παραμέτρου ευαισθησίας.

Όσον αφορά τον κυκλικό κόμβο μίας λωρίδας, οι καθυστερήσεις των χαμηλών (300οχ/ώρα στις προσβάσεις του κύριου άξονα και 150 οχ/ώρα στον δευτερεύοντα άξονα), μεσαίων και υψηλών φόρτων δεν επηρεάζονται από τη μεταβολή στη τιμή της παραμέτρου παραχώρησης προτεραιότητας. Αντιθέτως, οι καθυστερήσεις στους πολύ υψηλούς φόρτους αυξάνονται στην νότια πρόσβαση και μειώνονται στην ανατολική και δυτική πρόσβαση με διακυμάνσεις στα 30 δευτερόλεπτα χρόνου παραχώρησης προτεραιότητας. Να σημειωθεί, ότι στους

κυκλικούς κόμβους, επηρεάζονται όλες οι προσβάσεις από τη παράμετρο αυτή αφού τα οχήματα όλων των προσβάσεων παραχωρούν προτεραιότητα στα οχήματα που κινούνται εντός του δακτυλίου. Η μεταβολή στη τιμή της παραμέτρου ευαισθησίας επηρεάζει τη κατανομή των καθυστερήσεων μόνο σε υψηλούς και πολύ υψηλούς φόρτους. Στους υψηλούς φόρτους αυξάνονται οι καθυστερήσεις στη κίνηση της δυτικής πρόσβασης και στους πολύ υψηλούς φόρτους αυξάνονται οι καθυστερήσεις όλων των προσβάσεων έως τη τιμή 1.3 της παραμέτρου. Και στην περίπτωση του κυκλικού κόμβου μίας λωρίδας, παρατηρείται αστάθεια στη μέση μετακίνηση γύρω από την προεπιλεγμένη τιμή (1) της παραμέτρου ευαισθησίας.

Τέλος, στον κυκλικό κόμβο δύο λωρίδων η επίδραση της παραμέτρου παραχώρησης προτεραιότητας αφορά τις κινήσεις όταν επικρατούν συνθήκες υψηλού και πολύ υψηλού φόρτου. Σε υψηλούς φόρτους, αυξάνονται οι καθυστερήσεις των κινήσεων της δυτικής πρόσβασης και μειώνονται της νότιας όταν αυξάνεται η τιμή της παραμέτρου. Ακόμη, σε πολύ υψηλούς φόρτους, αυξάνονται οι καθυστερήσεις της ανατολικής πρόσβασης. Με την αύξηση της τιμής παραμέτρου ευαισθησίας, αυξάνονται οι καθυστερήσεις στις κινήσεις όλων των προσβάσεων σε όλους τους φόρτους εκτός του χαμηλού. Συνολικά, και στις δύο περιπτώσεις κυκλικών κόμβων, παρατηρήθηκε ότι η ανατολική πρόσβαση είχε τις μικρότερες καθυστερήσεις, ενώ η δυτική τις μεγαλύτερες. Αυτό, ίσως να οφείλεται στο ότι οι φόρτοι της κίνησης της ανατολικής πρόσβασης εμπλέκονται με εκείνους της δυτικής και της προκαλούν καθυστερήσεις, ενώ το αντίθετο δεν συμβαίνει.

Συνολικά συμπεραίνεται ότι καθώς αυξανόταν ο φόρτος από μεσαίο σε πολύ υψηλό, η επίδραση στις καθυστερήσεις από τις μεταβολές των παραμέτρων γινόταν εντονότερη και πιο αντιληπτή.

Επιρροή των παραμέτρων στο σύνολο των κόμβων

Αρχικά το πρώτο συμπέρασμα που προκύπτει με την ανάλυση των κόμβων ως προς τη μέση καθυστέρηση, τη μέση ταχύτητα και τον μέσο χρόνο μετακίνησης, είναι ότι τα μεγέθη αυτά υπό χαμηλούς φόρτους δεν επηρεάζονται από καμία παράμετρο επιρροής.

Σχετικά με τη μέση καθυστέρηση, συμπεραίνεται ότι η επιρροή της παραμέτρου ευαισθησίας ήταν σημαντική στο σενάριο 4 του κυκλοφοριακού φόρτου στους κόμβους μίας λωρίδας (T και κυκλικού) και στα σενάρια 3 και 4 στους κόμβους δύο λωρίδων (T και κυκλικού). Πιο συγκεκριμένα οι καθυστερήσεις αυξάνονταν με την αύξηση της τιμής της παραμέτρου. Οι υψηλότερες τιμές καθυστερήσεων παρατηρήθηκαν στις τιμές 1.3 και 1.5 για όλους τους υπό μελέτη κόμβους. Όσον αφορά την παράμετρο παραχώρησης προτεραιότητας, επηρεάστηκε το σενάριο 4 του κυκλοφοριακού φόρτου στους κόμβους μίας λωρίδας (T και κυκλικού) και τα σενάρια 3 και 4 στους κόμβους δύο λωρίδων (T και κυκλικού). Παρατηρήθηκε ότι οι υψηλότερες τιμές καθυστέρησης σημειώθηκαν στα 30 έως 50 δευτερόλεπτα για τους T κόμβους και στα 1 έως 20 για τους κυκλικούς.

Όσον αφορά τη μέση ταχύτητα, προκύπτει το συμπέρασμα ότι καθώς αυξάνεται ο κυκλοφοριακός φόρτος, μειώνεται η ταχύτητα των οχημάτων. Ακόμη, η παράμετρος ευαισθησίας επιδρά στη ταχύτητα από τους μεσαίους φόρτους έως τους πολύ υψηλούς σε όλους τους κόμβους. Με την αύξηση της παραμέτρου, οι ταχύτητες των οχημάτων μειώνονται, κάτι που είναι εντονότερο στους πολύ υψηλούς φόρτους. Η μέση ταχύτητα των οχημάτων σε πολύ υψηλότερους φόρτους μπορεί να μειωθεί από περίπου 46 χλμ/ώρα (0.5

τιμή ευαισθησίας) σε 38 χλμ/ώρα περίπου (1.5 τιμή ευαισθησίας). Η παράμετρος παραχώρησης προτεραιότητας συμπεραίνεται ότι δεν επιδρά στη κατανομή των ταχυτήτων.

Τέλος, όσον αφορά τον μέσο χρόνο μετακίνησης, οι τιμές του επηρεάζονται και από τις δύο παραμέτρους επιρροής σε όλους τους κόμβους μελέτης και υπό όλες τις συνθήκες φόρτου εκτός του χαμηλού. Η αύξηση στη τιμή της παραμέτρου ευαισθησίας οδηγεί στην αύξηση του μέσου χρόνου μετακίνησης, ενώ στην αύξηση της τιμής της παραμέτρου παραχώρησης προτεραιότητας η τάση των αποτελεσμάτων δεν είναι τόσο ξεκάθαρη. Οι υψηλότερες τιμές μέσου χρόνου μετακίνησης παρατηρήθηκαν στη τιμή 1.5 της παραμέτρου ευαισθησίας.

Γενικά, συνάγεται το συμπέρασμα ότι τα αποτελέσματα στους συνολικούς κόμβους είναι αλληλένδετα μεταξύ τους. Δηλαδή, συμπεραίνεται ότι καθώς αυξάνεται η τιμή της παραμέτρου ευαισθησίας, λόγω της υπερεκτίμησης της επιβράδυνσης των οδηγών για το προπορευόμενο όχημά τους, μειώνονται οι ταχύτητες κίνησης των οχημάτων με αποτέλεσμα να αυξηθούν οι καθυστερήσεις και κατ' επέκταση ο μέσος χρόνος μετακίνησης. Το φαινόμενο αυτό γίνεται πιο εμφανές καθώς οι συνθήκες φόρτου μεταβαίνουν από μεσαίο σε υψηλό και πολύ υψηλό φόρτο. Ομοίως, με την αύξηση της τιμής της παραμέτρου παραχώρησης προτεραιότητας συμβαίνει το ίδιο φαινόμενο, απλώς στη περίπτωση αυτή κάποια αποτελέσματα δεν έχουν ξεκάθαρη τάση.

Ανάδειξη λειτουργικότερου κόμβου

Στον πίνακα 5.1, παρουσιάζεται η μέση καθυστέρηση σε κάθε σενάριο φόρτου και τύπο κόμβου. Να σημειωθεί, ότι οι καθυστερήσεις του παρακάτω πίνακα αναφέρονται στις προεπιλεγμένες τιμές των παραμέτρων επιρροής του προγράμματος AIMSUN, δηλαδή στη τιμή 1 της παραμέτρου ευαισθησίας και στη τιμή 10 δευτερολέπτων της παραμέτρου μέγιστου χρόνου παραχώρησης προτεραιότητας. Από τη πρώτη περίπτωση, δηλαδή τη σύγκριση των κόμβων (*T* και κυκλικού) ως προς τη μέση καθυστέρηση, συμπεραίνεται ότι πιο λειτουργικός ήταν ο κυκλικός κόμβος, αφού σε όλες τις συνθήκες φόρτου, μεταβαίνοντας από τον κόμβο *T* στον κυκλικό, οι καθυστερήσεις μειώνονται. Στους πρώτους δύο φόρτους (χαμηλό και μεσαίο) οι καθυστερήσεις είναι αρκετά παραπλήσιες, ενώ στους επόμενους δύο (υψηλό και πολύ υψηλό) οι διαφορές αυξάνονται.

*Πίνακας 5.1- Συγκεντρωτικά αποτελέσματα σύγκρισης κόμβου *T* και κυκλικού κόμβου ως προς τη μέση καθυστέρηση στις προεπιλεγμένες τιμές των παραμέτρων επιρροής*

Σύγκριση κόμβων μίας λωρίδας ως προς τη μέση καθυστέρηση		
Φόρτος	Μέση καθυστέρηση κόμβου <i>T</i> (s/km)	Μέση καθυστέρηση κυκλικού κόμβου (s/km)
Χαμηλός	4.8	4.4
Μεσαίος	6.8	6.3
Υψηλός	17.5	8.4
Πολύ υψηλός	31.1	25.5

Σύγκριση κόμβων δύο λωρίδων ως προς τη μέση καθυστέρηση		
Χαμηλός	1.2	1.6
Μεσαίος	5.7	3.9
Υψηλός	10.4	22.8
Πολύ υψηλός	25.8	35.1

Σχετικά με τους κόμβους δύο λωρίδων δεν ισχύει η ίδια κατάσταση. Στη περίπτωση αυτή, λειτουργικότερος παρουσιάζεται ο κόμβος προτεραιότητας T αφού οι καθυστερήσεις αυξάνονται στον κυκλικό κόμβο σε όλες τις συνθήκες κυκλοφοριακού φόρτου, εκτός από τον μεσαίο φόρτο, όπου ελαφρώς μειώνονται. Ομοίως με τη περίπτωση μίας λωρίδας, οι διαφορές στις καθυστερήσεις στους χαμηλούς και μεσαίους φόρτους είναι αρκετά μικρές και αυξάνονται με την αύξηση των φόρτων.

Τα παραπάνω αποτελέσματα, όπως αναφέρθηκε, αφορούσαν τις προεπιλεγμένες τιμές των παραμέτρων επιρροής. Διερευνήθηκε η μέση καθυστέρηση στους κόμβους και στις περιπτώσεις όπου μεταβαλλόταν η τιμή της παραμέτρου ευαισθησίας και η τιμή της παραχώρησης προτεραιότητας. Η ανάδειξη του λειτουργικότερου κόμβου δεν άλλαζε, δηλαδή ήταν ο κυκλικός κόμβος στη μία λωρίδα και ο T κόμβος στις δύο λωρίδες. Αυτό που άλλαζε ήταν οι διαφορές στις καθυστερήσεις, όπου για παράδειγμα καθώς αυξανόταν η τιμή της παραμέτρου ευαισθησίας, οι διαφορές αυτές αυξάνονταν σε μεγάλο βαθμό ειδικά στις τιμές 1.3 και 1.5 της παραμέτρου.

Γενικώς, η παράμετρος ευαισθησίας και ο κυκλοφοριακός φόρτος είναι αμφότεροι από τις σημαντικότερες παραμέτρους επιρροής της λειτουργίας των κόμβων, αφού και οι δύο επηρεάζουν σημαντικά τη μέση καθυστέρηση, ενώ η επίδραση της παραμέτρου ευαισθησίας εξαρτάται από το μέγεθος του φόρτου. Η παράμετρος παραχώρησης προτεραιότητας παίζει σημαντικό ρόλο στη λειτουργία των κόμβων, ωστόσο η επίδρασή της δεν είναι εξίσου καθοριστική με των άλλων δύο παραμέτρων.

5.2. Προτάσεις για διερεύνηση

Ολοκληρώνοντας τη παρούσα διπλωματική εργασία, διαπιστώνεται η δυνατότητα συνέχισης στη διερεύνηση της λειτουργίας κόμβων. Μία πρόταση θα μπορούσε να αφορά τη διερεύνηση λειτουργίας τετρασκελή κόμβου προτεραιότητας και κυκλικού κόμβου μίας και δύο λωρίδων με τις παραμέτρους επιρροής που χρησιμοποιήθηκαν στη παρούσα εργασία.

Επιπλέον, ενδιαφέρουσα πρόταση θα αποτελούσε η διερεύνηση και σύγκριση της λειτουργίας κόμβων προτεραιότητας T και κυκλικών δύο λωρίδων ως προς διαφορετικές παραμέτρους επιρροής. Για παράδειγμα, θα μπορούσαν να χρησιμοποιηθούν παράμετροι επιρροής από το πρότυπο αλλαγής λωρίδας.

Τέλος, θα μπορούσε να πραγματοποιηθεί η διερεύνηση του ίδιου αντικειμένου της παρούσας διπλωματικής εργασίας σε διαφορετικό πρόγραμμα προσομοίωσης, ώστε να συγκριθούν τα αποτελέσματα με του προγράμματος AIMSUN.

6. Βιβλιογραφία

6.1 Διεθνής βιβλιογραφία

Ahmed K. I., Modelling Drivers' Acceleration and Lane Changing Behavior, Diploma Thesis at Massachusetts Institution of Technology, 1999.

Akçelik R., Evaluating Roundabout Capacity, Level of Service and Performance. Paper presented at the ITE 2009 Annual Meeting, San Antonio, Texas, USA, August 2009.

Aimsun Users' Manual v8, TSS-Transport Simulation Systems, 2015.

Aimsun Dynamic Simulators Users' Manual v8, TSS-Transport Simulation Systems, 2015.

Barceló J., Casas J., Dynamic Network Simulation with AIMSUN, TSS-Traffic Simulation Systems, 2002.

Brilon W., Roundabouts: A State of the Art in Germany. Paper presented at the National Roundabout Conference, Vail, Colorado; May 22-25, 2005.

Chung E., Young W., Akçelik R., Comparison of roundabout capacity and delay estimates from analytical and simulation models. Proc. 16th ARRB Conf. 16 (5), pp. 369-385, 1992.

Ciuffo B., Casas J., Montanino M., Perarnau J., Punzo V., Theory to practice: Global sensitivity analysis of the Aimsun meso model, Gaussian Process Metamodels for Sensitivity Analysis of Traffic Simulation Models, 2014.

Fernandez R., Valenzuela E., Casanello F., Jorquera C., Evolution of the TRANSYT model in a developing country, Transportation Research Part A 40 386-398, 2006.

Fisk C. S., Tan H. H., Delay analysis for priority intersections, Transpn. Res. Vol. 23B. No. 6. pp. 453-469, 1989.

Fisk C. S., Traffic performance analysis at roundabouts, Transpn. Res.-B, Vol. 25B, Nos 2/3, pp. 89-102, 1991.

Heidemann D., Queue length and waiting-time distributions at priority intersections, Federal Highways Research Institute, 1990.

Heidemann D., Wegmann H., Queueing at unsignalized intersections, Transpn. Res.-B. Vol. 31, No. 3, pp. 239-263, 1997.

Highway Capacity Manual 2010, Transportation Research Board.

Luttinen R. T., Capacity and Level of Service at Finnish Unsignalized Intersections, Finnish Road Administration, Helsinki 2004.

P. G. Gipps, A behavioural car-following model for computer simulation, Transportation Research Board, Vol. 15-B, pp.105-111, 1981.

P. G. Gipps, A model for the structure of lane-changing decisions, Transportation Research – B. Vol. 20-B, No. 5, pp. 403-414, 1986a.

P. G. Gipps, MULTSIM: A Model for Simulating Vehicular Traffic on Multi-Lane Arterial Roads, *Mathematics and Computers in Simulation*, 28. 291-295, 1986b.

Stuwe B., *Intersections without Traffic Signals II: Proceedings of an International Workshop*, Springer-Verlag Berlin Heidelberg, Capacity and Safety of Roundabouts-German Results p. 1-12, 1991.

Werner, Time Dependent Delay at Unsignalized Intersections, 17th International Symposium on Transportation on Traffic Theory (ISTTT17), 2007.

Wu N., A Universal Procedure for Capacity Determination at Unsignalized (Priority-Controlled) Intersections, *Transportation Research part B* 35, Issue 3, 2001.

6.2 Ελληνική βιβλιογραφία

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

Αντωνίου Κ., Σπυροπούλου Ι., Αρχές Κυκλοφοριακής Τεχνικής και Προσομοίωσης, Εκδόσεις Δράσης Κάλλιπος, 2015.

Νίκου Δ., Γεωμετρικός Σχεδιασμός Ισόπεδων Κυκλικών Κόμβων, Διπλωματική εργασία ΕΜΠ, 2012.

Φραντζεσκάκης Ι., Γιαννόπουλος, Σχεδιασμός των μεταφορών και κυκλοφοριακή τεχνική, 2011.

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