

ΠΑΝΕΠΙΣΤΗΜΙΟ ΘΕΣΣΑΛΙΑΣ
ΠΟΛΥΤΕΧΝΙΚΗ ΣΧΟΛΗ
ΤΜΗΜΑ ΜΗΧΑΝΟΛΟΓΩΝ ΜΗΧΑΝΙΚΩΝ



Διπλωματική Εργασία

**Μελέτη Περίπτωσης Επιχείρησης Ελέγχου Ηλεκτρονικών Καρτών με
Χρήση Προσομοίωσης**

Αγγελίδης Θεόδωρος

Επιβλέπων Καθηγητής:

Δρ.Στέλιος Κουκούμιαλος

Βόλος,

2019



©2019AngelidisTheodoros

The approval of the Diploma Thesis by the Department of Mechanical Engineering of the University of Thessaly does not imply acceptance of the author's opinions. (Law 5343/32, article 202, paragraph 2).



Ευχαριστίες

Η παρούσα διπλωματική υλοποιείται στο πλαίσιο της μερικής εκπλήρωσης των απαιτήσεων για το δίπλωμα του Μηχανολόγου Μηχανικού στο Πανεπιστήμιο Θεσσαλίας.

Για την ολοκλήρωση της παρούσας εργασίας, θα ήθελα να ευχαριστήσω τον επιβλέποντα καθηγητή, Δρ. Στέλιο Κουκούμιαλο, του οποίου η τεχνογνωσία, οι πολύτιμες συμβουλές, τα σχόλια, η υπομονή και η κατανόηση που έδειξε βοήθησαν σε πολύ μεγάλο βαθμό στην περαιτέρω ενίσχυση της γνώσης μου επί του αντικειμένου, καθώς και για την υποστήριξη καθόλη την διάρκεια αυτού του εξαμήνου. Θα ήθελα επίσης να τον ευχαριστήσω που μου έδωσε την ευκαιρία να ασχοληθώ με ένα τόσο ενδιαφέρον θέμα στα πλαίσια της διπλωματικής μου εργασίας.

Θα ήθελα να αναγνωρίσω τη βοήθεια που παρέχεται από το σύνολο του ιδρύματος του Πανεπιστημίου Θεσσαλίας και την μεγάλη μου εκτίμηση για το Τμήμα Μηχανολόγων Μηχανικών που μου έδωσε θεμελιώδεις αξίες απαραίτητες για την εκπλήρωση όχι μόνο αυτού του έργου αλλά και των σπουδών μου στο ίδρυμα.

Τέλος, ιδιαίτερη αναγνώριση έχει η οικογένειά μου και όλοι οι φίλοι μου για τη συνεχή υποστήριξη και ενθάρρυνση τους κατά τη διάρκεια αυτής της μελέτης.

Θεόδωρος Αγγελίδης

Περίληψη

Η παρούσα διπλωματική εργασία ασχολείται με την δημιουργία ενός προσομοιωτικού μοντέλου που αναπαριστά μια θυγατρική εταιρεία της Randall Acme Incorporated, μια εταιρεία που απασχολείται στον τομέα του ελεγχού, του διαχωρισμού και της αποστολής καρτών ηλεκτρονικών κυκλωμάτων. Παρουσιάζονται επίσης, κάποιες βελτιωτικές εκδοχές με σκοπό την καλύτερη δυνατή λειτουργία της.

Αρχικά προσεγγίσαμε αναλυτικά την Προσομοίωση, καθώς όντας νέα επιστήμη δεν είναι γνωστή σαν αντικείμενο στο ευρύ κοινό. Δίνουμε έναν κοινά αποδεκτό ορισμό αναλύοντας παράλληλα τα πλεονεκτήματα, τα μειονεκτήματά της καθώς και τις βασικές έννοιες που συναντάμε κατά τη δημιουργία ενός μοντέλου. Αναλύουμε επίσης το πρόγραμμα που επιλέχθηκε (Rockwell Arena) για την προσομοίωση παρουσιάζοντας το βασικό περιβάλλον λειτουργίας του καθώς και τα μενού από όπου θα πάρουμε τα απαραίτητα εργαλεία για τη δημιουργία ενός εικονικού αντιγράφου της προτεινόμενης από το θέμα επιχείρησης.

Προχωρώντας στο κύριο κομμάτι της διπλωματικής εργασίας ασχολούμαστε με την δημιουργία του προσομοιωτικού μοντέλου. Αυτό χωρίστηκε σε τέσσερα επιμέρους τμήματα. Την είσοδο δεδομένων από αντιπροσωπευτικό δείγμα παραγγελιών, τον έλεγχο των καρτών για ελαττωματικά στοιχεία, την επισκευή των τελευταίων και τέλος την ομαδοποίηση των παραγγελιών και την αποστολή τους στους πελάτες. Αφού δημιουργήσαμε και τρέξαμε το μοντέλο πήραμε τους δείκτες που μας ενδιέφεραν οι οποίοι και χαρακτηρίστηκαν ανεπαρκείς σε σχέση με τις απαιτούμενες τιμές.

Στη συνέχεια δημιουργήσαμε κάποια εναλλακτικά σενάρια ώστε να έχουμε εύρυθμη ροή εξυπηρέτησης παραγγελιών. Τα σενάρια αυτά χωρίζονται σε δύο μεγάλες κατηγορίες καθώς αφορούν είτε αλλαγές στη δομή, οι οποίες δεν απαιτούν επιπλέον έξοδα για τη μητρική επιχείρηση είτε άλλες που επιφέρουν κόστος. Αναλύουμε στη συνέχεια τα αποτελέσματα αυτών των αλλαγών ώστε να καταλήξουμε στο βέλτιστο σενάριο το οποίο θα αποτελεί και την τελική μας πρόταση για τη δομή της νεοσύστατης επιχείρησης. Βεβαίως το σενάριο με το επιπλέον κόστος αναλύεται ξεχωριστά καθώς έγκειται στην διακριτική ευχέρεια των επενδυτών η υλοποίησή του.

Τέλος, με σκοπό την αποσαφήνιση των απαντήσεών μας ως προς τα αρχικά ερωτήματα γίνεται μια σύνοψη και μια συγκριτική μελέτη των αποτελεσμάτων ενώ προτείνονται και κάποιες προοπτικές περαιτέρω επέκτασης της εργασίας.

Abstract

The present thesis deals with the creation of a simulation model representing a subsidiary of Randall Acme Incorporated, a company involved in the control, separation and dispatching of electronic circuit boards, and the presentation of some optimization models for the best possible operation of the company.

We first approached the Simulation in detail, as it is a new science it is not known to the general public. We give a commonly accepted definition while analyzing its advantages, disadvantages, and the key concepts we encounter while designing a model. We also analyze the program selected (Rockwell Arena) for the simulation presenting its basic operating environment and menus where we will get the tools necessary to create a virtual copy of the business theme proposed.

Moving on to the main part of the thesis we are dealing with the creation of the simulation model. This was divided into four sub-sections. Firstly the entering of the data from a previous representative sample order, then the checking for defective cards, repairing them and finally grouping the orders and sending them to customers. After we created and ran the model we got the indicators we were interested in and found them to be inadequate with what we needed.

Then we created some models to smoothen the order flow. These scenarios are divided into two major categories as they relate either to changes in the structure, which do not require additional costs for the parent company and other costly ones. We then analyze the effects of these changes to arrive at the optimal scenario which will be our final proposal for the start-up business structure. Of course, the scenario with the extra cost is analyzed separately as it is at the investors' discretion to implement it.

Finally, in order to clarify our answers to the original questions, a summary and comparative study of the results is made and some prospects for further extension of the work are proposed.

Λέξεις Κλειδιά: Προσομοίωση, Επιχειρήσεις, Σενάρια Βελτίωσης, Arena, Έλεγχος, Επισκευή, Κατανομή, Προβλέψεις.

Key Words: Simulation, Business, Improvement Scenarios, Arena, Check, Repair, Distribution, Forecasts.

Περιεχόμενα

Ευχαριστίες.....	1
Περίληψη.....	2
Abstract	3
Περιεχόμενα	4
Κεφάλαιο 1 - Εισαγωγή στην προσομοίωση	6
1.1 Ορισμός της προσομοίωσης.	6
1.2 Πλεονεκτήματα και μειονεκτήματα της προσομοίωσης.....	7
1.2.1 Πλεονεκτήματα της προσομοίωσης.	7
1.2.2 Μειονεκτήματα της προσομοίωσης.	8
1.3 Τυπική Μορφή Προσομοιωτικού Μοντέλου.....	10
1.4 Βασικές έννοιες στην Προσομοίωση.....	13
1.4.1 Συστατικά ενός προσομοιωτικού μοντέλου	13
1.4.2 Στόχοι της Προσομοίωσης	14
1.5 Η Προσομοίωση στο μέλλον	15
Κεφάλαιο 2 – Παρουσίαση του Επιχειρησιακού Προβλήματος και του προγράμματος Arena ...	17
2.1 Παρουσίαση του Επιχειρησιακού Προβλήματος.....	17
2.1.1 Γενική εικόνα του προβλήματος	17
2.1.2 Τμήμα Ελέγχου Καρτών	18
2.1.3 Τμήμα Ομαδοποίησης Παραγγελιών και Αποστολής	19
2.1.4 Τμήμα Επισκευής.....	20
2.1.5 Εργασιακό Πρόγραμμα	21
2.1.6 Στόχοι της Προσομοίωσης	21
2.2 Παρουσίαση Προγράμματος Rockwell Arena.....	22
2.2.1 Γενικά στοιχεία του Rockwell Arena.....	22
2.2.2 Βασικό περιβάλλον και λειτουργίες	23
2.2.3 Μενού αντικειμένων.....	24
Κεφάλαιο 3 - Δημιουργία του προσομοιωτικού μοντέλου της επιχείρησης και πρώτα συμπεράσματα.	26
3.1 Προσομοίωση εισόδου παραγγελίας και διαχωρισμού σε πάνελ.....	26

3.2 Προσομοίωση ελέγχου πάνελ για ελλαττωματικά στοιχεία	28
3.3 Προσομοίωση επισκευής ελλαττωματικών προϊόντων.	30
3.4 Προσομοίωση ομαδοποίησης παραγγελιών σε κιβώτια και αποστολής.....	31
3.5 Γενική απεικόνιση της επιχείρησης.....	34
3.6 Πρώτα αποτελέσματα και συμπεράσματα.....	35
Κεφάλαιο 4 – Βελτιωτικά Σενάρια και Αποτελέσματα	38
4.1 Σενάριο Βελτιστοποίησης Αλλαγής Εργαλείων Ελέγχου και Επισκευής.....	38
4.2 Σενάριο Βελτιστοποίησης Κατανομής Εργασιών στις Γραμμές Ελέγχου	40
4.3 Συνδυασμός προηγούμενων σεναρίων με σκοπό τη βελτιστοποίηση των δεικτών του τρέχοντος μοντέλου.	43
4.4 Παρεμβάσεις στη δομή με επιπλέον κόστος.....	45
Κεφάλαιο 5 – Αποτελέσματα/Συμπεράσματα και Προτάσεις επέκτασης.....	48
5.1 Στόχοι που τέθηκαν και Απαντήσεις σε αυτούς	48
5.1.1 Σχεδιάγραμμα Επιχείρησης και Εναλλακτικά, Βελτιωτικά Σενάρια.....	48
5.1.2 Κατανομή καρτών σε κιβώτια.	49
5.1.3 Βαθμός εξυπηρέτησης παραγγελιών και Μέσος Χρόνος εξυπηρέτησης.....	50
5.1.4 Χρόνος απασχόλησης εργαζομένων.....	52
5.2 Προτάσεις Επέκτασης της Διπλωματικής Εργασίας.....	53
Κατάλογος Σχημάτων	54
Κεφάλαιο 1	54
Κεφάλαιο 2	54
Κεφάλαιο 3	54
Κεφάλαιο 4	54
Κατάλογος Πινάκων	55
Κεφάλαιο 3	55
Κεφάλαιο 4	55
Κεφάλαιο 5	55
Βιβλιογραφία.....	56

Κεφάλαιο 1 - Εισαγωγή στην προσομοίωση

Κάνοντας μία σύντομη ιστορική αναδρομή για την προσομοίωση σαν εργαλείο ανάλυσης και πειραματισμού, καταλήγουμε στο ότι πρόκειται για μία νέα μέθοδο της οποίας η ευρεία χρήση ξεκίνησε στις αρχές του 20ού αιώνα, στη μηχανική και γενικότερα στις φυσικές επιστήμες. Η μοντελοποίηση και η προσομοίωση εμφανίστηκαν στον Β΄ Παγκόσμιο Πόλεμο ως μία αριθμητική τεχνική για τη λύση προβλημάτων διάχυσης νετρονίων, από τους John Von Neuman και Stanislaw Ulam στα εργαστήρια του Los Alamos. Ο όρος προσομοίωση εμφανίστηκε για πρώτη φορά σε βιογραφικά πανεπιστημίων, βιβλία και περιοδικά τη δεκαετία του 1960. [1],[2],[3]

1.1 Ορισμός της προσομοίωσης.

Η μέθοδος της προσομοίωσης (simulation), καθώς πρόκειται για μία νέα μέθοδο, δημιουργήθηκε και αναπτύχθηκε με την εμφάνιση και τη χρήση των προσωπικών ηλεκτρονικών υπολογιστών. Ουσιαστικά, πρόκειται για τη μίμηση της λειτουργίας μιας πραγματικής διαδικασίας ή ενός συστήματος σε συνάρτηση με το χρόνο, με τη χρήση ηλεκτρονικού υπολογιστή (υπολογιστική προσομοίωση). [4] Η μίμηση αυτή ή αλλιώς η αναπαράσταση της διαδικασίας ή του συστήματος αποσκοπούν στην δημιουργία ενός προτύπου στο οποίο γίνονται χειρισμοί δαπανηροί, μη πρακτικοί, ακόμα και αδύνατοι για το πραγματικό σύστημα. [4]-[7]

Διαδικασία ή σύστημα ονομάζεται ένα σύνολο στοιχείων τα οποία καθώς εξελίσσονται και αλληλεπιδρούν ακολουθούν κάποιους κανόνες. [5] Από τους κανόνες αυτούς, οι οποίοι εκφράζονται με μαθηματικές ή λογικές σχέσεις, εξαρτάται η πολυπλοκότητα και στη συνέχεια ο τρόπος επίλυσης του προβλήματος. Αν οι λειτουργικές καταστάσεις για τις οποίες καλούμαστε να πάρουμε απόφαση είναι απλές, επιλύουμε το πρόβλημα αναλυτικά. Σε πιο πολύπλοκα μοντέλα, όπου η αναλυτική λύση είναι αδύνατη καλούμαστε να χρησιμοποιήσουμε αριθμητικές τεχνικές και προσομοίωση. [4]-[7]

Συνδυάζοντας τις υποθέσεις και τις παραδοχές σχετικά με τη λειτουργία ενός συστήματος, δημιουργούμε ένα προσομοιωτικό μοντέλο. Αφού επιβεβαιωθεί η εγκυρότητά του, μπορούμε να το χρησιμοποιήσουμε για την επίλυση πλήθους προβλημάτων, κάποια από τα οποία είναι:

- Ενδεχόμενες αλλαγές στο σύστημα, με στόχο να προσδιοριστούν οι επιδράσεις τους στην απόδοση του συστήματος.
- Μελέτη πολύπλοκων συστημάτων, όπου οι αναλυτικές λύσεις δεν επαρκούν.
- Μελέτη ενός συστήματος που βρίσκεται ακόμα στο στάδιο του σχεδιασμού και σύγκριση εναλλακτικών σχεδίων.
- Επαλήθευση αναλυτικών λύσεων σε περίπτωση απλού συστήματος.

Επομένως, με την προσομοίωση μπορούμε να αξιολογήσουμε την απόδοση ενδεχόμενων αλλαγών αλλά και την αποτελεσματικότητα ή την απόδοση ενός συστήματος πριν ακόμα κατασκευαστεί, ώστε να διασφαλίσουμε το βέλτιστο δυνατό σχεδιασμό του. Πρωταρχικός, λοιπόν, στόχος και σκοπός της προσομοίωσης είναι η γνώση της επίδρασης που επιφέρουν τυχόν αλλαγές στη ροή του μοντέλου και η μελέτη εναλλακτικών σεναρίων.[4]-[10]

1.2 Πλεονεκτήματα και μειονεκτήματα της προσομοίωσης.

Σύμφωνα με τον ορισμό της, η προσομοίωση πρόκειται για μία μίμηση ενός συστήματος ή μίας διαδικασίας. Η μίμηση αυτή, καθώς είναι πιο φιλική στο χρήστη από ένα σύνθετο μαθηματικό μοντέλο, καθιστά την προσομοίωση μία ευρέως χρησιμοποιούμενη και συνεχώς πιο δημοφιλή μέθοδο. Η προσομοίωση παρουσιάζει πολλά πλεονεκτήματα αλλά και κάποια μειονεκτήματα. [5],[7],[10]

1.2.1 Πλεονεκτήματα της προσομοίωσης.

Συγκριτικά με άλλες τεχνικές τα βασικά **πλεονεκτήματα** της προσομοίωσης είναι τα εξής: [5],[7],[10]

- Η προσομοίωση συχνά αποτελεί τη μόνη διαθέσιμη μέθοδο μελέτης, αφού πολλά συστήματα είναι τόσο σύνθετα που δεν μπορούν να περιγραφούν επαρκώς από κάποιο μαθηματικό μοντέλο και να λυθούν αναλυτικά.
- Είναι εύκολη στην κατανόηση από τον χρήστη, επειδή αναπαριστά το πρόβλημα που θέλουμε να μελετήσουμε.
- Εφόσον η προσομοίωση αποτελεί τη μίμηση του πραγματικού προβλήματος, τυχών αλλαγές ή νέες λειτουργίες μπορούν να διερευνηθούν χωρίς να σταματήσει η λειτουργία του πραγματικού συστήματος, με αποτέλεσμα να μην υπάρχουν οικονομικές επιπτώσεις.

- Μπορούν να συγκριθούν εναλλακτικές πολιτικές λειτουργίας ή σχεδιασμού έτσι ώστε να προσδιοριστεί η βέλτιστη λύση σύμφωνα με τις προδιαγραφές που έχουν οριστεί.
- Είναι πιο ασφαλής, αφού μπορούν να μελετηθούν επικίνδυνες καταστάσεις χωρίς να δοκιμαστούν στην πράξη και να βάλουν σε κίνδυνο ανθρώπους (π.χ. προσομοιωτές πτήσεις αεροσκαφών).
- Μπορεί να βοηθήσει στην κατανόηση του πως ένα σύστημα λειτουργεί πραγματικά, σε αντίθεση με την αντίληψη ξεχωριστών ατόμων.
- Η διαδικασία μπορεί να επαναληφθεί πολλές φορές απaráλλακτη, κάτι το οποίο είναι σχεδόν αδύνατο στο πραγματικό πρόβλημα.
- Είναι μία οικονομική μέθοδος, αφού μπορεί να χρησιμοποιηθεί ακόμα και σε απλούς ηλεκτρονικούς υπολογιστές με χρήση γλωσσών προγραμματισμού γενικού σκοπού (π.χ. C, Pascal κ.α.).
- Δεν χρειάζεται εξειδικευμένη επιστημονική κατάρτιση των μηχανικών που θέλουν να φτιάξουν μία προσομοίωση, παρά μόνο να μπορούν να κατανοούν βασικές έννοιες της στατιστικής και να μπορούν να εφαρμόζουν έτοιμα μαθηματικά εργαλεία.

1.2.2 Μειονεκτήματα της προσομοίωσης.

Παρά τα πλεονεκτήματα της μεθόδου, δεν παύουν να υπάρχουν και κάποια **μειονεκτήματα**, ενδεικτικά αναφέρουμε τα εξής: [5],[7],[10]

- Επειδή τα δεδομένα εξόδου και εισόδου της προσομοίωσης είναι τυχαίες μεταβλητές είναι δύσκολο να καθοριστεί αν η παρατήρηση αποτελεί προϊόν τυχαιότητας, κάτι που μπορεί να οδηγήσει σε εντελώς λανθασμένα συμπεράσματα.
- Η κατασκευή των προσομοιωτικών μοντέλων απαιτεί εμπειρία.
- Η κατασκευή του μοντέλου αλλά και η ανάλυση των αποτελεσμάτων απαιτούν χρόνο αλλά και κόστος.
- Η προσομοίωση μπορεί να χρησιμοποιηθεί εσφαλμένα αντί της αναλυτικής λύσης.
- Πολλές φορές ο χρήστης παρασύρεται και δείχνει μεγαλύτερη εμπιστοσύνη από όσο πρέπει στα αποτελέσματα της προσομοίωσης. Αυτό σημαίνει ότι αν το μοντέλο δεν είναι μία απόλυτα ακριβής αναπαράσταση του πραγματικού συστήματος, πολλά από τα αποτελέσματα μπορούν να οδηγήσουν σε εντελώς εσφαλμένα συμπεράσματα.

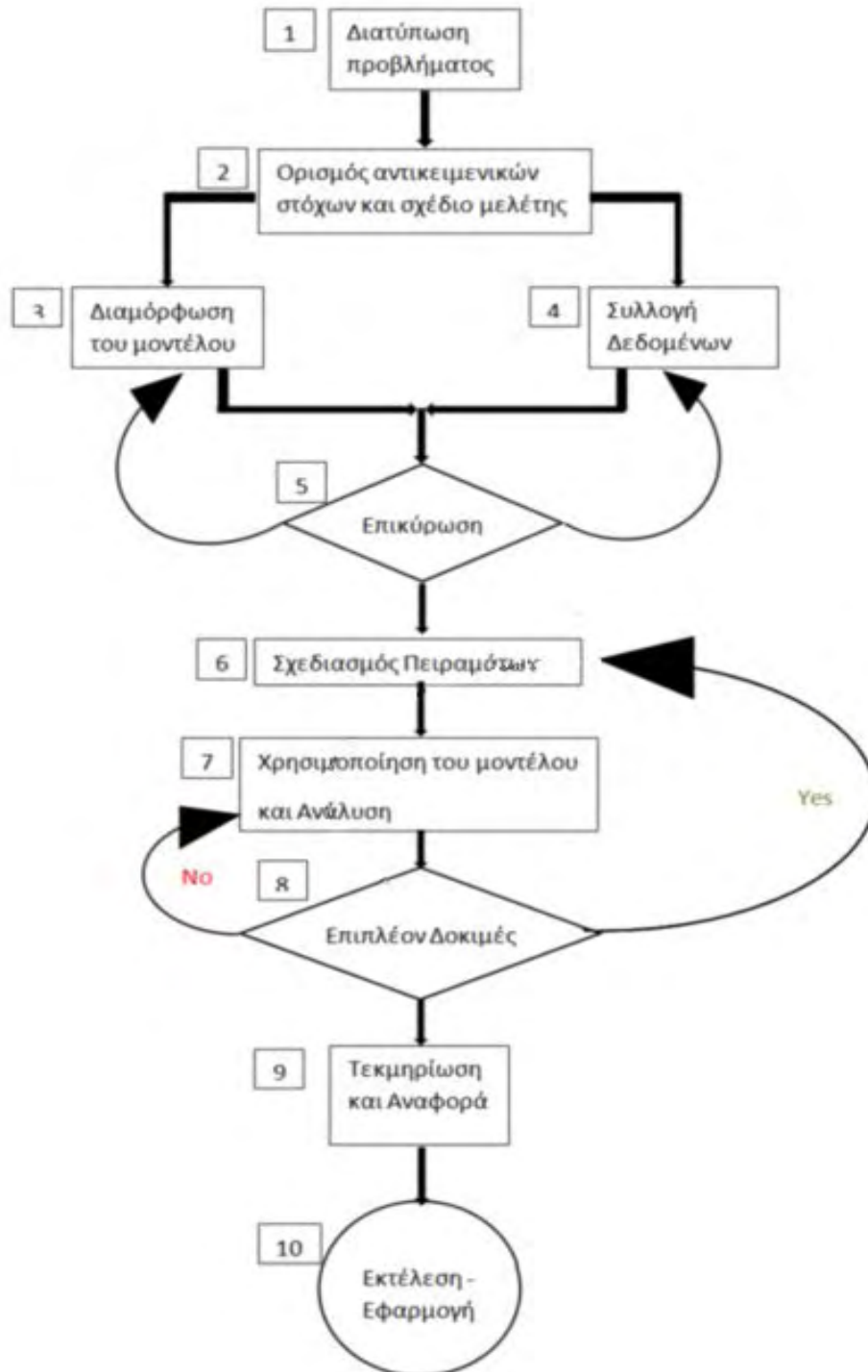
Όσον αφορά βέβαια το κόστος που απαιτεί η προσομοίωση, η επένδυση αυτή είναι σχετικά μικρή αν υπολογίσει κανείς το μέγεθος του κεφαλαίου που θα μπορούσε να

χαθεί από την υλοποίηση μίας λανθασμένης απόφασης. Ο χρόνος που χρειάζεται η προσομοίωση αξίζει επίσης να δαπανηθεί, αφού μπορούν να αποφευχθούν αποφάσεις που θα ήταν πιο χρονοβόρες για τη λειτουργία μια επιχείρησης.

Παρά τα μειονεκτήματα της μεθόδου, τα πλεονεκτήματα και τα οφέλη που προσδίδει η προσομοίωση σε μία εταιρεία εμφανώς υπερέχουν. Παρ' όλα αυτά μπορούμε να βελτιώσουμε ακόμα περισσότερο τη μέθοδο, εντοπίζοντας τις αιτίες εξ αιτίας των οποίων ορισμένες προσομοιώσεις δεν καταλήγουν στο επιθυμητό αποτέλεσμα. Κάποια από τα προβλήματα που μπορούν να εμφανιστούν στην πορεία της προσομοίωσης είναι τα εξής: [4]-[10]

- Το να μην είναι σαφώς ορισμένοι οι στόχοι κατά την έναρξη της μελέτης.
- Έλλειψη βασικών γνώσεων στατιστικής για την εξαγωγή των αποτελεσμάτων της προσομοίωσης.
- Χρήση έτοιμων προσομοιωτικών πακέτων που περιέχουν τυχών λάθη ή δεν μπορούν να αναπαραστήσουν επαρκώς τη λειτουργία της επιχείρησης.
- Χρήση αυθαίρετων κατανομών που δεν αντιπροσωπεύουν τα πραγματικά δεδομένα εισόδου.
- Χρήση λανθασμένων μέτρων απόδοσης.

1.3 Τυπική Μορφή Προσομοιωτικού Μοντέλου.



Σχήμα 1.1: Βασικά Βήματα Προσομοιωτικής μελέτης.

Στο προηγούμενο σχήμα (Σχήμα 1.1) [5] παρουσιάστηκαν τα βήματα που ακολουθεί μία τυπική μελέτη ενός συστήματος με τη χρήση προσομοίωσης. Αναλυτικότερα τα βήματα αυτά παρουσιάζονται παρακάτω:

1. Διατύπωση προβλήματος.

Το πρώτο στάδιο είναι η κατανόηση και η διατύπωση του προβλήματος το οποίο αποτελεί αν όχι το πιο σημαντικό, ένα από τα κυριότερα βήματα για την προσομοίωση του προβλήματος. Στο στάδιο αυτό ο αναλυτής πρέπει να βεβαιωθεί ότι το πρόβλημα που έφτιαξε η ομάδα σχεδιασμού είναι πλήρως κατανοητό ή και το αντίστροφο στην περίπτωση που το πρόβλημα έχει διατυπωθεί από τον αναλυτή. [5]-[7],[10]

2. Ορισμός αντικειμενικών στόχων και γενικό σχέδιο μελέτης.

Εδώ πρέπει να καθοριστούν τα ζητούμενα, καθώς και οι στόχοι της μελέτης. Μετά αποφασίζεται εάν η προσομοίωση είναι η βέλτιστη μέθοδος ανάλυσης του προβλήματος. Τέλος, αφού καταγραφούν οι απαιτήσεις (αριθμός ανθρώπων που χρειάζονται, χρόνος υλοποίησης) προσδιορίζεται και το λογισμικό που θα χρησιμοποιηθεί για την ανάπτυξη και στην συνέχεια επίλυση του προβλήματος. [5]-[7],[10]

3. Διαμόρφωση του μοντέλου (προτύπου).

Η κατασκευή του μοντέλου δεν αποτελεί μία εύκολη διαδικασία, ο σχεδιαστής πρέπει να κατέχει πολύ καλά αυτή την επιστήμη. Αρχικά πρέπει να προσδιοριστούν τα βασικά χαρακτηριστικά του προβλήματος που θα μελετηθεί. Στη συνέχεια πρέπει να εντοπιστούν και να μεταβληθούν οι βασικές υποθέσεις που χαρακτηρίζουν το σύστημα. Τέλος, απαραίτητος είναι ο εμπλουτισμός του προβλήματος με επιπλέον παραμέτρους μέχρι να πετύχουμε χρήσιμα αποτελέσματα.

Συμπεραίνουμε λοιπόν ότι ξεκινώντας από ένα απλό μοντέλο και κάνοντας τις απαραίτητες αλλαγές οδηγούμαστε στο επιθυμητό μοντέλο χωρίς να είναι απαραίτητη η πλήρης αντιστοιχία μεταξύ τους. Σημαντικό είναι να μην παρασυρθεί ο κατασκευαστής και η πολυπλοκότητα του μοντέλου ξεπεράσει τη ζητούμενη. Αν συμβεί αυτό δαπανάται άσκοπα υπολογιστική ισχύς. [5]-[7],[10]

4. Συλλογή Δεδομένων.

Η συλλογή δεδομένων είναι μία διαδικασία που απαιτεί μεγάλο μέρος του χρόνου, γι' αυτό το λόγο είναι απαραίτητο να ξεκινά όσο νωρίτερα γίνεται, από τα πρώτα στάδια της δημιουργίας του προσομοιωτικού μοντέλου. Η συλλογή δεδομένων με την κατασκευή του μοντέλου είναι δύο διαδικασίες άμεσα εξαρτώμενες αφού κατά τη διαμόρφωση του μοντέλου η πολυπλοκότητα αυξάνεται με αποτέλεσμα την ανάγκη για περισσότερα δεδομένα. Αυτό παρατηρείται και στο Σχήμα 1.1 όπου η διαμόρφωση του μοντέλου και η διαμόρφωση δεδομένων εκτελούνται παράλληλα.

Οι πληροφορίες που πρέπει να συλλέξει ο αναλυτής αφορούν τη δομή και τα λειτουργικά χαρακτηριστικά του συστήματος. Απαραίτητος είναι ο προσδιορισμός των βασικών παραμέτρων του προβλήματος καθώς και των κατάλληλων κατανομών δεδομένων εισόδου. [5]-[7],[10]

5. Επικύρωση (validation).

Σε αυτό το στάδιο επικυρώνεται αν το προσομοιωτικό μοντέλο που δημιουργήσαμε είναι μία ακριβής αναπαράσταση του πραγματικού συστήματος. Για ένα ήδη υπάρχον σύστημα, η επικύρωση επιτυγχάνεται συγκρίνοντας τους δείκτες αποδοτικότητας του μοντέλου με αυτούς του συστήματος. Ο δημιουργός του μοντέλου πρέπει να δείξει ιδιαίτερη προσοχή στην ανάλυση ευαισθησίας ώστε να καθοριστούν πλήρως οι δείκτες που επηρεάζουν σημαντικά το πρόβλημα. Η διαδικασία επαναλαμβάνεται μέχρι η ακρίβεια του μοντέλου να θεωρηθεί επαρκής. [5]-[7],[10]

6. Σχεδιασμός πειραμάτων.

Αφορά τον καθορισμό των εναλλακτικών συστημάτων που πρόκειται να προσομοιωθούν. Για τη μελέτη της προσομοίωσης πρέπει να προσδιοριστούν και να ληφθούν αποφάσεις για τη συνολική χρονική διάρκεια της προσομοίωσης, τη χρονική διάρκεια της προετοιμασίας και τον αριθμό των ανεξάρτητων επαναλήψεων. [5]-[7],[10]

7. Χρησιμοποίηση του μοντέλου και Ανάλυση.

Το τρέξιμο του μοντέλου και η ανάλυση γίνονται για τον υπολογισμό των μέτρων απόδοσης του συστήματος που σχεδιάζεται. [5]-[7],[10]

8. Επιπλέον δοκιμές.

Πρόκειται πάλι για μία επαναληπτική διαδικασία όπου ο αναλυτής αποφασίζει, σύμφωνα με τα μέτρα απόδοσης που προέκυψαν στο

προηγούμενο βήμα, αν θα χρειαστούν επιπλέον τρεξίματα (δοκιμές) και τι χαρακτηριστικά θα έχουν. [5]-[7],[10]

9. Τεκμηρίωση και Αναφορά

Τα εξαγόμενα της τελευταίας φάσης της μελέτης είναι το έγγραφο παραδοχών του συστήματος με το πρόγραμμα και τα αποτελέσματα της μελέτης. Η τεκμηρίωσή τους είναι πολύ σημαντική, αφού εξασφαλίζει την επαναληπτικότητα της μελέτης από τον χρήστη που δημιουργήσε το μοντέλο αλλά και από έναν άλλο χρήστη. Σε περίπτωση που η τεκμηρίωση δεν είναι άρτια, η αξιοπιστία του μοντέλου μπορεί να αμφισβητηθεί και τα αποτελέσματα δεν μπορούν να χρησιμοποιηθούν στη λήψη αποφάσεων. [5]-[7],[10]

10. Εκτέλεση-Εφαρμογή.

Η ολοκλήρωση της φάσης εφαρμογής, εξαρτάται από την επιτυχία ολοκλήρωσης των προηγούμενων βημάτων. Εξαρτάται επίσης από το βαθμό που επενέβη ο τελικός χρήστης. Όσο περισσότερο εμπλέκεται κατά τη διάρκεια δημιουργίας του μοντέλου τόσο περισσότερο κατανοεί τη φύση του μοντέλου καθώς και τα αποτελέσματα και τόσο περισσότερες είναι οι πιθανότητες για μία σωστή εφαρμογή. Φυσικά ισχύει και το αντίστροφο, αν ο τελικός χρήστης δεν έχει κατανοήσει το μοντέλο και τις βασικές παραδοχές τότε είναι πιθανή η αδυναμία της προσομοίωσης παρά την πιθανή εγκυρότητα του μοντέλου. [5]-[7], [10]

1.4 Βασικές έννοιες στην Προσομοίωση

1.4.1 Συστατικά ενός προσομοιωτικού μοντέλου

Υπάρχουν διάφορα τμήματα που συναντάμε κατά τη δημιουργία ενός μοντέλου. Άλλα προστίθενται από εμάς και άλλα δημιουργούνται από μόνα τους, αλλά είναι όλα το ίδιο απαραίτητα για τη σωστή λειτουργία του συστήματος και την αξιοπιστία των αποτελεσμάτων. [5],[8],[9],[11]

- **Οντότητες (entities):** Αποτελούν τα κύρια στοιχεία της προσομοίωσης. Εισέρχονται στο σύστημα, μετακινούνται και επηρεάζονται από τις

καταστάσεις του συστήματος για κάποιο χρονικό διάστημα και στη συνέχεια το εγκαταλείπουν και συνήθως καταστρέφονται.

- **Ιδιότητες (attributes):** Οι ιδιότητες αποτελούν χαρακτηριστικά των οντοτήτων και διαφέρουν η μία από την άλλη. Η ιδιότητα μπορεί να χαρακτηριστεί ως μία ετικέτα που χαρακτηρίζει την εκάστοτε οντότητα.
- **Μεταβλητές (global variables):** Ολικές μεταβλητές είναι πληροφορίες του συστήματος, πληροφορίες που είναι ανεξάρτητες από τον αριθμό και τα είδη των οντοτήτων που υπάρχουν στο σύστημα.
- **Μέσα εξυπηρέτησης (resources):** Μπορεί να είναι είτε μηχανές είτε εργαζόμενοι είτε κάτι άλλο. Τα μέσα εξυπηρέτησης δεσμεύονται από τις οντότητες μέχρι οι τελευταίες να καλύψουν τις ανάγκες τους. Είναι πιθανό μια οντότητα να δεσμεύει παράλληλα πάνω από ένα μέσο.
- **Ουρές:** Όταν μια οντότητα αδυνατεί να εξυπηρετηθεί, συνήθως λόγω του ότι κάποιο μέσο είναι κατειλημμένο, τότε αναγκαστικά περιμένει σε κάποια ουρά αναμονής.
- **Ρολόι προσομοίωσης:** Η τιμή του χρόνου ενός προσομοιωτικού μοντέλου καταγράφεται σε μια μεταβλητή που καλείται ρολόι προσομοίωσης.

1.4.2 Στόχοι της Προσομοίωσης

Το κύριο μέλημα ενός προσομοιωτικού μοντέλου καθορίζεται από τα μέτρα απόδοσης που θα επιλεγούν για να καταγραφούν στην έξοδο του συστήματος μετά το πέρας της προσομοίωσης. Ενδεικτικά, παρακάτω, αναφέρονται κάποια μέτρα απόδοσης τα οποία το λογισμικό μπορεί να τα υπολογίζει από μόνο του χωρίς να απαιτούνται περαιτέρω ενέργειες από το χρήστη.

- **Ολική παραγωγή:** Ο αριθμός οντοτήτων που εξυπηρετήθηκαν και αποχώρησαν από το σύστημα
- **Μέσος και Μέγιστος Χρόνος Παραμονής στο Σύστημα:** Ονομάζεται συχνά 'Cycle Time' και αφορά το χρονικό διάστημα που απαιτεί μια οντότητα από τη στιγμή που θα εισέλθει στο σύστημα μέχρι τη στιγμή που θα εξέλθει από αυτό.
- **Βαθμός απασχόλησης:** Συναντάται συχνά με τον όρο 'Utilization' και αναπαριστά το ποσοστό του χρόνου που η μηχανή ή ο εξυπηρετητής ήταν απασχολημένος.
- **Μέσος και Μέγιστος Χρόνος Αναμονής σε Ουρά:** Αφορά το χρονικό διάστημα που το προϊόν αναμένει σε ουρά χωρίς να υπολογίζει τον χρόνο που απαιτείται για την εξυπηρέτησή του στη μηχανή. [4]-[11]

1.5 Η Προσομοίωση στο μέλλον

Η προσομοίωση, όπως αναφέρθηκε και στην αρχή του κεφαλαίου, είναι μία νέα επιστήμη που συνεχώς εξελίσσεται. Η χρήση της λοιπόν θα συνεχίσει να αυξάνεται με όλο και πιο γρήγορους ρυθμούς στο άμεσο μέλλον. Οι παράγοντες που συμβάλουν στη συνεχή ανάπτυξη της μεθόδου είναι οι εξής :

1. Ο βαθμός πολυπλοκότητας των νέων συστημάτων καθιστά απαγορευτική τη χρήση μαθηματικών μοντέλων, ακόμα και των πιο σύνθετων, για την επίλυση προβλημάτων. Αυτό καθιστά αναγκαία τη χρήση της προσομοίωσης αλλά και τη συνεχή εξέλιξή της ώστε να μπορέσουν να καλυφθούν πλήρως οι ανάγκες των επιχειρήσεων.
2. Οι υψηλές αποδόσεις των ηλεκτρονικών υπολογιστών δίνουν τη δυνατότητα με σχετικά μικρό κόστος ακόμα και στις μικρότερες επιχειρήσεις να χρησιμοποιούν αυτόματα ένα προσομοιωτικό μοντέλο. Το ίδιο βέβαια ισχύει και σε πολύ μεγάλες επιχειρήσεις με αυξημένες ανάγκες, όπου οι υψηλές αποδόσεις των Η/Υ σε μνήμη και ταχύτητα επιτρέπουν την αποτελεσματική χρήση της προσομοίωσης.
3. Για να χρησιμοποιηθεί ένα λογισμικό προσομοίωσης αρκεί η καλή γνώση χειρισμού ενός Η/Υ κάτι που στις μέρες μας είναι απαραίτητο και σχεδόν δεδομένο. Τα στελέχη της επιχείρησης έχοντας τη γνώση Η/Υ και χρησιμοποιώντας εργαλεία προσομοίωσης που είναι διαθέσιμα, μπορούν να χρησιμοποιήσουν την προσομοίωση για τη λήψη αποφάσεων χωρίς να βασίζονται μόνο στο υποκειμενικό κριτήριο.
4. Σημαντικό είναι το ότι δεν χρειάζεται κάποιος να έχει επιστημονική κατάρτιση για να χρησιμοποιήσει ένα προσομοιωτικό μοντέλο. Πλέον τα μοντέλα αυτά, με τη χρήση γραφικών και γενικότερα μοντέρνων εργαλείων, είναι πολύ φιλικά προς το χρήστη επιτρέποντας την εύκολη αλληλεπίδραση λόγω της αρκετά ρεαλιστικής μίμησης του πραγματικού μοντέλου.
5. Η επιστήμη της προσομοίωσης έχει πάρει μία σημαντική θέση στα μεταπτυχιακά αλλά και προπτυχιακά προγράμματα των πανεπιστημίων. Πλέον, δεν είναι απαραίτητο να σπουδάζει κάποιος προγραμματιστής για να μάθει να χρησιμοποιεί ή ακόμα και να σχεδιάζει μοντέλα προσομοίωσης. Οι βασικές αρχές της προσομοίωσης διδάσκονται στις Πολυτεχνικές σχολές αλλά και σε

τμήματα διοίκησης επιχειρήσεων. Αυτή η πρώτη επαφή με το αντικείμενο και η αφομοίωση της μεθόδου έχει ως αποτέλεσμα την ευκολία στη χρήση και την κατανόηση προσομοιωτικών μοντέλων.

Συμπερασματικά, οι προγραμματιστές θα πρέπει να επιστήσουν την προσοχή τους σε σχεδιασμό λογισμικού όσο το δυνατόν πιο φιλικό για το χρήστη. Συγκεκριμένα σημαντική είναι η δημιουργία λογισμικών ειδικά κατασκευασμένα για τον άπειρο χρήστη. Πρωταρχικός στόχος είναι το λογισμικό της προσομοίωσης να γίνει τόσο διαδεδομένο ώστε να βρίσκεται εγκατεστημένο σε κάθε υπολογιστή που χρησιμοποιείται για ανάλυση συστημάτων. Επιπλέον θα πρέπει να ενισχυθεί η συμβατότητα με άλλες εφαρμογές ευρείας χρήσης (π.χ. Microsoft Office).

Στόχοι για το άμεσο μέλλον είναι η προσομοίωση να αποτελεί οργανικό κομμάτι του πραγματικού συστήματος το οποίο θα είναι σε θέση να εξασφαλίζει την ορθή λειτουργία του. Τμήμα των μελλοντικών στόχων είναι να γίνεται αυτόματη στατιστική ανάλυση που θα προτείνει αλλαγές στο σύστημα, μέσω της προσομοίωσης φτιάχνοντας έτσι μία εικονική πραγματικότητα.
[1],[2],[6],[7],[13]-[15]

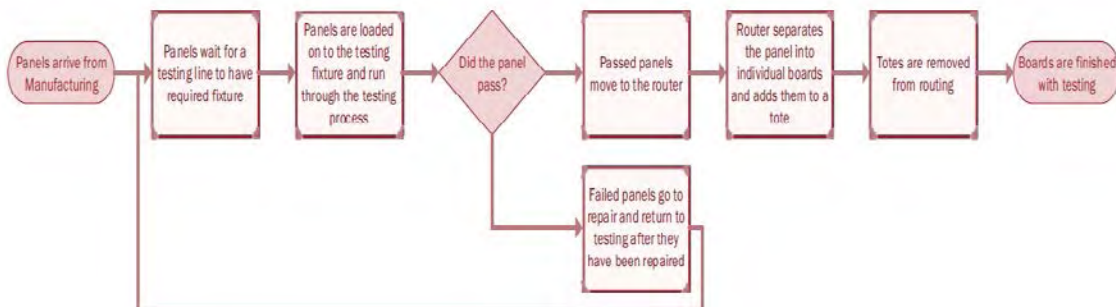
Κεφάλαιο 2 – Παρουσίαση του Επιχειρησιακού Προβλήματος και του προγράμματος Arena

Σε αυτό το κεφάλαιο θα δοθεί μια ακριβής εικόνα του τι θα παρουσιαστεί στις επόμενες σελίδες της διπλωματικής. Θα ασχοληθούμε με μια αναλυτική περιγραφή του προβλήματος που κληθήκαμε να αντιμετωπίσουμε, το οποίο αποτελεί και τμήμα ετήσιου διαγωνισμού που διοργανώνεται από την Rockwell Automation, ενώ στη συνέχεια θα αναφερθούμε στο πρόγραμμα που επιλέξαμε να χρησιμοποιήσουμε για την επίλυση καθώς και στις γενικές αρχές λειτουργίας του.

2.1 Παρουσίαση του Επιχειρησιακού Προβλήματος

2.1.1 Γενική εικόνα του προβλήματος

Η Randall Acme Incorporated (RA) είναι μια μικρή εταιρεία στις Η.Π.Α. που παράγει κάρτες κυκλωμάτων για μεταπώληση στους κατασκευαστές. Στο πλαίσιο της παραγωγικής διαδικασίας, πρέπει να τις ελέγξουν για να εξασφαλίσουν ότι λειτουργούν σωστά. Αυτές οι κάρτες είναι κρίσιμες για τη λειτουργία του εξοπλισμού στον οποίο θα εγκατασταθούν, έτσι η εταιρεία ελέγχει κάθε μεμονωμένη κάρτα πριν την προωθήσει στον πελάτη. Η εταιρεία σκέφτεται να επεκταθεί στην Ευρώπη και έχει ένα πλάνο δημιουργίας εργοστασίου με συγκεκριμένες προδιαγραφές. Οι μέτοχοι της μητρικής επιχείρησης ζήτησαν ένα μοντέλο προσομοίωσης της λειτουργίας της εταιρείας που θα δημιουργηθεί έτσι ώστε να αποφασίσουν κατά πόσο θα μπορούσε να λειτουργήσει η θυγατρική και εάν οι προτεινόμενες παρούσες συνθήκες είναι οι βέλτιστες. Θα εκτιμούσαν επίσης οποιεσδήποτε συστάσεις που θα βοηθούσαν στη βελτίωση της παραγωγικότητας και της συνολικής μείωσης του χρόνου στο σύστημα.



Σχήμα 2.1: Γενική απεικόνιση της προτεινόμενης δομής του συστήματος.

Μια γενική εικόνα της προτεινόμενης παρούσας δομής που θα ακολουθηθεί και για την θυγατρική επιχείρηση απεικονίζεται στο παραπάνω σχήμα.

Παραγγελίες για κάρτες καταφθάνουν καθ' όλη τη διάρκεια λειτουργίας για πέντε μέρες την εβδομάδα. Ενδεικτικό χρονοδιάγραμμα που προσεγγίζει τις ποσότητες των πάνελ και τον αναμενόμενο χρόνο άφιξης των παραγγελιών, και που αφορά την αναμενόμενη ζήτηση στην Ευρωπαϊκή αγορά, περιλαμβάνεται στο αρχείο 'excel' που παρέχεται από τους μετόχους. Αυτά τα δεδομένα χρονοδιαγράμματος λήφθηκαν τις τελευταίες εβδομάδες και είναι αντιπροσωπευτικό δείγμα των παραγγελιών που αναμένονται. Ωστόσο, μελλοντικά χρονοδιαγράμματα μπορεί να περιλαμβάνουν διαφορετικά είδη καρτών ή ποσότητες στις παραγγελίες. Η λειτουργία διαρκεί δέκα ώρες την ημέρα ενώ την έκτη μέρα της εβδομάδας θα τελειώνουν τα κομμάτια που επεξεργάζονται και θα σταματάει η λειτουργία των μηχανών.

Κάθε πάνελ θα περιέχει πάνω από μία κάρτα κυκλωμάτων. Κάθε κάρτα ελέγχεται ξεχωριστά μέχρι να έχουν ελεγχθεί όλες οι κάρτες στο πάνελ, ενώ εάν αποτύχει ένα από τα στοιχεία του πάνελ τότε, ολόκληρο θα σταλεί για επισκευή. Υπάρχουν πάνω από 100 διαφορετικοί τύποι πάνελ, αλλά υπάρχουν μόνο 22 διαφορετικά εργαλεία ελέγχου που χρησιμοποιούνται για τη δοκιμή των πάνελ. Ο πραγματικός χρόνος καθυστέρησης για τον έλεγχο εξαρτάται από τον τύπο του κάθε πάνελ. Διαφορετικοί τύποι πάνελ, που απαιτούν όμως το ίδιο εργαλείο ελέγχου, μπορούν να δοκιμαστούν ο ένας μετά τον άλλο χωρίς να απαιτείται χρονοκαθυστέρηση για την αλλαγή εργαλείου ελέγχου.

Αφού οι κάρτες περάσουν τον απαραίτητο έλεγχο, μεταφέρονται μέσω ενός μεταφορέα σε έναν αυτόματο συσκευαστή που χωρίζει τα πάνελ σε επιμέρους κάρτες. Μόλις οι κάρτες έχουν διαχωριστεί από το πάνελ, προστίθενται σε κουτιά. Τελικά τα κουτιά αφαιρούνται από το συσκευαστή και μετακινούνται έξω από την περιοχή δοκιμών.

2.1.2 Τμήμα Ελέγχου Καρτών

Υπάρχουν τρεις διαφορετικές γραμμές ελέγχου τις οποίες διαχειρίζονται δύο εργαζόμενοι. Οι δύο από αυτές είναι αναλογικές και πρέπει κάποιος εργαζόμενος να απασχολείται καθ' όλη τη διάρκεια λειτουργίας της ενώ η τρίτη είναι αυτόματη. Για τις αναλογικές γραμμές, ο εργαζόμενος πρέπει να εξετάζει κάθε πάνελ ξεχωριστά και να απασχολείται εκεί μέχρι να έχουν ελεγχθεί όλες οι επιμέρους κάρτες του πάνελ. Ο χρόνος ελέγχου βασίζεται στον αριθμό καρτών που περιέχει το κάθε πάνελ και

ακολουθεί ομοιόμορφη κατανομή με στοιχεία που παρέχονται από την εταιρεία. Οι εργαζόμενοι δεν μπορούν να σταματήσουν τον έλεγχο ενός πάνελ στη μέση ακόμα και αν πρέπει να επέμβουν στην λειτουργία κάποιας άλλης θέσης, όπως για παράδειγμα στην αυτόματη γραμμή.

Στην αυτόματη γραμμή ο εργαζόμενος μπορεί να εισάγει ένα πακέτο από πάνελ, διαδικασία της οποίας ο χρόνος που απαιτείται ακολουθεί τριγωνική κατανομή, και στη συνέχεια η μηχανή θα τα ελέγχει από μόνη της. Σε αυτή τη μηχανή δεν απαιτείται η απασχόληση εργαζομένων εκτός από τον χρόνο που απαιτείται για την φόρτωση των πάνελ, ο εργαζόμενος μπορεί να φορτώνει ανεξάρτητα από το αν δουλεύει η μηχανή στον έλεγχο ενός πάνελ. Ο χρόνος που απαιτείται για τον έλεγχο είναι απόλυτα όμοιος με τις δύο χειροκίνητες. Αν εξαντληθούν τα πάνελ που έχουν φορτωθεί στη μηχανή αυτή θα περιμένει σε κατάσταση αναμονής μέχρι να φορτωθούν εκ νέου πάνελ.

Για να πραγματοποιηθεί ο έλεγχος των πάνελ, είναι απαραίτητο να έχει εισαχθεί το σωστό εργαλείο ελέγχου στο μηχάνημα. Αν απαιτείται διαφορετικό εργαλείο από το ήδη υπάρχον τότε πρέπει κάποιος εργάτης να αλλάξει το εργαλείο, επειδή απαιτείται χρόνος για αυτές τις αλλαγές η εταιρεία θα ήθελε να τις μειώσει όσο γίνεται περισσότερο. Δεν δίνεται προτεραιότητα σε κάποιο συγκεκριμένο τύπο πάνελ οπότε γενικά ακολουθείται μια σειρά εξυπηρέτησης «First in – First out» εκτός και αν επιλέξουμε εμείς κάτι αντίθετο.

Αν κάποιο πάνελ αποτύχει στον έλεγχο τότε, αφού πρώτα ολοκληρωθεί και ο έλεγχος των υπολοίπων καρτών του πάνελ, μεταφέρεται στην γραμμή επισκευής. Αυτές οι συνθήκες αναφέρονται τόσο στις χειροκίνητες όσο και στην αυτόματη γραμμή ελέγχου. Τα πάνελ που αποτυγχάνουν στέλνονται απευθείας στη γραμμή επισκευής χωρίς να απαιτείται κάποια άλλη ενέργεια από τον εργάτη ελέγχου.

2.1.3 Τμήμα Ομαδοποίησης Παραγγελιών και Αποστολής

Αφού τα πάνελ περάσουν επιτυχώς τον έλεγχο θα μεταφερθούν στην ανάλογη γραμμή αποστολής όπου και θα διαχωριστούν στις επιμέρους κάρτες, κάθε γραμμή έχει το δικό της δρομολογητή. Τα πάνελ είναι σχετικά όμοια μεταξύ τους σε μέγεθος έτσι η χωρητικότητα του μεταφορέα εκφράζεται σε αριθμό πάνελ που μπορεί να μεταφέρει, τα οποία καταλαμβάνουν περίπου ένα μέτρο το κάθε ένα.

Αυτόματα θα αφαιρεθεί το πάνελ από τον μεταφορέα όταν φτάσει στον προορισμό του και θα κοπεί σε κάρτες. Αυτή η διαδικασία γίνεται σε κάθε πάνελ ξεχωριστά και, όμοια με αυτή του ελέγχου, εξαρτάται από τον τύπο της κάρτας με βάση στοιχεία που

δίνονται. Είναι επίσης γνωστό ότι ακολουθεί και αυτή ομοιόμορφη κατανομή, ενώ μπορεί να θεωρηθεί ότι δεν υπάρχουν απώλειες ή παρενέργειες αυτής της διαδικασίας στα πάνελ. Όταν το κόψιμο ολοκληρώνεται οι κάρτες συσκευάζονται σε κιβώτια, σε κάθε κιβώτιο δεν μπορεί να μπαίνουν πάνω από ενός είδους κάρτες ακόμα και αν δύο διαφορετικές κάρτες χρησιμοποιούν το ίδιο εργαλείο ελέγχου. Ο χρόνος φόρτωσης και αποστολής των κιβωτίων ακολουθεί τριγωνική κατανομή με τιμές που δίνονται.

Στο τέλος κάθε γραμμής υπάρχουν από πέντε θέσεις κιβωτίων στις οποίες υπάρχουν πάντα κιβώτια. Αν μια κάρτα είναι σε θέση να φορτωθεί και δεν υπάρχει κάποιο κιβώτιο που να περιέχει του ίδιου τύπου κάρτες τότε αυτή τοποθετείται σε κάποιο από τα κενά κιβώτια. Αν χρησιμοποιούνται και οι πέντε θέσεις κιβωτίων τότε πάλι η κάρτα θα κρατηθεί μέχρι να ανοίξει κάποια θέση.

Η χωρητικότητα του κάθε κιβωτίου εξαρτάται από τον τύπο της κάρτας που περιέχει, όταν γεμίσει το κιβώτιο τότε μπορεί να αποσυρθεί οποιαδήποτε χρονική στιγμή. Αν δεν έχει αποσυρθεί τότε δεν μπορούν επόμενες κάρτες που παράγονται να συσκευασθούν. Πάνελ που έχουν περάσει τον έλεγχο μπορούν να συνεχίζουν να έρχονται στο τμήμα συσκευασίας ακόμα και αν καθυστερεί σημαντικά η συσκευασία, κάτι που θα δημιουργεί πρόβλημα στον τομέα αυτό.

Όταν ένα κιβώτιο αποσυρθεί από τη συσκευασία τότε θα περιμένει σε άλλο σημείο, που δεν ενοχλεί την παραγωγή, την υπόλοιπη παραγγελία και μετά θα αποσταλεί. Αυτό το τμήμα δεν αφορά τον έλεγχο που απαιτείται στα πλαίσια του μοντέλου.

2.1.4 Τμήμα Επισκευής

Το τμήμα της επισκευής είναι πλήρως αυτοματοποιημένο. Όταν έρχεται ένα πάνελ θα επισκευαστεί και στη συνέχεια θα επιστραφεί στο τμήμα ελέγχου για επανέλεγχο. Ο χρόνος επισκευής δεν εξαρτάται από τον τύπο της κάρτας, ωστόσο εξαρτάται από τον αριθμό των ελαττωματικών στοιχείων του κάθε πάνελ. Επίσης για την επιδιόρθωση του κάθε πάνελ είναι απαραίτητη η χρήση του ίδιου εργαλείου με αυτό που χρησιμοποιείται για τον έλεγχο, η αλλαγή ωστόσο δεν χρειάζεται επιπλέον χρόνο μιας και είναι και αυτή αυτοματοποιημένη. Ένα μικρό τμήμα των καρτών δεν είναι επισκευάσιμο, αλλά για τα πλαίσια της προσομοίωσης μπορεί να παραληφθεί. Μετά την επισκευή, το πάνελ θα πρέπει να περάσει ξανά από ολόκληρη την γραμμή ελέγχου σαν να είναι ένα από τα πάνελ μιας καινούριας παραγγελίας, σαν δηλαδή να περνάει μια δεύτερη διαδικασία ελέγχου.

2.1.5 Εργασιακό Πρόγραμμα

Για το πλαίσιο της προσομοίωσης μπορούμε να υποθέσουμε ότι έχουμε μόνιμα δύο εργαζόμενους στη γραμμή παραγωγής. Οι αρμοδιότητες αυτών των εργαζομένων είναι η λειτουργία των δύο χειροκίνητων γραμμών ελέγχου, η επαναφόρτωση της αυτοματοποιημένης γραμμής ελέγχου καθώς και η αλλαγή των εργαλείων ελέγχου και για τις τρεις γραμμές.

2.1.6 Στόχοι της Προσομοίωσης

Υπάρχουν τέσσερις στόχοι που πρέπει να καθοριστούν από την προσομοίωση:

- Να δοθεί σχεδιάγραμμα της επιχείρησης και να αποφανθείτε για τη βιωσιμότητά της με βάση τα δεδομένα που σας δίνονται. Προτείνετε εναλλακτικά σενάρια για τη λειτουργία της επιχείρησης
- Να καθοριστεί τρόπος κατανομής των καρτών στα κιβώτια, τέτοιος ώστε να είναι όσο γίνεται πιο ισοκατανεμημένη σε αυτά μια παραγγελία.
- Να καθοριστεί η τιμή της ημερήσιας εξυπηρέτησης παραγγελιών τόσο στο αρχικό όσο και στα εναλλακτικά μοντέλα που προτείνετε καθώς επίσης και τον χρόνο εξυπηρέτησης κάθε παραγγελίας
- Πολιτική της εταιρείας είναι να μην εξαντλεί τους εργαζομένους της. Θα εκτιμηθεί αν καταφέρνατε αυτοί να μην είναι απασχολημένοι για περισσότερο από το 70% του χρόνου που βρίσκονται στην εργασία τους.

2.2 Παρουσίαση Προγράμματος Rockwell Arena

2.2.1 Γενικά στοιχεία του Rockwell Arena

Το Rockwell Arena είναι ένα λογισμικό προσομοίωσης. Ο χρήστης κατασκευάζει το μοντέλο που θα προσομοιώσει εισάγοντας ‘modules’ τα οποία αντιπροσωπεύουν διάφορες διαδικασίες. Τα ‘modules’ ενώνονται μεταξύ τους με συνδετικές γραμμές που ακολουθούν και την πορεία των οντοτήτων στο σύστημα.

Το Rockwell Arena είναι ένα πρόγραμμα συμβατό με την τεχνολογία της Microsoft και δίνει τη δυνατότητα παρέμβασης στον κώδικα του μοντέλου σε περίπτωση που κάτι τέτοιο απαιτηθεί. Χαρακτηριστικό του, και σημαντικός παράγοντας επιλογής του για τη χρήση σε τέτοιας φύσης διπλωματικές εργασίες, είναι η φιλικότητά του προς τον χρήστη ακόμα και αν αυτός είναι αρχάριος. Είναι επίσης άκρως ικανοποιητικό για κάποιον πιο απαιτητικό και έμπειρο χρήστη.

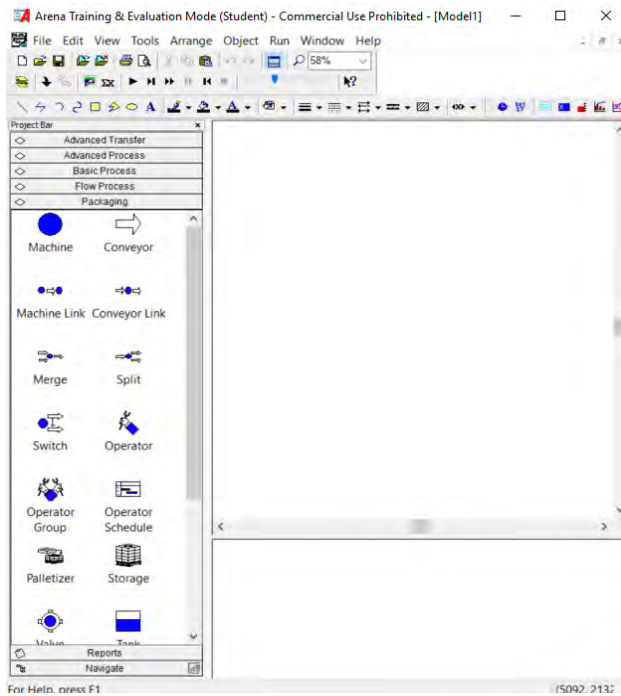
Όσον αφορά τις εκδόσεις του, αυτές ακολουθούν τις κατηγορίες που ισχύουν για όλα τα προγράμματα. Στη συγκεκριμένη διπλωματική χρησιμοποιήθηκε η ‘Student Edition’ που είναι δωρεάν έκδοση για χρήση από φοιτητές και στην οποία βέβαια υπάρχουν σημαντικοί περιορισμοί δυνατοτήτων ενώ διατίθενται για εμπορική χρήση η ‘Research Edition’, η ‘Basic Edition’ και η ‘Professional Edition’ με διαφορετικές τιμές και δυνατότητες η κάθε μία.

Οι χρήσεις του ποικίλουν με μερικά χαρακτηριστικά παραδείγματα να είναι:

- Στον τομέα της Υγείας
- Στον τομέα της Βιομηχανίας
- Σε Στρατιωτικές εφαρμογές
- Σε Εφοδιαστικές Αλυσίδες

2.2.2 Βασικό περιβάλλον και λειτουργίες

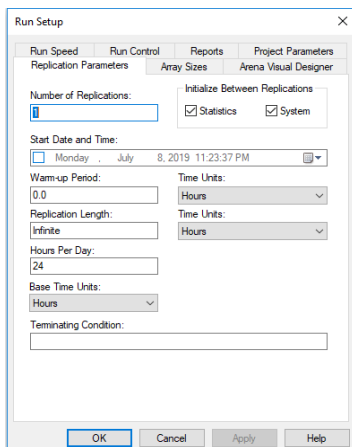
Με την εκκίνηση του λογισμικού εμφανίζεται το παράθυρο με το βασικό περιβάλλον το οποίο περιλαμβάνει και τις βασικές λειτουργίες. Στην εικόνα που ακολουθεί φαίνεται η αρχική οθόνη του προγράμματος.



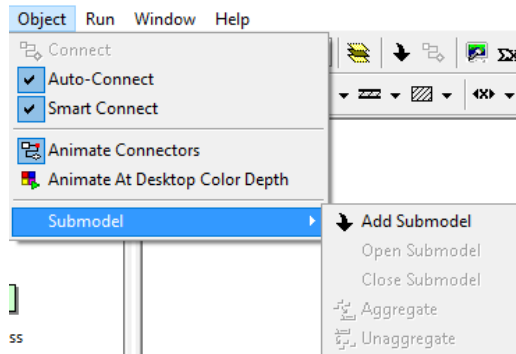
Σχήμα 2.2: Περιβάλλον εργασίας Rockwell Arena.

Σε αυτή την εμφανίζονται μεταξύ άλλων το Μενού 'File' που αφορά τη διαχείριση αρχείων, το Μενού 'Edit' που περιλαμβάνει λειτουργίες που σχετίζονται με την επεξεργασία και τη δημιουργία των μοντέλων, το Μενού 'Tools' που περιέχει λίστα με εργαλεία που μπορεί να συνδεθεί το Arena.

Βλέπουμε επίσης το Μενού 'Object', μια λειτουργία που δίνει τη δυνατότητα να συνδέσουμε 'modules' μεταξύ τους και το Μενού 'Run' από όπου γίνεται η εκκίνηση της προσομοίωσης καθώς επίσης δίνει και τη δυνατότητα ρύθμισης των επιλογών της μέσω της επιλογής 'Run Setup'. Στις παρακάτω εικόνες βλέπουμε ενδεικτικά το Μενού 'Object' και το 'Run Setup'.



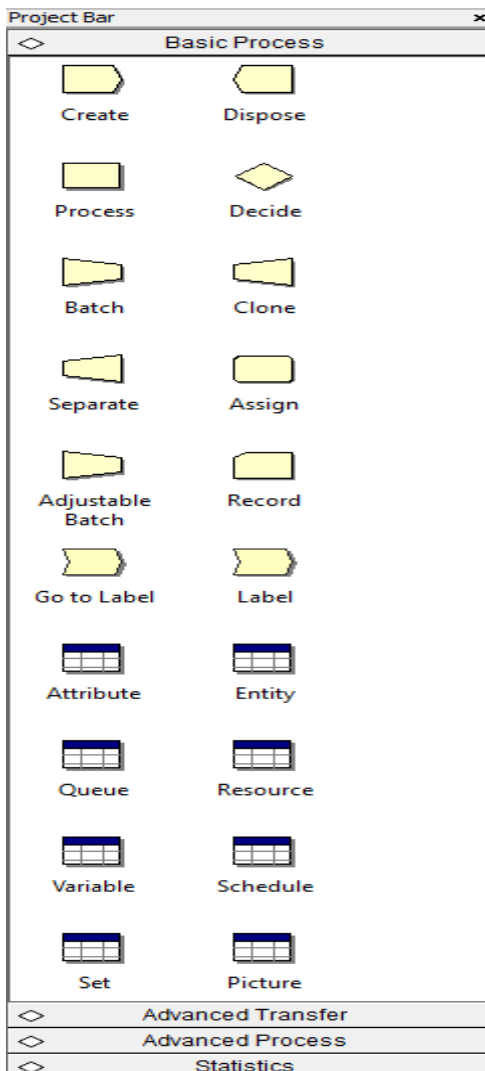
Σχήμα 2.4: Run Setup



Σχήμα 2.3: Μενού 'Object'

2.2.3 Μενού αντικειμένων

Ξεχωριστά από τα υπόλοιπα Μενού θα αναφερθούμε στο «Μενού Αντικειμένων». Η χρήση αυτού του μενού μπορεί να γενικευθεί στην εισαγωγή αντικειμένων για τη δημιουργία του μοντέλου της προσομοίωσης. Στο Arena βρίσκεται στο αριστερό μέρος του παραθύρου. Στο Σχήμα 2.5 φαίνονται οι βασικές κατηγορίες αντικειμένων που χρησιμοποιήθηκαν για αυτή τη διπλωματική εργασία.

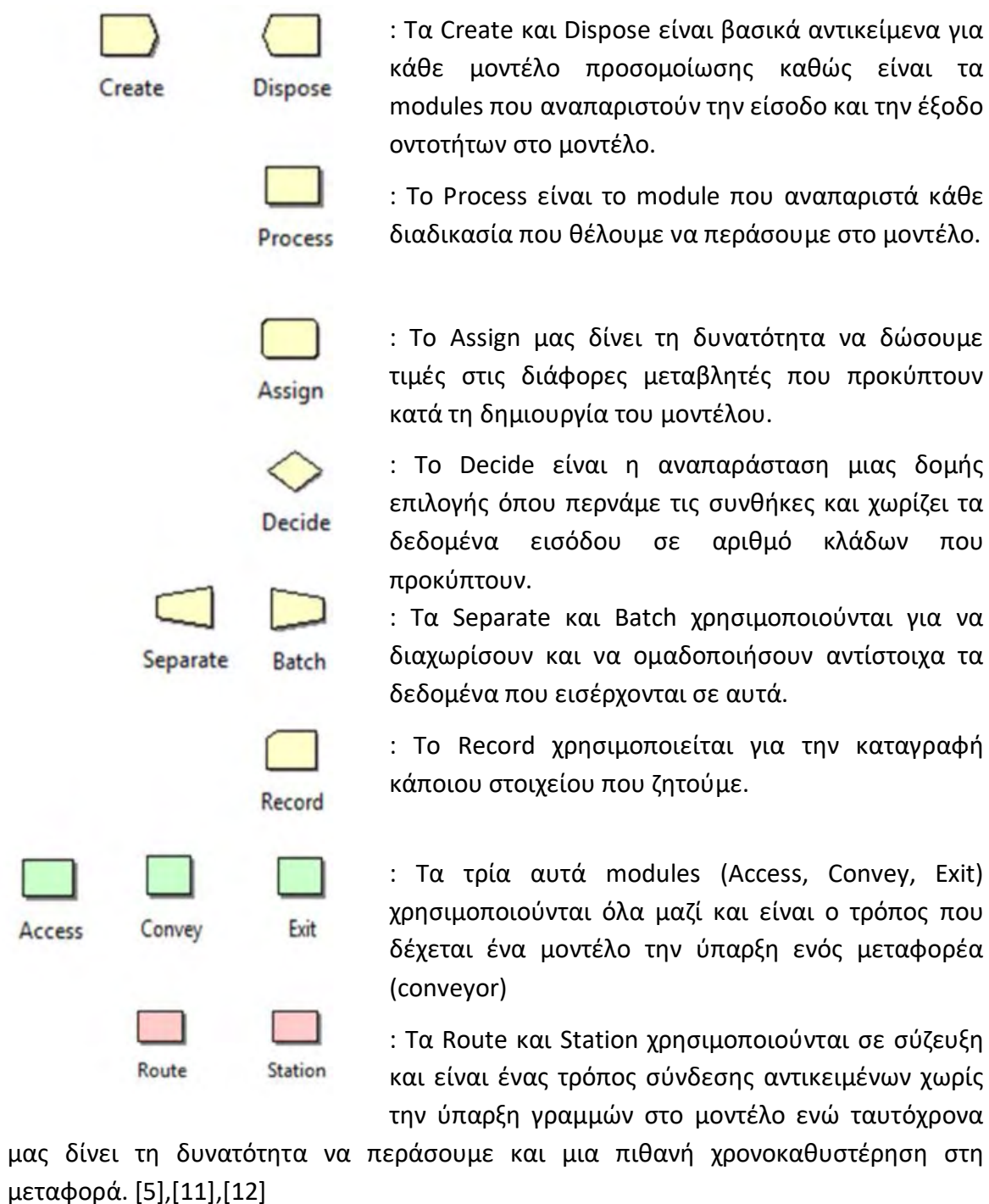


Σχήμα 2.5: General Project bar shot

Αυτά τα αντικείμενα (modules) χωρίζονται σε τρεις κυρίως κατηγορίες, την “Basic Process”, από όπου προέρχονται τα περισσότερα από τα χρησιμοποιούμενα modules, την “Advanced Process”, από την οποία χρησιμοποιούμε πιο συγκεκριμένα αντικείμενα για τις διαδικασίες της επιχείρησης και τέλος την “Advanced Transfer”, μια κατηγορία που όπως υποδηλώνει και το όνομά της περιέχει κυρίως modules που συνδέονται με την μεταφορά των οντοτήτων μέσα στο μοντέλο.

Με τη χρήση των διαφόρων module μπορούμε να παρατηρήσουμε στο κάτω μέρος της οθόνης να ανοίγει ένα υποπαράθυρο όπου κατά κύριο λόγο αναφέρονται οι ιδιότητες του κάθε αντικειμένου ώστε να μπορούμε να συμβαδίζουμε πιο εύκολα με το μοντέλο που δημιουργούμε.

Ορισμένα βασικά modules αναφέρονται πιο αναλυτικά στη συνέχεια.



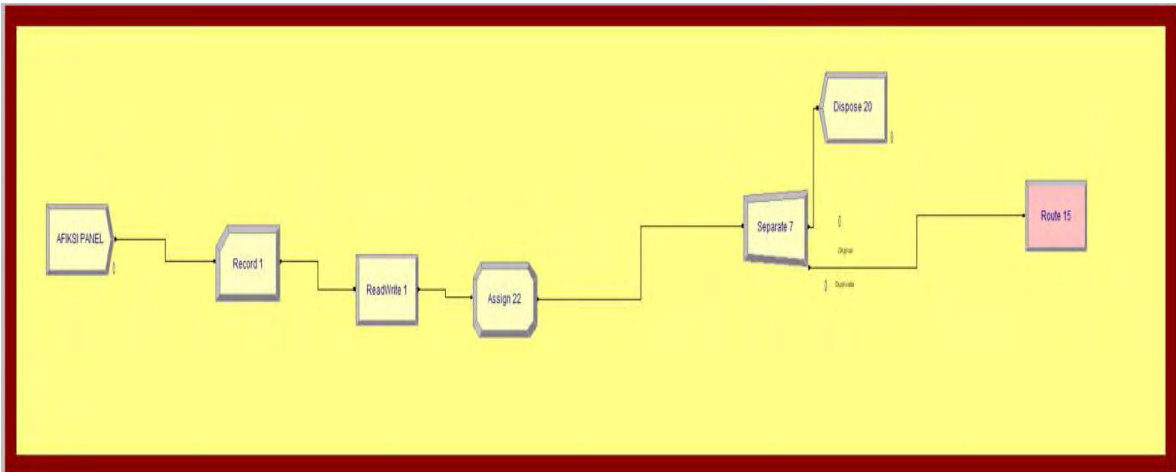
Κεφάλαιο 3 - Δημιουργία του προσομοιωτικού μοντέλου της επιχείρησης και πρώτα συμπεράσματα.

Στις επόμενες σελίδες θα παρουσιαστεί αναλυτικά η δομή της επιχείρησης από την έλευση της παραγγελίας στο σύστημα έως ότου τα στοιχεία διαχωριστούν στις λειτουργικές μονάδες, συσκευαστούν και αποσταλούν στον πελάτη.

Η επιχείρηση χωρίστηκε για την επεξεργασία και την εισαγωγή στο πρόγραμμα σε τέσσερα τμήματα.

- 1) Τμήμα εισόδου παραγγελίας και διαχωρισμού σε πάνελ
- 2) Τμήμα ελέγχου πάνελ για ελλαττωματικά στοιχεία
- 3) Τμήμα επισκευής ελλαττωματικών προϊόντων και επανένταξής τους στον έλεγχο
- 4) Τμήμα ομαδοποίησης παραγγελιών σε κιβώτια και αποστολής στον πελάτη

3.1 Προσομοίωση εισόδου παραγγελίας και διαχωρισμού σε πάνελ



Σχήμα 3.1: Δομή εισόδου παραγγελίας και αποστολής της στην γραμμή ελέγχου.

Στην παραπάνω εικόνα βλέπουμε το πρώτο διακριτό τμήμα της εταιρείας, που αφορά την είσοδο των δεδομένων στο σύστημα, και πως αυτό μοντελοποιήθηκε.

Από τα δεδομένα που μας δόθηκαν και πιο συγκεκριμένα από το “Arrival Time Relative to start (min)” και χρησιμοποιώντας την ιδιότητα του Arena να μας δίνει μια ενδεικτική κατανομή τιμών προσπαθούμε να εξάγουμε μια έκφραση που να αντιπροσωπεύει τις χρονικές στιγμές άφιξης των παραγγελιών. Αυτή δεν

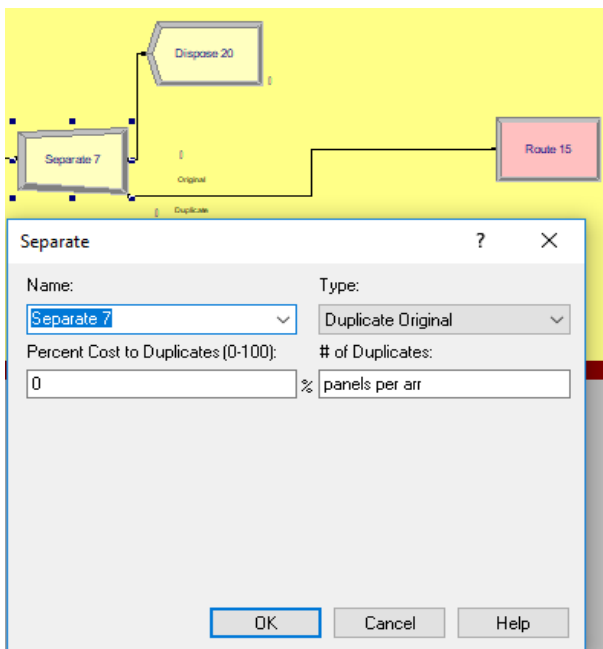
Order ID	Board ID	Arrival time relative to start (min)	# Panels in Order
1	PN04961	0	10
2	PN02381	33	10
3	PN14681	42	10
4	PN13171	60	2
5	PN05930	85	3
6	PN08867	94	10
7	PN00708	139	14
8	PN08867	150	4
9	PN01905	211	9
10	PN05818	242	8
11	PN08140	262	10
12	PN13336	236	5
13	PN10732	618	16
14	PN04125	855	9
15	PN00708	974	14
16	PN10105	1073	7
17	PN15098	1108	9
18	PN14964	1254	7
19	PN01898	1553	5
20	PN07013	1098	7
21	PN07649	1801	16
22	PN11268	1808	8

Σχήμα 3.2: Ενδεικτικό τμήμα του εγγράφου excel με χρόνους αφίξεων και αριθμούς πάνελ ανά παραγγελία.

προέκυψε όμοια με κάποια από τις γνωστές κατανομές, ωστόσο βρέθηκε έκφραση που να πληροί τις προϋποθέσεις ώστε να γίνεται αποδεκτή.

Στη συνέχεια αφού προσδιορίστηκε ο χρόνος αυτός και αριθμήθηκε η ληφθίσα παραγγελία (Record 1) προχωρήσαμε στον καθορισμό του αριθμού των πάνελ κάθε παραγγελίας.

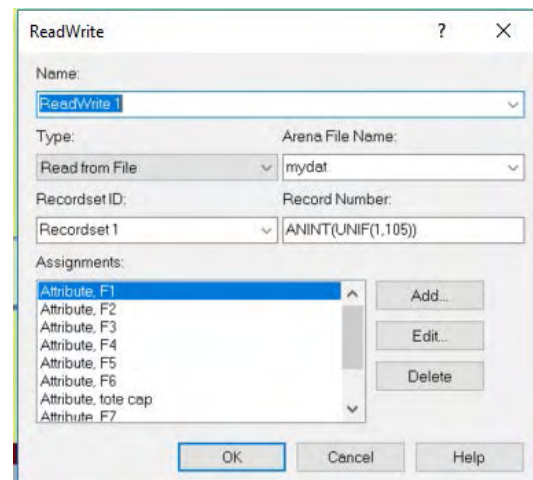
Με όμοιο τρόπο, χρησιμοποιώντας τα στοιχεία του “#Panels in order” καταλήξαμε σε μια διακριτή κατανομή η οποία με τη σειρά της χρησιμοποιήθηκε για την δημιουργία της μεταβλητής “panels per arr”. Με τον τρόπο αυτό έχουν αποτυπωθεί σε κατανομές και είναι έτοιμα προς εκμετάλλευση όλα τα στοιχεία που μας έχουν δοθεί από την μητρική επιχείρηση (σύνολο 201 παραγγελιών).



Σχήμα 3.3: Modules ‘Separate 7’ & ‘Route 15’.

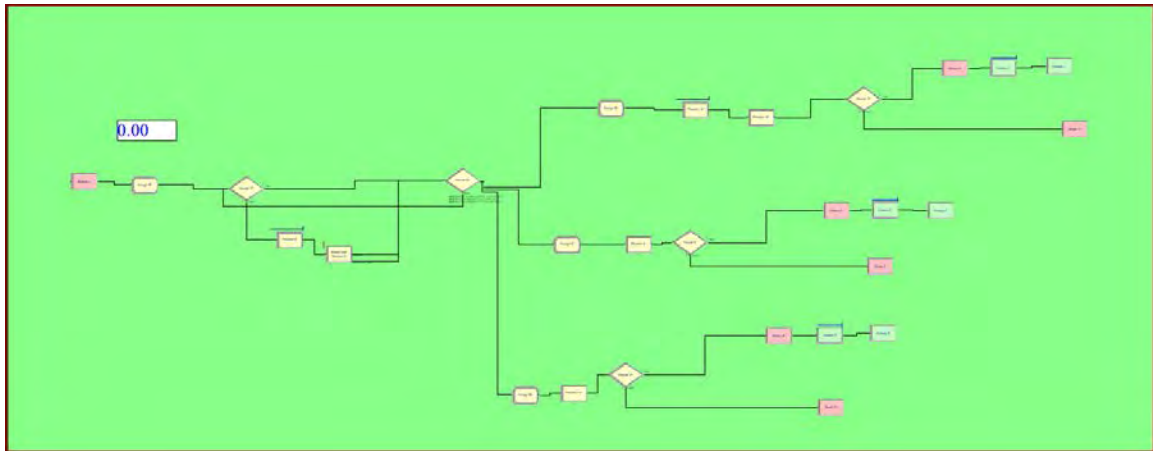
Στο module “Separate 7” γίνεται χρήση της παραπάνω μεταβλητής ώστε να μεταφερθούν από τον αύξοντα αριθμό των παραγγελιών που καταγράφηκε προηγουμένως σε αριθμό πάνελ ανά παραγγελία, μιας και ο έλεγχος που θα ακολουθήσει αφορά πάνελ και κάρτες αλλά όχι παραγγελίες. Στη συνέχεια τα πάνελ μεταφέρονται στον τομέα ελέγχου μέσω του module “Route 15”, χωρίς ωστόσο να καταγραφεί κάποιος χρόνος μετάβασης αφού η μεταφορά θεωρείται ακαριαία.

Ειδική αναφορά θα πρέπει να γίνει και στο module “Read/Write” που χρησιμοποιήθηκε σε συνδυασμό με ένα ανανεωμένο έγγραφο του excel και ‘καλεί’ της στήλης που χρειαζόμαστε και που περιέχουν πολλά απαραίτητα στοιχεία για το υπόλοιπο της μορφοποίησης όπως θα δούμε στη συνέχεια του κεφαλαίου.



Σχήμα 3.4: Module ‘Read/Write 1’.

3.2 Προσομοίωση ελέγχου πάνελ για ελαττωματικά στοιχεία



Σχήμα 3.5: Δομή γραμμής ελέγχου.

Στο δεύτερο διακριτό κομμάτι της επιχείρησης βλέπουμε την γραμμή όπου θα γίνει ο έλεγχος των πάνελ για ενδεχόμενα ελαττωματικά στοιχεία. Ο έλεγχος γίνεται σε κάθε στοιχείο του πάνελ ξεχωριστά και αρκεί ένα ελαττωματικό στοιχείο για να εμποδίσει το πάνελ από το να μεταβεί στην γραμμή φόρτωσης στέλνοντάς το αντίθετα σε αυτή της επιδιόρθωσης.

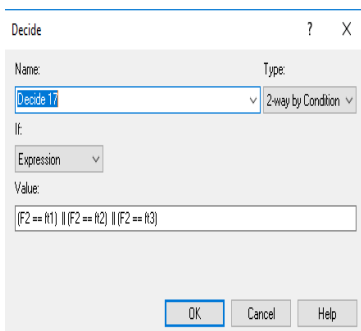
Boards per Panel	Inspection Failure Rate per Board
5	0.0290
2	0.0452
2	0.0516
8	0.0188
2	0.0513
1	0.0735
2	0.0543
6	0.0275
6	0.0254
1	0.0796
6	0.0282
2	0.0513
4	0.0287

Name	Assignment
Assign_12	Amount failed boards: AMINTPOISIF7F6I <End of list>

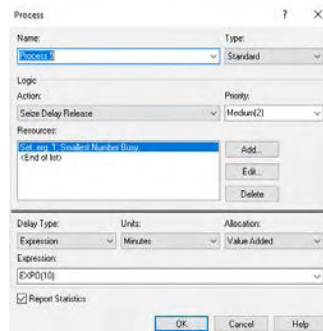
Σχήμα 3.6: Ενδεικτικές τιμές και αποτύπωση για πιθανότητα αποτυχίας στον έλεγχο.

Όμοια με προηγουμένως και χρησιμοποιώντας τα νέα στοιχεία για το ποσοστό των ελαττωματικών καρτών ανά είδος και τον αριθμό καρτών του κάθε είδους στο εκάστοτε πάνελ εξάγουμε το αποτέλεσμα ότι η πιθανότητα να αποτύχει το πάνελ στον επερχόμενο έλεγχο μπορεί να εξαχθεί από διωνυμική κατανομή. Ωστόσο αυτού του είδους η κατανομή δεν υπήρχε στις βιβλιοθήκες του Arena. Για την απεικόνιση του συγκεκριμένου στοιχείου χρησιμοποιήθηκε η κατανομή Poisson η οποία για μικρό ποσοστό αποτυχίας προσεγγίζει σε ικανοποιητικό βαθμό την διωνυμική.

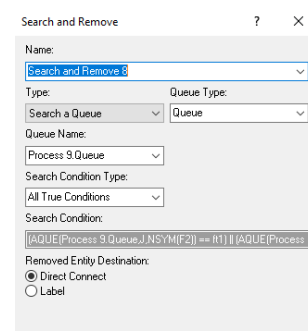
Στην πρώτη δομή επιλογής που ακολουθεί εξετάζουμε εάν το εργαλείο ελέγχου που απαιτεί το πάνελ που έφτασε είναι ήδη προσαρτημένο σε κάποια από τις τρεις γραμμές. Εφόσον ικανοποιείται η συγκεκριμένη συνθήκη τότε το πάνελ προωθείται για έλεγχο, εάν όμως σε όλες τις γραμμές υπάρχει ένα διαφορετικό εργαλείο τότε θα πρέπει κάποιος από τους εργάτες να αλλάξει κάποιο από τα τρία υπάρχοντα εργαλεία ώστε να ταιριάζει με αυτό που απαιτείται. Ο χρόνος που απαιτείται για αυτή την αλλαγή ακολουθεί εκθετική κατανομή με μέση τιμή δέκα. Με το module 'Search and Remove' σαρώνεται το υπόλοιπο της ουράς και εξαιρούνται από τη διαδικασία στοιχεία που απαιτούν το ίδιο εργαλείο ελέγχου με το πρώτο καθώς μόνο για το πρώτο θα υπάρξει η επιπλέον χρονοκαθυστερήση για την αλλαγή του εργαλείου. Σημειώνεται επίσης ότι τόσο για να γίνει αλλαγή όσο και για να προχωρήσει το πάνελ στον έλεγχο θα πρέπει κάποια γραμμή να είναι κενή ενώ ο εργάτης που πραγματοποιεί την αλλαγή δεν μπορεί να απασχολείται και σε κάποιο άλλο πόστο ταυτόχρονα.



Σχήμα 3.9: Έλεγχος συμβατότητας εργαλείου ελέγχου.



Σχήμα 3.8: Επεξεργασία αλλαγής εργαλείου ελέγχου.

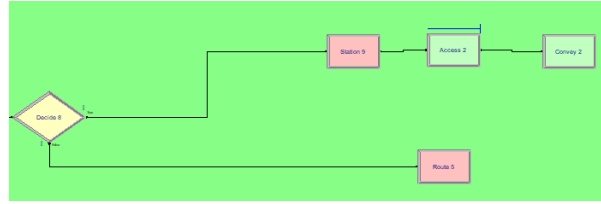


Σχήμα 3.7: "Search and remove" Module.

Επόμενο βήμα είναι ο έλεγχος του πάνελ. Το σύστημα αποτελείται από τρεις γραμμές εκ των οποίων η μία είναι αυτοματοποιημένη, απαιτεί δηλαδή εργάτη μόνο για την φόρτωση πάνελ σε αυτήν, ενώ οι άλλες δύο χειροκίνητες όπου οι 2 εργάτες απασχολούνται σε όλη τη διάρκεια του ελέγχου.

Στο «Σχήμα 3.5» η αυτοματοποιημένη γραμμή φαίνεται στην κορυφή και διαφοροποιείται από τις υπόλοιπες καθώς έχει δύο διαδικασίες ξεχωριστές. Μία για την διαδικασία του ελέγχου (Process 13) που ακολουθεί ομοιόμορφη κατανομή με στοιχεία που αναφέρονται στα δεδομένα της εταιρείας και μια για την απασχόληση του εργάτη κατά την φορτοεκφόρτωση (Process 14), χρόνος που ακολουθεί τριγωνική κατανομή. Στις δύο επόμενες γραμμές ελέγχου αυτά συμπυκνώνονται σε μία διαδικασία 'Process 6' και 'Process 15' αντίστοιχα αφού όπως είπαμε και προηγουμένως σε αυτές απαιτείται η μόνιμη παρουσία του χειριστή.

Κοινό στοιχείο και στις τρεις γραμμές ελέγχου αποτελεί μια ακόμα δομή επιλογής. Αυτή τη φορά διαχωρίζονται τα ελαττωματικά πάνελ από τα λειτουργικά. Τα πρώτα μεταφέρονται στη γραμμή επισκευής μέσω μιας διαδικασίας που ακολουθεί τριγωνική κατανομή ενώ τα λειτουργικά με τη σειρά τους εισέρχονται σε μιάνα μεταφοράς και μεταφέρονται στην τελική γραμμή της επιχείρησης πριν την αποστολή τους στους πελάτες. Ο διαχωρισμός γίνεται με μοναδική συνθήκη που πρέπει να ικανοποιείται την «Failed Boards==0».



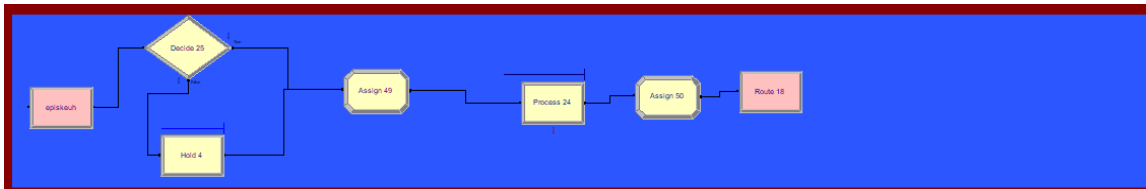
Σχήμα 3.10: Ενδεικτική Δομή επιλογής και Εισόδου σε μεταφορέα.

Όσον αφορά τους τρεις μεταφορείς, έχουν διαφορετικές ταχύτητες που εξάγονται από τα δεδομένα θέσεων και χρόνου μεταφοράς.

Name	Segment Name	Type	Velocity	Units
Conveyor 1	Conveyor 1.Segment	Accumulating	2	Per Minute
Conveyor 2	Conveyor 2.Segment	Accumulating	0.84	Per Minute
Conveyor 3	Conveyor 3.Segment	Accumulating	0.71	Per Minute

Σχήμα 3.11: Δεδομένα conveyors.

3.3 Προσομοίωση επισκευής ελαττωματικών προϊόντων.

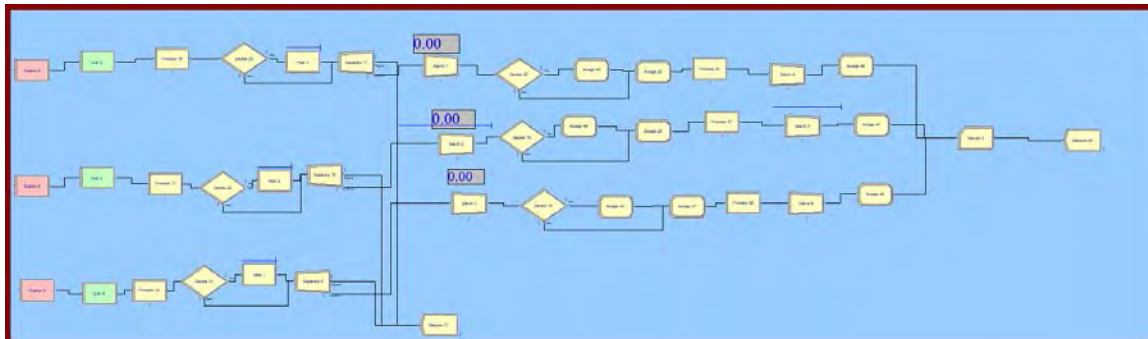


Σχήμα 3.12: Δομή Γραμμής Επισκευής.

Η γραμμή επισκευής της επιχείρησης μας θα μπορούσε να χαρακτηριστεί αρκετά απλή. Στην είσοδο της έρχονται τα ελαττωματικά πάνελ και ακολουθώντας τον κανόνα “First in – First out” προχωράν για την επισκευή τους. Για την επισκευή απαιτείται το ίδιο εργαλείο που χρησιμοποιήθηκε και κατά τον έλεγχο χωρίς ωστόσο να απαιτείται χρόνος για την αλλαγή καθώς εκεί η διαδικασία είναι αυτοματοποιημένη. Απαραίτητη προϋπόθεση βέβαια για την αλλαγή εξακολουθεί να είναι η μη ύπαρξη άλλων πάνελ στην διεργασία επισκευής. Στο ‘Decide 25’ γίνεται αυτός ο διαχωρισμός με τα πάνελ που χρησιμοποιούν το ίδιο εργαλείο να προχωρούν ενώ αυτά που χρειάζονται την αλλαγή περιμένουν. Στο ‘Assign 49’ ρυθμίζεται το κατάλληλο εργαλείο ελέγχου για το κάθε πάνελ ενώ στο ‘Assign 50’ αφαιρείται αυτή η ρύθμιση ώστε να μπορέσουμε να ρυθμίσουμε στο επόμενο απαιτούμενο εργαλείο. Η διαδικασία της επισκευής, όπως δίνεται από τα δεδομένα, ακολουθεί για κάθε ελαττωματική κάρτα ομοιόμορφη κατανομή με ελάχιστη τιμή τα 20 λεπτά και μέγιστη τα 30 λεπτά οπότε

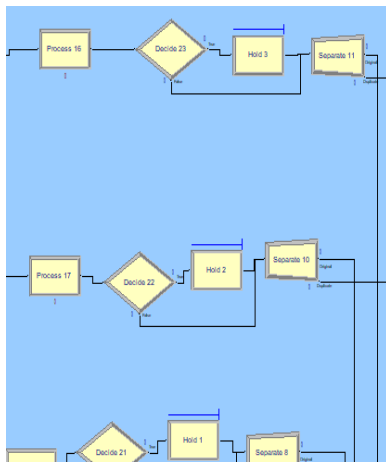
πολλαπλασιάζοντας τις τιμές με τον αριθμό των ελαττωματικών καρτών ανά πάνελ βρίσκουμε τα όρια της κατανομής και τον συνολικό χρόνο που απαιτείται για την επισκευή του πάνελ. Μετά την επισκευή, το πάνελ επανεισάγεται στην γραμμή ελέγχου χωρίς να απαιτείται κάποιος επιπλέον χρόνος μετακίνησης.

3.4 Προσομοίωση ομαδοποίησης παραγγελιών σε κιβώτια και αποστολής.



Σχήμα 3.13: Δομή ομαδοποίησης καρτών και αποστολής τους.

Στο τελευταίο τμήμα της επιχείρησης πριν την αποστολή της παραγγελίας έχουμε τον διαχωρισμό των πάνελ σε κάρτες την ομαδοποίηση τους σε κιβώτια και στη συνέχεια την αποχώρησή τους από το σύστημα.



Σχήμα 3.14: Διαδικασία κοπής και αναμονή συσκευασίας.

Μετά την έξοδο από τους τρεις μεταφορείς τα πάνελ συνεχίζουν την πορεία τους προς την ολοκλήρωση της παραγγελίας. Η πρώτη, απαραίτητη, διαδικασία που πρέπει να γίνει είναι ο διαχωρισμός των πάνελ σε κάρτες. Ο αριθμός των καρτών που υπάρχουν σε κάθε πάνελ διαφέρει ανάλογα με το είδος του πάνελ, έχει δοθεί και έχει εισαχθεί στη στήλη F8 του αρχείου excel που φορτώσαμε στο module 'Read/Write'. Η διαδικασία διαχωρισμού απεικονίζεται στα 'Process 16', 'Process 17' και 'Process 18' αντίστοιχα για τις τρεις γραμμές ως καθυστέρηση.

Στην πρώτη δομή επιλογής το συγκεκριμένου τμήματος ελέγχεται αν στις πλατφόρμες φόρτωσης υπάρχει ήδη κιβώτιο που περιέχει τον συγκεκριμένο τύπο κάρτας ή αν οι πλατφόρμες, που διαθέτουν από πέντε θέσεις φόρτωσης η κάθε μια, είναι πλήρη. Σε περίπτωση που πληρείται κάποια από τις δύο συνθήκες τότε οι κάρτες κρατούνται, αντίθετα προχωρούν στην συσκευασία.

Για να προχωρήσουμε στην κατανομή των καρτών σε κουτιά πρέπει να ανατρέξουμε στο πρώτο τμήμα και πιο συγκεκριμένα στο 'Assign 22'. Εκεί έχει οριστεί μια μεταβλητή με το όνομα 'praksi'. Όπως υποδηλώνει και το όνομα της είναι μια πράξη που θα μας βοηθήσει να υπολογίσουμε πόσα κουτιά θα χρειαστούμε για την πλήρωση αυτής της παραγγελίας. Η τιμή της δίνεται από τον τύπο:

$$praksi = \frac{panels\ per\ arrival * Boards\ per\ panel - MOD(panels\ per\ arrival * Boards\ per\ panel, tote\ capacity)}{tote\ capacity}$$

όπου, 'panels per arrival' του έχει δοθεί τιμή στο 'Assign 22' ως 'panels per arr', ενώ οι τιμές για το 'Boards per panel' και το 'tote capacity' λαμβάνονται από το excel που χρησιμοποιούμε από τις στήλες F8 και tote cap αντίστοιχα. Οπότε τελικά προκύπτει:

$$praksi = \frac{panels\ per\ arr * F8 - MOD(panels\ per\ arr * F8, totcap)}{totcap}$$

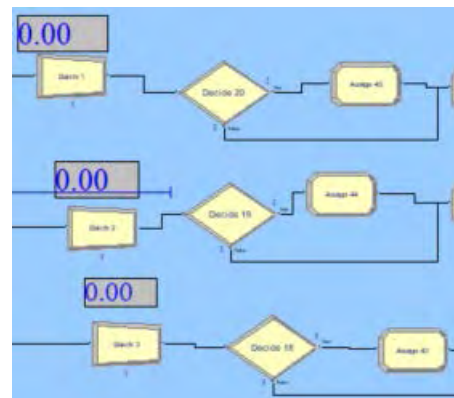
για να συμπεριλάβουμε και το υπόλοιπο της διαίρεσης κατά τη χρήση της μεταβλητής προσθέτουμε στην τιμή της μία μονάδα.

Φτάνουμε έτσι στην πρώτη ομαδοποίηση, 'Batch 1', 'Batch 2' και 'Batch 3'. Ως μέγεθος παρτίδας ορίζουμε την τιμή:

$$Batch\ size = \frac{panels\ per\ arr * F8 - koutia\ 1(F1,1)}{praksi + 1 - koutia\ 1(F1,2)}$$

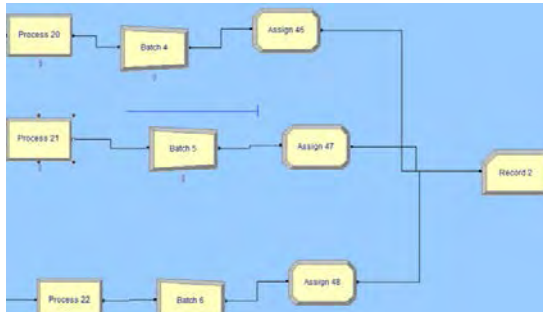
Όπου, 'koutia1(F1,1)' και 'koutia1(F1,2)' είναι μεταβλητές που αναπαριστούν το πόσες κάρτες από κάθε παραγγελία έχουν συσκευασθεί και πόσα κουτιά έχουν χρησιμοποιηθεί αντίστοιχα. Στα 'Assign 29', 'Assign 27' και 'Assign 28' οι τιμές αυτών των μεταβλητών ανανεώνονται ώστε όσες καινούριες κάρτες έρχονται και τοποθετούνται στην παραγγελία να ισοκατανέμονται σε κιβώτια. Έτσι στην πρώτη επανάληψη θα έχουν την τιμή μηδέν και στην πορεία μετά από τις αφαιρέσεις, την διαίρεση και τη στρογγυλοποίηση στον άνω ακέραιο θα έχουμε τη βέλτιστη δυνατή κατανομή των καρτών.

Στην τελευταία δομή επιλογής του συστήματος ελέγχεται αν υπάρχει ήδη κουτί που περιέχει το συγκεκριμένο είδος καρτών ή αν θα τοποθετηθεί σε καινούριο. Στη δεύτερη περίπτωση θα πρέπει, σε μια μεταβλητή (rosakoutia) να προστεθεί μια μονάδα έτσι ώστε να δεσμεύσουμε μια θέση. Όπως αναφέρθηκε νωρίτερα, αν αυτή η μεταβλητή πάει να πάρει τιμή μεγαλύτερη του πέντε θα σταματάει η προώθηση καρτών καθώς δεν



Σχήμα 3.15: Ομαδοποίηση και προσθήκες κουτιών σε θέσει συσκευασίας.

υπάρχουν επιπλέον θέσεις κιβωτίων. Η τιμή της μεταβλητής αυτής όπως και των δύο προαναφερθέντων θα επανέλθουν σε προηγούμενη κατάσταση, δηλαδή πριν τη χρήση τους, στα modules 'Assign 46', 'Assign 47' και 'Assign 48' (Σχήμα 3.16) αφού θα έχει αποχωρήσει η παραγγελία από τη γραμμή. Έτσι θα μπορέσουν να χρησιμοποιηθούν για την επόμενη παραγγελία που θα αρχίσει να συσκευάζεται.

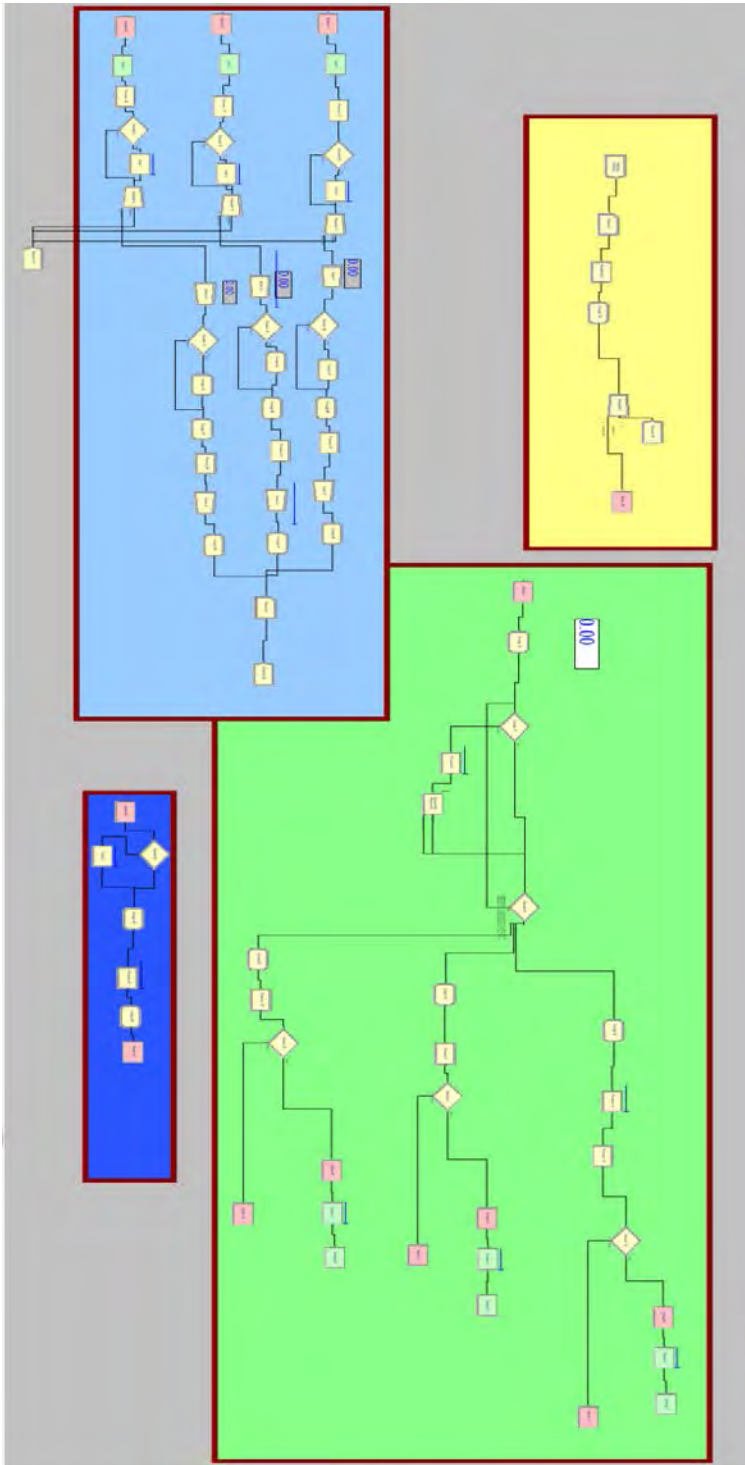


Σχήμα 3.16: Δομή πριν την έξοδο.

Με τα 'Process 20', 'Process 21' και 'Process 22' απεικονίζουμε το χρόνο που απαιτείται για την απομάκρυνση ενός κιβωτίου από την γραμμή ενώ με τα τελευταία 'Batch' γίνεται ομαδοποίηση των κιβωτίων που αποτελούν την κάθε παραγγελία. Το 'Record 2' χρησιμοποιείται για την καταγραφή του χρόνου που

μεσολάβησε από την άφιξη μέχρι και την αποστολή της παραγγελίας καθώς επίσης και ένας μετρητής που θα μας δώσει τον αριθμό των παραγγελιών που εξυπηρετήθηκαν από το σύστημα. Για την ολοκλήρωση του μοντέλου απαιτείται η χρήση του module 'Dispose'.

3.5 Γενική απεικόνιση της επιχείρησης



Σχήμα 3.17: Δομή επιχείρησης όπως αυτή προτάθηκε.

Στο 'Σχήμα 3.17' φαίνεται μια πιο γενικευμένη εικόνα της επιχείρησης όπως αποτυπώνεται αν συνδέσουμε όλα τα τμήματα που αναλύθηκαν πιο πάνω.

Από το κίτρινο πλαίσιο και την είσοδο των δεδομένων μεταφερόμαστε στο πράσινο για τον έλεγχο των καρτών και στη συνέχεια σε κάποιο από τα 2 μπλε ανάλογα με το αν απαιτείται επισκευή ή αν προωθείται στη συσκευασία. Για όσα χρειάστηκε η επισκευή, θα επανελεγχθούν πριν προχωρήσουν στο τελικό στάδιο.

3.6 Πρώτα αποτελέσματα και συμπεράσματα

Αφού ολοκληρώσαμε την μοντελοποίηση της επιχείρησης προχωρήσαμε στο επόμενο βήμα που ήταν να τρέξουμε τη λειτουργία της ώστε να διαπιστώσουμε τη λειτουργικότητά της και κάποιους πιθανώς ελαττωματικούς δείκτες που θα μπορούσαμε να βελτιώσουμε.

Η επιχείρηση μας είχε δώσει έναν καθορισμένο τρόπο λειτουργίας, δέκα ώρες ημερησίως για πέντε μέρες την εβδομάδα καθώς και την μερική λειτουργία της έκτης ώστε να ολοκληρώνονται τα προϊόντα που βρίσκονται στην παραγωγή και στη συνέχεια να τερματίζονται οι μηχανές.

Ωστόσο στην απόπειρα μας αυτή αποτύχαμε στην ολοκλήρωση της προσομοίωσης. Αντί για 10 ώρες την ημέρα και 5 μέρες την εβδομάδα η προσομοίωση κατόρθωσε να φτάσει μόλις στα 540 λεπτά, δηλαδή στις 9 ώρες λειτουργίας της πρώτης μέρας.

Αναλύοντας πιο προσεκτικά το report που εξάγουμε, μέχρι το σημείο που δούλεψε η προσομοίωση, καταλήξαμε σε ορισμένα συμπεράσματα που θα μας βοηθήσουν να προτείνουμε κάποιους τρόπους βελτίωσης της ήδη υπάρχουσας δομής ώστε να μπορέσει τελικά να είναι λειτουργική.

Identifier	Average	Half Width	Minimum	Maximum	Observations
xron eksup parag	179.09	(Insuf)	71.791	266.47	3

Σχήμα 3.18: Χρόνος εξυπηρέτησης παραγγελίας.

Identifier	Count	Limit
paraggeleies	8	Infinite
oloklhr	3	Infinite

Τα πρώτα νούμερα που κρατήσαμε ήταν ο μέσος χρόνος εξυπηρέτησης μιας παραγγελίας που αντιστοιχούσε σε 179,09 λεπτά, δηλαδή κάτι λιγότερο από 3 ώρες ενώ επίσης είδαμε ότι από το σύνολο 8 παραγγελιών που ελήφθησαν κατάφεραν να ολοκληρωθούν μόνο οι 3. Νούμερα απαγορευτικά για τη λειτουργία.

Σχήμα 3.19: Αριθμός εισερχόμενων παραγγελιών και ολοκληρωμένων.

Βλέποντας και τους υπόλοιπους δείκτες είδαμε και άλλες ανησυχητικές τιμές με κάποιες ενδεικτικές να παρουσιάζονται παρακάτω.

	Total time per panel (minutes)	Waiting time per panel (minutes)
Process 13	44,66	32,603
Process 6	133.39	115,23
Process 15	63.005	50.228

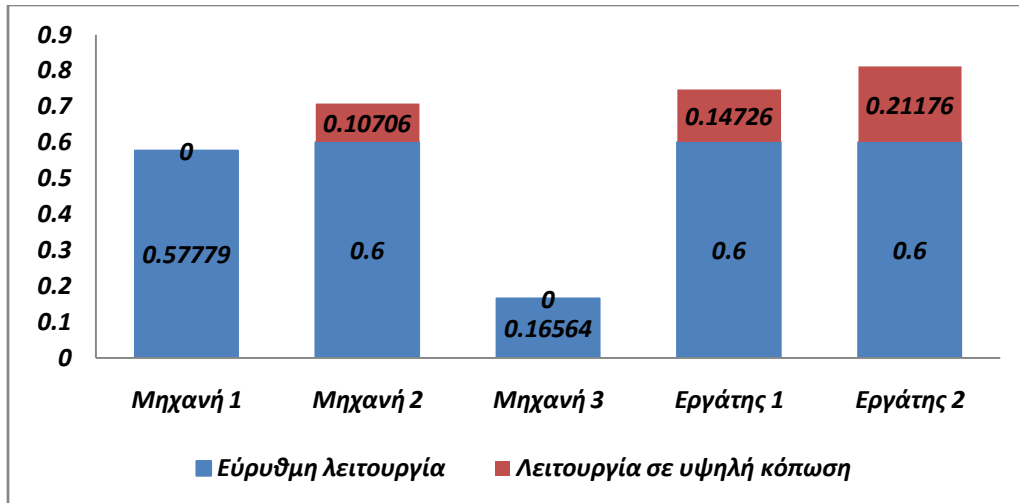
Πίνακας 3.1: Συνολικοί χρόνοι και χρόνοι αναμονής για τον έλεγχο των πάνελ.

Στον 'Πίνακα 3.1' μπορούμε να δούμε τους χρόνους που απαιτούνται συνολικά για τον έλεγχο των πάνελ καθώς και τον χρόνο που απαιτείται να περιμένουν στην ουρά πριν υποβληθούν στον έλεγχο αυτό. Μπορούμε να χαρακτηρίσουμε αρκετά μεγάλο το χρόνο αναμονής συγκριτικά με τον χρόνο της διαδικασίας αυτής καθαυτής.

	Batch 1	Batch 2	Batch 3
Number in Queue	9.8959	10,980	2.8761
Queue Waiting Time (minutes)	32.967	44.045	9.2929

Πίνακας 3.2: Χρόνοι αναμονής για τη διανομή σε πακέτα και αριθμός αντικειμένων στην ουρά.

Στον 'Πίνακα 3.2' μπορούμε να δούμε τον χρόνο που απαιτείται ώστε οι κάρτες, που έχουν πλέον διαχωριστεί από τα πάνελ, να εισαχθούν στα κιβώτια της παραγγελίας καθώς επίσης και τον αριθμό των οντοτήτων που σωρεύονται στις τρεις επιμέρους ουρές. Οι αριθμοί αυτοί είναι πέρα από αρκετά μεγάλοι και ανισοκατανεμένοι, πρόβλημα που ιδανικά θα θέλαμε να περιορίσουμε.



Πίνακας 3.3: Βαθμός Απασχόλησης Μηχανών και Εργατών

Τέλος στο παραπάνω γράφημα (Πίνακας 3.3) έχουμε το ποσοστό του χρόνου που δουλεύουν τόσο οι τρεις μηχανές ελέγχου όσο και οι δύο εργάτες. Πέρα από το μεγάλο βαθμό χρησιμοποίησης των δύο υπαλλήλων μπορούμε και σε αυτή την περίπτωση να διακρίνουμε την άνιση κατανομή του φόρτου εργασίας και ακόμη την υποχρησιμοποίηση της τρίτης μηχανής που διαθέτει η επιχείρηση.

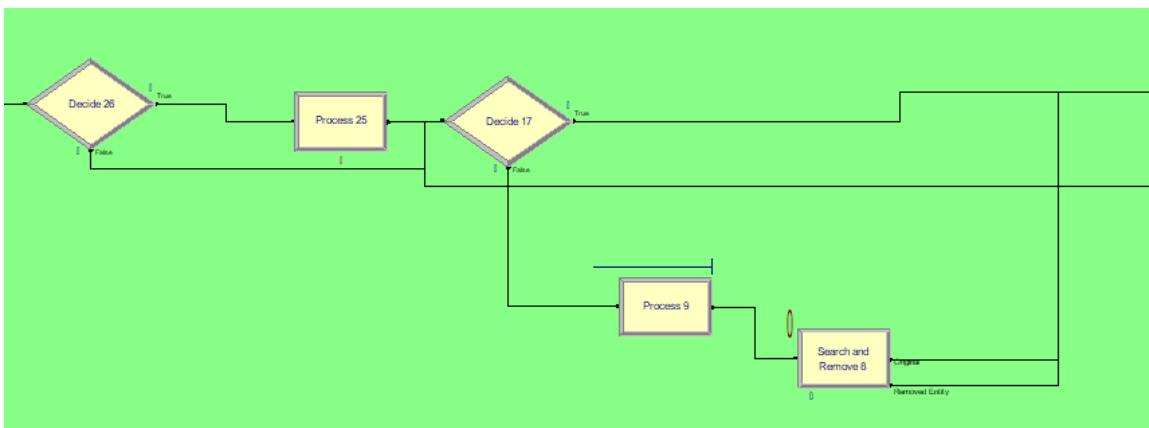
Κεφάλαιο 4 – Βελτιωτικά Σενάρια και Αποτελέσματα

Όπως αναφέρθηκε στο προηγούμενο κεφάλαιο η απόπειρα λειτουργίας της επιχείρησης υπό τις προτεινόμενες παρούσες συνθήκες από την εταιρεία, και λαμβάνοντας πλέον υπόψη τα νέα δεδομένα που θα ισχύουν στην αγορά της Ευρώπης, οδήγησε σε αδυναμία ολοκλήρωσης της προσομοίωσης. Μετά την μελέτη και ανάλυση των αποτελεσμάτων οδηγηθήκαμε σε κάποια εναλλακτικά σενάρια τα οποία όχι απλά θα έκαναν την επιχείρηση να λειτουργεί αλλά θα βελτίωναν σημαντικά και τους δείκτες στους οποίους παρατηρήσαμε τις προβληματικές τιμές.

Στις επόμενες σελίδες θα αναλυθούν αυτά τα εναλλακτικά σενάρια που προτείνουμε. Τα σενάρια αυτά μπορούν να διαχωριστούν σε δύο μεγάλες κατηγορίες που εμπεριέχουν μία σημαντική διαφορά. Στην πρώτη παρουσιάζονται κάποιες προτάσεις ώστε να βελτιωθεί η λειτουργία της επιχείρησης χωρίς όμως να επιβαρυνθεί με κάποιο επιπλέον έξοδο η μητρική εταιρεία ενώ στη δεύτερη θα πρέπει οι μέτοχοι με βάση τους δείκτες να αποφασίσουν αν είναι προς το συμφέρον τους οι αλλαγές που προτείνονται καθώς θα σημαίνουν και οικονομική τους επιβάρυνση.

4.1 Σενάριο Βελτιστοποίησης Αλλαγής Εργαλείων Ελέγχου και Επισκευής

Σε αυτή την πρώτη προσπάθεια βλέποντας τον αυξημένο βαθμό απασχόλησης των εργαζομένων αλλά και την ανισοκατανομή του φόρτου εργασίας στους τρεις επιμέρους κλάδους ελέγχου προσπαθήσαμε να περιορίσουμε τις αλλαγές των εξειδικευμένων εργαλείων που θα γίνονταν στους κλάδους του ελέγχου και της επισκευής.



Σχήμα 4.1: Αλλαγή πριν τη δομή επιλογής εργαλείου στο τμήμα ελέγχου.

Για να το πετύχουμε αυτό προστέθηκε μια δομή επιλογής (Decide 26) πριν από την υπάρχουσα για την αλλαγή εργαλείων. Αυτή ελέγχει αν το εργαλείο που χρησιμοποιείται στο τμήμα επισκευής διαφέρει από αυτό που απαιτείται για τον έλεγχο και την επισκευή της παρούσας παραγγελίας. Σε περίπτωση που αυτή η συνθήκη είναι αληθής τότε καθυστερεί την προώθηση της παραγγελίας για έλεγχο κατά κάποιο χρονικό διάστημα επιλογής μας ώστε πιθανή επόμενη, που θα χρειαζόταν το ήδη υπάρχον εργαλείο, να την προσπεράσει. Σε αντίθετη περίπτωση, αν δηλαδή το εργαλείο που χρειάζεται η νέα παραγγελία ταυτίζεται με αυτό της επισκευής τότε θα προχωρήσει σε κανονικό χρόνο στο τμήμα ελέγχου.

Η συγκεκριμένη προσπάθεια ωστόσο δεν έδωσε τα επιθυμητά αποτελέσματα καθώς δεν αυξήθηκε παρά ελάχιστα ο χρόνος ο οποίος θα μπορούσε η εταιρεία να λειτουργήσει χωρίς πρόβλημα. Παρόλα αυτά μας έδωσε κάποια χρήσιμα στοιχεία.

Identifier	Count	Limit	Αρχικά τόσο ο δείκτης των εισερχόμενων παραγγελιών ως προς τις ολοκληρωμένες βελτιώθηκε, για το ίδιο χρονικό διάστημα λειτουργίας, όσο και ο χρόνος εξυπηρέτησης παραγγελίας που μειώθηκε στα 158,29 λεπτά.
paraggeleies	8	Infinite	
oloklhr	4	Infinite	

Σχήμα 4.2: Αριθμός εισερχόμενων παραγγελιών και ολοκληρωμένων.

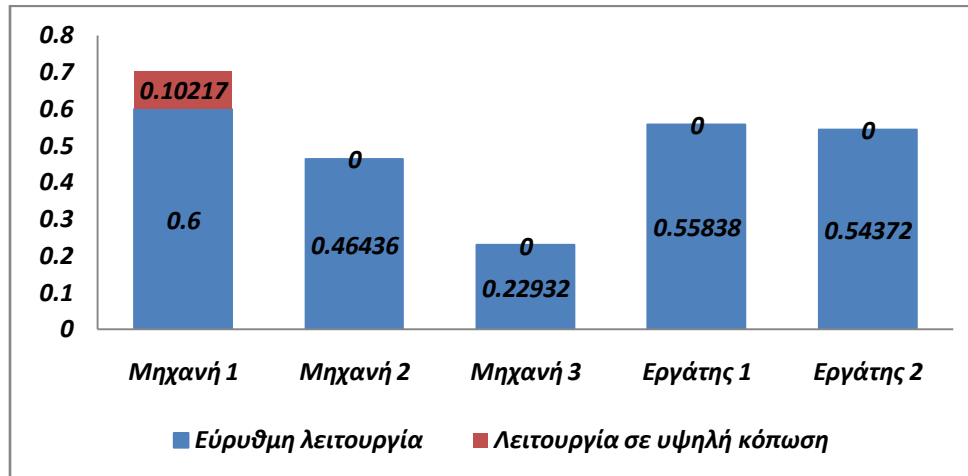
Identifier	Average	Half Width	Minimum	Maximum	Observations
xron eksup parag	158.29	(Insuf)	42.471	379.53	4

Σχήμα 4.3: Νέος χρόνος εξυπηρέτησης παραγγελιών.

Είχαμε επίσης βελτίωση στους δείκτες των παρακάτω πινάκων που παρουσιάζουν τον χρόνο που απαιτείται για τον έλεγχο των καρτών μαζί με τον χρόνο που αναμένεται αυτές να περιμένουν πριν ελεγχθούν και τον βαθμό απασχόλησης των μηχανών και τον εργαζομένων της επιχείρησης.

	Total time per panel (minutes)	Waiting time per panel (minutes)
Process 13	94.537	72.531
Process 6	50.266	42.177
Process 15	53.882	45.036

Πίνακας 4.1: Συνολικό Χρονοδιάγραμμα για τον έλεγχο των πάνελ μετά την αλλαγή.

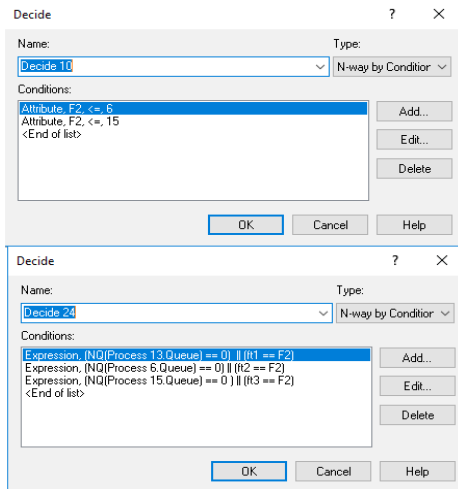


Πίνακας 4.2: Βαθμός Απασχόλησης Μηχανών και Εργατών μετά την αλλαγή.

Από το τελευταίο γράφημα μπορούμε να δούμε ότι η μόνη τιμή που υπερβαίνει σε χρόνο εργασίας το 60% του διαθέσιμου χρόνου είναι η 'Μηχανή 1' που όμως από μόνο του δε θα δημιουργούσε πρόβλημα αφού δεν κουράζει επιπλέον τους εργαζόμενους καθώς είναι η αυτοματοποιημένη μηχανή ελέγχου.

4.2 Σενάριο Βελτιστοποίησης Κατανομής Εργασιών στις Γραμμές Ελέγχου

Σε αυτή την περίπτωση προσεγγίσαμε με έναν εναλλακτικό τρόπο το αρχικό πρόβλημα που αντιμετωπίσαμε. Αποφασίσαμε ότι αφού το να καθυστερούμε κάποιες παραγγελίες δεν απέδωσε τα αναμενόμενα αποτελέσματα ίσως μια διαφορετική ομαδοποίησή τους βοηθούσε, αφού μια τέτοια αλλαγή θα κατένεμε ορθότερα το φόρτο εργασιών στις τρεις γραμμές ελέγχου και συσκευασίας. Ακόμα, αυτή η αλλαγή θα μείωνε τις απαιτούμενες αλλαγές εργαλείων ελέγχου και αυτό με τη σειρά του θα μείωνε τον φόρτο εργασίας των εργατών αλλά και τον χρόνο αναμονής των πάνελ και των καρτών σε ουρές.



Σχήμα 4.4: Δομή επιλογής γραμμής ελέγχου μετά την αλλαγή.

Έτσι προστέθηκε μία δομή επιλογής που στέλνει τα πάνελ των οποίων ο έλεγχος απαιτεί ένα από τα πρώτα έξι εργαλεία, στην πρώτη γραμμή. Αυτά για τα οποία απαιτούνται από το έβδομο έως και το δέκατο πέμπτο εργαλείο, στην δεύτερη και τα υπόλοιπα στην τρίτη. Εξακολουθούν φυσικά να υπάρχουν αλλαγές του εργαλείου ελέγχου, ωστόσο αυτές θα είναι πιο περιορισμένες μιας και αυξάνονται οι πιθανότητες που θα έχει η κάθε επόμενη παραγγελία να χρησιμοποιεί το ίδιο εργαλείο ελέγχου με την προηγούμενη.

Με αυτό τον τρόπο καταφέραμε να πετύχουμε την ολοκλήρωση της προσομοίωσης για το επιθυμητό διάστημα των πέντε ημερών και για διάρκεια λειτουργίας δέκα ωρών ημερησίως. Φυσικά πέρα από την ολοκλήρωση της προσομοίωσης μας ενδιέφερε και η πορεία των προβληματικών τιμών που είχαμε ξεχωρίσει από την πρώτη μας προσπάθεια.

Identifier	Average	Half Width	Minimum	Maximum	Observations
xron eksup parag	180.00	(Insuf)	32.466	671.90	23

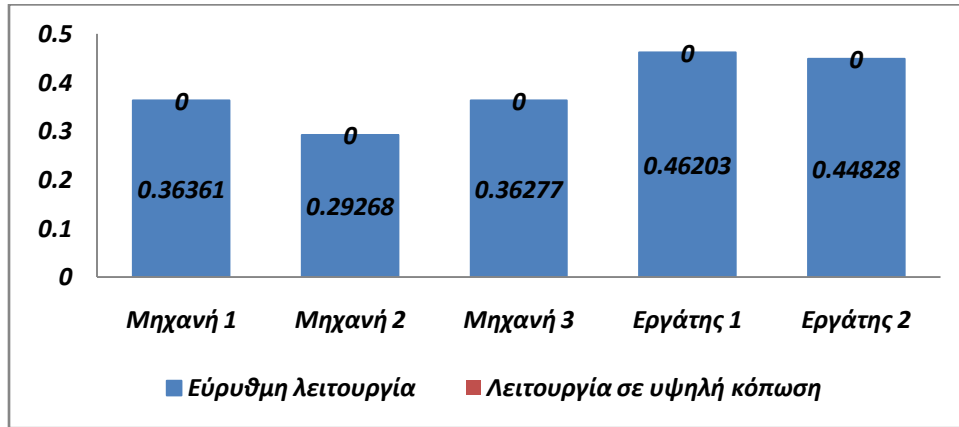
Σχήμα 4.5: Χρόνος εξυπηρέτησης Παραγγελίας.

Έτσι σε πρώτο χρόνο παρατηρούμε τον «Χρόνο εξυπηρέτησης παραγγελίας» που δίνει σχεδόν όμοια τιμή με το αρχικό μοντέλο που επεξεργαστήκαμε, αλλά αυτή την φορά παρατηρούμε και μια συνεχόμενη ροή στην εξυπηρέτηση παραγγελιών (23/25) κάτι που υποδεικνύει ότι πλέον η επιχείρηση μπορεί να λειτουργήσει.

Identifier	Count	Limit
paraggeleies	25	Infinite
oloklhr	23	Infinite

Σχήμα 4.6: Αριθμός εισερχόμενων παραγγελιών και ολοκληρωμένων.

Αντίστοιχα μπορούμε να δούμε και τους δείκτες για τον βαθμό χρησιμοποίησης των μηχανών και των εργαζομένων, τον χρόνο επεξεργασίας στις γραμμές ελέγχου αλλά και τον αριθμό οντοτήτων στην ουρά των γραμμών συσκευασίας μαζί με του χρόνους αναμονής τους.



Πίνακας 4.3: Βαθμός Απασχόλησης Μηχανών και Εργατών μετά την αλλαγή.

	Total time per panel (minutes)	Waiting time per panel (minutes)
Process 13	105.27	91.233
Process 6	51.721	41.060
Process 15	76.485	52.628

Πίνακας 4.3: Συνολικό Χρονοδιάγραμμα για τον έλεγχο των πάνελ μετά την αλλαγή.

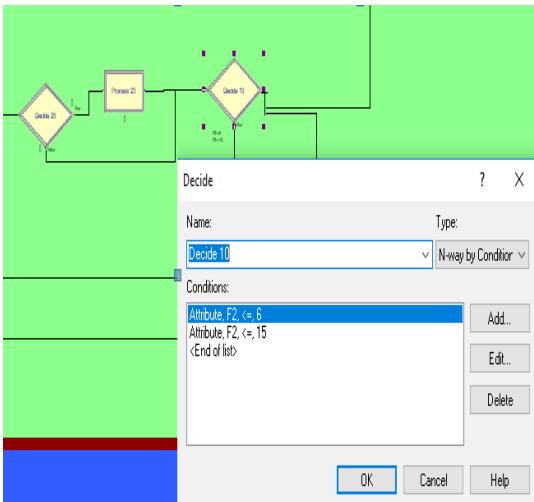
	Batch 1	Batch 2	Batch 3
Number in Queue	7.6984	0,83988	3.1574
Queue Waiting Time (minutes)	81.608	20.153	47.973

Πίνακας 4.4: Χρόνοι αναμονής για τη διανομή σε πακέτα και αριθμός αντικειμένων στην ουρά μετά την αλλαγή.

Από τους παραπάνω δείκτες βλέπουμε ότι πλέον ο βαθμός χρησιμοποίησης μηχανών και εργατών έχει φτάσει στα επιθυμητά επίπεδα. Παρατηρείται επίσης μια συσσώρευση στην ουρά ελέγχου της «Μηχανής 1» η οποία με τη σειρά της μεταφέρεται και στην γραμμή συσκευασίας, ωστόσο αυτή η συσσώρευση δεν αποτελεί ανασταλτικό παράγοντα για την λειτουργία της επιχείρησης.

4.3 Συνδυασμός προηγούμενων σεναρίων με σκοπό τη βελτιστοποίηση των δεικτών του τρέχοντος μοντέλου.

Έχοντας πλέον ολοκληρώσει με επιτυχία την προσομοίωση αναζητούμε τρόπους για την επιπλέον βελτιστοποίηση των επιμέρους δεικτών. Λαμβάνοντας υπόψιν ότι το σενάριο που τρέξαμε στην υποενότητα 4.1 λειτούργησε ευεργετικά για τους δείκτες του αρχικού μας μοντέλου, δεν μπορούσαμε παρά να το επαναλάβουμε και στην περίπτωση του μοντέλου στο οποίο καταλήξαμε στην προηγούμενη ενότητα.



Σχήμα 4.7: Δομή όπως προκύπτει με τον συνδυασμό των δύο βελτιωτικών κινήσεών μας.

Συνδυάσαμε λοιπόν τον έλεγχο της προώθησης των παραγγελιών με βάση το εργαλείο που χρησιμοποιείται στην γραμμή επισκευής, έλεγχος που συνοψίζεται στην παραχώρηση προτεραιότητας στις παραγγελίες που απαιτούν για την επισκευή τους το ήδη χρησιμοποιούμενο εργαλείο επισκευής, με τον διαχωρισμό των παραγγελιών στις τρεις γραμμές ανάλογα με τα εργαλεία.

Τα αποτελέσματα όπως θα δούμε στους επόμενους πίνακες δικαίωσαν την επιλογή μας καθώς ρυθμίζεται ακόμα καλύτερα η 'κυκλοφορία' των παραγγελιών εντός του συστήματος μας και βελτιώνονται αισθητά και σχεδόν όλοι οι επιμέρους δείκτες που

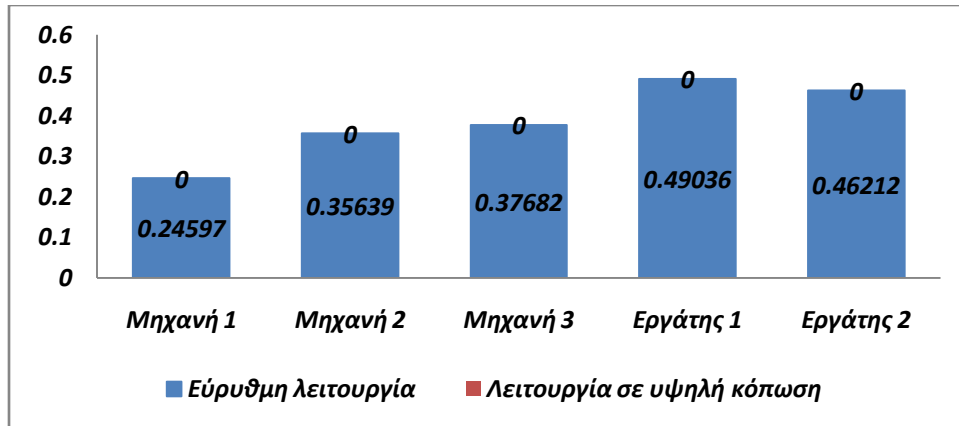
Identifier	Count	Limit
paraggeleies	25	Infinite
oloklhr	23	Infinite

Σχήμα 4.8: Αριθμός εισερχόμενων παραγγελιών και ολοκληρωμένων.

έχουμε παρακολουθήσει από την πρώτη μας απόπειρα. Έτσι μπορούμε να δούμε στο 'Σχήμα 4.9' τον χρόνο που απαιτείται για την εξυπηρέτηση μιας παραγγελίας να μειώνεται στα 170.73 λεπτά, γεγονός που όμως δεν επιφέρει αύξηση, στον ήδη αποδεκτό, αριθμό εξυπηρετημένων παραγγελιών. Υπενθυμίζουμε ότι από το προηγούμενο σενάριο είχαμε 23/25 παραγγελίες έτοιμες στο τέλος του πενθημέρου με μέσο χρόνο εξυπηρέτησης τα 180.0 λεπτά.

Identifier	Average	Half Width	Minimum	Maximum	Observations
xron eksup parag	170.73	(Insuf)	41.961	478.70	23

Σχήμα 4.9: Χρόνος εξυπηρέτησης παραγγελίας.



Πίνακας 4.5: Βαθμός Απασχόλησης Μηχανών και Εργατών μετά την αλλαγή.

	Total time per panel (minutes)	Waiting time per panel (minutes)
Process 13	62.410	45.249
Process 6	92.310	75.609
Process 15	83.522	66.394

Πίνακας 4.6: Συνολικό Χρονοδιάγραμμα για τον έλεγχο των πάνελ μετά την αλλαγή.

	Batch 1	Batch 2	Batch 3
Number in Queue	1.5998	4.2724	3.8007
Queue Waiting Time (minutes)	29.088	48.731	46.350

Πίνακας 4.7: Χρόνοι αναμονής για τη διανομή σε πακέτα και αριθμός αντικειμένων στην ουρά μετά την αλλαγή.

Μπορούμε επίσης μέσα από τους 'Πίνακες 4.6, 4.7, 4.8' να διαπιστώσουμε ότι έχουμε μια πολύ ομαλότερη κατανομή των παραγγελιών στις τρεις γραμμές εργασιών καθώς επίσης και ότι διατηρούμε το φόρτο εργασίας του προσωπικού και των μηχανημάτων στα επιθυμητά επίπεδα.

4.4 Παρεμβάσεις στη δομή με επιπλέον κόστος

Όπως αναφέραμε και στην αρχή του κεφαλαίου οι αλλαγές που μπορούσαμε να κάνουμε στη δομή της επιχείρησης μπορούσαν να είναι αλλαγές χωρίς επιπλέον δαπάνες, όπως αλλαγές στη διαδικασία λήψεων αποφάσεων (ποια παραγγελία θα προωθηθεί πρώτη) ή αλλαγές στην χωροθέτηση (σε ποια γραμμή θα εξυπηρετείται η κάθε παραγγελία) αλλά θα μπορούσαν να αφορούν και παρεμβάσεις στη δομή, αλλαγές που θα σήμαιναν αυτόματα κάποια επιπλέον οικονομική επιβάρυνση. Κάποιες τέτοιες αλλαγές θα μελετηθούν στις επόμενες σελίδες.

Είναι σημαντικό να αναφερθεί ότι οι αλλαγές αυτές θα πρέπει να καταμεριστούν αντίστοιχα στις δύο πλευρές του ελαττωματικού αρχικού στοιχείου του προβλήματος. Αυτό ισχύει διότι μετά από δοκιμές καταλήξαμε στο συμπέρασμα ότι αν απλά βελτιώσουμε την ροή εξόδου από το σύστημα δεν έχουμε κάποια σημαντική βελτίωση σε κανέναν από τους επιθυμητούς δείκτες ενώ από την άλλη, αν βελτιώσουμε μόνο τις συνθήκες πριν την συσκευασία τότε θα επανέλθει το πρόβλημα που αντιμετωπίσαμε αρχικά αφού θα εξυπηρετούνται πιο γρήγορα οι παραγγελίες από το ρυθμό συσκευασίας και αποστολής τους και συνεπώς θα έχουμε συσσώρευση των πάνελ στη θέση συσκευασίας.

Εδώ εξετάστηκαν τέσσερις αλλαγές που συνέβαλαν οι δύο στον πιο γρήγορο έλεγχο των καρτών και οι άλλες δύο στην πιο γρήγορη συσκευασία και απομάκρυνσή τους από την γραμμή. Αρχικά μειώσαμε τον χρόνο που απαιτείται από κάθε εργάτη για την αλλαγή του εργαλείου ελέγχου από EXPO(10), που δίνονταν από τα δεδομένα, σε EXPO(9). Μια τέτοια μείωση θα μπορούσε να γίνει με επιπλέον εκπαίδευση των εργαζομένων. Στη συνέχεια αυξήσαμε την ταχύτητα των μεταφορέων στο διπλάσιο από την αρχική, περιορίζοντας έτσι τον χρόνο μετάβασης από τον σταθμό ελέγχου στο σταθμό συσκευασίας. Αυτή η αλλαγή θα μπορούσε να γίνει με κάποια αναβάθμιση ή αντικατάστασή τους.

Name	Type	Condition	Queue Type	Queue Name
Hold 1	Scan for Condition	(posakoutia3 < 7) && (idpar(F1,1) == 0)	Queue	Hold 1.Queue
Hold 2	Scan for Condition	(posakoutia2 < 7) && (idpar(F1,1) == 0)	Queue	Hold 2.Queue
Hold 3	Scan for Condition	(posakoutia1 < 7) && (idpar(F1,1) == 0)	Queue	Hold 3.Queue
Name	Type	Condition	Queue Type	Queue Name
Hold 1	Scan for Condition	(posakoutia3 < 5) && (idpar(F1,1) == 0)	Queue	Hold 1.Queue
Hold 2	Scan for Condition	(posakoutia2 < 5) && (idpar(F1,1) == 0)	Queue	Hold 2.Queue
Hold 3	Scan for Condition	(posakoutia1 < 5) && (idpar(F1,1) == 0)	Queue	Hold 3.Queue

Σχήμα 4.11: Αριθμός θέσεων συσκευασίας πριν και μετά τις αλλαγές.

Name	Segment Name	Type	Velocity	Units
Conveyor 1	Conveyor 1.Segment	Accumulating	4	Per Minute
Conveyor 2	Conveyor 2.Segment	Accumulating	1.68	Per Minute
Conveyor 3	Conveyor 3.Segment	Accumulating	1.42	Per Minute
Name	Segment Name	Type	Velocity	Units
Conveyor 1	Conveyor 1.Segment	Accumulating	2	Per Minute
Conveyor 2	Conveyor 2.Segment	Accumulating	0.84	Per Minute
Conveyor 3	Conveyor 3.Segment	Accumulating	0.71	Per Minute

Σχήμα 4.10: Ταχύτητα μεταφορέων πριν και μετά τις αλλαγές.

Process	Standard	Delay	Expression	Minutes	Value Added	TRIA
Process 20	Standard	Delay	Expression	Minutes	Value Added	TRIA(21, 3.6, 4.9)
Process 21	Standard	Delay	Expression	Minutes	Value Added	TRIA(21, 3.6, 4.9)
Process 22	Standard	Delay	Expression	Minutes	Value Added	TRIA(21, 3.6, 4.9)
Process 20	Standard	Delay	Expression	Minutes	Value Added	TRIA(3.1, 4.6, 5.9)
Process 21	Standard	Delay	Expression	Minutes	Value Added	TRIA(3.1, 4.6, 5.9)
Process 22	Standard	Delay	Expression	Minutes	Value Added	TRIA(3.1, 4.6, 5.9)

Σχήμα 4.12: Ρυθμός απομάκρυνσης κιβωτίων πριν και μετά τις αλλαγές.

Ενώ όσον αφορά τη βελτίωση των συνθηκών συσκευασίας και εξόδου των παραγγελιών εστίασαμε σε δύο κομμάτια αυξάνοντας τις διαθέσιμες θέσεις συσκευασίας (Σχήμα 4.11) από πέντε σε επτά και βελτιώνοντας τον ρυθμό απομάκρυνσης των κουτιών από τις θέσεις συσκευασίας μετά την πλήρωσή τους (Σχήμα 4.12).

Εδώ πρέπει να αναφερθεί ότι αυτές οι αλλαγές πραγματοποιήθηκαν στο βέλτιστο μοντέλο που καταλήξαμε στις προηγούμενες υποενότητες (4.3).

Αν λοιπόν παρατηρήσουμε τις τιμές στους παρακάτω πίνακες θα δούμε μια νέα σημαντική βελτίωση στις τιμές τους που επιφέρει και σημαντική διαφορά στο χρόνο εξυπηρέτησης κάθε παραγγελίας ο οποίος μειώνεται στα 112.35 λεπτά.

Identifier	Average	Half Width	Minimum	Maximum	Observations
xron eksup parag	112.35	(Insuf)	37.192	478.01	23

Σχήμα 4.13: Χρόνος εξυπηρέτησης παραγγελίας.

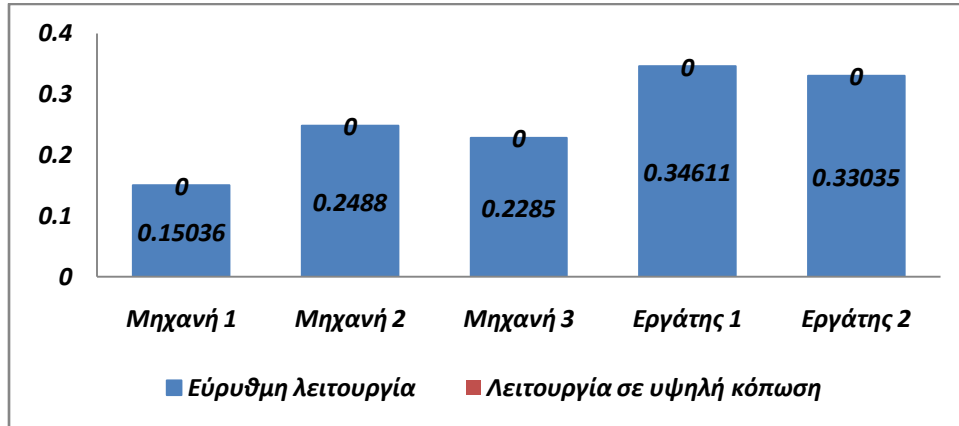
	Total time per panel (minutes)	Waiting time per panel (minutes)
Process 13	22.911	14.854
Process 6	82.490	29.012
Process 15	47.560	37.383

Πίνακας 4.8: Συνολικό Χρονοδιάγραμμα για τον έλεγχο των πάνελ μετά την αλλαγή.

	Batch 1	Batch 2	Batch 3
Number in Queue	0.67294	2.7078	1.0758
Queue Waiting Time (minutes)	19.411	29.012	21.185

Πίνακας 4.9: Χρόνοι αναμονής για τη διανομή σε πακέτα και αριθμός αντικειμένων στην ουρά μετά την αλλαγή.

Όσον αφορά το βαθμό χρησιμοποίησης μηχανών και εργαζομένων, έχουμε και εδώ μια σημαντική μείωση του ποσοστού κάτι απόλυτα λογικό αφού μειώνεται η απασχόλησή τους για αλλαγές εργαλείων ελέγχου και περιορίζεται ο χρόνος καθυστέρησης στην προώθηση παραγγελιών μέσα στο σύστημα.



Πίνακας 4.10: Βαθμός Απασχόλησης Μηχανών και Εργατών μετά την αλλαγή.

Κεφάλαιο 5 – Αποτελέσματα/Συμπεράσματα και Προτάσεις επέκτασης

Συνοψίζοντας, σε αυτό το κεφάλαιο θα παρουσιαστούν οι απαντήσεις των ερωτημάτων και των στόχων που τέθηκαν από την εταιρεία και τις αποδόσεις των τελικών μας προτάσεων συγκριτικά με τις αρχικές συνθήκες. Θα δοθούν ακόμα κάποιες προτάσεις για επέκταση της διπλωματικής και μελλοντική μελέτη.

5.1 Στόχοι που τέθηκαν και Απαντήσεις σε αυτούς

5.1.1 Σχεδιάγραμμα Επιχείρησης και Εναλλακτικά, Βελτιωτικά Σενάρια

Στο Κεφάλαιο 3 παρουσιάστηκε αναλυτικά σε τέσσερα βήματα πως δημιουργήθηκε το μοντέλο που ζήτησε η μητρική εταιρεία, ένα μοντέλο που παρουσιάζεται στο 'Σχήμα 3.17'. Τρέχοντας το συγκεκριμένο μοντέλο καταλήξαμε στον χαρακτηρισμό του ως ανεπαρκές για τις ανάγκες της εταιρείας και προχωρήσαμε στην δημιουργία εναλλακτικών επιλογών τόσο χωρίς κόστος όσο και με επιπλέον έξοδα για τους μετόχους της μητρικής εταιρείας.

Στο Κεφάλαιο 4 παρουσιάστηκαν κάποιες επιμέρους σκέψεις οι οποίες οδήγησαν στην λειτουργία της εταιρείας. Τελική μας πρόταση, χωρίς την απαίτηση επιπλέον κεφαλαίου αποτέλεσε ο συνδυασμός του ελέγχου της προώθησης των παραγγελιών που παρουσιάστηκε στο υποκεφάλαιο 4.1 με τον διαχωρισμό των παραγγελιών στις τρεις γραμμές ελέγχου ανάλογα με το εργαλείο που απαιτείται για τον έλεγχο τους που παρουσιάστηκε στο υποκεφάλαιο 4.2. Αυτές οι αλλαγές φαίνονται στο 'Σχήμα 4.7' και οδήγησαν τόσο στην ομαλή λειτουργία της εταιρείας όσο και σε πολύ ικανοποιητικές τιμές στους δείκτες που ζητούνταν και που προηγουμένως είχαν βρεθεί προβληματικοί. Στη συνέχεια παρουσιάστηκε ένα εναλλακτικό σενάριο που εμπεριείχε κόστος για τους μετόχους με αλλαγές που παρουσιάζονται στα σχήματα 4.10, 4.11 και 4.12, δίνοντας έτσι τη δυνατότητα στους μετόχους να αποφασίσουν αν θα επενδύσουν κάποιο επιπλέον κεφάλαιο και δείχνοντας πως αυτό θα επηρέαζε την λειτουργία.

5.1.2 Κατανομή καρτών σε κιβώτια.

Στο υποκεφάλαιο 3.4 παρουσιάστηκε η πρόταση μας για τον τρόπο κατανομής των καρτών στα κιβώτια. Αρχικά με τη χρήση της μεταβλητής 'praksi' αποφασίζουμε πόσα κιβώτια θα χρειαστούμε για κάθε παραγγελία που λαμβάνουμε.

Στη συνέχεια με τη χρήση της σχέσης 3.2, των μεταβλητών $koutia_1(F1,1)$ και $koutia_1(F1,2)$ αλλά και των δεδομένων που λάβαμε για τη χωρητικότητα των κουτιών σε κάρτες, που ήταν διαφορετική για κάθε είδος κάρτας, καταλείψαμε τις κάρτες στα κουτιά που είχαμε αποφασίσει ότι θα χρειασθούν. Αξίζει να σημειωθεί ότι δουλέψαμε με αριθμό καρτών, και όχι με αριθμό πάνελ, οπότε χρειάστηκε να πολλαπλασιάσουμε τον αριθμό των πάνελ μιας παραγγελίας με τον αριθμό των καρτών που περιέχονται στο εκάστοτε πάνελ.

Έτσι αν παραδείγματος χάρη έρθει η παραγγελία No.15 για δεκατέσσερα πάνελ PN00708, γνωρίζουμε ότι για αυτό τον τύπο πάνελ $F8=2$ και $totecap=11$, τότε θα έχουμε:

$$praksi = \frac{panels\ per\ arr * F8 - MOD(panels\ per\ arr * F8, totecap)}{totecap} = \frac{14 * 2 - 6}{11} = 2$$

$$Batch\ size | 1 = \frac{panels\ per\ arr * F8 - koutia_1(F1,1)}{praksi + 1 - koutia_1(F1,2)} = \frac{14 * 2 - 0}{2 + 1 - 0} = 9.33 \rightarrow 10$$

$$Batch\ size | 2 = \frac{panels\ per\ arr * F8 - koutia_1(F1,1)}{praksi + 1 - koutia_1(F1,2)} = \frac{14 * 2 - 10}{2 + 1 - 1} = 9 \rightarrow 9$$

$$Batch\ size | 3 = \frac{panels\ per\ arr * F8 - koutia_1(F1,1)}{praksi + 1 - koutia_1(F1,2)} = \frac{14 * 2 - 19}{2 + 1 - 2} = 9 \rightarrow 9$$

Και συνεπώς θα χρειαστούμε τρία κουτιά, που στην καλύτερη περίπτωση θα χωρούσαν από έντεκα κάρτες, στα οποία θα συσκευάσουμε δέκα, εννέα και εννέα κάρτες αντίστοιχα.

Αντίστοιχα, για την παραγγελία No.52 για δεκαεπτά πάνελ PN11981, γνωρίζουμε ότι για αυτό τον τύπο πάνελ $F8=5$ και $totecap=26$, και θα έχουμε:

$$praksi = \frac{panels\ per\ arr * F8 - MOD(panels\ per\ arr * F8, totecap)}{totecap} = \frac{17 * 5 - 7}{26} = 3$$

$$\text{Batch size} | 1 = \frac{\text{panels per arr} * F8 - \text{koutia 1}(F1,1)}{\text{praksi} + 1 - \text{koutia 1}(F1,2)} = \frac{17 * 5 - 0}{3 + 1 - 0} = 21.25 \rightarrow 22$$

$$\text{Batch size} | 2 = \frac{\text{panels per arr} * F8 - \text{koutia 1}(F1,1)}{\text{praksi} + 1 - \text{koutia 1}(F1,2)} = \frac{17 * 5 - 22}{3 + 1 - 1} = 21 \rightarrow 21$$

$$\text{Batch size} | 3 = \frac{\text{panels per arr} * F8 - \text{koutia 1}(F1,1)}{\text{praksi} + 1 - \text{koutia 1}(F1,2)} = \frac{17 * 5 - 43}{3 + 1 - 2} = 21 \rightarrow 21$$

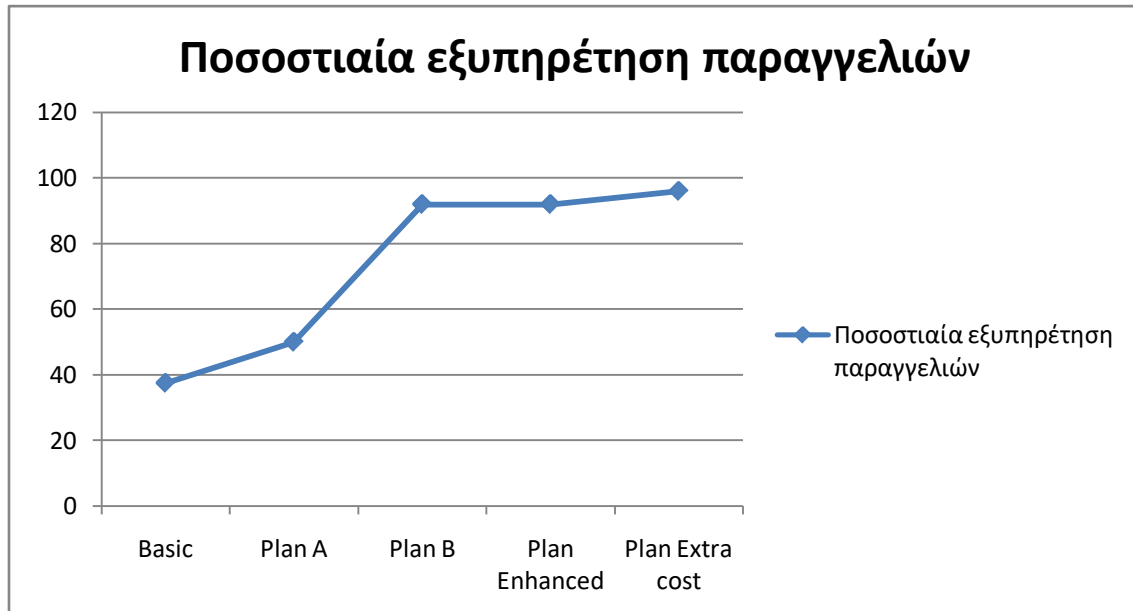
$$\text{Batch size} | 4 = \frac{\text{panels per arr} * F8 - \text{koutia 1}(F1,1)}{\text{praksi} + 1 - \text{koutia 1}(F1,2)} = \frac{17 * 5 - 64}{3 + 1 - 3} = 21 \rightarrow 21$$

Και συνεπώς θα χρειαστούμε τέσσερα κουτιά, που στην καλύτερη περίπτωση θα χωρούσαν από 26 κάρτες, στα οποία θα συσκευάσουμε 22, 21, 21 και 21 κάρτες αντίστοιχα.

5.1.3 Βαθμός εξυπηρέτησης παραγγελιών και Μέσος Χρόνος εξυπηρέτησης παραγγελίας.

Στη πορεία της διπλωματικής ξεχωρίσαμε σε κάθε σενάριο τόσο το μέσο χρόνο εξυπηρέτησης για τις παραγγελίες όσο και τον αριθμό των παραγγελιών που εξυπηρετούνται εβδομαδιαίως από την εταιρεία. Βέβαια όπως προαναφέρθηκε οι τιμές που πάρθηκαν από τα πρώτα σενάρια δεν είναι άμεσα συγκρίσιμες με αυτές που λήφθηκαν από τα επόμενα αφού αυτές αφορούν μόνο εννέα ώρες λειτουργίας της πρώτης μέρας.

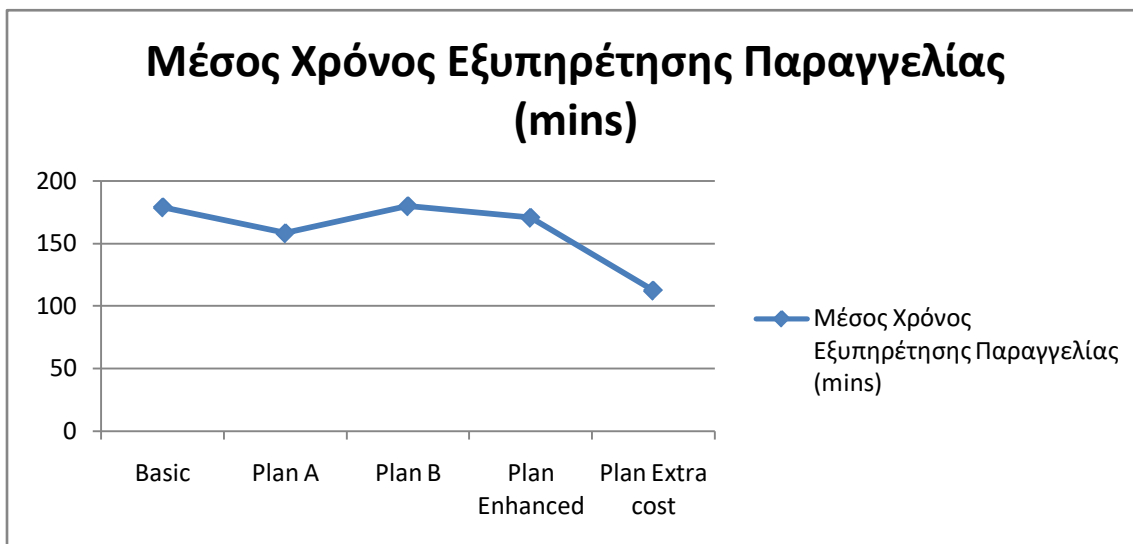
Έτσι όσον αφορά τον αριθμό των παραγγελιών που εξυπηρετούνται έχουμε τα παρακάτω αποτελέσματα. Τα αποτελέσματα παρουσιάζονται σε ποσοστιαία εκπλήρωση των παραγγελιών ώστε να μπορούν να είναι συγκρίσιμα το ένα με το άλλο.



Πίνακας 5.1: Ποσοστιαία εξυπηρέτηση παραγγελιών.

Έτσι από τα αρχικά 37.5% και 50%, που είχαν αποδειχθεί ανεπαρκή, καταλήγουμε μετά από τις βελτιωτικές κινήσεις που προτείνουμε στις σαφώς ανώτερες των 92% και 96%.

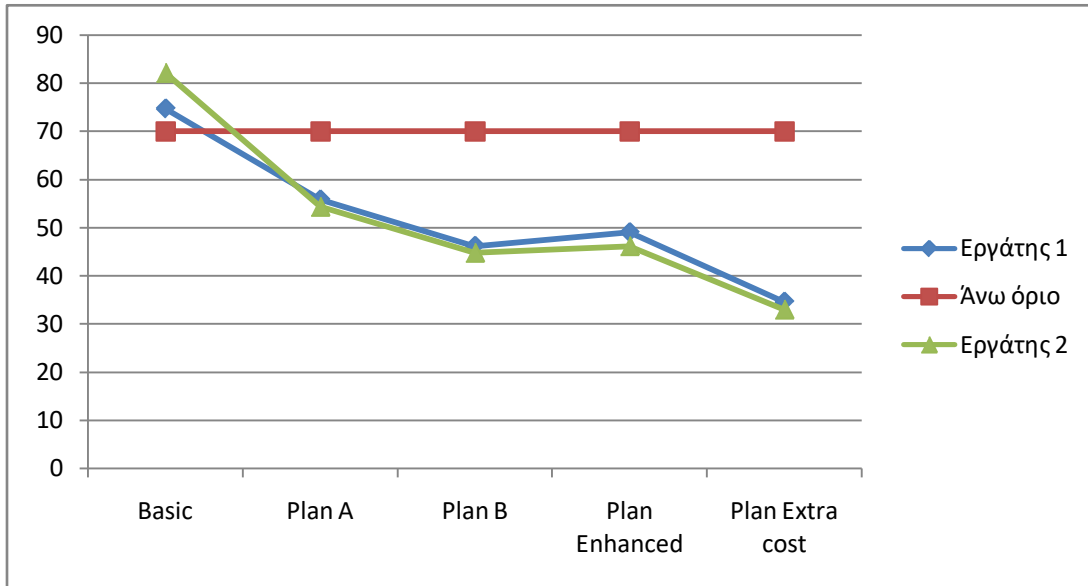
Όσον αφορά τον μέσο χρόνο εξυπηρέτησης των παραγγελιών βλέπουμε μια διαφορετική κατανομή, γεγονός που ούτως ή άλλως υπήρξε η αφορμή για την δημιουργία του τρίτου σεναρίου. Μπορούμε επίσης να παρατηρήσουμε ότι ο χρόνος εξυπηρέτησης στο μοντέλο με το επαυξημένο κόστος είναι σαφώς μικρότερος από τα υπόλοιπα σενάρια.



Πίνακας 5.2: Μέσος Χρόνος Εξυπηρέτησης Παραγγελίας (mins).

5.1.4 Χρόνος απασχόλησης εργαζομένων

Τέλος ένας δείκτης στον οποίο μας ζητήθηκε από την εταιρεία να εστιάσουμε ήταν ο χρόνος απασχόλησης των εργαζομένων. Ο χρόνος αυτός μας ζητήθηκε να είναι κάτω από το 70% του χρόνου που βρίσκονται στην επιχείρηση και παρότι ξεκινήσαμε από σημαντικά μεγαλύτερα ποσοστά καταλήξαμε σε αποδεκτά και μάλιστα σε αρκετά χαμηλότερο βαθμό απασχόλησης.



Πίνακας 5.3: Βαθμός απασχόλησης εργαζομένων.

Όπως αναμενόταν ο βαθμός χρησιμοποίησης στο τελευταίο σενάριο είναι σημαντικά μικρότερος, και πιθανόν μη κερδοφόρος για την εταιρεία, λόγω των σημαντικών αλλαγών στις οποίες έχουμε προχωρήσει και οι οποίες με τη σειρά τους κάνουν τη διαδικασία σημαντικά πιο γρήγορη και σαφώς λιγότερο απαιτητική για τους εργαζομένους.

5.2 Προτάσεις Επέκτασης της Διπλωματικής Εργασίας.

Η συγκεκριμένη διπλωματική εργασία μπορεί να αναλυθεί και κατά συνέπεια να επεκταθεί σε πολλές κατευθύνσεις. Ενδεικτικά θα αναφερθούν ορισμένες από αυτές.

Α) Μεγάλη ποικιλία έρευνας μπορεί να υπάρξει στις βελτιωτικές αλλαγές που προτείναμε. Τόσο στο χρόνο τον οποίο καθυστερούμε τις παραγγελίες, που μελετήσαμε στο υποκεφάλαιο 4.1, όσο και στις κατανομές των πάνελ στις γραμμές ελέγχου, που μελετήθηκε στο υποκεφάλαιο 4.2, μπορούν να γίνουν πολλοί συνδυασμοί που μπορούν να παρέχουν ακόμα καλύτερα αποτελέσματα. Είναι επίσης πιθανόν με αυτούς τους συνδυασμούς να προκύψουν κάποια σενάρια που αυτές οι αλλαγές να λειτουργούν σε βάρος της παραγωγικής διαδικασίας.

Β) Ακόμα θα μπορούσε να υπάρξει προσπάθεια ώστε να γίνουν περαιτέρω βελτιωτικές κινήσεις στην παραγωγική διαδικασία. Αυτές οι αλλαγές θα μπορούσαν να αφορούν όλα τα μοντέλα, και ιδιαίτερα αυτό με το επιπλέον κόστος όπου μπορούν να ποικίλουν από την αλλαγή στον αριθμό των εργαζομένων έως και την προσθήκη επιπλέον γραμμών στην εταιρεία.

Γ) Τέλος, και πιο ενδιαφέρουσα επέκταση, θα ήταν η προσθήκη της έννοιας του κόστους. Κάθε αλλαγή και κάθε διαδικασία κοστίζει στην εταιρεία και τους μετόχους, από χρήματα και χρόνο ως και αξιοπιστία προς τους πελάτες. Αυτό το κόστος θα μπορούσε να ποσοτικοποιηθεί και να αναλυθεί στο μοντέλο ώστε να υπάρχει ένα πιο χειροπιαστό αποτέλεσμα αλλαγών και κέρδους.

Κατάλογος Σχημάτων

Κεφάλαιο 1

Σχήμα 1.1: Βασικά Βήματα Προσομοιωτικής μελέτης.....	10
--	----

Κεφάλαιο 2

Σχήμα 2.1: Γενική απεικόνιση της δομής του συστήματος.....	17
Σχήμα 2.2: Περιβάλλον εργασίας Rockwell Arena.	23
Σχήμα 2.3: Μενού ‘Object’	23
Σχήμα 2.4: Run Setup	23
Σχήμα 2.5: General Project bar shot	24

Κεφάλαιο 3

Σχήμα 3.1: Δομή εισόδου παραγγελίας και αποστολής της στην γραμμή ελέγχου.....	26
Σχήμα 3.2: Ενδεικτικό τμήμα του εγγράφου excel με χρόνους αφίξεων και αριθμούς πάνελ ανά παραγγελία.....	26
Σχήμα 3.3: Modules ‘Separate 7’ & ‘Route 15’	27
Σχήμα 3.4: Module ‘Read/Write 1’	27
Σχήμα 3.5: Δομή γραμμής ελέγχου.....	28
Σχήμα 3.6: Ενδεικτικές τιμές και αποτύπωση για πιθανότητα αποτυχίας στον έλεγχο.....	28
Σχήμα 3.7: “Search and remove” Module	29
Σχήμα 3.8: Επεξεργασία αλλαγής εργαλείου ελέγχου.	29
Σχήμα 3.9: Έλεγχος συμβατότητας εργαλείου ελέγχου.....	29
Σχήμα 3.10: Ενδεικτική Δομή επιλογής και Εισόδου σε μεταφορέα.....	30
Σχήμα 3.11: Δεδομένα conveyors.....	30
Σχήμα 3.12: Δομή Γραμμής Επισκευής.	30
Σχήμα 3.13: Δομή ομαδοποίησης καρτών και αποστολής τους.	31
Σχήμα 3.14: Διαδικασία κοπής και αναμονή συσκευασίας.	31
Σχήμα 3.15: Ομαδοποίηση και προσθήκες κουτιών σε θέσει συσκευασίας	32
Σχήμα 3.16: Δομή πριν την έξοδο.....	33
Σχήμα 3.17: Δομή επιχείρησης όπως αυτή προτάθηκε.....	34
Σχήμα 3.18: Χρόνος εξυπηρέτησης παραγγελίας.....	35
Σχήμα 3.19: Αριθμός εισερχόμενων παραγγελιών και ολοκληρωμένων.....	35

Κεφάλαιο 4

Σχήμα 4.1: Αλλαγή πριν τη δομή επιλογής εργαλείου στο τμήμα ελέγχου.....	38
Σχήμα 4.2: Αριθμός εισερχόμενων παραγγελιών και ολοκληρωμένων.....	39
Σχήμα 4.3: Νέος χρόνος εξυπηρέτησης παραγγελιών.....	39

Σχήμα 4.4: Δομή επιλογής γραμμής ελέγχου μετά την αλλαγή.....	41
Σχήμα 4.5: Χρόνος εξυπηρέτησης Παραγγελίας.	41
Σχήμα 4.6: Αριθμός εισερχόμενων παραγγελιών και ολοκληρωμένων.....	41
Σχήμα 4.7: Δομή όπως προκύπτει με τον συνδυασμό των δύο βελτιωτικών κινήσεών μας.	43
Σχήμα 4.8: Αριθμός εισερχόμενων παραγγελιών και ολοκληρωμένων.....	43
Σχήμα 4.9: Χρόνος εξυπηρέτησης παραγγελίας.....	43
Σχήμα 4.10: Ταχύτητα μεταφορέων πριν και μετά τις αλλαγές.....	45
Σχήμα 4.11: Αριθμός θέσεων συσκευασίας πριν και μετά τις αλλαγές.	45
Σχήμα 4.12: Ρυθμός απομάκρυνσης κιβωτίων πριν και μετά τις αλλαγές.....	46
Σχήμα 4.13: Χρόνος εξυπηρέτησης παραγγελίας.....	46

Κατάλογος Πινάκων

Κεφάλαιο 3

Πίνακας 3.1: Συνολικοί χρόνοι και χρόνοι αναμονής για τον έλεγχο των πάνελ.....	36
Πίνακας 3.2: Χρόνοι αναμονής για τη διανομή σε πακέτα και αριθμός αντικειμένων ουράς.....	36
Πίνακας 3.3: Βαθμός Απασχόλησης Μηχανών και Εργατών.....	37

Κεφάλαιο 4

Πίνακας 4.1: Συνολικό Χρονοδιάγραμμα για τον έλεγχο των πάνελ μετά την αλλαγή.....	40
Πίνακας 4.2: Βαθμός Απασχόλησης Μηχανών και Εργατών μετά την αλλαγή.	40
Πίνακας 4.3: Συνολικό Χρονοδιάγραμμα για τον έλεγχο των πάνελ μετά την αλλαγή.....	42
Πίνακας 4.4: Χρόνοι αναμονής για τη διανομή σε πακέτα και αριθμός αντικειμένων στην ουρά μετά την αλλαγή.	42
Πίνακας 4.5: Βαθμός Απασχόλησης Μηχανών και Εργατών μετά την αλλαγή.	44
Πίνακας 4.6: Συνολικό Χρονοδιάγραμμα για τον έλεγχο των πάνελ μετά την αλλαγή.	44
Πίνακας 4.7: Χρόνοι αναμονής για τη διανομή σε πακέτα και αριθμός αντικειμένων στην ουρά μετά την αλλαγή.	44
Πίνακας 4.8: Συνολικό Χρονοδιάγραμμα για τον έλεγχο των πάνελ μετά την αλλαγή.....	46
Πίνακας 4.9: Χρόνοι αναμονής για τη διανομή σε πακέτα και αριθμός αντικειμένων στην ουρά μετά την αλλαγή.	46
Πίνακας 4.10: Βαθμός Απασχόλησης Μηχανών και Εργατών μετά την αλλαγή.	47

Κεφάλαιο 5

Πίνακας 5.1: Ποσοστιαία εξυπηρέτηση παραγγελιών.	51
Πίνακας 5.2: Μέσος Χρόνος Εξυπηρέτησης Παραγγελίας (mins).	51
Πίνακας 5.3: Βαθμός απασχόλησης εργαζομένων.....	52

Βιβλιογραφία

- [1]: en.wikipedia.org/wiki/Simulation
- [2]: el.wikipedia.org/wiki/Επιχειρησιακή_Μοντελοποίηση
- [3]: Φεσάκης Γιώργος, Δημητρακοπούλου Αγγελική, Καλαβάσης Φραγκίσκος – *Technology based Modelling Activities in Secondary Education: Exploration and Experimentation In* (Ed) V. Makrakis, Proceedings of 91 - 2001.
- [4]: Καρατζά Ε. – *Μοντελοποίηση και Προσομοίωση* – Πανεπιστημιακές Σημειώσεις, Αριστοτέλειο Πανεπιστήμιο Θεσσαλονίκης – 2006.
- [5]: *Προσομοίωση Επιχειρησιακών Συστημάτων (Τεύχος Α')* Για Το Μάθημα 'Προσομοίωση Βιομηχανικής Παραγωγής' - Βόλος 2009-10.
- [6]: Βιδάλης Μιχάλης - *Διδακτικές Σημειώσεις για το μάθημα 'Προσομοίωση Βιομηχανικής Παραγωγής'*.
- [7]: Boutsikas M.V. - *Διδακτικές Σημειώσεις για το μάθημα 'Μέθοδοι Προσομοίωσης και Στατιστικές Υπολογιστικές Τεχνικές'* – 2004.
- [8]: Κουϊκόγλου Βασίλειος, Κωσταντάς Δημήτριος – *Προσομοίωση Συστημάτων Διακριτών Γεγονότων* – 2016.
- [9]: *Προσομοίωση Επιχειρησιακών Διαδικασιών, Μάθημα 1: Εισαγωγή* – Τμήμα Διοίκησης Επιχειρήσεων, Πανεπιστήμιο Πατρών – 2007.
- [10]: Α.Τσαλγατίδου, Γ. Δ. Κάπος – *Διδακτικές Σημειώσεις για το μάθημα 'Τεχνολογία Διοίκησης Επιχειρησιακών Διαδικασιών' Σημειώσεις για την ενότητα: Προσομοίωση Μοντέλων Επιχειρησιακών Διαδικασιών* – Εθνικό και Καποδιστριακό Πανεπιστήμιον Αθηνών – Έκδοση 1.0 – 2016.
- [11]: W. Donald Kelton, Randall P. Sakowski, Nancy B. Swets – *Simulation with Arena* –Fifth Edition - McGRAW HILL INTERNATIONAL EDITION.
- [12]: Allen Bradley, Rockwell Software – *Rockwell Automation Arena Users Guide User Manual* –November 2007.
- [13]: Robinson S. - *Simulation: The practice of model development and use* - John Wiley & Sons Press - USA, 2004.
- [14]: Hellenic congress with international participation, *New Technologies in education and Distance Education* – Atrapos Editions – pp.673-688.
- [15]: Morris D. - *An Appraisal of the Atlas supervisor* – ACM Annual Conference/Annual Meeting –1967.