

**ΠΑΝΕΠΙΣΤΗΜΙΟ ΠΑΤΡΩΝ**  
**ΤΜΗΜΑ ΜΗΧΑΝΟΛΟΓΩΝ & ΑΕΡΟΝΑΥΠΗΓΩΝ ΜΗΧΑΝΙΚΩΝ**

*ΠΑΡΑΔΕΙΓΜΑ ΠΡΟΣΟΜΕΙΩΣΗΣ ΣΥΣΤΗΜΑΤΩΝ ΠΑΡΑΓΩΓΗΣ*

*Καθηγητής Γ: Χρυσολούρης και Δρ. Δ. Μούρτζης*

**ΠΑΤΡΑ 2001**

## ΠΡΟΣΟΜΟΙΩΣΗ ΣΥΣΤΗΜΑΤΩΝ ΠΑΡΑΓΩΓΗΣ

Η προσομοίωση είναι μία πειραματική μέθοδος με τη χρήση της οποίας γίνεται προσπάθεια αναπαράστασης της λειτουργίας ενός συστήματος παραγωγής, χωρίς να είναι απαραίτητη η δημιουργία ή/και η λειτουργία του πραγματικού συστήματος.

Ένα σύνολο πόρων (άνθρωποι, μηχανές κ.λ.π.) και διαδικασιών, που συνδέονται μεταξύ τους με μια ροή υλικών και πληροφορίας, ονομάζεται σύστημα παραγωγής.

Για να μελετηθεί επιστημονικά ένα τέτοιο σύστημα είναι, συνήθως, απαραίτητο να γίνουν ορισμένες υποθέσεις σε σχέση με την λειτουργία του. Αυτές οι υποθέσεις, οι οποίες έχουν συνήθως την μορφή μαθηματικών ή λογικών σχέσεων, αποτελούν ένα μοντέλο, το οποίο χρησιμοποιείται ώστε να γίνει δυνατή η κατανόηση της συμπεριφοράς ενός συστήματος.

Εάν οι σχέσεις, οι οποίες συνθέτουν το μοντέλο είναι αρκετά απλές, τότε υπάρχει η δυνατότητα να περιγραφεί η συμπεριφορά του συστήματος με την χρήση μαθηματικών μεθόδων. Συνήθως, όμως, τα περισσότερα πραγματικά συστήματα είναι πολύπλοκα για να μελετηθούν μόνο με την χρήση μαθηματικών μεθόδων. Στις περιπτώσεις αυτές είναι δυνατόν να χρησιμοποιηθεί η προσομοίωση. Στην διαδικασία της προσομοίωσης χρησιμοποιείται ένας Ηλεκτρονικός Υπολογιστής για την αριθμητική αξιολόγηση ενός μοντέλου και συγκεντρώνονται δεδομένα με σκοπό την εκτίμηση των πραγματικών χαρακτηριστικών του μοντέλου.

Τα πεδία εφαρμογής της προσομοίωσης είναι πολλά και διαφορετικά μεταξύ τους. Στην συνέχεια αναφέρονται ορισμένα προβλήματα, στην μελέτη των οποίων η προσομοίωση έχει αποδειχθεί χρήσιμο εργαλείο.

- Σχεδιασμός και ανάλυση συστημάτων παραγωγής
- Σχεδιασμός τηλεπικοινωνιακών συστημάτων και πρωτοκόλλων επικοινωνίας.
- Αξιολόγηση υπολογιστικών συστημάτων από την άποψη των απαιτήσεων σε εξοπλισμό (hardware) και λογισμικό (software).
- Αξιολόγηση στρατιωτικών τακτικών και οπλικών συστημάτων.
- Σχεδιασμός και λειτουργία μεταφορικών συστημάτων όπως αεροδρόμια, αυτοκινητόδρομοι, σιδηρόδρομοι κ.λ.π.

- Αξιολόγηση του σχεδιασμού συστήματος παροχής υπηρεσιών όπως νοσοκομεία, τράπεζες, ταχυδρομικά γραφεία κ.λ.π.

## 1 Βήματα προσομοίωσης

Για την εκτέλεση μιας διαδικασίας προσομοίωσης, η οποία θα δίδει ικανοποιητικές απαντήσεις στα ερωτήματα που τίθενται, πρέπει να ακολουθηθεί η παρακάτω διαδικασία:

- Δημιουργία ενός μοντέλου του συστήματος.
- Προσδιορισμός μιας ομάδας χαρακτηριστικών λειτουργίας.
- Σχεδιασμός και διεξαγωγή μιας σειράς πειραμάτων.
- Ανάλυση των αποτελεσμάτων και εκτίμηση της συμπεριφοράς του πραγματικού συστήματος.
- Προσδιορισμός μιας διαφορετικής ομάδας χαρακτηριστικών λειτουργίας και διεξαγωγής νέων πειραμάτων.

## 2 Παράδειγμα προσομοίωσης

### 2.1 Επέκταση ενός κέντρου κατεργασιών φρεζαρίσματος (milling work center)

Στην συνέχεια θα παρουσιασθεί μια ολοκληρωμένη διαδικασία προσομοίωσης με την χρήση ενός παραδείγματος.

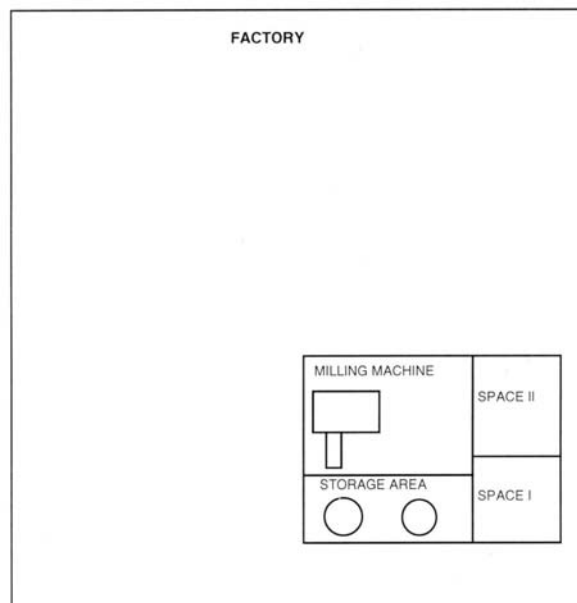
Έστω ένα εργοστάσιο (Factory), το οποίο αποτελείται από έναν αριθμό κέντρων εργασίας (Σχ. 7.1), ένα εκ των οποίων είναι και το κέντρο εργασίας φρεζαρίσματος (Milling Work Center). Το κέντρο εργασίας αποτελείται από μία φρέζα (milling machine), από έναν αποθηκευτικό χώρο (storage area) όπου τοποθετούνται τα προς τα επεξεργασία εξαρτήματα, τα οποία έρχονται στο σύστημα και τέλος από δύο ακόμη αποθηκευτικούς χώρους (Space I, Space II), οι οποίοι κατ' αρχήν δεν χρησιμοποιούνται αλλά υπάρχει και η δυνατότητα χρήσης τους εάν τούτο κριθεί απαραίτητο.

### 2.2 Διατύπωση του Προβλήματος

Στο σύστημα εισέρχονται για κατεργασία δύο διαφορετικά είδη εξαρτημάτων (Part Type I και Type II). Τα εξαρτήματα αυτά εμφανίζονται ένα σε κάθε χρονική στιγμή και μεταφέρονται στην φρέζα για επεξεργασία. Εάν η φρέζα εκείνη την χρονική στιγμή είναι κατειλημμένη από κάποιο άλλο εξάρτημα, τότε τα νέα εξαρτήματα αποθηκεύονται στην αναμονή (Storage Area), που έχει μέγιστη χωρητικότητα δύο εξαρτημάτων. Εάν υπάρχουν ήδη δύο εξαρτήματα

στην αναμονή, τότε τα νέα εξαρτήματα (νέες αφίξεις στο σύστημα) απορρίπτονται. Αυτό σημαίνει, ότι απορρίπτονται παραγγελίες γεγονός, το οποίο αποτελεί πρόβλημα για την λειτουργία του συστήματος.

Για την αντιμετώπιση του προβλήματος είναι δυνατόν να προταθούν ορισμένες εναλλακτικές λύσεις, οι οποίες είναι πιθανό να δώσουν λύση στο πρόβλημα της απόρριψης των παραγγελιών από το σύστημα. Οι λύσεις αυτές μπορεί να είναι:



Factory = Εργοστάσιο  
Milling machine = Μηχανή φρεζαρίσματος

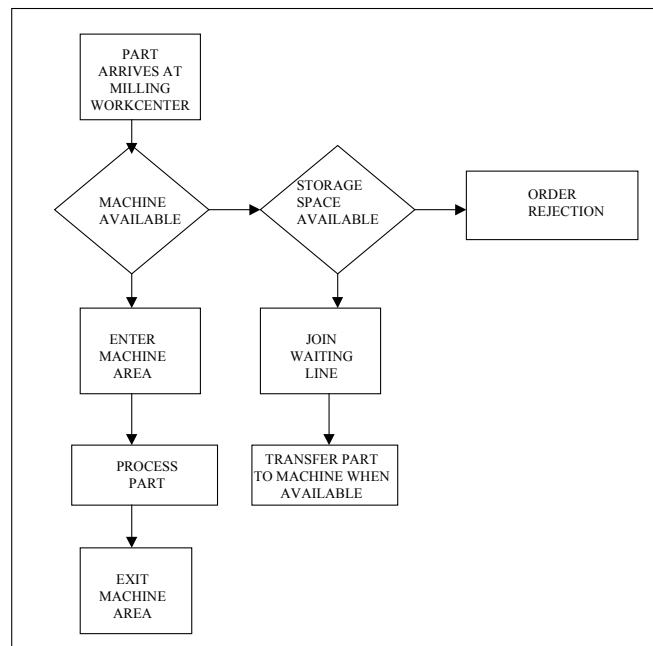
Space = Χώρος  
Storage area = Αποθηκευτικός χώρος

**Σχήμα 7.1** Σχέδιο Κέντρου Κατεργασιών Φρεζαρίσματος

- Αύξηση της δυνατότητας επεξεργασίας των εξαρτημάτων (parts) από το σύστημα μέσω της αύξησης του αριθμού των μηχανών, δηλαδή να υπάρχουν στο σύστημα π.χ. δύο μηχανές, οι οποίες να έχουν την δυνατότητα να επεξεργασθούν όποιο εξάρτημα εισέρχεται στο σύστημα.
- Αύξηση των χώρων αναμονής πριν από την φρέζα (milling machine) με την προσθήκη του χώρου Space I.
- Αύξηση των χώρων αναμονής με την προσθήκη των χώρων Space I και Space II.
- Είναι κατ' αρχήν λογικό να υποθέσει κάποιος, ότι εάν εφαρμοσθεί ένα από τα πιο πάνω μέτρα ή κάποιος συνδυασμός τους, θα μπορέσει να

δώσει λύση στο πρόβλημα της απόρριψης παραγγελιών. Είναι όμως προφανές, ότι όλες οι εναλλακτικές λύσεις έχουν κάποιο κόστος υλοποίησης, π.χ το κόστος αγοράς μιας φρέζας ή το κόστος για την αναδιάταξη της παραγωγικής διαδικασίας. Επομένως, πριν αποφασισθεί η υλοποίηση κάποιας λύσης πρέπει να υπάρχει μια εκτίμηση του πιθανού αποτελέσματος της λύσης αυτής. Η χρήση του εργαλείου της προσομοίωσης μπορεί να δώσει απάντηση στο ερώτημα, χωρίς να είναι απαραίτητη η υλοποίηση αλλαγών στο σύστημα.

### 2.3 Δημιουργία του Μοντέλου Προσομοίωσης



Part arrive at milling workcenter = Άφιξη εξαρτήματος στο κέντρο κατεργασίας φρεζαρίσματος  
 Machine available = Διαθέσιμη εργαλειομηχανή  
 Storage space = Διαθέσιμος αποθηκευτικός χώρος  
 Order rejection = Απόρριψη παραγγελίας  
 Enter machine area = Είσοδος στον χώρο της εργαλειομηχανής

Join waiting line = Προσθήκη (εξαρτήματος) στην αναμονή  
 Process part = Κατεργασία εξαρτήματος  
 Transfer part to machine when available = Μεταφορά εξαρτήματος στην εργαλειομηχανή, όταν είναι διαθέσιμη  
 Exit machine area = Έξοδος από τον χώρο της εργαλειομηχανής

**Σχήμα 7.2** Μοντέλο προσομοίωσης

Όπως ήδη έχει αναφερθεί, για την μελέτη ενός πραγματικού συστήματος παραγωγής, είναι απαραίτητη η δημιουργία ενός μοντέλου προσομοίωσης. Το μοντέλο περιγράφει την λογική του συστήματος, εστιάζοντας στα σημεία εν-

διαφέροντος και μπορεί να παρασταθεί με την μορφή ενός λογικού διαγράμματος (Flow chart), όπως αυτό του Σχήματος 7.2.

### 3 Προσδιορισμός των χαρακτηριστικών λειτουργίας (operational characteristics)

#### 3.1 Χρόνος μεταξύ των αφίξεων (Interarrival Time)

Όπως έχει ήδη αναφερθεί στο σύστημα φθάνουν εξαρτήματα δύο τύπων: Type I και Type II (Πίνακας 7.2). Σ' ένα σύνολο 100 αφίξεων, οι 45 θα αντιστοιχούν σε εξαρτήματα Type I και οι 55 σε εξαρτήματα Type II.

Οι αφίξεις των εξαρτημάτων στο σύστημα δεν γίνονται όλες ταυτόχρονα αλλά μεσολαβούν μεταξύ τους ορισμένα χρονικά διαστήματα, τα οποία δεν είναι ίδια. Στον Πίνακα 7.1 παρουσιάζονται οι πιθανότητες να αφιχθούν εξαρτήματα στο σύστημα με συγκεκριμένα χρονικά διαστήματα μεταξύ των αφίξεων (Interarrival Time).

Interarrival time In minutes ( $T_i$ )	Probability ( $P_i$ )	Expected value ( $T_i P_i$ )
0	0.06	0.00
1	0.10	0.10
2	0.13	0.26
3	0.17	0.15
4	0.15	0.60
5	0.12	0.60
6	0.10	0.60
7	0.08	0.56
8	0.05	0.40
9	0.03	0.27
10	0.01	0.10
	1.00	4.00

Expected interarrival time=4.00 minutes

Interarrival time in minutes = Χρόνος μεταξύ  
αφίξεων σε λεπτά της ώρας  
Probability = Πιθανότητα

Expected value = Αναμενόμενη τιμή  
Expected interarrival time = Αναμενόμενος χρόνος  
μεταξύ αφίξεων

**Πίνακας 7.1** Πιθανότητες άφιξης εξαρτημάτων στο σύστημα με συγκεκριμένα χρονικά διαστήματα μεταξύ των αφίξεων

Η πιθανότητα να εμφανισθούν στο σύστημα εξαρτήματα με χρόνο μεταξύ τους 0 min είναι 0.06 (δηλαδή 6% ή 6 εξαρτήματα στα 100), με 1 min είναι 0,10 (δηλαδή 10% ή 10 εξαρτήματα στα 100) κ.ο.κ.. Ο αναμενόμενος χρόνος μεταξύ των αφίξεων δίδεται από την ακόλουθη σχέση:

$$\text{Expected Interarrival Time} = \sum_{i=1}^n T_i P_i, \quad i = 1, 2, \dots, n$$

Όπου,

$T_i$ : χρόνος μεταξύ αφίξεων (interarrival time)

$P_i$ : η πιθανότητα να εμφανισθούν εξαρτήματα με χρόνος μεταξύ αφίξεων  $T_i$

$n$ : το πλήθος των διαφορετικών χρονικών διαστημάτων μεταξύ των αφίξεων.

Service time in minutes ( $T_i$ )	Type 1 ( $P_i$ )	(45%) Expected value ( $T_i P_i$ )
2	0.60	1.2
3	0.40	1.2

Expected service time = 2.4

Service time	Type II Probability	(55%) Expected value
4	0.20	0.8
5	0.40	2.0
6	0.25	1.5
7	0.10	0.7
8	0.05	0.4

Expected service time = 5.4

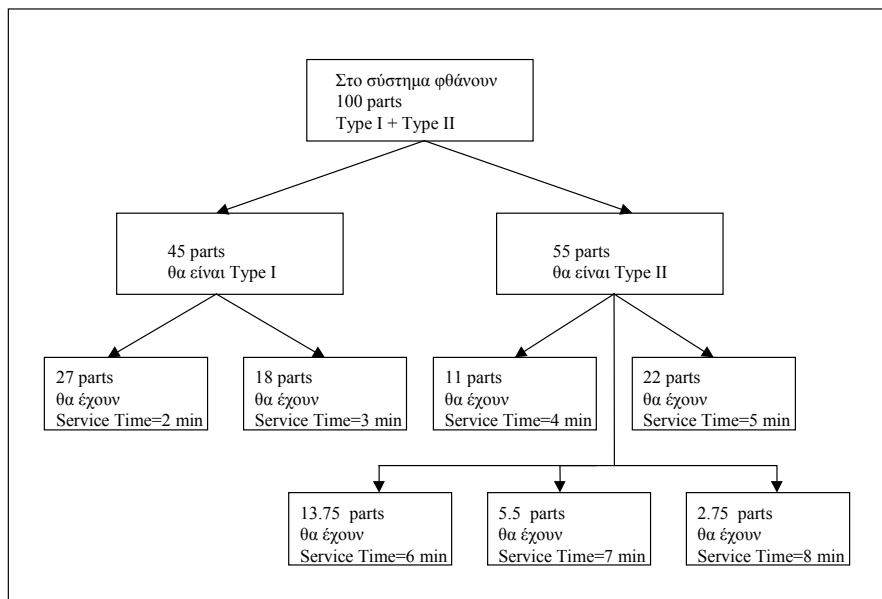
Service time in minutes = Χρόνος εξυπηρέτησης  
σε λεπτά της ώρας  
Type = Τύπος  
Probability = Πιθανότητα

Expected value = Αναμενόμενη τιμή  
Expected interarrival time = Αναμενόμενος χρόνος  
μεταξύ αφίξεων

**Πίνακας 7.2** Τύποι εξαρτημάτων

### 3.2 Χρόνοι Επεξεργασίας (Processing Times)

Στο σύστημα φθάνουν εξαρτήματα δύο τύπων, 45% Type I και 55% Type II, τα οποία έχουν διαφορετικούς χρόνους επεξεργασίας στην φρέζα του συστήματος. Τα εξαρτήματα Type I χωρίζονται σε δύο επιμέρους ομάδες (Πίνακας 7.2) όπου το 60% από αυτά το χαρακτηρίζει ο χρόνος επεξεργασίας  $T_i = 2 \text{ min}$  και το υπόλοιπο 40% χρόνος επεξεργασίας  $T_i = 3 \text{ min}$ . Τα εξαρτήματα Type II χωρίζονται σε 5 διαφορετικές ομάδες όσον αφορά στον χρόνο επεξεργασίας στην μηχανή του συστήματος –για την ακρίβεια όσον αφορά στην πιθανότητα να ανήκουν σε μία από τις διαφορετικές ομάδες χρόνου εξυπηρέτησης (Service time).



Part = Εξάρτημα  
Service time = Χρόνος εξυπηρέτησης

Type = Τύπος

**Σχήμα 7.3** Ομαδοποίηση των εισερχόμενων εξαρτημάτων ανάλογα με το χρόνο επεξεργασίας τους



#### 4 Εκτέλεση της Προσομοίωσης

Για την εκτέλεση μιας προσομοίωσης είναι απαραίτητη η δημιουργία μιας σειράς δεδομένων εισόδου. Οι είσοδοι αυτές αναφέρονται σε χαρακτηριστικά του συστήματος, τα οποία στην συγκεκριμένη περίπτωση είναι:

- Ο χρόνος μεταξύ των αφίξεων.
- Ο τύπος των εξαρτημάτων που φθάνουν στο σύστημα.
- Ο χρόνος επεξεργασίας του κάθε εξαρτήματος.

Αυτά τα χαρακτηριστικά περιγράφονται από τυχαίες μεταβλητές, οι οποίες ακολουθούν ορισμένες στατιστικές κατανομές.

Με σκοπό να απεικονίσουμε την τυχαιότητα αυτών των χαρακτηριστικών, θεωρούμε μια γεννήτρια τυχαίων αριθμών (Πίνακας 7.3) δύο ψηφίων  $00 \div 99$  (ακρίβεια  $1/100$ ). Και σε κάθε μία στήλη του πίνακα των τυχαίων αριθμών αντιστοιχούμε ένα χαρακτηριστικό.

1η	2η	3η	4η	5η	6η	7η	8η	9η	10η	11η	12η	13η	14η	15η	16η	17η	18η	19η	20η
33	24	52	87	13	31	14	53	65	35	02	76	07	62	93	67	23	93	42	16
50	72	85	56	18	51	49	20	94	53	06	43	09	07	51	70	88	54	35	75
13	19	79	96	61	23	74	91	76	35	17	84	57	48	48	80	77	34	90	29
82	20	86	44	47	63	04	98	43	77	32	33	63	46	79	66	60	33	70	97
59	91	72	29	60	07	04	83	73	28	70	95	41	55	44	20	07	28	93	97
30	88	20	80	29	98	80	68	52	80	55	91	46	92	56	92	57	78	33	63
24	95	12	56	03	08	83	06	15	20	62	57	59	41	90	31	90	56	73	29
02	38	21	96	23	78	87	31	54	77	30	14	18	10	08	79	38	98	35	86
15	41	99	86	67	63	04	76	94	56	06	97	79	66	68	03	21	95	38	21
38	51	58	80	61	85	21	26	52	81	45	33	21	56	21	88	83	65	29	48
12	08	04	33	62	78	49	42	61	53	15	22	03	98	17	69	41	82	45	92
85	23	36	43	13	37	21	50	09	12	96	91	17	31	62	90	86	94	58	31
92	55	01	88	68	65	65	08	96	72	94	86	06	29	28	30	66	52	76	36
79	27	84	90	59	40	21	83	87	79	88	93	63	34	10	54	73	56	35	67
59	80	13	96	77	11	15	89	47	74	28	61	22	45	41	66	88	09	96	62
11	26	06	05	73	01	49	45	69	31	61	47	39	71	66	12	28	67	52	16
97	54	15	28	63	60	82	89	02	91	10	73	20	47	08	55	52	99	90	86
39	47	73	11	96	60	18	56	00	98	72	17	68	62	06	10	66	60	90	25
71	14	64	64	28	82	47	36	87	75	48	60	37	90	15	80	54	43	61	93
16	59	96	95	85	66	88	02	37	08	88	98	85	02	90	02	13	60	60	96
77	87	27	72	76	79	15	68	23	57	46	80	88	57	41	10	33	15	47	86
78	15	18	02	65	23	14	08	54	97	62	61	13	23	43	01	23	29	77	62
40	37	69	32	79	84	37	50	76	78	23	54	60	23	72	17	56	86	67	11
83	43	17	25	54	99	29	15	13	96	64	94	50	87	51	76	82	18	73	00
28	71	96	61	27	84	81	27	99	64	34	53	34	21	74	53	95	01	11	35

1η στήλη – Χρόνος μεταξύ αφίξεων (interarrival time)

type)

3η στήλη – Χρόνος εξυπηρέτησης (service time)

2η στήλη – Τύπος (εξαρτήματος) άφιξης (arrival

**Πίνακας 7.3** Γεννήτρια τυχαίων αριθμών

#### 4.1 Χρόνος μεταξύ των αφίξεων

Αντιστοιχούμε στην πιθανότητα να εμφανισθούν εξαρτήματα στο σύστημα, με συγκεκριμένους χρόνους μεταξύ των αφίξεών τους, τυχαίους αριθμούς, π.χ. στην πιθανότητα να εμφανισθούν στο σύστημα εξαρτήματα με χρόνο μεταξύ τους 0 min (η οποία είναι 0,06 ή 6%) αντιστοιχούμε 6 τυχαίους αριθμούς 01-06.

Interarrival time	Probability	Random numbers
0	0.06	01-06
1	0.10	07-16
2	0.13	17-29
3	0.17	30-46
4	0.15	47-61
5	0.12	62-73
6	0.10	74-83
7	0.08	84-91
8	0.05	92-96
9	0.03	97-99
10	0.01	00
	1.00	

Interarrival time = Χρόνος μεταξύ αφίξεων  
Probability = Πιθανότητα

Random numbers = Τυχαίοι αριθμοί

**Πίνακας 7.4** Χρονικά διαστήματα μεταξύ των αφίξεων

#### 4.2 Τύπος Άφιξης

Με την ίδια λογική αντιστοιχούμε στην πιθανότητα 45% των αφίξεων, να είναι type I, 45 τυχαίους αριθμούς 01 ÷ 45 και στην πιθανότητα το 55% των αφίξεων, να είναι type II, 55 τυχαίους αριθμούς 46 ÷ 00 (Πίνακας 7.5).

Type	Probability	Random numbers
(type I)	0.45	01-45
(type II)	0.55	46-00

Type = Τύπος  
Probability = Πιθανότητα

Random numbers = Τυχαίοι αριθμοί

**Πίνακας 7.5** Τύπος άφιξης

#### 4.3 Χρόνος Εξυπηρέτησης

Η ίδια ακριβώς διαδικασία (Πίνακας 7.6) εφαρμόζεται και στην περίπτωση του χρόνου εξυπηρέτησης (Service Time).

Service time	Type I	
	Probability	Random numbers
2	0.60	01-60
3	0.40	61-00

Service time	Type II	
	Probability	Random numbers
4	0.20	01-20
5	0.40	21-60
6	0.25	61-85
7	0.10	86-95
8	0.05	96-00

Probability = Πιθανότητα

Service time = Χρόνος εξυπηρέτησης

Type = Τύπος

Random numbers = Τυχαίοι αριθμοί

**Πίνακας 7.6** Τύπος άφιξης

- Στην συνέχεια θεωρούμε, ότι στο σύστημα θα γίνουν συνολικά 20 αφίξεις (Πίνακας 7, στήλη 1)
- Στην στήλη 2 του Πίνακα 7.7 (Random Number), αναγράφονται οι πρώτοι 20 τυχαίοι αριθμοί της στήλης 1 του Πίνακα 7.3.
- Στην στήλη 3 του Πίνακα 7.7 (Interarrival Time), αναγράφονται οι χρόνοι μεταξύ των αφίξεων, οι οποίοι αντιστοιχούν στους τυχαίους αριθμούς από τον Πίνακα 7.4. Π.χ στην άφιξη 2 αντιστοιχεί ο τυχαίος αριθμός 50, ο οποίος με την σειρά του αντιστοιχεί σε χρόνο μεταξύ των αφίξεων 4 min.
- Στην στήλη 4 του Πίνακα 7.7, υπολογίζεται ο χρόνος άφιξης του κάθε εξαρτήματος.

$$Arrival Time_i = \sum_{k=1}^i Interarrival Time_k, \quad i = 1, 2, \dots, 20$$

- Στην στήλη 5 του Πίνακα 7.7, αναγράφονται οι πρώτοι 20 τυχαίοι αριθμοί της στήλης 2 του Πίνακα 7.3.
- Στην στήλη 6 του Πίνακα 7.7 (Type Arrival), αναγράφονται οι τύποι των αφίξεων, οι οποίοι αντιστοιχούν στους τυχαίους αριθμούς του Πίνακα 7.5.
- Στην στήλη 7 του Πίνακα 7.7, αναγράφονται οι πρώτοι 20 τυχαίοι αριθμοί της στήλης 3 του Πίνακα 7.3.

- Στην στήλη 8 του Πίνακα 7.7, αναγράφονται οι χρόνοι επεξεργασίας των εξαρτημάτων που εισέρχονται στο σύστημα και οι οποίοι αντιστοιχούν στους τυχαίους αριθμούς του Πίνακα 7.6.

(1) Arrival number	(2) Random number	(3) Interarrival time	(4) Arrival time	(5) Random number	(6) Type arrival	(7) Random number	(8) Service time
1	33	3	3	24	I	52	2
2	50	4	7	72	II	85	6
3	13	1	8	19	I	79	3
4	82	6	14	20	I	86	3
5	59	4	18	91	II	72	6
6	30	3	21	88	II	20	4
7	24	2	23	95	II	12	4
8	22	0	23	38	I	21	2
9	15	1	24	41	I	99	3
10	38	3	27	51	II	58	5
11	12	1	28	08	I	04	2
12	85	7	35	23	I	36	2
13	92	8	43	55	II	01	4
14	79	6	49	27	I	84	3
15	59	4	53	80	II	13	4
16	11	1	54	26	I	06	2
17	97	9	63	54	II	15	4
18	39	3	66	47	II	73	6
19	71	5	71	14	I	64	3
20	16	1	72	59	II	96	8

Arrival number = Αριθμός άφιξης

Random number = Τυχαίος αριθμός

Interarrival time = Χρόνος μεταξύ αφίξεων

Arrival time = Χρόνος άφιξης

Type arrival = Τύπος (εξαρτήματος) άφιξης

Service time = Χρόνος εξυπηρέτησης

#### Πίνακας 7.7 Δεδομένα Εισόδου Προγράμματος

- Στον Πίνακα 7.8 απεικονίζονται τα αποτελέσματα της προσομοίωσης.
- Οι πρώτες 4 στήλες του Πίνακα 7.8 περιέχουν στοιχεία, τα οποία έχουν προκύψει από την μέχρι τώρα εργασία.
- Στην στήλη 5 (arrival state), αναγράφεται ο αριθμός των εξαρτημάτων τα οποία την δεδομένη χρονική στιγμή είναι σε αναμονή.
- Στην στήλη 6 (Join System), περιγράφεται με Yes/No η δυνατότητα να εισέλθει το εξάρτημα στο σύστημα: είτε στην μηχανή για επεξεργασία είτε στην αναμονή.

Η άφιξη 7 π.χ θα μπει στο σύστημα και θα παραμείνει στην αναμονή σαν δεύτερο εξάρτημα, γιατί η μηχανή είναι κατειλημμένη από κάποιο άλλο εξάρτημα. Η άφιξη 8 όμως δεν θα μπει στο σύστημα, γιατί είναι η τρίτη σε αναμονή και ο αποθηκευτικός χώρος (Storage Area) έχει χωρητικότητα μόνο

δύο εξαρτημάτων.

- Στην στήλη 7 (start service), αναγράφεται ο χρόνος έναρξης της επεξεργασίας του εξαρτήματος. Για τα εξαρτήματα 8, 9 και 11, τα οποία απορρίφθηκαν, δεν αναγράφεται ο χρόνος έναρξης. Ο χρόνος έναρξης της επεξεργασίας υπολογίζεται από τις ακόλουθες σχέσεις:
  - α) Εάν  $Complete\ Service\ Time_{i-1} \geq Arrival\ Time_i$  τότε:
 
$$Start\ Service\ Time_i = Complete\ Service\ Time_{i-1} + 1$$
  - β) Εάν  $Complete\ Service\ Time_{i-1} < Arrival\ Time_i$  τότε:
 
$$Start\ Service\ Time_i = Arrival\ Time_{i-1} + 1\ Start$$

Οπου  $i = 1, 2, \dots, 20$  ο αριθμός των αφίξεων.
- Στην στήλη 8 (Complete Service), αναγράφεται ο χρόνος στον οποίο τελειώνει η επεξεργασία του εξαρτήματος και υπολογίζεται από την σχέση:
 
$$Complete\ Service\ Time_i = Start\ Service\ Time_i + Service\ Time_i - 1$$
- Στην στήλη 9 (Queue Time), αναγράφεται ο χρόνος αναμονής του εξαρτήματος στον χώρο αποθήκευσης (Storage Area), ο οποίος υπολογίζεται από τη σχέση:

(1) Arrival number	(2) Arrival time	(3) Arrival type	(4) Service time	(5) Arrival state	(6) Join system	(7) Start service	(8) Complete service	(9) Queue time	(10) Idle time
1	3	I	2	0	Yes	4	5	0	3
2	7	II	6	0	Yes	8	13	0	2
3	8	I	3	1	Yes	14	16	5	0
4	14	I	3	1	Yes	17	19	2	0
5	18	II	6	1	Yes	20	25	1	0
6	21	II	4	1	Yes	26	29	4	0
7	23	II	4	2	Yes	30	33	6	0
8	23	I	2	3	No	-	-	-	-
9	24	I	3	3	No	-	-	-	-
10	27	II	5	2	Yes	34	38	6	0
11	28	I	2	3	No	-	-	-	-
12	35	I	2	1	Yes	39	40	3	0
13	43	II	4	0	Yes	44	47	0	3
14	49	I	3	0	Yes	50	52	0	2
15	53	II	4	0	Yes	54	57	0	1
16	54	I	2	1	Yes	58	59	3	0
17	63	II	4	0	Yes	64	67	0	4
18	66	II	6	1	Yes	68	73	1	0
19	71	I	3	1	Yes	74	76	2	0
20	72	II	8	2	Yes	77	84	4	0

Arrival number = Αριθμός άφιξης

Arrival time = Χρόνος άφιξης

Arrival type = Τύπος (εξαρτήματος) άφιξης

Service time = Χρόνος εξυπηρέτησης

Arrival state = Κατάσταση αφίξεων

Join system = Εισαγωγή στο σύστημα

Start service = Έναρξη εξυπηρέτησης

Complete service = Ολοκλήρωση εξυπηρέτησης

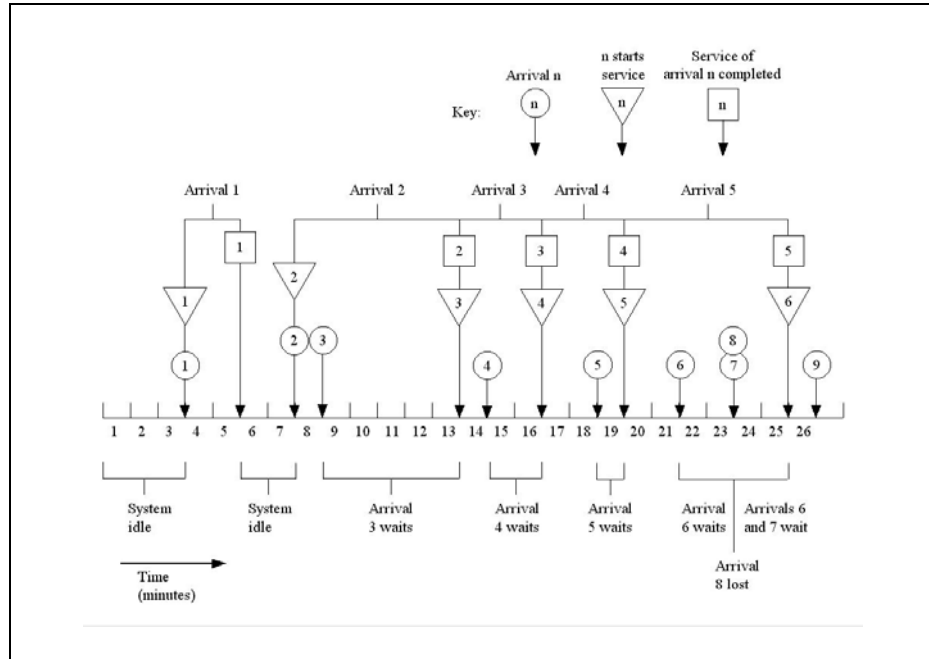
Queue time = Χρόνος αναμονής

Idle time = Ανενεργός χρόνος

**Πίνακας 7.8** Αποτελέσματα εκτέλεσης της προσομοίωσης με δύο αποθηκευτικούς χώρους

$$Queue\ Time_i = Start\ Service\ Time_i - Arrival\ Time_i - 1$$

- Στην στήλη 10 αναγράφεται η χρονική περίοδος, κατά την οποία η μηχανή (φρέζα) του συστήματος δεν λειτουργούσε.
- Στο Σχήμα 7.4 αποδίδεται γραφικά η προηγούμενη διαδικασία εκτέλεσης της προσομοίωσης.



Arrival = Αφίξη

n starts service = Έναρξη εξυπηρέτησης για το εξάρτημα n

Service of arrival n completed = Ολοκλήρωση εξυπηρέτησης της άφιξης n

Key = Κλειδί

System idle = Σύστημα ανενεργό

Waits = Αναμονές

Lost = Απορριπτέα

Time = Χρόνος

**Σχήμα 7.4** Διαδικασία εκτέλεσης της προσομοίωσης

- Στον Πίνακα 7.9 παρουσιάζονται αποτελέσματα της προσομοίωσης για έναν μεγάλο αριθμό αφίξεων, συνολικά 904 αφίξεων. Κάποιος μπορεί να παρατηρήσει, ότι ένας αριθμός από 96 εξαρτήματα απερρίφθησαν από το σύστημα λόγω αδυναμίας απορρόφησης, ήτοι ποσοστό 10,6%.
- Στην προσπάθεια αντιμετώπισης του προηγούμενου προβλήματος, θεωρούμε, ότι η δυνατότητα αποθήκευσης εξαρτημάτων προς επεξεργασία αυξάνεται από 2 σε 4 με την προσθήκη των χώρων, Space I και Space II, στο σύστημα (Σχήμα 7.1).

Segment number	Number of arrivals	Number of Arrivals Lost	Percent of Arrivals Lost (%)	System idle time (min)	Average Customer Queue time (min)
1	66	11	17.7	20	3.60
2	56	3	5.4	29	2.55
3	59	5	8.5	13	3.26
4	55	3	5.5	33	2.44
5	61	7	11.5	29	3.28
6	60	9	15.0	12	4.94
7	62	3	4.8	27	2.14
8	63	8	12.7	30	3.15
9	61	7	11.5	10	3.98
10	57	9	15.8	31	2.96
11	63	9	14.3	25	2.76
12	57	5	8.8	47	2.67
13	59	5	8.5	33	1.61
14	58	4	6.9	35	2.41
15	67	8	11.9	28	2.22
<b>Total</b>	<b>904</b>	<b>96</b>	<b>10.6</b>	<b>402</b>	

Segment number = Αριθμός εξαρτήματος

Number of arrivals = Αριθμός αφίξεων

Number of Arrivals Lost = Αριθμός αφίξεων που δεν εξυπηρετήθηκαν

Percent of Arrivals Lost = Ποσοστό αφίξεων που

δεν εξυπηρετήθηκαν

System idle time = Ανεργός χρόνος συστήματος

Average Customer Queue time = Μέσος χρόνος αναμονής πελάτου

**Πίνακας 7.9** Αποτελέσματα εκτέλεσης της προσομοίωσης για 904 αφίξεις

(1) Arrival number	(2) Arrival time	(3) Arrival type	(4) Service time	(5) Arrival state	(6) Join system	(7) Start service	(8) Complete service	(9) Queue time	(10) Idle time
1	3	I	2	0	Yes	4	5	0	3
2	7	II	6	0	Yes	8	13	0	2
3	8	I	3	1	Yes	14	16	5	0
4	14	I	3	1	Yes	17	19	2	0
5	18	II	6	1	Yes	20	25	1	0
6	21	II	4	1	Yes	26	29	4	0
7	23	II	4	2	Yes	30	33	6	0
8	23	I	2	3	No	34	35	10	0
9	24	I	3	4	No	36	38	11	0
10	27	II	5	4	Yes	39	43	11	0
11	28	I	2	5	No	-	-	-	-
12	35	I	2	3	Yes	44	45	8	0
13	43	II	4	2	Yes	46	49	2	0
14	49	I	3	1	Yes	50	52	0	0
15	53	II	4	0	Yes	54	57	0	1
16	54	I	2	1	Yes	58	59	3	0
17	63	II	4	0	Yes	64	67	0	4
18	66	II	6	1	Yes	86	73	1	0
19	71	I	3	1	Yes	74	76	2	0
20	72	II	8	2	Yes	77	84	4	0

Arrival number = Αριθμός αφίξης

Arrival time = Χρόνος αφίξης

Arrival type = Τύπος (εξαρτήματος) αφίξης

Service time = Χρόνος εξυπηρέτησης

Arrival state = Κατάσταση αφίξεων

Join system = Εισαγωγή στο σύστημα

Start service = Έναρξη εξυπηρέτησης

Complete service = Ολοκλήρωση εξυπηρέτησης

Queue time = Χρόνος αναμονής

Idle time = Ανεργός χρόνος

**Πίνακας 7.10** Αποτελέσματα εκτέλεσης της προσομοίωσης με τέσσερις αποθηκευτικούς χώρους



- Στον Πίνακα 7.10 παρουσιάζονται τα αποτελέσματα της νέας προσομοίωσης με τα ίδια δεδομένα και την προσθήκη των δύο χώρων. Το αποτέλεσμα είναι, ότι ενώ στην προηγούμενη προσομοίωση (Πίνακας 7.8) έχουν απορριφθεί από το σύστημα 3 εξαρτήματα σε σύνολο 20, τώρα απορρίπτεται μόνο 1. Επομένως, με την αύξηση της χωρητικότητας των αναμονών βελτιώθηκε η συμπεριφορά του συστήματος.