

---

---

ΠΟΛΥΤΕΧΝΕΙΟ ΚΡΗΤΗΣ  
ΤΜΗΜΑ ΜΗΧΑΝΙΚΩΝ ΠΑΡΑΓΩΓΗΣ ΚΑΙ ΔΙΟΙΚΗΣΗΣ  
ΚΥΚΛΟΣ ΕΠΙΧΕΙΡΗΣΙΑΚΗΣ ΕΡΕΥΝΑΣ

**ΕΛΕΓΧΟΣ ΟΥΡΑΣ ΡΑΜΠΑΣ ΕΙΣΟΔΟΥ ΜΕ ΤΗ ΧΡΗΣΗ  
ΜΙΚΡΟΣΚΟΠΙΚΟΥ ΠΡΟΣΟΜΟΙΩΤΗ**

Διατριβή που υπεβλήθει για τη μερική ικανοποίηση των απαιτήσεων για την απόκτηση μεταπτυχιακού διπλώματος

ΕΙΣΗΓΗΤΗΣ:  
**ΜΑΝΩΛΗΣ ΔΙΑΜΑΝΤΗΣ**

© Copyright Μανώλης Διαμαντής  
Χανιά 2005

Η μεταπτυχιακή διατριβή του φοιτητή Μανώλη Διαμαντή εγκρίθηκε από:

1. Καθηγητής Κοσματοπούλος Ηλίας (επιβλέπων)
2. Καθηγητής Παπαγεωργίου Μάρκος
3. Καθηγητής Κουϊκόγλου Βασίλης

## **ΒΙΟΓΡΑΦΙΚΟ ΣΗΜΕΙΩΜΑ**

Ο Μανώλης Διαμαντής γεννήθηκε στην Αθήν το 1977. Το 2003 αποφοίτησε από το τμήμα Μ.Π.Δ. του πολυτεχνείου Κρήτης Η διπλωματική του εργασία είχε τίτλο Ανάλυση Προσαρμοστικών Αλγορίθμων Βελτιστοποίησης. Ξεκίνησε αμέσως μεταπτυχιακές σπουδές στο ίδιο τμήμα, στον κύκλο Επιχειρησιακής Έρευνας. Κατά τη διάρκεια των μεταπτυχιακών του σπουδών εργάστηκε στο εργαστήριο δυναμικών συστημάτων και προσομοίωσης και συμμετείχε στο ευρωπαϊκό πρόγραμμα Euramp. Για ένα ακαδημαϊκό εξάμηνο ήταν υπεύθυνος του εργαστηρίου του μαθήματος οργάνωση παραγωγής και προγραμματισμός έργων.

Αφιερωμένο στην οικογένειά μου που με κόπους και θυσίες με στήριξε όλα αυτά τα χρόνια....

Ευχαριστώ πολύ τους κυρίους Κοσματοπούλο Ηλία και Παπαγεωργίου Μάρκο για την υπομονή τους και την πολύτιμη βοήθειά τους, καθώς επίσης και όλους τους φίλους μου στο πολυτεχνείο Κρήτης για τις στιγμές που μοιράστηκα μαζί τους.

***«Είναι αδύνατο να ζήσεις ηδονικά, αν η ζωή σου δεν έχει φρόνηση, ομορφιά και δικαιοσύνη κι είναι αδύνατο να έχει η ζωή σου ομορφιά, δικαιοσύνη και φρόνηση, αν δεν έχει και χαρά. Όποιος δεν τα διαθέτει αυτά δεν μπορεί να ζει ευτυχισμένα»***

**Επίκουρος**

## Περιεχόμενα

<b>ΠΕΡΙΕΧΟΜΕΝΑ .....</b>	<b>5</b>
<b>ΠΕΡΙΛΗΨΗ.....</b>	<b>7</b>
<b>ΕΙΣΑΓΩΓΗ .....</b>	<b>8</b>
<b>1. ΓΕΝΙΚΗ ΠΕΡΙΓΡΑΦΗ ΤΟΥ ΠΡΟΒΛΗΜΑΤΟΣ .....</b>	<b>10</b>
1.1 ΚΥΚΛΟΦΟΡΙΑΚΗ ΣΥΜΦΟΡΗΣΗ.....	10
1.2 ΈΛΕΓΧΟΣ ΤΗΣ ΚΥΚΛΟΦΟΡΙΑΣ.....	10
1.2.1 Μέτρα ελέγχου της κυκλοφορίας.....	10
1.2.2 Έλεγχος ραμπών εισόδου.....	11
1.2.3 Ο βρόγχος ελέγχου.....	13
<b>2. ΣΤΡΑΤΗΓΙΚΕΣ ΕΛΕΓΧΟΥ .....</b>	<b>15</b>
2.1 ΣΤΡΑΤΗΓΙΚΕΣ ΣΤΑΘΕΡΟΥ ΧΡΟΝΟΥ (FIXED-TIME RAMP METERING STRATEGIES) .....	15
2.2 ΦΩΡΑΤΕΣ –ΜΕΤΡΗΣΕΙΣ ΠΡΑΓΜΑΤΙΚΟΥ ΧΡΟΝΟΥ .....	16
2.3 ΣΤΡΑΤΗΓΙΚΗ ΖΗΤΗΣΗΣ-ΙΚΑΝΟΤΗΤΑΣ.....	16
2.4 ALINEA.....	17
2.5 ΠΡΟΣΑΡΜΟΣΤΙΚΗ ALINEA (AD-ALINEA) .....	18
<b>3. ΠΟΛΙΤΙΚΕΣ ΕΛΕΓΧΟΥ ΡΑΜΠΑΣ (METERING POLICIES) .....</b>	<b>20</b>
3.1 ΓΕΝΙΚΑ .....	20
3.2 ΈΝΑ ΑΥΤΟΚΙΝΗΤΟ ΑΝΑ ΠΡΑΣΙΝΟ (ONE-CAR-PER-GREEN) .....	21
3.3 ΣΤΑΘΕΡΗ ΠΕΡΙΟΔΟΣ ΦΩΤΕΙΝΗΣ ΣΗΜΑΤΟΔΟΤΗΣΗΣ (FULL CYCLE) .....	22
3.4 ΔΙΑΚΡΙΤΕΣ ΡΟΕΣ ΕΞΟΔΟΥ (DISCRETE RELEASE RATES) .....	23
<b>4. ΕΛΕΓΧΟΣ ΟΥΡΩΝ ΡΑΜΠΑΣ ΕΙΣΟΔΟΥ.....</b>	<b>26</b>
4.1 ΠΟΛΙΤΙΚΗ ΑΠΕΝΕΡΓΟΠΟΙΗΣΗΣ ΕΛΕΓΧΟΥ ΡΑΜΠΑΣ (Π.Α.Ε.Ρ.) ΚΑΙ ΈΛΕΓΧΟΣ ΟΥΡΩΝ (QUEUE OVERRIDE AND QUEUE CONTROL) .....	26
4.2 ΕΚΤΙΜΗΣΗ ΟΥΡΑΣ ΡΑΜΠΩΝ ΚΑΙ ΈΛΕΓΧΟΣ .....	28
4.2.1 Κίνητρο.....	28
4.2.2 Εκτίμηση του αριθμού των οχημάτων της ράμπας.....	29
4.2.3 Έλεγχος ουράς ραμπών.....	29
4.2.3.1 Εκτίμηση της ζήτησης της ράμπας μέσω ομαλοποίησης των τιμών της.....	30
4.2.3.2 1 <sup>η</sup> μέθοδος εκτίμησης της ζήτησης της ράμπας μέσω χρήσης συντελεστή $f$ .....	32
4.2.3.3 2 <sup>η</sup> μέθοδος εκτίμησης της ζήτησης της ράμπας μέσω χρήσης συντελεστή $f_2$ .....	32
<b>5. Ο ΠΡΟΣΟΜΟΙΩΤΗΣ AIMSUN .....</b>	<b>34</b>
5.1 ΒΑΣΙΚΑ ΧΑΡΑΚΤΗΡΙΣΤΙΚΑ AIMSUN.....	34
5.2 ΜΟΝΤΕΛΟΠΟΙΗΣΗ ΤΗΣ ΚΙΝΗΣΗΣ ΤΩΝ ΟΧΗΜΑΤΩΝ .....	34
5.2.1 Car-Following Model.....	35
5.2.2 2-lanes car-following model.....	36
5.2.3 Μοντέλο αλλαγής λωρίδας κυκλοφορίας (Lane-changing model) .....	37

5.2.4 Μοντέλο Ράμπας Εισόδου –(On-ramp model).....	38
<b>6. ΠΡΟΣΟΜΟΙΩΣΗ .....</b>	<b>39</b>
6.1 Το ΔΙΚΤΥΟ .....	39
6.2 ΣΕΝΑΡΙΟ ΖΗΤΗΣΗΣ.....	40
6.3 ΛΕΙΠΤΟΜΕΡΕΙΕΣ ΤΗΣ ΠΡΟΣΟΜΟΙΩΣΗΣ.....	46
6.3.1 Φωτεινός Σηματοδότης της Ράμπας .....	46
6.3.2 Στρατηγικές Ελέγχου της Ουράς της Ράμπας .....	47
6.3.3 Προσθήκη Θορύβου.....	47
6.3.3.1 Εκτιμητής αριθμού οχημάτων στη ράμπα .....	47
<b>7. ΑΠΟΤΕΛΕΣΜΑΤΑ .....</b>	<b>49</b>
7.1 ΡΑΜΠΑ ΜΕΓΑΛΟΥ ΜΗΚΟΥΣ .....	49
7.1.1 Παίρνοντας Ακριβείς Μετρήσεις από τους Φωρατές .....	50
7.1.1.1 Πλήρης κύκλος 60 sec .....	51
7.1.1.2 Πλήρης κύκλος 30 sec .....	63
7.1.1.3 Διακριτές ροές εξόδου (discrete release rates) .....	75
7.1.1.4 Συγκριτικά αποτελέσματα για την περίπτωση της μεγάλου μήκους ράμπας χωρίς προσθήκη θορύβου .....	76
7.1.2 Προσθήκη Θορύβου στις Μετρήσεις των Φωρατών της Ράμπας .....	78
7.1.2.1 Πλήρης κύκλος 60 sec (προσθήκη θορύβου) .....	79
7.1.2.2 Διακριτές ροές εξόδου (προσθήκη θορύβου) .....	92
7.1.2.3 Συγκριτικά αποτελέσματα για την περίπτωση της μεγάλου μήκους ράμπας με προσθήκη θορύβου.....	96
7.2 ΔΙΑΣΤΑΥΡΩΣΗ.....	96
7.2.1 Παίρνοντας Ακριβείς Μετρήσεις από τους Φωρατές .....	97
7.2.1.1 Πλήρης Κύκλος 60sec .....	98
7.2.1.2 Διακριτές ροές εξόδου.....	105
7.2.2 Προσθήκη Θορύβου στις Μετρήσεις των Φωρατών της Ράμπας .....	108
7.2.2.1 Πλήρης κύκλος 60 sec .....	108
7.2.2.2 Διακριτές ροές εξόδου.....	115
<b>ΣΥΜΠΕΡΑΣΜΑΤΑ.....</b>	<b>118</b>
<b>ΒΙΒΛΙΟΓΡΑΦΙΑ.....</b>	<b>120</b>

## Περίληψη

Στη παρούσα διατριβή αναπτύσσεται μικροσκοπικό μοντέλο προσομοίωσης αυτοκινητοδρόμου. Ο προσομοιωτής που χρησιμοποιείται είναι το πακέτο λογισμικού «AIMSUN». Σχεδιάστηκαν ράμπες εισόδου ελεγχόμενης κυκλοφορίας και δημιουργήθηκαν προς εξέταση διάφορα σενάρια ζήτησης, τέτοια ώστε να εμφανίζεται συμφόρηση στον αυτοκινητόδρομο και υπερχείλιση στις ουρές των ραμπών εισόδου.

Στον προσομοιωτή αναπτύχθηκαν και ενσωματώθηκαν διάφορες μέθοδοι ελέγχου ραμπών εισόδου που έχουν σκοπό τον έλεγχο της ροής της ράμπας και ταυτόχρονα τον έλεγχο της υπερχείλισης των ουρών.

Τελικά αξιολογούμε τις διάφορες μεθόδους και τις συγκρίνουμε μεταξύ τους με τη χρήση κριτηρίων όπως: μέγιστη υπερχείλιση ουράς, μέση υπερχείλιση ουράς, μέση ροή στον αυτοκινητόδρομο κλπ.



## Εισαγωγή

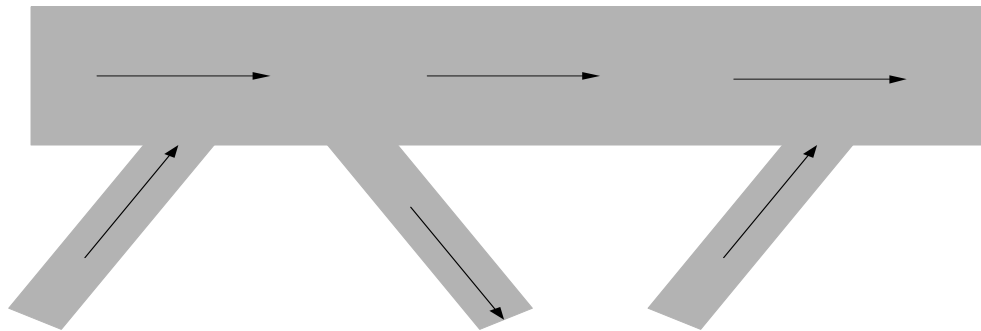
Τις τελευταίες δεκαετίες σε όλα τα μεγάλα αστικά κέντρα, παρατηρούνται προβλήματα κυκλοφοριακής συμφόρησης. Η αναγκαιότητα ενός ιδιωτικής χρήσης αυτοκινήτου σε συνδυασμό με τις προσιτές τιμές των οχημάτων καθώς και τον ελλιπή σχεδιασμό μέσων μαζικής μεταφοράς έχουν δημιουργήσει μεγάλο πρόβλημα και όσο αφορά τον χαμένο χρόνο που σπαταλιέται στους δρόμους και όσο αφορά τις οικονομίες των χωρών, αλλά και την επιβάρυνση του περιβάλλοντος.

Όλα αυτά καθιστούν απαραίτητη τη χρήση μέτρων, σε παγκόσμιο επίπεδο. Η έρευνα για εναλλακτικές πηγές ενέργειας και η προσπάθεια εξάπλωσης των μέσων μαζικής μεταφοράς θα πρέπει να είναι οι πρώτοι στόχοι κάθε κοινωνίας. Δυστυχώς αυτές οι λύσεις αν και απαραίτητες, αν θέλουμε να μιλάμε για επίλυση του προβλήματος, λόγω του οικονομικού κόστους, άλλων προτεραιοτήτων και πολιτικών και οικονομικών συμφερόντων αφήνονται για το μέλλον.

Προς το παρόν, αν και η έρευνα στους παραπάνω τομείς προχωρά, τα μόνα μέτρα που μπορούν να μπουν άμεσα σε εφαρμογή, για να βελτιώσουν την κατάσταση και όχι για να λύσουν το πρόβλημα, είναι η χρήση διάφορων πολιτικών που ως στόχο έχουν τη βέλτιστη χρήση της ήδη υπάρχουσας υποδομής. Αυτές οι πολιτικές χρησιμοποιούν τους φωτεινούς σηματοδότες ως απενεργοποιητές για να αυξήσουν τη ροή των αυτοκινήτων σε κάποιον αυτοκινητόδρομο, να ελαχιστοποιήσουν το μέσο χρόνο παραμονής των αυτοκινήτων σε κάποιο δίκτυο κ.λ.π.

Στη συγκεκριμένη διατριβή προσπαθούμε να δούμε την επίδραση διάφορων τέτοιων πολιτικών σε έναν απλό αυτοκινητόδρομο. Θα προσπαθήσουμε να συγκρίνουμε κάποιες πολιτικές μεταξύ τους και να βρούμε τα δυνατά και τα αδύνατα σημεία της κάθε μιας.

Το σύστημα το οποίο προσομοιώσαμε αποτελείται από ένα κεντρικό αυτοκινητόδρομο, δύο ράμπες εισόδου και μία ράμπα εξόδου (σχήμα 0.1).



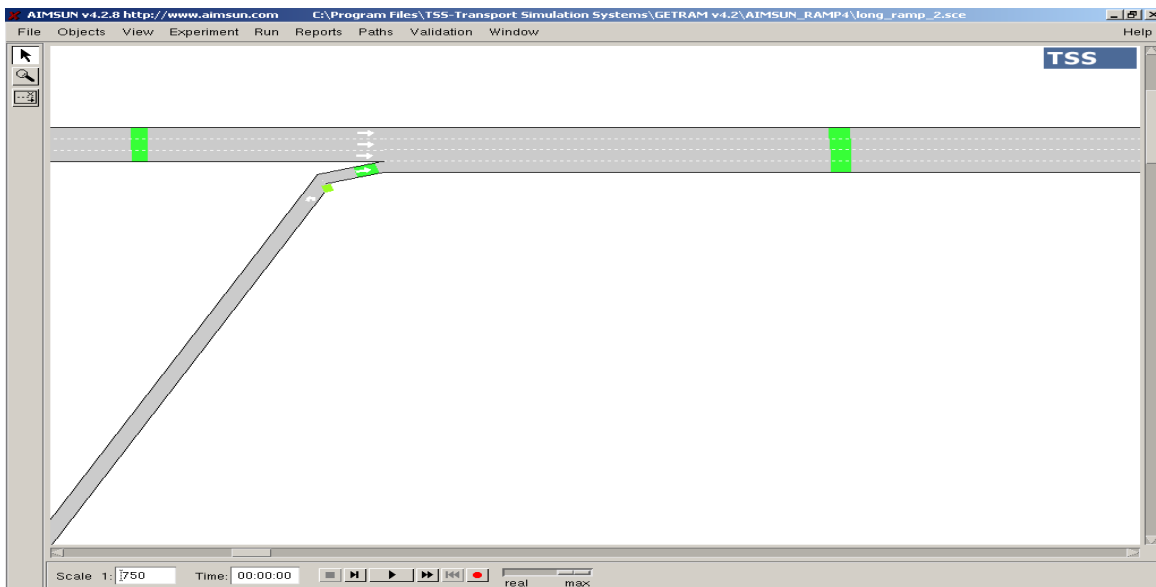
σχήμα 0.1 (το δίκτυο της προσομοίωσης)

## ΕΙΣΑΓΩΓΗ

Στην δεύτερη ράμπα προσπαθούμε θέτοντας σε λειτουργία τον απενεργοποιητή μας (φανάρι), να βελτιστοποιήσουμε τη ροή στον αυτοκινητόδρομο και ταυτόχρονα να μην αφήσουμε να δημιουργηθεί τέτοια ουρά στη ράμπα, που θα μπορούσε να δημιουργήσει πρόβλημα στο υπόλοιπο δίκτυο (υποθέτουμε ότι οι ράμπες ενώνουν τον αυτοκινητόδρομο με κάποιο αστικό δίκτυο).

Για τον έλεγχο της ροής θα χρησιμοποιήσουμε την πολιτική ALINEA και για τον έλεγχο της ουράς θα χρησιμοποιήσουμε 3 διαφορετικές μεθόδους οι οποίες περιγράφονται στο κεφάλαιο 4. Ο προσομοιωτής που χρησιμοποιούμε είναι το πακέτο λογισμικού AIMSUN. Πρόκειται για έναν μικροσκοπικό προσομοιωτή, που δίνει τη δυνατότητα σχεδίασης οποιουδήποτε οδικού δικτύου και την κατασκευή σεναρίων ζήτησης. Το AIMSUN επίσης μας δίνει τη δυνατότητα να κατασκευάσουμε κώδικα στη C++ και από εκεί να προσθέσουμε δικές μας πολιτικές ελέγχου.

Αρχικό μας μέλημα είναι να φτιάξουμε ένα σενάριο τέτοιο ώστε να δημιουργείται κυκλοφοριακή συμφόρηση στον αυτοκινητόδρομο (κατάντη της δεύτερης ράμπας), η οποία όσο περνά ο χρόνος, θα μεταφέρεται προς τα πίσω. Φυσικά το σενάριο αυτό θα δημιουργηθεί σε συνθήκες μη ελεγχόμενης ράμπας. Στη συνέχεια θα δούμε αν η ALINEA μπορεί να ελέγξει τη ροή και να την κρατήσει σε ένα σταθερό επιθυμητό επίπεδο. Αναμένεται με τη χρήση της ALINEA να δημιουργηθούν ουρές στη ράμπα, οι οποίες όμως δε πρέπει να ξεπερνούν κάποιον συγκεκριμένο αριθμό αυτοκινήτων. Έτσι θα δούμε ποια θα είναι η συμπεριφορά του δικτύου με συνδυασμό δύο πολιτικών των οποίων οι στόχοι είναι διαφορετικοί και πολλές φορές αλληλοσυγκρουόμενοι (ρύθμιση κυκλοφορίας αυτοκινητοδρόμου-αποφυγή υπερχειλίσης ουρών στη ράμπα).



**σχήμα 0.2 (ράμπα εισόδου σχεδιασμένη στο AIMSUN)**

## Κεφάλαιο 1

### 1. ΓΕΝΙΚΗ ΠΕΡΙΓΡΑΦΗ ΤΟΥ ΠΡΟΒΛΗΜΑΤΟΣ

#### 1.1 Κυκλοφοριακή Συμφόρηση

Κάθε σύστημα πεπερασμένης χωρητικότητας είναι αναπόφευκτο, κάτω από συγκεκριμένες συνθήκες ζήτησης, να παρουσιάζει φαινόμενα κορεσμού. Τέτοια συστήματα είναι και τα οδικά κυκλοφοριακά συστήματα. Τα κορεσμένα οδικά κυκλοφοριακά συστήματα δημιουργούν πάρα πολλά προβλήματα (χαμένος χρόνος στο δρόμο, σπατάλη καυσίμων, εκπομπή ρύπων, ψυχολογική πίεση στους οδηγούς, μείωση της ασφάλειας κλπ) .

Εφόσον η χρήση των οχημάτων ιδιωτικής χρήσης, όχι απλά δε μειώνεται, αλλά αντιθέτως αυξάνεται σε όλες τις χώρες του πλανήτη, έχουν τεθεί δύο άμεσοι στρατηγικοί στόχοι για την αντιμετώπιση της κυκλοφοριακής συμφόρησης και των συνεπειών της. Από τη μια, μπορούμε να αυξήσουμε τη χωρητικότητα των οδικών δικτύων με την κατασκευή νέων δρόμων, αλλά φυσικά αυτό εμπεριέχει μεγάλο κόστος αλλά και άλλους περιορισμούς, όσο αφορά την έλλειψη χώρου για τέτοιες κατασκευές στα ανεπτυγμένα αστικά δίκτυα. Μια δεύτερη προσέγγιση είναι η προσπάθεια αύξησης της χρήσης της ήδη υπάρχουσας υποδομής με διάφορες μεθόδους του αυτομάτου ελέγχου.

#### 1.2 Έλεγχος της Κυκλοφορίας

##### 1.2.1 Μέτρα ελέγχου της κυκλοφορίας

Προκειμένου να πραγματοποιηθεί η ζητούμενη παρέμβαση στο φαινόμενο της κυκλοφοριακής ροής, απαιτούνται μηχανισμοί και μέθοδοι παρέμβασης ικανές να επηρεάσουν τις κυκλοφοριακές συνθήκες με τρόπο συστηματικό και συνεκτικό. Με άλλα λόγια, χρειάζονται μέτρα ελέγχου της κυκλοφοριακής ροής ικανά εν δυνάμει να επιδράσουν θετικά. Ο λόγος για τον οποίο η θετική επίδραση των μέτρων ελέγχου αναφέρεται όχι ως δεδομένο, αλλά ως εν δυνάμει χαρακτηριστικό, είναι ότι η αλόγιστη χρήση τους μπορεί να οδηγήσει σε αντίθετα αποτελέσματα, είτε λόγω της λάθος εφαρμογής τους, είτε λόγω των αντικρουόμενων στόχων τους. *(Παραδείγματος χάρη στην περίπτωση της συγκεκριμένης εργασίας, θα προσπαθήσουμε από τη μια να περιορίσουμε τη*

*ροή της ράμπας εισόδου για την αποφυγή συμφόρησης στον κεντρικό αυτοκινητόδρομο και από την άλλη να μειώσουμε τις ουρές υπερχείλισης της ράμπας. Το δεύτερο σημαίνει αύξηση της ροής της ράμπας εισόδου).*

Ανταγωνιστικές συμπεριφορές μεταξύ μέτρων ελέγχου, του ίδιου ή διαφορετικού είδους, εφαρμοζόμενων στο ίδιο σύστημα, απαντάται συχνά σε εφαρμογές αυτομάτου ελέγχου. Ο συντονισμός των μέτρων ελέγχου είναι μία εκ των ουκ άνευ ιδιοτήτων μιας συνολικής στρατηγικής ελέγχου, που έχει υπό την εποπτεία της διάφορα μέτρα ελέγχου του ίδιου ή διαφορετικού είδους. Κατά σύμβαση ονομάζουμε τον έλεγχο που παρέχεται από μια στρατηγική που λαμβάνει υπόψη της μέτρα ελέγχου του ίδιου είδους, *συντονισμένο έλεγχο*, ενώ όταν υπάρχουν διαφορετικού είδους μέτρα ελέγχου, λέμε ότι έχουμε *ολοκληρωμένο έλεγχο*.

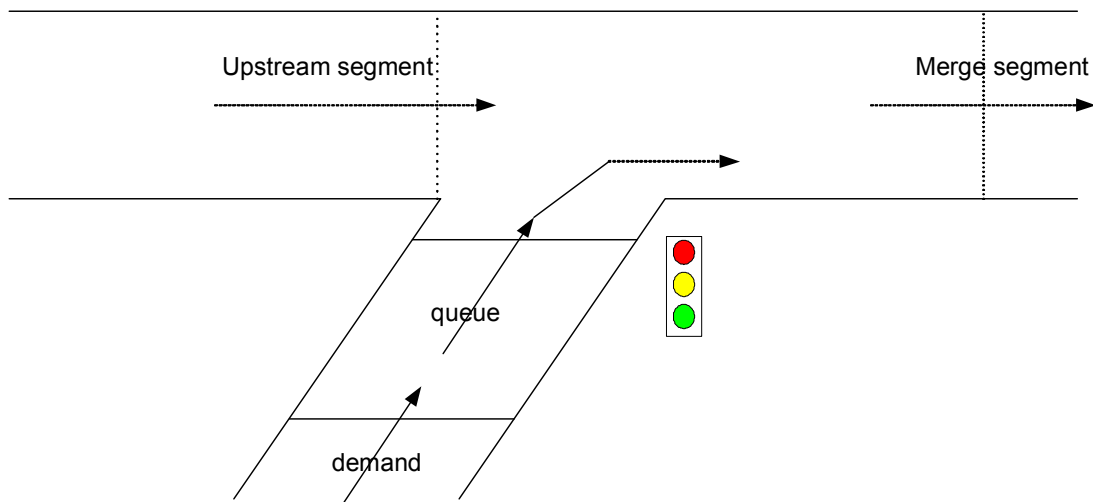
Τα κύρια μέτρα ελέγχου που μπορούν να εφαρμοστούν σε ένα δίκτυο αυτοκινητοδρόμων είναι ο έλεγχος της ροής των ραμπών εισόδου (ramp metering), η καθοδήγηση πορείας (route guidance) και ο έλεγχος ροής από αυτοκινητόδρομο σε αυτοκινητόδρομο. Στην παρούσα εργασία θα ασχοληθούμε με των έλεγχο της ροής των ραμπών εισόδου.

### 1.2.2 Έλεγχος ραμπών εισόδου

Ο έλεγχος ράμπας εισόδου είναι ένα από τα βασικά και πλέον αποτελεσματικά μέτρα ελέγχου που μπορούν να εφαρμοστούν σε δίκτυα αυτοκινητοδρόμων. Η βασική αρχή λειτουργίας τους βασίζεται στη συνεχή ρύθμιση, με βάση κάποιον προαποφασισμένο κανόνα, που ονομάζεται στρατηγική ελέγχου. Η στρατηγική ελέγχου έχει να κάνει με την απόφαση του αριθμού των οχημάτων που επιτρέπεται να εισέλθουν στο κυρίως ρεύμα της κυκλοφοριακής ροής (δηλαδή στον αυτοκινητόδρομο), μέσω των ραμπών εισόδου.

Στο σχήμα 1.1 φαίνεται μια ράμπα εισόδου μέσω της οποίας εισέρχονται οχήματα στον αυτοκινητόδρομο. Ο αυτοκινητόδρομος χωρίζεται σε δύο μέρη, ένα ανάντη της ράμπας (upstream) και ένα κατάντη της ράμπας (merge). Η κυκλοφοριακή ζήτηση (demand) που εμφανίζεται στην αρχή της ράμπας εισόδου, είτε από κάποιο αστικό δίκτυο, είτε από κάποιον άλλο αυτοκινητόδρομο, αναμιγνύεται με τη ροή του αυτοκινητοδρόμου που κατέρχεται από το ανάντη τμήμα και προωθείται στο κατάντη τμήμα του αυτοκινητοδρόμου.

Όπως μπορούμε εύκολα να συμπεράνουμε ισχύουν τα παρακάτω. Πρώτον, η ζήτηση της ράμπας ικανοποιείται εις βάρος της πεπερασμένης χωρητικότητας του αυτοκινητοδρόμου. Δεύτερον, η διαδικασία μίξης των οχημάτων της ανάντη ροής με τη ροή της ράμπας, οδηγεί σε μείωση της ταχύτητας στην περιοχή γύρω από τη ράμπα. Αυτή η μείωση μεγιστοποιείται, όταν η είσοδος της ράμπας δεν είναι ελεγχόμενη.



**σχήμα 1.1: Ράμπα εισόδου**

Προκειμένου να αποφύγουμε την άναρχη είσοδο των οχημάτων της ράμπας στον αυτοκινητόδρομο, τοποθετούμε φωτεινό σηματοδότη στην διασταύρωση της ράμπας με τον αυτοκινητόδρομο. Η στρατηγική ελέγχου προσδιορίζει τη λειτουργία του φωτεινού σηματοδότη έτσι ώστε να ρυθμίζεται η είσοδος των οχημάτων στον αυτοκινητόδρομο, σύμφωνα με τα κριτήρια και τους στόχους σχεδιασμού της.

Η λειτουργία ενός φωτεινού σηματοδότη έχει προκαθορισμένες μορφές. Μια πολιτική είναι αυτή που επιτρέπει την είσοδο μόνο ενός αυτοκινήτου κάθε φορά που ανάβει πράσινο (one-car-per-green). Μια δεύτερη πολιτική είναι αυτή που κάνει χρήση της περιόδου φωτεινής σηματοδότησης, όπως δηλαδή και στα αστικά δίκτυα (cycle time). Και μια τρίτη είναι αυτή των μεταβαλλόμενων διακριτών ροών εισόδου (discrete release rates). Όλες αυτές οι μορφές λειτουργίας ενός σηματοδότη ενσωματώνονται στην εργασία και θα εξηγηθούν πιο αναλυτικά σε παρακάτω κεφάλαια.

Σε όλες τις περιπτώσεις προστίθενται στο πρόβλημα μας και κάποιοι «λειτουργικοί» περιορισμοί όπως ο προκαθορισμός μιας ελάχιστης διάρκειας του πράσινου και μια μέγιστη επιτρεπτή ουρά που μπορεί να δημιουργηθεί μέσα στη ράμπα. Οι δύο αυτοί περιορισμοί έχουν να κάνουν από τη μια με την κατανόηση, ότι για να διευκολύνουμε την ροή του αυτοκινητοδρόμου, δεν μπορούμε να «φράξουμε» τη ράμπα εισόδου καταδικάζοντας τους οδηγούς σε τεράστια αναμονή, και από την άλλη δεν μπορούμε να επιτρέψουμε την υπερβολική συσσώρευση αυτοκινήτων στη ράμπα, γιατί έτσι θα δημιουργήσουμε πρόβλημα στο δίκτυο ή τον αυτοκινητόδρομο που την τροφοδοτεί.

Οι περιορισμοί αυτοί ποικίλουν ανάλογα με το δίκτυο στο οποίο προσπαθούμε να ασκήσουμε έλεγχο και καθορίζονται κάθε φορά από τους υπεύθυνους με βάση και τις συνθήκες του δικτύου, αλλά και τους στόχους του ελέγχου. Ο σχεδιασμός όμως των στρατηγικών ελέγχου πρέπει να είναι γενικός, ώστε να είναι δυνατή η εφαρμογή τους σε οποιοδήποτε δίκτυο αυτοκινητοδρόμων.

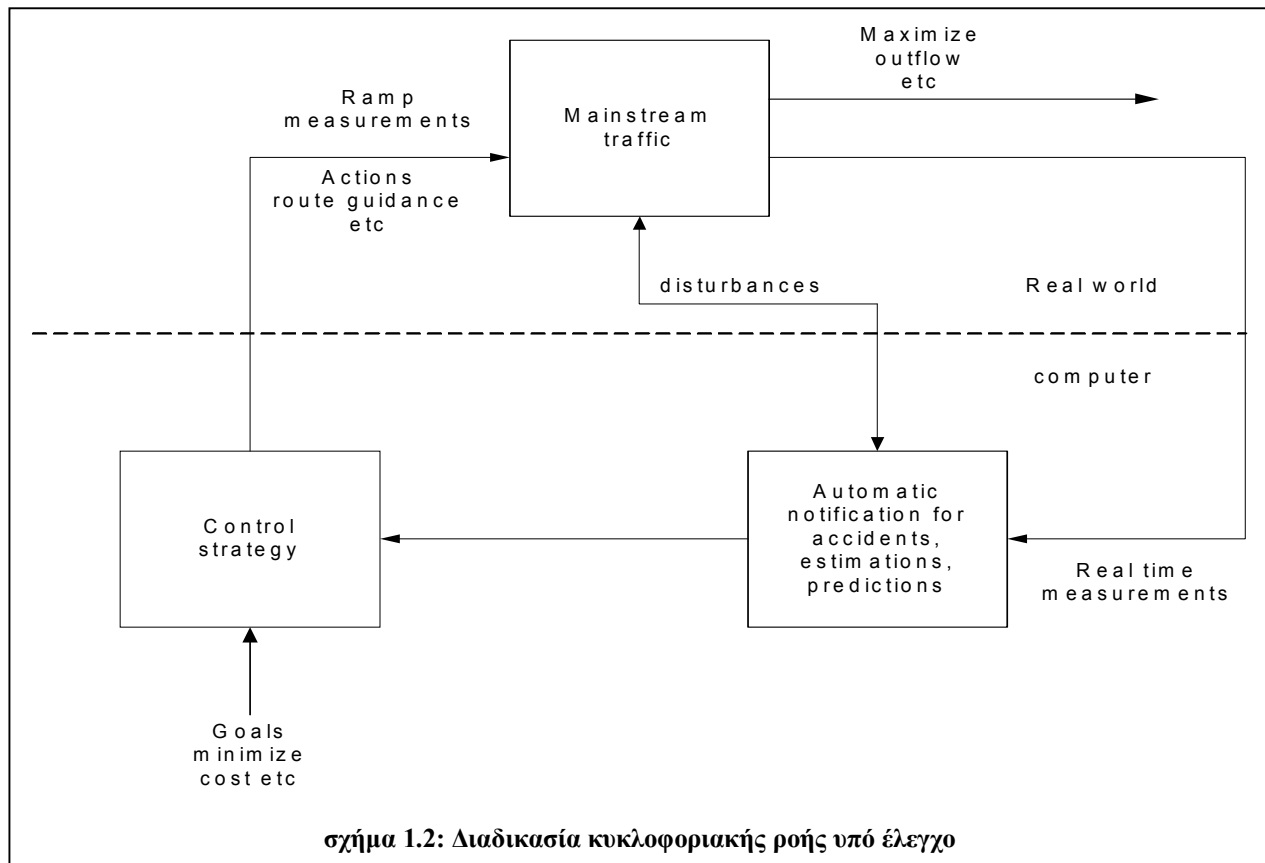
Οι στρατηγικές ελέγχου ραμπών εισόδου στοχεύουν στον προσδιορισμό της κυκλοφοριακής ροής που θα πρέπει να εισέλθει από την ουρά (της ράμπας) στην κυκλοφορία κατά τη διάρκεια ενός διακριτού βήματος ελέγχου. Ο προσδιορισμός αυτού του μεγέθους οδηγεί και στην αντίστοιχη ακολουθία πρασίνου και κόκκινου ανάλογα με τις προδιαγραφές λειτουργίας του φωτεινού σηματοδότη. Έτσι ο προσδιορισμός του αριθμού των οχημάτων στα οποία θα επιτραπεί η είσοδος κατά τη διάρκεια ενός διακριτού βήματος ελέγχου, είναι αρκετός στα πλαίσια μιας μελέτης για το σχεδιασμό μιας στρατηγικής ελέγχου.

### 1.2.3 Ο βρόγχος ελέγχου

Όλα όσα προαναφέραμε μπορούν άνετα να περιγραφούν με όρους «δανεισμένους» από τη θεωρία Αυτομάτου Ελέγχου. Με αυτόν τον τρόπο μπορούμε να εντάξουμε τις παραμέτρους, τα χαρακτηριστικά, καθώς και τα μέτρα ελέγχου της κυκλοφορίας, σε μια αυστηρά μαθηματική περιγραφή. Στο σχήμα 1.2 φαίνονται τα βασικά στοιχεία του βρόγχου ελέγχου της κυκλοφοριακής ροής, της οποίας η συμπεριφορά εξαρτάται από ενδογενείς και εξωγενείς παράγοντες που χαρακτηρίζουν τη δυναμική της. Οι εξωγενείς παράγοντες μπορούν να καταταχθούν σε δύο κατηγορίες:

1. είσοδοι ελέγχου, που είναι ευθέως συσχετισμένες με τα αντίστοιχα μέσα ελέγχου (φωτεινοί σηματοδότες κλπ). Οι είσοδοι ελέγχου επιλέγονται από μία επιτρεπτή περιοχή ελέγχου που προσδιορίζεται από τεχνικούς και επιχειρησιακούς περιορισμούς.
2. Διαταραχές, που είναι μη ελεγχόμενες είσοδοι από το περιβάλλον του κυκλοφοριακού συστήματος. Οι τιμές τους δε μπορούν να ελεγχθούν, αλλά μπορεί να είναι μετρήσιμες (ζήτηση), ανιχνεύσιμες (ατυχήματα) ή προβλέψιμες (ροή εξόδου του αυτοκινητοδρόμου).

Το κριτήριο απόδοσης του δικτύου ποικίλει ανάλογα την περίπτωση για την οποία γίνεται ο έλεγχος. Είναι απαραίτητο το κριτήριο να είναι μετρήσιμο και υπολογίσιμο, άμεσα ή έμμεσα, με τη βοήθεια των αισθητήρων που τοποθετούνται μέσα στο δίκτυο, έτσι ώστε να είναι δυνατή η ποσοτική αξιολόγηση των αποτελεσμάτων. Τα κριτήρια απόδοσης που θα χρησιμοποιήσουμε στην παρούσα διατριβή είναι, η μέση κατάληψη (%) του αυτοκινητοδρόμου στην περιοχή γύρω από τη ράμπα, η μέση και η μέγιστη τιμή της ουράς της ράμπας για τις χρονικές στιγμές που δημιουργείται κυκλοφοριακή συμφόρηση, η μέγιστη και μέση τιμή της υπερχειλίσης της ουράς καθώς και του μέσου χρόνου παραμονής στο αστικό δίκτυο για την περίπτωση που η ράμπα εισόδου ενώνει μια διασταύρωση αστικού δικτύου με τον αυτοκινητόδρομο.



Αισθητήρες τοποθετημένοι μέσα στο δίκτυο παρέχουν μετρήσεις πραγματικού χρόνου που χρησιμοποιούνται σε συνδυασμό με τις μετρήσεις των διαταραχών, από αλγορίθμους εκτίμησης της συνολικής κατάστασης, πρόβλεψης των διαταραχών κλπ. Οι αλγόριθμοι αυτοί μας βοηθούν να έχουμε μια πιο σφαιρική άποψη της πραγματικής κατάστασης, πράγμα που δεν διασφαλίζεται μόνο από τις πραγματικού χρόνου μετρήσεις. Η συνολική πληροφορία που προκύπτει, δίνεται στη διάθεση της στρατηγικής που θα χρησιμοποιήσουμε για να πραγματοποιήσει τους απαραίτητους μαθηματικούς υπολογισμούς.

Η στρατηγική ελέγχου είναι ο πυρήνας κάθε συστήματος κυκλοφοριακού ελέγχου που προσδιορίζει, με βάση τις τρέχουσες και προηγούμενες εκτιμήσεις της κατάστασης του συστήματος και των διαταραχών, τις απαραίτητες ενέργειες που θα βελτιστοποιήσουν το προεπιλεγμένο κριτήριο απόδοσης. Ο τρόπος με τον οποίο προσδιορίζονται αυτές οι ενέργειες, είναι συνέπεια του σχεδιασμού της στρατηγικής ελέγχου. Τόσο σε ερευνητικό επίπεδο όσο και σε επίπεδο πρακτικών εφαρμογών, υπάρχει ένας μεγάλος αριθμός στρατηγικών ελέγχου που διαφοροποιούνται ως προς τα μέσα που χρησιμοποιούν, την γεωγραφική κατανομή τους, το βαθμό συνεργασίας μεταξύ τους καθώς και την αξιοποιούμενη πληροφορία.

## Κεφάλαιο 2

## 2. ΣΤΡΑΤΗΓΙΚΕΣ ΕΛΕΓΧΟΥ

### 2.1 Στρατηγικές Σταθερού Χρόνου (fixed-time ramp metering strategies)

Από τις πρώτες αλλά και πιο απλές στρατηγικές ελέγχου, είναι οι στρατηγικές σταθερού χρόνου, όπου οι φωτεινοί σηματοδότες ρυθμίζονται ανάλογα με την ώρα. Σε αυτές τις στρατηγικές δε χρησιμοποιούνται μετρήσεις πραγματικού χρόνου, αλλά δεδομένες ιστορικές μετρήσεις της ζήτησης σε κάθε ράμπα. Αυτές οι ιστορικές μετρήσεις επεξεργάζονται από απλά στατικά μοντέλα, προκειμένου να προσδιοριστεί ο τρόπος λειτουργίας του φωτεινού σηματοδότη ανάλογα με την ώρα της ημέρας.

Ένας αυτοκινητόδρομος χωρίζεται σε τμήματα που το κάθε ένα περιέχει μια ράμπα εισόδου. Τότε θα έχουμε:

$$q_j = \sum_{i=1}^j a_{i,j} r_i \quad \text{Σχέση 2.1}$$

όπου  $q_j$  είναι η ροή του αυτοκινητοδρόμου στο τμήμα  $j$ ,  $r_i$  είναι η ροή της ράμπας εισόδου που ανήκει στο τμήμα  $i$ , και  $0 \leq a_{i,j} \leq 1$  εκφράζει το ποσοστό των οχημάτων που αναμένεται (από τα ιστορικά δεδομένα) να εισέρθουν στο τμήμα  $i$  από και δεν εξέρχονται από τον αυτοκινητόδρομο μέχρι το τμήμα  $j$ . Για να μην υπάρχει συμφόρηση θα πρέπει να ισχύει:

$$q_j \leq q_{j,cap} \quad \forall j \quad \text{Σχέση 2.2}$$

όπου  $q_{j,cap}$  είναι η ικανότητα του τμήματος  $j$ . Επιπλέον υπάρχουν οι παρακάτω περιορισμοί:

$$r_{j,min} \leq r_j \leq \min\{r_{j,max}, d_j\} \quad \text{Σχέση 2.3}$$

όπου  $d_j$  είναι η ζήτηση της ράμπας  $j$ . Αυτή η προσέγγιση προτάθηκε στο [6]. Αντικειμενικά κριτήρια που μπορούν να χρησιμοποιηθούν σε αυτές τις στρατηγικές θα μπορούσαν να είναι, ο συνολικός αριθμός των οχημάτων που εξυπηρετούνται και η συνολικά διανυθείσα απόσταση. Έτσι οδηγούμαστε σε απλά γραμμικά ή τετραγωνικά προβλήματα βελτιστοποίησης.



Το βασικό μειονέκτημα αυτών των στρατηγικών είναι το ότι δε χρησιμοποιούν μετρήσεις πραγματικού χρόνου, αλλά όπως αναφέραμε, ιστορικά δεδομένα. Αυτό έχει σαν αποτέλεσμα την υπεραπλούστευση του προβλήματος ελέγχου αφού οι ζητήσεις δε μπορεί να είναι σταθερές. Επίσης τα ιστορικά δεδομένα που χρησιμοποιήθηκαν κατά το σχεδιασμό της στρατηγικής, θα πρέπει συνεχώς να ανανεώνονται ανά τακτά χρονικά διαστήματα ώστε να λαμβάνουν υπόψη τις διάφορες αλλαγές που γίνονται με τον καιρό. Ένα άλλο μειονέκτημα είναι το ότι μια τέτοια στρατηγική δε μπορεί να προσαρμοστεί σε τυχόν απρόβλεπτες καταστάσεις που θα συμβούν στο δίκτυο. (π.χ. χιονόπτωση, ατυχήματα, ποδοσφαιρικοί αγώνες κλπ). Αποτέλεσμα αυτών των μειονεκτημάτων είναι είτε η υπερφόρτωση του αυτοκινητοδρόμου, είτε η δημιουργία μη αναγκαίων ουρών στις ράμπες εισόδου.

### 2.2 Φωρατές –Μετρήσεις Πραγματικού Χρόνου

Η πιο διαδεδομένη μορφή αισθητήρα σε οδικά δίκτυα, στα οποία θέλουμε να ελέγξουμε την κυκλοφορία, είναι ο φωρατής. Πρόκειται για ένα ορθογώνιο πλαίσιο που τοποθετείται σε κάθε λωρίδα κυκλοφορίας. Με τη χρήση του φαινομένου της επαγωγής, μπορούμε να προσδιορίσουμε την παρουσία ενός οχήματος που περνά πάνω από τον φωρατή. Ο αριθμός των οχημάτων που περνούν από ένα συγκεκριμένο φωρατή, κατά τη διάρκεια ενός συγκεκριμένου χρονικού διαστήματος, μας δίνει τη κυκλοφοριακή ροή της συγκεκριμένης λωρίδας. Μετρώντας το ποσοστό του χρόνου που ο φωρατής είναι κατειλημμένος λαμβάνουμε το ποσοστό κατάληψης του δρόμου. Επίσης με την κατάλληλη τοποθέτηση των φωρατών είναι δυνατή και η μέτρηση της ταχύτητας των οχημάτων.

Οι στρατηγικές ελέγχου της ροής των ραμπών που χρησιμοποιούν μετρήσεις πραγματικού χρόνου διακρίνονται σε τοπικές στρατηγικές και σε στρατηγικές συντονισμένου ελέγχου. Οι πρώτες χρησιμοποιούν μετρήσεις που λαμβάνονται από τη γύρω περιοχή της ράμπας εισόδου, ενώ οι δεύτερες χρησιμοποιούν μετρήσεις από φωρατές που είναι τοποθετημένοι σε μια πιο ευρεία περιοχή του αυτοκινητοδρόμου. Δύο γνωστές στρατηγικές τοπικού ελέγχου είναι η στρατηγική ζήτησης-ικανότητας (demand-capacity) και η ALINEA.

### 2.3 Στρατηγική Ζήτησης-Ικανότητας

Η στρατηγική ζήτησης-ικανότητας, υπολογίζει τη ροή της ράμπας  $r(k)$  για το διακριτό χρονικό βήμα  $k$ , με βάση τον κανόνα:

$$r(k) = \begin{cases} q_{cap} - q_{in}(k-1) & \text{αν } o_{out}(k) \leq o_{cr} \\ r_{min} & \text{αλλιώς} \end{cases} \quad \text{Σχέση 2.4}$$

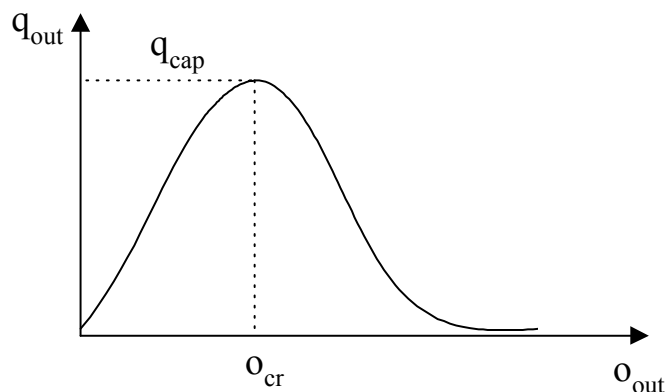
όπου  $q_{cap}$  είναι η ικανότητα του δρόμου κατάντη της ράμπας,  $q_{in}$  είναι η μέτρηση της ροής ανάντη της ράμπας,  $o_{out}$  είναι η μέτρηση του ποσοστού κατάληψης του αυτοκινητοδρόμου κατάντη της ράμπας,  $o_{cr}$  είναι η κρίσιμη τιμή του ποσοστού κατάληψης, κατά την οποία η ροή του αυτοκινητοδρόμου γίνεται μέγιστη και  $r_{min}$  είναι η προκαθορισμένη ελάχιστη ροή της ράμπας, για την αποφυγή του φραγμού της. Στο σχήμα (2.1) απεικονίζεται το θεμελιώδες διάγραμμα όπου φαίνεται η σχέση μεταξύ των παραπάνω μεγεθών.

## 2.4 ALINEA

Η ALINEA είναι μια στρατηγική ελέγχου ραμπών με ανατροφοδότηση

$$r(k) = r(k-1) + K_R [\bar{o} - o_{out}(k-1)] \quad \text{Σχέση 2.5}$$

όπου το  $K_R > 0$  είναι μία παράμετρος (I – regulator) και  $\bar{o}$  είναι μία σταθερή επιθυμητή τιμή για την κατάντη κατάληψη. Συνήθως αυτή η επιθυμητή τιμή ορίζεται ίση με την κρίσιμη τιμή  $O_{cr}$  (σχήμα 2.1) έτσι ώστε να πετύχουμε τη μέγιστη δυνατή ροή. Για λόγους μεγαλύτερης σιγουριάς μπορούμε να δώσουμε μια μικρότερη τιμή για να αποφύγουμε κυκλοφοριακές συμφορήσεις.



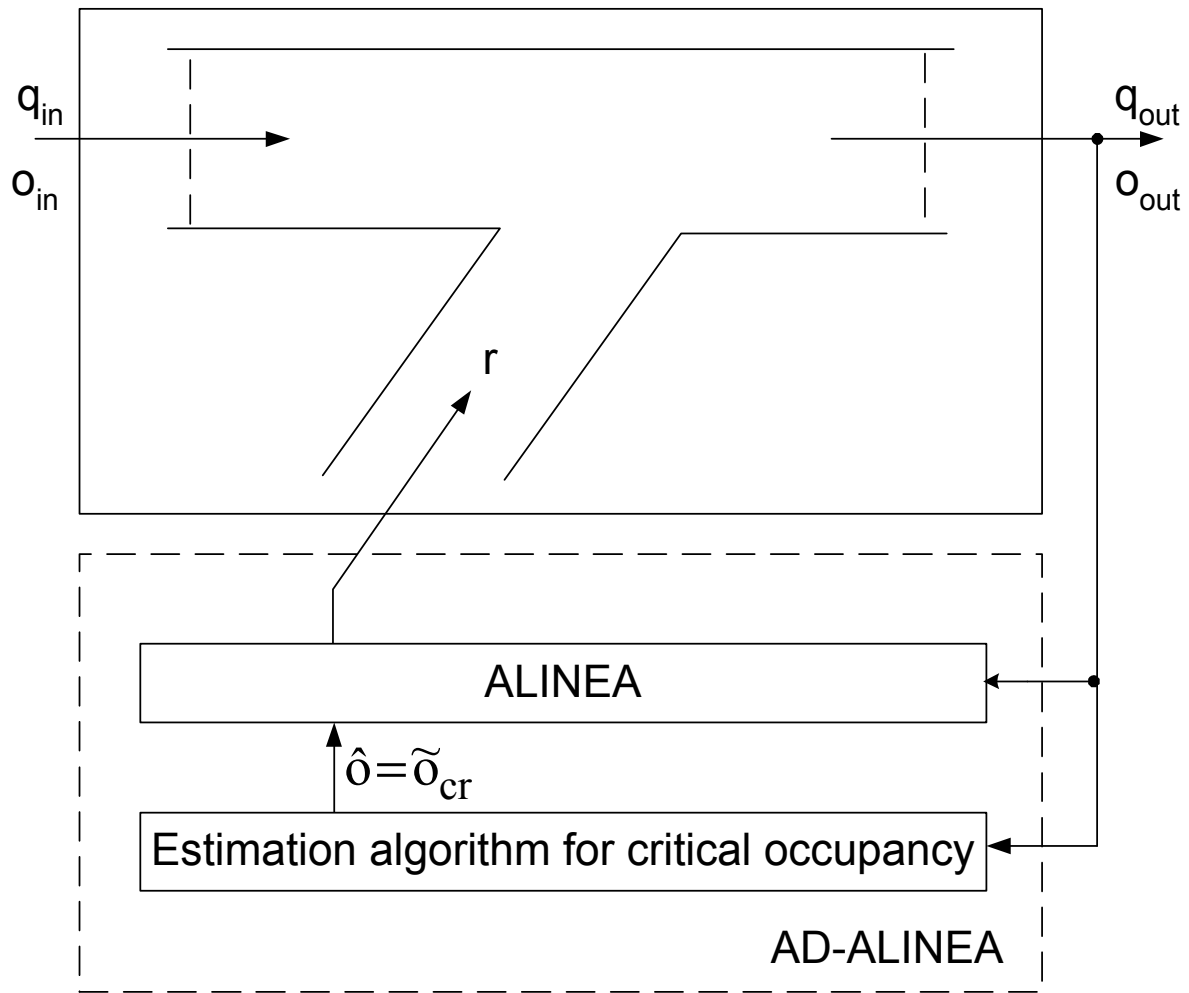
σχήμα 2.1: Θεμελιώδες διάγραμμα

Η στρατηγική ALINEA είναι ένας ρυθμιστής τύπου I (I-regulator), ως εκ τούτου εύκολα διαπιστώνεται, ότι σε μια στάσιμη κατάσταση (δηλαδή όταν η ροή εισόδου  $q_{in}$  παραμένει σταθερή), το  $\hat{o} = o_{out}$  προκύπτει από την σχέση (2.5), ανεξάρτητα από την ροή εισόδου  $q_{in}$  η οποία δεν χρησιμοποιείται από τη στρατηγική. Επίσης πρέπει να τονισθεί ότι η ALINEA αντιδρά ομαλά ακόμη και σε μικρά λάθη  $\hat{o} - o_{out}(k-1)$ , σταθεροποιώντας κατά συνέπεια την κυκλοφοριακή ροή γύρω από την προκαθορισμένη τιμή, ανεξάρτητα από την επιλογή του  $K_R$ .

Η ροή εισόδου της ράμπας  $r(k)$  που προκύπτει από την σχέση (2.5), περιορίζεται σύμφωνα με κάποιες προκαθορισμένες ανώτατες και κατώτατες τιμές  $[r_{min}, r_{max}(k)]$ , και η νέα τιμή που προκύπτει χρησιμοποιείται ως  $r(k-1)$  στη σχέση (2.5), στο επόμενο βήμα επανάληψης, έτσι ώστε να αποφύγουμε την γνωστή «wind-up» επίδραση των I-type regulators.  $r_{min} > 0$  είναι η ελάχιστη αποδεκτή ροή εισόδου της ράμπας, ενώ  $r_{max}(k) = \min\{\bar{r}_{max}, q_{ramp}(k-1) + \Delta r\}$  είναι η τρέχουσα μέγιστη αποδεκτή ροή, όπου  $\bar{r}_{max}$  (ή S) είναι η ικανότητα ροής της ράμπας,  $q_{ramp}(k-1)$  είναι η πραγματική ροή της ράμπας στο προηγούμενο χρονικό διάστημα και  $\Delta r$  είναι μια περαιτέρω παράμετρος. Ο λόγος που χρησιμοποιούμε ένα μη σταθερό στο χρόνο ανώτατο όριο, είναι το να αποτρέψουμε στην ALINEA τον υπολογισμό μεγάλων ροών εισόδου, όταν το  $\hat{o}$  είναι πολύ μεγαλύτερο από το  $o_{out}(k-1)$ . Με αυτόν τον τρόπο αποφεύγεται μια υπερανύψωση της κατάληψης (occupancy) (π.χ., στην αρχή της περιόδου αιχμής), επειδή η ALINEA συγκλίνει γρηγορότερα στο προκαθορισμένο  $\hat{o}$ . Επίσης το  $\Delta r$  δεν πρέπει να είναι πολύ μικρό, για να μην είναι η πολιτική μας αχρείαστα περιοριστική, όταν οι ζητήσεις αλλάζουν από ένα χρονικό βήμα ελέγχου στο επόμενο.

## 2.5 Προσαρμοστική ALINEA (AD-ALINEA)

Όπως είπαμε παραπάνω, για να επιτύχουμε τη μέγιστη ροή του αυτοκινητοδρόμου, θα πρέπει να προεπιλέξουμε την επιθυμητή τιμή  $\hat{o}$  όσο πιο κοντά γίνεται στη κρίσιμη τιμή  $o_{cr}$ . Μπορούμε να βρούμε την κρίσιμη τιμή της κατάληψης παρατηρώντας ιστορικές τιμές ροής/κατάληψης πριν ασκήσουμε έλεγχο. Εκτός του ότι από αυτές τις τιμές δεν μπορούμε να είμαστε απολύτως σίγουροι για την τιμή του  $o_{cr}$ , παρά μόνο για μια καλή προσέγγιση, παρατηρείται το φαινόμενο της μετακίνησης του κρίσιμου σημείου κατά τη πάροδο του χρόνου. Αυτό μπορεί να συμβεί λόγω κάποιου ατυχήματος, λόγω διαφορετικής ποιότητας οχημάτων (π.χ. φορτηγά), ή λόγω αλλαγής συνθηκών κυκλοφορίας (π.χ. ομίχλη). Για την επίτευξη λοιπόν της εκτίμησης του  $o_{cr}$  σε πραγματικό χρόνο, ο Σμαραγδής και άλλοι στο [5] πρότεινε δύο αλγόριθμους εκτίμησης που όταν συνδυάζονται με την ALINEA οδηγούν σε μια προσαρμοστική στρατηγική τοπικού ελέγχου (AD-ALINEA) στην οποία η επιθυμητή τιμή  $\hat{o}$  δεν προαποφασίζεται, αλλά εκτιμάται συνεχώς σε πραγματικό χρόνο, λαμβάνοντας υπόψη τις νέες συνθήκες κυκλοφορίας μεγιστοποιώντας έτσι τη ροή του αυτοκινητοδρόμου.



σχήμα 2.2: βασικό διάγραμμα της AD-ALINEA

Μια εφαρμογή της AD-ALINEA έγινε στο [4]. Στη συγκεκριμένη διατριβή μας ενδιαφέρει να συγκρίνουμε κάποιες προεπιλεγμένες στρατηγικές ελέγχου της ουράς. Γι αυτό το λόγο δε θα εξετάσουμε μια στρατηγική κυκλοφοριακού ελέγχου του τύπου AD-ALINEA. Εξάλλου από τις προσομοιώσεις μπορούμε να βρούμε ακριβώς την κρίσιμη τιμή του ποσοστού κατάληψης του αυτοκινητοδρόμου. Τέλος, όλοι οι παράγοντες που επηρεάζουν την κρίσιμη τιμή έχουν αδρανοποιηθεί. Π.χ. δεν υπάρχει περίπτωση να γίνει ατύχημα, δεν έχουμε διαφορετικά είδη οχημάτων με διαφορετικά μήκη, τελικές ταχύτητες κλπ. Η μοντελοποίηση του προσομοιωτή AIMSUN έχει προβλέψει για όλα τα παραπάνω και υπάρχουν επιλογές ενεργοποίησης και απενεργοποίησης.

## Κεφάλαιο 3

### 3. ΠΟΛΙΤΙΚΕΣ ΕΛΕΓΧΟΥ ΡΑΜΠΑΣ (METERING POLICIES)

#### 3.1 Γενικά

Οι τυπικοί αλγόριθμοι ελέγχου ράμπας, δίνουν τις τιμές των ροών της ράμπας  $r(k)$  (οχήματα/ώρα) που θα εφαρμοστούν κατά το επόμενο βήμα ελέγχου  $k$ . Το επόμενο βήμα λοιπόν μιας εφαρμογής ελέγχου ράμπας είναι η χρήση αυτών των τιμών, π.χ. με τη λειτουργία του φωτεινού σηματοδότη, έτσι ώστε να επιτραπεί σε  $T \cdot r(k)/3.600$  οχήματα να εξέλθουν από τη ράμπα κατά τη διάρκεια των επόμενων  $T$  δευτερολέπτων. Έχουν προταθεί και χρησιμοποιηθεί στην πράξη, πολλές εναλλακτικές της χρήσης των τιμών  $r(k)$ , κάθε μια από τις οποίες έχει τα δικά της πλεονεκτήματα και μειονεκτήματα. Αυτές οι εναλλακτικές θα εξηγηθούν με λεπτομέρεια στα αμέσως επόμενα υποκεφάλαια.

Οι φωτεινοί σηματοδότες λειτουργούν με βάση μιας περιόδου (κύκλου) κυκλοφορίας που αποτελείται από τις παρακάτω φάσεις:

- (i) Φάση πράσινου  $G$  sec (green phase)
- (ii) Φάση προειδοποίησης  $A$  sec (amber phase)
- (iii) Φάση κόκκινου  $R$  sec (red phase)
- (iv) Φάση προειδοποίησης  $A'$  sec (red-amber phase)

Έτσι ώστε

$$c = G + A + R + A' \quad \text{σχέση 3.1}$$

Οι μόνες φάσεις που αλλάζουν από την πολιτική μας είναι αυτές του πράσινου και κόκκινου. Οι άλλες δύο έχουν σταθερή τιμή η οποία μπορεί, για τη μία μόνο ή και τις δύο μαζί, να είναι και μηδέν ( $A = 0$  ή  $A' = 0$ ).

Για δεδομένα  $G$  και  $c$ , ο υπολογισμός της ροής εξόδου από τη ράμπα γίνεται από τη σχέση (3.2)

$$r = S \cdot G / c \quad \text{σχέση 3.2}$$

όπου  $S$  (ramp flow capacity) είναι η μέγιστη ροή (οχήματα/ώρα) που προκύπτει από τη χωρητικότητα της ράμπας και συνήθως είναι ίση με  $\lambda_r \cdot 1.800$  veh/h (το  $\lambda_r$  δηλώνει των αριθμό των λωρίδων της ράμπας). Οι διαφορές των πολιτικών ελέγχου έχουν να κάνουν

με τον υπολογισμό των τιμών  $G$  και  $c$  που θα χρησιμοποιηθούν για τον υπολογισμό και την υλοποίηση της τιμής του  $r$ .

Επίσης θα πρέπει να προσέξουμε ότι σε κάθε πολιτική θέτουμε ένα ελάχιστο κατώφλι για τη ροή εξόδου της ράμπας  $r_{\min}$ . Αν θέσουμε  $r_{\min} = 0$  τότε σε μερικές περιπτώσεις η ράμπα δε θα επιτρέπει την έξοδο αυτοκινήτων πράγμα καθόλου επιθυμητό. Οι πιο συνήθεις τιμές που επιλέγονται για το κατώφλι  $r_{\min}$  βρίσκονται στο διάστημα  $[200\text{veh/h}, 400\text{veh/h}]$ .

### 3.2 Ένα Αυτοκίνητο ανά Πράσινο (One-Car-Per-Green)

Σε αυτή την πολιτική ελέγχου ράμπας, η διάρκεια του πράσινου  $G$  είναι προκαθορισμένη και σταθερή, ίση με 2 δευτερόλεπτα, που έχει αποδειχτεί στην πράξη ότι επιτρέπει σε κάθε περίοδο ελέγχου (κύκλο) να εξυπηρετείται ένα μόλις αυτοκίνητο. Σε αυτήν την πολιτική το μόνο που χρειάζεται υπολογισμό είναι ο κύκλος  $c$ , ενώ η φάση του κόκκινου υπολογίζεται κατευθείαν από τη σχέση (3.1). Για δοσμένο  $r_{\min}$ , παίρνουμε από τη σχέση (3.2) (με  $G = 2 \text{ sec}$ ) τον μέγιστο επιτρεπτό κύκλο:

$$c_{\max} = 2S/r_{\min} . \quad \text{Σχέση 3.3}$$

το  $c_{\max}$  που προκύπτει από την σχέση (3.3) πρέπει να στρογγυλοποιηθεί ώστε να αντιστοιχεί σε ακέραιο αριθμό δευτερολέπτων.

Από την άλλη η φάση του κόκκινου δεν θα πρέπει να είναι μικρότερη από κάποιο κατώφλι  $R_{\min}$ . Θέτοντας  $R+A+A' \geq R_{\min}$ , παίρνουμε από τη σχέση (3.1) (με  $G = 2 \text{ sec}$ ) τον αντίστοιχο ελάχιστο επιτρεπτό κύκλο:

$$c_{\min} = 2 + R_{\min} \quad \text{Σχέση 3.4}$$

Μια συγκεκριμένη τιμή της ροής της ράμπας  $r$ , που δίνεται από τον αλγόριθμο μας, μπορεί εύκολα να μετατραπεί σε πραγματικό χρόνο στη διάρκεια του κύκλου  $c$  με τη χρήση της σχέσης (3.2) ως εξής:

$$c = 2S/r . \quad \text{Σχέση 3.5}$$

Πριν από την τελική εφαρμογή του κύκλου  $c$  που υπολογίσαμε, θα πρέπει η τιμή αυτή να στρογγυλοποιηθεί σε έναν ακέραιο αριθμό, και αν ξεπερνά το προκαθορισμένο διάστημα  $[c_{\min}, c_{\max}]$  να αντικατασταθεί από τις ακραίες οριακές τιμές.

Το κυριότερο πλεονέκτημα της πολιτικής one-car-per-green είτε το ότι απελευθερώνει ένα (ή  $\lambda_r$ ) αυτοκίνητο τη φορά. Στις περιπτώσεις που επιτρέπουμε την έξοδο από τη ράμπα σε έναν αριθμό οχημάτων, η είσοδος τους στον αυτοκινητόδρομο υπάρχει

κίνδυνος να δημιουργήσει σημαντικά προβλήματα στην κατάσταση της κυκλοφορίας του αυτοκινητόδρομου κατά τη διάρκεια μίξης των δύο ροών.

Το κυριότερο μειονέκτημα της πολιτικής one-car-per-green είναι το ότι περιορίζει το διάστημα των επιτρεπτών ροών της ράμπας, εξαιτίας του περιοριστικού παράγοντα  $R_{\min}$ . Πιο συγκεκριμένα, η μέγιστη επιτρεπτή ροή εξόδου της ράμπας  $r_{\max}$ , μπορεί να υπολογιστεί από τις σχέσεις (3.2) και (3.4) ως ακολούθως:

$$r_{\max} = 2S / (2 + R_{\min}) \quad \text{Σχέση 3.6}$$

Παραδείγματος χάρη, για  $S = 1.800 \text{ veh/h}$  και  $R_{\min} = 3 \text{ s}$  θα έχουμε  $r_{\max} = 720 \text{ veh/h}$ . έτσι η χωρητικότητα της ράμπας μειώνεται από  $S$  ( $1.800 \text{ veh/h}$ ) σε  $r_{\max}$  ( $720 \text{ veh/h}$ ) με συνέπεια την χωρίς λόγο αύξηση της καθυστέρησης στη ράμπα, όποτε η τιμή της ροής εξόδου  $r(k)$  είναι μεγαλύτερη του  $r_{\max}$ . Πιθανοί τρόποι αντιμετώπισης αυτού του μειονεκτήματος θα ήταν είτε να έχουμε περισσότερες από μια λωρίδες στη ράμπα με αποτέλεσμα την αύξηση τόσο του  $S$  όσο και του  $r_{\max}$  που μας ενδιαφέρει, είτε να έχουμε συνεχές πράσινο παραλείποντας τις υπόλοιπες φάσεις, όποτε η ροή της ράμπας  $r(k)$  ξεπερνά ένα προκαθορισμένο όριο. Ένα τέτοιο πιθανό όριο δίνεται στην παρακάτω σχέση.

$$r(k) \geq (S - r_{\max}) / 2 \quad \text{Σχέση 3.7}$$

### 3.3 Σταθερή Περίοδος Φωτεινής Σηματοδότησης (Full Cycle)

Αρχικά, εδώ ο κύκλος  $c$  ισούται με την περίοδο  $T$  του ελέγχου. Σε αυτήν την πολιτική πρέπει να υπολογιστεί μόνο η φάση του πράσινου  $G$ . Η διάρκεια της φάσης του κόκκινου  $R$  προκύπτει απευθείας από την σχέση (3.1). Για συγκεκριμένο  $r_{\min}$ , από τη σχέση (3.2) παίρνουμε:

$$G_{\min} = Tr_{\min} / S \quad \text{Σχέση 3.8}$$

το οποίο θα πρέπει να στρογγυλοποιηθεί στην κοντινότερη ακέραια τιμή. Επίσης από το  $R_{\min}$  μπορούμε να καταλήξουμε στη μέγιστη τιμή πράσινου.

$$G_{\max} = T - R_{\min} \quad \text{Σχέση 3.9}$$

Σε πραγματικό χρόνο μπορούμε εύκολα από τη σχέση (3.2) να βρούμε τι πράσινο αντιστοιχεί σε μια δεδομένη τιμή ροής  $r$ :

$$G = rT / S \quad \text{Σχέση 3.10}$$

το οποίο πρέπει επίσης να στρογγυλοποιηθεί στην πλησιέστερη ακέραια τιμή και να αντικατασταθεί από τις οριακές επιτρεπτές τιμές, αν ξεφεύγει από το όριο  $[G_{\min}, G_{\max}]$ .

Η μέγιστη δυνατή ροή της ράμπας  $r_{\max}$  σ' αυτήν την πολιτική είναι:

$$r_{\max} = SG_{\max} / T = S(1 - R_{\min} / T) \quad \text{Σχέση 3.11}$$

παραδείγματος χάρη για  $S = 1.800 \text{ veh/h}$ ,  $T = 40 \text{ sec}$  και  $R_{\min} = 10 \text{ sec}$  θα έχουμε  $r_{\max} = 1.350 \text{ veh/h}$  η οποία είναι πολύ μεγαλύτερη από αυτήν που προκύπτει από την one-car-per-green πολιτική. Αυτό είναι και το κυριότερο πλεονέκτημα της πολιτικής full-cycle.

Το κυριότερο μειονέκτημα αυτής της πολιτικής είναι ότι επιτρέπει την είσοδο σε όλα τα αυτοκίνητα κατά τη διάρκεια μιας φάσης πράσινου που μπορεί να μειώσει τη ροή του αυτοκινητοδρόμου. Αυτό το μειονέκτημα μπορεί να αντιμετωπισθεί αν ο κύκλος, δηλαδή η περίοδος ελέγχου, επιλεγεί σχετικά μικρή π.χ.  $T=20\text{sec}$ , οπότε μικραίνει η διάρκεια της φάσης του πράσινου καθώς και ο αριθμός των αυτοκινήτων που θα ελευθερώσει η ράμπα. Επίσης θα μπορούσε να βοηθήσει και η συνθήκη της σχέσης (3.7) στον περιορισμό των καθυστερήσεων.

### 3.4 Διακριτές Ροές Εξόδου (Discrete Release Rates)

Αυτή η πολιτική προσπαθεί να μειώσει τα μειονεκτήματα των πολιτικών που ακολουθούν τη στρατηγική του ολόκληρου κύκλου (full cycle) και των one-car-per-green πολιτικών. Αρχικά καθορίζεται ένα εύρος επιθυμητών ροών μας ράμπας  $[r_{\min}, r_{\max}]$ , όπου το  $r_{\max}$  καθορίζεται κοντά στη μέγιστη χωρητικότητα μας ράμπας. Μετά υπολογίζουμε τις  $N$  διακριτές ροές  $r_p \in [r_{\min}, r_{\max}]$ ,  $p = 1, \dots, N$  από τη παρακάτω σχέση:

$$r_p = r_{\min} + \frac{p-1}{N-1}(r_{\max} - r_{\min}), p = 1, \dots, N \quad \text{Σχέση 3.12}$$

οι ροές της ράμπας  $r$  που δίνονται από τον αλγόριθμο ελέγχου της ράμπας (στην περίπτωση μας η ALINEA) αντικαθίστανται από την πιο κοντινή μας διακριτή ροή  $r_p$ . Προφανώς, σ' αυτήν τη περίπτωση, λόγω μας διακριτοποίησης δημιουργείται κάποιο σφάλμα. Το σφάλμα αυτό μειώνεται όσο εμείς αυξάνουμε τον αριθμό  $N$  των διακριτών διαστημάτων. Για να βρούμε τον κατάλληλο αριθμό  $N$ , ο μόνος τρόπος είναι οι συνεχείς προσομοιώσεις.

Για κάθε μια από τις διακριτές ροές  $r_p$  θα πρέπει να αντιστοιχήσουμε μια στρατηγική  $\Pi_p = \{c_p, G_p\}$ , δηλαδή ένα συγκεκριμένο κύκλο  $c_p$  και μια συγκεκριμένη τιμή για τη φάση του πράσινου (green phase), έτσι ώστε τα  $r_p, c_p, G_p$  να ικανοποιούν την παρακάτω σχέση:



$$G_p / c_p = r_p / S.$$

Σχέση 3.13

Οι τιμές αυτές θα πρέπει να προκαθοριστούν. Προφανώς μπορούν να υπάρχουν πολλοί συνδυασμοί για τα  $c_p$ ,  $G_p$  που να ικανοποιούν την σχέση (3.13) για μια συγκεκριμένη διακριτή ροή ράμπας  $r_p$ . Μια λύση θα ήταν να επιλέξουμε την τιμή της φάσης πρασίνου  $G_p$  όσο πιο μικρή γίνεται, έτσι ώστε να επιτρέψουμε την είσοδο όσο το δυνατό λιγότερων αυτοκινήτων ανά κύκλο. Σε αυτή την περίπτωση θα πρέπει να λάβουμε υπόψη μας τον περιορισμό που προκύπτει από το ελάχιστο κόκκινο που έχουμε ορίσει:

$$c_p \geq G_p + R_{\min}$$

Σχέση 3.14

Συγκρίνοντας τις σχέσεις (3.13) και (3.14) συμπεραίνουμε ότι η ελάχιστη φάση πράσινου θα είναι :  $G_p = R_{\min} r_p / (S - r_p)$ ; Φυσικά το  $G_p$  δεν μπορεί να είναι μικρότερο των δύο δευτερολέπτων, αφού έχει αποδειχτεί στην πράξη ότι 2 δεύτερα είναι ο ελάχιστος χρόνος πρασίνου που χρειάζεται, για να περάσει ένα αυτοκίνητο. Μια green phase  $G_p = 2$  s αντιστοιχεί στην πολιτική one-car-per-green για την αντίστοιχη βέβαια διακριτή ροή  $r_p$ , ενώ για μεγαλύτερα  $r_p$  θα εμφανιστούν μεγαλύτερης διάρκειας πράσινα. Αυτή η μη σταθερή πολιτική κύκλων και διάρκειας πράσινου μπορεί να γίνει πολύ ενοχλητική για τους οδηγούς και γι αυτό το λόγο προτείνεται ένα ελάχιστο πράσινο  $G_{p,\min}$  τουλάχιστον ίσο με 4 δευτερόλεπτα. Η τελική σχέση που μας δίνει την διάρκεια του πράσινου είναι η σχέση (3.15)

$$G_p = \max \{ R_{\min} r_p / (S - r_p), G_{p,\min} \}.$$

Σχέση 3.15

Οι τιμές των  $G_p$  που προκύπτουν από την σχέση (3.15), για να αντιστοιχούν σε ακέραιο αριθμό αυτοκινήτων, μπορούν να αντικατασταθούν από τον αμέσως επόμενο ζυγό αριθμό σε δευτερόλεπτα. Αυτό κρίνεται απαραίτητο όταν το  $G_p$  είναι μικρό. Ο αντίστοιχος κύκλος  $c_p$  μπορεί να υπολογιστεί από την σχέση (3.13) και να αντικατασταθεί από τον πλησιέστερο ακέραιο αριθμό σε δευτερόλεπτα επίσης.

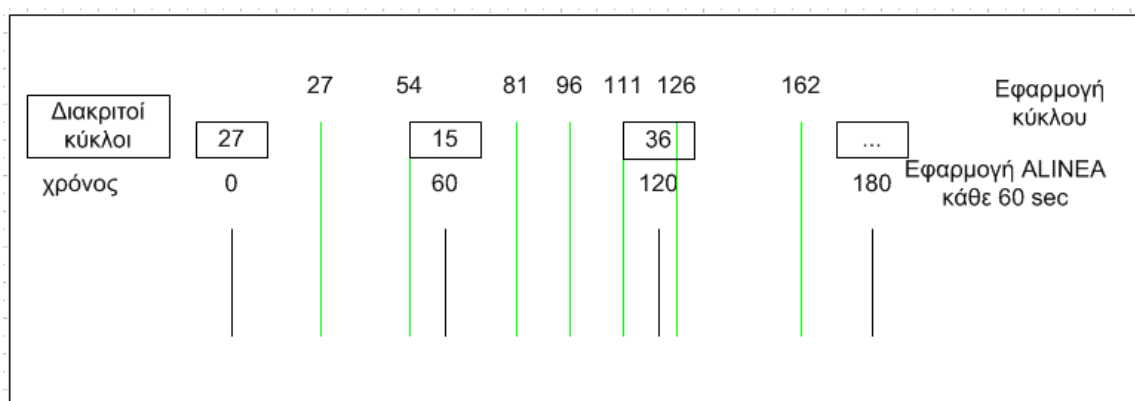
Για παράδειγμα, ας υποθέσουμε ότι η μέγιστη δυνατότητα ροής στη ράμπα είναι  $S = 1,800$  veh/h, το ελάχιστο κόκκινο  $R_{\min} = 3$  s, η ελάχιστη επιτρεπτή ροή στη ράμπα  $r_{\min} = 200$  veh/h, η μέγιστη επιτρεπτή ροή  $r_{\max} = 1,600$  veh/h και  $N = 8$  με  $G_{p,\min} = 4$  s. Οι διακριτές ροές εισόδου της ράμπας  $r_p$ ,  $p = 1, \dots, 8$ , που προκύπτουν από την σχέση (3.12) και τα αντίστοιχα  $G_p$ ,  $c_p$  δίνονται στον πίνακα 3.1. Όσο αφορά τη διάρκεια του κόκκινου (red phase) δε θα πρέπει να μας απασχολεί αν έχουμε επιλέξει το  $r_{\max}$  κατάλληλα κοντά στο  $S$ . Αλλιώς θα πρέπει να προσθέσουμε για τον υπολογισμό της green phase, ένα ακόμα περιορισμό που θα έχει να κάνει με το ελάχιστο επιτρεπτό κόκκινο.

**Πίνακας 3.1 : παράδειγμα προσδιορισμού discrete ramp flow specification.**

$p$	1	2	3	4	5	6	7	8
$r_p$ (veh/h)	200	400	600	800	1,000	1,200	1,400	1,600
$G_p$ (s)	4	4	4	4	4	6	12	24
$c_p$ (s)	36	18	12	9	7	9	15	27

Στη περίπτωση μας επειδή στον προσομοιωτή AIMSUN επιλέχτηκε ως βήμα της προσομοίωσης το 0,75 sec, όλες οι τιμές των  $G_p$ ,  $c_p$  έχουν «στρογγυλοποιηθεί» όχι στη μονάδα αλλά στα 0,75 sec και η ελάχιστη green phase έχει επιλεγεί  $G_{p,min} = 4,5$  sec.

Σε αυτό το σημείο θα έπρεπε να τονίσουμε, ότι η στρατηγική μας είναι ανεξάρτητη των κύκλων που εφαρμόζονται στον σηματοδότη. Με λίγα λόγια έχουμε από πριν καθορίσει κάθε πότε θα παίρνει η ALINEA αποφάσεις ελέγχου βάσει των μετρήσεων. Έτσι η ALINEA αποφασίζει κάθε X sec (π.χ. 60 sec) και οι κύκλοι με τα αντίστοιχα πράσινα που προκύπτουν από τον πίνακα 3.1 εφαρμόζονται όσες φορές χρειαστεί σε αυτό το διάστημα των X sec. Μόλις ξεπεράσουμε το χρόνο των X sec και αφού έχει εκτελεστεί πλήρως ο τελευταίος κύκλος της προηγούμενης απόφασης, εφαρμόζεται ο νέος κύκλος που υπολογίζεται.



**Σχήμα 3.1: Παράδειγμα εφαρμογής discrete release rates**

Στο σχήμα 3.1 δίνεται ένα χαρακτηριστικό παράδειγμα εφαρμογής των discrete release rates. Η ALINEA παίρνει απόφαση κάθε 60 sec. Αυτή η απόφαση μεταφράζεται σε κύκλους και στα αντίστοιχα πράσινα. Π.χ. αρχικά η απόφαση της ALINEA μεταφράζεται σε κύκλο 27 sec. (27-54-81) Στα 60 sec αποφασίζεται η εφαρμογή κύκλου 15 sec. Ο νέος κύκλος θα εφαρμοστεί μετά τη λήξη του προηγούμενου και όχι αμέσως στα 60 sec. (81-96-111-126). Στα 120 sec αποφασίστηκε η εφαρμογή κύκλου 36 sec. (126-162-198) κ.ο.κ.

## Κεφάλαιο 4

### 4. ΕΛΕΓΧΟΣ ΟΥΡΩΝ ΡΑΜΠΑΣ ΕΙΣΟΔΟΥ

#### 4.1 Πολιτική Απενεργοποίησης Ελέγχου ράμπας (Π.Α.Ε.Ρ.) και Έλεγχος Ουρών (Queue Override and Queue Control)

Όπως προαναφέραμε η ελεγχόμενη ράμπα, έχει και μια παράπλευρη απώλεια που πρέπει να ληφθεί υπόψη μας. Πρόκειται για τον σχηματισμό ουράς στη ράμπα. Αυτή η ουρά δημιουργείται επειδή η ελεγχόμενη ράμπα δεν επιτρέπει σε όλα τα αυτοκίνητα που μπαίνουν σε αυτή, να εισέλθουν στον αυτοκινητόδρομο. Αν αυτή η ουρά υπερβεί κάποιο όριο, τότε θα προκαλέσει σοβαρά προβλήματα στο δίκτυο που συνδέει η ράμπα με τον αυτοκινητόδρομο.

Μια πολύ δημοφιλής αντιμετώπιση του προβλήματος αυτού, είναι η χρησιμοποίηση ενός φωρατή στην είσοδο της ράμπας για να υπολογίζουμε κάθε φορά την κατάληψη της ράμπας και εφαρμόζουμε απενεργοποίηση του ελέγχου της ράμπας όταν η κατάληψη ξεπεράσει ένα προκαθορισμένο όριο (π.χ. 50%). Αυτή η μέθοδος ονομάζεται queue override και έχει σαν αποτέλεσμα την όχι και τόσο καλή χρήση της χωρητικότητας της ράμπας, επειδή λόγω της απενεργοποίησης του ελέγχου δημιουργούνται μεγάλες αυξομειώσεις της ουράς.

Αυτό το αποτέλεσμα μπορεί να αποφευχθεί από έναν πιο ήπιο έλεγχο της ουράς της ράμπας, με την υπόθεση ότι είτε έχουμε καλή εκτίμηση του μεγέθους της ουράς είτε πολύ αποτελεσματικούς αισθητήρες, όπως π.χ. κάμερες κυκλοφορίας. Για την εφαρμογή ενός τέτοιου ελέγχου, που από εδώ και μπρος θα ονομάζεται «queue control» επιλέγεται μια τιμή ελέγχου  $\hat{w}$  που είναι το μέγιστο αποδεκτό μήκος της ουράς.

Παρακάτω δίνεται η καταστατική εξίσωση που εκφράζει την ουρά της ράμπας:

$$w(k+1) = w(k) + T[d(k) - r'(k)] \quad \text{Σχέση 4.1}$$

όπου  $w(k)$  είναι το τωρινό μήκος της ουράς,  $d(k)$  είναι η ζήτηση (δηλαδή η ροή εισόδου της ράμπας) και  $r'(k)$  είναι η ροή εξόδου από τη ράμπα. Χρησιμοποιώντας την υπόθεση ότι  $d(k) \approx d(k-1)$  και ζητώντας την δημιουργία ενός ελεγκτή που να προσπαθεί να ρυθμίσει το μήκος της ουράς της ράμπας σε μια δοσμένη τιμή  $\hat{w}$ , από τη σχέση (4.1) προκύπτει:

$$r'(k) = -\frac{1}{T}[\hat{w} - w(k)] + d(k-1). \quad \text{Σχέση 4.2}$$

αυτός ο ρυθμιστής της ουράς κάνει χρήση μετρήσεων πραγματικού χρόνου για τα  $w(k)$  και  $d(k-1)$ .

Δεν θα είχε καμιά αξία να ασκηθεί έλεγχος της ουράς σε μία ράμπα, αν η ζήτηση του αυτοκινητοδρόμου ήταν χαμηλή. Θα ήταν λοιπόν καλύτερο, η προς εφαρμογή ροή που προκύπτει από τον αλγόριθμο ελέγχου  $R(k)$  να δίνεται από την παρακάτω σχέση:

$$R(k) = \max\{r(k), r'(k)\} \quad \text{Σχέση 4.3}$$

όπου  $r(k)$  είναι η ροή που έχει επιλεγεί από τη στρατηγική ελέγχου της ράμπας. Επιλέγοντας τη μεγαλύτερη ροή εξόδου για τη ράμπα είναι σαν να συνδυάζουμε δύο στρατηγικές. Η λογική είναι η εξής: αν η ζήτηση στον αυτοκινητόδρομο είναι χαμηλή, η στρατηγική ελέγχου της ράμπας θα μας επιτρέψει μεγάλη ροή στην έξοδο της ράμπας ( $r(k)$ ), αφού ο αυτοκινητόδρομος δεν κινδυνεύει από κυκλοφοριακή συμφόρηση. Αντιθέτως, ο ρυθμιστής της ουράς θα μας δώσει μια χαμηλή ροή εξόδου για τη ράμπα ( $r'(k)$ ) έτσι ώστε η ουρά να τείνει προς το προεπιλεγμένο  $\hat{w}$ . Επιλέγοντας τη μέγιστη ροή στη ράμπα, επιτρέπουμε στην αρχική μας στρατηγική ελέγχου (π.χ. ALINEA) να λειτουργήσει σύμφωνα με τους σκοπούς σχεδιασμού της, χωρίς να παίρνει υπόψη κανέναν περιορισμό σε σχέση με την ουρά. Από την άλλη, αν ο αυτοκινητόδρομος δεν μπορεί να ικανοποιήσει τη ροή της ράμπας χωρίς να κινδυνεύει από κυκλοφοριακή συμφόρηση, η στρατηγική μας θα υπολογίσει χαμηλότερες ροές  $r(k)$ , γεγονός που θα έχει σαν αποτέλεσμα την αύξηση της ουράς. Αυτό με τη σειρά του θα έχει σαν αποτέλεσμα ο ρυθμιστής της ουράς να μας δώσει μεγαλύτερες ροές  $r'(k)$  έτσι ώστε να αποφύγουμε η ουρά μας να ξεπεράσει το  $\hat{w}$ . Έτσι, όποτε το  $r'(k)$  γίνεται μεγαλύτερο από το  $r(k)$ , θα κυριαρχεί η πολιτική ελέγχου της ουράς σύμφωνα με την σχέση (4.3). Μετά από κάποια χρονική διάρκεια, όταν η ουρά θα έχει μικρύνει αρκετά ώστε να πάρουμε από τον αλγόριθμο ξανά  $r(k)$  μεγαλύτερα των  $r'(k)$ , θα λειτουργεί πάλι η στρατηγική μας κ.ο.κ. Αυτή η διαδικασία είναι η προτιμότερη όταν έχουμε να κάνουμε με έλεγχο ράμπας και ταυτόχρονα έλεγχο ουρών, γιατί θέτει ξεκάθαρες προτεραιότητες:

- *Ο έλεγχος της ουράς ενεργοποιείται μόνο εφόσον είναι απαραίτητος και μόνο σε περιορισμένη διάρκεια, έτσι ώστε να γίνεται πλήρης χρήση της χωρητικότητας της ράμπας.*

Προφανώς η σχέση (4.3) μπορεί να συνδυαστεί με οποιαδήποτε στρατηγική ελέγχου ράμπας που υπολογίζει ροές  $r(k)$ .

## 4.2 Εκτίμηση Ουράς Ραμπών και Έλεγχος

### 4.2.1 Κίνητρο

Ο έλεγχος ράμπας είναι ένα πολύτιμο εργαλείο για τον έλεγχο της κυκλοφορίας των αυτοκινητοδρόμων. Εντούτοις έχει μια παρενέργεια, τον σχηματισμό ουρών αναμονής οχημάτων στις ράμπες, ο οποίος πρέπει να εξεταστεί κατάλληλα. Ακριβέστερα, σαν συνέπεια του ελέγχου ραμπών, δεν επιτρέπεται σε όλα τα οχήματα που θέλουν να εισέρθουν στον αυτοκινητόδρομο μέσω των ραμπών, η άμεση είσοδος. Επιπλέον, εάν η ουρά αναμονής στη ράμπα υπερβαίνει ένα ορισμένο μήκος, μπορεί να παρεμποδίσει την παρακείμενη κυκλοφορία οδών.

Ένα δημοφιλές αντίμετρο ενάντια στην υπερχειλίση των ουρών (spillback) είναι η λεγόμενη Π.Α.Ε.Ρ. (queue override), όπου ένας φωρατής τοποθετείται στην είσοδο της ράμπας και όταν ξεπεραστεί ένα ανώτατο όριο κατάληψης της ράμπας, είτε σταματάμε τον έλεγχο (μόνο πράσινο για τον επόμενο κύκλο) είτε για κάποιο χρονικό διάστημα επιτρέπουμε μια μέγιστη ροή εξόδου από τη ράμπα ώστε η ουρά να μειωθεί ή να εξαφανιστεί. Αυτό το κατώτατο όριο ποσοστού κατάληψης είναι συνήθως 50%. Προφανώς, αυτή είναι μια μάλλον πολύ επιθετική πολιτική για τον έλεγχο των ουρών της ράμπας, η οποία μπορεί να οδηγήσει σε μια ταλάντωση του μήκους της ουράς της ράμπας και ως εκ τούτου, στην υποεκμετάλλευση της ικανότητας αποθήκευσης της ράμπας.

Αντίθετα με την πολιτική Π.Α.Ε.Ρ. , μια περιπλοκότερη προσέγγιση στη διαχείριση των ουρών αναμονής είναι ο άμεσος έλεγχος της ουράς της ράμπας (queue control), η βασική ιδέα του οποίου είναι να σχεδιαστεί ένας ελεγκτής που θα επιτρέπει τη βέλτιστη χρήση της αποθηκευτικής ικανότητας της ράμπας, αποτρέποντας συγχρόνως οποιαδήποτε υπερχειλίση της ουράς. Προκειμένου να εφαρμοστεί ένας τέτοιος ελεγκτής ουρών σε πραγματικό χρόνο, πρέπει να είναι διαθέσιμες πληροφορίες για τον αριθμό των οχημάτων στην ράμπα. Γι αυτό το σκοπό υπάρχουν τρεις εναλλακτικοί τρόποι:

- Εγκατάσταση μιας συσκευή μέτρησης όπως π.χ. μια ειδική τηλεοπτική κάμερα κυκλοφορίας στο τέλος της ράμπας για να μετρήσουμε τον αριθμό των οχημάτων που περιλαμβάνονται στη ράμπα, σε πραγματικό χρόνο.
- Εγκατάσταση διάφορων φωρατών (π.χ. κάθε 50 μ) κατά μήκος της ράμπας για να παίρνουμε σε πραγματικό χρόνο πληροφορίες σχετικά με τον αριθμό οχημάτων μέσω των αντίστοιχων μετρήσεων κατάληψης.
- Σχεδιασμός ενός εκτιμητή για να υπολογίζουμε σε πραγματικό χρόνο τον αριθμό των οχημάτων, χρησιμοποιώντας ένα περιορισμένο ποσό μετρήσεων από τη ράμπα εισόδου.

Σε σύγκριση με την τρίτη προσέγγιση, οι δύο πρώτες απαιτούν υψηλότερο κόστος εγκατάστασης και συντήρησης. Επιπλέον, στην πρώτη προσέγγιση, μια κάμερα

κυκλοφορίας έχει περιορισμένο πεδίο ορατότητας και ως εκ τούτου μπορούμε να ελέγχουμε μόνο ένα μέρος της ράμπας εισόδου (π.χ. το ανώτερο μισό). Για αυτούς τους λόγους, στην επόμενη ενότητα θα εστιάσουμε στην τρίτη προσέγγιση.

### 4.2.2 Εκτίμηση του αριθμού των οχημάτων της ράμπας

Το πρόβλημα της εκτίμησης της ουράς διευκρινίζεται στο σχήμα (4.1). Το σχήμα (4.1.b) δείχνει τη σχέση ανάμεσα στην εγκατάσταση φωτεινού σηματοδότη και την τοποθέτηση φωρατών στη ράμπα. Τοποθετούνται δύο σηματοδότες στο ανάντη μέρος της ράμπας και στο τέλος της. Ο ανάντη σηματοδότης (εάν υπάρχει) είναι συνήθως τοποθετημένος σε κάποιο κομμάτι του παρακείμενου δικτύου και ελέγχεται από ένα σύστημα ελέγχου της αστικής κυκλοφορίας, το οποίο καθορίζει την ζήτηση της ράμπας. Ο φωτεινός σηματοδότης στο τέλος της ράμπας χρησιμοποιείται για τον έλεγχο της ράμπας και ρυθμίζει τη ροή οχημάτων από τη ράμπα στον αυτοκινητόδρομο. Προφανώς, όποτε η ζήτηση της ράμπας είναι μεγαλύτερη από την εκροή της ράμπας, δημιουργείται μια ουρά αναμονής.

Παρουσιάζεται επίσης στο σχήμα (4.1b) ότι εγκαθίστανται τρεις ανιχνευτές: στο ανάντη τέλος της ράμπας, αμέσως πριν τον κατάντη σηματοδότη, και ένας στη μέση της ράμπας. Οι δύο ακριανοί φωρατές παρέχουν τις μετρήσεις ροής, ενώ ο μεσαίος παρέχει τις μετρήσεις ποσοστού κατάληψης. Η βασική δομή της μεθόδου εκτίμησης των ουρών αναμονής των ραμπών εισόδου παρουσιάζεται στο σχήμα (4.1c):

- Οι μετρήσεις ροής και ποσοστού κατάληψης γίνονται από τους φωρατές σε πραγματικό χρόνο.
- Η μέθοδος παραδίδει σε πραγματικό χρόνο τον εκτιμώμενο αριθμό οχημάτων που βρίσκονται στη ράμπα εισόδου (μεταξύ των δύο ακριανών φωρατών).

### 4.2.3 Έλεγχος ουράς ραμπών

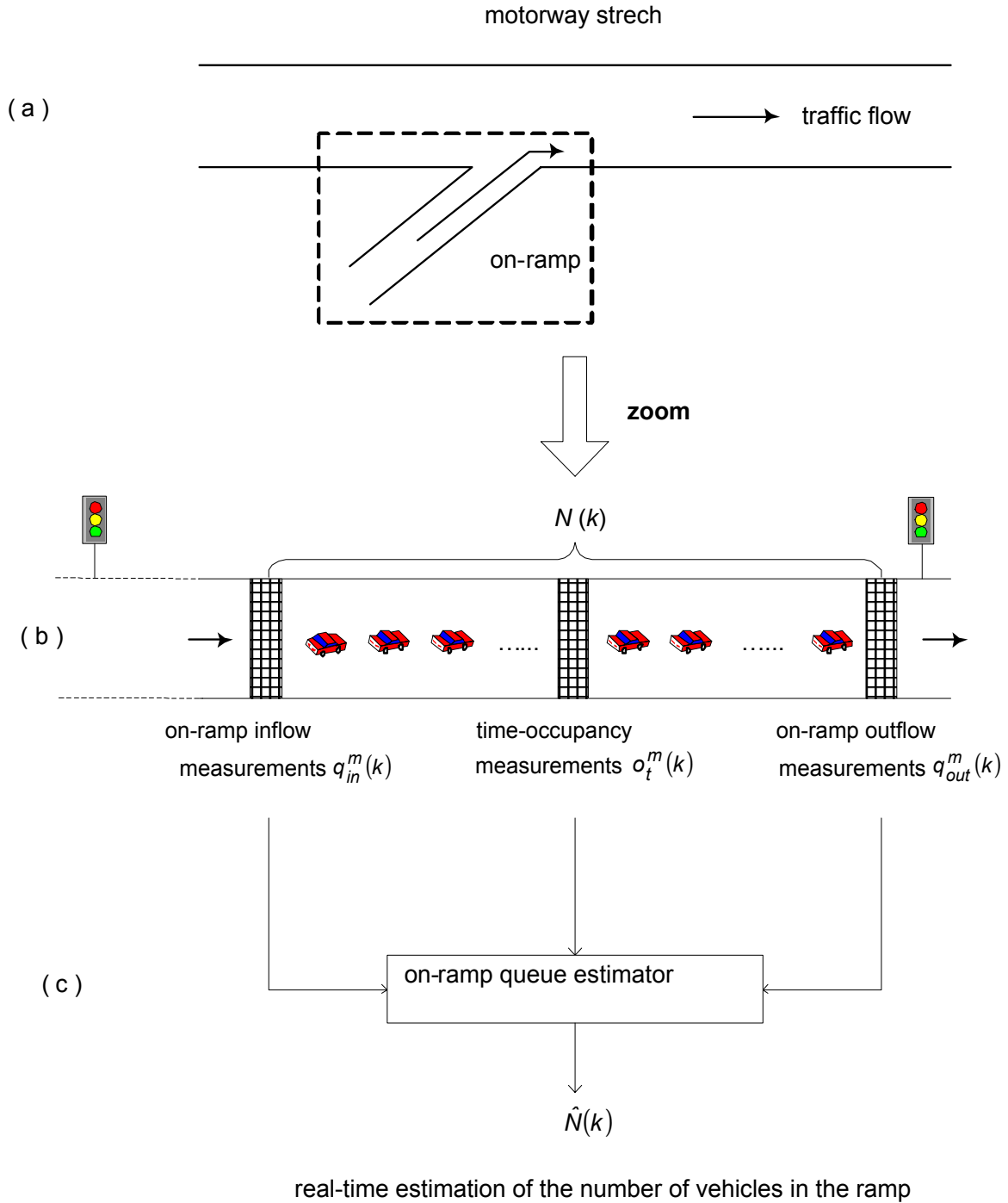
Στην ενότητα 4.1 παρουσιάζεται μια πρόωρη πρόταση για τον έλεγχο των ουρών αναμονής των ραμπών εισόδου. Μερικές προκαταρκτικές έρευνες (EURAMP) δίνουν προβάδισμα σε δύο συγκεκριμένες τροποποιήσεις της διαδικασίας που περιγράφεται στο 4.1. και περιγράφονται στις υποενότητες 4.2.3.1 και 4.2.3.2. Επίσης προτείνεται και μια τρίτη μέθοδος πρόβλεψης στο 4.2.3.3

#### 4.2.3.1 Εκτίμηση της ζήτησης της ράμπας μέσω ομαλοποίησης των τιμών της

Όπως εξηγείται στο 4.1, η ζήτηση της ράμπας  $d(k-1)$  που εμφανίζεται στο ρυθμιστή των ουρών αναμονής (Σχέση 4.2), χρησιμοποιείται για να προβλεφθεί η μη διαθέσιμη ζήτηση  $d(k)$  της επόμενης περιόδου  $k$ . Εντούτοις, η χρήση της τελευταία τιμής ζήτησης  $d(k-1)$  ως πρόβλεψη για την ζήτηση  $d(k)$  της επόμενης περιόδου, δεν μας εγγυάται «ικανοποιητική» πρόβλεψη, ειδικά σε περιπτώσεις μεγάλης αυξομείωσης της ζήτησης (π.χ. οχήματα που έρχονται κατά κύματα λόγω κάποιου φωτεινού σηματοδότη του αστικού δικτύου). Μια εναλλακτική λύση είναι μέσω της ομαλοποίησης (λείανσης) των μετρήσεων της ζήτησης.

$$\tilde{d}(k-1) = \varepsilon * d(k-1) + (1 - \varepsilon)\tilde{d}(k-2) \quad \text{Σχέση 4.4}$$

όπου ο συντελεστής  $\varepsilon$  ανήκει στο διάστημα  $[0, 1]$ , (π.χ.  $\varepsilon = 0.1$ ) και αντικαθιστώντας το  $d(k-1)$  στη σχέση (4.2) με την νέα πρόβλεψη. Με αυτόν τον τρόπο μειώνουμε την πιθανότητα να προβλέψουμε την ζήτηση με βάση κάποιες τυχαίες τιμές που μπορεί να έχουν μεγάλες διακυμάνσεις.



Σχήμα 4.1: Εκτίμηση της ουράς ραμπών: (a) τομή αυτοκινητοδρόμου με ράμπα εισόδου (b) η τοποθέτηση σηματοδοτών και φορατών στη ράμπα εισόδου (c) η εκτίμηση της ουράς οχημάτων στη ράμπα εισόδου



**4.2.3.2 1<sup>η</sup> μέθοδος εκτίμησης της ζήτησης της ράμπας μέσω χρήσης συντελεστή  $f$** 

Στον ίδιο ρυθμιστή της σχέσης 4.2, το  $d(k-1)$  δεν πρέπει να αντικατασταθεί απλά από το  $\tilde{d}(k-1)$  όπως προηγουμένως, αλλά από τον όρο  $f\tilde{d}(k-1)$  όπου  $f \geq 1$  είναι ένας σταθερός παράγοντας, π.χ.  $f = 1, 2$ . Υπάρχουν δύο λόγοι που μας οδηγούν στην εισαγωγή του όρου  $f$

1. εάν η προβλεπόμενη ζήτηση για την περίοδο  $k$  είναι χαμηλότερη από την πραγματική ζήτηση  $d(k)$ , μπορεί να δημιουργηθεί υπερχείλιση της ουράς της ράμπας. Η χρήση του  $f$ , μειώνει αυτόν τον κίνδυνο. Αν ο παράγοντας  $f$  επιλεγθεί πολύ υψηλός, θα υπερεκτιμήσουμε τη ζήτηση και θα μηδενίσουμε την πιθανότητα υπερχείλισης της ουράς, αλλά θα οδηγούμαστε σε υποεκμετάλλευση της αποθηκευτικής ικανότητας της ράμπας εισόδου.
2. Εάν η ουρά της ράμπας επεκτείνεται μέχρι το τέλος της καλύπτοντας τον φωρατή που μετρά την ζήτηση  $d$ , η μέτρηση της ροής δεν θα μας δίνει την ζήτηση, αλλά την εκροή της ράμπας (που καθορίζεται από τον έλεγχο της ράμπας). Η χρησιμοποίηση του παράγοντα  $f > 1$  υπό αυτές τις συνθήκες εκτιμά τη ζήτηση  $f$  φορές μεγαλύτερη από το ρυθμό εκροής της ράμπας και έτσι οδηγούμαστε σε μια πιο γρήγορη μείωση της ουράς που σημαίνει και απελευθέρωση του ανάντη φωρατή.

Οι κατάλληλες τιμές για τα  $f$  και  $\varepsilon$  βρίσκονται από την προσομοίωση. Εμείς επιλέξαμε το  $\varepsilon=0,1$  και για το  $f$  δώσαμε διάφορες τιμές ( $f=1, 1.2, 1.5$ ) για να συγκρίνουμε τη συμπεριφορά της υπερεκτίμησης της ζήτησης στο σχηματισμό της ουράς. Πρέπει να σημειώσουμε ότι για  $f=1$  έχουμε την πρόβλεψη που περιγράφεται στην προηγούμενη ενότητα (4.2.3.1), άρα στην ουσία έχουμε μέχρι στιγμής μια μέθοδο.

**4.2.3.3 2<sup>η</sup> μέθοδος εκτίμησης της ζήτησης της ράμπας μέσω χρήσης συντελεστή  $f_2$** 

Με την προηγούμενη μέθοδο, προσθέτουμε την εκτίμηση της ζήτησης της ράμπα με βάση έναν παράγοντα  $f$ . Έτσι π.χ. για  $f=1,2$  έχουμε 20% υπερεκτίμηση της ομαλοποιημένης ζήτησης. Μια άλλη μέθοδος υπερεκτίμησης της ομαλοποιημένης ζήτησης ακολουθεί παρακάτω.

Όπως είναι ευνόητο, η ομαλοποιημένη ζήτηση, σε μερικά σημεία θα υπερβαίνει την πραγματική ζήτηση και σε άλλα θα κυμαίνεται χαμηλότερα. Προηγουμένως πολλαπλασιάζαμε την ομαλοποιημένη ζήτηση με κάποιον συντελεστή, έτσι ώστε να μην υποεκτιμούμε την πραγματική ζήτηση. Εδώ αντιθέτως, προσθέτουμε στην ομαλοποιημένη ζήτηση την διαφορά της με την πραγματική ζήτηση, όταν η πραγματική ζήτηση είναι μεγαλύτερη από την ομαλοποιημένη. Επιλέγουμε μόνο αυτή την περίπτωση γιατί μόνο τότε υπάρχει κίνδυνος σε περιόδους μεγάλης αιχμής να δημιουργηθεί απρόβλεπτα υπερχείλιση. Όταν η ομαλοποιημένη ζήτηση είναι μεγαλύτερη της

πραγματικής, η ζήτηση θα καλυφθεί με βάση την απόφαση της στρατηγικής μας. Στην αντίθετη περίπτωση η απόφαση της στρατηγικής δε θα μπορέσει να καλύψει την πραγματική ζήτηση.

Υπενθυμίζουμε ότι σύμφωνα με τη σχέση 4.2 ο ελεγκτής της ουράς που χρησιμοποιούμε είναι

$$r'(k) = -\frac{1}{T}[\hat{w} - w(k)] + d(k-1)$$

όπου αντί για  $d(k-1)$  χρησιμοποιούμε την ομαλοποιημένη ζήτηση σύμφωνα με τη σχέση:

$$\tilde{d}(k-1) = \varepsilon * d(k-1) + (1-\varepsilon)\tilde{d}(k-2)$$

για την πρώτη μέθοδο πρόβλεψης που χρησιμοποιούμε στις προσομοιώσεις μας απλά πολλαπλασιάζουμε την ομαλοποιημένη ζήτηση με έναν παράγοντα  $f$  ( $f \geq 1$ ). Οπότε η σχέση 4.2 μετατρέπεται σε:

$$r'(k) = -\frac{1}{T}[\hat{w} - w(k)] + f * \tilde{d}(k-1)$$

Για τη δεύτερη μέθοδο πρόβλεψης χρησιμοποιούμε τον τύπο

$$r'(k) = -\frac{1}{T}[\hat{w} - w(k)] + \tilde{d} \text{ pred}$$

$$\tilde{d} \text{ pred} = \varepsilon * d(k-1) + (1-\varepsilon)\tilde{d}(k-2) + f_2 * S(k) \quad \text{σχέση 4.5}$$

$$\text{όπου } S(k) = e * \max\left\{0, [d(k-1) - \tilde{d}(k-1)]\right\} + (1-e) * S(k-1) \quad \text{σχέση 4.6}$$

όπου  $e$  ανήκει στο διάστημα  $[0,1]$ . Στην περίπτωσή μας  $e = \varepsilon = 0.1$

Παρατηρούμε ότι για  $f_2 = 0$  έχουμε την πρώτη μέθοδο πρόβλεψης για  $f = 1$ .

## Κεφάλαιο 5

### 5. Ο ΠΡΟΣΟΜΟΙΩΤΗΣ AIMSUN

#### 5.1 Βασικά Χαρακτηριστικά AIMSUN

Ο προσομοιωτής AIMSUN είναι ένας μικροσκοπικός προσομοιωτής κυκλοφορίας οδικών δικτύων. Χρειάζεται για τη λειτουργία του ένα σενάριο προσομοίωσης και ένα σύνολο παραμέτρων που καθορίζουν το πείραμα. Το σενάριο αποτελείται από ένα σχέδιο οδικού δικτύου, δεδομένα κυκλοφοριακής ζήτησης, δεδομένα κυκλοφοριακού ελέγχου και σχέδια μέσων μαζικής μεταφοράς. Τα δεδομένα ζήτησης και κυκλοφοριακού ελέγχου μπορεί να είναι είτε σταθερά, είτε και να αλλάζουν κατά τη διάρκεια της προσομοίωσης.

Επίσης ο προσομοιωτής AIMSUN διαθέτει ένα ειδικό πακέτο που ονομάζεται GETRAM Extensions. Αυτό διαθέτει μια βιβλιοθήκη από αρχεία τύπου dll μέσω των οποίων μπορούμε να προσθέσουμε οποιαδήποτε πολιτική ή στρατηγική θέλουμε, πέρα από αυτές που διαθέτει ο προσομοιωτής από μόνος του. Π.χ. ο προσομοιωτής διαθέτει πολιτική ελέγχου ράμπας του τύπου One-Car-Per-Green και full cycle, αλλά εμείς προσθέσαμε την πολιτική Discrete Release Rates.

#### 5.2 Μοντελοποίηση της Κίνησης των Οχημάτων

Τα οχήματα, κατά τη διάρκεια του ταξιδιού τους μέσα στο δίκτυο, συνεχώς αναθεωρούν κάποιες από τις παραμέτρους τους σύμφωνα με τα μοντέλα συμπεριφοράς των οχημάτων που είναι ενσωματωμένα στον προσομοιωτή. Αυτά τα μοντέλα είναι το μοντέλο αλλαγής λωρίδας κυκλοφορίας (car changing model) και το car following model. Οι οδηγοί προσπαθούν να οδηγούν με βάση την επιθυμητή ταχύτητα σε όλα τα τμήματα του δικτύου, αλλά το περιβάλλον (π.χ. τα προπορευόμενα οχήματα, φανάρια, πινακίδες κλπ) είναι τελικά αυτό που καθορίζει τη συμπεριφορά τους.

Ο συνολικός χρόνος προσομοίωσης είναι χωρισμένος σε μικρά χρονικά διαστήματα (βήματα προσομοίωσης  $\Delta t$ ). Για λόγους απλοποίησης και ευκολίας, όπως συμβαίνει σε όλους σχεδόν τους μικροσκοπικούς προσομοιωτές, το βήμα της προσομοίωσης ισούται με το χρόνο αντίδρασης του οδηγού. Ο χρόνος αυτός μπορεί να ανήκει στο διάστημα ( $1.25 \geq \Delta t \geq 0,5$ ), αλλά θα ήταν σωστότερο να ανήκει στο ( $0.80 \geq \Delta t \geq 0,65$ ). Από προσομοιώσεις επιλέξαμε στο 0,75 ως την πιο κατάλληλη και ρεαλιστική τιμή.

Το βήμα προσομοίωσης μπορεί να επηρεάσει επίσης και τα αποτελέσματα της προσομοίωσης όπως π.χ. το ποσοστό κατάληψης του αυτοκινητοδρόμου. Όσο μικρότερο είναι το βήμα της προσομοίωσης τόσο μεγαλύτερα ποσοστά κατάληψης παίρνουμε. Αυτό συμβαίνει επειδή οι οδηγοί γίνονται πιο ευέλικτοι, αφού έχουν μικρότερο χρόνο αντίδρασης. Μπορούν να οδηγούν πιο κοντά στα προπορευόμενα οχήματα, να εκμεταλλεύονται τα κενά στις λωρίδες καλύτερα, να επιταχύνουν νωρίτερα κλπ.

Σε κάθε βήμα προσομοίωσης, η θέση και η ταχύτητα κάθε οχήματος αναθεωρείται με βάση τον παρακάτω αλγόριθμο:

```

if (είναι απαραίτητη η αλλαγή λωρίδας) then
    Εφαρμογή του Lane-Changing Model
endif

if (το όχημα δεν έχει αλλάξει λωρίδα) then
    Εφαρμογή του Car-Following-Model
endif
    
```

Εφόσον έχει γίνει ενημέρωση για την κατάσταση όλων των οχημάτων στο τρέχων βήμα, εισέρχονται στο δίκτυο τα νέα οχήματα όπως είχε προγραμματιστεί και υπολογίζονται οι επόμενοι χρόνοι άφιξης οχημάτων.

### 5.2.1 Car-Following Model

Το Car-Following model που χρησιμοποιείται από το AIMSUN περιέχει δύο συστατικά, την επιτάχυνση και την επιβράδυνση των οχημάτων. Η επιτάχυνση έχει να κάνει με την πρόθεση ενός οδηγού να επιτύχει την επιθυμητή γι αυτόν ταχύτητα, ενώ η επιβράδυνση έχει να κάνει με τους περιορισμούς που εμπεριέχονται στο σύστημα ή περιορισμούς που δημιουργούνται από τα προπορευόμενα οχήματα, όταν αυτά προσπαθούν να προσεγγίσουν τη δική τους επιθυμητή ταχύτητα.

Σύμφωνα με το μοντέλο αυτό, η μέγιστη ταχύτητα που μπορεί να αποκτήσει ένα όχημα (n) κατά τη διάρκεια μιας χρονικής περιόδου (t , t+T) δίνεται από τη σχέση:

$$V_a(n, t + T) = V(n, t) + 2,5a(n)T \left( 1 - \frac{V(n, t)}{V^*(n)} \right) \sqrt{0,025 + \frac{V(n, t)}{V^*(n)}} \quad \text{Σχέση 5.1}$$

όπου:

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

$V^*(n)$  είναι η επιθυμητή ταχύτητα του οχήματος n

$a(n)$  είναι η μέγιστη επιτάχυνση του οχήματος n

T είναι ο χρόνος αντίδρασης του οδηγού που ισούται με το βήμα προσομοίωσης

Από την άλλη, η μέγιστη ταχύτητα στην οποία μπορεί να φτάσει το ίδιο αυτοκίνητο (n) κατά τη διάρκεια της ίδιας περιόδου (t , t+T), όσο αφορά τα δικά του χαρακτηριστικά και τους περιορισμούς που δέχεται από το πρώτο προπορευόμενο όχημα (leader vehicle) δίνεται από την σχέση:

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

Σχέση 5.2

Όπου:

$d(n) < 0$  είναι η μέγιστη επιθυμητή επιβράδυνση του οχήματος n

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

$s(n)$  είναι το μήκος του οχήματος n

$d(n-1)$  είναι μια εκτίμηση της επιθυμητής επιβράδυνσης του οχήματος n

Τελικά η ταχύτητα του οχήματος n κατά τη διάρκεια (t , t+T), είναι η μικρότερη από τις δύο που υπολογίστηκαν παραπάνω.

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

Σχέση 5.3

Άρα η θέση του οχήματος n στη συγκεκριμένη λωρίδα κυκλοφορίας ενημερώνεται αυτόματα, από την εισαγωγή της ταχύτητας του στην καταστατική εξίσωση:

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

Σχέση 5.4

### 5.2.2 2-lanes car-following model

Στόχος μας εδώ είναι να μοντελοποιήσουμε την επιρροή των παρακείμενων λωρίδων κυκλοφορίας στο car-following model. Όταν ένα όχημα κινείται σε ένα τμήμα του αυτοκινητοδρόμου, ορίζουμε την επιρροή που μπορεί να έχει στο όχημα, ένας συγκεκριμένος αριθμός οχημάτων (N) της δεξιάς λωρίδας που έχουν χαμηλότερη ταχύτητα από αυτό. (ή της αριστερής αν οδηγούμε στην Αγγλία). Βασικά το μοντέλο αυτό καθορίζει μια νέα μέγιστη επιθυμητή ταχύτητα που θα χρησιμοποιηθεί από το μοντέλο της ενότητας 5.2.1.

Το μοντέλο αρχικά υπολογίζει τη μέση ταχύτητα των N οχημάτων που κινούνται κατάντη του οχήματος μας στην πιο αργή λωρίδα. Παίρνουμε υπόψη μόνο τα οχήματα αυτά που κινούνται μέχρι μια συγκεκριμένη μέγιστη απόσταση από το όχημα. Αν σε

αυτήν την απόσταση κινούνται λιγότερα από  $N$  οχήματα, τότε για τον υπολογισμό της μέσης ταχύτητας συμπεριλαμβάνουμε και την ταχύτητα του οχήματος μας.

Διακρίνουμε δύο περιπτώσεις: α) Η δεξιά λωρίδα να είναι ράμπα εισόδου και β) η δεξιά λωρίδα να είναι μια κανονική λωρίδα του αυτοκινητοδρόμου. Οι παράμετροι που χρησιμοποιούνται είναι ο αριθμός  $N$  των οχημάτων, η *μέγιστη απόσταση* που αναφέραμε, η *μέγιστη διαφορά ταχύτητας* και η *μέγιστη διαφορά ταχύτητας στη ράμπα*. Η επιθυμητή ταχύτητα του οχήματος μας υπολογίζεται ακολούθως:

```
if (η δεξιά λωρίδα είναι ράμπα εισόδου) then
    Μέγιστη ταχύτητα = μέση ταχύτητα + μέγιστη διαφορά ταχύτητας στη ράμπα
else
    Μέγιστη ταχύτητα = μέση ταχύτητα + μέγιστη διαφορά ταχύτητας
endif
```

Επιθυμητή ταχύτητα =  $\min(V(n), \theta(i) * \text{Μέγιστη ταχύτητα})$

Όπου  $\theta(i)$  είναι η αποδεχόμενη ταχύτητα του οχήματος  $i$ .

Αυτή η διαδικασία καταστεί σίγουρο ότι οι διαφορές ταχυτήτων ανάμεσα σε δύο γειτονικές λωρίδες κυκλοφορίας, θα είναι σχεδόν πάντα μικρότερες από τη *μέγιστη διαφορά ταχύτητας* και τη *μέγιστη διαφορά ταχύτητας στη ράμπα*.

### 5.2.3 Μοντέλο αλλαγής λωρίδας κυκλοφορίας (Lane-changing model)

Η αλλαγή λωρίδας κυκλοφορίας, μοντελοποιείται σαν διαδικασία ανάλυσης αποφάσεων. Εδώ αναλύονται η «αναγκαιότητα», η «επιθυμία» και η «εφικτότητα» αλλαγής λωρίδας. Το μοντέλο αλλαγής λωρίδας (Lane-changing model) είναι ένα μοντέλο αποφάσεων που προσεγγίζει την συμπεριφορά του οδηγού με τον ακόλουθο τρόπο:

- Κάθε φορά που γίνεται η επανεκτίμηση της κατάστασης ενός οχήματος, ζητείται να δοθεί μια απάντηση, στην ερώτηση: «είναι απαραίτητο να γίνει αλλαγή λωρίδας»; Η απάντηση αυτή εξαρτάται από πολλούς παράγοντες όπως η εφικτότητα στροφής στη συγκεκριμένη λωρίδα, η απόσταση μέχρι την επόμενη στροφή και η κυκλοφοριακή κατάσταση της λωρίδας. Η κυκλοφοριακή κατάσταση μετράται με βάση την ταχύτητα και την ουρά που πιθανόν έχει σχηματιστεί. Όταν ένας οδηγός πηγαίνει πιο αργά από ότι επιθυμεί, προσπαθεί να προσπεράσει το προπορευόμενο όχημα και όταν κινείται με αρκετή ταχύτητα προσπαθεί να κινηθεί σε πιο αργή λωρίδα.
- Αν η απάντηση στην προηγούμενη ερώτηση είναι θετική, τότε πρέπει να απαντηθούν δύο ακόμα ερωτήσεις:

- Είναι επιθυμητή η αλλαγή λωρίδας;

Εδώ ελέγχεται το αν μια ενδεχόμενη αλλαγή λωρίδας, θα μπορούσε να βελτιώσει την κυκλοφοριακή κατάσταση του οδηγού. Αυτή η βελτίωση υπολογίζεται βάση της ταχύτητας και της απόστασης. Εάν η ταχύτητα στην μελλοντική λωρίδα είναι μεγαλύτερη από την τωρινή ή αν το μήκος της ουράς είναι αρκετά μικρότερο, τότε είναι επιθυμητή η αλλαγή λωρίδας.

ο *Είναι εφικτή η αλλαγή λωρίδας;*

Εδώ πιστοποιείται το εάν υπάρχει αρκετό κενό, ώστε να γίνει η αλλαγή λωρίδας με ασφάλεια. Υπολογίζονται οι επιβραδύνσεις που χρειάζεται να ασκηθούν από το όχημα που αλλάζει λωρίδα, από το μελλοντικό ανάντη και κατάντη όχημα και εάν είναι εφικτές με βάση τις ικανότητες των οχημάτων και την κυκλοφοριακή κατάσταση της μελλοντικής λωρίδας, η αλλαγή θεωρείται εφικτή.

#### **5.2.4 Μοντέλο Ράμπας Εισόδου –(On-ramp model)**

Αυτό το μοντέλο δεν είναι παρά ένα πρόβλημα συνένωσης. Ακολουθείται το ίδιο μοντέλο αλλαγής λωρίδας, όπως περιγράφηκε στην ενότητα 5.2.3 με κάποιες προσθήκες. Η αναγκαιότητα και η επιθυμία αλλαγής λωρίδας θεωρούνται δεδομένες για κάποιο όχημα που προσπαθεί εισερχόμενο από τη ράμπα να ενσωματωθεί στην ροή του αυτοκινητοδρόμου. Όσο αφορά την εφικτότητα ισχύουν ακριβώς τα ίδια με παραπάνω. Γι αυτό το λόγο, αν στην δεξιά λωρίδα του αυτοκινητοδρόμου (στην λωρίδα δηλαδή με την οποία ενώνεται η ροή της ράμπας με αυτήν του αυτοκινητοδρόμου), δεν υπάρχουν κενά τα οποία μπορούν να εκμεταλλευτούν τα εισερχόμενα από τη ράμπα αυτοκίνητα για να ενσωματωθούν στον αυτοκινητόδρομο, μπορεί και να σταματήσουν ωστόσο αυτά τα κενά να δημιουργηθούν. Αυτό βέβαια μπορεί να δημιουργήσει πρόβλημα στην ενσωμάτωση, εφόσον τα σταματημένα αυτοκίνητα κατά την είσοδο τους στον αυτοκινητόδρομο δεν μπορούν να αναπτύξουν γρήγορα την απαιτούμενη ταχύτητα και άρα αν η ροή του αυτοκινητοδρόμου πλησιάζει την ικανότητά του μπορούν να δημιουργηθούν κυκλοφοριακές συμφορήσεις.

Από την άλλη όμως και τα οχήματα του αυτοκινητοδρόμου που πλησιάζουν μια ράμπα εισόδου, όταν αντιληφθούν την ύπαρξη ενός οχήματος που προσπαθεί να εισέλθει στον αυτοκινητόδρομο, τείνουν να μετακινηθούν στην αριστερή λωρίδα για να μη δημιουργηθεί πρόβλημα στη ράμπα αλλά και να μην μειώσουν την ταχύτητά τους. Αν στην αριστερή λωρίδα δεν υπάρχουν τα κενά ώστε να γίνει εφικτή αυτή η αλλαγή λωρίδας, τότε το πρόβλημα που αναφέραμε στην προηγούμενη παράγραφο συνεχίζει να ισχύει.

## Κεφάλαιο 6

### 6. ΠΡΟΣΟΜΟΙΩΣΗ

#### 6.1 Το Δίκτυο

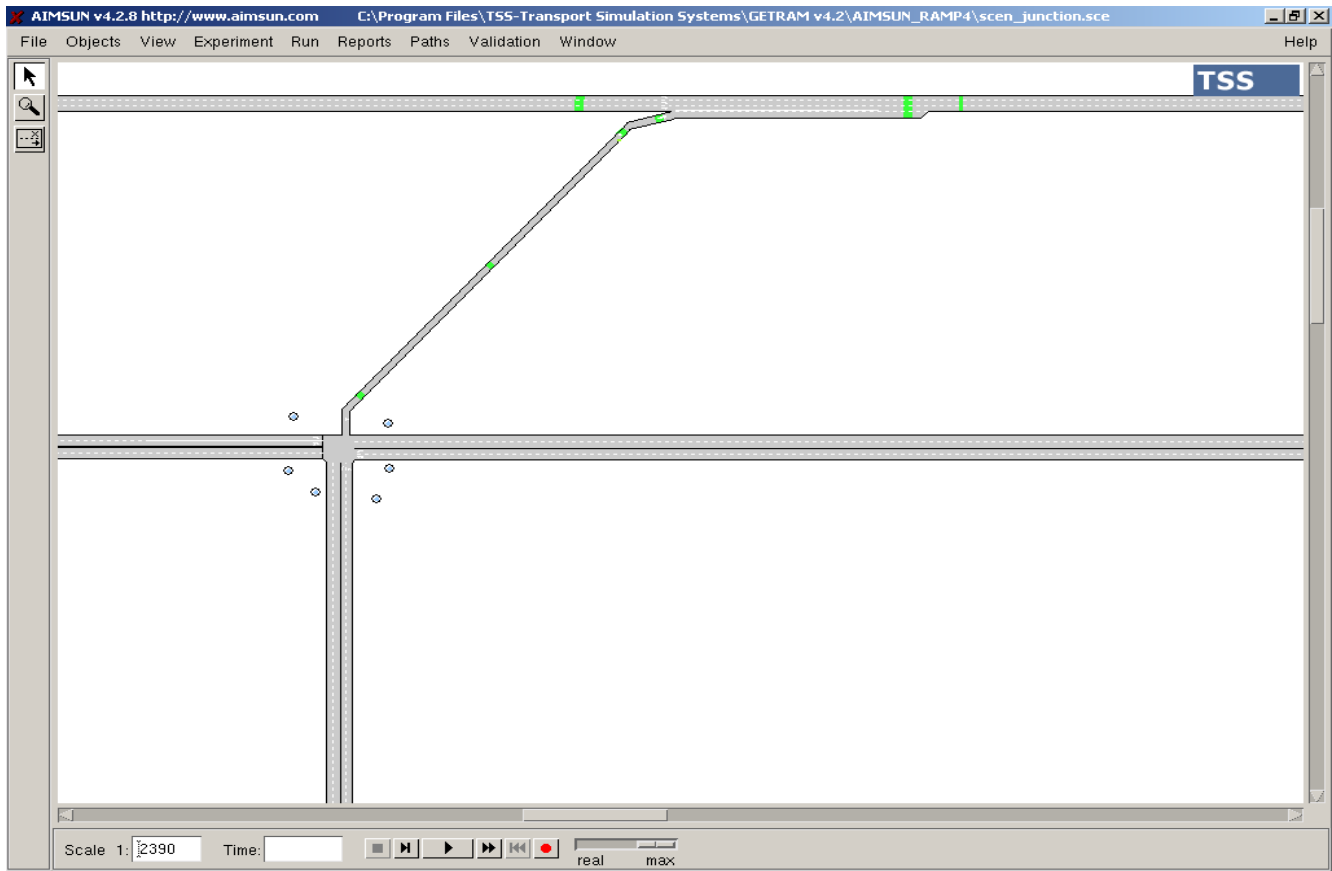
Αρχικά θα πρέπει να σχεδιάσουμε το δίκτυο της προσομοίωσης. Το δίκτυό μας αποτελείται από ένα αυτοκινητόδρομο τριών χιλιομέτρων, δύο ράμπες εισόδου και μια ράμπα εξόδου. Ο έλεγχος θα ασκηθεί στη δεύτερη ράμπα εισόδου (250 μέτρα) με σκοπό τον έλεγχο και της ροής του αυτοκινητοδρόμου, αλλά και του μεγέθους της ουράς της ράμπας. Γι αυτό το λόγο χρησιμοποιήσαμε δύο ειδών δίκτυα.

Στο ένα η ράμπα εισόδου έχει πολύ μεγάλο μήκος. Εμείς θεωρούμε ότι η ράμπα έχει μήκος 250 μέτρα και τα υπόλοιπα χρησιμοποιούνται για τον υπολογισμό της υπερχειλίσης της ουράς. Εξάλλου όταν δεν υπάρχει χώρος για την είσοδο ενός αυτοκινήτου ο προσομοιωτής AIMSUN δεν το τοποθετεί στο δίκτυο και το κρατά σε αναμονή. Άρα υποχρεούμαστε να έχουμε αρκετά μεγάλο χώρο πριν τη ράμπα για να είμαστε σίγουροι ότι η ζήτηση θα ικανοποιηθεί.

Στο δεύτερο δίκτυο που σχεδιάσαμε η ράμπα εισόδου ενώνει τον αυτοκινητόδρομο με μια διασταύρωση αστικού δικτύου (σχήμα 6.1). Η διασταύρωση είναι ελεγχόμενη με Σταθερή Περίοδο Φωτεινής Σηματοδότησης. Αυτό το δίκτυο είναι πιο ρεαλιστικό και θα μας βοηθήσει να δούμε την επίδραση αυτών των μοντέλων σε ένα αστικό δίκτυο. Εξάλλου αυτός είναι και ο βασικός λόγος που προσπαθούμε να ελέγξουμε το μήκος της ουράς της ράμπας. Δηλαδή να μην μεταφέρεται η ουρά από τη ράμπα στα αστικά δίκτυα κατά τις ώρες αιχμής.

Η διαφορά των δύο επιλεγμένων δικτύων είναι ότι η ροή των αυτοκινήτων στη πρώτη περίπτωση είναι ομοιόμορφη, ενώ στη δεύτερη πιο στοχαστική και άρα πιο ρεαλιστική. Επίσης στο πρώτο δίκτυο δημιουργούνται μεγάλες ουρές κατά τη διάρκεια της ώρας αιχμής, λόγω της συνεχούς ροής, ενώ στο δεύτερο δίκτυο οι τυχόν ουρές δημιουργούνται στους συνδέσμους του αστικού δικτύου και λόγω του φωτεινής σηματοδότησης της διασταύρωσης, τυχόν υπερχειλίση της ουράς της ράμπας δε φαίνεται άμεσα. Γι αυτό το λόγο στο δεύτερο δίκτυο αντί να μετράμε οχήματα στην ουρά έξω από τη ράμπα, μετράμε το συνολικό χρόνο ταξιδιού στο δίκτυο.





Σχήμα 6.1: διασταύρωση που συνδέεται με τον αυτοκινητόδρομο

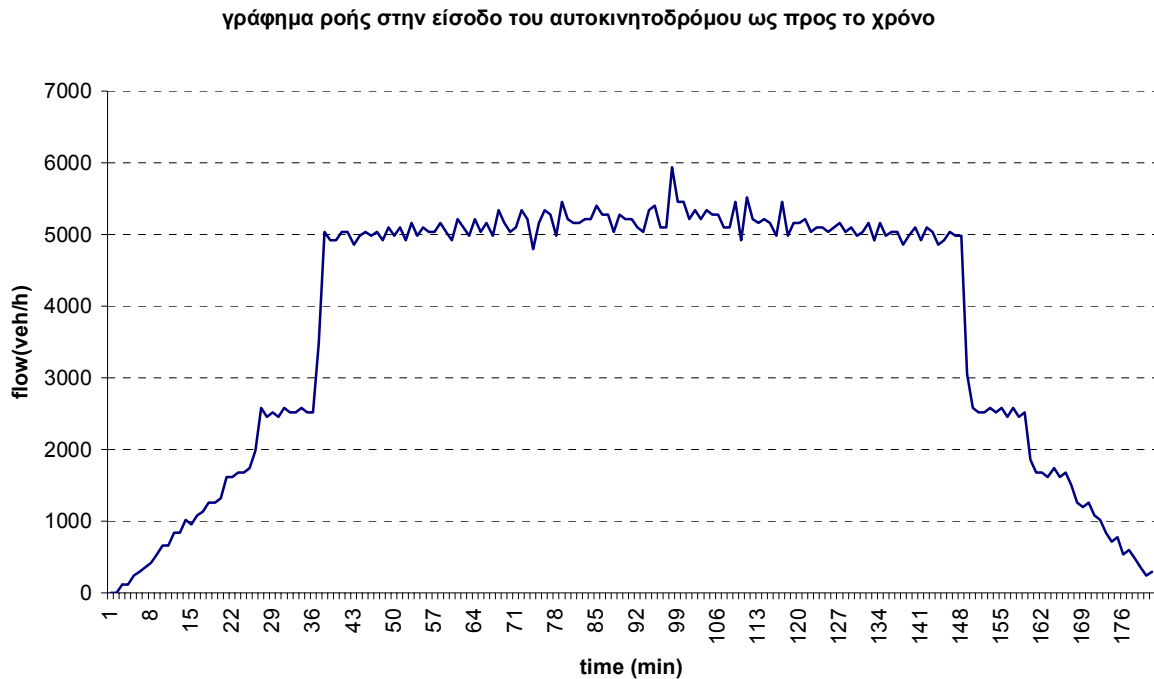
## 6.2 Σενάριο Ζήτησης

Στόχος της προσομοίωσης μας είναι να ελέγξουμε κάποια μοντέλα όσο αφορά την ικανότητά τους να ελέγχουν τη ροή του αυτοκινητοδρόμου αλλά και το μήκος της ουράς της ράμπας, που παρατηρείται ως παράπλευρη απώλεια. Για το στόχο αυτό πρώτο μας μέλημα είναι η επιλογή ενός σεναρίου ζήτησης, τέτοιου ώστε να παρατηρείται κυκλοφοριακή συμφόρηση σε περίπτωση που η ράμπα εισόδου δεν ελέγχεται. Οποιαδήποτε άλλη περίπτωση δεν θα είχε νόημα, αφού αν η συνολική ροή (αυτοκινητοδρόμου και ράμπας εισόδου) μπορούσε να καλυφθεί από την ικανότητα του αυτοκινητοδρόμου, δεν θα υπήρχε λόγος ελέγχου ούτε εμφάνιση ουρών. Με λίγα λόγια θέλουμε να δούμε πως τα μοντέλα που θα δοκιμάσουμε αντεπεξέρχονται σε ακραίες καταστάσεις, δηλαδή σε «βαριά» σενάρια ζήτησης.

Για το σκοπό αυτό ξεκινήσαμε να αυξάνουμε σιγά σιγά τη ζήτηση μέχρι να επιτύχουμε συμφόρηση στον αυτοκινητόδρομο. Μετά απλά αυξήσαμε τη ζήτηση της ράμπας ώστε να δημιουργήσουμε μεγαλύτερο «πρόβλημα». Ο αυτοκινητόδρομος μας αποτελείται από

τρεις λωρίδες κυκλοφορίας. Από την εμπειρία μας η κάθε λωρίδα έχει ικανότητα περίπου 2000 οχήματα την ώρα. Άρα συνολικά η ικανότητα του αυτοκινητοδρόμου μας ανέρχεται περίπου στα 6000 οχήματα την ώρα.

Η ζήτηση μας δεν είναι σταθερή, αλλά αυξάνεται με το χρόνο, ώσπου να φτάσει σε ένα μέγιστο σημείο (ώρα αιχμής), όπως φαίνεται στο σχήμα (6.2). Αυτό γίνεται για να είναι το σενάριο μας πιο ρεαλιστικό, αλλά και για να μπορέσουμε να παρατηρήσουμε και να περιγράψουμε με ακρίβεια το φαινόμενο της κυκλοφοριακής συμφόρησης από την δημιουργία της μέχρι την αποσυμφόρηση.



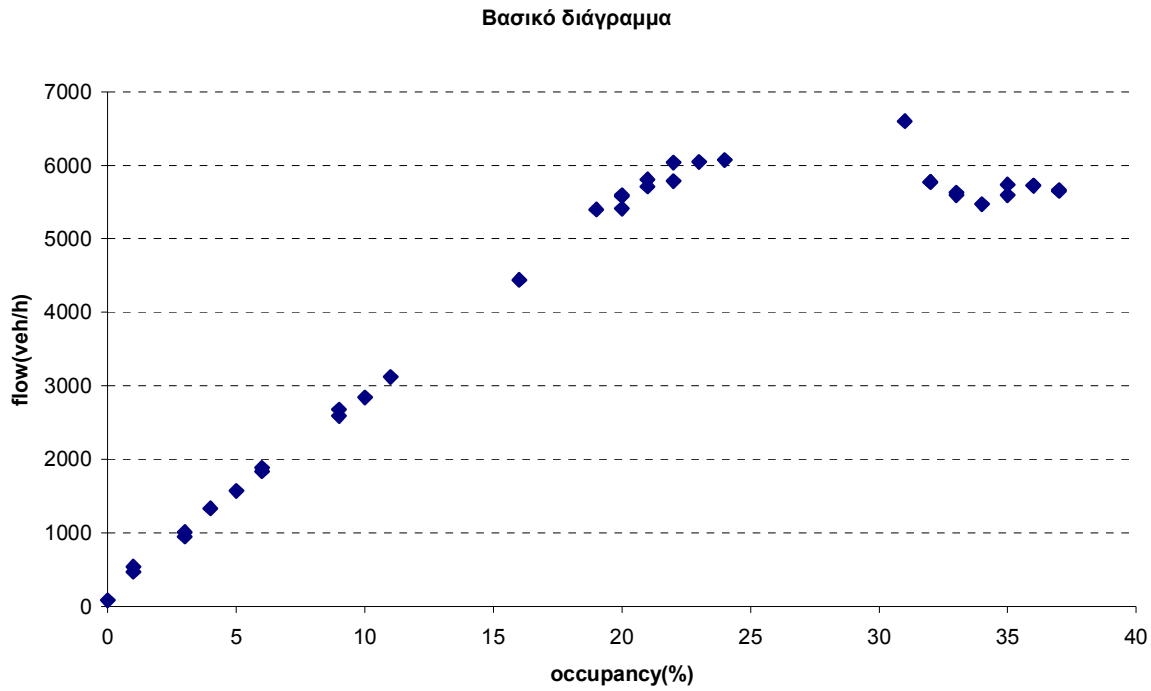
**Σχήμα 6.2: γράφημα ροής**

Η μέγιστη ζήτηση στην είσοδο του αυτοκινητοδρόμου επιλέχθηκε ίση με 6000 χιλιάδες οχήματα ανά ώρα (σχήμα 6.2), της πρώτης ράμπας εισόδου 500 (veh/h) και της ράμπας εξόδου 1000 (veh/h). Οπότε κατά την ώρα αιχμής μπροστά από την ελεγχόμενη ράμπα εισόδου περνούν κατά μέσο όρο 5500(veh/h). Η ζήτηση της ελεγχόμενης ράμπας εισόδου επιλέχθηκε ίση με 900 (veh/h) για το ίδιο χρονικό διάστημα. Η ζήτηση είναι έτσι σχεδιασμένη (σχεδόν σαν τραπέζιο), ώστε να παραμένει αρκετά ψηλά για μεγάλο χρονικό διάστημα (100 λεπτά). Η προσομοίωσή διαρκεί 180 λεπτά της ώρας.

Για να βρούμε το κρίσιμο σημείο της κατάληψης του δρόμου για το οποίο μεγιστοποιείται η ροή προσομοιώσαμε το μοντέλο μας χωρίς να ασκούμε έλεγχο στη ράμπα και καταλήξαμε στο γράφημα ροής/κατάληψης (σχήμα 6.3), από το οποίο μπορούμε να έχουμε μια πρώτη άποψη για το που κοντά βρίσκεται το  $\alpha_{cr}$ . Από το γράφημα υποψιαζόμαστε ότι το  $\alpha_{cr}$  βρίσκεται μεταξύ των 21% και 23%. Μετά προσομοιώνοντας ξανά το μοντέλο μας ασκώντας έλεγχο στη ράμπα, κάνοντας χρήση

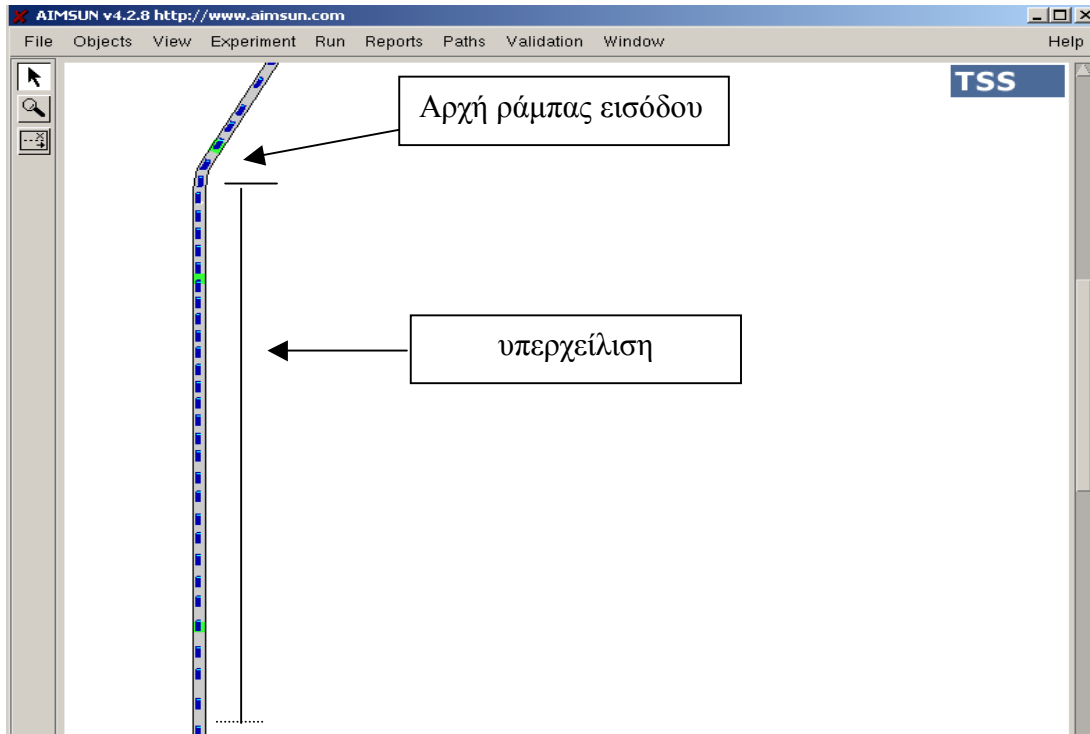
## ΠΡΟΣΟΜΟΙΩΣΗ

της στρατηγικής ALINEA για κύκλο 60 sec και  $\alpha_{cr}=(20,21,22,23,24)$ , παρατηρήσαμε ότι η συνολική ροή του αυτοκινητοδρόμου (κατάντη της ράμπας) γίνεται μέγιστη για  $\alpha_{cr}=22$  οπότε αυτή είναι και η τιμή που επιλέγουμε για την ALINEA. (βλέπε ενότητα 2.4)



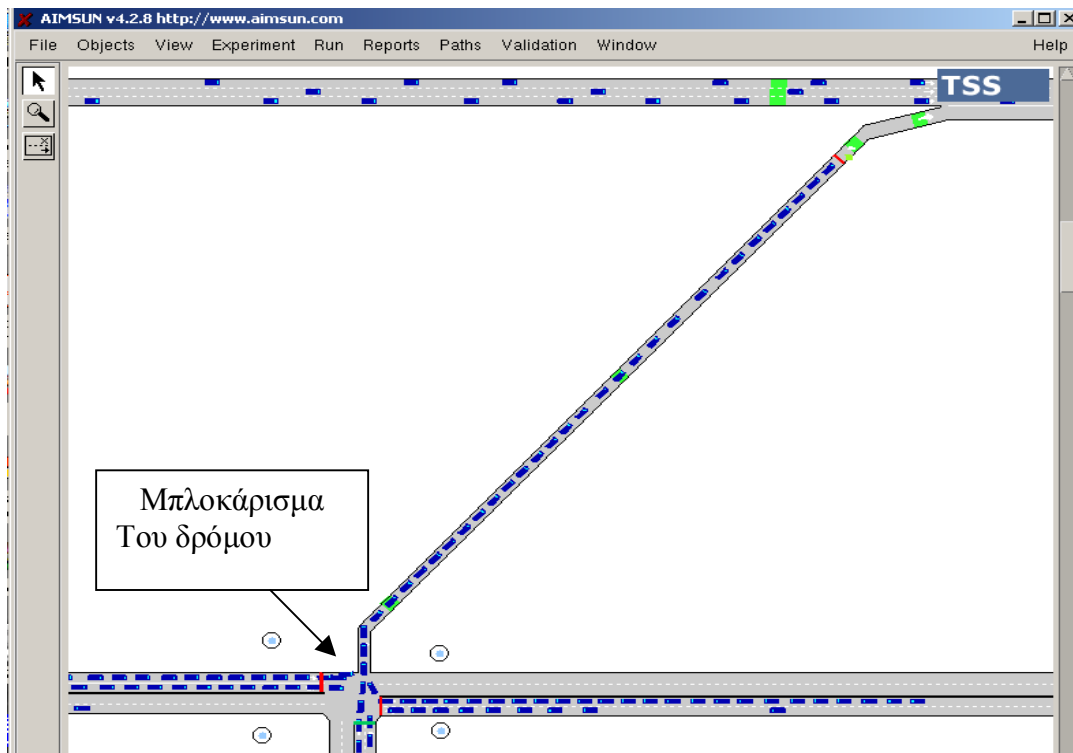
**Σχήμα 6.3: βασικό διάγραμμα για τη περίπτωση μη ελεγχόμενης ράμπας εισόδου**

Έτσι η ροή της ράμπας εισόδου διαμορφώνεται όπως φαίνεται στο σχήμα (6.6β) με τη εφαρμογή της ALINEA. Όπως βλέπουμε και στο σχήμα ο έλεγχος μας δεν αφήνει την ζήτηση να καλυφθεί, αλλά μόλις περάσει η ώρα αιχμής η ροή της ράμπας αυξάνεται κατακόρυφα για να αδειάσει η ουρά που έχει δημιουργηθεί στη ράμπα. Από το (σχήμα 6.7), βλέπουμε ότι η ALINEA κατορθώνει να συγκρατήσει το ποσοστό κατάληψης του αυτοκινητοδρόμου κοντά στο 22% καθόλη τη διάρκεια της προσομοίωσης. Αυτό όμως έχει σαν αποτέλεσμα την αύξηση της ουράς στη ράμπα καθώς και την υπερχείλιση της, δηλαδή η ουρά ξεπερνά τα 250 μέτρα που είναι θεωρητικά το μήκος της ράμπας μας (σχήμα 6.4). Γι αυτό το λόγο χρειάζεται να κάνουμε χρήση στρατηγικών ελέγχου της ουράς της ράμπας.

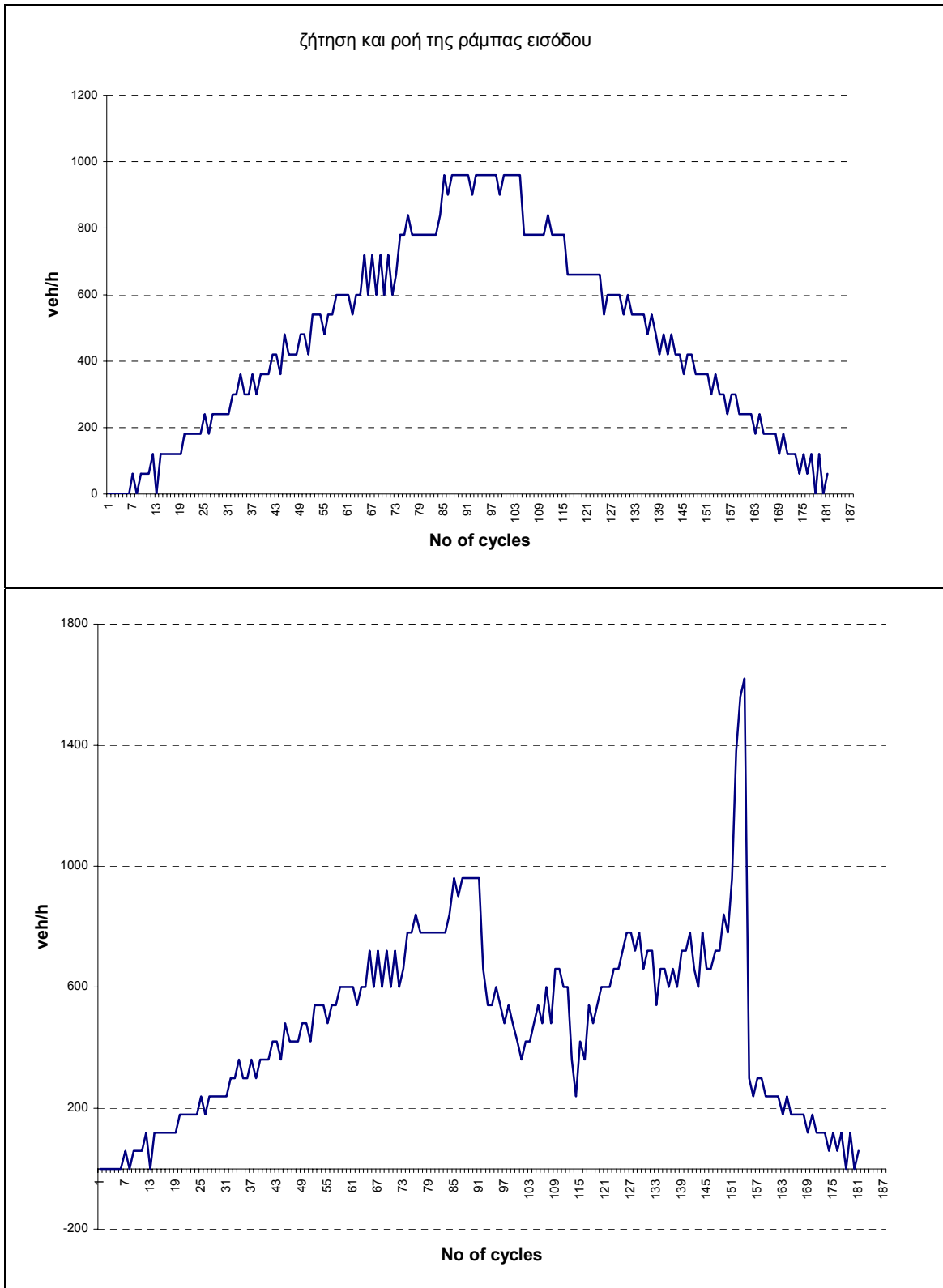


Σχήμα 6.4: υπερχειλίση της ράμπας εισόδου

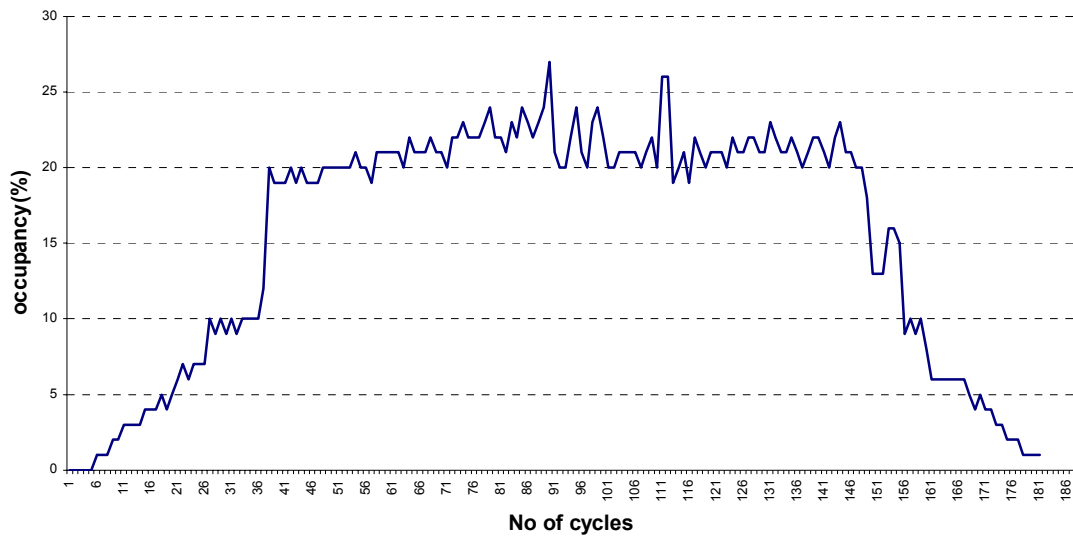
Στο σχήμα 6.4 φαίνεται η υπερχειλίση που δημιουργείται στην ράμπα εισόδου η οποία ως μέγιστη τιμή έχει τα 193 οχήματα.



Σχήμα 6.5: υπερχειλίση της ράμπας εισόδου στην περίπτωση του αστικού δικτύου

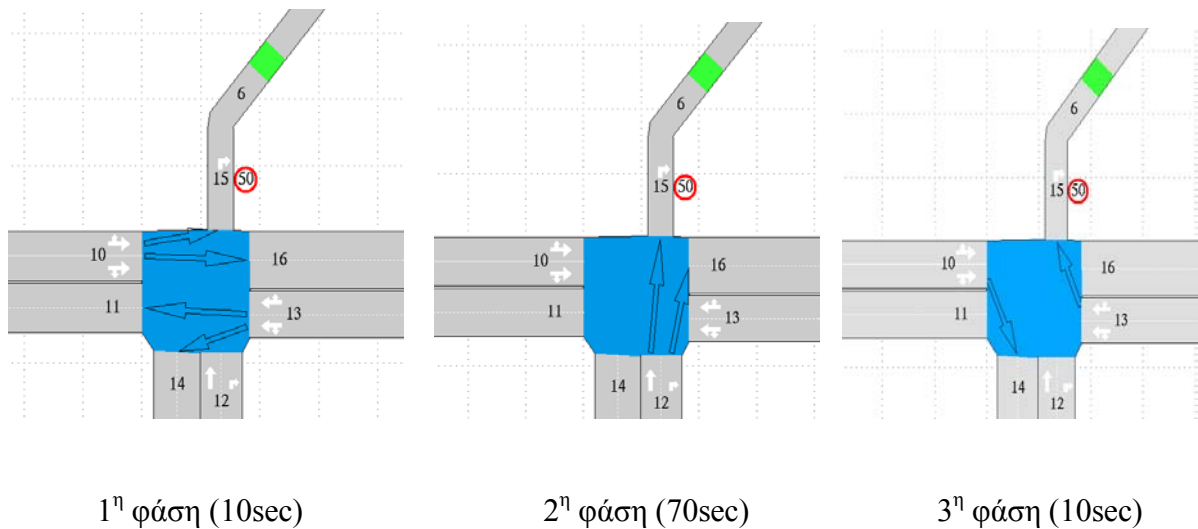


Σχήμα 6.6: α) ζήτηση της ράμπας β) ροή της ράμπας με εφαρμογή ALINEA



Σχήμα 6.7: ποσοστό κατάληψης του αυτοκινητοδρόμου με χρήση της ALINEA

Στην περίπτωση που η ράμπα εισόδου συνδέεται με το αστικό δίκτυο, στο σταυροδρόμι έχουμε έναν κύκλο φωτεινής σηματοδότησης 90 sec με τρεις φάσεις. (σχήμα 6.8)



Σχήμα 6.8: οι φάσεις του σηματοδότη στο σταυροδρόμι

Το σταυροδρόμι συνδέεται με τη ράμπα (δρόμος 6) μέσω μιας λωρίδας μήκους 10 μέτρων (δρόμος 15). Από το δρόμο (10), περνούν προς τη ράμπα 150 οχήματα την ώρα, από τον (13) πάλι 150 και από τον (12) 600 οχήματα την ώρα. Το σύνολο δηλαδή της ζήτησης της ράμπας παραμένει και σε αυτή την περίπτωση ίση με 900 veh/h. Σε αυτή την περίπτωση όμως η ροή των οχημάτων προς τη ράμπα δεν είναι σταθερή, εξαιτίας του

φωτεινού σηματοδότη στο σταυροδρόμι που δεν επιτρέπει ούτε συνεχή ροή οχημάτων, ούτε σταθερή ταχύτητα.

Αφού λοιπόν επιλέξαμε ένα σενάριο ζήτησης, τέτοιο ώστε όταν προσπαθούμε να ελέγξουμε μέσω της ράμπας την κυκλοφοριακή ροή του αυτοκινητοδρόμου, να δημιουργούνται ουρές στη ράμπα, το μόνο που απομένει είναι να προσθέσουμε στον έλεγχό μας πολιτικές ελέγχου της ουράς και να αρχίσουμε τις προσομοιώσεις.

### 6.3 Λεπτομέρειες της Προσομοίωσης

Έχουμε επιλέξει σαν στρατηγική ελέγχου ράμπας την στρατηγική ALINEA  $\{ r(k) = r(k-1) + K_R [\hat{o} - o_{out}(k-1)] \}$ , η οποία έχει αποδειχτεί ικανή να αντεπεξέλθει σε κάθε περίπτωση στους στόχους του ελέγχου ανεξαρτήτως της επιλογής της παραμέτρου  $K_R$ . Εμείς το  $K_R$  το επιλέξαμε ίσο με 45 το οποίο μας επιτρέπει μια πιο γρήγορη σύγκλιση στο  $\hat{o}$ .

Επίσης θα πρέπει να γίνει επιλογή της πολιτικής ελέγχου, δηλαδή ο τρόπος με τον οποίο θα λειτουργεί ο σηματοδότης της ράμπας εισόδου, καθώς και οι στρατηγικές ελέγχου της ουράς που θα χρησιμοποιηθούν.

#### 6.3.1 Φωτεινός Σηματοδότης της Ράμπας

Για το φωτεινό σηματοδότη της ράμπας θα πρέπει να επιλέξουμε μια πολιτική ελέγχου από το κεφάλαιο 3. Η πολιτική one-car-per-green δεν μας ενδιέφερε εξ αρχής επειδή θεωρείται πολύ ενοχλητική για τους οδηγούς που προσπαθούν να εισέρθουν στον αυτοκινητόδρομο. Για την σταθερή περίοδο φωτεινής σηματοδότησης επιλέξαμε 2 σταθερούς κύκλους, έναν των 30sec και έναν των 60sec. Οπότε για αυτές τις περιπτώσεις υπολογίζεται η νέα αναλογία πράσινου-κόκκινου ανά 30 ή 60 sec αντίστοιχα σύμφωνα με τη σχέση (3.10), με τη χρήση μετρήσεων πραγματικού χρόνου και της στρατηγικής ALINEA που μετατρέπει αυτές τις μετρήσεις σε επιθυμητή ροή εξόδου της ράμπας.

Επίσης για τα discrete release rates επιλέξαμε 10 διακριτά διαστήματα (N). Σε αυτήν την περίπτωση ο κύκλος δεν παραμένει σταθερός. Πρέπει να υπενθυμίσουμε ότι οι αποφάσεις της ALINEA γίνονται σε χρόνο ανεξάρτητο από τον εφαρμοσμένο κύκλο. Η περίοδος της ALINEA επιλέχθηκε στα 60 sec. Κάθε 60 sec λοιπόν αποφασίζουμε τη διάρκεια του επόμενου κύκλου και το αντίστοιχο πράσινο. Ίδιοι κύκλοι ακολουθούν ο ένας τον άλλο, έως ότου η ALINEA πάρει καινούριες μετρήσεις οι οποίες θα μεταφραστούν σε ένα νέο ζευγάρι κύκλου-πράσινης φάσης.

### 6.3.2 Στρατηγικές Ελέγχου της Ουράς της Ράμπας

Θα χρησιμοποιήσουμε και τις τρεις πολιτικές που αναφέρονται στο κεφάλαιο 4 με σκοπό να τις συγκρίνουμε μεταξύ τους. Για την Π.Α.Ε.Ρ. το οριακό ποσοστό κατάληψης για το οποίο γίνονται οι διαγραφές των ουρών (συνεχές πράσινο για τον επόμενο κύκλο) επιλέγεται ίσο με 30%, 50% και 70%. Σκοπός μας είναι να δούμε την επίδραση του ορίου αυτού στη ροή του αυτοκινητοδρόμου και στο μέγεθος των ουρών της ράμπας.

Για τον έλεγχο ουρών (queue-control) θα χρησιμοποιήσουμε και τις 2 μεθόδους πρόβλεψης της ζήτησης (1<sup>η</sup> και 2<sup>η</sup>) που προαναφέρθηκαν στο κεφάλαιο 4. Για την πρώτη θα επιλέξουμε τον παράγοντα  $f$  ίσο με 1, 1.2, και 1.5 αντίστοιχα. Υπενθυμίζουμε ότι όσο μεγαλώνει ο παράγοντας  $f$ , τόσο μικραίνει ο κίνδυνος υπερχείλισης των ουρών (αφού γίνεται υπερεκτίμηση της ζήτησης), αλλά και τόσο χειροτερεύει η ροή του αυτοκινητοδρόμου αφού δεν χρησιμοποιούμε πλήρως την αποθηκευτική ικανότητα της ράμπας. Για την δεύτερη επιλέγουμε τον παράγοντα  $f$  (που από εδώ και πέρα θα συμβολίζεται  $f_2$ ) ίσο με 1, 2 και 3. Υπενθυμίζουμε ότι για  $f_2=0$  έχουμε ακριβώς την πρώτη μέθοδο πρόβλεψης για  $f=1$ .

### 6.3.3 Προσθήκη Θορύβου

Μια άλλη επιλογή για να γίνει πιο ρεαλιστική η προσομοίωσή μας, είναι η προσθήκη θορύβου στις μετρήσεις που λαμβάνουμε από τους 3 φωρατές της ράμπας. Ο θόρυβος που προσθέσαμε ορίζεται στο 5% των πραγματικών μετρήσεων. Στόχος μας είναι να μπορούμε να εκτιμήσουμε σωστά το μέγεθος της ουράς παρά τον θόρυβο. Γι αυτό το σκοπό χρησιμοποιούμε έναν κατάλληλο εκτιμητή και ρυθμίζουμε το κέρδος του εκτιμητή ( $K$ ), ώστε να κάνουμε όσο το δυνατό καλύτερη εκτίμηση. Στόχος μας εδώ είναι να ερευνήσουμε αν η στρατηγική που επιλέξαμε επηρεάζεται και κατά πόσο, από τυχαίες λάθος μετρήσεις, αφού στη πράξη κανένας φωρατής δεν μπορεί να εγγυηθεί 100% σωστές μετρήσεις.

#### 6.3.3.1 Εκτιμητής αριθμού οχημάτων στη ράμπα

Ο εκτιμητής που χρησιμοποιούμε συμπεραίνει τις παραμέτρους ενδιαφέροντος από έμμεσες, ανακριβείς και αβέβαιες παρατηρήσεις. Είναι παλινδρομικός, ώστε οι νέες μετρήσεις να μπορούν να υποβληθούν σε επεξεργασία καθώς φτάνουν. Η τελική σχέση που μας δίνει την πρόβλεψη του αριθμού των οχημάτων που βρίσκονται μέσα στη ράμπα δίνεται παρακάτω:



$$N(k+1)=N(k)+dt*(flow_{in}-flow_{out})+K*[o_t^m - N(k)*Aver\_Veh\_Length / Ramp\_length]$$

Σχέση 6.1

Όπου  $N(k)$  είναι ο αριθμός των οχημάτων στην επανάληψη  $k$ ,  $dt$  το διακριτό χρονικό διάστημα της εκτίμησης,  $K$  μια παράμετρος του εκτιμητή (κέρδος),  $Aver\_Veh\_Length$  ο μέσος όρος μήκους των οχημάτων,  $Ramp\_length$  το μήκος της ελεγχόμενης ράμπας και  $o_t^m$  είναι ο μέσος όρος των μετρήσεων ποσοστού κατάλληλης που πάρθηκαν κατά τη διάρκεια του τελευταίου κύκλου. Ο όρος  $o_t^m$  μας δίνει μια προσέγγιση της χωρικής κατάλληλης της ράμπας.

Παρατηρούμε ότι για  $K=0$  η σχέση 6.1 είναι η ακριβής σχέση υπολογισμού του αριθμού οχημάτων. Σε περίπτωση που οι μετρήσεις από τους φωρατές δεν είναι ακριβείς, επιλέγουμε  $K \neq 0$ . Για περισσότερες λεπτομέρειες σχετικά με την ανάπτυξη και χρήση του εκτιμητή αριθμού οχημάτων σε μία οδό, μπορείτε να παραπεμφθείτε στο [2].

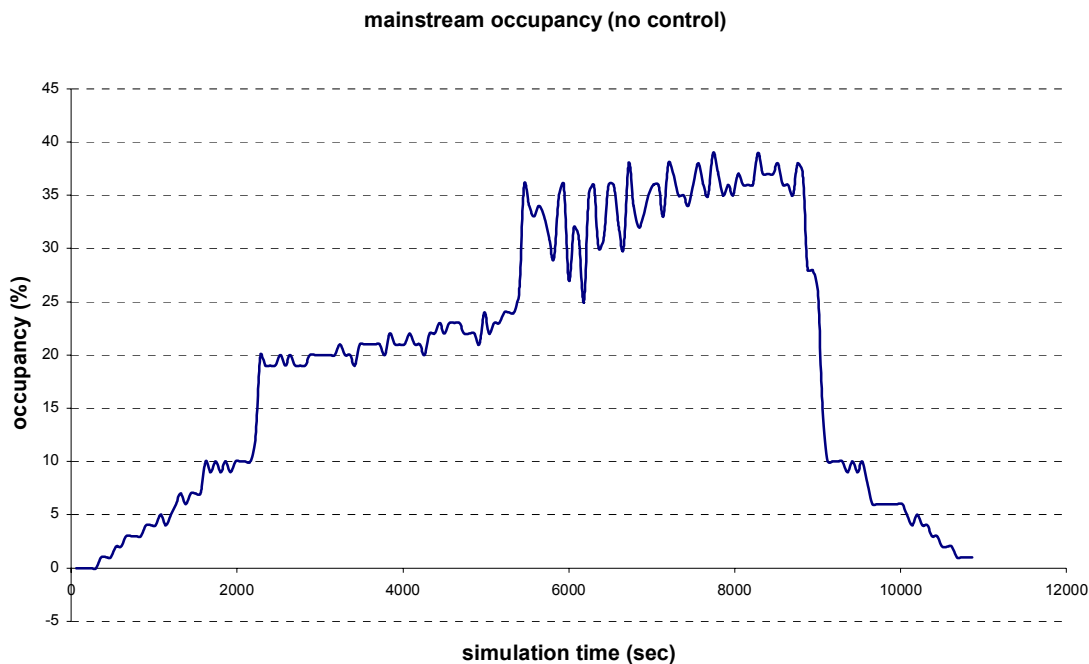
## ΚΕΦΑΛΑΙΟ 7

## 7. ΑΠΟΤΕΛΕΣΜΑΤΑ

Ακολουθούν τα αποτελέσματα σε σχέση με την πολιτική που ακολουθήθηκε, με την προσθήκη θορύβου ή όχι και τελικά θα καταλήξουμε στη σύγκριση των διάφορων μεθόδων και εξήγηση των αποτελεσμάτων.

## 7.1 Ράμπα Μεγάλου Μήκους

Στη περίπτωση της ράμπας μεγάλου μήκους, ορίζουμε ότι η ράμπα μας είναι 250 μέτρα και τα υπόλοιπα χρησιμοποιούνται απλά για τον υπολογισμό της υπερχειλίσσης της ουράς και για την κάλυψη όλης της ζήτησης της ράμπας. Αρχικά υπολογίζουμε τα κριτήρια προς σύγκριση για την περίπτωση που δεν εφαρμόζεται έλεγχος στη ράμπα.



Σχήμα 7.1: ποσοστό κατάληψης αυτοκινητοδρόμου στο κατάντη τμήμα της ράμπας, χωρίς έλεγχο ράμπας

Για εκείνη την περίοδο που η κατάληψη ξεπερνά την  $o_{cr}=22\%$  υπολογίζουμε τη μέση κατάληψη, τη διασπορά της, τη μέση ροή, το μέσο μέγεθος ουράς σε αυτοκίνητα, το μέγιστο μέγεθος ουράς σε αυτοκίνητα και τη διασπορά του μεγέθους ουράς σε

## ΑΠΟΤΕΛΕΣΜΑΤΑ

αυτοκίνητα. Από τον προσομοιωτή μας δίνεται η δυνατότητα να υπολογίσουμε τη μέση υπερχειλίση της ουράς και τη μέγιστη υπερχειλίση της ουράς, για όλη την περίοδο της προσομοίωσης. Αυτά τα κριτήρια είναι που θα χρησιμοποιήσουμε για να συγκρίνουμε τις διάφορες στρατηγικές ελέγχου της ουράς. Δηλαδή το κατά πόσο περιορίζουν την υπερχειλίση, κατά πόσο εκμεταλλεύονται την ικανότητα αποθήκευσης της ράμπας και κατά πόσο ενοχλούν την κυκλοφοριακή ροή του αυτοκινητοδρόμου. Τα αποτελέσματα των κριτηρίων για την περίπτωση της μη ελεγχόμενης ράμπας δίνονται στον πίνακα 7.1.

**Πίνακας 7.1: Τιμές κριτηρίων για μη ελεγχόμενη ράμπα**

Μέση κατάληψη(%)	31,8
Διασπορά κατάληψης	5,6
Μέση ροή	5791,2
Μέση ουρά	2,9
Μέγιστη ουρά	5,0
Διασπορά ουράς	0,8
Μέση υπερχειλίση	0,0
Μέγιστη υπερχειλίση	0,0

Εδώ θα πρέπει να αναφέρουμε ότι ως υπερχειλίση της ουράς εννοούμε τα αυτοκίνητα τα οποία σταματούν λόγω κυκλοφοριακής συμφόρησης, πριν εισέρθουν στη ράμπα εισόδου, ενώ ως ουρά εννοούμε τα οχήματα που βρίσκονται μέσα στη ράμπα ανεξάρτητα από το αν κινούνται ή όχι. Με λίγα λόγια εννοούμε την αποθήκευση οχημάτων ή των αριθμό των οχημάτων που έχουν φτάσει στη ράμπα και επιθυμούν να εισέλθουν στον αυτοκινητόδρομο.

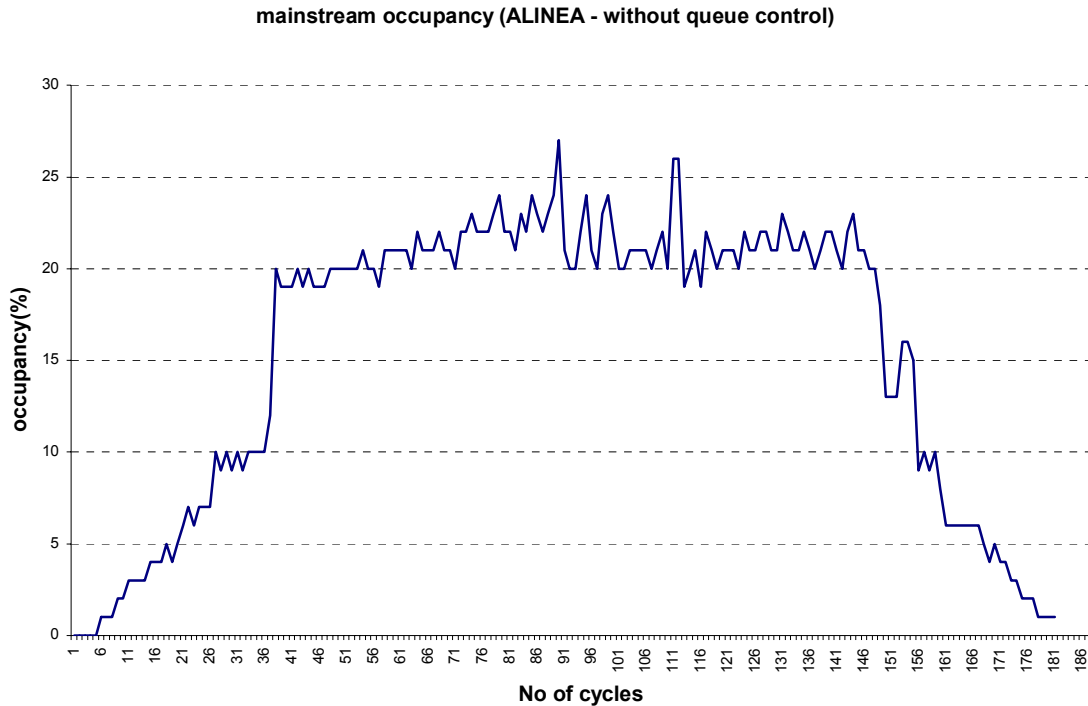
Για την περίπτωση της ελεγχόμενης ράμπας επιλέξαμε για όλες τις προσομοιώσεις ως στρατηγική ελέγχου κυκλοφορίας την ALINEA (σχέση 2.5) με  $K_R=45$  που έχει αποδειχτεί σε πραγματικά δεδομένα, αλλά και από τις προσομοιώσεις μας, ότι λειτουργεί σχεδόν άψογα, και προσεγγίζει την επιθυμητή τιμή του ποσοστού κατάληψης αρκετά γρήγορα. (υπενθυμίζουμε ότι η επιθυμητή προσέγγιση είναι δυνατή για οποιοδήποτε  $K_R$ ).

### 7.1.1 Παίρνοντας Ακριβείς Μετρήσεις από τους Φωρατές

Σε αυτήν την υποενότητα θα μελετήσουμε τη συμπεριφορά των διάφορων στρατηγικών ελέγχου ουρών, θεωρώντας ότι γνωρίζουμε ακριβώς τη ροή και το ποσοστό κατάληψης της ράμπας εισόδου και άρα το ακριβές μέγεθος της ουράς. Οι τρεις φωρατές οι οποίοι είναι τοποθετημένοι στη ράμπα, στην αρχή στη μέση και στο τέλος της, μας δίνουν τις πραγματικές τιμές οποιουδήποτε μεγέθους (κατάληψη, ροή ) θέλουμε να χρησιμοποιήσουμε.

### 7.1.1.1 Πλήρης κύκλος 60 sec

Για την πολιτική του πλήρη κύκλου περιόδου 60 sec, θα δούμε αρχικά την περίπτωση της ALINEA χωρίς έλεγχο ουράς. Στο σχήμα 7.2 φαίνεται η κατάληψη του αυτοκινητοδρόμου κατάντη της ράμπας εισόδου, κατά την περίοδο της προσομοίωσης. Επίσης υπολογίζονται πάλι τα κριτήρια που επιλέξαμε για την περίπτωση της ράμπας μεγάλου μήκους (πίνακας 7.2)



**Σχήμα 7.2: ποσοστό κατάληψης του αυτοκινητοδρόμου κατάντη της ράμπας εισόδου**

**Πίνακας 7.2: Τιμές κριτηρίων για ελεγχόμενη ράμπα χωρίς έλεγχο ουρών**

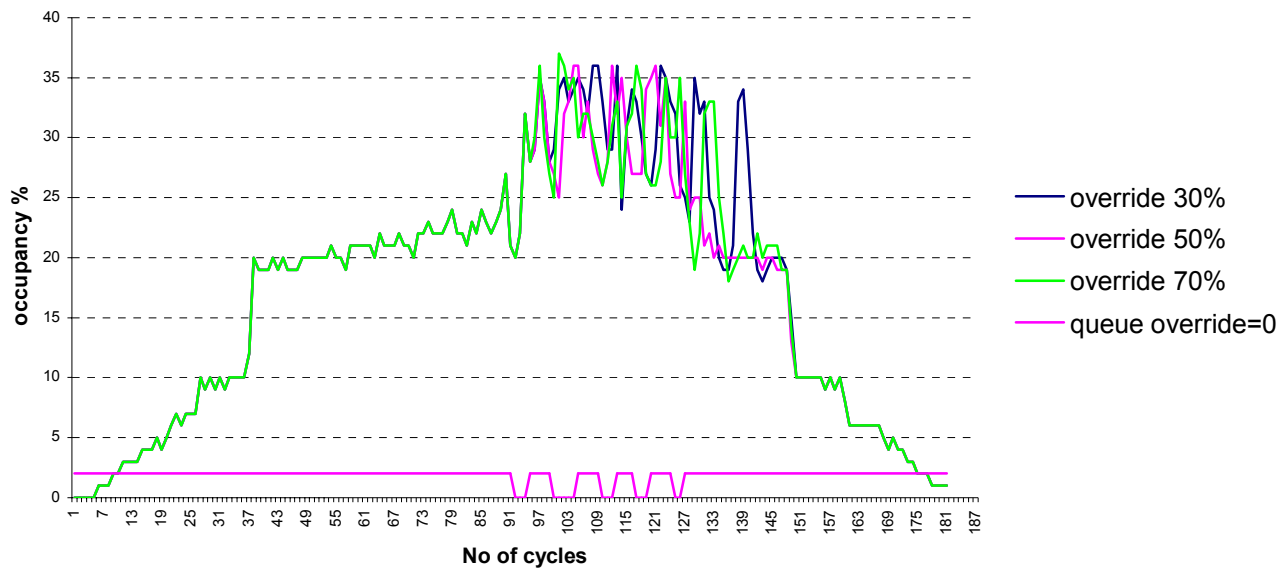
Μέση κατάληψη(%)	21,7
Διασπορά κατάληψης	1,6
Μέση ροή	5813,7
Μέση ουρά	21,9
Μέγιστη ουρά	31,0
Διασπορά ουράς	9,9
Μέση υπερχείλιση	36,2
Μέγιστη υπερχείλιση	193,0

## ΑΠΟΤΕΛΕΣΜΑΤΑ

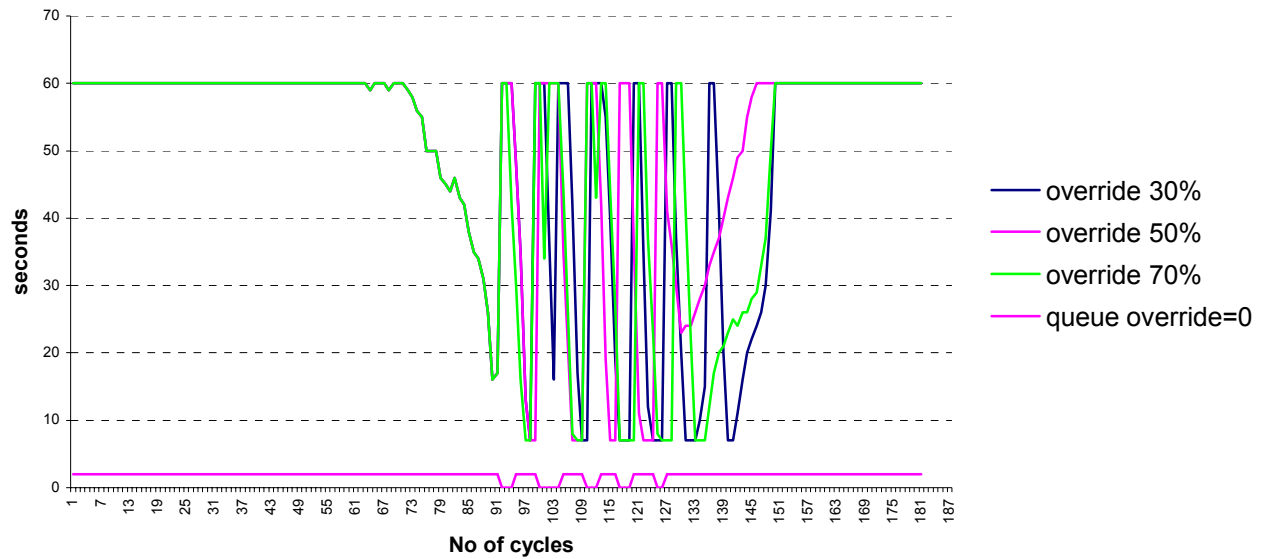
Από το σχήμα 7.2 και τον πίνακα 7.2 συμπεραίνουμε ότι η ALINEA ελέγχει ικανοποιητικά την κυκλοφοριακή ροή του αυτοκινητοδρόμου, αφού κρατά το ποσοστό κατάληψης κοντά στην κρίσιμή τιμή (22). Εκμεταλλεύεται αρκετά καλά την αποθηκευτική ικανότητα της ράμπας, όμως δημιουργεί πολύ μεγάλη υπερχειλίση της ουράς με μέγιστη υπερχειλίση τα 193 οχήματα. Αυτό ήταν αναμενόμενο αφού το σενάριο ζήτησης είναι αρκετά «βαρύ», και είναι ο λόγος που θα ασκήσουμε έλεγχο ουρών ταυτόχρονα με τον έλεγχο κυκλοφορίας.

### Π.Α.Ε.Ρ. (queue override)

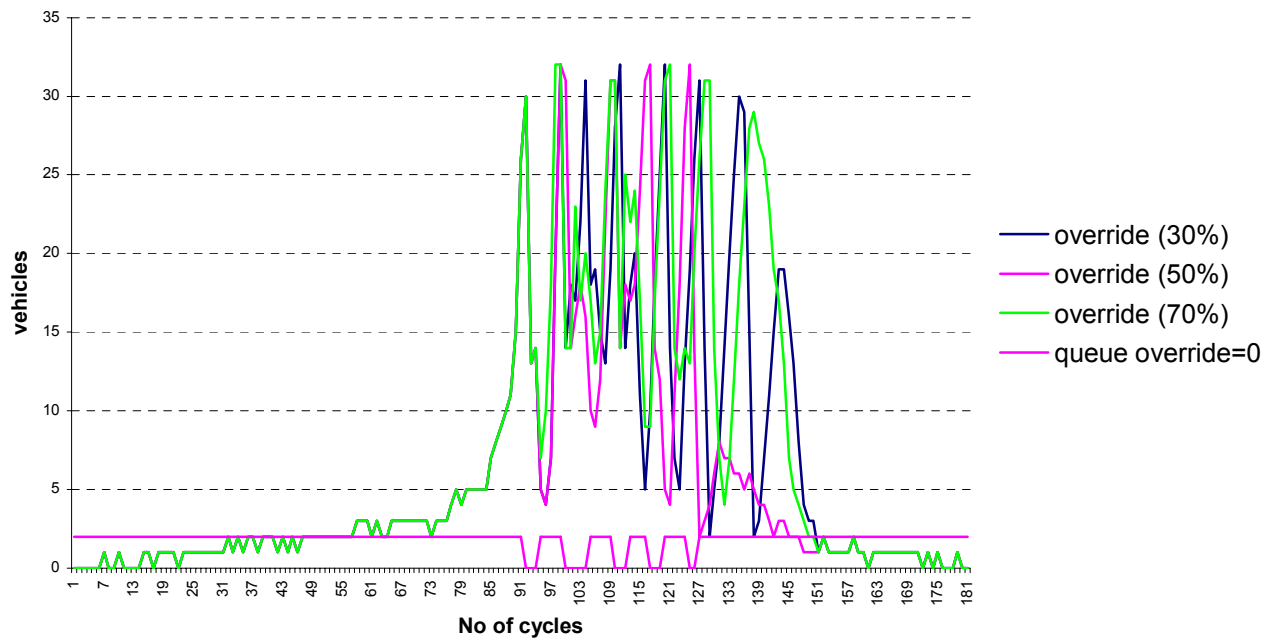
Αρχικά θα προσπαθήσουμε να μειώσουμε την υπερχειλίση με την μέθοδο Π.Α.Ε.Ρ., όπως περιγράφηκε στο κεφάλαιο 4.1 Επιλέγουμε 3 ποσοστά κατάληψης ως «όρια απενεργοποίησης» 30%, 50% και 70% αντίστοιχα προσπαθώντας να διακρίνουμε αν η αλλαγή του ποσοστού έχει μεγάλη επιρροή στα αποτελέσματά μας.



Σχήμα 7.3: queue override (30%,50%,70%) mainstream occupancy



Σχήμα 7.4: queue override (30%,50%,70%) green



Σχήμα 7.5: queue override (30%,50%,70%) queue

**Πίνακας 7.3: Τιμές κριτηρίων για ελεγχόμενη ράμπα σε συνδυασμό με την Π.Α.Ε.Ρ.**

	queue override 30%	queue override 50%	queue override 70%
Μέση κατάληψη(%)	27,8	26,5	26,8
Διασπορά κατάληψης	5,4	5,1	5,2
Μέση ροή	5926,6	5949,9	5929,3
Μέση ουρά	14,0	12,4	15,9
Μέγιστη ουρά	32,0	32,0	32,0
Διασπορά ουράς	9,3	9,3	9,3
Μέση υπερχείλιση	0,3	0,5	0,6
Μέγιστη υπερχείλιση	17,0	26,0	27,0

Στο σχήμα 7.4 έχουμε το γράφημα των χρόνων πρασίνου που δίνει η ALINEA με την εφαρμογή της Π.Α.Ε.Ρ. ανά κύκλο, και στο σχήμα 7.5 το αντίστοιχο γράφημα για το μέγεθος της ουράς. Όπως περιμέναμε, υπάρχουν και στις τρεις περιπτώσεις (30%, 50%, 70%) αρκετά μεγάλες διακυμάνσεις και στους χρόνους πρασίνου και στα αντίστοιχα μεγέθη των ουρών. Η καμπύλη με ένδειξη «queue override=0», αντιστοιχεί στο 50% και δείχνει το πότε σταματάμε να παίρνουμε υπόψη μας την στρατηγική μας (ALINEA), δηλαδή το πότε σταματά ο έλεγχος κυκλοφορίας στη ράμπα εισόδου για να εξαιρεθεί η ουρά. Όπως έχουμε ήδη αναφέρει, όταν το ποσοστό κατάληψης του αυτοκινητοδρόμου κατάντη της ράμπας ξεπεράσει το όριο που έχουμε εξ αρχής ορίσει, στον επόμενο κύκλο ο φωτεινός σηματοδότης δίνει στο 100% του χρόνου του κύκλου πράσινο για να αδειάσει η ουρά της ράμπας.

Όπως είναι λογικό, όσο μικρότερο είναι αυτό το όριο, τόσο μικρότερη είναι η υπερχείλιση της ουράς και τόσο μεγαλύτερο το ποσοστό κατάληψης του αυτοκινητοδρόμου. Πάντως από τον πίνακα 7.3 παρατηρούμε ότι η επιλογή του ποσοστού δεν παίζει σημαντικό ρόλο στα κριτήριά μας. Για όριο απενεργοποίησης το 30% έχουμε μικρότερη υπερχείλιση, αλλά για 50% πετυχαίνουμε μια κάποια αύξηση της ροής των οχημάτων στον αυτοκινητόδρομο, αφού πετυχαίνουμε καλύτερη προσέγγιση στο  $0_{cr}$ .

Γενικά με αυτή τη μέθοδο, η μέση ουρά λόγω των μεγάλων διακυμάνσεων βρίσκεται πολύ χαμηλότερα από την ικανότητα αποθήκευσης της ράμπας. Αν καταφέρναμε να αυξήσουμε την χρήση της ράμπας ίσως να καταφέρναμε περαιτέρω μείωση της υπερχείλισης. Γι αυτό ακριβώς θα χρησιμοποιήσουμε παρακάτω τη στρατηγική ελέγχου της ουράς αντί αυτή της Π.Α.Ε.Ρ.

### Έλεγχος ουράς

Για να εφαρμόσουμε τη στρατηγική ελέγχου της ουράς θα πρέπει αρχικά να ορίσουμε το μέγεθος της επιθυμητής ουράς  $\hat{w}$  για τη σχέση 4.2 ( $r'(k) = -\frac{1}{T}[\hat{w} - w(k)] + \tilde{d}(k-1)$ ) και

δεύτερον να εκτιμήσουμε τη ζήτηση της ράμπας  $\tilde{d}(k-1)$  με κάποια μέθοδο πρόβλεψης.

## ΑΠΟΤΕΛΕΣΜΑΤΑ

Στο κεφάλαιο 4 εξηγούμε την λειτουργία 2 μεθόδων πρόβλεψης που θα χρησιμοποιηθούν για τον έλεγχο ουράς.

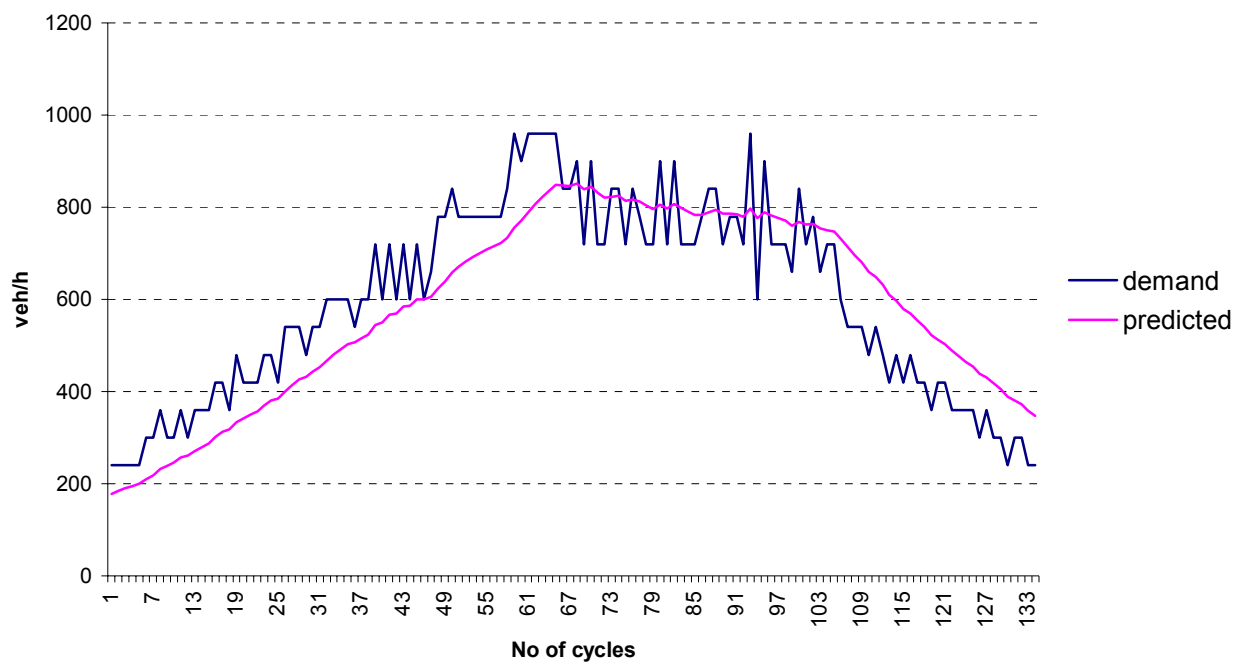
Η επιθυμητή ουρά ορίζεται στα 25 οχήματα, ενώ η ράμπα έχει ικανότητα αποθήκευσης 41. Τα οχήματα που χρησιμοποιούμε στην προσομοίωση έχουν μήκος 5 μέτρα και έχουμε ορίσει στο 1 μέτρο την ελάχιστη απόσταση από το μπροστινό όχημα (δηλ. όταν τα οχήματα είναι ακίνητα) . Άρα τα 25 οχήματα αντιστοιχούν σε 150 μέτρα πραγματικής ουράς, ενώ τα 41 οχήματα αντιστοιχούν σε 250 μέτρα ουράς που είναι και το μήκος της ράμπας εισόδου. Επιλέγουμε ως μέγιστη επιτρεπτή ουρά τα 25 οχήματα επειδή όταν βρίσκονται εν κινήσει το κενό μεταξύ τους είναι μεγαλύτερο του 1 μέτρου. Αποτέλεσμα αυτού είναι τα 25 οχήματα να αντιστοιχούν σε μήκος ουράς μεγαλύτερο των 150 μέτρων. Υπενθυμίζουμε ότι όταν χρησιμοποιούμε τον όρο ουρά εννοούμε τα οχήματα που βρίσκονται στη ράμπα εισόδου ανεξάρτητα από το αν κινούνται ή όχι.

### *A) Πρώτη μέθοδος πρόβλεψης*

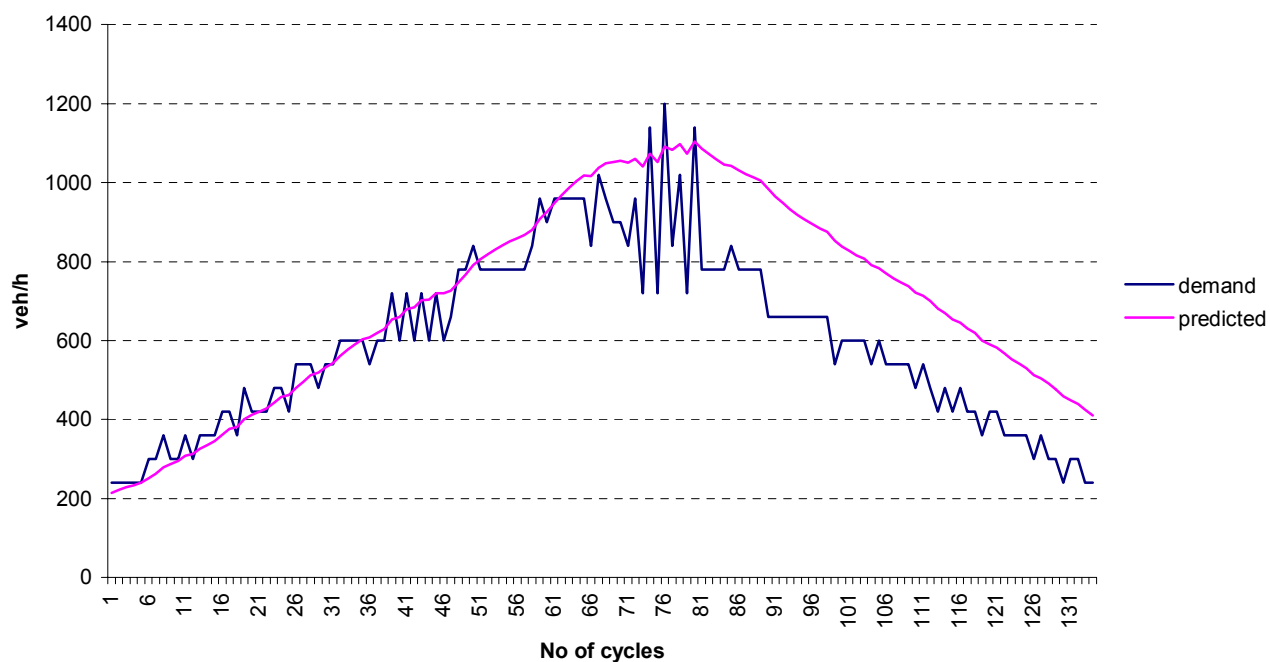
Σε αυτή την περίπτωση στη σχέση 4.2 αντικαθιστούμε τον όρο  $\tilde{d}(k-1)$  (ομαλοποιημένη ζήτηση) με τον όρο  $f^* \tilde{d}(k-1)$ . Όπου όταν  $f=1$  σαν πρόβλεψη παίρνουμε την ομαλοποιημένη ζήτηση, ενώ για  $f>1$  προσπαθούμε να μην έχουμε μεγάλες διαφορές ανάμεσα στην πραγματική και την προβλεπόμενη ζήτηση. Επιλέξαμε τρεις χαρακτηριστικές τιμές για τον παράγοντα  $f$ ,  $f=1$ ,  $f=1.2$  (20% αύξηση) και  $f=1.5$  (50% αύξηση). Στα σχήματα 7.6, 7.7 και 7.8 φαίνονται τα αντίστοιχα γραφήματα για την πραγματική ζήτηση σε σχέση με την προβλεπόμενη. Παρατηρούμε ότι για μεγάλα  $f$  έχουμε υπερεκτίμηση της ζήτησης. Στο σχήμα 7.6 για  $f=1$  έχουμε ως πρόβλεψη την ομαλοποιημένη ζήτηση.



## ΑΠΟΤΕΛΕΣΜΑΤΑ

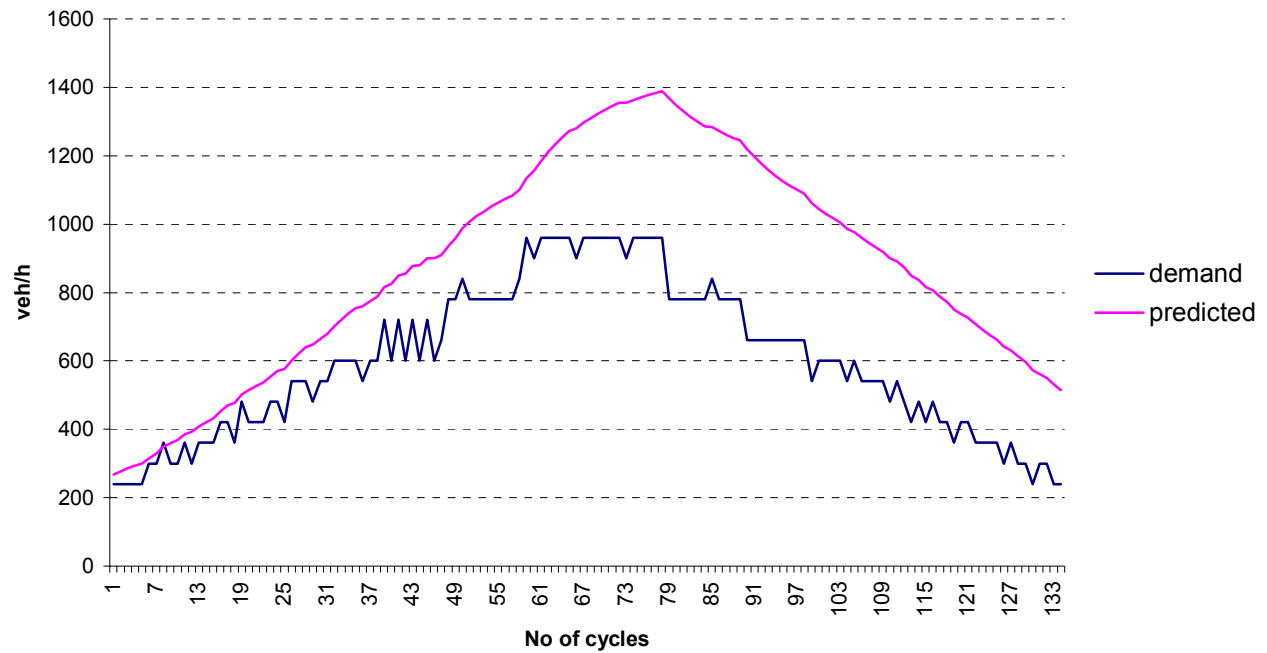


Σχήμα 7.6: προβλεπόμενη και πραγματική ζήτηση ράμπας ( $f=1$ )

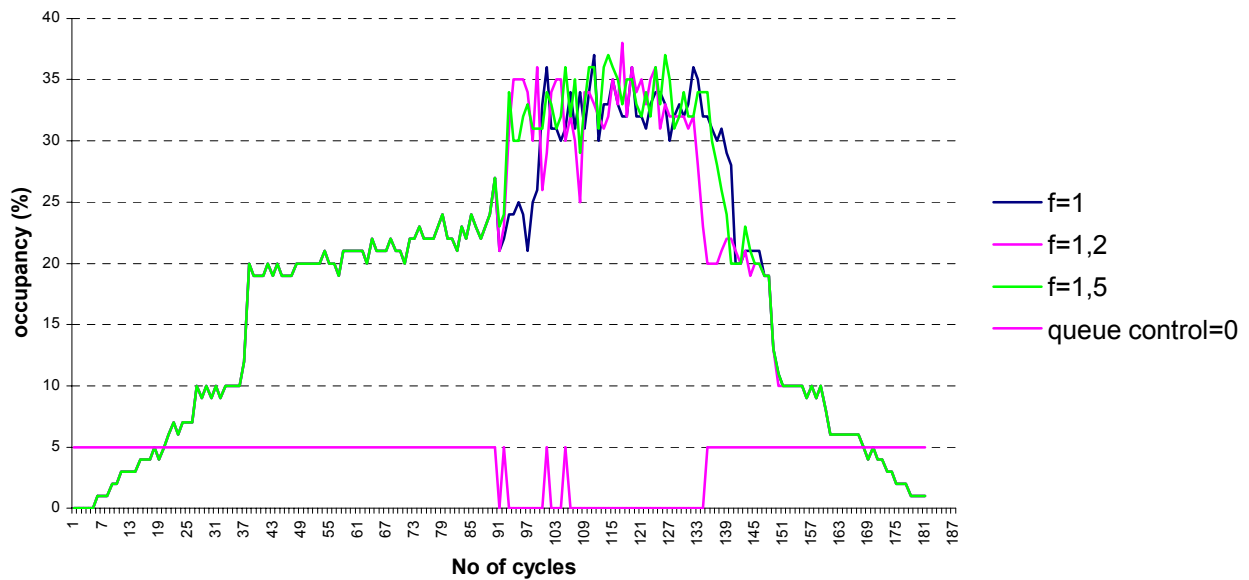


Σχήμα 7.7: προβλεπόμενη και πραγματική ζήτηση ράμπας ( $f=1.2$ )

## ΑΠΟΤΕΛΕΣΜΑΤΑ

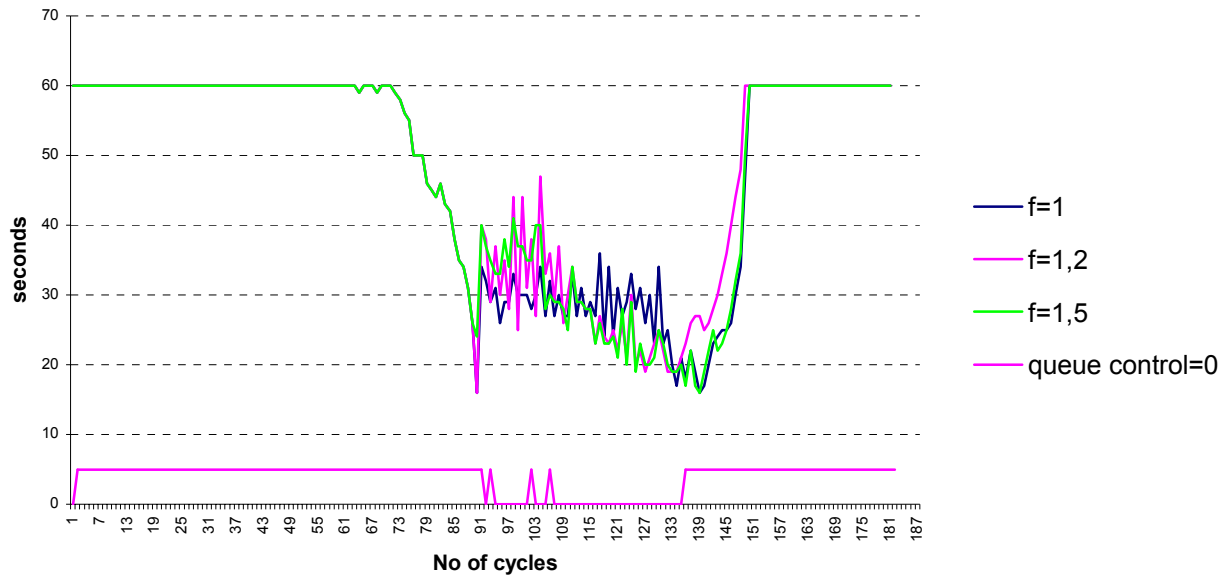


Σχήμα 7.8: προβλεπόμενη και πραγματική ζήτηση ράμπας ( $f=1.5$ )

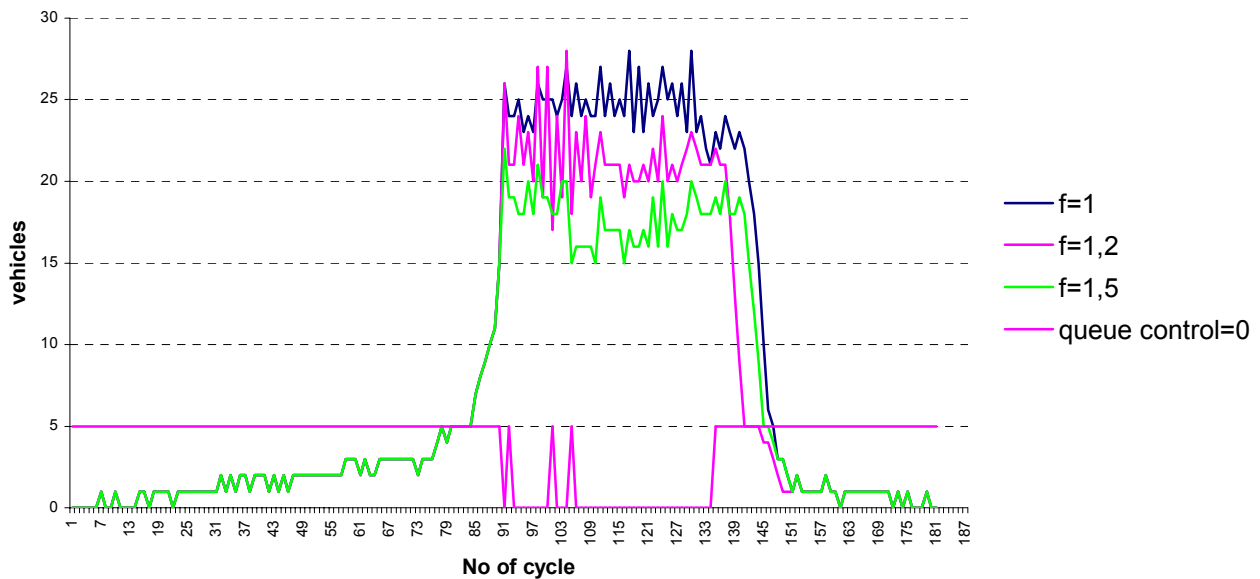


Σχήμα 7.9: queue control ( $f=1, f=1.2, f=1.5$ ) mainstream occupancy

## ΑΠΟΤΕΛΕΣΜΑΤΑ



Σχήμα 7.10: queue control ( $f=1, f=1.2, f=1.5$ ) green



Σχήμα 7.11: queue control ( $f=1, f=1.2, f=1.5$ ) queue

Από το σχήμα 7.11 βλέπουμε ότι οι ουρές μειώνονται όσο αυξάνουμε τον παράγοντα  $f$ . Αυτό ήταν αναμενόμενο αφού αυξάνοντας το  $f$  προβλέπουμε μεγαλύτερη ζήτηση και

## ΑΠΟΤΕΛΕΣΜΑΤΑ

ωθούμε έτσι την προσομοίωση να ασκήσει έλεγχο ουράς πιο συχνά. Υπενθυμίζουμε ότι το πράσινο που υλοποιείται σε κάθε κύκλο εξαρτάται άμεσα από την υπολογισμένη ροή εξόδου της ράμπας η οποία είναι η μέγιστη τιμή των  $r(k)$  και  $r'(k)$ . Το  $r(k)$  προκύπτει από τη στρατηγική ελέγχου της κυκλοφοριακής ροής του αυτοκινητοδρόμου (ALINEA στη περίπτωση μας) και το  $r'(k)$  από τη στρατηγική ελέγχου της ουράς της ράμπας.

**Πίνακας 7.4:** Τιμές κριτηρίων για ελεγχόμενη ράμπα σε συνδυασμό με έλεγχο ουρών (1<sup>η</sup> μέθοδος πρόβλεψης)

	f=1	f=1.2	f=1.5
Μέση κατάληψη(%)	28,7	28,6	29,8
Διασπορά κατάληψης	5,0	5,5	5,1
Μέση ροή	5919,4	5940,0	5937,3
Μέση ουρά	19,6	17,2	14,7
Μέγιστη ουρά	28,0	28,0	22,0
Διασπορά ουράς	8,5	7,4	5,7
Μέση υπερχείλιση	3,5	0,1	0,0
Μέγιστη υπερχείλιση	37,0	10,0	0,0

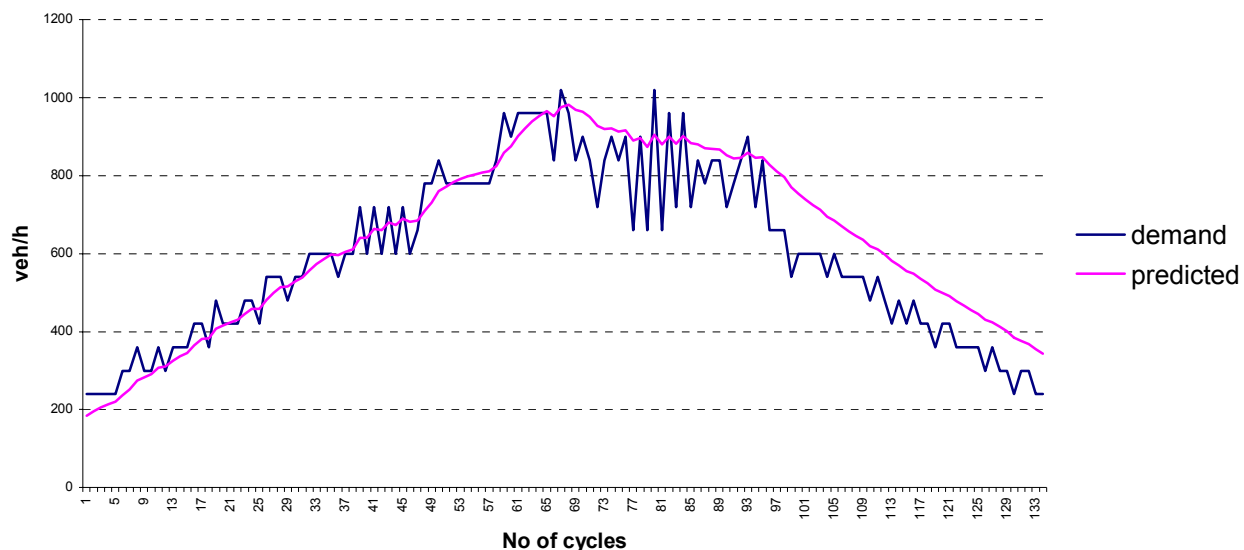
Από τον πίνακα 7.4 προκύπτουν οι τιμές των κριτηρίων μας. Βλέπουμε ότι όσο αυξάνουμε το  $f$  εκτός από τη μέση ουρά, δηλαδή την εκμετάλλευση της αποθηκευτικής ικανότητας της ράμπας μειώνεται σημαντικά και η υπερχείλιση. Για  $f=1.5$  δεν υπάρχει υπερχείλιση αφού ασκείται έλεγχος ουρών πιο συχνά, αλλά επειδή έτσι δεν ασκείται έλεγχος ράμπας (έλεγχος κυκλοφοριακής ροής), αυξάνει πολύ η μέση κατάληψη του αυτοκινητοδρόμου κατάντη της ράμπας. Για  $f=1$  και  $f=1.2$  έχουμε μείωση της ουράς και της υπερχείλισης που δεν εκφράζεται σε αντίστοιχη αύξηση της μέσης κατάληψης. Αυτό εξηγείται από το σχήμα 7.9. Για  $f=1.2$ , η μέση κατάληψη αυξάνεται νωρίτερα από ότι για  $f=1$ . Επειδή όμως εξυπηρετούνται περισσότερα αυτοκίνητα μειώνεται και πιο γρήγορα στο χρόνο με αποτέλεσμα ο μέσος όρος να παραμένει ίδιος. Δεν παρατηρείται το ίδιο φαινόμενο για  $f=1.5$  επειδή δημιουργούνται (λόγω της μεγάλης ροής εξόδου από τη ράμπα) κατά τη διάρκεια της ώρας αιχμής μεγάλες κυκλοφοριακές συμφορήσεις στο σημείο συνένωσης των ροών της ράμπας και του αυτοκινητοδρόμου. Για  $f=1.2$  λοιπόν πετυχαίνουμε καλύτερη τιμή σε όλα τα κριτήρια εκτός από αυτό της εκμετάλλευσης της ικανότητας της ράμπας. Παρόλο που από τα 19.6 αυτοκίνητα κατά μέσο όρο για  $f=1$ , η μέση ουρά για  $f=1.2$  μειώνεται στα 17.2 δεν βλέπουμε αυτό να επηρεάζει τα υπόλοιπα κριτήρια. Άρα το  $f=1.2$  είναι το προτιμότερο σε αυτή την περίπτωση.

### *B) Δεύτερη μέθοδος πρόβλεψης*

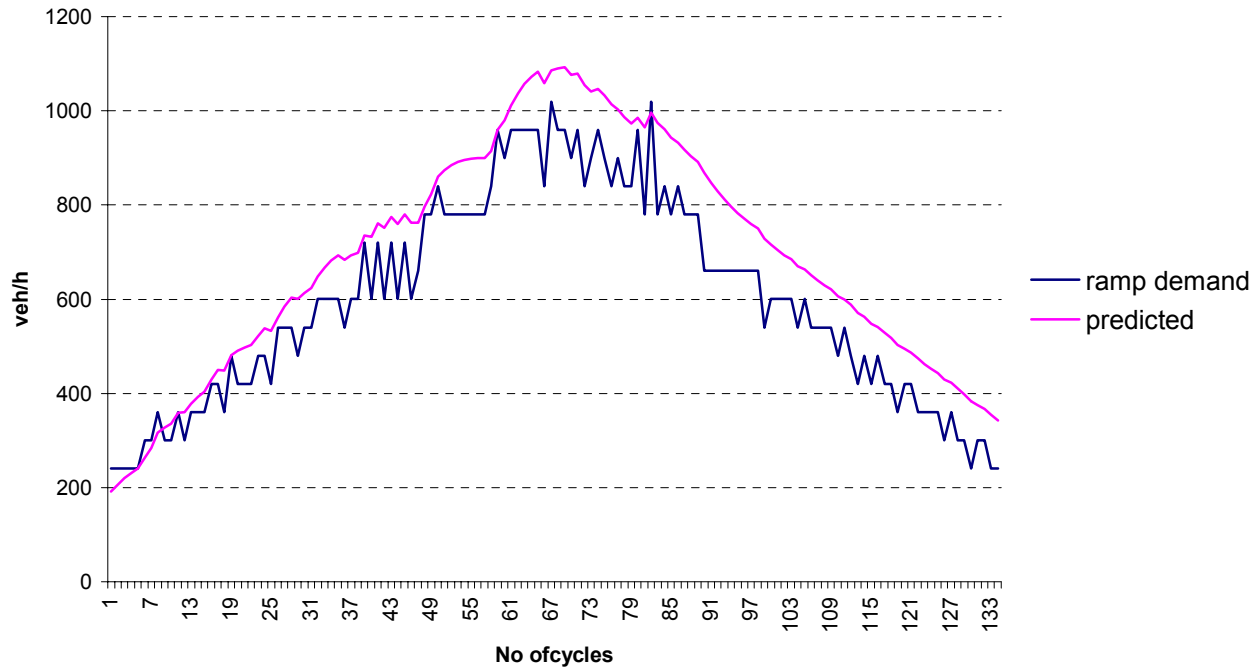
Στη δεύτερη μέθοδο πρόβλεψης το  $f_2$  υπενθυμίζουμε ότι δεν είναι πολλαπλασιαστής της ομαλοποιημένης ζήτησης, αλλά καθορίζει το πόσες φορές θα προσθέσουμε στην ομαλοποιημένη ζήτηση τη διαφορά της με την πραγματική ζήτηση. Στην περίπτωση μας προσθέτουμε τη διαφορά μόνο αν η ομαλοποιημένη ζήτηση είναι μικρότερη της πραγματικής. Σε οποιαδήποτε άλλη περίπτωση αφήνουμε την ομαλοποιημένη ζήτηση ως

## ΑΠΟΤΕΛΕΣΜΑΤΑ

έχει. Ακολουθούν τα γραφήματα της προβλεπόμενης έναντι της πραγματικής ζήτησης για  $f_2=1$ ,  $f_2=2$  και  $f_2=3$  στα σχήματα 7.12, 7.13 και 7.14 αντίστοιχα.

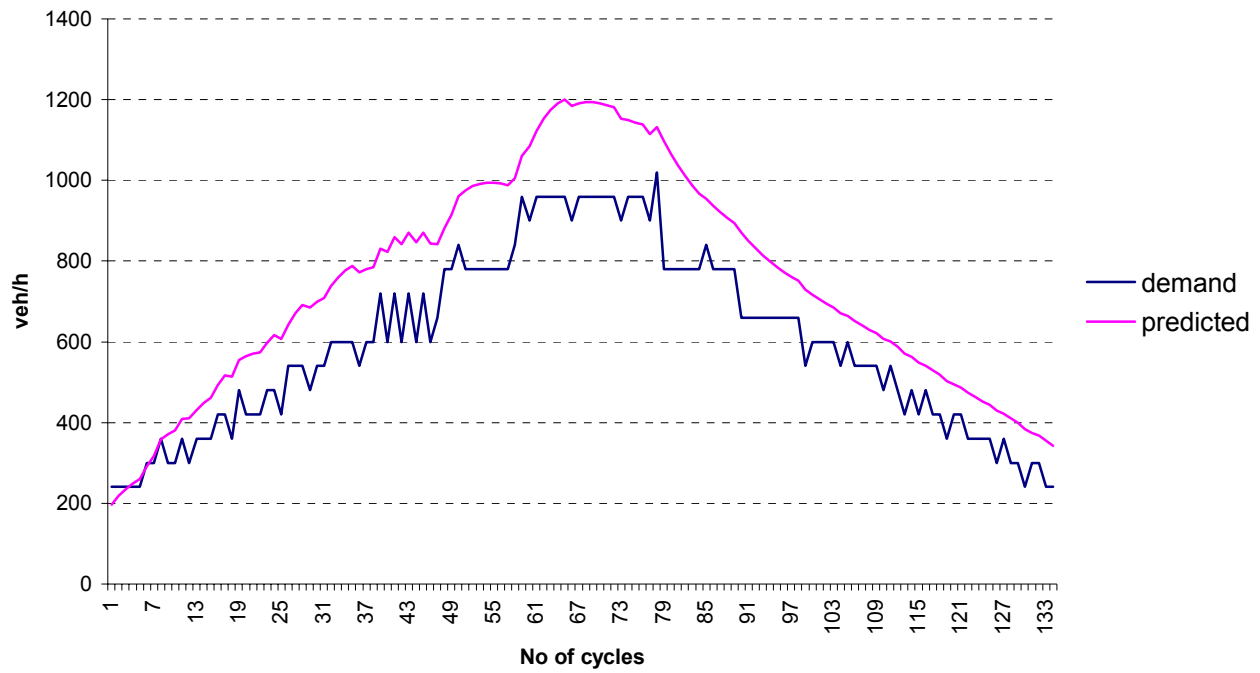


Σχήμα 7.12: προβλεπόμενη και πραγματική ζήτηση ράμπας ( $f_2=1$ )

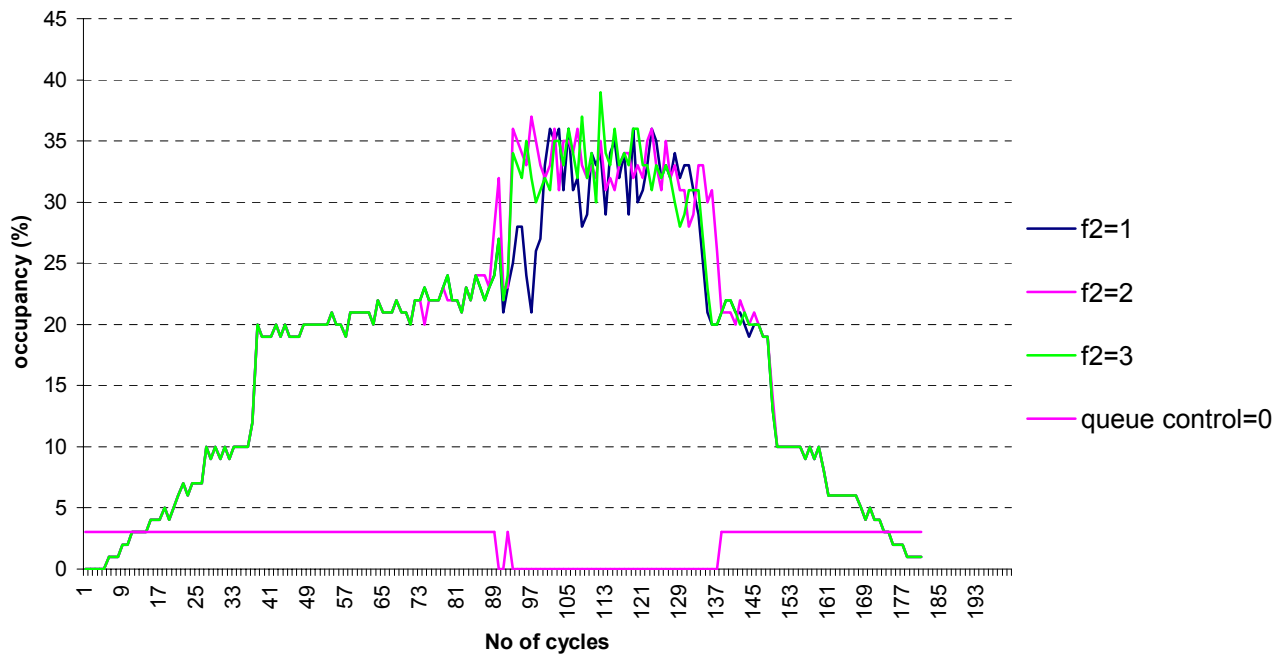


Σχήμα 7.13: προβλεπόμενη και πραγματική ζήτηση ράμπας ( $f_2=2$ )

## ΑΠΟΤΕΛΕΣΜΑΤΑ

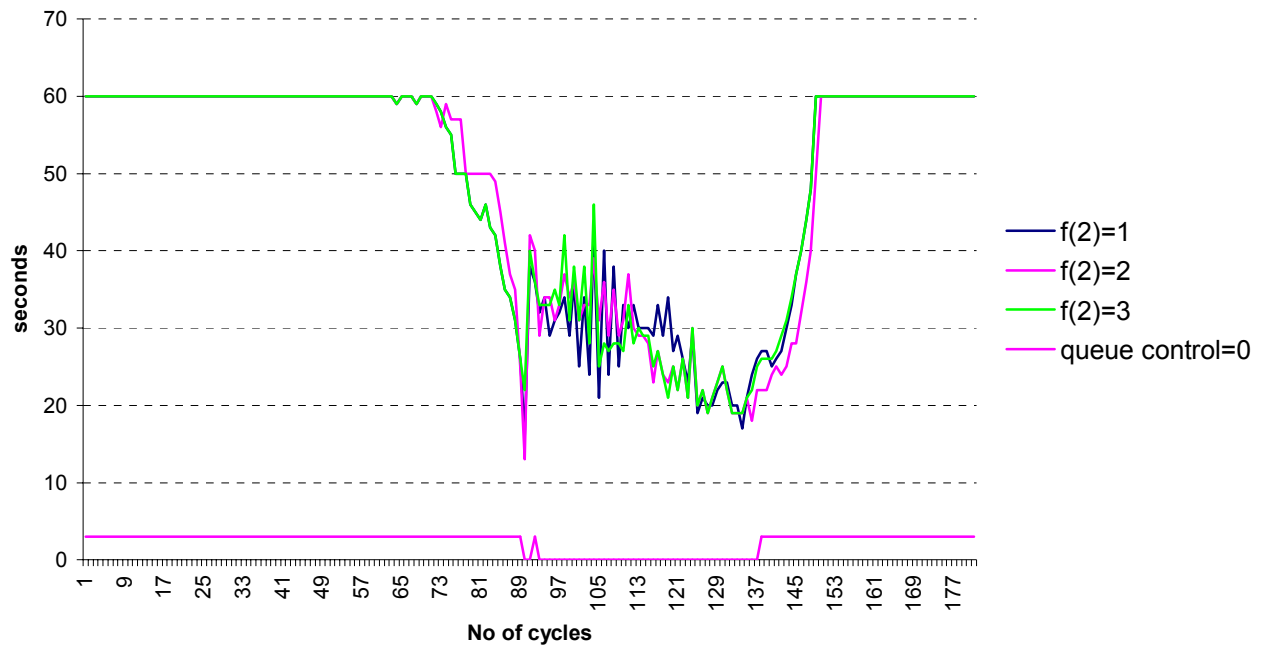


Σχήμα 7.14: προβλεπόμενη και πραγματική ζήτηση ράμπας ( $f_2=3$ )

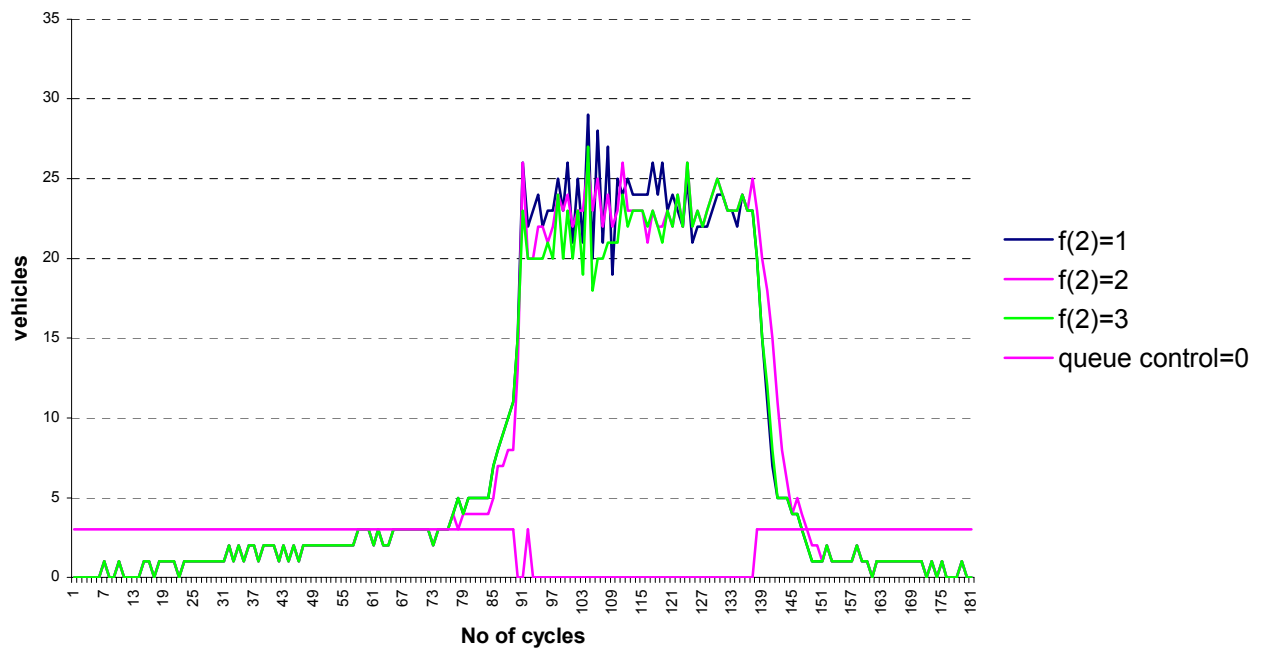


Σχήμα 7.15: queue control ( $f_2=1$ ,  $f_2=2$ ,  $f_2=3$ ) mainstream occupancy

## ΑΠΟΤΕΛΕΣΜΑΤΑ



Σχήμα 7.16: queue control ( $f_2=1$ ,  $f_2=2$ ,  $f_2=3$ ) green



Σχήμα 7.17: queue control ( $f_2=1$ ,  $f_2=2$ ,  $f_2=3$ ) queue

Και εδώ όπως και προηγούμενα παρατηρούμε ότι αυξάνοντας συνεχώς το  $f_2$  πετυχαίνουμε συνεχώς υπερεκτίμηση της ζήτησης και αύξηση του αριθμού των κύκλων

## ΑΠΟΤΕΛΕΣΜΑΤΑ

που το  $\bar{r}(k)$  είναι μεγαλύτερο του  $r(k)$  και άρα ασκείται συχνότερα κατά τη διάρκεια της ώρας αιχμής έλεγχος ουράς. Επειδή η δεύτερη μέθοδος πρόβλεψης έχει και τον διορθωτικό παράγοντα  $f_2$  παρατηρείται μεγάλη βελτίωση στην υπερχείλιση των ουρών και μικρότερη μείωση της μέσης ουράς, χωρίς να επηρεάζεται ιδιαίτερα η μέση κατάληψη του αυτοκινητοδρόμου σε σχέση με την πρώτη μέθοδο πρόβλεψης. Αυτό φαίνεται και από τον πίνακα 7.5 που έχει τα μεγέθη των κριτηρίων όπως προέκυψαν από τις αντίστοιχες προσομοιώσεις. Παρατηρούμε ότι η μέση ροή παραμένει σχεδόν σταθερή για κάθε τιμή του  $f_2$ , ενώ οι αντίστοιχες υπερχείλισης και οι ουρές μειώνονται σταδιακά.

**Πίνακας 7.5: Τιμές κριτηρίων για ελεγχόμενη ράμπα σε συνδυασμό με έλεγχο ουρών (2<sup>η</sup> μέθοδος πρόβλεψης)**

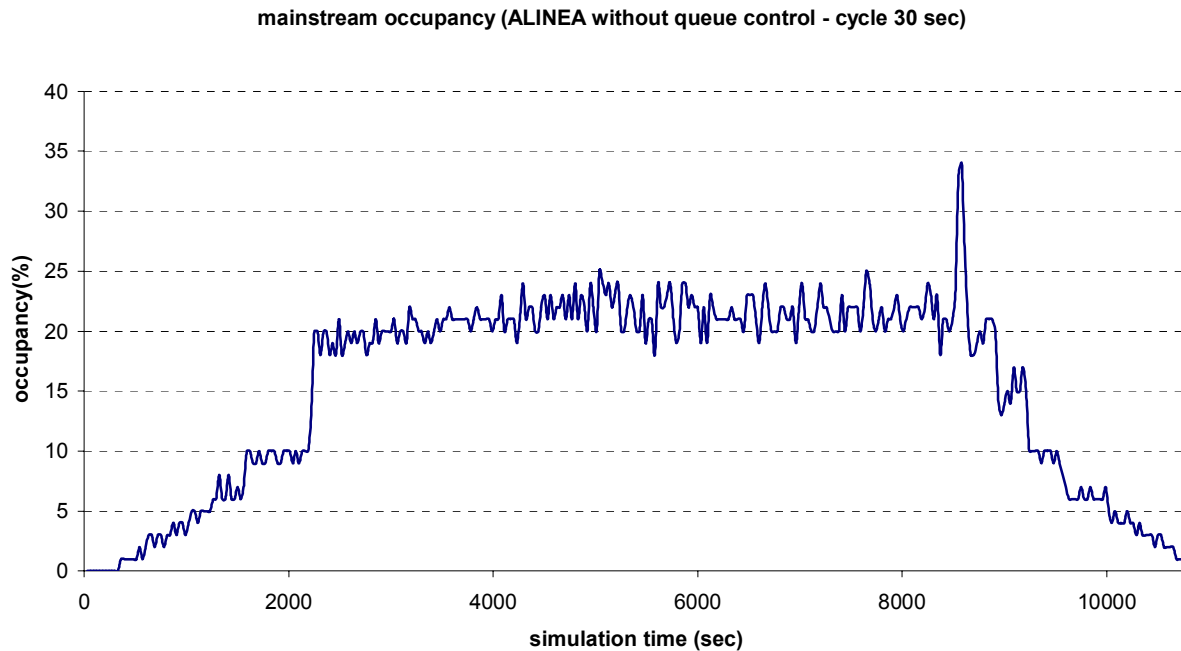
	$f_2=1$	$f_2=2$	$f_2=3$
Μέση κατάληψη(%)	28,0	29,6	28,9
Διασπορά κατάληψης	5,3	5,2	5,4
Μέση ροή	5939,1	5934,6	5938,2
Μέση ουρά	18,7	18,2	17,7
Μέγιστη ουρά	29,0	26,0	27,0
Διασπορά ουράς	8,1	8,2	7,5
Μέση υπερχείλιση	1,2	0,1	0,0
Μέγιστη υπερχείλιση	26,0	11,0	1,0

### 7.1.1.2 Πλήρης κύκλος 30 sec

Για την πολιτική του πλήρη κύκλου περιόδου 30 sec, θα δούμε αρχικά την περίπτωση της ALINEA χωρίς έλεγχο ουράς ή Π.Α.Ε.Ρ. Στο σχήμα 7.18 φαίνεται η κατάληψη του αυτοκινητοδρόμου κατάντη της ράμπας εισόδου, κατά την περίοδο της προσομοίωσης. Επίσης υπολογίζονται πάλι τα κριτήρια που επιλέξαμε για την περίπτωση της ράμπας μεγάλου μήκους (πίνακας 7.6)



## ΑΠΟΤΕΛΕΣΜΑΤΑ



**Σχήμα 7.18: ποσοστό κατάληψης του αυτοκινητοδρόμου κατάντη της ράμπας εισόδου**

**Πίνακας 7.6: Τιμές κριτηρίων για ελεγχόμενη ράμπα χωρίς έλεγχο ουρών**

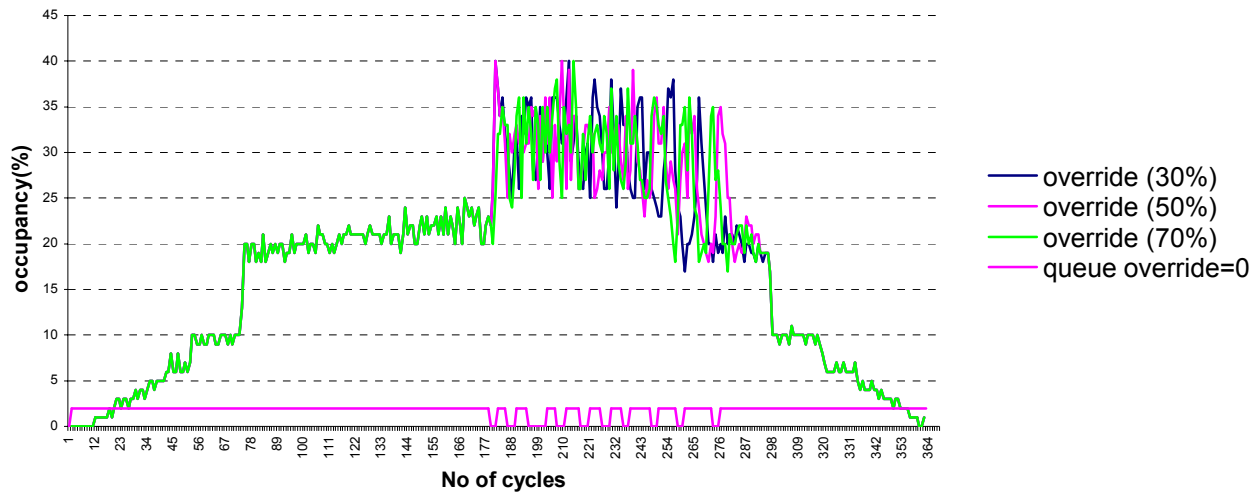
Μέση κατάληψη(%)	21,73
Διασπορά κατάληψης	2,062
Μέση ροή	5814
Μέση ουρά	20,27
Μέγιστη ουρά	31
Διασπορά ουράς	9,209
Μέση υπερχείλιση	29,6
Μέγιστη υπερχείλιση	150,0

Όπως ήταν αναμενόμενο, πάλι η στρατηγική μας πετυχαίνει τους στόχους της. Συγκρατούμε λοιπόν την μέση κατάληψη κοντά στο 22 αλλά η υπερχείλιση είναι πάλι ανεξέλεγκτη.

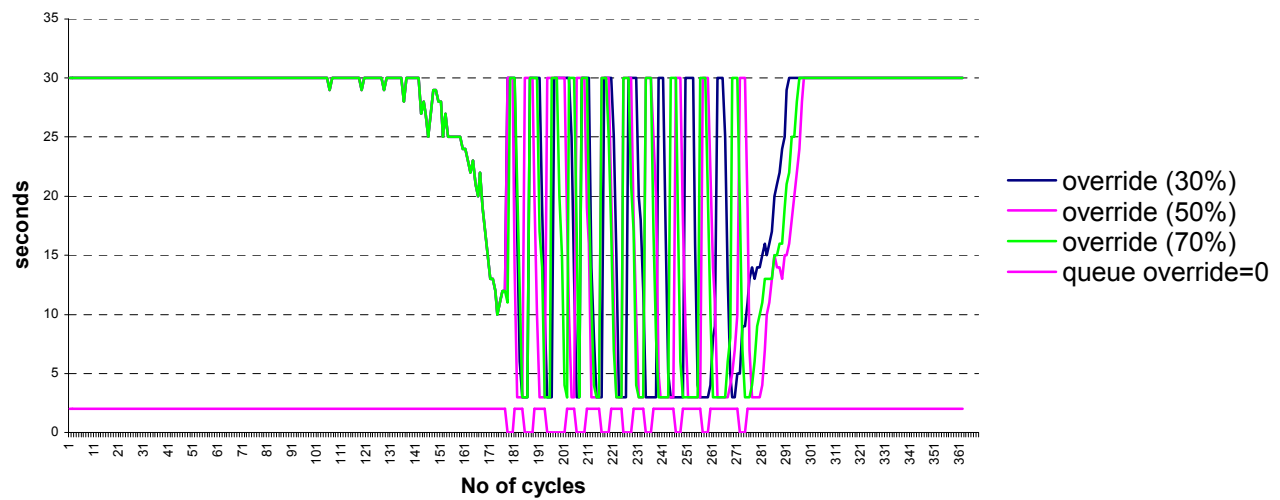
### **Π.Α.Ε.Ρ (queue override)**

Συγκρίνοντας τα κριτήρια μας για τη μέθοδο Π.Α.Ε.Ρ., παρατηρούμε ότι για τον κύκλο των 30sec η μέση ροή μειώνεται αισθητά, καθώς και η υπερχείλιση, σε σχέση με τη Π.Α.Ε.Ρ. ουρών για κύκλο περιόδου 60sec. Πάντως πάλι παρατηρούμε ότι το όριο της Π.Α.Ε.Ρ. δεν παίζει σημαντικό ρόλο στα αποτελέσματά μας.

## ΑΠΟΤΕΛΕΣΜΑΤΑ

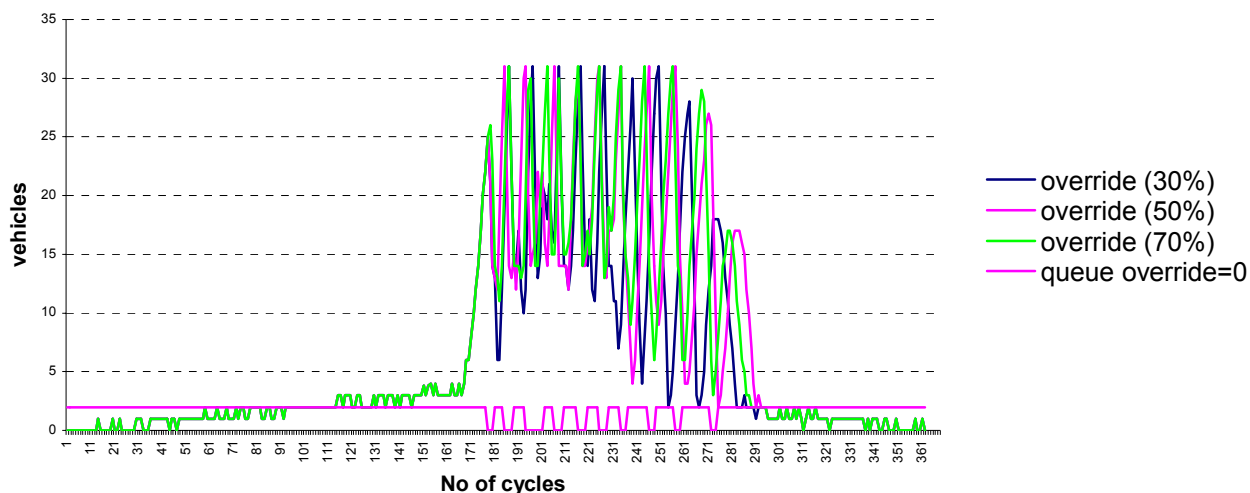


Σχήμα 7.19: queue override (30%, 50%, 70% ) mainstream occupancy



Σχήμα 7.20: queue override (30%, 50%, 70% ) green

## ΑΠΟΤΕΛΕΣΜΑΤΑ



Σχήμα 7.21: queue override (30%, 50%, 70% ) queue

Πίνακας 7.7: Τιμές κριτηρίων για ελεγχόμενη ράμπα σε συνδυασμό με Π.Α.Ε.Ρ.

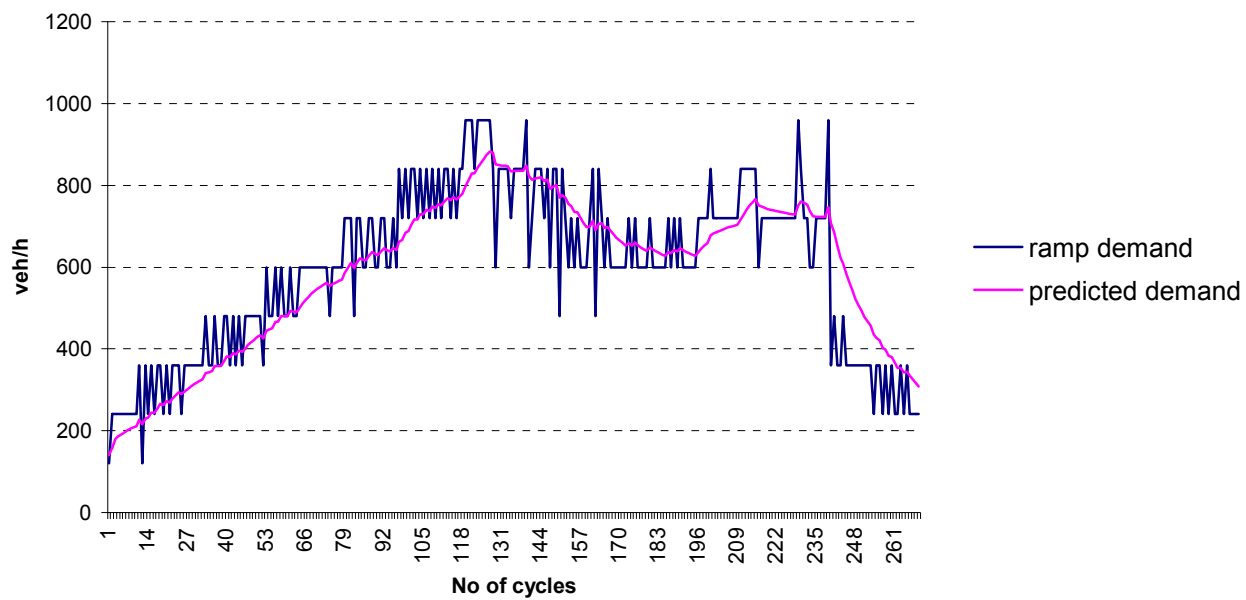
	queue override 30%	queue override 50%	queue override 70%
Μέση κατάληψη(%)	26,5	27,0	26,8
Διασπορά κατάληψης	6,0	5,6	5,8
Μέση ροή	5898,0	5898,8	5900,4
Μέση ουρά	14,1	15,4	15,7
Μέγιστη ουρά	31,0	31,0	31,0
Διασπορά ουράς	9,1	9,1	9,5
Μέση υπερχείλιση	0,2	0,3	0,4
Μέγιστη υπερχείλιση	14,0	18,0	15,0

### Έλεγχος ουράς

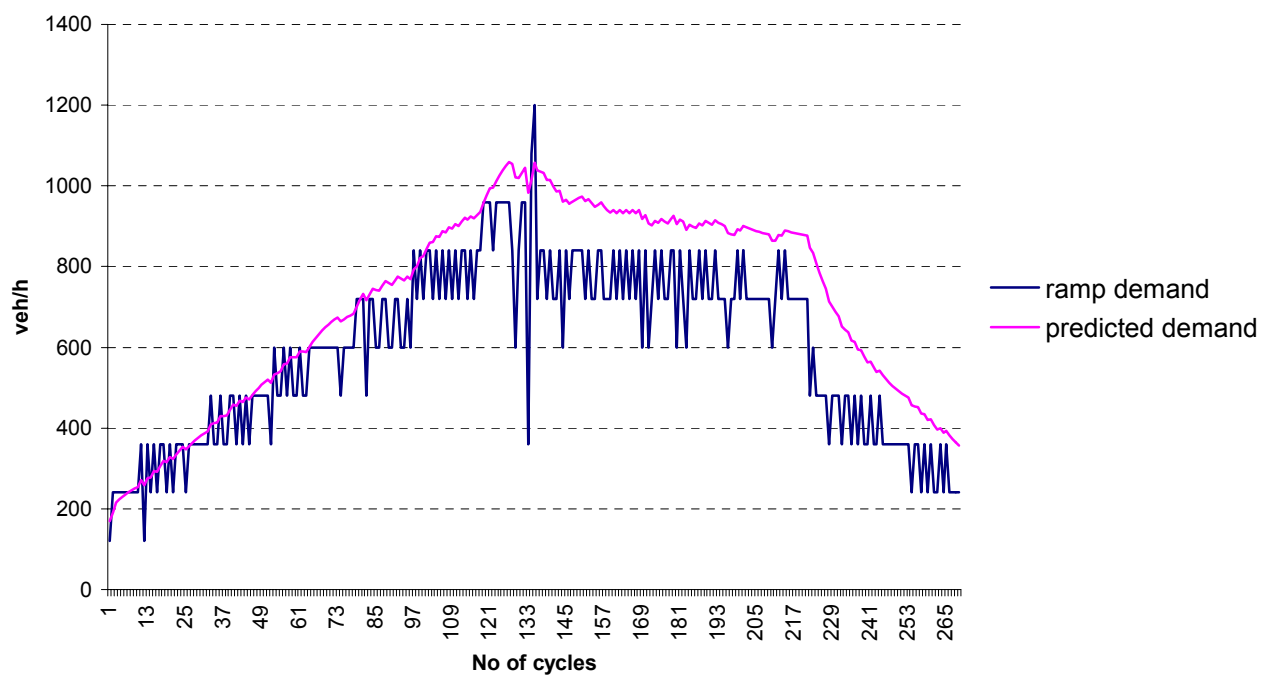
#### Α) Πρώτη μέθοδος πρόβλεψης

Στα σχήματα 7.22, 7.23 και 7.24 δίνονται τα γραφήματα της προβλεπόμενης ζήτησης σε σχέση με την πραγματική για  $f=1$ ,  $f=1.2$  και  $f=1.5$  αντίστοιχα.

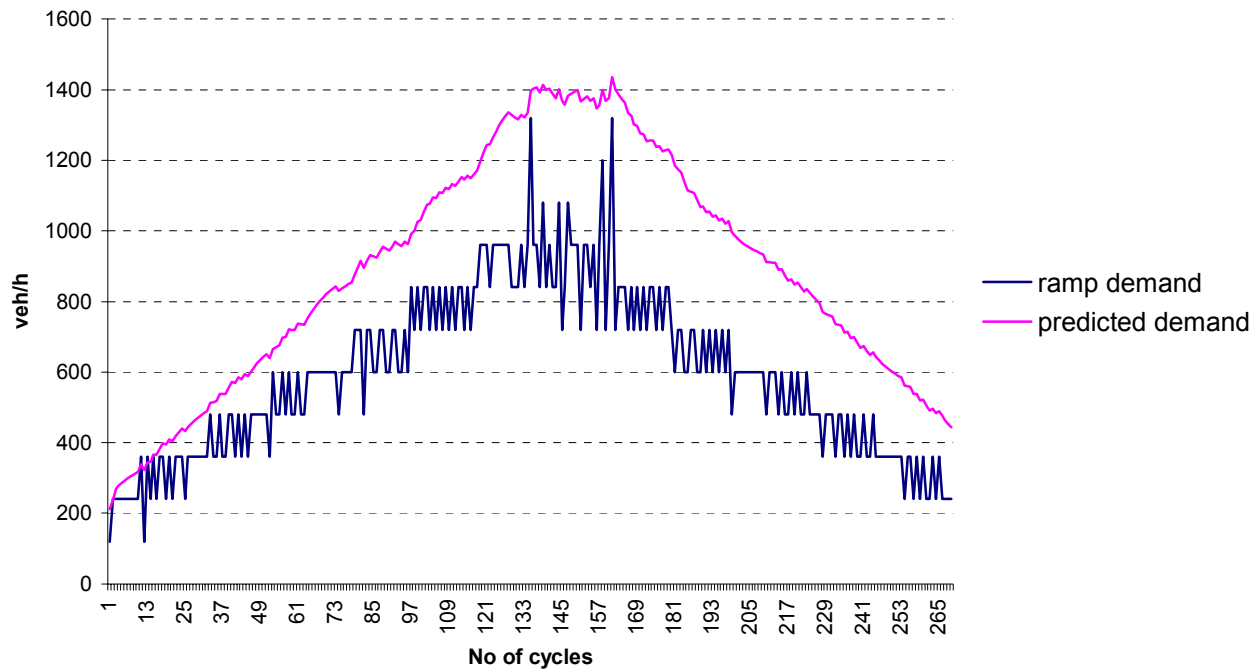
## ΑΠΟΤΕΛΕΣΜΑΤΑ



Σχήμα 7.22: προβλεπόμενη και πραγματική ζήτηση ράμπας ( $f=1$ )



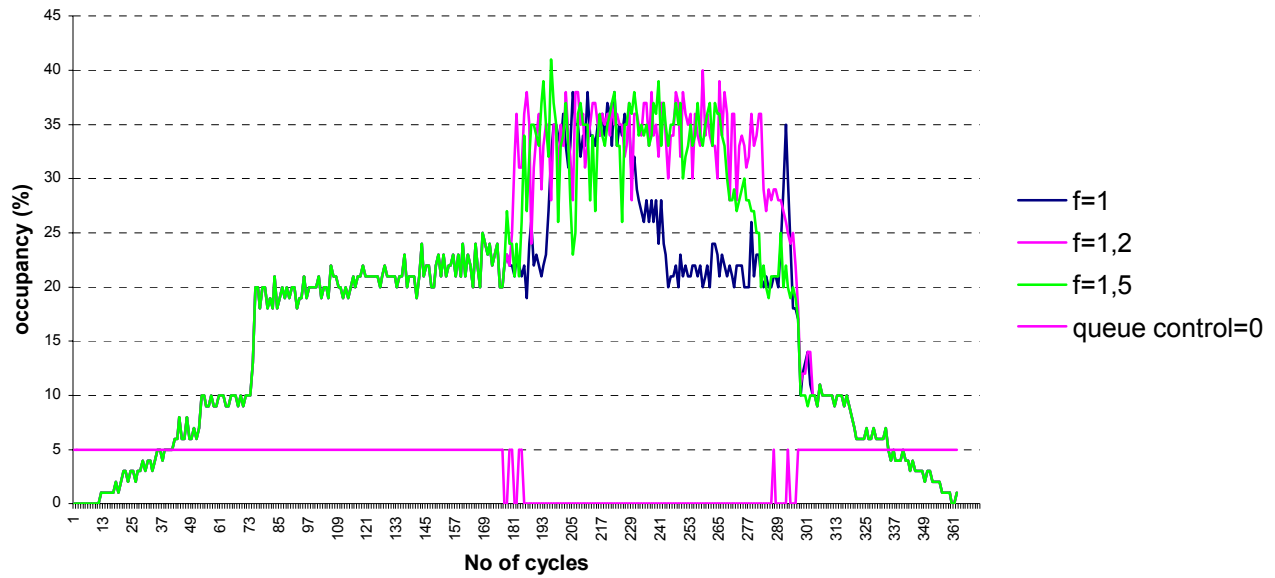
Σχήμα 7.23: προβλεπόμενη και πραγματική ζήτηση ράμπας ( $f=1.2$ )



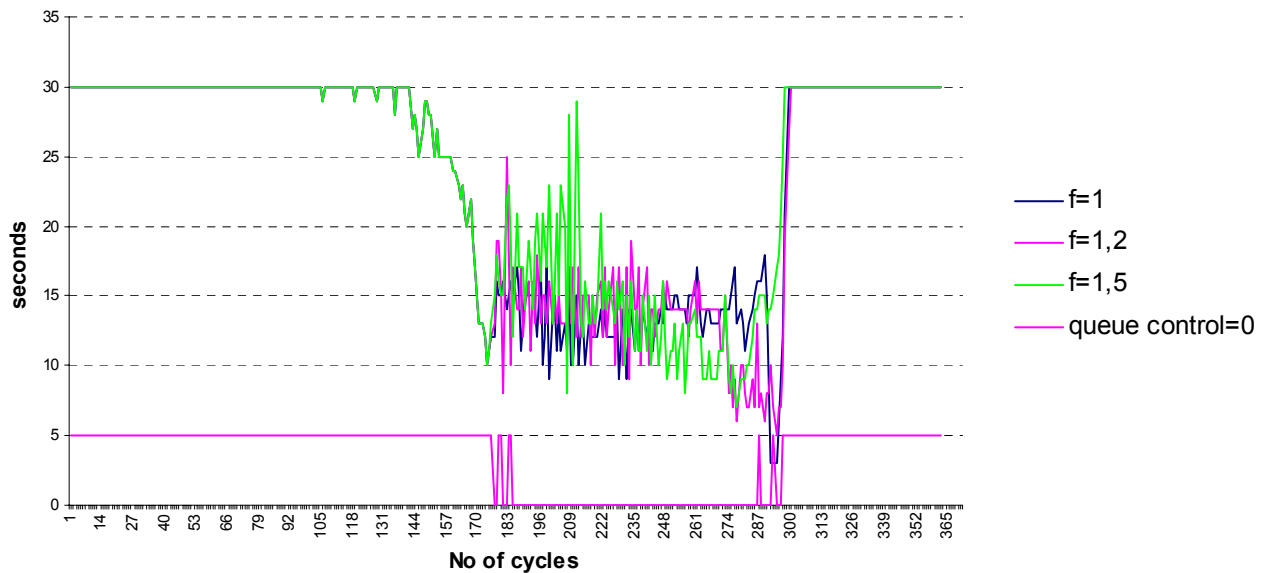
Σχήμα 7.24: προβλεπόμενη και πραγματική ζήτηση ράμπας ( $f=1.5$ )

Από τα γραφήματα 7.25, 7.26, 7.27 και τον πίνακα 7.8 παρατηρούμε ότι για κύκλο 30sec σε σχέση με την Π.Α.Ε.Ρ. έχουμε βελτίωση της μέσης ουράς και της μέσης ροής του αυτοκινητοδρόμου, αλλά αύξηση της μέσης κατάληψης. Αυτά τα δύο (αύξηση της ροής και αύξηση της κατάληψης) δεν είναι δυνατό να συνυπάρχουν θεωρητικά, αφού  $\alpha_{cr}=22\%$  και άρα για μεγαλύτερα ποσοστά κατάληψης θα έπρεπε η ροή να μειώνεται σύμφωνα με το θεμελιώδες διάγραμμα (σχήμα 2.1). Αυτό το φαινόμενο εντοπίζεται εδώ και όχι μόνο, λόγω της διαδικασίας συνένωσης των ροών της ράμπας και του αυτοκινητοδρόμου. Συχνά παρατηρείται το φαινόμενο τα αυτοκίνητα της ράμπας να μην μπορούν να βρουν ασφαλή κενά για να εισέρθουν στον αυτοκινητόδρομο και να μηδενίζουν την ταχύτητά τους περιμένοντας την κατάλληλη στιγμή εισόδου. Αυτό έχει σαν αποτέλεσμα την υπερβολική αύξηση της μέσης κατάληψης του αυτοκινητοδρόμου (σχήμα 7.28). Αυτοκίνητα με μηδενική ταχύτητα μπαίνουν ξαφνικά στη δεξιά λωρίδα και ελαττώνουν υπερβολικά τη μέση ταχύτητα στον αυτοκινητόδρομο. Αυτό το φαινόμενο παρατηρείται συνεχώς στις πολιτικές πλήρους κύκλου, όταν ο σηματοδότης δίνει πράσινα με σκοπό τον έλεγχο της ουράς και όχι τον έλεγχο της ράμπας.

## ΑΠΟΤΕΛΕΣΜΑΤΑ

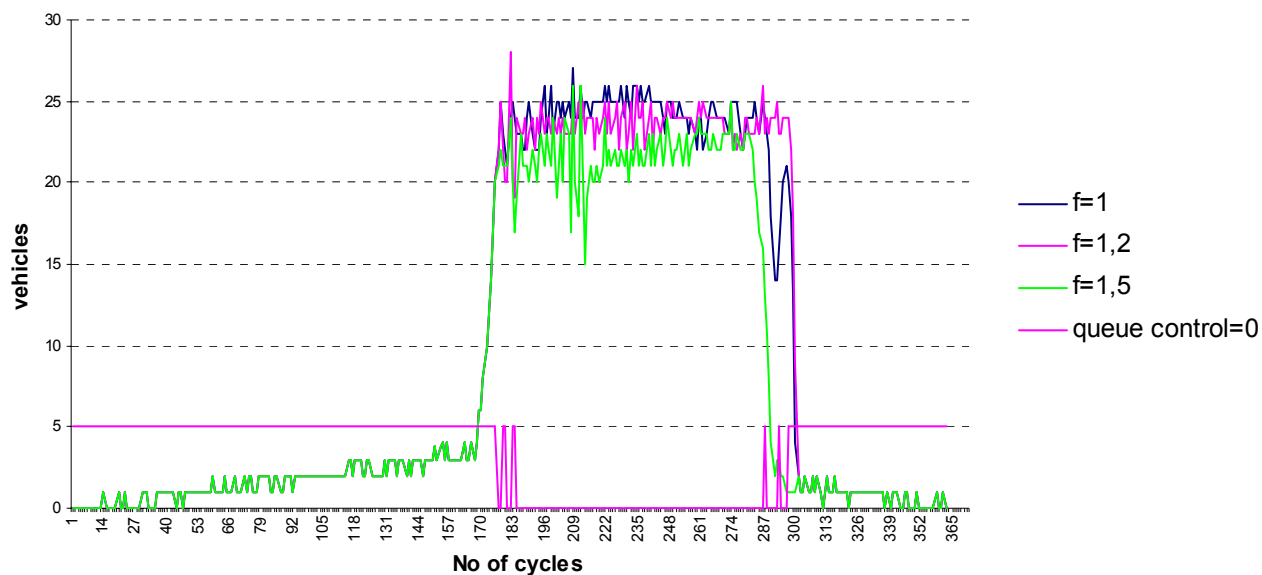


Σχήμα 7.25: queue control ( $f=1$ ,  $f=1,2$ ,  $f=1,5$ ) mainstream occupancy (cycle 30sec)



Σχήμα 7.26: queue control ( $f=1$ ,  $f=1,2$ ,  $f=1,5$ ) green (cycle 30sec)

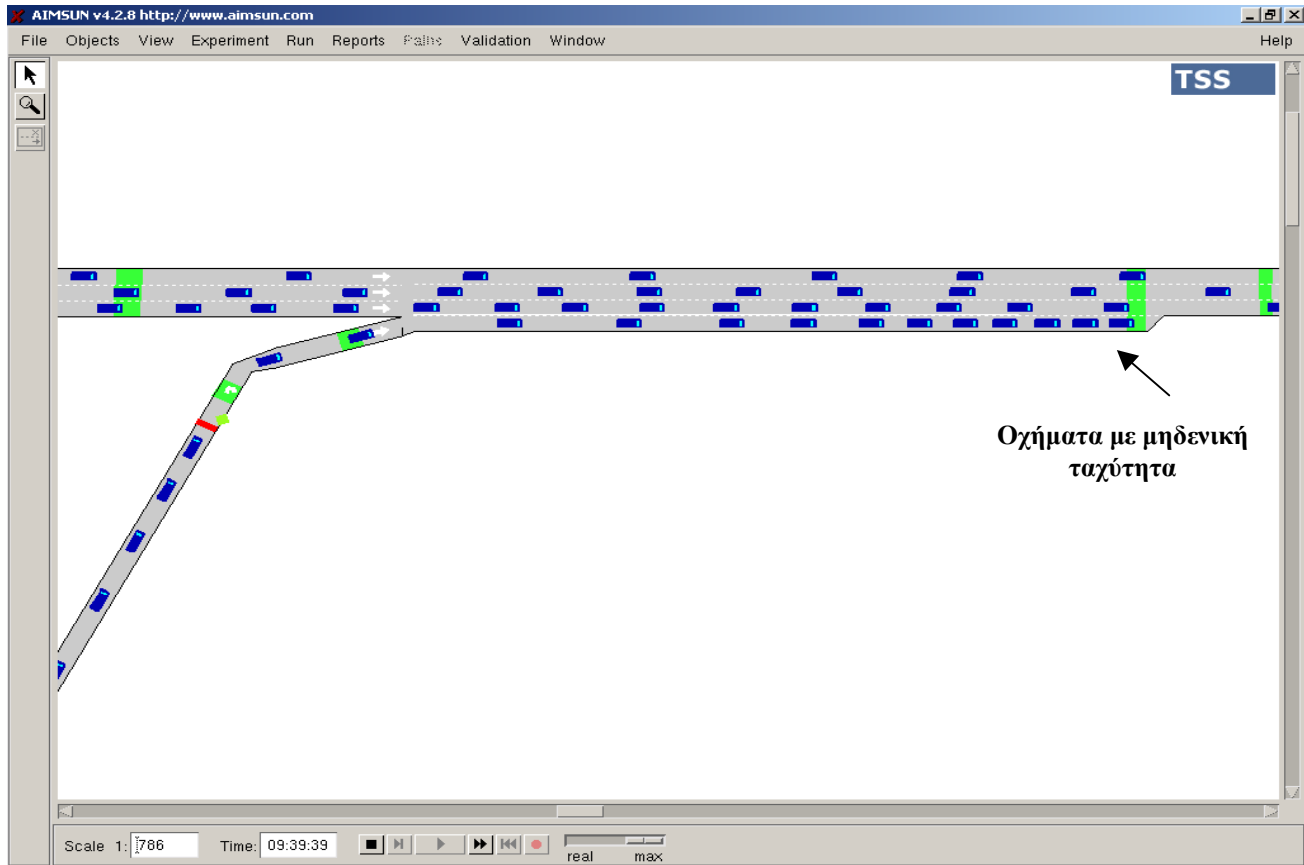
## ΑΠΟΤΕΛΕΣΜΑΤΑ



Σχήμα 7.27: queue control ( $f=1$ ,  $f=1.2$ ,  $f=1.5$ ) queue (cycle 30sec)

Πίνακας 7.8: Τιμές κριτηρίων για ελεγχόμενη ράμπα σε συνδυασμό με έλεγχο ουρών (1<sup>η</sup> μέθοδος πρόβλεψης) κύκλος 30 sec

	$f=1$	$f=1.2$	$f=1.5$
Μέση κατάληψη(%)	25,1	30,5	29,1
Διασπορά κατάληψης	5,5	5,9	6,3
Μέση ροή	5876,2	5847,1	5898,8
Μέση ουρά	18,8	19,7	17,9
Μέγιστη ουρά	27,0	28,0	26,0
Διασπορά ουράς	8,9	8,7	8,1
Μέση υπερχείλιση	13,8	5,8	0,1
Μέγιστη υπερχείλιση	90,0	49,0	9,0



**Σχήμα 7.28:** σταματημένα αυτοκίνητα στη ράμπα εισόδου που έχουν σαν αποτέλεσμα την αύξηση της μέσης κατάληψης του αυτοκινητοδρόμου

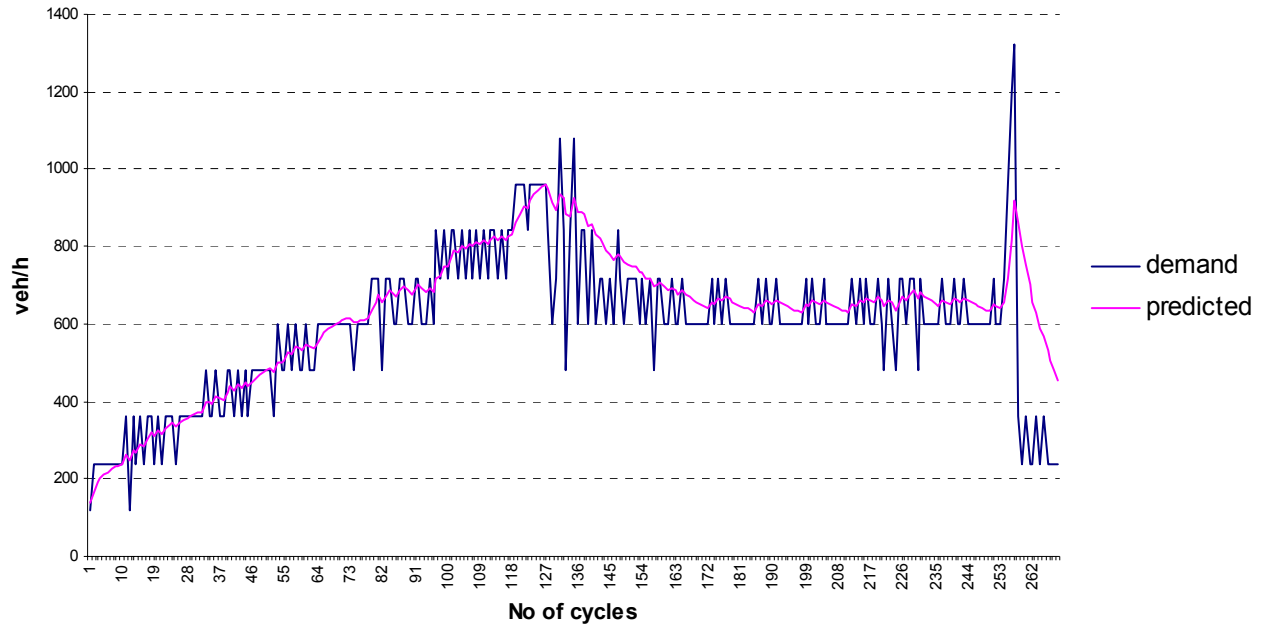
## *B) Δεύτερη μέθοδος πρόβλεψης*

Στα σχήματα 7.29, 7.30 και 7.31 έχουμε τα συγκριτικά γραφήματα της πραγματικής και της προβλεπόμενης ζήτησης. Από τα σχήματα 7.32, 7.33 και 7.34 καθώς και από τον πίνακα 7.9, συμπεραίνουμε ότι η 2<sup>η</sup> μέθοδος πρόβλεψης δεν μας δίνει ικανοποιητικά αποτελέσματα. Παρατηρείται μία ασυμφωνία θεωρίας και πράξης. Θα περιμέναμε από τη 2<sup>η</sup> μέθοδο πρόβλεψης για  $f_2=1$ , να έχουμε μείωση της υπερχειλίσσης της ουράς σε σχέση με την πρώτη μέθοδο για  $f=1$ . Αντιθέτως η μέση και μέγιστη υπερχειλίσση αυξάνονται. Είναι αρκετά πολύπλοκο να εξηγηθεί η δυναμική του δικτύου και να αιτιολογηθεί ακριβώς. Μπορούμε όμως με σιγουριά να πούμε ότι για τη 2<sup>η</sup> μέθοδο πρόβλεψης, αφού στόχος της είναι η αποφυγή της υποεκτίμησης, ο έλεγχος ουρών ενεργοποιείται συχνότερα (σχεδόν καθόλη τη διάρκεια της ώρας αιχμής). Αυτό θα έπρεπε να έχει σαν αποτέλεσμα τη μείωση της υπερχειλίσσης. Όμως στο σχήμα 7.25, για  $f=1$  η μέση κατάληψη είναι πολύ μικρότερη από την αντίστοιχη του σχήματος 7.32 για  $f_2=1$ . Αυτό συμβαίνει λόγω της μη ρεαλιστικής συνένωσης των ροών του αυτοκινητοδρόμου και της ράμπας εισόδου που εντοπίσαμε παραπάνω (σχήμα 7.28). Στην πρώτη περίπτωση αφού η μέση κατάληψη είναι χαμηλή, η στρατηγική μας (ALINEA) εφαρμόζει μεγάλες ροές

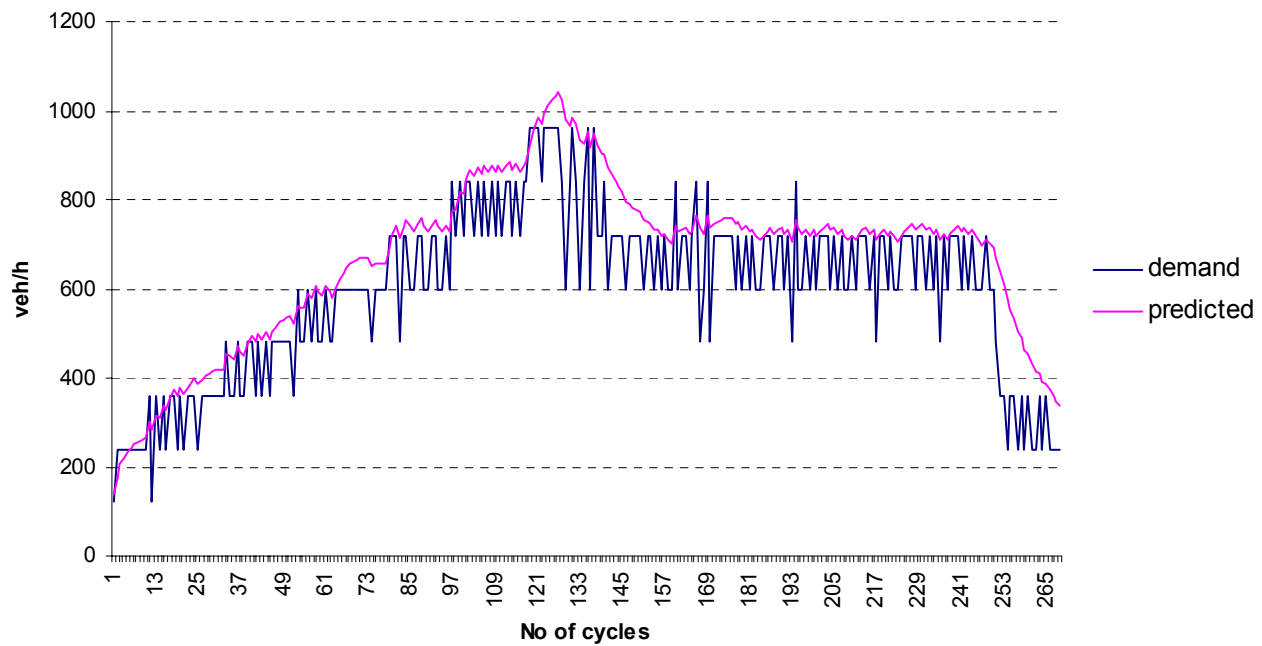


## ΑΠΟΤΕΛΕΣΜΑΤΑ

εξόδου για τη ράμπα, που μεταφράζονται σε μεγάλης διάρκειας πράσινα. Έτσι παρόλο που ο έλεγχος ουρών εμφανίζεται σπανιότερα, η υπερχειλίση της ουράς είναι μικρότερη.

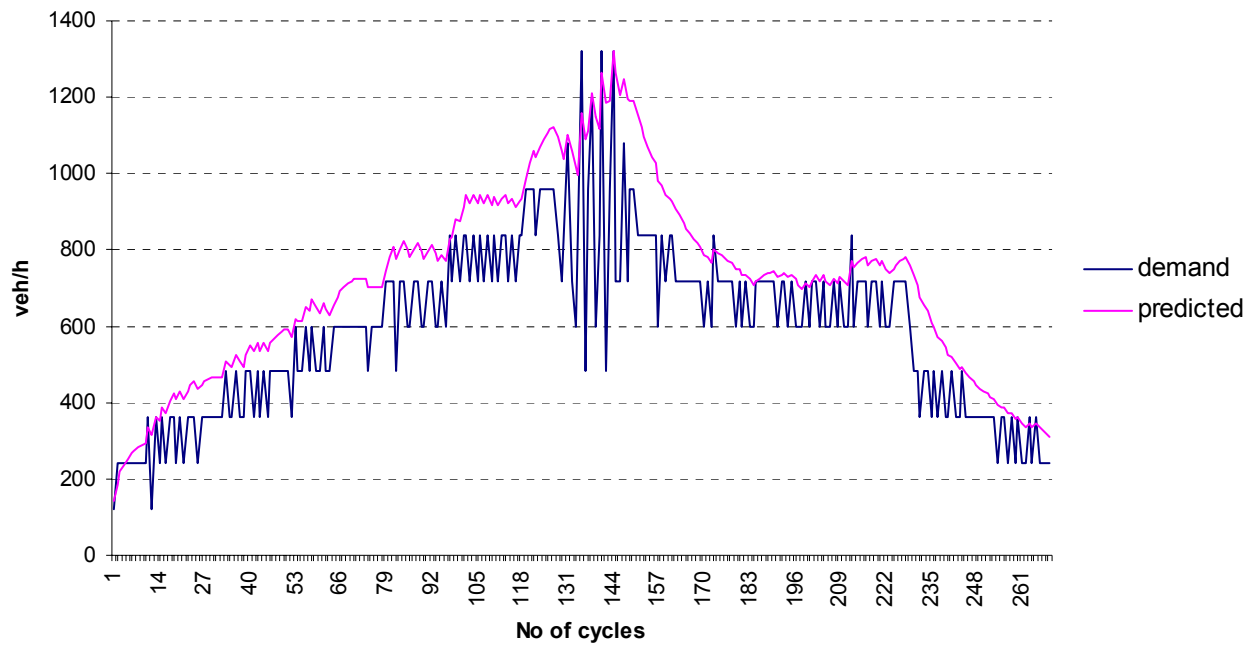


Σχήμα 7.29: προβλεπόμενη και πραγματική ζήτηση ράμπας ( $f_2=1$ )

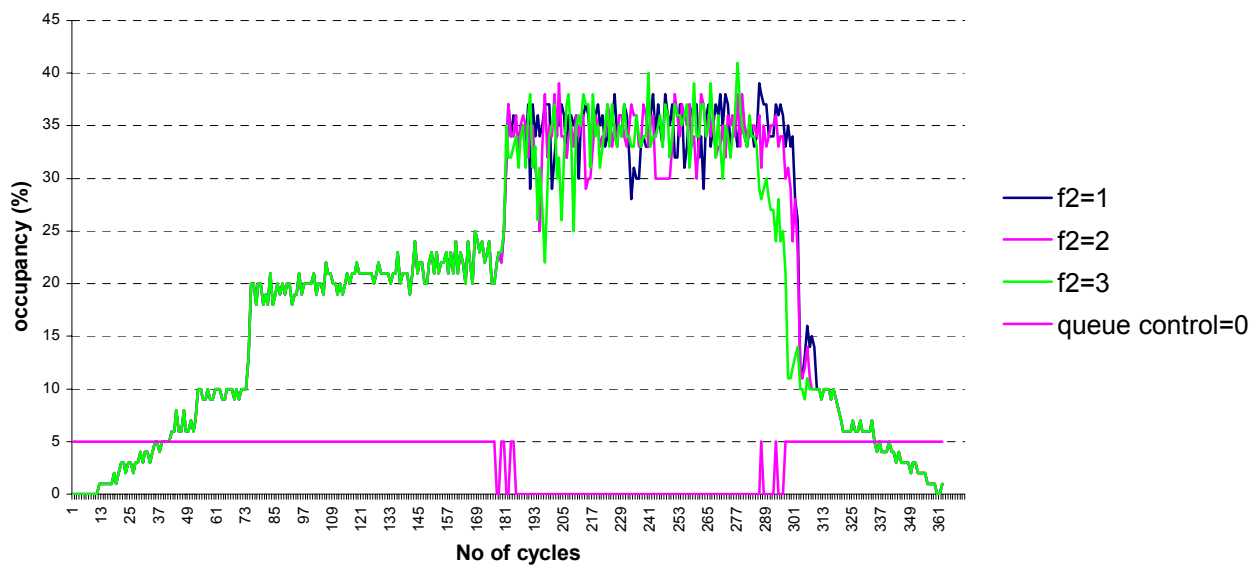


Σχήμα 7.30: προβλεπόμενη και πραγματική ζήτηση ράμπας ( $f_2=2$ )

## ΑΠΟΤΕΛΕΣΜΑΤΑ

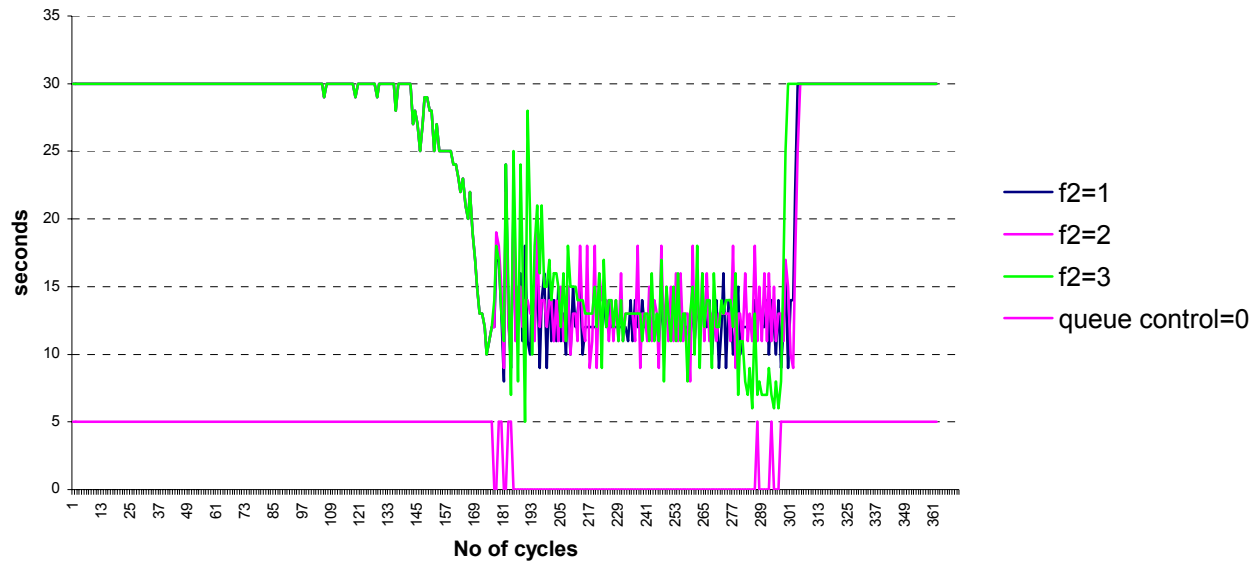


Σχήμα 7.31: προβλεπόμενη και πραγματική ζήτηση ράμπας ( $f_2=3$ )

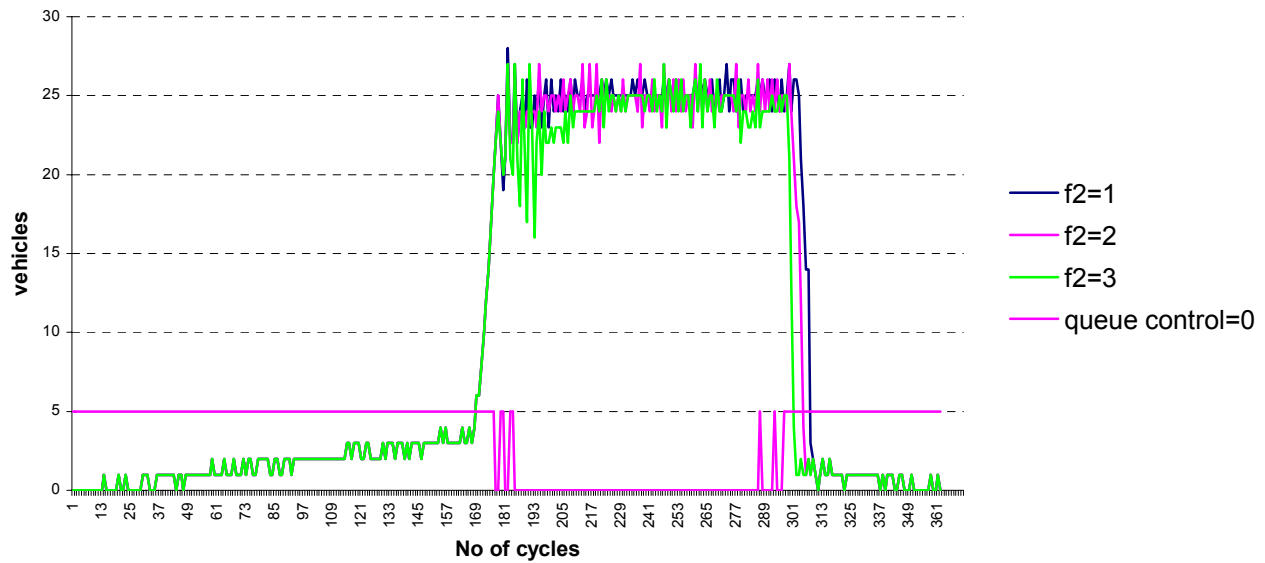


Σχήμα 7.32: queue control ( $f_2=1$ ,  $f_2=2$ ,  $f_2=3$ ) mainstream occupancy (cycle 30sec)

## ΑΠΟΤΕΛΕΣΜΑΤΑ



Σχήμα 7.33: queue control ( $f_2=1$ ,  $f_2=2$ ,  $f_2=3$ ) green (Cycle 30sec)



Σχήμα 7.34: queue control ( $f_2=1$ ,  $f_2=2$ ,  $f_2=3$ ) queue (Cycle 30sec)

**Πίνακας 7.9: Τιμές κριτηρίων για ελεγχόμενη ράμπα σε συνδυασμό με έλεγχο ουρών (2<sup>η</sup> μέθοδος πρόβλεψης) κύκλος 30 sec**

	f <sub>2</sub> =1	f <sub>2</sub> =2	f <sub>2</sub> =3
Μέση κατάληψη(%)	31,01	30,56	30,2
Διασπορά κατάληψης	6,177	5,934	6,0
Μέση ροή	5768	5765	5845,3
Μέση ουρά	19,5	19,3	18,8
Μέγιστη ουρά	28,0	27,0	27,0
Διασπορά ουράς	9,2	9,1	8,9
Μέση υπερχείλιση	22,3	16,1	5,2
Μέγιστη υπερχείλιση	104,0	89,0	39,0

**7.1.1.3 Διακριτές ροές εξόδου (discrete release rates)**

Για να λυθούν τα προηγούμενα προβλήματα, θα ήταν απαραίτητο να μειώσουμε τον αριθμό των αυτοκινήτων που εξέρχονται από τη ράμπα ανά κύκλο, για να μη συνωστίζονται κατά την είσοδο στον αυτοκινητόδρομο. Γι αυτό το λόγο χρησιμοποιούμε στην προσομοίωσή μας και την πολιτική των διακριτών ροών εξόδου. Τα αποτελέσματα στα κριτήριά μας δίνονται στον πίνακα 7.10

**Πίνακας 7.10: Τιμές κριτηρίων για ελεγχόμενη ράμπα σε συνδυασμό με έλεγχο ουράς για διακριτές ροές εξόδου**

	Π.Α.Ε.Ρ.(50%)	f=1	f=1,2	f=1,5	f <sub>2</sub> =1
Μέση κατάληψη(%)	25,0	21,5	21,6	23	21,5
Διασπορά κατάληψης	4,9	1,0	0,9	3,4	1,0
Μέση ροή	5980,8	5854,9	5850,4	5872,8	5854,9
Μέση ουρά	10,1	8,3	8,0	7,5	8,3
Μέγιστη ουρά	31,0	22,0	21,0	22,0	22,0
Διασπορά ουράς	8,8	6,7	6,6	5,7	6,7
Μέση υπερχείλιση	0,5	0,0	0,0	0,0	0,0
Μέγιστη υπερχείλιση	28,0	0,0	0,0	0,0	0,0

Πρέπει να τονίσουμε ότι για f=1 και f<sub>2</sub>=1 η προσομοίωση είναι ακριβώς η ίδια με αυτή χωρίς την εφαρμογή ελέγχου ουράς. Σε καμιά από τις παραπάνω περιπτώσεις το  $\bar{r}$  του ελέγχου ουρών δεν είναι μεγαλύτερο του  $\bar{r}$  που μας δίνει η ALINEA.

Το μόνο που αλλάξαμε είναι ο τρόπος με τον οποίο εφαρμόζουμε την απόφαση της ALINEA στη ράμπα εισόδου. Με τις διακριτές ροές καταφέρνουμε να γίνει η είσοδος των οχημάτων στον αυτοκινητόδρομο χωρίς να δημιουργούμε τα παραπάνω προβλήματα. Αυτό γίνεται επειδή εφαρμόζονται πολύ μικροί κύκλοι (έως και 8 sec) με αποτέλεσμα τα οχήματα που εξέρχονται από τη ράμπα να προλαβαίνουν να εισέρθουν κανονικά στον αυτοκινητόδρομο, πριν έρθουν τα νέα οχήματα από τη ράμπα (δηλ. πριν

ανάψει το νέο πράσινο). Με αυτό τον τρόπο τα οχήματα εκμεταλλεύονται βέλτιστα όλα τα ασφαλή κενά στη ροή του αυτοκινητοδρόμου για την είσοδό τους και άρα δεν παρατηρείται το φαινόμενο του να μηδενίζουν την ταχύτητά τους πριν εισέλθουν τελικά.

Στον πίνακα 7.10 παραθέτονται και τα αποτελέσματα για  $f=1.2$ ,  $f=1.5$  και  $f_2=1$ . Φυσικά αφού δεν υπάρχει πρόβλημα με τη δημιουργία υπερχειλίσσης ήταν άσκοπο να κάνουμε χρήση αυτών των πιο επιθετικών πολιτικών. Θέλαμε απλά να δούμε τις επιπτώσεις τους στην προσομοίωσή μας. Παρατηρούμε ότι για  $f_2=1$  έχουμε ακριβώς τα ίδια αποτελέσματα με  $f=1$  δηλαδή πάλι δεν ασκείται έλεγχος ουράς, ενώ για  $f=1.2$  αφού υπερεκτιμάται η ζήτηση της ράμπας, ασκείται έλεγχος λίγες φορές χωρίς να επηρεάζονται καθόλου τα κριτήριά μας. Για  $f=1.5$  που είναι και η πιο επιθετική πολιτική, πάλι δεν έχουμε υπερχειλίσση, αλλά λόγω του πιο συχνού ελέγχου ουρών παρατηρείται μια ελαφρά μείωση της ροής και μια αντίστοιχη αύξηση της μέσης κατάληψης του αυτοκινητοδρόμου.

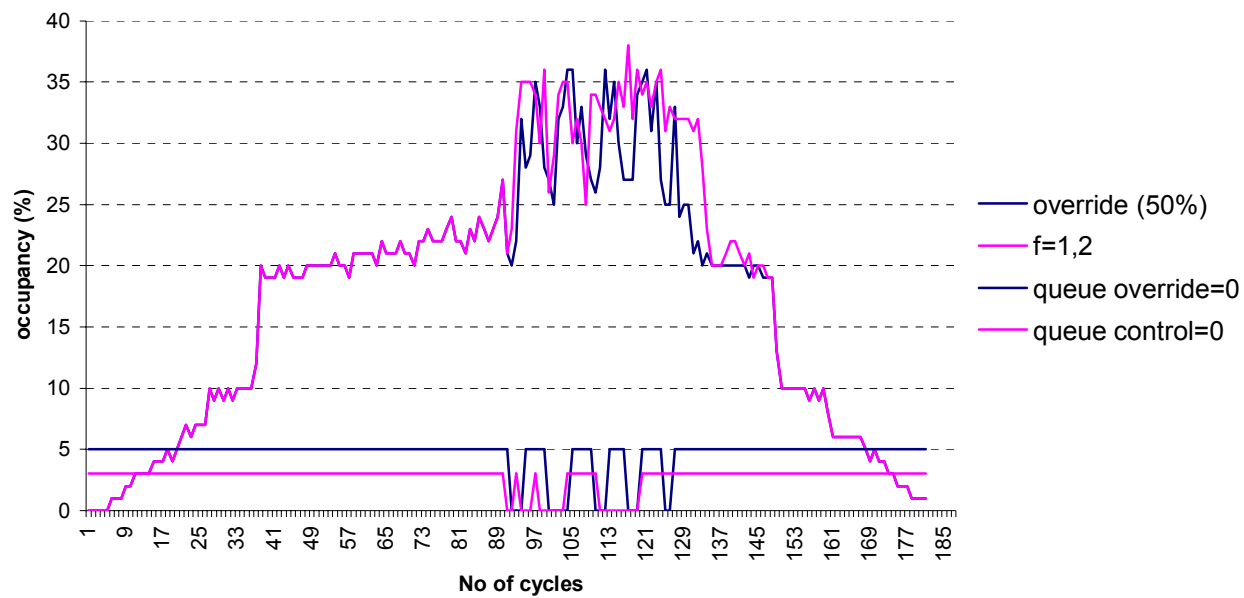
Βέβαια, το ότι με τις διακριτές ροές εξόδου έχουμε καλύτερα αποτελέσματα, δεν σημαίνει τίποτα. Υπενθυμίζουμε ότι αυτό οφείλεται στη μη ρεαλιστική μοντελοποίηση του AIMSUN.

### ***7.1.1.4 Συγκριτικά αποτελέσματα για την περίπτωση της μεγάλης μήκους ράμπας χωρίς προσθήκη θορύβου***

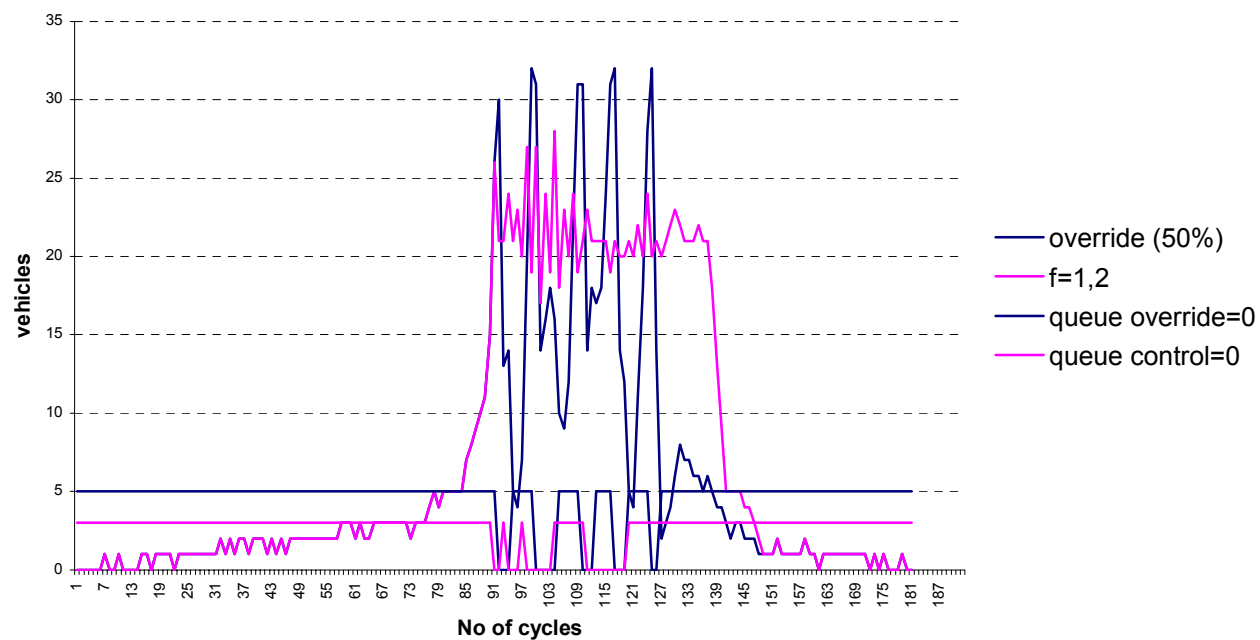
Σε αυτήν την υποενότητα θα συγκρίνουμε τις δύο βασικές στρατηγικές μας. Δηλαδή την ALINEA σε συνδυασμό με την Π.Α.Ε.Ρ. και την ALINEA σε συνδυασμό με έλεγχο ουρών. Πράγματι σε όλες τις περιπτώσεις πλην αυτή του σταθερού κύκλου 30 sec, ο έλεγχος ουρών, με την κατάλληλη επιλογή του πολλαπλασιαστή  $f$  ή  $f_2$  αποδίδει καλύτερα σε όλα τα κριτήρια μας εκτός του μέσου ποσοστού κατάληψης.

Με την εφαρμογή ελέγχου ουρών, γίνεται καλύτερη χρήση της αποθηκευτικής ικανότητας της ράμπας. Στα σχήματα 7.35 και 7.36 δίνονται τα γραφήματα του ποσοστού κατάληψης του αυτοκινητοδρόμου και της ουράς της ράμπας αντίστοιχα, για Π.Α.Ε.Ρ. 50% και έλεγχο ουρών με  $f=1.2$ . Βλέπουμε τις μεγάλες διακυμάνσεις στην ουρά και στην κατάληψη που δημιουργούνται λόγω της Π.Α.Ε.Ρ. (απενεργοποίηση ελέγχου ράμπας). Αντιθέτως με χρήση ελέγχου ουρών το μοντέλο μας προσπαθεί, εφόσον υπάρχει αρκετή ζήτηση, να συγκρατήσει το μέγεθος της ουράς στα 25 οχήματα και το ποσοστό κατάληψης στο 22%. Λόγω του ανταγωνιστικού χαρακτήρα αυτών των δύο ενεργειών και λόγω του ότι προτεραιότητα έχει δοθεί στον έλεγχο της ουράς, βλέπουμε ότι το μοντέλο μας τα καταφέρνει στο να συγκρατήσει την ουρά κάτω από τα 25 οχήματα. Αντιθέτως, λόγω αυτής της «επιτυχίας» αλλά και λόγω του προβλήματος της συνένωσης των ροών, το ποσοστό κατάληψης παραμένει συνεχώς αρκετά υψηλά κατά τη διάρκεια της ώρας αιχμής. Το πρόβλημα του AIMSUN στην συνένωση των ροών αναγνωρίζεται και από το ότι ενώ αυξάνεται η μέση κατάληψη ( $o > o_{cr}$ ), αυξάνεται και η ροή του αυτοκινητοδρόμου. Αυτό βέβαια σε πραγματικές συνθήκες είναι αδύνατο.

## ΑΠΟΤΕΛΕΣΜΑΤΑ



Σχήμα 7.35: ποσοστό κατάληψης του αυτοκινητοδρόμου ανά κύκλο



Σχήμα 7.36: μέγεθος ουράς της ράμπας ανά κύκλο

## ΑΠΟΤΕΛΕΣΜΑΤΑ

Από τα προηγούμενα κατανοούμε ότι για την περίπτωση της ράμπας μεγάλου μήκους είναι προτιμητέος ο έλεγχος ουρών από την Π.Α.Ε.Ρ. Τώρα όσο αφορά το ποια μέθοδο πρόβλεψης προτιμάται θα πρέπει να γίνει διαφορετικής μορφής σύγκριση. Από τον πίνακα 7.11 μπορούμε να εξάγουμε χρήσιμα συμπεράσματα. Παρατηρούμε ότι η αλλαγή της μέσης κατάληψης και της μέσης ροής είναι σχεδόν αμελητέα και δεν επηρεάζεται πολύ από την αύξηση του  $f$  και του  $f_2$ . Αντιθέτως η μέση ουρά μειώνεται αισθητά με την αύξηση του πολλαπλασιαστή  $f$  και με μικρότερο ρυθμό για την αύξηση του πολλαπλασιαστή  $f_2$ . Η μείωση της υπερχειλίσης της ουράς ακολουθεί τον ίδιο ρυθμό μείωσης μέχρι τον τελικό μηδενισμό της.

Θα μπορούσε κάποιος να ισχυριστεί ότι οι δύο μέθοδοι είναι ασύγκριτες αφού οι πολλαπλασιαστές  $f$  και  $f_2$  δεν αλλάζουν με τον ίδιο ρυθμό ( $f=1, 1.2, 1.5$  και  $f_2=1, 2, 3$ ). Εδώ πρέπει να υπενθυμίσουμε ότι οι δύο πολλαπλασιαστές δεν αντιπροσωπεύουν το ίδιο πράγμα. Στην πρώτη μέθοδο πρόβλεψης, το  $f$  δείχνει πόσες φορές αυξάνουμε την ομαλοποιημένη ζήτηση, ενώ στη δεύτερη το  $f_2$  δείχνει πόσες φορές θα προσθέσουμε τη διαφορά της πραγματικής με την ομαλοποιημένη ζήτηση. Βλέπουμε από τα σχήματα 7.8 και 7.14 ότι για  $f=1.5$  έχουμε μεγαλύτερη υπερεκτίμηση από ότι για  $f_2=3$ . Άρα η δεύτερη μέθοδος πρόβλεψης πλεονεκτεί της πρώτης αφού κάνει καλύτερη χρήση της χωρητικότητας της ράμπας, και μειώνει την υπερχειλίση χωρίς να χρειάζεται να υπερεκτιμήσει υπερβολικά την πραγματική ζήτηση της ράμπας.

**Πίνακας 7.11: Τιμές κριτηρίων για ελεγχόμενη ράμπα σε συνδυασμό με έλεγχο ουρών (1<sup>η</sup> και 2<sup>η</sup> μέθοδος πρόβλεψης πλήρης κύκλος 60sec)**

	$f=1$	$f=1.2$	$f=1.5$	$f_2=1$	$f_2=2$	$f_2=3$
Μέση κατάληψη(%)	28,7	28,6	29,8	28,0	29,6	28,9
Διασπορά κατάληψης	5,0	5,5	5,1	5,3	5,2	5,4
Μέση ροή	5919,4	5940,0	5937,3	5939,1	5934,6	5938,2
Μέση ουρά	19,6	17,2	14,7	18,7	18,2	17,7
Μέγιστη ουρά	28,0	28,0	22,0	29,0	26,0	27,0
Διασπορά ουράς	8,5	7,4	5,7	8,1	8,2	7,5
Μέση υπερχειλίση	3,5	0,1	0,0	1,2	0,1	0,0
Μέγιστη υπερχειλίση	37,0	10,0	0,0	26,0	11,0	1,0

Όσο αφορά τον σταθερό κύκλο των 30 sec, στην απλή περίπτωση της ράμπας μεγάλου μήκους και μάλιστα χωρίς την προσθήκη θορύβου παρατηρήσαμε τη δημιουργία μεγάλων υπερχειλίσεων της ουράς. Γι αυτό το λόγο δεν πρόκειται να ασχοληθούμε με αυτήν την πολιτική στις υπόλοιπες περιπτώσεις.

### 7.1.2 Προσθήκη Θορύβου στις Μετρήσεις των Φωρατών της Ράμπας

Σε αυτή την περίπτωση προσθέτουμε στις μετρήσεις των φωρατών της ράμπας ένα 5% θόρυβο. Έτσι δε μπορούμε να ξέρουμε ακριβώς την κατάληψη της ράμπας, τη ροή της, ή

ακόμα και το ακριβές μέγεθος της ουράς που δημιουργείται μέσα στη ράμπα. Έτσι, αφού χρησιμοποιήσουμε τον εκτιμητή της παραγράφου 6.3.3.1 θα προσπαθήσουμε να ορίσουμε τις τιμές των παραμέτρων του για να έχουμε μια όσο το δυνατό καλύτερη πρόβλεψη για το πλήθος των οχημάτων που βρίσκονται μέσα στη ράμπα (ουρά ράμπας).

### **7.1.2.1 Πλήρης κύκλος 60 sec (προσθήκη θορύβου)**

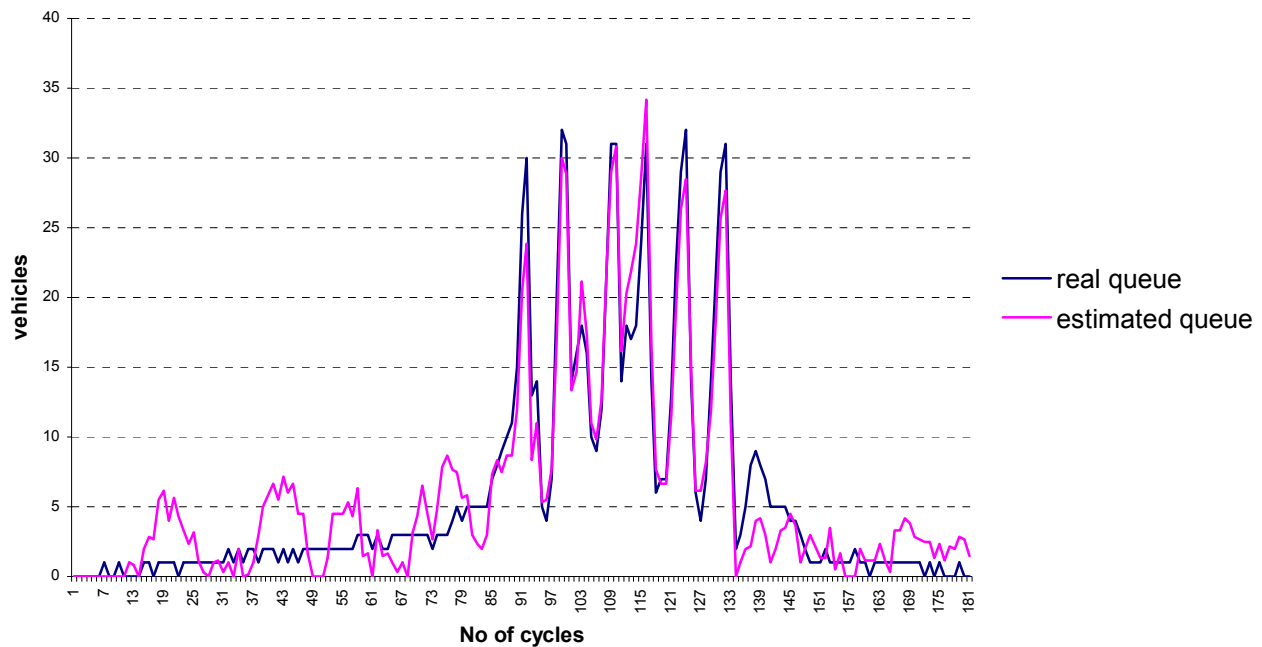
Όπως και προηγουμένως θα δούμε αναλυτικά όλες τις πολιτικές που έχουν να κάνουν με τον περιορισμό των ουρών. Την Π.Α.Ε.Ρ. και τον έλεγχο ουρών με τις δύο μεθόδους πρόβλεψης.

#### **Π.Α.Ε.Ρ. (queue override)**

Καταρχήν, αφού έχουμε κατανοήσει από προηγουμένως, ότι το όριο απενεργοποίησης δεν παίζει σημαντικό ρόλο στα αποτελέσματά μας, και αφού το 50% είναι αυτό που μας έδωσε τα πιο ικανοποιητικά αποτελέσματα από εδώ και μπρος θα ασχοληθούμε μόνο με αυτή την περίπτωση. Εξάλλου το 50% είναι και αυτό που χρησιμοποιείται σε πραγματικές συνθήκες.

Στο σχήμα 7.37 βλέπουμε ότι η εκτίμηση της ουράς είναι αρκετά ικανοποιητική ( $\pm 3$  οχήματα). Άρα αναμένουμε ότι η προσθήκη θορύβου δεν θα επηρεάσει καθόλου τα αποτελέσματά μας. Αυτό ήταν και το ζητούμενο. Δηλαδή να δούμε την ευαισθησία των πολιτικών μας σε περιπτώσεις μη ακριβών μετρήσεων. Στη πράξη οι μετρήσεις που παίρνουμε από τους φωρατές πάντα έχουν ένα ποσοστό σφάλματος.

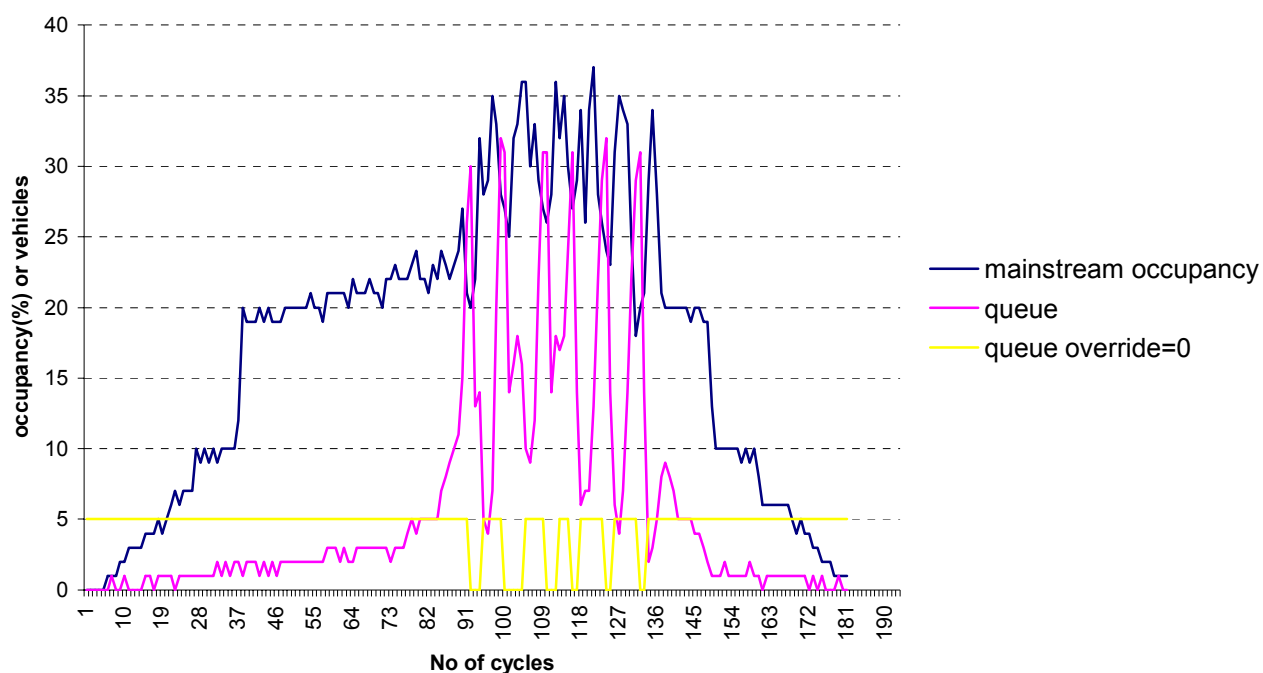




Σχήμα 7.37: Η πραγματική και η εκτιμώμενη ουρά ανά κύκλο

Από το σχήμα 7.38 βλέπουμε ότι και εδώ έχουμε ακριβώς την ίδια συμπεριφορά με προηγούμενα. Στο γράφημα έχουμε το ποσοστό κατάληψης του αυτοκινητοδρόμου και το μέγεθος της ουράς συναρτήσει του χρόνου. Επίσης με κίτρινο έχουμε το γράφημα που μας δείχνει πότε ξεπερνάμε το όριο απενεργοποίησης στην προσομοίωση και τότε η καμπύλη παίρνει την τιμή μηδέν (0). Όπως φαίνεται, όποτε η ουρά βρίσκεται ψηλά, έχουμε την εφαρμογή της Π.Α.Ε.Ρ. με αποτέλεσμα η ουρά να μειώνεται κατακόρυφα. Με κάθε απότομη μείωση της ουράς αντιστοιχεί μια απότομη αύξηση του ποσοστού κατάληψης του αυτοκινητοδρόμου. Αυτό είναι λογικό αφού μετά την απενεργοποίηση ελέγχου ράμπας, για ένα ολόκληρο κύκλο εισέρχονται συνεχώς οχήματα από τη ράμπα στον αυτοκινητόδρομο. Η κατάληψη φτάνει μέχρι και την τιμή 37. Οι τόσο μεγάλες τιμές προκύπτουν από το γνωστό πρόβλημα του AIMSUN στην ενοποίηση των ροών της ράμπας και του αυτοκινητοδρόμου. Παρόλο το πρόβλημα η αυξητική τάση της κατάληψης με κάθε «άδειασμα» της ουράς, είναι λογική και σωστή.

## ΑΠΟΤΕΛΕΣΜΑΤΑ



Σχήμα 7.38: Π.Α.Ε.Ρ. (50%) κατάληψη-μέγεθος ουράς-ενεργοποίηση Π.Α.Ε.Ρ.

Στον πίνακα 7.12 συγκρίνουμε την απόδοση της Π.Α.Ε.Ρ. (50%) με προσθήκη θορύβου και χωρίς, στα επιλεγμένα κριτήρια. Βλέπουμε ότι η προσθήκη θορύβου δεν επηρεάζει στο ελάχιστο τα αποτελέσματά μας. Αυτό ήταν αναμενόμενο, αφού οι αλλαγές των αποτελεσμάτων για 30%, 50% και 70% ήταν αμελητέες. Μια προσθήκη θορύβου της τάξης του 5% θα αντιστοιχούσε στις πιο ακραίες περιπτώσεις σε όριο απενεργοποίησης 45% ή 55%.

Πίνακας 7.12: Τιμές κριτηρίων για ελεγχόμενη ράμπα σε συνδυασμό με Π.Α.Ε.Ρ. με και χωρίς προσθήκη θορύβου

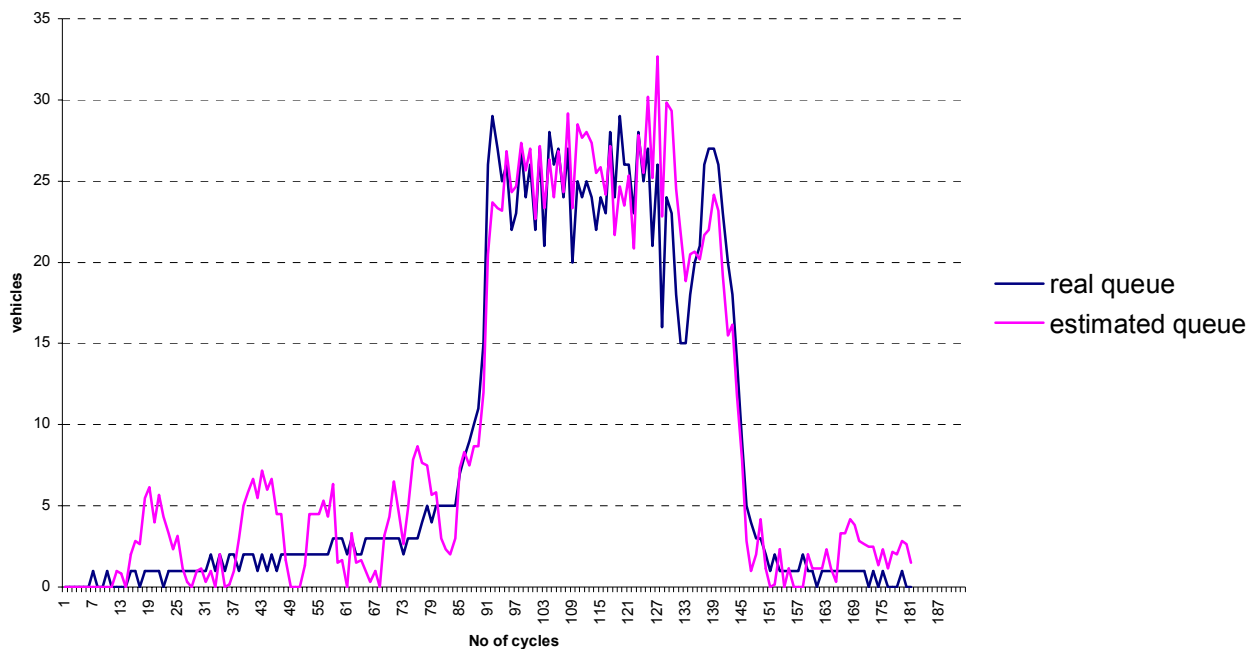
	Π.Α.Ε.Ρ.	Π.Α.Ε.Ρ. με θόρυβο
Μέση κατάληψη(%)	26,5	27,0
Διασπορά κατάληψης	5,1	5,2
Μέση ροή	5949,9	5947,2
Μέση ουρά	12,4	13,4
Μέγιστη ουρά	32,0	32,0
Διασπορά ουράς	9,3	9,3
Μέση υπερχείλιση	0,5	0,5
Μέγιστη υπερχείλιση	26,0	26,0

## Έλεγχος ουράς

Σε αυτή την περίπτωση θα πρέπει να κάνουμε χρήση του εκτιμητή αριθμού οχημάτων στη ράμπα που περιγράφηκε στην υποενότητα 6.3.3.1 Η παράμετρος  $K$  μετά από προσομοιώσεις επιλέχθηκε ίση με 0.5. Φυσικά η επιλογή του  $K$  επηρεάζεται άμεσα από την ποσότητα θορύβου που προστίθεται και θα πρέπει σε κάθε ξεχωριστή περίπτωση να ελέγχεται.

### A) Πρώτη μέθοδος πρόβλεψης

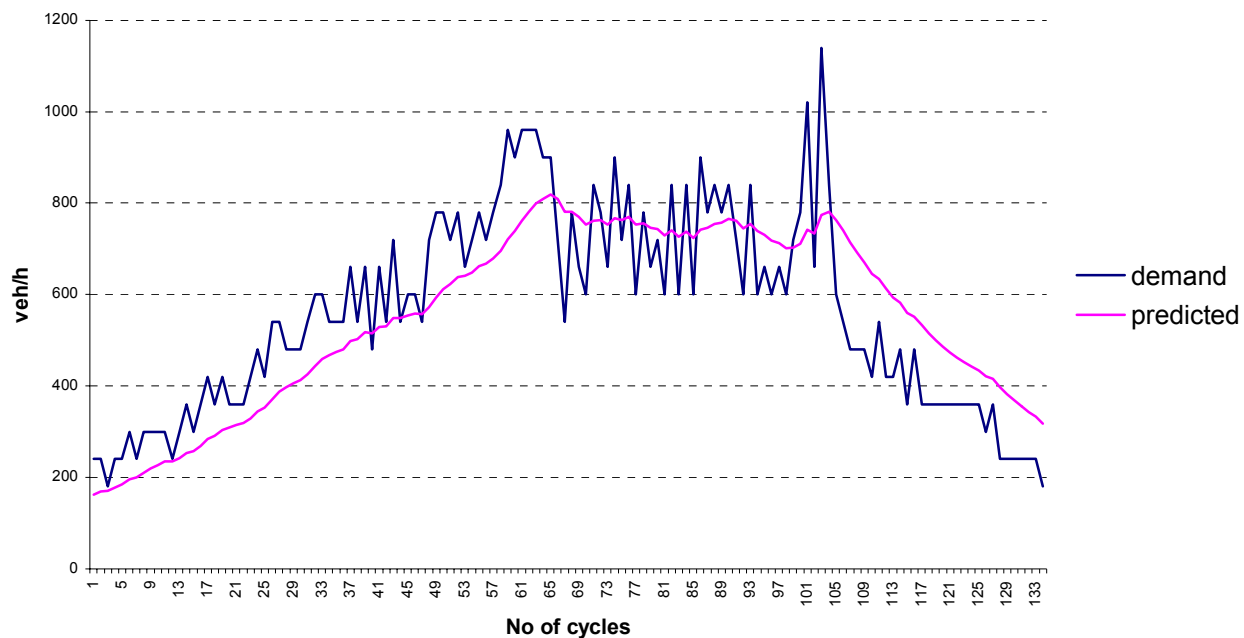
Στο σχήμα 7.39 φαίνεται το πόσο καλά ανταποκρίνεται η πρόβλεψή μας στην πραγματικότητα. Σε μερικές περιπτώσεις έχουμε ελαφρά υποεκτίμηση και σε άλλες ελαφρά υπερεκτίμηση του αριθμού των οχημάτων που βρίσκονται μέσα στη ράμπα.



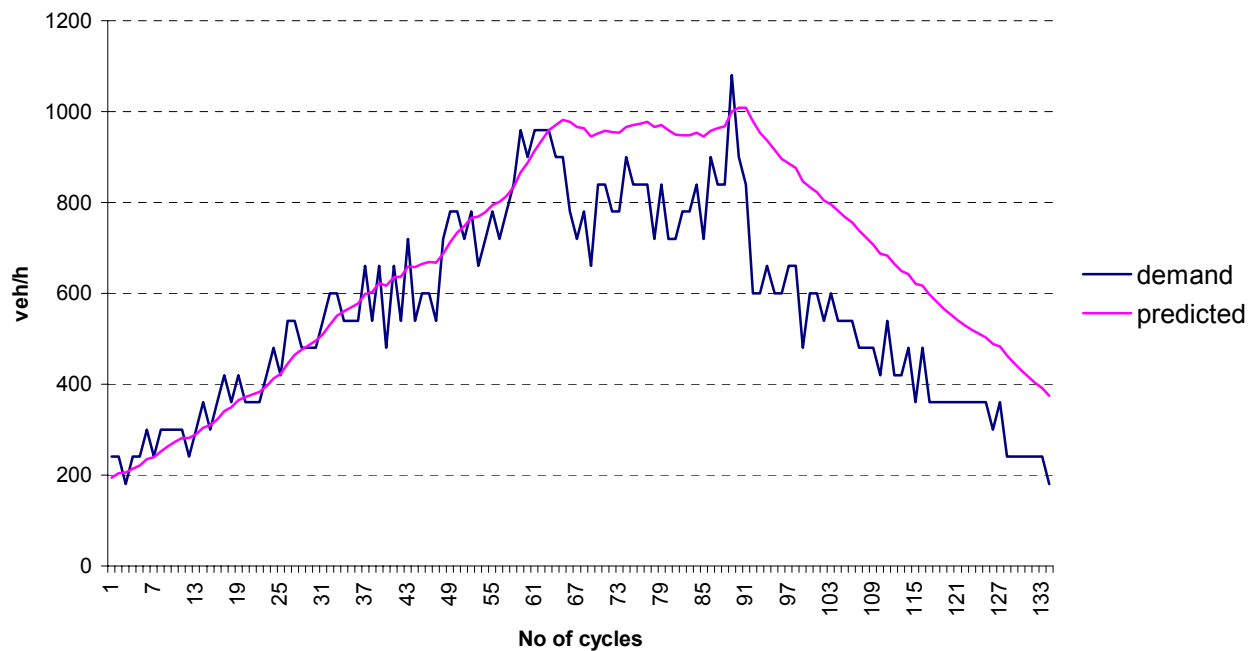
Σχήμα 7.39: Η πραγματική και η εκτιμώμενη ουρά ανά κύκλο ( $f=1$ )

Στα σχήματα που ακολουθούν (7.40, 7.41 και 7.42) φαίνονται τα συγκριτικά γραφήματα της πραγματικής έναντι της προβλεπόμενης ζήτησης της ράμπας για  $f=1$ ,  $f=1.2$  και  $f=1.5$  αντίστοιχα.

## ΑΠΟΤΕΛΕΣΜΑΤΑ

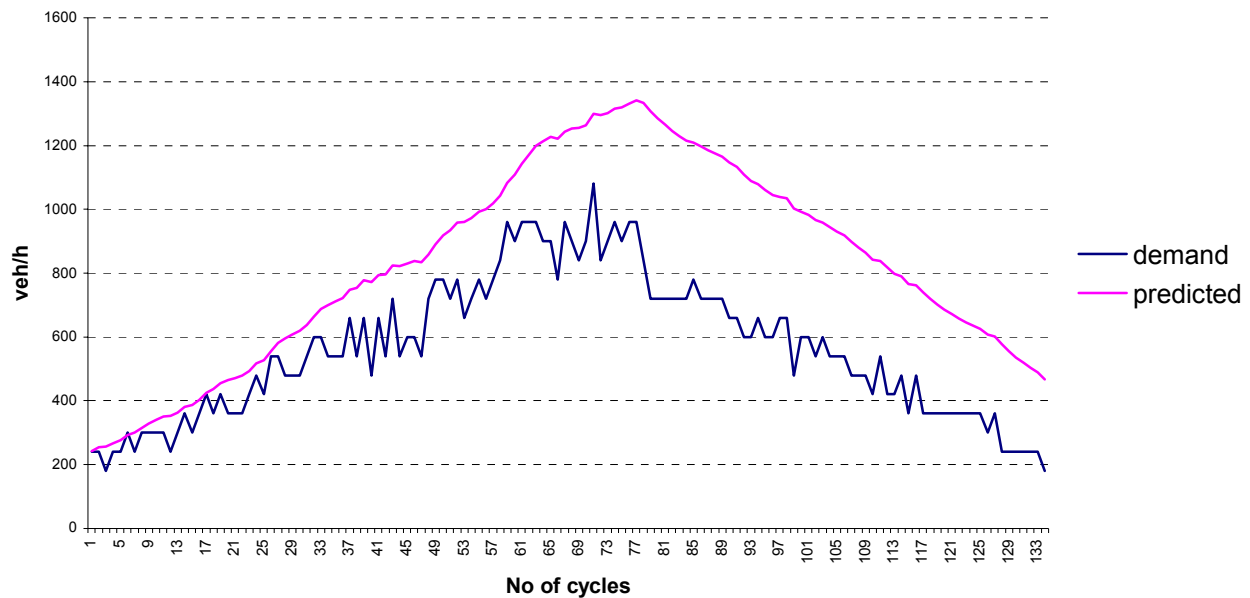


Σχήμα 7.40: προβλεπόμενη και πραγματική ζήτηση ράμπας (f=1)



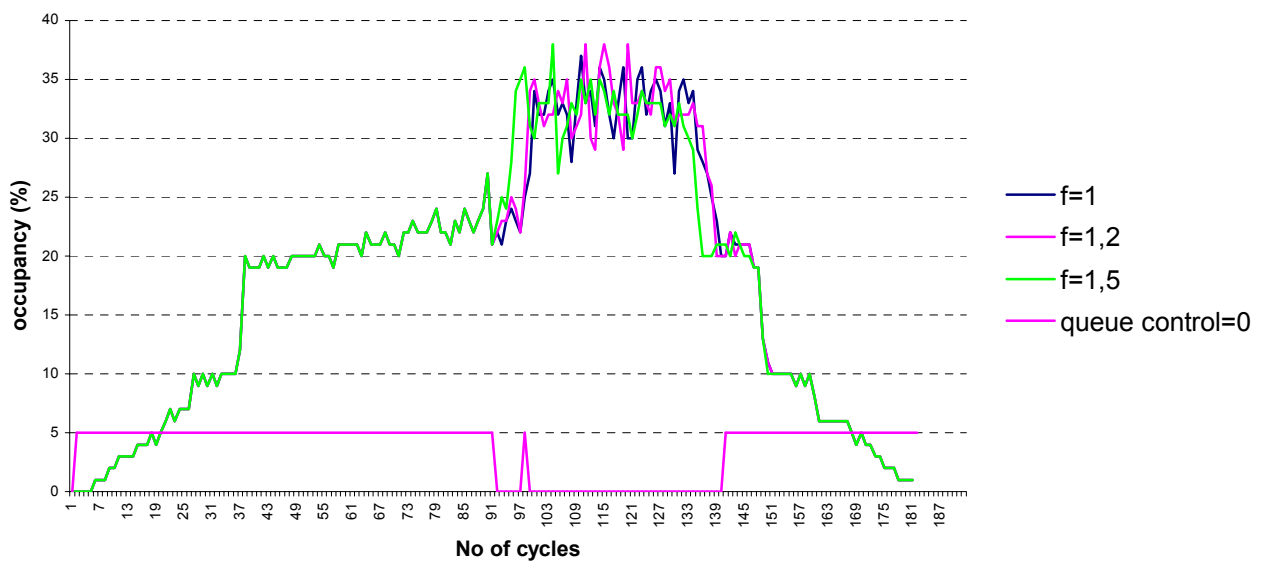
Σχήμα 7.41: προβλεπόμενη και πραγματική ζήτηση ράμπας (f=1.2)

## ΑΠΟΤΕΛΕΣΜΑΤΑ



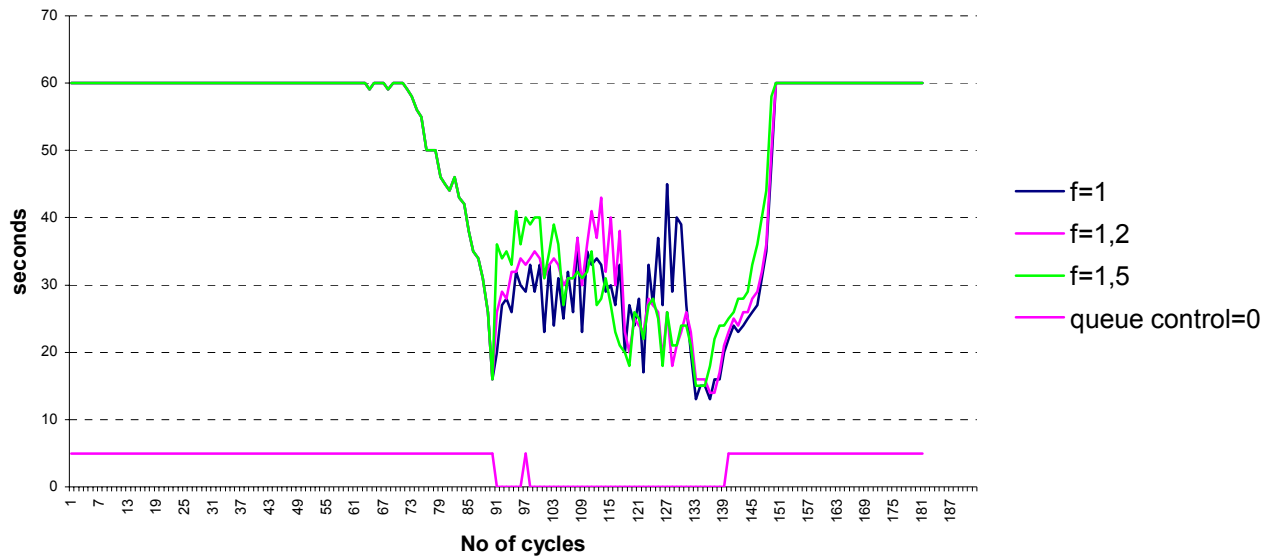
Σχήμα 7.42: προβλεπόμενη και πραγματική ζήτηση ράμπας ( $f=1.5$ )

Στα σχήματα 7.43, 7.44 και 7.45 παραθέτονται τα συγκριτικά γραφήματα για το ποσοστό κατάληψης του αυτοκινητοδρόμου, της διάρκειας της πράσινης φάσης ανά κύκλο και του μεγέθους της ουράς αντίστοιχα. Βλέπουμε από τα γραφήματα αυτά δεν προκύπτει καμιά διαφορά στη συμπεριφορά του μοντέλου παρά την προσθήκη θορύβου.

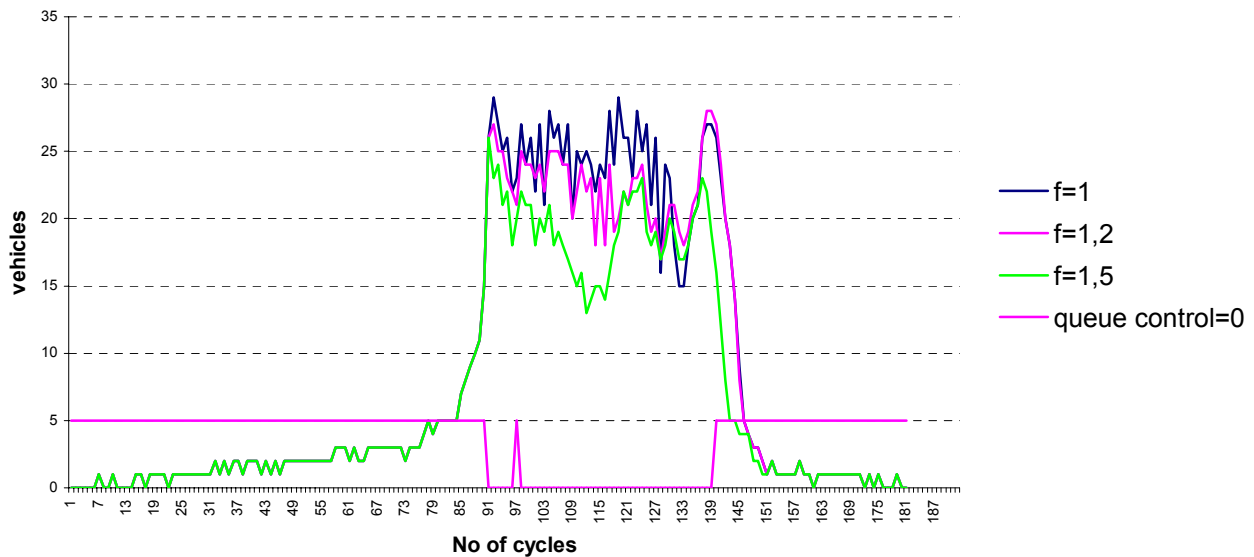


Σχήμα 7.43: queue control ( $f=1$ ,  $f=1.2$ ,  $f=1.5$ ) mainstream occupancy (with noise)

## ΑΠΟΤΕΛΕΣΜΑΤΑ



Σχήμα 7.44: queue control ( $f=1$ ,  $f=1.2$ ,  $f=1.5$ ) green (with noise)



Σχήμα 7.45: queue control ( $f=1$ ,  $f=1.2$ ,  $f=1.5$ ) queue (with noise)

Από τον πίνακα 7.13 προκύπτει ότι η μόνη περίπτωση που η προσθήκη θορύβου επηρεάζει τα κριτήρια και άρα τη συμπεριφορά του μοντέλου είναι για την περίπτωση που έχουμε επιλέξει  $f=1,5$ . Βλέπουμε ότι με την προσθήκη θορύβου μειώνεται η μέση κατάληψη με αντίστοιχη αύξηση της μέγιστης ουράς (από 22 σε 26 οχήματα). Όμως σε όλες τις περιπτώσεις η ροή των οχημάτων στον αυτοκινητόδρομο κατάντη της ράμπας

## ΑΠΟΤΕΛΕΣΜΑΤΑ

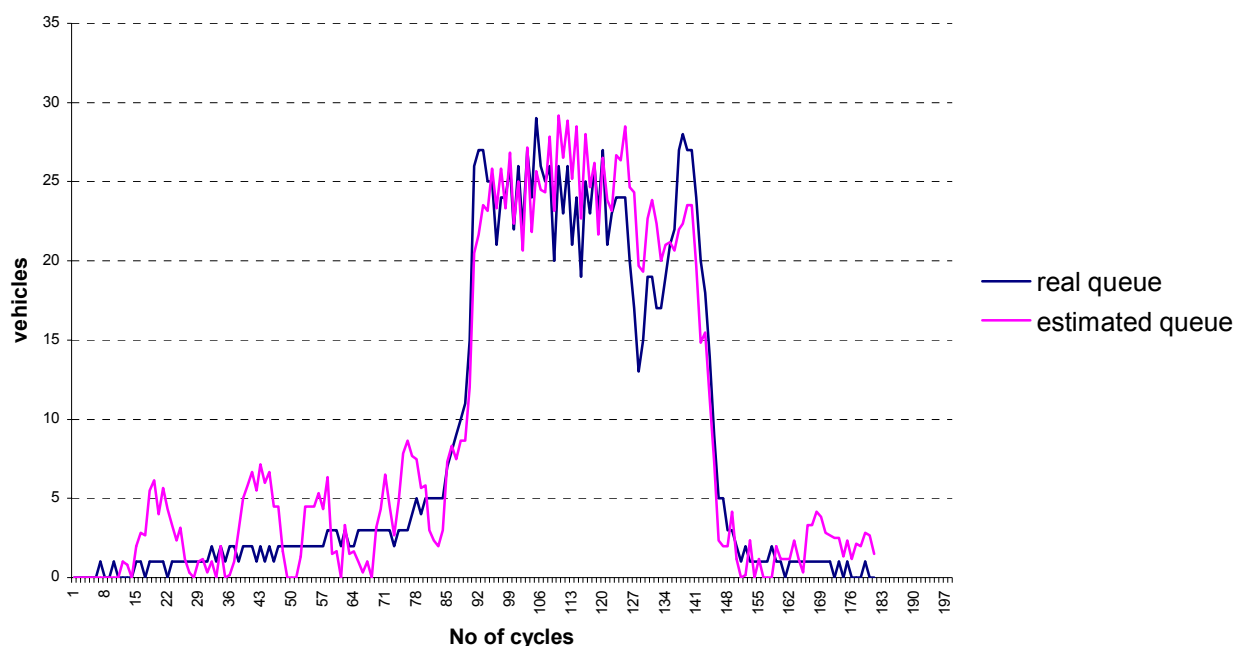
δεν επηρεάζεται καθόλου. Βλέπουμε όμως μια αύξηση στην υπερχείλιση των ουρών σε όλες τις περιπτώσεις παρόλο την σχετικά καλή εκτίμηση του αριθμού των οχημάτων της ράμπας. Για  $f=1,5$  όμως η υπερχείλιση είναι έτσι και αλλιώς σχεδόν μηδενική.

**Πίνακας 7.13: Τιμές κριτηρίων για ελεγχόμενη ράμπα σε συνδυασμό με έλεγχο ουρών (με προσθήκη θορύβου και χωρίς)**

	f=1 (με θόρυβο)	f=1.2 (με θόρυβο)	f=1.5 (με θόρυβο)	f=1	f=1.2	f=1.5
Μέση κατάληψη(%)	28,4	28,8	28,4	28,7	28,6	29,8
Διασπορά κατάληψης	5,3	5,4	5,2	5,0	5,5	5,1
Μέση ροή	5928,4	5930,1	5935,5	5919,4	5940,0	5937,3
Μέση ουρά	19,2	18,0	15,6	19,6	17,2	14,7
Μέγιστη ουρά	29,0	28,0	26,0	28,0	28,0	22,0
Διασπορά ουράς	8,7	7,9	6,5	8,5	7,4	5,7
Μέση υπερχείλιση	4,7	1,5	0,0	3,5	0,1	0,0
Μέγιστη υπερχείλιση	47,0	25,0	4,0	37,0	10,0	0,0

### Β) Δεύτερη μέθοδος πρόβλεψης

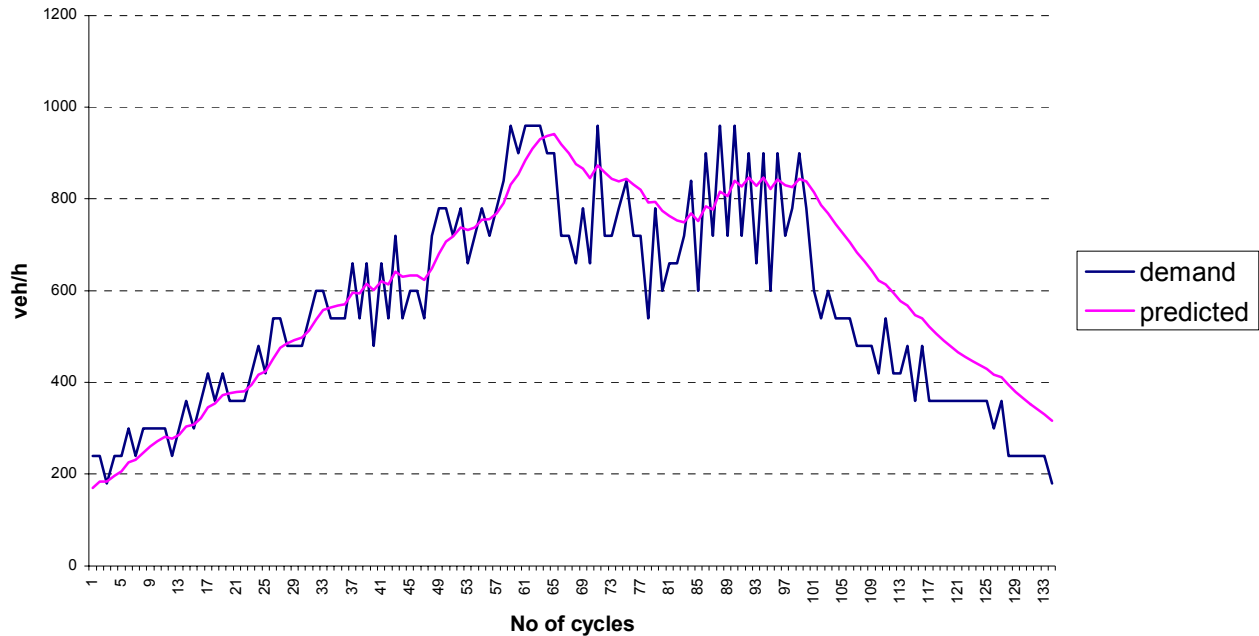
Στο σχήμα 7.46 παρατίθεται το γράφημα της πραγματικής ουράς της ράμπας σε σχέση με αυτό της εκτιμώμενης ουράς για  $f_2=1$ . Βλέπουμε ότι υπάρχει μια σχετική υπερεκτίμηση της ουράς από τον εκτιμητή μας κατά την ώρα αιχμής.



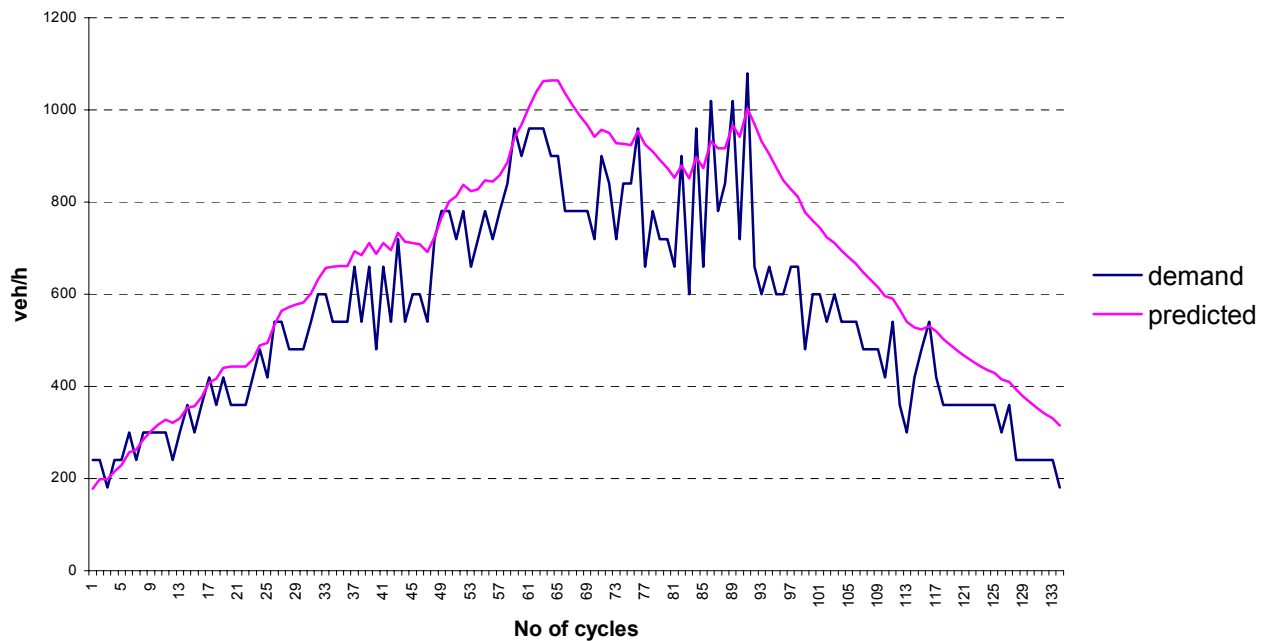
**Σχήμα 7.46: Η πραγματική και η εκτιμώμενη ουρά ανά κύκλο ( $f_2=1$ )**

## ΑΠΟΤΕΛΕΣΜΑΤΑ

Στα σχήματα 7.47 έως 7.49 δίνονται τα γραφήματα της πραγματικής ζήτησης της ράμπας και της εκτιμώμενης ζήτησης για τα  $f_2$ . Και σε αυτήν την περίπτωση η επίδραση του πολλαπλασιαστική  $f_2$  στην προβλεπόμενη ζήτηση παραμένει η ίδια.



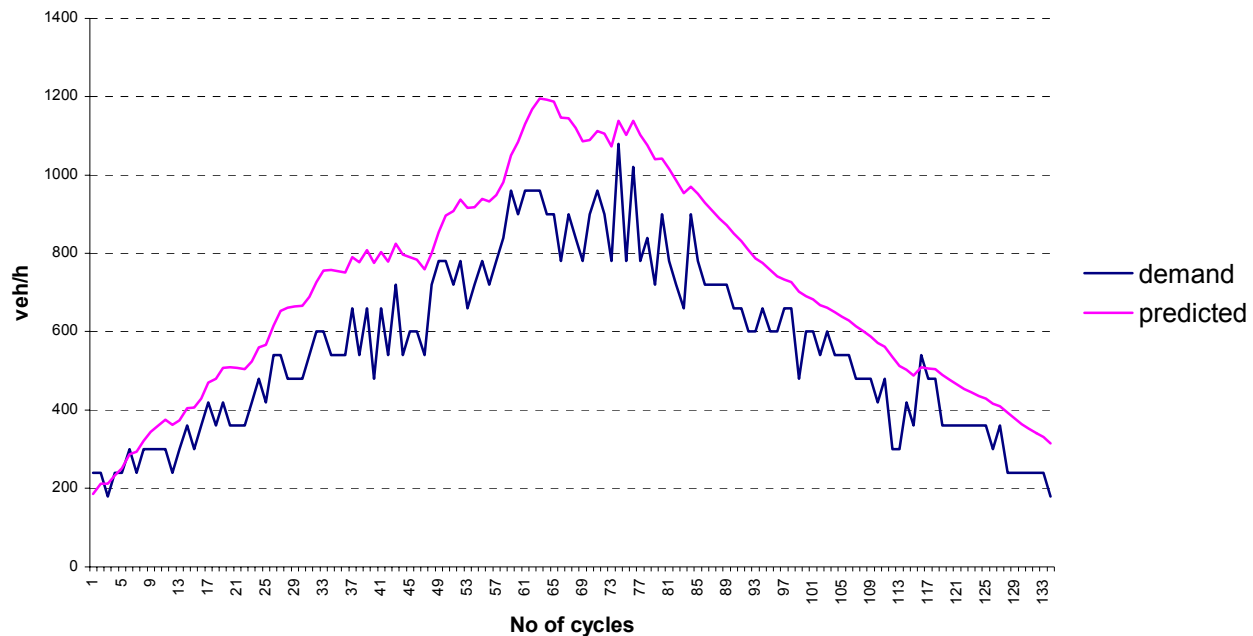
Σχήμα 7.47: προβλεπόμενη και πραγματική ζήτηση ράμπας ( $f_2=1$  με προσθήκη θορύβου)



Σχήμα 7.48: προβλεπόμενη και πραγματική ζήτηση ράμπας ( $f_2=2$  με προσθήκη θορύβου)



## ΑΠΟΤΕΛΕΣΜΑΤΑ

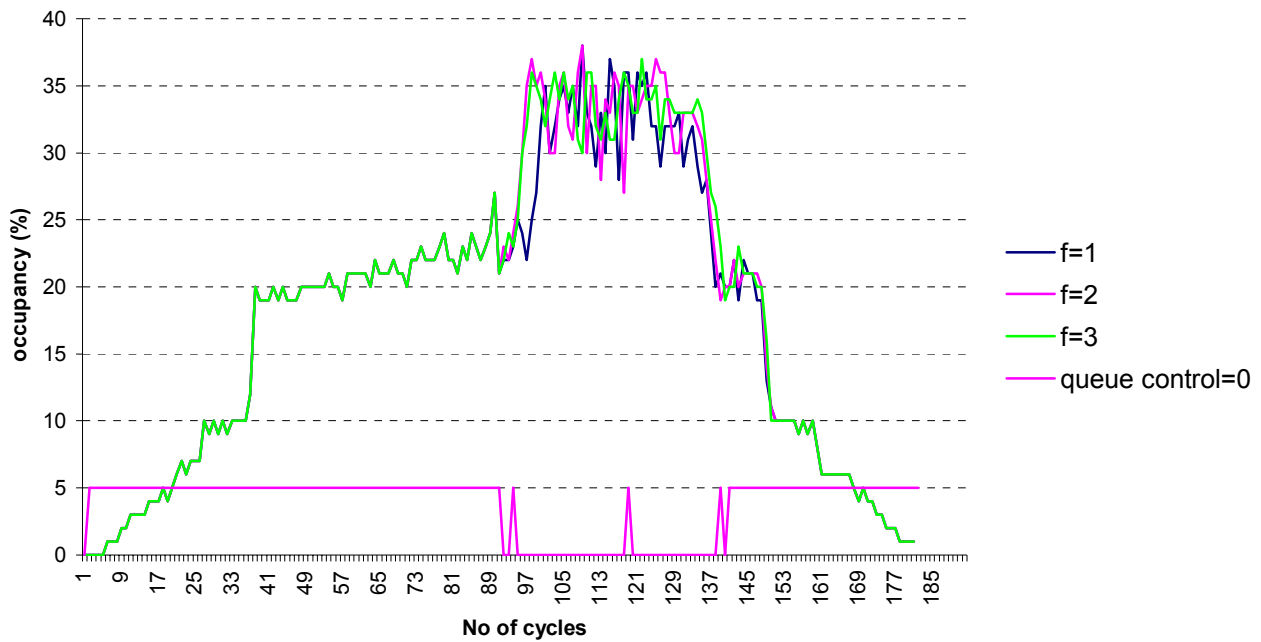


Σχήμα 7.49: προβλεπόμενη και πραγματική ζήτηση ράμπας ( $f_2=3$  με προσθήκη θορύβου)

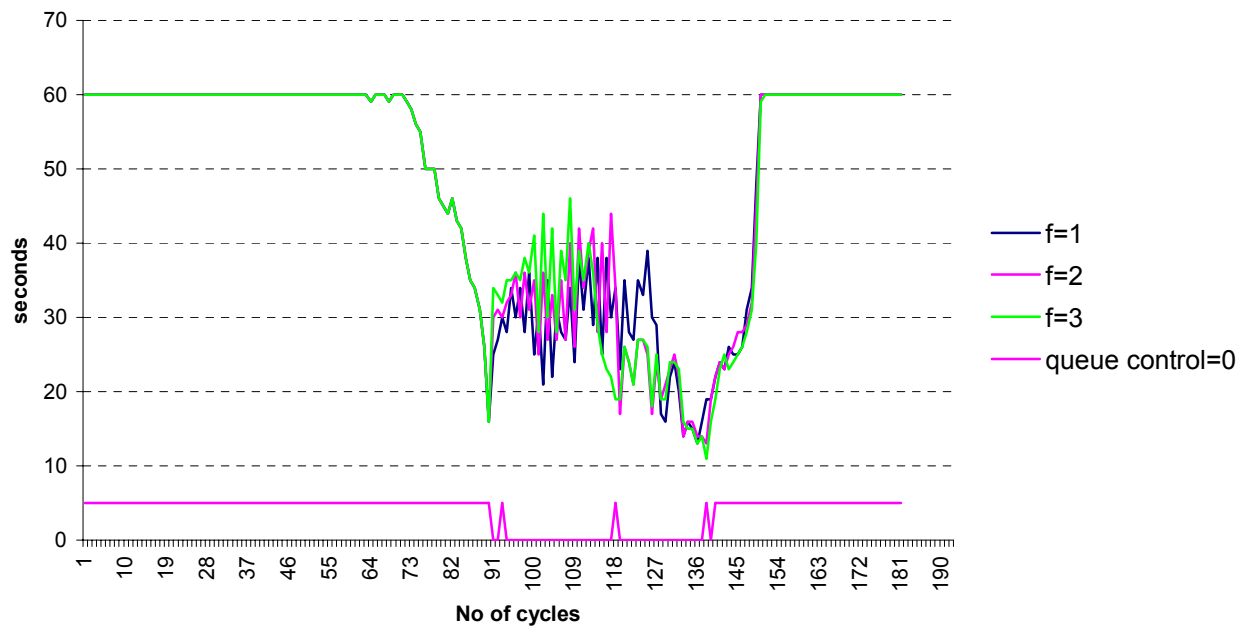
Όπως και για την περίπτωση χωρίς θόρυβο, έτσι και εδώ παραθέτονται τα συγκριτικά γραφήματα για όλα τα  $f_2$  που επιλέξαμε όσο αφορά το ποσοστό κατάληψης του αυτοκινητοδρόμου κατάντη της ράμπας, τη διάρκεια της πράσινης φάσης ανά κύκλο και του μεγέθους της ουράς (σχήματα 7.50, 7.51 και 7.52). Επίσης στον πίνακα 7.14 δίνονται οι αποδόσεις των τριών πολιτικών στα προεπιλεγμένα κριτήρια. Στον ίδιο πίνακα παραθέτονται και οι αντίστοιχες αποδόσεις για  $f_2=1$ ,  $f_2=2$  και  $f_2=3$  για την περίπτωση που γνωρίζουμε ακριβώς τον αριθμό των οχημάτων που βρίσκονται στη ράμπα ανά πάσα στιγμή.

Παρατηρούμε ότι και σε αυτήν την περίπτωση το μοντέλο μας ακολουθεί την ίδια συμπεριφορά. Όσο αυξάνουμε τον συντελεστή  $f_2$ , τόσο μειώνεται η υπερχειλίση και η μέση ουρά. Παρατηρείται επίσης μια ανυπαίσθητη μείωση της μέσης ροής του αυτοκινητοδρόμου με μια αντίστοιχη αύξηση του μέσου ποσοστού κατάληψης. Τώρα όσο αφορά την σύγκριση με την περίπτωση που δεν έχουμε προσθήκη θορύβου, από τον πίνακα 7.14 καταλαβαίνουμε ότι όπως και για την πρώτη μέθοδο πρόβλεψης, έτσι και εδώ, έχουμε αύξηση της μέσης και μέγιστης υπερχειλίσης, χωρίς τα υπόλοιπα κριτήρια να αλλάζουν σημαντικά.

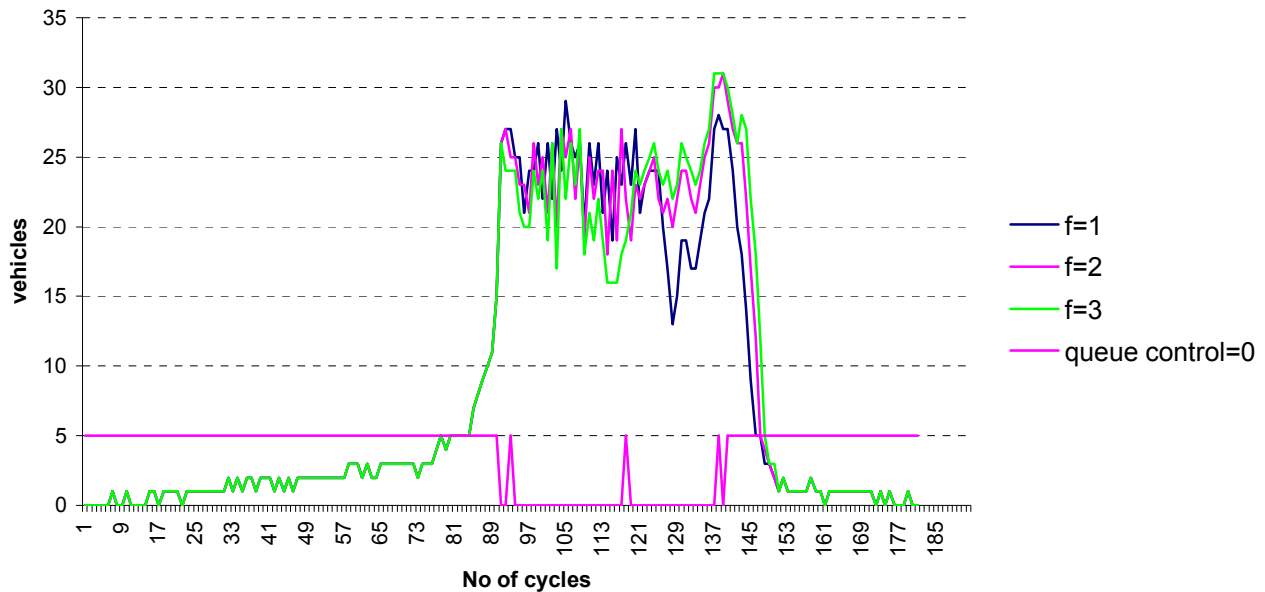
## ΑΠΟΤΕΛΕΣΜΑΤΑ



Σχήμα 7.50: queue control ( $f_2=1$ ,  $f_2=2$ ,  $f_2=3$ ) mainstream occupancy (με προσθήκη θορύβου)



Σχήμα 7.51: queue control ( $f_2=1$ ,  $f_2=2$ ,  $f_2=3$ ) green (με προσθήκη θορύβου)

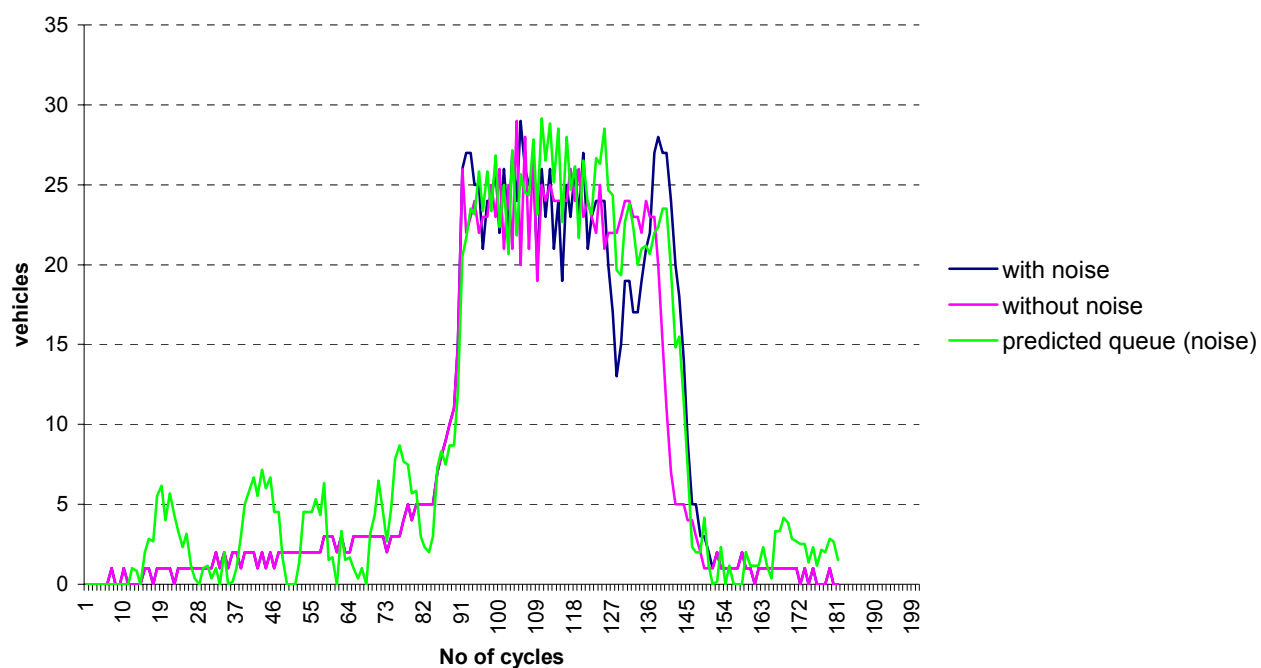


Σχήμα 7.52: queue control ( $f_2=1$ ,  $f_2=2$ ,  $f_2=3$ ) queue (με προσθήκη θορύβου)

Παρατηρούμε λοιπόν ότι η παραμικρή αστοχία στην εκτίμηση του αριθμού των οχημάτων της ράμπας, μπορεί να προκαλέσει σημαντικό πρόβλημα στην υπερχειλίση. Με μικρότερο όριο εφαρμογής του ελέγχου ουρών (π.χ. αντί για 25 οχήματα, 20 οχήματα), ή με μεγαλύτερα  $f_2$ , θα μπορούσαμε να αποφύγουμε αυτό το πρόβλημα. Επίσης σημαντικό είναι να τονίσουμε ότι η αύξηση της υπερχειίσης θα ήταν μικρότερη σε πραγματικές συνθήκες. Όμως το πρόβλημα που παρουσιάζει το AIMSUN στην συνένωση των ροών είναι ο λόγος που μια αστοχία 2 οχημάτων προκαλεί τέτοια αποτελέσματα.

Στο σχήμα 7.53 δίνεται το συγκριτικό γράφημα του πλήθους των οχημάτων στη ράμπα για την περίπτωση προσθήκης (και μη) θορύβου. Επίσης φαίνεται η εκτίμηση της ουράς. Υπενθυμίζουμε ότι η εκτίμηση είναι αυτή που λαμβάνεται υπόψη για τις αποφάσεις της στρατηγικής μας. Η συνεχής υπερεκτίμηση στην αρχή της ώρας αιχμής (κι αν πρόκειται για 2 οχήματα το πολύ) προκαλεί τη συνεχή εφαρμογή του ελέγχου ουρών έναντι της ALINEA. Αποτέλεσμα αυτού είναι η μείωση της ουράς με αντίστοιχη αύξηση του μέσου ποσοστού κατάληψης του αυτοκινητοδρόμου. Η αύξηση αυτή οδηγεί σε παράταση της ώρας αιχμής. Τελικά το μέγεθος της ουράς αυξάνεται, ενώ υποεκτιμούμε την ουρά. Αυτό είναι που έχει σαν αποτέλεσμα την αύξηση της υπερχειίσης.

## ΑΠΟΤΕΛΕΣΜΑΤΑ



Σχήμα 7.53: queue control ( $f_2=1$ ) queue

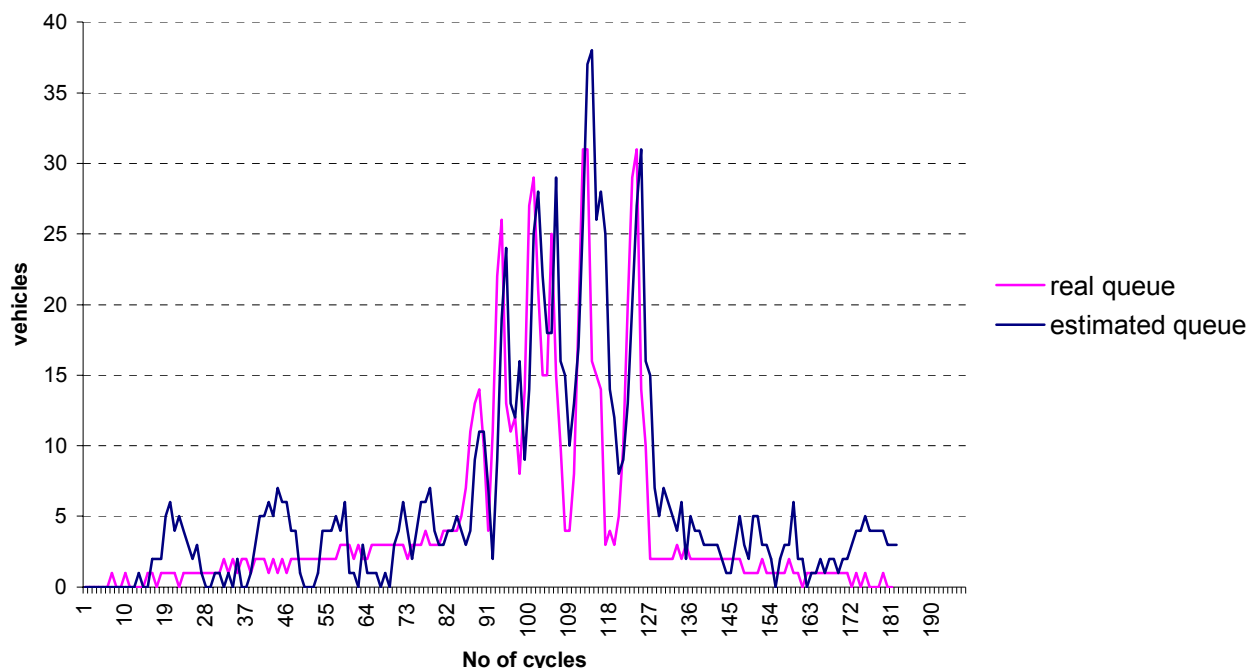
Πίνακας 7.14: Τιμές κριτηρίων για ελεγχόμενη ράμπα σε συνδυασμό με έλεγχο ουρών (2<sup>η</sup> μέθοδος πρόβλεψης με προσθήκη θορύβου και χωρίς)

	$f_2=1$ (διαταραχή)	$f_2=2$ (διαταραχή)	$f_2=3$ (διαταραχή)	$f_2=1$	$f_2=2$	$f_2=3$
Μέση κατάληψη(%)	28,2	29,3	29,4	28,0	29,6	28,9
Διασπορά κατάληψης	5,3	5,7	5,3	5,3	5,2	5,4
Μέση ροή	5929,3	5926,6	5923,0	5939,1	5934,6	5938,2
Μέση ουρά	18,5	19,0	18,4	18,7	18,2	17,7
Μέγιστη ουρά	29,0	31,0	31,0	29,0	26,0	27,0
Διασπορά ουράς	8,4	8,4	8,4	8,1	8,2	7,5
Μέση υπερχείλιση	3,6	1,5	0,3	1,2	0,1	0,0
Μέγιστη υπερχείλιση	45,0	29,0	10,0	26,0	11,0	1,0

### 7.1.2.2 Διακριτές ροές εξόδου (προσθήκη θορύβου)

#### Π.Α.Ε.Ρ. (queue override)

Από το σχήμα 7.54 βλέπουμε ότι για τις διακριτές ροές εξόδου δεν πετυχαίνουμε καλή εκτίμηση του αριθμού οχημάτων στη ράμπα, τουλάχιστον όχι τόσο καλή όσο για τον πλήρη κύκλο των 60 sec. Επειδή όμως η Π.Α.Ε.Ρ. έχει όπως δείξαμε προηγούμενα μικρή ευαισθησία στην αλλαγή του ορίου απενεργοποίησης, παρατηρούμε ότι δεν υπάρχει καμιά διαφορά στα κριτήριά μας με την προσθήκη θορύβου. Αυτό φαίνεται από τον πίνακα 7.15.



Σχήμα 7.54: Η πραγματική και η εκτιμώμενη ουρά ανά κύκλο (Π.Α.Ε.Ρ. 50%)

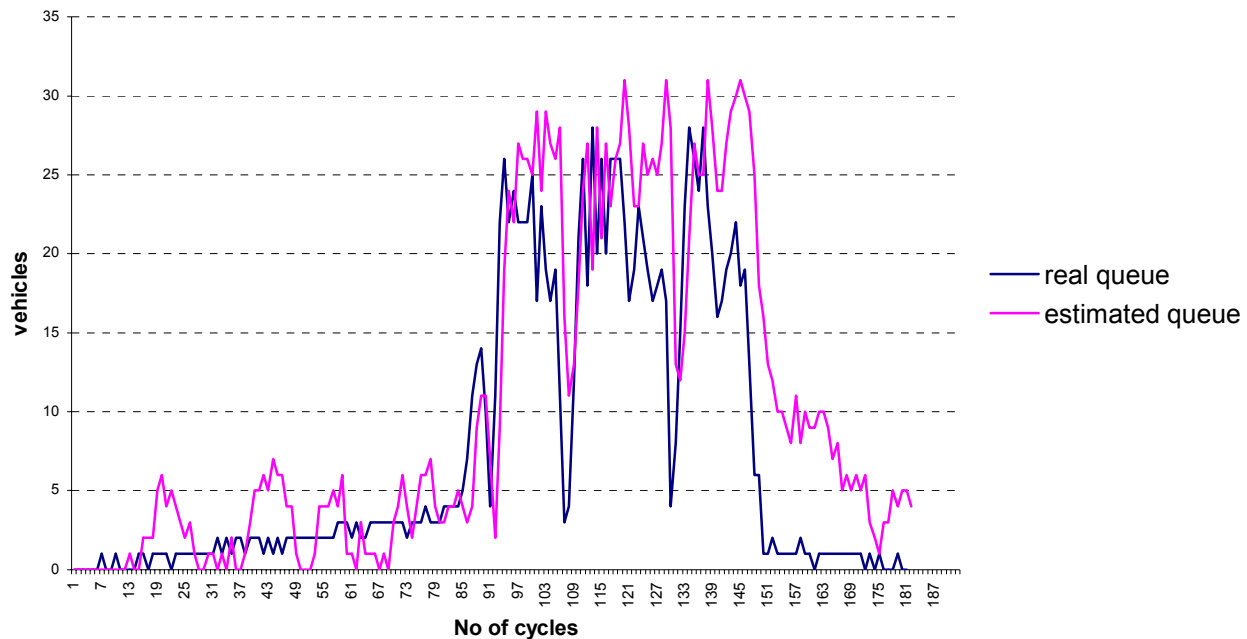
Πίνακας 7.15: Τιμές κριτηρίων για ελεγχόμενη ράμπα σε συνδυασμό με Π.Α.Ε.Ρ. (με προσθήκη θορύβου και χωρίς)

	Π.Α.Ε.Ρ. 50% Με θόρυβο	Π.Α.Ε.Ρ. 50%
Μέση κατάληψη(%)	25,0	25,0
Διασπορά κατάληψης	4,9	4,9
Μέση ροή	5980,8	5980,8
Μέση ουρά	10,1	10,1
Μέγιστη ουρά	31,0	31,0
Διασπορά ουράς	8,8	8,8
Μέση υπερχείλιση	0,5	0,5
Μέγιστη υπερχείλιση	28,0	28,0

## Έλεγχος ουράς

## Α) Πρώτη μέθοδος πρόβλεψης

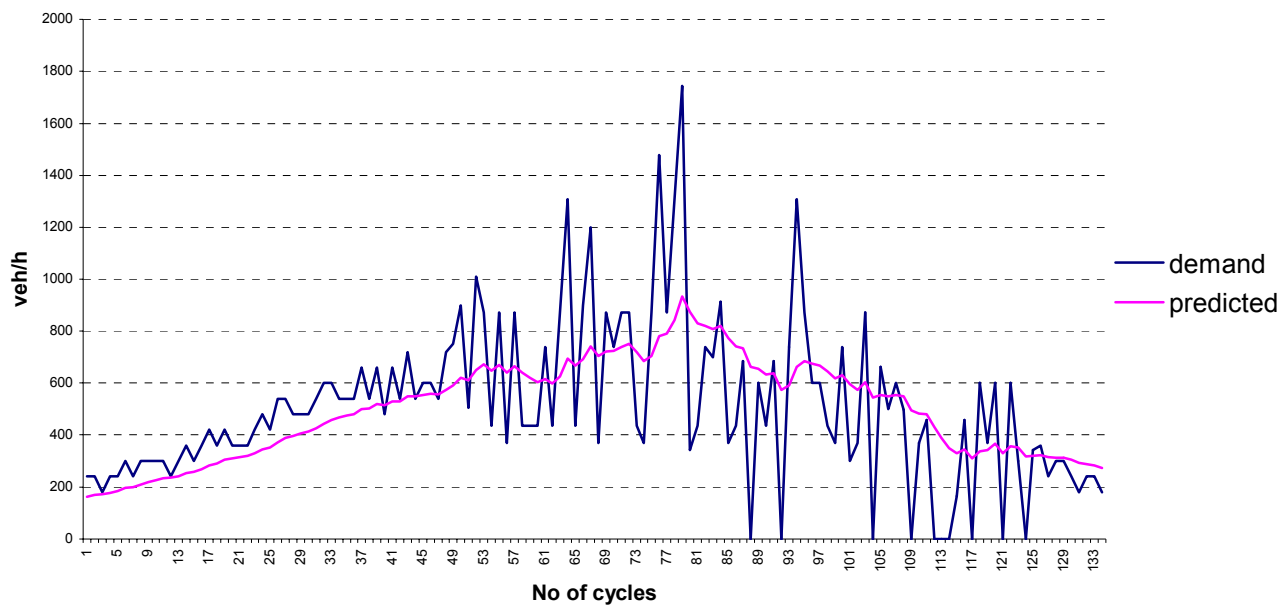
Από το σχήμα 7.55 βλέπουμε ότι για τις διακριτές ροές εξόδου δεν πετυχαίνουμε καλή εκτίμηση του αριθμού οχημάτων στη ράμπα. Υπάρχει μια συνεχής υπερεκτίμηση που οδηγεί σε εφαρμογή του ελέγχου ουρών ακόμα και όταν δε χρειάζεται.



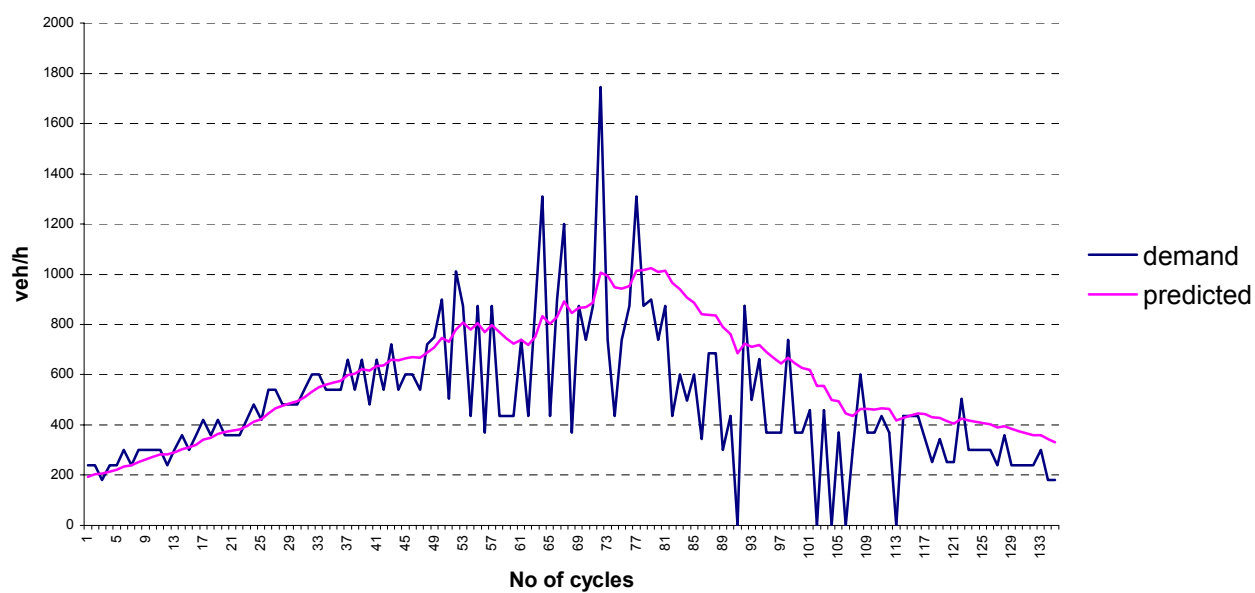
Σχήμα 7.55: Η πραγματική και η εκτιμώμενη ουρά ανά κύκλο ( $f=1$ )

Βέβαια στην περίπτωση των διακριτών ροών εξόδου, για την αστοχία της εκτίμησης της ουράς της ράμπας ευθύνεται και η ροή της ράμπας η οποία δεν είναι τόσο ομαλή όσο για την περίπτωση της πολιτικής σταθερού κύκλου 60 sec. Τα αντίστοιχα γραφήματα για  $f=1$  και  $f=1.2$  ακολουθούν στα σχήματα 7.56 και 7.57. Στο σχήμα 7.56 παρατηρούμε ότι η μέγιστη διαφορά μεταξύ της ομαλοποιημένης και της πραγματικής ζήτησης φτάνει τα 1000 οχήματα την ώρα. Όταν  $f=1.2$  η μέγιστη διαφορά της προβλεπόμενης από την πραγματική ζήτηση της ράμπας φτάνει τα 700 οχήματα την ώρα.

## ΑΠΟΤΕΛΕΣΜΑΤΑ



Σχήμα 7.56: προβλεπόμενη και πραγματική ζήτηση ράμπας ( $f=1$  με προσθήκη θορύβου)



Σχήμα 7.57: προβλεπόμενη και πραγματική ζήτηση ράμπας ( $f=1,2$  με προσθήκη θορύβου)

## ΑΠΟΤΕΛΕΣΜΑΤΑ

**Πίνακας 7.16: Τιμές κριτηρίων για ελεγχόμενη ράμπα σε συνδυασμό με έλεγχο ουρών (1<sup>η</sup> μέθοδος με προσθήκη θορύβου και χωρίς)**

	f=1 (με θόρυβο)	f=1,2 (με θόρυβο)	f=1	f=1,2
Μέση κατάληψη(%)	26,9	24,4	21,5	21,6
Διασπορά κατάληψης	6,0	4,9	1,0	0,9
Μέση ροή	5931,6	5961,2	5854,9	5850,4
Μέση ουρά	15,7	13,3	8,3	8,0
Μέγιστη ουρά	28,0	26,0	22,0	21,0
Διασπορά ουράς	8,6	6,9	6,7	6,6
Μέση υπερχείλιση	0,5	0,1	0,0	0,0
Μέγιστη υπερχείλιση	21,0	10,0	0,0	0,0

Από τον πίνακα 7.16, καταλαβαίνουμε ότι οι αστοχίες που παρατηρήσαμε προηγούμενα στον υπολογισμό των οχημάτων που βρίσκονται στην ράμπα, επηρεάζουν σημαντικά όλα τα κριτήρια μας. Άρα η πολιτική των διακριτών ροών εξόδου είναι πολύ ευαίσθητη στις εξωτερικές διαταραχές. Δεν αυξάνεται απλά η υπερχείλιση όπως στις υπόλοιπες περιπτώσεις, αλλά και το μέσο ποσοστό κατάληψης. Η παράλληλη αύξηση της μέσης ροής υποδηλώνει το γνωστό πρόβλημα της συνένωσης των ροών. Γίνεται καλύτερη χρήση της χωρητικότητας της ράμπας. Αυτό συμβαίνει λόγω του μη επιτυχημένου ελέγχου ράμπας, σε αντίθεση με την περίπτωση που δεν έχουμε προσθήκη θορύβου.

### *B) Δεύτερη μέθοδος πρόβλεψης*

Η ίδια ευαισθησία στις διαταραχές παρατηρείται και για τη δεύτερη μέθοδο πρόβλεψης. Είναι λογικό αφού η ζήτηση της ράμπας παραμένει με την ίδια μη ομαλή μορφή. Στον πίνακα 7.16 βλέπουμε τις τιμές των κριτηρίων μας για τη δεύτερη μέθοδο πρόβλεψης με και χωρίς θόρυβο. Παρατηρούμε την ίδια αύξηση της μέσης ροής και του μέσου ποσοστού κατάληψης με προηγούμενως.

**Πίνακας 7.16: Τιμές κριτηρίων για ελεγχόμενη ράμπα σε συνδυασμό με έλεγχο ουρών (2<sup>η</sup> μέθοδος με προσθήκη θορύβου και χωρίς)**

	f <sub>2</sub> =1 (με θόρυβο)	f <sub>2</sub> =1
Μέση κατάληψη(%)	26,4	21,5
Διασπορά κατάληψης	6,2	1,0
Μέση ροή	5984,5	5854,9
Μέση ουρά	12,9	8,3
Μέγιστη ουρά	26,0	22,0
Διασπορά ουράς	7,2	6,7
Μέση υπερχείλιση	0,1	0,0
Μέγιστη υπερχείλιση	10,0	0,0



### **7.1.2.3 Συγκριτικά αποτελέσματα για την περίπτωση της μεγάλου μήκους ράμπας με προσθήκη θορύβου**

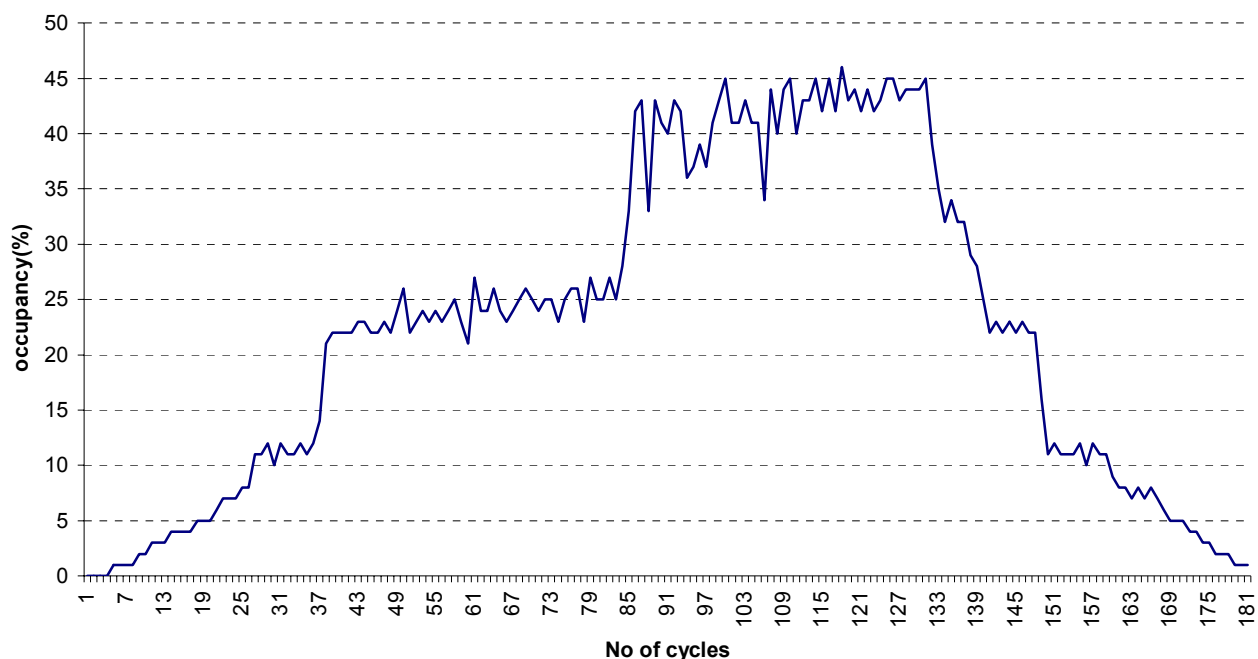
Τα συγκριτικά αποτελέσματα στην περίπτωση των διακριτών ροών εξόδου με προσθήκη θορύβου, μας οδηγούν στα ίδια συμπεράσματα, όπως και για την περίπτωση των μετρήσεων ακριβείας. Οι διάφορες πολιτικές ακολουθούν αναλογικά την ίδια συμπεριφορά. Το μόνο που αλλάζει στις διακριτές ροές εξόδου με προσθήκη θορύβου, είναι η αποτελεσματικότητα του εκτιμητή του αριθμού οχημάτων της ράμπας με αποτέλεσμα τη δημιουργία υπερχειλίσης (χωρίς θόρυβο η υπερχειλίση ήταν μηδενική για την πολιτική του ελέγχου ουρών).

## **7.2 Διασταύρωση**

Αφού προσομοιώσαμε το μοντέλο της ράμπας μεγάλου μήκους και κατανοήσαμε την λειτουργία των στρατηγικών μας, τώρα θα χρησιμοποιήσουμε τις ίδιες στρατηγικές (ALINEA με Π.Α.Ε.Ρ. και ALINEA με έλεγχο ουρών) και τι ίδιες πολιτικές (πλήρης κύκλος 60 sec και διακριτές ροές εξόδου) για ένα πιο ρεαλιστικό μοντέλο. Στο νέο μας μοντέλο ο αυτοκινητόδρομος συνδέεται με μια ράμπα μήκους 250 μέτρων με μία διασταύρωση αστικού δικτύου, όπως περιγράφηκε στο κεφάλαιο 6.

Αρχικά υπολογίζουμε τα κριτήρια προς σύγκριση για την περίπτωση που δεν εφαρμόζεται έλεγχος στη ράμπα. Οι τιμές των κριτηρίων δίνονται στον πίνακα 7.17. Ένα νέο κριτήριο στην περίπτωση που η ράμπα συνδέεται με τη διασταύρωση είναι ο συνολικός χρόνος που ξοδεύτηκε από όλα τα αυτοκίνητα, για να διανύσουν το αστικό δίκτυο, το οποίο συνδέεται μέσω της διασταύρωσης με τη ράμπα εισόδου. Από εδώ και μπρος αυτό το κριτήριο θα αναφέρεται ως T.T.S. (Total Time Spent). Ο υπολογισμός της υπερχειλίσης της ουράς δεν μπορεί να γίνει γιατί υπάρχει φωτεινός σηματοδότης σταθερού κύκλου 90 sec και επίσης στο δίκτυο κινούνται και οχήματα που δεν έχουν ως προορισμό τον αυτοκινητόδρομο και κατά συνέπεια ούτε την ράμπα εισόδου. Για το σενάριο ζήτησης που προσομοιώνουμε το T.T.S. ισούται με 124 ώρες 3 λεπτά της ώρας και 37 δευτερόλεπτα. Στο σχήμα 7.58 έχουμε το γράφημα του ποσοστού κατάληψης του αυτοκινητοδρόμου. Παρατηρούμε ότι απουσία του ελέγχου ράμπας, έχουμε την ίδια συμπεριφορά στη κυκλοφοριακή ροή του αυτοκινητοδρόμου, είτε αυτός συνδέεται με ράμπα μεγάλου μήκους, είτε με την ελεγχόμενη διασταύρωση. Με λίγα λόγια δεν υπάρχει διαφορά από το αν τα οχήματα έρχονται στη ράμπα εισόδου με σταθερό ή όχι ρυθμό.

## ΑΠΟΤΕΛΕΣΜΑΤΑ



Σχήμα 7.58: ποσοστό κατάληψης αυτοκινητοδρόμου στο κατάντη τμήμα της ράμπας, χωρίς έλεγχο ράμπας (διασταύρωση)

Πίνακας 7.17: Τιμές κριτηρίων για μη ελεγχόμενη ράμπα (διασταύρωση)

Μέση κατάληψη(%)	32,6
Διασπορά κατάληψης	9,0
Μέση ροή	5747,4
Μέση ουρά	2,5
Μέγιστη ουρά	7,0
Διασπορά ουράς	1,4
T.T.S	123:31:01

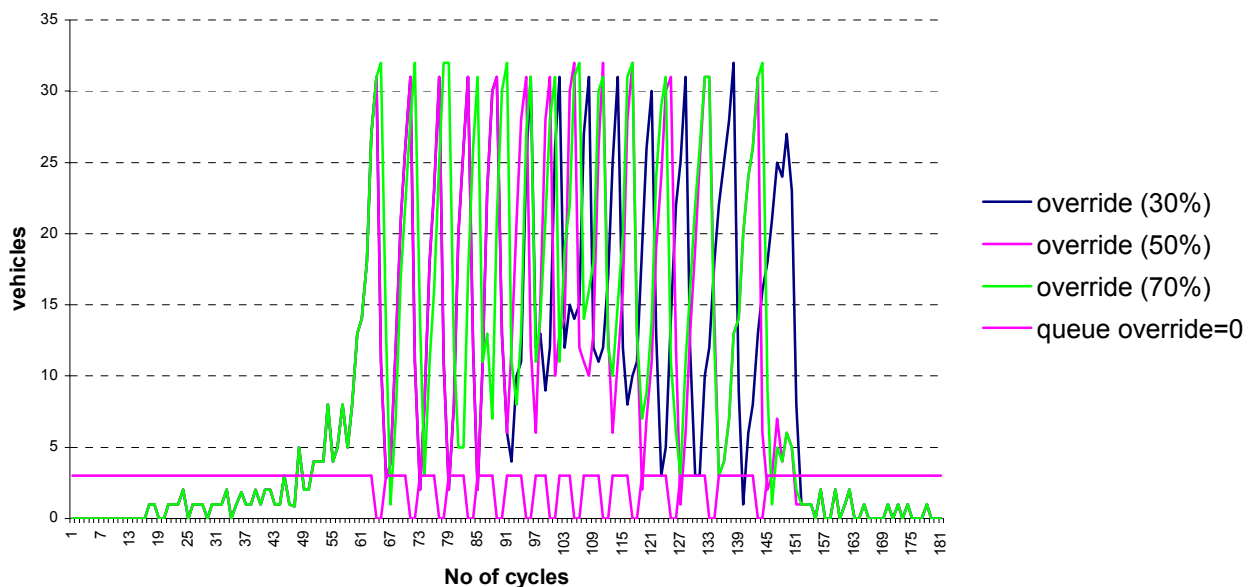
### 7.2.1 Παίρνοντας Ακριβείς Μετρήσεις από τους Φωρατές

Ακολουθούμε την ίδια διαδικασία με προηγουμένως και έτσι θα δούμε την συμπεριφορά του μοντέλου μας με την Π.Α.Ε.Ρ. και τον έλεγχο ουράς για τις πολιτικές πλήρη κύκλου 60 sec και των διακριτών ροών εξόδου.

### 7.2.1.1 Πλήρης Κύκλος 60sec

#### Π.Α.Ε.Ρ. (queue override)

Για την περίπτωση της διασταύρωσης έχουμε την ίδια συμπεριφορά με την περίπτωση της ράμπας μεγάλου μήκους. Παρατηρούνται οι ίδιες διακυμάνσεις τόσο στην ουρά (σχήμα 7.59), όσο και στο ποσοστό κατάληψης του αυτοκινητοδρόμου. Το μόνο που πραγματικά αλλάζει είναι η χρονική διάρκεια για την οποία το ποσοστό κατάληψης ξεπερνά το  $o_{cr}=22$ . Παρατηρούμε ότι η ALINEA ενεργοποιείται πιο νωρίς και το ίδιο συμβαίνει και με την εφαρμογή των διάφορων στρατηγικών αποφυγής της ουράς. Αυτό συμβαίνει λόγω της ανομοιομορφίας της ζήτησης της ράμπας που παρατηρείται στην περίπτωση του αστικού δικτύου, εξαιτίας της φωτεινής σηματοδότησης της διασταύρωσης



Σχήμα 7.59: queue override (30%, 50%, 70%) queue (junction)

Όπως στην περίπτωση της ράμπας μεγάλου μήκους με κάθε προσπάθεια ελέγχου δημιουργούνται ουρές και υπερχειλίση της ουράς, έτσι στην περίπτωση της διασταύρωσης παρατηρείται αύξηση του T.T.S. Έτσι για την περίπτωση της Π.Α.Ε.Ρ. 50% παρατηρείται αύξηση 8 ωρών στο συνολικό χρόνο που ξοδεύτηκε στο αστικό δίκτυο. Στον πίνακα 7.18 δίνονται τα αποτελέσματα των κριτηρίων μας για την Π.Α.Ε.Ρ. 50%. Διακρίνουμε μια ελαφριά μείωση του μέσου ποσοστού κατάληψης, ενώ η μέση ροή παραμένει στα ίδια επίπεδα με την περίπτωση του μη ελέγχου.

**Πίνακας 7.18: Τιμές κριτηρίων για ελεγχόμενη ράμπα σε συνδυασμό με Π.Α.Ε.Ρ. 50% (διασταύρωση)**

	Π.Α.Ε.Ρ. 50%
Μέση κατάληψη(%)	30,0
Διασπορά κατάληψης	7,4
Μέση ροή	5744,0
Μέση ουρά	14,6
Μέγιστη ουρά	32,0
Διασπορά ουράς	10,2
T.T.S	130:41:37

### Έλεγχος ουράς

Η εφαρμογή του ελέγχου ουράς, περιμένουμε μείωση του T.T.S και αύξηση της μέσης ουράς, σε σχέση με την Π.Α.Ε.Ρ.

#### A) Πρώτη μέθοδος πρόβλεψης

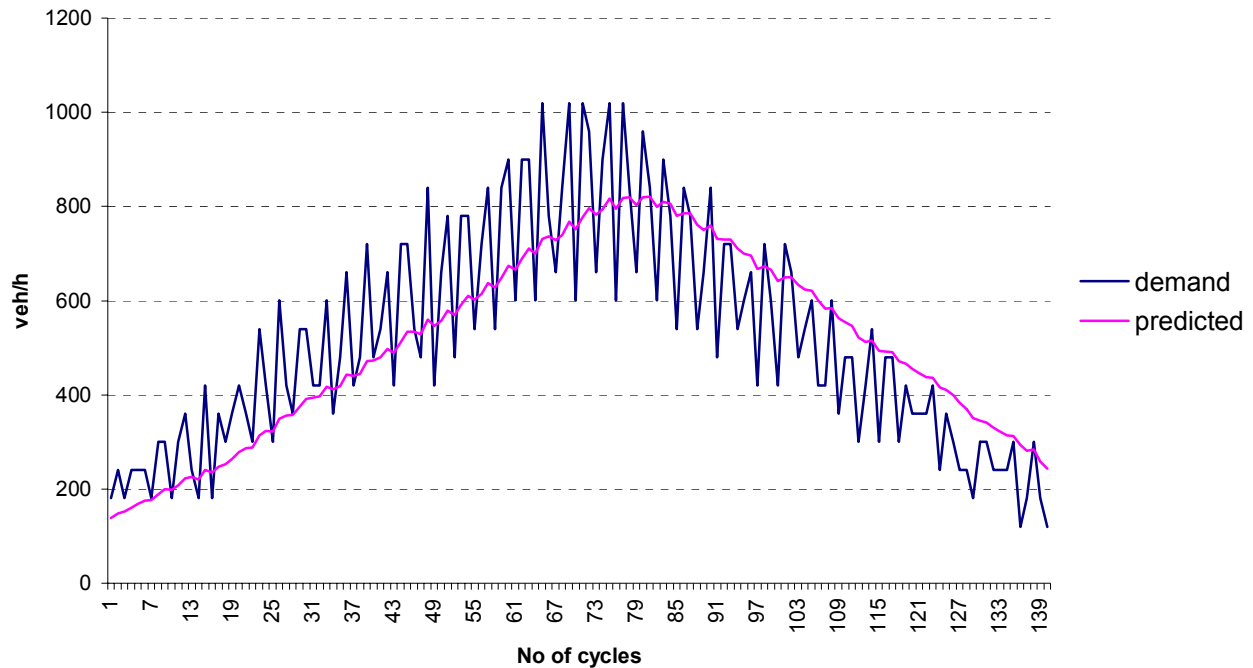
Πράγματι από τον πίνακα 7.19 προκύπτει ότι έχουμε μείωση του T.T.S. κατά 7 ώρες σε σχέση με την Π.Α.Ε.Ρ. Αυτή η μείωση δεν μεταφράζεται σε αύξηση του μέσου ποσοστού κατάληψης και μείωση της ροής, αφού από τον ίδιο πίνακα προκύπτει ότι αυτά τα μεγέθη παραμένουν στα ίδια επίπεδα. Πρέπει να σημειωθεί ότι για  $f=1.2$  έχουμε αύξηση του TTS για 8 δευτερόλεπτα σε σχέση με την μη ελεγχόμενη ράμπα, ενώ για  $f=1.5$  το T.T.S. παραμένει το ίδιο.

**Πίνακας 7.19: Τιμές κριτηρίων για ελεγχόμενη ράμπα σε συνδυασμό με έλεγχο ουράς (1<sup>η</sup> μέθοδος διασταύρωση)**

	f=1	f=1.2	f=1.5
Μέση κατάληψη(%)	28,3	29,3	31,0
Διασπορά κατάληψης	6,8	7,5	7,9
Μέση ροή	5730,9	5732,6	5738,3
Μέση ουρά	19,4	17,8	15,3
Μέγιστη ουρά	30,0	28,0	26,0
Διασπορά ουράς	7,5	6,8	5,8
T.T.S	124:15:48	123:31:09	123:31:01

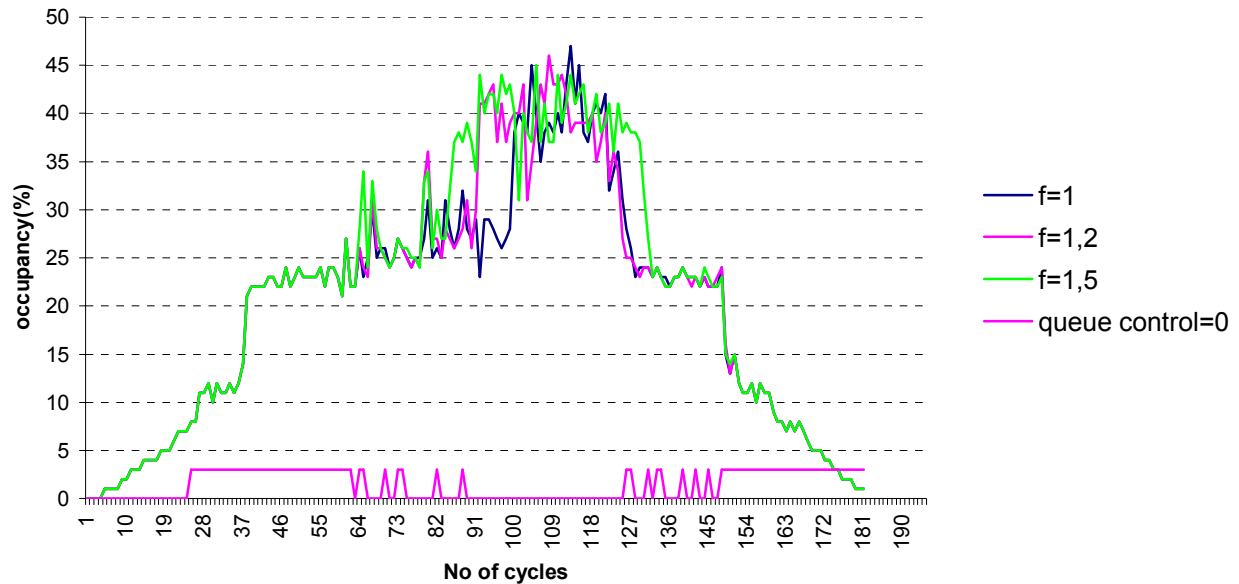
## ΑΠΟΤΕΛΕΣΜΑΤΑ

Στο σχήμα 7.60 δίνεται το γράφημα της πραγματικής έναντι της προβλεπόμενης ζήτησης της ράμπας. Παρατηρούμε τις μεγάλες διακυμάνσεις που δημιουργούνται στην πραγματική ζήτηση, λόγω της μη ομαλής ροής.

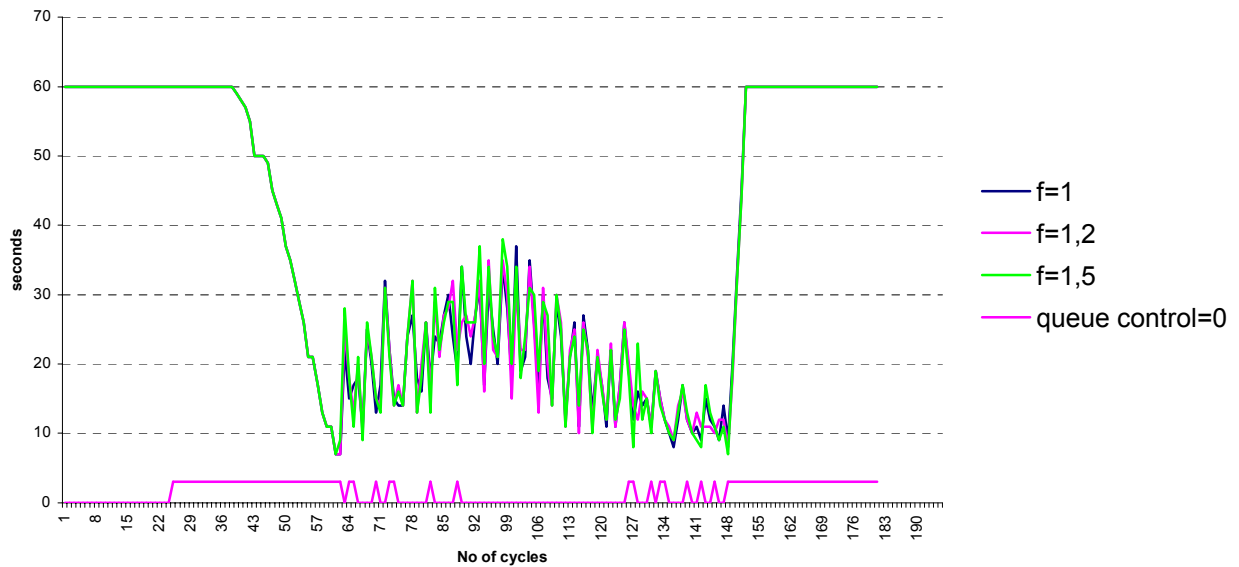


**Σχήμα 7.60: προβλεπόμενη και πραγματική ζήτηση ράμπας ( $f=1$  - junction)**

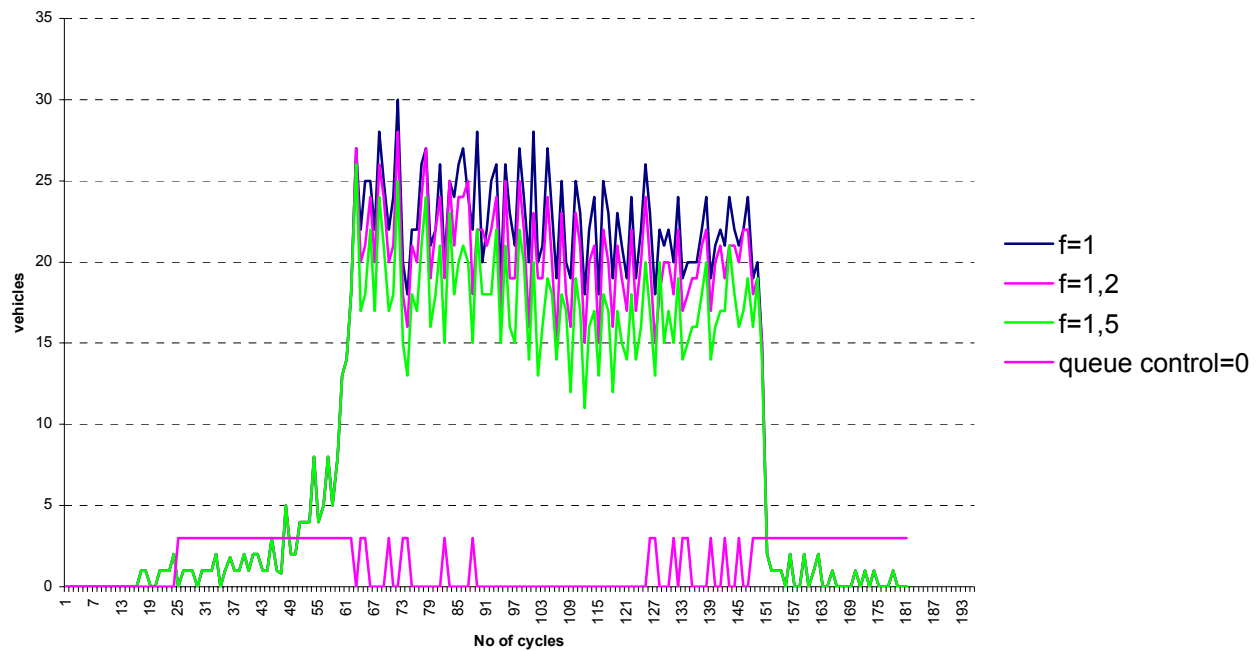
Η συμπεριφορά του ελέγχου ουράς για τις διάφορες τιμές του  $f$  δεν αλλάζει σε σχέση με αυτή της μεγάλου μήκους ράμπα, και αυτό φαίνεται από τα σχήματα 7.61, 7.62 και 7.63 που παρουσιάζουν τα γραφήματα του ποσοστού κατάληψης του αυτοκινητοδρόμου, της διάρκειας του πρασίνου και του μεγέθους της ουράς αντίστοιχα.



Σχήμα 7.61: queue control ( $f=1, f=1.2, f=1.5$ ) mainstream occupancy (junction)



Σχήμα 7.62: queue control ( $f=1, f=1.2, f=1.5$ ) green (junction)

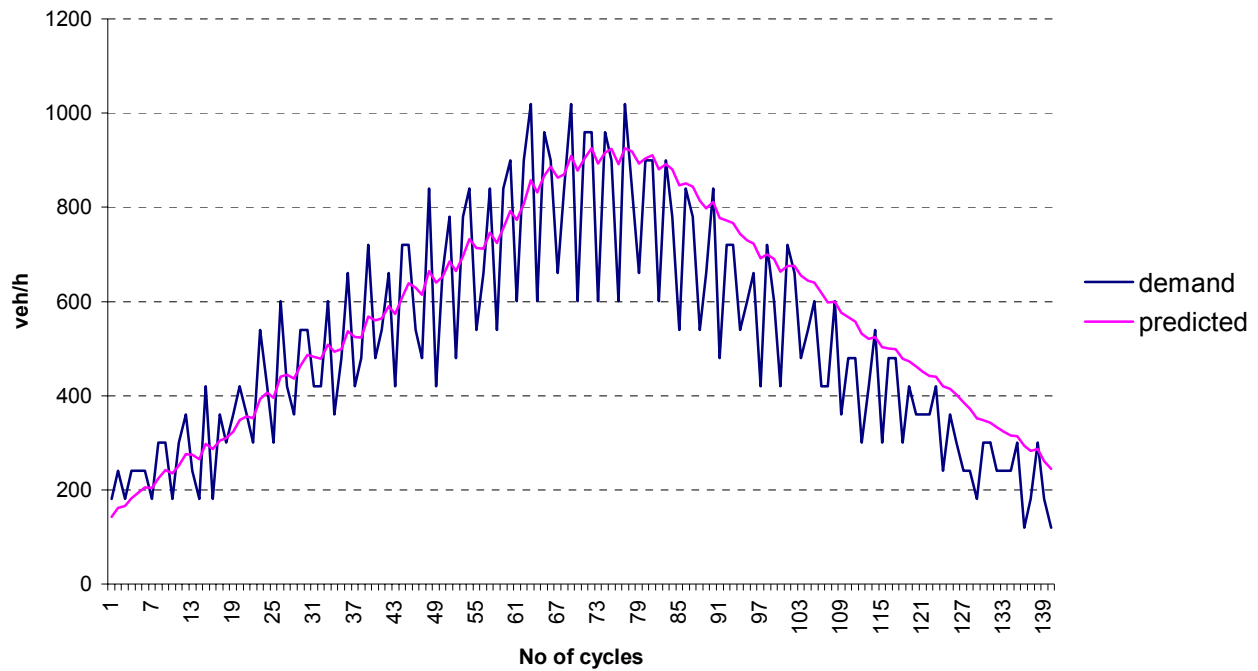


Σχήμα 7.63: queue control ( $f=1, f=1.2, f=1.5$ ) queue (junction)

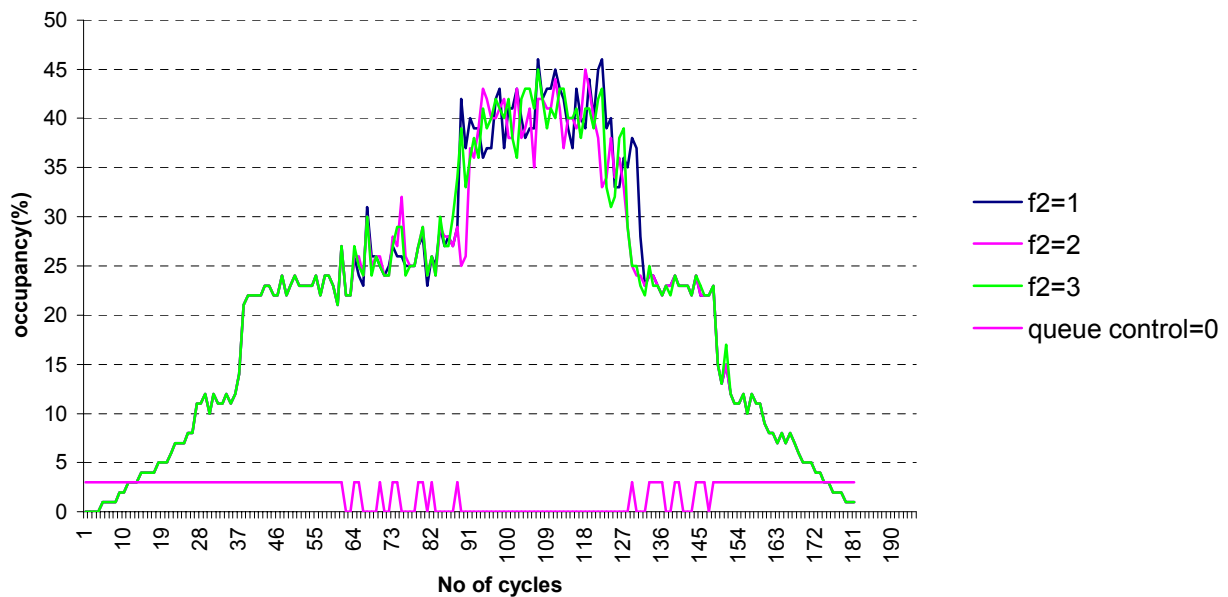
### B) Δεύτερη μέθοδος πρόβλεψης

Στο σχήμα 7.64 δίνεται το γράφημα της πραγματικής έναντι της προβλεπόμενης ζήτησης της ράμπας για  $f_2=1$ . Παρατηρούμε και εδώ τις μεγάλες διακυμάνσεις της ζήτησης με προηγούμενως. Στα σχήματα 7.65, 7.66 και 7.67 έχουμε τα γραφήματα του ποσοστού κατάληψης, της διάρκειας πρασίνου και του μεγέθους της ουράς για τις διάφορες τιμές του  $f_2$ . Παρατηρούμε ότι η αλλαγή του συντελεστή  $f_2$  έχει την ίδια επίδραση στα αποτελέσματα της προσομοίωσης με προηγούμενα.

## ΑΠΟΤΕΛΕΣΜΑΤΑ



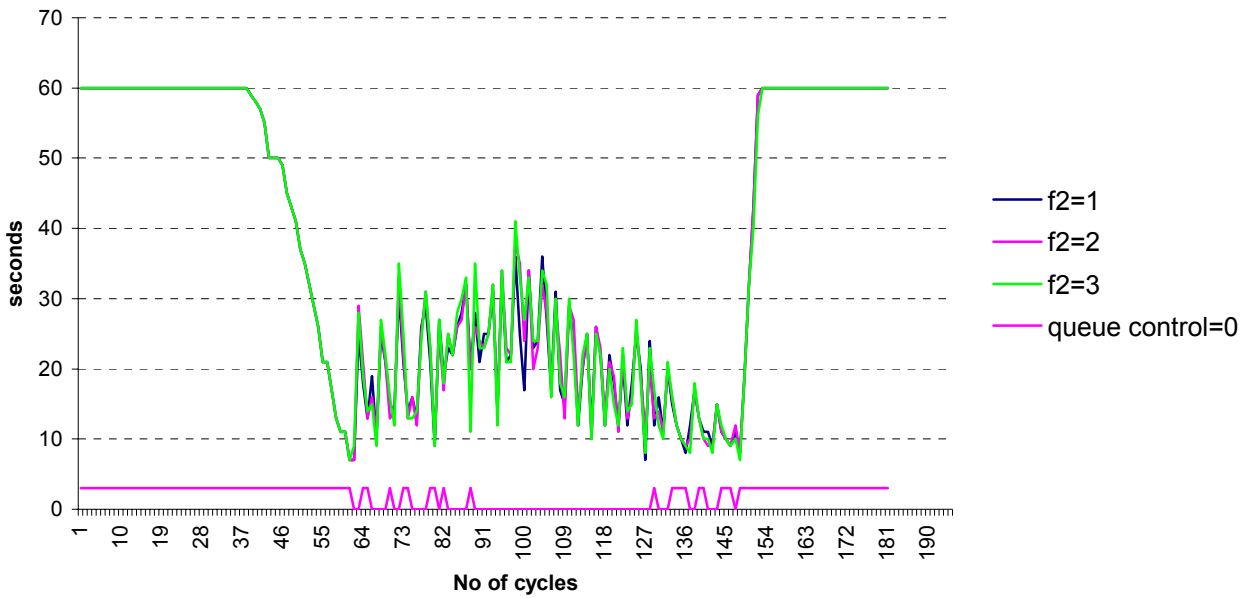
Σχήμα 7.64: προβλεπόμενη και πραγματική ζήτηση ράμπας ( $f_2=1$  - junction)



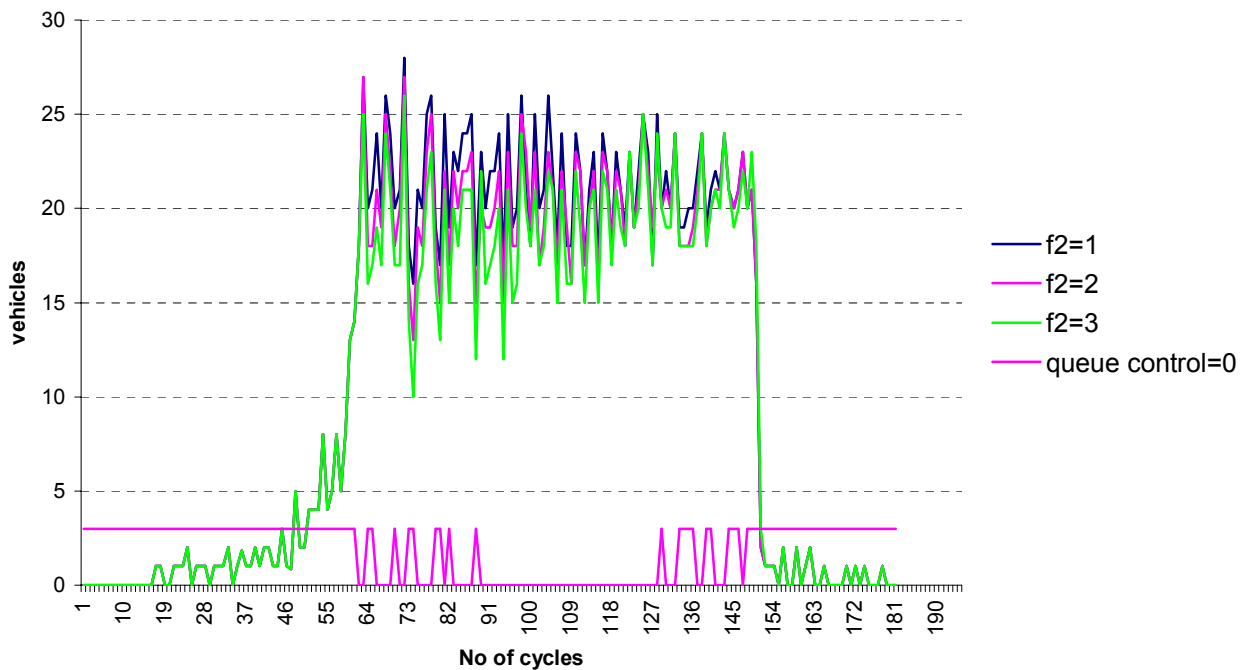
Σχήμα 7.65: queue control ( $f_2=1, f_2=2, f_2=3$ ) mainstream occupancy (junction)



## ΑΠΟΤΕΛΕΣΜΑΤΑ



Σχήμα 7.66: queue control ( $f_2=1, f_2=2, f_2=3$ ) green (junction)



Σχήμα 7.67: queue control ( $f_2=1, f_2=2, f_2=3$ ) queue (junction)

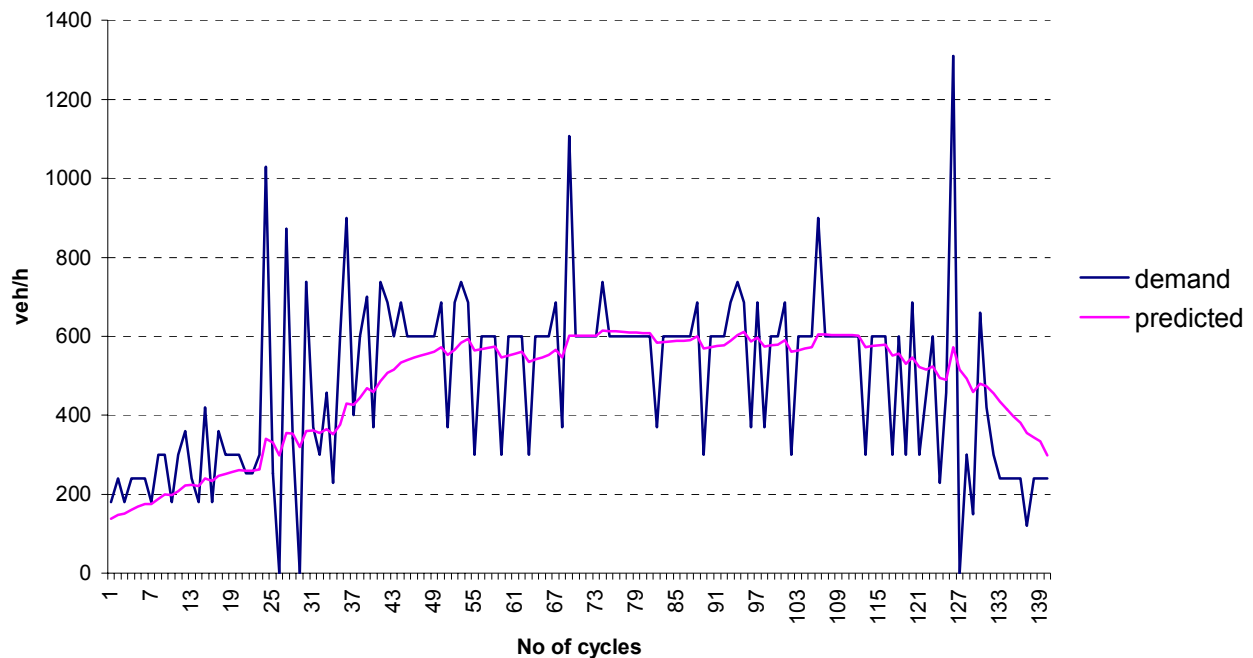
**Πίνακας 7.20: Τιμές κριτηρίων για ελεγχόμενη ράμπα σε συνδυασμό με έλεγχο ουράς (2<sup>η</sup> μέθοδος διασταύρωση)**

	$f_2=1$	$f_2=2$	$f_2=3$
Μέση κατάληψη(%)	30,6	29,7	30,1
Διασπορά κατάληψης	8,1	7,5	7,8
Μέση ροή	5732,0	5733,7	5734,9
Μέση ουρά	18,5	17,5	16,5
Μέγιστη ουρά	28,0	27,0	26,0
Διασπορά ουράς	7,1	6,7	6,4
T.T.S	123:34:21	123:31:02	123:31:01

Από τον πίνακα 7.21 μπορούμε να εξάγουμε το συμπέρασμα ότι και εδώ όπως και στην περίπτωση της ράμπας μεγάλου μήκους η δεύτερη μέθοδος πρόβλεψης της ζήτησης είναι ασφαλέστερη και προτιμότερη, αφού πετυχαίνουμε το ίδιο καλούς χρόνους T.T.S. αλλά με μικρότερη υπερεκτίμηση της ζήτησης και καλύτερη μέση ουρά, δηλαδή καλύτερη χρήση της αποθηκευτικής ικανότητας της ράμπας.

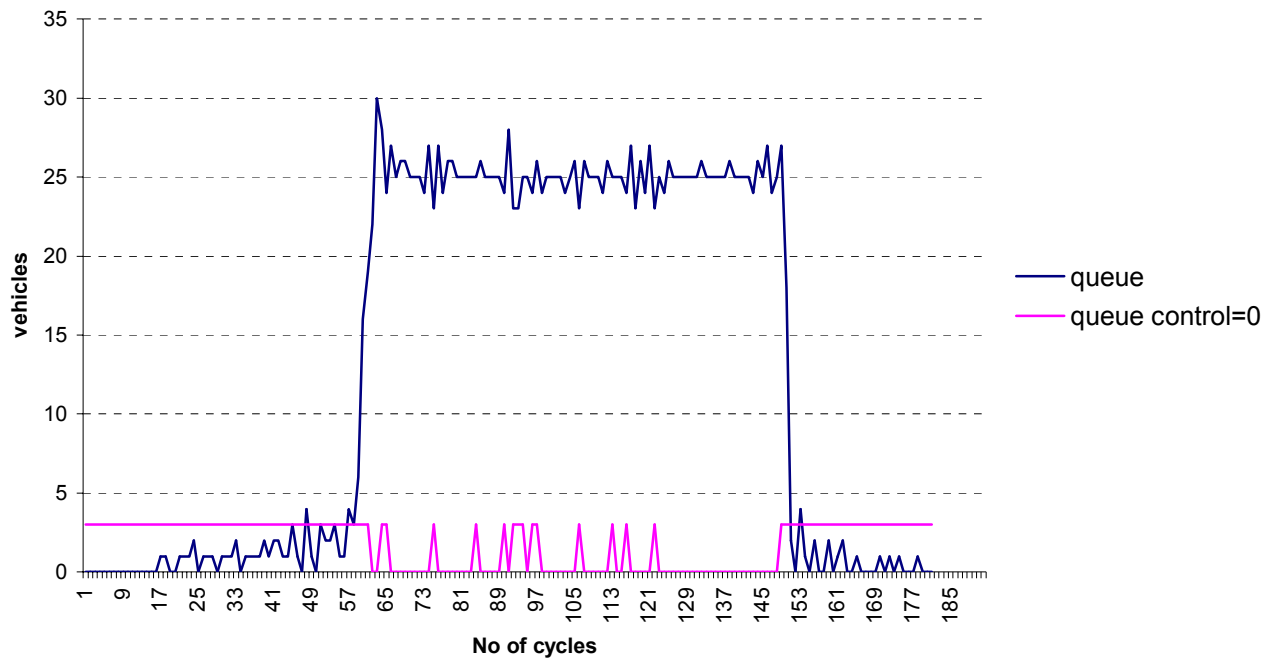
### 7.2.1.2 Διακριτές ροές εξόδου

Στο σχήμα 7.68 φαίνεται το γράφημα της πραγματικής έναντι της προβλεπόμενης ζήτησης της ράμπας για  $f=1$  και στο 7.69 το αντίστοιχο μέγεθος της ουράς.



**Σχήμα 7.68: προβλεπόμενη και πραγματική ζήτηση ράμπας (διακριτές ροές εξόδου -  $f=1$  - junction)**

## ΑΠΟΤΕΛΕΣΜΑΤΑ



Σχήμα 7.69: μέγεθος ουράς (διακριτές ροές εξόδου -  $f=1$  - junction)

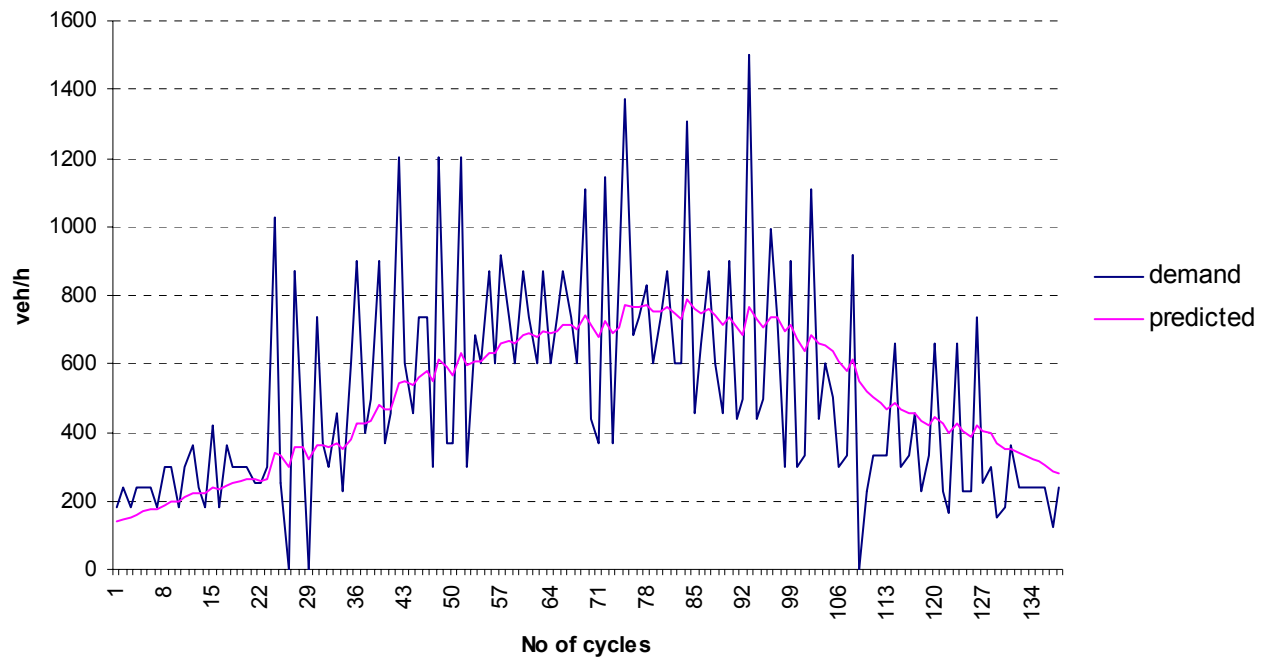
Από τα δύο παραπάνω γραφήματα αλλά και από τον πίνακα 7.21 παρατηρούμε μια αναπάντεχη συμπεριφορά του μοντέλου. Έχουμε μια υπερβολική αύξηση του T.T.S. ενώ το μέγεθος της ουράς είναι συνεχώς στο όριο που έχουμε θέσει αρχικά (25 οχήματα). Οι μικροί κύκλοι που εφαρμόζονται προκαλούν συνεχή ροή οχημάτων στη ράμπα χωρίς να δημιουργείται απότομο «άδειασμα» της ουράς. Γι αυτό το λόγο παρακάτω θα αλλάξουμε το όριο ελέγχου ουρών από τα 25 οχήματα στα 20.

Πίνακας 7.21: Τιμές κριτηρίων για ελεγχόμενη ράμπα σε συνδυασμό με έλεγχο ουράς (διακριτές ροές εξόδου - 1<sup>η</sup> μέθοδος - διασταύρωση)

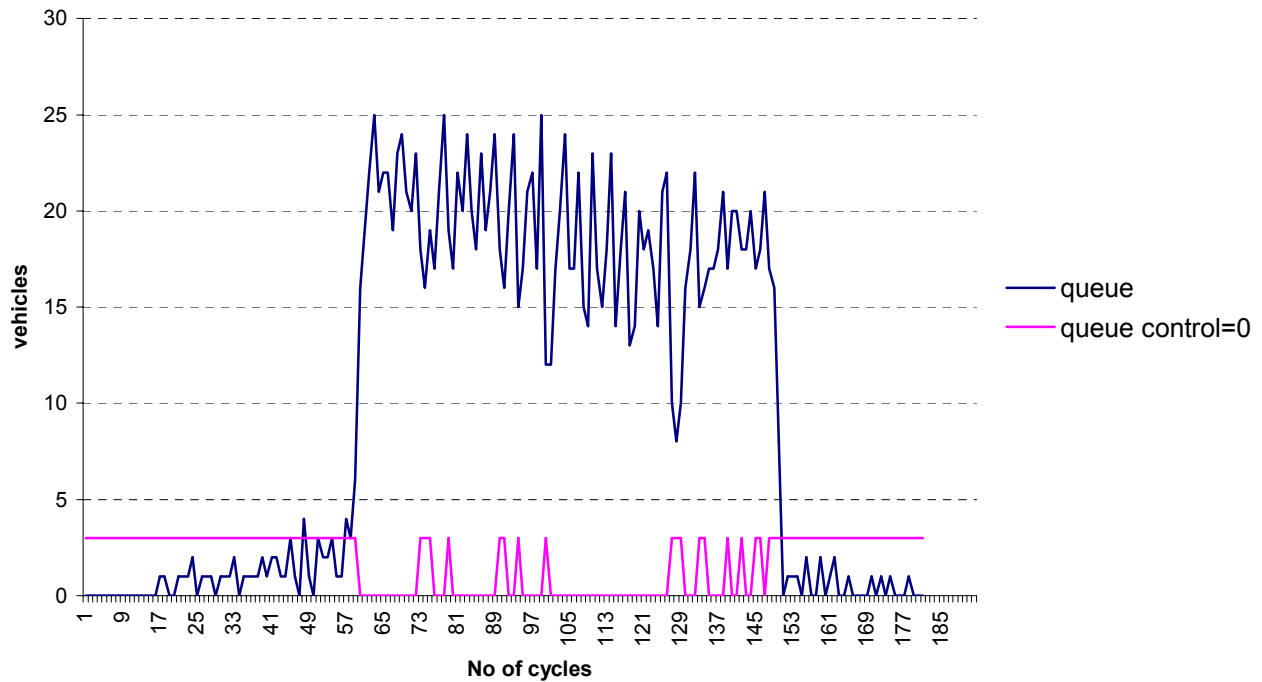
	$f=1$
Μέση κατάληψη(%)	24,5
Διασπορά κατάληψης	2,1
Μέση ροή	5715,8
Μέση ουρά	21,2
Μέγιστη ουρά	30
Διασπορά ουράς	8,6
T.T.S	218:55:29

Παρακάτω δίνονται τα αντίστοιχα γραφήματα για την περίπτωση που  $\hat{w}=20$ . (σχέση 4.2)

## ΑΠΟΤΕΛΕΣΜΑΤΑ



Σχήμα 7.70: προβλεπόμενη και πραγματική ζήτηση ράμπας (διακριτές ροές εξόδου -  $f=1$  - junction -  $\hat{w}=20$ )



Σχήμα 7.71: μέγεθος ουράς (διακριτές ροές εξόδου -  $f=1$  - junction -  $\hat{w}=20$ )

## ΑΠΟΤΕΛΕΣΜΑΤΑ

Στον πίνακα 7.22 παρουσιάζονται οι νέες τιμές των κριτηρίων. Παρατηρούμε ότι μειώνεται αισθητά η μέση ουρά αλλά και το T.T.S. Συμπεραίνουμε λοιπόν ότι όσο πιο μικροί είναι οι κύκλοι που εφαρμόζονται στον έλεγχο ράμπας, πρέπει να μειώνεται η τιμή  $\hat{w}$  που εκφράζει το επιθυμητό μέγεθος της ουράς.

**Πίνακας 7.22: Τιμές κριτηρίων για ελεγχόμενη ράμπα σε συνδυασμό με έλεγχο ουράς (διακριτές ροές εξόδου - 1<sup>η</sup> μέθοδος - διασταύρωση -  $\hat{w}=20$  )**

	f=1
Μέση κατάληψη(%)	27,9
Διασπορά κατάληψης	7,1
Μέση ροή	5719,7
Μέση ουρά	16,0
Μέγιστη ουρά	25,0
Διασπορά ουράς	7,0
T.T.S	123:33:40

### 7.2.2 Προσθήκη Θορύβου στις Μετρήσεις των Φωρατών της Ράμπας

Πάλι η προσθήκη θορύβου είναι το 5% των πραγματικών τιμών και ακολουθούμε την ίδια διαδικασία με την περίπτωση της ράμπας μεγάλου μήκους.

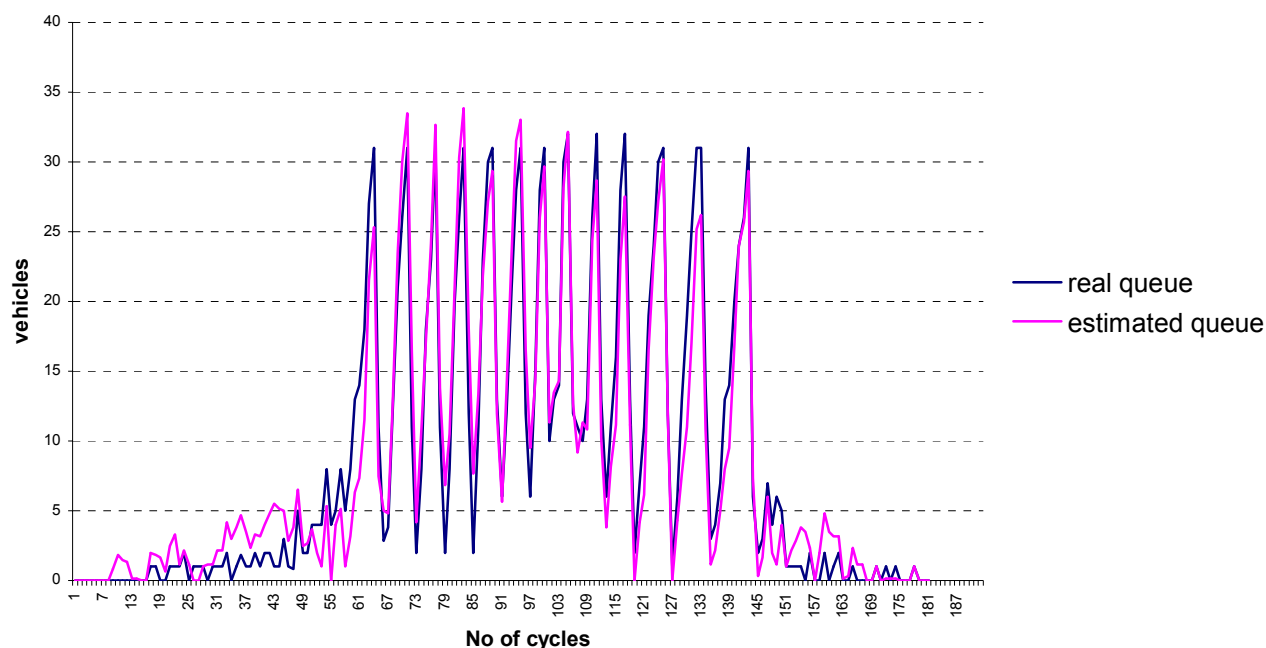
#### 7.2.2.1 Πλήρης κύκλος 60 sec

Για την περίπτωση της διασταύρωσης η παράμετρος K του εκτιμητή αριθμού οχημάτων στη ράμπα, μας δίνει καλύτερα αποτελέσματα για  $K=0,8$ .

#### Π.Α.Ε.Ρ. (queue override)

Από το σχήμα 7.72 βλέπουμε ότι η εκτιμώμενη ουρά σχεδόν συμπίπτει με την πραγματική. Αυτό συμβαίνει για τους ίδιους λόγους που εξηγήσαμε για την περίπτωση της ράμπας μεγάλου μήκους.

## ΑΠΟΤΕΛΕΣΜΑΤΑ



**Σχήμα 7.72: Η πραγματική και η εκτιμώμενη ουρά ανά κύκλο (Π.Α.Ε.Ρ. 50% - διασταύρωση - με θόρυβο)**

Από τον πίνακα 7.23 παρατηρούμε ότι τα κριτήρια μας δεν επηρεάζονται καθόλου από την προσθήκη θορύβου. Αυτό είναι ένα πολύ σημαντικό πλεονέκτημα της Πολιτικής Απενεργοποίησης Ελέγχου Ράμπας (Π.Α.Ε.Ρ.)

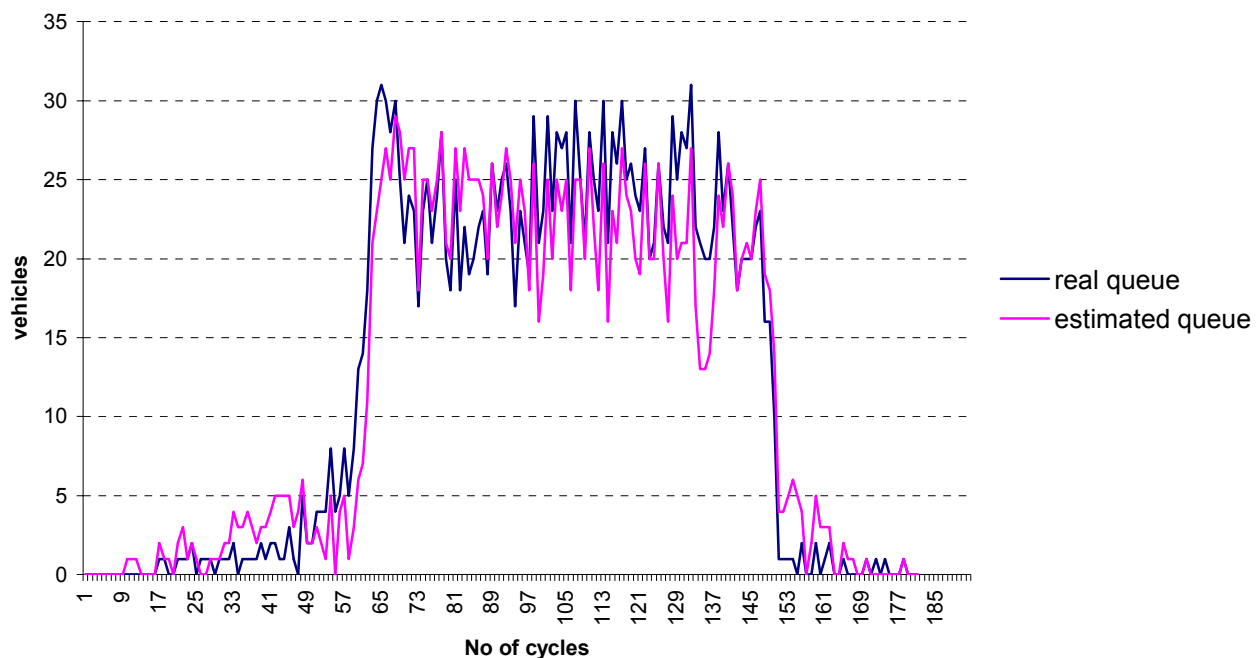
**Πίνακας 7.23: Τιμές κριτηρίων για ελεγχόμενη ράμπα σε συνδυασμό με Π.Α.Ε.Ρ. (διασταύρωση)**

	Π.Α.Ε.Ρ. 50%
Μέση κατάληψη(%)	30,0
Διασπορά κατάληψης	7,4
Μέση ροή	5744,0
Μέση ουρά	14,6
Μέγιστη ουρά	32,0
Διασπορά ουράς	10,3
T.T.S	130:41:37

## Έλεγχος ουράς

## Α) Πρώτη μέθοδος πρόβλεψης

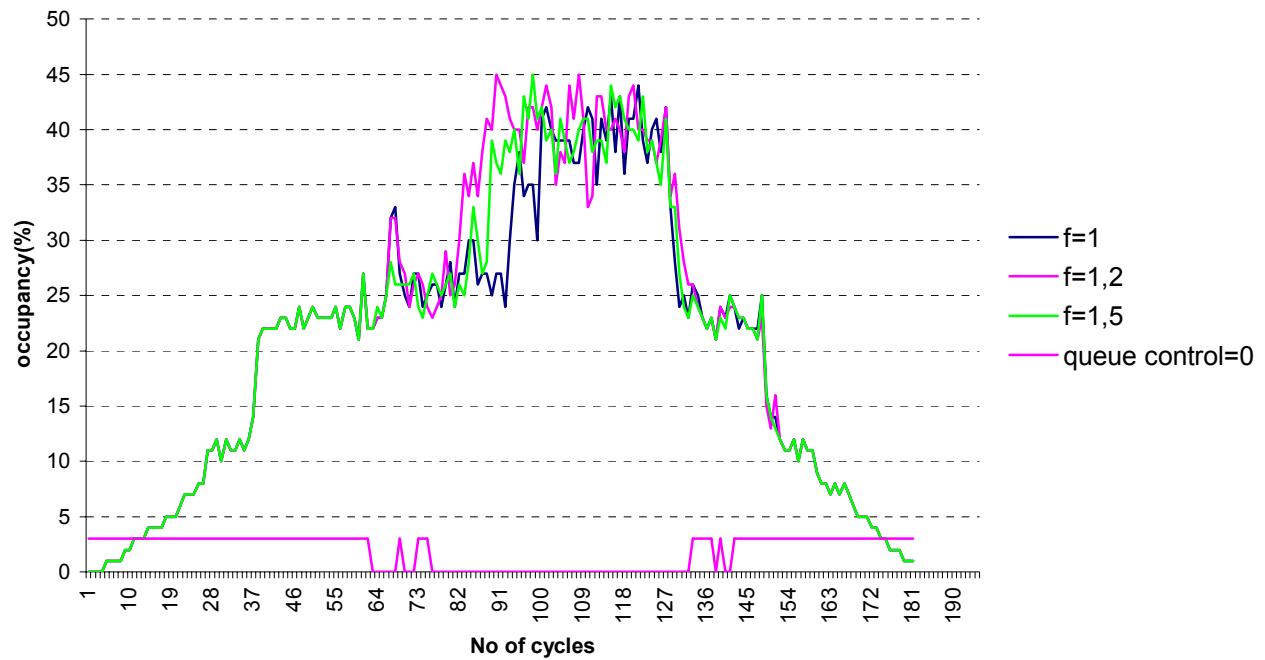
Αντίθετα με την Π.Α.Ε.Ρ. στον έλεγχο ουράς δεν είναι δυνατή η ταύτιση του εκτιμώμενου αριθμού οχημάτων της ράμπας με τον πραγματικό. Παρατηρούμε στο σχήμα 7.73 ότι αλλού έχουμε υπερεκτιμήσεις και αλλού υποεκτιμήσεις.



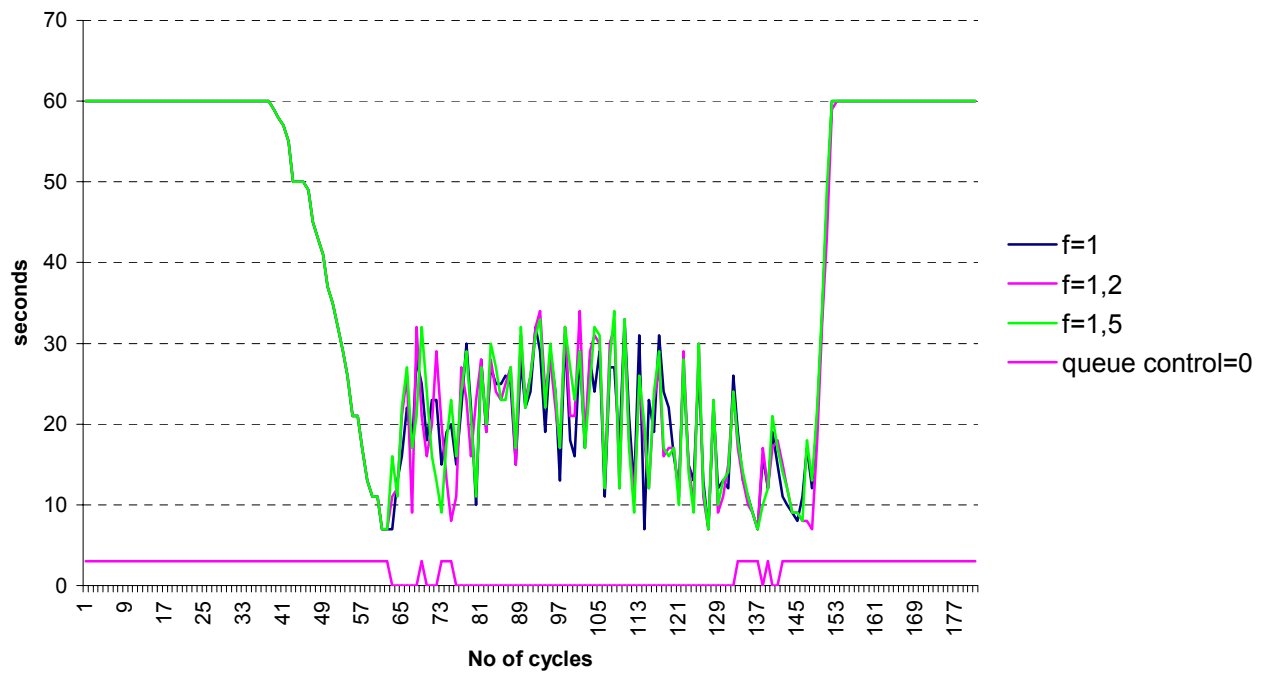
Σχήμα 7.73: Η πραγματική και η εκτιμώμενη ουρά ανά κύκλο (1<sup>η</sup> μέθοδος  $f=1$  - διασταύρωση - με θόρυβο)

Παρακάτω δίνονται τα γραφήματα του ποσοστού κατάληψης, της διάρκειας πρασίνου και του μεγέθους της ουράς στα σχήματα 7.74, 7.75 και 7.76 αντίστοιχα. Από τον πίνακα 7.24 και τα παραπάνω σχήματα, μπορούμε να συμπεράνουμε ότι η αύξηση του  $f$  έχει την ίδια επίδραση και σε αυτήν τη περίπτωση. Η διαφορά είναι ότι σε σχέση με τη χρήση των πραγματικών μετρήσεων, εδώ παρατηρείται μια αύξηση της μέσης και μέγιστης ουράς, του μέσου ποσοστού κατάληψης και του T.T.S. Η όχι τόσο ακριβής εκτίμηση του μεγέθους της ουράς της ράμπας είναι η αιτία για αυτές τις διαφοροποιήσεις που όμως δεν είναι τόσο μεγάλες ώστε να δημιουργούν πρόβλημα. Επίσης θα πρέπει να τονίσουμε ότι ακόμα και αυτές οι αυξημένες τιμές του T.T.S. είναι αρκετά μικρότερες από τις αντίστοιχες της Π.Α.Ε.Ρ. Μπορεί λοιπόν η προσθήκη θορύβου να επηρεάζει τα αποτελέσματά μας αλλά σε ένα λογικό ποσοστό, τέτοιο ώστε να μην χάνονται τα πλεονεκτήματα του ελέγχου ουράς σε σχέση με την Π.Α.Ε.Ρ.

## ΑΠΟΤΕΛΕΣΜΑΤΑ



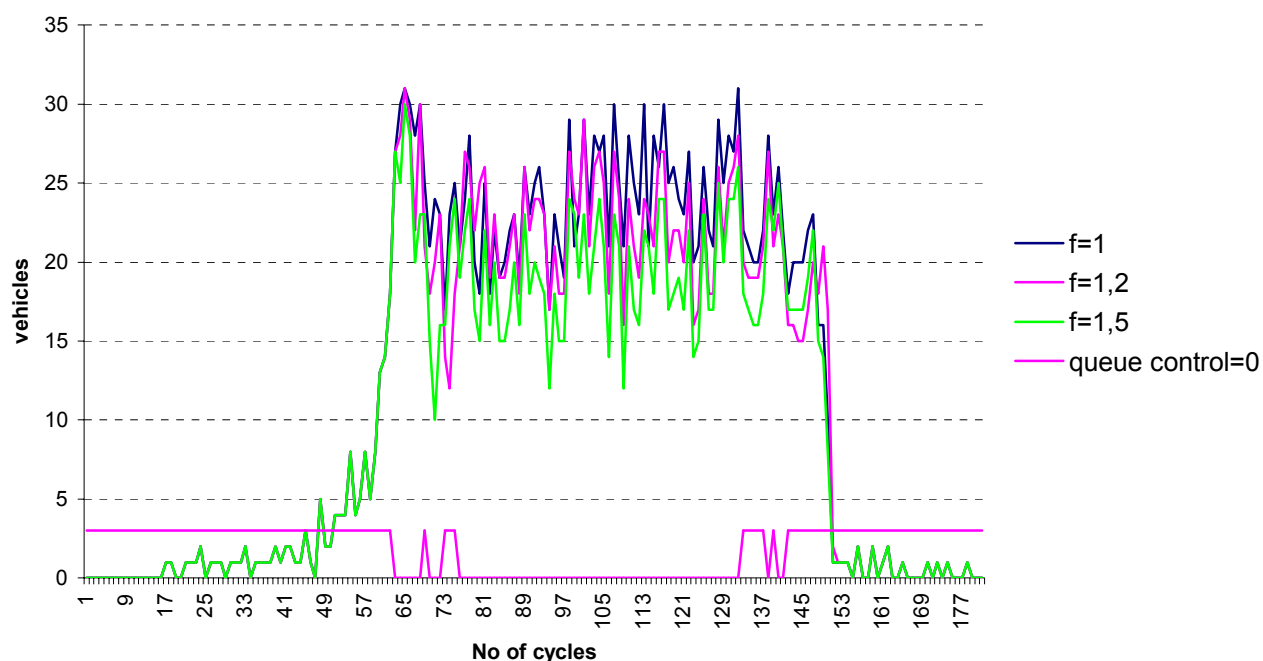
Σχήμα 7.74: queue control ( $f=1, f=1.2, f=1.5$ ) mainstream occupancy (junction-with noise)



Σχήμα 7.75: queue control ( $f=1, f=1.2, f=1.5$ ) green (junction-with noise)



## ΑΠΟΤΕΛΕΣΜΑΤΑ



Σχήμα 7.76: queue control ( $f=1, f=1.2, f=1.5$ ) queue (junction-with noise)

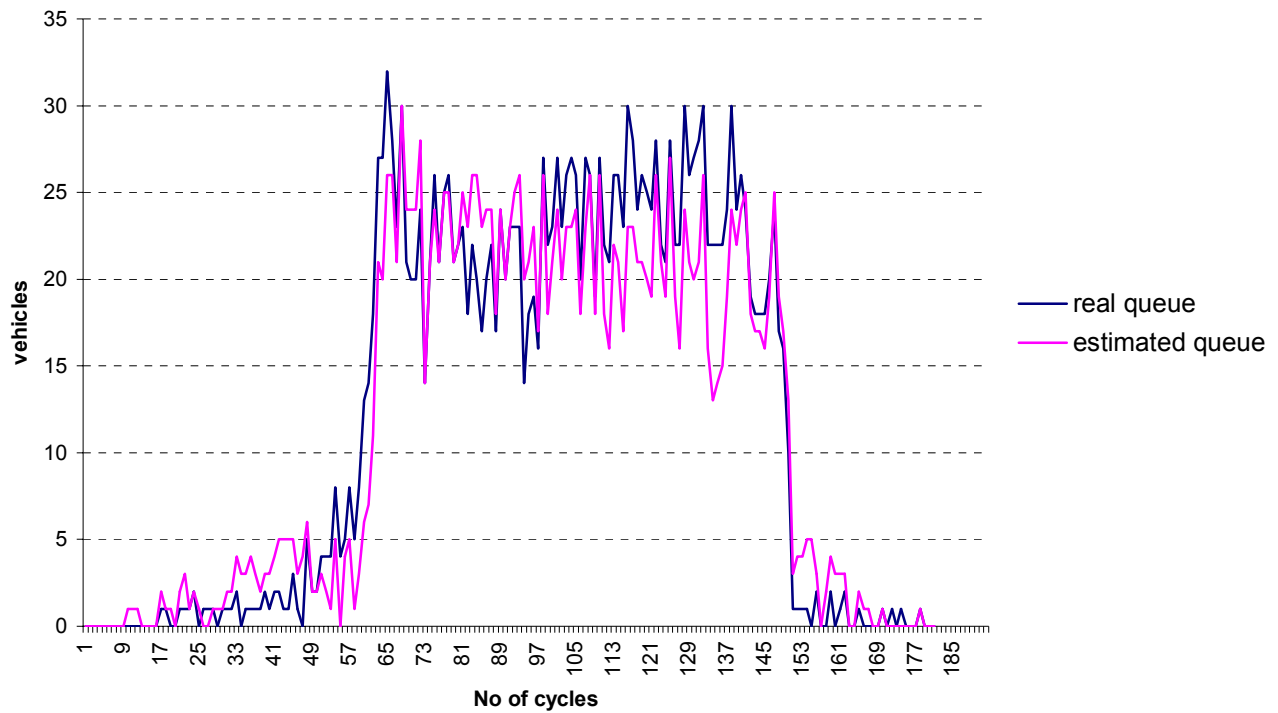
Πίνακας 7.24: Τιμές κριτηρίων για ελεγχόμενη ράμπα σε συνδυασμό με έλεγχο ουρών.  
(1<sup>η</sup> μέθοδος - διασταύρωση – με θόρυβο)

	$f=1$	$f=1.2$	$f=1.5$
Μέση κατάληψη(%)	29,3	31,2	30,2
Διασπορά κατάληψης	7,2	8,2	7,7
Μέση ροή	5734,3	5736,6	5734,3
Μέση ουρά	20,4	18,8	16,9
Μέγιστη ουρά	31,0	31,0	30,0
Διασπορά ουράς	8,2	7,7	6,9
T.T.S	126:19:45	124:03:12	123:33:46

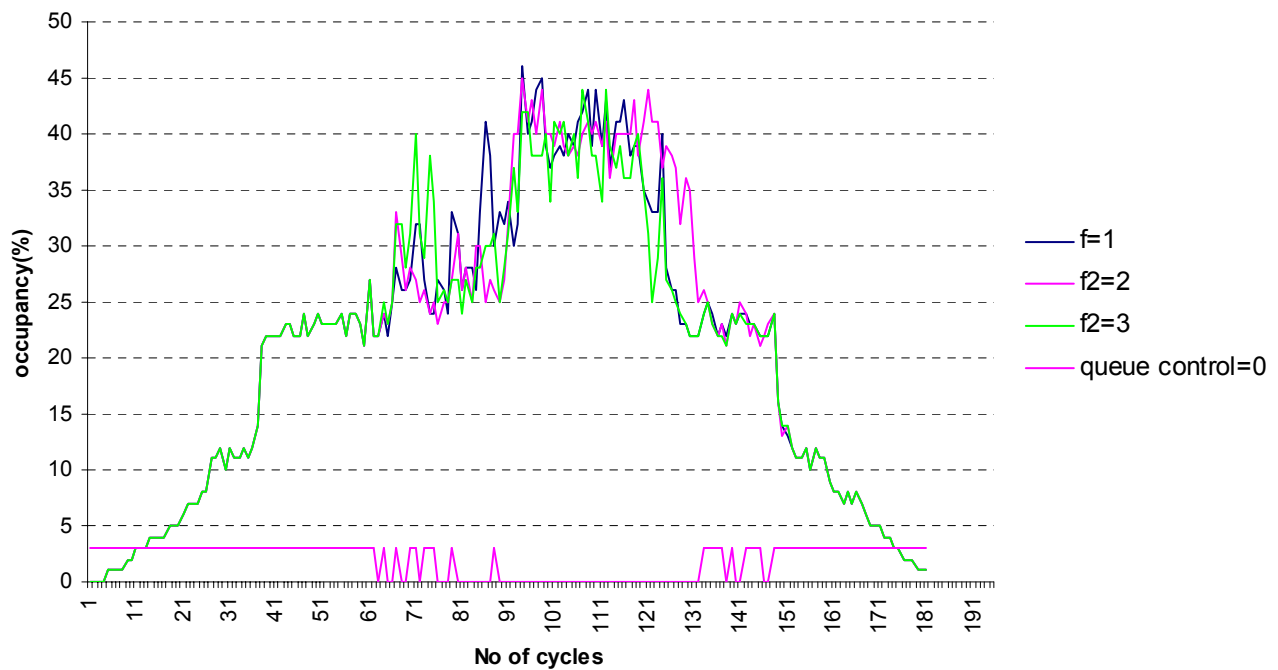
### B) Δεύτερη μέθοδος πρόβλεψης

Για τη δεύτερη μέθοδο πρόβλεψης ισχύουν τα ίδια με την πρώτη. Όπως σε όλες τις υπό εξέταση περιπτώσεις, έτσι και εδώ η δεύτερη μέθοδος έχει τα ίδια πλεονεκτήματα από την πρώτη. Δηλαδή και εδώ παρατηρείται μείωση της υπερχείλισης (μείωση T.T.S.) και καλύτερη χρήση της χωρητικότητας της ράμπας. Παρατηρούμε όμως ότι και εδώ λόγω του προβλήματος συνένωσης των ροών του AIMSUN, δεν παρατηρείται η αναμενόμενη αύξηση της μέσης ροής η οποία παραμένει σε όλες τις περιπτώσεις στα ίδια επίπεδα.

## ΑΠΟΤΕΛΕΣΜΑΤΑ

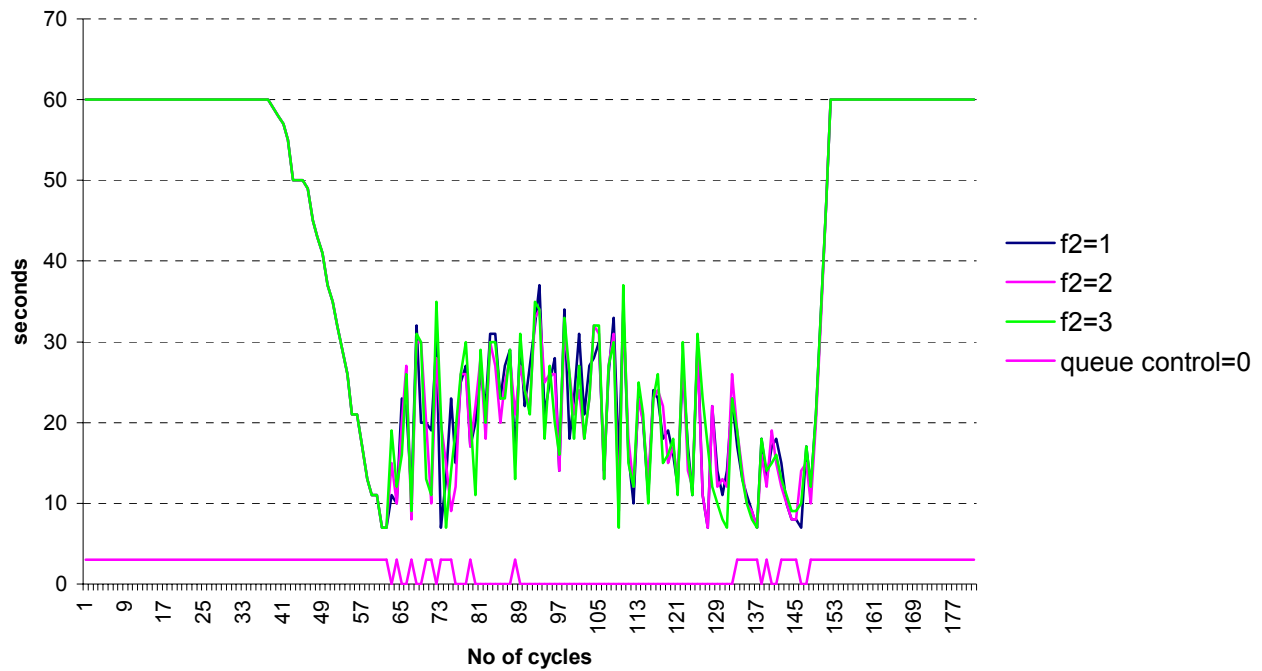


Σχήμα 7.77: Η πραγματική και η εκτιμώμενη ουρά ανά κύκλο (2<sup>η</sup> μέθοδος  $f_2=1$  - διασταύρωση - με θόρυβο)

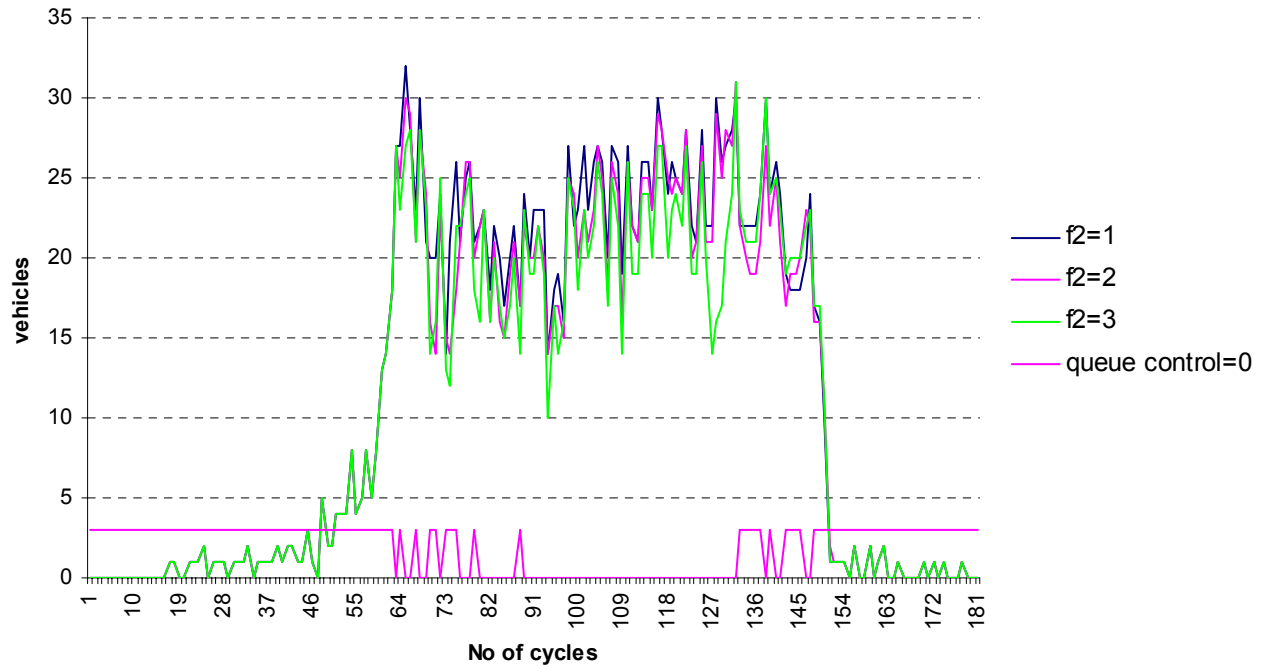


Σχήμα 7.78: queue control ( $f_2=1, f_2=2, f_2=3$ ) mainstream occupancy (junction-with noise)

## ΑΠΟΤΕΛΕΣΜΑΤΑ



Σχήμα 7.79: queue control ( $f_2=1, f_2=2, f_2=3$ ) green (junction-with noise)



Σχήμα 7.80: queue control ( $f_2=1, f_2=2, f_2=3$ ) queue (junction-with noise)

## ΑΠΟΤΕΛΕΣΜΑΤΑ

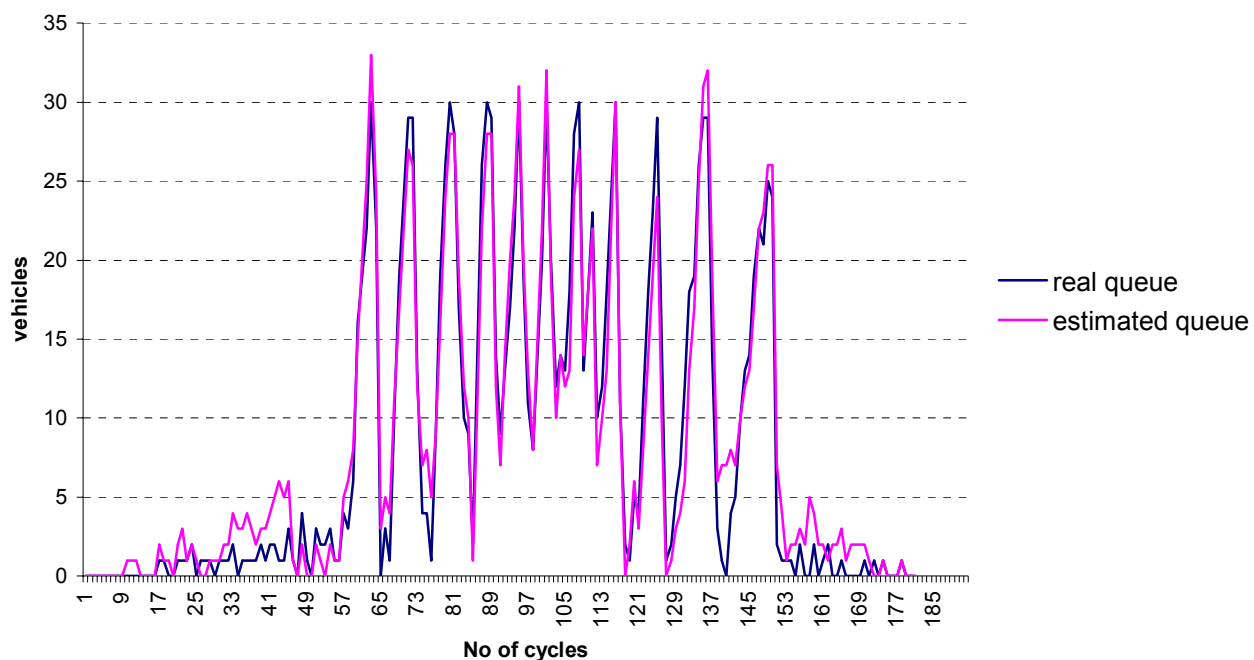
**Πίνακας 7.25: Τιμές κριτηρίων για ελεγχόμενη ράμπα σε συνδυασμό με έλεγχο ουρών.  
(2<sup>η</sup> μέθοδος- διασταύρωση – με θόρυβο)**

	$f_2=1$	$f_2=2$	$f_2=3$
Μέση κατάληψη(%)	33,0	30,3	29,2
Διασπορά κατάληψης	8,3	7,7	6,9
Μέση ροή	5737,7	5733,1	5731,4
Μέση ουρά	19,9	18,9	18,1
Μέγιστη ουρά	32,0	31,0	31,0
Διασπορά ουράς	8,1	7,8	7,5
T.T.S	124:01:14	123:36:19	123:31:10

### 7.2.2.2 Διακριτές ροές εξόδου

#### Π.Α.Ε.Ρ. (queue override)

Στο σχήμα 7.81 δίνεται το γράφημα της πραγματικής έναντι της εκτιμώμενης ουράς. Για μια ακόμα φορά καταλήγουμε στο συμπέρασμα ότι η προσθήκη θορύβου δεν επηρεάζει καθόλου την Π.Α.Ε.Ρ.



**Σχήμα 7.81: Η πραγματική και η εκτιμώμενη ουρά ανά κύκλο (Π.Α.Ε.Ρ. 50% - διασταύρωση - με θόρυβο)**

## ΑΠΟΤΕΛΕΣΜΑΤΑ

Στον πίνακα 7.26 δίνονται οι τιμές των κριτηρίων για την υπό εξέταση περίπτωση. Βλέπουμε ότι όλα τα κριτήρια βρίσκονται στα αναμενόμενα επίπεδα.

**Πίνακας 7.26: Τιμές κριτηρίων για ελεγχόμενη ράμπα σε συνδυασμό με Π.Α.Ε.Ρ.  
(Π.Α.Ε.Ρ. 50% - διασταύρωση – με θόρυβο)**

Μέση κατάληψη(%)	29,6
Διασπορά κατάληψης	7,7
Μέση ροή	5733,9
Μέση ουρά	13,3
Μέγιστη ουρά	30,0
Διασπορά ουράς	9,9
T.T.S	133:36:53

### Έλεγχος ουράς

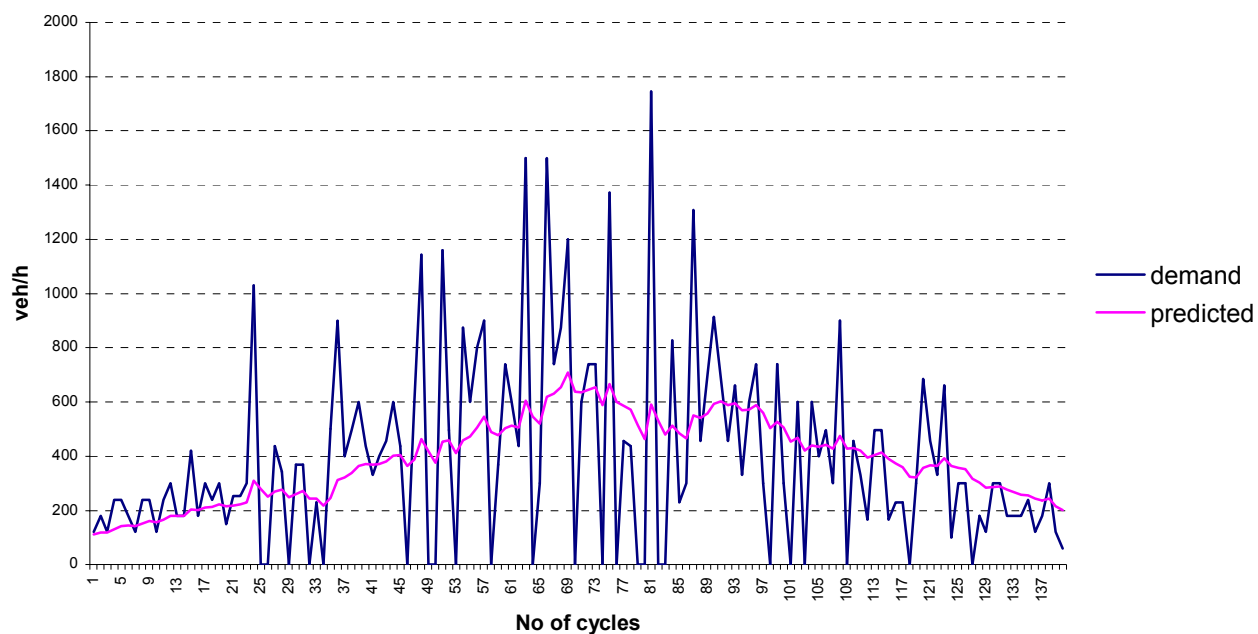
#### Α) Πρώτη μέθοδος πρόβλεψης

Στο σχήμα 7.82 δίνεται το γράφημα της πραγματικής έναντι της προβλεπόμενης ζήτησης της ράμπας και στο σχήμα 7.83 δίνεται το γράφημα της πραγματικής έναντι της εκτιμώμενης ουράς. Βλέπουμε τις μεγάλες διακυμάνσεις της ζήτησης που εξομαλύνονται στην πρόβλεψή μας και την υπερεκτίμηση του μεγέθους της ουράς. Αυτή η υπερεκτίμηση έχει σαν αποτέλεσμα την αύξηση του μέσου ποσοστού κατάληψης του αυτοκινητοδρόμου. Αυτό διακρίνεται και από τον πίνακα 7.27. Το μέσο ποσοστό κατάληψης είναι ίσο με 32 που είναι η μεγαλύτερη τιμή που συναντάται μέχρι τώρα για την περίπτωση της διασταύρωσης. Παρόλα αυτά όμως ο έλεγχος ουράς είναι και πάλι προτιμότερος από την Π.Α.Ε.Ρ. Αν συγκρίνουμε τους πίνακες 7.26 και 7.27 θα δούμε ότι για τον έλεγχο ουράς το T.T.S είναι χαμηλότερο, ενώ η μέση ροή παραμένει στα ίδια επίπεδα.

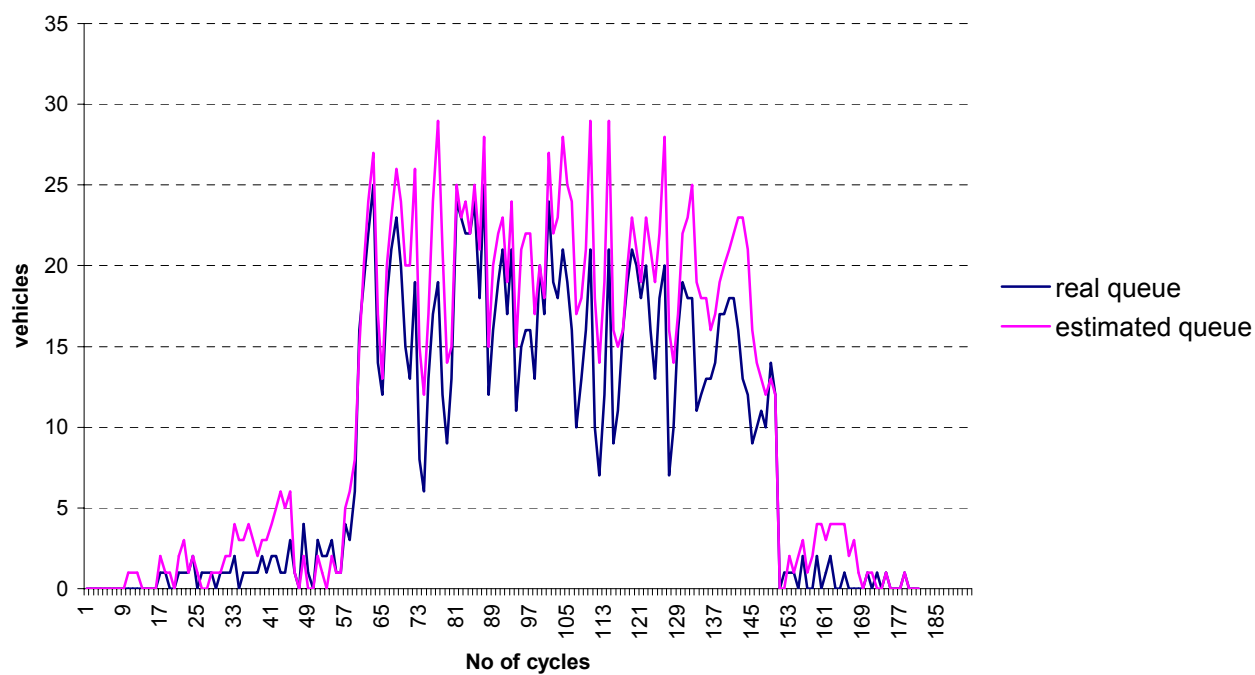
**Πίνακας 7.27: Τιμές κριτηρίων για ελεγχόμενη ράμπα σε συνδυασμό με έλεγχο ουρών  
(f=1 - διασταύρωση - με θόρυβο -  $\hat{w}=20$ )**

Μέση κατάληψη(%)	32,0
Διασπορά κατάληψης	8,6
Μέση ροή	5769,2
Μέση ουρά	13,9
Μέγιστη ουρά	25,0
Διασπορά ουράς	6,7
T.T.S	123:50:26

## ΑΠΟΤΕΛΕΣΜΑΤΑ



Σχήμα 7.82: Η πραγματική και η προβλεπόμενη ζήτηση της ράμπας ανά κύκλο  
( $f=1$  - διασταύρωση - με θόρυβο- $\hat{w}=20$ )



Σχήμα 7.83: Η πραγματική και η εκτιμώμενη ουρά της ράμπας ανά κύκλο  
( $f=1$  - διασταύρωση - με θόρυβο- $\hat{w}=20$ )

## ΣΥΜΠΕΡΑΣΜΑΤΑ

Από όλα τα προηγούμενα αποτελέσματα των προσομοιώσεων, μπορούμε να συμπεράνουμε με ασφάλεια τα παρακάτω:

- Η Πολιτική Απενεργοποίησης του Ελέγχου Ράμπας (Π.Α.Ε.Ρ.) είναι μια πολιτική που με τον κατάλληλο σχεδιασμό εξασφαλίζει ακόμα και σε περιόδους κυκλοφοριακής αιχμής αποφυγή υπερχειλίσεων της ουράς. Δοκιμάστηκαν τιμές του ορίου απενεργοποίησης από 30% έως 70% και σε όλες τις περιπτώσεις είχαμε την ίδια ποιότητα αποτελεσμάτων. Επίσης η προσθήκη θορύβου δεν επηρέασε τα αποτελέσματά μας στο ελάχιστο. Η Π.Α.Ε.Ρ. είναι ένα σίγουρο εργαλείο στα χέρια μας για την αποφυγή υπερχειλίσεων της ουράς, με μικρή ευαισθησία στις αλλαγές των παραμέτρων (όριο απενεργοποίησης, θόρυβος).
- Παρόλα τα παραπάνω η Π.Α.Ε.Ρ. δεν είναι σε θέση λόγω του σχεδιασμού της να κάνει καλή χρήση της αποθηκευτικής ικανότητας της ράμπας εισόδου και να μεγιστοποιήσει τη ροή του αυτοκινητοδρόμου. Κατά τη διάρκεια της ώρας αιχμής (όπου η ζήτηση της ράμπας δεν μπορεί να ικανοποιηθεί πλήρως με τη χρήση της Στρατηγικής μας) συμβαίνουν συχνά απενεργοποιήσεις του ελέγχου ράμπας. Δηλαδή δεν εφαρμόζεται ALINEA και έχουμε για έναν ολόκληρο κύκλο μόνο φάση πρασίνου. Αυτό ναί μεν έχει σαν αποτέλεσμα την αποφυγή των υπερχειλίσεων, αλλά ταυτόχρονα αυξάνει το μέσο ποσοστό κατάληψης του αυτοκινητοδρόμου και άρα την μη βέλτιστη ροή οχημάτων. Επίσης το ίδιο φαινόμενο οδηγεί στην συνεχή αυξομείωση των ουρών της ράμπας με αποτέλεσμα την μη καλή χρήση της χωρητικότητας της ράμπας.
- Η προσθήκη θορύβου μπορεί να επηρεάσει ελαφρώς τα αποτελέσματά μας γι αυτό το λόγο πρέπει να κάνουμε όσο το δυνατό καλύτερη εκτίμηση του αριθμού οχημάτων στη ράμπα. Για την καλή ποιότητα της πρόβλεψης δεν υπάρχουν κάποιες σίγουροι παράμετροι. Ανάλογα με τη μορφή της ζήτησης (ομοιόμορφη, ανομοιόμορφη) και ανάλογα με τα χαρακτηριστικά του δικτύου (π.χ. αποθηκευτική ικανότητα της ράμπας, ύπαρξη φωτεινού σηματοδότη πριν τη ράμπα κλπ) οι παράμετροι που χρησιμοποιούνται για την εκτίμηση της ουράς θα πρέπει να διερευνούνται διεξοδικά με προσομοιώσεις.
- Ο έλεγχος ουρών είναι μια πολιτική αποφυγής των υπερχειλίσεων με αρκετές παραμέτρους. Η χρήση των παραγόντων  $f$  και  $f_2$  είναι σημαντικό εργαλείο που μπορεί να δώσει μια ευρωστία στον έλεγχο ουρών. Με την κατάλληλη επιλογή του  $f$  (ή  $f_2$ ) και του επιθυμητού μέγιστου μήκους ουρών ( $\hat{w}$ ), μπορούμε να σχεδιάσουμε μια πολιτική ελέγχου των ουρών που εκτός από την αποφυγή των υπερχειλίσεων να μπορεί να αυξήσει σημαντικά τη χρήση της αποθηκευτικής ικανότητας της ράμπας (κοντά στο  $\hat{w}$ ). Αυτό θα έχει σαν αποτέλεσμα από τη μια να αποφύγουμε τις υπερχειλίσεις, και από την άλλη να έχουμε τις δυνατόν λιγότερες απώλειες στην ροή του αυτοκινητοδρόμου. Μικρές τιμές του  $f$  και του  $f_2$  στο υπό εξέταση σενάριο,

απέδειξαν ότι δεν μπορούν να αποφύγουν πλήρως το φαινόμενο της υπερχειλίσης. Από την άλλη όσο αυξάνονται οι τιμές των  $f$  και  $f_2$  παρατηρείται μείωση της χρήσης της αποθηκευτικής ικανότητας της ράμπας (πίνακας 7.28). Η επιλογή των τιμών των προηγούμενων παραμέτρων θα έπρεπε να γίνεται ανάλογα με τα ιστορικά δεδομένα ή αποτελέσματα προσομοιώσεων.

**Πίνακας 7.28: Ποσοστό μείωσης της χρήσης της αποθηκευτικής ικανότητας της ράμπας**

Από $f=1$ σε $f=1.2$	12.13%
Από $f=1.2$ σε $f=1.5$	14.67%
Από $f_2=1$ σε $f_2=2$	2.72%
Από $f_2=2$ σε $f_2=3$	2.47%

- Από τον πίνακα 7.28 μπορούμε επίσης να συμπεράνουμε ότι η δεύτερη μέθοδος πρόβλεψης έχει πιο ευεργετική επίδραση στην χρήση της αποθηκευτικής ικανότητας της ράμπας. Π.χ. για την περίπτωση της ράμπας μεγάλου μήκους, για κύκλο 60 sec και χωρίς την προσθήκη θορύβου, για την περίπτωση της 1<sup>ης</sup> μεθόδου πρόβλεψης, δεν δημιουργούνται υπερχειλίσεις για  $f=1.5$  ενώ για τη 2<sup>η</sup> μέθοδο πρόβλεψης για  $f_2=3$ . Από τον πίνακα 7.28 όμως βλέπουμε ότι η 2<sup>η</sup> μέθοδος μπορεί και εξαφανίζει το φαινόμενο των υπερχειλίσεων επηρεάζοντας ελάχιστα το ποσοστό μείωσης της χρήσης της αποθηκευτικής ικανότητας της ράμπας. Σε κανονικά μεγέθη, το μέσο μήκος της ουράς της ράμπας για την 1<sup>η</sup> μέθοδο πρόβλεψης για  $f=1.5$  είναι 14.7 μέτρα ενώ για τη 2<sup>η</sup> μέθοδο και  $f_2=3$ , 17.7 μέτρα.



## ΒΙΒΛΙΟΓΡΑΦΙΑ

- [1] Απόστολος Κότσιαλος. Μοντελοποίηση και Βέλτιστος Έλεγχος Κυκλοφορίας Δικτύων Αυτοκινητοδρόμων Ευρείας Κλίμακας. Διδακτορική διατριβή. Επιβλέπων: Μ. Παπαγεωργίου. Χανιά 2004.
- [2] M. Papageorgiou, A. Kotsialos, H. Kosmatopoulos ( et al ). Deliverable D3.1: Preliminary Local Strategy Development. European Ramp Metering Project. 2005.
- [3] Γ. Βίγκος. Εκτίμηση Αριθμού Οχημάτων Οδού Μέσω του Διευρημένου Φίλτρου Kalman. Διπλωματική εργασία. Επιβλέπων: Μ. Παπαγεωργίου. Χανιά 2004
- [4] E. Kosmatopoulos, M. Papageorgiou, D. Manolis (et al). Real-time Estimation of the Critical Occupancy for Maximum Motorway Throughput. Transportation Research B, 2005.
- [5] E. Smaragdis, M. Papageorgiou and E. Kosmatopoulos. A flow - maximizing adaptive local ramp metering strategy. Transportation Research 38B, 251–270. 2004.
- [6] J.A. Wattleworth. Peak-period Analysis and Control of a Freeway System. Highway Research Record, 157:1-21, 1965
- [7] User's Manual version 4.2. AIMSUN. 2004.