Πανεπιστήμιο Θεσσαλιάς

Τμήμα Ηλεκτρολόγων Μηχανικών
Και Μηχανικών Ηλεκτρονικών Υπολογιστών

ΔΙΠΛΩΜΑΤΙΚΗ ΕΡΓΑΣΙΑ

"Κατανεμημένη ρύθμιση κυκλοφορίας οχημάτων για αποφυγή συμφόρησης με χρήση επικοινωνιών από όχημα-προς-όχημα (V2V)"

Γέμτος Αναστάσιος
Πούλος Χρηστος



Επιβλέπων καθηγητής:

Δημήτριος Κατσαρός

1 Εισαγωγή
1.1 Εισαγωγή στα Ευφυή Συστήματα Μεταφορών (ITS) 1
1.2 Εισαγωγή στο πρόβλημα της συμφόρησης των δρόμων 3
2 Τεχνολογίες οχημάτων 7
2.1 Vehicular ad-hoc networks (VANETs) 7
2.1.1 Εισαγωγή στα VANETs 7
2.1.2 Αρχιτεκτονική των VANETs 9
2.1.3 VANETs χαρακτηριστικά έρευνας. 12
2.1.4 Σχετική έρευνα 13
2.1.5 Σχετική έρευνα με την κυκλοφοριακή συμφόρηση και τα Ad-hoc δίκτυα αυτοκινήτων 15
2.1.6 Ασύρματες τεχνολογίες επικοινωνίας στα VANETs 16
2.1.7 Πρωτόκολλα δρομολόγησης στα Ad-hoc δίκτυα αυτοκινήτων 22
2.2 Simulation tools 24
2.2.1 Sumo 25
2.2.2 Omnet++ 26
2.2.3 Veins 27
2.2.4 Traci 29
2.2.5 EMIT model και HBEFA model 30
3 Η πρόταση μας 32
3.1 Αποφυγή κυκλοφοριακής συμφόρησης με χρήση Ad-Hoc δικτύων αυτοκινήτων 32
3.2 Διαδικασία υλοποίησης 34
3.2.1 Απλός χάρτης με τρεις δρόμους 34
3.2.2 Χάρτης Βόλου 38
4 Πειράματα και αποτελέσματα 39
4.1 Παράμετροι των προσομοιώσεων 39
4.2 Αποτελέσματα των προσομοιώσεων 40
4.2.1 Αποτελέσματα για 50 οχήματα 40
4.2.2 Αποτελέσματα για 100 οχήματα 55
4.2.3 Αποτελέσματα για 150 οχήματα 70
4.2.4 Αποτελέσματα για 200 οχήματα 84

4.3 Γενικές παρατηρήσεις 98
5 Σύναψη 99
5.1 Συμπεράσματα 99
5.2 Μελλοντική έρευνα 99
6 Βιβλιογραφία 100

1 Εισαγωγή

1.1 Εισαγωγή στα Ευφυή Συστήματα Μεταφορών (ITS)

Τα ευφυή συστήματα μεταφορών (ITS) αποτελούν ένα πολύ σημαντικό κομμάτι του κόσμου μας. Είναι ένας κλάδος ο οποίος συνδυάζει διαφορετικούς τομείς των συστημάτων μεταφορών, όπως η διαχείριση των μεταφορών, ο έλεγχος, οι υποδομές, οι διαδικασίες, οι πολιτικές και οι μέθοδοι ελέγχου. Εν συνεχεία, τα ευφυή συστήματα μεταφορών μπορούν να παίξουν σημαντικό ρόλο στην μείωση των ρίσκων, των χρόνων μετακίνησης, των μεγάλων ποσοστών ατυχημάτων, της κυκλοφοριακής συμφόρησης, των εκπομπών των ρύπων και της μόλυνση του αέρα ενώ ταυτόχρονα μπορούν να βοηθήσουν στην αύξηση της ασφάλειας στο δρόμο, της αξιοπιστία, της ροή της κυκλοφορίας καθώς και του ποσοστού των ικανοποιημένων οδηγών και επιβατών.

Το 1991, ξεκίνησε η ιδέα των ευφυών συστημάτων μεταφορών όταν οι ειδικοί των μεταφορών αναγνώρισαν ότι οι νέες τεχνολογίες μπορούν να παίξουν σημαντικό ρόλο στην βελτιστοποίηση αυτών. Αυτό είχε ως αποτέλεσμα το αμερικάνικο κογκρέσο να νομοθετήσει ένα εθνικό πρόγραμμα για τα έξυπνα συστήματα μεταφορών. Από εκεί και έπειτα, τα μεταφορικά συστήματα έχουν αναπτυχθεί σημαντικά χάρη στις νέες τεχνολογίες οι οποίες έχουν υιοθετηθεί τα τελευταία χρόνια όπως τα συστήματα υπολογιστών, τα συστήματα εντοπισμού θέσης, οι τεχνολογίες αισθητήρων, οι τηλεπικοινωνίες, η επεξεργασία δεδομένων και άλλα. Αυτό έχει οδηγήσει σε πολλές λύσεις και εφαρμογές οι οποίες έχουν αναπτυχθεί . Κάποιες από αυτές είναι η συλλογή διοδίων με ηλεκτρονικό τρόπο, η συλλογή δεδομένων για μεγάλες οδικές αρτηρίες, τα συστήματα διαχείρισης κυκλοφορίας, τα συστήματα διαχείρισης έκτακτων αναγκών και άλλα.

Επιπρόσθετα, όλες αυτές οι εφαρμογές στηρίζονται κυρίως στην στενή συνεργασία μεταξύ των τεχνολογιών επικοινωνίας από όχημα-προς-όχημα (Vehicle-2-Vehicle) και από όχημα-προς-υποδομή (Vehicle-2-Infrastructure). Η επικοινωνία μεταξύ των οχημάτων που είναι γνωστή ως VANETs (Vehicular Ad-Hoc Networks), στηρίζεται στις τεχνολογίες επικοινωνίας μικρής εμβέλειας και η πιο συνηθισμένη είναι το σύστημα DSRC (Dedicated short range communications). Χρησιμοποιείται συνήθως για εφαρμογές ασφάλειας μεταξύ των οχημάτων. Συγκεκριμένα, η IEEE 802.11 working group έχει δημιουργήσει ένα πρότυπο, το IEEE 802.11p, το οποίο χρησιμοποιείται για εφαρμογές ασφάλειας οχημάτων.

Στα ευφυή συστήματα μεταφορών χρησιμοποιούνται οι εξής τρόποι για να συλλεχθεί πληροφορία:

- Vision-Driven ITS: τα δεδομένα συλλέγονται από αισθητήρες βίντεο και χρησιμοποιούνται στην αναγνώριση προτύπων για αυτοκίνητα αλλά και για πεζούς.
- Multisource-Driven ITS: τα δεδομένα συλλέγονται από ανιχνευτές επαγωγικού βρόγχου(inductive-loop detectors), αισθητήρες laser, GPS.
- Learning-Driven ITS: τα δεδομένα που συλλέγονται οδηγούν στην αποτελεσματική πρόβλεψη ατυχημάτων προκειμένου να εξασφαλισθεί η ασφάλεια των πεζών μειώνοντας το αντίκτυπο των συγκρούσεων των αυτοκινήτων
- Visualization-Driven ITS: τα δεδομένα βοηθούν στην λήψη αποφάσεων γρήγορα όταν εντοπίζεται ανωμαλία στα πρότυπα κυκλοφορίας έτσι ώστε να ληφθούν τα απαραίτητα μέτρα.

Η ανάπτυξη των ευφυών συστημάτων μεταφορών μπορεί να κατηγοριοποιηθεί σε 3 φάσεις:

- Φάση 1: Δοκιμή και εφαρμογή πρώιμων τεχνολογιών ευφυών συστημάτων μεταφορών.
- Φάση 2: Σύνδεση των τεχνολογιών αυτών.
- Φάση 3: Ανάπτυξη ενός ολοκληρωμένου συστήματος από ένα σύνολο πρώιμων τεχνολογιών.

Κατά τη διάρκεια αυτών των φάσεων, πολλές πρώιμες τεχνολογίες χρησιμοποιήθηκαν για τη βελτίωση παραδοσιακών διεργασιών. Όπως προαναφέρθηκε παραπάνω, δημιουργήθηκαν εφαρμογές όπως η συλλογή διοδίων με ηλεκτρονικό τρόπο, η συλλογή δεδομένων για μεγάλες οδικές αρτηρίες, τα συστήματα διαχείρισης κυκλοφορίας, τα συστήματα διαχείρισης έκτακτων αναγκών και άλλα. Η μεγάλη πρόκληση για τα ευφυή συστήματα μεταφορών είναι να δημιουργηθούν ολοκληρωμένα συστήματα από ένα σύνολο τεχνολογιών(Φάση 3).

Τελικά, τα ευφυή συστήματα μεταφορών δεν περιορίζονται μόνο σε μεγάλες οδικές αρτηρίες αλλά μπορεί να προσφέρει υπηρεσίες σε συστήματα πλοήγησης, συστήματα εναέριων μεταφορών, συστήματα θαλάσσιων μεταφορών αλλά και σε συστήματα σιδηρόδρομων. Όμως το κύριο ενδιαφέρον μας είναι οι κύριες οδικές αρτηρίες κυρίως λόγω της κυκλοφοριακής συμφόρησης.



1.2 Εισαγωγή στο πρόβλημα της συμφόρησης των δρόμων

Η κυκλοφοριακή συμφόρηση είναι μια κατάσταση σε ένα δίκτυο οχημάτων η οποία συμβαίνει καθώς αυξάνεται η χρήση του δρόμου και χαρακτηρίζεται από χαμηλές ταχύτητες, μεγάλους χρόνους ταξιδιού και αυξημένες ουρές αυτοκίνητων. Το πιο σύνηθες παράδειγμα είναι η συμφόρηση από αυτοκίνητα. Όταν η κυκλοφορία είναι αρκετά μεγάλη τότε αυξάνεται η αλληλεπίδραση μεταξύ των οχημάτων και αυτό οδηγεί στην μείωση της ταχύτητας των οχημάτων που κινούνται στο δρόμο. Τις περισσότερες φορές αυτό οδηγεί σε κυκλοφοριακή συμφόρηση.

Καθώς οι απαιτήσεις πλησιάζουν την χωρητικότητα ενός δρόμου (ή η συμφόρηση στα σημεία όπου ενώνονται οι δρόμοι), τότε αυξάνεται σε μεγάλα επίπεδα και η κυκλοφοριακή συμφόρηση. Όταν τα οχήματα είναι εντελώς σταματημένα για κάποια μεγάλη περίοδο χρόνου, τότε δημιουργείται το κοινώς γνωστό μποτιλιάρισμα. Η κυκλοφοριακή συμφόρηση μπορεί να οδηγήσει τους οδηγούς σε εκνευρισμό η οποία με την σειρά της μπορεί να επηρεάσει την οδηγική του ικανότητα.

Συνήθως οι οδηγοί, γνωρίζοντας την ύπαρξη κυκλοφοριακής συμφόρησης, αναζητούν άλλους δρόμους για να φτάσουν στον προορισμό τους. Οι συντομότερες και πιο γρήγορες διαδρομές συνήθως αποτελούνται από μεγαλύτερους σε χωρητικότητα δρόμους. Αυτά τα κομμάτια δρόμων συνήθως αποτελούν μέρος περισσότερων από μία διαδρομή και λογικά επιλέγονται από περισσότερους οδηγούς. Όσα περισσότερα οχήματα επιλέγουν να περάσουν από αυτούς τους δρόμους τόσο πιθανότερο είναι να συναντήσουν συμφόρηση και χαμηλές ταχύτητες.

Ένα άλλο πιθανό σενάριο είναι όταν ένα αυτοκίνητο το οποίο προπορεύεται από κάποια άλλα κινείται με πολύ χαμηλή ταχύτητα. Συνήθως η ταχύτητα αυτή είναι πολύ μικρότερη από το όριο ταχύτητας του συγκεκριμένου τμήματος. Αυτό μπορεί να συμβαίνει για διάφορους και άγνωστους συνήθως λόγους και αιτίες. Η χαμηλή ταχύτητα ενός αυτοκινήτου μπορεί να οδηγήσει σε μείωση των ταχυτήτων των αυτοκινήτων που ακολουθούν. Αυτή η κατάσταση μπορεί να οδηγήσει σε κυκλοφοριακή συμφόρηση λόγω του ότι τα περισσότερα αυτοκίνητα κινούνται με μικρότερη ταχύτητα από αυτή που θέλουν και από αυτή που μπορούν να κινηθούν.

Η κυκλοφοριακή συμφόρηση είναι ενοχλητική και γνωστή για τους περισσότερους οδηγούς Η κυκλοφοριακή συμφόρηση κοστίζει χρόνο, καύσιμα και χρήματα. Η επέκταση του δικτύου των δρόμων προκειμένου να αντιμετωπιστεί η κυκλοφοριακή συμφόρηση δεν μπορεί να αποτελέσει λύση κυρίως λόγω αυξημένου κόστους. Από την άλλη μεριά, η καταπολέμηση της μπορεί να βοηθήσει σημαντικά την οικονομία και την ψυχολογία των ανθρώπων.

Σύμφωνα με το Ινστιτούτο μεταφορών του Τέξας(Texas A&M Transportation Institute), οι αρνητικές επιπτώσεις της κυκλοφοριακής συμφόρησης είναι πολύ σημαντικές στις Ηνωμένες πολιτείες Αμερικής. Συγκεκριμένα:

- Το συνολικό κόστος της κυκλοφοριακής συμφόρησης διαρκώς αυξάνεται: Στις βιομηχανικές περιοχές των Ηνωμένων πολιτειών της Αμερικής το κόστος σε χρόνο και σε καύσιμα λόγω της κυκλοφοριακής συμφόρησης υπολογίζεται:

    - Το 2014 - $160 δισεκατομμύρια
    - Το 2000 - $114 δισεκατομμύρια
    - Το 1982 - $42 δισεκατομμύρια

- Σπαταλιούνται τεράστια ποσά χρόνου, χρημάτων και καυσίμων. Συγκεκριμένα το 2014:

    - 6.9 δισεκατομμύρια ώρες σπαταλήθηκαν στο δρόμο.
    - 3.1 γαλόνια καυσίμων σπαταλήθηκαν επίσης.
    - Οδηγοί που έπρεπε να κάνουν σημαντικά ταξίδια έπρεπε να υπολογίσουν 2.5 φορές περισσότερο χρόνο για το ταξίδι τους υπολογίζοντας τυχόν κυκλοφοριακή συμφόρηση, αναπάντεχα ατυχήματα, κακοκαιρία και άλλα.

- Η κυκλοφοριακή συμφόρηση είναι ένα είδος φόρου. Συγκεκριμένα:

    - $160 δισεκατομμύρια κόστισαν οι καθυστερήσεις στο δρόμο και τα καύσιμα.
    - 18% των καθυστερήσεων(περίπου $28 δισεκατομμύρια) αποτελούν ζημιά για φορτηγά οχήματα λόγω της συμφόρησης.

- Το κόστος ενός μέσου οδηγού που χρησιμοποιεί το αυτοκίνητο καθημερινά ήταν $960 το 2014 σε αντίθεση με το 1982 που ήταν $400.

- Η κυκλοφοριακή συμφόρηση επηρεάζει τους οδηγούς σε ώρες αιχμής. Ο μέσος οδηγός:

- Ξόδεψε επιπλέον 42 ώρες ταξιδεύοντας το 2014, 18 ώρες παραπάνω σε σχέση με το 1982.
- Ξόδεψε 19 γαλόνια καυσίμων το 2014, 4 γαλόνια παραπάνω σε σχέση με το 1982.
- Σε περιοχές με περισσότερους από 1 εκατομμύρια κατοίκους, το 2014 οι οδηγοί ξόδεψαν 63 ώρες επιπλέον χρόνο ταξιδιού, στο οδικό δίκτυο επικρατούσε συμφόρηση για 6 ώρες κατά τη διάρκεια της εβδομάδας και ο φόρος κυκλοφοριακής συμφόρησης ανήλθε στα $1440.

- Η κυκλοφοριακή συμφόρηση αποτελεί πρόβλημα και τις άλλες ώρες. Συγκεκριμένα:

- 41% της συνολικής καθυστέρησης συμβαίνει σε ώρες απογευματινές και μεταμεσονύχτιες όπου τα φορτηγά διανομής αναμένουν δρόμους χωρίς κίνηση.
- Πολλές βιομηχανικές διαδικασίες στηρίζονται στους ελεύθερους δρόμους κατά τη διάρκεια των ωρών αποσυμφόρησης και όταν συμβαίνει το αντίθετο επηρεάζει σημαντικά τις διαδικασίες παραγωγής.

Υπάρχουν πολλές ακόμα αρνητικές επιπτώσεις που έχουν να κάνουν με το άγχος και τον εκνευρισμό των οδηγών τα οποία με τη σειρά τους οδηγούν σε προβλήματα υγείας, με το μπλοκάρισμα των δρόμων καθώς δεν επιτρέπετε η γρήγορη διέλευση οχημάτων έκτακτης ανάγκης με αποτέλεσμα να μην φτάνουν στον προορισμό τους, με την αύξηση της πιθανότητας ατυχημάτων και με άλλα.

Γενικότερα, έχουν προταθεί δεκάδες λύσεις με σκοπό να μειωθεί η κυκλοφοριακή συμφόρηση στους δρόμους. Συγκεκριμένα:

- Υποδομές δρόμων:

- Βελτίωση των διασταυρώσεων μέσω δημιουργίας γεφυρών στις διασταυρώσεις έτσι ώστε να μην χρειάζεται να σταματάνε τα αυτοκίνητα στις διασταυρώσεις με αποτέλεσμα να υπάρχει καλύτερη ροή στο δρόμο. Επίσης με τοποθέτηση ειδικής σήμανσης όπου με βάση την συμφόρηση που υπάρχει επιτρέπει την διέλευση των αυτοκινήτων.
- Χρήση αντιστρεπτών λωρίδων κυκλοφορίας όπου η κατεύθυνση κυκλοφορίας αλλάζει κατά τη διάρκεια της ημέρας για να καλύψει της ανάγκες των οδηγών.
- Διαχωρισμός λωρίδων κυκλοφορίας έτσι ώστε να υπάρχουν ξεχωριστές λωρίδες για τα μέσα μαζικής μεταφοράς. Επίσης δημιουργία ειδικών λωρίδων για την

προσπέραση διοδίων ειδικά σε περιπτώσεις που στα οχήματα υπάρχουν τουλάχιστον 3 επιβάτες. Αυτό ενθαρρύνει τους μία ομάδα ατόμων να χρησιμοποιεί ένα όχημα για να καλύψει τις ανάγκες του και όχι ο καθένας να παίρνει το όχημά του.

- Σχεδιασμός και οργάνωση της πόλης:

- Δημιουργία νέων δρόμων με τη μορφή πλέγματος. Αυτή η διάταξη επιτρέπει την αποφυγή συγκέντρωσης της κίνησης σε ένα σημείο της πόλης. Ένα παράδειγμα είναι η πόλη του Βόλου που το οδικό δίκτυο είναι σχεδιασμένο με τέτοιο τρόπο.
- Ανάπτυξη μικτής-χρήσης(mixed-use development) όπου περιοχές της πόλης περιλαμβάνουν κατοικίες, επιχειρήσεις και καταστήματα έτσι ώστε η ανάγκη για μεγάλες μετακινήσεις να εξαλειφθεί.
- Πόλεις χωρίς αυτοκίνητα όπου η χρήση αυτοκινήτων να περιορίζεται έτσι ώστε οι πολίτες να χρησιμοποιούν άλλα μέσα μεταφοράς όπως τα ποδήλατα, τα μηχανάκια και τα λεωφορεία.
- Ανάπτυξη μέσων μαζικής μεταφοράς όπως μετρό, ηλεκτρικό, τραμ και λεωφορεία

- Προσφορά και Ζήτηση

- Η αύξηση της προσφοράς μπορεί να γίνει με την αύξηση της χωρητικότητας των δρόμων. Αυτό μπορεί να γίνει με την αύξηση των λωρίδων κυκλοφορίας, με τη δημιουργία νέων διαδρομών και με τη βελτίωση της διαχείρισης της κυκλοφορίας που θα δούμε παρακάτω.
- Η μείωση της προσφοράς προϋποθέτει τη μείωση της κυκλοφορίας. Αυτό επιτυγχάνεται με πολλούς τρόπους όπως ο περιορισμός των θέσεων στάθμευσης για να αποθαρρύνει τους οδηγούς να χρησιμοποιούν αυτοκίνητα, η χρήση διοδίων στους δρόμους, η περιορισμός της κυκλοφορίας αυτοκινήτων σε συγκεκριμένες περιοχές και συγκεκριμένους δρόμους όπως επίσης και πολιτικές που προωθούν τη χρήση ποδηλάτων και μέσων μαζικής μεταφοράς

- Διαχείριση κυκλοφορίας (Ευφυή συστήματα μεταφορών)

- Αναφορές της κίνησης μέσω ραδιοφώνου, GPS και εφαρμογών κινητού τηλεφώνου.
- Ηλεκτρονικοί πίνακες που ενημερώνουν τους οδηγούς σχετικά με την κατάσταση της κυκλοφορίας
- Συστήματα πλοήγησης που είναι ενημερώνονται αυτόματα για την κίνηση στους δρόμους.
- Καθοδήγηση και πληροφορίες για θέσεις πάρκινγκ που ενημερώνουν τους οδηγούς για τη διαθεσιμότητα των θέσεων στάθμευσης.
- Συστήματα με κάμερες που επιτρέπουν την ενημέρωση των οδηγών σε πραγματικό χρόνο.

- Επικοινωνία οχημάτων για την συνεργασία των οδηγών έτσι ώστε να κατανέμεται ο αριθμός των αυτοκινήτων στους δρόμους με αποδοτικότερο τρόπο (V2V technology).

Κλείνοντας, η συνεργατική επικοινωνία μεταξύ των αυτοκινήτων έχει αναγνωριστεί ως ένας κλάδος των Intelligence Transport Systems (ITS) η οποία προσφέρει μια μεγαλύτερη δυνατότητα να βελτιωθεί η ασφάλεια κατά την μεταφορά και αποδοτικότητα μέσω της συνεχής ανταλλαγής πληροφορίας μεταξύ των οχημάτων (vehicle-to-vehicle V2V). Στα πλαίσια αυτής της συνεργατική επικοινωνίας τα οχήματα αυτά μπορούν να χρησιμοποιηθούν ως πολύτιμοι αισθητήρες από τους οποίους μπορούμε να εξάγουμε και να χρησιμοποιήσουμε πληροφορίες που αφορούν την κίνηση. Στη συνέχεια θα περιγράψουμε τις τεχνολογίες οχημάτων καθώς αποτελεί το κύριο μέρος αυτής της εργασίας.

2 Τεχνολογίες οχημάτων

2.1 Vehicular ad-hoc networks (VANETs)

2.1.1 Εισαγωγή στα VANETs

Τα δίκτυα αυτά είναι αποκεντρωμένα είδη ασύρματων δικτύων. Η κεντρική ιδέα αυτών των δικτύων είναι ότι δεν βασίζονται σε προ υπάρχουσες συσκευές όπως routers. Κάθε κόμβος συμμετέχει στα δίκτυα λαμβάνοντας και προωθώντας δεδομένα σε άλλους κόμβους. Το πιο σημαντικό χαρακτηριστικό αυτών των δικτύων είναι ότι είναι δυναμικά δίκτυα και κάθε κόμβος μπορεί να ενσωματωθεί στο δίκτυο οποιαδήποτε στιγμή θελήσει. Η αποκεντροποιημένη φύση του ασύρματων δικτύων οχημάτων τα κάνει να είναι κατάλληλα για μια ποικιλία εφαρμογών όπου κεντρικοί κόμβοι μπορούν να ενσωματωθούν και να βοηθήσουν έτσι ώστε να βελτιωθεί η επεκτασιμότητα των δικτύων σε σύγκριση πάντα με τα ασύρματα δίκτυα, παρά το γεγονός ότι υπάρχουν θεωρητικά και πρακτικά όρια.



Τα VANETs είναι ένα είδος ad hoc κινητών δικτύων. Αυτό το δίκτυο έχει όλες τις αρχές ενός κινητού ad hoc δικτύου και κάθε κόμβος αντιπροσωπεύεται από ένα όχημα. Τα ad hoc δίκτυα οχημάτων είναι μέρος των ευφυών συστημάτων μεταφορών (ITS). Λόγω της αυξημένης κινητικότητας των αυτοκινήτων αυτού του είδους τα δίκτυα έχουν την τάση να αλλάζουν συχνά στην πορεία του χρόνου. Όλοι οι κόμβοι οχήματα που συμμετέχουν στο δίκτυο περιοδικά στέλνουν στους υπόλοιπους κόμβους μικρού μεγέθους μηνύματα το οποία ονομάζονται beacon messages. Αυτά τα μηνύματα περιέχουν μεταξύ άλλων δεδομένων πληροφορία σχετική με την στιγμιαία ταχύτητα των οχημάτων και την θέση τους.

Υπάρχουν τρία διαφορετικά είδη επικοινωνίας στα VANETs:

- Επικοινωνία από όχημα σε όχημα (Vehicle to Vehicle V2V)
- Επικοινωνία μεταξύ οχημάτων και σταθερών υποδομών (vehicle to infrastructure V2I)
- Υβριδική επικοινωνία

Οι διαφορές μεταξύ των διαφορετικών ειδών επικοινωνίας έχει να κάνει με τους κόμβους οι οποίοι συμμετέχουν στο δίκτυο. Στην επικοινωνία μεταξύ οχημάτων οι κόμβοι είναι οχήματα τα οποία επικοινωνούν μεταξύ τους. Στην επικοινωνία οχημάτων και υποδομών τα οχήματα επικοινωνούν με μια υποδομή η οποία έχει την δυνατότητα να επικοινωνεί με έναν μεγάλο αριθμό οχημάτων, να επεξεργάζεται τα δεδομένα που παίρνει από αυτά πιο γρήγορα και πιο αποδοτικά από ότι θα το έκαναν τα ίδια τα αυτοκίνητα. Αυτού του είδους υποδομές αναφέρονται ως road side units (RSU). Η υβριδική επικοινωνία είναι ουσιαστικά ένας συνδυασμός των δυο άλλων τύπων επικοινωνίας. Αυτό πρακτικά σημαίνει ότι τα οχήματα μπορούν να επικοινωνήσουν και μεταξύ τους αλλά και με RSU.

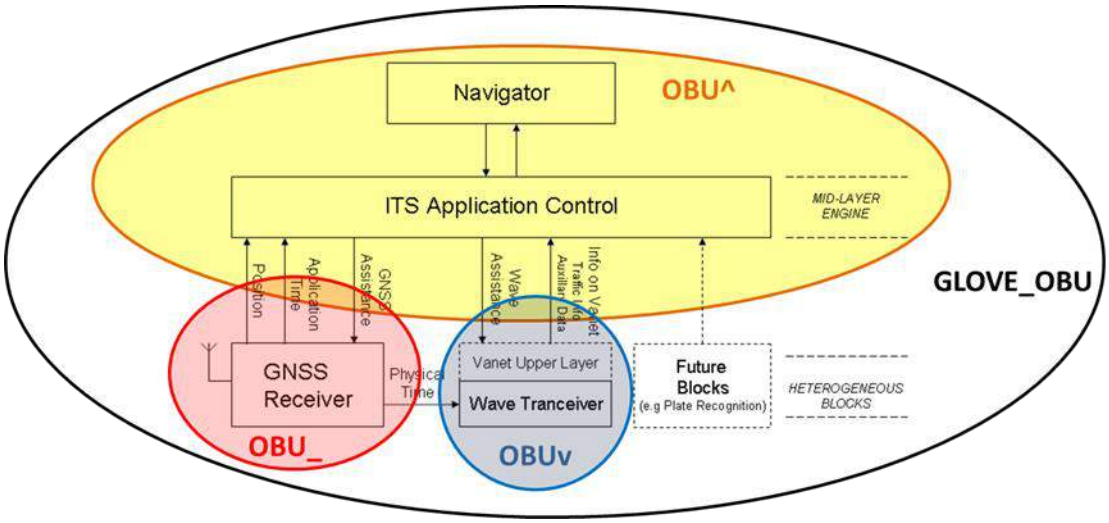
Το εύρος επικοινωνίας διαφέρει ανάμεσα στις διάφορες τεχνολογίες. Στις περισσότερες περιπτώσεις δεν ξεπερνά το ένα χιλιόμετρο. Όλοι οι κόμβοι οι οποίοι βρίσκονται εντός αυτού του εύρους μπορούν να επικοινωνήσουν μεταξύ τους. Αυτοί οι κόμβοι αποτελούν τους γείτονες ενός βήματος.

2.1.2 Αρχιτεκτονική των VANETs

Η επικοινωνία μεταξύ οχημάτων και road side units επιτυγχάνεται μέσω του WAVE(Wireless Access in Vehicular Environments). Το πρωτόκολλο WAVE θα εξετασθεί περαιτέρω παρακάτω. Αυτό το πρωτόκολλο ενεργοποιεί την επικοινωνία μεταξύ οδηγών και αυξάνει την ασφάλεια τους μέσω διαφόρων εφαρμογών. Τα βασικά μέρη ενός συστήματος μιας τέτοιας εφαρμογής είναι οι μονάδες εφαρμογής (application units), on board units (OBU) και road side units (RSU). Κάθε όχημα είναι εξοπλισμένο με on board unit και ένα σύστημα από αισθητήρες οι οποίοι συλλέγουν και επεξεργάζονται τα δεδομένα τα οποία είναι διαθέσιμα από τον δρόμο. Αυτές τις πληροφορίες στην συνέχεια τις μεταδίδουν σε άλλα οχήματα και road side units μέσω του WAVE. Κάθε όχημα είναι επίσης εξοπλισμένο με μια μονάδα εφαρμογής η οποία συλλέγει όλα τα δεδομένα που είναι διαθέσιμα μέσω της on board μονάδας και τα επεξεργάζεται προκειμένου να προωθήσει την κατάλληλη πληροφορία ή να ενημερώσει κατάλληλα τον οδηγό και τους υπόλοιπους επιβάτες του οχήματος. Η συσκευή η οποία φιλοξενεί την εφαρμογή ονομάζεται παροχέας και η συσκευή η οποία χρησιμοποιεί την εφαρμογή καλείται χρήστης (καταναλωτής). Τέλος είναι πολύ πιθανό με την χρήση road side units να είναι διαθέσιμη και η χρήση διαδικτύου.

2.1.2.1 On board μονάδα (OBU)

Μια on board μονάδα εγκαθίσταται σε ένα όχημα και χρησιμοποιείται για να επικοινωνήσει είτε με άλλες μονάδες on-board μονάδες είτε με road side μονάδες. Οι on board μονάδες αποτελούνται από έναν επεξεργαστή resource processor command (RPC), μνήμη η οποία ενεργοποιεί λειτουργείες διαβάσματος και καταγραφής (έτσι ώστε να μπορούμε να αποθηκεύσουμε και να ανακαλέσουμε την διαθέσιμη πληροφορία), ένα user interface, ένα ειδικό interface για να συνδέεται το on board unit και μια συσκευή δικτύου για ασύρματη επικοινωνία μικρής εμβέλειας η οποία στηρίζεται στην IEEE 802.11p τεχνολογία (θα εξετασθεί στην συνέχεια). Άλλες τεχνολογίες όπως η IEEE 802.11a/b/g/n μπορούν να χρησιμοποιηθούν για εφαρμογές οι οποίες δεν έχουν να κάνουν με την ασφάλεια. Οι on board μονάδες έχουν την δυνατότητα να επικοινωνούν με άλλες on board μονάδες και Road Side Units στην συχνότητα 802.11p καναλιού και ανταλλάσσουν διαθέσιμη πληροφορία. Επίσης παρέχει επικοινωνία με την μονάδα εφαρμογής και προωθεί όλη την πληροφορία στο δίκτυο. Οι κύριες λειτουργίες της on board μονάδας είναι ασύρματη προσβασιμότητα, ad hoc και γεωγραφική δρομολόγηση, έλεγχος συμφόρησης του δικτύου, αξιόπιστη μεταφορά μηνυμάτων, ασφάλεια δεδομένων και έλεγχος IP διευθύνσεων.

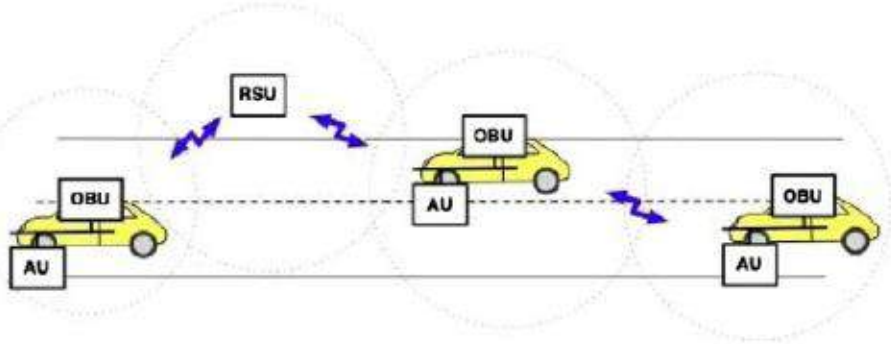


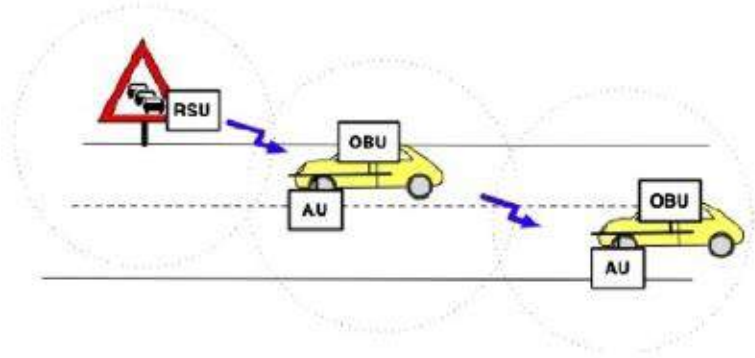
2.1.2.2 Μονάδα εφαρμογής

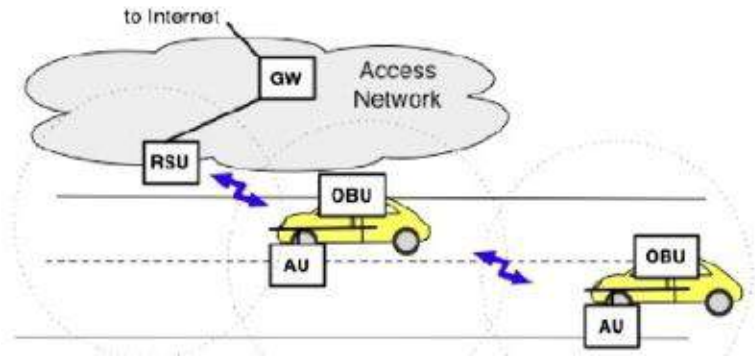
Τα οχήματα είναι εξοπλισμένα με μονάδες εφαρμογής. Πρόκειται για συσκευές οι οποίες χρησιμοποιούν τις εφαρμογές οι οποίες παρέχονται από τον παροχέα χρησιμοποιώντας όλες τις δυνατότητες και τις πληροφορίες μιας on board μονάδας. Η μονάδα εφαρμογής μπορεί να χρησιμοποιηθεί και για εφαρμογές ασφάλειας και ως απλές συσκευές οι οποίες παρέχουν σύνδεση στο διαδίκτυο. Η διάκριση μεταξύ μονάδων εφαρμογής και on board μονάδων είναι λογική καθώς η μονάδα εφαρμογής μπορεί να συνδεθεί με την on board μονάδα μέσω ασύρματης σύνδεσης και συνυπάρχει μαζί με την on board μονάδα ως φυσική μονάδα. Η μονάδα εφαρμογής επικοινωνεί με το διαδίκτυο μόνο μέσω της on board μονάδας η οποία είναι υπεύθυνη για όλες τις λειτουργικότητες σύνδεσης αλλά και επικοινωνίας μέσα από το δίκτυο.

2.1.2.3 Roadside Unit (RSU)

Η μονάδα RSU τοποθετείται συνήθως παράπλευρα των δρόμων σε ειδικές θέσεις όπως διασταυρώσεις ή κοντά σε χώρους παρκαρίσματος. Όπως και οι on board μονάδες, τα RSU αποτελούνται από μια συσκευή δικτύου η οποία είναι υπεύθυνη για μικρής εμβέλειας επικοινωνία η οποία στηρίζεται στην τεχνολογία IEEE 802.11p. Επίσης μπορεί να συνδεθεί με άλλες συσκευές δικτύου και να χρησιμοποιηθεί για επικοινωνία με άλλα μεγαλύτερα δίκτυα. Οι βασικές λειτουργικότητες μιας RSU είναι τρεις. Πρώτον έχει την δυνατότητα να επεκτείνει την εμβέλεια ενός ad hoc δικτύου προωθώντας τα μηνύματα σε άλλες μονάδες on board ή ακόμα και σε άλλες μονάδες RSU. Δεύτερον έχουν την δυνατότητα να εκτελούν εφαρμογές ασφαλείας όπως για παράδειγμα την σήμανση ότι μια γέφυρα είναι κατεβασμένη, προειδοποίηση για κάποιο ατύχημα δρώντας ως πηγή πληροφόρησης για τους υπόλοιπους. Τέλος μπορούν να παρέχουν την δυνατότητα σύνδεσης με το διαδίκτυο.







2.1.3 VANETs χαρακτηριστικά έρευνας.

Τα VANETs είναι ένα μεγάλο και πολύπλοκο μοντέλο συστήματος το οποίο αποτελείται από πολλά υπομοντέλα για διαφορετικές προοπτικές χρήσης.

- Μοντέλο οδηγού οχήματος
- Μοντέλο ροή κυκλοφορίας
- Μοντέλο επικοινωνίας
- Μοντέλο εφαρμογής

Μοντέλο οδηγού οχήματος. Αυτό το μοντέλο στοχεύει στις διαφορές μεταξύ οχήματος και οδηγών. Λαμβάνει υπόψιν τα διαφορετικά είδη οχημάτων τα οποία μπορεί να διασχίζουν ένα κομμάτι δρόμου και στα διαφορετικά είδη οδηγικών συμπεριφορών οι οποίες μπορούν να εφαρμοστούν στα οχήματα. Για παράδειγμα η συμπεριφορά ενός επιθετικού οδηγού σε ένα ακριβό αυτοκίνητο μπορεί να είναι εντελώς διαφορετική από αυτή που θα έχει ένας έμπειρος οδηγός και μια πιο αμυντική οδιγική στρατηγική σε ένα χρονικά παλαιότερο μοντέλο αυτοκινήτου με μικρότερη ιπποδύναμη.

Μοντέλο κυκλοφορίας. Ο στόχος αυτού του μοντέλου είναι να βελτιστοποιήσει το δίκτυο αυτοκινήτων έτσι ώστε να έχει την μικρότερη δυνατή κυκλοφοριακή συμφόρηση. Ουσιαστικά αντανακλά την αλληλεπίδραση μεταξύ των διαφόρων κόμβων αυτοκινήτων. Προσπαθεί να προβλέψει τις καταστάσεις κυκλοφοριακής συμφόρησης και να την αποτρέψει.

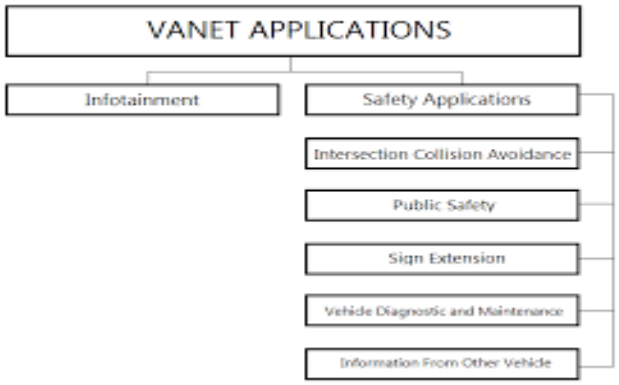
Μοντέλο επικοινωνίας. Αυτό το μοντέλο είναι αρκετά σημαντικό κομμάτι της έρευνας των δικτύων των αυτοκινήτων και σχετίζεται με τις μεθοδολογίες ανταλλαγής δεδομένων μεταξύ των χρηστών. Εξαιτίας των περιορισμών που προσδίδουν πολλοί παράγοντες, το μοντέλο επικοινωνίας παίζει πολύ σημαντικό ρόλο στην έρευνα αυτών των δικτύων.

Μοντέλο εφαρμογής. Αυτό το μοντέλο είναι πολύ χρήσιμο στην αγορά γιατί μπορεί να αντιπροσωπεύσει την συμπεριφορά και την αξιοπιστία των συνεργατικών εφαρμογών με ad-hoc δίκτυα οχημάτων. Αυτό το μοντέλο είναι απαραίτητο για δυο κυρίως λόγους: διαφορετική λειτουργικότητα και εφαρμογές συνεργασίας παρέχονται από τις διαφορετικούς κατασκευαστές αυτοκινήτων και επίσης χρειάζεται μια ιεράρχηση της πληροφορίας ανάμεσα στις διαφορετικές εφαρμογές που χρησιμοποιούν την ίδια πληροφορία από τα αυτοκίνητα.

2.1.4 Σχετική έρευνα

Οι εφαρμογές οι οποίες στηρίζονται στα δίκτυα αυτοκινήτων

- Ενεργές εφαρμογές ασφαλείας στους δρόμους
- Εφαρμογές ελέγχου και διαχείρισης κυκλοφορίας
- Εφαρμογές πληροφορίας και διασκέδασης



Ενεργές εφαρμογές ασφαλείας στους δρόμους. Αυτού του είδους οι εφαρμογές χρησιμοποιούνται για να υπολογίσουν την πιθανότητα ατυχημάτων στους δρόμους τα οποία πολλές φορές οδηγούν σε απώλειες ανθρώπινων ζωών. Ένα σημαντικό ποσοστό ατυχημάτων που συμβαίνουν καθημερινά στους δρόμους σε όλα τα οδικά δίκτυα του κόσμου συνήθως σχετίζονται με διασταυρώσεις δρόμων είτε μετωπικά είτε πλαγιομετωπικά. Οι εφαρμογές ενεργής ασφάλειας παρέχουν πληροφορία προκειμένου να βοηθήσουν τους οδηγούς να αποφύγουν τέτοιες καταστάσεις. Όλη η απαραίτητη πληροφορία μοιράζεται μεταξύ των αυτοκινήτων μέσω road side units. Τα πιο χρήσιμα δεδομένα που ανταλλάσσονται μεταξύ των αυτοκινήτων κόμβων είναι η ταχύτητα, η θέση των αυτοκινήτων και η απόσταση από την προπορευόμενη διασταύρωση αλλά και από άλλα αυτοκίνητα. Τα road side units συνήθως υποδεικνύουν επικίνδυνα σημεία στον δρόμο τα οποία μπορούν να συναντήσουν τα αυτοκίνητα. Παρακάτω παραθέτουμε μερικά παραδείγματα τέτοιων εφαρμογών.

Βοήθεια για αλλαγή λωρίδας σε αυτοκινητόδρομους. Αυτό συνήθως χρησιμεύει συνήθως σε μεγαλύτερου όγκου οχήματα, όπως φορτηγά, τα οποία προσπαθούν να αλλάξουν λωρίδα έχοντας αρκετά τυφλά σημεία λόγω όγκου του οχήματος. Μέσω αυτών των εφαρμογών στέλνονται ειδοποιήσεις για ασφαλή αλλαγή προκειμένου να αποφύγουν συγκρούσεις με άλλα οχήματα που χρησιμοποιούν τον αυτοκινητόδρομο.

Βοήθεια στις προσπεράσεις των οχημάτων. Όταν ένα όχημα προσπαθεί να προσπεράσει κάποιο προπορευόμενο όχημα τότε αυτές οι εφαρμογές ειδοποιούν όλα τα υπόλοιπα αυτοκίνητα που βρίσκονται κοντά στο σημείο προσπέρασης για τις κινήσεις του αυτοκινήτου που επιχειρεί προσπέραση προκειμένου να αποφευχθεί κάποια σύγκρουση.

Μετωπικές συγκρούσεις και συγκρούσεις μπροστινού και πίσω μέρους αυτοκινήτων. Ο κίνδυνος τέτοιων συγκρούσεων μπορεί να μειωθεί με προειδοποιητικά μηνύματα. Από τη μια πλευρά δυο οχήματα τα οποία ταξιδεύουν σε αντίθετες κατευθύνσεις επικοινωνούν προκειμένου να μην συγκρουστούν. Ενώ στην περίπτωση που κινούνται προς την ίδια κατεύθυνση στέλνονται προειδοποιήσεις σε επικίνδυνες καταστάσεις όπως για παράδειγμα αν το προπορευόμενο αυτοκίνητο μειώσει απότομα την ταχύτητα του.

Συνεργατικές προειδοποιήσεις για μπροστινές συγκρούσεις. Η συνεργασία μεταξύ αυτοκινήτων μπορεί να εντοπίσει κάποιο κίνδυνο σύγκρουσης. Ένα τέτοιο ατύχημα μπορεί να αποφευχθεί μέσω της παροχής βοήθειας στον οδηγό ή της συνεργασίας μεταξύ των οχημάτων. Προειδοποιήσεις πριν από κάποια σύγκρουση που πιθανώς θα συμβεί και είναι αναπόφευκτη. Σε αυτή την περίπτωση στέλνονται πληροφορίες σχετικά με την ταχύτητα και τον τύπο του αυτοκινήτου που θα συμμετάσχει στην σύγκρουση προκειμένου να

ενεργοποιηθεί κατάλληλος εξοπλισμός ο οποίος είναι εγκατεστημένος στο όχημα έτσι ώστε να μειωθούν οι συνέπειες σύγκρουσης.

Προειδοποιήσεις για οχήματα ανάγκης. Ασθενοφόρα, αστυνομικά οχήματα και πυροσβεστικά οχήματα μπορούν να ειδοποιήσουν άλλα οχήματα προκειμένου να ελευθερώσουν τον δρόμο και να κινηθούν με μεγαλύτερη ταχύτητα και ασφάλεια σε περίπτωση κάποιας έκτακτης ανάγκης. Αυτή η πληροφορία μπορεί να κινηθεί από αυτοκίνητο σε αυτοκίνητο αλλά και από τα road side units.

Συνεργατική απόφαση σε διασταυρώσεις. Όταν δυο οχήματα φτάνουν σε μια διασταύρωση πρέπει να αποφασιστεί ποιο από τα δυο αυτοκίνητα θα είναι αυτό που θα περάσει την διασταύρωση πρώτο. Υπάρχουν εφαρμογές στις οποίες είτε τα αυτοκίνητα μεταξύ τους είτε τα αυτοκίνητα με road side units χρησιμοποιούν συγκεκριμένους αλγορίθμους προκειμένου να αποφασίσουν ποιο όχημα θα περάσει πρώτο αντί να αφήνουμε την επιλογή αυτή στους οδηγούς των οχημάτων.

Προειδοποίηση εσφαλμένης πορείας. Όταν ένα όχημα μπει σε κάποιο κομμάτι δρόμου με αντίθετη κατεύθυνση από αυτή που κινούνται όλα τα υπόλοιπα οχήματα τότε το σύστημα προειδοποιεί τον οδηγό αλλά και τα υπόλοιπα οχήματα.

Στάση οχημάτων σε επικίνδυνα σημεία. Αν οποιοδήποτε όχημα είτε λόγω κάποιου ατυχήματος είτε λόγω κάποιας μηχανικής βλάβης αναγκαστεί να σταματήσει σε κάποιο σημείο στο οδικό δίκτυο στο οποίο δεν θα έπρεπε τότε ενημερώνει με μήνυμα τα υπόλοιπα είτε τα road side units τα οποία με την σειρά τους ενημερώνουν τα οχήματα.

Προειδοποίηση για παραβιάσεις φωτεινών σηματοδοτών. Τα road side units έχουν την δυνατότητα να εντοπίσουν αν κάποιο όχημα παραβιάσει κάποιον φωτεινό σηματοδότη. Σε μια τέτοια περίπτωση παραβίασης τότε κάνει broadcast προς τα υπόλοιπα οχήματα την πληροφορία αυτή προκειμένου να αποφύγουμε πιθανές συγκρούσεις.

Προπορευόμενες συγκρούσεις. Τα road side units έχουν την δυνατότητα να εντοπίζουν αν υπάρχει κάποια σύγκρουση μεταξύ των αυτοκινήτων. Αν μοιράσουν αυτή την πληροφορία στα υπόλοιπα αυτοκίνητα τότε αυτά μπορούν να αποφασίσουν αν θα πάνε από αυτό το σημείο η αν θα επιλέξουν κάποιο άλλο σημείο πιο ασφαλές.

Εντοπισμός επικίνδυνων σημείων. Κάθε κόμβος του δικτύου των αυτοκινήτων μπορεί να εντοπίσει κάποια επικίνδυνα σημεία στον δρόμο, όπως ολισθηρό οδόστρωμα, εμπόδια, πιθανά έργα που γίνονται στους αυτοκινητόδρομους και λακκούβες. Για όλες αυτές τις περιπτώσεις μπορούν να ενημερώσουν τους υπόλοιπους κόμβους οχήματα προκειμένου να διαχειριστούν καλύτερα αυτές τις καταστάσεις.

Προειδοποιήσεις για οχήματα εκτός ελέγχου. Ένα άλλο πιθανό σενάριο είναι κάποιο όχημα λόγω προβλήματος του οδηγού να βρίσκεται εκτός ελέγχου. Τότε τα υπόλοιπα οχήματα που το περιτριγυρίζουν παίρνουν αυτή την πληροφορία μέσω των δικτύων των αυτοκινήτων και μπορούν να λάβουν τα απαραίτητα μέτρα αν θεωρηθεί απαραίτητο.

Πληροφορίες σχετικές με τους πεζούς. Ο κύριος στόχος αυτής της εφαρμογής είναι να εντοπίσει αν κάποιος πεζός προσπαθεί να διασχίσει κάποιο δρόμο μέσω αισθητήρων. Σε αυτές τις περιπτώσεις οι αισθητήρες ενημερώνουν τα road side units και αυτά με την σειρά τους τα οχήματα προκειμένου να μειώσουν την ταχύτητα τους και διασφαλίσουν την ασφάλεια του πεζού.

Εφαρμογές διαχείρισης αποδοτικής κυκλοφορίας. Ο στόχος αυτών των εφαρμογών είναι να βελτιώσει την ροή των αυτοκινήτων στους δρόμους, την συνεργατική κυκλοφορία και βοήθεια. Μια τέτοιου είδους εφαρμογή παρέχει πληροφορία σχετική με την τοποθεσία, τον χάρτη και γενικά τα μηνύματα τους οριοθετούνται στον χώρο και στον χρόνο. Ο έλεγχος της ταχύτητας και της συνεργατικής πλοήγησης στους δρόμους είναι δυο υποκατηγορίες αυτών των εφαρμογών.

Εφαρμογές διαχείρισης ταχύτητας. Αυτές οι εφαρμογές βοηθούν τους οδηγούς να διαχειρίζονται την ταχύτητα των οχημάτων τους προκειμένου να εξασφαλιστεί η ομαλή οδήγηση, οι αναίτιες στάσεις και μειώσεις εκπομπής ρύπων. Ένα παράδειγμα είναι οι προειδοποιήσεις σε περίπτωση που κάποιο όχημα ξεπερνά το όριο ταχύτητας του συγκεκριμένου σημείου του δρόμου. Ένα ακόμη παράδειγμα είναι η καθοδήγηση ταχύτητας προκειμένου να αποφύγουν πιθανές στάσεις σε φωτεινούς σηματοδότες.

Συνεργατική πλοήγηση. Αυτού του είδους οι εφαρμογές χρησιμοποιούνται για να βελτιώσουν την κυκλοφορία διαχειρίζοντας την κίνηση των αυτοκινήτων μέσω συνεργασίας αυτοκινήτων και road side units προκειμένου να επιλέγουν διαδρομές.

Εφαρμογές πληροφορίας και διασκέδασης.

Ενημέρωση τοπικών παροχών. Αυτού του είδους οι εφαρμογές εστιάζουν στην παροχή χρήσιμων πληροφοριών και διασκέδασης που μπορεί να βασιστεί σε τοπικές παροχές και υπηρεσίες. Για παράδειγμα σημεία ενδιαφέροντος, τοπικές ηλεκτρονικές διαφημίσεις και άλλα σημαντικά σημεία που βρίσκονται κοντά στην πορεία των οχημάτων.

Παροχές παγκόσμιου ιστού. Εδώ στόχος είναι παροχή πληροφοριών που μπορεί να συλλεχθεί από το διαδίκτυο και έχει να κάνει με παροχές οι οποίες σχετίζονται με παροχές μεταφορών. Χαρακτηριστικά παραδείγματα τέτοιων υπηρεσιών είναι υπηρεσίες ασφάλειας και διαχείριση ζωνών παρκαρίσματος.

2.1.5 Σχετική έρευνα με την κυκλοφοριακή συμφόρηση και τα Ad-hoc δίκτυα αυτοκινήτων

Η έρευνα που έχει γίνει σε αυτόν τον τομέα επικεντρώνεται στην μοντελοποίηση της κυκλοφοριακής συμφόρησης και στην λήψη αποφάσεων προκειμένου να ελεγχθεί καλύτερα η κυκλοφορία των οχημάτων. Το δίκτυο χρησιμοποιείται προκειμένου να γίνει η διάχυση της πληροφορίας από όχημα σε όχημα για το αν υπάρχει ή όχι κυκλοφοριακή συμφόρηση.

Εκτός από την διαχείριση της κυκλοφορίας και την αποφυγή κυκλοφοριακής συμφόρησης έχουν αναπτυχθεί και συστήματα τα οποία εντοπίζουν πιθανές συγκρούσεις και ενημερώνουν προκειμένου τα υπόλοιπα οχήματα να προβούν στην λήψη αποφάσεων. Σε αυτή την περίπτωση η λειτουργικότητα είναι διαφορετική από τον εντοπισμό κυκλοφοριακής συμφόρησης καθώς θέλουμε η πληροφορία να ταξιδέψει γρήγορα και σε μικρή απόσταση προκειμένου τα υπόλοιπα οχήματα να λάβουν την πληροφορία γρήγορα και αποδοτικά.

Έχουν γίνει αρκετές έρευνες για τον εντοπισμός κυκλοφοριακής συμφόρησης. Μια τέτοια απόπειρα έγινε στο “Analytic Method for Real-Time Traffic Problems by Using Content Oriented Communications in VANET”. Σε αυτή την έρευνα προτείνεται ένα σύστημα εντοπισμού κυκλοφοριακής συμφόρησης και διάδοσης της πληροφορίας. Χρησιμοποιεί τα

δεδομένα από το GPS προκειμένου να αποκτήσει την πληροφορία. Το σύστημα ονομάζεται COC και χρησιμοποιεί και τα Ad-hoc δίκτυα οχημάτων. Το σύστημα διατηρεί πληροφορία η οποία μπορεί να καταταχθεί σε τρία επίπεδα. Το πρώτο επίπεδο είναι η απλή πληροφορία , το δεύτερο επίπεδο είναι η πυκνότητα των οχημάτων όπως κινούνται στα οδικά δίκτυα και το τρίτο επίπεδο είναι οι περιοχές κυκλοφοριακής συμφόρησης.

Σε μια άλλη έρευνα "StreetSmart Traffic: Discovering and Dissemination Automobile Congestion using VANET" δημιουργούνται υποδίκτυα οχημάτων (clusters) τα οποία ανταλλάσσουν πληροφορία μεταξύ τους. Η πληροφορία ανταλλάσσεται με έναν αλγόριθμο επιδημίας (epidemic alogrithm) υπολογίζουν την ύπαρξη ή όχι κυκλοφοριακής συμφόρησης.

Μια άλλη πρόταση "A New Scalable Hybrid Routing Protocol for VANETs" βασίζεται στην προσέγγιση της πληροφορίας των οχημάτων βάση συγκεκριμένων μοντέλων κυκλοφορίας και στην αρχή ότι τα οδικά δίκτυα μπορούν να χωριστούν σε τμήματα. Πολλά από αυτά τα συστήματα στηρίζονται στην γεωγραφική πληροφορία προκειμένου να ξέρουν που ακριβώς βρίσκονται τα οχήματα ανα πάσα στιγμή και σε ποιο σημείο εντοπίζεται η κυκλοφοριακή συμφόρηση. Η πληροφορία που παίρνουμε για κάθε αυτοκίνητο πρέπει να διατηρεί τον ανώνυμο χαρακτήρα της. Όμως κάθε αυτοκίνητο λόγω αυξημένης κινητικότητας στο οδικό δίκτυο πρέπει να αντιστοιχίζεται η θέση του με το συγκεκριμένο αυτοκίνητο. Αυτή η πληροφορία επεξεργάζεται σε κάθε κόμβο και είναι πολύ πιθανό να προωθείται και σε άλλους κόμβους. Ως αποτέλεσμα σε κάθε αντίστοιχο δίκτυο αυτοκίνητο υπάρχει ένας μηχανισμός ανάθεσης μοναδικών αναγνωριστικών στα διάφορα αυτοκίνητα που συμμετέχουν στο δίκτυο. Με αυτό τον τρόπο έχουμε την δυνατότητα εντοπισμού θέσης για όλα τα αυτοκίνητα. Ενώ με την ίδια λογική δίνοντας δηλαδή μοναδικά αναγνωριστικά στα διάφορα τμήματα του οδικού δικτύου παρέχεται η δυνατότητα εντοπισμού της τοποθεσίας στην οποία παρατηρείται κυκλοφοριακή συμφόρηση.

Αντίστοιχες απόπειρες έχουν γίνει και από εταιρίες. Η Dash Drive Network είχε δημιουργήσει ένα σύστημα το οποίο επέτρεπε στα αυτοκίνητα να διαδίδουν πληροφορίες σχετικές με την θέση και την ταχύτητα τους προκειμένου να ενημερωθούν στην συνέχεια για την κυκλοφορία στο οδικό δίκτυο. Το συγκεκριμένο σύστημα απαιτούσε την ύπαρξη κάποιου κεντρικού εξυπηρετητή ο οποίος να έχει και ασύρματη πρόσβαση στο διαδίκτυο κάτι το οποίο δεν ήταν τόσο διαδεδομένο κυρίως στους μεγάλους οδικούς δρόμους.

Το CAR 2 CAR communication Consortium είναι ένας οργανισμός μη κερδοσκοπικού χαρακτήρα η οποία έχει ως σκοπό την βελτίωση της οδική ασφάλειας και της καλύτερης λειτουργίας των οδικών δικτύων. Μεταξύ άλλων προτείνει τρόπους επικοινωνίας μεταξύ αυτοκινήτων αλλά και μεταξύ αυτοκινήτων και κεντρικών μονάδων προκειμένου να μπορεί να ανταλλαχθεί χρήσιμη πληροφορία.

2.1.6 Ασύρματες τεχνολογίες επικοινωνίας στα VANETs

Τα συστήματα ασύρματης επικοινωνίας μεταξύ των αυτοκινήτων είναι πολλά και χρησιμοποιούνται για την επικοινωνία μεταξύ των οχημάτων και μεταξύ των οχημάτων και των μονάδων υποδομής στους δρόμους.. Όταν δυο αυτοκίνητα βρίσκονται εντός της επιτρεπτής απόστασης επικοινωνίας τότε συνδέονται αυτόματα και έτσι δημιουργείται ένα ad hoc δίκτυο επιτρέποντας την λειτουργία εφαρμογών ασφάλειας, εφαρμογών πληροφόρησης αλλά και απλών εφαρμογών διαδικτύου. Το εύρος για μια μονή ασύρματη

σύνδεση μπορεί να είναι αρκετά μεγάλη(long range communication) ή μπορεί να είναι περιορισμένη σε μερικές εκατοντάδες μέτρα(short-range communication). Έτσι κάθε όχημα λειτουργεί και ως router και επιτρέπει την αποστολή μηνυμάτων, μέσω πολλών βημάτων, σε άλλους κόμβους-οχήματα. Ο αλγόριθμος δρομολόγησης σε κάθε τεχνολογία βασίζεται στην θέση των οχημάτων και μπορεί να διαχειριστεί συχνές αλλαγές στην τοπολογία των δικτύων.

Μια πλατφόρμα ad-hoc δικτύου αυτοκινήτων περιέχει εκτός των άλλων και μηχανισμούς εντοπισμού θέσης GPS, έτσι ώστε να μπορέσουμε να χρησιμοποιήσουμε διάφορους αλγορίθμους τοποθεσίας για παράδειγμα εύρεση διαδρομής βάση χώρου. Πολύ γνωστά πρωτόκολλα τα οποία είναι οργανωμένα σε επίπεδα όπως το OSI ή το Διαδίκτυο έχει αποδειχθεί ότι μπορούν να φανούν πολύ χρήσιμα σε παραδοσιακά (ενσύρματα) δίκτυα. Η υπόθεση ότι η οργάνωση των πρωτοκόλλων γίνεται σε επίπεδα γίνεται έτσι ώστε να μπορέσουμε να προσαρμόσουμε τα παραδοσιακά πρωτόκολλα στα ad-hoc ασύρματα δίκτυα αυτοκινήτων. Σε αυτή την προσέγγιση η αρχή λειτουργικότητας των πρωτόκολλων των οποίων είναι οργανωμένα σε επίπεδα όπως είναι οργανωμένα στο μοντέλο OSI εξακολουθούν να υπάρχουν. Τα υπάρχοντα επίπεδα πρέπει να επεκταθούν με επιπρόσθετες λειτουργικότητες συγκεκριμένα για τα ad-hoc δίκτυα αυτοκινήτων. Οι εφαρμογές στα ad-hoc δίκτυα αυτοκινήτων επεξεργάζονται την πληροφορία που περιέχεται στα πακέτα και αφού επεξεργαστούν την δική τους κατάσταση τότε συγχωνεύουν όλες τις πληροφορίες και στην συνέχεια αποφασίζουν πως θα συνεχίσουν με την επικοινωνία των επικαιροποιημένων πληροφοριών. Αυτή η διαδικασία είναι γνωστή ως “in-network” επεξεργασία.

Οι επικοινωνίες των οχημάτων μπορούν να ομαδοποιηθούν σε 5 κατηγορίες:

- Cellular systems (2/2.5/2.75/3G) (Long-distance communications)
- Πρότυπα Wireless Local Area Network (WLAN)/Wi-Fi (Medium-distance communications)
- Πρότυπο CALM (Medium-distance communications)
- Διαφορετικά πρότυπα που περιλαμβάνουν Bluetooth, ZigBee, UWB(Short-distance communications) και WiMax(long-distance communication).
- Πρότυπο DSRC/WAVE (Medium-distance communications)

Cellular systems (2G/2.5G/2.75G/3G): Η βασική ιδέα της χρήσης συστημάτων κινητής τηλεφωνίας είναι η επαναχρησιμοποίηση ενός δικτύου που υπάρχει ήδη. Γενικότερα, τα συστήματα κινητής τηλεφωνίας μπορούν να καλύψουν μεγάλες περιοχές και αποτελούν καλή λύση για οχήματα που βρίσκονται σε μεγάλους αυτοκινητόδρομους και μακριά από τα αστικά κέντρα. Το GSM(2G), το GPRS(2.5G), το EDGE(2.75G) και το UMTS(3G) έχει εύρος ζώνης 9.6Kbps, 170Kbps, 384Kbps και 2Mbps αντίστοιχα. Παρά την ύπαρξη αυτού του δικτύου, τα κυψελοειδή δίκτυα στηρίζονται εν γένει στην επικοινωνία μέσω μιας κεντρικής υποδομής τα οποία χρησιμοποιούν single-hop επικοινωνία για τη μετάδοση στους κινητούς κόμβους. Αυτό έχει ως αποτέλεσμα, το σύστημα να μην μπορεί να υποστηρίξει μεγάλο αριθμό χρηστών για μεγάλες περιόδους, που σημαίνει ότι δεν μπορεί να λειτουργήσει σε περιόδους όπου η κίνηση στους δρόμους είναι μεγάλη.

Wireless Area Network (WLAN): Αυτό το είδος είναι μια γενική κατηγορία και αποτελείται από αρκετά είδη των IEEE 802.11 πρότυπων δικτύων. Παράδειγμα τέτοιων προτύπων είναι το 802.11a (ταχύτητες μέχρι και 54Mbps), 802.11ac (ταχύτητες μέχρι 1Gbps) , 802.11b (ταχύτητες μέχρι και 11Mbps), 802.11g (ταχύτητες μέχρι και 54Mbps), 802.11n (ταχύτητες μέχρι και 100Mbps) και το 802.11e το οποίο χρησιμοποιείται για τη βελτίωση του QoS. Τα πρότυπα 802.11e και 802.11n χρησιμοποιούνται για εφαρμογές που απαιτούν μεγάλες ταχύτητες όπως VoIP και video streaming. Αυτά τα πρότυπα χρησιμοποιούνται ως τοπικά ασύρματα δίκτυα (Wireless Local Networks LANs). Δυστυχώς, σε αυτά τα δίκτυα όσο αυξάνεται ο αριθμός των οχημάτων στο δίκτυο τόσο επηρεάζεται η αποδοτικότητα της επικοινωνίας. Επίσης τα περισσότερα από αυτά τα πρότυπα λειτουργούν στην ζώνη των 2.4GHz και μπορούν να επηρεαστούν εύκολα από άλλα πρότυπα όπως το Bluetooth. Αν και πρότυπα όπως το 802.11α, που λειτουργούν στη ζώνη συχνοτήτων των 5GHz, μπορούν να χρησιμοποιηθούν για επικοινωνία οχημάτων σε μικρή απόσταση, δεν χρησιμοποιούνται διότι παρέχουν λιγότερη ασφάλεια και λιγότερο αξιόπιστη επικοινωνία.

CALM(Continuous Air-Interface, Long and Medium Range): Αυτό το πρότυπο είναι πρότυπο της ISO και χρησιμοποιείται κυρίως στην Ευρώπη. Κύριο χαρακτηριστικό αυτού του προτύπου είναι ότι περιέχει μία συλλογή από πρότυπα έτσι ώστε να παρέχει συνεχείς επικοινωνία μεταξύ διαφορετικών προτύπων και διεπαφών εφαρμογών. Το CALM μπορεί να ομαδοποιηθεί σε 5 κατηγορίες: 5GHz wireless LAN (IEEE 802.11 WiFi/802.11p/CALM M5), σύστημα Cellular, 2G GSM/2.5G GPRS/2.75G EDGE/3G UMTS, συστήματα 60GHz και επικοινωνία Infrared η οποία υποστηρίζει DSRC, αναμετάδοση και εύρεσης τοποθεσίας. Αυτό το πρότυπο είναι ικανό να επιλέγει το μέσο μετάδοσης βασιζόμενο στην θέση και το on-board unit του οχήματος. Για τις επικοινωνίες σε μικρή απόσταση χρησιμοποιούνται Infrared και μικροκύματα ενώ για τις μεγάλες αποστάσεις προτιμάται η χρήση των κυψελοειδών συστημάτων. Επίσης χρησιμοποιείται δορυφορική επικοινωνία για δύσβατες περιοχές όπως τα βουνά. Αυτό έχει ως αποτέλεσμα το CALM πρότυπο να υποστηρίζει όλων των ειδών της εφαρμογές ευφυών συστημάτων μεταφοράς(V2V, V2I, I2I). Λόγω της αρχιτεκτονικής αυτού του συστήματος, οποιοδήποτε μελλοντικό πρότυπο μπορεί να εισαχθεί εύκολα στο πρότυπο CALM.

Blue-tooth: Το Bluetooth, το οποίο χρησιμοποιεί το πρότυπο IEEE 802.15.1, είναι ένα ασύρματο πρότυπο που χρησιμοποιείται για επικοινωνίες μικρού εύρους απόστασης και κινητικότητας μέχρι 10km/h. Οι συσκευές οι οποίες διαθέτουν λειτουργικότητα Blue-tooth μπορούν αυτόματα να εγκαθιδρύσουν επικοινωνία μεταξύ των αυτοκινήτων με σκοπό την δημιουργία ad-hoc δικτύων. Για παράδειγμα οι συσκευές κινητής τηλεφωνίας οι οποίες διαθέτουν λειτουργικότητα blue-tooth θα μπορούσαν να χρησιμοποιηθούν για αυτό τον σκοπό. Η τεχνολογία των Bluetooth είναι φθηνή και εύκολη στη χρήση και αρκετά αυτοκίνητα διαθέτουν Bluetooth για την σύνδεση συσκευών όπως το MP3 και το κινητό τηλέφωνο. Το εύρος ζώνης, που είναι 1MB/s, είναι αρκετό για την χρήση σε συγκεκριμένες εφαρμογές. Παρά τα πλεονεκτήματά του, τα Bluetooth είναι δύσκολο να χρησιμοποιηθούν στα ευφυή συστήματα μεταφορών διότι αφενός η δημιουργία δικτύου μεταξύ των οχημάτων είναι αρκετά αργή και αφετέρου το εύρος διάδοσης των μηνυμάτων είναι αρκετά μικρότερο (100m) σε σχέση με το πρότυπο DSRC.

ZigBee: Το πρωτόκολλο Zigbee(IEEE 802.15.4), όπως και το Bluetooth, μπορεί να χρησιμοποιηθεί για επικοινωνίες μικρού εύρους απόστασης. Δημιουργήθηκε για να καλύψει τις ανάγκες για αισθητήρες αναγνώρισης περιβάλλοντος και συσκευές ελέγχου. Το μεγάλο πλεονέκτημα αυτών των δικτύων είναι χαμηλή κατανάλωση και ότι είναι απλούστερα και φθηνότερα σε σχέση με τα πρότυπα των Wi-Fi και Bluetooth. Ο ρυθμός μετάδοσης δεδομένων μπορεί στα 250 Kbps(ζώνη 2.4GHz) μέχρι και 70m απόσταση. Χρησιμοποιώντας διαμόρφωση QPSK, η μετάδοση μπορεί να φτάσει μέχρι και 100m απόσταση. Παρά ταύτα, Αυτή η τεχνολογία δεν μπορεί να χρησιμοποιηθεί για εφαρμογές που χρειάζονται μεγάλο εύρος ζώνης όπως VoIP και web browsing.

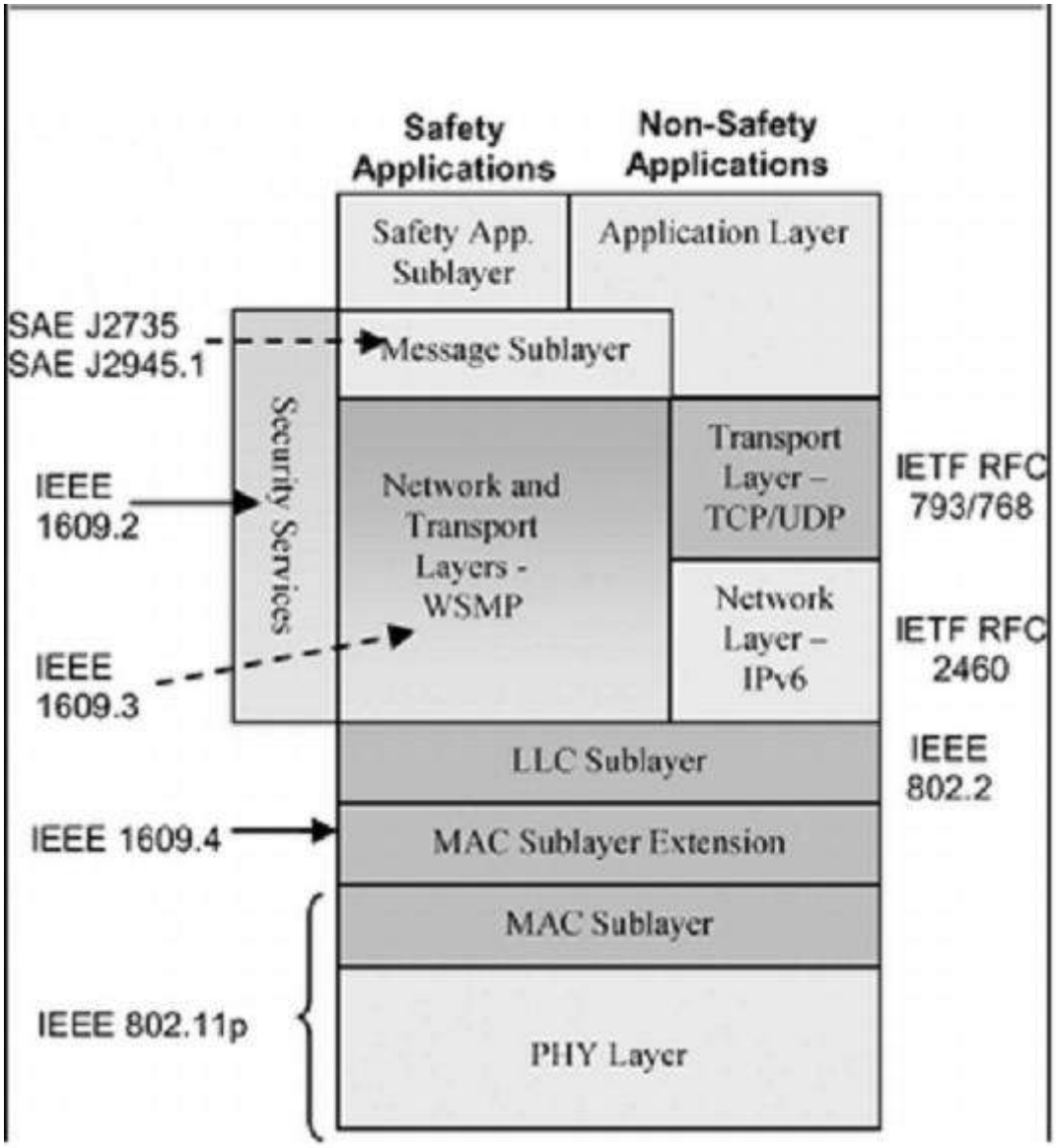
UWB (Ultra Wide Band): Το UWB χρησιμοποιεί το πρότυπο IEEE 802.15.3a. UWB χρησιμοποιεί μικρής ενέργειας, μικρού παλμού σήματα προκειμένου να μεταφέρουν δεδομένα μέσα από ένα μεγάλο φάσμα συχνοτήτων(από 3.1GHz μέχρι 10.6GHz) το οποίο το κάνει ανεκτικό σε όλα τα είδη των παρεμβολών. Το πρότυπο αυτό όπως και το Bluetooth υποστηρίζει κινητικότητα μέχρι 10km/h και ταχύτητες μέχρι 480Mbps. Η κύρια χρήση του στα VANETs είναι η αποφυγή συγκρούσεων.

WiMAX (Worldwide Interoperability for Microwave Access): Το πρότυπο WiMAX χρησιμοποιείται για την παροχή Internet σε μεγάλες αποστάσεις μέχρι 50km με ταχύτητα 70Mbps και συχνότητα 2.5GHz. Το πρότυπο WiMAX mobile(IEEE 802.16m) χρησιμοποιείται για την επικοινωνία χρηστών σε μεγάλες αποστάσεις. Συγκεκριμένα, προσφέρει ταχύτητες για download μέχρι 63Mbps και ταχύτητες upload μέχρι 28Mbps. Το πρωτόκολλο αυτό έχει χρησιμοποιηθεί για εφαρμογές ασφάλειας στο δρόμο μέσω streaming videos.

DSRC/WAVE(Distance-short range communication/Wireless Access in Vehicular Environment): Το DSRC πρότυπο έχει δημιουργηθεί αποκλειστικά για δίκτυα των VANETs έτσι ώστε να καλύψει τις ανάγκες των χαρακτηριστικών των VANETs όπως την αυτό-οργάνωση, την αυτοδιαχείριση, την υψηλή κινητικότητα και την δυναμικότητα της τοπολογίας του δικτύου. Το πρότυπο αυτό λειτουργεί στην Αμερική στη συχνότητα 5.9GHz με ένα εύρος 75MHz ενώ στην Ευρώπη και την Ιαπωνία λειτουργεί στη συχνότητα 5.8GHz με εύρος 30MHz. Παρέχει επικοινωνία V2V και V2I μέχρι 1km και υποστηρίζει ταχύτητες μέχρι 27Mbps. Όπως φαίνεται στην εικόνα το φάσμα συχνοτήτων αποτελείται από 5MHz εύρος ασφαλείας, μία συχνότητα των 10MHz για το Control Channel(CCH) και 6 συχνότητες των 10MHz για το Service Channel(SCHs). Το CCH χρησιμοποιείται αποκλειστικά και μόνο για τη μετάδοση μηνυμάτων που αφορούν την ασφάλεια στο δρόμο ενώ το SSH χρησιμοποιείται και για εφαρμογές ασφάλειας και για άλλες εφαρμογές. Το DSRC επιτρέπει τον συνδυασμό 2 SCHs για την δημιουργία καναλιού 20MHz έτσι ώστε να αυξήσει την ταχύτητα μετάδοσης στα 54Mbps.

Στο πρότυπο DSRC η επικοινωνία μεταξύ των RSUs και OBUs γίνεται είτε με το πρωτόκολλο WAVE είτε με το πρωτόκολλο IEEE 802.11p. Συνήθως οι όροι DSRC και WAVE είναι συνυφασμένοι. Η βασική διαφορά είναι ότι το DSRC εμπεριέχει το πρότυπο IEEE 802.11p στα επίπεδα MAC και PHY ενώ το WAVE επικεντρώνεται στα υψηλότερα επίπεδα. Επιπρόσθετα,

το DSRC χρησιμοποιεί το WAVE Short Message Protocol(WSMP) για την υποστήριξή εφαρμογών ασφαλείας. Η εικόνα παρουσιάζει την αρχιτεκτονική του προτύπου.



Το DSRC μοντέλο αποτελείται από τα παρακάτω πρότυπα(Εικόνα 4):

- IEEE 1609.1 – Διαχείριση πόρων (resource manager)
- IEEE 1609.2 – Υπηρεσίες ασφαλείας και μηνύματα διαχείρισης(Security services and management messages)
- IEEE 1609.3 – Υπηρεσίες Δικτύου (Networking Services)
- IEEE 1609.4 – Λειτουργίες πολλαπλών-καναλιών (Multi-channel Operations)

Παρατηρούμε ότι το επίπεδο MAC είναι διαιρεμένο σε 2 κομμάτια: το MAC sublayer και το Logical Link Unit(LLC). Το MAC sublayer επιτρέπει σταθμούς (STA) να μοιράζονται φάσματα συχνοτήτων αποτελεσματικότερα μέσω του προτύπου IEEE 1609.3. Από την άλλη το LLC, το οποίο χρησιμοποιεί το πρότυπο 802.2, μαζί με το Sub Network Access Protocol(SNAP) παρέχει υπηρεσίες στα ψηλότερα επίπεδα(συμπεριλαμβανομένου και του IEEE 1609.3). Με βάση τις ανάγκες των εφαρμογών των VANETs, τα επίπεδα Network και Transport χρησιμοποιούν πρωτόκολλα όπως το IPv6, TCP, UDP και WSMP για την ασύρματη επικοινωνία. Ειδικότερα, το WSMP χρησιμοποιείται για μετάδοση single-hop και τα υπόλοιπα πρωτόκολλα για multi-hop μεταδόσεις. Για τις εφαρμογές ασφαλείας χρησιμοποιείται το WSMP πρωτόκολλο ενώ για τις υπόλοιπες το TCP/IPv6. Το επίπεδο εφαρμογών επιτρέπει την υποστήριξη της δια λειτουργικότητας μεταξύ των εφαρμογών ασφαλείας.

Εν κατακλείδι, το πρότυπο DSRC χρησιμοποιείται ευρέως σε εφαρμογές ασφαλείας λόγω της αξιοπιστίας, της ασφαλής μετάδοσης μηνυμάτων και της ταχύτητας. Το DSRC/WAVE είναι το πρότυπο που χρησιμοποιήθηκε για την υλοποίηση αυτής της εργασίας μέσα από το simulator Veins το οποίο χρησιμοποιήθηκε για τα πειράματα.

Συνοψίζοντας στην εικόνα παρουσιάζονται όλα τα χαρακτηριστικά των τεχνολογιών που περιγράψαμε παραπάνω.

Wireless Standard	f in GHz	Data Transmission Rate	Max Signal Coverage ≈	Signal Interference	Maintenance	Accessibility	Upfront Cost	Security
Cellular Systems	Operator Dependent	≈ 384 Kbps -129 Mbps	50 km	Low	Difficult	Contention Based	High	High
WiMAX 802.16m	2.3/2.5/3.5	≈ 75- 300 Mbps	50 km	High	Difficult	Schedule Based	High	High
MBWA 802.20	3.5	≈ 4.5 Mbps	15 km	High	Easy	Schedule Based	High	High
Microwave	1-3	≈ 16 Gbps	30 km	High	Difficult	Contention Based	High	Low
Wi-Fi 802.11a	5.1/5.8	≈ 54 Mbps	100 m	Low	Easy	Contention Based	High	Low
Wi-Fi 802.11b	2.4	≈ 11 Mpbs	100 m	High	Easy	Contention Based	Moderate	Low
Wi-Fi 802.11g	2.4	≈ 54 Mbps	140 m	High	Easy	Contention based	Moderate	Low
Wi-Fi 802.11n	2.4/5	≈100 Mbps	250 m	High	Easy	Contention Based	High	High
DSRC 802.11p	5.8/5.9	≈ 27 Mbps	1 km	Low	Easy	Contention based	Moderate	High
CALM M5	5	≈ 6 Mbps	10 km	High	Difficult	Contention Based	High	High
Infrared	300 GHz - 400 THz	≈ 115 Kbps – 4 Mbps	100 m	Low	Easy	Contention Based	Low	High
Bluetooth 802.15.1	2.4 GHz	≈ 1-24 Mbps	100 m	High	Easy	Schedule Based	Low	Low
ZigBee 802.15.2	2.4 /868MHz /915MHz	≈ 250 Kbps	100 m	High	Easy	Schedule Based	Low	High
UWB 802.15.3	3.1 to 10.6 GHz	< 100 Mbps	10m	Low	Easy	Contention based	Low	High

2.1.7 Πρωτόκολλα δρομολόγησης στα Ad-hoc δίκτυα αυτοκινήτων

Τα πρωτόκολλα δρομολόγησης στα Ad Hoc Vehicular Networks μπορούν να χωριστούν σε πέντε κατηγορίες. Τα πρωτόκολλα αυτά χωρίζονται στις κατηγορίες αναλογικά με τις περιοχές με τις οποίες έχουμε να κάνουμε στην εφαρμογή μας.

- Πρωτόκολλα τα οποία στηρίζονται στην τοπολογία. Αυτού του είδους τα πρωτόκολλα χρησιμοποιούν την πληροφορία που ήδη υπάρχει για τους συνδέσμους προκειμένου να προωθήσουν τα μηνύματα. Αυτά τα πρωτόκολλα χωρίζονται περαιτέρω σε προληπτικά και αντιδραστικά-δυναμικά πρωτόκολλα.

o Προληπτικά πρωτόκολλα: Σε αυτού του είδους τα πρωτόκολλα η πληροφορία για την διαδρομή όπως για παράδειγμα ποιος θα είναι ο κόμβος υπάρχει ήδη αποθηκεμένη ανεξάρτητα με το αίτημα για πληροφορία. Τα προληπτικά πρωτόκολλα παρουσιάζουν το πλεονέκτημα ότι δεν χρειάζεται επαναυπολογισμός της διαδρομής καθώς αυτή είναι ήδη αποθηκεμένη στο σύστημα το οποίο όμως οδηγεί στις εφαρμογές αληθινού χρόνου να έχουν αφάνεια στην επικοινωνία μεταξύ των κόμβων. Σε κάθε κόμβο αποθηκεύεται ένας πίνακας ο οποίος λέει ποιο θα είναι το επόμενο βήμα του πακέτου. Τύποι τέτοιων πρωτόκολλων είναι τα LSR,FSR.

o Αντιδραστικά δυναμικά πρωτόκολλα: Αυτού του είδους τα πρωτόκολλα αποφασίζουν για την διαδρομή του πακέτου μόνο όταν είναι απαραίτητη η επικοινωνία μεταξύ των κόμβων. Διατηρεί μόνο τις διαδρομές που χρησιμοποιούνται την δεδομένη χρονική στιγμή με σκοπό να μειώσει το φόρτο στις γραμμές επικοινωνίας μεταξύ των κόμβων. Οι αντιδραστικοί αλγόριθμοι περιέχουν την φάση της εξερεύνησης στην οποία πλημμυρίζουν το δίκτυο με πακέτα για να ανακαλύψουν την σωστή διαδρομή. Η φάση αυτή ολοκληρώνεται μόνο όταν ανακαλυφθεί η διαδρομή. Τύποι τέτοιων πρωτόκολλων είναι τα AODV, PGB, DSR και TORA.

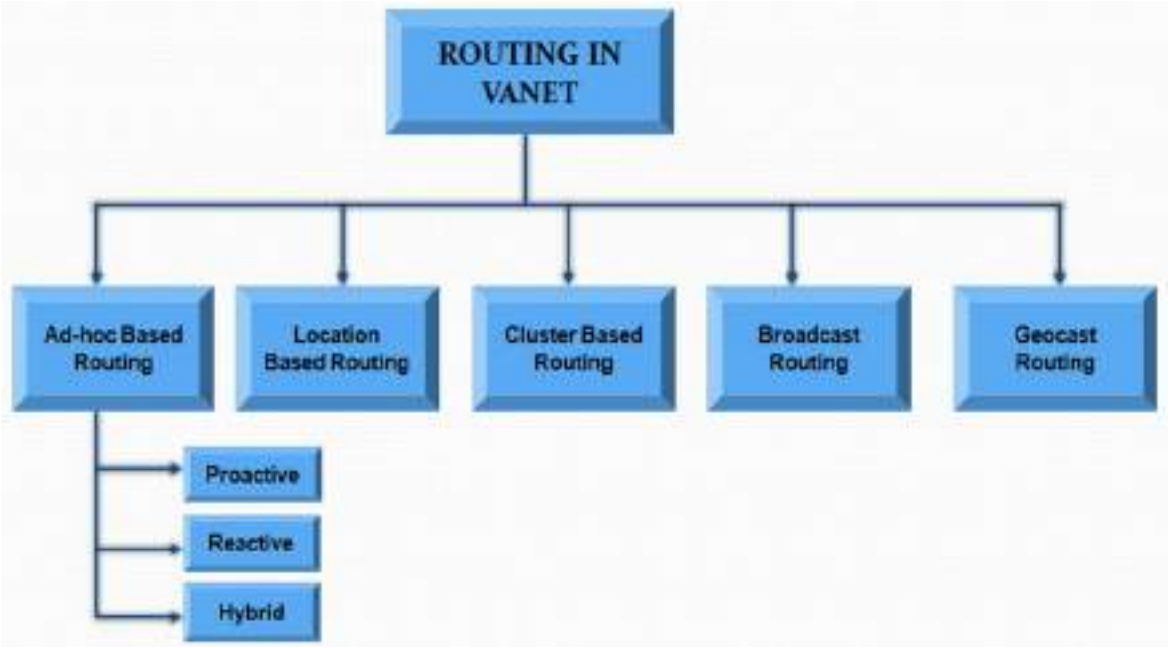
- Πρωτόκολλα τα οποία στηρίζονται στην θέση. Τα πρωτόκολλα τα οποία στηρίζονται στην θέση μοιράζονται μεταξύ τους την πληροφορία της γεωγραφικής θέσης έτσι ώστε να επιλέξουν τα επόμενα σημεία του δικτύου στα οποία θα πάει το πακέτο. Χωρίς να έχουμε πλήρη εικόνα για το δίκτυο τα πακέτα στέλνονται στους γείτονες μιας απόστασης και συγκεκριμένα σε αυτόν που βρίσκεται στην κοντινότερη απόσταση. Τα πρωτόκολλα τα οποία στηρίζονται στην θέση έχουν το πλεονέκτημα ότι δεν χρειάζεται να γίνεται υπολογισμός της συνολικής διαδρομής από την πηγή στον προορισμό αλλά ούτε και να διατηρείται αποθηκεμένη κάπου στο σύστημα. Τα πρωτόκολλα θέσης μπορούν να χωριστούν σε δυο κατηγορίες:

o Άπληστοι αλγόριθμοι επικοινωνίας Vehicle to Vehicle (V2V): Στις άπληστες στρατηγικές κάθε φορά επιλέγεται ως ενδιάμεσος κόμβος αυτός ο οποίος θεωρείται ο βέλτιστος με βάση κάποια χαρακτηριστικά. Στην συγκεκριμένη περίπτωση αυτό που μας ενδιαφέρει είναι η θέση του κόμβου, η θέση του κάθε γείτονα και η αντίστοιχη απόσταση τους. Σκοπός αυτών των αλγορίθμων είναι η επικοινωνία και η ανταλλαγή πακέτων να γίνει όσο το δυνατόν πιο σύντομα για αυτό το λόγο είναι επίσης γνωστά ως πρωτόκολλα ελάχιστης καθυστέρησης. Κάποια ήδη τέτοιων πρωτόκολλων είναι τα: GPCR, CAR και DIR.

ο Πρωτόκολλα ανεκτικά σε καθυστερήσεις. Στα σενάρια τα οποία εφαρμόζονται σε αστικά κέντρα τα οχήματα είναι πυκνά τοποθετημένα στο χώρο το να μεταφέρεις ένα πακέτο είναι πολύ εύκολο λόγων των πολλών επιλογών ως επόμενος κόμβος. Το δύσκολο όμως είναι να μπορεί να γίνει εξίσου αποδοτικά η δρομολόγηση του πακέτου και το βράδυ όπου τα οχήματα δεν είναι τόσα πολλά. Σε αυτή την περίπτωση πρέπει να δοθεί προσοχή και στα αραιά δίκτυα. Εδώ χρησιμοποιούνται αυτού του είδους τα πρωτόκολλα ανήκουν στην κατηγορία τα οποία είναι ανεκτικά σε καθυστερήσεις. Τέτοια πρωτόκολλα είναι τα MOVE, VADD και SADV.

- Πρωτόκολλα τα οποία στηρίζονται στα clusters. Μια ομάδα από κόμβους αναγνωρίζονται μεταξύ τους ως cluster και ένας κόμβος έχει οριστεί ως cluster head ο οποίος θα κάνει broadcast τα πακέτα στους υπόλοιπους κόμβους του cluster. Σε αυτή την περίπτωση έχουμε εύκολη επεκτασιμότητα για μεγαλύτερα δίκτυα αλλά το δίκτυο έχει μεγάλες καθυστερήσεις όταν σχηματίζεται το cluster. Σε ένα πρωτόκολλο το οποίο στηρίζεται στα clusters πρέπει να υπάρχει μια εικονική υποδομή προκειμένου να μπορέσει να υπάρξει πιο αποδοτική επεκτασιμότητα. Διάφορα τέτοια πρωτόκολλα είναι COIN και LORA_CBF.

- Πρωτόκολλα τα οποία στηρίζονται στην γεωθεσία. Εδώ έχουμε ουσιαστικά να κάνουμε με πρωτόκολλα τα οποία στηρίζονται στην τοποθεσία με multicast δρομολόγηση. Ο σκοπός σε αυτά τα πρωτόκολλα είναι να παραδώσουν το πακέτο από την πηγή σε όλους τους κόμβους εντός μιας διευκρινισμένης γεωγραφικής περιοχής. Χαρακτηρίζεται ως μια υπηρεσία multicast εντός κάποιας περιοχής. Συνήθως προσδιορίζει μια ζώνη προώθησης στην οποία καθοδηγεί την ροή πακέτων έτσι ώστε να μειώσει το φόρτο στις γραμμές επικοινωνίας.



2.2 Simulation tools

Για τις ανάγκες της έρευνας μας χρησιμοποιήσαμε το εξής λογισμικό:

- Sumo

- Omnetpp
- Veins
- TraCI (traffic control interface)

Επίσης για την μέτρηση των εκπομπών των ρύπων στην ατμόσφαιρα έχουν χρησιμοποιηθεί τα μοντέλα EMIT(που χρησιμοποιείται από το Veins Simulator) για την μέτρηση του διοξειδίου του άνθρακα στην ατμόσφαιρα και το HBEFA(που χρησιμοποιείται από το Sumo Simulator) για την μέτρηση της κατανάλωσης καυσίμου.

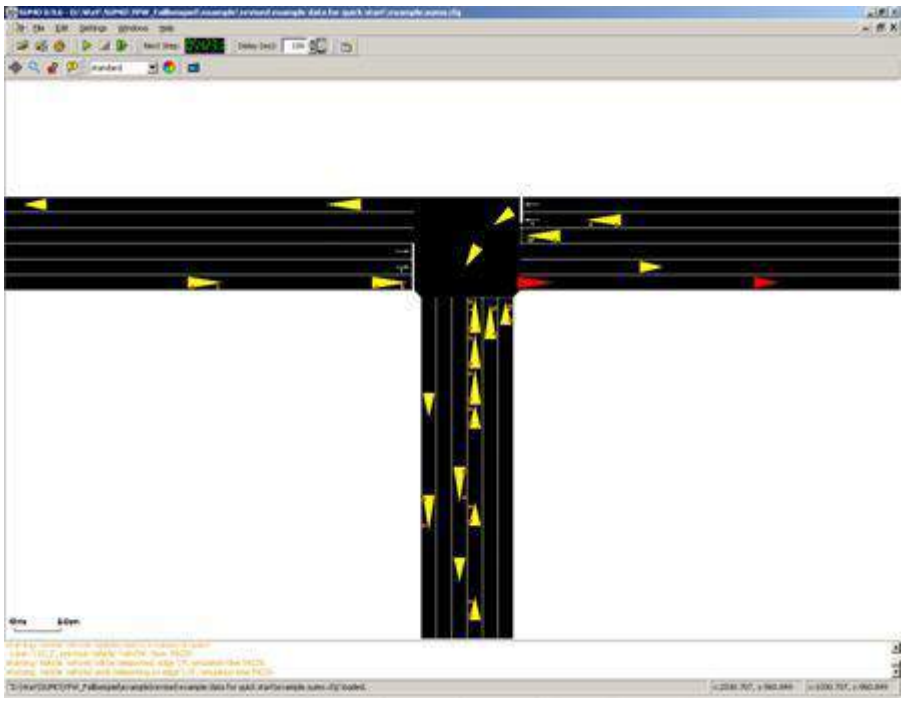
2.2.1 Sumo

Το sumo είναι ένας προσομοιωτής κυκλοφορίας αυτοκινήτων. Σε αυτή την πλατφόρμα η προσομοίωση είναι μικροσκοπική, μπορεί να συνδυάσει πολλές διαφορετικές καταστάσεις, είναι διακριτού χρόνου και συνεχούς χώρου. Έχει αδειοδοτηθεί από το General Public License (GNU) και αναπτύχθηκε από το Ινστιτούτο Μεταφορικών Συστημάτων στο Γερμανικό Αεροδιαστημικό Κέντρο. Η ανάπτυξη ξεκίνησε το 2001 και η πρώτη έκδοση του λογισμικού βγήκε το 2002. Ο στόχος αυτού του λογισμικού ήταν να βοηθήσει την προσομοίωση κυκλοφορίας έτσι ώστε να μπορεί να προσομοιώσει διαφορετικά σενάρια και αλγορίθμους κυκλοφορίας. Ένα σημαντικό μειονέκτημα είναι ότι δεν υπάρχει κάποια σύγκριση για τα μοντέλα κίνησης. Επίσης πρόκειται για λογισμικό ανοιχτού κώδικα, αυτό έγινε προκειμένου να βοηθήσουν στην ανάπτυξη και άλλα ερευνητικά κέντρα.

Το SUMO επιτρέπει στους χρήστες να δημιουργήσουν ένα δίκτυο δρόμων το οποίο περιέχει κτίρια και δρόμους. Οι δρόμοι αντιπροσωπεύονται από μια συλλογή γραμμών (λωρίδων), οι γραμμές αυτές χαρακτηρίζονται από την θέση, το σχήμα και το επιτρεπόμενο όριο ταχύτητας σε κάθε δρόμο. Οι συνδέσεις μεταξύ των λωρίδων ονομάζονται διασταυρώσεις (junctions) και περιέχουν την παραδοχή ότι οι οδηγοί οδηγούν στα δεξιά του δρόμου. Επίσης μπορούν να προστεθούν στις διασταυρώσεις φωτεινοί σηματοδότες προκειμένου να ρυθμιστεί η κυκλοφορία με μια σχετική ομαλότητα. Το αρχείο .nod.xml περιέχει την περιγραφή των κόμβων του δικτύου δρόμων και διασταυρώσεων ενώ το .edg.xml αρχείο περιέχει τις συνδέσεις μεταξύ των δρόμων (λωρίδων) οι οποίες ονομάζονται ακμές. Επίσης παρέχεται η δυνατότητα εισαγωγής ενός οδικού δικτύου με κάποια διαφορετική μορφοποίηση (για παράδειγμα OpenStreetMap, PTV VISUM και OpenDrive) και να μετατραπεί έτσι ώστε να μπορεί να προσομοιωθεί από το SUMO. Η δημιουργία των οδικών δικτύων επιτυγχάνεται με την χρήση του εργαλείου του SUMO, NETCONVERT. Αυτό που προκύπτει από αυτό το εργαλείο είναι ένα .net.xml αρχείο, το οποίο περιέχει μια πλήρη περιγραφή του οδικού δικτύου το οποίο μπορεί να επεξεργαστεί το λογισμικό για την ανάλογη προσομοίωση.

Αφού έχουμε δημιουργήσει το οδικό δίτκυιο το οποίο πρέπει να αποσαφηνιστεί, στην συνέχεια πρέπει να περιγράψουμε το οχήματα τα οποία θα συμμετέχουν στην προσομοίωση και τις αντίστοιχες διαδρομές τις οποίες καλούνται να ακολουθήσουν. Μια διαδρομή αποτελείται από την αρχική ακμή από την οποία ξεκινά το όχημα και την τελευταία ακμή στην οποία καλείται να φτάσει και όλες τις ενδιάμεσες ακμές από τις οποίες θα περάσει μέχρι να φτάσει στον τελικό προορισμό. Στο λογισμικό SUMO περιέχει και άλλα εργαλεία τα οποία

δημιουργούν διαδρομές και ταξίδια, ένα τέτοιο εργαλείο είναι το DUOROUTER. Ο χρήστης μπορεί επίσης να δημιουργήσει το xml αρχείο .rou.xml στο οποίο να περιγράφονται τα είδη των οχημάτων και οι διαδρομές που θα ακολουθήσουν. Τα είδη οχημάτων που υποστηρίζει το λογισμικό SUMO είναι λεωφορεία, ταξί, ιδιωτικά αυτοκίνητα, μηχανές και ποδήλατα. Επίσης για τα οχήματα αυτά μπορούν να διευκρινιστούν τα διάφορα χαρακτηριστικά τους όπως ταχύτητα, επιτάχυνση ακόμα και οι αντιδράσεις και στρατηγικές του οδηγού. Αυτά τα χαρακτηριστικά βοηθούν έτσι ώστε η προσομοίωση μας να ανταποκρίνεται όσο το δυνατόν περισσότερο στην πραγματικότητα.



2.2.2 Omnet++

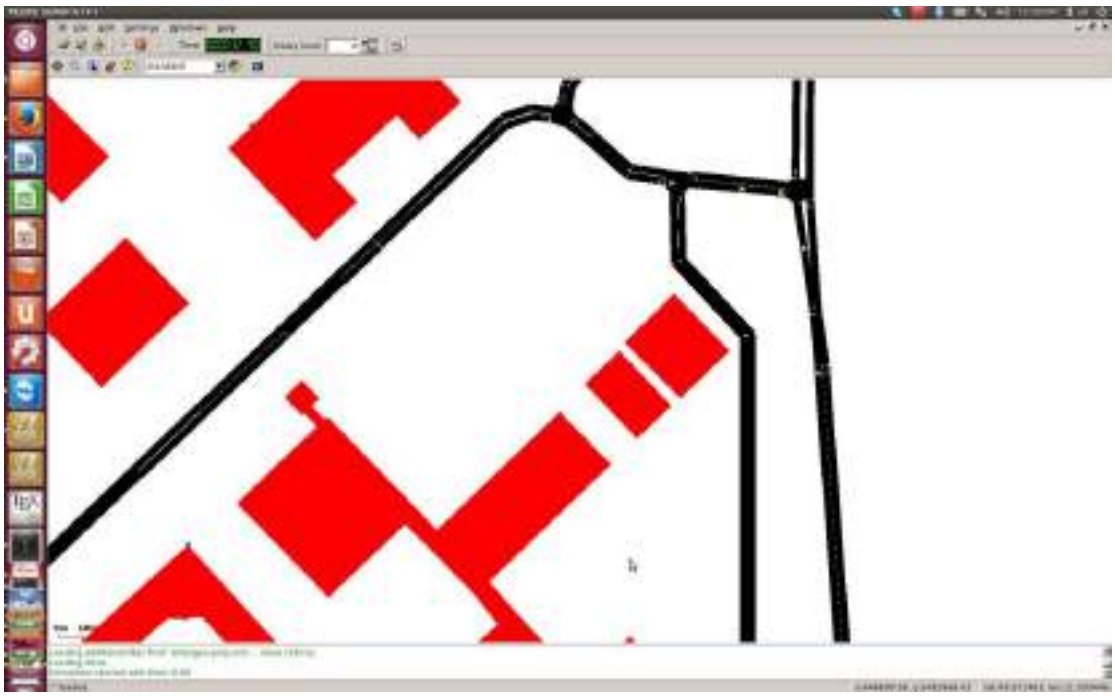
Το OMNET++ είναι ένα λογισμικό υλοποιημένο σε γλώσσα C++ το οποίο προσομοιώνει τα διάφορα δίκτυα επικοινωνίας όπως για παράδειγμα στα ασύρματα τοπικά δίκτυα (WLAN). Λόγω της μεγάλης ευελιξίας και αφαιρετικότητας της αρχιτεκτονικής μπορεί να χρησιμοποιηθεί για την μοντελοποίηση πολυεπεξεργαστών και άλλων κατανεμημένων συστημάτων. Όλες οι λειτουργικότητες που έχουν υλοποιηθεί στα πλαίσια του προσομοιωτή παρέχονται από frameworks, τα οποία έχουν αναπτυχθεί ως ανεξάρτητα projects.

Η αρχιτεκτονική του αποτελείται από διάφορα μέρη τα οποία ονομάζονται modules. Αυτά τα μέρη μπορούν να επαναχρησιμοποιηθούν και να επικοινωνήσουν μέσω ανταλλαγής μηνυμάτων και να συνδυαστούν προκειμένου να συνθέσουν μεγαλύτερα modules χρησιμοποιώντας μια γλώσσα υψηλού επιπέδου (NED).

Τα modules μπορούν να έχουν παραμέτρους, οι παράμετροι αυτοί παρέχονται από τα αρχεία NED ή μέσα από την παραμετροποίηση του αρχείου omnetpp.ini. Το αρχείο αυτό περιέχει

ρυθμίσεις οι οποίες ουσιαστικά περιγράφουν το προς εκτέλεση σενάριο προσομοίωσης, τιμές κάποιων παραμέτρων του μοντέλου και πόσες φορές θα εκτελεστεί το συγκεκριμένο σενάριο. Κάποια χαρακτηριστικά modules είναι τα εξής.

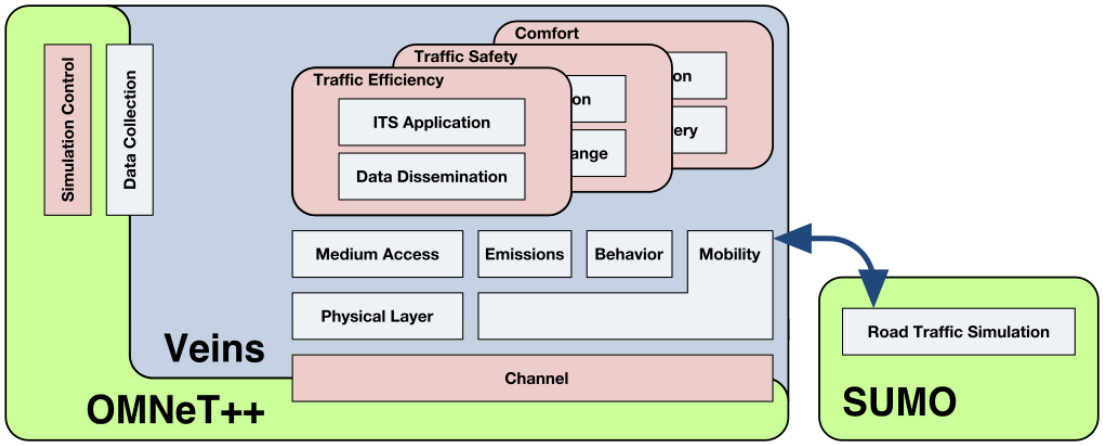
- INET Framework, το οποίο περιέχει μοντέλα Διδικτύου όπως για παράδειγμα για τα πρωτόκολλα TCP, UDP και IPv4, ενσύρματα και ασύρματα πρωτόκολλα όπως για παράδειγμα το Ethernet και το IEEE 802.11, υποστηρίζει κινητικότητα, MANET πρωτόκολλα και άλλα πρωτόκολλα. Το συγκεκριμένο framework θεωρείται και το βασικό μοντέλο-βιβλιοθήκη για το OMNET++.
- INETMANET, το οποίο βρίσκεται σε άμεση σύνδεση με το INET έτσι ώστε να προσφέρει περισσότερες πειραματικές ιδιότητες και πρωτόκολλα, τα οποία χρησιμοποιούνται ευρέως στα MANETs.
- MiXiM, το οποίο χρησιμοποιείται για μεταβλητά και σταθερά ασύρματα δίκτυα όπως για παράδειγμα ασύρματα δίκτυα αισθητήρων και ad-hoc δίκτυα αυτοκινήτων. Το συγκεκριμένο framework παρέχει μοντέλα για ασύρματη διάδοση, εκτίμηση παρεμβάσεων, κατανάλωση ενέργειας και ασύρματα MAC πρωτόκολλα.
- Castalia. Είναι ουσιαστικά μια προσομοίωση για συσκευές χαμηλής ενέργειας όπως Body Area Networks (BAN) παρέχοντας πιο ρεαλιστικές παραμέτρους προσομοίωσης.



2.2.3 Veins

Το Veins είναι ένα λογισμικό ανοιχτού κώδικα για δίκτυα αυτοκινήτων το οποίο ουσιαστικά αποτελεί ένα συνδυασμό των δυο προηγούμενων λογισμικών που αναφέραμε προκειμένου να δημιουργηθεί ένα πιο ολοκληρωμένο περιβάλλον προσομοίωσης για την επικοινωνία μεταξύ αυτοκινήτων αλλά και την επικοινωνία μεταξύ αυτοκινήτων και σταθερών υποδομών.

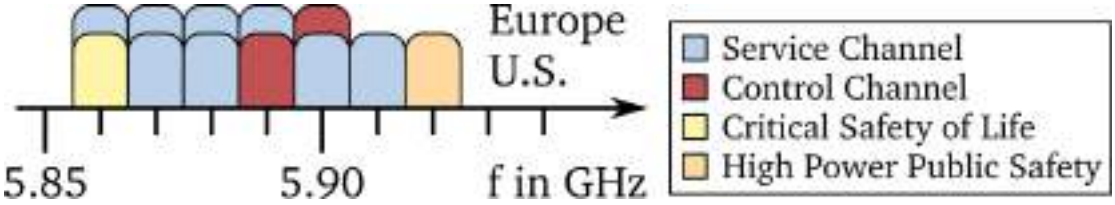
Προκειμένου να επιτευχθεί αυτό τα δυο προηγούμενα λογισμικά τρέχουν παράλληλα και επικοινωνούν μέσω του πρωτοκόλλου TCP. Αυτή η επικοινωνία παρέχει ουσιαστικά μια αμφίδρομη προσομοίωση του οδικού δικτύου και το δικτύου επικοινωνίας. Ως αποτέλεσμα τα γεγονότα τα οποία συμβαίνουν στο οδικό δίκτυο μπορούν να αποτυπωθούν και στο δίκτυο επικοινωνίας που προσομοιώνει το λογισμικό OMNET++ αλλά και το αντίστροφο.



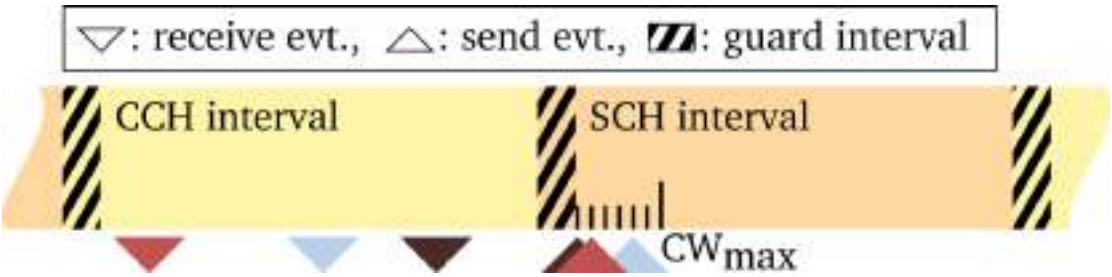
Στην πιο πάνω εικόνα φαίνεται η αρχιτεκτονική του veins. Όπως φαίνεται από την εικόνα, το veins είναι αυτό που επικοινωνεί ουσιαστικά με τα δυο εργαλεία (SUMO, OMNET++). Αποτελείται από διάφορα τμήματα τα οποία συνεργάζονται μεταξύ τους αλλά και με τα άλλα εργαλεία προκειμένου να γίνει η προσομοίωση της κίνησης και της επικοινωνίας των αυτοκινήτων. Μέσω του τμήματος λογισμικού το οποίο λέγεται Mobility επικοινωνεί με το εργαλείο SUMO το οποίο είναι υπεύθυνο για την κίνηση των αυτοκινήτων στο δρόμο. Εκτελεί ουσιαστικά την προσομοίωση της κυκλοφοριακής κίνησης. Έτσι μέσω του veins και συγκεκριμένα του mobility μπορούμε να πάρουμε πληροφορίες σχετικές με την κίνηση την θέση και την ταχύτητα των αυτοκινήτων κατά την κίνηση τους στο οδικό δίκτυο το οποίο έχει δημιουργηθεί για τις ανάγκες της προσομοίωσης.

Όσον αφορά το εργαλείο OMNET++ το veins διαθέτει δυο σημεία επικοινωνίας. Ένα είναι το κανάλι από το οποίο γίνεται η αντιστοίχηση κάθε οχήματος σε έναν κόμβο στο δίκτυο επικοινωνίας του OMNET++ και ένα σημείο συλλογής δεδομένων από το δίκτυο που δημιουργείται.

Το veins περιέχει ένα μοντέλο ασύρματης επικοινωνίας τύπου 802.11 το οποίο έχει επικρατήσει να χρησιμοποιείται στα ασύρματα δίκτυα αυτοκινήτων, και πιο συγκεκριμένα το μοντέλο 802.11p. Αυτό το μοντέλο περιέχει το σύνολο των υπηρεσιών προκειμένου να επιτευχθεί επικοινωνία σε τοπικά ασύρματα δίκτυα όπως στην περίπτωση των αυτοκινήτων. Η πρόσβαση σε αυτό το κανάλι γίνεται μέσω του ECDA(Enhanced Distributed Channel Access) και μπορεί πλήρως να αποτυπώσει τα χρονικά πλαίσια, τις διαμορφώσεις των σημάτων και τα διάφορα κανάλια επικοινωνίας.

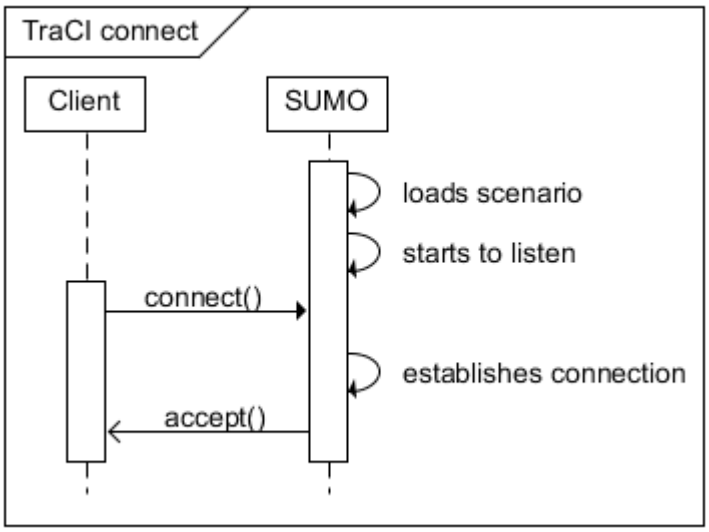


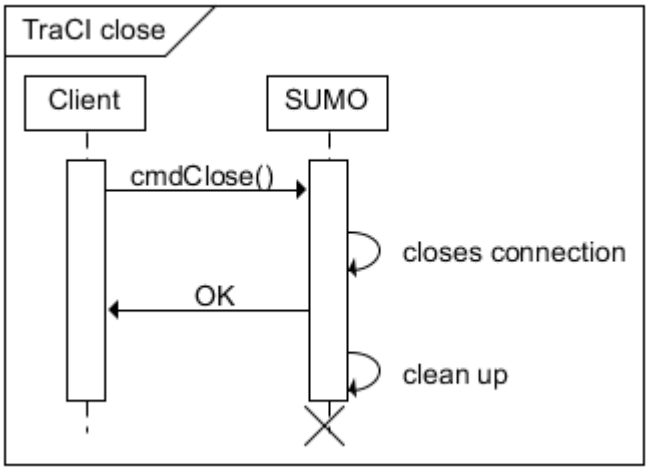
Το veins περιέχει επίσης και άλλα μοντέλα υψηλότερου επιπέδου του DSRC/WAVE για αλλαγή καναλιών αν αυτό χρειάζεται. Επίσης περιέχει μηχανισμούς αποστολής μηνυμάτων όπως το WSM(Wave Short Message) και περιοδική αποστολή μηνυμάτων αποτύπωσης του δικτύου (beaconing).



2.2.4 Traci

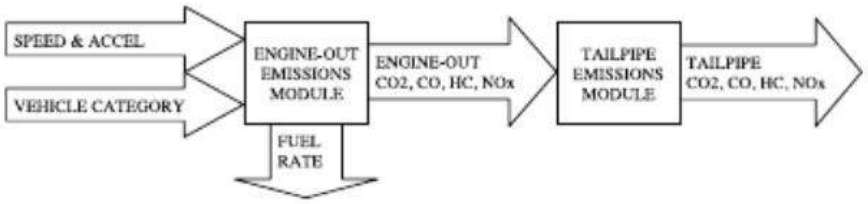
Όπως ήδη έχουμε αναφέρει η επικοινωνία μεταξύ των αυτοκινήτων γίνεται μέσω μια διεπαφής η οποία ονομάζεται Traci. Η διεπαφή αυτή ευθύνεται για την αμφίδρομη επικοινωνία μεταξύ των αυτοκινήτων. Το veins επικοινωνεί με το sumo μέσω ενός script σε python το οποίο ανοίγει μια TCP σύνδεση μεταξύ των δυο εργαλείων έτσι ώστε να ανταλλάσσουν μηνύματα. Για κάθε δίκτυο αυτοκινήτων δημιουργείται και ξεκινάει ουσιαστικά και ένα σενάριο στο SUMO. Το SUMO λειτουργεί σαν εξυπηρετητής που απαντά στα μηνύματα του πελάτη OMNET++. Στα σχήματα φαίνονται δυο από τις βασικότερες λειτουργικότητες της διεπαφής που συνδέουν τα δυο εργαλεία μας που αναφέραμε παραπάνω. Στην πρώτη εικόνα περιγράφεται η διαδικασία έναρξης της προσομοίωσης και της σύνδεσης των εργαλείων, ενώ στην δεύτερη εικόνα φαίνονται οι διαδικασίες που ακολουθούνται όταν πια το προς προσομοίωση σενάριο έχει φτάσει στο τελικό του στάδιο. Πέρα από τις συγκεκριμένες απαντήσεις που περιμένει ο πελάτης από τον server του δίνει πληροφορίες και για την θέση και για την ταχύτητα τους προκειμένου να αντικατοπτρίζεται η πορεία τους η τοπολογία του δικτύου και στην προσομοίωση του δικτύου επικοινωνίας των αυτοκινήτων. Για παράδειγμα μέσα από το SUMO προσομοιώνονται οι φωτεινοί σηματοδότες. Η συμπεριφορά των σηματοδοτών μπορεί να επηρεάσει την συμπεριφορά των αυτοκινήτων και το αντίστροφο. Θα μπορούσε για παράδειγμα ο φωτεινός σηματοδότης να ενεργοποιείται όταν κάποιο αυτοκίνητο πλησιάζει αρκετά και να μην λειτουργεί όταν τα αυτοκίνητα βρίσκονται σε μακρινή απόσταση.





2.2.5 EMIT model και HBEFA model

Το μοντέλο EMIT(Easy Mobile Inventory Tool) είναι ένα ακριβές μοντέλο που χρησιμοποιείται για την κατανάλωση καυσίμου και την εκπομπή ρύπων. Συγκεκριμένα υπολογίζει τις εκπομπές του διοξειδίου του άνθρακα(CO2), του μονοξειδίου του άνθρακα(CO), του υδρογονάνθρακα(HC) και του υποξειδίου του αζώτου(NOx). Στην εικόνα 9 παρουσιάζεται η βασική λειτουργία του μοντέλου.



Η ταχύτητα, η επιτάχυνση και τα γενικότερα χαρακτηριστικά ενός οχήματος χρησιμοποιούνται για τον υπολογισμό της κατανάλωσης καυσίμων μέσω του μοντέλου της μηχανής. Με βάση τα αποτελέσματα αυτά, οι εκπομπές περνάν από έναν καταλυτικό μετατροπέα και τα τελικά αποτελέσματα που προκύπτουν είναι αρκετά ακριβή.

Το EMIT μοντέλο λειτουργεί σε 2 φάσεις. Αρχικά υπολογίζεται την ισχύ έλξης της ρόδας του οχήματος. Αυτό υπολογίζεται από το πολυώνυμο:

$$Ptract = Av + Bv^2 + Cv^3 + Mav + Mgvsinv$$

Έπειτα με βάση την ελκτική δύναμη μπορούμε να υπολογίζουμε την κατανάλωση καυσίμων και τελικά να υπολογίσουμε την εκπομπή διοξειδίου του άνθρακα με βάση το δεύτερο πολυώνυμο:

$$TPco2 = \begin{Bmatrix} \alpha + \beta v + \delta v^3 + \zeta av, if Ptract > 0 \\ \alpha', else \end{Bmatrix}$$

Ο πίνακας 1 δείχνει τις τιμές που χρησιμοποιήθηκαν για την μοντελοποίηση των οχημάτων.

factor		value	unit
v	vehicle speed		m/s
a	vehicle accel.		m/s^2
A	rolling resistance	0.132 6	kW s/m
B	speed-correction to rolling resistance	$2.738\,4 \times 10^{-3}$	$kW\,s^2/m^2$
C	air drag resistance	$1.084\,3 \times 10^{-3}$	$kW\,s^3/m^3$
M	vehicle mass	$1.325\,0 \times 10^3$	kg
g	gravitational const.	9.81	m/s^2
ϑ	road grade	0	degrees
α		1.110 0	g/s
β		0.013 4	g/m
δ		$1.980\,0 \times 10^{-6}$	$g\,s^2/m^3$
ζ		0.241 0	$g\,s^2/m^2$
α'		0.973 0	g/s

Όσο αναφορά το δεύτερο μοντέλο, το HBEFA(Handbook Emission Factors for Road Transport) είναι μία μεγάλη βάση δεδομένων που αναπτύχθηκε από τους οργανισμούς προστασίας περιβάλλοντος της Γερμανίας, της Ελβετίας και Αυστρίας και πλέον υποστηρίζεται από χώρες όπως η Σουηδία, η Νορβηγία και η Γαλλία. Αυτή η βάση δεδομένων παρέχει παραμέτρους

εκπομπής ρύπων με βάση τις κατηγορίες αυτοκινήτων(επιβατηγά αυτοκίνητα, ελαφρών εμπορικών οχημάτων, βαρέων εμπορικών οχημάτων, λεωφορείων και μοτοσυκλετών). Ουσιαστικά είναι μία προσέγγιση της κατανάλωσης καυσίμων ανάλογα με τα χαρακτηριστικά του εκάστοτε οχήματος και με την κατάσταση που επικρατεί στο δρόμο(ταχύτητα, επιτάχυνση, αν μόλις έχει ξεκινήσει το όχημα τη διαδρομή του κ.α).

Ο προσομοιωτής του SUMO έχει ομαδοποιήσει αυτούς τους παράγοντες σε 2 κατηγορίες. Η πρώτη κατηγορία αφορά τα επιβατηγά και ελαφρά εμπορικά οχήματα ενώ η δεύτερη κατηγορία αφορά τα βαρέα εμπορικά οχήματα. Για τη διεξαγωγή των πειραμάτων χρησιμοποιούμε την πρώτη κατηγορία που αφορά βενζινοκίνητα οχήματα και οι παράγοντες εκπομπής ρύπων ποικίλουν ανάλογα με την ταχύτητα, την επιτάχυνση, την κλίση του δρόμου, το αν το όχημα έχει μόλις ξεκινήσει, το αν το όχημα βρίσκεται σε κίνηση και άλλα.

3 Η πρόταση μας

3.1 Αποφυγή κυκλοφοριακής συμφόρησης με χρήση Ad-Hoc δικτύων αυτοκινήτων

Όλοι οι κόμβοι στέλνουν μηνύματα στους υπόλοιπους κόμβους οι οποίοι τοποθετούνται γεωγραφικά κοντά σε αυτόν. Αυτά τα μηνύματα στέλνονται ανά τακτά χρονικά διαστήματα. Το χρονικό διάστημα μεταξύ της αποστολής των μηνυμάτων είναι της τάξης των 2 δευτερολέπτων. Στα μηνύματα αυτά περιέχεται πληροφορία που έχει να κάνει με τους συγκεκριμένους κόμβους. Σημαντικά στοιχεία που ανταλλάσσονται στους κόμβους είναι η θέση και η ταχύτητα.

Σκοπός της υλοποίησης μας είναι όταν ένα αυτοκίνητο πλησιάζει σε κάποιο junction να μπορεί να καταλάβει αν στα προπορευόμενο κομμάτια δρόμων στα οποία σκοπεύει να εισέλθει το αυτοκίνητο υπάρχει κυκλοφοριακή συμφόρηση ή όχι. Ως αποτέλεσμα θα αποφεύγεται η κυκλοφοριακή συμφόρηση και θα γίνεται μια πιο ομοιόμορφη κατανομή των αυτοκινήτων στους δρόμους.

Η βασική πληροφορία που χρειαζόμαστε από τα αυτοκίνητα για να καταλάβουμε ότι σε κάποιο segment υπάρχει κυκλοφοριακή συμφόρηση είναι η μέση ταχύτητα των οχημάτων που βρίσκονται σε αυτό το κομμάτι. Σε κάθε beacon μήνυμα που ανταλλάσσουν οι κόμβοι μεταξύ τους υπάρχει η πληροφορία για την θέση και την ταχύτητα που έχει ο συγκεκριμένος κόμβος. Κάθε αυτοκίνητο λαμβάνει τα μηνύματα από τα αυτοκίνητα που βρίσκονται εντός του ορίου που επιτρέπει την αποστολή των beacon μηνυμάτων.

Το πρώτο στάδιο είναι η επεξεργασία αυτών των μηνυμάτων. Ο κάθε κόμβος έχει μια λίστα με τα αυτοκίνητα από τα οποία έχει λάβει μήνυμα και την αντίστοιχη ταχύτητα τους. Εκτός από την πληροφορία για την ταχύτητα των αυτοκινήτων έχουμε και την πληροφορία για την ακριβή τοποθεσία του αυτοκινήτου πάνω στο segment. Με αυτή την πληροφορία και την λίστα που έχουμε δημιουργήσει με τα αυτοκίνητα και τις ταχύτητες μπορούμε να υπολογίσουμε μια μέση ταχύτητα των αυτοκινήτων που κινούνται σε ένα συγκεκριμένο segment.

Το κριτήριο για να ακολουθήσουμε έναν δρόμο ή όχι είναι ο χρόνος που χρειαζόμαστε προκειμένου να διασχίσουμε με το αυτοκίνητο το συγκεκριμένο segment. Για να προσδιοριστεί ο χρόνος αυτός σύμφωνα με τον δεύτερο νόμο του Νεύτωνα χρειαζόμαστε την ταχύτητα που θα έχει το αυτοκίνητο σε αυτό το δρόμο και την απόσταση που καλείται να διανύσει. Πρέπει να κάνουμε κάποιες συμβάσεις για την ταχύτητα του αυτοκινήτου στα επόμενα segments. Διακρίνουμε τρεις διαφορετικές περιπτώσεις για την ταχύτητα των οχημάτων στα επόμενα segments.

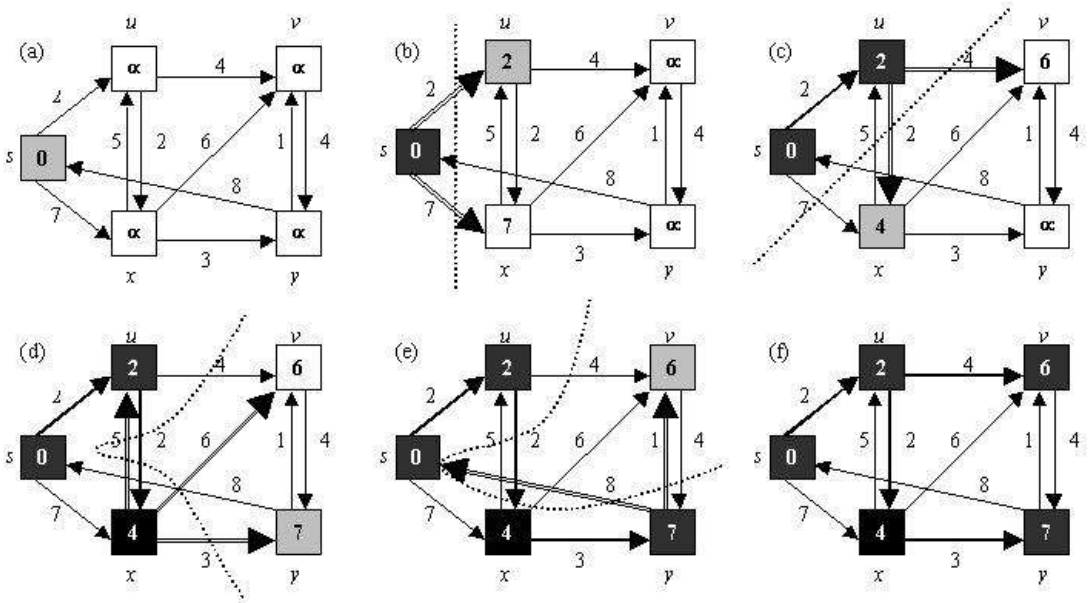
- Πρώτη περίπτωση είναι το segment στο οποίο πρόκειται να εισέλθει το αυτοκίνητο να μην έχει καθόλου αυτοκίνητα. Σε αυτή την περίπτωση θεωρούμε πως μέση ταχύτητα των αυτοκινήτων στο συγκεκριμένο segment είναι το όριο ταχύτητας του συγκεκριμένου δρόμου. Επομένως το estimation time για το συγκεκριμένο segment είναι EdgeLength /EdgeMaxSpeed.
- Δεύτερη περίπτωση είναι στο segment στο οποίο πρόκειται να εισέλθει το αυτοκίνητο να υπάρχει έστω και ένα αυτοκίνητο το οποίο έχει μηδενική ταχύτητα. Σε αυτή την περίπτωση θεωρούμε ότι το estimation time είναι πολύ μεγάλο

προκειμένου να αποφευχθεί το συγκεκριμένο κομμάτι θεωρώντας ότι έχουμε δεδομένο traffic congestion στο συγκεκριμένο κομμάτι.

- Η τρίτη και τελευταία περίπτωση είναι υπάρχουν αυτοκίνητα τα οποία κινούνται στο συγκεκριμένο κομμάτι δρόμου με μη μηδενική ταχύτητα. Σε αυτή την περίπτωση το estimated time είναι EdgeLength / AverageSpeedOfAllVehiclesOnEdge όπου AverageSppedOfAllVehiclesOnEdge είναι η μέση ταχύτητα που υπολογίζουν τα αυτοκίνητα για τα επόμενα segments.

Έτσι δημιουργείται ένα γράφημα στο οποίο ακμές αποτελούν τα κομμάτια του δρόμου και κόμβοι οι διάφορες διασταυρώσεις των δρόμων. Σε αυτό το γράφημα τοποθετούνται ως βάρη τα estimation times της κάθε ακμής.

Πάνω σε αυτό το γράφημα εφαρμόζουμε αλγόριθμο εύρεσης συντομότερης διαδρομής (Dijkstra algorithm) για να βρούμε ποια διαδρομή έχει το μικρότερο estimation time προκειμένου να την επιλέξει το όχημα.



Ουσιαστικά αυτό που έχουμε σε αυτό το στάδιο είναι ένα βεβαρημένο γράφημα. Τα αυτοκίνητα κάνουν τους υπολογισμούς τους την ώρα που βρίσκονται (είτε επάνω είτε πλησιάζουν) σε κάποιο junction το οποίο για τις ανάγκες του γραφήματος θεωρείται node. Καλούνται λοιπόν να απαντήσουν αν η διαδρομή η οποία έχει προεπιλεχτεί με βάση το κριτήριο της συντομότερης από άποψη απόστασης είναι η βέλτιστη ή θα μπορούσε κάποια άλλη διαδρομή να επιφέρει μικρότερο travel time. Εδώ παρουσιάζεται το πρόβλημα εύρεσης συντομότερου μονοπατιού μοναδικής πηγής. Θεωρείται ως πηγή το σημείο στο οποίο βρίσκεται το αυτοκίνητο την συγκεκριμένη χρονική στιγμή και καλείται να κάνει υπολογισμούς προς όλες τις υπόλοιπες κορυφές του γραφήματος. Για αυτό το πρόβλημα επιλέχθηκε ο αλγόριθμος Dijkstra για τους εξής λόγους.

- Επιλύει το πρόβλημα των συντομότερων μονοπατιών μοναδικής πηγής για βεβαρημένα γραφήματα θετικού κόστους.
- Επιλύει το πρόβλημα με τοπικές αλλαγές βάσει απληστίας οι οποίες δύνανται να οδηγήσουν σε ολικά βέλτιστες λύσεις.

Με βάση το βεβαρημένο αυτό γράφημα το αυτοκίνητο επιλέγει την διαδρομή η οποία θα έχει το μικρότερο συνολικό estimation time. Ως αποτέλεσμα το αυτοκίνητο θα φτάσει στον τελικό προορισμό του πιο γρήγορα αποφεύγοντας τα σημεία τα οποία λόγω κυκλοφοριακής συμφόρησης θα αργεί να τα διασχίσει.

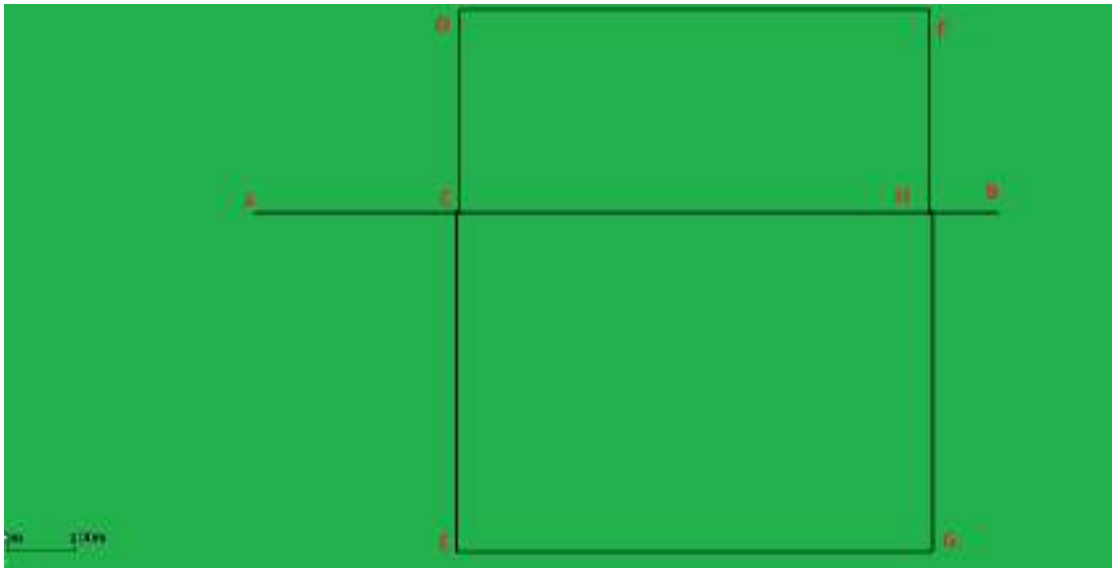
3.2 Διαδικασία υλοποίησης

3.2.1 Απλός χάρτης με τρεις δρόμους

3.2.1.1 Ορισμός απλού χάρτη

Η αρχική ιδέα ήταν να χρησιμοποιήσουμε τα VANETs προκειμένου να αποφύγουν τα αυτοκίνητα την κυκλοφοριακή συμφόρηση και να μπορέσουν να φτάσουν πιο γρήγορα στον προορισμό τους. Χρησιμοποιώντας το εργαλείο veins κατασκευάσαμε έναν απλό χάρτη sumo. Ο χάρτης αυτός αποτελούνταν από έναν δρόμο ο οποίος ο οποίος κατέληγε σε μια διασταύρωση. Σε αυτή την διασταύρωση το αυτοκίνητο είχε στην συνέχεια να επιλέξει ανάμεσα σε τρεις δρόμους οι οποίοι κατέληγαν στην συνέχεια στον ίδιο δρόμο. Ο δρόμος αυτός ήταν και ο τελικός προορισμός των αυτοκινήτων.

Κάθε αυτοκίνητο ξεκινούσε από την αρχή του χάρτη στο σημείο A και είχε σαν προορισμό του το σημείο B. Φτάνοντας στην διασταύρωση κάθε αυτοκίνητο είχε να επιλέξει να πάει ευθεία και να ακολουθήσει την συντομότερη από άποψη απόστασης διαδρομή. Οι δυο εναλλακτικές διαδρομές τις οποίες μπορούσε να ακολουθήσει είχαν διαφορά στην απόσταση. Οι διαδρομές με σειρά απόστασης από την μικρότερη στην μεγαλύτερη είναι οι A,C,H,B A,C,D,F,H,B και A,C,E,G,H,B.



3.2.1.2 Επιλογή συντομότερης διαδρομής.

Αρχικά στο νέο χάρτη επιλέξαμε να βάλουμε κάποια αυτοκίνητα τα οποία θα επιλέγουν την συντομότερη διαδρομή βάση χιλιομετρικής απόστασης. Σε αυτή την περίπτωση όλα τα αυτοκίνητα επιλέγουν την ίδια διαδρομή που περνάει από τον μεσαίο δρόμο. Τα αυτοκίνητα θεωρούμε ότι δεν ξεκινάνε μαζί από το αρχικό σημείο Α αλλά με διαφορά μιας χρονικής στιγμής σε επίπεδο προσομοίωσης. Σε αυτή την περίπτωση τα αυτοκίνητα εφόσον κινούνται με την ίδια ταχύτητα και ακολουθούν την ίδια διαδρομή χρειάζονται τον ίδιο ακριβώς χρόνο για να φτάσουν στον τελικό προορισμό τους

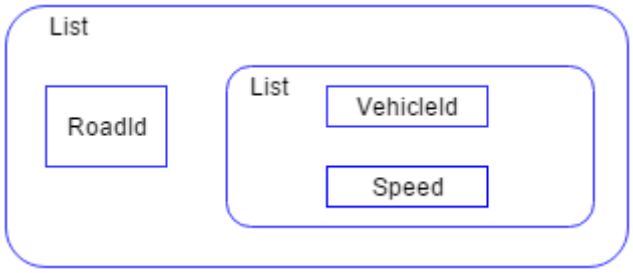
Όπως αναφέρεται στο πρώτο κεφάλαιο κυκλοφοριακή συμφόρηση μπορούμε να έχουμε για διάφορους λόγους. Ένας από αυτούς τους λόγους μπορεί να είναι ότι κάποιο προπορευόμενο αυτοκίνητο είτε λόγω μηχανικής βλάβης είτε λόγω αυξημένου βάρους να μην κινείται με την ενδεδειγμένη ταχύτητα και να οδηγεί και στα υπόλοιπα αυτοκίνητα να μην κινούνται με την ταχύτητα που επιθυμούν. Μια τέτοια κατάσταση μπορεί να οδηγήσει σε κατάσταση κυκλοφοριακής συμφόρησης για το συγκεκριμένο σημείο της διαδρομής.

Το επόμενο βήμα ήταν να βάλουμε το πρώτο αυτοκίνητο που ξεκινάει να ακολουθεί την συντομότερη διαδρομή να κινείται με μέγιστη ταχύτητα την μισή από ότι κινούνταν στο προηγούμενο σενάριο. Ως αποτέλεσμα επειδή όλα τα αυτοκίνητα ακολουθούσαν την ίδια διαδρομή η οποία ήταν η συντομότερη αλλά το προπορευόμενο όλων των υπόλοιπων αυτοκινήτων κινούνταν με την μισή ταχύτητα αναγκαστικά και τα υπόλοιπα είχαν την ίδια ταχύτητα. Το αποτέλεσμα ήταν ότι όλα τα αυτοκίνητα έφτασαν στον προορισμό τους σε περίπου διπλάσιο χρόνο από ότι στο προηγούμενο σενάριο. Βάση των νόμων κίνησης του Νεύτωνα η ο χρόνος είναι αντιστρόφως ανάλογος της ταχύτητας u=x/t με αποτέλεσμα όταν η ταχύτητα υποδιπλασιάζεται, διπλασιάζεται ο χρόνος t.

3.2.1.3 Επιλογή διαδρομής βάση ταχύτητας

Για να λυθεί το πρόβλημα λοιπόν της κυκλοφοριακής συμφόρησης λόγω χαμηλής ταχύτητας κάποιου προπορευόμενου αυτοκινήτου θα έπρεπε με κάποιο τρόπο τα αυτοκίνητα που ακολουθούν να αλλάξουν την αρχική διαδρομή που έχουν επιλέξει και να επιλέξουν κάποια εναλλακτική με διαφορετικά κριτήρια.

Σε αυτό το σημείο έγινε χρήση των beacon μηνυμάτων. Για να γίνει επιλογή με κάποια διαφορετικά κριτήρια πέρα της απόστασης της διαδρομής θα έπρεπε κάθε αυτοκίνητο να έχει την κατάλληλη πληροφορία προκειμένου να επιλέξει. Στα VANETs οι κόμβοι ανταλλάσσουν ανά τακτά χρονικά διαστήματα μηνύματα τα οποία περιέχουν πληροφορία η οποία έχει να κάνει με την θέση και την ταχύτητα των κόμβων-αυτοκινήτων. Κάθε segment δρόμου έχει κάποιο μοναδικό αναγνωριστικό όπως και το κάθε αυτοκίνητο. Σε κάθε μήνυμα υπάρχει το αναγνωριστικό του καθώς και το μέτρο της ταχύτητας του. Μια ακόμα πληροφορία όπως προαναφέραμε που μπορούμε να πάρουμε είναι το αναγνωριστικό του segment στο οποίο κινείται το αυτοκίνητο το οποίο έστειλε το μήνυμα. Σαν αποτέλεσμα που μπορεί να προκύψει είναι μια λίστα με όλα τα αναγνωριστικά των προπορευόμενων κομματιών δρόμου από τα οποία έχει λάβει μήνυμα καθώς και μια λίστα με τα αναγνωριστικά των αυτοκινήτων και την αντίστοιχη ταχύτητα τους.



Η λίστα αυτή είναι η βασική δομή πληροφορίας στην οποία στηρίζεται η επιλογή διαδρομής για κάθε αυτοκίνητο. Όταν το αυτοκίνητο πλησιάζει σε κάποια διασταύρωση τότε τρέχει αυτή την λίστα και υπολογίζει την μέση ταχύτητα για κάθε κομμάτι δρόμου. Αυτή η μέση ταχύτητα αποτελεί το κριτήριο προκειμένου να επιλέξει ποια θα είναι η τελική διαδρομή που θα ακολουθήσει. Κάθε φορά επιλέγεται ο δρόμος με την μεγαλύτερη ταχύτητα. Σαν πρώτη παραδοχή είχαμε το ότι σε περίπτωση που σε κάποιο δρόμο που δεν κινούνται αυτοκίνητα τότε εκείνος είναι που θα πρέπει να επιλεγεί λόγω έλλειψης κυκλοφοριακής συμφόρησης βάσει ορισμού.

Κάνοντας δοκιμές με αυτό τον αλγόριθμο παρατηρήθηκε ότι τα αυτοκίνητα τα οποία άλλαζαν διαδρομή και δεν ακολουθούσαν την συντομότερη διαδρομή φτάνανε νωρίτερα μόνο όταν ακολουθούσαν την πάνω διαδρομή επειδή ήταν μικρότερη σε απόσταση από την κάτω. Και μόνο όταν στην κεντρική διαδρομή η οποία είναι και η συντομότερη είχαν μέση ταχύτητα μικρότερη της μισής.

Το κριτήριο επιλογής της διαδρομής είναι η μέση ταχύτητα που έχουν τα αυτοκίνητα τα οποία κινούνται σε αυτό. Όμως δεν λαμβάνεται υπόψιν η συνολική απόσταση της διαδρομής. Και πάλι κοιτάζοντας τον νόμο κίνησης του Νεύτωνα παρατηρούμε ότι αν κάθε αυτοκίνητο επιλέγει να κινηθεί με την μεγαλύτερη ταχύτητα δεν σημαίνει ότι θα φτάσει πιο γρήγορα στον προορισμό του. Ο χρόνος εξαρτάται και από την απόσταση την οποία καλείται να καλύψει το αυτοκίνητο.

Παρατηρούμε ότι: $u_i = x/t_i$

Παρατηρούμε ότι σε κάθε αυτοκίνητο ο χρόνος εκτέλεσης μια διαδρομής είναι αντιστρόφως ανάλογος της ταχύτητας. Επομένως αν διπλασιάζεται η ταχύτητα τότε υποδιπλασιάζεται ο χρόνος και το αυτοκίνητο φτάνει πιο σύντομα στον προορισμό του. Όμως όπως φαίνεται και στην εξίσωση προϋποθέτει τα αυτοκίνητα να κινούνται στην ίδια διαδρομή προκειμένου να διανύουν την ίδια απόσταση και το x να παραμένει σταθερό. Κάτι το οποίο δεν συμβαίνει όταν αλλάζουμε διαδρομές με κριτήριο μόνο την ταχύτητα.

3.2.1.4 Επιλογή διαδρομής με κριτήριο το estimation time

Η αποφυγή κυκλοφοριακής συμφόρησης οφείλει να αποσκοπεί στο να φτάσουν τα αυτοκίνητα στον μικρότερο δυνατό χρόνο στον προορισμό τους. Στόχος δηλαδή του αλγορίθμου μας θα πρέπει να είναι η ελαχιστοποίηση του χρόνου t. Σε συνέχεια της προηγούμενης λύσης θα πρέπει εκτός από την ταχύτητα να χρησιμοποιήσουμε και την απόσταση των διαφόρων τμημάτων του δρόμου.

Έχοντας την πληροφορία της χιλιομετρικής απόστασης μπορούμε να υπολογίσουμε σε κάθε κομμάτι δρόμου τον εκτιμώμενο χρόνο διαιρώντας την απόσταση με την ταχύτητα. Σε κάθε κομμάτι διαδρομής και κυρίως σε διαδρομές στις οποίες παρατηρείται αυξημένη κυκλοφοριακή συμφόρηση το πιο πιθανό είναι τα αυτοκίνητα να κινούνται με διαφορετικές ταχύτητες. Στην περίπτωση που εμείς μελετάμε μας ενδιαφέρει η μέση ταχύτητα κίνησης σε αυτό το σημείο. Η μέση αυτή ταχύτητα υπολογίστηκε κατά το προηγούμενο βήμα. Διαιρώντας για κάθε segment την απόσταση από διασταύρωση σε διασταύρωση μπορούμε να πάρουμε ένα μέσο χρονικό διάστημα το οποίο θα μπορούσε να χρειαστεί προκειμένου το αυτοκίνητο να διανύσει αυτό το segment.

Σε αυτό το σημείο διακρίνουμε δυο διαφορετικές περιπτώσεις στις οποίες θα πρέπει να γίνει κάποια σύμβαση προκειμένου ο αλγόριθμος μας να είναι αποδοτικός και να μπορεί να πάρει κάποια απόφαση σε όλες τις περιπτώσεις. Οι δυο περιπτώσεις είναι οι εξής:

- Κάποιο segment δεν έχει καθόλου αυτοκίνητα και επομένως δεν μπορούμε να υπολογίσουμε την μέση ταχύτητα κίνησης σε αυτό. Σε αυτή την περίπτωση θεωρούμε ως μέση ταχύτητα κίνησης την μέγιστη ταχύτητα με την οποία μπορούν να κινούνται τα αυτοκίνητα. Το estimation time σε αυτή την περίπτωση δίνεται από EdgeLenght / EdgesMaxSpeed.
- Η άλλη περίπτωση είναι κάποιο αυτοκίνητο να κινείται με μηδενική ταχύτητα. Σε αυτή την περίπτωση λόγω κυκλοφοριακής συμφόρησης ο αριθμός αυτοκινήτων είναι αυξημένος και η μηδενική ταχύτητα κάποιου αυτοκινήτου μπορεί να μην επηρεάζει αρκετά την μέση ταχύτητα κίνησης στο συγκεκριμένο κομμάτι διαδρομής. Σε αυτή την περίπτωση κάνουμε την υπόθεση ότι το αυτοκίνητο το οποίο έχει μηδενική ταχύτητα μπορεί να υπάρχει κάποια βλάβη. Σε αυτή την περίπτωση αναθέτουμε στο estimation time μια μεγάλη τιμή προκειμένου να αποφευχθεί στο συγκεκριμένο σημείο. Άρα estimation time = infiniteConstant.

3.2.2 Χάρτης Βόλου

Επόμενο βήμα στην μελέτη μας ήταν να δούμε αν μπορούμε να εφαρμόσουμε τον συγκεκριμένο αλγόριθμο σε έναν μεγαλύτερο χάρτη με πιο ρεαλιστικές συνθήκες. Κατεβάσαμε τον χάρτη του Βόλου για το εργαλείο sumo μέσω του OpenStreetMap.

Ορίσαμε 5 διαφορετικά σημεία έναρξης για τα αυτοκίνητα όπως φαίνονται στο παρακάτω σχήμα. Ενώ ορίσαμε ένα κοινό προορισμό για όλα τα αυτοκίνητα. Και σε αυτή την περίπτωση τα αυτοκίνητα ξεκινάνε από τα πέντε σημεία έναρξης με διαφορά μιας χρονικής στιγμής σε επίπεδο προσομοίωσης. Προσομοιώσαμε την κίνηση των αυτοκινήτων ακολουθώντας μια συγκεκριμένη διαδρομή ανάλογα με το εναρκτήριο σημείο. Λόγω εισόδου πολλών αυτοκινήτων σε κοινούς δρόμους μέχρι να φτάσουν στον τελικό προορισμό τους και λόγω τον συχνών στάσεων στις διασταυρώσεις δημιουργείται σε πολλά σημεία αυτής της μερικά κοινής διαδρομής κυκλοφοριακή συμφόρηση.

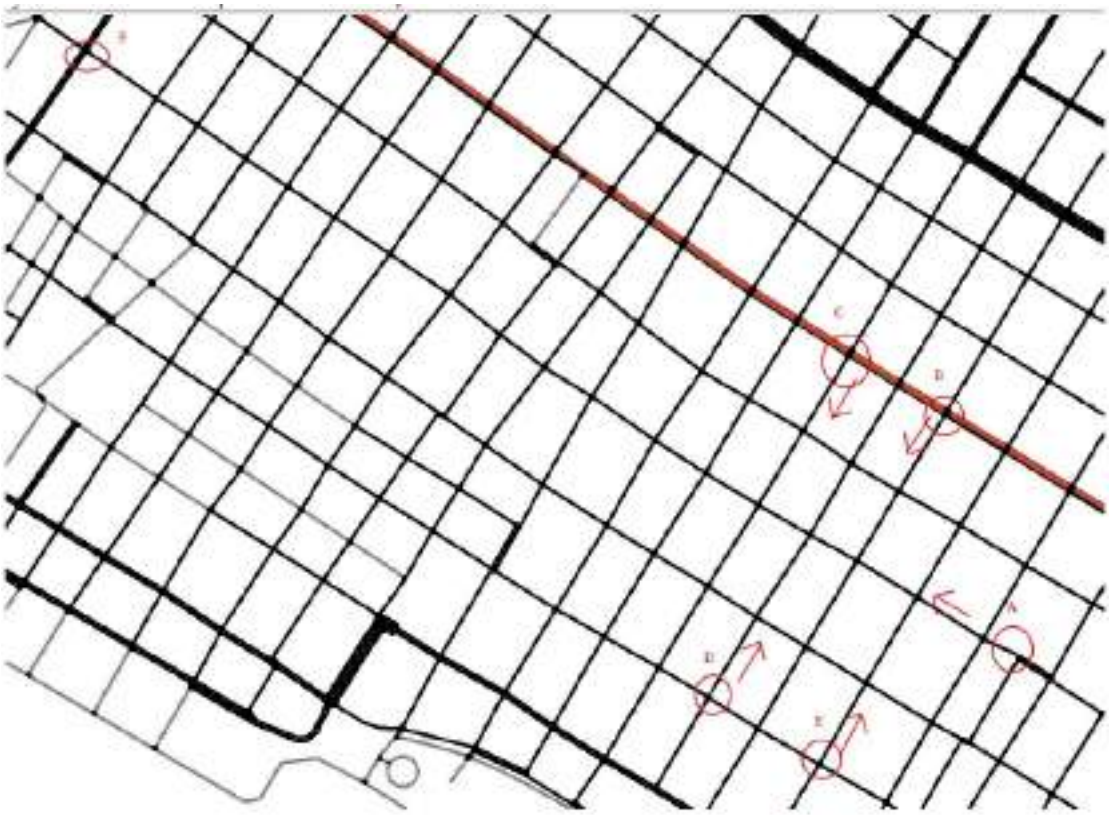
Σε αυτό το σημείο μπορούμε να ξέρουμε τα εκτιμώμενους χρόνους για κάθε κομμάτι δρόμου στις διαδρομές των αυτοκινήτων. Ως αποτέλεσμα δημιουργείται ένα βεβαρημένο γράφημα όπου κάθε διασταύρωση αποτελεί μια ακμή και κάθε ένωση μεταξύ των διασταυρώσεων αποτελεί ακμή. Το βάρος των ακμών μπορεί να θεωρηθεί ο εκτιμώμενος χρόνος σε κάθε segment.

Σε αυτό το γράφημα εφαρμόζουμε τον πιο γνωστό αλγόριθμο εύρεσης της συντομότερης διαδρομής με κοινή πηγή. Κάθε αυτοκίνητο υπολογίζει με άπληστες επιλογές segments την διαδρομή με αφετηρία τον κόμβο-διασταύρωση στον οποίο βρίσκεται με βάση τον μικρότερο εκτιμώμενο χρόνο.

4 Πειράματα και αποτελέσματα

4.1 Παράμετροι των προσομοιώσεων

- Η προσομοίωση εφαρμόζεται στο κέντρο του Βόλου όπως φαίνεται στην παρακάτω εικόνα όπου τα αυτοκίνητα ξεκινούν από τις κορυφές A, B, C, D, E και καταλήγουν στην F. Δηλαδή, τα οχήματα έχουν διαφορετική αρχή, κοινό προορισμό και κοινές διαδρομές. Σε κάθε κορυφή ξεκινάει ένα όχημα ανά 5 δευτερόλεπτα.



- Ο χρόνος διάρκειας του Simulation έχει οριστεί στα 500 δευτερόλεπτα.

- Η συχνότητα εκπομπής beacon messages είναι ανά 2 δευτερόλεπτα

- Το txPower και το sensitivity της κεραίας έχει οριστεί στα 15mW και -84dBm αντίστοιχα το οποίο δημιουργεί transmission range περίπου ίσο με 250m(σε ιδανικές συνθήκες).

- Έχουν χρησιμοποιηθεί 2 μοντέλα για την μέτρηση της εκπομπής ρύπων στην ατμόσφαιρα. Το ένα είναι το EMIT model που χρησιμοποιείται από το Veins και με αυτό μετράμε την εκπομπή του διοξειδίου του άνθρακα(CO2 emission). Το δεύτερο είναι το μοντέλο HBEFA2.1 με το οποίο μετράμε την κατανάλωση καυσίμου από τα οχήματα(fuel consumption).

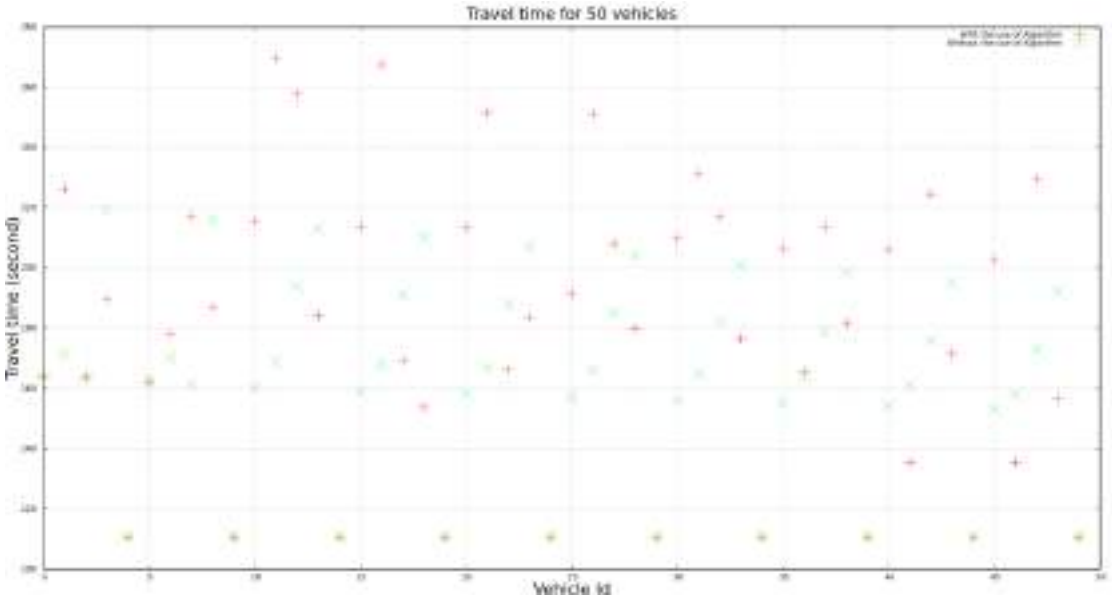
- Για κάθε όχημα υπολογίζουμε το συνολικό χρόνο που έκανε να φτάσει στον προορισμό του από τη στιγμή που ξεκινάει, την συνολική απόσταση που διένυσε, τη συνολική εκπομπή διοξειδίου του άνθρακα στην ατμόσφαιρα και τη συνολική κατανάλωση καυσίμων ως προς την μέση ταχύτητα των οχημάτων. Οι μετρήσεις έγινα για 50, 100, 150 και 200 αυτοκίνητα και ταχύτητες 30 km/h (8.33 m/s), 40 km/h (11.11 m/s), 50 km/h (13.88 m/s), 60 km/h (16.66 m/s) και 70 km/h (19.44 m/s).

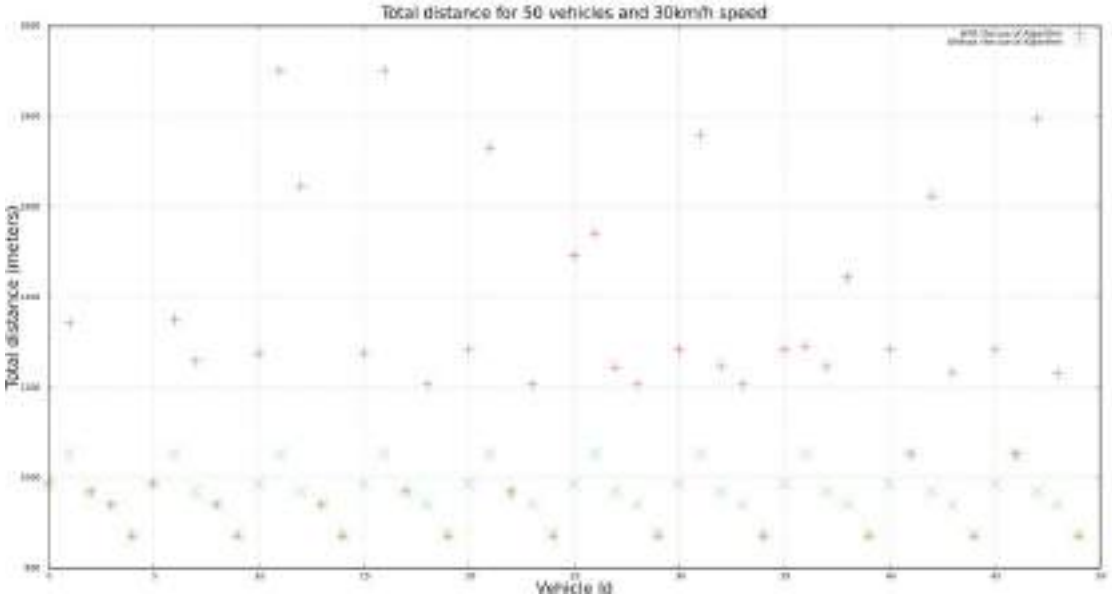
4.2 Αποτελέσματα των προσομοιώσεων

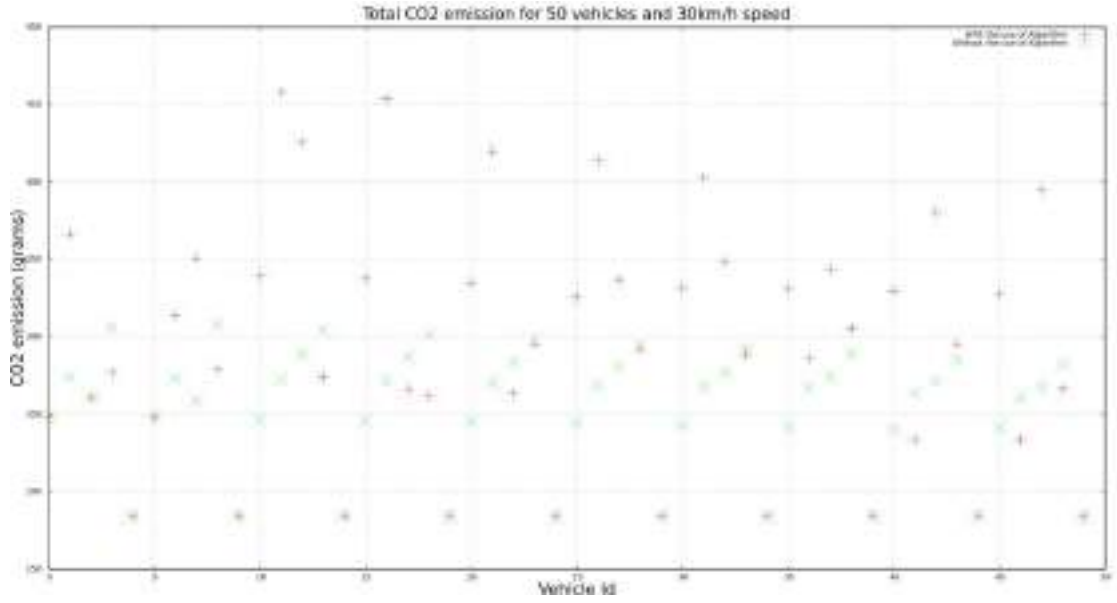
4.2.1 Αποτελέσματα για 50 οχήματα

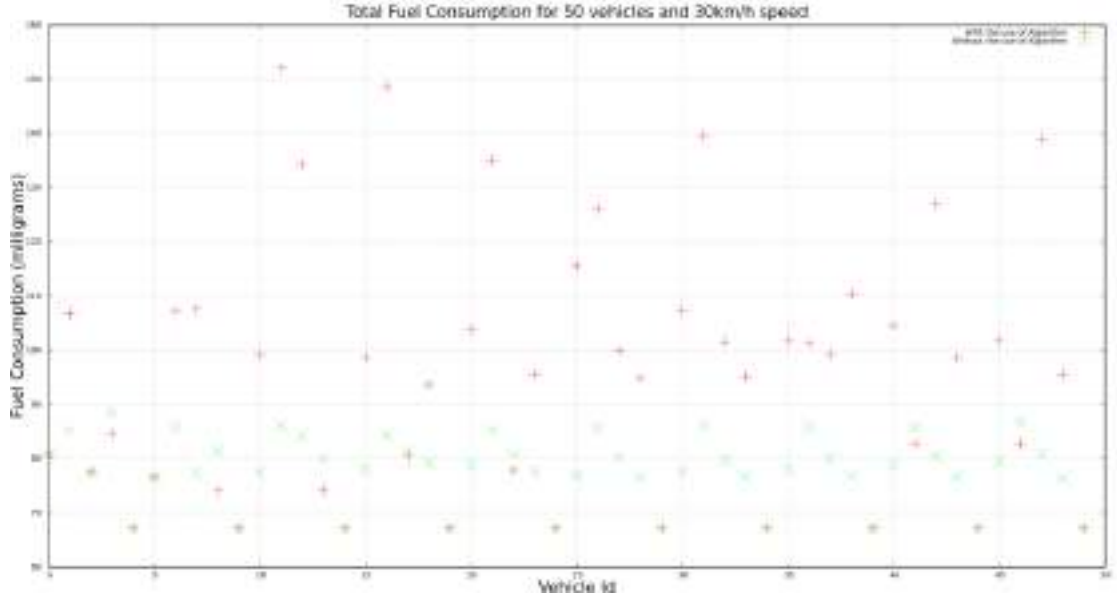
Τα παρακάτω γραφήματα παρουσιάζουν τα αποτελέσματα για κάθε αυτοκίνητο ξεχωριστά. Τα κόκκινα σημεία παρουσιάζουν τα αποτελέσματα με τη χρήση του αλγορίθμου ενώ τα πράσινα παρουσιάζουν τα αποτελέσματα χωρίς της χρήση του. Άρα έχουμε:

- Για 30km/h:

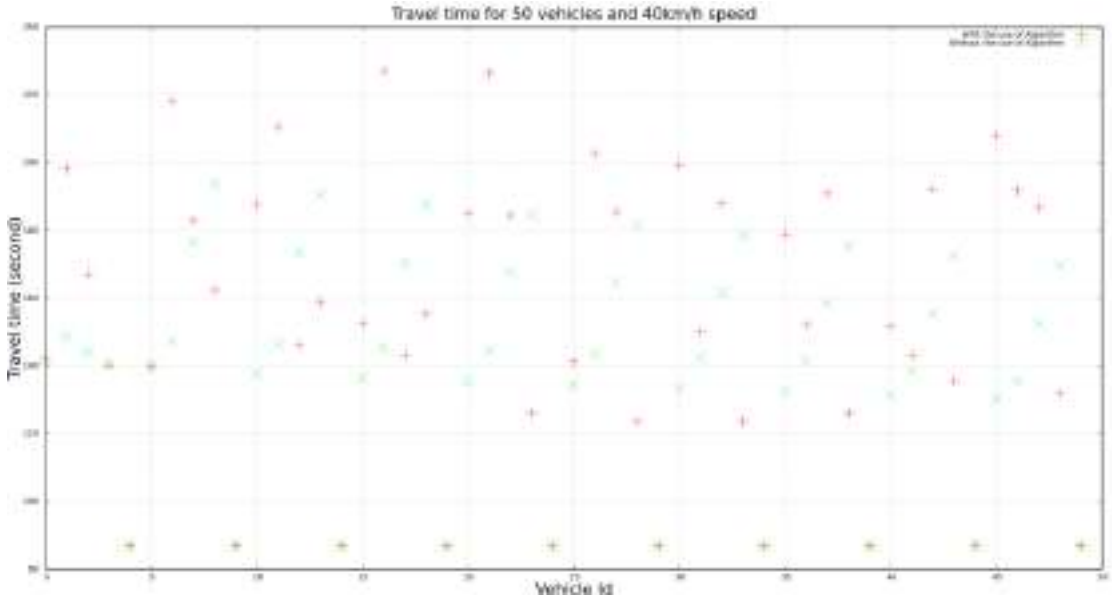


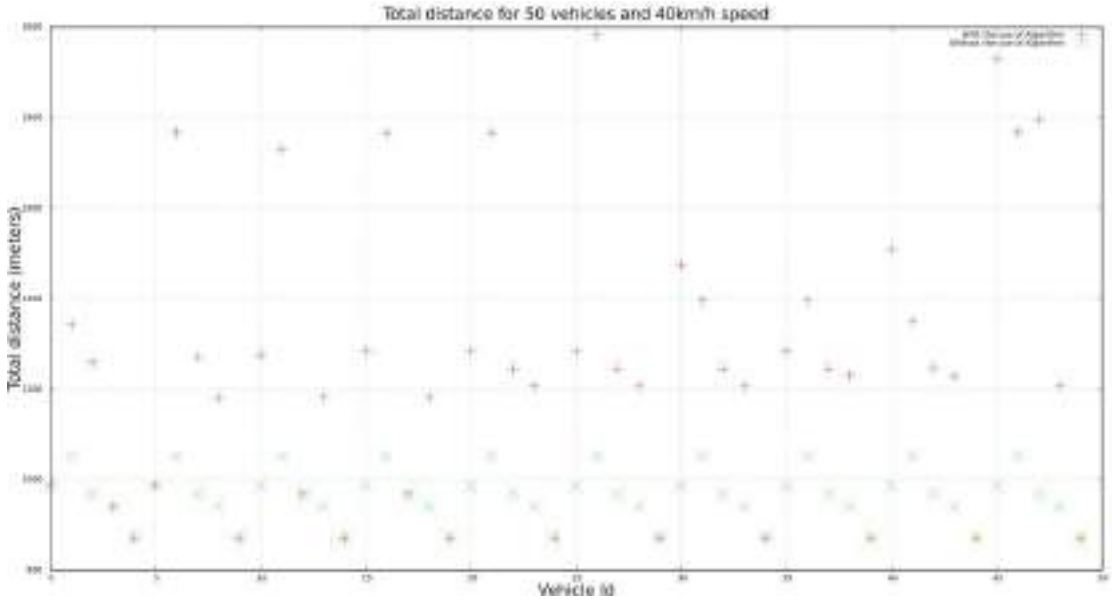


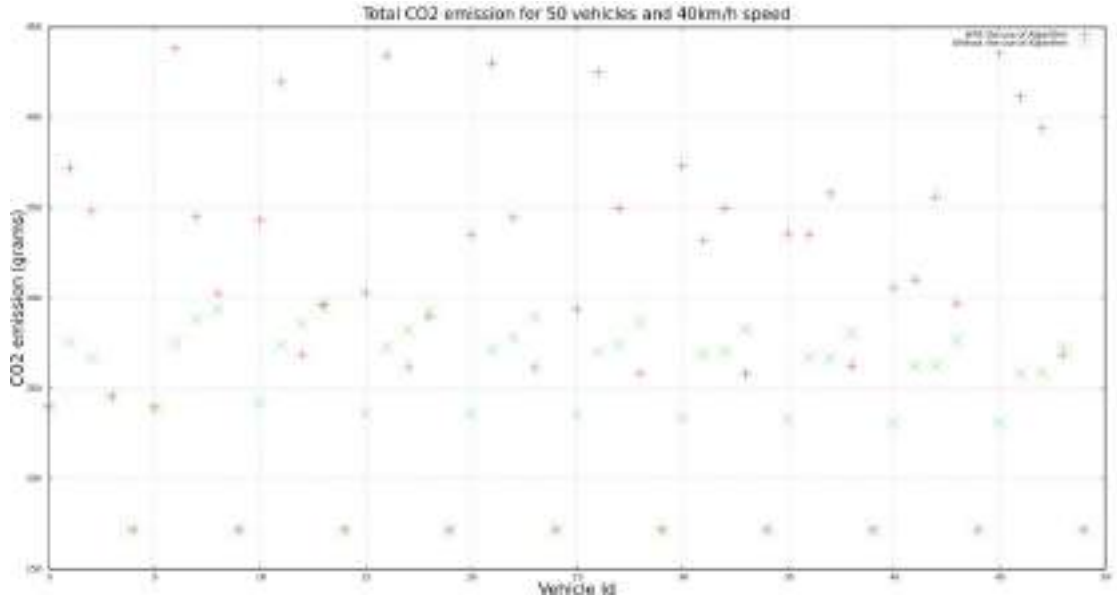

Total CO2 emission for 50 vehicles and 30km/h speed
CO2 emission (grams)
Vehicle Id

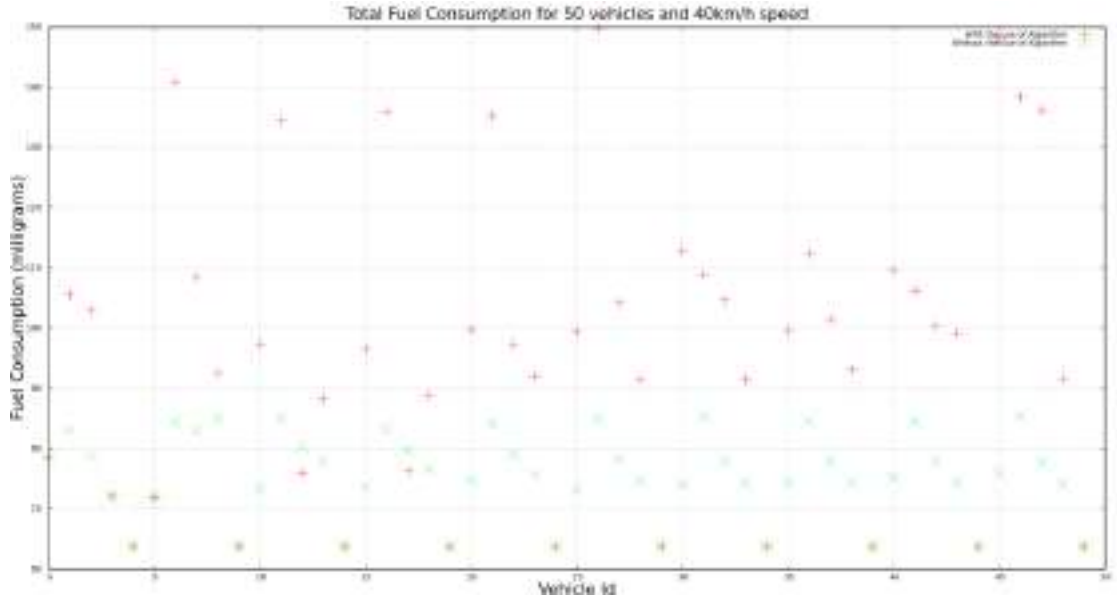

Total Fuel Consumption for 50 vehicles and 30km/h speed
Fuel Consumption (milligrams)
Vehicle Id

- Για 40 km/h:

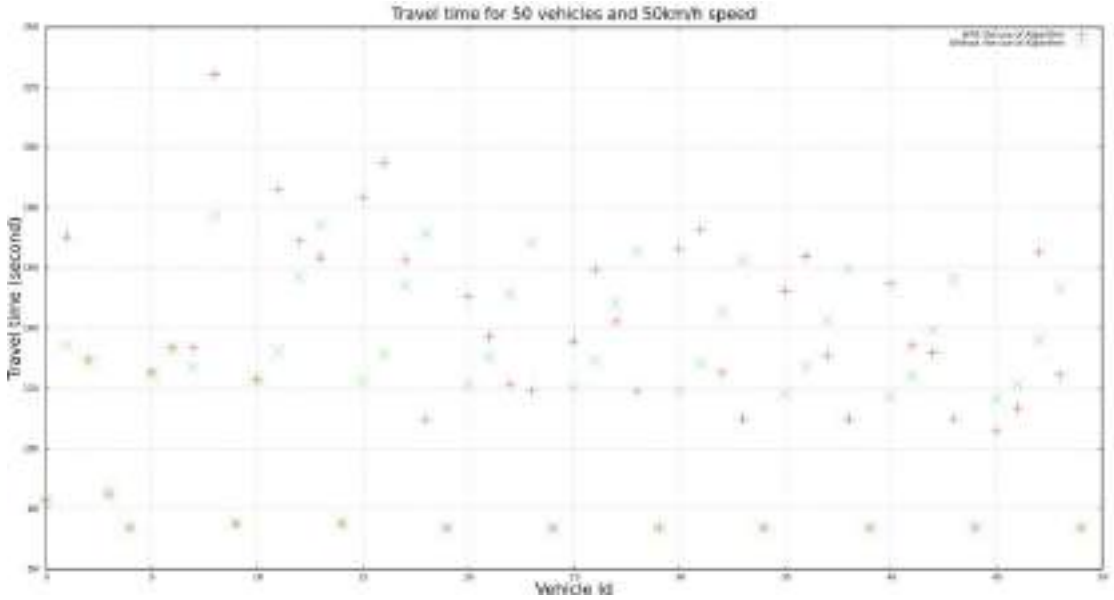

Travel time for 50 vehicles and 40km/h speed
Travel time (second)
Vehicle Id

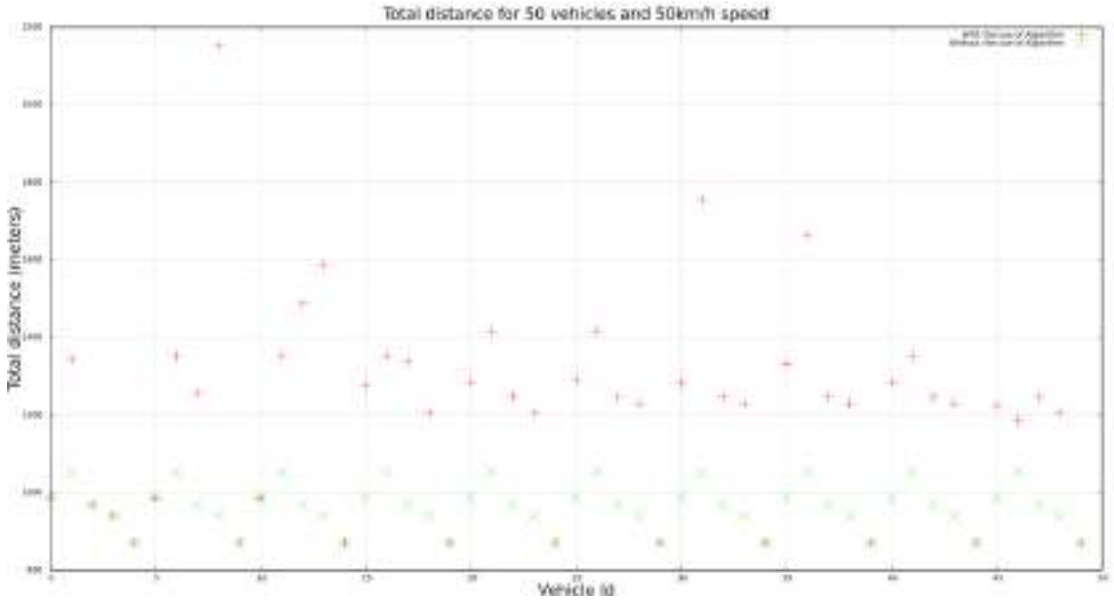

Total distance for 50 vehicles and 40km/h speed
Total distance (meters)
Vehicle Id

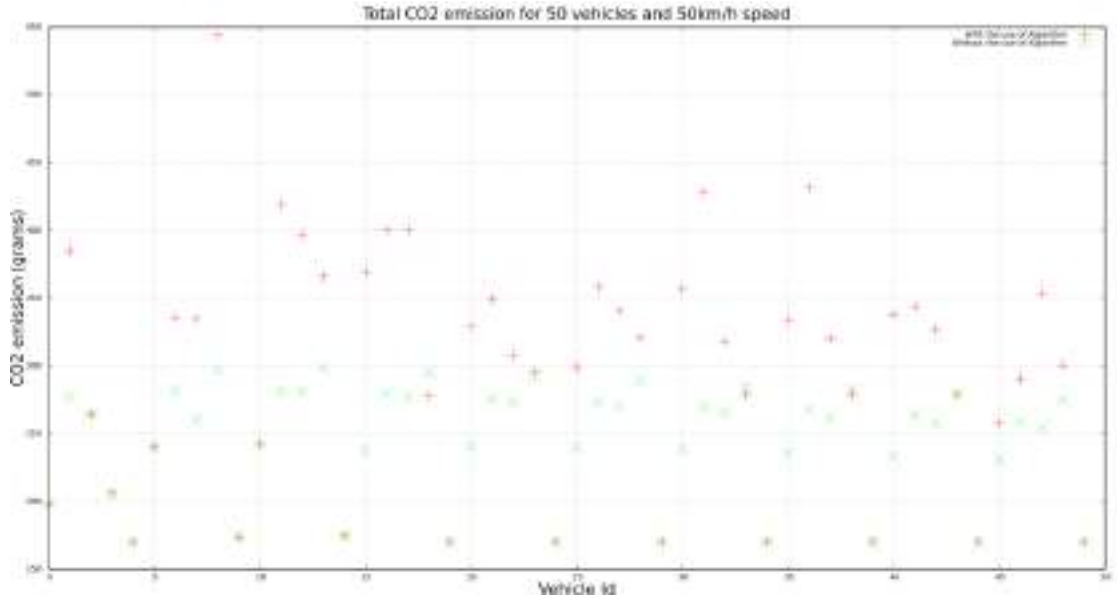

Total CO2 emission for 50 vehicles and 40km/h speed
CO2 emission (grams)
Vehicle Id

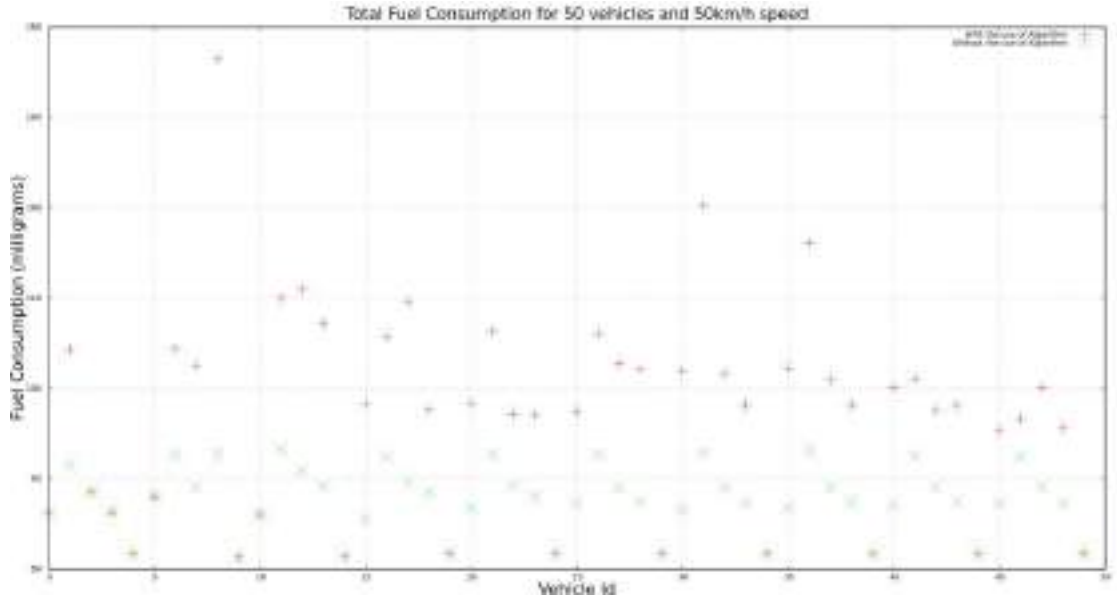

Total Fuel Consumption for 50 vehicles and 40km/h speed
Fuel Consumption (milligrams)
Vehicle Id

- Για 50km/h:

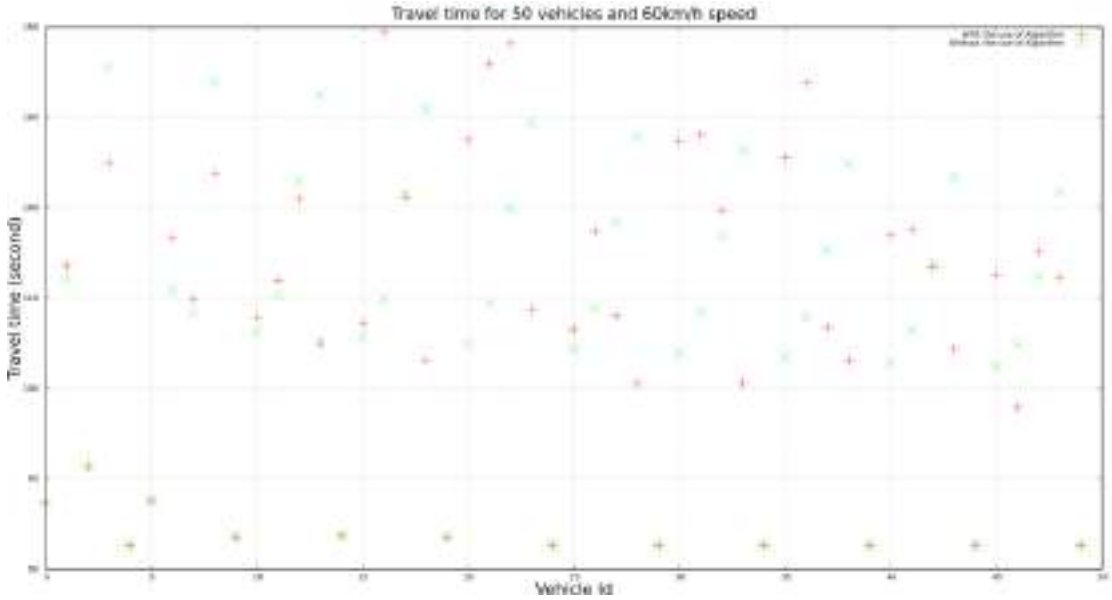

Travel time for 50 vehicles and 50km/h speed
Travel time (second)
Vehicle Id

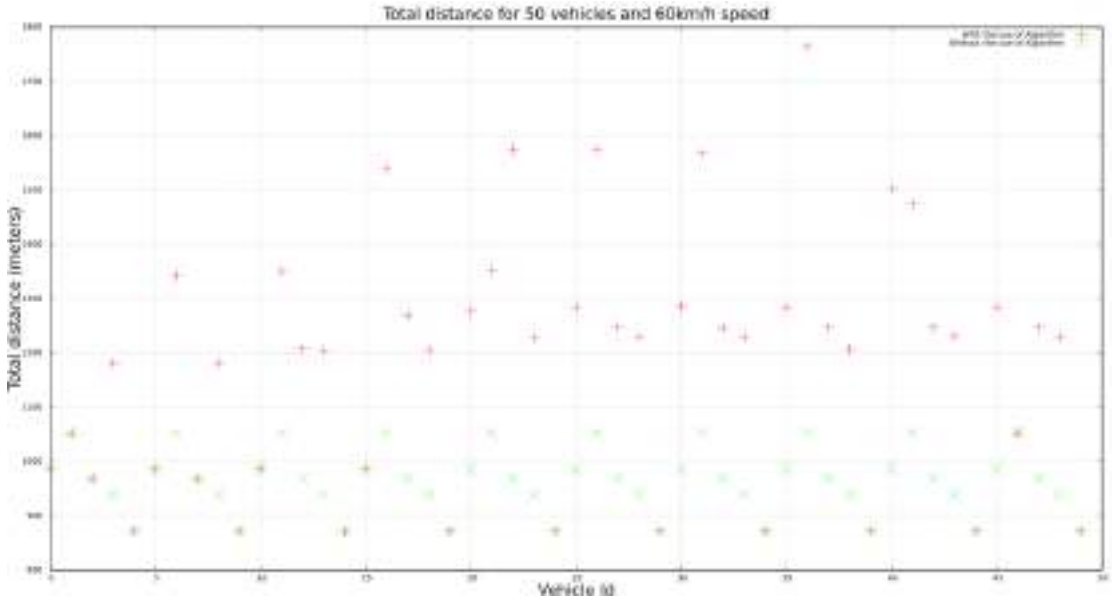

Total distance for 50 vehicles and 50km/h speed
Total distance (meters)
Vehicle Id

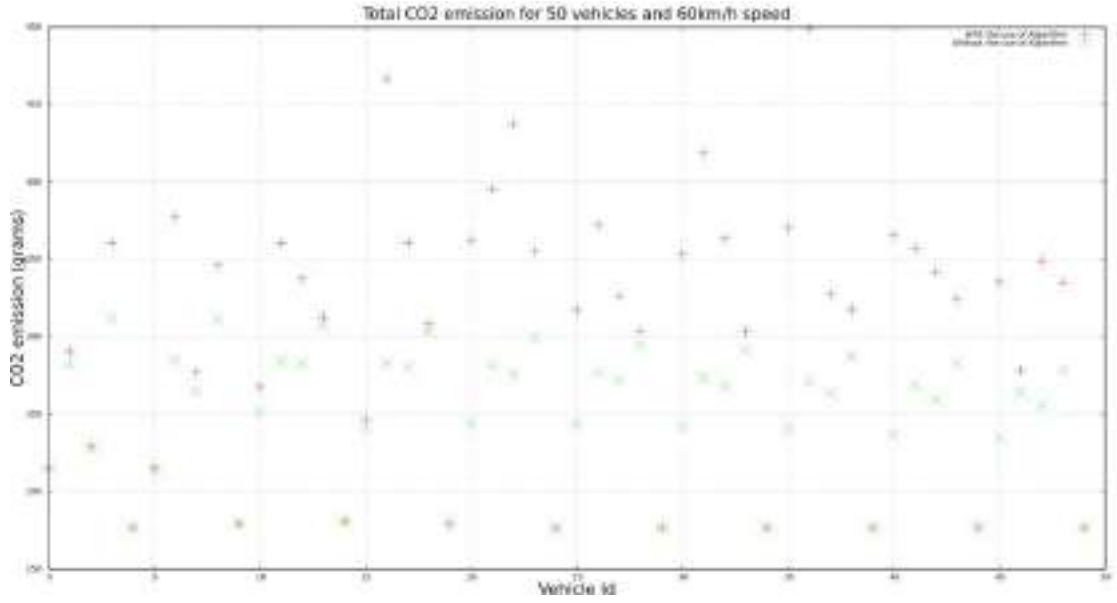

Total CO2 emission for 50 vehicles and 50km/h speed
CO2 emission (grams)
Vehicle Id

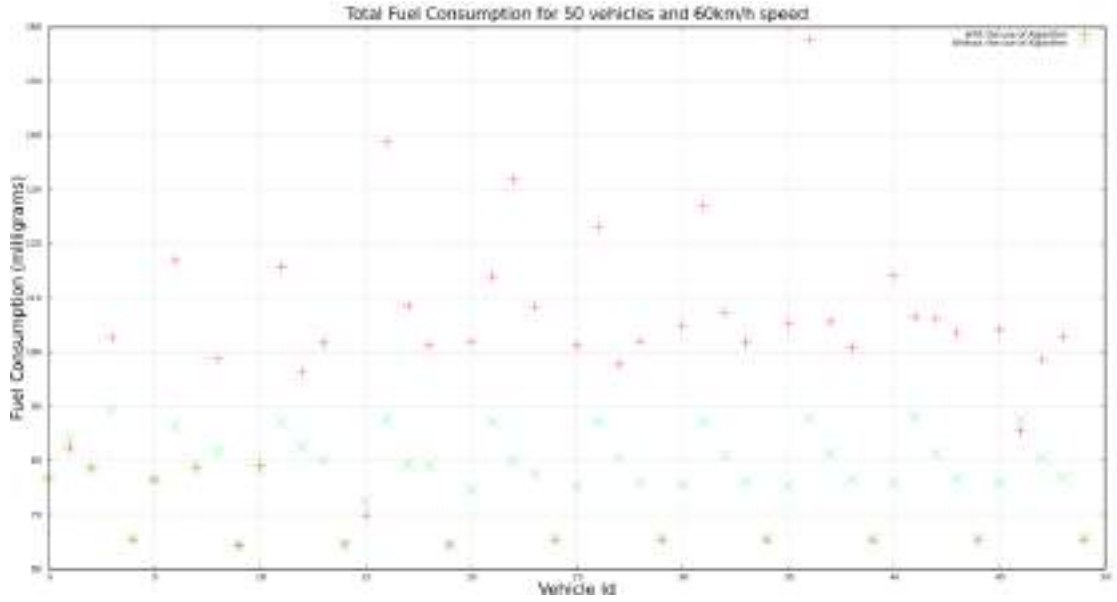

Total Fuel Consumption for 50 vehicles and 50km/h speed
Fuel Consumption (milligrams)
Vehicle Id

-Για 60km/h:

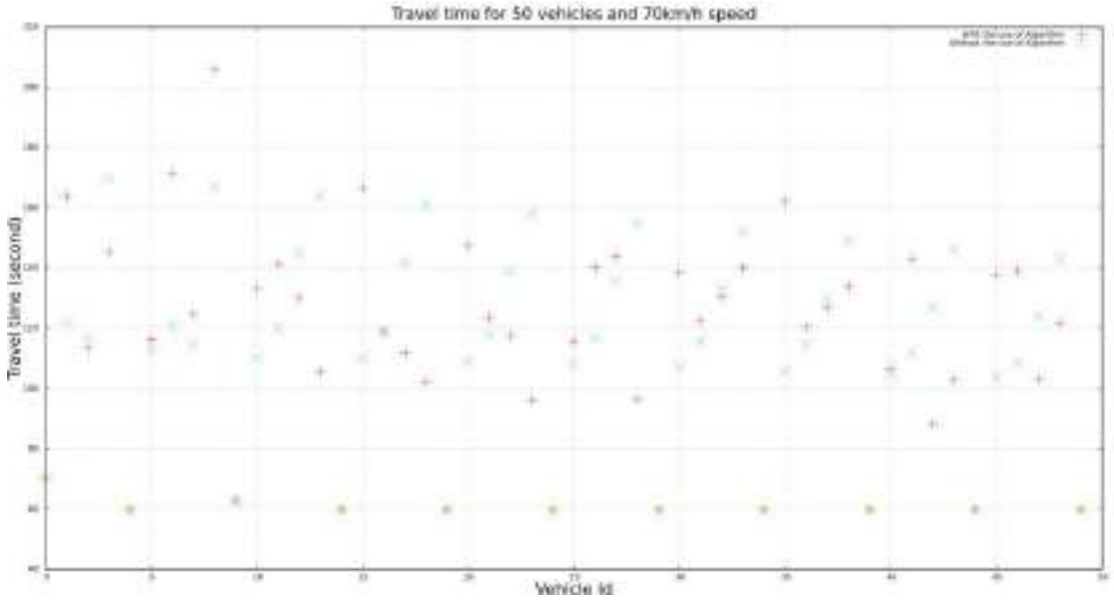

Travel time for 50 vehicles and 60km/h speed
Travel time (second)
Vehicle id

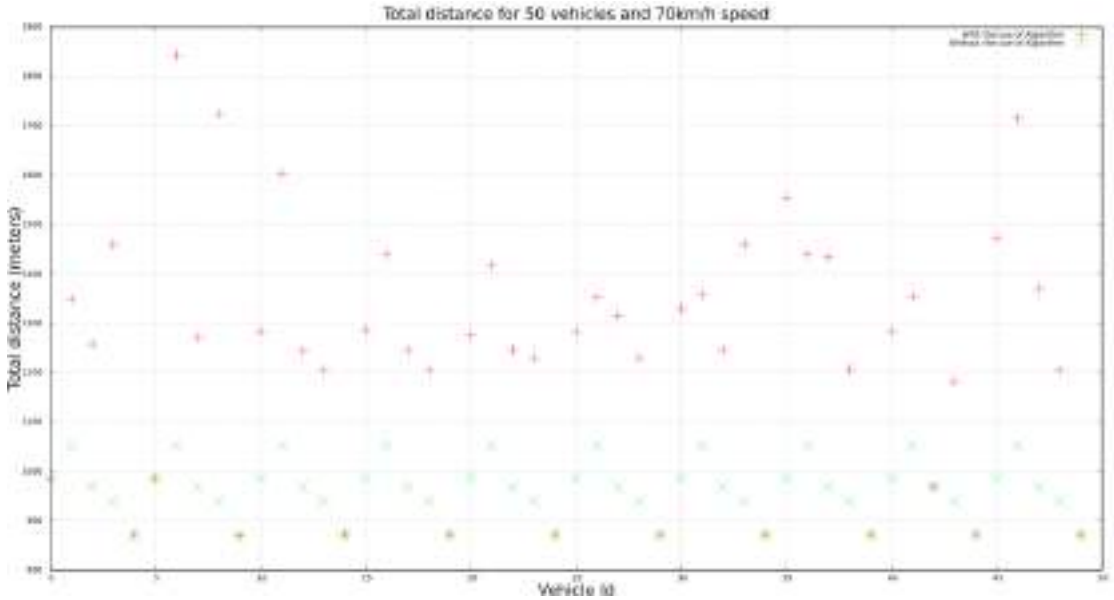

Total distance for 50 vehicles and 60km/h speed
Total distance (meters)
Vehicle id

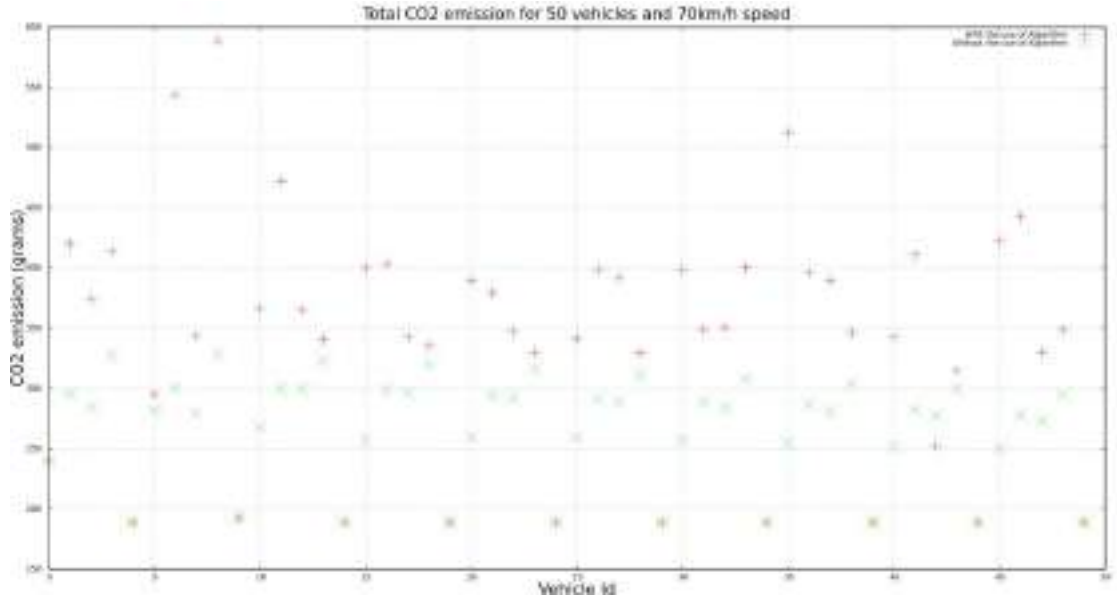

Total CO2 emission for 50 vehicles and 60km/h speed
CO2 emission (grams)
Vehicle Id

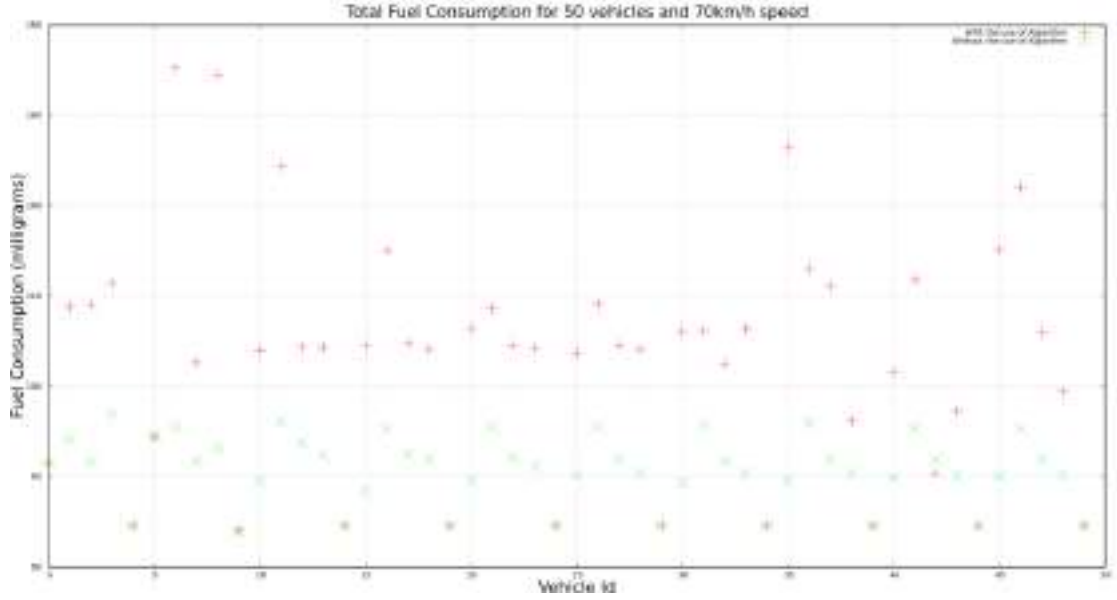

Total Fuel Consumption for 50 vehicles and 60km/h speed
Fuel Consumption (milligrams)
Vehicle Id

- Για 70km/h:

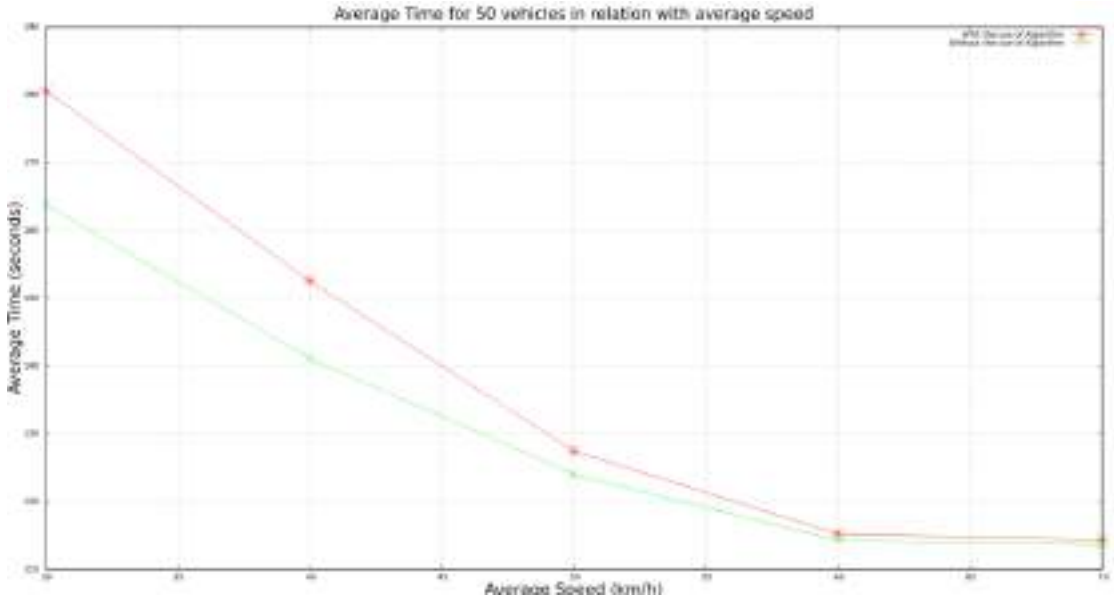

Travel time for 50 vehicles and 70km/h speed
Travel time (second)
Vehicle Id

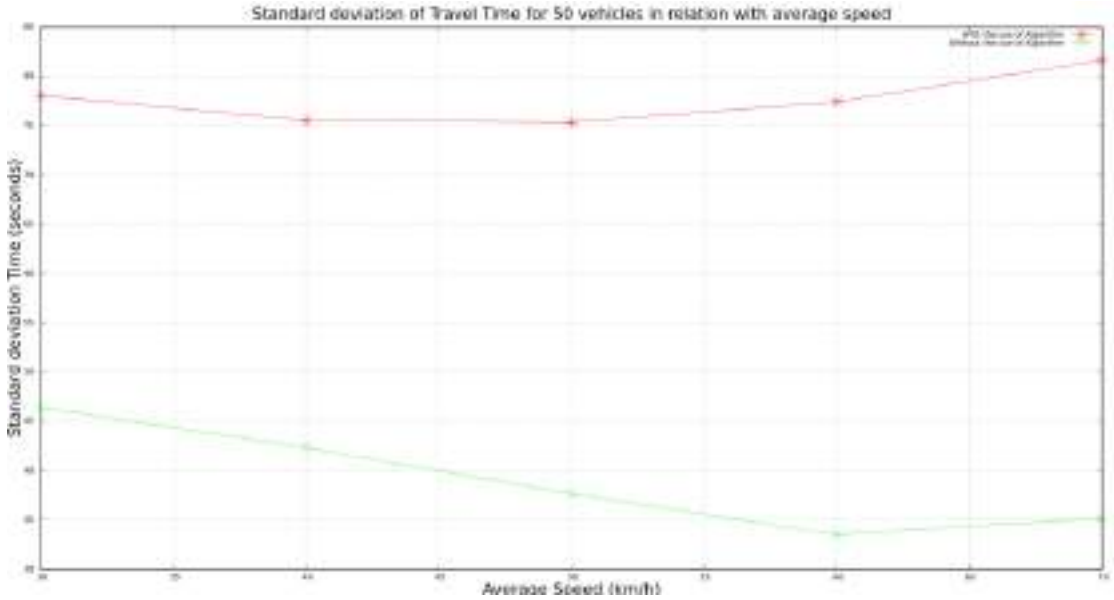

Total distance for 50 vehicles and 70km/h speed
Total distance (meters)
Vehicle Id

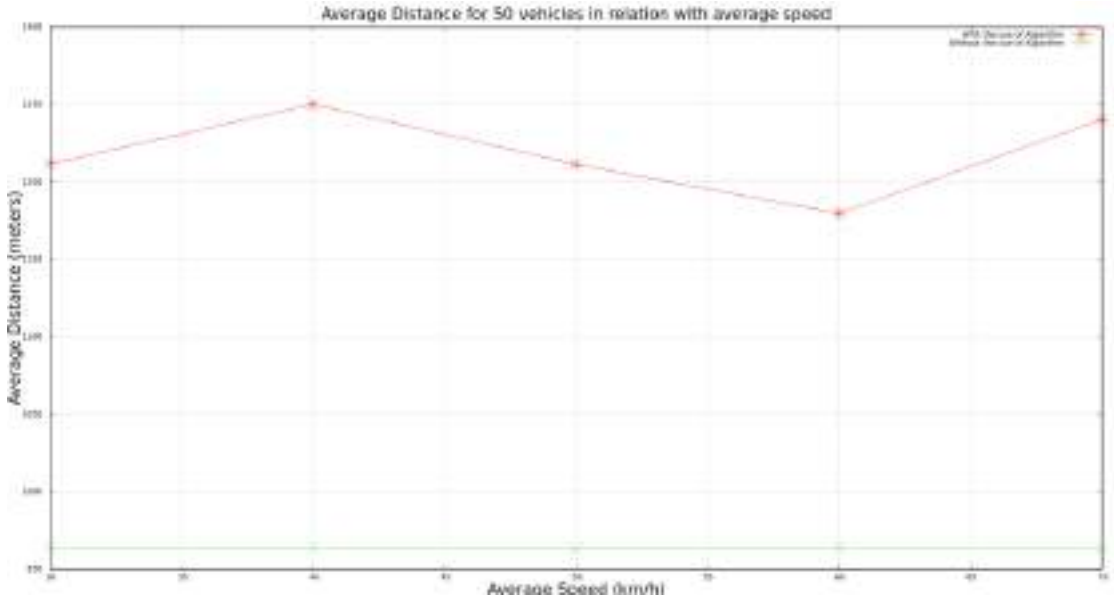

Total CO2 emission for 50 vehicles and 70km/h speed
CO2 emission (grams)
Vehicle Id

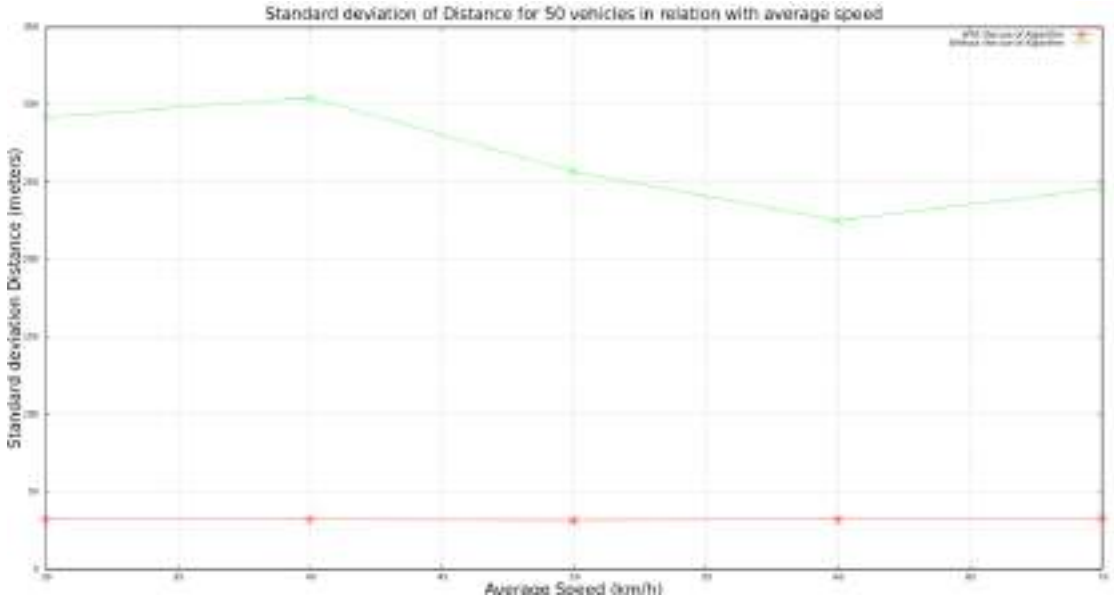

Total Fuel Consumption for 50 vehicles and 70km/h speed
Fuel Consumption (milligrams)
Vehicle Id

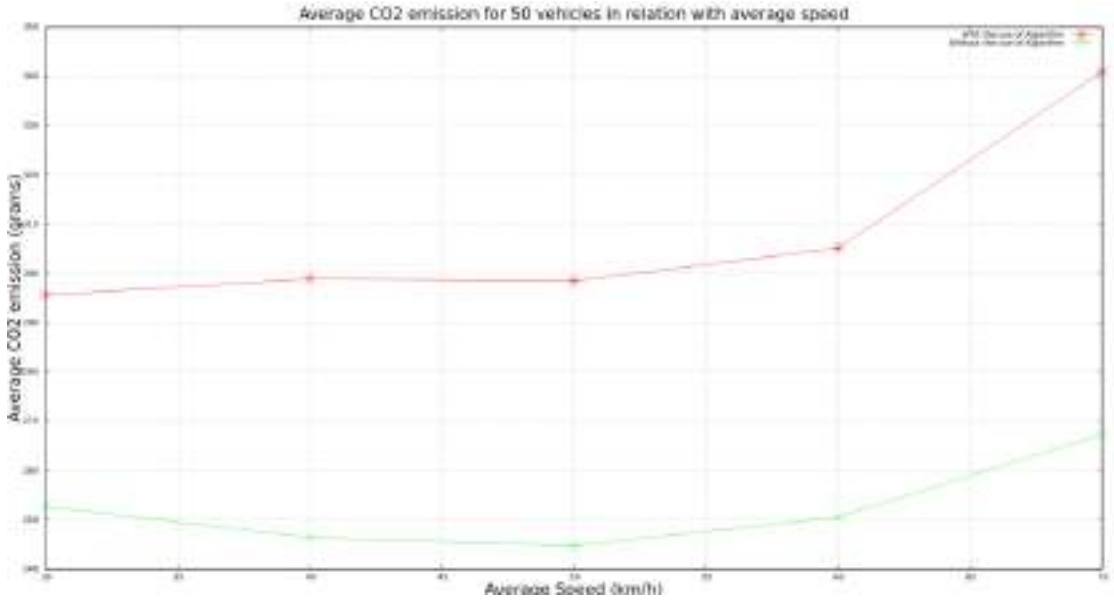
- Συγκριτικά αποτελέσματα:

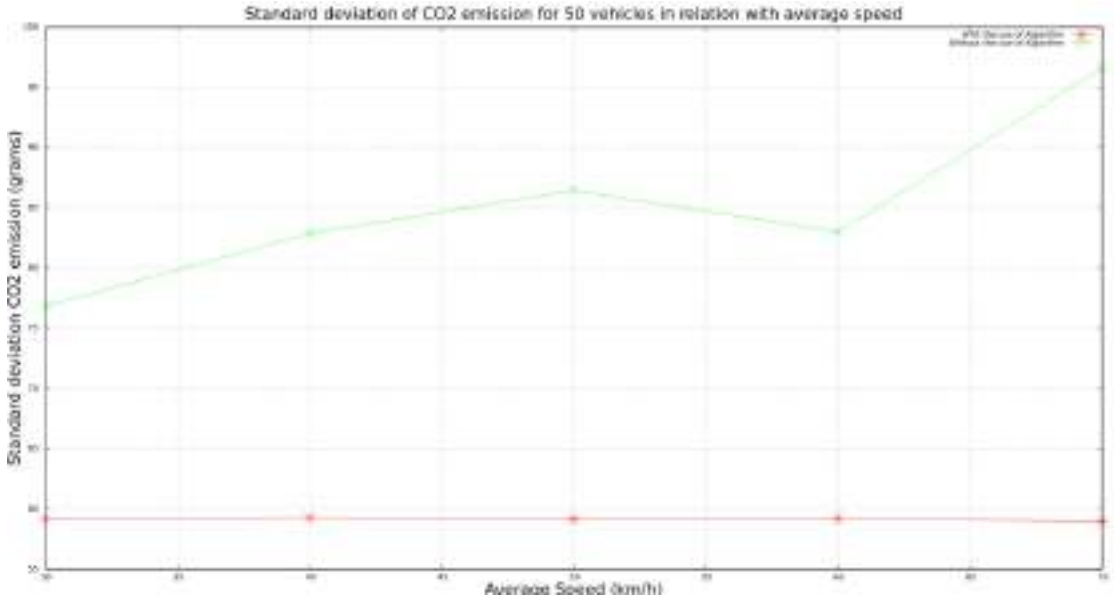


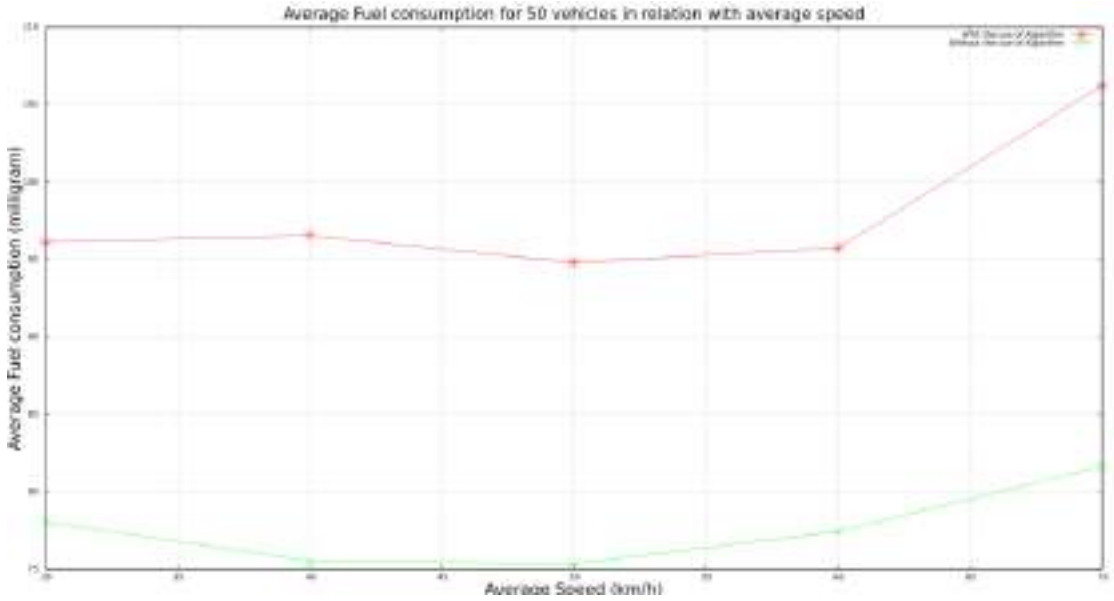


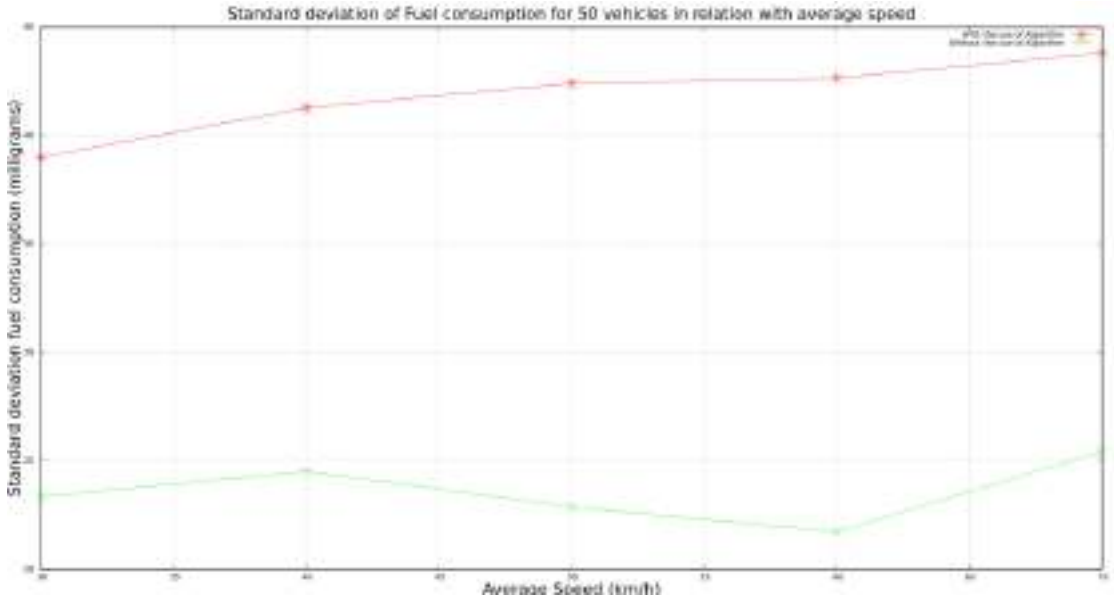

Average Distance for 50 vehicles in relation with average speed
Average Distance (meters)
Average Speed (km/h)


Standard deviation of Distance for 50 vehicles in relation with average speed
Standard deviation Distance (meters)
Average Speed (km/h)


Average CO2 emission for 50 vehicles in relation with average speed
Average CO2 emission (grams)
Average Speed (km/h)


Standard deviation of CO2 emission for 50 vehicles in relation with average speed
Standard deviation CO2 emission (grams)
Average Speed (km/h)


Average Fuel consumption for 50 vehicles in relation with average speed
Average Fuel consumption (milligram)
Average Speed (km/h)

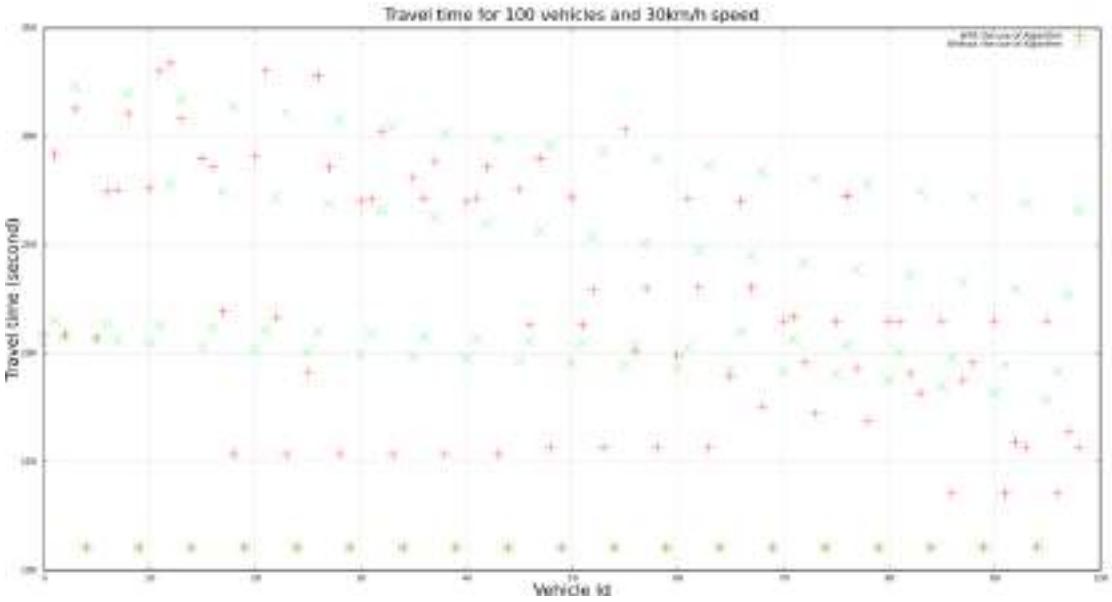

Standard deviation of Fuel consumption for 50 vehicles in relation with average speed
Standard deviation fuel consumption (milligrams)
Average Speed (km/h)

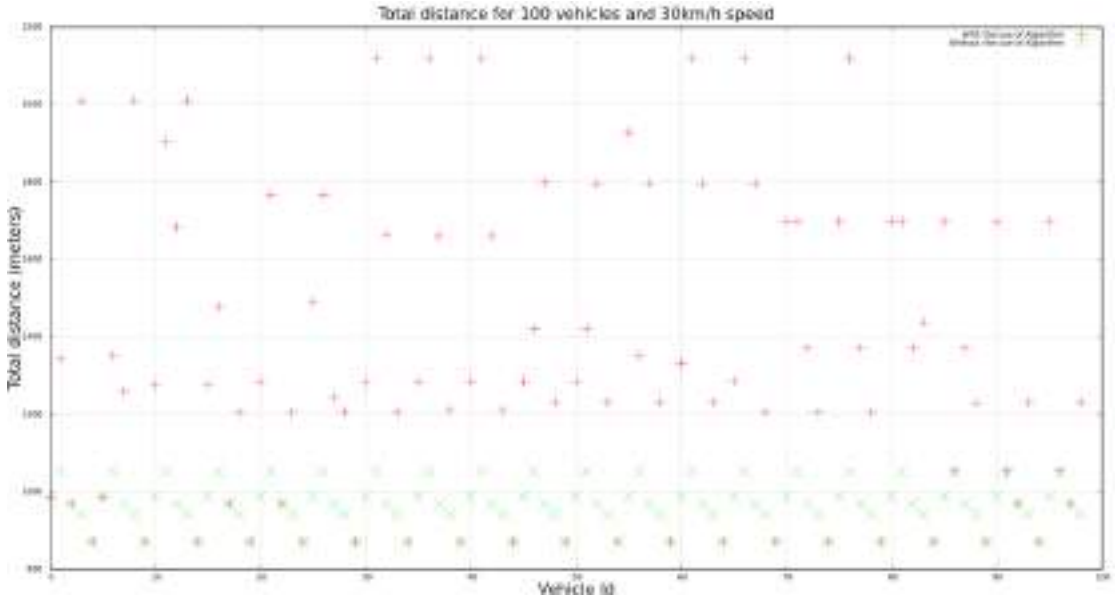
- Σχόλια/Παρατηρήσεις:

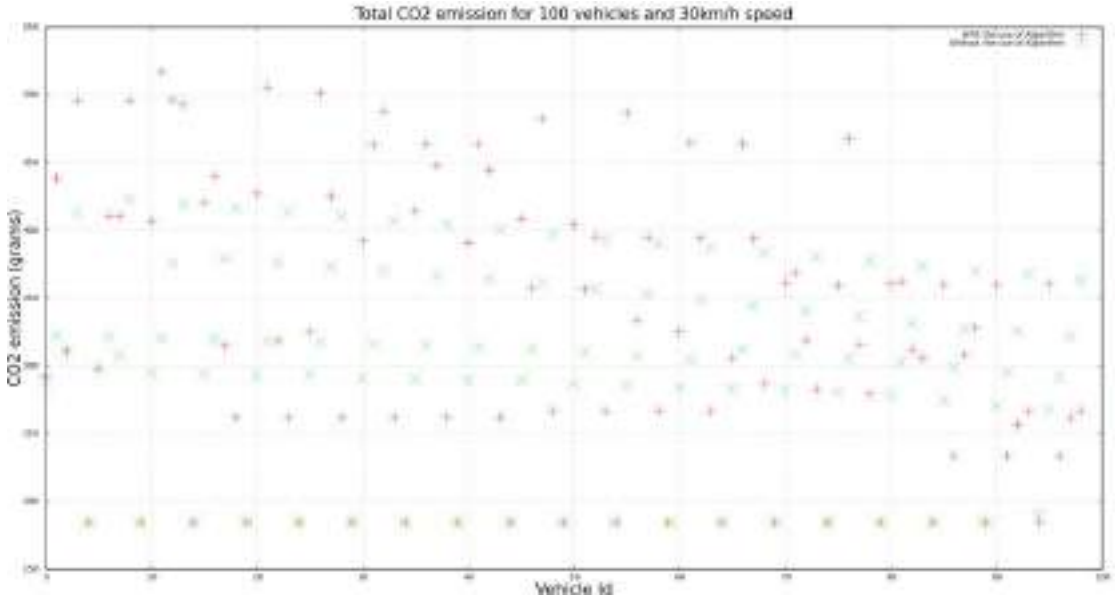
Γενικότερα παρατηρούμε ότι τα αποτελέσματα δεν είναι καλά για αραιά γραφήματα 50 οχημάτων. Ο μέσος χρόνος που χρειάζονται τα αυτοκίνητα για να διανύσουν την απόσταση είναι ελαφρώς χειρότερος με τη χρήση του αλγορίθμου. Ταυτόχρονα, τα οχήματα διανύουν κατά μέσο όρο 300 μέτρα επιπλέον για να αποφύγουν την κίνηση και να φτάσουν στο προορισμό τους. Επιπρόσθετα, η εκπομπή CO2 και η κατανάλωση καυσίμου παρουσιάζουν αύξηση καθώς προσπαθούν να αποφύγουν την συμφόρηση. Ας δούμε όμως τι συμβαίνει σε πιο πυκνά γραφήματα παρακάτω.

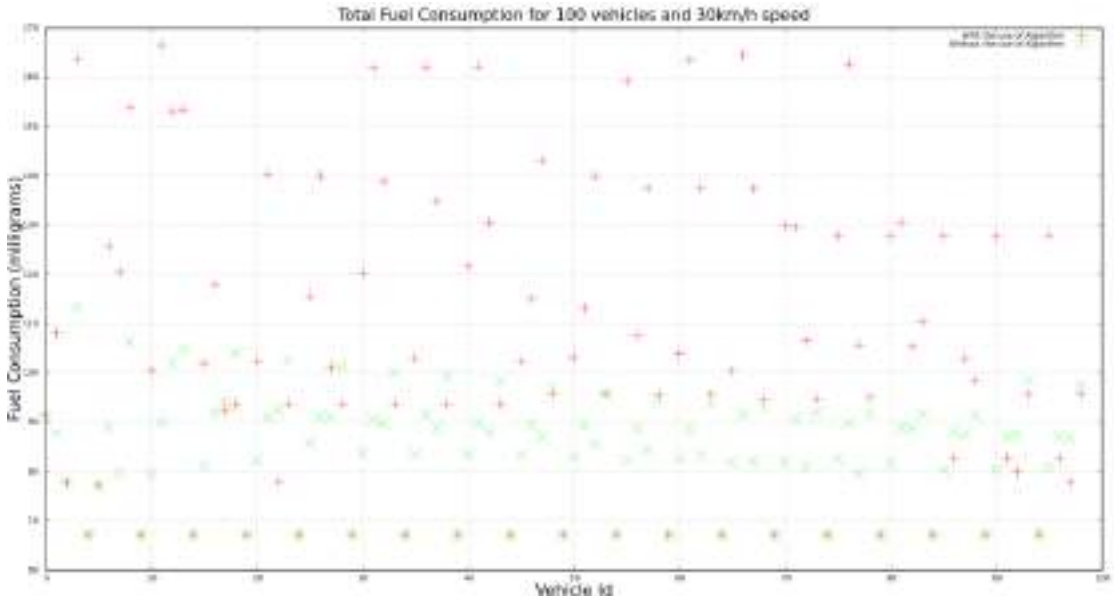
4.2.2 Αποτελέσματα για 100 οχήματα

- Για 30 km/h:

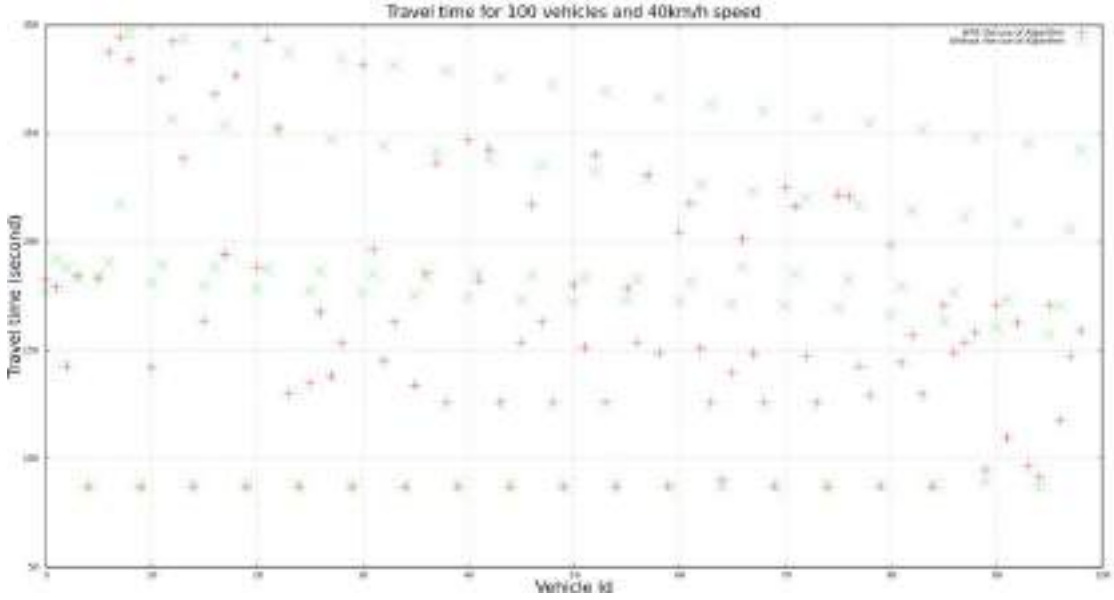


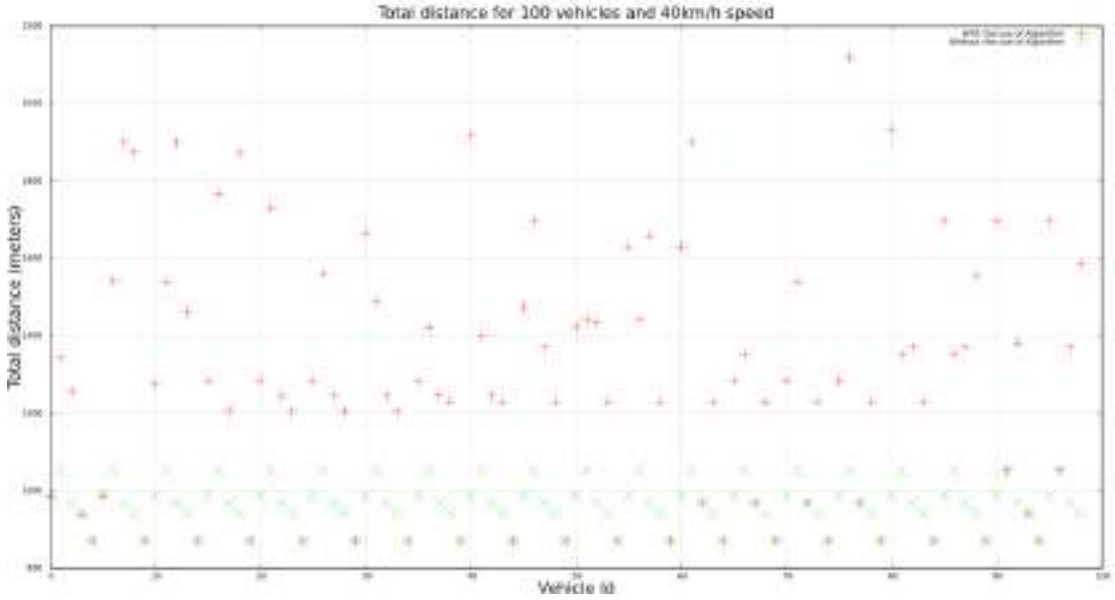

Total distance for 100 vehicles and 30km/h speed
Total distance (meters)
Vehicle Id

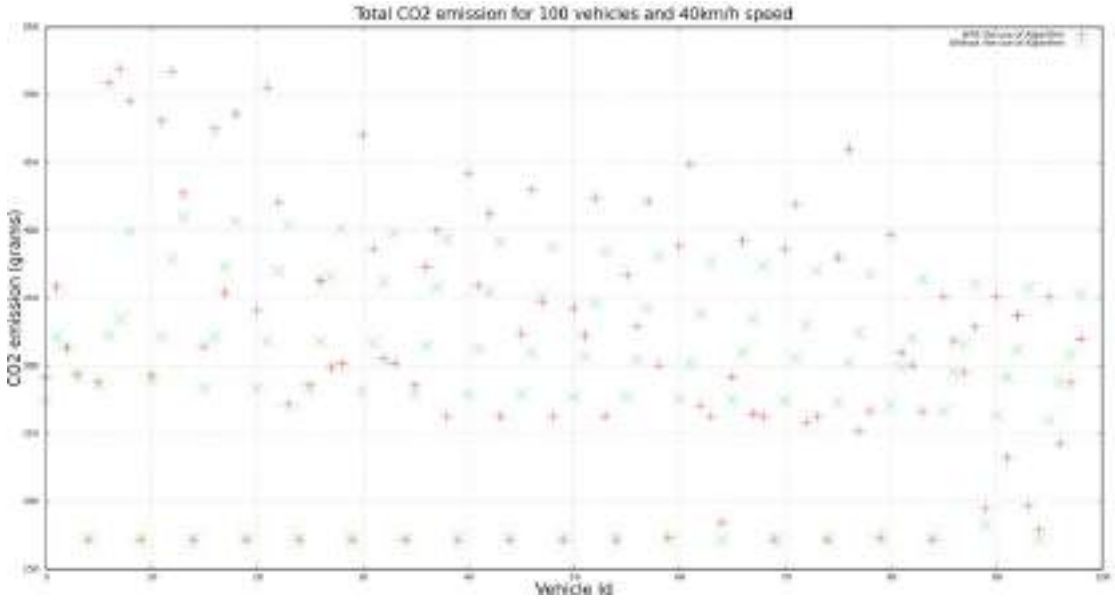

Total CO2 emission for 100 vehicles and 30km/h speed
CO2 emission (grams)
Vehicle Id

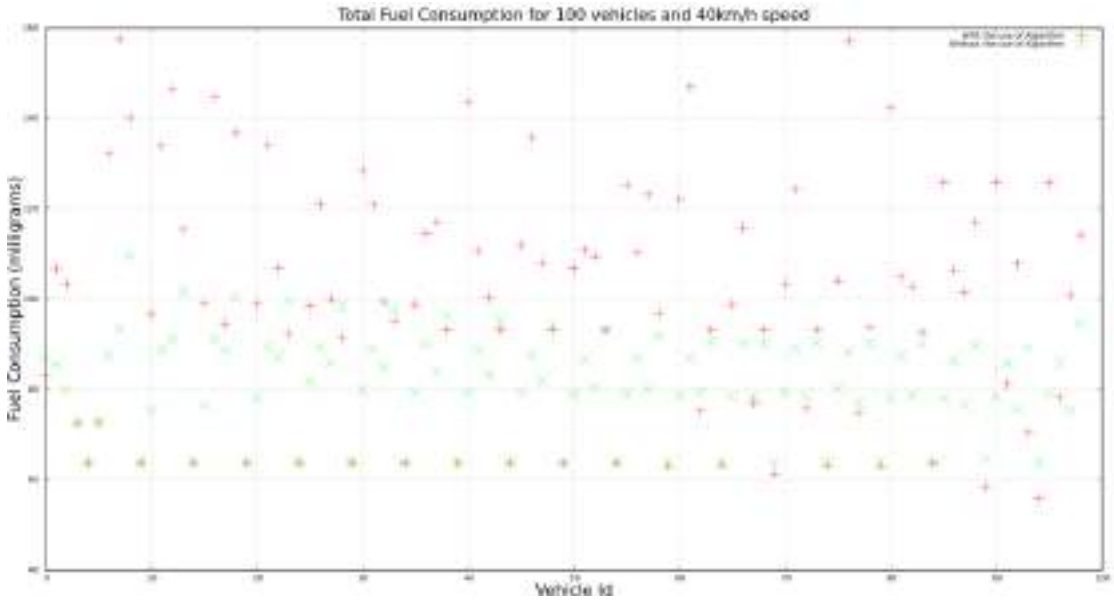

Total Fuel Consumption for 100 vehicles and 30km/h speed
Fuel Consumption (milligrams)
Vehicle Id

- Για 40 km/h:

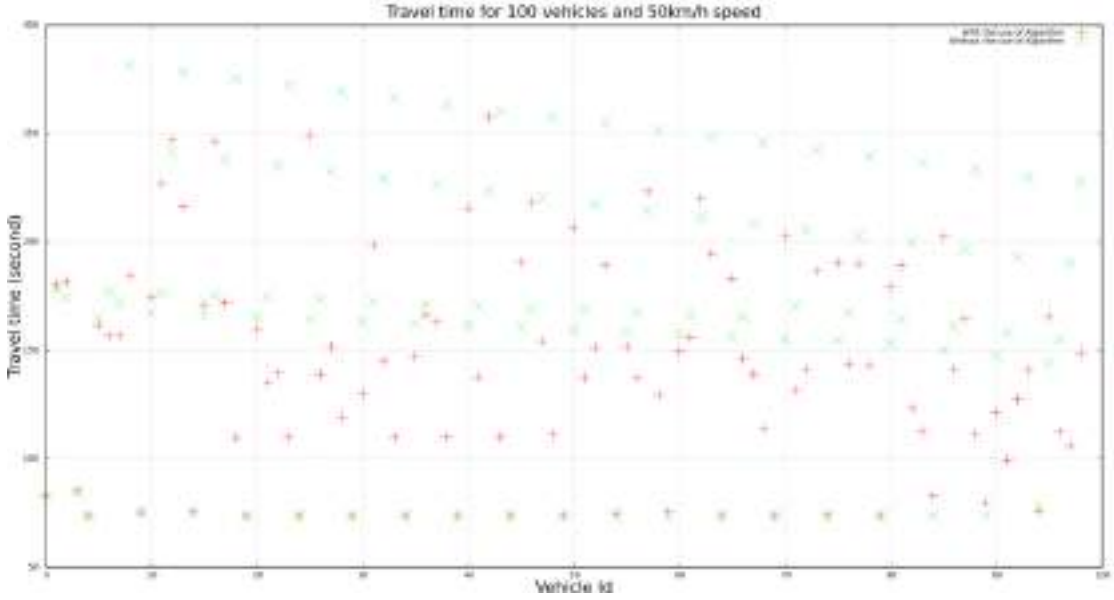

Travel time for 100 vehicles and 40km/h speed
Travel time (second)
Vehicle Id

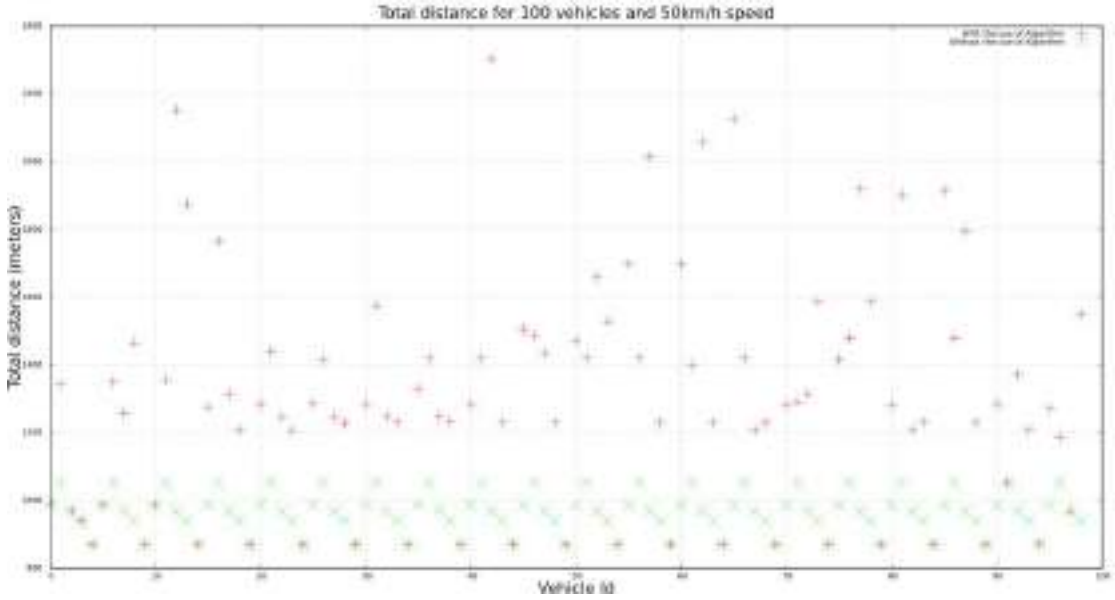

Total distance for 100 vehicles and 40km/h speed
Total distance (meters)
Vehicle Id

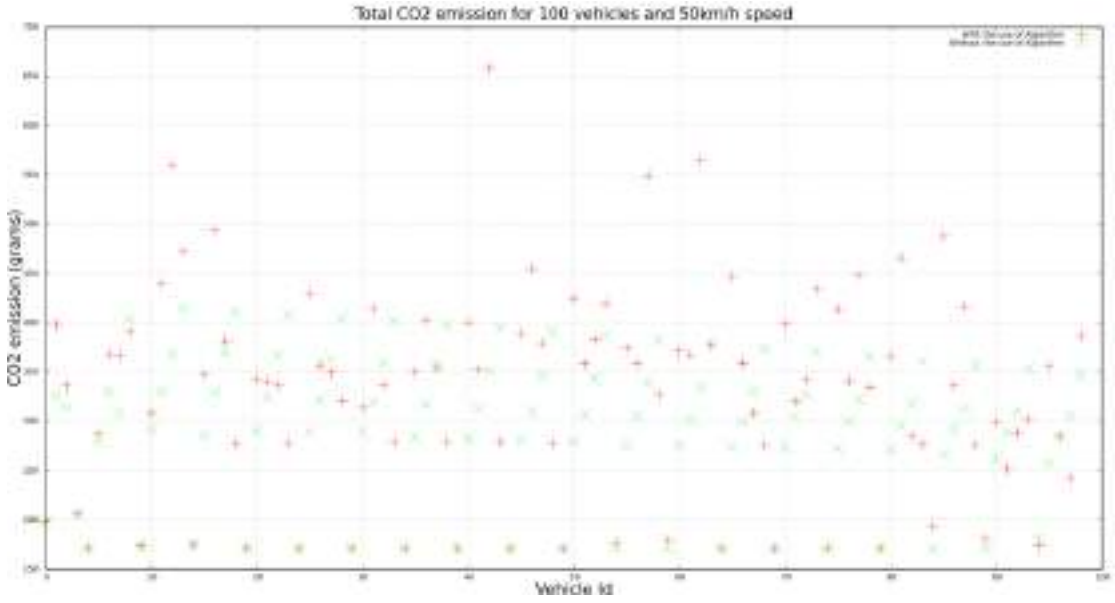

Total CO2 emission for 100 vehicles and 40km/h speed
CO2 emission (grams)
Vehicle Id

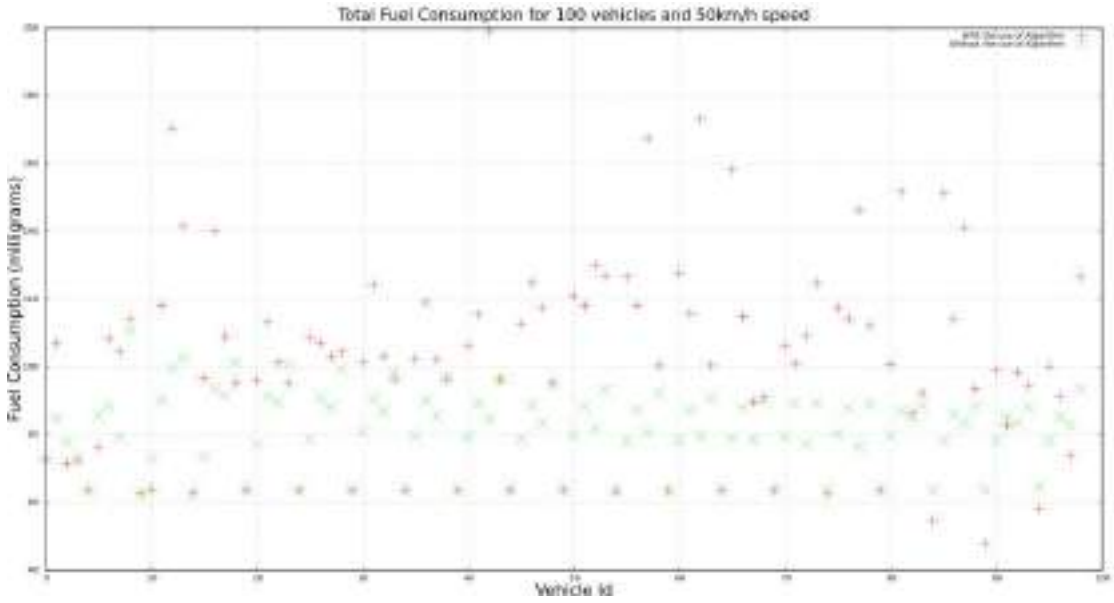

Total Fuel Consumption for 100 vehicles and 40km/h speed
Fuel Consumption (milligrams)
Vehicle Id

- Για 50 km/h:

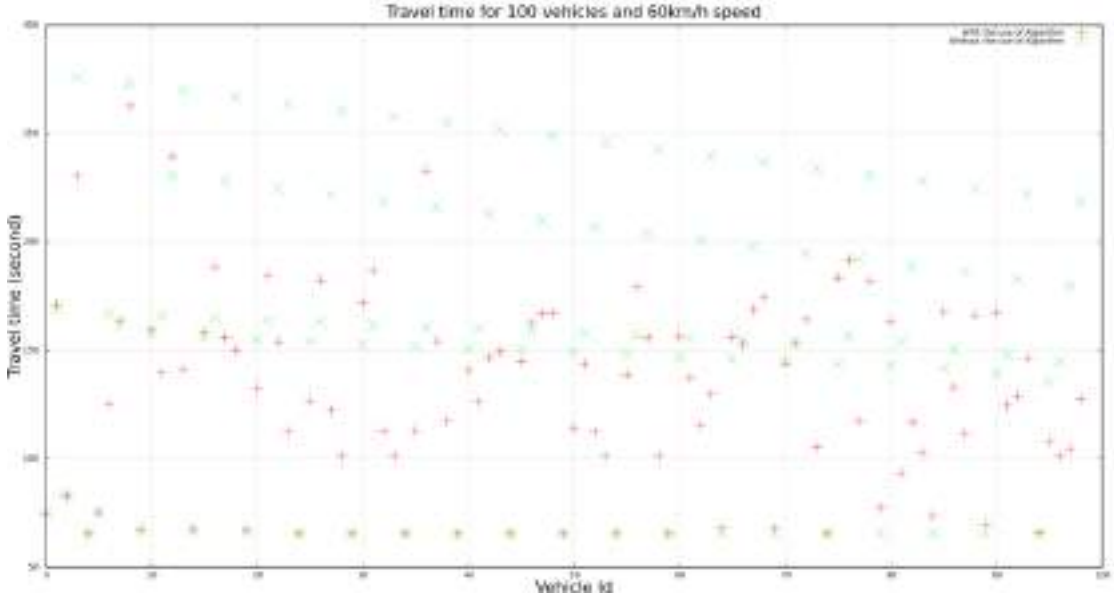

Travel time for 100 vehicles and 50km/h speed
Travel time (second)
Vehicle Id

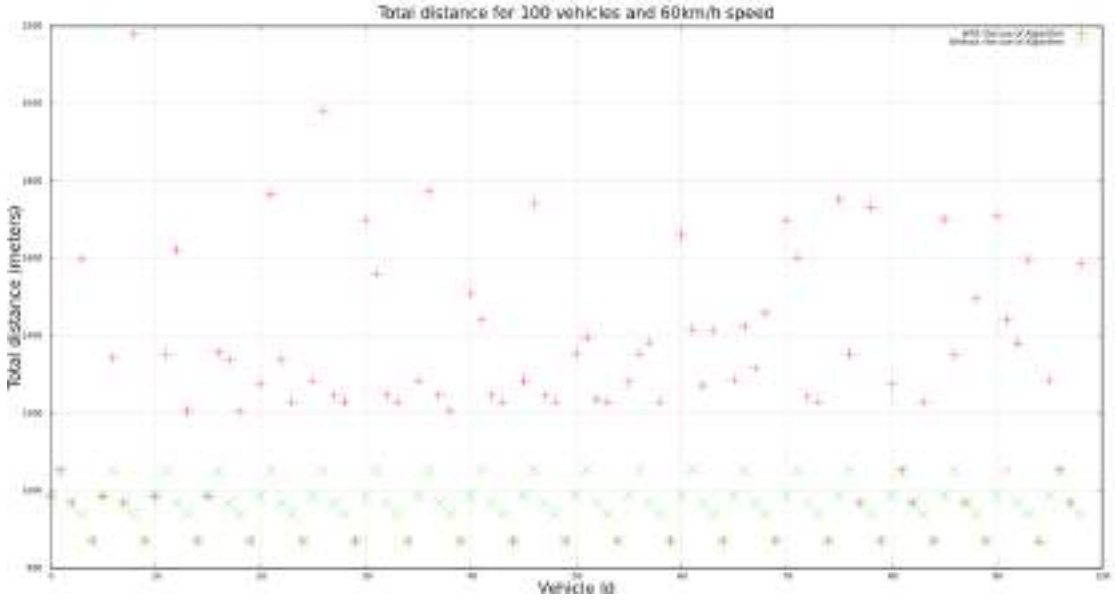

Total distance for 100 vehicles and 50km/h speed
Total distance (meters)
Vehicle Id

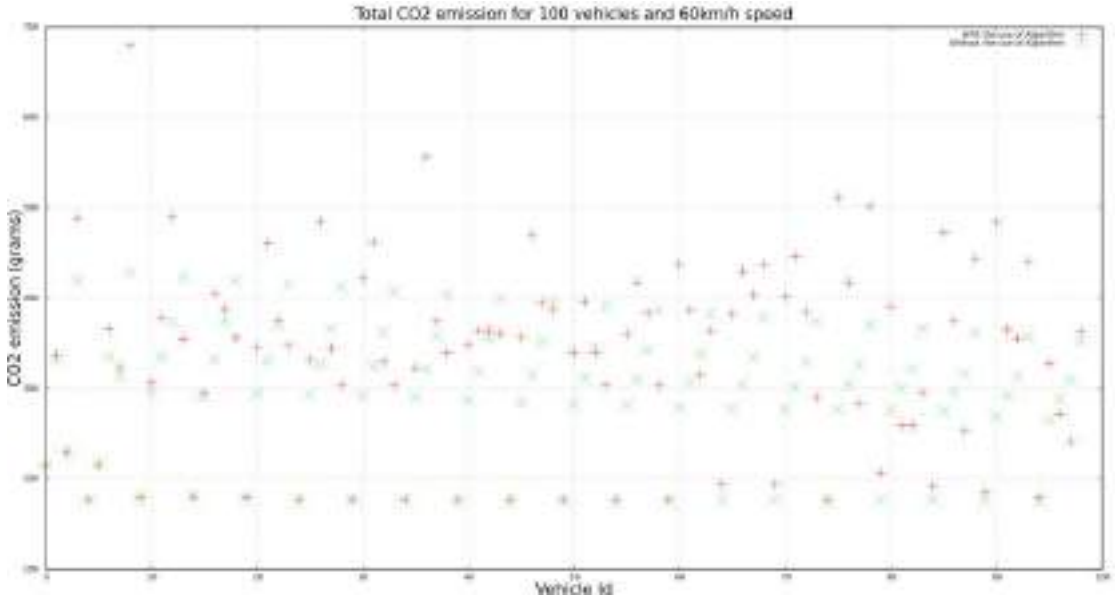

Total CO2 emission for 100 vehicles and 50km/h speed
CO2 emission (grams)
Vehicle Id

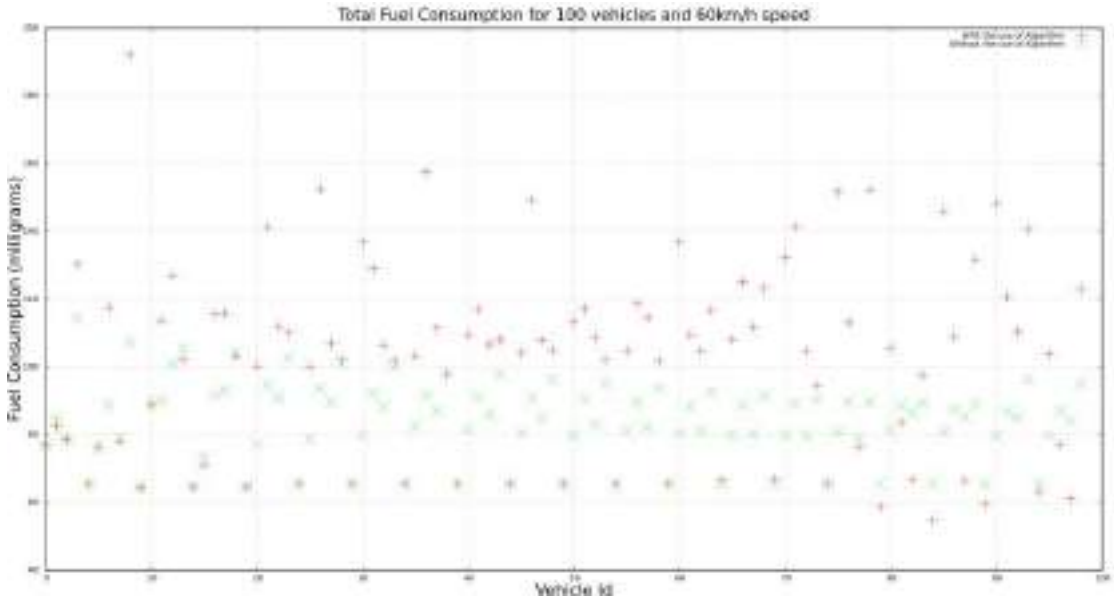

Total Fuel Consumption for 100 vehicles and 50km/h speed
Fuel Consumption (milligrams)
Vehicle Id

- Για 60 km/h:

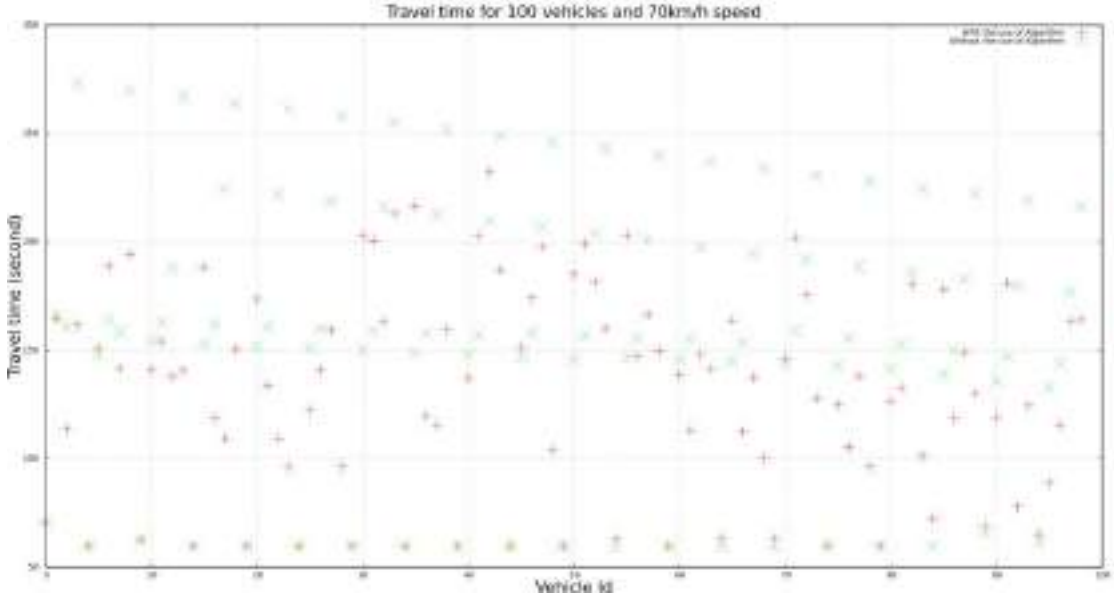

Travel time for 100 vehicles and 60km/h speed
Travel time (second)
Vehicle Id

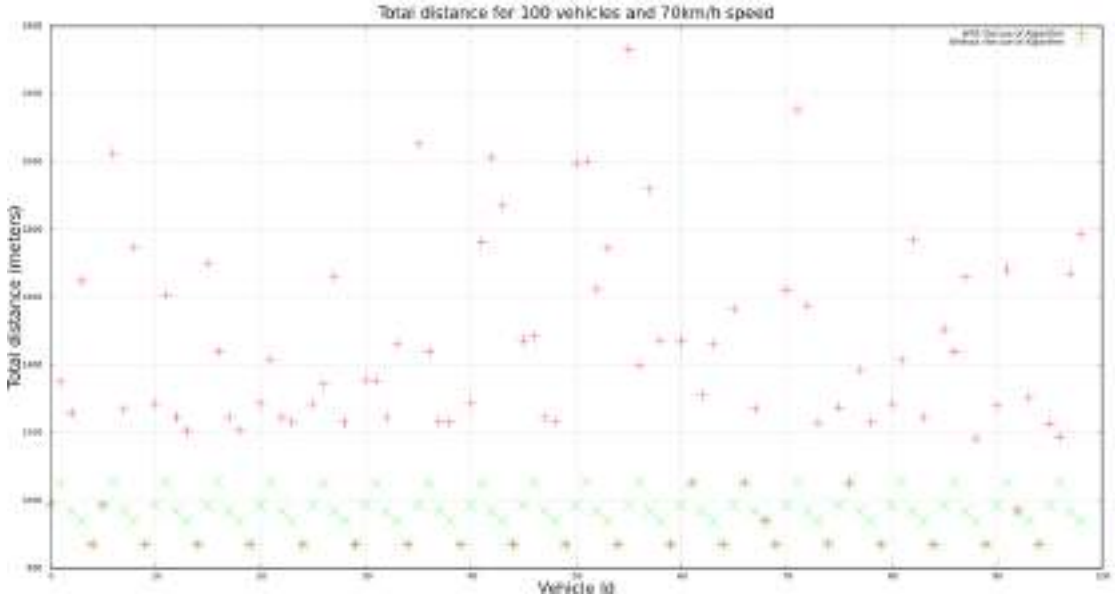

Total distance for 100 vehicles and 60km/h speed
Total distance (meters)
Vehicle Id

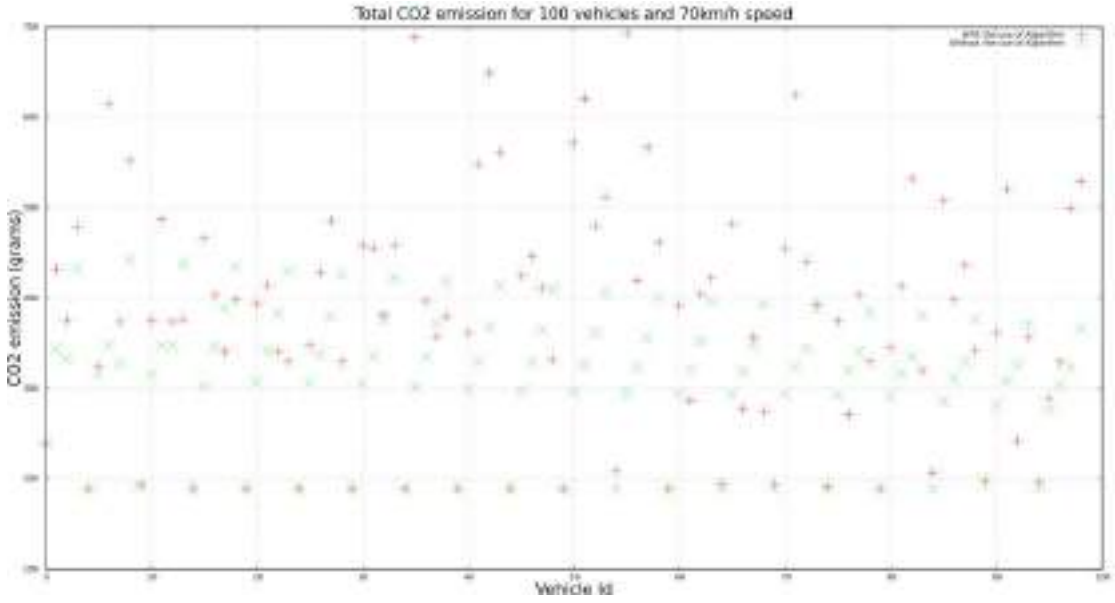

Total CO2 emission for 100 vehicles and 60km/h speed
CO2 emission (grams)
Vehicle Id

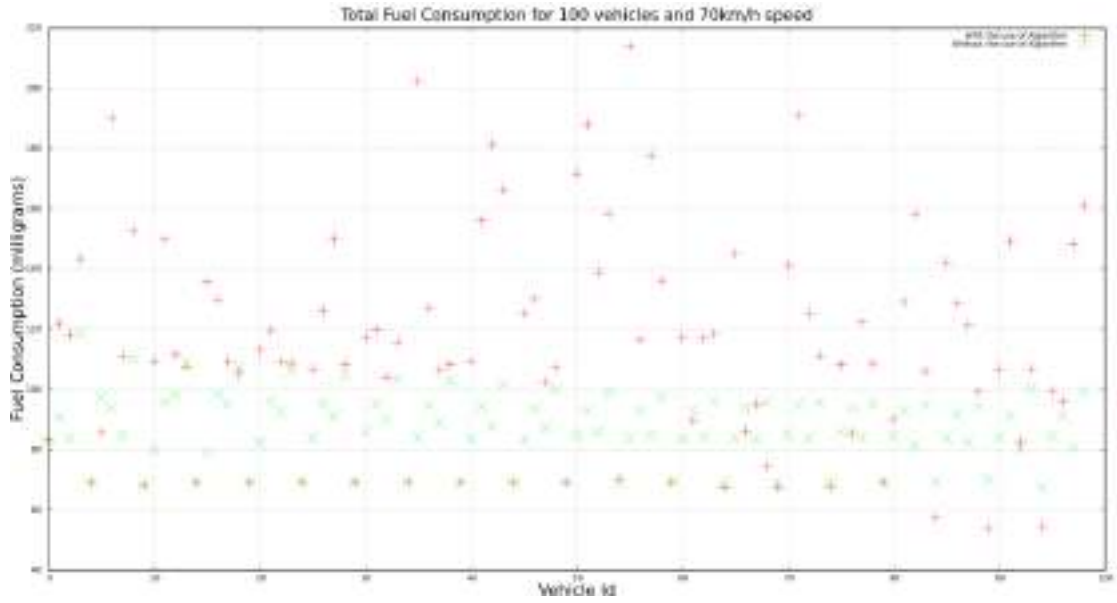

Total Fuel Consumption for 100 vehicles and 60km/h speed
Fuel Consumption (milligrams)
Vehicle Id

- Για 70 km/h:

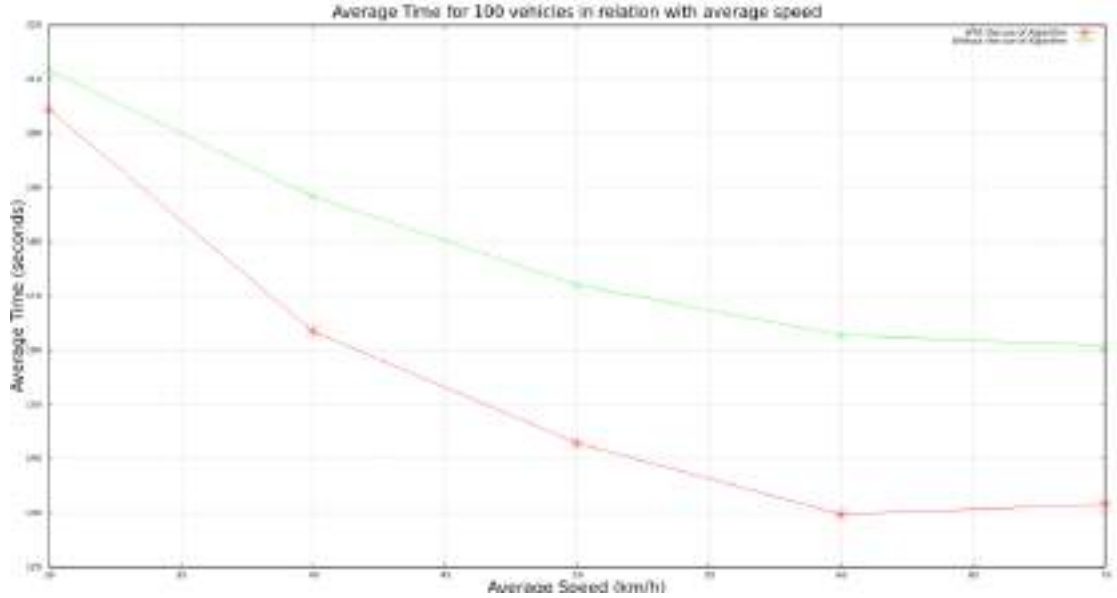

Travel time for 100 vehicles and 70km/h speed
Travel time (second)
Vehicle Id

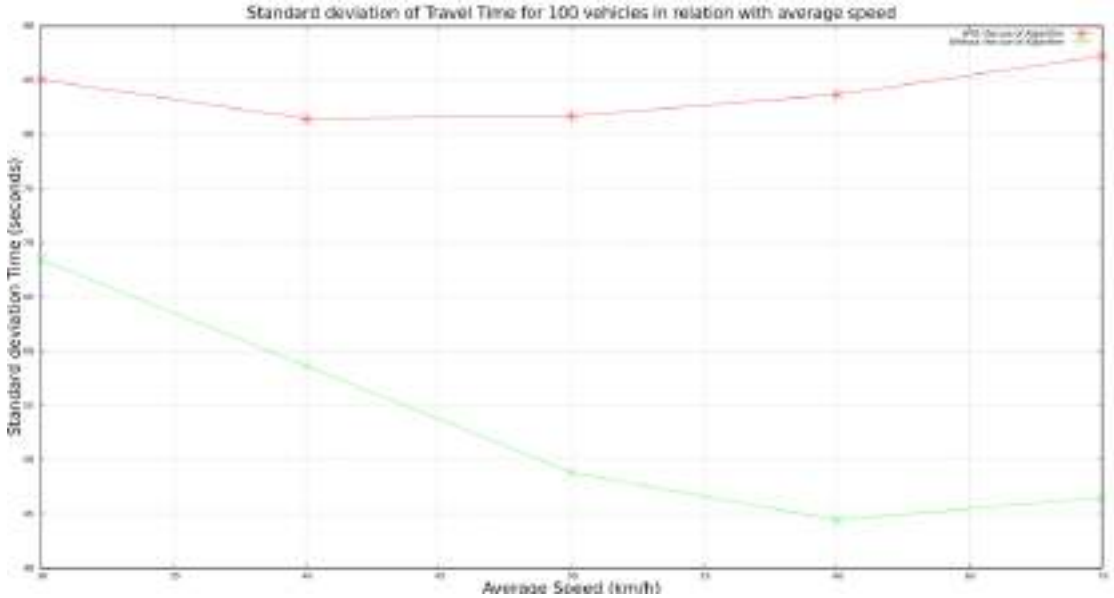

Total distance for 100 vehicles and 70km/h speed
Total distance (meters)
Vehicle Id

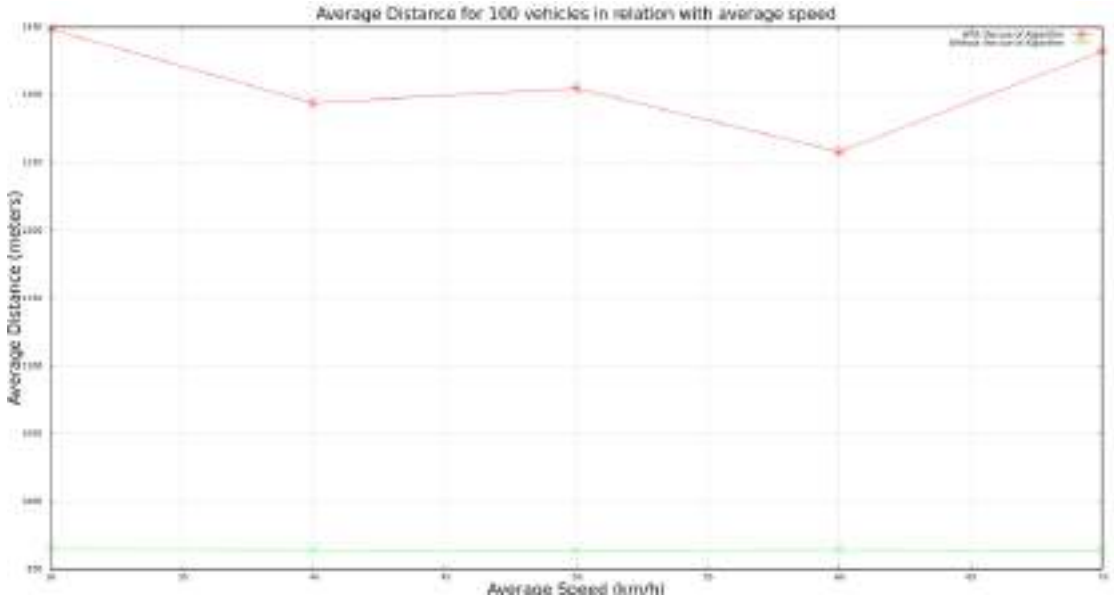

Total CO2 emission for 100 vehicles and 70km/h speed
CO2 emission (grams)
Vehicle Id

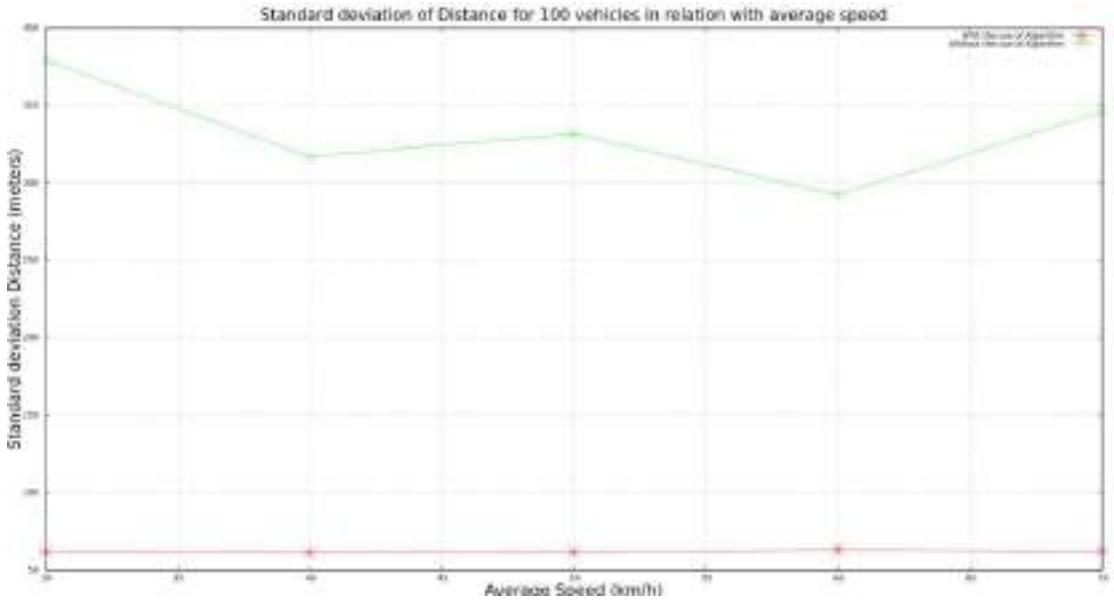


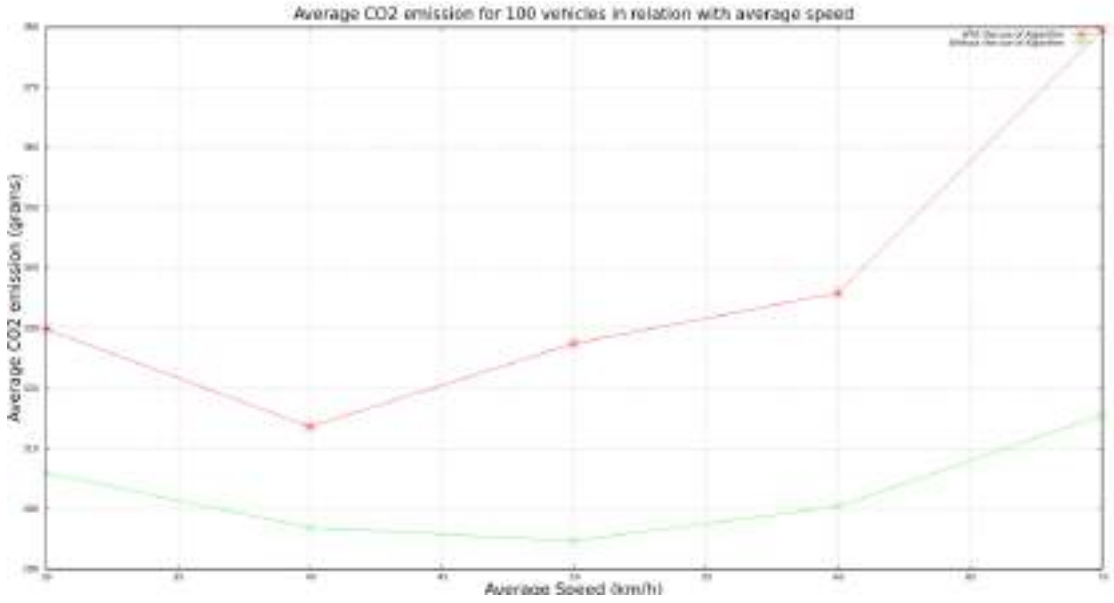
- Συγκριτικά αποτελέσματα:

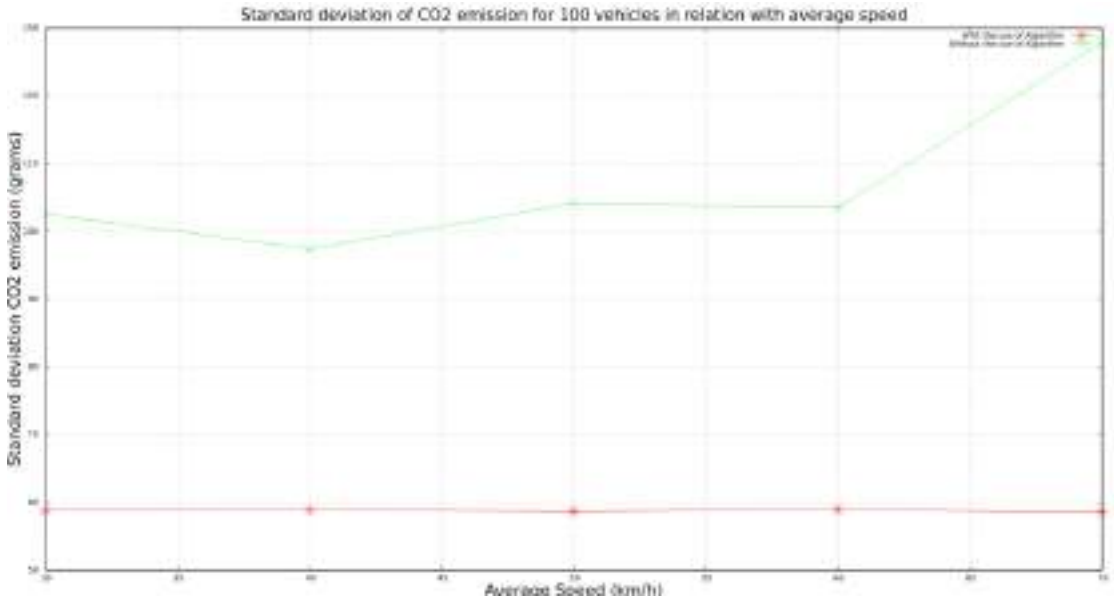


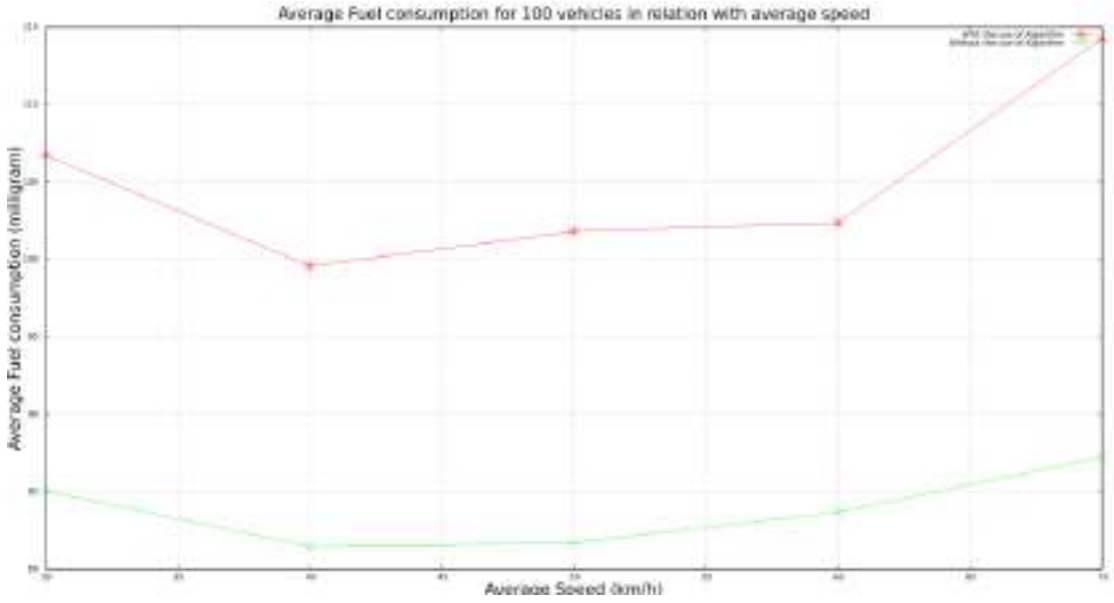

Standard deviation of Travel Time for 100 vehicles in relation with average speed
Standard deviation Time (seconds)
Average Speed (km/h)

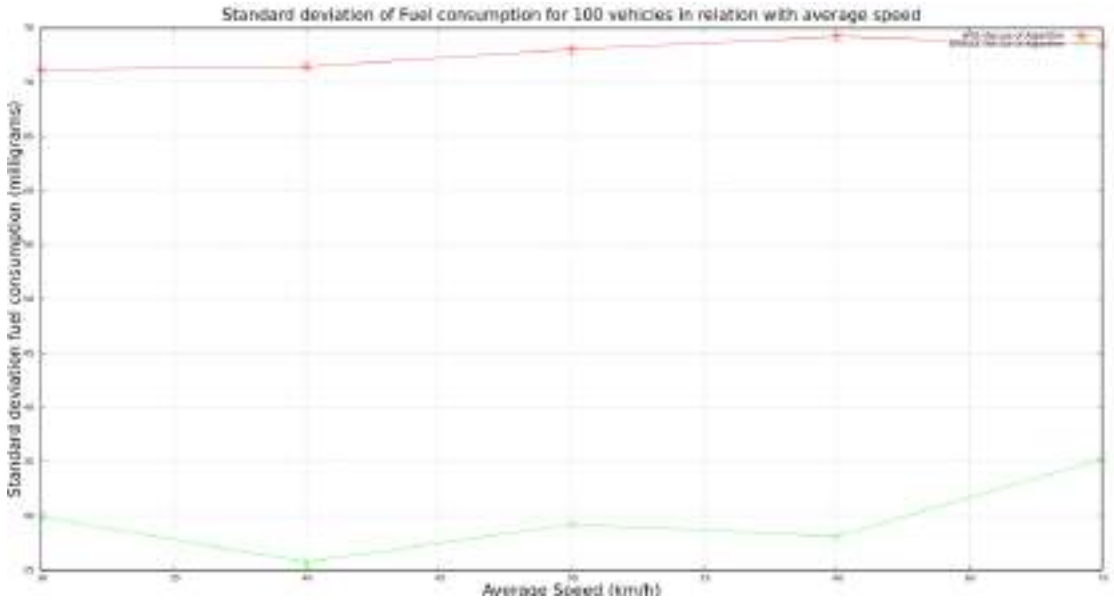

Average Distance for 100 vehicles in relation with average speed
Average Distance (meters)
Average Speed (km/h)


Standard deviation of Distance for 100 vehicles in relation with average speed
Standard deviation Distance (meters)
Average Speed (km/h)


Average CO2 omission for 100 vehicles in relation with average speed
Average CO2 omission (grams)
Average Speed (km/h)


Standard deviation of CO2 emission for 100 vehicles in relation with average speed
Standard deviation CO2 emission (grams)
Average Speed (km/h)


Average Fuel consumption for 100 vehicles in relation with average speed
Average Fuel consumption (milligram)
Average Speed (km/h)

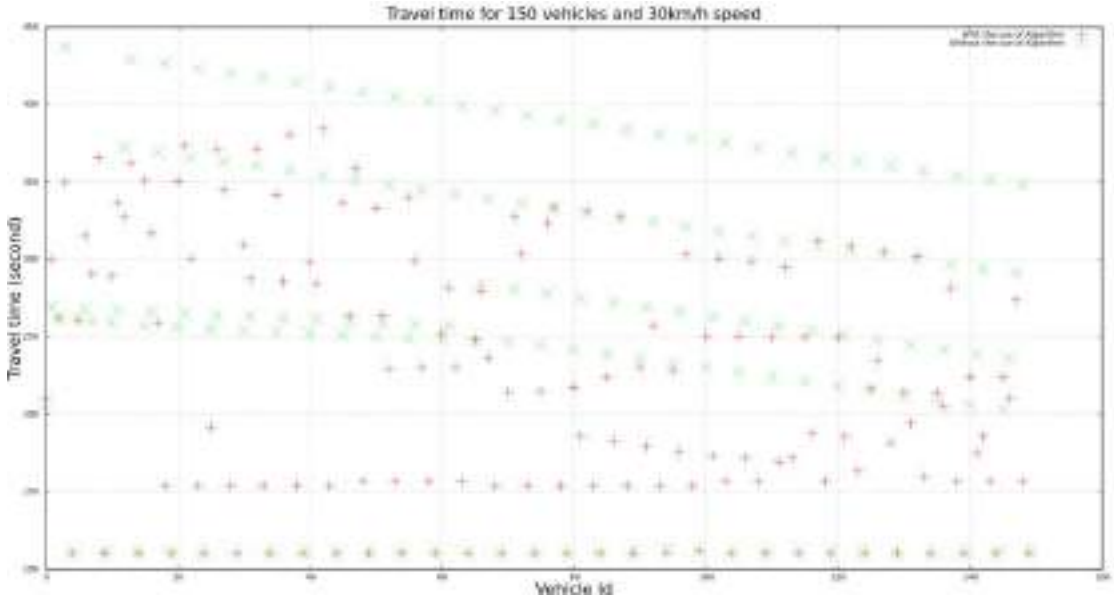


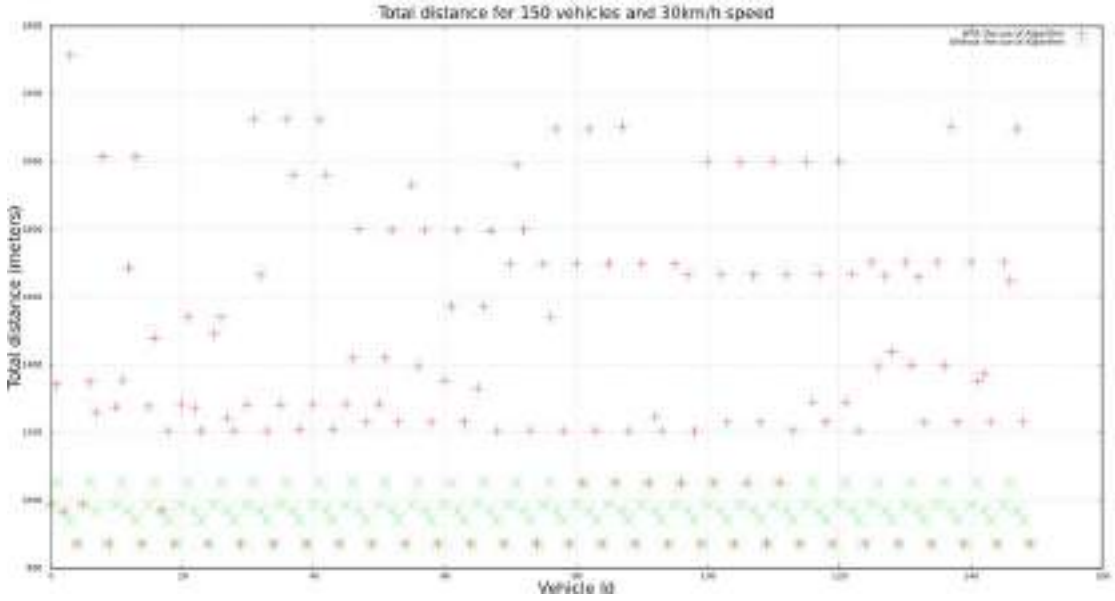
- Σχόλια/Παρατηρήσεις

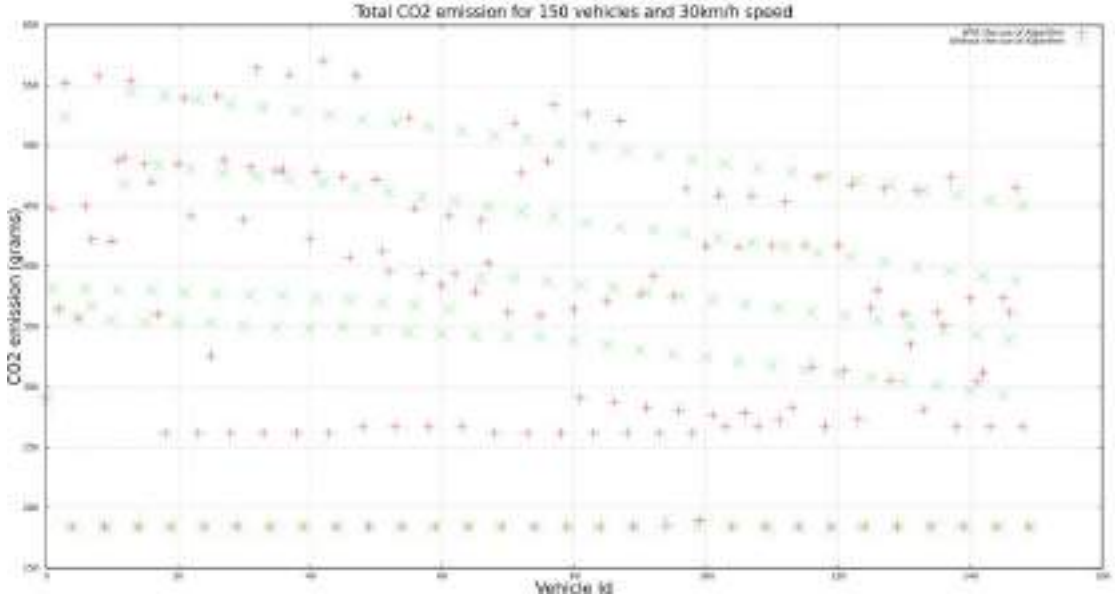
Για 100 οχήματα τα αποτελέσματα είναι πολύ καλύτερα. Παρατηρούμε ότι το travel time έχει βελτίωση που φτάνει μέχρι και το 26% για μέση ταχύτητα 60km/h. Για να επιτευχθεί αυτή η βελτίωση τα οχήματα πρέπει να κινηθούν επιπλέον 300-400 μέτρα κατά μέσο όρο. Όσο αναφορά τις εκπομπές ρύπων και την κατανάλωση καυσίμων, βλέπουμε ότι είναι μεγαλύτερες και πάλι, όμως η διαφορά σε σχέση με τα 50 οχήματα είναι αρκετά μικρότερη. Επίσης βλέπουμε ότι για ταχύτητες 60 km/h και 70 km/h η ψαλίδα μεγαλώνει και έχουμε αρκετά μεγαλύτερες εκπομπές ρύπων και κατανάλωση καυσίμων.

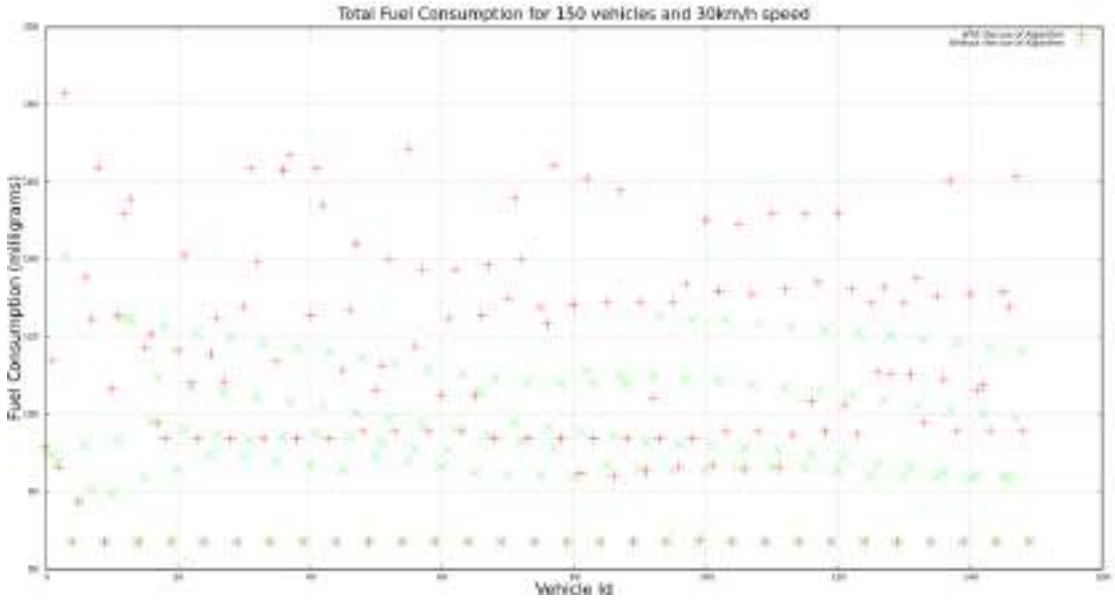
4.2.3 Αποτελέσματα για 150 οχήματα

- Για 30 km/h:

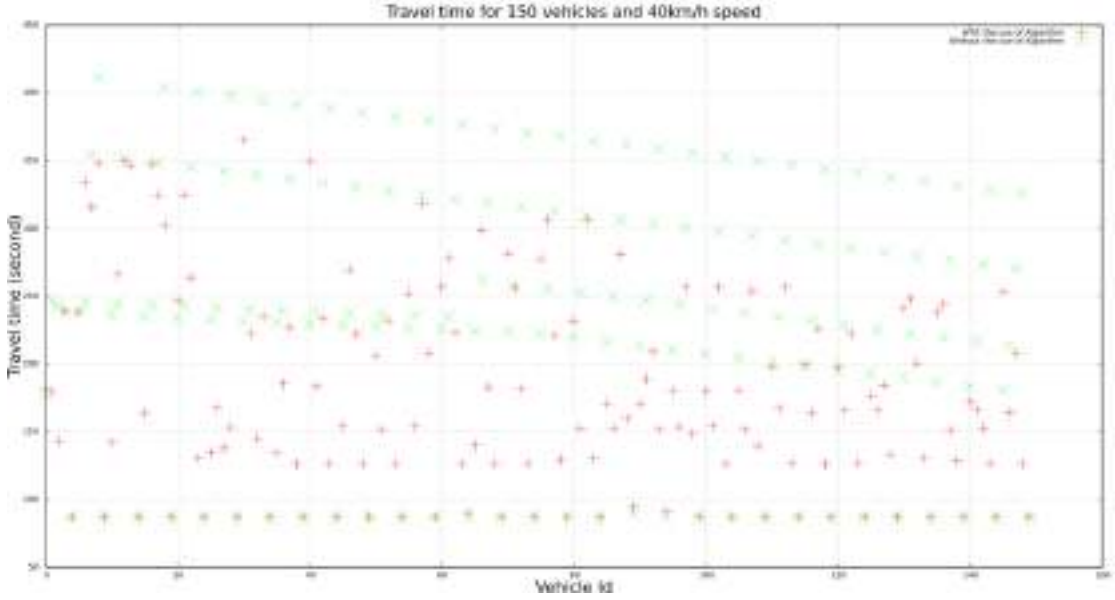


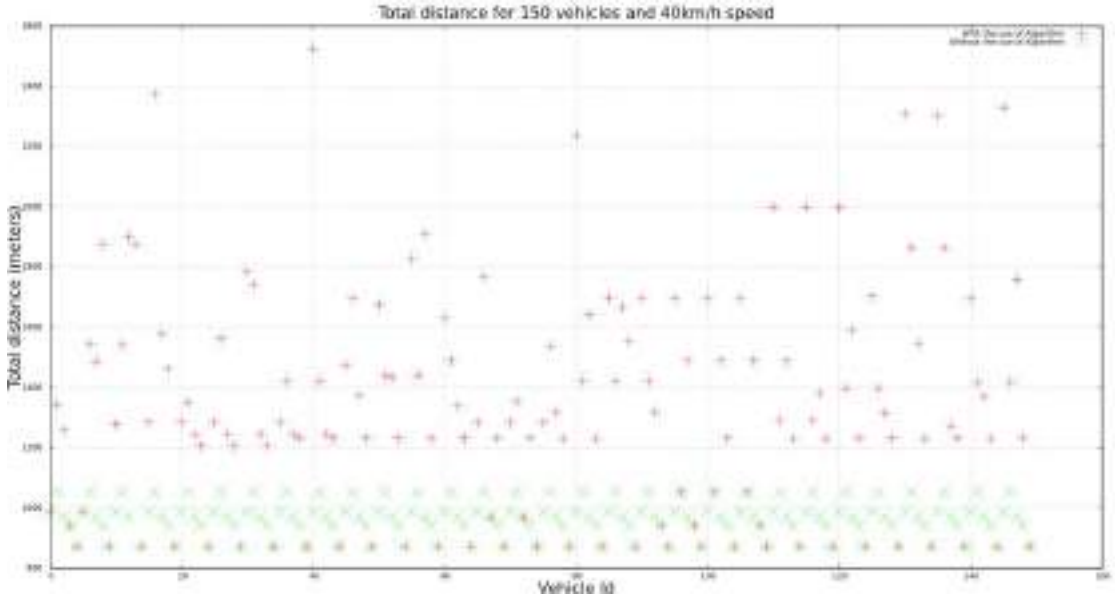

Total distance for 150 vehicles and 30km/h speed
Total distance (meters)
Vehicle Id

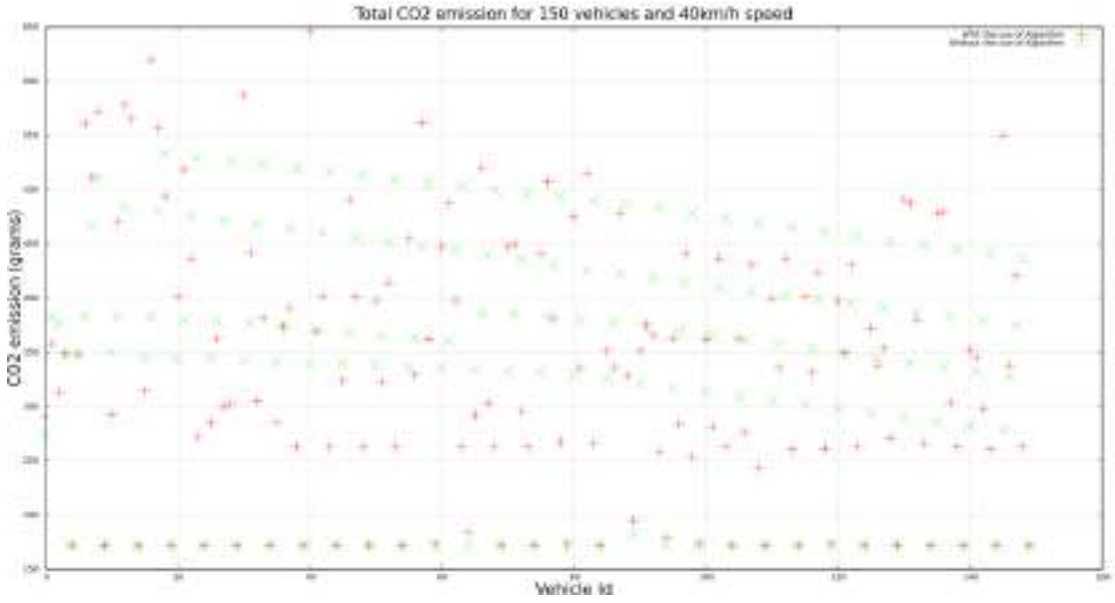

Total CO2 emission for 150 vehicles and 30km/h speed
CO2 emission (grams)
Vehicle Id

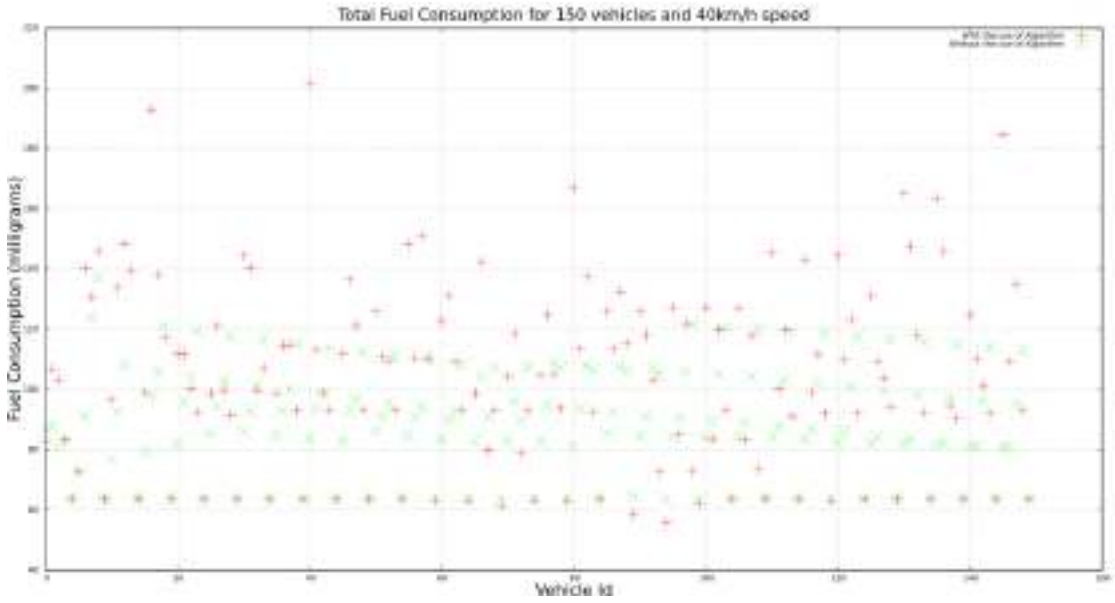

Total Fuel Consumption for 150 vehicles and 30km/h speed
Fuel Consumption (milligrams)
Vehicle Id

- Για 40 km/h:

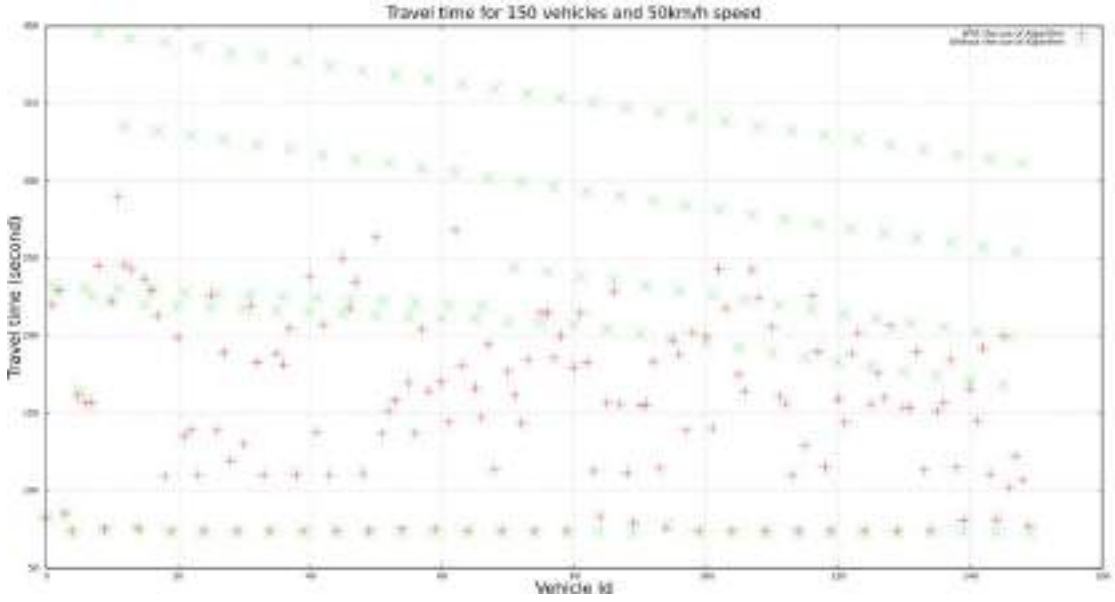

Travel time for 150 vehicles and 40km/h speed
Travel time (second)
Vehicle Id

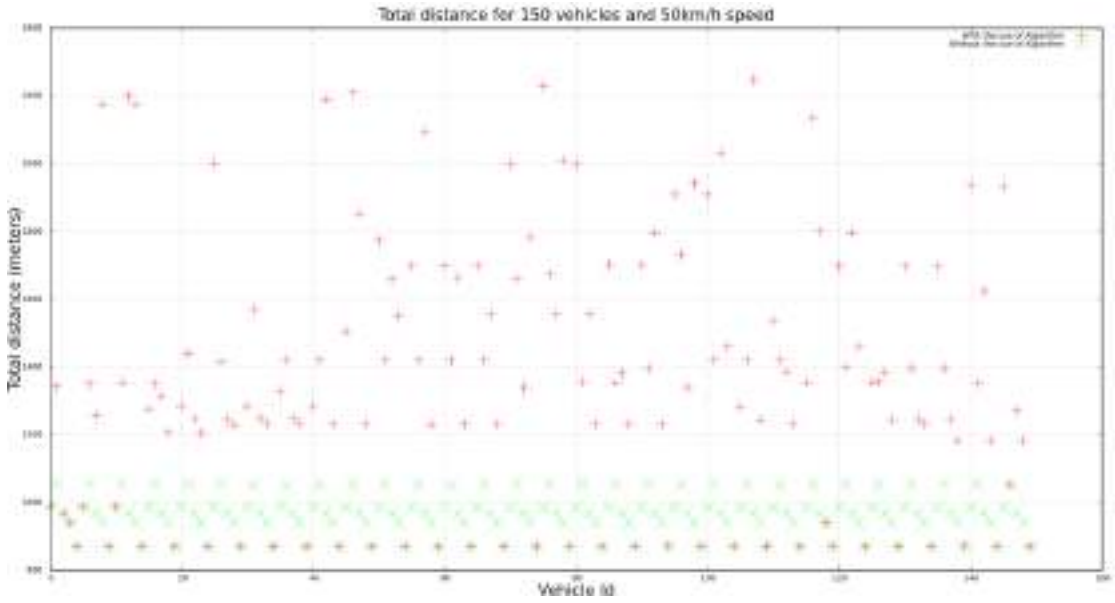

Total distance for 150 vehicles and 40km/h speed
Total distance (meters)
Vehicle Id

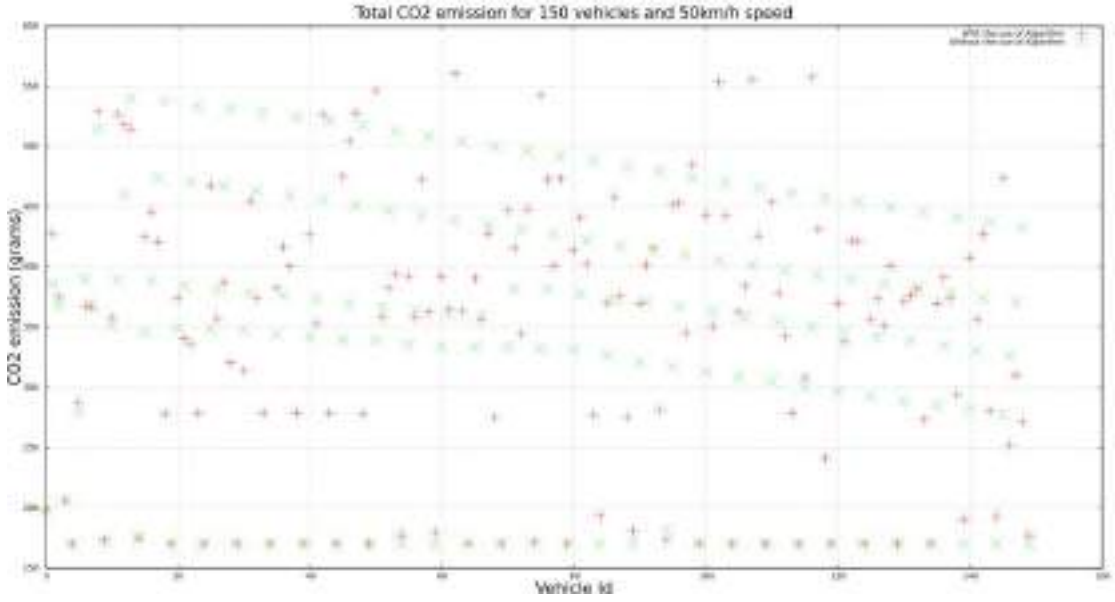

Total CO2 emission for 150 vehicles and 40km/h speed
CO2 emission (grams)
Vehicle Id

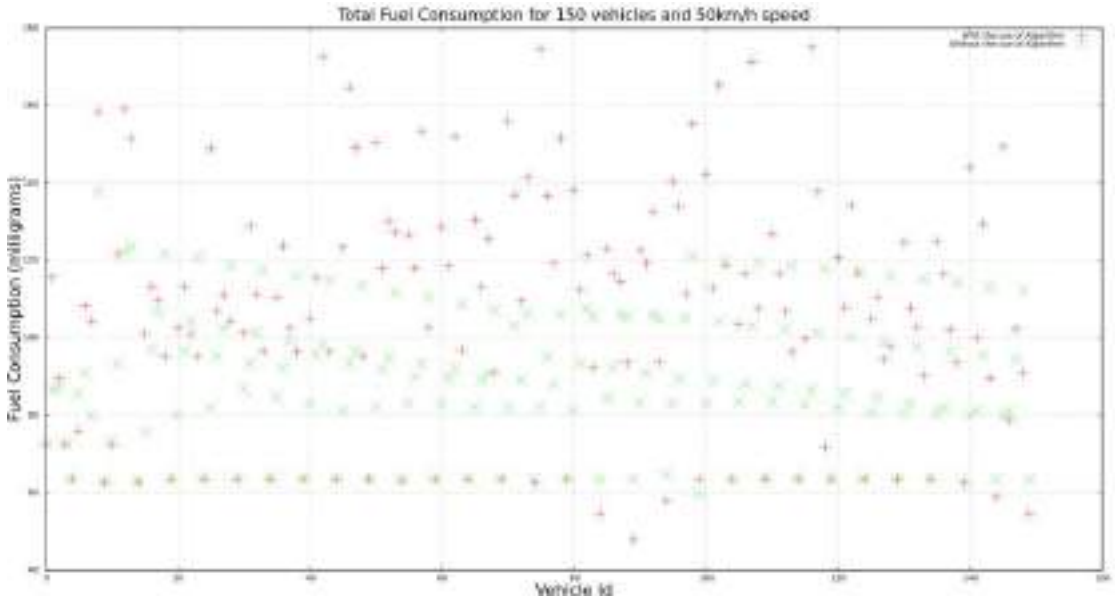

Total Fuel Consumption for 150 vehicles and 40km/h speed
Fuel Consumption (milligrams)
Vehicle Id

- Για 50 km/h:

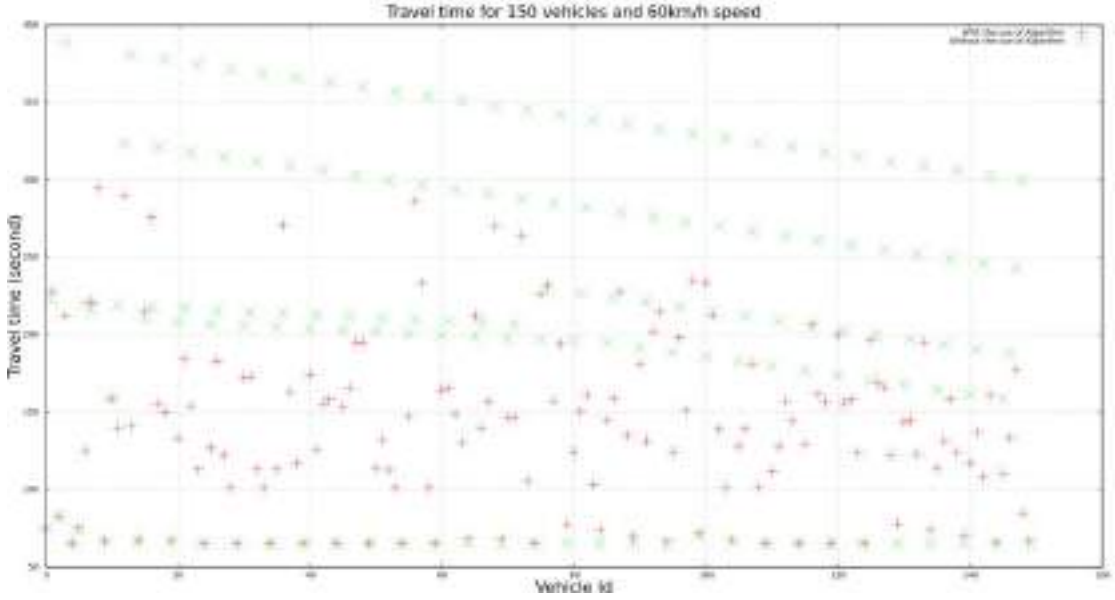

Travel time for 150 vehicles and 50km/h speed
Travel time (second)
Vehicle Id

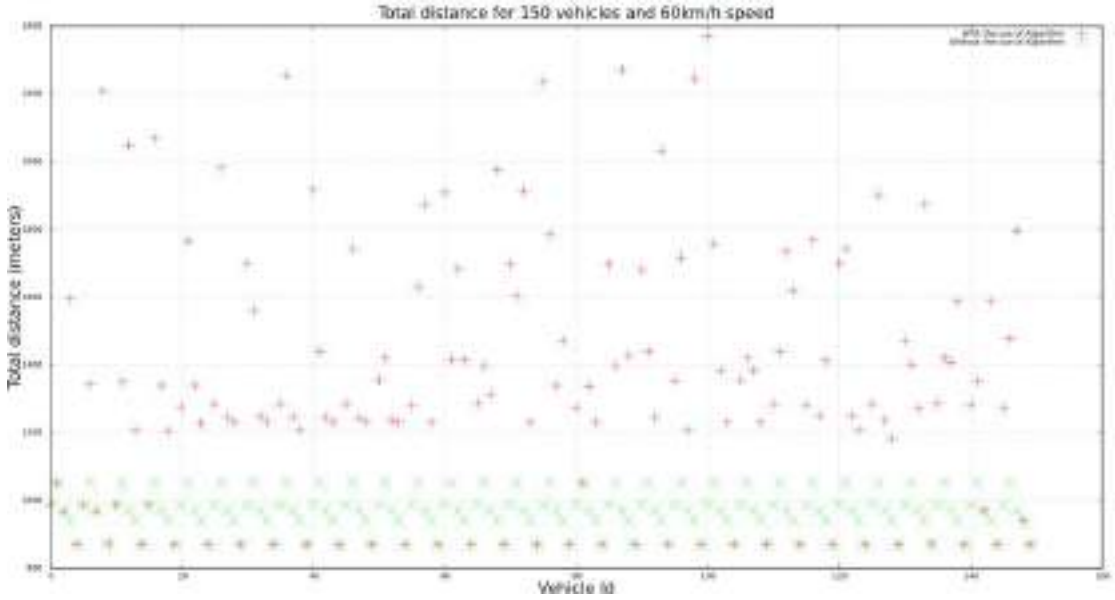

Total distance for 150 vehicles and 50km/h speed
Total distance (meters)
Vehicle Id

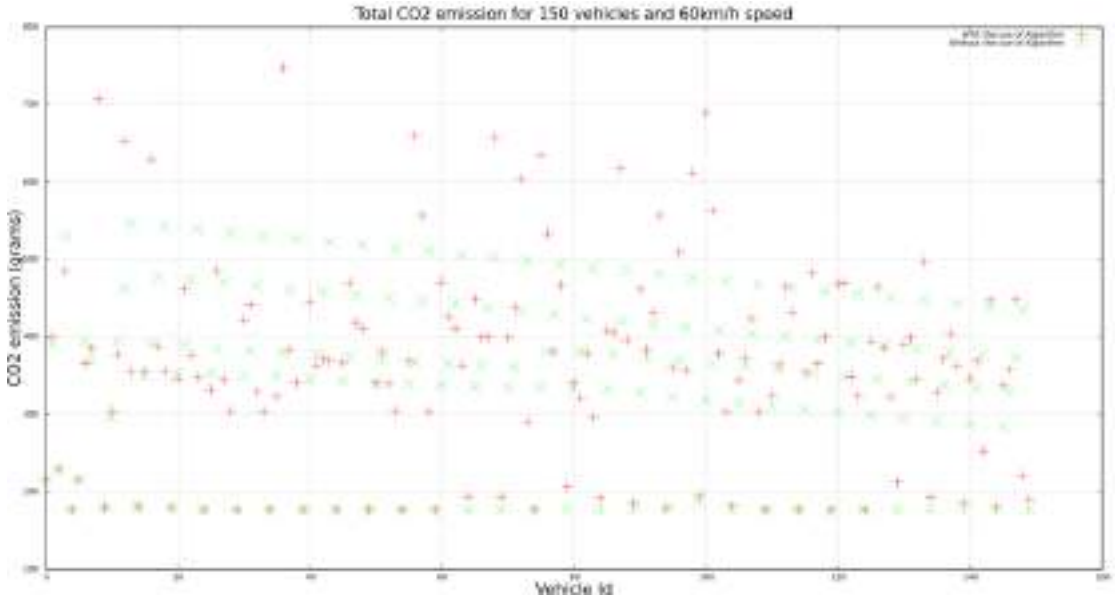

Total CO2 emission for 150 vehicles and 50km/h speed
CO2 emission (grams)
Vehicle Id

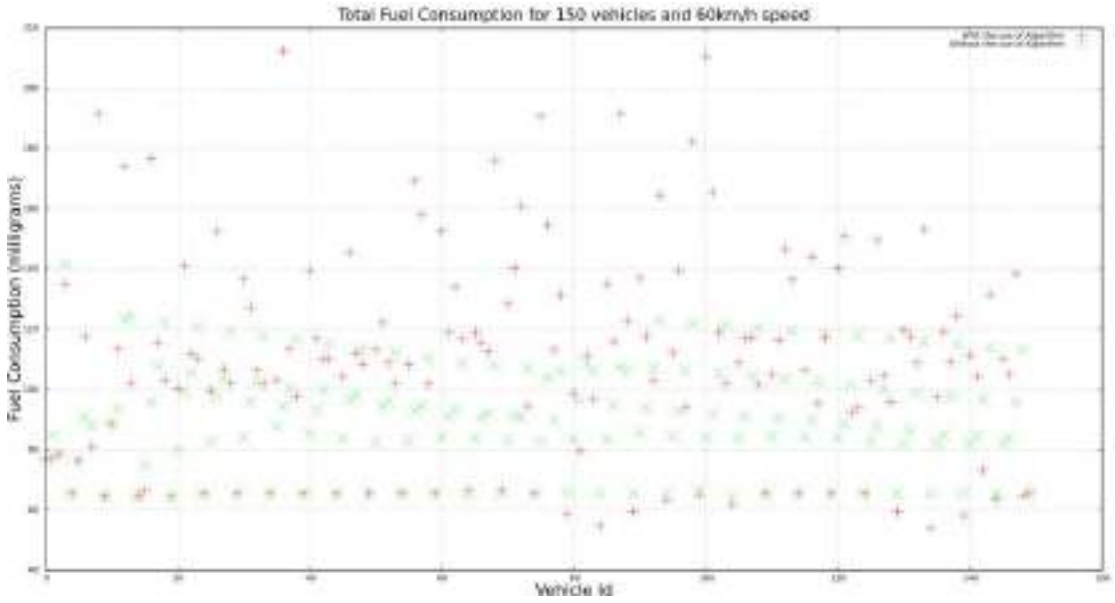

Total Fuel Consumption for 150 vehicles and 50km/h speed
Fuel Consumption (milligrams)
Vehicle Id

- Για 60 km/h:

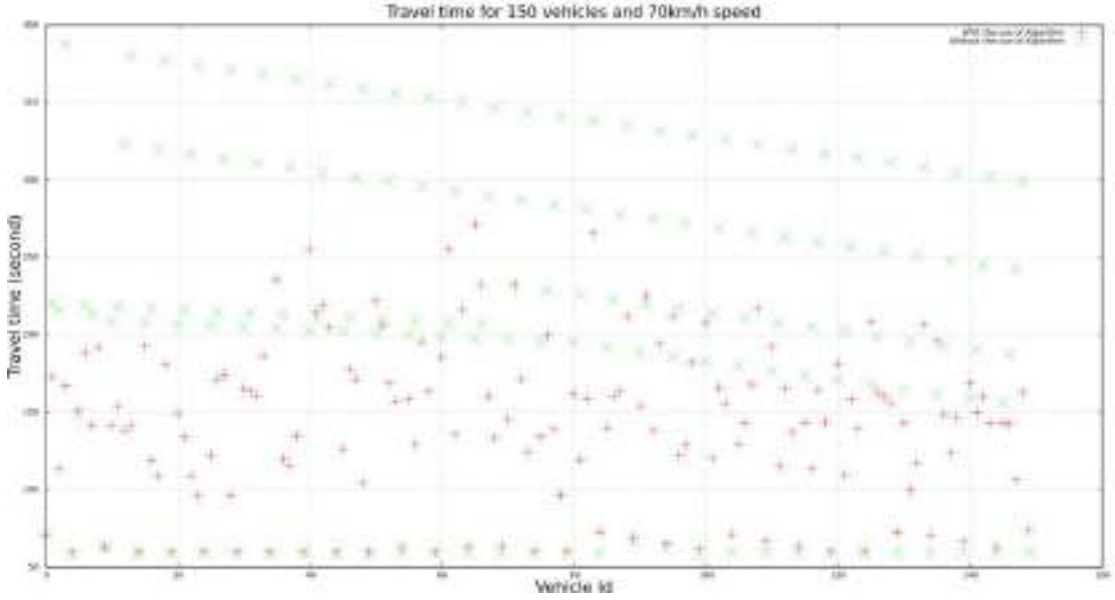

Travel time for 150 vehicles and 60km/h speed
Travel time (second)
Vehicle Id

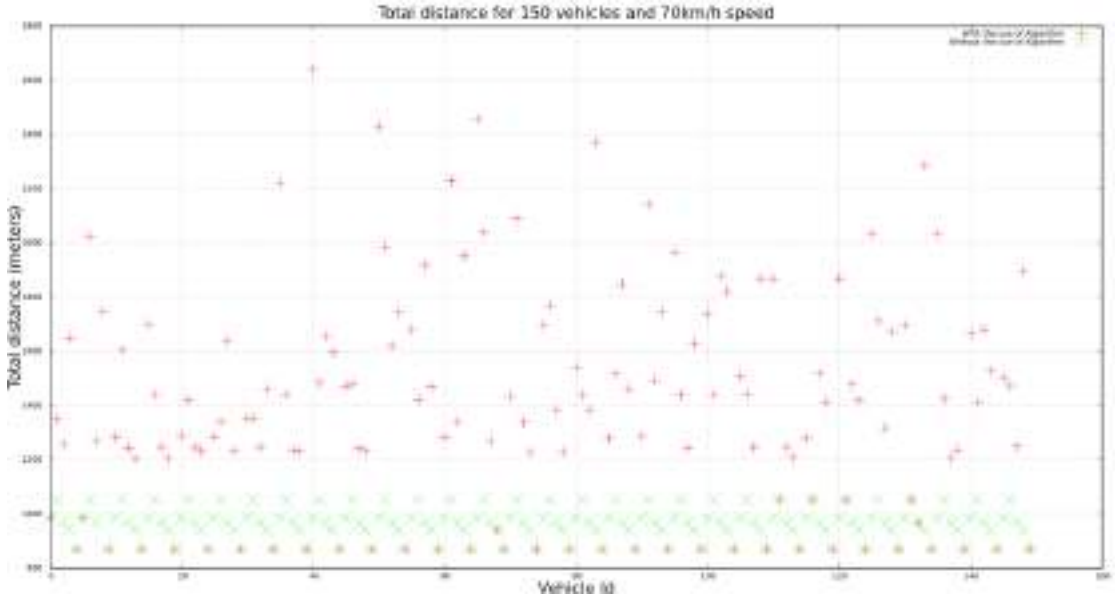

Total distance for 150 vehicles and 60km/h speed
Total distance (meters)
Vehicle Id

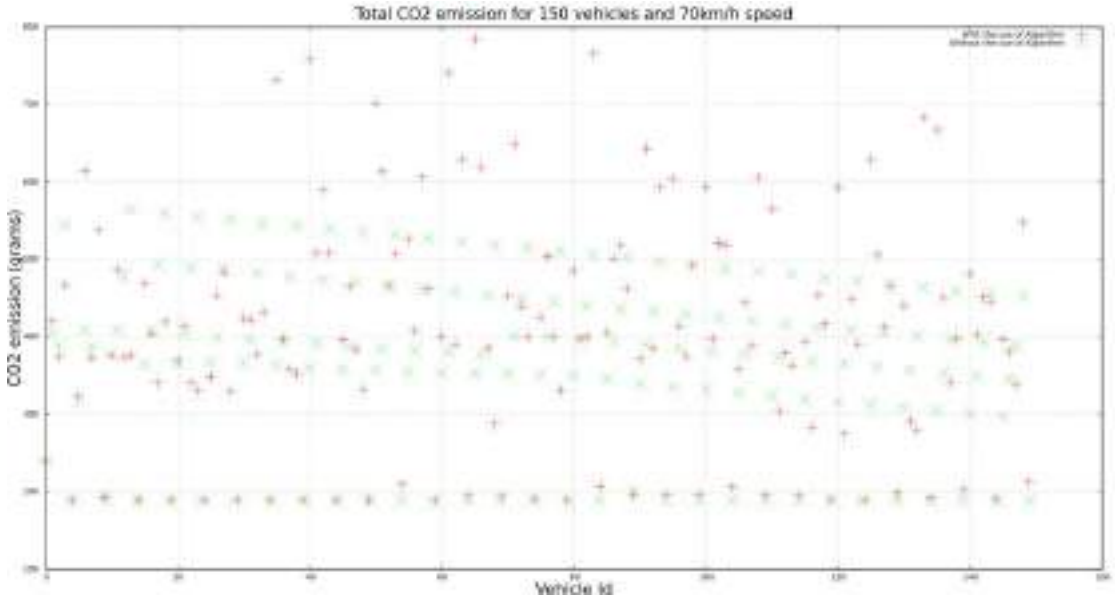

Total CO2 emission for 150 vehicles and 60km/h speed
CO2 emission (grams)
Vehicle Id

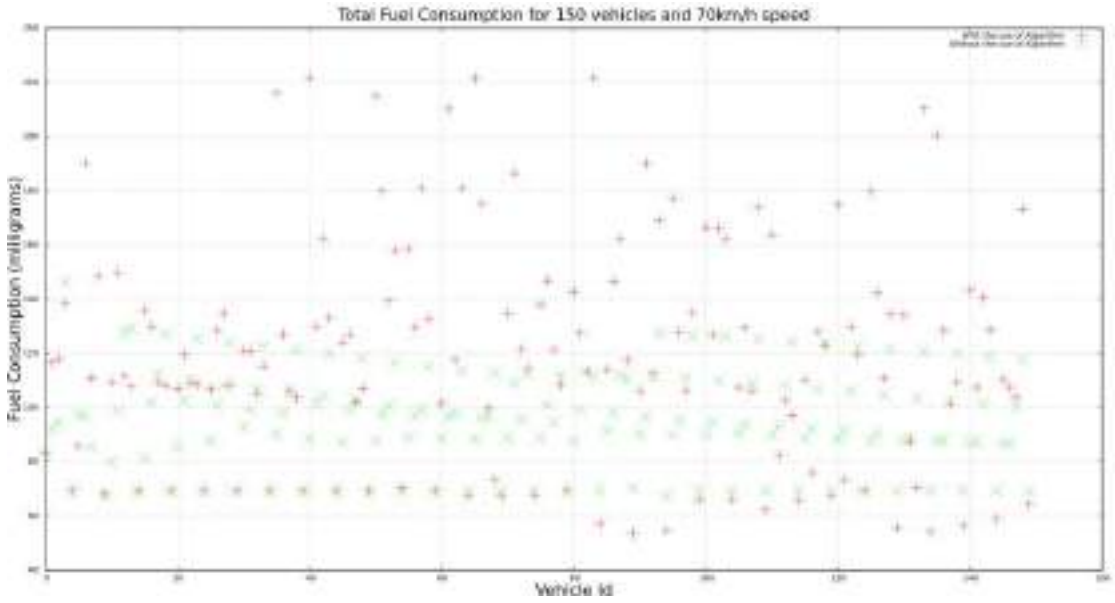

Total Fuel Consumption for 150 vehicles and 60km/h speed
Fuel Consumption (milligrams)
Vehicle Id

- Για 70 km/h:

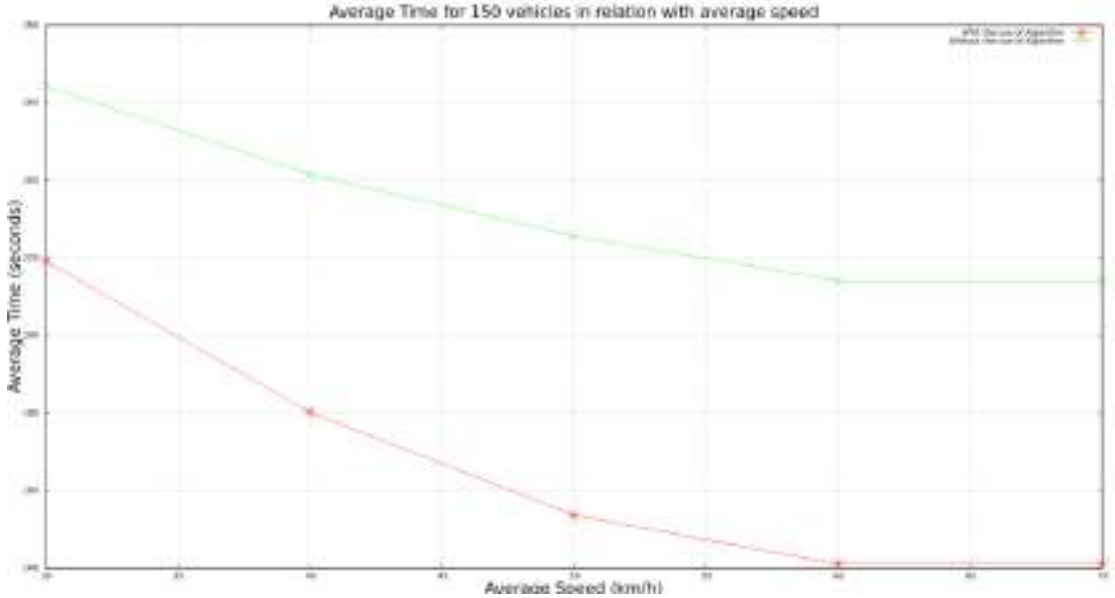

Travel time for 150 vehicles and 70km/h speed
Travel time (second)
Vehicle Id

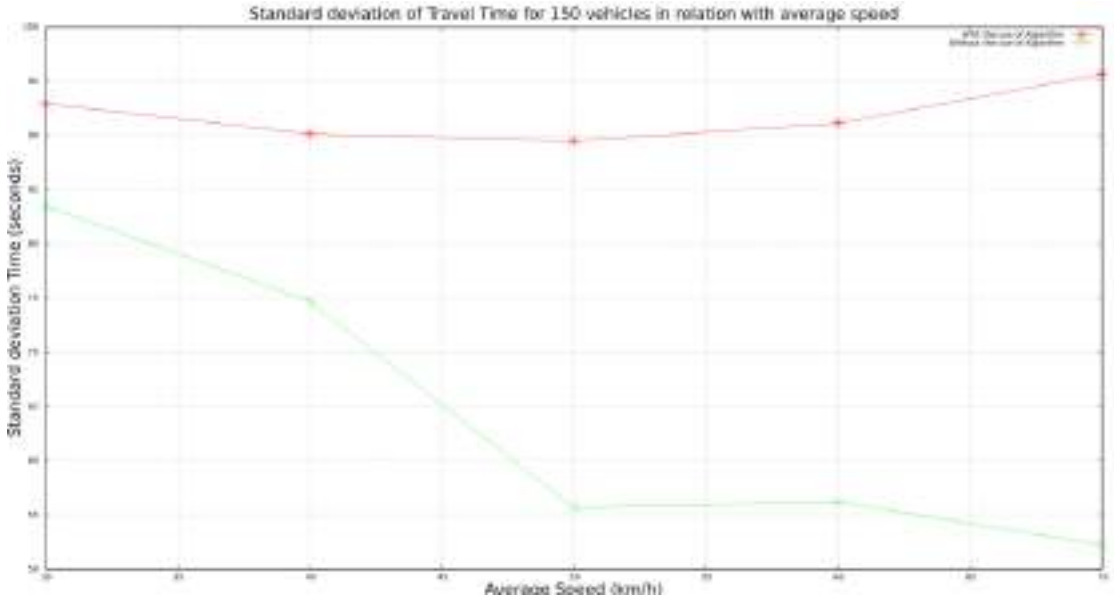

Total distance for 150 vehicles and 70km/h speed
Total distance (meters)
Vehicle Id

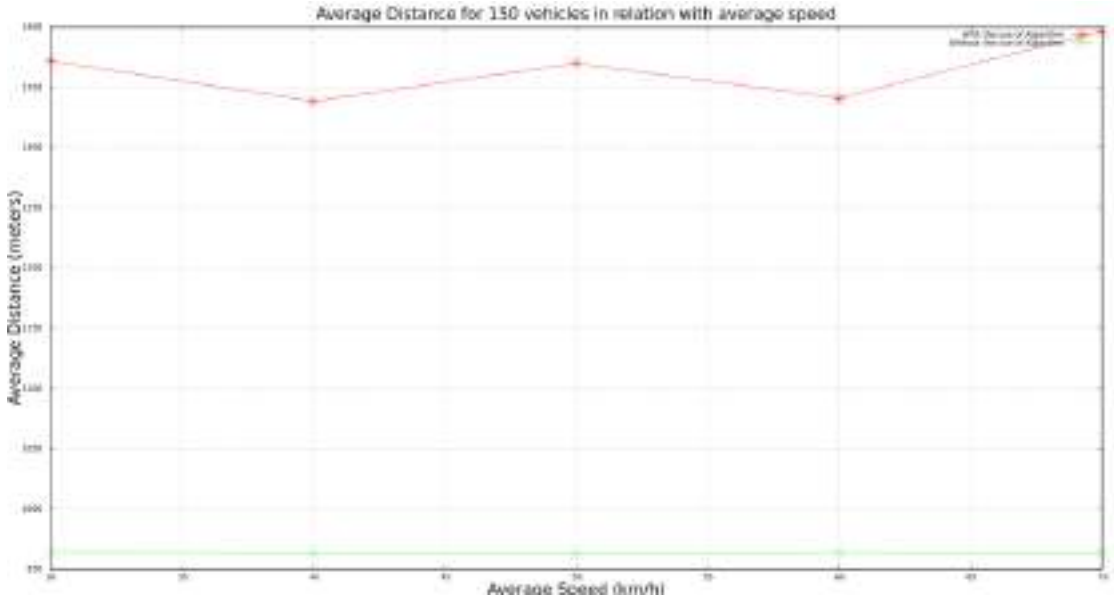

Total CO2 emission for 150 vehicles and 70km/h speed
CO2 emission (grams)
Vehicle Id

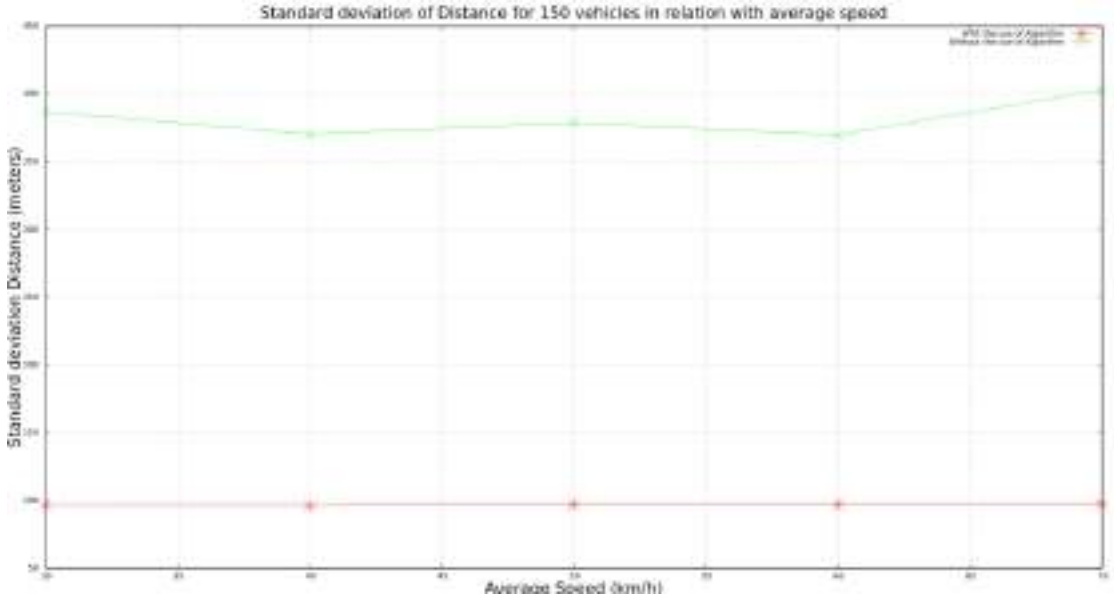


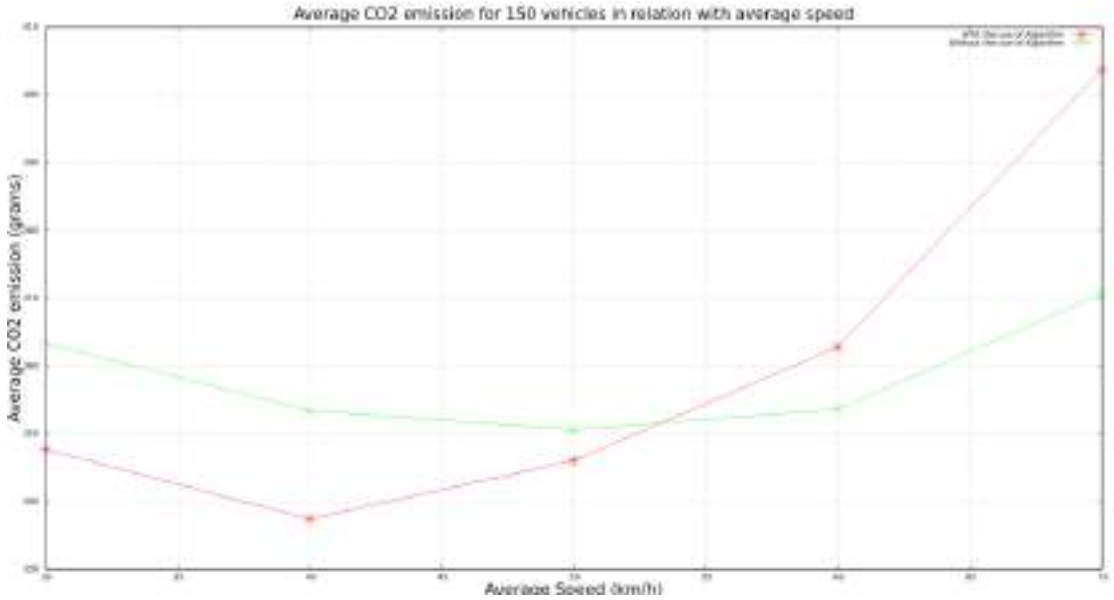
- Συγκριτικά αποτελέσματα

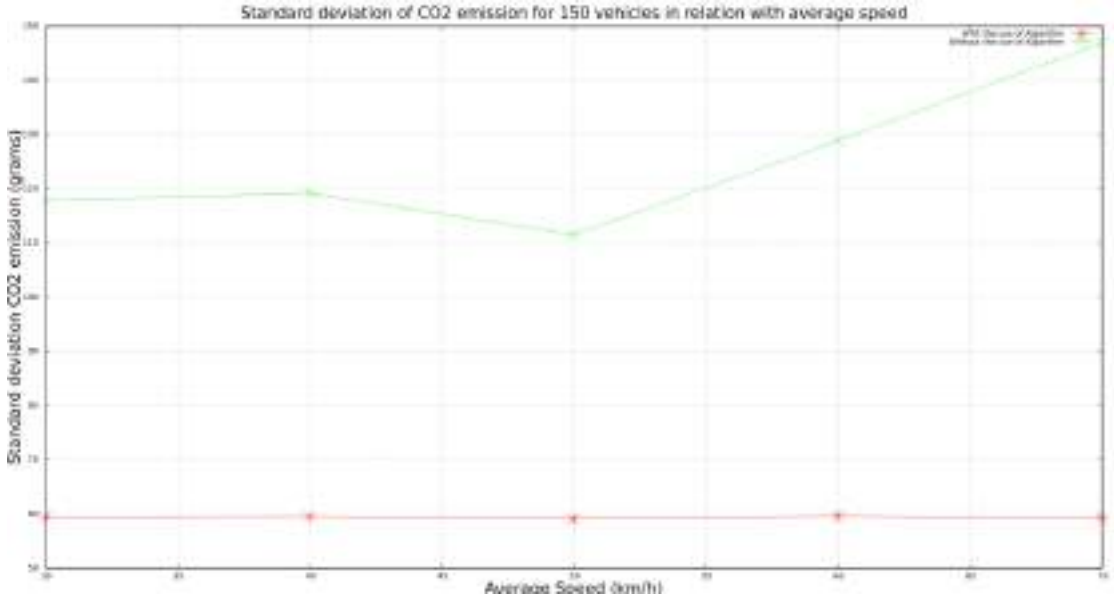


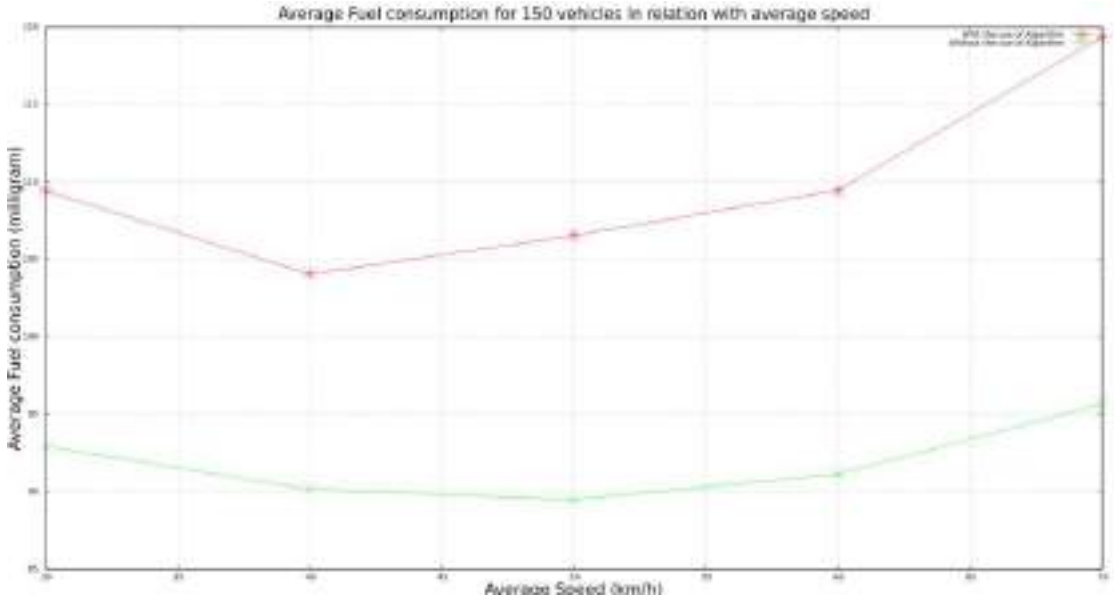

Standard deviation of Travel Time for 150 vehicles in relation with average speed
Standard deviation Time (seconds)
Average Speed (km/h)

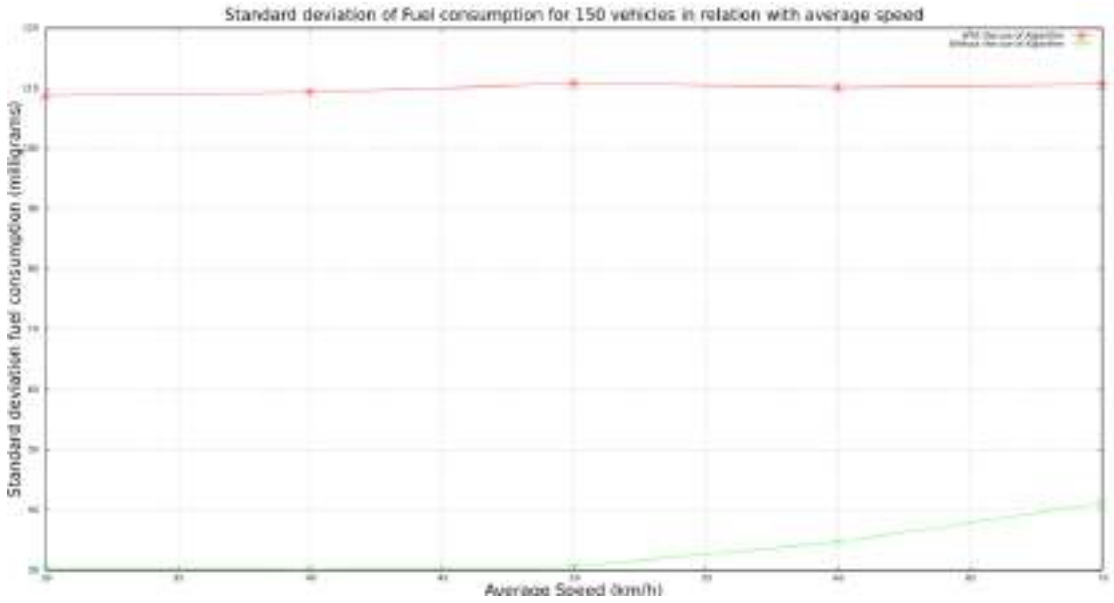

Average Distance for 150 vehicles in relation with average speed
Average Distance (meters)
Average Speed (km/h)


Standard deviation of Distance for 150 vehicles in relation with average speed
Standard deviation Distance (meters)
Average Speed (km/h)


Average CO2 emission for 150 vehicles in relation with average speed
Average CO2 emission (grams)
Average Speed (km/h)


Standard deviation of CO2 emission for 150 vehicles in relation with average speed
Standard deviation CO2 emission (grams)
Average Speed (km/h)


Average Fuel consumption for 150 vehicles in relation with average speed
Average Fuel consumption (milligram)
Average Speed (km/h)

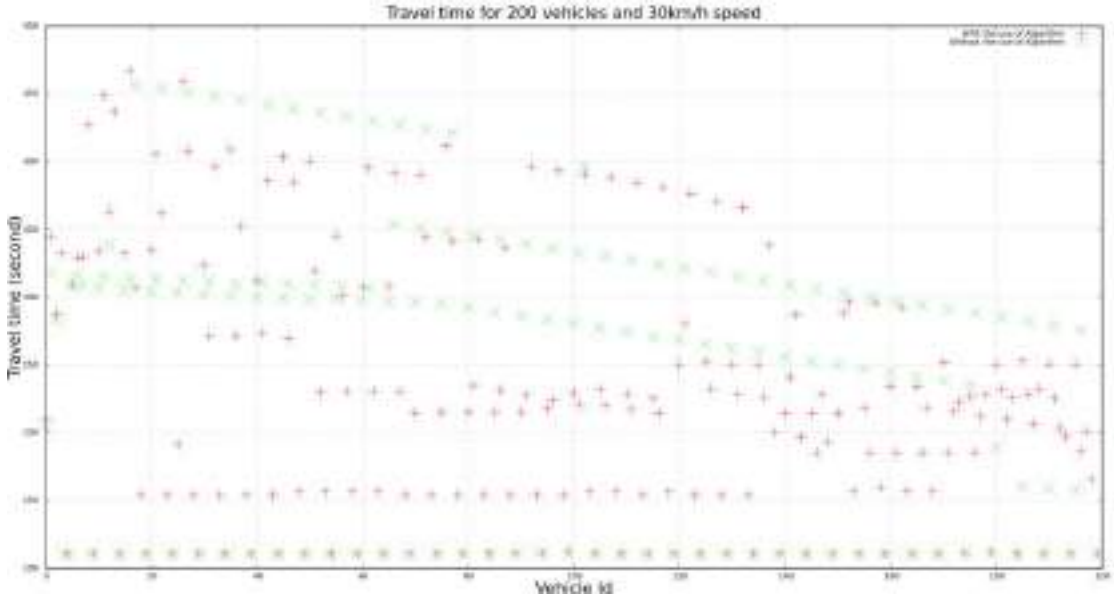


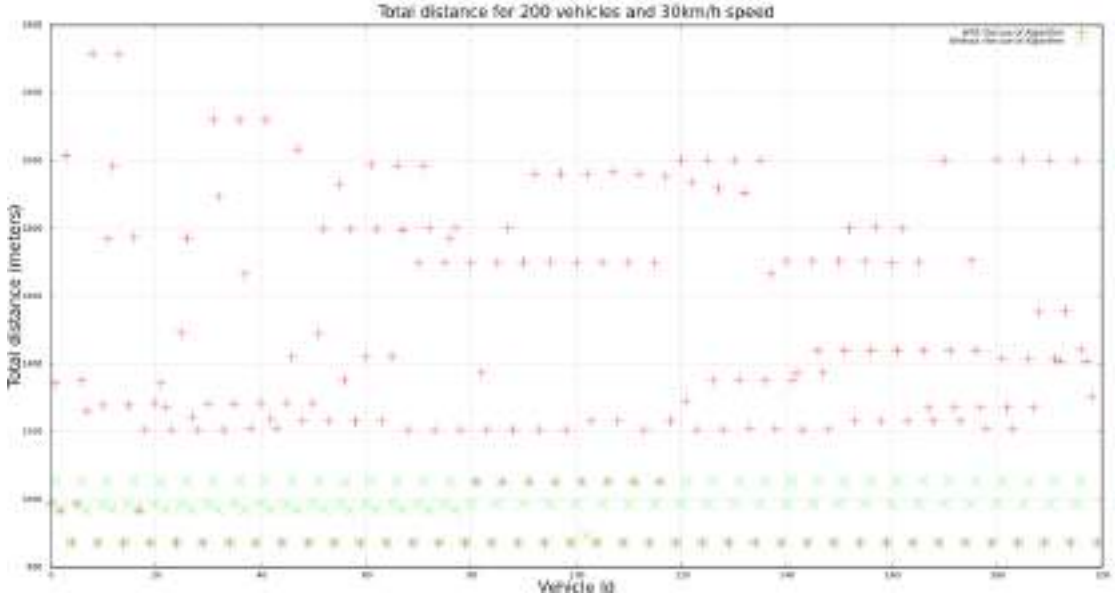
- Σχόλια/Παρατηρήσεις

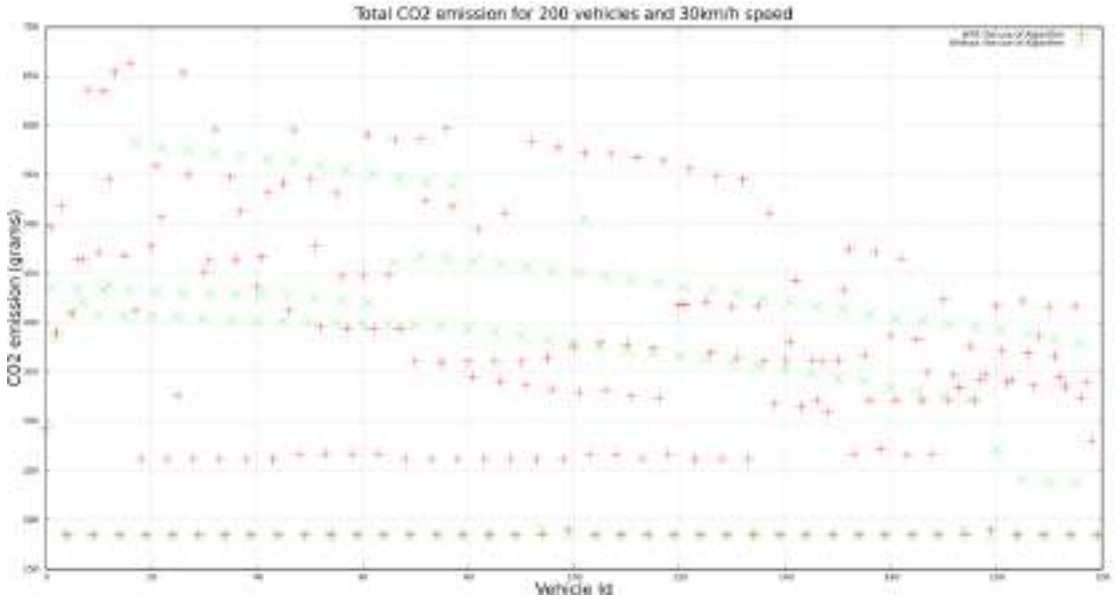
Σε αυτή την περίπτωση που το γράφημα είναι αρκετά πυκνό, παρατηρούμε ότι έχουμε μεγάλη βελτίωση στην απόδοση. Αρχικά, βλέπουμε ότι έχουμε βελτίωση του travel time μέχρι και 57%. Τα οχήματα κατά μέσο όρο διανύουν 350 με 400 μέτρα επιπλέον για να αποφύγουν την κυκλοφοριακή συμφόρηση, βελτιώνοντας αισθητά όμως το μέσο χρόνο που χρειάζονται για να φτάσουν στον προορισμό τους. Όσο αναφορά το CO2 emission, παρατηρούμε ότι έχουμε μικρότερη ποσότητα εκπομπής διοξειδίου του άνθρακα με τη χρήση του αλγορίθμου στις μικρότερες ταχύτητες ενώ για ταχύτητες 60 και 70 χιλιομέτρων ανά ώρα βλέπουμε ότι η εκπομπή είναι υψηλότερη. Η κατανάλωση καυσίμων είναι και πάλι μεγαλύτερη όπως και στις άλλες περιπτώσεις.

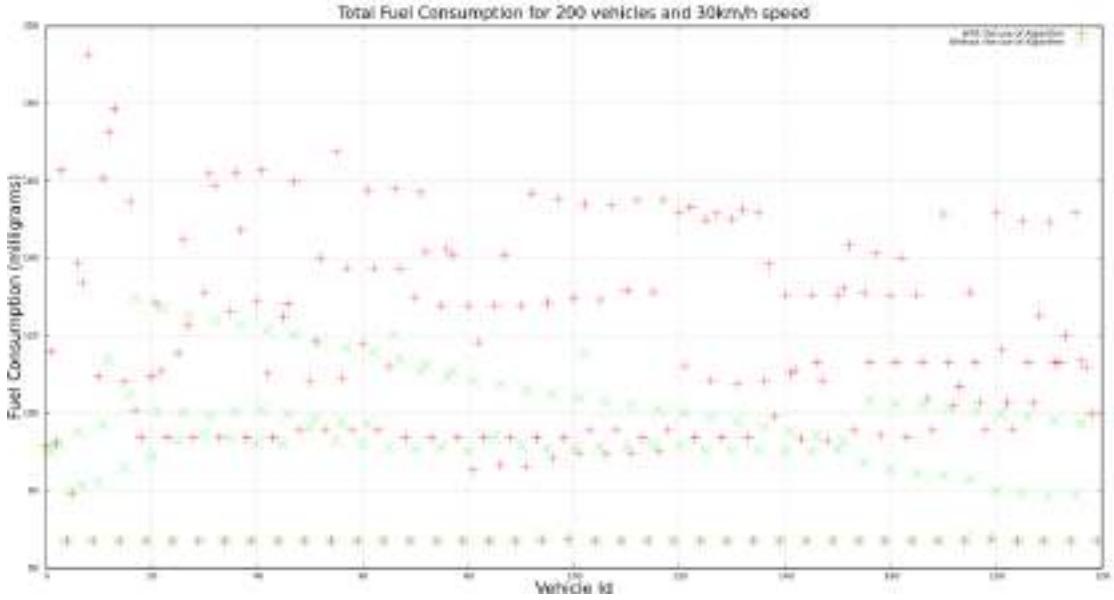
4.2.4 Αποτελέσματα για 200 οχήματα

- Για 30 km/h:

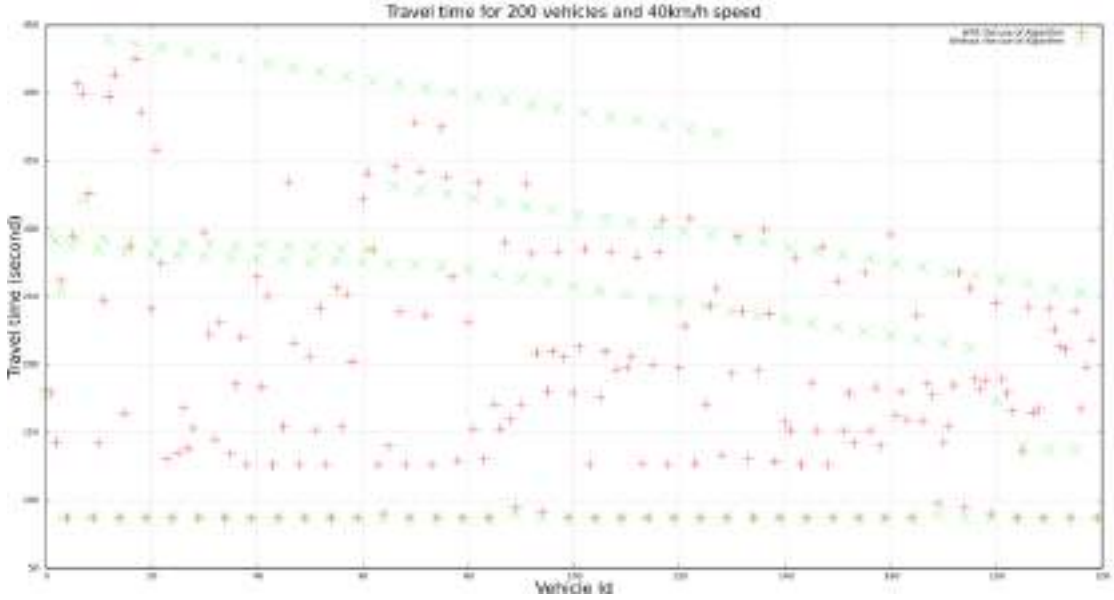


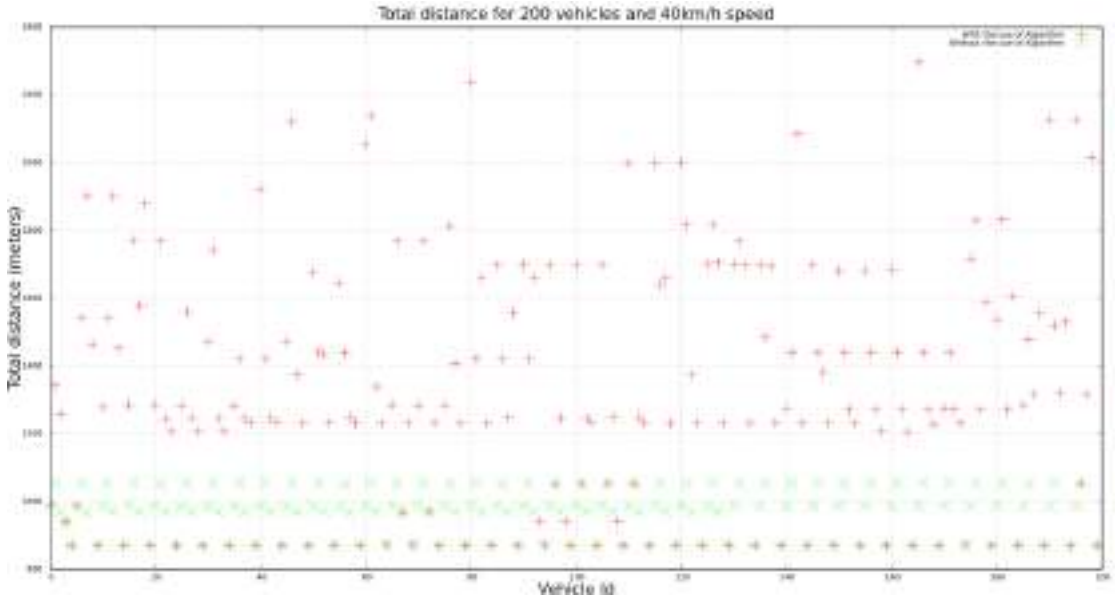

Total distance for 200 vehicles and 30km/h speed
Total distance (meters)
Vehicle Id

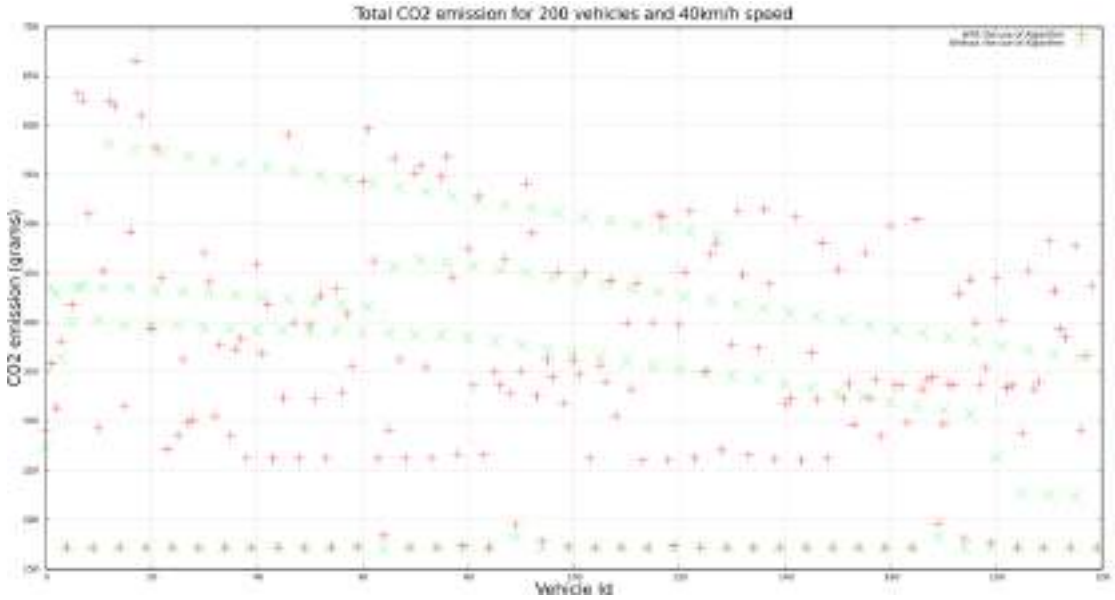

Total CO2 emission for 200 vehicles and 30km/h speed
CO2 emission (grams)
Vehicle Id

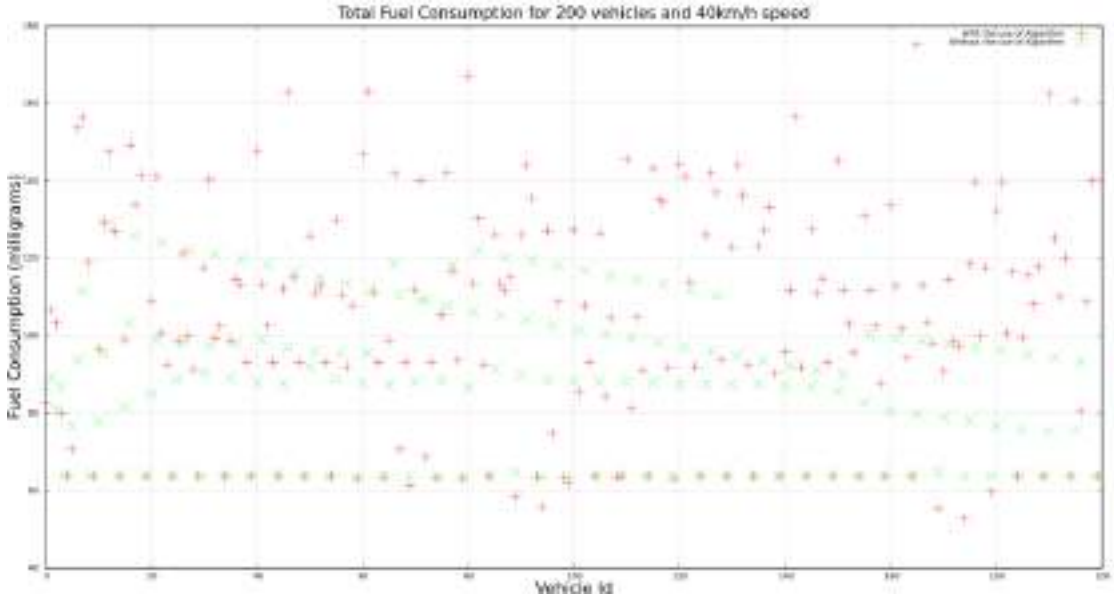

Total Fuel Consumption for 200 vehicles and 30km/h speed
Fuel Consumption (milligrams)
Vehicle Id

- Για 40 km/h:

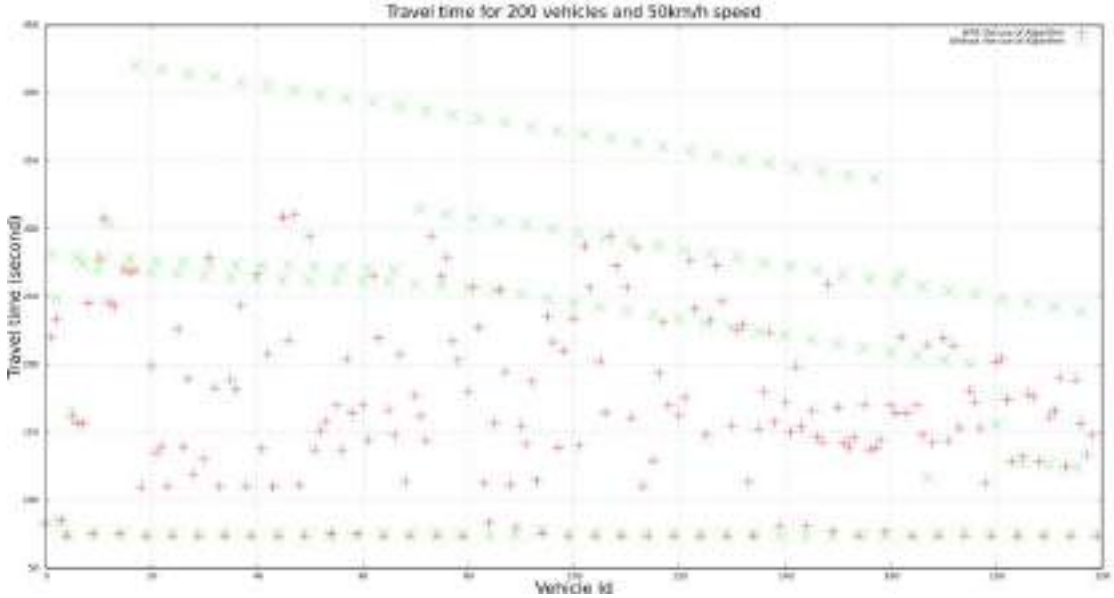

Travel time for 200 vehicles and 40km/h speed
Travel time (second)
Vehicle Id

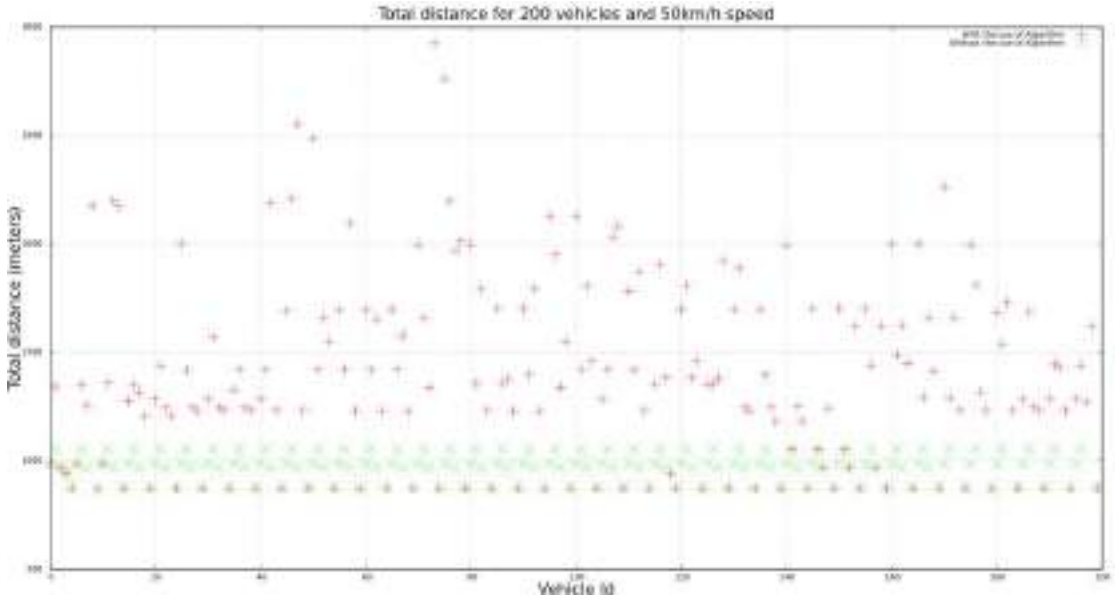

Total distance for 200 vehicles and 40km/h speed
Total distance (meters)
Vehicle Id

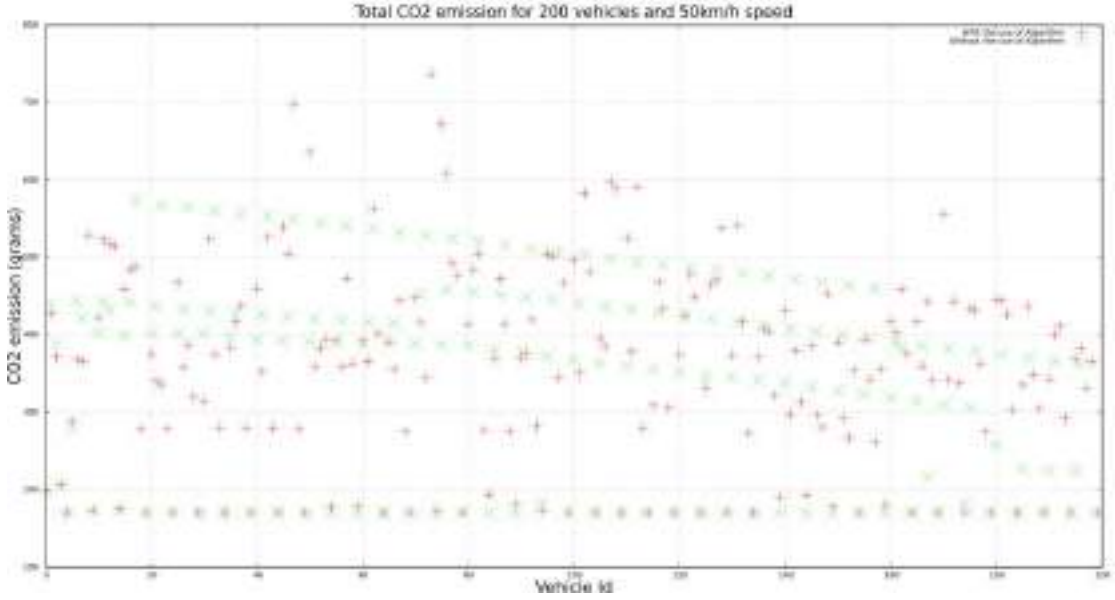

Total CO2 emission for 200 vehicles and 40km/h speed
CO2 emission (grams)
Vehicle Id

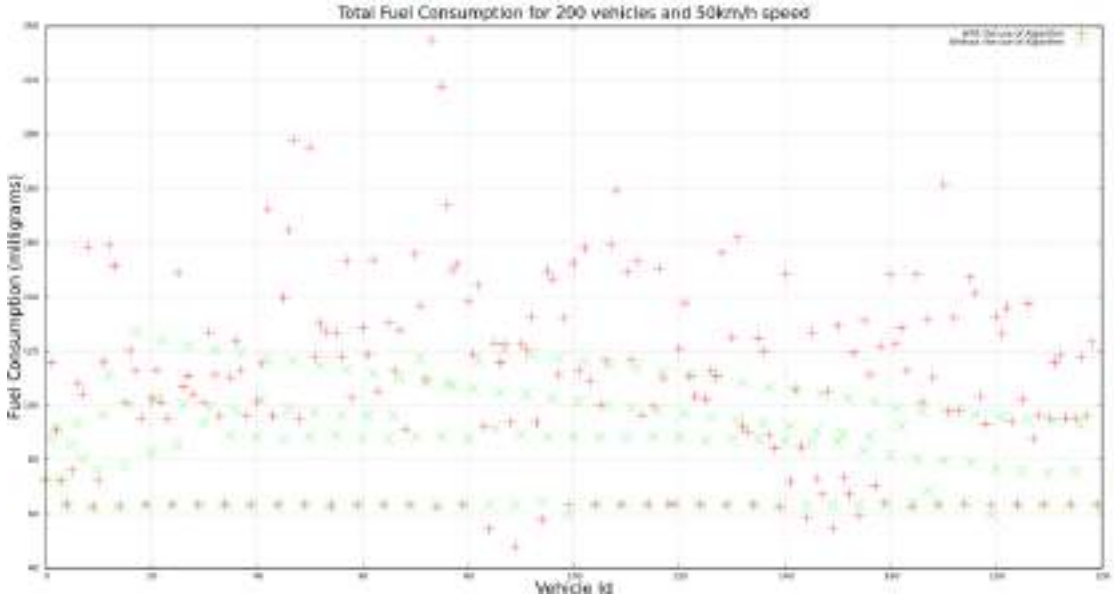

Total Fuel Consumption for 200 vehicles and 40km/h speed
Fuel Consumption (milligrams)
Vehicle Id

- Για 50 km/h:

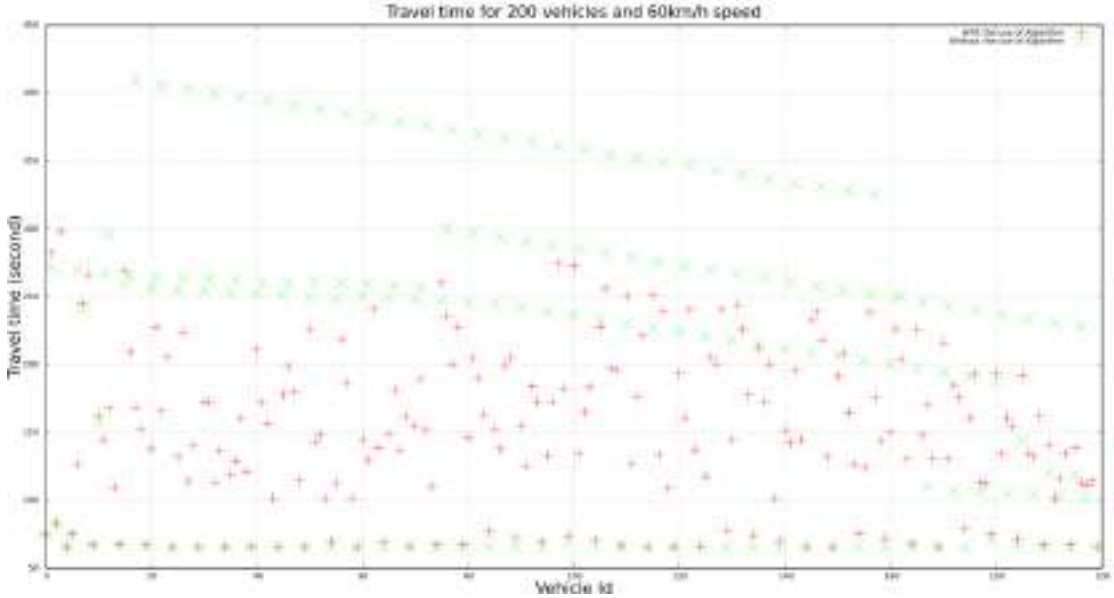

Travel time for 200 vehicles and 50km/h speed
Travel time (second)
Vehicle Id

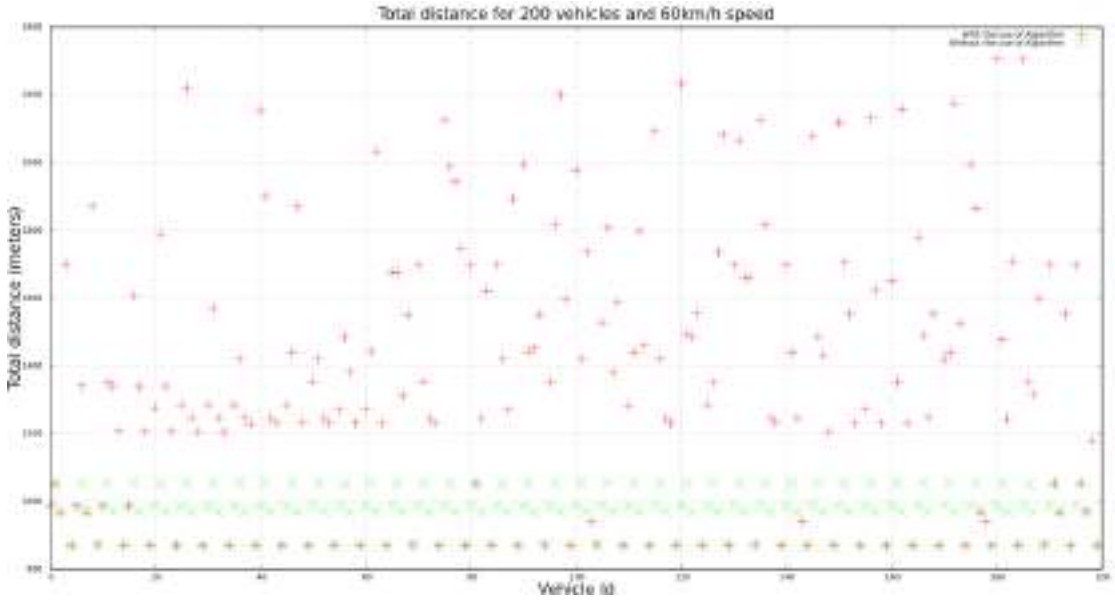

Total distance for 200 vehicles and 50km/h speed
Total distance (meters)
Vehicle Id

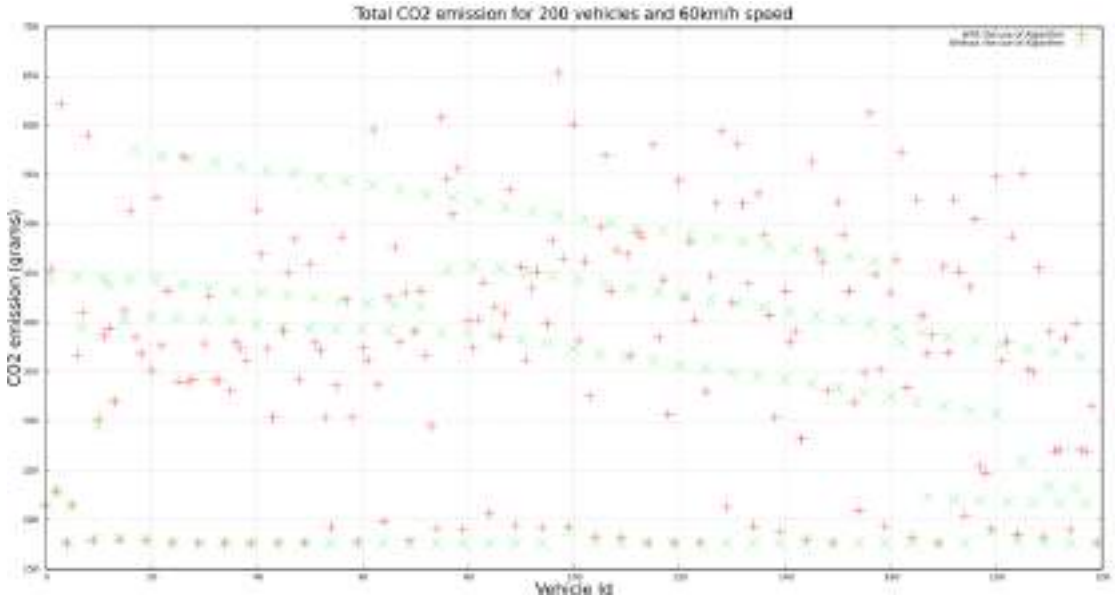

Total CO2 emission for 200 vehicles and 50km/h speed
CO2 emission (grams)
Vehicle Id

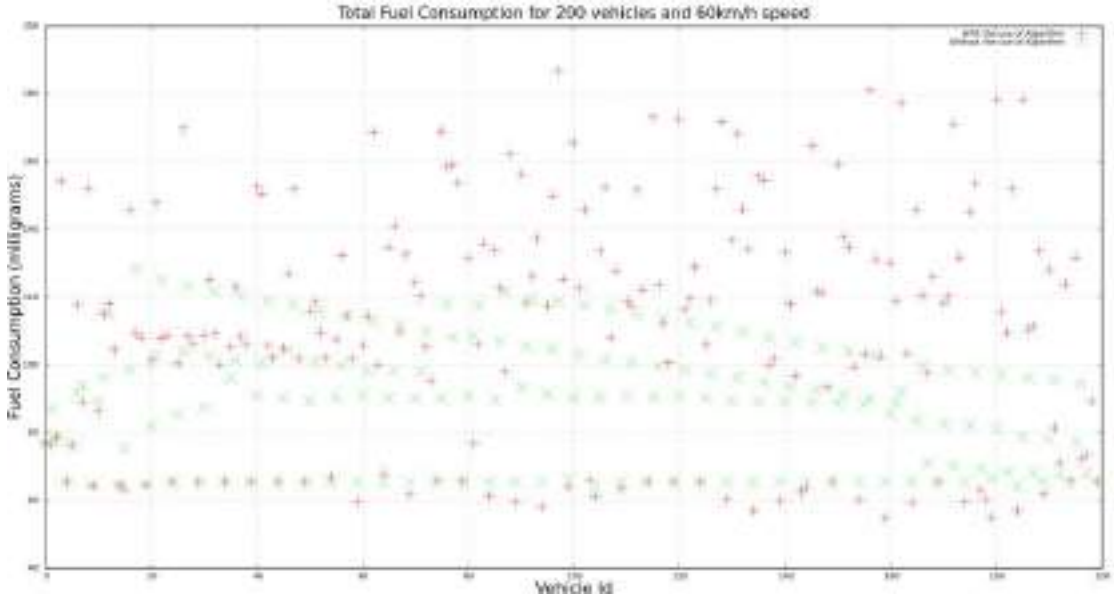

Total Fuel Consumption for 200 vehicles and 50km/h speed
Fuel Consumption (milligrams)
Vehicle Id

- Για 60 km/h:

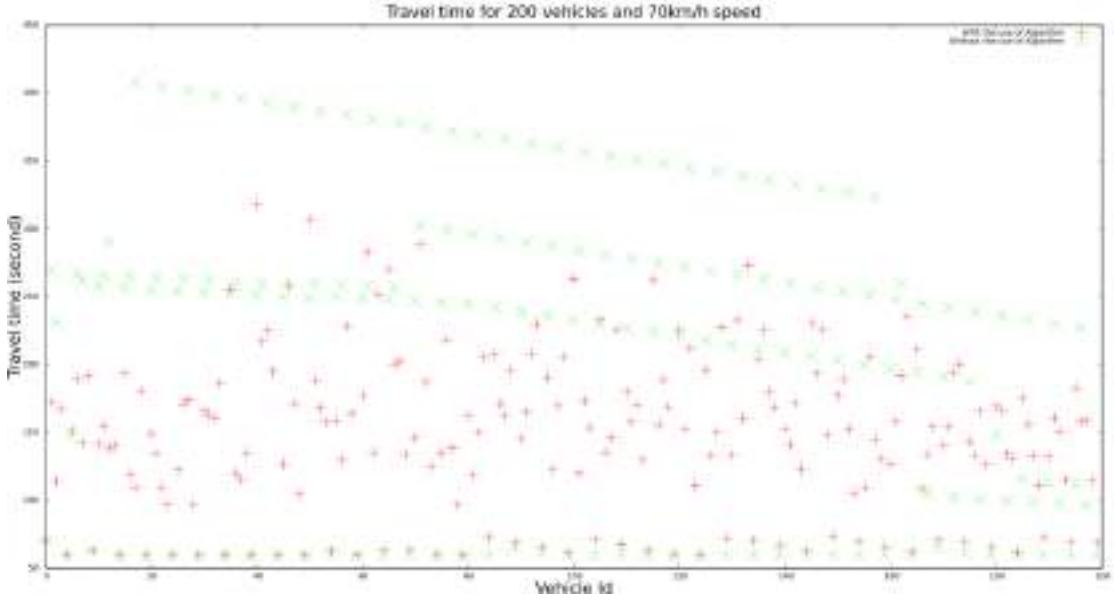

Travel time for 200 vehicles and 60km/h speed
Travel time (second)
Vehicle Id

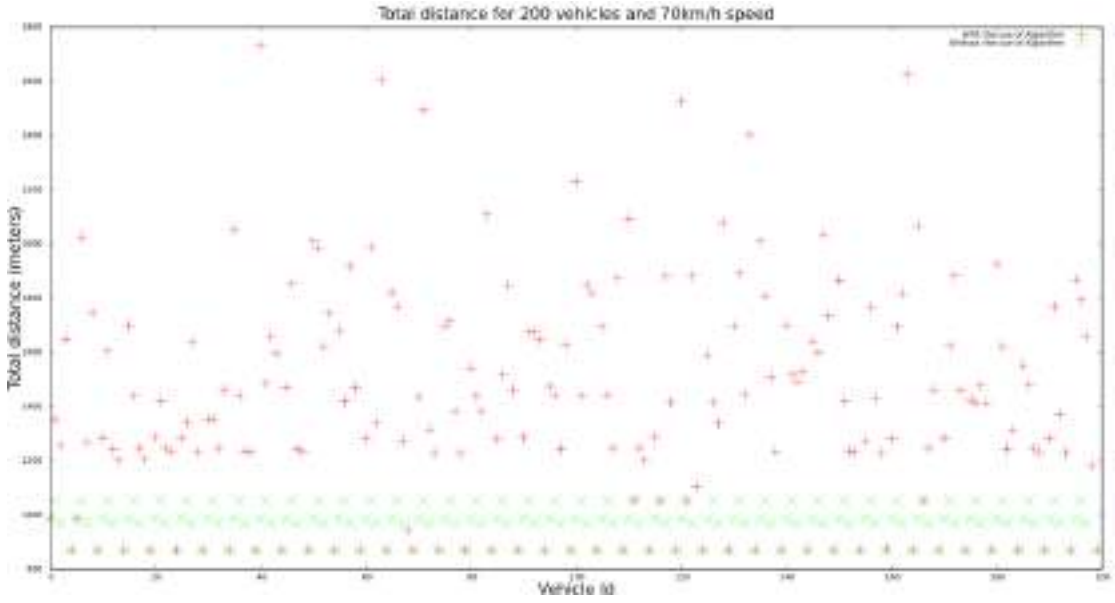

Total distance for 200 vehicles and 60km/h speed
Total distance (meters)
Vehicle Id

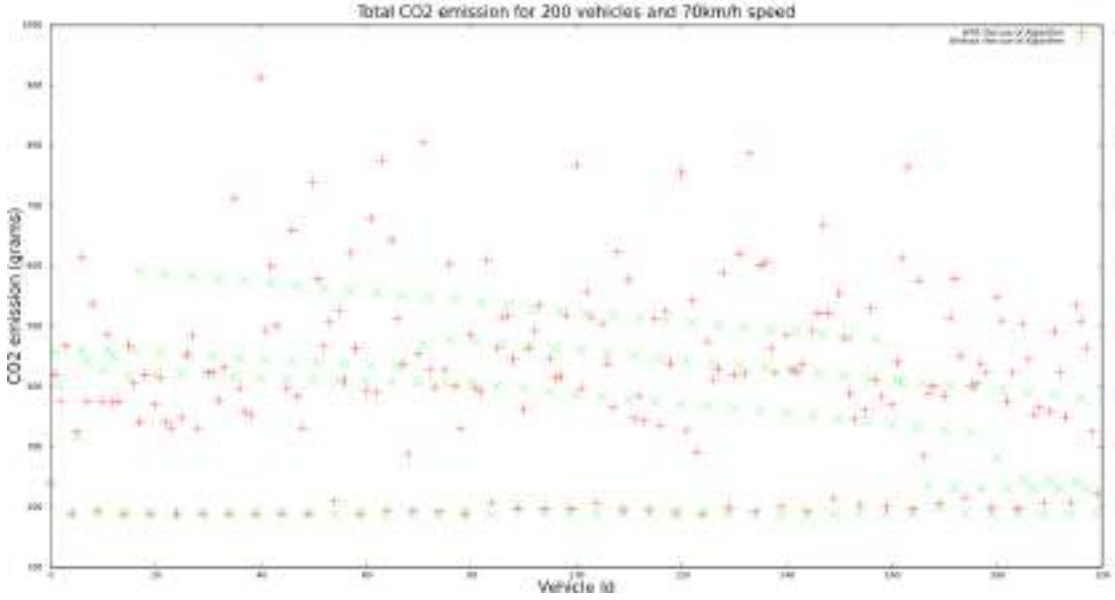

Total CO2 emission for 200 vehicles and 60km/h speed
CO2 emission (grams)
Vehicle Id

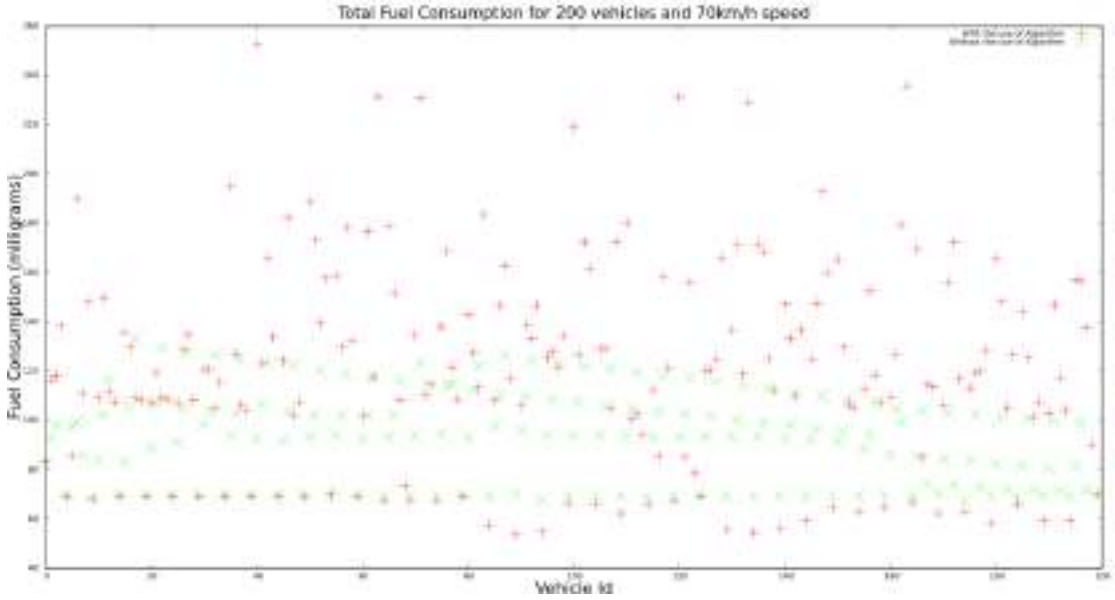

Total Fuel Consumption for 200 vehicles and 60km/h speed
Fuel Consumption (milligrams)
Vehicle Id

- Για 70 km/h:

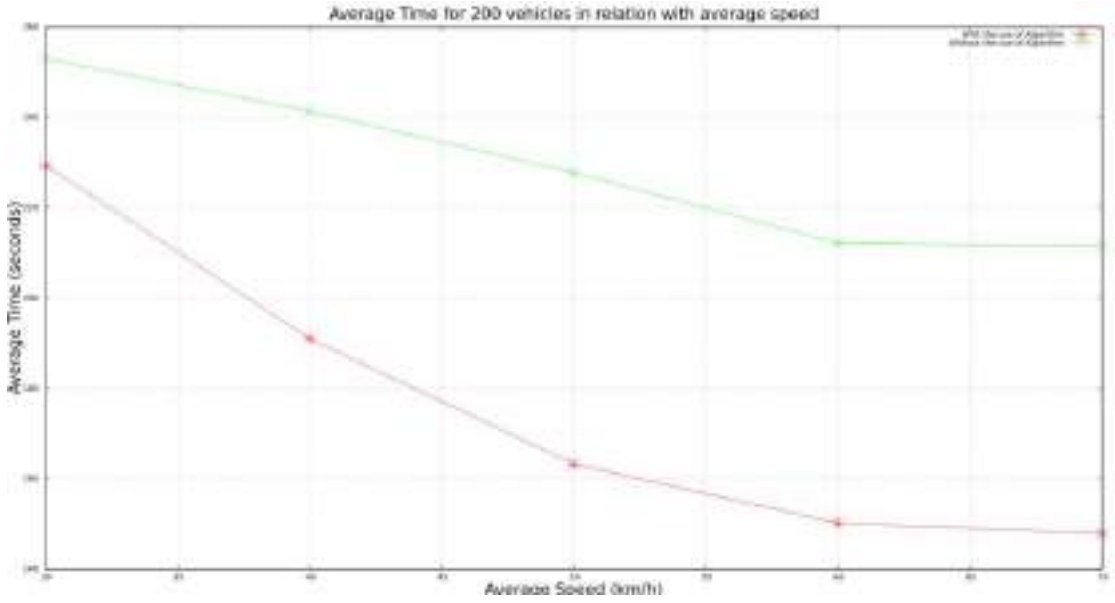

Travel time for 200 vehicles and 70km/h speed
Travel time (second)
Vehicle Id

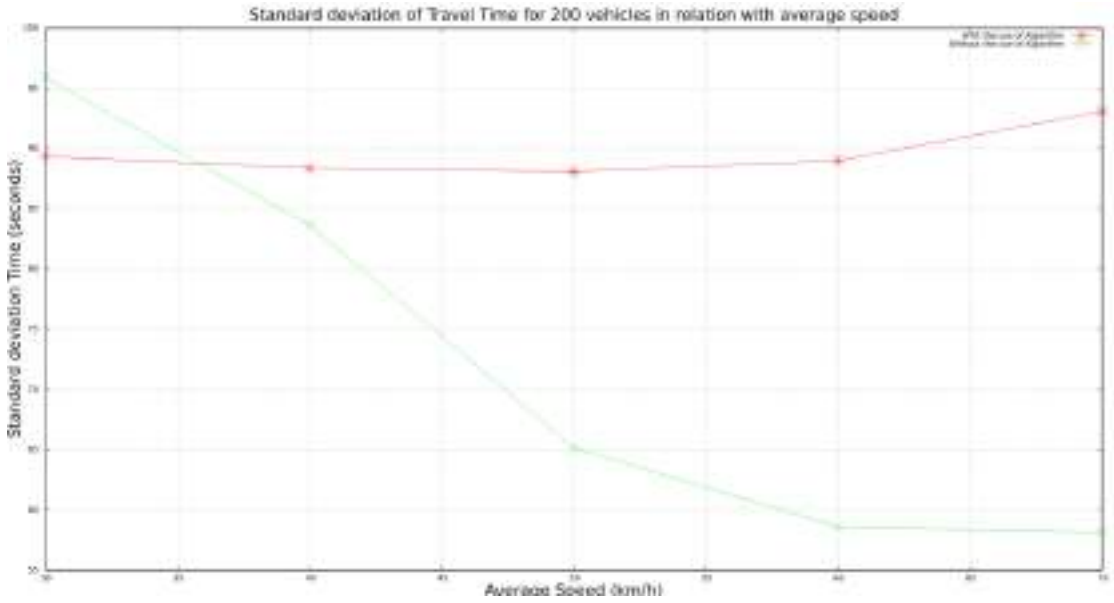

Total distance for 200 vehicles and 70km/h speed
Total distance (meters)
Vehicle Id

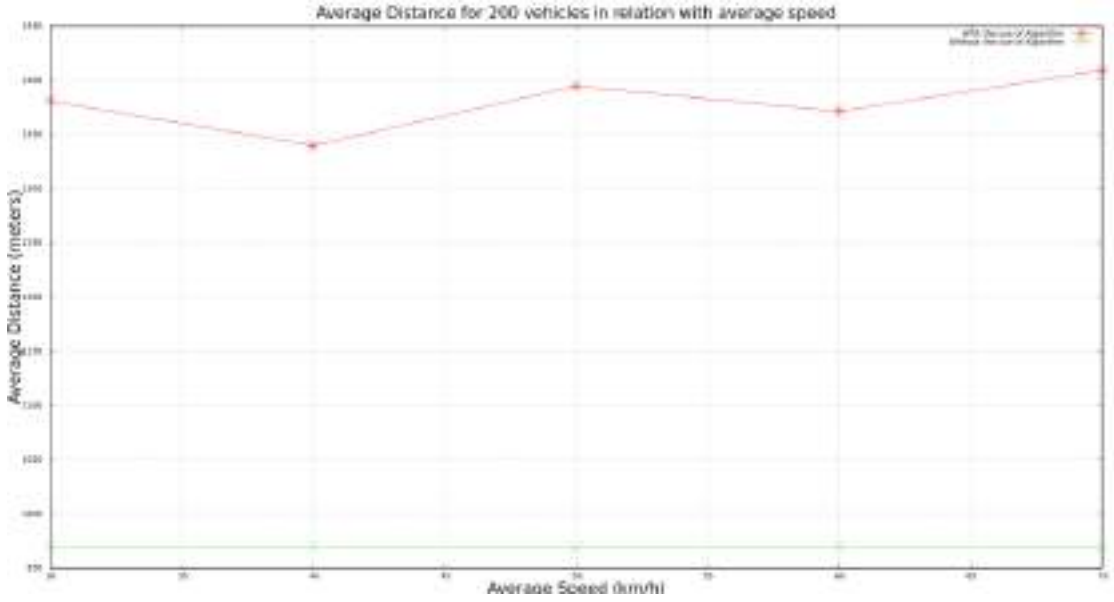

Total CO2 emission for 200 vehicles and 70km/h speed
CO2 emission (grams)
Vehicle Id

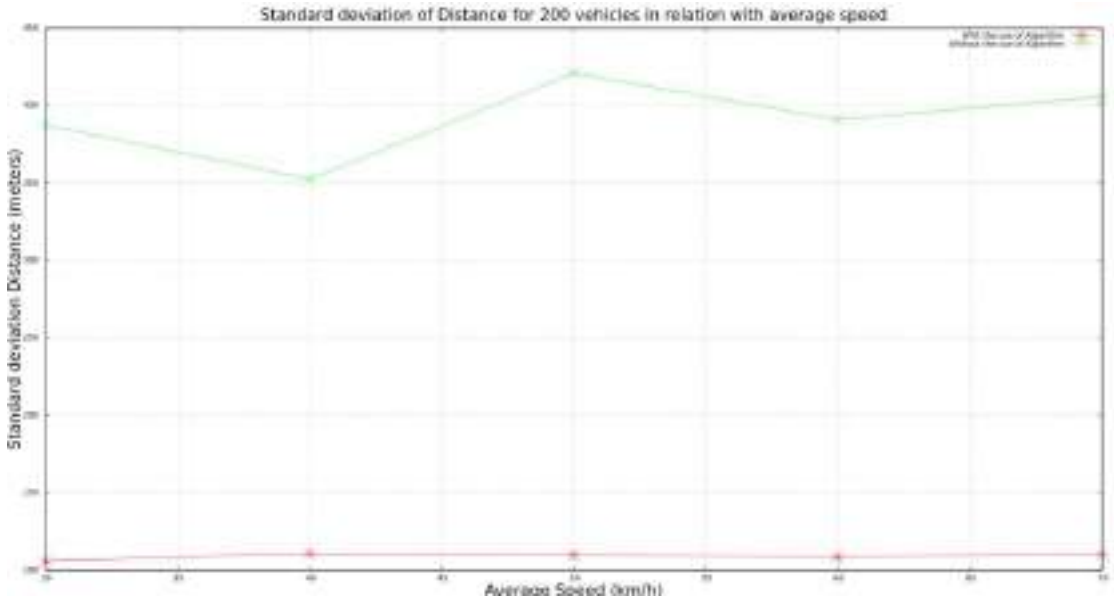


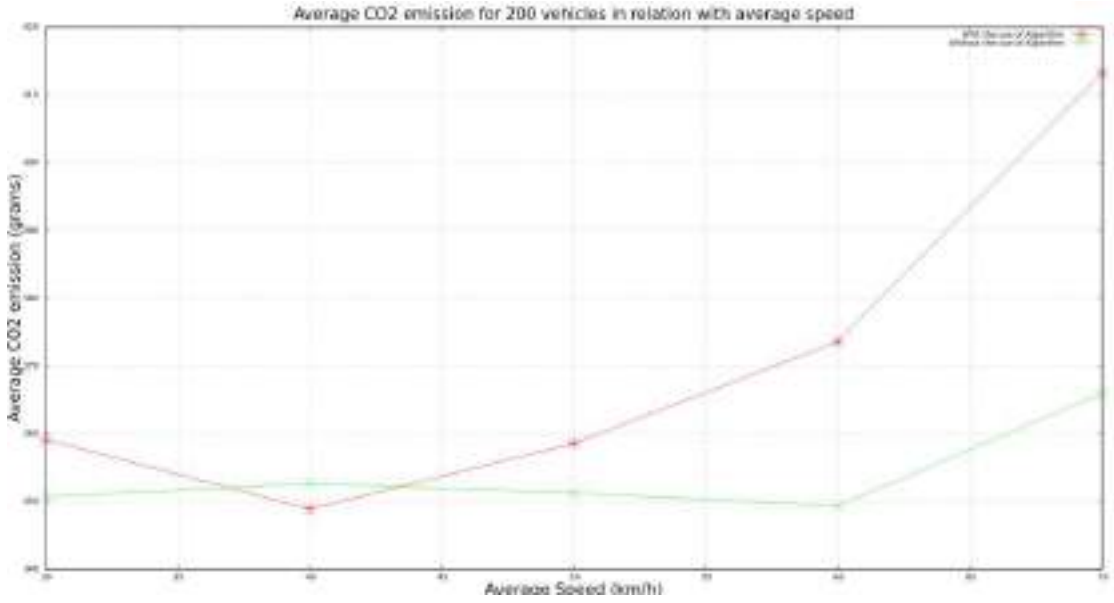
- Συγκριτικά αποτελέσματα

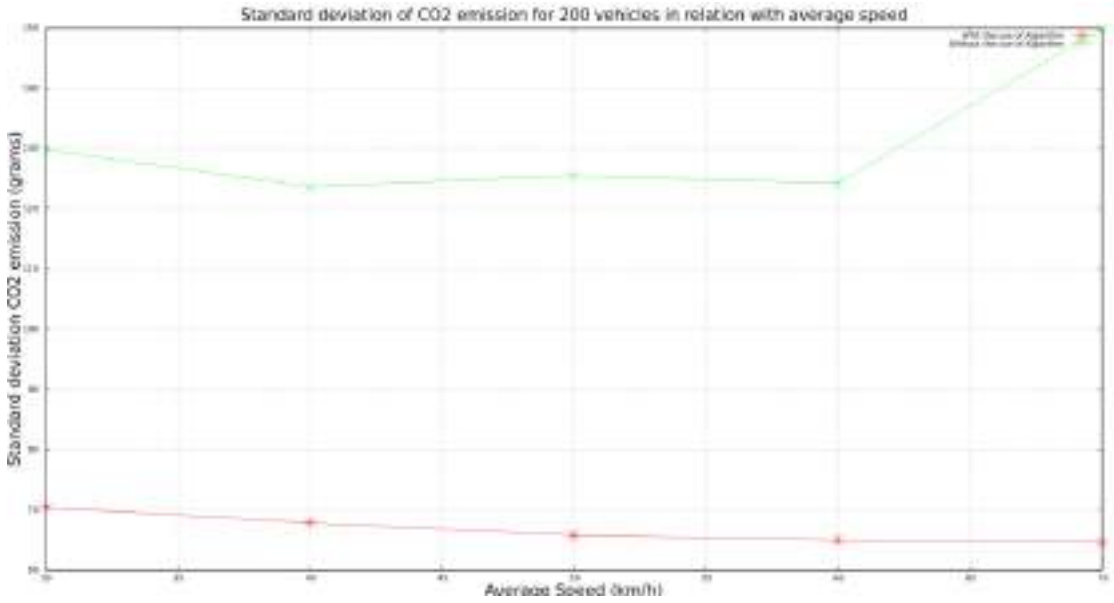


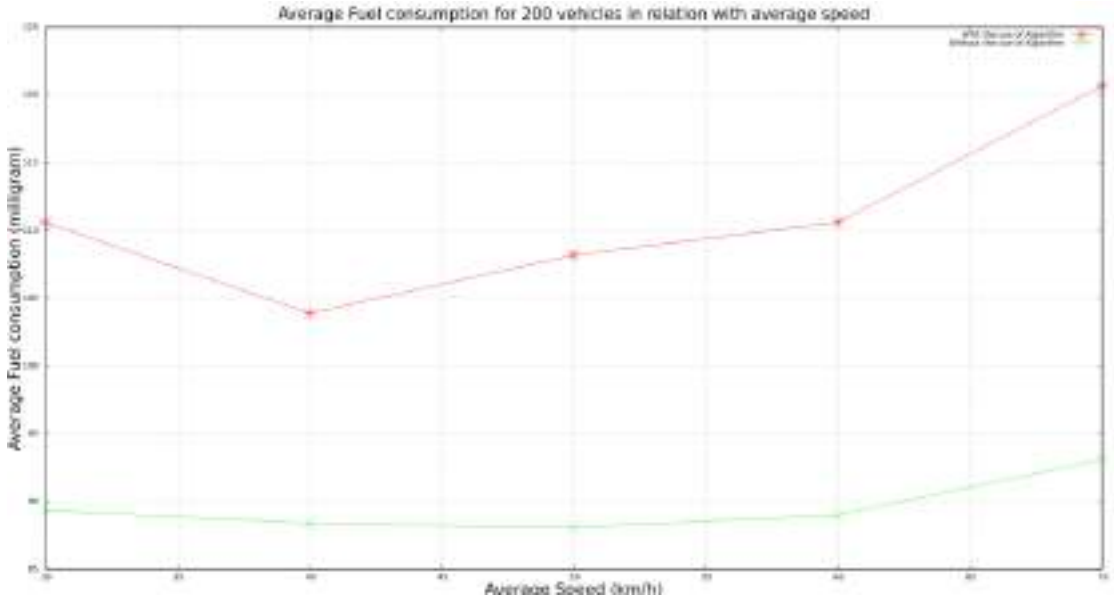

Standard deviation of Travel Time for 200 vehicles in relation with average speed
Standard deviation Time (seconds)
Average Speed (km/h)

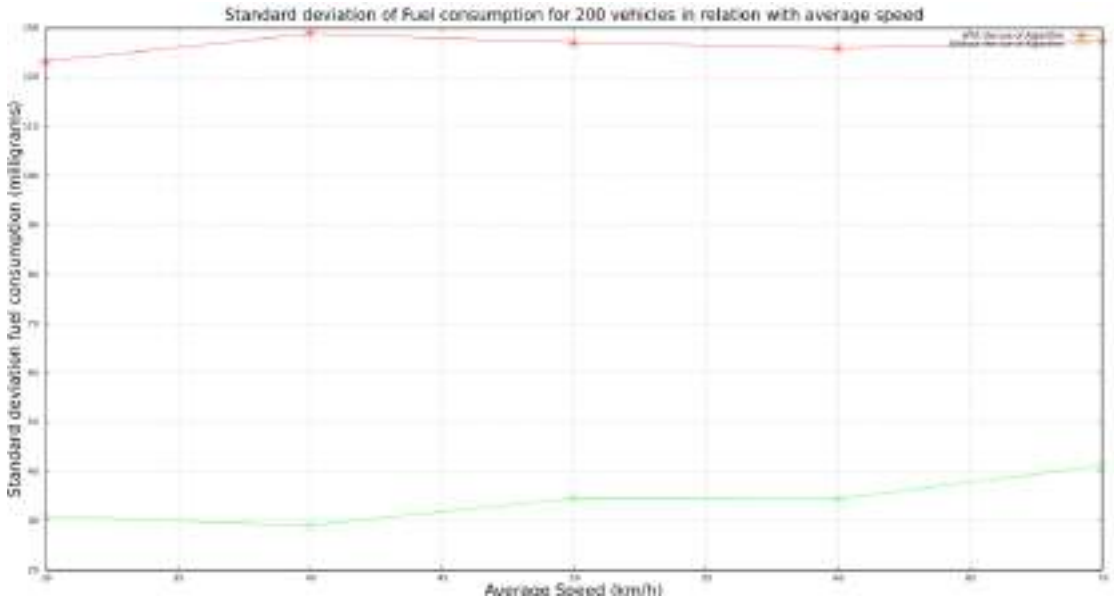

Average Distance for 200 vehicles in relation with average speed
Average Distance (meters)
Average Speed (km/h)


Standard deviation of Distance for 200 vehicles in relation with average speed
Standard deviation Distance (meters)
Average Speed (km/h)


Average CO2 emission for 200 vehicles in relation with average speed
Average CO2 emission (grams)
Average Speed (km/h)


Standard deviation of CO2 emission for 200 vehicles in relation with average speed
Standard deviation CO2 emission (grams)
Average Speed (km/h)


Average Fuel consumption for 200 vehicles in relation with average speed
Average Fuel consumption (milligram)
Average Speed (km/h)



- Σχόλια/Παρατηρήσεις

Αν παρατηρήσουμε προσεκτικά θα δούμε ότι αρκετά αυτοκίνητα δεν έφτασαν στον προορισμό τους στις προσομοιώσεις χωρίς τη χρήση του αλγορίθμου ενώ αντίθετα με την χρήση του αλγορίθμου όλα τα αυτοκίνητα έφτασαν στον προορισμό τους μέσα στα 500 δευτερόλεπτα που ορίστηκε ο χρόνος της προσομοίωσης. Η βελτίωση στο travel time είναι πάλι αρκετά μεγάλη όπως και στην περίπτωση των 150 οχημάτων. Παρόμοια, τα οχήματα χρειάστηκαν να διανύσουν 350 με 400 μέτρα επιπλέον για να φτάσουν στον προορισμό τους αποφεύγοντας την κυκλοφοριακή συμφόρηση. Επιπρόσθετα, το CO2 emission είναι οριακά μικρότερο στις μικρές ταχύτητες με τη χρήση του αλγορίθμου σε αντίθεση με μεγαλύτερες ταχύτητες. Τέλος, όπως και στις άλλες περιπτώσεις η κατανάλωση καυσίμων είναι αρκετά μεγαλύτερη.

4.3 Γενικές παρατηρήσεις

Γενικά, μπορούμε να κάνουμε τις εξής παρατηρήσεις για όλες τις προσομοιώσεις:

- Όσο πιο πυκνό το γράφημα, δηλαδή όσα περισσότερα οχήματα έχουμε, τόσο μεγαλύτερη είναι η βελτίωση στο χρόνο που χρειάζονται τα οχήματα για να φτάσουν στον προορισμό τους.

- Για την αποφυγή τμημάτων δρόμων που υπάρχουν οχήματα σταματημένα ή οχήματα που κινούνται με μικρή ταχύτητα, τα οχήματα αναγκάζονται να διανύσουν περισσότερα μέτρα σε σχέση με την αρχική διαδρομή. Αυτό το αποτέλεσμα είναι αναμενόμενο και φαίνεται να μην είναι τόσο μεγάλη η διαφορά για την πλειοψηφία των οχημάτων.

- Η εκπομπή διοξειδίου του άνθρακα στην ατμόσφαιρα φαίνεται να είναι μικρότερη με τη χρήση του αλγορίθμου στα πυκνά γραφήματα όταν αυτά κινούνται με μικρές ταχύτητες. Αντίθετα, είναι αρκετά μεγαλύτερη όταν τα οχήματα κινούνται με 70km/h.

- Η κατανάλωση καυσίμων σε όλες τις περιπτώσεις είναι μεγαλύτερη. Αυτό προκύπτει από το γεγονός ότι τα οχήματα αναγκάζονται να διανύσουν μεγαλύτερες αποστάσεις για να αποφύγουν την κίνηση.

- Τέλος, τα αποτελέσματα για 70 km/h είναι ίδια ή και αρκετά χειρότερα σε σχέση με τα 60 km/h για όλες τις περιπτώσεις.

5 Σύνοψη

5.1 Συμπεράσματα

Στόχος της έρευνας μας ήταν να δημιουργήσουμε έναν έξυπνο αλγόριθμο ο οποίος να προσπαθεί να κατανέμει την κυκλοφορία των αυτοκινήτων με τέτοιο τρόπο έτσι ώστε τα αυτοκίνητα να φτάνουν σε μικρότερο χρόνο στον προορισμό τους. Μέσα από τα συνεχή μηνύματα που στέλνονται στα πλαίσια των ad-hoc vehicular δικτύων (beacons) και χρησιμοποιώντας την πληροφορία για κάθε όχημα που έχει να κάνει με την ταχύτητα και την θέση του στο οδικό δίκτυο δημιουργήσαμε ουσιαστικά ένα γράφημα από ακμές και κόμβους. Με τις ακμές να είναι οι δρόμοι και τους κόμβους να είναι οι διασταυρώσεις του οδικού δικτύου. Μέσα από την πληροφορία που ανταλλάσσουν τα οχήματα μεταξύ τους υπολογίσαμε για κάθε ακμή, δηλαδή για κάθε κομμάτι ουσιαστικά δρόμου από διασταύρωση σε διασταύρωση τον εκτιμώμενο χρόνο που θα κάνει το όχημα προκειμένου να διασχίσει αυτό το κομμάτι. Ως αποτέλεσμα έχουμε ένα θετικά βεβαρημένο γράφημα με βάρη τους εκτιμώμενους χρόνους. Από αυτό το σημείο και μετά δεν έχουμε πλέον να κάνουμε με οχήματα αλλά με την εύρεση της συντομότερης διαδρομής μοναδικής αφετηρίας στο γράφημα. Έτσι κάθε αυτοκίνητο υπολογίζει μέσω αλγόριθμου εύρεσης συντομότερης διαδρομής (Dijkstra) την διαδρομή στην οποία θα χρειαστεί τον μικρότερο εκτιμώμενο χρόνο. Αυτή ήταν και η διαδρομή η οποία θα ακολουθούσε στην συνέχεια.

5.2 Μελλοντική έρευνα

Η συγκεκριμένη υλοποίηση δοκιμάστηκε στον χάρτη του οδικού δικτύου του Βόλου. Με 5 διαφορετικές αφετηρίες για τα αυτοκίνητα και ουσιαστικά με κοινό ένα μεγάλο κομμάτι διαδρομής τους και τον τελικό προορισμό. Σαν μελλοντική έρευνα θα μπορούσε να αναφερθεί η δοκιμή του αλγορίθμου με πολλά αυτοκίνητα τα οποία όμως θα έχουν εντελώς διαφορετικές και τυχαίες διαδρομές αλλά και προορισμούς. Επίσης, θα μπορούσε να δοκιμαστεί σε κάποιο άλλο οδικό δίκτυο πιο μεγάλο και με πιο ακανόνιστους δρόμους χωρίς τους παραλληλισμούς του οδικού δικτύου του Βόλου. Επίσης, θα μπορούσε να γίνουν προσομοιώσεις σε πιο ρεαλιστικές συνθήκες όπου θα υπάρχουν πραγματικά εμπόδια προκειμένου να δούμε αν εμποδίζουν την επικοινωνία μεταξύ των οχημάτων και κατά πόσο αυτό θα μπορούσε να επηρεάσει και την αποδοτικότητα του αλγορίθμου.

6 Βιβλιογραφία

1. Saif Al-Sultan, Moath M. Al-Doori, Ali H. Al-Bayatti, Hussien Zedan,

   "A comprehensive survey on vehicular Ad Hoc network" in Journal of Network and Computer Applications 37 (2014) p. 380-392.

2. Georgios Karagiannis, Onur Altintas, Eylem Ekici, Geert Heijenk, Boangoat Jarupan, Kenneth Lin and Timothy Weil,

   "Vehicular Networking: A survey and tutorial on requirements, architectures, challenges, standars and solutions" in IEEE communications surveys & tutorials, vol. 13, no. 4, fourth chapter 2011.

3. Chai Keong Toh, Teuro Higashino, Juan-Carlos Cano, Michele Wiegle,

   "Highlights: IEEE ITS Society Technical Comittee on Mobile Communications Networks for ITS" in IEEE Intelligent Transportation Systems magazine, p. 33-37, spring 2012.

4. Ganesh S. Khekare, Apeksha V. Sakhare,

   "Intelligent Traffic System for VANET: A survey" in International Journal of Advanced Computer Research, vol. 2, no. 4, issue 6, December 2012.

5. Susan A. Shaheen, Rachel Finson,

6. "Intelligent Transportation Systems" in Encyclopedia of Energy, vol. 3, p. 487 – 496, 2004 Elsevier Inc.

7. Kashif Naseer Qureshi, Abdul Hanan Abdullah

   "A survey on Intelligent Transportation Systems" in Middle-East Journal of Scientific Research 15, p.629-642, 2013

8. David Schrank, Bill Eisele, Tim Lomax, Jim Bak

   "2015 Urban Mobility Scorecard", Texas A&M Transportation Institute and Inrix, Inc., August 2015

9. Mihail L. Shichitiu, Maria Kihl

   "Inter-vehicle communication systems: A survey" in IEEE communications surveys & tutorials, 2nd quarter 2008, vol. 10, no. 2

10. M. Shahid Anwer, Chris Guy

    "A Survey of VANET Technologies" in Journal of Emerging Trends in Computing and Information services, vol. 5, No. 9, September 2014

11. John B. Kennedy

    "Dedicated Short-Range Communications(DSRC) Standards in the United States" Proceedings of the IEEE, Vol. 99, No. 7, July 2011

12. Falko Dressler, Christoph Sommer, David Eckhoff, Ozan K. Tonguz

    "Toward Realistic Simulation of Intervehicle Communication" in IEEE Vehicular technology magazine, p.43 – 51, September 2011

13. Florian Knorr, Daniel Baselt, Michael Schreckenberg, MartinMauve

"Reducing Traffic Jams via VANETs" in IEEE Transactions on Vehicular Technology, vol. 61, issue 8, p.3490 – 3498, Oct. 2012

14. https://en.wikipedia.org/wiki/Traffic_congestion, Traffic congestion

15. Cooperative Vehicle-to-Vehicle Communications: From Mobile Sensing to Data Dissemination, Dr. Javier Gozalvez, Uwicore Laboratory University Miguel Hernández of Elche (Spain)

16. https://en.wikipedia.org/wiki/Vehicular_ad_hoc_network, Vehicular ad hoc network

17. https://en.wikipedia.org/wiki/Wireless_ad_hoc_network, Wireless ad hoc network

18. Mrs. Vaishali D. Khairnar Dr. S.N.,

"V2V COMMUNICATION SURVEY -(WIRELESS TECHNOLOGY)", in Int. J. Computer Technology & applications, vol. 3, issue 1, p.370 – 373, Jan-Feb 2012

19. Daniel Krajzewicz, Jakob Erdmann, Michael Behrisch, and Laura Bieker,

"Recent Development and Applications of SUMO – Simulation of Urban Mobility", in International Journal on Advances in Systems and Measurements, vol. 5, no. 3 & 4, 2012 https://en.wikipedia.org/wiki/**Shortest_path_problem**, Shortest path problem

21. Rakesh Kumar, Mayank Dave,

"A Comparative Study of Various Routing Protocol in VANET", in IJCSI International Journal of Computer Science Issues, vol. 8, issue 4, no. 1, p. 643 – 648, July 2011

22. Sabih ur Rehman , M. Arif Khan , Tanveer A. Zia , Lihong Zheng,

"Vehicular Ad-Hoc Networks (VANETs) - An Overview and Challenges" in Journal of Wireless Networking and Communications, vol. 3, issue 3, p. 29 – 38, 2013

23. Dongre Manoj M., Bawane Narendra G.,

"Traffic Congestion Detection by Using VANET to Improve Intelligent Transportation System (ITS)", in International Journal of Networks and Communications, vol. 5, issue 4, p. 74 – 82, 2015

24. Francisco M. Padron,

"TRAFFIC CONGESTION DETECTION USING VANET", 2009

25. https://www.**car-2-car**.org/, CAR 2 CAR

26. Anna Maria Vegni and Thomas D.C. Little,

"Hybrid vehicular communications based on V2V-V2I protocol switching", in Int. J. Vehicle Information and Communication Systems, vol. 2, p. 213 – 231, 2011