

ΠΑΝΕΠΙΣΤΗΜΙΟ ΘΕΣΣΑΛΙΑΣ

ΠΟΛΥΤΕΧΝΙΚΗ ΣΧΟΛΗ

ΤΜΗΜΑ ΜΗΧΑΝΟΛΟΓΩΝ ΜΗΧΑΝΙΚΩΝ ΒΙΟΜΗΧΑΝΙΑΣ

Διπλωματική Εργασία

ΜΕΛΕΤΗ ΑΠΟΔΟΣΗΣ ΤΩΝ ΠΟΛΙΤΙΚΩΝ ΕΛΕΓΧΟΥ ΠΑΡΑΓΩΓΗΣ

BASE STOCK ΕΝΟΣ ΚΑΙ ΔΥΟ ΣΤΑΔΙΩΝ ΜΕ ΠΡΟΤΕΡΗ

ΠΛΗΡΟΦΟΡΗΣΗ ΤΗΣ ΖΗΤΗΣΗΣ ΜΕΣΩ ΠΡΟΣΟΜΟΙΩΣΗΣ

υπό

ΚΩΝΣΤΑΝΤΙΝΟΥ ΓΑΛΗ

Υπεβλήθη για την εκπλήρωση μέρους των

απαιτήσεων για την απόκτηση του

Διπλώματος Μηχανολόγου Μηχανικού Βιομηχανίας

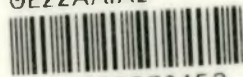
2004



ΠΑΝΕΠΙΣΤΗΜΙΟ ΘΕΣΣΑΛΙΑΣ
ΥΠΗΡΕΣΙΑ ΒΙΒΛΙΟΘΗΚΗΣ & ΠΛΗΡΟΦΟΡΗΣΗΣ
ΕΙΔΙΚΗ ΣΥΛΛΟΓΗ «ΓΚΡΙΖΑ ΒΙΒΛΙΟΓΡΑΦΙΑ»

Αριθ. Εισ.: 2726/1
Ημερ. Εισ.: 16-03-2004
Δωρεά:
Ταξιθετικός Κωδικός: ΠΤ - ΜΜΒ
2004
ΓΑΛ

ΠΑΝΕΠΙΣΤΗΜΙΟ
ΘΕΣΣΑΛΙΑΣ



004000072453



© 2004 ΚΩΣΤΑΣ ΓΑΛΗΣ

Η έγκριση της διπλωματικής εργασίας από το Τμήμα Μηχανολόγων Μηχανικών Βιομηχανίας της Πολυτεχνικής Σχολής του Πανεπιστημίου Θεσσαλίας δεν υποδηλώνει αποδοχή των απόψεων του συγγραφέα (Ν. 5343/32 αρ. 202 παρ. 2).

Εγκρίθηκε από τα Μέλη της Τριμελούς Εξεταστικής Επιτροπής:

Πρώτος Εξεταστής (Επιβλέπων)	Δρ. Γεώργιος Λυμπερόπουλος Αναπληρωτής Καθηγητής, Τμήμα Βιομηχανίας, Πανεπιστήμιο Θεσσαλίας	Μηχανολόγων	Μηχανικών
Δεύτερος Εξεταστής	Δρ. Ιωάννης Μπακούρος Επίκουρος Καθηγητής, Τμήμα Βιομηχανίας, Πανεπιστήμιο Θεσσαλίας	Μηχανολόγων	Μηχανικών,
Τρίτος Εξεταστής	Δρ. Αθανάσιος Ζηλιασκόπουλος Αναπληρωτής Καθηγητής, Τμήμα Βιομηχανίας, Πανεπιστήμιο Θεσσαλίας	Μηχανολόγων	Μηχανικών

Ευχαριστίες

Πρώτα απ' όλα, θέλω να ευχαριστήσω τον επιβλέποντα της διπλωματικής εργασίας μου, Αναπληρωτή Καθηγητή κ. Γεώργιο Λυμπερόπουλο, για την πολύτιμη βοήθεια και καθοδήγησή του κατά τη διάρκεια της δουλειάς μου. Επίσης, είμαι ευγνώμων στα υπόλοιπα μέλη της εξεταστικής επιτροπής της διπλωματικής εργασίας μου, Καθηγητές κκ. Ιωάννη Μπακούρο και Αθανάσιο Ζηλιασκόπουλο για την προσεκτική ανάγνωση της εργασίας μου και για τις πολύτιμες υποδείξεις τους. Οφείλω ευχαριστίες στον Dr.Στέλιο Κουκούμναλο για την πολύτιμη βοήθεια του κατά την εκπόνηση αυτής της εργασίας. Ευχαριστώ τους συνάδελφους μου στο εργαστήριο Παραγωγής για την κατανόηση και την βοήθεια που μου έδειξαν καθ' όλη την διάρκεια των τελευταίων μηνών. Ευχαριστώ τους φίλους μου Κ. Σιούμη, Β. Γάστη, Σ. Ζειμπέκη, Δ. Σαρανταρίδη, Σ. Σισμανίδη, Λ. Πάτκα, Γ. Λυσίτσα, Δ. Σταγιάνο καθώς και τα παιδιά του τέταρτου έτους για την φιλία τους και για την ηθική υποστήριξή τους. Επίσης, ευχαριστώ την Αγγελική για την κατανόησή της, ιδιαίτερα κατά τη διάρκεια των τελευταίων μηνών της προσπάθειάς μου. Ένα μεγάλο ευχαριστώ που βγαίνει μέσα από την καρδιά μου για αυτό το κορίτσι. Πάνω απ' όλα, είμαι ευγνώμων στους γονείς μου, Δημήτρη και Μίνα, στην αδερφή μου Νινέττα και στον άνδρα της Παναγιώτη Μπίκουλη για την ολόψυχη αγάπη και υποστήριξή τους όλα αυτά τα χρόνια. Αφιερώνω αυτή την εργασία στον πατέρα μου, που τον είχα και θα τον έχω πάντα σαν πρότυπο.

Κώστας Γαλής

ΜΕΛΕΤΗ ΑΠΟΔΟΣΗΣ ΤΩΝ ΠΟΛΙΤΙΚΩΝ ΕΛΕΓΧΟΥ ΠΑΡΑΓΩΓΗΣ
BASE STOCK ΕΝΟΣ ΚΑΙ ΔΥΟ ΣΤΑΔΙΩΝ ΜΕ ΑΔΙ ΜΕΣΩ
ΠΡΟΣΟΜΟΙΩΣΗΣ

ΚΩΣΤΑΣ ΓΑΛΗΣ

Πανεπιστήμιο Θεσσαλίας, Τμήμα Μηχανολόγων Μηχανικών Βιομηχανίας, 2004

Επιβλέπων Καθηγητής: Δρ. Γεώργιος Λυμπερόπουλος, Αναπληρωτής Καθηγητής
Επιχειρησιακής Έρευνας

Περίληψη

Η παρούσα διπλωματική εργασία, στοχεύει στην μελέτη της απόδοσης ενός εκ των σημαντικότερων και καινοτόμων (τεχνολογικά) συστημάτων έλεγχου της παραγωγής. Πρόκειται για τα συστήματα Base Stock ενός και δυο σταδίων που αποτελούν κορυφαία επιλογή στην παραγωγική διαδικασία.

Αρχικά, αναπτύσσουμε τον τρόπο λειτουργίας των συστημάτων και κάνουμε μια σύντομη περιγραφή των συστημάτων αυτών με την προσθήκη της πρότερης πληροφόρησης της ζήτησης (advance demand information) γνωστής ως ADI. Στην συνέχεια δίνουμε το κίνητρο αυτής της διπλωματικής και τα ερωτήματα που μας ώθησαν για να μελετήσουμε τέτοιου είδους συστήματα. Στο ίδιο κεφαλαίο παραθέεται η προσέγγιση του προβλήματος μέσα από την υπάρχουσα βιβλιογραφία,

Στην συνέχεια στο δεύτερο κεφαλαίο, παρουσιάζεται το λογισμικό που χρησιμοποιήθηκε για να προσομοιώσουμε τα υπό εξέταση συστήματα και παράλληλα

δίνονται οι κυριότερες εντολές του. Ακόμα γίνεται η λεπτομερής αναφορά στην μοντελοποίηση των συστημάτων.

Στα επόμενα δυο κεφαλαία, τα κεφαλαία 3 και 4, που αποτελούν τα κύρια μέρη της διπλωματικής εργασίας, γίνεται η λεπτομερή ανάλυση των αποτελεσμάτων που πάρθηκαν από τα πειράματα για τα δυο υπό εξέταση συστήματα. Όλες οι υποθέσεις που διερευνώνται, γίνονται με την παρουσία του χρόνου προειδοποίησης της ζήτησης και έχουν ως σκοπό τον έλεγχο των δυο συστημάτων και τις αντιδράσεις αυτών σε σχέση με τις διάφορες παραμέτρους από τις οποίες εξαρτώνται.

Στο κεφαλαίο 5, γίνεται μια εκτενής παρουσίαση των αριθμητικών αποτελεσμάτων για τις διάφορες τιμές των παραμέτρων των συστημάτων, που πάρθηκαν από τις προσομοιώσεις που πραγματοποιήθηκαν.

Τέλος στο κεφαλαίο 6, παραθέτουμε τα συμπεράσματα που προκύπτουν από τις πειραματικές διαδικασίες, με σκοπό να προσδιοριστούν απόλυτα οι ιδιότητες των συστημάτων σε σχέση με τις διάφορες υποθέσεις που έγιναν. Επίσης γίνεται μια προσπάθεια να προταθούν ορισμένα θέματα για περαιτέρω ερευνά πάνω στο συγκεκριμένο θέμα.

Πίνακας Περιεχομένων

Κεφάλαιο 1 Εισαγωγή.....	1
Κίνητρο και Υπόβαθρο	1
Βιβλιογραφική Ανασκόπηση	5
Οργάνωση Διπλωματικής Εργασίας.....	7
Κεφάλαιο 2 Η Τεχνική Της Προσομοίωσης.....	8
2.1 Λογισμικό Arena 3.0 S.M.....	8
2.2 Μοντελοποίηση Των Συστημάτων.....	9
2.3 Χρόνος Προσομοίωσης.....	11
Κεφάλαιο 3 Αναλυτικές Μέθοδοι Εκτίμησης της Απόδοσης Συστημάτων Τύπου Base Stock Ένος Σταδίου	12
3.1 Μέτρα Απόδοσης Συστημάτων Τύπου Base Stock Ένος Σταδίου	14
3.1.1 Σύστημα Χωρίς ADI.....	15
3.1.2 Σύστημα Με ADI.....	16
3.1.2.1 Σύστημα Ένος Σταθμού Εργασίας Με Εκθετική Κατανομή	16
3.1.2.2 Σύστημα Με Jackson Δίκτυο.....	18
3.2 Απόδοση Συστημάτων Τύπου Base Stock Ένος Σταδίου Εκθετικής Κατανομή.....	19
3.3 Απόδοση Συστημάτων Τύπου Base Stock Ένος Σταδίου Με Erlang Κατανομή.....	24
3.4 Συμπεράσματα	27
Κεφάλαιο 4 Αριθμητικές Μέθοδοι Εκτίμησης της Απόδοσης Συστημάτων Τύπου Base Stock Δυο Σταδίων	29
4.1 Μέτρα Απόδοσης Συστημάτων Τύπου Base Stock Δυο Σταδίων	31
4.1.1 Υπόθεση Χωρίς ADI.....	31
4.1.2 Υπόθεση Με ADI.....	32
4.2 Απόδοση Συστημάτων Τύπου Base Stock Δύο Σταδίων Με Erlang Κατανομή	32
4.3 Συμπεράσματα	35
Κεφαλαίο 5 Αριθμητικά Αποτελέσματα.....	37

5.1 Base Stock ενός Σταδίου Με Εκθετική Κατανομή	37
5.2 Base Stock ενός Σταδίου Με Erlang Κατανομή.....	44
5.3 Base Stock Δυο Σταδίων Με Erlang Κατανομή.....	50
Κεφαλαίο 6 Τελικά Συμπεράσματα – Προτάσεις Για Μελλοντική Έρευνα	54
6.1 Προτάσεις Για Μελλοντική Ερευνά.....	56
Βιβλιογραφία	73

Κατάλογος Πινάκων

Πίνακας 3-1: Παράμετροι για τις υποθέσεις 1-2 του base stock ενός σταδίου με εκθετική κατανομή.....	19
Πίνακας 3-2: Τιμές του S^* και $C(S^*,L^*)$ σε σχέση με το T , για τις υποθέσεις 1-2 του base stock ενός σταδίου με εκθετική κατανομή	22
Πίνακας 3-3: Παράμετροι για τις υποθέσεις 3-4 του base stock ενός σταδίου με Erlang κατανομή.....	24
Πίνακας 3-4 Τιμές του S^* και $C(S^*,L^*)$ σε σχέση με το T , για τις υποθέσεις 3-4 του base stock ενός σταδίου με Erlang κατανομή.....	25
Πίνακας 4-1 Τιμές των παραμέτρων για την υπόθεση base stock δυο σταδίων.....	33
Πίνακας 4-2: S_1^* , S_2^* και $C(S_1^*, S_2^*)$ σε σχέση με το T , για $L_1 = L_1^*$ και $L_2 = L_2^*$, για σύστημα base stock δυο σταδίων.....	33

Κατάλογος Σχημάτων

Σχήμα 3-1: Η μεταβολή του S^* σε σχέση με το T , για $L=L^*$ για την υπόθεση 1	23
Σχήμα 3-2: Η μεταβολή του S^* σε σχέση με το T , για $L=L^*$ για την υπόθεση 2	23
Σχήμα 3-3: Η μεταβολή του S^* σε σχέση με το T , για $L=L^*$ για την υπόθεση 3	26
Σχήμα 3-4: Η μεταβολή του S^* σε σχέση με το T , για $L=L^*$ για την υπόθεση 4	26
Σχήμα 4-1 : S_1^* και S_2^* , σε σχέση με το T , για $L_1 = L_1^*$ και $L_2 = L_2^*$	33
Σχήμα 5.1-1: Μεταβολή του $C(S)$ με το S ,για $T=0$ για την υπόθεση 1	37
Σχήμα 5.1-2: Μεταβολή του $C(S)$ με το S ,για $T=2$ για την υπόθεση 1	38
Σχήμα 5.1-3: Μεταβολή του $C(S)$ με το S ,για $T=4$ για την υπόθεση 1	38
Σχήμα 5.1-4: Μεταβολή του $C(S)$ με το S ,για $T=6$ για την υπόθεση 1	39
Σχήμα 5.1-5: Μεταβολή του $C(S)$ με το S ,για $T=8$ για την υπόθεση 1	39
Σχήμα 5.1-6: Μεταβολή του $C(S)$ με το S ,για $T=10$ για την υπόθεση 1	40
Σχήμα 5.1-7: Μεταβολή του $C(S)$ με το S ,για $T=0$ για την υπόθεση 2.....	40
Σχήμα 5.1-8: Μεταβολή του $C(S)$ με το S ,για $T=10$ για την υπόθεση 2.....	41
Σχήμα 5.1-9: Μεταβολή του $C(S)$ με το S ,για $T=20$ για την υπόθεση 2.....	41
Σχήμα 5.1-10: Μεταβολή του $C(S)$ με το S ,για $T=30$ για την υπόθεση 2.....	42
Σχήμα 5.1-11: Μεταβολή του $C(S)$ με το S ,για $T=40$ για την υπόθεση 2.....	42
Σχήμα 5.1-12: Μεταβολή του $C(S)$ με το S ,για $T=50$ για την υπόθεση 2.....	43
Σχήμα 5.1-13: Μεταβολή του $C(S)$ με το S ,για $T=60$ για την υπόθεση 2.....	43
Σχήμα 5.1-14: Μεταβολή του $C(S)$ με το S ,για $T=73$ για την υπόθεση 2.....	43

Σχήμα 5.2-1: Μεταβολή του C(S) με το S,για T=0 για την υπόθεση 3	44
Σχήμα 5.2-2: Μεταβολή του C(S) με το S,για T=2 για την υπόθεση 3	45
Σχήμα 5.2-3: Μεταβολή του C(S) με το S,για T=4 για την υπόθεση 3	45
Σχήμα 5.2-4: Μεταβολή του C(S) με το S,για T=6 για την υπόθεση 3	46
Σχήμα 5.2-5: Μεταβολή του C(S) με το S,για T=8 για την υπόθεση 3	46
Σχήμα 5.2-6: Μεταβολή του C(S) με το S,για T=0 για την υπόθεση 4	47
Σχήμα 5.2-7: Μεταβολή του C(S) με το S,για T=10 για την υπόθεση 4	47
Σχήμα 5.2-8: Μεταβολή του C(S) με το S,για T=20 για την υπόθεση 4	48
Σχήμα 5.2-9: Μεταβολή του C(S) με το S,για T=30 για την υπόθεση 4	48
Σχήμα 5.2-10: Μεταβολή του C(S) με το S,για T=35 για την υπόθεση 4	49
Σχήμα 5.2-11: Μεταβολή του C(S) με το S,για T=40 για την υπόθεση 4	49
Σχήμα 5.3-1: Μεταβολή του C(S ₁ ,S ₂) με το S ₂ ,για S ₁ =1 και T=0	50
Σχήμα 5.3-2: Μεταβολή του C(S ₁ ,S ₂) με το S ₂ ,για S ₁ =2 και T=0	50
Σχήμα 5.3-3: Μεταβολή του C(S ₁ ,S ₂) με το S ₂ ,για S ₁ =3 και T=0	51
Σχήμα 5.3-4: Μεταβολή του C(S ₁ ,S ₂) με το S ₂ ,για S ₁ =4 και T=0	51
Σχήμα 5.3-5: Μεταβολή του C(S ₁ ,S ₂) με το S ₁ και S ₂ , για T=0	52
Σχήμα 5.3-6: Μεταβολή του C(S ₁ ,S ₂) με το S ₂ ,για S ₁ =1 και T=2	52
Σχήμα 5.3-7: Μεταβολή του C(S ₁ ,S ₂) με το S ₂ ,για S ₁ =1 και T=4	53
Σχήμα 5.3-8: Μεταβολή του C(S ₁ ,S ₂) με το S ₂ ,για S ₁ =0 και T=6	53

Κεφάλαιο 1 Εισαγωγή

Σε αυτό το κεφάλαιο, παρουσιάζουμε πληροφορίες εισαγωγικού χαρακτήρα που δίνουν το κίνητρο και το υπόβαθρο αυτής της διπλωματικής εργασίας, παραθέτουμε μια ανασκόπηση της σχετικής με την εργασία βιβλιογραφίας και περιγράφουμε συνοπτικά τις βασικές ενότητες της διπλωματικής εργασίας.

Κίνητρο και Υπόβαθρο

Σύγχρονες μελέτες στην επιχειρησιακή ερευνά έχουν μείωση σημαντικά το κόστος απόκτησης τελικού προϊόντος με πρότερη πληροφόρηση της ζήτησης (advance demand information), που θα αναφέρεται στο υπόλοιπο της διπλωματικής εργασίας ως ADI, και της διάχυσης του σε όλα τα στάδια ενός συστήματος. Το παραπάνω έχει δημιουργήσει σημαντικές ευκαιρίες ανάπτυξης συστημάτων που χρησιμοποιούν την συγκεκριμένη πληροφορία. Η υλοποίηση τέτοιων πολιτικών έχει ως αποτέλεσμα την σημαντική ελάττωση του κόστους λειτουργίας ενός συστήματος καθώς και την καλύτερη και γρηγορότερη εξυπηρέτηση των απαιτήσεων του πελάτη.

Αυτή η διπλωματική μελετάει συστήματα που χρησιμοποιούν πολιτικές με ADI με ένα στάδιο εξυπηρέτησης καθώς και με δυο. Για τα συγκεκριμένα συστήματα κάνουμε τις παρακάτω υποθέσεις. Κάθε στάδιο του συστήματος αποτελείται, από σταθμούς εργασίας, οι οποίοι επεξεργάζονται τα κομμάτια του συστήματος, και από μια αποθήκη στην οποία αποθηκεύονται τα τελικά προϊόντα που βγαίνουν από τους σταθμούς εργασίας. Τα προϊόντα

που βρίσκονται μέσα στους σταθμούς αναφέρονται με το όνομα WIP (work in progress) και τα κομμάτια που βρίσκονται στην αποθήκη αναφέρονται με το όνομα FG (finished goods). Τα τελικά προϊόντα του τελικού σταδίου αναφέρονται ως end items. Θεωρούμε ότι οι πρώτες ύλες για την παραγωγή του κομματιού είναι άπειρες. Οι απαιτήσεις των πελατών για ένα τελικό κομμάτι καταφθάνουν στο σύστημα τυχαία, με σταθερό χρόνο υστέρησης της ζήτησης. Όταν καταφθάσει μια παραγγελιά στο σύστημα δεν μπορεί να ακυρωθεί, θεωρώντας ότι το ADI λειτουργεί τέλεια. Οι παραγγελιές που δεν ικανοποιούνται στον χρόνο τους αναφέρονται ως BD (backordered demands). Η άφιξη μιας παραγγελιάς για ένα τελικό κομμάτι σηματοδοτεί την έναρξη παραγωγής κομματιού για την αντικατάσταση του στους τομείς FG κάθε σταδίου. Δεν υπάρχει κόστος εγκατάστασης του συστήματος και περιορισμός στον αριθμό των παραγγελιών που καταφθάνουν στο σύστημα μας στην μονάδα του χρόνου. Το μοντέλο που συμφωνεί με τις παραπάνω υποθέσεις είναι ένα απλό μοντέλο, που όμως υιοθετεί κάποιες βασικές πληροφορίες των σειριακών συστημάτων παραγωγής.

Όταν δεν υπάρχει ADI στο σύστημα, τότε ο χρόνος άφιξης της παραγγελιάς συμπίπτει με το demand due date. Αυτό σημαίνει ότι η έναρξη της αντικατάστασης ενός κομματιού, που έχει σηματοδοτηθεί με την άφιξη μιας παραγγελιάς, γίνεται κατά την διάρκεια ή μετά το demand due date. Το πιο απλό σύστημα που χρησιμοποιεί πολιτική χωρίς ADI είναι το σύστημα base stock. Σε ένα base stock σύστημα η έναρξη αναπλήρωσης ενός κομματιού γίνεται με την άφιξη της απαίτησης του πελάτη σε αυτό.

Όταν υπάρχει ADI στο σύστημα η έναρξη αναπλήρωσης ενός κομματιού από τους FG τομείς του συστήματος, που έχει σηματοδοτηθεί με την άφιξη μια παραγγελιάς στο σύστημα, μπορεί να γίνει πριν το due date της απαιτήσεως. Τα συστήματα base stock μπορούν εύκολα να μετατραπούν σε συστήματα που παρουσιάζουν το πλεονέκτημα του ADI, αντισταθμίζοντας τον απαιτούμενο due date χρόνο με τον χρόνο υστέρησης ώστε να

καθοριστεί ο χρόνος αναπλήρωσης κομματιών σε κάθε στάδιο, όπως συμβαίνει στην διαδικασία MRP. Ο χρόνος υστέρησης της παραγωγής είναι μια παράμετρος η οποία, στο MRP σύστημα, αποτελεί ουσιαστικά την εγγύηση ότι η ουσιαστική ροή ενός κομματιού μέσα στο σταθμό ενός σταδίου πραγματοποιείται στο μεγαλύτερο ποσοστό (περίπου 95%) μέσα στο χρόνο που ορίζει ο χρόνος αυτός [18].

Ο στόχος αυτής της διπλωματικής εργασίας είναι να εξακριβώσουμε αλληλεξάρτηση των βέλτιστων αποθεμάτων του συστήματος, με τον χρόνο υστέρησης της παραγωγής . Μερικά σημαντικά ερωτήματα για το παραπάνω θέμα είναι οι παρακάτω.

Στο σύστημα base stock με ADI, το επίπεδο του αποθέματος στους FG τομείς των σταδίων αντιπροσωπεύει κομμάτια που έχουν παραχθεί πριν από την άφιξη μιας παραγγελιάς στο σύστημα με σκοπό την αποφυγή πιθανό stock out. Διαισθητικά συμπεραίνουμε ότι υπάρχει μια εξάρτηση ανάμεσα στον αριθμό του αποθέματος στους FG τομείς κάθε σταδίου και στον χρόνο υστέρησης της παραγωγής . Συγκεκριμένα όσο μεγαλύτερος είναι ο χρόνος υστέρησης, τόσο μικρότερο είναι το απόθεμα. Όμως υπάρχει κανένας συγκεκριμένος κανόνας σε αυτή την εξάρτηση; Πιο συγκεκριμένα, το βέλτιστο απόθεμα μειώνεται, με ένα σταθερό ρυθμό ή με ένα μεταβαλλόμενο ρυθμό, καθώς ο χρόνος υστέρησης μειώνεται; Ο αριθμός του βέλτιστου αποθέματος σε κάθε στάδιο μειώνεται με τον ίδιο τρόπο μέχρι να φτάσει στο μηδέν ή μέχρι κάποιο σταθερό αριθμό, ή μειώνεται διαφορετικά σε κάθε στάδιο με μια συγκεκριμένη σειρά, όταν ο χρόνος υστέρησης αυξάνει; Εάν το τελευταίο ερώτημα ισχύει τότε θα ήταν πιο κερδοφόρο να μειώσουμε το απόθεμα στα αρχικά στάδια που το κόστος αποθήκευσης τού FG τομείς είναι μικρότερο που όμως παράλληλα δεν είναι τόσο σημαντικό στην εξυπηρέτηση του πελάτη, ή το απόθεμα στα τελευταία στάδια που το αντίστοιχο κόστος είναι μεγαλύτερο αλλά παράλληλα είναι πιο σημαντικό για την ικανοποίηση των πελατών;

Ο χρόνος υστέρησης της παραγωγής είναι μια παράμετρος που μας καθορίζει πόσο καθυστερεί η αναπλήρωση των κομματιών που έχουν αφηθεί από το σύστημα με την άφιξη της παραγγελιάς. Αναμένουμε ότι όταν ο χρόνος υστέρησης της παραγωγής είναι μικρός η καθυστέρηση αναπλήρωσης των κομματιών να μην είναι μεγάλη, ενώ αντίθετα αν είναι μεγάλος και η καθυστέρηση θα είναι σημαντική. Αλλά ποια είναι η κρίσιμη τιμή του χρόνου υστέρησης της παραγωγής κάτω από την οποία η καθυστέρηση αναπλήρωσης των κομματιών δεν είναι σημαντική; Έχει νόημα να καθυστερήσουμε την αναπλήρωση των κομματιών ενώ παράλληλα να έχουμε ένα ικανοποιητικό στάδιο αποθέματος στο σύστημα;

Εφόσον δεν υπάρχουν αναλυτικές λύσεις έλεγχου της απόδοσης πολιτικών έλεγχου παραγωγής Base Stock με ADI και οι προσεγγιστικές λύσεις μας οδηγούν σε αποτελέσματα, τα οποία μπορεί να μας οδηγήσουν σε εσφαλμένα συμπεράσματα, χρησιμοποιούμε προσομοίωση των συστημάτων. Η προσομοίωση με τα αποτελέσματα της μας δίνει απάντηση σε πολλά από τα ερωτήματα που θέσαμε παραπάνω και παραθέτουμε τα αποτελέσματα αυτής της ερευνάς στην παρούσα διπλωματική εργασία. Η κύρια συνεισφορά αυτής της εργασίας είναι η μελέτη των αποτελεσμάτων αυτής της ερευνάς.

Βιβλιογραφική Ανασκόπηση

Υπάρχουν αρκετές μελέτες πάνω σε συστήματα τύπου Base Stock. Οι Veach και Wean [15] χρησιμοποιούν ένα μοντέλο δυναμικού προγραμματισμού για να υπολογίσουν την βέλτιστη λειτουργία για ένα σύστημα που λειτουργεί με make-to-stock πολιτική.

Οι Karaesmen και Dallery [9] επεκτείνουν το μοντέλο που αναπτύχθηκε στην εργασία [15] και παρουσιάζουν την σύγκριση διάφορων ελκυσόμενων συστημάτων και εξάγεται ένας αλγόριθμος για τον υπολογισμό των μεταβλητών, για την απόδοση των συστημάτων για περισσότερα από ένα στάδια.

Οι Karaesman, Buzacott και Dallery [12] παρουσιάζουν την έννοια της πρότερης πληροφόρησης της ζήτησης, στα ελκυσόμενα συστήματα. Η πρότερη πληροφόρηση της ζήτησης, είναι η πληροφορία που εισάγετε στα συστήματα MRP με στόχο τον προγραμματισμό ενάρξεως των εργασιών.

Οι Buzacott και Shanthikumar [16] συγκρίνουν το απόθεμα ασφάλειας με τον χρόνο ασφάλειας που χρησιμοποιούνται στα συστήματα MRP. Το βασικό συμπέρασμα που διεξάγεται είναι πως ο χρόνος ασφάλειας είναι προτιμότερος από το απόθεμα ασφάλειας μόνο όταν η πρόβλεψη της ζήτησης μπορεί να πραγματοποιηθεί με ακρίβεια και ο χρόνος υστέρησης είναι ρεαλιστικός.

Οι Liberopoulos και Koukoumialos [14] παρουσίασαν μια λεπτομερή ανάλυση για τα συστήματα base stock με πρότερη πληροφόρηση της ζήτησης μέσω της προσομοίωσης των υπό μελέτη συστημάτων.

Οι Rubio και Wein [10] χρησιμοποίησαν την θεωρία ουρών για να αναλύσουν συστήματα που λειτουργούν κάτω από την πολιτική του απλού base stock.

Ο Bonvik et al. [1] χρησιμοποιεί προσομοίωση για να μελετήσει την βέλτιστη λειτουργία ενός συστήματος που αποτελείται από τέσσερις μηχανές στη σειρά.

Οργάνωση Διπλωματικής Εργασίας

Το υπόλοιπο αυτής της διπλωματικής εργασίας χωρίζεται σε τρεις ενότητες που καταλαμβάνουν τα Κεφάλαιο 2 - 6, αντίστοιχα. Συγκεκριμένα:

Στο Κεφάλαιο 2 παρουσιάζουμε το πρόγραμμα προσομοιώσεων Arena με το οποίο έγιναν οι αναλύσεις των συστημάτων που θα αναπτυχθούν στα παρακάτω κεφάλαια

Στο Κεφαλαίο 3 αναλύουμε την συμπεριφορά των συστημάτων τύπου base stock ενός σταδίου για τέσσερις διαφορετικές περιπτώσεις και παρουσιάζουμε τα αριθμητικά αποτελέσματα των προσομοιώσεων για καθεμία από αυτή.

Στο Κεφαλαίο 4 αναλύουμε την συμπεριφορά των συστημάτων τύπου base stock δυο σταδίων για μια περίπτωση και παρουσιάζουμε τα αντίστοιχα αριθμητικά αποτελέσματα των προσομοιώσεων.

Στο Κεφαλαίο 5 παρουσιάζουμε τα αναλυτικά αριθμητικά αποτελέσματα των προσομοιώσεων για όλες τις περιπτώσεις που μελετήσαμε.

Τα τελικά συμπεράσματα της διπλωματικής εργασίας και κατευθύνσεις για περαιτέρω έρευνα παρουσιάζονται στο Κεφάλαιο 6.

Κεφάλαιο 2 Η Τεχνική Της Προσομοίωσης

Η προσομοίωση αποτελεί την τεχνική με την οποία εξετάσαμε τα συστήματα που θα αναλυθούν στα παρακάτω κεφαλαία. Με τον όρο προσομοίωση εννοούμε , την τεχνική εκείνη κατά την οποία δημιουργείται και σχεδιάζεται ένα υπολογιστικό μοντέλο ενός πραγματικού ή υποτιθέμενου συστήματος με μοναδικό σκοπό την εξαγωγή αριθμητικών αποτελεσμάτων όσον αφορά στην λειτουργία καθώς και στην συμπεριφορά του συστήματος υπό συγκεκριμένες συνθήκες.

2.1 Λογισμικό Arena 3.0 S.M

Το λογισμικό Arena 3.0 της Systems Modeling Corporation χρησιμοποιήθηκε για να μοντελοποιήσουμε τα συστήματα που εξετάζουμε, ώστε έπειτα να προβούμε σε πειραματικές μετρήσεις. Το παραπάνω λογισμικό αποτελεί μια ιδιαίτερα εύχρηστη και αξιόπιστη λύση στον τεμνά της εικονικής πραγματικότητας και θεωρείται ιδιαίτερα εύχρηστο λόγω κυρίως της ευελιξίας που προσφέρει η γλώσσα Simon αλλά και λόγω της δυνατότητας ολοκλήρωσης (integration) με τις visual basic, FORTRAN και C++.

Κατά την διαδικασία είναι εφικτό να χρησιμοποιηθούν εναλλακτικά και ανταλλάξιμα πρότυπα και να δημιουργηθούν πολυσύνθετα γραφικά μοντέλα προσομοίωσης. Τα πρότυπα και οι εντολές της γλώσσας προσομοίωσης, είναι κατανεμημένες σε ξεχωριστά φύλλα (panels) ανά κατηγορία. Πρέπει να τονίσουμε την σημασία των επιπρόσθετων προγραμμάτων

τα οποία χρησιμοποιήθηκαν για λεπτομερή στατιστική ανάλυση, για την σύγκριση δυο ή περισσότερων μοντέλων, αλλά και την αυτοματοποιημένη δημιουργία σεναρίων.

Αυτά είναι τα :

Outpout Analyzer

Inpoyt Analyzer

Scenario Analysis

2.2 Μοντελοποίηση Των Συστημάτων

Τα συστήματα μας μοντελοποιήθηκαν με την ίδια διαδικασία και με μικρές παραλλαγές. Η διαδικασία που ακολουθήθηκε είναι η εξής :

Αρχικά εισέρχονται στο σύστημα μας οι αφίξεις των ζητήσεων από τον πελάτη και παριστάνονται με την εντολή ARRIVE. Κατά την δημιουργία της εντολής και των παραμέτρων που την εκφράζουν, αρχικά δίνουμε την ονομασία του σταθμού αφίξεων και στην συνέχεια επιλέγουμε :

- Το μέγεθος της παρτίδας
- Τον ρυθμό αύξησης των ζητήσεων
- Το μέγιστο μέγεθος της παρτίδας.

Τέλος, στο κάτω μέρος του παραθύρου , εφαρμόζουμε την σύνδεση με την επόμενη εντολή ορίζοντας ονομαστικά τον επόμενο σταθμό. Στην συνέχεια χρησιμοποιούμε την εντολή CREATE για να δημιουργήσουμε τα αρχικά αποθέματα S.

Οι ζητήσεις, με την βοήθεια της εντολής DUPLICATE διαχωρίζονται και κατευθύνονται ταυτόχρονα σε δυο ουρές :

1. Στην ουρά αναμονής παραγωγής εξαρτημάτων στην γραμμή παραγωγής όπου καταφθάνει η πρώτη ύλη
2. Στην ουρά αναμονής των ανικανοποίητων ζητήσεων που αναμένουν για τελικά προϊόντα, εφόσον δεν υπάρχουν.

Η δημιουργία μηχανισμών καθυστέρησης του συστήματος δηλώνεται με την εντολή DELAY.

Η εντολή που χρησιμοποιήθηκε, βάση της οποίας μας δόθηκε η δυνατότητα να συγχρονίσουμε το σύστημα μας είναι η εντολή WAIT. Οι σταθμοί συγχρονισμού, συνδυάζουν την ύπαρξη διαφορετικών οντοτήτων μέσα στο σύστημα. Παραδείγματος χάρη, ανάλογα με την ύπαρξη ή όχι τελικών προϊόντων στο σύστημα μας αλλά και την ύπαρξη ζητήσεως ο σταθμός συγχρονισμού δίνει εντολή σε κάποιο εξάρτημα να ακολουθήσει τις προγραμματισμένες εντολές ανάλογα με τη περίπτωση. Δηλαδή πιο συγκεκριμένα, είτε να αναμείνει στο WAIT, είτε να οδηγηθεί στην εντολή SIGNAL, είτε να αποδεσμευτεί.

Οι μηχανές της γραμμής παραγωγής, δημιουργούνται με την εντολή SERVER. Εκεί δηλώνονται τα στοιχεία κάθε μηχανής, τα χαρακτηριστικά της, οι ιδιότητες της αλλά και η ομαλή ή όχι λειτουργία της .

Οι ζητήσεις που ικανοποιούνται, αφαιρούνται από το σύστημα με την εντολή DISPOSE ούτως ώστε το σύστημα να μην μπλοκάρεται. Η έξοδος των τελειωμένων προϊόντων από την γραμμή παραγωγής δίνεται από την εντολή DEPART. Πρέπει να σημειωθεί πως σε κομβικά και κρίσιμα σημεία της ουράς έχουν τοποθετηθεί σενσορες

counters, οι οποίοι χρησιμοποιούνται ώστε να παίρνουμε ασφαλή συμπεράσματα ανά κομμάτι παραγωγικής διαδικασίας.

Ακόμα, υπάρχουν και οι εντολές STATISTICS και VARIABLES που αποτελούν το ‘μυαλό’ του προσομοιωτή. Εκεί δίνονται τα στοιχεία των μεταβλητών που χρησιμοποιούνται σε κάθε πείραμα, ενώ ταυτόχρονα λαμβάνονται τα αναλυτικά στοιχεία των αποτελεσμάτων.

Τέλος, με τις εντολές SIMULATE και DSTATS ορίζουμε διάφορα χαρακτηριστικά, όπως τον χρόνο, την κατεύθυνση των αρχείων κ.α.

2.3 Χρόνος Προσομοίωσης

Όπως προείπαμε, με την εντολή SIMULATE ορίζουμε τον χρόνο της προσομοίωσης του συστήματος. Το μέγεθος του χρόνου της προσομοίωσης επιλέγεται έτσι ώστε να μας δίνει ασφαλή συμπεράσματα κατά την διάρκεια της εικονικής λειτουργίας του συστήματος. Πιο συγκεκριμένα πρέπει να είναι τόσο μεγάλο, έτσι ώστε μετά το πέρας του πειράματος το σύστημα να βρίσκεται σε μια σταθερή κατάσταση. Αυτό εξακριβώνεται μέσω μετρήσεων οι οποίες μας δίνουν τα ποσοστά λάθους των πειραματικών διαδικασιών. Κατά αυτόν τον τρόπο έχει ορισθεί χρόνος προσομοίωσης του συστήματος 60 εκατομμύρια χρονικές μονάδες βάση του οποίου λαμβάνουμε ασφαλή συμπεράσματα.

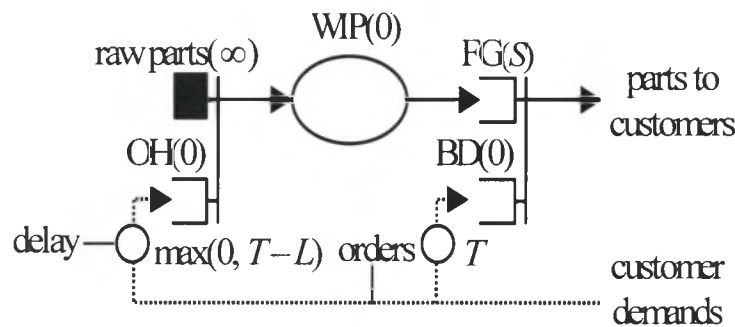
Κεφάλαιο 3 Αναλυτικές Μέθοδοι Εκτίμησης της Απόδοσης Συστημάτων Τύπου Base Stock Ενός Σταδίου

Στο κεφάλαιο αυτό αναπτύσσουμε μια πολιτική base stock ενός σταδίου με advance demand information. Οι παραγγελίες των πελατών για κάθε τελικό κομμάτι καταφθάνουν στο σύστημα σύμφωνα με κατανομή Poisson με ρυθμό λ , και με σταθερό χρόνο υστέρησης της παραγγελιάς T . Η άφιξη μιας παραγγελιάς στο σύστημα σηματοδοτεί την απελευθέρωση ενός κομματιού από το FG τομέα του συστήματος και παράλληλα αρχίζει η διαδικασία δημιουργίας ενός νέου. Συγκεκριμένα όταν έρχεται μια παραγγελιά η απελευθέρωση του κομματιού από το FG (finished goods) τομέα γίνεται μετά από χρόνο T . Εάν δεν υπάρχει ολοκληρωμένο κομμάτι στον FG τομέα την συγκεκριμένη στιγμή τότε η παραγγελιά καθυστερεί και πάει στον BD (backordered demands) τομέα.

Η πολιτική του συστήματος εξαρτάται από δυο ανεξάρτητες παραμέτρους, ο αριθμός του αποθέματος των τελικών προϊόντων στον FG τομέα, που συμβολίζεται με S , και ο χρόνος υστέρησης της παραγωγής, που συμβολίζεται με L . Ο αριθμός του αποθέματος S έχει την ίδια σημασία όπως στα συστήματα που ακολουθούν την κλασική πολιτική του base stock. Η μόνη διάφορα είναι η παρουσία του ADI, που επιτρέπει στο **inventory position** να υπερβεί το όριο του βασικού αποθέματος. Με αυτή την σημαντική λεπτομέρεια στο υπόλοιπο αυτής της διπλωματικής θα διατηρήσουμε τον όρο **base stock**, αλλά πρέπει να τονίσουμε ότι οι Marinara και Zipkin [16] και Chen [6] χρησιμοποιούν τον όρο **order base stock** για να

περιγράψουν το απόθεμα στον FG τομέα. Ο χρόνος υστέρησης της παραγωγής έχει ακριβώς την ίδια σημασία με τον **fixed lead time** στα συστήματα που παρουσιάζεται MRP.

Το σύστημα μας αρχίζει την λειτουργία του με ένα βασικό απόθεμα S στον FG τομέα. Ο χρόνος που σηματοδοτεί την αντικατάσταση του κομματιού που ικανοποίησε την παραγγελιά καθορίζεται από τον χρόνο L χρησιμοποιώντας την λογική ενός συστήματος MRP. Αυτό σημαίνει ότι η παραγγελιά ικανοποιείται χωρίς καθυστέρηση εφόσον $L \geq T$, ή με καθυστέρηση που ισούται με $T - L$ εφόσον $L < T$. Με άλλα λόγια ο χρόνος καθυστέρησης για την ικανοποίηση της παραγγελιάς ισούται με το $\max\{0, T-L\}$. Όταν μια παραγγελιά ικανοποιείται τότε ένα νέο κομμάτι απελευθερώνεται άμεσα στο σύστημα. Ένα σύστημα ουράς που βασίζεται στην πολιτική base stock ενός σταδίου με ADI φαίνεται στο σχήμα 1



Εικόνα 1 : Base – stock policy ενός σταδίου με ADI

Οι συμβολισμοί που χρησιμοποιούνται στην παραπάνω εικόνα είναι οι εξής:

Το οβάλ σχήμα αντιπροσωπεύει το χώρο στον οποίο λαμβάνει χώρα η δημιουργία του κομματιού, και τα κυκλικά σχήματα αντιπροσωπεύουν την χρονική καθυστέρηση που παρουσιάζεται στο σύστημα. Οι ουρές που καταλήγουν στις μπάρες αντιπροσωπεύουν σταθμούς συγχρονισμού. Οι σταθμοί συγχρονισμού είναι οι σταθμοί που αρχίζουν να λειτουργούν αμέσως όταν υπάρξει ένας πελάτης στις ουρές οι οποίες τις συγχρονίζουν. Το όνομα της κάθε ουράς καθορίζεται ανάλογα με το περιεχόμενο τους και η αρχική τιμή τους

δηλώνεται μέσα στις παρενθέσεις. Με το όνομα FG δηλώνονται τα τελικά προϊόντα (finished goods), με το όνομα BD δηλώνονται οι χαμένες παραγγελιές (backordered demands) και τέλος με το όνομα OH δηλώνονται οι παραγγελιές που είναι σε καθυστέρηση (orders on hold). Να σημειωθεί ότι η ουρά OH ισούται πάντα με το μηδέν, για τα υποθέτουμε ότι οι πρώτες ύλες του συστήματος είναι άπειρες (raw parts).

3.1 Μέτρα Απόδοσης Συστημάτων Τύπου Base Stock Ένος Σταδίου

Θεωρούμε ένα κλασικό πρόβλημα βελτιστοποίησης, όπου ο σκοπός μας είναι να βρούμε τις τιμές των S και L οι οποίες ελαχιστοποιούν την αντικειμενική συνάρτηση του προβλήματος βελτιστοποίησης που δίνεται από την σχέση

$$C(S, L) = hE[WIP + FG(S, L)] + bE[BD(S, L)], \quad (3.1)$$

όπου h είναι το κόστος αποθήκευσης WIP και FG για κάθε μονάδα χρόνου και b είναι το κόστος για κάθε παραγγελιά που δεν ικανοποιείται στην μονάδα του χρόνου. Στο συγκεκριμένο πρόβλημα ενδιαφερόμαστε πιο πολύ στην επίδραση που έχει το ADI στο κόστος αποθήκευσης και στο κόστος χαμένων παραγγελιών, παρά το κόστος του ίδιου του ADI. Για τον παραπάνω λόγο θεωρούμε ότι το κόστος επίτευξης του ADI ισούται με το μηδέν. Είναι εύκολο να διαπιστώσουμε από την αντικειμενική συνάρτηση ότι οι παράμετροι S και L επηρεάζουν μόνο την αναμενόμενη τιμή του FG και BD και όχι την αναμενόμενη τιμή του WIP (work in progress). Παρακάτω θα μελετήσουμε τη βελτιστοποίηση της συγκεκριμένης συνάρτησης, πρώτα εάν στο σύστημα δεν υπάρχει ADI και κατόπιν όταν υπάρχει.

3.1.1 Σύστημα Χωρίς ADI

Εάν στο σύστημα δεν υπάρχει ADI, δηλαδή εάν $T=0$ ο χρόνος υστέρησης είναι πολύ μεγάλος επειδή η ικανοποίηση μιας παραγγελιάς ικανοποιείται αυτόματα με την άφιξη μιας απαιτήσεως ενός πελάτη. Μετά από αλγεβρικές πράξεις το μέσο κόστος του συστήματος είναι μια συνάρτηση του S που δίνεται από τον παρακάτω τύπο

$$C(S) = (h + b) \left\{ E[WIP] - \sum_{n=0}^S nP(WIP = n) + S[P(WIP \leq S) - b/(b + h)] \right\} \quad (3.2)$$

Το βέλτιστο απόθεμα δίνεται από τον μικρότερο ακέραιο που ικανοποιεί την παρακάτω συνάρτηση :

$$P(WIP \leq S^*) \geq b / (b + h) \quad (3.3)$$

Εφόσον ο χρόνος παραγωγής είναι εκθετικός με ρυθμό μ , η συνάρτηση που μας δίνει το μέσο κόστος δίνεται από

$$C(S) = h \left[S - \frac{p(1-p^S)}{(1-p)} \right] + b \left[\frac{p^{S+1}}{(1-p)} \right] \quad (3.4)$$

Και S^* είναι ο ακέραιος $[S]$, όπου $S = \ln [h/(hob)] / \ln p$, όπου $p = \lambda/\mu$.

Εάν το σύστημα αποτελείται από δίκτυο Jackson, τότε ακολουθεί μια non-closed φόρμα που μπορεί να επιλυθεί υπολογιστικά. Για παράδειγμα, στην υπόθεση ενός ισορροπημένου δικτύου Jackson αποτελούμενου από M ανεξάρτητες μηχανές στην σειρά, όπου κάθε μηχανή έχει εκθετικό χρόνο εξυπηρέτησης με ρυθμό μ , S^* είναι ο μικρότερος ακέραιος που ικανοποιεί την (3.3) και για το WIP ισχύει ότι

$$P(WIP = n) = \binom{M+n-1}{n} (1-\rho)^M \rho^n \quad (3.5)$$

όπου $\rho = \lambda/\mu$.

3.1.2 Σύστημα Με ADI

Εάν στο σύστημα μας υπάρχει ADI, δηλαδή $T = 0$ υπάρχει ένα κενό χρόνου ανάμεσα στην άφιξη της παραγγελιά και στην απελευθέρωση ενός κομματιού από τον FG τομέα του συστήματος. Αυτό το κενό του χρόνου ισούται με $T - \max[0, T-L]$, ο οποίος μετατρέπει την συμπεριφορά κάθε συστήματος με χρόνο υστέρησης $T < L$, σε συμπεριφορά συστήματος που έχει $T = L$.

3.1.2.1 Σύστημα Ενός Σταθμού Εργασίας Με Εκθετική Κατανομή

Εάν το σύστημα αποτελείται από ένα σταθμό εργασίας που ακολουθεί εκθετική κατανομή με μέσο ρυθμό μ , η συνάρτηση που μας δίνει μέσο κόστος(εκτός από το κόστος του WIP, που είναι ίσο με $h\rho/(1-\rho)$) είναι

$$C(S, L) = h [S + \lambda \min(L, T) - \rho / (1-\rho)] + (h+b) [\rho^{S+1} / (1-\rho)] e^{-\mu(1-\rho) \min(L, T)} \quad (3.6)$$

όπου $\rho = \lambda/\mu$. Μπορεί να αποδειχθεί [19] ότι για μια συγκεκριμένη τιμή του L , το βέλτιστο απόθεμα $S^*(L)$ δίνεται από τον παρακάτω τύπο:

$$S^*(L) = \begin{cases} S(L) & L \leq L^*, \\ 0 & L \geq L^*, \end{cases} \quad (3.7)$$

όπου

$$S(L) = \ln [(h+b)/h] / \ln \rho - [(\mu-\lambda) / \ln \rho] L \quad (3.8)$$

και ο βέλτιστος χρόνος L^* δίνεται από την συνάρτηση

$$L^* = \ln[(h+b)/h] / (\mu - \lambda) \quad (3.9)$$

Και το βέλτιστο απόθεμα S^* είναι ο ακέραιος που ικανοποιεί την συνάρτηση

$$S = \max \{0, (\ln [(h+b)/h] / \ln \rho) - [(\mu-\lambda) / \ln \rho] T\} \quad (3.10)$$

Η παραπάνω ανάλυση προϋποθέτει ότι το L^* είναι ανεξάρτητο από το T και είναι ίσο με το $cE[W]$, όπου W ο χρόνος αναμονής ενός προϊόντος στο σύστημα, εφόσον το σύστημα σαν make-to-order μοντέλο (δηλαδή $E[W] = 1/(\mu-\lambda)$) και το c είναι μια σταθερά που ισούται με $\ln[(h+b)/h]$. Το S και κατά συνέπεια το S^* είναι συναρτήσεις του T . Συγκεκριμένα, το S μειώνεται ανάλογα με την αύξηση του T και φτάνει στο μηδέν όταν το T γίνει ίσο με L^* . Συνεπώς για τιμές του T που ισχύει $T < L^*$, το $S > 0$ και επομένως οι παραγγελίες που καταφθάνουν στο σύστημα ικανοποιούνται χωρίς καμία καθυστέρηση. Για χρόνους T για τους οποίους ισχύει $T > L^*$ το $S = 0$ και επομένως οι παραγγελίες ικανοποιούνται με μια καθυστέρηση η οποία ισούται με $T - L$. Αυτό σημαίνει ότι το σύστημα μας μετατρέπεται από make-to-stock σε make-to-order. Η μικρότερη αναμενόμενη μέση τιμή του κόστους $C(S^*, L^*)$ μειώνεται με την αύξηση του T και φτάνει στην μικρότερη τομή στο σημείο $T = L^*$. Εφόσον το L^* είναι η μικρότερη τιμή του T για την οποία ισχύει $S = 0$, συνεπάγεται ότι η μικρότερη τιμή του T για την οποία ισχύει ότι $S = 0$, είναι λίγο πιο κάτω από την τιμή του L^* .

3.1.2.2 Σύστημα Με Jackson Δίκτυο

Εαν το σύστημα μας αποτελείται από σταθμούς όπου περιέχουν δίκτυο Jackson, δεν υπάρχουν αναλυτικές λύσεις με τις οποίες θα προσεγγίσουμε τις βέλτιστες τιμές των παραμέτρων. Εμπειρικά μπορούμε να υποθέσουμε, ότι το βέλτιστο απόθεμα θα μειώνεται με την αύξηση του T , όπως γινόταν και με το σύστημα ενός σταθμού. Το ερώτημα είναι όμως πως ακριβώς μειώνεται; Μειώνεται ανάλογα με το T ωστόσο φτάσει στο μηδέν, ή η μείωση του δεν είναι ομαλή; Ποια είναι η μικρότερη τιμή του T , για την οποία το βέλτιστο απόθεμα γίνεται μηδέν και έτσι το σύστημα μετατρέπεται από make-to-stock σε make-to-order; Είναι ίσο με το μέσο χρόνο ροής ενός κομματιού στο σύστημα, που καθορίζεται από τον όρο $c = \ln[(h+b)/h]$, όπως συμβαίνει με το απλό σύστημα ενός σταθμού;

Η μόνη αναλυτική λύση που απαντάει στα παραπάνω ερωτήματα είναι η Πρόταση 1 [19], η οποία λέει ότι κάθε σύστημα που ικανοποιεί το αξίωμα 1, (ακολουθεί παρακάτω), και εφόσον λειτουργεί σαν make-to-order μοντέλο, δηλαδή το απόθεμα είναι μηδέν, και ισχύει $T \geq L^*$, τότε το βέλτιστο L είναι ο μικρότερος πραγματικός αριθμός που ικανοποιεί την παρακάτω εξίσωση

$$P(W \leq L^*) \geq b/(b+h), \quad (3.11)$$

όπου W ο χρόνος αναμονής ενός κομματιού στο σύστημα.

Αξίωμα 1 : Οι παραγγελίες καταφθάνουν στο σύστημα μια κάθε φορά, παραμένουν σε αυτό μέχρι να κληρωθούν (δεν εμποδίζονται ή μπλοκάρονται), ακολουθούν την πολιτική FIFO και δεν επηρεάζουν τον χρόνο της προηγούμενης παραγγελιάς (έλλειψη πρόβλεψης)

Το συμπέρασμα των παραπάνω είναι ότι εάν το σύστημα που απεικονίζεται στην εικόνα 1 ικανοποιεί το αξίωμα 1, τότε όταν ισχύει $T \geq L^*$, όπου το L^* δίνεται από την (3.9) τότε το σύστημα μετατρέπεται από make-to-stock σε make-to-order με χρόνο L ίσο με L^* .

Εν κατακλείδι, όταν $T=0$, το S^* δίνεται από την (3.1), και όταν $T \geq L$, $S^*=0$. Ένα ερώτημα που παράμενε αναπάντητο τι συμβαίνει όταν $0 < T < L$. Για να δια φωτίσουμε λίγο το παραπάνω ερώτημα, μελετάμε αριθμητικά ένα μικρό, αλλά αντιπροσωπευτικό παράδειγμα συστήματος όπου περιέχει ένα δίκτυο Jackson τεσσάρων μηχανών σε σειρά, με τέσσερις διαφορετικές τιμές παραμέτρων.

3.2 Απόδοση Συστημάτων Τύπου Base Stock Ενός Σταδίου Εκθετικής Κατανομής

Στη συγκεκριμένη περίπτωση το σύστημα μας αποτελείται από τέσσερις μηχανές στην σειρά όπου η καθεμία ακολουθεί εκθετικό χρόνο εξυπηρέτησης με μέσο ρυθμό μ . Οι παραγγελίες καταφθάνουν στο σύστημα με εκθετική κατανομή με μέσο ρυθμό λ . Για αυτό το σύστημα θεωρούμε δυο περιπτώσεις, όπου οι τιμές των παραμέτρων τους φαίνονται στον παρακάτω πίνακα

Υπόθεση	$1/\lambda$	Κατανομή χρόνου επεξεργασίας	$1/\mu$	$\rho = \lambda/\mu$	H	b
1	1.25	Εκθετική	1,0	0,8	5	1
2	1.1	Εκθετική	1,0	0.90909...	1	9

Πίνακας 3-1: Παράμετροι για τις υποθέσεις 1-2 του base stock ενός σταδίου με εκθετική

Για $T = 0$ το L είναι άπειρο, όποτε το S^* μπορεί να καθοριστεί αναλυτικά από την (3.3), όπου το $P(WIP = n)$ μπορεί να υπολογιστεί από την εξίσωση (3.5) για $M = 4$. Έπειτα το S^* αντικαθίσταται στην εξίσωση (3.1) και καθορίζεται το κόστος $C(S^*)$ για την καθεμία από τις δυο περιπτώσεις. Τα αποτελέσματα είναι τα παρακάτω :

$$\text{Υπόθεση 1: } S^* = 8, C(S^*) = 90.8954$$

$$\text{Υπόθεση 2: } S^* = 68, C(S^*) = 83.6966$$

Ο βέλτιστος χρόνος L^* μπορεί να καθοριστεί αναλυτικά από την εξίσωση (3.9) όπου η κατανομή του χρόνου αντικατάστασης των παραγγελιών W είναι Erlanger με M φάσεις και μέσο χρόνο $M / (\mu/\lambda)$. Αυτό ισχύει επειδή το W είναι ένα άθροισμα από M , $M/M/1$ συστήματα ουρών, όπου η καθεμία ακολουθεί εκθετική κατανομή με μέση τιμή $1/(\mu-\lambda)$. Συγκεκριμένα η κατανομή του W δίνεται από την παρακάτω εξίσωση.

$$P(W \leq w) = 1 - \sum_{k=0}^{M-1} \frac{[(\mu - \lambda)w]^k}{k!} e^{-(\mu - \lambda)w}$$

Τα αποτελέσματα είναι τα ακόλουθα για τις δυο περιπτώσεις :

$$\text{Υπόθεση 1: } L^* = 10.6396$$

$$\text{Υπόθεση 2: } L^* = 73.4886$$

Παρεμπιπτόντως, με ένα γρήγορο υπολογισμό του όρου $cE[W]$ από τον τύπο 3.9 έχουμε ότι $cE[W] = \ln [(5+1)/5]/[4/(1-0,8)] = 3,6464$ για την υπόθεση 1 και $\ln [(1+9)/1]/[4/(1-0,90909)] = 101,3137$ για την υπόθεση 2. Επομένως βλέπουμε ότι και στις δυο περιπτώσεις $L^* \neq cE[W]$ (υπενθυμίζουμε ότι ισχύει $L^* = cE[W]$, στο απλό σύστημα με ένα σταθμό εξυπηρέτησης). Πράγματι παρατηρούμε ότι στην μεν πρώτη υπόθεση έχουμε ότι $L^* (= 10,6396) > cE[W] (= 3,6464)$ και στην δεύτερη αντίστοιχα $L^* (= 73,4886) < cE[W] (= 101,3137)$. Επομένως το γεγονός ότι ισχύει $L^* = cE[W]$, για το απλό σύστημα ενός σταθμού, είναι μόνο για την συγκεκριμένη περίπτωση και δεν μπορούμε να το γενικεύσουμε.

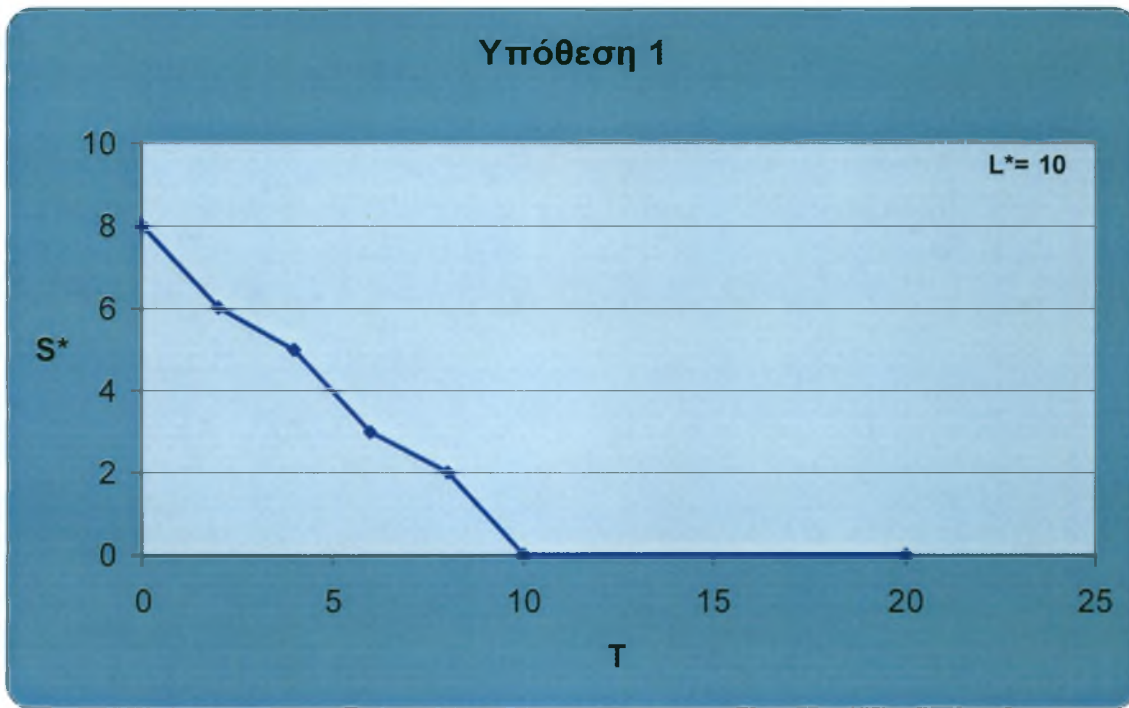
Για τις τιμές του T στο διάστημα $0, L^*$, χρησιμοποιούμε προσομοίωση για να εξακριβώσουμε το μέσο κόστος του συστήματος για τις δυο περιπτώσεις. Και στις δυο περιπτώσεις κάνουμε μια βαθιά ερευνά αλλάζοντας τις τιμές S και L για τις διάφορες τιμές του T . Πριν παρουσιάσουμε τα αποτελέσματα για τις δυο περιπτώσεις θεωρήσαμε σκόπιμο να παρουσιαστούν μερικές χρήσιμες πληροφορίες σχετικά με την προσομοίωση.

Για τα συγκεκριμένα παραδείγματα αλλά και υπόλοιπα που θα παρουσιαστούν σε αυτή την διπλωματική προσομοιώσαμε περίπου 1000 σετ διαφορετικών παραμέτρων, για τις διάφορες περιπτώσεις χρησιμοποιώντας το πρόγραμμα προσομοίωσης Arena. Για καθεμία προσομοίωση μελετήσαμε την συμπεριφορά του εκάστοτε συστήματος για χρονική περίοδο που αντιστοιχεί σε 60 εκατομμύρια χρονικές μονάδες. Αυτός ο χρόνος μας έδωσε αποτελέσματα για τις τιμές $E[WIP]$, $E[FG]$ και $E[BD]$ με διάστημα εμπιστοσύνης 95% και με απόκλιση της μέσης τιμής λιγότερο από 0,5% από την αναμενόμενη για τις τιμές των $E[WIP]$ και $E[FG]$ και λιγότερο από 4% για την τιμή του $E[BD]$. Ενδεικτικά reports των διάφορων συστημάτων που προσομοιώθηκαν παρουσιάζονται στο τέλος της διπλωματικής εργασίας. Για τις δυο διαφορετικές περιπτώσεις παραμέτρων που εμφανίζονται στον πίνακα 1 τα αποτελέσματα που εξάγονται από τις προσομοιώσεις είναι:

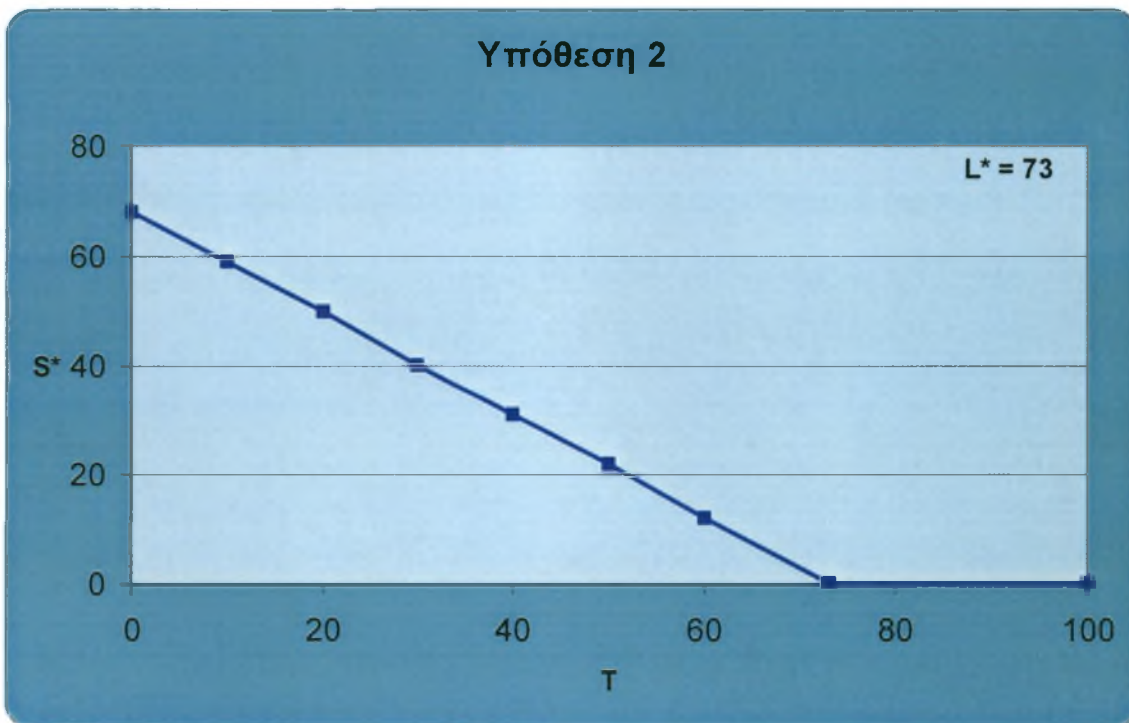
<i>Υπόθεση 1</i>			<i>Υπόθεση 2</i>		
<i>T</i>	<i>S*</i>	<i>C(S*, L*)</i>	<i>T</i>	<i>S*</i>	<i>C(S*, L*)</i>
0	8	90.8954	0	68	83.6966
2	6	90.5209	10	59	83.3877
4	5	90.3351	20	50	83.0256
6	3	90.0959	30	40	82.7439
8	2	89.9054	40	31	82.3999
10	0	89.6463	50	22	82.1246
∞	0	89.6463	60	12	81.8376
			73	0	81.6226
			∞	0	81.6226

Πίνακας 3-2: Τιμές του S^* και $C(S^*, L^*)$ σε σχέση με το T , για τις υποθέσεις 1-2 του base stock ενός σταδίου με εκθετική κατανομή

Οι γραφικές παραστάσεις που δείχνουν την μεταβολή του S^* σε σχέση με το T για τις συγκεκριμένες υποθέσεις είναι:



Σχήμα 3-1: Η μεταβολή του S^* σε σχέση με το T , για $L=L^*$ για την υπόθεση 1



Σχήμα 3-2: Η μεταβολή του S^* σε σχέση με το T , για $L=L^*$ για την υπόθεση 2

3.3 Απόδοση Συστημάτων Τύπου Base Stock Ένός Σταδίου Με Erlang Κατανομή

Στη συγκεκριμένη περίπτωση το σύστημα μας αποτελείται από τέσσερις μηχανές στην σειρά όπου η καθεμία ακολουθεί έχει κατανομή χρόνου εξυπηρέτησης Erlang με 2 φάσεις παραγγελίες καταφθάνουν στο σύστημα με εκθετικό κατανομή με μέσο ρυθμό λ . Για αυτό το σύστημα θεωρούμε δυο περιπτώσεις, όπου οι τιμές των παραμέτρων τους φαίνονται στον παρακάτω πίνακα.

Υπόθεση	$1/\lambda$	Κατανομή χρόνου επεξεργασίας	$1/\mu$	$\rho = \lambda/\mu$	h	b
3	1.25	Erlang-2	1,0	0.8	5	1
4	1.1	Erlang-2	1,0	0.90909...	1	9

Πίνακας 3-3: Παράμετροι για τις υποθέσεις 3-4 του base stock ενός σταδίου με Erlang κατανομή

Για $T = 0$, το L είναι άπειρο. Για αυτές τις περιπτώσεις το S^* καθορίζεται, συγκρίνοντας το κόστος του συστήματος για διάφορες τιμές του S , με προσομοίωση και διαλέγοντας τη τιμή αυτή που μας δίνει το μικρότερο κόστος. Τα αποτελέσματα που πήραμε για τις δυο παραπάνω περιπτώσεις είναι τα ακόλουθα :

Υπόθεση 3: $S^* = 4$, $C(S^*) = 48,07865$

Υπόθεση 4: $S^* = 34$, $C(S^*) = 42,83576$

Ανάλογα, για τον καθορισμό του βέλτιστου χρόνου υστέρησης της παραγωγής, προσομοιώνοντας το σύστημα παίρνουμε τις μικρότερες τιμές που ελαχιστοποιούν τον χρόνο.

Αυτές είναι οι παρακάτω :

Υπόθεση 3: $L^* = 6$

Υπόθεση 4: $L^* = 35$

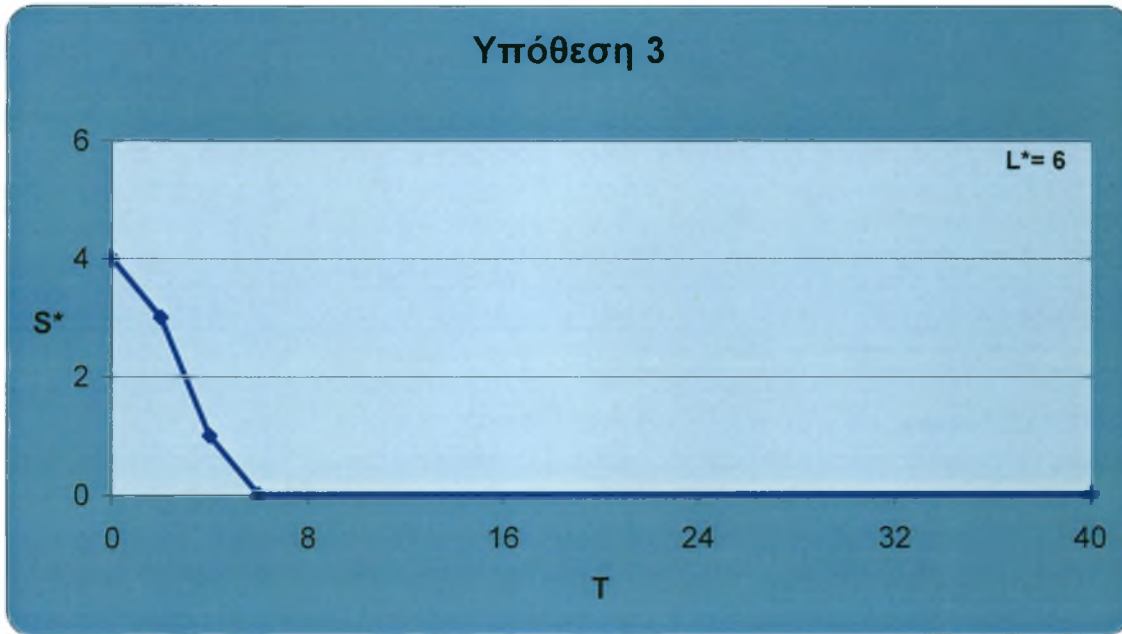
Για τις δυο διαφορετικές περιπτώσεις τα αποτελέσματα που μας έδωσαν οι προσομοιώσεις φαίνονται στο παρακάτω πίνακα



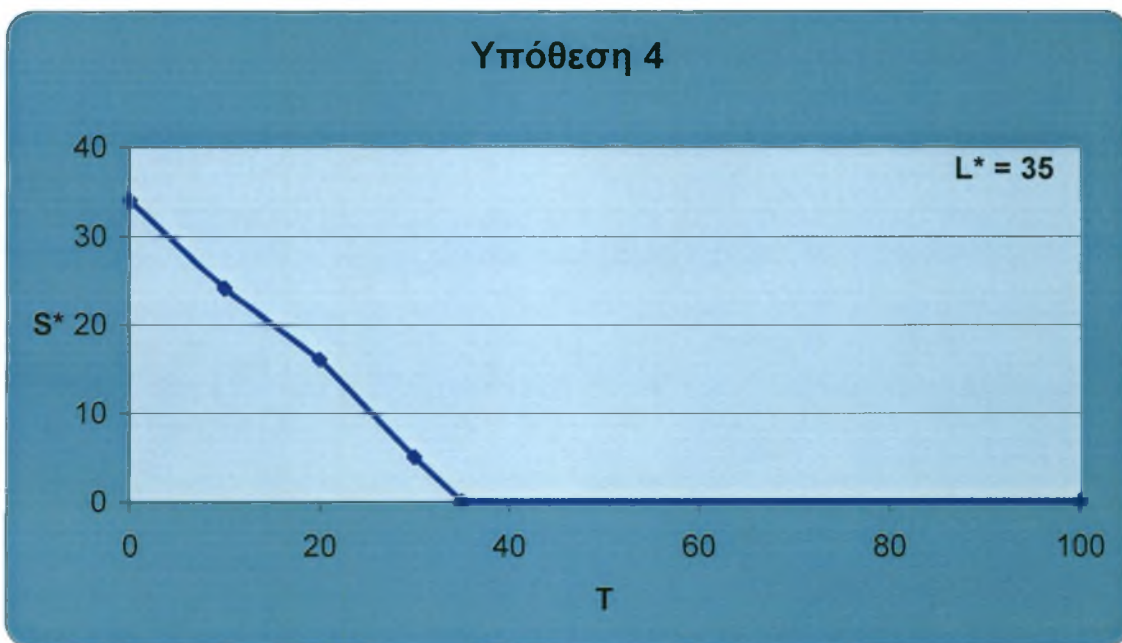
Υπόθεση 3			Υπόθεση 4		
T	S^*	$C(S^*, L^*)$	T	S^*	$C(S^*, L^*)$
0	4	48.0787	0	34	42.8358
2	3	47.6811	10	24	42.3458
4	1	47.2363	20	16	41.6722
6	0	46.8434	30	5	41.3582
∞	0	46.8434	35	0	41.1147
			∞	0	41.1147

Πίνακας 3-4 Τιμές του S^* και $C(S^*, L^*)$ σε σχέση με το T , για τις υποθέσεις 3-4 του base stock ενός σταδίου με Erlang κατανομή

Οι γραφικές παραστάσεις που βγαίνουν από τα αποτελέσματα του πίνακα για τις δυο περιπτώσεις και μας δείχνουν την μεταβολή του βέλτιστου κόστους ανάλογα με το T είναι οι παρακάτω



Σχήμα 3-3: Η μεταβολή του S^* σε σχέση με το T , για $L=L^*$ για την υπόθεση 3



Σχήμα 3-4: Η μεταβολή του S^* σε σχέση με το T , για $L=L^*$ για την υπόθεση 4

3.4 Συμπεράσματα

Από τις τελικές γραφικές παραστάσεις για τις τέσσερις διαφορετικές περιπτώσεις του συστήματος του base stock ενός σταδίου μπορεί να φανεί ότι οι μικρότερες τιμές του T για τις οποίες το S^* είναι μηδέν είναι περίπου 10, 73, 6 και 35, για τις τέσσερις περιπτώσεις αντιστοίχως. Λέμε περίπου γιατί εξετάσαμε ακέραιες τιμές του T , που όμως ο T είναι μια παράμετρος συνεχής, δηλαδή μπορεί να πάρει και δεκαδικές τιμές. Ας θυμηθούμε ότι οι αναλυτικές τιμές που βρήκαμε για τον χρόνο υστέρησης της παραγωγής L^* είναι 10,6396 και 73,4886 για τις περιπτώσεις 1 και 2 του συστήματος base stock με εκθετική κατανομή.

Από τους πίνακα 3.4 μπορεί να δειχθεί ότι το μέσο κόστος $C(S^*, L^*)$ μειώνεται ελάχιστα με την μείωση των τιμών του T . Η μείωση του $C(S^*, L^*)$ ανάμεσα στις τιμές του T , 0 και L^* , είναι μόνο 1,37%, 2,48%, 2,29% και 4,50% για τις υποθέσεις 1 έως 4 αντιστοίχως. Αυτός ο τρόπος μείωσης του μέσου κόστους μπορεί εύκολα να εξηγηθεί αν δούμε προσεκτικά την εξίσωση που μας δίνει το κόστος, (εξίσωση 3.1). Από αυτήν την εξίσωση βλέπουμε ότι η μεγαλύτερη συνεισφορά στην μεταβολή του κόστους έχει ο όρος $h E[WIP]$, όπου είναι ανεξάρτητος του T . Εάν παραλείψουμε αυτόν τον όρο θα δούμε ότι η το ποσοστό μείωσης του κόστους $C(S^*, L^*)$ ανάμεσα στις τιμές $T=0$ και $T=L^*$ θα είναι 10,06%, 4,38%, 20,91% και 7,09% για τις υποθέσεις 1 έως 4 αντιστοίχως. Μείωση που είναι ασφαλώς μεγαλύτερη και πιο σημαντική από την μείωση που παρατηρείται τώρα στο σύστημα.

Σε ένα σύστημα ενός σταδίου που λειτουργεί με την πολιτική base stock με ADI ισχύει ότι : (α) υπάρχει μια αναλογία ανάμεσα στην μεταβολή αποθέματος και την μεταβολή του χρόνου υστέρησης της παραγγελιάς T και (β) η βέλτιστη τιμή του χρόνου υστέρησης της παραγωγής L είναι ίση με την μικρότερη τιμή του χρόνου υστέρησης της παραγγελιάς για την οποία το απόθεμα του συστήματος γίνεται μηδέν για πρώτη φορά. Αυτό σημαίνει ότι, εάν ο

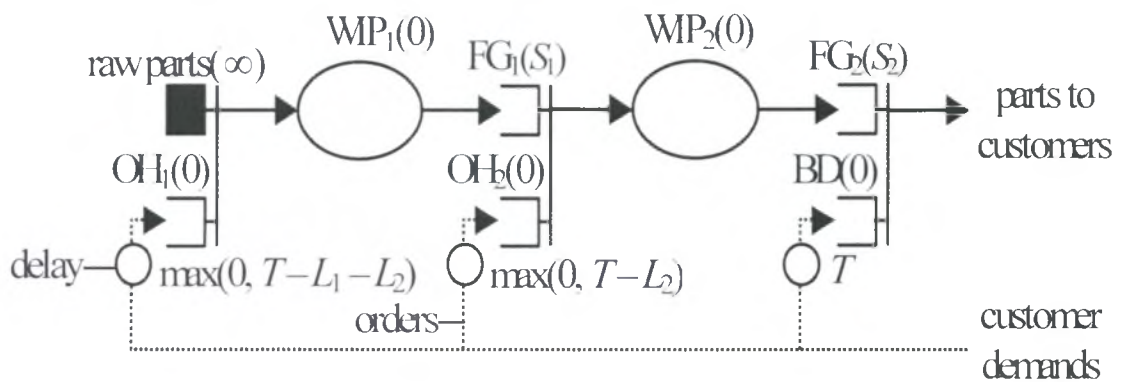
χρόνος υστέρησης της παραγγελιάς είναι μικρότερος από το χρόνο υστέρησης της παραγωγής, το βέλτιστο απόθεμα είναι μεγαλύτερο του μηδενός και έτσι η εντολή για αναπλήρωση ενός τελικού κομματιού που έχει ικανοποιήσει μια παραγγελιά γίνεται αμέσως μετά την άφιξη μιας καινούργιας παραγγελιάς στο σύστημα. Αντίθετα, εάν ο χρόνος υστέρησης της παραγγελιάς είναι μεγαλύτερος από τον βέλτιστο χρόνο υστέρησης της παραγωγής, το απόθεμα είναι μηδέν και η εντολή για αναπλήρωση ενός τελικού κομματιού γίνεται με μια καθυστέρηση, ίση με την διάφορα του χρόνου υστέρησης της παραγγελιάς και του χρόνου υστέρησης της παραγωγής, μετά την άφιξη μιας παραγγελιάς στο σύστημα μας.

Κεφάλαιο 4 Αριθμητικές Μέθοδοι Εκτίμησης της Απόδοσης Συστημάτων Τύπου Base Stock Δυο Σταδίων

Στο κεφάλαιο αυτό επεκτείνουμε την μελέτη του συστήματος base stock ενός σταδίου με ADI, που είδαμε στο κεφαλαίο 3, σε δυο στάδια. Στα συστήματα δυο σταδίων οι απαιτήσεις των πελατών καταφθάνουν στο σύστημα σύμφωνα με κατανομή Poisson με μέσο ρυθμό λ , με σταθερό χρόνο υστέρησης T , όπως γινόταν και στην περίπτωση συστήματος ενός σταδίου. Η άφιξη μιας παραγγελιάς σηματοδοτεί την απελευθέρωση ενός τελικού κομματιού από τον FG (finished goods) τομέα και παράλληλα δίνεται η εντολή για την δημιουργία ενός νέου κομματιού από τις μηχανές κάθε ένα σταδίου. Συγκεκριμένα η απελευθέρωση ενός τελικού κομματιού από τον FG τομέα γίνεται μετά από χρόνο T από την άφιξη της παραγγελιάς στο σύστημα μας, όπως συνέβαινε και στην περίπτωση ενός σταδίου. Εάν δεν υπάρχουν τελικά κομμάτια σε αυτό τον χρόνο τότε η παραγγελία πηγαίνει αμέσως στο BG (backordered demands) τομέα.

Η μελέτη του συστήματος θα εξαρτηθεί από τέσσερις παραμέτρους. Το βασικό απόθεμα στους τομείς FG κάθε σταδίου n , $n = 1,2$, που δηλώνεται με S_n , και το χρόνο υστέρησης της παραγωγής κάθε σταδίου n , $n = 1,2$, που δηλώνεται με L_n . Το σύστημα μας αρχίζει την λειτουργία του με ένα αρχικό απόθεμα S_n τελικών κομματιών στον FG τομέα κάθε σταδίου n , $n = 1,2$. Ο χρόνος δημιουργίας ενός κομματιού στο στάδιο 2 καθορίζεται από τον χρόνο υστέρησης της παραγωγής L_2 . Ο χρόνος δημιουργίας ενός κομματιού καθορίζεται από το άθροισμα των χρόνων υστέρησης της παραγωγής και των δυο σταδίων,

δηλαδή L_1+L_2 . Αυτό σημαίνει ότι η ικανοποίηση μιας παραγγελιάς στον σταθμό 2 γίνεται με μια καθυστέρηση που είναι ίση με το $\max[0, T-L_2]$, όπως συμβαίνει και στην περίπτωση του ενός σταδίου. Η καθυστέρηση της ικανοποίησης μιας παραγγελιάς στον τομέα 1 είναι αντίστοιχα ίση με το $\max[0, T-(L_1+L_2)]$. Γενικεύοντας σε ένα σύστημα με N σταθμούς εργασίας, η καθυστέρηση ικανοποίησης μιας παραγγελιάς στον σταθμό n είναι ίση με το $\max[0, T-L_n^e]$, όπου L_n^e δηλώνεται ο echelon χρόνος υστέρησης της παραγωγής του σταθμού n , ο οποίος ορίζεται ως εξής, $L_n^e = L_n + L_{n+1} + \dots + L_N$. Όταν μια παραγγελιά καταφθάνει στον σταθμό 2, τότε ένα καινούργιο κομμάτι αυτόματα εισέρχεται στις μηχανές του σταθμού 2 από τον FG τομέα του σταθμού 1. Εφόσον δεν υπάρχει τελικό κομμάτι στον FG τομέα του σταθμού 1 τότε η παραγγελιά πηγαίνει στον BD τομέα, ωστόσο υπάρξει διαθέσιμο κομμάτι στον FG τομέα του σταθμού 1. Εάν το σύστημα μας λειτουργεί χωρίς ADI, δηλαδή $T = 0$, η ικανοποίηση της παραγγελιάς γίνεται άμεσα με την άφιξη της, όπως συμβαίνει σε ένα κλασικό σύστημα base stock. Ένα μοντέλο ουράς δυο σταδίων που βασίζεται στην πολιτική base stock με ADI, δίνεται στο παρακάτω σχήμα :



Εικόνα 4-1 : Base – stock policy δυο σταδίων με ADI

Ο συμβολισμός της παραπάνω εικόνας είναι παρόμοιος με το συμβολισμό που χρησιμοποιήσαμε στο κεφαλαίο 3.

4.1 Μέτρα Απόδοσης Συστημάτων Τύπου Base Stock Δυο Σταδίων

Θεωρούμε ένα κλασικό πρόβλημα βελτιστοποίησης, όπου ο σκοπός μας είναι να βρούμε τις τιμές των S_1 , S_2 , L_1 και L_2 οι οποίες ελαχιστοποιούν τις τιμές των κοστών αποθήκευσης και χαμένων παραγγελιών. Η συνάρτηση που δίνει το μέσο κόστος του συστήματος είναι η παρακάτω:

$$C(S_1, S_2, L_1, L_2) = h_1 E [WIP_1 + FG_1(S_1, L_1, L_2)] + h_2 E [WIP_2(S_1, L_1, L_2) + FG_2(S_1, S_2, L_1, L_2)] + b E [BD(S_1, S_2, L_1, L_2)] \quad (4.1)$$

όπου h_n είναι η μονάδα κόστους παραμονής στον $WIP + FG$ τομέα συν μονάδα του χρόνου στους σταθμούς n και b είναι η μονάδα κόστους κατά κομματιού που πηγαίνει στον BD τομέα του συστήματος στην μονάδα του χρόνου. Στην εξίσωση (4.1) φαίνεται ξεκάθαρα η εξάρτηση των παραγόντων WIP_1 , WIP_2 , FG_1 , FG_2 και BD από τις παραμέτρους S_1 , S_2 , L_1 και L_2 .

4.1.1 Υπόθεση Χωρίς ADI

Εάν δεν υπάρχει ADI στο σύστημα οι παράμετροι L_1 και L_2 είναι άπειροι. Δυστυχώς ούτε σε αυτή την περίπτωση δεν υπάρχουν αναλυτικές λύσεις για το συγκεκριμένο σύστημα και για την εύρεση των βέλτιστων αποθεμάτων S_1^* και S_2^* , ακόμα και αν το σύστημα αποτελείται από δίκτυο Jackson. Η μόνη υπόθεση που μπορεί να μας δώσει αναλυτική λύση είναι η υπόθεση κατά την οποία ισχύει ότι $S_1 = 0$. Σε αυτή την περίπτωση η πολιτική των δυο σταδίων ισοδυναμεί με πολιτική ενός σταδίου, όπου οι μηχανές των δυο σταδίων έχουν μετατραπεί σε μηχανές ενός σταδίου. Επομένως στην περίπτωση όπου το κόστος αποθήκευσης στον πρώτο σταθμό είναι μεγαλύτερο από το αντίστοιχο κόστος του δεύτερου

σταθμού, δηλαδή ισχύει ότι $h_1 > h_2$, δεν έχει νόημα να υπάρχει FG τομέας στον πρώτο σταθμό, αφού ισχύει ότι $S_1^* = 0$. Επομένως εάν $T = 0$, η μόνη περίπτωση που αξίζει να ασχοληθούμε είναι σε αυτή για την οποία ισχύει $h_1 < h_2$. Γι' αυτό το λόγο σε ότι ακολουθεί παρακάτω θα θεωρήσουμε ότι $h_1 < h_2$.

4.1.2 Υπόθεση Με ADI

Εάν στο σύστημα μας υπάρχει ADI, δηλαδή ισχύει ότι $T = 0$, δεν υπάρχουν αναλυτικές λύσεις για να βρούμε βέλτιστες τιμές για τις παραμέτρους του συστήματος. Όπως είδαμε και στο σύστημα base stock ενός σταθμού εργασίας στο κεφαλαίο 3, περιμένουμε η βέλτιστη τιμή του αποθέματος και στους δυο σταθμούς να μειώνεται με την αύξηση της τιμής του T . Το ερώτημα όμως είναι πως ακριβώς γίνεται αυτή η μείωση; Για να διαφωτίσουμε λίγο το παραπάνω ερώτημα θα μελετήσουμε την συμπεριφορά του παρακάτω συστήματος.

4.2 Απόδοση Συστημάτων Τύπου Base Stock Δύο Σταδίων Με Erlang Κατανομή

Στη συγκεκριμένη περίπτωση το σύστημα μας αποτελείται από δυο σταθμούς εργασίας, όπου ο κάθε ένας περιέχει δυο μηχανές με Jackson δίκτυο. Ο χρόνος εξυπηρέτησης κάθε μηχανής ακολουθεί κατανομή Erlang με δυο φάσεις. Οι παραγγελίες καταφθάνουν στο σύστημα μας με εκθετική κατανομή με ρυθμό λ . Για την συγκεκριμένη περίπτωση χρησιμοποιούμε τις τιμές των παραμέτρων που φαίνονται στον πίνακα 4.1. Εξετάζουμε μια περίπτωση μόνο γιατί σε αυτά τα συστήματα υπάρχουν τέσσερις διαφορετικοί παράμετροι και πολύ δύσκολο να βελτιστοποιήσουμε μέσω της προσομοίωσης

και τους τέσσερις. Για τα κόστη αποθήκευσης ισχύει ότι $h_1 < h_2$ και $S_1^* = 0$ (υπενθυμίζουμε ότι εάν $S_1 = 0$, το σύστημα δυο σταθμών ισοδυναμεί σύστημα ενός σταθμού όπου οι μηχανές των δυο σταθμών μετατρέπονται σε μηχανές ενός σταθμού.)

Υπόθεση	$1/\lambda$	Κατανομή χρόνου επεξεργασίας	$1/\mu$	$\rho = \lambda/\mu$	h_1	h_2	b
1	1.25	Erlang-2	1,0	0.8	5	10	1

Πίνακας 4-1 Τιμές των παραμέτρων για την υπόθεση base stock δυο σταδίων.

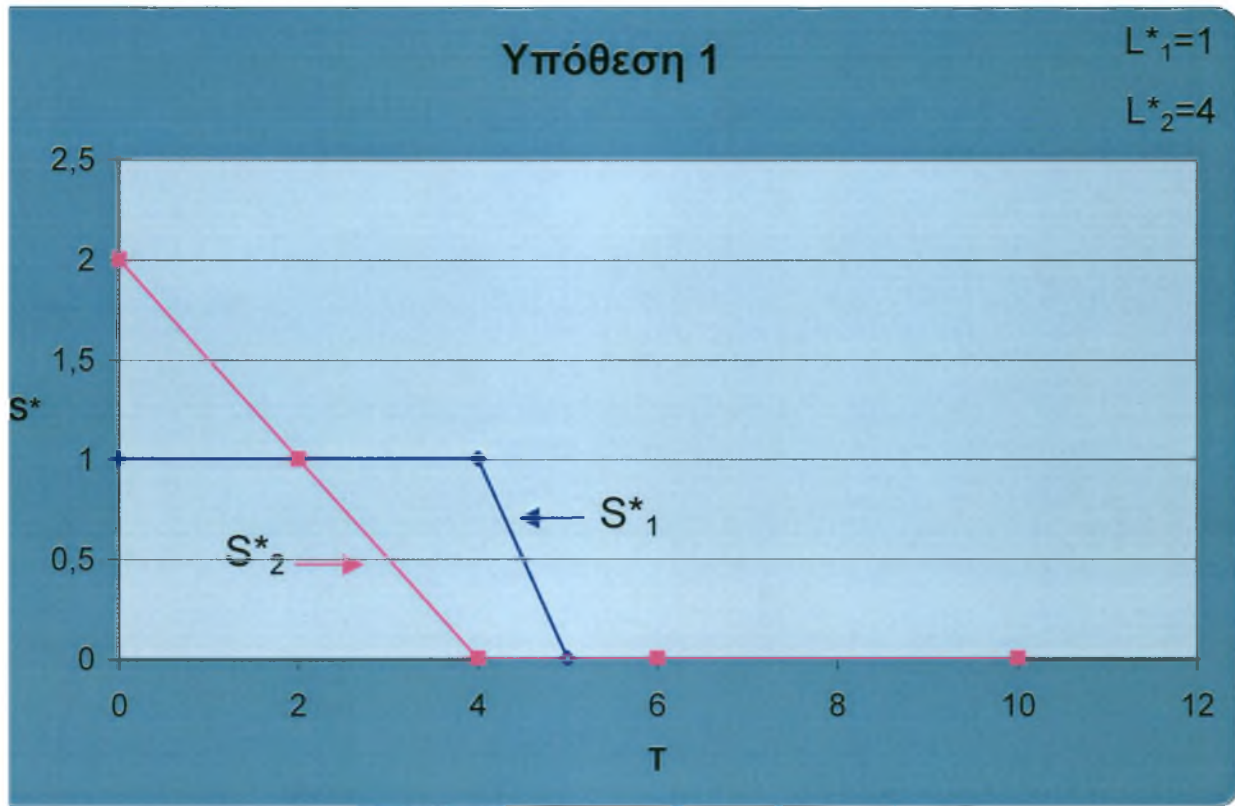
Για να βρούμε το βέλτιστο μέσο κόστος του συστήματος προσομοιώνουμε το σύστημα μας για διάφορες τιμές του T αλλάζοντας ταυτόχρονα και τις τιμές των S_1, S_2, L_1 , και L_2 . Η διαδικασία αυτή μας έδωσε τα αποτελέσματα που φαίνονται στον παρακάτω πίνακα :

T	S_1^*	S_2^*	$C(S_1^*, S_2^*)$
0	1	2	63.5479
1	1	2	63.3568
2	1	1	63.0447
3	1	1	62.8957
4	1	0	62.6188
5	0	0	62.6174
6	0	0	62.6174
∞	0	0	62.6174

Πίνακας 4-2: S_1^*, S_2^* και $C(S_1^*, S_2^*)$ σε σχέση με το T , για $L_1 = L_1^*$ και

$L_2 = L_2^*$, για σύστημα base stock δυο σταδίων.

Η γραφική παράσταση βάση του παραπάνω πίνακα που μας δείχνει την μεταβολή των βέλτιστων αποθεμάτων S_1^* και S_2^* σε σχέση με το T είναι η παρακάτω :



Σχήμα 4-1 : S_1^* και S_2^* , σε σχέση με το T , για $L_1 = L_1^*$ και $L_2 = L_2^*$

4.3 Συμπεράσματα

Η μελέτη του παραπάνω συστήματος μας οδήγησε στο παρακάτω συμπεράσματα. Όταν $T=0$, $S_1^* > 0$ και $S_2^* > 0$. Όταν ισχύει το παραπάνω, φαίνεται ότι το σύστημα λειτουργεί καλύτερα με το να ενεργοποιήσουμε την αναπλήρωση ενός τελικού κομματιού ταυτόχρονα με την άφιξη μιας παραγγελιάς στο σύστημα μας σε κάθε στάδιο ασχέτως με την τιμή του T (εφόσον όμως η τιμή του T είναι τόσο μικρή ώστε να ισχύει ότι $S_1^* > 0$ και $S_2^* > 0$). Όταν ισχύει ότι η αναπλήρωση ενός τελικού κομματιού ενεργοποιείται με την άφιξη μιας παραγγελιάς σε κάθε στάδιο, τότε η τιμή του T δεν επηρεάζει στο τι γίνεται στους σταθμούς εργασίας, παρά μόνο επηρεάζει τον FG τομέα του δεύτερου σταδίου και τον τομέα BD . Έτσι όταν το T αυξάνεται από την τιμή 0 , είναι καλύτερο να παράγουμε απόθεμα S_2^* και όχι S_1^* . Όταν η τιμή του T είναι λίγο πιο κάτω από την τιμή του L_2^* , το S_2^* γίνεται 0 . Όταν η τιμή του T αυξάνει από την τιμή του L_2^* το S_2^* παραμένει μηδέν και οι παραγγελίες ικανοποιούνται στον σταθμό 2 με μια καθυστέρηση που ισούται με $T - L_2^*$. Ταυτόχρονα η τιμή του S_1^* αρχίζει να μειώνεται με την περαιτέρω αύξηση του T , ενώ οι παραγγελίες στον σταθμό 1, ικανοποιούνται χωρίς καθυστέρηση. Όταν η τιμή του T είναι λίγο πιο κάτω από την τιμή $L_1^* + L_2^*$, το S_1^* γίνεται μηδέν επίσης. Όταν η τιμή του T αυξάνει από την τιμή $L_1^* + L_2^*$, και το S_1^* αλλά και το S_2^* παραμένουν μηδέν, ενώ οι παραγγελίες στους σταθμούς 1 και 2 ικανοποιούνται με καθυστέρηση $T - (L_1^* + L_2^*)$ και $T - L_2^*$, αντίστοιχα. Όπως συνέβαινε και με το base stock σύστημα ενός σταδίου, ο βέλτιστος χρόνος υστέρησης είναι ανεξάρτητος από την τιμή του T . Το μέσο κόστος του συστήματος μειώνεται ελάχιστα με την μείωση του T και καταλήγει στην ελάχιστη τιμή του για $T = L_1^* + L_2^*$.

Τα αποτελέσματα μας δείχνουν ότι εφόσον το T αυξάνει, το βέλτιστο απόθεμα σε κάθε στάδιο αρχίζει να μηδενίζει το ένα μετά το άλλο, αρχίζοντας από το τελευταίο. Μια άλλη προσέγγιση του παραπάνω είναι ότι όταν το T αυξάνει, το βέλτιστο *echelon* απόθεμα σε

κάθε στάδιο μειώνεται μέχρι την τιμή 0. Με τον όρο *echelon* απόθεμα σε κάθε στάδιο, εννοούμε το άθροισμα των αποθεμάτων σε κάθε σταδίου αρχίζοντας από το τελευταίο στάδιο της παραγωγικής διαδικασίας και πηγαίνοντας προς την αρχή. Όποτε μπορούμε να πούμε ότι η εντολή για αναπλήρωση ενός τελικού κομματιού γίνεται με καθυστέρηση σε κάθε στάδιο μόνο όταν το T είναι τόσο μεγάλο ώστε το *echelon* απόθεμα του σταδίου είναι μηδέν.

Γενικεύοντας, από την μελέτη του συγκεκριμένου συστήματος καταλήγουμε στο συμπέρασμα ότι, (α) υπάρχει μια γραμμική αναλογία ανάμεσα στον χρόνο υστέρησης της παραγγελιάς και του βέλτιστου αποθέματος και (β) ο βέλτιστος *echelon* χρόνος υστέρησης της παραγωγής είναι ίσος με τον μικρότερο χρόνο υστέρησης της παραγγελιάς για τον οποίο το απόθεμα γίνεται μηδέν.

Κεφάλαιο 5 Αριθμητικά Αποτελέσματα

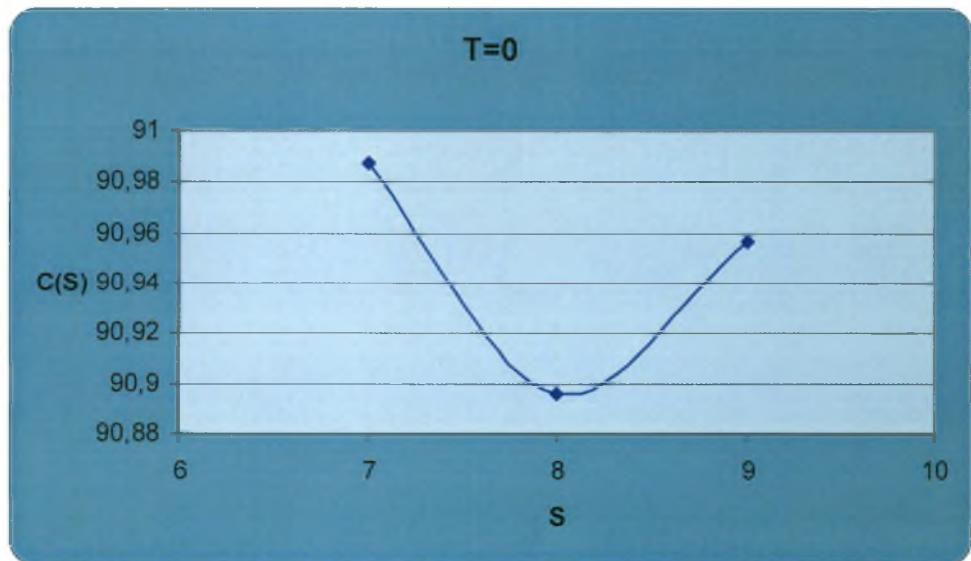
Στο κεφάλαιο αυτό παρουσιάζουμε τα αναλυτικά αριθμητικά αποτελέσματα από την προσομοίωση για τα συστήματα που μελετήσαμε στα κεφάλαια 3 και 4, βάση των οποίων δημιουργήθηκαν οι συγκεντρωτικοί πίνακες στα αντίστοιχα κεφαλαία.

5.1 Base Stock ενός Σταδίου Με Εκθετική Κατανομή

Τα αριθμητικά αποτελέσματα για το σύστημα base stock ενός σταδίου με εκθετική κατανομή είναι :

Υπόθεση 1

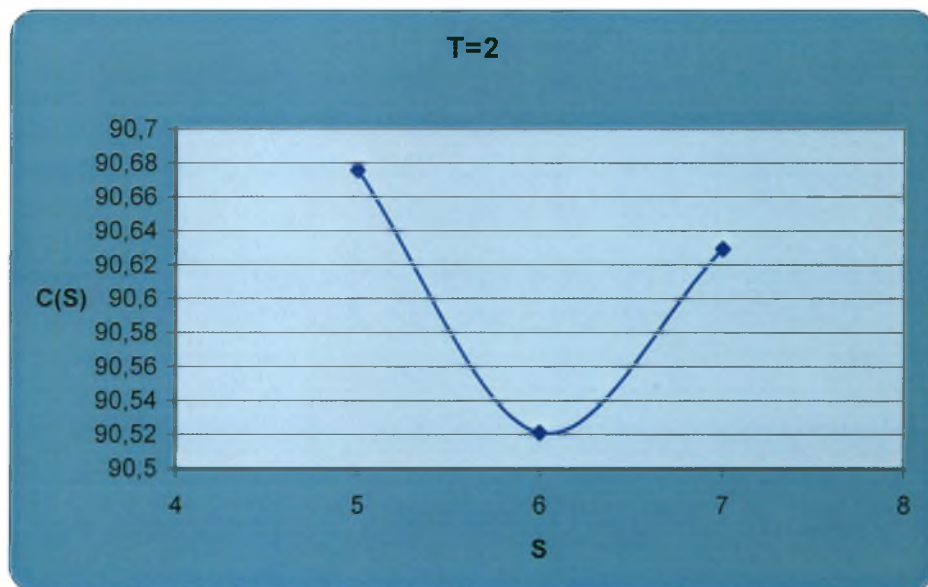
T=0	
S	C(S)
7	90,9875
8	90,8954
9	90,9568



Σχήμα 5.1-1: Μεταβολή του $C(S)$ με το S , για $T=0$ για την υπόθεση 1

T=2

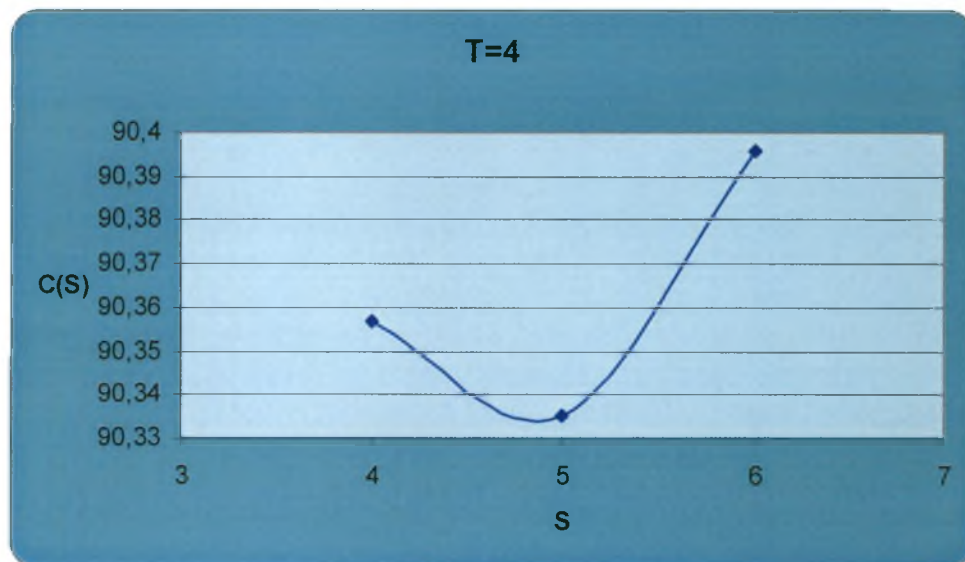
S	C (S)
5	90,6753
6	90,5209
7	90,6289



Σχήμα 5.1-2: Μεταβολή του C(S) με το S, για T=2 για την υπόθεση 1

T=4

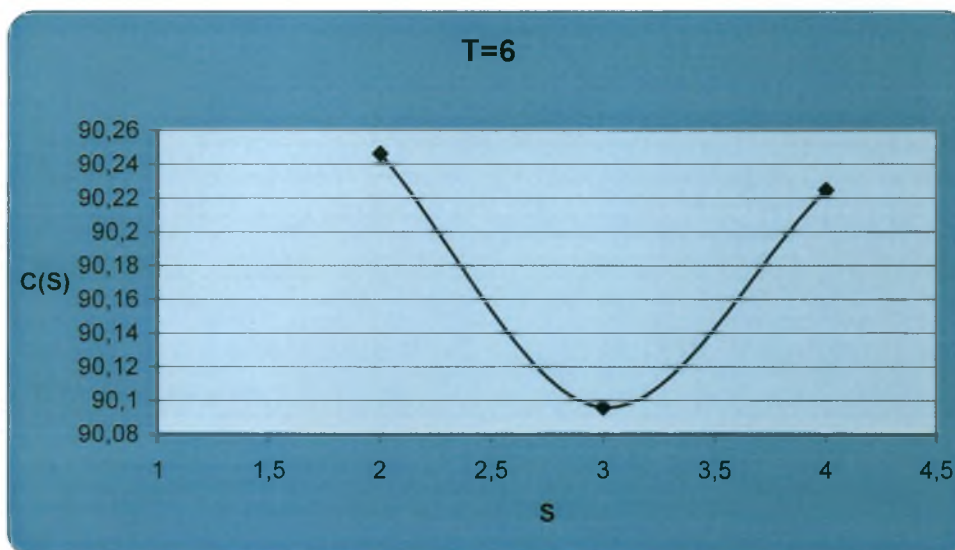
S	C (S)
4	90,3568
5	90,3351
6	90,3958



Σχήμα 5.1-3: Μεταβολή του C(S) με το S, για T=4 για την υπόθεση 1

T=6

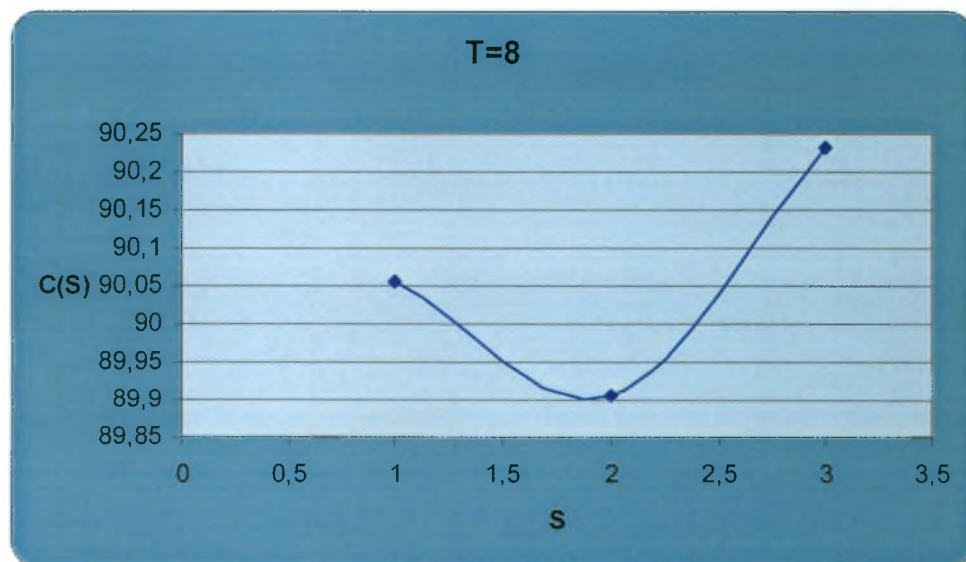
S	C (S)
2	90,24605
3	90,09585
4	90,2246



Σχήμα 5.1-4: Μεταβολή του C(S) με το S, για T=6 για την υπόθεση 1

T=8

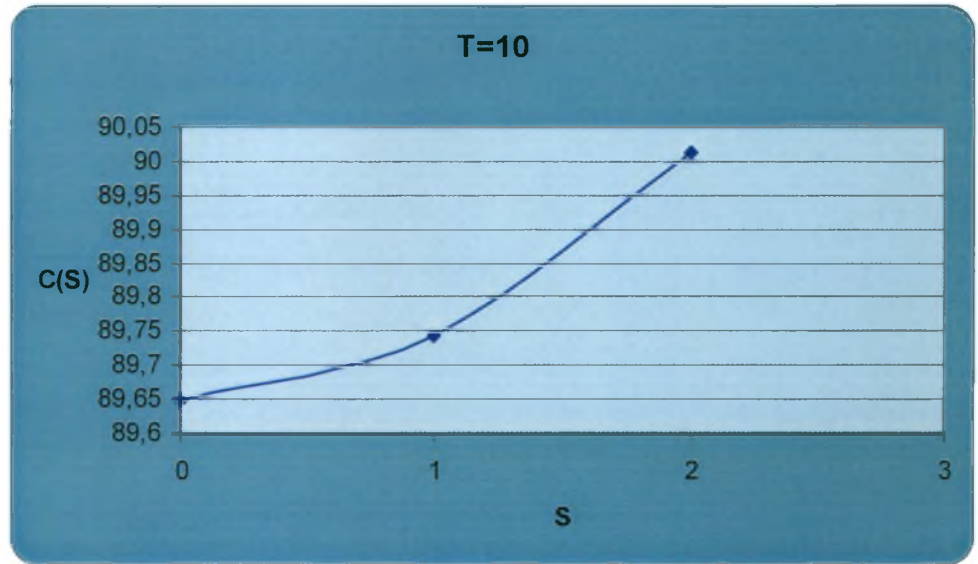
S	C (S)
1	90,0542
2	89,9054
3	90,2314



Σχήμα 5.1-5: Μεταβολή του C(S) με το S, για T=8 για την υπόθεση 1

T=10

S	C (S)
0	89,6463
1	89,742
2	90,0124

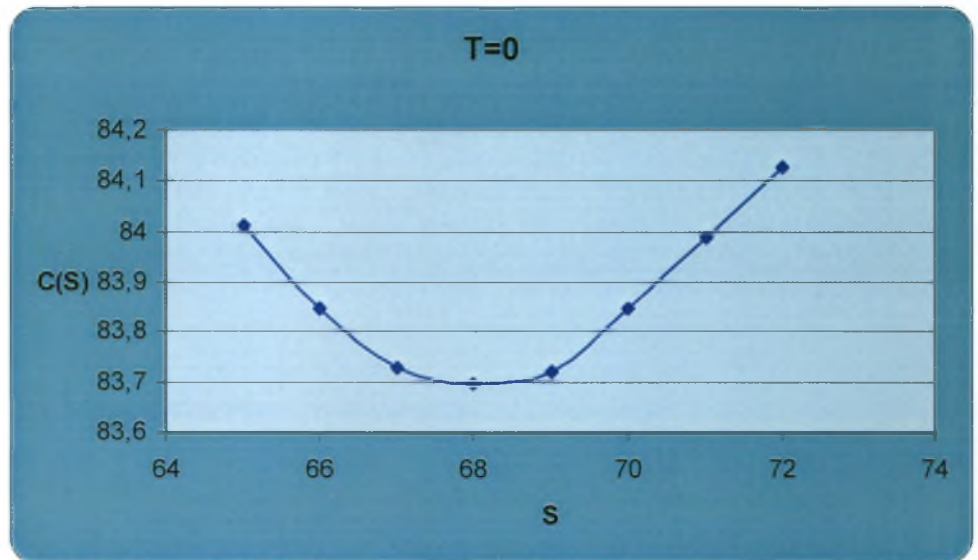


Σχήμα 5.1-6: Μεταβολή του C(S) με το S, για T=10 για την υπόθεση 1

Υπόθεση 2

T=0

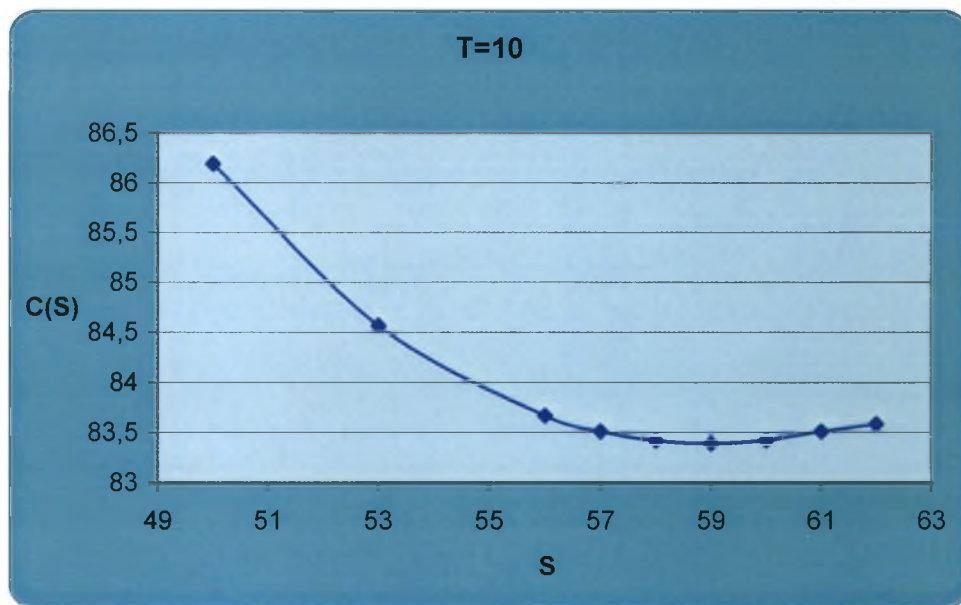
S	C (S)
65	84,0123
66	83,8456
67	83,726
68	83,696
69	83,7187
70	83,8452
71	83,9875
72	84,1235



Σχήμα 5.1-7: Μεταβολή του C(S) με το S, για T=0 για την υπόθεση 2

T=10

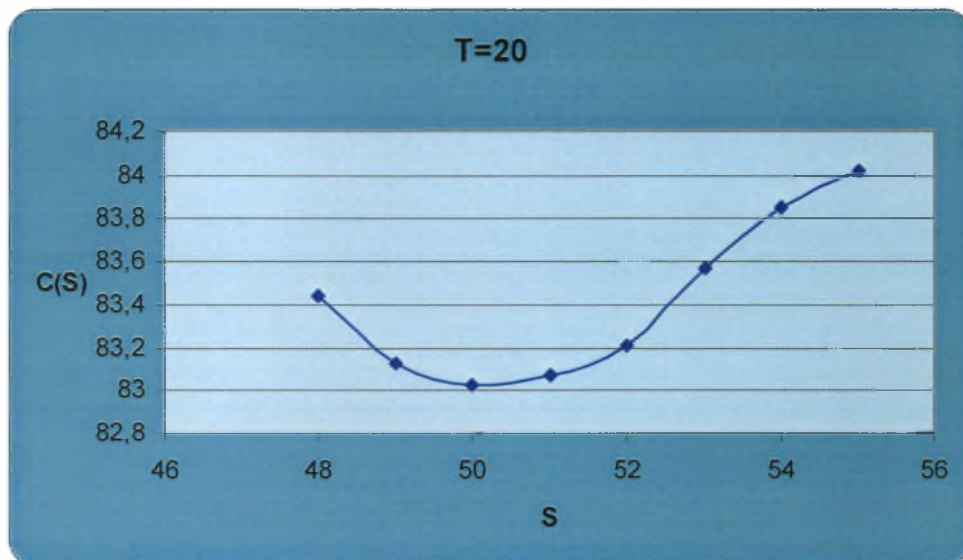
S	C (S)
50	86,182
53	84,5592
56	83,6592
57	83,5028
58	83,4119
59	83,3837
60	83,4155
61	83,5028
62	83,5755



Σχήμα 5.1-8: Μεταβολή του C(S) με το S, για T=10 για την υπόθεση 2

T=20

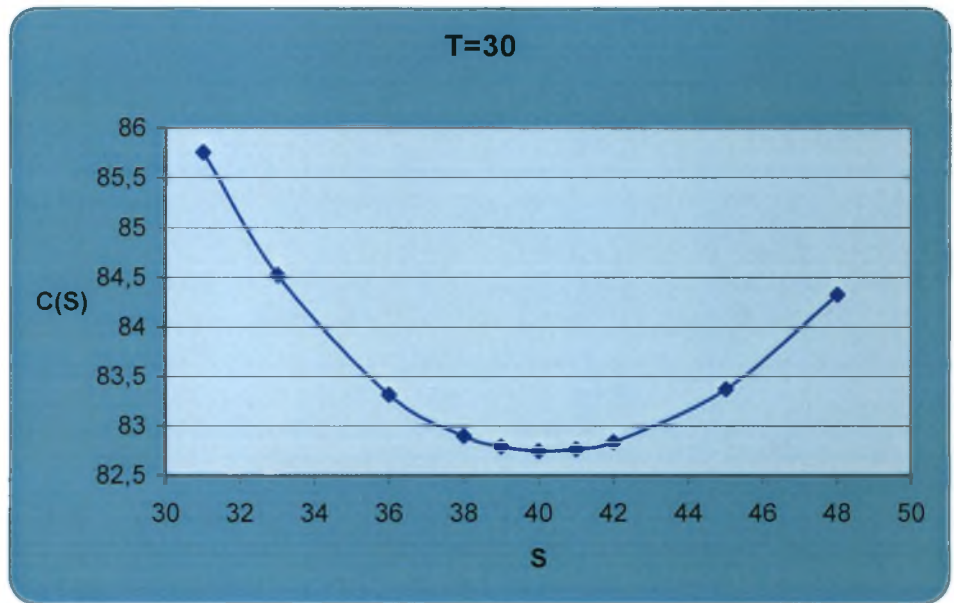
S	C (S)
48	83,44
49	83,1245
50	83,0256
51	83,067
52	83,205
53	83,5678
54	83,85
55	84,0168



Σχήμα 5.1-9: Μεταβολή του C(S) με το S, για T=20 για την υπόθεση 2

T=30

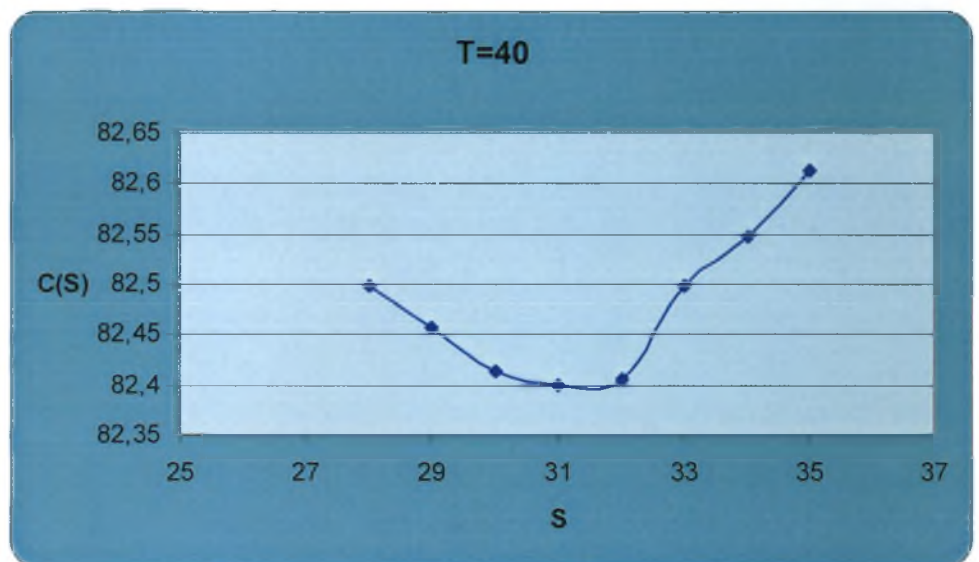
S	C (S)
48	84,32435
45	83,3703
42	82,8339
41	82,7612
40	82,7439
39	82,7875
38	82,8957
36	83,3166
33	84,5194
31	85,7475



Σχήμα 5.1-10: Μεταβολή του C(S) με το S, για T=30 για την υπόθεση 2

T=40

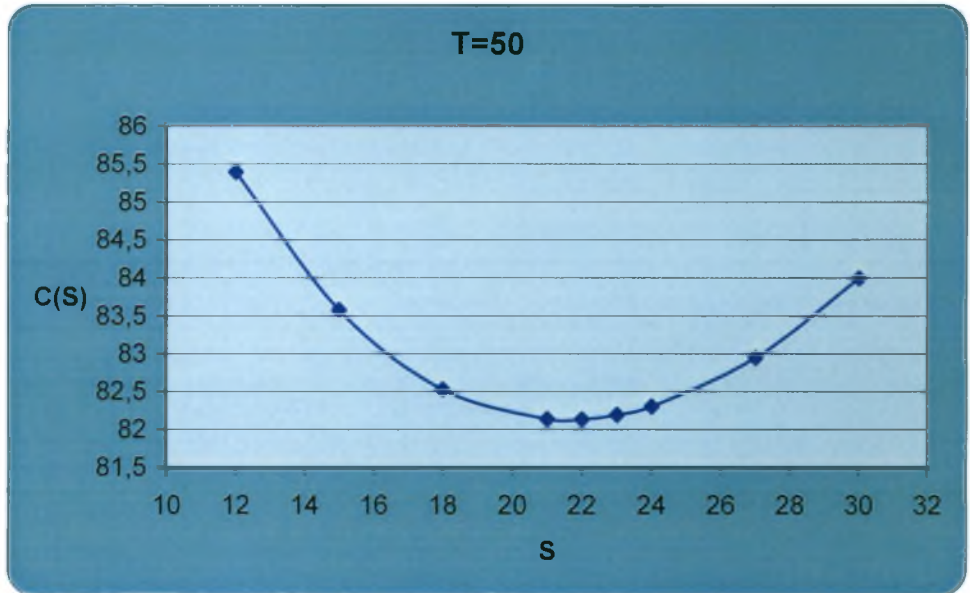
S	C (S)
28	82,4987
29	82,4567
30	82,4127
31	82,3991
32	82,4058
33	82,4975
34	82,5478
35	82,6127



Σχήμα 5.1-11: Μεταβολή του C(S) με το S, για T=40 για την υπόθεση 2

T=50

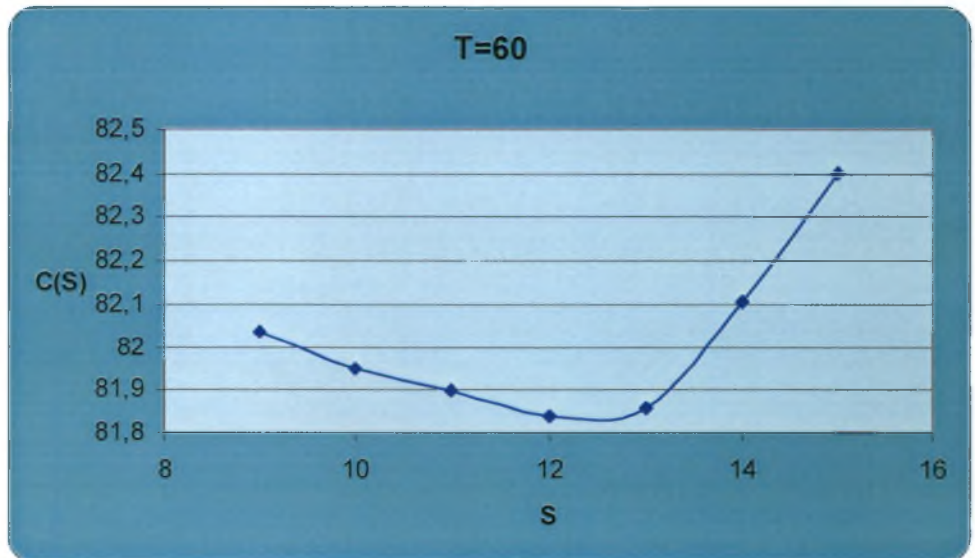
S	C (S)
12	85,3801
15	83,5674
18	82,5192
21	82,1274
22	82,1246
23	82,1819
24	82,2946
27	82,9392
30	83,9855



Σχήμα 5.1-12: Μεταβολή του C(S) με το S, για T=50 για την υπόθεση 2

T=60

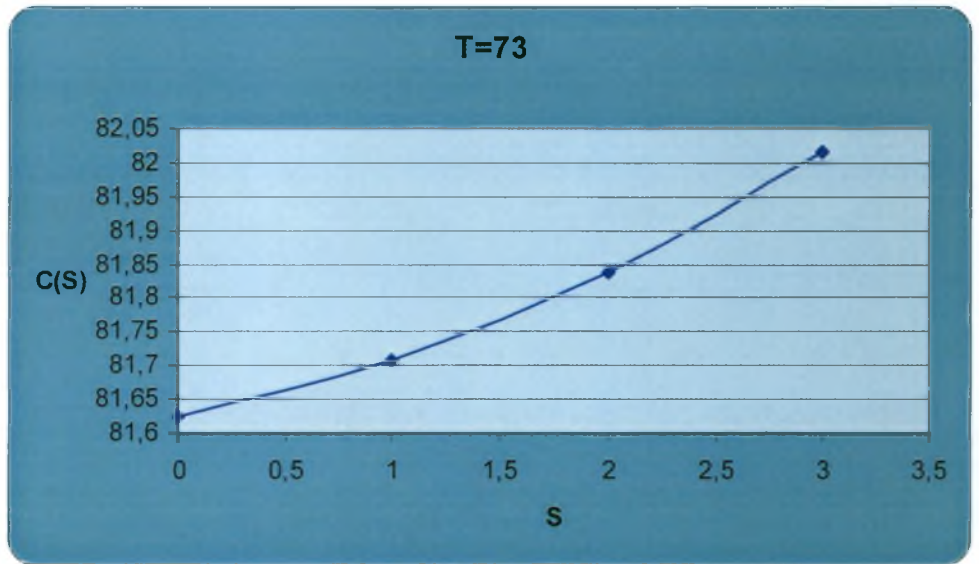
S	C (S)
9	82,0367
10	81,9457
11	81,8956
12	81,8374
13	81,8547
14	82,1035
15	82,3974



Σχήμα 5.1-13: Μεταβολή του C(S) με το S, για T=60 για την υπόθεση 2

T=73

S	C (S)
0	81,6228
1	81,707
2	81,837
3	82,0147



Σχήμα 5.1-14: Μεταβολή του C(S) με το S, για T=73 για την υπόθεση 2

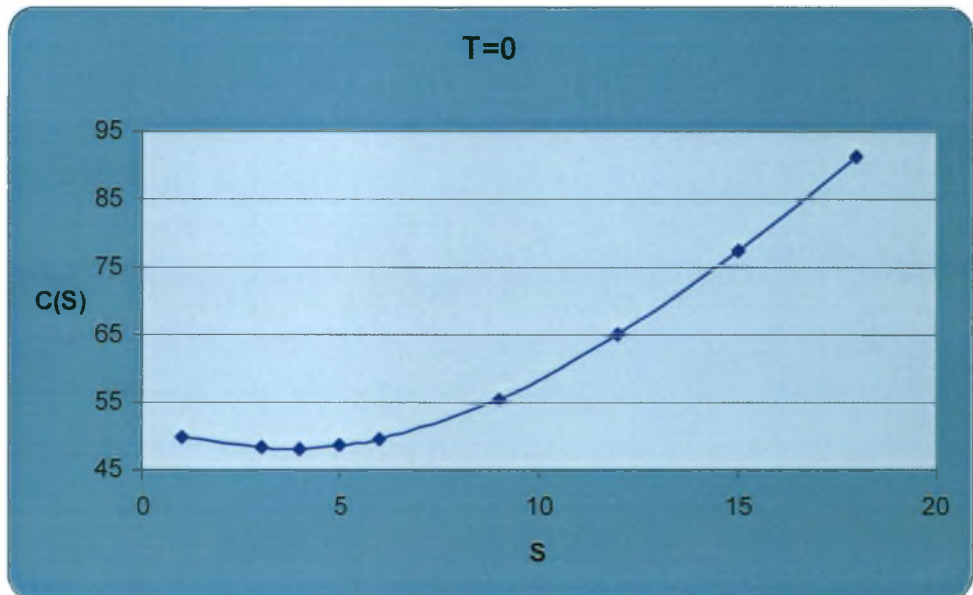
5.2 Base Stock ενός Σταδίου Με Erlang Κατανομή

Τα αριθμητικά αποτελέσματα για το σύστημα base stock ενός σταδίου με Erlang κατανομή είναι :

Υπόθεση 3

T=0

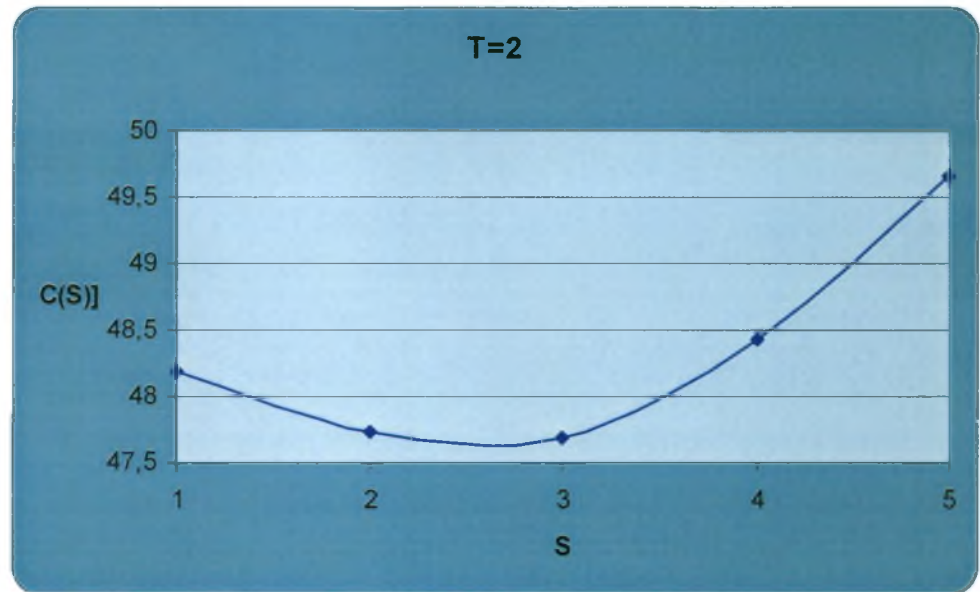
S	C (S)
1	49,6409
3	48,2428
4	48,07865
5	48,41535
6	49,30575
9	55,236
12	65,09638
15	77,4246
18	91,11424



Σχήμα 5.2-1: Μεταβολή του C(S) με το S, για T=0 για την υπόθεση 3

T=2

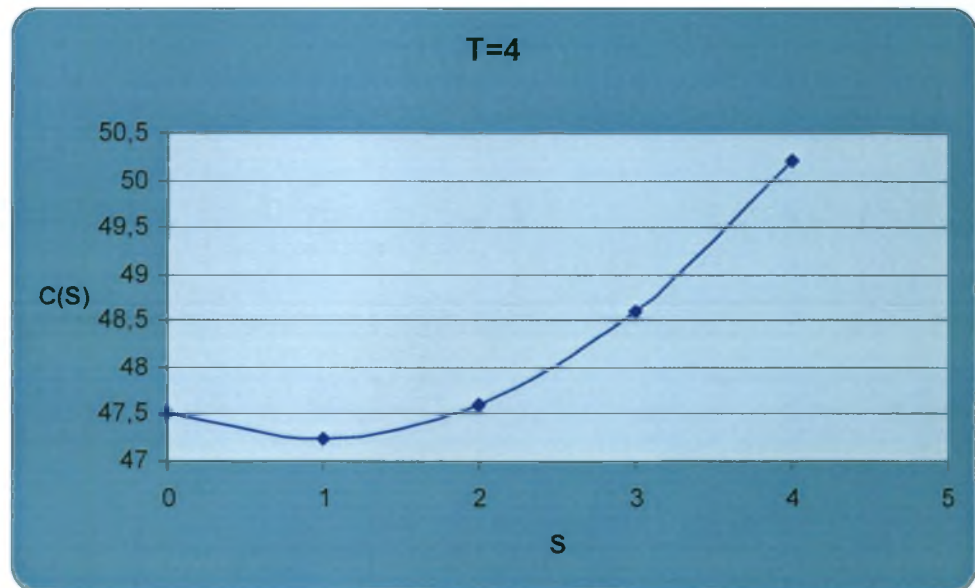
S	C (S)
1	48,18265
2	47,72745
3	47,68105
4	48,41705
5	49,65145



Σχήμα 5.2-2: Μεταβολή του C(S) με το S, για T=2 για την υπόθεση 3

T=4

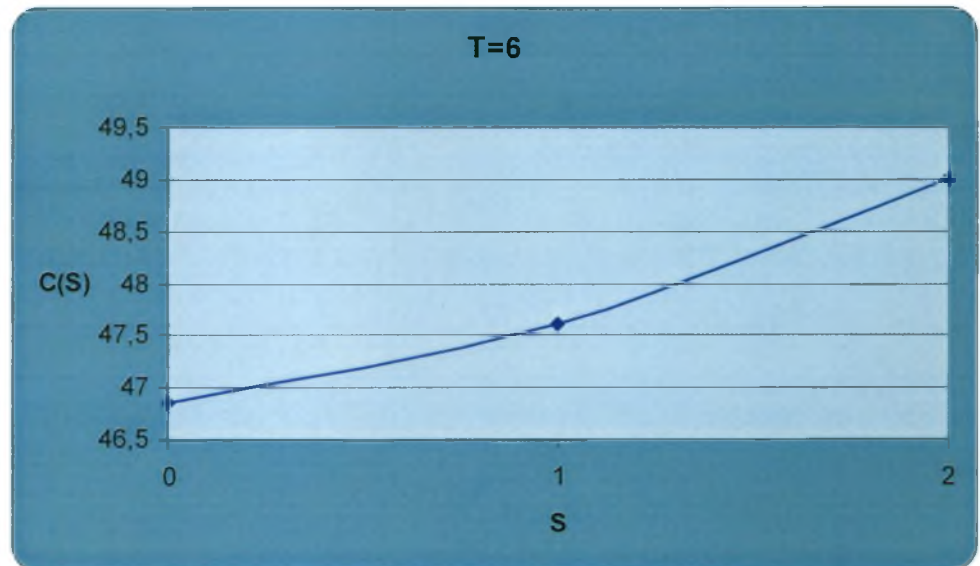
S	C (S)
0	47,4985
1	47,23625
2	47,59565
3	48,5961
4	50,2108



Σχήμα 5.2-3: Μεταβολή του C(S) με το S, για T=4 για την υπόθεση 3

T=6

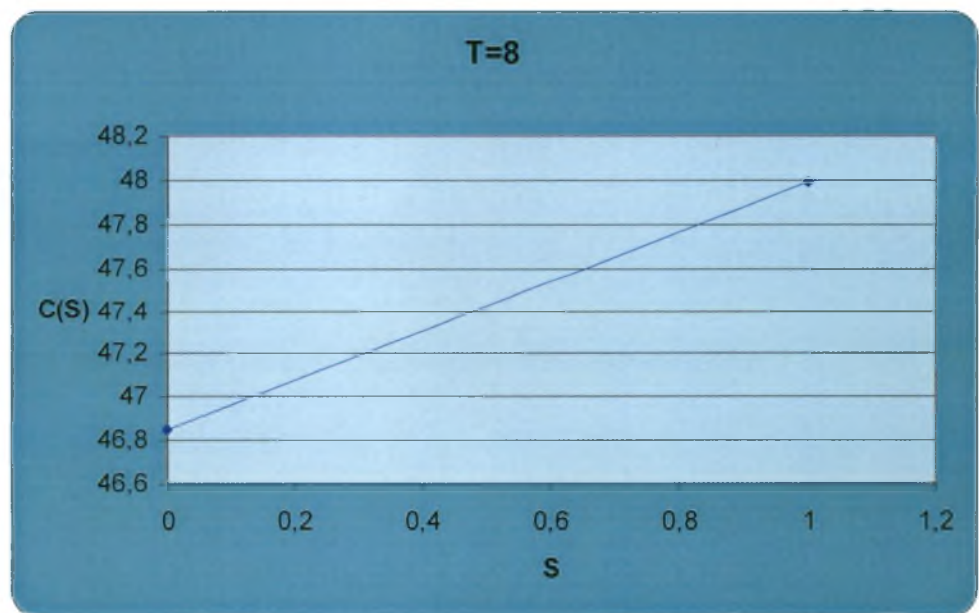
S	C (S)
0	46,84335
1	47,59375
2	49,0027



Σχήμα 5.2-4: Μεταβολή του C(S) με το S, για T=6 για την υπόθεση 3

T=8

S	C (S)
0	46,8434
1	47,9875

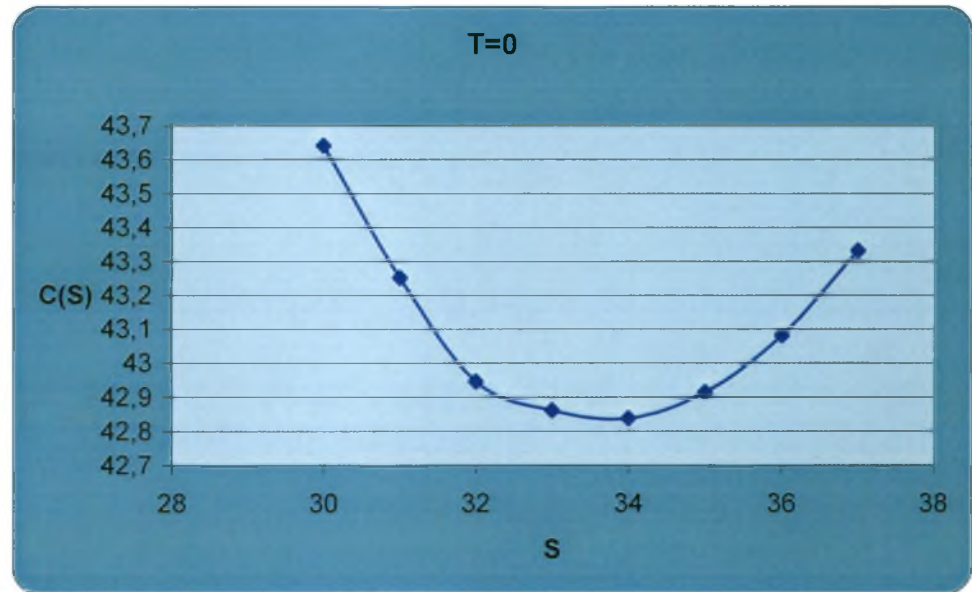


Σχήμα 5.2-5: Μεταβολή του C(S) με το S, για T=8 για την υπόθεση

Υπόθεση 4

T=0

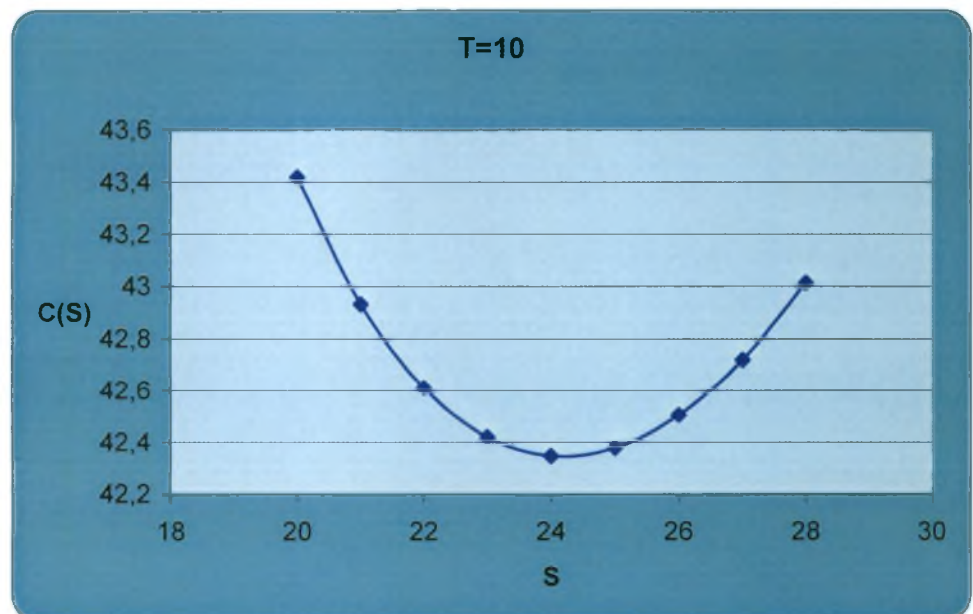
S	C (S)
30	43,639
31	43,2499
32	42,9445
33	42,85945
34	42,83576
35	42,91234
36	43,07936
37	43,33008



Σχήμα 5.2-6: Μεταβολή του C(S) με το S, για T=0 για την υπόθεση 4

T=10

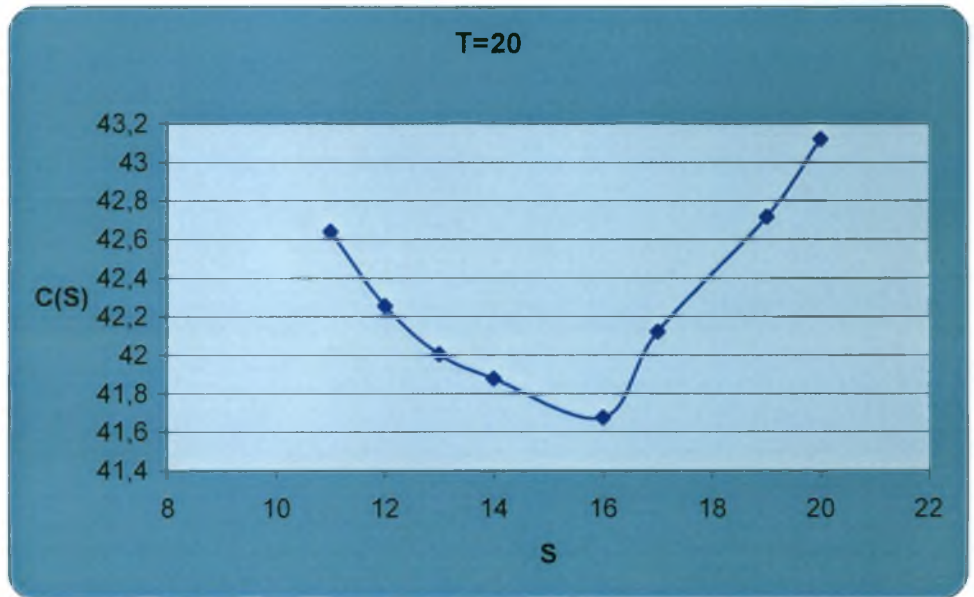
S	C (S)
20	43,416
21	42,9299
22	42,6108
23	42,4199
24	42,34576
25	42,37657
26	42,50387
27	42,71792
28	43,01116



Σχήμα 5.2-7: Μεταβολή του C(S) με το S, για T=10 για την υπόθεση 4

T=20

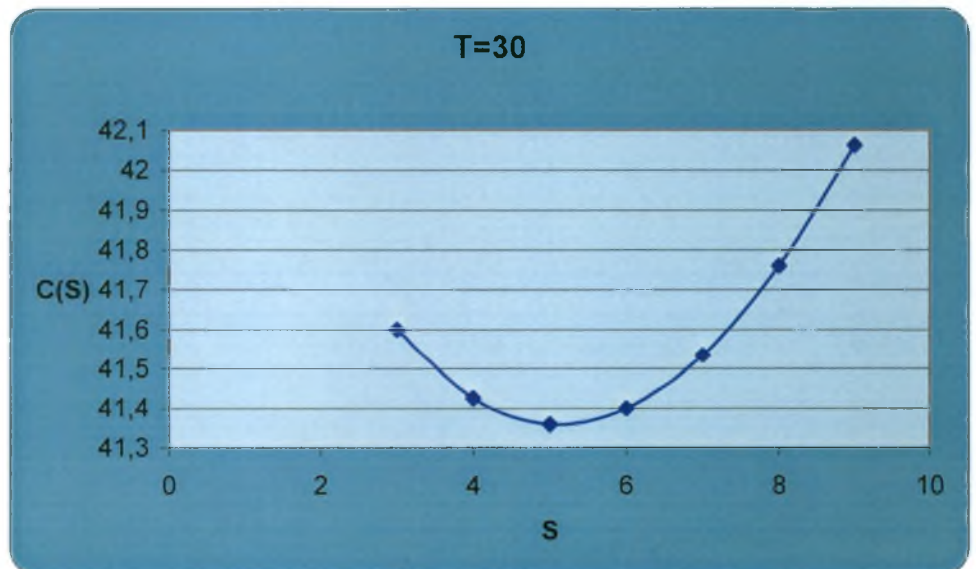
S	C (S)
11	42,6372
12	42,2526
13	42,0017
14	41,87422
16	41,67224
17	42,119
19	42,71341
20	43,11729



Σχήμα 5.2-8: Μεταβολή του C(S) με το S, για T=20 για την υπόθεση 4

T=30

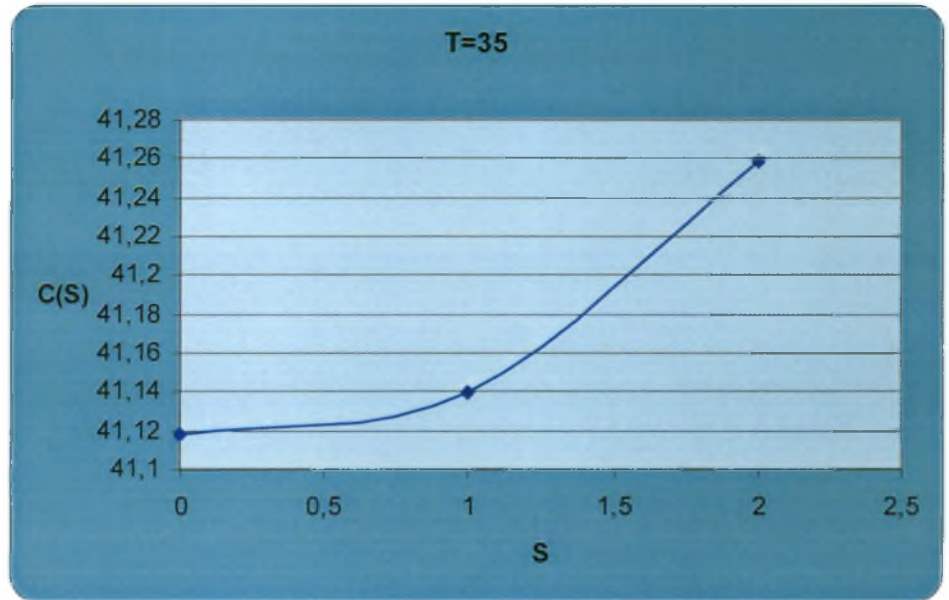
S	C (S)
3	41,5987
4	41,4235
5	41,35819
6	41,39828
7	41,53413
8	41,75873
9	42,0617



Σχήμα 5.2-9: Μεταβολή του C(S) με το S, για T=30 για την υπόθεση 4

T=35

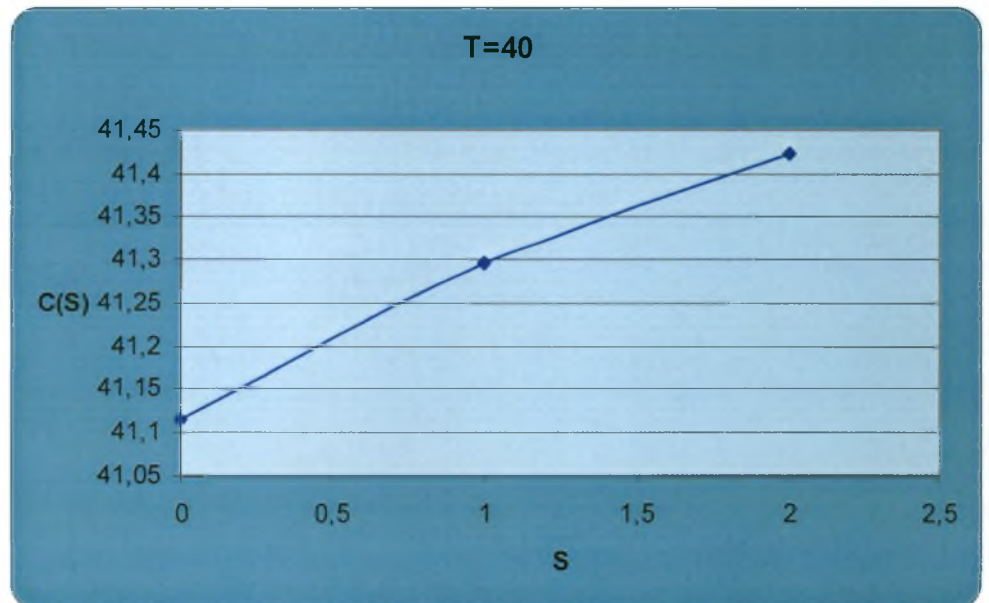
S	C (S)
0	41,11742
1	41,13903
2	41,2584



Σχήμα 5.2-10: Μεταβολή του C(S) με το S, για T=35 για την υπόθεση 4

T=40

S	C (S)
0	41,1147
1	41,2968
2	41,4235



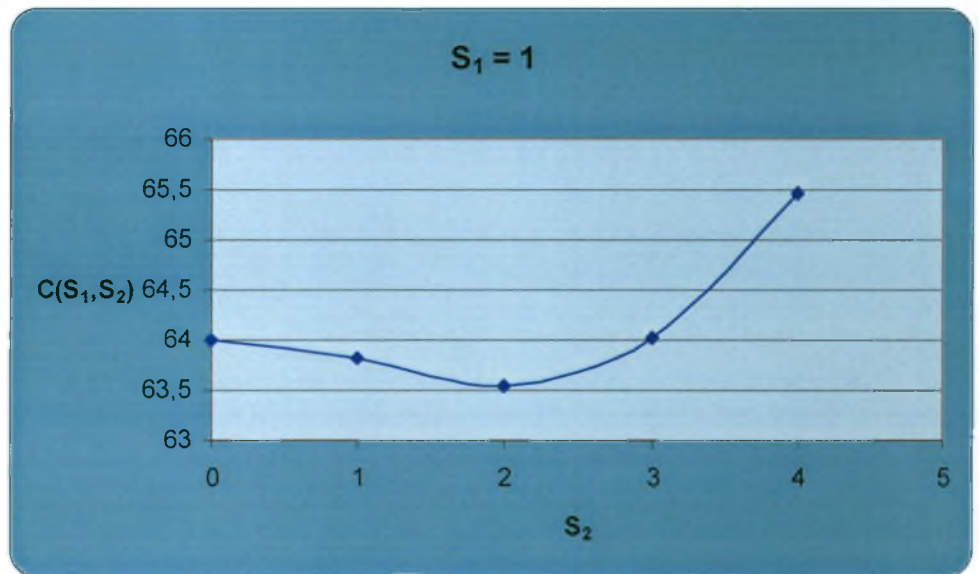
Σχήμα 5.2-11: Μεταβολή του C(S) με το S, για T=40 για την υπόθεση 4

5.3 Base Stock Δυο Σταδίων Με Erlang Κατανομή

Τα αριθμητικά αποτελέσματα για το σύστημα base stock δυο σταδίων με Erlang κατανομή είναι :

T=0

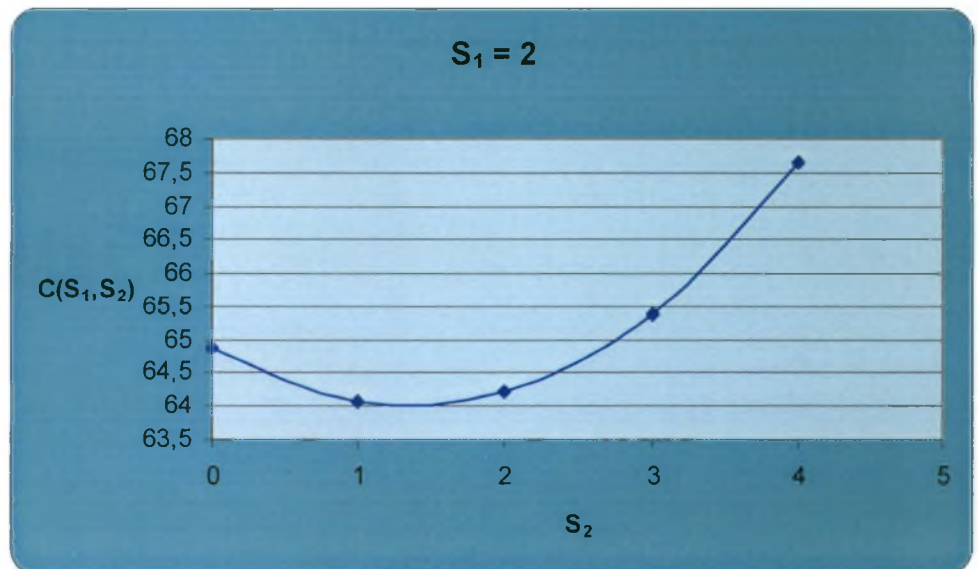
S ₁	S ₂	C (S ₁ , S ₂)
1	0	63,9987
1	1	63,8281
1	2	63,5479
1	3	64,0299
1	4	65,4506



Σχήμα 5.3-1: Μεταβολή του C(S₁,S₂) με το S₂,για S₁=1 και T=0

T=0

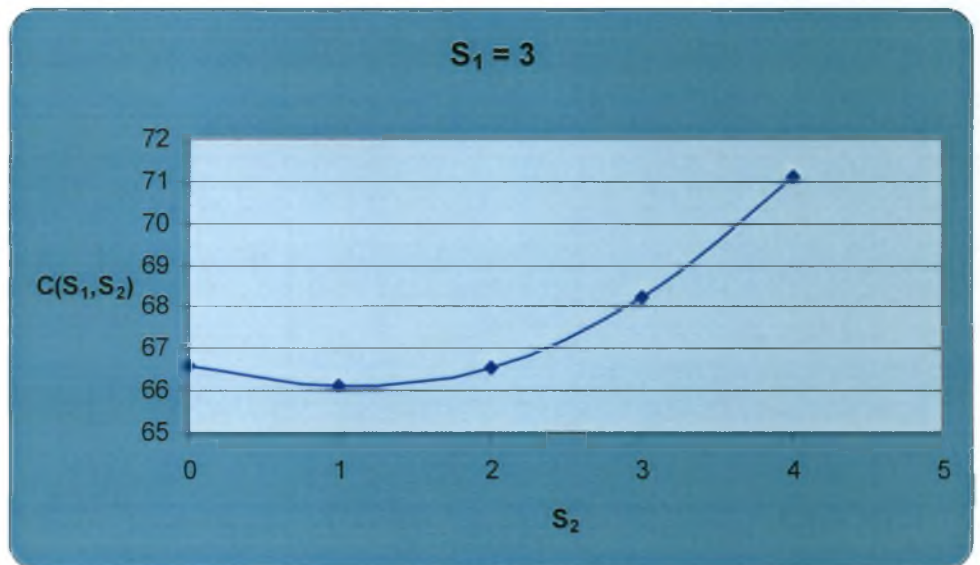
S ₁	S ₂	C (S ₁ , S ₂)
2	0	64,8579
2	1	64,07575
2	2	64,22055
2	3	65,38295
2	4	67,65365



Σχήμα 5.3-2: Μεταβολή του C(S₁,S₂) με το S₂,για S₁=2 και T=0

T=0

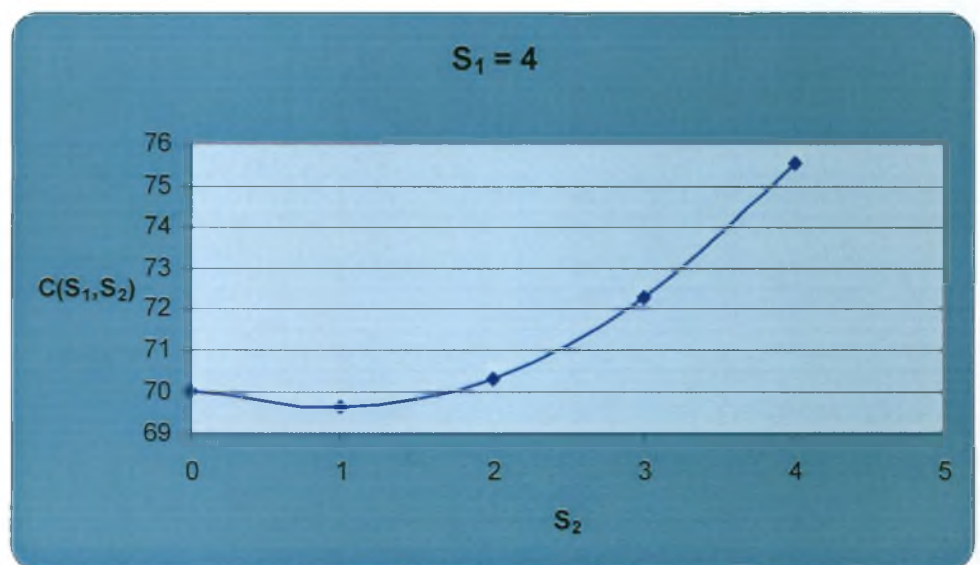
S ₁	S ₂	C (S ₁ , S ₂)
3	0	66,5879
3	1	66,0938
3	2	66,5422
3	3	68,198
3	4	71,0943



Σχήμα 5.3-3: Μεταβολή του C(S₁,S₂) με το S₂,για S₁=3 και T=0

T=0

S ₁	S ₂	C (S ₁ , S ₂)
4	0	70,0258
4	1	69,6448
4	2	70,2782
4	3	72,2417
4	4	75,5362

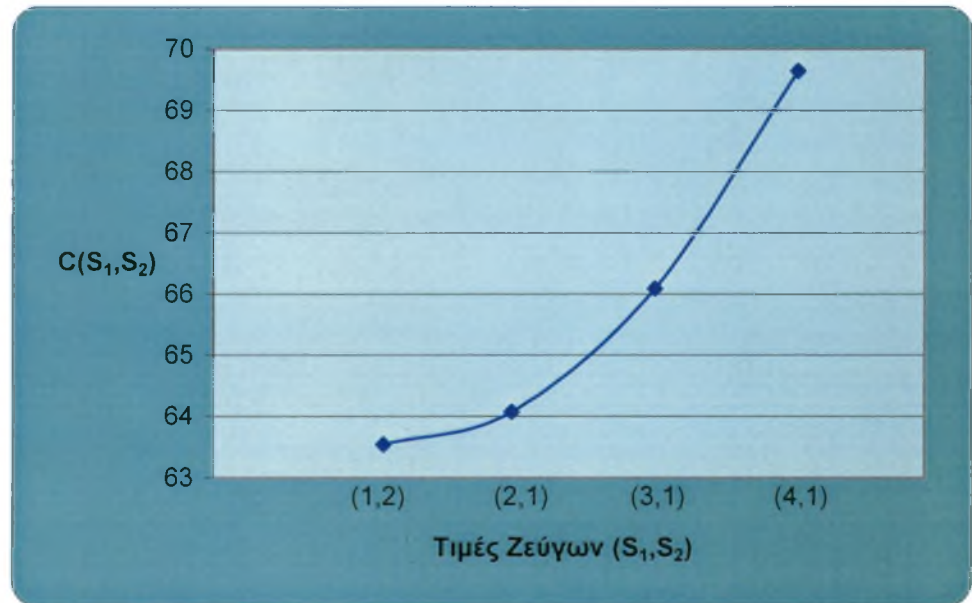


Σχήμα 5.3-4: Μεταβολή του C(S₁,S₂) με το S₂,για S₁=4 και T=0

Ο συγκεντρωτικός πίνακας για την συγκεκριμένη περίπτωση με τις βέλτιστες τιμές των ζευγών S_1, S_2 είναι ο παρακάτω :

T=0

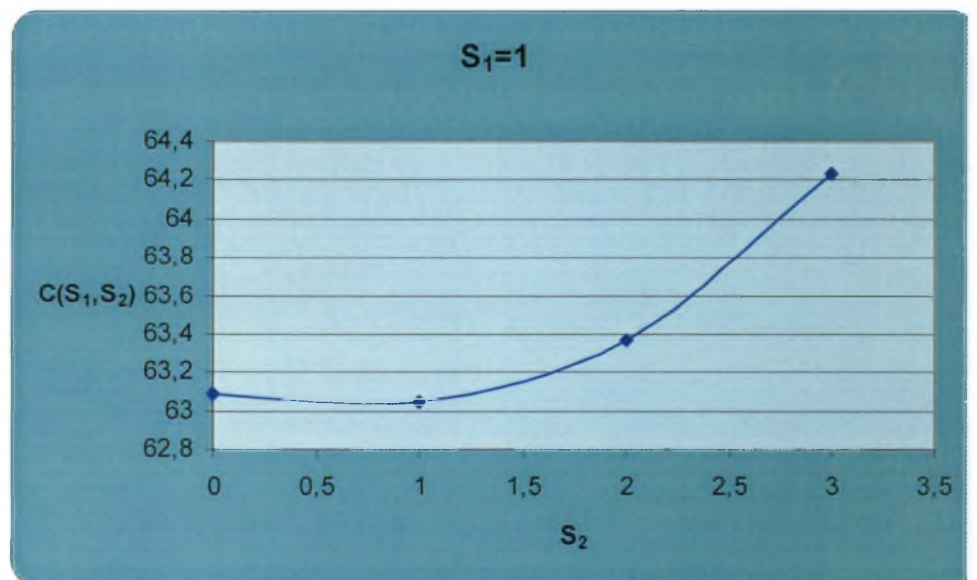
(S ₁ , S ₂)	C (S ₁ , S ₂)
(1,2)	63,5479
(2,1)	64,07575
(3,1)	66,0938
(4,1)	69,6448



Σχήμα 5.3-5: Μεταβολή του C(S₁,S₂) με το S₁ και S₂, για T=0

T=2

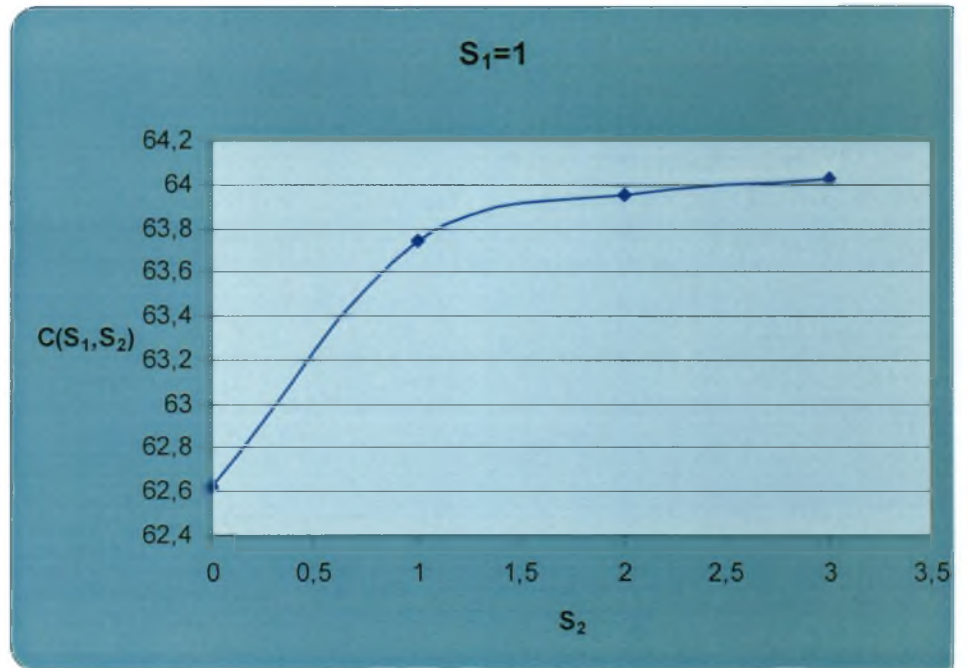
S ₁	S ₂	C (S ₁ , S ₂)
1	0	63,0924
1	1	63,0447
1	2	63,366
1	3	64,2348



Σχήμα 5.3-6: Μεταβολή του C(S₁,S₂) με το S₂,για S₁=1 και T=2

T=4

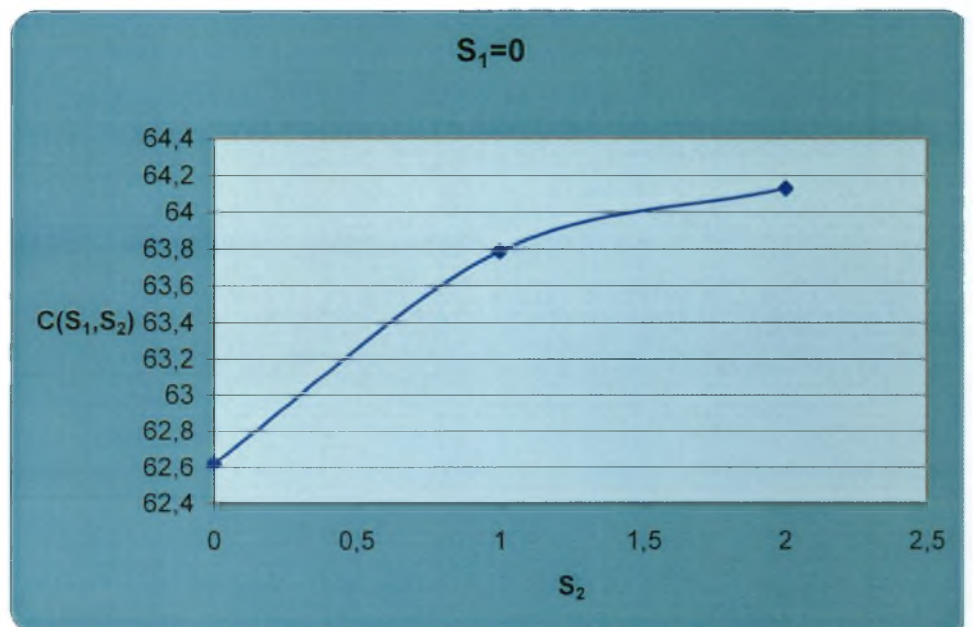
S ₁	S ₂	C (S ₁ , S ₂)
1	0	62,6188
1	1	63,7437
1	2	63,9487
1	3	64,0214



Σχήμα 5.3-7: Μεταβολή του $C(S_1, S_2)$ με το S_2 , για $S_1=1$ και $T=4$

T=6

S ₁	S ₂	C (S ₁ , S ₂)
0	0	62,6174
0	1	63,7832
0	2	64,1254



Σχήμα 5.3-8: Μεταβολή του $C(S_1, S_2)$ με το S_2 , για $S_1=0$ και $T=6$

Κεφαλαίο 6 Τελικά Συμπεράσματα – Προτάσεις Για Μελλοντική Έρευνα

Στην παρούσα διπλωματική έγινε ένας έλεγχος της εξάρτησης του αποθέματος και της τιμής του χρόνου υστέρησης της παραγωγής σε συστήματα ενός και δυο σταδίων που λειτουργούν με την πολιτική base stock με ADI. Τα αποτελέσματα αυτής της μελέτης μας οδήγησαν στα παρακάτω συμπεράσματα.

Σε ένα σύστημα με make-to-stock πολιτική το απόθεμα στον FG τομέα, αντιπροσωπεύει τον αριθμό των τελικών προϊόντων τα οποία έχουν παραχθεί πριν από την άφιξη μιας παραγγελιάς στο σύστημα, έτσι ώστε να προστατέψουμε το σύστημα μας από τις διάφορες αιτίες που θα μας διακόψουν την παραγωγή, αλλά και τυχόν παραγγελίες που δεν θα μπορούσαν να ικανοποιηθούν. Η αποθήκευση όμως έχει και αυτή ένα κόστος.

Τα αποτελέσματα αυτής της διπλωματικής μας δείχνουν ότι το απόθεμα σε κάθε στάδιο πρέπει να είναι όσο το δυνατό μικρότερο. Οι βέλτιστες αυτές τιμές επιτυγχάνονται όταν η πολιτική αναπλήρωσης είναι τέτοια που θέτει στο σύστημα την αναπλήρωση των κομματιών αμέσως μετά την άφιξη μιας παραγγελιάς στο αυτό. Αυτό μπορεί να επιτευχθεί θέτοντας τον echelon χρόνου υστέρησης της παραγωγής, τέτοιο ώστε να μην επιβάλει κανένα όριο στο απόθεμα κάθε σταδίου. Καθυστερώντας ή αναβάλλοντας την εντολή αναπλήρωσης τελικού κομματιού ανάλογα με τον echelon χρόνο υστέρησης της παραγωγής τότε μειώνουμε το συνολικό κόστος λειτουργίας του σ

υστήματος εφόσον δεν προκαλεί αύξηση του αποθέματος από την χαμηλότερη εφικτή τιμή του.

Τελικά, για μια δεδομένη τιμή του χρόνου υστέρησης της παραγγελίας, στους τελευταίους σταθμούς εργασίας το ADI είναι λιγότερο διαθέσιμο και έτσι έχουμε μεγαλύτερη ανάγκη να διατηρήσουμε απόθεμα στον FG τομέα σε αυτούς του σταθμούς. Όταν ο χρόνος υστέρησης της παραγγελίας αυξάνεται, το πόσο του ADI αυξάνεται από τους τελευταίους σταθμούς προς τους αρχικούς, και έτσι η ανάγκη διατήρησης αποθέματος μειώνεται από το τέλος προς την αρχή της παραγωγικής διαδικασίας. Τα αποτελέσματα αυτής της μελέτης διαβεβαιώνουν ότι είναι καλύτερο να μειώσουμε την τιμή του αποθέματος σε κάθε στάδιο μέχρι την τιμή 0, ξεκινώντας από το τελευταίο στάδιο και πηγαίνοντας προς την αρχή.

6.1 Προτάσεις Για Μελλοντική Έρευνά

Τα συστήματα που εξετάστηκαν στην παρούσα διπλωματική εργασία, αποτελούν καινοτόμες τεχνολογικά λύσεις στην παραγωγική διαδικασία. Η μελέτη των συστημάτων μπορεί να επεκταθεί ούτως ώστε να συμπεριλάβει και άλλες ενδεχομένως περιπτώσεις προς άλλες κατευθύνσεις.

Αρχικά, θα μπορούσε να γίνει σύγκριση των αποτελεσμάτων που πάρθηκαν από τις πειραματικές διαδικασίες με τα αντίστοιχα αποτελέσματα που δίνουν ακριβείς προσεγγιστικές και αναλυτικές μέθοδοι.

Παράλληλα ενδιαφέρον θα είχε, τα συστήματα να αναπτυχθούν και άλλο ούτως ώστε να συμπεριλάβουν υποπεριπτώσεις όπως παραδείγματος χάριν, οι σταθμοί να δοκιμαστούν και με άλλους ρυθμούς επεξεργασίας των τεμαχίων και με διαφορετικές κατανομές ο κάθε ένας. Εδώ, θα μπορούσαν να τοποθετηθούν και άλλες μηχανές ούτως ώστε να δούμε την συμπεριφορά του συστήματος και να διαφοροποιήσουμε τις μηχανές ενός σταθμού ως προς τον τρόπο επεξεργασίας των τεμαχίων με γνώμονα όμως πάντα τις περιοριστικές συνθήκες των συστημάτων.

ΠΑΡΑΡΤΗΜΑ Α

Ενδεικτικά Reports Πειραμάτων

ARENA Simulation Results

Systems Modeling <user unknown> - License #9810727

Project: diploma Run execution date : 4/ 8/2003

Analyst: galis Model revision date: 19/ 3/1999

Replication ended at time : 6e+007.0

TALLY VARIABLES

Identifier	Average	Half width	Minimum	Maximum	Observations
bob Queue Time	.47554	.00190	.00000	30.518	479882E+02
Machine 4_R_Q Queue Ti	3.9966	.01564	.00000	63.992	479882E+02
paradosi	10.945	.03045	.00000	103.74	479882E+02
Machine 1_R_Q Queue Ti	3.9969	(Corr)	.00000	75.331	479883E+02
avedelay	.00000	.00000	.00000	.00000	479883E+02
servers flow time	19.971	.02993	.16388	111.79	479882E+02
Machine 2_R_Q Queue Ti	3.9844	.01146	.00000	66.992	479883E+02
avedelayorder	2.0000	1.8057E-16	2.0000	2.0000	479883E+02
jack Queue Time	12.740	.03777	3.4086E-07	103.74	412266E+02
Machine 3_R_Q Queue Ti	3.9934	.00926	.00000	64.811	479883E+02

DISCRETE-CHANGE VARIABLES

Identifier	Average	Half width	Minimum	Maximum	Final Value
Machine 2_R Available	1.0000	(Insuf)	1.0000	1.0000	1.0000
# in bob	.38034	.00157	.00000	9.0000	.00000
Machine 1_R Available	1.0000	(Insuf)	1.0000	1.0000	1.0000
# in Machine 4_R_Q	3.1965	.01189	.00000	61.000	19.000
# in Machine 3_R_Q	3.1940	.00824	.00000	64.000	6.0000
# in jack	8.7542	.02800	.00000	86.000	21.000
# in Machine 2_R_Q	3.1868	.01034	.00000	70.000	.00000
Machine 4_R Busy	.79996	3.7418E-04	.00000	1.0000	1.0000
# in Machine 1_R_Q	3.1967	.01130	.00000	64.000	.00000
Machine 3_R Busy	.79987	3.1976E-04	.00000	1.0000	1.0000
Machine 2_R Busy	.79968	3.5361E-04	.00000	1.0000	.00000
Machine 1_R Busy	.79993	3.1046E-04	.00000	1.0000	1.0000
v1 value	15.973	.02911	.00000	93.000	27.000
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	47988308	Infinite
c2	47988280	Infinite
Depart 1_C	47988286	Infinite
expo.2_C	47988308	Infinite

Simulation run time: 208.50 minutes.

Simulation run complete.

ARENA Simulation Results
 Systems Modeling <user unknown> - License #9810727
 Summary for Replication 1 of 1

Project: diploma Run execution date : 4/10/2003
 Analyst: galis Model revision date: 19/ 3/1999
 Replication ended at time : 6e+007.0

TALLY VARIABLES

Identifier	Average	Half width	Minimum	Maximum	Observations
bob Queue Time	.42847	.00161	.00000	28.681	479882E+02
Machine 4_R_Q Queue Ti	3.9966	.01564	.00000	63.992	479882E+02
paradosi	10.649	.02986	.00000	103.40	479882E+02
Machine 1_R_Q Queue Ti	3.9969	(Corr)	.00000	75.331	479883E+02
avedelay	.00000	.00000	.00000	.00000	479883E+02
servers flow time	19.971	.02993	.16388	111.79	479882E+02
Machine 2_R_Q Queue Ti	3.9844	.01146	.00000	66.992	479883E+02
avedelayorder	6.0000	2.4076E-16	6.0000	6.0000	479883E+02
Machine 3_R_Q Queue Ti	3.9934	.00926	.00000	64.811	479883E+02
jack Queue Time	12.406	.03616	2.2128E-06	103.40	411931E+02

DISCRETE-CHANGE VARIABLES

Identifier	Average	Half width	Minimum	Maximum	Final Value
Machine 2_R Available	1.0000	(Insuf)	1.0000	1.0000	1.0000
Machine 1_R Available	1.0000	(Insuf)	1.0000	1.0000	1.0000
# in bob	.34269	.00137	.00000	10.000	.00000
# in Machine 4_R_Q	3.1965	.01189	.00000	61.000	19.000
# in Machine 3_R_Q	3.1940	.00824	.00000	64.000	6.0000
# in Machine 2_R_Q	3.1868	.01034	.00000	70.000	.00000
# in jack	8.5174	.02738	.00000	85.000	23.000
# in Machine 1_R_Q	3.1967	.01130	.00000	64.000	.00000
Machine 4_R Busy	.79996	3.7418E-04	.00000	1.0000	1.0000
Machine 3_R Busy	.79987	3.1976E-04	.00000	1.0000	1.0000
Machine 2_R Busy	.79968	3.5361E-04	.00000	1.0000	.00000
Machine 1_R Busy	.79993	3.1046E-04	.00000	1.0000	1.0000
v1 value	15.973	.02911	.00000	93.000	27.000
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	47988308	Infinite
c2	47988280	Infinite
Depart 1_C	47988283	Infinite
expo.2_C	47988308	Infinite

Simulation run time: 208.93 minutes.

Simulation run complete.

ARENA Simulation Results
 Systems Modeling <user unknown> - License #9810727
 Summary for Replication 1 of 1

Project: diploma Run execution date : 4/11/2003
 Analyst: galis Model revision date: 19/ 3/1999
 Replication ended at time : 6e+007.0

TALLY VARIABLES

Identifier	Average	Half width	Minimum	Maximum	Observations
bob Queue Time	32.484	.15599	.00000	114.27	545504E+02
Machine 4_R_Q Queue Ti	10.012	.06848	.00000	158.79	545503E+02
paradosi	1.6821	.06732	.00000	128.43	545504E+02
Machine 1_R_Q Queue Ti	10.028	.05558	.00000	144.51	545504E+02
avedelay	.00000	.00000	.00000	.00000	545504E+02
servers flow time	44.092	.19731	.31713	201.43	545503E+02
Machine 2_R_Q Queue Ti	10.048	.06114	.00000	134.45	545503E+02
avedelayorder	10.000	3.2094E-16	10.000	10.000	545504E+02
Machine 3_R_Q Queue Ti	10.002	.07527	.00000	148.46	545503E+02
jack Queue Time	16.360	.32921	1.8217E-06	128.43	560865E+01

DISCRETE-CHANGE VARIABLES

Identifier	Average	Half width	Minimum	Maximum	Final value
Machine 2_R Available	1.0000	(Insuf)	1.0000	1.0000	1.0000
Machine 1_R Available	1.0000	(Insuf)	1.0000	1.0000	1.0000
# in bob	29.533	.12036	.00000	69.000	.00000
# in Machine 4_R_Q	9.1027	.06188	.00000	152.00	9.0000
# in Machine 3_R_Q	9.0938	.06095	.00000	136.00	35.000
# in Machine 2_R_Q	9.1357	.05069	.00000	138.00	13.000
# in jack	1.5293	.05452	.00000	124.00	32.000
# in Machine 1_R_Q	9.1180	.05194	.00000	136.00	43.000
Machine 4_R Busy	.90933	3.9078E-04	.00000	1.0000	1.0000
Machine 3_R Busy	.90925	3.1628E-04	.00000	1.0000	1.0000
Machine 2_R Busy	.90940	3.8663E-04	.00000	1.0000	1.0000
Machine 1_R Busy	.90924	3.3693E-04	.00000	1.0000	1.0000
v1 value	40.087	.16437	.00000	191.00	104.00
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	54550448	Infinite
c2	54550344	Infinite
Depart 1_C	54550403	Infinite
expo.2_C	54550448	Infinite

Simulation run time: 242.00 minutes.

Simulation run complete.

ARENA Simulation Results

Systems Modeling <user unknown> - License #9810727

Summary for Replication 1 of 1

Project: diploma Run execution date : 4/11/2003
 Analyst: galis Model revision date: 19/ 3/1999
 Replication ended at time : 6e+007.0

TALLY VARIABLES

Identifier	Average	Half width	Minimum	Maximum	Observations
bob Queue Time	30.653	.12651	.00000	107.03	545481E+02
Machine 4_R_Q Queue Ti	10.001	.06098	.00000	158.79	545481E+02
paradosi	1.8166	.06667	.00000	128.19	545481E+02
Machine 1_R_Q Queue Ti	10.021	.05157	.00000	144.51	545481E+02
avedelay	.00000	.00000	.00000	.00000	545481E+02
servers flow time	44.061	.17390	.31713	201.43	545481E+02
Machine 2_R_Q Queue Ti	10.039	.05677	.00000	134.45	545481E+02
avedelayorder	30.000	8.1192E-16	30.000	30.000	545481E+02
Machine 3_R_Q Queue Ti	9.9981	.07325	.00000	148.46	545481E+02
jack Queue Time	16.396	.31883	2.2911E-06	128.19	604369E+01

DISCRETE-CHANGE VARIABLES

Identifier	Average	Half width	Minimum	Maximum	Final Value
Machine 2_R Available	1.0000	(Insuf)	1.0000	1.0000	1.0000
Machine 1_R Available	1.0000	(Insuf)	1.0000	1.0000	1.0000
# in bob	27.867	.10412	.00000	69.000	41.000
# in Machine 4_R_Q	9.0928	.05466	.00000	152.00	13.000
# in Machine 3_R_Q	9.0896	.06156	.00000	136.00	.00000
# in Machine 2_R_Q	9.1272	.05031	.00000	138.00	2.0000
# in jack	1.6515	.05748	.00000	126.00	.00000
# in Machine 1_R_Q	9.1108	.04851	.00000	136.00	10.000
Machine 4_R Busy	.90928	3.4802E-04	.00000	1.0000	1.0000
Machine 3_R Busy	.90923	3.1390E-04	.00000	1.0000	.00000
Machine 2_R Busy	.90933	3.3185E-04	.00000	1.0000	1.0000
Machine 1_R Busy	.90918	2.9937E-04	.00000	1.0000	1.0000
v1 value	40.057	.15291	.00000	191.00	27.000
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	54548168	Infinite
c2	54548140	Infinite
Depart 1_C	54548138	Infinite
expo.2_C	54548168	Infinite

Simulation run time: 226.83 minutes.

Simulation run complete.

ARENA Simulation Results
 Systems Modeling <user unknown> - License #9810727
 Summary for Replication 1 of 1

Project: diploma Run execution date : 7/22/2003
 Analyst: galis Model revision date: 19/ 3/1999
 Replication ended at time : 6e+007.0

TALLY VARIABLES

Identifier	Average	Half width	Minimum	Maximum	Observations
bob Queue Time	17.092	.05264	.00000	54.275	545389E+02
Machine 4_R_Q Queue Ti	3.0986	.01869	.00000	61.651	545390E+02
paradosi	.89432	.02397	.00000	83.315	545389E+02
Machine 1_R_Q Queue Ti	6.2687	.03674	.00000	90.682	545390E+02
avedelay	.00000	.00000	.00000	.00000	545390E+02
servers flow time	20.402	.07035	.93368	119.22	545389E+02
Machine 2_R_Q Queue Ti	3.7352	.02522	.00000	66.395	545390E+02
avedelayorder	30.000	2.8706E-16	30.000	30.000	545389E+02
jack Queue Time	9.3125	.15773	1.4454E-06	83.315	523755E+01
Machine 3_R_Q Queue Ti	3.2994	.01561	.00000	60.117	545390E+02

DISCRETE-CHANGE VARIABLES

Identifier	Average	Half width	Minimum	Maximum	Final Value
Machine 2_R Available	1.0000	(Insuf)	1.0000	1.0000	1.0000
# in bob	15.537	.04030	.00000	35.000	25.000
Machine 1_R Available	1.0000	(Insuf)	1.0000	1.0000	1.0000
# in Machine 4_R_Q	2.8166	.01725	.00000	56.000	.00000
# in Machine 3_R_Q	2.9991	.01626	.00000	59.000	2.0000
# in jack	.81292	.01683	.00000	81.000	.00000
# in Machine 2_R_Q	3.3953	.01611	.00000	60.000	.00000
Machine 4_R Busy	.90901	2.6983E-04	.00000	1.0000	1.0000
# in Machine 1_R_Q	5.6981	.02910	.00000	85.000	10.000
Machine 3_R Busy	.90899	2.5913E-04	.00000	1.0000	1.0000
Machine 2_R Busy	.90897	2.6297E-04	.00000	1.0000	1.0000
Machine 1_R Busy	.90908	3.3394E-04	.00000	1.0000	1.0000
v1 value	18.545	.05928	.00000	116.00	16.000
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	54539015	Infinite
c2	54538999	Infinite
Depart 1_C	54538980	Infinite
expo.2_C	54539015	Infinite

Simulation run time: 220.77 minutes.

Simulation run complete.

ARENA Simulation Results
 Systems Modeling <user unknown> - License #9810727
 Summary for Replication 1 of 1

Project: diploma Run execution date : 7/21/2003
 Analyst: galis Model revision date: 19/ 3/1999
 Replication ended at time : 6e+007.0

TALLY VARIABLES

Identifier	Average	Half width	Minimum	Maximum	Observations
bob Queue Time	16.066	.05227	.00000	61.267	545389E+02
Machine 4_R_Q Queue Ti	3.0986	.01869	.00000	61.651	545390E+02
paradosi	1.0666	.02681	.00000	87.168	545389E+02
Machine 1_R_Q Queue Ti	6.2687	.03674	.00000	90.682	545390E+02
avedelay	.00000	.00000	.00000	.00000	545390E+02
servers flow time	20.402	.07035	.93368	119.22	545389E+02
Machine 2_R_Q Queue Ti	3.7352	.02522	.00000	66.395	545390E+02
avedelayorder	20.000	5.7412E-16	20.000	20.000	545389E+02
jack Queue Time	9.4537	.13657	1.1176E-08	87.168	615360E+01
Machine 3_R_Q Queue Ti	3.2994	.01561	.00000	60.117	545390E+02

DISCRETE-CHANGE VARIABLES

Identifier	Average	Half width	Minimum	Maximum	Final value
Machine 2_R Available	1.0000	(Insuf)	1.0000	1.0000	1.0000
# in bob	14.603	.04080	.00000	33.000	21.000
Machine 1_R Available	1.0000	(Insuf)	1.0000	1.0000	1.0000
# in Machine 4_R_Q	2.8166	.01725	.00000	56.000	.00000
# in Machine 3_R_Q	2.9991	.01626	.00000	59.000	2.0000
# in jack	.96958	.01882	.00000	82.000	.00000
# in Machine 2_R_Q	3.3953	.01611	.00000	60.000	.00000
Machine 4_R Busy	.90901	2.6983E-04	.00000	1.0000	1.0000
# in Machine 1_R_Q	5.6981	.02910	.00000	85.000	10.000
Machine 3_R Busy	.90899	2.5913E-04	.00000	1.0000	1.0000
Machine 2_R Busy	.90897	2.6297E-04	.00000	1.0000	1.0000
Machine 1_R Busy	.90908	3.3394E-04	.00000	1.0000	1.0000
v1 value	18.545	.05928	.00000	116.00	16.000
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	54539015	Infinite
c2	54538999	Infinite
Depart 1_C	54538992	Infinite
expo.2_C	54539015	Infinite

Simulation run time: 219.30 minutes.

Simulation run complete.

ARENA Simulation Results

Systems Modeling <user unknown> - License #9810727

Summary for Replication 1 of 1

Project: diploma Run execution date : 7/20/2003
 Analyst: galis Model revision date: 19/ 3/1999
 Replication ended at time : 6e+007.0

TALLY VARIABLES

Identifier	Average	Half Width	Minimum	Maximum	Observations
bob Queue Time	23.120	.06575	.00000	75.285	545390E+02
Machine 4_R_Q Queue Ti	3.0986	.01869	.00000	61.651	545390E+02
paradosi	.51910	.01701	.00000	82.747	545390E+02
Machine 1_R_Q Queue Ti	6.2687	.03674	.00000	90.682	545390E+02
avedelay	.00000	.00000	.00000	.00000	545390E+02
servers flow time	20.402	.07035	.93368	119.22	545389E+02
Machine 2_R_Q Queue Ti	3.7352	.02522	.00000	66.395	545390E+02
avedelayorder	10.000	2.0298E-16	10.000	10.000	545390E+02
jack Queue Time	9.1207	.18917	2.8312E-07	82.747	310402E+01
Machine 3_R_Q Queue Ti	3.2994	.01561	.00000	60.117	545390E+02

DISCRETE-CHANGE VARIABLES

Identifier	Average	Half Width	Minimum	Maximum	Final Value
Machine 2_R Available	1.0000	(Insuf)	1.0000	1.0000	1.0000
# in bob	21.016	.04939	.00000	39.000	24.000
Machine 1_R Available	1.0000	(Insuf)	1.0000	1.0000	1.0000
# in Machine 4_R_Q	2.8166	.01725	.00000	56.000	.00000
# in Machine 3_R_Q	2.9991	.01626	.00000	59.000	2.0000
# in jack	.47185	.01228	.00000	75.000	.00000
# in Machine 2_R_Q	3.3953	.01611	.00000	60.000	.00000
Machine 4_R Busy	.90901	2.6983E-04	.00000	1.0000	1.0000
# in Machine 1_R_Q	5.6981	.02910	.00000	85.000	10.000
Machine 3_R Busy	.90899	2.5913E-04	.00000	1.0000	1.0000
Machine 2_R Busy	.90897	2.6297E-04	.00000	1.0000	1.0000
Machine 1_R Busy	.90908	3.3394E-04	.00000	1.0000	1.0000
v1 value	18.545	.05928	.00000	116.00	16.000
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	54539015	Infinite
c2	54538999	Infinite
Depart 1_C	54539005	Infinite
expo.2_C	54539015	Infinite

Simulation run time: 233.80 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/ 4/2003
 Analyst: galis Model revision date: 19/ 3/1999
 Replication ended at time : 6e+007.0

TALLY VARIABLES

Identifier	Average	Half width	Minimum	Maximum	Observations
bob Queue Time	.71085	.00176	.00000	28.930	479938E+02
Machine 4_R_Q Queue Ti	1.2334	.00316	.00000	32.838	479938E+02
paradosi	4.2542	.01546	.00000	57.952	479938E+02
Machine 1_R_Q Queue Ti	2.4959	.00655	.00000	41.323	479938E+02
avedelay	.00000	.00000	.00000	.00000	479938E+02
servers flow time	10.544	.01566	.95732	65.596	479938E+02
Machine 2_R_Q Queue Ti	1.4974	.00504	.00000	31.738	479938E+02
avedelayorder	2.0000	8.5123E-17	2.0000	2.0000	479938E+02
Machine 3_R_Q Queue Ti	1.3171	.00433	.00000	34.731	479938E+02
jack Queue Time	5.8494	.01438	1.6764E-07	57.952	349059E+02

DISCRETE-CHANGE VARIABLES

Identifier	Average	Half width	Minimum	Maximum	Final Value
Machine 2_R Available	1.0000	(Insuf)	1.0000	1.0000	1.0000
Machine 1_R Available	1.0000	(Insuf)	1.0000	1.0000	1.0000
# in bob	.56861	.00115	.00000	6.0000	.00000
# in Machine 4_R_Q	.98665	.00284	.00000	31.000	3.0000
# in Machine 3_R_Q	1.0535	.00357	.00000	33.000	.00000
# in Machine 2_R_Q	1.1978	.00358	.00000	29.000	1.0000
# in jack	3.4030	.01185	.00000	52.000	7.0000
# in Machine 1_R_Q	1.9965	.00520	.00000	41.000	5.0000
Machine 4_R Busy	.79997	2.6275E-04	.00000	1.0000	1.0000
Machine 3_R Busy	.79996	2.7389E-04	.00000	1.0000	.00000
Machine 2_R Busy	.79988	2.3100E-04	.00000	1.0000	1.0000
Machine 1_R Busy	.79987	2.3225E-04	.00000	1.0000	1.0000
v1 value	8.4342	.01310	.00000	57.000	11.000
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	47993847	Infinite
c2	47993835	Infinite
Depart 1_C	47993839	Infinite
expo.2_C	47993847	Infinite

Simulation run time: 208.07 minutes.

Simulation run complete.

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

Summary for Replication 1 of 1

Project: diploma Run execution date : 6/18/2003
Analyst: galis Model revision date: 19/ 3/1999
Replication ended at time : 6e+007.0

TALLY VARIABLES

Identifier	Average	Half Width	Minimum	Maximum	Observations
bob Queue Time	3.2496	.00667	.00000	40.453	479938E+02
Machine 4_R_Q Queue Ti	1.2334	.00316	.00000	32.838	479938E+02
paradosi	1.7924	.01239	.00000	53.826	479938E+02
Machine 1_R_Q Queue Ti	2.4959	.00655	.00000	41.323	479938E+02
avedelay	.00000	.00000	.00000	.00000	479938E+02
servers flow time	10.544	.01566	.95732	65.596	479938E+02
Machine 2_R_Q Queue Ti	1.4974	.00504	.00000	31.738	479938E+02
avedelayorder	2.0000	8.5123E-17	2.0000	2.0000	479938E+02
Machine 3_R_Q Queue Ti	1.3171	.00433	.00000	34.731	479938E+02
jack Queue Time	4.8975	.02128	1.0431E-07	53.826	175648E+02

DISCRETE-CHANGE VARIABLES

Identifier	Average	Half width	Minimum	Maximum	Final Value
Machine 2_R Available	1.0000	(Insuf)	1.0000	1.0000	1.0000
Machine 1_R Available	1.0000	(Insuf)	1.0000	1.0000	1.0000
# in bob	2.5993	.00412	.00000	10.000	.00000
# in Machine 4_R_Q	.98665	.00284	.00000	31.000	3.0000
# in Machine 3_R_Q	1.0535	.00357	.00000	33.000	.00000
# in Machine 2_R_Q	1.1978	.00358	.00000	29.000	1.0000
# in jack	1.4337	.00915	.00000	48.000	3.0000
# in Machine 1_R_Q	1.9965	.00520	.00000	41.000	5.0000
Machine 4_R Busy	.79997	2.6275E-04	.00000	1.0000	1.0000
Machine 3_R Busy	.79996	2.7389E-04	.00000	1.0000	.00000
Machine 2_R Busy	.79988	2.3100E-04	.00000	1.0000	1.0000
Machine 1_R Busy	.79987	2.3225E-04	.00000	1.0000	1.0000
v1 value	8.4342	.01310	.00000	57.000	11.000
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	47993847	Infinite
c2	47993835	Infinite
Depart 1_C	47993843	Infinite
expo.2_C	47993847	Infinite

Simulation run time: 201.75 minutes.

Simulation run complete.

ARENA Simulation Results
 Systems Modeling <user unknown> - License #9810727
 Summary for Replication 1 of 1

Project: diploma Run execution date : 1/13/2004
 Analyst: galis Model revision date: 24/ 3/2000
 Replication ended at time : 6e+007.0

TALLY VARIABLES

Identifier	Average	Half width	Minimum	Maximum	Observations
D2 Queue Time	3.7114	.01279	6.6590E-08	48.024	189438E+02

DISCRETE-CHANGE VARIABLES

Identifier	Average	Half width	Minimum	Maximum	Final Value
Machine 2_R Available	1.0000	(Insuf)	1.0000	1.0000	1.0000
# in P2	.35735	6.7464E-04	.00000	6.0000	.00000
Machine 1_R Available	1.0000	(Insuf)	1.0000	1.0000	1.0000
# in P1	0.9770	.00147	.00000	8.0000	3.0000
# in D3	2.3399	.00896	.00000	55.000	2.0000
# in Machine 4_R_Q	1.0690	.00283	.00000	34.000	2.0000
# in D2	1.1718	.00588	.00000	48.000	.00000
# in Machine 3_R_Q	1.3413	.00299	.00000	32.000	.00000
# in Machine 2_R_Q	1.1980	.00369	.00000	34.000	.00000
M1 value	4.1038	.00807	.00000	53.000	1.0000
# in Machine 1_R_Q	1.9962	.00491	.00000	42.000	1.0000
Machine 4_R Busy	.79999	2.8957E-04	.00000	1.0000	1.0000
M2 value	3.0422	.00493	.00000	36.000	3.0000
Machine 3_R Busy	.79987	2.5387E-04	.00000	1.0000	.00000
Machine 2_R Busy	.79993	2.4734E-04	.00000	1.0000	.00000
Machine 1_R Busy	.79981	2.7424E-04	.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	47992588	Infinite
C2	47992586	Infinite
C3	47992586	Infinite
C4	47992583	Infinite
C5	47992583	Infinite
C6	47992580	Infinite
C7	47992580	Infinite
C8	47992580	Infinite
C9	31625569	Infinite
C10	31625567	Infinite
ORDERS_C	47992588	Infinite

Simulation run time: 293.98 minutes.
 Simulation run complete.

Βιβλιογραφία

- [1] Bonvik, A.M., C.E. Couch and S.B. Gershwin, (1997) “A Comparison of Production-Line Control Mechanisms,” *International Journal of Production Research*, 35 (3), 789-804.
- [2] Bourland, K.E., S.G. Powell and D.F. Pyke (1996) “Exploiting Timely Demand Information to Reduce Inventories,” *European Journal of Operational Research*, 92, 239-253.
- [3] Chen, F. (2001) “Market Segmentation, Advanced Demand Information, and Supply Chain Performance,” *Manufacturing & Service Operations Management*, 3, 53-67.
- [4] DeCroix, G.A. and V.S. Mookerjee (1997) “Purchasing Demand Information in a Stochastic-Demand Inventory System,” *European Journal of Operations Research*, 102 (1), 36-57.
- [5] Gallego, G. and A.Ö. Özer (2001) “Integrating Replenishment Decisions with Advance Demand Information,” *Management Science*, 47 (10), 1344-1360.
- [6] Graves, S.C., D.B. Kletter and W.B. Hetzel (1998) “A Dynamic Model for Requirements Planning With Application to Supply Chain Optimization,” *Operations Research*, 46 (3), S25-49.
- [7] Graves, S.C., H.C. Meal, S. Dasu and Y. Qiu (1986) “Two-Stage Production Planning in a Dynamic Environment,” in *Multi-Stage Production Planning and Inventory Control*, S.

-
- Axsater, C. Schneeweiss, and E. Silver, (eds.), *Lecture Notes in Economics and Mathematical Systems*, Springer-Verlag, Berlin, 266, 9-43.
- [8] Hariharan, R. and P. Zipkin (1995) "Customer-Order Information, Leadtimes, and Inventories," *Management Science*, 41 (10), 1599-1607.
- [9] Karaesmen, F. and Y. Dallery (2000) "A Performance Comparison of Pull Control Mechanisms for Multi-Stage Manufacturing Systems," *International Journal of Production Economics*, 68, 59-71.
- [10] Rubio R. and L.W. Wein (1996) "Setting Base Stock Levels Using Product-Form Queueing Network," *Management Science*, 42 (2), 259-268.
- [11] Labetoulle, J. and G. Pujolle (1980) "Isolation Method in a Network of Queues," *IEEE Transactions on Software Engineering*, 6 (4), 373-381.
- [12] Fikri Karaesman, Yves Dallery and John Buzacott (1988) "Integrating Advance Information in Pull Type Control Mechanisms For Multi-Stage Production"
- [13] Milgrom, P. and J. Roberts (1988) "Communication and Inventory as Substitutes in Organizing Production," *Scandinavian Journal of Economics*, 90, 275-289.
- [14] Liberopoylos, G. And Koukoumialos, S. (2002) Numerical Investigation of Tradeoffs between base stock levels, numbers of kanbans and production lead times in production-inventory supply chains with advance demand information", UTH, DMIE
- [15] Veach, M.H. and L.M. Wein (1994) "Optimal Control of a Two-Station Tandem Production-Inventory System," *Operations Research*, 42 (2), 337-350.
- [16] J.A. Buzacott and J.G. Shanthikumar (1994), "Safety Stock versus Safety Time in MRP Controlled Production Systems", York University Ontario, Canada, University of California, Berkeley, California.