ΕΘΝΙΚΟ ΜΕΤΣΟΒΙΟ ΠΟΛΥΤΕΧΝΕΙΟ

ΣΧΟΛΗ ΑΓΡΟΝΟΜΩΝ ΚΑΙ ΤΟΠΟΓΡΑΦΩΝ ΜΗΧΑΝΙΚΩΝ-ΜΗΧΑΝΙΚΩΝ ΓΕΩΠΛΗΡΟΦΟΡΙΚΗΣ

ΤΟΜΕΑΣ ΕΡΓΩΝ ΥΠΟΔΟΜΗΣ ΚΑΙ ΑΓΡΟΤΙΚΗΣ ΑΝΑΠΤΥΞΗΣ

Διπλωματική Εργασία

ΔΙΕΡΕΥΝΗΣΗ ΕΠΙΡΡΟΗΣ ΤΗΣ ΧΡΗΣΗΣ ΚΙΝΗΤΩΝ ΤΗΛΕΦΩΝΩΝ ΑΠΟ ΠΕΖΟΥΣ ΣΤΗΝ ΕΠΙΚΙΝΔΥΝΟΤΗΤΑ ΚΑΙ ΣΤΟ ΕΠΙΠΕΔΟ ΛΕΙΤΟΥΡΓΙΑΣ ΕΝΟΣ ΚΟΜΒΟΥ ΜΕΣΩ ΠΡΟΓΡΑΜΜΑΤΩΝ ΚΥΚΛΟΦΟΡΙΑΚΗΣ ΠΡΟΣΟΜΟΙΩΣΗΣ

ΜΕΝΤΖΕΛΟΣ ΣΠΥΡΙΔΩΝ ΜΑΡΙΟΣ

Επιβλέπουσα: Σπυροπούλου Ιωάννα, { Αναπληρώτρια Καθηγήτρια Ε.Μ.Π}

ΕΡΓΑΣΤΗΡΙΟ ΣΥΓΚΟΙΝΩΝΙΑΚΗΣ ΤΕΧΝΙΚΗΣ

Αθήνα, Ιούλιος 2022

NATIONAL TECHNICAL UNIVERSITY OF ATHENS

SCHOOL OF RURAL, SURVEYING AND GEOINFORMATICS ENGINEERING

DEP. OF INFRASTRUCTURE AND RURAL DEVELOPMENT

Diploma Thesis

INVESTIGATION OF THE EFFECT OF PEDESTRIAN MOBILE PHONE USE ON THE RISK AND FUNCTION OF A JUNCTION THROUGH TRAFFIC SIMULATION PROGRAMS

MENTZELOS SPYRIDON MARIOS

Supervisor: Spyropoulou Ioanna , {Associate Professor, N.T.U.A }

LABORATORY OF TRANSPORTATION ENGINEERING

Athens, July 2022

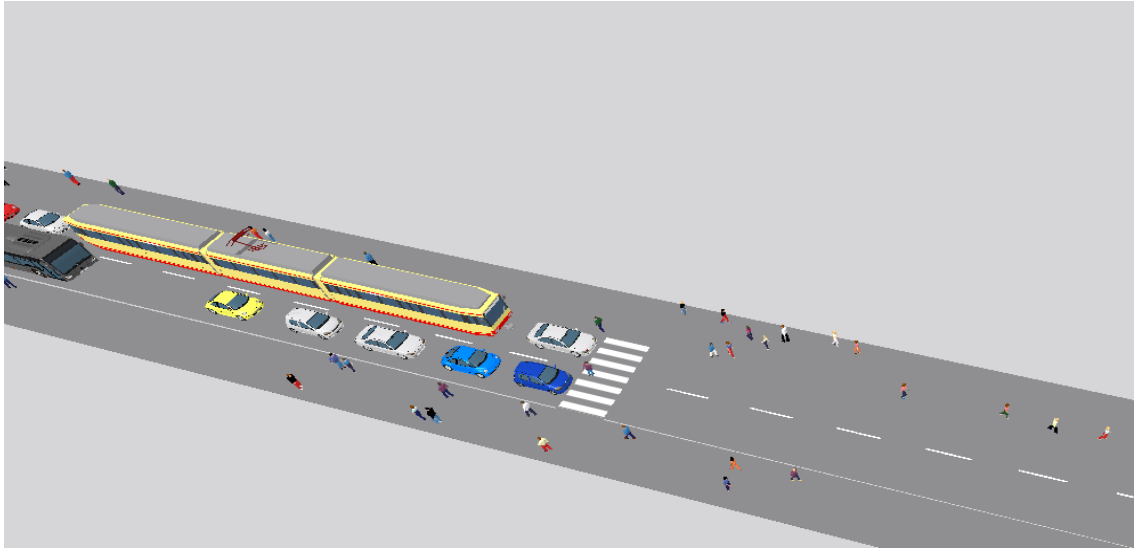
ΕΘΝΙΚΟ ΜΕΤΣΟΒΙΟ ΠΟΛΥΤΕΧΝΕΙΟ

ΣΧΟΛΗ ΑΓΡΟΝΟΜΩΝ ΚΑΙ ΤΟΠΟΓΡΑΦΩΝ ΜΗΧΑΝΙΚΩΝ-ΜΗΧΑΝΙΚΩΝ ΓΕΩΠΛΗΡΟΦΟΡΙΚΗΣ

ΤΟΜΕΑΣ ΕΡΓΩΝ ΥΠΟΔΟΜΗΣ ΚΑΙ ΑΓΡΟΤΙΚΗΣ ΑΝΑΠΤΥΞΗΣ

Διπλωματική Εργασία

ΔΙΕΡΕΥΝΗΣΗ ΕΠΙΡΡΟΗΣ ΤΗΣ ΧΡΗΣΗΣ ΚΙΝΗΤΩΝ ΤΗΛΕΦΩΝΩΝ ΑΠΟ ΠΕΖΟΥΣ ΣΤΗΝ ΕΠΙΚΙΝΔΥΝΟΤΗΤΑ ΚΑΙ ΣΤΟ ΕΠΙΠΕΔΟ ΛΕΙΤΟΥΡΓΙΑΣ ΕΝΟΣ ΚΟΜΒΟΥ ΜΕΣΩ ΠΡΟΓΡΑΜΜΑΤΩΝ ΚΥΚΛΟΦΟΡΙΑΚΗΣ ΠΡΟΣΟΜΟΙΩΣΗΣ



ΜΕΝΤΖΕΛΟΣ ΣΠΥΡΙΔΩΝ ΜΑΡΙΟΣ

Επιβλέπουσα: Σπυροπούλου Ιωάννα, { Αναπληρώτρια Καθηγήτρια Ε.Μ.Π}

ΕΡΓΑΣΤΗΡΙΟ ΣΥΓΚΟΙΝΩΝΙΑΚΗΣ ΤΕΧΝΙΚΗΣ

Αθήνα, Ιούλιος 2022

ΔΗΛΩΣΗ ΑΝΑΓΝΩΡΙΣΗΣ ΠΝΕΥΜΑΤΙΚΩΝ ΔΙΚΑΙΩΜΑΤΩΝ

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

ΜΕΝΤΖΕΛΟΣ ΣΠΥΡΙΔΩΝ ΜΑΡΙΟΣ

Υπογραφή Φοιτητή

Copyright © –All rights reserved.
…….
Με επιφύλαξη παντός δικαιώματος.
Απαγορεύεται η αντιγραφή, αποθήκευση και διανομή της παρούσας εργασίας, εξ' ολοκλήρου ή τμήματος αυτής, για εμπορικό σκοπό. Επιτρέπεται η ανατύπωση, αποθήκευση και διανομή για σκοπό μη κερδοσκοπικό, εκπαιδευτικής ή ερευνητικής φύσης, υπό την προϋπόθεση να αναφέρεται η πηγή προέλευσης και να διατηρείται το παρόν μήνυμα. Ερωτήματα που αφορούν στη χρήση της εργασίας για κερδοσκοπικό σκοπό πρέπει να απευθύνονται προς τον συγγραφέα.
(Υπογραφή)
.....
.....
.....
© 2022 – All rights reserved

ΠΕΡΙΛΗΨΗ

Η χρήση κινητών τηλεφώνων από πεζούς έχει αρνητική επίδραση στη προσοχή των πεζών κατά την κίνηση τους. Η συστηματική και συνεχής χρήση τους σε συνδυασμό με την πληθώρα των εφαρμογών που προσφέρουν τα έξυπνα τηλέφωνα καθιστούν την επιρροή τους σημαντική, αφού αποσπούν συστηματικά τους πεζούς από τα ερεθίσματα του περιβάλλοντος χώρου. Σκοπός της παρούσας εργασίας είναι η εξέταση της επιρροής της χρήσης κινητών τηλεφώνων από πεζούς, εξετάζοντας την επιρροή αυτή μέσα από το χρόνο αντίδρασής τους, σε ένα δίκτυο. Η επίδραση του διαφορετικού χρόνου αντίδρασης των πεζών αποτελεί βασική μεταβλητή στον έλεγχο της επιρροής αυτής, εξετάζοντας κυρίως το κατά πόσο αυξάνεται η επικινδυνότητα του υπό εξέταση δικτύου αλλά και το κατά πόσο δημιουργούνται λειτουργικά προβλήματα στο οδικό δίκτυο. Η εργασία υλοποιείται μέσω προγράμματος κυκλοφοριακής προσομοίωσης Vissim/Viswalk, κατασκευάζοντας πληθώρα διαφορετικών σεναρίων, μεταβάλλοντας τον χρόνο αντίδρασης των πεζών, τον φόρτο των πεζών αλλά και τον κυκλοφοριακό φόρτο. Για το κομμάτι της ανάλυσης της επικινδυνότητας του κόμβου επιλέχθηκε η χρήση του ελεύθερου λογισμικού SSAM, μέσω του οποίου γίνεται εντοπισμός, ανάλυση και κατηγοριοποίηση πιθανών οδικών συγκρούσεων στο δίκτυο. Η ανάλυση υλοποιείται με την εξαγωγή τροχιών από προγράμματα μικροσκοπικών προσομοιώσεων και στη συγκεκριμένη περίπτωση από το Vissim/Viswalk. Αρχικά κατασκευάζονται αρκετά διαφορετικά σενάρια με σκοπό τον ορισμό των τελικών παραμέτρων που θα εξεταστούν, αλλά και των τιμών των μεταβλητών. Εφόσον έχουν οριστεί τα τελικά σενάρια, ακολουθεί η διαδικασία αναπαραγωγής τους και έπειτα η εισαγωγή των τροχιών στο λογισμικό SSAM. Τα βασικά μεγέθη που εξετάζονται από τη διαδικασία αυτή είναι το TTC (Time to Collision), το PET (Post Enchroachment Time), το σύνολο των πιθανών συγκρούσεων που εντοπίζει το λογισμικό σε κάθε σενάριο, το υποσύνολο των συνολικών συγκρούσεων που εντοπίζονται με τιμή TTC κάτω από μισό δευτερόλεπτο και η αναλογία αυτών. Επιπρόσθετα εξάγονται απευθείας από το λογισμικό Vissim η μέση καθυστέρηση των οχημάτων στο δίκτυο και ο αριθμός των οχημάτων που δεν ολοκληρώνουν την προσομοίωση, δεδομένα που δίνουν άμεση εικόνα για τη λειτουργία του δικτύου. Από την ολοκλήρωση της ανάλυσης διαπιστώνεται πως στα σενάρια με αυξημένο χρόνο αντίδρασης πεζών παρουσιάζεται αύξηση της επικινδυνότητας του δικτύου, με χαμηλές τιμές στα μεγέθη TTC και PET αλλά και ταυτόχρονη αύξηση των πιθανών συγκρούσεων που εντοπίζονται στο δίκτυο με χρόνο κάτω του μισού δευτερολέπτου. Μια ακόμη διαπίστωση είναι η αρνητική επιρροή της απόσπασης προσοχής των πεζών στη λειτουργική απόδοση του δικτύου, με αύξηση της μέσης καθυστέρησης και των οχημάτων που δεν κατάφεραν να ολοκληρώσουν την προσομοίωση όσο αυξάνεται ο χρόνος αντίδρασης των πεζών. Ο φόρτος των πεζών στο δίκτυο επίσης δείχνει να επηρεάζει σε μεγάλο βαθμό τα οχήματα που δεν ολοκληρώνουν την προσομοίωση, καθώς στους υψηλούς φόρτους πεζών εμφανίζεται μεγάλο πλήθος οχημάτων τα οποία δεν καταφέρνουν να φτάσουν στον προορισμό τους, κάτι τι ο οποίο παρουσιάζεται ακόμα πιο έντονα στα σενάρια με υψηλό χρόνο αντίδρασης πεζών.

Λέξεις κλειδιά: κινητό τηλέφωνο, χρόνος αντίδρασης πεζών, TAU, TTC, PET, Vissim/Viswalk, SSAM, μικροσκοπική προσομοίωση, επικινδυνότητα

ABSTRACT

The use of mobile phones by pedestrians has a profound negative effect on the attention of pedestrians during their movement. Their systematic and continuous use, in combination with the multitude of applications offered by smart phones make their influence significant, since they systematically distract pedestrians from the stimuli of the surrounding area. The purpose of this thesis is to examine the influence of mobile phone use by pedestrians, as depicted through their increased reaction time, on a road network. The effect of the different reaction time of pedestrians is a key variable in the control of this influence, mainly examining whether the risk of the network in question increases but also whether this also affects the road network operational performance. This paper is implemented through a traffic simulation program Vissim/Viswalk, creating a multitude of different scenarios, varying pedestrian reaction time, pedestrian flow and vehicle flow. For the assessment of the risk analysis part, the use of the SSAM free software was chosen, through which potential traffic collisions (conflicts) in the network are detected, analyzed and categorized. The analysis is performed by extracting trajectories from the microscopic simulation programs and in this particular case from Vissim/Viswalk. Initially, several different scenarios are designed in order to define the final parameters to be examined, as well as the values of the variables. Once the final scenarios are defined, the simulation runs follow and the trajectories are then imported into the SSAM software. The key indicators considered by this process are TTC (Time to Collision), PET (Post Encroachment Time), the set of conflicts detected by the software in each scenario, the subset of total conflicts detected with a TTC value below. In addition, the average delay of vehicles in the network and the number of vehicles that do not complete the simulation are exported directly from the Vissim software, data that give an immediate insight into the level of service of the network. From the completion of the analysis, it is found that in the scenarios with an increased pedestrian reaction time, there is an increase in the risk of the network, with low values in the TTC and PET sizes, but also a simultaneous increase in the conflicts that are detected in the network with a TTC of less than half a second. Another conclusion is the negative influence of pedestrian distraction on the operational performance of the network, with an increase in average delay and vehicles that failed to complete the simulation as pedestrian reaction time increases. Pedestrian flow on the network also appears to greatly affect vehicles that do not complete the simulation, as high pedestrian flow result in a large number of vehicles failing to reach their destination, especially in scenarios with high pedestrian response time.

Key Words: mobile phone, pedestrian reaction time, TAU, TTC, PET, Vissim/Viswalk, SSAM, microscopic simulation, riskiness

Περιεχόμενα

1. Εισαγωγή 1
1.1. Κίνητρο και σκοπός της εργασίας 1
1.2. Δομή της εργασίας 2
2. Βιβλιογραφική Ανασκόπηση 3
2.1. Κίνηση των πεζών 3
2.1.1. Χαρακτηριστικά της κίνησης των πεζών 3
2.1.2 Παράμετροι επιρροής της κίνησης των πεζών 4
2.1.3 Επίδραση κινητού τηλεφώνου στη συμπεριφορά των πεζών 6
2.1.4 Η έννοια της στάθμης εξυπηρέτησης 8
2.2 Πρότυπα κυκλοφοριακής ροής και βασικές αρχές 12
2.3 Προγράμματα κυκλοφοριακής προσομοίωσης 15
2.4 PTV VISSIM 19
2.4.1 Εισαγωγή στο πρόγραμμα 19
2.4.2 Δομή του προγράμματος 21
2.5 PTV VISWALK 25
2.5.1 Εισαγωγή στο πρόγραμμα 25
2.5.2 Πεδία χρήσης του προγράμματος και δυνατότητες 25
2.5.3 Αρχές μοντέλου SFM 27
2.5.4 Δυναμική επιλογή διαδρομής (dynamic potential) 32
2.6 Δυνατότητες και αξιολόγηση αποτελεσμάτων 34
2.7 SSAM 35
2.7.1 Περιγραφή του προγράμματος SSAM 35
2.7.2 Επικινδυνότητα βάσει των μεγεθών TTC και PET 37
3. Μεθοδολογικό Πλαίσιο 40
3.1 Προσομοίωση οχημάτων-πεζών 40
3.1.1 Κωδικοποίηση στα προγράμματα Vissim-Viswalk 40
3.1.2 Διαδικασία προσομοίωσης 44
3.2 Προσομοίωση πιθανών συγκρούσεων 53
3.2.1 Λειτουργία του SSAM 53
3.2.2 Διαδικασία προσομοίωσης 59
3.3 Σχεδιασμός σεναρίων προσομοίωσης 59
3.3.1 Επιλογή παραμέτρων διερεύνησης 59
3.3.2 Δίκτυο προσομοίωσης 60
3.3.3 Χρόνος αντίδρασης πεζών 62

3.3.4 Κυκλοφοριακός φόρτος οχημάτων 64
3.3.5 Φόρτος πεζών 64
3.3.6 Τελικά σενάρια προσομοίωσης 66
4. Ανάλυση Σεναρίων 68
4.1 Βασικά μεγέθη ανάλυσης τελικών σεναρίων 68
4.2 Επεξεργασία δεδομένων 68
4.2.1 Time to Collision- TTC 70
4.2.2 Post Enchroachment Time- PET 74
4.2.3 Conflicts / Conflicts <0,5 / Αναλογία συγκρούσεων 78
4.2.4 Μέση καθυστέρηση 89
4.2.5 Οχήματα που δεν ολοκληρώνουν την προσομοίωση 92
4.3 Σύνοψη ανάλυσης 96
5. Συμπεράσματα και προτάσεις 99
6. Αναφορές 103

Ευρετήριο Πινάκων

Πίνακας 2-1: Τιμές Στάθμης Εξυπηρέτησης βάση του HCM 2010 12
Πίνακας 2-2: Κατάλληλα βαθμονομημένες τιμές σε διασταύρωση της Ινδίας..... 31
Πίνακας 3-1: Αρχικές τιμές μεταβλητών σεναρίου 60
Πίνακας 3-2: Τιμές μεταβλητών σεναρίου..... 62
Πίνακας 3-3: Μερικοί φόρτοι τελικών σεναρίων 64
Πίνακας 3-4: Τελικοί φόρτοι πεζών..... 65
Πίνακας 3-5: Παράμετροι και τιμές τελικών σεναρίων 66

Ευρετήριο Εικόνων

Εικόνα 2-1: Στάθμη εξυπηρέτησης A 9
Εικόνα 2-2: Στάθμη εξυπηρέτησης B 9
Εικόνα 2-3: Στάθμη εξυπηρέτησης C 10
Εικόνα 2-4 : Στάθμη εξυπηρέτησης D 10
Εικόνα 2-5: Στάθμη εξυπηρέτησης E..... 10
Εικόνα 2-6: Στάθμη εξυπηρέτησης F..... 11
Εικόνα 2-7: Θεμελιώδη διαγράμματα κυκλοφοριακής ροής 13
Εικόνα 2-8: Διαγράμματα πυκνότητας- ταχύτητας και φόρτου- πυκνότητας κατά Greenshields 13
Εικόνα 2-9: Διαγράμματα φόρτου- πυκνότητας και ταχύτητας-πυκνότητας κατά Dagnazo.. 13
Εικόνα 2-10: Διαγράμματα κυκλοφοριακού φόρτου- πυκνότητας κατά Smulders 14
Εικόνα 2-11: Σχέση μοντέλου κυκλοφοριακής ροής και μοντέλου φωτεινής ..... σηματοδότησης στο πρόγραμμα Vissim 22
Εικόνα 2-12: Οι 4 διαφορετικές καταστάσεις των οδηγών βάση του μοντέλου του Wiedemann (1974) 24
Εικόνα 2-13: Δυνάμεις που επηρεάζουν την κίνηση των πεζών σύμφωνα με το ... Social Force Model (πηγή webinar) 28
Εικόνα 2-14: Δυνάμεις και παράμετρος λ στο Social Force Model 29
Εικόνα 2-15: Σύγκριση σεναρίων με χρήση dynamic potential και χωρίς 33
Εικόνα 2-16: Γωνία πιθανής σύγκρουσης των δύο οχημάτων 36
Εικόνα 2-17: Διάγραμμα επικινδυνότητας σύγκρουσης κατά Hyden (1987) 38
Εικόνα 2-18: Πυραμίδα πιθανών συγκρούσεων σε ένα οδικό δίκτυο 39
Εικόνα 3-1: Δημιουργία οδικού τμήματος στο λογισμικό Vissim 44
Εικόνα 3-2: Ορισμός χαρακτηριστικών στο οδικό δίκτυο 45
Εικόνα 3-3: Ρυθμίσεις που αφορούν τις περιοχές των πεζών 46
Εικόνα 3-4: Καρτέλα δημιουργίας κυκλοφοριακού φόρτου 47
Εικόνα 3-5: Βασικοί τύποι πεζών στο Viswalk..... 49
Εικόνα 3-6: Βασικές μεταβλητές της συμπεριφοράς των πεζών..... 49
Εικόνα 3-7: Παράδειγμα ορισμού σχετικών φόρτων για τους πεζούς..... 50
Εικόνα 3-8: Διαδοχικά στιγμιότυπα λειτουργίας του δικτύου 51
Εικόνα 3-9: Προτεραιότητα πεζών σε διάβαση..... 52
Εικόνα 3-10: Παράμετροι προσομοίωσης στο Viswalk 52

Εικόνα 3-11: Βασικό παράθυρο του προγράμματος SSAM (καρτέλα διαμόρφωσης)..... 53
Εικόνα 3-12: Παράδειγμα αρχείων trj κατά την εισαγωγή τους στο SSAM 54
Εικόνα 3-13: Διάγραμμα γωνιών σύγκρουσης στο λογισμικό SSAM..... 55
Εικόνα 3-14: Ενημέρωση του χρήστη για την ολοκλήρωση της ανάλυσης 56
Εικόνα 3-15: Καρτέλα σύνοψης στο πρόγραμμα SSAM..... 57
Εικόνα 3-16: Απεικόνιση των σημείων πιθανής σύγκρουσης σε χάρτη με υπόβαθρο εικόνας 58
Εικόνα 3-17: Απεικόνιση σημείων πιθανών συγκρούσεων με επιλογή bar chart..... 59

Ευρετήριο Διαγραμμάτων

Διάγραμμα 4-1: Ανάλυση averageTTC στα σενάρια με φόρτο 420 οχήματα 71
Διάγραμμα 4-2: Ανάλυση averageTTC στα σενάρια με φόρτο 840 οχήματα 71
Διάγραμμα 4-3: Ανάλυση averageTTC στα σενάρια με φόρτο 1260 οχήματα..... 72
Διάγραμμα 4-4: Ανάλυση averageTTC στα σενάρια με φόρτο 1680 οχήματα..... 72
Διάγραμμα 4-5: Ανάλυση averageTTC στα σενάρια με φόρτο 2100 οχήματα..... 73
Διάγραμμα 4-6: Ανάλυση averagePET στα σενάρια με φόρτο 420 οχήματα..... 75
Διάγραμμα 4-7: Ανάλυση averagePET στα σενάρια με φόρτο 840 οχήματα..... 75
Διάγραμμα 4-8: Ανάλυση averagePET στα σενάρια με φόρτο 1260 οχήματα..... 76
Διάγραμμα 4-9: Ανάλυση averagePET στα σενάρια με φόρτο 1680 οχήματα..... 76
Διάγραμμα 4-10: Ανάλυση averagePET στα σενάρια με φόρτο 2100 οχήματα..... 77
Διάγραμμα 4-11: Πιθανές συγκρούσεις στα σενάρια με φόρτο 420 οχήματα..... 79
Διάγραμμα 4-12: Πιθανές συγκρούσεις στα σενάρια με φόρτο 840 οχήματα..... 79
Διάγραμμα 4-13: Πιθανές συγκρούσεις στα σενάρια με φόρτο 1260 οχήματα..... 80
Διάγραμμα 4-14: Πιθανές συγκρούσεις στα σενάρια με φόρτο 1680 οχήματα..... 80
Διάγραμμα 4-15: Πιθανές συγκρούσεις στα σενάρια με φόρτο 2100 οχήματα..... 81
Διάγραμμα 4-16: Συγκρούσεις με χρόνο κάτω των 0,5 δευτερολέπτων στα σενάρια φόρτου 420 οχημάτων 82
Διάγραμμα 4-17: Συγκρούσεις με χρόνο κάτω των 0,5 δευτερολέπτων στα σενάρια φόρτου 840 οχημάτων 83
Διάγραμμα 4-18: Συγκρούσεις με χρόνο κάτω των 0,5 δευτερολέπτων στα σενάρια φόρτου 1260 οχημάτων 83
Διάγραμμα 4-19: Συγκρούσεις με χρόνο κάτω των 0,5 δευτερολέπτων στα σενάρια φόρτου 1680 οχημάτων 84
Διάγραμμα 4-20: Συγκρούσεις με χρόνο κάτω των 0,5 δευτερολέπτων στα σενάρια φόρτου 2100 οχημάτων 84
Διάγραμμα 4-21: Αναλογία συγκρούσεων με χρόνο κάτω των 0,5 δευτερολέπτων προς συνολικές πιθανές συγκρούσεις για σενάρια με φόρτο 420 οχήματα 86
Διάγραμμα 4-22: Αναλογία συγκρούσεων με χρόνο κάτω των 0,5 δευτερολέπτων προς συνολικές πιθανές συγκρούσεις για σενάρια με φόρτο 840 οχήματα 86
Διάγραμμα 4-23: Αναλογία συγκρούσεων με χρόνο κάτω των 0,5 δευτερολέπτων προς συνολικές πιθανές συγκρούσεις για σενάρια με φόρτο 1260 οχήματα 87
Διάγραμμα 4-24: Αναλογία συγκρούσεων με χρόνο κάτω των 0,5 δευτερολέπτων προς συνολικές πιθανές συγκρούσεις για σενάρια με φόρτο 1680 οχήματα 87
Διάγραμμα 4-25: Αναλογία συγκρούσεων με χρόνο κάτω των 0,5 δευτερολέπτων προς συνολικές πιθανές συγκρούσεις για σενάρια με φόρτο 2100 οχήματα 88
Διάγραμμα 4-26: Μέση καθυστέρηση οχημάτων στο δίκτυο στα σενάρια φόρτου 420 οχημάτων 89
Διάγραμμα 4-27: Μέση καθυστέρηση οχημάτων στο δίκτυο στα σενάρια φόρτου 840 οχημάτων 90
Διάγραμμα 4-28: Μέση καθυστέρηση οχημάτων στο δίκτυο στα σενάρια φόρτου 1260 οχημάτων 90
Διάγραμμα 4-29: Μέση καθυστέρηση οχημάτων στο δίκτυο στα σενάρια φόρτου 1680 οχημάτων 91

Διάγραμμα 4-30: Μέση καθυστέρηση οχημάτων στο δίκτυο στα σενάρια φόρτου 2100 οχημάτων 91
Διάγραμμα 4-31: Οχήματα που δεν ολοκληρώνουν την προσομοίωση για φόρτο 420 οχημάτων 93
Διάγραμμα 4-32: Οχήματα που δεν ολοκληρώνουν την προσομοίωση για φόρτο 840 οχημάτων 93
Διάγραμμα 4-33: Οχήματα που δεν ολοκληρώνουν την προσομοίωση για φόρτο 1260 οχημάτων 94
Διάγραμμα 4-34: Οχήματα που δεν ολοκληρώνουν την προσομοίωση για φόρτο 1680 οχημάτων 94
Διάγραμμα 4-35: Οχήματα που δεν ολοκληρώνουν την προσομοίωση για φόρτο 2100 οχημάτων 95

1. Εισαγωγή

1.1. Κίνητρο και σκοπός της εργασίας

Τα κινητά τηλέφωνα αποτελούν πλέον ένα χρήσιμο εργαλείο στην καθημερινότητα των ανθρώπων, με πολλαπλές εφαρμογές που τα καθιστά απαραίτητα. Όσο η τεχνολογία εξελίσσεται, παρατηρείται το φαινόμενο της εκτεταμένης χρήσης τους καθώς πλέον δίνουν στο χρήστη τη δυνατότητα κλήσης, βίντεο κλήσης, αναπαραγωγής μουσικής, επικοινωνίας μέσω μηνυμάτων και άλλων εφαρμογών. Πλέον η πλειοψηφία των πεζών που περπατούν στις πόλεις κάνουν ταυτόχρονα χρήση κινητού τηλεφώνου είτε μέσω επικοινωνίας, είτε μέσω χρήσης άλλων εφαρμογών που έχουν αναπτυχθεί.

Τα κινητά τηλέφωνα όμως αποτελούν τον πιο βασικό παράγοντα για την απόσπαση προσοχής των πεζών κατά την κίνηση τους. Η εκτροπή της προσοχής των πεζών από την πορεία τους λόγω της χρήσης κινητού αποτελεί ένα επικίνδυνο φαινόμενο, ειδικότερα σε περιπτώσεις όπου οι πεζοί διασχίζουν ένα οδικό τμήμα ή μια διάβαση. Όπως έχει παρατηρηθεί, υπάρχει μεγάλη συσχέτιση μεταξύ των ατυχημάτων πεζών που εντοπίζονται και της χρήσης κινητού τηλεφώνου. Έρευνα που διεξήχθη από ασφαλιστική εταιρία στην Κορέα έδειξε συσχέτιση μεγαλύτερη του 60% μεταξύ των περιστατικών ατυχημάτων πεζών και χρήσης τηλεφώνου (Samsung Traffic Safety Research Institute, 2018). Η χρήση κινητού τηλεφώνου δεν σχετίζεται μόνο με τα ατυχήματα των πεζών αλλά και με το πόσο λειτουργικοί είναι καθώς περπατούν. Έρευνα των Hyman et al. (2010) έδειξε πως οι πεζοί εντός δικτύου που έκαναν χρήση κινητού τηλεφώνου αργούσαν περισσότερο να διασχίσουν τον δρόμο. Επιπλέον παρατήρησαν πως οι πεζοί ήταν πιο επιρρεπείς στις αλλαγές κατεύθυνσης και είχαν αισθητά πιο χαμηλή αντίληψη των ερεθισμάτων του περιβάλλοντα χώρου. Σε έρευνα που πραγματοποιήθηκε στις Ηνωμένες Πολιτείες της Αμερικής το 60% των πεζών που συμμετείχαν παραδέχτηκαν πως κάνουν συστηματική χρήση του κινητού του καθώς περπατούν (Libery Mutual Insurance, 2013).

Σκοπός της εργασίας αυτής είναι ουσιαστικά η διερεύνηση της επιρροής που έχει η χρήση κινητού τηλεφώνου από τους πεζούς, και πιο συγκεκριμένα η αύξηση του χρόνου αντίδρασης, στην κυκλοφορία. Εργαλείο για την επίτευξη της ανάλυσης αποτελεί το προγράμματα κυκλοφοριακής προσομοίωσης Vissim/Viswalk. Το Vissim δημιουργήθηκε από τη γερμανική εταιρία PTV (Planung Transport Verkehr AG) και είναι ένα λογισμικό μικροσκοπικής προσομοίωσης της κυκλοφορίας και αξιολόγησης του συγκοινωνιακού δικτύου. Δίνει τη δυνατότητα στον χρήστη να επιλέξει μέσα από μια ευρεία κατηγορία οχημάτων και μεταφορικών μέσων για τη δημιουργία του δικτύου, ενώ επιτρέπει και την προσθήκη πεζών. Το λογισμικό στηρίζεται σε στοχαστικό μικροσκοπικό μοντέλο βάση του χρόνου. Το Viswalk αποτελεί ουσιαστικά μία σημαντική προσθήκη στο πρόγραμμα Vissim με σκοπό την κάλυψη της ανάγκης προσομοίωσης της απρόβλεπτης και πολύπλοκης κίνησης των πεζών. Ένα ακόμη εργαλείο που χρησιμοποιείται στην εργασία είναι το λογισμικό SSAM. Το Surrogate Assesment Model (SSAM) είναι ένα ελεύθερο λογισμικό το οποίο έχει αναπτυχθεί με σκοπό τον εντοπισμό, την κατηγοριοποίηση και την ανάλυση των πιθανών οδικών συγκρούσεων από τροχιές που έχουν συλλεχθεί μέσω προγραμμάτων μικροσκοπικών προσομοιώσεων.

Μέσω των εργαλείων αυτών και με βάση κάποιες βασικές μεταβλητές που σχετίζονται με την επικινδυνότητα αλλά και την αποδοτικότητα του κόμβου θα εξεταστεί η επιρροή της χρήσης κινητού τηλεφώνου από τους πεζούς σε διαφορετικά σενάρια.

1.2. Δομή της εργασίας

Το πρώτο κεφάλαιο αποτελείται ουσιαστικά από δύο σύντομες υποενότητες. Η πρώτη ουσιαστικά είναι μια εισαγωγή στο θέμα της εργασίας, τον σκοπό της καθώς και το κίνητρο πίσω από τη διαδικασία που ακολουθήθηκε. Η δεύτερη υποενότητα είναι μια συνοπτική ματιά στη δομή της εργασίας και στο περιεχόμενο των κεφαλαίων.

Στο δεύτερο κεφάλαιο αναπτύσσεται η ανασκόπηση στην αντίστοιχη βιβλιογραφία. Αρχικά γίνεται μια ανάλυση της κίνησης των πεζών, με όλα τα χαρακτηριστικά που την επηρεάζουν. Έπειτα αναλύεται η επιρροή της χρήσης κινητών τηλεφώνων από τους πεζούς στην κίνηση τους, στην συμπεριφορά τους αλλά και στην αντίδραση τους στα ερεθίσματα του περιβάλλοντος τους. Ακολουθεί μια σύντομη ανάλυση των βασικών αρχών των προτύπων κυκλοφοριακής ροής και στη συνέχεια πραγματοποιείται περιγραφή των προγραμμάτων κυκλοφοριακής προσομοίωσης. Στη συνέχεια γίνεται εστίαση στα δύο προγράμματα που χρησιμοποιούνται στην εργασία, στο Vissim/Viswalk και στο SSAM, στη λογική που ακολουθούν, στον τρόπο λειτουργίας τους και στη δομή τους. Στο τέλος επεξηγούνται τα βασικά μεγέθη που εξάγονται από το SSAM, εστιάζοντας στο TTC (Time to Collision) και στο PET (Post Enchroachment Time), μεγέθη που περιγράφουν την επικινδυνότητα του υπό εξέταση κόμβου.

Στο τέταρτο κεφάλαιο πραγματοποιείται η ανάλυση των τελικών σεναρίων που έχουν δημιουργηθεί στο προηγούμενο κεφάλαιο. Εξετάζονται οι επιπτώσεις με βάση τα κατάλληλα μεγέθη στη λειτουργία και στην επικινδυνότητα του κόμβου. Για την επίτευξη της ανάλυσης έχει δημιουργηθεί αρχικά ένα συγκεντρωτικό αρχείο excel με όλα τα δεδομένα των μεγεθών που έχουν εξαχθεί και στη συνέχεια έχουν δημιουργηθεί γραφήματα, για την καλύτερη απεικόνιση των αλληλεπιδράσεων μεταξύ των μεγεθών. Μαζί με τα μεγέθη TTC και PET, εξετάζονται επίσης η μέση καθυστέρηση των οχημάτων εντός του δικτύου, το πλήθος των συνολικών πιθανών συγκρούσεων που εντοπίζονται εντός του σεναρίου, το πλήθος των συνολικών πιθανών συγκρούσεων με χρόνο κάτω του μισού δευτερολέπτου μέχρι τη σύγκρουση, καθώς και μια αναλογία αυτών. Τέλος, εξετάζεται και το πλήθος οχημάτων τα οποία δεν καταφέρνουν να ολοκληρώσουν την προσομοίωση ανά σενάριο.

Το πέμπτο κεφάλαιο αποτελείται από τα κυριότερα συμπεράσματα από τα αποτελέσματα των σεναρίων. Ακόμη, αναφέρονται προβλήματα και περιορισμοί τα οποία υπήρξαν κατά τη διάρκεια της εργασίας. Τέλος, παρατίθενται προτάσεις για περεταίρω ανάλυση της επιρροής της χρήσης κινητού τηλεφώνου από πεζούς σε έναν κυκλοφοριακό κόμβο μέσω προσομοίωσης.

2. Βιβλιογραφική Ανασκόπηση

2.1. Κίνηση των πεζών

2.1.1. Χαρακτηριστικά της κίνησης των πεζών

Η κίνηση των πεζών έχει το βασικό χαρακτηριστικό της συνεχούς εναλλαγής κατεύθυνσης και ταχύτητας. Σε αντίθεση με τα οχήματα που κινούνται στο οδικό δίκτυο για τα οποία υπάρχουν προκαθορισμένα μέτρα διαχείρισης της κυκλοφορίας έτσι ώστε να παρέχουν μια ισορροπημένη λειτουργία του οδικού δικτύου, όσον αφορά τους πεζούς δεν υπάρχουν ξεκάθαροι κανόνες ρύθμισης της συμπεριφοράς τους. Αυτό διαφοροποιείται σε σημεία όπου οι πεζοί αλληλεπιδρούν με το οδικό δίκτυο, όπως για παράδειγμα διασταυρώσεις, στα οποία υπάρχει ρύθμιση ακόμη και για τη συμπεριφορά των πεζών είτε με σήμανση είτε με την ύπαρξη φωτεινού σηματοδότη. Όπως αντιλαμβανόμαστε σε μεγάλο βαθμό η κίνηση των πεζών επηρεάζεται άμεσα από τη "συνεργασία" μεταξύ τους.

Το υψηλό επίπεδο συνεργασίας μεταξύ των πεζών αποτελεί βασικό χαρακτηριστικό της συμπεριφοράς τους (Wolff,1973). Δίχως τη συνεχή αυτή αλληλεπίδραση μεταξύ τους θα ήταν αδύνατο να κινούνται σε ακανόνιστες τροχιές, ή ακόμη και με εντελώς αντίθετες κατευθύνσεις χωρίς να συγκρούονται διαρκώς. Έχει παρατηρηθεί πως η συνεχής αλληλεπίδραση των πεζών μεταξύ τους ακολουθεί κάποια συγκεκριμένα μοτίβα συμπεριφοράς (Hoogendoorn & Daamen, 2005). Πιο συγκεκριμένα, μεμονωμένα άτομα πραγματοποιούν ελιγμούς όταν έρχονται απέναντι σε μια ομάδα ατόμων αντίθετης σε αυτά κίνησης, και αντίστοιχα μικρότερες ομάδες ακολουθούν το ίδιο μοτίβο απέναντι σε μεγαλύτερες. Επίσης ένα ακόμη μοτίβο εμφανίζεται σε νεαρά άτομα τα οποία τείνουν να αλλάζουν την κατεύθυνση τους δίνοντας προτεραιότητα σε μεγαλύτερης ηλικίας άτομα. Αυτό γίνεται σαν κίνηση υποσυνείδητα από τα νεαρά άτομα θεωρώντας πως οι μεγαλύτερης ηλικίας άνθρωποι είναι λιγότερο ευέλικτοι με αποτέλεσμα τη δυσκολία κινήσεων στο χώρο. Από αυτά τα δύο παραδείγματα αντιλαμβανόμαστε πως ο ανθρώπινος εγκέφαλος επεξεργάζεται ταυτόχρονα πληθώρα δεδομένων κατά τη διάρκεια της κίνησης του, με αποτέλεσμα να επηρεάζονται οι αποφάσεις του διαρκώς. Η διαρκής αυτή διαδικασία είναι το βασικό χαρακτηριστικό της πολυπλοκότητας όταν αναφερόμαστε στην ανάλυση της κίνησης των πεζών.

Ο άνθρωπος λοιπόν αλληλεπιδρά διαρκώς με το γειτονικό του περιβάλλον, λαμβάνει ερεθίσματα, τα αναλύει στιγμιαία και έπειτα αντιδρά σε αυτά. Ο τρόπος που αντιδρά ο κάθε πεζός όμως διαφέρει αισθητά. Παράγοντες που διαφοροποιούν την αντίδραση τους είναι η ηλικία του ανθρώπου, ο σκοπός της μετακίνησής του αλλά και τα συναισθήματα του εκείνη τη δεδομένη στιγμή. Βασικό κομμάτι που επηρεάζει τους πεζούς συναισθηματικά είναι ο σκοπός της μετακίνησης, οι συνθήκες που επικρατούν αλλά και η επίτευξη του στόχου τους. Για παράδειγμα, όταν κάποιος πεζός κινείται σε δύσκολες για αυτόν συνθήκες και συναντά διαρκώς εμπόδια που τον αποτρέπουν από την ελεύθερη κίνηση του στον χώρο, τότε υπάρχει άμεση επιρροή στη συμπεριφορά του (Snodgrass et al., 1988). Αντιθέτως ένα άτομο που κινείται όπως αυτό επιθυμεί στον χώρο αποκτά θετικά συναισθήματα για το περιβάλλον γύρω του με αποτέλεσμα πάλι να επηρεάζεται η κίνηση του.

Βασικό χαρακτηριστικό της κίνησης των πεζών αποτελεί η κίνηση κατά ομάδες. Η κίνηση κατά ομάδες είναι απόρροια της προσπάθειας των πεζών να αποκτήσουν μια κοινή πορεία με τους υπόλοιπους πεζούς που κινούνται στην ίδια κατεύθυνση. Τέτοια πρότυπα δεν έχουν προβλεφθεί, προκύπτουν όμως από τις συνεχείς αλληλεπιδράσεις μεταξύ των πεζών και

χαρακτηρίζονται από τη μεταβλητότητα τους. Μια μορφή τέτοιου προτύπου είναι ο διαχωρισμός των πεζών σε δύο λωρίδες, ακόμη και αντίθετης κατεύθυνσης. Αυτό προκύπτει από τη συνήθεια των πεζών να ακολουθούν αυθόρμητα τα άτομα που κινούνται μπροστά τους, με την ίδια κατεύθυνση (AlGadhi et al., 2002). Αυτό το μοτίβο το συναντάμε συχνά στα πεζοδρόμια, ειδικότερα όταν το πλάτος δεν επαρκεί για την ελεύθερη κίνηση του κάθε ατόμου ξεχωριστά. Η κίνηση επομένως θα εξαρτηθεί από το πλάτος του πεζοδρομίου αλλά και από την πυκνότητα των ατόμων που κινούνται επί αυτού (AlGadhi et al., 2002).

Ένα ακόμη μοτίβο το οποίο παρατηρείται εντοπίζεται κυρίως σε σημεία που υπάρχει έντονος περιορισμός κίνησης. Αυτά τα σημεία προσομοιάζονται με τον λαιμό ενός μπουκαλιού (bottleneck), στα οποία παρατηρείται μια διαρκής εναλλαγή στα άτομα που τη διασχίζουν. Όταν ένας πεζός βρει το χρονικό περιθώριο να διέλθει από το σημείο όπου παρατηρείται η στένωση, τότε τα άτομα της ίδιας κατεύθυνσης τείνουν να τον ακολουθήσουν με αποτέλεσμα τα άτομα αντίθετης κατεύθυνσης να περιμένουν αναγκαστικά. Η συνεχής και μονόπλευρη αυτή ροή επιτρέπει στη μια πλευρά να αδειάσει σταδιακά, με αποτέλεσμα να βρεθεί το χρονικό περιθώριο από την απέναντι πλευρά αντίστοιχα.

Λίγο πιο ιδιόμορφη είναι η κίνηση των πεζών σε διασταυρώσεις. Εκεί παρατηρείται πιο έντονη χρονικά μεταβολή καθώς παρατηρούνται ταυτόχρονες κάθετες και οριζόντιες κινήσεις, ενώ σε κάποιες περιπτώσεις αποφεύγεται η προσπέλαση από το ίδιο σημείο με αποτέλεσμα να παρουσιάζονται πιο κυκλικές τροχιές. Οι προσωρινές αυτές τροχιές που ακολουθούν οι πεζοί μπορούν να προσομοιαστούν με το σχήμα του σαλιγκαριού έτσι ώστε να γίνουν πιο εύκολες στην απεικόνιση (Appert-Rolland et al., 2014).

Οι συνθήκες αυτές όμως μπορούν να ερμηνευτούν διαφορετικά από κάθε άνθρωπο και επομένως να τον επηρεάσουν περισσότερο ή λιγότερο αντίστοιχα. Όπως έχει αποδειχθεί (Coelho & Stein, 1977) το αίσθημα του συνωστισμού έχει μέσα του σε μεγάλο βαθμό το υποκειμενικό στοιχείο. Για παράδειγμα μπορεί να εμφανίζεται αρκετά έντονα σε μέρη με μικρό αριθμό πεζών που όμως δεν γνωρίζονται και επομένως δεν έχουν αναπτύξει καμία κοινωνική σχέση μεταξύ τους, ενώ μπορεί να μην εμφανίζεται σε μέρη όπου υπάρχει μεγάλο πλήθος.

2.1.2 Παράμετροι επιρροής της κίνησης των πεζών

Οι πεζοί ως ομάδα ατόμων παρουσιάζουν σημαντικές διαφορές όσον αφορά τα προσωπικά τους χαρακτηριστικά. Αυτό τους καθιστά σαν μια ομάδα με χαμηλό βαθμό ομοιογένειας και όπως είναι φυσικό έχουν διαφορετικές ανάγκες κατά την κίνηση τους. Βασικοί παράγοντες που επηρεάζουν την κίνηση είναι η ηλικία και η ύπαρξη κινητικού προβλήματος.

Η ηλικία επηρεάζει άμεσα τη συμπεριφορά ενός πεζού. Τα παιδιά καθώς και οι ηλικιωμένοι αποτελούν ευάλωτες ομάδες πεζών καθώς δεν διαθέτουν την απαραίτητη λογική και δυνατότητα αντίδρασης αντίστοιχα. Τα παιδιά καθώς δεν έχουν αναπτύξει σε μεγάλο βαθμό την κριτική τους ικανότητα έως τα 12 τους έτη, δυσκολεύονται ιδιαίτερα στην αντίληψη του κινδύνου. Επίσης σε μεγαλύτερες ηλικίες, κυρίως τα εφηβικά έτη, παρά το γεγονός ότι αντιλαμβάνονται την αίσθηση του κινδύνου επιλέγουν να τον παραβλέπουν. Αυτό οφείλεται κυρίως στο αίσθημα αντίδρασης που είναι έντονο μετά τα 14 έτη και έως την ενηλικίωση (Washington State Department of Transportation ,1995) Από την άλλη πλευρά του ηλικιακού φάσματος οι ηλικιωμένοι αντιμετωπίζουν πληθώρα δυσκολιών στην κίνηση τους ως πεζοί. Παρότι οι περισσότεροι κινούνται με χαμηλές ταχύτητες, αντιμετωπίζουν προβλήματα αντίληψης του περιβάλλοντος χώρου, γεγονός που τους θέτει σε άμεσο κίνδυνο. Όπως είναι

λογικό αποτελούν μια ομάδα η οποία είναι περισσότερο επιρρεπής σε σοβαρούς τραυματισμούς, που σε κάποιες περιπτώσεις επιφέρουν τον θάνατο, σε αντίθεση με τις μικρότερες ηλικίες (Bernhoft & Carstensen, 2008). Αντίθετα όμως με τις χαμηλές ηλικιακά ομάδες οι ηλικιωμένοι πεζοί ακολουθούν πιστά τους κανόνες, όπως για παράδειγμα όταν πραγματοποιούν διάσχιση ενός οδικού τμήματος από διάβαση πεζών.

Στη συνέχεια λαμβάνεται υπόψη η διάκριση μεταξύ ατόμων με κινητικά προβλήματα και ατόμων που παρουσιάζουν δυσκολία στη μετακίνηση τους, λόγω βλάβης στις αισθήσεις τους. Οι δύο αυτές κατηγορίες αντιμετωπίζονται ξεχωριστά από την πολιτεία καθώς παρουσιάζουν διαφορετικές δυσκολίες κίνησης και επομένως διαφορετικές ανάγκες. Τα άτομα με κινητικά προβλήματα κυρίως εμφανίζουν δυσκολία στην προσπέλαση επιφανειών με διαφορά υψομέτρου καθώς επίσης λόγω μειωμένης ταχύτητας κίνησης δεν είναι σε θέση να αντιδράσουν έγκαιρα σε μια δυσχερή κατάσταση. Οι πεζοί με βλάβη αισθήσεων από την άλλη στηρίζονται αισθητά στην αξιοποίηση της μνήμης τους όσον αφορά την πλοήγηση τους στον χώρο, λόγω των μειωμένων ερεθισμάτων που μπορούν να δεχθούν από το περιβάλλον. Κατά συνέπεια και αυτοί βρίσκονται σε υψηλό κίνδυνο καθώς οι αντιδράσεις μπορεί να είναι ετεροχρονισμένες σε συνάρτηση με ένα ατύχημα (US Department of Transportation, 1999).

Σημαντικός παράγοντας στη κίνηση των πεζών είναι επίσης η ασφάλεια που νιώθουν οι πεζοί. Η ασφάλεια ερμηνεύεται με δυο τρόπους είτε αντικειμενικά είτε υποκειμενικά. Αντικειμενική είναι η ασφάλεια που παρέχεται στον πεζό βάση των στοιχείων των τροχαίων ατυχημάτων που έχουν συλλεχθεί ενώ υποκειμενική χαρακτηρίζεται η ασφάλεια που ο ίδιος ο πεζός νιώθει στο περιβάλλον. Σαφώς η υποκειμενική ασφάλεια που αισθάνεται ο πεζός μπορεί να είναι λανθασμένη αλλά και το αντίθετο. Το αίσθημα της ασφάλειας ενισχύεται από τον διαχωρισμό της κυκλοφορίας των οχημάτων από αυτή των πεζών, είτε με χρήσεις υπερυψωμένων/ υπόγειων διαβάσεων είτε με περιοχές κίνησης αποκλειστικά για πεζούς. Επιπλέον ασφάλεια παρέχουν οι συνθήκες επαρκούς φωτισμού, η ύπαρξη φωτεινού σηματοδότη, το επαρκές πλάτος του πεζοδρομίου καθώς και η επαρκής απόσταση του από τον δρόμο (Γαβανάς κ.α. , 2015)

Ακόμη ένας διαχωρισμός που έχει ουσία είναι ο σκοπός της μετακίνησης των πεζών. Οι βασικές κατηγορίες για τις οποίες ο άνθρωπος επιλέγει να κινηθεί με τα πόδια είναι η εργασία, οι κοινωνικές υποχρεώσεις, η άσκηση, η αναψυχή και οι πολυτροπικές μετακινήσεις (Washington State Department of Transportation, 1997). Ανάλογα με την κατηγορία της μετακίνησης, δηλαδή τον σκοπό που μετακινείται ο πεζός, αλλάζει και η συμπεριφορά κίνησής του. Για παράδειγμα όταν προορισμός της μετακίνησης είναι η εργασία, τότε αντιλαμβανόμαστε πως η κίνηση του ακολουθεί ένα πιο αυστηρό μοτίβο χωρίς σπατάλη χρόνου. Αντιθέτως όταν σκοπός είναι η αναψυχή, τότε η κίνηση αποκτά μια πιο ακανόνιστη τροχιά καθώς ο πεζός έχει στη διάθεση του χρόνο να πραγματοποιήσει στάσεις ή να αλλάξει κατεύθυνση για να επισκεφθεί ένα κατάστημα, κάτι το οποίο δεν ήταν εξ΄αρχής στο μυαλό του ως μετακίνηση. Σε ένα τέτοιο παράδειγμα ο πεζός αφήνεται περισσότερο στις προσωπικές του επιθυμίες και αυτές με τη σειρά τους καθορίζουν την τροχιά κίνησης του (Organisation for Economic Co-operation and Development, 1998).

Επιρροή στην κίνηση των πεζών παρουσιάζει και η απόσταση που διανύουν σε συνάρτηση με την καλαισθησία της διαδρομής. Σαφώς η έννοια της καλαισθησίας είναι υποκειμενική και δύσκολα μπορεί να μετρηθεί (Handy et al., 2002). Υπάρχουν όμως κάποιοι αντικειμενικοί παράγοντες που επηρεάζουν θετικά την ψυχολογία ενός ανθρώπου όταν κινείται με τα πόδια

και αυτοί είναι η ύπαρξη δέντρων ή γενικότερα βλάστησης, η αρμονία μεταξύ των σπιτιών στα χρώματα αλλά και στην αρχιτεκτονική τους όπως επίσης οι συνθήκες υγιεινής που επικρατούν στο περιβάλλοντα χώρο. Η επίδραση στους πεζούς από τέτοιους παράγοντες καταγράφεται ως σημαντικότερη σε σχέση με οποιονδήποτε άλλο τρόπο μετακίνησης (Sauter et al., 2008).

2.1.3 Επίδραση κινητού τηλεφώνου στη συμπεριφορά των πεζών

Η χρήση του κινητού τηλεφώνου αποτελεί αναπόσπαστο κομμάτι της καθημερινότητας των ανθρώπων ακόμη και όταν περπατούν. Η εξέλιξη του συμβάλει σημαντικά σε αυτό καθώς πλέον τα κινητά τηλέφωνα καλύπτουν πλήθος αναγκών πέραν της επικοινωνίας. Η χρήση τους όμως επηρεάζει άμεσα την ασφάλεια των πεζών όταν βρίσκονται σε κίνηση εντός δικτύου, καθώς απαιτεί σε πολλές περιπτώσεις την εστίαση της προσοχής σε αυτά και όχι στο γύρω περιβάλλον (Prupetkaew et al., 2019).

Η επιρροή της χρήσης κινητού τηλεφώνου στους πεζούς αποτελεί πλέον ένα βασικό ζήτημα προς εξέταση. Στατιστικά παρουσιάζεται συνεχής αύξηση των ατυχημάτων πεζών που συνδέονται με τη χρήση κινητού καθώς περπατούσαν (US Consumer Product Safety Commision), με αποτέλεσμα να ξεπεράσουν σε ποσοστό αυτά των οδηγών που σχετίζονται με χρήση τηλεφώνου το έτος 2010 (Nasar and Troyer, 2013). Σε έρευνα που πραγματοποιήθηκε στις Ηνωμένες Πολιτείες της Αμερικής το 60% των πεζών που συμμετείχαν παραδέχτηκαν πως κάνουν συστηματική χρήση του κινητού του καθώς περπατούν (Libery Mutual Insurance, 2013). Σε άλλη έρευνα που διεξήχθη στην Κίνα το ένα τρίτο των πεζών που διέσχιζαν την οδό καθώς έκαναν χρήση του τηλεφώνου τους παρουσίαζαν έλλειψη συγκέντρωσης στο γειτονικό περιβάλλον (Zhao et al., 2015). Ψηλό ποσοστό συσχέτισης της χρήσης κινητού τηλεφώνου και ατυχημάτων πεζών δείχνει επίσης ανάλυση που πραγματοποίησε ασφαλιστική εταιρία το 2018 στην Κορέα, με ποσοστό άνω του 60% μεταξύ του έτους 2014 και του έτους 2016 (Samsung Traffic Safety Research Institute, 2018). Έρευνα που διεξήχθη στις ΗΠΑ, με βάση ένα δείγμα 699 ατόμων έδειξε πως το 25% εξ' αυτών μιλούσαν στο κινητό τους τηλέφωνο εντός 10 λεπτών από τη στιγμή που συμμετείχαν σε κάποιο ατύχημα (Strayer et al.)

Ο τρόπος που ο άνθρωπος επηρεάζεται από το κινητό τηλέφωνο μπορεί να διαχωριστεί σε δύο κατηγορίες. Η πρώτη αφορά την φυσική συγκέντρωση που έχει ο άνθρωπος την ώρα που πληκτρολογεί στο κινητό. Η δεύτερη σχετίζεται με το πόσο αφαιρείται ο άνθρωπος κατά τη διάρκεια μιας κλήσης ή την ώρα που ακούει για παράδειγμα μουσική.

Έρευνα των Hyman et al. (2010) έδειξε πως οι πεζοί εντός δικτύου που έκαναν χρήση κινητού τηλεφώνου αργούσαν περισσότερο να διασχίσουν τον δρόμο. Επιπλέον παρατήρησαν πως οι πεζοί ήταν πιο επιρρεπείς στις αλλαγές κατεύθυνσης και είχαν αισθητά πιο χαμηλή αντίληψη των ερεθισμάτων του περιβάλλοντα χώρου. Ακόμη, βάση της έρευνας τους οι πεζοί που δεν έκαναν χρήση κινητού τηλεφώνου αντιλαμβανόντουσαν καλύτερα τα διάκενα στην κυκλοφορία και δεν έχαναν την ευκαιρία να διασχίσουν την οδό. Αντιθέτως, οι πεζοί που έκαναν χρήση κινητού σε πολλές περιπτώσεις έχαναν την ευκαιρία να διασχίσουν την οδό διότι ήταν αφηρημένοι.

Σε παρόμοιο συμπέρασμα κατέληξαν οι Thompson et al. (2013) αφού στην έρευνα τους περίπου το 30% των πεζών που διέσχιζαν την οδό ήταν αφηρημένοι λόγω της ενασχόλησης τους με τα κινητά τηλέφωνα. Η έρευνα αυτή έγινε σε 20 υψηλού ρίσκου κόμβους στο Seattle των ΗΠΑ με βασικό άξονα την επιρροή της τεχνολογίας σε πεζούς που διασχίζουν ένα κόμβο

υψηλής κυκλοφορίας. Έγινε καταγραφή της συμπεριφοράς 1.102 πεζών καθώς διέσχιζαν τον δρόμο και κατέληξαν πως το 29,8% του συνόλου παρουσίαζαν αφηρημένη συμπεριφορά. Από αυτούς 11,2% άκουγαν μουσική, 7,3% έγραφαν κάποιο γραπτό μήνυμα και 6,2% συνομιλούσε. Ειδικότερα στην περίπτωση του γραπτού μηνύματος παρατήρησαν πως οι πεζοί έκαναν 18% περισσότερη ώρα να διασχίσουν το δρόμο, κάτι το οποίο τους έθετε περίπου 4 φορές σε περισσότερο κίνδυνο συγκριτικά με τους υπόλοιπους πεζούς.

Οι Hatfield και Murphy (2007) διοργάνωσαν αντίστοιχα έρευνα στην οποία συμμετείχαν 270 γυναίκες και 276 άντρες, παρατήρησαν πως και στις δύο διαφορετικές ομάδες η χρήση κινητού είχε ως αποτέλεσμα την αύξηση του χρόνου που χρειάζεται ο πεζός να διασχίσει το δρόμο. Ως αποτέλεσμα αυτού ο κίνδυνος ατυχήματος με όχημα ή μοτοσικλέτα αυξάνεται καθώς οι πεζοί βρίσκονται για μεγαλύτερο χρονικό διάστημα εντός του οδοστρώματος.

Οι Schwebel et al. (2012) προσπάθησαν να παρατηρήσουν την επιρροή των δραστηριοτήτων, όπως το να ακούει κάποιος μουσική ενώ περπατάει, το να μιλάει ή να στέλνει μήνυμα, σε ημι -εικονικό περιβάλλον. Δημιούργησαν μια ομάδα από 138 άτομα με μέσο όρο ηλικίας τα 21 έτη στο πανεπιστήμιο της Αλαμπάμα. Οι πεζοί τοποθετούνταν μπροστά από 3 οθόνες στις οποίες έβλεπαν σαν να στέκονται στο πεζοδρόμιο καθώς υπήρχε κίνηση οχημάτων και από τις δύο κατευθύνσεις. Στο περιβάλλον προσομοίωσης υπήρχαν ακόμη κατασκευασμένοι ήχοι έτσι ώστε να προσεγγίζεται όσο καλύτερα γίνεται ένα ρεαλιστικό σενάριο. Τα άτομα χωρίστηκαν σε 4 ομάδες, κάθε μία με διαφορετική αλληλεπίδραση με το κινητό τους τηλέφωνο, ενώ η τελευταία χωρίς να πραγματοποιεί χρήση κινητού. Τα άτομα της πρώτης ομάδας θα επέλεγαν μουσική και θα τοποθετούσαν ακουστικά στα αυτιά τους, της δεύτερης θα μιλούσαν στο κινητό και της τρίτης θα αντάλλαζαν μηνύματα. Σκοπός των πεζών ήταν να διασχίσουν την οδό όταν εκείνοι ένιωθαν πως είναι η κατάλληλη στιγμή. Η διαδικασία επαναλαμβανόταν στις περισσότερες περιπτώσεις 12 φορές, με κάθε φορά να παρουσιάζεται και ένα διαφορετικό σενάριο στις οθόνες. Έπειτα από ανάλυση και οι τρεις αυτές δραστηριότητες παρουσίασαν μειωμένη την προσοχή των πεζών και αυξημένες ανάλογα τις πιθανότητες να εμπλακούν σε ατύχημα. Πιο συγκεκριμένα παρά το γεγονός πως σε όλες τις ομάδες παρατηρήθηκε ο ίδιος χρόνος στον οποίο οι πεζοί κοιτούν δεξιά και αριστερά, τα εικονικά ατυχήματα στις 3 πρώτες ομάδες ήταν περισσότερα.

Οι Alejalil και Davoodi (2014) διεξήγαν έρευνα με δείγμα 60 εθελοντές φοιτητές (30 άντρες και 30 γυναίκες) του Islamic Azad University of Gorgan στο Ιράν δημιούργησαν μια συγκεκριμένη διαδρομή και τοποθέτησαν κάποια αντικείμενα κατά μήκος, εντός του πανεπιστημιακού χώρου. Δημιούργησαν δύο ομάδες, με σκοπό η πρώτη να ακολουθήσει τη διαδρομή χωρίς να δέχεται κάποια κλήση στο τηλέφωνο, ενώ η δεύτερη θα έπρεπε να απαντάει σε κάποιες ερωτήσεις καθώς βρίσκονται εν κινήσει. Σκοπός ήταν να εξεταστεί η επιρροή της χρήσης κινητού στην περιφερειακή όραση των πεζών μέσω των αντικειμένων που είχαν τοποθετήσει. Στο τέλος οι εθελοντές απάντησαν σε ερωτήσεις βάση των αντικειμένων που παρατήρησαν καθώς περπατούσαν. Ως αποτέλεσμα μόνο το 20% των απαντήσεων της ομάδας που συνομιλούσε με κινητό τηλέφωνο ήταν σωστές, σε αντίθεση με την ομάδα που δεν χρησιμοποιούσε κινητό καθώς περπατούσαν, όπου το 75% απάντησαν σωστά στις τελικές ερωτήσεις.

Οι Kim et al. (2021) διεξήγαν εργαστηριακή έρευνα με σκοπό να εξετάσουν την αναγνώριση φωτεινών ενδείξεων από πεζούς καθώς αυτοί επηρεάζονται από τη χρήση τηλεφώνου. Στην έρευνα συμμετείχαν 20 νεαρές γυναίκες και 18 νεαροί άντρες με μέσο όρο ηλικίας τα 24 έτη.

Ο κάθε πεζός περπατούσε σε διάδρομο εσωτερικού χώρου σε 3 διαφορετικά σενάρια. Στο πρώτο ο διάδρομος είχε ανηφορική κλίση αλλά ο πεζός δεν χρησιμοποιούσε το κινητό του τηλέφωνο. Στο δεύτερο σενάριο περπατούσαν χωρίς κλίση αλλά με χρήση του κινητού στο ένα χέρι, καθώς βρίσκονταν σε κάποια σελίδα του διαδικτύου που απαιτούσε αλληλεπίδραση με τον χρήστη. Στο τρίτο σενάριο οι πεζοί έκαναν χρήση και των δύο χεριών, συνομιλώντας μέσω προκαθορισμένων μηνυμάτων με κάποιο άλλο άτομο από την έρευνα. Και τα τρία σενάρια οι πεζοί κλήθηκαν να απαντήσουν λεκτικά όταν παρατηρούσαν ότι ανάβει ένα συγκεκριμένο φως , τοποθετημένο σε απόσταση 3,4 μέτρων και στο ύψος των ματιών τους. Από την πρώτη ομάδα το 93,5% εντόπισε το φωτεινό σήμα, από την δεύτερη ομάδα το 76,3% και από την τρίτη το 74.1%. Σημαντική διαφορά εντοπίστηκε όμως στον χρόνο αντίδρασης της φωτεινής ένδειξης. Η πρώτη ομάδα είχε μέσο όρο χρόνου αντίδρασης μεταξύ 0,9δλ και 1δλ , η δεύτερη μεταξύ 1δλ και 1.1δλ ενώ η τρίτη είχε μέσο όρο από 1,15δλ έως 1,20δλ. Η διαφορά μεταξύ 0,9δλ και 1,15δλ είναι σημαντική όταν αναφερόμαστε σε χρόνο αντίδρασης. Κατά συνέπεια με βάση τα αποτελέσματα της έρευνας οι πεζοί που έκαναν χρήση κινητού είχαν μεγαλύτερο σφάλμα στον εντοπισμό του φωτεινού σήματος αλλά και ταυτόχρονα μεγαλύτερες καθυστερήσεις στον μέσο χρόνο αντίδρασης σε σχέση με τον εντοπισμό του φωτεινού σήματος. Επιπλέον παρατηρήθηκε πως ο τρόπος χρήσης του τηλεφώνου επηρεάζει τη συμπεριφορά των πεζών καθώς παρουσιάστηκαν διαφορές της τάξης των 0,2δλ μεταξύ του χρόνου αντίδρασης της ομάδας 2 συγκριτικά με την ομάδα 3. Αυτό ερμηνεύεται από τους ερευνητές ως επιπλέον φόρτος (additional workload) αφού οι πεζοί αφιερώνουν παραπάνω προσοχή όταν συνομιλούν με μηνύματα καθώς επεξεργάζονται αυτά που διαβάζουν και σκέφτονται τι θα απαντήσουν. Τέλος οι ερευνητές συμπέραναν πως στις περιπτώσεις χρήσης κινητού τηλεφώνου οι πεζοί είχαν δυσκολία στο να αποστρέψουν το βλέμμα τους εκτός της οθόνης, με το 97% του συνολικού χρόνου να μην παίρνουν το βλέμμα τους από αυτή.

2.1.4 Η έννοια της στάθμης εξυπηρέτησης

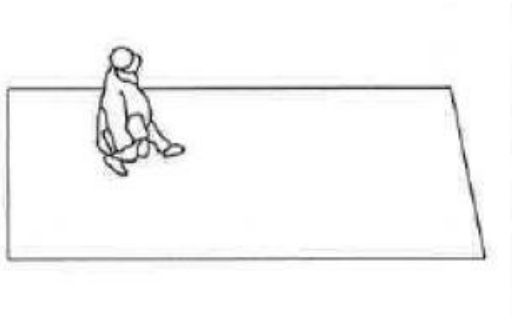
Έπειτα από τον υπολογισμό των τελικών φόρτων οχημάτων στο δίκτυο πρέπει να ορισθούν και οι τελικοί φόρτοι για τους πεζούς. Αυτό θα γίνει μέσω της στάθμης εξυπηρέτησης (Level of Service, LOS) για τους πεζούς.

Η έννοια της στάθμης εξυπηρέτησης (Level of Service, LOS) χρησιμοποιείται σε οχήματα και πεζούς, με στόχο την αξιολόγηση της λειτουργίας των υποδομών στις οποίες κινούνται. Εκφράζει την ποιότητα της κυκλοφορίας που επικρατεί κυρίως μέσω της δυνατότητας επίτευξης της επιθυμητής ταχύτητας, της αποφυγής πιθανών συγκρούσεων αλλά και της δυνατότητας παράκαμψης άλλων πεζών/οχημάτων.

Το πιο βασικό κριτήριο για τον καθορισμό της στάθμης εξυπηρέτησης των πεζών αποτελεί η διαθέσιμη επιφάνεια ανά πεζό, ενώ συμπληρωματικά κριτήρια θεωρούνται η μέση ταχύτητα τους και ο ρυθμός ροής τους. Ουσιαστικά η στάθμη εξυπηρέτησης είναι χρήσιμη στην μετάφραση των αριθμητικών αποτελεσμάτων των δεικτών λειτουργικής απόδοσης σε ένα σύστημα έξι διαφορετικών βαθμίδων. Έτσι, μέσω της στάθμης εξυπηρέτησης LOS, επιτυγχάνεται η ποσοτική διαστρωμάτωση δεικτών που αντιπροσωπεύουν την ποιοτική λειτουργία του δικτύου. Οι στάθμες εξυπηρέτησης των πεζών είναι οι εξής:

- *Στάθμη Εξυπηρέτησης Α*

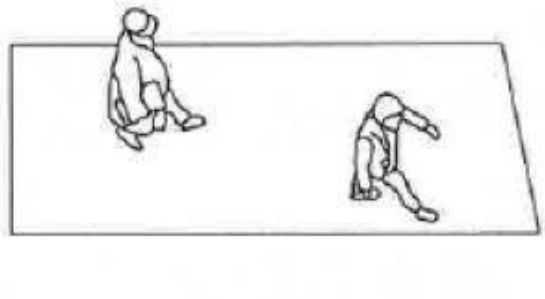
Η στάθμη Α αντιπροσωπεύει την καλύτερη δυνατή ποιότητα εξυπηρέτησης, καθώς μεταφράζεται σε συνθήκες ελεύθερης ροής, με χαμηλούς φόρτους, υψηλές ταχύτητες και χαμηλή πυκνότητα. Στην περίπτωση αυτή η πιθανότητα σύγκρουσης με άλλο πεζό είναι μηδενική.



Εικόνα 2-1: Στάθμη εξυπηρέτησης Α

- *Στάθμη εξυπηρέτησης Β*

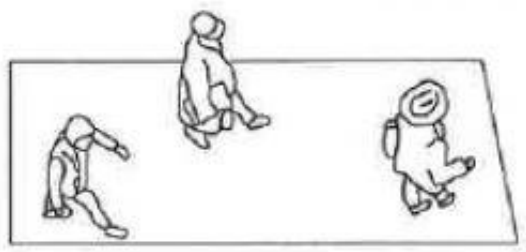
Στην στάθμη Β οι πεζοί αρχίζουν να αντιλαμβάνονται ο ένας τον άλλο, ωστόσο υπάρχει ο απαραίτητος χώρος ώστε να αποφεύγονται άνετα οι συγκρούσεις και να επιτυγχάνεται η επιθυμητή ταχύτητα.



Εικόνα 2-2: Στάθμη εξυπηρέτησης Β

- *Στάθμη εξυπηρέτησης C*

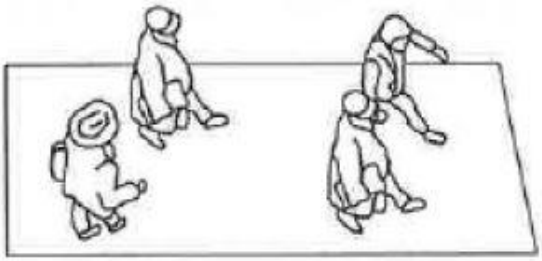
Στη στάθμη αυτή εμφανίζεται σταθερή ροή όμως οι πεζοί επηρεάζονται αισθητά από τους υπόλοιπους πεζούς. Υπάρχει ελευθερία στην ανάπτυξη ταχύτητας καθώς γίνονται εύκολα προσπεράσεις σε ρεύματα μιας κατεύθυνσης. Σε ροή δύο κατευθύνσεων παρουσιάζονται χαμηλότερες ταχύτητες από την επιθυμητή.



Εικόνα 2-3: Στάθμη εξυπηρέτησης C

- *Στάθμη εξυπηρέτησης D*

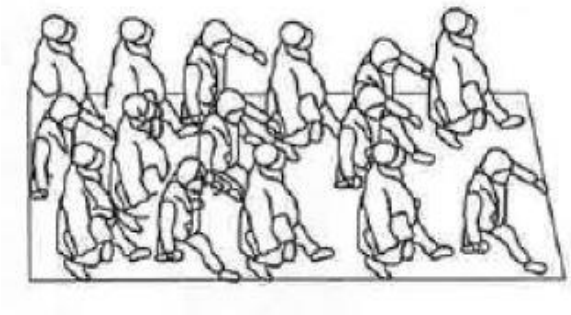
Η πυκνότητα στη στάθμη αυτή αυξάνεται ενώ η ροή παραμένει σταθερή. Η ταχύτητα περιορίζεται ακόμη πιο πολύ με λιγότερες ευκαιρίες για ελιγμούς, το οποίο καταλήγει σε χαμηλό επίπεδο ως προς την άνεση των κινήσεων τους. Αυξάνεται η πιθανότητα σύγκρουσης μεταξύ αντίθετα κινούμενων πεζών.



Εικόνα 2-4 : Στάθμη εξυπηρέτησης D

- *Στάθμη εξυπηρέτησης E*

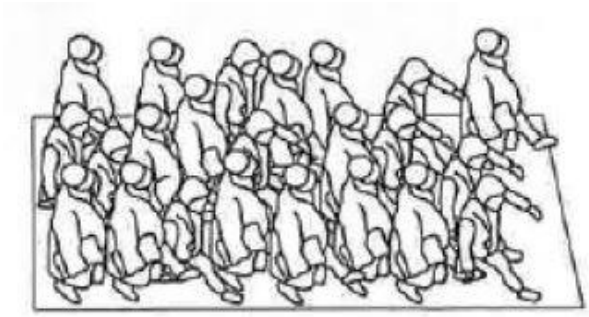
Στη στάθμη αυτή προσεγγίζεται η μέγιστη δυνατή κυκλοφοριακή ικανότητα. Όλοι οι πεζοί αναγκάζονται να κινηθούν με χαμηλές ταχύτητες, αφού προσαρμόζουν αναγκαστικά το βάδισμα τους βάση των πεζών που βρίσκονται γύρω τους. Παρουσιάζεται μεγάλη δυσκολία στις κινήσεις αντίθετης ροής καθώς δεν υπάρχει δυνατότητα ελιγμών. Πιθανά συμβάντα ή διαταραχές στην κίνηση των πεζών προκαλούν συμφόρηση. Γενικότερα η άνεση των πεζών είναι περιορισμένη.



Εικόνα 2-5: Στάθμη εξυπηρέτησης E

- *Στάθμη εξυπηρέτησης F*

Πρόκειται για τη μέγιστη δυνατή πυκνότητα πεζών. Η ταχύτητα βαδίσματος περιορίζεται πολύ και η μοναδική δυνατή κίνηση των πεζών είναι το αργό περπάτημα. Πολλές φορές η επαφή μεταξύ των πεζών είναι αναπόφευκτη λόγω της συμφόρησης που επικρατεί. Δεν είναι δυνατές οι κινήσεις αντίθετης ροής, καθώς δεν υπάρχει ο απαραίτητος χώρος. Ουσιαστικά είναι μια εξαναγκασμένη ροή και η συμπεριφορά των πεζών θυμίζει αυτή σε συνθήκες ουράς.



Εικόνα 2-6: Στάθμη εξυπηρέτησης F

Πιο συγκεκριμένα για τη στάθμη εξυπηρέτησης F υπάρχουν τρία διαθέσιμα μέτρα τα οποία δείχνουν τη δυσκολία κίνησης εντός της συγκεκριμένης επιφάνειας:

- Η διάρκεια του επιπέδου που περιγράφει τον χρόνο που επικρατεί η κατάσταση αυτή στο δίκτυο, μετρημένη σε λεπτά.
- Η αναλογία ζήτησης προς χωρητικότητα, που περιγράφει τον βαθμό υπέρβασης της χωρητικότητας στην περίοδο της ανάλυσης, εκφρασμένη σε ποσοστό.
- Τα μέτρα χωρικής έκτασης, που περιγράφουν τις περιοχές που επηρεάζονται από το φαινόμενο αυτό. Ένα παράδειγμα αυτού του μέτρου θα μπορούσε να είναι το μήκος μιας ουράς πριν και κατά τη διάρκεια της στάθμης εξυπηρέτησης F.

Ανάλογα με την υπό εξέταση υποδομή ορίζονται και τα όρια για κάθε βαθμίδα. Όπως είναι λογικό διαφορετικά όρια πρέπει να ορισθούν σε μία υποδομή για πεζούς όπως ένα απλό πεζοδρόμιο και διαφορετικά όρια σε μια υποδομή όπως μια πλατεία ή ένας πεζόδρομος από τον οποίο μπορούν να διέλθουν και άλλα οχήματα, όπως ποδήλατα, ηλεκτρικά πατίνια κ.α. Η λογική πίσω από τους διαχωρισμούς στηρίζεται κυρίως στην ανθρώπινη φύση, δηλαδή στην ανοχή που παρουσιάζουν οι πεζοί ανάλογα με την περιοχή στην οποία κινούνται (HCM, 2010).

Η πιο διαδεδομένη μεθοδολογία για τον προσδιορισμό της στάθμης εξυπηρέτησης είναι αυτή που προτείνεται από το Highway Capacity Manual (HCM, 2010). Σύμφωνα με το HCM, η στάθμη εξυπηρέτησης μπορεί να προσδιοριστεί μέσω της επιφάνειας ανά πεζό, μέσω της μοναδιαίας ροής, μέσω της ταχύτητας κίνησης των πεζών και τέλος μέσω του λόγου ροής προς χωρητικότητα. Οι τιμές που έχουν ορισθεί ως όρια από τον HCM, όσον αφορά τη στάθμη εξυπηρέτησης για πεζοδρόμια , παρουσιάζονται στον πίνακα που ακολουθεί:

Πίνακας 2-1: Τιμές Στάθμης Εξυπηρέτησης βάση του HCM 2010

Στάθμη Εξυπηρέτησης	**Επιφάνεια πεζού (τ.μ/πεζό)**	**Μοναδιαία Ροή (πεζοί/λ/μ)**	**Ταχύτητα (μ/δ)**	**Λόγος ροή / χωρητικότητα (v/c)**
A	>5,6	<16	>1,30	< 0,21
B	>3,7 – 5,6	>16 – 23	>1,27 – 1,30	>0,21 - 0,31
C	>2,2 – 3,7	>23 – 33	>1,22 – 1,27	>0,31 – 0,44
D	>1,4 – 2,2	>33 – 49	>1,14 – 1,22	>0,44 - 0,65
E	>0,7 – 1,4	>49 – 75	>0,76 – 1,14	>0,65 - 1
F	< 0,7	Μεταβάλλεται	< 0,76	Μεταβάλλεται

Πρέπει να σημειωθεί πως κατά την ανάλυση μέσω της μεθοδολογίας αυτής γίνεται υπόθεση πως ο φόρτος κατανέμεται ίσα σε κάθε κατεύθυνση. Επιπλέον, δεν είναι κατάλληλη για εξέταση σεναρίων στα οποία μεγάλο ποσοστό φόρτου αποτελείται από άτομα με αναπηρίες, ακόμη και με σοβαρά προβλήματα κινητικότητας ή όρασης.

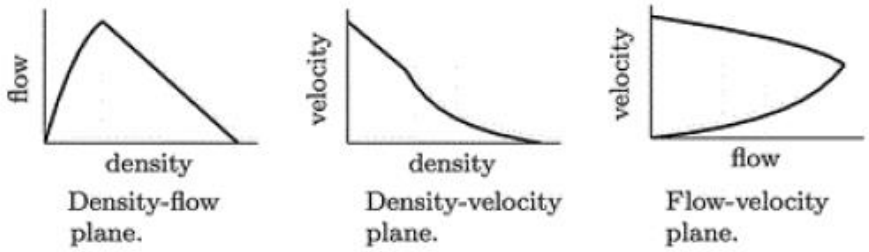
Συνήθως η μελέτη ανάλυσης μιας περιοχής πραγματοποιείται γνωρίζοντας την υπάρχουσα κατάσταση που επικρατεί στην υποδομή και στοχεύει βάσει της μελλοντικής ζήτησης στη βελτίωση της στάθμης εξυπηρέτησης. Αντίστροφα, σε μια σχεδιαστική μελέτη είναι δυνατό να ορισθεί ως στόχος μια συγκεκριμένη στάθμη εξυπηρέτησης. Έχοντας ως δεδομένο εισόδου τη συγκεκριμένη στάθμη υπολογίζονται τα γεωμετρικά χαρακτηριστικά που πρέπει να έχει η υποδομή για να καλύψει τη συγκεκριμένη ανάγκη. Ένα τέτοιο παράδειγμα αποτελεί η διαπλάτυνση πεζοδρομίων με σκοπό την καλύτερη εξυπηρέτηση των πεζών και τη βελτίωση της εμπειρίας τους όταν περπατούν. Σε προκαταρκτικές μελέτες έργων χρησιμοποιούνται ως δεδομένα εισόδου εκτιμήσεις των μεγεθών και ορίζουν ως εξαγόμενα είτε τη στάθμη εξυπηρέτησης είτε τον φόρτο των πεζών είτε συνδυασμό αυτών. Η διαφορά αυτών με την πρώτη κατηγορία που αναφέρθηκε είναι πως στην πρώτη περίπτωση υπάρχουν μετρήσεις πεδίου που αποτελούν τα δεδομένα εισόδου ενώ σε πολλές προκαταρκτικές μελέτες τα δεδομένα εισόδου αποτελούνται από εκτιμήσεις των μεγεθών.

2.2 Πρότυπα κυκλοφοριακής ροής και βασικές αρχές

Τα πρότυπα κυκλοφοριακής ροής βασίζονται στην υπόθεση ότι η απόσταση των οχημάτων και η ταχύτητα τους σχετίζονται άμεσα. Ως ιδρυτής της θεωρίας κυκλοφοριακής ροής θεωρείται ο Greenshields (1934) καθώς ήταν ο πρώτος που εξέτασε τη σχέση αυτή. Η βασική σχέση που εξέφρασε στηρίζεται σε τρεις βασικές μεταβλητές:

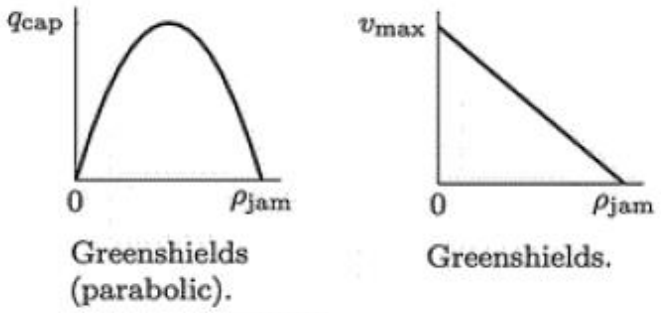
- Κυκλοφοριακό φόρτο q , ο οποίος εκφράζει πλήθος οχημάτων που διέρχονται από μία διατομή στη μονάδα του χρόνου
- Ταχύτητα u (m/s)
- Πυκνότητα k (οχήματα/ χλμ) που είναι ο αριθμός των οχημάτων που διέρχονται από μια διατομή ανά ένα χιλιόμετρο

Παρακάτω παρουσιάζονται τα θεμελιώδη διαγράμματα κυκλοφοριακής ροής.



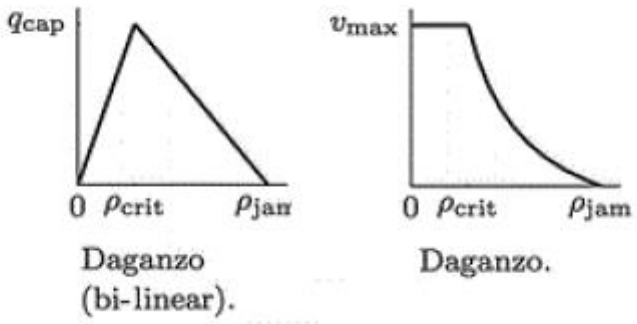
Εικόνα 2-7: Θεμελιώδη διαγράμματα κυκλοφοριακής ροής

Ένα έτος αργότερα ο Greenshields (1935) παρατηρεί πως η σχέση μεταξύ πυκνότητας και ταχύτητας μπορεί να εκφραστεί γραμμικά και αντίστοιχα η σχέση μεταξύ κυκλοφοριακού φόρτου και πυκνότητας παραβολικά. Ακολουθούν τα αντίστοιχα διαγράμματα:



Εικόνα 2-8: Διαγράμματα πυκνότητας- ταχύτητας και φόρτου- πυκνότητας κατά Greenshields

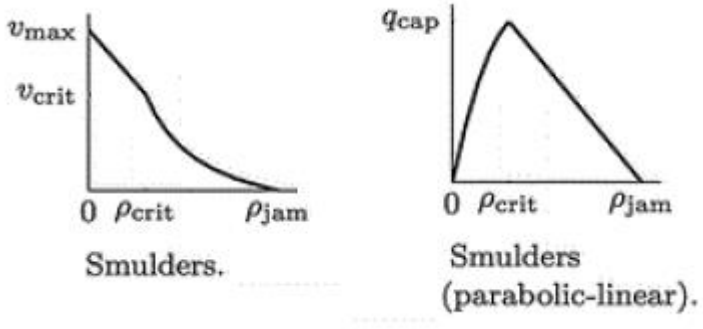
Ο Dagnazo (1994) εξέφρασε διαφορετικά τη σχέση κυκλοφοριακού φόρτου και πυκνότητας με αποτέλεσμα να καταλήξει σε μια διγραμμική σχέση, όπως φαίνεται στο παρακάτω σχήμα:



Εικόνα 2-9: Διαγράμματα φόρτου- πυκνότητας και ταχύτητας-πυκνότητας κατά Dagnazo

Ο Smulders (1990) παρατηρώντας τη σχέση μεταξύ των μεγεθών αυτών κατέληξε σε δυο διαγράμματα τα οποία θα μπορούσαν να χαρακτηριστούν ως ένας συνδυασμός μεταξύ των προηγούμενων. Ακολουθεί μια παραβολική συσχέτιση στις χαμηλές πυκνότητες, ενώ στις

υψηλές παρατηρείται γραμμική συσχέτιση. Το διάγραμμα κυκλοφοριακού φόρτου-πυκνότητας παρατηρούμε πως δεν διαφέρει πολύ από αυτό του Daganzo:



Εικόνα 2-10: Διαγράμματα κυκλοφοριακού φόρτου- πυκνότητας κατά Smulders

Οι θεμελιώδεις αυτές σχέσεις αποτελούν βάση για τα πρότυπα κυκλοφορικής ροής. Ειδικότερα τα μακροσκοπικά και τα μεσοσκοπικά πρότυπα στηρίζονται στις θεμελιώδεις αυτές σχέσεις καθώς η κυκλοφορία ακολουθεί τα θεμελιώδη διαγράμματα ανεξαρτήτου προτύπου. Στη συνέχεια ακολουθεί μια σύντομη ανάλυση στα πρότυπα κυκλοφοριακής ροής.

<u>*Μικροσκοπικά πρότυπα*</u>

Στα μικροσκοπικά πρότυπα εξετάζεται η κίνηση του κάθε οχήματος ξεχωριστά. Βασίζονται στην υπόθεση ότι οι οδηγοί προσαρμόζουν τη συμπεριφορά τους με βάση το προπορευόμενο όχημα. Περιγράφουν τη διαμήκη συμπεριφορά (ακολουθούντος οχήματος) και την πλευρική συμπεριφορά (αλλαγή λωρίδας) των επιμέρους οχημάτων. Τα οχήματα αριθμούνται για να υποδεικνύουν τη σειρά τους, όπου n είναι το υπό εξέταση όχημα, $n-1$ είναι το προπορευόμενο όχημα και $n+1$ είναι το όχημα που ακολουθεί.

Η συμπεριφορά του κάθε οχήματος περιγράφεται με:

- Τη θέση του σε σχέση με το προπορευόμενο όχημα
- Την ταχύτητα του v
- Την επιτάχυνση του α
- Ένα συνδυασμό της θέσης, της ταχύτητας και της επιτάχυνσης

Η ανάλυση των μικροσκοπικών προτύπων αποτελεί μια σύνθετη διαδικασία, αισθητά πιο πολύπλοκη από την ανάλυση των μεσοσκοπικών και των μακροσκοπικών προτύπων που αναλύονται στην συνέχεια.

<u>*Μακροσκοπικά πρότυπα*</u>

Τα μακροσκοπικά πρότυπα προσομοιώνουν την κίνηση των οχημάτων σαν να ακολουθούν μια συνεχή ροή, μια προσέγγιση που θυμίζει αρκετά αυτή των ρευστών. Στα πρότυπα αυτά δεν προσομοιώνονται μεμονωμένα οχήματα αλλά χρησιμοποιούνται ως μέσες τιμές μεγεθών, όπως η μέση πυκνότητα και ο κυκλοφοριακός φόρτος. Οι πρώτοι που τα ανέπτυξαν ήταν οι Lighthill και Whithman (1955) και έπειτα ο Richards (1956). Το πρότυπο τους αποτελεί ένα πρωτότυπο κινηματικό μοντέλο κυμάτων (LWR) το οποίο εκφράζει τη δυναμική της κυκλοφορίας μέσω της διαφορικής εξίσωσης:

- $\theta\rho/\theta t + \theta\,(q(\rho))/\theta x = 0$

Το βασικό μειονέκτημα του προτύπου αυτού είναι ότι τα οχήματα μετά την αλλαγή των συνθηκών κυκλοφορίας υποτίθεται πως επιταχύνουν με άπειρη επιτάχυνση. Για τον λόγο αυτό έχουν δημιουργηθεί και παραλλαγές του προτύπου LWR που εστιάζουν στην επίλυση αυτού του προβλήματος. Ένα τέτοιο παράδειγμα αποτελεί το πρότυπο κυκλοφορίας που αναπτύχθηκε από τους Lebaucque (2002, 2007) στο οποίο εισάγουν οριοθετημένη επιτάχυνση, επιλύοντας έτσι σε κάποιο βαθμό το πρόβλημα της απείρου επιτάχυνσης.

Μεσοσκοπικά πρότυπα

Τα πρότυπα αυτά αναπτύχθηκαν με σκοπό να καλύψουν το κενό μεταξύ των μικροσκοπικών και μακροσκοπικών προτύπων. Η λογική τους είναι να περιγράψουν τη συμπεριφορά των οχημάτων σαν ένα σύνολο όπως και στις κατανομές που συναντάμε στον τομέα των πιθανοτήτων. Ωστόσο, οι κανόνες συμπεριφοράς καθορίζονται για μεμονωμένα οχήματα και όχι για ένα σύνολο. Στην κατηγορία αυτή ανήκουν πρότυπα όπως αυτό της κατανομής κίνησης (Buckley 1968, Branston 1976), όπως και ομαδοποιημένα πρότυπα (Mahnke & Kuhne, 2007).

2.3 Προγράμματα κυκλοφοριακής προσομοίωσης

Τα προγράμματα κυκλοφοριακής προσομοίωσης αποτελούν ένα σημαντικό μελετητικό και ερευνητικό εργαλείο στον τομέα της συγκοινωνιακής τεχνικής. Σήμερα, υπάρχει πληθώρα προγραμμάτων προσομοίωσης της κυκλοφορίας κυρίως των οχημάτων, ενώ υπάρχουν και κάποια προγράμματα προσομοίωσης της κίνησης των πεζών. Τέτοια προγράμματα είναι: VISSIM (PTV, 2006), AIMSUN (Barceló και Casas, 2002), PARAMICS (Smith et al., 1995), TRIS-CORSIM (FWHA, 2005), DRACULA (Liu et al., 1995), TransModeler (Caliper, 2006) , SUMO, MITSILab (Yang και Koutsopoulos, 1996, Yang et al., 2000, Ben-Akiva., 2010b) ,TRANSIMS και ACTSIM. Ταυτόχρονα, τα πιο διαδεδομένα προγράμματα προσομοίωσης της κίνησης των πεζών είναι τα Viswalk (PTV GROUP) και Legion (Bentley).

PTV VISSIM (PTV GROUP, 2006)

Το PTV-VISSIM δημιουργήθηκε από τη γερμανική εταιρία PTV (Planung Transport Verkehr AG) και είναι ένα λογισμικό μικροσκοπικής προσομοίωσης της κυκλοφορίας και αξιολόγησης του συγκοινωνιακού δικτύου με ευρεία χρήση στις νέες πολιτικές μεταφορών, στα συστήματα ελέγχου και σε αξιολογήσεις αστικών δικτύων. Δίνει τη δυνατότητα στον χρήστη να επιλέξει μέσα από μια ευρεία κατηγορία οχημάτων και μεταφορικών μέσων για τη δημιουργία του δικτύου, ενώ επιτρέπει και την προσθήκη πεζών. Στηρίζεται σε στοχαστικό μικροσκοπικό μοντέλο βάση του χρόνου. Υπάρχουν προκαθορισμένες επιλογές που αντιπροσωπεύουν τα διαφορετικά οχήματα, κάθε μια με τα δικά της χαρακτηριστικά όπως μέγεθος, ταχύτητα και επιτάχυνση όμως δίνεται στον χρήστη η δυνατότητα αλλαγής των χαρακτηριστικών αυτών ακόμη και η δημιουργία εντελώς καινούριων οχημάτων, το κάθε ένα με τα δικά του χαρακτηριστικά. Όχημα και οδηγός αντιμετωπίζονται από τον αλγόριθμο ως μία οντότητα και η κίνηση τους μέσα στο δίκτυο υλοποιείται βάση του μοντέλου ακολουθίας (car-flollowing) του Wiedemann. Την κίνηση των οντοτήτων στο δίκτυο καθορίζουν ακόμη κάποιοι κανόνες για τις πλευρικές κινήσεις. Η δυνατότητα δημιουργίας σύνθετου δικτύου μαζί με τη δυνατότητα διασύνδεσης του προγράμματος με εξωτερικά προγραμματιστικά μοντέλα καθιστά το VISSIM ως ένα πρόγραμμα εργαλείο ακόμη και για τα πιο πολύπλοκα συστήματα ελέγχου μεταφορών.

AIMSUN (Barceló and Casas, 2002)

Το AIMSUN είναι ένα πρόγραμμα προσομοιώσεων το οποίο μας παρέχει τη δυνατότητα να δημιουργήσουμε ρεαλιστικές κυκλοφοριακές συνθήκες βάση ενός οδικού δικτύου της επιλογής μας, ελέγχοντας έτσι τις προσβάσεις στους κυκλοφοριακούς κόμβους, τα δίκτυα συγκοινωνιών αλλά και τις θέσεις των σταθμών τους, τα γεωμετρικά χαρακτηριστικά των εκάστοτε κόμβων του δικτύου ακόμη και το πλήθος των λωρίδων. Επιπλέον έχει δυνατότητα προσθήκης συστημάτων ελέγχου όπως φωτεινούς σηματοδότες, φορατές και απλά σήματα κυκλοφορίας. Είναι ικανό για μικροσκοπικές, μεσοσκοπικές, μακροσκοπικές και υβριδικές προσομοιώσεις καθώς επίσης έχει δυνατότητες επικοινωνίας με εξωτερικές εφαρμογές. Το πρόγραμμα AIMSUN δεν αποτελεί ένα ελεύθερο λογισμικό, επομένως είναι διαθέσιμο μόνο μέσω της εταιρίας TSS-Trasport Simulation Systems.

PARAMICS (Smith et al., 1995)

Το PARAMICS αποτελεί ένα πρόγραμμα μικροσκοπικής κυκλοφοριακής προσομοίωσης με δυνατότητες προσομοίωσης κυκλοφοριακού δικτύου ακόμη και σε τρείς διαστάσεις. Ακολουθεί την ίδια λογική με τα περισσότερα προγράμματα κυκλοφοριακής προσομοίωσης, δηλαδή το δίκτυο 'χτίζεται' βάση κόμβων, οδικών τμημάτων και συστημάτων ελέγχου δικτύου. Το PARAMICS δίνει τη δυνατότητα στους χρήστες να προσομοιώνουν κινήσεις ακόμη και για ένα όχημα με σκοπό τη ανάλυση της επιρροής του δικτύου στη συμπεριφορά του. Λόγω της εξειδίκευσης του σε μικροσκοπικές προσομοιώσεις το πρόγραμμα αυτό μπορεί να χρησιμοποιηθεί για αστικές προσομοιώσεις, για χώρους στάθμευσης αλλά και για την προσομοίωση της κυκλοφορίας σε μεγάλα έργα όπως λιμάνια, αεροδρόμια και σήραγγες.

TRIS-CORSIM (FWHA, 2005) -CORridor SIMulation

Το πρόγραμμα TRIS-CORSIM είναι ένα πρόγραμμα προσομοιώσεων το οποίο έχει δημιουργηθεί από την FWHA των ΗΠΑ. Αποτελείται από δύο μικροσκοπικά μοντέλα προσομοίωσης , τα NETSIM και FRESIM. Η ύπαρξη δύο διαφορετικών μοντέλων αποσκοπεί στον διαχωρισμό αστικού και υπεραστικού δικτύου, καθώς το πρώτο (NETSIM) εξειδικεύεται στην ανάλυση αστικού δικτύου κυκλοφορίας ενώ το δεύτερο (FRESIM) σε υπεραστικά δίκτυα και αυτοκινητοδρόμους. Το πρόγραμμα παρέχει τη δυνατότητα δημιουργίας ολοκληρωμένου δικτύου καθώς το περιβάλλον TSIS (Traffic Software Integrated System) παρέχει στον χρήστη τη δυνατότητα διαχείρισης καθώς και εξαγωγής των αποτελεσμάτων για περαιτέρω χρήση.

DRACULA (Liu et al., 1995)

Το DRACULA είναι ένα πρόγραμμα μικροσκοπικών προσομοιώσεων σχεδιασμένο για την ανάλυση κυκλοφοριακού δικτύου. Δίνει τη δυνατότητα δυναμικής καθοδήγησης όσον αφορά τη διαδρομή που θα ακολουθήσουν τα οχήματα, δηλαδή δυνατότητα επιλογής εναλλακτικών διαδρομών σε συνθήκες κυκλοφοριακής συμφόρησης. Επιπλέον, είναι δυνατή η ρύθμιση του χρονικού βήματος της προσομοίωσης και η διαμόρφωση των οδηγικών χαρακτηριστικών των οδηγών. Η δημιουργία συνθηκών εκκένωσης για ανάλυση περίπτωσης έκτακτης ανάγκης είναι μια σημαντική λειτουργία που παρέχει το πρόγραμμα. Στο παρελθόν έχει χρησιμοποιηθεί για έλεγχο των συνθηκών κυκλοφορίας σε πραγματικό χρόνο καθώς και για την ανάλυση της προσέγγισης οδικής τιμολόγησης βάση των συνθηκών συμφόρησης που επικρατούν στο δίκτυο. Το πρόγραμμα DRACULA έχει σχεδιαστεί από το Institute for Transport Studies του Πανεπιστημίου του Leeds.

TransModeler (Caliper, 2006)

Το TransModeler έχει δυνατότητες προσομοίωσης σε μικροσκοπικό , μεσοσκοπικό, μακροσκοπικό και υβριδικό επίπεδο, με μεγάλο εύρος δικτύου από αστικό περιβάλλον έως και αυτοκινητοδρόμους. Επιτρέπει στον χρήστη να καθορίζει τα φυσικά χαρακτηριστικά των οχημάτων, τη γεωμετρία του οδικού δικτύου καθώς και τις διαφορετικές κινήσεις. Επιπρόσθετα έχει δυνατότητα ανάλυσης και αξιολόγησης της απόδοσης του δικτύου σε τρισδιάστατο επίπεδο σε περιβάλλον GIS. Η ανάλυση μελλοντικών σεναρίων είναι εξίσου εύκολη καθώς το πρόγραμμα αξιοποιεί δεδομένα όπως η κυκλοφοριακή συμφόρηση στους κόμβους του δικτύου και ορίζει βέλτιστες διαδρομές στα οχήματα βάση πινάκων προέλευσης-προορισμού. Αξίζει να σημειωθεί πως η μικροσκοπική προσομοίωση είναι αρκετά αναλυτική καθώς το σύνολο των οχημάτων που βρίσκονται εντός του δικτύου μπορούν να προσομοιώνονται ακόμη και κάθε δέκατο του δευτερολέπτου. Το TransModeler δεν αποτελεί ελεύθερο λογισμικό και παρέχεται μέσω της εταιρίας Caliper.

SUMO (Eclipse, 2001)

Το SUMO της εταιρίας Ecplipse αποτελεί ένα μικροσκοπικό λογισμικό κυκλοφοριακής προσομοίωσης ανοιχτού τύπου διαθέσιμο στην αγορά από το 2001. Έχει δυνατότητες προσομοίωσης δικτύου με οχήματα, μέσα μεταφοράς αλλά και πεζούς. Μέσω του SUMO μπορούν να υπολογιστούν προσομοιώσεις λειτουργίας του δικτύου, βέλτιστων διαδρομών ακόμη και οπτικοποίησης και υπολογισμό εκπομπών ρύπων. Συνδυάζει εφαρμογές API (Application Programming Interface) για έλεγχο προσομοίωσης από απόσταση, κάτι το οποίο το καθιστά ικανό για εκπαίδευση συστήματος τεχνητής νοημοσύνης όσον αφορά τα προγράμματα φωτεινής σηματοδότησης στους κόμβους. Τέλος έχει τη δυνατότητα για προσομοίωση δικτύου με σκοπό τον έλεγχο επικινδυνότητας καθώς οι συγκρούσεις μεταξύ οχημάτων καταγράφονται κανονικά.

MITSILab (Yang και Koutsopoulos, 1996, Yang et al., 2000, Ben-Akiva., 2010b)

Αποτελεί πρόγραμμα μικροσκοπικών προσομοιώσεων για τη διαχείριση της κυκλοφορίας, των συγκοινωνιών αλλά και των συστημάτων πληροφοριών που σχετίζονται με τους χρήστες του δικτύου. Μέσω του MITSILab ο χρήστης μπορεί να προσομοιώσει ολοκληρωμένα δίκτυα είτε σε αστικό είτε σε υπεραστικό περιβάλλον, να πειραματιστεί με τις δυνατότητες προσθήκης συστημάτων συλλογής δεδομένων κυκλοφορίας και να αξιολογήσει εν τέλει την συνολική απόδοση του δικτύου που έχει δημιουργήσει. Για τη ρεαλιστική απόδοση των κινήσεων των οχημάτων στο οδικό δίκτυο χρησιμοποιεί τα πρότυπα ακολουθίας οχημάτων (car-following), αλλαγής λωρίδας (lane changing) και αποδοχής διακένου (gap acceptance). Το MITSILab έχει αναπτυχθεί από το MIT (Massachusetts Institute of Technology) και είναι ανοικτού κώδικα. Η σύνταξη και ανάπτυξη των μοντέλων έχει βασιστεί στην γλώσσα προγραμματισμού C++ και είναι διαθέσιμα στο κοινό.

TRANSIMS

Το TRANSIMS είναι ένα πρόγραμμα μικροσκοπικής προσομοίωσης το οποίο έχει αναπτυχθεί από το εθνικό εργαστήριο του Los Alamos. Βασική διαφορά του είναι πως βασίζεται σε ένα σχετικά νέο μοντέλο βάση του οποίου υλοποιείται η μοντελοποίηση των μετακινήσεων εντός του δικτύου με άξονα τους συνθετικούς πληθυσμούς και τις δραστηριότητες τους στο δίκτυο. Το μοντέλο αυτό στηρίζεται στην αρχή της βέλτιστης λειτουργίας του δικτύου συνολικά, επιλέγοντας έτσι για τον κάθε χρήστη του δικτύου τη μετακίνηση αυτή που συμφέρει το δίκτυο και όχι απαραίτητα τον χρήστη, σε αντίθεση με άλλα προγράμματα όπου ο αλγόριθμος επιλέγει

την πιο σύντομη για τον χρήστη διαδρομή ή τη λιγότερο χρονοβόρα. Στο κομμάτι των δυνατοτήτων της προσομοίωσης ο χρήστης έχει τη δυνατότητα δημιουργίας έως και αρκετά σύνθετου δικτύου. Επίσης δίνεται η δυνατότητα χρήσης κυψελλοειδών αυτοματοποιημένων αρχών για τον εντοπισμό κυκλοφοριακής συμφόρησης αλλά και την ανάλυση της γενικότερης λειτουργίας του δικτύου. Βασικό μειονέκτημα του προγράμματος αποτελεί η ανάγκη για μεγάλο όγκο δεδομένων και υπολογιστικών πόρων έτσι ώστε να αποδίδει το μοντέλο σωστά.

ACTSIM-Access Traffic Simulation Model

Το πρόγραμμα ACTSIM είναι ειδικά σχεδιασμένο με σκοπό την ανάλυση της κυκλοφοριακής συμφόρησης βάση κατανομής του πληθυσμού και των ενεργειών που εκτελεί μέσω μικροσκοπικής προσομοίωσης. Η δυνατότητα δυναμικής προσομοίωσης ως δυνατότητα παρέχει ένα πιο ρεαλιστικό αποτέλεσμα στη συμπεριφορά του δικτύου καθώς το κάθε όχημα ψάχνει συνεχώς τη βέλτιστη διαδρομή μέχρι να καταλήξει στον προορισμό του σε αντίθεση με τη μη δυναμική προσομοίωση όπου η διαδρομή για το κάθε όχημα προκαθορίζεται εξ΄αρχής. Επίσης τα λειτουργικά χαρακτηριστικά του κάθε οχήματος οριοθετούν τη μέγιστη ταχύτητα, την επιθυμητή ταχύτητα και τον χρόνο παραμονής στο δίκτυο. Βασίζεται κυρίως σε μοντέλα ακολουθίας (car-following), αλλαγής λωρίδας (lane changing), επιβίβασης και αποβίβασης, σε ένα ειδικά σχεδιασμένο μοντέλο στάθμευσης, ενώ λαμβάνει υπόψη και τις διαβάσεις πεζών. Η αντικειμενοστρεφής μοντελοποίηση που χρησιμοποιεί επιτρέπει την προσέγγιση της στάθμευσης ως σύνθεση πολλών αντικειμένων και τύπων αντικειμένων γεγονός που το καθιστά κατάλληλο για ανάλυση, σχεδιασμό και διαχείριση τερματικών δικτύων διατροπικών μεταφορων. Τέλος αξίζει να σημειωθεί πως η βαθμονόμηση και η αξιολόγηση του προγράμματος έγινε κάνοντας χρήση δεδομένων του αεροδρομίου Dulles στην Washingcton, D.C.

Legion Simulator (Bentley)

Το Legion Simulator αποτελεί ένα επιπρόσθετο πρόγραμμα (plug-in) για το Aimsun σχεδιασμένο από την εταιρία Bentley. Έχει σχεδιαστεί με βασικό άξονα τη δημιουργία σεναρίων προσομοίωσης πεζών και την αλληλεπίδραση τους με τις υποδομές. Μέσω των εξελιγμένων δυνατοτήτων προσομοίωσης που κατέχει αποτελεί χρήσιμο εργαλείο σε σενάρια βελτίωσης της ροής των πεζών, κυρίως σε υποδομές με μεγάλα πλήθη όπως αεροδρόμια ή μεγάλοι σταθμοί τρένων. Ακόμη δίνει τη δυνατότητα στο χρήστη να δημιουργήσει σενάρια εκκένωσης έτσι ώστε να δοκιμαστούν οι διάφορες στρατηγικές εκκένωσης των αντίστοιχων χώρων. Επιπλέον ο χρήστης μπορεί να το συνδυάσει με το Aimsun και να εξετάσει αλληλεπιδράσεις μεταξύ των πεζών και της κυκλοφορίας, βγάζοντας έτσι συμπεράσματα για βέλτιστες διαδρομές πεζών στο δίκτυο. Τέλος παρέχει πληθώρα επιλογών στην εξαγωγή αποτελεσμάτων μέσω χαρτών, διαγραμμάτων ακόμη και βίντεο μέσω των οποίων ο χρήστης ενημερώνεται με ακρίβεια και ερμηνεύει τα αποτελέσματα του σεναρίου.

Viswalk (PTV GROUP)

Το PTV Viswalk αποτελεί ουσιαστικά μία σημαντική προσθήκη στο πρόγραμμα PTV Vissim με σκοπό την κάλυψη της ανάγκης προσομοίωσης της απρόβλεπτης και πολύπλοκης κίνησης των πεζών. Αυτό το add on mudule στο Vissim μπορεί να χρησιμοποιηθεί είτε ξεχωριστά ως αυτοτελές λογισμικό προσομοίωσης πεζών είτε σε συνδυασμό με το Vissim για τη δημιουργία προσομοίωσης ολοκληρωμένου δικτύου. Στην πρώτη περίπτωση όπου γίνεται χρήση του Viswalk ως ανεξάρτητο λογισμικό αξίζει να σημειωθεί πως δεν είναι δυνατή η προσομοίωση

κυκλοφορίας οχημάτων. Αντιθέτως στη δεύτερη περίπτωση το Viswalk επιτρέπει την αναπαράσταση των ροών πεζών εντός του δικτύου αλλά και την αλληλεπίδραση τους με τα μέσα μεταφοράς. Η ευκολία που παρέχει σε συνδυασμό με την πληθώρα επιλογών δημιουργεί το ιδανικό περιβάλλον για επιστημονικά σενάρια τα οποία καλύπτουν ακόμη και μηχανικούς διαφορετικής προσέγγισης, όπως για παράδειγμα αρχιτέκτονες μηχανικούς ή μηχανικούς πυροπροστασίας, αφού το λογισμικό δίνει στον χρήστη τη δυνατότητα δημιουργίας σεναρίων εκκένωσης κτιρίων.

2.4 PTV VISSIM

2.4.1 Εισαγωγή στο πρόγραμμα

Το πρόγραμμα PTV VISSIM αποτελεί ένα πρόγραμμα μικροσκοπικής προσομοίωσης για μοντελοποίηση σύνθετων κυκλοφοριακών σεναρίων και ανήκει στην ομάδα προγραμμάτων Vision Traffic Suite της εταιρίας PTV GROUP. Επικεντρώνεται κυρίως στη μικροσκοπική προσομοίωση αστικών και υπεραστικών σεναρίων παράλληλα όμως δίνει και τη δυνατότητα προσθήκης πεζών στα σενάρια που εξετάζονται. Όσον αφορά τα οχήματα του δικτύου δίνεται η δυνατότητα προσθήκης ιδιωτικών οχημάτων (private transportation- PrT) καθώς και οχημάτων μαζικής μεταφοράς (public transportation- PuT). Πιθανοί συνδυασμοί των δυνατοτήτων που αναφέρθηκαν καλύπτουν πολλαπλά πεδία εφαρμογών, με βασικά τα εξής:

- Επιλογή βέλτιστης γεωμετρίας των κόμβων μέσω διαδοχικών συγκρίσεων κόμβων διαφορετικής γεωμετρίας. Η άνεση που παρέχει το πρόγραμμα στη δημιουργία ενός κόμβου όσον αφορά τα γεωμετρικά χαρακτηριστικά, στη προσθήκη ή μη φωτεινής σηματοδότησης αλλά και στον έλεγχο διαφορετικών κυκλοφοριακών φόρτων το καθιστά ιδανικό για τον χρήστη.
- Βελτιστοποίηση και έλεγχος ενός ήδη υπάρχοντος κόμβου. Το πρόγραμμα οπτικοποιεί με μεγάλη ακρίβεια τις συνθήκες που επικρατούν στον προσομοιωμένο κόμβο με αποτέλεσμα ο χρήστης να έχει άμεσο αποτέλεσμα των αλλαγών που δοκιμάζει. Επομένως ο χρήστης μπορεί να προσεγγίσει την αποτελεσματικότητα του σεναρίου μέσω αλλαγών σε κυκλοφοριακές παραμέτρους όπως οι ουρές που δημιουργούνται, οι καθυστερήσεις στο δίκτυο και ο χρόνος που κάθε όχημα βρίσκεται μέσα στο δίκτυο έχοντας ένα κατανοητό οπτικό αποτέλεσμα.
- Ολοκληρωμένη ανάλυση σεναρίων προσπέλασης αστικής ανάπτυξης. Μέσω του συνδυασμού προσομοίωσης κυκλοφορίας οχημάτων και πεζών σε ενιαίο δίκτυο δίνεται η δυνατότητα στον χρήστη να ελέγχει την ομαλή συνύπαρξη των δύο αυτών κατηγοριών χρήστη. Αυτό είναι αρκετά σημαντικό ειδικά σε σενάρια μαζικής προσέλευσης πεζών σε συγκεκριμένους χώρους, σε σενάρια εκκένωσης κτηρίων και σε σενάρια κατασκευών σε μια περιοχή. Μια τέτοια δυνατότητα έχει ουσία διότι μπορούμε να εντοπίσουμε την πιο ασφαλή λύση τόσο για τους πεζούς όσο και για τα οχήματα στο δίκτυο.
- Έλεγχος λειτουργίας φωτεινής σηματοδότησης εστιάζοντας σε συγκεκριμένο κόμβο ή συνολικά στο δίκτυο. Το VISSIM παρέχει στον χρήστη πολλές λειτουργίες ελέγχου όσον αφορά την επίπτωση των αλλαγών στη σηματοδότηση του δικτύου παρέχοντας μεγάλη ακρίβεια στο αποτέλεσμα. Εισάγοντας στο πρόγραμμα τον κατάλληλο όγκο δεδομένων και μέσω αναλυτικών αλγορίθμων γίνεται βελτιστοποίηση της λειτουργίας

φωτεινής σηματοδότησης του κόμβου ανάλογα με τους φόρτους που επικρατούν σε αυτό. Μια τέτοια χρήση διευρύνεται και σε σενάρια βραχυχρόνιας διακοπής της κυκλοφορίας σε κάποιο τμήμα του δρόμου, είτε σε σενάριο πιθανών έργων είτε ατυχήματος στο οδικό δίκτυο, και διερευνώνται εναλλακτικές ρυθμίσεις της κυκλοφορίας.

- Προσομοίωση δικτύου διασυνδεδεμένων μαζικών μεταφορών. Το πρόγραμμα δίνει στον χρήστη τη δυνατότητα να εισάγει ήδη υπάρχοντα τυποποιημένα μέσα μαζικής μεταφοράς ή να δημιουργήσει τα δικά του επιλέγοντας ο ίδιος γεωμετρικά χαρακτηριστικά, χωρητικότητες, ταχύτητες και φυσικά διαδρομές. Επιλέγει από μεγάλο πλήθος επιλογών όπως λεωφορεία, τράμ, μετρό και τρένα μικρών διαστάσεων για υπεραστικές μεταφορές. Η διασύνδεση αποτελεί σημαντικό εργαλείο καθώς γίνεται ταυτόχρονος έλεγχος της απόδοσης του δικτύου έπειτα από τις αλλαγές που επιλέγει ο χρήστης. Έτσι μπορούν να δοκιμαστούν διαδοχικές αλλαγές μόνο σε ένα μέσο και να υπάρχει αποτέλεσμα στην λειτουργία του συνολικού δικτύου αλλά και αλλαγές σε διαφορετικά μέσα ταυτόχρονα. Ακόμη διαφορετικά σενάρια που έχουν ως διαφορές τις θέσεις των σταθμών των μέσων μπορούν κάλλιστα να προσεγγιστούν με την ίδια ακριβώς μεθοδολογία.

Το πρόγραμμα VISSIM δίνει τη δυνατότητα στον χρήστη να επιλέξει από πληθώρα πρόσθετων επιλογών. Οι βασικές λειτουργίες είναι οι εξής:

- Δίνεται η δυνατότητα μεσοσκοπικής προσομοίωσης του δικτύου, με βασική διαφορά πως παρόλο που η οδηγική συμπεριφορά εξακολουθεί να στηρίζεται στο κάθε ένα όχημα ξεχωριστά, καθώς πρόγραμμα ακολουθεί ένα πιο απλοποιημένο μοντέλο ακολουθίας (car-following), εστιάζει σε αυτά μόνο στην περίπτωση κάποιου γεγονότος στο δίκτυο. Ως αποτέλεσμα αυτής της προσέγγισης η προσομοίωση ολοκληρώνεται αισθητά πιο γρήγορα και απαιτείται λιγότερος χρόνος για τη μοντελοποίηση του δικτύου. Φυσικά μια τέτοια επιλογή απαιτεί λιγότερους πόρους από το υπολογιστικό σύστημα, αλλά ταυτόχρονα έχει λιγότερο ακριβή αποτελέσματα.
- Στην περίπτωση επιλογής μεσοσκοπικής προσομοίωσης κατά την οποία ο χρήστης επιθυμεί να αναλύσει ένα μέρος του δικτύου πιο διεξοδικά υπάρχει η επιλογή της υβριδικής προσομοίωσης. Με τον τρόπο αυτό επιτυγχάνεται προσομοίωση όπου απαιτείται μεγάλο δίκτυο αλλά το σημείο ενδιαφέροντος είναι τμήμα αυτού, όπως για παράδειγμα όταν εξετάζεται ένας κόμβος εντός αστικής περιοχής. Ακόμη το υβριδικό μοντέλο είναι χρήσιμο σε περιπτώσεις όπου το μεσοσκοπικό μοντέλο δεν μπορεί να προσομοιώσει με ακρίβεια τις συγκρούσεις, όπως για παράδειγμα σε πολύ σύνθετες διασταυρώσεις.
- Επιλογή δυναμικού σεναρίου όπου ο χρήστης δεν χρειάζεται να καθορίσει την ακριβή πορεία που ακολουθούν τα οχήματα που εισέρχονται στο δίκτυο παρά μόνο δημιουργεί ζώνες προέλευσης- προορισμού. Ως εκ τούτου δεν εισάγονται δεδομένα φόρτων σε συγκεκριμένα σημεία του δικτύου, γεγονός που το καθιστά χρήσιμο σε περιπτώσεις ανάλυσης δικτύου στο οποίο δεν είναι γνωστός ο κυκλοφοριακός φόρτος σε οδικά τμήματα και κόμβους του δικτύου που καλείται να εξυπηρετήσει το δίκτυο.
- Δυνατότητα υπολογισμού εκπεμπόμενων ρύπων του δικτύου μέσω της προέκτασης EnViVer Pro. Το EnViVer Pro είναι ένα εργαλείο που υπολογίζει μέσα από αλγόριθμο τους ρύπους που δημιουργούνται εντός του δικτύου βάσει των δεδομένων των οχημάτων που συλλέγει το δίκτυο.

- Δυνατότητα προσομοίωσης κίνησης πεζών μέσω της προέκτασης PTV Viswalk. Το Viswalk χρησιμοποιείται κυρίως για επαγγελματικές προσομοιώσεις πεζών είτε σαν ξεχωριστό πρόγραμμα είτε σαν προέκταση του Vissim. Το δυναμικό μοντέλο, βάση του οποίου κινούνται οι πεζοί στο δίκτυο, έχει ως βάση το Social Force Model. Το Social Force Model έχει αναπτυχθεί από τον Helbing το 1995. Το μοντέλο αυτό επιτρέπει στους πεζούς εντός δικτύου να κινούνται ελεύθερα χωρίς να προκαθορίζει τις τροχιές τους. Στο σημείο αυτό αξίζει να σημειωθεί πως υπάρχει ήδη εγκατεστημένη επιλογή στο Vissim για προσομοίωση πεζών αρκετά πιο απλοποιημένη. Οι πεζοί κινούνται με τροχιές που επιλέγει ο χρήστης και ακολουθούν το μοντέλο του Wiedemann για τα οχήματα, σε αντίθεση με το Viswalk όπου ακολουθούν το μοντέλο του Helbing.
- Δυνατότητα εισαγωγής οντοτήτων BIM (Build Information Model) που έχουν τύπο IFC (Industry Foundation Class) τα οποία μετατρέπει σε αρχεία τύπου INPX. Τα αρχεία αυτά είναι αρκετά χρήσιμα στην προέκταση Viswalk καθώς μπορεί να δημιουργηθεί ένα ακριβές τρισδιάστατο μοντέλο στο οποίο θα διεξαχθούν προσομοιώσεις στην συνέχεια. Τέτοια παραδείγματα είναι κυρίως προσομοιώσεις εκκένωσης κτηρίου, όπου επιζητούμε απόλυτη ακρίβεια στην λεπτομέρεια απόδοσης του κτηρίου έτσι ώστε να καταλήξουμε σε ορθές τοποθετήσεις εξόδων κινδύνου.

2.4.2 Δομή του προγράμματος

Μοντέλο κυκλοφοριακής ροής και μοντέλο φωτεινής σηματοδότησης

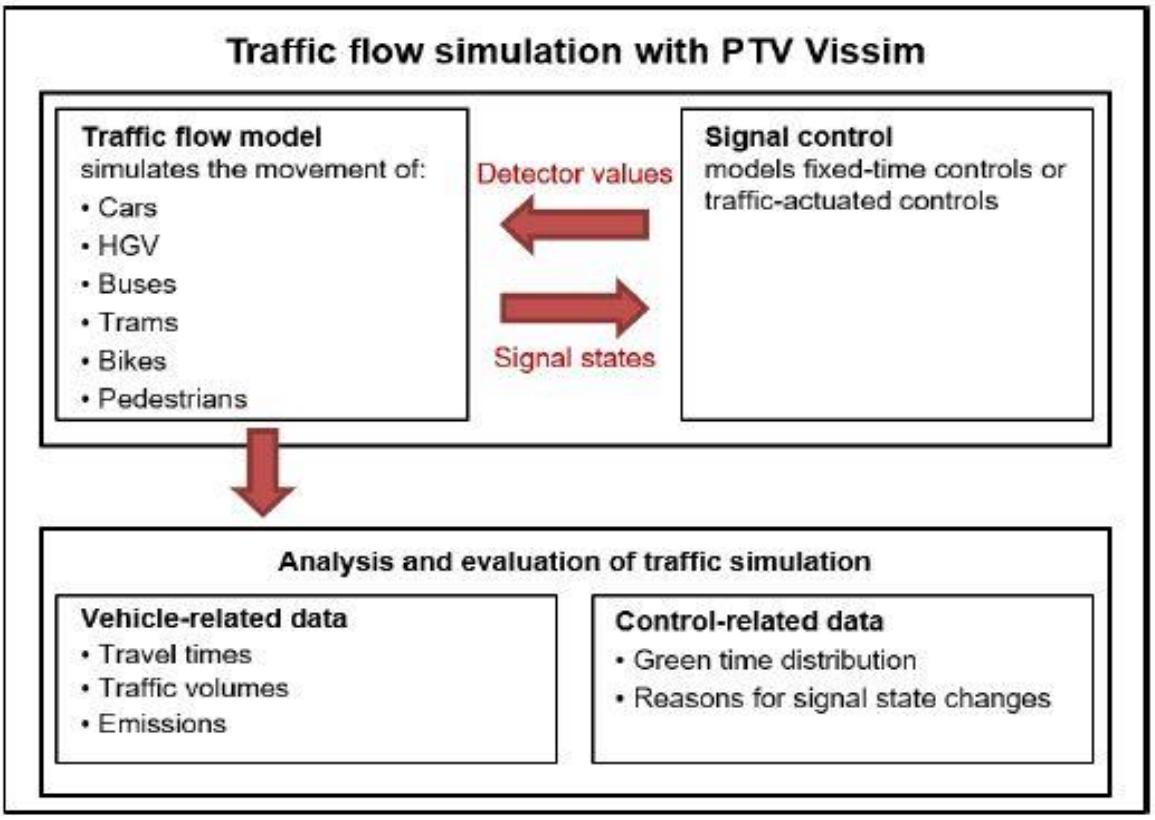
Το πρόγραμμα PTV VISSIM βασίζει τη λειτουργία του σε δύο κύρια μοντέλα. Το πρώτο αφορά το μοντέλο κυκλοφοριακής ροής βάσει του οποίου κινούνται τα οχήματα εντός του δικτύου. Το δεύτερο μοντέλο αφορά το μοντέλο ελέγχου φωτεινής σηματοδότησης βάση του οποίου επιτυγχάνεται η ρεαλιστική προσομοίωση στους κόμβους με φωτεινή σηματοδότηση. Τα δύο αυτά μοντέλα συνεργάζονται έτσι ώστε να δημιουργείται μια προσομοίωση η οποία προσεγγίζει όσο το δυνατόν ακριβέστερα τις πραγματικές κινήσεις των οχημάτων, αλλά και των συνθηκών που επικρατούν σε έναν κυκλοφοριακό κόμβο.

Όπως φαίνεται και στην εικόνα που ακολουθεί, η οποία απεικονίζει το βασικό διάγραμμα λειτουργίας του προγράμματος, τη βάση υλοποιούν τα δύο αυτά μοντέλα. Αυτά με τη σειρά τους επικοινωνούν διαρκώς καθώς τα οχήματα ακολουθούν τον κύκλο φωτεινής σηματοδότησης (signal control). Στη συνέχεια, μέσω των ανιχνευτών που μπορούν να τοποθετηθούν στις εξόδους του εκάστοτε κόμβου, το δίκτυο λαμβάνει απαραίτητες πληροφορίες για τα οχήματα που εξέρχονται. Οι πληροφορίες αυτές μεταβάλλονται αναλόγως με το ενδιαφέρον του χρήστη και τον σκοπό που έχει δημιουργηθεί η προσομοίωση. Κάποια βασικά δεδομένα που εξάγονται έπειτα από την ολοκλήρωση της προσομοίωσης είναι ο χρόνος που τα οχήματα βρίσκονται εντός του δικτύου έως ότου φτάσουν στον προορισμό τους, η στάθμη εξυπηρέτησης του δικτύου καθώς και ο κυκλοφοριακός φόρτος των οχημάτων εντός του δικτύου, ακόμη και ο υπολογισμός των εκπομπών ρύπων στο δίκτυο. Ύστερα από αυτό το στάδιο υπάρχει η δυνατότητα επανεξέτασης του κύκλου φωτεινής σηματοδότησης, φυσικά σε περίπτωση που ο χρήστης αναζητεί τη βέλτιστη λειτουργία του δικτύου ανάλογα με την προσέγγιση που έχει και το αποτέλεσμα που θέλει να επιτύχει.

Το μοντέλο κυκλοφοριακής ροής υλοποιείται ουσιαστικά από έναν συνδυασμό του μοντέλου ακολουθίας κατά Wiedemann, ένα μοντέλο το οποίο εφαρμόζεται για την κατά μήκος κίνηση

των οχημάτων, και ενός μοντέλου αλλαγής λωρίδας το οποίο σχετίζεται με την εγκάρσια κίνηση των οχημάτων σε περίπτωση αλλαγής λωρίδας.

Στο σχήμα που ακολουθεί παρουσιάζεται η σχέση μεταξύ του μοντέλου κυκλοφοριακής ροής και του μοντέλου φωτεινής σηματοδότησης, καθώς και τα δεδομένα που μπορούν να εξαχθούν άμεσα:



Εικόνα 2-11: Σχέση μοντέλου κυκλοφοριακής ροής και μοντέλου φωτεινής σηματοδότησης στο πρόγραμμα Vissim

<u>Αρχές λειτουργίας του μοντέλου ακολουθίας κατά Wiedemann (car-following)</u>

Στο πρόγραμμα τα οχήματα που εισέρχονται στο δίκτυο κινούνται με βάση ένα μοντέλο ακολουθίας το οποίο επηρεάζει σε μεγάλο βαθμό την ποιότητα της προσομοίωσης, καθώς όσο πιο ρεαλιστικό είναι ένα μοντέλο τόσο πιο ρεαλιστική η κίνηση των οχημάτων και κατ' επέκταση η προσομοίωση. Στο PTV VISSIM ως μοντέλο ακολουθίας έχει επιλεχθεί το μοντέλο του Wiedemann (1974), ένα μοντέλο ψυχό- σωματικής αντίληψης κατά το οποίο ο οδηγός που βρίσκεται σε ένα μεγαλύτερης ταχύτητας όχημα έχει την αντίληψη να ελαττώσει την ταχύτητα του όταν το προπορευόμενο όχημα κινείται με χαμηλότερη ταχύτητα και αντίστοιχα όταν αντιληφθεί πως η ταχύτητα του προπορευόμενου οχήματος είναι υψηλότερη μπορεί να επιταχύνει ξανά. Η διαδικασία αυτή επαναλαμβάνεται διαρκώς και για κάθε όχημα του δικτύου λαμβάνοντας υπόψη την οδηγική συμπεριφορά των οδηγών που έχουν οριστεί από τον χρήστη του προγράμματος. Με βάση τη λογική αυτή στο δίκτυο έχουμε σταθερές επιταχύνσεις και επιβραδύνσεις για τα οχήματα, χωρίς όμως να βλέπουμε απότομες μεταβολές στην ταχύτητα τους.

Το μοντέλο ακολουθίας έχει βαθμονομηθεί έπειτα από πολλαπλές μετρήσεις στο ινστιτούτο τεχνολογίας στην Καρλσρούη της Γερμανίας (KIT- Karlsruhe Institute of Technology, Germany). Επειδή το μοντέλο υπολογίζει ταυτόχρονα τις ψυχολογικές παραμέτρους καθώς όμως και τα φυσιολογικά όρια της αντίληψης του οδηγού, το μοντέλο αναγνωρίζεται ως ψυχό - σωματικό μοντέλο ακολουθίας. Αντίστοιχα για την εγκάρσια κίνηση των οχημάτων έχει οριστεί ένας αλγόριθμος κίνησης βασισμένος σε κανόνες αναγνώρισης οχημάτων. Η εκτενής έρευνα του Wiedemann έχει αποτελέσει τη βάση για το μοντέλο κίνησης.

Το πρόγραμμα υπολογίζει την επιτάχυνση ενός οχήματος σε συνθήκες ελεύθερης ροής, χαμηλότερης της επιθυμητής ταχύτητας, βάση των εξής παραμέτρων:

- Στην περίπτωση που η απόσταση ασφαλείας έχει ρυθμιστεί να είναι 100% , το όχημα διατηρεί την ταχύτητα του προπορευόμενου του.
- Στην περίπτωση όπου η απόσταση ασφαλείας έχει ρυθμιστεί να είναι μεταξύ των τιμών 100% και 110% , τότε η ταχύτητα του ορίζεται ανάμεσα στην επιθυμητή ταχύτητα που του έχει οριστεί και στην ταχύτητα του προπορευόμενού του οχήματος.
- Στην τρίτη και τελευταία περίπτωση όπου η τιμή της απόστασης ασφαλείας έχει οριστεί ως 100% ή άνω του 110% το όχημα επιταχύνει σταθερά έως ότου αποκτήσει την επιθυμητή ταχύτητα που του έχει ορίσει ο χρήστης.

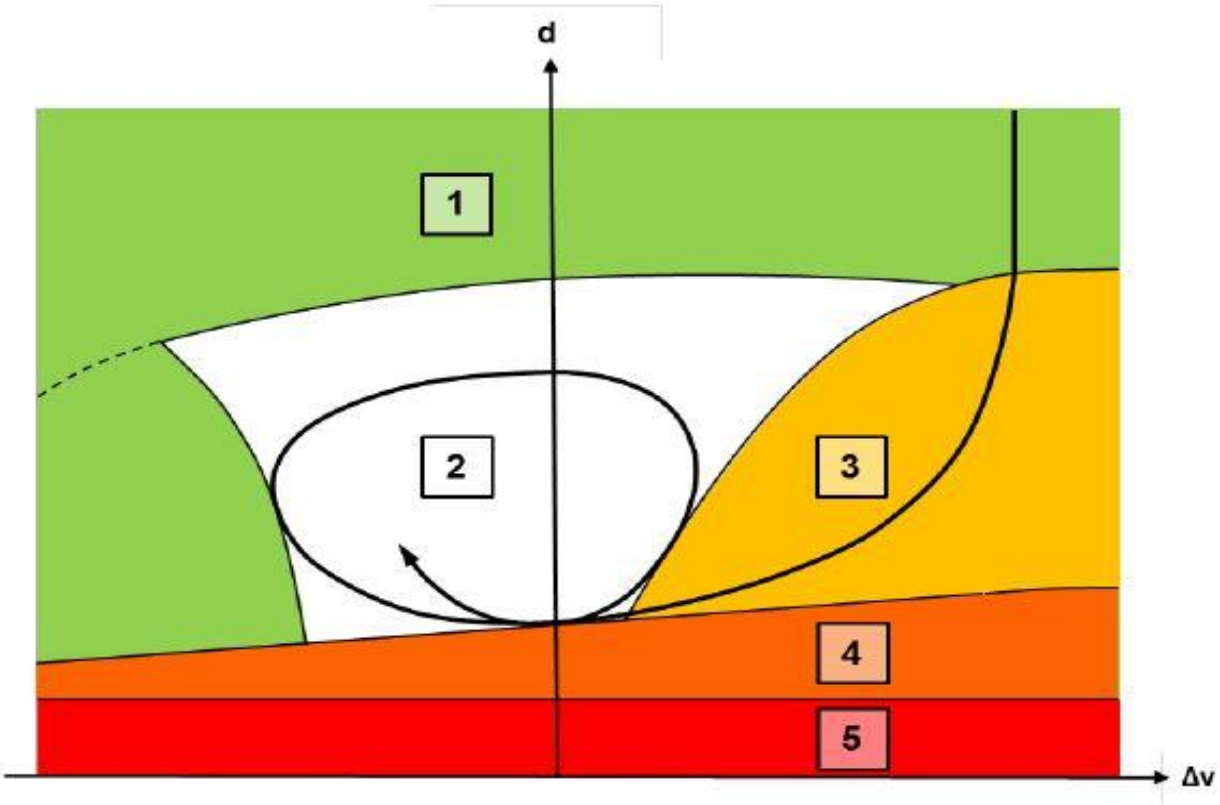
Βάση των διαφορετικών αυτών συνθηκών ο Wiedemann ορίζει τέσσερις διαφορετικές καταστάσεις στις οποίες μπορούν να βρίσκονται οι οδηγοί του δικτύου εντός του μοντέλου. Πιο αναλυτικά οι καταστάσεις που ορίζονται είναι οι εξής:

- *Κατάσταση ελεύθερης κίνησης:* κατά την οποία δεν υπάρχει καμία επιρροή στην συμπεριφορά του οδηγού από προπορευόμενο όχημα. Στην κατάσταση αυτή ο οδηγός επιχειρεί να αποκτήσει την επιθυμητή ταχύτητα αλλά και να τη διατηρήσει. Στην πραγματικότητα η ταχύτητα αυτή ίσως μεταβάλλεται σε μικρό βαθμό, όμως πάντα θα είναι κοντά στην τιμή της επιθυμητής ταχύτητας.
- *Κατάσταση προσέγγισης:* κατά την οποία ο οδηγός του οχήματος αντιλαμβάνεται τη διαφορά ταχύτητας μεταξύ του οχήματός του και του προπορευόμενου και ελαττώνει ταχύτητα. Όσο ο οδηγός προσεγγίζει το μπροστινό του όχημα τόσο επιβραδύνει, με αποτέλεσμα όταν θα φτάσει στην ορισμένη απόσταση ασφαλείας τα δύο οχήματα να έχουν την ίδια ταχύτητα κίνησης.
- *Κατάσταση ακολουθίας:* κατά την οποία ο οδηγός του οχήματος συνεχώς επιταχύνει και επιβραδύνει μη συνειδητά διατηρώντας την απόσταση ασφαλείας σχεδόν σταθερή. Και σε αυτή την περίπτωση παρατηρούνται μικρές αυξομειώσεις στην ταχύτητα του οδηγού λόγω της ρεαλιστικής συνθήκης πως ο οδηγός δεν είναι φυσικά δυνατόν να διατηρεί για μεγάλα χρονικά διαστήματα την ίδια ακριβώς ταχύτητα κίνησης.
- *Κατάσταση πέδησης:* κατά την οποία ο οδηγός του οχήματος επιβραδύνει αισθητά σε περίπτωση που αντιληφθεί ότι δεν διατηρείται η απόσταση ασφαλείας από το προπορευόμενο όχημα. Μια τέτοια συνθήκη είναι δυνατόν να δημιουργηθεί σε περίπτωση απότομης επιβράδυνσης του προπορευόμενου οχήματος είτε σε περίπτωση όπου τρίτο όχημα, από διαφορετική λωρίδα, αποφασίζει να αλλάξει λωρίδα και να εισέλθει στη λωρίδα των άλλων δύο.

Όπως αντιλαμβανόμαστε για κάθε μια από τις τέσσερις καταστάσεις κίνησης που προαναφέρθηκαν η επιτάχυνση ορίζεται ως αποτέλεσμα της στιγμιαίας ταχύτητας κίνησης, της

διαφοράς ταχυτήτων των δύο οχημάτων, της απόστασης από το προπορευόμενο όχημα αλλά και των διαφορετικών χαρακτηριστικών οχημάτων και οδηγών. Φυσικά η μετάβαση από το τη μια κατάσταση στην άλλη είναι ανάλογη του μεγέθους της μεταβολής, δηλαδή μικρές μεταβολές στην ταχύτητα γίνονται αντιληπτές μόνο σε μικρές αποστάσεις μεταξύ των οδηγών και αντίστοιχα το ίδιο ισχύει και για τις μεγάλες μεταβολές. Τέλος, αξίζει να αναφερθεί πως η αντίληψη της διαφοράς ταχύτητας, η επιθυμητή ταχύτητα καθώς και η απόσταση ασφαλείας είναι παράμετροι που πιθανά διαφέρουν μεταξύ που συνολικού πληθυσμού των οδηγών του δικτύου.

Στο σχήμα που ακολουθεί βλέπουμε τις τέσσερις διαφορετικές καταστάσεις με την προσθήκη μίας πέμπτης κατάστασης η οποία αποτελεί την κατάσταση σύγκρουσης των δύο οχημάτων. Στον οριζόντιο άξονα παρουσιάζεται η διαφορά ταχύτητας και στον κατακόρυφο άξονα η απόσταση μεταξύ των οχημάτων. Παρατηρούμε στην κίνηση ενός οχήματος το οποίο εισέρχεται από τη κατάσταση ελεύθερης κίνησης (1) στην κατάσταση προσέγγισης (3) την ταυτόχρονη μείωση απόστασης και διαφοράς ταχύτητας. Στη συνέχεια το όχημα εισέρχεται στην κατάσταση ακολουθίας (2) όπου παρατηρείται η εκ νέου αύξηση ταχύτητας του ενός οχήματος μέχρι η απόσταση μεταξύ των δύο να αυξηθεί και έπειτα να επαναληφθεί η ίδια ακολουθία. Όπως είναι φανερό το όχημα προσεγγίζει την κατάσταση πέδησης (4) διατηρώντας όμως την ελάχιστη απόσταση. Σε περίπτωση που το όχημα δεν προλάβαινε να επιβραδύνει αρκετά γρήγορα θα είχαμε μετάβαση στην κατάσταση (5) όπου είναι και η κατάσταση σύγκρουσης μεταξύ των οχημάτων.



Εικόνα 2-12: Οι 4 διαφορετικές καταστάσεις των οδηγών βάση του μοντέλου του Wiedemann (1974)

2.5 PTV VISWALK

2.5.1 Εισαγωγή στο πρόγραμμα

Το PTV Viswalk αποτελεί ουσιαστικά μία σημαντική προσθήκη στο πρόγραμμα PTV Vissim με σκοπό την κάλυψη της ανάγκης προσομοίωσης της απρόβλεπτης και πολύπλοκης κίνησης των πεζών. Αυτό το add-on module στο Vissim μπορεί να χρησιμοποιηθεί είτε ξεχωριστά ως αυτοτελές λογισμικό προσομοίωσης πεζών είτε σε συνδυασμό με το Vissim για τη δημιουργία προσομοίωσης ολοκληρωμένου δικτύου. Στην πρώτη περίπτωση όπου γίνεται χρήση του Viswalk ως ανεξάρτητο λογισμικό αξίζει να σημειωθεί πως δεν είναι δυνατή η προσομοίωση κυκλοφορίας οχημάτων. Αντιθέτως, στη δεύτερη περίπτωση το Viswalk επιτρέπει την αναπαράσταση των ροών πεζών εντός του δικτύου αλλά και την αλληλεπίδραση τους με τα μέσα μεταφοράς. Αξίζει στο σημείο αυτό να αναφερθεί πως η προσομοίωση των πεζών είναι μια αρκετά σύνθετη διαδικασία, καθώς η κίνηση τους είναι δύσκολα προβλέψιμη, αφού οι πεζοί αλλάζουν απότομα και απρόβλεπτα κατεύθυνση και ταχύτητα συγκριτικά με τα οχήματα που κινούνται στο οδικό δίκτυο.

2.5.2 Πεδία χρήσης του προγράμματος και δυνατότητες

Το πρόγραμμα Viswalk είναι ιδανικό για προσεγγίσεις κίνησης πεζών, ειδικά σε μελετητές όπως οι συγκοινωνιολόγοι. Η ευκολία που παρέχει σε συνδυασμό με την πληθώρα επιλογών δημιουργεί το ιδανικό περιβάλλον για επιστημονικά σενάρια τα οποία καλύπτουν ακόμη και μηχανικούς διαφορετικής προσέγγισης, όπως για παράδειγμα αρχιτέκτονες μηχανικούς ή μηχανικούς πυροπροστασίας, αφού το λογισμικό δίνει στον χρήστη τη δυνατότητα δημιουργίας σεναρίων εκκένωσης κτιρίων.

Αναλυτικά αξίζει να αναφερθούμε στις εξής εφαρμογές:

- Ανάλυση επιλογής βέλτιστων διαδρομών πεζών (pedestrian routing)
- Ανάλυση δημιουργίας ουράς αναμονής πεζών (pedestrian queues)
- Ανάλυση δρομολόγησης και βέλτιστης θέσης στάσης του δικτύου συγκοινωνιών
- Σχεδιασμός χωρητικότητας κτιρίων και βέλτιστη κατανομή του χώρου αυτών
- Σχεδιασμός σεναρίου εκκένωσης κτιρίου σε περιπτώσεις έκτακτης ανάγκης, όπου είναι απαραίτητη η αποφυγή συμφόρησης
- Προσέλευση και απομάκρυνση από χώρους όπου σημειώνεται μαζική προσέλευση πεζών, όπως για παράδειγμα χώροι εκδηλώσεων
- Ανάλυση κίνησης πεζών σε πολυτροπικά περιβάλλοντα (multimodal) για τον σωστό προγραμματισμό της αλληλεπίδρασης μεταξύ των μέσων εντός του δικτύου.
- Προσομοίωση μεγάλων κεντρικών σταθμών μαζικής μεταφοράς. Το λογισμικό έχει τη δυνατότητα δημιουργίας μεγάλων σταθμών ορίζοντας όλες τις σύνθετες παραμέτρους που χρειάζονται για μια ολοκληρωμένη μελέτη. Πιο συγκεκριμένα μπορεί να γίνει ανάλυση των διαδρομών που ακολουθούν οι πεζοί, των ουρών που δημιουργούνται στις αποβάθρες, των βέλτιστων θέσεων χωροθέτησης κυλιόμενων σκαλών, ανελκυστήρων και ραμπών για άτομα με κινητικά προβλήματα.

Φυσικά οι εφαρμογές που αναφέρθηκαν είναι δυνατό να συνδυαστούν και να δημιουργήσουν εναλλακτικά σενάρια έτσι ώστε ο χρήστης να επιλέγει το σενάριο που θεωρεί πως τον εξυπηρετεί καλύτερα στην περίπτωση που εξετάζει.

Το PTV Viswalk παρέχει στον χρήστη τη δυνατότητα για γρήγορη και ευέλικτη μοντελοποίηση σε ένα φιλικό ως προς αυτόν περιβάλλον. Ως υπόβαθρο μπορεί να χρησιμοποιηθεί χάρτης από τα OpenStreetMap, Google Maps, Bing Maps, εικόνες φόντου σε μορφή DWG, DXF, JPG, PNG, BMP, SHP αλλά και αρχεία τύπου CAD. Η πληθώρα επιλογών αποτελεί χρήσιμο εργαλείο στα χέρια των μηχανικών που προσπαθούν να αποδώσουν την πραγματικότητα του δικτύου όσο πιο ρεαλιστικά γίνεται.

Όσον αφορά την κίνηση των πεζών του δικτύου σχεδιάζονται περιοχές κατάλληλες για περπάτημα στις οποίες οι πεζοί κινούνται ελεύθερα. Η σχεδίαση των περιοχών αυτών στο πρόγραμμα ακολουθεί τη λογική σχεδίασης του οδικού δικτύου, δηλαδή σχεδιάζονται περιοχές οι οποίες μπορεί να έχουν σχήμα ορθογωνίου, πολυγώνου ή και κυκλικό σχήμα. Για να μπορούν οι πεζοί να μεταβούν από τη μια περιοχή στην άλλη δημιουργούνται περιοχές επικάλυψης ή δίνεται πρόσβαση στους πεζούς να διασχίσουν το οδικό δίκτυο μέσω διάβασης. Στην περίπτωση όπου ο σχεδιασμός απαιτεί περιοχές με υψομετρική διαφορά, όπως για παράδειγμα σε μεγάλους σταθμούς ΜΜΜ, τότε σχεδιάζονται ράμπες, σκάλες και ανελκυστήρες. Στις νεότερες εκδόσεις του λογισμικού υπάρχει και η δυνατότητα δημιουργίας κινούμενου διαδρόμου κυρίως για χρήση σε προσομοιώσεις αεροδρομίων.

Η δημιουργία εικονικών ανθρώπων αποτελεί ένα ακόμη ουσιαστικό μέρος του προγράμματος. Καθώς οι άνθρωποι παρουσιάζουν ποικιλομορφία ως προς τα χαρακτηριστικά τους όπως αναφέρθηκε, αντιλαμβανόμαστε πως και το πρόγραμμα θα πρέπει να καλύπτει την ανάγκη αυτή. Έτσι κατά τη δημιουργία διακρίνονται σε διαφορετικούς τύπους-κατηγορίες πεζών (pedestrian types) ώστε να καλύπτουν όλες τις ομάδες ανθρώπων. Σε κάθε διαφορετική ομάδα ορίζονται συγκεκριμένα χαρακτηριστικά όπως το μέγεθος και το ύψος τους, η ηλικία τους, η ταχύτητα κίνησης τους, ακόμη και η συμπεριφορά τους στο δίκτυο. Η συνολική σύνθεση των πεζών (pedestrian composition) υλοποιείται όταν συνδυαστούν όλες οι ομάδες διαφορετικών τύπων που έχουν δημιουργηθεί (pedestrian classes).

Έχοντας επιλέξει τη σύνθεση αλλά και την προέλευσή τους, ορίζονται οι φόρτοι των πεζών (pedestrian inputs). Ο συνολικός χρόνος της προσομοίωσης γίνεται να χωριστεί σε επιμέρους χρονικά διαστήματα, με ξεχωριστούς φόρτους στο κάθε ένα. Ωστόσο οι φόρτοι εισάγονται πάντα ανά ώρα, ανεξαρτήτως των χρονικών διαστημάτων που ορίζει ο εκάστοτε χρήστης.

Φυσικά όπως και στα οχήματα, έτσι και στους πεζούς ορίζεται ο προορισμός τους. Σχεδιάζονται λοιπόν στατικές διαδρομές που ενώνουν την περιοχή προέλευσης των πεζών με την περιοχή προορισμού (static routes). Σε περίπτωση όπου υπάρχουν πολλαπλοί προορισμοί με αφετηρία κοινή περιοχή εκκίνησης, γίνεται χρήση των αποφάσεων για τις διαδρομές των πεζών (route decisions) κατά τις οποίες προσδιορίζονται ποσοστά σχετικής ροής του αρχικού φόρτου για κάθε διαδρομή. Καθώς όμως οι ενδιάμεσες στάσεις αποτελούν ένα χαρακτηριστικό της κίνησης των πεζών υπάρχει η επιλογή δημιουργίας μερικής διαδρομής με ενδιάμεσα σημεία (partial routes). Στην επιλογή αυτή επιλέγονται ενδιάμεσα σημεία στα οποία οι πεζοί σταματούν για μικρό χρονικό διάστημα ή απλώς ακολουθούν μια μικρή παράκαμψη μέχρι να καταλήξουν στην τελική περιοχή που έχει οριστεί εξ' αρχής. Ο χρήστης σε κάθε περίπτωση αποφασίζει πως θα διανεμηθούν οι πεζοί τόσο στις στατικές όσο και στις μερικές διαδρομές.

Σε περίπτωση που η προσομοίωση δεν εστιάζει τόσο στη λεπτομέρεια κίνησης αλλά δύναται ναι ακολουθεί μια πιο απλοϊκή προσέγγιση, το λογισμικό δίνει μία λιγότερο χρονοβόρα επιλογή. Ο Πίνακας Προέλευσης - Προορισμού (O-D Matrix) αποτελεί την επιλογή αυτή στην οποία όταν σχεδιάζεται μια περιοχή ορίζεται αν θα αποτελεί προέλευση ή προορισμό. Ο

πίνακας που δημιουργείται αυτόματα έχει ως σειρές τις προελεύσεις και ως στήλες τους προορισμούς. Έπειτα εισάγεται από τον χρήστη σε κάθε κελί η ροή των πεζών για την αντίστοιχη διαδρομή σε πεζούς ανά ώρα. Όταν ολοκληρωθεί η διαδικασία αυτή ουσιαστικά έχουν οριστεί όλοι οι φόρτοι αλλά και οι διαδρομές των πεζών εντός του δικτύου.

Στο σημείο αυτό αξίζει να αναφερθεί πως και στις δύο περιπτώσεις οι πεζοί εμφανίζονται από το λογισμικό τυχαία τόσο χρονικά όσο και χωρικά, στα πλαίσια φυσικά της περιοχής προέλευσης. Όταν ολοκληρώνουν τη διαδρομή τους και φτάνουν στον προορισμό τους εξαφανίζονται από την προσομοίωση, εφόσον ο σκοπός τους έχει ολοκληρωθεί.

2.5.3 Αρχές μοντέλου SFM

Η συμπεριφορά των πεζών στο λογισμικό βασίζεται στο SFM. Οι Helbing και Molnar (1995) ανέπτυξαν το μοντέλο αυτό με βασικό άξονα την επιρροή σωματικών, κοινωνικών και ψυχολογικών δυνάμεων στην κίνηση των πεζών. Καθώς η κίνηση των πεζών χαρακτηρίζεται από απότομες αλλαγές ταχύτητας αλλά και κατεύθυνσης η προσέγγιση για μοντελοποίηση της κίνησης βασίστηκε στη Νευτώνεια Μηχανική. Πιο συγκεκριμένα απωθητικές και ελκτικές δυνάμεις όπως και δυνάμεις τριβής δημιουργούν διαρκώς μια συνισταμένη δύναμη η οποία αποτελεί και την κινητήριο δύναμη για τον κάθε πεζό. Όπως είναι φυσικό για την πιο ρεαλιστική προσομοίωση της κίνησης η συνισταμένη αυτή αλλάζει διαρκώς τόσο όσον αφορά στο μέτρο της όσο και στην κατεύθυνση.

Η κίνηση ενός πεζού έχει ως βασικό κίνητρο την επιθυμία να φτάσει στον προορισμό του όσο το δυνατόν πιο σύντομα. Όμως υπάρχουν πολλοί ακόμη παράγοντες που επηρεάζουν την κίνηση του όπως για παράδειγμα η ύπαρξη εμποδίων, ο συνωστισμός σε σημεία με περιορισμένο χώρο και η άνεση κατά την κίνηση του. Αυτοί οι παράγοντες μεταφράζονται στο μοντέλο ως απωθητικές δυνάμεις με αποτέλεσμα ο πεζός να απωθείται από αυτές και να διατηρεί μια απόσταση από τα επιμέρους “εμπόδια”. Αντιθέτως υπάρχουν περιπτώσεις, όπως η συνάντηση με κάποιον γνωστό στο δρόμο, που δημιουργούν ελκτικές δυνάμεις στον πεζό με αποτέλεσμα όχι μόνο να αλλάξει κατεύθυνση αλλά πιθανά να σταματήσει εντελώς την κίνηση του για να συνομιλήσει.

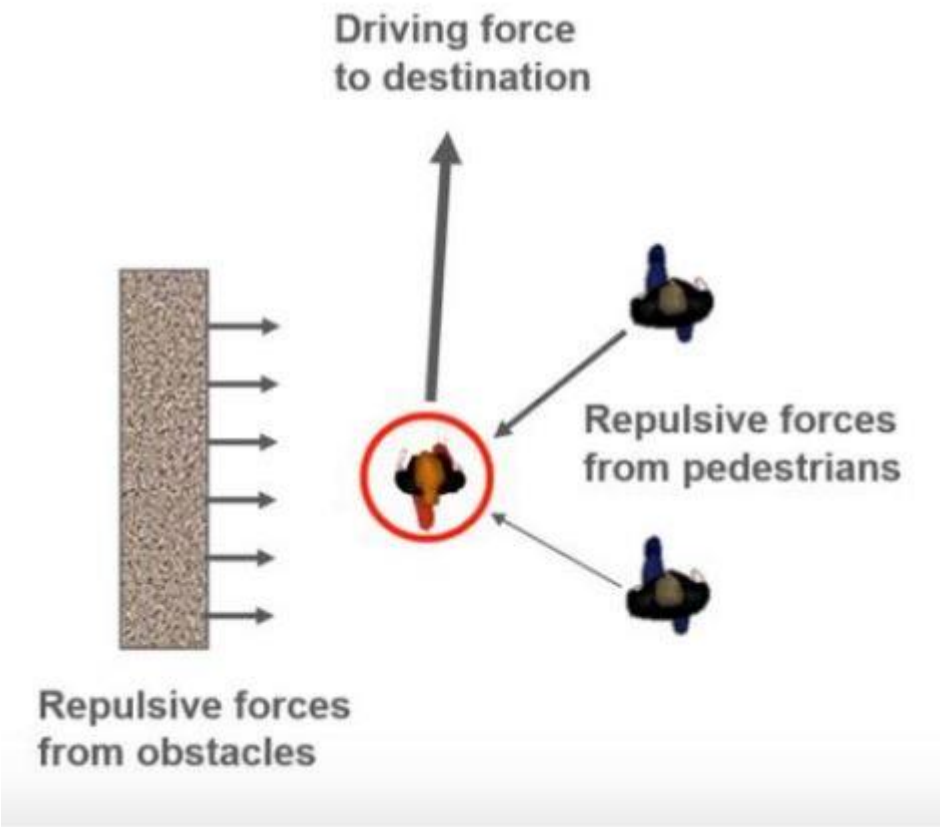
Αξίζει να σημειωθεί πως για την καλύτερη εφαρμογή του SFM στο λογισμικό Viswalk, ο Helbing βοήθησε στο να επικυρωθεί η ορθή λειτουργία του στην προσομοίωση. Αυτό έγινε εφικτό μέσω τριών διαδοχικών τρόπων. Αρχικά όλες οι παράμετροι μακροσκοπικής παρατήρησης υπολογίστηκαν εκ νέου και προσαρμόστηκαν βάση των εμπειρικών δεδομένων. Σε δεύτερη φάση επανεξετάστηκαν οι κινήσεις των πεζών σε περιπτώσεις όπως δημιουργία ουράς, όσον αφορά τις μικροσκοπικές παρατηρήσεις. Τέλος δόθηκε έμφαση στον ρεαλισμό της κίνησης των πεζών εντός του δικτύου.

Η συμπεριφορά των πεζών εντός του δικτύου μπορεί να κατηγοριοποιηθεί σε τρία χρονικά ιεραρχικά επίπεδα (Hoogendoom etl al., 2002) :

- Σε στρατηγικό επίπεδο της τάξης των λεπτών έως και ώρας στο οποίο οι πεζοί προγραμματίζουν την πορεία τους και δημιουργούν μια λίστα από προορισμούς.
- Σε επίπεδο δευτερολέπτων έως και λεπτών στο οποίο οι πεζοί υπολογίζουν την ακριβή πορεία μεταξύ των προορισμών, λαμβάνοντας ταυτόχρονα υπόψη την κατάσταση του δικτύου.

- Σε επίπεδο δέκατων του δευτερολέπτου έως και δευτερολέπτου στο οποίο οι πεζοί πραγματοποιούν τις κινήσεις, αποφεύγοντας τους υπόλοιπους πεζούς και επανεξετάζουν την πορεία τους σε περίπτωση που βρεθούν εντός πλήθους.

Το SFM ελέγχει τις κινήσεις που σχετίζονται με τις αποφάσεις του τρίτου όπως αναφέρθηκε επιπέδου, ενώ ο χρήστης είναι υπεύθυνος για τις ρυθμίσεις στα δύο πρώτα επίπεδα.



Εικόνα 2-13: Δυνάμεις που επηρεάζουν την κίνηση των πεζών σύμφωνα με το Social Force Model (πηγή webinar)

Όπως αναφέρθηκε στην προηγούμενη παράγραφο η προσαρμογή της συμπεριφοράς των πεζών σε ρεαλιστικές κινήσεις εντός της προσομοίωσης αποτελεί μια σύνθετη διαδικασία. Για να επιτευχθεί το βέλτιστο δυνατό αποτέλεσμα υπάρχει μεγάλο πλήθος επιλογών από παραμέτρους. Με την κατάλληλη βαθμονόμηση των παραμέτρων αυτών ο χρήστης προσεγγίζει το σενάριο που επιθυμεί να δημιουργήσει. Το πρόγραμμα Viswalk χρησιμοποιεί πληθώρα παραμέτρων, με κάποιες από αυτές ήδη προκαθορισμένες από το ίδιο το πρόγραμμα. Βέβαια ακόμη και αυτές οι παράμετροι μπορούν να πάρουν διαφορετικές τιμές σε περίπτωση που ο χρήστης το επιθυμεί. Οι βασικές παράμετροι του SFM είναι οι εξής:

- Tau (τ): αντιπροσωπεύει την αδράνεια και μπορεί να ερμηνευτεί ως ο χρόνος απόκρισης των πεζών. Αναφέρεται στη διαφορά μεταξύ επιθυμητής και υπάρχουσας ταχύτητας. Με τη μείωση αυτής της παραμέτρου επιτυγχάνουμε αύξηση στην επιτάχυνση των πεζών αλλά και ταυτόχρονα αύξηση στην κινητήριο δύναμη. Για παράδειγμα σε σημεία όπου παρουσιάζεται συμφόρηση παρατηρούμε επιβράδυνση των πεζών λόγω των δυνάμεων που τους ασκούνται επειδή προσεγγίζουν άλλους πεζούς ταυτόχρονα. Με τη μείωση της παραμέτρου tau η κινητήρια δύναμη που ασκείται στον πεζό από την ανάγκη του να φτάσει στον προορισμό υπερνικά τις κοινωνικές δυνάμεις με αποτέλεσμα οι πεζοί να επιτρέψουν τη μείωση της απόστασης μεταξύ τους. Έτσι η πυκνότητα αυξάνεται και παρατηρείται μια πιο ομαλή αλλά και αποτελεσματική ροή στα σημεία συμφόρησης. Αφού οι πεζοί περάσουν το σημείο συμφόρησης ο συντελεστής αυξάνεται, με αποτέλεσμα οι πεζοί να επιστρέψουν στην προηγούμενη τους συμπεριφορά.

$$A : \alpha=(\upsilon_0 - \upsilon) / \tau$$

όπου υ_0 : επιθυμητή ταχύτητα , υ :υπάρχουσα ταχύτητα

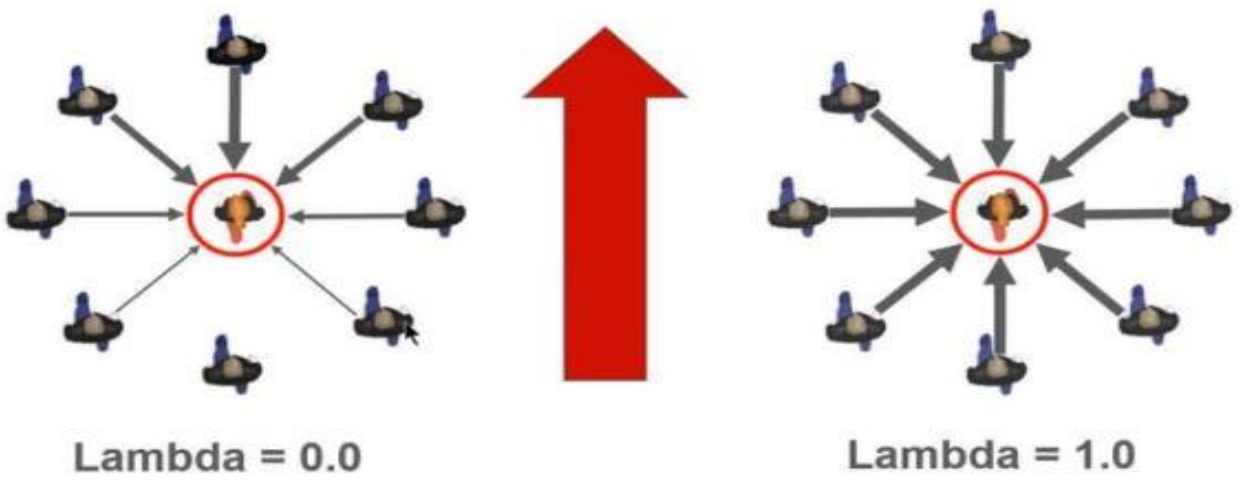
- Lambda mean (λ): είναι η παράμετρος που καθορίζει την ανισοτροπία των δυνάμεων που ασκούνται στον εκάστοτε πεζό, δίνοντας μεγαλύτερη βαρύτητα στα συμβάντα μπροστά του πεζού και λιγότερη βαρύτητα σε αυτά που λαμβάνουν χώρα πίσω του. Η λογική στηρίζεται στην αναλογική επιρροή των δυνάμεων όσον αφορά γεγονότα που βρίσκονται εντός και εκτός του οπτικού του πεδίου. Όσο η παράμετρος προσεγγίζει τη μονάδα τόσο περισσότερο εξισώνονται οι δυνάμεις που δέχεται ανεξαρτήτως κατεύθυνσης.

$$\varphi \neq 0 \text{ και } \Lambda<1 : w(\Lambda) = [\Lambda+(1-\Lambda)(1+\cos(\varphi))]/2$$

$$\varphi=0 \text{ τότε } w=1 \text{ και } \varphi=\Pi,\ w(\Lambda)=\Lambda ,$$

όπου φ: γωνία μεταξύ της υπάρχουσας κατεύθυνσης του πεζού και της πηγής της δύναμης α

w: παράγοντας που υπολογίζεται για όλες τις κοινωνικές δυνάμεις



Εικόνα 2-14: Δυνάμεις και παράμετρος λ στο Social Force Model

- A_soc_isotropic και B_soc_isotropic : αυτές οι δύο δυνάμεις σε συνδυασμό με την παράμετρο λ επηρεάζουν μια εκ των δύο δυνάμεων μεταξύ των πεζών η οποία εξαρτάται από την κατεύθυνση τους.

$$F= A_soc_isotropic * w(\Lambda) \exp(-d / B_soc_isotropic) * n$$

όπου d: η απόσταση μεταξύ των πεζών (επιφάνεια σώματος)

n: μοναδιαίο διάνυσμα, με κατεύθυνση από τον ένα στον άλλο

- A_soc_mean και B_soc_mean: οι δύο αυτές παράμετροι καθορίζουν το μέγεθος και το εύρος της δεύτερης κοινωνικής δύναμης που αναπτύσσεται μεταξύ δύο πεζών και εξαρτάται από την ταχύτητα τους.

$$F= A \exp (-d / B)* n$$

Αν VD=0 , τότε η απόσταση d υπολογίζεται ως η απόσταση μεταξύ των δύο πεζών

Αν VD>0, τότε η απόσταση d υπολογίζεται από τον τύπο:

$$D_{01}= ½ * [(d_{01}+d_{a,01})^2 - | v_{rel,01} VD|^2]^{½}$$

όπου d_{01} : η τωρινή απόσταση μεταξύ των πεζών 0 και 1

$d_{a,01}$: η προβλεπόμενη ταχύτητα μεταξύ των δύο πεζών

$$d_{a,01}= |(x_0 + \upsilon_0 VD) - (x_1 + \upsilon_1 VD)| = |d_{01} + \upsilon_{rel,01} VD|$$

- VD: συνυπολογίζει μαζί με τις παραμέτρους A_soc_mean και B_soc_mean την επιρροή της σχετικής ταχύτητας των πεζών στην κοινωνική δύναμη. Όσο αυξάνεται η παράμετρος VD τόσο πιο έγκαιρα αντιλαμβάνονται δύο πεζοί αντίθετης κατεύθυνσης την ύπαρξη του άλλου, με αποτέλεσμα να αποφεύγουν άνετα ο ένας τον άλλο χωρίς να χρειάζεται μεγάλη μείωση της ταχύτητας τους.

- Noise: καθορίζει την τυχαία δύναμη που προστίθεται στις υπόλοιπες όταν ένας πεζός κινείται με χαμηλότερη από την επιθυμητή ταχύτητα σε κάποια χρονική στιγμή. Αν για παράδειγμα υπάρχει κάποιο στενό πέρασμα ο πεζός με την υψηλότερη τιμή στην παράμετρο θα επιχειρήσει να περάσει πρώτος και στη συνέχεια θα ακολουθήσουν διαδοχικά και οι υπόλοιποι. Σε περίπτωση που όλοι οι πεζοί είχαν στην παράμετρο αυτή τιμή 0 κανένας δεν θα επιχειρούσε να περάσει πρώτος και όλοι θα έμεναν στάσιμοι.

- React to n: η παράμετρος αυτή δηλώνει τον υπολογισμό της συνολικής δύναμης του πεζού, μόνο όμως από τους n σε πλήθος πλησιέστερους πεζούς που επηρεάζουν την κίνηση του.

- Queue order και queue straightness: καθορίζει τη γεωμετρία των ουρών που δημιουργούνται. Οι υψηλότερες τιμές αυτής της παραμέτρου φέρουν ως αποτέλεσμα ουρές αναμονής περισσότερο στοιχισμένες.

- Side preference: αναφέρεται στο αν οι αντίθετα κινούμενοι πεζοί επιλέγουν την αριστερή ή τη δεξιά πλευρά όταν προσπερνούν ο ένας τον άλλο.

- Grid size: η παράμετρος αυτή ορίζει τη μέγιστη απόσταση μέσα στην οποία ένας πεζός επηρεάζει έναν άλλο πεζό. Το πλέγμα που δημιουργείται αποτελείται από τετράγωνα, το μέγεθος των οποίων επιλέγει ο χρήστης. Μικρές τιμές οδηγούν σε καθυστερημένες αντιδράσεις από τους πεζούς καθώς αντιλαμβάνονται πολύ αργά την ύπαρξη ενός άλλου πεζού που κινείται κοντά τους.

- Never walk back: καθορίζει αν οι πεζοί θα σταματήσουν ή όχι, έστω και στιγμιαία, όταν παρουσιάζεται διαφορά μεγαλύτερη από 90 μοίρες μεταξύ της υπάρχουσας κατεύθυνσης του πεζού και της επιθυμητής.

Οι προεπιλεγμένες τιμές των παραμέτρων που αναφέρθηκαν έχουν βαθμονομηθεί λαμβάνοντας υπόψη την αυτό-οργάνωση των πεζών σε λωρίδες και την ομοιογενή κυκλοφορία με όχι σύνθετα χαρακτηριστικά. Σε αναπτυσσόμενες χώρες όπου η κατάσταση και τα χαρακτηριστικά της κίνησης διαφέρουν σημαντικά από τα αντίστοιχα των δυτικών χωρών η τροποποίηση των παραμέτρων είναι αναγκαία.

Στον πίνακα που ακολουθεί παρουσιάζονται οι βασικές παράμετροι του SFM σε σχέση με τις αντίστοιχες προκαθορισμένες από το Viswalk έπειτα από μετρήσεις σε κόμβο της πόλης στο Δελχί, δίνοντας έμφαση στην ταχύτητα και στη συμπεριφορά των πεζών ως δείκτη ευαισθησίας (Prabhu TD, Dr P.K.Sarkar, 2016) :

Πίνακας 2-2: Κατάλληλα βαθμονομημένες τιμές σε διασταύρωση της Ινδίας

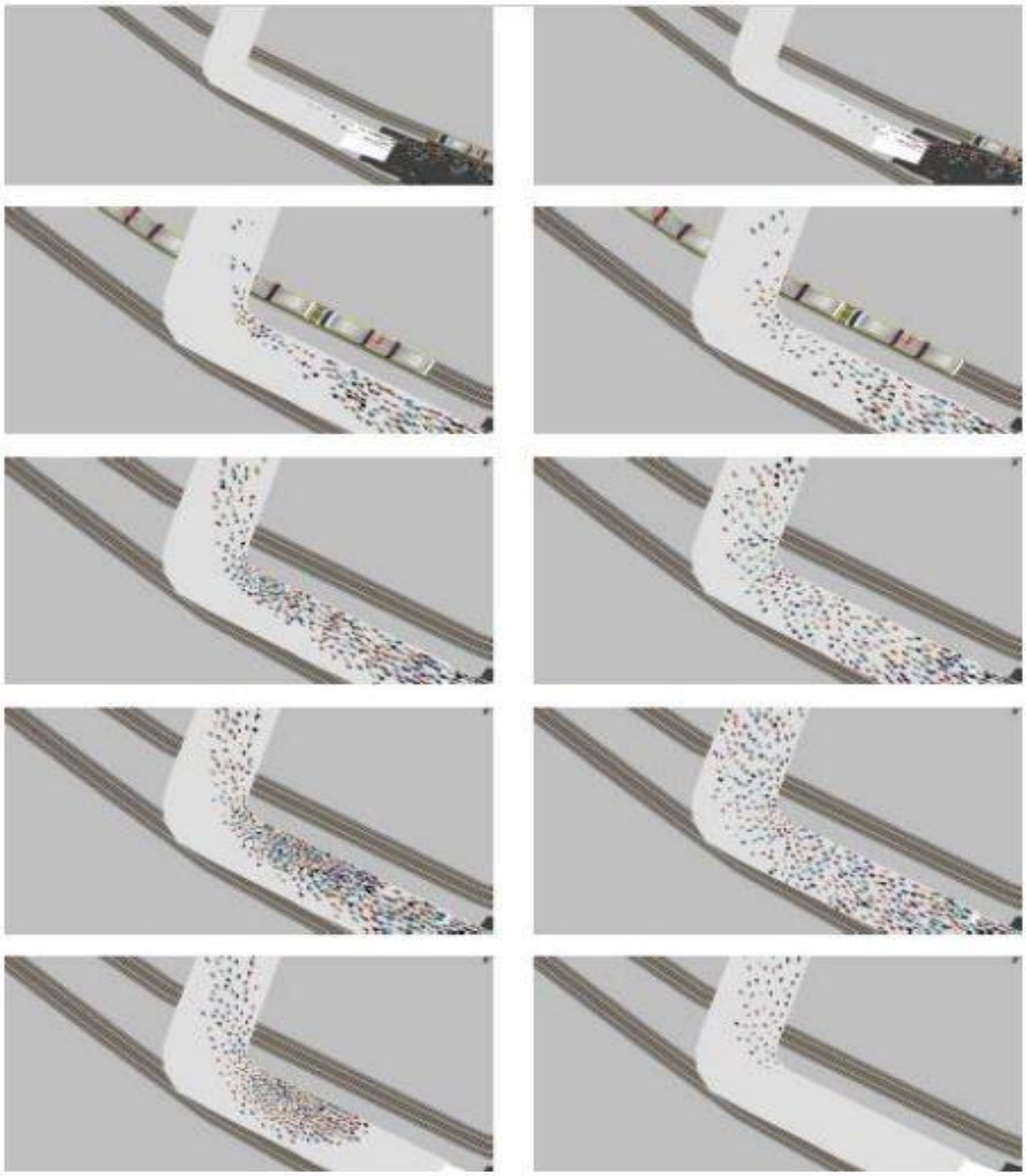
Παράμετροι πεζών	Προκαθορισμένες τιμές	Βέλτιστες τιμές μοντελοποίησης
Μέγεθος πλέγματος	5,00	1,00
Ουρά	0,70	0,50
Ευθύτητα ουράς	0,60	0,40
Αδράνεια πεζών (tau)	0,40	0,10
Αντίδραση στη δύναμη N	8,00	3,00
A κοινωνική δύναμη	2,72	4,20
B κοινωνική δύναμη	0,20	0,40
Προτίμηση πλευράς	καμία	αριστερά

Γίνεται αντιληπτό ότι υπάρχουν μεγάλες διαφορές στις προκαθορισμένες τιμές των παραμέτρων που έχουν τεθεί από την εταιρία συγκριτικά με αυτές που κατέληξαν ως βέλτιστες για τον υπό εξέταση κόμβο οι Prabhu & Sarkar (2016). Οι διαφορές αυτές ουσιαστικά είναι αποτέλεσμα του χαρακτήρα των πεζών της Ινδίας καθώς παρουσιάζεται ως πολύ συχνό φαινόμενο η διάσχιση της οδού από τυχαία σημεία και όχι από διαβάσεις, ειδικά σε κόμβους που δεν υπάρχει φωτεινή σηματοδότηση (φαινόμενο jaywalkin).

2.5.4 Δυναμική επιλογή διαδρομής (dynamic potential)

Ιδιαίτερη αναφορά αξίζει να γίνει στη δυνατότητα του Viswalk να εφαρμόσει μία δυναμική επιλογή διαδρομής κατά την οποία συνυπολογίζεται ο χρόνος ταξιδιού (dynamic potential). Με την εφαρμογή της επιδιώκεται να ακολουθηθεί τη γρηγορότερη διαδρομή και όχι το κοντινότερο. Όλα τα παραδοσιακά μοντέλα για δυναμική πεζών, όπως και η προεπιλεγμένη ρύθμιση του Viswalk, κατευθύνουν τον κάθε πεζό στον προορισμό του μέσω της μικρότερης δυνατής διαδρομής. Αυτό είναι γνωστό ως δυνητικά στατικό (static potential), καθώς η συνολική απόσταση δεν αλλάζει κατά τη διάρκεια της εκτέλεσης της προσομοίωσης. Ωστόσο, υπάρχουν καταστάσεις όπου η πιο γρήγορη διαδρομή για την άφιξη στο επιθυμητό σημείο δεν είναι απαραιτήτως και η πιο μικρή σε μήκος. Σε κάποιες περιπτώσεις οι πεζοί επιλέγουν να φτάσουν στον προορισμό τους το συντομότερο δυνατόν ακόμη και αν χρειαστεί να περπατήσουν λίγο περισσότερο, δηλαδή επιλέγουν τη συντομότερη και όχι την κοντινότερη διαδρομή. Επομένως επιλέγοντας το dynamic potential ο πεζός υπολογίζει σε κάθε του βήμα εκ νέου τον εναπομείναντα χρόνο ταξιδιού του και τροποποιεί αναλόγως την πορεία που θα ακολουθήσει έως ότου φτάσει στον τελικό του προορισμό. Σαφώς προσέγγιση αυτή επιβαρύνει την προσομοίωση και άρα απαιτεί μεγαλύτερη υπολογιστική ισχύ ή αισθητά μεγαλύτερο χρονικό διάστημα μέχρι να ολοκληρωθεί η προσομοίωση (PTV Vissim 2021 User Manual).

Η λογική της δυναμικής προσέγγισης είναι πως αποτελεί μια μέθοδο στην οποία οι πεζοί υπολογίζουν συνέχεια την επόμενη περιοχή-προορισμό μέσω της κοινωνικής δύναμης. Η συνισταμένη αυτή καθοδηγεί τον κάθε πεζό προς τον προορισμό βάση της ελάχιστης ζήτησης της περιοχής από άλλους πεζούς του δικτύου.



Εικόνα 2-15: Σύγκριση σεναρίων με χρήση dynamic potential και χωρίς

Στο πρώτο σενάριο, στιγμιότυπα του οποίου βλέπουμε στην αριστερή στήλη, δεν γίνεται χρήση του δυναμικού σεναρίου. Στο δεύτερο σενάριο, με στιγμιότυπα στη δεξιά στήλη, γίνεται χρήση του dynamic potential. Παρατηρούμε πως στο πρώτο σενάριο οι πεζοί συνωστίζονται στη στροφή καθώς ο κάθε ένας από αυτούς υπολογίζει την ελάχιστη απόσταση και κινείται με βάση αυτή, ενώ στο δεύτερο σενάριο παρατηρούμε πως οι πεζοί αποφεύγουν τον συνωστισμό στη γωνία καθώς κινούνται με βάση τη διαδρομή με τον λιγότερο χρόνο. Ως αποτέλεσμα στο δεύτερο σενάριο το σύνολο των πεζών φτάνουν στον προορισμό πιο γρήγορα από ότι στο πρώτο σενάριο παρότι κάποιοι από αυτούς αναγκαστικά διανύουν μεγαλύτερη απόσταση.

2.6 Δυνατότητες και αξιολόγηση αποτελεσμάτων

Στο Viswalk υπάρχουν πολλές διαθέσιμες επιλογές ώστε να γίνει η αξιολόγηση ενός διαμορφωμένου σεναρίου, είτε σε σχέση με ποσοτική είτε σε σχέση με οπτική απόδοση. Ανάλογα με το επιθυμητό αποτέλεσμα οι αξιολογήσεις είναι δυνατό να εμφανιστούν με μορφή λίστας ή και σαν παράθυρα της οθόνης. Σαν δυνατότητα αποθήκευσης τα αρχεία μπορούν να αποθηκευτούν σε αρχεία κειμένου ή σε βάση δεδομένων. Το πρόγραμμα με τη σειρά του υπολογίζει αυτόματα τους μέσους όρους, τις ελάχιστες/μέγιστες τιμές και την τυπική απόκλιση για πολλές διαδοχικές εκτελέσεις του σεναρίου και τα εμφανίζει στον ίδιο ακριβώς κατάλογο αποτελεσμάτων.

Πιο συγκεκριμένα το Viswalk μέσω μετρήσεων ανά περιοχή (area mesurments) δίνει τη δυνατότητα αξιολόγησης περιοχών όπου κινούνται πεζοί. Στις περιοχές αυτές συλλέγονται πληροφορίες που αφορούν πυκνότητα, αντιληπτή για τους πεζούς πυκνότητα, χρόνο εισόδου/εξόδου, συνολικό χρόνο παραμονής στην περιοχή, καθυστέρηση, πλήθος ατόμων που εισέρχονται και εξέρχονται από την ορισμένη περιοχή, συνολικό αριθμό ατόμων, επιθυμητή ταχύτητα και απόκλιση από αυτή. Η θέση αλλά και το μέγεθος του τμήματος που θα γίνει η συλλογή των πληροφοριών καθορίζονται εξ΄ολοκλήρου από τον χρήστη.

Η δυνατότητα δημιουργίας ουράς (queue area) εντός περιοχών κίνησης πεζών δίνει στον χρήστη τη δυνατότητα να εξετάσει σενάρια και να εξάγει συμπεράσματα για περιοχές όπου εμφανίζεται συνωστισμός. Σε ένα τέτοιο σενάριο υπολογίζονται ο ελάχιστος, ο μέγιστος και ο μέσος όρος των πεζών που είναι στην ουρά σε κατάσταση αναμονής. Το ίδιο ισχύει αντίστοιχα και για μεγέθη όπως το μήκος της ουράς αναμονής καθώς και ο χρόνος αναμονής των πεζών εντός αυτής.

Μια άλλη μέθοδος για την αξιολόγηση της κυκλοφορίας πεζών αποτελεί η μέτρηση χρόνων μετακίνησης (travel times) σε ορισμένη απόσταση. Η καταγραφή ξεκινάει από τη στιγμή που ο πεζός εμφανίζεται στη περιοχή προέλευσης και σταματάει όταν αυτός φτάσει στη περιοχή τελικού προορισμού, στην οποία και εξαφανίζεται πλέον από την προσομοίωση. Παράλληλα υπολογίζεται και ο χαμένος/κερδισμένος χρόνος του πεζού στο δίκτυο ο οποίος υπολογίζεται βάση της επιθυμητής ταχύτητας που έχει οριστεί.

Μια ακόμη μέθοδος συλλογής δεδομένων είναι η καταγραφή επιλεγμένων από τον χρήστη στοιχείων σε ένα αρχείο πεζών (pedestrian record). Στο αρχείο αυτό εξάγονται οι τιμές των επιλεγμένων στοιχείων και αφορούν τον κάθε πεζό ξεχωριστά. Η καταγραφή γίνεται ανά χρονικό βήμα προσομοίωσης και για τον λόγο αυτό κάθε σειρά αντιστοιχεί σε έναν πεζό. Τα χαρακτηριστικά του εκάστοτε πεζού επίσης μπορούν να ορισθούν διαφορετικά όπως για παράδειγμα η χρωματική απεικόνιση του πεζού στο δίκτυο. Είναι ακόμη δυνατό το χρώμα που αποδίδεται να είναι βάση των χαρακτηριστικών τους (attributes) ή βάση των αποτελεσμάτων (results) που προκύπτουν. Η επιλογή οπτικής απόδοσης των δεδομένων φυσικά συνδυάζεται με την καταγραφή των στοιχείων σε αρχείο, δίνοντας όμως μία πρώτη εντύπωση στον χρήστη για τη λειτουργία του δικτύου.

Οπτική αξιολόγηση μπορεί επίσης να γίνει για περιοχές κίνησης βάση του επιπέδου εξυπηρέτησης (Level of Service, LOS), βάση αντιληπτής πυκνότητας (perceived), βάση πραγματικής πυκνότητας και βάση ταχύτητας. Το οπτικό αποτέλεσμα επηρεάζεται άμεσα από την επιλογή του χρήστη που αφορά στη μορφή απεικόνισης. Στην πρώτη περίπτωση η

απεικόνιση βασίζεται στην περιοχή (area based), ενώ στη δεύτερη βασίζεται στο πλέγμα (grid based). Στην πρώτη περίπτωση αποδίδεται ένα συγκεκριμένο χρώμα σε κάθε ορισμένο τμήμα, για παράδειγμα ένας διάδρομος κτιρίου, που απεικονίζει τις συνθήκες εξυπηρέτησης του τμήματος. Αντιθέτως στη δεύτερη περίπτωση υπολογίζεται ο αριθμός των γειτονικών κυψελών (cells) για κάθε πεζό και εμφανίζεται οπτικά ως χειρότερο το τμήμα στο οποίο υπάρχει μεγαλύτερη επικάλυψη γειτονικών κυψελών.

Στο σημείο αυτό αξίζει να σημειωθεί πως το επίπεδο εξυπηρέτησης μπορεί να εξαχθεί είτε μέσω των αποθηκευμένων από το πρόγραμμα δεδομένων, είτε μέσω της αντιστοιχίας ενός επιπέδου με ένα χρώμα. Φυσικά στη δεύτερη περίπτωση ο χρήστης θα πρέπει να παρακολουθεί την εκτέλεση της προσομοίωσης και να βγάλει επί τόπου συμπέρασμα με το πέρας της προσομοίωσης χωρίς να μπορεί φυσικά να υλοποιήσει επόμενη προσομοίωση ή να αποθηκεύσει κάπου τις περιοχές στις οποίες εντοπίζεται το πρόβλημα. Σαφώς οι δύο τρόποι ακολουθούν διαφορετική λογική και θα πρέπει να χρησιμοποιούνται στις κατάλληλες περιπτώσεις αντίστοιχα.

2.7 SSAM

2.7.1 Περιγραφή του προγράμματος SSAM

Το Surrogate Assesment Model ή εν συντομία SSAM είναι ένα ελεύθερο λογισμικό το οποίο έχει αναπτυχθεί με σκοπό τον εντοπισμό, την κατηγοριοποίηση και την ανάλυση των πιθανών οδικών συγκρούσεων από τροχιές που έχουν συλλεχθεί μέσω προγραμμάτων μικροσκοπικών προσομοιώσεων. Έχει δημιουργηθεί από το 2008, με αισθητές βελτιώσεις το έτος 2017 από το Federal Highway Administration (FHWA) του U.S. Department of Transportation. Το πρόγραμμα πλέον έχει δυνατότητες στατιστικής ανάλυσης όσον αφορά τη συχνότητα και τη σοβαρότητα της σύγκρουσης, στοιχεία που βοηθούν τους αναλυτές να σχεδιάζουν πιο ασφαλή οδικά δίκτυα.

Συνήθως η ανάλυση συγκρούσεων γίνεται από εκπαιδευμένα άτομα για την παρατήρηση και την καταγραφή των συγκρούσεων σε διασταυρώσεις. Η εφαρμογή του λογισμικού SSAM όμως αυτοματοποιεί τη διαδικασία ανάλυσης των πιθανών συγκρούσεων. Ερευνητές προσδιόρισαν μια καθολικού τύπου μορφή των δεδομένων τροχιάς οχημάτων, σχεδιασμένη έτσι ώστε να παρέχει την ακριβή τοποθεσία και το μέγεθος του κάθε οχήματος περίπου κάθε δέκατο του δευτερολέπτου. Τα δεδομένα τροχιά αυτής της μορφής αποτελούν επιλογή εξαγωγής σε βασικά προγράμματα μικροσκοπικών προσομοιώσεων όπως το Aimsun, το Paramics, το Texas και το Vissim. Τα βασικά μεγέθη που μας δίνει ως ανάλυση το πρόγραμμα είναι τα εξής:

- TTC (time to collision): Είναι ο ελάχιστος χρόνος που παρατηρείται σε μία πιθανή σύγκρουση
- PET (post enchroachment time): Είναι ο χρόνος που περνάει από τη στιγμή που ένα όχημα βρίσκεται σε μια συγκεκριμένη θέση μέχρι να φτάσει στην ίδια ακριβώς θέση ένα δεύτερο όχημα κατά τη διάρκεια μιας πιθανής σύγκρουσης. Η τιμή 0 στο μέγεθος αυτό δείχνει σίγουρη σύγκρουση μεταξύ των οχημάτων.
- MaxS: η μέγιστη ταχύτητα που εντοπίζεται μεταξύ των δύο οχημάτων που συμμετέχουν στη πιθανή σύγκρουση. Εκφράζεται σε πόδια ανά δευτερόλεπτο ή σε μέτρα ανά δευτερόλεπτο αναλόγως με το πως είναι ορισμένες οι μονάδες στο αρχείο τροχιών των οχημάτων.

- TMinTTC: είναι η χρονική στιγμή της προσομοίωσης στην οποία εντοπίζεται η μικρότερη τιμή του TTC. Στην αρχή κάθε προσομοίωσης η τιμή είναι 0 και αυξάνεται με βήμα 0,1 έως 1 δευτερόλεπτο ανά χρονικό βήμα (time step) της προσομοίωσης.
- XMinPET, YMinPET, ZMinPET: οι x, y, z συντεταγμένες της θέσης στην οποία υπολογίζεται πως θα γίνει η σύγκρουση τη χρονική στιγμή που εντοπίζεται η μικρότερη τιμή του PET. Πιο συγκεκριμένα, η θέση αυτή εντοπίζεται στο κέντρο του προπορευόμενου οχήματος, θέση στην οποία θεωρητικά θα βρεθεί όχημα που ακολουθεί τη στιγμή της σύγκρουσης.
- DeltaS: αποτελεί την απόλυτη τιμή της διαφοράς των ταχυτήτων των δύο οχημάτων όπως αυτή παρατηρείται στο tMinTTC.
- DR: η αρχική επιβράδυνση του ακολουθούντος οχήματος. Σε περίπτωση που το όχημα επιβραδύνει η τιμή αυτή αποτελεί την πρώτη αρνητική τιμή που παρατηρήθηκε κατά την πιθανή σύγκρουση, ενώ αν το όχημα δεν επιβραδύνει αυτή θα αποτελέσει τη χαμηλότερη τιμή επιτάχυνσης.
- MaxD: η μέγιστη επιβράδυνση του δεύτερου οχήματος. Η τιμή αυτή καταγράφεται ως αρνητική όταν το όχημα επιβραδύνει, ενώ θετική τιμή σημαίνει πως το όχημα δεν επιβράδυνε καθόλου.
- ConflictAngle: αποτελεί μια προσέγγιση της γωνίας πιθανής σύγκρουσης βάσει των κατευθύνσεων και των ταχυτήτων των δύο οχημάτων. Η γωνία εκφράζεται βάσει του πρώτου οχήματος που φτάνει στο υποθετικό σημείο σύγκρουσης, δηλαδή εκφράζει τη γωνία με την οποία το δεύτερο όχημα θα συγκρουστεί με το πρώτο. Η γωνία εκφράζεται από -180 μοίρες έως +180 μοίρες.

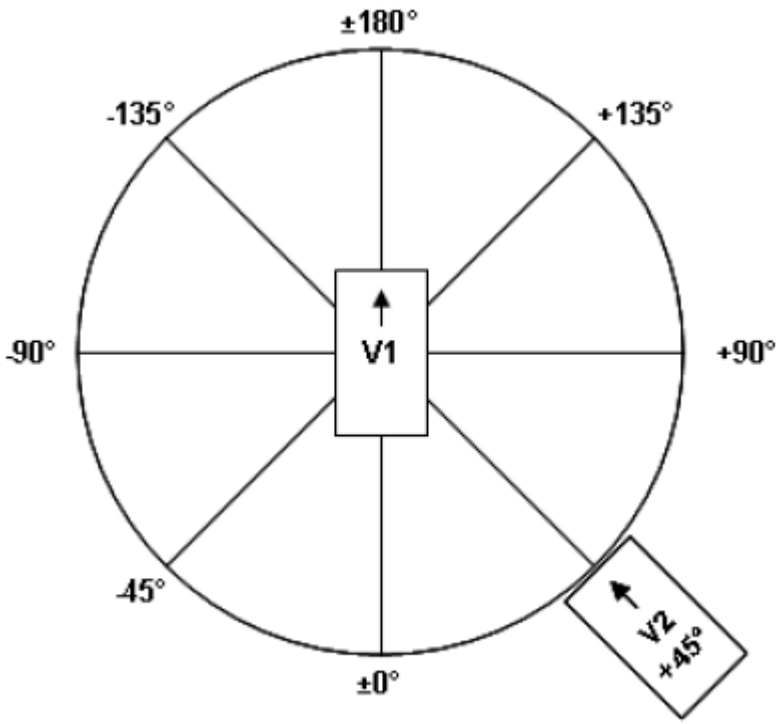


Figure 44 Conflict Angle

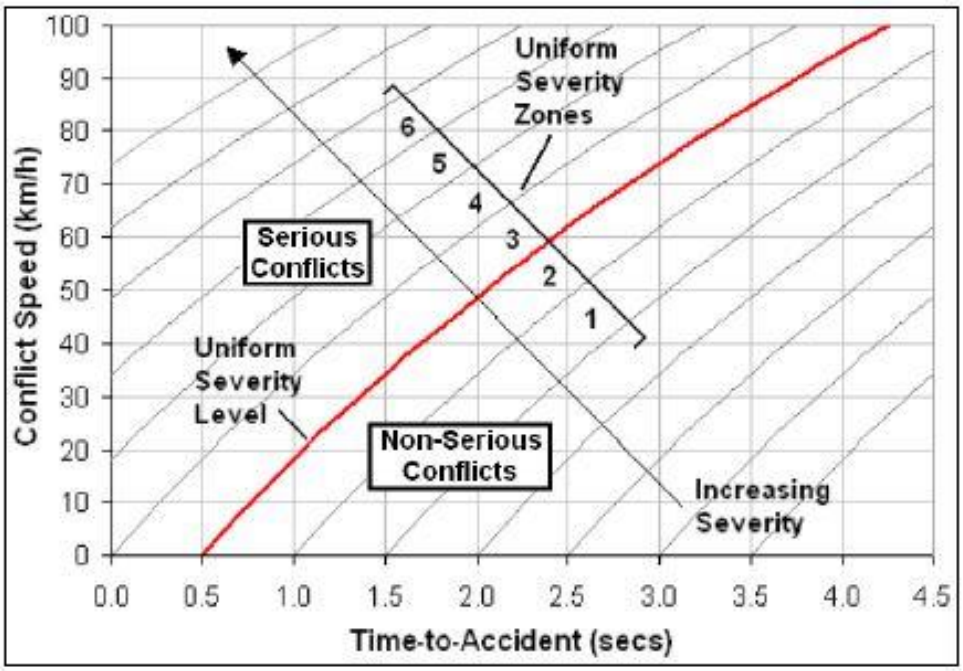
Εικόνα 2-16: Γωνία πιθανής σύγκρουσης των δύο οχημάτων

- Conflict type: Εκφράζει αν η πιθανή σύγκρουση είναι νωτομετωπική, αλλαγής λωρίδας ή κάθετη. Αν η απόλυτη τιμή της γωνίας είναι μικρότερη των 30 μοιρών τότε η σύγκρουση κατηγοριοποιείται ως νωτομετωπική σύγκρουση. Αν η απόλυτη τιμή της γωνίας είναι μεγαλύτερη των 85 μοιρών τότε η σύγκρουση κατηγοριοποιείται ως κάθετη. Σε οποιαδήποτε άλλη περίπτωση κατηγοριοποιείται ως σύγκρουση αλλαγής λωρίδας.
- PostCrashHeading: είναι η υποθετική κατεύθυνση των δύο οχημάτων έπειτα από την πιθανή σύγκρουση. Λαμβάνει τιμές από 0 μοίρες έως 360 μοίρες.
- FirstVID, SecondVID: ο κωδικός των δυο οχημάτων που εμπλέκονται στο συμβάν.
- FirstLenght (SecondLenght): Το μήκος του προπορευόμενου και του ακολουθούντος οχήματος σε μέτρα ή πόδια.
- FirstWidth(SecondWidth): Το πλάτος του προπορευόμενου και του ακολουθούντος οχήματος σε μέτρα ή πόδια.
- MTTC, MPET: αποτελεί πολλαπλά TTC και PET αντίστοιχα που υπολογίζονται από τις αρχικές ταχύτητες και θέσεις των δύο οχημάτων. Το πρόγραμμα παράγει 100 διαφορετικές αναλύσεις για κάθε όχημα με διαφορετικούς συνδυασμούς επιταχύνσεων και τροχιών που παράγονται από δυο συναρτήσεις και υπολογίζει όλες τις πιθανές θέσεις σύγκρουσης.
- P(UEA): η πιθανότητα μη επιτυχημένης προσπάθειας αποφυγής της σύγκρουσης. Ακολουθώντας την ίδια διαδικασία με τα MTTC, MPET, το P(UEA) υπολογίζεται διαιρώντας τον συνολικό αριθμό πιθανών συγκρούσεων με τον συνολικό αριθμό συνδυασμένων paths.

2.7.2 Επικινδυνότητα βάσει των μεγεθών TTC και PET

Τα μεγέθη TTC (time-to-collision) και PET (post-enchroachment-time) αποτελούν δυο μεγέθη τα οποία μπορούν να χρησιμοποιηθούν έτσι ώστε να εκφράζουν την επικινδυνότητα στη λειτουργία ενός υπάρχοντα κόμβου, βάση χρονικών διαφορών μεταξύ δυο οχημάτων. Το TTC ορίζεται ως ο προβλεπόμενος χρόνος σύγκρουσης μεταξύ δυο χρηστών του οδικού δικτύου, εάν και οι δύο χρήστες συνεχίσουν κανονικά την πορεία τους χωρίς να μεταβάλουν την ταχύτητα τους ή την κατεύθυνση τους. Το PET ορίζεται ως ο χρόνος μεταξύ ενός οχήματος που καταπατά ένα συγκεκριμένο σημείο της οδού και ενός οχήματος που ακολουθεί, μέχρι αυτό να φτάσει στο ίδιο φυσικό σημείο με το προπορευόμενο. Τόσο το TTC όσο και το PET είναι βασικοί δείκτες για την εξέταση πιθανών συγκρούσεων σε ένα οδικό δίκτυο, με τον δείκτη επικινδυνότητας να αυξάνεται όσο τα μεγέθη αυτά μειώνονται. Επομένως μικρότερες τιμές στα δύο αυτά μεγέθη παραπέμπουν σε μεγαλύτερη πιθανότητα σύγκρουσης.

Ο Hyden (1987) συσχέτισε την ταχύτητα κίνησης των οχημάτων με τον χρόνο έως τη σύγκρουση, από τη χρονική στιγμή που εντοπίζεται η πιθανή σύγκρουση μέχρι την ακριβή χρονική στιγμή της. Μέσω της συσχέτισης αυτής δημιούργησε διαφορετικές ζώνες επικινδυνότητας, διαχωρίζοντας τις σε σοβαρές και μη σοβαρές συγκρούσεις. Κάθε ζώνη που δημιουργείται καλύπτει πληθώρα συνδυασμών ταχύτητας κίνησης- χρόνου έως τη σύγκρουση. Προφανώς, όσο αυξάνεται η ταχύτητα κίνησης στο διάγραμμα και μειώνεται ο χρόνος, τόσο αυξάνεται και η ζώνη επικινδυνότητας. Στην εικόνα 2.8.1 παρουσιάζεται ο διαχωρισμός και οι ζώνες που δημιουργούνται:



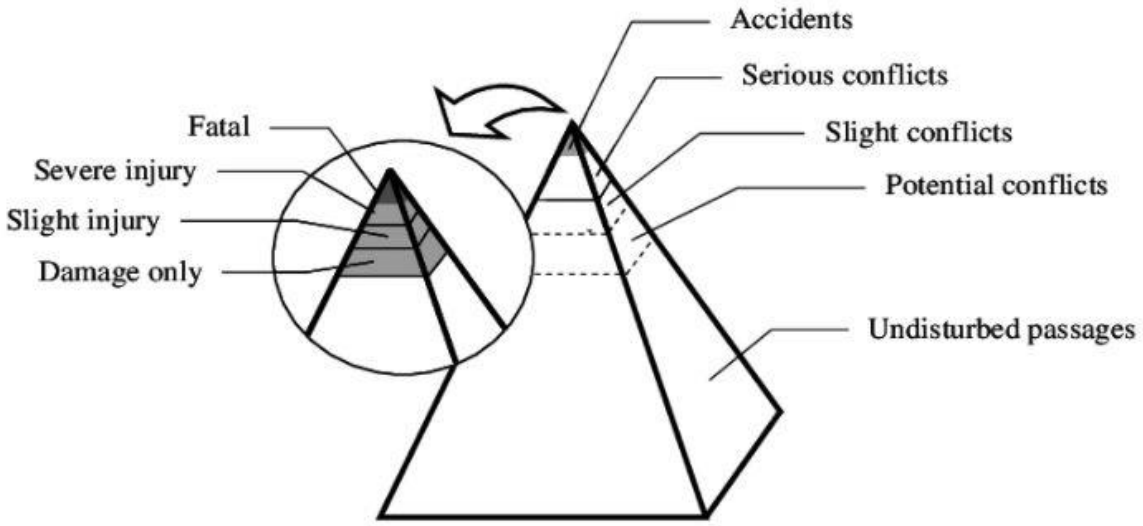
Εικόνα 2-17: Διάγραμμα επικινδυνότητας σύγκρουσης κατά Hyden (1987)

Όπως φαίνεται και από το διάγραμμα της εικόνας 2-17 η μέγιστη τιμή του TTC προσεγγίζει την τιμή 5, με βήμα 0,5 δευτερόλεπτα. Στο πρόγραμμα SSAM ως βασική μέγιστη τιμή για το μέγεθος αυτό έχει οριστεί το 1,5 δευτερόλεπτο, χρόνος που αυτόματα θεωρεί οποιαδήποτε πιθανή σύγκρουση με ταχύτητα άνω των 35 χιλιομέτρων/ώρα επικίνδυνη. Μια τέτοια μέγιστη τιμή όμως δεν θα ήταν σωστή στην εξέταση ενός σεναρίου όπου τα οχήματα κινούνται με ταχύτητες της τάξης των 100 χιλιομέτρων/ώρα, καθώς κάθε πιθανή σύγκρουση που θα εμφανιζόταν στο πρόγραμμα θα ήταν αυτομάτως άκρως επικίνδυνη. Επομένως, η μέγιστη τιμή του μεγέθους TTC κατά την ανάλυση θα πρέπει να ορίζεται ανάλογα με το υπό εξέταση δίκτυο και το συμπέρασμα που επιθυμεί να εξάγει ο χρήστης.

Όσον αφορά τη μέγιστη τιμή του PET, το λογισμικό SSAM έχει προκαθορισμένη τιμή τα 5 δευτερόλεπτα. Η μέγιστη τιμή που μπορεί να πάρει στην ανάλυση είναι τα 10 δευτερόλεπτα (ουσιαστικά 9,95) , τιμή όμως που θεωρητικά είναι αρκετά υψηλή και θα αποδίδει μεγάλο αριθμό πιθανών συγκρούσεων. Οι μέγιστες αυτές τιμές συμβαδίζουν με τις προτεινόμενες τιμές του ASSHTO (2004), βάσει του οποίου οι προτεινόμενες μέγιστες τιμές κυμαίνονται από 5,5 έως 12 δευτερόλεπτα. Όπως ισχύει για το TTC, έτσι και για το PET η τιμή θα πρέπει να ορίζεται αντίστοιχα με το υπό εξέταση δίκτυο και τη προσέγγιση του χρήστη κατά την ανάλυση.

Στην εικόνα που ακολουθεί παρουσιάζεται η "πυραμίδα" με τις πιθανές συγκρούσεις καθώς και οι διαστρωματώσεις που την αποτελούν, με βάση τις διαβάσεις χωρίς σύγκρουση και κορυφή τις άκρως σοβαρές. Στην κορυφή, όπως φαίνεται και στην εικόνα 2.8.2 παρουσιάζονται οι κατηγορίες που αποτελούνται από:

- Ανενόχλητες διαβάσεις οχημάτων
- Πιθανές συγκρούσεις
- Μικρές συγκρούσεις
- Σοβαρές συγκρούσεις
- Ατυχήματα



Εικόνα 2-18: Πυραμίδα πιθανών συγκρούσεων σε ένα οδικό δίκτυο

Ειδικότερα, στην κατηγορία των ατυχημάτων εμφανίζονται τέσσερις διαφορετικοί διαχωρισμοί. Η πρώτη κατηγορία αποτελείται από τα ατυχήματα στο οποία υπάρχουν μόνο υλικές ζημιές, χωρίς να υπάρχει σωματική ζημιά σε επιβάτη. Η δεύτερη κατηγορία αποτελείται από συγκρούσεις στις οποίες υπάρχουν ελαφριοί τραυματισμοί. Η τρίτη κατηγορία αποτελείται από συγκρούσεις στις οποίες παρουσιάζονται σοβαρά σωματικά τραύματα σε επιβάτες. Τέλος, η τέταρτη κατηγορία αποτελείται από ατυχήματα στα ως αποτέλεσμα της σύγκρουσης υπάρχουν νεκροί.

3. Μεθοδολογικό Πλαίσιο

3.1 Προσομοίωση οχημάτων-πεζών

3.1.1 Κωδικοποίηση στα προγράμματα Vissim-Viswalk

Ο σχεδιασμός ενός δικτύου μικροσκοπικής προσομοίωσης στα προγράμματα Vissim και Viswalk αποτελεί μια λεπτομερή διαδικασία. Το τελικό αποτέλεσμα εξαρτάται άμεσα από την ακρίβεια των δεδομένων εισόδου, δηλαδή από τον τρόπο που ο χρήστης επιλέγει να κατασκευάσει το δίκτυο. Καθώς τα προγράμματα αυτά έχουν πληθώρα επιλογών, κάποιες εκ των οποίων δεν χρησιμοποιούνται στην εργασία αυτή, θα γίνει αναφορά στα βασικά δεδομένα εισόδου.

Links - Οδικά τμήματα

Αποτελούν το πιο βασικό τμήμα στον σχεδιασμό ενός οδικού τμήματος. Είναι οδικά τμήματα τα οποία αποτελούνται από συνεχείς λωρίδες κυκλοφορίας προς μια ορισμένη κατεύθυνση. Το πλήθος των λωρίδων ανά κατεύθυνση επιλέγεται από τον χρήστη, με μέγιστο αριθμό 100 λωρίδες ανά κατεύθυνση. Κατά τη δημιουργία ενός link επιλέγεται από τον χρήστη το πλάτος της κάθε λωρίδας καθώς και η κατηγορία στην οποία ανήκει το τμήμα αυτό. Στην περίπτωση που το οδικό τμήμα είναι δύο κατευθύνσεων τότε τα τμήματα αυτά ορίζονται αυτόματα μέσω της επιλογής generate opposite direction. Τέλος, δίνεται η δυνατότητα ονοματολογίας του οδικού τμήματος ή η αρίθμηση του από τον χρήστη.

Link Geometry - Γεωμετρία των τμημάτων

Η γεωμετρία των τμημάτων μπορεί να αλλάξει αναλόγως, έτσι ώστε τα οδικά τμήματα να αναπαριστούν όσο πιο ρεαλιστικά γίνεται το υπό κατασκευή δίκτυο. Ένα τέτοιο τμήμα μπορεί να είναι απλώς ένα ευθύγραμμο τμήμα, μπορεί να είναι ένα καμπύλο τμήμα ή και συνδυασμός των δύο. Στην αρχή κάθε τμήμα κατασκευάζεται ως ευθύγραμμο και μέσω της επιλογής generate spline δημιουργούνται σημεία εντός του τμήματος, σημεία τα οποία ο χρήστης μετακινεί κατά βούληση δημιουργώντας έτσι τη ζητούμενη καμπύλη. Η ακρίβεια της καμπύλης εξαρτάται από τον αριθμό που εισάγει ο χρήστης στο παράθυρο που ανοίγει μετά την εντολή (spline points per segment).

Nodes - Κόμβοι

Ο κόμβος είναι μια περιοχή εντός δικτύου όπου τα οχήματα μπορούν να αλλάζουν κατεύθυνση. Μπορεί να έχει ένα η περισσότερα οδικά τμήματα συνδεδεμένα με αυτόν, τόσο στην προέλευση όσο και στον προορισμό. Στον σχεδιασμό ουσιαστικά δημιουργείται ένα πολύγωνο με το οποίο ο χρήστης επιλέγει οδικά τμήματα που επικαλύπτονται και τα χαρακτηρίζει ως κόμβο, με σκοπό να εισάγει στην πορεία τις απαραίτητες κατευθύνσεις.

Desired speed decision - Επιθυμητό όριο ταχύτητας οδικού τμήματος

Εισάγεται ξεχωριστά σε κάθε οδικό τμήμα με σκοπό να δημιουργηθεί μια ενιαία επιθυμητή ταχύτητα στο οδικό τμήμα. Ορίζεται σε ένα συγκεκριμένο σημείο του τμήματος και υπάρχει δυνατότητα να παραμείνει ενεργό για συγκεκριμένο χρονικό διάστημα. Το χρονικό διάστημα όπως και το σημείο ορίζονται μέσω του παραθύρου που ανοίγει από το πρόγραμμα έπειτα από την αντίστοιχη εντολή.

Detectors - Φορατές ή Ανιχνευτές

Οι φορατές ή ανιχνευτές μπορούν να τοποθετηθούν σε οποιοδήποτε σημείο του οδικού δικτύου επιθυμεί ο χρήστης. Είναι δυνατόν να τοποθετηθούν σε κάθε λωρίδα του οδικού τμήματος ή σε επιλεγμένες λωρίδες. Βασική λειτουργία τους είναι η μέτρηση και καταγραφή του πλήθος των οχημάτων που διέρχονται από τη διατομή.

Vehicle types - Τύποι Οχημάτων

Οι τύποι οχημάτων αποτελούν κάποιες έτοιμες κατηγορίες οχημάτων στις οποίες έχουν καθοριστεί συγκεκριμένα φυσικά χαρακτηριστικά για την μοντελοποίηση τους στο περιβάλλον του προγράμματος. Στις κατηγορίες οχημάτων ο χρήστης μπορεί να προσθέσει κάποια νέα κατηγορία ορίζοντας ο ίδιος τα φυσικά χαρακτηριστικά της. Στο Vissim σαν έτοιμες κατηγορίες εμφανίζονται απλά αυτοκίνητα, δίκυκλα, λεωφορεία και τραμ. Επιπλέον μπορεί να ορισθεί πεζός ο οποίος όμως κινείται στο δίκτυο ακολουθώντας τα χαρακτηριστικά κίνησης των οχημάτων.

Signal Heads - Φωτεινή Σηματοδότηση

Ορίζει τις κινήσεις που γίνονται από ένα ρεύμα όταν ο φωτεινός σηματοδότης δείξει πράσινη ένδειξη. Ορίζεται ένας κύκλος φωτεινής σηματοδότησης στον κόμβο, χωρισμένος σε στάδια, όπου σε κάθε ενα δίνεται πράσινη ένδειξη σε ένα διαφορετικό ρεύμα. Ο χρόνος που διαρκεί ο κύκλος καθώς και οι επιμέρους χρόνοι των διαφορετικών σταδίων ορίζονται από τον χρήστη.

Vehicle Inputs - Εισαγωγή Οχημάτων

Σε κάθε τμήμα που έχει δημιουργηθεί εισάγεται φόρτος οχημάτων μέσω της επιλογής vehicle inputs. Έπειτα από την εντολή εισάγεται ο κυκλοφοριακός φόρτος, επιλέγεται όμως και η σύνθεση της κυκλοφορίας, δηλαδή από τι είδη οχημάτων απαρτίζεται και σε τι ποσοστά (vehicle composition). Στα σημεία όπου επιλέγονται οι εισαγωγές οχημάτων, ορίζονται ουσιαστικά οι προελεύσεις των οχημάτων εντός του δικτύου.

Vehicle Routes - Προορισμοί Οχημάτων

Όταν εισάγονται οι προορισμοί των οχημάτων (vehicle routes) ορίζονται όλες οι κατευθύνσεις που ακολουθούν τα οχήματα. Έπειτα από όλες τις πιθανές επιλογές ορίζεται βάσει ποσοστών ο διαχωρισμός του φόρτου σε κάθε διαφορετική κατεύθυνση. Αφού ορισθούν τα ποσοστά στρεφουσών τα οχήματα έχουν ολοκληρωμένη κίνηση καθώς υπάρχουν επαρκή στοιχεία προέλευσης και προορισμού.

Areas - Περιοχές

Μέσω της εντολής areas δημιουργούνται περιοχές που αφορούν κυρίως τους πεζούς του δικτύου. Δημιουργείται ένα πολύγωνο ή ένα κυκλικό τμήμα το οποίο στη συνέχεια μπορεί να χαρακτηριστεί από τον χρήστη με διάφορους τρόπους, όπως για παράδειγμα μια πλατεία, ένα πεζοδρόμιο, μία σκάλα, ένας ανελκυστήρας ή κάποιου είδους εμπόδιο. Επίσης μέσω του παραθύρου μπορούν να ορισθούν επιπλέον χαρακτηριστικά της περιοχής όπως για παράδειγμα αν αποτελεί περιοχή αναμονής για πεζούς ή πλατφόρμα αναμονής σε κάποιο ΜΜΜ. Αξίζει να σημειωθεί πως για τις κατασκευές ραμπών, σκαλών και ανελκυστήρων υπάρχουν ήδη εντολές στην αριστερή στήλη του προγράμματος, με όνομα Ramps & Stairs και Elevators αντίστοιχα.

Pedestrian types – Τύποι πεζών

Όπως και στα οχήματα το πρόγραμμα Viswalk έχει διαφορετικές κατηγορίες πεζών. Ήδη υπάρχουν κάποιες προκαθορισμένες κατηγορίες, η κάθε μια με τα δικά της χαρακτηριστικά. Τα χαρακτηριστικά αυτά έχουν να κάνουν με τις διαστάσεις του ατόμου καθώς και με τη συμπεριφορά του στο δίκτυο. Οι πιο βασικές από αυτές είναι οι εξής:

- Άντρες
- Γυναίκες
- Γυναίκες με παιδιά
- Άτομα με κινητική αναπηρία, τα οποία για την κίνηση τους χρειάζονται αναπηρικό καροτσάκι

Βεβαίως όπως ακριβώς και στα οχήματα το πρόγραμμα δίνει στον χρήστη τη δυνατότητα να δημιουργήσει δικούς του τύπους πεζών και να ορίσει αυτός τα χαρακτηριστικά που θέλει να έχουν. Τα χαρακτηριστικά των πεζών επηρεάζουν τον τρόπο που κινούνται στο δίκτυο καθώς και την αναπαράσταση τους σε περίπτωση που εξετάζεται η προσομοίωση σε 3D μοντέλο.

Pedestrian Inputs - Εισαγωγή Πεζών

Μέσω της εντολής pedestrian inputs ο χρήστης ορίζει τα σημεία προέλευσης των πεζών, τα σημεία δηλαδή στα οποία εμφανίζονται οι πεζοί στην προσομοίωση. Τα σημεία αυτά απεικονίζονται στο πρόγραμμα με έναν μικρό κύκλο και μπορούν να οριστούν μόνο σε περιοχές που έχουν χαρακτηριστεί ως κατάλληλες για πεζούς. Έπειτα ο χρήστης ορίζει στο παράθυρο το πλήθος των πεζών που θα εισέρχονται από το σημείο αυτό, τους τύπους των πεζών που απαρτίζουν το πλήθος αυτό καθώς και τον χρόνο που θα κάνει το πρόγραμμα να τους εμφανίσει όλους στην προσομοίωση. Επιπλέον δίνονται δύο επιλογές: στοχαστική και ντετερμινιστική. Στην πρώτη επιλογή το πρόγραμμα εμφανίζει στην προσομοίωση διαφορετικό αριθμό πεζών στο δίκτυο στοχαστικά (stochastic volume type), αριθμό όμως κοντινό σε αυτόν που έχει οριστεί απλά διαφορετικό σε κάθε "τρέξιμο" του σεναρίου. Στη δεύτερη περίπτωση το πρόγραμμα εισάγει τον ακριβή αριθμό των πεζών που θα εμφανιστούν στο δίκτυο (exact volume type).

Pedestrian Routes - Προορισμοί πεζών

Εφόσον έχουν ορισθεί όλες οι ζητούμενες προσθήκες πεζών στο δίκτυο πρέπει να δοθεί στις ομάδες αυτές ένας προορισμός. Αυτό επιτυγχάνεται μέσα από την εντολή pedestrian routes. Ο χρήστης ενώνει την περιοχή προέλευσης των πεζών με την επιθυμητή/επιθυμητές περιοχές προορισμού. Στη συνέχεια ορίζει τους επιμέρους φόρτους πεζών που θα ακολουθήσουν την κάθε κατεύθυνση μέσω της επιλογής relative flows, ξανά με τη χρήση συντελεστή που μεταφράζεται σε ποσοστό επί των συνολικών πεζών της συγκεκριμένης προέλευσης. Η διαδικασία πρέπει να επαναληφθεί τόσες φορές όσες και οι περιοχές που έχουν ορισθεί ως περιοχές προέλευσης. Κάθε route μπορεί να γίνει πιο συγκεκριμένο αφού το πρόγραμμα δίνει τη δυνατότητα ορισμού της ακριβούς πορείας των πεζών μέσα στο δίκτυο. Έτσι για παράδειγμα επιτυγχάνεται η δημιουργία συγκεκριμένων διαδρομών για ένα ποσοστό των πεζών οι οποίοι προτού φτάσουν στην περιοχή προορισμού σταματούν στα μέσα της πορείας τους για να παρακολουθήσουν κάτι και στη συνέχεια συνεχίζουν κανονικά την πορεία τους.

Simulation Parameters - Παράμετροι της προσομοίωσης

Η πρώτη παράμετρος που ορίζεται στο πρόγραμμα Vissim – Viswalk είναι η επιλογή μεταξύ μικροσκοπικού και μεσοσκοπικού σεναρίου. Εκτός από τις δύο αυτές επιλογές υπάρχει και η

επιλογή υβριδικού σεναρίου στο οποίο η προσομοίωση λειτουργεί με τα πρότυπα της μεσοσκοπικής προσομοίωσης όμως δίνει τη δυνατότητα μικροσκοπικής προσομοίωσης για κάποια τμήματα του δικτύου.

Μία βασική παράμετρος που ορίζεται είναι το πλήθος των επαναλήψεων που θα "τρέξει" το κάθε σενάριο. Ορίζεται από τον χρήστη και παίζει σημαντικό ρόλο καθώς στα σύγχρονα σενάρια ζητείται μεγάλος αριθμός από επαναλήψεις με σκοπό να αποτυπωθεί με πιο αντιπροσωπευτικό τρόπο η κυκλοφορία, η οποία διακρίνεται από στοχαστικότητα και παρουσιάζει διαφοροποιήσεις μεταξύ των επιμέρους επαναλήψεων. Στα απλά σενάρια προτείνεται από 5 έως 20 επαναλήψεις, ενώ σε σενάρια δυναμικής προσομοίωσης προτείνεται αριθμός επαναλήψεων άνω των 20.

Έπειτα, ορίζονται οι χρονικές παράμετροι, δηλαδή ο χρόνος που διαρκεί η προσομοίωση (σε δευτερόλεπτα), ο χρόνος που θα ξεκινήσει η καταγραφή καθώς και η ημερομηνία καταγραφής του σεναρίου. Η ημερομηνία σχετίζεται κυρίως με σενάρια που χρησιμοποιούν δεδομένα φωτεινής σηματοδότησης σε πραγματικές συνθήκες και ακολουθούν τη μορφή DD/MM/YYYY.

Η πιο βασική ίσως παράμετρος που ζητείται να ορισθεί είναι η ανάλυση της προσομοίωσης (simulation resolution). Η ανάλυση επηρεάζει άμεσα τη συμπεριφορά των οχημάτων, των πεζών και τον τρόπο που αλληλεπιδρούν. Για τον λόγο αυτό είναι πιθανό το ίδιο σενάριο με διαφορετική ανάλυση κατά την προσομοίωση να παρουσιάσει διαφορετικά αποτελέσματα. Ουσιαστικά η ανάλυση μεταφράζεται σε αριθμό χρονικών βημάτων ανά δευτερόλεπτο προσομοίωσης. Πιο συγκεκριμένα η θέση των οχημάτων υπολογίζεται αναλογικά με τον αριθμό του χρονικού βήματος. Αντίστοιχα για τους πεζούς η θέση υπολογίζεται 20 φορές ανά δευτερόλεπτο προσομοίωσης. Το ίδιο ισχύει για τους πεζούς ακόμη και αν μειωθεί ο αριθμός των χρονικών βημάτων. Η ανάλυση ακόμη επηρεάζει:

- Το πόσο συχνά ενημερώνεται η κίνηση των πεζών ανά δευτερόλεπτο προσομοίωσης
- Το πόσο συχνά μπορούν να ξανά εισέλθουν στην προσομοίωση οι πεζοί ανά δευτερόλεπτο προσομοίωσης
- Τη συχνότητα στην επιλογή κατεύθυνσης των πεζών ανά δευτερόλεπτο προσομοίωσης
- Τη συχνότητα αποτίμησης που μπορεί να υποστηρίξει το πρόγραμμα ανά δευτερόλεπτο

Το εύρος τιμών που μπορούν να δοθούν είναι ακέραιοι από το 1 έως το 20. Αν δοθεί τιμή κάτω από 5, τότε οι κινήσεις στο δίκτυο εμφανίζονται λιγότερο ομαλά. Παρότι μια τέτοια χαμηλή τιμή επιταχύνει την ολοκλήρωση της προσομοίωσης, δεν μπορεί να θεωρηθεί κατάλληλη για ένα ολοκληρωμένο τελικό σενάριο από το οποίο ο χρήστης θα εξάγει συμπεράσματα. Οι τιμές από 5 έως 10 τείνουν να αποδίδουν ένα πιο ρεαλιστικό αποτέλεσμα και αποτελούν τιμές κατάλληλες για ένα τελικό σενάριο. Τέλος, οι τιμές από 10 έως 20 αποδίδουν ομαλές κινήσεις στο δίκτυο και προτείνονται για προσομοιώσεις υψηλής ανάλυσης. Σαφώς σε τέτοιου είδους παραμέτρους ο χρήστης πρέπει να λαμβάνει υπόψη την υπολογιστική ισχύ που έχει στη διάθεσή του, καθώς υψηλές τιμές μπορεί να καθυστερούν αρκετά την ολοκλήρωση ενός 'τρεξίματος'.

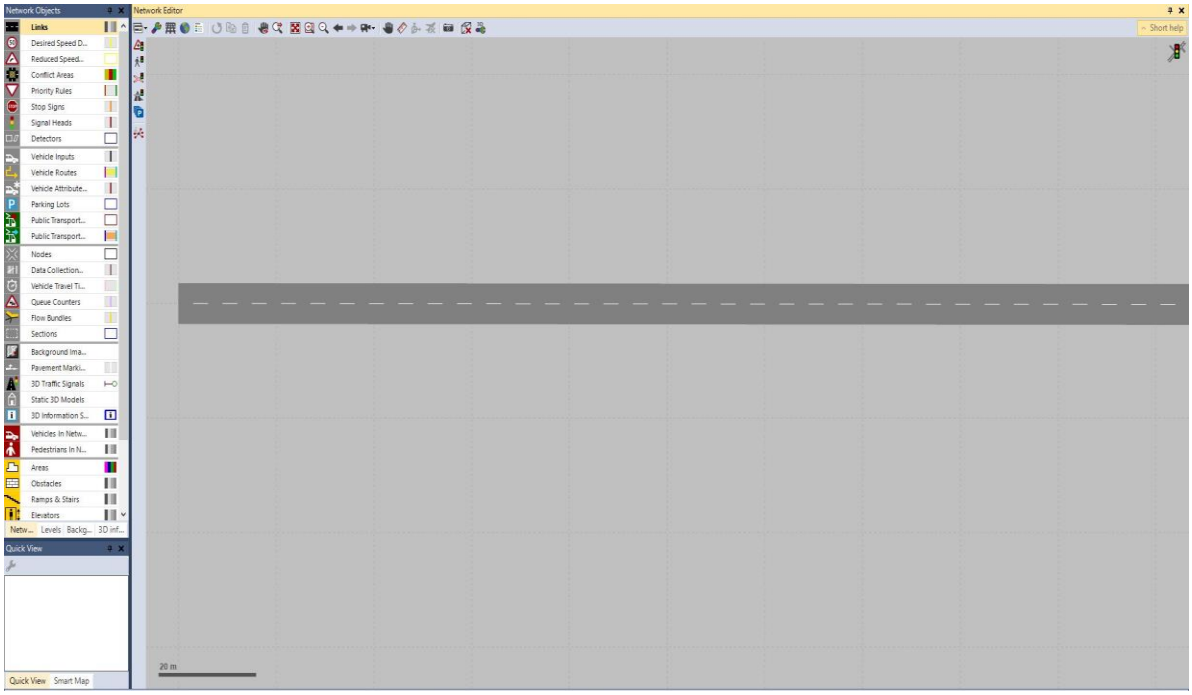
Μία ακόμη παράμετρος είναι η ταχύτητα της προσομοίωσης. Η παράμετρος αυτή εκφράζει την αντιστοιχία των δευτερολέπτων στην προσομοίωση με τα πραγματικά δευτερόλεπτα. Όταν ζητούμενο είναι ο χρόνος στην προσομοίωση να ακολουθεί την πραγματική ροή του χρόνου, τότε παίρνει τιμή 1,0. Σε περίπτωση που ζητούμενο είναι να τρέχει με διπλάσια ταχύτητα τότε

αποδίδεται τιμή 2,0 και ούτω καθεξής. Στην περίπτωση που δεν ενδιαφέρει τον χρήστη η οπτική παρατήρηση του σεναρίου έχει την επιλογή να ορίσει μέγιστη ταχύτητα. Η επιλογή αυτή δεν επηρεάζει το αποτέλεσμα της προσομοίωσης και μπορεί να αλλάξει ακόμη κατά τη διάρκεια της προσομοίωσης. Ξανά πρέπει να αναφερθεί όμως ότι αν η υπολογιστική ισχύς δεν είναι αρκετή, πιθανώς να μην επιτευχθεί η επιθυμητή ταχύτητα.

Τέλος, ο χρήστης ορίζει τον αριθμό των πυρήνων του υπολογιστή που θα απασχολήσει η προσομοίωση. Προτεινόμενη επιλογή είναι η χρήση όλων των πυρήνων, για την ταχύτερη ολοκλήρωση του σεναρίου. Αν στο σενάριο έχει επιλεχθεί η δυναμική προσέγγιση τότε το λογισμικό χρησιμοποιεί όλους τους πυρήνες ανεξάρτητα από την προεπιλογή που έχει κάνει ο χρήστης. Στην περίπτωση που τα σενάρια δεν είναι δυναμικά ο αριθμός των επιλεγμένων πυρήνων αποθηκεύεται στο αρχείο δικτύου με κατάληξη .inpx.

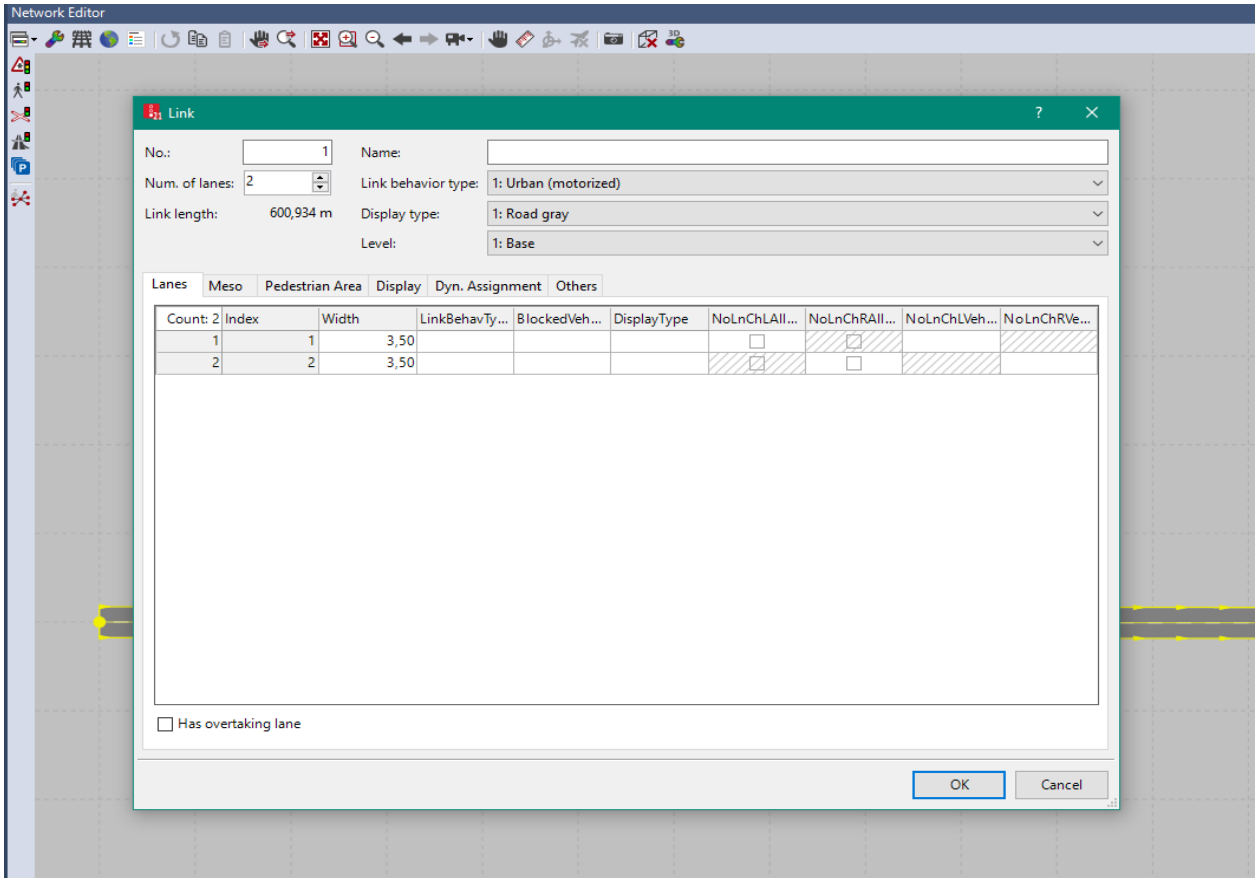
3.1.2 Διαδικασία προσομοίωσης

Το πρώτο βήμα στη δημιουργία ενός σεναρίου αποτελεί η κατασκευή του στο λογισμικό Viswalk. Ξεκινώντας, μέσω της εντολής link και στη συνέχεια με χρήση του δεξιού κλικ σε συνδυασμό με το κουμπί control δημιουργείται το οδικό τμήμα. Ο χρήστης σέρνει το ποντίκι καθορίζοντας έτσι το μήκος του οδικού τμήματος αλλά και την κατεύθυνση του.



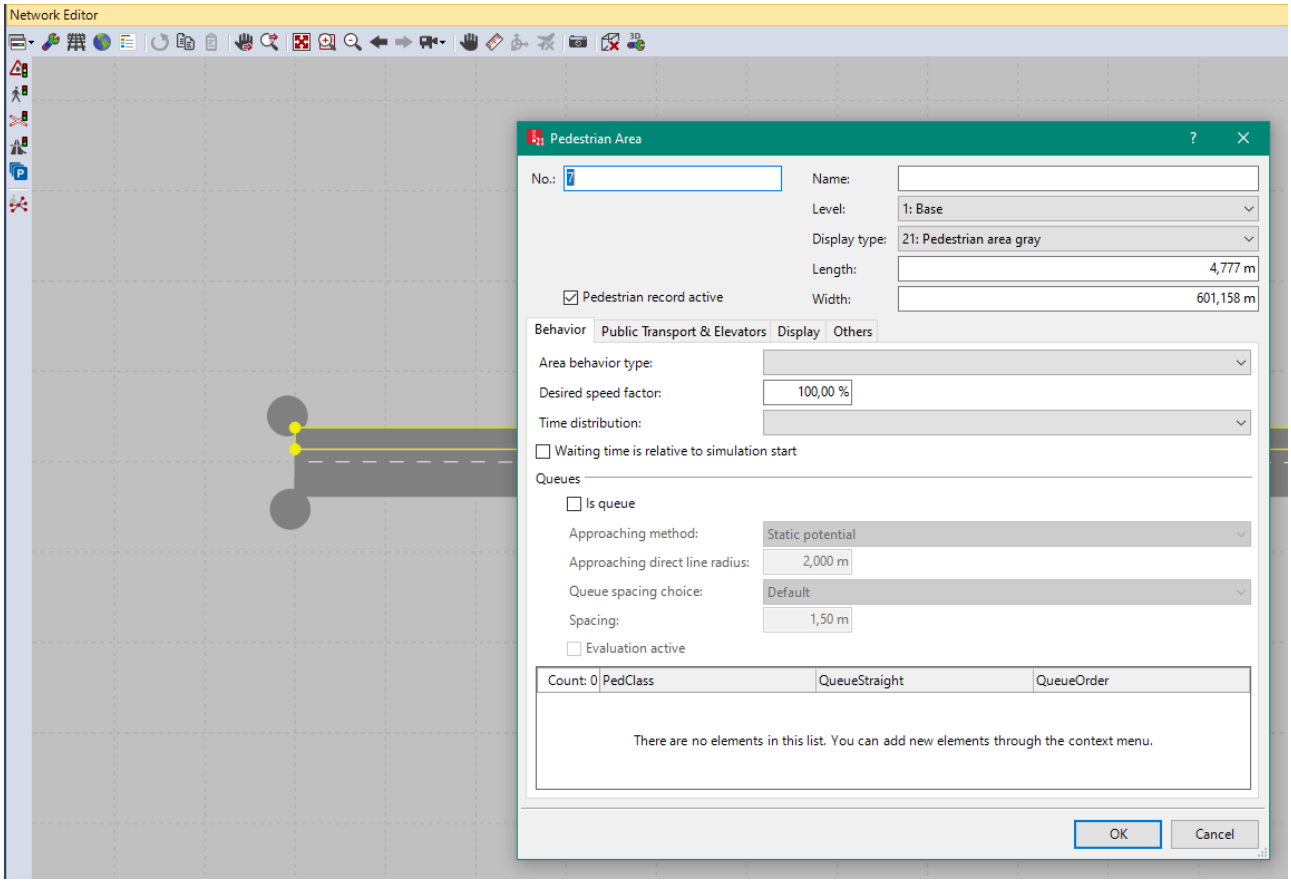
Εικόνα 3-1: Δημιουργία οδικού τμήματος στο λογισμικό Vissim

Όταν ολοκληρωθεί η διαδικασία της δημιουργίας ο χρήστης καλείται να επιλέξει τα χαρακτηριστικά που θέλει να αποδώσει στο οδικό δίκτυο. Στα σενάρια της εργασίας αυτής ορίστηκε αστικός δρόμος μιας κατεύθυνσης με δύο λωρίδες κυκλοφορίας και πλάτος 3,5 μέτρα η κάθε μία. Όπως φαίνεται και στην εικόνα που ακολουθεί τα χαρακτηριστικά αυτά ορίζονται έπειτα από διπλό αριστερό κλικ πάνω στο οδικό τμήμα. Οι επιλογές αστικού τμήματος, ο τρόπος λειτουργίας του αλλά και το επίπεδο στο οποίο ανήκει επιλέγονται διαδοχικά από τις ρυθμίσεις link behavior type, display type και level.



Εικόνα 3-2: Ορισμός χαρακτηριστικών στο οδικό δίκτυο

Επόμενο βήμα αποτελεί η δημιουργία περιοχών που δραστηριοποιούνται οι πεζοί του εκάστοτε σεναρίου. Οι περιοχές αυτές ουσιαστικά αποτελούνται από πεζοδρόμια δίπλα στο οδικό δίκτυο αλλά και περιοχές προέλευσης των πεζών. Επειδή οι πεζοί όταν φτάνουν στην περιοχή που έχει ορισθεί ως προορισμός εξαφανίζονται από το δίκτυο, είναι αναγκαίο να δημιουργηθούν επιπλέον περιοχές έτσι ώστε να ορισθούν ως προορισμοί και να αποφευχθεί η πρόωρη έξοδος των πεζών από την προσομοίωση. Ακολουθώντας την ίδια ακριβώς διαδικασία με τη δημιουργία του οδικού τμήματος ο χρήστης σχεδιάζει τις περιοχές των πεζών. Η μόνη διαφορά είναι πως στην περίπτωση αυτή γίνεται επιλογή της κατηγορίας area από το παράθυρο επιλογών που βρίσκεται στην αριστερή πλευρά του λογισμικού. Ο χρήστης έπειτα επιλέγει τη γεωμετρία της περιοχής που θα σχεδιαστεί, διαλέγοντας ορθογώνιο, κυκλικό η πολυγωνικό σχήμα. Στην εργασία αυτή κατασκευάστηκαν τα πεζοδρόμια παράλληλα στο οδικό τμήμα εκατέρωθέν του. Στη συνέχεια κατασκευάστηκαν τέσσερις κυκλικές περιοχές πεζών που θα αποτελούν περιοχές προέλευσης και προορισμού αντίστοιχα. Οι περιοχές αυτές σχεδιάστηκαν στα άκρα του δικτύου έτσι ώστε οι πεζοί να διανύουν όλο το δίκτυο, χωρίς να εξαφανίζονται πρόωρα. Αντίστοιχα με τα χαρακτηριστικά που ορίστηκαν στο τμήμα του οδικού δικτύου, έτσι κι εδώ, με διπλό αριστερό κλικ ανοίγει το παράθυρο των ρυθμίσεων. Όπως φαίνεται στην εικόνα που ακολουθεί ορίζονται τα μεγέθη μήκους και πλάτους της εκάστοτε περιοχής, το επίπεδο στο οποίο θα ανήκουν οι περιοχές αυτές, καθώς και κάποιοι κανόνες που θα ακολουθούν οι πεζοί στην περιοχή αυτή όπως η επιθυμητή ταχύτητα βάση ποσοστού επί τοις εκατό και αν η περιοχή αυτή αποτελεί περιοχή στην οποία δημιουργείται ουρά (queue).



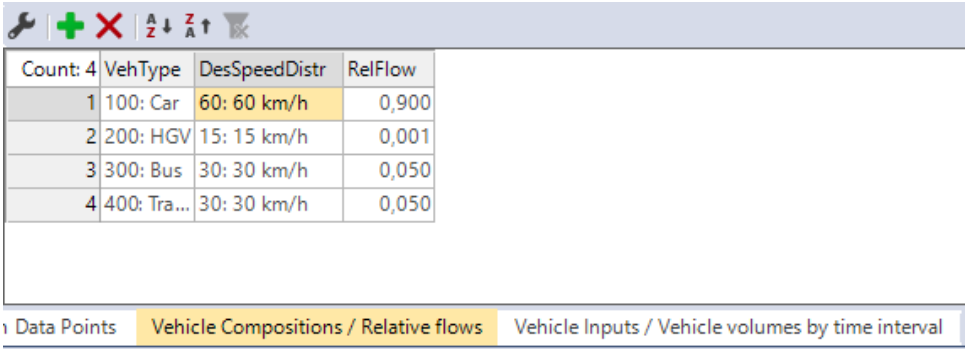
Εικόνα 3-3: Ρυθμίσεις που αφορούν τις περιοχές των πεζών

Βασικό τμήμα στην κατασκευή του δικτύου αποτελούν οι διαβάσεις για τους πεζούς. Είναι περιοχές στις οποίες θα πρέπει να έχουν ταυτόχρονα πρόσβαση και οι πεζοί αλλά και τα οχήματα. Επομένως τα τμήματα αυτά θα δημιουργηθούν στο δίκτυο ως links και στη συνέχεια θα χαρακτηριστούν και ως περιοχές στις οποίες επιτρέπεται η διάβαση για τους πεζούς. Ακολουθώντας την ίδια διαδικασία λοιπόν δημιουργούνται όσες διαβάσεις χρειάζονται ανά σενάριο. Στη συνέχεια μέσω της επιλογής pavement markings ορίζεται η χρήση "ζέβρας" σε κάθε μια από αυτές.

Επόμενο βήμα είναι η εισαγωγή φόρτου οχημάτων στο δίκτυο. Για να γίνει όμως αυτό πρέπει να γίνει αναφορά σε όλα τα χαρακτηριστικά που πρέπει να ορισθούν. Αρχικά ορίζονται τα χαρακτηριστικά κίνησης για κάθε διαφορετική κατηγορία οχήματος που θα εισέρχεται στο δίκτυο. Ανοίγοντας την καρτέλα με όνομα συμπεριφορές οδήγησης (driving behaviors) ορίζονται κατηγορίες με διαφορετικές οδηγικές συμπεριφορές. Σε αυτή την περίπτωση γίνεται επιλογή της urban (motorized) συμπεριφοράς κατά την οποία τα οχήματα ακολουθούν το μοντέλο του Wiedemann 74, δίνοντας την ελεύθερη επιλογή στα οχήματα να αλλάξουν λωρίδα καθώς αυτά έχουν προγραμματιστεί να κινούνται στο κέντρο της λωρίδας. Έπειτα μέσω της καρτέλας με όνομα τύποι οχημάτων (vehicle types) ορίζονται οι βασικές κατηγορίες οχημάτων που θα αποτελέσουν τελικά το σύνολο της κυκλοφορίας. Οι κατηγορίες που δημιουργούνται είναι οι εξής:

- Επιβατικό όχημα
- Λεωφορείο
- Τραμ
- Βαρέα οχήματα
- Επαγγελματικά ημιφορτηγά
- Μοτοσικλέτα

Για κάθε μια από τις κατηγορίες αυτές ορίζονται οι ονομασίες, οι επιθυμητές ταχύτητες εντός του οδικού τμήματος, τα γεωμετρικά χαρακτηριστικά, το χρώμα για την οπτική αναπαράσταση στην προσομοίωση καθώς και ο αριθμός των ατόμων που μπορούν να μεταφέρουν. Τελικό βήμα για τη δημιουργία του κυκλοφοριακού φόρτου αποτελεί ο ορισμός των σχετικών φόρτων ανά κατηγορία οχήματος. Στο σενάριο αυτό καθώς μιλάμε για αστική οδό εντός πόλης θα έχουμε μεγάλα ποσοστά από επιβατικά οχήματα και επαγγελματικά ημιφορτηγά, μικρότερα ποσοστά από λεωφορεία και τραμ και ελάχιστα βαρέα οχήματα. Αυτά ορίζονται αναλυτικά στην καρτέλα vehicle compositions / relative flows όπου δίνεται η δυνατότητα δημιουργίας παραπάνω του ενός κυκλοφοριακού φόρτου με διαφορετικά ποσοστά από κάθε κατηγορία. Στην εικόνα που ακολουθεί φαίνονται οι τύποι των οχημάτων, οι επιθυμητές ταχύτητες που έχουν ορισθεί στα πλαίσια του αστικού δρόμου καθώς και οι σχετικοί φόρτοι κατά τη διάρκεια της δημιουργίας τους.



Count: 4	VehType	DesSpeedDistr	RelFlow
1	100: Car	60: 60 km/h	0,900
2	200: HGV	15: 15 km/h	0,001
3	300: Bus	30: 30 km/h	0,050
4	400: Tra...	30: 30 km/h	0,050

Data Points | Vehicle Compositions / Relative flows | Vehicle Inputs / Vehicle volumes by time interval

Εικόνα 3-4: Καρτέλα δημιουργίας κυκλοφοριακού φόρτου

Μια παρατήρηση που αξίζει να γίνει είναι ο ορισμός κατώτερων/ανώτερων τιμών σε κάθε διαφορετική κατηγορία επιθυμητής ταχύτητας. Αυτό ορίζεται από την καρτέλα επιτρεπτής απόκλισης όσο αφορά την επιθυμητή ταχύτητα. Από εκεί ο χρήστης ορίζει τα όρια (lower bound/upper bound) σε κάθε μια κατηγορία. Στα σενάρια ορίστηκαν σε όλες τις επιθυμητές ταχύτητες που χρησιμοποιήθηκαν επιτρεπτές αποκλίσεις της τάξης των 5 χλμ/ώρα, δηλαδή στην περίπτωση των επιβατικών οχημάτων ελάχιστη τιμή τα 55 χλμ/ώρα και μέγιστη τιμή τα 65 χλμ/ώρα. Αντίστοιχα ορίζονται σε όλες τις κατηγορίες ταχυτήτων που θα χρησιμοποιηθούν.

Επόμενο βήμα αποτελεί ο ορισμός των σημείων προέλευσης των οχημάτων καθώς και τα σημεία προορισμού τους. Η διαδικασία αυτή γίνεται μέσω της καρτέλας ορισμού διαδρομών (vehicle routes). Μέσω πάλι του συνδυασμού ctrl + δεξιού κλικ πάνω στο σημείο που ο χρήστης επιθυμεί ορίζεται ένα σημείο προέλευσης και ουσιαστικά η αρχή μιας διαδρομής. Στη συνέχεια, κρατώντας πατημένο το δεξί κλίκ ο χρήστης "σχεδιάζει" τη διαδρομή μέχρι το τελικό σημείο, στο οποίο και τα οχήματα έχουν φτάσει στον προορισμό τους. Στο σημείο αυτό τα οχήματα εξαφανίζονται από το δίκτυο καθώς η διαδρομή τους στην προσομοίωση έχει

ολοκληρωθεί. Ο χρήστης επαναλαμβάνει τη διαδικασία αν θέλει να δημιουργήσει παραπάνω διαδρομές ή αν θέλει να ορίσει και άλλα σημεία προέλευσης οχημάτων. Είναι αναγκαίο όμως σε κάθε σημείο προέλευσης να ορίζεται το λιγότερο μια διαδρομή, αλλιώς η προσομοίωση δεν θα τρέξει ομαλά. Τελικό βήμα για την ομαλή λειτουργία της προσομοίωσης όσον αφορά το κομμάτι των οχημάτων αποτελεί ο ορισμός του κυκλοφοριακού φόρτου. Στην καρτέλα ορισμού φόρτου (vehicle inputs) ορίζονται οι φόρτοι για κάθε σημείο προέλευσης οχημάτων στο δίκτυο. Ταυτόχρονα με την αριθμητική τιμή του φόρτου οχημάτων ορίζονται επίσης και η σύνθεση της κυκλοφορίας (vehicle composition), ο χρόνος που θα δραστηριοποιούνται εντός προσομοίωσης (time interval), ορισμένος σε δευτερόλεπτα προσομοίωσης όπως και η επιλογή ντετερμινιστικού ή στοχαστικού φότου. Στην πρώτη περίπτωση εμφανίζεται ο ακριβής αριθμός των οχημάτων στη διάρκεια της προσομοίωσης, ενώ στη στοχαστική επιλογή ο αριθμός αυτός διαφοροποιείται ελάχιστα ανά αναπαραγωγή, και κυμαίνεται γύρω από την τιμή που δόθηκε.

Εφόσον ελεγχθεί, μέσω μιας αναπαραγωγής, πως τα οχήματα κινούνται ομαλά στο δίκτυο και η διαδικασία ολοκληρώνεται ομαλά, σειρά έχουν οι πεζοί. Η λογική είναι παρόμοια, όμως έχει κάποιες βασικές διαφορές. Αρχικά το πρόγραμμα Vissim έχει από μόνο του επιλογή ορισμού πεζών εντός του δικτύου, χωρίς να γίνεται χρήση της επέκτασης Viswalk. Στην περίπτωση που οριστούν όμως μέσω του Vissim οι πεζοί του δικτύου, η κίνηση που ακολουθεί το μοντέλο του Wiedemann και ουσιαστικά οι πεζοί αντιμετωπίζονται ως οχήματα με γεωμετρικά χαρακτηριστικά πεζών. Αυτό όπως είναι φυσικό είναι μια επιλογή ανάγκης καθώς περιορίζει σε πολύ μεγάλο βαθμό την ελευθερία κινήσεων τους, κάνοντας τους να λειτουργούν περισσότερο σαν οχήματα και λιγότερο σαν πεζοί. Καθώς όμως υπάρχει η επιλογή της επέκτασης Viswalk, οι πεζοί θα ορισθούν μέσω αυτού για να επιτευχθεί η πιο ρεαλιστική κίνηση τους εντός του δικτύου. Το SFM, στο οποίο στηρίζεται η κίνηση των πεζών που εισάγονται από το Viswalk παρουσιάζει σημαντικά πλεονεκτήματα τόσο στα διαφορετικά χαρακτηριστικά με τα οποία μπορεί να πειραματιστεί ο χρήστης όσο και στη πληθώρα επιλογών για δημιουργία ειδικών καταστάσεων, όπως για παράδειγμα η διαδικασία δημιουργίας ουράς, που δεν υπάρχει αντίστοιχα για οχήματα. Σε όλα τα σενάρια της εργασίας αυτής οτιδήποτε έχει να κάνει με πεζούς ορίζεται μέσω του Viswalk.

Πρώτο βήμα, εφόσον έχουν κατασκευαστεί οι υποδομές στις οποίες μπορούν να μετακινηθούν οι πεζοί, αποτελεί ο ορισμός των σημείων προέλευσης. Τα σημεία προέλευσης των πεζών μπορούν να τοποθετηθούν σε οποιοδήποτε σημείο μιας περιοχής η οποία έχει χαρακτηριστεί ως περιοχή για πεζούς. Στα σενάρια που δημιουργήθηκαν τα σημεία προέλευσης των πεζών επιλέχθηκαν να είναι στις τέσσερις γωνίες του δικτύου και πιο συγκεκριμένα στις μικρές κυκλικές περιοχές που έχουν σχεδιαστεί. Η εισαγωγή ενός σημείου προέλευσης γίνεται ξανά μέσω του συνδυασμού ctrl + δεξιού κλικ. Έπειτα στο παράθυρο εισαγωγής φόρτου πεζών έχουν εμφανιστεί όλα τα διαφορετικά σημεία εισαγωγής στα οποία ο χρήστης εισάγει τις αριθμητικές τιμές που επιθυμεί. Στο ίδιο παράθυρο επιλέγει επίσης και τον συνδυασμό των διαφορετικών πεζών που θα αποτελούν τον συνολικό φόρτο (pedestrian composition).

Η διαδικασία για τον ορισμό των χαρακτηριστικών των πεζών θυμίζει αρκετά αυτή που ακολουθήθηκε στα οχήματα. Ανοίγοντας την καρτέλα με όνομα τύποι πεζών (pedestrian types) ο χρήστης ορίζει διαφορετικούς τύπους πεζών, ορίζοντας τα γεωμετρικά τους χαρακτηριστικά, την ονομασία και τη συμπεριφορά που ακολουθούν (walking behaviour). Επιπλέον χαρακτηριστικά που έχουν να κάνουν με την απεικόνιση τους στην προσομοίωση, όπως το χρώμα που απεικονίζονται στις δύο διαστάσεις ή το χρώμα της μπλούζας που φοράνε στις

τρεις διαστάσεις μπορούν να ορισθούν από την καρτέλα pedestrian classes/pedestrian types. Οι βασικοί τύποι πεζών φαίνονται στην εικόνα που ακολουθεί:

Pedestrian Types

<Single List>

Count: 4	No	Name	Model2D3DDistr	LenVar	WidVar	HgtVar	WalkBehav
1	100	Man	100: Man	0,100	0,100	0,150	1: Default
2	200	Woman	200: Woman	0,100	0,100	0,150	1: Default
3	250	Woman & Child	250: Woman & Child	0,100	0,100	0,150	1: Default
4	300	Wheelchair User	300: Wheelchair	0,100	0,100	0,100	1: Default

Εικόνα 3-5: Βασικοί τύποι πεζών στο Viswalk

Όπως φαίνεται και στην τελευταία στήλη της καρτέλας (εικόνα 3.3.5), σε όλες τις βασικές κατηγορίες τύπων πεζών έχει οριστεί ως προεπιλογή η βασική συμπεριφορά. Αυτή είναι και η επιλογή που θα διατηρηθεί, όμως θα πρέπει να εξεταστεί σε κάθε σενάριο ποια θα είναι τα χαρακτηριστικά της επιλογής αυτής που θα πρέπει να μεταβληθούν. Στην καρτέλα με τα χαρακτηριστικά της συμπεριφοράς των πεζών υπάρχουν σημαντικές επιλογές που παίζουν καθοριστικό ρόλο στη συμπεριφορά τους εντός δικτύου. Ουσιαστικά μέσω της καρτέλας αυτής ο χρήστης ρυθμίζει βασικές παραμέτρους του SFM, με δυνατότητα να τις μεταβάλει όπως αυτός θέλει ακόμη και ενδιάμεσα σε δυο διαδοχικές αναπαραγωγές. Οι μεταβλητές αυτές και η σημασία τους στην κίνηση των πεζών έχουν αναφερθεί αναλυτικά στο υποκεφάλαιο 2.3.5.

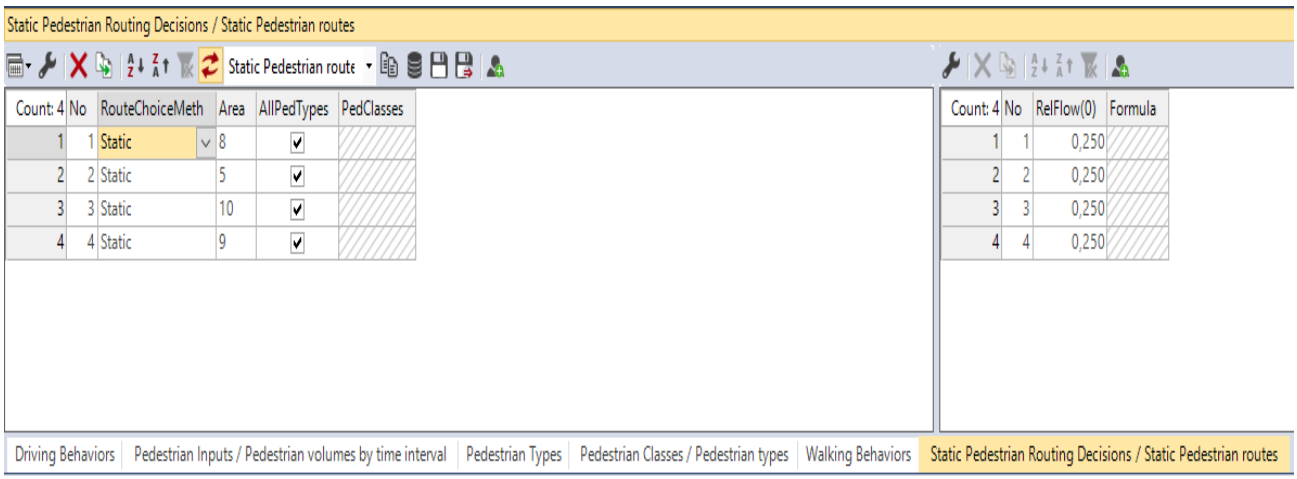
Walking Behaviors

Count: 3	N	Name	Tau	ReactToN	ASocIso	BSocIso	Lambda	ASocMean	BSocMean	VD	Noise	SidePref
1	1	Default	0,400	8	2,720	0,200	0,176	0,400	2,800	3,000	1,200	None
2	2	Elevator (In Cab)	0,400	8	2,720	0,200	0,176	0,400	2,800	3,000	0,300	None
3	3	Elevator (Alighting)	0,200	8	2,040	0,300	0,176	0,400	2,800	3,000	1,200	None

Εικόνα 3-6: Βασικές μεταβλητές της συμπεριφοράς των πεζών

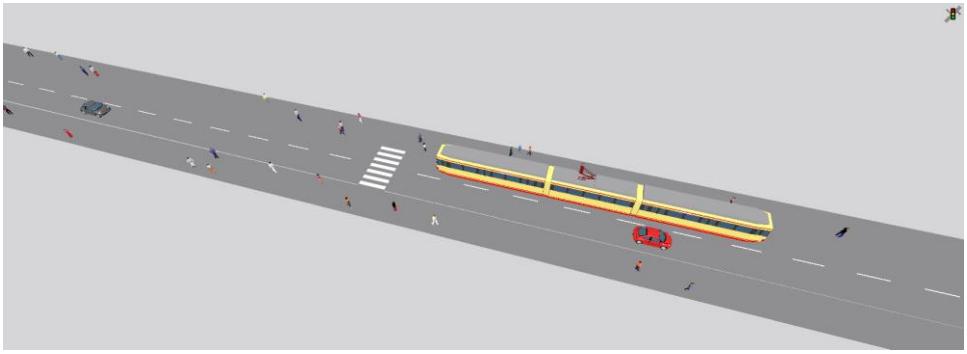
Επόμενο βήμα για την ολοκλήρωση της προσομοίωσης αποτελεί η δημιουργία των διαδρομών των πεζών εντός του δικτύου. Η διαδικασία αυτή γίνεται μέσω της καρτέλας διαδρομών των πεζών (pedestrian routes) ακολουθώντας την ίδια λογική με τα οχήματα. Σε κάθε περιοχή όπου έχει τοποθετηθεί ένα σημείο εισαγωγής πεζών στο δίκτυο θα πρέπει να ορισθεί και μία κατά ελάχιστο διαδρομή. Σε αντίθετη περίπτωση η προσομοίωση δεν θα μπορέσει να ολοκληρωθεί σωστά, δίνοντας στον χρήστη μήνυμα σφάλματος στο δίκτυο. Άρα η διαδικασία αυτή επαναλαμβάνεται για κάθε σημείο εισόδου πεζών, με δυνατότητα ορισμού διαφορετικών διαδρομών από την ίδια έναρξη. Στα σενάρια της εργασίας αυτής κάθε περιοχή αποτελεί ταυτόχρονα περιοχή έναρξης και προορισμού για τους πεζούς έτσι ώστε να υπάρχει η μεγαλύτερη δυνατή διαφοροποίηση στις διαδρομές τους. Αντίστοιχα με τα οχήματα ο χρήστης

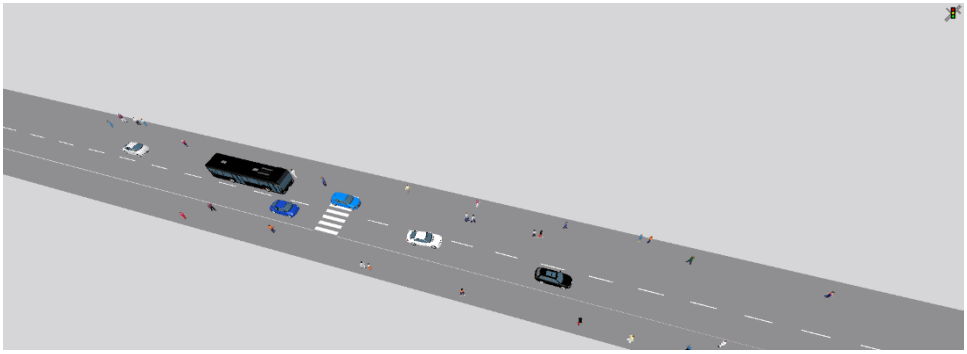
ορίζει τους σχετικούς φόρτους για τους πεζούς μέσω της επιλογής σχετικών φόρτων στην καρτέλα static pedestrian routing decisions/static pedestrian routes. Στην εικόνα που ακολουθεί φαίνεται ένα παράδειγμα που έχουν ορισθεί οι σχετικοί φόρτοι για τους πεζούς από τη μια περιοχή έναρξης με συντελεστή 0.25 του συνολικού φόρτου. Η τιμή αυτή έχει ορισθεί έτσι ώστε να υπάρχει ίδια κατανομή πεζών προς τέσσερις διαφορετικούς προορισμούς από την αρχική περιοχή.

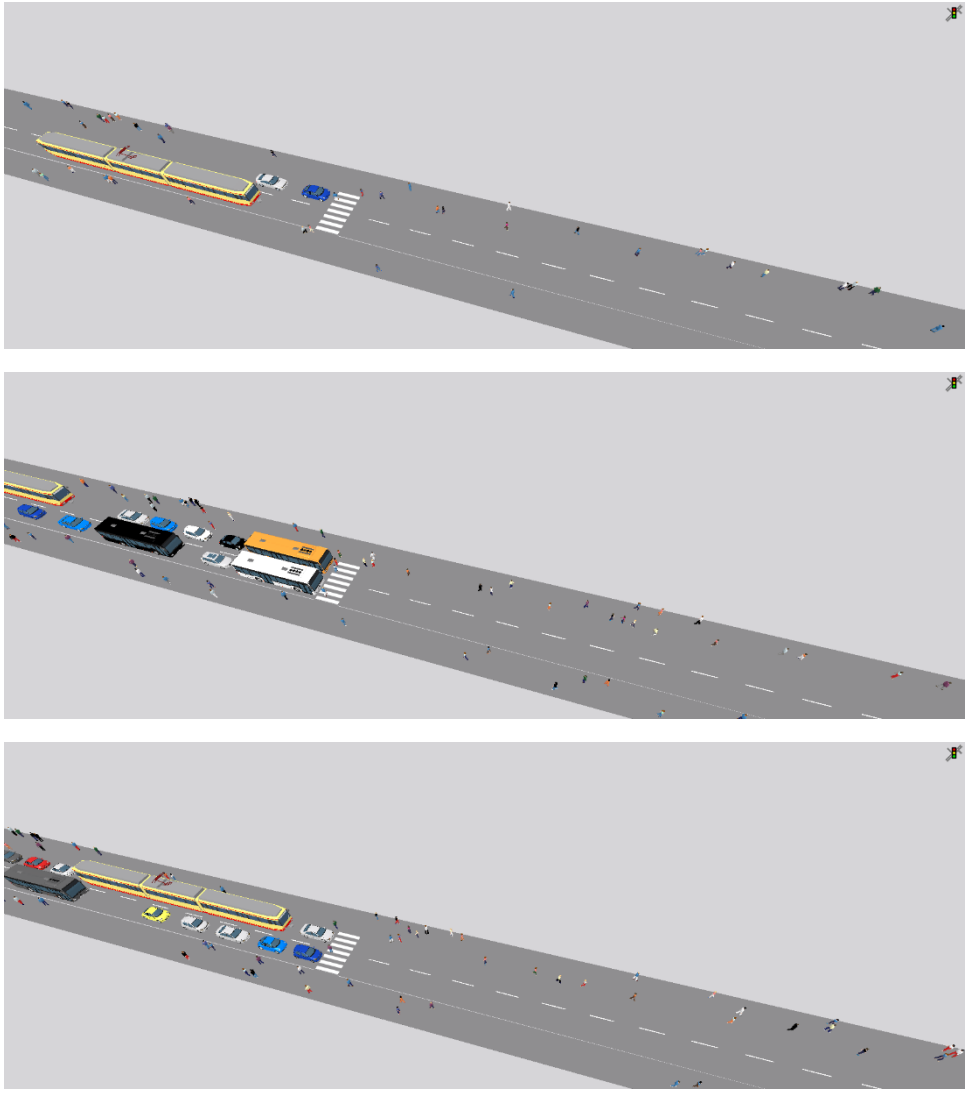


Εικόνα 3-7: Παράδειγμα ορισμού σχετικών φόρτων για τους πεζούς

Έπειτα από όλα αυτά τα βήματα κατασκευής του δικτύου και ορισμού των διαφορετικών μεταβλητών πρέπει να ελεγχθεί η ορθή λειτουργία του. Ενεργοποιώντας την λειτουργία για 3D απεικόνιση ο χρήστης μπορεί να ελέγξει εάν κάτι δυσλειτουργεί εντός της προσομοίωσης. Ένα παράδειγμα σεναρίου ακολουθεί σε μορφή εικόνας από την 3D αναπαραγωγή του σε διαδοχικά στιγμιότυπα:





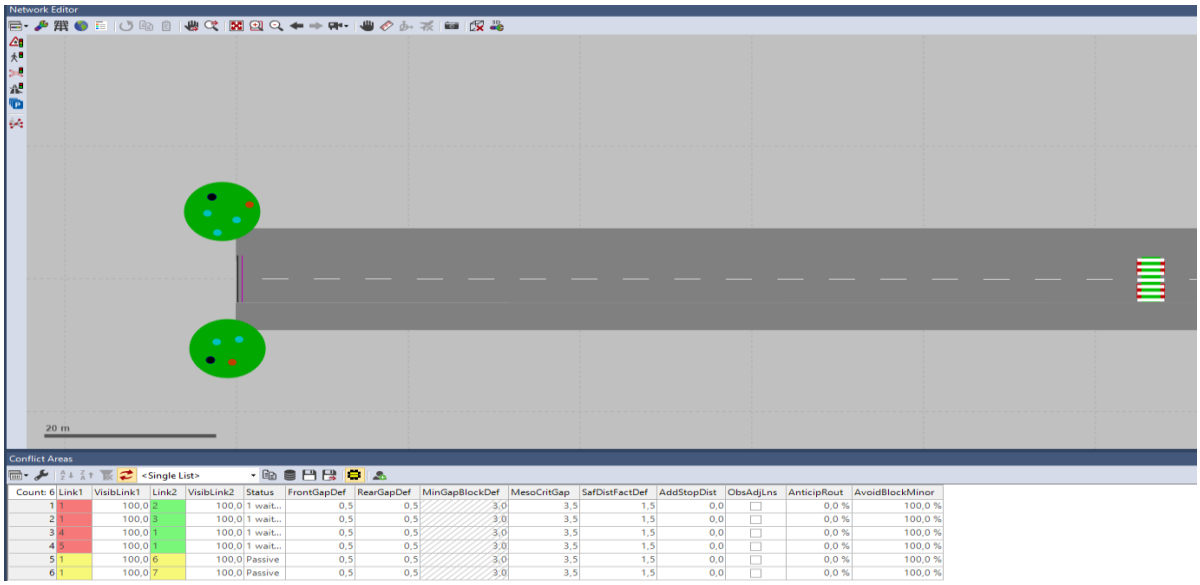


Εικόνα 3-8: Διαδοχικά στιγμιότυπα λειτουργίας του δικτύου

Στα στιγμιότυπα φαίνονται διαδοχικές λήψεις μέσω του προγράμματος σε σενάριο όπου προτεραιότητα στη διάβαση έχουν οι πεζοί και παρατηρούμε πως ενώ στα πρώτα τρία δεν σχηματίζεται ουρά, στα δύο τελευταία με την πάροδο του χρόνου εμφανίζεται ουρά στα οχήματα. Αυτό είναι λογικό καθώς στην αρχή της προσομοίωσης δεν υπάρχουν ακόμη τόσοι πεζοί στο δίκτυο έτσι ώστε να φτάσουν στις διαβάσεις και να αλληλεπιδράσουν με τα οχήματα.

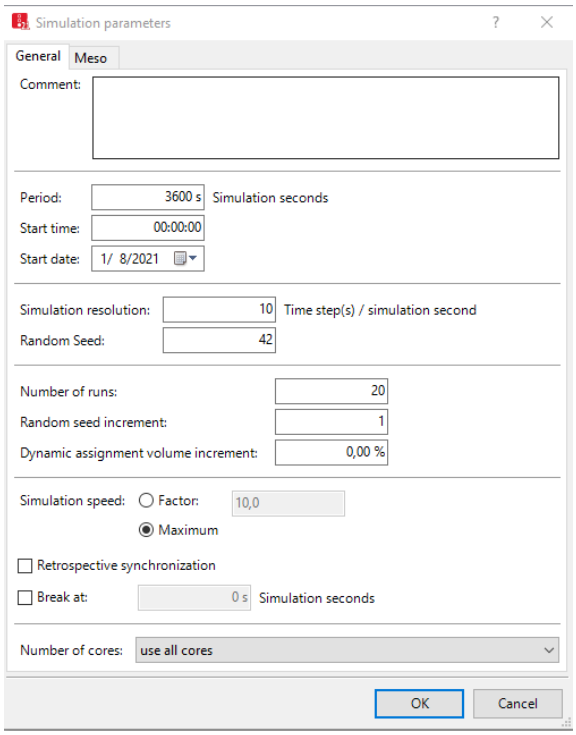
Κάθε διάβαση αποτελεί και ένα διαφορετικό σημείο στο οποίο πρέπει να δοθεί προτεραιότητα είτε σε πεζούς είτε στα οχήματα. Η επιλογή γίνεται μέσω της καρτέλας με όνομα ζώνες επικάλυψης (conflict zones). Εκεί ο χρήστης έχει την επιλογή να δώσει προτεραιότητα στους πεζούς, να δώσει προτεραιότητα στα οχήματα ή να αφήσει τη ζώνη ουδέτερη χωρίς να δοθεί ουσιαστικά προτεραιότητα σε κανέναν. Η προτεραιότητα δίνεται στην επικαλυπτόμενη περιοχή, ορίζοντας ως πράσινο χρώμα την κατεύθυνση που έχει προτεραιότητα και ως κόκκινη αυτή που είναι αναγκασμένη να περιμένει. Η εικόνα που ακολουθεί παρουσιάζει την ίδια ακριβώς διάβαση που απεικονίζεται στα στιγμιότυπα της εικόνας 3.3.8, δείχνοντας τις ζώνες επικάλυψης και τις προτεραιότητες που έχουν δοθεί αντίστοιχα. Όπως φαίνεται συγκεκριμένα για την πρώτη διάβαση του δικτύου με ονομασία Conflict Area 2 όλα τα κελιά στη στήλη Link

1 που αποτελεί το οδικό τμήμα παρουσιάζονται με κόκκινο χρώμα ενώ τα κελιά στη στήλη Link 2 που αποτελεί τη διάβαση των πεζών με πράσινο.



Εικόνα 3-9: Προτεραιότητα πεζών σε διάβαση

Αφού το σενάριο λειτουργεί σωστά, πρέπει στη συνέχεια να ορισθούν οι παράμετροι μέσω του simulation parameters. Η ανάλυση μας ενδιαφέρει να γίνεται σε σενάρια που τρέχουν για διάρκεια μιας ώρας, επομένως ορίζεται σε 3600 δευτερόλεπτα. Επειδή επιδιώκεται η υψηλή ανάλυση των σεναρίων, στην ανάλυση της προσομοίωσης θα οριστεί η τιμή 10. Όπως ήδη αναφέρθηκε το κάθε σενάριο αναπαράγεται 20 φορές, επομένως αυτός ο αριθμός ορίζεται και στον αριθμό αναπαραγωγών. Τέλος ορίζεται ως ταχύτητα προσομοίωσης η μέγιστη δυνατή και να γίνεται χρήση όλων των πυρήνων του επεξεργαστή.



Εικόνα 3-10: Παράμετροι προσομοίωσης στο Viswalk

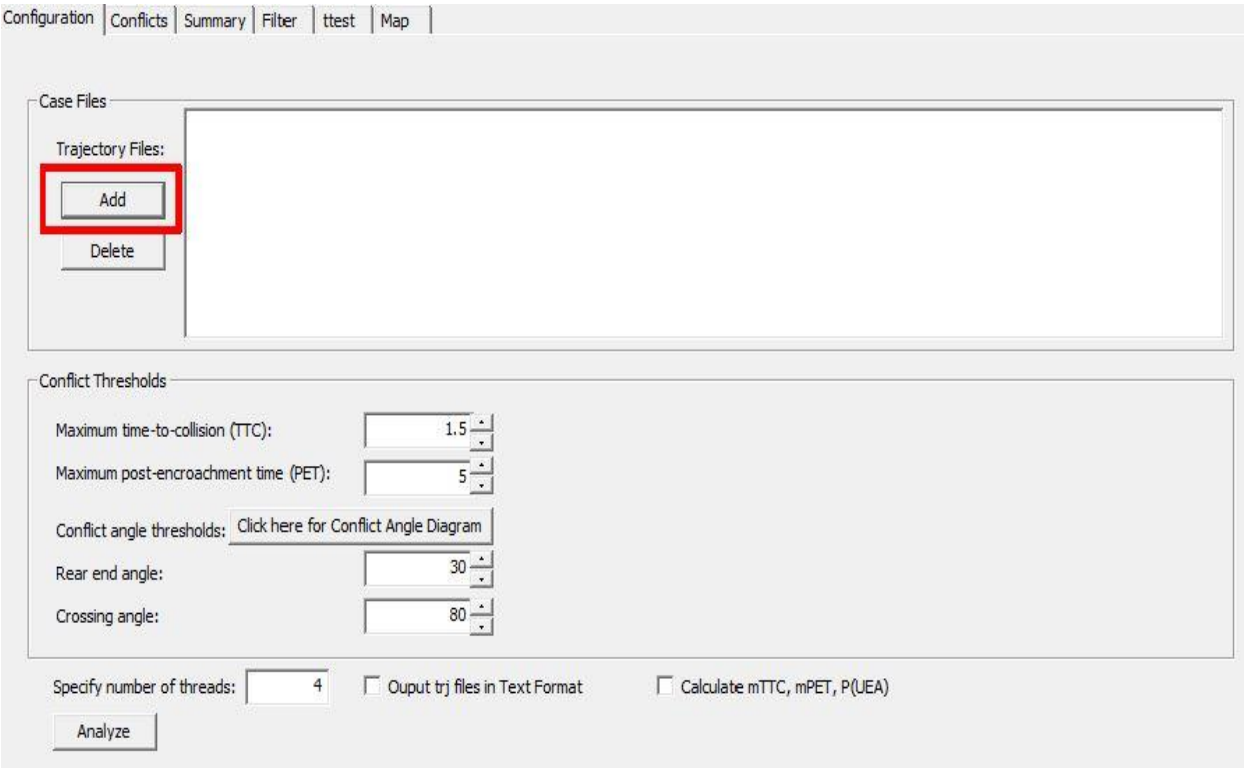
Έπειτα για να γίνει εξαγωγή των δεδομένων σε μορφή συμβατή με το πρόγραμμα SSAM θα πρέπει να επιλεχθεί η συγκεκριμένη επιλογή από την καρτέλα evaluation configuration και έπειτα μέσω της καρτέλας direct output. Εκεί ενεργοποιείται η επιλογή για εξαγωγή αρχείων που περιέχουν τις τροχιές των οχημάτων, δηλαδή αρχεία της μορφής .trj. Στο σημείο αυτό ολοκληρώνεται η διαδικασία μέσω του προγράμματος Viswalk και ακολουθεί το δεύτερο βασικό τμήμα της ανάλυσης.

3.2 Προσομοίωση πιθανών συγκρούσεων

3.2.1 Λειτουργία του SSAM

Το λογισμικό SSAM (Surrogate Assesment Model) είναι το δεύτερο βασικό εργαλείο για την εκπόνηση αυτής της εργασίας. Όπως ήδη αναφέρθηκε στο δεύτερο κεφάλαιο, σκοπός του λογισμικού αυτού είναι ο εντοπισμός, η κατηγοριοποίηση και η ανάλυση των πιθανών οδικών συγκρούσεων από τροχιές που έχουν συλλεχθεί μέσω προγραμμάτων μικροσκοπικών προσομοιώσεων. Στη συγκεκριμένη περίπτωση στο λογισμικό εισάγονται τα δεδομένα τροχιάς (trajectory files) από τα σενάρια που θα δημιουργηθούν στη συνέχεια μέσω του Viswalk. Ο βασικός τρόπος λειτουργίας επεξηγείται στο υποκεφάλαιο αυτό.

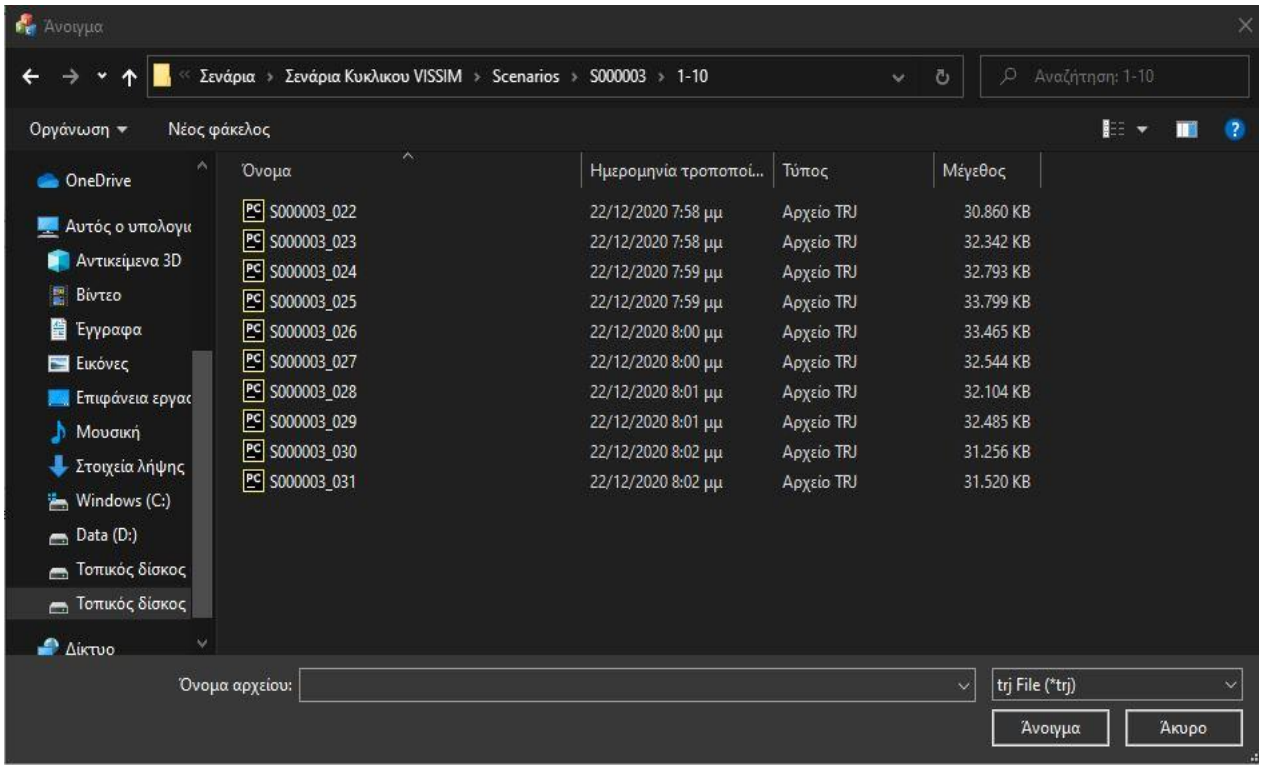
Αρχικά με το άνοιγμα του λογισμικού ο χρήστης έρχεται σε επαφή με το βασικό παράθυρο από το οποίο πραγματοποιούνται οι βασικές ρυθμίσεις, η εισαγωγή των αρχείων τροχιάς και η εντολή για την ανάλυση τους. Το παράθυρο αυτό φαίνεται στην εικόνα που ακολουθεί:



Εικόνα 3-11: Βασικό παράθυρο του προγράμματος SSAM (καρτέλα διαμόρφωσης)

Στην καρτέλα με το όνομα διαμόρφωση (configuration) ο χρήστης έχει τη δυνατότητα εισαγωγής έως και 10 σεναρίων ταυτόχρονα. Πατώντας το κουμπί εντολής add μπορεί να

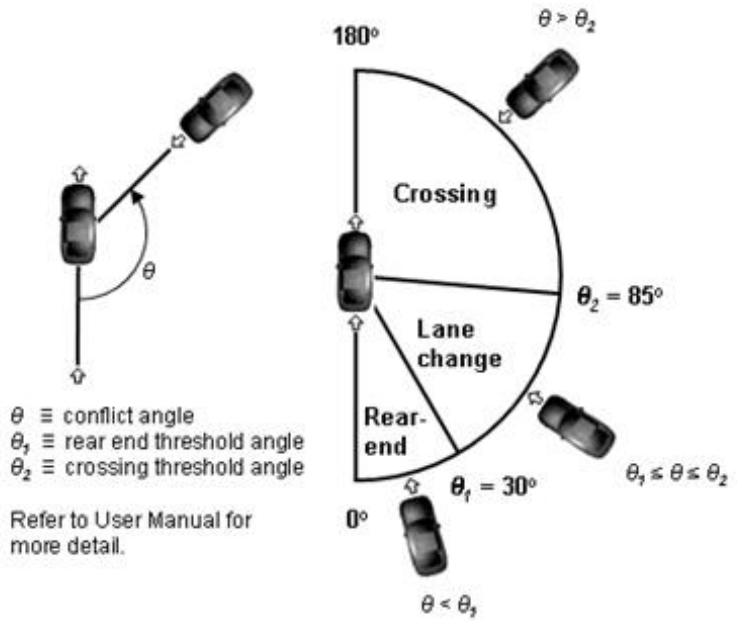
προσθέσει τα σενάρια που τον ενδιαφέρουν, αρκεί τα σενάρια αυτά να είναι αποθηκευμένα στον υπολογιστή σε μορφή αρχείου TRJ.



Εικόνα 3-12: Παράδειγμα αρχείων trj κατά την εισαγωγή τους στο SSAM

Στη συνέχεια ο χρήστης καλείται να ορίσει όρια στα μεγέθη maximum TTC και maximum PET, καθώς και τα όρια των γωνιών σύγκρουσης. Τα μεγέθη αυτά παίζουν σημαντικό ρόλο στην ανάλυση που θα εκτελεστεί από το λογισμικό καθώς είναι προγραμματισμένο να αναγνωρίζει ως πιθανή σύγκρουση οτιδήποτε βρίσκεται εντός των ορίων αυτών και να αγνοεί οτιδήποτε τα υπερβαίνει. Για παράδειγμα αν το πρόγραμμα εντοπίζει μια πιθανή σύγκρουση αλλά κατά την ανάλυση υπολογιστεί τιμή του TTC άνω του ορισμένου ορίου, τότε το λογισμικό δεν θα τη συμπεριλάβει ως πιθανή σύγκρουση στη λίστα. Το ίδιο ισχύει αντίστοιχα και για τις τιμές που αφορούν το μέγεθος PET. Το λογισμικό έχει ως αρχικές ορισμένες για τα μεγέθη TTC και PET τις τιμές 1,5 και 5 αντίστοιχα. Οι τιμές αυτές φυσικά δεν είναι τυχαίες, αλλά είναι ορισμένες έτσι ώστε να συνάδουν με τα αποτελέσματα των σχετικών ερευνών.

Με την ίδιο λογική έχουν ορισθεί αρχικές τιμές στα μεγέθη που αφορούν τη γωνία σύγκρουσης. Όπως φαίνεται και στην εικόνα που ακολουθεί, το λογισμικό αναγνωρίζει ως γωνία οπίσθιας σύγκρουσης μέχρι τις 30 μοίρες, από 30 έως 85 μοίρες τη γωνία αλλαγής λωρίδας και από 85 έως 180 μοίρες τη μετωπική σύγκρουση.

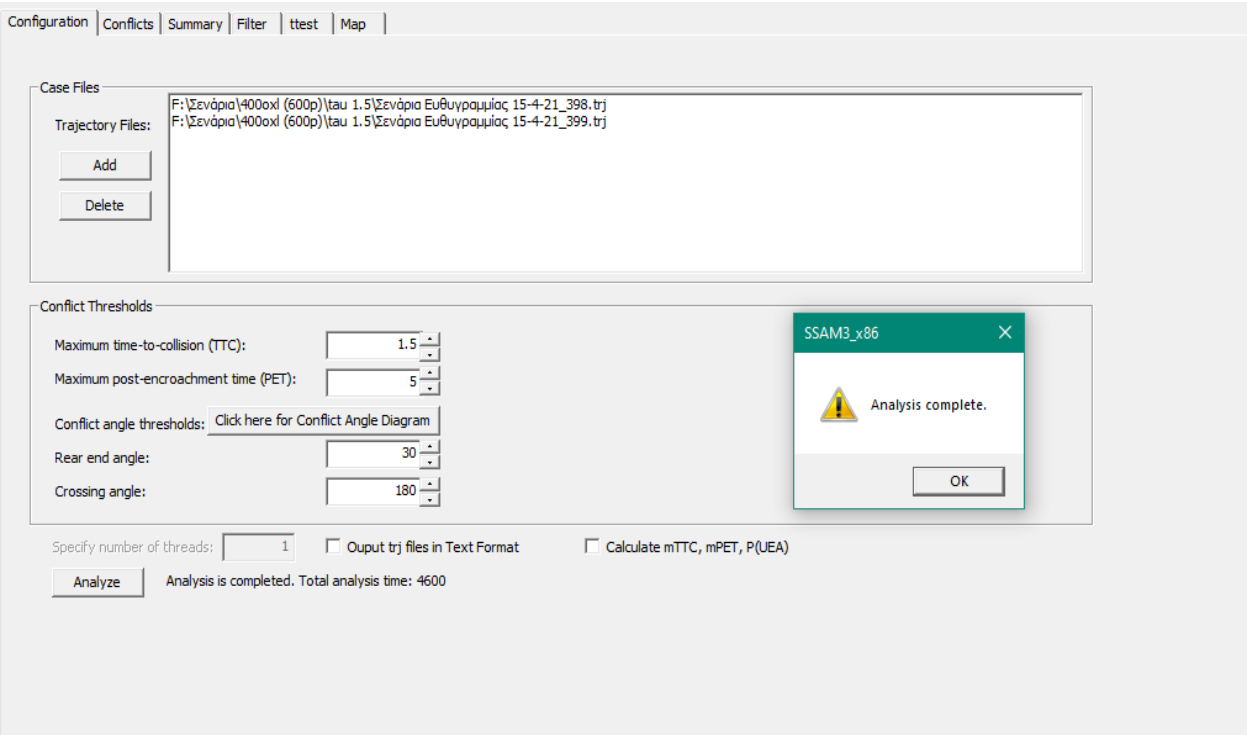


Εικόνα 3-13: Διάγραμμα γωνιών σύγκρουσης στο λογισμικό SSAM

Σε περίπτωση που ο χρήστης θέλει να επιτύχει μια πιο λεπτομερή ανάλυση μπορεί να ενεργοποιήσει την επιλογή υπολογισμού των μεγεθών mTTC, mPET και P(UEA). Επιπλέον δίνεται η επιλογή εξαγωγής των trj αρχείων σε μορφή κειμένου (text format).

Τέλος, ο χρήστης ορίζει των αριθμό των threads του επεξεργαστή που επιθυμεί να χρησιμοποιηθούν από το λογισμικό κατά τη διάρκεια της ανάλυσης. Η επιλογή αυτή θα επηρεάσει σημαντικά τον χρόνο της ανάλυσης και εξαρτάται καθαρά από το πλήθος των σεναρίων που αναλύονται, το πλήθος των συγκρούσεων που υπολογίζονται και τα μεγέθη που έχει ήδη επιλέξει ο χρήστης να εξαχθούν. Στις πιο πολλές περιπτώσεις συνιστάται χρήση όλων των threads που είναι διαθέσιμα στον επεξεργαστή του υπολογιστή για άμεσα αποτελέσματα χωρίς αχρείαστη αναμονή. Σε περιπτώσεις πιο παλιών μηχανημάτων συνιστάται αντιστοιχία των threads που κάνει χρήση το λογισμικό με το πλήθος των πυρήνων του επεξεργαστή.

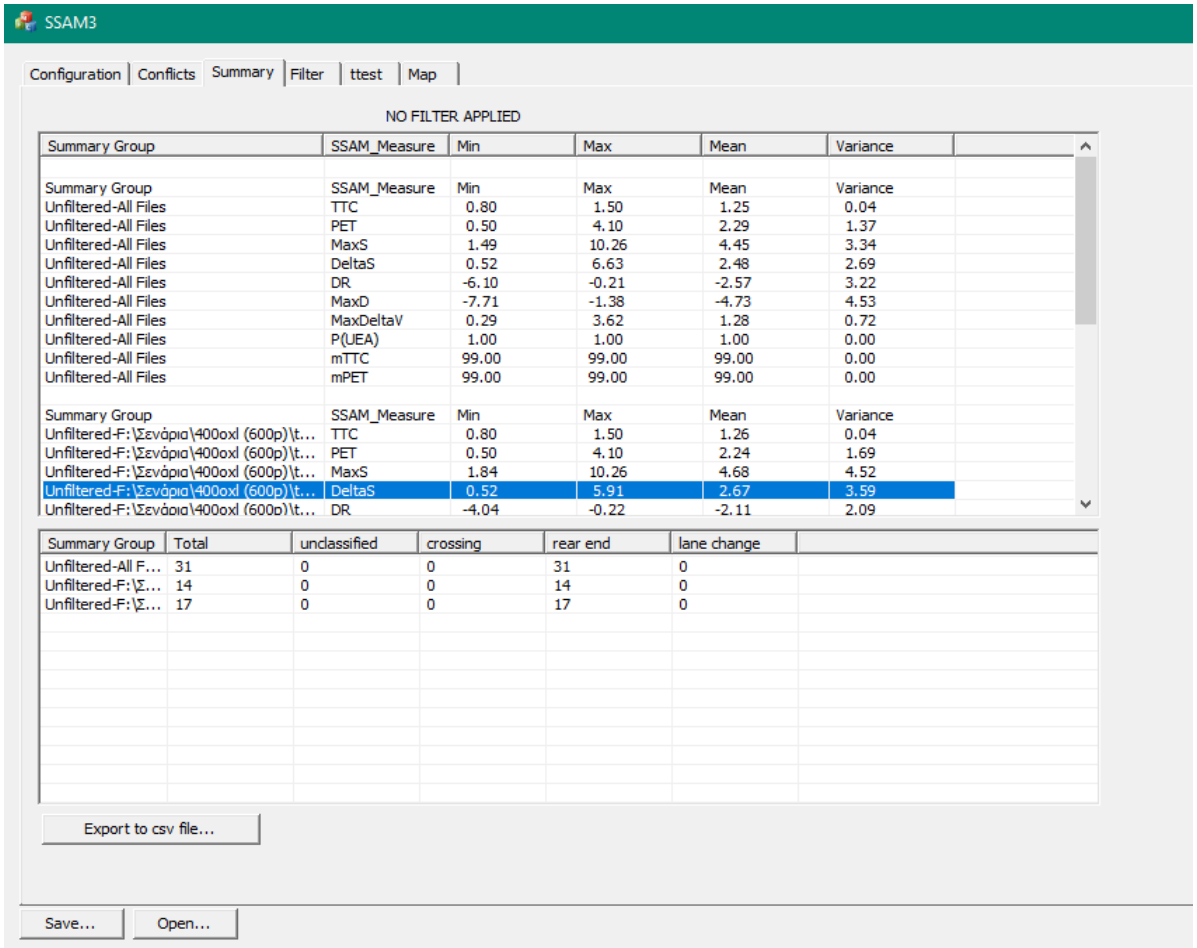
Εφόσον ο χρήστης έχει ορίσει όλες τις παραμέτρους που αναφέρθηκαν, δίνει εντολή στο πρόγραμμα να ξεκινήσει την ανάλυση πατώντας το κουμπί εντολής analyze. Η διαδικασία αυτή συνήθως διαρκεί κάποιο χρονικό διάστημα στο οποίο το πρόγραμμα υπολογίζει όλες τις πιθανές συγκρούσεις. Μόλις η διαδικασία ολοκληρωθεί τότε εμφανίζεται ένα παράθυρο ενημέρωσης, όπως φαίνεται στην εικόνα:



Εικόνα 3-14: Ενημέρωση του χρήστη για την ολοκλήρωση της ανάλυσης

Η επόμενη καρτέλα του προγράμματος έχει την ονομασία συγκρούσεις (conflicts) και ουσιαστικά είναι η καρτέλα στην οποία εμφανίζονται όλα τα δεδομένα έπειτα από την ανάλυση. Κάθε γραμμή αποτελεί μια πιθανή σύγκρουση που εντοπίζεται από το πρόγραμμα. Κάθε στήλη είναι η τιμή του κάθε μεγέθους όπως αυτή έχει υπολογιστεί τη χρονική στιγμή που εντοπίζεται η πιθανή σύγκρουση, καθώς και κάποια χαρακτηριστικά των οχημάτων όπως ο κωδικός τους, το μήκος τους κ.α. Τα πιο βασικά μεγέθη έχουν ήδη αναλυθεί στο υποκεφάλαιο 2.7. Επιπρόσθετα από την καρτέλα αυτή δίνεται στον χρήστη η επιλογή εξαγωγής των τιμών που έχει εξάγει η ανάλυση σε μορφή αρχείου .csv, μέσω της εντολής export to csv file.

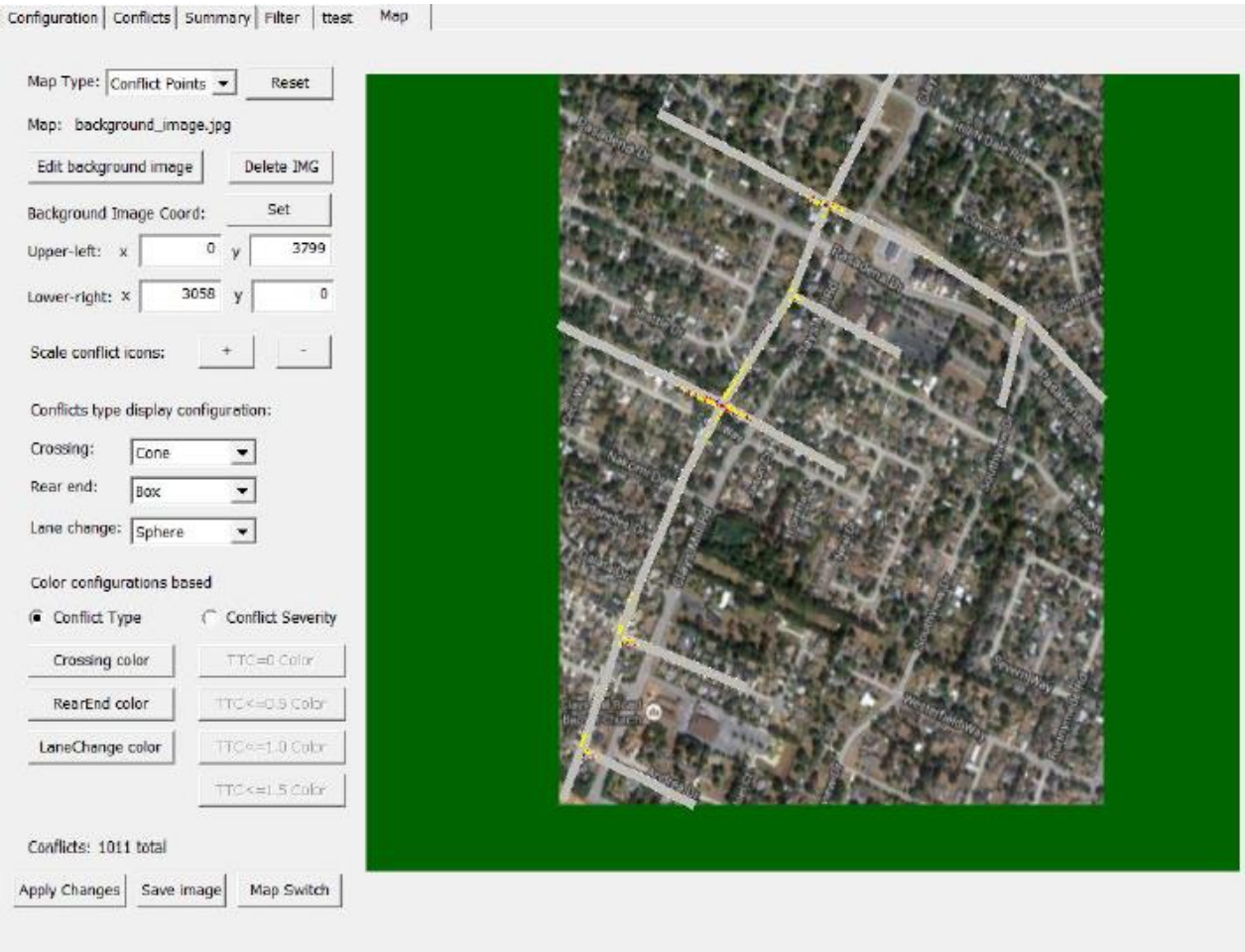
Η τρίτη καρτέλα του προγράμματος έχει την ονομασία σύνοψη (summary). Στην καρτέλα αυτή ο χρήστης μπορεί να δει τις τιμές για τα βασικά μετρημένα μεγέθη κατηγοριοποιημένα ανά σενάριο. Τα μεγέθη αυτά είναι τα TTC, PET, MaxS, DeltaS, DR, MaxD, MaxDeltaV, P(UEA), mTTC και mPET. Για κάθε ένα από τα μεγέθη αυτά έχουν υπολογιστεί οι ελάχιστες και οι μέγιστες τιμές, η μέσες τιμές των μεγεθών καθώς και η τυπική απόκλιση. Στο κάτω μέρος της καρτέλας αυτής υπάρχει ένα δεύτερο παράθυρο στο οποίο εμφανίζονται το πλήθος των μετρημένων πιθανών συγκρούσεων ανά σενάριο. Στις υπόλοιπες στήλες του παραθύρου παρουσιάζεται μια κατηγοριοποίηση των πιθανών συγκρούσεων σε μετωπικές, οπίσθιες και αλλαγής λωρίδας (crossing, rear end και lane change αντίστοιχα). Τέλος, αν μια σύγκρουση δεν εντάσσεται σε μια εκ των τριών αυτών κατηγοριών μπαίνει στην κατηγορία με τις μη κατηγοριοποιημένες συγκρούσεις (unclassified).



Εικόνα 3-15: Καρτέλα σύνοψης στο πρόγραμμα SSAM

Η επόμενη καρτέλα ουσιαστικά έχει να κάνει με μια πιο αναλυτική εισαγωγή φίλτρων (filters). Τα φίλτρα αυτά έχουν συγκεκριμένες τιμές ορισμένες από το πρόγραμμα και έχει νόημα να μεταβληθούν σε περίπτωση που ο χρήστης αναζητεί για παράδειγμα μόνο έναν συγκεκριμένο τύπο πιθανών συγκρούσεων.

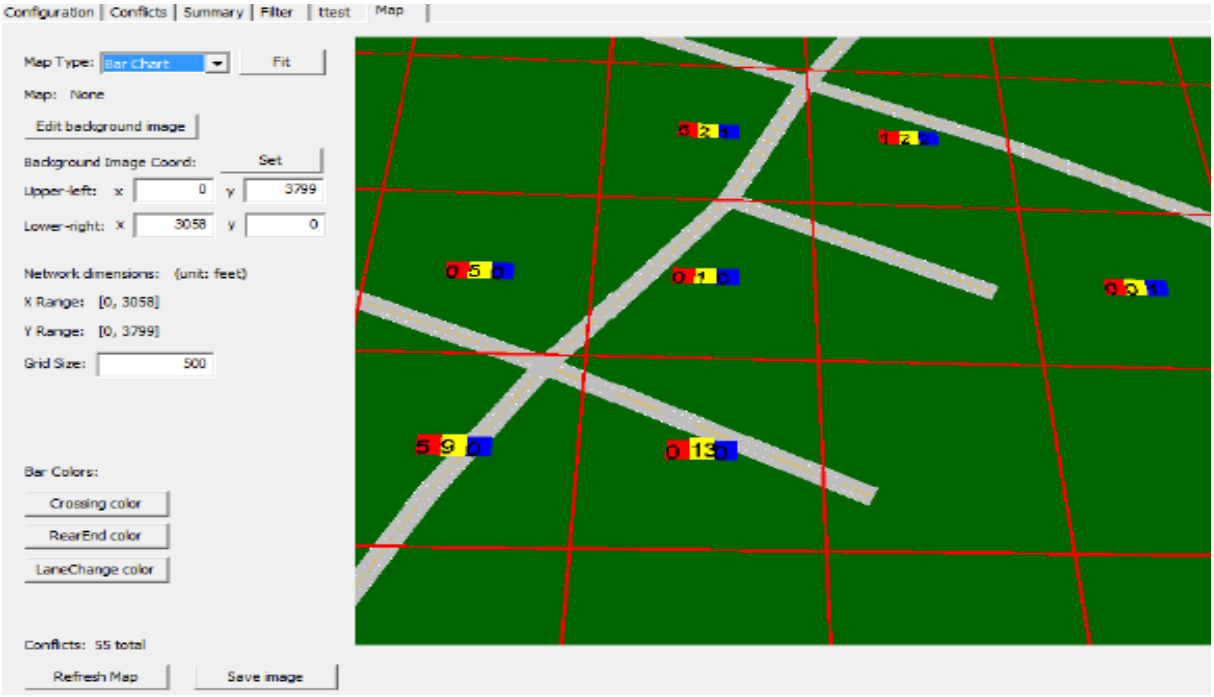
Το λογισμικό δίνει τη δυνατότητα για δημιουργία τεστ μεταξύ δύο σεναρίων. Στο τεστ αυτό το πρόγραμμα αναγνωρίζει αν υπάρχουν σημαντικές διαφορές στους μέσους όρους των δύο πληθυσμών. Για την έναρξη του τεστ ο χρήστης είναι υποχρεωμένος να ανοίξει ένα δεύτερο αρχείο της μορφής trj και να υπάρχουν πολλαπλές πιθανές συγκρούσεις τόσο στο πρώτο όσο και στο δεύτερο σενάριο. Το λογισμικό έπειτα από την ολοκλήρωση του τεστ αποδίδει για τα βασικά μεγέθη που ήδη αναφέρθηκαν μέσους όρους και τυπικές αποκλίσεις καθώς και τα μεγέθη tvalue και tcritical. Επιπλέον, το SSAM δίνει τη δυνατότητα απεικόνισης των πιθανών συγκρούσεων με υπόβαθρο χάρτη.



Εικόνα 3-16: Απεικόνιση των σημείων πιθανής σύγκρουσης σε χάρτη με υπόβαθρο εικόνας

Ο τρόπος απεικόνισης των σημείων στον χάρτη μπορεί να αλλάξει, με μια αντιστοίχιση του επιθυμητού χρώματος ανά κατηγορία σύγκρουσης. Επιπρόσθετα είναι δυνατό να δοθεί χρωματική απεικόνιση ανάλογα με το πόσο σοβαρή είναι θεωρητικά η σύγκρουση. Αυτό επιτυγχάνεται ορίζοντας συγκεκριμένες τιμές για την παράμετρο TTC και έπειτα δίνοντας σε κάθε μια κλάση τιμών διαφορετικό χρώμα.

Ένας διαφορετικός τρόπος για απεικόνιση των αποτελεσμάτων δίνεται μέσω της επιλογής bar chart. Μέσω της επιλογής αυτής δημιουργείται ένας κάνναβος με διαστάσεις που ορίζει ο χρήστης. Σε κάθε τετράγωνο του καννάβου το πρόγραμμα εντοπίζει το πλήθος των πιθανών συγκρούσεων και τις κατηγοριοποιεί σε τρεις κατηγορίες. Έτσι, αφού ολοκληρωθεί η καταγραφή των σημείων, εμφανίζεται στο κέντρο του κάθε τετραγώνου μια μπάρα με τρία διαφορετικά χρώματα, κάθε ένα για διαφορετικό τύπο σύγκρουσης. Μέσα στη μπάρα αυτή καταγράφεται το πλήθος των συγκρούσεων που εντοπίστηκαν εντός του τετραγώνου. Στην εικόνα που ακολουθεί φαίνεται ένα παράδειγμα με απεικόνιση τέτοιου είδους:



Εικόνα 3-17: Απεικόνιση σημείων πιθανών συγκρούσεων με επιλογή bar chart

Σε περίπτωση που ο χρήστης θέλει να δει πιο αναλυτικά τα μεγέθη που αφορούν τις συγκρούσεις μπορεί να το κάνει πατώντας αριστερό κλικ σε οποιαδήποτε μπάρα.

3.2.2 Διαδικασία προσομοίωσης

Το δεύτερο βασικό τμήμα της διαδικασίας είναι η ανάλυση των αρχείων μέσω του προγράμματος SSAM. Η προσθήκη των αρχείων γίνεται μέσω της επιλογής προσθήκης αρχείων (add trajectroy files), με μέγιστο αριθμό τα 10 σενάρια. Εφόσον έχουν προστεθεί όλα τα προς ανάλυση σενάρια και έχουν οριστεί τιμές για τα μέγιστα ζητούμενα TTC και PET, το λογισμικό είναι έτοιμο για να "τρέξει" την ανάλυση. Όταν η ανάλυση ολοκληρωθεί, μεταβαίνοντας στη δεύτερη καρτέλα με τις πιθανές συγκρούσεις γίνεται η εξαγωγή τους με την εντολή εξαγωγής αρχείου τύπου .csv.

3.3 Σχεδιασμός σεναρίων προσομοίωσης

3.3.1 Επιλογή παραμέτρων διερεύνησης

Τα σενάρια που επιλέχθηκαν για ανάλυση της επιρροής των πεζών που μιλάνε στο κινητό τηλέφωνο εντός οδικού δικτύου αφορούν ένα απλό ευθύγραμμο τμήμα οδικού δικτύου. Η ανάλυση σχετίζεται με το πόσο πιο επικίνδυνο γίνεται ένα οδικό δίκτυο, όταν αυτό επηρεάζεται από τους πεζούς που επιλέγουν να το διασχίσουν, καθώς κάνουν χρήση κινητού τηλεφώνου. Επειδή όμως η ανάλυση δεν σχετίζεται με κάποιο υπάρχον οδικό δίκτυο, θα πρέπει να εξεταστούν αναλυτικά όλες οι παράμετροι που μπορούν να επηρεάσουν. Για τον σκοπό αυτό δημιουργήθηκαν κάποια αρχικά σενάρια που εξετάζουν τα όρια των μεγεθών, έτσι ώστε να δημιουργηθούν τα τελικά σενάρια. Το κάθε διαφορετικό σενάριο αναπαράγεται 20 φορές

έτσι ώστε να αποφευχθούν πιθανά λάθη που μπορεί να εμφανιστούν σε μία αναπαραγωγή. Στη συνέχεια κάθε ένα από τα σενάρια αυτά εισάγεται στο λογισμικό SSAM. Επειδή το λογισμικό έχει χωρητικότητα ανάλυσης έως δέκα αναπαραγωγές ταυτόχρονα, η ανάλυση γίνεται σε δύο φάσεις. Αναγκαστικά κάθε σενάριο χωρίζεται σε δύο ομάδες από δέκα αναπαραγωγές. Έπειτα αφότου ολοκληρωθεί η διαδικασία ανάλυσης στο λογισμικό γίνεται εξαγωγή των αποτελεσμάτων σε αρχείο excel. Τέλος αφότου υπάρχει ένα ολοκληρωμένο αρχείο excel για κάθε διαφορετικό σενάριο γίνεται η ανάλυση που αφορά τα μεγέθη TTC και PET.

3.3.2 Δίκτυο προσομοίωσης

Το πρώτο σενάριο που δημιουργήθηκε αποτελείται ουσιαστικά από τρία υποσενάρια. Στο πρώτο υποσενάριο δημιουργήθηκε ευθύγραμμο οδικό τμήμα με μια λωρίδα ανά κατεύθυνση και ένα σημείο διάβασης των πεζών. Στο υποσενάριο αυτό δόθηκε προτεραιότητα στους πεζούς όταν αυτοί φτάνουν στη διάβαση. Στο δεύτερο υποσενάριο ακολουθήθηκε ακριβώς η ίδια διαδικασία κατασκευής του δικτύου, όμως αυτή τη φορά δόθηκε προτεραιότητα στα οχήματα του δικτύου. Στο τρίτο υποσενάριο δημιουργήθηκαν πολλαπλά σημεία διάβασης για τους πεζούς, δίνοντας προτεραιότητα στα οχήματα πέραν της τελευταίας στην οποία δόθηκε προτεραιότητα στους πεζούς. Κάθε ένα από τα υποσενάρια αυτά εξετάστηκαν με έξι διαφορετικούς φόρτους οχημάτων, τρείς διαφορετικούς φόρτους πεζών και τέσσερις διαφορετικές τιμές για τη μεταβλητή tau.. Επειδή τα σενάρια αυτά αποτελούν εισαγωγικά σενάρια στην εργασία ορίστηκαν έξι διαφορετικά σενάρια φόρτου, τρεις διαφορετικοί φόρτοι πεζών και τέσσερις διαφορετικές τιμές για τον χρόνο αντίδρασης:

Πίνακας 3-1: Αρχικές τιμές μεταβλητών σεναρίου

Φόρτος Οχημάτων (οχήματα/λωρίδα/ώρα)	**Φόρτος Πεζών**	**Χρόνος Αντίδρασης (tau) (δευτερόλεπτα)**
300	100	0,5
600	500	1
900	1000	1,5
1200		2
1500		
1800		

Ο αριθμός των οχημάτων ορίστηκε με ελάχιστη τιμή τα 300 οχήματα/λωρίδα/ώρα και μέγιστη τιμή τα 1800 οχήματα/λωρίδα/ώρα βάση των αρχών της κυκλοφοριακής τεχνικής. Οι τρεις διαφορετικοί φόρτοι πεζών ορίστηκαν έτσι ώστε να εξεταστεί η διαφοροποίηση που θα επιφέρουν στη λειτουργία του δικτύου σε συνδυασμό με τους τέσσερις διαφορετικούς χρόνους αντίδρασης. Οι αρχικές τιμές που επιλέχθηκαν για τον χρόνο αντίδρασης βασίστηκαν κυρίως στη βιβλιογραφία όσον αφορά την ελάχιστη τιμή, αλλά και στις τιμές που ορίζει το manual του λογισμικού Viswalk για τις διαφορετικές καταστάσεις των πεζών.

Ως συμπεράσματα από τα αρχικά αυτά σενάρια προέκυψαν τα εξής:

- Παρουσιάστηκαν πιθανές συγκρούσεις σε όλους τους διαφορετικούς συνδυασμούς του υποσεναρίου 1, δηλαδή του υποσεναρίου με την προτεραιότητα πεζών. Αντιθέτως στα

άλλα δύο υποσενάρια δεν παρατηρήθηκαν πιθανές συγκρούσεις σε όλους τους συνδυασμούς, καθώς στους χαμηλούς φόρτους δεν παρουσιάστηκε καμία πιθανή σύγκρουση, ακόμη και με τη μέγιστη τιμή του χρόνου αντίδρασης.

- Στα υποσενάρια με 100 πεζούς στο δίκτυο παρατηρείται αύξηση των πιθανών συγκρούσεων καθώς αυξάνει η τιμή του χρόνου αντίδρασης.
- Στα υποσενάρια με προτεραιότητα στα οχήματα δεν παρουσιάστηκαν συγκρούσεις στα σενάρια χαμηλών φόρτων οχημάτων και πεζών. Πιθανές συγκρούσεις ξεκίνησαν να εμφανίζονται στα σενάρια μεσαίου φόρτου οχημάτων και χαμηλού φόρτου πεζών μόνο στις περιπτώσεις όπου οι πεζοί έχουν μεγάλους χρόνους αντίδρασης.
- Στο υποσενάριο με προτεραιότητα στους πεζούς και υψηλούς φόρτους πεζών-οχημάτων παρουσιάζονται πολλές πιθανές συγκρούσεις στις χαμηλές τιμές χρόνου αντίδρασης των πεζών, ενώ όσο η τιμή του χρόνου αντίδρασης αυξάνεται τόσο μειώνονται οι πιθανές συγκρούσεις. Αυτό σε πρώτη ανάγνωση ίσως να μην αποτελεί λογικό συμπέρασμα, καθώς η υπόθεση θα έλεγε πως όσο πιο "απρόσεκτοι" είναι οι πεζοί στο δίκτυο, τόσο πιο επικίνδυνο θα είναι για τις πιθανές συγκρούσεις. Αυτό όμως δεν ισχύει στην περίπτωση αυτή. Ο χρόνος αντίδρασης tau επηρεάζει άμεσα την κίνηση των πεζών, καθώς σε μικρές τιμές tau οι πεζοί αποκτούν πιο γρήγορη αντίδραση ενώ σε ψηλές τιμές tau καθυστερούν αρκετά να αντιδράσουν. Επομένως, σε ένα σενάριο υψηλού φόρτου οχημάτων-πεζών και ψηλού χρόνου αντίδρασης, οι πεζοί καθυστερούν υπερβολικά πολύ να διασχίσουν το δρόμο με αποτέλεσμα από ένα σημείο της προσομοίωσης και έπειτα να διακόπτεται εντελώς η κίνηση των οχημάτων. Το συμπέρασμα αυτό επιβεβαιώθηκε και οπτικά μέσω της 3d αναπαράστασης του δικτύου. Το συμπέρασμα αυτό επιβεβαιώνεται επίσης από το γεγονός ότι το φαινόμενο αυτό της μείωσης των πιθανών συγκρούσεων δεν εμφανίζεται στα άλλα δύο υποσενάρια.
- Όσον αφορά το μέγεθος TTC, στο πρώτο υποσενάριο (προτεραιότητα πεζοί) παρουσιάζονται χαμηλοί μέσοι όροι (<1,00) στους συνδυασμούς χαμηλών φόρτων οχημάτων-πεζών, ενώ όσο οι φόρτοι αυξάνουν οι μέσες τιμές του μεγέθους μετατοπίζονται άνω της μονάδας. Στο δεύτερο και στο τρίτο υποσενάριο παρουσιάζεται ακριβώς το ίδιο μοτίβο με το πρώτο υποσενάριο, με μια βασική όμως διαφορά. Ενώ στο πρώτο εμφανίζονται μέσοι όροι του μεγέθους TTC μεγαλύτεροι της μονάδας, στα άλλα δύο υποσενάρια οι μέσοι όροι δεν ξεπερνούν ποτέ τη μονάδα.
- Όσον αφορά το μέγεθος PET, ακολουθεί το ίδιο μοτίβο με το TTC. Στο πρώτο υποσενάριο παρουσιάζονται χαμηλές τιμές PET στους συνδυασμούς χαμηλών φόρτων πεζών-οχημάτων και η μέση τιμή του αυξάνεται όσο αυξάνονται οι φόρτοι. Η μέση τιμή του στα ψηλά σενάρια προσεγγίζει το 2,5. Στα άλλα δύο υποσενάρια η μέση τιμή του PET αυξάνεται όσο αυξάνονται οι φόρτοι, χωρίς όμως να ξεπερνάει σε κανένα συνδυασμό το 1,5.

Ένα ακόμη βασικό συμπέρασμα από την αρχική αυτή ανάλυση είναι πως ενώ το πρόγραμμα Viswalk εξάγει κανονικά τις τροχιές οχημάτων και πεζών, κατά την ανάλυση στο πρόγραμμα SSAM δεν εντοπίζονται συγκρούσεις μεταξύ πεζών-οχημάτων και πεζών-πεζών. Αυτό περιορίζει την αρχική πρόθεση για ανάλυση ακόμη και τέτοιων συγκρούσεων στο δίκτυο. Επομένως, είναι δυνατό να εξεταστεί η επιρροή των πεζών στην επικινδυνότητα του δικτύου, μόνο όμως μέσω της ανάλυσης που σχετίζεται με τις πιθανές συγκρούσεις μεταξύ των οχημάτων. Έπειτα από έρευνα πάνω στον περιορισμό αυτό βρέθηκε πως υπάρχει επιλογή για συμβατές τροχιές μεταξύ των δυο προγραμμάτων όσον αφορά τους πεζούς μόνο εάν η

προσθήκη των πεζών στο δίκτυο γίνει μέσω της εισαγωγής του Vissim. Αυτή η λύση παρέχει συμβατές τροχιές μεταξύ των δύο προγραμμάτων όμως παρουσιάζει ένα βασικό μειονέκτημα. Όταν προστεθούν πεζοί με τον τρόπο αυτό δεν λειτουργούν βάσει του SFM, καθώς αντιμετωπίζονται από το λογισμικό ως οχήματα με χαρακτηριστικά και διαστάσεις πεζών. Επομένως η κίνηση τους στο δίκτυο είναι περιορισμένη, και συγκριτικά με την επιλογή του Viswalk, λιγότερο ρεαλιστική. Στην εργασία αυτή επιλέγεται η αποτύπωση της ρεαλιστικής κίνησης των πεζών, δηλαδή η προσομοίωση των πεζών μέσω του Viswalk, έτσι ώστε να εξεταστεί η επιρροή τους στο δίκτυο με τη μεγαλύτερη δυνατή ακρίβεια. Επομένως, τα μεγέθη που θα μας δείξουν την επικινδυνότητα του δικτύου τελικά είναι το πλήθος πιθανών συγκρούσεων οχημάτων στο δίκτυο, και οι τιμές των TTC, PET.

3.3.3 Χρόνος αντίδρασης πεζών

Επόμενο βήμα αποτελεί η περεταίρω εξέταση των ορίων του χρόνου αντίδρασης tau. Το μέγεθος αυτό έχει νόημα να εξεταστεί όσο καλύτερα γίνεται έτσι ώστε να επιλεγούν τα τελικά όρια για την ανάλυση. Στα επόμενα σενάρια που δημιουργήθηκαν εξετάζονται τιμές με κατώτατη τιμή το 0,2 και ανώτατη τιμή το 3. Επιπλέον θεωρήθηκε ουσιαστική η αύξηση των πεζών στο δίκτυο. Έτσι δημιουργήθηκαν δύο διαφορετικές κατηγορίες φόρτων για τους πεζούς. Όσον αφορά τα οχήματα στο δίκτυο επιλέχθηκαν τρείς ενδεικτικοί φόρτοι. Αναλυτικά οι τιμές των μεγεθών στα σενάρια αυτά φαίνονται στον πίνακα που ακολουθεί:

Πίνακας 3-2: Τιμές μεταβλητών σεναρίου

Φόρτος Οχημάτων (οχήματα/λωρίδα/ώρα)	**Φόρτος Πεζών**	**Χρόνος Αντίδρασης (tau) (δευτερόλεπτα)**
500	500	0,2
1000	1000	0,4
1500		0,8
		1,5
		3

Η διαδικασία κατασκευής του δικτύου ήταν σχεδόν η ίδια. Για την προτεραιότητα επιλέχθηκε να δημιουργηθούν δυο κατηγορίες, μια με προτεραιότητα πεζών και μια με προτεραιότητα οχημάτων. Τα υπόλοιπα χαρακτηριστικά του δικτύου διατηρήθηκαν ίδια με τα αρχικά σενάρια, καθώς δεν υπήρχε ουσιαστικός λόγος για αλλαγή τους.

Η διαδικασία ανάλυσης ακολουθεί την ίδια πορεία, καθώς κάθε σενάριο αναπαράγεται 20 φορές. Στη συνέχεια εξάγονται τα αρχεία με τις τροχιές από όλες τις αναπαραγωγές και εισάγονται ανά δέκα στο λογισμικό SSAM. Έπειτα γίνεται η ανάλυση των σεναρίων από το λογισμικό, από το οποίο εξάγονται τα αρχεία excel με τις πιθανές συγκρούσεις.

Από την ανάλυση των σεναρίων προέκυψαν τα εξής συμπεράσματα:

- Στη πρώτη κατηγορία σεναρίων, κατά την οποία προτεραιότητα έχουν οι πεζοί, παρατηρείται συνεχής αύξηση του αριθμού πιθανών συγκρούσεων όσο αυξάνεται το μέγεθος tau. Το ίδιο φαινόμενο παρατηρείται και στη δεύτερη κατηγορία σεναρίων, κατά την οποία έχουν προτεραιότητα τα οχήματα, με μοναδική απόκλιση την εμφάνιση χαμηλού αριθμού πιθανών συγκρούσεων στους συνδυασμούς μεγάλου tau και μεγάλου φόρτου οχημάτων/πεζών.
- Στους ίδιους συνδυασμούς tau - φόρτος οχημάτων - φόρτος πεζών παρατηρήθηκε διαρκής διαφορά μεταξύ των πιθανών συγκρούσεων ανάμεσα στις δύο κατηγορίες σεναρίων, με πολύ μεγαλύτερο αριθμό στην περίπτωση της προτεραιότητας των οχημάτων.
- Όσον αφορά την ανάλυση του TTC, στην πρώτη κατηγορία σεναρίων παρατηρήθηκαν μικρές αλλαγές στον μέσο όρο του μεγέθους. Στις περισσότερες περιπτώσεις η τιμή του μέσου όρου κυμαινόταν μεταξύ των τιμών 0,3 και 0,5 , με ελάχιστες εξαιρέσεις στις ψηλές τιμές tau (1,5 , 3) στις οποίες έφτανε την τιμή 0,6. Για τον λόγο αυτό έγινε διαχωρισμός των τιμών του TTC σε δύο κατηγορίες, με την πρώτη να αποτελείται από τιμές 0 έως 1 και τη δεύτερη από 1 έως 2,5. Έπειτα καταχωρήθηκαν όλες οι πιθανές συγκρούσεις που υπολογίστηκαν από την ανάλυση στις δύο αυτές κατηγορίες. Από τη διαδικασία αυτή παρατηρήθηκε πως σε όλα τα σενάρια της πρώτης κατηγορίας η πλειοψηφία των πιθανών συγκρούσεων ανήκουν στην πρώτη κατηγορία, δηλαδή έχουν τιμές tau κάτω από τη μονάδα.
- Αντίστοιχα ακολουθήθηκε η ίδια διαδικασία και για τη δεύτερη κατηγορία σεναρίων, με προτεραιότητα οχημάτων. Θέτοντας τις ίδιες τιμές στις δύο κατηγορίες που δημιουργήθηκαν, παρατηρήθηκε πως αντίθετα με την πρώτη κατηγορία σεναρίων οι πλειοψηφία των συγκρούσεων παρουσιάζει τιμές μεγαλύτερες της μονάδας, όσον αφορά το μέγεθος TTC.
- Η ανάλυση του μεγέθους PET έγινε με την ίδια λογική, χωρίζοντας το σε δύο κατηγορίες, την πρώτη με εύρος τιμών 0 έως 2,5 και η δεύτερη με εύρος τιμών 2,5 έως 5. Στην πρώτη κατηγορία σεναρίων παρατηρήθηκε ελάχιστη αύξηση στις μέσες τιμές του PET, με τις περισσότερες τιμές όμως να ανήκουν στην κλάση τιμών 0 έως 2,5 σε όλες τις διαφορετικές τιμές tau. Ο μέσος όρος του μεγέθους tau ξεπέρασε την τιμή 1 μόνο σε δύο περιπτώσεις σεναρίων με τιμή tau 3.
- Αντίστοιχα, για τη δεύτερη κατηγορία σεναρίων παρατηρήθηκαν μέσοι όροι του μεγέθους μεταξύ της τιμής 1 και της τιμής 2,5. Η πλειοψηφία των τιμών του PET στη δεύτερη κατηγορία σεναρίων ανήκει στην κλάση τιμών 2,5 έως 5, ακολουθώντας έτσι το ίδιο μοτίβο με το μέγεθος TTC.

Από τα σενάρια αυτά γίνεται αντιληπτό πως η αλλαγή του μεγέθους tau επηρεάζει άμεσα το δίκτυο, καθώς με την αύξησή του παρουσιάζεται και αύξηση στις πιθανές συγκρούσεις. Επιπρόσθετα, σημαντικά στοιχεία αποτελούν οι διαφορετικές αλλαγές που εμφανίζονται όσον αφορά τα TTC και PET, τόσο στους μέσους όρους όσο και στις κλάσεις που ανήκουν.

Τέλος, σημαντικό συμπέρασμα για το εύρος των τιμών του tau είναι η ανάγκη για μικρότερες τιμές. Στα πιο πολλά από τα σενάρια παρουσιάζεται δυσλειτουργία του δικτύου όταν οι πεζοί έχουν τιμή 3 στη μεταβλητή tau, με το πρόβλημα αυτό να είναι σαφώς πιο έντονο στις μεγάλες τιμές όγκων οχημάτων/πεζών. Η δυσλειτουργία αυτή οφείλεται στις αργές αντιδράσεις των πεζών, οι οποίες με τη σειρά τους δημιουργούν είτε ολική κατάρρευση της κυκλοφορίας, είτε

πεζούς μη ικανούς να αντιδράσουν γρήγορα στα διάκενα της κυκλοφορίας και έτσι να μην καταφέρουν να διασχίσουν τον δρόμο. Επομένως, το εύρος τιμών για το μέγεθος tau κατά τη συνέχεια της εργασίας θα μειωθεί σε τιμές με ελάχιστη τιμή το 0,1 και μέγιστη τιμή το 2.

3.3.4 Κυκλοφοριακός φόρτος οχημάτων

Επόμενο βήμα στην εργασία αποτελεί ο ορισμός των τελικών φόρτων των οχημάτων του δικτύου. Για την επίτευξη του υπολογισμού των οχημάτων θα πρέπει πρώτα να υπολογιστεί ο μέγιστος αριθμός οχημάτων που μπορούν να διασχίσουν το δίκτυο σε χρονικό διάστημα μιας ώρας. Έτσι, κατασκευάστηκε τμήμα ευθυγραμμίας που αποτελείται από μία λωρίδα δρόμου με μήκος 600 μέτρα και πλάτος 3,5 μέτρα. Στη συνέχεια προστέθηκε σημείο προέλευσης οχημάτων στο δίκτυο, τοποθετημένο στην αρχή του κόμβου. Έπειτα ορίστηκε το μοναδικό σημείο προορισμού των οχημάτων στο τέλος της οδού. Στο τέλος της οδού προστέθηκε σημείο καταγραφής του πλήθους των οχημάτων που διέρχονται, έτσι ώστε να γίνεται ακριβής καταγραφή των οχημάτων που καταφέρνουν να φτάσουν στον προορισμό τους σε διάστημα μιας ώρας. Αυτό γίνεται μέσω της εντολής εισαγωγής detector, εισάγοντας τον στο ζητούμενο σημείο καταγραφής με τον συνδυασμό ctrl+δεξι κλικ. Προστίθεται στη συνέχεια ένας υπερβολικά μεγάλος αριθμός οχημάτων σαν φόρτος (3000 οχήματα) και ορίζεται η διάρκεια της προσομοίωσης στη μια ώρα και δέκα λεπτά, έτσι ώστε να ξεκινήσει η καταγραφή των οχημάτων δέκα λεπτά έπειτα από την έναρξη. Αυτό γίνεται διότι χρειάζεται η έλευση κάποιου χρονικού διαστήματος για τη φόρτιση του δικτύου.

Όπως και στα προηγούμενα σενάρια, έτσι και σε αυτή την περίπτωση γίνονται συνολικά 20 αναπαραγωγές. Από τις αναπαραγωγές αυτές γίνεται καταμέτρηση των οχημάτων που διέσχισαν την οδό σε χρονικό διάστημα μιας ώρας και στο τέλος υπολογίζεται ο μέσος όρος. Σε όλα σχεδόν τα σενάρια ο αριθμός των οχημάτων ήταν 2100 οχήματα, με ελάχιστη απόκλιση (μονοψήφια απόκλιση). Επομένως ο αριθμός αυτός θα αποτελέσει τον μέγιστο αριθμό οχημάτων που μπορούν να διασχίσουν το οδικό δίκτυο σε χρονικό διάστημα μίας ώρας. Βάσει του αριθμού αυτού θα ορισθούν οι μερικοί φόρτοι των τελικών σεναρίων. Για την κάλυψη των διαφορετικών φόρτων δημιουργούνται 5 διαφορετικές κατηγορίες βάση ποσοστών, όπως φαίνεται στον πίνακα που ακολουθεί:

Πίνακας 3-3: Μερικοί φόρτοι τελικών σεναρίων

Ποσοστό επί του συνολικού φόρτου	Τελικοί φόρτοι (οχήματα / λωρίδα)
20%	420
40%	840
60%	1260
80%	1680
100%	2100

3.3.5 Φόρτος πεζών

Έπειτα από τον ορισμό των συνολικών φόρτων οχημάτων, απαραίτητο βήμα στην υλοποίηση των τελικών σεναρίων αποτελεί ο ορισμός των φόρτων πεζών. Για να οριστούν τα όρια των

φόρτων πεζών, θα πρέπει να ακολουθηθεί μια διαδικασία αντίστοιχης λογικής με αυτή των οχημάτων. Στην περίπτωση των πεζών όμως δεν γίνεται να ορισθεί υπέρογκος φόρτος και στην συνέχεια να εξεταστεί η μέγιστη χωρητικότητα σε διάστημα μιας ώρας, καθώς σε αυτή την περίπτωση οι πεζοί θα δημιουργούν ουρές στα σημεία διάβασης και το δίκτυο θα δυσλειτουργεί. Για τον λόγο αυτό η προσέγγιση θα πρέπει να γίνει βάσει των τιμών της Στάθμης Εξυπηρέτησης του HCM (2010). Επιπλέον, εφόσον δεν υπάρχουν δεδομένα πεζών για το δίκτυο, θα πρέπει οι τελικές διαβαθμίσεις στους φόρτους να καλύπτουν όλο το φάσμα από χαμηλούς φόρτους έως υψηλούς.

Όπως έχει ήδη αναφερθεί, η προσέγγιση μπορεί να γίνει μέσω της μέσης επιφάνειας ανά πεζό, μέσω της μοναδιαίας ροής, μέσω της ταχύτητας κίνησης πεζών ή μέσω του λόγου ροής προς χωρητικότητα. Στην εργασία αυτή έγινε επιλογή της πρώτης προσέγγισης για λόγους ευκολίας, καθώς στο πρόγραμμα Viswalk είναι πιο εύκολο το να υπολογιστεί ένα συνολικό εμβαδό που αντιστοιχεί σε επιφάνεια κίνησης πεζών. Επιπλέον, οι υπόλοιπες τρεις προσεγγίσεις παρουσιάζουν δυσκολία καθώς υπεισέρχονται άμεσα χαρακτηριστικά κίνησης των πεζών, χαρακτηριστικά που όμως είναι διαφορετικά για κάθε πεζό. Για παράδειγμα αν γινόταν η επιλογή της προσέγγισης μέσω ταχύτητας των πεζών, θα έπρεπε να εξεταστούν οι μέσες ταχύτητες για κάθε διαφορετικό γκρουπ πεζών που έχει δημιουργηθεί. Ακόμη και σε αυτή την περίπτωση όμως θα χρειαζόταν υπολογισμός μέσης ταχύτητας κίνησης για όλη την πορεία τους καθώς οι πεζοί δεν διατηρούν σταθερή ταχύτητα στην κίνηση τους.

Για να καθοριστεί λοιπόν ο μέγιστος όγκος, και να υπολογιστούν στη συνέχεια οι χαμηλότεροι φόρτοι πεζών θα πρέπει να γίνει ο υπολογισμός της μέγιστης επιφάνειας του δικτύου στην οποία μπορούν να περπατούν οι πεζοί. Ο υπολογισμός αυτός υλοποιήθηκε ξεχωριστά για κάθε επιφάνεια (οντότητα) που έχει δημιουργηθεί, και στη συνέχεια υπολογίστηκε το άθροισμα τους. Με δεδομένο τη συνολική επιφάνεια των πεζών πλέον και σε συνδυασμό με τη χειρότερη στάθμη εξυπηρέτησης υπολογίστηκε ο μέγιστος αριθμός πεζών που εισέρχονται εντός δικτύου. Αξίζει να αναφερθεί πως ως χειρότερη κατηγορία για τα σενάρια της εργασίας αυτής επιλέγεται η στάθμη εξυπηρέτησης E του HCM (δηλαδή αντιστοιχία 0,7 έως 1,4 τετραγωνικά μέτρα ανά πεζό), καθώς σε συνθήκες στάθμες εξυπηρέτησης F (δηλαδή αντιστοιχία μικρότερη των 0,7 τετραγωνικών ανά πεζό) το δίκτυο θα δυσλειτουργεί σε σημείο δημιουργίας ουράς στα σημεία διάβασης όπου παρατηρείται φαινόμενο στένωσης (bottleneck). Στη συνέχεια έγινε επανάληψη της διαδικασίας για όλες τις στάθμες εξυπηρέτησης του HCM. Οι φόρτοι των πεζών για τα τελικά σενάρια επομένως είναι οι εξής:

Πίνακας 3-4: Τελικοί φόρτοι πεζών

Στάθμη Εξυπηρέτησης	Επιφάνεια Πεζού (m^2/πεζό)	Φόρτος Πεζών
A	>5,6	100
B	>3,7-5,6	275

C	>2,2-3,7	450
D	>1,4-2,2	625
E	>0,7-1,4	800

3.3.6 Τελικά σενάρια προσομοίωσης

Τα τελικά σενάρια της προσομοίωσης αποτελούν ουσιαστικά όλα τα διαφορετικά σενάρια, που δημιουργούνται από όλους τους πιθανούς συνδυασμούς των τελικών παραμέτρων που έχουν επιλεγεί. Όλες οι παράμετροι που έχουν επιλεγεί ως τελικές παρουσιάζονται στον ανακεφαλαιωτικό πίνακα που ακολουθεί:

Πίνακας 3-5: Παράμετροι και τιμές τελικών σεναρίων

Φόρτος οχημάτων (ανά λωρίδα)	Φόρτος Πεζών	Χρόνος Αντίδρασης (TAU)
420	100	0,2
840	275	0,4
1260	450	0,8
1680	625	1
2100	800	1,2
_	_	1,5

Συνολικά όλοι οι δυνατοί συνδυασμοί των παραμέτρων δίνουν ως αποτέλεσμα 150 διαφορετικά σενάρια. Κάθε ένα από τα σενάρια αυτά εξετάζεται ξεχωριστά, ακολουθώντας την ίδια λογική με όλα τα προηγούμενα σενάρια που έχουν αναπαραχθεί κατά τη διάρκεια της εργασίας. Έτσι, για να επιτευχθεί η βέλτιστη δυνατή ακρίβεια κάθε σενάριο αναπαράγεται στο πρόγραμμα Viswalk 20 φορές. Στη συνέχεια τα εξαγόμενα δεδομένα (trajectories) εισάγονται στο λογισμικό SSAM, όπου και γίνεται η ανάλυση των πιθανών συγκρούσεων. Ως αποτέλεσμα της διαδικασίας αυτής, η τελική ανάλυση στα μεγέθη που παρουσιάζουν ενδιαφέρον θα γίνει σε 150 υπολογιστικά φύλλα excel, με το συνολικό πλήθος σεναρίων να φτάνουν τα 3.000

σενάρια. Λόγω του περιορισμού του λογισμικού SSAM, το οποίο επιτρέπει έως 10 σενάρια προς ανάλυση ταυτόχρονα, αναγκαστικά σε κάθε σενάριο αντιστοιχούν 2 υπολογιστικά φύλλα. Κατά την ολοκλήρωση της ανάλυσης των σεναρίων οι πιθανές συγκρούσεις για κάθε σενάριο συμπληρώθηκαν σε ένα τελικό υπολογιστικό φύλλο, έτσι ώστε να υπάρχουν όλες οι πιθανές συγκρούσεις συγκεντρωμένες σε ένα. Η σύμπτυξη αυτή είναι καίρια, καθώς στους μεγάλους φόρτους οχημάτων και πεζών το πλήθος των πιθανών συγκρούσεων που εξάγει το SSAM είναι πολύ μεγάλο.

Στο επόμενο κεφάλαιο ακολουθεί η διαδικασία της ανάλυσης των σεναρίων, κυρίως μέσω των επιλεγμένων δεικτών επικινδυνότητας πιθανών συγκρούσεων εντός του δικτύου, αλλά και δεικτών που αναπαριστούν την επίδοση του δικτύου.

4. Ανάλυση Σεναρίων

4.1 Βασικά μεγέθη ανάλυσης τελικών σεναρίων

Το επόμενο βήμα στη διαδικασία ολοκλήρωσης της εργασίας είναι η ανάλυση όλων των διαφορετικών παραμέτρων που έχουν επιλεγεί ως σημαντικές για τη συνθήκη επικινδυνότητας του δικτύου. Όπως έχει ήδη αναφερθεί, σημαντικά εργαλεία τα οποία αποτυπώνουν το επίπεδο οδικής ασφάλειας στο οδικό δίκτυο για την επίτευξη του σκοπού αυτού αποτελούν τα μεγέθη TTC (time-to-collision) και PET (post-enchroachment-time), μέσω των οποίων ερμηνεύεται ικανοποιητικά η επικινδυνότητα μιας πιθανής -ή και σίγουρης- σύγκρουσης μεταξύ δυο οχημάτων του δικτύου. Σημαντικός παράγοντας επίσης είναι το πλήθος των πιθανών συγκρούσεων που εντοπίζονται μέσω του λογισμικού SSAM. Επιπρόσθετα, εφόσον εξετάζεται η επιρροή της συμπεριφοράς των πεζών στο δίκτυο, θα ήταν παράλειψη να μην αξιολογηθεί η αποδοτικότητα του δικτύου σε θέματα λειτουργικής απόδοσης, κατά συνέπεια εξετάζεται και το μέγεθος της μέσης καθυστέρησης των οχημάτων. Τέλος, έχει σημασία να εξεταστεί πόσα εκ των συνολικών οχημάτων δεν καταφέρνουν να ολοκληρώσουν την προσομοίωση, επίσης ως δείκτη επιρροής των πεζών στη χειρότερη λειτουργία του δικτύου.

Τα τελικά δεδομένα συλλέγονται και από τα δύο λογισμικά (Viswalk, SSAM). Από το λογισμικό Viswalk δίνεται στον χρήστη η δυνατότητα εξαγωγής δεδομένων σε μορφή λίστας. Ο εκάστοτε χρήστης επιλέγει τα μεγέθη που θα υπολογίζονται από το πρόγραμμα ανάλογα με τη προσέγγιση που τον ενδιαφέρει. Στην εργασία αυτή τα δεδομένα που εξάχθηκαν μέσω λίστας ήταν η μέση καθυστέρηση των οχημάτων του δικτύου αλλά και ο αριθμός των οχημάτων που δεν κατάφεραν να φτάσουν στον τελικό τους προορισμό, εντός του χρονικού πλαισίου της προσομοίωσης. Από την ανάλυση των τροχιών που διεξάγει το SSAM θα συλλεχθούν τα υπόλοιπα δεδομένα που σχετίζονται άμεσα με την επικινδυνότητα του δικτύου. Τα δύο βασικά μεγέθη TTC, PET μαζί με το πλήθος πιθανών συγκρούσεων αποτελούν τη βάση της ανάλυσης. Όλα τα δεδομένα από τα τελικά σενάρια, καθώς και από όλα τα προηγούμενα σενάρια που έχουν διεξαχθεί στην πορεία της εργασίας αυτής βρίσκονται συγκεντρωμένα σε υπολογιστικά φύλλα excel στο παράρτημα πινάκων.

4.2 Επεξεργασία δεδομένων

Η επεξεργασία των δεδομένων είναι ουσιαστικά το βασικό μέσο για την εξαγωγή των συμπερασμάτων. Αποτελεί χρονοβόρα διαδικασία, καθώς πρέπει να επαναληφθεί για όλα τα σενάρια της εργασίας, έτσι ώστε να υπάρχει δυνατότητα δημιουργίας ενός ανακεφαλαιωτικού φύλλου υπολογισμών. Η συγκέντρωση όλων των υπολογισμένων μεγεθών σε ένα φύλλο είναι καίρια έτσι ώστε να μπορούν να παρατηρηθούν πιο εύκολα οι συμπεριφορές των μεγεθών και να αποδοθούν οπτικά.

Το πρώτο βήμα στην επεξεργασία των δεδομένων που έχουν συλλεχθεί από το SSAM είναι ο υπολογισμός των πιθανών συγκρούσεων. Αυτό επιτυγχάνεται εύκολα μέσω της εντολής count, είτε οπτικά, αφού κάθε γραμμή στο φύλλο αποτελεί ουσιαστικά και μια πιθανή σύγκρουση που έχει εντοπίσει το λογισμικό. Στη συνέχεια υπολογίζονται οι μέσοι όροι των μεγεθών TTC και PET, μέσω της εντολής average. Στο σημείο αυτό πρέπει να σημειωθεί πως τα μεγέθη αυτά έχουν ήδη περιορισμένα όρια από τον ορισμό παραμέτρων στο λογισμικό SSAM, επομένως ο υπολογισμός ελάχιστων και μέγιστων τιμών δεν έχει νόημα. Αυτό αποδείχθηκε και στην πράξη καθώς σε όσα υπολογιστικά φύλλα έγινε χρήση των συναρτήσεων min, max οι τιμές ταυτίζονταν με τις ήδη ορισμένες στο SSAM.

Η επόμενη συνάρτηση που χρησιμοποιείται είναι η συνάρτηση υπολογισμού της τυπικής απόκλισης του δείγματος (stdev) για τα μεγέθη TTC και PET. Μέσω της συνάρτησης αυτής παρατηρείται η διασπορά του δείγματος, δηλαδή η απόκλιση από τον αριθμητικό μέσο. Η συνάρτηση αυτή αποκτά επιπλέον χρησιμότητα καθώς κάθε μέσος όρος υπολογίζεται από 20 διαφορετικές αναπαραγωγές και αναλύσεις, επομένως μπορεί να μας δώσει σημαντικές πληροφορίες για τη ¨συμπεριφορά¨ των συγκρούσεων.

Στη συνέχεια θεωρήθηκε χρήσιμο να ορισθεί ένα συγκεκριμένο όριο κάτω από το οποίο μια σύγκρουση θεωρείται αναπόφευκτη. Η τιμή αυτή, βάσει των τιμών του Hyden (1987), θα ορισθεί στα 0,5 δευτερόλεπτα. Από την τιμή αυτή και κάτω μια σύγκρουση θεωρείται αρκετά επικίνδυνη. Για τον λόγο αυτό παρουσιάζεται αρκετό ενδιαφέρον στον εντοπισμό τέτοιων συγκρούσεων. Ο διαχωρισμός και η καταμέτρησή τους επιτυγχάνεται μέσω της συνάρτησης καταμέτρησης με εισαγωγή περιορισμού (countif), που στη συγκεκριμένη περίπτωση είναι η τιμή 0,5.

Επιπλέον, εφόσον είναι καταμετρημένος ο συνολικός αριθμός συγκρούσεων αλλά και ένα τμήμα αυτών χαρακτηρισμένες ως επικίνδυνες, μπορεί να υπολογιστεί ο λόγος των επικίνδυνων προς τις συνολικές πιθανές συγκρούσεις. Ο λόγος αυτός είναι χρήσιμος ως δείκτης επικινδυνότητας στο δίκτυο, καθώς όσο προσεγγίζει την τιμή 1 τόσο περισσότερες επικίνδυνες συγκρούσεις εμφανίζονται στο σενάριο. Η μεταβολή του μεγέθους αυτού αντίστοιχα θα μας δείξει κατά πόσο επηρεάζεται το δίκτυο.

Για την καλύτερη ερμηνεία των δεδομένων επίσης επιλέχθηκε ο υπολογισμός των τριών τεταρτημορίων του δείγματος. Αποτελούνται από το 25ο εκατοστημόριο, το 50ο εκατοστημόριο και το 75ο εκατοστημόριο. Για τον υπολογισμό τους γίνεται χρήση της συνάρτησης Quartile, ορίζοντας έπειτα τον πίνακα και το αντίστοιχο τεταρτημόριο που θέλουμε να υπολογιστεί. Μέσω της συνάρτησης αυτής δίνεται επίσης στον χρήστη η δυνατότητα υπολογισμού της μέγιστης και της ελάχιστης τιμής (θέτοντας ως τεταρτημόριο το 0 και το 4 αντίστοιχα). Μέσω των τεταρτημορίων αυτών γίνεται πιο αντιληπτή η κατανομή των τιμών, καθώς οι τιμές για τα μεγέθη τοποθετούνται σε αύξουσα σειρά και στην συνέχεια γίνεται ο υπολογισμός τους.

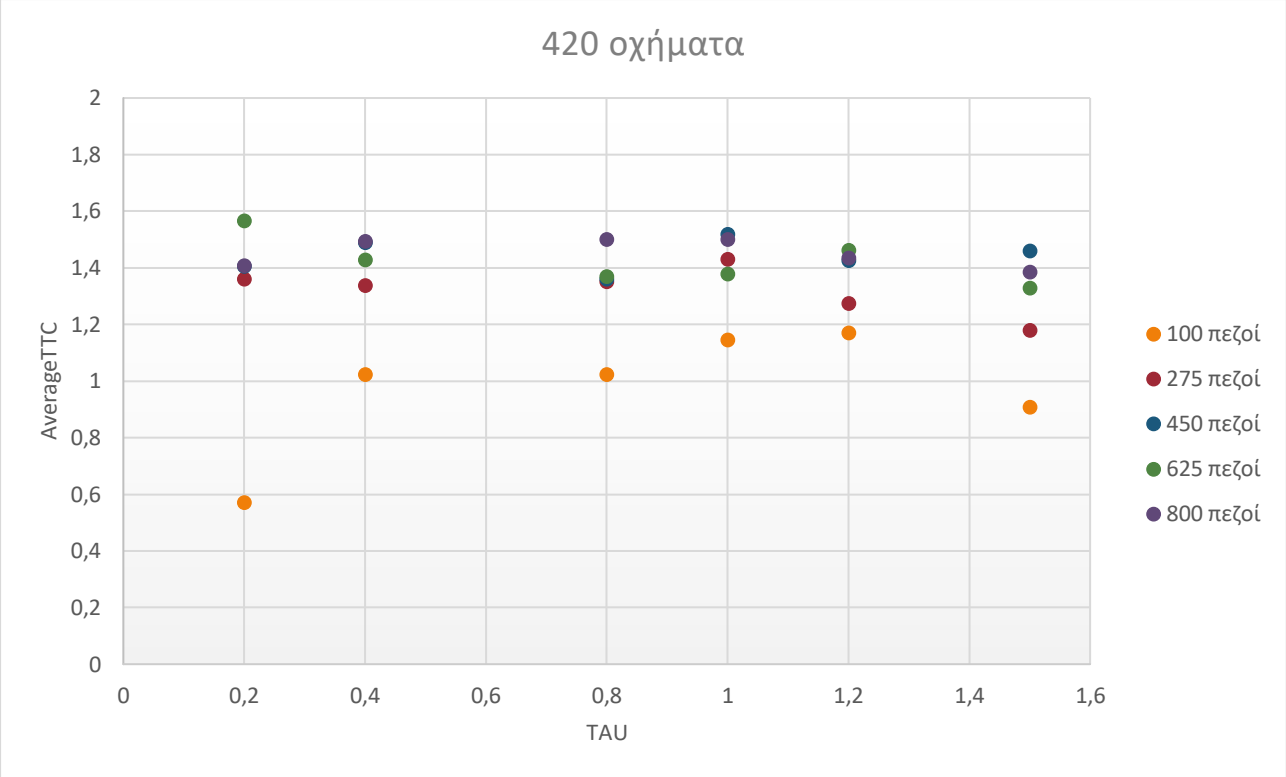
Έπειτα από τον υπολογισμό των μεγεθών αυτών για κάθε υπολογιστικό φύλλο ξεχωριστά, συγκεντρώθηκαν όλες οι τιμές των μεγεθών σε ένα συγκεντρωτικό φύλλο υπολογισμών. Το συγκεντρωτικό αυτό excel αποτελείται από τέσσερα φύλλα. Το πρώτο φύλλο περιέχει όλες τις τιμές των μεγεθών που προέρχονται από τους υπολογισμούς του λογισμικού SSAM. Το δεύτερο φύλλο περιέχει τα μεγέθη που προέρχονται από το λογισμικό Viswalk. Το τρίτο και το τέταρτο φύλλο αποτελούνται από τους υπολογισμούς των μεταβολών μεταξύ των μεγεθών, όσο αυξάνεται ο χρόνος αντίδρασης tau. Τα δύο αυτά φύλλα θα βοηθήσουν στον εντοπισμό μοτίβων, καθώς οι μεταβολές με θετικό πρόσημο δείχνουν αύξηση ενώ οι μεταβολές με αρνητικό πρόσημο μείωση. Κατά τη διαδικασία αναγνώρισης των μοτίβων αυτών, ζητούμενο είναι να παρατηρηθούν επαναλαμβανόμενες συμπεριφορές που θα αναδείξουν τη συνολική συμπεριφορά του δικτύου, σε σχέση με τις παραμέτρους των σεναρίων.

4.2.1 Time to Collision- TTC

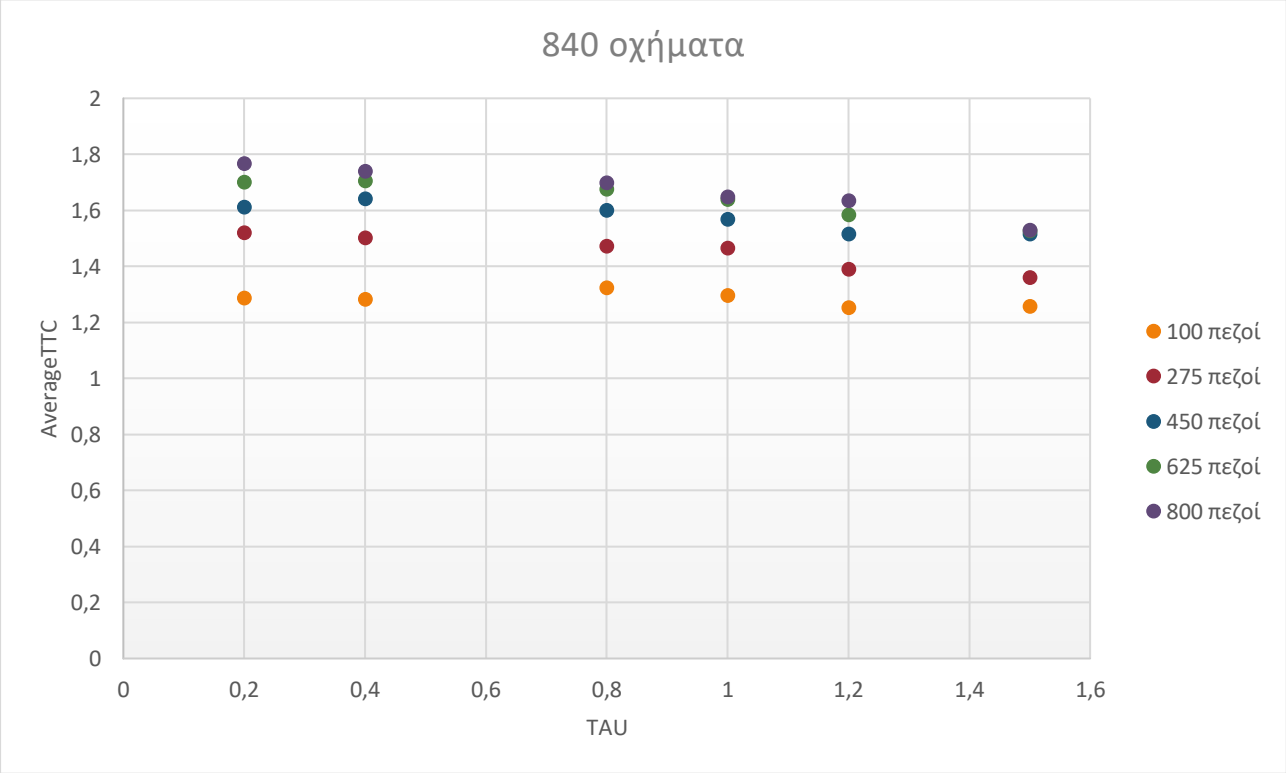
Ως πρώτο μέρος της ανάλυσης εξετάστηκε η επιρροή της αύξησης του χρόνου αντίδρασης των πεζών (tau) στο μέγεθος TTC, διατηρώντας σταθερούς τους φόρτους των οχημάτων/πεζών. Κατά μέσο όρο στα σενάρια παρατηρείται μια υψηλή τιμή του μεγέθους average TTC στον χαμηλότερο χρόνο αντίδρασης (τιμή tau=0,2) και μια συνεχής φθίνουσα πορεία. Στα σενάρια χαμηλού φόρτου οχημάτων (420 οχήματα, 840 οχήματα) παρατηρείται διαφορετικό μοτίβο. Στη πρώτη κατηγορία σεναρίων (420 οχήματα) παρατηρείται μια διαρκής αυξομείωση του μεγέθους averageTTC, χωρίς να ακολουθεί έτσι απαραίτητα το γενικότερο μοτίβο των άλλων σεναρίων. Αντίστοιχα στη δεύτερη κατηγορία σεναρίων (840 οχήματα) ενώ παρατηρείται το ίδιο μοτίβο με τα υπόλοιπα σενάρια η μέγιστη τιμή του μεγέθους averageTTC εμφανίζεται στον χρόνο αντίδρασης 0,4 (tau=0,4) και στη συνέχεια φθίνει.

Για την ευκολότερη εύρεση συγκεκριμένων μοτίβων όσον αφορά την ανάλυση των μεγεθών, κρίθηκε απαραίτητη η δημιουργία γραφημάτων. Η αρχική προσέγγιση ήταν η δημιουργία γραφημάτων γραμμής, για κάθε διαφορετικό σενάριο φόρτου, ορίζοντας στον κάθετο άξονα τις τιμές των μεγεθών averageTTC, averagePET και στον οριζόντιο άξονα όλες τις τιμές χρόνου αντίδρασης που έχουν οριστεί. Επειδή όμως το πλήθος των σεναρίων είναι μεγάλο και η προσέγγιση της γραμμής θεωρήθηκε εσφαλμένη καθώς δεν εξετάζονται όλες οι πιθανές διαφορετικές τιμές που θα μπορούσε να πάρει το μέγεθος tau, γίνεται χρήση των γραφημάτων διασποράς (X,Y). Επιπλέον, επειδή σαν γενικότερο μοτίβο φαίνεται το μέγεθος averagePET να ακολουθά το μοτίβο που παρουσιάζει το averageTTC, δεν υπάρχει ενδιαφέρον στο να παρουσιαστούν όλα τα διαγράμματα για όλα τα διαφορετικά σενάρια. Όλα τα διαγράμματα αυτά θα είναι διαθέσιμα στο παράρτημα διαγραμμάτων.

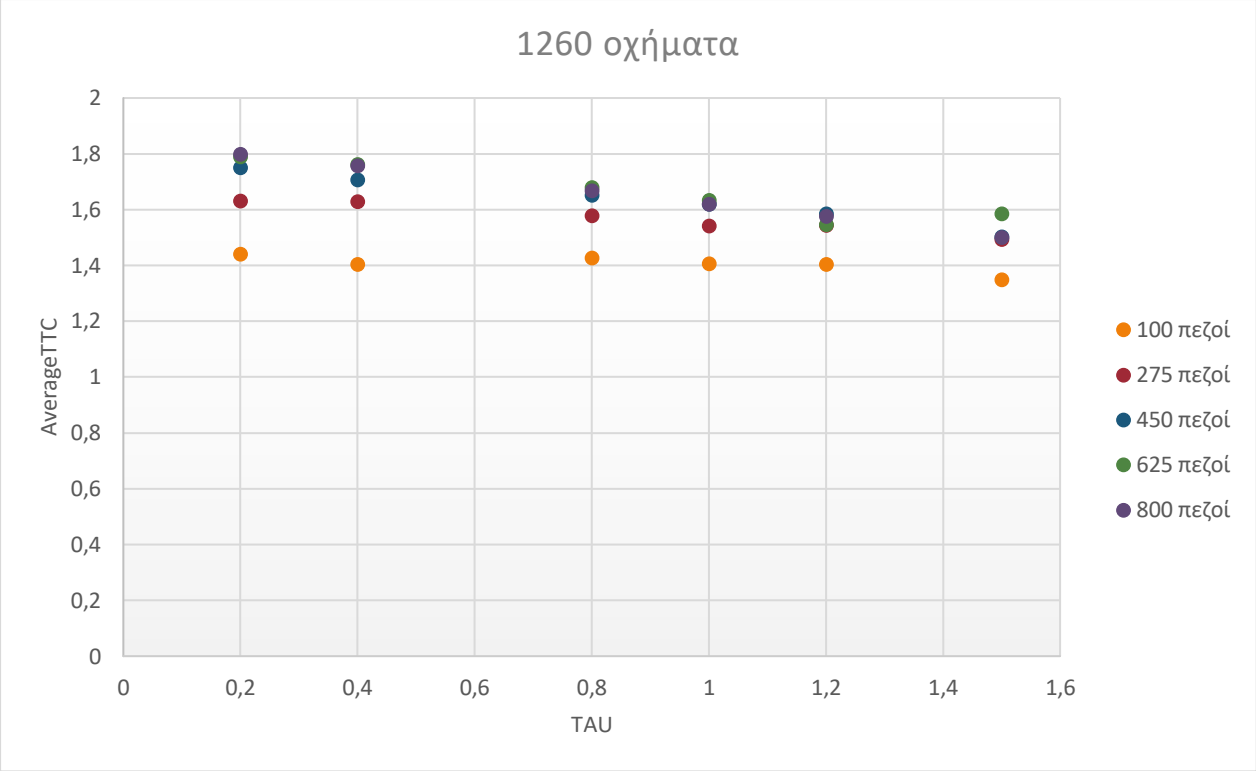
Εφόσον η συμπεριφορά των μεγεθών averageTTC, averagePET είναι παρόμοια, κρίθηκε σωστό για την αποφυγή περιττής πληροφορίας η οποία δεν θα προσφέρει επιπλέον στοιχεία στην ανάλυση να δημιουργηθούν ξεχωριστά γραφήματα διασποράς για τα μεγέθη αυτά. Η αλλαγή αυτή όμως δίνει τη δυνατότητα προσθήκης πολλαπλών φόρτων πεζών σε ένα γράφημα, χωρίς να δημιουργείται όμως σύγχυση στον αναγνώστη. Έτσι, δημιουργήθηκαν ουσιαστικά 5 γραφήματα διασποράς (X,Y), ένα για κάθε ομάδα σεναρίων φόρτου οχημάτων. Σε κάθε ένα από τα σενάρια αυτά υπάρχουν 5 διαφορετικές κατηγορίες φόρτου πεζών. Στον άξονα Y ορίστηκαν οι τιμές του μεγέθους averageTTC και στον άξονα X οι τιμές του χρόνου αντίδρασης πεζών tau. Τα γραφήματα αυτά παρουσιάζονται παρακάτω:



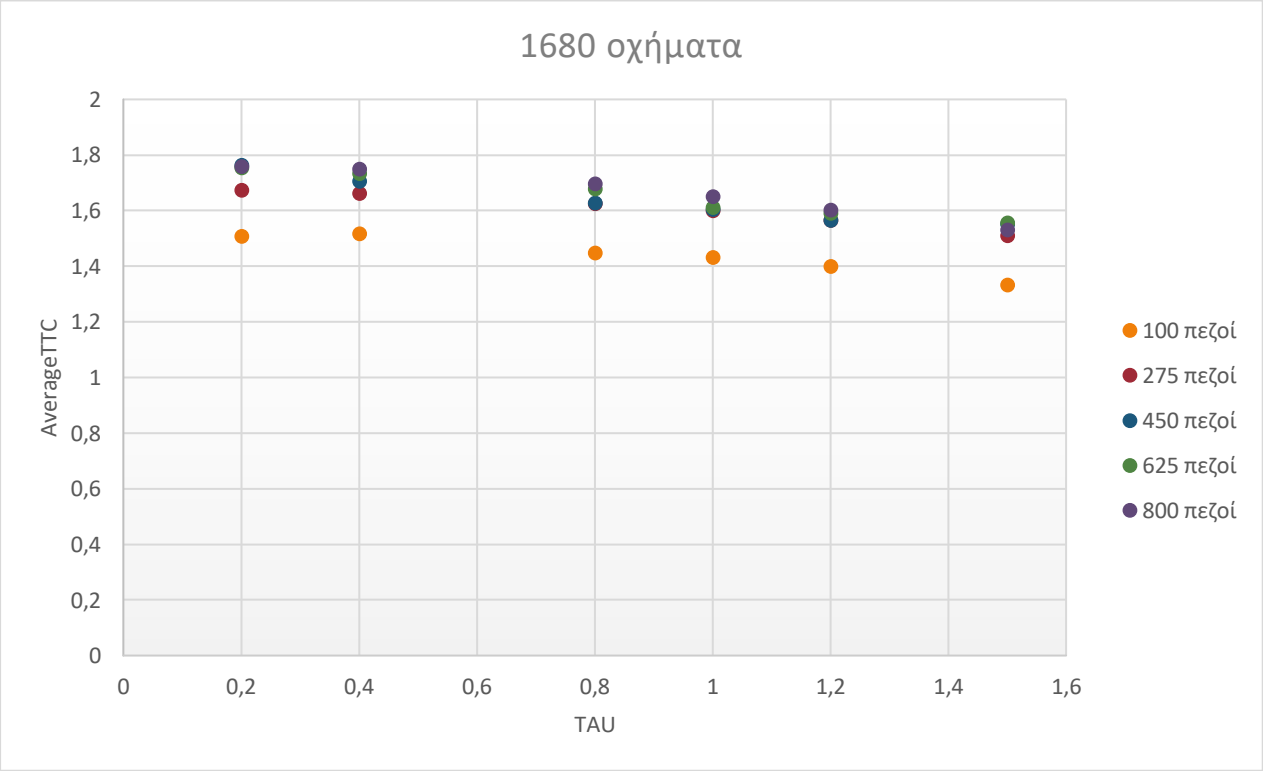
Διάγραμμα 4-1: Ανάλυση averageTTC στα σενάρια με φόρτο 420 οχήματα



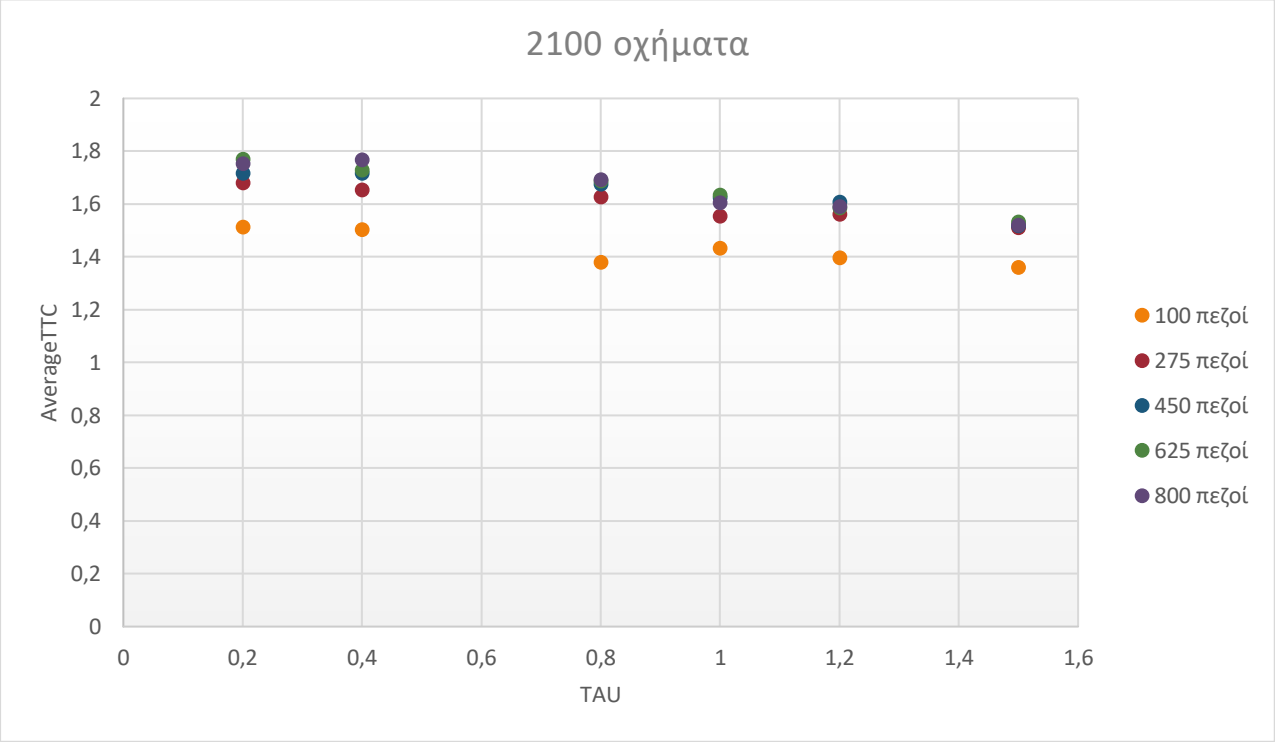
Διάγραμμα 4-2: Ανάλυση averageTTC στα σενάρια με φόρτο 840 οχήματα



Διάγραμμα 4-3: Ανάλυση averageTTC στα σενάρια με φόρτο 1260 οχήματα



Διάγραμμα 4-4: Ανάλυση averageTTC στα σενάρια με φόρτο 1680 οχήματα



Διάγραμμα 4-5: Ανάλυση averageTTC στα σενάρια με φόρτο 2100 οχήματα

Εξετάζεται η επιρροή της αύξησης των πεζών στο δίκτυο διατηρώντας σταθερό τον χρόνο αντίδρασης tau των πεζών. Ως αποτέλεσμα έχουμε:

- Για χρόνο αντίδρασης 0,2 (tau=0,2) όσο αυξάνεται το πλήθος των πεζών στο δίκτυο, τόσο αυξάνεται και το μέγεθος average TTC.
- Για χρόνο αντίδρασης 0,4 (tau=0,4) όσο αυξάνεται το πλήθος των πεζών στο δίκτυο, αυξάνεται επίσης και το μέγεθος average TTC.
- Για χρόνο αντίδρασης 0,8 (tau=0,8) παρατηρείται ακριβώς το ίδιο μοτίβο αύξησης πεζών και μεγέθους averageTTC.
- Για χρόνο αντίδρασης 1 (tau=1) όσο αυξάνεται ο όγκος των πεζών παρατηρείται αυξητική πορεία του averageTTC, όμως παρατηρούνται σημεία στασιμότητας για το μέγεθος σε ορισμένες τιμές.
- Για χρόνο αντίδρασης 1,2 (tau=1,2) , με αύξηση του όγκου των πεζών παρατηρείται ένα πιο σύνθετο μοτίβο. Όσον αφορά το average TTC ακολουθεί την αναμενόμενη αυξητική πορεία έως τα σενάρια φόρτου 840 οχημάτων, έπειτα παρουσιάζει ένα μοτίβο αύξησης- μικρής μείωσης – αύξησης όσο αυξάνονται οι πεζοί.
- Για χρόνο αντίδρασης 1,5 (tau=1,5) με αύξηση των πεζών στο δίκτυο παρατηρείται ξανά ένα πιο σύνθετο μοτίβο. Καθώς ο όγκος πεζών αυξάνεται, τόσο και το average TTC σημειώνει αύξηση μέχρι μια τιμή και στη συνέχεια παρουσιάζει είτε σταθεροποίηση στην τιμή αυτή είτε ακολουθεί το μοτίβο αύξηση -μικρή μείωση - και στη συνέχεια ξανά αύξηση.

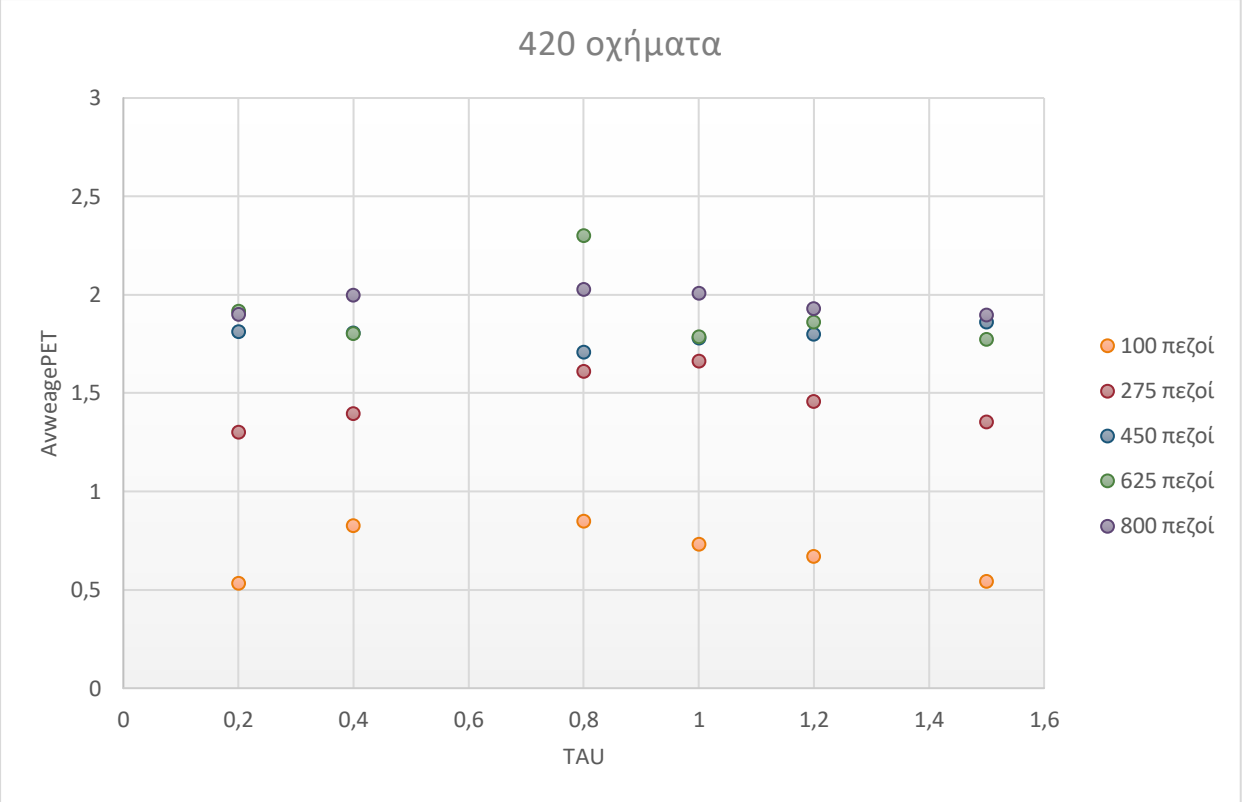
Στη συνέχεια επαναλαμβάνεται η ίδια διαδικασία διατηρώντας σταθερά τον χρόνο αντίδρασης των πεζών και τον φόρτο πεζών:

- Στα σενάρια με φόρτο 100 πεζούς, όσο αυξάνεται ο φόρτος οχημάτων στο δίκτυο τόσο αυξάνεται και το avgTTC. Τα μόνα σενάρια στα οποία δεν παρατηρείται αυτή η αύξηση στο avgTTC είναι τα σενάρια με μέγιστο φόρτο οχημάτων (2100 οχήματα), στα οποία παρατηρείται μια ελάχιστη μείωση συγκριτικά με τις τιμές του avgTTC στα σενάρια με φόρτο 1680 οχήματα.
- Στα σενάρια με φόρτο 275 πεζούς, όσο αυξάνεται ο φόρτος οχημάτων στο δίκτυο τόσο αυξάνεται και το avgTTC. Όπως παρατηρήθηκε και στα σενάρια των 100 πεζών, έτσι και στα σενάρια με φόρτο 275 πεζών παρουσιάζεται μικρή μείωση στο avgTTC στα σενάρια με μέγιστο φόρτο οχημάτων.
- Στα σενάρια με φόρτο 450 πεζούς, όσο αυξάνεται ο φόρτος οχημάτων τόσο αυξάνεται και το avgTTC. Ενώ όμως στα σενάρια χαμηλότερου φόρτου πεζών παρουσιαζόταν μικρή μείωση του avgTTC στα σενάρια με μέγιστο φόρτο οχημάτων, εδώ η μικρή αυτή μείωση παρατηρείται ήδη από τα σενάρια με φόρτο 1680 οχήματα. Η μείωση αυτή παρατηρείται όμως στα σενάρια με χρόνο αντίδρασης πεζών από 0,8 (tau=0,8) και άνω.
- Στα σενάρια με φόρτο 625 πεζούς, παρατηρείται αύξηση του avgTTC όσο αυξάνεται και ο φόρτος οχημάτων. Στα σενάρια αυτά όμως το avgTTC εμφανίζει μικρή πτώση στα σενάρια με φόρτο 1680 οχήματα, ανεξάρτητα από τον χρόνο αντίδρασης των πεζών. Έτσι, για όλους τους χρόνους αντίδρασης υπάρχει μικρή μείωση του μεγέθους στα σενάρια φόρτου 1680 οχημάτων και έπειτα είτε σταθεροποίηση είτε ελάχιστη αύξηση στα σενάρια φόρτου 2100 οχημάτων.
- Στα σενάρια με φόρτο 800 πεζούς παρουσιάζεται ένα ελαφρώς διαφορετικό μοτίβο. Σε αυτή την ομάδα σεναρίων εμφανίζεται αύξηση του μεγέθους avgTTC έως τα σενάρια με φόρτο οχημάτων στα 1260 οχήματα, στη συνέχεια παρουσιάζει μείωση στα σενάρια με φόρτους οχημάτων 1260 και 1680 οχήματα, και τέλος παρουσιάζει ξανά μικρή αύξηση στα σενάρια με φόρτο 2100 οχήματα εντός δικτύου.

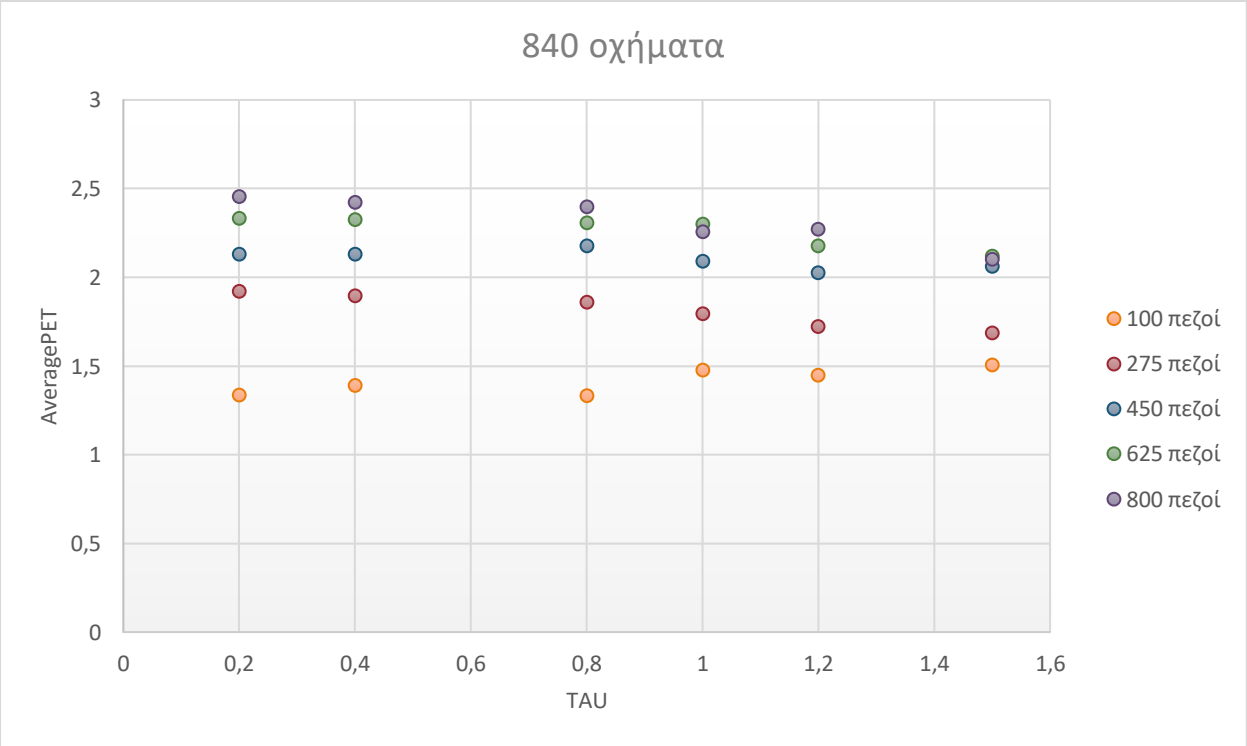
4.2.2 Post Enchroachment Time- PET

Επόμενο βήμα στην ανάλυση των σεναρίων αποτελεί η εξέταση της αύξησης του χρόνου αντίδρασης των πεζών και πως αυτός επηρεάζει το μέγεθος averagePET. Όπως και στην ανάλυση του averageTTC, για αρχή οι φόρτοι των οχημάτων και πεζών στο δίκτυο διατηρούνται σταθεροί. Παρατηρώντας τις μεταβολές του μεγέθους average PET εμφανίζεται μια αυξομείωση στα σενάρια πεζών έως 275 πεζούς. Έπειτα παρατηρείται διαρκής μείωση του μεγέθους με τις ελάχιστες τιμές να εμφανίζονται στους χρόνους αντίδρασης 1,5 (tau=1,5). Το μοτίβο μείωσης στο μέγεθος averagePET φαίνεται να ακολουθεί σε πολλά σενάρια το μοτίβο μείωσης του μεγέθους averageTTC, κάτι το οποίο είναι σχετικά αναμενόμενο ως αποτέλεσμα.

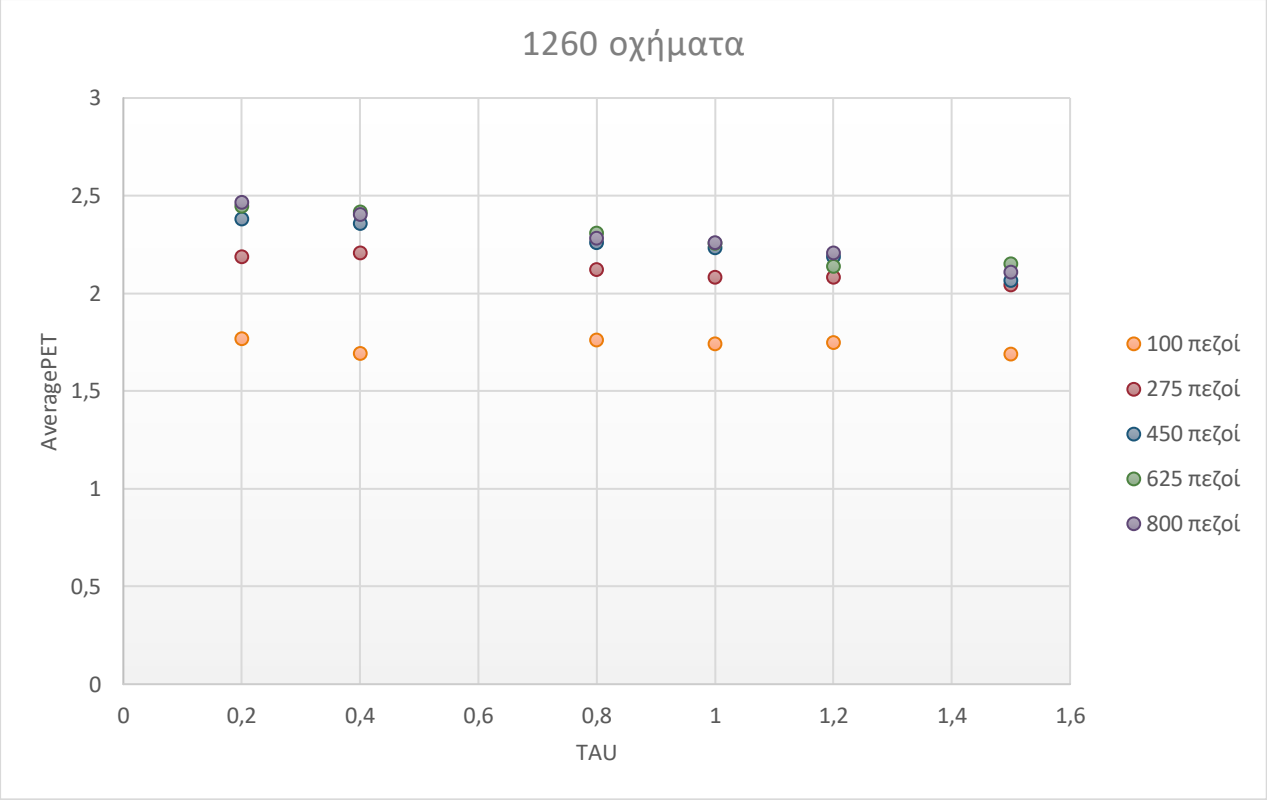
Ακολουθώντας τη λογική των γραφημάτων που δημιουργήθηκαν για το averageTTC, δημιουργούνται τα 5 διαφορετικά γραφήματα για το averagePET, ένα για κάθε κατηγορία σεναρίων ανά φόρτο οχημάτων:



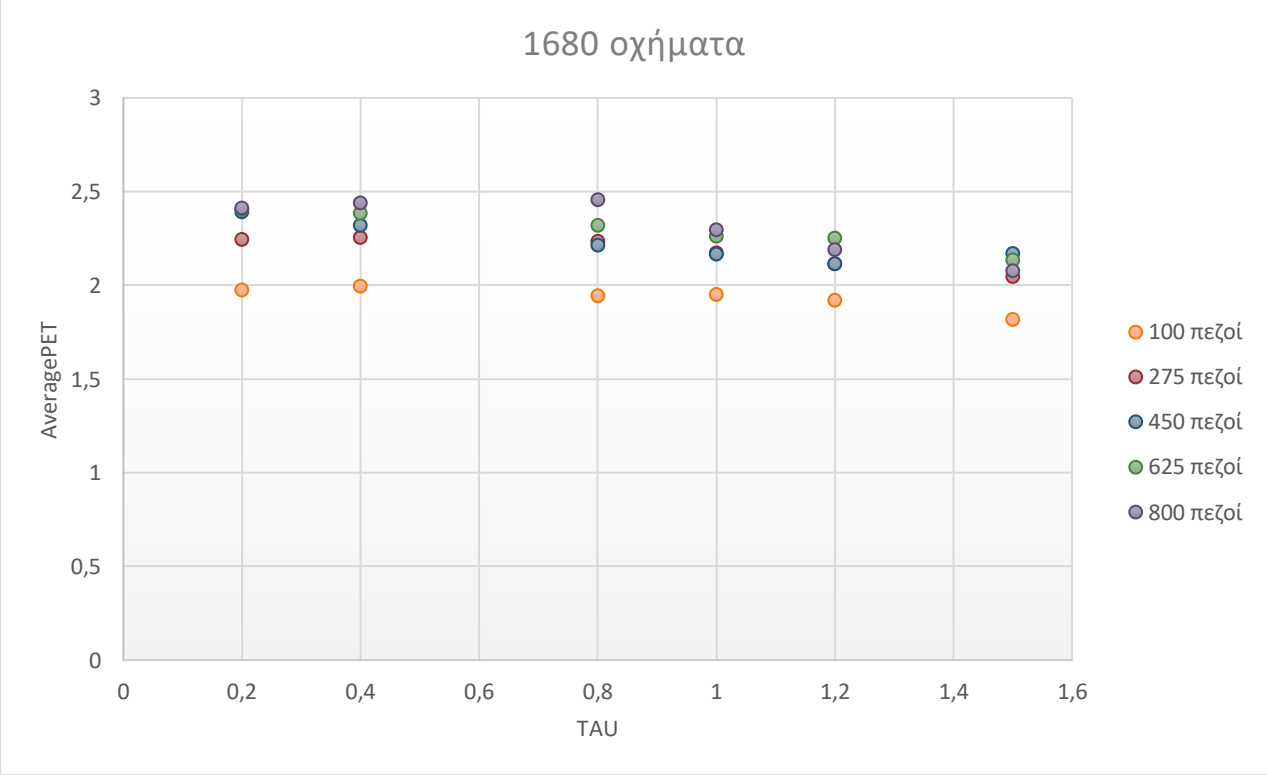
Διάγραμμα 4-6: Ανάλυση averagePET στα σενάρια με φόρτο 420 οχήματα



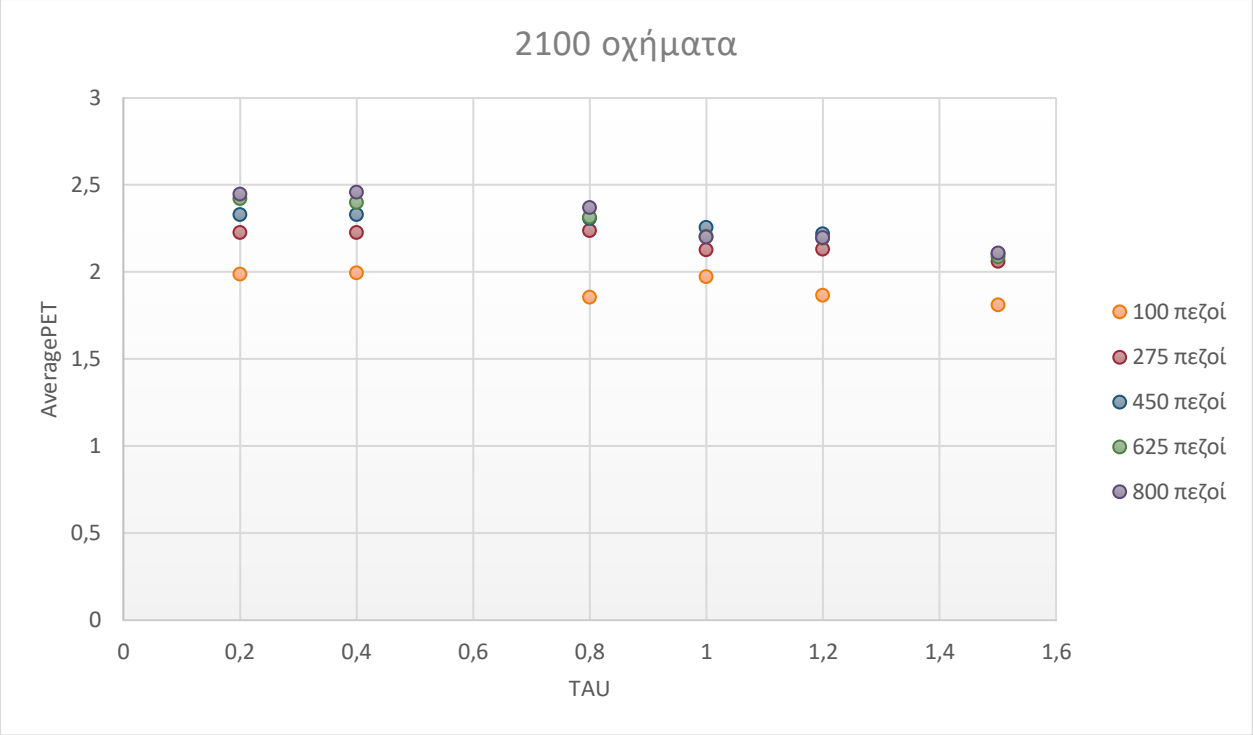
Διάγραμμα 4-7: Ανάλυση averagePET στα σενάρια με φόρτο 840 οχήματα



Διάγραμμα 4-8: Ανάλυση averagePET στα σενάρια με φόρτο 1260 οχήματα



Διάγραμμα 4-9: Ανάλυση averagePET στα σενάρια με φόρτο 1680 οχήματα



Διάγραμμα 4-10: Ανάλυση averagePET στα σενάρια με φόρτο 2100 οχήματα

Διατηρώντας σταθερό τον χρόνο αντίδρασης και τον φόρτο οχημάτων, καθώς αυξάνεται ο φόρτος τον πεζών στο δίκτυο:

- Για χρόνο αντίδρασης 0,2 (tau=0,2) όσο αυξάνεται το πλήθος των πεζών στο δίκτυο, τόσο αυξάνεται και το μέγεθος averagePET.
- Για χρόνο αντίδρασης 0,4 (tau=0,4) όσο αυξάνεται το πλήθος των πεζών στο δίκτυο , αυξάνεται επίσης και το average PET.
- Για χρόνο αντίδρασης 0,8 (tau=0,8) παρατηρείται ακριβώς το ίδιο μοτίβο αύξησης πεζών και averagePET.
- Για χρόνο αντίδρασης 1 (tau=1) όσο αυξάνεται ο όγκος των πεζών το average PET διατηρεί και αυτό αυξητική πορεία, πλην των σεναρίων 420 οχημάτων και 2100 οχημάτων.
- Για χρόνο αντίδρασης 1,2 (tau=1,2) με αύξηση του όγκου των πεζών παρατηρείται ένα πιο σύνθετο μοτίβο. Όσον αφορά το average PET, ακολουθεί το μοτίβο αύξησης – μικρής μείωσης – αύξησης που παρουσίασε το average TTC.
- Για χρόνο αντίδρασης 1,5 (tau=1,5) με αύξηση των πεζών στο δίκτυο παρατηρείται ξανά ένα πιο σύνθετο μοτίβο. Καθώς ο όγκος πεζών αυξάνεται, το average PET σημειώνει αύξηση μέχρι μια τιμή και στη συνέχεια παρουσιάζει είτε σταθεροποίηση είτε ακολουθεί το ίδιο μοτίβο που αναφέρθηκε στο averageTTC, δηλαδή ένα μοτίβο αύξησης- μικρής μείωσης- αύξησης.

Στη συνέχεια επαναλαμβάνεται η ίδια διαδικασία διατηρώντας σταθερά τον χρόνο αντίδρασης των πεζών και τον φόρτο πεζών:

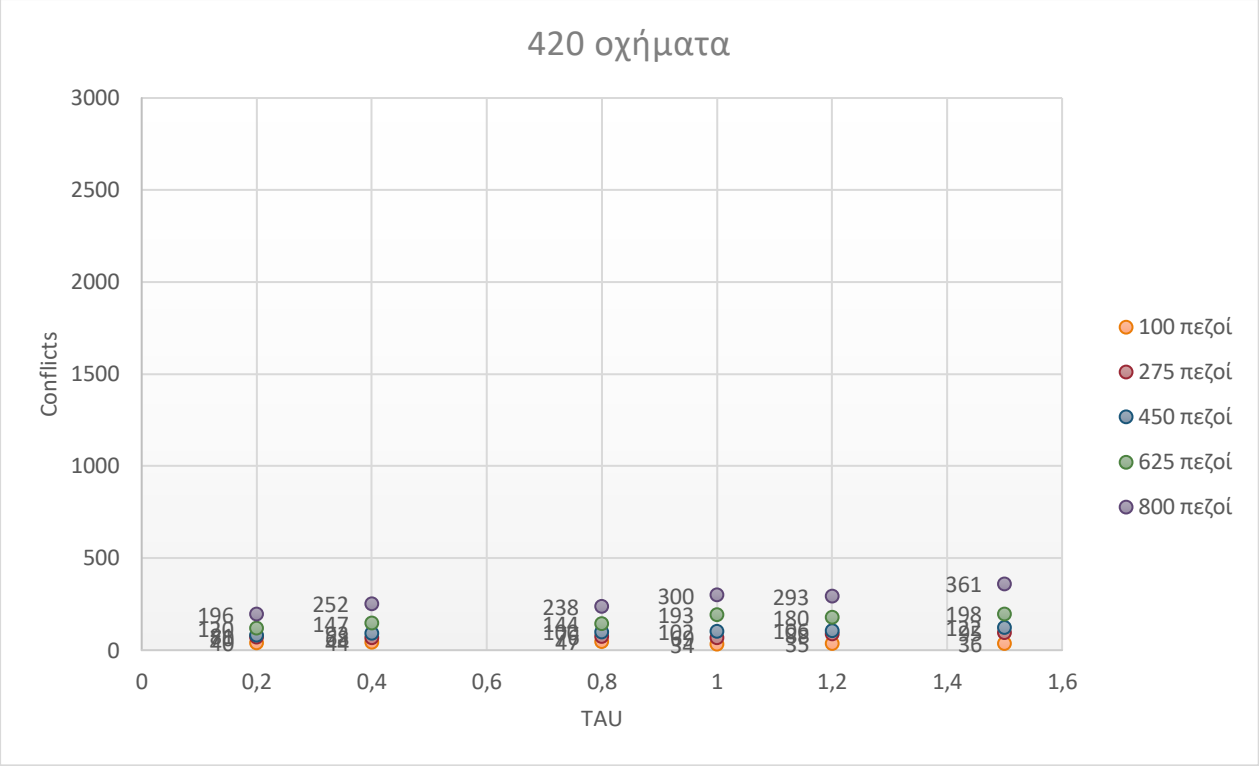
- Στα σενάρια με φόρτο 100 πεζούς, όσο αυξάνεται ο φόρτος οχημάτων στο δίκτυο παράλληλα αυξάνεται και το avgPET. Αυτή η σταθερή αύξηση παρατηρείται για όλους τους χρόνους αντίδρασης των πεζών.

- Στα σενάρια με φόρτο 275 πεζούς, έως τα σενάρια με φόρτο 1680 οχήματα υπάρχει διαρκής αύξηση του μεγέθους avgPET όσο πληθαίνουν τα οχήματα στο δίκτυο. Αλλαγή εμφανίζεται στα σενάρια μέγιστου φόρτου, στα οποία το avgPET είτε παρουσιάζει μικρή μείωση είτε παραμένει σχεδόν σταθερό στην προηγούμενη τιμή, στην τιμή δηλαδή που είχε στα σενάρια με φόρτο 1680 οχήματα.
- Στα σενάρια με φόρτο 450 πεζούς, παρατηρείται πάλι παράλληλη αύξηση του avgPET με την αύξηση του φόρτου οχημάτων έως και την ομάδα σεναρίων με φόρτο 1680 οχήματα. Έπειτα, από την ομάδα σεναρίων με φόρτο 1680 οχήματα το avgPET παρουσιάζει μείωση η οποία διατηρείται και στην ομάδα σεναρίων με φόρτο 2100 οχήματα.
- Στα σενάρια με φόρτο 625 πεζούς παρατηρείται αλλαγή στις μεταβολές του avgPET. Σε αυτή την ομάδα σεναρίων παρατηρείται πως υπάρχουν διαφορετικά σημεία αύξησης και μείωσης του avgPET, ανάλογα με τον διαφορετικό χρόνο αντίδρασης των πεζών. Έτσι όταν οι πεζοί έχουν ορισμένο χρόνο αντίδρασης 0,2 (tau=0,2) υπάρχει αύξηση του avgPET έως τα σενάρια 1680 οχημάτων και μείωση στα σενάρια 2100 οχημάτων. Όταν ορίζεται χρόνος αντίδρασης 0,4 (tau=0,4) παρατηρείται διαρκής αύξηση του avgPET και έπειτα μείωση στις ομάδες σεναρίων με 1680 και 2100 οχήματα. Με χρόνο αντίδρασης 0,8 (tau=0,8) το avgPET εμφανίζει ελάχιστη αύξηση όσο αυξάνεται ο φόρτος οχημάτων με αποτέλεσμα να διατηρείται η τιμή αυτή και στους υψηλούς φόρτους οχημάτων. Για χρόνο αντίδρασης 1 (tau=1) το μέγεθος avgPET παρουσιάζει αύξηση έως τα σενάρια με φόρτο 1260 οχήματα και έπειτα υπάρχει μείωση. Για χρόνο αντίδρασης 1,2 (tau=1,2) εντοπίζεται αύξηση έως τα σενάρια με φόρτο 840 οχήματα, στη συνέχεια μείωση στα σενάρια με φόρτο 1260, 1680 και 2100 οχήματα. Τέλος για χρόνο αντίδρασης 1,5 (tau=1,5) το averagePET παρουσιάζει αύξηση μέχρι την ομάδα σεναρίων με φόρτο 1260 οχήματα και έπειτα παρουσιάζει μείωση στα σενάρια με φόρτο 1260, 1680 και 2100 οχήματα.
- Στα σενάρια με φόρτο 800 πεζούς παρατηρούνται δυο διαφορετικά μοτίβα. όταν οι πεζοί έχουν τιμές χρόνου αντίδρασης έως και 0,8 (tau=0,2 , tau=0,4 , tau=0,8), όσο αυξάνονται τα οχήματα στο δίκτυο αυξάνεται και το avgPET. Στις υψηλότερες τιμές χρόνου αντίδρασης των πεζών (tau=1, tau=1,2 , tau=1,5) το avgPET σημειώνει αύξηση μέχρι την ομάδα σεναρίων με 1260 οχήματα στο δίκτυο και έπειτα παρουσιάζει μείωση στα σενάρια με φόρτο 1680 και 2100 οχήματα.

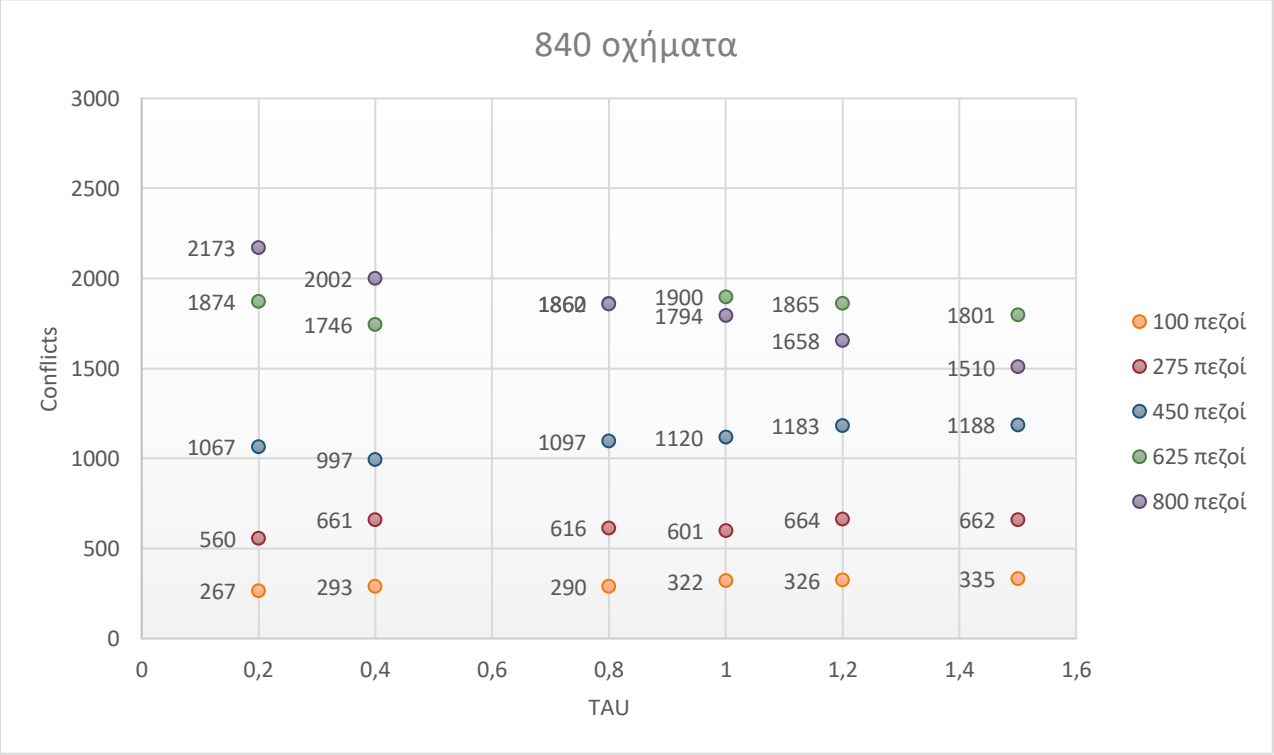
4.2.3 Conflicts / Conflicts <0,5 / Αναλογία συγκρούσεων

Conflicts

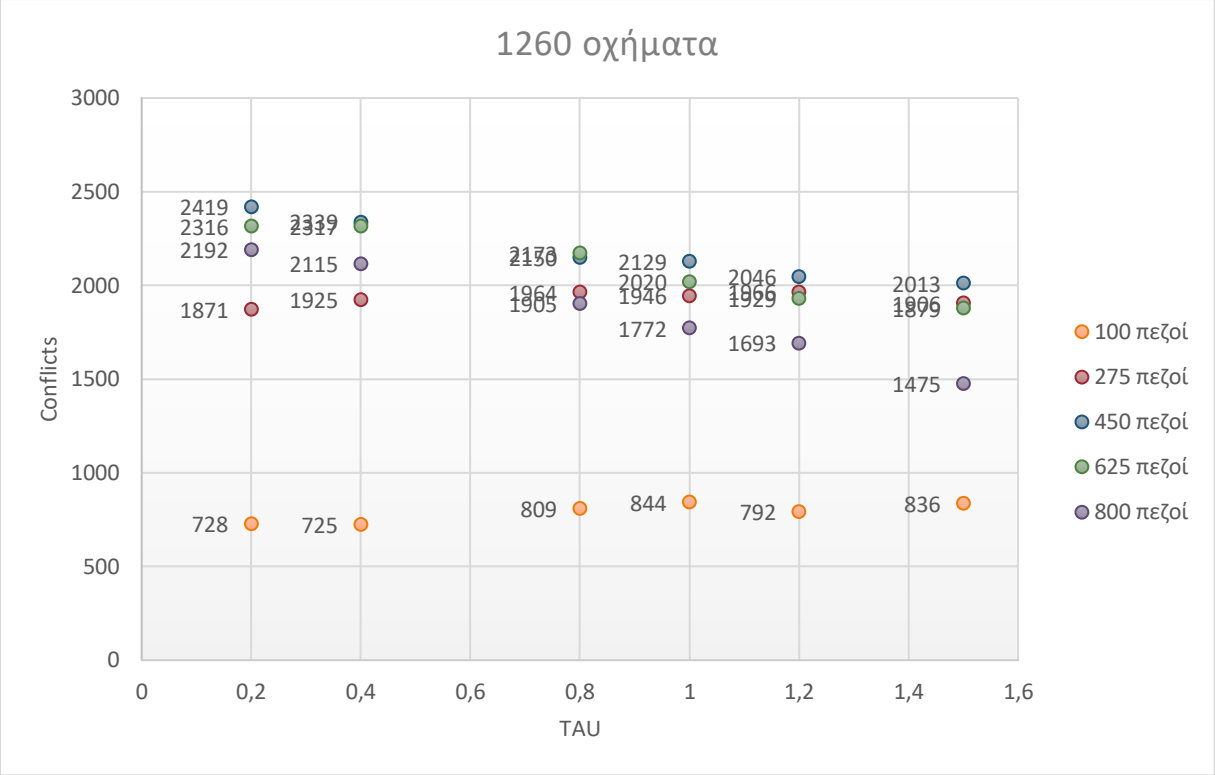
Ως επόμενο βήμα της ανάλυσης των σεναρίων θα εξεταστεί η επιρροή των μεταβολών στα μεγέθη φόρτου πεζών/οχημάτων και χρόνου αντίδρασης tau σε συνάρτηση με τις συγκρούσεις (conflicts). Στα σενάρια μικρού φόρτου οχημάτων και πεζών παρατηρείται μια αυξομείωση στις συγκρούσεις που εντοπίζονται εντός του δικτύου από το λογισμικό SSAM. Όσο όμως αυξάνεται ο φόρτος οχημάτων/πεζών στο δίκτυο, οι συγκρούσεις τείνουν να παίρνουν τη μέγιστη τιμή τους στους χαμηλούς χρόνους αντίδρασης και να μειώνονται όσο αυξάνεται ο χρόνος αντίδρασης. Ακολουθούν τα διαγράμματα των πιθανών συγκρούσεων που εντοπίστηκαν από το λογισμικό SSAM ανα φόρτο οχημάτων και για κάθε φόρτο πεζών:



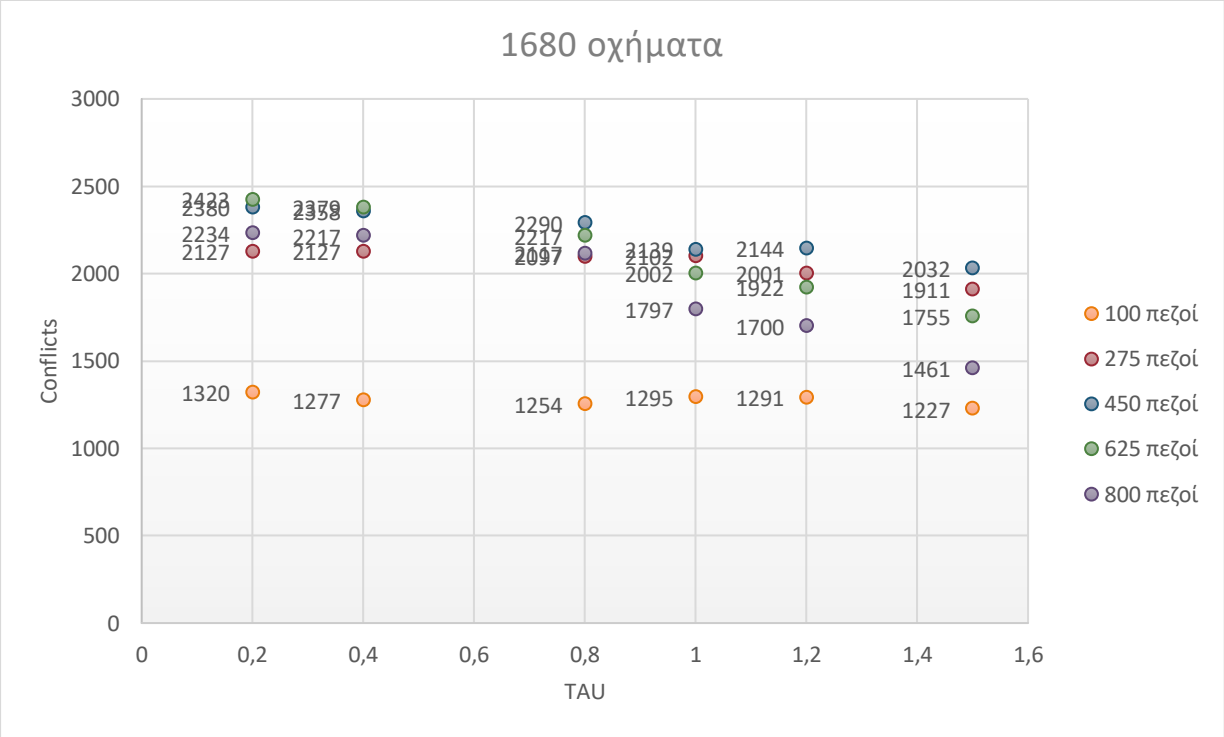
Διάγραμμα 4-11: Πιθανές συγκρούσεις στα σενάρια με φόρτο 420 οχήματα



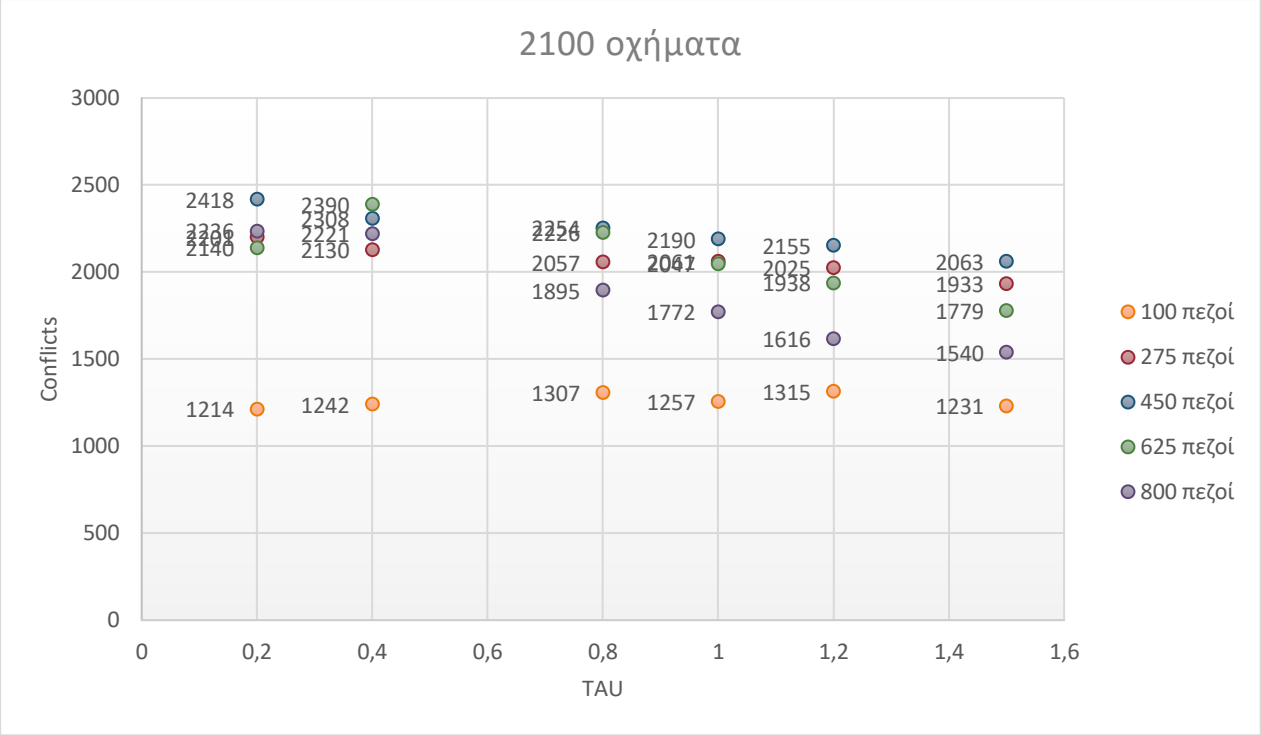
Διάγραμμα 4-12: Πιθανές συγκρούσεις στα σενάρια με φόρτο 840 οχήματα



Διάγραμμα 4-13: Πιθανές συγκρούσεις στα σενάρια με φόρτο 1260 οχήματα



Διάγραμμα 4-14: Πιθανές συγκρούσεις στα σενάρια με φόρτο 1680 οχήματα



Διάγραμμα 4-15: Πιθανές συγκρούσεις στα σενάρια με φόρτο 2100 οχήματα

Πιο συγκεκριμένα για κάθε χρόνο αντίδρασης ξεχωριστά παρατηρούνται τα εξής:

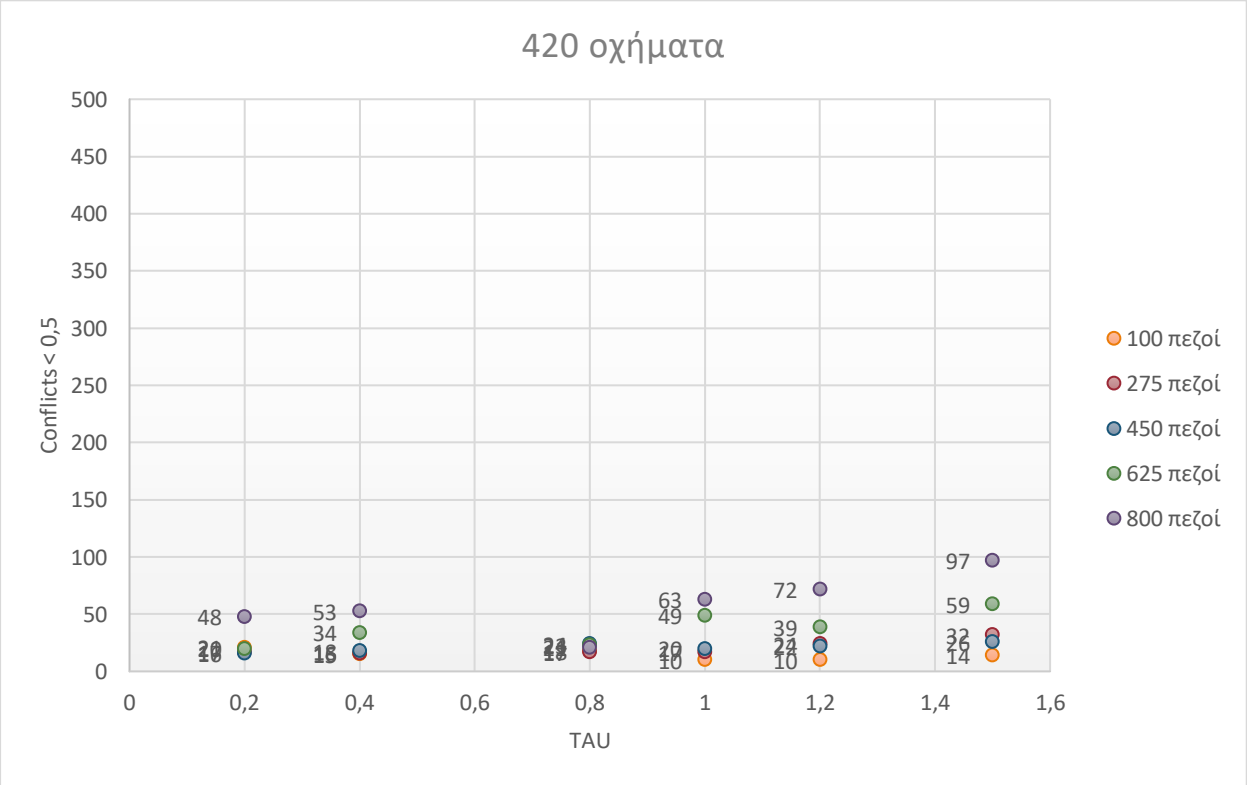
- Για χρόνο αντίδρασης 0,2 (tau=0,2) παρατηρείται συνεχής αύξηση των συγκρούσεων (conflicts) με την αύξηση πεζών/οχημάτων έως τους φόρτους 1260 οχημάτων. Στους φόρτους οχημάτων 1260 και άνω παρατηρείται αύξηση των συγκρούσεων στα σενάρια 100, 275 και 450 πεζών και στη συνέχεια μείωση στα σενάρια 625 και 800 πεζών.
- Για χρόνο αντίδρασης 0,4 (tau=0,4) παρατηρείται συνεχής αύξηση των συγκρούσεων με την αύξηση φόρτου οχημάτων/πεζών έως τους φόρτους 1260 οχημάτων. Στους φόρτους 1260 οχημάτων και άνω παρατηρείται ξανά διαρκής αύξηση των συγκρούσεων με μοναδική διαφορά πως στα σενάρια μέγιστου φόρτου πεζών, δηλαδή στα σενάρια 800 πεζών και 1260, 1680, 2100 οχημάτων εμφανίζεται μείωση των συγκρούσεων εντός του δικτύου.
- Για χρόνο αντίδρασης 0,8 (tau=0,8) παρατηρείται ακριβώς το ίδιο μοτίβο με τον χρόνο αντίδρασης 0,4 (tau=0,4). Προφανώς οι συγκρούσεις στον μεγαλύτερο χρόνο αντίδρασης είναι περισσότερες, όμως το μοτίβο για τους δυο αυτούς χρόνους δεν αλλάζει.
- Για χρόνο αντίδρασης 1 (tau=1) παρατηρείται σταθερή αύξηση στις συγκρούσεις μόνο στα σενάρια με φόρτο οχημάτων έως 420 εντός δικτύου. Σε όλα τα υπόλοιπα σενάρια φόρτων παρατηρείται διαρκής αύξηση έως τα σενάρια φόρτου 625 πεζών εντός δικτύου και στην συνέχεια εμφανίζεται μείωση.
- Για χρόνο αντίδρασης 1,2 (tau=1,2) παρατηρείται ξανά αύξηση μόνο στα σενάρια με φόρτο οχημάτων 420 οχήματα. Από τα σενάρια φόρτων 840 οχημάτων και άνω παρατηρείται αύξηση έως φόρτους 450 πεζών και έπειτα μείωση των συγκρούσεων. Μοναδική εξαίρεση αποτελούν τα σενάρια με φόρτο οχημάτων 840 οχήματα, στα οποία η μείωση των πιθανών συγκρούσεων ξεκινάει στο σενάριο των 625 πεζών αντί του σεναρίου των 450 πεζών.

- Για χρόνο αντίδρασης 1,5 (tau=1,5) ισχύει ακριβώς το ίδιο μοτίβο για τις πιθανές συγκρούσεις με αυτό του χρόνου αντίδρασης 1,2 (tau=1,2). Μοναδική εξαίρεση αποτελούν τα σενάρια με φόρτο οχημάτων 840 οχήματα, στα οποία η μείωση των πιθανών συγκρούσεων ξεκινάει στο σενάριο των 625 πεζών αντί του σεναρίου των 450 πεζών. Όπως αναφέρθηκε στα σενάρια των χρόνων αντίδρασης 0,4 και 0,8 έτσι κι εδώ το ίδιο μοτίβο δεν σημαίνει πως το πλήθος των συγκρούσεων είναι το ίδιο. Στις δυο αυτές κατηγορίες σεναρίων οι περισσότερες συγκρούσεις παρατηρούνται σταθερά στα σενάρια χρόνου αντίδρασης 1,2 (tau=1,2). Το γιατί αυτό συμβαίνει θα αναλυθεί αναλυτικά στην συνέχεια.

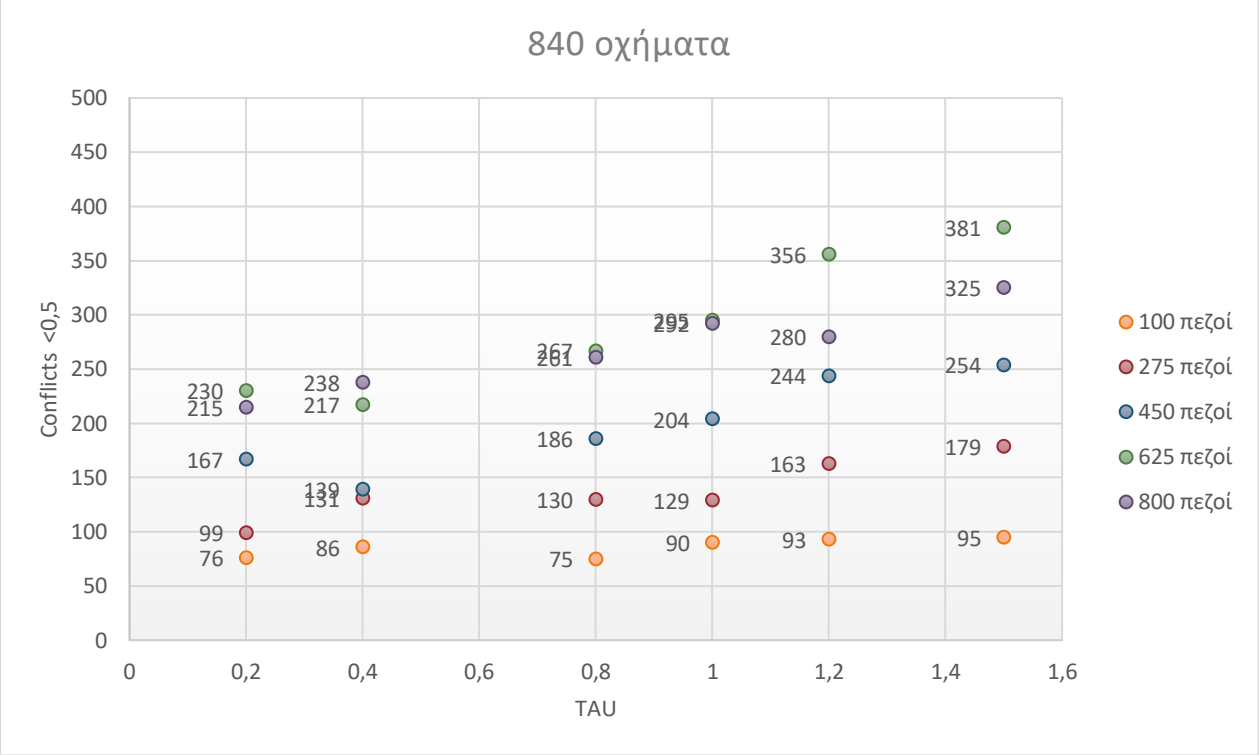
Conflicts (<0,5)

Έπειτα από την εξέταση της στήλης των συνολικών συγκρούσεων και το πως αυτές μεταβάλλονται με τις αλλαγές των βασικών μεγεθών, θα πρέπει να εξεταστεί η στήλη με τις σοβαρές συγκρούσεις. Οι συγκρούσεις αυτές αποτελούν μια ολόκληρη στήλη στο συνολικό αρχείο excel και θα εξεταστούν ακολουθώντας την ίδια λογική με τις συνολικές συγκρούσεις. Τα δεδομένα για τις σοβαρές συγκρούσεις δείχνουν πως όσο αυξάνεται ο χρόνος αντίδρασης των πεζών (tau) τόσο περισσότερες είναι και οι σοβαρές συγκρούσεις, συγκρούσεις στις οποίες ο χρόνος έως τη σύγκρουση είναι μικρότερος των 0,5 δευτερολέπτων.

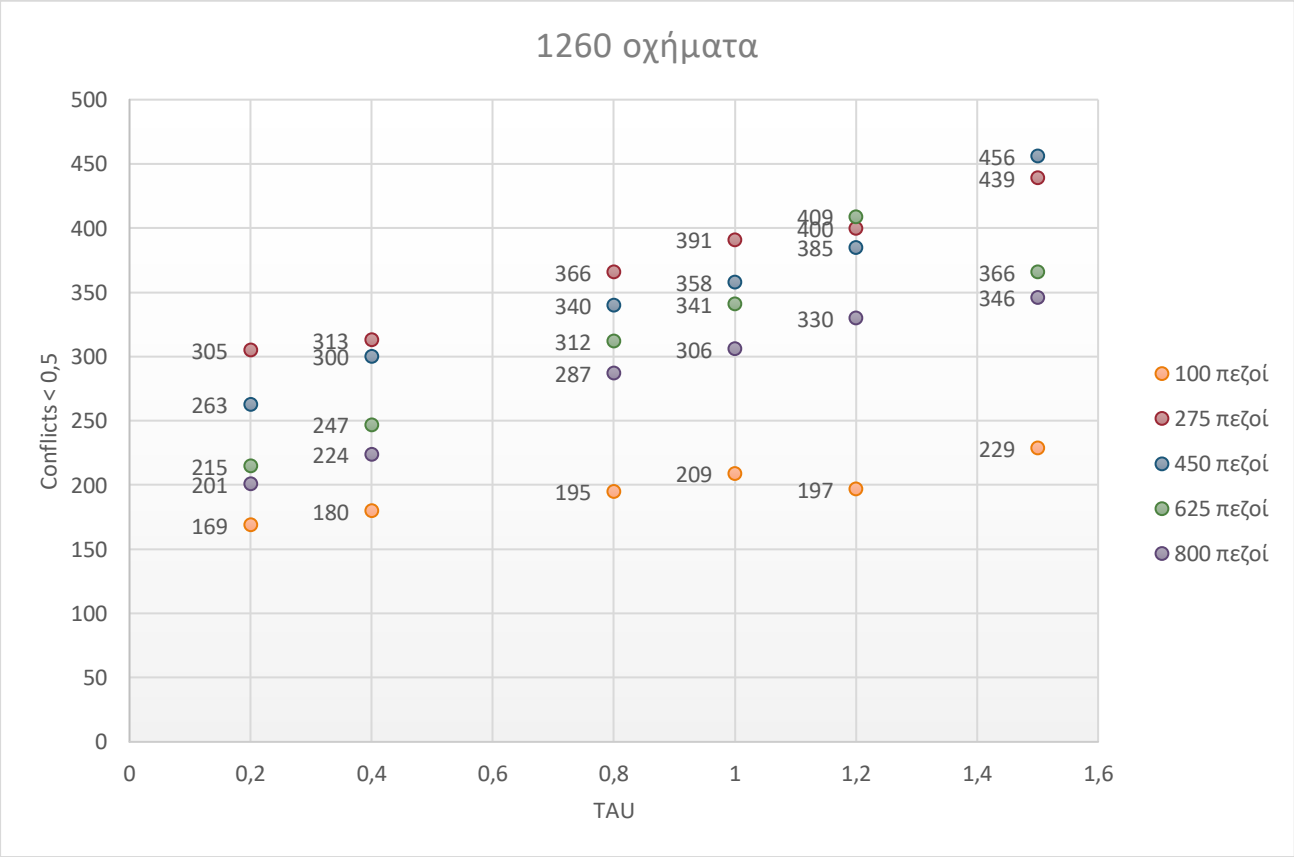
Ακολουθούν τα γραφήματα που παρουσιάζουν τις συγκρούσεις με χρόνο σύγκρουσης κάτω των 0,5 δευτερολέπτων, ανά φόρτο οχημάτων και για όλους τους φόρτους πεζών στο δίκτυο:



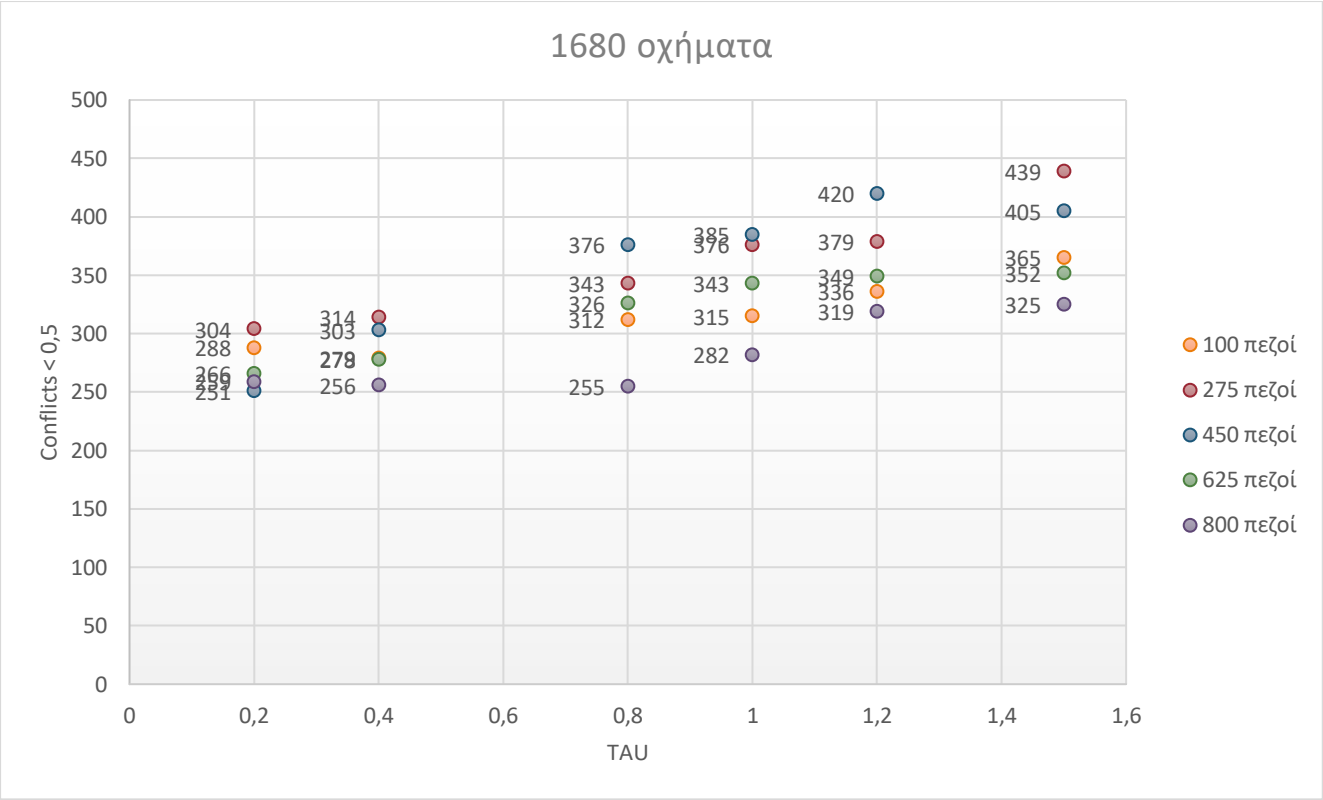
Διάγραμμα 4-16: Συγκρούσεις με χρόνο κάτω των 0,5 δευτερολέπτων στα σενάρια φόρτου 420 οχημάτων



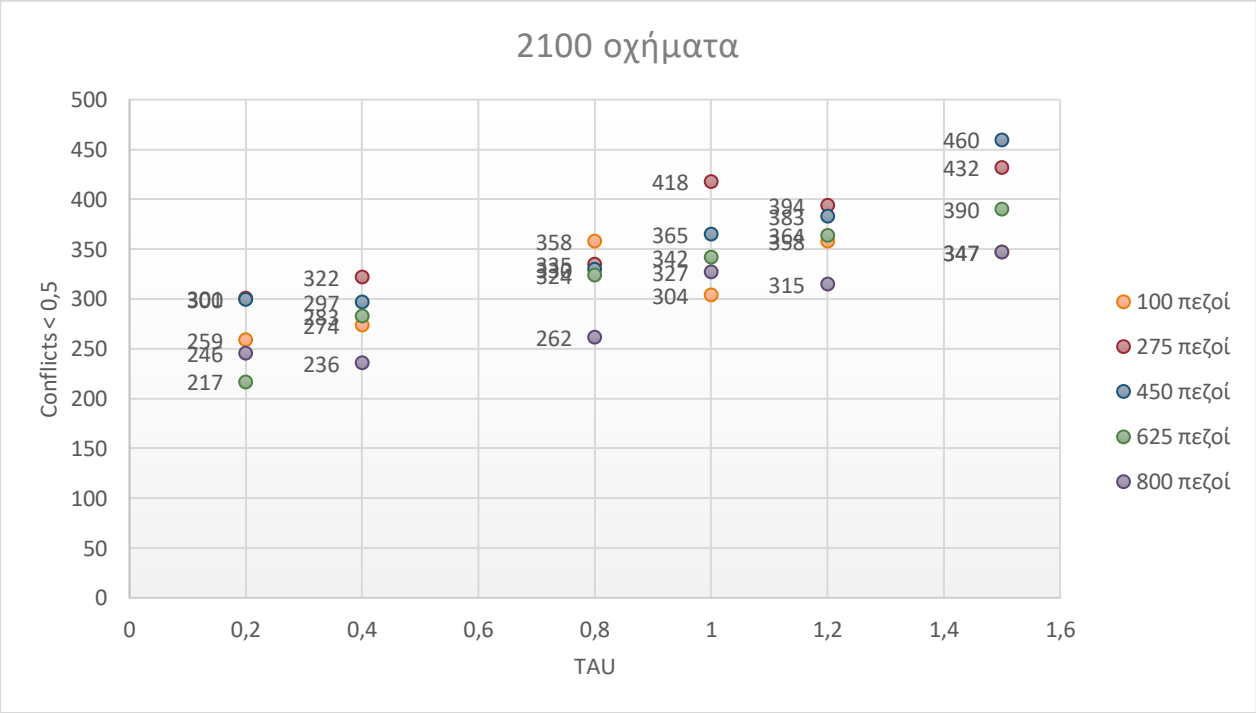
Διάγραμμα 4-17: Συγκρούσεις με χρόνο κάτω των 0,5 δευτερολέπτων στα σενάρια φόρτου 840 οχημάτων



Διάγραμμα 4-18: Συγκρούσεις με χρόνο κάτω των 0,5 δευτερολέπτων στα σενάρια φόρτου 1260 οχημάτων



Διάγραμμα 4-19: Συγκρούσεις με χρόνο κάτω των 0,5 δευτερολέπτων στα σενάρια φόρτου 1680 οχημάτων



Διάγραμμα 4-20: Συγκρούσεις με χρόνο κάτω των 0,5 δευτερολέπτων στα σενάρια φόρτου 2100 οχημάτων

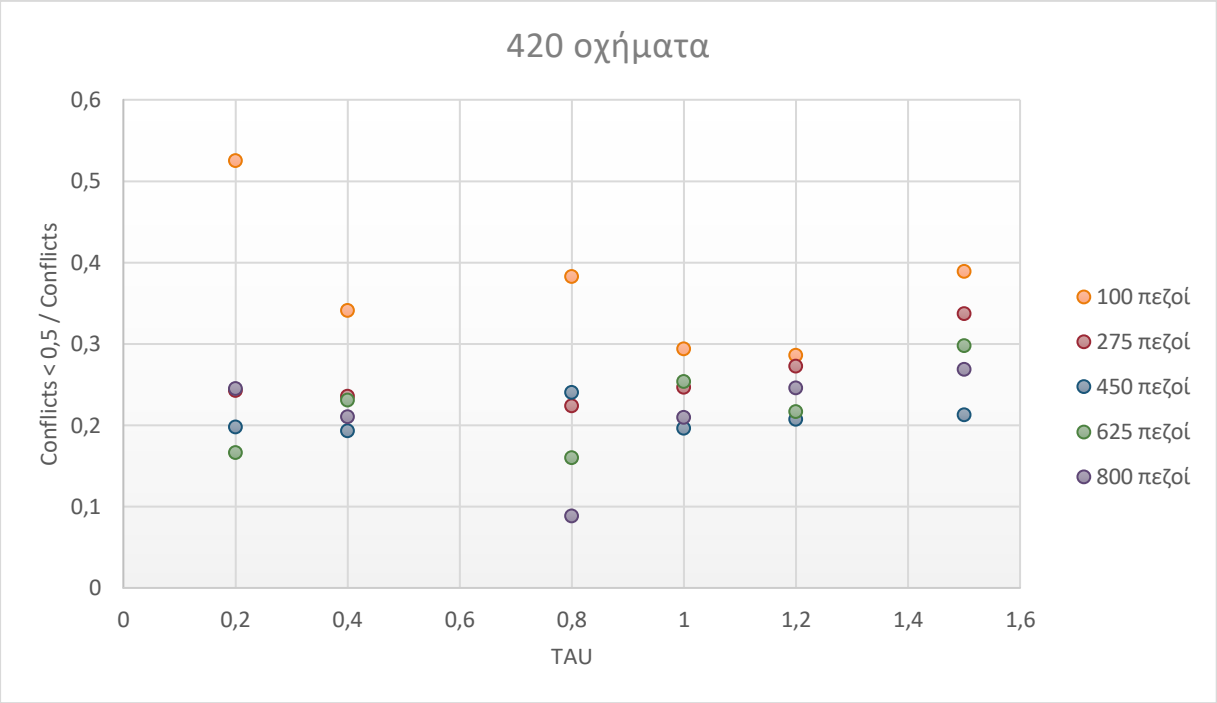
Πιο αναλυτικά, διατηρώντας σταθερό τον χρόνο αντίδρασης πεζών έχουμε:

- Για χρόνο αντίδρασης 0,2 (tau=0,2) η μεταβολή που παρατηρείται στα σενάρια δεν ακολουθεί μια συγκεκριμένη λογική, καθώς δεν υπάρχει ούτε διαρκής αύξηση των σοβαρών συγκρούσεων αλλά ούτε και διαρκής μείωση.
- Για χρόνο αντίδρασης 0,4 (tau= 0,4) παρατηρείται διαρκής αύξηση των σοβαρών συγκρούσεων στα σενάρια με φόρτο οχημάτων 420 και 840 οχήματα καθώς αυξάνονται οι πεζοί. Το μοτίβο αλλάζει όμως καθώς στα σενάρια με φόρτο οχημάτων 1260, 1680 και 2100 οχήματα υπάρχει ραγδαία αύξηση των σοβαρών συγκρούσεων έως τους 275 πεζούς εντός δικτύου και έπειτα επέρχεται συνεχής μείωση των συγκρούσεων.
- Για χρόνο αντίδρασης 0,8 (tau=0,8) παρατηρούνται τρείς διαφορετικές συμπεριφορές: Αρχικά στο σενάριο φόρτου 420 οχημάτων παρατηρείται μικρή αύξηση όσο αυξάνονται οι πεζοί στο δίκτυο και στη συνέχεια μείωση. Στα σενάρια φόρτου οχημάτων 840, 1260 και 1680 οχημάτων εμφανίζεται αύξηση των συγκρούσεων μέχρι τους 450 πεζούς εντός δικτύου και στη συνέχεια ακολουθεί ξανά μείωση. Τέλος στο σενάριο φόρτου 2100 οχημάτων παρατηρείται μικρή μείωση στις σοβαρές συγκρούσεις χωρίς όμως να έχει προηγηθεί κάποια αύξηση στα σενάρια με μικρό φόρτο πεζών.
- Για χρόνο αντίδρασης 1 (tau=1) παρατηρείται συνεχής αύξηση των πιθανών συγκρούσεων στα σενάρια 420 και 840 οχημάτων. Έπειτα, στα σενάρια 1260 και 1689 οχημάτων υπάρχει αύξηση έως και τα σενάρια με φόρτο 450 πεζών εντός δικτύου και στη συνέχεια μείωση του αριθμού συγκρούσεων. Στα σενάρια με 2100 οχήματα στην προσομοίωση η αύξηση αυτή υπάρχει μέχρι και τα σενάρια με 275 πεζούς εντός δικτύου και έπειτα εμφανίζεται ξανά μείωση στις συγκρούσεις.
- Για χρόνο αντίδρασης 1,2 (tau=1,2) και για σενάρια με φόρτους 420 και 840 οχήματα εμφανίζεται διαρκής αύξηση στις πιθανές συγκρούσεις στο δίκτυο. Στα σενάρια με φόρτους 1260 και 1680 οχήματα παρατηρείται αύξηση έως και τα σενάρια με 625 πεζούς στο δίκτυο και έπειτα σημειώνεται μείωση. Αύξηση των σοβαρών συγκρούσεων παρουσιάζεται επίσης στα σενάρια φόρτου 2100 οχημάτων έως και το σενάριο των 275 πεζών, με διαρκή μείωση των συγκρούσεων για τους υψηλότερους φόρτους πεζών.

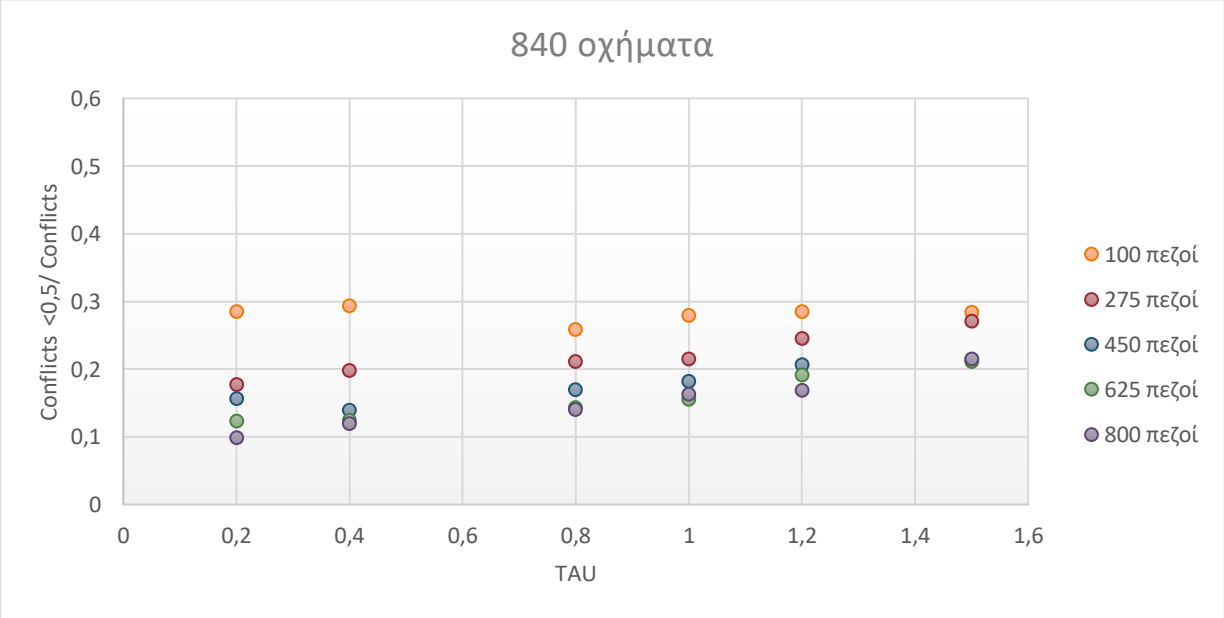
Για χρόνο αντίδρασης 1,5 (tau=1,5) παρουσιάζεται το ίδιο μοτίβο αύξησης και στη συνέχεια μείωσης των σοβαρών συγκρούσεων, με τη μείωση όμως να παρουσιάζεται σε διαφορετικούς φόρτους πεζών. Στα σενάρια φόρτου 420 οχημάτων υπάρχει μόνο διαρκής αύξηση. Στη συνέχεια στα σενάρια φόρτου 840 και 1260 οχημάτων παρουσιάζεται αύξηση έως και τα σενάρια φόρτου 625 και 450 πεζών αντίστοιχα, με επακόλουθη μείωση των σοβαρών συγκρούσεων. Στα σενάρια των 1680 και 2100 οχημάτων στο δίκτυο υπάρχει διαρκής αύξηση των σοβαρών συγκρούσεων έως και τα σενάρια φόρτου 275 και 450 πεζών αντίστοιχα. Στη συνέχεια εμφανίζεται μείωση των σοβαρών συγκρούσεων ακολουθώντας το ίδιο μοτίβο με τα προηγούμενα σενάρια.

Αναλογία Conflicts <0,5 / Conflicts

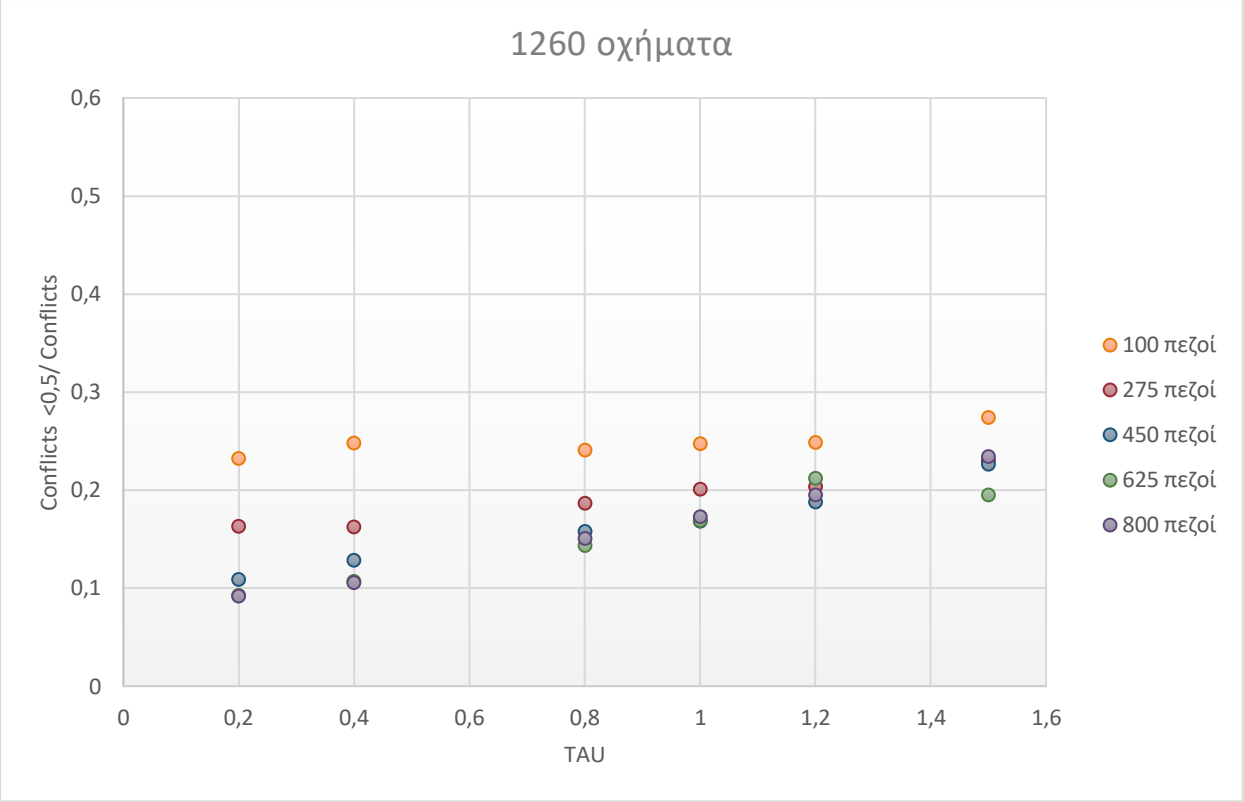
Εφόσον υπάρχει μια εικόνα για το τι συμβαίνει σε κάθε διαφορετικό σενάριο από την οπτική των συγκρούσεων που εντοπίζονται από το πρόγραμμα SSAM, χρήσιμο θα είναι να εξεταστεί και η αναλογία τους. Όπως είναι λογικό, η αναλογία αυτή δίνει μια οπτική για τη μεταβολή που πιθανά εμφανίζεται στον κόμβο, όσον αφορά την επικινδυνότητα. Τα γραφήματα που εξάχθηκαν από τα δεδομένα της αναλογίας συγκρούσεων με χρόνο σύγκρουσης κάτω των 0,5 δευτερολέπτων προς τις συνολικές πιθανές συγκρούσεις είναι τα εξής:



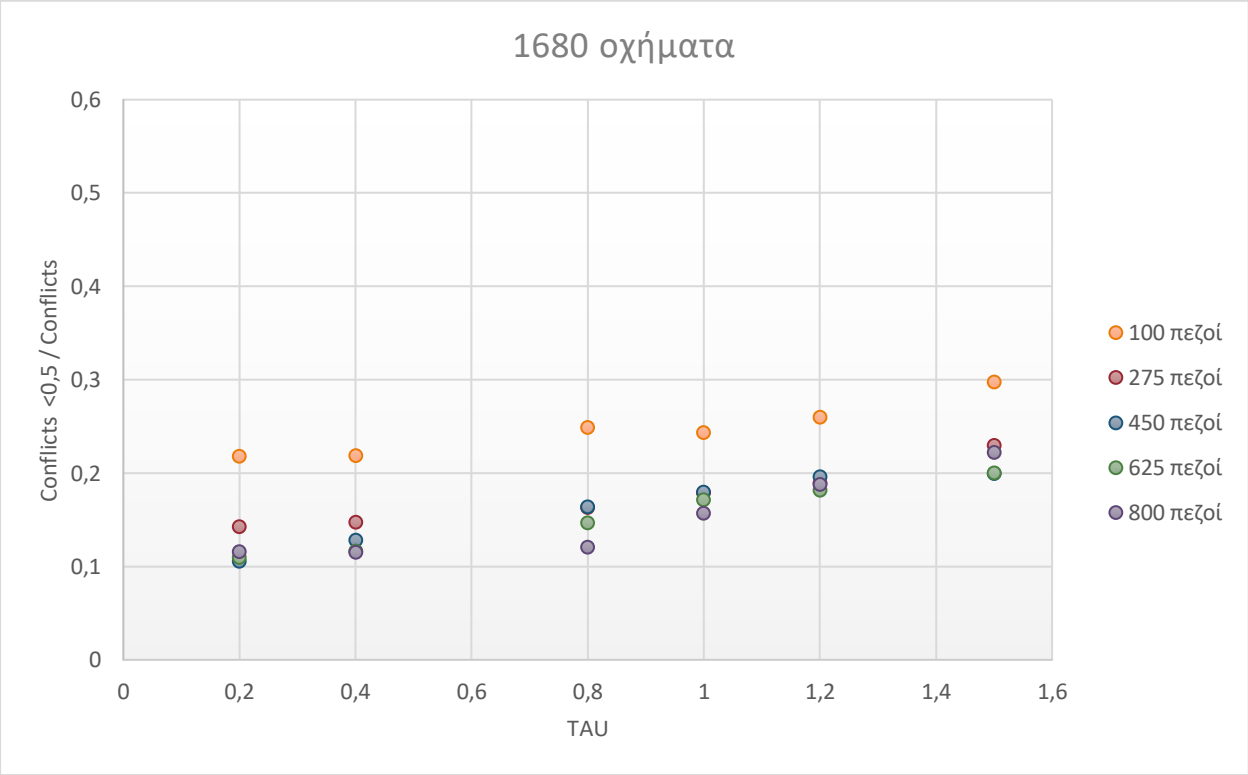
Διάγραμμα 4-21: Αναλογία συγκρούσεων με χρόνο κάτω των 0,5 δευτερολέπτων προς συνολικές πιθανές συγκρούσεις για σενάρια με φόρτο 420 οχήματα



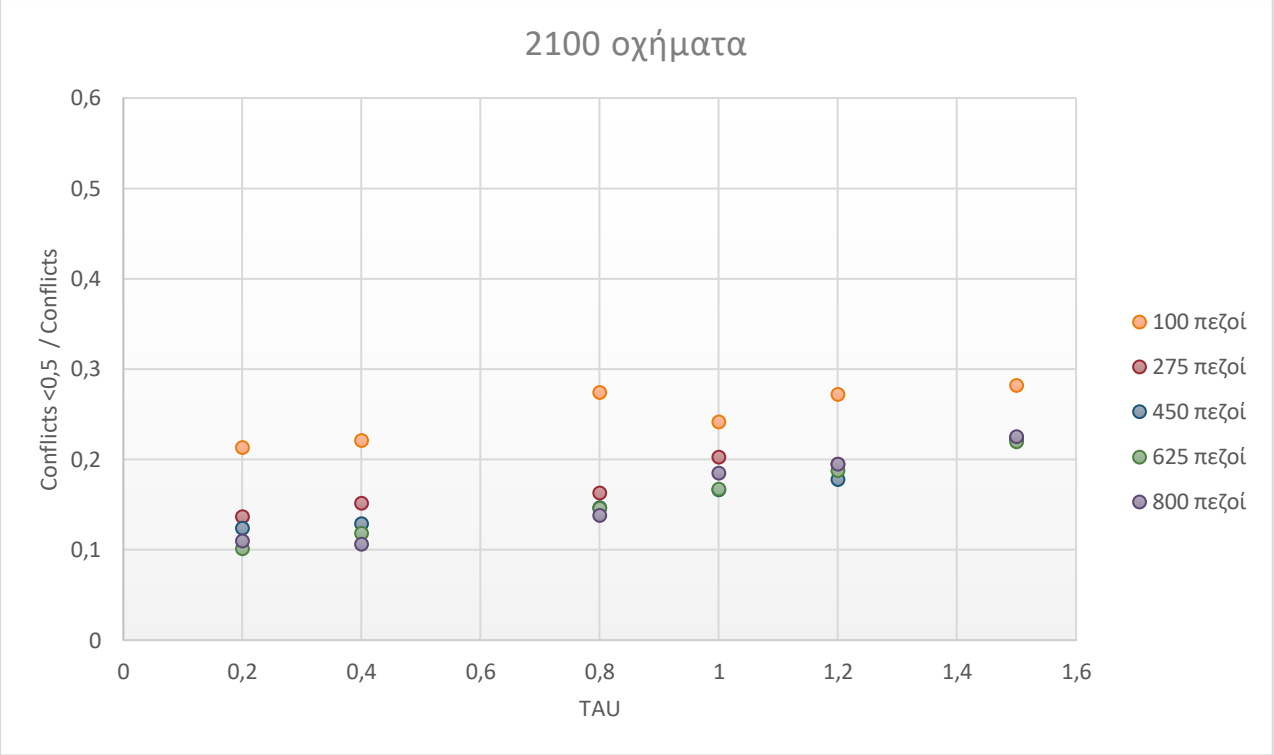
Διάγραμμα 4-22: Αναλογία συγκρούσεων με χρόνο κάτω των 0,5 δευτερολέπτων προς συνολικές πιθανές συγκρούσεις για σενάρια με φόρτο 840 οχήματα



Διάγραμμα 4-23: Αναλογία συγκρούσεων με χρόνο κάτω των 0,5 δευτερολέπτων προς συνολικές πιθανές συγκρούσεις για σενάρια με φόρτο 1260 οχήματα



Διάγραμμα 4-24: Αναλογία συγκρούσεων με χρόνο κάτω των 0,5 δευτερολέπτων προς συνολικές πιθανές συγκρούσεις για σενάρια με φόρτο 1680 οχήματα



Διάγραμμα 4-25: Αναλογία συγκρούσεων με χρόνο κάτω των 0,5 δευτερολέπτων προς συνολικές πιθανές συγκρούσεις για σενάρια με φόρτο 2100 οχήματα

Ακολουθώντας την ίδια διαδικασία, η πρώτη προσέγγιση είναι η αύξηση του χρόνου αντίδρασης των πεζών διατηρώντας σταθερούς τους φόρτους οχημάτων και πεζών. Μέσω της αύξησης του χρόνου αντίδρασης παρατηρείται παράλληλη αύξηση του λόγου σοβαρών συγκρούσεων ως προς τις συνολικές συγκρούσεις. Εξαίρεση αποτελούν τα σενάρια με φόρτο οχημάτων τα 420 οχήματα, στα οποία δεν εμφανίζεται κάποιο σταθερό μοτίβο μεταβολής.

Έπειτα διερευνάται η επιρροή της αύξησης των πεζών εντός του δικτύου διατηρώντας σταθερά τον χρόνο αντίδρασης των πεζών αλλά και τον φόρτο οχημάτων. Η ανάλυση για κάθε χρόνο αντίδρασης είναι η εξής:

- Για χρόνο αντίδρασης 0,2 (tau=0,2) εντοπίζεται διαρκής μείωση της αναλογίας σοβαρών συγκρούσεων ως προς τις συνολικές συγκρούσεις.
- Για χρόνο αντίδρασης 0,4 (tau=0,4) εντοπίζεται διαρκής μείωση της αναλογίας, πλην των σεναρίων με φόρτο οχημάτων τα 420 οχήματα στα οποία ενώ ο λόγος μικραίνει όσο αυξάνεται ο φόρτος πεζών, παρουσιάζεται μια αύξηση του λόγου στα σενάρια των 625 και 800 πεζών.
- Για χρόνο αντίδρασης 0,8 (tau=0,8) η αναλογία ακολουθεί το ίδιο μοτίβο, δηλαδή εμφανίζει μόνο την τάση να ελαττώνεται.
- Για χρόνο αντίδρασης 1 (tau=1) ο λόγος δείχνει να ελαττώνεται, παρουσιάζοντας κάποια σημεία στα οποία παραμένει σταθερός . Τα σημεία αυτά στα οποία ο λόγος σταθεροποιείται σε κάποια τιμή εμφανίζονται σε αρκετά σενάρια για αυτό τον χρόνο αντίδρασης των πεζών.
- Για χρόνο αντίδρασης 1,2 (tau=1,2) παρουσιάζεται αλλαγή στο μοτίβο της μεταβολής του λόγου που εξετάζεται. Ενώ στα σενάρια χαμηλού φόρτου πεζών εμφανίζεται ξανά

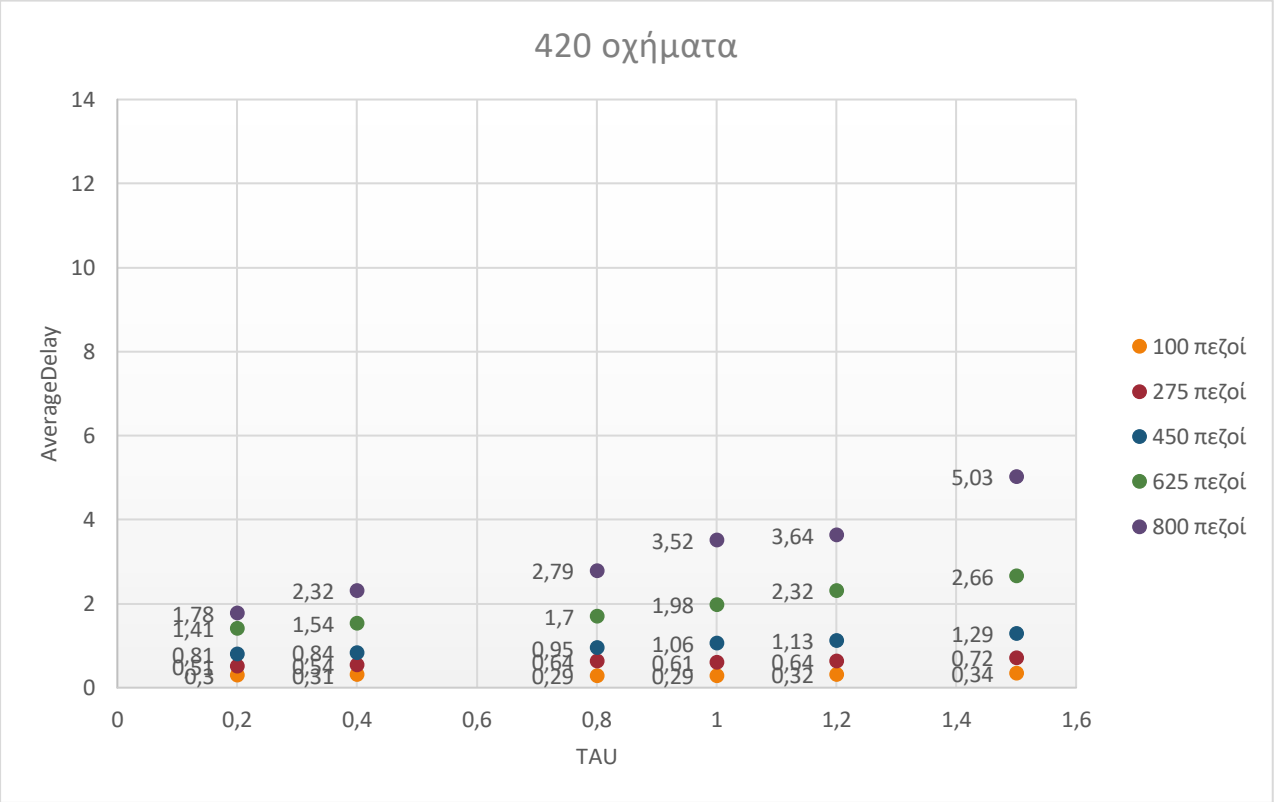
μείωση της αναλογίας, καθώς ο φόρτος πεζών αυξάνεται είτε εμφανίζονται ξανά σημεία όπου ο λόγος διατηρείται σταθερός είτε εμφανίζεται μικρή αύξηση του λόγου.

- Για χρόνο αντίδρασης 1,5 (tau=1,5) εμφανίζεται το ίδιο κοινό μοτίβο με αυτό του χρόνου αντίδρασης 1,2 , με μείωση του λόγου στα σενάρια χαμηλού φόρτου και στη συνέχεια εμφάνιση σημείων στασιμότητας ή και αύξησης της αναλογίας στους υψηλότερους φόρτους.

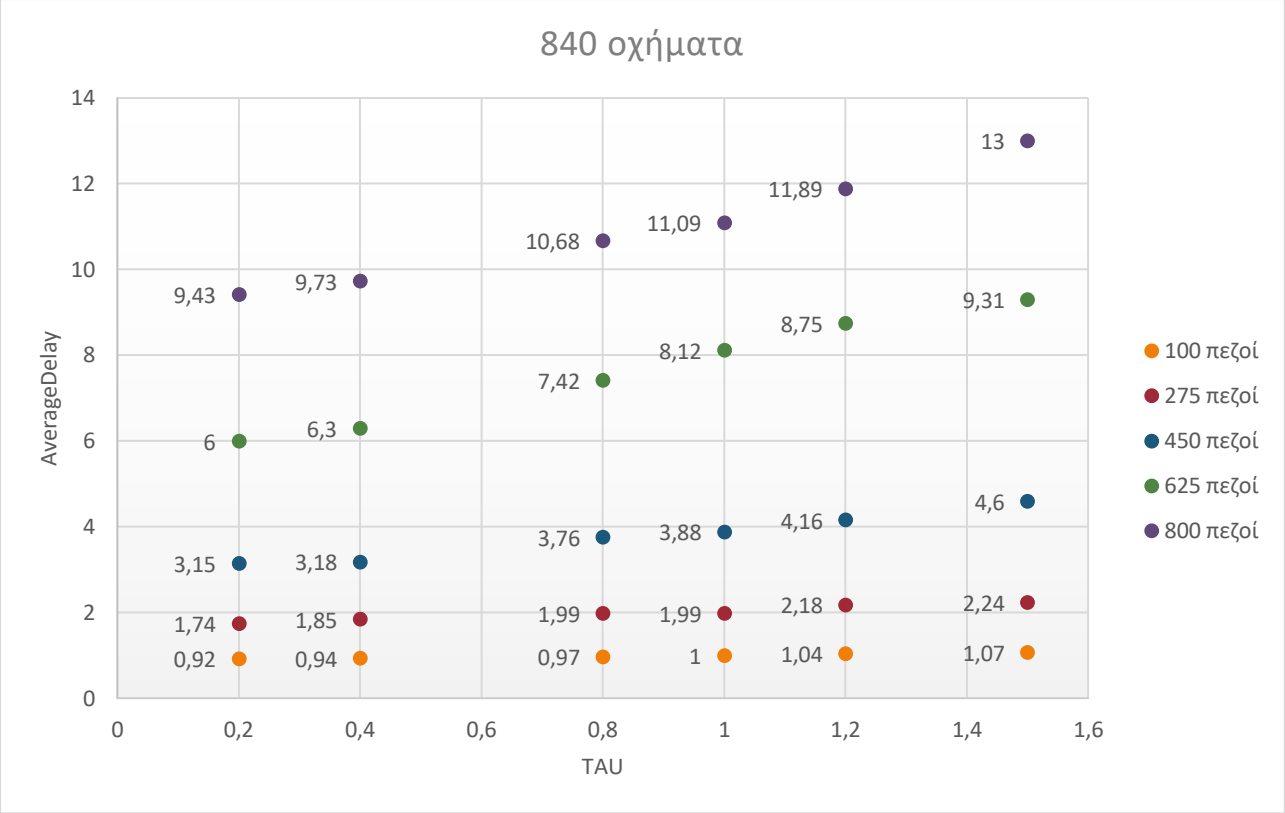
4.2.4 Μέση καθυστέρηση

Ακριβώς όπως εξετάζεται η επιρροή των μεταβολών στην επικινδυνότητα του κόμβου, έτσι πρέπει να εξεταστεί και η λειτουργία του κόμβου. Η μέση καθυστέρηση (average delay) των οχημάτων του δικτύου αποτελεί ένα μέγεθος το οποίο έχει συλλεχθεί από τη λίστα δεδομένων του προγράμματος Vissim. Όπως έχει ήδη αναφερθεί, όλα τα δεδομένα που προέρχονται απευθείας από το λογισμικό Vissim βρίσκονται στο δεύτερο υπολογιστικό φύλλο του συνολικού excel με ονομασία Delays. Επομένως έχοντας συγκεντρωμένες τις μέσες καθυστερήσεις των οχημάτων για όλα τα σενάρια, καθώς και τις μέσες αποκλίσεις για κάθε μια από αυτές, θα εξεταστεί και η λειτουργικότητα του κόμβου.

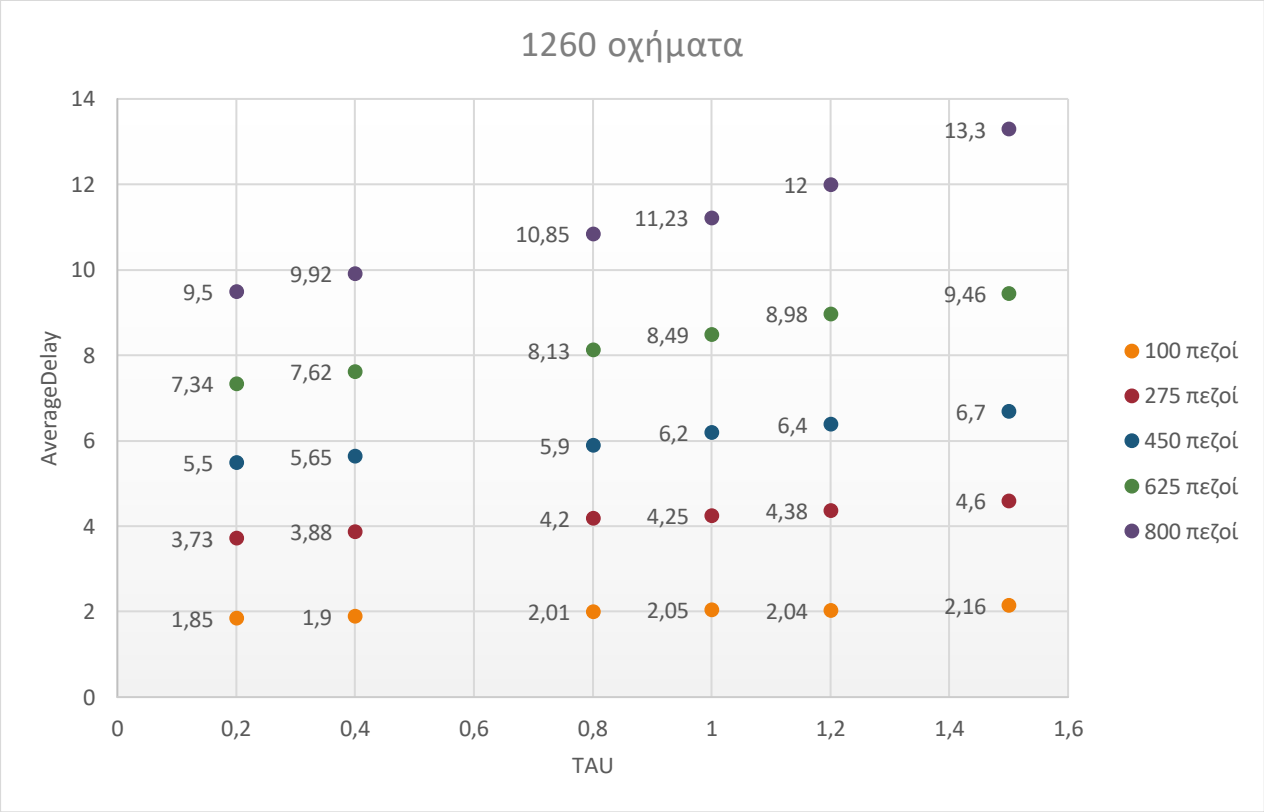
Τα γραφήματα που απεικονίζουν την μέση καθυστέρηση σε σχέση με τον χρόνο αντίδρασης των πεζών, ανά φόρτο οχημάτων και για όλους τους φόρτους πεζών είναι τα εξής:



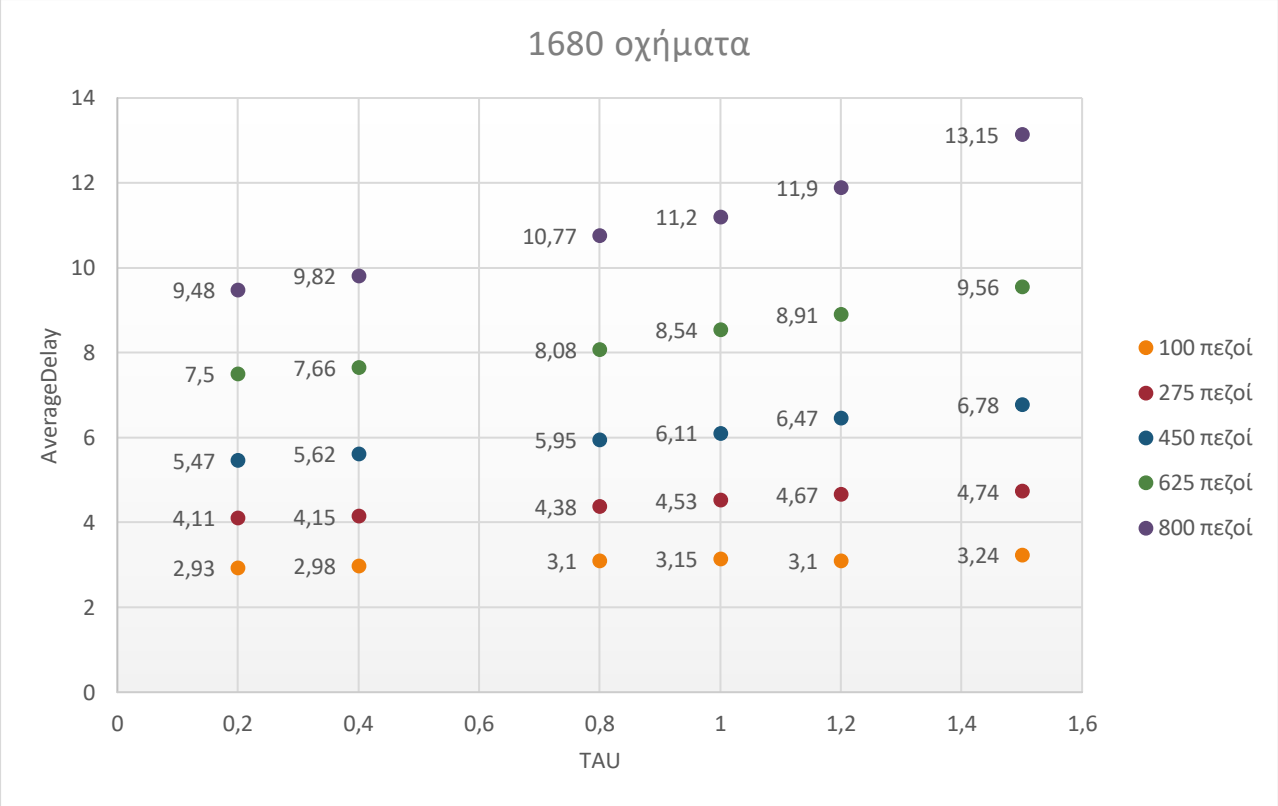
Διάγραμμα 4-26: Μέση καθυστέρηση οχημάτων στο δίκτυο στα σενάρια φόρτου 420 οχημάτων



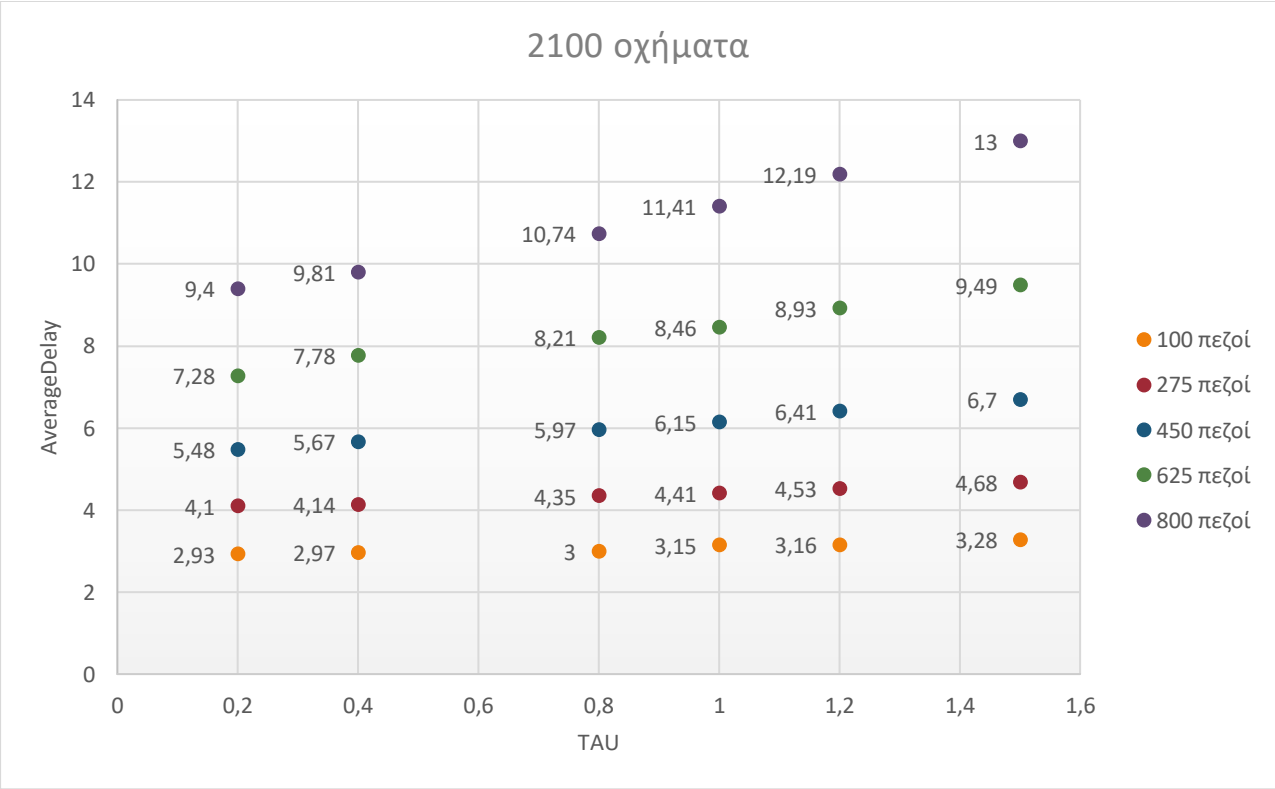
Διάγραμμα 4-27: Μέση καθυστέρηση οχημάτων στο δίκτυο στα σενάρια φόρτου 840 οχημάτων



Διάγραμμα 4-28: Μέση καθυστέρηση οχημάτων στο δίκτυο στα σενάρια φόρτου 1260 οχημάτων



Διάγραμμα 4-29: Μέση καθυστέρηση οχημάτων στο δίκτυο στα σενάρια φόρτου 1680 οχημάτων



Διάγραμμα 4-30: Μέση καθυστέρηση οχημάτων στο δίκτυο στα σενάρια φόρτου 2100 οχημάτων

Ως πρώτο βήμα στη διαδικασία της ανάλυσης της μέσης καθυστέρησης είναι ο έλεγχος επιρροής της αύξησης του χρόνου αντίδρασης πεζών. Έτσι, διατηρώντας σταθερούς τους φόρτους πεζών και οχημάτων παρατηρούμε πως σε όλα τα διαφορετικά σενάρια φόρτων, όσο αυξάνεται ο χρόνος αντίδρασης τόσο αυξάνεται και η μέση καθυστέρηση των οχημάτων εντός δικτύου.

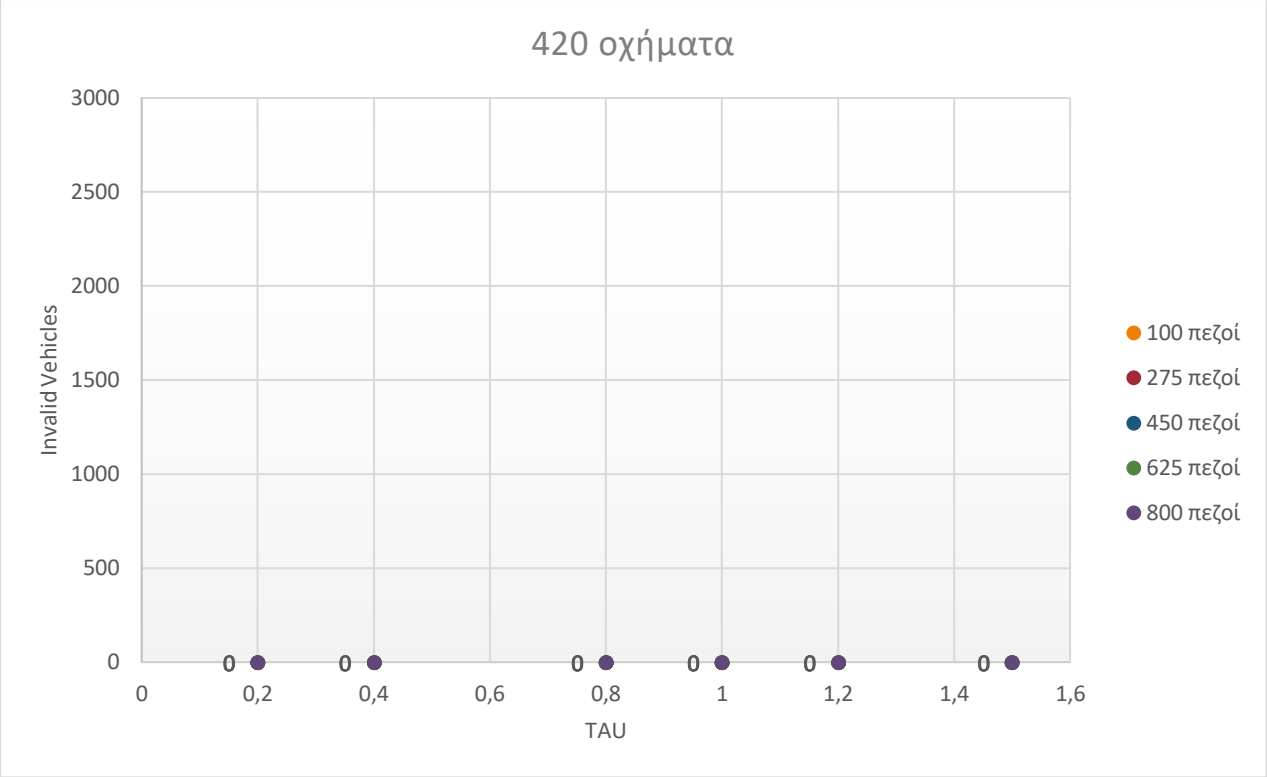
Επόμενο βήμα στην ανάλυση της μέσης καθυστέρησης αποτελεί η εξέταση επιρροής της αύξησης των πεζών κρατώντας σταθερά τον χρόνο αντίδρασης και τον φόρτο οχημάτων. Ακολουθώντας τη διαδικασία αυτή παρατηρείται σταθερή αύξηση στην μέση καθυστέρηση των οχημάτων εντός του δικτύου όσο παράλληλα αυξάνονται οι πεζοί εντός του δικτύου. Αυτό είναι κοινό για όλους τους χρόνους αντίδρασης των πεζών, με υψηλότερες μεταβολές σαφώς στους μεγαλύτερους χρόνους αντίδρασης πεζών, στους οποίους παρουσιάζονται οι μεγαλύτερες αυξήσεις στον μέσο χρόνο καθυστέρησης των οχημάτων.

Τέλος, για να ολοκληρωθεί η εικόνα που παρουσιάζουν τα δεδομένα θα πρέπει να εξεταστεί και η επιρροή της αύξησης του φόρτου οχημάτων, διατηρώντας σταθερά τον φόρτο πεζών αλλά και τον χρόνο αντίδρασης τους. Φυσικά είναι αναμενόμενο το αποτέλεσμα, καθώς όσο προσεγγίζεται το μέγιστο της χωρητικότητας της κάθε λωρίδας τόσο μεγαλύτερες θα είναι και οι καθυστερήσεις. Αυτό όμως που θα πρέπει να εξεταστεί είναι το αν η αύξηση αυτή θα διατηρεί κάποια αναλογία για τους διαφορετικούς χρόνους αντίδρασης (tau). Τα δεδομένα λοιπόν επιβεβαιώνουν την αρχική θεώρηση πως θα υπάρχει διαρκής αύξηση, όμως αυτό δεν ισχύει στην μετάβαση από τα σενάρια με φόρτο 1680 οχήματα στα σενάρια με φόρτο 2100 οχήματα. Στα σενάρια αυτά παρουσιάζεται στασιμότητα στην μέση καθυστέρηση και καθώς πληθαίνουν οι πεζοί, εμφανίζεται μείωση στη μέση καθυστέρηση των οχημάτων. Αυτό όμως συμβαίνει καθώς στα σενάρια μέγιστου φόρτου οχημάτων, και καθώς αυξάνονται οι πεζοί στο δίκτυο, υπάρχει πληθώρα οχημάτων τα οποία δεν καταφέρνουν να ολοκληρώσουν την προσομοίωση. Επομένως, σε συνδυασμό με τη μέση καθυστέρηση θα πρέπει να εξεταστεί και το πόσα οχήματα εν τέλει ολοκληρώνουν την προσομοίωση, διαφορετικά τα συμπεράσματα που θα εξαχθούν θα είναι ελλιπή.

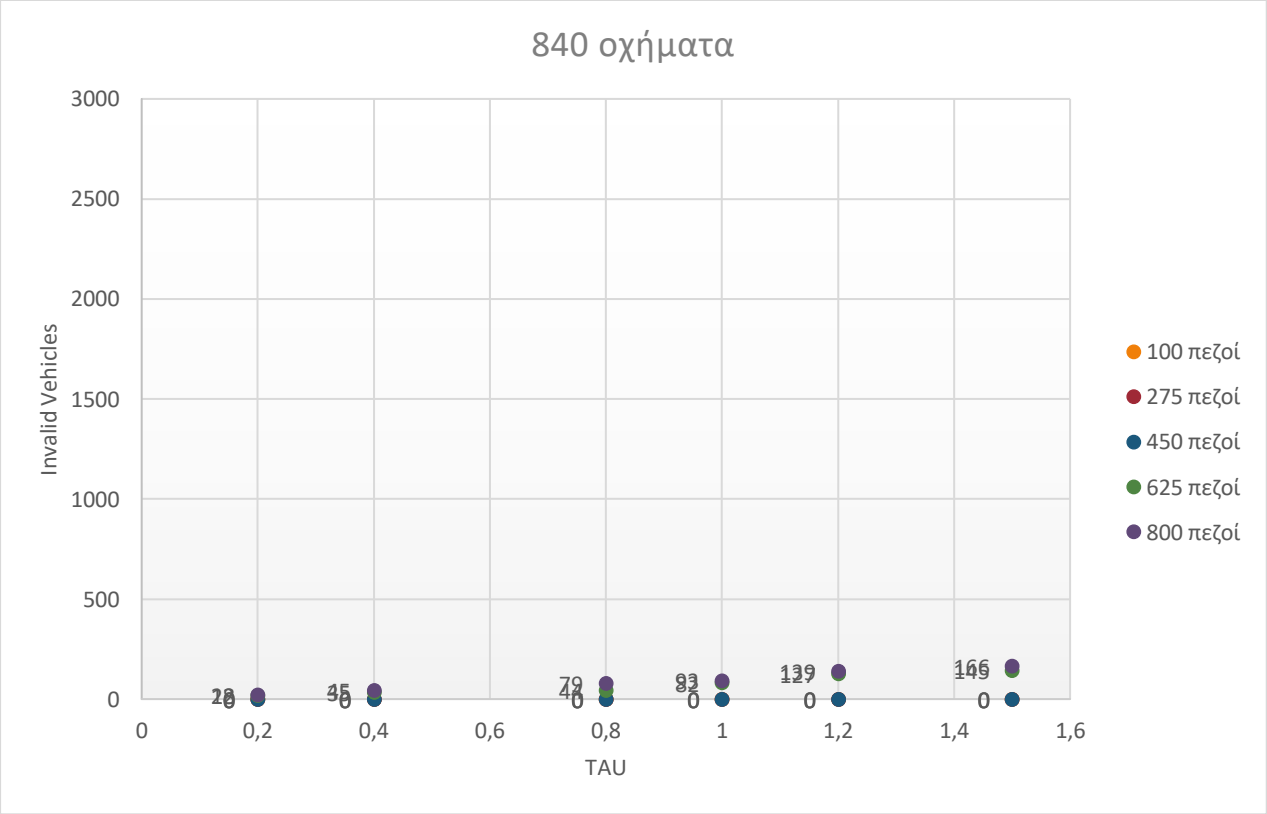
4.2.5 Οχήματα που δεν ολοκληρώνουν την προσομοίωση

Όπως αναφέρθηκε στην προηγούμενη ενότητα, για εξαχθούν ορθά συμπεράσματα για τη λειτουργία του υπό εξέταση οδικού δικτύου θα πρέπει πέραν της μέσης καθυστέρησης των οχημάτων να εξεταστεί και το πόσα εκ των αρχικών οχημάτων ολοκληρώνουν όντως τη διαδρομή τους στην προσομοίωση. Ο συνδυασμός των δύο αυτών μεγεθών είναι ουσιαστικά ο κύριος δείκτης της λειτουργίας του κόμβου στην εργασία αυτή. Το μέγεθος αυτό συλλέγεται επίσης απευθείας από τις λίστες εξαγωγής δεδομένων του Vissim, και καταγράφεται στη δεξιά στήλη της μέσης απόκλισης (stdev) στο φύλλο με ονομασία delays.

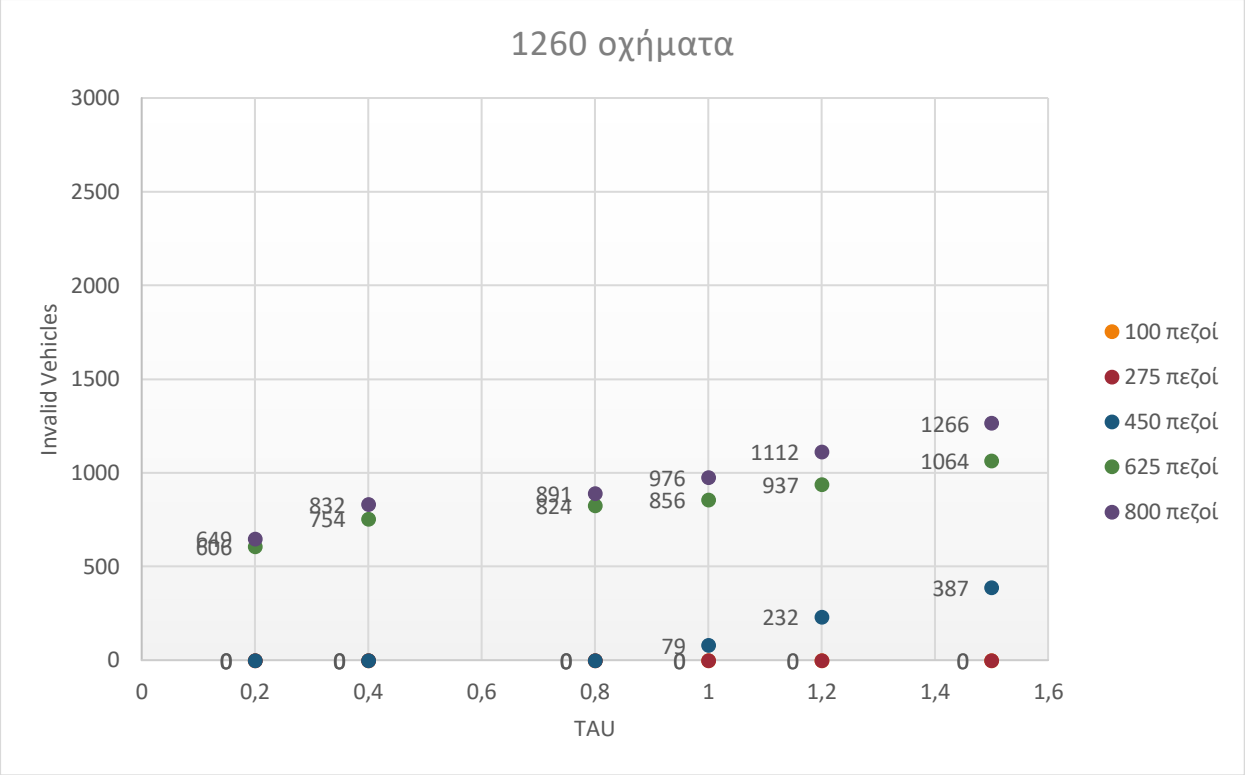
Ακολουθούν τα γραφήματα με τα δεδομένα που συλλέχθηκαν από το Vissim για τα οχήματα που δεν κατάφεραν να ολοκληρώσουν την προσομοίωση, ανά φόρτο οχημάτων και για όλους τους φόρτους πεζών:



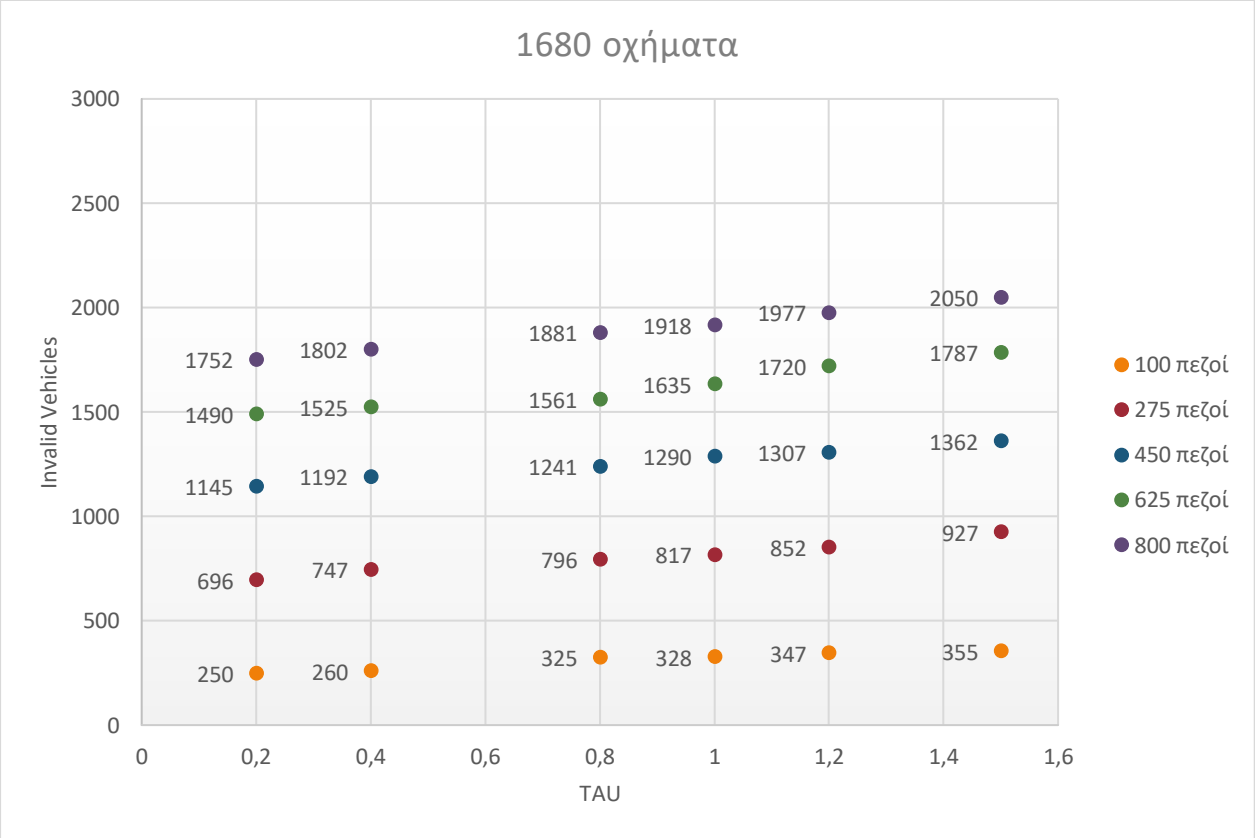
Διάγραμμα 4-31: Οχήματα που δεν ολοκληρώνουν την προσομοίωση για φόρτο 420 οχημάτων



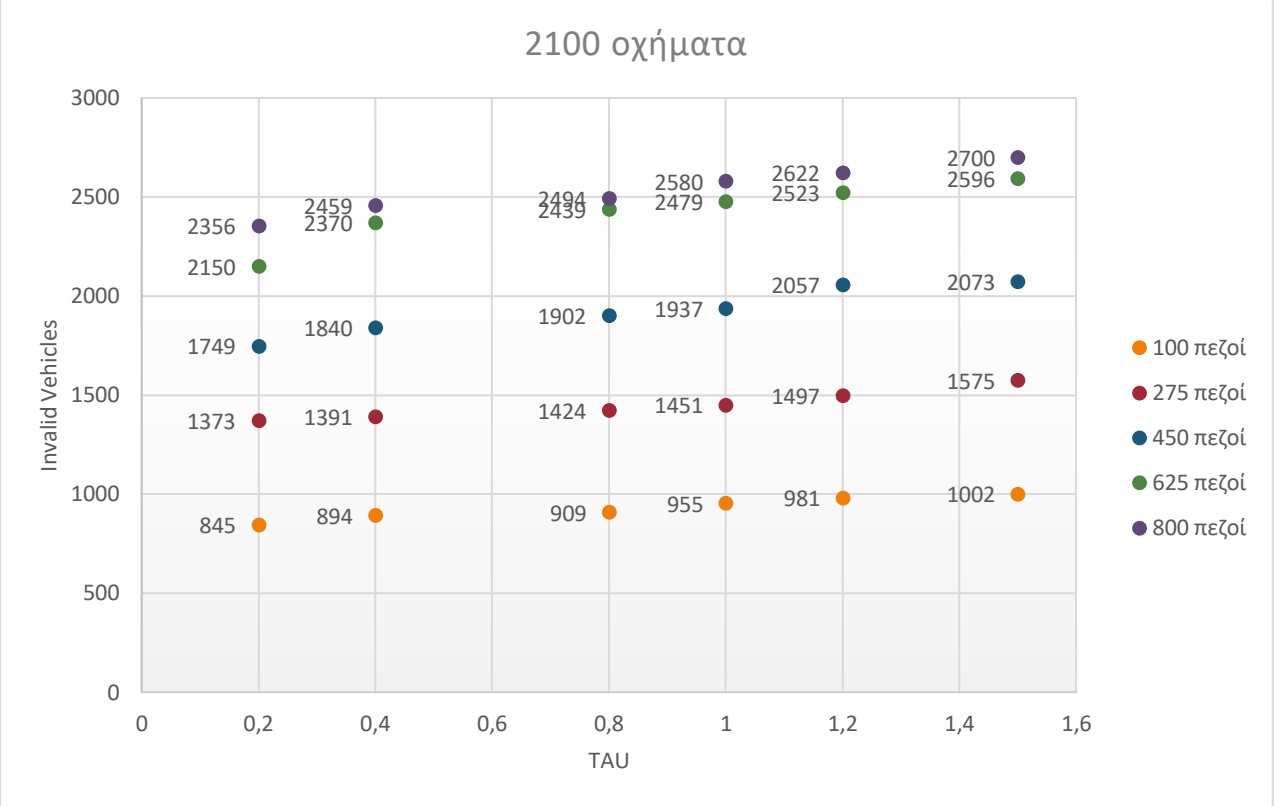
Διάγραμμα 4-32: Οχήματα που δεν ολοκληρώνουν την προσομοίωση για φόρτο 840 οχημάτων



Διάγραμμα 4-33: Οχήματα που δεν ολοκληρώνουν την προσομοίωση για φόρτο 1260 οχημάτων



Διάγραμμα 4-34: Οχήματα που δεν ολοκληρώνουν την προσομοίωση για φόρτο 1680 οχημάτων



Διάγραμμα 4-35: Οχήματα που δεν ολοκληρώνουν την προσομοίωση για φόρτο 2100 οχημάτων

Εξετάζοντας τα σενάρια ανά φόρτο οχημάτων, η ανάλυση δείχνει πως:

- Στα σενάρια με φόρτο οχημάτων 420 οχήματα, ανεξαρτήτως φόρτου πεζών και χρόνου αντίδρασης, όλα τα οχήματα ολοκληρώνουν την προσομοίωση.
- Στα σενάρια με φόρτο οχημάτων 840 οχήματα, έως τα σενάρια με φόρτο 625 πεζούς, δεν υπάρχουν οχήματα τα οποία δεν καταφέρνουν να ολοκληρώσουν την προσομοίωση. Στην συνέχεια όμως στα σενάρια 625 και 800 πεζών εμφανίζονται οχήματα που δεν ολοκληρώνουν την προσομοίωση σε κάθε σενάριο. Μάλιστα και στις δυο αυτές περιπτώσεις όσο αυξάνεται ο χρόνος αντίδρασης tau, τόσο αυξάνονται και τα οχήματα που δεν φτάνουν στον προορισμό τους.
- Στα σενάρια με φόρτο οχημάτων 1260 οχήματα, μέχρι τα σενάρια φόρτου 450 πεζών εντός δικτύου όλα τα οχήματα ολοκληρώνουν κανονικά την προσομοίωση. Στα σενάρια φόρτου 450, 625 και 800 πεζών, όσο αυξάνεται ο χρόνος αντίδρασης tau , τόσο αυξάνονται και τα οχήματα που δεν ολοκληρώνουν την προσομοίωση. Αξίζει να σημειωθεί πως στα σενάρια φόρτου 450 οχημάτων, έως την τιμή 1 στο χρόνο αντίδρασης των πεζών όλα τα οχήματα ολοκληρώνουν την προσομοίωση. Το φαινόμενο των οχημάτων που δεν τα καταφέρνουν παρατηρείται μόνο στους χρόνους αντίδρασης πεζών 1, 1,2 και 1,5.
- Στα σενάρια με φόρτο 1680 οχήματα, ακόμη και στα μικρότερα σενάρια φόρτου πεζών εμφανίζονται οχήματα τα οποία δεν καταφέρνουν να φτάσουν στον προορισμό τους, ακόμη και στους χαμηλότερους χρόνους αντίδρασης των πεζών. Χαρακτηριστικό παράδειγμα αποτελεί το σενάριο με τον χαμηλότερο φόρτο πεζών όταν αυτοί έχουν χρόνο αντίδρασης 0,2 (tau=0,2), στο οποίο ήδη 250 οχήματα από τα 3.360 (συνολικός

φόρτος οχημάτων και για τις δυο λωρίδες της προσομοίωσης για χρόνο μια ώρα) δεν καταφέρνουν να ολοκληρώσουν την προσομοίωση.

- Στα σενάρια με φόρτο 2100 οχήματα, από τα πρώτα σενάρια παρατηρείται το φαινόμενο μεγάλων αριθμών οχημάτων τα οποία δεν ολοκληρώνουν την προσομοίωση. Ακόμη και στα σενάρια με τον χαμηλότερο φόρτο πεζών το πλήθος των οχημάτων που δεν ολοκληρώνουν φτάνουν σχεδόν το 20% του συνολικού φόρτου. Όπως είναι λογικό, όσο αυξάνονται οι πεζοί στο δίκτυο αυξάνονται και τα οχήματα που δεν φτάνουν στον προορισμό τους. Το ίδιο ακριβώς γίνεται εμφανές και όσο αυξάνεται ο χρόνος αντίδρασης των πεζών. Ως παράδειγμα, στα σενάρια με τον μέγιστο φόρτο πεζών σχεδόν το 50% των συνολικών οχημάτων δεν καταφέρνει να ολοκληρώσει την προσομοίωση, ενώ η αύξηση των οχημάτων αυτών από τον χαμηλότερο χρόνο αντίδρασης πεζών έως τον πιο ψηλό σχεδόν αγγίζει το 10%.

4.3 Σύνοψη ανάλυσης

Η ανάλυση των δεδομένων που συλλέχθηκαν αποτελεί μια σύνθετη διαδικασία καθώς ο όγκος των δεδομένων όπως και τα μεγέθη που εξετάζονται είναι πολυπληθή. Το κάθε μέγεθος που επιλέχθηκε να εξεταστεί προσφέρει στη συνολική εικόνα του δικτύου είτε αυτό σχετίζεται άμεσα με την επικινδυνότητα του, είτε με το επίπεδο λειτουργίας του. Η προσέγγιση της εξέτασης των μεγεθών διατηρώντας σταθερά κάθε φορά δύο εκ των τριών βασικών μεταβλητών μας δίνει τη δυνατότητα να δούμε το αν και πως επηρεάζει το κάθε υπό εξέταση μέγεθος. Έπειτα λοιπόν από την ανάλυση όλων των βασικών μεγεθών που ενδιαφέρουν την εργασία αυτή, προκύπτει η εξής σύνοψη από τα μοτίβα και τις αλληλεπιδράσεις που παρουσιάζουν ενδιαφέρον.

Από την παρατήρηση των γραφημάτων που απεικονίζουν τις αλλαγές του averageTTC σε σχέση με τον χρόνο αντίδρασης των πεζών επιβεβαιώνονται και οπτικά κάποια από τα μοτίβα που δημιουργούνται από τα δεδομένα. Κατά κανόνα όσο μεγαλύτερος ο φόρτος πεζών στο δίκτυο, τόσο μεγαλύτερος και ο μέσος όρος του TTC και αυτό ισχύει ανεξαρτήτως του χρόνου αντίδρασης των πεζών. Επιπλέον, ένα ενδιαφέρον μοτίβο που ισχύει για όλα τα σενάρια οχημάτων, είναι η άμεση επιρροή του χρόνου αντίδρασης των πεζών στο μέγεθος averageTTC. Όπως προκύπτει από τα γραφήματα, όσο αυξάνεται ο χρόνος αντίδρασης των πεζών τόσο μειώνεται το aveageTTC. Όπως είναι λογικό όσο χαμηλότερο είναι το averageTTC σε ένα σενάριο, τόσο πιο επικίνδυνη θεωρείται και η λειτουργία του καθώς τα οχήματα έχουν λιγότερο χρόνο έως τη πιθανή σύγκρουση από τη στιγμή που αυτή εντοπίζεται έτσι ώστε να εκτελέσουν κάποιο ελιγμό και να αποφύγουν τη σύγκρουση.

Όσον αφορά το averagePET, σε γενικές γραμμές ακολουθεί το μοτίβο που παρουσιάζεται στο averageTTC. Λόγω της σχέσης αυτής μεταξύ των δύο μεγεθών, είναι λογική η παρόμοια ¨συμπεριφορά¨ στις μεταβολές του χρόνου αντίδρασης των πεζών. Ουσιαστικά το συμπέρασμα που έχει αξία από την εξέταση του μεγέθους αυτού είναι πως όπως και στο averageTTC έτσι και εδώ η διαρκής μείωση που παρουσιάζει στην αύξηση του χρόνου αντίδρασης των πεζών, μεταφράζεται σε επιδείνωση της επικινδυνότητας του κόμβου.

Για τη μέση καθυστέρηση των οχημάτων στο δίκτυο παρατηρήθηκε άμεση συσχέτιση του averageDelay με τον χρόνο αντίδρασης των πεζών. Μέσω των διαγραμμάτων παρατηρείται αύξηση στη μέση καθυστέρηση όσο αυξάνεται ο χρόνος αντίδρασης των πεζών. Η επιρροή του χρόνου αντίδρασης των πεζών φαίνεται πιο έντονα στα σενάρια με χαμηλούς φόρτους

δηλαδή 625 και 800 πεζούς αντίστοιχα. Η αύξηση των οχημάτων επίσης φαίνεται να επηρεάζει, κυρίως στους μικρούς φόρτους, ενώ στους μεγάλους φόρτους οχημάτων δεν επηρεάζει σε μεγάλο βαθμό έτσι ώστε να παρατηρείται αξιοσημείωτη αύξηση.

Ενδιαφέρον επίσης παρουσιάζει το ότι από τα σενάρια φόρτου 840 οχημάτων εμφανίζονται οχήματα τα οποία δεν ολοκληρώνουν την προσομοίωση. Ο φόρτος πεζών δείχνει να επηρεάζει σημαντικά καθώς στα σενάρια των 840 οχημάτων εμφανίζονται ήδη οχήματα τα οποία δεν ολοκληρώνουν την προσομοίωση, μόνο όμως στα σενάρια υψηλών φόρτων πεζών (625 πεζοί, 800 πεζοί). Επιπλέον, σημαντική επιρροή παρουσιάζει ο χρόνος αντίδρασης των πεζών, αφού όσο αυξάνεται ο χρόνος αντίδρασης τόσο αυξάνονται και τα οχήματα που δεν καταφέρνουν να φτάσουν στον προορισμό. Εμφανές παράδειγμα της επιρροής αυτής αποτελεί το γράφημα των 1260 οχημάτων. Για 450 πεζούς εντός δικτύου και ενώ μέχρι χρόνο αντίδρασης πεζών 0,8 (tau=0,8) όλα τα οχήματα ολοκληρώνουν την προσομοίωση, από χρόνο αντίδρασης 1 (tau=1) εμφανίζονται οχήματα τα οποία δεν φτάνουν στον προορισμό τους και αυτά αυξάνονται όσο αυξάνεται ο χρόνος αντίδρασης. Έπειτα στα σενάρια με φόρτο οχημάτων 1680 και 2100 εμφανίζονται οχήματα από την ελάχιστη τιμή του χρόνου αντίδρασης και όσο αυτός αυξάνεται τόσο αυξάνονται και τα οχήματα που δεν ολοκληρώνουν. Προφανώς ένα σημαντικό συμπέρασμα που επιβεβαιώνεται από τη διαδικασία της ανάλυσης είναι πως η μέση καθυστέρηση των οχημάτων είναι αλληλένδετη με τον αριθμό των οχημάτων που δεν ολοκληρώνουν την προσομοίωση.

Στη συνέχεια της ανάλυσης των δεδομένων έγινε επεξεργασία των συγκρούσεων που εντοπίζονται από το SSAM. Στα σενάρια των 420 οχημάτων όσο αυξάνονται οι πεζοί αυξάνονται και οι πιθανές συγκρούσεις, όπως επίσης όσο αυξάνεται ο χρόνος αντίδρασης αυξάνονται κατά κανόνα οι πιθανές συγκρούσεις. Παρατηρείται επίσης μεγάλη αύξηση στις πιθανές συγκρούσεις μεταξύ των σεναρίων 420 οχημάτων και 840 οχημάτων. Από τα σενάρια 1260 οχημάτων όμως παρουσιάζεται πολύ υψηλή τιμή στις πιθανές συγκρούσεις και διαρκής μείωση τους όσο αυξάνεται ο χρόνος αντίδρασης των πεζών. Εξαίρεση αποτελούν τα σενάρια των 100 πεζών στα οποία παρατηρείται σταθερότητα γύρω από μια μέση τιμή πιθανών συγκρούσεων. Όσον αφορά τις πιθανές συγκρούσεις επίσης γίνεται η εξής ενδιαφέρουσα παρατήρηση. Στα σενάρια των 1260 οχημάτων και άνω, οι μέγιστες τιμές των πιθανών συγκρούσεων παρουσιάζονται στα σενάρια των 450 πεζών και έπειτα των 275 πεζών, στους μεγάλους χρόνους αντίδρασης των πεζών. Τα σενάρια με τον μέγιστο φόρτο πεζών στο δίκτυο, ειδικά στα σενάρια 1260, 1680 και 2100 οχημάτων παρουσιάζουν τις δεύτερες λιγότερες πιθανές συγκρούσεις στο δίκτυο.

Στην κατηγορία των συγκρούσεων με χρόνο σύγκρουσης κάτω των 0,5 δευτερολέπτων παρατηρείται συνεχής αύξηση όσο παράλληλα αυξάνεται ο χρόνος αντίδρασης των πεζών. Ξανά όμως εντοπίζεται η ίδια αλλαγή στο μοτίβο των σεναρίων με 800 πεζούς. Ενώ στο σενάριο με τον ελάχιστο φόρτο οχημάτων (420 οχήματα) οι περισσότερες συγκρούσεις εντοπίζονται όταν στο δίκτυο υπάρχει μέγιστος φόρτος πεζών, αυτό αλλάζει όσο αυξάνεται ο φόρτος των οχημάτων στο δίκτυο. Ως αποτέλεσμα αυτού, ο μέγιστος αριθμός συγκρούσεων μετατοπίζεται και πλέον εμφανίζεται σε σενάρια με λιγότερους πεζούς στο δίκτυο. Ακόμη, με την αύξηση του χρόνου αντίδρασης των πεζών παρατηρείται αύξηση των συγκρούσεων, με τα σενάρια των 275 και 450 πεζών να εμφανίζουν τις μέγιστες συγκρούσεις στις υψηλές τιμές του χρόνου αντίδρασης των πεζών.

Τέλος, η ανάλυση των δεδομένων όσον αφορά την αναλογία συγκρούσεων με χρόνο σύγκρουσης κάτω των 0,5 δευτερολέπτων προς τις συνολικές πιθανές συγκρούσεις έδειξε άμεση επιρροή της αύξησης του χρόνου αντίδρασης των πεζών και της αναλογίας αυτής. Αυτό το μοτίβο εμφανίζεται για την πλειοψηφία των φόρτων πεζών. Εξαιρέσεις αποτελούν τα σενάρια των 100 πεζών στις κατηγορίες 420 και 840 οχημάτων. Όπως είναι λογικό από την παρατήρηση της προηγούμενης παραγράφου, οι μέγιστες τιμές της αναλογίας παρουσιάζονται στα σενάρια χαμηλών φόρτων πεζών, δηλαδή στα σενάρια 100 και 275 πεζών.

5. Συμπεράσματα και προτάσεις

Η παρούσα διπλωματική εργασία είχε σαν αντικείμενο μελέτης την επιρροή της χρήσης κινητού τηλεφώνου από πεζούς στη λειτουργία αλλά και την επικινδυνότητα ενός κόμβου, με την επιρροή αυτή να αποτυπώνεται μέσω της αύξησης του χρόνου αντίδρασης των πεζών. Η υλοποίηση έγινε με τη χρήση δυο λογισμικών προσομοίωσης, το Vissim/Viswalk και το SSAM. Στο πλαίσιο της ανάλυσης αυτής δημιουργήθηκαν σενάρια με διαφορετικούς φόρτους οχημάτων, διαφορετικούς φόρτους πεζών και διαφορετικούς χρόνους αντίδρασης όσον αφορά τους πεζούς. Ως εργαλεία για την εξαγωγή συμπερασμάτων χρησιμοποιήθηκαν οι εξής μεταβλητές:

- Μέση τιμή του TTC
- Μέση τιμή του PET
- Ο αριθμός των πιθανών συγκρούσεων που εντοπίζονται στο κάθε σενάριο
- Ο αριθμός πιθανών συγκρούσεων με χρόνο σύγκρουσης κάτω του μισού δευτερολέπτου που εντοπίζονται στο κάθε σενάριο
- Η αναλογία των πιθανών συγκρούσεων με χρόνο σύγκρουσης κάτω του μισού δευτερολέπτου ως προς τις συνολικές πιθανές συγκρούσεις που εντοπίζονται
- Η μέση καθυστέρηση των οχημάτων
- Ο αριθμός των οχημάτων που δεν ολοκλήρωσαν την προσομοίωση

Από την ανάλυση των βασικών αυτών μεταβλητών προκύπτουν τα βασικά συμπεράσματα που αναφέρονται παρακάτω. Μαζί με αυτά αναφέρονται και κάποια γενικότερα συμπεράσματα τα οποία προκύπτουν από την ολοκλήρωση της διαδικασίας αυτής.

Αρχικά, σύμφωνα με την ολική εικόνα από τα δεδομένα αλλά και τα γραφήματα του κεφαλαίου 4, υπάρχει άμεση επιρροή του χρόνου αντίδρασης των πεζών στο δίκτυο. Όταν οι πεζοί του δικτύου έχουν υψηλές τιμές του χρόνου αντίδρασης τους, δηλαδή κάνουν χρήση κινητού τηλεφώνου σε βαθμό που τους αποσπά την προσοχή από το περιβάλλον, παρατηρείται αύξηση της επικινδυνότητας. Αυτό προκύπτει από τις μειωμένες τιμές που παρουσιάζονται στα μεγέθη averageTTC και averagePET, προκύπτει όμως και από τις υψηλές τιμές που παρουσιάζονται στις πιθανές συγκρούσεις με χρόνο κάτω του μισού δευτερολέπτου για τις υψηλές τιμές χρόνου αντίδρασης πεζών. Ενδιαφέρον παρουσιάζει η αύξηση των συνολικών πιθανών συγκρούσεων όσο αυξάνεται ο χρόνος αντίδρασης των πεζών σε χαμηλούς φόρτους πεζών και έπειτα μείωση των συνολικών πιθανών συγκρούσεων στις υψηλές τιμές του χρόνου αντίδρασης. Η αλλαγή αυτή δεν παρατηρείται όμως στα σενάρια με χαμηλούς φόρτους πεζών. Αξίζει επίσης να σημειωθεί πως όσο ο χρόνος αντίδρασης των πεζών αυξάνεται τόσο αυξάνεται και η αναλογία πιθανών συγκρούσεων με χρόνο κάτω του μισού δευτερολέπτου προς τις συνολικές πιθανές συγκρούσεις, κατά συνέπεια και η πιθανότητα ατυχήματος στο υπό-διερεύνηση οδικό τμήμα.

Η απόσπαση της προσοχής των πεζών όμως επηρεάζει έντονα και τη λειτουργική απόδοση του οδικού δικτύου. Όσο τα αντανακλαστικά των πεζών ελαττώνονται παρουσιάζεται μεγαλύτερη δυσλειτουργία στο οδικό τμήμα, με αύξηση της μέσης καθυστέρησης των οχημάτων σε όλα τα σενάρια που αναλύθηκαν αλλά και σημαντική αύξηση στα οχήματα που δεν ολοκληρώνουν την προσομοίωση, ειδικά στους υψηλούς φόρτους οχημάτων. Αυτό είναι πιθανά ένα αρκετά αναμενόμενο συμπέρασμα, καθώς επιβεβαιώνει την αρχική θεώρηση πως όταν οι πεζοί δεν

εκμεταλλεύονται το χρονικό διάκενο για να διασχίσουν τη διάβαση και καθυστερούν είτε να ξεκινήσουν, είτε να διαβούν σύντομα, τότε θα υπάρχει μεγαλύτερη καθυστέρηση και στα οχήματα. Φυσικά αυτό σχετίζεται και με την παραδοχή πως οι πεζοί έχουν προτεραιότητα στη διάβαση, μια παραδοχή που ισχύει στα σενάρια που εξετάστηκαν.

Μια επιπλέον παρατήρηση από την ανάλυση έχει να κάνει με τους φόρτους οχημάτων και την επιρροή που φαίνεται να έχει η αύξηση του κυκλοφοριακού φόρτου στο δίκτυο. Στους υψηλούς φόρτους οχημάτων στο δίκτυο παρατηρείται αυξημένη συγκέντρωση των τιμών των averageTTC, averagePET, με το φαινόμενο αυτό να εντείνεται ειδικότερα στους υψηλούς χρόνους αντίδρασης των πεζών. Κατά συνέπεια με αύξηση του κυκλοφοριακού φόρτου των οχημάτων και αύξηση του χρόνου αντίδρασης των πεζών η αλληλεπίδραση μεταξύ οχημάτων και πεζών όπως εκφράζεται από τα παραπάνω μεγέθη δεν διαφοροποιείται ιδιαίτερα. Εξαίρεση αποτελούν τα σενάρια με ιδιαίτερα χαμηλό φόρτο πεζών (δλδ 100 πεζούς), τα οποία δεν ακολουθούν το νέφος σημείων, ανεξαρτήτως των τιμών του χρόνου αντίδρασης των πεζών και του κυκλοφοριακού φόρτου οχημάτων. Αυτό υποδεικνύει ότι υπάρχει κάποιο όριο φόρτου πεζών πάνω από το οποίο αλλάζει η αλληλεπίδραση μεταξύ των δύο αυτών οντοτήτων. Επιπλέον, παρατηρείται πως αύξηση του φόρτου οχημάτων έχει ως αποτέλεσμα μεγαλύτερες καθυστερήσεις στο δίκτυο, ειδικότερα στους χαμηλούς φόρτους, ενώ από ένα φόρτο οχημάτων και άνω οι μέσες καθυστερήσεις δείχνουν να σταθεροποιούνται σε συγκεκριμένες τιμές. Όπως είναι αναμενόμενο, όσο αυξάνονται τα οχήματα στο δίκτυο, τόσο παρουσιάζεται αύξηση στα οχήματα που δεν ολοκληρώνουν την προσομοίωση. Το φαινόμενο των οχημάτων που δεν ολοκληρώνουν την προσομοίωση παρατηρείται για πρώτη φορά σε φόρτο 840 οχημάτων/ώρα, όχι όμως σε όλους τους φόρτους πεζών.

Ο φόρτος των πεζών στο δίκτυο δείχνει να επηρεάζει σε μεγάλο βαθμό κάποιες μεταβλητές στο δίκτυο. Μια από αυτές τις μεταβλητές είναι τα οχήματα που δεν ολοκληρώνουν την προσομοίωση. Από τα σενάρια των 840 οχημάτων και άνω γίνεται αντιληπτό πως η αύξηση του φόρτου των πεζών επηρεάζει σημαντικά τη λειτουργία του δικτύου, με τους υψηλούς φόρτους πεζών να συνδυάζονται με μεγάλο πλήθος οχημάτων που δεν ολοκληρώνουν την προσομοίωση. Φυσικά όσο αυξάνεται και ο χρόνος αντίδρασης του εκάστοτε πεζού, στους υψηλούς φόρτους το δίκτυο ωθείται σε οριακή κατάσταση με χαρακτηριστικά παραδείγματα τα σενάρια με 1680 και 2100 οχήματα ανά λωρίδα στα οποία πάνω από το 50% των οχημάτων δεν καταφέρνει να φτάσει στον προορισμό.

Επίσης, ενδιαφέρον παρουσιάζει το γεγονός ότι ενώ στα σενάρια χαμηλού κυκλοφοριακού φόρτου οχημάτων παρατηρούνται οι περισσότερες πιθανές συγκρούσεις στα σενάρια με τους υψηλούς φόρτους πεζών στο δίκτυο, με την αύξηση του φόρτου οχημάτων αυτό αλλάζει. Πλέον τις μέγιστες τιμές για τις συγκρούσεις που εντοπίζονται με χρόνο κάτω του μισού δευτερολέπτου τις συναντάμε στα σενάρια μεσαίου φόρτου, δηλαδή των 275 και 450 πεζών. Αυτό με τη σειρά του επηρεάζει άμεσα την αναλογία των πιθανών συγκρούσεων με χρόνο κάτω του μισού δευτερολέπτου ως προς τις συνολικές πιθανές συγκρούσεις, με αποτέλεσμα την εμφάνιση των μέγιστων τιμών της αναλογίας στους χαμηλότερους φόρτους πεζών. Κατά συνέπεια, σε χαμηλούς φόρτους πεζών βασική παράμετρο αποτελεί ο αριθμός των αλληλεπιδράσεων που είναι χαμηλός, ενώ σε υψηλούς φόρτους η ομαλότητα στην κίνηση υπερέχει του αριθμού αλληλεπίδρασης οχημάτων-πεζών. Στους μεσαίους φόρτους που παρουσιάζεται αυξημένη αλληλεπίδραση (λόγω αύξησης πεζών) σε σχέση με τους χαμηλούς φόρτους, αλλά η κίνηση των πεζών δεν είναι ακόμα ομαλοποιημένη (λόγω άνεσης κινήσεων σε σχέση με τους υψηλούς φόρτους) παρουσιάζεται η μεγαλύτερη επικινδυνότητα.

Εκτός όμως των συμπερασμάτων που προκύπτουν άμεσα από την ανάλυση, αξίζει να αναφερθούν και κάποια γενικότερα συμπεράσματα που προκύπτουν από τη διαδικασία που ακολουθήθηκε στην εργασία καθώς και κάποιες προτάσεις για περεταίρω έρευνα. Το ένα από τα συμπεράσματα αυτά σχετίζεται με την έλλειψη επαρκούς βιβλιογραφίας όσον αφορά τη συμβατότητα των δυο λογισμικών. Όπως διαπιστώθηκε στην πορεία της εργασίας, ενώ τα δύο προγράμματα είναι συμβατά για ανάλυση τροχιών οχημάτων, παρουσιάζουν μια ασυμβατότητα στο κομμάτι των πεζών. Έπειτα από δοκιμές και μέσω του report που εξάγει το SSAM διαπιστώθηκε πως δεν εντοπίζεται σύγκρουση οχήματος με πεζό, σε κανένα από τα σενάρια. Ο περιορισμός αυτός είναι σημαντικός στα πλαίσια μιας τέτοιας εργασίας καθώς η πληροφορία αυτή θα παρουσίαζε ακόμη μεγαλύτερο ενδιαφέρον στην ανάλυση. Μοναδικός τρόπος για την άρση του περιορισμού αυτού θα ήταν ο ορισμός των πεζών ως οχήματα, με τα γεωμετρικά χαρακτηριστικά ανθρώπου, όπως βρέθηκε στη βιβλιογραφία. Αυτό όμως έχει το μειονέκτημα της λιγότερο ρεαλιστικής κίνησης των πεζών στο δίκτυο, καθώς δεν θα λειτουργούσαν βάση του Social Force Model αλλά βάση του αλγορίθμου ακολουθίας κατά Wiedemann. Έτσι στην εργασία αυτή επιλέχθηκε η πιο ρεαλιστική κίνηση των πεζών και η εξέταση της επιρροής τους στο υπόλοιπο δίκτυο, έχοντας σαν βασικό περιορισμό τις πιθανές συγκρούσεις μόνο μεταξύ οχημάτων.

Ως προέκταση της εργασίας αυτής ενδιαφέρον θα παρουσίαζε η εξέταση ενός πιο σύνθετου κόμβου. Η δημιουργία της ευθυγραμμίας με δυο λωρίδες κίνησης οχημάτων και διαβάσεις πεζών αποτελεί ουσιαστικά ένα απλό παράδειγμα για την καλύτερη εξέταση της επιρροής των μεγεθών που μας ενδιαφέρουν. Μια πρόταση που θα μπορούσε να εφαρμοστεί είναι η αλλαγή της γεωμετρίας του κόμβου και η αντικατάσταση του με έναν κυκλικό, έτσι ώστε να διερευνηθεί αν θα υπάρχουν μεγάλες μεταβολές στα μεγέθη που εξετάζονται, και στη συνέχεια η εφαρμογή σε ένα οδικό δίκτυο αφού βέβαια είχαν πρώτα βαθμονομηθεί τα δύο λογισμικά.

Μια ακόμη αλλαγή που θα μπορούσε να γίνει σε προέκταση της δουλειάς αυτής είναι η εξέταση ακόμη περισσότερων χρόνων αντίδρασης των πεζών, χρησιμοποιώντας ένα μικρότερο βήμα μεταξύ των σεναρίων. Μια τέτοια πύκνωση στα σενάρια βάση του χρόνου αντίδρασης θα μπορέσει να αναδείξει πιο αναλυτικά τους χρόνους στους οποίους παρατηρούνται οι μεγαλύτερες αλλαγές στο δίκτυο. Επιπλέον, ενδιαφέρον παρουσιάζει η προσθήκη σεναρίων στα οποία και ένα ποσοστό των οδηγών κάνουν χρήση κινητού τηλεφώνου , δημιουργώντας με τον τρόπο αυτό ακόμη πιο αληθοφανή σενάρια.

Όσον αφορά το κομμάτι της ανάλυσης των συγκρούσεων, μια προέκταση που μπορεί να δοθεί σχετίζεται με τα χαρακτηριστικά της σύγκρουσης. Το λογισμικό SSAM δίνει στο χρήστη τη δυνατότητα εξαγωγής και άλλων δεδομένων που δεν χρησιμοποιήθηκαν στην εργασία αυτή, όπως για παράδειγμα η γωνία σύγκρουσης μεταξύ των δύο οχημάτων αλλά και ένα στίγμα του σημείου που εντοπίζεται η σύγκρουση. Μέσω των δεδομένων αυτών ο χρήστης μπορεί να δώσει μια άλλη διάσταση στον έλεγχο της επικινδυνότητας του κόμβου, προσθέτοντας κι άλλες παραμέτρους. Η δημιουργία ενός χάρτη με τα ακριβή σημεία των συγκρούσεων μπορεί να δώσει ενδιαφέρουσες πληροφορίες, δημιουργώντας συγκεκριμένα σημεία επικινδυνότητας στο δίκτυο.

Τέλος, θα μπορούσε να γίνει επανάληψη των ίδιων σεναρίων αντικαθιστώντας όμως τους πεζούς του δικτύου με πεζούς οι οποίοι λειτουργούν βάση του αλγορίθμου του Wiedemann. Στη συνέχεια μέσω σύγκρισης των δυο αυτών διαφορετικών προσεγγίσεων στην κίνηση των πεζών μέσα σε ένα περιβάλλον προσομοίωσης, θα μπορέσει να φανεί πιο αναλυτικά η επιρροή

του κάθε ενός στη λειτουργία της προσομοίωσης και μέσω αυτού να εντοπιστούν οι βασικές διαφορές των δυο αλγορίθμων. Σαφώς ενδιαφέρον θα παρουσίαζε επίσης η επανάληψη της ίδιας διαδικασίας με χρήση όμως άλλου προγράμματος κυκλοφοριακής προσομοίωσης και η σύγκριση των αποτελεσμάτων.

6. Αναφορές

Wolff, M. (1973). Notes on the behavior of pedestrians. Peoples in Places: The Sociology of the Familiar. Praeger, New York, 35–48.

Hoogendoorn, S. P., & Daamen, W. (2005). Pedestrian Behavior at Bottlenecks. Transportation Science, 39(2), 147–159.

Snodgrass, J., Russell, J.A. & Ward, L.M.. (1988). Planning, mood, and place-liking. Journal of Environmental Psychology, 8(3), pg.209–222.

AlGadhi, S. A. H., Mahmassani, H. S., & Herman, R. (2002). A Speed-Concentration Relation for Bi-Directional Crowd Movements with Strong Interaction. Pedestrian and Evacuation Dynamics, (April), 3–20.

Appert-Rolland, C., Cividini, J., Hilhorst, H. J., & Degond, P. (2014). Pedestrian flows: From individuals to crowds. Transportation Research Procedia, 2, 468–476.

Coelho, G. V. & Stein, J.J.. (1977). Coping with Stresses of an Urban Planet: Impacts of Uprooting and Overcrowding* A2 - TINKER, IRENE. , pg.379–390.

Washington State Department of Transportation (1995) Pedestrian facilities guidebook: incorporating pedestrians into Washington's transportation system.

Bernhoft, I.M., Carstensen, G., (2008). Preferences and behaviour of pedestrians and cyclists by age and gender. Transportation Research Part F 11, pg. 83–95.

Washington State Department of Transportation (1997) Pedestrian facilities guidebook: incorporating pedestrians into Washington's transportation system.

Organisation for Economic Co-operation and Development (1998) Safety of Vulnerable Road Users.

Handy, S., Boarnet, M., Ewing, R., Killingsworth, R., (2002). How the built environment affects physical activity: Views from urban planning. American Journal of Preventive Medicine, 23(02), pg.64–73.

Sauter, D,, Wedderburn, M., Buchanan, C. (2008) Measuring Walking.towards internationally standardized monitoring meathods of walking and public space. Paper presented at the 8th International conference on survey methods in transport, Annecy, France.

Prupetkaew, P., Lugade, V., Kamnardsiri, T., Silsupadol, P. (2019) Cognitive and visual demands, but not gross motor demand, of concurrent smartphone use affect laboratory and free-living gait among young and older adults

Nasar, J.L., Troyer, D. (2013). Pedestrian injuries due to mobile phone use in public places, Accident Analysis and Prevention, 57, pp. 91-95

Y. Zhao, D. Liu, J.X. Wang. The influence of pedestrians' cell phone use while crossing on traffic safety in Beijing .J. Chin. People's Public Secur. Univ. (Sci. Technol.), 2 (2015), pp. 58-62

Samsung Traffic Safety Research Institute, 2018

I.E. Hyman, S.M. Boss, B.M. Wise, K.E. Mckenzie, J.M. Caggiano. Did you see the unicycling clown? Inattentional blindness while walking and talking on a cell phone. Appl. Cognit. Psychol., 24 (5) (2010), pp. 597-607

J. Hatfield, S. Murphy (2007), The effects of mobile phone use on pedestrian crossing behaviour at signalised and unsignalised intersections. Accid. Anal. Prev., 39 (1) (2007), pp. 197-205

J. Hatfield, S. Murphy (2007),,The effects of mobile phone use on pedestrian crossing behaviour at signalised and unsignalised intersections. Accid. Anal. Prev., 39 (1) (2007), pp. 197-205

K.W. Byington, D.C. Schwebel(2013).Effects of mobile internet use on college student pedestrian injury risk ,Accid. Anal. Prev., 51 (51C) (2013), pp. 78-83

D.C. Schwebel, D. Stavrinos, K.W. Byington, T. Davis, E.E. O'Neal, D.D. Jong. (2012) Distraction and pedestrian safety: how talking on the phone, texting, and listening to music impact crossing the street. Accid. Anal. Prev., 45 (2) (2012), pp. 266-271

N. Alejalil, S.R. Davoodi (2017). Mobile phone usage and its effects on pedestrians' distraction,Int. J. High. Risk Behav. Addict., 6 (3) (2017)

H. Kim, J. Park, J. Cha, et al. Influence of mobile phone texting on gait parameters during ramp ascent and descent,Physical Therapy Rehabilitation Science, 3 (1) (2014), pp. 43-48

Transportation Research Board-HCM. (2010). HCM 2010: Highway Capacity Manual. Washington DC: Transportation Research Board.

Greenshields, B.D., Channing, W.S., Miller, H.H. A study of traffic capacity (1935*)* Highway Research Board Proceedings, *4, pp. 448-477.*

Daganzo, C.F.,(1997*)* Fundamentals of Transportation and Traffic Operations

Smulders (1987), Modeling and filtering of freeway traffic flow (1987*)* Proceedings of the 10th International Symposium on Transportation and Traffic Theory

Smulders (1988), Control of freeway traffic flow, *(1988)* Report OS-R8817

Barceló J., Casas J. (2005) Dynamic Network Simulation with AIMSUN. In: Kitamura R., Kuwahara M. (eds) Simulation Approaches in Transportation Analysis. Operations Research/Computer Science Interfaces Series, vol 31.

Smith, L., Beckman, R., Anson, D., Nagel, K., and Williams, M. 1995. TRANSIMS: Transportation Analysis and SIMulation System. Technical Report. Los Alamos National Lab., NM (United States).

Liu, R., and Tate, J. 2003. Network effects of intelligent speed adaptations systems. Transportation, 31 (3). pp. 297 - 325.

Liu, R. 1994. DRACULA Microscopic Traffic Simulation. Institute of Transport Studies, University of Leeds. Working Paper 431.

Liu, R., Vilet, D.V., and Watling, D.P. 1995. DRACULA: Dynamic Route Assigment Combinig User Learning and Microsimulation. PTRC, E, 143 - 152.

PTV Vissim and Viswalk User Manual, (2021). PTV AG.

PTV Support Vissim Team- License approval (2021)

PTV Viswalk http://vision-traffic.ptvgroup.com/en-us/products/ptv-viswalk/

Helbing, D., Molnar, P., (1995). Social force model for pedestrian dynamics. Physical Review – Part E 51, 4282–4286.

Webinar: Pedestrian simulation with PTV Vissim and PTV Viswalk, (2017)

Hoogendoorn, S. P., & Daamen, W. (2005). Pedestrian Behavior at Bottlenecks. Transportation Science, 39(2), 147–159.

Prabhu, T. D., & Sarkar, P. K. (2016). Pedestrian Warrants for Developing Countries by Simulation Approach. Procedia Computer Science, 83(Ant), 665–669.

Federal Highway Administration, U.S. Department of Transportation (FHWA,2021)

Hyden, C., 1987. The Development of a Method of Traffic Safety Evaluations: the Swedish Traffic Conflicts Technique. PhD. Lund University.

Laureshyn, A., Johnsson, C., Madsen, T., Varhelyi, A., De Goede, M., Svensson, Å., Saunier, N., Van haperen, W., 2017b. Exploration of a method to validate surrogate safety measures with a focus on vulnerable road users. In: Road Safety & Simulation International Conference. The Hague, Netherlands, 17-19 October 2017.

American Association of State Highway and Transportation Officials, A Policy on Geometric Design of Highways and Streets, Fifth Edition, AASHTO, Washington, DC, 2004.

Federal Highway Administration, SSAM 2.1.6 Release Notes, US DOT – Federal Highway Administration Office of Safety R&D, McLean, VA, April 4, 2011. http://www.fhwa.dot.gov/downloads/research/safety/ssam/ssam2_1_6_release_notes.cfm. (Accesses August 17, 2011).

Hyden, C., The Development of a Method for Traffic Safety Evaluation: The Swedish Traffic Conflicts Technique, University of Lund, Lund Institute of Technology Department of Traffic Planning and Engineering, Sweden, 1987.

ΠΑΡΑΡΤΗΜΑ ΤΕΛΙΚΩΝ ΠΙΝΑΚΩΝ

	TAU	avgTTC	avgTTC stdev	avgPET	avgPET stdev	Conflicts	Conflicts(<0,5)	25% TTC	50%TTC	75%TTC	Serious/All possible conflicts
420 οχήματα 100 πεζοί	0,2	0,5725	0,5796	0,5325	0,9269	40	21	0	0,4	1,025	0,525
	0,4	1,025	0,8386	0,825	0,9793	44	15	0	1,1	1,725	0,340909091
	0,8	1,025	0,8375	0,85	0,9664	47	18	0	1,1	1,725	0,382978723
	1	1,147058824	0,8493	0,732352941	0,8691	34	10	0	1,4	1,775	0,294117647
	1,2	1,171428571	0,8525	0,668571429	0,7752	35	10	0	1,5	1,8	0,285714286
	1,5	0,908333333	0,809	0,541666667	0,8271	36	14	0	1,05	1,575	0,388888889
420 οχήματα 275 πεζοί	0,2	1,361428571	0,8741	1,301428571	1,1479	70	17	0,6	1,7	2	0,242857143
	0,4	1,338235294	0,8506	1,395588235	1,1688	68	16	0,675	1,6	1,925	0,235294118
	0,8	1,351315789	0,7994	1,610526316	1,2924	76	17	0,975	1,6	1,9	0,223684211
	1	1,430434783	0,8933	1,662318841	1,3461	69	17	0,9	1,7	2,1	0,246376812
	1,2	1,275	0,8632	1,457954545	1,3041	88	24	0	1,6	1,9	0,272727273
	1,5	1,181052632	0,9	1,354736842	1,3378	95	32	0	1,5	1,9	0,336842105
420 οχήματα 450 πεζοί	0,2	1,407407407	0,786	1,812345679	1,279	81	16	1,1	1,6	1,9	0,197530864
	0,4	1,489247312	0,8232	1,806451613	1,2238	93	18	1,1	1,8	2	0,193548387
	0,8	1,361	0,8337	1,707	1,2683	100	24	0,5	1,6	2	0,24
	1	1,520588235	0,8295	1,780392157	1,2473	102	20	1,325	1,8	2,1	0,196078431
	1,2	1,427358491	0,8176	1,8	1,2655	106	22	1,1	1,7	2	0,20754717
	1,5	1,46147541	0,8261	1,86147541	1,251	122	26	1,15	1,7	2	0,213114754
420 οχήματα 625 πεζοί	0,2	1,568067227	0,7683	1,916666667	1,2305	120	20	1,5	1,8	2,025	0,166666667
	0,4	1,427891156	0,8545	1,801360544	1,3253	147	34	1,05	1,7	2	0,231292517
	0,8	1,369948187	0,7616	2,3	1,2353	144	23	1,5	1,7	2,1	0,159722222
	1	1,378948187	0,8546	1,784974093	1,3349	193	49	0,2	1,7	2	0,25388601
	1,2	1,462569832	0,8353	1,862011173	1,2693	180	39	1,2	1,7	2	0,216666667
	1,5	1,329949239	0,9073	1,771573604	1,3562	198	59	0	1,7	2	0,297979798
420 οχήματα 800 πεζοί	0,2	1,408163265	0,8506	1,9	1,3192	196	48	0,7	1,75	2	0,244897959
	0,4	1,49484127	0,8161	1,999206349	1,2466	252	53	1,5	1,8	2	0,21031746
	0,8	1,501260504	0,7846	2,027731092	1,2718	238	21	1,4	1,7	2	0,088235294
	1	1,500334448	0,8349	2,0090301	1,327	300	63	1,4	1,8	2,1	0,21
	1,2	1,435836177	0,8641	1,928668942	1,345	293	72	1,1	1,8	2	0,245733788
	1,5	1,385872576	0,8874	1,895290859	1,373	361	97	0	1,7	2	0,268698061

	TAU	avgTTC	avgTTC stdev	avgPET	avgPET stdev	Conflicts	Conflicts(<0,5)	25% TTC	50%TTC	75%TTC	Serious/All possible conflicts
840οχήματα 100πεζοί	0,2	1,289513109	0,8899	1,336329588	1,2451	267	76	0	1,6	2	0,284644195
	0,4	1,283276451	0,8928	1,39112628	1,2774	293	86	0	1,6	2	0,293515358
	0,8	1,326297578	0,8609	1,333217993	1,1982	290	75	0,3	1,6	2	0,25862069
	1	1,297196262	0,8853	1,477258567	1,3428	322	90	0	1,6	2	0,279503106
	1,2	1,254769231	0,8646	1,451076923	1,3247	326	93	0	1,6	1,9	0,285276074
	1,5	1,259281437	0,8639	1,506886228	1,3258	335	95	0	1,6	1,9	0,28358209
840οχήματα 275 πεζοί	0,2	1,522898032	0,7854	1,922898032	1,2528	560	99	1,4	1,8	2	0,176785714
	0,4	1,503782148	0,8156	1,896822995	1,2761	661	131	1,3	1,8	2,1	0,198184569
	0,8	1,473538961	0,8198	1,860714286	1,2977	616	130	1,1	1,7	2	0,211038961
	1	1,467054908	0,8324	1,796	1,3102	601	129	1,1	1,8	2,1	0,214642263
	1,2	1,391855204	0,8562	1,722322775	1,3189	664	163	0,5	1,7	2	0,245481928
	1,5	1,362329803	0,8891	1,687140696	1,3451	662	179	0	1,7	2	0,270392749
840οχήματα 450 πεζοί	0,2	1,613776945	0,76	2,132802249	1,242	1067	167	1,6	1,8	2,1	0,15651359
	0,4	1,641825476	0,7297	2,130692076	1,183	997	139	1,6	1,8	2,1	0,139418255
	0,8	1,601914312	0,7733	2,177848678	1,2576	1097	186	1,6	1,8	2,1	0,169553327
	1	1,56997319	0,7975	2,092314567	1,2838	1120	204	1,5	1,8	2,1	0,182142857
	1,2	1,517497887	0,8275	2,026035503	1,3355	1183	244	1,4	1,8	2,1	0,206255283
	1,5	1,51727043	0,839	2,063942713	1,3393	1188	254	1,4	1,8	2,1	0,213804714
840οχήματα 625 πεζοί	0,2	1,703096636	0,6967	2,335290977	1,1849	1874	230	1,7	1,9	2,1	0,122732124
	0,4	1,706876791	0,6968	2,326189112	1,1854	1746	217	1,7	1,9	2,1	0,124284078
	0,8	1,677700161	0,7375	2,30720043	1,234	1862	267	1,7	1,9	2,1	0,1433942
	1	1,639789474	0,7547	2,302473684	1,2518	1900	295	1,6	1,9	2,1	0,155263158
	1,2	1,585201072	0,8136	2,180053619	1,3205	1865	356	1,6	1,8	2,1	0,190884718
	1,5	1,529150472	0,8364	2,121377013	1,3572	1801	381	1,4	1,8	2,1	0,211549139
840οχήματα 800 πεζοί	0,2	1,768614818	0,6429	2,456695812	1,1225	2173	215	1,7	1,9	2,1	0,098941555
	0,4	1,74045954	0,6874	2,424525475	1,1622	2002	238	1,7	1,9	2,1	0,118881119
	0,8	1,701183432	0,7332	2,398655191	1,2267	1860	261	1,7	1,9	2,1	0,140322581
	1	1,649832776	0,7748	2,257859532	1,2691	1794	292	1,6	1,9	2,1	0,162764771
	1,2	1,636753168	0,7823	2,272178636	1,2833	1658	280	1,6	1,9	2,1	0,168878166
	1,5	1,531059603	0,8449	2,101059603	1,3338	1510	325	1,425	1,8	2,1	0,215231788

	TAU	avgTTC	avgTTC stdev	avgPET	avgPET stdev	Conflicts	Conflicts(<0,5)	25% TTC	50%TTC	75%TTC	Serious/All possible conflicts
1260 οχήματα 100 πεζοί	0,2	1,441953232	0,8465	1,76698762	1,337	728	169	0,9	1,8	2	0,232142857
	0,4	1,405248619	0,8623	1,691160221	1,3233	725	180	0,5	1,8	2,1	0,248275862
	0,8	1,428217822	0,8441	1,761509901	1,3313	809	195	0,6	1,8	2,1	0,241038319
	1	1,407236062	0,867	1,741874259	1,3262	844	209	0,5	1,7	2	0,247630332
	1,2	1,404930468	0,8663	1,749810367	1,3622	792	197	0,5	1,8	2	0,248737374
	1,5	1,350658683	0,8838	1,689461078	1,3779	836	229	0	1,7	2	0,273923445
1260 οχήματα 275 πεζοί	0,2	1,631336898	0,7631	2,187486631	1,2446	1871	305	1,6	1,9	2,1	0,163014431
	0,4	1,629885655	0,7531	2,207848233	1,2411	1925	313	1,6	1,8	2,1	0,162597403
	0,8	1,579419256	0,8053	2,123484463	1,3191	1964	366	1,6	1,8	2,1	0,186354379
	1	1,542159383	0,8264	2,081645244	1,3175	1946	391	1,5	1,8	2,1	0,200924974
	1,2	1,544681934	0,8266	2,082137405	1,3246	1966	400	1,5	1,8	2,1	0,2034588
	1,5	1,495170604	0,8584	2,044724409	1,3671	1906	439	1,2	1,8	2,1	0,230325289
1260 οχήματα 450 πεζοί	0,2	1,750413565	0,6672	2,379942101	1,1375	2419	263	1,7	1,9	2,1	0,108722613
	0,4	1,706629598	0,7026	2,35855432	1,1803	2339	300	1,7	1,9	2,1	0,12825994
	0,8	1,651605398	0,7604	2,260446719	1,2577	2150	340	1,6	1,9	2,1	0,158139535
	1	1,620770677	0,7736	2,23237782	1,2823	2129	358	1,6	1,8	2,1	0,168154063
	1,2	1,585036675	0,8073	2,186405868	1,3215	2046	385	1,6	1,9	2,1	0,188172043
	1,5	1,503429423	0,8561	2,065656064	1,3697	2013	456	1,3	1,8	2,1	0,226527571
1260 οχήματα 625 πεζοί	0,2	1,789378238	0,6339	2,44529361	1,1172	2316	215	1,7	1,9	2,2	0,09283247
	0,4	1,762780656	0,667	2,418480138	1,1744	2317	247	1,7	1,9	2,2	0,106603366
	0,8	1,680625863	0,7376	2,309295904	1,2342	2173	312	1,7	1,9	2,1	0,143580304
	1	1,634720158	0,7772	2,25606736	1,2883	2020	341	1,6	1,9	2,1	0,168811881
	1,2	1,546991701	0,8421	2,137448133	1,3587	1929	409	1,5	1,8	2,1	0,212026957
	1,5	1,586474973	0,8206	2,152981896	1,3391	1879	366	1,6	1,9	2,1	0,19478446
1260 οχήματα 800 πεζοί	0,2	1,799315381	0,6272	2,465449566	1,1237	2192	201	1,7	1,9	2,2	0,09169708
	0,4	1,757190161	0,6628	2,40307474	1,1386	2115	224	1,7	1,9	2,1	0,105910165
	0,8	1,669380252	0,756	2,28125	1,2546	1905	287	1,6	1,9	2,1	0,150656168
	1	1,620892151	0,7866	2,260304912	1,2882	1772	306	1,6	1,9	2,1	0,17268623
	1,2	1,57606383	0,798	2,207624113	1,3428	1693	330	1,5	1,9	2,1	0,19492026
	1,5	1,502035278	0,8691	2,109430122	1,394	1475	346	1,3	1,8	2,1	0,234576271

	TAU	avgTTC	avgTTC stdev	avgPET	avgPET stdev	Conflicts	Conflicts(<0,5)	25% TTC	50%TTC	75%TTC	Serious/All possible conflicts
1680 οχήματα 100 πεζοί	0,2	1,509401061	0,845	1,974526156	1,3075	1320	288	1,2	1,8	2,1	0,218181818
	0,4	1,518573668	0,848	1,994749216	1,3125	1277	279	1,3	1,8	2,1	0,218480814
	0,8	1,448443735	0,8745	1,943655227	1,3657	1254	312	0,5	1,8	2,1	0,248803828
	1	1,433230294	0,8618	1,951004637	1,3755	1295	315	0,6	1,8	2	0,243243243
	1,2	1,400232558	0,8785	1,919689922	1,3843	1291	336	0,3	1,8	2	0,260263362
	1,5	1,334094617	0,906	1,819575856	1,418	1227	365	0	1,8	2	0,297473513
1680 οχήματα 275 πεζοί	0,2	1,674317968	0,7421	2,244543744	1,2147	2127	304	1,6	1,9	2,1	0,142924307
	0,4	1,66392286	0,7481	2,254374412	1,2394	2127	314	1,6	1,9	2,1	0,147625764
	0,8	1,626097328	0,7675	2,235543893	1,2774	2097	343	1,6	1,8	2,1	0,163567
	1	1,600666349	0,7951	2,175345074	1,3099	2102	376	1,6	1,8	2,1	0,17887726
	1,2	1,5669	0,8072	2,1156	1,3109	2001	379	1,5	1,8	2,1	0,189405297
	1,5	1,511518325	0,8641	2,046858639	1,3785	1911	439	1,3	1,8	2,1	0,229722658
1680 οχήματα 450 πεζοί	0,2	1,764396805	0,661	2,390710383	1,1456	2380	251	1,7	1,9	2,1	0,105462185
	0,4	1,706915571	0,7071	2,321425541	1,183	2358	303	1,7	1,9	2,1	0,128498728
	0,8	1,628309305	0,6872	2,214853648	1,2509	2290	376	1,6	1,9	2,1	0,16419214
	1	1,606127222	0,7983	2,168007484	1,2856	2139	385	1,6	1,9	2,1	0,17999065
	1,2	1,566682221	0,8156	2,115212319	1,3226	2144	420	1,5	1,8	2,1	0,195895522
	1,5	1,551698671	0,8205	2,171935007	1,3393	2032	405	1,5	1,8	2,1	0,199311024
1680 οχήματα 625 πεζοί	0,2	1,755862923	0,6699	2,405037159	1,1584	2423	266	1,7	1,9	2,1	0,109781263
	0,4	1,734356602	0,6875	2,386417157	1,1693	2379	278	1,7	1,9	2,1	0,116855822
	0,8	1,678113718	0,7437	2,319990975	1,253	2217	326	1,7	1,9	2,1	0,147045557
	1	1,611444278	0,7788	2,262568716	1,2808	2002	343	1,6	1,9	2,1	0,171328671
	1,2	1,590942218	0,7983	2,252732952	1,3086	1922	349	1,6	1,8	2,1	0,181581686
	1,5	1,558266819	0,8273	2,134891676	1,3445	1755	352	1,5	1,8	2,1	0,200569801
1680 οχήματα 800 πεζοί	0,2	1,758844604	0,6832	2,413569189	1,1588	2234	259	1,7	1,9	2,2	0,115935542
	0,4	1,750180505	0,6875	2,439756318	1,1712	2217	256	1,7	1,9	2,2	0,115471358
	0,8	1,696520542	0,6895	2,455756318	1,1935	2117	255	1,7	1,9	2,3	0,120453472
	1	1,650556793	0,7573	2,298162584	1,2589	1797	282	1,6	1,9	2,1	0,156928214
	1,2	1,602295468	0,8146	2,191112419	1,3215	1700	319	1,6	1,9	2,1	0,187647059
	1,5	1,53109589	0,8616	2,07869863	1,3753	1461	325	1,4	1,9	2,1	0,222450376

	TAU	avgTTC	avgTTC stdev	avgPET	avgPET stdev	Conflicts	Conflicts(<0,5)	25% TTC	50%TTC	75%TTC	Serious/All possible conflicts
2100 οχήματα 100 πεζοί	0,2	1,515333883	0,8337	1,98928277	1,2973	1214	259	1,4	1,8	2	0,213344316
	0,4	1,505076551	0,8448	1,994278807	1,3268	1242	274	1,3	1,8	2,1	0,220611916
	0,8	1,382006126	0,8872	1,856661562	1,3692	1307	358	0	1,8	2	0,273909717
	1	1,43566879	0,8573	1,973089172	1,3824	1257	304	0,6	1,8	2	0,241845664
	1,2	1,399315068	0,9	1,867579909	1,3892	1315	358	0,125	1,8	2,1	0,272243346
	1,5	1,36300813	0,9044	1,811463415	1,412	1231	347	0	1,8	2	0,281884647
2100 οχήματα 275 πεζοί	0,2	1,681090909	0,7241	2,228909091	1,1844	2201	301	1,6	1,9	2,1	0,13675602
	0,4	1,655753875	0,7507	2,228041334	1,2216	2130	322	1,6	1,9	2,1	0,151173709
	0,8	1,628793774	0,7726	2,238959144	1,268	2057	335	1,6	1,9	2,1	0,162858532
	1	1,557281553	0,825	2,127621359	1,3082	2061	418	1,5	1,8	2,1	0,202814168
	1,2	1,563735178	0,8125	2,13201581	1,3046	2025	394	1,5	1,8	2,1	0,194567901
	1,5	1,511438923	0,8513	2,063146998	1,3623	1933	432	1,4	1,8	2,1	0,223486808
2100 οχήματα 450 πεζοί	0,2	1,71733554	0,6976	2,332395532	1,1659	2418	300	1,7	1,9	2,1	0,124069479
	0,4	1,717771998	0,7155	2,3289987	1,189	2308	297	1,7	1,9	2,2	0,128682842
	0,8	1,678206835	0,7398	2,309675988	1,2206	2254	330	1,7	1,9	2,1	0,146406389
	1	1,625902238	0,7719	2,257743262	1,2693	2190	365	1,6	1,9	2,1	0,166666667
	1,2	1,610213556	0,7933	2,221262767	1,2907	2155	383	1,6	1,9	2,1	0,177726218
	1,5	1,518913676	0,8544	2,106935015	1,3732	2063	460	1,5	1,8	2,1	0,222976248
2100 οχήματα 625 πεζοί	0,2	1,772650771	0,6522	2,423936419	1,1507	2140	217	1,7	1,9	2,1	0,101401869
	0,4	1,729761406	0,6913	2,400460444	1,1852	2390	283	1,7	1,9	2,1	0,118410042
	0,8	1,690382022	0,7476	2,317258427	1,2342	2226	324	1,7	1,9	2,1	0,145552561
	1	1,636412512	0,7752	2,205962854	1,2673	2047	342	1,6	1,9	2,1	0,167073766
	1,2	1,586525555	0,8082	2,195973154	1,3175	1938	364	1,6	1,8	2,1	0,187822497
	1,5	1,533802025	0,8465	2,089313836	1,3456	1779	390	1,5	1,8	2,1	0,219224283
2100 οχήματα 800 πεζοί	0,2	1,755973154	0,6656	2,449709172	1,14	2236	246	1,7	1,9	2,1	0,110017889
	0,4	1,76990991	0,6642	2,458288288	1,1416	2221	236	1,7	1,9	2,2	0,106258442
	0,8	1,694244984	0,7296	2,371277719	1,2386	1895	262	1,7	1,9	2,1	0,138258575
	1	1,606376975	0,8065	2,200112867	1,3016	1772	327	1,6	1,9	2,1	0,184537246
	1,2	1,591831683	0,8235	2,197339109	1,3427	1616	315	1,6	1,9	2,1	0,194925743
	1,5	1,522207792	0,8601	2,110519481	1,3755	1540	347	1,4	1,8	2,1	0,225324675