



ΕΘΝΙΚΟ ΜΕΤΣΟΒΙΟ ΠΟΛΥΤΕΧΝΕΙΟ  
ΣΧΟΛΗ ΗΛΕΚΤΡΟΛΟΓΩΝ ΜΗΧΑΝΙΚΩΝ ΚΑΙ Μ/Υ  
ΠΑΝΕΠΙΣΤΗΜΙΟ ΠΕΙΡΑΙΩΣ  
ΣΧΟΛΗ ΝΑΥΤΙΛΙΑΣ ΚΑΙ ΒΙΟΜΗΧΑΝΙΑΣ  
ΤΜΗΜΑΤΟΣ ΒΙΟΜΗΧΑΝΙΚΗΣ ΔΙΟΙΚΗΣΗΣ & ΤΕΧΝΟΛΟΓΙΑΣ  
ΔΙΑΠΑΝΕΠΙΣΤΗΜΙΑΚΟ ΠΡΟΓΡΑΜΜΑ ΜΕΤΑΠΤΥΧΙΑΚΩΝ ΣΠΟΥΔΩΝ  
«ΤΕΧΝΟ-ΟΙΚΟΝΟΜΙΚΑ ΣΥΣΤΗΜΑΤΑ»



ΔΙΠΛΩΜΑΤΙΚΗ ΕΡΓΑΣΙΑ

**ΜΟΝΤΕΛΟΠΟΙΗΣΗ ΠΑΡΑΓΩΓΙΚΗΣ ΔΙΑΔΙΚΑΣΙΑΣ ΣΤΡΑΤΙΩΤΙΚΟΥ  
ΕΡΓΟΣΤΑΣΙΟΥ 301 ΕΒ (ΕΡΓΟΣΤΑΣΙΟ ΒΑΣΗΣ)**

ΔΑΣΚΑΛΟΠΟΥΛΟΣ ΙΩΑΝΝΗΣ (3203117)

**ΕΠΙΒΛΕΠΩΝ:**

Γ. ΜΑΤΣΟΠΟΥΛΟΣ, Καθηγητής ΕΜΠ

Ιούνιος 2021



## Περίληψη

Σκοπός της διπλωματικής εργασίας είναι η μοντελοποίηση και η προσομοίωση του 301 EB (Εργοστασίου Βάσης). Η εργασία αποτελείται από δυο κυρίως τμήματα, το θεωρητικό όπου παρουσιάζονται βασικά θεωρητικά στοιχεία της δημιουργία και επεξεργασίας μοντέλων προσομοίωσης διαδικασιών και το πρακτικό όπου γίνεται η εφαρμογή των εργαλείων στη λειτουργία του 301 EB.

Στο πρώτο κεφάλαιο γίνεται μια εισαγωγή στις έννοιες της μοντελοποίησης και της προσομοίωσης, μια ιστορική αναδρομή, πλεονεκτήματα και μειονεκτήματα και η μελλοντική εξέλιξη σε αυτόν τον τομέα.

Στο δεύτερο κεφάλαιο γίνεται η παρουσίαση των διαδικασιών μοντελοποίησης και προσομοίωσης.

Στο τρίτο κεφάλαιο παρουσιάζονται τα εργαλεία που χρησιμοποιούνται για την προσομοίωση, οι γλώσσες προσομοίωσης, οι βιβλιοθήκες λογισμικού και τα λογισμικά προσομοίωσης γενικού σκοπού.

Στο τέταρτο κεφάλαιο γίνεται μια εκτενέστερη ανάλυση της μεθόδου αξιολόγησης και παρακολούθησης έργου (Project Evaluation & Review Technique, PERT) και της μεθόδου κρίσιμης διαδρομής (Critical Path Method, CPM).

Στο πέμπτο κεφάλαιο γίνεται η παρουσίαση της θεωρίας ουράς που είναι κρίσιμη για την προτεραιοποίηση των εισερχομένων υλικών.

Στο έκτο κεφάλαιο γίνεται μια συνοπτική παρουσίαση του 301 EB, της αποστολής του, της δομή λειτουργίας του και εφαρμόζονται οι μέθοδοι μοντελοποίησης και προσομοίωσης υπό κατάλληλες προϋποθέσεις στα κυριότερα συνεργεία.

Στο έβδομο κεφάλαιο γίνεται η αποτίμηση των ευρημάτων, η εξαγωγή συμπερασμάτων και οι προτάσεις για βελτίωση του υπάρχοντος συστήματος λειτουργίας.

## Abstract

The aim of this thesis is the modeling and the simulation of 301 DEPOT. This thesis comprises of 2 main parts, the theoretical one where the basic theoretical elements of creating and developing process simulation models and the practical one where those tools are implemented for the production process of 301 DEPOT.

In the first chapter there is an introduction on the terms modeling and simulation, a historical review, advantages and disadvantages and future possibilities on this area.

In the second chapter, there is a presentation of the modeling processes and the simulations, procedures.

In the third chapter there is a presentation of the tools used for simulation, the most common simulation languages, libraries of software and general purpose software packages.

In the fourth Chapter, there is a further analysis of PERT (Project Evaluation & Review Technique, PERT) and CPM (Critical Path Method).

In the fifth chapter we have the presentation of the queuing theory which is critical for the prioritization of the arriving materials.

In the sixth Chapter, 301 DEPOT is presented, its purpose, its operational structure and the modeling and simulation methods are applied under specific conditions.

In the seventh and final Chapter, there is the assessment of the findings, the possible conclusions, and the proposals for improvement of the present functioning procedures.

## **Ευχαριστίες**

Θα ήθελα να εκφράσω τις θερμές ευχαριστίες μου στον Καθηγητή κο Ματσόπουλο Γεώργιο για την επίβλεψη και την κατεύθυνση που μου παρείχε. Επιπλέον, θα ήθελα να ευχαριστήσω τον Διοικητή του 301 ΕΒ, τους Διευθυντές των Συνεργείων και όλο το προσωπικό του, για την παροχή όλων των αναγκαίων πληροφοριών που υπάρχουν στα αντίστοιχα τεχνικά εγχειρίδια και στην πολύχρονη εμπειρία τους.



## Περιεχόμενα

Περίληψη .....	3
Ευχαριστίες .....	5
Περιεχόμενα .....	7
Κατάλογος σχημάτων.....	9
Κατάλογος Πινάκων.....	10
<b>ΚΕΦΑΛΑΙΟ: 1 ΕΙΣΑΓΩΓΗ ΣΤΙΣ ΕΝΝΟΙΕΣ ΤΗΣ ΜΟΝΤΕΛΟΠΟΙΗΣΗΣ ΚΑΙ ΤΗΣ ΠΡΟΣΟΜΟΙΩΣΗΣ.....</b>	<b>11</b>
1.1    Εισαγωγή .....	11
1.2    Ιστορική Αναδρομή .....	11
1.3    Περιοχές εφαρμογών προσομοίωσης.....	13
1.4    Προσομοίωση σε συστήματα παραγωγής.....	13
1.4.1    Στόχοι.....	13
1.4.2    Μέθοδοι .....	14
1.5    Ταξινόμηση και ορολογία.....	15
1.6    Πλεονεκτήματα και μειονεκτήματα.....	17
1.6.1    Πλεονεκτήματα προσομοίωσης .....	17
1.6.2    Προσομοίωση έναντι άλλων προσεγγίσεων μοντελοποίησης.....	18
1.6.3    Μειονεκτήματα προσομοίωσης .....	19
1.8    Μελλοντικές προοπτικές.....	20
<b>ΚΕΦΑΛΑΙΟ 2: ΔΙΑΔΙΚΑΣΙΕΣ ΜΟΝΤΕΛΟΠΟΙΗΣΗΣ ΚΑΙ ΠΡΟΣΟΜΟΙΩΣΗΣ .....</b>	<b>23</b>
2.1    Η διαδικασία της μελέτης προσομοίωσης.....	23
2.2    Βασικοί όροι .....	28
2.3    Τύποι μοντέλων .....	30
2.3.1    Ενεργητικά μοντέλα.....	30
2.3.2    Διαδραστικά μοντέλα.....	30
2.3.3    Προσομοιωτές υπολογιστών .....	30
2.4    Ταξινόμηση συστημάτων.....	31
2.5    Η έννοια του μοντέλου.....	34
2.5.1    Κατηγοριοποίηση μοντέλων προσομοίωσης .....	34
2.5.2    Η διαδικασία της μοντελοποίησης.....	34
2.5.3    Κατασκευή του μοντέλου .....	35
2.5.4    Η σχέση των Η/Υ με τη μοντελοποίηση .....	36
2.5.5    Κριτήρια αξιολόγησης των μοντέλων.....	37
<b>ΚΕΦΑΛΑΙΟ 3: ΕΡΓΑΛΕΙΑ ΠΡΟΣΟΜΟΙΩΣΗΣ.....</b>	<b>38</b>
3.1    Γλώσσες προσομοίωσης .....	38
3.2    Γλώσσες Προσομοίωσης - Βιβλιοθήκες λογισμικού .....	38
3.3    Λογισμικά προσομοίωσης γενικού σκοπού .....	38
3.4    Το πρόγραμμα Microsoft Project.....	40
<b>ΚΕΦΑΛΑΙΟ 4: ΑΝΑΛΥΣΗ ΤΩΝ ΜΕΘΟΔΩΝ ΑΞΙΟΛΟΓΗΣΗΣ ΚΑΙ ΠΑΡΑΚΟΛΟΥΘΗΣΗΣ ΕΡΓΟΥ PERT ΚΑΙ CPM .....</b>	<b>41</b>
4.1    Μέθοδος PERT .....	41

4.2	Μέθοδος CPM .....	42
4.3	Πλεονεκτήματα PERT .....	43
4.4	Μειονεκτήματα PERT .....	43
4.5	Αβεβαιότητα στον προγραμματισμό έργων .....	43
4.6	Ευελιξία CPM .....	44
<b>ΚΕΦΑΛΑΙΟ 5: ΣΥΣΤΗΜΑΤΑ ΟΥΡΑΣ .....</b>		<b>45</b>
5.1	Εισαγωγή στα συστήματα ουρών .....	45
5.2	Συστατικά ενός συστήματος ουράς.....	46
5.3	Ποσοτική αξιολόγηση συστήματος αναμονής.....	47
5.4.1	Πρότυπο άφιξης πελατών .....	47
5.4.2	Μοτίβα εξυπηρέτησης .....	48
5.4.3	Αριθμός διακομιστών.....	48
5.4.4	Πειθαρχία ουράς .....	49
5.4.5	Χωρητικότητα συστήματος.....	49
5.4.6	Στάδια της υπηρεσίας.....	50
5.4	Προβλήματα σε ένα σύστημα ουράς.....	50
<b>ΚΕΦΑΛΑΙΟ 6: ΠΑΡΟΥΣΙΑΣΗ ΤΟΥ 301 ΕΒ ΚΑΙ.....</b>		<b>51</b>
6.1	Σύντομη παρουσίαση του 301 ΕΒ .....	51
6.2	Περιγραφή του τρόπου λειτουργίας του Εργοστασίου .....	51
6.3	Προσομοίωση δραστηριοτήτων/ενεργειών.....	53
6.3.1	Συnergείο Οχημάτων .....	54
6.3.2	Συnergείο Ερπυστριοφόρων .....	55
6.3.3	Συnergείο Πυροβόλων .....	56
6.3.4	Συnergείο Οπλισμού .....	57
6.4	Εξέταση πιθανών σεναρίων .....	58
<b>ΚΕΦΑΛΑΙΟ 7:ΕΞΑΓΩΓΗ ΣΧΕΤΙΚΩΝ ΣΥΜΠΕΡΑΣΜΑΤΩΝ ΚΑΙ ΠΡΟΤΑΣΕΙΣ ΒΕΛΤΙΩΣΗΣ .....</b>		<b>61</b>



## Κατάλογος σχημάτων

Σχ.2.1 Σύστημα ως συλλογή διασυνδεδεμένων στοιχείων .....	24
Σχ.2.2 Διαδικασία μελέτης προσομοίωσης, Banks et al, 2005:Law, 2007 .....	25
Σχ.2.3 Βήματα σε μελέτη προσομοίωσης.....	26
Σχ.2.4 Τρόποι μελέτης συστήματος .....	29
Σχ.2.5 Ταξινόμηση των συστημάτων βάσει της πολυπλοκότητας .....	32
Σχ.2.6 Διάφοροι τύποι συστημάτων (α) Μηχανικό σύστημα (β) Ηλεκτρονικό .....	33
κύκλωμα (γ) Σύστημα μεταφορών .....	33
Σχ.2.7 Διαδικασία μοντελοποίησης [Φεσάκης, Δημητρακοπούλου, Καλαβάσης,2001].....	35
Σχ.5.1 Ουρά εξυπηρετούμενη με έναν και πολλαπλούς εξυπηρετητές .....	49
Σχ.5.1 Σύστημα ουρών πολλαπλών σταδίων με ανατροφοδότηση.....	50
Σχ.6.1 Απαιτούμενες ημέρες κατά στάδια και διάγραμμα GANTT IROAN Οχήματος .....	54
Σχ.6.2 Διάγραμμα PERT IROAN Οχήματος.....	54
Σχ.6.3 Απαιτούμενες ημέρες κατά στάδια και διάγραμμα GANTT επισκευής.....	55
Οχήματος Εκτός Προγράμματος .....	55
Σχ.6.4 Διάγραμμα PERT IROAN επισκευής Οχήματος Εκτός Προγράμματος.....	55
Σχ.6.5 Απαιτούμενες ημέρες κατά στάδια και διάγραμμα GANTT IROAN .....	55
Ερπυστριοφόρου .....	55
Σχ.6.6 Διάγραμμα PERT IROAN Ερπυστριοφόρου .....	55
Σχ.6.7 Απαιτούμενες ημέρες κατά στάδια και διάγραμμα GANTT επισκευής.....	56
Ερπυστριοφόρου Εκτός Προγράμματος.....	56
Σχ.6.8 Διάγραμμα PERT IROAN επισκευής Ερπυστριοφόρου Εκτός Προγράμματος.....	56
Σχ.6.9 Απαιτούμενες ημέρες κατά στάδια και διάγραμμα GANTT IROAN Πυροβόλου.....	56
Σχ.6.10 Διάγραμμα PERT IROAN Πυροβόλου .....	57
Σχ.6.11 Απαιτούμενες ημέρες κατά στάδια και διάγραμμα GANTT επισκευής.....	57
Πυροβόλου Εκτός Προγράμματος .....	57
Σχ.6.12 Διάγραμμα PERT IROAN επισκευής Πυροβόλου Εκτός Προγράμματος .....	57
Σχ.6.13 Απαιτούμενες ημέρες κατά στάδια και διάγραμμα GANTT IROAN Οπλισμού .....	58
Σχ.6.14 Διάγραμμα PERT IROAN Οπλισμού.....	58
Σχ.6.15 Απαιτούμενες ημέρες κατά στάδια και διάγραμμα GANTT IROAN Πυροβόλου με υφιστάμενο σενάριο καθυστέρησης στη χορήγηση ανταλλακτικών.....	58
Σχ.6.15 Απαιτούμενες ημέρες κατά στάδια και διάγραμμα GANTT IROAN Οχήματος με υφιστάμενο σενάριο καθυστέρησης λόγω βλάβης ηλεκτρομηχανολογικού εξοπλισμού.....	59
Σχ.6.15 Απαιτούμενες ημέρες κατά στάδια και διάγραμμα GANTT IROAN Ερπυστριοφόρου με υφιστάμενο σενάριο καθυστέρησης ανταλλακτικών.....	60

## **Κατάλογος Πινάκων**

<b>Πίν. 1.1</b> Κριτήρια απόδοσης-χαρακτηριστικών χρησιμότητας.....	15
<b>Πιν.5.1</b> Παραδείγματα συστημάτων ουράς.....	46

# ΚΕΦΑΛΑΙΟ: 1 ΕΙΣΑΓΩΓΗ ΣΤΙΣ ΕΝΝΟΙΕΣ ΤΗΣ ΜΟΝΤΕΛΟΠΟΙΗΣΗΣ ΚΑΙ ΤΗΣ ΠΡΟΣΟΜΟΙΩΣΗΣ

## 1.1 Εισαγωγή

Η προσομοίωση είναι μια κατά προσέγγιση απομίμηση της λειτουργίας μιας διαδικασίας ή ενός συστήματος που αντιπροσωπεύει τη λειτουργία της με την πάροδο του χρόνου

Η προσομοίωση χρησιμοποιείται σε πολλά πλαίσια, όπως η προσομοίωση τεχνολογίας για τον συντονισμό των επιδόσεων ή τη βελτιστοποίηση, μηχανική ασφάλειας, δοκιμές, εκπαίδευση, εκπαίδευση και βιντεοπαιχνίδια. Συχνά, πειράματα υπολογιστών χρησιμοποιούνται για τη μελέτη μοντέλων προσομοίωσης. Η προσομοίωση χρησιμοποιείται επίσης με την επιστημονική μοντελοποίηση των φυσικών συστημάτων ή των ανθρώπινων συστημάτων για να αποκτήσουν επίγνωση της λειτουργίας τους, όπως στα οικονομικά. Η προσομοίωση μπορεί να χρησιμοποιηθεί για να δείξει τα ενδεχόμενα πραγματικά αποτελέσματα εναλλακτικών συνθηκών και πορειών δράσης. Η προσομοίωση χρησιμοποιείται επίσης όταν το πραγματικό σύστημα δεν μπορεί να δεσμευτεί, επειδή μπορεί να μην είναι προσβάσιμο, ή μπορεί να είναι επικίνδυνο ή απαράδεκτο να εμπλακεί, ή σχεδιάζεται, αλλά δεν έχει ακόμη κατασκευαστεί, ή μπορεί απλώς να μην υπάρχει.

Βασικά ζητήματα στην προσομοίωση περιλαμβάνουν την απόκτηση έγκυρων πηγών πληροφοριών σχετικά με τη σχετική επιλογή βασικών χαρακτηριστικών και συμπεριφορών, τη χρήση απλοποίησης προσεγγίσεων και παραδοχών εντός της προσομοίωσης, καθώς και την πιστότητα και την εγκυρότητα των αποτελεσμάτων της προσομοίωσης. Οι διαδικασίες και τα πρωτόκολλα για την επαλήθευση και επικύρωση μοντέλου είναι ένας συνεχής τομέας ακαδημαϊκής μελέτης, βελτίωσης, έρευνας και ανάπτυξης σε τεχνολογία ή πρακτική προσομοίωσης, ιδιαίτερα στο έργο της προσομοίωσης υπολογιστών [1].

## 1.2 Ιστορική Αναδρομή

Η μέθοδος της προσομοίωσης σαν εργαλείο ανάλυσης και πειραματισμού χρησιμοποιήθηκε ευρύτατα από τις αρχές του 20ού αιώνα στη μηχανική και γενικότερα στις φυσικές επιστήμες με τη χρησιμοποίηση υποδειγμάτων για επίλυση επιστημονικών προβλημάτων, αν και υπήρχαν και παλαιότερες προσπάθειες για την εφαρμογή της.

Η μέθοδος του Μόντε Κάρλο θεωρείται γενικά ότι προήλθε από το «πείραμα βελόνας» του Buffon το 1777. Το πείραμα είναι να «ρίχνουμε» βελόνες σε ένα επίπεδο με παράλληλες γραμμές εξίσου απομακρυσμένες προκειμένου να εκτιμηθεί η τιμή του  $\pi$ . Δεδομένου ότι η δημοσιευμένη λύση του Buffon περιείχε ένα σφάλμα που διορθώθηκε από το Laplace το 1812, χρησιμοποιείται επίσης το πρόβλημα της ορολογίας Buffon-Laplace.

Περίπου έναν αιώνα μετά τη συμβολή του Laplace η προσομοίωση διαδραματίζει έναν εκπληκτικό ρόλο σε μια από τις πιο σημαντικές εξελίξεις στα στατιστικά. Ο William Sealy Gosset, εκπαιδευμένος στα μαθηματικά και τη χημεία, έγινε ζυθοποιός με την Arthur Guinness, Son & Co. Ltd., το 1899 σε ηλικία 23 ετών. Η Guinness επέτρεψε στον Gosset να δημοσιεύσει ορισμένα σημαντικά στατιστικά αποτελέσματα, υπό την προϋπόθεση ότι θα χρησιμοποιήσει ψευδώνυμο, χωρίς τη χρησιμοποίηση ιδιόκτητων δεδομένων. Αυτά τα αποτελέσματα δημοσιεύθηκαν με το ψευδώνυμο "Student" που ξεκίνησε το 1908 με ένα έγγραφο που διατυπώνει αυτό που είναι τώρα

γνωστό ως κατανομή  $t$  του Student. Επειδή ο Gosset δεν είχε ολοκληρωμένα αναλυτικά αποτελέσματα, χρησιμοποίησε μια ακατέργαστη μορφή χειροκίνητης προσομοίωσης για να επαληθεύσει την υπόθεσή του σχετικά με την ακριβή μορφή της συνάρτησης πυκνότητας πιθανότητας για την κατανομή  $t$  του Student. Αυτή η εναρκτήρια εφαρμογή προσομοίωσης στον τομέα του ελέγχου των βιομηχανικών διεργασιών είναι ένα αξιοσημείωτο παράδειγμα της συνέργειας πειραματισμών και αναλυτικών τεχνικών με βάση την προσομοίωση στην ανακάλυψη της ακριβούς λύσης αυτού που είναι αναμφισβήτητο ένα κλασικό πρόβλημα βιομηχανικής-μηχανικής.

Στα μέσα της δεκαετίας του 1940 δύο σημαντικές εξελίξεις έθεσαν το δρόμο για την ταχεία ανάπτυξη του πεδίου προσομοίωσης:

- Η κατασκευή των πρώτων ηλεκτρονικών υπολογιστών γενικής χρήσης όπως το ENIAC.
- Το έργο των Stanislaw Ulam, John von Neumann και άλλων για τη χρήση της μεθόδου Monte Carlo σε ηλεκτρονικούς υπολογιστές για την επίλυση ορισμένων προβλημάτων στη διάχυση νετρονίων που προέκυψαν στο σχεδιασμό της βόμβας υδρογόνου και τα οποία ήταν (και εξακολουθούν να είναι) αναλυτικά δυσδιάκριτα.

Πριν την ανάπτυξη των ψηφιακών υπολογιστικών συστημάτων, οι τεχνικές προσομοίωσης χρησιμοποιούνταν ελάχιστα, ενώ η ποσότητα των υπολογισμών που απαιτούσαν έκαναν τη χρησιμοποίησή τους χωρίς τη βοήθεια του ηλεκτρονικού υπολογιστή χρονοβόρα και δαπανηρή.

Η ανάπτυξη των ψηφιακών ηλεκτρονικών υπολογιστών από τα μέσα της δεκαετίας του 1950 (IBM) με τη χρήση αντίστοιχων προγραμμάτων που αναπτύχθηκαν (SIMSCRIPT 1, 1.5, II) μετέτρεψε την τεχνική της προσομοίωσης σε ένα σημαντικό εργαλείο ανάλυσης επιχειρηματικών και οικονομικών προβλημάτων.

Στην περίοδο 1970-1981 είχαμε μια σημαντική ανάπτυξη βελτιωμένων εργαλείων μοντελοποίησης και αναλυτικών εργαλείων όπως οι γλώσσες μοντελοποίησης υπολογιστών διακριτών συμβάντων όπως η GASP IV από τους Pritsker και Hurst, η SIMSCRIPT II.5 από τους Kiviat, Villanueva και Markowitz, του SLAM από τον Pritsker και τον Pegden, του SIMAN από τον Pegden. Η κωνική μεθοδολογία του Nance για αντικειμενοστρεφή ανάπτυξη μοντέλου. Γραφήματα συμβάντων του Schruben. την ανάπτυξη ειδικών προϊόντων προσομοίωσης για εξειδικευμένες αγορές και η συμβολή της Sargent στην επίσημη επαλήθευση και επικύρωση. Ορισμένες εξελίξεις σε σχέση με την αναλυτική εργασία περιλαμβάνουν, για παράδειγμα, συνεισφορές στη δημιουργία αποθέματος. συνεισφορές στην ανάλυση της παραγωγής εξελίξεις στη μοντελοποίηση εισροών και τη μελέτη των σύγχρονων τεχνικών βελτιστοποίησης.

Στις μέρες μας, το υψηλό τεχνολογικό επίπεδο των ηλεκτρονικών υπολογιστών σε συνδυασμό με τον υψηλό βαθμό εξειδίκευσης των στελεχών έχουν καταστήσει τα υποδείγματα προσομοίωσης σημαντικά εργαλεία ανάλυσης και επίλυσης σε ένα ευρύτατο πεδίο εφαρμογών. Περίπλοκα συστήματα ουρών, ελέγχου αποθεμάτων, σύνθετα συστήματα στρατηγικής αναγόμενα στη θεωρία παιγνίων, γενικευμένα συστήματα αξιοπιστίας συστημάτων, καθώς και μια σειρά άλλων εφαρμογών, αναλύονται και βελτιώνονται χρησιμοποιώντας τεχνικές προσομοίωσης [2].

### 1.3 Περιοχές εφαρμογών προσομοίωσης

(6) Οι περιοχές εφαρμογής για προσομοίωση είναι πολλές και ποικίλες. Παρακάτω είναι μια λίστα με κάποια συγκεκριμένα είδη προβλημάτων για τα οποία η προσομοίωση έχει βρεθεί χρήσιμη και ισχυρό εργαλείο:

- Σχεδιασμός και ανάλυση συστημάτων παραγωγής
- Αξιολόγηση στρατιωτικών οπλικών συστημάτων ή των απαιτήσεων εφοδιαστικής
  - Προσδιορισμός απαιτήσεων υλικού ή πρωτοκόλλων για δίκτυα επικοινωνιών αεροδρόμια, αυτοκινητόδρομοι, λιμάνια, σιδηρόδρομοι, μετρό
  - Καθορισμός απαιτήσεων υλικού και λογισμικού για ένα σύστημα υπολογιστή
  - Σχεδιασμός και λειτουργία συστημάτων μεταφοράς όπως αεροδρόμια, αυτοκινητόδρομοι, λιμάνια, και μετρό
  - Αξιολόγηση σχεδίων για οργανισμούς παροχής υπηρεσιών, όπως τηλεφωνικά κέντρα, εστιατόρια γρήγορου φαγητού, νοσοκομεία και ταχυδρομεία
  - Επανασχεδιασμός επιχειρηματικών διαδικασιών και ανάλυση συστημάτων παραγωγής.
- Αξιολόγηση οπλικών συστημάτων.
- Ανάλυση χρηματοοικονομικών συστημάτων.
- Ανάλυση αλυσίδων εφοδιασμού
- Καθορισμός πολιτικών παραγγελιών για ένα σύστημα απογραφής
- Ανάλυση εργασιών εξόρυξης [3].

### 1.4 Προσομοίωση σε συστήματα παραγωγής

Η προσομοίωση στα συστήματα παραγωγής είναι η χρήση λογισμικού για την κατασκευή ηλεκτρονικών μοντέλων συστημάτων παραγωγής, οπότε για την ανάλυσή τους και, συνεπώς, για τη λήψη σημαντικών πληροφοριών Έχει κοινοποιηθεί ως η δεύτερη πιο δημοφιλής επιστήμη διαχείρισης μεταξύ των διευθυντών κατασκευής. Ωστόσο, η χρήση του έχει περιοριστεί λόγω της πολυπλοκότητας ορισμένων πακέτων λογισμικού και της έλλειψης προετοιμασίας ορισμένων χρηστών στους τομείς πιθανότητας και στατιστικών.

Αυτή η τεχνική αντιπροσωπεύει ένα πολύτιμο εργαλείο που χρησιμοποιείται από τους μηχανικούς κατά την αξιολόγηση της επίδρασης της κεφαλαιουχικής επένδυσης σε εξοπλισμό και φυσικές εγκαταστάσεις, όπως εργοστάσια, αποθήκες και κέντρα διανομής. Η προσομοίωση μπορεί να χρησιμοποιηθεί για την πρόβλεψη της απόδοσης ενός υπάρχοντος ή προγραμματισμένου συστήματος και για τη σύγκριση εναλλακτικών λύσεων για ένα συγκεκριμένο πρόβλημα σχεδιασμού [4].

#### 1.4.1 Στόχοι

Ο πιο σημαντικός στόχος της προσομοίωσης στην κατασκευή είναι η κατανόηση της αλλαγής σε ολόκληρο το σύστημα λόγω ορισμένων τοπικών αλλαγών. Είναι εύκολο να αντιληφθεί κανείς τη διαφορά που προκαλούν οι αλλαγές στο τοπικό σύστημα, αλλά είναι πολύ δύσκολο ή αδύνατο να εκτιμηθεί η επίδραση αυτής της αλλαγής στο συνολικό σύστημα. Η προσομοίωση μας δίνει κάποιο μέτρο αυτού του αντίκτυπου. Τα μέτρα που μπορούν να ληφθούν με ανάλυση προσομοίωσης είναι:

- Εξαρτήματα που παράγονται ανά μονάδα χρόνου
- Χρόνος που δαπανάται στο σύστημα κατά μέρη
- Χρόνος που περνούν τα μέρη στην ουρά
- Χρόνος που αφιερώνεται κατά τη μεταφορά από το ένα μέρος στο άλλο
- Έγκαιρες παραδόσεις
- Δημιουργία του αποθέματος
- Απογραφή σε διαδικασία
- Ποσοστό χρησιμοποίησης μηχανών και εργαζομένων.

Ορισμένα άλλα οφέλη περιλαμβάνουν την παραγωγή Just-in-time (JIT), τον υπολογισμό των βέλτιστων απαιτούμενων πηγών, την επικύρωση της προτεινόμενης λογικής λειτουργίας για τον έλεγχο του συστήματος και τα δεδομένα που συλλέγονται κατά τη μοντελοποίηση που μπορεί να χρησιμοποιηθούν αλλού.

Το ακόλουθο είναι ένα παράδειγμα: Σε ένα εργοστάσιο παραγωγής ένα μηχάνημα επεξεργάζεται 100 μέρη σε 10 ώρες, αλλά τα μέρη που έρχονται στο μηχάνημα σε 10 ώρες είναι 150. Έτσι υπάρχει μια συσσώρευση αποθεμάτων. Αυτό το απόθεμα μπορεί να μειωθεί χρησιμοποιώντας περιστασιακά ένα άλλο μηχάνημα. Κατανοούμε λοιπόν τη μείωση της συσσώρευσης τοπικού αποθέματος. Αλλά τώρα αυτό το μηχάνημα παράγει 150 μέρη σε 10 ώρες, τα οποία ενδέχεται να μην υποβληθούν σε επεξεργασία από το επόμενο μηχάνημα και επομένως μόλις αλλάξαμε το απόθεμα κατά τη διαδικασία από το ένα μηχάνημα στο άλλο χωρίς να επηρεάζουμε τη συνολική παραγωγή

Η προσομοίωση χρησιμοποιείται για την αντιμετώπιση ορισμένων ζητημάτων στην κατασκευή ως εξής: Στο εργαστήριο για να δείτε την ικανότητα του συστήματος να ικανοποιεί την απαίτηση, Για να υπάρχει βέλτιστο απόθεμα για κάλυψη βλαβών του μηχανήματος.

#### **1.4.2 Μέθοδοι**

Στο παρελθόν, τα εργαλεία προσομοίωσης κατασκευής ταξινομήθηκαν ως γλώσσες ή εξομοιωτές. Οι γλώσσες ήταν πολύ ευέλικτα εργαλεία, αλλά μάλλον περίπλοκες στη χρήση από τους διαχειριστές και πολύ χρονοβόρα. Οι προσομοιωτές ήταν πιο φιλικόι προς το χρήστη, αλλά ήρθαν με αρκετά άκαμπτα πρότυπα που δεν προσαρμόστηκαν αρκετά καλά στις ταχέως μεταβαλλόμενες τεχνικές κατασκευής. Σήμερα, υπάρχει διαθέσιμο λογισμικό που συνδυάζει την ευελιξία και τη φιλικότητα προς το χρήστη και των δύο, αλλά ακόμα ορισμένοι συγγραφείς ανέφεραν ότι η χρήση αυτής της προσομοίωσης για το σχεδιασμό και τη βελτιστοποίηση των διαδικασιών κατασκευής είναι σχετικά χαμηλή.

Μία από τις πιο χρησιμοποιούμενες τεχνικές από τους κατασκευαστές συστημάτων κατασκευής είναι η διακριτή προσομοίωση συμβάντων. Αυτός ο τύπος προσομοίωσης επιτρέπει την αξιολόγηση της απόδοσης του συστήματος, αναπαράγοντας στατιστικά και πιθανολογικά τις αλληλεπιδράσεις όλων των στοιχείων του κατά τη διάρκεια μιας καθορισμένης χρονικής περιόδου. Σε ορισμένες περιπτώσεις, η μοντελοποίηση συστημάτων κατασκευής χρειάζεται μια συνεχή προσέγγιση προσομοίωσης. Αυτές είναι οι περιπτώσεις όπου οι καταστάσεις του συστήματος αλλάζουν συνεχώς, όπως, για παράδειγμα, στην κυκλοφορία υγρών σε διυλιστήρια πετρελαίου ή χημικές εγκαταστάσεις. Καθώς η συνεχής προσομοίωση δεν μπορεί να μοντελοποιηθεί από ψηφιακούς υπολογιστές, γίνεται με μικρά διακριτά βήματα. Αυτό είναι ένα χρήσιμο χαρακτηριστικό, καθώς υπάρχουν πολλές περιπτώσεις όπου πρέπει να συνδυάζονται τόσο η συνεχής όσο και η διακριτή προσομοίωση. Αυτό ονομάζεται υβρι-

δική προσομοίωση, που απαιτείται σε πολλές βιομηχανίες, για παράδειγμα, στη βιομηχανία τροφίμων.

Ένα πλαίσιο για την αξιολόγηση διαφορετικών εργαλείων προσομοίωσης κατασκευής αναπτύχθηκε από τους Benedettini & Tjahjono (2009) χρησιμοποιώντας τον ορισμό του ISO 9241: «ο βαθμός στον οποίο ένα προϊόν μπορεί να χρησιμοποιηθεί από συγκεκριμένους χρήστες για την επίτευξη συγκεκριμένων στόχων με αποτελεσματικότητα, αποδοτικότητα και ικανοποίηση σε ένα συγκεκριμένο πλαίσιο χρήσης.» Αυτό το πλαίσιο θεώρησε την αποτελεσματικότητα, την αποδοτικότητα και την ικανοποίηση των χρηστών ως τα τρία βασικά κριτήρια απόδοσης ως εξής:

Κριτήριο Απόδοσης	Χαρακτηριστικά χρηστικότητας
Αποτελεσματικότητα	Ακρίβεια: Επέκταση στο σημείο όπου η ποιότητα της παραγωγής αντιστοιχεί στον στόχο
Αποδοτικότητα	Χρόνος: Πόσος χρόνος χρειάζονται οι χρήστες για να ολοκληρωθούν οι εργασίες με το προϊόν
	Ψυχική προσπάθεια: Οι ψυχικοί πόροι που πρέπει να ξοδέψουν οι χρήστες για την αλληλεπίδραση με το προϊόν
Ικανοποίηση χρήστη	Ευχρηστία: Γενικές στάσεις απέναντι στο προϊόν
	Ειδικές στάσεις: Απέναντι ή αντίληψη της αλληλεπίδρασης με το εργαλείο

**Πίν. 1.1** Κριτήρια απόδοσης-χαρακτηριστικών χρηστικότητας

Η ακόλουθη είναι μια λίστα με δημοφιλείς τεχνικές:

- Προσομοίωση διακριτών συμβάντων (DES)
- Δυναμική συστήματος (SD)
- Μοντελοποίηση βάσει «πρακτόρων» (ABM)
- Ευφυής προσομοίωση: βασίζεται σε μια ενσωμάτωση τεχνικών προσομοίωσης και τεχνητής νοημοσύνης (AI)
  - Petri net ή place/transition net
  - Προσομοίωση Monte Carlo (MCS)
  - Εικονική προσομοίωση: επιτρέπει στο χρήστη να μοντελοποιήσει το σύστημα σε ένα 3D εμβυθιστικό περιβάλλον
- Υβριδικές τεχνικές: συνδυασμός διαφορετικών τεχνικών προσομοίωσης [3].

### 1.5 Ταξινόμηση και ορολογία

Ιστορικά, οι προσομοιώσεις που χρησιμοποιούνται σε διαφορετικά πεδία αναπτύχθηκαν σε μεγάλο βαθμό ανεξάρτητα, αλλά οι μελέτες του 20ου αιώνα για τη θεωρία συστημάτων και την κυβερνητική δικτύωση σε συνδυασμό με τη διάδοση της χρήσης υπολογιστών σε όλα αυτά τα πεδία οδήγησαν σε κάποια ενοποίηση και μια πιο συστηματική άποψη της έννοιας.

Η φυσική προσομοίωση αναφέρεται σε προσομοίωση στην οποία τα φυσικά αντικείμενα αντικαθιστούν το πραγματικό πράγμα (ορισμένοι κύκλοι χρησιμοποιούν τον όρο για προσομοιώσεις υπολογιστών που μοντελοποιούν επιλεγμένους νόμους της φυσικής, αλλά αυτό το άρθρο δεν το κάνει). Αυτά τα φυσικά αντικείμενα επιλέγονται συχνά επειδή είναι μικρότερα ή φθηνότερα από το πραγματικό αντικείμενο ή σύστημα.

Η *διαδραστική* προσομοίωση είναι ένα ειδικό είδος φυσικής προσομοίωσης, που συχνά αναφέρεται ως άνθρωπος στην προσομοίωση βρόχου, στην οποία οι φυσικές προσομοιώσεις περιλαμβάνουν ανθρώπινους χειριστές, όπως σε προσομοιωτή πτήσης, προσομοιωτή ιστιοπλοΐας ή προσομοιωτή οδήγησης.

Η *συνεχής* προσομοίωση είναι μια προσομοίωση που βασίζεται σε συνεχή χρόνο και όχι σε διακριτά χρονικά βήματα, χρησιμοποιώντας αριθμητική ολοκλήρωση διαφορικών εξισώσεων.

Η *προσομοίωση διακριτών συμβάντων* μελετά συστήματα των οποίων οι καταστάσεις αλλάζουν τις τιμές τους μόνο σε διακριτούς χρόνους. Για παράδειγμα, μια προσομοίωση μιας επιδημίας θα μπορούσε να αλλάξει τον αριθμό των μολυσμένων ατόμων σε χρονικές στιγμές όταν ευαίσθητα άτομα μολυνθούν ή όταν τα μολυσμένα άτομα αναρρώσουν.

Η *στοχαστική* προσομοίωση είναι μια προσομοίωση όπου κάποια μεταβλητή ή διαδικασία υπόκειται σε τυχαίες παραλλαγές και προβάλλεται χρησιμοποιώντας τεχνικές Monte Carlo χρησιμοποιώντας ψευδοτυχαίους αριθμούς. Έτσι, οι επαναλαμβανόμενες διαδρομές με τις ίδιες συνθήκες ορίου θα παράγουν κάθε ένα διαφορετικά αποτελέσματα σε μια συγκεκριμένη ζώνη εμπιστοσύνης.

Η *ντετερμινιστική* προσομοίωση είναι μια προσομοίωση που δεν είναι στοχαστική, έτσι οι μεταβλητές ρυθμίζονται από ντετερμινιστικούς αλγόριθμους. Έτσι, οι επαναλαμβανόμενες διαδρομές από τις ίδιες συνθήκες ορίου παράγουν πάντα ίδια αποτελέσματα.

Η *Υβριδική Προσομοίωση* (ή *Συνδυασμένη Προσομοίωση*) αντιστοιχεί σε συνδυασμό μεταξύ Συνεχής και Διακριτής Προσομοίωσης Συμβάντων και έχει ως αποτέλεσμα την αριθμητική ενσωμάτωση των διαφορικών εξισώσεων μεταξύ δύο διαδοχικών συμβάντων για τη μείωση του αριθμού των ασυνεχειών.

Μια *αυτόνομη* προσομοίωση είναι μια προσομοίωση που εκτελείται από μόνη της σε έναν σταθμό εργασίας.

Μια *κατανεμημένη* προσομοίωση είναι αυτή που χρησιμοποιεί περισσότερους από έναν υπολογιστές ταυτόχρονα, προκειμένου να διασφαλιστεί η πρόσβαση από / προς διαφορετικούς πόρους (π.χ. πολλοί χρήστες που λειτουργούν διαφορετικά συστήματα ή κατανεμημένα σύνολα δεδομένων). ένα κλασικό παράδειγμα είναι η Κατανεμημένη Διαδραστική Προσομοίωση (Distributed Interactive Simulation DIS).

Η *παράλληλη* προσομοίωση επιταχύνει την εκτέλεση μιας προσομοίωσης με ταυτόχρονη κατανομή του φόρτου εργασίας της σε πολλούς επεξεργαστές, όπως στον υπολογισμό υψηλής απόδοσης (High-Performance Computing).

Διαλειτουργική προσομοίωση όπου πολλαπλά μοντέλα, προσομοιωτές (συχνά ορίζονται ως Federates) λειτουργούν τοπικά, διανέμονται μέσω δικτύου. ένα κλασικό παράδειγμα είναι η Αρχιτεκτονική Υψηλού Επιπέδου (High-Level Architecture).

Μοντελοποίηση και προσομοίωση ως *υπηρεσία* όπου η προσομοίωση έχει πρόσβαση ως υπηρεσία μέσω του διαδικτύου.

*Μοντελοποίηση, Διαλειτουργική Προσομοίωση και Σοβαρά Παιχνίδια* όπου οι *προσεγγίσεις* σοβαρών παιχνιδιών (π.χ. μηχανές παιχνιδιών και μέθοδοι εμπλοκής) ενσωματώνονται με Διαλειτουργική Προσομοίωση.

Η πιστότητα προσομοίωσης χρησιμοποιείται για να περιγράψει την ακρίβεια μιας προσομοίωσης και πόσο στενά μιμείται το πραγματικό αντίστοιχο. Η πιστότητα ταξινομείται γενικά ως μία από τις τρεις κατηγορίες: χαμηλή, μεσαία και υψηλή. Ειδικές περιγραφές των επιπέδων πιστότητας υπόκεινται σε ερμηνεία, αλλά μπορούν να γίνουν οι ακόλουθες γενικεύσεις:



- Χαμηλή - η ελάχιστη προσομοίωση που απαιτείται για ένα σύστημα να ανταποκρίνεται στην αποδοχή εισόδων και την παροχή εξόδων
- Μεσαία - αποκρίνεται αυτόματα σε ερεθίσματα, με περιορισμένη ακρίβεια
- Υψηλή - σχεδόν διακριτή ή όσο το δυνατόν πιο κοντά στο πραγματικό σύστημα

Ο άνθρωπος στις προσομοιώσεις βρόχου μπορεί να περιέχει μια προσομοίωση υπολογιστή ως το λεγόμενο *συνθετικό περιβάλλον*.

Η προσομοίωση στην ανάλυση αστοχίας αναφέρεται σε προσομοίωση στην οποία δημιουργούμε ανάλογο περιβάλλον και συνθήκες για να προσδιορίσουμε την αιτία της βλάβης του εξοπλισμού. Αυτή είναι η καλύτερη και ταχύτερη μέθοδος για τον εντοπισμό της αιτίας αποτυχίας

## 1.6 Πλεονεκτήματα και μειονεκτήματα

### 1.6.1 Πλεονεκτήματα προσομοίωσης

(4) Η προσομοίωση δεν είναι η μόνη μέθοδος ανάλυσης και βελτίωσης λειτουργικών συστημάτων. Συγκεκριμένα, μπορεί να είναι δυνατός ο πειραματισμός με το πραγματικό σύστημα ή με τη χρήση μιας άλλης προσέγγισης μοντελοποίησης (Pidd, 2004). Τα ειδικά πλεονεκτήματα προσομοίωσης για αυτές τις προσεγγίσεις είναι:

#### Προσομοίωση έναντι πειραματισμού με το πραγματικό σύστημα

Αντί να αναπτύχθει και να χρησιμοποιηθεί ένα μοντέλο προσομοίωσης, θα μπορούσαν να διεξαχθούν πειράματα στο πραγματικό σύστημα. Για παράδειγμα, θα μπορούσαν να τοποθετηθούν επιπλέον γραφεία check-in σε μια περιοχή αναχώρησης αεροδρομίου ή θα μπορούσε να εφαρμοστεί μια αλλαγή της ροής σε ένα εργοστάσιο επίπεδο. Υπάρχουν μερικοί προφανείς και λιγότερο προφανείς λόγοι για τους οποίους η προσομοίωση προτιμάται από αυτόν τον άμεσο πειραματισμό.

- **Κόστος:** Ο πειραματισμός με το πραγματικό σύστημα είναι πιθανό να είναι δαπανηρός. Είναι κοστοβόρα η διακοπή των καθημερινών λειτουργιών για τη δοκιμή νέων ιδεών. Χώρια από το κόστος των αλλαγών, ενδέχεται να είναι απαραίτητο να κλείσει το σύστημα για την περίοδο που γίνονται αλλαγές. Επιπρόσθετα, εάν οι αλλαγές προκαλέσουν επιδείνωση της απόδοσης της επιχείρησης, αυτό μπορεί να είναι δαπανηρό από την άποψη απώλειας της συνήθειας και τη δυσαρέσκεια των πελατών. Με μια προσομοίωση, ωστόσο, αλλαγές μπορούν να γίνουν με το κόστος του χρόνου που απαιτείται και μόνο, για την αλλαγή του μοντέλου και χωρίς διακοπή στη λειτουργία του πραγματικού συστήματος.

- **Χρόνος:** Είναι χρονοβόρο να πειραματιστούμε με ένα πραγματικό σύστημα. Μπορεί να χρειαστούν πολλές εβδομάδες ή μήνες (πιθανώς περισσότερο) πριν να μπορέσει να παρατηρηθεί μια πραγματική αντανάκλαση της απόδοσης του συστήματος. Ανάλογα με το μέγεθος του μοντέλου και την ταχύτητα του υπολογιστή, μια προσομοίωση μπορεί να εκτελεστεί πολλές φορές γρηγορότερα από τον πραγματικό χρόνο. Κατά συνέπεια, τα αποτελέσματα στην απόδοση του συστήματος μπορεί να λαμβάνονται σε λίγα λεπτά, ίσως ώρες. Αυτό έχει επίσης το πλεονέκτημα ότι τα αποτελέσματα μπορούν να ληφθούν για πολύ μεγάλο χρονικό διάστημα, ίσως χρόνια λειτουργία, εάν απαιτείται. Ο ταχύτερος πειραματισμός επιτρέπει επίσης πολλές ιδέες να εξερευνηθούν σε σύντομο χρονικό διάστημα.

- **Έλεγχος των πειραματικών συνθηκών:** Κατά τη σύγκριση εναλλακτικών είναι χρήσιμο να ελέγχονται οι συνθήκες υπό τις οποίες εκτελούνται τα πειράματα,

ώστε να μπορούν να γίνουν άμεσες συγκρίσεις. Αυτό είναι δύσκολο όταν γίνονται πειραματισμός με το πραγματικό σύστημα. Για παράδειγμα, δεν είναι δυνατόν να ελεγχθεί η άφιξη των ασθενών σε νοσοκομείο. Είναι επίσης πιθανό ότι ο πειραματισμός με το πραγματικό σύστημα θα οδηγήσει στο φαινόμενο Hawthorne, όπου η απόδοση του προσωπικού βελτιώνεται απλώς και μόνο επειδή τους δίνεται προσοχή. Σε ορισμένες περιπτώσεις, το πραγματικό σύστημα εμφανίζεται μόνο μία φορά, για παράδειγμα, μια στρατιωτική εκστρατεία, και έτσι δεν υπάρχει επιλογή να επαναληφθεί ένα πείραμα. Με ένα μοντέλο προσομοίωσης οι συνθήκες υπό τις οποίες πραγματοποιείται ένα πείραμα μπορούν να επαναληφθούν πολλές φορές. Το ίδιο μοτίβο αφίξεων ασθενών μπορεί να δημιουργηθεί ξανά και ξανά ή τα γεγονότα που συμβαίνουν κατά τη διάρκεια μιας στρατιωτικής εκστρατείας μπορούν να αναπαραχθούν όσο συχνά απαιτείται.

- **Το πραγματικό σύστημα δεν υπάρχει:** Μια πιο προφανής δυσκολία με τον πραγματικό πειραματισμό είναι ότι το πραγματικό σύστημα μπορεί να μην υπάρχει ακόμη. Εκτός από την οικοδόμηση μιας σειράς εναλλακτικών συστημάτων πραγματικού κόσμου, που είναι απίθανο να είναι πρακτικό σε καμία από τις πιο ασήμαντες καταστάσεις, ο άμεσος πειραματισμός είναι αδύνατος σε τέτοιες περιπτώσεις. Η μόνη εναλλακτική λύση είναι η ανάπτυξη ενός μοντέλου.

### 1.6.2 Προσομοίωση έναντι άλλων προσεγγίσεων μοντελοποίησης

Οι προσομοιώσεις δεν είναι τα μόνα μοντέλα που μπορούν να χρησιμοποιηθούν για την κατανόηση και τη βελτίωση του πραγματικού κόσμου. Άλλες προσεγγίσεις μοντελοποίησης κυμαίνονται από απλούς υπολογισμούς χαρτιού, μέσω μοντέλων υπολογιστικών φύλλων, έως πιο πολύπλοκο μαθηματικό προγραμματισμό και ευρετικές μεθόδους (π.χ. γραμμικός προγραμματισμός, δυναμικός προγραμματισμός, προσομοίωση απόκτησης και γενετικοί αλγόριθμοι). Η θεωρία ουράς παρέχει μια συγκεκριμένη κατηγορία μοντέλου που εξετάζει παρόμοιες καταστάσεις με εκείνες που συχνά αντιπροσωπεύονται από προσομοιώσεις, αφίξεις, ουρές και διαδικασίες υπηρεσίας (Winston, 2003). Υπάρχουν ορισμένοι λόγοι για τους οποίους η προσομοίωση θα προτιμούσε αυτές τις άλλες μεθόδους.

- **Μοντελοποίηση μεταβλητότητας:** Έχει ήδη αναφερθεί ότι οι προσομοιώσεις μπορούν να μοντελοποιήσουν τη μεταβλητότητα και τα αποτελέσματά της. Εν τω μεταξύ, πολλές από τις μεθόδους που αναφέρονται παραπάνω δεν είναι σε θέση να το πράξουν. (Πρέπει να σημειωθεί ότι ορισμένες προσεγγίσεις μοντελοποίησης μπορούν να προσαρμοστούν για να λάβουν υπόψη τη μεταβλητότητα, αλλά αυτό συχνά αυξάνει την πολυπλοκότητά τους.) Εάν τα συστήματα που μοντελοποιούνται υπόκεινται σε σημαντικά επίπεδα μεταβλητότητας, τότε η προσομοίωση είναι συχνά το μόνο μέσο για την ακριβή πρόβλεψη της απόδοσης. Ορισμένα συστήματα δεν μπορούν να μοντελοποιηθούν αναλυτικά. Αυτό απεικονίζεται από τους Robinson και Higton (1995) που αντιπαραβάλλουν τα αποτελέσματα από μια «στατική» ανάλυση εναλλακτικών σχεδίων εργοστασίων με μια προσομοίωση. Στη στατική ανάλυση, η μεταβλητότητα, που οφείλεται σε μεγάλο βαθμό σε βλάβες του εξοπλισμού, υπολογίστηκε κατά μέσο όρο των επιπτώσεών τους στους χρόνους του κύκλου της διαδικασίας. Στην προσομοίωση, η μεταβλητότητα διαμορφώθηκε λεπτομερώς. Ενώ η στατική ανάλυση προέβλεπε ότι κάθε σχέδιο θα έφτανε την απαιτούμενη απόδοση, η προσομοίωση έδειξε ότι κανένα από τα σχέδια δεν ήταν ικανοποιητικό. Είναι ζωτικής σημασίας να λαμβάνεται υπόψη η μεταβλητότητα κατά την προσπάθεια πρόβλεψης της απόδοσης.

- **Περιοριστικές υποθέσεις:** Η προσομοίωση απαιτεί λίγες, αν υπάρχουν, παραδοχές, αν και η επιθυμία για απλοποίηση μοντέλων και έλλειψη δεδομένων σημαίνει ότι γίνονται κανονικά ορισμένες κατάλληλες απλοποιήσεις και παραδοχές. Πολλές άλλες προσεγγίσεις μοντελοποίησης απαιτούν ορισμένες υποθέσεις. Η θεωρία ουράς, για παράδειγμα, προϋποθέτει συγκεκριμένες κατανομές για ώρες άφιξης και υπηρεσίας. Για πολλές διαδικασίες αυτές οι διανομές δεν είναι κατάλληλες. Στην προσομοίωση, μπορεί να επιλεγεί οποιαδήποτε διανομή.

- **Διαφάνεια:** Ένας διευθυντής που αντιμετωπίζει ένα σύνολο μαθηματικών εξισώσεων ή ένα μεγάλο υπολογιστικό φύλλο μπορεί να δυσκολευτεί να κατανοήσει ή να πιστέψει τα αποτελέσματα του μοντέλου. Η προσομοίωση είναι ελκυστική επειδή είναι πιο διαισθητική και μπορεί να δημιουργηθεί μια κινούμενη οθόνη του συστήματος, δίνοντας σε έναν μη ειδικό μεγαλύτερη κατανόηση και εμπιστοσύνη στο μοντέλο.

Φυσικά, υπάρχουν περιπτώσεις όπου μια άλλη προσέγγιση μοντελοποίησης είναι κατάλληλη και **δεν απαιτείται προσομοίωση**. Επειδή η προσομοίωση είναι μια χρονοβόρα προσέγγιση, συνιστάται να χρησιμοποιείται ως μέσο έσχατης λύσης, αντί για την προτιμώμενη επιλογή (Pidd, 2004). Ωστόσο, η προσομοίωση είναι συχνά το μόνο καταφύγιο. Πράγματι, οι έρευνες της πρακτικής μοντελοποίησης δείχνουν ότι η προσομοίωση είναι μια από τις πιο συχνά χρησιμοποιούμενες τεχνικές μοντελοποίησης (Jeffrey and Seaton, 1995; Jahangirian et al., 2010).

### 1.6.3 Μειονεκτήματα προσομοίωσης

Υπάρχουν ορισμένα προβλήματα με τη χρήση προσομοίωσης και αυτά δεν πρέπει να αγνοούνται όταν αποφασίζεται αν είναι κατάλληλη ή όχι.

- **Κόστος:** Το λογισμικό προσομοίωσης δεν είναι απαραίτητα φθινό και το κόστος ανάπτυξης και χρήσης μοντέλων μπορεί να είναι σημαντικό, ειδικά εάν πρέπει να χρησιμοποιηθούν σύμβουλοι.

- **Χρονοβόρα:** Έχει ήδη αναφερθεί ότι η προσομοίωση είναι μια χρονοβόρα προσέγγιση. Αυτό αυξάνει μόνο το κόστος χρήσης του και σημαίνει ότι τα οφέλη δεν είναι άμεσα.

- **Μεγάλος όγκος δεδομένων:** Τα περισσότερα μοντέλα προσομοίωσης απαιτούν σημαντική ποσότητα δεδομένων. Αυτή δεν είναι πάντα άμεσα διαθέσιμη και όπου είναι, μπορεί να απαιτηθεί μεγάλη ανάλυση για να εισαχθούν σε μια μορφή κατάλληλη για την προσομοίωση.

- **Ανάγκη για εξειδίκευση:** Η μοντελοποίηση προσομοίωσης είναι κάτι περισσότερο από την ανάπτυξη ενός προγράμματος υπολογιστή ή τη χρήση ενός πακέτου λογισμικού. Απαιτεί δεξιότητες, μεταξύ άλλων, εννοιολογική μοντελοποίηση, επικύρωση και στατιστικά στοιχεία, καθώς και δεξιότητες στην εργασία με ανθρώπους και τη διαχείριση έργων. Αυτή η τεχνογνωσία δεν είναι πάντα άμεσα διαθέσιμη.

- **Υπερβολική αυτοπεποίθηση:** Υπάρχει κίνδυνος οτιδήποτε παράγεται σε έναν υπολογιστή να φαίνεται σωστό. Με την προσομοίωση αυτό επιδεινώνεται περαιτέρω με τη χρήση κινούμενης οθόνης, δίνοντας μια εμφάνιση της πραγματικότητας. Κατά την ερμηνεία των αποτελεσμάτων από μια προσομοίωση, πρέπει να λαμβάνεται υπόψη η εγκυρότητα του υποκείμενου μοντέλου και οι παραδοχές και οι απλοποιήσεις που έχουν γίνει.

### 1.7 Προσομοίωση: Η προοπτική της Διεύθυνσης

Μεταξύ των πιο επιτακτικών λόγων για τη χρήση προσομοίωσης είναι τα οφέλη που αποκομίζουν οι διευθυντές

**Ενθάρρυνση της δημιουργικότητας:** «Ιδέες που μπορούν να επιφέρουν σημαντικές βελτιώσεις συχνά δεν δοκιμάζονται ποτέ λόγω του φόβου της αποτυχίας ενός υπαλλήλου» (Gogg and Mott, 1992). Με μια προσομοίωση, ωστόσο, οι ιδέες μπορούν να δοκιμαστούν σε ένα περιβάλλον χωρίς κίνδυνο. Αυτό μπορεί να βοηθήσει μόνο στην ενθάρρυνση της δημιουργικότητας στην αντιμετώπιση προβληματικών καταστάσεων.

**Δημιουργία γνώσης και κατανόησης:** Η ανάπτυξη και η χρήση ενός μοντέλου προσομοίωσης αναγκάζει τους ανθρώπους να σκεφτούν θέματα που διαφορετικά δεν θα είχαν ληφθεί υπόψη. Σε πολλές περιπτώσεις, στο τέλος πολλών μηνών μοντελοποίησης προσομοίωσης, έχει παρατηρηθεί ότι όλα τα οφέλη θα μπορούσαν να είχαν αποκτηθεί χωρίς τη χρήση προσομοίωσης, απλώς μελετώντας το πρόβλημα με περισσότερες λεπτομέρειες, καθώς πολλά θέματα δεν θα είχαν εντοπιστεί εάν η προσομοίωση δεν υπήρχε για να ενεργήσει ως καταλύτης. Ο προγραμματιστής αναζητά πληροφορίες, ζητά δεδομένα και υποθέσεις ερωτήσεων, τα οποία οδηγούν σε βελτιωμένη γνώση και κατανόηση του συστήματος που προσομοιώνεται. Ο Shannon (1975) αναγνωρίζει ότι μόνο η ανάπτυξη του μοντέλου, χωρίς την ανάγκη πειραματισμού, μπορεί να δημιουργήσει επαρκή κατανόηση για να επιφέρει την απαραίτητη βελτίωση στο πραγματικό σύστημα. Όπως αναφέρει το παλιό ρητό «ένα πρόβλημα που δηλώνεται είναι ένα πρόβλημα που έχει επιλυθεί κατά το ήμισυ».

**Οπτικοποίηση και επικοινωνία:** Πολλές καλές ιδέες έχουν αγνοηθεί επειδή τα οφέλη δεν μπορούσαν να αποδειχθούν σε έναν ανώτερο διευθυντή. Οι οπτικές προσομοιώσεις αποδεικνύουν ένα ισχυρό εργαλείο επικοινωνίας. Ίσως μια ιδέα να έχει ήδη αποδειχθεί, αλλά θεωρείται απαραίτητο να κατασκευαστεί ένα μοντέλο προσομοίωσης προκειμένου να πείσει τους ανώτερους διευθυντές και τους συναδέλφους για την εγκυρότητά του.

**Συνεναϊτική οικοδόμηση:** Πολλές μελέτες προσομοίωσης διεξάγονται υπό το φως διαφορετικών απόψεων ως προς το μέλλον. Στον τομέα της υγείας, οι κλινικοί γιατροί ενδέχεται να διαφωνούν με τους διαχειριστές για τους πόρους που απαιτούνται. Σε ένα εργοστάσιο, οι διευθυντές και οι εργαζόμενοι ενδέχεται να μην συμφωνούν για τις ώρες εργασίας και τις βάρδιες. Το να κάθονται αντίπαλα μέρη γύρω από ένα μοντέλο προσομοίωσης της προβληματικής κατάστασης μπορεί να είναι ένα ισχυρό μέσο για την ανταλλαγή προβληματισμών και τον έλεγχο ιδεών με σκοπό την απόκτηση απόψεων απόψεων [5].

## 1.8 Μελλοντικές προοπτικές

Η χρήση της προσομοίωσης αυξάνεται και αναμένεται να αυξηθεί ακόμα με πιο γρήγορους ρυθμούς στο άμεσο μέλλον. Η κύρια ώθηση για την ανάπτυξη αυτή είναι δυνατόν να αποδοθεί στους παρακάτω παράγοντες:

- ο Ο βαθμός πολυπλοκότητας των διάφορων συστημάτων που έχει μελετηθεί από τους σύγχρονους σχεδιαστές και αναλυτές, τους απαγορεύει τη χρήση όχι μόνο των κλασσικών αλλά και των μοντέρνων μαθηματικών εργαλείων για την επίλυση τους.

- ο Οι διαρκώς αυξανόμενες δυνατότητες των ηλεκτρονικών υπολογιστών, που προσφέρουν εξαιρετικά υψηλές αποδόσεις επιτρέπουν την προσομοίωση ακόμα και σε συστήματα μεγάλου μεγέθους και πολυπλοκότητας. Το χαμηλό κόστος και οι δυνατότεροι μικροϋπολογιστές επιτρέπουν ακόμα και σε μεσαίου μεγέθους επιχειρήσεις να χρησιμοποιήσουν αυτόνομα την προσομοίωση.

○ Η αυξανόμενη γνώση χειρισμού των ηλεκτρονικών υπολογιστών σε ένα ευρύ λογισμικό πεδίο από τα διευθυντικά στελέχη διάφορων οργανισμών και η διαθεσιμότητα μοντέρνων εργαλείων προσομοίωσης θα οδηγήσουν σε μια αύξηση της χρήσης τους σε διάφορες διαδικασίες λήψης αποφάσεων που στο παρελθόν γίνονταν με μοναδικό γνώμονα την υποκειμενική κρίση.

○ Η ταχεία ανάπτυξη και καινοτομία των πακέτων λογισμικού που αφορούν την προσομοίωση, καθώς και η εμφάνιση μοντέρνων εργαλείων που προσφέρουν σύγχρονη και συγχρόνως φιλικότερη αλληλεπίδραση του χρήστη με το σύστημα δίνουν τη δυνατότητα και σε άτομα που δεν έχουν εξειδικευμένες γνώσεις προγραμματισμού να ασχοληθούν με αυτά.



## ΚΕΦΑΛΑΙΟ 2: ΔΙΑΔΙΚΑΣΙΕΣ ΜΟΝΤΕΛΟΠΟΙΗΣΗΣ ΚΑΙ ΠΡΟΣΟΜΟΙΩΣΗΣ

### 2.1 Η διαδικασία της μελέτης προσομοίωσης

Ένα από τα πιο δύσκολα ζητήματα στη μοντελοποίηση προσομοίωσης είναι ο προσδιορισμός του περιεχομένου του μοντέλου προσομοίωσης. Η δουλειά του προγραμματιστή είναι να κατανοήσει το πραγματικό σύστημα που αποτελεί το αντικείμενο της μελέτης προσομοίωσης και να το μετατρέψει σε κατάλληλο μοντέλο προσομοίωσης. Το επιλεγμένο μοντέλο θα μπορούσε να κυμαίνεται από έναν πολύ απλό διακομιστή και ουρά, έως ένα μοντέλο που προσπαθεί να ενσωματώσει κάθε πτυχή του συστήματος. Στην πραγματικότητα, υπάρχει ένας άπειρος αριθμός μοντέλων που θα μπορούσαν να επιλεγούν εντός αυτού του εύρους, το καθένα με ελαφρώς διαφορετικό περιεχόμενο, οπότε τίθεται το ερώτημα, ποιο μοντέλο πρέπει να επιλεγεί?

Η πιο προφανής απάντηση φαίνεται να είναι η δημιουργία μοντέλου που περιέχει όσο το δυνατόν περισσότερες λεπτομέρειες. Αυτό το μοντέλο θα είναι το πιο κοντινό στο πραγματικό σύστημα και σίγουρα το πιο ακριβές, εντούτοις αυτό ισχύει εάν έχουμε πλήρη γνώση του πραγματικού συστήματος και πολύ μεγάλο χρονικό διάστημα διαθέσιμο για την ανάπτυξη και τη λειτουργία του μοντέλου, αλλά είναι σπάνιο να έχουμε και τα δύο. Το πραγματικό σύστημα σπάνια υπάρχει τη στιγμή της μοντελοποίησης (είναι ένας προτεινόμενος κόσμος) και σχεδόν πάντα μια απόφαση πρέπει να λαμβάνεται σύμφωνα με ένα αυστηρό χρονοδιάγραμμα.

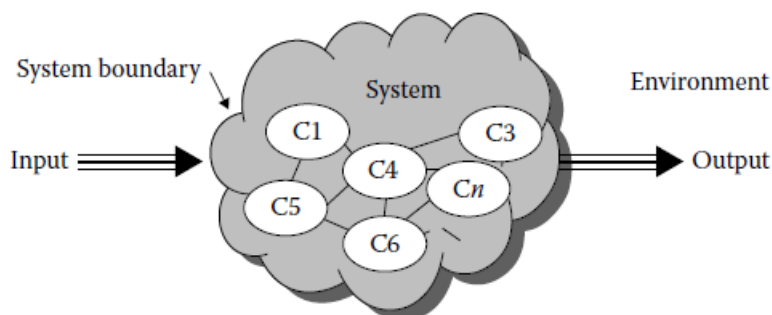
Επομένως, εάν πρέπει να αναπτυχθεί ένα απλούστερο μοντέλο, πρέπει να καθοριστεί το επίπεδο αφαίρεσης στο οποίο πρέπει να εργαστεί. Αυτή η διαδικασία αφαίρεσης ενός μοντέλου από τον πραγματικό κόσμο είναι γνωστή ως εννοιολογική μοντελοποίηση. Η εννοιολογική μοντελοποίηση διερευνάται πρώτα καθορίζοντας τι σημαίνει, δεύτερο συζητώντας τις απαιτήσεις ενός εννοιολογικού μοντέλου και τρίτο λαμβάνοντας υπόψη τα διαφορετικά επίπεδα αφαίρεσης.

Σύμφωνα με το *Διεθνές Λεξικό του Webster*, «Ένα σύστημα είναι μια συγκέντρωση ή συγκέντρωση αντικειμένων που ενώνονται με κάποια μορφή τακτικής αλληλεπίδρασης ή αλληλεξάρτησης. μια ομάδα διαφορετικών μονάδων που συνδυάζονται τόσο από τη φύση ή την τέχνη ώστε να σχηματίζουν ένα ακέραιο, ολόκληρο και να λειτουργεί ή να κινείται ενιαία και συχνά σε υπακοή σε κάποια μορφή ελέγχου... »

Ένα σύστημα ορίζεται ως μια συλλογή οντοτήτων, για παράδειγμα, ανθρώπων ή μηχανών που ενεργούν και αλληλεπιδρούν μαζί προς την επίτευξη κάποιου λογικού σκοπού. Στην πράξη, αυτό που εννοείται από «το σύστημα» εξαρτάται από τους στόχους μιας συγκεκριμένης μελέτης. Η συλλογή οντοτήτων που συνθέτουν ένα σύστημα για μία μελέτη μπορεί να είναι μόνο ένα υποσύνολο ενός άλλου μεγαλύτερου συστήματος. Για παράδειγμα, εάν κάποιος θέλει να μελετήσει ένα τραπεζικό σύστημα για να προσδιορίσει τον αριθμό των χρηστών που απαιτούνται για την παροχή επαρκούς υπηρεσίας σε πελάτες που θέλουν απλώς να εισέλθουν ή να καταθέσουν, το σύστημα μπορεί να οριστεί ως το τμήμα της τράπεζας που αποτελείται από τα ταμεία και οι πελάτες. Επιπλέον, εάν πρέπει να συμπεριληφθεί ο υπεύθυνος δανείου και οι προκαταβολές, τότε ο ορισμός του συστήματος πρέπει να είναι πιο περιεκτικός.

Η κατάσταση ενός συστήματος πρέπει να οριστεί ως ένα σύνολο μεταβλητών απαραίτητων για να περιγράψουν ένα σύστημα σε μια συγκεκριμένη στιγμή του χρόνου σε σχέση με τους στόχους της μελέτης. Σε αυτήν την περίπτωση μελέτης ενός τραπεζικού συστήματος, πιθανές μεταβλητές κατάστασης είναι ο αριθμός των απασχολημένων χρηστών, ο αριθμός των πελατών στην τράπεζα και η γραμμή άφιξης κάθε πελάτη στην τράπεζα. Το θεμελιώδες χαρακτηριστικό της έννοιας του συστήμα-

τος είναι ότι όλη η συγκέντρωση οντοτήτων ενωμένη, έχει μια τακτική αλληλεπίδραση, ως έναν πεπερασμένο αριθμό διεπαφών όπως φαίνεται στο Σχήμα 2.1.



Σχ.2.1 Σύστημα ως συλλογή διασυνδεδεμένων στοιχείων

Λαμβάνοντας υπόψη μια ιεραρχία μεταξύ συστημάτων, ένα σύστημα μπορεί επίσης να εκφραστεί ως συλλογή διαφόρων υποσυστημάτων και το υποσύστημα είναι μια περαιτέρω συλλογή διασυνδεδεμένων στοιχείων. Η συμπεριφορά του συστήματος μπορεί να κατανοηθεί ως συνδυασμένη αλληλοσυνδεόμενη συμπεριφορά συστατικών. Έτσι, ένα μεγάλο σύστημα μπορεί να θεωρηθεί ως συλλογή διαφορετικών διασυνδεδεμένων στοιχείων. Καταλληλότερα, ένα σύστημα μεγάλης κλίμακας μπορεί να προβληθεί στο ανώτατο σημείο της ιεραρχίας και τα συστατικά στο πιο κάτω επίπεδο (επίπεδο ρίζας). Η δύναμη της έννοιας του συστήματος είναι η απόλυτη γενικότητά του, η οποία μπορεί να τονιστεί από τη γενική θεωρία συστημάτων.

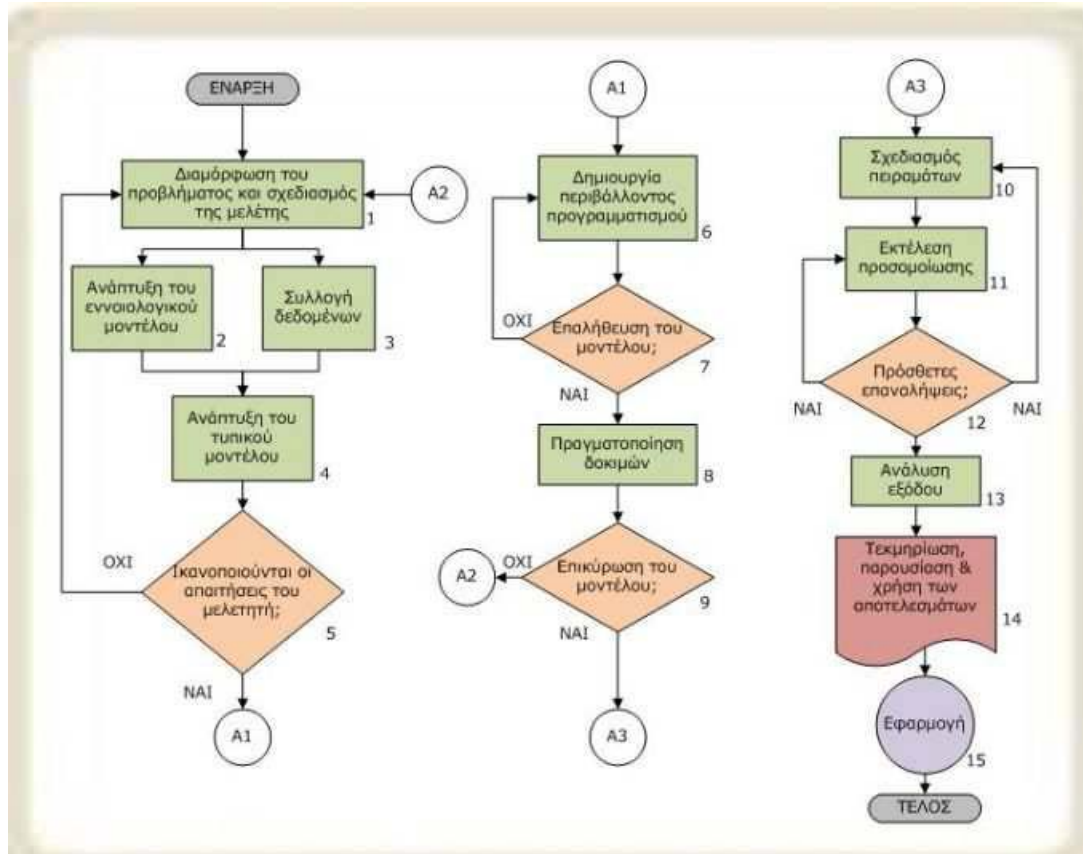
Μερικά παραδείγματα των συστημάτων είναι:

- Εσωτερικά συστήματα
- Ιατρικά / βιολογικά συστήματα
- Κοινωνικοοικονομικά συστήματα
- Συστήματα επικοινωνίας και πληροφοριών
- Συστήματα προγραμματισμού
- Ηλιακό σύστημα
- Περιβαλλοντικά συστήματα
- Συστήματα κατασκευής
- Συστήματα διαχείρισης
- Συστήματα μεταφοράς
- Φυσικά συστήματα - ηλεκτρικά, μηχανικά, θερμικά, υδραυλικά συστήματα και συνδυασμοί αυτών

Ένα σύστημα χαρακτηρίζεται από τα ακόλουθα χαρακτηριστικά:

- Όριο συστήματος
- Στοιχεία συστήματος και αλληλεπιδράσεις τους
- Περιβάλλον [6].



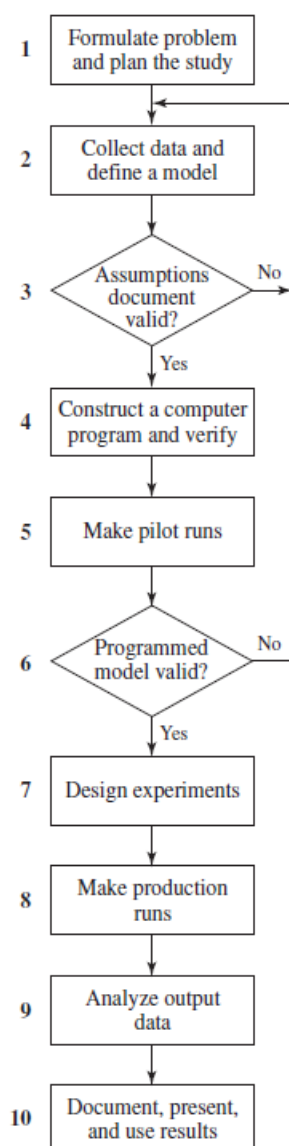


Σχ.2.2 Διαδικασία μελέτης προσομοίωσης, Banks et al, 2005:Law, 2007

Πιο συγκεκριμένα κάθε ένα από τα εικονιζόμενα στάδια περιλαμβάνει τα εξής:

1. Διαμόρφωση του προβλήματος και σχεδιασμός της μελέτης
2. Ανάπτυξη του εννοιολογικού μοντέλου
3. Συλλογή δεδομένων
4. Ανάπτυξη του τυπικού μοντέλου
5. Ικανοποίηση των απαιτήσεων του πελάτη
6. Δημιουργία του περιβάλλοντος προγραμματισμού
7. Επαλήθευση του μοντέλου (verification)
8. Πραγματοποίηση δοκιμών
9. Επικύρωση του μοντέλου (validation)
10. Σχεδιασμός πειραμάτων
11. Εκτέλεση της προσομοίωσης
12. Πρόσθετες επαναλήψεις
13. Ανάλυση εξόδου
14. Τεκμηρίωση, παρουσίαση και χρήση των αποτελεσμάτων

## Βήματα μελέτης προσομοίωσης:



Σχ.2.3 Βήματα σε μελέτη προσομοίωσης

1. Διατύπωση του προβλήματος και σχεδιασμός της μελέτης.
  - α. Το πρόβλημα ενδιαφέροντος αναφέρεται από τον διευθυντή/υπεύθυνο.
    - Το πρόβλημα ενδέχεται να μην αναφέρεται σωστά ή ποσοτικά.
    - Μια επαναληπτική διαδικασία είναι συχνά απαραίτητη.
  - β. Πραγματοποιούνται μία ή περισσότερες αρχικές συναντήσεις για τη μελέτη, με τη συμμετοχή του διαχειριστή του έργου, των αναλυτών προσομοίωσης και των ειδικών σε θέματα (SMEs).

Συζητούνται τα ακόλουθα θέματα:

- Συνολικοί στόχοι της μελέτης
- Συγκεκριμένες ερωτήσεις που πρέπει να απαντηθούν από τη μελέτη (απαιτείται για να αποφασιστεί το επίπεδο των λεπτομέρεια μοντέλου)
- Μέτρα απόδοσης που θα χρησιμοποιηθούν για την αξιολόγηση της αποτελεσματικότητας των διαφόρων ρυθμίσεων του συστήματος
- Πεδίο εφαρμογής του μοντέλου

- Διαμορφώσεις συστήματος προς μοντελοποίηση (απαιτείται για να αποφασιστεί η γενικότητα του προγράμματος προσομοίωσης)
  - Χρονικό πλαίσιο για τη μελέτη και τους απαιτούμενους πόρους
- γ. Επιλογή του λογισμικού για το μοντέλο
2. Συλλογή δεδομένων και ορισμός ενός μοντέλου.
- α. Συλλογή πληροφοριών σχετικά με τη δομή του συστήματος και τις διαδικασίες λειτουργίας.
- Κανένα άτομο ή έγγραφο δεν είναι επαρκές.
  - Ορισμένα άτομα ενδέχεται να έχουν ανακριβείς πληροφορίες - επιβεβαίωση ότι έχουν προσδιοριστεί οι πραγματικοί SMEs.
  - Οι διαδικασίες λειτουργίας ενδέχεται να μην είναι τυποποιημένες.
- β. Συλλογή δεδομένων (εάν είναι δυνατόν) για τον καθορισμό των παραμέτρων μοντέλου και κατανομών πιθανότητας εισαγωγής.
- γ. Περιγραφή των παραπάνω πληροφοριών και δεδομένων σε γραπτό έγγραφο υποθέσεων.
- δ. Συλλογή δεδομένων (εάν είναι δυνατόν) σχετικά με την απόδοση του υπάρχοντος συστήματος (για σκοπούς επικύρωσης στο βήμα 6).
- ε. Η επιλογή του επιπέδου λεπτομέρειας του μοντέλου, που είναι ένα εξώφυλλο, θα πρέπει να εξαρτάται από τα ακόλουθα:
- Στόχοι του έργου
  - Μέτρα απόδοσης
  - Διαθεσιμότητα δεδομένων
  - Προβλήματα αξιοπιστίας
  - Περιορισμοί υπολογιστών
  - Γνώμες των SMEs
  - Περιορισμοί χρόνου και χρήματος
- στ. Δεν πρέπει να υπάρχει επικοινωνία ένα προς έναν μεταξύ κάθε στοιχείου του μοντέλου και του αντίστοιχου στοιχείου του συστήματος.
- ζ. Ξεκίνημα με ένα «απλό» μοντέλο και εξωράιση του όπως απαιτείται. Η μοντελοποίηση κάθε πτυχής του συστήματος σπάνια απαιτείται για τη λήψη αποτελεσματικών αποφάσεων και ενδέχεται να οδηγήσει σε υπερβολικό χρόνο εκτέλεσης, σε χαμένες προθεσμίες ή σε απόκρυψη σημαντικών παραγόντων του συστήματος.
- η. Αλληλεπίδραση με τον διευθυντή (και άλλο βασικό προσωπικό του έργου) σε τακτική βάση.
3. Είναι έγκυρο το έγγραφο παραδοχών;
- Εκτέλεση μιας δομημένης αναλυτικής παρουσίασης του εγγράφου παραδοχών σε ένα κοινό διευθυντών, αναλυτών και SMEs. Αυτό θα:
- Βοηθήσει τη διασφάλιση ότι οι παραδοχές του μοντέλου είναι σωστές και πλήρεις
  - Προωθήσει την αλληλεπίδραση μεταξύ των μελών του έργου
  - Προωθήσει την ιδιοκτησία του μοντέλου
  - Πραγματοποιηθεί προτού ξεκινήσει ο προγραμματισμός, για να αποφευχθεί σημαντικός επαναπρογραμματισμός αργότερα
4. Δημιουργία ενός προγράμματος υπολογιστή και επαλήθευση
- α. Προγραμματισμός του μοντέλου σε γλώσσα προγραμματισμού (π.χ. C, C ++ ή Java) ή σε λογισμικό προσομοίωσης (π.χ. Arena, ExtendSim, Flexsim και ProModel). Τα οφέλη από τη χρήση μιας γλώσσας προγραμματισμού είναι ότι είναι συνήθως γνωστή, προσφέρουν μεγαλύτερο έλεγχο προγράμματος, έχουν χαμηλό κόστος αγοράς και μπορεί να οδηγήσουν σε μικρότερο χρόνο εκτέλεσης μοντέλου. Η

χρήση λογισμικού προσομοίωσης, από την άλλη πλευρά, μειώνει τον χρόνο προγραμματισμού και οδηγεί σε χαμηλότερο κόστος έργου.

β. Επαλήθευση (εντοπισμός σφαλμάτων-debug) του προγράμματος υπολογιστή προσομοίωσης.

5. Εκτέλεση πιλοτικών δοκιμών

Εκτέλεση πιλοτικών δοκιμών για σκοπούς επικύρωσης στο βήμα 6.

6. Είναι έγκυρο το προγραμματισμένο μοντέλο;

α. Εάν υπάρχει ένα υπάρχον σύστημα, τότε συγκρίνονται τα μέτρα απόδοσης για το μοντέλο και το σύστημα (από το βήμα 2), για το υπάρχον σύστημα.

β. Ανεξάρτητα από το εάν υπάρχει υφιστάμενο σύστημα, οι αναλυτές προσομοίωσης και οι SMEs θα πρέπει να επανεξετάσουν τα αποτελέσματα του μοντέλου για ορθότητα.

γ. Χρησιμοποίηση αναλύσεων ευαισθησίας για να προσδιοριστούν ποιες παράγοντες μοντέλου έχουν σημαντική επίδραση στα μέτρα απόδοσης και, συνεπώς, πρέπει να μοντελοποιηθούν προσεκτικά

7. Σχεδίαση πειραμάτων

Καθορισμός των ακόλουθων για κάθε ρύθμιση παραμέτρων ενδιαφέροντος:

- Μήκος κάθε εκτέλεσης προσομοίωσης
- Διάρκεια της περιόδου προθέρμανσης, εάν απαιτείται
- Αριθμός ανεξάρτητων εκτελέσεων προσομοίωσης χρησιμοποιώντας διαφορετικούς τυχαίους αριθμούς - διευκολύνει την κατασκευή χρονικών διαστημάτων εμπιστοσύνης

8. Εκτέλεση δοκιμών παραγωγής

Οι δοκιμές παραγωγής γίνονται για χρήση στο 9ο βήμα

9. Ανάλυση δεδομένων εξόδου

Δύο βασικοί στόχοι για την ανάλυση των δεδομένων εξόδου είναι να:

- Προσδιοριστεί η απόλυτη απόδοση ορισμένων ρυθμίσεων συστήματος.
- Συγκριθούν εναλλακτικές ρυθμίσεις του συστήματος με σχετική έννοια.

10. Έγγραφα, παρουσίαση και χρήση αποτελεσμάτων.

α. Παραδοχές εγγράφων (βλέπε βήμα 2), πρόγραμμα υπολογιστή και αποτελέσματα μελέτης για χρήση στα τρέχοντα και μελλοντικά έργα.

β. Παρουσίαση των αποτελεσμάτων της μελέτης.

- Χρησιμοποίηση animation για την επικοινωνία το μοντέλο σε διαχειριστές και άλλα άτομα που δεν είναι εξοικειωμένα με όλες τις λεπτομέρειες του μοντέλου.

- Συζήτηση της δημιουργίας μοντέλων και της διαδικασίας επικύρωσης για την προώθηση της αξιοπιστίας.

- Τα αποτελέσματα χρησιμοποιούνται στη διαδικασία λήψης αποφάσεων εάν είναι και τα δύο έγκυρα και αξιόπιστα [3].

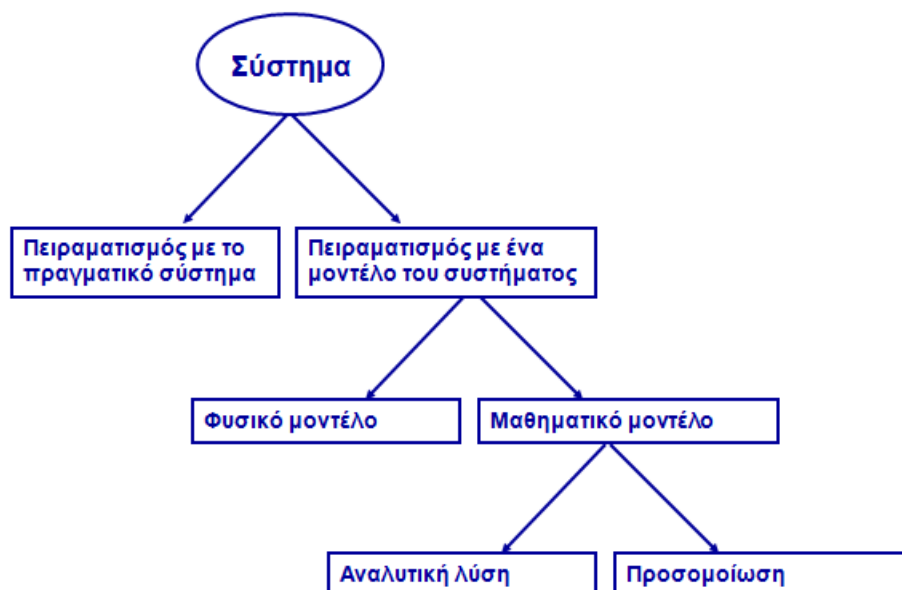
## 2.2 Βασικοί όροι

Συστήματα, μοντέλα και προσομοίωση

Ένα *σύστημα* ορίζεται ως μια συλλογή οντοτήτων, π.χ. ανθρώπων ή μηχανών, που ενεργούν και αλληλεπιδρούν μαζί προς την επίτευξη κάποιου λογικού σκοπού. [Αυτός ο ορισμός προτάθηκε από τους Schmidt και Taylor (1970).] Στην πράξη, αυτό που εννοείται με το «σύστημα» εξαρτάται από τους στόχους μιας συγκεκριμένης μελέτης. Η συλλογή οντοτήτων που περιλαμβάνουν ένα σύστημα για μια μελέτη μπορεί

να είναι μόνο ένα υποσύνολο του συνολικού συστήματος για μια άλλη. Για παράδειγμα, εάν κάποιος θέλει να μελετήσει μια τράπεζα για να προσδιορίσει τον αριθμό των υπαλλήλων που απαιτούνται για την παροχή επαρκούς εξυπηρέτησης σε πελάτες που θέλουν απλώς να εξαργυρώσουν μια επιταγή ή να κάνουν μια αποταμιευτική κατάθεση, το σύστημα μπορεί να οριστεί ως το τμήμα της τράπεζας που αποτελείται των χρηστών και των πελατών που περιμένουν στη σειρά ή εξυπηρετούνται. Αν, από την άλλη πλευρά, πρέπει να συμπεριληφθούν οι υπάλληλοι δανείου και οι θυρίδες ασφαλείας, ο ορισμός του συστήματος πρέπει να επεκταθεί με παρόμοιο τρόπο. [Βλέπε επίσης Fishman (1978, σελ. 3).] Ορίζουμε την κατάσταση ενός συστήματος που είναι η συλλογή των μεταβλητών που είναι απαραίτητες για την περιγραφή ενός συστήματος σε μια συγκεκριμένη στιγμή, σε σχέση με τους στόχους μιας μελέτης. Σε μια μελέτη μιας τράπεζας, παραδείγματα πιθανών μεταβλητών κατάστασης είναι ο αριθμός των απασχολημένων χρηστών, ο αριθμός των πελατών στην τράπεζα και η ώρα άφιξης κάθε πελάτη στην τράπεζα.

Κατηγοριοποιούμε τα συστήματα σε δυο τύπους, *διακριτά* και *συνεχή*. Ένα *διακριτό* σύστημα είναι ένα για το οποίο οι μεταβλητές κατάστασης αλλάζουν ακαριαία σε ξεχωριστά χρονικά σημεία. Η τράπεζα είναι ένα παράδειγμα ενός διακριτού συστήματος, καθώς οι μεταβλητές κατάστασης - π.χ. ο αριθμός των πελατών στην τράπεζα - αλλάζουν μόνο όταν ένας πελάτης φτάνει ή όταν ένας πελάτης ολοκληρώνει την εξυπηρέτηση και αναχωρεί. Ένα *συνεχές* σύστημα είναι αυτό για το οποίο οι μεταβλητές κατάστασης αλλάζουν συνεχώς σε σχέση με το χρόνο. Ένα αεροπλάνο που κινείται μέσω του αέρα είναι ένα παράδειγμα συνεχούς συστήματος, καθώς οι μεταβλητές κατάστασης όπως η θέση και η ταχύτητα μπορούν να αλλάζουν συνεχώς σε σχέση με το χρόνο. Λίγα συστήματα στην πράξη είναι εντελώς διακριτά ή εντελώς συνεχή, αλλά επειδή ένας τύπος αλλαγής υπερισχύει για τα περισσότερα συστήματα, είναι συνήθως δυνατό να ταξινομηθεί ένα σύστημα ως διακριτό ή συνεχές. Σε κάποιο σημείο της ζωής των περισσότερων συστημάτων, υπάρχει ανάγκη να τα μελετήσουν για να προσπαθήσουν να αποκτήσουν κάποια εικόνα για τις σχέσεις μεταξύ διαφόρων συνιστωσών ή για να προβλέψουν την απόδοση υπό ορισμένες νέες συνθήκες που εξετάζονται. Το **παρακάτω σχήμα** απεικονίζει διαφορετικούς τρόπους με τους οποίους ένα σύστημα μπορεί να μελετηθεί [3].



Σχ.2.4 Τρόποι μελέτης συστήματος

## 2.3 Τύποι μοντέλων

### 2.3.1 Ενεργητικά μοντέλα

Τα ενεργητικά μοντέλα που προσπαθούν να αναπαραγάγουν ζωντανή ανατομία ή φυσιολογία είναι πρόσφατες εξελίξεις. Το διάσημο μανεκέν "Harvey" αναπτύχθηκε στο Πανεπιστήμιο του Μαϊάμι και είναι σε θέση να αναδημιουργήσει πολλά από τα φυσικά ευρήματα της καρδιολογικής εξέτασης, όπως ψηλάφηση, ακρόαση και ηλεκτροκαρδιογραφία.

### 2.3.2 Διαδραστικά μοντέλα

Πρόσφατα αναπτύχθηκαν διαδραστικά μοντέλα που ανταποκρίνονται σε ενέργειες που έγιναν από μαθητή ή γιατρό. Μέχρι πρόσφατα, αυτές οι προσομοιώσεις ήταν δισδιάστατα προγράμματα υπολογιστών που λειτουργούσαν περισσότερο σαν βιβλίο από έναν ασθενή. Οι προσομοιώσεις υπολογιστών έχουν το πλεονέκτημα ότι επιτρέπουν σε έναν μαθητή να κάνει κρίσεις και επίσης να κάνει λάθη. Η διαδικασία της επαναληπτικής μάθησης μέσω αξιολόγησης, λήψης αποφάσεων και διόρθωσης σφαλμάτων δημιουργεί ένα πολύ ισχυρότερο μαθησιακό περιβάλλον από την παθητική διδασκαλία.

### 2.3.3 Προσομοιωτές υπολογιστών

Οι προσομοιωτές έχουν προταθεί ως ένα ιδανικό εργαλείο για την αξιολόγηση των μαθητών για κλινικές δεξιότητες. Για τους ασθενείς, η «κυβερνοθεραπεία» μπορεί να χρησιμοποιηθεί για συνεδρίες προσομοίωσης τραυματικών εμπειριών, από φόβο ύψους έως κοινωνικό άγχος.

Προγραμματισμένοι ασθενείς και προσομοιωμένες κλινικές καταστάσεις, συμπεριλαμβανομένων ψευδών ασκήσεων καταστροφών, έχουν χρησιμοποιηθεί εκτενώς για εκπαίδευση και αξιολόγηση. Αυτές οι «ζωντανές» προσομοιώσεις είναι ακριβές και δεν έχουν δυνατότητα αναπαραγωγής. Ένας πλήρως λειτουργικός προσομοιωτής «3Di» θα ήταν το πιο ειδικό εργαλείο που είναι διαθέσιμο για τη διδασκαλία και τη μέτρηση των κλινικών δεξιοτήτων. Οι πλατφόρμες τυχερών παιχνιδιών έχουν εφαρμοστεί για τη δημιουργία αυτών των εικονικών ιατρικών περιβαλλόντων για τη δημιουργία μιας διαδραστικής μεθόδου για τη μάθηση και την εφαρμογή των πληροφοριών σε ένα κλινικό πλαίσιο.

Οι προσομοιώσεις καταθλιπτικής κατάστασης της νόσου επιτρέπουν σε γιατρό να βιώσουν την αίσθηση της αναστάτωσης. Η χρήση αισθητήρων και μορφοτροπέων μπορεί να μεταδοθεί συμπτωματικά αποτελέσματα σε έναν συμμετέχοντα, επιτρέποντάς τους να βιώσουν την κατάσταση της ασθένειας των ασθενών.

Ένας τέτοιος προσομοιωτής πληροί τους στόχους μιας αντικειμενικής και τυποποιημένης εξέτασης για κλινική ικανότητα. Αυτό το σύστημα είναι ανώτερο από τις εξετάσεις που χρησιμοποιούν "τυποποιημένους ασθενείς" επειδή επιτρέπει την ποσοτική μέτρηση της ικανότητας, καθώς και την αναπαραγωγή των ίδιων αντικειμενικών ευρημάτων.

## Προσομοίωση και κατασκευή

Η κατασκευή αντιπροσωπεύει μία από τις πιο σημαντικές εφαρμογές προσομοίωσης. Αυτή η τεχνική αντιπροσωπεύει ένα πολύτιμο εργαλείο που χρησιμοποιείται από τους μηχανικούς κατά την αξιολόγηση της επίδρασης της επένδυσης κεφαλαίου σε εξοπλισμό και φυσικές εγκαταστάσεις, όπως εργοστάσια εργοστασίων, σπίτια και κέντρα διανομής. Η προσομοίωση μπορεί να χρησιμοποιηθεί για την πρόβλεψη της απόδοσης ενός υπάρχοντος ή προγραμματισμένου συστήματος και για τη σύγκριση εναλλακτικών λύσεων για ένα συγκεκριμένο πρόβλημα σχεδιασμού.

Ένας άλλος σημαντικός στόχος της προσομοίωσης στα συστήματα κατασκευής είναι να ποσοτικοποιηθεί η απόδοση του συστήματος. Τα κοινά μέτρα απόδοσης του συστήματος περιλαμβάνουν τα ακόλουθα:

- Διαδρομή κάτω από τα μέσα και μέγιστα φορτία.
- Χρόνος κύκλου συστήματος (πόσο καιρό χρειάζεται για την παραγωγή ενός μέρους).
- Αξιοποίηση πόρων, εργασίας και μηχανών.
- Σημεία συμφόρησης και σημεία πνιγμού.
- Ουρά σε θέσεις εργασίας.
- Ουρά και καθυστερήσεις που προκαλούνται από συσκευές και συστήματα χειρισμού υλικών.
- Αποθήκευση αναγκών αποθήκευσης εργασιών εν εξελίξει
- Απαιτήσεις στελέχωσης
- Αποτελεσματικότητα των συστημάτων προγραμματισμού.
- Αποτελεσματικότητα των συστημάτων ελέγχου [1].

(9)

### 2.4 Ταξινόμηση συστημάτων

Τα συστήματα μπορούν να ταξινομηθούν με βάση το χρονικό πλαίσιο, τον τύπο των μετρήσεων που λαμβάνονται, τον τύπο αλληλεπιδράσεις, φύση, τύπος συστατικών κ.λπ

#### Σύμφωνα με το χρονικό πλαίσιο

Τα συστήματα μπορούν να κατηγοριοποιηθούν με βάση το χρονικό πλαίσιο ως:

- Διακεκριμένα
- Συνεχή
- Υβριδικά

Ένα *διακριτό* σύστημα είναι ένα σύστημα στο οποίο οι μεταβλητές κατάστασης αλλάζουν ακαριαία σε ξεχωριστά χρονικά σημεία, για παράδειγμα, συστήματα ουράς (τράπεζα, τηλεφωνικό δίκτυο, φανάρια, βλάβες μηχανών), παιχνίδια καρτών και αγώνες κρίκετ. Σε ένα *τραπεζικό* σύστημα, οι μεταβλητές κατάστασης είναι ο αριθμός των πελατών στην τράπεζα, των οποίων η αξία αλλάζει μόνο όταν ένας πελάτης φτάνει ή όταν ένας πελάτης ολοκληρώσει την εξυπηρέτηση και αναχωρεί.

Ένα *συνεχές* σύστημα είναι ένα σύστημα στο οποίο οι μεταβλητές κατάστασης αλλάζουν συνεχώς σε σχέση με το χρόνο, για παράδειγμα, το ηλιακό σύστημα, η εξάπλωση των ρύπων, η φόρτιση μιας μπαταρίας. Ένα αεροπλάνο που κινείται μέσω του αέρα είναι ένα παράδειγμα συνεχούς συστήματος, καθώς οι μεταβλητές κατάστασης

όπως η θέση και η ταχύτητα μπορούν να αλλάζουν συνεχώς σε σχέση με το χρόνο. Λίγα συστήματα στην πράξη είναι εντελώς διακριτά ή εντελώς συνεχή, αλλά επειδή ένας τύπος αλλαγής υπερισχύει για τα περισσότερα συστήματα, συνήθως θα είναι δυνατό να ταξινομηθεί ένα σύστημα ως διακριτό ή συνεχές.

Ένα υβριδικό σύστημα είναι ένας συνδυασμός συνεχούς και διακριτής συμπεριφοράς δυναμικού συστήματος. Ένα υβριδικό σύστημα έχει το πλεονέκτημα ότι περιλαμβάνει μια μεγαλύτερη κατηγορία συστημάτων εντός της δομής του, επιτρέποντας μεγαλύτερη ευελιξία στη μοντελοποίηση συνεχών και διακριτών δυναμικών φαινομένων, για παράδειγμα, κυκλοφορίας κατά μήκος ενός δρόμου με φανάρια.

### Σύμφωνα με την πολυπλοκότητα του συστήματος

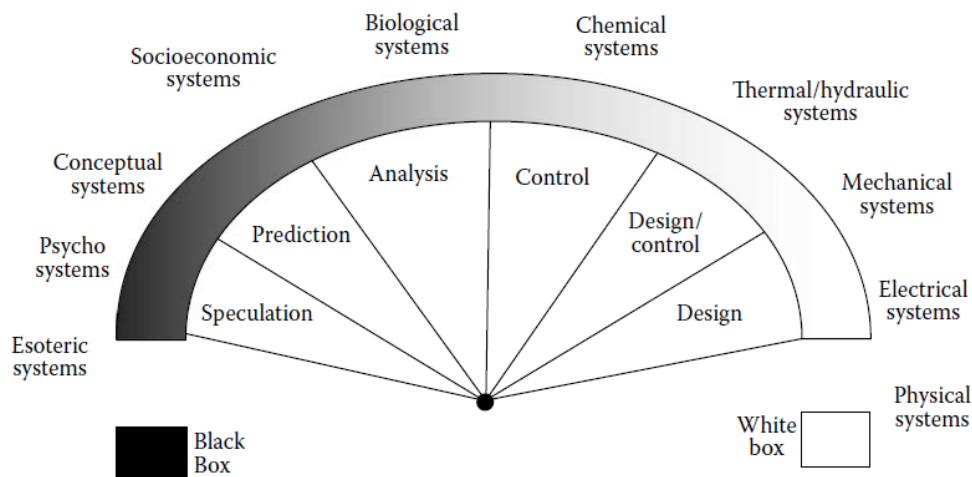
Τα συστήματα μπορούν να ταξινομηθούν βάσει της πολυπλοκότητας, όπως παρακάτω: φαίνεται στο Σχήμα 2.5.

- Φυσικά συστήματα
- Εννοιολογικά συστήματα
- Εσωτερικά συστήματα

Τα φυσικά συστήματα μπορούν να οριστούν ως συστήματα των οποίων οι μεταβλητές μπορούν να μετρηθούν με φυσικές συσκευές που είναι ποσοτικές όπως ηλεκτρικά συστήματα, μηχανικά συστήματα, συστήματα υπολογιστών, υδραυλικά συστήματα, θερμικά συστήματα ή συνδυασμός αυτών των συστημάτων. Το φυσικό σύστημα είναι μια συλλογή συστατικών, στα οποία κάθε στοιχείο έχει τη δική του συμπεριφορά, που χρησιμοποιείται για κάποιο σκοπό. Αυτά τα συστήματα είναι σχετικά λιγότερο περίπλοκα. Μερικά από τα φυσικά συστήματα φαίνονται στο Σχήμα 2.6α και β.

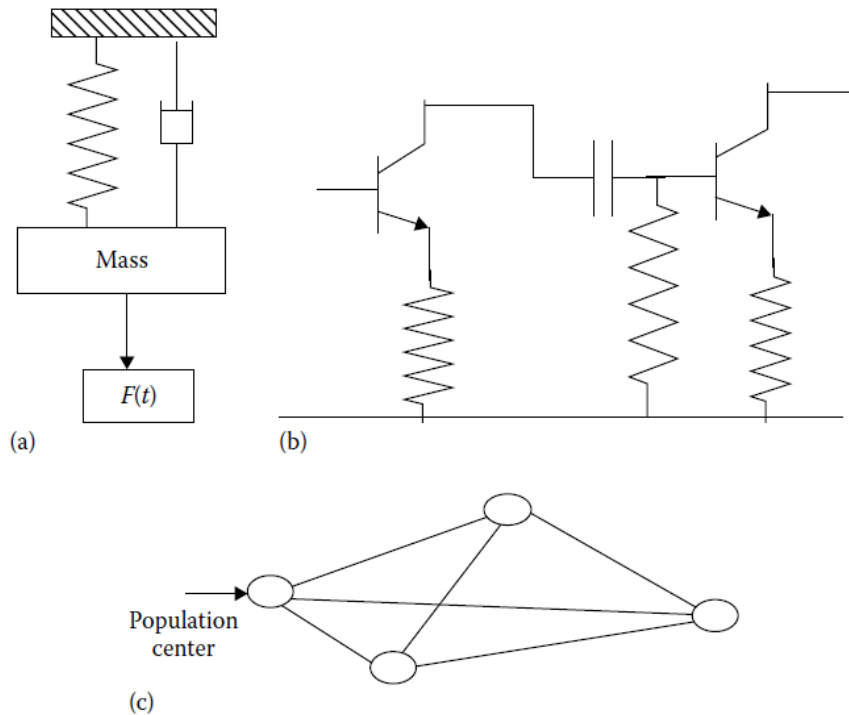
Τα εννοιολογικά συστήματα είναι εκείνα τα συστήματα στα οποία όλες οι μετρήσεις είναι εννοιολογικές ή φανταστικές και σε ποιοτική μορφή όπως στα ψυχολογικά συστήματα, τα κοινωνικά συστήματα, τα συστήματα υγειονομικής περίθαλψης και τα οικονομικά συστήματα. Το Σχήμα 2.6c δείχνει το σύστημα μεταφοράς. Εννοιολογικά συστήματα είναι εκείνα τα συστήματα στα οποία η ποσότητα ενδιαφέροντος δεν μπορεί να μετρηθεί απευθείας με φυσικές συσκευές. Αυτά είναι πολύπλοκα συστήματα.

Τα εσωτερικά συστήματα είναι τα συστήματα στα οποία οι μετρήσεις δεν είναι δυνατές με φυσικές συσκευές μέτρησης. Η πολυπλοκότητα αυτών των συστημάτων είναι υψηλότερης τάξης.



Σχ.2.5 Ταξινόμηση των συστημάτων βάσει της πολυπλοκότητας





**Σχ.2.6** Διάφοροι τύποι συστημάτων (α) Μηχανικό σύστημα (β) Ηλεκτρονικό κύκλωμα (γ) Σύστημα μεταφορών

### Σύμφωνα με τις αλληλεπιδράσεις

Οι αλληλεπιδράσεις μπορεί να είναι μονοκατευθυντικές ή αμφίδρομες, τραγανές ή ασαφείς, στατικές ή δυναμικές κ.λπ.

Η ταξινόμηση των συστημάτων εξαρτάται επίσης από το βαθμό διασύνδεσης των συμβάντων από κανένα στο σύνολο. Τα συστήματα θα χωριστούν σε τρεις κατηγορίες ανάλογα με το βαθμό διασύνδεσης των γεγονότων.

1. *Ανεξάρτητο* - Εάν τα γεγονότα δεν επηρεάζουν το ένα το άλλο, τότε το σύστημα ταξινομείται ως ανεξάρτητο.
2. *Κλιμακωτό* - Εάν τα αποτελέσματα των συμβάντων είναι μονομερή (δηλαδή, το μέρος A επηρεάζει το μέρος B, το B επηρεάζει το C, το C επηρεάζει το D και όχι το αντίστροφο), το σύστημα ταξινομείται ως κλιμακωτό.
3. *Σε συνδυασμό* - Εάν τα συμβάντα αλληλοεπηρεάζονται, το σύστημα ταξινομείται ως συνδεδεμένο.

### Σύμφωνα με τη φύση και τον τύπο των συστατικών

1. Στατικά ή δυναμικά στοιχεία
2. Γραμμικά ή μη γραμμικά στοιχεία
3. Αμετάβλητα στοιχεία ή παραλλαγές χρόνου
4. Ντετερμινιστικά ή στοχαστικά συστατικά
5. Συγκεντρωμένο παραμετρικό στοιχείο ή κατανεμημένο παραμετρικό στοιχείο
6. Συστήματα συνεχούς και διακριτού χρόνου

### Σύμφωνα με τις αβεβαιότητες που περιλαμβάνονται

1. *Ντετερμινιστικό* - Χωρίς αβεβαιότητα σε καμία μεταβλητή, για παράδειγμα, μοντέλο εκκρεμούς.
2. *Στοχαστικό* - Ορισμένες μεταβλητές είναι τυχαίες, για παράδειγμα, αεροπλάνο σε πτήση με τυχαίες ριπές ανέμου, μονάδα επεξεργασίας ορυκτών με μεταλ-

λεύματα τυχαίου βαθμού και τηλεφωνικό δίκτυο με τυχαίους χρόνους άφιξης και διάρκεια κλήσεων.

3. *Ασαφή συστήματα* - Οι μεταβλητές σε τέτοιου είδους συστήματα είναι ασαφείς στη φύση. Οι ασαφείς μεταβλητές ποσοτικοποιούνται με γλωσσικούς όρους.

### **Στατικά έναντι δυναμικών συστημάτων**

Κανονικά, η έξοδος του συστήματος εξαρτάται από τις προηγούμενες εισόδους και τις καταστάσεις του συστήματος. Ωστόσο, υπάρχουν ορισμένα συστήματα των οποίων η έξοδος δεν εξαρτάται από τις προηγούμενες εισόδους που ονομάζονται στατικά ή συστήματα χωρίς μνήμη. Από την άλλη πλευρά, εάν η έξοδος του συστήματος εξαρτάται από τις προηγούμενες εισόδους και τις προηγούμενες καταστάσεις του συστήματος που ουσιαστικά υπονοούσαν ότι το σύστημα έχει ορισμένα στοιχεία μνήμης, ονομάζεται δυναμικό σύστημα. Για παράδειγμα, εάν ένα ηλεκτρικό σύστημα περιέχει στοιχεία επαγωγέα ή πυκνωτή, τα οποία έχουν κάποια πεπερασμένη μνήμη, λόγω των οποίων η απόκριση του συστήματος ανά πάσα στιγμή καθορίζεται από τις τρέχουσες και τις προηγούμενες εισόδους τους.

### **Γραμμικά έναντι μη γραμμικών συστημάτων**

Η μελέτη των γραμμικών συστημάτων είναι σημαντική για δύο λόγους:

1. Η πλειονότητα των τεχνικών καταστάσεων είναι γραμμική τουλάχιστον εντός καθορισμένου εύρους.
2. Ακριβείς λύσεις συμπεριφοράς γραμμικών συστημάτων μπορούν συνήθως να βρεθούν με τυπικές τεχνικές [6].

## **2.5 Η έννοια του μοντέλου**

### **2.5.1 Κατηγοριοποίηση μοντέλων προσομοίωσης**

Το μοντέλο μπορεί να οριστεί ως μια εξιδανίκευση και απλοποίηση ενός συστήματος του πραγματικού κόσμου που παράγεται με επιλεκτική αφαίρεση και πιθανά μπορεί να εμφανίσει συμπεριφορά ανάλογη με μέρος της συμπεριφοράς του αρχικού συστήματος.

Ένα μοντέλο μπορεί να παρέχει πληροφορίες για τη δομή και τη συμπεριφορά ενός συστήματος χωρίς να είναι απαραίτητη η αλληλεπίδραση με το ίδιο το σύστημα.

Τα μοντέλα προσομοίωσης ταξινομούνται στις παρακάτω κατηγορίες:

- Στατικά ή Δυναμικά
- Ντετερμινιστικά ή Στοχαστικά
- Συνεχή ή Διακριτά
- Γραμμικά ή Μη-Γραμμικά
- Ανοικτά ή Κλειστά

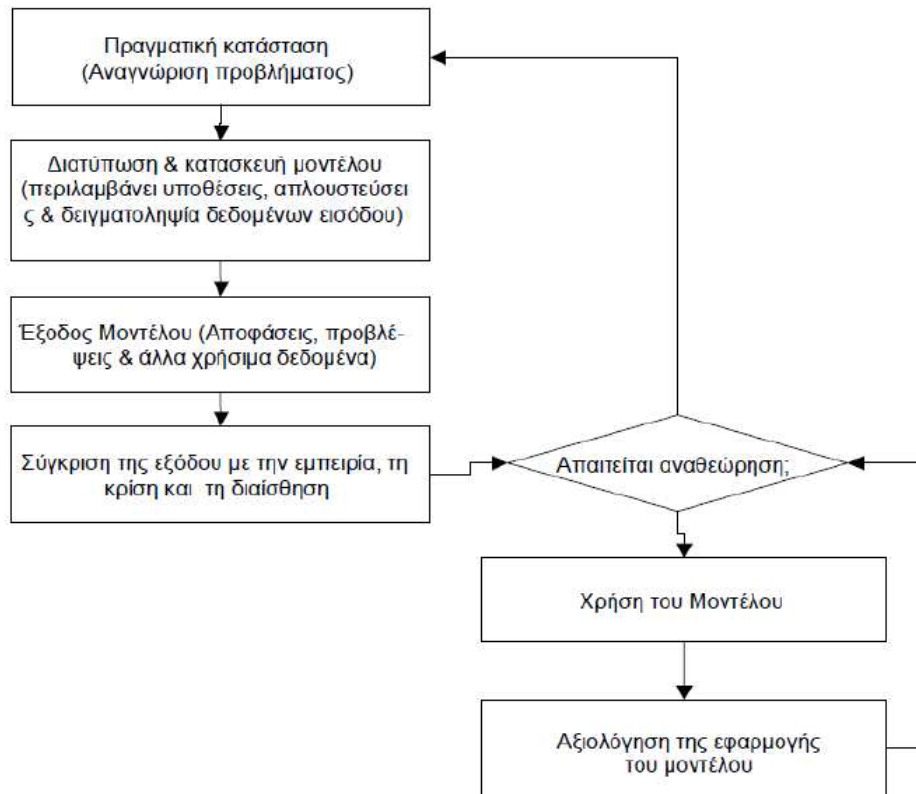
Επιπρόσθετα μπορεί να γίνει και διαχωρισμός ανάλογα με εύρος της εφαρμογής τους, τον τρόπο μοντελοποίησης και τα χαρακτηριστικά του συστήματος Η/Υ πάνω στο οποίο εκτελείται. Έτσι έχουμε:

- Μοντέλα γενικού / ειδικού σκοπού
- Αντικειμενοστρεφή μοντέλα προσομοίωσης
- Παράλληλη / κατανεμημένη προσομοίωση

### **2.5.2 Η διαδικασία της μοντελοποίησης**

Η διαδικασία της μοντελοποίησης χαρακτηρίζεται ως *επαναληπτική* και *προσαρμοστική*. Η προσαρμογή των μοντέλων προκύπτει από την αξιολόγηση τους όσο

αφορά στην *ερμηνευτική τους ισχύ* και την *προβλεπτική τους ικανότητα*.. Στο σχήμα που ακολουθεί παρουσιάζεται σε γενικές γραμμές η διαδικασία της μοντελοποίησης.



**Σχ.2.7** Διαδικασία μοντελοποίησης [Φεσάκης, Δημητρακοπούλου, Καλαβάσης,2001]

### 2.5.3 Κατασκευή του μοντέλου

Η κατασκευή του μοντέλου είναι η πρώτη βασική δραστηριότητα της μελέτης προσομοίωσης, λαμβάνοντας υπόψη το σύστημα υπό διερεύνηση και το σκοπό της ανάπτυξης της προσομοίωσης.

Για την επίτευξη του σκοπού πρέπει να λάβουμε υπόψη ότι το μοντέλο δεν χρειάζεται να είναι μια πιστή αναπαράσταση του πραγματικού συστήματος, να μην εμπεριέχει πολλές και ασήμαντες λεπτομέρειες και να χρησιμοποιούμε όσο το δυνατόν πραγματικά στοιχεία παρά να κάνουμε προβλέψεις που μπορεί να είναι εν γένει αβάσιμες.

Η κωδικοποίηση του μοντέλου είναι η δεύτερη βασική δραστηριότητα σε μια μελέτη προσομοίωσης. Περιλαμβάνει τη μετατροπή του εννοιολογικού μοντέλου σε υπολογιστή μοντέλο. Η κωδικοποίηση ερμηνεύεται με μια πολύ γενική έννοια, που σημαίνει την είσοδο πληροφοριών σε έναν υπολογιστή αντί να αναφέρεται αυστηρά στη χρήση των κατασκευών προγραμματισμού. Αν και το μοντέλο μπορεί να αναπτυχθεί χρησιμοποιώντας ένα υπολογιστικό φύλλο ή γλώσσα προγραμματισμού, η υπόθεση είναι ότι η πιο πιθανή προσέγγιση είναι η χρησιμοποίηση ενός πακέτου λογισμικού προσομοίωσης. Παρά την εστίαση στο λογισμικό προσομοίωσης, οι αρχές που περιγράφονται παρακάτω σχετίζονται γενικά με οποιοδήποτε από αυτά τους τύπους λογισμικού.

Πριν να γραφτεί μια γραμμή κώδικα στο λογισμικό προσομοίωσης, αξίζει να αφιερωθεί χρόνος μακριά από τον υπολογιστή καθορίζοντας τη σχεδίαση του μοντέ-

λου στο επιλεγμένο λογισμικό. Η άμεση εκκίνηση συγγραφής κώδικα χωρίς να έχει σχεδιαστεί το μοντέλο μπορεί εύκολα να οδηγήσει σε κώδικα που είναι αναποτελεσματικός ή πρέπει να διαγραφεί και να ξαναγραφεί επειδή είναι ακατάλληλος. Στη χειρότερη περίπτωση, ενδέχεται να χρειαστεί επανεκκίνηση ενός πλήρους μοντέλου, ή τουλάχιστον μιας ενότητας ενός μοντέλου, επειδή ο κώδικας δεν είναι καλά σχεδιασμένος. Παρόλο που χρειάζεται χρόνος για το σχεδιασμό του μοντέλου πριν από την εισαγωγή του κωδικού, εξοικονομείται συχνά χρόνος, επειδή αποφεύγονται πολλά σφάλματα και αναποτελεσματικότητες.

Δεδομένου ότι το εννοιολογικό μοντέλο είναι μια μη-ειδική περιγραφή του μοντέλου προσομοίωσης, έτσι ο σχεδιασμός του μοντέλου είναι μια συγκεκριμένη περιγραφή λογισμικού. Αυτό είναι το σημείο στο οποίο ο προγραμματιστής εξετάζει πώς μπορεί να εφαρμοστεί το εννοιολογικό μοντέλο στο συγκεκριμένο λογισμικό που πρόκειται να χρησιμοποιηθεί για τη μελέτη προσομοίωσης. Για πρώτη φορά, ο προγραμματιστής αρχίζει να σκέφτεται για τις κατασκευές του λογισμικού προσομοίωσης και πώς σχετίζονται με το πρόβλημα που αντιμετωπίζεται.

Κατά τη δημιουργία του σχεδιασμού μοντέλου, ο σχεδιαστής πρέπει να έχει τέσσερις στόχους στο μυαλό:

- Ταχύτητα κωδικοποίησης: η ταχύτητα με την οποία μπορεί να γραφτεί ο κώδικας
- Διαφάνεια: η ευκολία με την οποία μπορεί να γίνει κατανοητός ο κώδικας
- Ευελιξία: η ευκολία με την οποία μπορεί να αλλάξει ο κωδικός
- Ταχύτητα λειτουργίας: η ταχύτητα με την οποία θα εκτελεστεί ο κώδικας

Αυτά δεν είναι αμοιβαία αποκλειστικά, για παράδειγμα, για να ενισχυθεί η διαφάνεια, ίσως χρειαστεί να χρησιμοποιηθεί μια πιο εκτεταμένη μορφή κώδικα. Ο προγραμματιστής θα πρέπει επίσης να έχει κατά νου τους γενικούς στόχους του έργου, δηλαδή το επίπεδο οπτικής προβολής που απαιτείται και την εισαγωγή δεδομένων, την προβολή αποτελεσμάτων και τις διαδραστικές δυνατότητες που απαιτούνται. Όλα αυτά, ιδιαίτερα η οπτική οθόνη, μπορεί να επηρεάσουν το σχεδιασμό του μοντέλου. Μια πιο περίπλοκη οπτική οθόνη απαιτεί συχνά πρόσθετα στοιχεία και λογική.

Κατά την ανάπτυξη του ίδιου του μοντέλου υπολογιστή, ο προγραμματιστής πρέπει να προσέξει σε τρεις σημαντικές δραστηριότητες:

1. Κωδικοποίηση: ανάπτυξη του κώδικα στο λογισμικό προσομοίωσης
2. Δοκιμή: επαλήθευση και επιβεβαίωση του μοντέλου
3. Τεκμηρίωση: καταγραφή των λεπτομερειών του μοντέλου [5].

#### 2.5.4 Η σχέση των H/Y με τη μοντελοποίηση

Οι H/Y κατέχουν κεντρική θέση στη διαδικασία της μοντελοποίησης. Τα μοντέλα σε H/Y πλεονεκτούν έναντι των απλών μοντέλων για τους εξής λόγους:

- Μπορούν να περιλαμβάνουν μεγάλο αριθμό αντικειμένων-μεταβλητών και να αφορούν μεγάλο αριθμό γεγονότων-μαθηματικών πράξεων μεγάλης ακρίβειας.
- Με τα λογισμικά μοντέλα οι επιστήμονες μπορούν να εργασθούν σε κλίμακες χρόνου πολύ διαφορετικές από τις συνήθεις ανθρώπινες και να πειραματισθούν με συστήματα που η φυσική αλληλεπίδραση και μελέτη τους δεν είναι εφικτή λόγω ειδικών συνθηκών ασφαλείας ή/και κόστους.
- Καθιστούν εφαρμόσιμες νέες αναπαραστάσεις και επιτρέπουν τη δημιουργία αποδοτικών μοντέλων με τη χρήση πολύπλοκων δομών δεδομένων και μοντέλων υπολογισμού.

### 2.5.5 Κριτήρια αξιολόγησης των μοντέλων

Για ένα υπό εξέταση σύστημα μπορούν να παραχθούν πολλά και διαφορετικά μοντέλα τα οποία βγάζουν τα επιθυμητά αποτελέσματα, εντούτοις πρέπει να επιλεγεί αυτό το οποίο θα μας δώσει τη βέλτιστη λύση και ως αποτέλεσμα και ως χρησιμότητα.

Ένα καλό και χρηστικό μοντέλο θα πρέπει να διευκολύνει το χρήστη του στη επικοινωνία με αυτό, να είναι όσο το δυνατόν πιστή αναπαράσταση η οποία αποσκοπεί στην κατανόηση των λειτουργιών του και εξάγει αξιόπιστα και κατανοητά αποτελέσματα. Επιπρόσθετα, θα πρέπει να υπάρχει η δυνατότητα προσαρμοστικότητας του όπου αυτό είναι αναγκαίο, ώστε από μια απλή μορφή να καταλήγουμε σε μια πιο σύνθετη αλλά ταυτόχρονα λειτουργική.

Για αυτό το σκοπό, τα μοντέλα αξιολογούνται βάσει των παρακάτω κριτηρίων:

- *της ερμηνευτική τους ισχύ:* Δυνατότητα απάντησης σε ερωτήσεις της μορφής: **«Υπό ποιες συνθήκες μπορεί το σύστημα να παράγει μια δεδομένη συμπεριφορά;»**
- *την προβλεπτική τους ικανότητα:* Δυνατότητα απάντησης σε ερωτήσεις της μορφής: **«Τι θα γίνει αν...;»** Με αυτού του τύπου τις ερωτήσεις θέτουμε τις τιμές των παραμέτρων, τις μεταβάλλουμε κατά βούληση και παρατηρούμε τη μελλοντική συμπεριφορά του συστήματος. Μπορούμε επιπρόσθετα να εισάγουμε καινούργιες παραμέτρους ώστε να εκτιμήσουμε τα αποτελέσματα και τις επιδράσεις τους στο υπό εξέταση σύστημα.
- *το κόστος τους:* Το κόστος του συστήματος είναι μια παράμετρος που πρέπει να ληφθεί υπόψη, καθώς τα περισσότερα λογισμικά μοντελοποίησης έχουν υπολογίσιμο κόστος ανάλογα της υπολογιστικής τους πολυπλοκότητας και της φιλικότητας τους ως προς το χρήστη.

## ΚΕΦΑΛΑΙΟ 3: ΕΡΓΑΛΕΙΑ ΠΡΟΣΟΜΟΙΩΣΗΣ

### 3.1 Γλώσσες προσομοίωσης

Τα μοντέλα προσομοίωσης μπορούν να αναπτυχθούν χρησιμοποιώντας γλώσσες προγραμματισμού γενικού σκοπού όπως η Visual Basic, C # και Java. Η χρήση γλωσσών δίνει στον προγραμματιστή μεγάλη ευελιξία στο σχεδιασμό του μοντέλου. Μπορεί να είναι χρονοβόρα, ωστόσο, δεδομένου ότι ο προγραμματιστής πρέπει να αναπτύξει τις δυνατότητες προσομοίωσης από το μηδέν.

Οι περισσότερες σύγχρονες γλώσσες προγραμματισμού υποστηρίζουν αντικειμενοστρεφείς προσεγγίσεις που μπορεί να είναι επωφελείς για τη μοντελοποίηση προσομοίωσης (Pidd, 1992). Η Java είναι ιδιαίτερα χρήσιμη για την ανάπτυξη προσομοιώσεων που θα εκτελούνται σε όλο τον παγκόσμιο ιστό.

### 3.2 Γλώσσες Προσομοίωσης - Βιβλιοθήκες λογισμικού

Μερικές ενδεικτικές γλώσσες προσομοίωσης είναι οι:

- GPSS
- SIMSCRIPT II.5
- PARSEC
- SimPy
- Simula

Αντίστοιχα, αναφέροντα ενδεικτικά βιβλιοθήκες λογισμικού:

- C++SIM
- JavaSim
- SSS
- SimJava
- SimPack
- DESMO-J

### 3.3 Λογισμικά προσομοίωσης γενικού σκοπού

Πολλά πακέτα εξειδικευμένων προγραμμάτων προσομοίωσης είναι διαθέσιμα. Ο Law (2007) προσδιορίζει δύο ευρεία είδη ειδικών πακέτων προσομοίωσης. Προσομοίωση γενικού σκοπού, όπου τα πακέτα προορίζονται για χρήση σε ένα ευρύ φάσμα εφαρμογών, αν και αυτά μπορεί να έχουν ειδικά χαρακτηριστικά για ορισμένες εφαρμογές. Πακέτα προσομοίωσης προσανατολισμένης εφαρμογής που εστιάζονται σε συγκεκριμένες εφαρμογές, για παράδειγμα, ιατρικά, προγραμματισμός παραγωγής ή τηλεφωνικά κέντρα. Ένα πιο εστιασμένο πακέτο τείνει να είναι ευκολότερο για χρήση, πιθανότατα να απαιτεί μόνο την καταχώριση σχετικών δεδομένων, αλλά προφανώς έχει πολύ μικρότερο εύρος εφαρμογών.

Η πλειονότητα αυτών των ειδικών πακέτων θα μπορούσε να περιγραφεί ως οπτικά διαδραστικά συστήματα μοντελοποίησης (Visual Interactive Modeling Systems-VIMS) (Pidd, 2004). Το VIMS επιτρέπει την κατασκευή προσομοίωσης καθώς και τη λειτουργία με οπτικό και διαδραστικό τρόπο. Το λογισμικό παρέχει ένα προκαθορισμένο σύνολο αντικειμένων προσομοίωσης. Ο χειριστής επιλέγει τα απαιτούμενα αντικείμενα και καθορίζει τη λογική του μοντέλου μέσω μιας σειράς από μενού. Η οπτική οθόνη επίσης αναπτύσσεται μέσω ενός συνόλου μενού.

Ως αποτέλεσμα, η ανάπτυξη ενός απλού μοντέλου απαιτεί ελάχιστη γνώση προγραμματισμού. Όταν χρειαστεί, ωστόσο, τα περισσότερα VIMS είτε συνδέονται με μια γλώσσα προγραμματισμού είτε έχουν τη δική τους εσωτερική γλώσσα για να επιτρέψει τη μοντελοποίηση πιο σύνθετης λογικής. Για την πλειοψηφία μοντέλων είναι απαραίτητο να γίνει χρήση της διεπαφής του προγραμματισμού σε κάποιο βαθμό και μπορεί να απαιτείται πολύς προγραμματισμός όταν εμπλέκεται πολύ περίπλοκη λογική, για παράδειγμα, για τον έλεγχο της κίνησης ενός γερανού ή τη διαχείριση ενός προγράμματος.

Οι όροι VIS και VIMS δεν πρέπει να συγχέονται. Ο VIS αναφέρεται στη φύση του μοντέλου ενώ το VIMS αναφέρεται στον τρόπο ανάπτυξής του. Πράγματι, ένα VIS δεν πρέπει να αναπτυχθεί χρησιμοποιώντας ένα VIMS, αλλά θα μπορούσε να αναπτυχθεί με μια γλώσσα προγραμματισμού ή υπολογιστικό φύλλο. Εν τω μεταξύ, ένα μοντέλο προσομοίωσης που κατασκευάστηκε με τη VIMS δεν είναι απαραίτητα ένα VIS, καθώς, για παράδειγμα, ο προγραμματιστής μπορεί να αποφάσισε να μην έχει οπτική αναπαράσταση.

Η διαδικασία επιλογής λογισμικού είναι η παρακάτω:

- Βήμα 1: Καθορισμός των απαιτήσεων της μοντελοποίησης
- Βήμα 2: Έρευνα και επιλογής των πιθανών λογισμικών
- Βήμα 3: Καθορισμός των κριτηρίων αξιολόγησης
- Βήμα 4: Αξιολόγηση του λογισμικού σε σχέση με τα κριτήρια
- Βήμα 5: Επιλογή λογισμικού

Αυτή η διαδικασία είναι πιθανό να είναι αρκετά γραμμική, από το πρώτο βήμα έως το πέμπτο. Μπορεί να υπάρχει κάποια αιτία επανάληψης, ιδίως μεταξύ των βημάτων τρία έως πέντε, καθώς η διαδικασία αξιολόγησης θα αλλάξει πιθανώς απόψεις σχετικά με τα κριτήρια και τη σημασία τους.

Συμπερασματικά, τα περισσότερα μοντέλα προσομοίωσης έχουν αναπτυχθεί ως VIS δίνοντας στον χρήστη μια κινούμενη οθόνη του μοντέλου καθώς τρέχει και δίνοντας τους την ικανότητα αλληλεπίδρασης με το τρέχον μοντέλο. Τρεις ευρείς τύποι λογισμικού είναι διαθέσιμοι για την ανάπτυξη προσομοιώσεων: υπολογιστικά φύλλα, γλώσσες προγραμματισμού και εξειδικευμένο λογισμικό προσομοίωσης. Η επιλογή του λογισμικού εξαρτάται από τη φύση της μελέτης που εκτελείται. Σε γενικές γραμμές, όσο η πολυπλοκότητα του μοντέλου αυξάνει σύντομα καθίσταται απαραίτητο η χρήση ειδικού λογισμικού προσομοίωσης αντί υπολογιστικών φύλλων. Για πολύ περίπλοκα μοντέλα πιθανότατα απαιτείται μια γλώσσα προγραμματισμού.

Διατίθεται μια σειρά εξειδικευμένων προγραμμάτων προσομοίωσης. Τα περισσότερα θα μπορούσαν να περιγραφούν ως VIMS που επιτρέπουν στον προγραμματιστή να αναπτύξει την προσομοίωση από ένα προκαθορισμένο σετ αντικειμένων μέσω μιας σειράς μενού. Πολλά από αυτά τα πακέτα παρέχουν επίσης κάποια μορφή διεπαφής προγραμματισμού που βελτιώνει τη μοντελοποιητική τους δυνατότητα.

Η διαδικασία επιλογής ενός ειδικού πακέτου προσομοίωσης περιλαμβάνει την εγκαθίδρυση των απαιτήσεων μοντελοποίησης, της σύντομης λίστας των πακέτων και της επιλογής και αξιολόγησης των κριτηρίων που αντικατοπτρίζουν τις ανάγκες του οργανισμού. Είναι επίσης χρήσιμο ο προσδιορισμός των βαρών σπουδαιότητας για τα κριτήρια. Θα έπρεπε να σημειωθεί, ωστόσο, ότι οι περισσότεροι προγραμματιστές προσομοίωσης απλά χρησιμοποιούν και επαναχρησιμοποιούν το λογισμικό ότι είναι εξοικειωμένοι και ότι είναι στη διάθεσή τους.

Παρακάτω, αναφέρονται κάποια ενδεικτικά προγράμματα λογισμικών προσομοίωσης:

- ARENA
- BuildSim
- GOLD-SIM
- Matlab
- Ptolemy
- Simulink
- SIMUL8 [6].

### **3.4 Το πρόγραμμα Microsoft Project**

Το Microsoft Project είναι ένα προϊόν λογισμικού διαχείρισης έργων, το οποίο αναπτύχθηκε και πωλήθηκε από τη Microsoft. Έχει σχεδιαστεί για να βοηθά έναν διαχειριστή έργου στην ανάπτυξη προγράμματος, την ανάθεση πόρων σε εργασίες, την παρακολούθηση της προόδου, τη διαχείριση του προϋπολογισμού και την ανάλυση του φόρτου εργασίας.

Το Microsoft Project ήταν η τρίτη εφαρμογή που βασίζεται στα Microsoft Windows. Μέσα σε λίγα χρόνια μετά την κυκλοφορία του, έγινε το κυρίαρχο λογισμικό διαχείρισης έργων που βασίζεται σε υπολογιστή.

Η εφαρμογή δημιουργεί κρίσιμα χρονοδιαγράμματα διαδρομών και είναι επίσης διαθέσιμα πρόσθετα τρίτων μεθοδολογίας κρίσιμης αλυσίδας (CPM) και αλυσίδας συμβάντων. Τα προγράμματα μπορούν να εξομαλυνθούν με πόρους και οι αλυσίδες απεικονίζονται σε ένα γράφημα Gantt. Επιπλέον, το Microsoft Project μπορεί να αναγνωρίσει διαφορετικές κατηγορίες χρηστών. Αυτές οι διαφορετικές κατηγορίες χρηστών μπορούν να έχουν διαφορετικά επίπεδα πρόσβασης σε έργα, προβολές και άλλα δεδομένα. Προσαρμοσμένα αντικείμενα όπως ημερολόγια, προβολές, πίνακες, φίλτρα και πεδία αποθηκεύονται σε μια εταιρική καθολική, την οποία μοιράζονται όλοι οι χρήστες.



## ΚΕΦΑΛΑΙΟ 4: ΑΝΑΛΥΣΗ ΤΩΝ ΜΕΘΟΔΩΝ ΑΞΙΟΛΟΓΗΣΗΣ ΚΑΙ ΠΑΡΑΚΟΛΟΥΘΗΣΗΣ ΕΡΓΟΥ PERT ΚΑΙ CPM

### 4.1 Μέθοδος PERT

Η τεχνική αξιολόγησης και αξιολόγησης του προγράμματος (ή του έργου) PERT (Program Evaluation and Review Technique) είναι ένα στατιστικό εργαλείο που χρησιμοποιείται στη διαχείριση του έργου, το οποίο σχεδιάστηκε για να αναλύσει και να αντιπροσωπεύσει τις εργασίες που εμπλέκονται στην ολοκλήρωση ενός δεδομένου έργου.

Η μέθοδος PERT είναι μια μέθοδος ανάλυσης των εργασιών που εμπλέκονται στην ολοκλήρωση ενός δεδομένου έργου, ειδικά του χρόνου που απαιτείται για την ολοκλήρωση κάθε εργασίας και για τον προσδιορισμό του ελάχιστου χρόνου που απαιτείται για την ολοκλήρωση του συνολικού έργου. Ενσωματώνει την αβεβαιότητα καθιστώντας δυνατό τον προγραμματισμό ενός έργου, χωρίς να γνωρίζουμε επακριβώς τις λεπτομέρειες και τη διάρκεια όλων των δραστηριοτήτων. Είναι περισσότερο μια τεχνική προσανατολισμένη σε γεγονότα και όχι προσανατολισμένη στην έναρξη και την ολοκλήρωση, και χρησιμοποιείται περισσότερο σε εκείνα τα έργα όπου ο χρόνος είναι ο κύριος παράγοντας παρά το κόστος. Εφαρμόζεται σε πολύ μεγάλης κλίμακας, εφάπαξ, σύνθετη, υποδομή μη ρουτίνας και σε έργα Έρευνας και Ανάπτυξης.

Η μέθοδος PERT προσφέρει ένα εργαλείο διαχείρισης, το οποίο βασίζεται σε «διαγράμματα βέλους και κόμβων δραστηριοτήτων και συμβάντων: τα βέλη αντιπροσωπεύουν τις δραστηριότητες ή τις εργασίες που απαιτούνται για την επίτευξη των συμβάντων ή των κόμβων που υποδεικνύουν κάθε ολοκληρωμένη φάση του συνολικού έργου.»

Η μέθοδος PERT αναπτύχθηκε κυρίως για να απλοποιήσει τον προγραμματισμό και τον προγραμματισμό μεγάλων και πολύπλοκων έργων. Αναπτύχθηκε για το Γραφείο Ειδικών Προγραμμάτων του Ναυτικού των ΗΠΑ το 1957 για τη διαχείριση του σχεδίου «Πύραυλοι Polaris» των πυρηνικών υποβρυχίων του Πολεμικού Ναυτικού των ΗΠΑ. Βρήκε εφαρμογές σε όλη τη βιομηχανία. Ένα πρώιμο παράδειγμα ήταν ότι χρησιμοποιήθηκε για τους Χειμερινούς Ολυμπιακούς Αγώνες του 1968 στη Γκρενόμπλ, οι οποίοι εφάρμοσαν το PERT από το 1965 μέχρι το άνοιγμα των Αγώνων του 1968.

Αυτό το μοντέλο έργου ήταν το πρώτο του είδους του, μια αναβίωση για την επιστημονική διαχείριση, που ιδρύθηκε από τον Frederick Taylor (Taylorism) και αργότερα τελειοποιήθηκε από τον Henry Ford (Fordism). Η μέθοδος κριτικής διαδρομής του DuPont εφευρέθηκε περίπου την ίδια στιγμή με το PERT.

Αρχικά το PERT ονομαζόταν Πρόγραμμα Έρευνας Αξιολόγησης Προγράμματος, αλλά το 1959 είχε ήδη μετονομαστεί. Δημοσιεύτηκε το 1958 σε δύο δημοσιεύσεις του Υπουργείου Ναυτικών των ΗΠΑ, με τίτλο Πρόγραμμα Έρευνας Αξιολόγησης, Συνοπτική Έκθεση, Φάση 1 και Φάση 2. Σε ένα άρθρο του 1959 στο *The American Statistician*, ο Willard Fazar, επικεφαλής του τμήματος αξιολόγησης του προγράμματος, Special Projects Office, U.S. Navy, έδωσε μια λεπτομερή περιγραφή των κύριων εννοιών του PERT. Εξήγησε: «Μέσω ενός ηλεκτρονικού υπολογιστή, η τεχνική PERT επεξεργάζεται δεδομένα που αντιπροσωπεύουν τα μεγάλα, πεπερασμένα επιτεύγματα (γεγονότα) απαραίτητα για την επίτευξη τελικών στόχων. η αλληλεξάρτηση αυτών των γεγονότων και εκτιμήσεις χρόνου και εύρους χρόνου που απαιτούνται για την ολοκλήρωση κάθε δραστηριότητας μεταξύ δύο διαδοχικών γεγονό-

των Τέτοιες χρονικές προσδοκίες περιλαμβάνουν εκτιμήσεις για τον "πιο πιθανό χρόνο", τον "αισιόδοξο χρόνο" και τον "απαισιόδοξο χρόνο" για κάθε δραστηριότητα.

Η τεχνική είναι ένα εργαλείο ελέγχου διαχείρισης που αυξάνει τις προοπτικές για την επίτευξη των στόχων εγκαίρως. επισημαίνει σήματα κινδύνου που απαιτούν αποφάσεις διαχείρισης, αποκαλύπτει και ορίζει τόσο τη μεθοδικότητα όσο και τη χαλάρωση στο σχέδιο ροής ή στο δίκτυο διαδοχικών δραστηριοτήτων που πρέπει να εκτελούνται για την επίτευξη των στόχων, συγκρίνει τις τρέχουσες προσδοκίες με τις προγραμματισμένες ημερομηνίες ολοκλήρωσης και υπολογίζει την πιθανότητα να συναντηθούν προγραμματισμένες ημερομηνίες. και προσομοιώνει τα αποτελέσματα των επιλογών για απόφαση πριν από την απόφαση

Η ιδέα του PERT αναπτύχθηκε από μια ερευνητική ομάδα επιχειρήσεων στελεχωμένη με εκπροσώπους του Τμήματος Έρευνας Επιχειρήσεων του Booz Allen Hamilton, το γραφείο αξιολόγησης του τμήματος πυραυλικών συστημάτων Lockheed και το Τμήμα Αξιολόγησης Προγράμματος, Γραφείο Ειδικών Έργων, του Τμήματος Ναυτικού.

Για την υποδιαίρεση των μονάδων εργασίας στο PERT αναπτύχθηκε ένα άλλο εργαλείο: η Αναλυτική δομή εργασιών (Work Breakdown Structure). Η Αναλυτική δομή εργασιών παρέχει «ένα πλαίσιο για πλήρη δικτύωση, και εισήχθη επίσημα ως το πρώτο στοιχείο ανάλυσης κατά την εκτέλεση των βασικών PERT / COST» [7].

## 4.2 Μέθοδος CPM

Η μέθοδος κρίσιμης διαδρομής (Critical path method-CPM) είναι ένας αλγόριθμος για τον προγραμματισμό ενός συνόλου δραστηριοτήτων έργου που αναπτύχθηκε στα τέλη της δεκαετίας του 1950 από τους Morgan R. Walker του DuPont και James E. Kelley Jr. του Remington Rand. Ο Kelley και ο Walker μίλησαν για τις αναμνήσεις τους για την ανάπτυξη του CPM το 1989. Ο Kelley απέδωσε τον όρο "κρίσιμο μονοπάτι" στους προγραμματιστές του PERT που αναπτύχθηκε περίπου την ίδια στιγμή από τον Booz Allen Hamilton και το Ναυτικό των ΗΠΑ. Οι πρόδρομοι αυτού που έγινε γνωστό ως Κρίσιμο μονοπάτι (Critical Path) αναπτύχθηκαν και τέθηκαν σε εφαρμογή από την DuPont μεταξύ του 1940 και του 1943 και συνέβαλαν στην επιτυχία του έργου του Μανχάταν. Χρησιμοποιήθηκε αρχικά για το σχεδιασμό ημερομηνιών συντήρησης χημικών εργοστασίων.

Η μέθοδος CPM χρησιμοποιείται συνήθως με όλες τις μορφές έργων, συμπεριλαμβανομένων των κατασκευών, της αεροδιαστημικής και της άμυνας, της ανάπτυξης λογισμικού, ερευνητικών έργων, ανάπτυξης προϊόντων, μηχανικής και συντήρησης εγκαταστάσεων, μεταξύ άλλων. Κάθε έργο με αλληλεξαρτώμενες δραστηριότητες μπορεί να εφαρμόσει αυτήν τη μέθοδο μαθηματικής ανάλυσης. Η πρώτη φορά που η CPM χρησιμοποιήθηκε για σημαντική ανάπτυξη ουρανοξυστών ήταν το 1966, ενώ κατασκευάζονταν οι πρώην Δίδυμοι Πύργοι του Παγκόσμιου Κέντρου Εμπορίου στη Νέα Υόρκη. Παρόλο που το αρχικό πρόγραμμα και προσέγγιση CPM δεν χρησιμοποιείται πλέον, ο όρος εφαρμόζεται γενικά σε οποιαδήποτε προσέγγιση χρησιμοποιείται για την ανάλυση ενός λογικού διαγράμματος δικτύου έργου.

Μια κρίσιμη διαδρομή καθορίζεται με τον εντοπισμό της μεγαλύτερης διάρκειας εξαρτημένων δραστηριοτήτων και τη μέτρηση του χρόνου που απαιτείται για την ολοκλήρωσή τους από την αρχή έως το τέλος.

Οι μέθοδοι PERT και CPM (Critical Path Method) είναι συμπληρωματικά εργαλεία, επειδή η CPM χρησιμοποιεί μία εκτίμηση χρόνου και μία εκτίμηση κόστους για κάθε δραστηριότητα. Η PERT μπορεί να χρησιμοποιεί τρεις χρονικές εκτιμήσεις (αισιόδοξες, αναμενόμενες και απαισιόδοξες) και χωρίς κόστος για κάθε δραστηριό-

τητα. Παρόλο που αυτές είναι διακριτές διαφορές, ο όρος PERT εφαρμόζεται όλο και περισσότερο σε όλους τους κρίσιμους προγραμματισμούς διαδρομών.

### 4.3 Πλεονεκτήματα PERT

- Το διάγραμμα PERT ορίζει ρητά και κάνει ορατές εξαρτήσεις (σχέσεις προτεραιότητας) μεταξύ των στοιχείων της δομής κατανομής εργασίας (συνήθως work-breakdown structure WBS).
- Διευκολύνει τον προσδιορισμό της κρίσιμης διαδρομής και το καθιστά ορατό.
- Διευκολύνει τον εντοπισμό της πρώιμης έναρξης, της καθυστερημένης εκκίνησης και του χαλαρού για κάθε δραστηριότητα
- Προβλέπει δυνητικά μειωμένη διάρκεια του έργου λόγω της καλύτερης κατανόησης των εξαρτήσεων που οδηγούν σε βελτιωμένη αλληλοεπικάλυψη δραστηριοτήτων και εργασιών όπου αυτό είναι εφικτό.
- Η μεγάλη ποσότητα δεδομένων έργου μπορεί να οργανωθεί και να παρουσιαστεί σε διάγραμμα για χρήση στη λήψη αποφάσεων.
- Μπορεί να παρέχει πιθανότητα ολοκλήρωσης πριν από μια δεδομένη ώρα.

### 4.4 Μειονεκτήματα PERT

- Μπορεί να υπάρχουν δυνητικά εκατοντάδες ή χιλιάδες δραστηριότητες και ατομικές σχέσεις εξάρτησης.
- Δεν είναι εύκολα κλιμακούμενο για μικρότερα έργα.
- Τα γραφήματα δικτύου τείνουν να είναι μεγάλα και δύσκαμπτα, απαιτώντας εκτύπωση πολλών σελίδων και χαρτί ειδικού μεγέθους.
- Η έλλειψη χρονικού πλαισίου στα περισσότερα γραφήματα PERT/CPM καθιστά δυσκολότερη την εμφάνιση της κατάστασης, αν και τα χρώματα μπορούν να βοηθήσουν, π.χ., το συγκεκριμένο χρώμα για τους ολοκληρωμένους κόμβους.

### 4.5 Αβεβαιότητα στον προγραμματισμό έργων

Ένα πραγματικό έργο δεν θα εκτελεστεί ποτέ ακριβώς όπως είχε προγραμματιστεί λόγω αβεβαιότητας. Αυτό μπορεί να οφείλεται σε ασάφεια που προκύπτει από υποκειμενικές εκτιμήσεις που είναι επιρρεπείς σε ανθρώπινα λάθη ή μπορεί να είναι το αποτέλεσμα της μεταβλητότητας που προκύπτει από απροσδόκητα γεγονότα ή κινδύνους. Ο κύριος λόγος για τον οποίο το PERT μπορεί να παρέχει ανακριβείς πληροφορίες σχετικά με τον χρόνο ολοκλήρωσης του έργου είναι εξαιτίας της αβεβαιότητας του προγράμματος. Αυτή η ανακρίβεια μπορεί να είναι αρκετά μεγάλη ώστε οι εκτιμήσεις να μην είναι χρήσιμες.

Μια πιθανή μέθοδος για τη μεγιστοποίηση της ευρωστίας της λύσης είναι να συμπεριληφθεί η ασφάλεια στο χρονοδιάγραμμα βάσης προκειμένου να απορροφηθούν οι αναμενόμενες διαταραχές. Αυτό ονομάζεται ενεργός προγραμματισμός. Ένας καθαρός ενεργός προγραμματισμός είναι μια ουτοπία, που ενσωματώνει ασφάλεια σε ένα βασικό πρόγραμμα που επιτρέπει κάθε πιθανή διαταραχή να οδηγούσε σε ένα βασικό πρόγραμμα με πολύ μεγάλο χρονικό διάστημα. Μια δεύτερη προσέγγιση, που ονομάζεται αντιδραστικός προγραμματισμός, συνίσταται στον καθορισμό μιας διαδικασίας για την αντίδραση σε διαταραχές που δεν μπορούν να απορροφηθούν από το βασικό πρόγραμμα.

#### 4.6 Ευελιξία CPM

Ένα πρόγραμμα που δημιουργείται χρησιμοποιώντας τις τεχνικές κρίσιμης διαδρομής συχνά δεν πραγματοποιείται με ακρίβεια, καθώς χρησιμοποιούνται εκτιμήσεις για τον υπολογισμό των χρόνων, εάν γίνει ένα λάθος, τα αποτελέσματα της ανάλυσης μπορεί να αλλάξουν. Αυτό θα μπορούσε να προκαλέσει αναστάτωση στην υλοποίηση ενός έργου εάν οι εκτιμήσεις θεωρούνται τυφλά και εάν οι αλλαγές δεν αντιμετωπιστούν άμεσα. Ωστόσο, η δομή της CPM είναι τέτοια ώστε να μπορεί να μετρηθεί η διακύμανση από το αρχικό χρονοδιάγραμμα που προκαλείται από οποιαδήποτε αλλαγή και η επίδρασή της να βελτιωθεί ή να προσαρμοστεί. Πράγματι, ένα σημαντικό στοιχείο της ανάλυσης μετά την ολοκλήρωση του έργου είναι το «ως ενσωματωμένο κρίσιμο μονοπάτι» (As Built Critical Path-ABCP), το οποίο αναλύει τις συγκεκριμένες αιτίες και τις επιπτώσεις των αλλαγών μεταξύ του προγραμματισμένου προγράμματος και του τελικού χρονοδιαγράμματος όπως πραγματικά υλοποιήθηκε.

## ΚΕΦΑΛΑΙΟ 5: ΣΥΣΤΗΜΑΤΑ ΟΥΡΑΣ

### 5.1 Εισαγωγή στα συστήματα ουρών

#### 5.1.1 Ιστορική αναδρομή

Η ιστορία της θεωρίας ουράς ξεκινά πάνω από 100 χρόνια. Το "Waiting Times and Number of Calls" του Johannsen (ένα άρθρο που δημοσιεύθηκε το 1907 και ανατυπώθηκε στο Post Office Electrical Engineers Journal, London, Οκτώβριος, 1910) φαίνεται να είναι το πρώτο έγγραφο σχετικά με το θέμα. Αλλά η μέθοδος που χρησιμοποιήθηκε σε αυτό το άρθρο δεν ήταν μαθηματικά ακριβής και ως εκ τούτου, από την άποψη της ακριβούς αντιμετώπισης, η δημοσίευση που έχει ιστορική σημασία είναι το AK Erlang's, "The Theory of Probances and Telephone Conversations" (Nyt tidsskrift for Matematik, B, 20 (1909), σελ. 33). Σε αυτή τη δημοσίευση θέτει τα θεμέλια για τη θέση της Poisson (και ως εκ τούτου, εκθετική) κατανομή στη θεωρία ουρών. Οι δημοσιεύσεις του που γράφτηκαν τα επόμενα 20 χρόνια περιέχουν μερικές από τις πιο σημαντικές έννοιες και τεχνικές, η έννοια της στατιστικής ισορροπίας και η μέθοδος καταγραφής εξισώσεων κατάστασης ισορροπίας είναι δύο τέτοια παραδείγματα. Ιδιαίτερη μνεία πρέπει να γίνει στο άρθρο του «Σχετικά με τον ορθολογικό προσδιορισμό του αριθμού των κυκλωμάτων» (βλ. Brockmeyer et al. (1960)), στο οποίο αντιμετωπίστηκε για πρώτη φορά ένα πρόβλημα βελτιστοποίησης στη θεωρία ουράς.

Πρέπει να σημειωθεί ότι στη δουλειά του Erlang, καθώς και στο έργο που έκαναν άλλοι στα είκοσι και τα τριάντα, το κίνητρο ήταν το πρακτικό πρόβλημα της συμφόρησης. Δείτε για παράδειγμα, Molina (1927) και Fry (1928). Κατά τις επόμενες δύο δεκαετίες, αρκετοί θεωρητικοί ενδιαφέρθηκαν για αυτά τα προβλήματα και ανέπτυξαν γενικά μοντέλα που θα μπορούσαν να χρησιμοποιηθούν σε πιο περίπλοκες καταστάσεις. Μερικοί από τους συγγραφείς με σημαντικές συνεισφορές είναι οι Crommelin, Feller, Jensen, Khintchine, Kolmogorov, Palm και Pollaczek. Μια λεπτομερής περιγραφή των ερευνών που έγιναν από αυτούς τους συγγραφείς μπορεί να βρεθεί σε βιβλία των Syski (1960) και Saaty (1961). Η μελέτη του Kolmogorov και του Feller για τις καθαρά ασυνεχείς διαδικασίες έθεσε τα θεμέλια για τη θεωρία των διαδικασιών του Markov καθώς αναπτύχθηκε τα τελευταία χρόνια.

Σημειώνοντας την ανεπάρκεια της θεωρίας ισορροπίας σε πολλές καταστάσεις ουράς, ο Pollaczek (1934) ξεκίνησε έρευνες για τη συμπεριφορά του συστήματος σε ένα πεπερασμένο χρονικό διάστημα. Από τότε και καθ' όλη τη διάρκεια της καριέρας του, έκανε σημαντική δουλειά στην αναλυτική μελέτη συμπεριφοράς των συστημάτων αναμονής. βλ. Pollaczek (1965). Η τάση προς την αναλυτική μελέτη των βασικών στοχαστικών διεργασιών του συστήματος συνεχίστηκε, και η θεωρία ουρών αποδείχθηκε ένα γόνιμο πεδίο για ερευνητές που ήθελαν να κάνουν βασική έρευνα για στοχαστικές διαδικασίες που περιλαμβάνουν μαθηματικά μοντέλα.

Έτσι, η ανάπτυξη της θεωρίας ουράς μπορεί να εντοπιστεί σε δύο παράλληλα ίχνη:

- (i) Χρησιμοποιώντας υπάρχουσες μαθηματικές τεχνικές ή αναπτύσσοντας νέες για την ανάλυση των υποκείμενων διαδικασιών
- (ii) Ενσωματώνοντας διάφορα χαρακτηριστικά του συστήματος, ώστε το μοντέλο να αντιπροσωπεύει στενά το πραγματικό φαινόμενο

Μέχρι το τέλος της δεκαετίας του 1960, τα περισσότερα από τα βασικά συστήματα ουράς που θα μπορούσαν να θεωρηθούν λογικά μοντέλα φαινομένων πραγματικού κόσμου είχαν αναλυθεί και οι δημοσιεύσεις που βγήκαν ασχολήθηκαν με μικρές μόνο παραλλαγές των συστημάτων χωρίς να συμβάλλουν πολύ στη μεθοδολογία.

Υπήρξαν ακόμη και δηλώσεις ότι η θεωρία ουράς ήταν στα τελευταία στάδια της ζωής της. Όμως, τέτοιες προβλέψεις έγιναν χωρίς να γνωρίζουμε ποια πρόοδος στην τεχνολογία υπολογιστών θα σήμαινε στη θεωρία ουρών. Οι πρόοδοι που εμπνέονται ή υποβοηθούνται από την τεχνολογία υπολογιστών έχουν δύο διαστάσεις: τη μεθοδολογία και τις εφαρμογές. Παρακάτω αναφέρονται μερικά από τα εξέχοντα θέματα που διερευνήθηκαν σε τέτοιες εξελίξεις. Δεδομένου ότι στην εφαρμοσμένη πιθανότητα, η μεθοδολογία και οι εφαρμογές συμβάλλουν στην ανάπτυξη του θέματος με συμβιωτικό τρόπο παρατίθενται παρακάτω χωρίς να κατηγοριοποιηθούν.

- (i) Η μέθοδος Matrix-Analytic
- (ii) Μετατροπή μετατροπής
- (iii) Δίκτυα ουράς
- (iv) Συστήματα Υπολογιστών και Επικοινωνιών
- (v) Συστήματα κατασκευής
- (vi) Εξειδικευμένα μοντέλα
- (vii) Στατιστικά συμπεράσματα
- (viii) Σχεδιασμός και έλεγχος
- (ix) Άλλα θέματα [8].

Ένα σύστημα ουράς αποτελείται από έναν ή περισσότερους διακομιστές που παρέχουν υπηρεσίες κάποιου είδους σε πελάτες που φθάνουν. Οι πελάτες που φτάνουν να βρουν όλους τους διακομιστές απασχολημένους (γενικά) συμμετέχουν σε μία ή περισσότερες ουρές (ή γραμμές) μπροστά από τους διακομιστές, εξ ου και το όνομα του συστήματος «ουράς».

Ιστορικά, ένα μεγάλο ποσοστό όλων των μελετών προσομοίωσης διακριτών γεγονότων περιελάμβανε τη μοντελοποίηση ενός συστήματος ουράς πραγματικού κόσμου, ή τουλάχιστον κάποιο στοιχείο του συστήματος που προσομοιώθηκε ήταν ένα σύστημα αναμονής. Έτσι, πιστεύουμε ότι είναι σημαντικό να υπάρχει τουλάχιστον μια βασική κατανόηση των στοιχείων ενός συστήματος ουράς, τυποποιημένης σημείωσης για συστήματα ουράς και μέτρων απόδοσης που χρησιμοποιούνται συχνά για να υποδεικνύεται η ποιότητα της παρεχόμενης υπηρεσίας από ένα σύστημα αναμονής. Μερικά παραδείγματα συστημάτων ουράς πραγματικού κόσμου που έχουν συχνά προσομοιωθεί δίδονται στον παρακάτω πίνακα:

#### Examples of queueing systems

System	Servers	Customers
Bank	Tellers	Customers
Hospital	Doctors, nurses, beds	Patients
Computer system	Central processing unit, input/output devices	Jobs
Manufacturing system	Machines, workers	Parts
Airport	Runways, gates, security check-in stations	Airplanes, travelers
Communications network	Nodes, links	Messages, packets

Πιν.5.1 Παραδείγματα συστημάτων ουράς

### 5.2 Συστατικά ενός συστήματος ουράς

Ένα σύστημα αναμονής χαρακτηρίζεται από τρία στοιχεία: *διαδικασία άφιξης, μηχανισμό εξυπηρέτησης και πειθαρχία ουρών*.

Ο καθορισμός της διαδικασίας άφιξης για ένα σύστημα ουράς συνίσταται στην περιγραφή του τρόπου με τον οποίο οι πελάτες φτάνουν στο σύστημα.

Ο μηχανισμός εξυπηρέτησης για ένα σύστημα ουράς αρθρώνεται καθορίζοντας τον αριθμό των διακομιστών, εάν κάθε διακομιστής έχει τη δική του ουρά ή υπάρχει μια ουρά που τροφοδοτεί όλους τους διακομιστές και την πιθανότητα κατανομής των χρόνων εξυπηρέτησης των πελατών.

Η πειθαρχία ουρών ενός συστήματος αναμονής αναφέρεται στον κανόνα που χρησιμοποιεί ένας διακομιστής για να επιλέξει τον επόμενο πελάτη από την ουρά (εάν υπάρχει) όταν ο διακομιστής ολοκληρώνει την υπηρεσία του τρέχοντος πελάτη [3].

### 5.3 Ποσοτική αξιολόγηση συστήματος αναμονής

Η ποσοτική αξιολόγηση ενός συστήματος αναμονής απαιτεί μαθηματικό χαρακτηρισμό των υποκείμενων διαδικασιών. Σε πολλές περιπτώσεις, έξι βασικά χαρακτηριστικά παρέχουν μια επαρκή περιγραφή του συστήματος:

1. Πρότυπο άφιξης πελατών
2. Πρότυπο εξυπηρέτησης διακομιστών
3. Αριθμός διακομιστών και καναλιών υπηρεσίας
4. Χωρητικότητα συστήματος
5. Πειθαρχία ουράς
6. Αριθμός σταδίων υπηρεσίας

#### 5.4.1 Πρότυπο άφιξης πελατών

Σε συνηθισμένες καταστάσεις ουράς, η διαδικασία των αφίξεων είναι στοχαστική και, συνεπώς, είναι απαραίτητο να γνωρίζουμε την κατανομή πιθανότητας που περιγράφει τους χρόνους μεταξύ των διαδοχικών αφίξεων των πελατών (χρόνοι μεταξύ των ωρών). Μια κοινή διαδικασία άφιξης είναι η διαδικασία Poisson. Είναι επίσης απαραίτητο να γνωρίζουμε εάν οι πελάτες μπορούν να φτάσουν ταυτόχρονα (μαζικές ή μαζικές αφίξεις) και εάν ναι, η κατανομή πιθανότητας που περιγράφει το μέγεθος της παρτίδας

Ένας άλλος παράγοντας είναι ο τρόπος με τον οποίο το μοτίβο αλλάζει με το χρόνο. Ένα μοτίβο άφιξης που δεν αλλάζει με το χρόνο (δηλαδή, η κατανομή πιθανότητας που περιγράφει τη διαδικασία εισαγωγής εξαρτάται από το χρόνο) ονομάζεται στάσιμο πρότυπο άφιξης. Αυτό που δεν εξαρτάται από το χρόνο ονομάζεται μη στατικό. Ένα παράδειγμα ενός συστήματος με ένα μη στατικό πρότυπο άφιξης μπορεί να είναι ένα εστιατόριο όπου περισσότεροι πελάτες τείνουν να φτάνουν κατά τη διάρκεια της ώρας του μεσημεριανού από ό, τι σε άλλες ώρες της ημέρας. Πολλά από τα μοντέλα προϋποθέτουν μια στάσιμη διαδικασία άφιξης.

Είναι επίσης απαραίτητο να γνωρίζουμε την αντίδραση ενός πελάτη κατά την άφιξη στο σύστημα. Ένας πελάτης μπορεί να αποφασίσει να περιμένει ανεξάρτητα από το πόσο καιρό γίνεται η ουρά ή, εάν η ουρά είναι πολύ μεγάλη, ο πελάτης μπορεί να αποφασίσει να μην μπει στο σύστημα. Εάν ένας πελάτης αποφασίσει να μην εισέλθει στην ουρά κατά την άφιξη, ο πελάτης λέγεται ότι έχει αποκλείσει. Ένας πελάτης μπορεί να εισέλθει στην ουρά, αλλά μετά από λίγο χάνει την υπομονή και αποφασίζει να φύγει. Σε αυτήν την περίπτωση, ο πελάτης λέγεται ότι παραιτήθηκε. Σε περίπτωση που υπάρχουν δύο ή περισσότερες παράλληλες γραμμές αναμονής, οι πελάτες μπορούν να εναλλάσσονται μεταξύ τους, δηλαδή, αναβάτες για θέση. Αυτές οι τρεις καταστάσεις είναι όλα παραδείγματα ουρών με ανυπόμονους πελάτες.

### 5.4.2 Μοτίβα εξυπηρέτησης

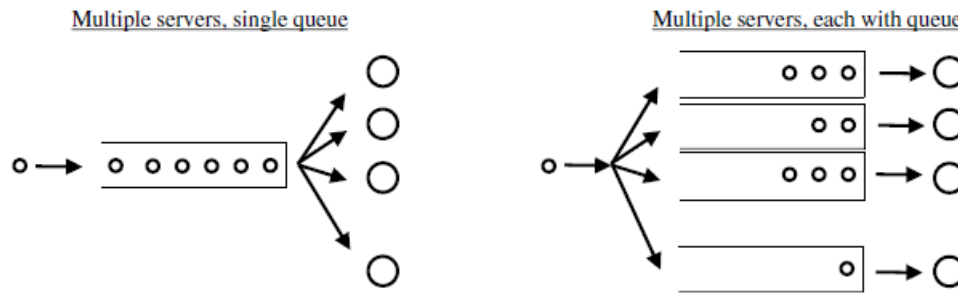
Μεγάλο μέρος της προηγούμενης συζήτησης σχετικά με το μοτίβο άφιξης είναι κατάλληλο για τη συζήτηση της υπηρεσίας. Το πιο σημαντικό, δεδομένου ότι οι χρόνοι εξυπηρέτησης είναι συνήθως στοχαστικοί, απαιτείται κατανομή πιθανότητας για να περιγραφεί η ακολουθία των χρόνων εξυπηρέτησης πελατών. Η υπηρεσία μπορεί επίσης να είναι μεμονωμένη ή σε παρτίδες. Σε γενικές γραμμές πιστεύεται ότι ένας πελάτης εξυπηρετείται κάθε φορά από έναν δεδομένο διακομιστή, αλλά υπάρχουν πολλές περιπτώσεις όπου οι πελάτες μπορούν να εξυπηρετούνται ταυτόχρονα από τον ίδιο διακομιστή, όπως ένας υπολογιστής με παράλληλη επεξεργασία, περιηγητές σε μια ξενάγηση ή άτομα που επιβιβάζονται σε έναν τρένο. Η διαδικασία εξυπηρέτησης μπορεί επίσης να εξαρτάται από τον αριθμό των πελατών που περιμένουν να εξυπηρετηθούν. Ένας διακομιστής μπορεί να λειτουργεί γρηγορότερα εάν η ουρά δημιουργείται ή, αντίθετα, μπορεί να γίνει πιο ασταθής και να γίνει λιγότερο αποτελεσματική. Η κατάσταση κατά την οποία η υπηρεσία εξαρτάται από τον αριθμό των πελατών που περιμένουν αναφέρεται ως δηλωμένη υπηρεσία. Η υπηρεσία, όπως οι αφίξεις, μπορεί να είναι στατική ή μη στατική σε σχέση με το χρόνο. Για παράδειγμα, μπορεί να πραγματοποιηθεί μάθηση, έτσι ώστε η υπηρεσία να γίνεται πιο αποτελεσματική καθώς αποκτάται η εμπειρία. Η εξάρτηση από το χρόνο δεν πρέπει να συγχέεται με την εξάρτηση από την κατάσταση. Το πρώτο εξαρτάται από το πόσο καιρό λειτουργεί το σύστημα (ανεξάρτητα από την κατάσταση του συστήματος), ενώ το δεύτερο εξαρτάται από τον αριθμό των πελατών στο σύστημα (ανεξάρτητα από το πόσο καιρό λειτουργεί το σύστημα). Φυσικά, ένα σύστημα αναμονής μπορεί να είναι και μη στατικό και να δηλώνεται ότι εξαρτάται.

### 5.4.3 Αριθμός διακομιστών

Ο αριθμός των διακομιστών είναι ένα σημαντικό χαρακτηριστικό ενός συστήματος ουράς και αντιπροσωπεύει μια θεμελιώδη ανταλλαγή - η προσθήκη διακομιστών συνεπάγεται επιπλέον κόστος για την επιχείρηση, αλλά μπορεί ουσιαστικά να μειώσει τις καθυστερήσεις για τους πελάτες. Έτσι, η επιλογή του αριθμού των διακομιστών είναι συχνά μια κρίσιμη απόφαση.

Μια άλλη απόφαση είναι η διαμόρφωση των γραμμών. Για ένα σύστημα πολλαπλών διακομιστών, υπάρχουν πολλές πιθανές διαμορφώσεις. Το σχήμα 5.1 απεικονίζει δύο κύριες περιπτώσεις. Στην πρώτη περίπτωση, οι διακομιστές τροφοδοτούνται από μία ουρά. Ένα παράδειγμα μπορεί να είναι ένας μετρητής αποσκευών για μια αεροπορική εταιρεία. Ένα άλλο παράδειγμα μπορεί να είναι ένα κομμωτήριο με πολλές καρέκλες, υποθέτοντας ότι κανένας πελάτης δεν περιμένει κάποιον ειδικό στιλίστα. Στη δεύτερη περίπτωση, κάθε διακομιστής τροφοδοτείται από τη δική του ουρά. Ένα μανάβικο μπορεί να είναι ένα παράδειγμα αυτής της περίπτωσης. Υβριδικές καταστάσεις μπορεί επίσης να συμβούν. Για παράδειγμα, μια γραμμή διαβατηρίου σε ένα αεροδρόμιο μπορεί αρχικά να ξεκινήσει ως μια μακρά γραμμή και στη συνέχεια να χωριστεί σε σύντομες ξεχωριστές γραμμές για κάθε πράκτορα. Είναι γενικά προτιμότερο ένα σύστημα ουρών πολλαπλών διακομιστών να τροφοδοτείται από μία μόνο γραμμή. Έτσι, κατά τον καθορισμό του αριθμού των παράλληλων διακομιστών, συνήθως υποθέτουμε ότι οι διακομιστές τροφοδοτούνται από μία μόνο γραμμή. Επίσης, θεωρείται γενικά ότι οι διακομιστές λειτουργούν ανεξάρτητα ο ένας από τον άλλο.





Σχ.5.1 Ουρά εξυπηρετούμενη με έναν και πολλαπλούς εξυπηρετητές

#### 5.4.4 Πειθαρχία ουράς

Η πειθαρχία ουράς αναφέρεται στον τρόπο με τον οποίο οι πελάτες επιλέγονται για εξυπηρέτηση όταν έχει σχηματιστεί μια ουρά. Μια κοινή πειθαρχία στην καθημερινή ζωή είναι η εξυπηρέτηση με τη σειρά άφιξης (First come, first served -FCFS). Ωστόσο, υπάρχουν πολλοί άλλοι κλάδοι. Μερικοί άλλοι κλάδοι ουράς είναι: εξυπηρέτηση με αντίστροφη σειρά άφιξης (Last come, first served-LCFS), το οποίο ισχύει για πολλά συστήματα αποθέματος, καθώς είναι πιο εύκολη η πρόσβαση στα πλησιέστερα αντικείμενα που είναι τα τελευταία. τυχαία επιλογή για υπηρεσία (Random selection for service-RSS) στην οποία οι πελάτες επιλέγονται τυχαία από την ουρά ανεξάρτητα από τις ώρες άφιξής τους. διαμοιρασμένη εξυπηρέτηση (Processor sharing-PS) στην οποία ο διακομιστής επεξεργάζεται όλους τους πελάτες (ή εργασίες) ταυτόχρονα, αλλά λειτουργεί με πιο αργό ρυθμό σε κάθε εργασία με βάση τον αριθμό στο σύστημα (αυτό είναι κοινό στα συστήματα υπολογιστών). ψηφοφορία, στην οποία ένας διακομιστής εξυπηρετεί πολλαπλές ουρές λαμβάνοντας πελάτες από την πρώτη ουρά, στη συνέχεια πελάτες από τη δεύτερη, και ούτω καθεξής σε έναν κύκλο, και μια ποικιλία σχεδίων προτεραιότητας όπου ορισμένοι πελάτες λαμβάνουν προτίμηση όσον αφορά την επιλογή για εξυπηρέτηση.

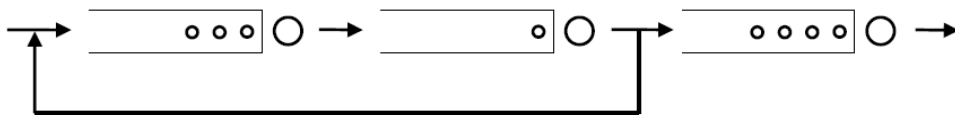
Σε αυτούς τους κλάδους, οι πελάτες με υψηλότερες προτεραιότητες επιλέγονται για εξυπηρέτηση έναντι εκείνων με χαμηλότερες προτεραιότητες. Υπάρχουν δύο γενικές καταστάσεις σε κλάδους προτεραιότητας, προληπτικές και μη προληπτικές. Στη μη προληπτική περίπτωση, ο πελάτης με την υψηλότερη προτεραιότητα πηγαίνει στην αρχή της ουράς, αλλά δεν εξυπηρετείται έως ότου ολοκληρωθεί ο πελάτης που βρίσκεται στην υπηρεσία, ακόμα κι αν αυτός ο πελάτης έχει χαμηλότερη προτεραιότητα. Στην προληπτική περίπτωση, ένας πελάτης υψηλότερης προτεραιότητας επιτρέπεται να εισέλθει στην υπηρεσία αμέσως μετά την άφιξη, ακόμη και αν ένας πελάτης με χαμηλότερη προτεραιότητα βρίσκεται ήδη σε υπηρεσία. Η υπηρεσία για τον πελάτη χαμηλότερης προτεραιότητας διακόπτεται, για να συνεχίσει ξανά μετά την εξυπηρέτηση του πελάτη υψηλότερης προτεραιότητας. Υπάρχουν δύο παραλλαγές της προληπτικής περίπτωσης: η προπληρωμένη εξυπηρέτηση πελατών μπορεί είτε να συνεχιστεί από το σημείο προτίμησης είτε να ξεκινήσει εκ νέου.

#### 5.4.5 Χωρητικότητα συστήματος

Σε ορισμένα συστήματα, υπάρχει ένας φυσικός περιορισμός στο χώρο που πρέπει να περιμένουν οι πελάτες, έτσι ώστε όταν η γραμμή φτάσει σε ένα ορισμένο μήκος, δεν επιτρέπεται κανένας άλλος πελάτης να εισέλθει έως ότου γίνει διαθέσιμος χώρος. Αυτές αναφέρονται ως πεπερασμένες καταστάσεις ουράς. Δηλαδή, υπάρχει ένα περιορισμένο όριο στο μέγιστο μέγεθος συστήματος. Μια ουρά με περιορισμένη αίθουσα αναμονής μπορεί να θεωρηθεί ως εκείνη όπου ένας πελάτης αναγκάζεται να αποκλείσει εάν φτάσει όταν το μέγεθος της ουράς είναι στο όριο του.

#### 5.4.6 Στάδια της υπηρεσίας

Ένα σύστημα αναμονής θα μπορούσε να έχει μόνο ένα στάδιο υπηρεσίας ή θα μπορούσε να έχει πολλά στάδια. Ένα παράδειγμα ενός συστήματος πολλαπλών σταδίων αναμονής είναι μια διαδικασία ιατρικής εξέτασης όπου κάθε ασθενής πρέπει να προχωρήσει σε διάφορα στάδια, που περιλαμβάνουν ιατρικό ιστορικό, εξέταση αυτιών, μύτης και λαιμού, εξετάσεις αίματος, ηλεκτροκαρδιογράφημα, οφθαλμολογική εξέταση, και ούτω καθεξής. Οι διεργασίες ουράς πολλαπλών σταδίων αντιμετωπίζονται, ως ειδική περίπτωση γενικότερων δικτύων αναμονής. Σε ορισμένες διαδικασίες ουράς πολλαπλών σταδίων, μπορεί να προκύψει ανακύκλωση ή ανατροφοδότηση (Εικόνα παρακάτω). Η ανακύκλωση είναι συνηθισμένη στις διαδικασίες κατασκευής, όπου διενεργούνται επιθεωρήσεις ποιοτικού ελέγχου μετά από ορισμένα στάδια και μέρη που δεν πληρούν τα πρότυπα ποιότητας στέλνονται πίσω για επανεπεξεργασία. Παρομοίως, ένα δίκτυο τηλεπικοινωνιών μπορεί να επεξεργάζεται μηνύματα μέσω μιας τυχαία επιλεγμένης ακολουθίας κόμβων, με την πιθανότητα ότι ορισμένα μηνύματα θα απαιτούν αναδρομολόγηση στο ίδιο στάδιο [9].



Σχ.5.1 Σύστημα ουρών πολλαπλών σταδίων με ανατροφοδότηση.

#### 5.4 Προβλήματα σε ένα σύστημα ουράς

Ο απώτερος στόχος της ανάλυσης των συστημάτων ουράς είναι η κατανόηση της συμπεριφοράς των υποκείμενων διαδικασιών τους, ώστε να μπορούν να λαμβάνονται ενημερωμένες και έξυπνες αποφάσεις στη διαχείρισή τους. Τρεις τύποι προβλημάτων μπορούν να εντοπιστούν σε αυτήν τη διαδικασία.

- Προβλήματα συμπεριφοράς
- Στατιστικά προβλήματα
- Προβλήματα Απόφασης Σε αυτόν τον τίτλο συμπεριλαμβάνουμε όλα τα προβλήματα που είναι εγγενή στη λειτουργία συστημάτων ουράς. Ορισμένα τέτοια προβλήματα είναι στατιστικής φύσης. Άλλοι σχετίζονται με το σχεδιασμό, τον έλεγχο και τη μέτρηση της αποτελεσματικότητας των συστημάτων [8].

## ΚΕΦΑΛΑΙΟ 6: ΠΑΡΟΥΣΙΑΣΗ ΤΟΥ 301 ΕΒ ΚΑΙ

### 6.1 Σύντομη παρουσίαση του 301 ΕΒ

Το 301 Εργοστάσιο Βάσης (301 ΕΒ) εδρεύει στο στρατόπεδο «ΛΓΟΥ (ΠΒ) ΚΟΣΚΙΝΑ ΘΕΟΔΩΡΟΥ», που βρίσκεται στους Αγ. Αναργύρους Αττικής.

Είναι το παλαιότερο εργοστάσιο του Ελληνικού Στρατού και συγκροτήθηκε την 1η Δεκεμβρίου 1945 αμέσως μετά τη λήξη του Β' Παγκοσμίου Πολέμου, με την ονομασία «Συνεργείο Βάσης Αθηνών». Από 13 Ιανουαρίου 1947 μετονομάστηκε σε «301 Συνεργείο Βάσης» και από τις 13 Ιανουαρίου 1948 μέχρι και σήμερα σε «301 Εργοστάσιο Βάσης».

Η ανάγκη υπάρξεως Εργοστασίου Βάσης κατά το 1945, που συμπίπτει με το χρόνο δημιουργίας του Τεχνικού Σώματος (Σώμα Τεχνικών Υπηρεσιών τότε) για τη συντήρηση του πάσης φύσεως τεχνικού υλικού του στρατού, κατέστη επιτακτική. Έτσι περί τα τέλη του 1945 και δυνάμει της ΕΠ 911299/21-9-45 διαταγής του ΓΕΣ συγκροτήθηκε τεχνική μονάδα με ονομασία Συνεργεία Βάσης Αθηνών με ανεξάρτητη οικονομική διαχείριση και προσωρινή υπαγωγή στην Τεχνική Βάση Αθηνών. Η μονάδα εγκαταστάθηκε στα υπάρχοντα τότε κτίρια, στους Αγίους Αναργύρους Αττικής, τα οποία χρησιμοποιήθηκαν προ του πολέμου ως αποθήκες πυρομαχικών του Ελληνικού Στρατού. Η λειτουργία του άρχισε στις αρχές του 1946 και συνάντησε πολλές δυσχέρειες οφειλόμενες κυρίως στο μηχανολογικό εξοπλισμό αλλά και στις κτιριακές εγκαταστάσεις. Το πρόβλημα του μηχανολογικού εξοπλισμού αντιμετωπίστηκε με την απόκτηση μέρους αυτού, από τις γερμανικές πολεμικές επανορθώσεις, αλλά συμπληρώθηκε και από πιστώσεις του ΓΕΣ και από την αμερικανική βοήθεια κατά την εποχή εκείνη.

Με την έναρξη της λειτουργίας του το 1946, το εργοστάσιο είχε σαν αποστολή την αξιοποίηση και επισκευή οχημάτων, αρμάτων, οπλισμού, πυροβόλων, καθώς επίσης και διαφόρων συγκροτημάτων και οργάνων, με περιορισμένες όμως δυνατότητες, οι οποίες αυξάνονταν με την πάροδο του χρόνου και σε συνάρτηση με τη βελτίωση των κτιριακών εγκαταστάσεων, του μηχανολογικού εξοπλισμού, αλλά και από την εμπειρία και την αύξηση του προσωπικού.

Με τη δημιουργία του καλλιτεχνικού χυτηρίου το έτος 1960 το εργοστάσιο επεξέτεινε τις δραστηριότητές του με την κατασκευή ορειγάλκινων ανδριάντων, προτομών και ανάγλυφων παραστάσεων, προς εξυπηρέτηση κοινωφελών σκοπών με πλέον χαρακτηριστική κατασκευή τον ανδριάντα του οπλίτη του Καλπακίου ύψους 5,50 μέτρων.

Την 1η Μαΐου 1964 υπήχθη στο 301 Εργοστάσιο Βάσης ως τμήμα αυτού το Συνεργείο Επισκευής Μηχανημάτων Μηχανικού (ΣΕΜΜ), το οποίο μέχρι τότε υπαγόταν στην 745 Βάση Μηχανικού με αρμοδιότητα τη συντήρηση των Μηχανημάτων Μηχανικού. Επί πλέον τη 15η Ιουνίου 1968 υπήχθη υπό το 301 ΕΒ το μέχρι τότε ανεξάρτητο 356 Εργοστάσιο Ελαστικών, με αποστολή την αξιοποίηση ελαστικών επισώτρων, αεροθαλάμων και διαφόρων ελαστικών βιομηχανικών ειδών.

### 6.2 Περιγραφή του τρόπου λειτουργίας του Εργοστασίου

Στο 301 ΕΒ εκτελούνται εργασίες ανακατασκευής με τη μέθοδο IROAN (Inspect and Repair Only As Needed) ως κύριο έργο και εργασίες επισκευής σε κάθε υλικό που υποστηρίζεται. Για την εκτέλεση των εργασιών ανακατασκευής και κατασκευής, καταρτίζονται βάσει των αναγκών και των δυνατοτήτων των Συνεργείων α-

ντίστοιχα προγράμματα και αναθεωρούνται ένα χρόνο πριν την εφαρμογή τους για να επιτευχθεί η ορθότερη επικαιροποίηση. Παράλληλα, υλοποιείται και ετήσιος προγραμματισμός εργασιών ώστε να υπάρχει χρονοδιάγραμμα εργασιών, να μπορεί να τεθεί στοχοθεσία για κάθε Συνεργείο και να διαφαίνονται έτσι τυχόν προβλήματα και δυσχέρειες που παρουσιάζονται κατά τη διάρκεια του έτους.

Τα κύρια τμήματα του Εργοστασίου είναι τα:

- Συνεργείο Οπλισμού
- Συνεργείο Οχημάτων
- Συνεργείο Τεθωρακισμένων Οχημάτων
- Συνεργείο Πυροβόλων

Ταυτόχρονα λειτουργούν και υποστηρικτικά τμήματα, τα κυριότερα των οποίων είναι:

- Συνεργείο κινητήρων
- Βαφείο
- Επισκευής Μεγάλων Συγκροτημάτων Ερπυστριοφόρων-Πυροβόλων
- Επισκευής Μεγάλων Συγκροτημάτων Οχημάτων
- Μηχανουργείο
- Σιδηουργείο
- Συνεργείο Επισκευής Μηχανημάτων Μηχανικού

Για τον συντονισμό των εργασιών λειτουργεί Διοίκηση Παραγωγής που ασχολείται αποκλειστικά με τον συντονισμό των εργασιών, καθώς σε πολλές περιπτώσεις απαιτείται ο συντονισμός πολλαπλών τμημάτων για την ολοκλήρωση των εργασιών.

Ταυτόχρονα χρησιμοποιείται και μηχανογραφημένο σύστημα για τον συντονισμό των εργασιών μεταξύ των Συνεργείων, την παρακολούθηση της εξέλιξης των εργασιών και την κυκλοφορία των υλικών από τη στιγμή όπου θα γίνουν τα υλικά εισερχόμενα μέχρις ότου ολοκληρωθούν οι εργασίες.

Ως παράδειγμα τίθεται η διαδικασία για ένα στρατιωτικό όχημα, όπου αφού γίνει εισερχόμενο, επιθεωρείται και στη συνέχεια ο κινητήρας και το κιβώτιο ταχυτήτων προωθούνται στα αντίστοιχα τμήματα. Παράλληλα, μπορεί να χρειαστεί και η συνδρομή του ταπητουργείου, του μηχανουργείου και του σιδηουργείου για την εκτέλεση μικροεπισκευών και παραγωγή απαρτίων που απαιτούν αντικατάσταση ενώ εκτελούνται και εργασίες φανοποιίας. Τελευταίο στάδιο είναι η εκτέλεση εργασιών βαφής, εφόσον απαιτηθεί, και η πλήρης βαφή ώστε να παραδοθεί ένα όχημα που έχει παρατεταμένο πλέον όριο ζωής και έχει εξασφαλιστεί η καλή λειτουργία του.

Οι διεργασίες μπορεί να γίνονται παράλληλα, για πολλαπλούς τύπους υλικών, οι βλάβες δεν έχουν πάντα την ίδια βαρύτητα ή δεν είναι αναγκαία η επισκευή όλων των μεγάλων συγκροτημάτων (κινητήρας, κοκ) λόγω της χρήσης της μεθόδου Inspect and Repair Only As Needed (IROAN), οπότε καθίσταται αναγκαίο ο συντονισμός όλων των Συνεργείων για την έγκαιρη ολοκλήρωση των εργασιών.

Σε αυτό το σημείο θα πρέπει να τεθεί ένας σημαντικός παράγοντας όπου επηρεάζει την ομαλή ροή των εργασιών. Λόγω της πολυχρόνιας ενίοτε συνεχής χρήσης του υλικού και προκυπτουσών επιχειρησιακών αναγκών, σε πολλές περιπτώσεις υλικά γίνονται εισερχόμενα για επισκευή ως εκτός προγράμματος, διακόπτοντας την ομαλή ροή των εργασιών καθώς παίρνουν προτεραιότητα επισκευής. Τα υλικά αυτά είναι εκτός των προβλέψεων που έχουν τεθεί για την ετήσια παραγωγή, δεν παίρνουν στις περισσότερες περιπτώσεις σειρά αναμονής. Δηλαδή, στα προγραμματισμένα υλικά, χρησιμοποιούμε μια FIFO προτεραιοποίηση ενώ στα εκτός προγράμματος μπορεί να απαιτηθεί η LIFO αντιμετώπιση λόγω της κρισιμότητας του υλικού ή του ρό-

λου που εκτελεί. Ενδεικτικά αναφέρεται ότι σε συγκεκριμένη κατηγορία οχημάτων υπήρχε προώθηση σε πολύ υψηλό ποσοστό υλικών ως εκτός προγράμματος σε σχέση με τον αρχικό προγραμματισμό, κάτι που συνεπάγεται ανάλογη επιβάρυνση των εργασιών και παρέκκλιση από τον αρχικό προγραμματισμό.

### 6.3 Προσομοίωση δραστηριοτήτων/ενεργειών

Θα πρέπει αρχικά να γίνει ανάλυση της δομής των εργασιών του Εργοστασίου. Με την αρχική ανάλυση βλέπουμε ότι η λειτουργία του έχει τα χαρακτηριστικά έργου επισκευαστικής δραστηριότητας, όπου υπάρχει:

- Συγκεκριμένη αποστολή που αναλύεται όμως σε πάρα πολλά υλικά και διαδικασίες που πρέπει να συντονιστούν ταυτόχρονα ή με σειρά των εργασιών που ακολουθούνται ως αλυσίδα,
- Ημερομηνία έναρξης και λήξης είναι η έναρξη και η λήξη του έτους.
- Όριο στην χρηματοδότηση υπάρχουν και είναι αρκετά αυστηρά, όπως και σε κάθε παρόμοια δραστηριότητα.

Για την δημιουργία των παρακάτω διαγραμμάτων λαμβάνονται υπόψη κάποιες προϋποθέσεις:

- Το αναγκαίο προσωπικό είναι διαθέσιμο για το σύνολο της ημερολογιακής διάρκειας της εξέλιξης των εργασιών, για πλήρες δωρο και αξιοποιείται ο μέγιστος αριθμός όπου μπορούν να εργαστούν παράλληλα.
- Τα αναγκαία ανταλλακτικά είναι εξασφαλισμένα εκ των προτέρων και η χορήγηση ή η αγορά τους γίνεται άμεσα.
- Τα απαραίτητα εργαλεία και ειδικά εργαλεία είναι διαθέσιμα και δεν έχουμε την φθορά του, οπότε δεν έχουμε καθυστέρηση μέχρι την αντικατάστασή τους.
- Οι αναγκαίες εργαλειομηχανές και μηχανήματα είναι λειτουργικά, έχει γίνει η απαραίτητη συντήρηση που προβλέπουν οι κατασκευαστές και δεν παρουσιάζονται βλάβες που θα οδηγήσουν σε καθυστερήσεις.
- Έχουν εξασφαλιστεί τα αναγκαία αναλώσιμα, (πχ, ελαιολιπαντικά, κεφαλές εργαλειομηχανών) και υπάρχει η χρηματοδότηση ώστε να γίνεται άμεσα η αντικατάστασή τους, όταν αυτό απαιτηθεί.
- Δεν λαμβάνεται υπόψη η παράλληλη εργασία με παράλληλες γραμμές επισκευής αλλά εξετάζεται η ιδανικότερη και συντομότερη διάρκεια για ένα υλικό ανά Κύριο Συνεργείο με τις ιδανικότερες κατά περίπτωση συνθήκες. Εξαίρεση ο οπλισμός όπου λόγω της υφιστάμενης διαμόρφωσης εξετάζεται σύνολο τεμαχίων και όχι ένα τεμάχιο ξεχωριστά.
- Λήφθηκαν υπόψη για τα επιμέρους στάδια των εργασιών οι εργατοώρες που προβλέπονται στα Τεχνικά Εγχειρίδια (Technical Manuals-TMs), και το μέγιστο του προσωπικού που μπορεί να εργασθεί παράλληλα. Για παράδειγμα, για 32 εργατοώρες και 2 άτομα που εργάζονται ταυτόχρονα, έχουμε  $32/2=16$  εργατοώρες/8 ώρες εργασίμες=2 ημέρες.
- Εξετάζεται πάντα το οικονομικότερο σενάριο για την ολοκλήρωση της διαδικασίας IROAN, δηλαδή, για παράδειγμα έχουμε την επισκευή των κινητήρων και όχι την αγορά καινούργιων προ κέρδος χρόνου, καθώς στο κόστος θα ήταν πολλαπλάσιο. Η περίπτωση την μη δυνατότητας επισκευής δεν λαμβάνεται υπόψη, καθώς εξετάζουμε τη διαδικασία με τις καλύτερες δυνατές συνθήκες.

- Δεν εξετάζεται ξεχωριστό μοντέλο για κάθε τύπο υλικού καθώς το αποτέλεσμα θα ήταν πολύ σύνθετο λόγω της πολυτυπίας των μέσων, αλλά μια γενικότερη ροή εργασιών που μπορεί να προσαρμοστεί με μικρές αλλαγές κατά περίπτωση.

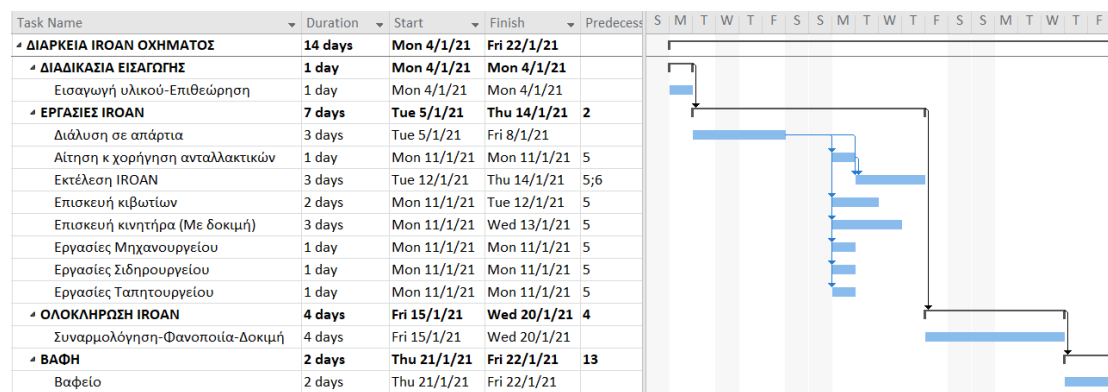
Ως ημερομηνία έναρξης των εργασιών θεωρείται για λόγους χρηστικότητας του προγράμματος MS Project η πρώτη εργάσιμη του έτους 2021, η οποία είναι η Δευτέρα 4 Ιανουαρίου 2021.

Παρακάτω παρουσιάζονται για τα 4 Κύρια Συνεργεία που υφίστανται, Οχημάτων, Πυροβόλων, Ερπυστριοφόρων και Οπλισμού οι χρονικές διάρκειες των εργασιών, τα αντίστοιχα διάγραμμα Gantt όπου φαίνονται οι αλληλεξαρτήσεις, καθώς και τα αντίστοιχα διαγράμματα PERT για την καλύτερη οπτική κατανόηση.

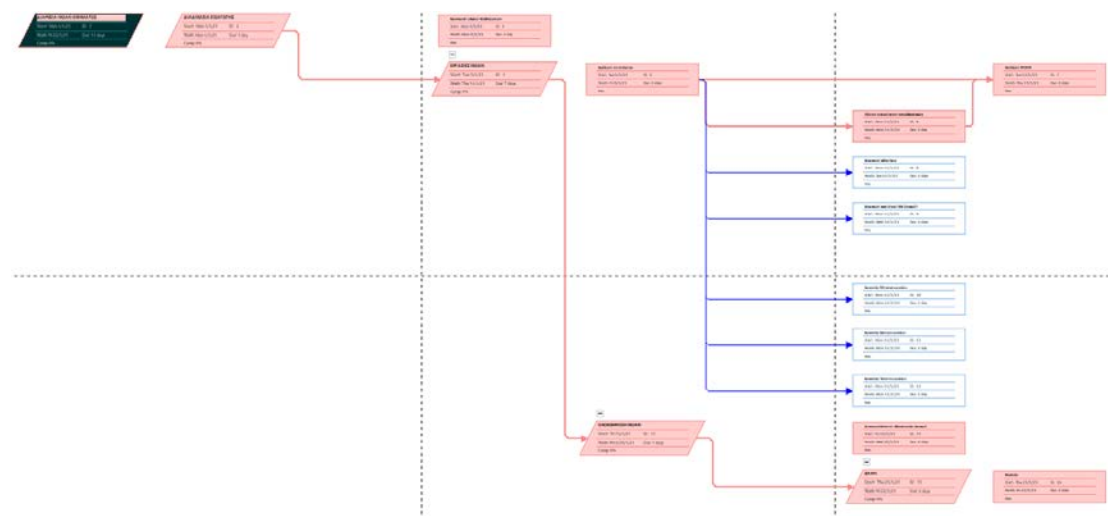
Μετά από τα διαγράμματα των προγραμματισμένων εργασιών, παρουσιάζονται τα αντίστοιχα διαγράμματα των εργασιών εκτός προγράμματος (εμβόλιμων), όπου ως κριτήριο έχουν επιλεγεί οι μικρότερες το δυνατόν βλάβες όπου μπορεί να παρουσιαστούν, άρα και οι συντομότερες. Εξετάζεται μόνο μια βλάβη, καθώς συνδυασμός τους θα οδηγούσε σε περισσότερες ημέρες επισκευής.

Εξάιρεση αποτελεί το Συνεργείο Οπλισμού, όπου λόγω της φύσης του υλικού γίνεται πλήρης ανακατασκευή.

### 6.3.1 Συνεργείο Οχημάτων



Σχ.6.1 Απαιτούμενες ημέρες κατά στάδια και διάγραμμα GANTT ΙΡΟΑΝ Οχήματος



Σχ.6.2 Διάγραμμα PERT ΙΡΟΑΝ Οχήματος

Παρατηρούμε ότι η ελάχιστη χρονική διάρκεια είναι οι 14 εργάσιμες ημέρες.

Task Name	Duration	Start	Finish	Pre	S	S	M	T
♦ ΔΙΑΡΚΕΙΑ ΕΠΙΣΚΕΥΗΣ ΕΚΤΟΣ ΠΡΟΓΡΑΜΜΑΤΟΣ ΟΧΗΜΑΤΟΣ	2 days	Mon 4/1/21	Tue 5/1/21					
♦ ΔΙΑΔΙΚΑΣΙΑ ΕΙΣΑΓΩΓΗΣ	1 day	Mon 4/1/21	Mon 4/1/21					
Εισαγωγή υλικού-Επιθεώρηση	1 day	Mon 4/1/21	Mon 4/1/21					
♦ ΕΡΓΑΣΙΕΣ ΕΠΙΣΚΕΥΗΣ	1 day	Tue 5/1/21	Tue 5/1/21	2				
Επισκευή οχήματος	1 day	Tue 5/1/21	Tue 5/1/21					

Σχ.6.3 Απαιτούμενες ημέρες κατά στάδια και διάγραμμα GANTT επισκευής Οχήματος Εκτός Προγράμματος



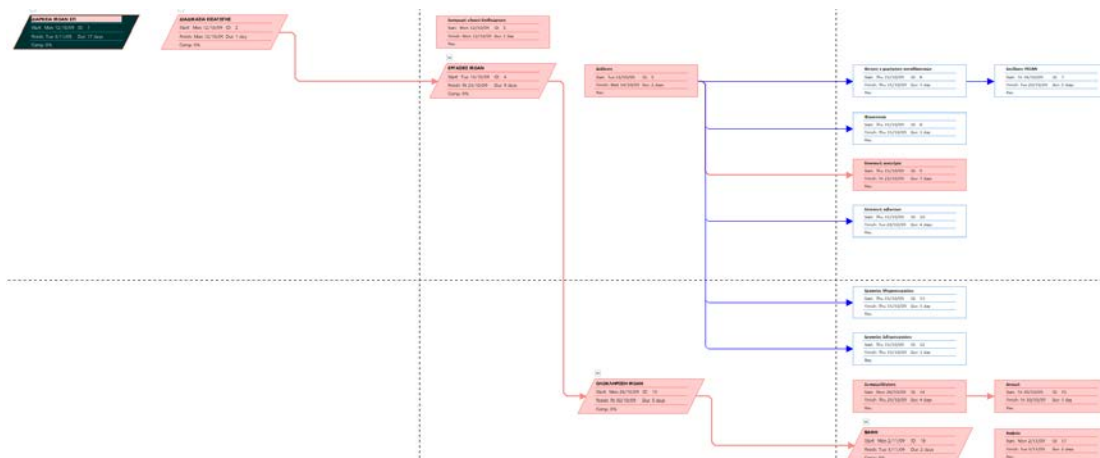
Σχ.6.4 Διάγραμμα PERT IROAN επισκευής Οχήματος Εκτός Προγράμματος

Παρατηρούμε ότι η ελάχιστη χρονική διάρκεια είναι οι 2 εργάσιμες ημέρες.

### 6.3.2 Συνεργείο Ερπυστριοφόρων

Task Name	Duration	Start	Finish	Pred	S	S	M	T	W	T	F	S	S	M	T	W	T	F	S	S	M	T	W	T	F	S	S	M	T
♦ ΔΙΑΡΚΕΙΑ IROAN ΕΡΠΥΣΤΡΙΟΦΟΡΟΥ	17 days	Mon 12/10/09	Tue 3/11/09																										
♦ ΔΙΑΔΙΚΑΣΙΑ ΕΙΣΑΓΩΓΗΣ	1 day	Mon 12/10/09	Mon 12/10/09																										
Εισαγωγή υλικού-Επιθεώρηση	1 day	Mon 12/10/09	Mon 12/10/09																										
♦ ΕΡΓΑΣΙΕΣ IROAN	9 days	Tue 13/10/09	Fri 23/10/09	2																									
Διάλυση	2 days	Tue 13/10/09	Wed 14/10/09																										
Αίτηση κ χορήγηση ανταλλακτικών	1 day	Thu 15/10/09	Thu 15/10/09	5																									
Εκτέλεση IROAN	3 days	Fri 16/10/09	Tue 20/10/09	6																									
Φανοποιία	1 day	Thu 15/10/09	Thu 15/10/09	5																									
Επισκευή κινητήρα	7 days	Thu 15/10/09	Fri 23/10/09	5																									
Επισκευή κιβωτίων	4 days	Thu 15/10/09	Tue 20/10/09	5																									
Εργασίες Μηχανουργείου	1 day	Thu 15/10/09	Thu 15/10/09	5																									
Εργασίες Σιδηρουργείου	1 day	Thu 15/10/09	Thu 15/10/09	5																									
♦ ΟΛΟΚΛΗΡΩΣΗ IROAN	5 days	Mon 26/10/09	Fri 30/10/09	4																									
Συναρμολόγηση	4 days	Mon 26/10/09	Thu 29/10/09																										
Δοκιμή	1 day	Fri 30/10/09	Fri 30/10/09	14																									
♦ ΒΑΦΗ	2 days	Mon 2/11/09	Tue 3/11/09	13																									
Βαφείο	2 days	Mon 2/11/09	Tue 3/11/09																										

Σχ.6.5 Απαιτούμενες ημέρες κατά στάδια και διάγραμμα GANTT IROAN Ερπυστριοφόρου

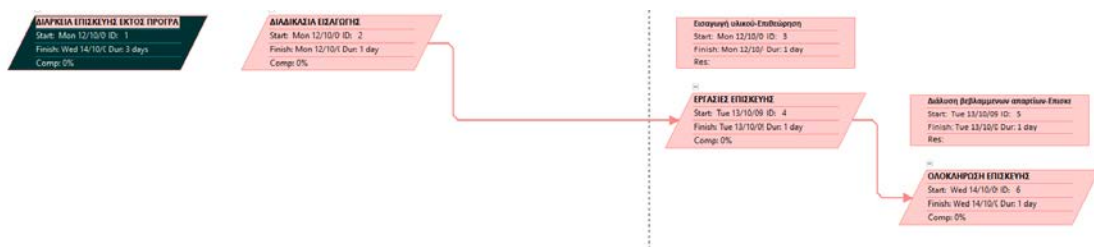


Σχ.6.6 Διάγραμμα PERT IROAN Ερπυστριοφόρου

Παρατηρούμε ότι η ελάχιστη χρονική διάρκεια είναι οι 17 εργάσιμες ημέρες.

Task Name	Duration	Start	Finish	Predecessor	S	S	M	T	W
ΔΙΑΡΚΕΙΑ ΕΠΙΣΚΕΥΗΣ ΕΚΤΟΣ ΠΡΟΓΡΑΜΜΑΤΟΣ ΕΡΠΥΣΤΡΙΟΦΟΡΟΥ	3 days	Mon 12/10/09	Wed 14/10/09						
ΔΙΑΔΙΚΑΣΙΑ ΕΙΣΑΓΩΓΗΣ	1 day	Mon 12/10/09	Mon 12/10/09						
Εισαγωγή υλικού-Επιθεώρηση	1 day	Mon 12/10/09	Mon 12/10/09						
ΕΡΓΑΣΙΕΣ ΕΠΙΣΚΕΥΗΣ	1 day	Tue 13/10/09	Tue 13/10/09	2					
Διάλυση βεβλαμμενων απαρτιων-Επισκευή	1 day	Tue 13/10/09	Tue 13/10/09						
ΟΛΟΚΛΗΡΩΣΗ ΕΠΙΣΚΕΥΗΣ	1 day	Wed 14/10/09	Wed 14/10/09	4					
Συναρμολόγηση-Δοκιμές	1 day	Wed 14/10/09	Wed 14/10/09						

Σχ.6.7 Απαιτούμενες ημέρες κατά στάδια και διάγραμμα GANTT επισκευής Ερπυστριοφόρου Εκτός Προγράμματος



Σχ.6.8 Διάγραμμα PERT IROAN επισκευής Ερπυστριοφόρου Εκτός Προγράμματος

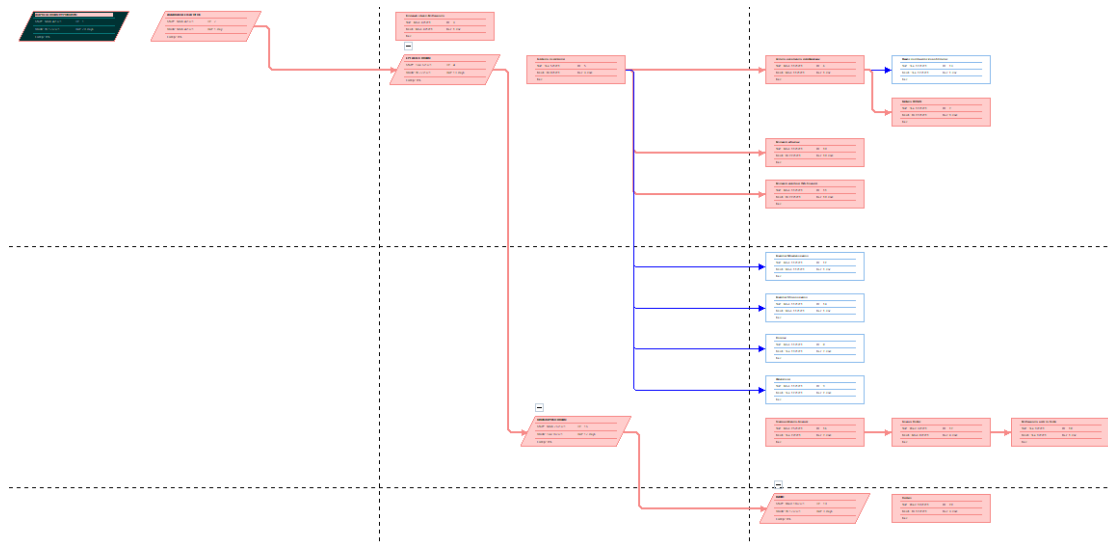
Παρατηρούμε ότι η ελάχιστη χρονική διάρκεια είναι οι 3 εργάσιμες ημέρες.

### 6.3.3 Συνεργείο Πυροβόλων

Task Name	Duration	Start	Finish	Predecessor
ΔΙΑΡΚΕΙΑ ΙΡΟΑΝ ΠΥΡΟΒΟΛΩΝ	29 days	Mon 4/1/21	Fri 12/2/21	
ΔΙΑΔΙΚΑΣΙΑ ΕΙΣΑΓΩΓΗΣ	1 day	Mon 4/1/21	Mon 4/1/21	
Εισαγωγή υλικού-Επιθεώρηση	1 day	Mon 4/1/21	Mon 4/1/21	
ΕΡΓΑΣΙΕΣ ΙΡΟΑΝ	13 days	Tue 5/1/21	Fri 22/1/21	2
Διάλυση σε απάρτια	3 days	Tue 5/1/21	Fri 8/1/21	
Αίτηση κ χορήγηση ανταλλακτικών	1 day	Mon 11/1/21	Mon 11/1/21	5
Εκτέλεση ΙΡΟΑΝ	9 days	Tue 12/1/21	Fri 22/1/21	6
Honing	7 days	Mon 11/1/21	Tue 19/1/21	5
Φανοποιία	2 days	Mon 11/1/21	Tue 12/1/21	5
Επισκευή κιβωτιών	10 days	Mon 11/1/21	Fri 22/1/21	5
Επισκευή κινητήρα (Με δοκιμή)	10 days	Mon 11/1/21	Fri 22/1/21	5
Εργασίες Μηχανουργείου	1 day	Mon 11/1/21	Mon 11/1/21	5
Έλεγχος συστήματος πυροδότησης	1 day	Tue 12/1/21	Tue 12/1/21	6
Εργασίες Σιδηρουργείου	1 day	Mon 11/1/21	Mon 11/1/21	5
ΟΛΟΚΛΗΡΩΣΗ ΙΡΟΑΝ	12 days	Mon 25/1/21	Tue 9/2/21	4
Συναρμολόγηση-Δοκιμές	7 days	Mon 25/1/21	Tue 2/2/21	
Δοκιμή Βολής	4 days	Wed 3/2/21	Mon 8/2/21	16
Επιθεώρηση μετά τη βολή	1 day	Tue 9/2/21	Tue 9/2/21	17
ΒΑΦΗ	3 days	Wed 10/2/21	Fri 12/2/21	15
Βαφείο	3 days	Wed 10/2/21	Fri 12/2/21	

Σχ.6.9 Απαιτούμενες ημέρες κατά στάδια και διάγραμμα GANTT ΙΡΟΑΝ Πυροβόλου



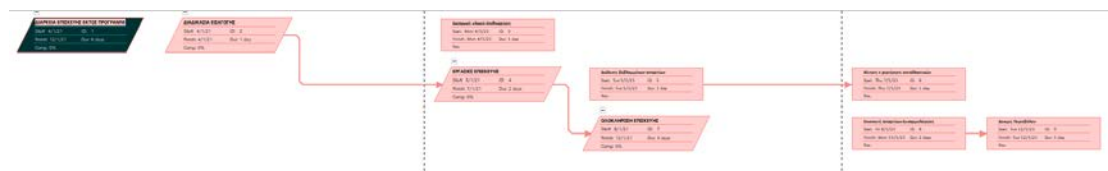


Σχ.6.10 Διάγραμμα PERT IROAN Πυροβόλου

Παρατηρούμε ότι η ελάχιστη χρονική διάρκεια είναι οι 29 εργάσιμες ημέρες.

Task Name	Duration	Start	Finish	Predec	F	S	S	M	T	W	T	F	S	M	T	W
ΔΙΑΡΚΕΙΑ ΕΠΙΣΚΕΥΗΣ ΕΚΤΟΣ ΠΡΟΓΡΑΜΜΑΤΟΣ ΠΥΡΟΒΟΛΩΝ	6 days	Mon 4/1/21	Tue 12/1/21													
ΔΙΑΔΙΚΑΣΙΑ ΕΙΣΑΓΩΓΗΣ	1 day	Mon 4/1/21	Mon 4/1/21													
Εισαγωγή υλικού-Επιθεώρηση	1 day	Mon 4/1/21	Mon 4/1/21													
ΕΡΓΑΣΙΕΣ ΕΠΙΣΚΕΥΗΣ	2 days	Tue 5/1/21	Thu 7/1/21	2												
Διάλυση βεβλαμμένων απαρτίων	1 day	Tue 5/1/21	Tue 5/1/21													
Αίτηση κ χορήγηση ανταλλακτικών	1 day	Thu 7/1/21	Thu 7/1/21	5												
ΟΛΟΚΛΗΡΩΣΗ ΕΠΙΣΚΕΥΗΣ	3 days	Fri 8/1/21	Tue 12/1/21	4												
Επισκευή απαρτίων-Συναρμολόγηση	2 days	Fri 8/1/21	Mon 11/1/21													
Δοκιμή Πυροβόλου	1 day	Tue 12/1/21	Tue 12/1/21	8												

Σχ.6.11 Απαιτούμενες ημέρες κατά στάδια και διάγραμμα GANTT επισκευής Πυροβόλου Εκτός Προγράμματος



Σχ.6.12 Διάγραμμα PERT IROAN επισκευής Πυροβόλου Εκτός Προγράμματος

Παρατηρούμε ότι η ελάχιστη χρονική διάρκεια είναι οι 6 εργάσιμες ημέρες.

### 6.3.4 Συνεργείο Οπλισμού

Task Name	Duration	Start	Finish	Predec	F	S	S	M	T	W	T	F	S	M	T	W
ΔΙΑΡΚΕΙΑ IROAN ΟΠΛΙΣΜΟΥ	8 days	Mon 4/1/21	Thu 14/1/21													
ΔΙΑΔΙΚΑΣΙΑ ΕΙΣΑΓΩΓΗΣ	2 days	Mon 4/1/21	Tue 5/1/21													
Εισαγωγή-Έλεγχος υλικού	2 days	Mon 4/1/21	Tue 5/1/21													
ΕΡΓΑΣΙΕΣ IROAN	4 days	Thu 7/1/21	Tue 12/1/21	2												
Λύσιμο οπλισμού στα επι μέρους απάρτια	1 day	Thu 7/1/21	Thu 7/1/21													
Αίτηση κ χορήγηση ανταλλακτικών	1 day	Fri 8/1/21	Fri 8/1/21	5												
Εργασίες Πλυντηρίου-Αμμοβολής-Φωσφάτωσης-Βαφής	2 days	Mon 11/1/21	Tue 12/1/21	6												
ΟΛΟΚΛΗΡΩΣΗ IROAN	2 days	Wed 13/1/21	Thu 14/1/21	4												
Συναρμολόγηση οπλισμού	2 days	Wed 13/1/21	Thu 14/1/21													

**Σχ.6.13** Απαιτούμενες ημέρες κατά στάδια και διάγραμμα GANTT IROAN Οπλισμού



**Σχ.6.14** Διάγραμμα PERT IROAN Οπλισμού

Παρατηρούμε ότι η ελάχιστη χρονική διάρκεια είναι οι 8 εργάσιμες ημέρες, για ένα πακέτο 100 τεμαχίων οπλισμού.

## 6.4 Εξέταση πιθανών σεναρίων

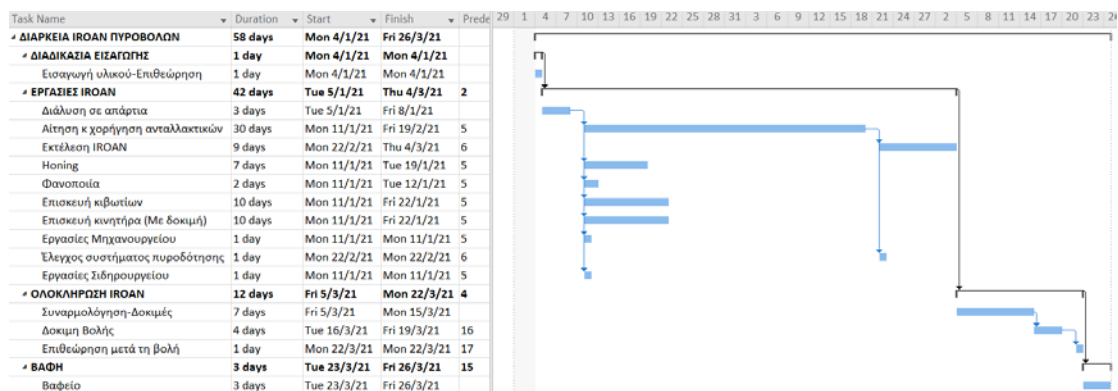
Εξετάζονται 3 επιλεγμένα αλλά ρεαλιστικά σενάρια προς εξέταση με όσο το δυνατόν ρεαλιστικές χρονικές διάρκειες, εφόσον τα σενάρια που μπορεί να οδηγήσουν σε καθυστέρηση είναι πολυάριθμα σε αριθμό. Αυτά τα σενάρια έχουν επιπτώσεις στην επισκευαστική διαδικασία και οδηγούν σε καθυστερήσεις στο σύνολο της λόγω της αλληλεξάρτησης των επισκευαστικών σταδίων. Σκοπός της εξέτασης τους είναι να σχηματιστεί μια εικόνα για τα δυνατά προβλήματα που μπορεί να προκύψουν και θα επηρεάσουν τη συνολική επισκευαστική διαδικασία., καθώς μια καθυστέρηση επιβαρύνει και τις εργασίες που ακολουθούν.

Για την ευχερέστερη εξέταση των σεναρίων, εξετάζονται εργάσιμες ημέρες και όχι ημερολογιακές.

### 6.4.1 Καθυστέρηση στην παράδοση ανταλλακτικών

Το πρώτο σενάριο που εξετάζεται είναι η μη έγκαιρη διάθεση των αναγκαίων ανταλλακτικών που απαιτούνται για την εκτέλεση των εργασιών IROAN. Αυτό μπορεί να οφείλεται είτε στην έλλειψη τους εξαρχής, είτε στην εμφάνιση της ανάγκης τους κατά τη διαδικασία της διάλυσης όπου δεν έχει γίνει η πρόβλεψη τους λόγω παλαιότητας ή μη αναμενομένων βλαβών. Ειδικότερα όταν η παραλαβή γίνεται από πηγές εξωτερικού επειδή όταν είναι διαθέσιμα στην εγχώρια αγορά, μεσολαβεί μεγαλύτερο χρονικό διάστημα για την παραλαβή τους και αντίστοιχα μεγαλύτερη καθυστέρηση.

Στο σενάριο αυτό εξετάζεται η καθυστέρηση 30 εργάσιμων ημερών για την χορήγηση του συνόλου των αναγκαίων ανταλλακτικών.



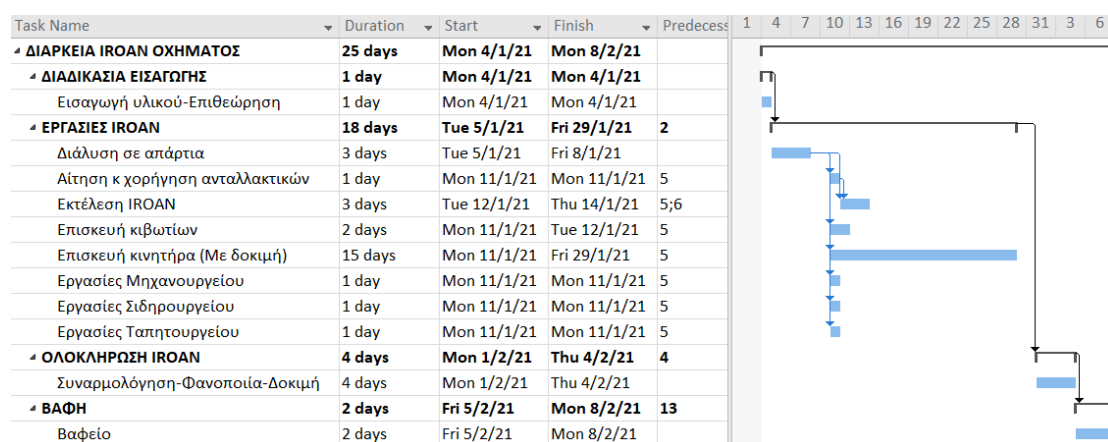
**Σχ.6.15** Απαιτούμενες ημέρες κατά στάδια και διάγραμμα GANTT IROAN Πυροβόλου με υφιστάμενο σενάριο καθυστέρησης στη χορήγηση ανταλλακτικών

Παρατηρούμε ότι από τις 29 εργάσιμες ημέρες όπου είχαν υπολογιστεί αρχικά, η επισκευή διαρκεί πλέον 58 εργάσιμες ημέρες, έχουμε δηλαδή τον διπλασιασμό της διάρκειας ολοκλήρωσης των εργασιών.

#### 6.4.2 Βλάβη σε ηλεκτρομηχανολογικό εξοπλισμό

Ένα εξίσου πιθανό σενάριο είναι η βλάβη που εμφανίζεται απρόβλεπτα στον ηλεκτρομηχανολογικό εξοπλισμό, εμφανίζεται όχι μόνο σε επισκευαστικές αλλά και σε παραγωγικές διαδικασίες κάθε τύπου επιχείρησης. Η καθυστέρηση που εισάγεται οφείλεται στη διερεύνηση της αιτίας που προκάλεσε τη βλάβη και στην επισκευή της με τον καλύτερο και οικονομικότερο τρόπο.

Στο σενάριο αυτό εξετάζεται η καθυστέρηση 12 εργάσιμων ημερών στην επισκευή του κινητήρα λόγω βλάβης του δοκιμαστηρίου, οπότε η διάρκεια αυξάνεται από τις 3 ημέρες στις 15.



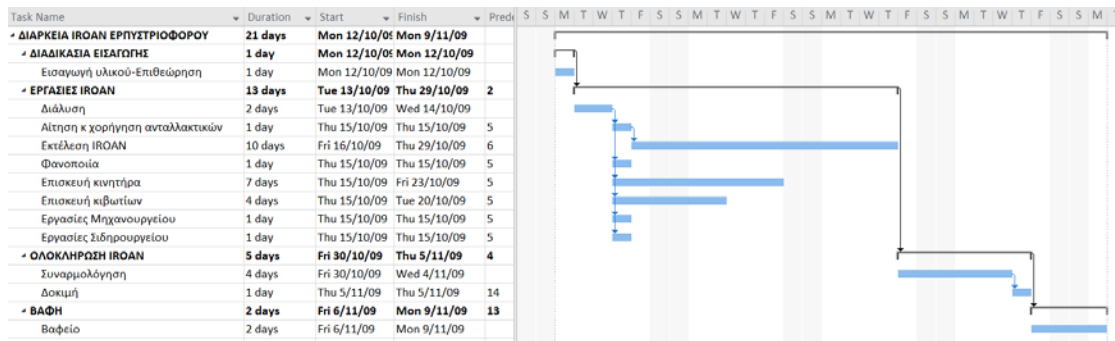
Σχ.6.15 Απαιτούμενες ημέρες κατά στάδια και διάγραμμα GANTT ΙΡΟΑΝ Οχήματος με υφιστάμενο σενάριο καθυστέρησης λόγω βλάβης ηλεκτρομηχανολογικού εξοπλισμού

Παρατηρούμε ότι η επισκευαστική διαδικασία διαρκεί πλέον 25 εργάσιμες ημέρες από την αρχική εκτίμηση των 14 εργάσιμων ημερών, καθώς καθυστερεί το αμέσως επόμενο στάδιο που είναι η «Συναρμολόγηση-Φανοποιία-Δοκιμή» και τα ακόλουθα του.

#### 6.4.3 Ασθένεια προσωπικού

Στο τρίτο σενάριο εξετάζουμε την ασθένεια του εξειδικευμένου προσωπικού που εκτελεί τις εργασίες, το οποίο είναι κρίσιμο καθώς το προσωπικό που εκτελεί τις εργασίες, λόγω της εμπειρίας και της γνώσης δεν αντικαθίσταται εύκολα.

Στο σενάριο αυτό εξετάζεται η καθυστέρηση 7 εργάσιμων ημερών στην ολοκλήρωση του σταδίου «Εκτέλεση ΙΡΟΑΝ», οπότε η διάρκεια αυξάνεται από τις 3 ημέρες στις 10 εργάσιμες.



**Σχ.6.15** Απαιτούμενες ημέρες κατά στάδια και διάγραμμα GANTT ΙΡΟΑΝ Ερπυ-  
στριοφόρου με υφιστάμενο σενάριο καθυστέρησης ανταλλακτικών

Παρατηρούμε ότι η επισκευαστική διαδικασία διαρκεί πλέον 21 εργάσιμες ημέ-  
ρες από την αρχική εκτίμηση των 17 ημερών, καθώς το στάδιο «Εκτέλεση ΙΡΟΑΝ»  
καθυστερεί κατά 4 ημέρες την συνολική εξέλιξη των εργασιών.

## ΚΕΦΑΛΑΙΟ 7:ΕΞΑΓΩΓΗ ΣΧΕΤΙΚΩΝ ΣΥΜΠΕΡΑΣΜΑΤΩΝ ΚΑΙ ΠΡΟΤΑΣΕΙΣ ΒΕΛΤΙΩΣΗΣ

Με την ολοκλήρωση του σχεδιασμού των μοντέλων για τα κυριότερα Συνεργεία του 301 ΕΒ, έχει δημιουργηθεί η βάση για τον καλύτερο προγραμματισμό και τη μελλοντική αξιοποίηση τους.

Όντας τα μοντέλα αυτά δυναμικά, μπορεί να γίνει τροποποίηση και προσαρμογή τους στις μεταβαλλόμενες πραγματικές συνθήκες και για κάθε τύπο υλικού ενώ μπορούν να εξαχθούν συμπεράσματα για την αντιμετώπιση των προβλημάτων που έχουν παρουσιαστεί στα πιθανά σενάρια καθυστέρησης.

Αρχικά στο σενάριο της καθυστέρησης χορήγησης ανταλλακτικών, διαφαίνεται η κρισιμότητα για την ύπαρξη ικανού αποθέματος ανταλλακτικών. Είναι αναγκαία η σωστή διαχείριση του και η αναπαραγγελία για την ανανέωση του στο κατάλληλο ύψος αποθέματος, για να επιτυγχάνεται η παραλαβή των νέων ανταλλακτικών χωρίς καθυστερήσεις.

Στην περίπτωση της έλλειψης των ανταλλακτικών, είτε λόγω σπανιότητας της βλάβης είτε λόγω δυσκολίας της προμήθειας, (για παράδειγμα από πηγές εξωτερικού λόγω μη ύπαρξης στην εγχώρια αγορά), η αναλογία κόστους/χρόνου παράδοσης πρέπει να εξετάζεται κατά περίπτωση.

Για το σενάριο της βλάβης σε ηλεκτρομηχανολογικό εξοπλισμό, διαφαίνεται η ανάγκη της ύπαρξης των οικονομικών κυρίως πόρων, για την έγκαιρη και ορθή συντήρηση του. Σε περίπτωση βλάβης θα πρέπει να εξετάζεται κα πάλι η αναλογία ανάγκης του εξοπλισμού, ειδικότερα όταν ο εξοπλισμός χρησιμοποιείται για πολλαπλές εργασίες (για παράδειγμα, φρέζες ή τόρνοι).

Για το σενάριο της ασθένειας του εξειδικευμένου προσωπικού, είναι προφανές ότι ο αριθμός που είναι διαθέσιμος για εργασία θα πρέπει να είναι μεγαλύτερος από τον αναγκαίο. Είναι δυνατό με αυτό τον τρόπο να υπολογίζονται απουσίες λόγω αδειών, ασθενειών ή άλλων παραγόντων χωρίς να δημιουργούνται καθυστερήσεις στην επισκευαστική διαδικασία.

## BIBΛΙΟΓΡΑΦΙΑ

- (1) <https://en.wikipedia.org/wiki/Simulation>
- (2) A brief history of simulation avid Goldsman Georgia Institute of Technology Richard Nance Virginia Polytechnic Institute and State University James R. Wilson North Carolina State University Proceedings - Winter Simulation Conference, January 2010
- (3) Simulation Modeling and Analysis fifth edition Averill m. Law
- (4) [https://en.wikipedia.org/wiki/Simulation\\_in\\_manufacturing\\_systems](https://en.wikipedia.org/wiki/Simulation_in_manufacturing_systems)
- (5) Simulation The Practice of Model Development and Use 2nd edition Stewart Robinson
- (6) Modeling and Simulation of Systems using MATLAB® and Simulink®, Devendra K. Chaturvedi, CRC Press
- (7) [https://en.wikipedia.org/wiki/Program\\_evaluation\\_and\\_review\\_technique](https://en.wikipedia.org/wiki/Program_evaluation_and_review_technique)
- (8) An Introduction to Queueing Theory Modeling and Analysis in Applications Second Edition U. Narayan Bhat
- (9) Fundamentals of queueing theory, 5th Edition John F. Shortle, James M. Thompson, Donald Gross, Carl M. Harris