



ΕΘΝΙΚΟ ΜΕΤΣΟΒΙΟ ΠΟΛΥΤΕΧΝΕΙΟ

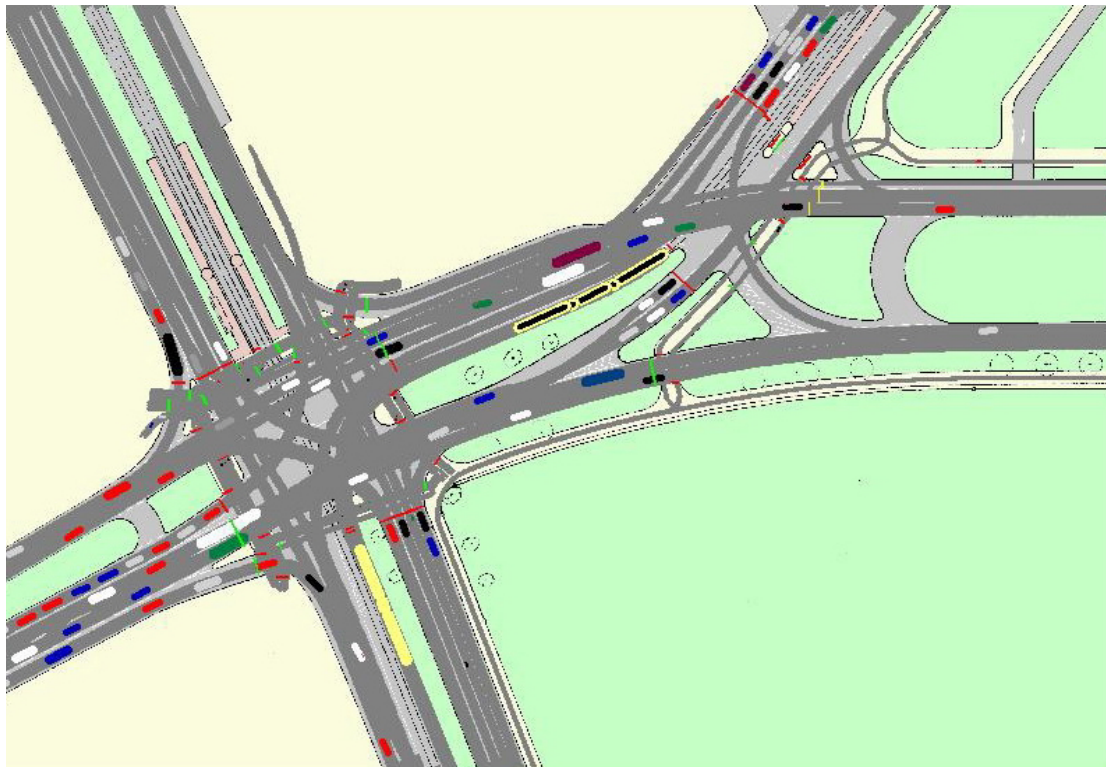
ΣΧΟΛΗ ΑΓΡΟΝΟΜΩΝ ΤΟΠΟΓΡΑΦΩΝ ΜΗΧΑΝΙΚΩΝ

ΕΡΓΑΣΤΗΡΙΟ ΣΥΓΚΟΙΝΩΝΙΑΚΗΣ ΤΕΧΝΙΚΗΣ

ΔΙΠΛΩΜΑΤΙΚΗ ΕΡΓΑΣΙΑ

**ΔΙΕΡΕΥΝΗΣΗ ΤΩΝ ΜΕΤΑΒΛΗΤΩΝ ΟΡΙΩΝ
ΤΑΧΥΤΗΤΑΣ ΜΕ ΤΗ ΧΡΗΣΗ ΜΕΘΟΔΩΝ
ΚΥΚΛΟΦΟΡΙΑΚΗΣ ΠΡΟΣΟΜΟΙΩΣΗΣ**

ΛΑΜΠΡΟΣ Κ. ΝΙΚΟΛΑΟΣ



Υπεύθυνος καθηγητής : ΠΙΕΤΡΟΣ ΒΥΘΟΥΛΚΑΣ

Αθήνα 2007

Άπτομαι της ευκαιρίας να ευχαριστήσω τον καθηγητή μου κ. Πέτρο Βυθούλκα για την ευκαιρία που μου έδωσε αναθέτοντας μου την εργασία αυτή να μελετήσω στην πράξη ότι έμαθα στη σχολή. Ακόμα, τον ευχαριστώ για την επίβλεψη και τις παρατηρήσεις του, βοηθώντας με έτσι να φέρω εις πέρας αυτή τη μελέτη.

Θα ήθελα επίσης να ευχαριστήσω το τμήμα σχεδιασμού του Διεθνούς Αερολιμένος Αθηνών Ελευθέριος Βενιζέλος για την παραχώρηση του λογισμικού πακέτου μικρό-προσομοίωσης ptVISSIM 3.70

ΠΕΡΙΕΧΟΜΕΝΑ

ΠΕΡΙΕΧΟΜΕΝΑ.....	3
ΠΕΡΙΛΗΨΗ.....	5
ΕΙΣΑΓΩΓΗ.....	5
ΚΕΦΑΛΑΙΟ 1 ^ο	10
ΣΥΣΤΗΜΑΤΑ ΔΙΑΧΕΙΡΙΣΗΣ ΤΗΣ ΚΥΚΛΟΦΟΡΙΑΣ ΜΕ ΤΗ ΧΡΗΣΗ ΜΕΤΑΒΛΗΤΩΝ ΟΡΙΩΝ ΤΑΧΥΤΗΤΑΣ.....	10
1.1 Εισαγωγή.....	10
1.2 Περιγραφή και εφαρμογή των συστημάτων VSL στον αυτοκινητόδρομο I-96.....	17
1.3 Αξιολόγηση του συστήματος μεταβλητών ορίων ταχύτητας στο παράδειγμα του αυτοκινητοδρόμου I - 96	22
ΚΕΦΑΛΑΙΟ 2 ^ο	29
ΠΡΟΣΟΜΟΙΩΣΗ ΚΑΙ ΕΦΑΡΜΟΓΗ ΤΗΣ ΣΤΗΝ ΚΥΚΛΟΦΟΡΙΑ	29
2.1 Εισαγωγή.....	29
2.2 Εφαρμογή των μεθόδων προσομοίωσης στην κυκλοφοριακή τεχνική.....	32
2.3 Ανάπτυξη του μοντέλου ακολουθούστος οχήματος	39
2.4. Το VISSIM ως λογισμικό προσομοίωσης	44
2.4.1 Στοιχεία της κυκλοφορίας	44
2.4.2 Παραγωγή αποτελεσμάτων	47
2.4.3. Παράμετροι προσομοίωσης.....	48
2.5 Θέματα που χρήζουν ιδιαίτερης προσοχής στην προσομοίωση της κυκλοφορίας	49
2.5.1 Αριθμός επαναλήψεων.	49
2.5.2 Χρονική διάρκεια των προσομοιώσεων.	51
2.5.3 Επιλογή των δεικτών απόδοσης για το μοντέλο.	51
2.5.4 Εισαγωγή των δεδομένων και παραγωγή αποτελεσμάτων	52
ΚΕΦΑΛΑΙΟ 3 ^ο	53
ΑΛΓΟΡΙΘΜΟΣ ΥΠΟΛΟΓΙΣΜΟΥ ΜΕΤΑΒΛΗΤΩΝ ΟΡΙΩΝ ΤΑΧΥΤΗΤΑΣ.....	53
3.1 Εισαγωγή.....	53
3.2 Περιγραφή του συστήματος VSL.....	55
3.3 Περιγραφή των στοιχείων και των βημάτων λειτουργίας του αλγορίθμου	56
3.3.1 Στοιχεία και παράμετροι λειτουργίας του αλγορίθμου.	58

3.3.2 Παρουσίαση βημάτων λειτουργίας του αλγορίθμου I.....	59
3.3.3 Παρουσίαση βημάτων λειτουργίας του αλγορίθμου II.....	61
ΚΕΦΑΛΑΙΟ 4 ^ο	64
ΠΕΙΡΑΜΑΤΙΚΗ ΕΦΑΡΜΟΓΗ ΑΛΓΟΡΙΘΜΟΥ ΣΤΟ ΠΡΟΓΡΑΜΜΑ ΠΡΟΣΟΜΟΙΩΣΗΣ VISSIM.....	64
4.1 Εισαγωγή.....	64
4.2 Διαδικασία προσομοίωσης	67
4.3 Προσομοίωση της κυκλοφορίας χωρίς VSL.....	67
4.3.1 Φόρτος 3250.....	68
4.3.2 Φόρτος 3500.....	69
4.3.3 Φόρτος 3750.....	69
4.3.4 Φόρτος 3950.....	70
4.3.5 Φόρτος 4150.....	71
4.3.6 Επιμέρους συμπεράσματα.. ..	72
4.4 Προσομοίωση της κυκλοφορίας με VSL.....	84
4.4.1 Υπολογισμός παραμέτρων αλγορίθμου.....	84
4.4.2 ΑΠΟΤΕΛΕΣΜΑΤΑ ΠΡΟΣΟΜΟΙΩΣΗΣ ΜΕ ΤΗΝ ΧΡΗΣΗ VSL.....	88
4.4.2.α Φόρτος 3250.....	89
4.4.2.β Φόρτος 3500.....	93
4.4.2.γ Φόρτος 3750.....	97
4.4.2.δ Φόρτος 3950.....	103
4.4.2.ε Φόρτος 4150.....	109
ΚΕΦΑΛΑΙΟ 5 ^ο	116
ΣΥΜΠΕΡΑΣΜΑΤΑ	116
ΒΙΒΛΙΟΓΡΑΦΙΚΗ ΑΝΑΦΟΡΑ.....	119

ΠΕΡΙΛΗΨΗ

Η κυκλοφοριακή συμφόρηση είναι ένα ιδιαίτερα σημαντικό πρόβλημα της εποχής μας. Είναι πλέον αποδεκτό ότι η κατασκευή νέων οδικών έργων σε αστικές περιοχές αποτελεί παροδική λύση ενώ παράλληλα απαιτεί υψηλές επενδύσεις και έχει δυσμενείς επιπτώσεις στο περιβάλλον. Οι σύγχρονες μέθοδοι συγκοινωνιακού σχεδιασμού, πλέον της βελτίωσης και προώθησης των μέσων μαζικής μεταφοράς εστιάζουν και στην εφαρμογή συστημάτων διαχείρισης της κυκλοφορίας που έχουν ως στόχο την αποδοτικότερη χρήση της υπάρχουσας υποδομής.

Στόχος της διπλωματικής εργασίας είναι να διερευνήσει τις επιπτώσεις της εφαρμογής ενός συστήματος διαχείρισης της κυκλοφορίας και συγκεκριμένα ενός συστήματος μεταβλητών ορίων ταχύτητας. Τα συστήματα μεταβλητών ορίων ταχύτητας επιδιώκουν να εξασφαλίσουν τη συνέχεια της κυκλοφοριακής ροής σε οδούς ταχείας κυκλοφορίας που παρουσιάζουν φαινόμενα κυκλοφοριακής συμφόρησης λόγω μεταβολής της χωρητικότητας, όπως για παράδειγμα λόγω μείωσης του πλάτους του οδοστρώματος. Με τα μεταβαλλόμενα όρια ταχύτητας επιβραδύνουμε ομαλά τις ταχύτητες των οχημάτων πριν τη στένωση, επιδιώκοντας ο αριθμός των οχημάτων που θα εισέλθει στο τμήμα αμέσως πριν τη στένωση να είναι περίπου όμοιος με το φόρτο που θα εισέλθει στο τμήμα της στένωσης. Τα χρονικά μεταβαλλόμενα όρια υπολογίζονται σε πραγματικό χρόνο με τη βοήθεια αλγορίθμου που χρησιμοποιεί τα χαρακτηριστικά της κυκλοφορίας που καταγράφονται από τους αισθητήρες στο οδόστρωμα. Αρχικά υπολογίζεται το χρονικά μεταβαλλόμενο όριο ταχύτητας στο τμήμα πριν τη στένωση και στη συνέχεια με βάση αυτό, υπολογίζονται τα όρια για τα ανάντη τμήματα της οδού.

Η διερεύνηση των επιπτώσεων της εφαρμογής ενός συστήματος μεταβλητών ορίων ταχύτητας, βασίζεται σε μια σειρά πειραμάτων κυκλοφοριακής προσομοίωσης σε οδό όπου μεταβάλλεται το πλάτος της διατομής. Με τη χρήση του συστήματος διαχείρισης παρατηρήθηκε μείωση στο μέσο μήκος ουράς αναμονής και στο μέσο αριθμό των οχημάτων που εκκινούν και σταματούν λόγω της ουράς πριν τη στένωση, αυξάνοντας έτσι την ασφάλεια διέλευσης των οχημάτων στο δίκτυο. Για υψηλά επίπεδα φόρτου, ο χρόνος ταξιδιού παρέμεινε ουσιαστικά αναλλοίωτος λόγω της σταδιακής μείωσης της ταχύτητας που επέβαλλε το σύστημα μεταβλητών ορίων ταχύτητας.

ABSTRACT

Traffic congestion is a major problem in many metropolitan areas. It is now generally accepted that the expansion of roadway capacity in urban areas is an expensive solution with adverse effects on the environment, which usually provides only short term relief to traffic congestion. The modern approach to transportation planning, apart from enhancing the level of service and promoting the use public transportation systems, also focuses on traffic management systems that aim to utilize more efficiently the existing roadway infrastructure.

The objective of this thesis is to investigate the effects of traffic management measures and particularly the effects of a variable speed limits system. The variable speed limits systems aim to ensure the continuity of traffic flow in specific areas of freeways that exhibit traffic congestion, like for example in roadway segments where capacity is reduced due to lane drops. With the enforcement of the variable speed limits we smoothly decelerate the speed of vehicles approaching the bottleneck so that the flow rate entering the segment immediately upstream the bottleneck to be equal to the flow rate entering the bottleneck. The variable speed limits are estimated dynamically using an algorithm that uses real time information regarding the traffic characteristics in upstream road segments obtained from traffic detectors. This algorithm initially calculates the speed limit of the road segment immediately upstream of the bottleneck and based on that it subsequently estimates the speed limits for the other upstream segments of the freeway.

The investigation of the effects of the variable speed limit model is based on a series of traffic simulation experiments in a freeway where a bottleneck arises from a lane drop. It is observed that by using this model the mean queue length and the mean number of stop-and-go vehicles decreases which in turn can improve road safety. With regards to the total travel time, under high levels of traffic flow, the implementation of variable speed limits does not result in any significant reduction of the total travel time experienced by drivers using a freeway facility with a bottleneck, which is mainly due to the gradual reduction of speeds enforced in the road segments upstream of the bottleneck.

ΕΙΣΑΓΩΓΗ

Η κυκλοφοριακή συμφόρηση είναι σημαντικό πρόβλημα της εποχής μας, έχοντας αυξηθεί κατά τη διάρκεια των προηγούμενων ετών. Σήμερα στην Αθήνα των 8 εκατομμυρίων μετακινήσεων ημερησίως και των 2 εκατομμυρίων Ι.Χ. καταγράφονται πολύ συχνά φαινόμενα συμφόρησης. Τα φαινόμενα αυτά δεν περιορίζονται πλέον στην «κλασική» πρωινή ώρα αιχμής των παρελθόντων ετών. Αντιθέτως η πρωινή αιχμή έχει επεκταθεί και εμφανίζεται σε ένα διάστημα 3 ωρών περίπου, μεταξύ 7:00 – 10:00, ενώ αντίστοιχες αιχμές συναντάμε το μεσημέρι και το απόγευμα. Αν αναλογιστούμε ότι ο αριθμός των Ι.Χ. οχημάτων ολοένα και αυξάνεται το μέλλον των μετακινήσεων στην Αθήνα φαντάζει δυσοίωνο. Η αξία που χάνεται εκτιμάτε σε 1% του ακαθάριστου εθνικού μας προϊόντος.

Η προσπάθεια επίλυσης του προβλήματος της συμφόρησης με τη κατασκευή και λειτουργία νέων οδικών δικτύων στις περισσότερες περιπτώσεις έχει αποδειχθεί ότι αποτελεί προσωρινή λύση. Σύντομα οι νέοι δρόμοι θα προκαλέσουν επιπλέον κυκλοφορία, απαξιώνοντας τα οφέλη που προέρχονται από τη κατασκευή τους. Παράλληλα δε θα πρέπει να αγνοούμε και τις περιβαλλοντικές επιπτώσεις που προέρχονται από τις νέες χαράξεις δικτύων.

Ένας εναλλακτικός τρόπος προσέγγισης του προβλήματος είναι η χρησιμοποίηση στρατηγικών που θα οδηγήσουν σε αποδοτικότερη χρήση των υπάρχοντων υποδομών. Τα συστήματα διαχείρισης της κυκλοφορίας με τη χρήση μεταβλητών ορίων ταχύτητας (variable speed limits - VSL) μπορούν να συμβάλλουν ουσιαστικά στην εξομάλυνση της συμφόρησης.

Η δυναμική των συστημάτων αυτών στηρίζεται στην χρησιμοποίηση μεθόδων που λαμβάνουν υπόψη τους, τους κυκλοφοριακούς φόρτους και τις ταχύτητες των οχημάτων στα επιμέρους τμήματα των δικτύων. Σε πραγματικό χρόνο, τα μεγέθη επεξεργάζονται με τη βοήθεια αλγορίθμων και επιδεικνύονται τα νέα χρονικά μεταβαλλόμενα όρια ταχύτητας.

Η χρήση των συστημάτων αυτών δεν θα μπορούσε να γίνει, αν νωρίτερα δεν είχαν δημιουργηθεί τα λογισμικά πακέτα προσομοίωσης. Η συμβολή τους, είναι αποφασιστικής σημασίας αφού παρέχεται στους

ερευνητές με μικρό σχετικό κόστος, ώστε να ελέγξουν τα αποτελέσματα των επιδιωκόμενων αλλαγών, χωρίς να διακυβεύεται η ασφάλεια των οδηγών.

Με την προσομοίωση μπορούμε να έχουμε άμεσα τα αποτελέσματα για τις ταχύτητες των οχημάτων, τους χρόνους ταξιδιού και το μήκος των σειρών αναμονής αν και εφόσον δημιουργείται. Ουσιαστικά έχουμε τη δυνατότητα να ελέγξουμε τα αποτελέσματα από τη χρήση ή μη των VSL, όπως και ποιο από τα μοντέλα είναι πιο κοντά στην εξομάλυνση της κυκλοφοριακής ροής.

Στόχος της διπλωματικής εργασίας είναι να διερευνήσει τις επιπτώσεις της εφαρμογής ενός συστήματος διαχείρισης και συγκεκριμένα ενός συστήματος μεταβλητών ορίων ταχύτητας. Τα συστήματα μεταβλητών ορίων επιδιώκουν την εξασφάλιση της συνέχειας της κυκλοφοριακής ροής σε περιοχές που παρουσιάζουν φαινόμενα κυκλοφοριακής συμφόρησης, λόγω στένωσης του οδοστρώματος. Με τα μεταβαλλόμενα όρια επιβραδύνουμε ομαλά τις ταχύτητες των οχημάτων πριν την στένωση, επιδιώκοντας ο αριθμός των οχημάτων που θα εισέλθει στο τμήμα πριν την στένωση να είναι περίπου όμοιος με τον αριθμό των οχημάτων που θα εισέλθει στο τμήμα της στένωσης. Τα χρονικά μεταβαλλόμενα όρια υπολογίζονται σε πραγματικό χρόνο με τη βοήθεια αλγορίθμου που χρησιμοποιεί τα χαρακτηριστικά της κυκλοφορίας που καταγράφονται από τους αισθητήρες στο οδόστρωμα. Αρχικά υπολογίζεται το χρονικά μεταβαλλόμενο όριο ταχύτητας στο τμήμα πριν τη στένωση και στη συνέχεια με βάση αυτό, υπολογίζονται τα όρια για τα ανάντη τμήματα της οδού.

Η διερεύνηση των επιπτώσεων της εφαρμογής ενός συστήματος μεταβλητών ορίων ταχύτητας, βασίζεται σε μια σειρά παραμέτρων κυκλοφοριακής προσομοίωσης σε οδό όπου μεταβάλλεται το πλάτος της διατομής. Με τη χρήση του συστήματος διαχείρισης παρατηρήθηκε μείωση στο μέσο μήκος ουράς αναμονής και στο μέσο αριθμό των οχημάτων που εκκινούν και σταματούν λόγω της ουράς πριν τη στένωση, αυξάνοντας την ασφάλεια διέλευσης των οχημάτων στο δίκτυο. Στα υψηλά επίπεδα φόρτου, ο χρόνος ταξιδιού παρέμεινε ουσιαστικά αναλλοίωτος λόγω της σταδιακής

μείωσης της ταχύτητας που επέβαλλε το σύστημα μεταβλητών ορίων ταχύτητας.

Στο πρώτο (1^ο) κεφάλαιο της διπλωματικής εργασίας επιδιώκουμε να αναδείξουμε τη χρησιμότητα των συστημάτων μεταβλητών ορίων ως μοντέλα διαχείρισης της κυκλοφορίας σε συνθήκες συμφόρησης. Στο εισαγωγικό τμήμα αναφέρεται το θεωρητικό τους υπόβαθρο, όπως είναι τα λειτουργικά μέρη ενός προηγμένου συστήματος VSL, οι επιδιώξεις και οι στόχοι που προσδοκούμε να αποκομίσουμε με την λειτουργία τους. Τα παραδείγματα χρήσης, ήδη υπάρχοντων συστημάτων τόσο στις ευρωπαϊκές χώρες όσο και στις Η.Π.Α., μπορούν να μας δώσουν μια πρώτη ιδέα για το πλήθος των εφαρμογών τους. Στα ακόλουθα επιμέρους τμήματα του κεφαλαίου γίνεται η περιγραφή και η αξιολόγηση της εφαρμογής των συστημάτων διαχείρισης της κυκλοφορίας σε αυτοκινητόδρομο που παρουσιάζει στένωση. Η δημιουργία στένωσης, είτε από την κατασκευή του δικτύου είτε για λόγους συντήρησης, σε συνθήκες υψηλού φόρτου μπορεί να αποτελέσει το κύριο παράγοντα συμφόρησης. Η στένωση αποτελεί την αιτία δημιουργίας σειρών αναμονής και κατ' επέκταση κρουστικών κυμάτων που κάνουν τη διέλευση των οχημάτων επισφαλή.

Στο δεύτερο (2^ο) κεφάλαιο εστιάζουμε το ενδιαφέρον μας, στη θεωρία των μαθηματικών μοντέλων, της προσομοίωσης ως εργαλείο ανάλυσης των κυκλοφοριακών δεδομένων και στη θεωρία του ακολουθούντος οχήματος. Γίνεται εκτενής αναφορά στα χαρακτηριστικά του λογισμικού προσομοίωσης *ptVISSIM 3.70* που μας παραχωρήθηκε στα πλαίσια της διπλωματικής εργασίας. Ακολούθως, αναφέρονται σημαντικά θέματα που χρίζουν ιδιαίτερη προσοχή σε μία προσομοίωση.

Το τρίτο κεφάλαιο έχει ως κέντρο αναφοράς τον αλγόριθμο που ανέπτυξαν οι Lin, Kang και Chang (2002) για τη χρήση μεταβλητών ορίων ταχύτητας σε αυτοκινητόδρομο με στένωση. Ο στόχος του αλγορίθμου είναι να αμβλύνει τα προβλήματα που δημιουργούνται, όπως ουρές αναμονής, πριν τη στένωση. Στο τμήμα αυτό παρουσιάζονται οι παράμετροι και τα βήματα λειτουργίας του.

Στο τέταρτο κεφάλαιο αρχικά διερευνούμε μέσω των εξαγόμενων αποτελεσμάτων τις επιπτώσεις που μπορεί να επιφέρει στην κυκλοφοριακή ροή των διερχομένων οχημάτων η στένωση στο οδικό δίκτυο. Κατόπιν γίνεται η χρήση των συστημάτων μεταβλητών ορίων με τη βοήθεια του προαναφερθέντος αλγορίθμου στον ίδιο αυτοκινητόδρομο. Από τα αποτελέσματα που εξάγουμε εκ νέου θα κρίνουμε αν η εισαγωγή των συστημάτων διαχείρισης της κυκλοφορίας με μεταβλητά όρια ταχύτητας μπορεί να κριθεί επιτυχημένη. Η εφαρμογή πραγματοποιήθηκε με τη χρήση του λογισμικού προσομοίωσης ptVISSIM 3.70 που μας παραχωρήθηκε από το τμήμα σχεδιασμού του Διεθνούς Αερολιμένα Αθηνών «Ελ. Βενιζέλος».

Στο πέμπτο και τελευταίο κεφάλαιο της διπλωματικής εργασίας παραθέτουμε τα συμπεράσματα που προέκυψαν από την θεωρητική ανάλυση και την πειραματική διερεύνηση των συστημάτων μεταβλητών ορίων ταχύτητας με τη χρήση μεθόδων προσομοίωσης.

ΚΕΦΑΛΑΙΟ 1^ο

ΣΥΣΤΗΜΑΤΑ ΔΙΑΧΕΙΡΙΣΗΣ ΤΗΣ ΚΥΚΛΟΦΟΡΙΑΣ ΜΕ ΤΗ ΧΡΗΣΗ ΜΕΤΑΒΛΗΤΩΝ ΟΡΙΩΝ ΤΑΧΥΤΗΤΑΣ

1.1 Εισαγωγή

Τα συστήματα διαχείρισης της κυκλοφορίας με τη χρήση των μεταβλητών ορίων ταχύτητας (variable speed limits – VSL) είναι ένα σχετικά σύγχρονο αντικείμενο της κυκλοφοριακής τεχνικής. Με την χρήση των VSL μοντέλων προσπαθούμε να απομακρυνθούμε από την αποκλειστική χρήση των στατικών ορίων που καλούνται να ακολουθήσουν οι οδηγοί και εγκαθίστανται στους αυτοκινητοδρόμους.

Τα λειτουργικά τμήματα των συστημάτων VSL είναι οι αισθητήρες που είναι εγκατεστημένοι στο οδόστρωμα, τα μεταβλητά σημάδια ταχύτητας, τα μεταβλητά σημάδια μηνυμάτων (vms) και η κεντρική μονάδα επεξεργασίας που λαμβάνει τα δεδομένα από τους αισθητήρες. Οι αισθητήρες βρίσκονται στα σημεία ενδιαφέροντος σε ολόκληρο το πλάτος της διατομής συλλέγοντας τους κυκλοφοριακούς φόρτους και στοιχεία όπως οι ταχύτητες που αναπτύσσονται από τα οχήματα. Τα δεδομένα αυτά στέλνονται στο κέντρο ελέγχου του συστήματος. Από την επεξεργασία των δεδομένων με τη βοήθεια αλγορίθμων αποφασίζετε η χρήση ή μη των μεταβλητών ορίων και οι ταχύτητες (σε περίπτωση χρήσης) που πρέπει να ακολουθήσουν οι οδηγοί.

Τα VSL συστήματα παρέχουν τη δυνατότητα να μεταβάλουμε τα όρια ταχύτητας ανάλογα με τη λωρίδα κυκλοφορίας, ανάλογα με τον τύπο του οχήματος (π.χ. αυτοκίνητα, βαρέα οχήματα) και ανάλογα με τους κυκλοφοριακούς φόρτους που αναπτύσσονται στο οδικό δίκτυο. Με την εισαγωγή τους επιδιώκεται να δημιουργηθεί ομοιομορφία στις ταχύτητες και τους φόρτους ανά λωρίδα, για να περιοριστούν τα κρουστικά κύματα προς τα πίσω που προκαλούν ατυχήματα και κυκλοφοριακή συμφόρηση. Είναι απόλυτα φυσιολογικό τα νέα όρια να προσαρμόζονται με βάση τις συνθήκες κυκλοφορίας οι οποίες μεταβάλλονται κατά τη διάρκεια της ημέρας (π.χ. ώρες αιχμής ή βραδινές) ή μεταξύ των καθημερινών και του Σαββατοκύριακου.

Συνεπώς οι οδηγοί που κινούνται σε ένα τέτοιο δίκτυο ακολουθούν τα όρια ταχύτητας που τους επιδεικνύονται από τους φωτεινούς πίνακες (VMS – variable speed messages). Η εγκατάσταση και ενεργοποίηση των συστημάτων αυτών δεν σημαίνει, σε καμία περίπτωση και το τέλος των στατικών ορίων. Ουσιαστικά μπορούμε να έχουμε λειτουργία των μεταβλητών ορίων στα χρονικά διαστήματα που είναι απαραίτητος ο καλύτερος έλεγχος των κυκλοφοριακών συνθηκών όπως σε ώρες αιχμής που είναι πιθανό να σχηματίζονται ουρές αναμονής αυξάνοντας της πιθανότητες ατυχήματος. Κατόπιν όταν οι συνθήκες εξομαλυνθούν και δεν απαιτείται ιδιαίτερος έλεγχος οι οδηγοί μπορούν να ακολουθούν τα στατικά.

Η εικόνα 1-1 παρουσιάζει ένα παράδειγμα χρήσης των VSL στον αυτοκινητόδρομο M – 25 στον Ηνωμένο Βασίλειο. Τη δεδομένη χρονική στιγμή τα όρια που επιδεικνύονται είναι κοινά για όλες τις λωρίδες κυκλοφορίας. Ακολούθως στην εικόνα 1-2 παρουσιάζεται ένα παράδειγμα μεταβλητού μηνύματος από τον αυτοκινητόδρομο I-95 στο New jersey (ταυτόχρονα με την χρήση του μεταβλητού ορίου ταχύτητας) που πληροφορεί τους οδηγούς ότι κατά μήκος του δικτύου θα συναντήσουν κυκλοφορική συμφόρηση . Η εικόνα 1-3 παρουσιάζει ένα εντελώς διαφορετικό παράδειγμα διαχείρισης της κυκλοφορίας. Οι οδηγοί που κινούνται στον αυτοκινητόδρομο I – 90 (Ουάσιγκτον Η.Π.Α) θα πρέπει να ακολουθήσουν τις ταχύτητες που καθορίζονται, ανάλογα με τον κυκλοφοριακό φόρτο και τον τύπο του οχήματος.



ΕΙΚΟΝΑ 1-1: ΧΡΗΣΗ VSL ΣΤΗ ΔΙΑΤΟΜΗ 3 ΤΟΥ ΑΥΤΟΚΙΝΗΤΟΔΡΟΜΟΥ M-25 (Ην. Βασίλειο)



ΕΙΚΟΝΑ 1-2: ΠΑΡΑΔΕΙΓΜΑ ΧΡΗΣΗΣ ΤΩΝ ΜΕΤΑΒΛΗΤΩΝ ΜΗΝΥΜΑΤΩΝ ΣΤΟΝ ΑΥΤΟΚΙΝΗΤΟΔΡΟΜΟ I -95 (NEW JERSEY)



ΕΙΚΟΝΑ 1-3: ΣΥΣΤΗΜΑ VSL ΠΟΥ ΚΑΘΟΡΙΖΕΙ ΤΑ ΜΕΤΑΒΛΗΤΑ ΟΡΙΑ ΜΕ ΒΑΣΗ ΤΟΝ ΤΥΠΟ ΤΟΥ ΟΧΗΜΑΤΟΣ

Στα σύγχρονα συστήματα VSL σαν λειτουργικό τμήμα λογίζονται και οι εγκαταστημένες κάμερες παρακολούθησης της κυκλοφορίας (εικόνα 1-4) . Ο πρωταρχικός ρόλος εισαγωγής τους ήταν η αστυνόμευση των ταχυτήτων που αναπτύσσονται από τους διερχόμενους οδηγούς. Σήμερα έχουν αποκτήσει και ένα ιδιαίτερα σημαντικό και συμβουλευτικό ρόλο. Οι χειριστές των συστημάτων που βρίσκονται στο χώρο της κεντρικής μονάδας επεξεργασίας

των δεδομένων μπορούν να έχουν εικόνα για τις συνθήκες που επικρατούν στο οδόστρωμα. Τη δυνατότητα αυτή, πλέον, την έχουν και οι πολίτες μέσω του διαδικτύου σε πραγματικό χρόνο (live streaming). Η εξέλιξη αυτή είχε ιδιαίτερα θετικό αντίκτυπο στην αποσυμφόρηση της κυκλοφορίας σε περιόδους αιχμής.



ΕΙΚΟΝΑ 1-4: ΚΑΜΕΡΕΣ ΠΑΡΑΚΟΛΟΥΘΗΣΗΣ ΤΗΣ ΚΥΚΛΟΦΟΡΙΑΣ ΣΤΑ ΣΥΣΤΗΜΑΤΑ VSL

Συνεπώς με την χρήση των μεταβλητών ορίων στις οδικές αρτηρίες και τους αυτοκινητοδρόμους με υψηλούς φόρτους στη μεγαλύτερη διάρκεια της ημέρας επιδιώκεται:

- Η εξομάλυνση της κυκλοφοριακής ροής
- Η βελτίωση της μέσης ταχύτητας
- Η βελτίωση του χρόνου ταξιδιού
- Η αξιοποίηση όλων των λωρίδων
- Η μείωση των επιπτώσεων που οφείλονται στις συνεχείς στάσεις – ενάρξεις
- Η μείωση της πίεσης που ασκείται στους οδηγούς λόγω των δυσμενών συνθηκών
- και η βελτίωση της ασφάλειας

Εφαπτήριο στην εξάπλωση και την ευρεία χρήση των VSL συστημάτων έχουν διαδραματίσει τα λογισμικά συστήματα προσομοίωσης.

Με τη χρήση των συστημάτων αυτών μας δίνεται η δυνατότητα να εφαρμόσουμε τις επιδιωκόμενες αλλαγές σε εικονικό περιβάλλον, ώστε να επιτύχουμε το βέλτιστο δυνατό αποτέλεσμα. Με τον τρόπο αυτό θα είμαστε σε θέση να γνωρίζουμε αν η χρήση των μεταβλητών ορίων ταχύτητας μπορεί να βελτιώσει ουσιαστικά τη ροή του οδικού δικτύου, χωρίς να διακυβεύεται ταυτόχρονα η ασφάλεια των οδηγών.

Στην Ελλάδα δεν υπάρχουν παραδείγματα χρήσης των VSL, ούτε σε πειραματικό επίπεδο, γεγονός που αποδεικνύεται και από την έλλειψη ελληνικής βιβλιογραφίας. Αντίθετα στο εξωτερικό τόσο στην Ευρώπη, κυρίως στο Ηνωμένο Βασίλειο, όσο και στις Ηνωμένες Πολιτείες υπάρχει πλήθος αναφορών.



ΕΙΚΟΝΑ 1-5:ΣΧΕΔΙΑΓΡΑΜΜΑ ΑΥΤΟΚΙΝΗΤΟΔΡΟΜΟΥ M-25

Τέτοιου είδους αναφορές χρήσης των μοντέλων στην Ευρώπη έχουμε για τον αυτοκινητόδρομο M25 (εικόνα 1-5) στο Ηνωμένο Βασίλειο που ξεκίνησε το 1995 και ολοκληρώθηκε σταδιακά το Μάρτιο του 2002. Το σύστημα εφαρμόστηκε και είναι ενεργό ακόμα για μήκος 22,6 χιλιόμετρα με τα όρια να επιδεικνύονται ανά ένα χιλιόμετρο μέσω των VMS. Ο πρωταρχικός στόχος της έρευνας ήταν η εξομάλυνση της ταχύτητας των οχημάτων και η ελαχιστοποίηση του κινδύνου διακοπής της ροής λόγω συνεχών εκκινήσεων - στάσεων (stop-go) που εξασφαλίζει μεγαλύτερη ασφάλεια. Με τη εφαρμογή των συστημάτων VSL παρατηρήθηκε μείωση των ατυχημάτων που κυμάνθηκε μεταξύ 10% - 15%. Σημαντικό ρόλο στην αποδοτική λειτουργία των συστημάτων έπαιξε η πολύ υψηλή συμμόρφωση των οδηγών με τα υποδειχθέντα μεταβλητά όρια, γεγονός που εντυπωσίασε την αστυνομία.

Ένα ιδιαίτερα σημαντικό στοιχείο που ενίσχυσε τη λειτουργία του συστήματος είναι η απαίτηση του 68% των διερχομένων οδηγών να υπάρξει άμεση επέκταση του.

Στη Φιλανδία γίνεται χρήση στον E-18 μεταξύ Κότκα και Χαμίνα σε δίκτυο μήκους 25 χιλιομέτρων. Ο στόχος του συστήματος ήταν να βελτιώσει την οδική ασφάλεια με βάση τις καιρικές συνθήκες. Για καλό καιρό το όριο είναι 120 χιλ/ώρα, σε μέτριες συνθήκες 100 χιλ/ώρα και 80 χιλ/ώρα για κακές καιρικές συνθήκες.

Στη Γερμανία βρίσκονται σε λειτουργία συστήματα VSL στον A8 μεταξύ Σάλτσμπουργκ και Μονάχου, στον A3 στη Κολονία και στον A5 κοντά στην Καρλσρούη. Το μήκος το συστημάτων ανά περίπτωση είναι πάνω από 30 χιλιόμετρα. Τα VSL τοποθετήθηκαν σε απόσταση από 1,5 έως 2 χιλιόμετρα. Τα όρια που ορίζονται μέσω αλγορίθμου είναι 60, 80 και 100 χιλ/ώρα. Παρατηρήθηκε μείωση 20% – 30% στα ατυχήματα με τους οδηγούς να ανταποκρίνονται καλύτερα στα μεταβλητά όρια παρά στα στατικά.

Παραδείγματα χρήσης έχουμε στην Ολλανδία στον A16 στην Μπρέντα και στον A2 μεταξύ του Άμστερνταμ και της Ουτρέχτης. Το μήκος εφαρμογής στον A16 είναι πάνω από 12 χιλιόμετρα με τα VSL να τοποθετούνται ανά 700 έως 800 μέτρα. Ο στόχος είναι να μειώνονται τα όρια ταχύτητας με βάση το μήκος ορατότητας σε συνθήκες ομίχλης. Το σύστημα στον A2 έχει μήκος 20 χιλιόμετρα με στόχο να δημιουργηθεί ομοιομορφία στις ταχύτητες και τους φόρτους ανά λωρίδα για να περιοριστούν τα κρουστικά κύματα προς τα πίσω που προκαλούν ατυχήματα και κυκλοφοριακή συμφόρηση.

Αντίστοιχα παράδειγμα χρήσης συστημάτων VSL έχουμε στον αυτοκινητόδρομο I – 96 στο Μίσιγκαν των Η.Π.Α. το 2002. Η περίπτωση αυτή εμφανίζει μια ιδιαιτερότητα σε σχέση με τον M-25, αφού κατά μήκος του οδικού δικτύου παρουσιάζεται στένωση έχοντας ως αποτέλεσμα τη δημιουργία ουράς αναμονής. Ο στόχος στη προκειμένη περίπτωση, πέραν της μείωσης το χρόνου ταξιδιού, ήταν η μείωση των πολλαπλών εκκινήσεων - στάσεων των οχημάτων πριν τη στένωση, κυρίως τις ώρες αιχμής. Οι αλληπάλληλες στάσεις δημιουργούν κρουστικά κύματα προς τα πίσω με αποτέλεσμα να κάνουν επισφαλή την οδήγηση μειώνοντας την ασφάλεια. Για το λόγω αυτό,

εξαιτίας του ενδιαφέροντος που παρουσιάζει η περίπτωση αυτή γίνεται εκτενής αναφορά της μελέτης που πραγματοποιήθηκε για τη βελτίωση του δικτύου με τη χρήση VSL.

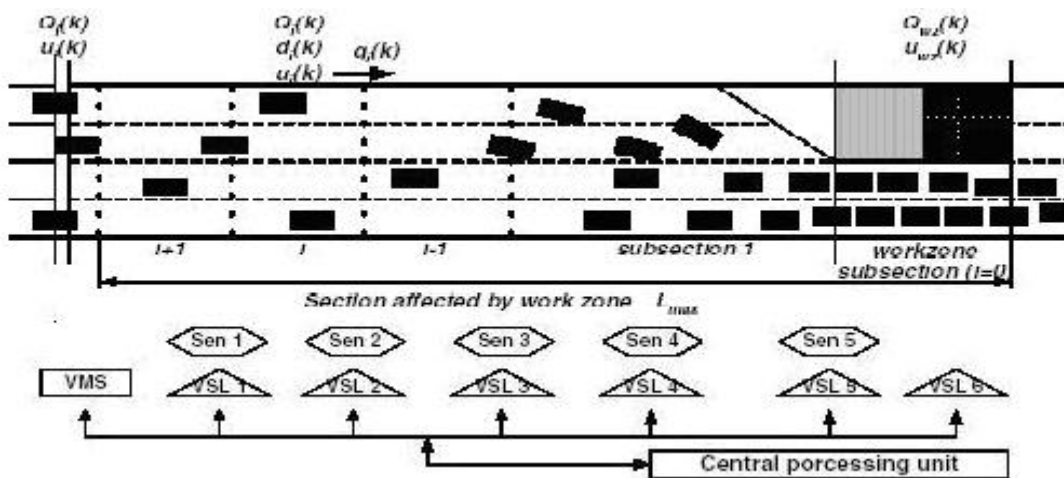
ΠΕΡΙΓΡΑΦΗ	ΣΤΟΧΟΣ	ΟΡΙΑ ΤΑΧΥΤΗΤΑΣ	ΑΠΟΤΕΛΕΣΜΑΤΑ
Αυτοκινητόδρομος M-25 στην Αγγλία μήκος εφαρμογής 22.6 χιλ, ξεκίνησε το 1995 και ολοκληρώθηκε το 2002	Εξομάλυνση της ταχύτητας και ελαχιστοποίηση διακοπής ροής	Ορίζονται από αλγόριθμο	Μείωση 10%-15% του αριθμού των ατυχημάτων
Αυτοκινητόδρομος E-18 στην Φιλανδία μήκος εφαρμογής 25 χιλ Μεταξύ Κότκα-Χαμίνα	Βελτίωση οδικής ασφάλειας με βάση τις καιρικές συνθήκες	120 χιλ/ώρα για καλό καιρό, 100 για μέτριο και 80 για κακό	Αύξηση της ασφάλειας χωρίς να είναι περισσότερα στοιχεία γνωστά
Αυτοκινητόδρομοι A-8, A3 και A5 στη Γερμανία, μήκος εφαρμογής πάνω των 30 χιλ. Μήκος Εφαρμογής πάνω από 30 χιλ.	Βελτίωση οδικής ασφάλειας	Όρια ταχύτητας 60,80,100 με βάση τις συνθήκες κυκλοφορίας	Μείωση των ατυχημάτων κατά 20-30%
Αυτοκινητόδρομος A-16 στην Ολλανδία μήκος εφαρμογής 12 χιλ, τοποθέτηση ορίων ανά 700 – 800 μέτρα	Μείωση της ταχύτητας με βάση το μήκος ορατότητας	Δεν αναφέρονται	Αύξηση της ασφάλειας χωρίς να είναι περισσότερα στοιχεία γνωστά
Αυτοκινητόδρομος A-2 στην Ολλανδία, μήκος εφαρμογής 20 χιλιόμετρα	Ομοιομορφία στις ταχύτητες και στους φόρτους ανά λωρίδα	Δεν αναφέρονται	Δεν αναφέρονται
Αυτοκινητόδρομος I-96, στις Η.Π.Α. Μίσιγκαν	Μείωση ουράς αναμονής και αριθμού stop-go, λόγω στένωση	Ορίζονται από αλγόριθμο με βάση το φόρτο	Κέρδος στο χρόνο ταξιδιού (μεγ. 5.4%), αύξηση της μέσης ταχύτητας

ΠΙΝΑΚΑΣ 1-1: ΠΑΡΟΥΣΙΑΣΗ ΧΑΡΑΚΤΗΡΙΣΤΙΚΩΝ ΤΩΝ ΣΥΣΤΗΜΑΤΩΝ VSL ΑΝΑ ΤΟΝ ΚΟΣΜΟ (ΠΗΓΗ Speed Management Workshop – TRB)

1.2 Περιγραφή και εφαρμογή των συστημάτων VSL στον αυτοκινητόδρομο I – 96

Όπως αναφέρθηκε στην εισαγωγή του κεφαλαίου το καλοκαίρι του 2002 πραγματοποιήθηκαν εργασίες στον αυτοκινητόδρομο I – 96 νότια του Μίσιγκαν κλείνοντας για ένα συγκεκριμένο μήκος τις δύο από τις τέσσερις λωρίδες. Η στένωση που δημιουργήθηκε εξαιτίας των εργασιών συντήρησης επέφερε αρνητικές επιπτώσεις στην κυκλοφοριακή ροή των οχημάτων κυρίως της ώρες αιχμής που οι φόρτοι είναι υψηλοί.

Οι Lyles Taylor, Lavansiri και Grossklaus (2002) εκμεταλλευόμενοι το γεγονός αυτό, επιδίωξαν να βελτιώσουν τις κυκλοφοριακές συνθήκες του αυτοκινητοδρόμου (όπως η ροή των οχημάτων) και να εξαλείψουν τα προβλήματα που δημιουργούνται (όπως οι ουρές αναμονής πριν την στένωση, μείωση της μέσης ταχύτητας, αύξηση των χρόνων ταξιδιού και επισφαλή οδήγηση) εισάγοντας ένα σύστημα διαχείρισης της κυκλοφορίας με τη χρήση μεταβλητών ορίων ταχύτητας (σχήμα 1-1).



ΣΧΗΜΑ 1-1: ΤΟ ΤΜΗΜΑ ΤΟΥ ΑΥΤΟΚΙΝΗΤΟΔΡΟΜΟΥ I – 96 ΟΠΟΥ ΕΦΑΡΜΟΣΤΗΚΑΝ ΤΑ VSL

Όπως βλέπουμε στο σχήμα 1-1 κατά μήκος του τμήματος είναι εγκατεστημένοι αισθητήρες (Sen 1 – 5) ώστε να συλλέγονται οι κυκλοφοριακοί φόρτοι των οχημάτων και οι ταχύτητες που αναπτύσσονται.

Κατόπιν τα δεδομένα από τους αισθητήρες μέσω της κεντρικής μονάδας του συστήματος με τη χρήση καθορισμένου αλγορίθμου (σχήμα 2^ο)

επεξεργάζονται και προσδιορίζονται τα νέα όρια. Οι ταχύτητες που επιδεικνύονται στους οδηγούς μεταβάλλονται ανάλογα με τις κυκλοφοριακές συνθήκες.

Τα νέα όρια ταχύτητας εκτίθενται στις πινακίδες του συστήματος που είναι τοποθετημένα σε ρυμουλκά, ώστε να μπορούν να αλλάξουν θέση αν οι ρυθμίσεις τους συστήματος και οι κυκλοφοριακές συνθήκες το απαιτήσουν. Οι ταχύτητες αυτές μπορεί να είναι διαφορετικές ανά λωρίδα, αλλά και ανάλογα με τον τύπο του οχήματος, δηλαδή να ορίζεται διαφορετική ταχύτητα για τα αυτοκίνητα και διαφορετική για τα φορτηγά λεωφορεία και βαρέα οχήματα.

Με την χρήση αλγορίθμων στα συστήματα διαχείρισης της κυκλοφορίας με μεταβλητά όρια ταχυτήτων επιδιώκουμε να βελτιώσουμε τις κυκλοφοριακές συνθήκες κατά την διάρκεια των εργασιών σε ένα τμήμα του. Στην πράξη, μας ενδιαφέρει να επιτύχουμε οι οδηγοί να κινηθούν με την υψηλότερη δυνατή ταχύτητα με ασφάλεια, δηλαδή δεν μας ενδιαφέρει να οριστεί μια πολύ χαμηλή ταχύτητα ώστε τα αυτοκίνητα να φτάνουν αργά στη στένωση για να αποφύγουμε την συμφόρηση και το σχηματισμό ουράς αυξάνοντας αρκετά το χρόνο ταξιδιού.

Ο αλγόριθμος προσδιορισμού των VSL περιλαμβάνει τέσσερα βήματα. Σκοπός του πρώτου (1^{ου}) βήματος είναι να προσεγγίσουμε το μέγιστο μήκος των σειρών αναμονής που σχηματίζονται πριν τη στένωση. Η διαδικασία βασίζεται στη διαφορά των μέγιστων ποσοστών ροής (Q_{wz} , Q_f) μεταξύ του τμήματος πριν τη στένωση και του τμήματος εντός αυτής. Το υπολογισμένο μήκος των σειρών αναμονής θα χρησιμοποιηθεί ως τμήμα L_{max} που ελέγχεται από το σύστημα VSL.

Το δεύτερο (2^ο) βήμα σχεδιάστηκε για να τεθούν τα όρια ταχύτητας σε κάθε τμήμα i . Η ταχύτητα u_i^f αντικατοπτρίζει την ελεύθερη ροή για κάθε i . Η ταχύτητα u^f που ορίζεται είναι πάντοτε μικρότερη από αυτή του ακριβώς προηγούμενου τμήματος και μεγαλύτερη του αμέσως επομένου. Με τον τρόπο αυτό οι οδηγοί μειώνουν σταδιακά την ταχύτητά τους, ώστε να προσεγγίσουν ομαλά τη περιοχή της στένωσης.

Οι θέσεις του συνόλου των ρυμουλκών VSL (βήμα 3^ο) θα πρέπει να καθοριστούν βάση του μέσου ποσοστού επιβράδυνσης των οδηγών όταν αντιλαμβάνονται το κάθε νέο μεταβλητό όριο που καλούνται να ακολουθήσουν. Χρησιμοποιώντας ένα φυσιολογικό ποσοστό επιβράδυνσης, το δίκτυο που θα περιλαμβάνει τα μεταβλητά όρια, μπορεί να διαιρεθεί σε η τμήματα (π.χ. x_i) όπως περιγράφεται ακολούθως,

$$x_i = u_{i+1}^f \times t + \frac{1}{2} \times a \times t^2 \quad \text{και} \quad x_i = \frac{(u_{i+1}^f)^2 - (u_i^f)^2}{2a}$$

Με τον τρόπο αυτό εξασφαλίζουμε ότι οι οδηγοί δεν θα χρειαστούν να μειώσουν την ταχύτητα τους με βίαιο τρόπο. Το κανονικό ποσοστό επιβράδυνσης υπολογίζεται με την υπόθεση ότι οι οδηγοί θα μειώνουν ομαλά την ταχύτητα τους.

Το τέταρτο (4^ο) βήμα αναφέρεται στην εκτέλεση του μοντέλου ελέγχου λειτουργίας του συστήματος ώστε να επιτευχθεί το μέγιστο δυνατό αποτέλεσμα για κάθε τμήμα που δημιουργείται μεταξύ δύο διαδοχικών ορίων ταχύτητας κατά τη διάρκεια λειτουργίας του συστήματος διαχείρισης της κυκλοφορίας.

Είναι λογικό όπως αναφέρθηκε παραπάνω, σε ώρες αιχμής που ο κυκλοφοριακός φόρτος είναι υψηλός, να δημιουργείται ουρά αναμονής που οφείλεται στην στένωση της διατομής. Η ουρά που θα εμφανιστεί είναι φυσιολογικό να δημιουργηθεί σταδιακά και ακολούθως να μειωθεί, μέχρι την εξάλειψή της, ανάλογα με την εξέλιξη (χρονική μεταβολή) του κυκλοφοριακού φόρτου. Στο πρόγραμμα του συστήματος μπορούμε να ορίσουμε κάτω από πια ταχύτητα τα αυτοκίνητα θα θεωρούνται ότι βρίσκονται σε στάση. Συνεπώς αυτό που θα πρέπει να μας ενδιαφέρει στην παρούσα φάση είναι το μέγιστο μήκος αναμονής (L_{max}).

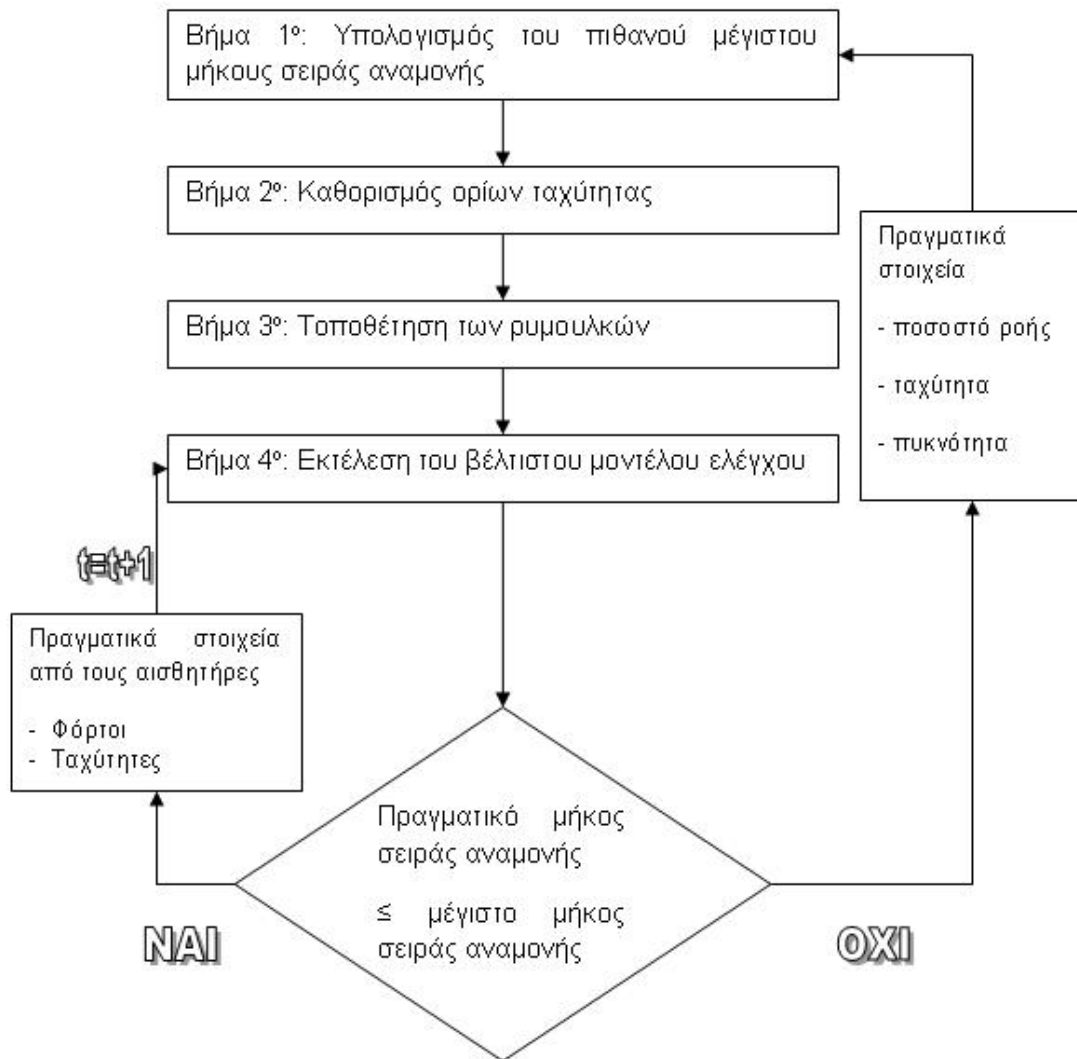
Ακολούθως το τμήμα του δικτύου πριν την στένωση χωρίζεται σε επιμέρους τμήματα (ενότητες) που το κάθε ένα έχει το δικό του όριο ταχύτητας. Με αυτόν τον τρόπο προσπαθούμε να εξασφαλίσουμε ότι τα οχήματα θα φθάσουν ομαλά, χωρίς να αναγκαστούν να μειώσουν απότομα την ταχύτητα τους.

Οι θέσεις που τοποθετούνται τα VMS (δηλαδή τα σήματα που επιδεικνύουν τα μεταβλητά όρια) επηρεάζονται από δύο παράγοντες. Η τοποθέτηση τους θα πρέπει να γίνει σε σημείο που να είναι άμεσα αντιληπτό από τους οδηγούς (1^{ος} παράγοντας που σχετίζεται με τα γεωμετρικά χαρακτηριστικά) και ταυτόχρονα να υπάρχει ο απαραίτητος χρόνος αντίδρασης ώστε να έχουμε ομαλή επιβράδυνση ή επιτάχυνση (2^{ος} παράγοντας)

Ο αλγόριθμος (σχήμα 1-2) που ανέπτυξαν οι Lyles, Taylor, Lavansiri και Grossklaus (2002) στοχεύει στην εκτέλεση του βέλτιστου μοντέλου ελέγχου και διαχείρισης της κυκλοφορίας με τη χρήση μεταβλητών ορίων ταχύτητας σύμφωνα, με τα τέσσερα προαναφερθέντα βήματα. Μετά την πραγματοποίηση του τελευταίου βήματος μπορούν να συμβούν δύο τινά.

Το πρώτο είναι να προκύψει μεγαλύτερο μήκος σειράς αναμονής σε σχέση με το αρχικά υπολογισμένο μήκος σειράς αναμονής (βήμα 1^ο) με αποτέλεσμα να έχουμε επαναδιαπραγμάτευση της διαδικασίας από την αρχή. Το σύστημα τροφοδοτείται με τα πραγματικά στοιχεία δηλαδή το ποσοστό ροής των οχημάτων στη στένωση, τις ταχύτητες ροής και την πυκνότητα.

Αν το πραγματικό μήκος της σειράς που θα προκύψει είναι μικρότερο του υπολογισμένου τότε το σύστημα θα επαναλάβει το τελευταίο βήμα με τα πραγματικά στοιχεία που προέρχονται από τους αισθητήρες και είναι οι ωριαίοι φόρτοι και οι ταχύτητες των οχημάτων.



ΣΧΗΜΑ 1-2: Ο ΑΛΓΟΡΙΘΜΟΣ ΠΟΥ ΑΝΑΠΤΥΧΘΗΚΕ ΑΠΟ ΤΟΝ LYLES ΚΑΙ ΛΟΙΠΟΥΣ ΤΟ 2002

1.3 Αξιολόγηση του συστήματος μεταβλητών ορίων ταχύτητας στο παράδειγμα του αυτοκινητοδρόμου I – 96

Η αναφορά στηρίζεται σε χρήση των συστημάτων μεταβλητών ορίων ταχύτητας στον αυτοκινητόδρομο I-96 νότια του Μίσιγκαν το 2002 όπου έχει δημιουργηθεί στένωση στο οδικό δίκτυο, λόγω έργων. Η αλλαγή αυτή όπως ήταν λογικό, δημιούργησε προβλήματα στην διέλευση των οχημάτων μειώνοντας την κυκλοφοριακή ικανότητα του δικτύου, δημιουργώντας ουρές αναμονής, αυξάνοντας ταυτόχρονα τις πιθανότητες ατυχήματος εξαιτίας των συνεχών στάσεων-εκκινήσεων των οχημάτων.

Μέσω της χρήσης των συστημάτων VSL έγινε προσπάθεια να μειωθεί ο χρόνος ταξιδιού των οχημάτων στο δίκτυο, να μειωθούν ή να εξαλειφθούν οι σειρές αναμονής αυξάνοντας ταυτόχρονα τον φόρτο που εξυπηρετείται. Καμία πρόοδος δεν έχει νόημα αν αγνοηθεί ο πρωταρχικός παράγοντας αυτός της ασφάλειας διέλευσης των οχημάτων προς κάθε κατεύθυνση κυκλοφορίας.

Το σύστημα διαχείρισης της κυκλοφορίας μετά τη δημιουργία του αλγορίθμου που καθορίζει τα μεταβλητά όρια ταχύτητας, δεν εισήχθη απ' ευθείας στον αυτοκινητόδρομο I-96. Προηγήθηκαν οι προσομοιώσεις, όπου δοκιμάστηκαν σε εικονικό περιβάλλον οι επιδιωκόμενες αλλαγές, ώστε να αξιολογηθούν τα αποτελέσματα της χρήσης τους. Με την μέθοδο αυτή οι ερευνητές ήταν σε θέση να γνωρίζουν τα αποτελέσματα της χρήσης του VSL μοντέλου πριν την εφαρμογή τους σε πραγματικές συνθήκες, δηλαδή αν οι επιδιωκόμενες αλλαγές θα έχουν θετικό αντίκτυπο ή θα οξύνουν το πρόβλημα.

Γενικά, είναι προτιμότερο οι αλλαγές στις ρυθμίσεις της κυκλοφορίας να μην εφαρμόζονται απευθείας στους αυτοκινητοδρόμους, αλλά να αξιολογείται η απόδοσή τους μέσω της χρήσης λογισμικών πακέτων προσομοίωσης. Μέσω των προγραμμάτων προσομοίωσης μπορούμε να παρακολουθούμε τις εξελίξεις των φαινομένων (π.χ. σχηματισμός ή εξάλειψη της ουράς) και να επέμβουμε άμεσα χωρίς να περιμένουμε την ολοκλήρωση της διαδικασίας. Δεν θα πρέπει να αποκλείσουμε και το ενδεχόμενο η πιθανή χρήση των μεταβλητών ορίων με τις ρυθμίσεις που κάνουμε να επιφέρει ακόμα και αρνητικά αποτελέσματα. Εξάλλου οι προσομοιώσεις γίνονται για να ελέγξουμε

τη χρήση των μοντέλων πριν εφαρμοστούν στην πραγματικότητα ώστε να επιτύχουμε το βέλτιστο δυνατό αποτέλεσμα.

Η εμπειρία από τη χρήση των συστημάτων προσομοίωσης έδειξε ότι δεν αρκεί να συγκρίνουμε τον αριθμό των οχημάτων, τον χρόνο ταξιδιού ή την μέση ταχύτητα για να συμπεράνουμε την βελτίωση ή την επιδείνωση των κυκλοφορικών συνθηκών. Μέσω των αποτελεσμάτων (στοιχεία που πηγάζουν από τα λογισμικά προσομοίωσης) αυτών, θα δημιουργηθούν πίνακες που θα περιέχουν την ωριαία ροή και το ποσοστό κατάληψης. Με τον τρόπο αυτό θα γίνει η σύγκριση της αποτελεσματικότητας των μέτρων που λήφθηκαν.

Στο παράδειγμα του αυτοκινητοδρόμου I -96 η δοκιμή αναπτύχθηκε προς μια κατεύθυνση, σε αυτή που δημιουργείται η στένωση (αντικείμενο που μας ενδιαφέρει). Θα μπορούσε βέβαια να γίνει εκτεταμένη χρήση τέτοια ώστε να δοκιμαστεί η περίπτωση μείωσης του χρόνου ταξιδιού σε ολόκληρο το δίκτυο και για τις δύο κατευθύνσεις.

Το πρώτο μέλημα των ερευνητών Lyles, Taylor, Lavansiri και Grossklaus κατά το διάστημα δημιουργίας του συστήματος VSL ήταν η υψηλή διαφάνεια των ορίων ταχύτητας από τα VMS. Οι οδηγοί είναι απαραίτητο να έχουν άμεση και ξεκάθαρη εικόνα των υποδείξεων της ταχύτητας, ώστε να είναι σε θέση να ενεργήσουν ομαλά χωρίς κίνδυνο.

Τα ρυμουλκά τοποθετήθηκαν σε απόσταση μεταξύ τους μερικών μέτρων έως 1.6 χιλιόμετρα (στην εργασία αναφέρονται σαν μονάδες μέτρησης οι γιάρδες και τα μίλια, δηλαδή από μερικές γιάρδες έως ένα μίλι). Στην απόσταση αυτή συνετέλεσαν οι παράγοντες επικοινωνίας μεταξύ τους και τα γεωμετρικά χαρακτηριστικά. Συνεπώς σε μια μελέτη θα πρέπει να λαμβάνουμε σοβαρά υπόψη μας για ένα επιπλέον λόγο την τοπογραφία του τόπου.

Οι ταχύτητες που υποδεικνυόταν στους οδηγούς σε κάποιες περιπτώσεις υπολογίστηκαν χρησιμοποιώντας ως σημείο αναφοράς τα μέχρι τότε στατικά όρια (πριν τη χρήση των VSL), ενώ σε κάποιες περιπτώσεις με βάση τα γεωμετρικά χαρακτηριστικά της οδού. Η εφαρμογή τους έχει ένα σημαντικό πλεονέκτημα, αυτό της αλλαγής των ορίων με βάση της μεταβολές του κυκλοφοριακού φόρτου κατά τη διάρκεια της ημέρας. Δεν θα πρέπει να

αγνοούμε και τις καιρικές συνθήκες που μπορεί να αποτελέσουν ανασταλτικό παράγοντα στην διέλευση των οχημάτων.

Το μέγιστο όριο ταχύτητας στην ενεργό ζώνη εργασίας δεν επιτράπηκε ποτέ να είναι υψηλότερο από 100 χιλ/ώρα (λίγο πάνω από 60 mph). Αυτά βέβαια ισχύουν μέχρι το τέλος της ζώνης εργασίας. Κατόπιν τα δεδομένα αλλάζουν, αφού αυτό που ενδιαφέρει σε κάθε τέτοια περίπτωση είναι η αποφόρτιση της συμφόρησης άμεσα και με ασφάλεια. Οπότε είναι λογικό οι ταχύτητες πριν και μετά τη ζώνη εργασίας (σε οποιαδήποτε όμοια περίπτωση) να έχουν μεγάλη διαφορά.

Αρχικά τα όρια ταχύτητας τέθηκαν κατ' εκτίμηση της ταχύτητας V_{85} σύμφωνα με τα λειτουργικά χαρακτηριστικά της οδού, δηλαδή το 85% της ταχύτητας των οχημάτων είναι μικρότερη από αυτή. Οι ταχύτητες υπολογίστηκαν χρησιμοποιώντας τα στοιχεία που συλλέγονται από τους αισθητήρες.

Δίνοντας ιδιαίτερη σημασία στο τρόπο που θα επιτευχθεί η βέλτιστη δυνατή απόδοση στη ζώνη εργασίας, οι ρυθμίσεις στα συστήματα VSL κατόρθωσαν να αυξήσουν τις ταχύτητες που αναπτύσσουν οι οδηγοί εντός αυτής. Συγκεκριμένα κατά τη διάρκεια των μη – κορεσμένων χρονικών περιόδων οι ταχύτητες που ανέπτυξαν οι οδηγοί ήταν μεγαλύτερες από 80 χιλ/ώρα.

Ακολούθως παρατίθεται ο πίνακας 1-2 όπου παρουσιάζει τα αποτελέσματα από τη σύγκριση των μέσων ταχυτήτων για το τμήμα του αυτοκινητοδρόμου I – 96 που προέκυψαν από τη χρήση των συστημάτων VSL και πριν την εφαρμογή τους. Οι χρονικοί περίοδοι επιλέχθηκαν ώστε να καλύψουν όλο το φάσμα των φόρτων κατά τη διάρκεια ενός εικοσιτετραώρου τόσο στις εργάσιμες μέρες όσο και κατά τη διάρκεια του Σαββατοκύριακου. Αναφορικά με τη μέση διαφορά της ταχύτητας, οι θετικοί αριθμοί δηλώνουν ότι οι μέσες ταχύτητες ήταν υψηλότερες κατά τη διάρκεια λειτουργίας των VSL από ότι πριν την έναρξη της λειτουργίας τους.

Χρονική περίοδος	Μεταβλητότητα	Εργάσιμες μέρες/ Σαββατοκύριακο	Θέση VLS						
			1	2	3	4	5	6	7
6:00 - 8:00	Μέση διαφορά ταχύτητας (κατά την διάρκεια – πριν)	Εργάσιμες μέρες	0,8	1,1	4,0	5,9	5,9	4,0	1,5
		Σαββατοκύριακο	- 2,0	-1,1	3,0	3,5	4,0	- 0,8	- 1,7
	Διαφορά ταχύτητας που επιδείχτηκε (κατά την διάρκεια – πριν)	Εργάσιμες μέρες	0,0	13,7	14,1	13	13	0,0	
		Σαββατοκύριακο	0,0	16	16	16	16	0,0	
10:30 - 12:30	Μέση διαφορά ταχύτητας (κατά την διάρκεια – πριν)	Εργάσιμες μέρες	- 2,4	-1,1	3,2	3,5	4,0	2,4	0,5
		Σαββατοκύριακο	- 3,9	-2,6	3,0	5,1	6,1	4,0	- 0,9
	Διαφορά ταχύτητας που επιδείχτηκε (κατά την διάρκεια – πριν)	Εργάσιμες μέρες	0,0	15	14,5	11	11	0,0	
		Σαββατοκύριακο	0,0	16	16	16	16	0,0	
16:00 - 18:00	Μέση διαφορά ταχύτητας (κατά την διάρκεια – πριν)	Εργάσιμες μέρες	- 8,7	-5,0	1,1	3,1	5,4	1,3	- 0,2
		Σαββατοκύριακο	- 9,1	- 10,8	-7,4	-5,9	0,4	3,5	- 2,1
	Διαφορά ταχύτητας που επιδείχτηκε (κατά την διάρκεια – πριν)	Εργάσιμες μέρες	- 1,6	14	13,7	13,7	13,7	0,0	
		Σαββατοκύριακο	- 3,0	10	10,6	13	13	0,0	
20:00 - 22:00	Μέση διαφορά ταχύτητας (κατά την διάρκεια – πριν)	Εργάσιμες μέρες	- 2,6	-0,3	3,4	2,9	6,2	2,5	1,5
		Σαββατοκύριακο	- 3,2	-0,8	3,0	5,0	6,6	2,6	1,3
	Διαφορά ταχύτητας που επιδείχτηκε (κατά την διάρκεια – πριν)	Εργάσιμες μέρες	0,0	16	15,2	16	16	0,0	
		Σαββατοκύριακο	0,0	16	16	16	16	0,0	

ΠΙΝΑΚΑΣ 1-2: ΠΕΡΙΛΗΨΗ ΤΩΝ ΑΠΟΤΕΛΕΣΜΑΤΩΝ ΣΤΙΣ ΜΕΣΕΣ ΤΑΧΥΤΗΤΕΣ ΠΡΙΝ ΚΑΙ ΚΑΤΑ ΤΗ ΔΙΑΡΚΕΙΑ ΤΗΣ ΧΡΗΣΗΣ ΤΩΝ ΣΥΣΤΗΜΑΤΩΝ VSL

Από τον πίνακα 1-2 μπορούμε να παρατηρήσουμε ότι οι μέσες ταχύτητες ήταν υψηλότερες στην περιοχή που χρησιμοποιήθηκε τα μεταβλητά όρια ταχύτητας (περιοχή επέκτασης) ,άλλωστε αυτός ήταν ο άμεσος σκοπός μας.

- Θέση 1^η: Η ταχύτητα που ορίστηκε για όλα τα οχήματα ήταν 80 χιλ/ώρα. Από τα δεδομένα φαίνεται ότι οι οδηγοί ανταποκρίθηκαν καλύτερα στα μηνύματα που ορίζανε την επιθυμητή ταχύτητα τους.
- Θέση 3^η,4^η και 5^η: Το όριο ταχύτητας στις περιπτώσεις αυτές ήταν μεγαλύτερο από το αρχικό 80 χιλ/ώρα. Παρατηρούμε ότι οι μέσες ταχύτητες για όλα τα χρονικά διαστήματα ήταν μεγαλύτερα.
- Θέση 6^η: Οι οδηγοί στο τμήμα αυτό αναγκάστηκαν να επιβραδύνουν αρκετά λόγω της γεωμετρίας (μέσα στη στένωση). Είναι χαρακτηριστικό ότι οι οδηγοί ακολουθώντας τα μεταβλητά όρια ταχύτητας είχαν τελικά ταχύτητα μικρότερη κατά 2 με 4 χιλ/ώρα σε σχέση με το στατικό όριο των 80 χιλ/ώρα.
- Θέση 7^η: Είναι το ρυμουλκό που βρίσκεται μετά την στένωση, οπότε είναι λογικό οι ταχύτητες να είναι αρκετά υψηλότερες από τις προηγούμενες. Εξάλλου είναι φυσικό να συμβαίνει αυτό, αφού πλέον το δίκτυο ανοίγει και επανέρχεται στην αρχική του μορφή και είναι άδεια

Οι αυξήσεις στη μέση ταχύτητα που προκύψανε με τη χρήση των VSL επέφεραν μείωση στο χρόνο ταξιδιού των οχημάτων. Ο χρόνος ταξιδιού υπολογίστηκε βασισμένος στην υπόθεση ότι η μέση ταχύτητα είναι ο μέσος όρος της ταχύτητας μεταξύ δύο διαδοχικών ρυμουλκών.

Στο τμήμα που εκτείνεται μεταξύ του πρώτου ορίου ταχύτητας που βλέπουν οι διερχόμενοι οδηγοί και του δεύτερου (πίνακας 1-3) ο χρόνος ταξιδιού παρουσιάζει μείωση για τρία από τα τέσσερα χρονικά διαστήματα. Εντούτοις, ο χρόνος ταξιδιού αυξήθηκε για την περίοδο 4:00 - 6:00 και για τις εργάσιμες μέρες και για τις ημέρες του Σαββατοκύριακου.

Χρόνος	Χρονική διαφορά ταξιδιού (κατά την διάρκεια – πριν)			
	εργάσιμες μέρες		Σαββατοκύριακο	
	δευτερόλεπτα	ποσοστό (%)	δευτερόλεπτα	ποσοστό (%)
6:00 - 8:00	-10,6	-5,4	-2,8	-1,6
10:30 - 12:30	-5,0	-2,6	-5,3	-2,9
16:00 - 18:00	1,8	1,0	20,9	11,3
20:00 - 22:00	-5,2	-2,9	-5,8	-3,2

ΠΙΝΑΚΑΣ 1-3

Από τον πίνακα 1-3 βλέπουμε ότι το κέρδος σε χρόνο ήταν έντεκα (11) δευτερόλεπτα στην καλύτερη περίπτωση για το χρονικό διάστημα 6:00 με 8:00 το πρωί (Συνολικά 5.4% του γενικού χρόνου ταξιδιού. Οπότε είναι λογικό ο χρόνος που κερδίζουν οι οδηγοί να μην γίνεται αντιληπτό. Το μεγαλύτερο χρονικό κέρδος ήταν 24.5 δευτερόλεπτα στο τμήμα που εκτείνεται μεταξύ της 3^{ης} και 4^{ης} θέσης των μεταβλητών ορίων για το χρονικό διάστημα 10:30 - 12:30. Συνολικά το κέρδος για όλο το δίκτυο ήταν 6% σε σχέση με το χρόνο μη χρήσης των VSL.

Παρά το μικρό όφελος σε χρόνο θα ήταν σφάλμα να αναιρέσουμε το κέρδος της μελέτης αφού έχουμε επιτύχει ταυτόχρονα αύξηση της μέσης ταχύτητας. Επιπλέον οι οδηγοί σε κάποιες περιπτώσεις (π.χ. περίοδοι κανονικής ροής της κυκλοφορίας) ανταποκρίθηκαν καλύτερα στα μεταβλητά όρια ταχύτητας παρά στα σταθερά.

Επίσης, οι Lyles, Taylor, Lavansiri και Grossklaus ήλεγξαν τις επιδράσεις της αστυνόμευσης του αυτοκινητόδρομου, συγκεκριμένα για την περιοχή που εκτείνεται μεταξύ τη 3^{ης} και 4^{ης} θέσης των VSL. Όταν η αστυνομία ήταν παρούσα, στάσιμη και ορατή, τη χρονική περίοδο λειτουργίας των VSL τα αποτελέσματα έδειξαν ότι οι μέσες ταχύτητες που αναπτύσσονταν από τους οδηγούς ήταν κάπως υψηλότερες, με αποτέλεσμα η αστυνόμευση να μην κρίνεται επιβεβλημένη.

Στις περιπτώσεις που η αστυνόμευση είναι στατική ελλοχεύει ο κίνδυνος τα στοιχεία που θα προκύψουν να είναι πλασματικά. Οι οδηγοί που κινούνται συχνά στους αυτοκινητόδρομους αυτούς, γνωρίζουν που υπάρχει αστυνόμευση με αποτέλεσμα να σέβονται τα μέτρα στο σημεία εκείνα. Γεγονός που πηγάζει από την εμπειρία και την παρατήρηση.

Το σύστημα διαχείρισης της κυκλοφορίας που εφαρμόστηκε στον αυτοκινητόδρομο Ι –96, από πλευρά αποτελεσματικότητας άσκησε δευτερεύουσα επίδραση στη ζώνη εργασίας. Στο γεγονός αυτό συντέλεσε και η τοπογραφία της περιοχής που ανάγκασε τους ερευνητές να περιορίσουν τα όρια ταχύτητας που αρχικά είχαν προγραμματίσει να χρησιμοποιήσουν.

Η χρήση των συστημάτων VSL επέφερε αύξηση στις μέσες ταχύτητες, μείωση στους χρόνους ταξιδιού, ενώ ταυτόχρονα παρατηρήθηκε μείωση και στο ποσοστό των οχημάτων που υπερέβη τα καθορισμένα όρια ταχύτητας. Επίσης είναι σαφές ότι η αστυνόμευση δεν φάνηκε να έχει καμία πρόσθετη επίδραση. Κατά τη διάρκεια λειτουργίας των συστημάτων VSL στον αυτοκινητόδρομο Ι – 96 δεν παρατηρήθηκαν ατυχήματα που να συνδέονται άμεσα με αυτά. Αυτά δημιουργήθηκαν σε κατεύθυνση που δεν υπήρχαν τα VSL. Συνεπώς η έρευνα έδειξε ότι με τη χρήση τους δεν δημιουργούνται πρόσθετα προβλήματα ασφαλείας.

Συνοψίζοντας, μπορούμε να πούμε ότι τα συστήματα διαχείρισης της κυκλοφορίας με τη χρήση μεταβλητών ορίων ταχύτητας αποτέλεσαν μια ιδιαίτερα καινοτόμο ιδέα. Η μορφή και η λειτουργία τους, με το πέρασμα του χρόνου, εξελίχθηκε σημαντικά καθιερώνοντας τα, ως μια σημαντική εναλλακτική λύση αντιμετώπισης των προβλημάτων της κυκλοφοριακής συμφόρησης. Τα συστήματα VSL δεν θα είχαν εφαρμοστεί αν νωρίτερα δεν είχε δημιουργηθεί το θεωρητικό και πρακτικό υπόβαθρο της προσομοίωσης και της εφαρμογής της στην κυκλοφορία, που αναλύεται στο ακόλουθο κεφάλαιο.

ΚΕΦΑΛΑΙΟ 2^ο

ΠΡΟΣΟΜΟΙΩΣΗ ΚΑΙ ΕΦΑΡΜΟΓΗ ΤΗΣ ΣΤΗΝ ΚΥΚΛΟΦΟΡΙΑ

2.1 Εισαγωγή

Τα μαθηματικά μοντέλα συχνά χρησιμοποιούνται για να περιγράψουν φυσικές διαδικασίες. Ο Eynkhoff το 1974 όρισε ως μαθηματικό μοντέλο την απεικόνιση των βασικών εργαλείων ενός υπάρχοντος συστήματος (ή ενός συστήματος υπό κατασκευή) με την οποία παρουσιάζεται η γνώση αυτού του συστήματος σε λειτουργική μορφή.

Ένα μαθηματικό μοντέλο συνήθως περιγράφει ένα σύστημα που απαρτίζεται από ένα σύνολο εξισώσεων και μεταβλητών. Οι τιμές των μεταβλητών μπορεί να είναι πραγματικοί ή ακέραιοι αριθμοί. Οι μεταβλητές αντιπροσωπεύουν ορισμένες ιδιότητες του συστήματος. Το πραγματικό μοντέλο είναι το σύνολο των λειτουργιών που περιγράφουν τις σχέσεις μεταξύ των διαφορετικών μεταβλητών.

Σε μερικές περιπτώσεις, η διαδικασία και το μοντέλο είναι *αιτιοκρατικό* (*ντετερμινιστικό*), όπως η περιγραφή ενός μήλου να πέφτει από ένα δέντρο, ή η εκτροπή μιας ακτίνας. Σε άλλες περιπτώσεις, η διαδικασία και το μοντέλο είναι *στοχαστικό*, όπως η περιγραφή των σειρών αναμονής σε μια τράπεζα, ή στα διόδια ή σε έναν αυτοκινητόδρομο.

Σε ένα αιτιοκρατικό (ντετερμινιστικό) μοντέλο το σύνολο των τιμών των μεταβλητών καθορίζεται μεμονωμένα από τις παραμέτρους στο μοντέλο και από τις τιμές των μεταβλητών σε προηγούμενες καταστάσεις.

Αντιθέτως σε ένα στοχαστικό μοντέλο, το τυχαίο είναι πάντα παρόν, οι μεταβλητές δεν περιγράφονται από μοναδικές τιμές αλλά μάλλον από κατανομές πιθανότητας.

Ταυτόχρονα θα πρέπει να είμαστε σε θέση να εξασφαλίσουμε ότι το μαθηματικό μοντέλο θα μπορεί να περιγράψει το σύστημα με συνέπεια και τα

στοιχεία της μέτρησης να αποτελούν το αντιπροσωπευτικό σύνολο των πιθανών τιμών.

Σύμφωνα με τον Κοντοράτο (1999) η ανάλυση των κυκλοφοριακών δεδομένων είναι μια αρκετά περίπλοκη διαδικασία, γιατί δεν ακολουθεί τα απλά μαθητικά μοντέλα. Σε ένα οδικό δίκτυο οι συνθήκες που επικρατούν δεν μπορούν να κανονικοποιηθούν.

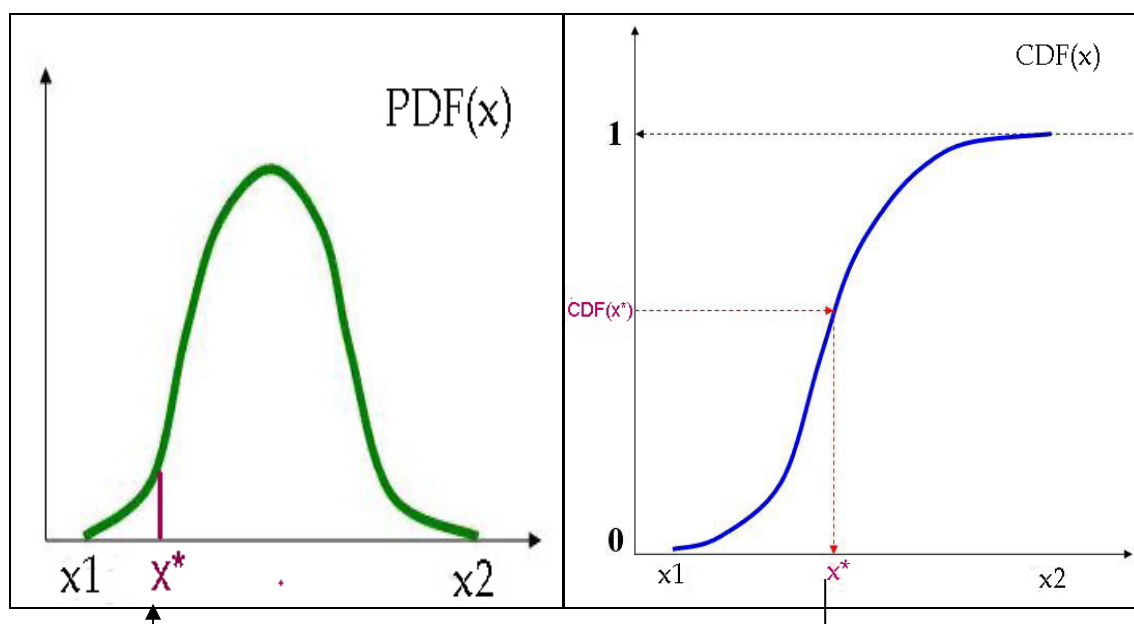
Για να μπορέσουμε να δώσουμε απάντηση στο πρόβλημα αυτό θα πρέπει να καταφύγουμε στη λύση της «προσομοίωσης». Η μέθοδος αυτή χρησιμοποιείται για να μετρήσει την αποδοτικότητα ενός οδικού δικτύου, να περιγράψει και να αξιολογήσει όσο το δυνατόν καλύτερα τις επικρατούσες κυκλοφοριακές συνθήκες.

Προσπαθώντας να ορίσουμε την προσομοίωση ως έννοια μπορούμε να χρησιμοποιήσουμε τον ορισμό που έδωσε ο Drew το 1968 που αναφέρει ότι «η προσομοίωση ορίζεται ως η δυναμική αναπαράσταση κάποιου μέρους του πραγματικού κόσμου που επιτυγχάνεται με την ανάπτυξη ενός μοντέλου (προτύπου) και την κίνηση του μέσω του χρόνου».

Δεδομένου ότι τα περισσότερα συστήματα περιλαμβάνουν στοχαστικές μεταβλητές, οι προσομοιώσεις χρησιμοποιούν συχνά τις γεννήτριες τυχαίων αριθμών για να δημιουργήσουν τα δεδομένα εισόδου που ακολουθούν τις κατανομές των στοχαστικών μεταβλητών. Οι αριθμοί που παράγονται από τις γεννήτριες τυχαίων αριθμών δεν είναι συνήθως τυχαίοι υπό την ακριβέστερη έννοια, αφού υπολογίζονται χρησιμοποιώντας ένα σύνολο εξισώσεων. Είναι γνωστοί ως ψευδο-τυχαίοι που ακολουθούν κανονική κατανομή. Κατά την χρησιμοποίησή τους ο αναλυτής πρέπει να επιβεβαιώσει ότι το αληθινό τυχαίο των αριθμών ελέγχεται.

Η παραγωγή των τιμών μιας μεταβλητής x που ακολουθεί μια συγκεκριμένη κατανομή (σχήμα 2-1), περιγράφεται στην παρακάτω διαδικασία. Η συνάρτηση πυκνότητας πιθανότητας PDF μετασχηματίζεται σε αθροιστική συνάρτηση CDF (σχήμα 2-2). Η CDF παίρνει τυχαίες τιμές στο διάστημα $[0,1]$. Χρησιμοποιώντας μια γεννήτρια τυχαίων αριθμών παράγεται ο τυχαίος z στο διάστημα $[0,1]$: $z: \text{RND}(0,1)$. Χρησιμοποιώντας την αντίστροφη

συνάρτηση της αθροιστικής κατανομής (CDF^{-1}) υπολογίζουμε μια τιμή x^* της μεταβλητής x στην κατανομή $PDF(x)$. Οι τιμές x^* της μεταβλητής x ορίζονται ως $x^* = CDF^{-1}(RND(0,1))$.



ΣΧΗΜΑ 2-1: ΚΑΜΠΥΛΗ ΚΑΤΑΝΟΜΗΣ

ΣΧΗΜΑ 2-2: ΑΘΡΟΙΣΤΙΚΗ ΚΑΜΠΥΛΗ ΚΑΤΑΝΟΜΗΣ

Η επιλογή της προσομοίωσης ως εργαλείο ανάλυσης/διερεύνησης είναι σύνηθες, επειδή είναι λιγότερο περιοριστική. Άλλες τεχνικές διαμόρφωσης μπορούν να επιβάλουν διάφορους μαθηματικούς περιορισμούς στη διαδικασία και να απαιτήσουν πολλαπλάσιες εγγενείς υποθέσεις για να πραγματοποιηθούν.

2.2 Εφαρμογή των μεθόδων προσομοίωσης στην κυκλοφοριακή τεχνική

Τα μοντέλα προσομοίωσης πλέον έχουν γίνει ιδιαίτερα δημοφιλή και αποτελούν αναπόσπαστο κομμάτι της συγκοινωνιακής τεχνικής. Είναι σαφές ότι το πρόβλημα της συμφόρησης αποτελεί μάλιστα της σύγχρονης ζωής αφού κοστίζει σημαντικά στην οικονομία κάθε κράτους. Η κατασκευή ή αναβάθμιση ενός έργου υποδομής απαιτεί μεγάλες επενδύσεις και συχνά έχουν καταστροφικές συνέπειες για το περιβάλλον αν αναλογιστούμε ότι παρέχει προσωρινή αναβολή στο πρόβλημα. Σύντομα αφότου κατασκευαστούν οι νέοι δρόμοι θα προκαλέσουν πρόσθετη κυκλοφορία που μηδενίζει τα οφέλη της δημιουργίας τους.

Μια εναλλακτική προσέγγιση του προβλήματος είναι η εισαγωγή σύγχρονων συστημάτων που θα βοηθήσουν στην αποδοτικότερη χρήση του υπάρχοντος δικτύου λαμβάνοντας υπόψη τους κυκλοφοριακούς φόρτους. Ο μελετητής που θα εξετάσει τις συνέπειες της χρήσης των συστημάτων αυτών θα πρέπει να είναι σε θέση να προβλέψει τις συνέπειες της εφαρμογής τους, αλλά και τις επιπτώσεις τους. Θα πρέπει να σταθμιστούν τα οφέλη τους ώστε να είναι οικονομικά προσοδοφόρα. Για να επιτευχθεί ο στόχος αυτός θα πρέπει να γίνει *προσομοίωση της κυκλοφορίας* με και χωρίς τις νέες ρυθμίσεις ώστε να είμαστε σε θέση να γνωρίζουμε έμπρακτα τα αποτελέσματά τους.

Η προσομοίωση της κυκλοφορίας είναι μια προσέγγιση που μπορεί να χρησιμοποιηθεί για να διαμορφώσει τα μεγάλα, σύνθετα στοχαστικά συστήματα για την πρόβλεψη ή τους σκοπούς μέτρησης της απόδοσης. Η αποδοτικότητα εξετάζεται λαμβάνοντας υπόψη την ταχύτητα των οχημάτων και τον χρόνο ταξιδιού. Μερικές φορές εξετάζονται η συμφόρηση και το μήκος της σειράς αναμονής. Η προσομοίωση είναι η πιο κοινή χρησιμοποιούμενη ποσοτική τεχνική.

Η προσομοίωση της κυκλοφορίας συνήθως ακολουθεί τα παρακάτω τέσσερα βήματα:

- Διαμόρφωση της κυκλοφορίας ως μια δυναμική στοχαστική διαδικασία
- Δημιουργία στοχαστικών διεργασιών οι οποίες ανταποκρίνονται σε πραγματικά μεγέθη

- Επιλογή των κατάλληλων δεδομένων που θα χρησιμοποιηθούν στη προσομοίωση και
- Ανάλυση των αποτελεσμάτων

Σήμερα, τα πλέον προηγμένα πρότυπα προσομοίωσης παρέχουν τη δυνατότητα απεικόνισης. Για να προβούμε στην απεικόνιση (οπτική αναπαράσταση) μιας προσομοίωσης απαιτούνται τέσσερα συστατικά. Το πρώτο συστατικό είναι τα στοιχεία (data) που θα εφαρμοστούν στο μοντέλο, Το δεύτερο συστατικό είναι ο αλγόριθμος προσομοίωσης που υπολογίζει τις μετακινήσεις των οχημάτων (αυτοκίνητα ή άλλα μεταφορικά μέσα π.χ. τραμ, ποδήλατα, φορτηγά) με τη συγκεκριμένη συμπεριφορά επιτάχυνσης και επιβράδυνσης. Το τρίτο συστατικό της οπτικής αναπαράστασης της προσομοίωσης είναι το τμήμα της απεικόνισης (animation), που αναπαριστά τα αποτελέσματα ως μετακινήσεις των οχημάτων στην οθόνη υπολογιστών. Κατά συνέπεια, η μιμούμενη (simulation) κυκλοφορία είναι εύκολο να παρατηρηθεί και να αξιολογηθεί. Η επικύρωση είναι το τελευταίο συστατικό (τέταρτο).

Οι κατευθυντήριες δυνάμεις που οδήγησαν στην ανάπτυξη της κυκλοφοριακής προσομοίωσης είναι:

- Η πρόοδος στη θεωρία της κυκλοφοριακής ροής
- Η τεχνολογική ανάπτυξη των ηλεκτρονικών υπολογιστών και τα εργαλεία προγραμματισμού
- Η ανάπτυξη της υποδομής γενικών πληροφοριακών συστημάτων και η
- Απαίτηση της κοινωνίας για την πιο λεπτομερή ανάλυση των συνεπειών των μέτρων ως αναφορά της βελτίωση της κυκλοφορίας.

Για ιστορικούς λόγους η προσομοίωση κυκλοφοριακών συνθηκών μέσω των υπολογιστών άρχισε όταν ο D.L. Gerlough το 1955 στο πανεπιστήμιο της Καλιφόρνια δημοσίευσε τη διατριβή του: "Προσομοίωση της κυκλοφορίας αυτοκινητόδρομων σε έναν γενικής χρήσης υπολογιστή".

Η ανάπτυξη της προσομοίωσης με την χρήση ηλεκτρονικών υπολογιστών έχει συμβάλλει αποφασιστικά στην βελτίωση του σχεδιασμού των κυκλοφοριακών συστημάτων. Χρησιμοποιείται για να βοηθήσει στις αποφάσεις προγραμματισμού με την αξιολόγηση των κινδύνων, των

δαπανών και των ωφελειών μιας νέας πρότασης. Αναλύει και μελέτα τις διαφορετικές παραλλαγές μέσω του προγραμματισμού. Μπορούμε να προτείνουμε λύσεις, αφού μπορούμε να βρούμε τις επικίνδυνες και κορεσμένες περιοχές. Συνεπώς μπορεί να προβλέψει τις κυκλοφοριακές συνθήκες και να συμβάλει στη βελτιστοποίηση των δικτύων μαζικής μεταφοράς.

Οι σύγχρονοι ηλεκτρονικοί υπολογιστές συνοδεύονται πλέον από υψηλής ποιότητας λογισμικό το οποίο δίνει τη δυνατότητα γρήγορης και ακριβούς προσομοίωσης. Ορισμένα σύγχρονα λογισμικά προσομοίωσης είναι το VISSIM (που χρησιμοποιούμε στη διπλωματική εργασία), το CORSIM, το PARAMICS, το HCS και το MITSIM που δημιουργήθηκε στο πανεπιστήμιο της Μασαχουσέτης των Ηνωμένων Πολιτειών.

Απαραίτητο στοιχείο και ιδιαίτερα σημαντικό για την προσομοίωση είναι τα τυχαία χαρακτηριστικά των οχημάτων και των οδηγών (όπως ο τύπος του οχήματος, η ταχύτητα, η επιτάχυνση/επιβράδυνση κ.α.). Μέσω της χρήσης των ηλεκτρονικών υπολογιστών και των λογισμικών πακέτων προσπαθούμε να αναπαραστήσουμε τα τυχαία γεγονότα που παρατηρούνται στο πραγματικό κόσμο, ώστε τα αποτελέσματα που θα παράγουμε να μπορούν να απεικονίσουν με το βέλτιστο τρόπο το τυχαίο του πραγματικού κόσμου.

Τυχαία γεγονότα μπορεί να είναι οι χρόνοι άφιξης των οχημάτων σε ένα κόμβο, η επιλογή ενός οχήματος να κινηθεί αριστερά ή να ακολουθήσει την ευθεία πορεία ενός αυτοκινητοδρόμου.

Ακολούθως θα πρέπει να αποσαφηνίσουμε τι είναι «πραγματικά τυχαίο» και τι εμφανίζεται ως «τυχαίο». Σύμφωνα με τον Roess αν σταθούμε στην άκρη ενός αυτοκινητόδρομου κοντά σε μια ράμπα εξόδου η απόφαση του επόμενου διερχόμενου οχήματος να κινηθεί δεξιά και να εγκαταλείψει το δίκτυο ή να συνεχίσει την πορεία εντός αυτού μπορεί να εμφανιστεί τυχαία. Αν γνωρίζαμε εκ των προτέρων την προέλευση και τον προορισμό κάθε οχήματος, τους χρόνους ταξιδιού από τις διάφορες πορείες, η απόφαση μπορεί να μην εμφανιστεί να ως "τυχαία". Συνεπώς οι αποφάσεις λαμβάνονται σύμφωνα με τον αριθμό των στοιχείων που είναι διαθέσιμα να

βαθμονομήσουν και να επικυρώσουν το μοντέλο. Τέλος μας ενδιαφέρει η μορφή των στοιχείων (και η πληρότητα) που να αναμένονται να παραχθούν.

Είναι σημαντικό να αναφέρουμε τις δύο κατηγορίες προσομοίωσης δηλαδή την προσομοίωση χρονικής εξέλιξης (time based) και την προσομοίωση εμφάνισης συμβάντος (event – based). Η πρώτη είναι αυτή που χρησιμοποιούν τα περισσότερα μοντέλα.

Εάν γνωρίζουμε τη ταχύτητα και τη θέση του κάθε οχήματος, τη συμπεριφορά του οδηγού του ακολουθούντος οχήματος (car following theory - γίνεται εκτενής αναφορά κατωτέρω), τους κανόνες αλλαγής λωρίδας και ορισμένους άλλους κανόνες, είμαστε σε θέση να υπολογίσουμε τις επόμενες θέσεις και τις ταχύτητες του κάθε οχήματος, ενώ μας δίδεται η δυνατότητα να υπολογίσουμε από ποια έξοδο θα φύγει από το δίκτυο. Περαιτέρω, μπορούμε να συγκεντρώσουμε τις πληροφορίες που απαιτούνται για τους δείκτες απόδοσης και τις τροχιές οχημάτων. Αυτό το είδος ονομάζεται προσομοίωση χρονικής εξέλιξης.

Ακολούθως παρατίθενται δύο παραδείγματα που επεξηγούν τον τρόπο λειτουργίας της προσομοίωσης χρονικής εξέλιξης:

ΠΡΟΒΛΗΜΑ 1^ο:

Καθορισμός μίας μεθόδου που να προσδιορίζει αν το επόμενο όχημα στρίβει αριστερά δεδομένου ότι το 20% στρίβει αριστερά

ΕΠΙΛΥΣΗ:

Παραγωγή ενός τυχαίου αριθμού X από ομοιόμορφη κατανομή με σειρά $(0,1)$. Εάν το $X \leq 0.20$, τότε το επόμενο όχημα θα στρίψει, διαφορετικά όχι.

ΠΡΟΒΛΗΜΑ 2^ο:

Καθορίστε, εάν ένα όχημα, εισάγετε σε μια δεδομένη λωρίδα στην διακεκριμένη, χρονικής εξέλιξης προσομοίωση, με χρονικό βήμα ενός δευτερολέπτου, υποθέτοντας συνεχείς εκθετικές αφίξεις σε χρονικό διάστημα 3,0 δευτερολέπτων.

ΕΠΙΛΥΣΗ:

Η πιθανότητα Y ότι ένα όχημα θα φθάσει στο επόμενο δευτερόλεπτο είναι $Y = 1 - e^{-1/3}$, όπου το "3" είναι ο μέσος χρόνος άφιξης. Κατά συνέπεια $Y = 0.2833$. Παραγωγή ενός τυχαίου αριθμού X από την ομοιόμορφη κατανομή με τη σειρά $(0, 1)$. Εάν $X < Y$ τότε θα σημαίνει ότι το όχημα έχει φθάσει.

Η προσομοίωση εμφάνισης συμβάντος είναι πιο απλή σε σχέση με την προσομοίωση χρονικής εξέλιξης. Η διαδικασία είναι πολύ πιο γρήγορη αφού περιλαμβάνει λιγότερα βήματα για την ίδια περίοδο της προσομοίωσης καταλαμβάνοντας λιγότερη μνήμη στο υπολογιστή. Τα γεγονότα θα πρέπει να καθοριστούν πολύ καλά και ο πραγματικός κώδικας της προσομοίωσης τείνει να χτιστεί γύρω από τα γεγονότα.

Σύμφωνα με το παράδειγμα του Roess σε μια μονή γραμμή αναμονής (π.χ. διόδια) συντρέχουν ταυτόχρονα δύο γεγονότα: μία εξυπηρέτηση πελάτη που ολοκληρώνεται (το πρώτο) και ταυτόχρονα ένα νέο πελάτη που φθάνει. Από τον υπολογισμό της πιθανότητας του κάθε γεγονότος ανά δευτερόλεπτο, μπορούμε να παραγάγουμε το χρονικό διάστημα t_1 για την επόμενη ολοκλήρωση της διαδικασίας εξυπηρέτησης και το διάστημα t_2 για την επόμενη άφιξη, κάθε ένα που παράγεται από μια κατάλληλη κατανομή. Κάνοντας ένα βήμα μπροστά για χρόνο $t_3 = \min(t_1, t_2)$, συνεχίζουμε από ένα γεγονός σε άλλο.

Αξίζει να σημειωθεί ότι αν επαναπροσδιοριστούν οι μηχανισμοί διαδικασίας θα πρέπει να γίνει μια συνολική αναθεώρηση. Αυτό το είδος προσομοίωσης μπορεί να εκτελεστεί συνολικά, αλλά και να κατατμηθεί και κάθε τμήμα να είναι μια νέα προσομοίωση.

Συνοψίζοντας μπορούμε να αναφέρουμε τα πλεονεκτήματα και τα μειονεκτήματα από τη χρήση της προσομοίωσης

Πλεονεκτήματα

- Οι αναλυτές μπορούν να μελετήσουν τις σχέσεις μεταξύ των χαρακτηριστικών (ή μεταβλητών) λεπτομερώς και μπορούν να προσομοιώσουν τις προβαλλόμενες συνέπειες των πολλαπλών επιλογών του σχεδίου πριν εφαρμοστεί στη πραγματικότητα.
- Είναι δυνατό να συγκριθούν εύκολα τα εναλλακτικά σχέδια ώστε να επιλεγεί το βέλτιστο σύστημα.
- Η προσομοίωση χρησιμοποιείται για να συλλεχθούν δεδομένα κυκλοφοριακών μεγεθών.
- Για τις μεταβλητές που υπολογίζει, όπως την εξέλιξη σε διαγράμματα χρόνου-απόσταση, δεν προσδιορίζονται μόνο οι μέσοι όροι και η διακύμανση αλλά και η κατανομή της πιθανότητας.
- Η προσομοίωση χειρίζεται με επιτυχία προβλήματα αναμονής υπολογίζοντας τις επιπτώσεις της ουράς που δεν έχει απορροφήσει σε προηγούμενες χρονικές περιόδους στις επόμενες φάσεις του προβλήματος.
- Η κυκλοφοριακή ζήτηση μεταβάλλεται με το χρόνο χωρίς να δυσκολεύει τη μαθηματική επίλυση του προβλήματος.
- Τα κυκλοφοριακά συστήματα μπορούν να μελετηθούν σε πραγματικό χρόνο.
- Ο πειραματισμός πραγματοποιείται στο γραφείο και όχι επί της οδού εξασφαλίζοντας ασφάλεια στον μελετητή, χωρίς να παρεμποδίζεται η κίνηση των οχημάτων και η ασφάλεια τους.

Μειονεκτήματα

- Τα αποτελέσματα της προσομοίωσης είναι τόσο καλά όσο και το μοντέλο (πρότυπο). Για την βαθμονόμηση του μοντέλου προσομοίωσης απαιτείται χρόνος, στοιχεία και ειδικές γνώσεις.
- Για να στηθεί κυρίως η γεωμετρική υποδομή απαιτείται χρόνος αλλά και δεδομένα που δεν είναι πάντα διαθέσιμα με μικρό κόστος. Η επικοινωνία με τα Σ.Γ.Π.Μ (Συστήματα Γεωγραφικών Πληροφοριών στις Μεταφορές) λύνει τις περισσότερες φορές το πρόβλημα αυτό.

- Επίσης απαιτείται χρόνος αλλά και ειδικές γνώσεις για τη βαθμονόμηση του μοντέλου προσομοίωσης.
- Η χρήση των μοντέλων χωρίς τις γνώσεις των υποθέσεων και των περιορισμών των μοντέλων από το μελετητή οδηγεί τόσο στην επιλογή ακατάλληλων μοντέλων όσο και στη παραγωγή λανθασμένων συμπερασμάτων.

Όπως αντιλαμβάνεται λοιπόν ο καθένας η μέθοδος δεν είναι πανάκεια και απαιτεί καλή γνώση της θεωρίας αντιμετώπισης του προβλήματος, ώστε να μπορεί κανείς να χρησιμοποιεί την προσομοίωση για πειραματισμούς και υπολογισμούς.

2.3 Ανάπτυξη του μοντέλου ακολουθούντος οχήματος

Ένα μοντέλο μικροσκοπικής προσομοίωσης της κυκλοφορίας αναπαριστά την κίνηση των οχημάτων στο οδικό δίκτυο. Το VISSIM χρησιμοποιεί το ψυχοφυσικό μοντέλο συμπεριφοράς των οδηγών του WIEDMANN (1994). Η δημιουργία και εξέλιξη του προγράμματος έγινε στο Πολυτεχνείο της Καρλσρούης στη Γερμανία.

Στο μοντέλο αυτό ο οδηγός ενός διερχόμενου οχήματος με μεγαλύτερη ταχύτητα όταν πλησιάζει το προπορευόμενο που κινείται με χαμηλότερη ταχύτητα αρχίζει να επιβραδύνει. Το γεγονός λαμβάνει χώρα όταν ο οδηγός του πίσω οχήματος αρχίζει να αντιλαμβάνεται την παρουσία του μπροστινού οχήματος. Καθώς δεν μπορεί να γνωρίζει την ταχύτητα του προπορευμένου αρχίζει να επιβραδύνει αρχικά, πλησιάζει και αν επιθυμεί θα επιταχύνει για να προσπεράσει. Αυτό οδηγεί σε μια επαναληπτική διαδικασία μεταβολής της ταχύτητας, επιβράδυνσης και επιτάχυνσης αν ο οδηγός επιλέξει να προσπεράσει.

Συγκεκριμένα το παραπάνω παράδειγμα αποτελεί αντικείμενο ανάλυσης της θεωρίας του ακολουθούντος οχήματος (*car following*). Το μοντέλο αυτό αποτελεί μέρος μιας μικροσκοπικής προσέγγισης της κυκλοφοριακής ροής.

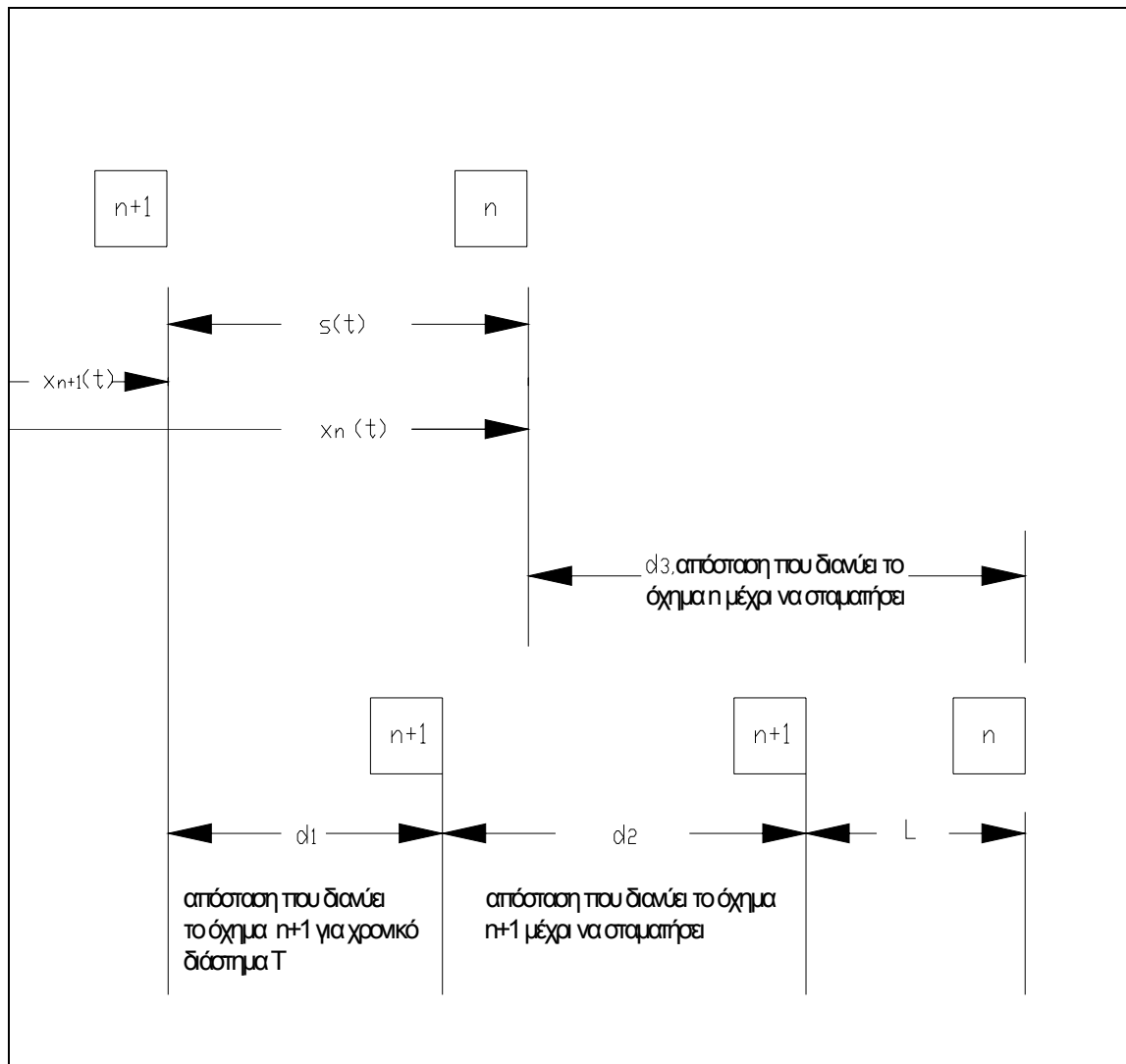
Το μοντέλο του ακολουθούντος οχήματος έχει τη μορφή της εξίσωσης ερέθισμα (stimulus) – απόκριση (response). Ως απόκριση θεωρούμε την αντίδραση του οδηγού, στην κίνηση του προπορευμένου οχήματος. Η αντίδραση αυτή μπορεί να είναι είτε επιτάχυνση του οχήματος είτε επιβράδυνση ανάλογα με το μέγεθος του ερεθίσματος σε χρόνο t .

Η μορφή της εξίσωσης είναι:

$$\text{Απόκριση}(t+T) = \text{Ευαισθησία} * \text{Ερέθισμα}(t) \quad (2-1)$$

Ουσιαστικά το μέγεθος που καθορίζει τη συμπεριφορά του ακολουθούντος οχήματος είναι η επιθυμητή απόσταση που χωρίζει δύο διαδοχικά οχήματα, ώστε να αποφευχθεί η πιθανότητα σύγκρουσης τους, στην περίπτωση ξαφνικής πέδησης του οδηγού του προπορευμένου

οχήματος. Το σχήμα (2-3) μπορεί να μας βοηθήσει στο προσδιορισμό της απόστασης.



ΣΧΗΜΑ 2-3: ΟΙ ΘΕΣΕΙΣ ΔΥΟ ΔΙΑΔΟΧΙΚΩΝ ΟΧΗΜΑΤΩΝ ΣΤΗ ΠΕΡΙΠΤΩΣΗ ΕΚΤΑΚΤΗΣ ΣΤΑΣΗΣ

Οι σχετικές θέσεις των οχημάτων n και $n+1$ για χρόνο t , μετρούνται από τον μπροστινό προφυλακτήρα του κάθε οχήματος

n = το όχημα που προπορεύεται

$n+1$ = το όχημα που ακολουθεί

$x_n(t)$ =η θέση του οχήματος n για τη χρονική στιγμή t

$s(t)$ =απόσταση μεταξύ των οχημάτων για χρόνο $t=x_n(t)-x_{n+1}(t)$

d_1 =απόσταση που διάνυσε το όχημα $n+1$ κατά τη διάρκεια του χρόνου αντίδρασης T

d_2 = απόσταση που διάνυσε το όχημα $n+1$ επιβραδύνοντας

d_3 = απόσταση που διάνυσε το όχημα n επιβραδύνοντας

L = απόσταση των μπροστινών προφυλακτήρων των δύο διαδοχικών οχημάτων

$u_i(t)$ =ταχύτητα κίνησης του οχήματος i για t

$a_i(t)$ = επιτάχυνση του οχήματος i για t

Το επιθυμητό διάστημα που θα πρέπει να χωρίζει δύο διαδοχικά οχήματα για να αποφευχθεί σύγκρουση λόγω απότομης πέδησης περιγράφεται από την εξίσωση (2-2)

$$s(t) = x_n(t) - x_{n+1}(t) = d_1 + d_2 + L - d_3 \quad (2-2)$$

Καθορίζοντας την ταχύτητα του οχήματος ως (εξίσωση 2-3α)

$$u(t) = \frac{dx(t)}{dt} = \dot{x}(t) \quad (2-3\alpha)$$

Και την επιτάχυνση του οχήματος ως (εξίσωση 2-3β)

$$a(t) = \frac{d^2x(t)}{dt^2} = \ddot{x}(t) \quad (2-3\beta)$$

Αντικαθιστώντας τις κατάλληλες σχέσεις για τις αποστάσεις d_1 , d_2 και d_3 προκύπτει η εξίσωση 2-4:

$$\begin{aligned} s(t) &= x_n(t) - x_{n+1}(t) \\ &= T\dot{x}_{n+1}(t) + [\dot{x}_{n+1}^2(t+T)]/[2\ddot{x}_{n+1}(t+T)] + L - [\dot{x}_n^2(t)]/[2\ddot{x}_n(t)] \end{aligned} \quad (2-4)$$

Αν θεωρήσουμε ότι τόσο οι ταχύτητες των δύο οχημάτων όσο και οι αποστάσεις που χρειάζονται τα δύο οχήματα να επιβραδύνουν είναι ίσες, έτσι ώστε $d_2 = d_3$ το διάστημα γίνεται (εξίσωση 2-5)

$$s(t) = x_n(t) - x_{n+1}(t) = T\dot{x}_{n+1}(t+T) + L \quad (2-5)$$

Παραγωγίζοντας την εξίσωση 2-5 προκύπτει:

$$\dot{x}_n(t) - \dot{x}_{n+1}(t) = T[\ddot{x}_{n+1}(t+T)] \quad (2-6)$$

Επιλύοντας την 2-6 ως προς $\ddot{x}_{n+1}(t+T)$, προκύπτει η εξίσωση 2-7 για την επιβράδυνση του οχήματος n+1 στο χρόνο t+1:

$$\ddot{x}_{n+1}(t+T) = T^{-1}[\dot{x}_n(t) - \dot{x}_{n+1}(t)] \quad (2-7)$$

η οποία είναι η μορφή που είχαμε αναφέρει στην αρχή και περιγράφει το μοντέλο του ακολουθούντος οχήματος

*Απόκριση (t+T) = Ευαισθησία * Ερέθισμα(t).*

Η αρχική μορφή αυτή μπορεί να γενικευτεί ως εξής (εξίσωση 2-8):

$$\ddot{x}_{n+1}(t+T) = a[\dot{x}_n(t) - \dot{x}_{n+1}(t)] \quad (2-8)$$

Αυτό είναι ένα γραμμικό μοντέλο ακολουθούντος οχήματος, επειδή η απόκριση, είτε το όχημα επιταχύνει είτε επιβραδύνει, είναι άμεσα ανάλογη προς το ερέθισμα.

Αν και πιο σύνθετα μοντέλα μπορούν να περιγράψουν καλύτερα τις κυκλοφοριακές ροές, το γραμμικό είναι το πιο υποκειμενικό στη θεωρητική ανάλυση της σταθερότητας. Ο Herman και οι συνεργάτες (1961) του καθόρισαν δύο είδη σταθερότητας, την τοπική και την ασύμπτωτη.

Αντίθετα οι Gazis, Herman και Potts (1959) πρότειναν ένα πιο ρεαλιστικό μη γραμμικό μοντέλο ακολουθούντος οχήματος, θεωρώντας ότι η ευαισθησία να είναι αντιστρόφως ανάλογη του διαστήματος που χωρίζει τα δύο οχήματα.

Σε συνδυασμό με το μοντέλο ακολουθούστος οχήματος, δύο είδη κινηματικών παραμέτρων συνδέονται με κάθε όχημα: οι αιτιοκρατικοί ή ντετερμινιστικοί (ποσοστά επιτάχυνσης και επιβράδυνσης και μήκος οχημάτων, τα οποία επιτρέπουν να διακριθούν οι διαφορετικές κατηγορίες οχημάτων), και οι πιθανολογικοί (ως επιθυμητή ταχύτητα, οι οποίοι επιτρέπουν να διαμορφωθεί η μεταβλητότητα ταχύτητας μεταξύ των οδηγών).

Όσον αφορά στην αλλαγή των λωρίδων, το μοντέλο λαμβάνει υπόψη το χωρικό/χρονικό διαχωρισμό και τη σχετική ταχύτητα των κοντινών οχημάτων στην λωρίδα προορισμού. Σημαντικός είναι και ο ρόλος του «ανθρώπινου παράγοντα» στο μοντέλο.

Μια πληρέστερη εικόνα των μοντέλων αυτών θα έπρεπε να περιλαμβάνει τα χαρακτηριστικά τόσο του οδοστρώματος, όσο και τις εξισώσεις, που περιγράφουν την κατάσταση της κυκλοφορίας και των μεταβολών για τους διαφορετικούς τύπους οχημάτων στην κυκλοφοριακή ροή.

2.4. Το VISSIM ως λογισμικό προσομοίωσης

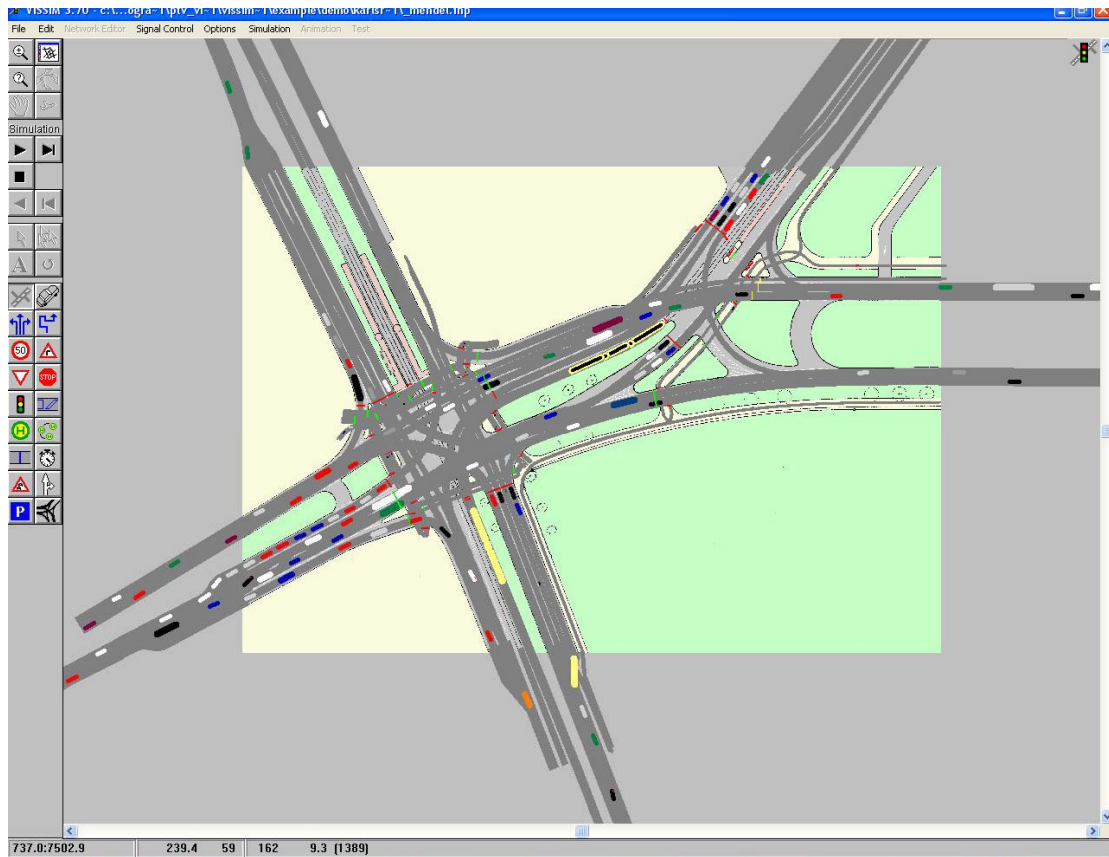
Το VISSIM αποτελεί ένα σημαντικό εργαλείο που αναπτύχθηκε για να βοηθήσει στη διαμόρφωση της αστικής κυκλοφορίας και τις δημόσιες συγκοινωνίες. Είναι ένα σύγχρονο και ιδιαίτερα εύχρηστο λογισμικό προσομοίωσης της κυκλοφορίας. Η έκδοση ptVISSIM 3.70 που χρησιμοποιήσαμε μας παραχωρήθηκε από το τμήμα σχεδιασμού του διεθνούς αερολιμένα "Ελ. Βενιζέλος".

Για ένα μοντέλο που δημιουργείται στο VISSIM είναι απαραίτητο να χρησιμοποιηθεί τουλάχιστον ένας χάρτης ως βάση. Για να είναι διαθέσιμος στο περιβάλλον του προγράμματος ο χάρτης θα πρέπει να είναι σε bitmap μορφή. Το VISSIM δεν μπορεί να εισάγει αρχεία που είναι σε CAD μορφή, εντούτοις τα αρχεία CAD παρέχουν τη δυνατότητα να μετατραπούν σε bitmap. Η διαδικασία εισαγωγής της εικόνας ως υπόβαθρο είναι απλούστατη, όπως και ο καθορισμός της κλίμακας.

Αφότου εισαχθούν στη κατάλληλη σύνδεση οι χάρτες ως υπόβαθρο, το επόμενο βήμα είναι να δημιουργηθούν τα τμήματα του δικτύου και να συνδεθούν μεταξύ τους. Θα πρέπει να καθορίσουμε τα χαρακτηριστικά του κάθε τμήματος, δηλαδή τον τύπο (π.χ. αστικός, αυτοκινητόδρομος), τον αριθμό των λωρίδων, το πλάτος της διατομής και την κλίση αν και εφόσον υπάρχει. Ιδιαίτερα προσοχή θα πρέπει να υπάρχει στη σύνδεση των δικτύων μεταξύ τους. Το τελικό αποτέλεσμα της προσομοίωσης εξαρτάται σε σημαντικό βαθμό τόσο από τη σωστή τοποθέτηση του υποβάθρου, όσο και από την λεπτομέρεια απόδοσης των οδικών τμημάτων που να πλησιάζουν την πραγματικότητα. Η εικόνα 2-1 Είναι ένα παράδειγμα προσομοίωσης της κυκλοφορίας σε ένα οδικό δίκτυο που αναπτύχθηκε πάνω σε ένα χάρτη.

2.4.1 Στοιχεία της κυκλοφορίας

Έχοντας ολοκληρώσει προσεχτικά, την κατασκευή του δικτύου που θα αναλύσουμε θα πρέπει να ασχοληθούμε με τα στοιχεία της κυκλοφορίας των οχημάτων που θα κινηθούν στο δίκτυο. Τα στοιχεία αυτά είναι η επιθυμητή κατανομή της ταχύτητας, οι τύποι και οι κατηγορίες των οχημάτων, η σύνθεση της κυκλοφορίας και ο κυκλοφοριακός φόρτος.



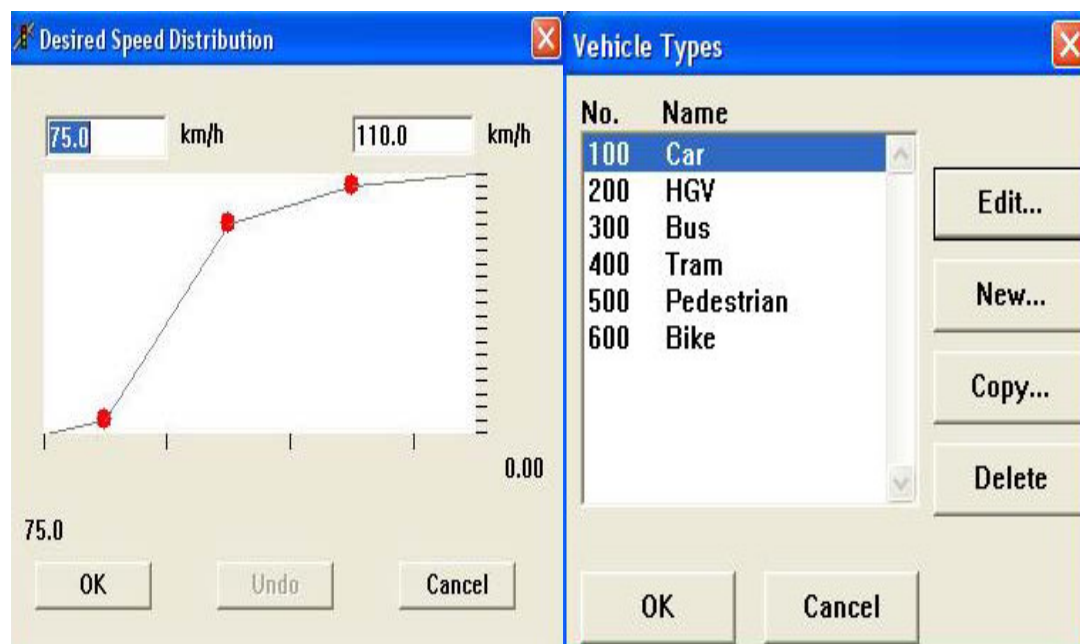
ΕΙΚΟΝΑ 2-1: ΟΔΙΚΟ ΔΙΚΤΥΟ ΜΕ ΥΠΟΒΑΘΡΟ ΣΕ ΔΙΑΔΙΚΑΣΙΑ ΠΡΟΣΟΜΙΩΣΗΣ ΤΗΣ ΚΥΚΛΟΦΟΡΙΑΣ

Επιθυμητή κατανομή ταχύτητας

Για οποιοδήποτε τύπο οχημάτων η κατανομή της ταχύτητας (εικόνα 2-2) είναι μια σημαντική παράμετρος που έχει σημαντική επιρροή στην ικανότητα κυκλοφοριακών τμημάτων της οδού και τις ταχύτητες ταξιδιού που επιτυγχάνονται. Η κατανομή της ταχύτητας ορίζεται από την αθροιστική κατανομή. Εάν ένα όχημα δεν εμποδίζεται από άλλα, ο οδηγός θα ταξιδέψει με την επιθυμητή ταχύτητά του. Τα περισσότερα οχήματα διαφέρουν στην επιθυμητή ταχύτητά τους. Σε μία κατανομή μπορούμε να ορίσουμε εκτός από το κατώτερο και ανώτερο όριο και ενδιάμεσα σημεία. Θα πρέπει να τονίσουμε ότι οι επιθυμητές κατανομές της ταχύτητας μπορούν να διαφέρουν ανάλογα με τον τύπο του οχήματος.

Τύποι και κατηγορίες οχημάτων

Οι χρήστες του προγράμματος μπορούν να καθορίσουν τους τύπους των οχημάτων (εικόνα 2-3) που μπορεί να είναι αυτοκίνητα, βαρέα οχήματα, λεωφορεία, τραμ και ποδήλατα. Για κάθε τύπο υπάρχουν προεπιλεγμένα χαρακτηριστικά που ο χρήστης του προγράμματος μπορεί να αλλάξει (π.χ. το μήκος του οχήματος, η μέγιστη και ελάχιστη επιτάχυνση)



ΕΙΚΟΝΑ 2-2: ΚΑΤΑΝΟΜΗ ΕΠΙΘΥΜΗΤΗΣ ΤΑΧΥΤΗΤΑΣ

ΕΙΚΟΝΑ 2-3: ΤΥΠΟΙ ΟΧΗΜΑΤΩΝ

Σύνθεση της κυκλοφορίας

Η σύνθεση της κυκλοφορίας καθορίζει το μίγμα των οχημάτων που θα εισαχθούν στο οδικό δίκτυο. Μια σύνθεση αποτελείται από έναν ή περισσότερους τύπους οχημάτων. Ο κάθε τύπος (σχήμα 2-3) έχει τη δική του κατανομή ταχύτητας και το ποσοστό επί του συνολικού φόρτου.

Κυκλοφοριακός φόρτος

Ο χρήστης έχει τη δυνατότητα να καθορίσει το επίπεδο του φόρτου που θα εισαχθεί στο οδικό δίκτυο από κάθε τμήμα του δικτύου. Για να προβούμε στη διαδικασία αυτή θα πρέπει πρώτα να έχουμε καθορίσει τη σύνθεση της κυκλοφορίας. Ο φόρτος που θα ορίσουμε είναι σε οχήματα ανά δευτερόλεπτα. Το σύστημα μας παρέχει τη δυνατότητα να ορίσουμε το

χρονικό διάστημα παραγωγής της κάθε σύνθεσης, που μπορεί να διαφέρει κατά τη διάρκεια του συνολικού χρόνου προσομοίωσης.

2.4.2 Παραγωγή αποτελεσμάτων

Το VISSIM μας παρέχει τη δυνατότητα παραγωγής σημαντικού εύρους αποτελεσμάτων. Στη συνέχεια παρουσιάζουμε τη διαδικασία που ακολουθήθηκε για την εξαγωγή των αποτελεσμάτων που χρειάστηκαν να αξιολογήσουμε τις επιπτώσεις της χρήσης των συστημάτων μεταβλητών ορίων ταχύτητας.

Χρόνος ταξιδιού

Το VISSIM παράγει τις μέσες μετρήσεις χρόνου ταξιδιού (εικόνα 2-4) ένα έχουμε καθορίσουμε τα αντίστοιχα τμήματα μέτρησης. Το κάθε τμήμα απαιτεί τον καθορισμό δύο σημείων ενός αρχικού και ενός τελικού. Ακολούθως το πρόγραμμα με το πέρας της διαδικασίας προσομοίωσης καταγράφει το συνολικό χρόνο ταξιδιού για τα οχήματα που ολοκλήρωσαν πλήρως τη διαδρομή, δηλαδή διήλθαν και από τα δύο καθορισμένα σημεία.

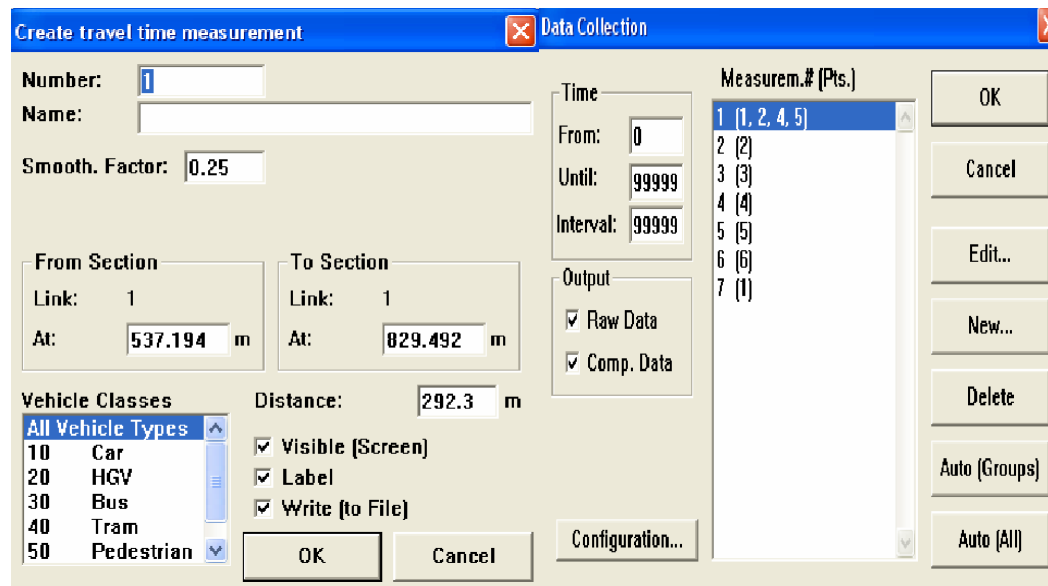
Συλλογή δεδομένων

Η συλλογή των δεδομένων (εικόνα 2-5) είναι ένα ιδιαίτερα σημαντικό κομμάτι της προσομοίωσης. Κατά μήκος του οδικού δικτύου μπορούμε να τοποθετήσουμε αισθητήρες που θα συλλέξουν τα στοιχεία που θα ορίσει ο χρήστης του προγράμματος για κάθε τύπο οχήματος. Τα στοιχεία αυτά μπορεί να είναι η ταχύτητα (μέση, μέγιστη και ελάχιστη), ο αριθμός των οχημάτων, το ποσοστό κατάληψης, ο χρόνος καθυστέρησης (αθροιστικός, μέσος, μέγιστος και ελάχιστος) και η επιτάχυνση(μέση, μέγιστη και ελάχιστη). Οι αισθητήρες, σύμφωνα με τις ρυθμίσεις, μπορούν να συλλέξουν δεδομένα είτε για ολόκληρη τη διατομή, είτε για μια συγκεκριμένη λωρίδα κυκλοφορίας.

Μέτρηση ουράς αναμονής

Το VISSIM μας παρέχει ως το μέσο μήκος ουράς αναμονής, το μέγιστο μήκος και το αριθμό των οχημάτων που μένουν μέσα στην ουρά αναμονής. Οι

ανιχνευτές που καταγράφουν την ουρά αναμονής μπορούν να τοποθετηθούν



ΕΙΚΟΝΑ 2-4: ΠΙΝΑΚΑΣ ΚΑΘΟΡΙΣΜΟΥ ΣΤΟΙΧΕΙΩΝ ΧΡΟΝΟΥ ΤΑΞΙΔΙΟΥ

ΕΙΚΟΝΑ 2-5: ΠΙΝΑΚΑΣ ΣΥΛΛΟΓΗΣ ΔΕΔΟΜΕΝΩΝ

σε οποιαδήποτε θέση μέσα στο δίκτυο. Η διαδικασία καταγραφή της ουράς αναμονής συνοδεύεται από τον προσδιορισμό ορισμένων παραμέτρων. Όπως βλέπουμε από την εικόνα 2-6 ένα όχημα βρίσκεται σε ουρά αναμονής όταν η ταχύτητα του είναι μικρότερη από 5 χιλ/ώρα, ενώ δεν ξεπερνά τα 10 χιλ/ώρα.



ΕΙΚΟΝΑ 2-6: ΡΥΘΜΙΣΕΙΣ ΟΥΡΑΣ ΑΝΑΜΟΝΗΣ

2.4.3. Παράμετροι προσομοίωσης

Το τελευταίο κομμάτι της διαδικασίας είναι ο καθορισμός των παραμέτρων της προσομοίωσης. Οι παράμετροι αυτοί είναι η χρονική διάρκεια της προσομοίωσης, ο χρόνος εκκίνησης, η ταχύτητα απεικόνισης της , η αρχική τιμή της γεννήτριας των τυχαίων αριθμών. προσομοίωσης ο τυχαίος αριθμός της γεννήτριας των οχημάτων. Μετά την ολοκλήρωση της διαδικασίας, σε αρχείο που καθορίζεται από το χρήστη παράγονται τα στοιχεία που καθορίσαμε.

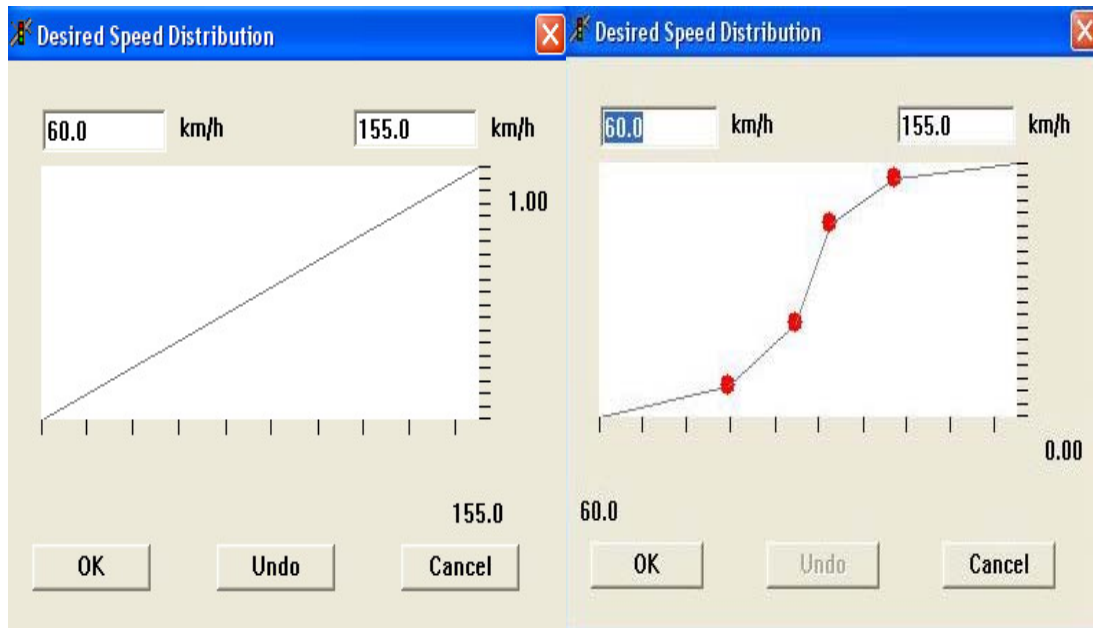
2.5 Θέματα που χρήζουν ιδιαίτερης προσοχής στην προσομοίωση της κυκλοφορίας

Κατά τη διάρκεια μιας προσομοίωσης υπάρχουν ορισμένα ζητήματα τα οποία απαιτούν την προσοχή μας ώστε να επιτύχουμε το βέλτιστο δυνατό αποτέλεσμα. Τα ζητήματα που χρήζουν ιδιαίτερης προσοχής είναι ο αριθμός των επαναλήψεων μιας προσομοίωσης, η χρονική της διάρκεια, η επιλογή των μέτρων απόδοσης, η εισαγωγή των δεδομένων και η παραγωγή των αποτελεσμάτων.

2.5.1 Αριθμός επαναλήψεων.

Ο αριθμός των επαναλήψεων σε μία προσομοίωση είναι μια διαδικασία με ιδιαίτερη σημασία και δε θα πρέπει να περιοριστούμε στα αποτελέσματα που παράγονται από μία και μοναδική προσομοίωση. Πρακτικά μπορούμε να παρατηρήσουμε ότι τα παραγόμενα αποτελέσματα της κυκλοφοριακής προσομοίωσης για ένα δίκτυο δεν μπορούν να είναι ακριβώς ίδια, εξαιτίας του στοχαστικού χαρακτήρα των κατανομών. Δημιουργώντας ένα οποιοδήποτε δίκτυο στο VISSIM, παρατηρούμε ότι μετά το πέρας και της δεύτερης προσομοίωσης τα αποτελέσματα δεν θα είναι ακριβώς τα ίδια, διατηρώντας αμετάβλητα τα επιμέρους στοιχεία (φόρτο, χρόνος προσομοίωσης και γεωμετρία δικτύου).

Αυτό όμως είναι λογικό, αφού οι διάφορες μεταβλητές του κυκλοφοριακού μοντέλου δεν έχουν σταθερές τιμές αλλά ακολουθούν κατανομές πιθανότητας. Πριν τη έναρξη της προσομοίωσης μπορούμε να ορίσουμε την ελάχιστη και τη μέγιστη ταχύτητα που θα κινηθούν τα οχήματα μέσα στο δίκτυο, ενώ ταυτόχρονα και την αθροιστική κατανομή των ταχυτήτων που κινούνται στο δίκτυο όπου ορίζει ο χρήστης. Αυτή μπορεί να είναι γραμμική στην πιο απλή μορφή της $y=ax$ (Σχήμα 2-4) ή μπορεί να καθοριστεί από τον χρήστη. Στα πλαίσια της διπλωματικής εργασίας χρησιμοποιούσαμε s-type κατανομές όπως στο σχήμα 2-5.



ΣΧΗΜΑ 2-4: ΑΘΡΟΙΣΤΙΚΗ ΚΑΤΑΝΟΜΗ ΕΠΙΘΥΜΗΤΗΣ ΤΑΧΥΤΗΤΑΣ $y=a*x$

ΣΧΗΜΑ 2-5: ΑΘΡΟΙΣΤΙΚΗ ΚΑΤΑΝΟΜΗ ΕΠΙΘΥΜΗΤΗΣ ΤΑΧΥΤΗΤΑΣ s-type

Θα πρέπει να διευκρινιστεί ότι τα παραπάνω ισχύουν για συνθήκες ελεύθερης ροής. Στην περίπτωση που δημιουργηθούν συνθήκες κυκλοφοριακής συμφόρησης (σχηματισμός ουράς αναμονής) τα παραπάνω παύουν να ισχύουν. Αυτό είναι φυσικό γιατί τα οχήματα δεν θα μπορούν να κινηθούν με βάση την κατανομή ταχύτητας που έχουμε ορίσει, αλλά με βάση την απόκριση του οδηγού στις κυκλοφοριακές συνθήκες όπως καθορίζεται με βάση το χρησιμοποιούμενο μοντέλο ακολουθούντος οχήματος. Όταν η ουρά αναμονής θα αρχίσει να αποφορτίζεται τα οχήματα θα αρχίσουν να κινούνται σταδιακά με τις επιθυμητές ταχύτητες που έχουμε αρχικά ορίσει. Επιπλέον υπάρχουν παράμετροι που επηρεάζουν τα αποτελέσματα όπως οι τύποι των οχημάτων που κινούνται στο δίκτυο και τα ποσοστά ροής τους.

Αρχικά θεωρούμε ότι το μοντέλο της κυκλοφορίας είναι τόσο τυχαίο όσο και ο πραγματικός κόσμος, τουλάχιστον στους εσωτερικούς μηχανισμούς του. Για το λόγο αυτό τα αποτελέσματα που θα προκύψουν από τις διαδοχικές προσομοιώσεις θα είναι *δείγματα* ή *οι παρατηρήσεις* από ένα σύνολο πιθανών εκβάσεων.

Με βάση τα παραπάνω είναι λογικό να χρειάζονται επαναλαμβανόμενες εφαρμογές της προσομοίωσης, με τη κάθε μία από αυτές

να έχει το δικό της σύνολο των τυχαίων αριθμών της διασποράς. Συνεπώς το επίπεδο εμπιστοσύνης των αποτελεσμάτων είναι άμεσα συνδεδεμένο με τον αριθμό των επαναλήψεων και κόστος. Ο αριθμός των επαναλήψεων είναι ανάλογος με το επίπεδο εμπιστοσύνης των αποτελεσμάτων κάτι το οποίο είναι λογικό.

2.5.2 Χρονική διάρκεια των προσομοιώσεων.

Η χρονική διάρκεια μιας προσομοίωσης, έχει άμεση σχέση με το πρόβλημα που καλούμαστε να αναλύσουμε. Οι εμπειρικές μέθοδοι που έχουν χρησιμοποιηθεί κατά καιρούς, αναφέρουν ως ελάχιστο δυνατό χρόνο προσομοίωσης τα δεκαπέντε λεπτά. Η διάρκεια αυτή δεν θα πρέπει να λειτουργήσει περιορίζοντας μας, γιατί σε ορισμένες περιπτώσεις είναι παραπλανητική απομακρύνοντας μας από την ουσία της έρευνας.

Ο χειριστής του προγράμματος θα πρέπει να είναι σε θέση να επιλέξει την διάρκεια με βάση τις ανάγκες και τους σκοπούς που θέλει να επιτύχει. Σύμφωνα με τα γεγονότα και τη συχνότητα εμφάνισής τους θα πρέπει να μπορεί να επιλέξει τη διάρκεια της προσομοίωσης.

2.5.3 Επιλογή των δεικτών απόδοσης για το μοντέλο.

Κάθε μοντέλο, που εξελίσσεται στα πλαίσια της κυκλοφοριακής τεχνικής διαθέτει μια σειρά από δείκτες απόδοσης, τα οποία θα πρέπει να καθοριστούν με σαφήνεια και ακρίβεια. Αυτά μπορεί να είναι ο φόρτος, η ταχύτητα και η καθυστέρηση. Ορισμένα εξελίσσονται κατά τη διάρκεια της προσομοίωσης όπως η καθυστέρηση, το μήκος της ουράς αναμονής και οι συνεχείς στάσεις-εκκινήσεις των οχημάτων.

Στα επιμέρους στοιχεία, «καθυστέρηση» μπορεί να έχουμε, είτε λόγω υποχρεωτικής στάσης (stop) σε ισόπεδους κόμβους, είτε λόγω σχηματισμού ουράς αναμονής. Επιπλέον υπάρχουν και πρόσθετοι τύποι καθυστερήσεων που μπορεί να οφείλονται στη γεωμετρία του δικτύου.

Αναφορικά με τις σειρές αναμονής που οφείλονται στις στάσεις είναι δύσκολο να καθορίσουμε το ποσοστό των στάσεων, την ουσιαστική στάση, τη μερική στάση και τη στάση λόγω γεωμετρίας. Η δυσκολία αυτή οφείλεται αποκλειστικά και μόνο στο γεγονός ότι είναι έννοιες σχετικές.

2.5.4 Εισαγωγή των δεδομένων και παραγωγή αποτελεσμάτων

Με την πάροδο του χρόνου τα λογισμικά που χρησιμοποιούνται για την προσομοίωση των κυκλοφοριακών συνθηκών έχουν εξελιχθεί σε σημαντικό βαθμό. Ένα από τα στοιχεία αυτά είναι η ιδιαίτερα εύκολη χρήση τους, η φιλική προς τον χρήστη εισαγωγή των δεδομένων, η παραγωγή των αποτελεσμάτων και άμεση σύνδεση με τις βάσεις δεδομένων.

Το VISSIM που χρησιμοποιήθηκε στα πλαίσια της διπλωματικής εργασίας είναι λογισμικό ιδιαίτερα εύχρηστο (user-friendly). Μπορούμε να εισάγουμε ιδιαίτερα εύκολα, χάρτες ως υπόβαθρο, να δημιουργήσουμε άμεσα τα δίκτυα που μας ενδιαφέρουν και να τα συνδέσουμε. Τα δεδομένα που παράγονται ανοίγουν με κοινούς text editors, ενώ οι γραφικές παραστάσεις (*.plt) μπορούν να ανοίξουν με προγράμματα που είναι διαθέσιμα δωρεάν στο διαδίκτυο.

Ένα από τα πλέον σημαντικά στοιχεία των σύγχρονων λογισμικών είναι η παρακολούθηση σε πραγματικό χρόνο της έκβασης της προσομοίωσης που βοηθάει σημαντικά τους χρήστες

ΚΕΦΑΛΑΙΟ 3^ο

ΑΛΓΟΡΙΘΜΟΣ ΥΠΟΛΟΓΙΣΜΟΥ ΜΕΤΑΒΛΗΤΩΝ ΟΡΙΩΝ ΤΑΧΥΤΗΤΑΣ

3.1 Εισαγωγή

Ένα από τα σημαντικότερα ζητήματα που έχουν ανακύψει τα τελευταία χρόνια είναι η συμφόρηση και η δημιουργία ουράς αναμονής – κυρίως τις ώρες αιχμής- σε εθνικές οδούς ελεύθερης ροής όπου υπάρχει μείωση της κυκλοφοριακής ικανότητας. Η αιτία της μείωσης μπορεί να είναι ο περιορισμός των λωρίδων κυκλοφορίας (στένωση) του οδικού δικτύου είτε για λόγους έργων συντήρησης του οδοστρώματος είτε κατασκευαστικοί από την αρχική χάραξη της οδού.

Οι πρακτικές που εφαρμόζονταν παραδοσιακά σε τέτοιες περιπτώσεις ήταν η χρήση στατικών ορίων που περιόριζαν σταδιακά την ταχύτητα των διερχόμενων οχημάτων, πριν τη στένωση. Σε ορισμένες περιπτώσεις τα όρια επιδεικνύονταν στους οδηγούς μέσω των VMS μαζί με άλλες πληροφορίες που αναφέρονταν στις κυκλοφοριακές συνθήκες που θα συναντήσουν. Η μέθοδος αυτή τις περισσότερες φορές δεν μπορούσε να ανταποκριθεί στην διακύμανση του φόρτου που αλλάζει κατά τη διάρκεια της ημέρας.

Τα τελευταία χρόνια η μέθοδος αυτή θεωρείται πεπερασμένη. Η έρευνα έχει εστιάσει την προσοχή της σε μεθόδους διαχείρισης της κυκλοφορίας με τη χρήση μεταβλητών ορίων ταχύτητας. Οι μέχρι τώρα μελέτες και εφαρμογές έχουν δείξει ότι η παρουσία των συστημάτων αυτών είναι επιβεβλημένη, αφού γίνεται ρύθμιση της ταχύτητας των οχημάτων με βάση των φόρτο που μεταβάλλεται χρονικά, βελτιώνοντας τόσο την ταχύτητα, όσο και την ασφάλεια.

Συγκεκριμένα σύμφωνα με τον Coleman (1996) και την επιτροπή για την καθοδήγηση σχετικά με τον καθορισμό και την επιβολή των ορίων ταχύτητας (1998) ο πιθανός κίνδυνος των συγκρούσεων μετόπισθεν στις στενώσεις έχει μειωθεί. Η θετική αυτή εξέλιξη οφείλεται σε δύο σημαντικούς παράγοντες, στη συρρίκνωση της μέσης ουράς και στην ελάττωση του αριθμού των αλληπάλληλων εκκινήσεων στάσεων (stop – go) των οχημάτων,

που κάνουν την οδήγηση επισφαλή, λόγω της σωματικής και ψυχικής κόπωσης του οδηγού.

Οι περισσότερες εφαρμογές των συστημάτων διαχείρισης της κυκλοφορίας με τη χρήση VSL που παρουσιάζονται έχουν δώσει κυρίως έμφαση στις επιπτώσεις των μεταβλητών ορίων στη βελτίωση της ασφάλειας.

Παραδείγματος χάριν, ο Coleman και λοιποί (1996) δημιούργησαν ένα σύστημα αυτοματοποιημένης διαχείρισης της ταχύτητας στην Αυστραλία, ο ρόλος του οποίου ήταν συμβουλευτικός προειδοποιώντας τους διερχόμενους οδηγούς σε περιπτώσεις ομίχλης και ισχυρών καταιγίδων στο νότιο Σύδνεϋ. Στην ίδια μελέτη, εισήγαγαν επίσης ένα σύστημα ελέγχου στη Γερμανία, η οποία χρησιμοποίησε ένα σήμα VSL για να επιβάλει το όριο ταχύτητας κάτω από τους ακόλουθους τύπους σεναρίων: εργασίες στο οδόστρωμα, ομίχλη, αυτοκινητιστικό ατύχημα μπροστά, πάγος στο οδόστρωμα και υψηλοί άνεμοι. Οι Pili - Sihvola και Taskula (1996) εισήγαγαν έναν σύστημα VSL για να προειδοποιήσει τους οδηγούς για το μαύρο πάγο και άλλους κινδύνους στη Φινλανδία. Ο Smulders (1992), οι van den Hoogen και Smulders (1996) δήλωσαν ότι ο στόχος του ολλανδικού συστήματος ορίου ταχύτητας που εγκαταστάθηκε σε κορεσμένες περιοχές δεν ήταν να μειωθούν οι μέσες ταχύτητες αλλά κυρίως να περιοριστεί η διασπορά της ταχύτητας. Επιπλέον, ένα σύστημα στο Ηνωμένο Βασίλειο που περιγράφηκε από τον Wilkie (1997) σχεδιάστηκε για να ελαχιστοποιήσει τις αλληπάλληλες εκκινήσεις – στάσεις σε μια ουρά αναμονής κατά τη διάρκεια της βαριάς κυκλοφορίας.

Εύκολα μπορούμε να αντιληφθούμε ότι τα περισσότερα συστήματα VSL που αναφέρθηκαν είχαν ως κύριο μέλημα τους τη βελτίωση της ασφάλειας. Αντίθετα δόθηκε μικρή προσοχή στη βελτίωση της λειτουργικής απόδοσης του οδικού δικτύου, δηλαδή τη μεγιστοποίηση της απόδοσης της στένωσης (αύξηση του αριθμού των οχημάτων που διέρχονται σε μια συγκεκριμένη χρονική περίοδο), την ελαχιστοποίηση της μέσης καθυστέρησης των οχημάτων που επηρεάζεται από τα γεωμετρικά χαρακτηριστικά.

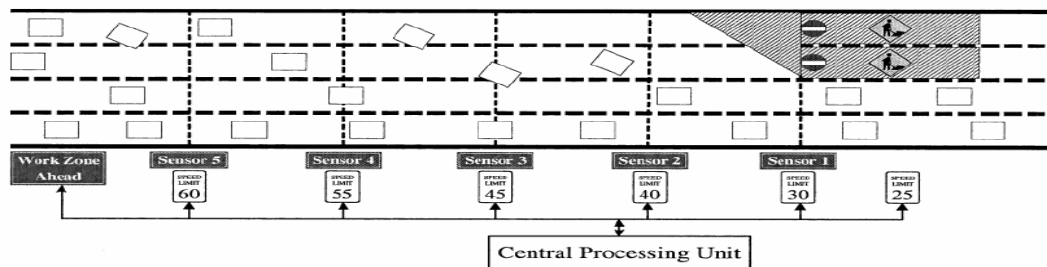
3.2 Περιγραφή του συστήματος VSL

Τα γενικά χαρακτηριστικά ενός συστήματος ελέγχου της κυκλοφορίας με τη χρήση μεταβλητών ορίων ταχύτητας αποτελείται από τα εξής:

- Αισθητήρες εγκατεστημένους στο οδόστρωμα
- Τα μεταβλητά σήματα ορίου ταχύτητας
- Τα μεταβλητά σήματα μηνυμάτων (vms) και
- την κεντρική μονάδα επεξεργασίας που λαμβάνει τα δεδομένα από τους αισθητήρες και μέσω του αλγορίθμου υπολογίζει τα νέα όρια ταχύτητας

Ανάλογα με τον φόρτο προσέγγισης, το ποσοστό συμμόρφωσης οδηγών, και την προκύπτουσα συμφόρηση, η μονάδα κεντρικής επεξεργασίας που ενσωματώνει όλους τους αισθητήρες θα υπολογίσει δυναμικά το χρονικά μεταβλητό βέλτιστο όριο ταχύτητας για κάθε vms και θα το επιδείξει έγκαιρα.

Ακολουθώς στο σχήμα 3-1 παρουσιάζεται η διάταξη των vms που ενημερώνει τους οδηγούς για τις κυκλοφοριακές συνθήκες που θα αντιμετωπίσουν κατά τη διέλευση τους, ενώ ταυτόχρονα ενημερώνονται και για τα νέα όρια ταχύτητας που θα πρέπει να ακολουθήσουν.



ΣΧΗΜΑ 3-1: ΔΙΑΤΑΞΗ ΤΟΥ ΣΥΣΤΗΜΑΤΟΣ VSL

Συγκεκριμένα η κεντρική μονάδα του συστήματος λαμβάνει από τους αισθητήρες πληροφορίες σχετικά με τον φόρτο και τις ταχύτητες που αναπτύσσονται από τους οδηγούς. Κατόπιν υπολογίζεται δυναμικά το χρονικά μέγιστο βέλτιστο όριο ταχύτητας για κάθε τμήμα του οδικού δικτύου. Θα πρέπει να αναφέρουμε ότι η χρήση των VSL δεν αναιρεί τα στατικά όρια ταχύτητας που είναι τοποθετημένα, αλλά λειτουργούν κυρίως όταν οι κυκλοφοριακές συνθήκες το απαιτήσουν.

3.3 Περιγραφή των στοιχείων και των βημάτων λειτουργίας του αλγορίθμου

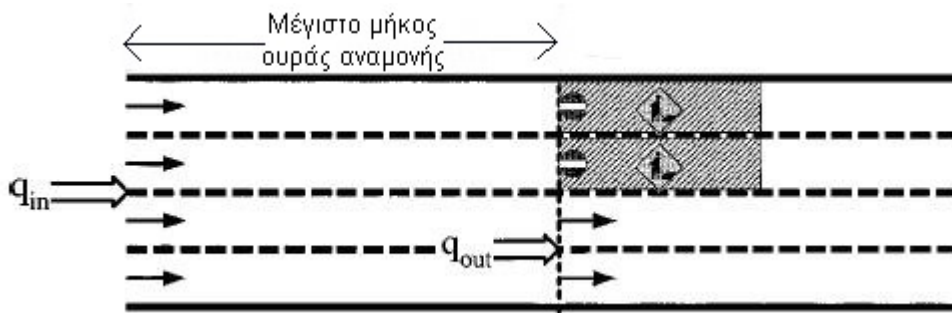
Σε οδικά δίκτυα που ο φόρτος εξυπηρέτησης είναι υψηλός, κυρίως τις ώρες αιχμής, η δημιουργία στένωσης σημαίνει αυτόματα μείωση της κυκλοφοριακής ικανότητας, έχοντας ως συνεπακόλουθο τον σχηματισμό ουράς αναμονής. Συνεπώς η αιτία εφαρμογής των συστημάτων διαχείρισης της κυκλοφορίας με τη χρήση μεταβλητών ορίων είναι προφανής.

Η προσπάθεια αποτροπής διακοπής της κυκλοφορίας εστιάζεται περισσότερο στην παρεμπόδιση των ιδιαίτερα υψηλών πυκνοτήτων κοντά στη στένωση. Τα δυναμικά χρονικά μεταβαλλόμενα όρια ταχύτητας δημιουργούν ένα κύμα οχημάτων χαμηλής πυκνότητας (ουσιαστικά μια πυκνότητα χαμηλότερη από αυτή που θα είχαμε αν οι ταχύτητες των οχημάτων ήταν ανεξέλεγκτες). Αυτό το κύμα συναντά το κρουστικό κύμα που δημιουργείται εξαιτίας της στένωσης, αντισταθμίζοντας την υψηλή πυκνότητα του έχοντας ως άμεσο αποτέλεσμα την σταδιακή εξάλειψή του. Εντούτοις, αν τα όρια ταχύτητας βελτιστοποιηθούν κατάλληλα δεν θα δημιουργηθεί ποτέ ουρά αναμονής που προκαλεί τις υψηλότερες καθυστερήσεις, βελτιώνοντας το συνολικό χρόνο ταξιδιού των οχημάτων. Ο Παπαγεωργίου και λοιποί (1998) έδειξαν ότι μια αύξηση της εκροής κατά 5% μπορεί να οδηγήσει σε μια μείωση του συνολικού χρόνου κατά 20%.

Ταυτόχρονα με την εισαγωγή των συστημάτων VSL επιδιώκουμε την ομογενοποίηση των ορίων ταχύτητας, έτσι ώστε οι διαφορές στις ταχύτητες των οχημάτων που κινούνται στο δίκτυο να είναι μικρές. Σύμφωνα με τους Hoogen και Smuldres (1994) η επίδραση των ορίων ταχύτητας στην απόδοση του αυτοκινητοδρόμου είναι μικρή εντούτοις, έχει ιδιαίτερα θετική επίδραση στην ασφάλεια του δικτύου.

Συνεπώς ένας από τους αποτελεσματικότερους τρόπους ελαχιστοποίησης της ουράς αναμονής είναι να μειωθεί το εισερχόμενο ποσοστό ροής στη στένωση. Αυτό μπορεί να επιτευχθεί μειώνοντας σταδιακά τις ταχύτητες των οχημάτων που πλησιάζουν τη στένωση, ενώ ταυτόχρονα αυξάνεται ο μέσος χρονικός διαχωρισμός (headway) ώστε οι οδηγοί να έχουν το χρονικό και χωρικό περιθώριο να κάνουν τις απαραίτητες κινήσεις και να

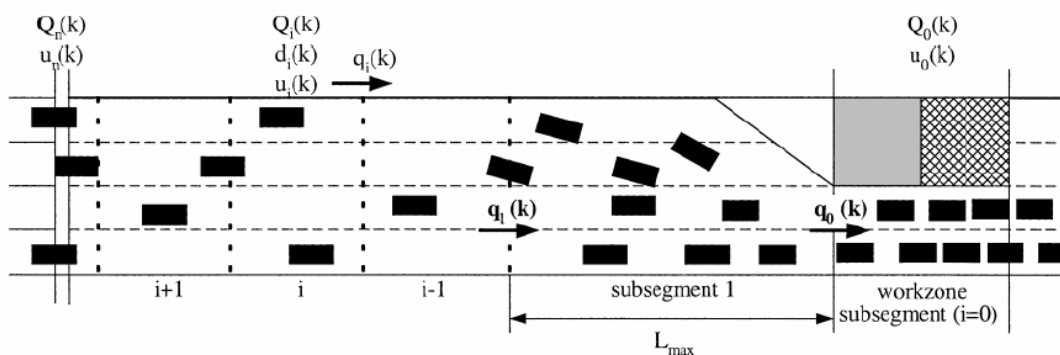
εισαχθούν στο τμήμα που παρουσιάζει τη στένωση. Ουσιαστικά όπως φαίνεται και στο σχήμα 3-2 επιδιώκουμε την ελαχιστοποίηση της διαφοράς μεταξύ του q_{in} και του q_{out}



ΣΧΗΜΑ 3-2: Η ΜΕΓΙΣΤΗ ΟΥΡΑ ΚΑΙ Η ΚΥΚΛΟΦΟΡΙΑΚΗ ΡΟΗ

Οι Lin, Kang και Chang (2004) δημιούργησαν έναν αλγόριθμο που στηρίζεται στην μείωση του εισερχομένου ποσοστού ροής στη στένωση, ώστε να επιτύχουν τον περιορισμό της πιθανότητας σχηματισμού ουράς αναμονής πριν τη στένωση. Αρχικά προχώρησαν σε κατάτμηση του οδικού δικτύου σε επιμέρους τμήματα πριν από τη στένωση (σχήμα 3-3). Σε κάθε ένα από τα τμήματα αυτά εγκαθίστανται αισθητήρες, VMS και VSL.

Η επιδίωξη των ερευνητών ήταν φόρτος πέρα από το πρώτο τμήμα να είναι περίπου ίσο με το φόρτο που εισάγεται στο τμήμα της στένωσης. Ο στόχος ολοκληρώνεται όταν ο φόρτος, για κάθε επιμέρους τμήμα, μειωθεί ανάλογα με τη μείωση της ταχύτητας καθώς τα οχήματα πλησιάζουν στη στένωση.



ΣΧΗΜΑ 3-3: ΤΜΗΜΑΤΟΠΟΙΗΣΗ ΤΟΥ ΔΙΚΤΥΟΥ ΜΕ ΤΗ ΧΡΗΣΗ ΤΟΥ ΑΛΓΟΡΙΘΜΟΥ

3.3.1 Στοιχεία και παράμετροι λειτουργίας του αλγορίθμου.

Στο τμήμα αυτό αναφέρονται όλα τα στοιχεία που λαμβάνουν μέρος στο χτίσιμο του αλγορίθμου. Ορισμένα από τα στοιχεία αυτά ορίζονται από τον ίδιο το χρήστη, κάποια έχουν να κάνουν με τα γεωγραφικά και φυσικά στοιχεία του δικτύου και τα υπόλοιπα πηγάζουν από τις κυκλοφοριακές συνθήκες του δικτύου, όπως ο φόρτος και οι ταχύτητες που αναπτύσσουν τα οχήματα.

- Χρόνος ελέγχου και δείκτες τμημάτων
 - T : χρονικό διάστημα λειτουργίας/διαχείρισης ελέγχου
 - k : Δείκτης χρονικού διαστήματος
 - i : Δείκτης τμήματος ($i=1\dots N$)
- Γεωμετρικά και φυσικά στοιχεία του δικτύου
 - l_i : μήκος τμήματος i
 - n_i : αριθμός λωρίδων για κάθε τμήμα i
- Όγκοι κυκλοφορίας
 - $q_i(k)$: φόρτος μετάβασης που εισέρχεται από το τμήμα $(i-1)$ στο τμήμα i κατά τη διάρκεια του χρονικού διαστήματος k
 - $Q_i(k)$: μέσος φόρτος στο τμήμα i κατά τη διάρκεια του διαστήματος k
- Παράμετροι μοντέλου
 - α_i : Συντελεστής στάθμισης χωρικής μεταβολής του φόρτου για το τμήμα i .
 - β_i : Συντελεστής στάθμισης χρονικής εξέλιξης του φόρτου για το τμήμα i .
- Μεταβλητές ελέγχου
 - $v_i(k)$: μεταβλητό όριο ταχύτητας για το χρονικό διάστημα k

- $q^c(k)$: φόρτος που εισάγεται στη στένωση από το τμήμα 1 κατά το διάστημα k
- Κατάσταση μεταβλητών
 - $d_i(k)$: μέση πυκνότητα στο τμήμα i κατά το χρονικό διάστημα k
 - $u_i(k)$: μέση ταχύτητα στο τμήμα i κατά το χρονικό διάστημα k
 - $u_i^f(k)$: ταχύτητα ελεύθερης ροής (όριο) για το τμήμα i κατά το χρονικό διάστημα k

3.3.2 Παρουσίαση βημάτων λειτουργίας του αλγορίθμου I.

Οι Lin, Kang και Chang ορίσανε πέντε βήματα για τη λειτουργία του αλγορίθμου. Τα βήματα αυτά μεταξύ τους είναι αλληλένδετα συνδεδεμένα χρησιμοποιώντας τα στοιχεία και τους παραμέτρους που παρουσιάστηκαν στο κεφάλαιο 3.3.1. Με τον τρόπο αυτό οδηγούμαστε, αρχικά, στον υπολογισμό της ταχύτητας στο τμήμα ακριβώς πριν τη στένωση και με βάση αυτή καθορίζονται οι ταχύτητες για τα υπόλοιπα τμήματα.

Βήμα 1^ο: Υπολογισμός του χρονικά σταθμισμένου φόρτου για κάθε χρονικό διάστημα.

Το πραγματικό ποσοστό της κυκλοφοριακής ροής για το διάστημα k προσεγγίζεται με έναν σταθμισμένο μέσο όρο μεταξύ δύο διαδοχικών χρονικών διαστημάτων. Οι εξισώσεις (3-1) και (3-2) αντιπροσωπεύουν τη ροή μετάβασης για το τμήμα της ζώνης εργασίας και του τελευταίου τμήματος N , αντίστοιχα:

$$q_0(k) = \beta_0 \times Q_0(k-1) + (1-\beta_0) \times Q_0(k) \quad (3-1)$$

$$q_1(k) = \beta_1 \times Q_1(k-1) + (1-\beta_1) \times Q_1(k) \quad (3-2)$$

Η τιμή της παραμέτρου β_i σύμφωνα με τους Wu και Chang (1999) θα πρέπει να βρίσκεται μεταξύ του διαστήματος $[0,5, 1,0]$. Οι Cremer και Schoof (1989) διευκόλυναν τη διαδικασία εύρεσης της τιμής της παραμέτρου β_i θεωρώντας

την 0,95 μετά από βαθμονόμηση. Η διαδικασία αυτή ελλοχεύει κινδύνους αναφορικά με την ακρίβεια των αποτελεσμάτων.

Βήμα 2^ο: Υπολογισμός του χωρικά σταθμισμένου φόρτου ως στόχο ελέγχου.

Το πραγματικό ποσοστό ροής $q^c(k)$ θα υπολογιστεί από το ποσοστό ροής στο τμήμα που βρίσκεται στη στένωση και το τελευταίο τμήμα N πριν τη στένωση όπως φαίνεται στην εξίσωση (3-3):

$$q^c(k) = \alpha_0 \times q_0(k) + (1 - \alpha_0) \times q_1(k) \quad (3-3)$$

όπου α_i είναι η παράμετρος του μοντέλου.

Βήμα 3: Υπολογισμός της πυκνότητας για το τμήμα 1

Με τις ανωτέρω μεταβλητές και τις παραμέτρους, ο νόμος συντήρησης χρησιμοποιείται για να προσεγγίσει την εξέλιξη της πυκνότητας της κυκλοφορίας (Chang et Al, 1995). Η χρονική παραλλαγή της μέσης πυκνότητας, $d_1(k)$, κατά τη διάρκεια κάθε χρονικού διαστήματος ελέγχου (Δt) μπορεί να καθοριστεί από τη διαφορά μεταξύ των ροών εισαγωγής και παραγωγής, $q_1(k)$ και $q_0(k)$, στα όρια του τμήματος 1, και να παρουσιαστεί ως εξής:

$$d_1(k) = d_1(k-1) + [(q_0(k) - q_1(k)) / L_1] \times \Delta t \quad (3-4)$$

Βήμα 4: Υπολογισμός της ταχύτητας ελέγχου για το τμήμα 1

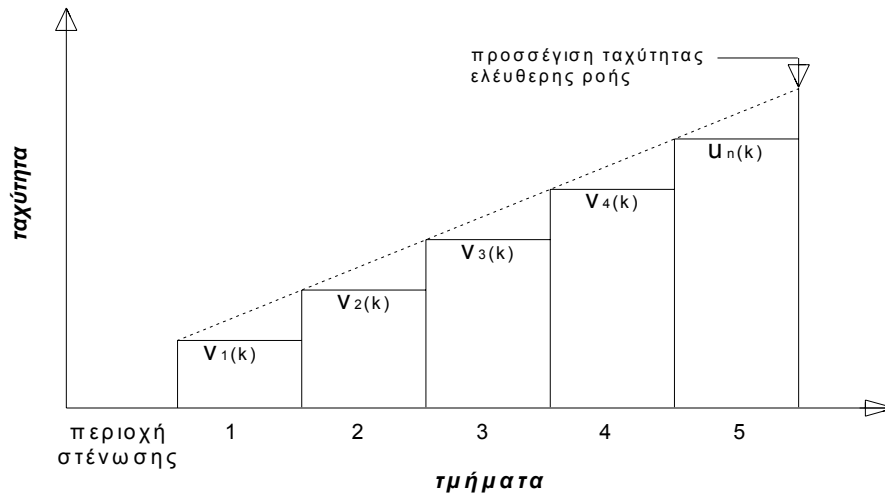
Ο υπολογισμός αυτός γίνεται με βάση την υπόθεση ότι εντός μιας μικρής απόστασης και ενός μικρού χρονικού διαστήματος, η πυκνότητα παραμένει περίπου συνεχής. Η ταχύτητα ελέγχου για το 1 τμήμα σε διάστημα k μπορεί να προσεγγιστεί ως εξής:

$$v_1(k) = q^c(k) / d_1(k) \quad (3-5)$$

Βήμα 5: Υπολογισμός της ταχύτητας για τα υπόλοιπα τμήματα

Έχοντας υπολογίσει την ταχύτητα που θα πρέπει να ακολουθήσουν οι οδηγοί στο τμήμα 1, θα υπολογιστεί η ταχύτητα των υπόλοιπων τμημάτων.

$$v_i(k) = v_1(k-1) + [(u_n(k) - u_1(k)) / (n-1)] \times (i-1) \quad (3-6)$$



ΣΧΗΜΑ 3-4: ΣΧΗΜΑΤΙΚΗ ΑΝΑΠΑΡΑΣΤΑΣΗ ΥΠΟΛΟΓΙΣΜΟΥ ΤΗΣ ΤΑΧΥΤΗΤΑΣ

Συνοψίζοντας, το σχήμα 3-4 αναπαριστά τη λογική λειτουργίας του αλγορίθμου. Επιδιώκεται, δηλαδή, η σταδιακή μείωση της ταχύτητας από τμήμα σε τμήμα του οδικού δικτύου, ώστε οι ταχύτητες που υπολογίζονται να προσεγγίσουν την ταχύτητα ελεύθερης ροής. Σε μία εφαρμογή συστήματος διαχείρισης της κυκλοφορίας με μεταβλητά όρια ταχύτητας, ο αριθμός (όπως και το μήκος) των τμημάτων εξαρτάται από το χρήστη. Συνεπώς τα πέντε τμήματα που συναντάμε στο παραπάνω σχήμα έχουν άμεση σχέση με την εφαρμογή ενός συστήματος VSL σε αυτοκινητόδρομο που δημιουργήσαμε στο λογισμικό VISSIM και παρουσιάζεται στο κεφάλαιο που ακολουθεί.

3.3.3. Παρουσίαση βημάτων λειτουργίας του αλγορίθμου II.

Ο αλγόριθμος II των Kang και Chang (2007) αποτελεί μία διαφορετική διαδικασία υπολογισμού των μεταβλητών ορίων ταχύτητας για ένα δίκτυο που παρουσιάζει στένωση. Ο στόχος των ερευνητών και σε αυτή την περίπτωση ήταν το ποσοστό ροής στα τμήματα ανάντη και κατόντη της στένωσης να είναι περίπου ίδιου, ώστε να οδηγηθούμε πρωτίστως στο περιορισμό της ουράς αναμονής. Τα βήματα αυτά μεταξύ τους είναι αλληλένδετα συνδεδεμένα χρησιμοποιώντας τα στοιχεία και τους παραμέτρους που παρουσιάστηκαν

στο κεφάλαιο 3.3.1. Ο αλγόριθμος περιλαμβάνει τρία βήματα που περιγράφονται ακολούθως.

Βήμα 1^ο: Περιορισμοί μοντέλου κυκλοφοριακής ροής

Αυτοί οι περιορισμοί είναι ένα σύνολο μοντέλων κυκλοφοριακής ροής που αντιπροσωπεύουν τις αμοιβαίες σχέσεις μεταξύ της πυκνότητας, του ποσοστού ροής, και της ταχύτητας στη περιοχή της στένωσης. Η εξέλιξη της μέσης πυκνότητας στο τμήμα i μπορεί να εκφραστεί από τη διαφορά μεταξύ των ροών μετάβασης q_i και q_{i+1} , βασισμένη στο νόμο συντήρησης κυκλοφοριακής ροής (εξίσωση 3-7) . Η τιμή της $d_i^{e,s}$ είναι η κατ' εκτίμηση πυκνότητα για ένα δεδομένο σενάριο s για το τμήμα i και s το εφικτό σενάριο κυκλοφορίας.

$$d_i^s = d_i^{e,s} + [T/(l_i \times n_i)] \times [q_{i+1} - q_i] \quad s = 1, 2, \dots, M \in D_i^s \quad (3.7)$$

Η ροή μετάβασης μεταξύ των διαδοχικών τμημάτων λαμβάνεται ως ο σταθμισμένος μέσος όρος δύο γειτονικών ροών (εξίσωση 3.8), όπου α_i είναι ο συντελεστής στάθμισης της εξέλιξης.

$$q_i^s = \alpha_i \times Q_i^s + [1 - \alpha_i] \times Q_{i-1}^s \quad s = 1, 2, \dots, M \in D_i^s \quad (3.8)$$

Βήμα 2^ο: Υπολογισμός της ταχύτητας για κάθε τμήμα i

Τα χρονικά μεταβαλλόμενα όρια ταχύτητας που υπολογίζονται μέσω του αλγορίθμου (εξίσωση 3-9) είναι άμεσα συνδεδεμένα με την εξέλιξη της μέσης πυκνότητας του κάθε τμήματος i .

$$u_i^s = u_i^{s,e} + \beta_i \{v[d_i^s, X_i] - u_i^s\} + \gamma_i \times w_i^s \quad s = 1, 2, \dots, M \in D_i^s \quad (3.9)$$

Η εξίσωση (3-9) αποτελείται από τρία συστατικά. Το πρώτο είναι η κατ' εκτίμηση μέση ταχύτητα $u_i^{s,e}$ για ένα δεδομένο σενάριο για το τμήμα i . Το δεύτερο συστατικό (εξίσωση 3-10) περιγράφει την προσαρμογή της μέσης ταχύτητας στα χαρακτηριστικά της εξίσωσης ταχύτητας – πυκνότητας με τη βοήθεια γραμμικής προσέγγισης (π.χ. μοντέλο greenshields). Ο συντελεστής β_i είναι ο παράγοντας ρύθμισης της εξίσωσης ταχύτητας-πυκνότητας και X_i το

ποσοστό ορίου ταχύτητας για ένα δεδομένο σενάριο για το τμήμα i . Το τρίτο συστατικό (εξίσωση 3-11) λαμβάνει υπόψη τις μέσες επιδράσεις των κρουστικών κυμάτων, όπου γ_i είναι ο παράγοντας βάρους του κρουστικού κύματος.

$$S[d_i^s, X_i] = [U_{i+1}^{f,s} \times X_i] \times [1 - (d_i^s / d_i^{j,s})] \quad s = 1, 2, \dots, M \in D_i^s \quad (3-10)$$

Η ταχύτητα $U_{i+1}^{f,s}$ αντιπροσωπεύει την ελεύθερη ροή για ένα δεδομένο σενάριο s για τμήμα i . Η πυκνότητα $d_i^{j,s}$ αντικατοπτρίζει την μέγιστη τιμή της, ενώ η d_i^s την μέση τιμή.

$$w_i^s = [Q_{i-1}^s - Q_i^s] / [d_{i-1}^s - d_i^s] \quad s = 1, 2, \dots, M \in D_i^s \quad (3-11)$$

3) Ανώτερα και κατωτέρα όρια:

$$0 \leq d_i \leq d_i^j \quad (3-12)$$

$$u_{i-1}^f \leq u_i^f \cdot X_i \leq u_{i+1}^f \quad (3-13)$$

$$0 \leq X_i \leq 1 \quad (3-14)$$

Οι περιορισμοί που καθορίζονται από τις εξισώσεις 3-12, 3-13 και 3-14 απαιτούνται για να εξασφαλίσουν, ότι οι τιμές της πυκνότητας και της ταχύτητας για κάθε τμήμα θα βρίσκονται ανάμεσα σε συγκεκριμένα όρια, έτσι ώστε να οδηγηθούμε σε μια ομαλή μείωση της ταχύτητας πριν το τμήμα που παρουσιάζει τη στένωση.

Οι δύο αλγόριθμοι καθορισμού των μεταβλητών ορίων ταχύτητας που περιγράψαμε στο κεφαλαίο 3 αναφέρονται στις περιπτώσεις των δικτύων που παρουσιάζουν στένωση, είτε λόγω της αρχικής χάραξης, είτε λόγω έργων συντήρησης του οδοστρώματος. Στα πλαίσια του πειραματικού σκέλους της διπλωματικής εργασίας (κεφάλαιο 4^ο) κάναμε χρήση του αλγορίθμου I που δημιούργησαν οι Lin, Kang και Chang τον Ιούλιο του 2004. Στόχος μας είναι να δούμε στην πράξη πως επηρεάζουν και σε ποιο βαθμό, μέσω των αποτελεσμάτων που εξάγονται, τα συστήματα διαχείρισης την κυκλοφορία ένα οδικό δίκτυο. Το λογισμικό πακέτο προσομοίωσης που μας παραχωρήθηκε και χρησιμοποιήσαμε είναι το ptVISSIM 3.70.

ΚΕΦΑΛΑΙΟ 4^ο

ΠΕΙΡΑΜΑΤΙΚΗ ΕΦΑΡΜΟΓΗ ΑΛΓΟΡΙΘΜΟΥ ΣΤΟ ΠΡΟΓΡΑΜΜΑ ΠΡΟΣΟΜΟΙΩΣΗΣ VISSIM

4.1 Εισαγωγή

Στο τέταρτο κεφάλαιο της διπλωματικής εργασίας έχουμε ως στόχο να εφαρμόσουμε ένα σύστημα διαχείρισης της κυκλοφορίας με τη χρήση μεταβλητών ορίων βασισμένο στον αλγόριθμο I που προτείνανε οι Lin, Kang και Chang (2004 - κεφάλαιο 3) σε ένα δίκτυο τεσσάρων λωρίδων με στένωση που δημιουργήσαμε στο λογισμικό προσομοίωσης VISSIM. Σκοπός μας είναι να δούμε στην πράξη, πως θα επηρεάσουν και σε ποιο βαθμό τα συστήματα VSL την κυκλοφορία, σε συνθήκες που μπορούν να προσεγγίσουν όσο το δυνατόν περισσότερο τις πραγματικές.

Το οδικό δίκτυο (αυτοκινητόδρομος) που κατασκευάσαμε έχει συνολικό μήκος 10 χιλιόμετρα (σχήμα 4-1). Αποτελείται από:

- Τμήμα 1^ο: Συνολικό μήκος 8 χιλιόμετρα, τεσσάρων (4) λωρίδων πλάτους 3.50 μέτρων.
- Τμήμα 2^ο: Συνολικό μήκος 2 χιλιόμετρα, δύο (2) λωρίδων πλάτους 3.50 μέτρων.

Κατά μήκος του δικτύου έχουν τοποθετηθεί αισθητήρες που συλλέγουν στοιχεία αναφορικά με:

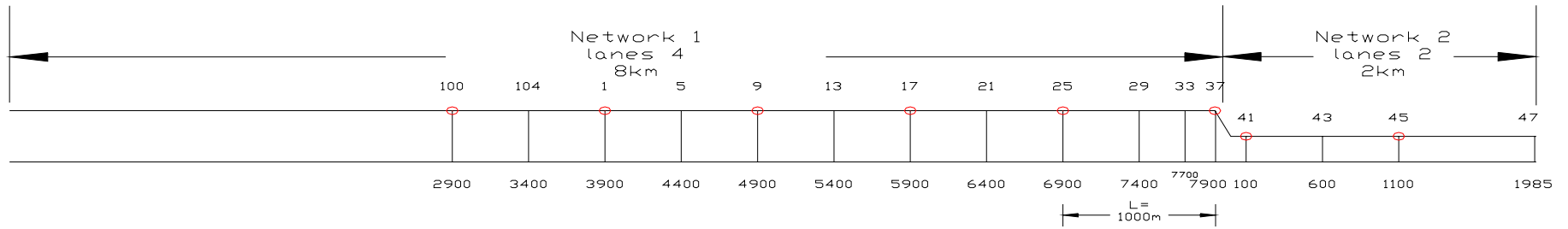
- Τον αριθμό των οχημάτων που κινούνται, τη μέση ταχύτητα και το ποσοστό κατάληψης
- Το χρόνο ταξιδιού και τον αριθμό των οχημάτων που ολοκλήρωσαν πλήρως τη διαδρομή στο σύνολο του χρόνου προσομοίωσης.
- Τη μέση ουρά που σχηματίζεται και τον συνολικό αριθμό των οχημάτων που ξεκινάνε και σταματάνε (stop – go) επηρεαζόμενα από τις συνθήκες της ουράς. Ο τρόπος υπολογισμού των στοιχείων αυτών καθορίζονται από το ίδιο το VISSIM (default) ή από τον χρήστη του συστήματος.

Το VISSIM παρέχει στο χρήστη, πέρα από τις εξ' ορισμού ρυθμίσεις να καθορίσει την μέγιστη επιτάχυνση και επιβράδυνση, την επιθυμητή

επιτάχυνση και επιβράδυνση καθώς επίσης το μήκος και το πλάτος κάθε τύπου οχήματος που πρόκειται να κινηθεί στο δίκτυο. Στο κεφάλαιο 2.4.2 γίνεται λεπτομερής αναφορά στον τρόπο και τις ρυθμίσεις με τον οποίο συλλέγονται από τους αισθητήρες. Ο πίνακας 4-1 παρουσιάζει την διάταξη των αισθητήρων που εγκαταστάθηκαν στο οδικό δίκτυο (σχήμα 4-1).

ΤΜΗΜΑ ΑΥΤΟΚΙΝΗΤΟΔΡΟΜΟΥ	ΚΩΔΙΚΟΣ ΑΙΣΘΗΤΗΡΑ	ΧΙΛΙΟΜΕΤΡΙΚΗ ΘΕΣΗ
1	100	2,9
1	104	3,4
1	1	3,9
1	5	4,4
1	9	4,9
1	13	5,4
1	17	5,9
1	21	6,4
1	25	6,9
1	29	7,4
1	33	7,7
1	37	7,9
2	41	0,1
2	43	0,6
2	45	1,1
2	47	1,985

ΠΙΝΑΚΑΣ 4-1: ΟΙ ΑΙΣΘΗΤΗΡΕΣ ΣΤΟΝ ΑΥΤΟΚΙΝΗΤΟΔΡΟΜΟ ΤΟΥ ΣΧΗΜΑΤΟΣ 4-1



ΣΧΗΜΑ 4- 1: ΠΑΡΟΥΣΙΑΣΗ ΑΥΤΟΚΙΝΗΤΟΔΡΟΜΟΥ ΠΡΟΣΟΜΟΙΩΣΗΣ

4.2 Διαδικασία προσομοίωσης

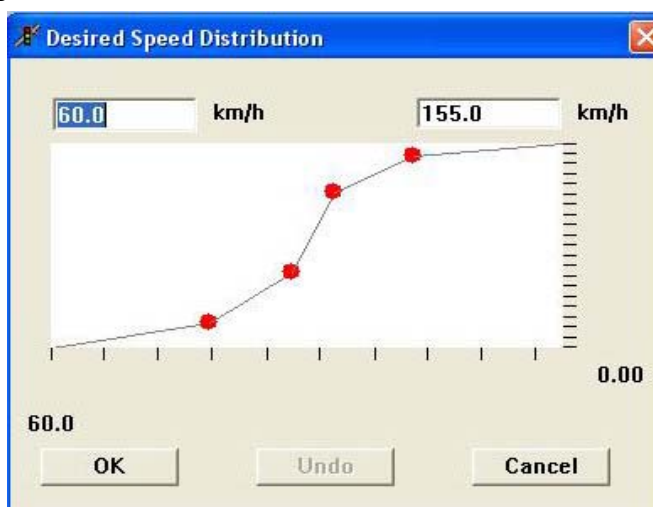
Αρχικά στο δίκτυο που δημιουργήσαμε στο VISSIM, θα προχωρήσουμε σε προσομοιώσεις για συγκεκριμένα επίπεδα φόρτου, χωρίς την επίδραση κάποιου συστήματος διαχείρισης της κυκλοφορίας. Ο φόρτος καθ' όλη τη διάρκεια της θα είναι σταθερός, ενώ η χρονική διάρκεια θα είναι 3600 δευτερόλεπτα (μία ώρα).

Το VISSIM δεν έχει τη δυνατότητα να αλλάζει από μόνο την αρχική τιμή της γεννήτριας τυχαίων αριθμών. Επειδή η διαδικασία και το μοντέλο θα πρέπει να είναι στοχαστικό και όχι αιτιοκρατικό, για να μπορέσουμε να προσεγγίσουμε όσο το δυνατόν περισσότερο τις πραγματικές συνθήκες κυκλοφορίας, θα χρησιμοποιήσουμε διαφορετικές αρχικές τιμές της γεννήτριας (seeds) οι οποίες θα είναι ίδιες για τους διαφορετικούς φόρτους.

Από τα αποτελέσματα που θα παραχθούν για κάθε περίπτωση φόρτου θα κρίνουμε αν είναι απαραίτητο να προχωρήσουμε στην εισαγωγή των συστημάτων VSL. Τα νέα αποτελέσματα που θα προκύψουν θα συγκριθούν με τα προηγούμενα (χωρίς VSL) ώστε να δούμε αν η χρήση των συστημάτων αυτών μπορεί να φανεί χρήσιμη.

4.3 Προσομοίωση της κυκλοφορίας χωρίς VSL

Οι φόρτοι που επιλέχθηκαν να εισαχθούν στο δίκτυο για τις προσομοιώσεις είναι 3250,3500, 3750, 3950 και 4150 οχ/ώρα. Επιλεχθήκανε οι αρχικές τιμές της γεννήτριας να είναι 42,450, 920 και 1430. Συνολικά οι προσομοιώσεις που θα γίνουν θα είναι 20, 4 ανά περίπτωση. Η επιθυμητή ταχύτητα των οδηγών σε συνθήκες ροής ακολουθεί την κατανομή s-type του σχήματος 4-2. Η ελάχιστη ταχύτητα ορίστηκε στα 60 χιλ/ώρα και η μέγιστη στα 155 χιλ/ώρα. Συγκεκριμένα το 12%



ΣΧΗΜΑ 4-2: ΚΑΤΑΝΟΜΗ ΤΑΧΥΤΗΤΑΣ

των οχημάτων κινούνται με ταχύτητα μεταξύ 60 και 89.2 χιλ/ώρα, το 24% μεταξύ 89.2 και 104.7 χιλ/ώρα, το 39% μεταξύ 104.7 και 112.5 χιλ/ώρα, το 19% από 112.5 σε 127.2 χιλ/ώρα και ένα μικρό ποσοστό οχημάτων της τάξης του 6% από 127.5 έως 155 χιλ/ώρα.

Με βάση τις παραπάνω ρυθμίσεις προχωράμε στις προσομοιώσεις για κάθε φόρτο με στόχο να αξιολογήσουμε τις επιπτώσεις της στένωσης στην κυκλοφορία των οχημάτων στο οδικό δίκτυο. Τα αποτελέσματα παρουσιάζονται παρακάτω στις ακόλουθες ενότητες.

4.3.1 Φόρτος 3250 οχ/ώρα

Αρχική τιμή Γεννήτριας	Χρόνος Ταξιδιού	Αριθμός Οχημάτων	Μέσο Μήκος Ουράς	Αριθμός stop-go
42	377.6	2892	0	0
450	386.4	2879	2	108
920	421.2	2793	51	1254
1430	378.6	2872	0	0
M.O.	390.95	2859	13.25	340.5

ΠΙΝΑΚΑΣ 4-2: ΑΠΟΤΕΛΕΣΜΑΤΑ ΠΡΟΣΟΜΟΙΩΣΗΣ ΦΟΡΤΟΥ 3250 οχ/ώρα

Αρχικά επιλέχθηκε ένας σχετικά χαμηλός φόρτος, ώστε να ελέγξουμε αν υπάρχει πιθανότητα να δημιουργηθεί ουρά αναμονής. Από τα αποτελέσματα βλέπουμε ότι σχηματίζεται σε δύο περιπτώσεις ουρά, όπου η μια είναι αμελητέα (2 μέτρα) και η άλλη σχετικά μικρή (51 μέτρα). Από τους μέσους όρους των μεγεθών βλέπουμε ότι ο συνολικός μέσος αριθμός των οχημάτων που ολοκλήρωσε την διαδρομή των 10 χιλιομέτρων είναι πολύ κοντά στο φόρτο που εισήγαμε στο δίκτυο. Ο μέσος όρος του μέσου μήκους της ουράς αναμονής είναι πολύ μικρός όπως και ο αριθμός των οχημάτων που σταματάνε και εκκινούνε (stop – go) πριν τη στένωση, λόγω του κρουστικού κύματος.

4.3.2 Φόρτος 3500 οχ/ώρα

Διασπορά	Χρόνος Ταξιδιού	Αριθμός Οχημάτων	Μέσο Μήκος Ουράς	Αριθμός stop-go
42	380.5	3099	0	0
450	476.3	2824	177	5248
920	382	3140	0	0
1430	381.9	3093	0	0
M.O.	405.2	3039	44	1312

ΠΙΝΑΚΑΣ 4-3: ΑΠΟΤΕΛΕΣΜΑΤΑ ΠΡΟΣΟΜΟΙΩΣΗΣ ΦΟΡΤΟΥ 3500 οχ/ώρα

Από τα αποτελέσματα μπορούμε να δούμε ότι σε μία και μόνο περίπτωση δημιουργείται πρόβλημα, πιθανόν η ουρά που προέκυψε και ο αριθμός των εκκινήσεων – στάσεων να είναι αρκετά μεγάλα μεγέθη για το επίπεδο του φόρτου που εισήχθη στον αυτοκινητόδρομο.

Συνολικά το πρόβλημα δείχνει να επηρεάζει ελάχιστα τη συνολική εικόνα, στηριζόμενοι στο γεγονός ότι ο μέσος αριθμός των οχημάτων που ολοκλήρωσαν πλήρως τη διαδρομή τους (3039) είναι αρκετά κοντά στο φόρτο που εισήχθη στο δίκτυο.

4.3.3 Φόρτος 3750 οχ/ώρα

Αρχική τιμή Γεννήτριας	Χρόνος Ταξιδιού	Αριθμός Οχημάτων	Μέσο Μήκος Ουράς	Αριθμός stop-go
42	385.3	3338	0	0
450	445.1	3043	131	3935
920	594.2	2812	288	8755
1430	412.5	3086	68	1997
M.O.	459.3	3070	122	3672

ΠΙΝΑΚΑΣ 4-4: ΑΠΟΤΕΛΕΣΜΑΤΑ ΠΡΟΣΟΜΟΙΩΣΗΣ ΦΟΡΤΟΥ 3750 οχ/ώρα

Σε αυτό το επίπεδο φόρτου τα αποτελέσματα παρουσιάζουν έντονες διαφοροποιήσεις σε σχέση με τον αρχικό. Σε μία περίπτωση το πρόβλημα είναι αρκετά έντονο. Ο συνολικός μέσος αριθμός των οχημάτων που

κινήθηκαν σε ολόκληρο το δίκτυο δεν διαφέρει ιδιαίτερα σε σχέση με το αποτέλεσμα της περίπτωσης φόρτου 3500 οχ/ώρα, ενώ αυξήθηκε σημαντικά και ο μέσος αριθμός των οχημάτων που σταματάνε και ξεκινάνε πριν τη στένωση. Γεγονός που αναδεικνύει τα προβλήματα που δημιουργήθηκαν από το σχηματισμό της ουράς αναμονής πριν τη στένωση, αυξάνοντας ταυτόχρονα και το συνολικό μέσο χρόνο ταξιδιού .

4.3.4 Φόρτος 3950 οχ/ώρα

Αρχική τιμή Γεννήτριας	Χρόνος Ταξιδιού	Αριθμός Οχημάτων	Μέσο Μήκος Ουράς	Αριθμός stop-go
42	486.3	3083	193	5876
450	537.4	2959	232	6928
920	706.5	2753	353	10286
1430	562.5	2909	262	7872
M.O.	573.2	2926	260	7740

ΠΙΝΑΚΑΣ 4-5: ΑΠΟΤΕΛΕΣΜΑΤΑ ΠΡΟΣΟΜΟΙΩΣΗΣ ΦΟΡΤΟΥ 3950 οχ/ώρα

Στη τρίτη περίπτωση, το πρόβλημα είναι πλέον αρκετά έντονο. Η μέση ουρά που σχηματίζεται είναι πολύ μεγάλη, είχαμε διπλασιασμό στον μέσο αριθμό των εκκινήσεων – στάσεων σε σχέση με το προηγούμενο επίπεδο φόρτου και αύξηση της τάξης του 24.8% του μέσου χρόνου ταξιδιού. Το σημαντικότερο πρόβλημα που προκλήθηκε είναι η μεγάλη πτώση του αριθμού των οχημάτων που ολοκλήρωσαν τη διαδρομή. Συγκεκριμένα είναι μικρότερος από τις περιπτώσεις φόρτου 3500 και 3750 οχ/ώρα, ενώ έχει πέσει κάτω από 3000 οχήματα.

4.3.5 Φόρτος 4150 οχ/ώρα

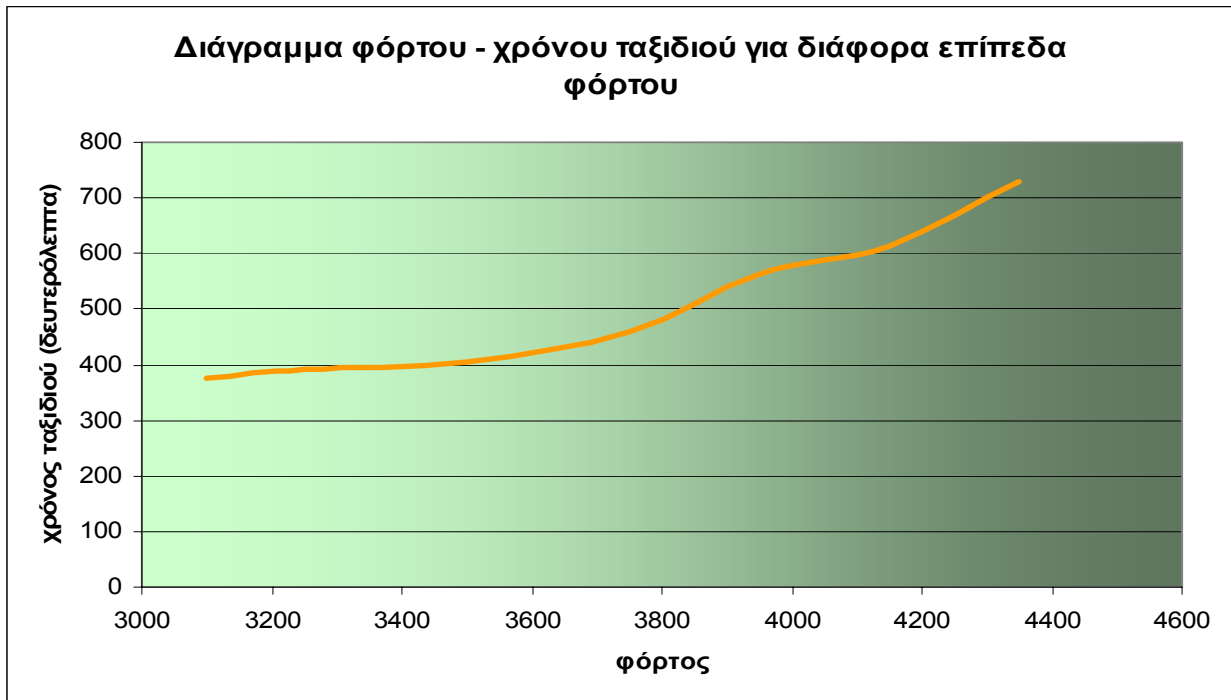
Αρχική τιμή Γεννήτριας	Χρόνος Ταξιδιού	Αριθμός Οχημάτων	Μέσο Μήκος Ουράς	Αριθμός stop-go
42	621,5	2961	299	8837
450	578,4	2981	257	7627
920	661.8	2867	314	9337
1430	596.8	2961	278	8131
M.O.	614.7	2943	287	8483

ΠΙΝΑΚΑΣ 4-6: ΑΠΟΤΕΛΕΣΜΑΤΑ ΠΡΟΣΟΜΟΙΩΣΗΣ ΦΟΡΤΟΥ 4150 οχ/ώρα

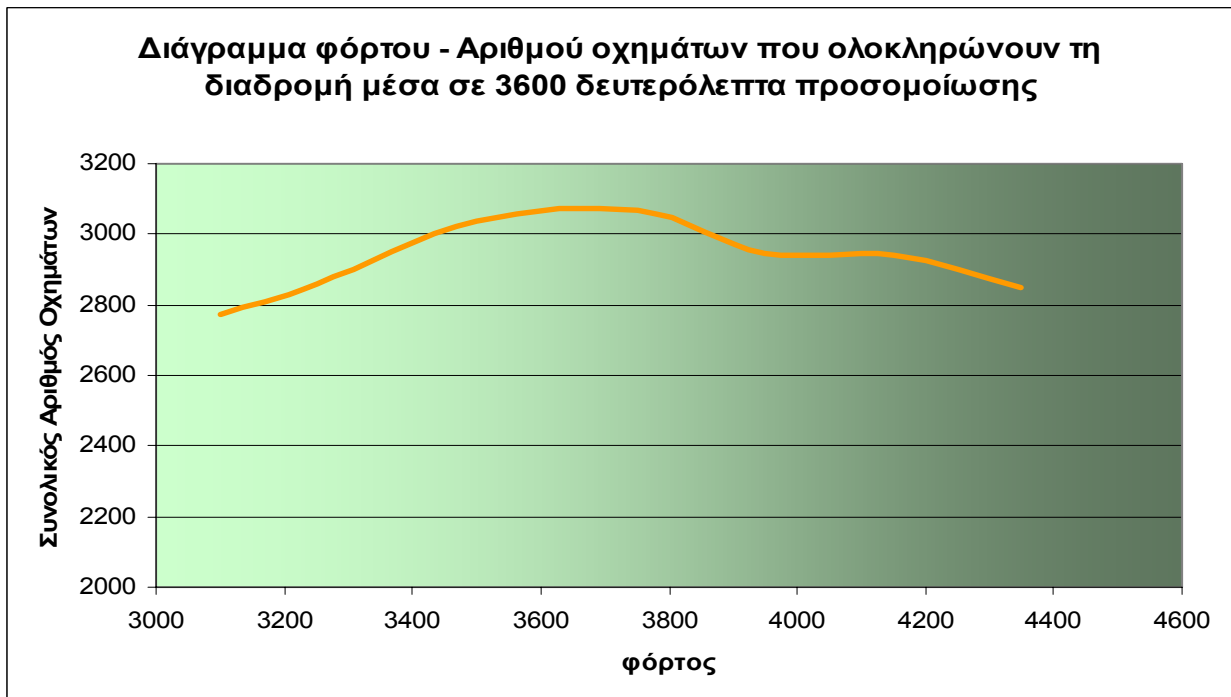
Όπως ήταν λογικό και αναμενόμενο ο υψηλός φόρτος έχει δυσχεράνει σημαντικά όλα τα αποτελέσματα. Το μεγάλο μήκος της ουράς αναμονής επηρέασε σημαντικά τον συνολικό αριθμό οχημάτων περιορίζοντας σε επίπεδα κάτω των 3000, λαμβάνοντας υπόψη και τον αρχικό αριθμό που μπήκε στο δίκτυο.

Τα συμπεράσματα που μπορούμε να εξάγουμε από τις προσομοιώσεις είναι σαφέστατα. Η στένωση προκαλεί ουράς αναμονής. Η αύξηση του επιπέδου του φόρτου αυξάνει ανάλογα το ποσοστό κατάληψης πριν τη στένωση επηρεάζοντας ανάλογα τον συνολικό μέσο χρόνο ταξιδιού των οχημάτων (διάγραμμα 4-1).

4.3.6 Επιμέρους συμπεράσματα



ΔΙΑΓΡΑΜΜΑ 4-1: ΣΥΓΚΡΙΣΗ ΦΟΡΤΟΥ – ΧΡΟΝΟΥ ΤΑΞΙΔΙΟΥ



ΔΙΑΓΡΑΜΜΑ 4-2: ΣΥΓΚΡΙΣΗ ΦΟΡΤΟΥ ΜΕ ΤΟΝ ΣΥΝΟΛΙΚΟ ΑΡΙΘΜΟ ΟΧΗΜΑΤΩΝ ΠΟΥ ΟΛΟΚΛΗΡΩΣΑΝ ΤΗ ΔΙΑΔΡΟΜΗ

Τα αποτελέσματα που παρουσιάζονται στα διαγράμματα 4-1 και 4-2 προέρχονται από προσομοιώσεις για φόρτους από 3100 έως 4350 οχήματα

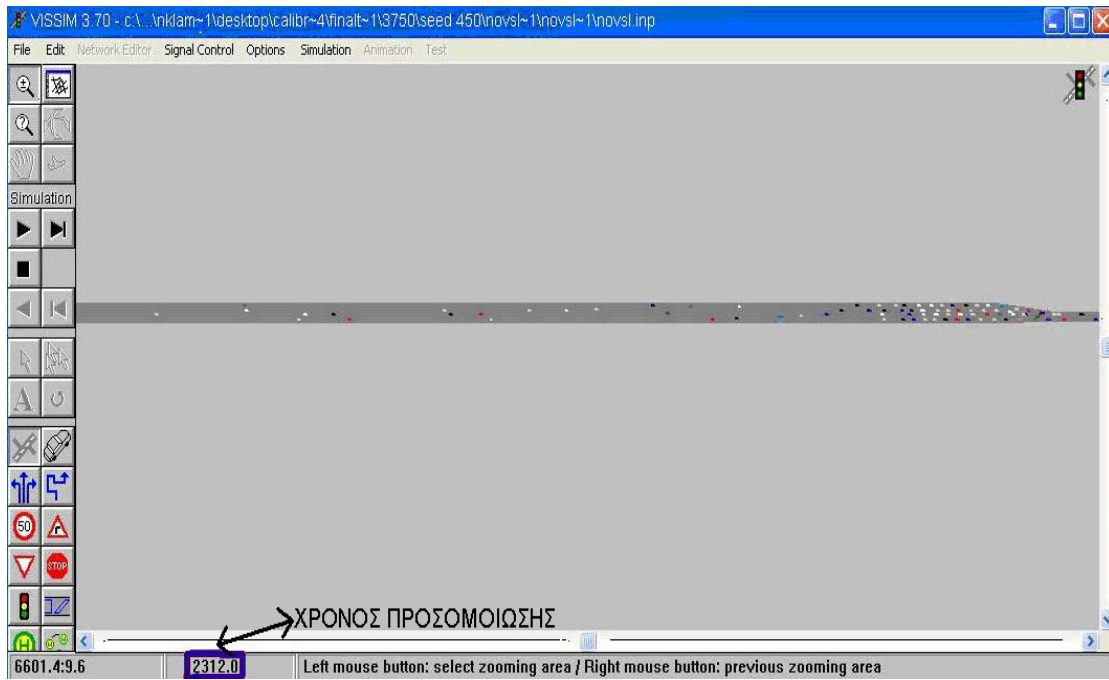
ανά ώρα. Συνεπώς από τους πίνακες 4-2 έως 4-6, και το διάγραμμα 4-2 βλέπουμε ότι ο μέγιστος μέσος αριθμός των οχημάτων που κινούνται στο δίκτυο, παρατηρείται για φόρτο 3750 οχ/ώρα.

Για τα επίπεδα φόρτου 3250 και 3500 οχ/ώρα η μέση ουρά αναμονής είναι μικρή, συνεπώς τα προβλήματα που οφείλονται στο σχηματισμό της είναι περιορισμένα. Ο μέσος αριθμός των οχημάτων που ολοκληρώνουν πλήρως τη διαδρομή των δέκα χιλιομέτρων σε λιγότερο από επτά λεπτά είναι φυσιολογικός.

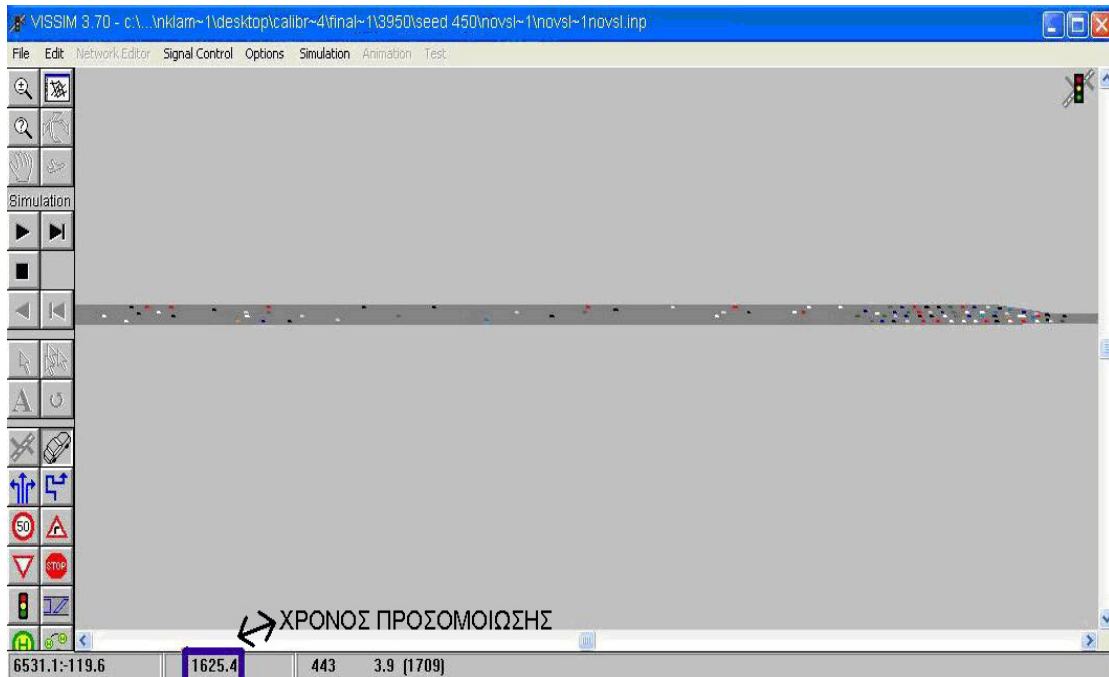
Για τα υψηλότερα επίπεδα φόρτου, η ελάττωση των λωρίδων κυκλοφορίας από τέσσερις σε δύο μετά το 8^ο χιλιόμετρο λειτουργεί σε βάρος της κυκλοφορίας, προκαλώντας συμφόρηση. Χρησιμοποιώντας τα αποτελέσματα των προσομοιώσεων (μέση ταχύτητα και ποσοστό κατάληψης) μπορούμε να δούμε χρονικά πότε αρχίζει να δημιουργείται η ουρά αναμονής.

Αν παραδείγματος χάριν χρησιμοποιήσουμε τα αποτελέσματα για τον αρχική τιμή της γεννήτριας 450 θα δούμε ότι η ουρά για φόρτο 3750 οχ/ώρα δημιουργείται στο χρονικό διάστημα 2100 - 2400 (εικόνα 4-1) δευτερόλεπτα, ενώ στους φόρτους 3950 και 4150 (εικόνες 4-2 και 4-3) οχ/ώρα δημιουργείται στο χρονικό διάστημα 1500 – 1800 δευτερόλεπτα.

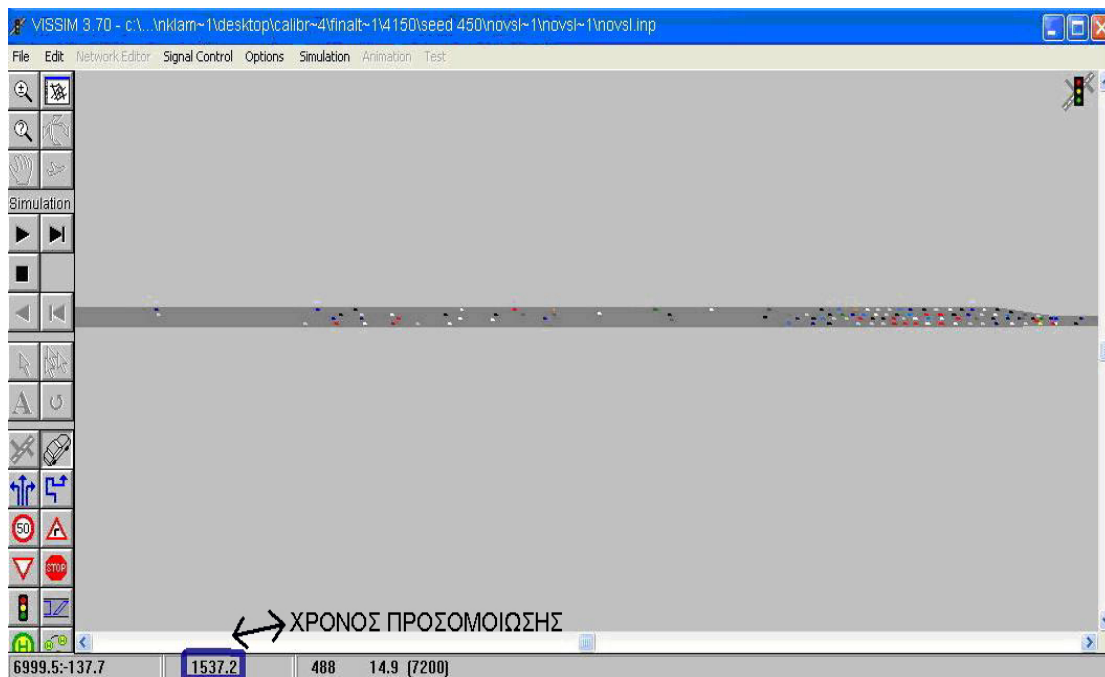
Συγκεκριμένα χρησιμοποιώντας το χρόνο της προσομοίωσης (κάτω αριστερά) του προγράμματος VISSIM όπως φαίνεται στις εικόνες 4-1 έως 4-3, για φόρτο 3750 οχ/ώρα η ουρά αναμονής αρχίζει να σχηματίζεται τη χρονική στιγμή 2312 δευτερόλεπτα από την έναρξη της διαδικασίας, για το φόρτο 3950 οχ/ώρα τη χρονική στιγμή 1625.4 δευτερόλεπτα και για το φόρτο 4150 οχ/ώρα τη χρονική στιγμή 1573.2 οχ/ώρα. Επομένως για το υψηλότερο επίπεδο φόρτου παρατηρείται χρονικά νωρίτερα, έναρξη του φαινομένου της κυκλοφοριακής συμφόρησης πριν τη στένωση,



ΕΙΚΟΝΑ 4-1: ΣΧΗΜΑΤΙΣΜΟΣ ΟΥΡΑΣ ΑΝΑΜΟΝΗΣ ΓΙΑ ΦΟΡΤΟ 3750οχ/ώρα



ΕΙΚΟΝΑ 4-2: ΣΧΗΜΑΤΙΣΜΟΣ ΟΥΡΑΣ ΑΝΑΜΟΝΗΣ ΓΙΑ ΦΟΡΤΟ 3950οχ/ώρα



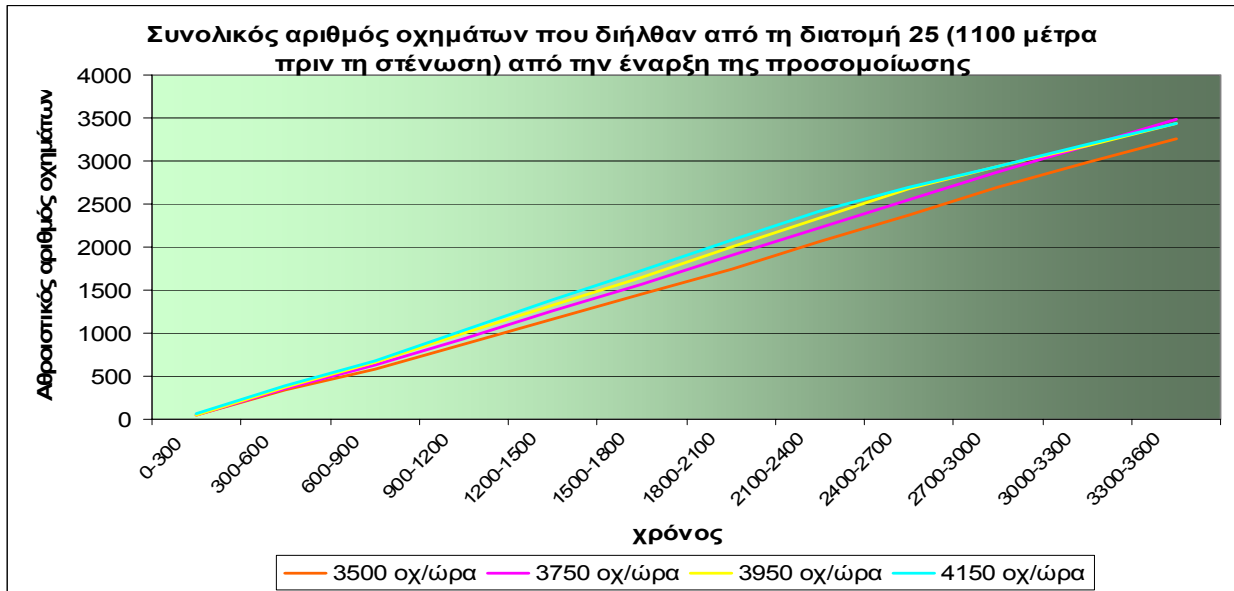
ΕΙΚΟΝΑ 4-3: ΣΧΗΜΑΤΙΣΜΟΣ ΟΥΡΑΣ ΑΝΑΜΟΝΗΣ ΓΙΑ ΦΟΡΤΟ 4150οχ/ώρα

Ουσιαστικά, λόγω του μεγαλύτερου όγκου των οχημάτων που προσπαθούν να εξυπηρετηθούν ταυτόχρονα πριν τη στένωση, συρρικνώνεται το χωρικό και χρονικό διάκενο που αναζητούν οι οδηγοί ώστε να εισαχθούν στο τμήμα των δύο λωρίδων, με αποτέλεσμα η ουρά αναμονής να δημιουργείται χρονικά νωρίτερα. Η εξέλιξη αυτή έχει ως αποτέλεσμα να δημιουργούνται πολύ μεγάλα κρουστικά κύματα προς τα πίσω κάνοντας την οδήγηση ιδιαίτερα επισφαλή, ελαττώνοντας τη συνολική διέλευση των οχημάτων στη στένωση και κατ' επέκταση τον αριθμό που ολοκληρώνει πλήρως τη διαδρομή των δέκα χιλιομέτρων.

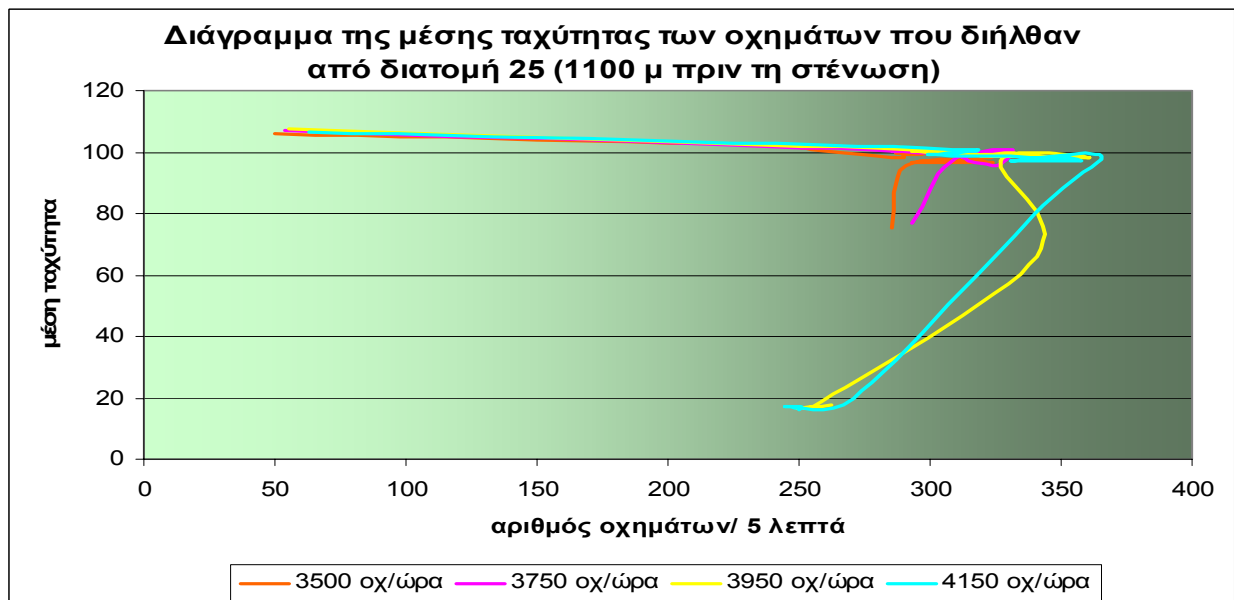
Στα διαγράμματα που ακολουθούν εκτίθεται η εξέλιξη του αριθμού των οχημάτων για τους διάφορους φόρτους που χρησιμοποιήσαμε στις προσομοιώσεις. Τα αποτελέσματα πηγάζουν από τις προσομοιώσεις για την αρχική τιμή της γεννήτριας των τυχαίων αριθμών 450.

Τα διαγράμματα 4-3 και 4-4 που ακολουθούν προέρχονται από τις μετρήσεις των αισθητήρων στη χιλιομετρική θέση 6900 οχ/ώρα (διατομή 25). Από το διάγραμμα 4-3 βλέπουμε ο συνολικός αριθμός των οχημάτων για το επίπεδο φόρτου 3750 οχ/ώρα είναι οριακά ο μεγαλύτερος. Από το διάγραμμα 4-4 βλέπουμε ότι η μέση ταχύτητα που αναπτύσσουν τα οχήματα για τα δύο

χαμηλότερα επίπεδα φόρτου παραμένει υψηλή καθ' όλη τη διάρκεια της προσομοίωσης, αντίθετα στα δύο υψηλότερα επίπεδα φόρτου παρατηρείται ιδιαίτερη μείωση της μέσης ταχύτητας. Η μεγάλη μείωση της μέσης ταχύτητας οφείλεται στο σχηματισμό ουράς αναμονής πριν τη στένωση που επηρεάζει έντονα τη χ.θ. 6.9



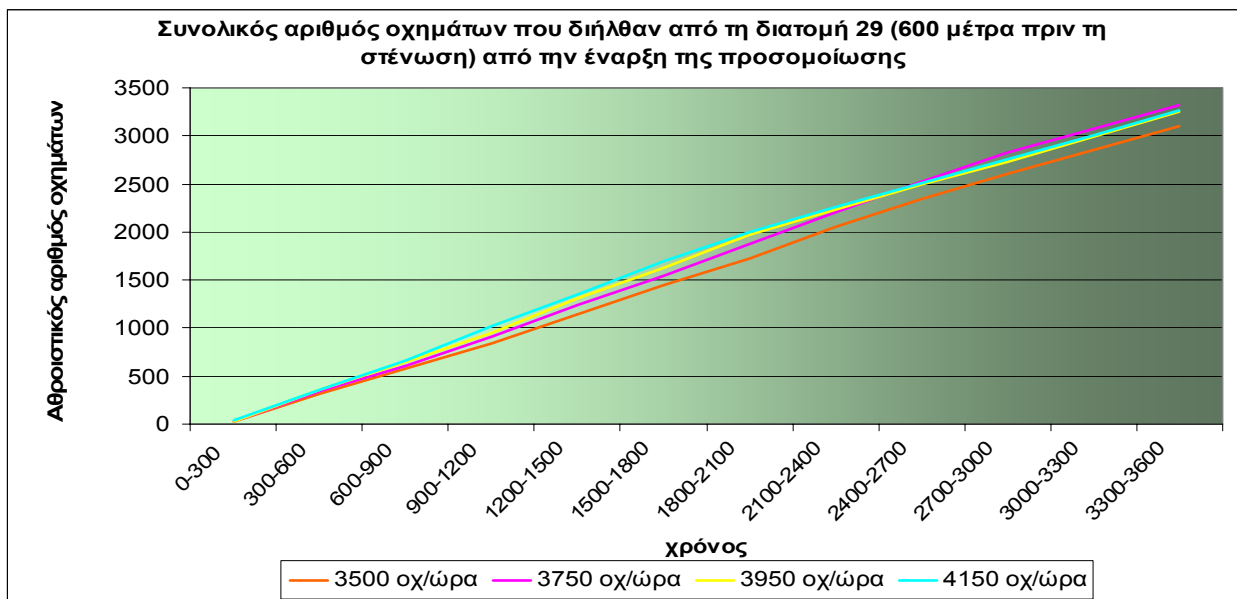
ΔΙΑΓΡΑΜΜΑ 4-3: ΧΡΟΝΙΚΗ ΕΞΕΛΙΞΗ ΤΟΥ ΑΘΡΟΙΣΤΙΚΟΥ ΑΡΙΘΜΟΥ ΟΧΗΜΑΤΩΝ ΓΙΑ ΤΗ ΔΙΑΤΟΜΗ 25



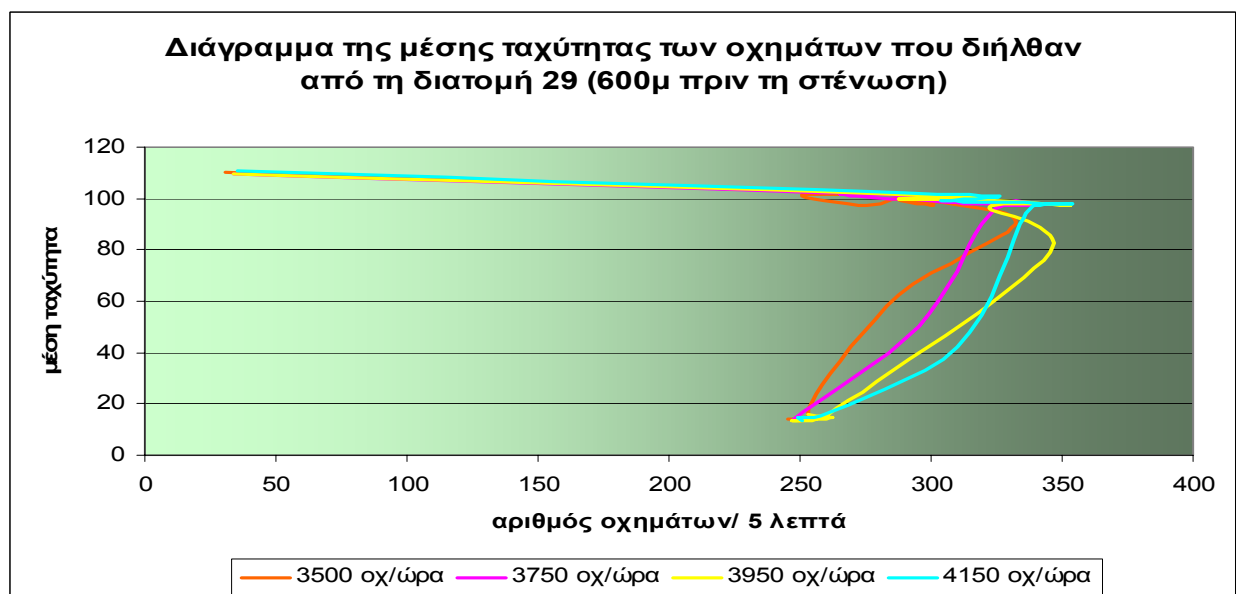
ΔΙΑΓΡΑΜΜΑ 4-4: ΜΕΣΗΣ ΤΑΧΥΤΗΤΑΣ/ΑΡΙΘΜΟΥ ΟΧΗΜΑΤΩΝ ΓΙΑ ΤΗ ΔΙΑΤΟΜΗ 25

Πλησιάζοντας στα 600 μέτρα από τη στένωση, η εικόνα είναι πλέον ξεκάθαρη. Ανάλογα με τη αύξηση του επίπεδο του φόρτου, επηρεάζεται

ανάλογα και το μήκος της ουράς αναμονής. Συνεπώς μετά από το τεσσαρακοστό λεπτό, ο αριθμός των οχημάτων για φόρτο 3750 οχ/ώρα είναι πλέον ο μεγαλύτερος, έως το τέλος του τρεξίματος της προσομοίωσης διάρκειας μίας ώρας (διάγραμμα 4-5) Η μέση ταχύτητα των οχημάτων και για τα τέσσερα επίπεδα φόρτου προς το τέλος της προσομοίωσης έχει περιοριστεί ιδιαίτερα γεγονός που αποδεικνύει ότι η χιλιομετρική θέση έχει επηρεαστεί έντονα από τη ουρά αναμονής που δημιουργείται πριν τη στένωση.

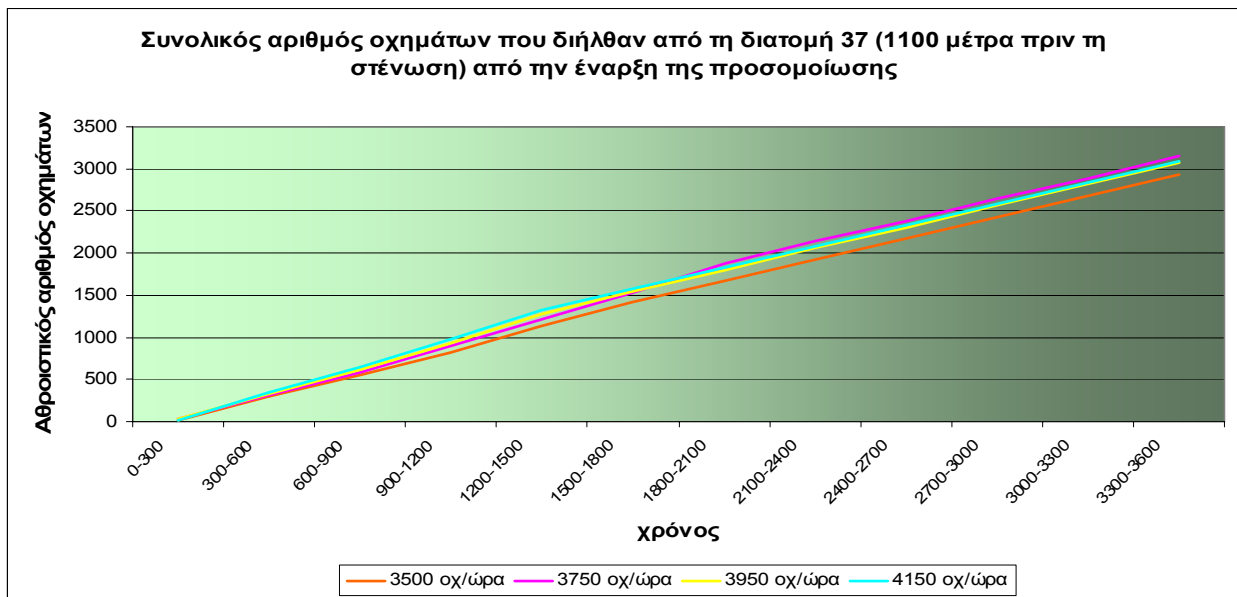


ΔΙΑΓΡΑΜΜΑ 4-5: ΧΡΟΝΙΚΗ ΕΞΕΛΙΞΗ ΤΟΥ ΑΘΡΟΙΣΤΙΚΟΥ ΑΡΙΘΜΟΥ ΟΧΗΜΑΤΩΝ ΓΙΑ ΤΗ ΔΙΑΤΟΜΗ 29

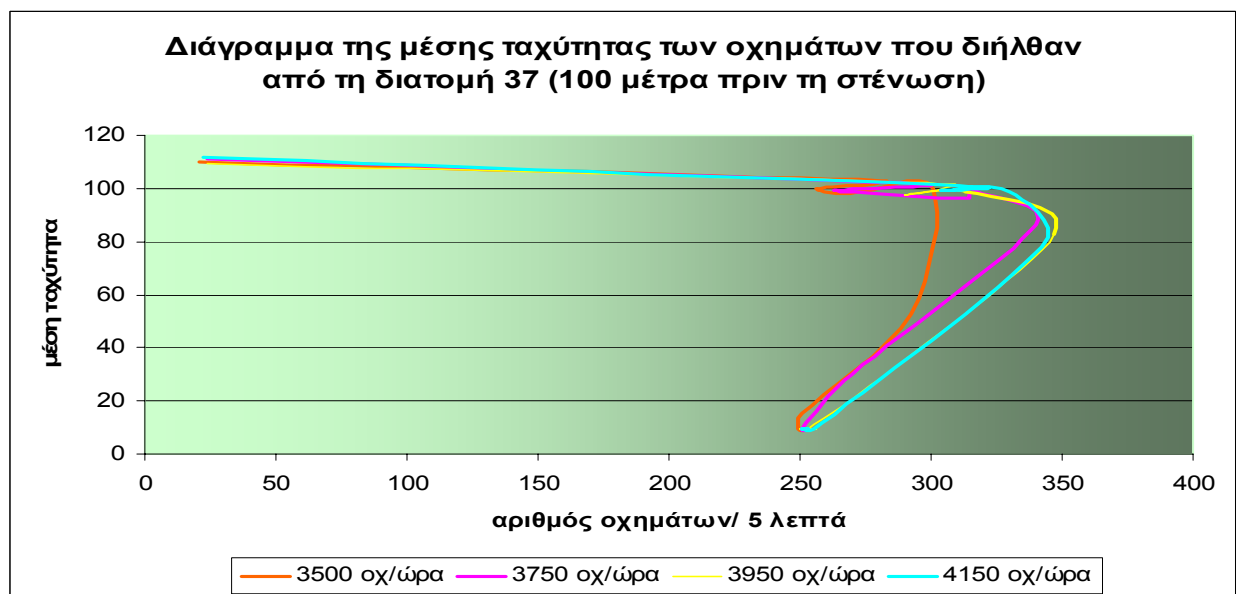


ΔΙΑΓΡΑΜΜΑ 4-6: ΜΕΣΗΣ ΤΑΧΥΤΗΤΑΣ/ΧΡΟΝΟΥ ΓΙΑ ΤΗ ΔΙΑΤΟΜΗ 29

Πλησιάζοντας στα 100 μέτρα πριν τη στένωση (διατομή 37), η εικόνα που έχουμε αποκομίσει από τα αποτελέσματα της διατομής 29 δεν έχει αλλάξει. Ο συνολικός αριθμός των οχημάτων που διήλθαν παραμένει υψηλότερος για τον φόρτο 3750 οχ/ώρα (διάγραμμα 4-7). Όπως είναι φυσιολογικό η μέση ταχύτητα των οχημάτων έχει περιοριστεί ιδιαίτερα χαμηλά γεγονός που οφείλεται στην έντονη κυκλοφοριακή συμφόρηση που έχει δημιουργηθεί (διάγραμμα 4-8).

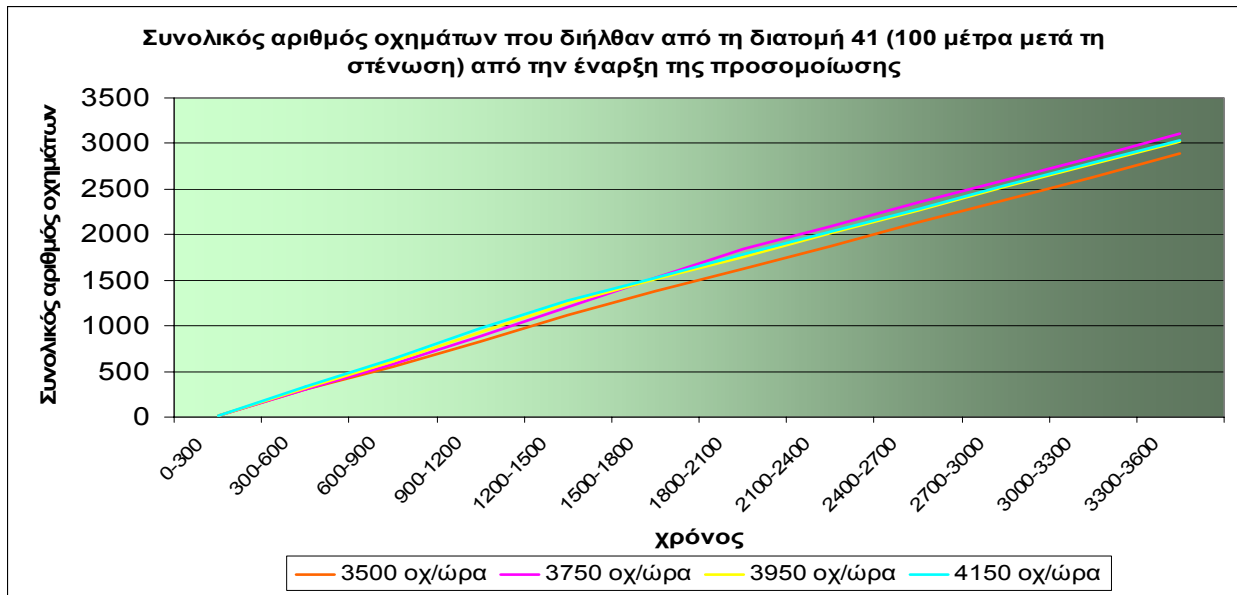


ΔΙΑΓΡΑΜΜΑ 4-7: ΧΡΟΝΙΚΗ ΕΞΕΛΙΞΗ ΤΟΥ ΑΘΡΟΙΣΤΙΚΟΥ ΑΡΙΘΜΟΥ ΟΧΗΜΑΤΩΝ ΓΙΑ ΤΗ ΔΙΑΤΟΜΗ 37

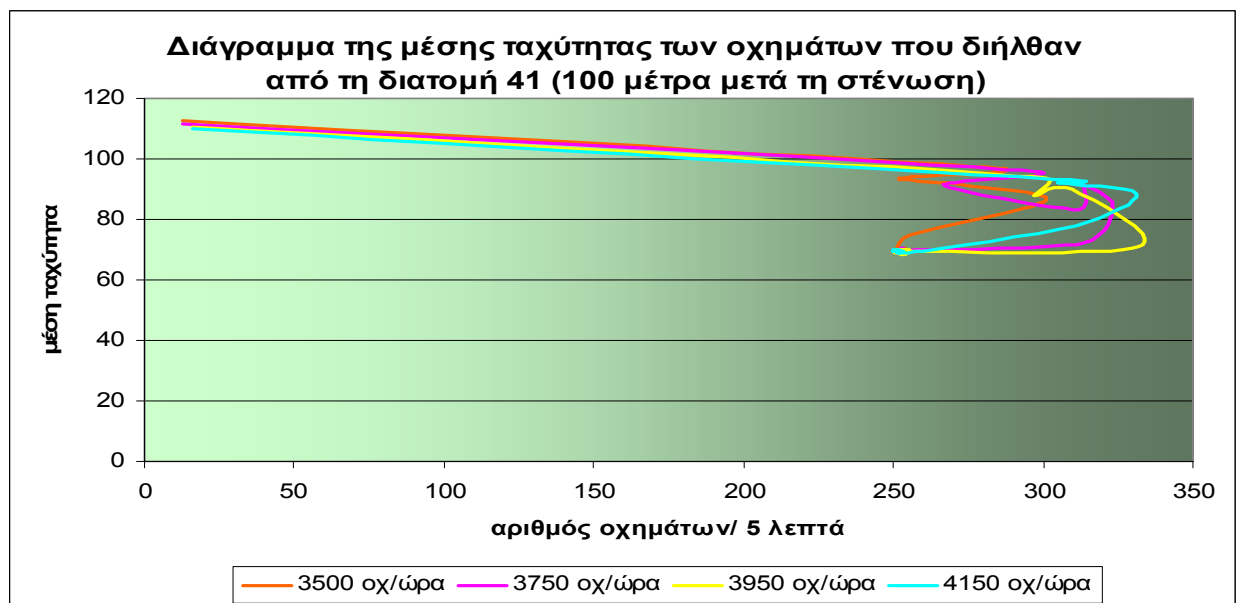


ΔΙΑΓΡΑΜΜΑ 4-8: ΜΕΣΗΣ ΤΑΧΥΤΗΤΑΣ/ΧΡΟΝΟΥ ΓΙΑ ΤΗ ΔΙΑΤΟΜΗ 37

Αντίστοιχα, αντλώντας δεδομένα από τους αισθητήρες που είναι τοποθετημένοι 100 μέτρα μετά τη στένωση στη διατομή 41, ο αριθμός των οχημάτων για φόρτο 3750 είναι μεγαλύτερος σε σχέση με τα άλλα επίπεδα (διάγραμμα 4-9). Τα οχήματα που εισέρχονται στη στένωση δεν αντιμετωπίζουν πλέον κανένα πρόβλημα κυκλοφοριακής συμφόρησης αναπτύσσοντας τις επιθυμητές ταχύτητες που έχουμε ορίσει (διάγραμμα (4-10)).



ΔΙΑΓΡΑΜΜΑ 4-9: ΧΡΟΝΙΚΗ ΕΞΕΛΙΞΗ ΤΟΥ ΑΘΡΟΙΣΤΙΚΟΥ ΑΡΙΘΜΟΥ ΟΧΗΜΑΤΩΝ ΓΙΑ ΤΗ ΔΙΑΤΟΜΗ 41



ΔΙΑΓΡΑΜΜΑ 4-10: ΜΕΣΗΣ ΤΑΧΥΤΗΤΑΣ ΧΡΟΝΟΥ ΓΙΑ ΤΗ ΔΙΑΤΟΜΗ 29

Ένα ακόμα ζήτημα που χρίζει ιδιαίτερης προσοχής, πηγάζει από τη προσεχτική μελέτη των αποτελεσμάτων και έχει να κάνει με το σχηματισμό ουράς αναμονής, για τις επιμέρους προσομοιώσεις για το ίδιο επίπεδο φόρτου. Παρατηρώντας για παράδειγμα τα αποτελέσματα του πίνακα 4-4 για επίπεδο φόρτου 3750 οχ/ώρα θα δούμε ότι για τον αρχική τιμή της γεννήτριας των τυχαίων αριθμών 42 (seed 42) δεν δημιουργείται καθόλου ουρά αναμονής. Αντίθετα για τον αριθμό 920 (seed 920) θα δούμε ότι η μέση ουρά που σχηματίζεται μετά από τα πρώτα 15 λεπτά της προσομοίωσης είναι 288 μέτρα. Ιδιαίτερα μεγάλη διαφορά. Θα μπορούσαμε να απαντήσουμε απλά, ότι οι διαφορές αυτές οφείλονται στο στοχαστικό χαρακτήρα της προσομοίωσης.

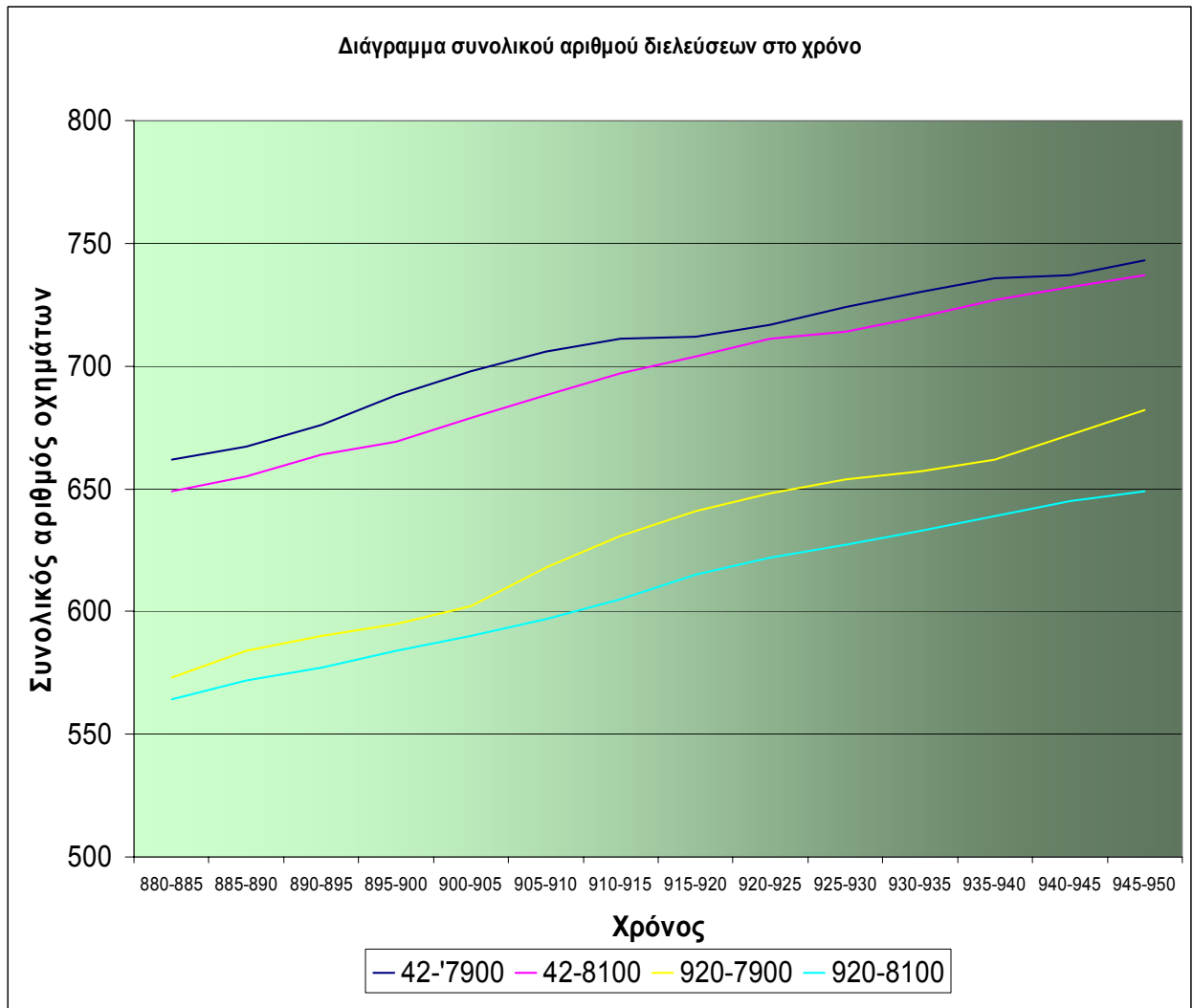
Αναζητώντας μια ποιο λεπτομερή απάντηση, προχωρήσαμε εκ νέου σε προσομοιώσεις των δύο προαναφερθέντων περιπτώσεων. Τα αποτελέσματα που εξάγουμε είναι ανά πέντε δευτερόλεπτα προσομοίωσης (συνολικός χρόνος 3600 δευτερόλεπτα), ώστε να έχουμε μεγαλύτερη απόδοση των λεπτομερειών. Τα σημεία ενδιαφέροντος μας είναι οι χιλιομετρικές θέσεις 7,9 (100 μέτρα πριν τη στένωση) και 8,1 (100 μέτρα μετά). Από τα δεδομένα που εξάγουμε δημιουργήσαμε τα συγκριτικά διαγράμματα 4-11 και 4-12 που περιλαμβάνουν τον αθροιστικό αριθμό των οχημάτων, για τις δύο περιπτώσεις (seed 42, seed 920). Λόγω της δυνατότητας που έχουμε να γνωρίζουμε το χρόνο δημιουργίας της ουράς αναμονής, το ενδιαφέρον μας δεν εστιάζεται από τα πρώτα λεπτά των προσομοιώσεων, μειώνοντας το χρονικό εύρος.

Ταυτόχρονα, εκμεταλλευόμενοι τα δεδομένα που εξάγουμε υπολογίζουμε τον ισοδύναμο μέσο ωριαίο φόρτο για το χρονικό διάστημα 885 έως 945 δευτερόλεπτα (πίνακας 4-7).

Χρόνος	Ισοδύναμος Μέσο Ωριαίος Φόρτος (από αναγωγή στην ώρα των διελεύσεων εντός 5 δευτερολέπτων)			
	seed 42		seed 920	
	χ.θ. 7,9	χ.θ. 8,1	χ.θ. 7,9	χ.θ. 8,1
885-890	3600	4320	7920	5760
890-895	6480	6480	4320	3600
895-900	8640	3600	3600	5040
900-905	7200	7200	5040	4320
905-910	5760	6480	11520	5040
910-915	3600	6480	9360	5760
915-920	720	5040	7200	7200
920-925	3600	5040	5040	5040
925-930	5040	2160	4320	3600
930-935	4320	4320	2160	4320
935-940	4320	5040	3600	4320
940-945	720	3600	7200	4320

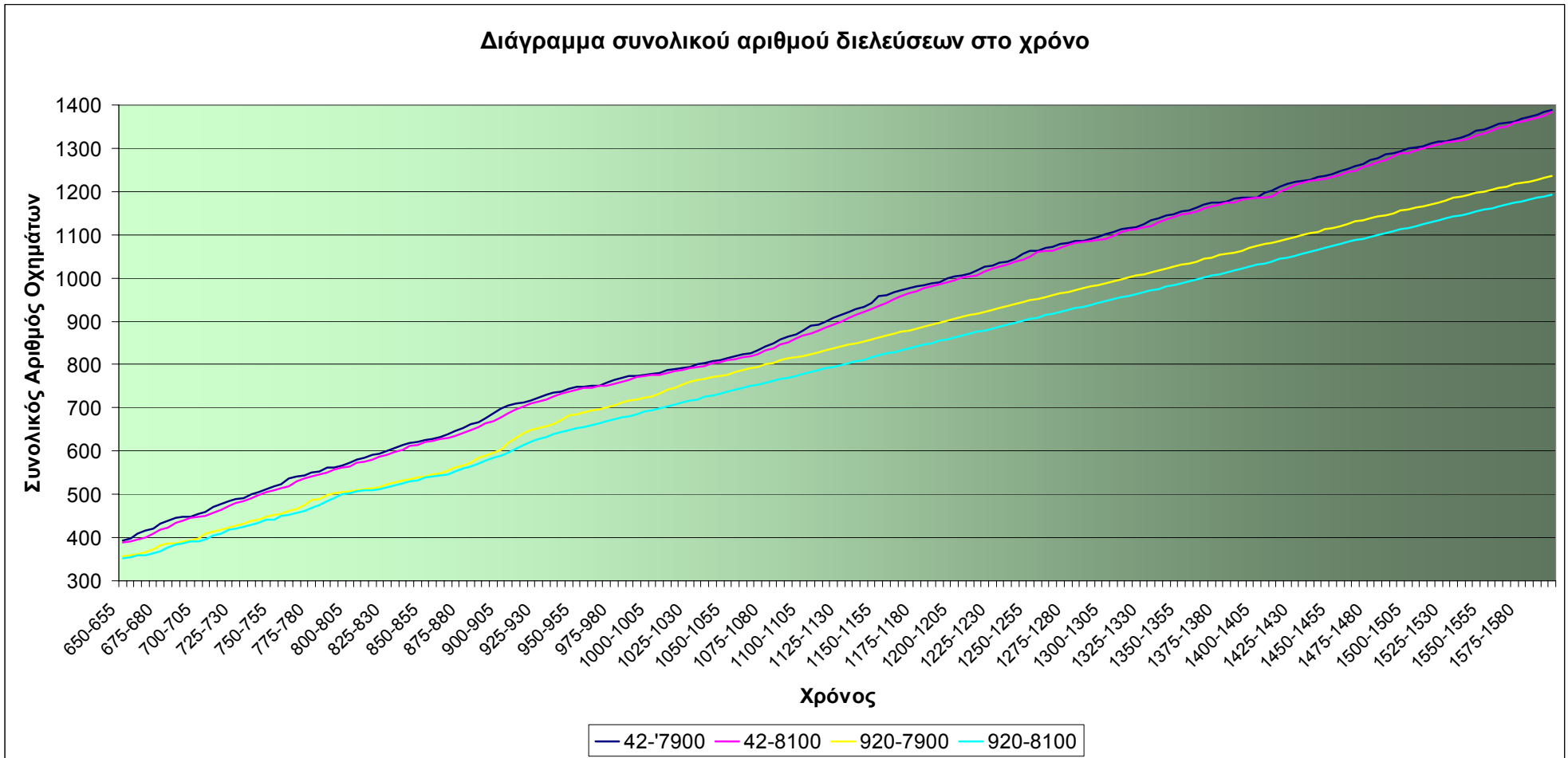
ΠΙΝΑΚΑΣ 4-7: ΠΙΝΑΚΑΣ ΙΣΟΔΥΝΑΜΟΥ ΜΕΣΟΥ ΩΡΙΑΙΟΥ ΦΟΡΤΟΥ

Συνδυάζοντας τα στοιχεία του πίνακα 4-7 και το διάγραμμα 4-11 ή 4-12 μπορούμε να εντοπίσουμε την αιτία της συμφόρησης. Η συνολική εικόνα που έχουμε για τις δύο περιπτώσεις είναι σαφώς διαφορετική. Τη χρονική περίοδο 905-910 δευτερόλεπτα, παρατηρείται απότομη μεταβολή (με αυξητική τάση) στον ρυθμό διέλευσης των οχημάτων στην χιλιομετρική θέση 7,9 για seed 920, έχοντας πολύ μεγάλη αύξηση του φόρτου, με αποτέλεσμα το δίκτυο να μην μπορεί να εξυπηρετήσει το πλήθος των οχημάτων. Αντίθετα η πολύ μεγάλη μείωση του φόρτου για seed 42 που φτάνει ακόμα και τα 720 οχήματα βοηθάει στην αποσυμφόρηση με αποτέλεσμα να εξαλείφεται η όποια πιθανότητα υπήρχε να δημιουργηθεί ουρά αναμονής.



ΔΙΑΓΡΑΜΜΑ 4-11: ΔΙΑΓΡΑΜΜΑ ΣΥΝΟΛΙΚΟΥ ΑΡΙΘΜΟΥ ΟΧΗΜΑΤΩΝ

Διάγραμμα συνολικού αριθμού διελεύσεων στο χρόνο



ΔΙΑΓΡΑΜΜΑ 4-12: ΔΙΑΓΡΑΜΜΑ ΣΥΝΟΛΙΚΟΥ ΑΡΙΘΜΟΥ ΟΧΗΜΑΤΩΝ

4.4 Προσομοίωση της κυκλοφορίας με χρήση VSL

Ο στόχος μας πλέον είναι να εφαρμόσουμε τα συστήματα διαχείρισης της κυκλοφορίας στο αυτοκινητόδρομο που δημιουργήσαμε ώστε να δούμε τις επιδράσεις (θετικές ή μη) που μπορεί να επιφέρει στη κυκλοφορία. Όπως αναφέραμε στην εισαγωγή του κεφαλαίου ο αλγόριθμος που θα χρησιμοποιήσουμε έχει δημιουργηθεί από τους Lin, Kang και Chang έχει ως κύριο μέλημα τον περιορισμό του μέσου μήκους της ουράς αναμονής και τον περιορισμό του συνολικού αριθμού των εκκινήσεων και ακινητοποιήσεων των οχημάτων πριν την στένωση. Ένας από τους αποτελεσματικότερους τρόπους ελαχιστοποίησης της ουράς αναμονής είναι να μειωθεί το εισερχόμενο ποσοστό ροής στη στένωση. Ουσιαστικά επιδιώκει τον βελτιστοποίηση της ασφάλειας των οδηγών, τον ομαλό και σταδιακό περιορισμό της ταχύτητας των οχημάτων.

4.4.1 Υπολογισμός παραμέτρων αλγορίθμου

Στην λειτουργία του αλγορίθμου συμμετέχουν τρεις παράμετροι, που θα πρέπει να υπολογίσουμε. Αυτοί είναι οι:

- β_0 : Συντελεστής στάθμισης χωρικής μεταβολής
- β_1 : Συντελεστής στάθμισης χωρικής μεταβολής, και
- α_0 : Συντελεστής στάθμισης χρονικής εξέλιξης

Υπολογισμός β_0

Η παράμετρος β_0 θα υπολογιστεί κάνοντας χρήση της εξίσωσης 4-1

$$q_0(k) = \beta_0 * Q_0(k-1) + (1 - \beta_0) * Q_0(k) \quad (4-1)$$

Μέσω των προσομοιώσεων που πραγματοποιηθήκαν χωρίς τη χρήση των VSL και με τη βοήθεια των αισθητήρων που έχουμε τοποθετήσει κατά μήκος του οδικού δικτύου μπορούμε να αντλήσουμε τα στοιχεία που μας είναι χρήσιμα για τον προσδιορισμό του β_0 .

Σύμφωνα με την αρίθμηση των αισθητήρων (σχήμα 4-1 κεφ. 4), που δημιουργήσαμε στο VISSIM η εξίσωση 4-1 γράφεται ως εξής:

$$q_{37}(k) = \beta_0 * Q_{39}(k-1) + (1 - \beta_0) * Q_{39}(k) \quad (4-2)$$

Επειδή μας ενδιαφέρει ο υπολογισμός του β_0 η εξίσωση 4-2 μπορεί να γραφεί ως εξής:

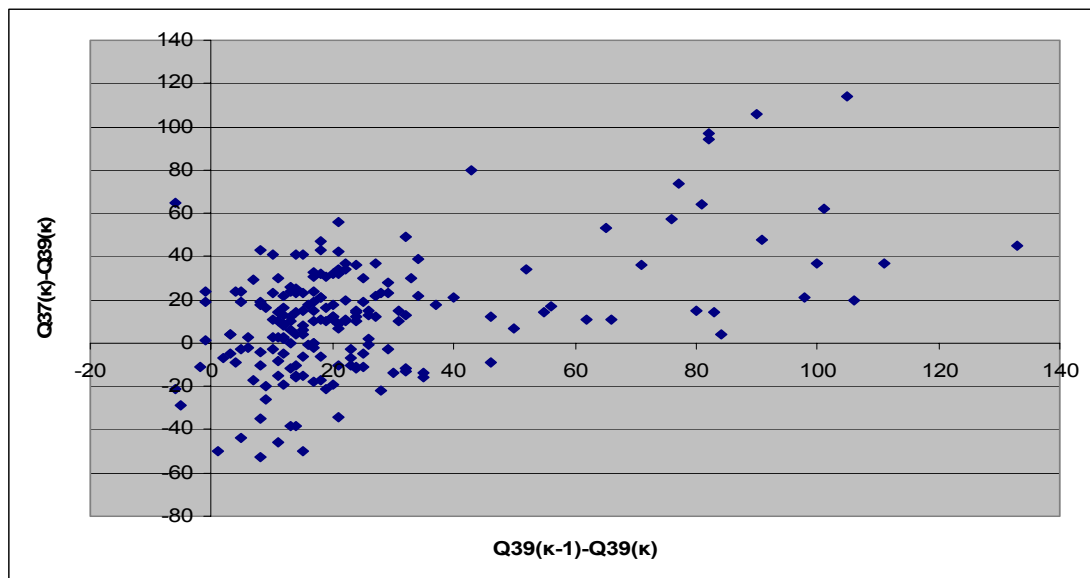
$$Q_{37}(k) - Q_{39}(k) = \beta_0 [Q_{39}(k-1) - Q_{39}(k)] \quad (4-3)$$

ουσιαστικά έχει πάρει τη μορφή $y=a*x$.

Επομένως ο υπολογισμός της παραμέτρου β_0 θα γίνει με τη μέθοδο της γραμμικής παλινδρόμησης κάνοντας χρήση του λογισμικού microsoft excel. Τα δεδομένα που χρησιμοποιούμε πηγάζουν από προσομοιώσεις για κυκλοφοριακούς φόρτους 3300, 3500 3750, 3950 και 4150 οχήματα την ώρα.

Τα αποτελέσματα της μεθόδου βαθμονόμησαν την παράμετρο $\beta_0 = 0.77$. Στον αλγόριθμο χρησιμοποιήσαμε την παράμετρο ίση με 0.8.

Αναλυτικά τα αποτελέσματα της μεθόδου:



ΔΙΑΓΡΑΜΜΑ 4-13: ΑΠΟΤΕΛΕΣΜΑΤΑ ΓΡΑΜΜΙΚΗΣ ΠΑΛΙΝΔΡΟΜΗΣΗΣ

ΕΞΟΔΟΣ ΣΥΜΠΕΡΑΣΜΑΤΟΣ						
Στατιστικά παλινδρόμησης						
Πολλαπλό R	0.617789					
R Τετράγωνο	0.381663					
Προσαρμοσμένο R Τετράγωνο	0.376372					
Τυπικό σφάλμα	28.19386					
Μέγεθος δείγματος	190					
ΑΝΑΛΥΣΗ ΔΙΑΚΥΜΑΝΣΗΣ						
	βαθμοί ελευθερίας	SS	MS	F	Σημαντικότητα F	
Παλινδρόμηση	1	92731.13	92731.13	116.6585	1.83E-21	
Υπόλοιπο	189	150234.9	794.8935			
Σύνολο	190	242966				
	Συντελεστής	Τυπικό σφάλμα	t	τιμή-P	Κατώτερο 95%	Υψηλότερο 95%
Τεταγμένη επί την αρχή	0	#Δ/Υ	#Δ/Υ	#Δ/Υ	#Δ/Υ	#Δ/Υ
Μεταβλητή X 1	0.770021	0.069441	10.80086	1.74E-21	0.613042	0.887

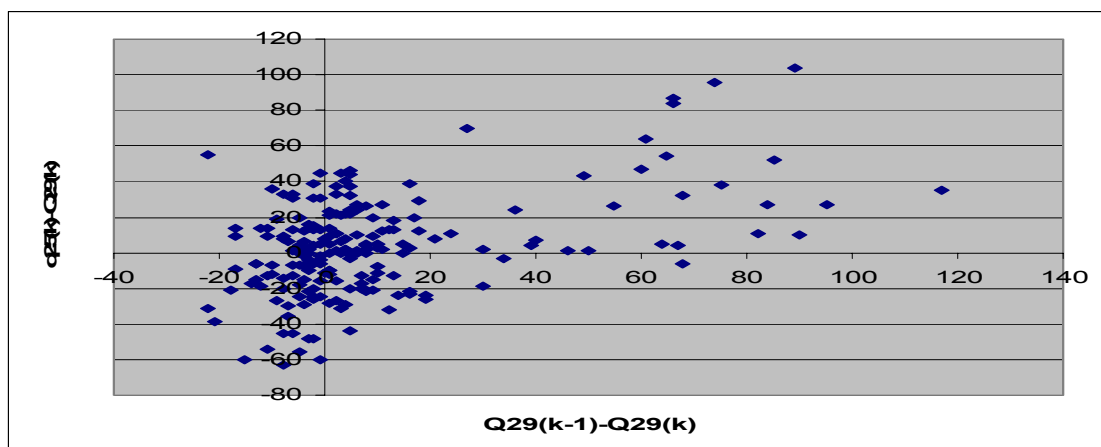
ΠΙΝΑΚΑΣ 4-8: ΑΠΟΤΕΛΕΣΜΑΤΑ ΒΑΘΜΟΝΟΜΗΣΗΣ ΠΑΡΑΜΕΤΡΟΥ β_0

Υπολογισμός β_1

Η διαδικασία υπολογισμού της παραμέτρου β_1 είναι όμοια με τη προηγούμενη για το β_0 . Η αντίστοιχη εξίσωση είναι. Με βάση την αρίθμηση των αισθητήρων προκύπτει:

$$q_{25}(k) - Q_{29}(k) = \beta_0 * [Q_{29}(k-1) - Q_{29}(k)] \quad (4-4)$$

Τα αποτελέσματα της μεθόδου βαθμονόμησης την παράμετρο $\beta_1 = 0.46$. Στον αλγόριθμο χρησιμοποιήσαμε την παράμετρο ίση με 0.5.



ΔΙΑΓΡΑΜΜΑ 4-14: ΑΠΟΤΕΛΕΣΜΑΤΑ ΓΡΑΜΜΙΚΗΣ ΠΑΛΙΝΔΡΟΜΗΣΗΣ

ΈΞΟΔΟΣ ΣΥΜΠΕΡΑΣΜΑΤΟΣ						
<i>Στατιστικά παλινδρόμησης</i>						
Πολλαπλό R	0.3432211					
R Τετράγωνο	0.1178007					
Προσαρμοσμένο R Τετράγωνο	0.1127756					
Τυπικό σφάλμα	23.320783					
Μέγεθος δείγματος	200					
ΑΝΑΛΥΣΗ ΔΙΑΚΥΜΑΝΣΗΣ						
	<i>βαθμοί ελευθερίας</i>	<i>SS</i>	<i>MS</i>	<i>F</i>	<i>Σημαντικότητα F</i>	
Παλινδρόμηση	1	14451.75224	14451.75	26.57261	6.12556E-07	
Υπόλοιπο	199	108227.9278	543.8589			
Σύνολο	200	122679.68				
	<i>Συντελεστές</i>	<i>Τυπικό σφάλμα</i>	<i>t</i>	<i>τιμή-P</i>	<i>Κατώτερο 95%</i>	<i>Υψηλότερο 95%</i>
Τεταγμένη επί την αρχή	0	#Δ/Υ	#Δ/Υ	#Δ/Υ	#Δ/Υ	#Δ/Υ
Μεταβλητή X 1	0.4598904	0.059629322	7.712488	5.79E-13	0.342303947	0.577476905

ΠΙΝΑΚΑΣ 9: ΑΠΟΤΕΛΕΣΜΑΤΑ ΒΑΘΜΟΝΟΜΗΣΗΣ ΠΑΡΑΜΕΤΡΟΥ β_0

Υπολογισμός α_0

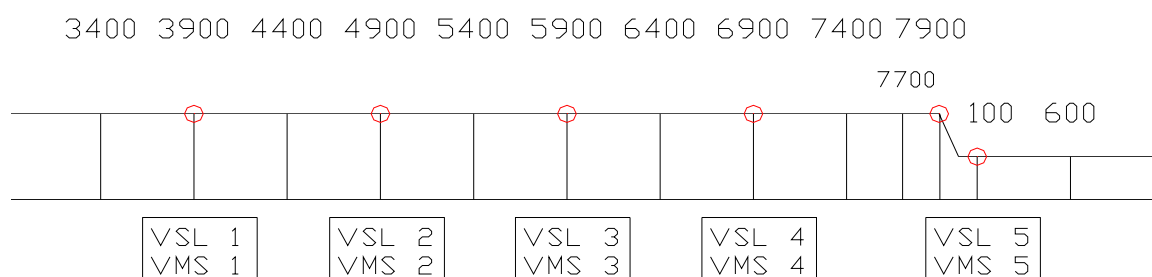
Ο υπολογισμός της παραμέτρου α_0 γίνεται με τη βοήθεια των αποτελεσμάτων της προσομοίωσης με τη χρήση των VSL. Έχοντας ήδη υπολογίσει τις παραμέτρους β_0 και β_1 τοποθετούμε στον αλγόριθμο λειτουργίας διάφορες τιμές. Με βάση τις τιμές των ταχυτήτων που προκύπτουν για κάθε α_0 , τοποθετούμε τα μεταβλητά όρια στο δίκτυο που δημιουργήσαμε στο VISSIM.

Τα αποτελέσματα που προέκυψαν από τις προσομοιώσεις δείξαν ότι η παράμετρος παίρνει την τιμή 0.95.

4.4.2 ΑΠΟΤΕΛΕΣΜΑΤΑ ΠΡΟΣΟΜΟΙΩΣΕΩΝ ΜΕ ΤΗΝ ΧΡΗΣΗ VSL

Στο τμήμα αυτό της εργασίας προχωράμε στην εφαρμογή των συστημάτων διαχείρισης της κυκλοφορίας με μεταβλητά όρια ταχύτητας. Τα VSL θα εφαρμοστούν στο δίκτυο που σχεδιάσαμε με τη στένωση, στους φόρτους που χρησιμοποιήσαμε νωρίτερα (3250, 3500, 3750, 3950 και 4150) για τις περιπτώσεις που δημιουργούν σειρές αναμονής πριν τη στένωση. Έχοντας προχωρήσει στον υπολογισμό των παραμέτρων, ορίζουμε τα εξής στοιχεία:

- Τα σημεία που τοποθετούνται τα VMS και VSL είναι οι χιλιομετρικές θέσεις 3900, 4900, 5900 και 6900 στο δίκτυο 1 και στη χιλιομετρική θέση 15 μέτρα στο δίκτυο 2 (σχήμα 4-5).



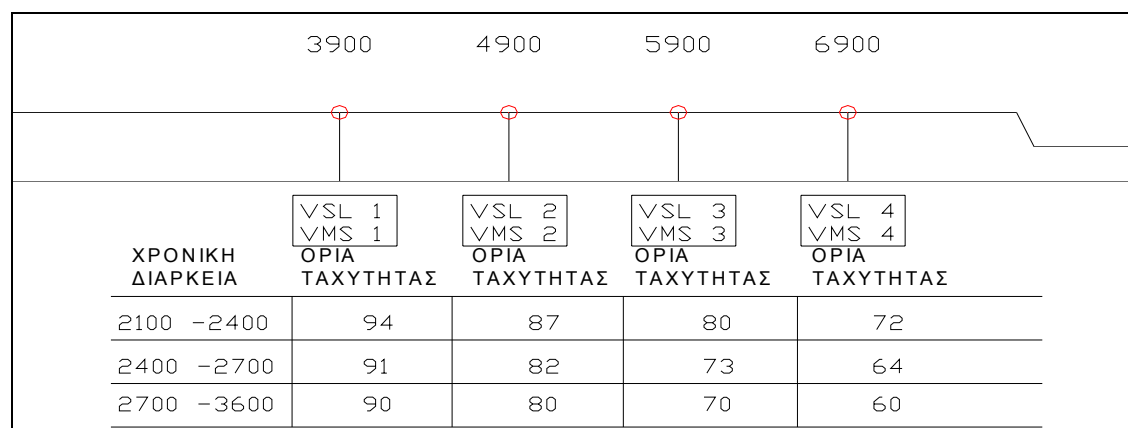
ΣΧΗΜΑ 4-5: ΠΑΡΟΥΣΙΑΣΗ ΤΩΝ Χ.Θ. ΤΩΝ VSL ΚΑΙ VMS ΣΤΟ ΟΔΙΚΟ ΔΙΚΤΥΟ

- Το L στον αλγόριθμο είναι 4000 μέτρα. Δηλαδή το μήκος του τμήματος πριν τη στένωση μέχρι τη χ.θ. 6900, πολλαπλασιασμένο με τον αριθμό των λωρίδων.
- Ο εσωτερικός χρόνος λήψης αποτελεσμάτων είναι 300 δευτερόλεπτα.

Ακολούθως παρατίθεται ένα υπόδειγμα σχεδιασμού και λειτουργίας του αλγορίθμου σε λογιστικά φύλλο excel, που παρουσιάζει τον τρόπο υπολογισμού και εμφάνισης των ορίων ταχύτητας.

4.4.2.α Φόρτος 3250 οχ/ώρα

Το σύστημα μεταβλητών ορίων όπως φαίνεται στην εικόνα χρησιμοποιήθηκε μόνο στην περίπτωση της αρχική τιμή της γεννήτριας 450 όπου έχουμε δημιουργία ουράς αναμονής .



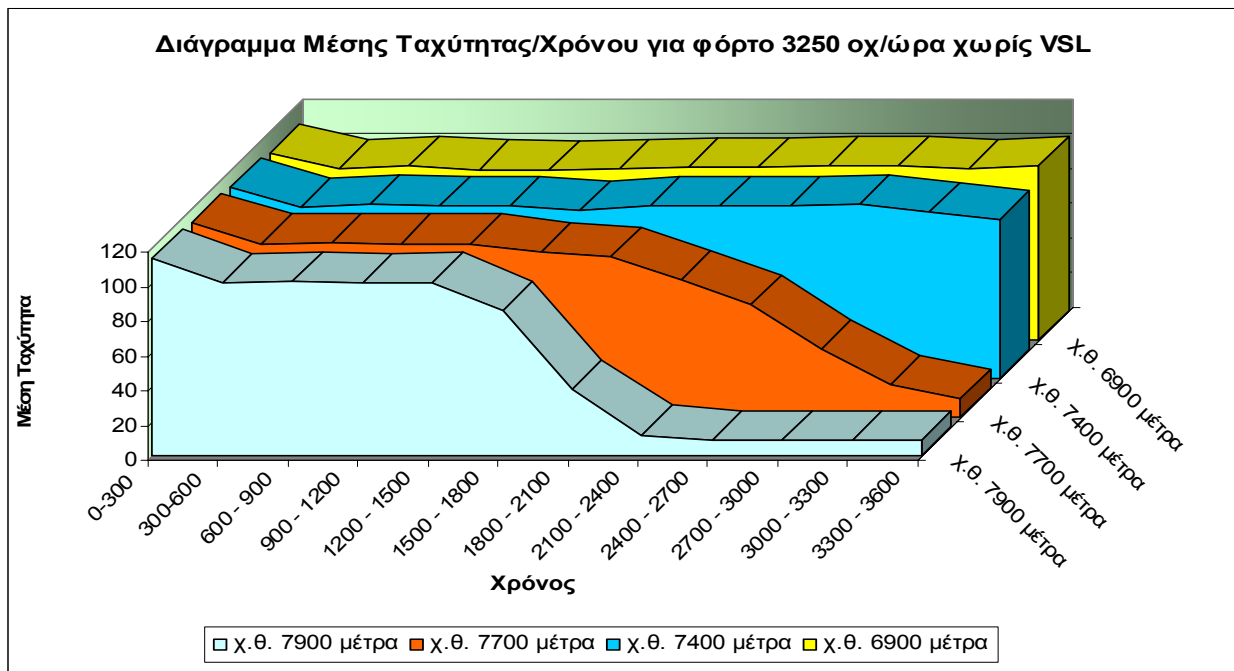
ΕΙΚΟΝΑ 4-4: ΠΑΡΟΥΣΙΑΣΗ ΤΩΝ ΧΡΟΝΙΚΑ ΜΕΤΑΒΑΛΛΟΜΕΝΩΝ ΟΡΙΩΝ ΤΑΧΥΤΗΤΑΣ

Η εισαγωγή των μεταβλητών ορίων στο μικρό επίπεδο φόρτου των 3250 οχημάτων είναι απόλυτα ουσιαστική, αφού κατόρθωσαν να εξαλείψουν πλήρως την ουρά αναμονής, χωρίς να επηρεάσουν αρνητικά των χρόνο ταξιδιού. Η εισαγωγή των VSL σε ένα τόσο χαμηλό επίπεδο φόρτου θα μπορούσε να έχει λειτουργήσει αναποτελεσματικά στον χρόνο ταξιδιού των οχημάτων, αφού το μήκος της ουράς που σχηματιζόταν δεν ήταν ιδιαίτερα μεγάλο ώστε να περιορίσουμε τις ταχύτητες των διερχομένων οχημάτων πριν τη στένωση. Τα αποτελέσματα παρουσιάζονται στον πίνακα 4-10.

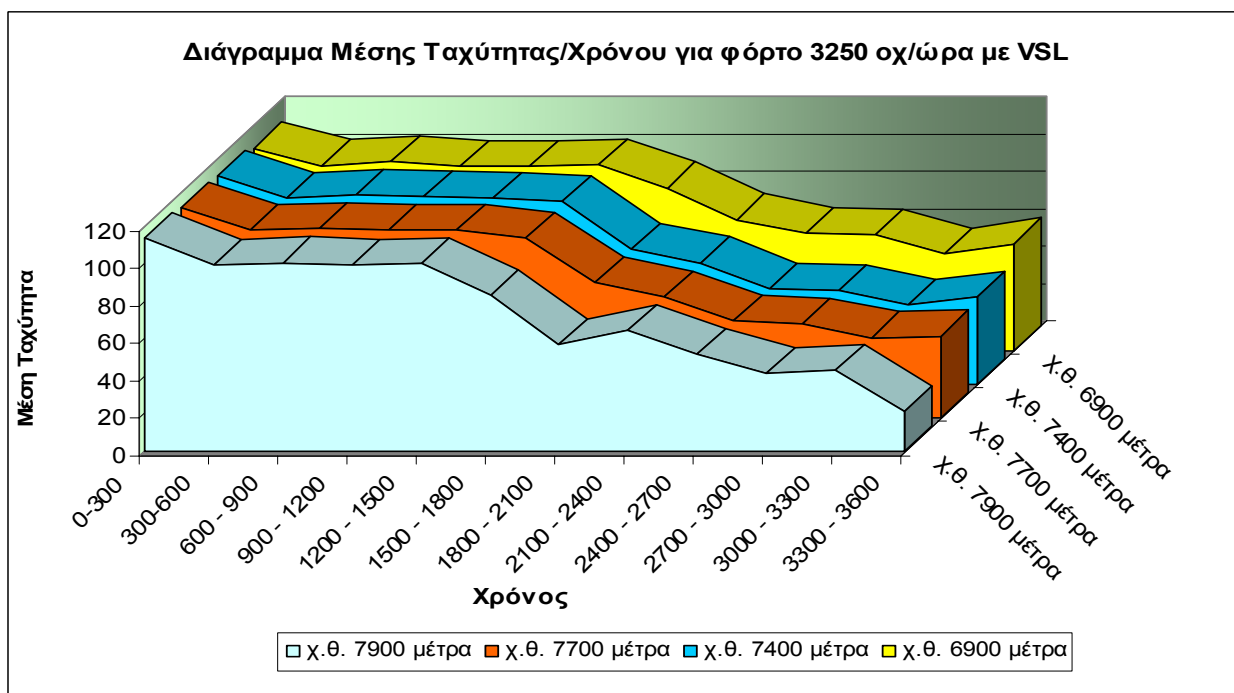
Αρχική τιμή Γεννήτριας	Χρόνος Ταξιδιού		Αριθμός Οχημάτων		Μέσο Μήκος Ουράς		Αριθμός stop-go	
	Χωρίς VSL	Με VSL	Χωρίς VSL	Με VSL	Χωρίς VSL	Με VSL	Χωρίς VSL	Με VSL
42	377.6	377.6	2892	2892	0	0	0	0
450	386.4	386.4	2879	2879	2	2	108	108
920	421.2	418.2	2793	2786	51	2	1254	97
1430	378.6	378.6	2872	2872	0	0	0	0
Μ.Ο.	391	390.2	2859	2857	13.25	1	340.5	51

ΠΙΝΑΚΑΣ 4-10: ΑΠΟΤΕΛΕΣΜΑΤΑ ΦΟΡΤΟΥ 3250 ΜΕ ΚΑΙ ΧΩΡΙΣ ΤΗ ΧΡΗΣΗ VSL

Τα διαγράμματα 4-15 και 4-16 παρουσιάζουν την εξέλιξη της μέσης ταχύτητας με και χωρίς μεταβλητά όρια για τις χιλιομετρικές θέσεις 6900, 7400, 7700 και 7900. Υπενθυμίζουμε ότι οι συγκεκριμένες χ.θ. είναι πριν τη στένωση σε απόσταση από 100 έως 1100 μέτρα. Αντιστοίχως ο ρόλος των διαγραμμάτων 4-17 και 4-18 είναι να παρουσιάσουν τις διαφορές στο ποσοστό κατάληψης (χρονικά) στις ίδιες χιλιομετρικές θέσεις.

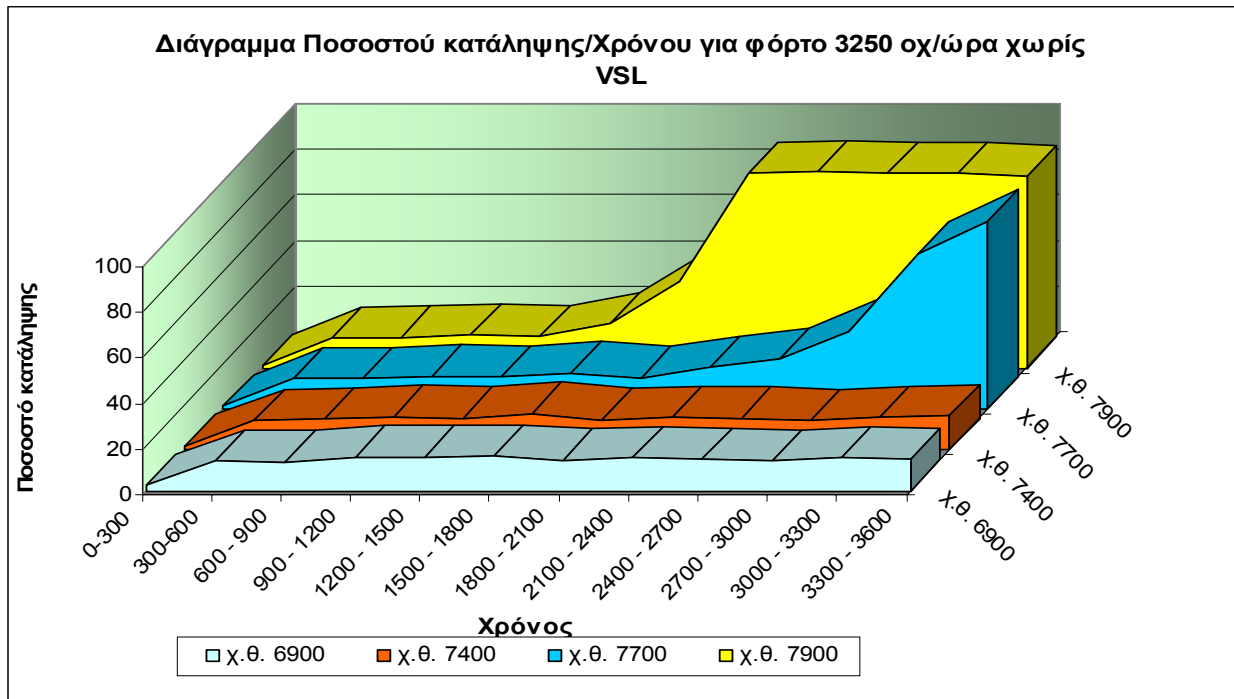


ΔΙΑΓΡΑΜΜΑ 4-15: ΔΙΑΓΡΑΜΜΑ ΜΕΣΗΣ ΤΑΧΥΤΗΤΑΣ/ΧΡΟΝΟΥ ΧΩΡΙΣ VSL

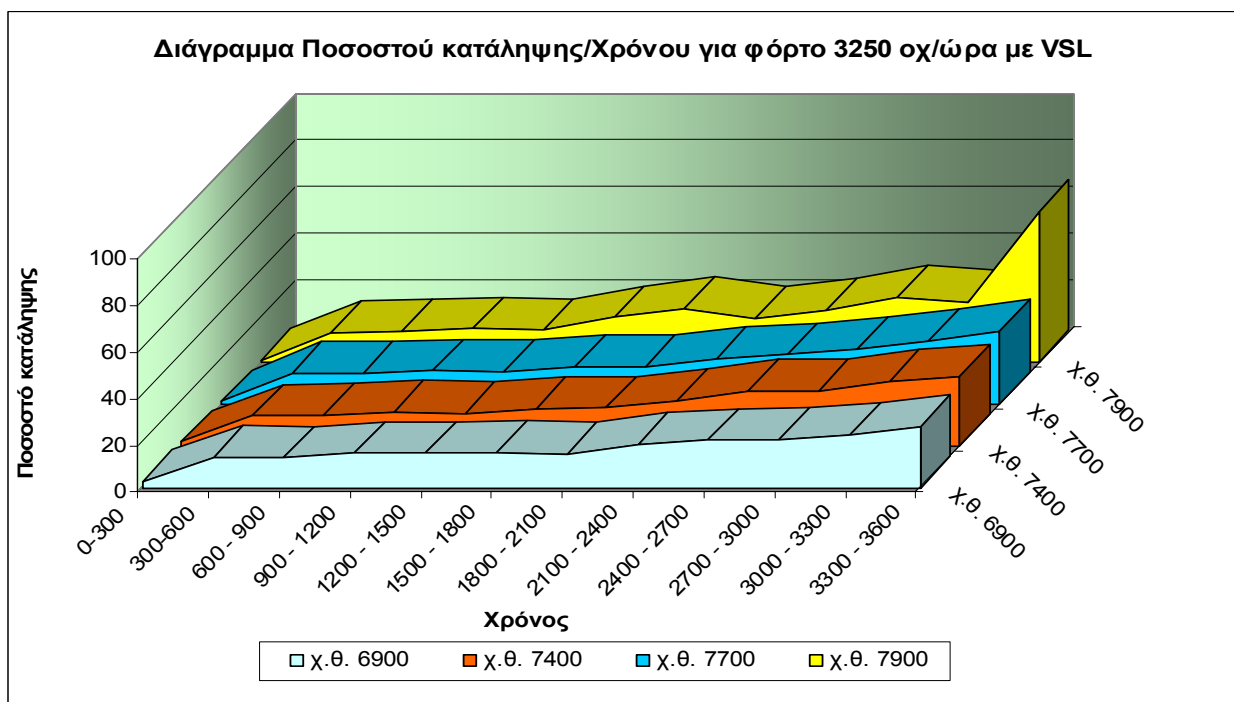


ΔΙΑΓΡΑΜΜΑ 4-16: ΔΙΑΓΡΑΜΜΑ ΜΕΣΗΣ ΤΑΧΥΤΗΤΑΣ/ΧΡΟΝΟΥ ΜΕ VSL

Από το διάγραμμα 4-15 βλέπουμε ότι η μέση ταχύτητα για τις χ.θ. 6900 και 7400, δεν επηρεάζεται από την ουρά που σχηματίζεται, γεγονός που συμβαίνει στις άλλες δύο θέσεις αρκετά κοντά στη στένωση. Αντίθετα η επιβολή των VSL (διάγραμμα 4-16) περιόρισε ομαλά τις ταχύτητες στο σύνολο τους κάτι που δεν συμβαίνει στη χ.θ. 7900 του διαγράμματος 4-15.



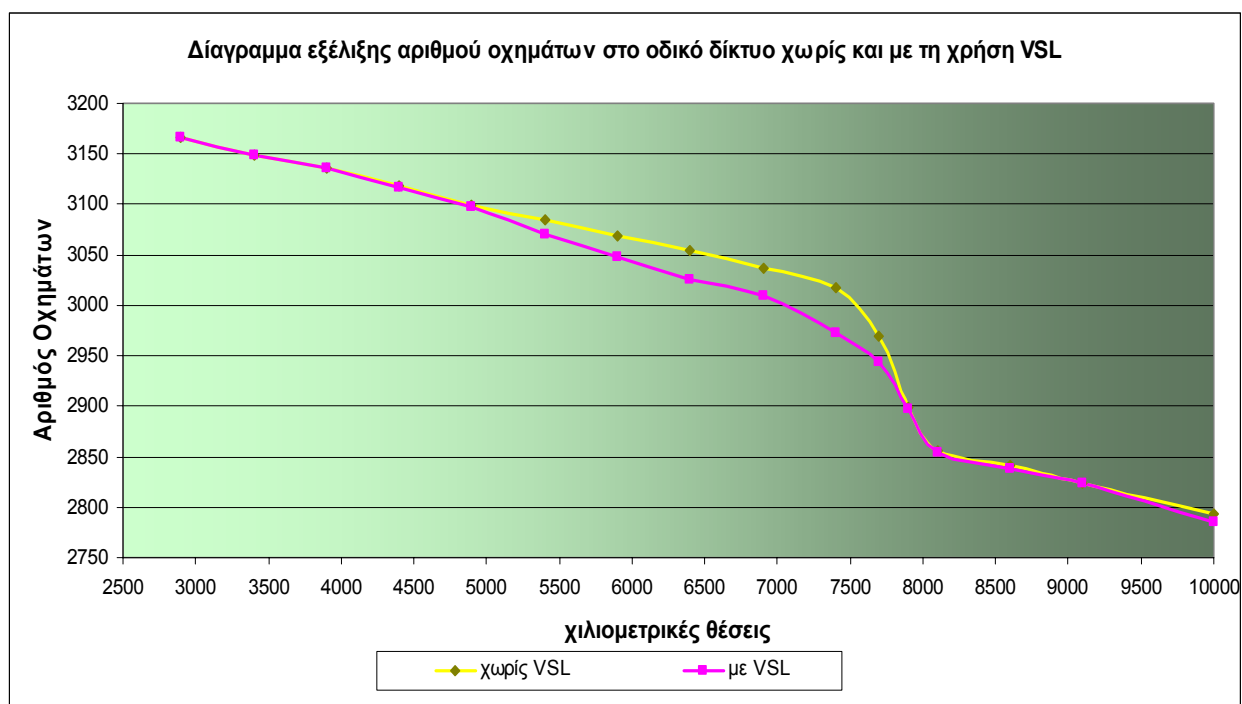
ΔΙΑΓΡΑΜΜΑ 4-17:ΔΙΑΓΡΑΜΜΑ ΠΟΣΟΣΤΟΥ ΚΑΤΑΛΗΨΗΣ/ΧΡΟΝΟΥ ΧΩΡΙΣ VSL



ΔΙΑΓΡΑΜΜΑ 4-18:ΔΙΑΓΡΑΜΜΑ ΠΟΣΟΣΤΟΥ ΚΑΤΑΛΗΨΗΣ/ΧΡΟΝΟΥ ΜΕ VSL

Οι διαφορές στο ποσοστό κατάληψης (χρονικά) που παρουσιάζουν τα διαγράμματα 4-17 και 4-18 είναι εμφανείς. Η μείωση της μέσης ταχύτητας οδήγησε σε εξάλειψη της μέσης ουράς αναμονής και κατ' επέκταση στο σημαντικότερο περιορισμό του ποσοστού κατάληψης ιδιαίτερα στη χ.θ. 7900, σημείο που έχουμε και τη μεγαλύτερη και σημαντικότερη διαφορά.

Πιθανώς η χρήση των μεταβλητών ορίων να επηρέασε αρνητικά, αν μπορούμε να το θέσουμε με αυτό τον τρόπο, μόνο τον αριθμό των οχημάτων που ολοκλήρωσαν την διαδρομή. Συγκεκριμένα είχαμε μείωση κατά δύο οχήματα στο μέσο όρο και κατά εφτά οχήματα στην περίπτωση που χρησιμοποιήσαμε τα VSL. Το διάγραμμα 4-19 παρουσιάζει την εξέλιξη των οχημάτων χρονικά που κινήθηκαν κατά μήκος του δικτύου, από τη χιλιομετρική θέση 2900 μέτρα μέχρι το τέλος του δικτύου στα 10000 μέτρα, χωρίς και με τη χρήση των μεταβλητών ορίων.



ΔΙΑΓΡΑΜΜΑ 4-19: ΔΙΑΓΡΑΜΜΑ ΕΞΕΛΙΞΗΣ ΑΡΙΘΜΟΥ ΟΧΗΜΑΤΩΝ

Παρατηρούμε ότι ο αριθμός των οχημάτων που κινήθηκαν και στις δύο περιπτώσεις ήταν περίπου ίδιος, έως τη χ.θ. 3900 που έχουμε το πρώτο μεταβλητό όριο. Στα μέσα του 4^{ου} χιλιομέτρου έχει προκύψει διαφορά στον συνολικό αριθμό των οχημάτων. Η διαφορά αυτή οφείλεται στο σύστημα διαχείρισης που περιορίζει τις ταχύτητες οχήματα ώστε να φθάσουν ομαλά

στη στένωση. Η εξάλειψη της ουράς χάρη στη χρήση των VSL και ο σχηματισμός μιας μικρής μέσης ουράς στη πρώτη περίπτωση οδήγησε σε μία εκ νέου ταύτιση στα 8 χιλιόμετρα, στη θέση όπου έχουμε και τη στένωση.

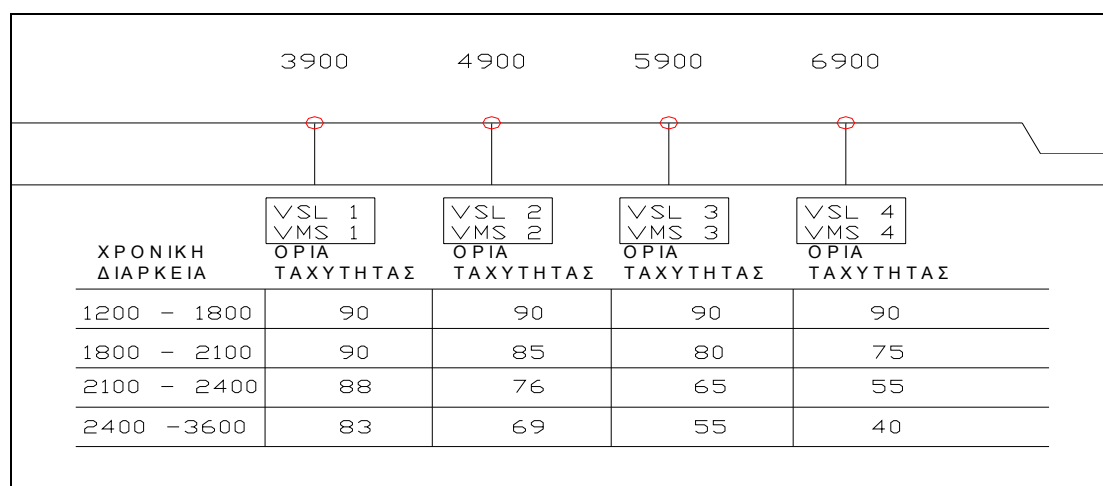
4.4.2.β Φόρτος 3500 οχ/ώρα

Η χρησιμοποίηση των μεταβλητών ορίων είχε θετική επίδραση στην συνολική εικόνα του δικτύου. Συγκεκριμένα τα αποτελέσματα από τη χρήση των VSL παρουσιάζονται ακολούθως στον πίνακα 4-11.

Αρχική τιμή Γεννήτριας	Χρόνος Ταξιδιού		Αριθμός Οχημάτων		Μέσο Μήκος Ουράς		Αριθμός stop-go	
	Χωρίς VSL	Με VSL	Χωρίς VSL	Με VSL	Χωρίς VSL	Με VSL	Χωρίς VSL	Με VSL
42	380.5	380.5	3099	3099	0	0	0	0
450	476.3	476.7	2824	2823	177	82	5248	2185
920	382	382	3140	3140	0	0	0	0
1430	381.9	381.9	3093	3093	0	0	0	0
Μ.Ο.	405.2	405.2	3039	3039	44	20.5	1312	546

ΠΙΝΑΚΑΣ 4-11: ΑΠΟΤΕΛΕΣΜΑΤΑ ΦΟΡΤΟΥ 3500 ΜΕ ΚΑΙ ΧΩΡΙΣ ΤΗ ΧΡΗΣΗ VSL

Τα χρονικά μεταβαλλόμενα όρια που χρησιμοποιήσαμε παρουσιάζονται στην εικόνα 4-5.

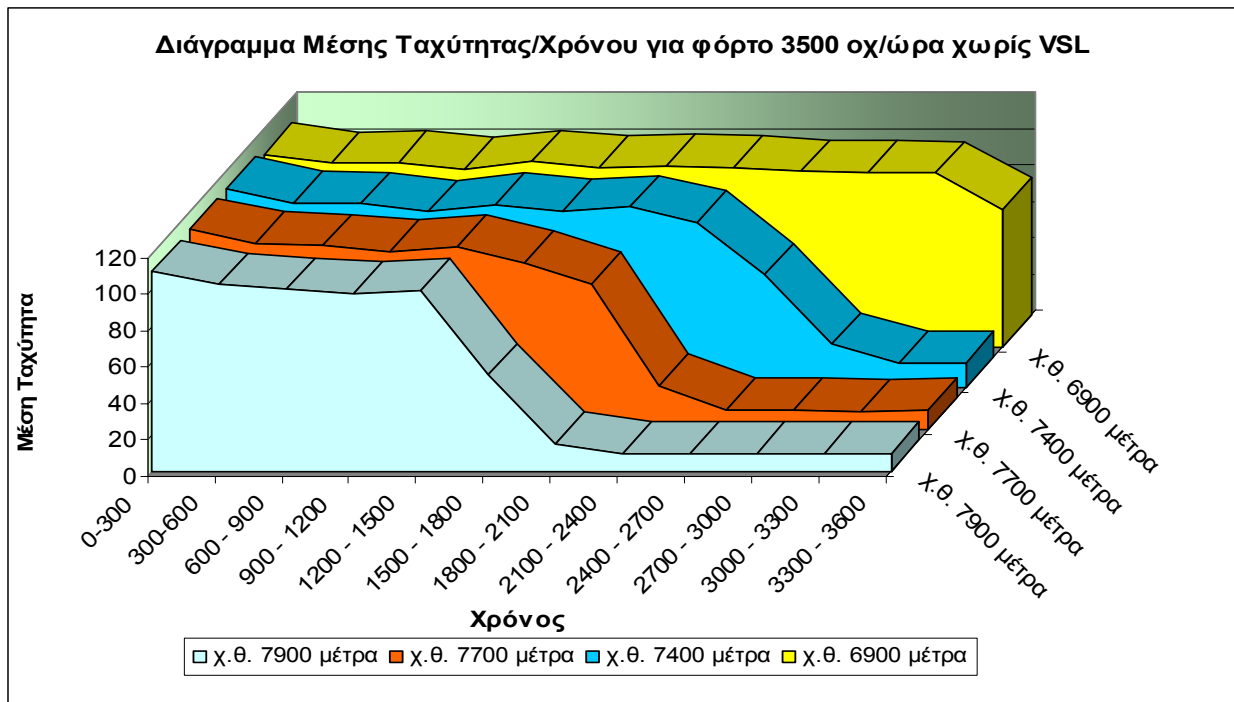


ΕΙΚΟΝΑ 4-5 ΠΑΡΟΥΣΙΑΣΗ ΤΩΝ ΧΡΟΝΙΚΑ ΜΕΤΑΒΑΛΛΟΜΕΝΩΝ ΟΡΙΩΝ ΤΑΧΥΤΗΤΑΣ

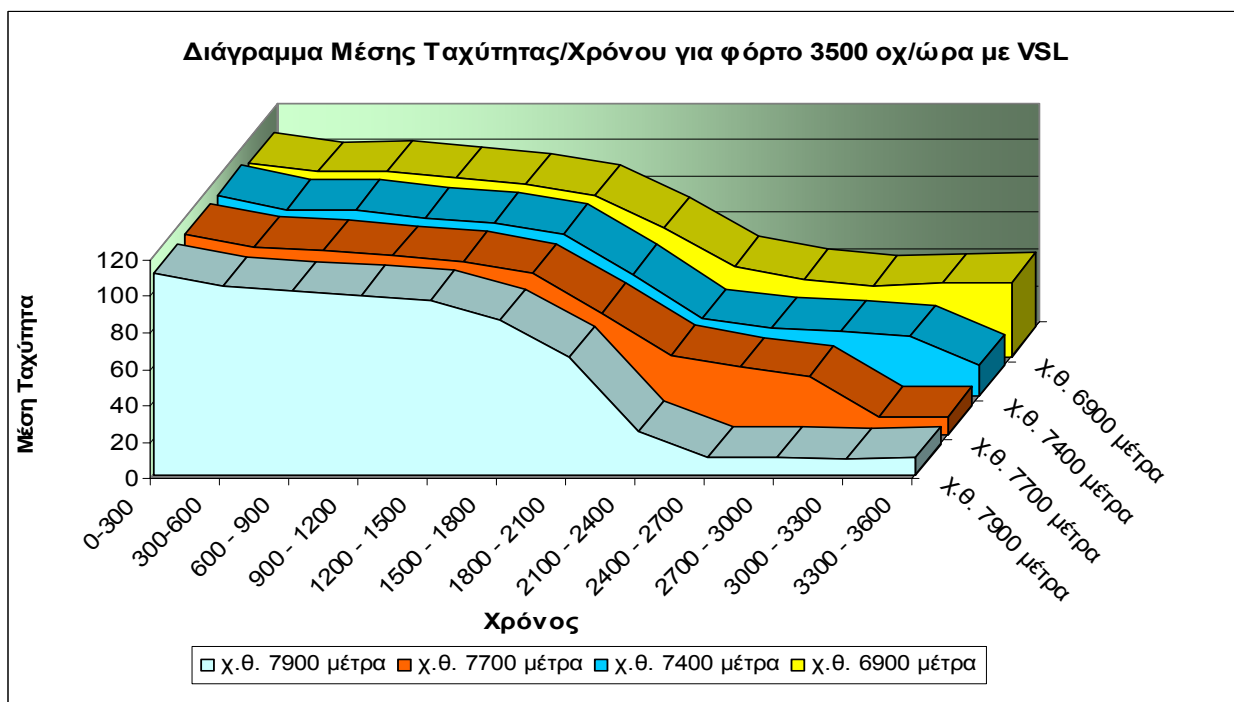
Η έναρξη του συστήματος πραγματοποιήθηκε μετά τα πρώτα 20 λεπτά της προσομοίωσης. Αρχικά οι οδηγοί έπρεπε να ακολουθήσουν από τη χ.θ. 3900 έως τη στένωση ταχύτητα 90 χιλ/ώρα. Μετά από 300 δευτερόλεπτα τα όρια της ταχύτητας διαφοροποιήθηκαν εκ νέου όπου είχαμε περιορισμό της ταχύτητας σταδιακά έως τα οχήματα να εισαχθούν στη στένωση. Το χαμηλότερο όριο που επιβλήθηκε ήταν 40 χιλ/ώρα.

Από τα αποτελέσματα του πίνακα 4-11 μπορούμε να παρατηρήσουμε ότι παρουσιάστηκε σαφέστατη μείωση στο συνολικό μέσο μήκος της ουράς της τάξης του 53.4% και περιορισμό του μέσου αριθμού των εκκινήσεων-στάσεων ανέρχεται στο 58.4%. Ο μέσος χρόνος ταξιδιού και ο αριθμός των οχημάτων δεν παρουσίασαν καμία μεταβολή. Από τα παρακάτω διαγράμματα μπορούμε να εξάγουμε συμπεράσματα από το δίκτυο με φόρτο 3500 οχ/ώρα με και χωρίς τη χρήση VSL.

Στο διάγραμμα 4-20 βλέπουμε ότι η πτώση της ταχύτητας γίνεται απότομα ιδιαίτερα στη χιλιομετρική θέση κοντά στη στένωση. Αντίστοιχα με τη βοήθεια των VSL, διάγραμμα 4-21, οι ταχύτητες παρουσιάζουν μια ομαλότερη πτώση, γεγονός που βοηθάει στην αύξηση της ασφαλείας. Οι οδηγοί στην πρώτη περίπτωση αναγκάζονται να μειώσουν απότομα και ίσως βίαια την ταχύτητα τους, ενώ στη δεύτερη η μείωση γίνεται σταδιακά.

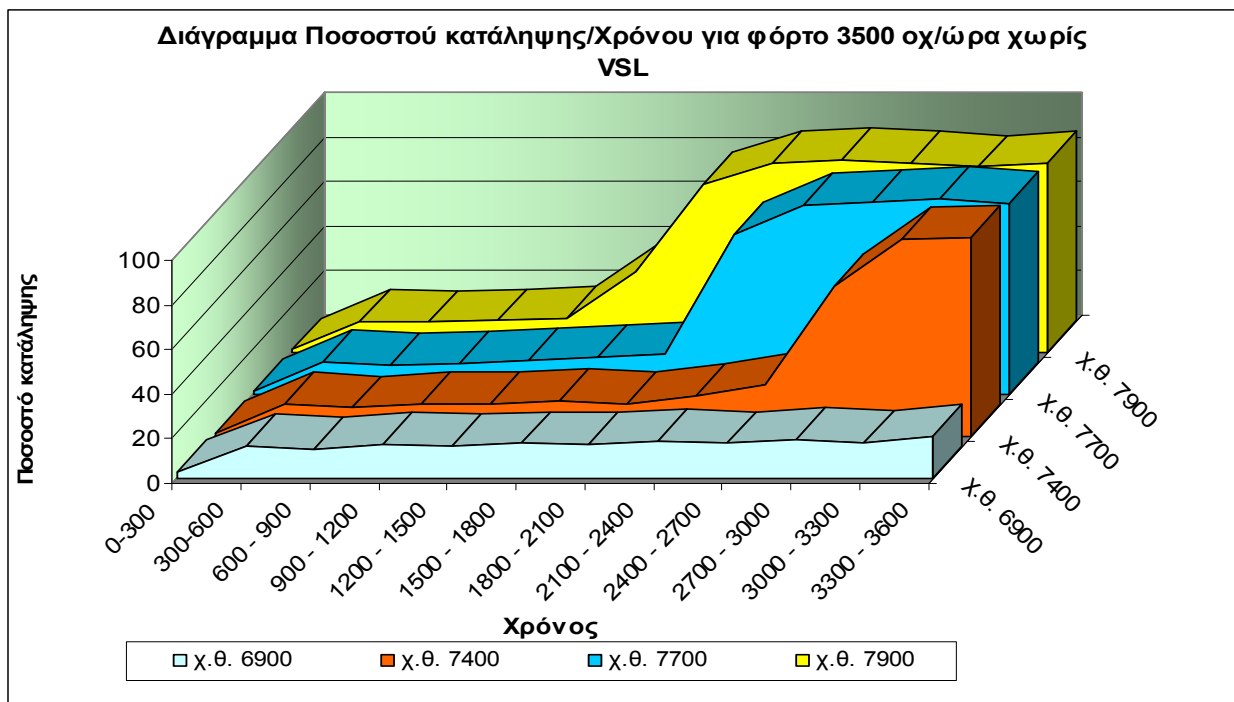


ΔΙΑΓΡΑΜΜΑ 4-20:ΔΙΑΓΡΑΜΜΑ ΜΕΣΗΣ ΤΑΧΥΤΗΤΑΣ/ΧΡΟΝΟΥ ΧΩΡΙΣ VSL

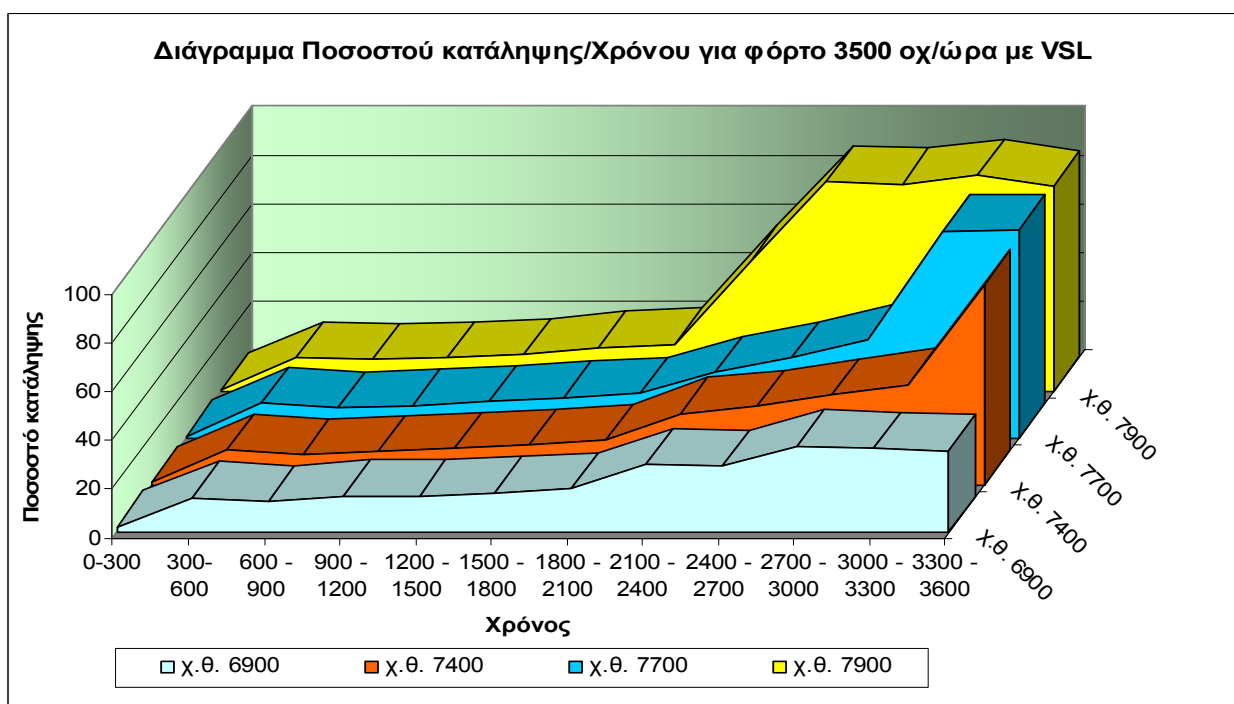


ΔΙΑΓΡΑΜΜΑ 4-21:ΔΙΑΓΡΑΜΜΑ ΜΕΣΗΣ ΤΑΧΥΤΗΤΑΣ/ΧΡΟΝΟΥ ΜΕ VSL

Αντίστοιχα από τα διαγράμματα 4-22, 4-23 παρατηρούμε ότι η χρήση των μεταβλητών ορίων οδήγησε σε μείωση της μέσης ουράς και κατ' επέκταση σε μείωση του ποσοστού κατάληψης.



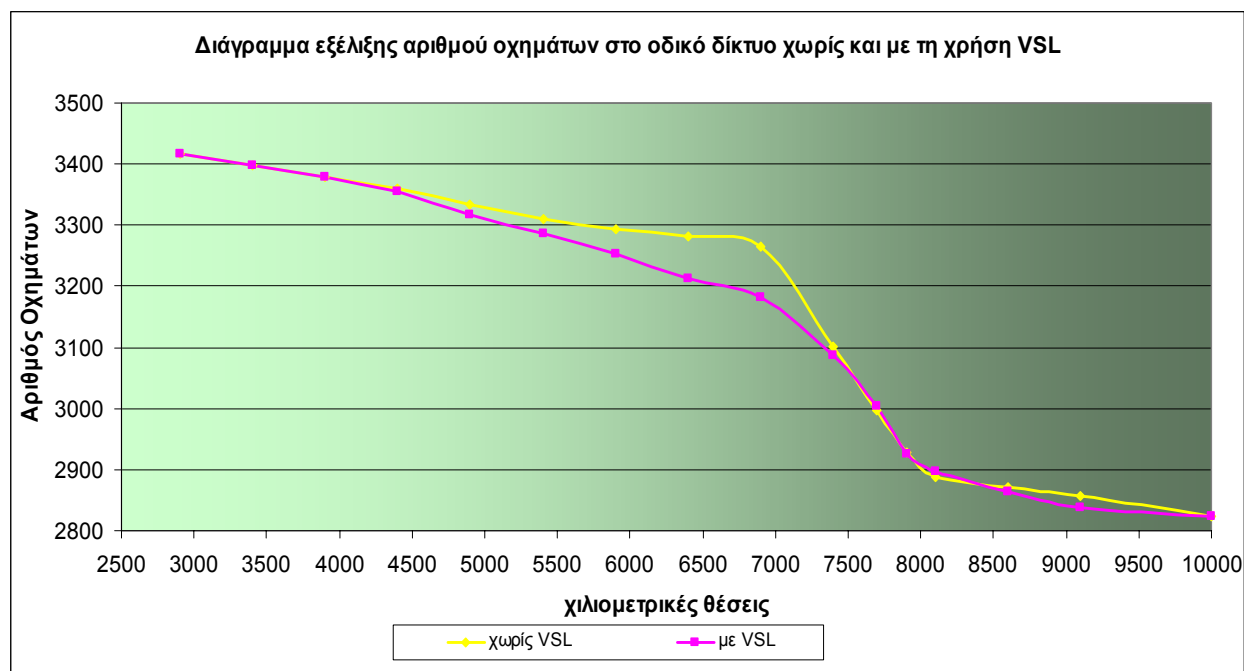
ΔΙΑΓΡΑΜΜΑ 4-22: ΔΙΑΓΡΑΜΜΑ ΠΟΣΟΣΤΟΥ ΚΑΤΑΛΗΨΗΣ/ΧΡΟΝΟΥ ΧΩΡΙΣ VSL



ΔΙΑΓΡΑΜΜΑ 4-23: ΔΙΑΓΡΑΜΜΑ ΠΟΣΟΣΤΟΥ ΚΑΤΑΛΗΨΗΣ/ΧΡΟΝΟΥ ΜΕ VSL

Ο μέσος αριθμός των οχημάτων που ολοκλήρωσαν τη διαδρομή των δέκα χιλιομέτρων παρέμεινε ίδιος, αφού δεν μεταβλήθηκε στη μοναδική περίπτωση της αρχικής τομής της γεννήτριας 450 που χρειάστηκε να λειτουργήσουν τα VSL συστήματα. Το διάγραμμα 4-24 παρουσιάζει τις

διαφορές που παρουσιάστηκαν στις διάφορες χιλιομετρικές θέσεις. Η διακύμανση παρουσιάζει ομοιότητες με τη περίπτωση του φόρτου 3250 οχ/ώρα.



ΔΙΑΓΡΑΜΜΑ 4-24: ΔΙΑΓΡΑΜΜΑ ΕΞΕΛΙΞΗΣ ΑΡΙΘΜΟΥ ΟΧΗΜΑΤΩΝ

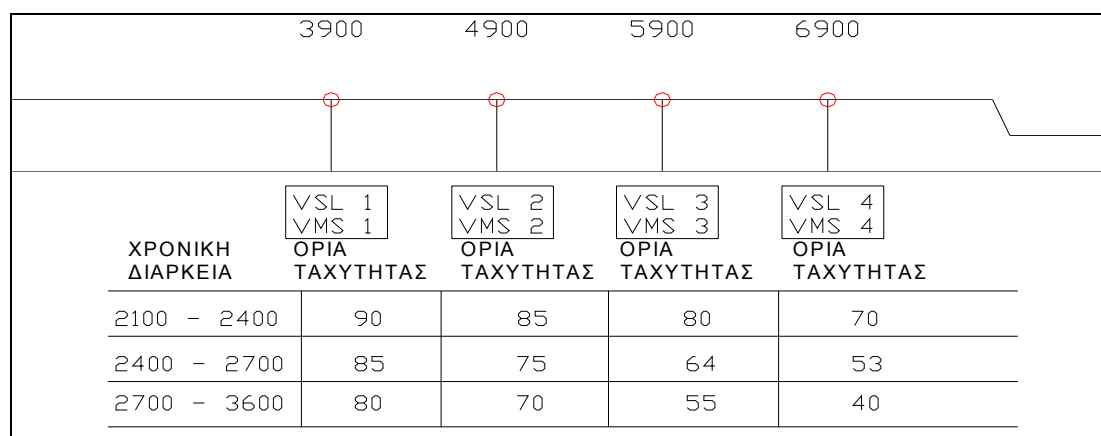
4.4.2.γ Φόρτος 3750 οχ/ώρα

Αντίστοιχα με τις παραπάνω περιπτώσεις φόρτου, έτσι και σε αυτή η εισαγωγή των συστημάτων διαχείρισης της κυκλοφορίας με τη χρήση μεταβλητών ορίων ταχύτητας είχε ιδιαίτερα σημαντική επίδραση.

Αρχική τιμή Γεννήτριας	Χρόνος Ταξιδιού		Αριθμός Οχημάτων		Μέσο Μήκος Ουράς		Αριθμός stop-go	
	Χωρίς VSL	Με VSL	Χωρίς VSL	Με VSL	Χωρίς VSL	Με VSL	Χωρίς VSL	Με VSL
42	385.3	385.3	3338	3338	0	0	0	0
450	445.1	442.0	3043	3052	131	52	3935	1618
920	594.2	598.7	2812	2764	288	249	8755	6895
1430	412.5	412.4	3086	3111	68	8	1997	232
M.O.	459.3	459.6	3070	3066	122	77.25	3672	2186

ΠΙΝΑΚΑΣ 4-12: ΑΠΟΤΕΛΕΣΜΑΤΑ ΦΟΡΤΟΥ 3750 ΜΕ ΚΑΙ ΧΩΡΙΣ ΤΗ ΧΡΗΣΗ VSL

Τα όρια ταχύτητας που υπολογιστήκανε και χρησιμοποιηθήκανε για την περίπτωση της προσομοίωσης για την αρχική τιμή της γεννήτριας 450 παρουσιάζονται στην εικόνα 4-6



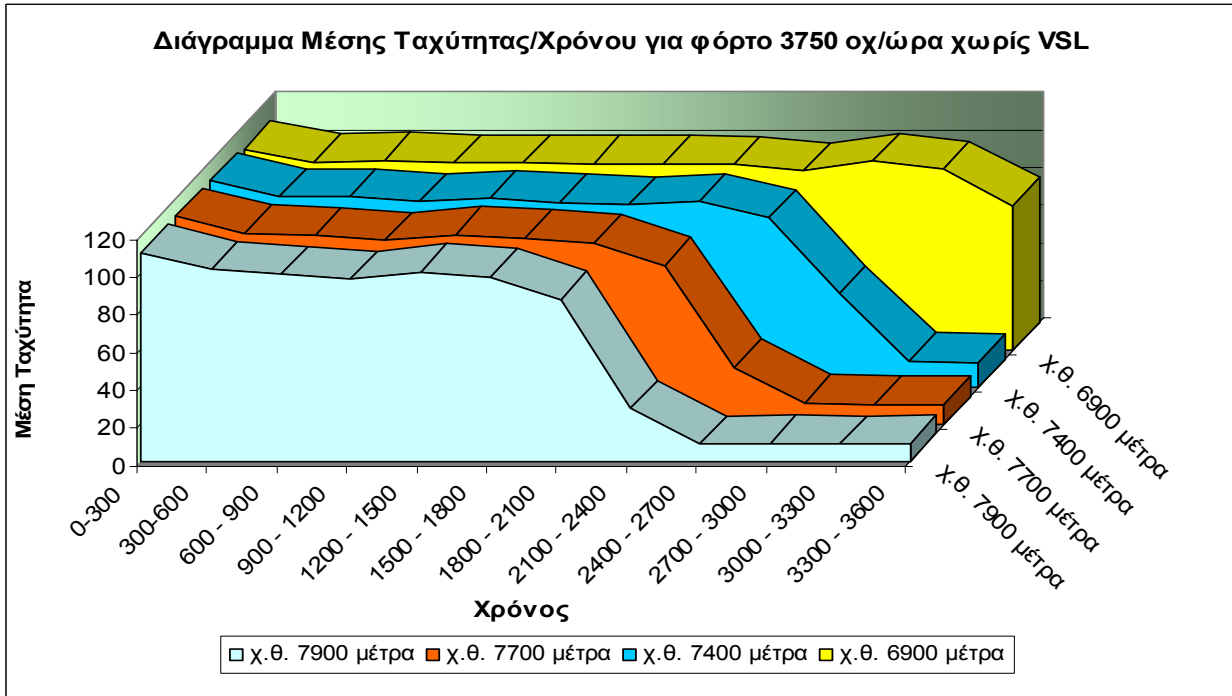
ΕΙΚΟΝΑ 4-6 ΠΑΡΟΥΣΙΑΣΗ ΤΩΝ ΧΡΟΝΙΚΑ ΜΕΤΑΒΑΛΛΟΜΕΝΩΝ ΟΡΙΩΝ ΤΑΧΥΤΗΤΑΣ

Συγκρίνοντας τα αποτελέσματα από τη χρήση των VSL (πίνακας 4-12) με τα αντίστοιχα του ίδιου επιπέδου φόρτου χωρίς τη χρήση μεταβλητών ορίων παρατηρούμε μείωση του μέσου όρου της ουράς αναμονής της τάξης του 36.6% και 40.5% του μέσου όρου του αριθμού των οχημάτων που σταματάνε και εκκινούν συνεχώς πριν της στένωσης, λόγω της συμφόρησης. Παρά το περιορισμό των ορίων χρονικά πριν τη στιγμή εκκίνησης της συμφόρησης και δημιουργίας της ουράς αναμονής ο μέσος όρος του χρόνου ταξιδιού, έμεινε αμετάβλητος. Ταυτόχρονα ο μέσος όρος του αριθμού των οχημάτων που ολοκληρώνουν τη διαδρομή μειώθηκε κατά τέσσερα οχήματα.

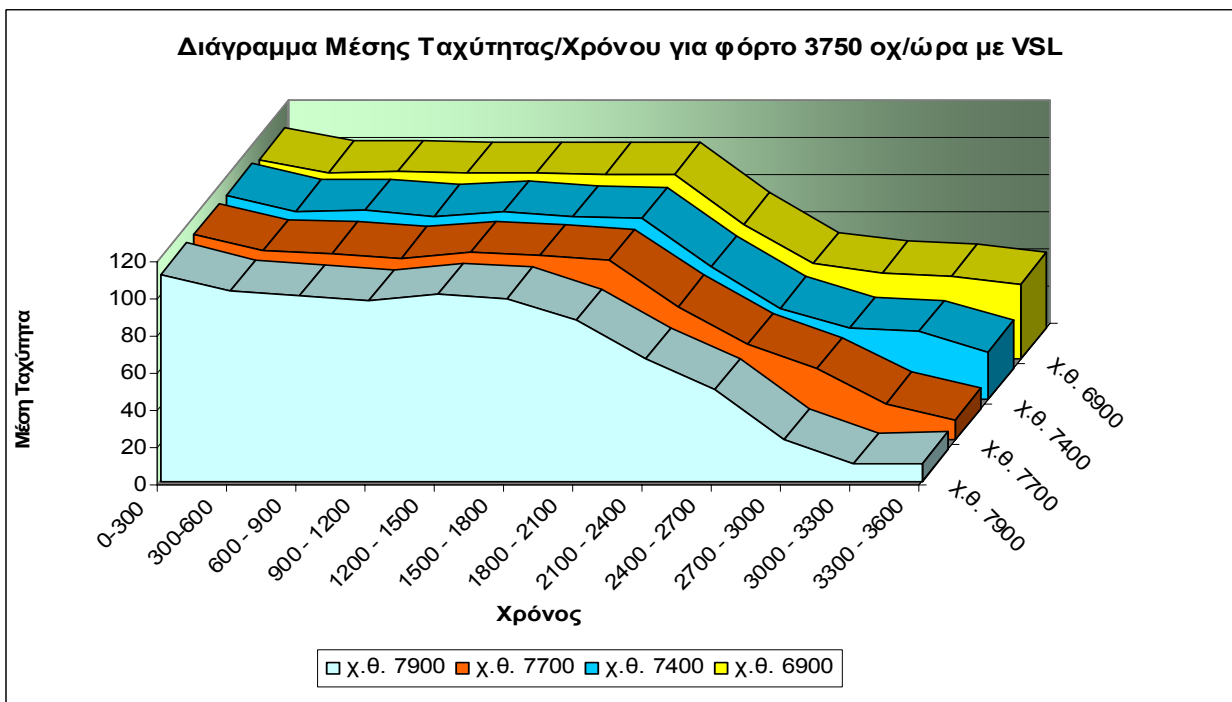
Ακολούθως παρουσιάζονται τα διαγράμματα 4-25, 4-26 της μέσης ταχύτητας. Τα διαγράμματα 4-27 και 4-28 χρησιμοποιούνται για να συγκρίνουμε το ποσοστό κατάληψης σε σχέση με το χρόνο στις χ.θ. 6900, 7400, 7700 και 7900 πριν τη στένωση.

Η μέση ταχύτητα με τη βοήθεια των VSL περιορίζεται σταδιακά, βοηθώντας τους οδηγούς να περιορίσουν την ταχύτητα των οχημάτων ομαλά. Η μεταβολή αυτή οδηγεί σε ασφαλέστερη οδήγηση και ο σαφέστατος περιορισμός των συνεχών εκκινήσεων-στάσεων σε μικρότερη σωματική και ψυχολογική καταπόνηση του οδηγού. Στο διάγραμμα 4-33 γίνεται η σύγκριση του αριθμού των οχημάτων. Πάρα το γεγονός ότι ο αριθμός των οχημάτων κατά τη διάρκεια χρήσης των VSL περιορίστηκε αρχικά, πριν τη στένωση τα

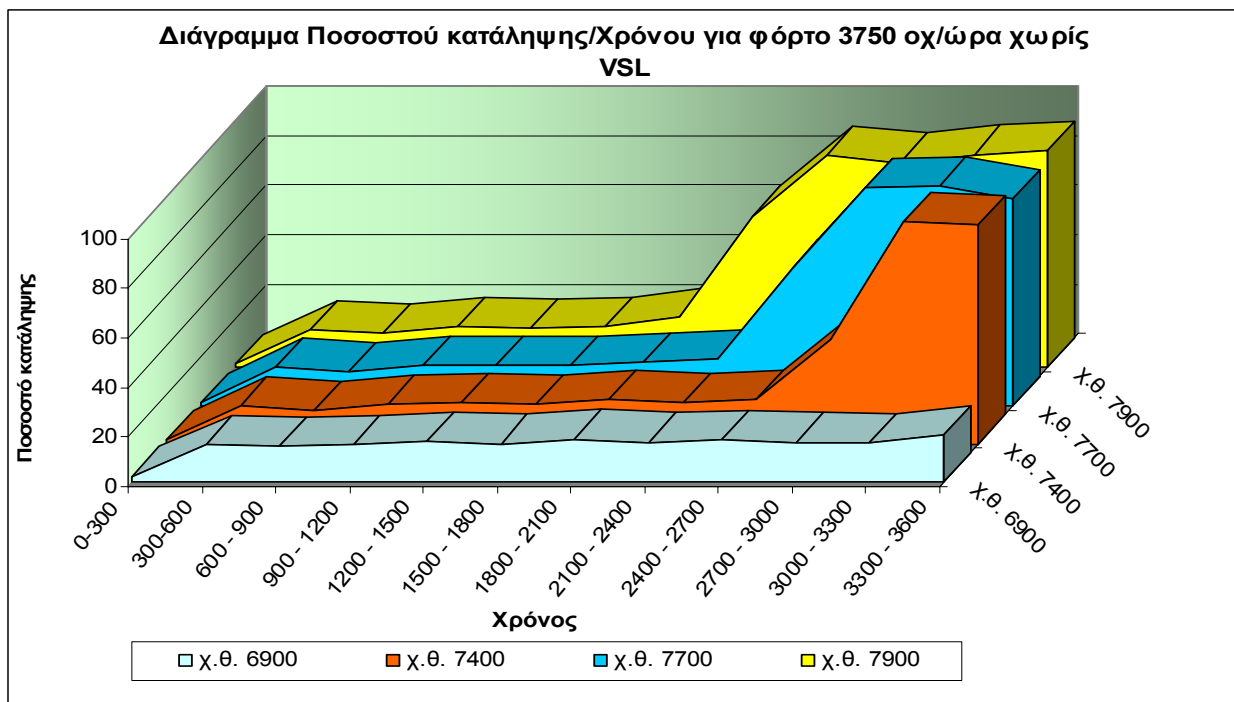
δεδομένα αλλάξανε, λόγω του σημαντικού περιορισμού της ουράς αναμονής. Ο αριθμός των οχημάτων αυξήθηκε με τη διαφορά να αυξάνεται έως το τέλος της διαδρομής.



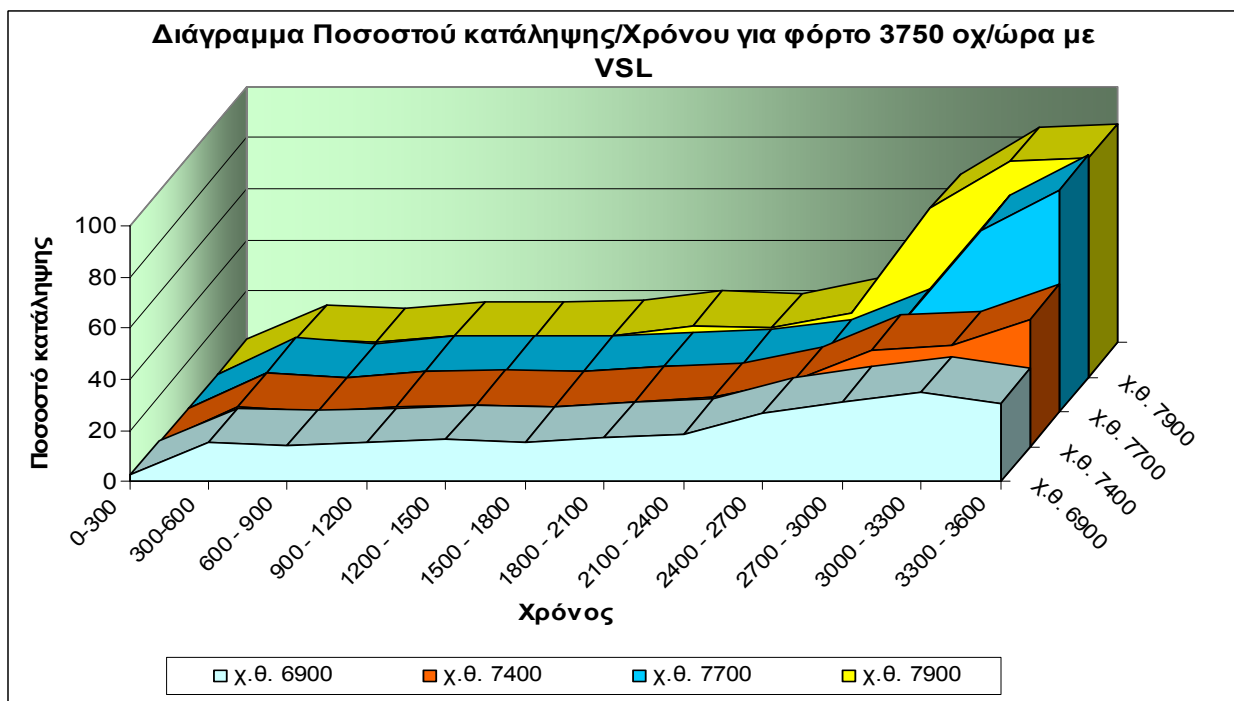
ΔΙΑΓΡΑΜΜΑ 4-25: ΔΙΑΓΡΑΜΜΑ ΜΕΣΗΣ ΤΑΧΥΤΗΤΑΣ/ΧΡΟΝΟΥ ΧΩΡΙΣ VSL



ΔΙΑΓΡΑΜΜΑ 4-26: : ΔΙΑΓΡΑΜΜΑ ΜΕΣΗΣ ΤΑΧΥΤΗΤΑΣ/ΧΡΟΝΟΥ ΜΕ VSL



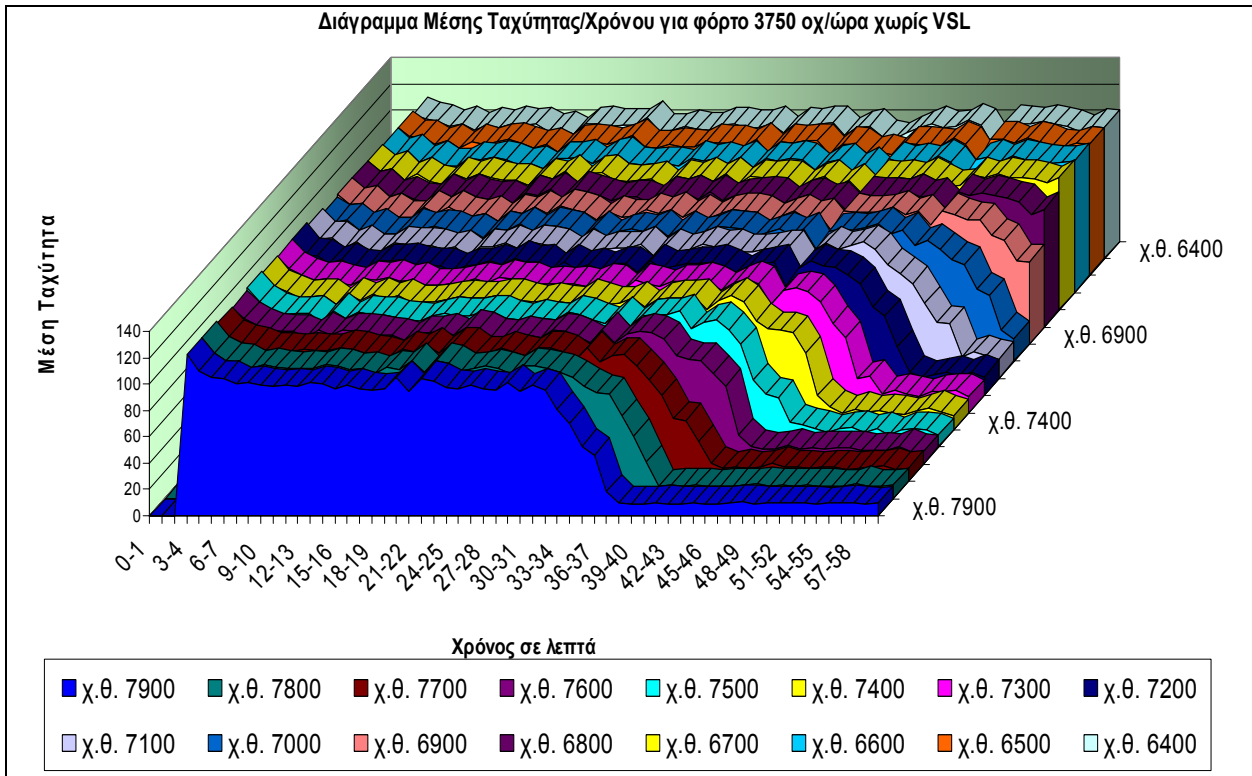
ΔΙΑΓΡΑΜΜΑ 4-27: ΔΙΑΓΡΑΜΜΑ ΠΟΣΟΣΤΟΥ ΚΑΤΑΛΗΨΗΣ/ΧΡΟΝΟΥ ΧΩΡΙΣ VSL



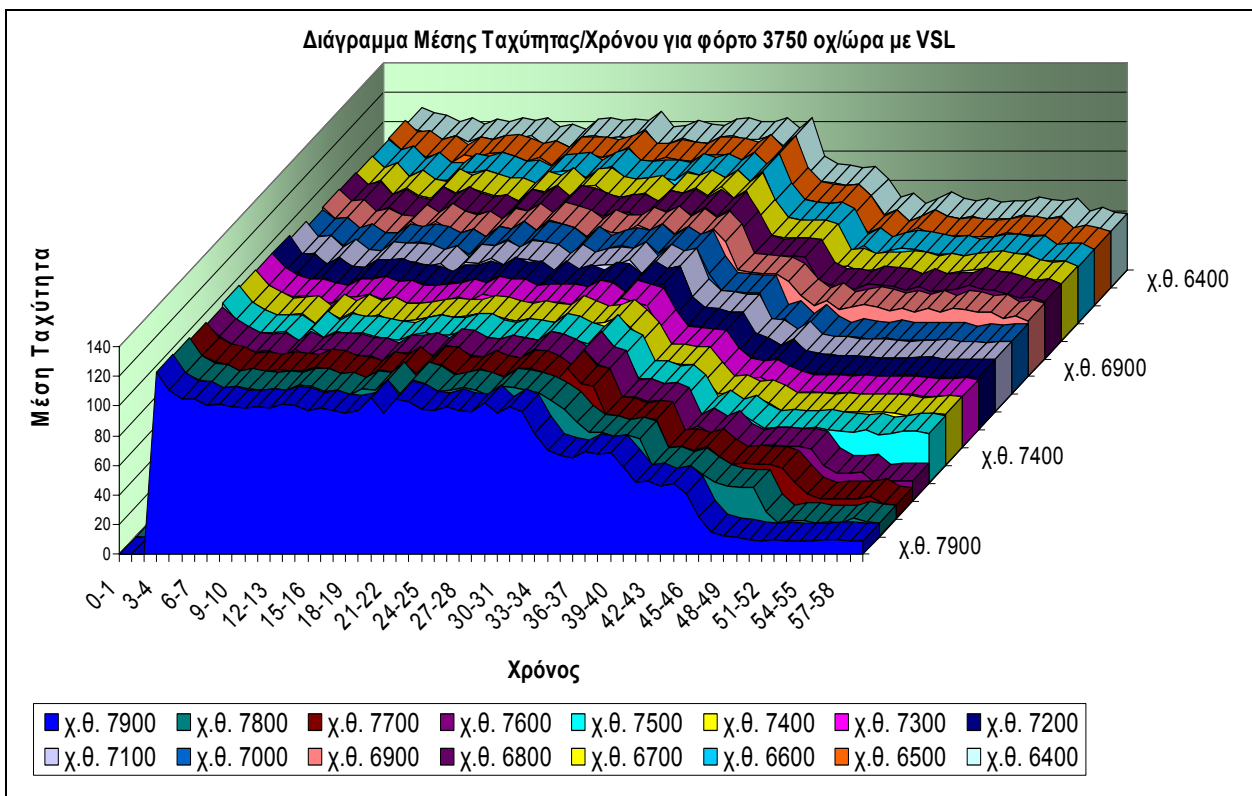
ΔΙΑΓΡΑΜΜΑ 4-28: ΔΙΑΓΡΑΜΜΑ ΠΟΣΟΣΤΟΥ ΚΑΤΑΛΗΨΗΣ/ΧΡΟΝΟΥ ΜΕ VSL

Για πιο λεπτομερή ανάλυση των αποτελεσμάτων μπορούμε να παρατηρήσουμε τα διαγράμματα 4-29 έως 4-32, όπου χρησιμοποιούν τα αποτελέσματα των προσομοιώσεων κάνοντας χρήση αισθητήρων από τη χ.θ. 6400 έως τη χ.θ. 7900. Τα διαγράμματα πηγάζουν από τα αποτελέσματα για

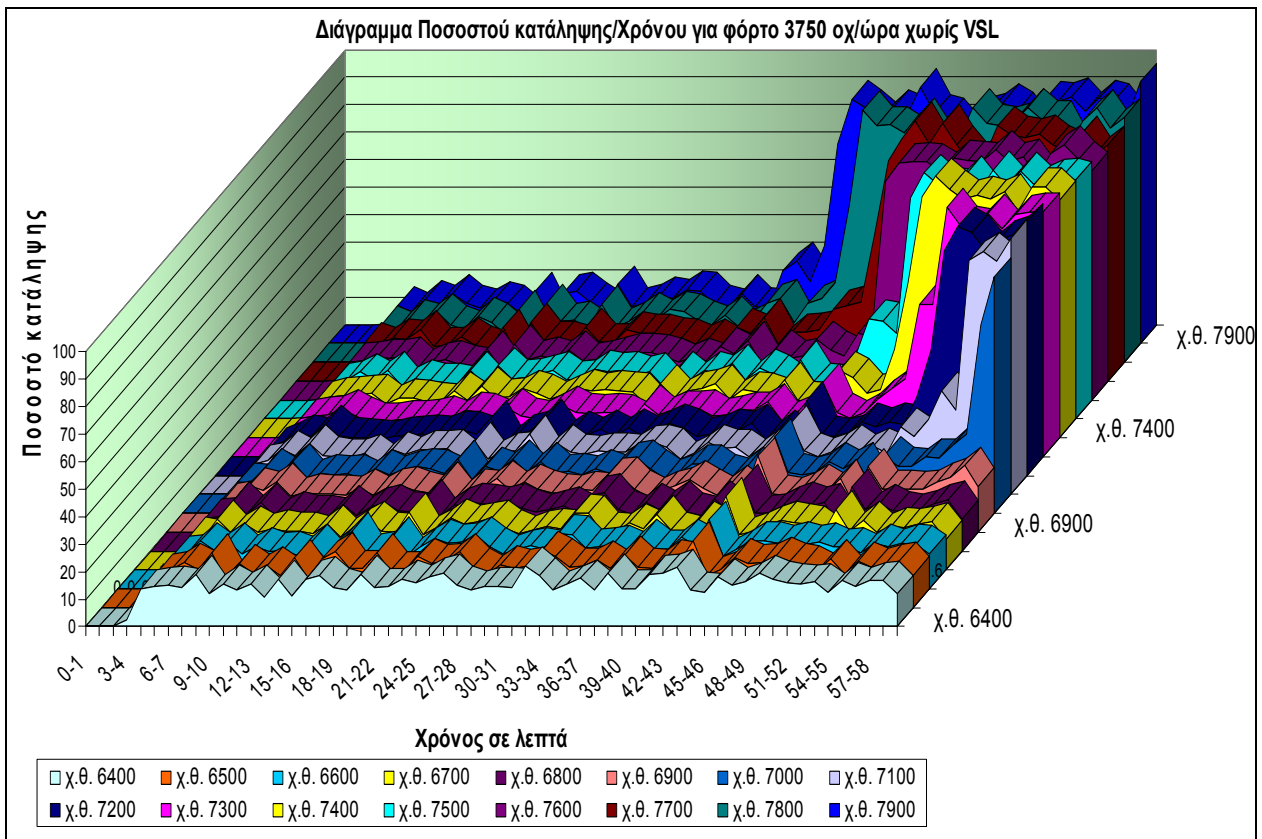
την αρχική τιμή της γεννήτριας 450, όπου οδηγηθήκαμε σε εξάλειψη της ουράς αναμονής.



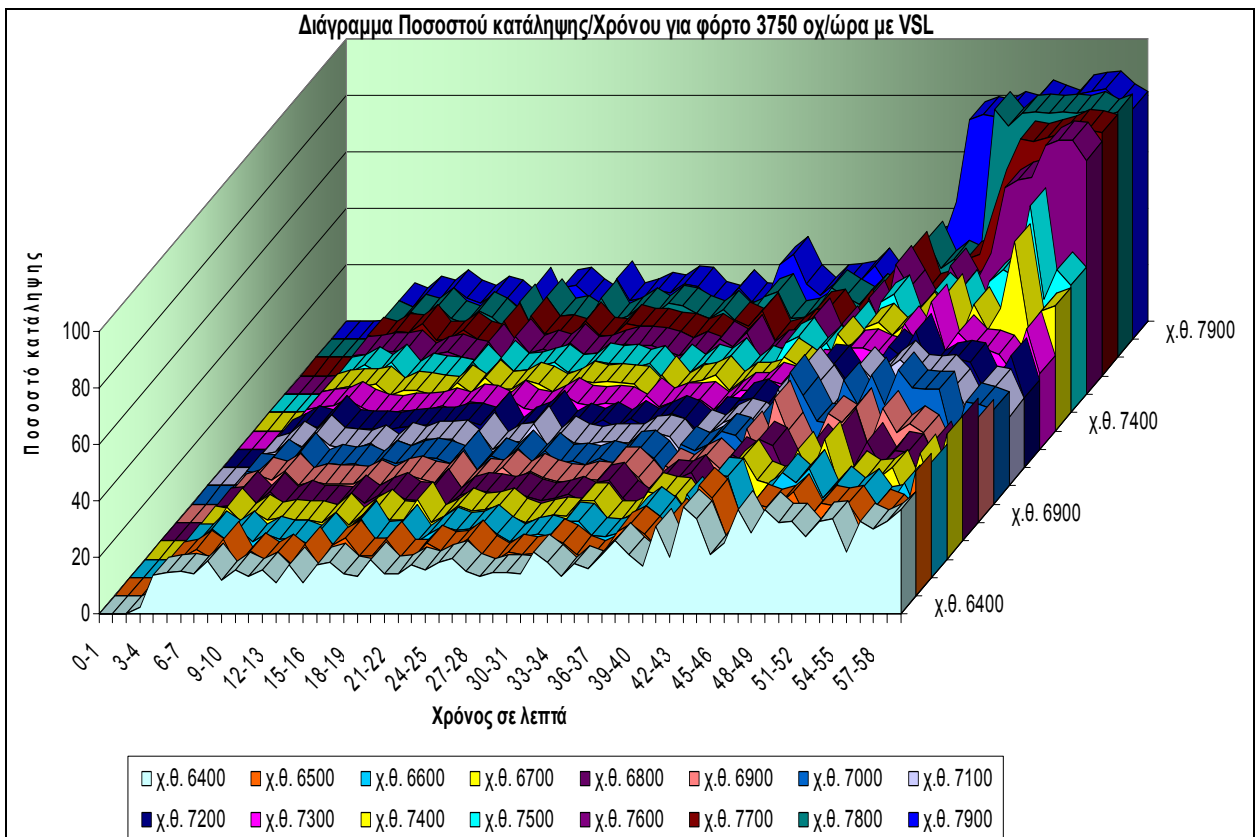
ΔΙΑΓΡΑΜΜΑ 4-29: ΔΙΑΓΡΑΜΜΑ ΜΕΣΗΣ ΤΑΧΥΤΗΤΑΣ/ΧΡΟΝΟΥ ΧΩΡΙΣ VSL



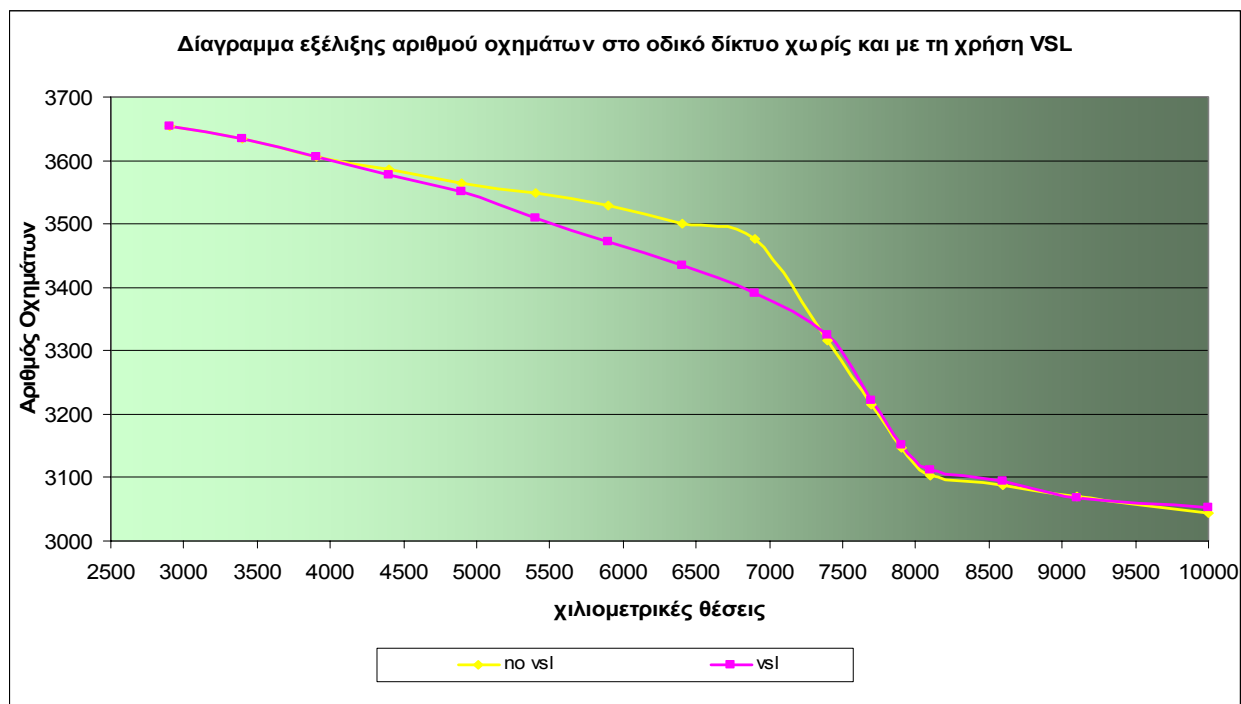
ΔΙΑΓΡΑΜΜΑ 4-30: ΔΙΑΓΡΑΜΜΑ ΜΕΣΗΣ ΤΑΧΥΤΗΤΑΣ/ΧΡΟΝΟΥ ΧΩΡΙΣ VSL



ΔΙΑΓΡΑΜΜΑ 4-31: ΔΙΑΓΡΑΜΜΑ ΠΟΣΟΣΤΟΥ ΚΑΤΑΛΗΨΗΣ/ΧΡΟΝΟΥ ΧΩΡΙΣ VSL



ΔΙΑΓΡΑΜΜΑ 4-32: ΔΙΑΓΡΑΜΜΑ ΠΟΣΟΣΤΟΥ ΚΑΤΑΛΗΨΗΣ/ΧΡΟΝΟΥ ΜΕ VSL



ΔΙΑΓΡΑΜΜΑ 4-33: ΑΠΟΤΕΛΕΣΜΑΤΑ ΦΟΡΤΟΥ 3750 ΜΕ ΚΑΙ ΧΩΡΙΣ ΤΗ ΧΡΗΣΗ VSL

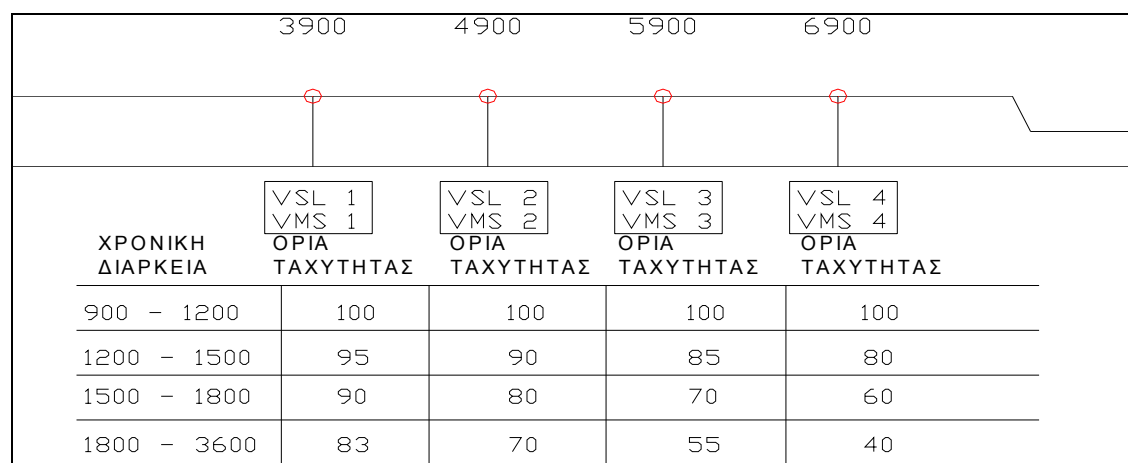
4.4.4.δ Φόρτος 3950 οχ/ώρα

Η αύξηση του φόρτου, όπως ήταν λογικό, επέφερε και σημαντική αύξηση στα μεγέθη των αποτελεσμάτων που ερευνάμε. Τα αποτελέσματα χρήσης των VSL παρατίθενται στο πίνακα 4-13

Αρχική τιμή Γεννήτριας	Χρόνος Ταξιδιού		Αριθμός Οχημάτων		Μέσο Μήκος Ουράς		Αριθμός stop-go	
	Χωρίς VSL	Χωρίς VSL	Χωρίς VSL	Χωρίς VSL	Χωρίς VSL	Χωρίς VSL	Χωρίς VSL	Χωρίς VSL
42	486.3	488.7	3083	3087	193	100	5876	2961
450	537.4	532.7	2959	2976	232	147	6928	4337
920	706.5	704.4	2753	2755	353	268	10286	8099
1430	562.5	539.4	2909	2959	262	153	7872	4496
Μ.Ο.	573.2	566.3	2926	2944	260	167	7740	4973

ΠΙΝΑΚΑΣ 4-13: ΑΠΟΤΕΛΕΣΜΑΤΑ ΦΟΡΤΟΥ 3950 ΜΕ ΚΑΙ ΧΩΡΙΣ ΤΗ ΧΡΗΣΗ VSL

Τα όρια ταχύτητας που χρησιμοποιηθήκανε για την προσομοίωση που πραγματοποιήθηκε για την αρχική τιμή της γεννήτριας 1430 παρατίθενται στην εικόνα 4-7.

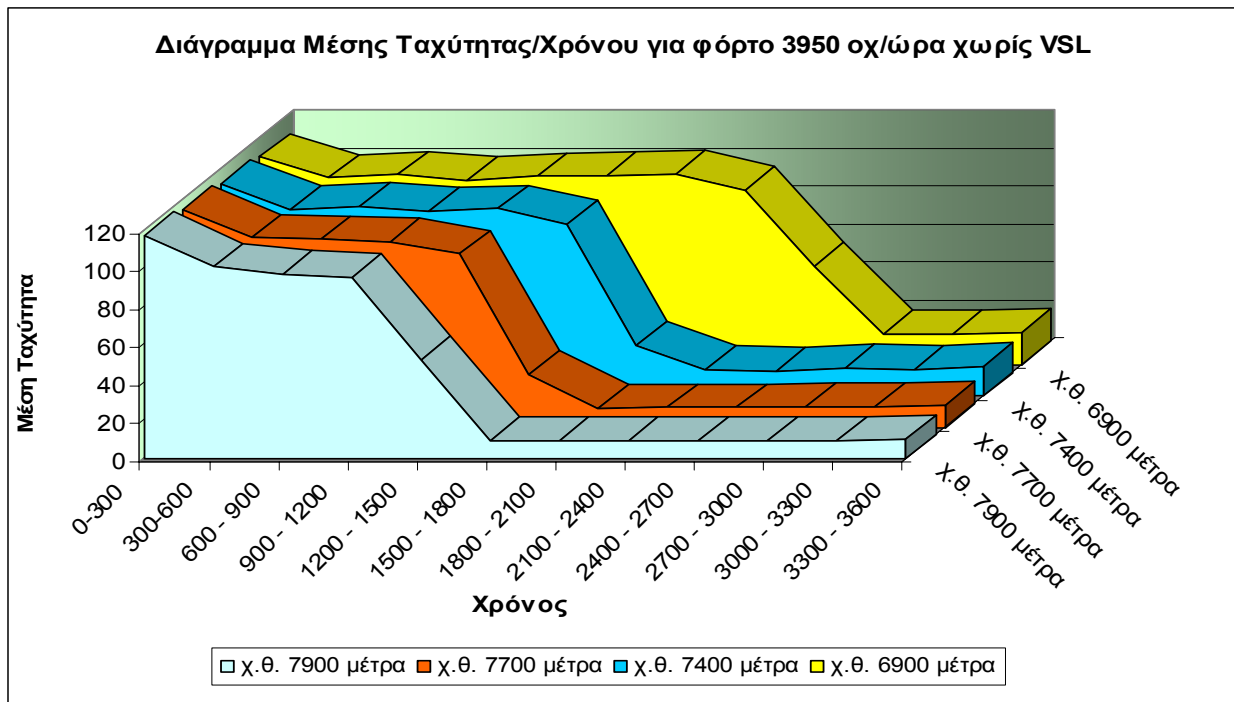


ΕΙΚΟΝΑ 4-7: ΠΑΡΟΥΣΙΑΣΗ ΤΩΝ ΧΡΟΝΙΚΑ ΜΕΤΑΒΑΛΛΟΜΕΝΩΝ ΟΡΙΩΝ ΤΑΧΥΤΗΤΑΣ

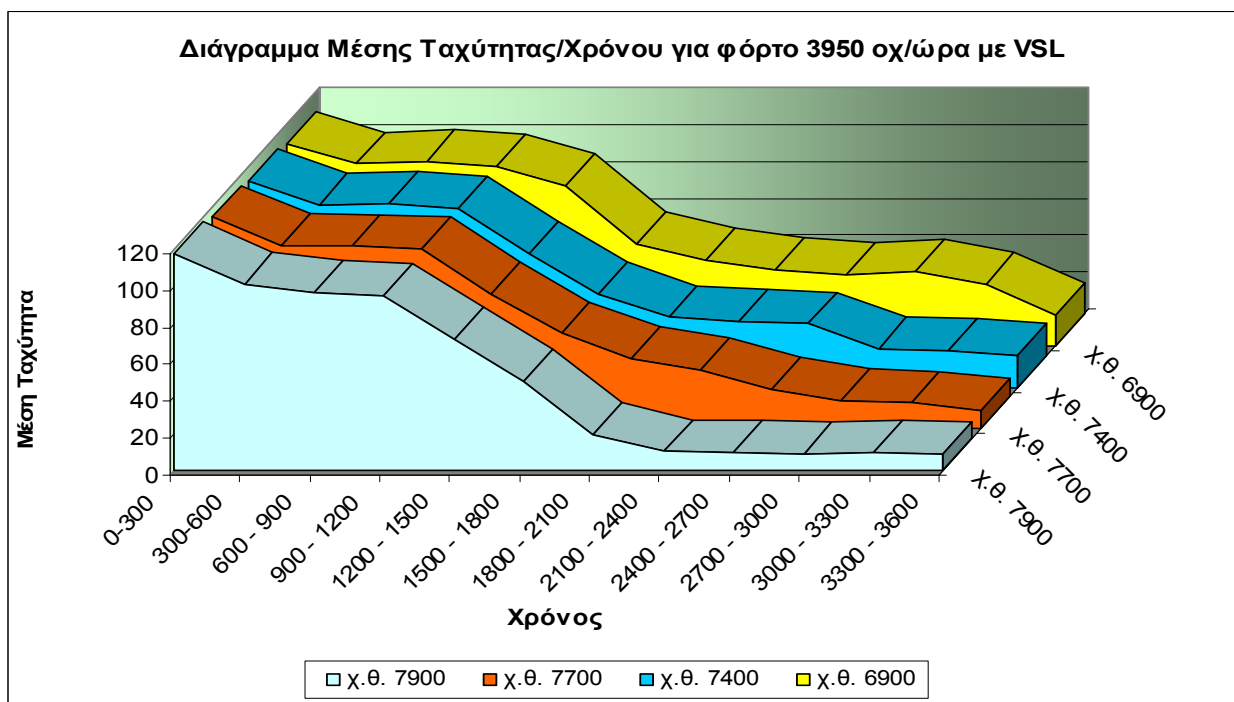
Η σύγκριση των αποτελεσμάτων των περιπτώσεων χρήσης και μη των VSL για τον επίπεδο φόρτου παρουσίασε μείωση της τάξης του 35.7% τόσο στο μέσο όρο της ουράς αναμονής, όσο και στον αριθμό των οχημάτων που σταματάνε και εκκινούν (stop – go) συνεχώς πριν τη στένωση. Ταυτόχρονα μειώθηκε ο χρόνος ταξιδιού και αυξήθηκαν κατά 18 τα οχήματα που ολοκλήρωσαν τη διαδρομή. Τα διαγράμματα που ακολουθούν πηγάζουν από τα αποτελέσματα της προσομοίωσης για την αρχική τιμή της γεννήτριας 1430.

Η λειτουργία των συστημάτων VSL στη περίπτωση αυτή είναι σημαντικότερη. Έχουν συμβάλει στην σταδιακή και ομαλή μείωση της ταχύτητας (διάγραμμα 4-35) σε σχέση με την περίπτωση που δεν έχουμε μεταβλητά όρια. Η πτώση της ταχύτητας όπως φαίνεται από το διάγραμμα 4-45 είναι τεράστια και απότομη. Γεγονός που κάνει την οδήγηση σε ορισμένες περιπτώσεις ιδιαίτερα επικίνδυνη.

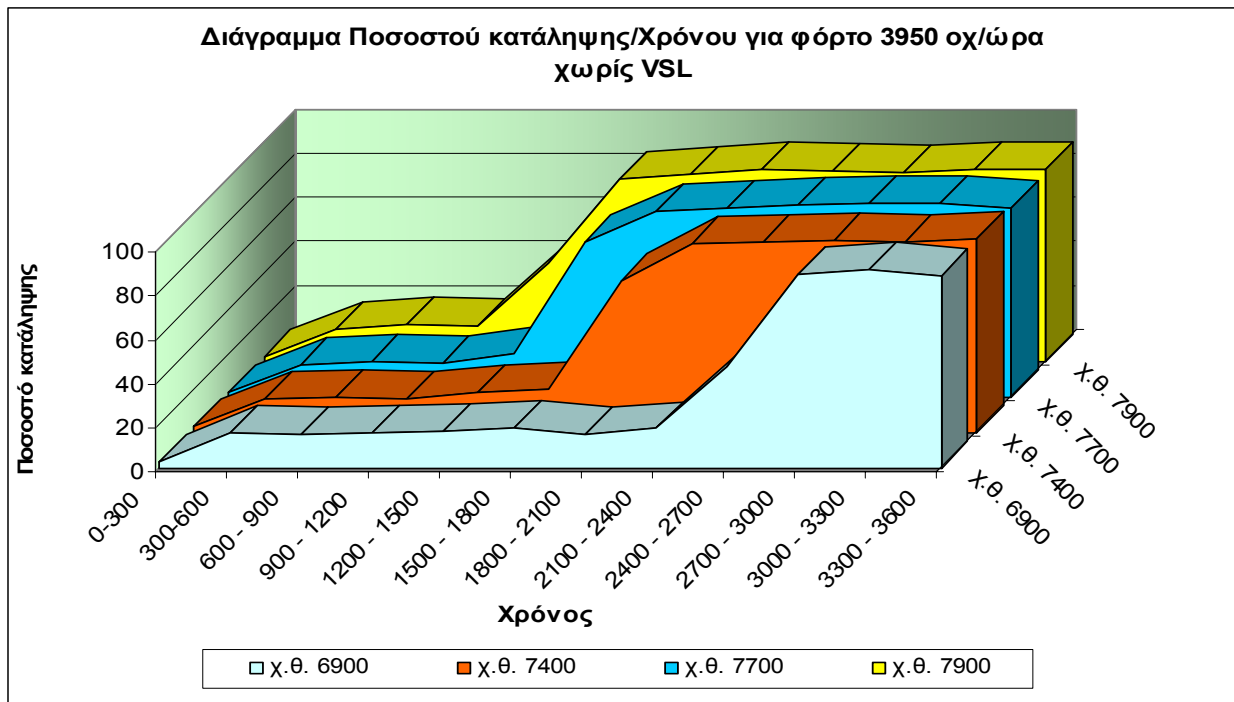
Αντίστοιχα τα ποσοστά κατάληψης (διαγράμματα 4-36 και 4-37) βελτιωθήκανε αισθητά, ενώ η χιλιομετρική θέση 6900 δείχνει να επηρεάζεται ελάχιστα από την ουρά αναμονής παρουσιάζοντας υψηλό ποσοστό μετά τα 3300 δευτερόλεπτα. Γεγονός που αναδεικνύει τον περιορισμό της μέσης ουράς αναμονής.



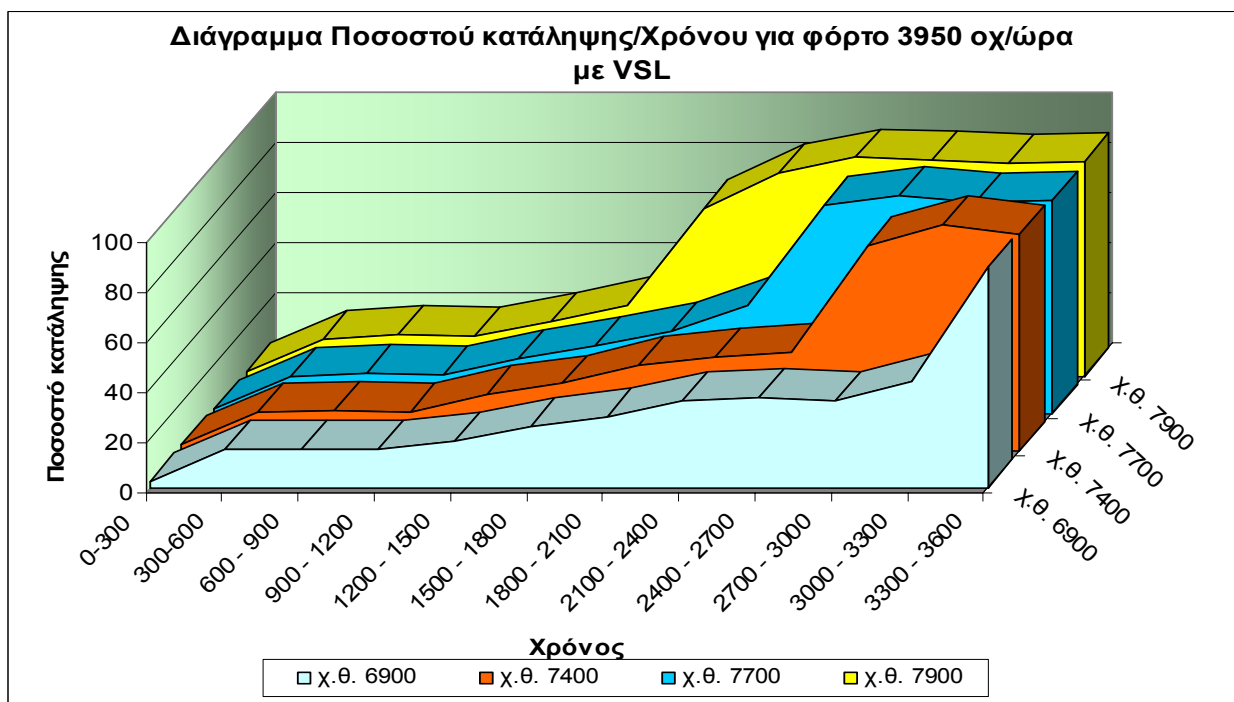
ΔΙΑΓΡΑΜΜΑ 4-34:ΔΙΑΓΡΑΜΜΑ ΜΕΣΗΣ ΤΑΧΥΤΗΤΑΣ/ΧΡΟΝΟΥ ΧΩΡΙΣ VSL



ΔΙΑΓΡΑΜΜΑ 4-35:ΔΙΑΓΡΑΜΜΑ ΜΕΣΗΣ ΤΑΧΥΤΗΤΑΣ/ΧΡΟΝΟΥ ΜΕ VSL

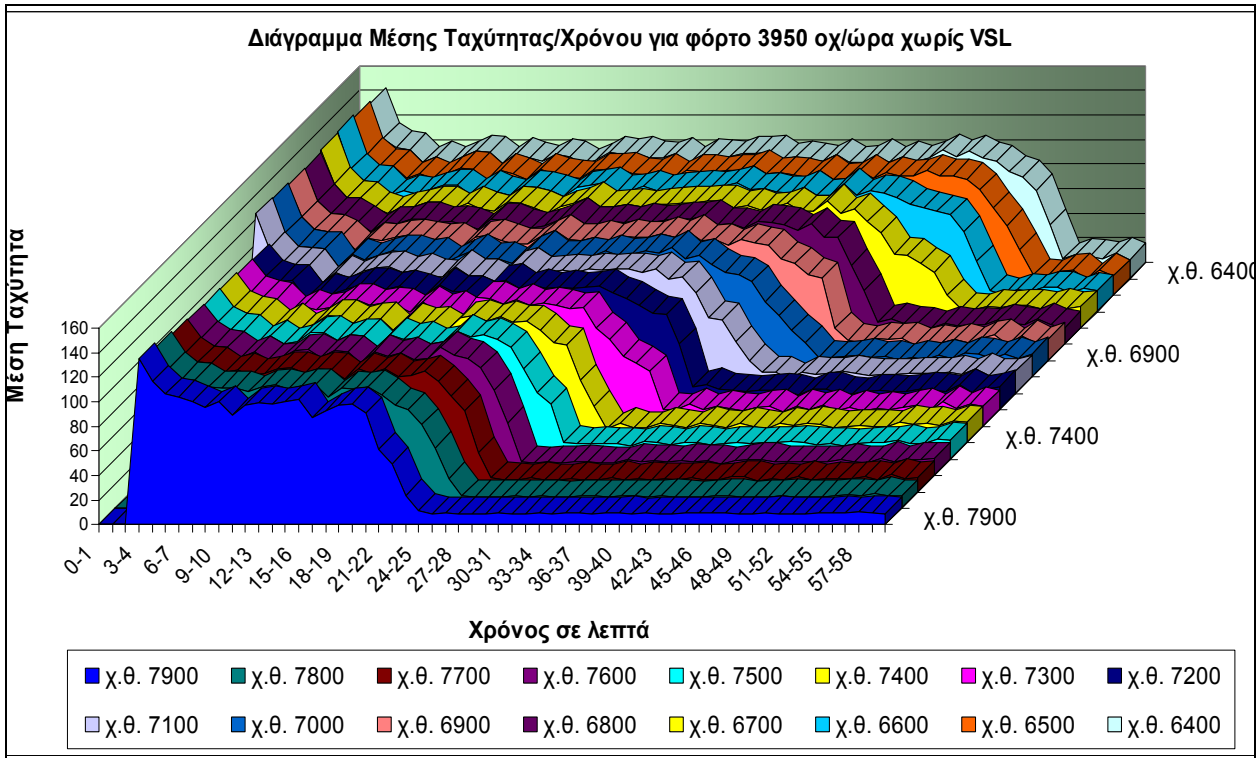


ΔΙΑΓΡΑΜΜΑ 4-36: ΔΙΑΓΡΑΜΜΑ ΠΟΣΟΣΤΟΥ ΚΑΤΑΛΗΨΗΣ/ΧΡΟΝΟΥ ΧΩΡΙΣ VSL

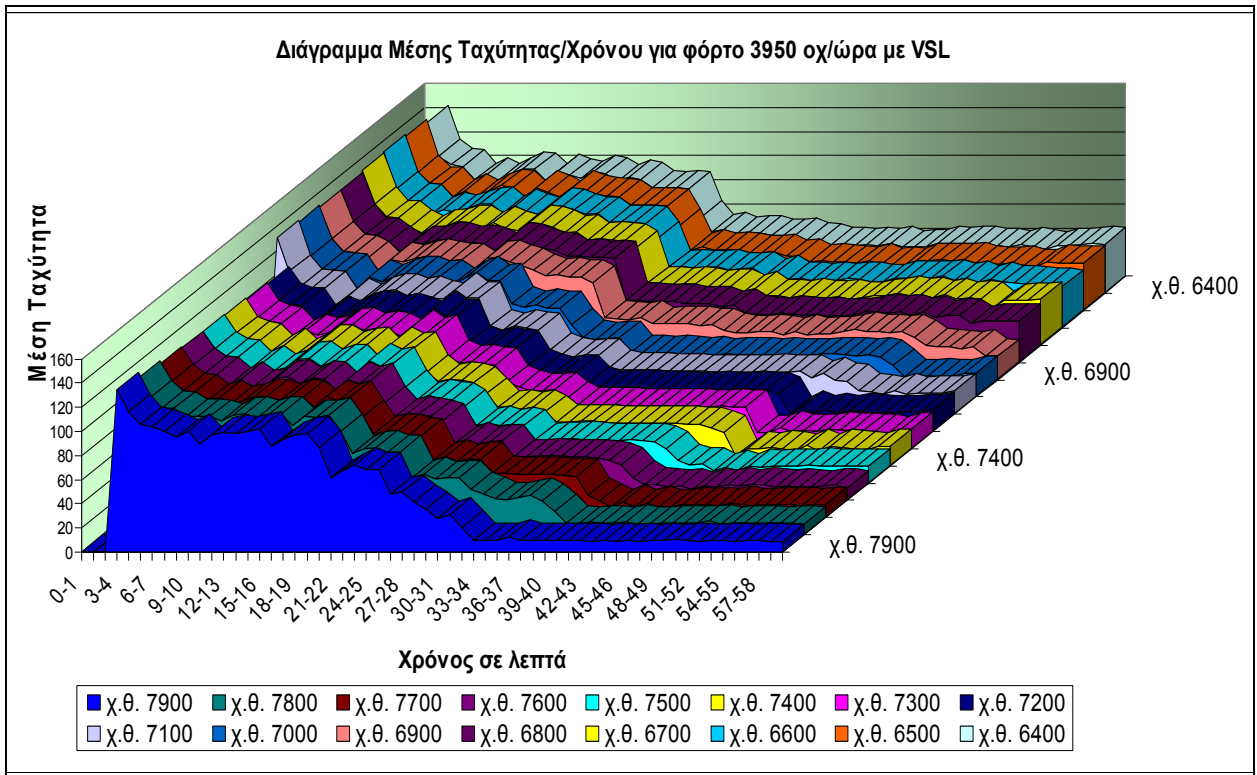


ΔΙΑΓΡΑΜΜΑ 4-37: ΔΙΑΓΡΑΜΜΑ ΠΟΣΟΣΤΟΥ ΚΑΤΑΛΗΨΗΣ/ΧΡΟΝΟΥ ΜΕ VSL

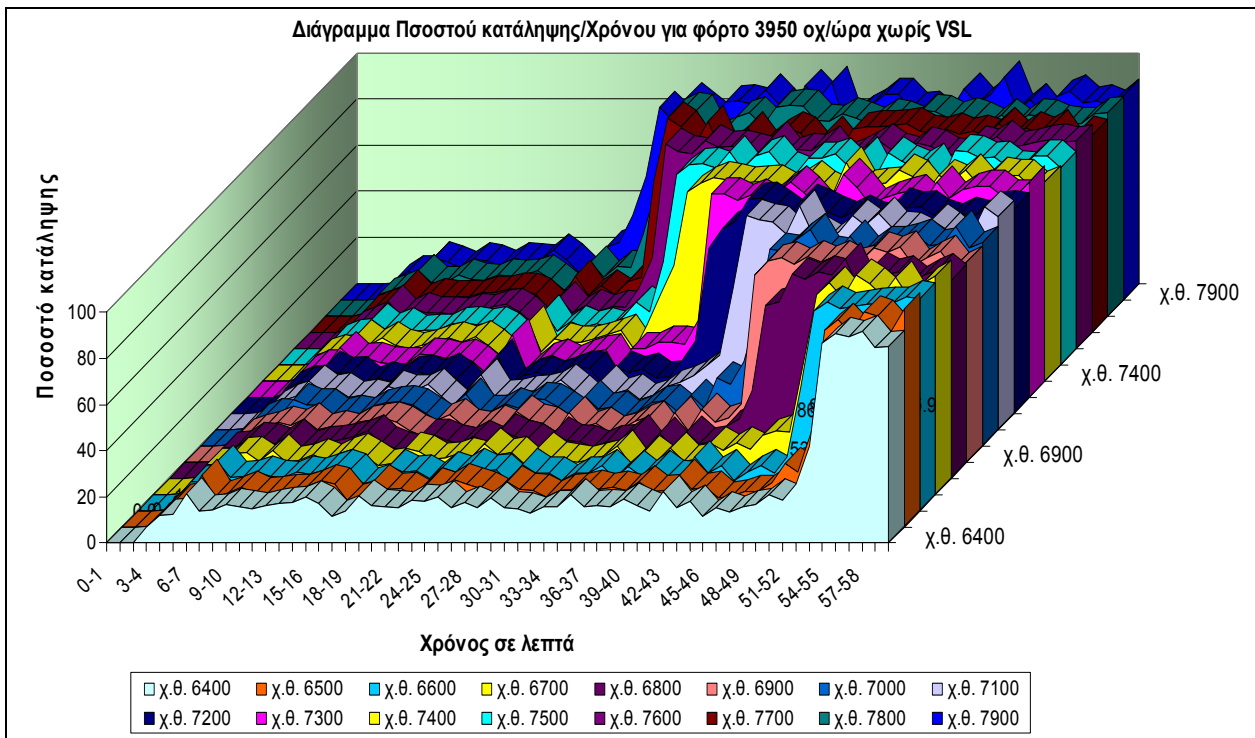
Για πιο λεπτομερή ανάλυση των αποτελεσμάτων μπορούμε να παρατηρήσουμε τα διαγράμματα 4-38 έως 4-42, όπου χρησιμοποιούν τα αποτελέσματα των προσομοιώσεων κάνοντας χρήση αισθητήρων από τη χ.θ. 6400 έως τη χ.θ. 7900. Τα διαγράμματα πηγάζουν από τα αποτελέσματα για την αρχική τιμή της γεννήτριας 1430.



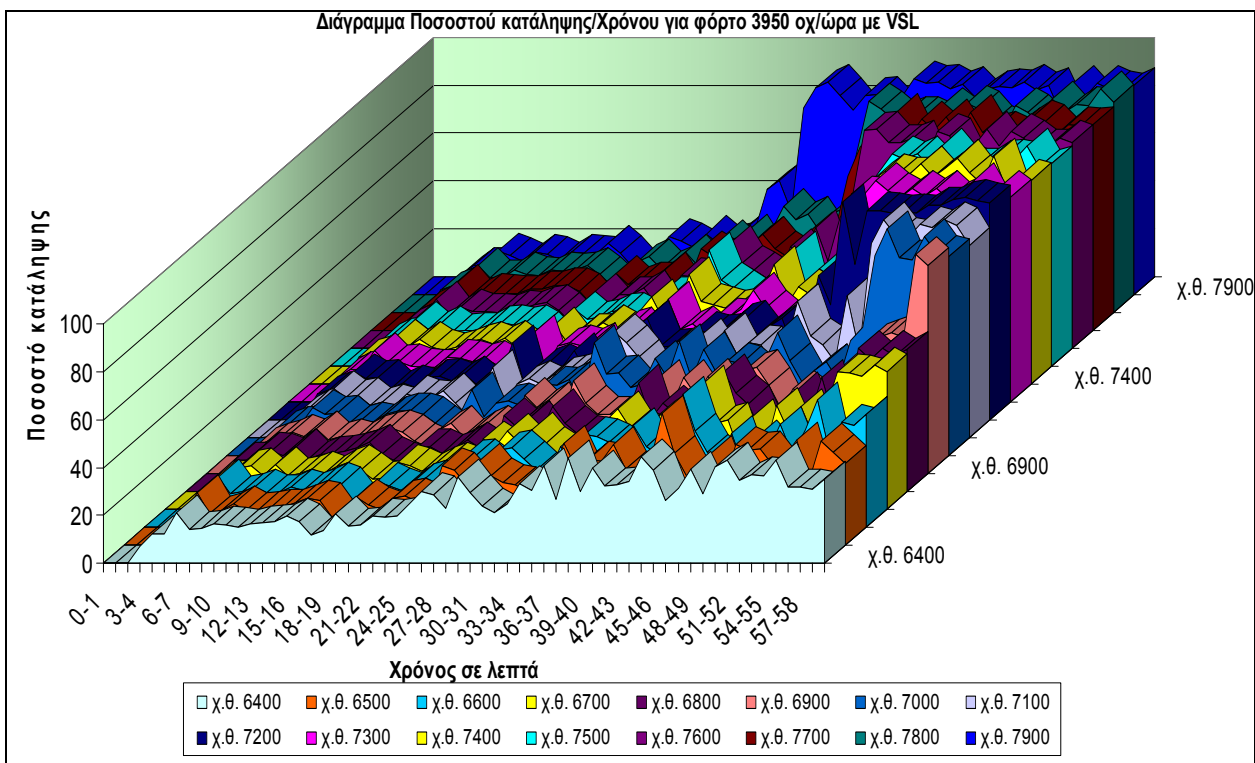
ΔΙΑΓΡΑΜΜΑ 4-38: ΔΙΑΓΡΑΜΜΑ ΜΕΣΗΣ ΤΑΧΥΤΗΤΑΣ/ΧΡΟΝΟΥ ΧΩΡΙΣ VSL



ΔΙΑΓΡΑΜΜΑ 4-39 ΔΙΑΓΡΑΜΜΑ ΜΕΣΗΣ ΤΑΧΥΤΗΤΑΣ/ΧΡΟΝΟΥ ΜΕ VSL

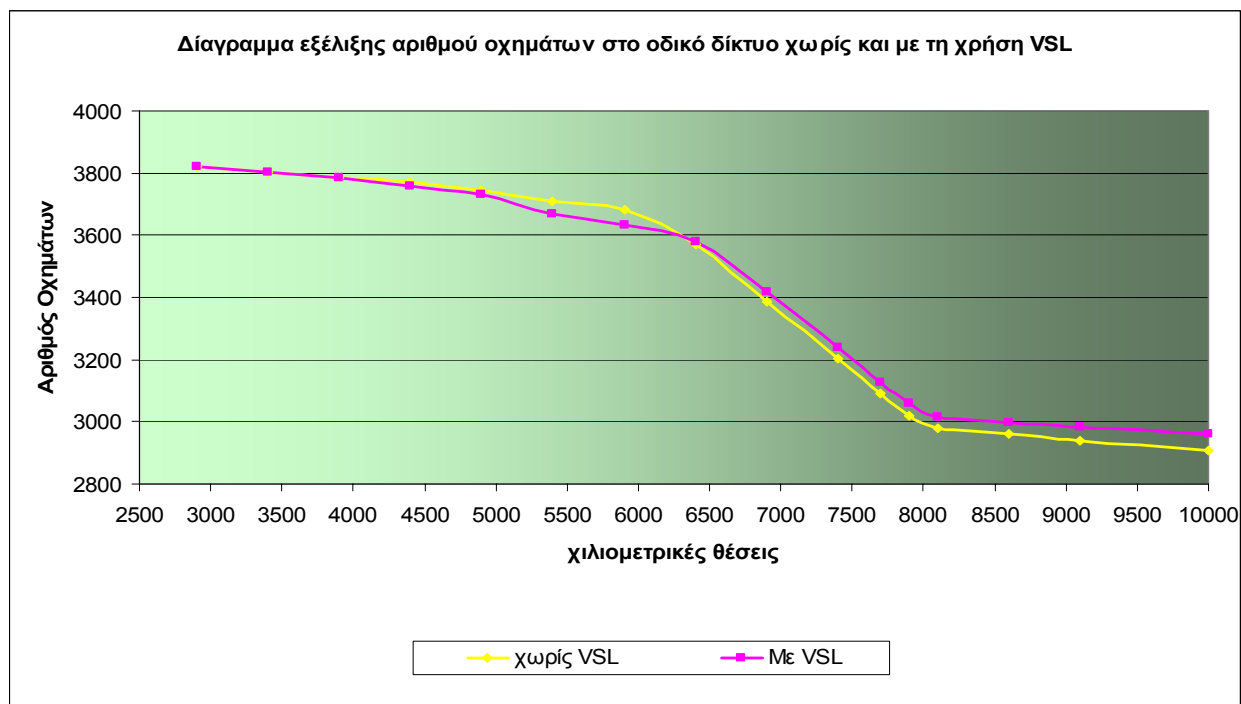


ΔΙΑΓΡΑΜΜΑ 4-40: ΔΙΑΓΡΑΜΜΑ ΠΟΣΟΣΤΟΥ ΚΑΤΑΛΗΨΗΣ/ΧΡΟΝΟΥ ΧΩΡΙΣ VSL



ΔΙΑΓΡΑΜΜΑ 4-41: ΔΙΑΓΡΑΜΜΑ ΠΟΣΟΣΤΟΥ ΚΑΤΑΛΗΨΗΣ/ΧΡΟΝΟΥ ΧΩΡΙΣ VSL

Τέλος στο διάγραμμα 4-42 γίνεται σύγκριση των οχημάτων που ολοκλήρωσαν τη διαδρομή. Στη περίπτωση αυτή ο αριθμός τους υπό την επίδραση των VSL είναι υψηλότερος 1,5 χιλιόμετρο πριν τη στένωση παραμένοντας σε έτσι μέχρι το 10^ο χιλιόμετρο.



ΔΙΑΓΡΑΜΜΑ 4-42: ΑΠΟΤΕΛΕΣΜΑΤΑ ΦΟΡΤΟΥ 3750 ΜΕ ΚΑΙ ΧΩΡΙΣ ΤΗ ΧΡΗΣΗ VSL

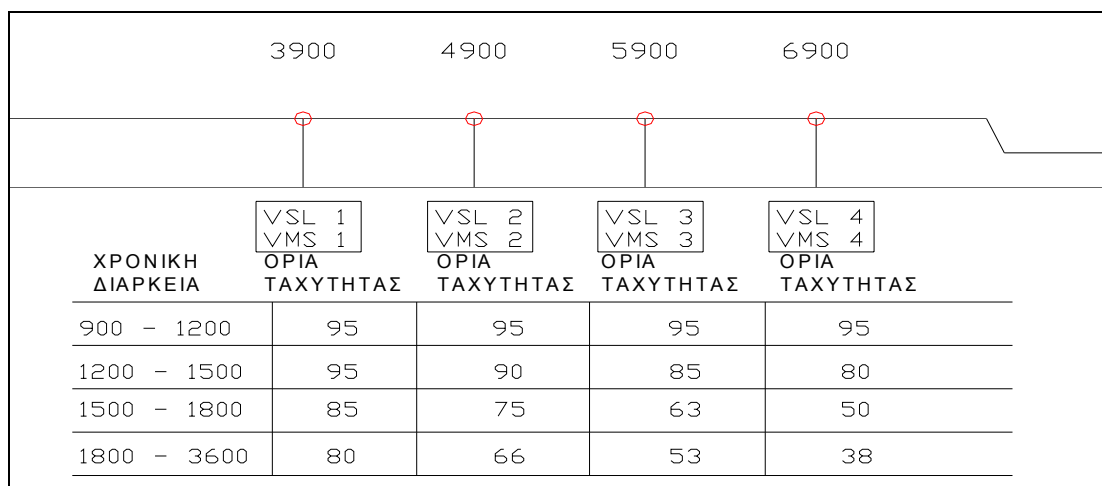
4.4.2.ε Φόρτος 4150 οχ/ώρα

Το συγκεκριμένο επίπεδο είναι ο υψηλότερο φόρτος που γίνανε δοκιμές με την επιβολή VSL. Τα αποτελέσματα φαίνονται στο πίνακα 13

Αρχική τιμή Γεννήτριας	Χρόνος Ταξιδιού		Αριθμός Οχημάτων		Μέσο Μήκος Ουράς		Αριθμός stop-go	
	Χωρίς VSL	Με VSL	Χωρίς VSL	Με VSL	Χωρίς VSL	Με VSL	Χωρίς VSL	Με VSL
42	621.5	622	2961	3003	299	224	8837	6647
450	578.4	581.5	2981	2985	257	214	7627	6438
920	661.8	639.2	2867	2906	314	229	9337	7211
1430	596.8	584.3	2961	2978	278	187	8131	5628
M.O.	614.7	606.75	2943	2968	287	213.5	8483	6481

ΠΙΝΑΚΑΣ 4-14: ΑΠΟΤΕΛΕΣΜΑΤΑ ΦΟΡΤΟΥ 3950 ΜΕ ΚΑΙ ΧΩΡΙΣ ΤΗ ΧΡΗΣΗ VSL

Τα όρια ταχύτητας Τα όρια ταχύτητας που χρησιμοποιηθήκανε για την προσομοίωση που πραγματοποιήθηκε για την αρχική τιμή της γεννήτριας 1430 παρατίθενται στην εικόνα 4-8.



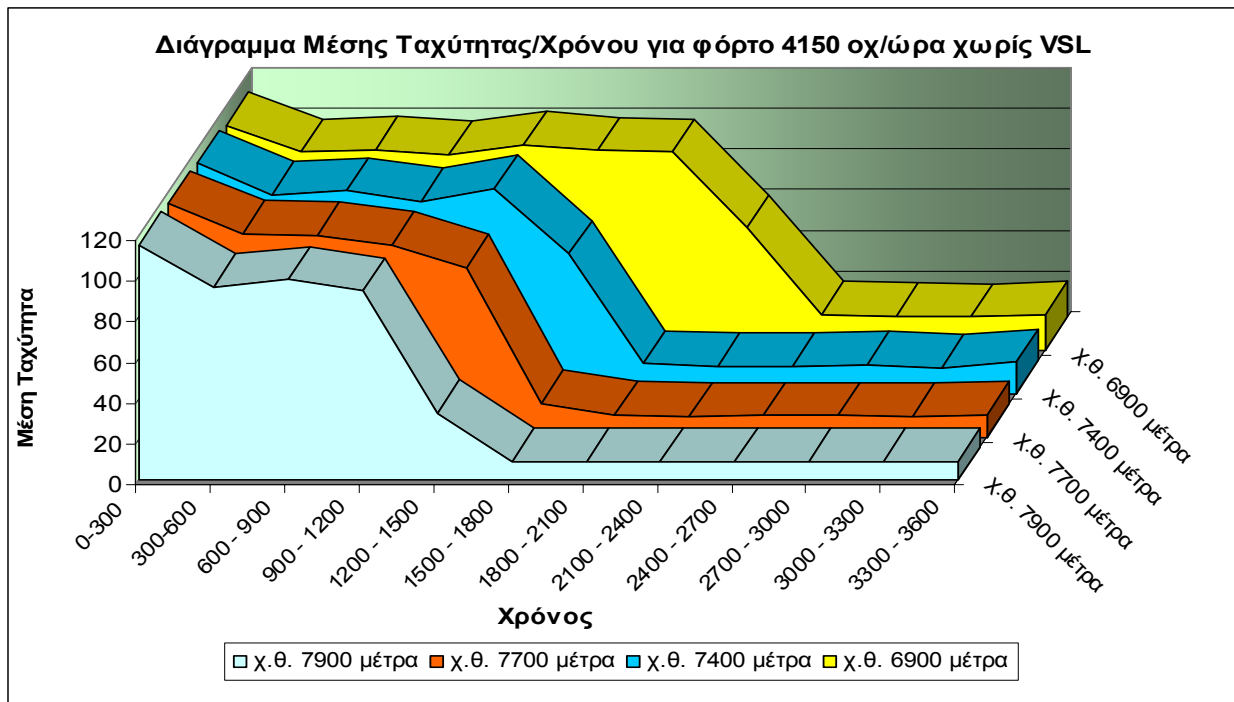
ΕΙΚΟΝΑ 4-8: ΠΑΡΟΥΣΙΑΣΗ ΤΩΝ ΧΡΟΝΙΚΑ ΜΕΤΑΒΑΛΛΟΜΕΝΩΝ ΟΡΙΩΝ ΤΑΧΥΤΗΤΑΣ

Η μείωση στο μέσο όρο της ουράς αναμονής είναι της τάξης του 25,6% και στο μέσο όρο του αριθμού των stop-go της τάξης του 23.6%. Παρουσιάστηκε μικρή μείωση στο χρόνο ταξιδιού και αύξηση κατά 25 οχήματα στον συνολικό μέσο όρο.

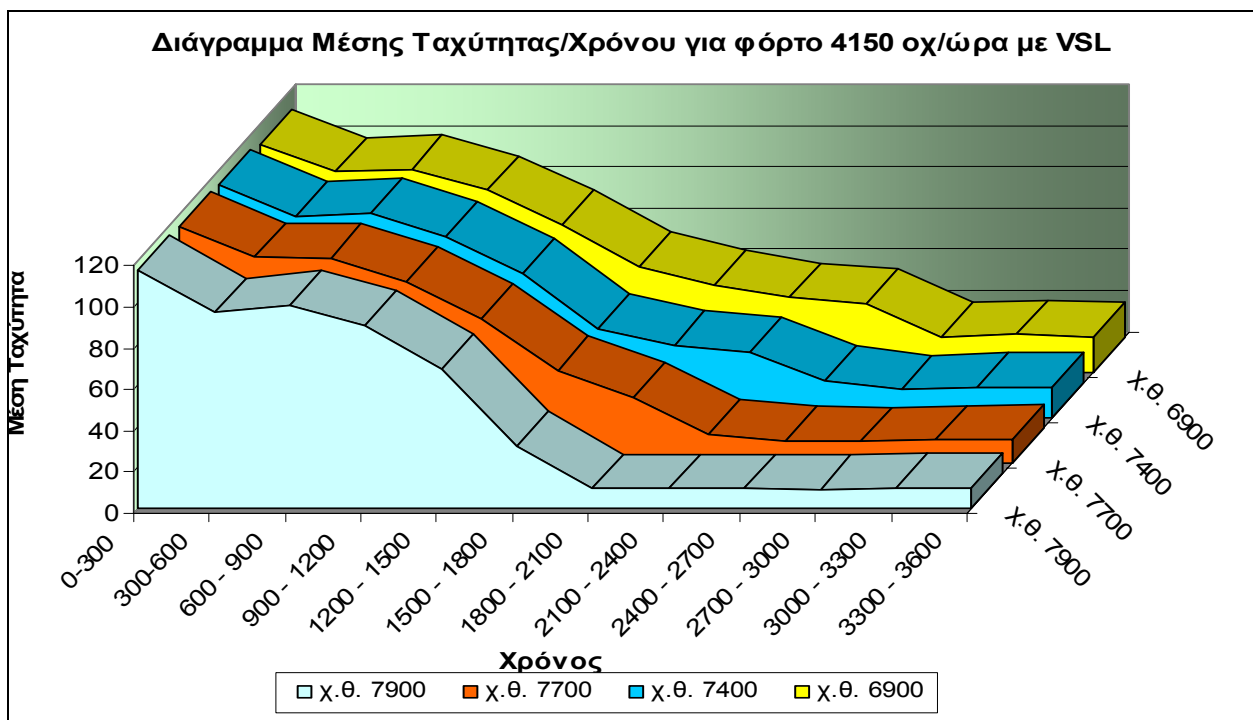
Τα διαγράμματα που ακολουθούν προέρχονται από τη σύγκριση της τέταρτης περίπτωσης για φόρτο 4150. Για ακόμη μία φορά (διαγράμματα 4-43 και 4-44) αποφεύγονται οι απότομες επιβραδύνσεις των οχημάτων πριν τη στένωση.

Αντίστοιχα από τα διαγράμματα 4-45 και 4-46 παρατηρούμε βελτίωση στα ποσοστά κατάληψης, χωρίς οι μεταβολές να είναι αρκετά μεγάλες. Ο φόρτος είναι αρκετά μεγάλος, με αποτέλεσμα να μη μπορούμε να έχουμε μεγαλύτερη μείωση της ουράς αναμονής και κατ' επέκταση του ποσοστού κατάληψης.

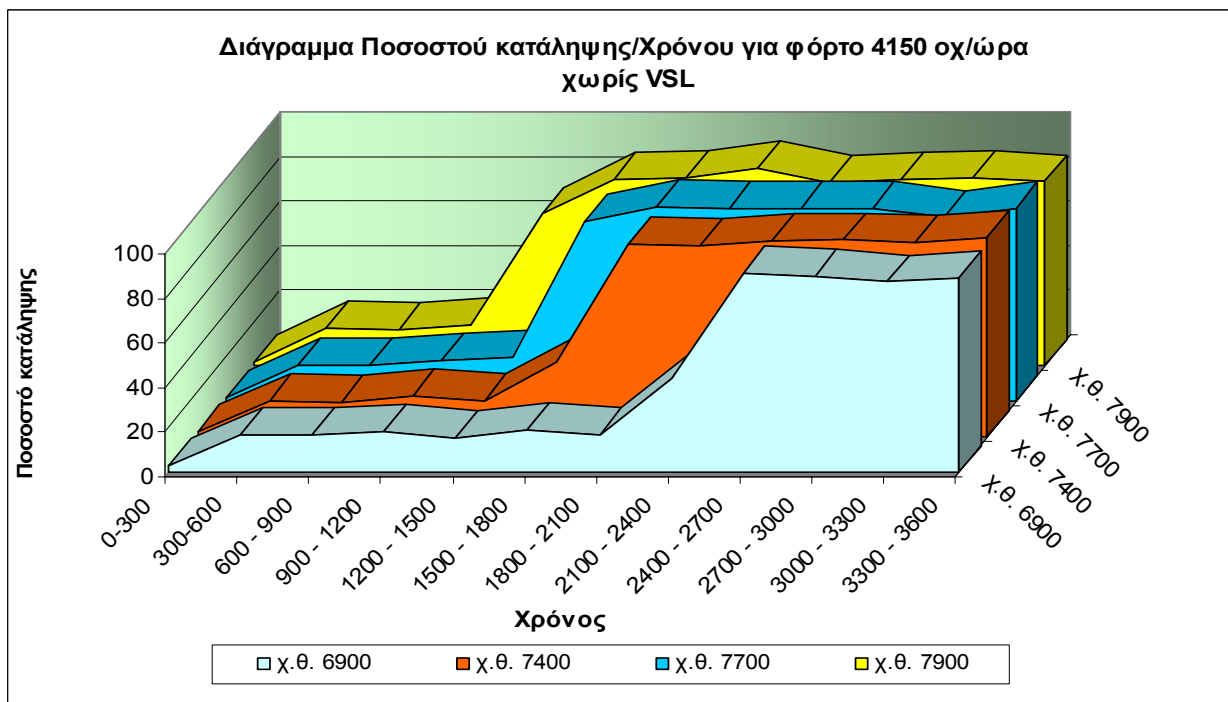
Για πιο λεπτομερή ανάλυση των αποτελεσμάτων μπορούμε να παρατηρήσουμε τα διαγράμματα 4-47 έως 4-50, όπου χρησιμοποιούν τα αποτελέσματα των προσομοιώσεων κάνοντας χρήση αισθητήρων από τη χ.θ. 6400 έως τη χ.θ. 7900. Τα διαγράμματα πηγάζουν από τα αποτελέσματα για την αρχική τιμή της γεννήτριας 1430.



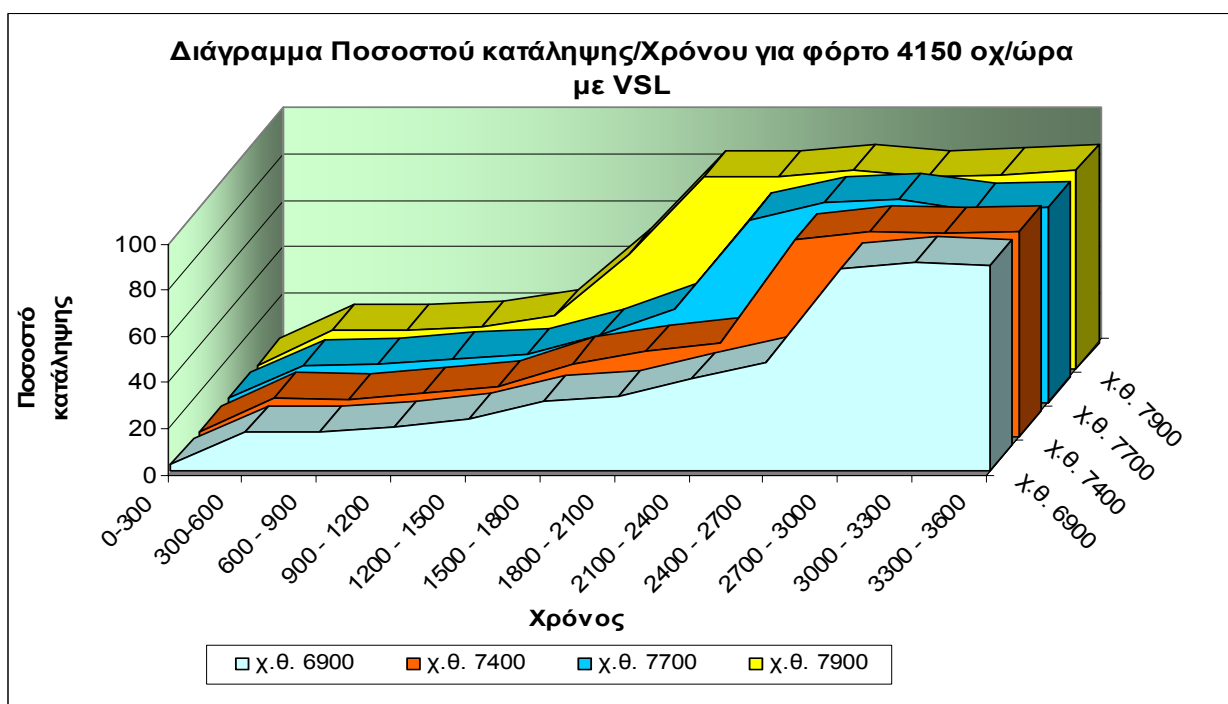
ΔΙΑΓΡΑΜΜΑ 4-43:ΔΙΑΓΡΑΜΜΑ ΜΕΣΗΣ ΤΑΧΥΤΗΤΑΣ/ΧΡΟΝΟΥ ΧΩΡΙΣ VSL



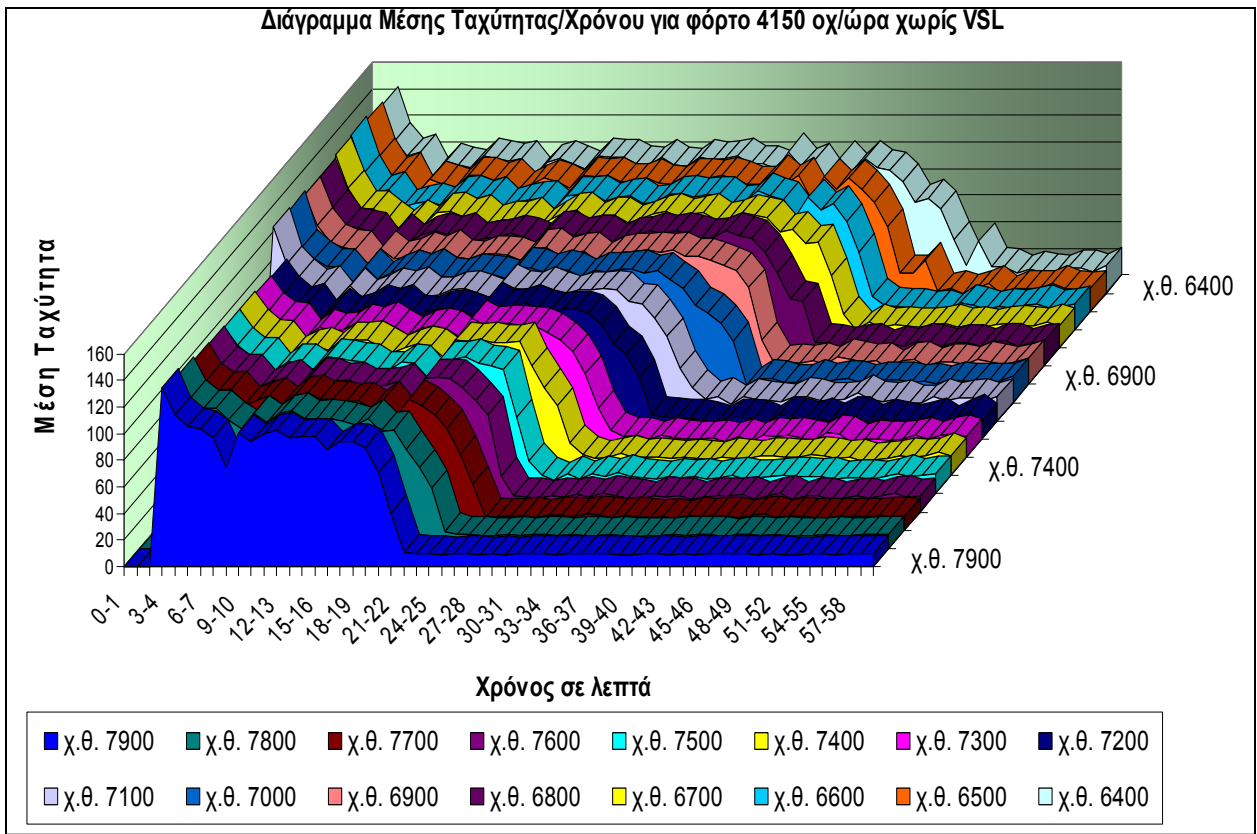
ΔΙΑΓΡΑΜΜΑ 4-44:ΔΙΑΓΡΑΜΜΑ ΜΕΣΗΣ ΤΑΧΥΤΗΤΑΣ/ΧΡΟΝΟΥ ΜΕ VSL



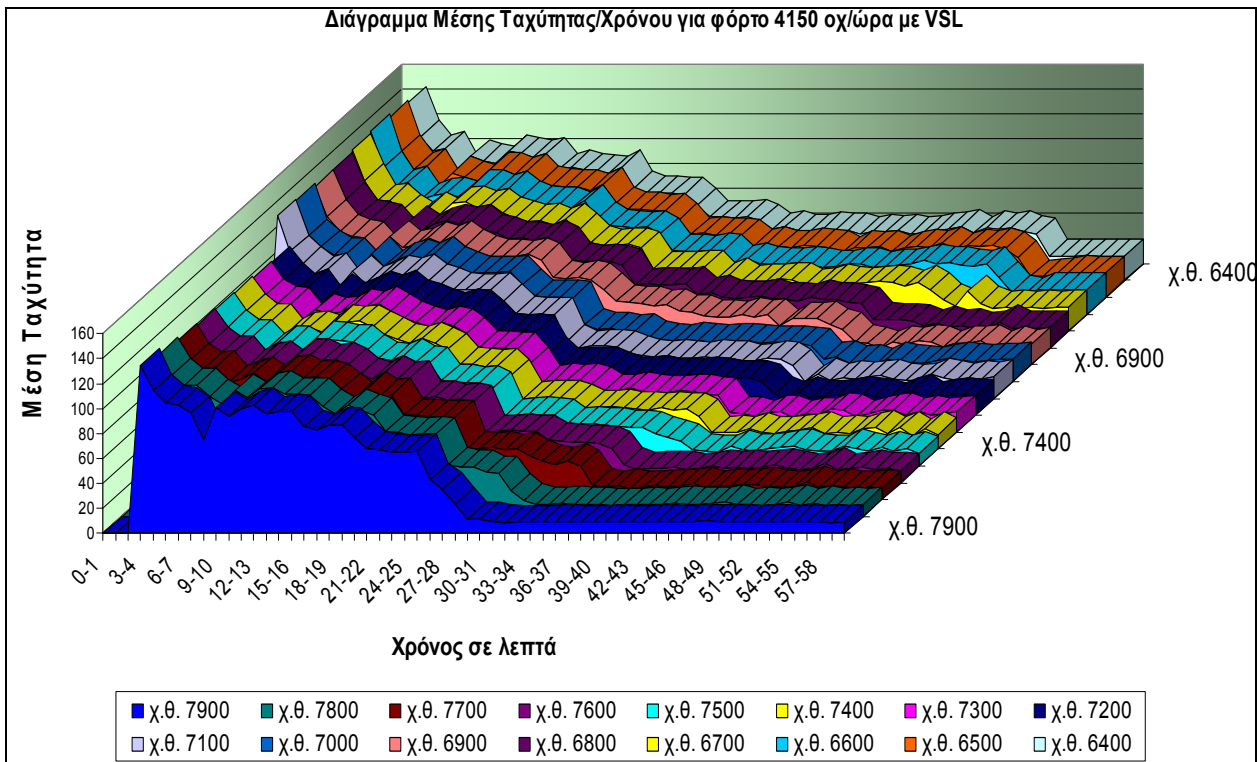
ΔΙΑΓΡΑΜΜΑ 4-45: ΔΙΑΓΡΑΜΜΑ ΠΟΣΟΣΤΟΥ ΚΑΤΑΛΗΨΗΣ/ΧΡΟΝΟΥ ΧΩΡΙΣ VSL



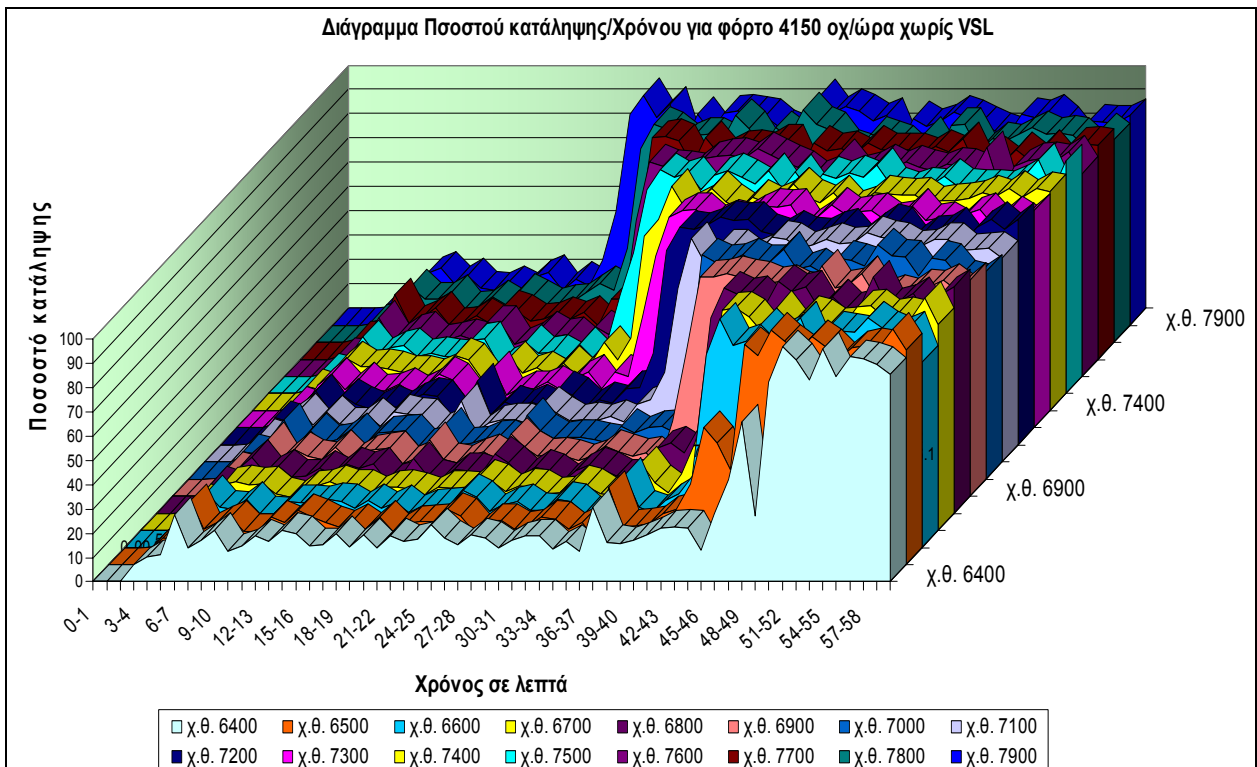
ΔΙΑΓΡΑΜΜΑ 4-46: ΔΙΑΓΡΑΜΜΑ ΠΟΣΟΣΤΟΥ ΚΑΤΑΛΗΨΗΣ/ΧΡΟΝΟΥ ΜΕ VSL



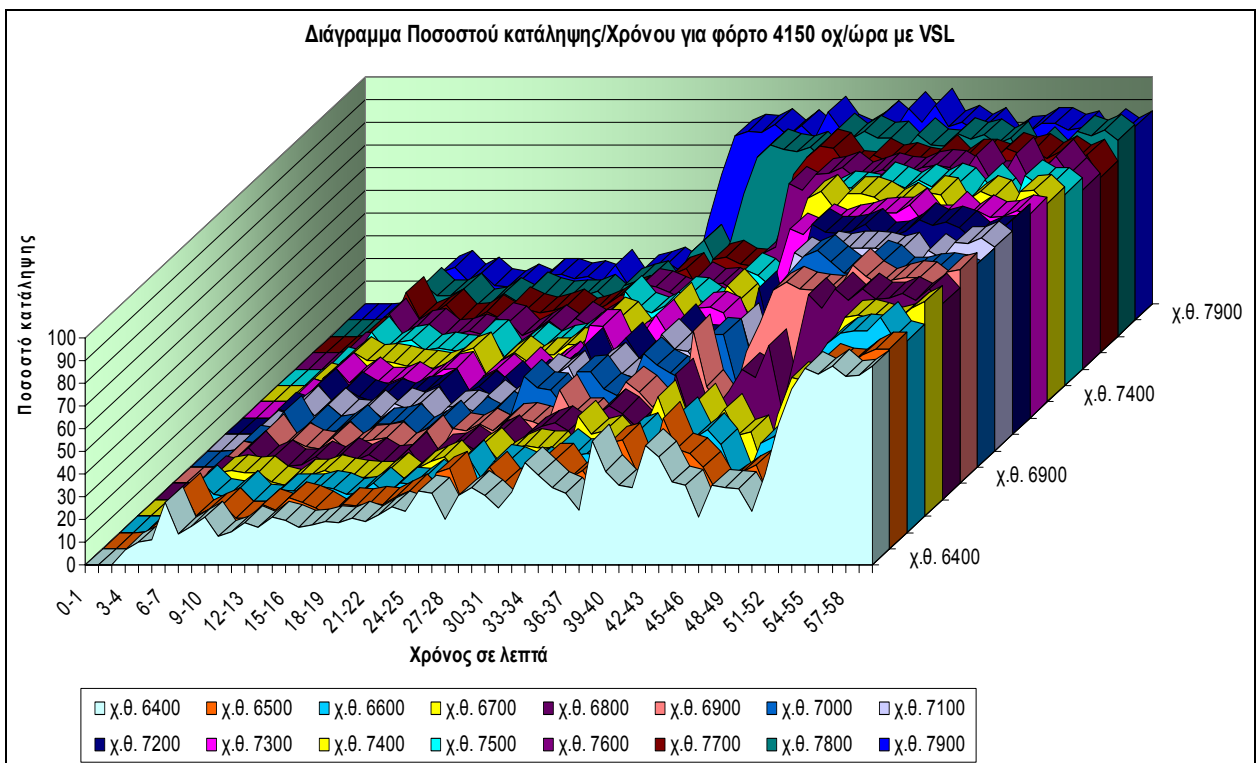
ΔΙΑΓΡΑΜΜΑ 4-47: ΔΙΑΓΡΑΜΜΑ ΜΕΣΗΣ ΤΑΧΥΤΗΤΑΣ/ΧΡΟΝΟΥ ΧΩΡΙΣ VSL



ΔΙΑΓΡΑΜΜΑ 4-48: ΔΙΑΓΡΑΜΜΑ ΜΕΣΗΣ ΤΑΧΥΤΗΤΑΣ/ΧΡΟΝΟΥ ΜΕ VSL

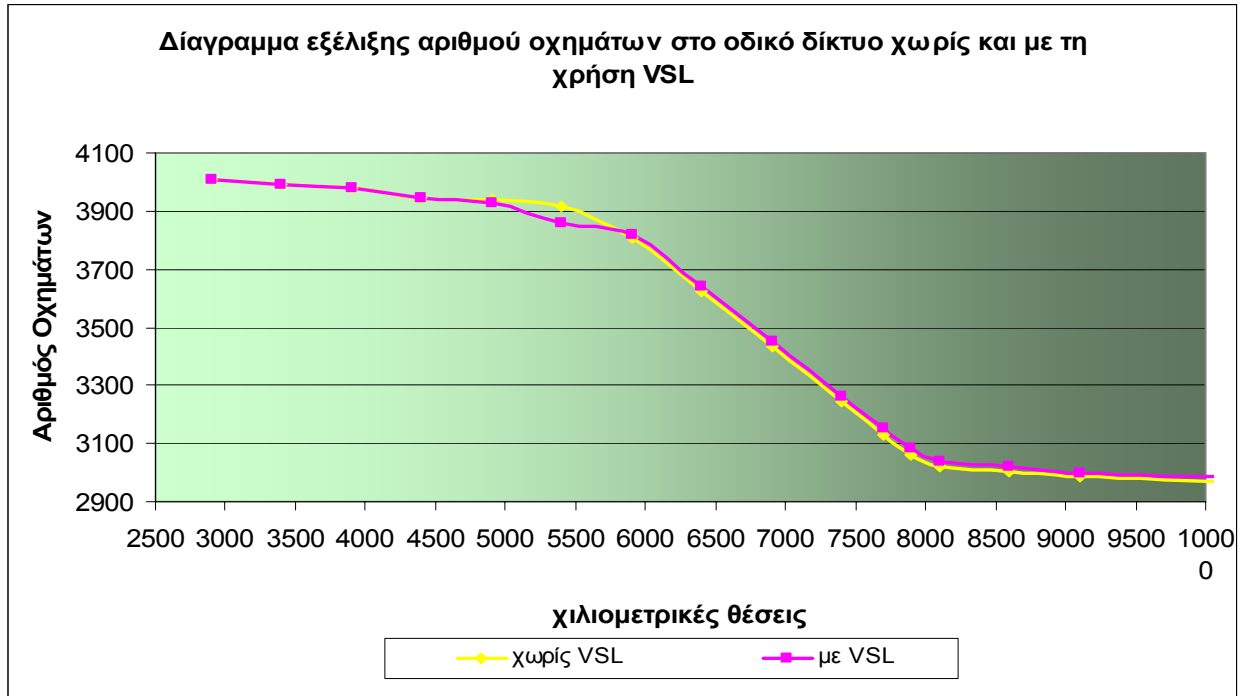


ΔΙΑΓΡΑΜΜΑ 4-49 ΔΙΑΓΡΑΜΜΑ ΠΟΣΟΣΤΟΥ ΚΑΤΑΛΗΨΗΣ/ΧΡΟΝΟΥ ΧΩΡΙΣ VSL



ΔΙΑΓΡΑΜΜΑ 4-50: ΔΙΑΓΡΑΜΜΑ ΠΟΣΟΣΤΟΥ ΚΑΤΑΛΗΨΗΣ/ΧΡΟΝΟΥ ΜΕ VSL

Τέλος μέσω του διαγράμματος 4-41 βλέπουμε ότι ο αριθμός των οχημάτων και για τις δύο περιπτώσεις είναι περίπου όμοιος με μία μικρή υπεροχή το δικτύου που περιλαμβάνει τα μεταβλητά όρια ταχύτητας.



ΔΙΑΓΡΑΜΜΑ 4-51: ΑΠΟΤΕΛΕΣΜΑΤΑ ΦΟΡΤΟΥ 3750 ΜΕ ΚΑΙ ΧΩΡΙΣ ΤΗ ΧΡΗΣΗ VSL

ΚΕΦΑΛΑΙΟ 5^ο

ΣΥΜΠΕΡΑΣΜΑΤΑ

Η μικροσκοπική ανάλυση των κυκλοφοριακών φαινομένων είναι μια αρκετά περίπλοκη διαδικασία, γιατί δεν ακολουθεί τα απλά μαθηματικά μοντέλα κλειστής μορφής. Απάντηση στο πρόβλημα μπορεί να δοθεί μόνο μέσω της εφαρμογής της προσομοίωσης, ώστε να κατορθώσουμε να προσδιορίσουμε την αποδοτικότητα του δικτύου και να αξιολογήσουμε όσο το δυνατόν καλύτερα τις επικρατούσες κυκλοφοριακές συνθήκες. Η προσομοίωση είναι η μόνη μέθοδος που μπορεί να χρησιμοποιηθεί ώστε να περιγράψει το στοχαστικό χαρακτήρα της κυκλοφορίας.

Ο πρώτος στόχος της διπλωματικής εργασίας ήταν να ελέγξουμε τις επιπτώσεις στην απόδοση (μέση ταχύτητα οχημάτων, χρόνοι ταξιδιού και ουρά αναμονής) του δικτύου που μπορεί, πιθανώς, να επιφέρει μία στένωση σε έναν αυτοκινητόδρομο για τα διάφορα επίπεδα φόρτου μέσω των μοντέλων μικρό-προσομοίωσης. Από τα αποτελέσματα που εξάγουμε είναι σαφές ότι η στένωση είναι υπεύθυνη για το σχηματισμό ουράς αναμονής που διογκώνεται συνεχώς με την αύξηση του φόρτου. Ταυτόχρονα επηρεάζεται αρνητικά ο χρόνος ταξιδιού και ο συνολικός αριθμός των οχημάτων. Η συμφόρηση που δημιουργείται πριν τη στένωση μπορεί να κάνει ιδιαίτερα επισφαλή την οδήγηση. Ο αριθμός των οχημάτων που αναγκάζεται να εκκινεί και να σταματά (stop – go) κατά την μετάδοση του κρουστικού κύματος ανάντι της στένωσης. Η διαδικασία αυτή εξαντλεί σωματικά και ψυχικά τους οδηγούς, καθιστώντας τους υπευθύνους για ατυχήματα, ακόμα και όταν οι ταχύτητες που αναπτύσσουν τα οχήματα είναι ιδιαίτερα χαμηλές.

Για πολλά χρόνια ο σταδιακός περιορισμός της ταχύτητας με στατικά όρια πριν τη στένωση ήταν η μόνη μέθοδος που χρησιμοποιήθηκε για την άμβλυνση των προβλημάτων που προκαλεί η συμφόρηση. Η ανάγκη χρήσης αποτελεσματικότερων τρόπων οδήγησε στην εισαγωγή των συστημάτων διαχείρισης της κυκλοφορίας με τη χρήση μεταβλητών ορίων ταχύτητας. Η τάση αυτή στις μέρες είναι ιδιαίτερα δημοφιλής, γεγονός που αποδεικνύεται από το πλήθος των εφαρμογών που συναντάμε τόσο στις Ευρωπαϊκές χώρες, όσο και στις Η.Π.Α.

Τα συστήματα μεταβλητών ορίων ταχύτητας μας παρέχουν τη δυνατότητα να μεταβάλλουμε χρονικά τα όρια ανάλογα με τις κυκλοφοριακές συνθήκες.

Ο δεύτερος και βασικός στόχος ήταν να εισάγουμε τα συστήματα διαχείρισης και να αξιολογήσουμε τις θετικές ή αρνητικές επιπτώσεις. Τα δυναμικά χρονικά μεταβαλλόμενα όρια ταχύτητας που επιδεικνύονται στους οδηγούς υπολογίζονται με τη βοήθεια αλγορίθμου που χρησιμοποιεί τα αποτελέσματα που εξάγουμε από τις αρχικές προσομοιώσεις. Ο πρωταρχικός σκοπός μας ήταν ο περιορισμός του μέσου μήκους της ουράς αναμονής που σχηματίζεται πριν τη στένωση και η μείωση του μέσου αριθμού των οχημάτων που σταματούν και εκκινούν αλληπάλλληλα πριν τη στένωση μέσα στο σχηματιζόμενο κρουστικό κύμα, ώστε να συμβάλουμε στην αύξηση της ασφάλειας.

Τα αποτελέσματα που εξήγαμε από τις προσομοιώσεις της κυκλοφορίας με τη χρήση του συστήματος διαχείρισης ήταν ιδιαίτερα ενθαρρυντικά. Στα χαμηλά επίπεδα φόρτου τα αποτελέσματα έδειξαν ότι οι δοκιμές ήταν απόλυτα επιτυχημένες, αφού σε ορισμένες περιπτώσεις η ουρά αναμονής εξαλείφθηκε πλήρως και σε άλλες περιορίστηκε σε μεγάλο βαθμό (μείωση μεγαλύτερη του 50 %). Παρότι χρησιμοποιηθήκαν χαμηλά όρια ταχύτητας ώστε να μειωθεί η πυκνότητα των οχημάτων που συνωστίζονται πριν τη στένωση, δεν επηρεάστηκε αρνητικά ο συνολικός μέσος χρόνος ταξιδιού των οχημάτων, αλλά ούτε και ο συνολικός αριθμός των οχημάτων που ολοκλήρωσε πλήρως τη διαδρομή κατά τη διάρκεια των προσομοιώσεων. Στα υψηλά επίπεδα φόρτου η χρήση των συστημάτων μεταβλητών ορίων λειτούργησε ιδιαίτερα θετικά, αλλά σε μικρότερο βαθμό. Είχαμε σαφέστατο περιορισμό του μέσου μήκους της ουράς αναμονής όσο και του μέσου αριθμού των οχημάτων που σταματά και εκκινούν πριν τη στένωση. Ταυτόχρονα παρατηρήθηκε αύξηση στον συνολικό αριθμό των οχημάτων που ολοκληρώνουν τη διαδρομή και μείωση του χρόνου ταξιδιού, αν και η βελτίωση των τιμών των μεγεθών ήταν μικρή χωρίς να μπορεί να γίνει αντιληπτή από τους διερχόμενους οδηγούς.

Όπως όλα τα συστήματα που έχουν χρησιμοποιηθεί και λειτουργούν μέχρι σήμερα ανά τον κόσμο, έτσι και το σύστημα που εφαρμόσαμε στη διπλωματική εργασία μας έχει δώσει ιδιαίτερη έμφαση στο ζήτημα της ασφάλειας και λιγότερο στην μείωση του χρόνου ταξιδιού. Πλέον είναι δεδομένη μετά από έρευνες η απαίτηση των οδηγών για εξάπλωση των συστημάτων στους μεγάλους αυτοκινητόδρομους. Η απαίτηση του κόσμου αποτέλεσε το εφελτήριο εξέλιξης των συστημάτων. Τα πλέον εξελιγμένα συστήματα διαθέτουν κάμερες παρακολούθησης της κυκλοφορίας, παρέχοντας στους χρήστες του διαδικτύου τη δυνατότητα να γνωρίζουν σε πραγματικό χρόνο τις συνθήκες που θα συναντήσουν αν επιλέξουν τα συγκεκριμένα σημεία διέλευσης.

Πιθανώς η ιδέα της εισαγωγής των συστημάτων διαχείρισης της κυκλοφορίας με τη χρήση μεταβλητών ορίων ταχύτητας να μην είχε την αποδοχή που έχει σήμερα αν δεν είχαν δημιουργηθεί νωρίτερα τα μοντέλα προσομοίωσης. Μέσω των λογισμικών πακέτων δίδεται η δυνατότητα στον ερευνητή να δοκιμάσει μια σειρά μέτρων ώστε να ελέγξει την αποτελεσματικότητά τους με μικρό κόστος, επιλέγοντας το βέλτιστο σχέδιο διαχείρισης σε κάθε περίπτωση. Το σημαντικότερο πλεονέκτημα αυτών των μεθόδων είναι ότι η βελτιστοποίηση και αξιολόγηση δεν εφαρμόζεται απ' ευθείας στο πραγματικό δίκτυο, δηλαδή δεν τίθεται υπό αμφισβήτηση η ασφάλεια των διερχομένων οδηγών.

6. ΒΙΒΛΙΟΓΡΑΦΙΚΗ ΑΝΑΦΟΡΑ

1. Κοντοράτος Μ. (1999): Σημειώσεις Κυκλοφοριακής τεχνικής
2. Abdel-Aty M., Dilmore J. and Phindsa A. (2005): Evaluation Of Variable Speed Limits for Real-Time Freeway Safety Improvement
3. Akcelik R. and Besley M. (2001): Micro-simulation And Analytical Methods For Modeling Urban Traffic
4. Bernauer E. et al. (1999): Smartest Project Deliverable – Micro-Simulation Workshop
5. Fotherby T. (2002): Visual Traffic Simulation
6. Gazis D.C., Herman R. and Potts R.(1959): Car Following theory of steady state flow
7. Gerlough D.L. M.J. Huber M.J. (1975): Traffic Flow Theory, a monograph
8. Hegyi A., Schutter B. and Hellendoorn J. (2005): Optimal Coordination Of Variable Speed Limits To Suppress Shockwaves – IEEE Transaction Of Intelligent Transportation Systems, Vol. 6
9. Herman R. and Potts R.B. (1961): Single-Lane Traffic Theory And Experiment
10. Kang K., Chang C. and Zoul N. (2004): An Optional Dynamic Speed Limit Control For Highway Work-Zone Operation
11. Lin P-W, Kang K. and Chang G. (2004): Exploring The Effectiveness Of Variable Speed Limit Control On Highway Work-Zone Operations
12. Lyles R.W. et Al. (2004): A field Test And Evaluation Of Variable Speed Limits In Work-Zone
13. Mahanti B.P. (2004): Aggregate Calibration Of Microscopic Traffic Simulation Models – Master Of science In transportation At The Massachusetts Institute Of Technology
14. Pursula M. (1999): Simulation Of Traffic Systems – An Overview

15. Rees T., Harbord B., Dixon C. and Rahme N.A. (2004): Speed Control And Incident Detection On the M25 Controlled Motorway (Summary Of Results 1995 – 2002)
16. Roess R.P., McShane W.R. and Prassas E.: (2002): Traffic Engineering – Second Edition
17. Transportation Research Board 79th Annual Meeting: (2000): Examples Of Variable Speed Limit Application – Speed Management Workshop
18. Vissim 3.00 (2000): User Manual
19. http://en.wikipedia.org/wiki/Mathematical_model Mathematic Model (όπως αναφέρεται μέχρι 01/09/2007 *)
20. http://en.wikipedia.org/wiki/Network_traffic_simulation Network Traffic Simulation (όπως αναφέρεται μέχρι 01/09/2007*)