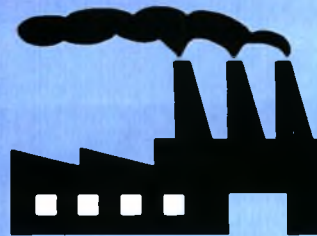


**ΠΑΝΕΠΙΣΤΗΜΙΟ ΘΕΣΣΑΛΙΑΣ**  
**ΤΜΗΜΑ ΜΗΧΑΝΟΛΟΓΩΝ ΜΗΧΑΝΙΚΩΝ ΒΙΟΜΗΧΑΝΙΑΣ**  
**ΠΡΟΓΡΑΜΜΑ ΜΕΤΑΠΤΥΧΙΑΚΩΝ ΣΠΟΥΔΩΝ**

**ΤΟΜΕΑΣ ΟΡΓΑΝΩΣΗΣ ΠΑΡΑΓΩΓΗΣ ΚΑΙ ΒΙΟΜΗΧΑΝΙΚΗΣ ΔΙΟΙΚΗΣΗΣ**



**Μεταπτυχιακή Εργασία:**

***“Βελτιστοποίηση Γενικευμένου Συστήματος Ελέγχου Παραγωγής ΚΑΝΒΑΝ ενός σταδίου, με Έγκαιρη Προειδοποίηση της Ζήτησης.”***

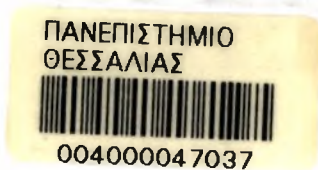
**Επιβλέπων: Δρ. Γ. Λυμπερόπουλος, Επικ. Καθηγητής**  
**Μεταπτυχιακός Φοιτητής: Λιάπης Τριαντάφυλλος**

**Βόλος, Φεβρουάριος 2000**



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

Αριθ. Εισ.: 788/1  
Ημερ. Εισ.: 23-06-2004  
Δωρεά: Συγγραφέα  
Ταξιθετικός Κωδικός: Δ  
658.5  
ΛΙΑ



## ΠΕΡΙΛΗΨΗ

Στόχος της παρούσας μεταπτυχιακής εργασίας είναι η βελτιστοποίηση ενός γενικευμένου συστήματος ελέγχου παραγωγής Kanban ενός σταδίου, με έγκαιρη προειδοποίηση της ζήτησης.

Αρχικά, στο κεφάλαιο 1 παρουσιάζονται οι δυο βασικοί τύποι πολιτικών ελέγχου της παραγωγής που απαντώνται σήμερα στη βιβλιογραφία, τα ωθούμενα και τα ελκούμενα (Push και Pull) συστήματα. Επιχειρείται μια σύγκριση μεταξύ τους ενώ περιγράφονται αναλυτικά οι κυριότεροι εκπρόσωποι των ελκούμενων συστημάτων (Kanban, Basestock, Conwip, κτλ.). Επίσης περιγράφονται ορισμένες αναλυτικές μέθοδοι οι οποίες έχουν αναφερθεί στην διεθνή βιβλιογραφία σχετικά με την βελτιστοποίηση των ελκούμενων συστημάτων.

Στη συνέχεια, στα κεφάλαια 2 και 3 παρουσιάζεται τόσο η αναλυτική περιγραφή της πολιτικής ελέγχου που ακολουθείται, όσο και η μοντελοποίηση του συστήματος με την βοήθεια του λογισμικού προσομοίωσης ARENA 3.0 S.M.

Στο κεφάλαιο 4 δίνονται τα αποτελέσματα που προκύπτουν από τα διάφορα πειράματα προσομοίωσης. Η πειραματική διαδικασία αποτελείται από 2 κατηγορίες πειραμάτων. Η πρώτη αφορά την περίπτωση όπου έχουμε έγκαιρη προειδοποίηση της ζήτησης, ενώ στη δεύτερη εξετάζεται η αλληλεπίδραση και οι ιδιότητες των διάφορων παραμέτρων του συστήματος ( $K$ ,  $S$ ,  $b$ ,  $h$ ,  $\lambda$ ,  $\mu$ ) απουσία του χρόνου προειδοποίησης της ζήτησης.

Απο την παραπάνω μελέτη προκύπτουν ορισμένα χρήσιμα συμπεράσματα, όσον αφορά τις ιδιότητες του συστήματος. Έτσι στο κεφάλαιο 5 αναλύεται μια μεθοδολογία προσδιορισμού των κυριότερων παραμέτρων  $K$  και  $S$ , της πολιτικής ελέγχου του συστήματος, ενώ στο κεφάλαιο 6 προτείνονται ορισμένα θέματα για περαιτέρω έρευνα.

**στους γονείς μου**

## **Ευχαριστίες**

Στον επιβλέποντα της μεταπτυχιακής εργασίας **Δρ. Γ. Λυμπερόπουλο**, Επίκ. Καθηγητή και Διευθυντή του Εργαστηρίου Οργάνωσης Παραγωγής και Βιομηχανικής Διοίκησης, θα ήθελα να εκφράσω τις πιο θερμές μου ευχαριστίες τόσο για την αμέριστη συμπαράσταση και καθοδήγηση του καθ' όλη την διάρκεια εκπόνησης της παρούσας εργασίας, όσο και για την εμπιστοσύνη που έδειξε στο πρόσωπο μου για την διεκπεραίωση αυτής.

Ιδιαίτερες ευχαριστίες θα ήθελα να απονείμω στον υποψήφιο Διδάκτορα του Τμήματος, **Στ. Κουκούμιαλο**, τόσο για την πολύτιμη και ουσιαστική βοήθεια του, όσο και για την άψογη συνεργασία την οποία είχαμε καθ' όλη την διάρκεια εκτέλεσης της μεταπτυχιακής εργασίας. Επίσης νιώθω την ανάγκη να ευχαριστήσω τον υποψήφιο Διδάκτορα **Δ. Δοινάκη**, και μεταπτυχιακό φοιτητή **Α. Στούρμ** για την σημαντική βοήθεια τους στο χώρο του εργαστηρίου.

## ΠΕΡΙΕΧΟΜΕΝΑ

### **ΚΕΦΑΛΑΙΟ: 1..... 11**

#### **Αναδρομή στη Βιβλιογραφία..... 11**

1.1. Εισαγωγή .....	12
1.2. Ωθούμενα και Ελκυσόμενα Συστήματα Ελέγχου Παραγωγής .....	13
1.3. Ωθούμενα Συστήματα Ελέγχου Παραγωγής - Push .....	15
1.4. Ελκυσόμενα Συστήματα Ελέγχου Παραγωγής - Pull .....	17
1.4.1. Συστήματα KANBAN .....	17
1.4.2. Οι Κάρτες Εξουσιοδότησης Παραγωγής Kanban .....	18
1.4.3. Συστήματα CONWIP .....	20
1.4.4. Συστήματα BASESTOCK .....	22
1.4.5. Συστήματα Generalized Kanban .....	22
1.4.6. Συστήματα Extended Kanban .....	23
1.5. Εκτίμηση Απόδοσης .....	23

### **ΚΕΦΑΛΑΙΟ: 2..... 26**

#### **Περιγραφή της Πολιτικής Ελέγχου..... 26**

2.1. Γενικευμένο Σύστημα Ελέγχου Παραγωγής / Αποθεμάτων Kanban ενός σταδίου με έγκαιρη προειδοποίηση της ζήτησης (GKCS-AdvInf). .....	27
2.1.1. Περιγραφή του συστήματος .....	27
2.1.2. Αρχικές Συνθήκες .....	28
2.1.3. Παραδοχές .....	29
2.1.4. Λειτουργία του συστήματος .....	29
2.2. Ειδικές περιπτώσεις του Generalized Kanban .....	32

**ΚΕΦΑΛΑΙΟ: 3..... 34**

**Μοντελοποίηση του συστήματος GKCS - AdvInf ..... 34**

- 3.1. Η έννοια της προσομοίωσης .....35
- 3.2. Το Λογισμικό προσομοίωσης ARENA 3.0 SM. ....38
- 3.3. Μοντελοποίηση του συστήματος GKCS-AdvInf με το λογισμικό προσομοίωσης ARENA 3.0 S.M.....40

**ΚΕΦΑΛΑΙΟ: 4..... 50**

**Πειραματική Διαδικασία - Αποτελέσματα ..... 50**

- 4.1. Συνάρτηση Βελτιστοποίησης.....51
- 4.2. Εκτέλεση Πειραμάτων .....53
- 4.3. Κατηγορία Α - Παρουσία Έγκαιρης Προειδοποίησης της Ζήτησης ( $\tau \neq 0$ ) 53
  - 4.2.1. Σειρά A1: Εκθετική Κατανομή (1,1,1,1),  $\tau \neq 0$ .....53
  - 4.2.2. Σειρά A2: Εκθετική Κατανομή (1, 1.5, 1, 1.5),  $\tau \neq 0$ .....65
- 4.4. Κατηγορία Β - Απουσία Έγκαιρης Προειδοποίησης της Ζήτησης ( $\tau = 0$ ) 74
  - 4.2.3. Σειρά B1: Εκθετική Κατανομή (1,1,1,1),  $\tau=0$ .....74
  - 4.2.4. Σειρά B2: Εκθετική Κατανομή (1, 1.5, 1, 1.5),  $\tau=0$ .....82
  - 4.2.5. Σειρά B3: Τριγωνική Κατανομή (0,1,2),  $\tau=0$  .....88

**Κεφάλαιο 5..... 90**

**Συμπεράσματα..... 90**

<b>Κεφάλαιο 6</b> .....	<b>93</b>
<b>Προτάσεις Μελλοντικής Έρευνας</b> .....	<b>93</b>
<b>Παράρτημα Α</b> .....	<b>95</b>
<b>Βιβλιογραφία</b> .....	<b>95</b>
<b>Παράρτημα Β</b> .....	<b>100</b>
<b>Ενδεικτικές Αναφορές Αποτελεσμάτων ARENA</b> .....	<b>100</b>



### Περιεχόμενα Εικόνων

Εικόνα 1 - Γενική Άποψη του Μοντέλου “Generalized Kanban Control System- AdvInP” (1 στάδιο-4 μηχανές) με το λογισμικό ARENA 3.0 S.M.....	43
Εικόνα 2 – Οι Αφίξεις των Εξωτερικών Ζητήσεων.....	44
Εικόνα 3 – Η καθυστέρηση της ζήτησης σύμφωνα με την ημερομηνία παράδοσης. ....	44
Εικόνα 4 – Η συνθήκη που πρέπει να ικανοποιείται έτσι ώστε, είτε να παραδίδεται η παραγγελία στον πελάτη, είτε να περιμένει την άφιξη ενός τελικού προϊόντος. ....	45
Εικόνα 5 – Η ουρά αναμονής των ανικανοποίητων ζητήσεων. Το πρώτο μέρος του σταθμού συγχρονισμού. ....	46
Εικόνα 6 - Το δεύτερο μέρος του σταθμού συγχρονισμού. Οι ανικανοποίητες ζητήσεις της παραπάνω ουράς, περιμένουν το σήμα που θα δοθεί από ένα τελειωμένο προϊόν, έτσι ώστε να προχωρήσει η εκτέλεση τους. ....	46
Εικόνα 7 – Ο αρχικός αριθμός καρτών Kanban με τον οποίο ξεκινά την λειτουργία του το σύστημα. Το ανάλογο ισχύει και για το αρχικό Stock. .	47
Εικόνα 8 – Η μηχανή της γραμμής παραγωγής. ....	47
Εικόνα 9 – Μετρητής τεμαχίων.....	48
Εικόνα 10 – Η παράδοση των τελειωμένων προϊόντων. ....	48
Εικόνα 11 – Μέτρηση των Στατιστικών στοιχείων του μοντέλου. ....	49
Εικόνα 12 – Οι τιμές των Kanban καθώς και των υπολοίπων μεταβλητών του συστήματος.....	49
Εικόνα 13 – Το OUTPUT ANALYZER. Στην 6 <sup>η</sup> στήλη παρουσιάζεται η πιθανότητα να υπάρχουν N προϊόντα στο <i>totwip</i> (M+O), ενώ η τιμή του S* δίνεται από την 3 <sup>η</sup> στήλη. Αυτό ισχύει μόνο για $t=0$ .....	62

### Περιεχόμενα Πινάκων

Πίνακας 1 – Σύγκριση JIT και MRP [22]. ....	15
Πίνακας 2 – Οι πληροφορίες που παρέχει μια κάρτα Kanban [23].....	20
Πίνακας 3 – Αποτελέσματα Σειράς Πειραμάτων A1. ....	62
Πίνακας 4 – Αποτελέσματα Σειράς Πειραμάτων A2. ....	72
Πίνακας 5 - Τιμές του λόγου $b / b+h$ για την Σειρά B1. ....	74
Πίνακας 6 - Αποτελέσματα Σειράς Πειραμάτων B1. ....	77

Πίνακας 7 - Τιμές του λόγου $b/b+h$ για την Σειρά B2.....	82
Πίνακας 8 - Αποτελέσματα Σειράς Πειραμάτων B2.....	84
Πίνακας 9 - Αποτελέσματα Σειράς Πειραμάτων B3 (Τριγωνική Κατανομή)....	88
Πίνακας 10 – Τιμές του Γραφήματος 17.....	89

### **Περιεχόμενα Σχέσεων**

Σχέση 1 – Συνάρτηση κόστους του συστήματος GKCS-AdvInf.....	51
Σχέση 2 - Υπολογισμός του $S^*$ .....	52
Σχέση 3 – Σχέση Υπολογισμού του $K_{min}$ .....	52

### **Περιεχόμενα Σχημάτων**

Σχήμα 1 - Η αρχή λειτουργίας του MRP [25].....	16
Σχήμα 2 - Η αρχή λειτουργίας του Kanban [25].....	17
Σχήμα 3 – Λειτουργία του συστήματος Kanban μιας κάρτας.....	18
Σχήμα 4 – Το σύστημα Conwip [25].....	21
Σχήμα 5 - Το σύστημα Minimal Blocking [25].....	22
Σχήμα 6 - Το σύστημα Basestock [25]. ....	22
Σχήμα 7 - Σχηματική απεικόνιση του συστήματος GKCS-AdvInf, ενός σταδίου. .....	27
Σχήμα 8 - Η Ιεραρχική δομή του ARENA. [18].....	39

### **Περιεχόμενα Γραφημάτων**

Γράφημα 1 - Μεταβολή του $S$ συναρτήσει του $\tau$ , για διάφορα $K$ .....	64
Γράφημα 2 - Μεταβολή του $S$ συναρτήσει του $K$ , για διάφορα $\tau$ .....	64
Γράφημα 3 - Μεταβολή του $S$ συναρτήσει του $\tau$ , για $K=K^*=17 - \exp(1)$ .....	65
Γράφημα 4 - Μεταβολή του $S$ συναρτήσει του $\tau$ , για διάφορα $K - \exp(1.5)$ ...	73
Γράφημα 5 - Μεταβολή του $K^*$ και του $S^*$ σε σχέση με το λόγο $b/b+h$ για τη σειρά B1.....	78
Γράφημα 6 - Μεταβολή του $S$ σε σχέση με το λόγο $b/b+h$ για διάφορα $K$ .....	79
Γράφημα 7 - Μεταβολή του $S$ σε σχέση με το $K$ για διάφορα $b/b+h$ .....	79
Γράφημα 8 - Μεταβολή του $C$ σε σχέση με το $b/b+h$ για διάφορα $K$ .....	80
Γράφημα 9 - Μεταβολή του $C$ σε σχέση με το $K$ για διάφορα $b/b+h$ .....	80
Γράφημα 10 - Παράμετροι που επηρεάζουν το κόστος του συστήματος. ....	81

Γράφημα 11 - Μεταβολή του $K^*$ και του $S^*$ σε σχέση με το λόγο $b/b+h$ για τη σειρά B2.....	85
Γράφημα 12 - Μεταβολή του $S$ σε σχέση με το λόγο $b/b+h$ για διάφορα $K$ (Σειρά B2). .....	85
Γράφημα 13 - Μεταβολή του $S$ σε σχέση με το $K$ για διάφορα $b/b+h$ (Σειρά B2). .....	86
Γράφημα 14 - Μεταβολή του $C$ σε σχέση με το $b/b+h$ για διάφορα $K$ (Σειρά B2). .....	86
Γράφημα 15 - Μεταβολή του $C$ σε σχέση με το $K$ για διάφορα $b/b+h$ (Σειρά B2). .....	87
Γράφημα 16 - Παράμετροι που επηρεάζουν το κόστος του συστήματος (Σειρά B2). .....	87
Γράφημα 17 – Μεταβολή του $K$ σε σχέση με τον $b/b+h$ για διάφορα $\mu_1$ και $\mu_2$ . .....	89

**ΚΕΦΑΛΑΙΟ: 1**

---

***Αναδρομή στη Βιβλιογραφία***

---

## **1.1. Εισαγωγή**

Το πρόβλημα του ελέγχου της παραγωγής είναι ένα από τα σημαντικότερα που αντιμετωπίζει η βιομηχανία σήμερα και ιδιαίτερα οι μικρομεσαίες επιχειρήσεις, από πλευράς παραγωγικής διαδικασίας.

Στην περιοχή της επιχειρησιακής έρευνας πολλές μελέτες έχουν καταγραφεί μέχρι σήμερα στην προσπάθεια προσδιορισμού μιας βέλτιστης πολιτικής η οποία θα ελέγχει αποτελεσματικά την ροή της παραγωγικής διαδικασίας.

Ο όρος σύστημα παραγωγής αναφέρεται σε σταθμούς εργασίας ή μέσα παραγωγής στα οποία εκτελούνται διάφορες εργασίες, όπως π.χ. κοπή, διαμόρφωση, συναρμολόγηση, επιθεώρηση, κτλ, σε υλικά, εξαρτήματα, κτλ, με σκοπό την παραγωγή τελικών προϊόντων, έτοιμων προς παράδοση στους πελάτες.

Η *ζήτηση* για παράδοση τελικών προϊόντων στους πελάτες, είναι η *κύρια μεταβλητή* η οποία έλκει, ή ωθεί αντίστοιχα την παραγωγή και ρυθμίζει την λειτουργία ολόκληρου του συστήματος.

Όσο πιο αποτελεσματικός είναι ο έλεγχος σε ένα σύστημα, όπως το παραπάνω, τόσο πιο ανταγωνιστικό και αξιόπιστο εμφανίζεται. Στην ουσία, ο έλεγχος σε ένα σύστημα παραγωγής αναφέρεται σε ένα πρόβλημα βελτιστοποίησης όπου οι παράμετροι που πρέπει να επιλυθούν είναι δύο: Το **πότε** και **πόσο** πρέπει να παράγει το σύστημα έτσι ώστε να ανταποκριθεί την κατάλληλη χρονική στιγμή στη ζήτηση, δηλαδή να επιτευχθεί ένα ικανοποιητικό επίπεδο εξυπηρέτησης των πελατών, με το ελάχιστο δυνατό κόστος για την επιχείρηση.

Από τα παραπάνω είναι φανερό ότι ο έλεγχος ενός συστήματος παραγωγής, έγκειται στον έλεγχο των *ποσοτήτων* (απόθεμα, εργασίες σε εξέλιξη, κτλ.) καθώς και στον *χρόνο* στον οποίο θα πρέπει να ξεκινήσουν οι εργασίες έτσι ώστε να βρίσκονται στον πελάτη την στιγμή που ζητούνται.

Οι περισσότερες μελέτες που έχουν πραγματοποιηθεί μέχρι σήμερα στην περιοχή του ελέγχου της παραγωγής προτείνουν την εξής πολιτική:

*Την αποσύνθεση του συστήματος σε επιμέρους στάδια ή υποσυστήματα παραγωγής και τον καθορισμό ενός μηχανισμού συντονισμού μεταξύ τους.*

Το σημείο "κλειδί" στην όλη πολιτική είναι ο παραπάνω μηχανισμός ο οποίος θα συντονίζει την εισαγωγή υλικών σε κάθε στάδιο με την άφιξη των ζητήσεων για τελικά προϊόντα.

## **1.2. Ωθούμενα και Ελκυόμενα Συστήματα Ελέγχου Παραγωγής**

Τα κυριότερα συστήματα ελέγχου της παραγωγής και των αποθεμάτων που αναφέρονται σήμερα στη βιβλιογραφία κατατάσσονται στις εξής δυο κατηγορίες:

1. Τα ωθούμενα (push) και
2. Τα ελκυόμενα (pull).

Ωθούμενα συστήματα ελέγχου παραγωγής ονομάζονται εκείνα στα οποία η ζήτηση ωθεί την παραγωγή τελικών προϊόντων. Κύριος εκφραστής αυτών των συστημάτων είναι το Αμερικάνικο MRP, ή τα μεταγενέστερα MRP II και ERP [15, 21, 22].

Ελκυόμενα συστήματα ελέγχου παραγωγής ονομάζονται εκείνα στα οποία η παραγωγή έλκεται από την ζήτηση. Αντίστοιχα, κύριος εκφραστής αυτών των συστημάτων είναι το Ιαπωνικό JIT [8, 9, 22].

Πιο συγκεκριμένα:

- Τα συστήματα ώθησης *προγραμματίζουν* εκλύσεις εργασιών, ενώ
- Τα συστήματα έλξης *εξουσιοδοτούν* εκλύσεις εργασιών.

Τα ελκυόμενα (pull) συστήματα ελέγχου παραγωγής / αποθεμάτων, αποτελούν μια πολύ καλή πρακτική προσέγγιση στο πρόβλημα του μηχανισμού συντονισμού των επιμέρους σταδίων της παραγωγής.

Στον πίνακα 1 παρουσιάζεται μια σύγκριση των δυο πολιτικών ελέγχου της παραγωγής και των αποθεμάτων, των συστημάτων JIT και MRP [22].

ΜΕΤΑΒΛΗΤΗ	ΣΥΣΤΗΜΑΤΑ ΚΑΝΒΑΝ ΤΗΣ ΤΟΥΥΤΑ (JIT)	ΔΥΤΙΚΗ ΦΙΛΟΣΟΦΙΑ (MRP)
<b>Απόθεμα (Inventory)</b>	Υποχρέωση ή αναγκαίο κακό. Κάθε προσπάθεια πρέπει να γίνεται στην κατεύθυνση της ελαχιστοποίησης του.	Αντιμετωπίζεται ως περιουσιακό στοιχείο. "Προστατεύει" απέναντι σε λανθασμένες προβλέψεις της ζήτησης, προβλήματα λόγω βλαβών των μηχανών, καθυστερήσεις των προμηθευτών, κτλ. Όσο περισσότερο τόσο ασφαλέστερα.
<b>Μέγεθος Παρτίδας (Lot Size)</b>	Μόνο το ελάχιστο αναγκαίο ανά περίπτωση. Η ελάχιστη παρτίδα αναπλήρωσης.	Υπολογίζεται από ορισμένο μαθηματικό τύπο. Η ποσότητα αναθεωρείται τακτικά ανάλογα με το κόστος διατήρησης αποθέματος και το κόστος προετοιμασίας.
<b>Κόστος Προετοιμασίας (Set up)</b>	Όσο το δυνατόν ελάχιστο. Γρήγορες αλλαγές, δυνατότητα επιπρόσθετων μηχανών ήδη έτοιμων. Γρήγορες αλλαγές επιτρέπουν την παραγωγή πολλών διαφορετικών προϊόντων σε μικρές παρτίδες.	Δίνεται μικρή βαρύτητα. Ο κύριος στόχος είναι η μέγιστη παραγωγικότητα.
<b>Ουρές (Queues)</b>	Όσο το δυνατόν μικρότερες. Όταν παρουσιάζεται πρόβλημα εντοπίζεται και διορθώνεται άμεσα.	Αναγκαία επένδυση.
<b>Προμηθευτές (Vendors)</b>	Συνεργάτες. Θεωρούνται μέλη της ομάδας – προέκταση της παραγωγικής δραστηριότητας.	Αντίπαλοι – Εχθροί. Όσο το δυνατόν περισσότεροι και ανταγωνιστές μεταξύ τους με σκοπό την επίτευξη ανταγωνιστικών τιμών.
<b>Ποιότητα (Quality)</b>	Μηδέν ελαττωματικά. Αν δεν επιτευχθεί στο 100% τότε υπάρχει πρόβλημα.	Ανοχή μέχρι ορισμένου ποσοστού σκάρτων (scrap).
<b>Συντήρηση Εξοπλισμού (Equipment Maintenance)</b>	Σταθερή και αποτελεσματική. Ελαχιστοποίηση των βλαβών.	Όσο απαιτείται, αλλά όχι ιδιαίτερης σημασίας, λόγω της παρουσίας ουρών οι οποίες θα καλύψουν το χαμένο χρόνο.

<b>Χρόνοι Υστέρησης (Lead Times)</b>	Όσο το δυνατόν μικρότεροι. Αποτέλεσμα μικρότερες δαπάνες υλικών, παραγωγής, λειτουργίας.	Όσο το δυνατόν μεγαλύτεροι, ώστε να εξασφαλίζεται σε έκτακτες περιπτώσεις.
<b>Εργαζόμενοι (Workers)</b>	Συνεργάτες. Οποιοσδήποτε αλλαγές δεν πραγματοποιούνται, αν δεν ληφθούν υπόψη και οι γνώμες τους.	Αυστηρή διοίκηση. Μετρείται η απόδοση τους και επιλέγουμε τους παραγωγικότερους. Δεν ζητείται η γνώμη τους για οποιαδήποτε αλλαγή.

Πίνακας 1 – Σύγκριση JIT και MRP [22].

### 1.3. Ωθούμενα Συστήματα Ελέγχου Παραγωγής - Push

Όπως αναφέρθηκε παραπάνω κύριος εκφραστής της πολιτικής Push, είναι τα συστήματα MRP και MRP II (Materials Requirement Planning και Materials Resources Planning) καθώς και το μεταγενέστερο ERP (Enterprises Resources Planning).

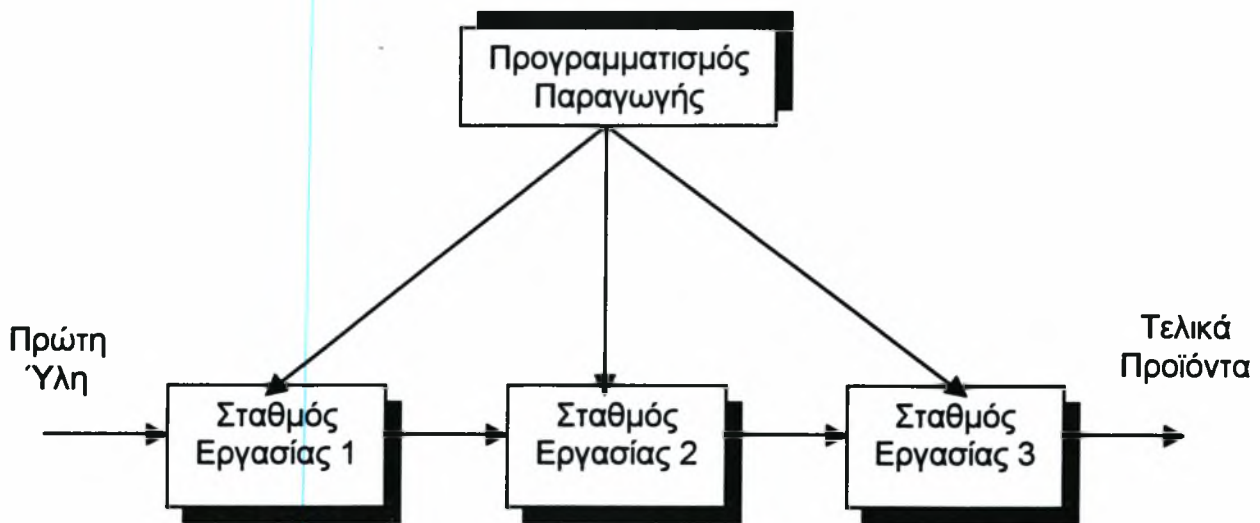
Η αρχή λειτουργίας του MRP παρουσιάζεται στο παρακάτω σχήμα [1]. Στο MRP η παραγωγή ωθείται από τις ζητήσεις των πελατών οι οποίες μπορεί να είναι είτε γνωστές (*έγκαιρη προειδοποίηση της ζήτησης*), είτε προβλέπονται βάσει στατιστικών στοιχείων. Έτσι, καταρτίζεται το κύριο πρόγραμμα παραγωγής (Master Production Schedule - MPS) όπου, χρησιμοποιώντας τον κατάλογο υλικών (Bill of Materials - BOM), τους χρόνους υστέρησης (Lead time) και το μέγεθος ταρτίδας, προγραμματίζεται η έκλυση της παραγωγής. *Στην ουσία πρόκειται για μια τεράστια βάση δεδομένων από όπου αντλούνται πληροφορίες, χρήσιμες για την διαχείριση της παραγωγής.*

Τα κύρια προβλήματα του MRP, τα οποία το καθιστούν πολλές φορές αναξιόπιστο, είναι οι θεωρήσεις που χρησιμοποιούνται και είναι λανθασμένες. Συγκεκριμένα, το MRP θεωρεί ένα σταθερό παραγωγικό περιβάλλον όπου δεν λαμβάνονται υπόψη τυχαιότητες και η μεταβλητότητα του συστήματος. Έτσι θεωρώντας σταθερό τον χρόνο υστέρησης (lead time) αποτυγχάνει να ανταποκριθεί στην ζήτηση, διότι ο χρόνος υστέρησης εξαρτάται από την συμφόρηση του συστήματος και δεν είναι ένας συγκεκριμένος σταθερός



αριθμός που μπορεί να προβλεφθεί με ακρίβεια [4,21,22]. Για την αντιμετώπιση του προβλήματος συνήθως ο χρόνος υστέρησης τίθεται αρκετά υψηλότερα από τον αναμενόμενο έτσι ώστε να αντιμετωπισθεί η μεταβλητότητα του συστήματος, αλλά αυτό έχει ως αποτέλεσμα την επιφόρτιση του συστήματος, μεγάλα αποθέματα, υπερβολικές εργασίες εν εξελίξει και τελικά αύξηση του κόστους λειτουργίας.

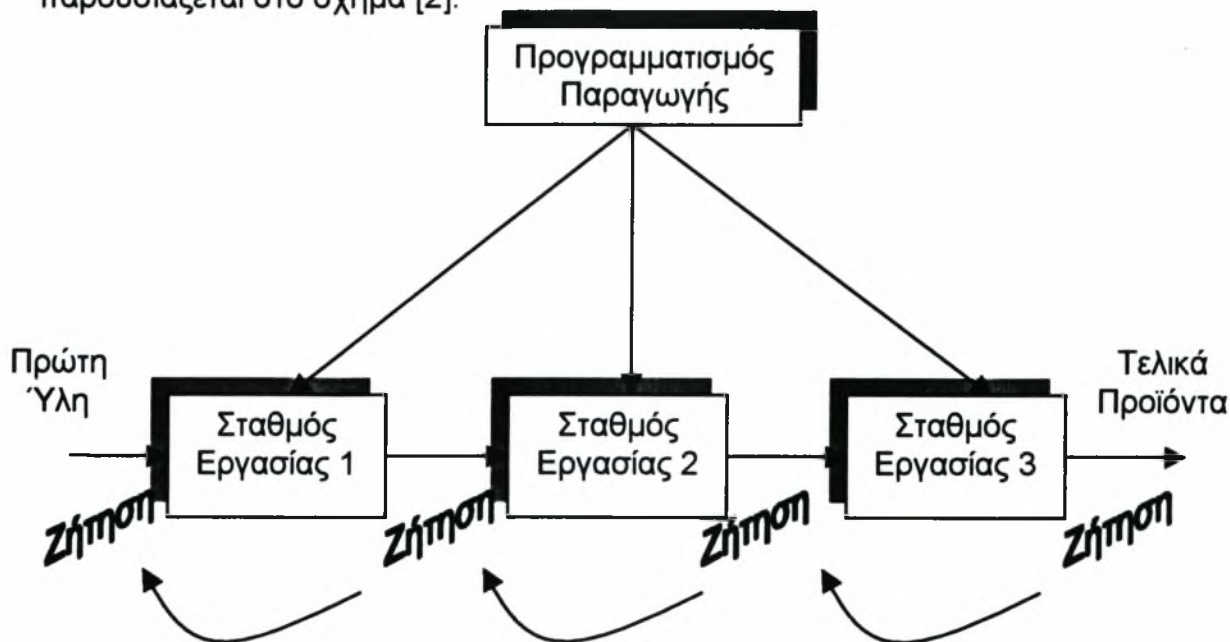
Άλλα προβλήματα εστιάζονται κυρίως στην πολυπλοκότητα του υπολογιστικού συστήματος (MRP), στην εκπαίδευση των χειριστών και φυσικά στο υψηλό κόστος εγκατάστασης και εκμάθησης του.



**Σχήμα 1 - Η αρχή λειτουργίας του MRP [25].**

## 1.4. Ελκυόμενα Συστήματα Ελέγχου Παραγωγής - Pull

Στον αντίποδα των ωθούμενων συστημάτων βρίσκονται τα ελκυόμενα συστήματα. Η αρχή λειτουργίας των ελκυόμενων συστημάτων, χαρακτηριστικός εκπρόσωπος των οποίων είναι τα συστήματα Kanban, παρουσιάζεται στο σχήμα [2].



Σχήμα 2 - Η αρχή λειτουργίας του Kanban [25].

### 1.4.1. Συστήματα KANBAN

Τα ελκυόμενα συστήματα Kanban λειτουργούν ακριβώς αντίθετα από ότι τα ωθούμενα MRP. Η ζήτηση έλκει την παραγωγή τελικών προϊόντων. Έμφαση δίνεται κάθε φορά στο επόμενο στάδιο της παραγωγικής διαδικασίας και στις απαιτήσεις του συγκεκριμένου σταδίου. Έτσι κάθε φορά παράγεται ακριβώς η ποσότητα που ζητείται, χωρίς να διατηρείται απόθεμα (ή όσο το δυνατόν ελάχιστο). Οι πληροφορίες για τον προγραμματισμό της παραγωγής παρέχονται από τις κάρτες Kanban, οι οποίες ελέγχουν την ροή των υλικών κατά την παραγωγική διαδικασία.

Φυσικά όπως όλα τα συστήματα, έτσι και τα συστήματα Kanban έχουν ορισμένα πλεονεκτήματα και περιορισμούς. Η εφαρμογή του Kanban περιορίζεται σε ορισμένα παραγωγικά συστήματα και αυτό γιατί είναι ευαίσθητα στη μεταβλητότητα που έχει η φύση της παραγωγικής διαδικασίας. Για να εφαρμοστεί το Kanban θα πρέπει να επικρατεί μια σταθερή κατάσταση και όλα να ρέουν ομαλά, κάτι που δεν ισχύει στην πλειοψηφία των



Η φιλοσοφία του συστήματος Kanban είναι ότι μια ζήτηση μεταφέρεται στα ανάντη ενός σταδίου, μόνο όταν ένα εξάρτημα μεταφερθεί στα κατάντη του σταδίου.

Κανένα εξάρτημα ή πρώτη ύλη δεν επιτρέπεται να εισέλθει σε μια γραμμή ή σε ένα κελί παραγωγής για να ξεκινήσει η επεξεργασία του, εφόσον δεν υπάρχει διαθέσιμη κάρτα η οποία θα προσκολληθεί πάνω του και θα το ακολουθεί μέχρι και το τελευταίο στάδιο επεξεργασίας του. Όταν πλέον τελειώσει η επεξεργασία του προϊόντος και τοποθετηθεί στην αποθήκη (είτε όταν εξέρχεται της γραμμής παραγωγής), η κάρτα Kanban, αποκολλάται και επιστρέφει πίσω στην αρχή της γραμμής έτσι ώστε να είναι διαθέσιμη για την εξουσιοδότηση παραγωγής ενός νέου προϊόντος.

Με αυτόν τον απλό τρόπο ελέγχεται ανά πάσα χρονική στιγμή αυστηρά ο αριθμός των εργασιών που βρίσκονται σε εξέλιξη (WIP), ο οποίος ισούται με τον αριθμό των καρτών K και έτσι αποφορτίζεται το σύστημα μας από υπερβολικό αριθμό προϊόντων τα οποία καταλαμβάνουν χώρο και κοστίζουν, διότι στην ουσία είναι δεσμευμένο κεφάλαιο σε απόθεμα (πρώτη ύλη).

Οι πληροφορίες που παρέχει μια κάρτα Kanban είναι οι εξής [23]:

1. Ο αριθμός του τεμαχίου.
2. Το όνομα του τεμαχίου.
3. Το μέγεθος της παρτίδας.
4. Φασεολόγιο.
5. Τοποθεσία και όνομα επόμενης και προηγούμενης φάσης επεξεργασίας.
6. Τύπος, χωρητικότητα και αριθμός διαθέσιμων δοχείων αποθήκευσης (containers).
7. Απαίτηση υλικών και τεμαχίων για το επόμενο και προηγούμενο στάδιο.

Παρακάτω δίνεται ένα χαρακτηριστικό παράδειγμα μιας κάρτας Kanban και των πληροφοριών που παρέχει [23]

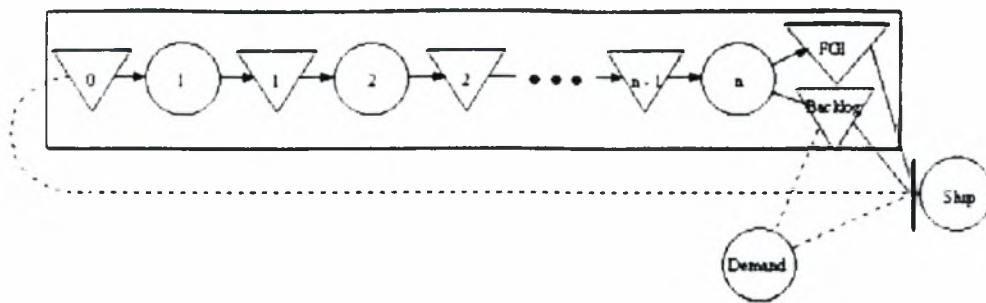
EXAMPLE OF KANBAN CARDS FRONT	
<b>KANBAN INVENTORY CARD 01-084</b>	
ITEM	10"x5 Micron Cuno Filter
WHEN TO ORDER	Reorder When Beginning to use this box
HOW TO ORDER	Electronically
COST PER UNIT	\$12.76 Per Filter
BACK	
<b>KANBAN INVENTORY CARD 01-084</b>	
ORDER FROM	ABC Co.
BY COMPUTER	WWW.xxxx.com
OUR ACCOUNT #	
BAR CODE	1234
PURCHASE ORDER#	
AMOUNT TO ORDER	LQ 62981
EXPECTED COST	1 Box Of 30
DROP OFF PLACE	\$382.80 Blue Bench

Πίνακας 2 – Οι πληροφορίες που παρέχει μια κάρτα Kanban [23].

### 1.4.3. Συστήματα CONWIP

Μια γνωστή παραλλαγή του Kanban, είναι το σύστημα Conwip. Σε ένα σύστημα Conwip μόλις ένα τελικό προϊόν εξέλθει από την γραμμή για να παραδοθεί στον πελάτη, ένα νέο εξάρτημα εισέρχεται για επεξεργασία. Έτσι διασφαλίζεται ότι ανά πάσα χρονική στιγμή ο αριθμός των εργασιών σε εξέλιξη θα είναι σταθερός (CONstant Work In Progress) [4], [23]. Το σύστημα Conwip είναι ισοδύναμο με το σύστημα Kanban ενός σταδίου [4].

Σύμφωνα με το σχήμα 4, η ζήτηση εκπέμπεται στην αρχή του σταδίου, και όχι ενδιάμεσα μόνο όταν εξυπηρετηθεί μια ζήτηση και προχωρήσει ένα τελικό προϊόν προς παράδοση. Το γεγονός αυτό έχει νόημα μόνο όταν επιτρέπεται η καθυστέρηση των παραγγελιών (backlogging). Στην αντίθετη περίπτωση το Conwip είναι ισοδύναμο με το σύστημα Βασικού Αποθέματος (Basestock) το οποίο αναλύεται παρακάτω στην παρ. 1.4.4.



Σχήμα 4 – Το σύστημα Conwip [25].

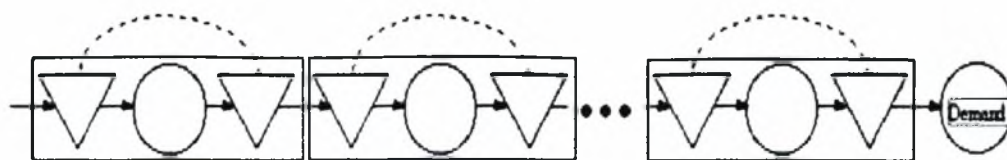
Οι διαφορές του Conwip από το Kanban είναι οι εξής [24]:

- Στο Conwip επιτρέπεται η χρησιμοποίηση ενός αρχείου ανεκτέλεστων παραγγελιών (backlog), έτσι ώστε να είναι γνωστή η σειρά εκτέλεσής τους.
- Οι κάρτες σχετίζονται με όλα τα τεμάχια που βρίσκονται στην γραμμή παραγωγής και όχι με ένα συγκεκριμένο αριθμό τεμαχίων όπως συμβαίνει στο Kanban.
- Οι εργασίες ωθούνται μεταξύ των σταθμών εργασίας όταν λάβουν την εξουσιοδότηση από την αρχή της γραμμής, ενώ στο Kanban έλκονται από το τέλος μόλις φτάσει μια ζήτηση.

Έτσι διατηρείται σταθερός ο αριθμός των εργασιών σε εξέλιξη. Η μεταβλητή ελέγχου είναι ο αριθμός των Kanban.

Το Conwip εμφανίζεται πιο γενικό και πιο εύχρηστο από το Kanban διότι για μια γραμμή που παράγει διαφορετικούς τύπους προϊόντων δεν χρειάζεται να διατηρούνται και διαφορετικά κιβώτια με ξεχωριστές κάρτες για κάθε τύπο προϊόντος.

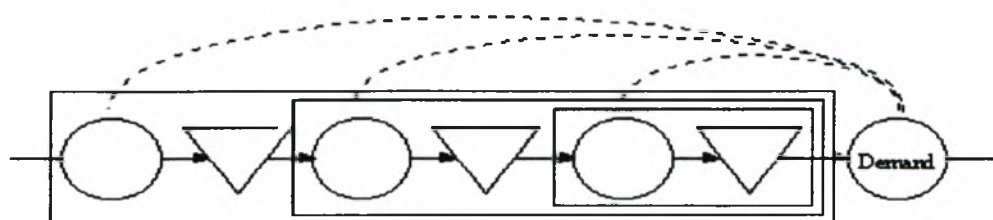
Ένα ακόμη παρόμοιο σύστημα είναι το **Minimal Blocking** [4]. Το Minimal Blocking, σχήμα 5, είναι παρόμοιο με το Kanban για μια γραμμή παραγωγής που έχει μια μηχανή επεξεργασίας ανά στάδιο. Είναι ένας μηχανισμός μπλοκαρίσματος που εφαρμόζεται σε μια γραμμή παραγωγής που αποτελείται από μηχανές σε σειρά και κάθε μηχανή έχει ένα χώρο αποθήκευσης εισερχομένων / εξερχομένων. Κάθε εξάρτημα μπορεί να εισέλθει σε αυτούς τους χώρους μόνο εάν υπάρχει ελεύθερος χώρος, αλλιώς μπλοκάρεται στην ουρά (buffer).



Σχήμα 5 - Το σύστημα Minimal Blocking [25].

#### 1.4.4. Συστήματα BASESTOCK

Το απλούστερο ελκόμενο σύστημα ελέγχου της παραγωγής είναι το σύστημα Βασικού Αποθέματος, ή Basestock [12]. Στο σύστημα Basestock, σχήμα 6, η μόνη παράμετρος ελέγχου κάθε σταδίου παραγωγής είναι το βασικό απόθεμα,  $S$ . Η φιλοσοφία του συστήματος είναι η εξής: όταν μια ζήτηση για παράδοση τελικού προϊόντος φτάσει στο σύστημα, αυτή εκπέμπεται αμέσως σε κάθε στάδιο της παραγωγής ζητώντας έτσι την παραγωγή / μεταφορά ενός εξαρτήματος από το προηγούμενο στο επόμενο στάδιο. Το πλεονέκτημα αυτού του μηχανισμού είναι ότι αντιδρά γρήγορα στην ζήτηση, αλλά μειονεκτεί στον έλεγχο των εργασιών που βρίσκονται σε εξέλιξη διότι όταν φτάνει μια ζήτηση αυτή εισέρχεται αμέσως στη γραμμή παραγωγής χωρίς να χρειαστεί να λάβει εξουσιοδότηση. Συγκεκριμένα το σύστημα Basestock είναι ένα σύστημα με άπειρες εξουσιοδοτήσεις παραγωγής ανά στάδιο αλλά δεν εξασφαλίζει κανένα όριο στον αριθμό των εξαρτημάτων που εισέρχονται στο σύστημα.



Σχήμα 6 - Το σύστημα Basestock [25].

#### 1.4.5. Συστήματα Generalized Kanban

Το *Generalized Kanban* [21] περιλαμβάνει τα basestock και το απλό kanban, ως ειδικές περιπτώσεις. Είναι σαφώς πιο ευέλικτο και παρέχει αυστηρότερο έλεγχο τόσο στις εργασίες σε εξέλιξη (WIP) όσο και στην ταχύτητα ανταπόκρισης στη ζήτηση, καθώς εξαρτάται από δυο παραμέτρους

ανά στάδιο, τα K και S. Το σύστημα *Generalized Kanban* πραγματεύεται η παρούσα εργασία, όπου η λειτουργία του αναλύεται διεξοδικά στο κεφάλαιο 2.

#### **1.4.6. Συστήματα *Extended Kanban***

Το σύστημα *Extended Kanban* [2] είναι παρόμοιο με το *Generalized Kanban* ενός σταδίου. Η διαφορά σε περισσότερα από ένα στάδια έγκειται στο σημείο από όπου επιστρέφει η κάρτα Kanban στην αρχή της γραμμής παραγωγής. Στο *Extended Kanban* η κάρτα Kanban αποκολλάται από το προϊόν όταν αυτό φτάσει στην αποθήκη τελικών προϊόντων, ενώ στο *Generalized Kanban* αυτό πραγματοποιείται όταν το τελικό προϊόν εξέλθει από την γραμμή παραγωγής.

### **1.5. Εκτίμηση Απόδοσης**

Ο στόχος των παραπάνω πολιτικών ελέγχου παραγωγής που αναλύθηκαν είναι ο προσδιορισμός – εκτίμηση, της απόδοσης λειτουργίας ενός συστήματος.

Η απόδοση ενός συστήματος μεταφράζεται σε κόστος λειτουργίας. Το κόστος λειτουργίας ενός συστήματος παραγωγής αναλύεται στις εξής 2 παραμέτρους:

1. Κόστος διατήρησης αποθεμάτων (τελικών προϊόντων + ενδιάμεσων εν εξελίξει), και
2. Κόστος έλλειψης αποθεμάτων, με περιορισμό στο επίπεδο εξυπηρέτησης της ζήτησης.

Είναι εύκολα αντιληπτό ότι τα δυο αυτά κόστη είναι αντικρουόμενα μεταξύ τους, διότι η ύπαρξη μεγάλων αποθεμάτων συνεπάγεται και γρήγορη ανταπόκριση στην ζήτηση – άρα υψηλό επίπεδο εξυπηρέτησης – και αντίστροφα. Συνεπώς η ελαχιστοποίηση της μιας παραμέτρου αυξάνει την άλλη με αποτέλεσμα το πρόβλημα να γίνεται ιδιαίτερα σύνθετο και πολύπλοκο.

Για την επίλυση του παραπάνω προβλήματος βελτιστοποίησης, έχουν προταθεί από την διεθνή βιβλιογραφία οι εξής λύσεις:

1. Αναλυτικές μέθοδοι (προσεγγιστικές λύσεις βασισμένες στην θεωρία ουρών αναμονής και στην αποσύνθεση του μοντέλου, κτλ.)



2. Αριθμητικές μέθοδοι (δυναμικός προγραμματισμός, κτλ.)
3. Υπολογιστικά μοντέλα (προσομοίωση, κτλ.)

Παρακάτω παρουσιάζονται συνοπτικά ορισμένες μελέτες οι οποίες χρησιμοποιούν αναλυτικές και αριθμητικές μεθόδους για την προσέγγιση του προβλήματος.

Στην [7] ο Dallery παρουσιάζει μια προσεγγιστική ανάλυση για ένα γενικευμένο ανοιχτό δίκτυο ουρών με περιορισμένη χωρητικότητα. Τα μοντέλα δικτύων ουρών (queuing networks) εμφανίζονται χρήσιμα για την εκτίμηση της απόδοσης διαφόρων διακριτών συστημάτων, όπως ένα δίκτυο υπολογιστών, ένα ευέλικτο σύστημα παραγωγής (FMS), κτλ. Μια πρόσφατη εργασία του Jackson (η οποία αναφέρεται στην [7]), έδειξε ότι για ένα ανοιχτό δίκτυο ουρών όπου οι αφίξεις των ζητήσεων ακολουθούν την κατανομή Poisson, η σειρά εξυπηρέτησης είναι FIFO (First-In-First-Out) με εκθετική κατανομή, το πρόβλημα μπορεί να λυθεί με μια *product – form solution*. Κάθε σταθμός εργασίας θεωρείται ως μια ουρά M/M/1 και αναλύεται ξεχωριστά από τους υπόλοιπους. Η μέθοδος *product – form solution*, ισχύει επίσης και για κλειστά δίκτυα ουρών.

Για ανοιχτά δίκτυα ουρών η βασική αρχή των προσεγγιστικών λύσεων είναι η αποσύνθεση των ουρών σε μια ομάδα GI/GI/1 ουρών, οι οποίες εξετάζονται κάθε μια ξεχωριστά. Για κλειστά δίκτυα ουρών οι προσεγγιστικές μέθοδοι βασίζονται σε λύσεις τύπου γινομένου (*product – form solution*).

Μια άλλη λύση είναι η τεχνική της συγκέντρωσης ή του συνολικού αθροίσματος (aggregate), η οποία είναι παρόμοια με αυτή της αποσύνθεσης (decomposition) και της αρχής της ισοδυναμίας (equivalence). Τέλος στην [7] χρησιμοποιείται ένας αλγόριθμος για τον υπολογισμό των ιδιοτήτων του συστήματος.

Στην [12] οι Rubio και Wein χρησιμοποιούν λύσεις τύπου γινομένου (*product – form solution*), για δίκτυα τύπου Jackson, όπου επιχειρείται ο καθορισμός του επιπέδου του Basestock (S).

Στην [1] οι Dallery και Λυμπερόπουλος προτείνουν επίσης έναν αλγόριθμο για τον υπολογισμό του αριθμού των kanban (K) και του βασικού αποθέματος Basestock (S), σε ένα σύστημα GKCS ενός σταδίου. Επίσης στην [2] προτείνεται ένας μηχανισμός για τον συντονισμό πολλών σταδίων

παραγωγής μεταξύ τους. Πρόκειται για το Extended Kanban Control System (EKCS), για το οποίο παρουσιάζονται οι ιδιότητες του ενώ παράλληλα επιχειρείται η σύγκριση με το GKCS.

Μια παρόμοια εργασία παρουσιάζεται από τους Karaesmen και Dallery στην [3], όπου συγκρίνονται διάφορα ελκυσόμενα συστήματα και εξάγεται ένας αλγόριθμος για τον υπολογισμό των μεταβλητών  $K$  και  $S$  για την απόδοση των συστημάτων (Basestock, Kanban, GKCS, EKCS) για περισσότερα από ένα στάδια.

Στην [6] οι Karaesmen, Buzacott και Dallery εισάγουν την έννοια της *έγκαιρης προειδοποίησης της ζήτησης (advanced information)*, στα ελκυσόμενα συστήματα. Στην ουσία η έγκαιρη προειδοποίηση της ζήτησης, είναι η πληροφορία που εισάγεται στα συστήματα MRP (Push), με στόχο τον *προγραμματισμό* (και όχι την εξουσιοδότηση-Pull) ενάρξεως των εργασιών.

Έτσι επιχειρείται η *ολοκλήρωση* των δυο διαφορετικών πολιτικών pull και push σε ένα ενιαίο πλαίσιο.

Στην [15] οι Buzacott και Shanthikumar συγκρίνουν το *απόθεμα ασφαλείας (safety stock)* με το *χρόνο ασφαλείας (safety time)* που χρησιμοποιούνται στα συστήματα MRP. Βασικό συμπέρασμα από την όλη μελέτη είναι ο χρόνος ασφαλείας είναι προτιμότερος από το απόθεμα ασφαλείας, *μόνο* όταν η πρόβλεψη της ζήτησης μπορεί να πραγματοποιηθεί με ακρίβεια και ο *χρόνος υστέρησης (lead time)* είναι ρεαλιστικός.

Τέλος στις [19] και [20], οι Θανόπουλος και Δώριζας παρουσιάζουν αφενός μια βελτιστοποίηση σε ένα σύστημα GKCS ενός σταδίου και μιας μηχανής και αφετέρου μια βελτιστοποίηση σε ένα Basestock σύστημα ενός σταδίου – τεσσάρων μηχανών υπό την παρουσία της έγκαιρης προειδοποίησης της ζήτησης, εργασίες οι οποίες αποτέλεσαν την βάση για την πραγματοποίηση της παρούσας.

Έτσι στην παρούσα εργασία επιχειρείται ο προσδιορισμός των ιδιοτήτων ( $K, S, L$ ) ενός GKCS συστήματος υπό την παρουσία της έγκαιρης προειδοποίησης της ζήτησης, θέτοντας σε ένα ενιαίο πλαίσιο τις δυο πολιτικές push και pull, χρησιμοποιώντας την μέθοδο της προσομοίωσης.

## **ΚΕΦΑΛΑΙΟ: 2**

---

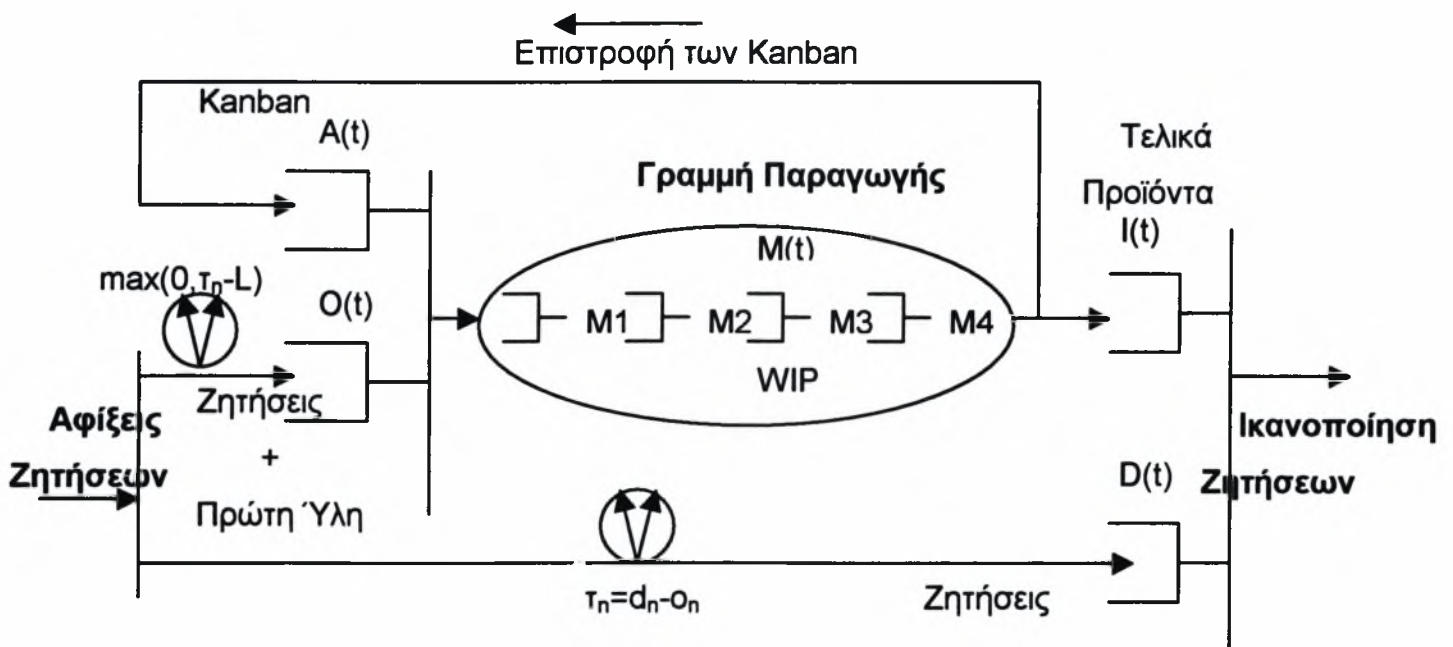
### **Περιγραφή της Πολιτικής Ελέγχου**

---

## 2.1. Γενικευμένο Σύστημα Ελέγχου Παραγωγής / Αποθεμάτων Kanban ενός σταδίου με έγκαιρη προειδοποίηση της ζήτησης (GKCS-AdvInf).

### 2.1.1. Περιγραφή του συστήματος

Το σύστημα ελέγχου παραγωγής / αποθεμάτων Generalized Kanban Control System – Advanced Information (GKCS-AdvInf) ενός σταδίου με τέσσερις μηχανές στη σειρά με ενδιάμεσους αποθηκευτικούς χώρους και με προειδοποίηση της ζήτησης, παρουσιάζεται στο σχήμα 1.



Σχήμα 7 - Σχηματική απεικόνιση του συστήματος GKCS-AdvInf, ενός σταδίου.

Ο συμβολισμός των επιμέρους τμημάτων του συστήματος που ακολουθείται είναι ο εξής:

- **$O(t)$** : Η ουρά αναμονής των ζητήσεων για την παραγωγή νέων προϊόντων στο χρόνο  $t$ .
- **$A(t)$** : Η ουρά αναμονής των διαθέσιμων καρτών Kanban (αδειών εξουσιοδότησης της παραγωγής) στο χρόνο  $t$ .
- **$I(t)$** : Η ουρά αναμονής του διαθέσιμου αποθέματος (τελικών προϊόντων) στο χρόνο  $t$ .
- **$D(t)$** : Η ουρά αναμονής των ανικανοποίητων ζητήσεων για τελικά προϊόντα στο χρόνο  $t$ .
- **$M(t)$** : Οι εργασίες σε εξέλιξη στους σταθμούς επεξεργασίας  $M_i$ , Work-In-Progress (WIP) στο χρόνο  $t$ .
- **$M_i$** : Οι σταθμοί επεξεργασίας.
- **$L$** : Ο χρόνος υστέρησης στους σταθμούς επεξεργασίας (lead time) – παράμετρος του συστήματος.
- **$o_n$** : Ο χρόνος άφιξης της νιοστής ζήτησης στο σύστημα ( $t_{now}$ )
- **$d_n$** : Ο ζητούμενος χρόνος ικανοποίησης της νιοστής ζήτησης (due date), ή η ημερομηνία παράδοσης.
- **$\tau_n$** : Ο χρόνος προειδοποίησης της νιοστής ζήτησης (advanced information). Ισχύει:  $\tau_n = d_n - o_n$
- **$\lambda$** : Ο μέσος ρυθμός άφιξης της ζήτησης (τμχ/ χρ. μον.)
- **$\mu$** : Ο μέσος ρυθμός επεξεργασίας των μηχανών. (τμχ/ χρ. μον.)

### 2.1.2. Αρχικές Συνθήκες

Αρχικά, πριν εισέλθει η πρώτη ζήτηση στο σύστημα υπάρχει ένα ορισμένο βασικό απόθεμα ( $S$ ) ετοιμών προϊόντων στην ουρά  $I(t)$ , όπως επίσης και ένας ορισμένος αριθμός καρτών Kanban ( $K$ ) στην ουρά  $A(t)$ . Οι ουρές  $D(t)$ ,  $O(t)$  είναι άδειες, όπως επίσης και η γραμμή παραγωγής  $M(t)$ .

### 2.1.3. Παραδοχές

1. Η παροχή των πρώτων υλών θεωρείται συνεχής και απεριόριστη, όποτε ζητείται.
2. Οι ζητήσεις για τελικά προϊόντα καταφθάνουν μια-μια (για ένα προϊόν κάθε μια φορά) και τυχαία.
3. Δεν υπάρχει κόστος και χρόνος προετοιμασίας των μηχανών, όπως επίσης δεν υπάρχει και περιορισμός στον αριθμό των παραγγελιών που μπορούν να ικανοποιηθούν κάθε φορά. Αυτό σημαίνει ότι δεν χρειάζεται να ομαδοποιηθούν (batch) οι ζητήσεις για να ξεκινήσει η παραγωγή.
4. Δεν λαμβάνονται υπόψη βλάβες των μηχανών.
5. Το επίπεδο του αποθέματος μπορεί να αναπληρωθεί ανά πάσα στιγμή από την παραγωγή.
6. Ο χρόνος προειδοποίησης της ζήτησης θεωρείται σταθερός (καθοριστικός).
7. Ο μέσος ρυθμός άφιξης της ζήτησης έχει μια συγκεκριμένη τιμή τέτοια ώστε υπάρχει ένας πεπερασμένος ελάχιστος αριθμός καρτών Kanban  $K$ , για τον οποίο ικανοποιείται η ζήτηση.

Οι παραπάνω παραδοχές υποδεικνύουν ότι η πολιτική που θα έπρεπε να ακολουθείται για την διαχείριση του αποθέματος θα έπρεπε να εμπλέκει την συνεχή επανεξέταση του και την μοναδιαία αναπλήρωση του από την παραγωγή (μια μονάδα κάθε φορά).

### 2.1.4. Λειτουργία του συστήματος

Η παραγωγή προκαλείται (ελκύεται) από την άφιξη μιας ζήτησης στο σύστημα. Όταν δεν υπάρχει προειδοποίηση της ζήτησης, τότε μια ζήτηση που καταφθάνει στο σύστημα εισέρχεται ταυτόχρονα στις ουρές  $D(t)$  και  $O(t)$ , όπου στην μεν πρώτη απαιτεί ένα τελικό προϊόν, στη δε δεύτερη προκαλεί (ελκύει) την παραγωγή ενός νέου προϊόντος. Το σύστημα αποτελείται από δυο *σταθμούς συγχρονισμού*. Ο πρώτος σταθμός συγχρονισμού περιλαμβάνει τις ουρές  $I(t)$  και  $D(t)$ , ενώ ο δεύτερος τις ουρές  $O(t)$  και  $A(t)$ . Οι σταθμοί συγχρονισμού λειτουργούν ως εξής:

Όταν μια ζήτηση φτάσει στην ουρά  $D(t)$  και εκείνη την στιγμή υπάρχει ένα έτοιμο προϊόν στην ουρά  $I(t)$ , τότε αυτό παραδίδεται αμέσως στον πελάτη και η ζήτηση στην ουρά  $D(t)$  ικανοποιείται. Αν, αντίθετα την στιγμή που εισέλθει η ζήτηση στην ουρά  $D(t)$ , δεν υπάρχει έτοιμο προϊόν στην ουρά  $I(t)$ , τότε η ζήτηση παραμένει στην ουρά  $D(t)$  ως ανικανοποίητη και περιμένει την παραγωγή ενός νέου προϊόντος.

Ο δεύτερος σταθμός συγχρονισμού λειτουργεί παρόμοια. Όταν φτάσει μια ζήτηση για την κατασκευή ενός νέου προϊόντος στην ουρά  $O(t)$  και εκείνη την στιγμή υπάρχει έστω και μια διαθέσιμη (ελεύθερη) κάρτα Kanban στην ουρά  $A(t)$ , τότε η κάρτα προσκολλάται πάνω στην πρώτη ύλη (που σύμφωνα με τις παραδοχές είναι απεριόριστη) εξουσιοδοτώντας την είσοδο στη γραμμή παραγωγής και συγκεκριμένα στον πρώτο σταθμό επεξεργασίας (ή στην ουρά του σταθμού εφόσον αυτός είναι απασχολημένος).

Όταν τελειώσει η επεξεργασία της πρώτης ύλης και από την τελευταία μηχανή, τότε το έτοιμο προϊόν εισέρχεται στην ουρά  $I(t)$ , ενώ η κάρτα Kanban αποκολλάται πλέον από το προϊόν και επιστρέφει πίσω στην ουρά  $A(t)$  για να δηλωθεί και πάλι ως ελεύθερη και να εξουσιοδοτήσει την έναρξη παραγωγής ενός νέου προϊόντος. Αν, αντίθετα την στιγμή που εισέλθει η ζήτηση στην ουρά  $O(t)$  δεν υπάρχει διαθέσιμη κάρτα kanban στην ουρά  $A(t)$ , δηλαδή η ουρά  $A(t)$  είναι άδεια, τότε η ζήτηση αναμένει την επιστροφή ενός ελεύθερου kanban για να ικανοποιηθεί.

Ο αριθμός των καρτών kanban  $K$  και το βασικό απόθεμα  $S$ , είναι παράμετροι της πολιτικής ελέγχου του συστήματος που πρέπει να σχεδιαστούν.

Στην περίπτωση που υπάρχει προειδοποίηση της ζήτησης (Advance Information), κάθε ζήτηση για ένα τελικό προϊόν που καταφθάνει στο σύστημα έχει και μια συγκεκριμένη ημερομηνία παράδοσης. Η ζήτηση ικανοποιείται από το απόθεμα των τελικών προϊόντων στην ημερομηνία παράδοσης της, ή τίθεται σε αναμονή εφόσον δεν υπάρχουν τελικά προϊόντα. Κάθε ζήτηση που καταφθάνει στο σύστημα προκαλεί την έναρξη της παραγωγής ενός νέου προϊόντος το οποίο θα αναπληρώσει το απόθεμα.

Πιο συγκεκριμένα, την χρονική στιγμή  $o_n$  καταφθάνει η νιοστή ζήτηση στο σύστημα και έχει μια ημερομηνία παράδοσης  $d_n$ . Η διαφορά  $\tau_n = d_n - o_n$  ονομάζεται *χρόνος προειδοποίησης της νιοστής ζήτησης*, και θεωρείται καθοριστικός (αν και μπορεί να είναι και στοχαστικός).

Η νιοστή ζήτηση που φθάνει στο σύστημα εισέρχεται στην ουρά  $D(t)$  όχι αμέσως αλλά, με καθυστέρηση ίση με τον χρόνο προειδοποίησης. Η εντολή έναρξης της παραγωγής στέλνεται στην αρχή της γραμμής παραγωγής με καθυστέρηση ίση με την διαφορά  $\tau_n - L$ , όπου  $L$  είναι ο χρόνος υστέρησης των μηχανών (συστήματα MRP), αν αυτή είναι θετική, ή με μηδέν (δηλαδή αμέσως) αν αυτή η διαφορά είναι αρνητική (καθυστερημένη παραγγελία). Συγκεκριμένα η διαφορά αυτή ισούται με:

**$\max(0, \tau_n - L)$ .** Και οι δυο τύποι καθυστερήσεων φαίνονται στο σχήμα 1 υπό την μορφή ρολογιού.

*Έτσι τώρα προστίθεται μια ακόμη παράμετρος ελέγχου και σχεδιασμού του συστήματος στις άλλες δυο  $(K, S)$ , ο χρόνος υστέρησης  $L$ .*

Στο σημείο αυτό θεωρείται σκόπιμο να αναφερθούν και ορισμένες σχέσεις που ισχύουν, για την απόδειξη των οποίων ο αναγνώστης μπορεί να ανατρέξει στο [5].

Για την χρονική στιγμή  $t \geq 0$  ισχύουν οι παρακάτω σχέσεις:

$$N(t) = M(t) + O(t) \tag{1}$$

$$M(t) + A(t) = K \tag{2}$$

$$A(t) * O(t) = 0 \tag{3}$$

$$I(t) * D(t) = 0 \tag{4}$$

$$I(t) - D(t) + N(t) = S \tag{5}$$

όπου:  $K$ = ο αριθμός των καρτών Kanban, ή κάρτες εξουσιοδότησης έναρξης της παραγωγής, και

$S$  = το βασικό απόθεμα (base stock)



Η σχέση (1) ορίζει ανά πάσα χρονική στιγμή, το άθροισμα των εργασιών σε εξέλιξη (WIP) στους σταθμούς επεξεργασίας και των ζητήσεων σε αναμονή για παραγωγή νέων προϊόντων στην ουρά  $O(t)$ , ως μια νέα μεταβλητή, τις *ανεκπλήρωτες παραγγελίες*  $N(t)$ .

Η σχέση (2) δείχνει ότι ο αριθμός των εργασιών σε εξέλιξη,  $M(t)$  και ο αριθμός των ελεύθερων καρτών Kanban στην ουρά  $A(t)$  είναι σταθερός και ίσος με  $K$ .

Η σχέση (3) δείχνει ότι ανά πάσα χρονική στιγμή μια εκ των 2 ουρών  $A(t)$  και  $O(t)$  είναι άδεια. Το ίδιο ισχύει και για τις ουρές  $D(t)$  και  $I(t)$ , στην σχέση (4).

Η σχέση (5) δείχνει ότι ο αριθμός των τελειωμένων προϊόντων, συν τον αριθμό των ανεκπλήρωτων παραγγελιών, μείον τον αριθμό των ανικανοποίητων ζητήσεων σε αναμονή, είναι σταθερός και ίσος με το βασικό απόθεμα,  $S$ .

Μπορεί να δειχτεί ότι η *παραγωγική ικανότητα* ή η *μέγιστη παροχή* του συστήματος ( $TH$ ) εξαρτάται μόνο από το  $K$  και όχι από το  $S$  [6]. Έτσι αν ο ρυθμός άφιξης της ζήτησης ακολουθεί εκθετική κατανομή με μέση τιμή  $\lambda$ , και ο ρυθμός επεξεργασίας των  $m$  μηχανών ακολουθεί εκθετική κατανομή με μέση τιμή  $\mu$ , τότε η *μέγιστη παροχή* του συστήματος δίνεται από την σχέση [6]:

$$TH = \mu / [1+(m-1 / K)] \quad (6)$$

Θεωρείται ότι ο μέσος ρυθμός άφιξης της ζήτησης έχει μια τιμή τέτοια ώστε υπάρχει ένας ελάχιστος πεπερασμένος αριθμός καρτών Kanban  $K$ ,  $K_{min}$  για τον οποίον ικανοποιείται η ζήτηση, δηλαδή:

$$TH_K \geq \lambda, \text{ για } K \geq K_{min}$$

## 2.2. Ειδικές περιπτώσεις του Generalized Kanban

Το σύστημα Generalized Kanban περιλαμβάνει ως ειδικές περιπτώσεις τα συστήματα Basestock και απλό Kanban. Έτσι συνδυάζει τα χαρακτηριστικά και των δυο συστημάτων με αποτέλεσμα να εμφανίζεται ως πληρέστερο και πιο ακριβές στον συντονισμό και έλεγχο των διαφόρων σταδίων παραγωγής μεταξύ τους.

Όπως προαναφέρθηκε, οι παράμετροι σχεδιασμού και ελέγχου στο Generalized Kanban είναι τα  $K$  και  $S$ . Αντίθετα στο απλό σύστημα Kanban υπάρχει μόνο μια παράμετρος ο αριθμός Kanban ο οποίος καθορίζει ταυτόχρονα και το βασικό απόθεμα αλλά και τον αριθμό των εργασιών σε εξέλιξη. Στην άλλη περίπτωση του Basestock η μοναδική παράμετρος είναι το  $S$ , που καθορίζει το βασικό απόθεμα αλλά δεν ελέγχει σε καμία περίπτωση τον αριθμό των εργασιών σε εξέλιξη.

- **Περίπτωση Α: Απλό Kanban. [1]**

Όταν ισχύει  $K = S$ , τότε δίνεται εντολή για παραγωγή ενός νέου προϊόντος, μόνο όταν υπάρχουν ένα ή περισσότερα τελικά προϊόντα στο απόθεμα την στιγμή που καταφθάνει μια ζήτηση. Αυτό σημαίνει ότι μια εντολή για παραγωγή ενός νέου προϊόντος εκλύεται τότε και μόνο τότε όταν καταναλωθεί ένα έτοιμο προϊόν από την αποθήκη. Το παραπάνω σύστημα είναι ισοδύναμο με το σύστημα Kanban.

- **Περίπτωση Β: Basestock [1]**

Όταν ισχύει  $K = \infty$ , τότε καμία ζήτηση δεν περιμένει στην ουρά  $O(t)$  και όσες καταφθάνουν στο σύστημα εισέρχονται απευθείας στην γραμμή παραγωγής. Έτσι η σχέση (1) παίρνει την μορφή:  $N(t) = M(t)$ . Η πολιτική αυτή είναι ισοδύναμη με αυτήν του Basestock.

- **Περίπτωση Γ: Reserve stock Kanban [1]**

Όταν ισχύει  $K < S$ , τότε δίνεται εντολή για παραγωγή ενός νέου προϊόντος, μόνο όταν υπάρχουν περισσότερα από  $S - K$  προϊόντα στο απόθεμα την στιγμή που καταφθάνει μια ζήτηση. Η πολιτική αυτή είναι ισοδύναμη με αυτήν του Reserve stock Kanban.

- **Περίπτωση Δ: Extended Kanban [1]**

Όταν ισχύει  $K > S$ , τότε δίνεται εντολή για παραγωγή ενός νέου προϊόντος, μόνο όταν υπάρχουν λιγότερες από  $K - S$  ανεκπλήρωτες ζητήσεις την στιγμή που καταφθάνει μια ζήτηση. Η πολιτική αυτή είναι ισοδύναμη με αυτήν του Extended Kanban.

**ΚΕΦΑΛΑΙΟ: 3**

---

**Μοντελοποίηση του συστήματος GKCS  
- AdvInf**

---

### 3.1. Η έννοια της προσομοίωσης

Το σύστημα που εξετάζεται στη παρούσα εργασία και που περιγράφεται αναλυτικά στην παράγραφο 2.1, είναι αρκετά σύνθετο και πολύπλοκο για να επιλυθεί με αναλυτικές ή άλλες μεθόδους και για αυτόν το λόγο χρησιμοποιείται η μέθοδος της προσομοίωσης, τα πλεονεκτήματα και τα χαρακτηριστικά της οποίας παρουσιάζονται παρακάτω.

Ο όρος προσομοίωση αναφέρεται σε μια ευρεία συλλογή μεθόδων και εφαρμογών με σκοπό την μίμηση της συμπεριφοράς πραγματικών συστημάτων. Η προσομοίωση συνήθως πραγματοποιείται σε Η/Υ με την βοήθεια κατάλληλου λογισμικού. Η υπολογιστική προσομοίωση είναι μια μέθοδος εκτίμησης και υπολογισμού των ιδιοτήτων και χαρακτηριστικών διαφόρων πραγματικών συστημάτων. Ένας περισσότερο πρακτικός ορισμός της έννοιας της προσομοίωσης είναι ο εξής:

Προσομοίωση είναι η τεχνική εκείνη κατά την οποία δημιουργείται και σχεδιάζεται ένα υπολογιστικό μοντέλο ενός πραγματικού ή υποτιθέμενου συστήματος με σκοπό την εξαγωγή αριθμητικών αποτελεσμάτων όσον αφορά την λειτουργία και την συμπεριφορά του συστήματος υπό ορισμένες συνθήκες. Η προσομοίωση μπορεί να χρησιμοποιηθεί τόσο σε απλά μοντέλα αλλά η πραγματική του αξία αποδεικνύεται στην μελέτη πολυσύνθετων πραγματικών συστημάτων.

Η δυνατότητα προσέγγισης πραγματικών συστημάτων με πολύ μεγάλη ακρίβεια χωρίς παραδοχές και θεωρήσεις, όπως πολλές φορές απαιτείται να γίνει με άλλες μεθόδους (π.χ. αναλυτικές, γραμμικό προγραμματισμό, θεωρία αποθεμάτων, θεωρία ουρών αναμονής, κτλ.) καθιστά την προσομοίωση ένα ισχυρό εργαλείο στην περιοχή της επιχειρησιακής έρευνας.

Με τη ταχύτατη εξέλιξη των Η/Υ την τελευταία δεκαετία είναι προφανές ότι η προσομοίωση αποκτά ιδιαίτερη αξία ως εργαλείο στην επίλυση ποικίλων προβλημάτων. Στην πραγματικότητα η προσομοίωση είναι ένας πολύ γενικός όρος μιας και οι εφαρμογές της δεν περιορίζονται σε ένα συγκεκριμένο πεδίο (π.χ σε παραγωγικές βιομηχανικές μονάδες) αλλά επεκτείνονται ευρύτερα όπως φαίνεται και στα παρακάτω παραδείγματα [18].

Η προσομοίωση, όπως οι περισσότερες μέθοδοι ανάλυσης εμπεριέχουν συστήματα και μοντέλα. Με τον όρο *σύστημα* θεωρούμε μια εγκατάσταση η

μια διεργασία που είτε λειτουργεί είτε βρίσκεται στο στάδιο της μελέτης και του σχεδιασμού. Μερικά συστήματα στα οποία η τεχνική της προσομοίωσης βρίσκει μεγάλη απήχηση δίνονται παρακάτω:

- Μια βιομηχανική μονάδα η οποία αποτελείται από εργαζόμενους, μηχανές, αποθηκευτικούς χώρους, μεταφορικά μέσα, κτλ.
- Μια τράπεζα και γενικότερα μια επιχείρηση παροχής υπηρεσιών, με διαφορετικές κατηγορίες πελατών, υπαλλήλους, αυτόματα μηχανήματα ανάληψης (ATM), χρηματοκιβώτια, κτλ.
- Ένα δίκτυο διανομής προϊόντων, αποτελούμενο από εργοστάσια, αποθηκευτικούς χώρους, μεταφορικά μέσα, κτλ (π.χ. διυλιστήρια, εμπορικές επιχειρήσεις).
- Μια εγκατάσταση επείγουσων περιστατικών σε ένα νοσοκομείο, η οποία περιλαμβάνει το προσωπικό, τους ασθενείς, τον εξοπλισμό κτλ.
- Ένα δίκτυο Η/Υ το οποίο περιλαμβάνει τους εξυπηρετητές, τους πελάτες, τα περιφερειακά και τα μηχανικά μέρη, τους χρήστες, κτλ.
- Ένας αυτοκινητόδρομος με διασταυρώσεις, κόμβους, σήμανση, οχήματα, κτλ.
- Ένα ταχυεστιατόριο αποτελούμενο από το προσωπικό, τους πελάτες, τον εξοπλισμό, τους προμηθευτές, κτλ.
- Ένα σούπερ-μάρκετ στο οποίο τα κρίσιμα σημεία είναι ο έλεγχος του αποθέματος, η εξυπηρέτηση των πελατών κτλ.
- Η ανταπόκριση μιας ειδικής μονάδας αντιμετώπισης καταστροφών σε μια επείγουσα περίπτωση (σεισμός, πυρκαγιά, κτλ).

Η προσομοίωση αποτελεί ένα ισχυρότατο εργαλείο στον υπολογισμό της απόδοσης ενός συστήματος (όπως τα προαναφερθέντα), με απώτερο στόχο την βελτίωσή του, έτσι ώστε η συμπεριφορά του να είναι η επιθυμητή και σύμφωνα με τους στόχους και τις προδιαγραφές που έχουν τεθεί γι αυτό. Η προσομοίωση, όμως μπορεί να χρησιμοποιηθεί ακόμα και για συστήματα τα οποία δεν υφίστανται αλλά βρίσκονται στο στάδιο του σχεδιασμού. Έτσι δίνεται η δυνατότητα στον σχεδιαστή, να εξετάσει πολλές εναλλακτικές λύσεις και να επιλέξει την βέλτιστη, με ελάχιστο κόστος και μηδαμινές συνέπειες, όσον αφορά την λειτουργία και συμπεριφορά του συστήματος.

Σύμφωνα με τα παραπάνω, η προσομοίωση μπορεί να χρησιμοποιηθεί ως ένα πολύτιμο εργαλείο **λήψης αποφάσεων**.

Σε πολλές περιπτώσεις με την μέθοδο της προσομοίωσης, το ζητούμενο δεν είναι τόσο τα στατιστικά στοιχεία για την λειτουργία του συστήματος, που θα προκύψουν, αλλά το ίδιο το σύστημα. Έτσι σε πρώτο στάδιο όταν δημιουργείται ένα εντελώς νέο πρωτότυπο σύστημα το ενδιαφέρον εστιάζεται κυρίως στην ποιοτική λειτουργία και συμπεριφορά του παρά σε ποσοτικά αποτελέσματα. Εφόσον το μοντέλο δημιουργηθεί και ανταποκρίνεται στις προδιαγραφές, τότε μπορεί ο σχεδιαστής να προχωρήσει στο επόμενο βήμα που είναι ποσοτικές μετρήσεις (στατιστικά στοιχεία, κτλ.).

Σε πολλές περιπτώσεις είναι εξαιρετικά δύσκολο έως αδύνατο να εξετάσει ο αναλυτής διαφορετικά σενάρια του φυσικού συστήματος όπως π.χ. να δοκιμάσει εναλλακτικές λύσεις όσον αφορά την χωροταξική διάταξη ενός εργοστασίου, ή κάποιο νέο μηχάνημα σε μια τράπεζα, ή ένα αεροδρόμιο, διότι όπως είναι προφανές το κόστος είναι απαγορευτικό. Έτσι η λύση της προσομοίωσης με κάποιο υπολογιστικό μοντέλο αποτελεί μια πολύ καλή και ρεαλιστική προσέγγιση.

Όπως είναι φυσικό η μέθοδος της προσομοίωσης έχει και ορισμένα μειονεκτήματα. Έτσι τα αποτελέσματα δεν είναι πάντα ακριβή, όπως π.χ. θα μπορούσαν να είναι με μια αναλυτική λύση. Η ακρίβεια των αποτελεσμάτων εξαρτάται από το χρονικό διάστημα για το οποίο θα μελετηθεί το σύστημα. Όσο μεγαλύτερος είναι ο χρόνος προσομοίωσης, τόσο τα αποτελέσματα (δειγματικοί μέσοι όροι) συγκλίνουν προς τις πραγματικές τους τιμές (πραγματικοί μέσοι όροι). Συνεπώς η μέθοδος της προσομοίωσης είναι μια χρονοβόρα διαδικασία και ανάλογα με την ακρίβεια και την λεπτομέρεια που επιθυμείται, απαιτεί σημαντική υπολογιστική ισχύς, η οποία βέβαια στις μέρες μας διατίθεται ευρέως με όχι και ιδιαίτερα υψηλό κόστος.

Επίσης μεγάλη προσοχή απαιτείται όταν εξετάζεται ένα σύστημα με στοχαστικές μεταβλητές, διότι τα αποτελέσματα ποικίλουν ιδιαίτερα, και μπορούν να οδηγήσουν σε λανθασμένα συμπεράσματα. Τέλος η προσομοίωση διαχειρίζεται στατικά και δυναμικά μοντέλα, διακριτού ή συνεχούς χρόνου, καθοριστικά ή στοχαστικά.

Το μοντέλο το οποίο εξετάζεται στην παρούσα εργασία κατατάσσεται στην κατηγορία των δυναμικών, διακριτού χρόνου και καθοριστικών συστημάτων.

### 3.2. Το Λογισμικό προσομοίωσης ARENA 3.0 SM.

Το λογισμικό προσομοίωσης ARENA 3.0 της Systems Modeling Corporation, είναι μια καθαρά "παραθυρική" εφαρμογή η οποία χρησιμοποιεί οποιαδήποτε πλατφόρμα των Microsoft Windows® (95,98,NT,2000), γεγονός που την καθιστά ιδιαίτερα εύχρηστη και δημοφιλής. Συνδυάζει, δε τρία πολύ σημαντικά πλεονεκτήματα:

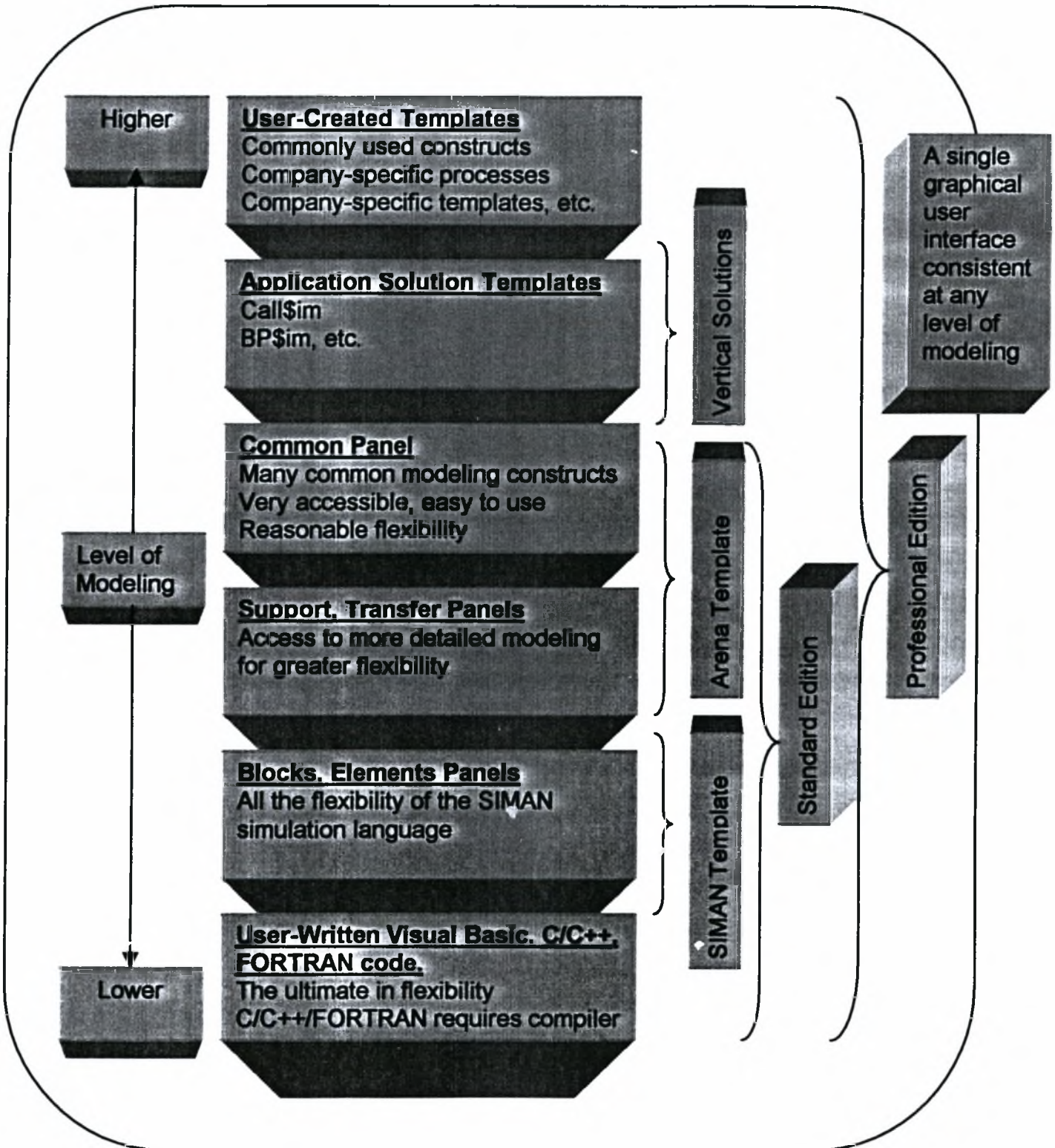
- την απλότητα και την ευκολία στην χρήση η οποία συναντάται σε υψηλού επιπέδου προσομοιωτές,
- την ευελιξία που προσφέρουν οι γλώσσες προσομοίωσης (SIMAN),
- την δυνατότητα ολοκλήρωσης (integration) με τις ισχυρότερες γλώσσες προγραμματισμού, όπως η Microsoft Visual Basic, FORTRAN,C, κτλ.

Το λογισμικό ARENA δίνει την δυνατότητα πλήρους εκμετάλλευσης των παραπάνω πλεονεκτημάτων, προσφέροντας την χρήση εναλλακτικών και ανταλλάξιμων προτύπων (templates) για την δημιουργία αρκετά πολυσύνθετων γραφικών μοντέλων προσομοίωσης. Για λειτουργικούς λόγους τα πρότυπα και οι εντολές των γλωσσών προσομοίωσης και προγραμματισμού, είναι κατανεμημένες σε ξεχωριστά φύλλα (panels) ανά κατηγορία. Εναλλάσσοντας μεταξύ των φύλλων και των προτύπων και χρησιμοποιώντας πολλές φορές συνδυασμό αυτών, ο χρήστης αποκτά μια πλειάδα εναλλακτικών λύσεων, όσο πολυσύνθετο και λεπτομερές είναι το μοντέλο. Τα παραπάνω παρουσιάζονται στο σχήμα 8 [18].

Τέλος στο ARENA, εμπεριέχονται ορισμένα πρόσθετα προγράμματα τα οποία χρησιμοποιούνται για λεπτομερή στατιστική ανάλυση, για την σύγκριση δυο ή περισσότερων μοντέλων (ανάλυση σεναρίων), και διάφορα άλλα. Τα πρόσθετα αυτά είναι τα εξής:

- Output Analyzer
- Input Analyzer
- Scenario analysis

Το Output Analyzer χρησιμοποιήθηκε ευρέως στο παρόν μοντέλο για την στατιστική ανάλυση, όπως θα αναφερθεί και παρακάτω (κεφάλαιο 4).



Σχήμα 8 - Η Ιεραρχική δομή του ARENA. [18]



### 3.3. Μοντελοποίηση του συστήματος GKCS-AdvInf με το λογισμικό προσομοίωσης ARENA 3.0 S.M.

Το μοντέλο του συστήματος ελέγχου παραγωγής / αποθεμάτων Generalized Kanban Control System – Advance Information ενός σταδίου τεσσάρων μηχανών εν σειρά, κατασκευάστηκε όπως προαναφέρθηκε με την βοήθεια του λογισμικού ARENA 3.0. Στην εικόνα 1 παρουσιάζεται η γενική παράσταση με τα επιμέρους λειτουργικά στοιχεία. Η περιγραφή και η λειτουργία του συστήματος αναλύεται παρακάτω:

- **Μέρος Α:**

Αρχικά οι αφίξεις των εξωτερικών ζητήσεων εισέρχονται στο σύστημα και συγκεκριμένα παριστάνονται με την εντολή *ARRIVE*, η οποία παρουσιάζεται στη εικόνα 2. Στο επάνω μέρος της εντολής *ARRIVE* δίνεται η ονομασία του σταθμού αφίξεων, εν συνεχεία επιλέγονται το μέγεθος της παρτίδας, ο ρυθμός άφιξης των ζητήσεων, το μέγιστο μέγεθος της παρτίδας, ενώ τέλος στο κάτω μέρος της εντολής δίνεται η ονομασία του επομένου σταθμού. Η εντολή *ARRIVE* παρουσιάζει και ορισμένα πολύ χρήσιμα χαρακτηριστικά όπως η επιλογή *assign* κτλ.

- **Μέρος Β:**

Εν συνεχεία οι ζητήσεις δρομολογούνται ταυτόχρονα προς δυο κατευθύνσεις:

- η πρώτη είναι η ουρά αναμονής παραγωγής εξαρτημάτων στη γραμμή παραγωγής μαζί με την πρώτη ύλη (η οποία θεωρείται απεριόριστη) και
- η δεύτερη είναι η ουρά αναμονής ανικανοποίητων ζητήσεων που περιμένουν (εφόσον δεν υπάρχουν ήδη από το απόθεμα) τελικά προϊόντα. Η παραπάνω διαδικασία πραγματοποιείται με την εντολή *DUPLICATE*.

- **Μέρος Γ:**

Το επόμενο βήμα αφορά των χρόνο προειδοποίησης της ζήτησης. Τόσο οι πρώτες ύλες όσο και οι ζητήσεις σε αναμονή, καθυστερούνται με την εντολή *DELAY*, για χρόνο τόσο, όσο ορίζει η ημερομηνία παράδοσης (*due date*) και ο χρόνος υστέρησης των μηχανών (*lead time*). Πιο συγκεκριμένα οι ζητήσεις σε

αναμονή καθυστερούνται από την εντολή DELAY 1 σύμφωνα με την σχέση: **[due date – tnow]**,

όπου **tnow** είναι η χρονική στιγμή μηδέν που λαμβάνεται η ζήτηση ( $t=0$ ).

Η είσοδος των πρώτων υλών προς επεξεργασία στην γραμμή παραγωγής καθυστερείτε από την εντολή DELAY 2 και σύμφωνα με την σχέση:

**max[0, due date-tnow-lead time]**.

Η παραπάνω σχέση ορίζει τα εξής: η παραγωγή θα ξεκινήσει εφόσον ικανοποιείται η συνθήκη. Εάν ο όρος (**due date-tnow-lead time**) είναι αρνητικός ή μηδέν, σημαίνει ότι η παραγγελία είναι **ήδη** καθυστερημένη και πρέπει να ξεκινήσει αμέσως ( $t=0$ ). Στην αντίθετη περίπτωση η παραγωγή ξεκινάει μετά από το χρονικό διάστημα που ορίζει ο παραπάνω όρος.

- **Μέρος Δ:**

Στη συνέχεια οι ζητήσεις και οι πρώτες ύλες, εισέρχονται στους σταθμούς συγχρονισμού. Η λειτουργία ενός σταθμού συγχρονισμού είναι η εξής:

Στον σταθμό συγχρονισμού 1 ο οποίος φαίνεται στο κάτω μέρος της εικόνας 1, η συμπεριφορά των ζητήσεων είναι η εξής: ανάλογα με την συνθήκη της εντολής CHOOSE (εικόνα 4)

- είτε εισέρχονται στην ουρά αναμονής ανικανοποίητων ζητήσεων (εικόνα 5) για να περιμένουν το σήμα (εικόνα 6) ενός τελειωμένου προϊόντος (έτσι ώστε να παραδοθεί η παραγγελία στον χρήστη),
- είτε δίνεται σήμα (εικόνα 6) να παραδοθούν αμέσως στον πελάτη εφόσον υπάρχει τελειωμένο προϊόν στην ουρά αναμονής των τελικών προϊόντων (δηλαδή στο απόθεμα).

Έτσι ένας σταθμός συγχρονισμού αποτελείται από τις εντολές: *CHOOSE*, *WAIT* και *SIGNAL*. Ανά πάσα στιγμή μια από τις δυο ουρές (τελικών προϊόντων και ανικανοποίητων ζητήσεων) θα είναι **άδεια**, δηλαδή είτε θα υπάρχουν τελικά προϊόντα και καμία ανικανοποίητη ζήτηση, είτε θα υπάρχουν ανικανοποίητες ζητήσεις και κανένα τελικό προϊόν.

Εντελώς παρόμοιος είναι και ο σταθμός συγχρονισμού 2, ο οποίος αφορά την είσοδο των πρώτων υλών και των καρτών *Kanban* στην γραμμή παραγωγής. Εφόσον υπάρχει έστω και μια διαθέσιμη (ελεύθερη) κάρτα *Kanban* στην αντίστοιχη ουρά αναμονής, τότε και μόνο τότε επιτρέπεται η είσοδος πρώτης ύλης στην γραμμή παραγωγής. Ως γνωστό οι κάρτες

εξουσιοδότησης παραγωγής, Kanban, προσκυλλούνται πάνω στο τεμάχιο όταν αυτό εισέρχεται προς επεξεργασία στην γραμμή παραγωγής. Όταν τελειώσει την επεξεργασία της και η τελευταία μηχανή, η κάρτα Kanban απελευθερώνεται από το τεμάχιο-προϊόν και επιστρέφει πίσω στην ουρά αναμονής για να δηλωθεί και πάλι ως διαθέσιμη.

- **Μέρος Ε:**

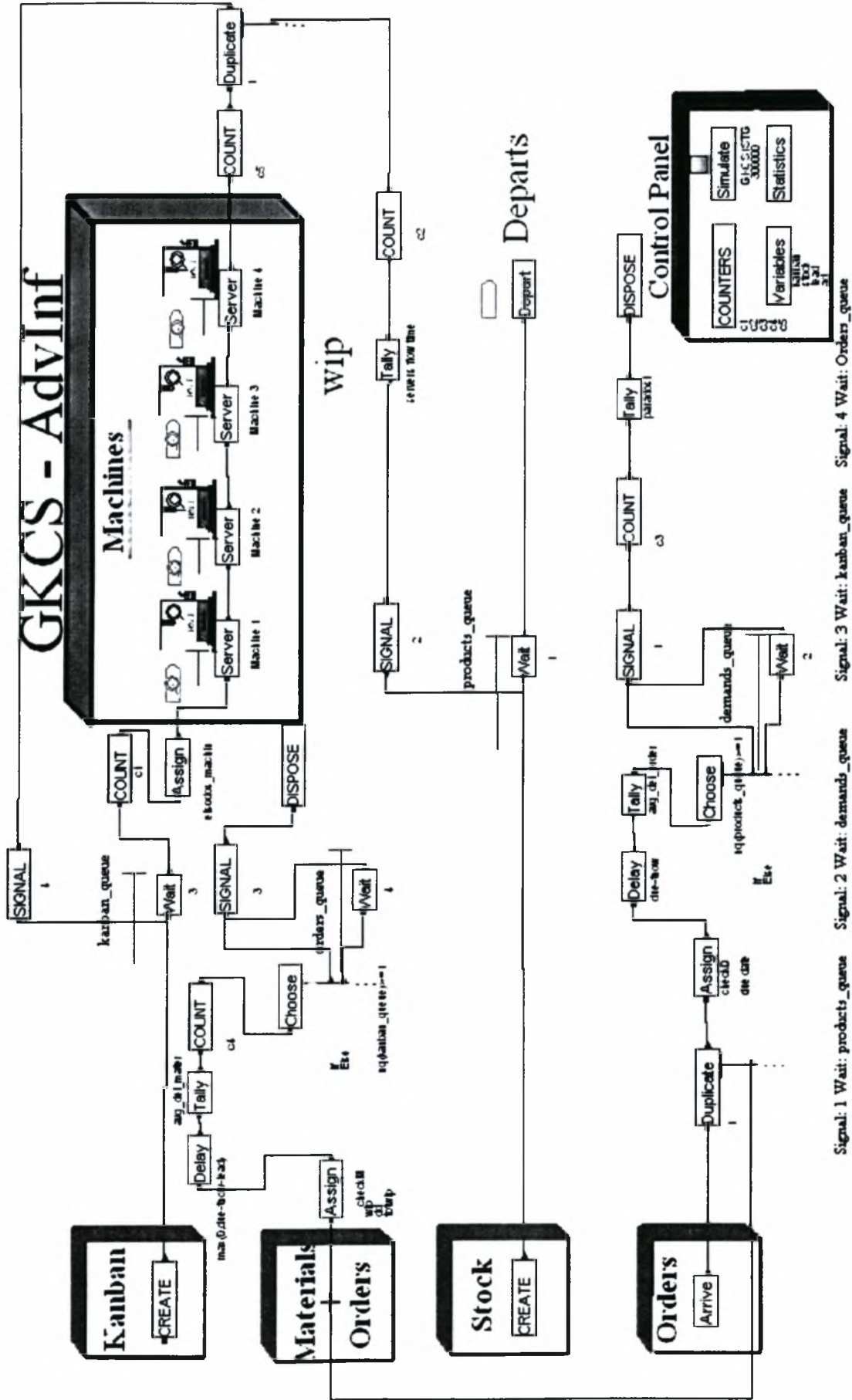
Το επόμενο βήμα που περιγράφεται αφορά τα παρακάτω στοιχεία:

Στην εικόνα 7 παρουσιάζεται η εντολή *CREATE* με την οποία δημιουργείτε αρχικά ένας συγκεκριμένος αριθμός καρτών Kanban καθώς επίσης δηλώνεται και το αρχικό απόθεμα με το οποίο ξεκινά την λειτουργία του το σύστημα.

Στην εικόνα 8 παρουσιάζεται η εντολή *SERVER* η οποία αφορά τις μηχανές επεξεργασίας. Στο επάνω μέρος της εντολής δίνεται η ονομασία της μηχανής, στη συνέχεια σημειώνονται τα χαρακτηριστικά της όπως, η χωρητικότητα, ο χρόνος επεξεργασίας και διάφορα άλλα (όπως ρυθμός βλαβών, βάρδιες, κτλ.) τα οποία στην παρούσα εργασία δεν χρησιμοποιούνται ιδιαίτερα. Τέλος δίνεται η ονομασία του επομένου σταθμού επεξεργασίας, όπου θα δρομολογεί το τεμάχιο.

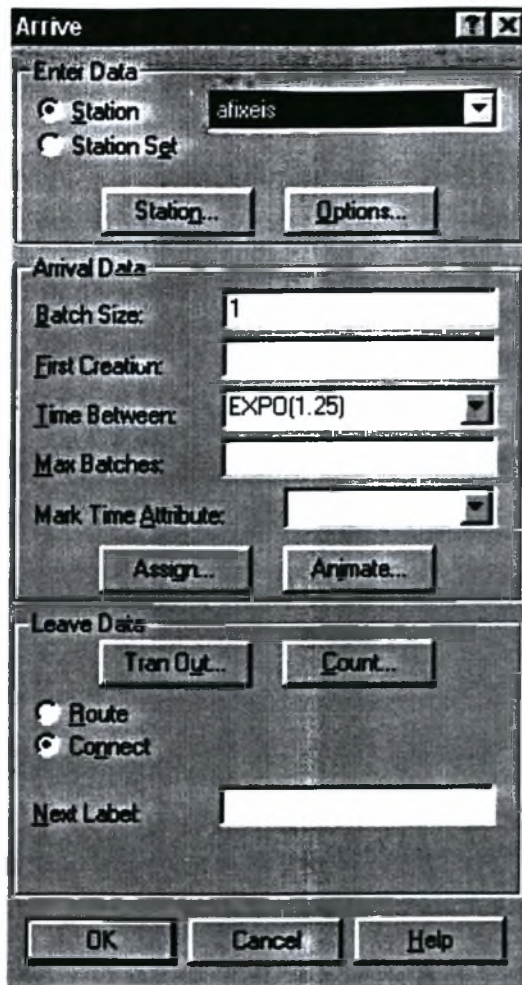
Η εικόνα 9 παρουσιάζει την εντολή *COUNT* η οποία αφορά τους διάφορους μετρητές του συστήματος με την βοήθεια των οποίων καταγράφονται ο αριθμός των εισερχομένων τεμαχίων-ζητήσεων, οι εργασίες εν εξελίξει (WIP), καθώς και ο αριθμός των τελικών προϊόντων.

Τέλος στις εικόνες 11 και 12 παρουσιάζονται οι εντολές *STATISTICS* και *VARIABLES*, αντίστοιχα, όπου δίνονται τα στοιχεία των μεταβλητών που χρησιμοποιούνται σε κάθε πείραμα, ενώ ταυτόχρονα λαμβάνονται χρήσιμα στατιστικά στοιχεία, ιδιαίτερα για την ανάλυση των αποτελεσμάτων.

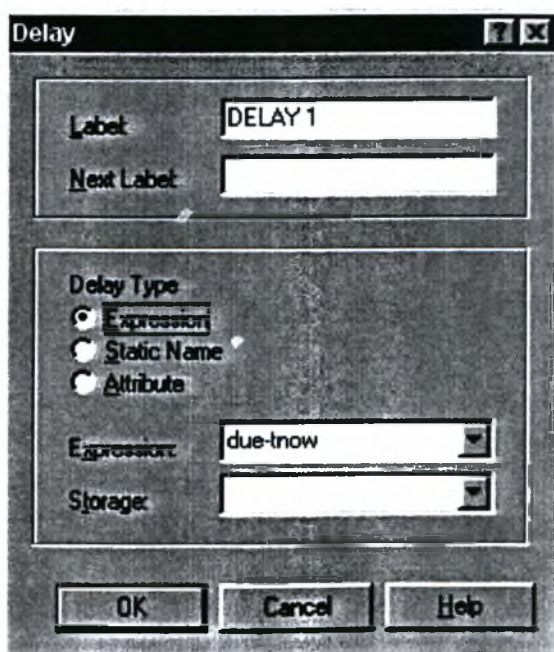


Εικόνα 1 - Γενική Άποψη του Μοντέλου "Generalized Kanban Control System-AdvInf" (1 στάδιο-4 μηχανές) με το λογισμικό ARENA 3.0

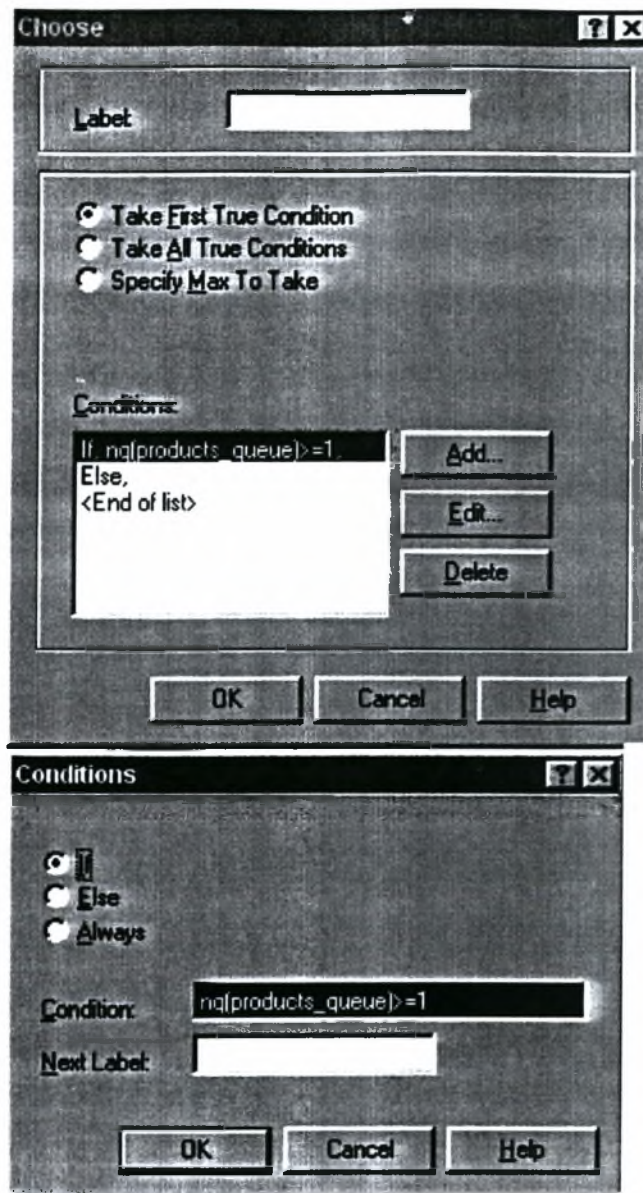
S.M.



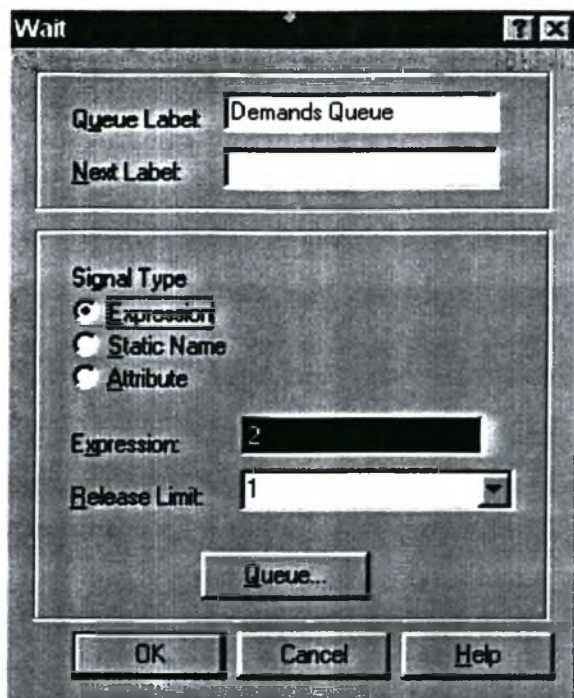
Εικόνα 2 – Οι Αφίξεις των Εξωτερικών Ζητήσεων.



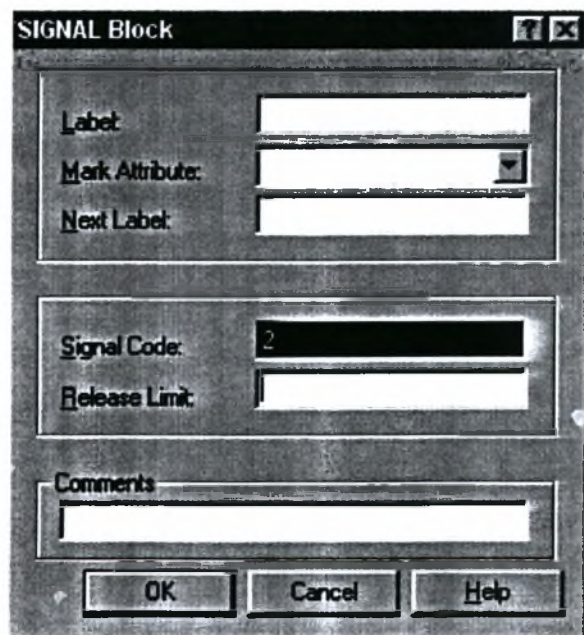
Εικόνα 3 – Η καθυστέρηση της ζήτησης σύμφωνα με την ημερομηνία παράδοσης.



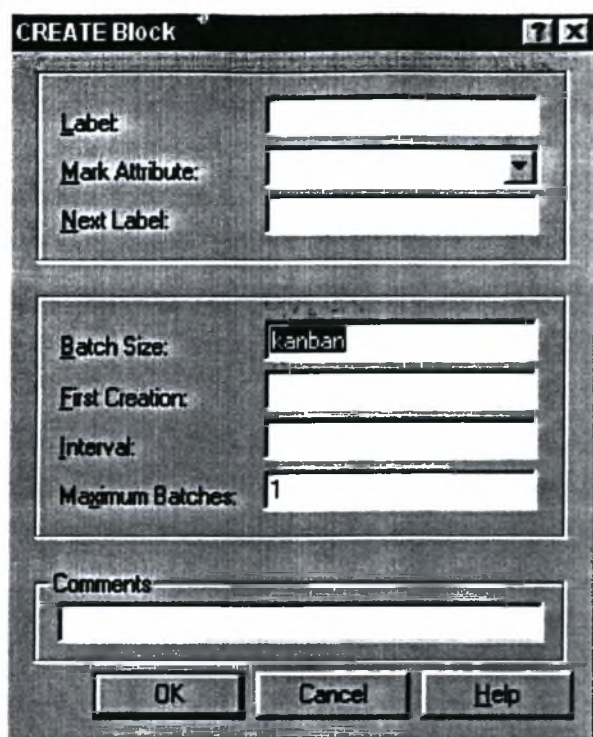
Εικόνα 4 – Η συνθήκη που πρέπει να ικανοποιείται έτσι ώστε, είτε να παραδίδεται η παραγγελία στον πελάτη, είτε να περιμένει την άφιξη ενός τελικού προϊόντος.



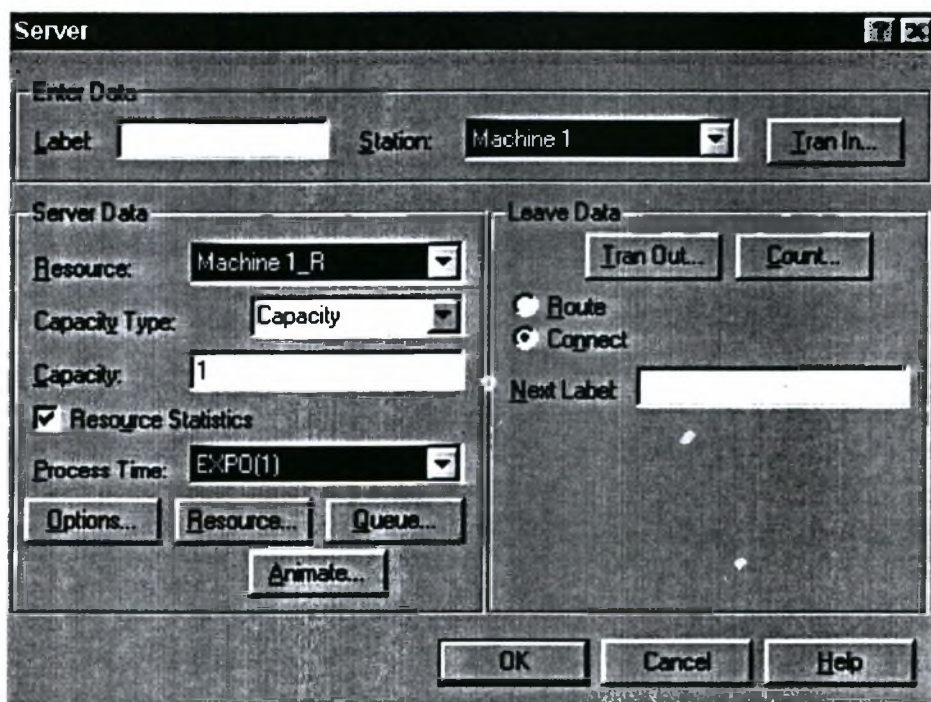
Εικόνα 5 – Η ουρά αναμονής των ανικανοποίητων ζητήσεων. Το πρώτο μέρος του σταθμού συγχρονισμού.



Εικόνα 6 - Το δεύτερο μέρος του σταθμού συγχρονισμού. Οι ανικανοποίητες ζητήσεις της παραπάνω ουράς, περιμένουν το σήμα που θα δοθεί από ένα τελειωμένο προϊόν, έτσι ώστε να προχωρήσει η εκτέλεση τους.

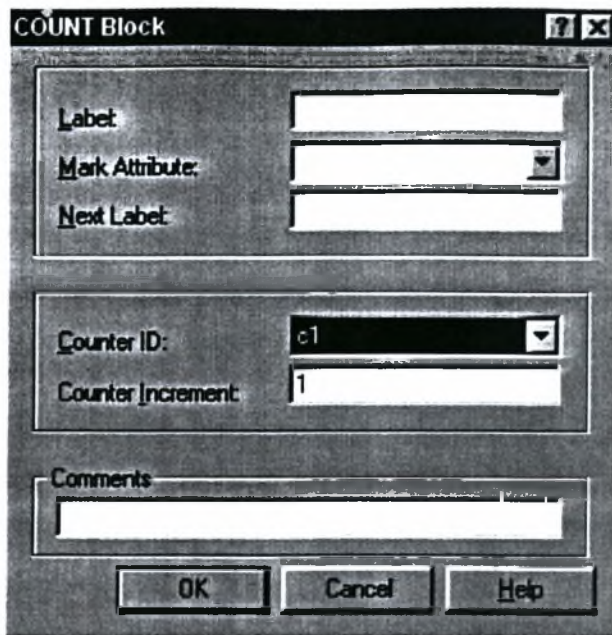


Εικόνα 7 – Ο αρχικός αριθμός καρτών Kanban με τον οποίο ξεκινά την λειτουργία του το σύστημα. Το ανάλογο ισχύει και για το αρχικό Stock.

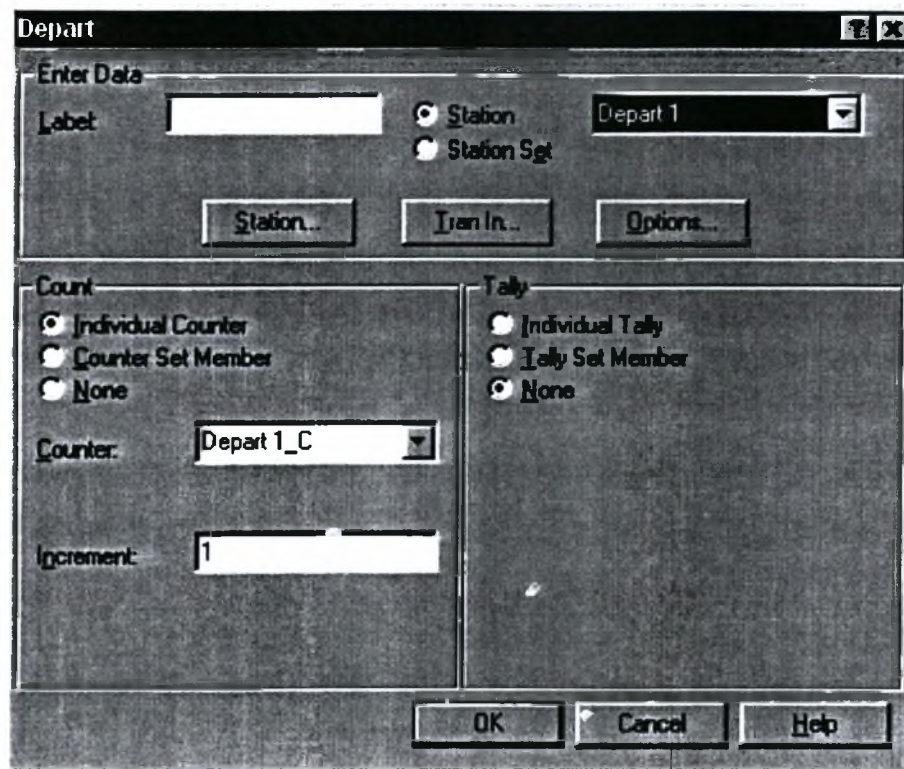


Εικόνα 8 – Η μηχανή της γραμμής παραγωγής.

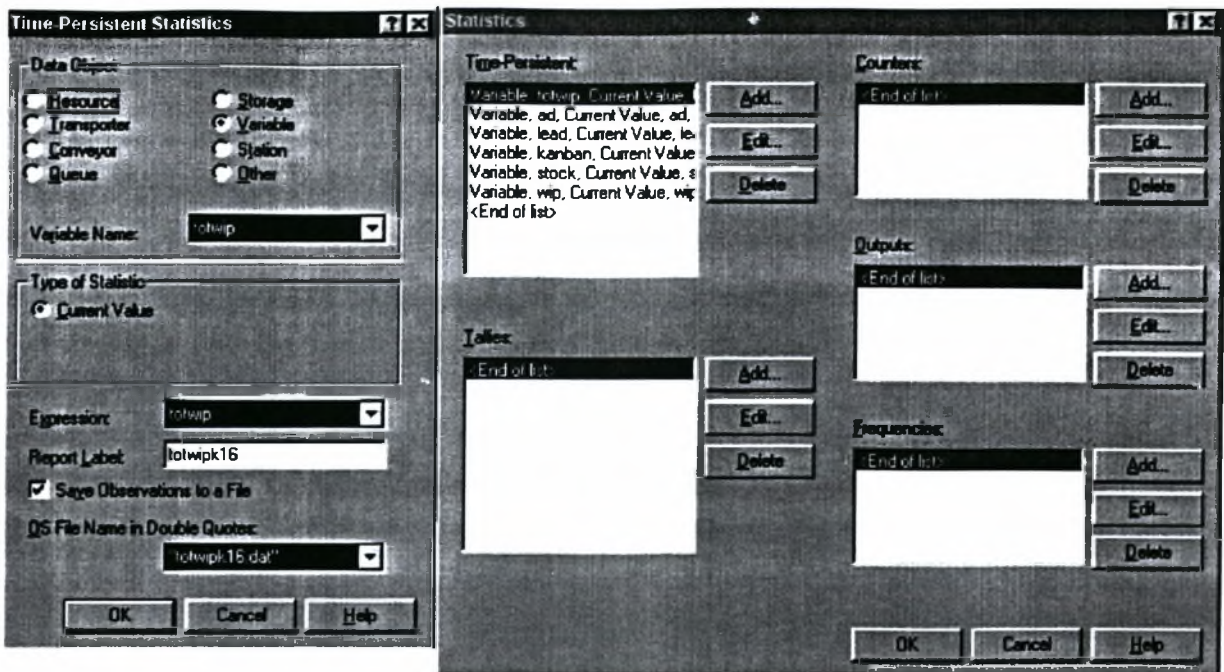




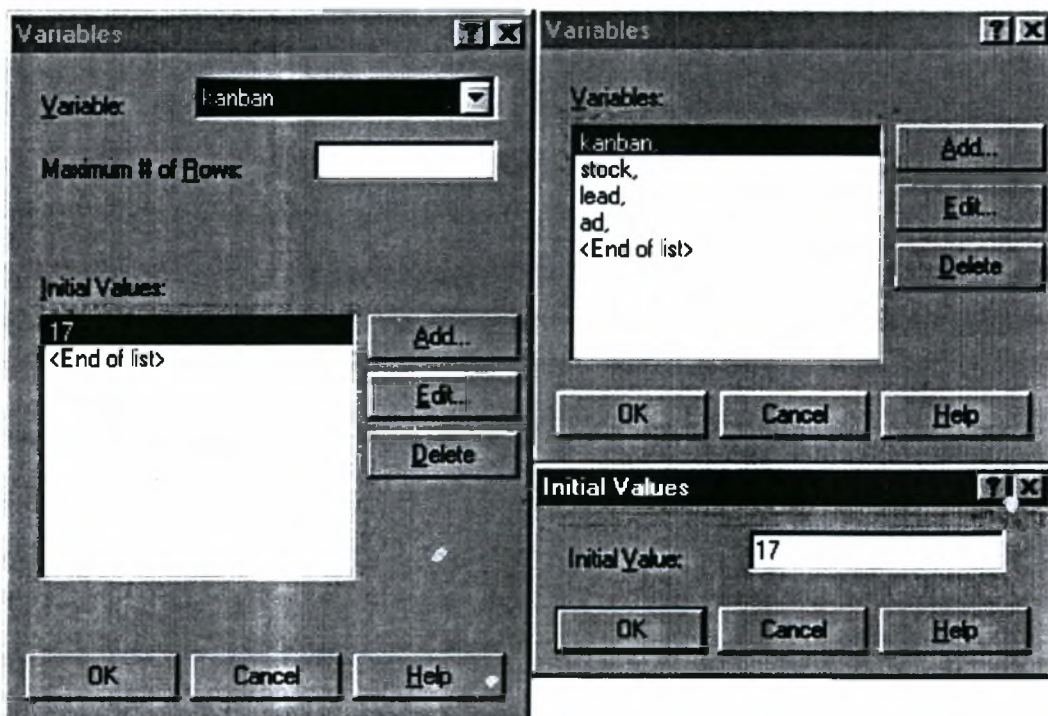
Εικόνα 9 – Μετρητής τεμαχίων.



Εικόνα 10 – Η παράδοση των τελειωμένων προϊόντων.



Εικόνα 11 – Μέτρηση των Στατιστικών στοιχείων του μοντέλου.



Εικόνα 12 – Οι πμές των Kanban καθώς και των υπολοίπων μεταβλητών του συστήματος.

**ΚΕΦΑΛΑΙΟ: 4**

---

**Πειραματική Διαδικασία -  
Αποτελέσματα**

---

#### 4.1. Συνάρτηση Βελτιστοποίησης

Η παρούσα εργασία έχει ως στόχο, τόσο τον προσδιορισμό των ιδιοτήτων ενός συστήματος GKCS-AdvInf, όπως αυτό περιγράφεται στα κεφάλαια 2 και 3, όσο και την βελτιστοποίηση του. Οι ιδιότητες ενός συστήματος GKCS-AdvInf, αφορούν τον αριθμό των Kanban (**K**), το βασικό απόθεμα (**S**) και τον χρόνος προειδοποίησης της ζήτησης (**τ**). Οι παρακάτω ορισμοί είναι απαραίτητοι για την κατανόηση του προβλήματος. Έτσι ορίζουμε:

- $h_1(i)$  = το κόστος διατήρησης ημιετοιμών προϊόντων στην γραμμή παραγωγής  $M(t)$ , ή αλλιώς το  $WIP$  ανά μονάδα του χρόνου.
- $h_2(i)$  = το κόστος διατήρησης τελικών προϊόντων στην ουρά  $I$ , ή αλλιώς  $FG$  ανά μονάδα του χρόνου.
- $b(i)$  = το κόστος έλλειψης τελικών προϊόντων, ή το κόστος ανικανοποίητων ζητήσεων στην ουρά  $D(t)$  ανά μονάδα του χρόνου.

Το πρόβλημα βελτιστοποίησης που προκύπτει είναι ο προσδιορισμός των κατάλληλων παραμέτρων  $K$  και  $S$ , έτσι ώστε να ελαχιστοποιηθεί το μέσο μακροπρόθεσμο κόστος διατήρησης αποθέματος και το κόστος ανικανοποίητων ζητήσεων. Στην σχέση 1, οι τρεις όροι στο δεξί μέλος αφορούν το μέσο μακροπρόθεσμο κόστος διατήρησης αποθέματος στη μορφή του  $WIP$ , του  $FG$  και το κόστος ανικανοποίητων ζητήσεων.

$$C(K,S) = \sum_{i=1}^K h_1(i)P(M_K=i) + \sum_{i=1}^S h_2(i)P(I_{K,S}=i) + \sum_{i=1}^{\infty} b(i)P(D_{K,S}=i)$$

Σχέση 1 – Συνάρτηση κόστους του συστήματος GKCS-AdvInf.

Ειδικότερα εάν τα κόστη διατήρησης αποθέματος και ανικανοποίητων ζητήσεων είναι **γραμμικά** και για λόγους απλοποίησης δίνεται η ίδια βαρύτητα στο κόστος διατήρησης αποθέματος υπό μορφή  $WIP$  και  $FG$ , τότε οι συναρτήσεις  $h_1(i)$ ,  $h_2(i)$  και  $b(i)$  έχουν την μορφή:

$$h_1(i) = h_2(i) = h(i) = h * i, \text{ και}$$

$$b(i) = b * i, \text{ όπου } h \text{ και } b \text{ είναι σταθερές.}$$

Έτσι σύμφωνα με τις παραπάνω παραδοχές, το βέλτιστο  $S$ , δηλαδή το  $S^*$ , προκύπτει από την σχέση 2.

$$S^* = \arg \min_{S \geq 0} \left\{ P(N_K \leq S) \geq \frac{b}{b+h} \right\}$$

Σχέση 2 - Υπολογισμός του  $S^*$

Η παραπάνω σχέση δηλώνει ότι το βέλτιστο  $S^*$  για ένα συγκεκριμένο  $K$ , είναι ο μικρότερος ακέραιος αριθμός για τον οποίο ικανοποιείται η σχέση 2. Το  $N_K$  αναφέρεται στο συνολικό αριθμό των προϊόντων που βρίσκονται ανά πάσα χρονική στιγμή τόσο στην ουρά  $O(t)$ , όσο και στο WIP (δηλαδή το συνολικό WIP ή *totwip*, όπως θα αναφερθεί και παρακάτω).

ΠΑΡΑΤΗΡΗΣΗ: Η σχέση 2 ισχύει μόνο για  $\tau=0$ .

Επίσης, η παραγωγική ικανότητα ή η μέγιστη παροχή του συστήματος ( $TH$ ) όπως αναφέρθηκε και στο κεφάλαιο 2, εξαρτάται μόνο από τα  $K$  και όχι από το  $S$ . Έτσι αν ο ρυθμός άφιξης της ζήτησης ακολουθεί εκθετική κατανομή με μέση τιμή  $\lambda$ , όπως επίσης και ο ρυθμός επεξεργασίας των  $m$  μηχανών ακολουθεί εκθετική κατανομή με μέση τιμή  $\mu$ , τότε η μέγιστη παροχή του συστήματος δίνεται από την σχέση:

$$TH = \mu / [1 + (m-1) / K]$$

Σχέση 3 – Σχέση Υπολογισμού του  $K_{min}$

Θεωρείται ότι ο μέσος ρυθμός άφιξης της ζήτησης έχει μια συγκεκριμένη τιμή τέτοια ώστε υπάρχει ένας πεπερασμένος αριθμός καρτών  $K_{\min}$ , για τον οποίον ικανοποιείται η ζήτηση, δηλαδή:

$$TH_K \geq \lambda, \text{ για } K \geq K_{\min}$$

Η παραπάνω σχέση χρησιμοποιείται για τον υπολογισμό του ελάχιστου εκείνου  $K$ ,  $K_{\min}$  για το οποίο ικανοποιείται η παροχή και έχει νόημα η λειτουργία του συστήματος. Στην αντίθετη περίπτωση, δηλαδή για ένα μικρότερο  $K$  το σύστημα δεν δουλεύει, διότι ο ρυθμός άφιξης των ζητήσεων είναι μεγαλύτερος από τον ρυθμό επεξεργασίας των μηχανών και έτσι οι

ουρές θα πληθαίνουν ανεξέλεγκτα μέχρι το άπειρο, γεγονός που παρατηρήθηκε και από τις προσομοιώσεις που διεξήχθησαν. (το ARENA από ένα σημείο και μετά όπου συσσωρευόταν άπειρες ζητήσεις, αδυνατούσε να ανταποκριθεί και “κολλούσε”, ενώ η διάρκεια προσομοίωσης έφτασε μέχρι και 5 ώρες από 20 λεπτά που ήταν ο μέσος όρος!).

## 4.2. Εκτέλεση Πειραμάτων

Τα πειράματα διεξήχθησαν στο Εργαστήριο Οργάνωσης Παραγωγής του Τμήματος, στο υφιστάμενο εσωτερικό δίκτυο Η/Υ Windows NT 4.0, με την βοήθεια του λογισμικού ARENA και κατατάσσονται σε 2 κατηγορίες:

1. **Κατηγορία Α: Παρουσία Έγκαιρης προειδοποίησης της Ζήτησης ( $\tau \neq 0$ )**
2. **Κατηγορία Β: Απουσία Έγκαιρης προειδοποίησης της Ζήτησης ( $\tau = 0$ )**



## 4.3. Κατηγορία Α - Παρουσία Έγκαιρης Προειδοποίησης της Ζήτησης ( $\tau \neq 0$ )

Στην Κατηγορία Α περιλαμβάνονται 2 σειρές πειραμάτων, και οι παράμετροι που χρησιμοποιούνται είναι οι εξής:

### 4.2.1. Σειρά Α1: Εκθετική Κατανομή (1,1,1,1), $\tau \neq 0$

- Ρυθμός Άφιξης της Ζήτησης – Εκθετική Κατανομή με μέση τιμή  $\lambda = 0,8$ .  
Δηλαδή στη μονάδα του χρόνου εισέρχονται 0,8 ζητήσεις.
- Ρυθμός επεξεργασίας των μηχανών - Εκθετική Κατανομή με μέση τιμή  $\mu_1 = \mu_2 = \mu_3 = \mu_4 = 1$ .
- Τιμή συντελεστή βαρύτητας για το κόστος διατήρησης αποθέματος:  $h = 5$ .
- Τιμή συντελεστή βαρύτητας για το κόστος ανικανοποίητων ζητήσεων:  $b = 1$ . έτσι η τιμή του λόγου είναι:  $b / b+h = 0,1666$

- Οι τιμές της προειδοποίησης της ζήτησης που χρησιμοποιούνται είναι:  $\tau = 0, 4, 8, 10, 12, 16, 20, 25$  και  $40$ .

Η σχέση 1 για λόγους απλότητας παίρνει την μορφή:

$$\text{COST} = h \cdot (\text{WIP} + \text{FP}) + b \cdot \text{QD}$$

Ο χρόνος προσομοίωσης που χρησιμοποιήθηκε ήταν **300.000** χρονικές μονάδες για όλες τις σειρές πειραμάτων και για τις 2 κατηγορίες. Αυτό σημαίνει ότι το σύστημα εξετάσθηκε για **240.000** ζητήσεις δεδομένου ότι ο ρυθμός άφιξης είναι 0,8. Τα αποτελέσματα παρουσιάζονται στον πίνακα 3 που ακολουθεί:

1	2	3	4	5	6	7
		$\tau = 0$				
	K	$S^*(h_5, b_1)$	ΚΟΣΤΟΣ ( $h_5, b_1$ )	WIP	FP	QD
	13	15	108,252	12,440	1,008	41,014
	15	10	83,658	13,077	0,603	15,258
	16	9	82,920	13,507	0,653	12,120
	17	8	81,959	13,655	0,550	10,933
	18	8	84,223	14,119	0,563	10,814
	19	8	82,870	14,055	0,627	9,460
	20	8	83,852	14,365	0,6287	8,884
	21	8	86,591	14,837	0,617	9,320
	23	8	85,098	14,747	0,665	8,040
	25	8	87,430	15,236	0,650	8,000
	28	8	87,055	15,253	0,482	8,380
	30	8	90,820	15,899	0,651	8,070
	32	8	89,203	15,644	0,668	7,643
	35	8	88,945	15,613	0,680	7,480
	37	8	88,770	15,608	0,500	8,230
	40	8	89,904	15,787	0,683	7,554
		$\tau = 4$				
L=3	13	20				

#### Κεφάλαιο 4 – Πειραματική Διαδικασία-Αποτελέσματα

L=4	13	20	111,133	12,44	2,688	35,493
L=3	13	15				
L=4	13	15	108,477	12,44	1,4119	39,217
L=3	13	13	117,307	12,47	0,8274	50,82
L=4	13	13	108,11	12,44	1,018	40,82
L=3	13	10				
L=4	13	10	108,335	12,44	0,555	43,36
L=3	13	7				
L=4	13	7	109,4775	12,44	0,2455	46,05
L=3	13	5				
L=4	13	5	110,715	12,44	0,119	47,92
L=3	13	2				
L=4	13	2	114,165	12,44	0,229	50,82
L=3	15	11				
L=4	15	11	85,435	13,077	1,598	12,06
L=3	15	9				
L=4	15	9	84	13,077	1,025	13,49
L=3	15	7	83,365	13,077	0,466	15,65
L=4	15	7	83,275	13,077	0,57	15,04
L=3	15	5	83,823	13,077	0,21	17,388
L=4	15	5	83,557	13,077	0,285	16,747
L=3	15	2	0			
L=4	15	2	87,513	13,077	0,523	19,513
L=3	17	13				
L=4	17	13	88,745	13,655	2,88	6,07
L=3	17	9				
L=4	17	9	83,182	13,655	1,286	8,477



#### Κεφάλαιο 4 – Πειραματική Διαδικασία-Αποτελέσματα

L=3	17	7	81,9190	13,598	0,59701	10,944
L=4	17	7	81,8895	13,655	0,73714	9,9288
L=3	17	6				
L=4	17	6	81,622	13,655	0,526	10,717
L=3	17	5	81,975	13,598	0,273	12,62
L=4	17	5	81,603	13,655	0,356	11,548
L=3	17	2	85,484	13,598	0,421	15,389
L=4	17	2	85,766	13,655	0,647	14,256
L=3	20	9				
L=4	20	9	85,6139	14,365	1,455	6,5139
L=3	20	7	83,04255	14,279	0,68165	8,2393
L=4	20	7	83,911	14,365	0,838	7,896
L=3	20	6	82,785	14,279	0,472	9,03
L=4	20	6	83,484	14,365	0,6	8,659
L=3	20	5	82,806	14,279	0,309	9,866
L=4	20	5	83,339	14,365	0,4092	9,468
L=3	20	2	86,292	14,279	0,4588	12,603
L=4	20	2	87,745	14,365	0,758	12,13
L=3	25	9				
L=4	25	9	89,3686	15,236	1,5061	5,6581
L=3	25	7				
L=4	25	7	87,5315	15,236	0,8667	7,018
L=3	25	5	87,103	15,226	0,318	9,383
L=4	25	5	86,87	15,236	0,423	8,575
L=3	25	2				
L=4	25	2	91,335	15,236	0,785	11,23
		$\tau = 8$				
L=7	13	13				
L=8	13	13	108,735	12,44	1,655	38,26
L=7	13	9	117,262	12,47	0,685	51,487
L=8	13	9	107,9282	12,44	0,85424	41,457

#### Κεφάλαιο 4 – Πειραματική Διαδικασία-Αποτελέσματα

L=7	13	7				
L=8	13	7	108,1425	12,44	0,5565	43,16
L=7	13	5				
L=8	13	5	108,766	12,44	0,327	44,931
L=7	13	2				
L=8	13	2	110,452	12,44	0,108	47,712
L=7	15	9				
L=8	15	9	86,372	13,077	1,9532	11,221
L=7	15	7				
L=8	15	7	84,423	13,077	1,295	12,563
L=7	15	5				
L=8	15	5	83,309	13,077	0,776	14,044
L=7	15	3	83,16	13,077	0,299	16,28
L=8	15	3	83,035	13,077	0,398	15,66
L=7	15	2				
L=8	15	2	83,209	13,077	0,26	16,524
L=7	15	0				
L=8	15	0	84,1275	13,077	0,0791	18,347
L=7	17	9				
L=8	17	9	86,9635	13,655	2,4481	6,448
L=7	17	7				
L=8	17	7	84,037	13,655	1,627	7,627
L=7	17	5				
L=8	17	5	82,136	13,655	0,977	8,976
L=7	17	2	81,589	13,598	0,241	12,394
L=8	17	2	81,237	13,655	0,327	11,327
L=7	17	1				
L=8	17	1	81,435	13,655	0,194	12,19
L=7	17	0				
L=8	17	0	81,87	13,655	0,0992	13,099
L=7	20	9				
L=8	20	9	90,2625	14,365	2,7625	4,625

**Κεφάλαιο 4 – Πειραματική Διαδικασία-Αποτελέσματα**

L=7	20	7				
L=8	20	7	86,721	14,365	1,839	5,701
L=7	20	5				
L=8	20	5	84,33	14,365	1,107	6,97
L=7	20	2	82,388	14,279	0,271	9,638
L=8	20	2	82,932	14,365	0,374	9,237
L=7	20	1				
L=8	20	1	83,02	14,365	0,223	10,08
L=7	20	0				
L=8	20	0	83,3766	14,365	0,11492	10,977
L=7	25	9				
L=8	25	9	94,369	15,236	2,873	3,824
L=7	25	7				
L=8	25	7	90,591	15,236	1,91	4,861
L=7	25	5				
L=8	25	5	88,013	15,236	1,147	6,098
L=7	25	2	86,678	15,226	0,281	9,143
L=8	25	2	86,459	15,236	0,388	8,339
L=7	25	1				
L=8	25	1	86,5179	15,236	0,231	9,1829
L=7	25	0				
L=8	25	0	86,8435	15,236	0,1187	10,07
		$\tau = 10$				
L=10	13	7	107,8625	12,44	0,7767	41,779
L=10		6	107,9605	12,44	0,6263	42,629
L=10	15	2	82,8735	13,077	0,4695	15,141
L=10		0	83,1985	13,077	0,1903	16,862
L=9	17	2	81,295	13,598	0,4582	11,014
L=9		0	81,5415	13,598	0,1659	12,722
L=10	17	2	81,2305	13,655	0,5919	9,996
L=10		0	81,12	13,655	0,2402	11,644

#### Κεφάλαιο 4 – Πειραματική Διαδικασία-Αποτελέσματα

L=10	20	2	82,739	14,365	0,275	9,539
L=10		0	83,1285	14,365	0,6733	7,937
L=10	25	2	86,7105	15,236	0,6967	7,047
L=10		0	86,2391	15,236	0,2847	8,6356
		$\tau = 12$				
L=11	13	9				
L=12	13	9	108,2895	12,44	1,4479	38,85
L=11	13	7				
L=12	13	7	107,8425	12,44	1,0401	40,442
L=11	13	6	117,066	12,47	0,6858	51,287
L=12	13	6	107,77	12,44	0,862	41,26
L=11	13	5				
L=12	13	5	107,808	12,44	0,701	42,103
L=11	13	2				
L=12	13	2	108,5425	12,44	0,3235	44,725
L=11	13	0				
L=12	13	0	109,53	12,44	0,156	46,55
L=11	15	9				
L=12	15	9	90,8345	13,077	3,2291	9,304
L=11	15	7				
L=12	15	7	87,603	13,077	2,357	10,433
L=11	15	5				
L=12	15	5	85,1555	13,077	1,6159	11,691
L=11	15	2				
L=12	15	2	83,038	13,077	0,763	13,838
L=11	15	0	82,819	13,077	0,2748	16,06
L=12	15	0	82,704	13,077	0,374	15,449
L=11	17	9				
L=12	17	9	93,215	13,655	4,022	4,83
L=11	17	7				
L=12	17	7	88,795	13,655	2,952	5,76

#### Κεφάλαιο 4 – Πειραματική Διαδικασία-Αποτελέσματα

L=11	17	5				
L=12	17	5	85,2755	13,655	2,032	6,8405
L=11	17	2				
L=12	17	2	81,8666	13,655	0,9639	8,7721
L=11	17	0	81,065	13,598	0,353	11,31
L=12	17	0	80,9265	13,655	0,4739	10,282
L=11	20	9				
L=12	20	9	97,7175	14,365	4,5377	3,204
L=11	20	7				
L=12	20	7	92,465	14,365	3,33	3,99
L=11	20	5				
L=12	20	5	88,26	14,365	2,295	4,96
L=11	20	2				
L=12	20	2	84,043	14,365	1,092	6,758
L=11	20	0	81,96	14,279	0,398	8,575
L=12	20	0	82,7305	14,365	0,5399	8,206
L=11	25	9				
L=12	25	9	102,346	15,236	4,736	2,486
L=11	25	7				
L=12	25	7	96,775	15,236	3,474	3,225
L=11	25	5				
L=12	25	5	92,2685	15,236	2,3897	4,14
L=11	25	2				
L=12	25	2	87,723	15,236	1,132	5,883
L=11	25	0	86,285	15,226	0,416	8,075
L=12	25	0	86,279	15,236	0,558	7,309
		$\tau = 16$				
L=10	17	0	82,9315	13,846	0,2285	12,559
L=16	17	0	82,535	13,655	1,274	7,89
		$\tau = 20$				
L=8	15	0	84,017	13,034	0,0788	18,453

**Κεφάλαιο 4 – Πειραματική Διαδικασία-Αποτελέσματα**

L=10	15	0	83,4335	13,151	0,1819	16,769
L=15	15	0	87,27	13,285	0,7198	17,246
L=20	15	0	86,116	13,077	2,007	10,696
L=8	16	0	83,3345	13,472	0,0851	15,549
L=10	16	0	82,287	13,435	0,2096	14,064
L=15	16	0	81,9695	13,46	0,9035	10,152
L=20	16	0	86,239	13,507	2,206	7,674
L=8	17	0	83,6	13,854	0,0948	13,856
L=10	17	0	81,484	13,734	0,2346	11,641
L=15	17	0	82,3335	13,733	0,9969	8,684
L=20	17	0	86,8735	13,655	2,5291	5,953
L=5	18	0	84,9555	13,988	0,0145	14,943
L=8	18	0	81,234	13,774	0,11	11,814
L=10	18	0	81,543	13,886	0,2616	10,805
L=15	18	0	82,6187	13,926	1,0845	7,5662
L=20	18	0	89,0647	14,119	2,538	5,7797
		$\tau = 25$				
L=10	15	0	84,8985	13,225	0,1787	17,88
L=20	15	0	89,659	13,285	1,785	14,309
L=10	16	0	82,0081	13,444	0,21462	13,715
L=20	16	0	86,041	13,46	2,248	7,501
L=10	17	0	81,611	13,724	0,2328	11,827
L=20	17	0	87,261	13,733	2,4852	6,17
L=10	18	0	82,36715	13,988	0,24903	11,182
L=20	18	0	88,0958	13,926	2,6634	5,1488
		$\tau = 40$				
L=10	15	0	82,5535	13,156	0,1797	15,875
L=20	15	0	85,4317	13,072	2,0381	9,8812
L=40	15	0	126,803	13,077	11,449	4,173
L=10	16	0	80,672	13,338	0,2224	12,87
L=20	16	0	86,4107	13,468	2,2508	7,8167
L=40	16	0	132,8447	13,507	12,641	2,1047
L=10	17	0	83,6835	13,881	0,2275	13,141
L=20	17	0	87,7801	13,822	2,3843	5,7486
L=40	17	0	138,3562	13,655	13,769	1,2362

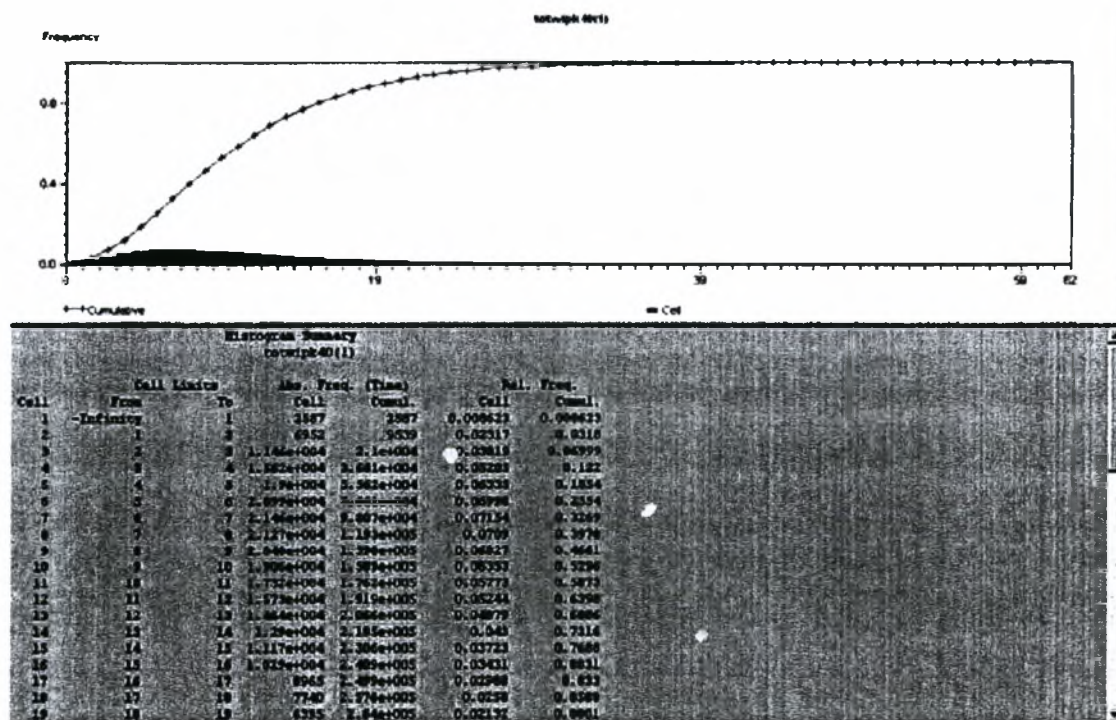


L=10	18	0	81,5651	13,931	0,2598	10,6111
L=20	18	0	88,5515	13,964	2,6449	5,507
L=40	18	0	141,378	14,119	13,925	1,158

Πίνακας 3 – Αποτελέσματα Σειράς Πειραμάτων A1.

### Ανάλυση Πίνακα 3.

Κάθε μια γραμμή του πίνακα αναφέρεται και σε ένα πείραμα προσομοίωσης. Αρχικά από την σχέση 3 υπολογίσθηκε το ελάχιστο  $K$ ,  $K_{min}$  για το οποίο λειτουργεί το σύστημα. Η τιμή του προσδιορίστηκε  $K = 13$ . Έτσι εκτελώντας μια πρώτη σειρά προσομοιώσεων, με τις παραμέτρους που αναφέρθηκαν παραπάνω, και για οποιοδήποτε  $S$ , όπως προκύπτει από την σχέση 2, προσδιορίσθηκε το βέλτιστο  $S^*$ , με την βοήθεια του OUTPUT ANALYZER (βοηθητικού εργαλείου του ARENA) – εικόνα 13. Υπενθυμίζεται ότι το βέλτιστο  $S$  είναι εκείνο για το οποίο το συνολικό WIP (totwip) γίνεται μεγαλύτερο από τον λόγο  $b / b+h$ .



Εικόνα 13 – Το OUTPUT ANALYZER. Στην 6<sup>η</sup> στήλη παρουσιάζεται η πιθανότητα να υπάρχουν N προϊόντα στο totwip (M+O), ενώ η πμή του  $S^*$  δίνεται από την 3<sup>η</sup> στήλη. Αυτό ισχύει μόνο για  $\tau=0$ .

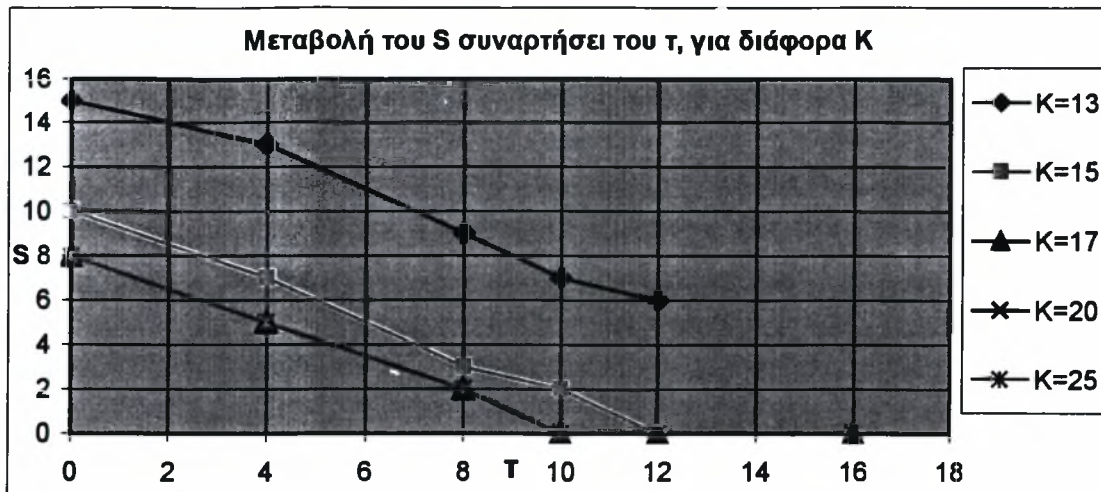
Από τις αναφορές (Reports) που παρέχει το ARENA στο τέλος κάθε προσομοίωσης, (βλ. ΠΑΡΑΡΤΗΜΑ Β) ελήφθησαν οι τιμές των WIP, FP (τελικά προϊόντα) και QD (ανικανοποίητες ζητήσεις). Έτσι προσδιορίστηκε το κόστος για κάθε τιμή του  $K$ , από  $K=13 - 40$ . Βέβαια, δεν υπολογίστηκε το κόστος για κάθε τιμή αλλά για διαστήματα, έτσι ώστε να βρεθεί το  $K^*$ . Στη συνέχεια παρατηρήθηκε ομαλή αύξηση του κόστους και για αυτό δεν χρειάστηκε να εξετασθούν μια –μια όλες οι τιμές του  $K$  ως το 40 (όπου το σύστημα πλέον παίρνει την μορφή απλού Basestock), αλλά ορισμένες ενδεικτικές. Στην ουσία, για  $t=0$ , η βελτιστοποίηση γίνεται μόνο ως προς το  $K$ , λόγω του ότι το βέλτιστο  $S$ , υπολογίζεται απευθείας από την προσομοίωση.

Στην περίπτωση όμως της έγκαιρης προειδοποίησης της ζήτησης ( $t \neq 0$ ) τα πράγματα είναι διαφορετικά και αρκετά πιο δύσκολα. Λόγω του ότι δεν ισχύει πια η σχέση 2, η βελτιστοποίηση γίνεται ως προς και τις δυο παραμέτρους  $K$  και  $S$ .

Όπως φαίνεται και στον πίνακα 3, για κάθε τιμή του  $t = 4 - 40$ , επιχειρείται ο υπολογισμός, με διάφορες σειρές πειραμάτων, του βέλτιστου ζεύγους τιμών  $(K, S)$ , ενώ παράλληλα υπολογίζεται η βέλτιστη τιμή του  $t$ ,  $t^*$ , για την οποία το απόθεμα μηδενίζεται. Αυτό σημαίνει ότι από την τιμή αυτή ( $t^*$ ) και πέρα δεν χρειάζεται διατήρηση αποθέματος ( $S^*=0$ ) διότι ο χρόνος προειδοποίησης της ζήτησης είναι αρκετός έτσι ώστε να ικανοποιούνται όλες οι παραγγελίες χωρίς καθυστέρηση. Ουσιαστικά υπάρχει μια κρίσιμη τιμή ( $t^*$ ) του χρόνου προειδοποίησης της ζήτησης, για την οποία το βέλτιστο απόθεμα γίνεται μηδέν. Εάν ο χρόνος προειδοποίησης της ζήτησης είναι μεγαλύτερος από την κρίσιμη τιμή, τότε και πάλι όχι μόνο δεν διατηρούμε απόθεμα, αλλά καθυστερούμε την έναρξη παραγωγής κατά την διαφορά αυτού του χρόνου από την κρίσιμη τιμή.

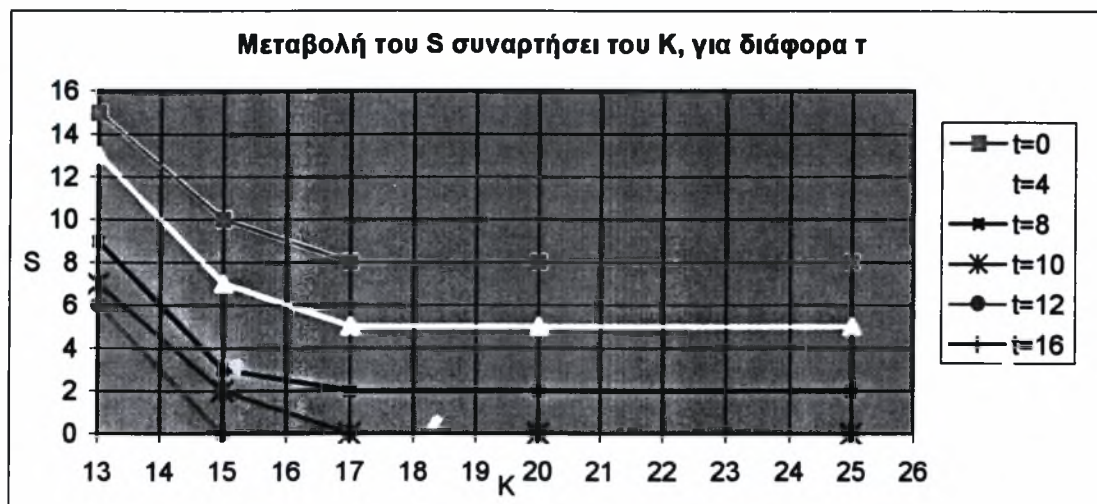
Συγκεκριμένα εάν το  $t^*=10$ , για  $K=17$  και ο χρόνος προειδοποίησης της ζήτησης είναι  $t=15$ , τότε η έναρξη παραγωγής καθυστερείται κατά 5 χρονικές μονάδες. Αξιοσημείωτο είναι και το γεγονός ότι το βέλτιστο  $K$  παραμένει στην τιμή 17, όπως και στην περίπτωση όπου  $t=0$ . Τα παραπάνω φαίνονται στα γραφήματα (1-3) που ακολουθούν:





τ	0	4	8	10	12	16
K=13	15	13	9	7	6	
K=15	10	7	3	2	0	0
K=17*	8	5	2	0	0	0
K=20	8	5	2	0	0	0
K=25	8	5	2	0	0	0

Γράφημα 1 - Μεταβολή του S συναρτήσει του τ, για διάφορα K.



K	13	15	17*	20	25
τ=0	15	10	8	8	8
τ=4	13	7	5	5	5
τ=8	9	3	2	2	2
τ=10	7	2	0	0	0
τ=12	6	0	0	0	0
τ=16		0	0	0	0

Γράφημα 2 - Μεταβολή του S συναρτήσει του K, για διάφορα τ.



Γράφημα 3 - Μεταβολή του S συναρτήσει του τ, για  $K=K^*=17$  - expo(1)

#### 4.2.2. Σειρά A2: Εκθετική Κατανομή (1, 1.5, 1, 1.5), $\tau \neq 0$

Οι παράμετροι που χρησιμοποιούνται στην σειρά A2, είναι οι εξής:

- Ρυθμός Άφιξης της Ζήτησης – Εκθετική Κατανομή με μέση τιμή  $\lambda = 0,8$ .  
Δηλαδή στη μονάδα του χρόνου εισέρχονται 0,8 ζητήσεις.
- Ρυθμός επεξεργασίας των μηχανών - Εκθετική Κατανομή με μέση τιμή  $\mu_1 = \mu_3 = 1$  και  $\mu_2 = \mu_4 = 1,5$ .
- Τιμή συντελεστή βαρύτητας για το κόστος διατήρησης αποθέματος:  $h = 1$ .
- Τιμή συντελεστή βαρύτητας για το κόστος ανικανοποιήτων ζητήσεων:  $b = 1$ . έτσι η τιμή του λόγου είναι:  $b / b+h = 0,5$
- Οι τιμές της προειδοποίησης της ζήτησης που χρησιμοποιούνται είναι:  $\tau = 0, 4, 8, 10, 12, 16, 20, 25$  και  $40$ .

Ουσιαστικά το μόνο που αλλάζει στην σειρά A2 είναι ο ρυθμός επεξεργασίας των μηχανών και τιμές h και b. Τούτο επιδρά άμεσα στον προσδιορισμό του ελαχίστου  $K_{\min}$ , επειδή η σχέση 3 δεν ισχύει πλέον. Έτσι ο προσδιορισμός του πραγματοποιείται με προσομοίωση. Το  $K_{\min}$  υπολογίσθηκε ίσο με 8 (ενώ στην A1  $K_{\min}=13$ ). Τα αποτελέσματα παρουσιάζονται στον πίνακα 4 που ακολουθεί:

**Κεφάλαιο 4 – Πειραματική Διαδικασία-Αποτελέσματα**

1	2	3	4	5	6	7
		$\tau=0$				
	<b>K</b>	<b>S*</b>	<b>ΚΟΣΤΟΣ</b>	<b>WIP</b>	<b>FP</b>	<b>QD</b>
	7	212	166,4111	6,956	64,0026	95,4526
	8	18	22,11442	7,3254	4,37951	10,40951
	9	13	16,36128	7,762	2,96964	5,62964
	10	11	15,00108	8,039	2,45304	4,50904
	11	10	14,87046	8,359	2,11673	4,39473
	12	10	13,30076	8,6423	1,62523	3,03323
	13	10	14,7294	8,963	2,2297	3,5367
	16	9	14,77286	9,443	1,83943	3,49043
	19	9	14,7754	9,671	1,8897	3,2147
	22	9	14,95454	9,868	1,93327	3,15327
	25	9	15,25192	10,153	1,87596	3,22296
	35	9	15,64436	10,437	1,86418	3,34318
	40	9	15,58786	10,42	1,86393	3,30393
		$\tau=4$				
	<b>K</b>	<b>S*</b>	<b>COST</b>	<b>WIP</b>	<b>FP</b>	<b>QD</b>
<b>L=3</b>	8	20	21,9241	7,3083	7,1595	7,4563
<b>L=4</b>	8	20	22,0207	7,3225	7,399	7,2992
<b>L=3</b>	8	18	21,4479	7,3083	5,9214	8,2182
<b>L=4</b>	8	18	21,5649	7,3225	6,176	8,0664
<b>L=4</b>	8	14	21,1595	7,3225	3,9688	9,8682
<b>L=3</b>	8	16	21,1481	7,3083	4,7715	9,0683
<b>L=4</b>	8	16	21,2613	7,3225	5,0197	8,9191
<b>L=3</b>	8	12	21,1593	7,3083	2,777	11,074
<b>L=4</b>	8	12	21,2638	7,3225	3,0213	10,92
<b>L=3</b>	8	8	22,1542	7,3083	1,2749	13,571
<b>L=4</b>	8	8	22,1676	7,3225	1,4731	13,372
<b>L=3</b>	8	5	23,6422	7,3083	0,5189	15,815

**Κεφάλαιο 4 – Πειραματική Διαδικασία-Αποτελέσματα**

L=4	8	5	23,5284	7,3225	0,6559	15,55
L=3	10	13	15,771	8,009	5,176	2,586
L=4	10	13	16,2048	8,039	5,652	2,5138
L=3	10	11	15,068	8,009	3,824	3,235
L=4	10	11	15,443	8,039	4,271	3,133
L=3	10	9	14,6939	8,009	2,637	4,0479
L=4	10	9	14,9637	8,039	3,0318	3,8929
L=3	10	7	14,7101	8,009	1,6451	5,056
L=4	10	7	14,8371	8,039	1,9685	4,8296
L=3	10	5	15,1715	8,009	0,8758	6,2867
L=4	10	5	15,124	8,039	1,11	5,975
L=3	12	12	15,5949	8,6259	4,9461	2,0229
L=4	12	12	15,9029	8,6423	5,525	1,7356
L=3	12	10	14,8396	8,6259	3,5687	2,645
L=4	12	10	14,8553	8,6423	3,568	2,645
L=3	12	8	14,4439	8,6259	2,371	3,447
L=4	12	8	14,4303	8,6423	2,789	2,999
L=3	12	6	14,4819	8,6259	1,39	4,466
L=4	12	6	14,2763	8,6423	1,712	3,922
L=3	12	4	15,0272	8,6259	0,6623	5,739
L=4	12	4	14,6128	8,6423	0,8805	5,09
L=4	16	9	15,1751	9,4439	3,639	2,0922
L=4	16	7	14,653	9,443	2,38	2,83
L=4	16	5	14,6026	9,443	1,3536	3,806

**Κεφάλαιο 4 – Πειραματική Διαδικασία-Αποτελέσματα**

L=4	16	3	15,1041	9,443	0,6041	5,057
L=4	19	9	15,2825	9,6715	3,742	1,869
L=4	19	7	14,6865	9,6715	2,444	2,571
L=4	19	5	14,5725	9,6715	1,387	3,514
L=4	19	3	15,0332	9,6715	0,6177	4,744
L=4	19	1	16,11928	9,6715	0,16078	6,287
L=4	25	9	15,7054	10,153	3,7016	1,8508
L=4	25	7	15,15	10,153	2,424	2,573
L=4	25	5	15,066	10,153	1,382	3,531
L=4	25	3	15,54	10,153	0,619	4,768
L=4	25	1	16,6258	10,153	0,1618	6,311
L=4	35	9	16,0477	10,437	3,667	1,9437
L=4	35	7	15,515	10,437	2,401	2,677
L=4	35	5	15,449	10,437	1,368	3,644
L=4	35	3	15,9372	10,437	0,6122	4,888
L=4	35	1	17,0348	10,437	0,1608	6,437
		<b>Γ=8</b>				
	<b>K</b>	<b>S*</b>	<b>COST</b>	<b>WIP</b>	<b>FP</b>	<b>QD</b>
L=8	8	16	21,7455	7,3225	6,857	7,566

#### Κεφάλαιο 4 – Πειραματική Διαδικασία-Αποτελέσματα

L=8	8	12	21,1179	7,3225	4,5434	9,252
L=8	8	10	21,0865	7,3225	3,528	10,236
L=8	8	8	21,2705	7,3225	2,62	11,328
L=8	8	6	21,6875	7,3225	1,828	12,537
L=8	10	7	15,0836	8,039	3,6886	3,356
L=8	10	5	14,7132	8,039	2,503	4,1712
L=8	10	3	14,7239	8,039	1,5089	5,176
L=8	10	1	15,181	8,039	0,7373	6,4047
L=8	12	6	14,5834	8,6423	3,4661	2,475
L=8	12	4	14,1357	8,6423	2,2423	3,2511
L=8	12	3	14,0756	8,6423	1,7122	3,7211
L=8	12	2	14,1363	8,6423	1,243	4,251
L=8	12	1	14,3329	8,6423	0,8409	4,8497
L=8	12	0	14,67	8,6423	0,5097	5,518
L=8	16	5	14,7468	9,4439	3,0250	2,277
L=8	16	3	14,3676	9,4439	1,8362	3,0875
L=8	16	1	14,4956	9,4439	0,9002	4,1515
L=8	16	0	14,78141	9,4439	0,54311	4,7944
L=8	19	5	14,8202	9,6715	3,1108	2,0379

**Κεφάλαιο 4 – Πειραματική Διαδικασία-Αποτελέσματα**

L=8	19	3	14,3634	9,6715	1,8824	2,8095
L=8	19	1	14,43623	9,6715	0,91883	3,8459
L=8	19	0	14,705	9,6715	0,5532	4,4803
L=8	25	5	15,2567	10,153	3,0764	2,0273
L=8	25	3	14,8412	10,153	1,8686	2,8196
L=8	25	1	14,93946	10,153	0,91776	3,8687
L=8	25	0	15,2112	10,153	0,5536	4,5046
L=8	35	5	15,6113	10,437	3,0505	2,1238
L=8	35	3	15,216	10,437	1,8528	2,9262
L=8	35	1	15,3302	10,437	0,9099	3,9833
L=8	35	0	15,6091	10,437	0,5494	4,6227
		$r=10$				
	K	S*		WIP	FP	QD
L=10	12	2	14,0044	8,6423	1,977	3,3851
L=10	12	1	13,9823	8,6423	1,466	3,874
L=10	12	0	14,0889	8,6423	1,0196	4,427
		$r=12$				
	K	S*		WIP	FP	QD
L=12	8	8	21,0008	7,3225	4,0803	9,598
L=12	8	6	21,0425	7,3225	3,101	10,619
L=12	8	4	21,309	7,3225	2,2345	11,752

**Κεφάλαιο 4 – Πειραματική Διαδικασία-Αποτελέσματα**

L=12	8	2	21,8133	7,3225	1,4868	13,004
L=12	10	3	14,7576	8,039	3,1226	3,596
L=12	10	2	14,5869	8,039	2,537	4,0109
L=12	10	1	14,5083	8,039	1,9978	4,4715
L=12	10	0	14,529	8,039	1,508	4,982
L=12	12	2	14,1999	8,6423	2,8751	2,6825
L=12	12	1	13,9869	8,6423	2,2686	3,076
L=12	12	0	13,8842	8,6423	1,7173	3,5246
L=12	16	2	14,642	9,4439	3,074	2,1241
L=12	16	1	14,3529	9,4439	2,43	2,479
L=12	16	0	14,176	9,4439	1,8413	2,8908
L=12	19	2	14,7224	9,6715	3,1619	1,889
L=12	19	1	14,3915	9,6715	2,496	2,224
L=12	19	0	14,1765	9,6715	1,889	2,616
L=12	25	2	15,1472	10,153	3,1207	1,8735
L=12	25	1	14,838	10,153	2,466	2,219
L=12	25	0	14,6451	10,153	1,8697	2,6224
L=12	35	2	15,501	10,437	3,097	1,967

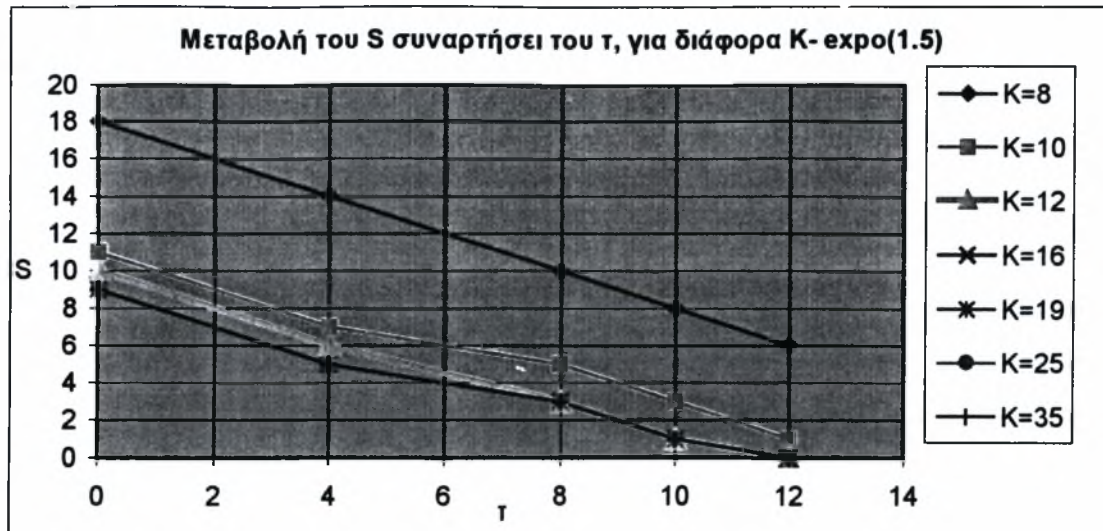


**Κεφάλαιο 4 – Πειραματική Διαδικασία-Αποτελέσματα**

L=12	35	1	15,204	10,437	2,448	2,319
L=12	35	0	15,0209	10,437	1,8569	2,727
		$\tau=40$				
L=8	8	0	22,7114	7,273	0,2744	15,164
L=30	8	0	21,555	7,332	7,766	6,457
L=8	10	0	15,9193	8,1408	0,4193	7,3592
L=30	10	0	20,9571	8,1367	11,51	1,3104
L=8	11	0	14,87751	8,3177	0,49111	6,0687
L=30	11	0	21,40889	8,4563	12,291	0,66159
L=8	12	0	14,50102	8,6389	0,50502	5,3571
L=30	12	0	22,06649	8,5798	13,109	0,37769

**Πίνακας 4 – Αποτελέσματα Σειράς Πειραμάτων A2.**

Τα συμπεράσματα που προκύπτουν από την σειρά πειραμάτων A2, είναι παρόμοια με αυτά τη σειράς A1. Η πολιτική που ακολουθείται παραμένει η ίδια. Βέβαια τόσο το  $K^*$  είναι διαφορετικό και παίρνει την τιμή 12, όσο και το  $\tau^* = 12$ . Έτσι επιβεβαιώνονται τα όσα αναφέρονται στην παράγραφο 4.2.1 στην ανάλυση του πίνακα 3, σχετικά τόσο με την πολιτική που ακολουθείται όσο και τις ιδιότητες του συστήματος.



τ	0	4	8	10	12
K=8	18	14	10	8	6
K=10	11	7	5	3	1
K*=12	10	6	3	1	0
K=16	9	5	3	1	0
K=19	9	5	3	1	0
K=25	9	5	3	1	0
K=35	9	5	3	1	0

Γράφημα 4 - Μεταβολή του S συναρτήσει του τ, για διάφορα Κ- exρο(1.5)

#### 4.4. Κατηγορία Β - Απουσία Έγκαιρης Προειδοποίησης της Ζήτησης ( $\tau = 0$ )

Στην Κατηγορία Β περιλαμβάνονται 3 σειρές πειραμάτων. Η κύρια διαφορά από την Κατηγορία Α είναι ότι εδώ δεν εξετάζεται η περίπτωση του χρόνου προειδοποίησης της ζήτησης, αλλά η σχέση μεταξύ των  $K^*$ ,  $S^*$  και του λόγου  $b / b+h$ , για  $\tau=0$ . Έτσι επιχειρείται μια προσπάθεια προσδιορισμού των παραπάνω ιδιοτήτων καθώς και των βέλτιστων τιμών.

##### 4.2.3. Σειρά Β1: Εκθετική Κατανομή (1,1,1,1), $\tau=0$

Οι συνθήκες των πειραμάτων της σειράς Β1 είναι οι παρακάτω:

- Ρυθμός Άφιξης της Ζήτησης – Εκθετική Κατανομή με μέση τιμή  $\lambda = 0,8$ .
- Ρυθμός επεξεργασίας των μηχανών - Εκθετική Κατανομή με μέση τιμή  $\mu_1 = \mu_2 = \mu_3 = \mu_4 = 1$ .
- Τιμές του λόγου  $b / b+h$ :

h	b	b/h+b
10	1	0,0909
5	1	0,1667
1	1	0,5000
1	5	0,8333
1	8	0,8889
1	10	0,9091

Πίνακας 5 - Τιμές του λόγου  $b / b+h$  για την Σειρά Β1

Τα αποτελέσματα των προσομοιώσεων παρουσιάζονται στον πίνακα 6 που ακολουθεί:

#### Κεφάλαιο 4 – Πειραματική Διαδικασία-Αποτελέσματα

b/h+b	S*	WIP	FP	QD	COST= h*(WIP+FP)+b*QD
<b>k=13</b>					
0,090909091	11	12,44	0,342309	45,351309	173,174399
0,166666667	15	12,44	0,847039	41,856039	108,291234
0,5	39	12,44	9,081429	26,090429	47,611858
0,833333333	96	12,44	48,918825	8,927825	105,99795
0,888888889	120	12,44	69,644184	5,653184	127,309656
0,909090909	130	12,44	78,626778	4,635778	137,424558
<b>k=15</b>					
0,909090909	7	13,077	0,204257	17,859257	150,671827
0,166666667	10	13,077	0,603617	15,258617	83,661702
0,5	20	13,077	4,056817	8,711817	25,845634
0,833333333	39	13,077	17,326536	2,981536	45,311216
0,888888889	46	13,077	23,360593	2,015593	52,562337
0,909090909	50	13,077	26,949427	1,604427	56,070697
<b>k=16</b>					
0,090909091	7	13,507	0,218469	14,691469	151,946159
0,166666667	9	13,507	0,474199	12,947199	82,853194
0,5	18	13,507	3,396429	6,869429	23,772858
0,833333333	34	13,507	14,480289	1,953289	37,753734
0,888888889	39	13,507	18,806896	1,279896	42,553064
0,909090909	41	13,507	20,604119	1,077119	44,882309
<b>k=17</b>					
0,090909091	6	13,655	0,158155	13,540155	151,671705
0,166666667	8	13,655	0,551075	10,933075	81,97945
0,5	17	13,655	3,344495	5,726495	22,72599
0,833333333	30	13,655	12,331215	1,713215	34,55229
0,888888889	35	13,655	16,651035	1,033035	38,570315
0,909090909	27	13,655	18,457113	0,839113	40,50243
<b>k=18</b>					
0,090909091	6	14,119	0,164137	13,415137	156,246507
0,166666667	8	14,119	0,394157	11,645157	84,210942
0,5	17	14,119	3,353097	5,604097	23,076194
0,833333333	30	14,119	12,415217	1,666217	34,865302
0,888888889	35	14,119	16,744937	0,995937	38,831433
0,909090909	37	14,119	18,549367	0,800367	40,672037
<b>k=21</b>					
0,090909091	6	14,837	0,179956	11,887956	162,057516
0,166666667	8	14,837	0,433836	10,141836	86,496016
0,5	16	14,837	3,146256	4,854256	22,837512
0,833333333	27	14,837	10,754546	1,462546	32,904276
0,888888889	31	14,837	14,210016	0,918016	36,391144

**Κεφάλαιο 4 – Πειραματική Διαδικασία-Αποτελέσματα**

0,909090909	32	14,837	15,109136	0,817136	38,117496
<b>k=22</b>					
0,090909	6	14,781	0,173886	10,863886	160,4127
0,166667	8	14,781	0,426676	9,116676	85,15506
0,5	15	14,781	2,755096	4,445096	21,98119
0,833333	25	14,781	9,593896	1,283896	30,79438
0,888889	29	14,781	13,047916	0,737916	33,73224
0,909091	30	14,781	13,946116	0,636116	35,08828
<b>k=23</b>					
0,090909	6	14,747	0,189265	10,570265	159,9329
0,166667	8	14,747	0,464205	8,845205	84,90123
0,5	15	14,747	2,898355	4,279355	21,92471
0,833333	25	14,747	9,884325	1,265325	30,95795
0,888889	28	14,747	12,477875	0,858875	34,09588
0,909091	30	14,747	14,281285	0,662285	35,65114
<b>k=25</b>					
0,090909091	6	15,236	0,189426	10,538426	164,792686
0,166666667	8	15,236	0,455496	8,804496	87,261976
0,5	15	15,236	2,811386	4,160386	22,207772
0,833333333	25	15,236	9,763216	1,112216	30,560296
0,888888889	28	15,236	12,367376	0,716376	33,334384
0,909090909	29	15,236	13,265416	0,614416	34,645576
<b>k=30</b>					
0,090909091	6	15,899	0,190013	10,616013	171,506143
0,166666667	8	15,899	0,457553	8,883553	90,666318
0,5	15	15,899	2,801773	4,227773	22,928546
0,833333333	25	15,899	9,697853	1,123853	31,216118
0,888888889	28	15,899	12,293443	0,719443	33,947987
0,909090909	29	15,899	13,188333	0,614333	35,230663
<b>k=35</b>					
0,090909091	6	15,613	0,197032	9,995032	168,095352
0,166666667	8	15,613	0,476632	8,274632	88,722792
0,5	15	15,613	2,945062	3,743062	22,301124
0,833333333	24	15,613	9,264462	1,062462	30,189772
0,888888889	27	15,613	11,868252	0,666252	32,811268
0,909090909	28	15,613	12,771672	0,569672	34,081392
<b>K=40</b>					
0,090909091	6	15,787	0,201071	10,068071	169,948781
0,166666667	8	15,787	0,480701	8,347701	89,686206
0,5	15	15,787	2,938971	3,805971	22,531942
0,833333333	24	15,787	9,208231	1,075231	30,371386
0,888888889	27	15,787	11,807261	0,674261	32,988349

0,909090909	28	15,787	12,705201	0,572201	34,214211

Πίνακας 6 - Αποτελέσματα Σειράς Πειραμάτων Β1.

Σύμφωνα με τη σχέση 1 για τον υπολογισμό του FP και QD χρησιμοποιούνται οι παρακάτω σχέσεις, ενώ τα αριθμητικά δεδομένα λαμβάνονται με τη βοήθεια του Output Analyzer. Το wip και το totwip (N) λαμβάνονται από τα reports του Arena στο τέλος κάθε προσομοίωσης.

➤  $FP = S^* P(N \leq S) - A$

➤  $QD = B - S [1 - P(N \leq S^*)]$

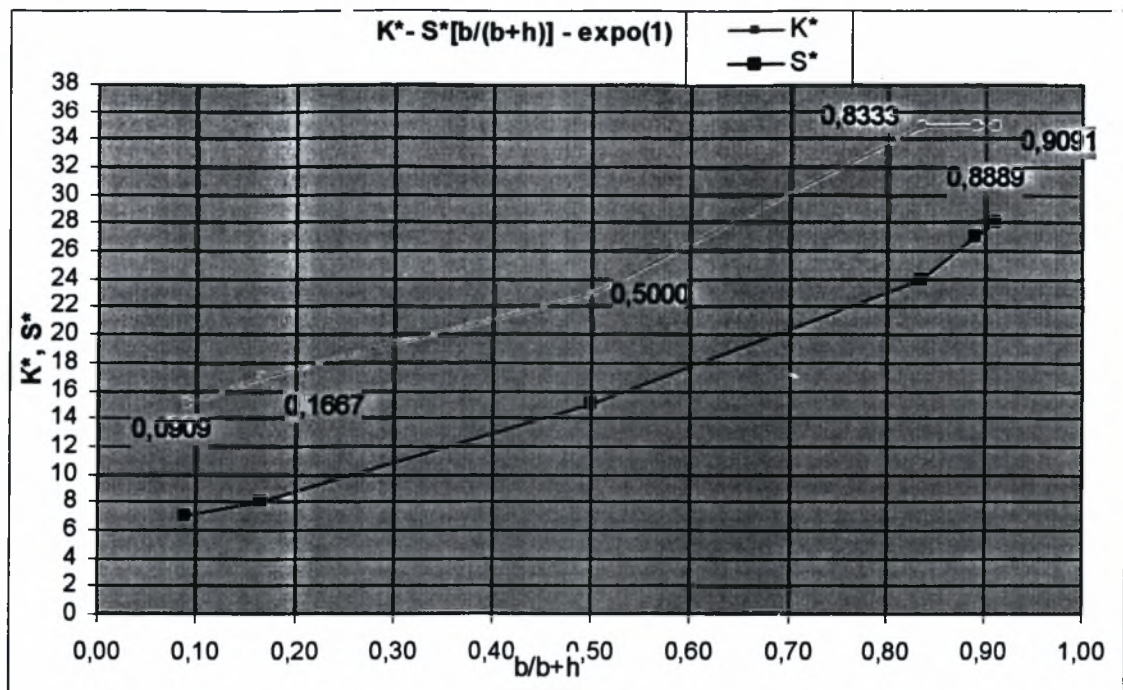
➤  $N = A + B \rightarrow B = N - A$

➤  $A = \sum_{j=0}^{S^*} jP(N = j)$

Οι πιθανότητες  $P(N \leq S^*)$  και  $\sum_{j=0}^{S^*} jP(N = j)$  δίνονται από το Output Analyzer.

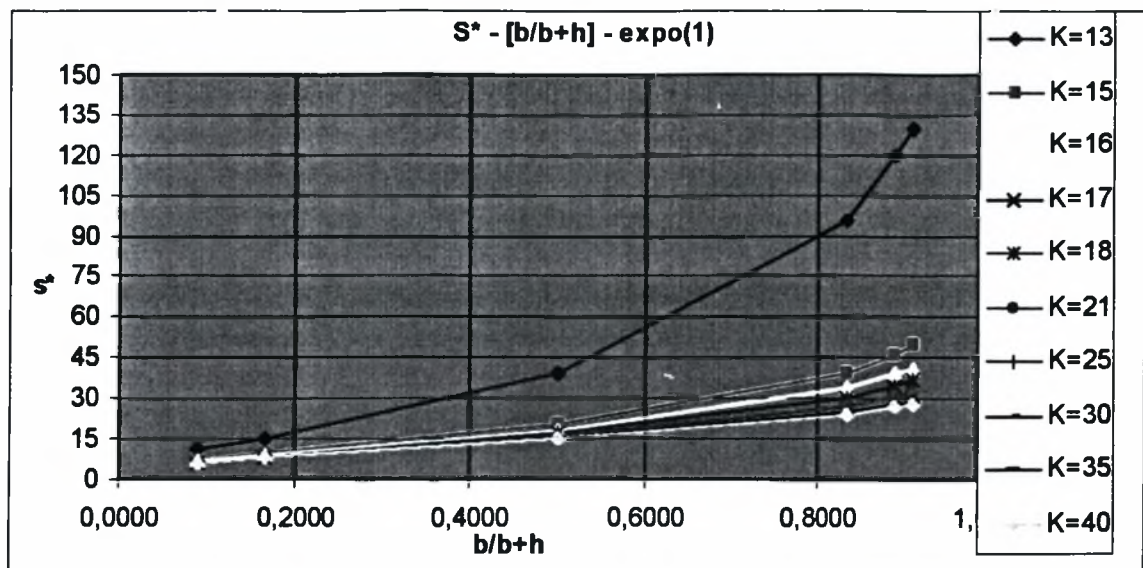
### Ανάλυση Πίνακα 6

Οι τιμές του πίνακα 6 προέκυψαν από ένα πείραμα προσομοίωσης που διεξήχθη για κάθε τιμή του K, από K=13-40. Εδώ ουσιαστικά η βελτιστοποίηση γίνεται ως προς K, επειδή το  $S^*$  βέλτιστο προκύπτει απ' ευθείας από τη σχέση 2. Επιπροσθέτως, εξετάστηκαν διαφορετικές τιμές του λόγου  $b/b+h$  με σκοπό να προσδιορισθεί μια σχέση που να συνδέει τα K, S και  $b/b+h$ .



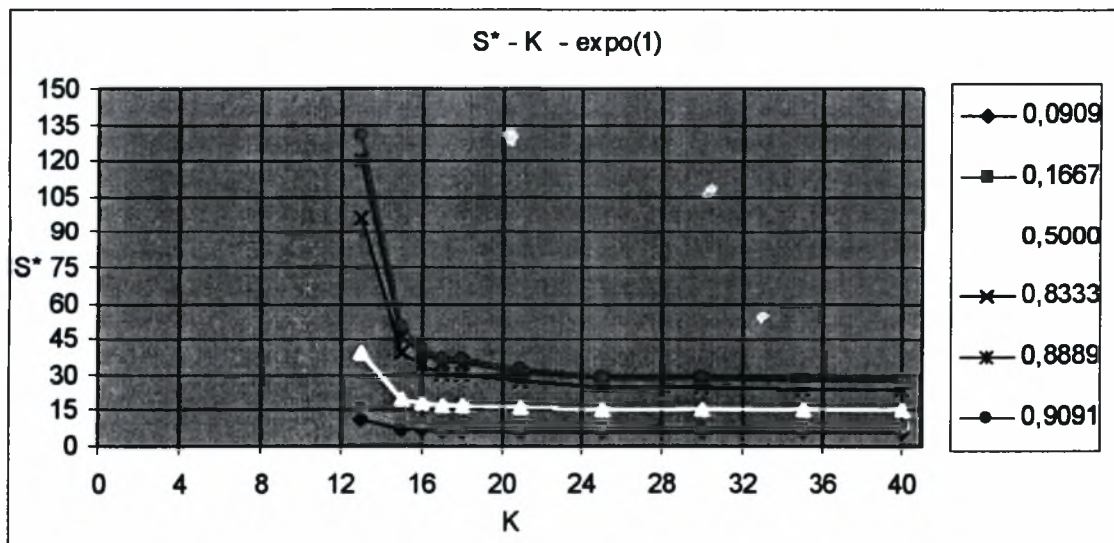
Γράφημα 5 - Μεταβολή του  $K^*$  και του  $S^*$  σε σχέση με το λόγο  $b/b+h$  για τη σειρά B1.

Στο γράφημα 5 παρουσιάζεται η κατανομή του βέλτιστου  $K^*$  και του αντίστοιχου  $S^*$ , όπως προκύπτει από τον πίνακα 6, για κάθε τιμή του λόγου  $b/b+h$ . Παρατηρούμε ότι τόσο τα  $K^*$  όσο και τα  $S^*$ , αυξάνονται γραμμικά σε σχέση με το  $b/b+h$ . Τούτο είναι λογικό και μπορεί να ερμηνευτεί ως εξής: Όσο αυξάνεται ο λόγος  $b/b+h$  αυτό σημαίνει ότι δίνεται μεγαλύτερη βαρύτητα στο κόστος των ανικανοποίητων ζητήσεων ( $b \gg h$ ). Έτσι θα πρέπει να διατηρείται μεγαλύτερο απόθεμα, ενώ το  $K$  θα πρέπει επίσης να είναι μεγάλο έτσι ώστε να ικανοποιείται η ζήτηση. Το  $wip$  βέβαια αυξάνει σημαντικά αλλά επειδή έχει μικρό συντελεστή βαρύτητας κόστους ( $h=1$ ) δεν επηρεάζει το σύστημα. Από μία τιμή το  $b/b+h=0,833$  και πάνω το  $K$  παραμένει σταθερό ( $K=35$ ) επειδή πλέον έχουμε μεταβεί στην κατάσταση απλού basestock. Ένα ακόμα συμπέρασμα που προκύπτει είναι ότι το  $K^*$  είναι πάντα μεγαλύτερο του  $S^*$ .



Γράφημα 6 - Μεταβολή του S σε σχέση με το λόγο b/b+h για διάφορα K

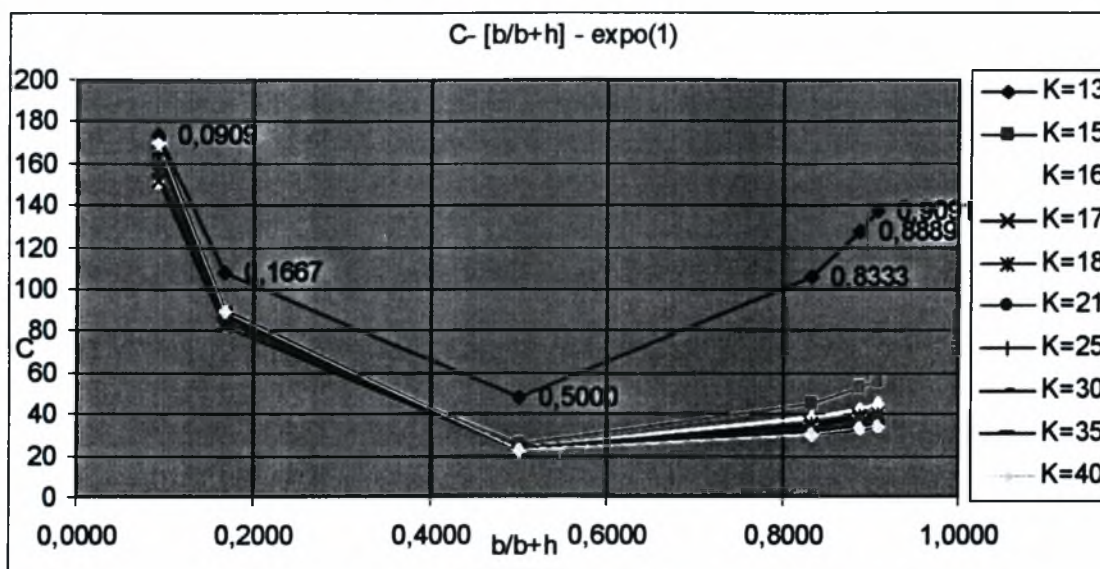
Στο γράφημα 6 παρουσιάζεται η μεταβολή του S σε σχέση με το b/b+h για κάθε K. Παρατηρούμε ότι για υψηλές τιμές του K το S μεταβάλλεται πιο ομαλά από ότι για μικρά K π.χ. (K=13). Αυτό σημαίνει ότι για την περιοχή όπου  $b/b+h > 0,8$  θα πρέπει να διατηρούμε υψηλό S όταν το K είναι μικρό, για να ικανοποιούνται οι ζητήσεις χωρίς καθυστέρηση. Για υψηλά K, το S όπως είναι λογικό μειώνεται σημαντικά διότι έχουμε υψηλό  $w_{ip}$  και άρα περισσότερα τελικά προϊόντα. Τα παραπάνω φαίνονται και στο γράφημα 7.



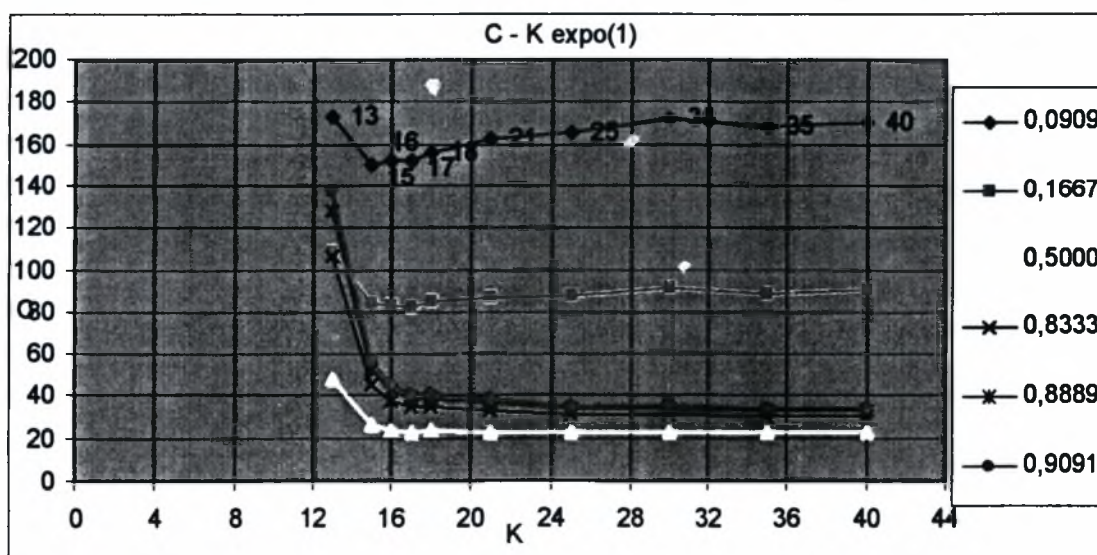
Γράφημα 7 - Μεταβολή του S σε σχέση με το K για διάφορα b/b+h.



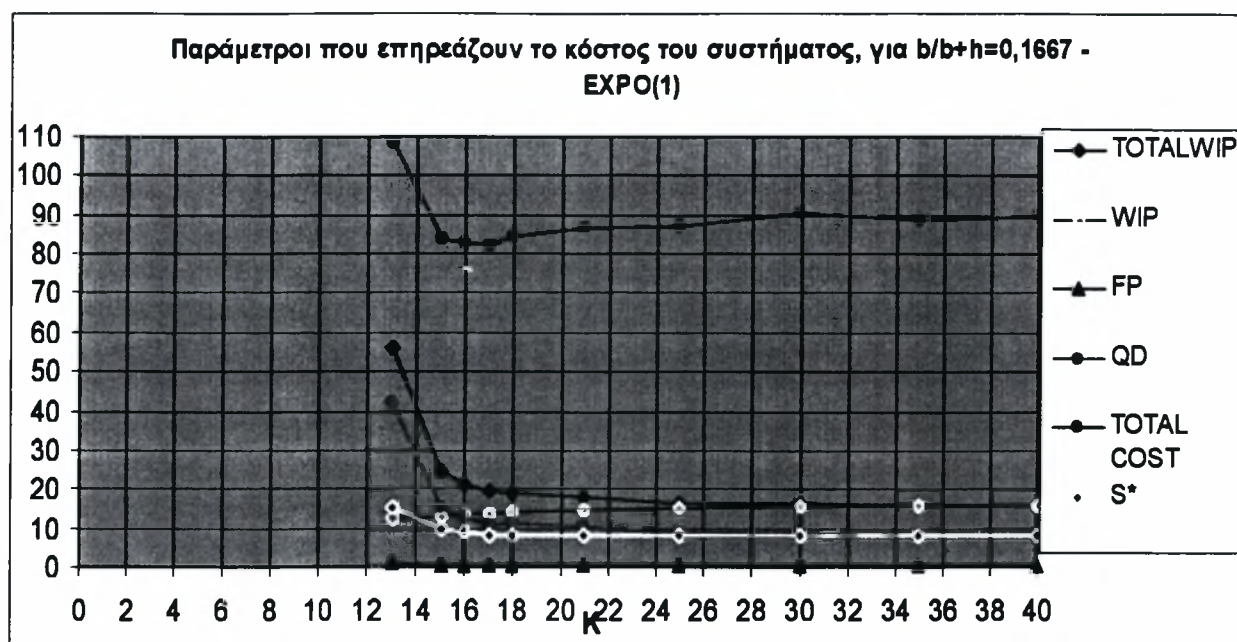
Στα γραφήματα 7 και 8 δίνεται η μεταβολή του κόστους συστήματος σε σχέση με το  $K$  και το λόγο  $b/b+h$ . Είναι φανερό ότι για  $b/b+h = 0,5$  που σημαίνει ότι  $b=h=1$ , το κόστος του συστήματος ελαχιστοποιείται. Με την αύξηση του  $K$  το κόστος αυξάνει για οποιοδήποτε  $b/b+h$  (γραφ. 9) αλλά όχι απότομα. Αρχικά για μικρά  $K$  το κόστος είναι υψηλό. Καθώς αυξάνεται το  $K$  υπάρχει ένα  $K^*$ , βέλτιστο, όπου έχουμε το ελάχιστο κόστος και μετά από εκεί και πέρα έχουμε μία μικρή αλλά σταθερή αύξηση. Βέβαια, λόγω της προσομοίωσης υπάρχουν ορισμένες αποκλίσεις στις τιμές (ελάχιστες) οι οποίες όμως δεν επηρεάζουν την γενική πολιτική που προκύπτει.



Γράφημα 8 - Μεταβολή του C σε σχέση με το  $b/b+h$  για διάφορα  $K$ .



Γράφημα 9 - Μεταβολή του C σε σχέση με το  $K$  για διάφορα  $b/b+h$ .



Γράφημα 10 - Παράμετροι που επηρεάζουν το κόστος του συστήματος.

Στο γράφημα 10 συγκεντρώνονται οι παράμετροι που επηρεάζουν το κόστος του συστήματος, για διαφορετικά  $K$ , και μία συγκεκριμένη τιμή του  $b/b+h$ . Παρατηρούμε ότι για μικρά  $K=13$  το κόστος που προσδίδει στο σύστημα το συνολικό  $wip$  ( $totwip$ ), και οι ανικανοποίητες ζητήσεις ( $QD$ ) είναι υψηλό αντίθετα με το  $wip$ , το  $S$  και το  $FP$  που φαίνεται να μην επηρεάζουν ιδιαίτερα το σύστημα.

**4.2.4. Σειρά Β2: Εκθετική Κατανομή (1, 1.5, 1, 1.5), τ=0**

Οι συνθήκες των πειραμάτων της σειράς Β2 είναι οι παρακάτω:

- Ρυθμός Άφιξης της Ζήτησης – Εκθετική Κατανομή με μέση τιμή  $\lambda = 0,8$ .
- Ρυθμός επεξεργασίας των μηχανών - Εκθετική Κατανομή με μέση τιμή  $\mu_1 = 1 \mu_2 = 1,5 \mu_3 = 1 \mu_4 = 1,5$  (Ουσιαστικά αυξάνεται η ταχύτητα επεξεργασίας της γραμμής παραγωγής – ταχύτερες μηχανές  $\mu_2$  και  $\mu_4$ ).
- Τιμές του λόγου  $b / b+h$ :

h	b	b/h+b
10	1	0,0909
5	1	0,1667
1	1	0,5000
1	5	0,8333
1	8	0,8889
1	10	0,9091

Πίνακας 7 - Τιμές του λόγου  $b / b+h$  για την Σειρά Β2

Τα αποτελέσματα των προσομοιώσεων παρουσιάζονται στον πίνακα 8 που ακολουθεί:

b/h+b	S*	WIP	FP	QD	COST= $h*(WIP+FP) + b*QD$
<b>k=8</b>					
0,090909091	5	7,3254	0,2012	19,2312	94,4972
0,166666667	7	7,3254	0,48149	17,51149	56,54594
0,5	18	7,3254	4,37951	10,40951	22,11442
0,833333333	42	7,3254	21,337175	3,367175	45,49845
0,888888889	52	7,3254	29,953599	1,983599	53,147791
0,909090909	56	7,3254	33,547212	1,577212	56,644732
<b>k=9</b>					
0,090909091	4	7,762	0,14934	11,80934	90,92274
0,166666667	5	7,762	0,27039	10,93039	51,09234
0,5	13	7,762	2,96964	5,62964	16,36128
0,833333333	23	7,762	9,68835	2,34835	29,1921
0,888888889	30	7,762	15,6054	1,2654	33,4906

#### Κεφάλαιο 4 – Πειραματική Διαδικασία-Αποτελέσματα

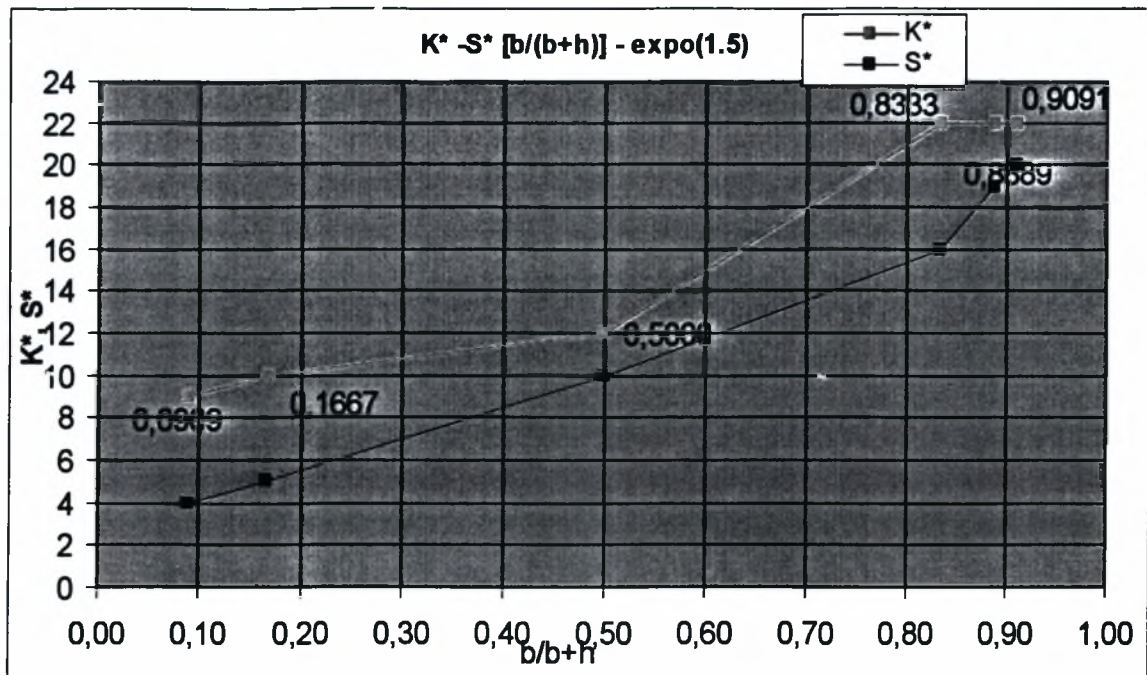
0,909090909	33	7,762	18,307656	0,967656	35,746216
<b>k=10</b>					
0,090909091	3	8,039	0,0892	10,1452	91,4272
0,166666667	5	8,039	0,34013	8,39613	50,29178
0,5	11	8,039	2,45304	4,50904	15,00108
0,833333333	21	8,039	9,44105	1,49705	24,9653
0,888888889	25	8,039	12,89248	0,94848	28,51932
0,909090909	27	8,039	14,69658	0,75258	30,26138
<b>k=11</b>					
0,090909091	3	8,359	0,09793	9,37593	93,94523
0,166666667	5	8,359	0,37194	7,64994	51,30464
0,5	10	8,359	2,11673	4,39473	14,87046
0,833333333	19	8,359	8,30327	1,58127	24,56862
0,888888889	23	8,359	11,74926	1,02726	28,32634
0,909090909	24	8,359	12,64834	0,92634	30,27074
<b>k=12</b>					
0,090909091	3	8,6423	0,10159	8,50959	95,94849
0,166666667	4	8,6423	0,21421	7,62221	51,90476
0,5	10	8,6423	1,62523	3,03323	13,30076
0,833333333	18	8,6423	7,80504	1,21304	22,51254
0,888888889	21	8,6423	10,3889	0,7969	25,4064
0,909090909	22	8,6423	11,28466	0,69266	26,85356
<b>k=13</b>					
0,090909091	3	8,963	0,10065	8,40765	99,04415
0,166666667	4	8,963	0,21365	7,52065	53,4039
0,5	10	8,963	2,2297	3,5367	14,7294
0,833333333	18	8,963	7,82962	1,13662	22,47572
0,888888889	21	8,963	10,40901	0,71601	25,10009
0,909090909	22	8,963	11,32735	0,63435	26,63385
<b>k=16</b>					
0,090909091	3	9,443	0,10708	7,75808	103,25888
0,166666667	4	9,443	0,22662	6,87762	55,22572
0,5	9	9,443	1,83943	3,49043	14,77286
0,833333333	17	9,443	7,3813	1,0323	21,9858
0,888888889	20	9,443	9,99014	0,64114	24,56226
0,909090909	21	9,443	10,8941	0,5451	25,7881
<b>k=19</b>					
0,090909091	3	9,671	0,10892	7,43392	105,23312
0,166666667	4	9,671	0,23112	6,55612	56,06672
0,5	9	9,671	1,8897	3,2147	14,7754
0,833333333	16	9,671	6,73258	1,05758	21,69148
0,888888889	19	9,671	9,32768	0,65268	24,22012
0,909090909	20	9,671	10,23148	0,55648	25,46728
<b>k=22</b>					
0,090909091	3	9,868	0,11459	7,33459	107,16049
0,166666667	4	9,868	0,24153	6,46153	57,00918

#### Κεφάλαιο 4 – Πειραματική Διαδικασία-Αποτελέσματα

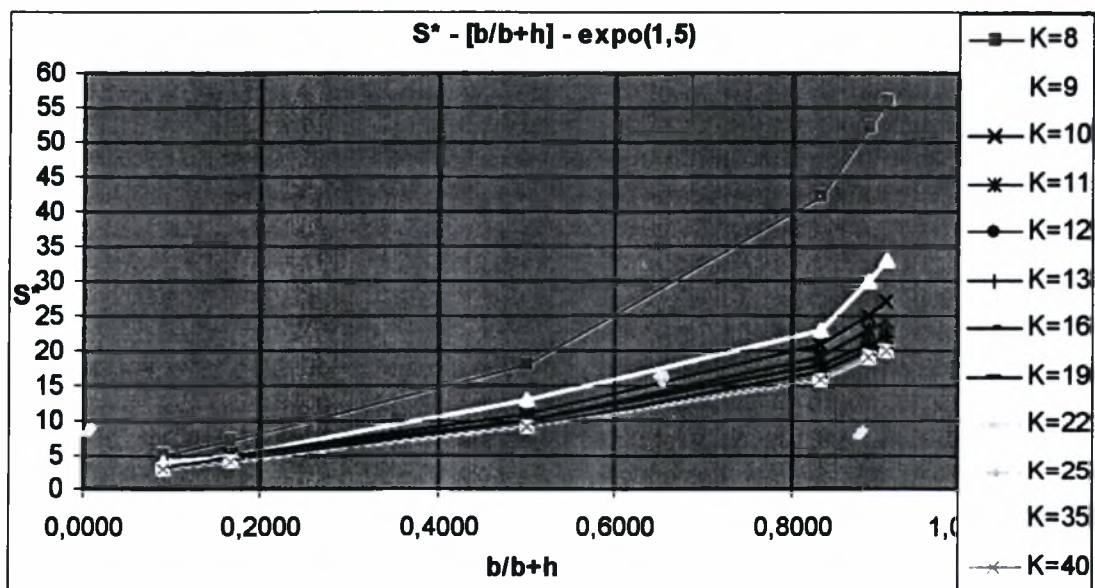
0,5	9	9,868	1,93327	3,15327	14,95454
0,833333333	16	9,868	6,78098	1,00098	21,65388
0,888888889	19	9,868	9,37332	0,59332	23,98788
0,909090909	20	9,868	10,27772	0,49772	25,12292
<b>k=25</b>					
0,090909091	3	10,153	0,1114	7,4584	110,1024
0,166666667	4	10,153	0,23346	6,58046	58,51276
0,5	9	10,153	1,87596	3,22296	15,25192
0,833333333	16	10,153	6,66029	1,00729	21,84974
0,888888889	19	10,153	9,2431	0,5901	24,1169
0,909090909	20	10,153	10,1461	0,4931	25,2301
<b>k=35</b>					
0,090909091	3	10,437	0,11028	7,58928	113,06208
0,166666667	4	10,437	0,23262	6,71162	60,05972
0,5	9	10,437	1,86418	3,34318	15,64436
0,833333333	16	10,437	6,61131	1,09031	22,49986
0,888888889	19	10,437	9,1826	0,6616	24,9124
0,909090909	20	10,437	10,0794	0,5584	26,1004
<b>k=40</b>					
0,090909091	3	10,42	0,1103	7,5503	112,8533
0,166666667	4	10,42	0,2325	6,6725	59,935
0,5	9	10,42	1,86393	3,30393	15,58786
0,833333333	16	10,42	6,61296	1,05296	22,29776
0,888888889	19	10,42	9,18412	0,62412	24,59708
0,909090909	20	10,42	10,08332	0,52332	25,73652

**Πίνακας 8 - Αποτελέσματα Σειράς Πειραμάτων B2.**

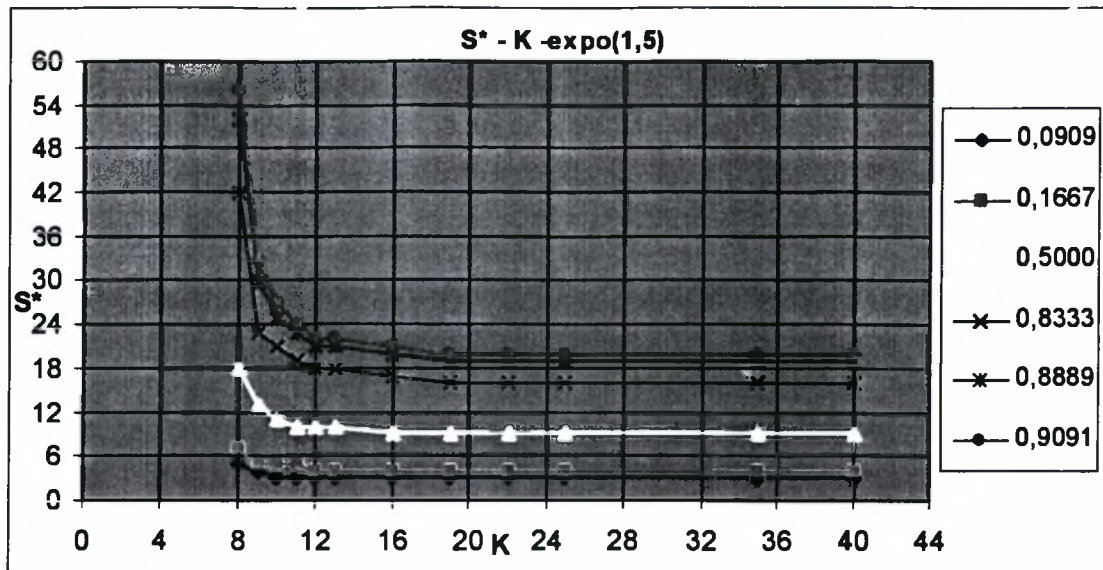
Τα συμπεράσματα που προκύπτουν από την σειρά πειραμάτων B2, είναι παρόμοια με αυτά τη σειράς B1. Η πολιτική που ακολουθείται φαίνεται να παραμένει η ίδια και στην περίπτωση όπου έχουμε διαφορετική ταχύτητα επεξεργασίας των μηχανών. Βέβαια οι τιμές των  $K^*$  και των  $S'$  είναι διαφορετικές, αλλά όπως δείχνουν και τα γραφήματα που ακολουθούν, η ποιοτική κατανομή των παραμέτρων  $K$ ,  $S$  και  $b/b+h$  και οι ιδιότητες του συστήματος είναι παρόμοιες με αυτές της σειράς B1.



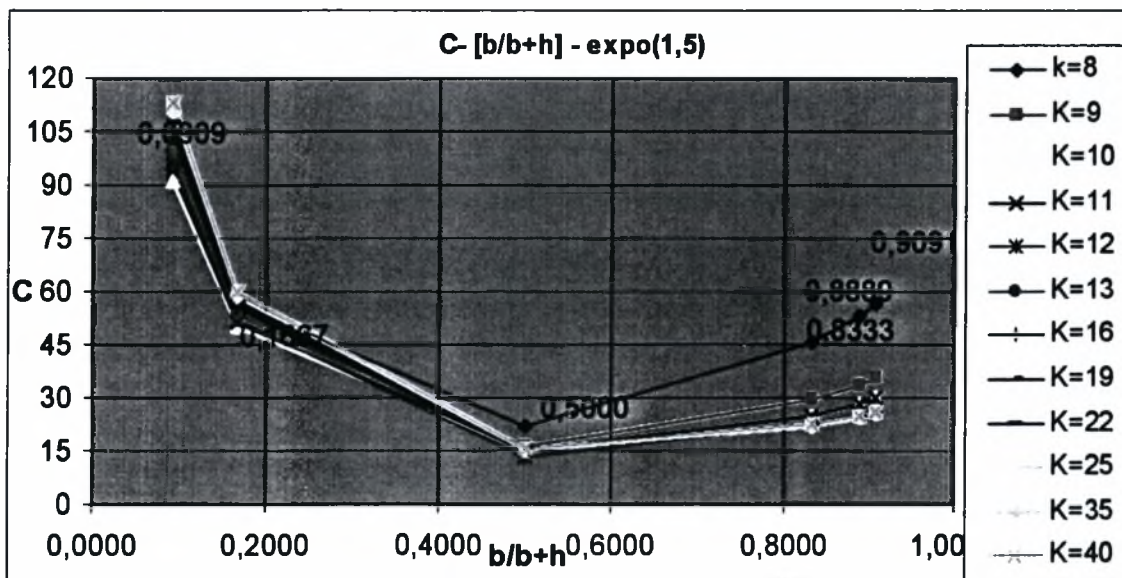
Γράφημα 11 - Μεταβολή του  $K^*$  και του  $S^*$  σε σχέση με το λόγο  $b/b+h$  για τη σειρά B2.



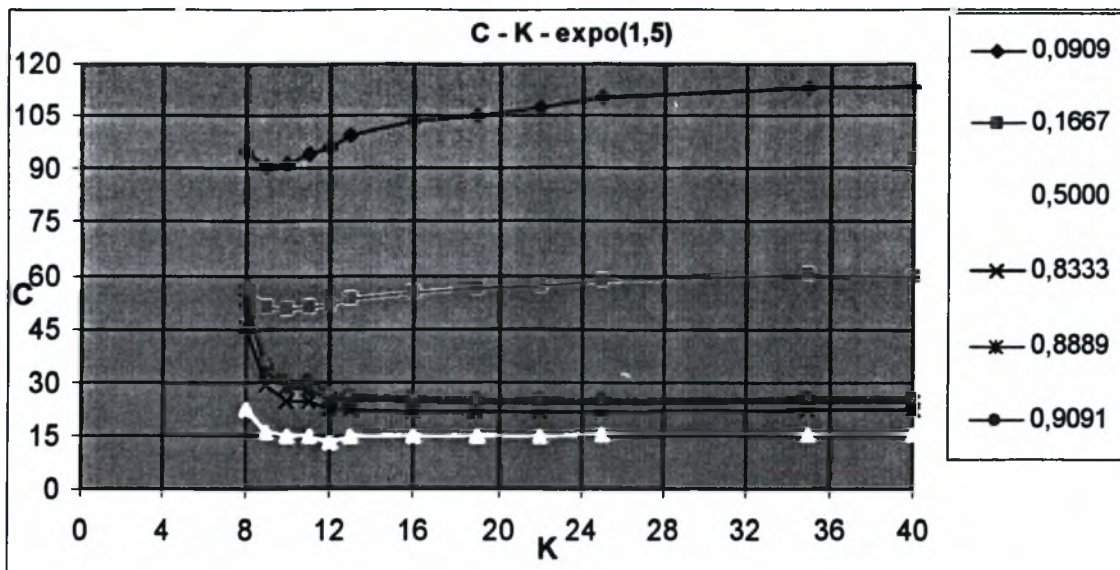
Γράφημα 12 - Μεταβολή του  $S$  σε σχέση με το λόγο  $b/b+h$  για διάφορα  $K$  (Σειρά B2).



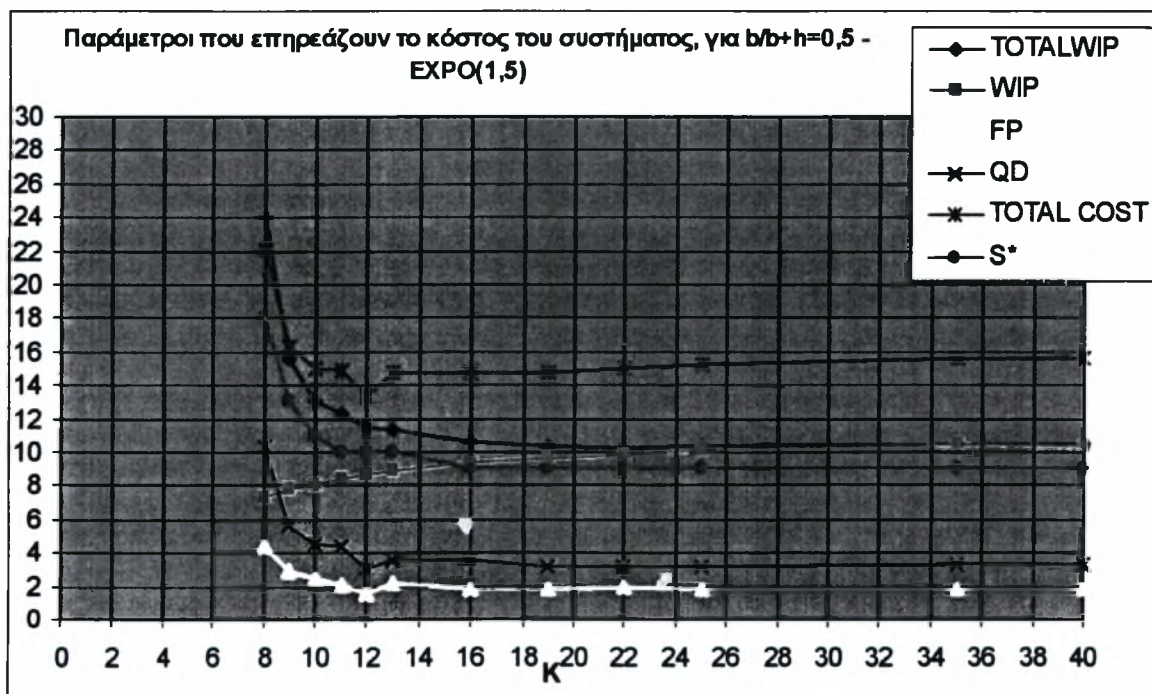
Γράφημα 13 - Μεταβολή του S σε σχέση με το K για διάφορα b/b+h (Σειρά B2).



Γράφημα 14 - Μεταβολή του C σε σχέση με το b/b+h για διάφορα K (Σειρά B2).



Γράφημα 15 - Μεταβολή του C σε σχέση με το K για διάφορα b/b+h (Σειρά Β2).



Γράφημα 16 - Παράμετροι που επηρεάζουν το κόστος του συστήματος (Σειρά Β2).



**4.2.5. Σειρά Β3: Τριγωνική Κατανομή (0,1,2), τ=0**

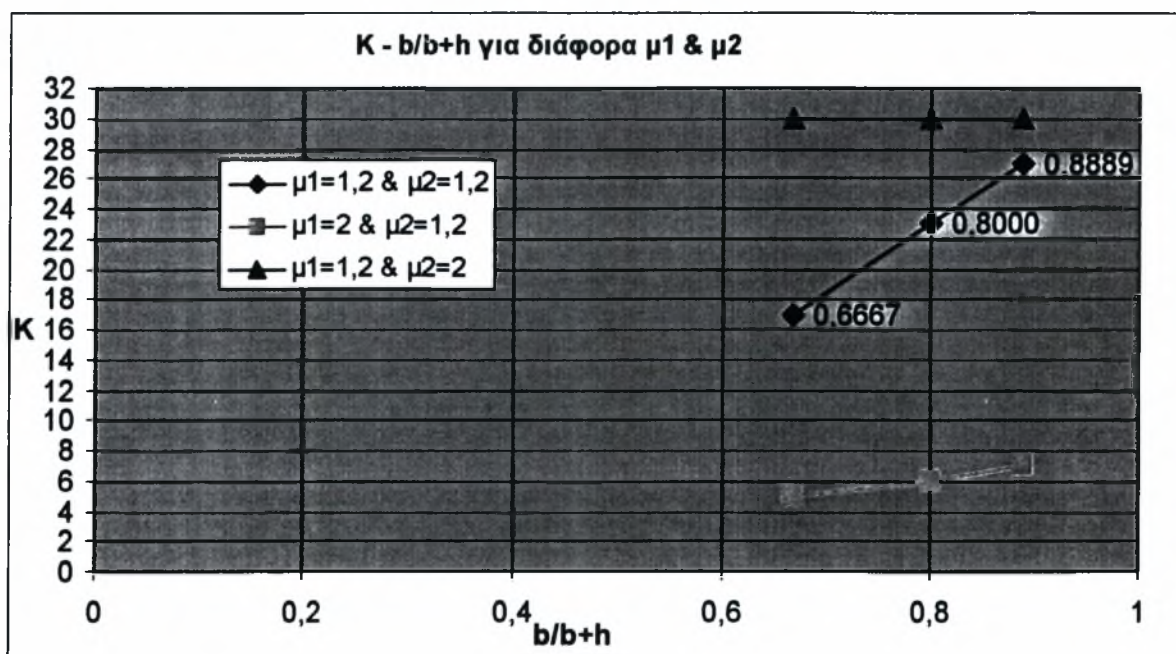
Η σειρά πειραμάτων Β3 αφορά ορισμένες προσομοιώσεις οι οποίες διεξήχθησαν με διαφορετική κατανομή του ρυθμού επεξεργασίας των μηχανών απ ότι παρουσιάστηκε μέχρι τώρα, με σκοπό να εξετασθεί αν όσα ισχύουν για την εκθετική κατανομή, ισχύουν και για την τριγωνική. Έτσι λοιπόν, διατηρώντας τον ρυθμό άφιξης σταθερό (0,8τμχ / χρ. μον.), εξετάσθηκε η περίπτωση όπου ο ρυθμός επεξεργασίας των μηχανών είχε τριγωνική κατανομή με τιμές (0,1,2), έτσι ώστε ο μέσος ρυθμός επεξεργασίας  $\mu=1$ , ενώ η τιμή του λόγου  $b/b+h = 0,1666$  (δηλ.  $b=5$  και  $h=1$ ). Τα αποτελέσματα παρουσιάζονται στον πίνακα 9 που ακολουθεί:

COST = h*(WIP +FP) + b*QD			τ=0	TRIA(0,1,2)	
K	S*(h5,b1)	ΚΟΣΤΟΣ (h5,b1)	h5/h5+b1=	0,1666	
			WIP	FP	QD
4	800	~~			~~
5	6	33,407	4,676	0,541	7,323
6	4	32,524	5,1924	0,2557	5,283
7	4	33,747	5,617	0,293	4,196
8	4	35,590	6,020	0,296	4,009
10	4	38,078	6,548	0,312	3,781
13	4	40,746	7,085	0,305	3,797
17	4	41,881	7,318	0,309	3,746
23	4	42,344	7,412	0,310	3,735
32	4	42,377	7,419	0,310	3,729
40	4	42,377	7,419	0,310	3,729

**Πίνακας 9 - Αποτελέσματα Σειράς Πειραμάτων Β3 (Τριγωνική Κατανομή).**

Είναι φανερό ότι οι ιδιότητες του συστήματος παραμένουν οι ίδιες και σ αυτήν την περίπτωση, γεγονός που μας επιτρέπει να εξάγουμε ορισμένα συμπεράσματα για την συμπεριφορά και τις ιδιότητες του και τα οποία παρουσιάζονται αναλυτικά στο κεφ.5.

Τέλος, στο γράφημα 17 παρουσιάζεται η κατανομή του  $K$  σε σχέση με το λόγο  $b/b+h$  για διαφορετικές τιμές των  $\mu_1$  και  $\mu_2$ , τιμές οι οποίες (πιν.10) ελήφθησαν, όχι από προσομοίωση αλλά από τα αποτελέσματα ενός αλγόριθμου ο οποίος παρουσιάζεται στην [3] από τους F. Karaesman και Y. Dallery.



Γράφημα 17 – Μεταβολή του  $K$  σε σχέση με τον  $b/b+h$  για διάφορα  $\mu_1$  και  $\mu_2$ .

$\mu_1$	$\mu_2$	$h$	$b$	$b/b+h$	$\mu_1=1,2 \ \& \ \mu_2=1,2$	$\mu_1=2 \ \& \ \mu_2=1,2$	$\mu_1=1,2 \ \& \ \mu_2=2$
1,2	1,2	1	2	0,6666	17	5	30
2	1,2	1	4	0,8	23	6	30
1,2	2	1	8	0,8888	27	7	30

Πίνακας 10 – Τιμές του Γραφήματος 17.

## **Κεφάλαιο 5**

---

### **Συμπεράσματα**

---

Στο προηγούμενο κεφάλαιο 4 παρουσιάσθηκαν αναλυτικά τα αποτελέσματα των προσομοιώσεων που διεξήχθησαν με σκοπό την βελτιστοποίηση του συστήματος GKCS-AdvInf. Συνοψίζοντας από τα παραπάνω προκύπτουν ορισμένα χρήσιμα συμπεράσματα. Έτσι λοιπόν έχουμε:

Για τα πειράματα της κατηγορίας A, όπου εξετάζεται η επίδραση της έγκαιρης προειδοποίησης της ζήτησης στις ιδιότητες του συστήματος έχουμε τα εξής:

Υπάρχει μια κρίσιμη τιμή του χρόνου προειδοποίησης της ζήτησης,  $t^*$ , πέρα από την οποία δεν χρειάζεται να διατηρείται απόθεμα ( $S^*=0$ ). Αν ο χρόνος προειδοποίησης της ζήτησης είναι μεγαλύτερος από αυτή την κρίσιμη τιμή, τότε όχι μόνο δεν διατηρείται απόθεμα, αλλά καθυστερείται η έναρξη παραγωγής κατά την διαφορά αυτού του χρόνου από την κρίσιμη τιμή ( $t-t^*$ ).

Ο αριθμός των καρτών *kanban* ( $K$ ), δεν επηρεάζεται από τον χρόνο προειδοποίησης της ζήτησης, όποια τιμή και αν έχει αυτός και παραμένει σταθερός. Δηλαδή ακόμα και αν η τιμή του  $t$  είναι πολύ μεγάλη το  $S$  παραμένει μηδέν και το  $K$  παραμένει στην βέλτιστη τιμή  $K^*$  που έχει υπολογιστεί για  $t=0$ , χωρίς να χρειάζεται να μειωθεί, όπως θα αναμενόταν.

Για τα πειράματα της κατηγορίας B, όπου δεν λαμβάνεται υπόψη ο χρόνος προειδοποίησης της ζήτησης ( $t=0$ ) τα συμπεράσματα είναι τα εξής:

Υπάρχει μια ελάχιστη τιμή του  $K$ ,  $K_{\min}$ , για την οποία έχει νόημα η λειτουργία του συστήματος (ο ρυθμός άφιξης των ζητήσεων μπορεί να ικανοποιηθεί από τον ρυθμό επεξεργασίας των μηχανών). Για αυτή τη τιμή του  $K$  υπάρχει και ένα βέλτιστο  $S^*$ , το οποίο είναι υψηλό (για να μπορεί να ικανοποιείται η ζήτηση από το απόθεμα επειδή το  $K$  είναι μικρό), όπως επίσης υψηλό είναι και το συνολικό κόστος του συστήματος (διότι υπάρχουν πολλές ανικανοποίητες ζητήσεις). Στη συνέχεια αυξάνουμε το  $K$ , με παράλληλη μείωση του  $S^*$ , και παρατηρούμε ότι το κόστος μειώνεται. Ακολουθώντας αυτήν την πολιτική τελικά προσδιορίζεται μια τιμή του  $K$ ,  $K^*$ , για την οποία το κόστος ελαχιστοποιείται. Στην τιμή αυτή του  $K^*$ , αντιστοιχεί και μια τιμή  $S^*$ . Από κεί και πέρα, δηλαδή αυξάνοντας το  $K$ , έως μια τιμή π.χ. 40 όπου έχουμε μεταβεί στην κατάσταση του απλού Basestock, παρατηρούμε ότι το  $S$  παραμένει το ίδιο, ίσο με το  $S^*$ , ενώ το κόστος αυξάνεται ελαφρώς.

Έτσι λοιπόν προτείνονται τα εξής 2 βήματα υπολογισμού του  $K^*$  και  $S^*$ .

**Βήμα 1:**

Ξεκινάμε τους υπολογισμούς μας με ένα υψηλό  $K$  (π.χ.  $K=40$ ) για το οποίο το σύστημα μας είναι ισοδύναμο με το απλό Basestock. Υπολογίζουμε το  $S^*$  του Basestock (με ένα μόνο πείραμα προσομοίωσης) το οποίο αντιστοιχεί και στο  $S^*$  του Generalized Kanban.

**Βήμα 2:**

Εφόσον έχουμε υπολογίσει το  $S^*$  μειώνουμε σταδιακά το  $K$  (με διάφορες προσομοιώσεις), μέχρι μια τιμή του  $K$  για την οποία πλέον το  $S > S^*$ . Το τελευταίο  $K$  για το οποίο ισχύει  $S = S^*$ , αποτελεί και το βέλτιστο  $K$ ,  $K^*$  του συστήματος.

Παρατήρηση: Η σειρά εκτέλεσης των παραπάνω βημάτων δεν είναι αυστηρά καθορισμένη και μπορούν να διεξαχθούν αντίστροφα (όπως άλλωστε ακολουθήθηκε και στην παρούσα εργασία και περιγράφεται παραπάνω πριν από τα βήματα 1 και 2).

Όσον αφορά την επίδραση του λόγου  $b/b+h$  στο  $K^*$  και στο  $S^*$ , παρατηρείται ότι η σχέση μεταξύ τους είναι γραμμική. Για μια υψηλή τιμή του  $b/b+h$  (0,8) και άνω, το  $K^*$  παραμένει σταθερό, ενώ το  $S^*$  αυξάνεται. (Υψηλή τιμή του λόγου  $b/b+h$  σημαίνει ότι δίνεται πολύ μεγάλη βαρύτητα στο κόστος ανικανοποίητων ζητήσεων). Αυτό δηλώνει ότι όσο και αν αυξήσουμε το  $K$  από και πάνω δεν έχει νόημα (το κόστος του συστήματος αυξάνεται) ενώ η αύξηση του  $S$  είναι απαραίτητη για την ικανοποίηση των ζητήσεων.

**Κεφάλαιο 6**

---

**Προτάσεις Μελλοντικής Έρευνας**

---

Το σύστημα Generalized Kanban είναι ένα νέο σχετικά σύστημα και προσφέρει πολλά και ενδιαφέροντα θέματα για περαιτέρω μελέτη. Έτσι θα ήταν ενδιαφέρον να εξετασθούν οι παρακάτω περιπτώσεις για τις οποίες το σύστημα γίνεται περισσότερο ρεαλιστικό.

Αρχικά θα μπορούσε να μελετηθεί η περίπτωση 2 σταδίων, δηλαδή 2 γραμμών ή κελιών παραγωγής όπου τα πράγματα περιπλέκονται αρκετά, διότι έχουμε πλέον 2 παραμέτρους ανά στάδιο ( $K_1$ ,  $S_1$ , και  $K_2$ ,  $S_2$  αντίστοιχα).

Θα μπορούσαν να εξετασθούν τόσο διαφορετικές κατανομές όσο και διαφορετικοί ρυθμοί άφιξης της ζήτησης και επεξεργασίας των μηχανών.

Η χρησιμοποίηση παρτίδων (batch size) αποτελεί ένα ακόμη ενδιαφέρον θέμα που θα μπορούσε να εξετασθεί.

Τέλος ενδιαφέρον θα ήταν να μελετηθεί η περίπτωση όπου έχουμε μεταβλητό lead time σε σχέση με το wip.

**Παράρτημα Α**

---

**Βιβλιογραφία**

---



## **BIBLIOΓΡΑΦΙΑ**

1. Liberopoulos G. and Dallery Y. (1995), "*On the optimization of a single-stage generalized Kanban control system in manufacturing*", Proceedings of the INRIA/IEEE Symposium on Emerging Technologies and Factory Automation, Paris, pp 437-444, October 10-13.
2. Liberopoulos G. and Dallery Y., (2000) "*Extended Kanban Control System: Combining Kanban and Basestock*", IIE Transactions on Design and Manufacturing, Vol 32, No4, pp. 369-386.
3. Karaesman F. and Dallery Y., (2000) "*A Performance Comparison of Pull Type Control Mechanisms for Multi-Stage Manufacturing*", International Journal of Production Economics, 63.
4. Λυμπερόπουλος Γ. και Dallery Y., (1998) "*Ένα Ενοποιημένο Πλαίσιο για τον Χαρακτηρισμό Ελκυσόμενων (Pull) Συστημάτων Ελέγχου της Παραγωγής*", 12<sup>ο</sup> Εθνικό Συνέδριο ΕΕΕΕ "Επιχείρηση και Νέες Τεχνολογίες: Σύγχρονα Εργαλεία Υποστήριξης, Διαχείρισης και Λειτουργίας", Σάμος, 6-8 Σεπτεμβρίου.
5. Yannick Frein, Maria Mascolo and Yves Dallery (1995) "*On the Design of Generalized Kanban Control Systems*", Laboratoire d'Automatique de Grenoble, INPG, Saint Martin d' Heres France, Laboratoire MASI Université Pierre et Marie Curie, Paris, France,
6. Fikri Karaesman, Yves Dallery and John Buzacott (1998) "*Integrating Advance Information in Pull Type Control Mechanisms for Multi-Stage Production*". Second Aegean International Conference on "Analysis and Modeling of Manufacturing System", May.. Laboratoire d'Informatique de Paris 6 (LIP6-CNRS), Université Pierre et Marie Curie, Schulich School of Business, York University, Canada.

7. Yves Dallery (1989) *"Approximate Analysis of General Open Queuing Networks with Restricted Capacity"*, Laboratoire MASI (URA 818 CNRS), Universite Pierre et Marie Curie.
8. Paul H. Zipkin (1991) *"Does Manufacturing Need a JIT Revolution?"* , Harvard Business Review.
9. Uday Karmarkar (1989) *"Getting Control of Just-in-Time"*, Harvard Business Review.
10. Sven Axsater and Kaj Rosling (1998) *"Ranking of Generalized Multi-Stage Kanban policies"*, Department of industrial engineering, Lund University, ELSEVIER.
11. Mahmet Savsar (1997) *"Simulation Analysis of a Pull-Push system for an Electronic Assembly Line"*, Industrial and Systems Engineering, College of Engineering and Petroleum, Kuwait University, ELSEVIER.
12. Rodrigo Rubio and Lawrence M. Wein, *"Setting Base Stock Levels Using Product-Form Queuing Networks"*, Operation Research Center, M.I.T. Sloan School of Management, M.I.T.
13. J.A. Buzacott *"Stochastic Models of Manufacturing Systems"*, Prentice Hall, 1993
14. Sven Axsater and Kaj Rosling (1994), *"Multi-Level Production-Inventory control: Material Requirement Planning or Reorder Point Policies?"*, Department of Industrial Engineering, Lund University, Department of Production Economics, Linkoping Institute of Technology, Sweden, , ELSEVIER.

15. 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.
16. Sven Axsater and Kaj Rosling (1993), "*Notes: Installation vs. Echelon Stock Policies for Multilevel Inventory Control*", *Management Science*, 39, 1274-1279.
17. W. David Kelton, R. P. Sadowski, D. A. Sadowski, "*Simulation with Arena*", McGraw-Hill, 1998.
18. ARENA 3.0 Systems Modeling Corporation, Users Manual.
19. Π.Α. Θανόπουλος (1998), "*Βελτιστοποίηση Συστημάτων Ελέγχου της Παραγωγής Τύπου Kanban Για Συστήματα Ενός Σταδίου*", Διπλωματική Εργασία, Τμήμα Μηχανολόγων Μηχανικών Βιομηχανίας, Πανεπιστήμιο Θεσσαλίας.
20. Α. Δώριζας (1999), "*Η Σχέση Ανάμεσα στην Έγκαιρη Πληροφόρηση για την Ζήτηση και στο Απόθεμα Ασφαλείας*", Διπλωματική Εργασία, Τμήμα Μηχανολόγων Μηχανικών Βιομηχανίας, Πανεπιστήμιο Θεσσαλίας.
21. J. A. Buzacott (1988), "*Queuing Models of Kanban and MRP Controlled Production Systems*", 5th International Working Seminar on Production Economics, Igls, Austria, Department of Management Science, University of Waterloo, Ontario, Canada.
22. Goddard, W., (1982) "*Kanban versus MRP II – which is best for you?*" *Modern Materials Handling*,.
23. Dave Detzler, <http://www.davedetzler.com/Kanban-Cards.html>



24. Mark L. Spearman, David L. Woodruff, Wallace J. Hopp “*CONWIP: a pull alternative to kanban*”, Department of Industrial Engineering and Management Sciences, Northwestern University, Evanston Illinois, USA.
  
25. <http://www.iaehv.nl/users/drshofm/planningsystemen/push.htm>

**Παράρτημα Β**

---

**Ενδεικτικές Αναφορές Αποτελεσμάτων  
ARENA**

---

## Παράρτημα Β : Ενδεικτικές Αναφορές Αποτελεσμάτων ARENA

### ΚΑΤΗΓΟΡΙΑ Α- ΣΕΙΡΑ Α1

ARENA Simulation Results  
- - License #9810727

Summary for Replication 1 of 1

Project: GKCS1STG  
Analyst: tliap

Run execution date : 11/19/1999  
Model revision date: 11/19/1999

Replication ended at time : 300000.0

#### TALLY VARIABLES

Identifier	Average	Half Width	Minimum	Maximum	Observations
Machine 4_R_Q Queue Ti	2.8458	(Corr)	.00000	27.335	240063
kanban_queue Queue Tim	.69297	(Corr)	.00000	33.229	240075
paradosi	54.177	(Corr)	.00000	396.62	240072
orders_queue Queue Tim	61.695	(Corr)	2.4875E-04	396.99	211797
Machine 1_R_Q Queue Ti	2.8396	.05135	.00000	24.617	240074
demands_queue Queue Ti	61.636	(Corr)	9.3455E-04	396.62	211021
servers flow time	15.552	(Corr)	.62169	42.328	240062
products_queue Queue T	.69368	(Corr)	.00000	33.580	240072
avg_del_mater	2.0200E-16	2.7799E-16	.00000	2.9104E-11	240119
Machine 2_R_Q Queue Ti	2.9157	.06157	.00000	25.731	240068
avg_del_order	4.0000	3.1455E-16	4.0000	4.0000	240116
Machine 3_R_Q Queue Ti	2.9455	.06879	.00000	27.003	240064

#### DISCRETE-CHANGE VARIABLES

Identifier	Average	Half Width	Minimum	Maximum	Final Value
# in orders_queue	43.561	(Corr)	.00000	321.00	44.000
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
STOCK	10.000	(Insuf)	10.000	10.000	10.000
advanced info	4.0000	(Insuf)	4.0000	4.0000	4.0000
# in Machine 4_R_Q	2.2772	(Corr)	.00000	12.000	.00000
# in Machine 3_R_Q	2.3571	(Corr)	.00000	12.000	3.0000
TOTWIP	56.009	(Corr)	.00000	333.00	56.000
# in Machine 2_R_Q	2.3333	.05310	.00000	12.000	5.0000
# in kanban_queue	.55455	(Corr)	.00000	13.000	.00000
Machine 4_R Busy	.79794	(Corr)	.00000	1.0000	1.0000
# in Machine 1_R_Q	2.2724	.05105	.00000	12.000	1.0000
Machine 3_R Busy	.80431	.00451	.00000	1.0000	1.0000
KANBAN	13.000	(Insuf)	13.000	13.000	13.000
Machine 2_R Busy	.80253	.00415	.00000	1.0000	1.0000
wip value	12.444	(Corr)	00000	13.000	13.000
Machine 1_R Busy	.80053	.00405	.00000	1.0000	1.0000
# in products_queue	.55511	(Corr)	.00000	14.000	.00000
lead time	4.0000	(Insuf)	4.0000	4.0000	4.0000
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
# in demands_queue	43.360	(Corr)	.00000	322.00	44.000

#### COUNTERS

Identifier	Count	Limit
c1	240075	Infinite
c2	240062	Infinite
c3	240072	Infinite
c4	240119	Infinite
c5	240062	Infinite
Depart 1_C	240072	Infinite
afixeis_C	240119	Infinite

Simulation run time: 36.40 minutes.  
Simulation run complete.

## Παράρτημα Β : Ενδεικτικές Αναφορές Αποτελεσμάτων ARENA

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

Summary for Replication 1 of 1

Project: GKCS1STG Run execution date : 11/23/1999  
Analyst: tliap Model revision date: 11/23/1999

Replication ended at time : 300000.0

### TALLY VARIABLES

Identifier	Average	Half Width	Minimum	Maximum	Observations
Machine 4_R_Q Queue Ti	3.1494	.09228	.00000	28.933	239692
kanban_queue Queue Tim	2.4060	.25779	.00000	36.929	239706
paradosi	19.576	2.8345	.00000	152.12	239698
orders_queue Queue Tim	21.447	3.4429	2.5342E-04	143.67	160820
Machine 1_R_Q Queue Ti	3.0109	.08622	.00000	27.699	239699
demands_queue Queue Ti	22.825	3.3994	7.0474E-05	152.12	205577
servers flow time	16.367	.20116	.29998	44.622	239691
products_queue Queue T	.58060	.06848	.00000	21.423	239698
avg_del_mater	1.0000	1.8651E-16	1.0000	1.0000	239708
Machine 2_R_Q Queue Ti	3.0518	.06640	.00000	28.457	239698
avg_del_order	4.0000	1.8442E-16	4.0000	4.0000	239707
Machine 3_R_Q Queue Ti	3.1512	.09621	.00000	29.869	239697

### DISCRETE-CHANGE VARIABLES

Identifier	Average	Half Width	Minimum	Maximum	Final Value
# in orders_queue	11.497	2.2972	.00000	117.00	2.0000
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
STOCK	7.0000	(Insuf)	7.0000	7.0000	7.0000
advanced info	4.0000	(Insuf)	4.0000	4.0000	4.0000
# in Machine 4_R_Q	2.5163	.07180	.00000	14.000	4.0000
# in Machine 3_R_Q	2.5177	.08343	.00000	14.000	1.0000
# in Machine 2_R_Q	2.4384	.05714	.00000	14.000	.00000
# in kanban_queue	1.9224	.20818	.00000	15.000	.00000
Machine 4_R Busy	.80076	.00512	.00000	1.0000	1.0000
# in Machine 1_R_Q	2.4059	.07638	.00000	14.000	7.0000
Machine 3_R Busy	.80197	.00536	.00000	1.0000	1.0000
KANBAN	15.000	(Insuf)	15.000	15.000	15.000
wip value	13.077	.20787	.00000	15.000	15.000
Machine 2_R Busy	.79821	.00421	.00000	1.0000	.00000
Machine 1_R Busy	.79813	(Corr)	.00000	1.0000	1.0000
# in products_queue	.46390	.05485	.00000	10.000	.00000
lead time	3.0000	(Insuf)	3.0000	3.0000	3.0000
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
# in demands_queue	15.641	2.4257	.00000	122.00	9.0000

### COUNTERS

Identifier	Count	Limit
c1	239706	Infinite
c2	239691	Infinite
c3	239698	Infinite
c4	239708	Infinite
c5	239691	Infinite
Depart 1_C	239698	Infinite
afixeis_C	239708	Infinite

Simulation run time: 27.07 minutes.  
Simulation run complete.

## Παράρτημα Β : Ενδεικτικές Αναφορές Αποτελεσμάτων ARENA

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

Summary for Replication 1 of 1

Project: GKCS1STG Run execution date : 11/17/1999  
Analyst: tliap Model revision date: 11/17/1999

Replication ended at time : 300000.0

### TALLY VARIABLES

Identifier	Average	Half Width	Minimum	Maximum	Observations
Machine 4_R_Q Queue Ti	3.3521	.07196	.00000	31.623	239377
kanban_queue Queue Tim	4.1909	.26383	.00000	45.973	239392
paradosi	7.6167	.98043	.00000	97.040	239385
orders_queue Queue Tim	13.995	1.5569	6.0162E-05	96.670	122776
Machine 1_R_Q Queue Ti	3.1945	.08999	.00000	27.672	239387
demands_queue Queue Ti	14.101	1.4850	3.4439E-04	97.040	129297
servers_flow time	17.113	.20587	.55749	43.157	239376
products_queue Queue T	3.6168	.22923	.00000	40.805	239385
avg_del_mater	3.2939E-17	6.3124E-17	.00000	7.2760E-12	239392
Machine 2_R_Q Queue Ti	3.2586	.07997	.00000	31.372	239382
avg_del_order	4.0000	3.0116E-16	4.0000	4.0000	239385
Machine 3_R_Q Queue Ti	3.3059	.07241	.00000	30.627	239379

### DISCRETE-CHANGE VARIABLES

Identifier	Average	Half Width	Minimum	Maximum	Final Value
# in orders_queue	5.7278	.75932	.00000	77.000	.00000
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
STOCK	13.000	(Insuf)	13.000	13.000	13.000
advanced info	4.0000	(Insuf)	4.0000	4.0000	4.0000
# in Machine 4_R_Q	2.6748	.06195	.00000	16.000	1.0000
# in Machine 3_R_Q	2.6378	.06706	.00000	16.000	2.0000
# in Machine 2_R_Q	2.6002	.07239	.00000	16.000	4.0000
# in kanban_queue	3.3443	.20284	.00000	17.000	1.0000
Machine 4_R Busy	.79838	.00363	.00000	1.0000	1.0000
# in Machine 1_R_Q	2.5491	.07313	.00000	16.000	5.0000
Machine 3_R Busy	.79853	.00361	.00000	1.0000	1.0000
KANBAN	17.000	(Insuf)	17.000	17.000	17.000
wip value	13.655	.20305	.00000	17.000	15.000
Machine 2_R Busy	.79868	.00412	.00000	1.0000	1.0000
Machine 1_R Busy	.79802	.00441	.00000	1.0000	1.0000
# in products_queue	2.8861	.17731	.00000	17.000	4.0000
lead time	4.0000	(Insuf)	4.0000	4.0000	4.0000
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
# in demands_queue	6.0778	.77135	.00000	76.000	.00000

### COUNTERS

Identifier	Count	Limit
c1	239392	Infinite
c2	239376	Infinite
c3	239385	Infinite
c4	239392	Infinite
c5	239376	Infinite
Depart 1_C	239385	Infinite
afixeis_C	239392	Infinite

Simulation run time: 12.53 minutes.  
Simulation run complete.



## Παράρτημα Β : Ενδεικτικές Αναφορές Αποτελεσμάτων ARENA

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

Summary for Replication 1 of 1

Project: GKCS1STG Run execution date : 11/23/1999  
Analyst: tliap Model revision date: 11/23/1999

Replication ended at time : 300000.0

#### TALLY VARIABLES

Identifier	Average	Half Width	Minimum	Maximum	Observations
Machine 4_R_Q Queue Ti	3.5869	.10612	.00000	35.453	239722
kanban_queue Queue Tim	7.0461	.29985	.00000	47.055	239731
paradosi	15.185	.87339	.00000	111.82	239723
Machine 1_R_Q Queue Ti	3.3602	.08368	.00000	31.559	239725
orders_queue Queue Tim	10.610	1.3259	4.9170E-05	94.310	81602
servers_flow time	17.982	.22610	.60493	45.587	239721
demands_queue Queue Ti	15.919	.81988	3.9593E-04	111.82	228672
avg_del_mater	3.4810E-16	5.1596E-16	.00000	2.9104E-11	239731
products_queue Queue T	.09493	.00812	.00000	16.884	239723
Machine 2_R_Q Queue Ti	3.4833	.10155	.00000	31.943	239724
avg_del_order	4.0000	2.6668E-16	4.0000	4.0000	239728
Machine 3_R_Q Queue Ti	3.5474	.08447	.00000	34.934	239723

#### 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 orders_queue	2.8861	(Corr)	.00000	89.000	.00000
STOCK	2.0000	(Insuf)	2.0000	2.0000	2.0000
Machine 1_R Available	1.0000	(Insuf)	1.0000	1.0000	1.0000
advanced info	4.0000	(Insuf)	4.0000	4.0000	4.0000
# in Machine 4_R_Q	2.8662	.08022	.00000	19.000	.00000
# in Machine 3_R_Q	2.8347	.10077	.00000	19.000	1.0000
# in Machine 2_R_Q	2.7834	.07676	.00000	19.000	.00000
# in Machine 1_R_Q	2.6851	.08590	.00000	19.000	6.0000
Machine 4_R Busy	.80083	.00441	.00000	1.0000	1.0000
# in kanban_queue	5.6309	(Corr)	.00000	20.000	10.000
KANBAN	20.000	(Insuf)	20.000	20.000	20.000
Machine 3_R Busy	.80025	.00519	.00000	1.0000	1.0000
Machine 2_R Busy	.80079	.00390	.00000	1.0000	.00000
wip value	14.365	(Corr)	.00000	20.000	10.000
Machine 1_R Busy	.79762	.00514	.00000	1.0000	1.0000
# in products_queue	.07586	.00740	.00000	6.0000	.00000
lead time	4.0000	(Insuf)	4.0000	4.0000	4.0000
Machine 4_R Available	1.0000	(Insuf)	1.0000	1.0000	1.0000
# in demands_queue	12.134	(Corr)	.00000	105.00	5.0000
Machine 3_R Available	1.0000	(Insuf)	1.0000	1.0000	1.0000

#### COUNTERS

Identifier	Count	Limit
c1	239731	Infinite
c2	239721	Infinite
c3	239723	Infinite
c4	239731	Infinite
c5	239721	Infinite
afixeis_C	239731	Infinite
Depart I_C	239723	Infinite

Simulation run time: 25.35 minutes.  
Simulation run complete.

## Παράρτημα Β : Ενδεικτικές Αναφορές Αποτελεσμάτων ARENA

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

Summary for Replication 1 of 1

Project: GKCS1STG Run execution date : 11/15/1999  
Analyst: tliap Model revision date: 11/15/1999

Replication ended at time : 300000.0

### TALLY VARIABLES

Identifier	Average	Half Width	Minimum	Maximum	Observations
Machine 4_R_Q Queue Ti	2.8458	(Corr)	.00000	27.335	240063
kanban_queue Queue Tim	.69297	(Corr)	.00000	33.229	240075
paradosi	51.801	(Corr)	.00000	395.66	240071
orders_queue Queue Tim	61.695	(Corr)	2.4875E-04	396.99	211797
Machine 1_R_Q Queue Ti	2.8396	.05135	.00000	24.617	240074
demands_queue Queue Ti	61.524	(Corr)	1.8901E-05	395.66	202131
servers flow time	15.552	(Corr)	.62169	42.328	240062
products_queue Queue T	1.0674	(Corr)	.00000	34.550	240071
avq_del_mater	1.7269E-16	2.5819E-16	.00000	2.9104E-11	240119
Machine 2_R_Q Queue Ti	2.9157	.06157	.00000	25.731	240068
avq_del_order	8.0000	2.9424E-16	8.0000	8.0000	240114
Machine 3_R_Q Queue Ti	2.9455	.06879	.00000	27.003	240064

### DISCRETE-CHANGE VARIABLES

Identifier	Average	Half Width	Minimum	Maximum	Final Value
# in orders_queue	43.561	(Corr)	.00000	321.00	44.000
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
STOCK	9.0000	(Insuf)	9.0000	9.0000	9.0000
advanced info	8.0000	(Insuf)	8.0000	8.0000	8.0000
# in Machine 4_R_Q	2.2772	(Corr)	.00000	12.000	.00000
# in Machine 3_R_Q	2.3571	(Corr)	.00000	12.000	3.0000
# in Machine 2_R_Q	2.3333	.05310	.00000	12.000	5.0000
# in kanban_queue	.55455	(Corr)	.00000	13.000	.00000
Machine 4_R Busy	.79794	(Corr)	.00000	1.0000	1.0000
# in Machine 1_R_Q	2.2724	.05105	.00000	12.000	1.0000
Machine 3_R Busy	.80431	.00451	.00000	1.0000	1.0000
KANBAN	13.000	(Insuf)	13.000	13.000	13.000
wip value	12.444	(Corr)	.00000	13.000	13.000
Machine 2_R Busy	.80253	.00415	.00000	1.0000	1.0000
Machine 1_R Busy	.80053	.00405	.00000	1.0000	1.0000
# in products_queue	.85424	(Corr)	.00000	16.000	.00000
lead time	8.0000	(Insuf)	8.0000	8.0000	8.0000
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
# in demands_queue	41.457	(Corr)	.00000	320.00	43.000

### COUNTERS

Identifier	Count	Limit
c1	240075	Infinite
c2	240062	Infinite
c3	240071	Infinite
c4	240119	Infinite
c5	240062	Infinite
Depart 1_C	240071	Infinite
afixeis_C	240119	Infinite

Simulation run time: 25.72 minutes.  
Simulation run complete.

## Παράρτημα Β : Ενδεικτικές Αναφορές Αποτελεσμάτων ARENA

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

Summary for Replication 1 of 1

Project: GKCS1STG Run execution date : 11/18/1999  
Analyst: tliap Model revision date: 11/18/1999

Replication ended at time : 300000.0

### TALLY VARIABLES

Identifier	Average	Half Width	Minimum	Maximum	Observations
Machine 4_R_Q Queue Ti	3.3521	.07196	.00000	31.623	239377
kanban_queue Queue Tim	4.1909	.26383	.00000	45.973	239392
paradosi	16.416	1.1049	.00000	106.05	239376
orders_queue Queue Tim	13.995	1.5569	6.0162E-05	96.670	122776
Machine 1_R_Q Queue Ti	3.1945	.08999	.00000	27.672	239387
demands_queue Queue Ti	17.530	1.3241	5.2861E-05	106.05	224156
servers flow time	17.113	.20587	.55749	43.157	239376
products_queue Queue T	.12423	.01126	.00000	7.4425	239376
avg_del_mater	1.9426E-16	2.6021E-16	.00000	2.9104E-11	239392
Machine 2_R_Q Queue Ti	3.2586	.07997	.00000	31.372	239382
avg_del_order	8.0000	5.8848E-16	8.0000	8.0000	239382
Machine 3_R_Q Queue Ti	3.3059	.07241	.00000	30.627	239379

### DISCRETE-CHANGE VARIABLES

Identifier	Average	Half Width	Minimum	Maximum	Final Value
# in orders_queue	5.7278	.75932	.00000	77.000	.00000
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
STOCK	.00000	(Insuf)	.00000	.00000	.00000
advanced info	8.0000	(Insuf)	8.0000	8.0000	8.0000
# in Machine 4_R_Q	2.6748	.06195	.00000	16.000	1.0000
# in Machine 3_R_Q	2.6378	.06706	.00000	16.000	2.0000
TOTWIP	19.382	.90938	.00000	93.000	15.000
# in Machine 2_R_Q	2.6002	.07239	.00000	16.000	4.0000
# in kanban_queue	3.3443	.20284	.00000	17.000	1.0000
Machine 4_R Busy	.79838	.00363	.00000	1.0000	1.0000
# in Machine 1_R_Q	2.5491	.07313	.00000	16.000	5.0000
Machine 3_R Busy	.79853	.00361	.00000	1.0000	1.0000
KANBAN	17.000	(Insuf)	17.000	17.000	17.000
Machine 2_R Busy	.79868	.00412	.00000	1.0000	1.0000
wip value	13.655	.20305	.00000	17.000	15.000
Machine 1_R Busy	.79802	.00441	.00000	1.0000	1.0000
# in products_queue	.09913	.00892	.00000	7.0000	.00000
lead time	8.0000	(Insuf)	8.0000	8.0000	8.0000
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
# in demands_queue	13.099	.88900	.00000	85.000	6.0000

### COUNTERS

Identifier	Count	Limit
c1	239392	Infinite
c2	239376	Infinite
c3	239376	Infinite
c4	239392	Infinite
c5	239376	Infinite
Depart 1_C	239376	Infinite
afixeis_C	239392	Infinite

Simulation run time: 12.88 minutes.  
Simulation run complete.

## Παράρτημα Β : Ενδεικτικές Αναφορές Αποτελεσμάτων ARENA

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

Summary for Replication 1 of 1

Project: GKCS1STG Run execution date : 11/15/1999  
Analyst: tliap Model revision date: 11/15/1999

Replication ended at time : 300000.0

### TALLY VARIABLES

Identifier	Average	Half Width	Minimum	Maximum	Observations
Machine 4_R_Q Queue Ti	3.7669	.11936	.00000	35.524	240037
kanban_queue Queue Tim	12.198	.45840	.00000	57.641	240058
paradosi	12.585	.54856	.00000	65.972	240037
orders_queue Queue Tim	8.2297	.71210	4.1619E-04	44.353	40592
Machine 1_R_Q Queue Ti	3.7336	.13669	.00000	36.556	240058
demands_queue Queue Ti	13.603	.50082	3.0958E-05	65.972	222075
servers flow time	19.044	.32580	.26637	60.158	240037
products_queue Queue T	.14846	.01144	.00000	7.7336	240037
avg_del_mater	7.0172E-16	1.0293E-15	.00000	2.9104E-11	240058
Machine 2_R_Q Queue Ti	3.7218	.13931	.00000	36.530	240040
avg_del_order	8.0000	3.6322E-16	8.0000	8.0000	240051
Machine 3_R_Q Queue Ti	3.8170	.15607	.00000	37.137	240038

### DISCRETE-CHANGE VARIABLES

Identifier	Average	Half Width	Minimum	Maximum	Final Value
# in orders_queue	1.1135	.18125	.00000	37.000	.00000
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
STOCK	.00000	(Insuf)	.00000	.00000	.00000
advanced info	8.0000	(Insuf)	8.0000	8.0000	8.0000
# in Machine 4_R_Q	3.0140	.09851	.00000	24.000	.00000
# in Machine 3_R_Q	3.0540	.12077	.00000	24.000	1.0000
# in Machine 2_R_Q	2.9786	.12364	.00000	24.000	18.000
# in kanban_queue	9.7608	.31150	.00000	25.000	4.0000
Machine 4_R Busy	.79884	.00438	.00000	1.0000	.00000
# in Machine 1_R_Q	2.9876	.12525	.00000	24.000	.00000
Machine 3_R Busy	.80142	.00488	.00000	1.0000	1.0000
KANBAN	25.000	(Insuf)	25.000	25.000	25.000
wip value	15.236	.31179	.00000	25.000	22.000
Machine 2_R Busy	.80143	.00572	.00000	1.0000	1.0000
Machine 1_R Busy	.80310	.00581	.00000	1.0000	.00000
# in products_queue	.11879	.00803	.00000	7.0000	.00000
lead time	8.0000	(Insuf)	8.0000	8.0000	8.0000
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
# in demands_queue	10.070	.43864	.00000	55.000	14.000

### COUNTERS

Identifier	Count	Limit
c1	240058	Infinite
c2	240037	Infinite
c3	240037	Infinite
c4	240058	Infinite
c5	240037	Infinite
Depart 1_C	240037	Infinite
afixeis_C	240058	Infinite

Simulation run time: 23.50 minutes.  
Simulation run complete.

## Παράρτημα Β : Ενδεικτικές Αναφορές Αποτελεσμάτων ARENA

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

Summary for Replication 1 of 1

Project: GKCS1STG Run execution date : 11/24/1999  
Analyst: tliap Model revision date: 11/24/1999

Replication ended at time : 300000.0

### TALLY VARIABLES

Identifier	Average	Half Width	Minimum	Maximum	Observations
Machine 4_R_Q Queue Ti	3.3521	.07196	.00000	31.623	239377
kanban_queue Queue Tim	4.1909	.26383	.00000	45.973	239392
paradosi	14.593	1.0954	.00000	104.05	239376
orders_queue Queue Tim	13.995	1.5569	6.0162E-05	96.670	122776
Machine 1_R_Q Queue Ti	3.1945	.08999	.00000	27.672	239387
demands_queue Queue Ti	16.492	1.3796	3.0707E-04	104.05	211802
servers flow time	17.113	.20587	.55749	43.157	239376
products_queue Queue T	.30101	.02496	.00000	9.4425	239376
avg_del_mater	2.5697E-16	2.8273E-16	.00000	2.9104E-11	239392
Machine 2_R_Q Queue Ti	3.2586	.07997	.00000	31.372	239382
avg_del_order	10.000	6.5480E-16	10.000	10.000	239381
Machine 3_R_Q Queue Ti	3.3059	.07241	.00000	30.627	239379

### DISCRETE-CHANGE VARIABLES

Identifier	Average	Half Width	Minimum	Maximum	Final Value
# in orders_queue	5.7278	.75932	.00000	77.000	.00000
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
STOCK	.00000	(Insuf)	.00000	.00000	.00000
advanced info	10.000	(Insuf)	10.000	10.000	10.000
# in Machine 4_R_Q	2.6748	.06195	.00000	16.000	1.0000
# in Machine 3_R_Q	2.6378	.06706	.00000	16.000	2.0000
TOTWIP	19.382	.90938	.00000	93.000	15.000
# in Machine 2_R_Q	2.6002	.07239	.00000	16.000	4.0000
# in kanban_queue	3.3443	.20284	.00000	17.000	1.0000
Machine 4_R Busy	.79838	.00363	.00000	1.0000	1.0000
# in Machine 1_R_Q	2.5491	.07313	.00000	16.000	5.0000
Machine 3_R Busy	.79853	.00361	.00000	1.0000	1.0000
KANBAN	17.000	(Insuf)	17.000	17.000	17.000
Machine 2_R Busy	.79868	.00412	.00000	1.0000	1.0000
wip value	13.655	.20305	.00000	17.000	15.000
Machine 1_R Busy	.79802	.00441	.00000	1.0000	1.0000
# in products_queue	.24018	.01984	.00000	9.0000	.00000
lead time	10.000	(Insuf)	10.000	10.000	10.000
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
# in demands_queue	11.644	.87766	.00000	83.000	5.0000

### COUNTERS

Identifier	Count	Limit
c1	239392	Infinite
c2	239376	Infinite
c3	239376	Infinite
c4	239392	Infinite
c5	239376	Infinite
Depart 1_C	239376	Infinite
afixeis_C	239392	Infinite

Simulation run time: 24.77 minutes.  
Simulation run complete.

## Παράρτημα Β : Ενδεικτικές Αναφορές Αποτελεσμάτων ARENA

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

Summary for Replication 1 of 1

Project: GKCS1STG Run execution date : 11/24/1999  
Analyst: tliap Model revision date: 11/24/1999

Replication ended at time : 300000.0

### TALLY VARIABLES

Identifier	Average	Half Width	Minimum	Maximum	Observations
Machine 4_R_Q Queue Ti	3.5869	.10612	.00000	35.453	239722
kanban_queue Queue Tim	7.0461	.29985	.00000	47.055	239731
paradosi	11.938	.86024	.00000	108.13	239721
orders_queue Queue Tim	10.610	1.3259	4.9170E-05	94.310	81602
Machine 1_R_Q Queue Ti	3.3602	.08368	.00000	31.559	239725
demands_queue Queue Ti	13.733	.84608	6.9236E-05	108.13	208376
servers flow time	17.982	.22610	.60493	45.587	239721
products_queue Queue T	.34413	.02334	.00000	9.3950	239721
avg_del_mater	6.3261E-16	7.9986E-16	.00000	2.9104E-11	239731
Machine 2_R_Q Queue Ti	3.4833	.10155	.00000	31.943	239724
avg_del_order	10.000	2.5683E-16	10.000	10.000	239721
Machine 3_R_Q Queue Ti	3.5474	.08447	.00000	34.934	239723

### DISCRETE-CHANGE VARIABLES

Identifier	Average	Half Width	Minimum	Maximum	Final Value
# in orders_queue	2.8861	(Corr)	.00000	89.000	.00000
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
STOCK	.00000	(Insuf)	.00000	.00000	.00000
advanced info	10.000	(Insuf)	10.000	10.000	10.000
# in Machine 4_R_Q	2.8662	.08022	.00000	19.000	.00000
# in Machine 3_R_Q	2.8347	.10077	.00000	19.000	1.0000
TOTWIP	17.251	(Corr)	.00000	108.00	10.000
# in Machine 2_R_Q	2.7834	.07676	.00000	19.000	.00000
# in kanban_queue	5.6309	(Corr)	.00000	20.000	10.000
Machine 4_R Busy	.80083	.00441	.00000	1.0000	1.0000
# in Machine 1_R_Q	2.6851	.08590	.00000	19.000	6.0000
Machine 3_R Busy	.80025	.00519	.00000	1.0000	1.0000
KANBAN	20.000	(Insuf)	20.000	20.000	20.000
Machine 2_R Busy	.80079	.00390	.00000	1.0000	.00000
wip value	14.365	(Corr)	.00000	20.000	10.000
Machine 1_R Busy	.79762	.00514	.00000	1.0000	1.0000
# in products_queue	.27498	.02136	.00000	9.0000	.00000
lead time	10.000	(Insuf)	10.000	10.000	10.000
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
# in demands_queue	9.5393	(Corr)	.00000	103.00	.00000

### COUNTERS

Identifier	Count	Limic
c1	239731	Infinite
c2	239721	Infinite
c3	239721	Infinite
c4	239731	Infinite
c5	239721	Infinite
Depart 1_C	239721	Infinite
afixeis_C	239731	Infinite

Simulation run time: 12.35 minutes.  
Simulation run complete.

## Παράρτημα Β : Ενδεικτικές Αναφορές Αποτελεσμάτων ARENA

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

Summary for Replication 1 of 1

Project: GKCS1STG Run execution date : 11/18/1999  
Analyst: tliap Model revision date: 11/18/1999

Replication ended at time : 300000.0

### TALLY VARIABLES

Identifier	Average	Half Width	Minimum	Maximum	Observations
Machine 4_R_Q Queue Ti	3.1089	.08312	.00000	26.558	239476
kanban_queue Queue Tim	2.4084	.25837	.00000	34.344	239490
paradosi	14.645	3.0036	.00000	129.61	239480
orders_queue Queue Tim	21.676	3.6856	2.1964E-04	129.16	160230
Machine 1_R_Q Queue Ti	3.0314	.07570	.00000	31.934	239488
demands_queue Queue Ti	21.509	3.5699	4.4239E-04	129.61	163054
servers flow time	16.382	.19250	.54613	50.996	239475
products_queue Queue T	2.0243	.21492	.00000	31.032	239480
avg_del_mater	5.0339E-16	7.6204E-16	.00000	2.9104E-11	239493
Machine 2_R_Q Queue Ti	3.0428	.06357	.00000	26.598	239485
avg_del_order	12.000	5.2947E-16	12.000	12.000	239490
Machine 3_R_Q Queue Ti	3.1957	.07380	.00000	27.518	239481

### DISCRETE-CHANGE VARIABLES

Identifier	Average	Half Width	Minimum	Maximum	Final Value
# in orders_queue	11.577	2.4160	.00000	111.00	3.0000
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
STOCK	5.0000	(Insuf)	5.0000	5.0000	5.0000
advanced info	12.000	(Insuf)	12.000	12.000	12.000
# in Machine 4_R_Q	2.4817	.06771	.00000	14.000	4.0000
# in Machine 3_R_Q	2.5511	.06337	.00000	14.000	3.0000
# in Machine 2_R_Q	2.4290	.06035	.00000	14.000	2.0000
# in kanban_queue	1.9226	.20507	.00000	15.000	.00000
Machine 4_R Busy	.79795	.00541	.00000	1.0000	1.0000
# in Machine 1_R_Q	2.4200	.06512	.00000	14.000	2.0000
Machine 3_R Busy	.80154	.00486	.00000	1.0000	1.0000
KANBAN	15.000	(Insuf)	15.000	15.000	15.000
wip value	13.077	.20584	.00000	15.000	15.000
Machine 2_R Busy	.79648	.00505	.00000	1.0000	1.0000
Machine 1_R Busy	.79944	.00454	.00000	1.0000	1.0000
# in products_queue	1.6159	.17176	.00000	15.000	.00000
lead time	12.000	(Insuf)	12.000	12.000	12.000
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
# in demands_queue	11.691	2.4136	.00000	109.00	10.000

### COUNTERS

Identifier	Count	Limit
c1	239490	Infinite
c2	239475	Infinite
c3	239480	Infinite
c4	239493	Infinite
c5	239475	Infinite
Depart 1_C	239480	Infinite
afixeis_C	239493	Infinite

Simulation run time: 12.87 minutes.  
Simulation run complete.

## Παράρτημα Β : Ενδεικτικές Αναφορές Αποτελεσμάτων ARENA

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

Summary for Replication 1 of 1

Project: GKCS1STG Run execution date : 11/18/1999  
Analyst: tliap Model revision date: 11/18/1999

Replication ended at time : 300000.0

### TALLY VARIABLES

Identifier	Average	Half Width	Minimum	Maximum	Observations
Machine 4_R_Q Queue Ti	3.1089	.08312	.00000	26.558	239476
kanban_queue Queue Tim	2.4084	.25837	.00000	34.344	239490
paradosi	14.645	3.0036	.00000	129.61	239480
orders_queue Queue Tim	21.676	3.6856	2.1964E-04	129.16	160230
Machine 1_R_Q Queue Ti	3.0314	.07570	.00000	31.934	239488
demands_queue Queue Ti	21.509	3.5699	4.4239E-04	129.61	163054
servers flow time	16.382	.19250	.54613	50.996	239475
products_queue Queue T	2.0243	.21492	.00000	31.032	239480
avg_del_mater	5.0339E-16	7.6204E-16	.00000	2.9104E-11	239493
Machine 2_R_Q Queue Ti	3.0428	.06357	.00000	26.598	239485
avg_del_order	12.000	5.2947E-16	12.000	12.000	239490
Machine 3_R_Q Queue Ti	3.1957	.07380	.00000	27.518	239481

### DISCRETE-CHANGE VARIABLES

Identifier	Average	Half Width	Minimum	Maximum	Final Value
# in orders_queue	11.577	2.4160	.00000	111.00	3.0000
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
STOCK	5.0000	(Insuf)	5.0000	5.0000	5.0000
advanced info	12.000	(Insuf)	12.000	12.000	12.000
# in Machine 4_R_Q	2.4817	.06771	.00000	14.000	4.0000
# in Machine 3_R_Q	2.5511	.06337	.00000	14.000	3.0000
# in Machine 2_R_Q	2.4290	.06035	.00000	14.000	2.0000
# in kanban_queue	1.9226	.20507	.00000	15.000	.00000
Machine 4_R Busy	.79795	.00541	.00000	1.0000	1.0000
# in Machine 1_R_Q	2.4200	.06512	.00000	14.000	2.0000
Machine 3_R Busy	.80154	.00486	.00000	1.0000	1.0000
KANBAN	15.000	(Insuf)	15.000	15.000	15.000
wip value	13.077	.20584	.00000	15.000	15.000
Machine 2_R Busy	.79648	.00505	.00000	1.0000	1.0000
Machine 1_R Busy	.79944	.00454	.00000	1.0000	1.0000
# in products_queue	1.6159	.17176	.00000	15.000	.00000
lead time	12.000	(Insuf)	12.000	12.000	12.000
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
# in demands_queue	11.691	2.4136	.00000	109.00	10.000

### COUNTERS

Identifier	Count	Limit
c1	239490	Infinite
c2	239475	Infinite
c3	239480	Infinite
c4	239493	Infinite
c5	239475	Infinite
Depart 1_C	239480	Infinite
afixeis_C	239493	Infinite

Simulation run time: 12.87 minutes.  
Simulation run complete.







## Παράρτημα Β : Ενδεικτικές Αναφορές Αποτελεσμάτων ARENA

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

Summary for Replication 1 of 1

Project: GKCS1STG Run execution date : 12/ 8/1999  
Analyst: tliap Model revision date: 12/ 8/1999

Replication ended at time : 300000.0

### TALLY VARIABLES

Identifier	Average	Half Width	Minimum	Maximum	Observations
Machine 4_R_Q Queue Ti	.69055	.01519	.00000	14.442	239519
kanban_queue Queue Tim	2.4538	.11122	.00000	31.942	239528
paradosi	3.1485	.50191	.00000	70.448	239531
orders_queue Queue Tim	11.224	1.1144	1.1186E-04	78.555	134014
Machine 1_R_Q Queue Ti	2.6284	.03917	.00000	22.015	239528
demands_queue Queue Ti	10.728	1.4261	2.1443E-04	70.448	70297
servers flow time	10.070	.08135	.22774	31.469	239518
products_queue Queue T	7.0797	.27183	.00000	43.402	239531
avq_del_mater	9.1652E-17	1.3900E-16	.00000	1.4552E-11	239536
Machine 2_R_Q Queue Ti	.67822	.01075	.00000	14.114	239528
avq_del_order	4.0000	5.3432E-16	4.0000	4.0000	239532
Machine 3_R_Q Queue Ti	2.7513	.06771	.00000	24.118	239523

### DISCRETE-CHANGE VARIABLES

Identifier	Average	Half Width	Minimum	Maximum	Final Value
# in orders_queue	5.0141	.63870	.00000	64.000	8.0000
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
STOCK	13.000	(Insuf)	13.000	13.000	13.000
advanced info	4.0000	(Insuf)	4.0000	4.0000	4.0000
# in Machine 4_R_Q	.55134	.01079	.00000	9.0000	3.0000
# in Machine 3_R_Q	2.1968	.06271	.00000	9.0000	5.0000
totwipk10	13.056	.72217	.00000	73.000	17.000
# in Machine 2_R_Q	.54151	.01012	.00000	9.0000	.00000
# in kanban_queue	1.9592	.10519	.00000	10.000	.00000
Machine 4_R Busy	.52840	.00303	.00000	1.0000	1.0000
# in Machine 1_R_Q	2.0986	.03901	.00000	9.0000	.00000
Machine 3_R Busy	.79995	.00542	.00000	1.0000	1.0000
KANBAN	10.000	(Insuf)	10.000	10.000	10.000
Machine 2_R Busy	.52688	.00306	.00000	1.0000	.00000
wip value	8.0390	.10538	.00000	10.000	10.000
Machine 1_R Busy	.79730	.00393	.00000	1.0000	.00000
# in products_queue	5.6527	.25991	.00000	17.000	.00000
lead time	4.0000	(Insuf)	4.0000	4.0000	4.0000
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
# in demands_queue	2.5138	.49278	.00000	58.000	1.0000

### COUNTERS

Identifier	Count	Limit
c1	239528	Infinite
c2	239518	Infinite
c3	239531	Infinite
c4	239536	Infinite
c5	239518	Infinite
Depart 1_C	239531	Infinite
afixeis_C	239536	Infinite

Simulation run time: 26.90 minutes.  
Simulation run complete.

## Παράρτημα Β : Ενδεικτικές Αναφορές Αποτελεσμάτων ARENA

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

Summary for Replication 1 of 1

Project: GKCS1STG Run execution date : 12/ 6/1999  
Analyst: tliap Model revision date: 12/ 6/1999

Replication ended at time : 300000.0

### TALLY VARIABLES

Identifier	Average	Half Width	Minimum	Maximum	Observations
Machine 4_R_Q Queue Ti	.71181	.01421	.00000	15.128	240105
kanban_queue Queue Tim	4.1915	.18257	.00000	33.374	240117
paradosi	3.7475	.57569	.00000	92.033	240113
Machine 1_R_Q Queue Ti	3.0298	.08476	.00000	32.665	240117
orders_queue Queue Tim	8.6945	.86789	7.7836E-05	90.135	95467
servers flow time	10.801	.14264	.17951	37.812	240105
demands_queue Queue Ti	8.6739	.84319	6.8991E-05	92.033	103740
avg_del_mater	3.2952E-16	5.1467E-16	.00000	2.9104E-11	240122
products_queue Queue T	3.4847	.15004	.00000	29.784	240113
Machine 2_R_Q Queue Ti	.70401	.01878	.00000	16.387	240116
avg_del_order	4.0000	5.3335E-16	4.0000	4.0000	240120
Machine 3_R_Q Queue Ti	3.0311	.07873	.00000	23.477	240106

### 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 orders_queue	2.7668	.43577	.00000	69.000	5.0000
STOCK	8.0000	(Insuf)	8.0000	8.0000	8.0000
Machine 1_R Available	1.0000	(Insuf)	1.0000	1.0000	1.0000
advanced info	4.0000	(Insuf)	4.0000	4.0000	4.0000
# in Machine 4_R_Q	.56970	(Corr)	.00000	11.000	.00000
totwipk12	11.408	.56067	.00000	80.000	17.000
# in Machine 3_R_Q	2.4260	.06856	.00000	11.000	9.0000
# in Machine 2_R_Q	.56348	.01449	.00000	11.000	1.0000
# in Machine 1_R_Q	2.4250	.06706	.00000	11.000	.00000
Machine 4_R Busy	.52862	.00299	.00000	1.0000	.00000
# in kanban_queue	3.3548	.14056	.00000	12.000	.00000
KANBAN	12.000	(Insuf)	12.000	12.000	12.000
Machine 3_R Busy	.80020	.00465	.00000	1.0000	1.0000
wip value	8.6423	.14089	.00000	12.000	12.000
Machine 2_R Busy	.52928	.00369	.00000	1.0000	1.0000
Machine 1_R Busy	.80279	.00459	.00000	1.0000	.00000
# in products_queue	2.7890	.11771	.00000	13.000	.00000
lead time	4.0000	(Insuf)	4.0000	4.0000	4.0000
Machine 4_R Available	1.0000	(Insuf)	1.0000	1.0000	1.0000
# in demands_queue	2.9995	.44768	.00000	70.000	7.0000
Machine 3_R Available	1.0000	(Insuf)	1.0000	1.0000	1.0000

### COUNTERS

Identifier	Count	Limit
c1	240117	Infinite
c2	240105	Infinite
c3	240113	Infinite
c4	240122	Infinite
c5	240105	Infinite
afixeis_C	240122	Infinite
Depart 1_C	240113	Infinite

Simulation run time: 23.35 minutes.  
Simulation run complete.

## Παράρτημα Β : Ενδεικτικές Αναφορές Αποτελεσμάτων ARENA

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

Summary for Replication 1 of 1

Project: GKCS1STG Run execution date : 12/ 8/1999  
Analyst: tliap Model revision date: 12/ 8/1999

Replication ended at time : 300000.0

### TALLY VARIABLES

Identifier	Average	Half Width	Minimum	Maximum	Observations
Machine 4_R_Q Queue Ti	.72968	.01279	.00000	13.702	240136
kanban_queue Queue Tim	8.1864	.27594	.00000	38.711	240147
paradosi	4.7558	.42799	.00000	73.179	240140
Machine 1_R_Q Queue Ti	3.4399	.11705	.00000	31.032	240145
orders_queue Queue Tim	7.4013	.85325	3.3131E-04	62.272	48976
servers flow time	11.801	.21685	.25541	39.029	240135
demands_queue Queue Ti	8.0966	.59742	3.6721E-05	73.179	141053
avg_del_mater	5.9405E-17	7.1046E-17	.00000	7.2760E-12	240147
products_queue Queue T	1.6911	.06756	.00000	22.634	240140
Machine 2_R_Q Queue Ti	.72653	(Corr)	.00000	14.320	240143
avg_del_order	4.0000	2.5683E-16	4.0000	4.0000	240142
Machine 3_R_Q Queue Ti	3.5803	.12341	.00000	31.803	240137

### 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 orders_queue	1.2083	.22966	.00000	51.000	.00000
STOCK	5.0000	(Insuf)	5.0000	5.0000	5.0000
Machine 1_R Available	1.0000	(Insuf)	1.0000	1.0000	1.0000
advanced info	4.0000	(Insuf)	4.0000	4.0000	4.0000
# in Machine 4_R_Q	.58407	.01217	.00000	14.000	.00000
totwipk16	10.651	.41161	.00000	66.000	12.000
# in Machine 3_R_Q	2.8659	.11582	.00000	15.000	5.0000
# in Machine 2_R_Q	.58157	.01209	.00000	15.000	1.0000
# in Machine 1_R_Q	2.7535	.10109	.00000	15.000	2.0000
Machine 4_R Busy	.52860	.00318	.00000	1.0000	1.0000
# in kanban_queue	6.5531	.20492	.00000	16.000	4.0000
KANBAN	16.000	(Insuf)	16.000	16.000	16.000
Machine 3_R Busy	.80281	.00512	.00000	1.0000	1.0000
wip value	9.4439	.20599	.00000	16.000	12.000
Machine 2_R Busy	.52894	.00340	.00000	1.0000	1.0000
Machine 1_R Busy	.80124	.00545	.00000	1.0000	1.0000
# in products_queue	1.3536	.05020	.00000	10.000	.00000
lead time	4.0000	(Insuf)	4.0000	4.0000	4.0000
Machine 4_R Available	1.0000	(Insuf)	1.0000	1.0000	1.0000
# in demands_queue	3.8068	.35801	.00000	58.000	2.0000
Machine 3_R Available	1.0000	(Insuf)	1.0000	1.0000	1.0000

### COUNTERS

Identifier	Count	Limit
c1	240147	Infinite
c2	240135	Infinite
c3	240140	Infinite
c4	240147	Infinite
c5	240135	Infinite
afixeis_C	240147	Infinite
Depart 1_C	240140	Infinite

Simulation run time: 23.15 minutes.  
Simulation run complete.

## Παράρτημα Β : Ενδεικτικές Αναφορές Αποτελεσμάτων ARENA

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

Summary for Replication 1 of 1

Project: GKCS1STG Run execution date : 12/ 8/1999  
Analyst: tliap Model revision date: 12/ 8/1999

Replication ended at time : 300000.0

### TALLY VARIABLES

Identifier	Average	Half Width	Minimum	Maximum	Observations
Machine 4_R_Q Queue Ti	.71181	.01421	.00000	15.128	240105
kanban_queue Queue Tim	4.1915	.18257	.00000	33.374	240117
paradosi	4.0620	.59297	.00000	92.768	240109
orders_queue Queue Tim	8.6945	.86789	7.7836E-05	90.135	95467
Machine 1_R_Q Queue Ti	3.0298	.08476	.00000	32.665	240117
demands_queue Queue Ti	8.6595	.92686	4.5089E-05	92.768	112632
servers_flow time	10.801	.14264	.17951	37.812	240105
products_queue Queue T	2.8016	.11784	.00000	26.657	240109
avg_del_mater	5.9109E-16	7.9163E-16	.00000	2.9104E-11	240122
Machine 2_R_Q Queue Ti	.70401	.01878	.00000	16.387	240116
avg_del_order	8.0000	7.8112E-16	8.0000	8.0000	240115
Machine 3_R_Q Queue Ti	3.0311	.07873	.00000	23.477	240106

### DISCRETE-CHANGE VARIABLES

Identifier	Average	Half Width	Minimum	Maximum	Final Value
# in orders_queue	2.7668	.43577	.00000	69.000	5.0000
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
STOCK	4.0000	(Insuf)	4.0000	4.0000	4.0000
advanced info	8.0000	(Insuf)	8.0000	8.0000	8.0000
# in Machine 4_R_Q	.56970	(Corr)	.00000	11.000	.00000
# in Machine 3_R_Q	2.4260	.06856	.00000	11.000	9.0000
totwipk12	11.408	.56067	.00000	80.000	17.000
# in Machine 2_R_Q	.56348	.01449	.00000	11.000	1.0000
# in kanban_queue	3.3548	.14056	.00000	12.000	.00000
Machine 4_R Busy	.52862	.00299	.00000	1.0000	.00000
# in Machine 1_R_Q	2.4250	.06706	.00000	11.000	.00000
Machine 3_R Busy	.80020	.00465	.00000	1.0000	1.0000
KANBAN	12.000	(Insuf)	12.000	12.000	12.000
Machine 2_R Busy	.52928	.00369	.00000	1.0000	1.0000
wip value	8.6423	.14089	.00000	12.000	12.000
Machine 1_R Busy	.80279	.00459	.00000	1.0000	.00000
# in products_queue	2.2423	.09489	.00000	14.000	.00000
lead time	8.0000	(Insuf)	8.0000	8.0000	8.0000
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
# in demands_queue	3.2511	.45956	.00000	71.000	6.0000

### COUNTERS

Identifier	Count	Limit
c1	240117	Infinite
c2	240105	Infinite
c3	240109	Infinite
c4	240122	Infinite
c5	240105	Infinite
Depart 1_C	240109	Infinite
afixeis_C	240122	Infinite

Simulation run time: 22.65 minutes.  
Simulation run complete.

**Παράρτημα Β : Ενδεικτικές Αναφορές Αποτελεσμάτων ARENA**

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

Summary for Replication 1 of 1

Project: GKCS1STG Run execution date : 12/ 8/1999  
Analyst: tliap Model revision date: 12/ 8/1999

Replication ended at time : 300000.0

TALLY VARIABLES

Identifier	Average	Half Width	Minimum	Maximum	Observations
Machine 4_R_Q Queue Ti	.73077	.02005	.00000	15.863	239986
kanban_queue Queue Tim	11.659	.25819	.00000	49.989	240002
paradosi	3.5120	.27185	.00000	60.500	239988
orders_queue Queue Tim	7.1409	1.1649	2.1069E-04	49.491	27499
Machine 1_R_Q Queue Ti	3.6070	.14099	.00000	35.412	240002
demands_queue Queue Ti	7.3092	.51658	6.5590E-05	60.500	115314
servers flow time	12.090	.19410	.09490	40.935	239985
products_queue Queue T	2.3532	.07422	.00000	22.605	239988
avg_del_mater	1.4280E-16	1.6407E-16	.00000	1.4552E-11	240002
Machine 2_R_Q Queue Ti	.74859	.01500	.00000	19.566	239997
avg_del_order	8.0000	1.0313E-15	8.0000	8.0000	239995
Machine 3_R_Q Queue Ti	3.6807	.11740	.00000	34.549	239988

DISCRETE-CHANGE VARIABLES

Identifier	Average	Half Width	Minimum	Maximum	Final Value
# in orders_queue	.65456	.14087	.00000	45.000	.00000
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
STOCK	3.0000	(Insuf)	3.0000	3.0000	3.0000
advanced info	8.0000	(Insuf)	8.0000	8.0000	8.0000
# in Machine 4_R_Q	.58458	.01416	.00000	17.000	1.0000
# in Machine 3_R_Q	2.9445	.09995	.00000	18.000	8.0000
totwipk19	10.325	.26946	.00000	63.000	16.000
# in Machine 2_R_Q	.59888	.01470	.00000	17.000	4.0000
# in kanban_queue	9.3275	.16978	.00000	19.000	2.0000
Machine 4_R Busy	.52737	.00289	.00000	1.0000	1.0000
# in Machine 1_R_Q	2.8856	.10439	.00000	18.000	.00000
Machine 3_R Busy	.79978	.00418	.00000	1.0000	1.0000
KANBAN	19.000	(Insuf)	19.000	19.000	19.000
Machine 2_R Busy	.53089	.00340	.00000	1.0000	1.0000
wip value	9.6715	.16872	.00000	19.000	16.000
Machine 1_R Busy	.80078	.00507	.00000	1.0000	1.0000
# in products_queue	1.8824	.05487	.00000	11.000	.00000
lead time	8.0000	(Insuf)	8.0000	8.0000	8.0000
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
# in demands_queue	2.8095	.21671	.00000	55.000	7.0000

COUNTERS

Identifier	Count	Limit
c1	240002	Infinite
c2	239985	Infinite
c3	239988	Infinite
c4	240002	Infinite
c5	239985	Infinite
Depart 1_C	239988	Infinite
afixeis_C	240002	Infinite

Simulation run time: 24.87 minutes.  
Simulation run complete.

## Παράρτημα Β : Ενδεικτικές Αναφορές Αποτελεσμάτων ARENA

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

Summary for Replication 1 of 1

Project: GKCS1STG Run execution date : 12/ 9/1999  
Analyst: tliap Model revision date: 12/ 9/1999

Replication ended at time : 300000.0

### TALLY VARIABLES

Identifier	Average	Half Width	Minimum	Maximum	Observations
Machine 4_R_Q Queue Ti	.71181	.01421	.00000	15.128	240105
kanban_queue Queue Tim	4.1915	.18257	.00000	33.374	240117
paradosi	5.5320	.63999	.00000	94.666	240105
Machine 1_R_Q Queue Ti	3.0298	.08476	.00000	32.665	240117
orders_queue Queue Tim	8.6945	.86789	7.7836E-05	90.135	95467
servers flow time	10.801	.14264	.17951	37.812	240105
demands_queue Queue Ti	8.8972	.70205	1.1131E-05	94.666	149291
avg_del_mater	6.5426E-16	8.3496E-16	.00000	2.9104E-11	240122
products_queue Queue T	1.2739	.05427	.00000	9.8204	240105
Machine 2_R_Q Queue Ti	.70401	.01878	.00000	16.387	240116
avg_del_order	10.000	7.8112E-16	10.000	10.000	240112
Machine 3_R_Q Queue Ti	3.0311	.07873	.00000	23.477	240106

### 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 orders_queue	2.7668	.43577	.00000	69.000	5.0000
STOCK	.00000	(Insuf)	.00000	.00000	.00000
Machine 1_R Available	1.0000	(Insuf)	1.0000	1.0000	1.0000
advanced info	10.000	(Insuf)	10.000	10.000	10.000
# in Machine 4_R_Q	.56970	(Corr)	.00000	11.000	.00000
totwipk12	11.408	.56067	.00000	80.000	17.000
# in Machine 3_R_Q	2.4260	.06856	.00000	11.000	9.0000
# in Machine 2_R_Q	.56348	.01449	.00000	11.000	1.0000
# in Machine 1_R_Q	2.4250	.06706	.00000	11.000	.00000
Machine 4_R Busy	.52862	.00299	.00000	1.0000	.00000
# in kanban_queue	3.3548	.14056	.00000	12.000	.00000
KANBAN	12.000	(Insuf)	12.000	12.000	12.000
Machine 3_R Busy	.80020	.00465	.00000	1.0000	1.0000
wip value	8.6423	.14089	.00000	12.000	12.000
Machine 2_R Busy	.52928	.00369	.00000	1.0000	1.0000
Machine 1_R Busy	.80279	.00459	.00000	1.0000	.00000
# in products_queue	1.0196	.04482	.00000	11.000	.00000
lead time	10.000	(Insuf)	10.000	10.000	10.000
Machine 4_R Available	1.0000	(Insuf)	1.0000	1.0000	1.0000
# in demands_queue	4.4277	.50046	.00000	73.000	7.0000
Machine 3_R Available	1.0000	(Insuf)	1.0000	1.0000	1.0000

### COUNTERS

Identifier	Count	Limit
c1	240117	Infinite
c2	240105	Infinite
c3	240105	Infinite
c4	240122	Infinite
c5	240105	Infinite
afixeis_C	240122	Infinite
Depart 1_C	240105	Infinite

Simulation run time: 24.28 minutes.  
Simulation run complete.



## Παράρτημα Β : Ενδεικτικές Αναφορές Αποτελεσμάτων ARENA

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

Summary for Replication 1 of 1

Project: GKCS1STG Run execution date : 12/ 9/1999  
Analyst: tliap Model revision date: 12/ 9/1999

Replication ended at time : 300000.0

### TALLY VARIABLES

Identifier	Average	Half Width	Minimum	Maximum	Observations
Machine 4_R_Q Queue Ti	.71181	.01421	.00000	15.128	240105
kanban_queue Queue Tim	4.1915	.18257	.00000	33.374	240117
paradosi	4.4038	.60848	.00000	92.666	240105
Machine 1_R_Q Queue Ti	3.0298	.08476	.00000	32.665	240117
orders_queue Queue Tim	8.6945	.86789	7.7836E-05	90.135	95467
servers flow time	10.801	.14264	.17951	37.812	240105
demands_queue Queue Ti	8.6568	.90609	7.5128E-05	92.666	122143
avg_del_mater	6.6944E-16	8.3618E-16	.00000	2.9104E-11	240122
products_queue Queue T	2.1457	.08818	.00000	11.820	240105
Machine 2_R_Q Queue Ti	.70401	.01878	.00000	16.387	240116
avg_del_order	12.000	8.1217E-16	12.000	12.000	240111
Machine 3_R_Q Queue Ti	3.0311	.07873	.00000	23.477	240106

### 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 orders_queue	2.7668	.43577	.00000	69.000	5.0000
STOCK	.00000	(Insuf)	.00000	.00000	.00000
Machine 1_R Available	1.0000	(Insuf)	1.0000	1.0000	1.0000
advanced info	12.000	(Insuf)	12.000	12.000	12.000
# in Machine 4_R_Q	.56970	(Corr)	.00000	11.000	.00000
totwipk12	11.408	.56067	.00000	80.000	17.000
# in Machine 3_R_Q	2.4260	.06856	.00000	11.000	9.0000
# in Machine 2_R_Q	.56348	.01449	.00000	11.000	1.0000
# in Machine 1_R_Q	2.4250	.06706	.00000	11.000	.00000
Machine 4_R Busy	.52862	.00299	.00000	1.0000	.00000
# in kanban_queue	3.3548	.14056	.00000	12.000	.00000
KANBAN	12.000	(Insuf)	12.000	12.000	12.000
Machine 3_R Busy	.80020	.00465	.00000	1.0000	1.0000
wip value	8.6423	.14089	.00000	12.000	12.000
Machine 2_R Busy	.52928	.00369	.00000	1.0000	1.0000
Machine 1_R Busy	.80279	.00459	.00000	1.0000	.00000
# in products_queue	1.7173	.07242	.00000	13.000	.00000
lead time	12.000	(Insuf)	12.000	12.000	12.000
Machine 4_R Available	1.0000	(Insuf)	1.0000	1.0000	1.0000
# in demands_queue	3.5246	.47142	.00000	71.000	6.0000
Machine 3_R Available	1.0000	(Insuf)	1.0000	1.0000	1.0000

### COUNTERS

Identifier	Count	Limit
c1	240117	Infinite
c2	240105	Infinite
c3	240105	Infinite
c4	240122	Infinite
c5	240105	Infinite
afixeis_C	240122	Infinite
Depart 1_C	240105	Infinite

Simulation run time: 24.20 minutes.  
Simulation run complete.

## Παράρτημα Β : Ενδεικτικές Αναφορές Αποτελεσμάτων ARENA

ARENA Simulation Results  
 - - License #9810727

Summary for Replication 1 of 1

Project: GKCS1STG Run execution date : 12/ 9/1999  
 Analyst: tliap Model revision date: 12/ 9/1999

Replication ended at time : 300000.0

### TALLY VARIABLES

Identifier	Average	Half Width	Minimum	Maximum	Observations
Machine 4_R_Q Queue Ti	.71099	.01440	.00000	12.684	239713
kanban_queue Queue Tim	4.2028	.12937	.00000	42.565	239725
paradosi	6.7039	.34458	.00000	60.948	239713
orders_queue Queue Tim	8.2457	.50113	1.1658E-04	53.544	94710
Machine 1_R_Q Queue Ti	2.9865	.07005	.00000	22.522	239722
demands_queue Queue Ti	9.0129	.36912	4.6678E-05	60.948	178302
servers flow time	10.814	.09254	.24364	32.434	239713
products_queue Queue T	.63203	.02743	.00000	7.7563	239713
avg_del_mater	32.000	1.1486E-15	32.000	32.000	239735
Machine 2_R_Q Queue Ti	.69681	.01260	.00000	12.486	239721
avg_del_order	40.000	1.1486E-15	40.000	40.000	239726
Machine 3_R_Q Queue Ti	3.0958	.08394	.00000	26.834	239714

### DISCRETE-CHANGE VARIABLES

Identifier	Average	Half Width	Minimum	Maximum	Final Value
# in orders_queue	2.6033	.24007	.00000	43.000	10.000
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
STOCK	.00000	(Insuf)	.00000	.00000	.00000
advanced info	40.000	(Insuf)	40.000	40.000	40.000
# in Machine 4_R_Q	.56811	(Corr)	.00000	11.000	.00000
# in Machine 3_R_Q	2.4737	.06154	.00000	11.000	6.0000
totwipk12	11.242	.30112	.00000	55.000	19.000
# in Machine 2_R_Q	.55680	.01149	.00000	11.000	.00000
# in kanban_queue	3.3584	.08887	.00000	12.000	.00000
Machine 4_R Busy	.52778	.00305	.00000	1.0000	.00000
# in Machine 1_R_Q	2.3865	.05100	.00000	11.000	3.0000
Machine 3_R Busy	.80210	.00502	.00000	1.0000	1.0000
KANBAN	12.000	(Insuf)	12.000	12.000	12.000
Machine 2_R Busy	.52645	.00270	.00000	1.0000	1.0000
wip value	8.6389	.08781	.00000	12.000	12.000
Machine 1_R Busy	.80007	.00379	.00000	1.0000	1.0000
# in products_queue	.50502	.01956	.00000	8.0000	.00000
lead time	8.0000	(Insuf)	8.0000	8.0000	8.0000
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
# in demands_queue	5.3571	.28386	.00000	46.000	13.000

### COUNTERS

Identifier	Count	Limit
c1	239725	Infinite
c2	239713	Infinite
c3	239713	Infinite
c4	239735	Infinite
c5	239713	Infinite
Depart 1_C	239713	Infinite
afixeis_C	239761	Infinite

Simulation run time: 23.20 minutes.  
 Simulation run complete.

## Παράρτημα Β : Ενδεικτικές Αναφορές Αποτελεσμάτων ARENA

ARENA Simulation Results  
 - - License #9810727

Summary for Replication 1 of 1

Project: GKCS1STG Run execution date : 12/ 9/1999  
 Analyst: tliap Model revision date: 12/ 9/1999

Replication ended at time : 300000.0

### TALLY VARIABLES

Identifier	Average	Half Width	Minimum	Maximum	Observations
Machine 4_R_Q Queue Ti	.70762	.01211	.00000	13.127	239731
kanban_queue Queue Tim	4.2801	.16265	.00000	34.264	239735
paradosi	.47266	.15551	.00000	42.672	239718
orders_queue Queue Tim	8.5811	.69184	2.5956E-04	59.215	93054
Machine 1_R_Q Queue Ti	2.9777	.07038	.00000	24.814	239732
demands_queue Queue Ti	8.1556	1.5711	5.8982E-04	42.672	13893
servers flow time	10.736	.11476	.19047	33.642	239731
products_queue Queue T	16.405	(Corr)	.00000	29.809	239718
avg_del_mater	10.000	1.0667E-15	10.000	10.000	239735
Machine 2_R_Q Queue Ti	.70890	.01244	.00000	12.627	239731
avg_del_order	40.000	1.1486E-15	40.000	40.000	239718
Machine 3_R_Q Queue Ti	3.0200	.07237	.00000	25.340	239731

### DISCRETE-CHANGE VARIABLES

Identifier	Average	Half Width	Minimum	Maximum	Final Value
# in orders_queue	2.6617	.26257	.00000	53.000	.00000
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
STOCK	.00000	(Insuf)	.00000	.00000	.00000
advanced info	40.000	(Insuf)	40.000	40.000	40.000
# in Machine 4_R_Q	.56546	.01119	.00000	11.000	.00000
# in Machine 3_R_Q	2.4133	.05402	.00000	11.000	.00000
totwipk12	11.243	.33346	.00000	65.000	3.0000
# in Machine 2_R_Q	.56649	.01002	.00000	11.000	.00000
# in kanban_queue	3.4206	.09245	.00000	12.000	8.0000
Machine 4_R Busy	.52860	.00273	.00000	1.0000	.00000
# in Machine 1_R_Q	2.3795	.05111	.00000	11.000	3.0000
Machine 3_R Busy	.79816	.00377	.00000	1.0000	.00000
KANBAN	12.000	(Insuf)	12.000	12.000	12.000
Machine 2_R Busy	.52949	.00273	.00000	1.0000	.00000
wip value	8.5798	.09237	.00000	12.000	3.0000
Machine 1_R Busy	.79831	.00445	.00000	1.0000	1.0000
# in products_queue	13.109	.21197	.00000	33.000	13.000
lead time	30.000	(Insuf)	30.000	30.000	30.000
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
# in demands_queue	.37769	.11360	.00000	38.000	.00000

### COUNTERS

Identifier	Count	Limit
c1	239735	Infinite
c2	239731	Infinite
c3	239718	Infinite
c4	239735	Infinite
c5	239731	Infinite
Depart 1_C	239718	Infinite
afixeis_C	239741	Infinite

Simulation run time: 19.37 minutes.  
 Simulation run complete.



## Παράρτημα Β : Ενδεικτικές Αναφορές Αποτελεσμάτων ARENA

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

Summary for Replication 1 of 1

Project: GKCS1STG Run execution date : 11/15/1999  
Analyst: tliap Model revision date: 11/15/1999

Replication ended at time : 300000.0

### TALLY VARIABLES

Identifier	Average	Half Width	Minimum	Maximum	Observations
Machine 4_R_Q Queue Ti	3.3521	.07196	.00000	31.623	239377
kanban_queue Queue Tim	4.1909	.26383	.00000	45.973	239392
paradosi	24.292	1.1123	.55749	114.05	239376
Machine 1_R_Q Queue Ti	3.1945	.08999	.00000	27.672	239387
orders_queue Queue Tim	13.995	1.5569	6.0162E-05	96.670	122776
servers flow time	17.113	.20587	.55749	43.157	239376
demands_queue Queue Ti	24.292	1.1123	.55749	114.05	239376
avg_del_mater	.00000	.00000	.00000	.00000	239392
products_queue Queue T	.00000	.00000	.00000	.00000	239376
Machine 2_R_Q Queue Ti	3.2586	.07997	.00000	31.372	239382
avg_del_order	.00000	.00000	.00000	.00000	239392
Machine 3_R_Q Queue Ti	3.3059	.07241	.00000	30.627	239379

### 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 orders_queue	5.7278	.75932	.00000	77.000	.00000
STOCK	.00000	(Insuf)	.00000	.00000	.00000
Machine 1_R Available	1.0000	(Insuf)	1.0000	1.0000	1.0000
advanced info	.00000	(Insuf)	.00000	.00000	.00000
# in Machine 4_R_Q	2.6748	.06195	.00000	16.000	1.0000
totalwip	19.382	.90938	.00000	93.000	15.000
# in Machine 3_R_Q	2.6378	.06706	.00000	16.000	2.0000
# in Machine 2_R_Q	2.6002	.07239	.00000	16.000	4.0000
# in Machine 1_R_Q	2.5491	.07313	.00000	16.000	5.0000
Machine 4_R Busy	.79838	.00363	.00000	1.0000	1.0000
# in kanban_queue	3.3443	.20284	.00000	17.000	1.0000
KANBAN	17.000	(Insuf)	17.000	17.000	17.000
Machine 3_R Busy	.79853	.00361	.00000	1.0000	1.0000
wip Value	13.655	.20305	.00000	17.000	15.000
Machine 2_R Busy	.79868	.00412	.00000	1.0000	1.0000
Machine 1_R Busy	.79802	.00441	.00000	1.0000	1.0000
# in products_queue	.00000	.00000	.00000	1.0000	.00000
lead time	.00000	(Insuf)	.00000	.00000	.00000
Machine 4_R Available	1.0000	(Insuf)	1.0000	1.0000	1.0000
# in demands_queue	19.383	.90873	.00000	94.000	16.000
Machine 3_R Available	1.0000	(Insuf)	1.0000	1.0000	1.0000

### COUNTERS

Identifier	Count	Limit
c1	239392	Infinite
c2	239376	Infinite
c3	239376	Infinite
c4	239392	Infinite
c5	239376	Infinite
afixeis_C	239392	Infinite
Depart 1_C	239376	Infinite

Simulation run time: 11.40 minutes.  
Simulation run complete.

## Παράρτημα Β : Ενδεικτικές Αναφορές Αποτελεσμάτων ARENA

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

Summary for Replication 1 of 1

Project: GKCS1STG Run execution date : 11/15/1999  
Analyst: tliap Model revision date: 11/15/1999

Replication ended at time : 300000.0

### TALLY VARIABLES

Identifier	Average	Half Width	Minimum	Maximum	Observations
Machine 4_R_Q Queue Ti	3.6635	.13223	.00000	30.814	239576
kanban_queue Queue Tim	10.331	.30414	.00000	52.457	239587
paradosi	20.511	.68502	.79461	96.042	239576
Machine 1_R_Q Queue Ti	3.5387	.12758	.00000	36.555	239577
orders_queue Queue Tim	9.3425	1.4064	1.1429E-04	70.667	52406
servers flow time	18.468	.25983	.79461	51.165	239576
demands_queue Queue Ti	20.511	.68502	.79461	96.042	239576
avg_del_mater	.00000	.00000	.00000	.00000	239587
products_queue Queue T	.00000	.00000	.00000	.00000	239576
Machine 2_R_Q Queue Ti	3.5446	(Corr)	.00000	32.102	239576
avg_del_order	.00000	.00000	.00000	.00000	239587
Machine 3_R_Q Queue Ti	3.7178	.11921	.00000	33.682	239576

### 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 orders_queue	1.6320	.39874	.00000	58.000	.00000
STOCK	.00000	(Insuf)	.00000	.00000	.00000
Machine 1_R Available	1.0000	(Insuf)	1.0000	1.0000	1.0000
advanced info	.00000	(Insuf)	.00000	.00000	.00000
# in Machine 4_R_Q	2.9256	.09124	.00000	22.000	.00000
totalwip	16.381	.61021	.00000	80.000	10.000
# in Machine 3_R_Q	2.9690	.09582	.00000	22.000	.00000
# in Machine 2_R_Q	2.8306	.12304	.00000	22.000	.00000
# in Machine 1_R_Q	2.8262	.10258	.00000	22.000	10.000
Machine 4_R Busy	.80027	.00433	.00000	1.0000	.00000
# in kanban_queue	8.2513	.26151	.00000	23.000	12.000
KANBAN	23.000	(Insuf)	23.000	23.000	23.000
Machine 3_R Busy	.80110	.00414	.00000	1.0000	.00000
wip Value	14.747	.26221	.00000	23.000	10.000
Machine 2_R Busy	.79641	.00467	.00000	1.0000	.00000
Machine 1_R Busy	.79931	.00440	.00000	1.0000	1.0000
# in products_queue	.00000	.00000	.00000	1.0000	.00000
lead time	.00000	(Insuf)	.00000	.00000	.00000
Machine 4_R Available	1.0000	(Insuf)	1.0000	1.0000	1.0000
# in demands_queue	16.380	.60994	.00000	81.000	11.000
Machine 3_R Available	1.0000	(Insuf)	1.0000	1.0000	1.0000

### COUNTERS

Identifier	Count	Limit
c1	239587	Infinite
c2	239576	Infinite
c3	239576	Infinite
c4	239587	Infinite
c5	239576	Infinite
afixeis_C	239587	Infinite
Depart I_C	239576	Infinite

Simulation run time: 22.25 minutes.  
Simulation run complete.

## Παράρτημα Β : Ενδεικτικές Αναφορές Αποτελεσμάτων ARENA

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

Summary for Replication 1 of 1

Project: GKCS1STG Run execution date : 11/15/1999  
Analyst: tliap Model revision date: 11/15/1999

Replication ended at time : 300000.0

### TALLY VARIABLES

Identifier	Average	Half Width	Minimum	Maximum	Observations
Machine 4_R_Q Queue Ti	3.9534	.16735	.00000	41.845	240555
kanban_queue Queue Tim	17.584	.61057	.00000	64.749	240573
paradosi	20.481	.65196	.65981	94.948	240554
Machine 1_R_Q Queue Ti	3.8343	.14029	.00000	37.806	240573
orders_queue Queue Tim	7.3532	1.2827	1.0709E-04	56.904	21459
servers flow time	19.825	.46789	.65981	58.805	240554
demands_queue Queue Ti	20.481	.65196	.65981	94.948	240554
avq_del_mater	.00000	.00000	.00000	.00000	240573
products_queue Queue T	.00000	.00000	.00000	.00000	240554
Machine 2_R_Q Queue Ti	4.0705	.18557	.00000	40.327	240559
avq_del_order	.00000	.00000	.00000	.00000	240573
Machine 3_R_Q Queue Ti	3.9598	(Corr)	.00000	39.198	240556

### 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 orders_queue	.52598	.17246	.00000	38.000	.00000
STOCK	.00000	(Insuf)	.00000	.00000	.00000
Machine 1_R Available	1.0000	(Insuf)	1.0000	1.0000	1.0000
advanced info	.00000	(Insuf)	.00000	.00000	.00000
# in Machine 4_R_Q	3.1700	.14074	.00000	29.000	.00000
totalwip	16.426	.56575	.00000	67.000	18.000
# in Machine 3_R_Q	3.1752	.11903	.00000	29.000	2.0000
# in Machine 2_R_Q	3.2645	.15860	.00000	29.000	13.000
# in Machine 1_R_Q	3.0748	.13018	.00000	29.000	.00000
Machine 4_R Busy	.80178	.00486	.00000	1.0000	1.0000
# in kanban_queue	14.101	.42911	.00000	30.000	11.000
KANBAN	30.000	(Insuf)	30.000	30.000	30.000
Machine 3_R Busy	.80181	.00497	.00000	1.0000	1.0000
wip Value	15.899	.42826	.00000	30.000	18.000
Machine 2_R Busy	.80569	.00502	.00000	1.0000	1.0000
Machine 1_R Busy	.80417	.00450	.00000	1.0000	1.0000
# in products_queue	.00000	.00000	.00000	1.0000	.00000
lead time	.00000	(Insuf)	.00000	.00000	.00000
Machine 4_R Available	1.0000	(Insuf)	1.0000	1.0000	1.0000
# in demands_queue	16.424	.56583	.00000	68.000	19.000
Machine 3_R Available	1.0000	(Insuf)	1.0000	1.0000	1.0000

### COUNTERS

Identifier	Count	Limit
c1	240573	Infinite
c2	240554	Infinite
c3	240554	Infinite
c4	240573	Infinite
c5	240554	Infinite
afixeis_C	240573	Infinite
Depart 1_C	240554	Infinite

Simulation run time: 11.35 minutes.  
Simulation run complete.





## Παράρτημα Β : Ενδεικτικές Αναφορές Αποτελεσμάτων ARENA

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

Summary for Replication 1 of 1

Project: GKCS1STG Run execution date : 11/30/1999  
Analyst: tliap Model revision date: 11/30/1999

Replication ended at time : 300000.0

### TALLY VARIABLES

Identifier	Average	Half Width	Minimum	Maximum	Observations
Machine 4_R_Q Queue Ti	.69983	.01146	.00000	12.115	239573
kanban_queue Queue Tim	3.3043	.15695	.00000	35.310	239581
paradosi	15.372	1.1791	.17951	129.77	239573
Machine 1_R_Q Queue Ti	2.8532	.07130	.00000	25.434	239580
orders_queue Queue Tim	10.304	1.9091	3.7384E-04	121.16	113984
servers flow time	10.469	.12149	.17951	33.916	239573
demands_queue Queue Ti	15.372	1.1791	.17951	129.77	239573
avg_del_mater	.00000	.00000	.00000	.00000	239581
products_queue Queue T	.00000	.00000	.00000	.00000	239573
Machine 2_R_Q Queue Ti	.68944	.01526	.00000	11.803	239579
avg_del_order	.00000	.00000	.00000	.00000	239581
Machine 3_R_Q Queue Ti	2.9054	.07533	.00000	22.167	239574

### 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 orders_queue	3.9153	.87959	.00000	104.00	.00000
STOCK	.00000	(Insuf)	.00000	.00000	.00000
Machine 1_R Available	1.0000	(Insuf)	1.0000	1.0000	1.0000
advanced info	.00000	(Insuf)	.00000	.00000	.00000
# in Machine 4_R_Q	.55887	.01113	.00000	10.000	.00000
totwipk11	12.278	.96407	.00000	114.00	7.0000
# in Machine 3_R_Q	2.3202	.06154	.00000	10.000	4.0000
# in Machine 2_R_Q	.55058	.01138	.00000	10.000	.00000
# in Machine 1_R_Q	2.2785	.06637	.00000	10.000	1.0000
Machine 4_R Busy	.52818	.00307	.00000	1.0000	.00000
# in kanban_queue	2.6388	.12636	.00000	11.000	3.0000
KANBAN	11.000	(Insuf)	11.000	11.000	11.000
Machine 3_R Busy	.79776	.00496	.00000	1.0000	1.0000
wip value	8.3598	.12580	.00000	11.000	7.0000
Machine 2_R Busy	.52820	.00345	.00000	1.0000	1.0000
Machine 1_R Busy	.79870	.00504	.00000	1.0000	1.0000
# in products_queue	.00000	.00000	.00000	1.0000	.00000
lead time	.00000	(Insuf)	.00000	.00000	.00000
Machine 4_R Available	1.0000	(Insuf)	1.0000	1.0000	1.0000
# in demands_queue	12.276	.96230	.00000	115.00	8.0000
Machine 3_R Available	1.0000	(Insuf)	1.0000	1.0000	1.0000

### COUNTERS

Identifier	Count	Limit
c1	239581	Infinite
c2	239573	Infinite
c3	239573	Infinite
c4	239581	Infinite
c5	239573	Infinite
afixeis_C	239581	Infinite
Depart I_C	239573	Infinite

Simulation run time: 11.10 minutes.  
Simulation run complete.

## Παράρτημα Β : Ενδεικτικές Αναφορές Αποτελεσμάτων ARENA

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

Summary for Replication 1 of 1

Project: GKCS1STG Run execution date : 12/ 7/1999  
Analyst: tliap Model revision date: 12/ 7/1999

Replication ended at time : 300000.0

### TALLY VARIABLES

Identifier	Average	Half Width	Minimum	Maximum	Observations
Machine 4_R_Q Queue Ti	.73547	.01622	.00000	13.407	239973
kanban_queue Queue Tim	7.2422	.22186	.00000	40.094	239975
paradosi	13.198	.45135	.17951	83.396	239972
orders_queue Queue Tim	7.3336	1.0563	6.7220E-05	65.890	55288
Machine 1_R_Q Queue Ti	3.3620	.10687	.00000	27.712	239975
demands_queue Queue Ti	13.198	.45135	.17951	83.396	239972
servers flow time	11.509	.17242	.17951	35.029	239972
products_queue Queue T	.00000	.00000	.00000	.00000	239972
avg_del_mater	.00000	.00000	.00000	.00000	239975
Machine 2_R_Q Queue Ti	.71329	.01131	.00000	15.175	239975
avg_del_order	.00000	.00000	.00000	.00000	239975
Machine 3_R_Q Queue Ti	3.3751	.09209	.00000	27.794	239974

### DISCRETE-CHANGE VARIABLES

Identifier	Average	Half Width	Minimum	Maximum	Final Value
# in orders_queue	1.3515	(Corr)	.00000	50.000	.00000
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
STOCK	.00000	(Insuf)	.00000	.00000	.00000
advanced info	.00000	(Insuf)	.00000	.00000	.00000
# in Machine 4_R_Q	.58831	.01221	.00000	13.000	.00000
# in Machine 3_R_Q	2.6998	.06898	.00000	14.000	.00000
totwipk15	10.557	(Corr)	.00000	64.000	3.0000
# in Machine 2_R_Q	.57057	.01267	.00000	14.000	.00000
# in kanban_queue	5.7935	.13702	.00000	15.000	12.000
Machine 4_R Busy	.52975	.00295	.00000	1.0000	1.0000
# in Machine 1_R_Q	2.6893	.09183	.00000	14.000	.00000
Machine 3_R Busy	.79889	.00347	.00000	1.0000	1.0000
KANBAN	15.000	(Insuf)	15.000	15.000	15.000
Machine 2_R Busy	.52872	.00319	.00000	1.0000	1.0000
wip value	9.2051	.13687	.00000	15.000	3.0000
Machine 1_R Busy	.80104	.00488	.00000	1.0000	.00000
# in products_queue	.00000	.00000	.00000	1.0000	.00000
lead time	.00000	(Insuf)	.00000	.00000	.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
# in demands_queue	10.557	(Corr)	.00000	65.000	3.0000

### COUNTERS

Identifier	Count	Limit
c1	239975	Infinite
c2	239972	Infinite
c3	239972	Infinite
c4	239975	Infinite
c5	239972	Infinite
Depart 1_C	239972	Infinite
afixeis_C	239975	Infinite

Simulation run time: 7.83 minutes.  
Simulation run complete.

## Παράρτημα Β : Ενδεικτικές Αναφορές Αποτελεσμάτων ARENA

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

Summary for Replication 1 of 1

Project: GKCS1STG Run execution date : 12/ 7/1999  
Analyst: tliap Model revision date: 12/ 7/1999

Replication ended at time : 300000.0

### TALLY VARIABLES

Identifier	Average	Half Width	Minimum	Maximum	Observations
Machine 4_R_Q Queue Ti	.72751	(Corr)	.00000	17.374	239639
kanban_queue Queue Tim	10.468	.21188	.00000	44.805	239644
paradosi	12.957	.27926	.17951	71.502	239638
orders_queue Queue Tim	6.4777	.60947	4.8298E-04	52.658	33019
Machine 1_R_Q Queue Ti	3.5417	.11616	.00000	33.815	239640
demands_queue Queue Ti	12.957	.27926	.17951	71.502	239638
servers_flow time	12.064	.16098	.17951	41.456	239638
products_queue Queue T	.00000	.00000	.00000	.00000	239638
avg_del_mater	.00000	.00000	.00000	.00000	239644
Machine 2_R_Q Queue Ti	.73206	.01547	.00000	15.316	239639
avg_del_order	.00000	.00000	.00000	.00000	239644
Machine 3_R_Q Queue Ti	3.7399	.10166	.00000	34.640	239639

### DISCRETE-CHANGE VARIABLES

Identifier	Average	Half Width	Minimum	Maximum	Final Value
# in orders_queue	.71297	.11277	.00000	48.000	.00000
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
STOCK	.00000	(Insuf)	.00000	.00000	.00000
advanced info	.00000	(Insuf)	.00000	.00000	.00000
# in Machine 4_R_Q	.58114	.01273	.00000	16.000	.00000
# in Machine 3_R_Q	2.9874	.08080	.00000	17.000	.00000
totwipk18	10.343	.22706	.00000	65.000	6.0000
# in Machine 2_R_Q	.58477	.01345	.00000	16.000	.00000
# in kanban_queue	8.3626	.14719	.00000	18.000	12.000
Machine 4_R Busy	.52645	(Corr)	.00000	1.0000	1.0000
# in Machine 1_R_Q	2.8292	.09600	.00000	17.000	4.0000
Machine 3_R Busy	.80090	.00406	.00000	1.0000	.00000
KANBAN	18.000	(Insuf)	18.000	18.000	18.000
Machine 2_R Busy	.52832	.00326	.00000	1.0000	.00000
wip value	9.6315	.14629	.00000	18.000	6.0000
Machine 1_R Busy	.79910	.00412	.00000	1.0000	1.0000
# in products_queue	.00000	.00000	.00000	1.0000	.00000
lead time	.00000	(Insuf)	.00000	.00000	.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
# in demands_queue	10.350	.22841	.00000	66.000	6.0000

### COUNTERS

Identifier	Count	Limit
c1	239644	Infinite
c2	239638	Infinite
c3	239638	Infinite
c4	239644	Infinite
c5	239638	Infinite
Depart 1_C	239638	Infinite
afixeis_C	239644	Infinite

Simulation run time: 21.20 minutes.  
Simulation run complete.



## Παράρτημα Β : Ενδεικτικές Αναφορές Αποτελεσμάτων ARENA

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

Summary for Replication 1 of 1

Project: GKCS1STG Run execution date : 11/28/1999  
Analyst: tliap Model revision date: 11/28/1999

Replication ended at time : 300000.0

### TALLY VARIABLES

Identifier	Average	Half Width	Minimum	Maximum	Observations
Machine 4_R_Q Queue Ti	.73398	.01940	.00000	7.1899	240377
kanban_queue Queue Tim	2.4684	.08123	.00000	27.426	240385
paradosi	5.0041	.22789	.00000	45.258	240381
Machine 1_R_Q Queue Ti	1.1868	.01217	.00000	8.3045	240383
orders_queue Queue Tim	4.8707	.30839	5.4409E-05	40.095	104182
servers flow time	7.5156	.04281	1.2358	14.382	240377
demands_queue Queue Ti	6.0232	.27079	4.8182E-05	45.258	199710
avg_del_mater	.00000	.00000	.00000	.00000	240393
products_queue Queue T	.36967	.01611	.00000	16.993	240381
Machine 2_R_Q Queue Ti	.83562	.01690	.00000	7.6497	240382
avg_del_order	.00000	.00000	.00000	.00000	240393
Machine 3_R_Q Queue Ti	.76158	.01929	.00000	7.4196	240378

### 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 orders_queue	1.6915	.15019	.00000	35.000	8.0000
STOCK	4.0000	(Insuf)	4.0000	4.0000	4.0000
Machine 1_R Available	1.0000	(Insuf)	1.0000	1.0000	1.0000
advanced info	.00000	(Insuf)	.00000	.00000	.00000
# in Machine 4_R_Q	.58811	.01771	.00000	6.0000	.00000
totwipk8	7.7130	.19154	.00000	42.000	15.000
# in Machine 3_R_Q	.61024	.01363	.00000	6.0000	3.0000
# in Machine 2_R_Q	.66956	.01229	.00000	7.0000	.00000
# in Machine 1_R_Q	.95102	.00930	.00000	6.0000	2.0000
Machine 4_R Busy	.80105	.00319	.00000	1.0000	.00000
# in kanban_queue	1.9779	.04811	.00000	8.0000	.00000
KANBAN	8.0000	(Insuf)	8.0000	8.0000	8.0000
Machine 3_R Busy	.80018	.00288	.00000	1.0000	1.0000
wip value	6.0214	.04915	.00000	8.0000	8.0000
Machine 2_R Busy	.80013	.00289	.00000	1.0000	1.0000
Machine 1_R Busy	.80177	.00274	.00000	1.0000	1.0000
# in products_queue	.29620	.0^849	.00000	4.0000	.00000
lead time	.00000	(Insuf)	.00000	.00000	.00000
Machine 4_R Available	1.0000	(Insuf)	1.0000	1.0000	1.0000
# in demands_queue	4.0098	.18493	.00000	39.000	12.000
Machine 3_R Available	1.0000	(Insuf)	1.0000	1.0000	1.0000

### COUNTERS

Identifier	Count	Limit
c1	240385	Infinite
c2	240377	Infinite
c3	240381	Infinite
c4	240393	Infinite
c5	240377	Infinite
afixeis_C	240393	Infinite
Depart 1_C	240381	Infinite

Simulation run time: 20.03 minutes.  
Simulation run complete.

**Παράρτημα Β : Ενδεικτικές Αναφορές Αποτελεσμάτων ARENA**

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

Summary for Replication 1 of 1

Project: GKCS1STG Run execution date : 11/30/1999  
Analyst: tliap Model revision date: 11/30/1999

Replication ended at time : 300000.0

TALLY VARIABLES

Identifier	Average	Half Width	Minimum	Maximum	Observations
Machine 4_R_Q Queue Ti	.79783	.01676	.00000	9.3101	239831
kanban_queue Queue Tim	4.3126	.09164	.00000	30.425	239835
paradosi	4.7294	.14492	.00000	42.347	239834
Machine 1_R_Q Queue Ti	1.5485	.02793	.00000	9.9661	239835
orders_queue Queue Tim	4.2998	.36368	1.5625E-04	35.069	63992
servers flow time	8.1960	.05052	1.2878	16.646	239830
demands_queue Queue Ti	5.7336	.13990	9.2930E-05	42.347	197829
avg_del_mater	.00000	.00000	.00000	.00000	239835
products_queue Queue T	.38966	.01307	.00000	18.649	239834
Machine 2_R_Q Queue Ti	.99889	.02016	.00000	9.6981	239834
avg_del_order	.00000	.00000	.00000	.00000	239835
Machine 3_R_Q Queue Ti	.85188	.01814	.00000	9.0186	239833

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 orders_queue	.91718	.09734	.00000	36.000	.00000
STOCK	4.0000	(Insuf)	4.0000	4.0000	4.0000
Machine 1_R Available	1.0000	(Insuf)	1.0000	1.0000	1.0000
advanced info	.00000	(Insuf)	.00000	.00000	.00000
# in Machine 4_R_Q	.63782	.01818	.00000	8.0000	1.0000
totwipkl0	7.4657	.15019	.00000	45.000	4.0000
# in Machine 3_R_Q	.68103	.01451	.00000	8.0000	.00000
# in Machine 2_R_Q	.79856	.02581	.00000	8.0000	.00000
# in Machine 1_R_Q	1.2379	.02299	.00000	8.0000	.00000
Machine 4_R Busy	.79901	.00292	.00000	1.0000	1.0000
# in kanban_queue	3.4477	.07072	.00000	10.000	5.0000
KANBAN	10.000	(Insuf)	10.000	10.000	10.000
Machine 3_R Busy	.79888	.00271	.00000	1.0000	1.0000
wip value	6.5486	.07157	.00000	10.000	4.0000
Machine 2_R Busy	.80000	.00365	.00000	1.0000	1.0000
Machine 1_R Busy	.79902	.00305	.00000	1.0000	1.0000
# in products_queue	.37152	.00855	.00000	4.0000	.00000
lead time	.00000	(Insuf)	.00000	.00000	.00000
Machine 4_R Available	1.0000	(Insuf)	1.0000	1.0000	1.0000
# in demands_queue	3.7809	.14439	.00000	42.000	1.0000
Machine 3_R Available	1.0000	(Insuf)	1.0000	1.0000	1.0000

COUNTERS

Identifier	Count	Limit
c1	239835	Infinite
c2	239830	Infinite
c3	239834	Infinite
c4	239835	Infinite
c5	239830	Infinite
afixeis_C	239835	Infinite
Depart I_C	239834	Infinite

Simulation run time: 10.08 minutes.  
Simulation run complete.

**Παράρτημα Β : Ενδεικτικές Αναφορές Αποτελεσμάτων ARENA**

**OUTPUT ANALYZER - ΚΑΤΗΓΟΡΙΑ Β -ΣΕΙΡΑ Β1**

Histogram Summary

Cell	Cell Limits		Abs. Freq. (Time)		Rel. Cell	Freq. Cumul.
	From	To	Cell	Cumul.		
1	-Infinity	-1.1	0	0	0	0
2	-1.1	-0.1	0	0	0	0
3	-0.1	0.9	401.8	401.8	0.001339	0.001339
4	0.9	1.9	1116	1517	0.003719	0.005058
5	1.9	2.9	2377	3894	0.007923	0.01298
6	2.9	3.9	3970	7865	0.01323	0.02622
7	3.9	4.9	5513	1.338e+004	0.01838	0.04459
8	4.9	5.9	7016	2.039e+004	0.02339	0.06798
9	5.9	6.9	8620	2.901e+004	0.02873	0.09671
10	6.9	7.9	9883	3.89e+004	0.03294	0.1297
11	7.9	8.9	1.102e+004	4.992e+004	0.03673	0.1664
12	8.9	9.9	1.209e+004	6.2e+004	0.0403	0.2067
13	9.9	10.9	1.225e+004	7.425e+004	0.04083	0.2475
14	10.9	11.9	1.255e+004	8.68e+004	0.04183	0.2893
15	11.9	12.9	1.231e+004	9.911e+004	0.04102	0.3304
16	12.9	13.9	1.226e+004	1.114e+005	0.04088	0.3712
17	13.9	14.9	1.217e+004	1.235e+005	0.04055	0.4118
18	14.9	15.9	1.153e+004	1.351e+005	0.03844	0.4502
19	15.9	16.9	1.092e+004	1.46e+005	0.03639	0.4866
20	16.9	17.9	1.089e+004	1.569e+005	0.03629	0.5229
21	17.9	18.9	1.045e+004	1.673e+005	0.03485	0.5578
22	18.9	19.9	9909	1.772e+005	0.03303	0.5908
23	19.9	20.9	9366	1.866e+005	0.03122	0.622
24	20.9	21.9	8860	1.955e+005	0.02953	0.6515
25	21.9	22.9	7953	2.034e+005	0.02651	0.678
26	22.9	23.9	7532	2.109e+005	0.02511	0.7032
27	23.9	24.9	6888	2.178e+005	0.02296	0.7261
28	24.9	25.9	6521	2.244e+005	0.02174	0.7479
29	25.9	26.9	6318	2.307e+005	0.02106	0.7689
30	26.9	27.9	5914	2.366e+005	0.01971	0.7886
31	27.9	28.9	5377	2.42e+005	0.01792	0.8065
32	28.9	+Infinity	5.804e+004	3e+005	0.1935	1

