

**ΠΑΝΕΠΙΣΤΗΜΙΟ ΘΕΣΣΑΛΙΑΣ
ΤΜΗΜΑ ΜΗΧΑΝΟΛΟΓΩΝ ΜΗΧΑΝΙΚΩΝ
ΒΙΟΜΗΧΑΝΙΑΣ**

ΔΙΠΛΩΜΑΤΙΚΗ ΕΡΓΑΣΙΑ

**Η ΣΧΕΣΗ ΑΝΑΜΕΣΑ ΣΤΗΝ
ΕΓΚΑΙΡΗ ΠΛΗΡΟΦΟΡΗΣΗ ΓΙΑ ΤΗ
ΖΗΤΗΣΗ ΚΑΙ ΣΤΟ ΑΠΟΘΕΜΑ
ΑΣΦΑΛΕΙΑΣ**

ΦΟΙΤΗΤΗΣ: ΑΝΔΡΕΑΣ ΔΩΡΙΖΑΣ

ΕΠΙΒΛΕΠΩΝ: ΛΥΜΠΕΡΟΠΟΥΛΟΣ ΓΕΩΡΓΙΟΣ

Βόλος, Οκτώβριος 1999



**ΠΑΝΕΠΙΣΤΗΜΙΟ ΘΕΣΣΑΛΙΑΣ
ΒΙΒΛΙΟΘΗΚΗ & ΚΕΝΤΡΟ ΠΛΗΡΟΦΟΡΗΣΗΣ
ΕΙΔΙΚΗ ΣΥΛΛΟΓΗ «ΓΚΡΙΖΑ ΒΙΒΛΙΟΓΡΑΦΙΑ»**

Αριθ. Εισ.: 2215/1

Ημερ. Εισ.:

Δωρεά: Συγγραφέα

Ταξιθετικός Κωδικός: ΠΤ – ΜΜΒ

1999

ΔΩΡ

99 810 151 / π.Α



ΠΑΝΕΠΙΣΤΗΜΙΟ
ΘΕΣΣΑΛΙΑΣ



004000046470

...στους γονείς μου

ΕΥΧΑΡΙΣΤΙΕΣ

Πρίν ξεκινήσει η παρουσίαση της διπλωματικής εργασίας, νιώθω την υποχρέωση να ευχαριστήσω τον επιβλέποντα καθηγητή κύριο Γεώργιο Λυμπερόπουλο για την πολύτιμη αρωγή του, καθώς επίσης και όλους εκείνους, φίλους και συνεργάτες, οι οποίοι αποτέλεσαν παράγοντα καταλυτικό για την ολοκλήρωση της διπλωματικής εργασίας.

ΜΕΛΕΤΗ ΤΗΣ ΣΧΕΣΗΣ ΜΕΤΑΞΥ ΤΟΥ ΧΡΟΝΟΥ ΠΡΟΕΙΔΟΠΟΙΗΣΗΣ ΤΗΣ ΖΗΤΗΣΗΣ, ΤΟΥ ΑΠΟΘΕΜΑΤΟΣ ΑΣΦΑΛΕΙΑΣ ΚΑΙ ΤΟΥ ΧΡΟΝΟΥ ΕΝΑΡΞΗΣ ΤΗΣ ΠΑΡΑΓΩΓΗΣ

Σε ένα σύστημα παραγωγής/αποθεμάτων όπου δεν υπάρχει έγκαιρη προειδοποίηση για τη ζήτηση, είναι επιτακτική η διατήρηση ενός αποθέματος ασφαλείας για την όσο το δυνατόν αμεσότερη κάλυψη της ζήτησης. Επίσης, κατά την άφιξη μιας ζήτησης για ένα τελικό προϊόν, είναι επιτακτική η άμεση έναρξη της παραγωγής ενός νέου προϊόντος για την όσο το δυνατόν γρηγορότερη αναπλήρωση του αποθέματος ασφαλείας.

Στην περίπτωση ύπαρξης κάποιου χρόνου προειδοποίησης της ζήτησης, είναι αυτονόητο ότι μειώνεται η ανάγκη διατήρησης αποθέματος και η ανάγκη άμεσης έναρξης της παραγωγής κατά την άφιξη μιας ζήτησης. Τίθεται λοιπόν το ερώτημα : Όταν υπάρχει κάποιος χρόνος προειδοποίησης της ζήτησης, μειώνουμε το απόθεμα ασφαλείας, καθυστερούμε την έναρξη της παραγωγής κατά την άφιξη μιας ζήτησης ή και τα δύο ;

Το βασικό συμπέρασμα που προκύπτει από την παρούσα μελέτη είναι το εξής. Στην περίπτωση όπου ο χρόνος προειδοποίησης της ζήτησης είναι σταθερός, τότε όσο μεγαλύτερος είναι ο χρόνος προειδοποίησης, τόσο περισσότερο μειώνουμε το απόθεμα ασφαλείας χωρίς όμως να καθυστερούμε την έναρξη της παραγωγής κατά την άφιξη μιας ζήτησης. Υπάρχει κάποιος κρίσιμος χρόνος προειδοποίησης της ζήτησης για τον οποίο το απόθεμα ασφαλείας γίνεται μηδέν. Αν ο χρόνος προειδοποίησης είναι μεγαλύτερος από αυτόν τον κρίσιμο χρόνο, τότε το απόθεμα ασφαλείας παραμένει μηδέν. Ταυτόχρονα, καθυστερούμε την έναρξη της παραγωγής κατά την άφιξη μιας ζήτησης κατά χρονικό διάστημα που ισούται με τη διαφορά του κρίσιμου χρόνου προειδοποίησης από τον χρόνο προειδοποίησης.

Στην περίπτωση που ο χρόνος προειδοποίησης είναι στοχαστικός με δεδομένη κατανομή πιθανότητας, τότε το απόθεμα ασφαλείας είναι ίσο με τον σταθμικό μέσο όρο των αποθεμάτων ασφαλείας που αντιστοιχούν σε σταθερό χρόνο προειδοποίησης. Επίσης, καθυστερούμε την έναρξη της παραγωγής κατά την άφιξη μιας ζήτησης κατά ένα χρονικό διάστημα που ισούται με τη διαφορά του κρίσιμου χρόνου προειδοποίησης από τον χρόνο προειδοποίησης, αν η διαφορά αυτή είναι θετική, αλλιώς δεν καθυστερούμε καθόλου την έναρξη της παραγωγής.

ΠΕΡΙΕΧΟΜΕΝΑ

1. ΕΙΣΑΓΩΓΗ.....	1
1.1 ΠΛΑΙΣΙΟ ΔΙΠΛΩΜΑΤΙΚΗΣ ΕΡΓΑΣΙΑΣ.....	1
1.2 ΑΝΑΣΚΟΠΗΣΗ ΒΙΒΛΙΟΓΡΑΦΙΑΣ.....	3
1.3 ΟΡΓΑΝΩΣΗ ΔΙΠΛΩΜΑΤΙΚΗΣ ΕΡΓΑΣΙΑΣ.....	4
2. ΕΛΕΓΧΟΣ ΣΥΣΤΗΜΑΤΟΣ ΠΑΡΑΓΩΓΗΣ/ΑΠΟΘΕΜΑΤΩΝ ΥΠΟ ΤΗΝ ΠΑΡΟΥΣΙΑ ΕΓΚΑΙΡΗΣ ΠΡΟΕΙΔΟΠΟΙΗΣΗΣ ΤΗΣ ΖΗΤΗΣΗΣ.....	5
2.1 ΠΕΡΙΓΡΑΦΗ ΤΟΥ ΣΥΣΤΗΜΑΤΟΣ ΚΑΙ ΤΗΣ ΠΟΛΙΤΙΚΗΣ ΕΛΕΓΧΟΥ ΤΗΣ ΠΑΡΑΓΩΓΗΣ.....	5
2.2 ΠΕΡΙΓΡΑΦΗ ΤΟΥ ΤΡΟΠΟΥ ΑΝΑΛΥΣΗΣ ΤΟΥ ΣΥΣΤΗΜΑΤΟΣ.....	7
2.3 ΜΟΝΤΕΛΟΠΟΙΗΣΗ ΤΟΥ ΣΥΣΤΗΜΑΤΟΣ ΜΕ ΤΟ ΛΟΓΙΣΜΙΚΟ ΠΡΟΣΟΜΟΙΩΣΗΣ ARENA.....	9
3. ΕΠΙΔΡΑΣΗ ΤΩΝ ΠΑΡΑΜΕΤΡΩΝ ΤΟΥ ΣΥΣΤΗΜΑΤΟΣ ΣΤΗΝ ΑΠΟΔΟΣΗ ΤΟΥ ΣΥΣΤΗΜΑΤΟΣ.....	14
3.1 ΕΠΙΔΡΑΣΗ ΤΟΥ ΧΡΟΝΟΥ ΕΝΑΡΞΗΣ ΤΗΣ ΠΑΡΑΓΩΓΗΣ ΚΑΤΑ ΤΗ ΑΦΙΞΗ ΜΙΑΣ ΖΗΤΗΣΗΣ.....	15
3.1.1 ΠΕΡΙΠΤΩΣΗ ΣΤΑΘΕΡΟΥ ΧΡΟΝΟΥ ΥΣΤΕΡΗΣΗΣ.....	15
3.1.2 ΠΕΡΙΠΤΩΣΗ ΜΕΤΑΒΛΗΤΟΥ ΧΡΟΝΟΥ ΥΣΤΕΡΗΣΗΣ.....	16
3.2 ΕΠΙΔΡΑΣΗ ΤΟΥ ΑΠΟΘΕΜΑΤΟΣ ΑΣΦΑΛΕΙΑΣ.....	18
3.3 ΕΠΙΔΡΑΣΗ ΤΟΥ ΜΕΣΟΥ ΧΡΟΝΟΥ ΠΡΟΕΙΔΟΠΟΙΗΣΗΣ ΤΗΣ ΖΗΤΗΣΗΣ.....	20
3.4 ΕΠΙΔΡΑΣΗ ΤΟΥ ΜΕΣΟΥ ΡΥΘΜΟΥ ΑΦΙΞΗΣ ΤΗΣ ΖΗΤΗΣΗΣ.....	21
3.5 ΕΠΙΔΡΑΣΗ ΤΗΣ ΜΕΤΑΒΛΗΤΟΤΗΤΑΣ ΤΟΥ ΧΡΟΝΟΥ ΠΡΟΕΙΔΟΠΟΙΗΣΗΣ ΤΗΣ ΖΗΤΗΣΗΣ.....	22
3.6 ΕΠΙΔΡΑΣΗ ΤΗΣ ΜΕΤΑΒΛΗΤΟΤΗΤΑΣ ΤΟΥ ΧΡΟΝΟΥ ΑΝΑΜΕΣΑ ΣΕ ΔΙΑΔΟΧΙΚΕΣ ΑΦΙΞΕΙΣ.....	23
4. ΒΕΛΤΙΣΤΟΠΟΙΗΣΗ ΤΟΥ ΑΠΟΘΕΜΑΤΟΣ ΑΣΦΑΛΕΙΑΣ	

ΚΑΙ ΤΟΥ ΧΡΟΝΟΥ ΥΣΤΕΡΗΣΗΣ.....	25
4.1 ΠΕΡΙΠΤΩΣΗ ΣΤΑΘΕΡΟΥ ΧΡΟΝΟΥ ΠΡΟΕΙΔΟΠΟΙΗΣΗΣ	
 ΤΗΣ ΖΗΤΗΣΗΣ.....	25
4.2 ΠΕΡΙΠΤΩΣΗ ΜΕΤΑΒΛΗΤΟΥ ΧΡΟΝΟΥ ΠΡΟΕΙΔΟΠΟΙΗΣΗΣ	
 ΤΗΣ ΖΗΤΗΣΗΣ.....	26
5. ΣΥΜΠΕΡΑΣΜΑΤΑ.....	30
6. ΒΙΒΛΙΟΓΡΑΦΙΑ.....	31

1. ΕΙΣΑΓΩΓΗ

1.1 ΠΛΑΙΣΙΟ ΔΙΠΛΩΜΑΤΙΚΗΣ ΕΡΓΑΣΙΑΣ ΚΑΙ ΚΙΝΗΤΡΟ

Μεγάλο ενδιαφέρον παρουσιάζει στις μέρες μας η έρευνα γύρω από τη δημιουργία ενός συστήματος διαχείρισης της παραγωγής με την ύψιστη αξιοπιστία. Τα συστήματα που χρησιμοποιούνται σήμερα στις περισσότερες των περιπτώσεων είναι δύο, τα ελκόμενα (pull systems) και τα ωθούμενα (push systems).

Τα ελκόμενα συστήματα λειτουργούν με την εξής λογική. Υπάρχουν πάντα στο σύστημα έτοιμα προϊόντα που διατηρούνται σε αποθηκευτικούς χώρους. Κατά την άφιξη μιας ζήτησης λαμβάνουν χώρα δύο αντιδράσεις. Η πρώτη είναι ότι η ζήτηση ικανοποιείται αμέσως από τα έτοιμα προϊόντα και η δεύτερη ότι δίνεται εντολή έναρξης της παραγωγικής διαδικασίας, ώστε να αναπληρωθούν οι μονάδες των έτοιμων προϊόντων που χρησιμοποιήθηκαν για την ικανοποίηση της ζήτησης. Τα έτοιμα προϊόντα που υπάρχουν πάντα στα συστήματα αυτού του τύπου καλούνται απόθεμα ασφαλείας (safety stock). Στα συστήματα pull δεν έχουμε καθόλου πληροφορίες για τη ζήτηση και για το λόγο αυτό η διατήρηση ικανοποιητικού αποθέματος ασφαλείας είναι επιτακτική ανάγκη. Για το λόγο αυτό λέμε ότι τα ελκόμενα συστήματα αντιδρούν στη ζήτηση και δεν την προβλέπουν. Ενώ όμως η λογική τις αντίδρασης στη ζήτηση δίνει αποτελέσματα σε λογικές διακυμάνσεις της ζήτησης, ενδέχεται να προκαλέσει προβλήματα σε πιθανή απότομη αύξηση ή μείωση της ζήτησης, όπου αντίστοιχα θα έχουμε έλλειψη ή περίσσεια αποθέματος. Ακόμα, το γεγονός ότι οι ζητήσεις ικανοποιούνται άμεσα μπορεί να αποτελέσει μειονέκτημα αν σκεφτεί κανείς ότι πολλές ζητήσεις απαιτούν παράδοση όχι άμεσα αλλά μετά από κάποιο συγκεκριμένο χρονικό διάστημα. Σε τέτοια περίπτωση τα έτοιμα προϊόντα παραμένουν στους χώρους αποθήκευσης άσκοπα επιφέροντας και το αντίστοιχο κόστος. Κύριος εκφραστής των ελκόμενων συστημάτων είναι τα συστήματα Kanban, τα οποία χρησιμοποιούνται ευρέως από μεγάλες ιαπωνικές εταιρείες όπως η ΤΟΥΟΤΑ.

Στον αντίποδα των pull βρίσκονται τα συστήματα push. Η λογική αυτών στηρίζεται στην πρόβλεψη της ζήτησης και όχι στην αντίδραση σε αυτή. Έχοντας εκτιμήσει τις μελλοντικές απαιτήσεις σε προϊόντα, η παραγωγική διαδικασία μπαίνει

σε λειτουργία την κατάλληλη στιγμή, ώστε το προϊόν να είναι έτοιμο στο χρόνο εκείνο που απαιτεί η ημερομηνία παράδοσης της ζήτησής του. Βασικός παράγοντας επιτυχίας ενός τέτοιου συστήματος είναι ο χρόνος στον οποίο γίνεται η έναρξη της παραγωγής. Η επιλογή του χρόνου αυτού αποτελεί διαδικασία ιδιαίτερα δύσκολη, αφού αυτοί εξαρτώνται από πλήθος παραγόντων, όπως η παραγωγική ικανότητα των μηχανών, το κόστος και φυσικά οι εκτιμώμενες ζητήσεις. Η διαδικασία αυτή καθορίζεται από τους χρόνους υστέρησης (lead times), οι οποίοι καθορίζουν το χρόνο που θα μεσολαβήσει από τη στιγμή της άφιξης μιας ζήτησης μέχρι την έναρξη της παραγωγής. Αν και η λογική των lead times επιτρέπει στην γραμμή παραγωγής να συναντά τη ζήτηση στον επιθυμητό χρόνο, μειονέκτημα αποτελεί το γεγονός ότι η πρόβλεψη της ζήτησης δεν μπορεί ποτέ να είναι ακριβής. Έτσι, συχνά παρατηρείται αποτυχία στην έγκαιρη ικανοποίηση παραγγελιών, όταν βρισκόμαστε σε περιβάλλοντα μη πειθαρχημένης διακύμανσης της ζήτησης. Τα συστήματα που εκφράζουν την λογική push είναι κυρίως τα MRP (Material Requirements Planing).

Το συμπέρασμα που εξάγεται από τα παραπάνω είναι, ότι οι χρόνοι ασφαλείας είναι προτιμότεροι, υπό την προϋπόθεση ότι η ακριβής πρόβλεψη της ζήτησης είναι δυνατή. Σε αντίθετη περίπτωση, τα αποθέματα ασφαλείας ανταποκρίνονται ικανοποιητικότερα στις αλλαγές της ζήτησης.

Σε όλα τα παραπάνω οφείλουμε να προσθέσουμε και την τάση κάθε οργανισμού, που διαχειρίζεται μια γραμμή παραγωγής, για ελαχιστοποίηση τόσο του συνολικού αλλά και μερικού κόστους, όσο και του κινδύνου. Έτσι λοιπόν, η καθιέρωση ενός νέου μοντέλου δεν στηρίζεται αποκλειστικά στην επίλυση κάποιου προβλήματος, αλλά και στο πόσο οικονομικό μπορεί να είναι.

Η επικρατούσα αυτή κατάσταση, δίνει το κίνητρο για την δημιουργία ενός συστήματος διαχείρισης παραγωγής πιο ευέλικτου από τα ήδη υπάρχοντα. Μια τέτοια προσπάθεια γίνεται και στα πλαίσια αυτής της διπλωματικής εργασίας, η οποία συνοψίζεται στο συνδυασμό συστημάτων pull και push. Στόχος μας είναι η εκμετάλευση των πλεονεκτημάτων κάθε συστήματος και παράλληλα ο περιορισμός των αδυναμιών τους.

Το μοντέλο που προτείνουμε δεν αποτελεί βέβαια λύση των παραπάνω προβλημάτων. Πρόκειται για ένα απλό και λογικό μηχανισμό που θα μας δώσει κάποια συμπεράσματα για τη λειτουργία τέτοιου είδους συστημάτων.

1.2 ΑΝΑΣΚΟΠΗΣΗ ΒΙΒΛΙΟΓΡΑΦΙΑΣ

Στη βιβλιογραφία, υπάρχουν αρκετές εργασίες που αναφέρονται στη σύγκριση συστημάτων pull και push, καθώς και συστημάτων που προκύπτουν από τον συνδυασμό των δύο παραπάνω.

Ο Karmarkar [1] τιτλοφορεί χαρακτηριστικά ένα άρθρο του για το Harvard Business Review με την εξής φράση :

“ Οι κατασκευαστές χρειάζονται ένα σύστημα Kanban για καθημερινή χρήση και ένα MRP για μακροπρόθεσμο προγραμματισμό”. Με τη φράση αυτή τονίζει την αναγκαιότητα τόσο των αποθεμάτων ασφαλείας, όσο και των χρόνων υστέρησης.

Αναφέρεται ακόμα στα όρια των συστημάτων pull με ένα πολύ πετυχημένο παράδειγμα. Θεωρώντας ένα κατάστημα McDonalds, το οποίο βρίσκεται δίπλα σε γήπεδο ποδοσφαίρου, είναι σαφές ότι η ζήτηση των ημερών των αγώνων είναι αδύνατο να ικανοποιηθεί χωρίς εκ των προτέρων προγραμματισμό. Στην περίπτωση αυτή δηλαδή ένα ελκυσμένο σύστημα δεν θα αντιδρούσε ικανοποιητικά στη ζήτηση. Τέλος, όσον αφορά τα συστήματα MRP και MRP II, κρίνει ότι αν και λύνουν πολλά προβλήματα, υπάρχει πάντα το κόστος ενός πολυσύνθετου υπολογιστικού συστήματος, καθώς επίσης και η χρονοβόρα εκμάθηση των εργαζομένων για να το χρησιμοποιήσουν.

Σύγκριση συστημάτων pull και push πραγματοποιείται επίσης στην [3], όπου μελετάται ο έλεγχος παραγωγής απλού συστήματος με μια μόνο μηχανή. Πιο συγκεκριμένα, θέτονται οι παράμετροι που καθορίζουν ένα σύστημα MRP και είναι ο χρόνος ασφαλείας και το απόθεμα ασφαλείας. Το συμπέρασμα που εξάγεται από τη μελέτη αυτή είναι ότι ο χρόνος ασφαλείας είναι προτιμότερος μόνο όταν υπάρχει δυνατότητα πρόβλεψης της ζήτησης.

Οι Karaesmen, Buzacot και Dallery [3] προτείνουν μηχανισμό διαχείρισης παραγωγής που στηρίζεται στο base stock, αλλά περιέχει και προγραμματισμό με βάση τα lead times.

Ο Karmarkar [4] σημειώνει επίσης την κρισιμότητα των lead times και πιστεύει ότι δεν λαμβάνουν την προσοχή που θα έπρεπε. Ορίζει το lead time σαν το χρόνο που χρειάζεται από τη στιγμή που δίνεται εντολή έναρξης της παραγωγής μέχρι τη στιγμή που η παραγωγή ολοκληρώνεται. Αναφέρει επίσης ότι σε πολλούς τομείς, τα μοντέλα που χρησιμοποιούνται δεν έχουν συλλάβει σωστά το νόημα των lead times και στους χώρους αυτούς κάθε εμπειρική μελέτη θα ήταν πολύτιμη.

1.3 ΟΡΓΑΝΩΣΗ ΔΙΠΛΩΜΑΤΙΚΗΣ ΕΡΓΑΣΙΑΣ

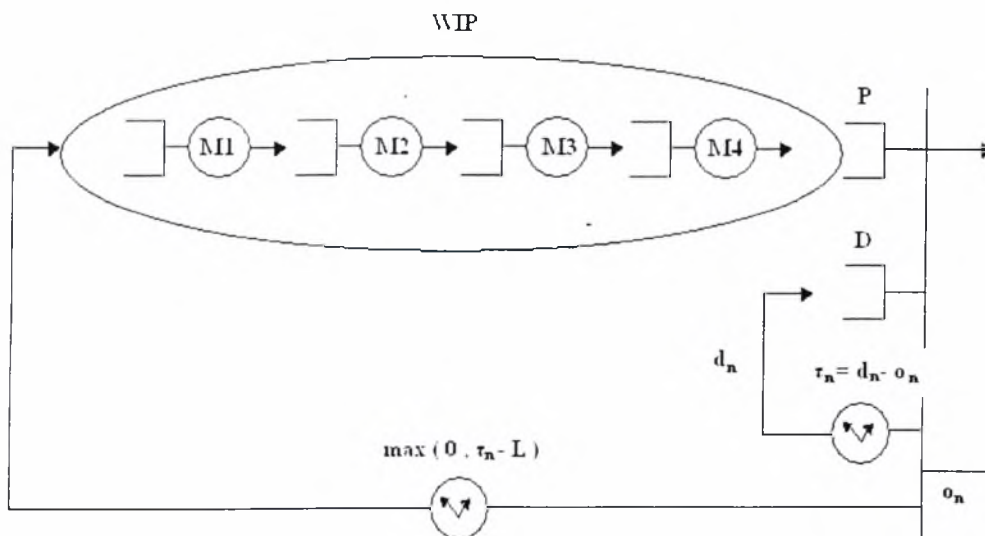
Η οργάνωση του υπόλοιπου τμήματος της διπλωματικής εργασίας έχει ως εξής.

Το κεφάλαιο 2 περιγράφει με λεπτομέρεια το σύστημα παραγωγής / αποθεμάτων που μελετάται. Στο υποκεφάλαιο 2.1 παρουσιάζεται η πολιτική ελέγχου του συστήματος που θα ακολουθηθεί και ορίζονται οι παράμετροι της πολιτικής που θα εξεταστούν. Στο υποκεφάλαιο 2.2 παρουσιάζεται ο τρόπος ανάλυσης του συστήματος που είναι η προσομοίωση. Ακόμα εξηγείται ο τρόπος λήψης αποτελεσμάτων για την εκτίμηση της απόδοσης του συστήματος. Στο υποκεφάλαιο 2.3 περιγράφεται η μοντελοποίηση του συστήματος με το λογισμικό προσομοίωσης ARENA. Δίνονται στοιχεία για τα στάδια της μοντελοποίησης, καθώς και πληροφορίες για την καλύτερη κατανόηση του λογισμικού προσομοίωσης ARENA που χρησιμοποιείται. Στο κεφάλαιο 3 μελετάται η επίδραση διαφόρων παραμέτρων του συστήματος σε βασικά μέτρα απόδοσης του συστήματος. Οι παράμετροι που εξετάζονται είναι ο χρόνος έναρξης της παραγωγής, το απόθεμα ασφαλείας, ο χρόνος προειδοποίησης της ζήτησης και ο ρυθμός άφιξης της ζήτησης. Τα βασικά μέτρα απόδοσης του συστήματος είναι οι μέσες τιμές του αριθμού των εργασιών σε εξέλιξη, του αποθέματος τελικών προϊόντων και των ανικανοποίητων ζητήσεων. Στο κεφάλαιο 4 γίνεται βελτιστοποίηση του αποθέματος ασφαλείας και του χρόνου υστέρησης της παραγωγής αρχικά για σταθερό και στη συνέχεια για μεταβλητό χρόνο προειδοποίησης της ζήτησης. Επίσης, εξάγονται συμπεράσματα για τη βελτιστοποίηση. Τέλος στο κεφάλαιο 5 παρατίθενται τα τελικά συμπεράσματα της εργασίας. Μετά το κεφάλαιο 5 ακολουθούν παραρτήματα με ενδεικτικά αποτελέσματα του ARENA.

2. ΕΛΕΓΧΟΣ ΣΥΣΤΗΜΑΤΟΣ ΠΑΡΑΓΩΓΗΣ / ΑΠΟΘΕΜΑΤΩΝ ΥΠΟ ΤΗΝ ΠΑΡΟΥΣΙΑ ΕΓΚΑΙΡΗΣ ΠΡΟΕΙΔΙΠΟΙΗΣΗΣ ΤΗΣ ΖΗΤΗΣΗΣ

2.1 ΠΕΡΙΓΡΑΦΗ ΤΟΥ ΣΥΣΤΗΜΑΤΟΣ ΚΑΙ ΤΗΣ ΠΟΛΙΤΙΚΗΣ ΕΛΕΓΧΟΥ ΤΗΣ ΠΑΡΑΓΩΓΗΣ

Θεωρούμε ένα σύστημα παραγωγής / αποθεμάτων ενός σταδίου που αποτελείται από τέσσερις σταθμούς εργασίας στην σειρά με ενδιάμεσους χώρους αποθήκευσης. Κάθε σταθμός εργασίας τροφοδοτείται από τεμάχια που προμηθεύεται από τον προηγούμενό του ενδιάμεσο χώρο αποθήκευσης και αφού τα επεξεργαστεί για κάποιο χρόνο, τα προωθεί στον επόμενο του ενδιάμεσο χώρο αποθήκευσης. Η πρώτη μηχανή τροφοδοτείται με πρώτες ύλες (που θεωρούμε ότι είναι άπειρες) και η τελευταία μηχανή προωθεί τα τεμάχιά της σε έναν χώρο αποθήκευσης τελικών προϊόντων. Μια σχηματική απεικόνιση του συστήματος φαίνεται στο σχήμα 1



Σχήμα 1. Σχηματική απεικόνιση συστήματος.

Το WIP, (work in progress), συμβολίζει το σύστημα παραγωγής με τους τέσσερις σταθμούς εργασίας, η ουρά P συμβολίζει τον χώρο αποθήκευσης τελικών προϊόντων και η ουρά D συμβολίζει τις ζήτησεις σε αναμονή.

Κάθε ζήτηση για τελικά προϊόντα που φθάνει στο σύστημα έχει μια ημερομηνία παράδοσης. Η ζήτηση ικανοποιείται από το απόθεμα των τελικών προϊόντων στην ημερομηνία παράδοσής της ή τίθεται σε αναμονή αν δεν υπάρχουν τελικά προϊόντα. Κάθε ζήτηση που φθάνει στο σύστημα προκαλεί την έναρξη της παραγωγής ενός νέου προϊόντος που θα αναπληρώσει το απόθεμα των τελικών προϊόντων.

Θεωρούμε πολιτική ελέγχου της παραγωγής που εξαρτάται από δύο παραμέτρους: το απόθεμα ασφαλείας τελικών προϊόντων, S , και τον χρόνο υστέρησης της παραγωγής, L , που καθορίζει τον χρόνο έναρξης της παραγωγής ενός νέου προϊόντος. Η πολιτική ελέγχου (S, L) περιγράφεται στην συνέχεια.

Συμβολίζουμε με o_n την χρονική στιγμή που φθάνει στο σύστημα η νιοστή ζήτηση και με d_n την χρονική στιγμή της ικανοποίησής της (ημερομηνία παράδοσης). Η διαφορά

$$\tau_n = d_n - o_n$$

ονομάζεται χρόνος προειδοποίησης της νιοστής ζήτησης. Ο χρόνος τ_n μπορεί να είναι είτε σταθερός για όλα τα n , είτε στοχαστικός με δεδομένη κατανομή πιθανότητας.

Τη χρονική στιγμή $t = 0$ όλες οι ουρές του WIP, καθώς και η ουρά D, είναι άδειες. Στην ουρά D υπάρχουν S τελικά προϊόντα, όπου S είναι μια από τις δύο παραμέτρους της πολιτικής ελέγχου που εξετάζουμε. Κάθε ζήτηση που φθάνει στο σύστημα δημιουργεί μια εντολή παράδοσης σε πελάτη και μια εντολή έναρξης της παραγωγής ενός προϊόντος. Η εντολή παράδοσης της νιοστής ζήτησης στέλνεται στην ουρά D με καθυστέρηση ίση με το χρόνο προειδοποίησης τ_n . Η εντολή έναρξης της παραγωγής στέλνεται στην αρχή της γραμμής παραγωγής με καθυστέρηση ίση με την διαφορά $\tau_n - L$, αν αυτή είναι θετική, ή με μηδέν αν αυτή η διαφορά είναι αρνητική. Συνοπτικά η καθυστέρηση αυτή ισούται με

$$\max(0, \tau_n - L)$$

όπου L είναι η δεύτερη παράμετρος της πολιτικής ελέγχου και σχετίζεται με τον λεγόμενο χρόνο υστέρησης (lead time) των συστημάτων MRP. Και οι δύο καθυστερήσεις απεικονίζονται στο σχήμα 1 με τη μορφή ρολογιού.

2.2 ΠΕΡΙΓΡΑΦΗ ΤΟΥ ΤΡΟΠΟΥ ΑΝΑΛΥΣΗΣ ΤΟΥ ΣΥΣΤΗΜΑΤΟΣ

Το σύστημα που παρουσιάσαμε είναι αρκετά σύνθετο και η μελέτη του με αναλυτικές μεθόδους είναι πολύ δύσκολη. Για το λόγο αυτό προσφεύγουμε στην προσομοίωση.

Στο σημείο αυτό, χρήσιμο θα ήταν να αναφερθούμε στην έννοια και τη χρησιμότητα της προσομοίωσης. Ένας απλός ορισμός της προσομοίωσης θα ήταν, ότι προσομοίωση είναι η συλλογή στοιχείων και εφαρμογών με σκοπό τη μίμηση της συμπεριφοράς πραγματικών συστημάτων, εργασία η οποία πραγματοποιείται συνήθως με κατάλληλο λογισμικό. Η προσομοίωση, όπως γίνεται κατανοητό, είναι άμεσα συνδεδεμένη με τους ηλεκτρονικούς υπολογιστές. Φυσικό είναι λοιπόν, η αλματώδης πρόοδος των υπολογιστών στην εποχή μας, να καθιστά την προσομοίωση ένα από τα ισχυρότερα εργαλεία.

Το μεγαλύτερο πλεονέκτημα της μεθόδου αυτής είναι η δυνατότητα μελέτης πολυσύνθετων μοντέλων, όπου οι αναλυτικές λύσεις είναι αδύνατες. Αν και ο κύριος στόχος της προσομοίωσης είναι η εκτίμηση της απόδοσης και τελικά η βελτιστοποίηση ενός συστήματος, ένα σημαντικό όφελος που παρέχει η προσομοίωση είναι και η κατανόηση του τρόπου λειτουργίας ενός συστήματος. Κατασκευάζοντας ένα προσομοιωτικό μοντέλο, ο αναλυτής συνειδητοποιεί, ότι σε κάθε βήμα πρέπει να παίρνονται αποφάσεις που προϋποθέτουν ακριβή γνώση της λειτουργίας του συστήματος. Έτσι, η ολοκλήρωση ενός μοντέλου συνεπάγεται και απόκτηση πολύτιμων γνώσεων γύρω από το σύστημα.

Τέλος, σημαντική μπορεί να αποδειχθεί η προσομοίωση στη διαδικασία λήψης αποφάσεων, αφού δίνει τη δυνατότητα πρόβλεψης της εξέλιξης πιθανών σεναρίων και επιλογής του βέλτιστου.

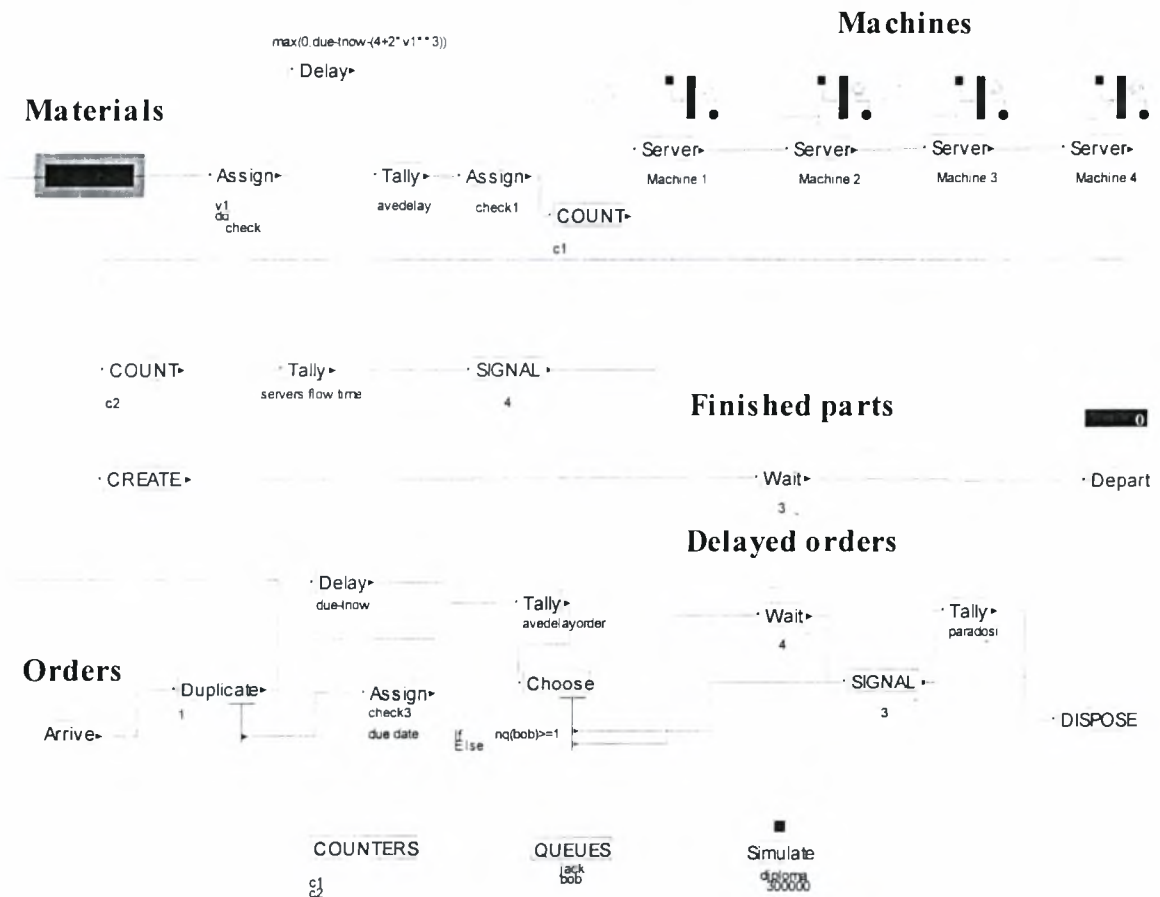
Τα αποτελέσματα βέβαια της προσομοίωσης δεν είναι πάντα ακριβή, αφού βασίζονται σε δειγματική διαδρομή του συστήματος. Όσο μεγαλύτερος είναι ο χρόνος προσομοίωσης, τόσο τα αποτελέσματα (δειγματικοί μέσοι όροι) συγκλίνουν στις πραγματικές τους τιμές (πραγματικοί μέσοι όροι). Συνεπώς η προσομοίωση είναι διαδικασία χρονοβόρα που απαιτεί επίσης σημαντική υπολογιστική δύναμη.

Για τους λόγους αυτούς ελέγξαμε το μοντέλο που χρησιμοποιήθηκε στη μελέτη μας, συγκρίνοντας τα αποτελέσματά του σε ειδικές περιπτώσεις με ήδη υπάρχουσες και επιβεβαιωμένες μελέτες. Ακόμα κάθε προσομοίωση έγινε για μια χρονική

περίοδο 300.000 χρονικών μονάδων, η οποία με ρυθμό άφιξης των ζητήσεων ίσο με 0,5 ζητήσεις ανά χρονική μονάδα αντιστοιχεί σε 150.000 ζητήσεις.

2.3 ΜΟΝΤΕΛΟΠΟΙΗΣΗ ΤΟΥ ΣΥΣΤΗΜΑΤΟΣ ΜΕ ΤΟ ΛΟΓΙΣΜΙΚΟ ΠΡΟΣΟΜΟΙΩΣΗΣ ARENA

Για την προσομοίωση του συστήματος χρησιμοποιήσαμε το λογισμικό προσομοίωσης ARENA 3.5 της Systems Modeling Corporation. Το τελικό μοντέλο του συστήματος που κατασκευάστηκε με το λογισμικό ARENA απεικονίζεται στο σχήμα 2. Τα βασικότερα στοιχεία αυτού επεξηγούνται στην συνέχεια.



Σχήμα 2 . Μοντέλο του συστήματος παραγωγής / αποθεμάτων ενός σταδίου με το λογισμικό ARENA.

Οι αφίξεις των εξωτερικών ζητήσεων στο σύστημα παράγονται με την εντολή ARRIVE. Τα στοιχεία της ζήτησης δίνονται στην οθόνη της εντολής ARRIVE που φαίνεται παρακάτω.

Στο επάνω μέρος της εντολής ARRIVE (enter data) δίνουμε την ονομασία του σταθμού αφίξεων καθώς και άλλα ειδικού χαρακτήρα.

Στο μεσαίο μέρος (arrival data) επιλέγουμε τα χαρακτηριστικά των αφίξεων, όπως το μέγεθος της παραγγελίας (batch size), το χρόνο μεταξύ δύο διαδοχικών παραγγελιών (time between) και το μέγιστο αριθμό παραγγελιών που επιθυμούμε να ικανοποιήσουμε (max batches).

Στο επόμενο στάδιο ξεκινά η παραγωγική διαδικασία. Τόσο οι πρώτες ύλες, όσο και οι παραγγελίες καθυστερούνται με τις εντολές DELAY1 και DELAY2 αντίστοιχα. Στην περίπτωση των πρώτων υλών η καθυστέρηση αυτή είναι

$$\max(0, d_n - o_n - L),$$

ενώ στην περίπτωση των παραγγελιών είναι $d_n - o_n$. Η οθόνη της εντολής DELAY1 φαίνεται παρακάτω, όπου το 'due' συμβολίζει το d_n και το ' t_{now} ' συμβολίζει το o_n .

Delay [?] [X]

Label:

Next Label:

Delay Type

Expression

Static Name

Attribute

Expression:

Storage:

OK Cancel Help

Αφού περάσει ο χρόνος καθυστέρησης DELAY1, οι πρώτες ύλες εισάγονται στις μηχανές, οι οποίες στο πρόγραμμα παριστάνονται από τις εντολές SERVER. Η οθόνη της αντίστοιχης εντολής για την μηχανή 1 φαίνεται παρακάτω.

Server [?] [X]

Enter Data

Label:

Station:

Iran In...

Server Data

Resource:

Capacity Type:

Capacity:

Resource Statistics

Process Time:

Options... Resource... Queue...

Animate...

Leave Data

Iran Out...

Count...

Route

Connect

Next Label:

OK Cancel Help

Στο πάνω μέρος (enter data) προσδιορίζεται η ονομασία του σταθμού εργασίας. Στο αριστερό κάτω μέρος (server data) σημειώνονται τα χαρακτηριστικά του σταθμού, όπως η χωρητικότητα (αριθμός θέσεων εργασίας) και ο χρόνος επεξεργασίας (process time). Στο κάτω δεξιά μέρος (leave data) αναγράφονται ο χρόνος μεταφοράς από τον ένα σταθμό στον άλλο και η ονομασία του επόμενου σταθμού.

Μετά το στάδιο της κατεργασίας τα έτοιμα προϊόντα εισέρχονται και περιμένουν στην ουρά των τελικών προϊόντων. Αφού περάσει ο χρόνος καθυστέρησης DELAY2, οι ζητήσεις εισέρχονται και περιμένουν στην ουρά των ανικανοποίητων ζητήσεων. Οι ουρές αυτές αντιπροσωπεύονται από την εντολή WAIT και την αντίστοιχη οθόνη για την ουρά των τελικών προϊόντων τη βλέπουμε παρακάτω. Ανά πάσα στιγμή, τουλάχιστον μια από τις δύο ουρές WAIT (finished parts, delayed orders) είναι άδεια, δηλαδή είτε θα υπάρχουν τελικά προϊόντα και καμία ανικανοποίητη ζήτηση, είτε θα υπάρχουν ανικανοποίητες ζητήσεις και κανένα τελικό προϊόν.

Στο επάνω μέρος έχουμε την ονομασία τις ουράς, ενώ από κάτω την έκφραση του σήματος που αναμένεται για να απελευθερωθεί το προϊόν, καθώς και ο αριθμός των προϊόντων που απελευθερώνεται κάθε φορά.

Τέλος παρουσιάζουμε το στάδιο εξόδου των έτοιμων προϊόντων από το σύστημα με την εντολή DEPART, η οποία φαίνεται παρακάτω

Depart ? X

Enter Data

Label: _____

Station Station Set

Depart 1

Station... Iran In... Options...

Count

Individual Counter
 Counter Set Member
 None

Counter: Depart 1_C

Increment: 1

Tally

Individual Tally
 Tally Set Member
 None

OK Cancel Help

Στο πάνω μέρος γράφεται η ονομασία του σταθμού και στο κάτω προσθέτουμε κάποιους μετρητές για την καταγραφή των προϊόντων που εξέρχονται από το σύστημα.

3. ΕΠΙΔΡΑΣΗ ΤΩΝ ΠΑΡΑΜΕΤΡΩΝ ΤΟΥ ΣΥΣΤΗΜΑΤΟΣ **ΣΥΤΗΝ ΑΠΟΔΟΣΗ ΤΟΥ ΣΥΣΤΗΜΑΤΟΣ**

Στο κεφάλαιο αυτό μελετάμε την επίδραση των παραμέτρων του συστήματος στην απόδοση του συστήματος. Οι παράμετροι που εξετάζουμε είναι οι εξής.

L : χρόνος υστέρησης

S : απόθεμα ασφαλείας

τ : μέσος χρόνος προειδοποίησης της ζήτησης

λ : μέσος ρυθμός άφιξης της ζήτησης

σ_τ : τυπική απόκλιση του μέσου χρόνου προειδοποίησης

σ_λ : τυπική απόκλιση του χρόνου ανάμεσα σε διαδοχικές ζητήσεις.

Τα μέτρα απόδοσης του συστήματος που εξετάζουμε είναι :

WIP/TH : μέσος χρόνος αναμονής ενός τεμαχίου στο WIP

FP/TH : μέσος χρόνος παραμονής ενός τεμαχίου στον χώρο αποθήκευσης τελικών προϊόντων

QD/TH : μέσος χρόνος καθυστέρησης μιας ζήτησης.

όπου

WIP : μέσος αριθμός τεμαχίων στο WIP

FP : μέσος αριθμός τελικών προϊόντων

QD : μέσος ρυθμός άφιξης της ζήτησης.

Τέλος εξετάζουμε το σταθμικό μέσο κόστος της διατήρησης τελικών αποθεμάτων και της καθυστέρησης της ικανοποίησης της ζήτησης,

$$COST = h*FP + b*QD,$$

όπου h είναι το κόστος διατήρησης μιας μονάδας τελικού αποθέματος και

b είναι το κόστος καθυστέρησης μιας παραγγελίας.

Για να μελετήσουμε την επίδραση κάθε μίας παραμέτρου στα μέτρα απόδοσης, τρέξαμε προσομοιώσεις του συστήματος για διαφορετικές τιμές της παραμέτρου, κρατώντας όλες τις άλλες παραμέτρους σταθερές. Ο χρόνος προσομοίωσης για κάθε προσομοίωση ήταν 300.000 χρονικές μονάδες. Θεωρήσαμε ότι ο χρόνος προειδοποίησης της ζήτησης και ο χρόνος ανάμεσα σε διαδοχικές ζητήσεις έχουν εκθετική κατανομή με μέση τιμή τ και $1/\lambda$ αντίστοιχα, εκτός από τις περιπτώσεις

όπου εξετάσαμε την επίδραση των τυπικών αποκλίσεων των χρόνων αυτών. Σε αυτές τις περιπτώσεις θεωρήσαμε ότι οι χρόνοι αυτοί έχουν κατανομή Lognormal.

Τέλος, θεωρήσαμε ότι οι χρόνοι επεξεργασίας κάθε μιας μηχανής έχουν εκθετική κατανομή με μέση τιμή 1 και ότι $h = 1$ και $b = 5$.

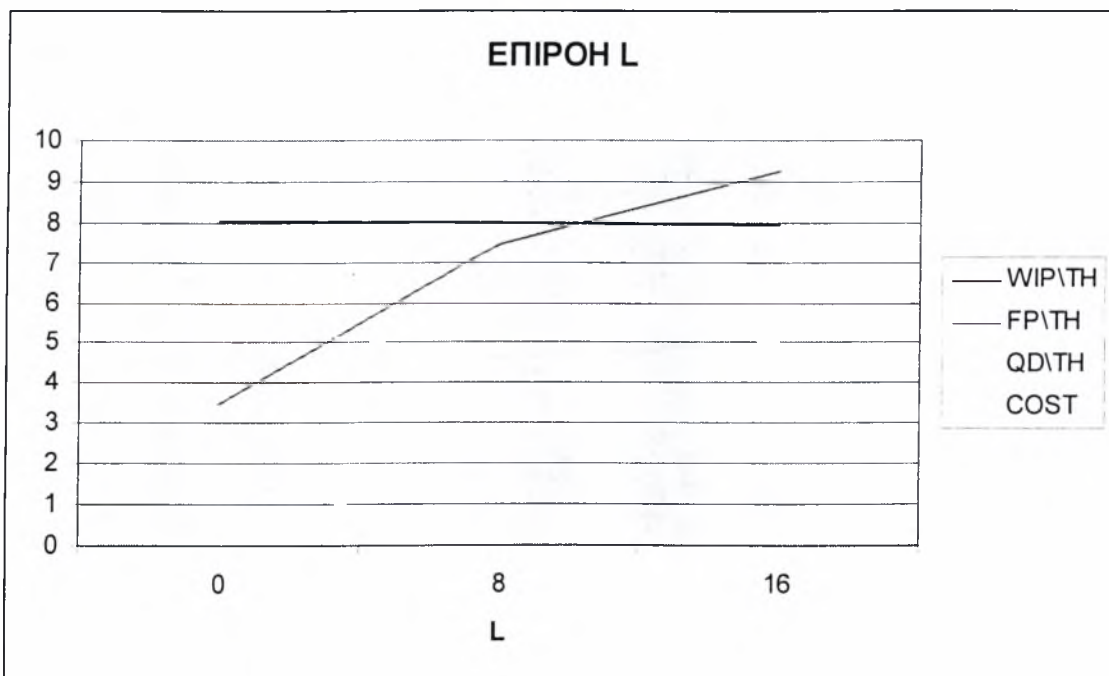
3.1 ΕΠΙΔΡΑΣΗ ΤΟΥ ΧΡΟΝΟΥ ΥΣΤΕΡΗΣΗΣ ΤΗΣ ΠΑΡΑΓΩΓΗΣ

3.1.1 ΠΕΡΙΠΤΩΣΗ ΣΤΑΘΕΡΟΥ ΧΡΟΝΟΥ ΥΣΤΕΡΗΣΗΣ

Στο παρακάτω διάγραμμα φαίνεται η επίδραση των χρόνου υστέρησης, L , για αρχικό απόθεμα $S = 5$, χρόνο ικανοποίησης παραγγελίας $\tau = 8$ και $\lambda = 0.5$. Ακόμα παρουσιάζονται στον πίνακα 1 τα αποτελέσματα του συγκεκριμένου πειράματος, που μας έδωσε το ARENA.

L	WIP\TH	FP\TH	QD\TH	COST
0	8,062	3,446	1,517	5,5155
8	7,973	7,502	0,347	4,6185
16	7,924	9,225	0,166	5,0275

Πίνακας 1. Αποτελέσματα προσομοίωσης για διάφορες τιμές του L .



Διάγραμμα 1. Επιρροή του L .

Από το παραπάνω διάγραμμα παρατηρούμε ότι αυξάνοντας το L :

Το WIP/ΤΗ παραμένει σταθερό

Το FP/ΤΗ αυξάνεται

Το QD/ΤΗ μειώνεται

Το κόστος ακολουθεί καμπύλη με μια ελάχιστη τιμή.

Τα αποτελέσματα αυτά είναι λογικά, αφού αυξάνοντας το L η καθυστέρηση που αφορά την έναρξη της παραγωγής γίνεται μικρότερη και έτσι η παραγωγή ξεκινά πιο γρήγορα. Αυτό έχει ως συνέπεια την δημιουργία περισσότερων τελικών αποθεμάτων. Αποτέλεσμα είναι να υπάρχουν σχεδόν πάντα τελικά προϊόντα στην ουρά P και οι ζητήσεις να ικανοποιούνται σχεδόν πάντα στην ημερομηνία παράδοσής τους.

3.1.2 ΠΕΡΙΠΤΩΣΗ ΜΕΤΑΒΛΗΤΟΥ ΧΡΟΝΟΥ ΥΣΤΕΡΗΣΗΣ

Στο υποκεφάλαιο 3.1.1 εξετάσαμε την επίδραση του χρόνου υστέρησης, L, για σταθερό L. Στο παρόν υποκεφάλαιο εξετάζουμε την επίδραση του L για L που είναι συνάρτηση του αριθμού των τεμαχίων στο WIP. Συγκεκριμένα εξετάσαμε την συνάρτηση

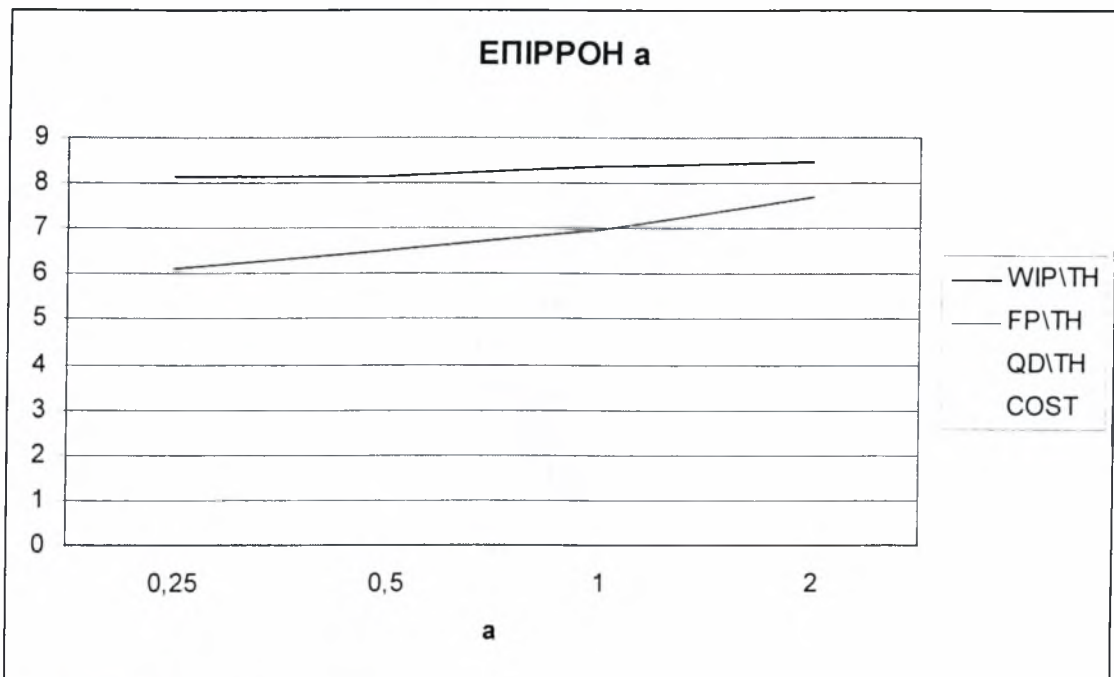
$$L = 4 + a \cdot \text{WIP}^b,$$

όπου τα a και b είναι παράμετροι της πολιτικής ελέγχου. Η επίδραση των a και b στα μέτρα απόδοσης του συστήματος φαίνονται παρακάτω.

ΕΠΙΡΡΟΗ a

α	WIP\ΤΗ	FP\ΤΗ	QD\ΤΗ	COST
0,25	8,157	6,113	0,562	4,4615
0,5	8,154	6,521	0,446	4,3755
1	8,381	6,971	0,394	4,4705
2	8,457	7,7	0,29	4,575

Πίνακας 2. Αποτελέσματα προσομοίωσης για τιμές του a.



Διάγραμμα 2. Επιρροή του a.

Παρατηρούμε ότι αυξάνοντας το a:

Το WIP/TH παραμένει σχεδόν σταθερό

Το FP/TH αυξάνεται με βραδύ ρυθμό

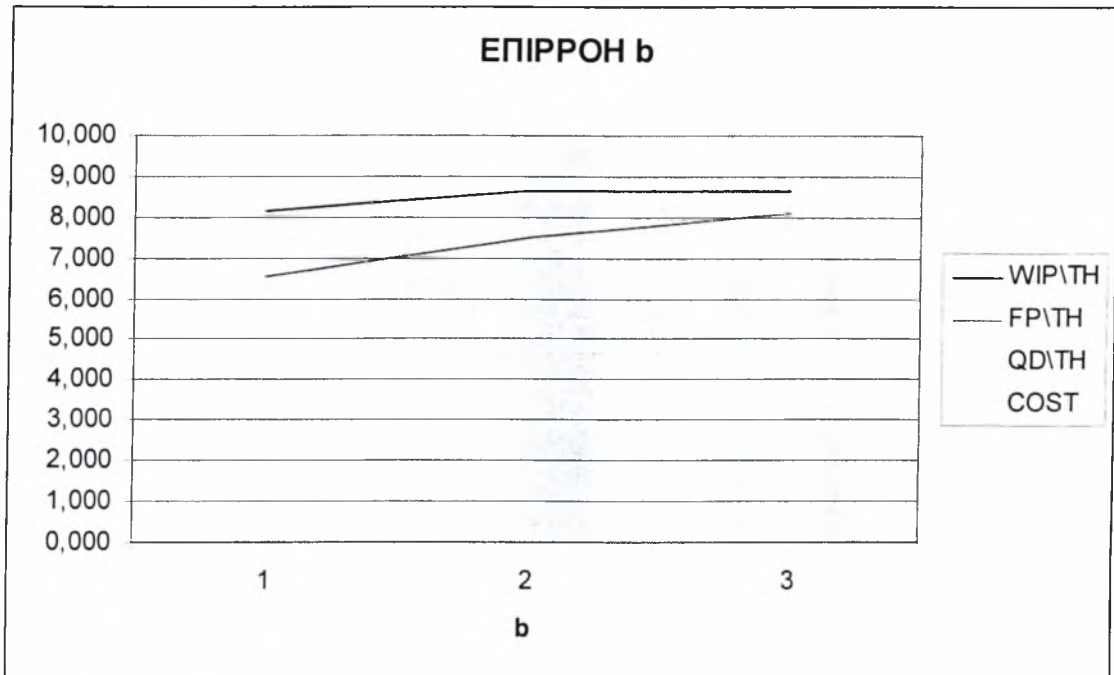
Το QD/TH μειώνεται με επίσης βραδύ ρυθμό

Το κόστος παραμένει σχεδόν σταθερό.

ΕΠΙΡΡΟΗ b

b	WIP\TH	FP\TH	QD\TH	COST
1	8,154	6,521	0,446	4,3755
2	8,665	7,495	0,35	4,6225
3	8,649	8,106	0,268	4,723

Πίνακας 3. Αποτελέσματα προσομοίωσης για τιμές του b.



Διάγραμμα 3. Επιρροή b.

Από το παραπάνω διάγραμμα φαίνεται ότι αυξάνοντας το b:

Το WIP/TH αυξάνει ελαφρά

Το FP/TH αυξάνει με σχεδόν σταθερό ρυθμό

Το QD/TH μειώνεται με σταθερό ρυθμό

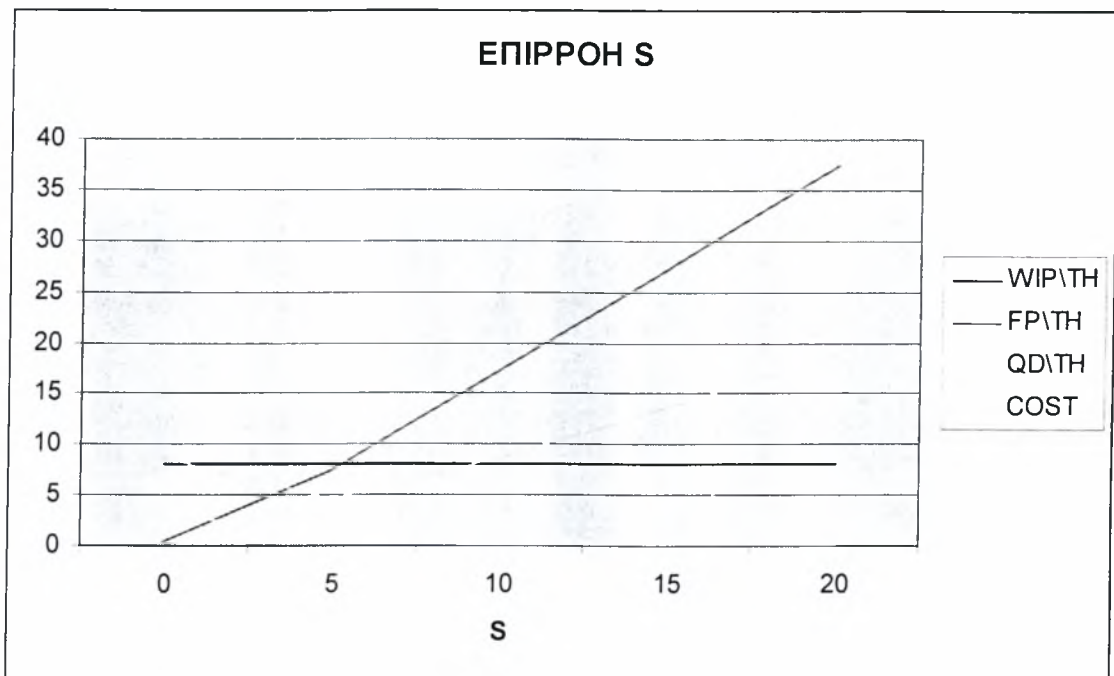
Το κόστος αυξάνεται πολύ λίγο.

3.2 ΕΠΙΔΡΑΣΗ ΤΟΥ ΑΠΟΘΕΜΑΤΟΣ ΑΣΦΑΛΕΙΑΣ

Για τιμές του S από 0 ως 20 παίρνουμε αποτελέσματα που φαίνονται στον πίνακα 4 και το αντίστοιχο διάγραμμα.

S	WIP/TH	FP/TH	QD/TH	COST
0	7,973	0,457	3,372	8,6585
5	7,973	7,502	0,347	4,6185
10	7,973	17,249	0,025	8,687
15	7,973	27,294	0,001	13,6495
20	7,973	37,361	0	18,6805

Πίνακας 4. Αποτελέσματα προσομοίωσης για τιμές του S.



Διάγραμμα 4. Επιρροή S.

Από το παραπάνω διάγραμμα παρατηρούμε ότι αυξάνοντας το απόθεμα ασφαλείας:

Το WIP/TH παραμένει σταθερό

Το FP/TH αυξάνει με σταθερό αλλά και μεγάλο ρυθμό

Το QD/TH μειώνεται σταθερά και φτάνει την τιμή μηδέν

Το κόστος ακολουθεί καμπύλη με ελάχιστη τιμή.

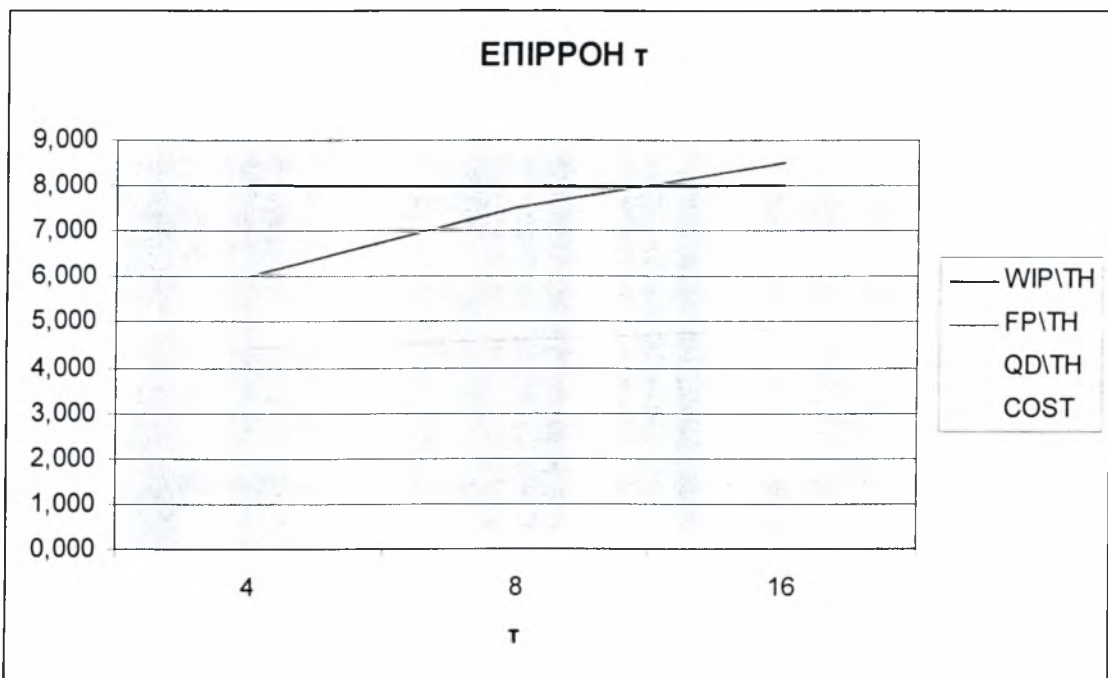
Αυτό συμβαίνει διότι αυξάνοντας το απόθεμα επιβαρύνουμε συνεχώς την ουρά P και μάλιστα για απόθεμα από 20 μονάδες και πάνω φαίνεται ότι έχουμε πια πολύ μεγάλο απόθεμα, που βέβαια ικανοποιεί πάντα τις ζητήσεις αλλά ανεβάζει και πολύ το κόστος. Ο μέσος χρόνος κατεργασίας στις μηχανές παραμένει πάλι σταθερός, αποτέλεσμα λογικό αφού οι μεταβολές του S αφορούν το τελευταίο μόνο στάδιο της παραγωγής και την ουρά P.

3.3 ΕΠΙΔΡΑΣΗ ΤΟΥ ΜΕΣΟΥ ΧΡΟΝΟΥ ΠΡΟΕΙΔΟΠΟΙΗΣΗΣ ΤΗΣ ΖΗΤΗΣΗΣ

Για τιμές του μέσου χρόνου ικανοποίησης των παραγγελιών 4, 8 και 16 έχουμε τα εξής αποτελέσματα.

WIP\TH	FP\TH	QD\TH	COST
7,998	6,030	0,561	4,4175
7,973	7,502	0,347	4,6185
8,006	8,514	0,226	4,822

Πίνακας 5. Αποτελέσματα προσομοίωσης για τιμές του τ .



Διάγραμμα 5. Επιρροή τ .

Από το παραπάνω διάγραμμα παρατηρούμε ότι αυξάνοντας το τ :

Το WIP/TH παραμένει σταθερό

Το FP/TH αυξάνεται σταθερά

Το QD/TH μειώνεται σταθερά

Το κόστος αυξάνεται πολύ λίγο.

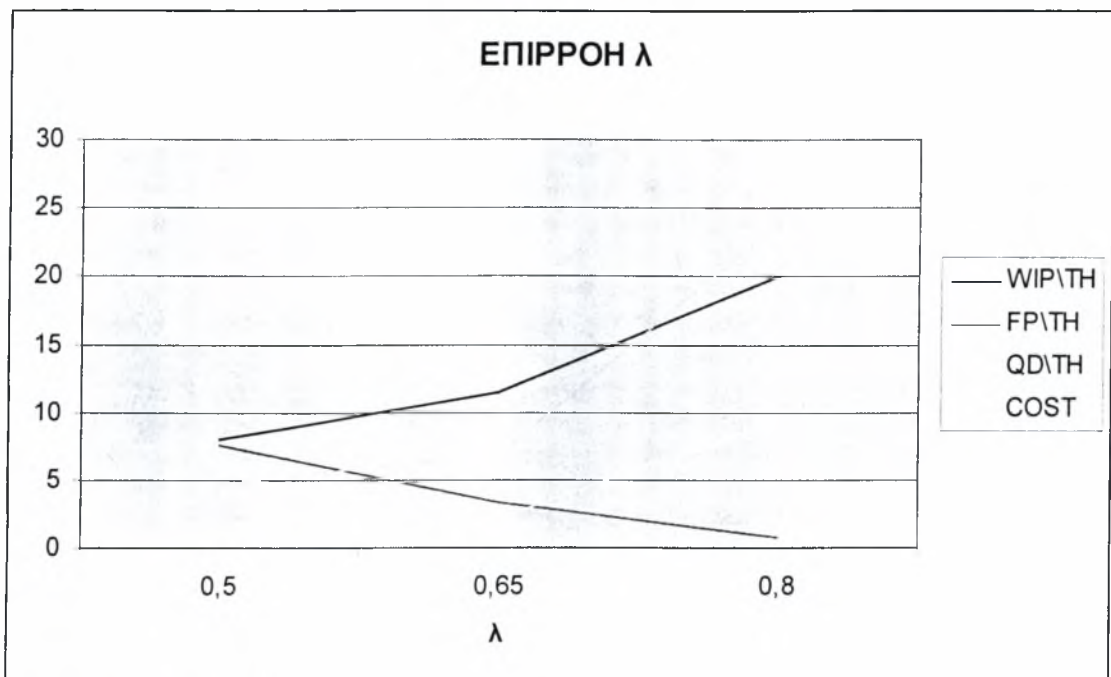
Θα μπορούσαμε λοιπόν να πούμε ότι οι μεταβολές του τ δεν επηρεάζουν σε μεγάλο βαθμό το σύστημα.

3.4 ΕΠΙΔΡΑΣΗ ΤΟΥ ΜΕΣΟΥ ΡΥΘΜΟΥ ΑΦΙΞΗΣ ΤΗΣ ΖΗΤΗΣΗΣ

Για τιμές του λ ίσες με 0,5 , 0,65 και 0,8 έχουμε τα παρακάτω αποτελέσματα.

λ	WIP\TH	FP\TH	QD\TH	COST
0,5	7,973	7,502	0,347	4,6185
0,65	11,469	3,307	2,085	6,866
0,8	19,980	0,766	9,438	23,978

Πίνακας 6. Αποτελέσματα προσομοίωσης για τιμές του λ .



Διάγραμμα 6. Επιρροή λ .

Σύμφωνα με το παραπάνω διάγραμμα, αυξάνοντας τον ρυθμό άφιξης των παραγγελιών:

Το WIP/TH αυξάνει με αύξοντα ρυθμό

Το FP/TH μειώνεται σταθερά

Το QD/TH αυξάνεται με αύξοντα ρυθμό

Το κόστος αυξάνεται με αύξοντα ρυθμό.

Αυτό είναι λογικό αφού με αύξηση του ρυθμού άφιξης των παραγγελιών έχουμε να ικανοποιήσουμε περισσότερες ζητήσεις και για να ανταποκριθεί το σύστημα θα έπρεπε η παραγωγή να ξεκινά νωρίτερα. Για πρώτη φορά παρατηρείται και

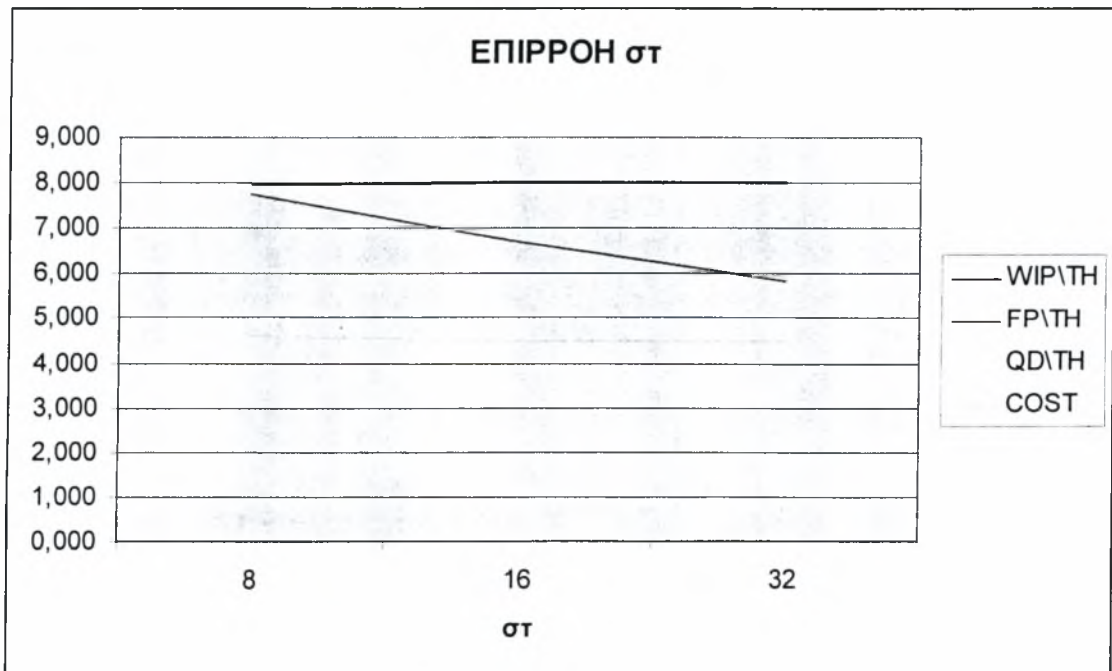
μεταβολή του χρόνου κατεργασίας, ο οποίος παρουσιάζει αυξητικές τάσεις. Αυτό είναι λογικό αφού με αύξηση των αφίξεων έχουμε και αύξηση των κομματιών μέσα στο σύστημα

3.5 ΕΠΙΔΡΑΣΗ ΤΗΣ ΜΕΤΑΒΛΗΤΟΤΗΤΑΣ ΤΟΥ ΧΡΟΝΟΥ ΠΡΟΕΙΔΟΠΟΙΗΣΗΣ ΤΗΣ ΖΗΤΗΣΗΣ

Για να εξετάσουμε την επίδραση της μεταβλητότητας του χρόνου προειδοποίησης της ζήτησης χρησιμοποιήσαμε και πάλι την κατανομή Lognormal με παραμέτρους μ_τ και σ_τ για τις τιμές $\mu_\tau = 8$ και $\sigma_\tau = 8,16$ και 32. Τα αποτελέσματα φαίνονται στον πίνακα που ακολουθεί και το παρακάτω διάγραμμα.

σ_τ	WIP\TH	FP\TH	QD\TH	COST
8	7,968	7,752	0,294	4,611
16	8,000	6,676	0,458	4,483
32	8,013	5,828	0,631	4,4915

Πίνακας 7. Αποτελέσματα προσομοίωσης για τιμές του σ_τ .



Διάγραμμα 7. Επιρροή σ_τ .

Από το παραπάνω διάγραμμα παρατηρούμε ότι αυξάνοντας το σ_t δεν παρατηρείται σημαντική μεταβολή στο σύστημα.

Ο μέσος χρόνος κατεργασίας παραμένει σταθερός, ενώ παρατηρείται αμελητέα αύξηση του μέσου χρόνου καθυστέρησης της ζήτησης..

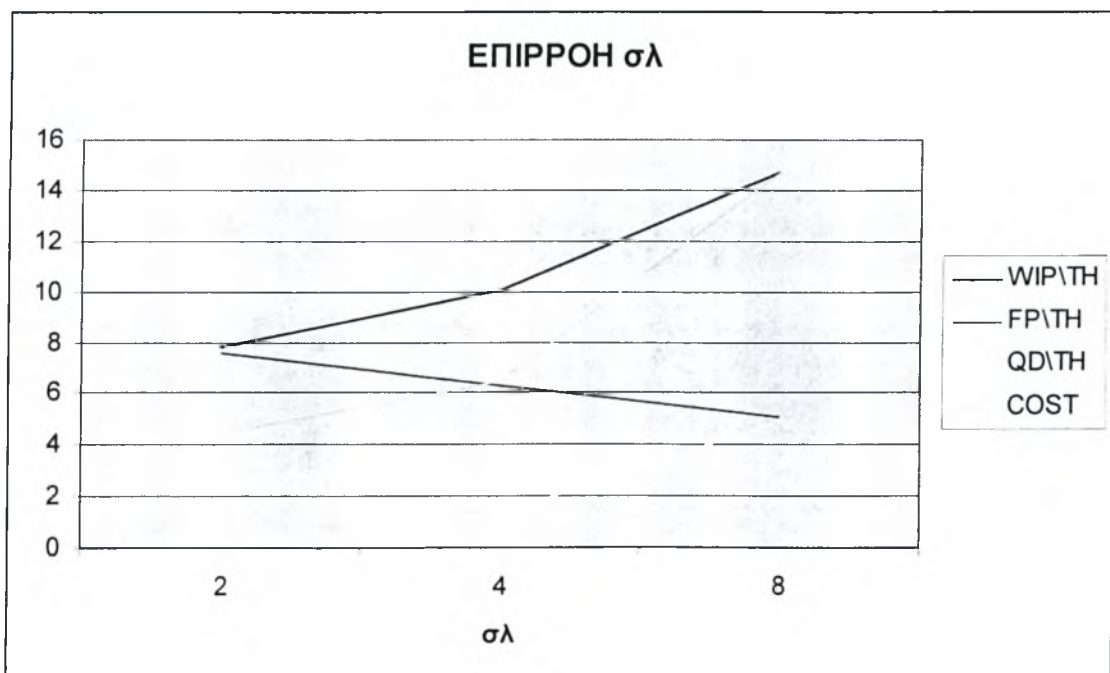
Η μοναδική σημαντική μεταβολή παρατηρείται στη μείωση του μέσου χρόνου αναμονής των έτοιμων προϊόντων.

3.6 ΕΠΙΔΡΑΣΗ ΤΗΣ ΜΕΤΑΒΛΗΤΟΤΗΤΑΣ ΤΟΥ ΧΡΟΝΟΥ ΑΝΑΜΕΣΑ ΣΕ ΔΙΑΔΟΧΙΚΕΣ ΑΦΙΞΕΙΣ

Για να εξετάσουμε την επίδραση της μεταβλητότητας του χρόνου ανάμεσα σε διαδοχικές αφίξεις της ζήτησης, θεωρήσαμε ότι ο χρόνος αυτός έχει κατανομή Lognormal με παραμέτρους, μ_λ , σ_λ , όπου το μ_λ και το σ_λ είναι η μέση τιμή και η τυπική απόκλιση του λογαρίθμου του χρόνου ανάμεσα σε διαδοχικές αφίξεις [5]. Στα πειράματά μας επιλέξαμε τις τιμές $\mu_\lambda = 0,5$ και $\sigma_\lambda = 2,4$ και 8. Τα αποτελέσματα δίνονται από τον παρακάτω πίνακα και το παρακάτω διάγραμμα.

σ_λ	WIP\TH	FP\TH	QD\TH	COST
2	7,816	7,537	0,27	4,4435
4	10,043	6,292	1,323	6,4535
8	14,703	5,058	4,878	14,724

Πίνακας 8. Αποτελέσματα προσομοίωσης για τιμές του σ_λ .



Διάγραμμα 8. Επιρροή σ_λ.

Από το παραπάνω διάγραμμα παρατηρούμε αύξηση του μέσου χρόνου κατεργασίας:

Το WIP/ΤΗ αυξάνεται με αύξοντα ρυθμό

Το FP/ΤΗ μειώνεται με σχεδόν σταθερό ρυθμό

Το QD/ΤΗ αυξάνεται με αύξοντα ρυθμό

Το κόστος αυξάνεται με αύξοντα ρυθμό.

4. ΒΕΛΤΙΣΤΟΠΟΙΗΣΗ ΤΟΥ ΑΠΟΘΕΜΑΤΟΣ ΑΣΦΑΛΕΙΑΣ ΚΑΙ ΤΟΥ ΧΡΟΝΟΥ ΥΣΤΕΡΗΣΗΣ

4.1 ΠΕΡΙΠΤΩΣΗ ΣΤΑΘΕΡΟΥ ΧΡΟΝΟΥ ΠΡΟΕΙΔΟΠΟΙΗΣΗΣ ΤΗΣ ΖΗΤΗΣΗΣ

Στο παρόν υποκεφάλαιο, ψάχνουμε τις τιμές του S και του L που ελαχιστοποιούν το μέσο αναμενόμενο κόστος,

$$\text{COST} = h * \text{FP} + b * \text{QD}$$

για σταθερές τιμές του τ . Χρησιμοποιούμε τις τιμές $h = 5$ και $b = 1$, δηλαδή το κόστος διατήρησης μιας μονάδας αποθέματος είναι πενταπλάσιο από το κόστος μιας καθυστερημένης ζήτησης.

Το βασικό συμπέρασμα που προκύπτει από τη βελτιστοποίηση είναι το εξής. Υπάρχει κάποια κρίσιμη τιμή του τ , η τ^* , τέτοια ώστε:

$$S^* > 0 \text{ για } \tau < \tau^*$$

$$S^* = 0 \text{ για } \tau \geq \tau^*,$$

$$\text{και } L^* = \tau^*$$

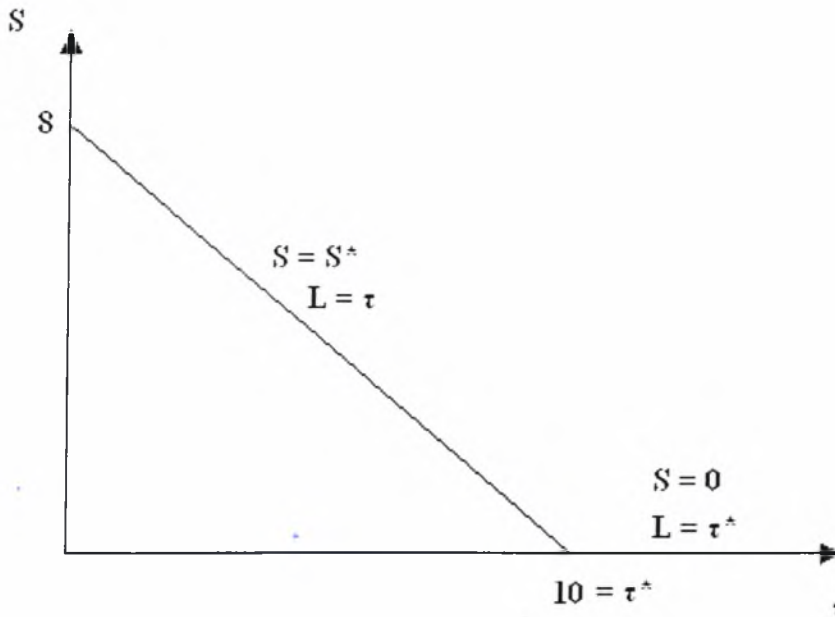
όπου S^* και L^* είναι οι βέλτιστες τιμές των S και L αντίστοιχα.

Το συμπέρασμα αυτό προκύπτει από τις προσομοιώσεις που τρέξαμε και που φαίνονται στον παρακάτω πίνακα.

S \ τ	0	8	9	10	11	12
0	15,839	9,788	9,68	9,493	9,48	10,342
1	14,685	9,755	9,62	9,666	9,9	10,846
2	13,726	10,048	9,867	-	-	-
3	12,828	-	-	-	-	-
4	12,032	-	-	-	-	-
5	11,375	-	-	-	-	-
6	11,188	-	-	-	-	-
7	10,636	-	-	-	-	-
8	10,621	-	-	-	-	-
9	10,876	-	-	-	-	-

Πίνακας 9. Βέλτιστα S για διάφορες τιμές του τ .

Το κόστος για $S = 0$, $\tau = 12$ και $L = 10$ είναι 9,483 που είναι μικρότερο από το κόστος για $\tau = 12$ και $L = 12$. Άρα για $\tau = 12$ είναι $S^* = 0$ και $L^* = 10 = \tau^*$. συνοπτικά η συμπεριφορά του S^* δίνεται από το παρακάτω διάγραμμα για $L^* = \tau^*$.



Το απόθεμα ασφαλείας μεταβάλλεται δηλαδή γραμμικά και σύμφωνα με τη σχέση

$$S(\tau) = 8 - \frac{0,8}{\tau^*} \tau.$$

4.2 ΠΕΡΙΠΤΩΣΗ ΜΕΤΑΒΛΗΤΟΥ ΧΡΟΝΟΥ ΠΡΟΕΙΔΟΠΟΙΗΣΗΣ ΤΗΣ ΖΗΤΗΣΗΣ

Στο υποκεφάλαιο αυτό ψάχνουμε τις βέλτιστες τιμές του S και του L για να ελαχιστοποιήσουμε το κόστος

$$\text{COST} = h * \text{FP} + b * \text{QD}$$

για τ μεταβλητό. Ισχύει πάλι $h = 5$, $b = 1$. Υποθέσαμε ότι το τ ακολουθεί διακριτή κατανομή με τρεις τιμές, τ_1 , τ_2 , τ_3 , με πιθανότητα $1/3$ η κάθε μια.

Εξετάσαμε τρεις περιπτώσεις:

Περίπτωση Α : $(\tau_1, \tau_2, \tau_3) = (2, 4, 6)$

Περίπτωση Β : $(\tau_1, \tau_2, \tau_3) = (6, 10, 14)$

Περίπτωση Γ : $(\tau_1, \tau_2, \tau_3) = (10, 16, 22)$

Στην περίπτωση Α οι τιμές του τ είναι μικρότερες του τ^* που βρήκαμε στο υποκεφάλαιο 4.1

Στην περίπτωση Β μερικές τιμές του τ είναι μικρότερες του τ^* , ενώ άλλες είναι μεγαλύτερες του τ^* .

Στην περίπτωση Γ οι τιμές του τ είναι μεγαλύτερες του τ^* .

Για κάθε περίπτωση τρέξαμε προσομοιώσεις για διαφορετικές τιμές του S και του L με στόχο να βρούμε τις τιμές εκείνες που ελαχιστοποιούν το κόστος. Τα αποτελέσματα φαίνονται στους παρακάτω πίνακες.

ΠΕΡΙΠΤΩΣΗ Α

S \ L	2	4	6	8
0	14,508	13,05	12,709	12,709
2	12,66	11,398	11,167	11,167
4	11,249	10,424	10,398	10,398
5	10,809	10,335	10,395	10,395
6	10,575	10,497	10,68	10,68

Πίνακας 10. Αποτελέσματα προσομοιώσεων για $\tau=2, 4, 6$.

ΠΕΡΙΠΤΩΣΗ Β

S \ L	6	10	11	12	14
0	11,4	10,292	9,75	9,7	9,73
1	10,784	10,128	9,683	9,74	9,896
2	10,392	10,256	9,92	10,1	10,387

Πίνακας 11. Αποτελέσματα προσομοιώσεων για $\tau=6, 10, 14$.

ΠΕΡΙΠΤΩΣΗ Γ

S \ L	10	11	12	13	16	22
0	9,809	9,88	9,74	9,92	10,88	12,757
1	9,952	10,222	10,122	10,521	12,051	14,451

Πίνακας 12. Αποτελέσματα προσομοιώσεων για $\tau=10, 16, 22$.

Από τους παραπάνω πίνακες φαίνεται ότι

Περίπτωση Α : $S^* = 5 > 0$ και $L^* \geq 6$

Περίπτωση Β : $S^* = 0$ και $L^* \approx 12$

Περίπτωση Γ : $S^* = 1 > 0$ και $L^* = 11$.

Από τα παραπάνω αποτελέσματα φαίνεται ότι όταν το τ είναι μεταβλητό, η βέλτιστη πολιτική ελέγχου (S, L) είναι

$$L^* = \tau^*$$

$$\text{και } S^* = \sum_{i=1}^3 p(\tau_i) S^*(\tau_i),$$

όπου $p(\tau_i)$ είναι η πιθανότητα $\tau = \tau_i$ και ισούται με $1/3$

και $S^*(\tau_i)$ είναι η βέλτιστη τιμή του αποθέματος ασφαλείας για σταθερό $\tau = \tau_i$ και εξετάσθηκε στο υποκεφάλαιο 4.1.

Για το συγκεκριμένο παράδειγμα, με βάση την ανάλυση του υποκεφαλαίου 4.1, το $S^*(\tau_i)$ έχει τη μορφή

$$S^*(\tau_i) = 8 - \frac{8}{\tau^*} \tau_i \quad \text{αν } \tau < \tau^*$$

$$S^*(\tau_i) = 0 \quad \text{αν } \tau \geq \tau^*$$

όπου το τ^* είναι κάπου ανάμεσα από το 10 και το 12.

Από τα παραπάνω μπορούμε να συνάγουμε ότι, η βέλτιστη τιμή S^* και L^* δίνονται ως εξής:

$$L^* = \tau^*$$

$$\text{και } S^* = \int_0^{\infty} S^*(\tau) f(\tau) d\tau,$$

όπου το $f(\tau)$ είναι η συνάρτηση πυκνότητας πιθανότητας του τ . Για να επαληθεύσουμε πραγματοποιούμε δύο πειράματα, δίνοντας στο τ τις παρακάτω τιμές, ενώ διατηρώντας $L = \tau$.

ΠΕΙΡΑΜΑ 1

2	με πιθανότητα	3/12	
4	«	«	2/12
6	«	«	2/12
8	«	«	1/12
12	«	«	4/12
14	«	«	4/12
16	«	«	4/12

ΠΕΙΡΑΜΑ 2

2	με πιθανότητα	1/12	
4	«	«	2/12
6	«	«	2/12
8	«	«	3/12
12	«	«	4/12
14	«	«	4/12
16	«	«	4/12

Τα αποτελέσματα που παίρνουμε είναι τα ακόλουθα:

S \ L	ΠΕΙΡΑΜΑ 1	ΠΕΙΡΑΜΑ 2
1	10,414	10,152
2	10,08	9,892
3	10,015	10,05
4	10,233	10,591

Έχουμε δηλαδή για το πείραμα 1 $S^* = 3$

και για το πείραμα 2 $S^* = 2$.

Αν το S^* επιχειρούσαμε να το υπολογίσουμε με τη σχέση που αναπτύξαμε θα είχαμε:

Από τη σχέση $S^* = 8 - \frac{0,8}{\tau^*}$ υπολογίζουμε ότι

$$\text{Για } \tau = 2 \quad S^* = 6,4$$

$$\tau = 4 \quad S^* = 4,8$$

$$\tau = 6 \quad S^* = 3,2$$

$$\tau = 8 \quad S^* = 1,6$$

$$\tau = 12,14,16 \quad S^* = 0.$$

Έτσι έχουμε

$$\begin{aligned} \text{ΠΕΙΡΑΜΑ 1 : } S^* &= 6,4 \cdot 3/12 + 4,8 \cdot 2/12 + 3,2 \cdot 2/12 + 1,6 \cdot 1/12 + (0+0+0) \cdot 4/12 = \\ &= 3,1 \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} \text{ΠΕΙΡΑΜΑ 2 : } S^* &= 6,4 \cdot 1/12 + 4,8 \cdot 2/12 + 3,2 \cdot 2/12 + 1,6 \cdot 3/12 + (0+0+0) \cdot 4/12 = \\ &= 2,26 \end{aligned}$$

Παρατηρούμε λοιπόν ότι έχουμε μια πολύ ικανοποιητική προσέγγιση των πραγματικών αποτελεσμάτων και έτσι μπορούμε ασφαλώς να εξάγουμε το γενικό συμπέρασμα ότι σε κάθε περίπτωση η βέλτιστη πολιτική είναι

$$L^* = \tau^*$$

$$\text{και } S^* = \int_0^{\infty} S^*(\tau) f(\tau) d\tau$$

5. ΣΥΜΠΕΡΑΣΜΑΤΑ

Εξετάσαμε μια πολιτική ελέγχου παραγωγής (S, L) σε σύστημα ελέγχου παραγωγής / αποθεμάτων ενός σταδίου με τέσσερις μηχανές στην σειρά. Με τη βοήθεια του λογισμικού προσομοίωσης ARENA πήραμε πολλά και χρήσιμα στοιχεία για τη συμπεριφορά των μέτρων απόδοσης του συστήματος σε σχέση με τις παραμέτρους που παρουσιάσαμε. Με την βοήθεια των στοιχείων αυτών πραγματοποιήσαμε στη συνέχεια βελτιστοποίηση του συστήματος και καταλήξαμε στα εξής συμπεράσματα.

Σε ένα σύστημα παραγωγής / αποθεμάτων όπου δεν υπάρχει έγκαιρη προειδοποίηση της ζήτησης είναι επιτακτική η ανάγκη διατήρησης αποθέματος ασφαλείας, καθώς και η άμεση έναρξη της παραγωγής κατά την άφιξη μιας ζήτησης. Αντίθετα αν υπάρχει προειδοποίηση για τη ζήτηση, μειώνεται η ανάγκη διατήρησης αποθέματος και άμεσης έναρξης της παραγωγής. Ο χρόνος προειδοποίησης της ζήτησης μπορεί να είναι σταθερός ή στοχαστικός. Στην πρώτη περίπτωση, δηλαδή για σταθερό χρόνο προειδοποίησης της ζήτησης, όσο μεγαλύτερος είναι ο χρόνος αυτός, τόσο περισσότερο μειώνουμε το βέλτιστο απόθεμα ασφαλείας χωρίς να καθυστερούμε την έναρξη της παραγωγής κατά την άφιξη μιας ζήτησης. Υπάρχει κάποιος κρίσιμος χρόνος προειδοποίησης της ζήτησης για τον οποίο το βέλτιστο απόθεμα ασφαλείας γίνεται μηδέν. Αν ο χρόνος προειδοποίησης είναι μεγαλύτερος από αυτόν τον κρίσιμο χρόνο, τότε το βέλτιστο απόθεμα ασφαλείας παραμένει μηδέν, ενώ καθυστερούμε την έναρξη της παραγωγής κατά την άφιξη μιας ζήτησης κατά χρονικό διάστημα ίσο με την διαφορά του κρίσιμου χρόνου προειδοποίησης από τον χρόνο προειδοποίησης.

Στην δεύτερη περίπτωση, όπου ο χρόνος προειδοποίησης της ζήτησης είναι στοχαστικός με δεδομένη κατανομή πιθανότητας, το απόθεμα ασφαλείας είναι ίσο με τον σταθμικό μέσο όρο των αποθεμάτων ασφαλείας που αντιστοιχούν σε σταθερό χρόνο προειδοποίησης. Επίσης, καθυστερούμε την έναρξη της παραγωγής κατά την άφιξη μιας ζήτησης κατά ένα χρονικό διάστημα που ισούται με τη διαφορά του κρίσιμου χρόνου προειδοποίησης από τον χρόνο προειδοποίησης, αν η διαφορά αυτή είναι θετική, αλλιώς δεν καθυστερούμε καθόλου την έναρξη της παραγωγής.

6. ΒΙΒΛΙΟΓΡΑΦΙΑ

- [1] U. Karmarkar (1989), *Getting control of just-in-time*, Harvard Business Review, Sept-Oct.
- [2] J.A.Buzacott and G.Shanthikumar (1994), *Safety stocks versus safety time in MRP controlled production systems*, Management Science Vol.40, No.12
- [3] F.Karaemen, J.A.Buzacott and Y.Dallery (1999), *Integrating advanced information in pull type control mechanisms for multi-stage production*, in Proceedings of the second aegean international conference on " Analysis And Modeling of manufacturing systems, Tinos Island, Greece.
- [4] U.Karmarkar (1993), *Manufacturing lead times, order release and capacity loading*, in Handbooks in Operation Research and Management Science, S.C.Graves, A.H.G.Rinnooy and P.H.Zipkin (eds), Elsevier Science (North-Holland), Amsterdam.
- [5] W.D.Kelton, R.P.Sadowski and D.A.Sadowski (1998), *Simulation with ARENA*, McGraw-Hill, Boston, MA.

ΠΑΡΑΡΤΗΜΑ

Αποτελεσματα ($\lambda=0,5, \tau=8$) για $S=10$ $L=4$

ARENA Simulation Results
Systems Modeling <user unknown> - License #9810727

Summary for Replication 1 of 1

Project: diploma Run execution date
: 7/ 8/1999
Analyst: adorizas Model revision date
: 19/ 3/1999

Replication ended at time : 300000.0

TALLY VARIABLES

Identifier Observations	Average	Half Width	Minimum	Maximum
bob Queue Time 149528	15.256	.15229	.00000	54.488
Machine 4_R_Q Queue Ti 149526	.99782	.03314	.00000	21.009
paradosi 149528	.04968	.01010	.00000	17.557
Machine 1_R_Q Queue Ti 149528	1.0089	.02699	.00000	19.268
avedelay 149529	4.8522	.04085	.00000	100.81
servers flow time 149526	8.0045	.07967	.17240	33.889
Machine 2_R_Q Queue Ti 149527	1.0159	.02555	.00000	17.652
avedelayorder 149528	8.0010	.04391	3.7730E-05	104.81
jack Queue Time 2721	2.7301	.31825	.00103	17.557
Machine 3_R_Q Queue Ti 149527	.97965	.02547	.00000	20.664

DISCRETE-CHANGE VARIABLES

Identifier Final Value	Average	Half Width	Minimum	Maximum
Machine 2_R Available 1.0000	1.0000	(Insuf)	1.0000	1.0000
# in bob 8.0000	7.6045	.04302	.00000	14.000

Αποτελεσματα ($\lambda=0,5, \tau=8$) για $S=10$ $L=4$

Machine 1_R Available	1.0000	(Insuf)	1.0000	1.0000
1.0000				
# in Machine 4_R_Q	.49733	.01639	.00000	16.000
.00000				
# in Machine 3_R_Q	.48828	.01324	.00000	15.000
.00000				
# in jack	.02476	.00536	.00000	13.000
.00000				
# in Machine 2_R_Q	.50637	.01371	.00000	15.000
.00000				
# in Machine 1_R_Q	.50290	.01532	.00000	13.000
1.0000				
Machine 4_R Busy	.49837	.00344	.00000	1.0000
.00000				
Machine 3_R Busy	.49648	.00392	.00000	1.0000
1.0000				
Machine 2_R Busy	.49986	.00345	.00000	1.0000
.00000				
Machine 1_R Busy	.50007	(Corr)	.00000	1.0000
1.0000				
Machine 4_R Available	1.0000	(Insuf)	1.0000	1.0000
1.0000				
Machine 3_R Available	1.0000	(Insuf)	1.0000	1.0000
1.0000				

COUNTERS

Identifier	Count	Limit
Depart 1_C	149528	Infinite
expo.2_C	149529	Infinite

Simulation run time: 21.25 minutes.
Simulation run complete.

Αποτελεσματα ($\lambda=0,5, \tau=8$) για S= 5 L=8

ARENA Simulation Results
 Systems Modeling <user unknown> - License #9810727

Summary for Replication 1 of 1

Project: diploma	Run execution date
: 7/ 8/1999	
Analyst: adORIZAS	Model revision date
: 19/ 3/1999	

Replication ended at time : 300000.0

TALLY VARIABLES

Identifier Observations	Average	Half Width	Minimum	Maximum
bob Queue Time 148967	7.5026	.08660	.00000	44.196
Machine 4_R_Q Queue Ti 148966	1.0016	.02941	.00000	20.594
paradosi 148967	.34768	.02633	.00000	22.738
Machine 1_R_Q Queue Ti 148968	.97629	.02601	.00000	29.373
avedelay 148970	2.9459	.02559	.00000	87.108
servers flow time 148965	7.9739	.07278	.34162	35.100
Machine 2_R_Q Queue Ti 148967	.99725	.02804	.00000	18.868
avedelayorder 148967	8.0055	.03237	9.6191E-06	95.108
jack Queue Time 15885	3.2604	.15089	2.7927E-04	22.738
Machine 3_R_Q Queue Ti 148967	.99659	.02943	.00000	22.816

DISCRETE-CHANGE VARIABLES

Identifier Final Value	Average	Half Width	Minimum	Maximum
Machine 2_R Available 1.0000	1.0000	(Insuf)	1.0000	1.0000
# in bob 3.0000	3.7255	.02830	.00000	11.000

Αποτελεσματα ($\lambda=0,5, \tau=8$) για $S=5$ $L=8$

Machine 1_R Available	1.0000	(Insuf)	1.0000	1.0000
1.0000				
# in Machine 4_R_Q	.49736	.01471	.00000	17.000
1.0000				
# in Machine 3_R_Q	.49486	.01558	.00000	18.000
.00000				
# in jack	.17264	.01348	.00000	15.000
.00000				
# in Machine 2_R_Q	.49519	.01661	.00000	16.000
.00000				
# in Machine 1_R_Q	.48479	.01273	.00000	18.000
2.0000				
Machine 4_R Busy	.49632	.00339	.00000	1.0000
1.0000				
Machine 3_R Busy	.49769	.00403	.00000	1.0000
.00000				
Machine 2_R Busy	.49805	.00345	.00000	1.0000
.00000				
Machine 1_R Busy	.49524	.00330	.00000	1.0000
1.0000				
Machine 4_R Available	1.0000	(Insuf)	1.0000	1.0000
1.0000				
Machine 3_R Available	1.0000	(Insuf)	1.0000	1.0000
1.0000				

COUNTERS

Identifier	Count	Limit
Depart 1_C	148967	Infinite
expo.2_C	148971	Infinite

Simulation run time: 21.40 minutes.
Simulation run complete.

Αποτελεσματα ($\lambda=0,65, \tau=8$) για $S=10$ $L=4$

ARENA Simulation Results
Systems Modeling <user unknown> - License #9810727

Summary for Replication 1 of 1

Project: diploma Run execution date
 : 7/ 9/1999
 Analyst: adorizas Model revision date
 : 19/ 3/1999

Replication ended at time : 300000.0

TALLY VARIABLES

Identifier Observations	Average	Half Width	Minimum	Maximum
bob Queue Time 195975	7.7018	.16742	.00000	40.753
Machine 4_R_Q Queue Ti 195974	1.9570	.07941	.00000	32.484
paradosi 195975	.85789	.09615	.00000	43.182
Machine 1_R_Q Queue Ti 195977	1.9232	.05911	.00000	34.261
avedelay 195977	4.8771	.04340	.00000	105.52
servers flow time 195973	11.612	.18175	.32692	59.915
Machine 2_R_Q Queue Ti 195976	1.8672	.05426	.00000	30.640
avedelayorder 195975	8.0259	.04736	1.2353E-05	109.52
Machine 3_R_Q Queue Ti 195975	1.8607	(Corr)	.00000	31.170
jack Queue Time 33560	5.0097	.36264	2.2188E-04	43.182

DISCRETE-CHANGE VARIABLES

Identifier Final Value	Average	Half Width	Minimum	Maximum
Machine 2_R Available 1.0000	1.0000	(Insuf)	1.0000	1.0000
Machine 1_R Available 1.0000	1.0000	(Insuf)	1.0000	1.0000

Αποτελεσματα ($\lambda=0,65, \tau=8$) για $S=10$ $L=4$

# in bob 8.0000	5.0315	.08075	.00000	14.000
# in Machine 4_R_Q 1.0000	1.2784	.05191	.00000	30.000
# in Machine 3_R_Q .00000	1.2155	.04419	.00000	26.000
# in Machine 2_R_Q .00000	1.2198	.03904	.00000	23.000
# in jack .00000	.56042	.06131	.00000	31.000
Machine 4_R Busy 1.0000	.65646	.00366	.00000	1.0000
# in Machine 1_R_Q .00000	1.2563	.04378	.00000	26.000
Machine 3_R Busy .00000	.65127	.00419	.00000	1.0000
Machine 2_R Busy 1.0000	.65395	.00373	.00000	1.0000
Machine 1_R Busy 1.0000	.65398	.00430	.00000	1.0000
Machine 4_R Available 1.0000	1.0000	(Insuf)	1.0000	1.0000
Machine 3_R Available 1.0000	1.0000	(Insuf)	1.0000	1.0000

COUNTERS

Identifier	Count	Limit
Depart 1_C	195975	Infinite
expo.2_C	195981	Infinite

Simulation run time: 29.92 minutes.
Simulation run complete.

Αποτελεσματα ($\lambda=0,65, \tau=8$) για S= 5 L=8

ARENA Simulation Results
Systems Modeling <user unknown> - License #9810727

Summary for Replication 1 of 1

Project: diploma Run execution date
: 7/ 9/1999
Analyst: adorizas Model revision date
: 19/ 3/1999

Replication ended at time : 300000.0

TALLY VARIABLES

Identifier Observations	Average	Half Width	Minimum	Maximum
bob Queue Time 195832	3.3079	(Corr)	.00000	32.790
Machine 4_R_Q Queue Ti 195829	1.8807	.06270	.00000	27.269
paradosi 195832	2.0584	.09999	.00000	37.075
Machine 1_R_Q Queue Ti 195835	1.8866	.06165	.00000	26.705
avedelay 195835	2.9436	.02594	.00000	87.046
servers flow time 195828	11.469	.15269	.32894	45.707
Machine 2_R_Q Queue Ti 195835	1.8555	.05929	.00000	34.398
avedelayorder 195832	8.0034	.03317	9.6191E-06	95.046
Machine 3_R_Q Queue Ti 195831	1.8446	(Corr)	.00000	27.172
jack Queue Time 75671	5.3271	.18006	5.3136E-05	37.075

DISCRETE-CHANGE VARIABLES

Identifier Final Value	Average	Half Width	Minimum	Maximum
Machine 2_R Available 1.0000	1.0000	(Insuf)	1.0000	1.0000
Machine 1_R Available 1.0000	1.0000	(Insuf)	1.0000	1.0000

Αποτελεσματα ($\lambda=0,65, \tau=8$) για $S=5$ $L=8$

# in bob 1.0000	2.1593	.04290	.00000	11.000
# in Machine 4_R_Q 1.0000	1.2276	.04041	.00000	22.000
# in Machine 3_R_Q 3.0000	1.2041	.04369	.00000	23.000
# in Machine 2_R_Q .00000	1.2112	.04435	.00000	24.000
# in jack .00000	1.3437	.07784	.00000	26.000
Machine 4_R Busy 1.0000	.65419	.00396	.00000	1.0000
# in Machine 1_R_Q .00000	1.2316	.03909	.00000	23.000
Machine 3_R Busy 1.0000	.65313	.00474	.00000	1.0000
Machine 2_R Busy 1.0000	.65176	.00413	.00000	1.0000
Machine 1_R Busy .00000	.65342	.00412	.00000	1.0000
Machine 4_R Available 1.0000	1.0000	(Insuf)	1.0000	1.0000
Machine 3_R Available 1.0000	1.0000	(Insuf)	1.0000	1.0000

COUNTERS

Identifier	Count	Limit
Depart 1_C	195832	Infinite
expo.2_C	195837	Infinite

Simulation run time: 29.07 minutes.
Simulation run complete.

Αποτελεσματα ($\lambda=0,8, \tau=8$) για $S=10$ $L=4$

ARENA Simulation Results
Systems Modeling <user unknown> - License #9810727

Summary for Replication 1 of 1

Project: diploma Run execution date
: 7/ 9/1999
Analyst: adorizas Model revision date
: 19/ 3/1999

Replication ended at time : 300000.0

TALLY VARIABLES

Identifier Observations	Average	Half Width	Minimum	Maximum
bob Queue Time 239324	2.1965	.11021	.00000	31.370
Machine 4_R_Q Queue Ti 239315	3.9509	.15136	.00000	51.126
paradosi 239324	6.2690	.45670	.00000	65.291
Machine 1_R_Q Queue Ti 239322	3.9534	.18507	.00000	48.722
avedelay 239333	4.8349	.03570	.00000	113.33
servers flow time 239314	19.754	.50605	.38518	79.567
Machine 2_R_Q Queue Ti 239318	3.9290	.17277	.00000	41.852
avedelayorder 239329	7.9814	.03781	1.2353E-05	117.33
jack Queue Time 148082	10.131	.46365	7.3175E-06	65.291
Machine 3_R_Q Queue Ti 239317	3.9168	.23438	.00000	47.990

DISCRETE-CHANGE VARIABLES

Identifier Final Value	Average	Half Width	Minimum	Maximum
Machine 2_R Available 1.0000	1.0000	(Insuf)	1.0000	1.0000
# in bob .00000	1.7522	.08295	.00000	13.000

Αποτελεσματα ($\lambda=0,8, \tau=8$) για $S=10$ $L=4$

Machine 1_R Available	1.0000	(Insuf)	1.0000	1.0000
1.0000				
# in Machine 4_R_Q	3.1517	.11699	.00000	46.000
1.0000				
# in Machine 3_R_Q	3.1245	.17087	.00000	42.000
.00000				
# in jack	5.0011	.33371	.00000	59.000
5.0000				
# in Machine 2_R_Q	3.1343	.14771	.00000	41.000
3.0000				
# in Machine 1_R_Q	3.1539	.14724	.00000	40.000
11.000				
Machine 4_R Busy	.79882	.00334	.00000	1.0000
1.0000				
Machine 3_R Busy	.79834	.00544	.00000	1.0000
1.0000				
Machine 2_R Busy	.79882	.00573	.00000	1.0000
1.0000				
Machine 1_R Busy	.79839	.00457	.00000	1.0000
1.0000				
Machine 4_R Available	1.0000	(Insuf)	1.0000	1.0000
1.0000				
Machine 3_R Available	1.0000	(Insuf)	1.0000	1.0000
1.0000				

COUNTERS

Identifier	Count	Limit
Depart 1_C	239324	Infinite
expo.2_C	239338	Infinite

Simulation run time: 38.22 minutes.
Simulation run complete.

Αποτελεσματα ($\lambda=0,8, \tau=8$) για S= 5 L=8

ARENA Simulation Results
Systems Modeling <user unknown> - License #9810727

Summary for Replication 1 of 1

Project: diploma	Run execution date
: 7/ 9/1999	
Analyst: adorizas	Model revision date
: 19/ 3/1999	

Replication ended at time : 300000.0

TALLY VARIABLES

Identifier Observations	Average	Half Width	Minimum	Maximum
bob Queue Time 239717	.76697	.05497	.00000	23.105
Machine 4_R_Q Queue Ti 239713	3.9663	.18113	.00000	44.574
paradosi 239717	9.4381	.48193	.00000	61.335
Machine 1_R_Q Queue Ti 239734	4.0586	.24344	.00000	45.909
avedelay 239734	2.9393	.03615	.00000	89.669
servers flow time 239712	19.980	.49042	.51910	73.195
Machine 2_R_Q Queue Ti 239733	3.8908	.17821	.00000	40.073
avedelayorder 239731	7.9917	.04806	1.2353E-05	97.669
jack Queue Time 190820	11.856	.51332	2.4596E-05	61.335
Machine 3_R_Q Queue Ti 239716	4.0608	.21128	.00000	48.461

DISCRETE-CHANGE VARIABLES

Identifier Final Value	Average	Half Width	Minimum	Maximum
Machine 2_R Available 1.0000	1.0000	(Insuf)	1.0000	1.0000
# in bob .00000	.61285	.04254	.00000	11.000

Αποτελέσματα ($\lambda=0,8, \tau=8$) για $S=5$ $L=8$

Machine 1_R Available	1.0000	(Insuf)	1.0000	1.0000
1.0000				
# in Machine 4_R_Q	3.1692	(Corr)	.00000	40.000
2.0000				
# in Machine 3_R_Q	3.2455	.16257	.00000	45.000
17.000				
# in jack	7.5422	.39085	.00000	56.000
14.000				
# in Machine 2_R_Q	3.1092	.15610	.00000	39.000
.00000				
# in Machine 1_R_Q	3.2433	.19256	.00000	42.000
.00000				
Machine 4_R Busy	.79953	(Corr)	.00000	1.0000
1.0000				
Machine 3_R Busy	.79876	.00494	.00000	1.0000
1.0000				
Machine 2_R Busy	.80043	.00545	.00000	1.0000
.00000				
Machine 1_R Busy	.80084	.00550	.00000	1.0000
1.0000				
Machine 4_R Available	1.0000	(Insuf)	1.0000	1.0000
1.0000				
Machine 3_R Available	1.0000	(Insuf)	1.0000	1.0000
1.0000				

COUNTERS

Identifier	Count	Limit
Depart 1_C	239717	Infinite
expo.2_C	239735	Infinite

Simulation run time: 36.28 minutes.
Simulation run complete.

Αποτελέσματα ($\lambda=0,5, \tau=4$) για S= 10 L=4

ARENA Simulation Results
Systems Modeling <user unknown> - License #9810727

Summary for Replication 1 of 1

Project: diploma
: 7/20/1999
Analyst: adorizas
: 19/ 3/1999

Run execution date
Model revision date

Replication ended at time : 300000.0

TALLY VARIABLES

Identifier Observations	Average	Half Width	Minimum	Maximum
bob Queue Time 149051	14.759	.13491	.00000	58.635
Machine 4_R_Q Queue Ti 149047	.99413	.02522	.00000	19.187
paradosi 149051	.06282	(Corr)	.00000	14.615
Machine 1_R_Q Queue Ti 149051	.98314	.03171	.00000	17.729
avedelay 149051	1.4851	.01886	.00000	54.665
servers flow time 149046	7.9618	.08067	.25332	32.209
Machine 2_R_Q Queue Ti 149051	.98910	.03014	.00000	21.465
avedelayorder 149051	4.0162	.02311	4.8096E-06	58.665
Machine 3_R_Q Queue Ti 149050	.99535	.02310	.00000	19.862
jack Queue Time 3239	2.8906	.18416	.00104	14.615

DISCRETE-CHANGE VARIABLES

Identifier Final Value	Average	Half Width	Minimum	Maximum
Machine 2_R Available 1.0000	1.0000	(Insuf)	1.0000	1.0000
Machine 1_R Available 1.0000	1.0000	(Insuf)	1.0000	1.0000

Αποτελεσματα ($\lambda=0,5, \tau=4$) για $S=10$ $L=4$

# in bob 5.0000	7.3330	.04195	.00000	13.000
# in Machine 4_R_Q 2.0000	.49391	.01400	.00000	14.000
# in Machine 3_R_Q 1.0000	.49452	.01367	.00000	15.000
# in Machine 2_R_Q .00000	.49142	.01451	.00000	15.000
# in jack .00000	.03121	.00680	.00000	10.000
Machine 4_R Busy 1.0000	.49627	.00351	.00000	1.0000
# in Machine 1_R_Q .00000	.48846	.01512	.00000	14.000
Machine 3_R Busy 1.0000	.49787	.00275	.00000	1.0000
Machine 2_R Busy .00000	.49660	.00382	.00000	1.0000
Machine 1_R Busy .00000	.49664	.00330	.00000	1.0000
Machine 4_R Available 1.0000	1.0000	(Insuf)	1.0000	1.0000
Machine 3_R Available 1.0000	1.0000	(Insuf)	1.0000	1.0000

COUNTERS

Identifier	Count	Limit
Depart 1_C	149051	Infinite
expo.2_C	149052	Infinite

Simulation run time: 8.63 minutes.
Simulation run complete.

Αποτελεσματα ($\lambda=0,5, \tau=4$) για $S=5$ $L=8$

ARENA Simulation Results
Systems Modeling <user unknown> - License #9810727

Summary for Replication 1 of 1

Project: diploma Run execution date
: 7/20/1999
Analyst: adorizas Model revision date
: 19/ 3/1999

Replication ended at time : 300000.0

TALLY VARIABLES

Identifier Observations	Average	Half Width	Minimum	Maximum
bob Queue Time 150005	6.0303	.08154	.00000	33.616
Machine 4_R_Q Queue Ti 150002	.98767	.02951	.00000	20.334
paradosi 150005	.56109	.03773	.00000	24.337
Machine 1_R_Q Queue Ti 150005	.99716	.02556	.00000	22.485
avedelay 150005	.53947	.01033	.00000	40.085
servers flow time 150002	7.9987	.06925	.23126	36.753
Machine 2_R_Q Queue Ti 150004	1.0038	.01949	.00000	19.772
avedelayorder 150005	4.0078	.02173	2.0223E-05	48.085
Machine 3_R_Q Queue Ti 150003	1.0071	.03231	.00000	20.978
jack Queue Time 25372	3.3173	.11320	5.1771E-06	24.337

DISCRETE-CHANGE VARIABLES

Identifier Final Value	Average	Half Width	Minimum	Maximum
Machine 2_R Available 1.0000	1.0000	(Insuf)	1.0000	1.0000
Machine 1_R Available 1.0000	1.0000	(Insuf)	1.0000	1.0000

Αποτελεσματα ($\lambda=0,5, \tau=4$) για $S=5$ $L=8$

# in bob	3.0152	.02852	.00000	9.0000
2.0000				
# in Machine 4_R_Q	.49384	.01604	.00000	16.000
.00000				
# in Machine 3_R_Q	.50359	.01803	.00000	14.000
.00000				
# in Machine 2_R_Q	.50193	.01129	.00000	14.000
1.0000				
# in jack	.28056	.02138	.00000	15.000
.00000				
Machine 4_R Busy	.49983	.00325	.00000	1.0000
.00000				
# in Machine 1_R_Q	.49860	.01478	.00000	17.000
.00000				
Machine 3_R Busy	.49919	.00449	.00000	1.0000
1.0000				
Machine 2_R Busy	.50151	.00311	.00000	1.0000
1.0000				
Machine 1_R Busy	.50101	.00372	.00000	1.0000
.00000				
Machine 4_R Available	1.0000	(Insuf)	1.0000	1.0000
1.0000				
Machine 3_R Available	1.0000	(Insuf)	1.0000	1.0000
1.0000				

COUNTERS

Identifier	Count	Limit
Depart 1_C	150005	Infinite
expo.2_C	150005	Infinite

Simulation run time: 8.32 minutes.
Simulation run complete.

Αποτελεσματα ($\lambda=0,5, \tau=16$) για $S= 10$ $L=4$

ARENA Simulation Results
Systems Modeling <user unknown> - License #9810727

Summary for Replication 1 of 1

Project: diploma Run execution date
: 7/20/1999
Analyst: adorizas Model revision date
: 19/ 3/1999

Replication ended at time : 300000.0

TALLY VARIABLES

Identifier Observations	Average	Half Width	Minimum	Maximum
bob Queue Time 150204	15.515	.19819	.00000	58.883
Machine 4_R_Q Queue Ti 150201	1.0037	.03203	.00000	18.893
paradosi 150204	.05261	.01805	.00000	18.880
Machine 1_R_Q Queue Ti 150205	.99714	.03565	.00000	27.162
avedelay 150208	12.523	.07553	.00000	230.66
servers flow time 150200	8.0485	.09492	.08400	39.460
Machine 2_R_Q Queue Ti 150202	1.0227	.03143	.00000	18.390
avedelayorder 150204	16.061	.07549	5.9121E-05	234.66
jack Queue Time 2511	3.1469	.49115	2.5335E-04	18.880
Machine 3_R_Q Queue Ti 150201	1.0226	.03170	.00000	24.670

DISCRETE-CHANGE VARIABLES

Identifier Final Value	Average	Half Width	Minimum	Maximum
Machine 2_R Available 1.0000	1.0000	(Insuf)	1.0000	1.0000
# in bob 6.0000	7.7683	.05467	.00000	14.000

Αποτελεσματα ($\lambda=0,5, \tau=16$) για $S=10$ $L=4$

Machine 1_R Available	1.0000	(Insuf)	1.0000	1.0000
1.0000				
# in Machine 4_R_Q	.50255	.01910	.00000	15.000
.00000				
# in Machine 3_R_Q	.51199	.01768	.00000	21.000
.00000				
# in jack	.02634	.00924	.00000	13.000
.00000				
# in Machine 2_R_Q	.51208	.01807	.00000	16.000
2.0000				
# in Machine 1_R_Q	.49927	.01858	.00000	15.000
3.0000				
Machine 4_R Busy	.50131	.00452	.00000	1.0000
1.0000				
Machine 3_R Busy	.50224	.00401	.00000	1.0000
.00000				
Machine 2_R Busy	.50081	.00453	.00000	1.0000
1.0000				
Machine 1_R Busy	.49948	.00422	.00000	1.0000
1.0000				
Machine 4_R Available	1.0000	(Insuf)	1.0000	1.0000
1.0000				
Machine 3_R Available	1.0000	(Insuf)	1.0000	1.0000
1.0000				

COUNTERS

Identifier	Count	Limit
Depart 1_C	150204	Infinite
expo.2_C	150215	Infinite

Simulation run time: 22.98 minutes.
Simulation run complete.

ARENA Simulation Results
Systems Modeling <user unknown> - License #9810727

Summary for Replication 1 of 1

Project: diploma Run execution date
 : 7/20/1999
 Analyst: adorizas Model revision date
 : 19/ 3/1999

Replication ended at time : 300000.0

TALLY VARIABLES

Identifier Observations	Average	Half Width	Minimum	Maximum
bob Queue Time 149986	8.5148	.08517	.00000	40.899
Machine 4_R_Q Queue Ti 149984	1.0144	.02219	.00000	21.205
paradosi 149986	.22694	.02089	.00000	18.577
Machine 1_R_Q Queue Ti 149988	1.0022	.02633	.00000	21.355
avedelay 149993	9.7498	.08509	.00000	226.66
servers flow time 149984	8.0065	.06576	.11440	32.073
Machine 2_R_Q Queue Ti 149987	.98591	.02491	.00000	19.850
avedelayorder 149986	16.043	.09153	1.5113E-04	234.66
jack Queue Time 11411	2.9829	.14831	8.9422E-05	18.577
Machine 3_R_Q Queue Ti 149985	1.0006	.02611	.00000	18.434

DISCRETE-CHANGE VARIABLES

Identifier Final Value	Average	Half Width	Minimum	Maximum
Machine 2_R Available 1.0000	1.0000	(Insuf)	1.0000	1.0000
# in bob 3.0000	4.2570	.02643	.00000	11.000

Αποτελέσματα ($\lambda=0,5, \tau=16$) για $S=5$ $L=8$

Machine 1_R Available	1.0000	(Insuf)	1.0000	1.0000
1.0000				
# in Machine 4_R_Q	.50716	.01199	.00000	16.000
.00000				
# in Machine 3_R_Q	.50026	.01494	.00000	16.000
2.0000				
# in jack	.11346	.01040	.00000	13.000
.00000				
# in Machine 2_R_Q	.49291	.01233	.00000	13.000
.00000				
# in Machine 1_R_Q	.50113	.01408	.00000	14.000
5.0000				
Machine 4_R Busy	.50015	.00322	.00000	1.0000
.00000				
Machine 3_R Busy	.50003	.00377	.00000	1.0000
1.0000				
Machine 2_R Busy	.50017	.00329	.00000	1.0000
.00000				
Machine 1_R Busy	.50115	.00416	.00000	1.0000
1.0000				
Machine 4_R Available	1.0000	(Insuf)	1.0000	1.0000
1.0000				
Machine 3_R Available	1.0000	(Insuf)	1.0000	1.0000
1.0000				

COUNTERS

Identifier	Count	Limit
Depart 1_C	149986	Infinite
expo.2_C	149999	Infinite

Simulation run time: 22.55 minutes.
Simulation run complete.

Αποτελέσματα ($\lambda=0,5$, $\sigma=16$) για $S=10$ $L=4$

ARENA Simulation Results
Systems Modeling <user unknown> - License #9810727

Summary for Replication 1 of 1

Project: diploma Run execution date
: 7/19/1999
Analyst: adorizas Model revision date
: 19/ 3/1999

Replication ended at time : 300000.0

TALLY VARIABLES

Identifier Observations	Average	Half Width	Minimum	Maximum
bob Queue Time 149850	14.872	(Corr)	.00000	55.259
Machine 4_R_Q Queue Ti 149850	1.0021	.02612	.00000	17.867
paradosi 149850	.04994	(Corr)	.00000	22.620
Machine 1_R_Q Queue Ti 149853	.99543	.02615	.00000	21.129
avedelay 149856	5.2303	.06806	.00000	1203.4
servers flow time 149850	8.0051	(Corr)	.26457	33.741
Machine 2_R_Q Queue Ti 149851	1.0046	.02690	.00000	18.540
avedelayorder 149850	8.0388	.07032	.01223	1207.4
Machine 3_R_Q Queue Ti 149850	1.0013	.03644	.00000	22.935
jack Queue Time 2723	2.7482	.32933	3.6460E-04	22.620

DISCRETE-CHANGE VARIABLES

Identifier Final Value	Average	Half Width	Minimum	Maximum
Machine 2_R Available 1.0000	1.0000	(Insuf)	1.0000	1.0000
Machine 1_R Available 1.0000	1.0000	(Insuf)	1.0000	1.0000

Αποτελεσματα ($\lambda=0,5, \sigma=16$) για $S=10$ $L=4$

# in bob 10.000	7.4292	(Corr)	.00000	13.000
# in Machine 4_R_Q .00000	.50058	.01415	.00000	16.000
# in Machine 3_R_Q .00000	.50018	.02037	.00000	15.000
# in Machine 2_R_Q 1.0000	.50181	.01490	.00000	14.000
# in jack .00000	.02494	(Corr)	.00000	13.000
Machine 4_R Busy .00000	.49988	.00357	.00000	1.0000
# in Machine 1_R_Q 3.0000	.49724	(Corr)	.00000	15.000
Machine 3_R Busy .00000	.49877	.00458	.00000	1.0000
Machine 2_R Busy 1.0000	.50023	.00351	.00000	1.0000
Machine 1_R Busy 1.0000	.49993	.00433	.00000	1.0000
Machine 4_R Available 1.0000	1.0000	(Insuf)	1.0000	1.0000
Machine 3_R Available 1.0000	1.0000	(Insuf)	1.0000	1.0000

COUNTERS

Identifier	Count	Limit
Depart 1_C	149850	Infinite
expo.2_C	149861	Infinite

Simulation run time: 8.67 minutes.
Simulation run complete.

Αποτελεσματα ($\lambda=0,5, \sigma=16$) για $S=5$ $L=8$

ARENA Simulation Results
Systems Modeling <user unknown> - License #9810727

Summary for Replication 1 of 1

Project: diploma	Run execution date
: 7/19/1999	
Analyst: adorizas	Model revision date
: 19/ 3/1999	

Replication ended at time : 300000.0

TALLY VARIABLES

Identifier Observations	Average	Half Width	Minimum	Maximum
bob Queue Time 149728	6.6767	.10429	.00000	39.437
Machine 4_R_Q Queue Ti 149724	1.0069	.02912	.00000	17.287
paradosi 149728	.45863	.04088	.00000	33.356
Machine 1_R_Q Queue Ti 149730	.98097	.03350	.00000	17.403
avedelay 149730	3.7607	.07915	.00000	678.85
servers flow time 149723	8.0000	.09053	.18324	39.414
Machine 2_R_Q Queue Ti 149728	1.0138	.03088	.00000	19.573
avedelayorder 149728	7.9606	.08509	.01439	686.85
Machine 3_R_Q Queue Ti 149726	.99552	.02784	.00000	18.533
jack Queue Time 20494	3.3507	.16191	1.3708E-04	33.356

DISCRETE-CHANGE VARIABLES

Identifier Final Value	Average	Half Width	Minimum	Maximum
Machine 2_R Available 1.0000	1.0000	(Insuf)	1.0000	1.0000
Machine 1_R Available 1.0000	1.0000	(Insuf)	1.0000	1.0000

Αποτελεσματα ($\lambda=0,5, \sigma=16$) για $S=5$ $L=8$

# in bob .00000	3.3323	.03426	.00000	11.000
# in Machine 4_R_Q 1.0000	.50256	.01605	.00000	18.000
# in Machine 3_R_Q 1.0000	.49685	.01550	.00000	20.000
# in Machine 2_R_Q 1.0000	.50600	.01635	.00000	16.000
# in jack .00000	.22890	.01891	.00000	18.000
Machine 4_R Busy 1.0000	.50008	.00420	.00000	1.0000
# in Machine 1_R_Q .00000	.48960	.01644	.00000	16.000
Machine 3_R Busy 1.0000	.50031	.00425	.00000	1.0000
Machine 2_R Busy 1.0000	.50021	.00383	.00000	1.0000
Machine 1_R Busy 1.0000	.49712	.00425	.00000	1.0000
Machine 4_R Available 1.0000	1.0000	(Insuf)	1.0000	1.0000
Machine 3_R Available 1.0000	1.0000	(Insuf)	1.0000	1.0000

COUNTERS

Identifier	Count	Limit
Depart 1_C	149728	Infinite
expo.2_C	149732	Infinite

Simulation run time: 11.33 minutes.
Simulation run complete.

Αποτελέσματα ($\lambda=0,5, \sigma=32$) για S= 10 L=4

ARENA Simulation Results
Systems Modeling <user unknown> - License #9810727

Summary for Replication 1 of 1

Project: diploma	Run execution date
: 7/19/1999	
Analyst: adorizas	Model revision date
: 19/ 3/1999	

Replication ended at time : 300000.0

TALLY VARIABLES

Identifier Observations	Average	Half Width	Minimum	Maximum
bob Queue Time 149794	14.272	.15591	.00000	65.492
Machine 4_R_Q Queue Ti 149795	1.0031	.02824	.00000	20.786
paradosi 149794	.06945	.01084	.00000	16.702
Machine 1_R_Q Queue Ti 149796	.99579	.02730	.00000	18.017
avedelay 149796	5.7873	.16458	.00000	2587.3
servers flow time 149795	7.9949	.07363	.24984	34.030
Machine 2_R_Q Queue Ti 149796	.99706	.02693	.00000	18.908
avedelayorder 149794	7.9576	.16530	6.7838E-04	2591.3
jack Queue Time 3600	2.8896	.26383	5.5665E-04	16.702
Machine 3_R_Q Queue Ti 149796	.99875	.02876	.00000	19.953

DISCRETE-CHANGE VARIABLES

Identifier Final Value	Average	Half Width	Minimum	Maximum
Machine 2_R Available 1.0000	1.0000	(Insuf)	1.0000	1.0000
# in bob 11.000	7.1264	.04163	.00000	13.000

Αποτελέσματα ($\lambda=0,5, \sigma=32$) για $S=10$ $L=4$

Machine 1_R Available	1.0000	(Insuf)	1.0000	1.0000
1.0000				
# in Machine 4_R_Q	.50088	.01366	.00000	16.000
.00000				
# in Machine 3_R_Q	.49870	.01600	.00000	18.000
.00000				
# in jack	.03468	.00517	.00000	13.000
.00000				
# in Machine 2_R_Q	.49785	.01334	.00000	15.000
.00000				
# in Machine 1_R_Q	.49722	.01527	.00000	13.000
.00000				
Machine 4_R Busy	.49933	.00397	.00000	1.0000
.00000				
Machine 3_R Busy	.49872	.00379	.00000	1.0000
1.0000				
Machine 2_R Busy	.49952	.00289	.00000	1.0000
.00000				
Machine 1_R Busy	.49982	.00341	.00000	1.0000
.00000				
Machine 4_R Available	1.0000	(Insuf)	1.0000	1.0000
1.0000				
Machine 3_R Available	1.0000	(Insuf)	1.0000	1.0000
1.0000				

COUNTERS

Identifier	Count	Limit
Depart 1_C	149794	Infinite
expo.2_C	149799	Infinite

Simulation run time: 8.58 minutes.
Simulation run complete.

Αποτελέσματα ($\lambda=0,5, \sigma=32$) για $S=5$ $L=8$

ARENA Simulation Results
Systems Modeling <user unknown> - License #9810727

Summary for Replication 1 of 1

Project: diploma Run execution date
: 7/19/1999
Analyst: adorizas Model revision date
: 19/ 3/1999

Replication ended at time : 300000.0

TALLY VARIABLES

Identifier Observations	Average	Half Width	Minimum	Maximum
bob Queue Time 149722	5.8286	.09385	.00000	41.358
Machine 4_R_Q Queue Ti 149721	1.0090	.02886	.00000	18.877
paradosi 149722	.63157	.04807	.00000	27.422
Machine 1_R_Q Queue Ti 149724	.98840	.03478	.00000	20.866
avedelay 149725	4.7333	.15281	.00000	5428.9
servers flow time 149720	8.0133	.08769	.20605	37.620
Machine 2_R_Q Queue Ti 149723	1.0226	.03737	.00000	20.837
avedelayorder 149722	7.9252	.15968	.00114	5436.9
jack Queue Time 26807	3.5274	.15859	1.1157E-04	27.422
Machine 3_R_Q Queue Ti 149723	.99350	.03285	.00000	21.778

DISCRETE-CHANGE VARIABLES

Identifier Final Value	Average	Half Width	Minimum	Maximum
Machine 2_R Available 1.0000	1.0000	(Insuf)	1.0000	1.0000
# in bob 3.0000	2.9089	.03257	.00000	10.000

Αποτελεσματα ($\lambda=0,5, \sigma=32$) για $S=5$ $L=8$

Machine 1_R Available	1.0000	(Insuf)	1.0000	1.0000
1.0000				
# in Machine 4_R_Q	.50358	.01520	.00000	16.000
2.0000				
# in Machine 3_R_Q	.49583	.01566	.00000	15.000
.00000				
# in jack	.31520	.02387	.00000	19.000
.00000				
# in Machine 2_R_Q	.51036	.02031	.00000	14.000
.00000				
# in Machine 1_R_Q	.49329	.01719	.00000	17.000
1.0000				
Machine 4_R Busy	.50041	.00386	.00000	1.0000
1.0000				
Machine 3_R Busy	.49868	.00362	.00000	1.0000
.00000				
Machine 2_R Busy	.50039	.00358	.00000	1.0000
.00000				
Machine 1_R Busy	.49672	(Corr)	.00000	1.0000
1.0000				
Machine 4_R Available	1.0000	(Insuf)	1.0000	1.0000
1.0000				
Machine 3_R Available	1.0000	(Insuf)	1.0000	1.0000
1.0000				

COUNTERS

Identifier	Count	Limit
Depart 1_C	149722	Infinite
expo.2_C	149728	Infinite

Simulation run time: 8.42 minutes.
Simulation run complete.

Αποτελέσματα ($\lambda=0,5, \sigma=8$) για $S=10$ $L=4$

ARENA Simulation Results
Systems Modeling <user unknown> - License #9810727

Summary for Replication 1 of 1

Project: diploma Run execution date
: 7/18/1999
Analyst: adorizas Model revision date
: 19/ 3/1999

Replication ended at time : 300000.0

TALLY VARIABLES

Identifier Observations	Average	Half Width	Minimum	Maximum
----------------------------	---------	------------	---------	---------

bob Queue Time 149775	15.605	.15361	.00000	55.168
Machine 4_R_Q Queue Ti 149775	.98835	.02454	.00000	23.647
paradosi 149775	.03641	.00922	.00000	15.141
Machine 1_R_Q Queue Ti 149778	.98021	.03086	.00000	16.549
avedelay 149780	4.5066	.03967	.00000	193.48
servers flow time 149775	7.9506	.07709	.16960	32.683
Machine 2_R_Q Queue Ti 149776	1.0009	.03042	.00000	19.510
avedelayorder 149775	7.9971	.04030	.09390	197.48
Machine 3_R_Q Queue Ti 149775	.98067	.02062	.00000	20.473
jack Queue Time 1940	2.8113	.42943	.00129	15.141

DISCRETE-CHANGE VARIABLES

Identifier Final Value	Average	Half Width	Minimum	Maximum
---------------------------	---------	------------	---------	---------

Machine 2_R Available 1.0000	1.0000	(Insuf)	1.0000	1.0000
Machine 1_R Available 1.0000	1.0000	(Insuf)	1.0000	1.0000

Αποτελεσματα ($\lambda=0,5, \sigma=8$) για $S=10$ $L=4$

# in bob 10.000	7.7914	.04537	.00000	14.000
# in Machine 4_R_Q .00000	.49344	.01363	.00000	15.000
# in Machine 3_R_Q .00000	.48960	.01143	.00000	13.000
# in Machine 2_R_Q 1.0000	.49974	.01631	.00000	16.000
# in jack .00000	.01818	.00452	.00000	11.000
Machine 4_R Busy .00000	.50004	.00274	.00000	1.0000
# in Machine 1_R_Q 2.0000	.48939	.01668	.00000	15.000
Machine 3_R Busy .00000	.49966	.00319	.00000	1.0000
Machine 2_R Busy 1.0000	.49952	.00432	.00000	1.0000
Machine 1_R Busy 1.0000	.49800	.00445	.00000	1.0000
Machine 4_R Available 1.0000	1.0000	(Insuf)	1.0000	1.0000
Machine 3_R Available 1.0000	1.0000	(Insuf)	1.0000	1.0000

COUNTERS

Identifier	Count	Limit
Depart 1_C	149775	Infinite
expo.2_C	149782	Infinite

Simulation run time: 23.43 minutes.
Simulation run complete.

Αποτελέσματα ($\lambda=0,5, \sigma=8$) για $S=5$ $L=8$

ARENA Simulation Results
Systems Modeling <user unknown> - License #9810727

Summary for Replication 1 of 1

Project: diploma Run execution date
: 7/18/1999
Analyst: adorizas Model revision date
: 19/ 3/1999

Replication ended at time : 300000.0

TALLY VARIABLES

Identifier Observations	Average	Half Width	Minimum	Maximum
bob Queue Time 149832	7.7528	.08225	.00000	41.878
Machine 4_R_Q Queue Ti 149834	.99307	.02171	.00000	20.272
paradosi 149832	.29417	.02222	.00000	23.343
Machine 1_R_Q Queue Ti 149836	.98539	.02916	.00000	24.366
avedelay 149836	2.5759	.03336	.00000	215.27
servers flow time 149834	7.9686	.06051	.17115	37.826
Machine 2_R_Q Queue Ti 149835	.99653	.02745	.00000	19.312
avedelayorder 149832	7.9923	.03809	.13620	223.27
Machine 3_R_Q Queue Ti 149834	.98942	.02227	.00000	17.458
jack Queue Time 14449	3.0504	.16512	1.6026E-04	23.343

DISCRETE-CHANGE VARIABLES

Identifier Final Value	Average	Half Width	Minimum	Maximum
Machine 2_R Available 1.0000	1.0000	(Insuf)	1.0000	1.0000
Machine 1_R Available 1.0000	1.0000	(Insuf)	1.0000	1.0000

Αποτελέσματα ($\lambda=0,5, \sigma=8$) για $S=5$ $L=8$

# in bob 7.0000	3.8722	.02652	.00000	11.000
# in Machine 4_R_Q .00000	.49599	.01052	.00000	13.000
# in Machine 3_R_Q .00000	.49416	.01271	.00000	15.000
# in Machine 2_R_Q 1.0000	.49772	.01356	.00000	16.000
# in jack .00000	.14692	.01121	.00000	14.000
Machine 4_R Busy .00000	.50126	.00294	.00000	1.0000
# in Machine 1_R_Q .00000	.49215	.01470	.00000	14.000
Machine 3_R Busy .00000	.50076	.00320	.00000	1.0000
Machine 2_R Busy 1.0000	.49937	.00309	.00000	1.0000
Machine 1_R Busy .00000	.49850	.00340	.00000	1.0000
Machine 4_R Available 1.0000	1.0000	(Insuf)	1.0000	1.0000
Machine 3_R Available 1.0000	1.0000	(Insuf)	1.0000	1.0000

COUNTERS

Identifier	Count	Limit
Depart 1_C	149832	Infinite
expo.2_C	149836	Infinite

Simulation run time: 21.60 minutes.
Simulation run complete.

Αποτελεσματα ($\lambda=0,5, \sigma\lambda=2$) για $S=10$ $L=4$

ARENA Simulation Results
Systems Modeling <user unknown> - License #9810727

Summary for Replication 1 of 1

Project: diploma	Run execution date
: 7/15/1999	
Analyst: adorizas	Model revision date
: 19/ 3/1999	

Replication ended at time : 300000.0

TALLY VARIABLES

Identifier Observations	Average	Half Width	Minimum	Maximum
bob Queue Time 149571	15.324	.15665	.00000	78.125
Machine 4_R_Q Queue Ti 149565	1.0047	.02167	.00000	16.942
paradosi 149571	.03217	.00793	.00000	13.649
Machine 1_R_Q Queue Ti 149570	.94107	.03087	.00000	21.710
avedelay 149571	4.8436	.04003	.00000	91.968
servers flow time 149564	7.9054	.07292	.26130	29.250
Machine 2_R_Q Queue Ti 149569	.97734	.02413	.00000	17.760
avedelayorder 149571	7.9845	.04348	9.6191E-06	95.968
Machine 3_R_Q Queue Ti 149568	.97511	.02394	.00000	21.161
jack Queue Time 1878	2.5620	.33297	7.1379E-04	13.649

DISCRETE-CHANGE VARIABLES

Identifier Final Value	Average	Half Width	Minimum	Maximum
Machine 2_R Available 1.0000	1.0000	(Insuf)	1.0000	1.0000
Machine 1_R Available 1.0000	1.0000	(Insuf)	1.0000	1.0000

Αποτελεσματα ($\lambda=0,5, \sigma\lambda=2$) για $S=10$ $L=4$

# in bob 3.0000	7.6405	.04243	.00000	14.000
# in Machine 4_R_Q 2.0000	.50091	.01150	.00000	16.000
# in Machine 3_R_Q 1.0000	.48616	.01454	.00000	17.000
# in Machine 2_R_Q .00000	.48726	.01470	.00000	14.000
# in jack .00000	.01604	.00393	.00000	12.000
Machine 4_R Busy 1.0000	.49913	.00316	.00000	1.0000
# in Machine 1_R_Q 1.0000	.46920	.01507	.00000	13.000
Machine 3_R Busy 1.0000	.49841	.00385	.00000	1.0000
Machine 2_R Busy .00000	.50118	.00439	.00000	1.0000
Machine 1_R Busy 1.0000	.49915	.00393	.00000	1.0000
Machine 4_R Available 1.0000	1.0000	(Insuf)	1.0000	1.0000
Machine 3_R Available 1.0000	1.0000	(Insuf)	1.0000	1.0000

COUNTERS

Identifier	Count	Limit
Depart 1_C	149571	Infinite
expo.2_C	149575	Infinite

Simulation run time: 22.75 minutes.
Simulation run complete.

Αποτελεσματα ($\lambda=0,5,\sigma\lambda=2$) για $S= 5$ $L=8$

ARENA Simulation Results
Systems Modeling <user unknown> - License #9810727

Summary for Replication 1 of 1

Project: diploma Run execution date
: 7/14/1999
Analyst: adorizas Model revision date
: 19/ 3/1999

Replication ended at time : 300000.0

TALLY VARIABLES

Identifier Observations	Average	Half Width	Minimum	Maximum
bob Queue Time 149791	7.5371	.10946	.00000	53.437
Machine 4_R_Q Queue Ti 149786	.98045	.02618	.00000	22.216
paradosi 149791	.27064	.02948	.00000	19.664
Machine 1_R_Q Queue Ti 149794	.91400	.03085	.00000	20.214
avedelay 149794	2.9727	.03606	.00000	87.108
servers flow time 149786	7.8168	.08745	.19313	31.879
Machine 2_R_Q Queue Ti 149789	.94376	.02922	.00000	22.115
avedelayorder 149792	8.0421	.04731	2.9561E-05	95.108
jack Queue Time 14272	2.8404	.15988	.00103	19.664
Machine 3_R_Q Queue Ti 149787	.97692	.02465	.00000	16.462

DISCRETE-CHANGE VARIABLES

Identifier Final Value	Average	Half Width	Minimum	Maximum
Machine 2_R Available 1.0000	1.0000	(Insuf)	1.0000	1.0000
# in bob .00000	3.7633	.03666	.00000	11.000

Αποτελεσματα ($\lambda=0,5, \sigma\lambda=2$) για $S=5$ $L=8$

Machine 1_R Available	1.0000	(Insuf)	1.0000	1.0000
1.0000				
# in Machine 4_R_Q	.48953	.01475	.00000	13.000
.00000				
# in Machine 3_R_Q	.48777	.01384	.00000	17.000
1.0000				
# in jack	.13513	.01497	.00000	14.000
1.0000				
# in Machine 2_R_Q	.47128	.01533	.00000	14.000
5.0000				
# in Machine 1_R_Q	.45637	.01630	.00000	13.000
.00000				
Machine 4_R Busy	.50052	.00440	.00000	1.0000
.00000				
Machine 3_R Busy	.50069	.00353	.00000	1.0000
1.0000				
Machine 2_R Busy	.49697	.00400	.00000	1.0000
1.0000				
Machine 1_R Busy	.49992	(Corr)	.00000	1.0000
.00000				
Machine 4_R Available	1.0000	(Insuf)	1.0000	1.0000
1.0000				
Machine 3_R Available	1.0000	(Insuf)	1.0000	1.0000
1.0000				

COUNTERS

Identifier	Count	Limit
Depart 1_C	149791	Infinite
expo.2_C	149795	Infinite

Simulation run time: 8.80 minutes.
Simulation run complete.

Αποτελεσματα ($\lambda=0,5, \sigma\lambda=4$) για $S= 5 \quad L=8$

ARENA Simulation Results
Systems Modeling <user unknown> - License #9810727

Summary for Replication 1 of 1

Project: diploma	Run execution date
: 7/22/1999	
Analyst: adorizas	Model revision date
: 19/ 3/1999	

Replication ended at time : 300000.0

TALLY VARIABLES

Identifier Observations	Average	Half Width	Minimum	Maximum
bob Queue Time 150813	6.2921	.16667	.00000	308.67
Machine 4_R_Q Queue Ti 150815	1.3979	.04755	.00000	25.661
paradosi 150813	1.3236	.09819	.00000	36.321
Machine 1_R_Q Queue Ti 150815	1.6676	.06697	.00000	30.688
avedelay 150815	2.9743	.02531	.00000	87.968
servers flow time 150815	10.043	.14803	.29170	49.738
Machine 2_R_Q Queue Ti 150815	1.5316	.05305	.00000	24.769
avedelayorder 150813	8.0400	.03451	7.5565E-05	95.968
Machine 3_R_Q Queue Ti 150815	1.4418	.04834	.00000	25.063
jack Queue Time 40467	4.9329	.24186	7.1398E-05	36.321

DISCRETE-CHANGE VARIABLES

Identifier Final Value	Average	Half Width	Minimum	Maximum
Machine 2_R Available 1.0000	1.0000	(Insuf)	1.0000	1.0000
Machine 1_R Available 1.0000	1.0000	(Insuf)	1.0000	1.0000

Αποτελεσματα ($\lambda=0,5, \sigma\lambda=4$) για $S=5$ $L=8$

# in bob 7.0000	3.1633	.05045	.00000	10.000
# in Machine 4_R_Q .00000	.70277	.02832	.00000	20.000
# in Machine 3_R_Q .00000	.72484	.02719	.00000	22.000
# in Machine 2_R_Q .00000	.76998	.03004	.00000	22.000
# in jack .00000	.66541	.05029	.00000	26.000
Machine 4_R Busy .00000	.50270	.00647	.00000	1.0000
# in Machine 1_R_Q .00000	.83837	.03871	.00000	29.000
Machine 3_R Busy .00000	.50385	.00560	.00000	1.0000
Machine 2_R Busy .00000	.50242	.00652	.00000	1.0000
Machine 1_R Busy .00000	.50391	.00701	.00000	1.0000
Machine 4_R Available 1.0000	1.0000	(Insuf)	1.0000	1.0000
Machine 3_R Available 1.0000	1.0000	(Insuf)	1.0000	1.0000

COUNTERS

Identifier	Count	Limit
Depart 1_C	150813	Infinite
expo.2_C	150815	Infinite

Simulation run time: 11.55 minutes.
Simulation run complete.

Αποτελεσματα ($\lambda=0,5, \sigma\lambda=8$) για $S=10 \quad L=4$

ARENA Simulation Results
 Systems Modeling <user unknown> - License #9810727

Summary for Replication 1 of 1

Project: diploma Run execution date
 : 8/30/1999
 Analyst: adorizas Model revision date
 : 19/ 3/1999

Replication ended at time : 300000.0

TALLY VARIABLES

Identifier Observations	Average	Half Width	Minimum	Maximum
bob Queue Time 149811	11.860	.49493	.00000	630.11
Machine 4_R_Q Queue Ti 149807	2.0158	.10193	.00000	28.476
paradosi 149811	2.6419	.25821	.00000	67.012
Machine 1_R_Q Queue Ti 149811	3.2458	.15779	.00000	47.093
avedelay 149811	4.8723	.04484	.00000	105.52
servers flow time 149807	13.956	(Corr)	.38651	81.947
Machine 2_R_Q Queue Ti 149808	2.5028	.11276	.00000	39.377
avedelayorder 149811	8.0223	.04833	1.1595E-04	109.52
jack Queue Time 44568	8.8807	.62951	7.7227E-06	67.012
Machine 3_R_Q Queue Ti 149807	2.1904	.12374	.00000	46.699

DISCRETE-CHANGE VARIABLES

Identifier Final Value	Average	Half Width	Minimum	Maximum
Machine 2_R Available 1.0000	1.0000	(Insuf)	1.0000	1.0000
# in bob 6.0000	5.9227	.10932	.00000	14.000

Αποτελεσματα ($\lambda=0,5, \sigma\lambda=8$) για $S=10$ $L=4$

Machine 1_R Available	1.0000	(Insuf)	1.0000	1.0000
1.0000				
# in Machine 4_R_Q	1.0066	.05573	.00000	26.000
.00000				
# in Machine 3_R_Q	1.0938	.06377	.00000	44.000
.00000				
# in jack	1.3193	.12108	.00000	59.000
.00000				
# in Machine 2_R_Q	1.2498	.06039	.00000	39.000
3.0000				
# in Machine 1_R_Q	1.6208	.08427	.00000	48.000
.00000				
Machine 4_R Busy	.49757	.00888	.00000	1.0000
.00000				
Machine 3_R Busy	.50166	.00908	.00000	1.0000
.00000				
Machine 2_R Busy	.49988	.00865	.00000	1.0000
1.0000				
Machine 1_R Busy	.49928	.00880	.00000	1.0000
.00000				
Machine 4_R Available	1.0000	(Insuf)	1.0000	1.0000
1.0000				
Machine 3_R Available	1.0000	(Insuf)	1.0000	1.0000
1.0000				

COUNTERS

Identifier	Count	Limit
Depart 1_C	149811	Infinite
expo.2_C	149816	Infinite

Simulation run time: 11.77 minutes.
Simulation run complete.

Αποτελέσματα ($\lambda=0,5, \sigma\lambda=8$) για S= 5 L=8

ARENA Simulation Results
Systems Modeling <user unknown> - License #9810727

Summary for Replication 1 of 1

Project: diploma	Run execution date
: 8/30/1999	
Analyst: adorizas	Model revision date
: 19/ 3/1999	

Replication ended at time : 300000.0

TALLY VARIABLES

Identifier Observations	Average	Half Width	Minimum	Maximum
bob Queue Time 152578	5.0584	.18076	.00000	737.78
Machine 4_R_Q Queue Ti 152574	2.1423	.10062	.00000	34.731
paradosi 152578	4.8786	.28589	.00000	62.669
Machine 1_R_Q Queue Ti 152579	3.5306	.15255	.00000	44.648
avedelay 152587	2.9297	.03402	.00000	91.836
servers flow time 152573	14.703	.32369	.26148	75.725
Machine 2_R_Q Queue Ti 152578	2.6927	.10310	.00000	38.830
avedelayorder 152580	7.9813	.04331	1.7833E-05	99.836
jack Queue Time 79624	9.3486	.37623	6.2352E-04	62.669
Machine 3_R_Q Queue Ti 152577	2.3368	.12510	.00000	34.368

DISCRETE-CHANGE VARIABLES

Identifier Final Value	Average	Half Width	Minimum	Maximum
Machine 2_R Available 1.0000	1.0000	(Insuf)	1.0000	1.0000
# in bob .00000	2.5727	.06442	.00000	10.000

Αποτελέσματα ($\lambda=0,5, \sigma\lambda=8$) για $S=5$ $L=8$

Machine 1_R Available	1.0000	(Insuf)	1.0000	1.0000
1.0000				
# in Machine 4_R_Q	1.0896	.05842	.00000	31.000
3.0000				
# in Machine 3_R_Q	1.1884	.06598	.00000	36.000
.00000				
# in jack	2.4812	.17233	.00000	46.000
2.0000				
# in Machine 2_R_Q	1.3695	.07035	.00000	31.000
.00000				
# in Machine 1_R_Q	1.7957	.09590	.00000	47.000
8.0000				
Machine 4_R Busy	.50846	.00886	.00000	1.0000
1.0000				
Machine 3_R Busy	.51052	.00922	.00000	1.0000
.00000				
Machine 2_R Busy	.50828	.00924	.00000	1.0000
1.0000				
Machine 1_R Busy	.50732	.00912	.00000	1.0000
1.0000				
Machine 4_R Available	1.0000	(Insuf)	1.0000	1.0000
1.0000				
Machine 3_R Available	1.0000	(Insuf)	1.0000	1.0000
1.0000				

COUNTERS

Identifier	Count	Limit
Depart 1_C	152578	Infinite
expo.2_C	152590	Infinite

Simulation run time: 8.98 minutes.
Simulation run complete.

Αποτελεσματα (λ=0,5,τ=8) για S= 5 L=8 a=0,25 b=2

ARENA Simulation Results
Systems Modeling <user unknown> - License #9810727

Summary for Replication 1 of 1

Project: diploma Run execution date
: 8/30/1999
Analyst: adorizas Model revision date
: 19/ 3/1999

Replication ended at time : 300000.0

TALLY VARIABLES

Identifier Observations	Average	Half Width	Minimum	Maximum
bob Queue Time 149330	16.630	.17338	.00000	57.209
Machine 4_R_Q Queue Ti 149329	1.1243	.03610	.00000	23.007
paradosi 149330	.03427	.01098	.00000	21.218
Machine 1_R_Q Queue Ti 149333	1.1652	.03743	.00000	29.989
avedelay 149334	2.9199	.04977	.00000	82.167
servers flow time 149328	8.5700	.10248	.24709	51.097
Machine 2_R_Q Queue Ti 149332	1.1496	.03937	.00000	24.368
avedelayorder 149330	7.9969	.04527	1.0799E-04	95.108
Machine 3_R_Q Queue Ti 149330	1.1293	.03851	.00000	21.355
jack Queue Time 1669	3.0664	.63623	.00426	21.218

DISCRETE-CHANGE VARIABLES

Identifier Final Value	Average	Half Width	Minimum	Maximum
Machine 2_R Available 1.0000	1.0000	(Insuf)	1.0000	1.0000
Machine 1_R Available 1.0000	1.0000	(Insuf)	1.0000	1.0000

Αποτελεσματα ($\lambda=0,5, \tau=8$) για $S=5$ $L=8$ $a=0,25$ $b=2$				
# in bob	8.2782	.04105	.00000	16.000
8.0000				
# in Machine 4_R_Q	.55967	.01817	.00000	15.000
.00000				
# in Machine 3_R_Q	.56214	.01968	.00000	18.000
2.0000				
# in Machine 2_R_Q	.57224	.01988	.00000	20.000
.00000				
# in jack	.01706	.00571	.00000	12.000
.00000				
Machine 4_R Busy	.49999	.00376	.00000	1.0000
1.0000				
# in Machine 1_R_Q	.58002	.02044	.00000	18.000
1.0000				
Machine 3_R Busy	.49733	.00402	.00000	1.0000
1.0000				
Machine 2_R Busy	.49812	.00454	.00000	1.0000
.00000				
Machine 1_R Busy	.49644	.00425	.00000	1.0000
1.0000				
Machine 4_R Available	1.0000	(Insuf)	1.0000	1.0000
1.0000				
Machine 3_R Available	1.0000	(Insuf)	1.0000	1.0000
1.0000				

COUNTERS

Identifier	Count	Limit
c1	149334	Infinite
c2	149328	Infinite
Depart 1_C	149330	Infinite
expo.2_C	149334	Infinite

Simulation run time: 22.47 minutes.
Simulation run complete.

Αποτελέσματα ($\lambda=0,5, \tau=8$) για $S=5$ $L=8$ $a=0,25$ $b=3$

ARENA Simulation Results
Systems Modeling <user unknown> - License #9810727

Summary for Replication 1 of 1

Project: diploma
: 8/30/1999
Analyst: adorizas
: 19/ 3/1999

Run execution date
Model revision date

Replication ended at time : 300000.0

TALLY VARIABLES

Identifier Observations	Average	Half Width	Minimum	Maximum
bob Queue Time 149564	17.471	(Corr)	.00000	56.646
Machine 4_R_Q Queue Ti 149561	1.1502	.03663	.00000	19.919
paradosi 149564	.02021	.00770	.00000	14.693
Machine 1_R_Q Queue Ti 149563	1.2545	.04137	.00000	24.220
avedelay 149568	1.9044	(Corr)	.00000	84.676
servers flow time 149560	8.7280	.08773	.07328	37.918
Machine 2_R_Q Queue Ti 149562	1.1751	(Corr)	.00000	20.499
avedelayorder 149564	8.0255	.03500	3.7730E-05	95.035
Machine 3_R_Q Queue Ti 149562	1.1472	.03271	.00000	19.376
jack Queue Time 1194	2.5317	.37977	2.5667E-04	14.693

DISCRETE-CHANGE VARIABLES

Identifier Final Value	Average	Half Width	Minimum	Maximum
Machine 2_R Available 1.0000	1.0000	(Insuf)	1.0000	1.0000
Machine 1_R Available 1.0000	1.0000	(Insuf)	1.0000	1.0000

Αποτελεσματα ($\lambda=0,5, \tau=8$) για $S=5$ $L=8$ $a=0,25$ $b=3$				
# in bob 6.0000	8.7104	(Corr)	.00000	17.000
# in Machine 4_R_Q .00000	.57345	(Corr)	.00000	15.000
# in Machine 3_R_Q .00000	.57193	.02183	.00000	16.000
# in Machine 2_R_Q .00000	.58584	.01941	.00000	16.000
# in jack .00000	.01008	.00411	.00000	11.000
Machine 4_R Busy 1.0000	.49902	(Corr)	.00000	1.0000
# in Machine 1_R_Q 5.0000	.62550	.02406	.00000	16.000
Machine 3_R Busy 1.0000	.49856	(Corr)	.00000	1.0000
Machine 2_R Busy .00000	.49701	.00475	.00000	1.0000
Machine 1_R Busy 1.0000	.50001	.00384	.00000	1.0000
Machine 4_R Available 1.0000	1.0000	(Insuf)	1.0000	1.0000
Machine 3_R Available 1.0000	1.0000	(Insuf)	1.0000	1.0000

COUNTERS

Identifier	Count	Limit
c1	149568	Infinite
c2	149560	Infinite
Depart 1_C	149564	Infinite
expo.2_C	149568	Infinite

Simulation run time: 21.38 minutes.
Simulation run complete.

Αποτελεσματα ($\lambda=0,5, \tau=8$) για S= 5 L=8 a=0,5 b=1

ARENA Simulation Results
 Systems Modeling <user unknown> - License #9810727

Summary for Replication 1 of 1

Project: diploma	Run execution date
: 8/30/1999	
Analyst: adorizas	Model revision date
: 19/ 3/1999	

Replication ended at time : 300000.0

TALLY VARIABLES

Identifier Observations	Average	Half Width	Minimum	Maximum
bob Queue Time 149174	16.161	.13686	.00000	59.888
Machine 4_R_Q Queue Ti 149173	1.0077	.02445	.00000	19.343
paradosi 149174	.03117	.00887	.00000	15.481
Machine 1_R_Q Queue Ti 149178	1.0665	.02550	.00000	20.964
avedelay 149178	3.8321	.03590	.00000	105.02
servers flow time 149173	8.1543	(Corr)	.15490	39.681
Machine 2_R_Q Queue Ti 149176	1.0574	.03006	.00000	25.674
avedelayorder 149174	8.0064	(Corr)	9.6191E-06	109.52
Machine 3_R_Q Queue Ti 149174	1.0196	.02591	.00000	19.395
jack Queue Time 1741	2.6705	.41337	.00208	15.481

DISCRETE-CHANGE VARIABLES

Identifier Final Value	Average	Half Width	Minimum	Maximum
Machine 2_R Available 1.0000	1.0000	(Insuf)	1.0000	1.0000
Machine 1_R Available 1.0000	1.0000	(Insuf)	1.0000	1.0000

Αποτελεσματα ($\lambda=0,5, \tau=8$) για $S=5$ $L=8$ $a=0,5$ $b=1$				
# in bob	8.0364	(Corr)	.00000	15.000
9.0000				
# in Machine 4_R_Q	.50110	.01359	.00000	15.000
.00000				
# in Machine 3_R_Q	.50700	.01352	.00000	15.000
1.0000				
# in Machine 2_R_Q	.52582	.01583	.00000	19.000
1.0000				
# in jack	.01550	.00439	.00000	9.0000
.00000				
Machine 4_R Busy	.49740	(Corr)	.00000	1.0000
.00000				
# in Machine 1_R_Q	.53036	.01380	.00000	16.000
.00000				
Machine 3_R Busy	.49645	.00359	.00000	1.0000
1.0000				
Machine 2_R Busy	.49824	.00322	.00000	1.0000
1.0000				
Machine 1_R Busy	.49838	.00316	.00000	1.0000
1.0000				
Machine 4_R Available	1.0000	(Insuf)	1.0000	1.0000
1.0000				
Machine 3_R Available	1.0000	(Insuf)	1.0000	1.0000
1.0000				

COUNTERS

Identifier	Count	Limit
c1	149178	Infinite
c2	149173	Infinite
Depart 1_C	149174	Infinite
expo.2_C	149182	Infinite

Simulation run time: 22.77 minutes.
Simulation run complete.

Αποτελεσματα ($\lambda=0,5, \tau=8$) για $S=5$ $L=8$ $a=0,5$ $b=3$

ARENA Simulation Results
Systems Modeling <user unknown> - License #9810727

Summary for Replication 1 of 1

Project: diploma Run execution date
: 8/30/1999
Analyst: adorizas Model revision date
: 19/ 3/1999

Replication ended at time : 300000.0

TALLY VARIABLES

Identifier Observations	Average	Half Width	Minimum	Maximum
bob Queue Time 149867	17.865	.13065	.00000	66.235
Machine 4_R_Q Queue Ti 149869	1.1467	(Corr)	.00000	22.795
paradosi 149867	.01864	.00611	.00000	14.916
Machine 1_R_Q Queue Ti 149871	1.2019	.03273	.00000	30.718
avedelay 149872	1.5147	.03161	.00000	88.370
servers flow time 149869	8.6497	(Corr)	.22500	39.232
Machine 2_R_Q Queue Ti 149870	1.1642	.02814	.00000	21.504
avedelayorder 149867	7.9935	.04648	2.9561E-05	95.108
Machine 3_R_Q Queue Ti 149869	1.1306	(Corr)	.00000	19.837
jack Queue Time 1042	2.6813	.46698	5.2855E-04	14.916

DISCRETE-CHANGE VARIABLES

Identifier Final Value	Average	Half Width	Minimum	Maximum
Machine 2_R Available 1.0000	1.0000	(Insuf)	1.0000	1.0000
Machine 1_R Available 1.0000	1.0000	(Insuf)	1.0000	1.0000

Αποτελεσματα ($\lambda=0,5, \tau=8$) για $S=5$ $L=8$ $a=0,5$ $b=3$				
# in bob	8.9248	.03428	.00000	19.000
12.000				
# in Machine 4_R_Q	.57285	.01474	.00000	17.000
.00000				
# in Machine 3_R_Q	.56481	(Corr)	.00000	17.000
.00000				
# in Machine 2_R_Q	.58160	.01490	.00000	13.000
.00000				
# in jack	.00931	.00312	.00000	9.0000
.00000				
Machine 4_R Busy	.50141	.00341	.00000	1.0000
.00000				
# in Machine 1_R_Q	.60047	.01670	.00000	21.000
1.0000				
Machine 3_R Busy	.49966	.00301	.00000	1.0000
.00000				
Machine 2_R Busy	.50142	.00394	.00000	1.0000
1.0000				
Machine 1_R Busy	.49893	.00367	.00000	1.0000
1.0000				
Machine 4_R Available	1.0000	(Insuf)	1.0000	1.0000
1.0000				
Machine 3_R Available	1.0000	(Insuf)	1.0000	1.0000
1.0000				

COUNTERS

Identifier	Count	Limit
c1	149872	Infinite
c2	149869	Infinite
Depart 1_C	149867	Infinite
expo.2_C	149872	Infinite

Simulation run time: 22.08 minutes.
Simulation run complete.

Αποτελεσματα ($\lambda=0,5, \tau=8$) για $S=5$ $L=8$ $a=1$ $b=1$

ARENA Simulation Results
Systems Modeling <user unknown> - License #9810727

Summary for Replication 1 of 1

Project: diploma Run execution date
: 8/31/1999
Analyst: adorizas Model revision date
: 19/ 3/1999

Replication ended at time : 300000.0

TALLY VARIABLES

Identifier Observations	Average	Half Width	Minimum	Maximum
bob Queue Time 149515	16.637	.14530	.00000	60.617
Machine 4_R_Q Queue Ti 149513	1.0720	.03127	.00000	20.937
paradosi 149515	.02823	.00881	.00000	19.046
Machine 1_R_Q Queue Ti 149520	1.1197	.03011	.00000	20.992
avedelay 149520	3.0850	.03951	.00000	88.859
servers flow time 149512	8.3815	.08591	.15490	41.832
Machine 2_R_Q Queue Ti 149515	1.1007	(Corr)	.00000	25.029
avedelayorder 149515	8.0115	.05335	2.9561E-05	98.859
jack Queue Time 1527	2.7639	.42780	1.0173E-04	19.046
Machine 3_R_Q Queue Ti 149514	1.0883	.03054	.00000	21.256

DISCRETE-CHANGE VARIABLES

Identifier Final Value	Average	Half Width	Minimum	Maximum
Machine 2_R Available 1.0000	1.0000	(Insuf)	1.0000	1.0000
# in bob 7.0000	8.2920	.03122	.00000	15.000

Αποτελεσματα ($\lambda=0,5, \tau=8$) για $S=5$ $L=8$ $a=1$ $b=1$

Machine 1_R Available	1.0000	(Insuf)	1.0000	1.0000
1.0000				
# in Machine 4_R_Q	.53427	.01642	.00000	14.000
.00000				
# in Machine 3_R_Q	.54242	.01560	.00000	17.000
.00000				
# in jack	.01407	.00414	.00000	12.000
.00000				
# in Machine 2_R_Q	.54863	.01795	.00000	16.000
4.0000				
# in Machine 1_R_Q	.55809	.01623	.00000	17.000
.00000				
Machine 4_R Busy	.49865	.00363	.00000	1.0000
1.0000				
Machine 3_R Busy	.49837	.00339	.00000	1.0000
1.0000				
Machine 2_R Busy	.49947	.00351	.00000	1.0000
1.0000				
Machine 1_R Busy	.49735	.00335	.00000	1.0000
1.0000				
Machine 4_R Available	1.0000	(Insuf)	1.0000	1.0000
1.0000				
Machine 3_R Available	1.0000	(Insuf)	1.0000	1.0000
1.0000				

COUNTERS

Identifier	Count	Limit
c1	149520	Infinite
c2	149512	Infinite
Depart 1_C	149515	Infinite
expo.2_C	149520	Infinite

Simulation run time: 22.78 minutes.
Simulation run complete.

Αποτελεσματα ($\lambda=0,5, \tau=8$) για $S=5$ $L=8$ $a=2$ $b=1$

ARENA Simulation Results
Systems Modeling <user unknown> - License #9810727

Summary for Replication 1 of 1

Project: diploma Run execution date
: 8/31/1999
Analyst: adorizas Model revision date
: 19/ 3/1999

Replication ended at time : 300000.0

TALLY VARIABLES

Identifier Observations	Average	Half Width	Minimum	Maximum
bob Queue Time 149936	17.434	.15083	.00000	66.633
Machine 4_R_Q Queue Ti 149932	1.0843	.03653	.00000	19.581
paradosi 149936	.02058	.00655	.00000	14.091
Machine 1_R_Q Queue Ti 149938	1.1590	(Corr)	.00000	20.843
avedelay 149939	2.1747	.02975	.00000	84.363
servers flow time 149932	8.4579	.08144	.17212	34.879
Machine 2_R_Q Queue Ti 149935	1.1262	.03227	.00000	24.998
avedelayorder 149936	8.0381	.02798	4.0446E-05	91.076
Machine 3_R_Q Queue Ti 149933	1.0888	.02728	.00000	20.923
jack Queue Time 1114	2.7700	.38448	2.2631E-04	14.091

DISCRETE-CHANGE VARIABLES

Identifier Final Value	Average	Half Width	Minimum	Maximum
Machine 2_R Available 1.0000	1.0000	(Insuf)	1.0000	1.0000
Machine 1_R Available 1.0000	1.0000	(Insuf)	1.0000	1.0000

Αποτελέσματα ($\lambda=0,5, \tau=8$) για $S=5$ $L=8$ $a=2$ $b=1$				
# in bob 6.0000	8.7135	.03571	.00000	17.000
# in Machine 4_R_Q .00000	.54192	.01913	.00000	14.000
# in Machine 3_R_Q 1.0000	.54417	.01466	.00000	19.000
# in Machine 2_R_Q 2.0000	.56287	.01788	.00000	16.000
# in jack .00000	.01029	.00330	.00000	9.0000
Machine 4_R Busy .00000	.49814	.00439	.00000	1.0000
# in Machine 1_R_Q 1.0000	.57927	(Corr)	.00000	17.000
Machine 3_R Busy 1.0000	.49951	.00401	.00000	1.0000
Machine 2_R Busy 1.0000	.50128	.00421	.00000	1.0000
Machine 1_R Busy 1.0000	.49997	(Corr)	.00000	1.0000
Machine 4_R Available 1.0000	1.0000	(Insuf)	1.0000	1.0000
Machine 3_R Available 1.0000	1.0000	(Insuf)	1.0000	1.0000

COUNTERS

Identifier	Count	Limit
c1	149939	Infinite
c2	149932	Infinite
Depart 1_C	149936	Infinite
expo.2_C	149940	Infinite

Simulation run time: 23.32 minutes.
Simulation run complete.