

ΠΑΝΕΠΙΣΤΗΜΙΟ ΠΕΙΡΑΙΩΣ

ΜΕΤΑΠΤΥΧΙΑΚΟ ΠΡΟΓΡΑΜΜΑ ΣΤΗΝ ΟΡΓΑΝΩΣΗ & ΔΙΟΙΚΗΣΗ
ΒΙΟΜΗΧΑΝΙΚΩΝ ΣΥΣΤΗΜΑΤΩΝ

ΕΙΔΙΚΕΥΣΗ: LOGISTICS (ΕΦΟΔΙΑΣΜΟΣ ΚΑΙ ΔΙΑΚΙΝΗΣΗ ΠΡΟΪΟΝΤΩΝ)

ΠΤΥΧΙΑΚΗ ΕΡΓΑΣΙΑ ΜΕ ΘΕΜΑ:

**ΑΝΑΠΤΥΞΗ ΓΕΝΙΚΕΥΜΕΝΟΥ
ΜΟΝΤΕΛΟΥ
ΠΡΟΣΟΜΟΙΩΣΗΣ ΓΙΑ
ΣΤΟΧΑΣΤΙΚΑ ΣΥΣΤΗΜΑΤΑ
ΔΙΑΧΕΙΡΙΣΗΣ ΑΠΟΘΕΜΑΤΩΝ**

ΖΩΗ ΧΟΥΡΜΟΥΖΙΑΔΟΥ (ΜΠΛ/0402)

ΕΠΙΒΛΕΠΩΝ ΚΑΘΗΓΗΤΗΣ: ΔΗΜΗΤΡΗΣ ΕΜΙΡΗΣ

ΠΕΙΡΑΙΑΣ, 2007

ГАНЕПТИЧНО ТЕПЛА

Ολοκληρώνοντας την παρούσα μελέτη θα ήθελα να ευχαριστήσω όσους συνέβαλλαν με οποιοδήποτε τρόπο στην προσπάθεια αυτή. Κατ' αρχάς τον Τάσο Κουτσοποδιάτη για τις συμβουλές και τις κατευθύνσεις που μου έδωσε στο ξεκίνημα, τον προϊστάμενό μου Στάθη Ζώτο, για το ενδιαφέρον και την κατανόηση που έδειξε κατά τη διάρκεια εκπόνησης της εργασίας, τον Παναγιώτη Παπαχρήστο για την υποστήριξή του όλο αυτό το διάστημα και τα μέλη της εξεταστικής επιτροπής για το ενδιαφέρον και το χρόνο που διέθεσαν. Πάνω από όλα θα ήθελα να ευχαριστήσω τον επιβλέπων καθηγητή μου, Δημήτρη Εμίρη, για τις ουσιαστικές συμβουλές, τις κατευθύνσεις, το ενδιαφέρον και τον πολύτιμο χρόνο που διέθεσε προκειμένου να ολοκληρωθεί αυτή η μελέτη.

ГАНЕПТИЧНО ТЕПЛА

ΣΥΝΟΨΗ

Στο πλαίσιο της διαχείρισης αποθεμάτων σε πραγματικές συνθήκες, η εργασία αυτή, παρουσιάζει ένα εργαλείο για την υποστήριξη της διαδικασίας διαμόρφωσης της πολιτικής αποθεματοποίησης. Σε ένα περιβάλλον όπου επικρατούν ποικίλοι εσωτερικοί και εξωτερικοί περιορισμοί, από την επιχείρηση, την αγορά, τη μεταφορά, τους προμηθευτές και αλλού, η διαμόρφωση της κατάλληλης πολιτικής αποθεματοποίησης αποτελεί συχνά αντικείμενο αλληλοσυγκρουόμενων συμφερόντων. Τα παραδοσιακά εργαλεία της Επιχειρησιακής Έρευνας και τα μαθηματικά μοντέλα βελτιστοποίησης δεν επαρκούν γιατί βασίζονται σε υποθέσεις και περιορισμούς που δεν ανταποκρίνονται στις εκάστοτε πραγματικές συνθήκες. Η παρούσα εργασία, λοιπόν, προτείνει τη χρήση της προσομοίωσης ως εργαλείο για την υποστήριξη της λήψης αποφάσεων και παρουσιάζει ένα γενικευμένο μοντέλο προσομοίωσης στοχαστικών συστημάτων διαχείρισης αποθεμάτων. Στόχος του είναι η εκτίμηση της απόδοσης ενός δεδομένου συστήματος αποθεμάτων, η διερεύνηση των επιπτώσεων που θα έχουν συγκεκριμένες αποφάσεις σε ένα σύστημα, καθώς και η ανάλυση ευαισθησίας των αποφάσεων. Το μοντέλο αυτό βρίσκει πολλές εφαρμογές στην αντιμετώπιση βασικών προβλημάτων της διαδικασίας διαχείρισης αποθεμάτων.

ΠΡΟΛΟΓΟΣ

Η διαχείριση αποθεμάτων αποτελεί μια κρίσιμη διαδικασία για τις σύγχρονες επιχειρήσεις, καθώς καλείται να εξισορροπεί αφενός το υψηλό απόθεμα και αφετέρου την πιθανότητα έλλειψης. Η υπέρ-αποθεματοποίηση σημαίνει υψηλό διαχειριστικό κόστος και δεσμευμένο κεφάλαιο, ενώ η έλλειψη ενέχει κινδύνους και κόστη που είναι δύσκολο πολλές φορές να εκτιμηθούν ποσοτικά. Η διαχείριση αποθεμάτων καλείται να ορίζει *πότε* και *τι ποσότητα* πρέπει να προμηθεύεται μία επιχείρηση για να εξασφαλίζει το επιθυμητό επίπεδο εξυπηρέτησης με δεδομένους τους περιορισμούς του εσωτερικού και του εξωτερικού περιβάλλοντος. Στην κατεύθυνση αυτή χρησιμοποιούνται διάφορα εργαλεία της επιστήμης των μαθηματικών και της επιχειρησιακής έρευνας, όπως μοντέλα βελτιστοποίησης, μαθηματικοί τύποι, πρόβλεψη και άλλα. Τα περισσότερα εργαλεία που προτείνουν λύσεις υπόκεινται σε περιορισμούς και παραδοχές, οι οποίες είναι δύσκολο να προσεγγίζουν τις πραγματικές συνθήκες λειτουργίας ενός συστήματος διαχείρισης αποθεμάτων. Η πραγματικότητα είναι συνήθως πιο πολύπλοκη από κάθε μαθηματικό μοντέλο.

Η παρούσα μελέτη επιχειρεί να προσεγγίσει τις συνθήκες λειτουργίας ενός πραγματικού συστήματος διαχείρισης αποθεμάτων εισάγοντας του ελάχιστους δυνατούς περιορισμούς και παραδοχές, χρησιμοποιώντας ως εργαλείο την προσομοίωση. Σε γενικές γραμμές, η προσομοίωση βρίσκει πλήθος εφαρμογών στον τομέα της διαχείρισης αποθεμάτων και ενδείκνυται για τη μοντελοποίηση πολύπλοκων συστημάτων. Στην κατεύθυνση αυτή, επιχειρείται η προσέγγιση ενός στοχαστικού συστήματος διαχείρισης αποθεμάτων μέσω της προσομοίωσης.

Σκοπός της μελέτης είναι να παρουσιάσει ένα μοντέλο το οποίο θα χρησιμοποιείται για τη λήψη αποφάσεων σε θέματα που αφορούν στη διαχείριση αποθεμάτων, ανεξάρτητα από τον τομέα δραστηριότητας και τους αντικειμενικούς στόχους της εκάστοτε επιχείρησης. Βασική επιδίωξη είναι η γενικευμένη διατύπωση της διαδικασίας διαχείρισης αποθεμάτων και η ανάπτυξη ενός μοντέλου που δεν δίνει προτάσεις και έτοιμες λύσεις, αλλά ουσιαστική πληροφόρηση. Η πληροφόρηση απευθύνεται σε έμπειρους χρήστες και αφορά σε οικονομικές και άλλες επιπτώσεις που μπορεί να έχει κάθε πιθανή απόφαση διαχείρισης αποθεμάτων. Αυτό είναι δυνατό να επιτυγχάνεται με την ανάπτυξη ενός απλού, λειτουργικού μοντέλου προσομοίωσης που θα μπορεί να χρησιμοποιείται εύκολα στο περιβάλλον μιας σύγχρονης επιχείρησης και θα εξετάζει παραμέτρους κόστους και επιπέδου εξυπηρέτησης, δηλαδή παραμέτρους κρίσιμους κατά τη διαδικασία διαχείρισης αποθεμάτων.

Συνεπώς η μελέτη αυτή, μέσω του μοντέλου προσομοίωσης που εισάγει, μπορεί να συμβάλει τόσο στην ανάπτυξη της στρατηγικής διαχείρισης αποθεμάτων, καθώς δίνει τη δυνατότητα ανάπτυξης υποθετικών σεναρίων, όσο και στην διασφάλιση εφαρμογής δεδομένης στρατηγικής, καθώς επιτρέπει την εκτίμηση της απόδοσης δεδομένων συστημάτων. Επιπλέον, μπορεί να χρησιμοποιηθεί για την εκτίμηση των κινδύνων και της απόδοσης που μπορεί να έχουν κάποιες αλλαγές σε ένα σύστημα διαχείρισης αποθεμάτων, χωρίς αυτές να χρειάζεται να τεθούν σε πράξη. Επομένως, η συγκεκριμένη μελέτη συνεισφέρει στην ορθολογιστική και αποτελεσματική διαμόρφωση, αλλά και εκτίμηση της πολιτικής αποθεματοποίησης.

Συνοψίζοντας, στο πλαίσιο της παρούσας μελέτης, αναπτύσσεται ένα γενικευμένο μοντέλο προσομοίωσης στοχαστικών συστημάτων διαχείρισης αποθεμάτων, το οποίο θα μπορεί να παρέχει την απαραίτητη πληροφόρηση και υποστήριξη κατά τη διαδικασία λήψης αποφάσεων. Προς αυτή την κατεύθυνση, βασική επιδίωξη είναι να αναπτυχθεί ένα εργαλείο εύκολο, λειτουργικό που θα μπορεί να δίνει γρήγορα, έγκυρα αποτελέσματα, σύμφωνα πάντα με τις απαιτήσεις της σύγχρονης επιχείρησης.

ΔΙΑΡΘΩΣΗ ΤΗΣ ΕΡΓΑΣΙΑΣ

Η εργασία αυτή πραγματεύεται τη διαδικασία διαχείρισης αποθεμάτων σε πραγματικές συνθήκες και αναπτύσσει ένα εργαλείο για την υποστήριξη της διαδικασίας διαμόρφωσης της πολιτικής αποθεματοποίησης. Πιο συγκεκριμένα προτείνει τη χρήση της προσομοίωσης ως εργαλείο για την υποστήριξη της λήψης αποφάσεων. Προς αυτή την κατεύθυνση παρουσιάζει τους βασικούς στόχους και τον τρόπο που τους πετυχαίνει ακολουθώντας τη δομή που περιγράφεται αναλυτικά παρακάτω.

Η μελέτη ξεκινά στο **Κεφάλαιο 1** με τη διατύπωση του προβλήματος που καλείται να αντιμετωπίσει. Πιο συγκεκριμένα, παρουσιάζονται οι πραγματικές συνθήκες και τα προβλήματα που αντιμετωπίζει ο υπεύθυνος διαχείρισης αποθεμάτων σε μία σύγχρονη επιχείρηση. Στη συνέχεια, γίνεται μία εκτενής έρευνα στη βιβλιογραφία όπου παρουσιάζονται οι αναφορές της Επιχειρησιακής Έρευνας και των Μαθηματικών προς αυτή την κατεύθυνση. Με τον τρόπο αυτό εντοπίζονται τα κενά στη βιβλιογραφία που καλείται να καλύψει η παρούσα μελέτη και τεκμηριώνεται η αναγκαιότητα αυτής. Τέλος παρουσιάζονται οι βασικοί άξονες στους οποίους βασίζεται η συνεισφορά της.

Στο **Κεφάλαιο 2** γίνεται μία εισαγωγική αναφορά στην προσομοίωση ως εργαλείο και στις γενικές αρχές που διέπουν τα συστήματα διαχείρισης αποθεμάτων. Πιο συγκεκριμένα, παρουσιάζονται οι βασικοί λόγοι για τους οποίους χρησιμοποιείται η προσομοίωση και ορίζονται τα συστατικά στοιχεία ενός μοντέλου προσομοίωσης. Στη συνέχεια, αναλύονται τα κύρια χαρακτηριστικά ενός συστήματος αποθεμάτων, δημιουργώντας μια βάση αναφοράς για τα μετέπειτα κεφάλαια της μελέτης. Τέλος, συνδυάζοντας τα χαρακτηριστικά των συστημάτων διαχείρισης αποθεμάτων και της προσομοίωσης, προσδιορίζονται τα βασικά δομικά στοιχεία ενός μοντέλου προσομοίωσης αποθεμάτων.

Στην **Κεφάλαιο 3** παρουσιάζεται σε βάθος το πραγματικό σύστημα στο οποίο στηρίζεται το μοντέλο προσομοίωσης. Πιο αναλυτικά, γίνεται πλήρης αναφορά στους κανόνες λειτουργίας, στα βασικά χαρακτηριστικά και στις ιδιαιτερότητες που το διέπουν. Η ανάλυση, η παρουσίαση και η κατανόηση της λειτουργίας του πραγματικού συστήματος αποτελούν τη βάση για την ανάπτυξη του μοντέλου προσομοίωσης στη συνέχεια.

Στο **Κεφάλαιο 4** αναφέρονται αναλυτικά τα στάδια στη διαδικασία ανάπτυξης του μοντέλου προσομοίωσης. Αρχικά, παρουσιάζεται η διαμόρφωση του μοντέλου: ποιες είναι οι βασικές λειτουργίες του, ποιες είναι οι υποθέσεις και οι παραδοχές στις οποίες στηρίζεται, ποια δεδομένα εισόδου χρησιμοποιεί, ποια ροή πληροφορίας ακολουθεί και τι αποτελέσματα δίνει. Στη συνέχεια, με δεδομένη την ανάλυση απαιτήσεων του μοντέλου και τις απαραίτητες

προδιαγραφές λειτουργίας του εργαλείου προσομοίωσης, γίνεται η επιλογή του κατάλληλου λογισμικού ανάπτυξης, παρουσιάζονται τα βασικά στάδια κατά την υλοποίηση του μοντέλου προσομοίωσης, καθώς και το περιβάλλον λειτουργίας του. Τέλος, ακολουθεί η επαλήθευση του μοντέλου σε μια προσπάθεια να εξακριβωθεί η εγκυρότητα των αποτελεσμάτων που υπολογίζει χρησιμοποιώντας τη μέθοδο της σύγκρισης με το πραγματικό σύστημα.

Στο **Κεφάλαιο 5** γίνεται μία αναφορά στην πρακτική εφαρμογή του μοντέλου προσομοίωσης, χρησιμοποιώντας πραγματικά δεδομένα και παραδείγματα. Πιο συγκεκριμένα, παρουσιάζονται κάποια βασικά θέματα προβληματισμού στον τομέα διαχείρισης αποθεμάτων και ο τρόπος που μπορούν να αντιμετωπιστούν αυτά μέσα από το μοντέλο προσομοίωσης.

Η εργασία ολοκληρώνεται με την εκτίμηση και μια τελική επισκόπηση της προσφοράς της. Αναλυτικότερα, στα **Συμπεράσματα** συνοψίζεται η πορεία εργασιών που ακολουθήθηκε, εκτιμούνται τα αποτελέσματα που προέκυψαν, αξιολογείται η συνεισφορά της και επανεξετάζονται οι αρχικοί στόχοι. Τέλος, αναφέρονται οι **Κατευθύνσεις Μελλοντικής Έρευνας** που μπορούν να βασιστούν στη δεδομένη μελέτη και να συμβάλλουν στη βελτίωση της διαδικασίας διαχείρισης αποθεμάτων.

Η εργασία συνοδεύεται από δύο παραρτήματα που έχουν υποστηρικτικό ρόλο, καθώς περιέχουν αναλυτικά διαγράμματα και αποτελέσματα της μελέτης. Στο **Παράρτημα Α** παρουσιάζονται κάποια διαγράμματα ροής πληροφοριών που αφορούν τόσο στο πραγματικό σύστημα όσο και στο μοντέλο προσομοίωσης. Στο **Παράρτημα Β** παρατίθενται οι αναλυτικοί πίνακες αποτελεσμάτων της προσομοίωσης για τα παραδείγματα που χρησιμοποιούνται στα Κεφάλαια 4 & 5 και αφορούν θέματα ανάλυσης ή προβληματισμού στον τομέα της διαχείρισης αποθεμάτων.

ΠΙΝΑΚΑΣ ΠΕΡΙΕΧΟΜΕΝΩΝ

ΑΝΑΠΤΥΞΗ ΓΕΝΙΚΕΥΜΕΝΟΥ ΜΟΝΤΕΛΟΥ ΠΡΟΣΟΜΟΙΩΣΗΣ ΓΙΑ ΣΤΟΧΑΣΤΙΚΑ ΣΥΣΤΗΜΑΤΑ ΔΙΑΧΕΙΡΙΣΗΣ ΑΠΟΘΕΜΑΤΩΝ	1
ΣΥΝΟΨΗ	5
ΠΡΟΛΟΓΟΣ	6
ΔΙΑΡΘΩΣΗ ΤΗΣ ΕΡΓΑΣΙΑΣ	8
ΠΙΝΑΚΑΣ ΠΕΡΙΕΧΟΜΕΝΩΝ	10
1 ΔΙΑΤΥΠΩΣΗ ΤΟΥ ΠΡΟΒΛΗΜΑΤΟΣ	11
1.1 Βιβλιογραφική Ανασκόπηση	12
1.2 Τεκμηρίωση Αναγκαιότητας	14
1.3 Βασικοί Στόχοι	17
2 Η ΠΡΟΣΟΜΟΙΩΣΗ ΚΑΙ ΤΑ ΣΥΣΤΗΜΑΤΑ ΔΙΑΧΕΙΡΙΣΗΣ ΑΠΟΘΕΜΑΤΩΝ	19
2.1 Η προσομοίωση ως εργαλείο	19
2.2 Τα βασικά συστατικά στοιχεία ενός μοντέλου προσομοίωσης	20
2.3 Τα Χαρακτηριστικά Στοιχεία ενός Μοντέλου Αποθεμάτων	21
2.4 Τα Βασικά Δομικά Στοιχεία σε ένα Μοντέλο Προσομοίωσης Αποθεμάτων	25
3 ΤΟ ΠΡΑΓΜΑΤΙΚΟ ΣΥΣΤΗΜΑ	27
4 ΤΟ ΜΟΝΤΕΛΟ ΠΡΟΣΟΜΟΙΩΣΗΣ	31
4.1 Διαμόρφωση του Μοντέλου Προσομοίωσης	31
4.2 Ανάπτυξη του Μοντέλου Προσομοίωσης	38
4.3 Επαλήθευση του Μοντέλου Προσομοίωσης	43
5 ΘΕΜΑΤΑ ΠΡΟΒΛΗΜΑΤΙΣΜΟΥ & ΤΡΟΠΟΣ ΑΝΤΙΜΕΤΩΠΙΣΗΣ	52
5.1 Εναλλακτικές μετρήσεις του Επιπέδου Εξυπηρέτησης (Service Level)	52
5.2 Αβεβαιότητα της Ζήτησης και του Χρόνου Παράδοσης	55
5.3 Το Κόστος των Αποθεμάτων	59
5.4 Εξισορρόπηση Κόστους Παραγγελίας & Κόστους Τήρησης Αποθέματος	60
5.5 Αλλαγές σε σχέση με την Οικονομική Ποσότητα Παραγγελίας	62
5.6 Ποσότητα Παραγγελίας & Κίνδυνος Έλλειψης	63
ΣΥΜΠΕΡΑΣΜΑΤΑ	65
ΚΑΤΕΥΘΥΝΣΕΙΣ ΜΕΛΛΟΝΤΙΚΗΣ ΕΡΕΥΝΑΣ	68
ΠΑΡΑΡΤΗΜΑ Α	70
ΠΑΡΑΡΤΗΜΑ Β	74
ΒΙΒΛΙΟΓΡΑΦΙΑ	80

1 ΔΙΑΤΥΠΩΣΗ ΤΟΥ ΠΡΟΒΛΗΜΑΤΟΣ

Ο προγραμματισμός των αποθεμάτων βασίζεται στην καθορισμό της κατάλληλης πολιτικής αποθεματοποίησης. Με τον όρο πολιτική αποθεματοποίησης ορίζουμε **πότε** και **τι ποσότητα** θα παραγγέλνουμε κάθε φορά. Το **πότε** ορίζεται συνήθως μέσα από το επιθυμητό απόθεμα ασφαλείας, ενώ το **πόσο** από την κατάλληλη ποσότητα παραγγελίας. Στη βιβλιογραφία βρίσκει κανείς αναρίθμητες αναφορές όσον αφορά στον προσδιορισμό του αποθέματος ασφαλείας, ανάλογα με τον τύπο του συστήματος αποθεμάτων και το επιθυμητό επίπεδο εξυπηρέτησης [Stock, Lambert]. Επίσης, μπορεί να υπολογιστεί η Οικονομική Ποσότητα Παραγγελίας (Economic Order Quantity) που βελτιστοποιεί το συνολικό κόστος των αποθεμάτων εξισορροπώντας το Κόστος ανά Παραγγελία και το Κόστος Τήρησης Αποθέματος [Ballou, 2004].

Παρά το πλούσιο επιστημονικό υπόβαθρο, στην πράξη πολλές φορές οι συνθήκες δεν επιτρέπουν απλώς την εφαρμογή των παραπάνω πρακτικών καθώς η πραγματικότητα είναι πολύ πιο πολύπλοκη από τα μαθηματικά μοντέλα. Για παράδειγμα, ορισμένες φορές η ποσότητα παραγγελίας περιορίζεται από το μέγεθος της παρτίδας ή τη δυναμικότητα του μεταφορικού μέσου, άλλοτε το ύψος του αποθέματος καθορίζεται από τη χωρητικότητα του αποθηκευτικού χώρου, ενώ πολλές φορές η αξιοπιστία του προμηθευτή ή ο χρόνος παράδοσης σχετίζεται με την τιμή αγοράς ή εμφανίζει σημαντικές διακυμάνσεις. Σε γενικές γραμμές, ο υπεύθυνος προγραμματισμού των αποθεμάτων έρχεται συχνά αντιμέτωπος με πολλαπλούς και άλλοτε αλληλοσυγκρουόμενους αντικειμενικούς στόχους, και πρέπει κάθε φορά να αποφασίζει ποια είναι η κατάλληλη πολιτική αποθεματοποίησης, δεδομένων των συνθηκών, των επιδιώξεων της επιχείρησης και της αβεβαιότητας που πηγάζει από την αγορά. Θα πρέπει δηλαδή, να σταθμίζει κάθε φορά το κόστος με το επίπεδο εξυπηρέτησης, λαμβάνοντας υπόψη όλους τους περιορισμούς και τους στόχους που μπορεί προέρχονται από τον προμηθευτή, τη μεταφορά, την αποθήκη ή τον πελάτη.

Στην παρούσα μελέτη, παρουσιάζεται ένα εργαλείο για την υποστήριξη της λήψης αποφάσεων κατά τη διαδικασία προγραμματισμού των αποθεμάτων. Πρόκειται για ένα παραμετρικό, στοχαστικό μοντέλο προσομοίωσης ανεξάρτητης ζήτησης, που τρέχει σε επίπεδο κωδικού και ημέρας και υπολογίζει συγκεκριμένες ενδείξεις που σχετίζονται με το συνολικό κόστος και το επίπεδο εξυπηρέτησης. Στόχος του μοντέλου δεν είναι ο προσδιορισμός της βέλτιστης πρακτικής αποθεματοποίησης, αλλά η ορθολογιστική πληροφόρηση του υπεύθυνου προγραμματισμού σχετικά με

τις επιπτώσεις που μπορεί να έχει κάθε πιθανή απόφαση. Το συγκεκριμένο εργαλείο μπορεί να έχει πολλαπλές εφαρμογές ανάλογα με τις εκάστοτε συνθήκες, τους εξωτερικούς περιορισμούς και τις βασικές επιδιώξεις, όπως παρουσιάζεται στη συνέχεια.

1.1 Βιβλιογραφική Ανασκόπηση

Η διαχείριση αποθεμάτων αποτελεί μια κρίσιμη διαδικασία για τη σύγχρονη επιχείρηση, μια διαδικασία που απαιτεί προσοχή και ειδικούς χειρισμούς ώστε να κρατήσει το κατάλληλο επίπεδο αποθεμάτων και μόνο. Κι αυτό γιατί το υψηλό απόθεμα σημαίνει υψηλό κόστος διατήρησης. Ολοένα και περισσότερες επιχειρήσεις αντιμετωπίζουν το απόθεμα ως μία πηγή εξοικονόμησης και αύξησης του καθαρού κέρδους [Stock, Lambert, 2001, σελ. 31-37], οπότε και εφαρμόζουν τακτικές για τη δραστική μείωσή του. Από την άλλη πλευρά το χαμηλό απόθεμα ενέχει τον κίνδυνο της έλλειψης. Το επίπεδο εξυπηρέτησης στη θεωρία των αποθεμάτων χαρακτηρίζεται από την ικανότητα της επιχείρησης να ικανοποιήσει άμεσα τη ζήτηση. Σε περιπτώσεις όπου το επίπεδο των αποθεμάτων δεν το επιτρέπει, η επιχείρηση κινδυνεύει με απώλεια κερδών, φήμης, πρόσθετα έξοδα για διορθωτικές κινήσεις ή ακόμα και απώλεια του ίδιου του πελάτη. Συνεπώς, ο χειρισμός του αποθέματος και ο καθορισμός της πολιτικής αποθεματοποίησης αποτελούν κρίσιμο παράγοντα για την οικονομική πορεία και το μάρκετινγκ μιας επιχείρησης.

Προς αυτή την κατεύθυνση η επιστήμη της Επιχειρησιακής Έρευνας έχει εισάγει μαθηματικά μοντέλα που περιγράφουν επιστημονικά τη λειτουργία των συστημάτων διαχείρισης αποθεμάτων. Τα μοντέλα αυτά διακρίνονται σε δύο κατηγορίες, σε ντετερμινιστικά και σε στοχαστικά, ανάλογα με τη δυνατότητα πρόβλεψης της ζήτησης ή άλλων παραμέτρων [Hillier, Lieberman, 2005, σελ. 833]. Στα μοντέλα αυτά γίνεται προσπάθεια να καθοριστεί η βέλτιστη ποσότητα παραγγελίας ώστε να ελαχιστοποιούνται τα κόστη, καθώς και το κατάλληλο επίπεδο αποθέματος ασφαλείας, ώστε να ελαχιστοποιείται ο κίνδυνος και να εξασφαλίζεται από την επιχείρηση ένα επιθυμητό επίπεδο εξυπηρέτησης ανάλογα με την πολιτική της. Τα μοντέλα αυτά σε συνδυασμό με την πρόβλεψη αποτελούν ένα ισχυρό εργαλείο για τον προγραμματισμό των αποθεμάτων, ωστόσο η πραγματικότητα αποδεικνύεται πολύ συχνά πιο πολύπλοκη από κάθε μαθηματικό μοντέλο. Τα πραγματικά συστήματα έχουν συνήθως στοχαστική ή τυχαία συμπεριφορά όσον αφορά στη ζήτηση, ενώ χαρακτηρίζονται από πλήθος περιορισμών. Για το λόγο αυτό η χρήση της προσομοίωσης σε συστήματα διαχείρισης αποθεμάτων είναι ιδιαίτερα διαδεδομένη.

Στη σύγχρονη βιβλιογραφία αναφέρεται συχνά η χρήση της προσομοίωσης για τη μελέτη και διαχείριση της αλυσίδας εφοδιασμού γενικότερα και της διαχείρισης αποθεμάτων ειδικότερα. Πιο συγκεκριμένα, αναφέρεται συχνά η αξία της προσομοίωσης γιατί προσεγγίζει καλύτερα τα πραγματικά συστήματα, επιτρέπει δοκιμές και πειράματα, ενώ μπορεί να χρησιμοποιηθεί κατάλληλα για να απορροφήσει την αβεβαιότητα που εμπεριέχει κάθε σύστημα, όπως χαρακτηριστικά αναφέρουν οι Jaren W. Hauge, Kerrie N. Paige, 2002. Στη μελέτη τους [12] εξετάζουν διαφορετικούς τύπους αποθεμάτων σε όλο το μήκος της αλυσίδας εφοδιασμού και συμπεραίνουν μέσα από μελέτες περιπτώσεων ότι αξίζει να χρησιμοποιηθεί η προσομοίωση ως εργαλείο σε κάθε οργανισμό. Νωρίτερα [R. G. Ingall, 1988], αποδεικνύεται ότι η προσομοίωση ως εργαλείο ανάλυσης της εφοδιαστικής αλυσίδας παρουσιάζει πλεονεκτήματα και μειονεκτήματα, σε σύγκριση με άλλες μεθοδολογίες. Παρόλα αυτά μπορεί να συνεισφέρει περισσότερο στη μείωση του κόστους έναντι άλλων μεθοδολογιών. Συνεπώς η αξία της προσομοίωσης στην αλυσίδα εφοδιασμού θεωρείται δεδομένη και οι χρήσεις της αποδεικνύονται πολλαπλές όπως παρουσιάζεται και στη συνέχεια.

Σε γενικές γραμμές οι βιβλιογραφικές αναφορές σε ανάλυση συστημάτων εφοδιασμού με τη χρήση προσομοίωσης διακρίνονται ως προς τη μεθοδολογία που χρησιμοποιούν και ως προς τη σκοπιμότητα που εξυπηρετούν. Κάθε σύστημα προσομοίωσης λοιπόν, αναπτύσσεται με συγκεκριμένη μεθοδολογία και έχει συγκεκριμένους αντικειμενικούς στόχους. Όσον αφορά στη μεθοδολογία, στη μελέτη των Dobrila Petrovic, Rajat Roy, Radivoj Pertovic (1998) [13] η ζήτηση και η παράδοση πρώτων υλών που εμπεριέχουν την αβεβαιότητα αντιμετωπίζονται ως ασαφή στοιχεία. Στο πλαίσιο της μελέτης χρησιμοποιείται και εξετάζεται ως προς την απόδοσή του ασαφές μοντέλο προσομοίωσης της εφοδιαστικής αλυσίδας με στόχο τον προσδιορισμό της ποσότητας παραγγελίας και του επιπέδου αποθέματος που ελαχιστοποιούν το συνολικό κόστος. Επιπλέον, αναφέρεται η χρήση προσομοίωσης με γενετικό αλγόριθμο [J. Sudhir Ryan Daniel, Chandrasekharan Rajendran, 2005] και αποδεικνύεται η αποτελεσματικότητά του στη βελτιστοποίηση της εφοδιαστικής αλυσίδας όσον αφορά το συνολικό κόστος (κόστος αποθέματος και κόστος έλλειψης).

Όσον αφορά στη χρήση τους, τα μοντέλα προσομοίωσης στον τομέα των αποθεμάτων, αν και έχουν συνήθως τον ίδιο αντικειμενικό στόχο, δηλαδή την ελαχιστοποίηση του συνολικού κόστους, χρησιμοποιούνται πολλές φορές για διαφορετικούς σκοπούς. Για παράδειγμα, ο Ronald L. Byrket (1978) αναφέρεται σε ένα μοντέλο πρόβλεψης και διαχείρισης αποθεμάτων, που εστιάζει μεταξύ άλλων

στην ακρίβεια εκτιμήσεων όπως η πρόβλεψη της ζήτησης και η συχνότητα αναθεώρησης της πρόβλεψης. Προς την ίδια κατεύθυνση [Poul Alstrom, Per Madsen, 1996], η προσομοίωση χρησιμοποιείται σε συστήματα (s,S) για τον προσδιορισμό κατάλληλων σημάτων παρακολούθησης (Tracking Signals) για τον περιορισμό του σφάλματος πρόβλεψης.

Από την άλλη πλευρά υπάρχουν μελέτες βελτιστοποίησης συγκεκριμένα για συστήματα αποθεμάτων (s,S) [Michael C. Fu, Kevin J. Healy, 1997], δηλαδή συστήματα όπου όταν το επίπεδο αποθέματος φτάσει στην ποσότητα s τοποθετείται παραγγελία ώστε το σύνολο του αποθέματος να φτάσει στο επίπεδο S. Η αναφορά των June Young Jung, Gary Blau, Joseph F. Pekny, Gintaras V. Reklaitis, David Eversdyk (2004) επικεντρώνεται στις ιδιαιτερότητες της βιομηχανίας χημικών διεργασιών και παρουσιάζει ένα εξειδικευμένο μοντέλο που τις ικανοποιεί. Σε άλλη αναφορά, παρουσιάζεται η χρήση συγκεκριμένου συστήματος προσομοίωσης της αλυσίδας εφοδιασμού που αναπτύχθηκε για την εταιρεία IBM [S. Bagchi, S. J. Buckley, T. J. Watson, 1998] και επεκτείνεται σε πολλά θέματα όπως η επιλογή κατάλληλης τοποθεσίας, οι πολιτικές αποθεματοποίησης, παραγωγής και μεταφοράς, το επίπεδο του αποθέματος, οι χρόνοι παράδοσης και το επίπεδο εξυπηρέτησης.

Μια ακόμα εξειδικευμένη χρήση της προσομοίωσης [Eric Porras Musalem, Rommert Dekker, 2005] αφορά στο πρόβλημα διαχείρισης υλικών που προμηθεύονται ταυτόχρονα με στόχο την ελαχιστοποίηση του κόστους μεταφοράς (Joint Replenishment Problem-JRP). Η συγκεκριμένη μελέτη παρουσιάζει μία μελέτη περίπτωσης όπου το επίπεδο αποθέματος προσδιορίζεται από την ελαχιστοποίηση του κόστους διατήρησης αποθέματος και του κόστους μεταφοράς μαζί. Σε γενικές γραμμές, στη σύγχρονη βιβλιογραφία συναντά κανείς αρκετές αναφορές σε συστήματα προσομοίωσης με στόχο τη βελτιστοποίηση της διαχείρισης αποθεμάτων [Loo Hay Lee, Suyan Teng, Ek Peng Chew, I. A. Karimi, Kong Wei Lye, Peter Lendermann, Yankai Chen, Choon Hwee Koh, 2005] [Jorge Haddock, Golgen Bengu, 1987].

1.2 Τεκμηρίωση Αναγκαιότητας

Στη βιβλιογραφία που εξετάστηκε υπήρξε πλήθος αναφορών σε συστήματα προσομοίωσης με στόχο τη βελτιστοποίηση του εφοδιασμού. Στην πράξη, τα συστήματα αυτά είναι δύσκολο να χρησιμοποιηθούν γιατί η πραγματικότητα είναι συνήθως αρκετά πιο πολύπλοκη. Όλα τα μοντέλα στηρίζονται σε παραδοχές και

απλουστεύσεις. Όσο περισσότερες αυτές, τόσο πιο μακριά βρίσκεται το μοντέλο από το πραγματικό σύστημα. Όπως αναφέρεται και από τον Donald L. Byrket (1978) για να χρησιμοποιηθεί ένα μοντέλο προσομοίωσης για ένα δεδομένο σύστημα αποθεμάτων θα πρέπει είτε να έχει παραμετροποιηθεί κατάλληλα, είτε να γίνουν αποδεκτές οι παραδοχές και οι απλουστεύσεις βάσει των οποίων έχει στηθεί. Αντίστοιχα οι June Young Jung, Gary Blau, Joseph F. Pekny, Gintaras V. Reklaitis, David Eversdyk (2004) αναφέρουν ότι ένα γενικό μοντέλο προσομοίωσης δεν μπορεί σε καμία περίπτωση να προσεγγίσει τις ιδιαιτερότητες του πραγματικού, γι' αυτό και προτείνουν ένα νέο εξειδικευμένο σύστημα για χημικές διεργασίες. Πράγματι, στην πράξη η διαδικασία προγραμματισμού αποθεμάτων είναι πιο πολύπλοκη από τις υποθέσεις που μπορεί να συμπεριλάβει ένα συνηθισμένο μοντέλο. Οι αντικειμενικοί στόχοι μπορεί να είναι περισσότεροι από την ελαχιστοποίηση του συνολικού κόστους και μπορεί μάλιστα να μην μπορούν να προσδιοριστούν ποσοτικά. Για παράδειγμα, για μια ομάδα υλικών μπορεί να θέλουμε και ελαχιστοποίηση του μεταφορικού κόστους ή να μην έχουμε καθόλου ελλείψεις. Από την άλλη πλευρά οι περιορισμοί μπορεί να είναι πολλαπλοί, αλλά και να προέρχονται από διαφορετικές πηγές. Για παράδειγμα:

- ⇒ Ελάχιστη ή Μέγιστη ποσότητα παραγγελίας λόγω παρτίδας παραγωγής, λόγω δυναμικότητας μεταφορικού μέσου ή λόγω χώρου αποθήκευσης
- ⇒ Περιορισμοί που αφορούν στο Χρόνο Ζωής του υλικού, σε στοιχεία εποχικότητας, σε συμπληρωματικά υλικά ή υλικά αντικατάστασης
- ⇒ Απόθεμα ασφαλείας με περιορισμούς όσον αφορά στο χώρο αποθήκευσης ή στους κανόνες πυρασφάλειας και στις συνθήκες αποθήκευσης

Ενδεικτικά αναφέρονται παραπάνω κάποιοι περιορισμοί που μπορεί να υπάρχουν σε ένα σύστημα αποθεμάτων και να πηγάζουν από τον προμηθευτή, από τη μεταφορά, από την αποθήκευση ή από την αγορά. Όλοι αυτοί οι περιορισμοί δεν είναι εύκολο να ενταχθούν σε ένα μοντέλο προσομοίωσης. Ακόμα και αν γίνει κάτι τέτοιο, το μοντέλο θα είναι προφανώς τόσο πολύπλοκο που ενδεχομένως να αποτρέπει το χρήστη από την παραμετροποίησή του.

Από την άλλη πλευρά, σε πραγματικές συνθήκες ο υπεύθυνος διαχείρισης αποθεμάτων έχει να κάνει συνήθως με πολλές διαφορετικές ομάδες υλικών. Σε κάθε μια από τις ομάδες μπορεί να υπάρχουν διαφορετικοί αντικειμενικοί στόχοι, άλλοι περιορισμοί και να διαφέρουν οι επιδιώξεις της επιχείρησης. Συνεπώς, δεν είναι εύκολο ούτε να αναπτυχθούν, ούτε να συντηρηθούν αντίστοιχα τόσα διαφορετικά μοντέλα προσομοίωσης για να καλύψουν τις ιδιαιτερότητες κάθε ομάδας υλικών. Σε

αυτές τις περιπτώσεις το μόνο που μπορεί να γίνει είναι ένα γενικευμένο μοντέλο, το οποίο θα υστερεί στην προσέγγιση της πραγματικότητας όπως αναφέρθηκε και παραπάνω.

Επιπλέον, οι βέλτιστες λύσεις δεν είναι πάντοτε εφαρμόσιμες. Σχεδόν όλα τα μοντέλα προσομοίωσης που αναφέρονται στη βιβλιογραφία κινούνται προς την κατεύθυνση προσδιορισμού της βέλτιστης λύσης. Η βέλτιστη λύση μεταφράζεται είτε σε βέλτιστο επίπεδο αποθέματος είτε σε βέλτιστη ποσότητα παραγγελίας. Στην πράξη ωστόσο οι λύσεις αυτές δεν είναι πάντα εφικτές γιατί μπορεί να υπάρχουν κάποιοι από τους περιορισμούς που δεν έχουν μπει στο μοντέλο ή δεν έχουν ενσωματωθεί σε κάποια παραδοχή. Αυτό που έχει σημασία αρκετές φορές είναι η ανάλυση ευαισθησίας γύρω από τη βέλτιστη λύση που δίνει περισσότερο πρακτικές πληροφορίες. Για παράδειγμα, αν ένα μοντέλο προτείνει ότι η βέλτιστη ποσότητα παραγγελίας είναι 5,8 παλέτες, και εμείς θέλουμε μόνο πλήρεις παλέτες, τότε θα πρέπει να ξέρουμε πόσο απέχει σε κόστος η προμήθεια 5 ή 6 παλετών από τη βέλτιστη λύση.

Συνεπώς, σύμφωνα με τα παραπάνω, τα μοντέλα προσομοίωσης που επιχειρούν βελτιστοποίηση της διαχείρισης αποθεμάτων αποδεικνύονται ανεπαρκή για πολύπλοκα, πραγματικά συστήματα αποθεμάτων με πολλαπλούς περιορισμούς, ομάδες υλικών και αντικειμενικούς στόχους. Για το λόγο αυτό, στο πλαίσιο της παρούσας μελέτης, προτείνεται ένα μοντέλο προσομοίωσης που δεν κάνει βελτιστοποίηση, αλλά υπολογίζει για δεδομένο σύνολο παραμέτρων συγκεκριμένες εκτιμήσεις που σχετίζονται άμεσα με τη λήψη αποφάσεων για στον καθορισμό της πολιτικής αποθεματοποίησης. Πιο αναλυτικά, παρουσιάζεται ένα γενικευμένο, στοχαστικό μοντέλο προσομοίωσης, που τρέχει σε επίπεδο κωδικού ή ομάδας κωδικών και υπολογίζει ένα σύνολο εκτιμήσεων που αφορούν στο κόστος και στο επίπεδο εξυπηρέτησης για δεδομένες παραμέτρους. Με τον τρόπο αυτό μπορεί ο υπεύθυνος διαχείρισης αποθεμάτων να κάνει δοκιμές και πειράματα με διάφορα στοιχεία και να λάβει πληροφορίες και εκτιμήσεις για την απόδοση του συστήματος. Έτσι, θα μπορεί να προχωρήσει στη λήψη αποφάσεων στηριζόμενος σε στοιχεία, αλλά και στην τεκμηρίωση αυτών απέναντι στη διοίκηση. Με την προσέγγιση αυτή δεν είναι εύκολο να εντοπιστεί η βέλτιστη λύση, αλλά μπορούμε να προσεγγίσουμε περισσότερα διαφορετικά συστήματα, να αναλύσουμε τη συμπεριφορά τους και να προτείνουμε αλλαγές. Ουσιαστικά, ο υπεύθυνος προγραμματισμού επιφορτίζεται με την αναζήτηση της βέλτιστης λύσης και το προτεινόμενο μοντέλο λειτουργεί απλά ως ένα εργαλείο σε αυτή την προσπάθεια.

1.3 Βασικοί Στόχοι

Το συγκεκριμένο μοντέλο προσομοίωσης αναπτύχθηκε με κύριο στόχο να αποτελέσει ένα εργαλείο για τη λήψη αποφάσεων σε θέματα προγραμματισμού αποθεμάτων και καθορισμού της πολιτικής αποθεματοποίησης. Ειδικότερα, η συνεισφορά του στη διαδικασία προγραμματισμού μπορεί να αναλυθεί σε τρεις κύριους άξονες:

- 1. Εκτίμηση της απόδοσης ενός δεδομένου συστήματος αποθεμάτων:** Με τη χρήση του μοντέλου μπορούμε να έχουμε εύκολα μία εκτίμηση για την απόδοση ενός συστήματος αποθεμάτων εξετάζοντας παραμέτρους κόστους και επιπέδου εξυπηρέτησης. Οι εκτιμήσεις αυτές είναι εύκολο να υπολογιστούν εξετάζοντας τα ιστορικά στοιχεία ενός συστήματος, αλλά δυσκολεύουν πολύ αν θέλουμε να εξετάσουμε τη μελλοντική τους απόδοση. Για παράδειγμα, μπορούμε να υπολογίσουμε το γύρισμα μιας ομάδας υλικών για το τελευταίο έτος βάσει μαθηματικών τύπων και με δεδομένα τα ιστορικά της στοιχεία. Αν όμως, προσπαθήσουμε να υπολογίσουμε το αναμενόμενο γύρισμα για το επόμενο έτος θα έχουμε δυσκολία να εισάγουμε την αβεβαιότητα της ζήτησης και των παραδόσεων, οπότε δεν θα οδηγηθούμε σε αξιόπιστα αποτελέσματα. Με τη χρήση της προσομοίωσης οι υπολογισμοί αυτοί γίνονται πιο αποτελεσματικά και με μεγαλύτερη προσέγγιση στις πραγματικές συνθήκες.
- 2. Προσδιορισμός των επιπτώσεων που θα έχουν στο σύστημα αποθεμάτων πιθανές αλλαγές:** Σε ένα περιβάλλον αβεβαιότητας όσον αφορά στη ζήτηση και στους χρόνους παράδοσης, οι σχέσεις αιτίου-αιτιατού δεν είναι αυστηρά καθορισμένες και υπολογίσιμες. Γι' αυτό δεν είναι εύκολο να εκτιμηθούν ποσοτικά οι επιπτώσεις κάποιων αλλαγών στη συμπεριφορά ενός συστήματος αποθεμάτων. Για παράδειγμα, γνωρίζουμε ότι αν αυξηθεί η ποσότητα παραγγελίας θα μειωθεί το γύρισμα του αποθέματος, αλλά δεν ξέρουμε πόσο θα μειωθεί το γύρισμα αν η ποσότητα παραγγελίας αυξηθεί κατά 40% σε ένα στοχαστικό σύστημα. Η χρήση του μοντέλου προσομοίωσης μπορεί να δώσει τέτοιες εκτιμήσεις, που είναι απαραίτητες για την τεκμηριωμένη λήψη αποφάσεων. Άλλες πιθανές χρήσεις είναι να εκτιμήσουμε πόσο στοιχίζει η αναξιοπιστία ενός προμηθευτή, ή πόσο θα επηρεάζει το μέσο απόθεμα μία αλλαγή στο χρόνο παράδοσης λόγω αλλαγής μεταφορικού μέσου, αν δοκιμάσουμε διαφορετικά σενάρια ή να υπολογίσουμε την αναμενόμενη πιθανότητα έλλειψης αν μειώσουμε το επιθυμητό επίπεδο εξυπηρέτησης.

3. **Ανάλυση ευαισθησίας των αποφάσεων που λαμβάνονται για ένα σύστημα αποθεμάτων:** Μία σημαντική παράμετρος στη διαδικασία λήψης μίας απόφασης είναι η αναμενόμενη σταθερότητα που θα έχει το σύστημα μετά την απόφαση. Με την ανάλυση ευαισθησίας μπορούμε να δούμε πόσο σταθερό μπορεί να είναι το σύστημα αποθεμάτων ως προς τα βασικά κριτήρια ελέγχου (κόστος & επίπεδο εξυπηρέτησης) και να προβούμε σε ανάλογες διορθωτικές κινήσεις.

Συνοψίζοντας τα παραπάνω, το προτεινόμενο μοντέλο προσομοίωσης μπορεί να χρησιμοποιηθεί για τη λήψη αποφάσεων και την τεκμηρίωση προτάσεων, δίνοντας στον υπεύθυνο προγραμματισμού αποθεμάτων μία γενικότερη εικόνα για την απόδοση του συστήματος ώστε να μπορεί να συνεισφέρει στη συνεχή βελτίωσή του.

2 Η ΠΡΟΣΟΜΟΙΩΣΗ ΚΑΙ ΤΑ ΣΥΣΤΗΜΑΤΑ ΔΙΑΧΕΙΡΙΣΗΣ ΑΠΟΘΕΜΑΤΩΝ

2.1 Η προσομοίωση ως εργαλείο

Η προσομοίωση ως εργαλείο χρησιμοποιείται για να αναπαραστήσει τη λειτουργία ενός συστήματος ή μιας διαδικασίας μέσω της χρήση υπολογιστή. Πιο συγκεκριμένα, μπορεί να αναπαράγει συνεχώς την πιθανή εξέλιξη ενός συστήματος παρουσιάζοντας διάφορα ενδεχόμενα αποτελέσματα. Για το λόγο αυτό χρησιμοποιείται συχνά για την ανάλυση ρίσκου. Επίσης, χρησιμοποιείται για το σχεδιασμό και την παρακολούθηση της λειτουργίας στοχαστικών συστημάτων, δηλαδή συστημάτων τα οποία εξελίσσονται στο χρόνο σύμφωνα με κάποιο γνωστό πιθανολογικό μοντέλο. Για παράδειγμα, σε ένα αναμονικό σύστημα εξυπηρέτησης οι αφίξεις και οι αναχωρήσεις πελατών, που σηματοδοτούν τις διαφορετικές καταστάσεις του συστήματος, ακολουθούν συνήθως συγκεκριμένες κατανομές πιθανοτήτων. Πολλές φορές η προσομοίωση χρησιμοποιείται για να διαπιστωθεί η συμπεριφορά ενός συστήματος κάτω από δεδομένες συνθήκες χρησιμοποιώντας διαφορετικές παραμέτρους, ώστε να γίνει ευκολότερα η λήψη κάποιων αποφάσεων. Για παράδειγμα σε ένα σύστημα προσομοίωσης δικτύου οδικής κυκλοφορίας είναι δυνατό να επιλεγεί ο κατάλληλος κύκλος στους φωτεινούς σηματοδότες μιας διασταύρωσης με βάση κάποιο κριτήριο απόδοσης (π.χ. μικρότερες ουρές αναμονής).

Συνοψίζοντας τα παραπάνω η προσομοίωση ως εργαλείο μπορεί να χρησιμοποιηθεί σε διαφορετικές περιπτώσεις εξυπηρετώντας διαφορετικές ανάγκες και στόχους, για τους ακόλουθους λόγους:

1. **Δίνει γρήγορα αποτελέσματα:** Σε περιπτώσεις όπου ένα σύστημα εξελίσσεται σε βάθος χρόνου είναι πολύ δύσκολο να εξετάσει κανείς τη συμπεριφορά του και να κάνει τις αναγκαίες διορθωτικές κινήσεις. Χρησιμοποιώντας τις δυνατότητες ενός υπολογιστή μπορούν να επεξεργαστούν πολύ γρήγορα πλήθος από δεδομένα, δίνοντας αποτελέσματα και στοιχεία για τη λειτουργία του.
2. **Υποστηρίζει τη διαδικασία λήψης αποφάσεων:** Λόγω της ταχύτητας επεξεργασίας των δεδομένων μπορεί να χρησιμοποιηθεί για να εξεταστούν πολλά διαφορετικά σενάρια τα αποτελέσματα των οποίων θα οδηγήσουν στην ορθολογιστική λήψη αποφάσεων.

3. **Αναπαράγει τη συνεχή λειτουργία ενός συστήματος σε βάθος χρόνου:** Ένα μοντέλο προσομοίωσης χρησιμοποιείται για να μιμηθεί την αδιάκοπη λειτουργία ενός πραγματικού συστήματος για το χρονικό διάστημα που ορίζουμε. Τα αποτελέσματα μάλιστα προκύπτουν σε κάθε περίπτωση πολύ γρήγορα ανεξάρτητα από το χρόνο προσομοίωσης, γεγονός που κάνει την προσομοίωση μεταξύ άλλων ένα ανεκτίμητο εργαλείο ελέγχου.
4. **Δεν είναι στατικό, αλλά δυναμικό εργαλείο:** Η προσομοίωση δεν αποτελεί εργαλείο που στηρίζεται σε στατικά στοιχεία. Εμπεριέχει συνήθως παραμέτρους που προσδίδουν δυναμικότητα και προσεγγίζουν περισσότερο την πραγματικότητα.
5. **Δεν επηρεάζει το πραγματικό σύστημα:** Επειδή οι δοκιμές στο πραγματικό σύστημα ενδέχεται να έχουν πολύ σοβαρές οικονομοτεχνικές επιπτώσεις, μπορεί να χρησιμοποιηθεί ένα μοντέλο προσομοίωσης για την αποφυγή τους.
6. **Δύναται να παράγει δεδομένα προς ανάλυση:** Τα μοντέλα προσομοίωσης δίνουν γρήγορα αποτελέσματα γι' αυτό και μπορούν να χρησιμοποιηθούν για τη συλλογή δεδομένων και εξαγωγή στατιστικών στοιχείων και συμπερασμάτων μετά από κατάλληλη ανάλυση

2.2 Τα βασικά συστατικά στοιχεία ενός μοντέλου προσομοίωσης

Για την προσομοίωση ενός οποιουδήποτε πολύπλοκου συστήματος, είναι απαραίτητος ο σχεδιασμός ενός μοντέλου που θα προσομοιώνει τη λειτουργία του. Κάθε μοντέλο προσομοίωσης διακρίνεται από συγκεκριμένα δομικά στοιχεία:

1. Είναι απαραίτητο να προσδιορίζεται επακριβώς το πλήθος των παραμέτρων που ορίζουν την κατάσταση του συστήματος. Για παράδειγμα, σε ένα σύστημα αναμονής η κατάσταση ορίζεται από το πλήθος των ατόμων, σε ένα σύστημα μηχανών παραγωγής η κατάσταση μπορεί να ορίζεται από τη λειτουργία ή παύση των μηχανών.
2. Απαιτείται ο εντοπισμός όλων των ενδεχόμενων καταστάσεων στις οποίες μπορεί να περιέλθει το σύστημα.
3. Απαιτείται ο εντοπισμός όλων των ενδεχόμενων γεγονότων που μπορεί να αλλάξουν την κατάσταση του συστήματος.
4. Χρειάζεται να προβλεφθεί ένα χρονόμετρο που θα μετρά το χρόνο προσομοίωσης σε αντιδιαστολή με τον πραγματικό χρόνο του συστήματος.

5. Είναι απαιτούμενο να υπάρχει κάποια μέθοδος που θα γεννά με τυχαίο τρόπο τα γεγονότα.
6. Χρειάζεται να υπάρχει ο μηχανισμός που θα παρακολουθεί και θα καταγράφει τις διαδοχικές μεταπτώσεις του συστήματος στις διάφορες καταστάσεις λόγω των τυχαίων γεγονότων.

Όλα τα παραπάνω αποτελούν συστατικά στοιχεία κατά το σχεδιασμό και τη λειτουργία ενός συστήματος προσομοίωσης, ανεξάρτητα από το αντικείμενο και το βαθμό πολυπλοκότητας. Στη συνέχεια θα παρουσιάσουμε τον τρόπο που αυτά τα στοιχεία διαμορφώνονται σε ένα μοντέλο προσομοίωσης αποθεμάτων.

2.3 Τα Χαρακτηριστικά Στοιχεία ενός Μοντέλου Αποθεμάτων

Πριν δούμε τα βασικά στοιχεία ενός μοντέλου προσομοίωσης αποθεμάτων, είναι απαραίτητη προϋπόθεση να διακρίνουμε τα βασικά στοιχεία ενός μοντέλου αποθεμάτων. Κι αυτό γιατί τα χαρακτηριστικά στοιχεία ενός μοντέλου αποθεμάτων θα συμπεριληφθούν ως έχουν ή βάσει κάποιων παραδοχών στο αντίστοιχο μοντέλο προσομοίωσης. Τα σημαντικότερα χαρακτηριστικά στοιχεία ενός μοντέλου αποθεμάτων περιλαμβάνουν τα ακόλουθα [18.2 Hillier - Lieberman]:

1. **Κόστος Παραγγελίας (Ordering Cost):** Το κόστος παραγγελίας συνήθως διακρίνεται στο *Κόστος Αγοράς* που είναι ανάλογο της ποσότητας παραγγελίας και συνάρτηση της τιμής αγοράς και στο *Διαχειριστικό Κόστος*, που είναι ανεξάρτητο της ποσότητας και έχει να κάνει με το διαχειριστικό κόστος κάθε παραγγελίας. Συνηθίζεται το Κόστος Αγοράς να συμπεριλαμβάνεται στο Κόστος Αποθέματος μαζί με όλα τα κόστη της προμήθειας (πχ μεταφορικά, δασμοί κλπ), επομένως ως Κόστος Παραγγελίας αναφέρεται μόνο το διαχειριστικό κόστος.
2. **Κόστος Τήρησης Αποθέματος (Inventory Carrying Cost):** Το κόστος τήρησης αποθέματος αναφέρεται στη δέσμευση κεφαλαίου, στη φύλαξη, στην αποθήκευση, στην ασφάλιση και γενικότερα στη διαχείριση του αποθέματος. Συνηθίζεται να υπολογίζεται ως ποσοστό της αξίας του αποθέματος. Ως απόθεμα λαμβάνεται το μέγιστο, το μέσο ή το τελικό απόθεμα μιας χρονικής περιόδου αναφοράς. Επειδή η τήρηση αποθέματος δεσμεύει χρήματα που θα μπορούσαν να χρησιμοποιηθούν σε κάποια άλλη επένδυση, το κόστος δεσμευμένου κεφαλαίου προσδιορίζεται με βάση την αναμενόμενη απόδοση

μίας επένδυσης χαμηλού ρίσκου σύμφωνα με τις συνθήκες της αγοράς ή την ελάχιστη απόδοση επένδυσης που θέτει η επιχείρηση για νέες επενδύσεις (Hurdle Rate).

3. **Κόστος Έλλειψης (Shortage Cost):** Το κόστος έλλειψης αφορά στην αδυναμία της επιχείρησης να ικανοποιήσει τη ζήτηση σε δεδομένη χρονική στιγμή και υπολογίζεται ανάλογα με το αν και το πότε εξυπηρετείται τελικά η ζήτηση. Έτσι, σε περιπτώσεις όπου κρατούνται εκκρεμότητες (Backorders), τότε το κόστος έλλειψης αναφέρεται στη δυσφήμιση της εταιρείας, την απώλεια της εμπιστοσύνης του πελάτη, την καθυστέρηση συλλογής εσόδων και άλλα. Σε περιπτώσεις όπου δεν υπάρχει η δυνατότητα να κρατηθούν εκκρεμότητες, τότε το κόστος έλλειψης αναφέρεται στη χαμένη πώληση ή στο επιπλέον κόστος της επείγουσας παραγγελίας προμήθειας ή παραγωγής προκειμένου να καλυφθεί η ζήτηση. Σε κάθε περίπτωση το κόστος έλλειψης εμπεριέχει αρκετούς βαθμούς ασάφειας και είναι δύσκολο να εκτιμηθεί επακριβώς.
4. **Κέρδη (Revenues):** Το κέρδος από τις πωλήσεις άλλοτε περιλαμβάνεται και άλλοτε όχι. Συνήθως σε περιπτώσεις όπου η τιμή πώλησης και η ζήτηση καθορίζονται από τους κανόνες της αγοράς και δεν βρίσκονται στον καθολικό έλεγχο της επιχείρησης, τότε θεωρούμε ότι τα κέρδη είναι ανεξάρτητα από το ύψος του αποθέματος και δεν χρειάζεται να συμπεριληφθούν σε ένα αντίστοιχο μοντέλο. Από την άλλη πλευρά, σε περιπτώσεις αδυναμίας κάλυψης της ζήτησης λόγω έλλειψης αποθεμάτων η απώλεια κερδών είναι στενά συνυφασμένη με το κόστος έλλειψης.
5. **Κόστος Απαξίωσης Αποθέματος (Obsolete Cost):** Το κόστος απαξίωσης εκφράζει την φθορά, την απώλεια, τη μείωση της αξίας του αποθέματος, καθώς και το κόστος καταστροφής ή άλλης διαχείρισης όταν λήξει ο χρόνος ζωής ενός υλικού. Η απώλεια αξίας οφείλεται άλλοτε σε εξωγενείς παράγοντες, όπως φυσική φθορά, λάθη χειρισμού, συνθήκες φύλαξης, ή σε ενδογενείς όπως ο χρόνος ζωής του υλικού. Σε κάθε περίπτωση το κόστος απαξίωσης είναι συνάρτηση της αξίας και του χρόνου παραμονής του αποθέματος στην αποθήκη.
6. **Κόστος Αποθέματος (Cost of Goods):** Το κόστος του αποθέματος εκφράζει το σύνολο του κόστους μέχρι το απόθεμα να φτάσει στο χώρο αποθήκευσης. Αυτό συμπεριλαμβάνει το κόστος της αγοράς και συσκευασίας (αν δεν έχει

συμπεριληφθεί στο κόστος παραγγελίας), την ασφάλιση, τη μεταφορά, τυχόν δασμούς, εκτελωνισμούς και λοιπούς φόρους.

7. **Πολιτική Αποθεματοποίησης:** Η πολιτική αποθεματοποίησης για κάθε υλικό εκφράζεται με το πότε και το πόσο θα παραγγείλουμε κατά περίπτωση. Ο χρονικός παράγοντας του «πότε», ονομάζεται Σημείο Αναπαραγγελίας, και αναφέρεται είτε σε ποσότητα αποθέματος, είτε σε χρονικό ορίζοντα κάλυψης. Επομένως το σημείο αναπαραγγελίας μετράται σε μονάδες αποθήκευσης υλικού ή μονάδες χρόνου. Για παράδειγμα, μπορούμε να ορίσουμε ότι θα παραγγέλλουμε όταν το απόθεμα πέσει κάτω από 1 παλέτα, ή όταν έχουμε απόθεμα για λιγότερο από 1 εβδομάδα. Ο ποσοτικός παράγοντας του «πόσο» θα παραγγέλλουμε κάθε φορά, ονομάζεται ποσότητα παραγγελίας και μπορεί να ορίζεται με βάση τη βέλτιστη ποσότητα παραγγελίας, δηλαδή την ποσότητα εκείνη που ελαχιστοποιεί το συνολικό κόστος, την ελάχιστη ποσότητα παραγγελίας που θέτει ο προμηθευτής ή άλλους παράγοντες που αφορούν στη διαχείριση (για παράδειγμα, πλήρες container, ολόκληρες παλέτες, ειδικές τιμές κ.α.)
8. **Ντετερμινιστικά ή στοχαστικά μοντέλα (Deterministic vs Stochastic Models):** Η διάκριση μεταξύ ντετερμινιστικού και στοχαστικού μοντέλου έχει να κάνει με τους αστάθμητους ή μη παράγοντες που επηρεάζουν το μοντέλο. Έτσι, ντετερμινιστικό θεωρείται το μοντέλο στο οποίο η ζήτηση ή άλλοι παράγοντες είναι γνωστοί, ενώ ως στοχαστικό ορίζεται το μοντέλο στο οποίο η ζήτηση ή κάποιος άλλος παράγοντας είναι μεταβλητός. Οι μεταβλητές αυτές μπορεί να λαμβάνουν τυχαίες τιμές κατά τη λειτουργία του μοντέλου, ακολουθούν ωστόσο γνωστή κατανομή πιθανότητας. Σε περιπτώσεις, όπου έχουμε μεταβλητές που δεν ακολουθούν κάποια γνωστή κατανομή ή συνάρτηση, τότε μιλάμε για ασαφές μοντέλο.
9. **Χρόνος Παράδοσης (Lead Time):** Ο χρόνος παράδοσης εκφράζει το χρόνο που μεσολαβεί από τον εντοπισμό της ανάγκης μέχρι την παραλαβή ενός υλικού. Ο χρόνος παράδοσης, επομένως, διακρίνεται στο χρόνο παραγγελίας, το χρόνο παραγωγής, το χρόνο μεταφοράς και το χρόνο εισαγωγής. Ο πρώτος και ο τελευταίος χρόνος αφορούν σε μεγάλο βαθμό την ίδια την επιχείρηση, ενώ ο δεύτερος και ο τρίτος αφορούν καθαρά τον προμηθευτή και στην εκάστοτε συμφωνία. Ο χρόνος παράδοσης εξαρτάται από την επιλογή του προμηθευτή και του τρόπου μεταφοράς και επηρεάζει πολλές φορές το κόστος αγοράς και το κόστος του αποθέματος, μπορεί δε να είναι σταθερός ή μεταβλητός.

10. **Συστήματα Συνεχούς ή Περιοδικής Παρακολούθησης (Continuous Review vs Periodic Review Systems):** Η διάκριση σε συστήματα συνεχούς ή περιοδικής παρακολούθησης έγκειται στη συχνότητα ελέγχου του επιπέδου του αποθέματος προκειμένου να προβούμε σε παραγγελία. Συνεπώς, σε ένα σύστημα συνεχούς παρακολούθησης το επίπεδο του αποθέματος εξετάζεται συνεχώς, σε πραγματικό χρόνο, καθώς ικανοποιούνται τα αιτήματα της ζήτησης, και μόλις αυτό πέσει κάτω από το σημείο αναπαραγγελίας, τότε δίνεται εντολή αγοράς. Σε ένα σύστημα περιοδικής παρακολούθησης, το επίπεδο του αποθέματος εξετάζεται σε δεδομένα χρονικά διαστήματα, π.χ, κάθε εβδομάδα, και αν τότε βρίσκεται κάτω από το σημείο αναπαραγγελίας, δίνεται εντολή αγοράς. Είναι σαφές ότι αν μειώσουμε στο ελάχιστο τις χρονικές περιόδους ελέγχου σε ένα σύστημα περιοδικής παρακολούθησης, τότε αυτό τείνει να μετατραπεί σε σύστημα συνεχούς παρακολούθησης. Η συνεχής παρακολούθηση του αποθέματος γίνεται εφικτή μόνο με τη χρήση ηλεκτρονικών υπολογιστών.
11. **Επίπεδο Εξυπηρέτησης (Service Level):** Το επίπεδο εξυπηρέτησης αποτυπώνει την ικανότητα ενός συστήματος να ικανοποιήσει τη ζήτηση με δεδομένο διαθέσιμο απόθεμα και ορίζεται συνήθως από την πιθανότητα να εξυπηρετηθεί η ζήτηση από το υπάρχον απόθεμα. Η πιθανότητα αυτή αποτελεί το στόχο, τον οδηγό και το κριτήριο ελέγχου της απόδοσης για ένα σύστημα αποθεμάτων, γιατί καθορίζει στη συνέχεια σημαντικές παραμέτρους όπως το *Σημείο Αναπαραγγελίας* και το *Απόθεμα Ασφαλείας*. Το επίπεδο εξυπηρέτησης μπορεί να μετρηθεί με διαφορετικούς τρόπους ανάλογα με τους ευρύτερους στόχους και προτεραιότητες μιας επιχείρησης [βλέπε παράγραφο 5.1], ενώ αποτελεί -μαζί με το συνολικό κόστος- το βασικότερο κριτήριο ελέγχου κατά την αξιολόγηση διαφορετικών εναλλακτικών όσον αφορά σε ένα σύστημα διαχείρισης αποθεμάτων. Βασική επιδίωξη σε ένα σύστημα αποθεμάτων είναι να επιτυγχάνουμε το μικρότερο δυνατό κόστος για δεδομένο επίπεδο εξυπηρέτησης.
12. **Απόθεμα Ασφαλείας (Safety/ Buffer Stock):** Το απόθεμα ασφαλείας αποτελεί το επιπλέον απόθεμα που διατηρείται από μία επιχείρηση προκειμένου να αντιμετωπίσει την αβεβαιότητα που ενέχεται στη ζήτηση και στο χρόνο παράδοσης. Για τον υπολογισμό του λαμβάνονται υπόψη οι διακυμάνσεις της ζήτησης και του χρόνου παράδοσης, καθώς και το επιθυμητό επίπεδο εξυπηρέτησης κατά περίπτωση.

13. Εξαρτημένη ή Ανεξάρτητη Ζήτηση (Depended vs Independed Demand):

Η διάκριση μεταξύ ανεξάρτητης και εξαρτημένης ζήτησης έγκειται κυρίως στην τύπο του υλικού. Ως ανεξάρτητη, λοιπόν, ορίζεται η ζήτηση για τελικά προϊόντα που προέρχεται από την αγορά και καθορίζεται από τους κανόνες της χωρίς να μπορεί η επιχείρηση να επέμβει. Από την άλλη πλευρά, η ζήτηση για ενδιάμεσα προϊόντα ή πρώτες ύλες, που προέρχεται από διάφορα τμήματα εντός της επιχείρησης, όπως για παράδειγμα από την παραγωγή, καλείται εξαρτημένη γιατί εξαρτάται άμεσα από τη ζήτηση κάποιων τελικών προϊόντων. Η εξαρτημένη ζήτηση παρακολουθείται από συστήματα όπως το MRP – Material Requirements Planning.

14. Επίπεδα Αποθήκευσης στην Αλυσίδα Εφοδιασμού (Single or Multi-Echelon Systems):

Κατά μήκος μιας αλυσίδας εφοδιασμού μπορεί να υπάρχουν πολλαπλά κέντρα αποθήκευσης. Σε περιπτώσεις όπου παρακολουθούμε το απόθεμα σε περισσότερα του ενός διαδοχικά επίπεδα αποθήκευσης τότε μιλάμε για συστήματα Multi-Echelon, όπου πέρα από το συνολικό απόθεμα σημασία έχει και η κατανομή αυτού στα διάφορα επίπεδα όπως και ο χρόνος των εσωτερικών μετακινήσεων. Σε αυτές τις περιπτώσεις, όλες οι παράμετροι που αναφέρονται παραπάνω σχετικά με τα συστήματα διαχείρισης αποθεμάτων λαμβάνουν διαφορετική διάσταση.

2.4 Τα Βασικά Δομικά Στοιχεία σε ένα Μοντέλο Προσομοίωσης Αποθεμάτων

Με βάση τις προηγούμενες αναφορές στα δομικά στοιχεία ενός οποιουδήποτε μοντέλου προσομοίωσης, καθώς και στα βασικά χαρακτηριστικά ενός μοντέλου αποθεμάτων μπορούμε τώρα να καθορίσουμε ποια είναι ακριβώς τα δομικά στοιχεία ενός μοντέλου προσομοίωσης αποθεμάτων:

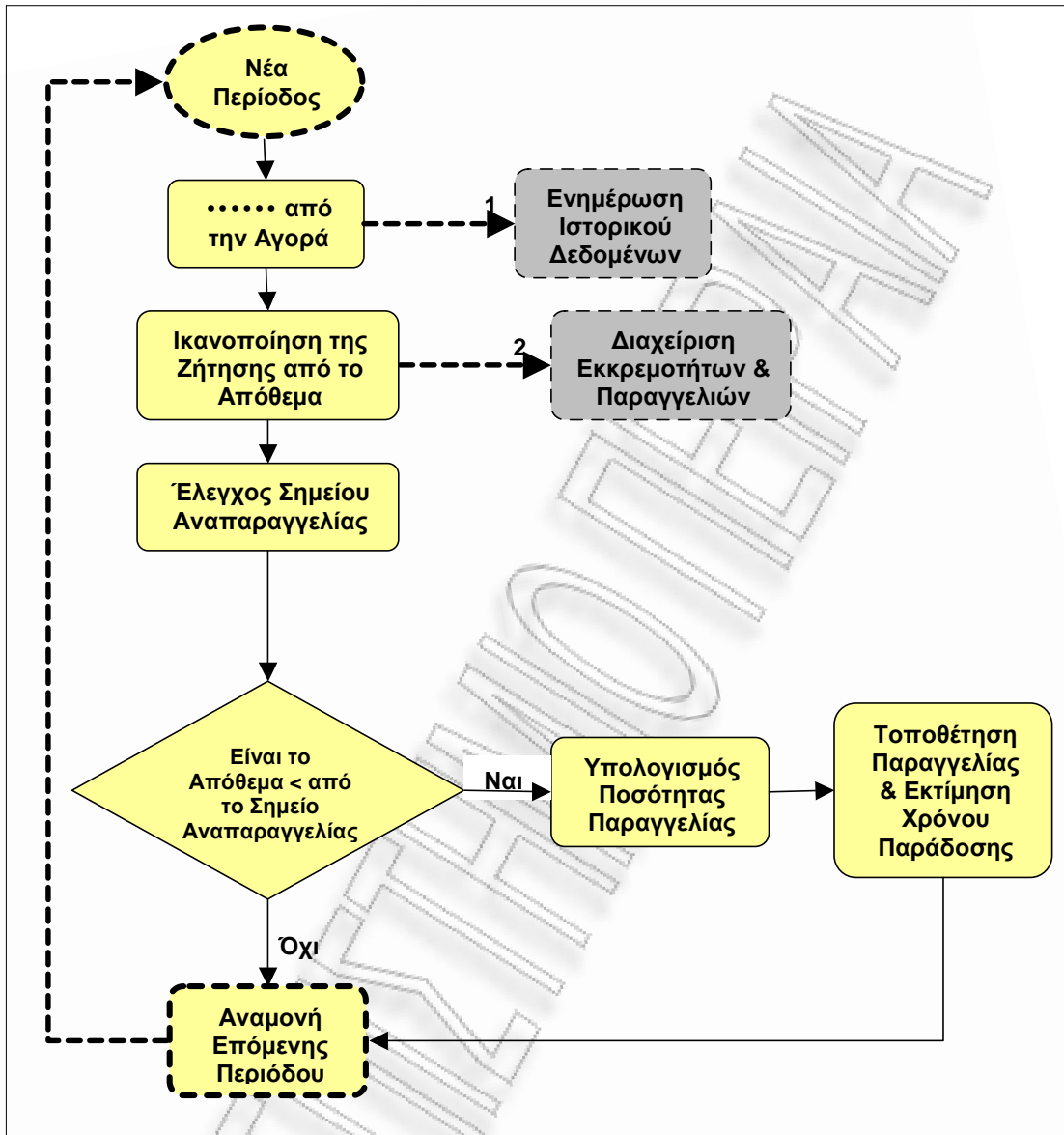
1. Κατ' αρχάς η κατάσταση ενός μοντέλου αποθεμάτων καθορίζεται κάθε φορά από το ύψος του αποθέματος. Πιο συγκεκριμένα, το ύψος του αποθέματος διακρίνεται στο πραγματικό απόθεμα που είναι διαθέσιμο ανά πάσα στιγμή (On Hand), στην ποσότητα αποθέματος που είναι σε παραγγελία και αναμένεται να παραδοθεί προσεχώς (On Order) και στην ποσότητα που έχει κρατηθεί σε εκκρεμότητα γιατί δεν υπήρχε αρκετό απόθεμα για να ικανοποιηθεί άμεσα (Backorder) . Το άθροισμα των δυο πρώτων ποσοτήτων ορίζεται συχνά στη βιβλιογραφία ως Μικτό Απόθεμα.

2. Οι ενδεχόμενες καταστάσεις στις οποίες μπορεί να περιέλθει ένα σύστημα αποθεμάτων αποτελούνται από όλους τους δυνατούς συνδυασμούς πραγματικού αποθέματος, ποσότητας σε παραγγελία και ποσότητας σε εκκρεμότητα.
3. Τα ενδεχόμενα γεγονότα που μπορεί να αλλάξουν την κατάσταση του αποθέματος είναι τα ακόλουθα:
 - 3.1. Ζήτηση, η οποία μειώνει το πραγματικό απόθεμα
 - 3.2. Παραλαβή παραγγελίας, η οποία αυξάνει το πραγματικό απόθεμα και αλλάζει την κατάσταση των παραγγελιών
 - 3.3. Έκδοση εντολής παραγγελίας, που αλλάζει την κατάσταση των παραγγελιών.
4. Ο χρόνος προσομοίωσης σε ένα σύστημα αποθεμάτων μετρά τα διακριτά χρονικά διαστήματα παρακολούθησης και μπορεί να φτάνει σε επίπεδο εργάσιμης ή ημερολογιακής ημέρας, βάρδιας, εβδομάδας, μήνα ή άλλο.
5. Από τα γεγονότα που αλλάζουν την κατάσταση ενός μοντέλου προσομοίωσης αποθεμάτων συνήθως η ζήτηση και το ακριβές χρονικό διάστημα παραλαβής παραγγελίας είναι τυχαία, οπότε θα πρέπει να προκύπτουν μέσω μιας γεννήτριας τυχαίων γεγονότων. Για την ακρίβεια και τα δύο παραπάνω μεγέθη λαμβάνουν τυχαίες τιμές, ωστόσο ακολουθούν γνωστή κατανομή πιθανοτήτων. Όσον αφορά στην έκδοση εντολής παραγγελίας, αυτό δεν αποτελεί τυχαίο γεγονός, αλλά προκύπτει μετά από εκτίμηση της κατάστασης του συστήματος.
6. Για κάθε ένα χρονικό διάστημα παρακολούθησης θα πρέπει να καταγράφεται η αρχική κατάσταση του συστήματος, τα γεγονότα που πραγματοποιούνται κατά τη διάρκειά της και η τελική του κατάσταση. Η τελική κατάσταση μιας χρονικής περιόδου αποτελεί την αρχική κατάσταση της επόμενης περιόδου.

3 ΤΟ ΠΡΑΓΜΑΤΙΚΟ ΣΥΣΤΗΜΑ

Το πρώτο βήμα στη διαδικασία ανάπτυξης ενός μοντέλου προσομοίωσης είναι η πλήρης περιγραφή του πραγματικού συστήματος. Κάτι τέτοιο είναι απαραίτητο προκειμένου να γίνουν κατανοητοί οι κανόνες λειτουργίας που το διέπουν και να αποτυπωθούν με τη μεγαλύτερη δυνατή ακρίβεια στο αντίστοιχο μοντέλο προσομοίωσης. Στο παρόν κεφάλαιο θα γίνει πλήρης αναφορά στο πραγματικό σύστημα διαχείρισης αποθεμάτων, στον τρόπο λειτουργίας του, στα βασικά χαρακτηριστικά και στις ιδιαιτερότητες του.

Σε γενικές γραμμές, πρόκειται για ένα στοχαστικό μοντέλο περιοδικής παρακολούθησης των αποθεμάτων. Η έννοια «στοχαστικό» αναφέρεται όχι μόνο στη ζήτηση αλλά και στο χρόνο παράδοσης. Ως περίοδος παρακολούθησης ορίζεται κάθε εργάσιμη ημέρα, συχνότητα τέτοια ώστε να μπορεί το σύστημα να θεωρηθεί κατά παραδοχή ως σύστημα συνεχούς παρακολούθησης. Σε γενικές γραμμές, παρακολουθείται κάθε κωδικός είδους χωριστά, ενώ αφορά μόνο σε ένα επίπεδο αποθήκευσης, δεν είναι δηλαδή multi-echelon σύστημα. Η ζήτηση είναι ανεξάρτητη και καθορίζεται από τους κανόνες της αγοράς, ακολουθώντας ωστόσο κανονική κατανομή. Σύμφωνα με την πολιτική αποθεματοποίησης, όταν το επίπεδο του αποθέματος για κάποιο είδος πέσει κάτω από το σημείο αναπαραγγελίας, τότε τοποθετείται παραγγελία προμήθειας συγκεκριμένης ποσότητας. Το Σημείο Αναπαραγγελίας υπολογίζεται σύμφωνα με το ιστορικό ζήτησης του κωδικού, με τη μεταβλητότητα του χρόνου παράδοσης από πλευράς του προμηθευτή, καθώς και με το επιθυμητό επίπεδο εξυπηρέτησης κατά περίπτωση. Η ποσότητα παραγγελίας είναι συγκεκριμένη για κάθε κωδικό και καθορίζεται από διάφορους παράγοντες όπως η κλιμάκωση των τιμών αγοράς, η βελτιστοποίηση της μεταφοράς, το ελάχιστο όριο παραγγελίας που θέτει ο προμηθευτής, κ.α. Επίσης, για κάθε προμηθευόμενο είδος υπάρχει ένας μόνο προμηθευτής, επομένως δεν υφίσταται διαδικασία προσφορών και επιλογής. Σε περιπτώσεις όπου το επίπεδο του αποθέματος δεν αρκεί για να καλύψει τη ζήτηση, το σύστημα κρατάει εκκρεμότητα (Backorder), η οποία ικανοποιείται αμέσως μόλις υπάρξει η απαιτούμενη ποσότητα υλικού. Όσον αφορά στο κόστος, αυτό υπολογίζεται σύμφωνα με τους κανόνες που παρουσιάζονται αναλυτικά στην παράγραφο 5.3 (Το Κόστος των Αποθεμάτων).



Διάγραμμα 1: Διάγραμμα ροής πραγματικού συστήματος

Όσον αφορά στη λειτουργία του πραγματικού συστήματος αυτή αποτυπώνεται καλύτερα χρησιμοποιώντας ένα διάγραμμα ροής (Διάγραμμα 1: **Διάγραμμα ροής πραγματικού συστήματος**). Στο Διάγραμμα 1 παρουσιάζεται το δεδομένο σύστημα αποθεμάτων στην απλουστευμένη μορφή του. Όπως αναφέρεται το σύστημα ενεργοποιείται κάθε διακριτή περίοδο παρακολούθησης και στη συνέχεια οδηγείται από τη ζήτηση που εμφανίζεται από την αγορά. Ακολουθεί ο έλεγχος του διαθέσιμου αποθέματος ώστε να καλυφθεί η ζήτηση. Στο σημείο αυτό μπορεί να ενεργοποιηθεί παράλληλα ο έλεγχος των αναμενόμενων παραδόσεων και των υφιστάμενων εκκρεμοτήτων, αν υπάρχουν. Έτσι, διασφαλίζουμε ότι μπορούμε να ικανοποιήσουμε τη νέα ζήτηση μαζί με τις ενδεχόμενες εκκρεμότητες από το διαθέσιμο και το

αναμενόμενο απόθεμα. Κατόπιν, γίνεται έλεγχος του αποθέματος όπως διαμορφώνεται μετά τη ζήτηση και αν αυτό είναι κάτω από το Σημείο Αναπαραγγελίας, τότε δρομολογείται νέα παραγγελία προμήθειας. Γίνεται μία εκτίμηση του αναμενόμενου χρόνου παράδοσης, σύμφωνα με τη ζήτηση αλλά και τη διαθεσιμότητα του προμηθευτή. Τέλος, αναμένεται η επόμενη περίοδος ώστε να ενεργοποιηθεί ξανά η παραπάνω διαδικασία.

Παρόλο που το σύστημα είναι περιοδικό η ποσότητα παραγγελίας είναι σταθερή και δεν τοποθετείται κάθε φορά παραγγελία τέτοια ώστε το απόθεμα να φτάνει σε συγκεκριμένο επίπεδο. Αυτό γίνεται γιατί η περίοδος παρακολούθησης είναι τόσο μικρή ώστε το σύστημα τείνει να θεωρηθεί συνεχούς παρακολούθησης, όπου συνηθίζεται η ποσότητα παραγγελίας να είναι σταθερή.

Στην πράξη, το σύστημα είναι περισσότερο πολύπλοκο από ότι περιγράφεται παραπάνω. Ένα αναλυτικότερο διάγραμμα ροής είναι το Διάγραμμα 7 στη σελίδα 71 του Παραρτήματος Α. Στο διάγραμμα αυτό παρουσιάζονται δύο επιπλέον παράλληλα υποσυστήματα: η ενημέρωση του ιστορικού και η διαχείριση των εκκρεμοτήτων. Επειδή η διαχείριση αποθεμάτων αποτελεί μία διαδικασία που στηρίζεται στη στατιστική ανάλυση και επεξεργασία ιστορικών δεδομένων είναι πολύ σημαντική η αξιολόγηση και η άμεση, ορθή ενημέρωση του ιστορικού της ζήτησης. Βάσει των δεδομένων αυτών υπολογίζεται το σημείο αναπαραγγελίας και πραγματοποιείται η πρόβλεψη της μελλοντικής ζήτησης. Όσο πιο έγκαιρη η ανατροφοδότηση του ιστορικού τόσο πιο έγκυροι θα είναι οι υπολογισμοί και οι προβλέψεις. Παράλληλα, είναι σημαντικό να τηρείται αρχείο δεδομένων που αφορούν στις παραδόσεις των προμηθευτών. Σύμφωνα με τα ιστορικά δεδομένα των παραδόσεων μπορεί να υπολογιστεί ο αναμενόμενος χρόνος παράδοσης και η αξιοπιστία του προμηθευτή. Η αβεβαιότητα του χρόνου παράδοσης αποτελεί παράγοντα που επηρεάζει στη συνέχεια το σημείο αναπαραγγελίας και το απόθεμα ασφαλείας.

Από την άλλη πλευρά η διαχείριση των εκκρεμοτήτων αποτελεί κρίσιμο παράγοντα για την αποτελεσματικότητα του συστήματος ελέγχου αποθεμάτων. Κάθε φορά που υπάρχει παραλαβή παραγγελίας από προμηθευτή εξετάζουμε πρώτα αν υπάρχουν εκκρεμότητες. Οι εκκρεμότητες έχουν προτεραιότητα έναντι της ζήτησης της τρέχουσας περιόδου παρακολούθησης. Αφού ικανοποιηθούν οι εκκρεμότητες, ικανοποιείται η τρέχουσα ζήτηση ή δημιουργείται νέα εκκρεμότητα. Η συχνότητα εμφάνισης εκκρεμοτήτων-ελλείψεων, η διάρκειά και το μέγεθός τους αποτελούν κριτήρια του επιπέδου εξυπηρέτησης και πρέπει να παρακολουθούνται ως μεγέθη.

Συνοψίζοντας, όπως προκύπτει από τα παραπάνω, πρόκειται για ένα γενικευμένο σύστημα που περιορίζεται μόνο στη διαχείριση των αποθεμάτων. Δεν χαρακτηρίζεται από σημαντικές εξαιρέσεις και ιδιαιτερότητες και μπορεί να χρησιμοποιηθεί ως βάση για την ανάπτυξη ενός γενικευμένου μοντέλου προσομοίωσης στη συνέχεια.

ΓΑΝΕΠΣΤΗΜΟ ΓΕΡΑΝ

4 ΤΟ ΜΟΝΤΕΛΟ ΠΡΟΣΟΜΟΙΩΣΗΣ

Στο κεφάλαιο αυτό παρουσιάζεται το μοντέλο προσομοίωσης που αναπτύχθηκε με βάση τους σκοπούς που παρατέθηκαν στην παράγραφο 1.2. Σύμφωνα με αυτή, στόχος ήταν να αναπτυχθεί ένα γενικευμένο μοντέλο προσομοίωσης που θα χρησιμοποιείται για την υποστήριξη της λήψης αποφάσεων σε θέματα που αφορούν τον καθορισμό της κατάλληλης πολιτικής αποθεματοποίησης. Για τη δημιουργία του μοντέλου, κατ' αρχάς συγκεντρώθηκαν οι απαραίτητες πληροφορίες σχετικά με τη δομή και τη λειτουργία του πραγματικού συστήματος που θέλαμε να προσομοιώσουμε. Στη συνέχεια, οι πληροφορίες αυτές αξιοποιήθηκαν για τη διαμόρφωση του μοντέλου. Ορίστηκαν λοιπόν, οι αρχές και οι κανόνες λειτουργίας, έγιναν οι βασικές παραδοχές, προσδιορίστηκαν τα δεδομένα εισόδου (input) και τα αποτελέσματα που θα υπολογίζει. Τα παραπάνω παρουσιάζονται στην παράγραφο *4.1 Διαμόρφωση του Μοντέλου Προσομοίωσης*.

Στη συνέχεια πραγματοποιήθηκε η υλοποίηση του μοντέλου προσομοίωσης χρησιμοποιώντας το κατάλληλο λογισμικό. Τα κριτήρια επιλογής του λογισμικού και η μέθοδος ανάπτυξης του μοντέλου αναλύονται στην παράγραφο *4.2 Ανάπτυξη του Μοντέλου Προσομοίωσης*.

Σε επόμενη φάση, έγινε η επαλήθευση της ορθής λειτουργίας του μοντέλου. Επειδή τα μοντέλα προσομοίωσης συνήθως βασίζονται σε κάποιες παραδοχές και προσπαθούν να ενσωματώνουν την αβεβαιότητα ορισμένων παραμέτρων, όπως ο χρόνος παράδοσης, υπάρχει το ενδεχόμενο να εμφανίζουν σφάλματα ή σημαντικές αποκλίσεις από το πραγματικό σύστημα. Για το λόγο αυτό, στο βαθμό που κάτι τέτοιο είναι δυνατό χρειάζεται να γίνουν κάποιες δοκιμές, προκειμένου να επιβεβαιωθεί η ορθή λειτουργία του. Η διαδικασία αυτή και τα αποτελέσματα που προέκυψαν παρουσιάζονται στην παράγραφο *4.3 Επαλήθευση του Μοντέλου Προσομοίωσης*.

4.1 Διαμόρφωση του Μοντέλου Προσομοίωσης

Για τη διαμόρφωση του μοντέλου προσομοίωσης αρχικά συγκεντρώθηκαν πληροφορίες σχετικά με την αβεβαιότητα που εμπειρίχε το πραγματικό σύστημα που θέλαμε να μοντελοποιήσουμε. Πιο συγκεκριμένα, εξετάστηκαν δύο στοχαστικές παράμετροι: η ζήτηση και ο χρόνος παράδοσης των παραγγελιών. Τα δεδομένα που συγκεντρώθηκαν, αξιοποιήθηκαν κατάλληλα ώστε να προκύψουν κάποιες παραδοχές που επιτρέπουν στο μοντέλο προσομοίωσης να δίνει αποτελέσματα που

πλησιάζουν όσο το δυνατό περισσότερο στο πραγματικό σύστημα, διατηρώντας παράλληλα την απλότητα στη λειτουργία του. Στην παράγραφο αυτή λοιπόν, θα παρουσιάσουμε τις παραδοχές πάνω στις οποίες βασίζεται το μοντέλο, τα δεδομένα εισόδου που χρησιμοποιεί, τις κύριες λειτουργίες του, όπως και τις εκτιμήσεις που υπολογίζει.

Κατ' αρχάς το σύστημα βασίζεται στην πολιτική αποθεματοποίησης (Q,R) που σημαίνει ότι όταν το επίπεδο του αποθέματος πέφτει κάτω από τις R μονάδες (Σημείο Αναπαραγγελίας) τότε τοποθετείται παραγγελία ποσότητας Q [Hillier, Lieberman, 2005, σελ. 870]. Εναλλακτικά, το συγκεκριμένο μοντέλο μπορεί να τρέχει και με πολιτική (s,S) , δηλαδή όταν το επίπεδο του αποθέματος πέφτει κάτω από τις s μονάδες να δρομολογείται παραγγελία ποσότητας τέτοιας ώστε το σύνολο του αποθέματος να φτάνει το επίπεδο S . Σε αυτή την περίπτωση ωστόσο το μοντέλο θα πρέπει να τροποποιηθεί κατάλληλα όπως αναφέρεται παρακάτω:

1. Θα πρέπει αντί για την Ποσότητα Παραγγελίας στα δεδομένα εισόδου να μπαίνει το άνω επίπεδο του αποθέματος S .
2. Οι χρονικές περίοδοι μπορεί να αναφέρονται σε ημερολογιακές ημέρες ή εβδομάδες ή άλλα μεγαλύτερα διαστήματα καθώς η πολιτική (s,S) απευθύνεται συνήθως σε συστήματα περιοδικής παρακολούθησης αποθεμάτων.
3. Θα πρέπει να υπολογίζεται, αντί για το Σημείο Αναπαραγγελίας R , το κάτω επίπεδο του αποθέματος s , έτσι ώστε να λαμβάνεται υπόψη το ελάχιστο διάστημα περιοδικής παρακολούθησης και άλλοι πιθανοί περιορισμοί.

Στο εξής, κατά την παρουσίαση του μοντέλου και της λειτουργίας του θα θεωρούμε ότι η πολιτική που ακολουθείται είναι τύπου (Q,R) .

Οι βασικές παραδοχές και υποθέσεις που διέπουν τη λειτουργία του μοντέλου προσομοίωσης συνοψίζονται παρακάτω:

- Η προσομοίωση τρέχει σε επίπεδο κωδικού ή ομάδας κωδικών, δηλαδή εξετάζεται ένα υλικό κάθε φορά ξεχωριστά και όχι σε αλληλεπίδραση με τα υπόλοιπα.
- Το μοντέλο τρέχει προσομοίωση σε επίπεδο ημερολογιακής ημέρας. Επειδή το διάστημα της 1 ημέρας είναι πολύ μικρό σε σύγκριση με τους χρόνους παράδοσης, κάνουμε την παραδοχή ότι πρόκειται για μοντέλο συνεχούς παρακολούθησης.

- Ο χρόνος παράδοσης, δηλαδή το συνολικό διάστημα που μεσολαβεί ανάμεσα στην τοποθέτηση και την παραλαβή της παραγγελίας, είναι τυχαία μεταβλητή που ακολουθεί ωστόσο κανονική κατανομή. Συνεπώς αρκεί να έχουμε τη μέση τιμή και την τυπική απόκλιση του χρόνου παράδοσης για να κάνουμε μία εκτίμηση για την αναμενόμενη παράδοση κάθε νέας παραγγελίας (περισσότερες πληροφορίες στην παράγραφο 5.2 Αβεβαιότητα της Ζήτησης και του Χρόνου Παράδοσης).
- Η ζήτηση είναι στοχαστική μεταβλητή, αλλά παρουσιάζει συγκεκριμένη εποχικότητα σε ετήσιο κύκλο. Για το λόγο αυτό, δεν χρησιμοποιείται γεννήτρια τυχαίων γεγονότων, αλλά εισάγεται πρόβλεψη της ζήτησης σε επίπεδο μήνα. Η πρόβλεψη πραγματοποιείται πέρα από το εύρος του μοντέλου προσομοίωσης, κι αυτό γιατί μπορούν να χρησιμοποιηθούν διαφορετικά εργαλεία και διαφορετικές μέθοδοι. Στη συνέχεια η μηνιαία πρόβλεψη κατανέμεται τυχαία στις εργάσιμες ημέρες κάθε μήνα (περισσότερες πληροφορίες στην παράγραφο 5.2 Αβεβαιότητα της Ζήτησης και του Χρόνου Παράδοσης).
- Σε περίπτωση έλλειψης το σύστημα κρατάει σε εκκρεμότητα τυχόν ζήτηση που δεν μπορεί να ικανοποιηθεί άμεσα, προκειμένου να ικανοποιηθεί αργότερα με την παραλαβή ανάλογης ποσότητας.
- Για κάθε παραγγελία που τοποθετείται θεωρούμε ότι υπάρχει ένα σταθερό κόστος (C_{Order}), ανεξάρτητο της ποσότητας παραγγελίας, που αναφέρεται στα αντίστοιχα διαχειριστικά και λειτουργικά έξοδα.
- Το κόστος τήρησης αποθέματος υπολογίζεται ως ποσοστό της συνολικής αξίας του μέσου αποθέματος για το χρονικό διάστημα της προσομοίωσης.
- Ως κόστος απαξίωσης θεωρείται η συνολική αξία του αποθέματος που ξεπερνά τις απαιτήσεις της ζήτησης για το επόμενο 12-μηνο. Γίνεται η παραδοχή ότι η αναμενόμενη ζήτηση για το επόμενο 12-μηνο ισούται με τη ζήτηση του προηγούμενου 12-μήνου που είναι ήδη γνωστή.

Στο *Διάγραμμα 8 (ΠΑΡΑΡΤΗΜΑ Α, σελ. 73)* παρουσιάζεται μακροσκοπικά το μοντέλο προσομοίωσης με το σύνολο των δεδομένων εισόδου (Input) που χρησιμοποιεί καθώς και στο σύνολο των στοιχείων που υπολογίζει στην έξοδο (Output). Πιο συγκεκριμένα, ένας από τους πρώτους υπολογισμούς που πραγματοποιείται πριν τρέξει ο αλγόριθμος της προσομοίωσης είναι ο υπολογισμός του Σημείου Αναπαραγγελίας (R). Για τον υπολογισμό αυτό χρειάζονται όπως φαίνεται και στο διάγραμμα τα παρακάτω δεδομένα:

- ⇒ Η ζήτηση των τελευταίων 13 μηνών, από την οποία υπολογίζουμε τη μέση τιμή και την τυπική απόκλιση
- ⇒ Η μέση τιμή και η τυπική απόκλιση του χρόνου παράδοσης.
- ⇒ Το επιθυμητό επίπεδο εξυπηρέτησης (z), που εκφράζει την επιθυμητή πιθανότητα να υπάρχει διαθέσιμο απόθεμα κατά τη διάρκεια του χρόνου παράδοσης. Η τιμή του z προκύπτει από τους Πίνακες Κανονικής Κατανομής για την αντίστοιχη πιθανότητα.

Πιο αναλυτικά το Σημείο Αναπαραγγελίας (R) υπολογίζεται ως ακολούθως [Ballou, 2004, Σελ. 349]:

$$R = \text{Ave}(D) * \text{Ave}(LT) + z * S_d$$

$$\text{Όπου } S_d = (\text{Ave}(LT) * \text{StDev}(D)^2 + \text{Ave}(D)^2 * \text{StDev}(LT)^2)^{1/2}$$

Με **Ave(D)**: Μέση τιμή της ζήτησης (μηνιαία)

StDev(D): Τυπική απόκλιση της ζήτησης

Ave(LT): Μέση τιμή του χρόνου παράδοσης

StDev(LT) Τυπική απόκλιση του χρόνου παράδοσης

S_d: Τυπική απόκλιση της ζήτησης κατά τη διάρκεια του χρόνου παράδοσης

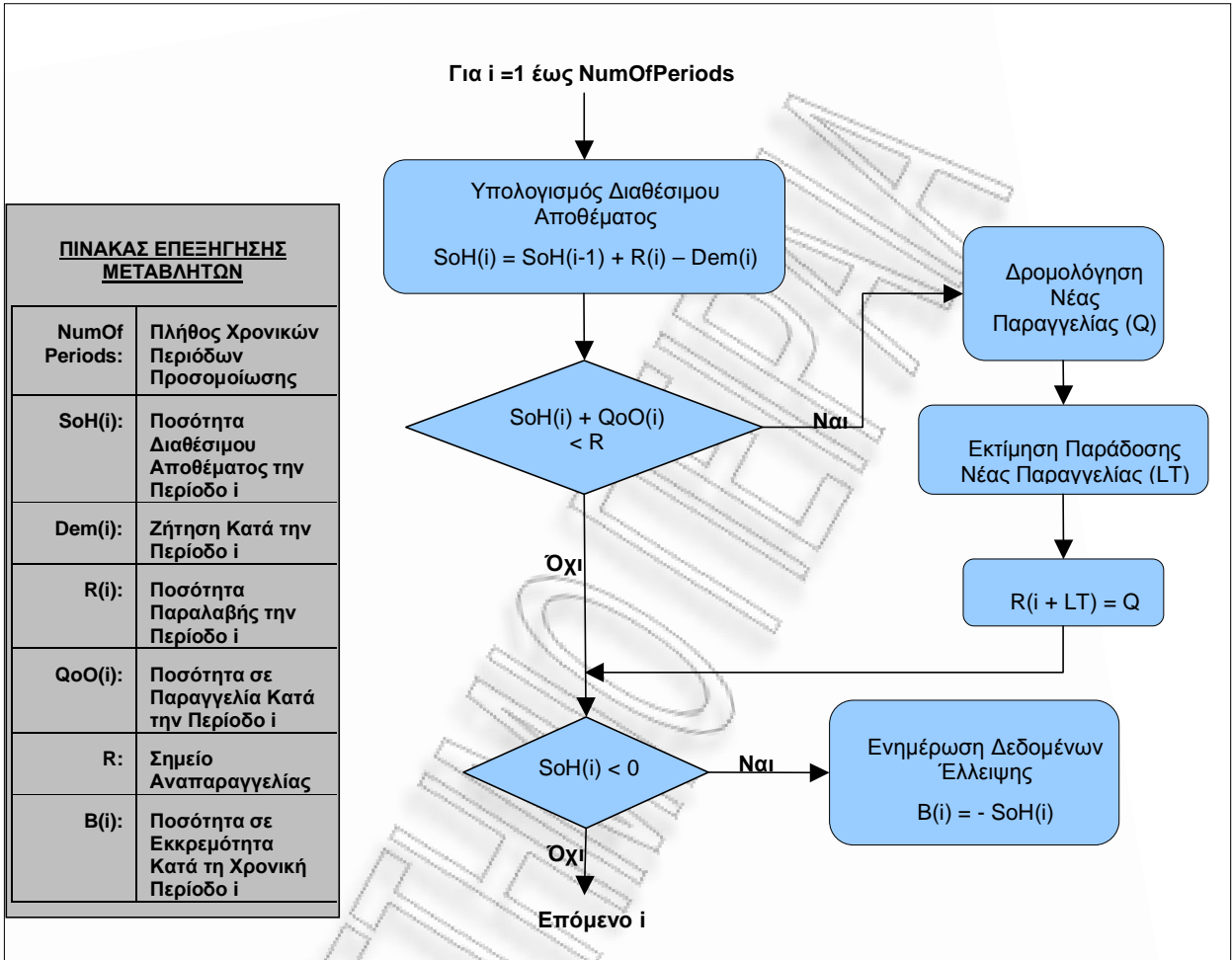
z: Πολλαπλασιαστής της τυπικής απόκλισης της ζήτησης κατά τη διάρκεια του χρόνου παράδοσης που δείχνει την πιθανότητα να υπάρχει διαθεσιμότητα σε απόθεμα στο χρονικό αυτό διάστημα

Πέρα από το Σημείο Αναπαραγγελίας τα δεδομένα εισόδου στο μοντέλο προσομοίωσης περιλαμβάνουν:

- Την Ποσότητα Παραγγελίας (Q) που μαζί με το Σημείο Αναπαραγγελίας συνιστούν την εκάστοτε Πολιτική Αποθεματοποίησης.
- Το σύνολο των χρονικών περιόδων για τις οποίες θέλουμε να τρέξει η προσομοίωση (NumOfPeriods).
- Το σταθερό κόστος (C_{Order}) ανά παραγγελία.
- Το ποσοστό της αξίας του αποθέματος που δηλώνει το κόστος τήρησης αποθεμάτων (O_c).
- Το κόστος ανά μονάδα του συγκεκριμένου υλικού για το οποίο γίνεται η προσομοίωση (C_{Unit}).

- Τη μηνιαία πρόβλεψη της ζήτησης για βάθος χρόνου που συμπίπτει με το χρόνο προσομοίωσης. Η πρόβλεψη κατανέμεται τυχαία στις εργάσιμες ημέρες του μήνα στο πλαίσιο του μοντέλου προσομοίωσης.
- Την αρχική κατάσταση του αποθέματος η οποία προσδιορίζεται από τις εξής παραμέτρους, όπως έχει αναφερθεί στην παράγραφο 2.4 *Τα Βασικά Δομικά Στοιχεία σε ένα Μοντέλο Προσομοίωσης Αποθεμάτων*, δηλαδή:
 - § Το διαθέσιμο απόθεμα τη χρονική περίοδο 0 (SoH(0)- Stock On Hand)
 - § Την ποσότητα σε παραγγελία κατά τη χρονική περίοδο 0 (QoO(0)-Qty On Order) όπως και την αναμενόμενη χρονική περίοδο άφιξης της εν λόγω ποσότητας ($R(LT) = QoO(0)$)
 - § Την ποσότητα που βρίσκεται σε εκκρεμότητα κατά τη χρονική περίοδο 0 (B(0) – Backorder)

Στη συνέχεια, εφόσον το μοντέλο τροφοδοτηθεί με τα απαραίτητα δεδομένα εισόδου που αναφέρονται παραπάνω, εκτελείται ο αλγόριθμος της προσομοίωσης για κάθε μία από τις χρονικές περιόδους προσομοίωσης. Ο αλγόριθμος παρουσιάζεται στο ακόλουθο διάγραμμα ροής (Διάγραμμα 2):



Διάγραμμα 2: Διάγραμμα Ροής Αλγορίθμου Προσομοίωσης

Όπως περιγράφεται και στο παραπάνω διάγραμμα, αρχικά υπολογίζεται το διαθέσιμο απόθεμα για μία χρονική περίοδο παρακολούθησης $SoH(i)$. Αυτό προκύπτει από το διαθέσιμο απόθεμα της προηγούμενης περιόδου $SoH(i-1)$, προσθέτοντας τις παραλαβές $R(i)$ και αφαιρώντας τη ζήτηση $Dem(i)$ της τρέχουσας περιόδου. Αν το νέο μικτό απόθεμα που προκύπτει $SoH(i) + QoO(i)$, δηλαδή το διαθέσιμο απόθεμα μαζί με την ποσότητα σε παραγγελία, είναι μικρότερο από το Σημείο Αναπαραγγελίας R τότε δρομολογείται νέα παραγγελία.

Σε περίπτωση νέας παραγγελίας, τότε χρησιμοποιείται γεννήτρια τυχαίων αριθμών που δίνει μία τιμή μεταξύ 0 και 1. Η τιμή αυτή χρησιμοποιείται ως αθροιστική συχνότητα σε διάγραμμα κανονικής κατανομής με γνωστή μέση τιμή και τυπική απόκλιση ($Ave(LT)$ & $StDev(LT)$) για τον υπολογισμό του αντίστοιχου χρόνου παράδοσης. Επομένως, σύμφωνα με το χρόνο παράδοσης που υπολογίζεται κάθε φορά, ενημερώνεται η παραλαβή της ανάλογης χρονικής περιόδου $R(i+LT)$ σύμφωνα με την ποσότητα παραγγελίας (Q).

Το επόμενο βήμα είναι ο έλεγχος των εκκρεμοτήτων. Αν το διαθέσιμο απόθεμα είναι αρνητικό, τότε σημαίνει ότι έχουμε εκκρεμότητα και αυτή ισούται με $B(i) = -SoH(i)$. Στην περίπτωση αυτή ενημερώνεται μία σειρά παραμέτρων για το μετέπειτα υπολογισμό της συχνότητας, της διάρκειας και του ύψους των εκκρεμοτήτων.

Ο παραπάνω αλγόριθμος τρέχει για κάθε μία από τις χρονικές περιόδους προσομοίωσης και στο τέλος υπολογίζει μία σειρά από εκτιμήσεις (Output) που δίνουν αναλυτικά την απόδοση του συστήματος για το δεδομένο σύνολο παραμέτρων εισόδου. Όπως φαίνεται και στο Διάγραμμα 8 (ΠΑΡΑΡΤΗΜΑ Α, σελ. 73), οι εκτιμήσεις αυτές διακρίνονται σε τρεις κατηγορίες ανάλογα με το περιεχόμενό τους:

I. Γενικές Εκτιμήσεις

1. *Μέσο Απόθεμα*: Προκύπτει από τη μέση τιμή του διαθέσιμου αποθέματος για το σύνολο των χρονικών περιόδων προσομοίωσης. Λαμβάνονται υπόψη μόνο οι θετικές τιμές, διότι οι αρνητικές δηλώνουν εκκρεμότητες.
2. *Γύρισμα Αποθέματος*: Το γύρισμα υπολογίζεται από τη διαίρεση της συνολικής ζήτησης για όλο το διάστημα προσομοίωσης με το μέσο απόθεμα και στη συνέχεια αναγωγή της τιμής αυτής σε επίπεδο ημερών.

II. Εκτιμήσεις Κόστους

1. *Κόστος Παραγγελιών*: Υπολογίζεται το πλήθος των παραγγελιών που τοποθετούνται κατά τη διάρκεια του χρόνου προσομοίωσης και πολλαπλασιάζεται με το Κόστος ανά Παραγγελία (C_{Order}).
2. *Κόστος Τήρησης Αποθέματος*: Ισούται με το γινόμενο του Κόστους Μέσου Αποθέματος και του Ποσοστού Κόστους Τήρησης Αποθεμάτων (O_c).
3. *Κόστος Αποθέματος*: Προκύπτει από το γινόμενο του συνόλου της ζήτησης κατά τη διάρκεια του χρόνου προσομοίωσης επί το μοναδιαίο κόστος του υλικού (C_{Unit}).
4. *Κόστος Απαξίωσης Αποθέματος*: Σε περίπτωση όπου το Μέσο Απόθεμα είναι μεγαλύτερο από το άθροισμα της ζήτησης του τελευταίου 12-μηνου (Δεδομένα Εισόδου), τότε η αξία του αποθέματος της διαφοράς υπολογίζεται ως Κόστος Απαξίωσης. Σε αντίθετη περίπτωση το Κόστος Απαξίωσης είναι μηδέν.

III. Εκτιμήσεις Επιπέδου Εξυπηρέτησης

1. *Πιθανότητα Έλλειψης*: Υπολογίζεται από το πηλίκο των περιόδων που εμφανίζουν εκκρεμότητες δια το σύνολο των περιόδων μέσα στη χρονική περίοδο της προσομοίωσης. Ως περίοδος με εκκρεμότητες υπολογίζεται η περίοδος κατά την οποία το διαθέσιμο απόθεμα είναι αρνητικό ή μηδέν.
2. *% Ζήτησης σε Εκκρεμότητα*: Υπολογίζεται από το πηλίκο της ζήτησης που μπαίνει σε εκκρεμότητα προς το σύνολο της ζήτησης για το διάστημα προσομοίωσης.
3. *Μέγιστη Ποσότητα σε Εκκρεμότητα*: Πρόκειται για τη μέγιστη αθροιστική ποσότητα σε εκκρεμότητα στην οποία μπορεί να φτάσει το σύστημα κατά διάρκεια το χρόνου προσομοίωσης
4. *Πλήθος Stockout*: Το πλήθος των Stockout ή ελλείψεων αφορά το πλήθος των περιπτώσεων όπου το απόθεμα πέφτει κάτω από το μηδέν μέχρι να γίνει η επόμενη παραλαβή παραγγελίας και να ικανοποιηθούν όλες οι εκκρεμότητες. Για να υπολογιστεί αυτό υπάρχει ένας μετρητής μέσα στο μοντέλο προσομοίωσης που μετρά αυτές τις περιπτώσεις.
5. *Ημέρες σε Έλλειψη*: Αφορά στο άθροισμα των χρονικών περιόδων κατά τις οποίες παρατηρείται έλλειψη.
6. *Μέσος Χρόνος Ικανοποίησης Εκκρεμοτήτων*: Για κάθε περίπτωση Stockout, δηλαδή κάθε φορά που το απόθεμα πέφτει κάτω από το μηδέν μέχρι να γίνει η επόμενη παραλαβή παραγγελίας και να ικανοποιηθούν όλες οι εκκρεμότητες, μετράμε τη διάρκεια σε χρονικές περιόδους προσομοίωσης και στο τέλος υπολογίζουμε τη μέση τιμή αυτών. Με τον τρόπο αυτό βλέπουμε τη μέση διάρκεια των stockouts.

Τα παραπάνω αποτελέσματα παρουσιάζουν την απόδοση του συστήματος και αποτελούν κριτήρια για τη λήψη αποφάσεων και τη δρομολόγηση αλλαγών, όπως είναι άλλωστε και ο στόχος του συγκεκριμένου μοντέλου προσομοίωσης. Στη συνέχεια, παρουσιάζεται η διαδικασία ανάπτυξης που ακολουθήθηκε για την υλοποίησή του.

4.2 Ανάπτυξη του Μοντέλου Προσομοίωσης

Στην παράγραφο αυτή παρουσιάζεται η διαδικασία που ακολουθήθηκε για την υλοποίηση του μοντέλου προσομοίωσης. Πιο συγκεκριμένα, αναλύεται η διαδικασία

επιλογής του κατάλληλου εργαλείου – λογισμικού ανάπτυξης, ακολουθούν τα σημαντικά στάδια κατά την υλοποίηση και τέλος, παρουσιάζεται η λειτουργία του μοντέλου από την πλευρά του τελικού χρήστη.

Για την επιλογή του κατάλληλου εργαλείου ανάπτυξης της εφαρμογής είναι απαραίτητο να εξετάσουμε πρώτα τις προδιαγραφές του συστήματος από πλευράς λειτουργίας του. Αναλυτικά, οι βασικές προδιαγραφές λειτουργίας του μοντέλου προσομοίωσης που θέλουμε περιλαμβάνουν τα ακόλουθα:

1. **Να παρουσιάζει διαλειτουργικότητα σε σχέση με άλλα συστήματα (Interoperability):** Το μοντέλο προσομοίωσης όπως αναφέρθηκε και στην προηγούμενη παράγραφο δέχεται ένα σύνολο πληροφοριών ως δεδομένα εισόδου, εκτελεί μία σειρά από υπολογισμούς και τέλος υπολογίζει κάποιες εκτιμήσεις, για να τις εξετάσει ο χρήστης. Τα δεδομένα εισόδου, αλλά και τα αποτελέσματα που δίνει θα πρέπει να είναι σε τέτοια μορφή ώστε να μπορούν να βγουν ή να χρησιμοποιηθούν αντίστοιχα από κάποιο άλλο σύστημα της επιχείρησης. Για παράδειγμα, η πρόβλεψη της ζήτησης που είναι είσοδος στο μοντέλο προσομοίωσης μπορεί να είναι βγαίνει από κάποιο άλλο σύστημα, ένα ERP ή κάποιο εργαλείο πρόβλεψης. Αντίστοιχα, τα αποτελέσματα της προσομοίωσης μπορεί να είναι είσοδος σε ένα άλλο σύστημα, για παράδειγμα ένα λογισμικό στατιστικής ανάλυσης. Το ζητούμενο, λοιπόν είναι οι εισοδοί και έξοδοι από το μοντέλο προσομοίωσης να είναι σε τέτοια μορφή ώστε να επιτρέπεται η διαλειτουργικότητα και η εύκολη επικοινωνία με άλλα συστήματα που μπορεί να χρησιμοποιεί μία επιχείρηση στο πλαίσιο προγραμματισμού των αποθεμάτων της.
2. **Να δίνει γρήγορα & άμεσα αποτελέσματα:** Παρά το γεγονός ότι χρειάζεται η επέμβαση του χρήστη για να προσαρμόσει ανάλογα τις παραμέτρους εισόδου στο σύστημα προσομοίωσης, στη συνέχεια θέλουμε το σύστημα να τρέχει την προσομοίωση και να δίνει τα αποτελέσματα άμεσα, γρήγορα και χωρίς πλέον την επέμβαση του χρήστη. Θα πρέπει το αλγόριθμος να είναι γρήγορος και να μπορεί να επαναλαμβάνεται όσες φορές χρειαστεί χωρίς καθυστέρηση από πλευράς του χρήστη.
3. **Να είναι απλό στη χρήση:** Το ζητούμενο είναι να αναπτυχθεί ένα μοντέλο προσομοίωσης που θα είναι απλό για τη συγκεκριμένη ομάδα χρηστών που απευθύνεται. Θα πρέπει να επαναλάβουμε στο σημείο αυτό ότι χρήστες του μοντέλου θα είναι άνθρωποι που ασχολούνται με τη διαχείριση των αποθεμάτων και τον προγραμματισμό των υλικών. Αυτό σημαίνει ότι είναι

ιδιαίτερα εξοικειωμένοι με τη διαδικασία διαχείρισης αποθεμάτων, με τα απαιτούμενα δεδομένα και τις παραμέτρους προγραμματισμού, όχι όμως απαραίτητα και με την ανάπτυξη λογισμικού. Με δεδομένες τις παραπάνω συνθήκες λειτουργίας, ένα μοντέλο απλό στη χρήση σημαίνει ένα μοντέλο όπου θα είναι εύκολη και απλή η παραμετροποίηση και η τροποποίηση των δεδομένων.

4. **Να παρουσιάζει ευελιξία σε αλλαγές:** Όπως αναφέρθηκε και παραπάνω χρειάζεται να αναπτυχθεί ένα γενικευμένο μοντέλο, ικανό να προσομοιώνει ένα πλήθος διαφορετικών συστημάτων. Ενδεικτικά αναφέρουμε ότι το μοντέλο αναπτύσσεται έτσι ώστε να υποστηρίζει την (Q,R) πολιτική αποθεματοποίησης, αλλά μπορεί με κατάλληλες τροποποιήσεις να υποστηρίζει και την (s,S) . Συνεπώς, χρειάζεται να αναπτυχθεί ένα σύστημα που θα είναι ευέλικτο σε αλλαγές και τροποποιήσεις, ενώ επιθυμητό είναι οι αλλαγές αυτές να μπορούν να γίνονται από τον τελικό χρήστη και όχι κατ' ανάγκη από έναν προγραμματιστή. Στην πράξη, το μοντέλο προσομοίωσης θα παρουσιάζει ταυτόχρονα διαφορετικές εκδόσεις κάθε μια από τις οποίες θα καλύπτει ελαφρώς τροποποιημένες ανάγκες και ιδιαιτερότητες.

Οι παραπάνω προδιαγραφές λειτουργίας του μοντέλου προσομοίωσης αποτελούν κριτήρια για την επιλογή του κατάλληλου εργαλείου ανάπτυξης. Επιπλέον κριτήριο αποτελεί η δυνατότητα γρήγορης και εύκολης υλοποίησης. Είναι σκόπιμο να χρησιμοποιηθεί κάποιο λογισμικό που θα διαθέτει έτοιμες συναρτήσεις και εργαλεία, τα οποία θα χρησιμοποιούνται αυτούσια χωρίς να χρειαστεί επιπλέον κώδικας. Όσο πιο εξελιγμένο το λογισμικό που θα χρησιμοποιηθεί τόσο πιο εύκολη και γρήγορη θα είναι η υλοποίηση του μοντέλου.

Προς αυτή την κατεύθυνση, κρίνεται ικανοποιητική η χρήση του Excel για την ανάπτυξη του συγκεκριμένου μοντέλου προσομοίωσης. Η συγκεκριμένη εφαρμογή δεν απαιτεί πολύ υψηλό υπολογιστικό φόρτο, καθώς ο αλγόριθμος που τρέχει εκτελεί απλούς υπολογισμούς, ενώ το Excel εξασφαλίζει τα περισσότερα από τα παραπάνω κριτήρια. Εμφανίζει διαλειτουργικότητα με πολλές άλλες εφαρμογές, καθώς τα περισσότερα συστήματα εξάγουν ή εισάγουν δεδομένα από Excel, μπορεί να γίνει απλό στη χρήση και παρουσιάζει μεγάλη ευελιξία σε αλλαγές. Το μόνο σημαντικό πρόβλημα που έχει είναι η έλλειψη δυνατοτήτων αυτοματοποίησης κάποιων διαδικασιών. Το Excel απαιτεί συνεχώς την επέμβαση του χρήστη και σαν αποτέλεσμα δεν επιτρέπει την ανάπτυξη μιας εφαρμογής που θα μπορεί να τρέχει γρήγορα και αποτελεσματικά χωρίς την ανάλογη επέμβαση του χρήστη.

Στον αντίποδα των παραπάνω, η χρήση ενός πιο εξελιγμένου λογισμικού όπως το MATLAB ή η C++ μπορεί να εξαλείψει το βασικό μειονέκτημα που παρουσιάζει το Excel. Τα συστήματα αυτά διαθέτουν συναρτήσεις και επιτρέπουν την ανάπτυξη ακόμα πιο πολύπλοκων αλγορίθμων. Μπορούν να χρησιμοποιηθούν για να αναπτυχθεί ένα μοντέλο που θα τρέχει γρήγορα, αποτελεσματικά χωρίς την επέμβαση του χρήστη. Ωστόσο, τα συστήματα αυτά είναι πιο πολύπλοκα ως προς τη χρήση, έχουν μικρότερη ευελιξία σε αλλαγές και χρειάζεται να αναπτυχθούν ενδιάμεσες «γέφυρες» για την επικοινωνία τους με άλλα συστήματα.

Συνεπώς, βασικό ζητούμενο ήταν να χρησιμοποιηθεί ένα σύστημα όπως το Excel, εφόσον υπάρχει η δυνατότητα να εξαλειφθεί το βασικό του μειονέκτημα: η περιορισμένη δυνατότητα ανάπτυξης αυτόματων διαδικασιών. Για το λόγο αυτό, χρησιμοποιήθηκε τελικά το Excel σε συνδυασμό με τη VBA (Microsoft Visual Basic for Applications). Η VBA είναι μία γλώσσα γενικής χρήσης [Reed Jacobson, 2002], που μοιάζει συντακτικά με τη Visual Basic και λειτουργεί ανεξάρτητα από την εφαρμογή (Excel, Word, Visio, Corel Draw) που την φιλοξενεί. Πιο αναλυτικά, η VBA είναι μία έκδοση της Visual Basic που μπορεί να φιλοξενηθεί από μια εφαρμογή όπως το Microsoft Excel. Μία μακροεντολή της VBA ωστόσο δεν μπορεί να εκτελεστεί ανεξάρτητα από την εφαρμογή που τη φιλοξενεί. Η VBA και η αυτόνομη έκδοση της Visual Basic χρησιμοποιούν κοινή μηχανή γλώσσας, κοινό επεξεργαστή και έχουν κοινά υποστηρικτικά εργαλεία. Παρέχει επομένως όλο το απαραίτητο υπόβαθρο για να αναπτυχθεί μία αυτόματη εφαρμογή που θα τρέχει μέσα στο περιβάλλον του Excel.

Η υλοποίηση του μοντέλου προσομοίωσης πραγματοποιήθηκε ακολουθώντας τη μέθοδο του πρωτοτύπου. Αρχικά, λοιπόν φτιάχτηκε ένα πρωτότυπο του μοντέλου προσομοίωσης, το οποίο εκτελούσε μέρος των βασικών λειτουργιών του. Στη συνέχεια, το πρωτότυπο εμπλουτίστηκε με συναρτήσεις και αναπτύχθηκαν όλες οι απαραίτητες σχέσεις αλληλεξάρτησης μεταξύ δεδομένων εισόδου και αποτελεσμάτων. Στη φάση αυτή το μοντέλο λειτουργούσε μόνο με την επέμβαση του χρήστη και δεν περιείχε κανέναν αυτοματισμό. Στην τελική φάση, και σύμφωνα με τις προδιαγραφές χρήσης, αυτοματοποιήθηκαν κάποιες διαδικασίες μέσω κώδικα VBA έτσι ώστε να γίνεται πιο γρήγορα και αποτελεσματικά ο κύκλος προσομοίωσης.

Το αποτέλεσμα είναι ένα σύστημα προσομοίωσης που λαμβάνει δεδομένα είτε με άμεση εισαγωγή από το χρήστη ή μέσω ενός φύλλου εργασίας Excel. Το

σύστημα, μετά από ενεργοποίηση του χρήστη, υπολογίζει αυτόματα και δίνει τα αποτελέσματα πάλι σε μορφή φύλλου εργασίας.

Για παράδειγμα, δίνουμε στα δεδομένα εισόδου της προσομοίωσης τα ακόλουθα στοιχεία σχετικά με τη ζήτηση του τελευταίου 13-μηνου, την πρόβλεψη της ζήτησης για βάθος χρόνου 12 μηνών, καθώς και τα υπόλοιπα απαραίτητα δεδομένα εισόδου όπως αναφέρονται και στο *Διάγραμμα 8: Δεδομένα Εισόδου & Εξόδου από το Μοντέλο Προσομοίωσης*:

Μήνας	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13
Πωλήσεις	7000	6000	6900	5600	7800	13456	7900	8700	4500	7800	8350	9200	6890

Μήνας	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12
Πρόβλεψη	7300	6800	8900	8600	9300	7800	8560	7200	7990	8400	9100	9350

Input Data	
Reorder Point:	7968,572
Initial Stock Level:	7423,6
Pending Order Est. Arrival Period:	9
Pending Order Quantity:	7000
Standard Order Qty:	7000
Number of Simulation Periods:	365
Average Lead Time:	20
Standard Deviation of Lead Time:	5,58
Cost per Order (EUR):	25
Item Unit Cost (EUR):	2,57
% Carrying Cost:	9%
Service Level:	97%

Το σύστημα αρχικά υπολογίζει το Σημείο Αναπαραγγελίας στις 7968,572 μονάδες και κατανέμει την πρόβλεψη των πωλήσεων τυχαία στις εργάσιμες ημέρες που έχουν οριστεί.

Στη συνέχεια, για να τρέξει ο αλγόριθμος ο χρήστης πατά το κουμπί «Run SIM». Ο αλγόριθμος διαρκεί μερικά δευτερόλεπτα και αφού ολοκληρωθεί συμπληρώνεται ο ακόλουθος πίνακας με τα αποτελέσματα.

Output Data	
Average Inventory:	3455,816
Inventory Turnover (In days):	12,70265
Cost Relevant Data	
Ordering Cost:	350
Carrying Cost:	799,3302
Inventory Cost:	255201
Obsolete Cost:	0
Service Level Relevant Data	
Probability of stockout (%):	13,42%
Percent of Demand Qty in Stockout:	16,16%
Max Backorder Quantity:	4659,087
Num of Stockouts:	9
Total Days in Stockout:	49
Ave Delay in Filling Backorder:	5,444444

Με το κουμπί «Clear Results» καθαρίζει ο πίνακας των αποτελεσμάτων και μπορεί να ξανατρέξει ο αλγόριθμος. Κάθε φορά που τρέχει ο αλγόριθμος της προσομοίωσης επαναλαμβάνεται και η τυχαία κατανομή της ζήτησης στις εκάστοτε εργάσιμες ημέρες.

4.3 Επαλήθευση του Μοντέλου Προσομοίωσης

Αφού ολοκληρωθεί η ανάπτυξη του μοντέλου προσομοίωσης το επόμενο βήμα στη διαδικασία είναι ο έλεγχος των αποτελεσμάτων του μοντέλου σε σύγκριση πάντα με το πραγματικό σύστημα που αντιπροσωπεύει. Πιο αναλυτικά, στη φάση αυτή εξετάζεται αν οι δείκτες απόδοσης ενός πραγματικού συστήματος συγκλίνουν με τα αντίστοιχα αποτελέσματα που δίνει το μοντέλο προσομοίωσης.

Στην πράξη αυτό δεν είναι πάντα εύκολο, γιατί σε πολλές περιπτώσεις δεν υφίσταται πραγματικό σύστημα και ουσιαστικά το μοντέλο αναπτύσσεται προκειμένου να προσδιοριστούν οι κατάλληλες παράμετροι για το νέο σύστημα πριν αυτό δημιουργηθεί. Άλλες πάλι φορές, αν και το πραγματικό σύστημα υπάρχει, δεν είναι εύκολο να συγκεντρωθούν και να εκτιμηθούν κάποιες πληροφορίες σχετικά με την απόδοσή του.

Σε κάθε περίπτωση, πέρα από την απευθείας μέτρηση της απόδοσης πραγματικού συστήματος και μοντέλου, η επαλήθευση μπορεί να γίνει χρησιμοποιώντας κάποιες από τις ακόλουθες μεθόδους:

Ø Σύγκριση του μοντέλου προσομοίωσης με κάποιο μαθηματικό μοντέλο: Σε ορισμένες περιπτώσεις χρησιμοποιούνται γενικά μαθηματικά μοντέλα που δίνουν ενδείξεις σχετικά με τη λειτουργία του συστήματος. Μπορεί λοιπόν να χρησιμοποιηθεί ένα τέτοιο μοντέλο προκειμένου να ελεγχθεί κάποιο τμήμα του μοντέλου προσομοίωσης.

- Ø Field Testing: Με τον όρο Field Testing εννοούμε ότι αναπτύσσεται ένα πρωτότυπο και τίθεται σε λειτουργία. Τα αποτελέσματα της λειτουργίας του συγκρίνονται με τα αντίστοιχα του μοντέλου προσομοίωσης.
- Ø Χρήση εμπειρογνομώνων: Μπορεί να χρησιμοποιηθεί κατάλληλα εκπαιδευμένο προσωπικό που θα εξετάσει πόσο αλλάζουν τα αποτελέσματα του μοντέλου προσομοίωσης σε κάθε αλλαγή της παραμετροποίησής του. Με τον τρόπο αυτό μπορεί να ελεγχθεί αν το μοντέλο εμφανίζει αναμενόμενη συμπεριφορά και ανταποκρίνεται σωστά σε δεδομένες αλλαγές.

Στη συγκεκριμένη περίπτωση, καθώς το μοντέλο προσομοίωσης αναπτύχθηκε με σκοπό να καλύψει τη λειτουργία ενός γενικευμένου, στοχαστικού μοντέλου αποθεμάτων, ήταν εύκολο να βρεθεί και να χρησιμοποιηθεί ένα πραγματικό σύστημα για την επαλήθευσή του. Το σύστημα που χρησιμοποιήθηκε για την επαλήθευση, αλλά και για τα παραδείγματα του επόμενου κεφαλαίου, είναι το σύστημα αποθεμάτων τελικών προϊόντων της εταιρείας Sika Hellas ABEE (Sika Hellas).

Η Sika Hellas ιδρύθηκε το 1995 ως θυγατρική της Sika Ελβετίας και δραστηριοποιείται στους τομείς της κατασκευαστικής και βιομηχανικής υποστήριξης παρέχοντας εξειδικευμένα προϊόντα. Ενδεικτικά, στο φάσμα των υλικών της περιλαμβάνει πρόσμικτα και βοηθητικά υλικά σκυροδέτησης και εκτόξευσης, ειδικά κονιάματα και βελτιωτικά κονιαμάτων, υλικά επισκευών και στατικής ενίσχυσης, προστατευτικές επιστρώσεις σκυροδέματος και σιδήρου, συστήματα σφραγίσεων αρμών, πολυμερείς μεμβράνες και άλλα. Η Sika Hellas, με ένα ευρύ φάσμα υλικών, πλήθος προμηθευτών σε όλο τον κόσμο, ιδιότητες αποθήκες στο Κρουνέρι, πολλαπλά κανάλια διανομής, καθώς και κάποιες ιδιαιτερότητες ως προς τον τρόπο αποθήκευσης και διακίνησης για ορισμένες ομάδες κωδικών, αποτέλεσε το ιδανικό σύστημα για τη χρήση του μοντέλου προσομοίωσης.

Πιο συγκεκριμένα, για την επαλήθευση χρησιμοποιήθηκαν συγκεκριμένοι κωδικοί ειδών και υπολογίστηκαν οι δείκτες απόδοσης για δεδομένο χρονικό διάστημα. Για παράδειγμα, υπολογίστηκε το μέσο απόθεμα, το γύρισμα και το επίπεδο εξυπηρέτησης για όλο το 2006 που είχε το πραγματικό σύστημα με όλες τις ιδιαιτερότητες και τις εξαιρέσεις του. Στη συνέχεια, έχοντας όλα τα απαραίτητα ιστορικά δεδομένα μέχρι και τις 13/12/2005, τρέχουμε το μοντέλο προσομοίωσης για το ίδιο χρονικό διάστημα και συγκρίνουμε τα αποτελέσματα που δίνει. Σε περιπτώσεις όπου σημειώνονται μεγάλες αποκλίσεις δίνονται και οι κατάλληλες

ερμηνείες κατά περίπτωση, για παράδειγμα απόκλιση της πρόβλεψης και της πραγματικής ζήτησης.

Στη συνέχεια παρουσιάζονται τα αποτελέσματα από τρία διαφορετικά παραδείγματα:

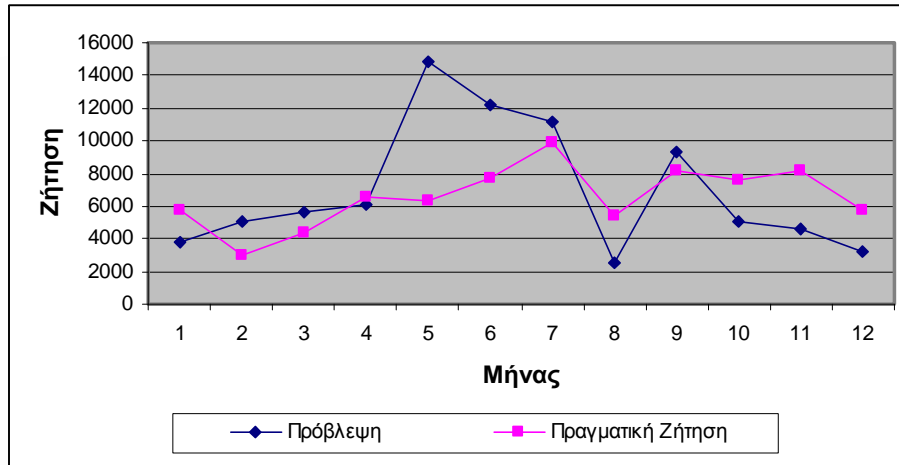
Παράδειγμα 1: Στο παράδειγμα αυτό χρησιμοποιείται το Προϊόν 1, μία κόλλα πλακιδίων μέτριας ζήτησης, η οποία εμφανίζει εποχικότητα σε ετήσιο κύκλο.

Προϊόν 1: Πραγματικά στοιχεία για το Διάστημα 1/1/2006 έως 31/12/2006	
Real System Data	
Reorder Point:	13274,92
Initial Stock Level:	5641,936
Pending Order Est. Arrival Period:	9
Pending Order Quantity:	1680,36
Standard Order Qty:	6156
Number of Simulation Periods:	365
Average Lead Time:	32
Standard Deviation of Lead Time:	10,7
Cost per Order (EUR):	30
Item Unit Cost (EUR):	3,876
% Carrying Cost:	7%
Service Level:	97%
Total Demand in2006:	78773

Στον παραπάνω πίνακα παρουσιάζονται τα βασικά χαρακτηριστικά του πραγματικού συστήματος για το χρονικό διάστημα από 1/1/2006 έως 31/12/2006. Με βάση τα παραπάνω χαρακτηριστικά και την πρόβλεψη της ζήτησης για το αντίστοιχο χρονικό διάστημα τρέχουμε την προσομοίωση για 50 συνεχόμενες φορές και υπολογίζουμε τη μέση τιμή, την τυπική απόκλιση, όπως και τη μέγιστη-ελάχιστη τιμή για τα αποτελέσματα. Τα αποτελέσματα της προσομοίωσης σε σύγκριση με τα στοιχεία του πραγματικού συστήματος παρουσιάζονται στον ακόλουθο πίνακα:

Output Data	Μέση Τιμή	Τυπική Απόκλιση	Ελάχιστη Τιμή	Μέγιστη Τιμή	Real
Average Inventory:	8340,7028	886,88964	4792,8239	9749,7155	5456,4352
Inventory Turnover (In days):	36,415748	3,8721856	20,925607	42,567538	25,282683
Cost Relevant Data					
Ordering Cost:	450	0	450	450	390
Carrying Cost:	2977,6309	316,6196	1711,0381	3480,6484	1947,9474
Inventory Cost:	426360	0	426360	426360	401743,52
Obsolete Cost:	0	0	0	0	0
Service Level Relevant Data					
Probability of stockout (%):	1,28%	3,03%	0	17,53%	4%
Percent of Demand Qty in Stockout:	1,80%	3,80%	0	21,84%	3,93%
Max Backorder Quantity:	911,05352	1530,9323	0	7798,0896	1635
Num of Stockouts:	0,68	0,9781282	0	5	3
Total Days in Stockout:	4,66	11,070479	0	64	13
Ave Delay in Filling Backorder:	2,6746667	5,0832773	0	32	4,3333333

Όπως φαίνεται στον παραπάνω πίνακα τα αποτελέσματα είναι αποδεκτά καθώς οι πραγματικές τιμές βρίσκονται εντός του διαστήματος τιμών που δίνει το μοντέλο προσομοίωσης. Ωστόσο δεν συγκλίνουν πάντα στη μέση τιμή και αυτό γιατί η πραγματικότητα εμφανίζει σχεδόν πάντα κάποιες ιδιαιτερότητες που δεν είναι εύκολο να μοντελοποιηθούν. Κατ' αρχάς, όπως αναφέρθηκε και παραπάνω, πρόκειται για ένα υλικό που εμφανίζει εποχικότητα κατά τη διάρκεια ενός ημερολογιακού έτους. Στην πράξη λοιπόν ανάλογα με την περίοδο ζήτησης, αλλάζει και η ποσότητα παραγγελίας. Δηλαδή, κατά την περίοδο υψηλής ζήτησης η ποσότητα παραγγελίας αυξάνεται ενώ αντίθετα κατά την ύφεση μειώνεται. Στο μοντέλο προσομοίωσης, ωστόσο, χρησιμοποιήσαμε σταθερή ποσότητα παραγγελίας και συγκεκριμένα τη μέση τιμή των παραγγελιών σύμφωνα με το ιστορικό αγορών. Σαν αποτέλεσμα, το μοντέλο προσομοίωσης εμφανίζει υψηλότερο κόστος παραγγελιών, γιατί χρειάζεται περισσότερες σε αριθμό παραγγελίες για να καλύψει τη ζήτηση, ενώ η μέση τιμή του αποθέματος εμφανίζεται υψηλότερη από το πραγματικό σύστημα. Αυτό συμβαίνει γιατί το απόθεμα ασφαλείας και το σημείο αναπαραγγελίας παραμένουν σταθερά για όλο το διάστημα της προσομοίωσης, χωρίς να αναπροσαρμόζονται προς τα κάτω κατά τις περιόδους χαμηλής ζήτησης. Επιπροσθέτως, αν και η συνολική ποσότητα ζήτησης για το δεδομένο χρονικό διάστημα δεν εμφανίζει σημαντική διαφορά μεταξύ πρόβλεψης και πραγματικότητας, αλλάζει ωστόσο πολύ η κατανομή της ζήτησης στους επιμέρους μήνες προγραμματισμού όπως φαίνεται και στο παρακάτω Διάγραμμα 3:



Διάγραμμα 3: Σύγκριση Πρόβλεψης και Πραγματικής Ζήτησης για το Προϊόν 1

Πιο συγκεκριμένα, ακολουθώντας το ιστορικό της ζήτησης η πρόβλεψη εμφανίζει μεγάλες αυξομειώσεις κατά τη διάρκεια του έτους, ενώ η πραγματική ζήτηση για το ίδιο διάστημα ήταν τελικά πιο ομαλή. Αυτό συνεισφέρει ως ένα βαθμό και στο χαμηλότερο μέσο απόθεμα και το υψηλότερο γύρισμα που είχε το πραγματικό σύστημα.

Συνοψίζοντας τα παραπάνω, το μοντέλο προσομοίωσης εμφανίζει αποδεκτά και αναμενόμενα αποτελέσματα δεδομένων των παραδοχών για το Προϊόν 1. Το σύνολο των αποτελεσμάτων της προσομοίωσης για το Προϊόν 1 παρουσιάζονται αναλυτικά στον *Πίνακα 1 (ΠΑΡΑΡΤΗΜΑ Β)*.

Παράδειγμα 2: Στο δεύτερο παράδειγμα χρησιμοποιείται ένα τσιμεντοειδές κονίαμα υψηλής ζήτησης, το Προϊόν 2. Ο κωδικός αυτός έχει πάντα σταθερή ποσότητα παραγγελίας ίση με ένα πλήρες φορτίο, επομένως δεν περιμένουμε τις αποκλίσεις του προηγούμενου παραδείγματος. Πιο συγκεκριμένα, εξετάζεται η λειτουργία του πραγματικού συστήματος για το ίδιο χρονικό διάστημα, δηλαδή όλο το 2006. Τα βασικά χαρακτηριστικά του συστήματος παρουσιάζονται στον ακόλουθο πίνακα:

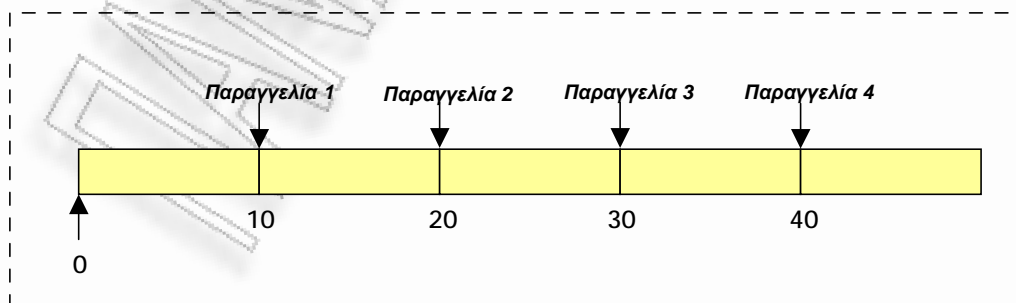
Προϊόν 2: Πραγματικά στοιχεία για το Διάστημα 1/1/2006 έως 31/12/2006	
Real System Data	
Reorder Point:	52200,72
Initial Stock Level:	50380
Pending Order Est. Arrival Period:	9
Pending Order Quantity:	51480
Standard Order Qty:	17160
Number of Simulation Periods:	365
Average Lead Time:	28
Standard Deviation of Lead Time:	12,6
Cost per Order (EUR):	30
Item Unit Cost (EUR):	0,1672
% Carrying Cost:	7%
Service Level:	97%
Total Demand in 2006:	575982

Η ιδιαιτερότητα που παρουσιάζει ο συγκεκριμένος κωδικός έγκειται στο χρόνο παράδοσης που εμφανίζουν τα πραγματικά δεδομένα. Επειδή πρόκειται για ένα υλικό υψηλής ζήτησης η πολιτική αποθεματοποίησης δεν περιορίζεται αυστηρά στο σημείο αναπαραγγελίας, αλλά ακολουθώντας την πρόβλεψη της ζήτησης προγραμματίζονται περισσότερες από μία παραγγελίες σε βάθος χρόνου. Σαν αποτέλεσμα, τόσο η μέση τιμή όσο και η τυπική απόκλιση του χρόνου παράδοσης, δεν είναι ενδεικτικές της αξιοπιστίας του προμηθευτή και δεν μπορούν να χρησιμοποιηθούν για το μετέπειτα προγραμματισμό των παραγγελιών.

Όπως φαίνεται και στο παρακάτω σχήμα, αν τη χρονική στιγμή 0 τοποθετηθούν 4 παραγγελίες με ζητούμενο χρόνο παράδοσης ανά 10 ημέρες και οι χρόνοι αυτοί τηρηθούν από τον προμηθευτή τότε θα έχουμε:

Μέση Τιμή (10,20,30,40) = 25 ημέρες

Τυπική Απόκλιση (10,20,30,40) = 12,91



Για να αποφύγουμε το παραπάνω σφάλμα στο μοντέλο προσομοίωσης χρησιμοποιείται ως μέση τιμή του χρόνου παράδοσης, το άθροισμα του χρόνου παραγωγής που δίνει ο προμηθευτής και του μέσου χρόνου μεταφοράς, ενώ για την τυπική απόκλιση, λαμβάνουμε υπόψη την τυπική απόκλιση μεταξύ του ζητούμενου και του πραγματικού χρόνου παράδοσης. Συνεπώς, για το συγκεκριμένο παράδειγμα χρησιμοποιείται στο μοντέλο Μέση Τιμή 17 και Τυπική Απόκλιση 5 αντί για 28 και 12,6 που δίνει το πραγματικό σύστημα.

Τα αποτελέσματα της προσομοίωσης σε σύγκριση με τις αντίστοιχες τιμές του πραγματικού συστήματος παρουσιάζονται στον ακόλουθο πίνακα:

<i>Output Data</i>	Μέση Τιμή	Τυπική Απόκλιση	Ελάχιστη Τιμή	Μέγιστη Τιμή	Real
Average Inventory:	25992,5	2928,39	18072,7	29978,5	49407,6
Inventory Turnover (In days):	16,6679	1,87785	11,5892	19,2239	31,3096
Cost Relevant Data					
Ordering Cost:	900	0	900	900	1050
Carrying Cost:	345,7	38,9476	240,366	398,714	578,266
Inventory Cost:	108147	0,00278	108147	108147	109437
Obsolete Cost:	0	0	0	0	0
Service Level Relevant Data					
Probability of stockout (%):	3,12%	4,20%	0	16,99%	4%
Percent of Demand Qty in Stockout:	4,08%	4,96%	0	19,81%	1,41%
Max Backorder Quantity:	7975,57	7686,7	0	35496,7	3322
Num of Stockouts:	2,8	2,44949	0	10	3
Total Days in Stockout:	11,38	15,3276	0	62	14
Ave Delay in Filling Backorder:	3,02333	2,29306	0	12,4	4,66667

Όπως φαίνεται παραπάνω, το πραγματικό σύστημα εμφανίζει υψηλότερο μέσο απόθεμα και χαμηλότερο γύρισμα σε σύγκριση με το μοντέλο προσομοίωσης. Κάτι τέτοιο είναι αναμενόμενο αν αναλογιστούμε την πραγματική διαδικασία αναπλήρωσης των αποθεμάτων που ακολουθείται. Ωστόσο, το υψηλότερο απόθεμα δεν φαίνεται να συνεπάγεται και αντίστοιχα υψηλό επίπεδο εξυπηρέτησης. Όπως φαίνεται είναι δυνατό να διατηρηθεί αντίστοιχο επίπεδο εξυπηρέτησης με χαμηλότερο απόθεμα και αντίστοιχα κόστη. Επομένως στην περίπτωση αυτή, πέρα από την επαλήθευση μπορεί να χρησιμοποιηθεί το μοντέλο προσομοίωσης για τη βελτίωση της απόδοσης του υφιστάμενου συστήματος αποθεμάτων. Αναλυτικά τα αποτελέσματα της προσομοίωσης για το Προϊόν 2 παρουσιάζονται στον Πίνακα 2(ΠΑΡΑΡΤΗΜΑ Β).

Παράδειγμα 3: Για το τελευταίο παράδειγμα χρησιμοποιείται μία πολυουρεθανική μαστίχη βιομηχανικής χρήσης, το Προϊόν 3. Το υλικό αυτό έχει υψηλό κόστος, μικρό χρόνο ζωής, ενώ χαρακτηρίζεται από μεγάλη αβεβαιότητα όσον αφορά

στους χρόνους παράδοσης του προμηθευτή. Ο κωδικός αυτός έχει πάντα σταθερή ποσότητα παραγγελίας ίση με μία παλέτα, ενώ για να αποφευχθούν σφάλματα της πρόβλεψης, εξετάζεται η λειτουργία του πραγματικού συστήματος για το χρονικό διάστημα από 1/1/2006 έως 31/3/2006. Τα βασικά χαρακτηριστικά του πραγματικού συστήματος παρουσιάζονται στον ακόλουθο πίνακα:

Προϊόν 3: Πραγματικά στοιχεία για το Διάστημα 1/1/2006 έως 31/3/2006	
Real System Data	
Reorder Point:	1131,68
Initial Stock Level:	880
Pending Order Est. Arrival Period:	25
Pending Order Quantity:	844,8
Standard Order Qty:	844,8
Number of Simulation Periods:	90
Average Lead Time:	29
Standard Deviation of Lead Time:	8,5
Cost per Order (EUR):	30
Item Unit Cost (EUR):	2,3232
% Carrying Cost:	7%
Service Level:	95%
Total Demand in Oper. Period:	1724,8

Με δεδομένα τα παραπάνω χαρακτηριστικά τρέχουμε το μοντέλο προσομοίωσης 20 διαδοχικές φορές και λαμβάνουμε τα αποτελέσματα που εμφανίζονται στον Πίνακα 3 (ΠΑΡΑΡΤΗΜΑ Β). Συγκεντρωτικά τα αποτελέσματα της προσομοίωσης μαζί με τους αντίστοιχους δείκτες απόδοσης του πραγματικού συστήματος παρουσιάζονται παρακάτω:

Output Data	Μέση Τιμή	Τυπική Απόκλιση	Ελάχιστη Τιμή	Μέγιστη Τιμή	Real
Average Inventory:	776,8	72,24	655,1	878,9	470,8
Inventory Turnover (In days):	35,72	3,322	30,12	40,42	24,5663
Cost Relavant Data					
Ordering Cost:	60	0	60	60	90
Carrying Cost:	126,3	11,75	106,5	142,9	76,5634
Inventory Cost:	5167	0	5167	5167	4553,47
Obsolete Cost:	0	0	0	0	0
Service Level Relavant Data					
Probability of stockout (%):	0,28%	1,24%	0,00%	5,56%	2,22%
Percent of Demand Qty in Stockout:	0,18%	0,81%	0,00%	3,60%	10,20%
Max Backorder Quantity:	0,098	0,438	0	1,958	22,88
Num of Stockouts:	0,05	0,224	0	1	1
Total Days in Stockout:	0,25	1,118	0	5	2
Ave Delay in Filling	0,25	1,118	0	5	2

Backorder:					
------------	--	--	--	--	--

Όπως φαίνεται από τα αποτελέσματα, αν και η πρόβλεψη δεν έχει μεγάλη απόκλιση από την πραγματική ζήτηση και δεν έχουν γίνει κάποιες σημαντικές παραδοχές, όπως στα προηγούμενα παραδείγματα, υπάρχουν πολύ σημαντικές αποκλίσεις μεταξύ πραγματικού συστήματος και μοντέλου προσομοίωσης. Πιο συγκεκριμένα, το πραγματικό σύστημα εμφανίζει μία έλλειψη η οποία συνοδεύεται πριν από χαμηλό απόθεμα. Αυτό επηρεάζει σημαντικά τόσο τους δείκτες του αποθέματος όσο και το επίπεδο εξυπηρέτησης. Σε αντίθεση, στο μοντέλο προσομοίωσης δεν σημειώνεται σχεδόν καμία έλλειψη (στις 20 φορές που έτρεξε το μοντέλο προσομοίωσης μόνο 1 φορά εμφανίστηκε έλλειψη για 5 ημέρες). Εμβαθύνοντας περισσότερο στο πραγματικό σύστημα και στα αίτια που οδήγησαν στο χαμηλό απόθεμα και κατ' επέκταση στην έλλειψη, διαπιστώνουμε ότι προήλθε από εξαιρετικά μεγάλη καθυστέρηση στο χρόνο παράδοσης μίας παραγγελίας. Πιο συγκεκριμένα, η παραγγελία παραδόθηκε σε χρόνο 60 ημερών όταν στο μοντέλο προσομοίωσης χρησιμοποιείται για το χρόνο παράδοσης Μέση Τιμή 29 και Τυπική Απόκλιση 8,5. Στο μοντέλο δεν θα υπήρχε καμία περίπτωση να δρομολογηθεί παραγγελία με τέτοιο χρόνο παράδοσης. Επομένως, με δεδομένη την καθυστέρηση και το γεγονός ότι εξετάζεται μόνο ένα τρίμηνο εντός του οποίου μπήκαν τρεις παραγγελίες, η συμπεριφορά του μοντέλου προσομοίωσης είναι σωστή και αναμενόμενη. Πράγματι, αν στα δεδομένα του πραγματικού συστήματος υπολογίζαμε ότι ο χρόνος παράδοσης της καθυστερημένης παραγγελίας ήταν 40 αντί για 60 ημέρες το μέσο απόθεμα που θα λαμβάναμε θα ήταν 780 μονάδων, πολύ κοντά στο μέσο απόθεμα του μοντέλου προσομοίωσης, και αντίστοιχα θα διορθώνονταν και οι τιμές των υπόλοιπων δεικτών.

Συνεπώς, εξετάζοντας τα παραπάνω τρία παραδείγματα κωδικών με τα χαρακτηριστικά και τις ιδιαιτερότητες που τα διέπουν, διαπιστώνουμε ότι το μοντέλο προσομοίωσης μπορεί να χρησιμοποιηθεί σε ένα γενικευμένο σύστημα αποθεμάτων δίνοντας αποτελέσματα που συγκλίνουν στο πραγματικό σύστημα. Η σύγκλιση δε, είναι μεγαλύτερη όσο χρησιμοποιούνται λιγότερες παραδοχές και απλουστεύσεις (πχ. μέσες τιμές) και αποφεύγονται οι ακραίες περιπτώσεις (πχ μη αναμενόμενοι χρόνοι παράδοσης, ζήτησης κ.α.).

5 ΘΕΜΑΤΑ ΠΡΟΒΛΗΜΑΤΙΣΜΟΥ & ΤΡΟΠΟΣ ΑΝΤΙΜΕΤΩΠΙΣΗΣ

Σο κεφάλαιο αυτό αναφέρονται κάποιες από τις σημαντικότερες πτυχές της διαδικασίας προγραμματισμού των αποθεμάτων και παρουσιάζεται ο τρόπος που μπορεί να τις αντιμετωπίσει κανείς χρησιμοποιώντας το συγκεκριμένο μοντέλο προσομοίωσης. Χρησιμοποιούνται παραδείγματα από το πραγματικό σύστημα αποθεμάτων της Sika Hellas και παρουσιάζονται ειδικές περιπτώσεις, μελέτες και εφαρμογές γύρω από το πλαίσιο λειτουργίας του μοντέλου.

5.1 Εναλλακτικές μετρήσεις του Επιπέδου Εξυπηρέτησης (Service Level)

Η εξασφάλιση ενός ικανοποιητικού επιπέδου εξυπηρέτησης αποτελεί αντικειμενικό στόχο κάθε σύγχρονης επιχείρησης, στην επίτευξη του οποίου υπεισέρχονται περισσότερα του ενός τμήματα, όπως το μάρκετινγκ, οι πωλήσεις, η εφοδιαστική και άλλα. Από τη σκοπιά της διαχείρισης αποθεμάτων το επίπεδο εξυπηρέτησης μεταφράζεται ως η πιθανότητα να εξυπηρετηθεί άμεσα η ζήτηση χωρίς να υπάρχουν ελλείψεις για δεδομένο χρονικό διάστημα. Συνήθως αναφέρεται το χρονικό διάστημα από την τοποθέτηση μιας παραγγελίας μέχρι την άφιξη αυτής.

Το επίπεδο εξυπηρέτησης συνεπάγεται κάποιο κόστος για την επιχείρηση, επομένως η διοίκηση ορίζει το επιθυμητό επίπεδο, ώστε να είναι αποτελεσματική η λειτουργία του. Ανάλογα με το επιθυμητό επίπεδο εξυπηρέτησης προσδιορίζεται το απόθεμα ασφαλείας, το σημείο αναπαραγγελίας και διαμορφώνεται κατ' επέκταση το μέσο απόθεμα. Όσο υψηλότερος ο στόχος τόσο μεγαλύτερο το κόστος που συνεπάγεται.

Από εκεί και πέρα συνήθως μετράμε το πραγματικό επίπεδο εξυπηρέτησης ή διαφορετικά την πιθανότητα να μην συμβεί έλλειψη σε ένα δεδομένο χρονικό διάστημα. Ωστόσο, μας ενδιαφέρουν πολλά ακόμα ποιοτικά χαρακτηριστικά, όπως η συχνότητα εμφάνισης ελλείψεων, η διάρκειά τους, το ύψος της ζήτησης που δεν ικανοποιείται άμεσα καθώς και άλλα που σχετίζονται με τους πελάτες και τα κανάλια διανομής, όπως το ποσοστό των παραγγελιών που εξυπηρετούνται άμεσα, οι εκκρεμότητες ανά πελάτη και ανά κωδικό κ.α.

Το μοντέλο προσομοίωσης, καθώς διαχειρίζεται χωριστά κάθε κωδικό είδους και τρέχει σε επίπεδο ημέρας, μπορεί να υπολογίσει τις ακόλουθες μετρήσεις που αφορούν στο επίπεδο εξυπηρέτησης:

1. *Πιθανότητα Έλλειψης*: Εκφράζει την πιθανότητα να παρουσιαστεί έλλειψη κατά το χρονικό διάστημα που εξετάζεται. Η τιμή αυτή θα πρέπει να συγκλίνει με το επιθυμητό επίπεδο εξυπηρέτησης που θέτει ως στόχο η διοίκηση.
2. *% Ζήτησης σε Εκκρεμότητα*: Δείχνει το ποσοστό της ζήτησης που δεν εξυπηρετείται άμεσα και μπαίνει σε εκκρεμότητα.
3. *Μέγιστη Ποσότητα σε Εκκρεμότητα*: Δείχνει τη μέγιστη ποσότητα ζήτησης η οποία δεν θα εξυπηρετηθεί άμεσα κατά τη διάρκεια μίας περιόδου έλλειψης. Συγκρινόμενη με τη μέση ποσότητα παραγγελίας και τη συνολική μηνιαία ή ετήσια ζήτηση, αποτελεί ένδειξη για τη σοβαρότητα των ελλείψεων.
4. *Πλήθος Stockout*: Αφορά στο πλήθος ελλείψεων που συμβαίνουν κατά το χρονικό διάστημα της προσομοίωσης και σχετίζεται άμεσα με την ποσότητα παραγγελίας και την αβεβαιότητα της ζήτησης κατά το χρονικό διάστημα μεταξύ της τοποθέτησης της παραγγελίας και της παραλαβής της.
5. *Ημέρες σε Έλλειψη*: Πρόκειται για το πλήθος των χρονικών περιόδων κατά τις οποίες υπάρχει έλλειψη. Είναι ίδια με την 1^η μέτρηση μόνο που οι ημέρες εκφράζονται σε απόλυτο νούμερο και όχι σε ποσοστό.
6. *Μέσος Χρόνος Ικανοποίησης Εκκρεμοτήτων*: Η μέτρηση αυτή δείχνει τη μέση διάρκεια των ελλείψεων και εκφράζει τον αντίκτυπο που έχουν στην αγορά και τους πελάτες.

Οι παραπάνω μετρήσεις εκφράζονται με διαφορετικές τιμές, αλλά μετρούν το ίδιο πράγμα και σαν συνέπεια είναι πολλές φορές αλληλένδετες. Για παράδειγμα η 1^η και 4^η μέτρηση είναι μεταξύ τους συσχετιζόμενες. Αν λοιπόν έχουμε πιθανότητα έλλειψης 10% και σε διάστημα ενός έτους μπαίνουν 10 παραγγελίες για να καλυφθεί η ζήτηση, τότε το πλήθος των περιόδων έλλειψης στη διάρκεια του έτους αναμένεται να είναι $10\% \cdot 10 = 1$. Παρόλα αυτά, οι διαφορετικές μετρήσεις μαζί δίνουν μία πιο ολοκληρωμένη εικόνα για το επίπεδο εξυπηρέτησης, την ποιότητα των ελλείψεων και βοηθούν τη διοίκηση και τον υπεύθυνο προγραμματισμού αποθεμάτων στη λήψη ανάλογων αποφάσεων.

	Προϊόν A_1	Προϊόν A_2	Προϊόν B	Προϊόν Γ
Επιθυμητό επίπεδο Εξυπηρέτησης:	97%	97%	97%	90%
Μέσο Απόθεμα:	7911,741501	4694,889085	27114,676	679,9049911
Γύρισμα (σε ημέρες):	29,91482394	17,75168973	15,30098076	15,61770433
Πιθανότητα Έλλειψης(%):	1,37%	6,58%	7,40%	4,11%
% Ζήτησης σε Εκκρεμότητα:	3,17%	11,48%	8,45%	3,93%
Μέγιστη Ποσότητα σε Εκκρεμότητα	1271,18606	5870,591402	15747,81909	223,246854
Πλήθος Stockouts:	2	4	6	4
Ημέρες σε Έλλειψη:	5	24	27	15
Μέσος Χρόνος Ικανοποίησης Εκκρεμοτήτων:	2,5	6	4,5	3,75
Συνολική Ζήτηση:	96.534	96.534	646.811	15890
Ποσότητα Παραγγελίας:	7000	3500	19000	780
Πλήθος Παραγγελιών:	14	28	34	20

Στον παραπάνω πίνακα παρουσιάζονται τα αποτελέσματα της προσομοίωσης για τρεις διαφορετικούς κωδικούς ειδών και τέσσερις ξεχωριστές περιπτώσεις, όσον αφορά στο επίπεδο εξυπηρέτησης. Για το Προϊόν A παρουσιάζονται δύο περιπτώσεις με μόνη διαφορά την ποσότητα παραγγελίας. Όπως παρατηρείται, μειώνοντας την ποσότητα παραγγελίας στο ήμισυ διπλασιάζεται το πλήθος των παραγγελιών με δεδομένη σταθερή ζήτηση, επομένως θα πρέπει να διπλασιάζεται και το πλήθος των ελλείψεων. Πράγματι, το πλήθος ελλείψεων αυξάνεται από 2 σε 4 για την περίοδο προσομοίωσης, αλλά δεν αυξάνεται αναλογικά και η πιθανότητα έλλειψης. Κι αυτό γιατί πέρα από το διπλασιασμό των ελλείψεων αυξάνεται και η μέση διάρκειά τους και σαν συνέπεια η πιθανότητα έλλειψης γίνεται 6,6% από 1,4%. Η 2^η περίπτωση για το Προϊόν A δεν είναι αποδεκτή σύμφωνα με το στόχο της διοίκησης για το επιθυμητό επίπεδο εξυπηρέτησης και χρήζει διορθωτικής κίνησης. Αντίστοιχη είναι και η συμπεριφορά του Προϊόντος B. Εμφανίζει περίπου την ίδια πιθανότητα έλλειψης με την 2^η περίπτωση του Προϊόντος A, αλλά έχει περισσότερα stockouts μικρότερης διάρκειας. Ωστόσο, στη 2^η περίπτωση του Προϊόντος A οι ελλείψεις αντιστοιχούν σε μεγαλύτερο ποσοστό της ζήτησης, εμφανίζονται δηλαδή, συγκριτικά με το B, λιγότερα stockouts μεγαλύτερης διάρκειας και ποσότητας. Τέλος, συγκρίνοντας την 1^η περίπτωση του Προϊόντος A με το Προϊόν Γ, έχουν περίπου το ίδιο ποσοστό της ζήτησης που οδηγεί σε εκκρεμότητα, παρόλα αυτά εμφανίζουν διαφορετική πιθανότητα έλλειψης. Πιο συγκεκριμένα το Προϊόν Γ έχει περισσότερα stockouts μεγαλύτερης διάρκειας, αλλά το ποσοστό της ζήτησης που δεν εξυπηρετείται άμεσα είναι περίπου ίδιο.

Από τα παραπάνω διαπιστώνει κανείς ότι αν και οι εναλλακτικές μετρήσεις του επιπέδου εξυπηρέτησης είναι αλληλένδετες, δίνουν μία συνολική και ολοκληρωμένη εικόνα για την ποιότητα των ελλείψεων και το επίπεδο

εξυπηρέτησης. Αυτό είναι σημαντικό καθώς στόχος της παρούσας μελέτης είναι να αναπτυχθεί ένα εργαλείο που θα δίνει τις απαραίτητες πληροφορίες για τη λήψη αποφάσεων σε θέματα διαχείρισης αποθεμάτων.

5.2 Αβεβαιότητα της Ζήτησης και του Χρόνου Παράδοσης

Οι δύο παράμετροι αβεβαιότητας που εμπεριέχονται σε ένα σύστημα διαχείρισης αποθεμάτων είναι η ζήτηση και ο χρόνος παράδοσης. Το ζητούμενο είναι με ποιο τρόπο θα ενσωματωθεί στο μοντέλο αποθεμάτων αυτή η αβεβαιότητα, ώστε να μπορεί να ελεγχθεί η ορθότητα των αποτελεσμάτων, αλλά και να εξασφαλιστεί η μέγιστη δυνατή σύγκλιση με το πραγματικό σύστημα.

Όσον αφορά στη ζήτηση, το μοντέλο προσομοίωσης τρέχει σε επίπεδο ημέρας οπότε το ζητούμενο ήταν να προσδιοριστεί η κατανομή πιθανοτήτων της ημερήσιας ζήτησης προκειμένου να μοντελοποιηθεί. Εξετάζοντας τα δεδομένα ζήτησης για ένα πραγματικό σύστημα, διαπιστώνει κανείς ότι τις περισσότερες φορές η ημερήσια ζήτηση δεν ακολουθεί κάποια γνωστή κατανομή. Επιπλέον, εμβαθύνοντας σε επίπεδο ημέρας, δεν μπορούμε να διαχειριστούμε πληροφορίες όπως η ετήσια εποχικότητα, ή η μηνιαία τάση που εμφανίζουν πολύ συχνά οι πωλήσεις. Τέλος, οι περισσότερες επιχειρήσεις στηρίζουν τον προγραμματισμό των αποθεμάτων τους σε προϋπολογισμούς ή προβλέψεις όσον αφορά στη ζήτηση και αυτό γίνεται συχνά σε μηνιαίο επίπεδο. Για το λόγο αυτό, στο πλαίσιο του μοντέλου προσομοίωσης χρησιμοποιείται η μηνιαία πρόβλεψη πωλήσεων ως είσοδος σε αυτό.

Στη συνέχεια, έχοντας ως δεδομένη τη μηνιαία αναμενόμενη ζήτηση, το μοντέλο προσομοίωσης πρέπει να εξασφαλίσει την κατανομή της σε επίπεδο ημέρας. Για το λόγο αυτό σε πρώτη φάση διακρίνουμε τις ημερολογιακές ημέρες σε εργάσιμες και μη. Στόχος είναι να κατανεμηθεί η μηνιαία ζήτηση στις εργάσιμες ημέρες του εκάστοτε μήνα. Στο σημείο αυτό, εξετάστηκαν δύο εναλλακτικές:

- Ø Η ισομερής κατανομή της ζήτησης στις εργάσιμες ημέρες, δηλαδή αν η μηνιαία ζήτηση είναι 220 μονάδες για 22 εργάσιμες ημέρες, τότε θεωρούμε ότι η ημερήσια ζήτηση είναι 10 για όλες τις ημέρες.
- Ø Η τυχαία κατανομή στις εργάσιμες ημέρες.

	Ιστορικά Δεδομένα		Ισομερής Κατανομή		Τυχαία Κατανομή	
	Average	STDEV	Average	STDEV	Average	STDEV
Μέσο Απόθεμα:	6631,8707	574,246141	5914,8342	614,00952	5946,194	673,7387
Γύρισμα Αποθέματος (σε ημέρες):	25,075599	2,17126758	22,364384	2,3216111	22,482957	2,5474511
Κόστος Παραγγελιών:	330	0	330	0	330	0
Κόστος Τήρησης Αποθέματος	12074,647	1045,52995	10769,139	1117,9271	10826,235	1226,6761
Κόστος Αποθέματος	33822,541	2928,65532	30165,654	3131,4485	30325,59	3436,0674
Πιθανότητα Έλλειψης(%):	7,616%	3,419%	9,836%	3,563%	9,178%	4,695%
% Ζήτησης σε Εκκρεμότητα:	15,986%	6,717%	14,343%	5,148%	13,293%	5,598%
Μέγιστη Ποσότητα σε Εκκρεμότητα	7036,81	1911,09743	6214,8048	2307,234	5635,7536	1954,0864
Πλήθος Stockouts:	2,95	1,31689427	4,05	1,356272	4,05	1,0500627
Ημέρες σε Έλλειψη:	27,8	12,4798785	35,9	13,005667	33,5	17,135681
Μέσος Χρόνος Ικανοποίησης Εκκρεμοτήτων:	9,95	4,16986544	9,3464286	3,0515661	8,175	3,9371618

Στον παραπάνω πίνακα παρουσιάζονται τα αποτελέσματα του μοντέλου προσομοίωσης χρησιμοποιώντας ισομερή και τυχαία κατανομή. Τα αποτελέσματα συγκρίνονται με τα ιστορικά δεδομένα της πραγματικής ημερήσιας ζήτησης για τις ίδιες ακριβώς συνθήκες. Όπως φαίνεται και οι δύο εναλλακτικές δίνουν αποδεκτά αποτελέσματα, ωστόσο η τυχαία κατανομή θεωρείται προτιμότερη καθώς δίνει τις περισσότερες φορές μεγαλύτερο εύρος αποτελεσμάτων. Με δεδομένο ότι η προσομοίωση προσεγγίζει αλλά δεν περιγράφει ποτέ ακριβώς το πραγματικό σύστημα, μας ενδιαφέρει περισσότερο να γνωρίζουμε το εύρος των τιμών εντός των οποίων μπορεί να κινηθούν κάποιες παράμετροι. Για το λόγο αυτό, αλλά και για να προσεγγίζουμε περισσότερο την πραγματικότητα, στο μοντέλο προσομοίωσης χρησιμοποιείται τυχαία κατανομή.

Στη συνέχεια, ακολουθεί ένα παράδειγμα με πραγματικά δεδομένα στο οποίο φαίνεται ο τρόπος που επηρεάζονται τα αποτελέσματα του μοντέλου προσομοίωσης όταν αλλάξει η συνολική ετήσια αναμενόμενη ζήτηση. Πιο συγκεκριμένα, χρησιμοποιείται ένα ειδικό σφραγιστικό αρμών, ενώ το μοντέλο τρέχει για όλο το 2005. Ξεκινώντας υπολογίζουμε την ετήσια πρόβλεψη της ζήτησης χρησιμοποιώντας την απλή μέθοδο της εκθετικής εξομάλυνσης:

	2001	2002	2003	2004	2005
Ζήτηση	25347	32150,7	37385,1	38986,2	
Πρόβλεψη	33467,25	31843,2	31904,7	33000,78	34197,864

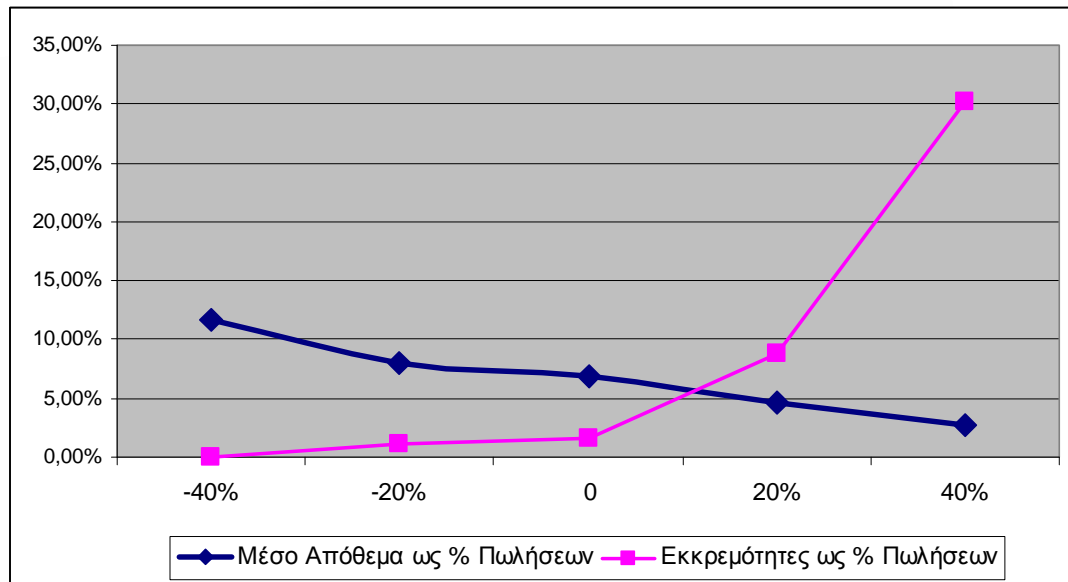
Στη συνέχεια η ζήτηση κατανέμεται σε επίπεδο μήνα και ημέρας και τρέχει το μοντέλο προσομοίωσης. Τέλος, εξετάζονται τα αποτελέσματα της προσομοίωσης σε περίπτωση που η ζήτηση σημειώσει διαφορές ως προς την αρχική πρόβλεψη.

Ζήτηση	20518,718	27358,291	34197,864	41037,437	47877,01
Διαφορά	-40%	-20%	0%	20%	40%

Πιο συγκεκριμένα, εξετάζονται τα ενδεχόμενα αύξησης και μείωσης της συνολικής ετήσιας ζήτησης κατά 20 και 40%. Τα αποτελέσματα παρουσιάζονται στον ακόλουθο πίνακα:

Ετήσια Ζήτηση:	25347	32150,7	34197,86	41037,44	47877,01
Μέσο Απόθεμα:	2977,18	2562,70	2339,31	1893,98	1327,31
Γύρισμα Αποθέματος (σε ημέρες):	42,87	29,09	24,97	16,85	10,12
Κόστος Τήρησης Αποθέματος	383,46	330,08	301,30	243,95	170,96
Πιθανότητα Έλλειψης(%):	0,00%	0,85%	1,10%	7,15%	25,78%
% Ζήτησης σε Εκκρεμότητα:	0,00%	1,12%	1,52%	8,74%	30,19%
Μέγιστη Ποσότητα σε Εκκρεμότητα	0,00	266,67	358,35	1027,85	2966,22
Πλήθος Stockouts:	0,00	0,67	1,00	4,44	8,67
Ημέρες σε Έλλειψη:	0,00	3,11	4,00	26,11	94,11
Μέσος Χρόνος Ικανοποίησης Εκκρεμοτήτων:	0,00	3,11	2,89	5,58	9,95
Ετήσια Ποσότητα σε Εκκρεμότητα:	0	359,7179	520,3659	3588,504	14455,98
Μέσο Απόθεμα ως % Πωλήσεων	11,75%	7,97%	6,84%	4,62%	2,77%
Εκκρεμότητες ως % Πωλήσεων	0,00%	1,12%	1,52%	8,74%	30,19%

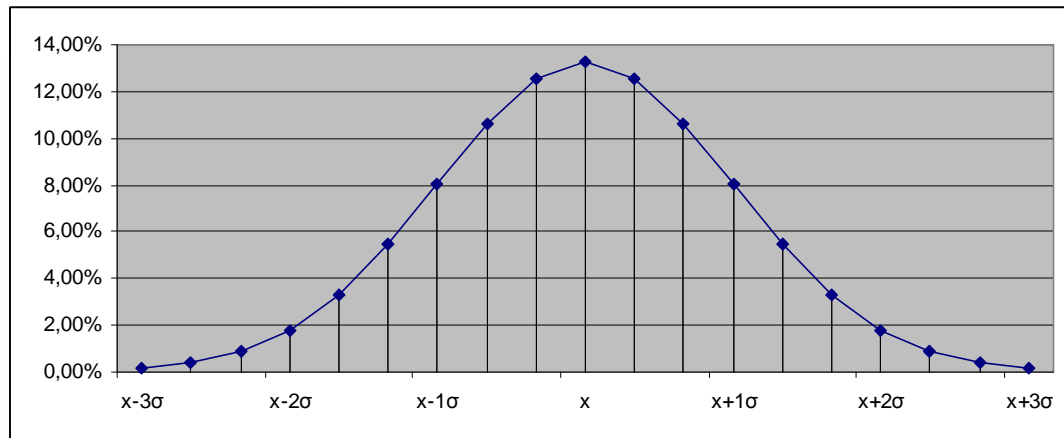
Όπως είναι φανερό, όσο αυξάνεται η ποσότητα της ζήτησης τόσο μειώνεται το μέσο απόθεμα, άρα και το κόστος τήρησης αποθέματος, αλλά αυξάνονται οι πιθανότητες έλλειψης. Μάλιστα, για αύξηση των πωλήσεων κατά 40% προκύπτει ότι οι εκκρεμότητες λόγω έλλειψης θα αντιστοιχούν στο 30% των πωλήσεων, όπως φαίνεται και στο Διάγραμμα 4. Αντίθετα, όταν οι πωλήσεις είναι αρκετά χαμηλότερες από τις αναμενόμενες, τότε υπάρχει αύξηση του δεσμευμένου κεφαλαίου σε απόθεμα, με ό,τι αυτό συνεπάγεται. Συνεπώς, σε περιπτώσεις όπου η ζήτηση παρουσιάζει σημαντικές αυξομειώσεις είναι προτιμότερο να τρέχουμε την προσομοίωση για μικρότερο χρονικό ορίζοντα, ώστε να μπορούμε να έχουμε ανατροφοδότηση από την αγορά και να κάνουμε τις απαραίτητες διορθώσεις στο απόθεμα ασφαλείας και την πρόβλεψη.



Διάγραμμα 4: Μέσο Απόθεμα & Εκκρεμότητες ως % της Ζήτησης για αλλαγές των πωλήσεων

Όσον αφορά στο χρόνο παράδοσης, εξετάζοντας ιστορικά δεδομένα αγορών, μπορεί με ασφάλεια να υποθέσει κανείς ότι ακολουθεί κανονική κατανομή με γνωστή μέση τιμή και τυπική απόκλιση. Οι πληροφορίες αυτές προκύπτουν από το ιστορικό των παραδόσεων, ανά προμηθευτή ή/ και ανά κωδικό είδους και χρησιμοποιούνται ως δεδομένα εισόδου στο μοντέλο προσομοίωσης.

Πιο συγκεκριμένα, αν για έναν προμηθευτή έχουμε παρατηρήσει χρόνο παράδοσης με Μέση Τιμή 25 (x) και Τυπική Απόκλιση 3 (σ), οι πιθανότητες ο χρόνος αυτός να λάβει συγκεκριμένες τιμές ακολουθούν την Κανονική Κατανομή που παρουσιάζεται στο Διάγραμμα 5. Όταν λοιπόν, κατά τη διάρκεια που τρέχει ο αλγόριθμος προσομοίωσης προκύπτει η ανάγκη να τοποθετηθεί νέα παραγγελία, τότε χρησιμοποιείται μία γεννήτρια τυχαίων αριθμών, η οποία δίνει μία τιμή μεταξύ 0 και 1. Στη συνέχεια, γνωρίζοντας την κατανομή των πιθανοτήτων, το σύστημα χρησιμοποιεί την τιμή της γεννήτριας τυχαίων αριθμών ως αθροιστική πιθανότητα, και υπολογίζει για ποια τιμή του χρόνου παράδοσης αντιστοιχεί αυτή η πιθανότητα. Για παράδειγμα, αν η γεννήτρια τυχαίων αριθμών δώσει την αθροιστική πιθανότητα 0.8787, αυτή θα αντιστοιχεί σε χρόνο παράδοσης ίσο με $x+1\sigma$, δηλαδή 28 ημέρες.



Διάγραμμα 5: Διάγραμμα Κανονικής Κατανομής Πιθανοτήτων Χρόνου Παράδοσης (για $M.T=25$, $Τυπ. Απ.=3$)

Με τον τρόπο αυτό, εξασφαλίζεται η αβεβαιότητα του χρόνου παράδοσης, στο πλαίσιο του μοντέλου προσομοίωσης, στηριζόμενη στα ιστορικά δεδομένα για τον προσδιορισμό της αξιοπιστίας του προμηθευτή.

5.3 Το Κόστος των Αποθεμάτων

Κατά τον James H. Greene (1997) το συνολικό ετήσιο κόστος αποθεμάτων ισούται με το άθροισμα του Κόστους Παραγγελιών, του Κόστους Τήρησης Αποθέματος και το Κόστος Αποθέματος. Το Κόστος Παραγγελιών είναι συνάρτηση της ποσότητας παραγγελίας, το Κόστος Τήρησης Αποθέματος εξαρτάται από το μέσο απόθεμα, ενώ το Κόστος Αποθέματος σχετίζεται μόνο με το ύψος της ζήτησης και τη μοναδιαία αξία του είδους. Για το λόγο αυτό, το Κόστος Αποθέματος συνήθως παραλείπεται από τους υπολογισμούς. Όσο αυξάνεται η ποσότητα παραγγελίας, τόσο μειώνεται το κόστος παραγγελιών και αυξάνεται το μέσο απόθεμα και το κόστος τήρησης αποθέματος. Το ζητούμενο λοιπόν είναι να διατηρηθεί η ισορροπία ανάμεσα στο κόστος παραγγελίας και το κόστος τήρησης αποθέματος.

Όσον αφορά στο κόστος απαξίωσης, αυτό κανονικά εμπεριέχεται στο κόστος τήρησης αποθέματος. Στη συγκεκριμένη μοντελοποίηση διαφοροποιείται κυρίως για να χρησιμοποιηθεί ως σήμα κινδύνου σε περιπτώσεις όπου το απόθεμα αυξάνεται σημαντικά και πιο συγκεκριμένα:

- § Σε περιπτώσεις όπου το υλικό είναι υψηλής αξίας και μικρού κύκλου ζωής, οπότε υπάρχει μεγάλο ενδεχόμενο να φύγει εκτός προδιαγραφών.
- § Σε περιπτώσεις όπου ένα υλικό οδεύει προς το τέλος ζωής του, η ζήτηση μειώνεται, αλλά η αναπλήρωση γίνεται σύμφωνα με παλαιότερο ιστορικό.

§ Σε περιπτώσεις όπου η ελάχιστη ποσότητα παραγγελίας που επιβάλλει ο προμηθευτής ή εξωτερικοί παράγοντες είναι πολύ μικρότερη της ζήτησης που παρουσιάζει το υλικό.

Σε όλες αυτές τις περιπτώσεις το κόστος απαξίωσης λειτουργεί ως ένα κατώφλι ειδοποίησης πριν την ολοκληρωτική απώλεια κόστους όταν ένα υλικό βγαίνει εκτός προδιαγραφών.

Στα δεδομένα εξόδου του μοντέλου προσομοίωσης δεν υπολογίζεται το κόστος έλλειψης. Κι αυτό γιατί το κόστος έλλειψης εμπεριέχει αρκετούς αστάθμητους παράγοντες που σχετίζονται με την αγορά, το κανάλι διανομής, τα χαρακτηριστικά του υλικού, τις συνθήκες έλλειψης και άλλα. Είναι επομένως δύσκολο να προσδιορίσει κανείς το μοναδιαίο κόστος σε απόλυτο αριθμό για κάθε μονάδα υλικού που μπαίνει σε εκκρεμότητα και σε κάθε περίπτωση, ξεφεύγει από το εύρος της παρούσας μελέτης. Σε περίπτωση, ωστόσο όπου το μοναδιαίο κόστος έλλειψης έχει προσδιοριστεί, είναι εύκολο μέσω του μοντέλου προσομοίωσης να υπολογίσει κανείς το συνολικό κόστος έλλειψης εφόσον γνωρίζει τη συνολική ποσότητα πωλήσεων που δεν εξυπηρετούνται άμεσα γιατί δεν επαρκεί το διαθέσιμο απόθεμα.

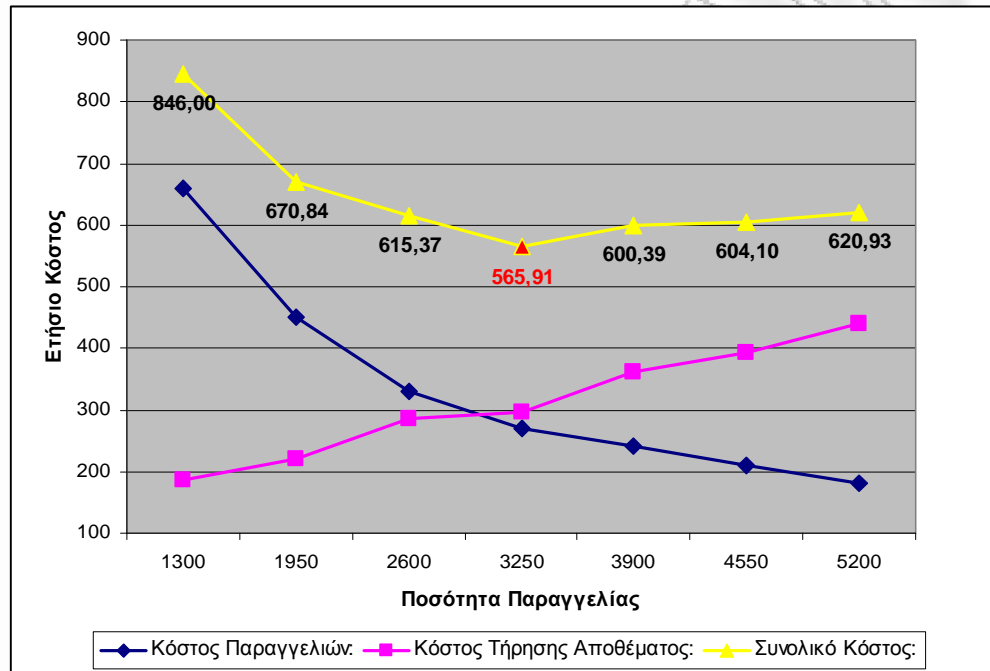
5.4 Εξισορρόπηση Κόστους Παραγγελίας & Κόστους Τήρησης Αποθέματος

Βασικός στόχος της διαδικασίας αναπλήρωσης αποθεμάτων είναι η διασφάλιση της ισορροπίας μεταξύ Κόστους Παραγγελίας και Κόστους Τήρησης Αποθέματος. Μικρές και συχνές παραγγελίες έχουν μεγάλο Κόστος Παραγγελίας και χαμηλό μέσο απόθεμα, άρα και χαμηλό Κόστος Τήρησης Αποθέματος. Αντίθετα, οι παραγγελίες μεγάλου ύψους έχουν σαν αποτέλεσμα μικρότερο Κόστος Παραγγελίας αλλά μεγαλύτερο Κόστος Τήρησης Αποθέματος. Το ζητούμενο είναι να βρεθεί η κατάλληλη ποσότητα παραγγελίας που εξισορροπεί τα δύο κόστη.

Σε συνθήκες γνωστής ζήτησης, όπου δεν υπάρχει αβεβαιότητα, η επιστήμη της Επιχειρησιακής Έρευνας δίνει συγκεκριμένο τύπο υπολογισμού της Βέλτιστης Ποσότητας Παραγγελίας (Stock, Lambert, 2001). Σε συνθήκες αβεβαιότητας ωστόσο, δεν υπάρχει συγκεκριμένο τυπολόγιο, αλλά μπορεί να χρησιμοποιηθεί κάποιο μοντέλο προσομοίωσης που εμπεριέχει κατά προσέγγιση του βαθμού αβεβαιότητας του πραγματικού συστήματος.

Στο παράδειγμα που ακολουθεί, χρησιμοποιείται μία πολυουρεθανική μαστίχη η οποία διατίθεται μόνο σε παλέτες των 650 τεμαχίων έκαστη. Συνεπώς, τρέχουμε το μοντέλο προσομοίωση για διαφορετικές ποσότητες παραγγελίας, όλες

πολλαπλάσια της παλέτας, και υπολογίζουμε για κάθε τιμή το Κόστος Παραγγελίας, το Κόστος Τήρησης Αποθέματος και το άθροισμα αυτών. Τα αποτελέσματα συγκεντρώνονται στον ακόλουθο πίνακα και παρουσιάζονται σχηματικά στο Διάγραμμα 6:



Διάγραμμα 6: Διάγραμμα Κόστους για υπολογισμό της Οικονομικής Ποσότητας Παραγγελίας

Ποσότητα Παραγγελίας:	1300	1950	2600	3250	3900	4550	5200
Κόστος Παραγγελιών:	660	450	330	270	240	210	180
Κόστος Τήρησης Αποθέματος:	185,99	220,83	285,37	295,91	360,39	394,10	440,93
Συνολικό Κόστος:	845,99	670,83	615,37	565,91	600,39	604,10	620,93

Από τα παραπάνω δεδομένα, υπολογίζεται η Βέλτιστη ή Οικονομική Ποσότητα Παραγγελίας στις 3250 μονάδες ή 5 παλέτες. Το συνολικό ετήσιο κόστος στην περίπτωση αυτή ανέρχεται σε 565,91 €.

Συνεπώς, το μοντέλο προσομοίωσης μπορεί να χρησιμοποιηθεί για την εκτίμηση της Οικονομικής Ποσότητας Παραγγελίας σε συνθήκες αβεβαιότητας με δεδομένους τους εκάστοτε περιορισμούς.

5.5 Αλλαγές σε σχέση με την Οικονομική Ποσότητα Παραγγελίας

Ακόμα και όταν είναι γνωστή η Οικονομική Ποσότητα Παραγγελίας πολλές φορές δεν μπορεί να χρησιμοποιηθεί πρακτικά γιατί υπάρχουν διάφοροι περιορισμοί που δεν μπορούν να ενσωματωθούν σε ένα υπολογιστικό σύστημα. Τέτοιοι περιορισμοί μπορεί να είναι:

- ∅ Η ποσότητα παραγγελίας που μπορεί να είναι ακέραιο πολλαπλάσιο παλέτας, κιβωτίου ή άλλης μονάδας και να μην επιτρέπονται ενδιάμεσες τιμές.
- ∅ Η μεταφορά των εμπορευμάτων που μπορεί να γίνεται με μέσα συγκεκριμένης χωρητικότητα.
- ∅ Η δυνατότητα του προμηθευτή να θέτει άνω και κάτω όριο ανά παραγγελία, τόσο σε επίπεδο ποσότητας όσο και αξίας.

Για όλους τους παραπάνω αλλά και άλλους λόγους δεν αρκεί να γνωρίζουμε την τιμή της Οικονομικής Ποσότητας Παραγγελίας, αλλά και το διάστημα μέσα στο οποίο αυτή μπορεί να κινηθεί χωρίς να αλλάξει σημαντικά το συνολικό κόστος. Συνεχίζοντας το παράδειγμα της προηγούμενης παραγράφου, προχωράμε σε ανάλυση ευαισθησίας γύρω από τη βέλτιστη ποσότητα που υπολογίσαμε:

Υπολογισμός Βέλτιστης Ποσότητας Παραγγελίας							
Ποσότητα Παραγγελίας:	1300	1950	2600	3250	3900	4550	5200
Κόστος Παραγγελιών:	660	450	330	270	240	210	180
Κόστος Τήρησης Αποθέματος:	185,997	220,837	285,37	295,914	360,39	394,103	440,932
Συνολικό Κόστος:	845,997	670,837	615,37	565,914	600,39	604,103	620,932
Ανάλυση Ευαισθησίας							
Διαφορά Κόστους	49,49%	18,54%	8,74%	0,00%	6,09%	6,75%	9,72%
Διαφορά Ποσότητας	-60%	-40%	-20%	0%	20%	40%	60%

Υπολογίζεται λοιπόν το ποσοστό αύξησης του συνολικού κόστους καθώς κινούμαστε εκατέρωθεν της βέλτιστης ποσότητας παραγγελίας, πάντα σε ακέραια πολλαπλάσια της παλέτας. Αντίστοιχα υπολογίζουμε το ποσοστό μεταβολής της ποσότητας παραγγελίας. Για το συγκεκριμένο παράδειγμα, διαπιστώνουμε ότι το κόστος αυξάνεται πολύ λίγο και σταδιακά καθώς κινούμαστε προς μεγαλύτερες ποσότητες παραγγελίας και μάλιστα για αύξηση της ποσότητας έως και 40% η αύξηση του συνολικού κόστους δεν ξεπερνά το 7%. Αντίθετα, καθώς κινούμαστε προς ποσότητες παραγγελίας μικρότερες της βέλτιστης, η αύξηση του συνολικού κόστους είναι πιο απότομη. Αν μειωθεί η ποσότητα κατά μία παλέτα (2600 μονάδες) η αύξηση του συνολικού αναμενόμενου κόστους ανέρχεται σε 8,74%.

Συνοψίζοντας, η χρήση του μοντέλου προσομοίωσης μπορεί να συνεισφέρει στον προσδιορισμό των διαστημάτων εμπιστοσύνης εντός των οποίων μπορεί να

κινείται η ποσότητα παραγγελίας χωρίς να ξεπερνά συγκεκριμένα επίπεδα συνολικού κόστους.

5.6 Ποσότητα Παραγγελίας & Κίνδυνος Έλλειψης

Όπως αναφέρει ο James H. Greene (1997), η πιθανότητα έλλειψης αυξάνεται όταν το απόθεμα μειώνεται πριν από μία νέα παραλαβή. Επομένως όσο περισσότερες οι παραγγελίες και οι παραλαβές μέσα σε ένα δεδομένο χρονικό διάστημα, τόσο μεγαλύτερη η έκθεση σε κίνδυνο έλλειψης. Ο κύκλος παραγγελίας σχετίζεται άμεσα με την ποσότητα παραγγελίας. Αν για παράδειγμα, μέσα σε ένα έτος έχουμε 2 κύκλους παραγγελίας για την κάλυψη 40 μονάδων ζήτησης, τότε βάζουμε 2 παραγγελίες των 20 μονάδων και έχουμε 2 φορές έκθεση σε κίνδυνο έλλειψης. Αν η ποσότητα παραγγελίας γίνει 10 μονάδες τότε η έκθεση σε κίνδυνο έλλειψης και επομένως και η πιθανότητα έλλειψης διπλασιάζονται.

Πράγματι, η υπόθεση αυτή επαληθεύεται χρησιμοποιώντας το μοντέλο προσομοίωσης. Πιο αναλυτικά, τρέξαμε το μοντέλο προσομοίωσης για τον ίδιο κωδικό είδους, ίδια ποσότητα ζήτησης, ίδιο επιθυμητό επίπεδο εξυπηρέτησης και αντίστοιχο χρονικό διάστημα. Διαμορφώθηκαν 3 σενάρια στα οποία άλλαζε μόνο η ποσότητα παραγγελίας και επομένως το πλήθος των παραγγελιών στο χρονικό διάστημα της προσομοίωσης. Τα αποτελέσματα για τις ποσότητες παραγγελίας 1300, 2600 και 5200 μονάδων παρουσιάζονται στον ακόλουθο πίνακα:

	ΣΕΝΑΡΙΟ 1 Ποσότητα Παραγγελίας 1300 (22 παραγγελίες)		ΣΕΝΑΡΙΟ 2 Ποσότητα Παραγγελίας 2600 (11 παραγγελίες)		ΣΕΝΑΡΙΟ 3 Ποσότητα Παραγγελίας 5200 (6 παραγγελίες)	
	Μέση Τιμή	Τυπ. Απόκλιση	Μέση Τιμή	Τυπ. Απόκλιση	Μέση Τιμή	Τυπ. Απόκλιση
Μέσο Απόθεμα:	1362,62	79,86	2090,63	99,22	3230,27	153,40
Γύρισμα (σε ημέρες):	17,597	1,031	26,998	1,281	41,716	1,981
Κόστος Παραγγελιών:	660	0	330	0	180	0
Κόστος Τήρησης Αποθέματος:	185,997	10,900	285,370	13,544	440,932	20,938
Πιθανότητα Έλλειψης(%):	4,82%	1,39%	2,25%	1,59%	1,10%	0,98%
% Ζήτησης σε Εκκρεμότητα:	6,63%	2,29%	3,02%	1,96%	1,61%	1,37%
Μέγιστη Ποσότητα σε Εκκρεμότητα	704,05	260,85	403,64	258,42	353,07	324,16
Πλήθος Stockouts:	3,80	0,79	2,00	0,67	1,00	0,67
Ημέρες σε Έλλειψη:	17,60	5,06	8,20	5,79	4,00	3,56
Μέσος Χρόνος Ικανοποίησης Εκκρεμοτήτων:	4,78	1,69	4,07	2,05	3,40	3,38

Αναλυτικά τα αποτελέσματα της προσομοίωσης για τα τρία σενάρια παρουσιάζονται στον Πίνακα 4 (ΠΑΡΑΡΤΗΜΑ Β). Όπως παρατηρείται, το πλήθος των ελλείψεων αυξάνεται αναλογικά με τη μείωση της ποσότητας παραγγελίας. Έτσι, ενώ για ποσότητα παραγγελίας 5200 μονάδων υπάρχει κατά μέσο όρο ένα *stockout*, αν η ποσότητα παραγγελίας υποδιπλασιαστεί, τα *stockout* γίνονται 2. Επιπλέον, καθώς μειώνεται η ποσότητα παραγγελίας παρατηρείται χαμηλότερο μέσο απόθεμα και μεγαλύτερο γύρισμα. Αντίστοιχα όμως, αυξάνεται και η πιθανότητα έλλειψης και το κόστος παραγγελιών. Επομένως, χρησιμοποιώντας το μοντέλο προσομοίωσης και με δεδομένο το επιθυμητό επίπεδο εξυπηρέτησης ο υπεύθυνος προγραμματισμού αποθεμάτων μπορεί να επιλέξει την κατάλληλη ποσότητα παραγγελίας εξισορροπώντας κόστος και εξυπηρέτηση.

Επιπλέον, μπορούμε να ορίσουμε εκ νέου το επιθυμητό επίπεδο εξυπηρέτησης ως το μέγιστο αποδεκτό πλήθος ελλείψεων κατά τη διάρκεια ενός έτους. Στην περίπτωση αυτή, για κάθε διαφορετική ποσότητα παραγγελίας, το επιθυμητό επίπεδο εξυπηρέτησης υπολογίζεται συναρτήσει του πλήθους των εκθέσεων σε έλλειψη και υπολογίζεται αντίστοιχα το απόθεμα ασφαλείας. Έτσι, για το προηγούμενο παράδειγμα των τριών σεναρίων αν η διοίκηση έθετε ως ανώτατο αποδεκτό όριο την 1 έλλειψη ανά έτος τότε οι αντίστοιχες τιμές θα διαμορφώνονταν ως ακολούθως:

Ποσότητα Παραγγελίας	1300	2600	5200
Πλήθος Παραγγελιών/ έτος:	22	11	6
Πιθανότητα 1 έλλειψης/ έτος:	0,045	0,091	0,167
Επιθυμητό Επίπεδο Εξυπηρέτησης:	0,955	0,909	0,833
Απόθεμα Ασφαλείας:	1354,09	1069,40	774,85

Αντίστοιχα μπορεί κανείς να υπολογίσει σε κάθε μία από τις παραπάνω περιπτώσεις μέσο απόθεμα, κόστη παραγγελίας και τήρησης αποθέματος και να επιλέξει το πιο κατάλληλο σενάριο ακολουθώντας την πολιτική της επιχείρησης. Συνοψίζοντας, η ποσότητα παραγγελίας καθορίζει την έκθεση σε κίνδυνο έλλειψης, και επηρεάζει αντίστοιχα το επίπεδο του αποθέματος ασφαλείας. Οι αλληλεπιδράσεις αυτές μπορούν να διερευνηθούν χρησιμοποιώντας το μοντέλο προσομοίωσης.

ΣΥΜΠΕΡΑΣΜΑΤΑ

Η παρούσα μελέτη ολοκληρώνεται με την αποτίμηση των εργασιών που πραγματοποιήθηκαν και τη συλλογή των αποτελεσμάτων που προέκυψαν. Πιο συγκεκριμένα, γίνεται μία ανακεφαλαίωση, επαναπροσδιορίζεται η συνεισφορά της εργασίας και επανεξετάζονται οι αρχικοί στόχοι.

Το αντικείμενο της εργασίας αυτής αφορά στη διαδικασία διαχείρισης αποθεμάτων και ειδικότερα στη διαμόρφωση της πολιτικής αποθεματοποίησης. Αρχικά, γίνεται μία αναφορά στα διαθέσιμα μαθηματικά μοντέλα και τα εργαλεία της Επιχειρησιακής Έρευνας. Εντοπίζονται, πλήθος αναφορών στη χρήση της προσομοίωσης για τη διαχείριση αποθεμάτων. Οι περισσότερες αναφορές αφορούν μοντέλα βελτιστοποίησης που υπόκεινται σε ένα σύνολο περιορισμών και υποθέσεων. Από τη σκοπιά της σύγχρονης επιχείρησης, τα πραγματικά συστήματα διαχείρισης αποθεμάτων είναι πιο πολύπλοκα από ένα μοντέλο προσομοίωσης, ενώ οι βέλτιστες λύσεις που προτείνουν δεν μπορούν πάντα να εφαρμοστούν στην πράξη. Συνεπώς, εντοπίζεται η ανάγκη για ένα εργαλείο που θα υποστηρίξει τη διαδικασία διαχείρισης αποθεμάτων και θα μπορεί να χρησιμοποιηθεί στο περιβάλλον μιας επιχείρησης. Την ανάγκη αυτή επιχείρησε να ικανοποιήσει το προτεινόμενο μοντέλο προσομοίωσης στο πλαίσιο της παρούσας μελέτης.

Σε πρώτη φάση, ορίστηκαν οι συνιστώσες ενός μοντέλου προσομοίωσης, όπως και τα βασικά χαρακτηριστικά ενός συστήματος αποθεμάτων. Ο συνδυασμός τους οδήγησε στα βασικά δομικά στοιχεία ενός μοντέλου προσομοίωσης αποθεμάτων. Στη συνέχεια, προσδιορίστηκε επακριβώς η δομή και η λειτουργία του πραγματικού συστήματος διαχείρισης αποθεμάτων. Στο σημείο αυτό έγινε προσπάθεια να επιλεγεί το πιο γενικό σύστημα, ώστε να μπορέσουμε να οδηγηθούμε στη συνέχεια σε ένα γενικευμένο μοντέλο προσομοίωσης. Το επόμενο βήμα ήταν η διαμόρφωση του μοντέλου προσομοίωσης, κατά την οποία προσδιορίστηκε η ροή πληροφορίας, τα δεδομένα εισόδου, οι υπολογισμοί και τα αποτελέσματα του μοντέλου. Οι προδιαγραφές αυτές σε συνδυασμό με τις λειτουργικές απαιτήσεις του εργαλείου προσομοίωσης, οδήγησαν στην επιλογή του κατάλληλου λογισμικού ανάπτυξης. Οι επιλογές που εξετάστηκαν ήταν το MS Excel, το οποίο έδινε το πλεονέκτημα της ευελιξίας και της ευκολίας στη χρήση, και κάποια εξελιγμένη γλώσσα προγραμματισμού όπως MATLAB ή C++, που έδιναν τη δυνατότητα αυτοματοποίησης της διαδικασίας του αλγορίθμου. Τελικά, έγινε η επιλογή του MS Excel με VBA, ώστε να συνδυάζονται τα παραπάνω πλεονεκτήματα.

Η υλοποίηση του μοντέλου προσομοίωσης πραγματοποιήθηκε με τη μέθοδο του πρωτοτύπου και πολλές από τις λειτουργίες του δοκιμάστηκαν ξεχωριστά πριν συνδυαστούν. Μετά την ολοκλήρωσή του ακολούθησε η διαδικασία της επαλήθευσης. Χρησιμοποιήθηκαν πραγματικά δεδομένα από την εταιρεία Sika Hellas, υπολογίστηκαν οι πραγματικές εκτιμήσεις για δεδομένο χρονικό διάστημα, ενώ για το αντίστοιχο διάστημα έτρεξε η προσομοίωση. Τα αποτελέσματα της προσομοίωσης αποδείχτηκαν αναμενόμενα και οι αποκλίσεις μέσα σε αποδεκτά πλαίσια. Πιο συγκεκριμένα, εξετάζοντας τις αποκλίσεις διαπιστώθηκε ότι αυτές εντεινόνταν όσο μεγαλύτερος γινόταν το χρονικός ορίζοντας της προσομοίωσης και όσο λιγότερες οι παραδοχές που γίνονταν στο μοντέλο. Πράγματι, η συμπεριφορά αυτή είναι αναμενόμενη διότι ο μεγάλος χρονικός ορίζοντας σημαίνει μεγάλο σφάλμα στην πρόβλεψη της ζήτησης, που τελικά υπεισέρχεται στα αποτελέσματα της προσομοίωσης. Ενώ στην περίπτωση όπου υπάρχει ασυμφωνία μεταξύ των παραδοχών του μοντέλου και του πραγματικού συστήματος οι αποκλίσεις στα αποτελέσματα είναι προφανώς αναμενόμενες.

Στο τελευταίο μέρος της εργασίας παρουσιάστηκαν κάποια θέματα προβληματισμού και ο τρόπος που αυτά αντιμετωπίστηκαν χρησιμοποιώντας το μοντέλο προσομοίωσης. Τα θέματα αυτά δίνουν διαφορετικές πτυχές της συνεισφοράς του μοντέλου στη διαδικασία διαχείρισης αποθεμάτων, ενώ μπορούν να αποτελέσουν βάση για την τεκμηρίωση προτάσεων και μελετών. Πιο αναλυτικά, έγινε αναφορά στις εναλλακτικές μετρήσεις του επιπέδου εξυπηρέτησης χρησιμοποιώντας διαφορετικά σενάρια και πραγματικές περιπτώσεις. Όπως παρουσιάστηκε η χρήση διαφορετικών εναλλακτικών μετρήσεων, αν και πολλές φορές εκφράζουν το ίδιο πράγμα, δίνουν ωστόσο μια πιο ολοκληρωμένη εικόνα για το επίπεδο εξυπηρέτησης. Όσον αφορά στην αβεβαιότητα της ζήτησης, πολύ συχνά τίθεται σε ισχύ μία δεδομένη πολιτική αποθεματοποίησης, βασισμένη σε πρόβλεψη ή ιστορικά δεδομένα, με τον προβληματισμό: τι θα γίνει αν η πραγματική ζήτηση σημειώσει σημαντικές αυξομειώσεις γύρω από την προβλεπόμενη; Παρουσιάστηκε λοιπόν μία χρήση του μοντέλου κατά την οποία μπορούμε να ανιχνεύσουμε τους κινδύνους που εμπεριέχονται σε μία συγκεκριμένη απόφαση. Επιπλέον, ο καταμερισμός του κόστους αποθεμάτων σε επιμέρους παραμέτρους, βοηθά στη λήψη αποφάσεων γιατί δίνει τη δυνατότητα παρακολούθησης των διαφορετικών κέντρων κόστους όπως και των μεταξύ τους αλληλεπιδράσεων. Με τον τρόπο αυτό μπορούμε να ανιχνεύσουμε επακριβώς τον τρόπο που επηρεάζει τα διαφορετικά κόστη μία συγκεκριμένη τροποποίηση. Επίσης, το μοντέλο προσομοίωσης μπορεί να χρησιμοποιηθεί και για τον εντοπισμό βέλτιστης λύσης, όπως παρουσιάστηκε στο παράδειγμα

εξισορρόπησης τους κόστους παραγγελίας και του κόστους τήρησης αποθέματος. Με τη μέθοδο της δοκιμής εξετάστηκε το κόστος για διαφορετικές ποσότητες παραγγελίας και εντοπίστηκε η τιμή εκείνη που δίνει το ελάχιστο συνολικό κόστος. Αν και στους στόχους του μοντέλου δεν είναι η βελτιστοποίηση μπορεί να χρησιμοποιηθεί και προς αυτή την κατεύθυνση, κάνοντας επιπλέον την ανάλυση ευαισθησίας γύρω από τη βέλτιστη τιμή. Τέλος, παρουσιάστηκε ένα παράδειγμα όπου φαίνεται η συσχέτιση ανάμεσα στην ποσότητα παραγγελίας και στον κίνδυνο έλλειψης. Σύμφωνα με τη θεωρία ο κίνδυνος έλλειψης ενέχει πριν από την παραλαβή μίας παραγγελίας, άρα όσο μεγαλύτερη η συχνότητα παραλαβών για δεδομένο χρονικό διάστημα, τόσο μεγαλύτερος και ο κίνδυνος.

Ανατρέχοντας λοιπόν στους αρχικούς στόχους της παρούσας μελέτης διαπιστώνουμε ότι αυτοί ικανοποιούνται και αυτό επιβεβαιώνεται μέσα από τα παραπάνω παραδείγματα. Πιο συγκεκριμένα, το μοντέλο προσομοίωσης συμβάλλει στην μέτρηση της απόδοσης δεδομένου συστήματος, όπως αποδεικνύεται και στο παράδειγμα με τις εναλλακτικές μετρήσεις του επιπέδου εξυπηρέτησης. Από την άλλη πλευρά η διαδικασία για τον εντοπισμό της βέλτιστης ποσότητας παραγγελίας, αποτελεί ένα παράδειγμα όπου το μοντέλο χρησιμοποιείται για την αξιολόγηση εναλλακτικών σεναρίων. Τέλος, ο έλεγχος της απόδοσης του συστήματος αποθεμάτων κάνοντας αλλαγές γύρω από την οικονομική ποσότητας παραγγελίας, δείχνει ένα χαρακτηριστικό παράδειγμα ανάλυσης ευαισθησίας. Συνοψίζοντας, σε όλα τα παραδείγματα χρησιμοποιήθηκαν πραγματικά δεδομένα όπως προέκυψαν από τα συστήματα της εταιρείας Sika Hellas. Επομένως το μοντέλο προσομοίωσης αξιολογήθηκε και ως προς την λειτουργικότητά του σε πραγματικές εργασιακές συνθήκες.

Όσον αφορά στα αποτελέσματα της προσομοίωσης, αυτά θα πρέπει να αξιολογούνται από τον εκάστοτε χρήστη. Οι παραδοχές που θέτουμε στο μοντέλο έχουν αντίκτυπο στα αποτελέσματα που υπολογίζει, σε σύγκριση πάντα με το πραγματικό σύστημα που εξετάζεται. Επιπλέον, σε περιπτώσεις όπου το μοντέλο προσομοίωσης χρησιμοποιείται για μελλοντικό χρονικό ορίζοντα, θα πρέπει πάντα να λαμβάνεται υπόψη το σφάλμα της πρόβλεψης, το οποίο μάλιστα αυξάνεται όσο μεγαλώνει ο χρονικός ορίζοντας. Τέλος, θα πρέπει να επισημάνουμε ότι το μοντέλο προσομοίωσης έχει τη δυνατότητα να κάνει γρήγορα πολλές επαναλήψεις για το ίδιο σύνολο δεδομένων. Τα αποτελέσματα λοιπόν από διαδοχικές επαναλήψεις μπορούν να δώσουν μέσες τιμές, αλλά και το εύρος διακύμανσής τους. Ο χρήστης λοιπόν δεν θα πρέπει να αξιολογεί μόνο τη μέση τιμή ή τα αποτελέσματα μίας επανάληψης, αλλά το σύνολο των αποτελεσμάτων, το εύρος και τα ακρότατα που παρουσιάζουν.

Συνεπώς, απαραίτητη προϋπόθεση για να χρησιμοποιηθεί αποτελεσματικά το δεδομένο μοντέλο προσομοίωσης, είναι η εμπειρία και το γνωστικό αντικείμενο του χρήστη.

Συνοψίζοντας, στην παρούσα μελέτη παρουσιάστηκε ένα εργαλείο, το οποίο με κατάλληλη χρήση μπορεί να συμβάλει αποτελεσματικά στη διαδικασία προγραμματισμού και διαχείρισης αποθεμάτων και βρίσκει εφαρμογή σε στοχαστικά συστήματα αποθεμάτων.

ΚΑΤΕΥΘΥΝΣΕΙΣ ΜΕΛΛΟΝΤΙΚΗΣ ΕΡΕΥΝΑΣ

Στο πλαίσιο της παρούσας μελέτης, παρουσιάστηκε ένα γενικευμένο μοντέλο προσομοίωσης στοχαστικών συστημάτων διαχείρισης αποθεμάτων, όπως και κάποιες χρήσεις του σε θέματα αποθεμάτων. Η μελέτη αυτή και το εργαλείο που προτείνει, μπορούν ωστόσο να χρησιμοποιηθούν ως βάση για μελλοντικές κατευθύνσεις, είτε εμβαθύνοντας σε ένα δεδομένο επιχειρησιακό περιβάλλον, είτε σε έναν ευθύτερο τομέα έρευνας.

Πιο συγκεκριμένα, το μοντέλο προσομοίωσης με τα λειτουργικά χαρακτηριστικά που έχει, μπορεί να χρησιμοποιηθεί ως εργαλείο στο πλαίσιο ανάπτυξης ολοκληρωμένων μελετών. Η δυνατότητα αξιολόγησης εναλλακτικών σεναρίων, επιτρέπει τη χρήση του σε μελέτες περίπτωσης όπου το αντικείμενο είναι πιο ευρύ από τη διαχείριση αποθεμάτων. Για παράδειγμα, μπορεί να χρησιμοποιηθεί σε ένα τμήμα μίας μελέτης αξιολόγησης αποθηκευτικού χώρου ή αξιολόγησης δικτύου εφοδιαστικής αλυσίδας. Η προσομοίωση, και πιο συγκεκριμένα τα αποτελέσματα που υπολογίζει, μπορούν να χρησιμοποιηθούν για την τεκμηρίωση προτάσεων. Για παράδειγμα, μία πρόταση αλλαγής προμηθευτή ή επιλογής νέου τρόπου μεταφοράς, μπορεί να συνοδεύεται από την αντίστοιχη εκτίμηση των οικονομικών και άλλων επιπτώσεων. Επιπλέον, στο πλαίσιο λειτουργίας μίας επιχείρησης, η προσομοίωση μπορεί να χρησιμοποιηθεί για τη διερεύνηση προβληματικών περιοχών σε επίπεδων ειδών, προμηθευτών ή καναλιών διανομής, ώστε να συγκεντρωθεί η απαραίτητη γνώση και να δρομολογηθούν κατάλληλες διορθωτικές ενέργειες.

Σε επίπεδο υλοποίησης, το μοντέλο προσομοίωσης είναι δυνατό να επεκταθεί και να διασυνδεθεί με άλλα συστήματα σε μία επιχείρηση. Έτσι όπως είναι διαμορφωμένο το περιβάλλον λειτουργίας του, το μοντέλο χρειάζεται την εισαγωγή ιστορικών και άλλων δεδομένων από το χρήστη. Μπορεί λοιπόν, να αναπτυχθεί ένα λογισμικό

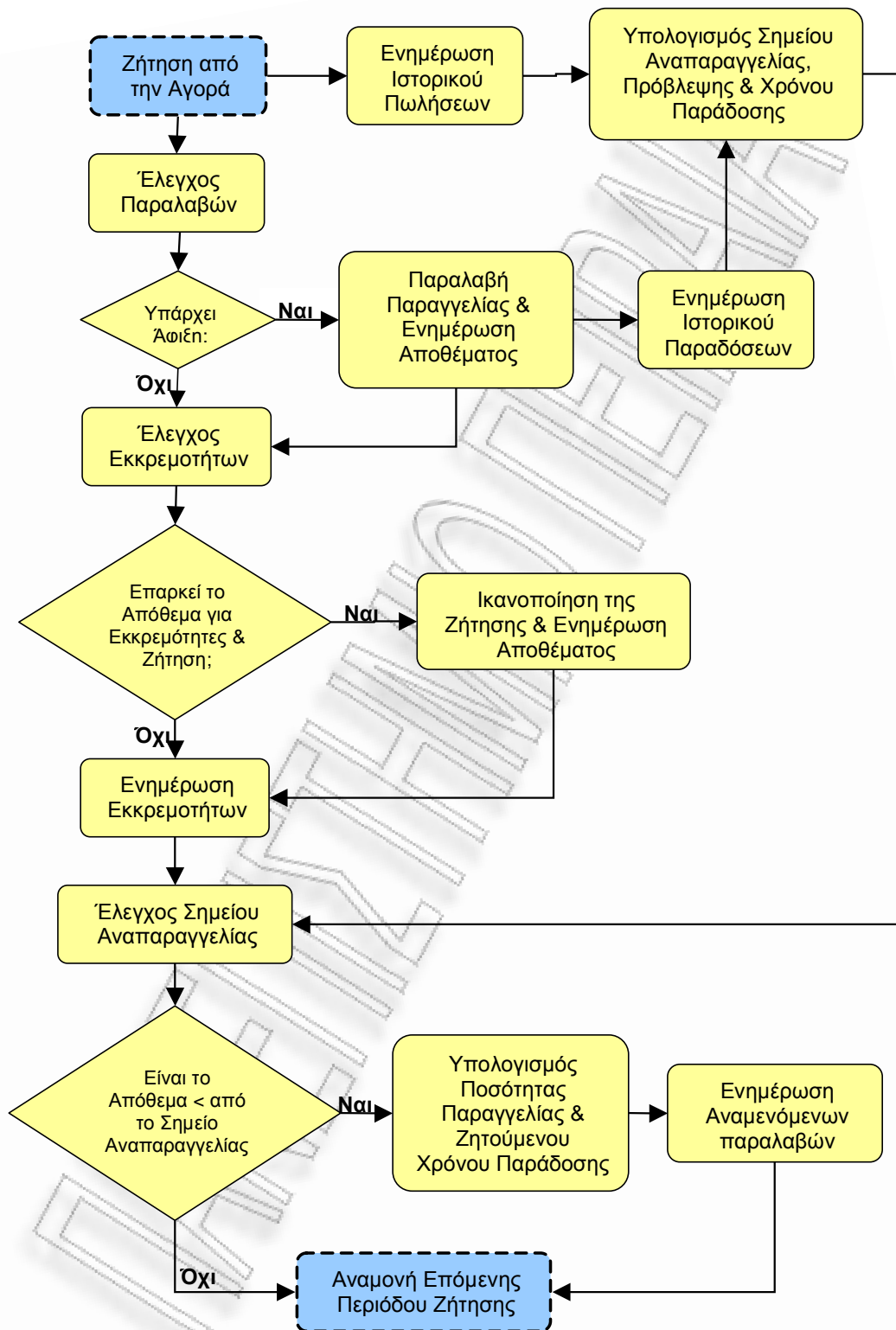
διασύνδεσης τόσο για την εισαγωγή δεδομένων, όσο και για την εξαγωγή των αποτελεσμάτων. Συνεπώς, μπορεί αναπτυχθεί μία διασύνδεση ώστε να δέχεται αυτόματα ιστορικά δεδομένα πωλήσεων, πρόβλεψη ζήτησης και άλλα. Με τον τρόπο αυτό μπορεί να γίνει πιο εύκολη η λειτουργία του για τον χρήστη. Από την άλλη πλευρά, τα αποτελέσματά του μπορεί να τροφοδοτούν ένα σύστημα στατιστικής ανάλυσης ή ένα σύστημα παρακολούθησης αποθεμάτων. Συνεπώς, μια πιθανή επέκταση του μοντέλου είναι η διασύνδεσή του με άλλα συστήματα που χρησιμοποιούνται για τη διαχείριση αποθεμάτων.

Η χρήση της προσομοίωσης στη διαχείριση αποθεμάτων μπορεί να επεκταθεί σε πολλαπλά επίπεδα στην αλυσίδα εφοδιασμού. Στην παράγραφο 2.3 έγινε αναφορά σε συστήματα multi-echelon, δηλαδή συστήματα με περισσότερα του ενός διαδοχικά επίπεδα αποθήκευσης. Το συγκεκριμένο μοντέλο προσομοίωσης έχει βασιστεί σε ένα επίπεδο αποθεμάτων. Μία πιθανή μελλοντική κατεύθυνση θα ήταν η επέκτασή του ώστε να μπορεί να συμπεριλάβει περισσότερα επίπεδα, δίνοντας έτσι μία εκτίμηση της απόδοσης ευρύτερου τμήματος της αλυσίδας εφοδιασμού.

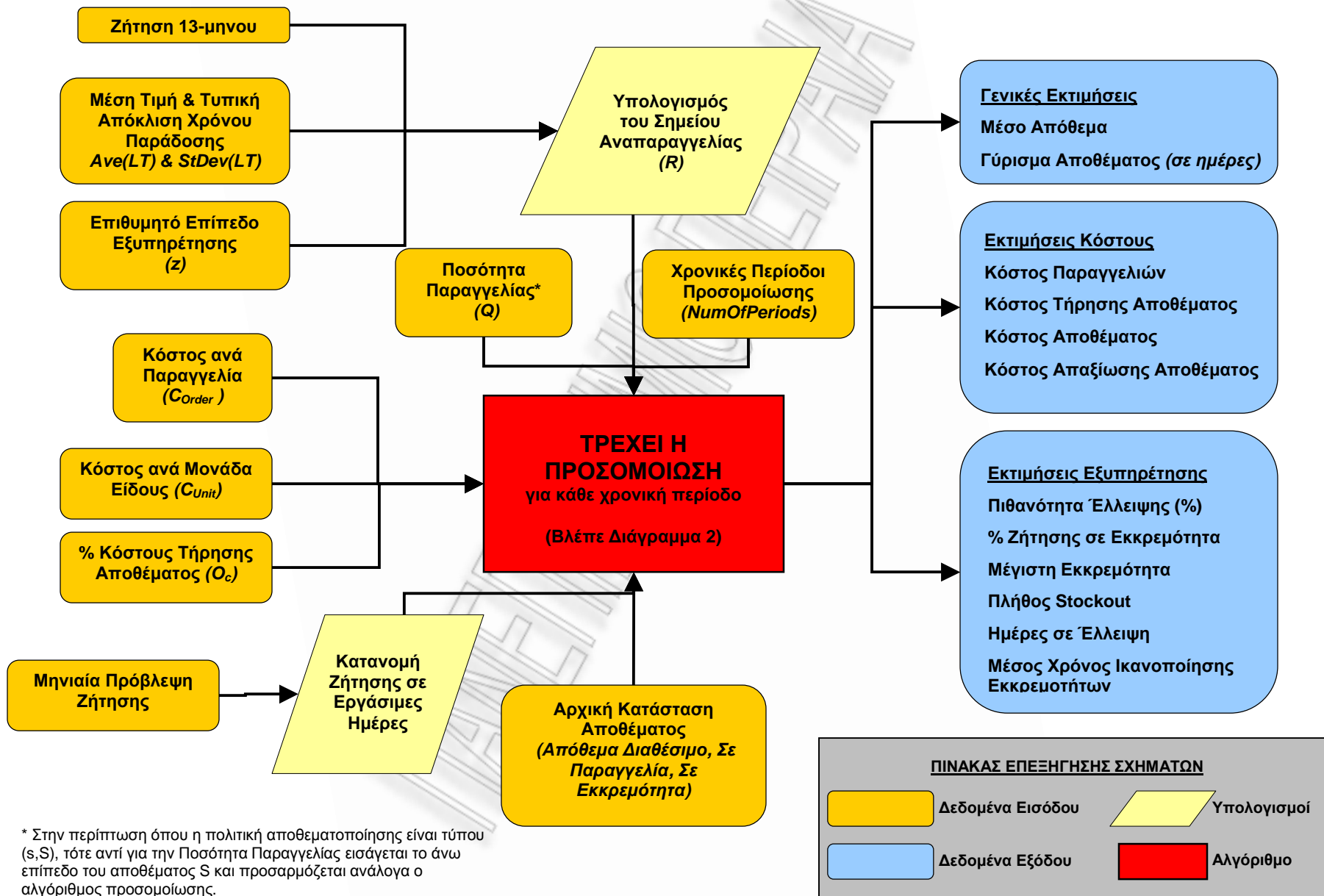
Τέλος, μία πιθανή μελλοντική επέκταση θα ήταν ο συνδυασμός του μοντέλου με το μάρκετινγκ για τον ποσοτικό προσδιορισμό του κόστους έλλειψης. Όπως έχει αναφερθεί και παραπάνω το κόστος έλλειψης σχετίζεται με παραμέτρους που δεν μπορούν εύκολα να ποσοτικοποιηθούν, όπως η φήμη, οι χαμένες πωλήσεις, η εμπιστοσύνη του πελάτη και άλλα. Ανατρέχοντας στον τομέα του μάρκετινγκ βρίσκει κανείς αναφορές για την εκτίμηση του κόστους έλλειψης. Ο συνδυασμός αυτός με το μοντέλο προσομοίωσης, θα μπορούσε να δώσει μία πιο ολοκληρωμένη εικόνα στον υπεύθυνο διαχείρισης αποθεμάτων, θα επέτρεπε τη βελτιστοποίηση και την αξιολόγηση αποφάσεων με βάση το συνολικό κόστος.

ΠΑΡΑΡΤΗΜΑ Α

ΠΑΡΑΡΤΗΜΑ Α



Διάγραμμα 7: Εκτεταμένο Διάγραμμα Ροής Πραγματικού Συστήματος



Διάγραμμα 8: Δεδομένα Εισόδου & Εξόδου από το Μοντέλο Προσομοίωσης

ΓΑΝΕΠΣΤΗΜΟ ΓΕΡΑΙΑ

ΠΑΡΑΡΤΗΜΑ Β

ΠΑΝΕΠΙΣΤΗΜΙΟ ΠΕΡΑΙΑ

ГАНЕПТИМНО ТЕРАПА

Output Data	Average Inventory:	Inventory Turnover (In days):	Ordering Cost:	Carrying Cost:	Inventory Cost:	Obsolete Cost:	Probability of stockout (%):	Percent of Demand Qty in Stockout:	Max Backorder Quantity:	Num of Stockouts:	Total Days in Stockout:	Ave Delay in Filling Backorder:
Run 1	7798,0	34,0	450	2783,9	426360	0	0,01	0,03	2315,02	1	3	3
Run 2	7539,7	32,9	450	2691,7	426360	0	0,01	0,00	233,42	1	4	4
Run 3	8470,8	37,0	450	3024,1	426360	0	0,00	0,00	0,00	0	0	0
Run 4	9259,9	40,4	450	3305,8	426360	0	0,00	0,00	0,00	0	0	0
Run 5	8536,4	37,3	450	3047,5	426360	0	0,00	0,00	0,00	0	0	0
Run 6	8482,5	37,0	450	3028,3	426360	0	0,00	0,00	0,00	0	0	0
Run 7	7429,2	32,4	450	2652,2	426360	0	0,03	0,04	2302,60	2	10	5
Run 8	8647,4	37,8	450	3087,1	426360	0	0,00	0,00	0,00	0	0	0
Run 9	8091,2	35,3	450	2888,6	426360	0	0,00	0,00	0,00	0	0	0
Run 10	8031,7	35,1	450	2867,3	426360	0	0,02	0,03	2117,18	2	9	4,5
Run 11	9077,0	39,6	450	3240,5	426360	0	0,00	0,00	0,00	0	0	0
Run 12	7828,8	34,2	450	2794,9	426360	0	0,02	0,01	1025,74	1	6	6
Run 13	9594,0	41,9	450	3425	426360	0	0,00	0,00	0,00	0	0	0
Run 14	8303,1	36,3	450	2964,2	426360	0	0,00	0,00	0,00	0	0	0
Run 15	8019,3	35,0	450	2862,9	426360	0	0,01	0,03	1947,22	1	5	5
Run 16	8199,1	35,8	450	2927,1	426360	0	0,02	0,02	1051,46	1	6	6
Run 17	8618,6	37,6	450	3076,8	426360	0	0,00	0,00	0,00	0	0	0
Run 18	7578,0	33,1	450	2705,3	426360	0	0,00	0,00	0,00	0	0	0
Run 19	9477,6	41,4	450	3383,5	426360	0	0,00	0,00	0,00	0	0	0
Run 20	8521,5	37,2	450	3042,2	426360	0	0,00	0,00	0,00	0	0	0
Run 21	8451,9	36,9	450	3017,3	426360	0	0,02	0,04	2549,91	1	8	8
Run 22	9735,4	42,5	450	3475,5	426360	0	0,00	0,00	0,00	0	0	0
Run 23	8587,6	37,5	450	3065,8	426360	0	0,00	0,00	0,00	0	0	0
Run 24	8654,4	37,8	450	3089,6	426360	0	0,00	0,00	0,00	0	0	0
Run 25	9194,1	40,1	450	3282,3	426360	0	0,00	0,00	0,00	0	0	0
Run 26	8870,4	38,7	450	3166,7	426360	0	0,00	0,00	0,00	0	0	0
Run 27	8264,3	36,1	450	2950,4	426360	0	0,01	0,02	812,00	1	2	2
Run 28	6597,4	28,8	450	2355,3	426360	0	0,03	0,05	2725,81	2	10	5
Run 29	6533,2	28,5	450	2332,3	426360	0	0,18	0,22	7798,09	2	64	32
Run 30	7436,5	32,5	450	2654,8	426360	0	0,01	0,03	2443,03	1	3	3
Run 31	8333,2	36,4	450	2975	426360	0	0,00	0,00	0,00	0	0	0
Run 32	9272,7	40,5	450	3310,3	426360	0	0,00	0,01	378,27	1	1	1
Run 33	8807,3	38,5	450	3144,2	426360	0	0,00	0,00	0,00	0	0	0
Run 34	7105,2	31,0	450	2536,6	426360	0	0,02	0,04	2671,44	2	9	4,5
Run 35	8967,2	39,2	450	3201,3	426360	0	0,01	0,00	6,76	1	3	3
Run 36	8537,0	37,3	450	3047,7	426360	0	0,00	0,00	0,00	0	0	0
Run 37	8308,5	36,3	450	2966,1	426360	0	0,00	0,00	0,00	0	0	0
Run 38	8713,3	38,0	450	3110,7	426360	0	0,00	0,00	0,00	0	0	0
Run 39	8616,4	37,6	450	3076	426360	0	0,00	0,00	0,00	0	0	0
Run 40	8633,5	37,7	450	3082,2	426360	0	0,00	0,01	911,30	1	1	1
Run 41	8654,8	37,8	450	3089,7	426360	0	0,01	0,01	632,45	1	4	4
Run 42	8534,3	37,3	450	3046,7	426360	0	0,03	0,05	3168,56	1	11	11
Run 43	8744,7	38,2	450	3121,9	426360	0	0,01	0,01	846,31	1	3	3
Run 44	9749,7	42,6	450	3480,6	426360	0	0,00	0,00	0,00	0	0	0
Run 45	8463,2	37,0	450	3021,3	426360	0	0,01	0,01	360,13	1	2	2
Run 46	7802,0	34,1	450	2785,3	426360	0	0,01	0,03	1493,20	1	5	5
Run 47	9176,4	40,1	450	3276	426360	0	0,00	0,00	0,00	0	0	0
Run 48	7158,5	31,3	450	2555,6	426360	0	0,06	0,07	2863,68	3	22	7,33333
Run 49	8835,6	38,6	450	3154,3	426360	0	0,00	0,00	0,00	0	0	0
Run 50	4792,8	20,9	450	1711	426360	0	0,12	0,14	4899,08	5	42	8,4
Μέση Τιμή	8340,7	36,4	450	2977,6	426360	0	0,01	0,02	911,05	0,68	4,66	2,67467
Τυπική Απόκλιση	886,9	3,9	0	316,62	0	0	0,03	0,04	1530,93	0,98	11,1	5,08328
Ελάχιστη Τιμή	4792,8	20,9	450	1711	426360	0	0,00	0,00	0,00	0	0	0
Real	5456,4	25,3	390	1947,9	401744	0	0,04	0,04	1634,80	3	13	4,33333

Πίνακας 1: Αποτελέσματα προσομοίωσης για το Προϊόν 1 (Επαλήθευση Μοντέλου)

Output Data	Average Inventory:	Inventory Turnover (In days):	Ordering Cost:	Carrying Cost:	Inventory Cost:	Obsolete Cost:	Probability of stockout (%):	Percent of Demand Qty in Stockout:	Max Backorder Quantity:	Num of Stockouts:	Total Days in Stockout:	Ave Delay in Filling Backorder:
Run 1	25203	16,1618	900	335,2	108147	0	0,01	0,02	7475,3	1	5	5
Run 2	26076	16,7216	900	346,8	108147	0	0,00	0,00	0	0	0	0
Run 3	25192	16,1547	900	335,1	108147	0	0,03	0,04	11487	3	10	3,333
Run 4	29367	18,8321	900	390,6	108147	0	0,01	0,02	1534,3	2	5	2,5
Run 5	26293	16,8603	900	349,7	108147	0	0,01	0,02	4520,5	3	4	1,333
Run 6	28506	18,2798	900	379,1	108147	0	0,00	0,01	392,55	1	1	1
Run 7	22438	14,3886	900	298,4	108147	0	0,17	0,17	21665	5	62	12,4
Run 8	25865	16,586	900	344	108147	0	0,00	0,01	3029,4	1	1	1
Run 9	27898	17,8897	900	371	108147	0	0,00	0,00	0	0	0	0
Run 10	29722	19,0597	900	395,3	108147	0	0,00	0,01	2796,7	1	1	1
Run 11	26629	17,0758	900	354,2	108147	0	0,02	0,03	7485,3	4	7	1,75
Run 12	27138	17,4025	900	360,9	108147	0	0,01	0,03	6302,2	4	5	1,25
Run 13	28266	18,1255	900	375,9	108147	0	0,02	0,05	7850,5	4	9	2,25
Run 14	24963	16,0078	900	332	108147	0	0,00	0,01	2209,9	1	1	1
Run 15	26214	16,8102	900	348,7	108147	0	0,02	0,03	7815,7	2	8	4
Run 16	27520	17,6474	900	366	108147	0	0,01	0,04	8079,5	2	5	2,5
Run 17	29862	19,1493	900	397,2	108147	0	0,01	0,01	5917,7	1	2	2
Run 18	29979	19,2239	900	398,7	108147	0	0,01	0,01	5081,4	1	3	3
Run 19	27929	17,9095	900	371,5	108147	0	0,00	0,01	2011,4	1	1	1
Run 20	23257	14,9136	900	309,3	108147	0	0,08	0,10	13554	6	30	5
Run 21	21085	13,5207	900	280,4	108147	0	0,09	0,09	17829	6	33	5,5
Run 22	22157	14,2085	900	294,7	108147	0	0,10	0,11	25165	5	38	7,6
Run 23	26126	16,7537	900	347,5	108147	0	0,01	0,02	8374,1	1	3	3
Run 24	24951	16,0003	900	331,9	108147	0	0,04	0,09	16666	4	15	3,75
Run 25	25580	16,403	900	340,2	108147	0	0,01	0,02	9947,9	2	4	2
Run 26	19014	12,1928	900	252,9	108147	0	0,13	0,18	35497	8	47	5,875
Run 27	28244	18,1115	900	375,6	108147	0	0,00	0,00	0	0	0	0
Run 28	20062	12,8646	900	266,8	108147	0	0,05	0,08	11675	6	20	3,333
Run 29	24980	16,0185	900	332,2	108147	0	0,05	0,07	8487,9	6	18	3
Run 30	20045	12,8538	900	266,6	108147	0	0,10	0,08	7923,1	8	37	4,625
Run 31	29912	19,1811	900	397,8	108147	0	0,02	0,02	11392	1	7	7
Run 32	27691	17,7572	900	368,3	108147	0	0,01	0,01	2927,5	1	2	2
Run 33	26187	16,7926	900	348,3	108147	0	0,03	0,03	3704,8	4	10	2,5
Run 34	27039	17,3388	900	359,6	108147	0	0,01	0,01	5315,3	1	3	3
Run 35	28811	18,475	900	383,2	108147	0	0,00	0,01	1239,9	1	1	1
Run 36	28636	18,3633	900	380,9	108147	0	0,01	0,01	1172,4	1	3	3
Run 37	27551	17,6673	900	366,4	108147	0	0,02	0,03	5340,9	3	8	2,667
Run 38	27970	17,9357	900	372	108147	0	0,02	0,03	11906	1	6	6
Run 39	26716	17,1315	900	355,3	108147	0	0,02	0,02	4722,4	2	7	3,5
Run 40	26834	17,2074	900	356,9	108147	0	0,01	0,00	1562,4	1	4	4
Run 41	18073	11,5892	900	240,4	108147	0	0,15	0,20	27796	10	55	5,5
Run 42	26714	17,1307	900	355,3	108147	0	0,01	0,02	6276,8	2	3	1,5
Run 43	20399	13,0812	900	271,3	108147	0	0,10	0,16	19683	8	36	4,5
Run 44	26985	17,3043	900	358,9	108147	0	0,02	0,02	7005,4	2	7	3,5
Run 45	27488	17,6267	900	365,6	108147	0	0,00	0,00	1333,7	1	1	1
Run 46	24035	15,4127	900	319,7	108147	0	0,08	0,08	13906	6	31	5,167
Run 47	26524	17,0086	900	352,8	108147	0	0,00	0,00	2310,4	1	1	1
Run 48	28232	18,1041	900	375,5	108147	0	0,00	0,01	873,99	1	1	1
Run 49	27961	17,9304	900	371,9	108147	0	0,00	0,00	368,9	1	1	1
Run 50	25307	16,2286	900	336,6	108147	0	0,02	0,03	9169,7	3	7	2,333
Μέση Τιμή	25992	16,6679	900	345,7	108147	0	0,03	0,04	7975,6	2,8	11,4	3,023
Τυπική Απόκλιση	2928	1,87785	0	38,95	0,0028	0	0,04	0,05	7686,7	2,45	15,3	2,293
Ελάχιστη Τιμή	18073	11,5892	900	240,4	108147	0	0,00	0,00	0	0	0	0
Real	49408	31,3096	1050	578,3	109437	0	0,04	0,01	3322	3	14	4,667

Πίνακας 2: Αποτελέσματα προσομοίωσης για το Προϊόν 2 (Επαλήθευση Μοντέλου)

Output Data	Average Inventory:	Inventory Turnover (in days):	Ordering Cost:	Carrying Cost:	Inventory Cost:	Obsolete Cost:	Probability of stockout (%):	Percent of Demand Qty in Stockout:	Max Backorder Quantity:	Num of Stockouts:	Total Days in Stockout:	Ave Delay in Filling Backorder:
Run 1	735,8291	33,83779	60	119,66	5166,8	0	0	0	0	0	0	0
Run 2	876,7394	40,31769	60	142,58	5166,8	0	0	0	0	0	0	0
Run 3	869,2743	39,9744	60	141,36	5166,8	0	0	0	0	0	0	0
Run 4	848,6254	39,02484	60	138,01	5166,8	0	0	0	0	0	0	0
Run 5	835,7146	38,43112	60	135,91	5166,8	0	0	0	0	0	0	0
Run 6	817,7975	37,60718	60	132,99	5166,8	0	0	0	0	0	0	0
Run 7	846,6775	38,93526	60	137,69	5166,8	0	0	0	0	0	0	0
Run 8	696,8838	32,04685	60	113,33	5166,8	0	0	0	0	0	0	0
Run 9	726,423	33,40524	60	118,13	5166,8	0	0	0	0	0	0	0
Run 10	656,4477	30,18737	60	106,75	5166,8	0	0,05556	0,036041	1,95823	1	5	5
Run 11	756,4382	34,78552	60	123,02	5166,8	0	0	0	0	0	0	0
Run 12	774,6637	35,62364	60	125,98	5166,8	0	0	0	0	0	0	0
Run 13	805,1753	37,02674	60	130,94	5166,8	0	0	0	0	0	0	0
Run 14	682,1795	31,37066	60	110,94	5166,8	0	0	0	0	0	0	0
Run 15	783,5042	36,03017	60	127,42	5166,8	0	0	0	0	0	0	0
Run 16	878,9089	40,41745	60	142,93	5166,8	0	0	0	0	0	0	0
Run 17	771,0647	35,45814	60	125,39	5166,8	0	0	0	0	0	0	0
Run 18	804,7459	37,007	60	130,87	5166,8	0	0	0	0	0	0	0
Run 19	655,0703	30,12402	60	106,53	5166,8	0	0	0	0	0	0	0
Run 20	713,1333	32,79411	60	115,97	5166,8	0	0	0	0	0	0	0
Μέση Τιμή	776,7648	35,72026	60	126,32	5166,8	0	0,00278	0,001802	0,09791	0,05	0,25	0,25
Τυπική Απόκλιση	72,2403	3,322038	0	11,748	0	0	0,01242	0,008059	0,43787	0,224	1,118	1,11803
Ελάχιστη Τιμή	655,0703	30,12402	60	106,53	5166,8	0	0	0	0	0	0	0
Μέγιστη Τιμή	878,9089	40,41745	60	142,93	5166,8	0	0,05556	0,036041	1,95823	1	5	5
Real	470,8	24,56633	90	76,563	4553,5	0	0,02222	0,102041	22,88	1	2	2

Πίνακας 3: Αποτελέσματα προσομοίωσης για το Προϊόν 3 (Επαλήθευση Μοντέλου)

ΣΕΝΑΡΙΟ 1	Run 1	Run 2	Run 3	Run 4	Run 5	Run 6	Run 7	Run 8	Run 9	Run 10	Μέση Τιμή	Τυπ. Απόκλιση
Μέσο Απόθεμα:	1381	1371	1317	1284	1363	1223	1524	1415	1363	1387	1363	79,9
Γύρισμα (σε ημέρες):	17,8	17,7	17	16,6	17,6	15,8	19,7	18,3	17,6	17,9	17,6	1,03
Κόστος Παραγγελιών:	660	660	660	660	660	660	660	660	660	660	660	0
Κόστος Τήρησης Αποθέματος:	188	187	180	175	186	167	208	193	186	189	186	10,9
Πιθανότητα Έλλειψης(%):	2,5%	6,0%	4,1%	7,1%	4,7%	6,0%	5,5%	3,3%	4,7%	4,4%	4,8%	1,4%
% Ζήτησης σε Εκκρεμότητα:	2,6%	7,5%	5,1%	10%	7,5%	9,3%	7,1%	4,4%	7,3%	5,3%	6,6%	2,3%
Μέγιστη Ποσότητα σε Εκκρεμότητα	315	981	541	1139	587	944	638	764	724	407	704	261
Πλήθος Stockouts:	3	3	4	4	5	3	4	3	4	5	3,8	0,79
Ημέρες σε Έλλειψη:	9	22	15	26	17	22	20	12	17	16	17,6	5,06
Μέσος Χρόνος Ικανοποίησης Εκκρεμοτήτων:	3	7,33	3,75	6,5	3,4	7,33	5	4	4,25	3,2	4,78	1,69
ΣΕΝΑΡΙΟ 2												
Μέσο Απόθεμα:	2133	2149	2004	2133	2260	2047	2029	1912	2067	2174	2091	99,2
Γύρισμα (σε ημέρες):	27,5	27,8	25,9	27,5	29,2	26,4	26,2	24,7	26,7	28,1	27	1,28
Κόστος Παραγγελιών:	330	330	330	330	330	330	330	330	330	330	330	0
Κόστος Τήρησης Αποθέματος:	291	293	274	291	309	279	277	261	282	297	285	13,5
Πιθανότητα Έλλειψης(%):	2,7%	0,8%	6,0%	1,6%	2,5%	0,5%	1,9%	2,5%	0,8%	3,0%	2,2%	1,6%
% Ζήτησης σε Εκκρεμότητα:	3,1%	2,2%	7,5%	2,2%	2,4%	1,2%	3,7%	3,7%	0,3%	4,0%	3,0%	2,0%
Μέγιστη Ποσότητα σε Εκκρεμότητα	435	235	713	467	358	110	403	391	28,5	896	404	258
Πλήθος Stockouts:	2	2	3	1	2	2	3	2	1	2	2	0,67
Ημέρες σε Έλλειψη:	10	3	22	6	9	2	7	9	3	11	8,2	5,79
Μέσος Χρόνος Ικανοποίησης Εκκρεμοτήτων:	5	1,5	7,33	6	4,5	1	2,33	4,5	3	5,5	4,07	2,05
ΣΕΝΑΡΙΟ 3												
Μέσο Απόθεμα:	3004	3221	3177	3194	3450	3229	3344	3133	3477	3074	3230	153
Γύρισμα (σε ημέρες):	38,8	41,6	41	41,2	44,6	41,7	43,2	40,5	44,9	39,7	41,7	1,98
Κόστος Παραγγελιών:	180	180	180	180	180	180	180	180	180	180	180	0
Κόστος Τήρησης Αποθέματος:	410	440	434	436	471	441	457	428	475	420	441	20,9
Πιθανότητα Έλλειψης(%):	1,9%	1,1%	0,0%	1,4%	0,0%	1,6%	0,3%	3,0%	1,4%	0,3%	1,1%	1,0%
% Ζήτησης σε Εκκρεμότητα:	3,8%	1,1%	0,0%	1,7%	0,0%	2,2%	0,4%	2,6%	3,4%	1,0%	1,6%	1,4%
Μέγιστη Ποσότητα σε Εκκρεμότητα	678	253	0	272	0	419	19,1	695	931	263	353	324
Πλήθος Stockouts:	2	1	0	2	0	1	1	1	1	1	1	0,67
Ημέρες σε Έλλειψη:	7	4	0	5	0	6	1	11	5	1	4	3,56
Μέσος Χρόνος Ικανοποίησης Εκκρεμοτήτων:	3,5	4	0	2,5	0	6	1	11	5	1	3,4	3,38

Πίνακας 4: Αποτελέσματα προσομοίωσης με σενάρια διαφορετικού κύκλου παραγγελίας για τη διερεύνηση της έκθεσης σε κίνδυνο έλλειψης

BIBΛΙΟΓΡΑΦΙΑ

- [1] Frederick S. Hillier, Gerald J. Lieberman, 2005, Introduction to Operations Research, 8th Edition
- [2] James R. Stock, Douglas M. Lambert, 2001, Strategic Logistics Management, 4th Edition
- [3] James H. Greene, 1997, Production & Inventory Control Handbook, 3rd Edition
- [4] James F. Robeson, William C. Copacino, R. Edwin Howe, 1994, The logistics handbook
- [5] Martin Christopher, 1998, Logistics and Supply Chain Management – Strategies for Reducing Cost and Improving Service, 2nd Edition
- [6] C. D. J. Waters, Inventory Control and Management, John Wiley & Sons
- [7] John J. Coyle, Edward J. Bardi, C. John Langley, Jr., 1992, The Management of Business Logistics, 5th Edition
- [8] Reed Jacobson, 2002, Microsoft Excel 2002 Visual Basic for Applications Step by Step
- [9] Ronald H. Ballou, 1992, Business Logistics/ Supply Chain Management, 5th Edition
- [10] Michael C. Fu, Kevn J. Healy, “Techniques for optimization via simulation: an experimental study on (s,S) inventory system, IIE Transactions Journal, Volume 29, Number 3, 1997
- [11] Poul Alstrom, Per Madsen, “Tracking signals in inventory control systems. A simulation study”, International Journal of Production Economics 45 (1996) 293-302
- [12] Jaret W. Hauge, Kerrie N. Paige, 2002, “How can you go? Using simulation to determine appropriate inventory levels”, Institute of Industrial Engineering, Lean Manufacturing Solutions
- [13] Dobrila Petrovic, Rajat Roy, Radivoj Pertovic, 1998, “Modelling and simulation of a supply chain in an uncertain environment”, European Journal of Operational Research 109 (1998) 299-309
- [14] Loo Hay Lee, Suyan Teng, Ek Peng Chew, I. A. Karimi, Kong Wei Lye, Peter Lendermann, Yankai Chen, Choon Hwee Koh, “Application of multi-objective simulation – optimization techniques to inventory management problems”, Simulation Conference Proceedings, Winter 2005

- [15] R. G. Ingallis, 1998, "The values of Simulation in modeling supply chains", Simulation Conference Proceedings, Winter 1998, Volume 2, p. 1371-1375
- [16] S. Bagchi, S. J. Buckley, T. J. Watson, "Experience Using the IBM Supply Chain Simulator", Simulation Conference Proceedings, Winter 1998, Volume 2, p. 1387-1394
- [17] J. Sudhir Ryan Daniel, Chandrasekharan Rajendran, "A simulation-based genetic algorithm for inventory optimization in a serial supply chain", International Transactions in Operations Research 12 (2005) 101-127
- [18] Jorge Haddock, Golgen Bengu, "Application of a simulation optimization system for a continuous review inventory model", Simulation Conference Proceedings, Winter 1987, Volume 1, p. 382-390
- [19] Donald L. Byrnett, "The use of Simulation in the design of an inventory control system", Simulation Conference Proceedings, Winter 1978, Volume 2, p. 1039-1044
- [20] Eric Porras Musalem, Rommert Dekker, "Controlling inventories in a supply chain: A case study", International Journal of Production Economics 93-94 (2005) 179-188
- [21] June Young Jung, Gary Blau, Joseph F. Pekny, Gintaras V. Reklaitis, David Eversdyk, "A simulation based optimization approach to supply chain management under demand uncertainty", Computers and Chemical Engineering 28 (2004) 2087-2106