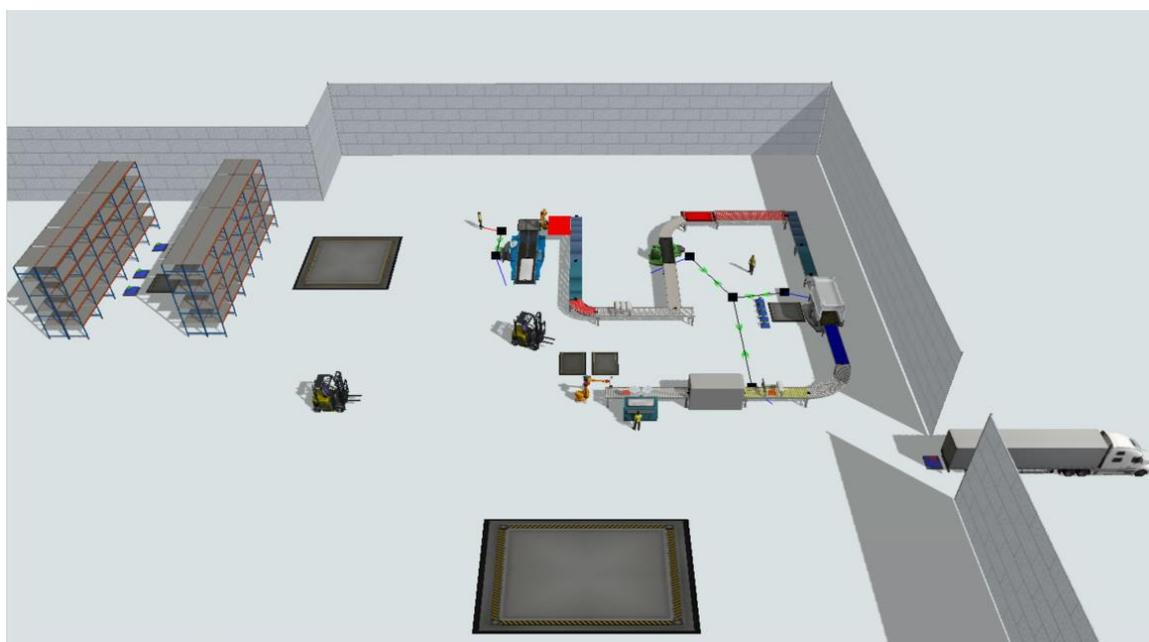




# ΕΘΝΙΚΟ ΜΕΤΣΟΒΙΟ ΠΟΛΥΤΕΧΝΕΙΟ

ΣΧΟΛΗ ΜΗΧΑΝΟΛΟΓΩΝ ΜΗΧΑΝΙΚΩΝ  
ΤΟΜΕΑΣ ΒΙΟΜΗΧΑΝΙΚΗΣ ΔΙΟΙΚΗΣΗΣ &  
ΕΠΙΧΕΙΡΗΣΙΑΚΗΣ ΕΡΕΥΝΑΣ

**Μελέτη Αποτίμησης Δυναμικότητας Γραμμής Συσκευασίας Βιομηχανίας  
Επεξεργασίας Τομάτας με τη Χρήση Λογισμικού Προσομοίωσης Διακριτών  
Γεγονότων**



ΔΙΠΛΩΜΑΤΙΚΗ ΕΡΓΑΣΙΑ

ΤΟΥ

**Μάριου Κοπανέλη**

**ΕΠΙΒΛΕΠΩΝ: ΣΤΑΥΡΟΣ ΠΟΝΗΣ**

ΚΑΘΗΓΗΤΗΣ ΕΜΠ

ΑΘΗΝΑ, Φεβρουάριος 2023

Εγκρίθηκε από την τριμελή εξεταστική επιτροπή την 17<sup>η</sup> Φεβρουαρίου 2023

.....  
Πόνης Σταύρος  
Καθηγητής Ε.Μ.Π.

.....  
Ναθανάηλ Δημήτριος  
Αναπληρωτής καθηγητής Ε.Μ.Π.

.....  
Μαρμαράς Νικόλαος  
Καθηγητής Ε.Μ.Π.

.....  
**Μάριος Κοπανέλης**

Διπλωματούχος Μηχανολόγος Μηχανικός Ε.Μ.Π.

©2023 – All rights reserved

## **Υπεύθυνη Δήλωση Εναντίον Λογοκλοπής**

*Έχω διαβάσει και κατανοήσει τους κανόνες για τη λογοκλοπή και τον τρόπο σωστής αναφοράς των πηγών που περιέχονται στον Οδηγό συγγραφής Διπλωματικών εργασιών. Δηλώνω ότι, από όσα γνωρίζω, το περιεχόμενο της παρούσας Διπλωματικής εργασίας είναι προϊόν δικής μου δουλειάς και υπάρχουν αναφορές σε όλες τις πηγές που χρησιμοποίησα.*

**Κοπανέλης Μάριος**

## Ευχαριστίες

Η διπλωματική αυτή εργασία αποτελεί τον επίλογο των προπτυχιακών μου σπουδών στη Σχολή Μηχανολόγων Μηχανικών του Εθνικού Μετσόβιου Πολυτεχνείου.

Αρχικά, θα ήθελα να ευχαριστήσω τον καθηγητή μου, κ. Σταύρο Πόνη, για την ευκαιρία που μου έδωσε να ασχοληθώ με ένα πραγματικό πρόβλημα που αντιμετωπίζει ένας Μηχανολόγος Μηχανικός Παραγωγής.

Επίσης, θα ήθελα να ευχαριστήσω όλους τους συναδέλφους μου, τον υποψήφιο διδάκτορα κ. Αντώνη Κιτσαντά, τους συμφοιτητές και φίλους μου για την βοήθεια και την στήριξη που μου παρείχαν.

Τέλος, θα ήθελα να εκφράσω την ευγνωμοσύνη μου στα μέλη της οικογένειάς μου για την εμπιστοσύνη και αμέριστη συμπαράστασή τους σε όλη τη διάρκεια των σπουδών μου.

## Περίληψη

Η παρούσα διπλωματική εργασία εκπονήθηκε στα πλαίσια του μαθήματος «Συστήματα Παραγωγής & Διακίνησης Υλικών» κατά την περίοδο εργασίας του γράφοντα σε βιομηχανία επεξεργασίας τομάτας.

Σκοπός της εργασίας ήταν η αναθεώρηση της δυναμικότητας μίας γραμμής συσκευασίας και η μελέτη σεναρίων που αφορούν τη λειτουργία της με νέο εξοπλισμό. Η επιχείρηση διαθέτει στις εγκαταστάσεις της εξοπλισμό που μπορεί να αντικαταστήσει τον υπάρχοντα ή απλά να προστεθεί σε αυτόν.

Η γραμμή χωρίζεται σε πέντε κύρια στάδια, το ντεπάλ, την ετικετέζα, το wrap-around, τον φούρνο και το ρομπότ και οι περιπτώσεις συσκευασίας που διακινούνται εντός της είναι επίσης πέντε. Για την αναθεώρηση της δυναμικότητας πραγματοποιήθηκαν χρονομετρήσεις σε κάθε στάδιο της γραμμής για κάθε περίπτωση συσκευασίας.

Για την μελέτη των σεναρίων έγινε χρήση του λογισμικού προσομοίωσης διακριτών γεγονότων FlexSim. Μοντελοποιήθηκε η γραμμή και εισήχθησαν όλες οι παράμετροι λειτουργίας της για κάθε διαφορετική περίπτωση. Από τα τέσσερα σενάρια που εξετάστηκαν, το πρώτο επικυρώνει τη λειτουργία του μοντέλου σε σχέση με το πραγματικό σύστημα, το δεύτερο μελετάει την επίδραση αντικατάστασης του φούρνου, το τρίτο εξετάζει την προσθήκη δεύτερης ετικετέζας και το τέταρτο αφορά το συνδυασμό των δύο προηγούμενων σεναρίων.

Από την ανάλυση των αποτελεσμάτων προκύπτει ότι το σενάριο με την αντικατάσταση του φούρνου εξυπηρετεί μακροπρόθεσμα την αύξηση της δυναμικότητας, ενώ η προσθήκη της ετικετέζας διευκολύνει βραχυπρόθεσμα την λειτουργία της γραμμής αλλά δεν είναι το στάδιο που θα επιτρέψει σε επόμενο βήμα μεγάλη αύξηση στη δυναμικότητα.

## Abstract

This thesis was prepared in the context of the course "Production & Material Handling Systems" during the writer's working period in a tomato processing industry.

The purpose of the work was to review the capacity of a packaging line and to study scenarios concerning its operation with new equipment. The company has in its premises equipment that can replace the existing one or simply be added to it.

The line is divided into five main stages, depalletizer, labeller, wrap-around, oven and robot, and the packaging cases handled within it are also five. To review the capacity, time measurements were made at each stage of the line for each case of packaging.

FlexSim discrete event simulation software was used to study the scenarios. The line was modeled and all its operating parameters were entered for each different case. Of the four scenarios examined, the first validates the operation of the model in relation to the real system, the second studies the effect of oven replacement, the third examines the addition of a second labeler and the fourth concerns the combination of the two previous scenarios.

From the analysis of the results, it appears that the scenario with the replacement of the oven serves the long-term increase in capacity, while the addition of the labeller facilitates the operation of the line in the short term, but is not the stage that will allow a large increase in capacity in the future.

## Περιεχόμενα

Ευχαριστίες.....	4
Περίληψη .....	5
Abstract.....	6
Κατάλογος Σχημάτων.....	9
Κατάλογος Πινάκων .....	11
1. Εισαγωγή.....	12
1.1 Δομή διπλωματικής εργασίας.....	13
1.2 Σκοπός διπλωματικής εργασίας.....	13
2. Μελέτη περίπτωσης .....	15
2.1 Περιγραφή επιχείρησης και κλάδου.....	15
2.1.1 Η επιχείρηση.....	15
2.1.2 Ο κλάδος .....	16
2.2 Περιγραφή της υπό μελέτη γραμμής συσκευασίας.....	17
2.3 Δείκτες δυναμικότητας .....	22
2.3.1 OEE (Overall Equipment Effectiveness).....	22
2.3.2 OLE & OTE.....	25
2.4 Περιγραφή προβλήματος .....	26
2.4.1 Αναθεώρηση δυναμικότητας .....	26
2.4.2 Μοντελοποίηση γραμμής .....	27
3. Προσομοίωση γραμμών παραγωγής/συσκευασίας .....	28
3.1 Ορισμός προσομοίωσης .....	28
3.2 Προσομοίωση διακριτών γεγονότων .....	29
3.3 Εφαρμογές προσομοίωσης στη βιομηχανία .....	32
4. Λογισμικό προσομοίωσης διακριτών γεγονότων FLEXSIM .....	38
4.1 Εισαγωγή στο λογισμικό .....	39
4.2 Σταθερά αντικείμενα.....	41
4.3 Εκτελεστές καθηκόντων .....	49
4.4 Μεταφορικές ταινίες .....	56
4.5 Αποθήκευση αγαθών .....	57
4.6 Δυνατότητες λογισμικού .....	58
5. Επίλυση προβλήματος.....	62
5.1 Αναθεώρηση δυναμικότητας γραμμής συσκευασίας .....	62
5.2 Προσομοίωση γραμμής με χρήση FLEXSIM .....	69
5.3 Υφιστάμενη κατάσταση .....	83
5.4 Πρώτο υπό εξέταση σενάριο .....	88
5.5 Δεύτερο υπό εξέταση σενάριο.....	91

5.6	Τρίτο υπό εξέταση σενάριο .....	96
6.	Συμπεράσματα.....	99
6.1	Ανάλυση αποτελεσμάτων .....	99
6.2	Προτάσεις/εισηγήσεις.....	100
6.3	Αποτίμηση προσωπικής εμπειρίας .....	100
	Κατάλογος αναφορών .....	102
	Παράρτημα .....	105

## Κατάλογος Σχημάτων

Σχήμα 2-1 Βιομηχανική Τομάτα (Πηγή: Τσατσάκης, 2017).....	16
Σχήμα 2-2 Depalletizer .....	17
Σχήμα 2-3 Ετικετέζα .....	18
Σχήμα 2-4 Wrap-Around .....	19
Σχήμα 2-5 Φούρνος .....	20
Σχήμα 2-6 Ρομποτικός Βραχίονας.....	21
Σχήμα 2-7 Αρχείο OEE .....	24
Σχήμα 2-8 Δείκτες OEE .....	24
Σχήμα 3-1 DES Flow (Πηγή: Discrete Event Simulation-HASH).....	30
Σχήμα 3-2 Μοντέλο γραμμής παραγωγής με χειρισμό από 6 ανθρώπους (Πηγή:Barozs et al.,2020).....	33
Σχήμα 3-3 Μοντέλο γραμμής παραγωγής με χειρισμό από ρομπότ (Πηγή:Barozs et al., 2020) .....	34
Σχήμα 3-4 Μοντέλο γραμμής παραγωγής εργοταξίου (Πηγή:Luscinski & Ivanov, 2020).....	35
Σχήμα 3-5 Διαγράμματα FlexSim (Πηγή: Luscinski & Ivanov, 2020).....	36
Σχήμα 3-6 Μοντέλο προσομοίωσης (Πηγή: Krenczyk et al., 2018).....	36
Σχήμα 4-1 Αρχική οθόνη FlexSim .....	39
Σχήμα 4-2 Μονάδες μέτρησης μοντέλου .....	40
Σχήμα 4-3 Επιφάνεια εργασίας FlexSim.....	41
Σχήμα 4-4 Πηγή και ιδιότητές της .....	42
Σχήμα 4-5 Ουρά και ιδιότητές της.....	43
Σχήμα 4-6 Επεξεργαστής και ιδιότητές του .....	44
Σχήμα 4-7 Έξοδος και ιδιότητές της .....	45
Σχήμα 4-8 Συνδυαστής και ιδιότητές του .....	46
Σχήμα 4-9 Διαχωριστής και ιδιότητές του .....	47
Σχήμα 4-10 Πολυεπεξεργαστής και ιδιότητές του .....	48
Σχήμα 4-11 Εκτελεστές καθκόντων και ιδιότητές τους .....	49
Σχήμα 4-12 Άνθρωποι και ιδιότητές τους .....	50
Σχήμα 4-13 Περονοφόρα οχήματα και ιδιότητές τους .....	51
Σχήμα 4-14 Ανελκυστήρας και ιδιότητές του.....	52
Σχήμα 4-15 Ρομπότ και ιδιότητές του .....	53
Σχήμα 4-16 Γερανογέφυρα και ιδιότητές της .....	54
Σχήμα 4-17 ASRS και ιδιότητές του .....	55
Σχήμα 4-18 Μεταφορική ταινία και ιδιότητές της.....	56
Σχήμα 4-19 Αποθηκευτικά ράφια και ιδιότητές τους .....	57
Σχήμα 4-20 Επιλογές ProcessFlow .....	58
Σχήμα 4-21 Παράδειγμα χρήσης ProcessFlow.....	59
Σχήμα 4-22 Επιλογές διαγραμμάτων και παράδειγμα .....	60
Σχήμα 4-23 Παράδειγμα χρήσης εργαλείου Parameters .....	60
Σχήμα 4-24 Περιβάλλον Experimenter .....	61
Σχήμα 5-1 Ψηφιακό ταχύμετρο .....	67
Σχήμα 5-2 Ψηφιακό ταχύμετρο με λαστιχένια ακμή .....	67
Σχήμα 5-3 Ψηφιακό ταχύμετρο με λαστιχένιο δακτύλιο .....	67
Σχήμα 5-4 Μονάδες μέτρησης μοντέλου .....	70
Σχήμα 5-5 Ευρωπαϊέτα (0,8x1,2 m) .....	70
Σχήμα 5-6 Κοτσέρβα 2,5kg.....	71
Σχήμα 5-7 Κοτσέρβα 5kg.....	71
Σχήμα 5-8 Χαρτόδισκος 2,5kg.....	72
Σχήμα 5-9 Χαρτόδισκος 5kg, για εξάδες.....	72

Σχήμα 5-10 Χαρτόδισκος 5 kg, για τετράδες .....	73
Σχήμα 5-11 Χαρτοκιβώτιο 2,5kg.....	73
Σχήμα 5-12 Χαρτοκιβώτιο 5kg .....	74
Σχήμα 5-13 Πρώτο στάδιο διαμόρφωσης χώρου .....	75
Σχήμα 5-14 Δεύτερο στάδιο διαμόρφωσης χώρου .....	75
Σχήμα 5-15 Τρίτο στάδιο διαμόρφωσης χώρου.....	76
Σχήμα 5-16 Τελικό στάδιο διαμόρφωσης χώρου .....	76
Σχήμα 5-17 ProcessFlow για ανατροφοδοσία ετικετών και νάιλον.....	77
Σχήμα 5-18 Μοντελοποίηση προετοιμασίας παλετών .....	78
Σχήμα 5-19 Προσομοίωση δημιουργίας χαρτόδισκων/χαρτοκιβωτίων .....	79
Σχήμα 5-20 Παράμετροι συστήματος .....	80
Σχήμα 5-21 Αριθμός κυτίων που ομαδοποιούνται ανά περίπτωση.....	80
Σχήμα 5-22 Προσομοίωση χτισίματος παλέτας .....	81
Σχήμα 5-23 Προσομοίωση σταθμού τυλίγματος με νάιλον .....	82
Σχήμα 5-24 Παράδειγμα χρήσης MTBFMTTR στο ντεπάλ .....	83
Σχήμα 5-25 Διαγράμματα ενδιαφέροντος για την γραμμή.....	84
Σχήμα 5-26 Ολοκληρωμένες επαναλήψεις ανά περίπτωση στην υφιστάμενη κατάσταση ...	85
Σχήμα 5-27 Αποτελέσματα Experimenter για σύνολο παλετών ανά περίπτωση.....	86
Σχήμα 5-28 Αποτελέσματα Experimenter για utilization εξοπλισμού .....	87
Σχήμα 5-29 Αποτελέσματα Experimenter για σύνολο παλετών ανά περίπτωση με νέο φούρνο .....	88
Σχήμα 5-30 Αποτελέσματα Experimenter για utilization εξοπλισμού με νέο φούρνο.....	89
Σχήμα 5-31 Ποσοστά utilization φούρνου υφιστάμενης κατάστασης και πρώτου σεναρίου .	90
Σχήμα 5-32 Χωροταξία με προσθήκη δεύτερης ετικετέζας .....	91
Σχήμα 5-33 ProcessFlow με προσθήκη δεύτερης ετικετέζας .....	92
Σχήμα 5-34 Αποτελέσματα Experimenter για σύνολο παλετών ανά περίπτωση με προσθήκη δεύτερης ετικετέζας .....	92
Σχήμα 5-35 Αποτελέσματα Experimenter για utilization εξοπλισμού ανά περίπτωση με προσθήκη δεύτερης ετικετέζας.....	94
Σχήμα 5-36 Μέσο περιεχόμενο και μέσος χρόνος παραμονής σε buffer σε υφιστάμενη κατάσταση .....	95
Σχήμα 5-37 Μέσο περιεχόμενο και μέσος χρόνος παραμονής σε buffer με προσθήκη δεύτερης ετικετέζας .....	96
Σχήμα 5-38 Αποτελέσματα Experimenter για σύνολο παλετών ανά περίπτωση σε συνδυασμό σεναρίων.....	96
Σχήμα 5-39 Αποτελέσματα Experimenter για utilization εξοπλισμού ανά περίπτωση σε συνδυασμό σεναρίων.....	97

## Κατάλογος Πινάκων

Πίνακας 5-1 Αρχική δυναμικότητα ανά περίπτωση (τεμάχια/ώρα).....	62
Πίνακας 5-2 Δυναμικότητα wrap-around ανά περίπτωση .....	63
Πίνακας 5-3 Δυναμικότητα ρομπότ ανά περίπτωση .....	64
Πίνακας 5-4 Δυναμικότητα wrap-around σε τεμάχια/ώρα .....	65
Πίνακας 5-5 Τελική δυναμικότητα και σύγκριση με αρχική.....	66
Πίνακας 5-6 Ταχύτητες πρώτων επτά μεταφορικών ταινιών της γραμμής (m/min) .....	68
Πίνακας 5-7 Ταχύτητες επόμενων οκτώ μεταφορικών ταινιών της γραμμής (m/min) .....	68
Πίνακας 5-8 Ελάχιστη - Μέση - Μέγιστη τιμή κυτίων ανά περίπτωση(Output) .....	86
Πίνακας 5-9 Ελάχιστη - Μέση - Μέγιστη τιμή αξιοποίησης εξοπλισμού ανά περίπτωση (Utilization).....	87
Πίνακας 5-10 Ελάχιστη - Μέση - Μέγιστη τιμή κυτίων ανά περίπτωση με νέο φούρνο .....	89
Πίνακας 5-11 Ελάχιστη -Μέση - Μέγιστη τιμή utilization εξοπλισμού ανά περίπτωση με νέο φούρνο.....	90
Πίνακας 5-12 Ελάχιστη - Μέση - Μέγιστη τιμή κυτίων ανά περίπτωση με προσθήκη δεύτερης ετικετέζας.....	93
Πίνακας 5-13 Ελάχιστη - Μέση - Μέγιστη τιμή utilization εξοπλισμού ανά περίπτωση με προσθήκη δεύτερης ετικετέζας.....	95
Πίνακας 5-14 Ελάχιστη - Μέση - Μέγιστη τιμή κυτίων ανά περίπτωση σε συνδυασμό σεναρίων .....	97
Πίνακας 5-15 Ελάχιστη - Μέση - Μέγιστη τιμή utilization εξοπλισμού ανά περίπτωση σε συνδυασμό σεναρίων.....	98

## 1. Εισαγωγή

Το κεφάλαιο αυτό εισάγει τον αναγνώστη στο αντικείμενο και τους στόχους της εργασίας και παρέχει μία εικόνα για το περιεχόμενο των κεφαλαίων που ακολουθούν. Η παρούσα διπλωματική εργασία έχει ως αντικείμενο την μελέτη μίας γραμμής συσκευασίας κατά τη λειτουργία της και την αποτύπωσή της σε ένα λογισμικό προσομοίωσης διακριτών γεγονότων.

Η μελέτη της γραμμής συσκευασίας επικεντρώνεται στην εξακρίβωση της δυναμικότητας της γραμμής, δηλαδή της μέγιστης ποσότητας τελικών προϊόντων που μπορεί να διεκπεραιώσει σε δεδομένο χρονικό διάστημα. Στα πλαίσια αυτής της μελέτης πραγματοποιήθηκαν χρονομετρήσεις επί της γραμμής και αποτυπώθηκαν όλες οι παράμετροι που επηρεάζουν το σύστημα. Η γραμμή συσκευασίας εξυπηρετεί περισσότερες από μία περιπτώσεις συσκευασίας, επομένως η μελέτη προσαρμόστηκε στην αποτύπωση όλων των παραμέτρων για κάθε μία από αυτές. Έπειτα, έγινε ανάλυση των παραμέτρων και ορίστηκε η μέγιστη δυναμικότητα της γραμμής για κάθε περίπτωση.

Στην πορεία μοντελοποιήθηκε η λειτουργία της γραμμής με τη χρήση λογισμικού προσομοίωσης διακριτών γεγονότων. Το λογισμικό που χρησιμοποιήθηκε ονομάζεται FlexSim και το περιβάλλον του επιτρέπει την τρισδιάστατη αναπαράσταση, επομένως παρακάτω παρουσιάζεται μία πιστή απεικόνιση του πραγματικού συστήματος, τόσο λειτουργικά όσο και σχεδιαστικά. Στο λογισμικό έγινε εισαγωγή όλων των παραμέτρων που αποτυπώθηκαν στο προηγούμενο στάδιο της μελέτης, αλλά και όσων ακόμα δεδομένων απαιτήθηκαν, ώστε το μοντέλο να προσομοιώνει σε ικανοποιητικό επίπεδο την πραγματική λειτουργία.

Αξιοποιώντας τις δυνατότητες του λογισμικού έγιναν πειραματικές δοκιμές σε εναλλακτικά σενάρια, τα οποία αφορούν την ενσωμάτωση νέου εξοπλισμού στη γραμμή. Για τα σενάρια αυτά προέκυψαν αποτελέσματα που υποδεικνύουν το ποσοστό βελτίωσης της λειτουργίας της γραμμής, αποτελώντας μία πρώτη ένδειξη του κατά πόσο έχει νόημα να εφαρμοστούν στην πράξη. Η εφαρμογή τους είναι εφικτή καθώς ο εξοπλισμός αυτός βρίσκεται διαθέσιμος στις εγκαταστάσεις της επιχείρησης και μπορεί να μεταφερθεί και προσαρμοστεί έτσι ώστε να αποτελέσει μέρος της ήδη υπάρχουσας γραμμής.

Τέλος, αναλύθηκαν όλα τα δεδομένα και διατυπώθηκαν προτάσεις με γνώμονα την αύξηση της απόδοσης της γραμμής. Το λογισμικό παρείχε τα απαραίτητα στοιχεία που υποστηρίζουν τις προτάσεις. Η διπλωματική εργασία ολοκληρώνεται με μία αποτίμηση της προσωπικής εμπειρίας, όπου περιγράφονται τα εφόδια που αποκτήθηκαν κατά τη συγγραφή και έρευνα για τη εκπόνησή της.

Η βιβλιογραφία που χρησιμοποιήθηκε για την δόμηση της παρούσας εργασίας επιλέχθηκε με βασικά κριτήρια την αξιοπιστία όσων υποστηρίζονται καθώς και την ημερομηνία σύνταξης του κειμένου κάθε πηγής. Αποτέλεσε δηλαδή στόχο, η σύνταξη μιας διπλωματικής εργασίας που να στηρίζεται στις πιο σύγχρονες και επιστημονικά τεκμηριωμένες μεθόδους στον χώρο της βιομηχανίας.

## 1.1 Δομή διπλωματικής εργασίας

Η δομή της διπλωματικής εργασίας επιλέχθηκε να γίνει με τρόπο τέτοιο, ώστε αρχικά να παρουσιάζεται το πρόβλημα που θα κληθεί να αντιμετωπίσει η επιχείρηση, στη συνέχεια να περιγράφονται οι μέθοδοι επίλυσης που μπορούν να χρησιμοποιηθούν και να τεκμηριώνεται η ευστάθειά τους, με αποτέλεσμα να αναλύεται η εφαρμογή των μεθόδων αυτών στο συγκεκριμένο πρόβλημα και να σχολιάζονται τα αποτελέσματά τους.

Η δομή της εργασίας διαρθρώνεται ως εξής:

Το **παρόν κεφάλαιο** δίνει το πλαίσιο της εργασίας, δηλαδή το αντικείμενό της, μία αναφορά στο περιεχόμενο των κεφαλαίων της και τέλος τον σκοπό και τους στόχους της.

Το **2<sup>ο</sup> κεφάλαιο** περιέχει την περιγραφή της μελέτης περίπτωσης (case study) που αποτέλεσε αιτία συγγραφής της διπλωματικής εργασίας. Στο κεφάλαιο αυτό περιγράφεται η επιχείρηση και η γραμμή συσκευασίας για την οποία πραγματοποιήθηκε η έρευνα, οι δείκτες που παρακολουθεί η εταιρία καθώς και το πρόβλημα που κλήθηκε να επιλύσει.

Το **3<sup>ο</sup> κεφάλαιο** παραθέτει το βιβλιογραφικό υπόβαθρο που απαιτήθηκε σχετικά με τις μεθόδους προσομοίωσης. Ιδιαίτερη αναφορά γίνεται στην προσομοίωση διακριτών γεγονότων ενώ στο τελευταίο υποκεφάλαιο αυτού του κεφαλαίου παρουσιάζονται αντίστοιχες εφαρμογές που έχουν μελετηθεί στον κλάδο της βιομηχανίας.

Στο **4<sup>ο</sup> κεφάλαιο** γίνεται μία αναλυτική περιγραφή του λογισμικού προσομοίωσης διακριτών γεγονότων που χρησιμοποιείται. Παρουσιάζονται τα εργαλεία που χρησιμοποιήθηκαν στην εργασία και οι δυνατότητες του προγράμματος.

Το **5<sup>ο</sup> κεφάλαιο** περιέχει την διαδικασία επίλυσης του προβλήματος. Στο κεφάλαιο αυτό παρατίθενται οι μέθοδοι που χρησιμοποιήθηκαν για να δοθούν οι απαντήσεις στα υπό εξέταση ερωτήματα. Στο πρώτο σκέλος παρουσιάζονται σε πίνακες τα αποτελέσματα μετρήσεων κατόπιν περιγραφής της διαδικασίας, ενώ στο δεύτερο σκέλος επεξηγείται η δημιουργία του μοντέλου που αναπαριστά την γραμμή που μελετάται. Αναλύονται τα σενάρια που εξετάστηκαν μέσω του λογισμικού και προβάλλονται τα αποτελέσματα κάθε σεναρίου, τα οποία προσέφερε το λογισμικό με τη χρήση των κατάλληλων εργαλείων του.

Στο **6<sup>ο</sup> κεφάλαιο**, το οποίο είναι και το τελευταίο, αναλύονται τα αποτελέσματα των προηγούμενων δοκιμών, συγκρίνονται οι περιπτώσεις και κατατίθενται προτάσεις βασισμένες στα αποτελέσματα της έρευνας.

## 1.2 Σκοπός διπλωματικής εργασίας

Η παρούσα διπλωματική εργασία εκπονείται στα πλαίσια ανάγκης επίλυσης πραγματικών προβλημάτων που αντιμετωπίζει μία επιχείρηση σε ένα από τα εργοστάσιά της. Πιο συγκεκριμένα, η επιχείρηση επιθυμεί να οριστικοποιήσει την δυναμικότητα μίας γραμμής συσκευασίας. Σκοπό αυτής της εργασίας αποτελεί η επίλυση αυτού του ζητήματος, δηλαδή η αναθεώρηση της δυναμικότητας της γραμμής συσκευασίας, έτσι ώστε η επιχείρηση να μπορεί να αξιολογεί σωστά την απόδοσή της.

Παράλληλα, η επιχείρηση επιθυμεί να αξιολογήσει την πιθανότητα να βελτιώσει την λειτουργία της γραμμής, αντικαθιστώντας μέρη της ή ακόμα και προσθέτοντας επιπλέον εξοπλισμό, τον οποίο διαθέτει αλλά δεν αξιοποιεί. Επομένως, η εργασία αποσκοπεί και στην διακρίβωση του κατά πόσο μπορεί να ωφελήσουν τη λειτουργία της γραμμής αυτές οι κινήσεις. Αναμένεται, δηλαδή, από την έρευνα και μοντελοποίηση της γραμμής, να αξιολογηθεί η επίδραση που μπορεί να έχει ο νέος εξοπλισμός.

Πέραν των στόχων που αποσκοπούν στην ικανοποίηση αναγκών της επιχείρησης, μέσω της παρούσας διπλωματικής εργασίας παρουσιάζεται η ευκαιρία να τεθούν και ορισμένοι προσωπικοί στόχοι. Σε αυτό το πλαίσιο, σκοπός της εργασίας είναι επίσης η πραγματοποίηση μίας εμπειριστατωμένης ανάλυσης που θα στηρίζεται σε βάσιμες μεθόδους καθώς και η λογική ερμηνεία των όποιων αποτελεσμάτων. Δοθείσης της ευκαιρίας, έναν ακόμα στόχο αποτελεί η εις βάθος ενασχόληση με ένα νέο πρόγραμμα, ένα λογισμικό προσομοίωσης διακριτών γεγονότων.

## 2. Μελέτη περίπτωσης

Η μελέτη περίπτωσης που πραγματεύεται η συγκεκριμένη διπλωματική αφορά μία μελέτη που ζήτησε η εταιρία, η οποία περιγράφεται παρακάτω, να εκπονηθεί στα πλαίσια της βελτίωσης της λειτουργίας ενός εκ των εργοστασίων της. Για την εκπόνηση της μελέτης συνεργάστηκαν αρκετά άτομα, ενώ η παρούσα διπλωματική αποτελεί ένα μέρος της. Στη συγκεκριμένη μελέτη περίπτωσης τα αποτελέσματα της έρευνας μπορούν να έχουν άμεση εφαρμογή καθώς το πρόβλημα, που παρουσιάζεται στη συνέχεια του κεφαλαίου, απασχολεί την εταιρία ένα εύλογο χρονικό διάστημα και αυτή είναι η πρώτη φορά που επιχειρείται μια προσπάθεια επίλυσής του.

### 2.1 Περιγραφή επιχείρησης και κλάδου

Στο υποκεφάλαιο αυτό παρουσιάζεται ο χώρος στον οποίο δραστηριοποιείται η επιχείρηση στην οποία αναφέρεται η διπλωματική εργασία, καθώς και ορισμένα σημαντικά χαρακτηριστικά της. Γίνεται μία εισαγωγή στον τρόπο λειτουργίας της και περιγράφεται ο κλάδος στον οποίο ανήκει.

#### 2.1.1 Η επιχείρηση

Η επιχείρηση στην οποία αναφέρεται η παρούσα διπλωματική αποτελεί την μεγαλύτερη βιομηχανία επεξεργασίας τομάτας στην Ελλάδα και μια από τις μεγαλύτερες στον κόσμο όντας μία εκ των 40 κορυφαίων βιομηχανιών του χώρου εν έτει 2020. Με περισσότερα από 100 χρόνια παρουσίας στον χώρο αποτελεί μία από τις μακροβιότερες εταιρίες σε αυτόν ενώ η ιδιοκτησία της παραμένει μέχρι και σήμερα στα χέρια της οικογένειας που την ίδρυσε, έχοντας φτάσει πλέον στην τρίτη γενιά. Η συγκεκριμένη εταιρία έχει τρία εργοστάσια, τα οποία βρίσκονται όλα στην Ελλάδα, με τα δύο από αυτά να λειτουργούν παραγωγικά μόνο κατά την περίοδο συγκομιδής της βιομηχανικής τομάτας και το τρίτο να λειτουργεί καθ' όλη τη διάρκεια της χρονιάς ως κέντρο μεταποίησης προϊόντων τομάτας που έχουν παραχθεί στα άλλα δύο εργοστάσια. Η εταιρία έχει στην κατοχή της κι ένα χώρο που εξυπηρετεί σαν κέντρο logistics μεταξύ των εργοστασίων αλλά και μεταξύ εργοστασίων και εξωτερικών πελατών, ενώ τα κεντρικά της γραφεία βρίσκονται στην Αθήνα.

Η επιχείρηση έχει μία γκάμα τελικών προϊόντων τα οποία προμηθεύει σε αλυσίδες super market με την δική τους επωνυμία, σε εταιρίες catering, σε αλυσίδες εστιατορίων και πολλούς ακόμα πελάτες. Το μεγαλύτερο ποσοστό των παραγόμενων προϊόντων της εξάγεται σε χώρες όλου του κόσμου, με τις συνεργασίες της να αυξάνονται κάθε χρόνο. Ακόμη, παράγει τοματοπολτό, πασάτα, σάλτσα πίτσας, πόλπα και κύβο τομάτας σε ένα μεγάλο εύρος συμπυκνώσεων και ποιοτικών χαρακτηριστικών το οποίο της επιτρέπει να προσελκύει πελάτες διαφόρων απαιτήσεων και προτιμήσεων. Επίσης, η ευελιξία της στη συσκευασία αυτών των προϊόντων σε διάφορα βάρη και υλικά συσκευασίας είναι εξίσου σημαντική.

Η παρούσα διπλωματική αφορά την γραμμή συσκευασίας που βρίσκεται σε ένα από τα τρία παραγωγικά εργοστάσια της εταιρίας. Στο εργοστάσιο αυτό, μεταξύ άλλων, φτάνουν παλέτες με γεμάτα μεταλλικά δοχεία περιεκτικότητας δυόμισι και πέντε κιλών τα οποία έχουν παραχθεί στα άλλα δύο εργοστάσια. Τα δοχεία αυτά δεν φέρουν ετικέτες, επομένως μεταφέρονται στο συγκεκριμένο εργοστάσιο, τοποθετούνται κατά παλέτες στην αποθήκη του κι όταν ζητηθεί μεταφέρονται στην γραμμή συσκευασίας του εργοστασίου για να λάβουν ετικέτα, να συσκευαστούν σε ομάδες και να αποσταλούν σε πελάτες με την αντίστοιχη επωνυμία.

Τα δοχεία μπορεί να περιέχουν στο εσωτερικό τους κάθε ένα από τα προϊόντα που αναφέρθηκαν νωρίτερα και να λάβουν μία από τις 25 περίπου ετικέτες που προορίζονται για τα συγκεκριμένα δοχεία ανάλογα με το περιεχόμενο που φέρουν.

### 2.1.2 Ο κλάδος

Σχετικά με το κλάδο της βιομηχανίας επεξεργασίας τομάτας, σύμφωνα με τον ιστότοπο <https://www.imarcgroup.com/tomato-processing-plant> το μέγεθος της αγοράς εκφρασμένο σε τόνους τομάτας κυμάνθηκε στα 45,2 εκατομμύρια τόνους το 2022 ενώ αναμένεται μέχρι και το 2028 να ξεπεράσει τα 56 εκατομμύρια τόνους. Πρωταγωνίστριες χώρες στον συγκεκριμένο κλάδο αποτελούν οι Ηνωμένες Πολιτείες Αμερικής, η Κίνα, η Ιαπωνία αλλά και οι χώρες της Μεσογείου με κυριότερες την Πορτογαλία, την Ισπανία και την Ιταλία. Συγκεκριμένα η Ιταλία είναι γνωστή στο χώρο και για την τεχνογνωσία της καθώς είναι χώρα που παράγει και προμηθεύει βασικό εξοπλισμό για τέτοιου είδους εργοστάσια για εταιρίες σε όλο τον κόσμο.

Στον κλάδο της βιομηχανίας επεξεργασίας τομάτας, οι εταιρίες προσαρμόζουν τη λειτουργία των εργοστασίων τους στην εποχή συγκομιδής και παραλαβής της βιομηχανικής τομάτας. Αυτό το είδος τομάτας διαφέρει σε ποιοτικά χαρακτηριστικά έναντι της κοινής εμπορικής τομάτας, ενώ είναι εύκολο να τη διακρίνει κανείς από το μακρόστενο σχήμα της σε αντίθεση με την στρογγυλή τομάτα που προορίζεται για νωπή χρήση (**Σχήμα 1**). Αυτό συμβαίνει έτσι ώστε κατά την θερμική επεξεργασία της να διατηρούνται τα περισσότερα συστατικά αλλά και η δομή της έτσι ώστε να φτάνει στον τελικό πελάτη ένα προϊόν όσο το δυνατόν πιο θρεπτικό. Η περίοδος συγκομιδής ώριμης βιομηχανικής τομάτας εξαρτάται από πολλούς παράγοντες και διαφέρει από τόπο σε τόπο. Στην Ελλάδα η περίοδος αυτή εκτείνεται συνήθως από τα μέσα Ιουλίου έως και τις αρχές Οκτώβρη και επηρεάζεται σε μεγάλο βαθμό από τις καιρικές συνθήκες που επικρατούν εκείνο το διάστημα αλλά και λίγο νωρίτερα.



Σχήμα 2-1 Βιομηχανική Τομάτα (Πηγή: Τσατσάκης, 2017)

Κατά το παραπάνω διάστημα παράγονται τα τελικά προϊόντα που φτάνουν στον καταναλωτή αλλά και η βάση από την οποία μπορούν να φτιαχτούν αντίστοιχα προϊόντα σε μεταγενέστερο χρονικό σημείο. Αυτό επιτυγχάνεται με την συμπύκνωση του προϊόντος και τη διατήρησή του σε ασηπτικές συσκευασίες. Με αυτό τον τρόπο ο χρόνος ζωής του προϊόντος που έχει αρχικά

παρασκευαστεί σε κάποιο εργοστάσιο παρατείνεται για σημαντικά μεγαλύτερο διάστημα. Τα προϊόντα που κυκλοφορούν στα ράφια ενός σουπερ μάρκετ έχουν στην πλειοψηφία τους παραχθεί κατά το τρίμηνο που αναφέρθηκε νωρίτερα και είναι απλά η διάθεσή τους προς τον καταναλωτή που αλλάζει μέσα σε ένα χρόνο, εξαρτώμενη από παράγοντες όπως η ζήτηση από τον κόσμο και η προσφορά από την εταιρία παραγωγό, όχι η καλλιέργεια και συγκομιδή της τομάτας οποιαδήποτε περίοδο μέσα σε ένα έτος.

## 2.2 Περιγραφή της υπό μελέτη γραμμής συσκευασίας

Η γραμμή βρίσκεται στον κύριο χώρο του εργοστασίου και κοντά στην είσοδο-έξοδο του οικοπέδου όπου βρίσκονται και οι ράμπες φορτώσεων-εκφορτώσεων.

Η γραμμή αυτή αποτελείται ουσιαστικά από 5 στάδια-μηχανήματα, τα οποία είναι τα εξής:

1. **«Ντεπάλ»** το οποίο αποτελείται από έναν ραουλόδρομο πάνω στον οποίο τοποθετούνται παλέτες με μεταλλικά κυτία που έχουν παραχθεί σε άλλο εργοστάσιο, αυτές στην συνέχεια προωθούνται στην κατάλληλη θέση και από εκεί αδειάζονται τα κυτία σειρά σειρά πάνω σε μία ταινία με τη βοήθεια ενός μαγνήτη. Κάθε φορά που ολοκληρώνεται το άδειασμα μίας παλέτας, η παλέτα προωθείται σε μία στοίβα από παλέτες και η επόμενη λαμβάνει τη θέση της για να αρχίσει να αδειάζει. Στο συγκεκριμένο στάδιο απασχολείται ένας εργαζόμενος ο οποίος είναι υπεύθυνος για την αφαίρεση των ενδιάμεσων χαρτονιών μεταξύ κάθε σειράς στην παλέτα καθώς και για τον έλεγχο τυχόν μη συμμορφούμενων τεμαχίων εντός της παλέτας. Ο χειριστής μπορεί επίσης να διακόψει την λειτουργία της γραμμής σε περίπτωση μεγάλης συμφόρησης των τεμαχίων σε επόμενο στάδιο η κατόπιν υπόδειξης από τον υπεύθυνο της γραμμής για άλλο λόγο.



Σχήμα 2-2 Depalletizer

2. **Ετικετέζα**, στην οποία φτάνουν τα κυτία αφού περάσουν από κάποιες βούρτσες για να καθαριστούν και μετά την οποία καταλήγουν σε μία ταινία buffer. Τα κυτία προτού φτάσουν στην ετικετέζα ανατρέπονται ώστε να βρεθούν σε κατάλληλη θέση για να μπορεί να εφαρμόσει η ετικέτα και το ίδιο συμβαίνει αμέσως αφού αυτή εφαρμόσει πάνω τους. Η ετικετέζα πρέπει να συμπληρώνεται με ετικέτες από τον υπεύθύνό της, το οποίο σημαίνει μια ολιγόλεπτη διακοπή στη λειτουργία της γραμμής μέχρι να είναι πάλι έτοιμη. Υπάρχει η πιθανότητα κατά το πέρασμα των κυτίων, σε κάποια από αυτά η ετικέτα να μην εφαρμόσει σωστά, οπότε σε αυτή την περίπτωση ο υπεύθυνος καλείται να ξαναπεράσει τα κυτία από την ετικετέζα είτε επί τόπου, ή λίγο αργότερα. Δίπλα στην ετικετέζα που βρίσκεται σε λειτουργία υπάρχει μία αντίστοιχη η οποία δεν λειτουργεί αλλά μπορεί να τεθεί σε λειτουργία σε περίπτωση ανάγκης.



*Σχήμα 2-3 Ετικετέζα*

3. «**Wrap-Around**» (ομαδοποιητής) στο οποίο φτάνουν τα κυτία και προωθούνται σε χαρτόδισκους ή χαρτοκιβώτια ανάλογα με το πρόγραμμα φορτώσεων που προκύπτει από τις απαιτήσεις των πελατών. Από την στιγμή που λάβουν την ετικέτα τους, τα κυτία κινούμενα πάνω σε ταινιόδρομους με διαφορετικές ταχύτητες συγκεντρώνονται σε ένα ταινιόδρομο το ένα μετά το άλλο. Όταν ένα φωτοκύτταρο διαβάσει την παρουσία τουλάχιστον δύο κυτίων στο τέλος του ταινιόδρομου αυτού, ενεργοποιείται ένας βραχίονας και τα προωθεί σε δυάδες στην κατάλληλη θέση. Εντός του wrap around έχει ήδη λάβει την κατάλληλη θέση το χαρτοκιβώτιο ή ο χαρτόδισκος και όταν γεμίσει με κυτία προωθείται στην έξοδό του για να συμπληρωθεί ο επόμενος. Ο υπεύθυνος της ετικετέζας φροντίζει αντίστοιχα και για να μην ξεμένει το wrap around από χαρτοκιβώτια ή χαρτόδισκους αλλά και για όποιες ρυθμίσεις απαιτεί το μηχάνημα κατά την αλλαγή προγραμμάτων.



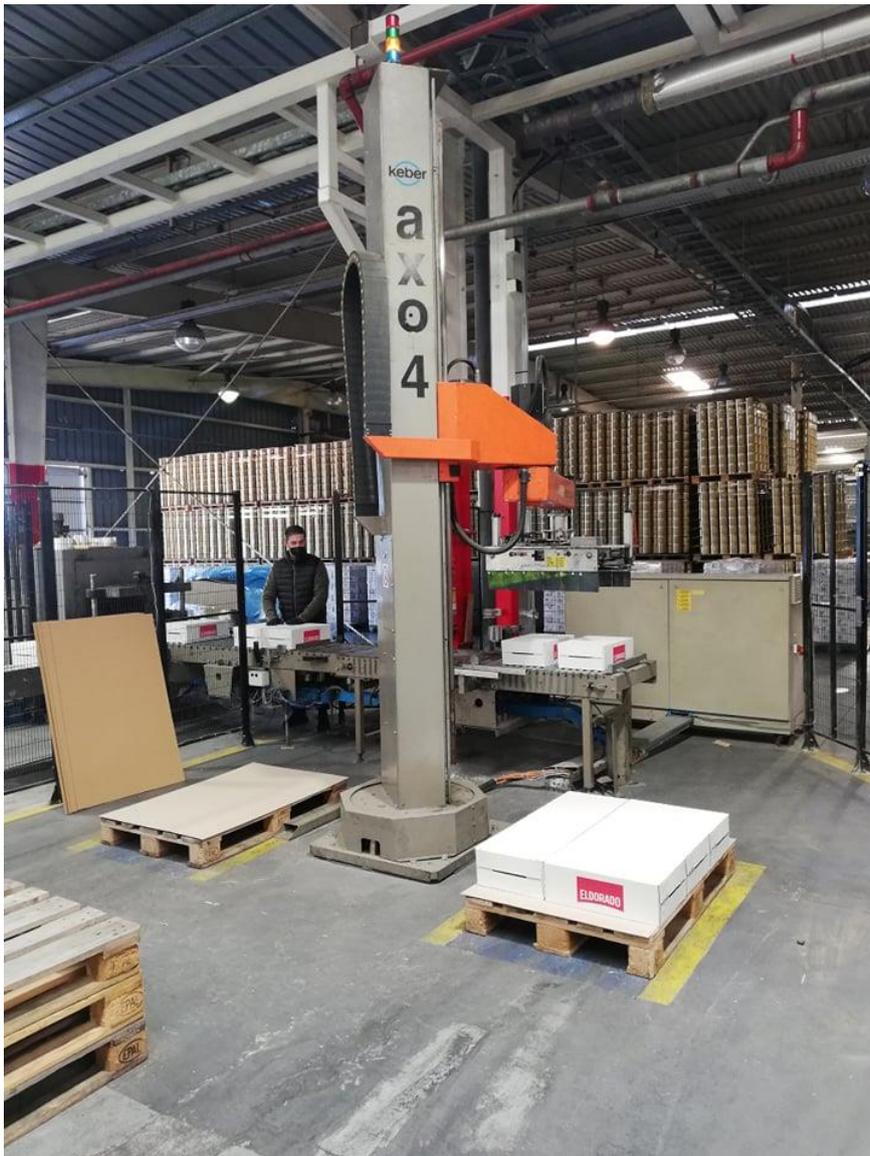
Σχήμα 2-4 Wrap-Around

4. **Φούρνος** μέσα από τον οποίο περνάνε οι χαρτόδισκοι και τα χαρτοκιβώτια. Οι χαρτόδισκοι πριν εισέλθουν στον φούρνο τυλίγονται με νάιλον και περνάνε από αυτόν για να γίνει θερμοσυρρίκνωση του νάιλον ενώ στην περίπτωση των χαρτοκιβωτίων, όπου δεν απαιτείται νάιλον, ο φούρνος λειτουργεί απλά σαν μεταφορική ταινία. Για να τυλιχθούν με νάιλον οι χαρτόδισκοι, παρασέρνουν το νάιλον κατά την κίνησή τους πριν εισέλθουν στον φούρνο κι έπειτα ένα μαχαίρι κόβει και ταυτόχρονα κολλάει το νάιλον σε λίγα δευτερόλεπτα. Στη συνέχεια ακολουθούν την διαδρομή τους που έχει οριστεί σε συγκεκριμένη ταχύτητα ώστε να ολοκληρωθεί επιτυχώς η θερμοσυρρίκνωση. Το ρολό του νάιλον ξετυλίγεται για να τυλιχθούν οι χαρτόδισκοι, προτού όμως τελειώσει γίνεται ακαριαία εναλλαγή σε ρολό που βρίσκεται σε άλλη θέση χωρίς να σπαταληθεί χρόνος για την αλλαγή. Πριν το μαχαίρι υπάρχει μία θέση στην οποία μπορεί να παραμείνουν οι χαρτόδισκοι έτσι ώστε να προλάβει ο προπορευόμενος χαρτόδισκος να τυλιχθεί με νάιλον. Από την στιγμή που είναι έτοιμος, ένα φωτοκύτταρο ενεργοποιείται και δίνει την εντολή να προωθηθεί ο επόμενος.



Σχήμα 2-5 Φούρνος

**5. Ρομποτικός Βραχίονας**, από τον οποίο γίνεται το στήσιμο της παλέτας με τα χαρτοκιβώτια ή τους χαρτόδισκους. Καθώς αυτά πλησιάζουν στην κατάλληλη θέση ώστε να παραληφθούν από τον βραχίονα, ενδέχεται να χρειαστεί να αλλάξουν προσανατολισμό για να τοποθετηθούν με συγκεκριμένο τρόπο στην παλέτα. Στον χώρο που ο ρομποτικός βραχίονας στήνει τις παλέτες δεν επιτρέπεται η πρόσβαση καθώς έτσι φωτοκύτταρα σταματούν τη λειτουργία του. Ο ρομποτικός βραχίονας στήνει μία παλέτα, έπειτα στήνει και μία δεύτερη και μόνο τότε επιτρέπεται να εισέλθει στον χώρο κάποιος κλαρκ ώστε να μεταφέρει τις έτοιμες παλέτες στην θέση τους. Στο διάστημα αυτό διακόπτεται η λειτουργία του ρομποτικού βραχίονα για λόγους ασφαλείας. Έπειτα ο ρομποτικός βραχίονας τίθεται ξανά σε λειτουργία. Σε περίπτωση που ο ρομποτικός βραχίονας δεν προλαβαίνει τη ροή χαρτόδισκων/χαρτοκιβωτίων ή έχει κάποια βλάβη, παρακάμπτεται, και το στήσιμο της παλέτας γίνεται χειρωνακτικά. Έπειτα το κλαρκ παίρνει την έτοιμη παλέτα και την τοποθετεί στον κατάλληλο χώρο.



*Σχήμα 2-6 Ρομποτικός Βραχίονας*

Δίπλα στην γραμμή συσκευασίας βρίσκονται τα γραφεία της αποθήκης καθώς και μία μικρή αποθήκη με όλα τα απαραίτητα αναλώσιμα. Δηλαδή σε μικρή απόσταση από την γραμμή υπάρχει απόθεμα κάθε είδους ετικέτας, κόλλες και οτιδήποτε άλλο μπορεί να χρειαστεί. Η γραμμή τροφοδοτείται με παλέτες που περιέχουν είτε τα διακινούμενα κυτία ή τα υλικά συσκευασίας τους δηλαδή χαρτόδισκους, χαρτοκιβώτια και νάιλον. Κάθε ημέρα ο υπεύθυνος της γραμμής δίνει εντολή να γεμίσει με παλέτες από τον κατάλληλο κωδικό ένας οριοθετημένος χώρος δίπλα στην γραμμή, ο οποίος λειτουργεί σαν buffer παλετών κατά τη λειτουργία έτσι ώστε η γραμμή να μην ξεμένει από τροφοδοσία “πρώτης ύλης”. Για την γραμμή απασχολούνται κάθε ημέρα 2-3 κλαρκ ανάλογα τις απαιτήσεις της ημέρας. Όπως αναφέρθηκε νωρίτερα υπάρχει ένας χειριστής στο ντεπάλ, ένας υπεύθυνος για την ετικετέζα και το wrap around, ένας η δύο χειριστές για τον ρομπωτικό βραχίονα και ο υπεύθυνος της γραμμής που ορίζει το πρόγραμμα της συσκευασίας έτσι ώστε να καλύπτονται οι απαιτήσεις σε φορτώσεις. Ο υπεύθυνος της γραμμής δίνει οδηγίες στα κλαρκ σχετικά με τις παλέτες με τους επιθυμητούς κωδικούς καθώς και για το που να τοποθετήσουν όσες είναι έτοιμες προς φόρτωση.

Τα κυτία που εξυπηρετεί η συγκεκριμένη γραμμή είναι δύο διαφορετικών βαρών, 2,5 και 5 κιλών. Όλα τα κυτία μεταφέρονται από το εργοστάσιο στο οποίο έχουν παραχθεί στην αποθήκη του συγκεκριμένου εργοστασίου κι έπειτα προωθούνται στην γραμμή συσκευασίας όταν απαιτηθεί. Τα 2,5κιλα κυτία τοποθετούνται κατά εξάδες είτε σε χαρτόδισκο είτε σε χαρτοκιβώτιο. Τα 5κιλα κυτία τοποθετούνται κατά εξάδες σε χαρτοκιβώτια, ενώ σε χαρτόδισκους υπάρχουν είτε σε τετράδες είτε σε εξάδες. Επομένως, οι περιπτώσεις που μελετώνται είναι πέντε.

Στην γραμμή απασχολείται ένας εργαζόμενος ως υπεύθυνος για την τροφοδοσία της ετικετέζας με κόλλα και ετικέτες, του wrap around με χαρτόδισκους/χαρτοκιβώτια και του φούρνου με νάιλον, ο οποίος είναι και υπεύθυνος για την σωστή λειτουργία αυτών των μηχανών επεμβαίνοντας όταν προκύπτουν μικροπροβλήματα. Υπάρχει ακόμα ένας χειριστής που ελέγχει τη λειτουργία του ρομπότ, αναλαμβάνει το τύλιγμα των έτοιμων παλετών με νάιλον και εξυπηρετεί όπου αλλού χρειαστεί. Η γραμμή απασχολεί έως και τρία επιπλέον άτομα, δύο άνδρες για την τοποθέτηση των χαρτόδισκων/χαρτοκιβωτίων στην παλέτα όταν δεν λειτουργεί το ρομπότ και ένας χειριστής για διαλογή κυτίων μετά την ετικετέζα ελέγχοντας την εφαρμογή της ετικέτας στο κυτίο. Όταν προκύπτουν μηχανολογικές ή ηλεκτρολογικές βλάβες σε κάποιο σημείο της γραμμής, καλούνται οι αρμόδιοι του τεχνικού τμήματος και ανάλογα με την σοβαρότητα-έκταση της βλάβης διακόπτεται ή όχι η λειτουργία της γραμμής.

## 2.3 Δείκτες δυναμικότητας

Ένα παραγωγικό σύστημα μπορεί να επηρεαστεί από την εφαρμογή διαφόρων τεχνολογιών. Η επιρροή αυτή θα φανεί στη συμπεριφορά του παραγωγικού συστήματος. Οι Καίριοι Δείκτες Απόδοσης (Key Performance Indicators, KPIs) χρησιμοποιούνται για να αναλύσουν αυτή τη συμπεριφορά (Jorpen et al., 2019). Κάθε οργανισμός, λοιπόν, ορίζει και οργανώνει τα δικά του KPIs έτσι ώστε να ποσοτικοποιεί την απόκλιση από διάφορες πρότυπες διαδικασίες και να διασφαλίζει ότι μπορούν να πραγματοποιηθούν διορθωτικές ενέργειες. Τα KPIs συνήθως παρουσιάζονται σε πίνακες και καρτέλες βαθμολογίας (Maté et al., 2017).

### 2.3.1 OEE (Overall Equipment Effectiveness)

Η εταιρία τον τελευταίο χρόνο παρακολουθεί ορισμένους δείκτες απόδοσης για κάθε γραμμή του εργοστασίου, είτε παραγωγής ή συσκευασίας. Έτσι γίνεται και με την γραμμή που μελετάται στη συγκεκριμένη διπλωματική. Οι δείκτες αυτοί είναι ευρέως γνωστοί με την ονομασία Overall Equipment Effectiveness(OEE) και αφορούν την αποδοτικότητα μιας γραμμής σε ημερήσια βάση. Τα OEEs είναι ένα KPI που εισήχθη από τον Nakajima το 1988 και είχε σκοπό να λειτουργήσει ως μέτρο ενός μέρους της συνολικής παραγωγικής

συντήρησης (Total Productive Maintenance, TPM) για την μέτρηση της παραγωγικότητας του εξοπλισμού σε ένα σύστημα παραγωγής (Chan, 2004). Σύμφωνα με τους Natanael and Sutanto (2022) η μέθοδος OEE μπορεί να χρησιμοποιηθεί για την μέτρηση της αποτελεσματικότητας μίας μηχανής ή μίας γραμμής παραγωγής με τρεις κλίμακες:

- 1) την διαθεσιμότητα
- 2) την απόδοση και
- 3) την ποιότητα

Οι Dobra and Jósваи (2022) αναφέρουν πως σε βιομηχανικές επιχειρήσεις η συνολική αποτελεσματικότητα του εξοπλισμού (OEE) είναι ένα από τα πιο κοινά χρησιμοποιούμενα μέτρα απόδοσης σε ημιαυτόματες γραμμές συναρμολόγησης. Η σωστή εκτίμηση υποστηρίζει τη σωστή χρήση των πόρων και μία περισσότερο ακριβή και οικονομικά αποδοτική παράδοση στους πελάτες.

Η ανάλυση ιστορικών δεδομένων έχει πάψει πλέον να αποτελεί ένα δύσκολο εγχείρημα παρά το γεγονός ότι η αποδοτικότητα μίας μηχανής εξαρτάται από λιγότερο ή περισσότερο προβλέψιμους παράγοντες. Έτσι πλέον όλες οι βιομηχανίες επιθυμούν να κρατούν ένα αρχείο σχετικά με την απόδοση των γραμμών τους ώστε να μπορούν να ανατρέχουν σε αυτό και να εξετάζουν τα αποτελέσματα.

Η εταιρία επιλέγει να μελετάει τους παραπάνω δείκτες συμπληρώνοντας κατάλληλα ένα αρχείο Excel το οποίο ενημερώνει σε ημερήσια βάση από τα απολογιστικά αποτελέσματα που συγκεντρώνει. Δηλαδή, ο υπεύθυνος για τη διατήρηση αυτού του αρχείου, ο οποίος είναι και υπεύθυνος για τη σωστή λειτουργία της γραμμής συσκευασίας, συμπληρώνει στο τέλος της βάρδιάς του τις απαραίτητες πληροφορίες στο αρχείο έχοντας πρώτα συλλέξει κάθε δεδομένο για τη λειτουργία της γραμμής της εκάστοτε ημέρας. Τα δεδομένα περιλαμβάνουν πληροφορίες σχετικά με τον τελικό όγκο προϊόντων που διακινήθηκαν εντός της γραμμής, εκφρασμένο σε κατάλληλες μονάδες μέτρησης, τον χρόνο που απαιτήθηκε για συγκεκριμένες διαδικασίες καθώς και άλλες παρατηρήσεις που μπορεί να φανούν χρήσιμες σε περίπτωση που κάποιος ανατρέξει στο αρχείο στο μέλλον. Το αρχείο αποτελεί μέρος επίσημου εγγράφου της εταιρίας και επομένως έχει συγκεκριμένο όνομα. Αντίστοιχα το έγγραφο έχει περιγραφή και τίτλο ενώ επίσης απασχολεί συγκεκριμένο τμήμα. Η συμπλήρωση του εγγράφου υπάγεται σε επίσημη διαδικασία της εταιρίας στην οποία ορίζονται ο υπεύθυνος για την συμπλήρωση αλλά και οι αρμόδιοι για την ανάλυση των αποτελεσμάτων, την λήψη αποφάσεων και την πραγματοποίηση ενεργειών προς βελτίωση της απόδοσης και επίτευξη των στόχων. Στο αρχείο αναφέρονται ακόμα οι ημερομηνίες και το εργοστάσιο καθώς η εταιρία αναλύει τέτοιου τύπου αρχεία από κάθε εργοστάσιό της και για κάθε γραμμή παραγωγής ή συσκευασίας.

Πιο συγκεκριμένα σε ότι αφορά το αρχείο, όπως φαίνεται και στο επόμενο σχήμα, σε κάθε φύλλο του αρχείου Excel περιλαμβάνονται όλες οι περιπτώσεις συσκευασίας που μπορεί να ζητηθούν. Δηλαδή, στην προκειμένη περίπτωση στο φύλλο φαίνονται οι πέντε περιπτώσεις που έχουν αναφερθεί, αυτές με βάρος 2,5 κιλά σε χαρτόδισκο ή χαρτοκιβώτιο και αυτές με βάρος 5 κιλά σε χαρτόδισκο ή χαρτοκιβώτιο σε διαφορετικές ποσότητες. Το φύλλο που συμπληρώνεται κάθε ημέρα παραμένει έτσι ανεξαρτήτως αν έχουν προκύψει όλες οι περιπτώσεις, κάτι που και πρακτικά είναι σχεδόν απίθανο να συμβεί. Έτσι, αν υπάρχει κάποιος που επιθυμεί να ανατρέξει σε στοιχεία προηγούμενων ημερών έχει κάθε φορά αυτή την εικόνα μπροστά του.

ΓΡΑΜΜΗ ΣΥΣΚΕΥΑΣΙΑΣ		Pcs / Hr	Δυναμικότητα (kg/h)	Παραγωγή (kg/h)	ΣΥΝΟΛΙΚΟΣ Χρόνος Λειτουργίας (min)	Χρόνος ΠΑΥΣΗΣ (min)	Χρόνος προετοιμασίας γραμμής & προγραμματισμένα απορρίμματα (min)	Χρόνος Καταστροφικών Down-time (min) Για τον Συνολικό χρόνο λειτουργίας	Συνολική Παραγωγή (KG)	Συνολική Παραγωγή (T/MX)	Παραγωγή προς Αποθήκη (T/MX)	Μη Συμμορφούμενα Παραγωγής & Απώλειες (T/MX)	Απόδοση P (%)	Διαθεσιμότητα A (%)	Ποιότητα Q (%)	OEE (%)	ΠΡΟΒΛΗΜΑΤΑ	ΔΙΟΡΘΩΤΙΚΗ ΕΝΕΡΓΕΙΑ	ΠΑΡΑΤΗΡΗΣΕΙΣ
Cans Wraparound 2,5 Kg	ΧΑΡΤΟΔΙΣΚΟΣ	2.880	7.200	#DIV/0!		0			0	0			#DIV/0!	#DIV/0!	#DIV/0!	#DIV/0!			
	ΧΑΡΤΟΚΙΒΩΤΟ	1.900	4.750	#DIV/0!		0			0	0			#DIV/0!	#DIV/0!	#DIV/0!	#DIV/0!			
Cans Wraparound 5 Kg	ΧΑΡΤΟΔΙΣΚΟΣ 6 X	2.880	13.100	#DIV/0!		0			0	0			#DIV/0!	#DIV/0!	#DIV/0!	#DIV/0!			
	ΧΑΡΤΟΔΙΣΚΟΣ 4 X	1.920	8.750	#DIV/0!		0			0	0			#DIV/0!	#DIV/0!	#DIV/0!	#DIV/0!			
	ΧΑΡΤΟΚΙΒΩΤΟ	1.800	8.200	#DIV/0!		0			0	0			#DIV/0!	#DIV/0!	#DIV/0!	#DIV/0!			

Σχήμα 2-7 Αρχείο OEE

Όπως φαίνεται, για κάθε περίπτωση ορίζεται διαφορετική δυναμικότητα-στόχος που ικανοποιεί η γραμμή σε τεμάχια/ώρα ή κιλά/ώρα. Οι δυναμικότητα αυτή αφορά την ιδεατή κατάσταση κατά την οποία η γραμμή λειτουργεί αδιάκοπα και απροβλημάτιστα στο μέγιστο της απόδοσής της για όλη την διάρκεια. Αυτά είναι τα μοναδικά δεδομένα που υπάρχουν στο φύλλο πριν ο υπεύθυνος αρχίσει να το συμπληρώνει.

Με το πέρας της βάρδιας και την συγκέντρωση όλων των δεδομένων συμπληρώνονται τα κελιά του αρχείου και συγκεκριμένα οι στήλες που φαίνονται με λευκό χρώμα στο πιο πάνω σχήμα. Οι χειριστές των μηχανών κρατούν σε ημερολόγια την πορεία της γραμμής και σημειώνουν τυχόν σταματήματα και βλάβες που μπορεί να προέκυψαν κατά τη λειτουργία. Έτσι υπολογίζεται ο χρόνος που απαιτήθηκε για να προετοιμαστεί η γραμμή στην αρχή της βάρδιας ή κατά τη διάρκεια μίας προγραμματισμένης αλλαγής από μία περίπτωση σε μία άλλη. Επίσης, σημειώνεται ο συνολικός χρόνος λειτουργίας της γραμμής μέσα στη μέρα από τον οποίο αφαιρείται το διάλειμμα των εργαζομένων, δηλαδή αν προβλέπεται διάλειμμα τριάντα λεπτών εντός μίας οχτάωρης βάρδιας τότε ο χρόνος που σημειώνεται είναι 450 λεπτά (7,5 ώρες). Στην στήλη *Παραγωγή προς Αποθήκη* σημειώνονται τα τεμάχια που εισήλθαν στη γραμμή κατά τη λειτουργία της. Ως τεμάχια εδώ ορίζονται τα κουτιά 2,5 ή 5 κιλών και όχι οι παλέτες ή τα τελικά χαρτοκιβώτια/χαρτόδισκοι. Μάλιστα αυτός ο αριθμός πολλαπλασιαζόμενος με το κατάλληλο βάρος, ανάλογα με την περίπτωση, και διαιρούμενος με τον χρόνο *Παραγωγής* δίνει τιμή στο κελί που αφορά την στήλη *Παραγωγή(kg/h)*. Στη στήλη *Μη Συμμορφούμενα Παραγωγής & Απώλειες* συμπληρώνονται τα τεμάχια που κρίθηκαν ελαττωματικά κατά το πέρασμά τους από τη γραμμή. Σε αυτά υπολογίζονται αυστηρά μόνο όσα κρίθηκαν μη συμμορφούμενα λόγω κακοδιαχείρισης στη γραμμή συσκευασίας και όχι όσα έφτασαν και παραλήφθηκαν μη συμμορφούμενα από τα άλλα εργοστάσια. Οι επόμενες στήλες που συμπληρώνονται από τον υπεύθυνο είναι οι τρεις τελευταίες που περιέχουν σχόλια για τυχόν προβλήματα που προέκυψαν και τη διάρκειά τους, τις διορθωτικές ενέργειες στις οποίες προέβη το τεχνικό τμήμα ή κάποιος άλλος για να ξεπεραστούν τα προβλήματα, καθώς και άλλες παρατηρήσεις αναφορικά με τη λειτουργία της γραμμής.

Οι δείκτες που τελικά προκύπτουν και ενδιαφέρουν τους αναγνώστες του αρχείου είναι η *Απόδοση*, η *Διαθεσιμότητα*, η *Ποιότητα* και τελικά το ποσοστό *OEE*.



Σχήμα 2-8 Δείκτες OEE

Οι παραπάνω δείκτες υπολογίζονται ως εξής:

- **Απόδοση**, αποτελεί το πηλίκο της στήλης Παραγωγή προς τη στήλη Δυναμικότητα. Με τον δείκτη Απόδοση ερμηνεύεται το πόσο γρήγορα λειτούργησε η γραμμή κατά τον χρόνο Παραγωγής σε σχέση με την ταχύτητα που έχει οριστεί ως μέγιστη. Δηλαδή, για το διάστημα που πραγματικά λειτουργούσε η γραμμή (από το οποίο έχουν αφαιρεθεί προγραμματισμένα σταματήματα και άλλες καθυστερήσεις) προκύπτει αν η γραμμή υπολειτουργούσε ή έφτασε τις ταχύτητες που αναμένονταν.
- **Διαθεσιμότητα**, είναι το πηλίκο του χρόνου Παραγωγής δια τον Συνολικό χρόνο Λειτουργίας. Η Διαθεσιμότητα είναι ένας απλός αλλά σημαντικός δείκτης ο οποίος φανερώνει πόσο πολύ αξιοποιήθηκε χρονικά ο παραγωγικός εξοπλισμός. Υποδεικνύει, δηλαδή, αν υπήρξαν πολλές καθυστερήσεις και σταματήματα κατά τη λειτουργία και ανάλογα τους στόχους που έχουν τεθεί μπορεί να σημάνει ανάγκη για λήψη κατάλληλων ενεργειών.
- **Ποιότητα**, η οποία υπολογίζεται από το πηλίκο της στήλης Παραγωγή προς Αποθήκη δια τη στήλη Συνολική Παραγωγή. Ο δείκτης Ποιότητα φανερώνει πόσο καλή είναι η διαχείριση των τεμαχίων εντός της γραμμής. Όσο περισσότερα είναι τα μη συμμορφούμενα τεμάχια τόσο μικρότερο είναι το ποσοστό που προκύπτει.
- **ΟΕΕ**, ο τελικός δείκτης ο οποίος αποτελεί το γινόμενο των τριών προηγούμενων δίνοντας την ευρύτερη εικόνα για το πως έχει εξελιχθεί μια παραγωγική ημέρα.

Όπως γίνεται αντιληπτό και οι τέσσερις δείκτες αποτελούν ποσοστά. Ο δείκτης ΟΕΕ προσφέρει μια ευρύτερη εικόνα η οποία αναλύεται σε μεγαλύτερο βάθος από τους τρεις συντελεστές που την συνθέτουν. Έτσι, ο δείκτης ΟΕΕ προδίδει αν η γενικότερη λειτουργία μίας γραμμής ήταν ικανοποιητική αλλά πρέπει στη συνέχεια να εξεταστούν οι επιμέρους παράμετροι. Όταν υπάρχει χαμηλό ποσοστό ΟΕΕ μπορεί μία γραμμή να ήταν ποιοτικά άρτια, δηλαδή να μην δημιουργήσε κανένα μη συμμορφούμενο τεμάχιο αλλά να είχε πολλές καθυστερήσεις. Η Απόδοση, η Διαθεσιμότητα και η Ποιότητα δείχνουν την κατεύθυνση προς την οποία πρέπει να κινηθεί ο υπεύθυνος της γραμμής έτσι ώστε να βελτιωθεί η λειτουργία της.

### 2.3.2 OLE & OTE

Με την πάροδο του χρόνου, εμφανίστηκαν διάφορες τροποποιημένες εκδοχές των ΟΕΕ ανάλογα με τις ανάγκες κάθε βιομηχανίας και οι αρμόδιοι για την παρακολούθησή τους επέλεξαν όποια ικανοποιούσε περισσότερο τις δικές τους απαιτήσεις ή πρότειναν νέες εκδοχές.

Ορισμένοι υποστήριξαν πως η ιδέα της TPM παρείχε ως ποσοτική μετρική την ΟΕΕ για την μέτρηση της αποτελεσματικότητας αποκλειστικά μεμονωμένου εξοπλισμού σε ένα εργοστάσιο, η οποία ήταν σημαντική αλλά ανεπαρκής δεδομένου ότι το παγκόσμιο σύστημα παραγωγής (World Class Manufacturing, WCM) επικεντρώνεται σε γραμμές παραγωγής που περιέχουν πολλές μηχανές σε σειρά. Έτσι αναπτύχθηκε μία ελαφρώς διαφοροποιημένη μετρική, η συνολική αποτελεσματικότητα γραμμής (Overall Line Effectiveness, OLE) για συστήματα γραμμών συνεχούς παραγωγής.

Άλλοι θεώρησαν πως η μετρική της ΟΕΕ δεν ήταν επαρκής σε επίπεδο εργοστασίου και επέλεξαν να καλύψουν αυτό το κενό με την επινόηση μίας νέας μετρικής, της ΟΤΕ (Overall Throughput Effectiveness). Ο ρόλος αυτής της μετρικής είναι διπλός: μετρά την απόδοση σε εργοστασιακό επίπεδο και μπορεί να χρησιμοποιηθεί για την εκτέλεση διαγνωστικών ελέγχων σε επίπεδο εργοστασίου, όπως τα σημεία συμφόρησης (bottlenecks) αλλά και την αναγνώριση επιπλέον χωρητικότητας.

Η εταιρία εκτιμά ότι οι δείκτες ΟΕΕ είναι αρκετοί για να παρακολουθεί ικανοποιητικά την πορεία των εργοστασίων της και των παραγωγικών διεργασιών της και δεν έχει αποπειραθεί να συστηθεί με τις παραλλαγές των δεικτών αυτών. Άλλωστε δεν έχει περάσει περισσότερο από ένας χρόνος από την στιγμή που ξεκίνησε η διατήρηση στοιχείων για τους δείκτες ΟΕΕ μέχρι την στιγμή που συντάσσεται η διπλωματική, επομένως κρίνεται ανώφελο να παρακολουθούνται επιπλέον δείκτες τη δεδομένη χρονική περίοδο.

## 2.4 Περιγραφή προβλήματος

Το πρόβλημα που καλείται να επιλύσει η παρούσα διπλωματική συνδέεται άμεσα με τους δείκτες δυναμικότητας που η εταιρία ξεκίνησε να παρακολουθεί το τελευταίο διάστημα. Αφορμή για την δρομολόγηση ενεργειών αποτέλεσε αρχικά η αδυναμία σωστής τήρησης και παρακολούθησης των δεικτών που αναφέρθηκαν προηγουμένως. Έτσι, δημιουργήθηκε το πλαίσιο γύρω από το οποίο τελικά σχεδιάστηκε ένα ολόκληρο πρότζεκτ, με σκοπό όχι μόνο να παρακολουθούνται σωστά οι δείκτες αλλά και να βελτιωθεί η συνολική λειτουργία της γραμμής συσκευασίας. Στην συγκεκριμένη εργασία γίνεται αναφορά σε δύο από τα βασικότερα σκέλη του πρότζεκτ, αυτό της αναθεώρησης της δυναμικότητας της γραμμής συσκευασίας αλλά και αυτό της μοντελοποίησής της σε κατάλληλο πρόγραμμα.

### 2.4.1 Αναθεώρηση δυναμικότητας

Η γραμμή είναι μία γραμμή συσκευασίας στον χώρο της αποθήκης, στο μεγαλύτερο μέρος της αυτοματοποιημένη και επομένως απαιτείται περιορισμένη ανθρώπινη παρέμβαση κατά τη λειτουργία της. Η εταιρία εδώ κι ένα διάστημα παρακολουθεί τους δείκτες απόδοσης της γραμμής για τους οποίους έχουν τεθεί τα όρια της μέγιστης δυναμικότητας της γραμμής. Δηλαδή για κάθε διαφορετική περίπτωση τελικής συσκευασίας έχουν εκτιμηθεί τα άνω όρια σε τελικό συσκευασμένο προϊόν που μπορεί να εκτελέσει σε δεδομένο χρόνο και ανάλογα έχουν τεθεί οι στόχοι για την ημερήσια απόδοσή της. Τα όρια αποδεικνύεται, μετά από παρεμβάσεις που έχουν γίνει στη γραμμή, ότι έχουν ξεπεραστεί, με αποτέλεσμα να εμφανίζεται η ανάγκη να αναθεωρηθούν. Δηλαδή η απόδοση της γραμμής έχει συμβεί να ξεπεράσει έως και κατά πολύ το 100% της μέγιστης αποδοτικότητας και έτσι κρίθηκε από την εταιρία απαραίτητο να επανεξετάσει την δυναμικότητα της γραμμής για κάθε περίπτωση που υπάρχει.

Παράλληλα η εταιρία επιθυμεί την αύξηση της δυναμικότητας της γραμμής. Στα εργοστάσια της υπάρχει διαθέσιμος ανεκμετάλλευτος εξοπλισμός ο οποίος θα μπορούσε δυνητικά να βελτιώσει την απόδοση της γραμμής αλλά η εταιρία διστάζει να μεταφέρει, ρυθμίσει και θέσει σε λειτουργία τον εξοπλισμό αυτό προτού να έχει ενδείξεις ότι θα συνεισφέρει ουσιαστικά στην αύξηση της απόδοσης. Ο εξοπλισμός θα χρειαστεί να μεταφερθεί από τα άλλα εργοστάσια της εταιρίας, να προσαρμοστεί κατάλληλα στην γραμμή που εξετάζεται και να μελετηθεί η λειτουργία του για ένα χρονικό διάστημα ώστε να επιβεβαιωθεί ότι λειτουργεί με τον επιθυμητό τρόπο. Όλα αυτά αποτελούν κόστος για την εταιρία καθώς και δέσμευση του εργατικού της δυναμικού, ενώ παράλληλα το απαιτητικό πρόγραμμα φορτώσεων δεν της επιτρέπει μεγάλες διακοπές στη λειτουργία της γραμμής.

Επιπλέον, η γραμμή έχει έναν βαθμό περιπλοκότητας από την άποψη ότι οι ταινιόδρομοι που μεταφέρουν τα κυτία λαμβάνουν εντολές από φωτοκύτταρα με χρονισμό. Έτσι προκύπτει και η ανάγκη μελέτης της βέλτιστης χρήσης αυτών των φωτοκύτταρων καθώς με την πάροδο του χρόνου και τις αλλαγές που έχουν προκύψει στη γραμμή, τίθεται υπό αμφισβήτηση αν αξιοποιούνται με τον βέλτιστο τρόπο. Δηλαδή, η εταιρία επιθυμεί να επανεξεταστεί ποια είναι

η ιδανική θέση αυτών και ποιοι θα πρέπει να είναι οι χρόνοι τους ώστε να αποφεύγεται ο συνωστισμός που θα προκαλεί προβλήματα αλλά και να ελαχιστοποιηθούν οι καθυστερήσεις που μπορεί να εμφανίζει η γραμμή λόγω χαμηλών ταχυτήτων. Σε αυτό το πλαίσιο η εταιρία είναι διατεθειμένη να κάνει δοκιμές ως προς την θέση και τους χρόνους των φωτοκύτταρων υπό την επίβλεψη των αρμόδιων τεχνικών.

Κατά τη λειτουργία της γραμμής ενδέχεται να προκύψουν προβλήματα ειδικά όταν συσσωρεύονται πολλά κυτία στην ταινία πριν το wrap-around(ομαδοποιητής) πιέζοντας τα μπροστινά τους, επομένως η εταιρία επιθυμεί να ελαχιστοποιηθούν τέτοιου είδους προβλήματα. Αντίστοιχα, ορισμένα στάδια της γραμμής αποτελούνται από εξοπλισμό πολλών ετών ο οποίος δεν μπορεί να ανταποκριθεί για μεγάλο διάστημα σε έντονη φόρτιση. Πρέπει δηλαδή η γραμμή να ρυθμιστεί σε ταχύτητες και δυναμικότητα διαφορετική της μέγιστης ονομαστικής καθώς σε αυτήν έχουν παρατηρηθεί μεγάλες αστοχίες που κρατούν όλη τη γραμμή πίσω και είναι απαγορευτικές για το πρόγραμμα των φορτώσεων που καλείται να καλύψει.

Η υπό μελέτη γραμμή αν και όχι ιδιαίτερα σύνθετη, έχει περίπλοκη λειτουργία καθώς αποτελεί σύνθεση μηχανών που προστέθηκαν σε διαφορετικές χρονικές στιγμές και οι οποίες χρειάστηκαν επεμβάσεις για να ενσωματωθούν στη γραμμή. Οι προσθήκη κάθε μέρους του εξοπλισμού μπορεί να έχει αυξήσει την δυναμικότητα της γραμμής, οι ρυθμίσεις όμως που έγιναν για να αποτελέσει μέρος της γραμμής ενδέχεται τελικά να έχουν περιορίσει την δυναμικότητα του εξοπλισμού αυτού γι' αυτό και δεν επιτυγχάνεται η μέγιστη ονομαστική δυναμικότητα.

Επομένως, το ζητούμενο για την εταιρία είναι να αναγνωριστεί το ιδανικό σημείο λειτουργίας της γραμμής, δηλαδή να βρεθεί ο τρόπος έτσι ώστε η γραμμή συσκευασίας να λειτουργεί αδιάκοπα και απροβλημάτιστα για το μεγαλύτερο δυνατό χρονικό διάστημα σε κάθε μία από τις περιπτώσεις που μελετάει η εταιρία μέσω των δεικτών της. Έτσι θα έχει νόημα η καταγραφή και μελέτη της ημερήσιας απόδοσής της και θα γίνει δυνατή η εξαγωγή συμπερασμάτων ώστε να ληφθούν αποφάσεις για τυχόν αλλαγές ή βελτιώσεις.

#### 2.4.2 Μοντελοποίηση γραμμής

Προκειμένου να ληφθούν αποφάσεις ως προς τις αλλαγές που δύνανται να υλοποιηθούν, η εταιρία εκτιμά ότι η καλύτερη εναλλακτική είναι η προσομοίωση της γραμμής και η μελέτη της μέσω του μοντέλου αυτής. Με αυτόν τον τρόπο θα αποφευχθούν οι όποιες καθυστερήσεις θα προέκυπταν σε περίπτωση επί τόπου δοκιμής των αλλαγών, θα μειωθούν εξαιρετικά οι απαιτούμενοι πόροι για την μελέτη και τα συμπεράσματα θα είναι ρεαλιστικά σε ικανοποιητικό βαθμό. Κατόπιν θα γίνει εκτίμηση των αποτελεσμάτων και θα αξιολογηθούν τυχόν προτάσεις έτσι ώστε να δρομολογηθούν τυχόν αλλαγές ή να γίνουν άλλες κινήσεις.

Η διατήρηση και ενημέρωση του μοντέλου που θα αναπαριστά την γραμμή συσκευασίας κρίνεται σημαντική για την εταιρία, η οποία στοχεύει σε καλύτερο έλεγχο της απόδοσης του εξοπλισμού της αλλά και μεγαλύτερη ευελιξία στη δοκιμή διαφόρων σεναρίων. Δεδομένου του μεγάλου χώρου προς αξιοποίηση, του διαθέσιμου εξοπλισμού και της στρατηγικής της εταιρίας, είναι πιθανό να επιθυμεί να εξετάσει σενάρια για αύξηση της αποδοτικότητας της γραμμής. Επομένως, η δυνατότητα να μελετάει κινήσεις προς αυτή την κατεύθυνση χωρίς να διακόπτει τη λειτουργία της γραμμής αλλά και έχοντας την ανάδραση από το μοντέλο σε τυχόν αλλαγές είναι κρίνεται για την επίτευξη των στόχων της.

### 3. Προσομοίωση γραμμών παραγωγής/συσκευασίας

Σύμφωνα με τους [Bogner et al. \(2016\)](#) η ψηφιοποίηση στις παραγωγικές βιομηχανίες αναμένεται να προκαλέσει νέα μοντέλα επιχειρήσεων και πιθανές ευκαιρίες για επιχειρήσεις. Η διαδικασία μετάβασης στη ψηφιακή μεταλλαγή στα πλαίσια της τέταρτης βιομηχανικής επανάστασης (Industry 4.0) αποτυπώνεται στην εισχώρηση πληθώρας ψηφιακών τεχνολογιών όπως το Διαδίκτυο των Πραγμάτων (Internet of Things), τα βιομηχανικά ρομπότ, η ψηφιακή πραγματικότητα (Virtual Reality), το υπολογιστικό νέφος (Cloud Computing), η προσομοίωση (Simulation) και τα μεγάλα δεδομένα (Big Data).

#### 3.1 Ορισμός προσομοίωσης

Η προσομοίωση είναι η μίμηση της λειτουργίας μιας διαδικασίας ή συστήματος του πραγματικού κόσμου με την πάροδο του χρόνου. Οι προσομοιώσεις απαιτούν τη χρήση μοντέλων. Το μοντέλο αντιπροσωπεύει τα βασικά χαρακτηριστικά ή συμπεριφορές του επιλεγμένου συστήματος ή διαδικασίας, ενώ η προσομοίωση αντιπροσωπεύει την εξέλιξη του μοντέλου με την πάροδο του χρόνου. Οι ταχέως αναδυόμενες τεχνολογίες σε διάφορους τομείς επέτρεψαν τη δημιουργία εργαλείων προσομοίωσης. Αυτά τα εργαλεία έχουν σχεδιαστεί για να αναπαράγουν φυσικά συστήματα προκειμένου να παρέχουν ταχύτερη, φθηνότερη και πιο λεπτομερή ενδεικτική ανάλυση του φυσικού συστήματος ([Mohammed et al., 2022](#)).

Τα τελευταία χρόνια, τα εργαλεία προσομοίωσης έχουν γίνει απαραίτητα στους μηχανικούς στον τομέα της βιομηχανίας για την μεγιστοποίηση της απόδοσης αυτών των συστημάτων. Από το 2002 έχει εισαχθεί στη σχετική κοινότητα ο όρος “Ψηφιακά Δίδυμα»(Digital Twins). Κατά τους [Jeong, et al. \(2022\)](#) ένα ψηφιακό δίδυμο μπορεί να οριστεί ως μια έξυπνη πλατφόρμα τεχνολογίας για το συγχρονισμό φυσικών και ψηφιακών αντικειμένων προσομοιώνοντάς τα σε πραγματικό χρόνο, αναλύοντας καταστάσεις σύμφωνα με διάφορους σκοπούς και βελτιστοποιώντας τα φυσικά αντικείμενα προβλέποντάς τα με βάση τα αναλυμένα αποτελέσματα. Τα Digital Twins (DT) αποτελούν ένα πολύ σημαντικό εργαλείο κάθε μηχανικού καθώς επιτρέπουν τη μελέτη του φυσικού συστήματος σε πολύ συντομότερο χρόνο και με πολύ χαμηλότερο κόστος.

Η τεχνολογία γύρω από τα Digital Twins έχει εξελιχθεί σε πολύ μεγάλο βαθμό επιτρέποντας την αναπαράσταση των φυσικών συστημάτων και των λειτουργιών τους με πολύ μεγάλη ακρίβεια και λεπτομέρεια. Σήμερα, η προσομοίωση των φυσικών συστημάτων έχει φτάσει μέχρι και σε επίπεδο μεταφοράς αγαθών με τη χρήση AGVs(Automatic Guided Vehicles), όπου αντίστοιχα η μεθοδολογία που χρησιμοποιείται για τον πειραματισμό μέσω των Digital Twins βασίζεται στην οπτικοποίηση του φυσικού συστήματος και την μοντελοποίηση του συστήματος των AGVs ([Martínez-Gutiérrez et al., 2021](#)).

Ο στόχος του μοντέλου προσομοίωσης είναι να παρέχει ένα ψηφιακό σύστημα παραγωγής που ρυθμίζεται με διαφορετικές στρατηγικές συντήρησης, ποιότητας και παραγωγής προκειμένου να διασφαλιστεί η ποιότητα και η υπηρεσία παράδοσης ([Gejo-Garcia et al., 2022](#)). Σήμερα είναι απαραίτητο να έχει κανείς την δυνατότητα να εξετάσει “what-if” σενάρια με πολλή λεπτομέρεια ώστε να αναγνωρίσει και αξιολογήσει τους περιορισμούς σε εναλλακτικές αποφάσεις για μία γραμμή παραγωγής και την βελτίωσή της ([Jasiulewicz-Kaczmarek & Bartkowiak, 2016](#)).

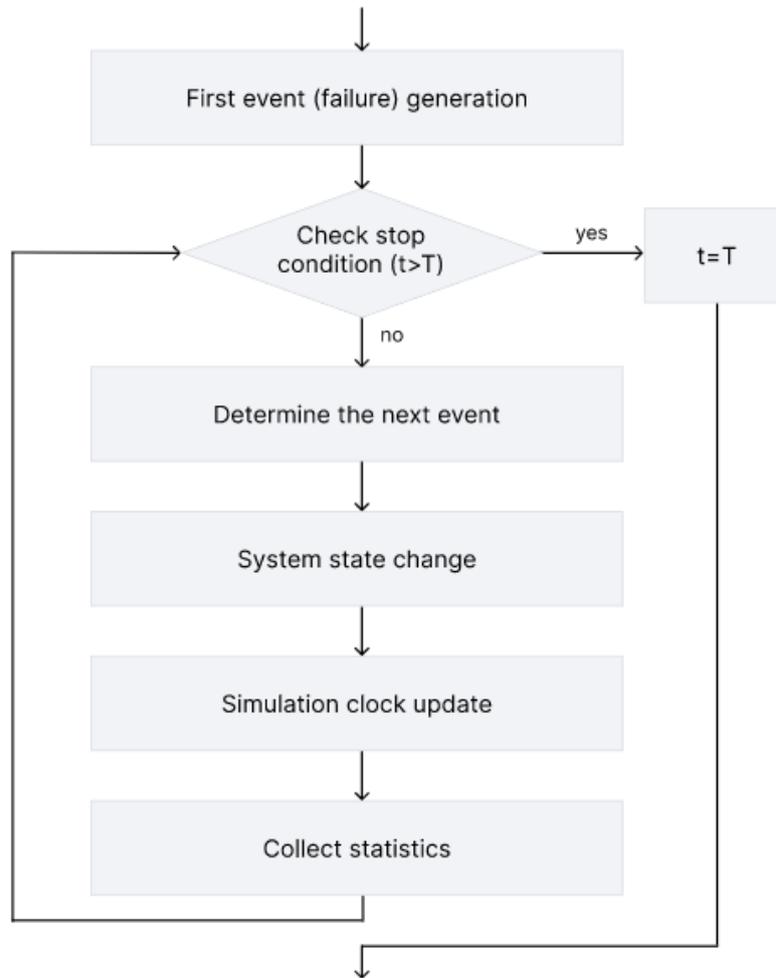
Σύμφωνα με τους [Gabryelewicz & Sadłowska-Wrzesińska \(2015\)](#) η προσομοίωση σε υπολογιστή (Computer Simulation) αναφέρεται σε μεθόδους μελέτης μίας μεγάλης ποικιλίας μοντέλων φυσικών συστημάτων μέσω αριθμητικής αξιολόγησης χρησιμοποιώντας λογισμικά

σχεδιασμένα να μιμούνται τις λειτουργίες ή τα χαρακτηριστικά τού συστήματος, συχνά εντός μίας ορισμένης χρονικής περιόδου.

### 3.2 Προσομοίωση διακριτών γεγονότων

Η προσομοίωση έχει δύο κύριες προσεγγίσεις, τη συνεχή και τη διακριτή, εκ των οποίων και οι δύο εξαρτώνται από τη δυναμική συμπεριφορά στον ορίζοντα του χρόνου. Στη συνεχή προσέγγιση, οι τιμές αλλάζουν σταδιακά σε όλη τη διάρκεια της εκτέλεσης της προσομοίωσης. Η διακριτή προσέγγιση αφορά την Προσομοίωση Διακριτών Συμβάντων (Discrete Event Simulation, DES) η οποία βασίζεται στην υπόθεση ότι ο χρόνος υπάρχει μόνο σε καθορισμένα σημεία και ότι τα γεγονότα θα συμβούν μόνο σε αυτά με αποτέλεσμα όταν συμβούν να αλλάζει η κατάσταση του συστήματος. Ως εκ τούτου, είναι πιο κατάλληλη για συστήματα λεπτομερών λειτουργιών όπου κάθε στοιχείο πρέπει να εντοπιστεί μέσα στη δυναμική του οργανισμού (Li et al., 2009). Η προσομοίωση διακριτών γεγονότων σχετίζεται άμεσα και με τα συστήματα συντήρησης. Η προσομοίωση διακριτών συμβάντων δείχνει πως το σύστημα αναπτύσσεται με την πάροδο του χρόνου και μπορεί να χρησιμοποιηθεί για να απαντήσει στα what-if ερωτήματα που τίθενται και να βοηθήσει να εξηγηθεί γιατί προκύπτουν ορισμένα φαινόμενα (Andijani & Duffuaa, 2002).

Για να το πετύχει αυτό, επιστρατεύεται η λογική που φαίνεται στο **Σχήμα 9**. Όπως φαίνεται σε αυτό, με την εμφάνιση ενός γεγονότος εξετάζεται η τιμή κάποιας συνθήκης και δρομολογείται μία σειρά νέων γεγονότων που επηρεάζουν την κατάσταση του συστήματος με διαφορετικό τρόπο. Στον χρόνο που έχει οριστεί ένα τρέξιμο του μοντελοποιημένου συστήματος συγκεντρώνονται κι έπειτα αναλύονται στατιστικά δεδομένα έτσι ώστε τελικά να εξυπηρετήσουν στη λήψη αποφάσεων ως προς το σύστημα. Ο κύκλος αυτών των ενεργειών επαναλαμβάνεται για κάθε συμβάν που προκύπτει κι επηρεάζει το μοντέλο του συστήματος.



Σχήμα 3-1 DES Flow (Πηγή: Discrete Event Simulation-HASH)

Η παρούσα μελέτη επικεντρώνεται στην προσομοίωση διακριτών γεγονότων. Οι [de Paula Ferreira et al. \(2020\)](#) αναφέρουν πως μια μεταβλητή κατάσταση ενός συστήματος περιέχει όλες τις πληροφορίες που αντιπροσωπεύουν και περιγράφουν το σύστημα μια δεδομένη χρονική στιγμή με μεταβλητές όπως τον όγκο των προϊόντων, την ποιότητα και τον χρόνο αναμονής. Οι [Skoogh et al. \(2008\)](#) αναγνωρίζουν τέσσερις διαφορετικές μεθόδους ανάκτησης και εισαγωγής τέτοιων μεταβλητών κατάστασης σε εργαλεία προσομοίωσης.

1. Χειροκίνητη εισαγωγή δεδομένων, μέθοδος η οποία προϋποθέτει την επεξεργασία και ανάλυση των δεδομένων που μπορεί να φανεί χρονοβόρα καθώς πολλές φορές τα δεδομένα διαμοιράζονται σε διάφορα μέρη του μοντέλου προσομοίωσης. Επίσης, συχνά τα δεδομένα προέρχονται από περισσότερες από μία πηγές δεδομένων.
2. Χειροκίνητη εισαγωγή δεδομένων σε υπολογιστικά φύλλα, μέθοδος κατά την οποία γίνεται χρήση εφαρμογών υπολογιστή και τα δεδομένα πλέον διαχειρίζονται κεντρικά από μια ανεξάρτητη εφαρμογή (π.χ. Excel)
3. Αυτόματη αποθήκευση δεδομένων, μία πιο αυτόματη εκδοχή της δεύτερης μεθόδου. Οι κύριες αδυναμίες αυτής της μεθόδου είναι η έλλειψη διαλειτουργικότητας μεταξύ των πηγών δεδομένων και των μοντέλων προσομοίωσης, όπως επίσης και η έλλειψη απαιτούμενων πληροφοριών για αποθήκευση ως εξωτερικά δεδομένα.
4. Ευθεία σύνδεση με πηγές δεδομένων. Η μέθοδος αυτή απαλλάσσεται από την ανάγκη ενδιάμεσης πηγής δεδομένων καθώς το μοντέλο προσομοίωσης είναι συνδεδεμένο εξαρχής με τη σχετική πηγή δεδομένων.

Για την συγκεκριμένη διπλωματική η μέθοδος που χρησιμοποιείται κατά κύριο λόγο είναι η δεύτερη, δηλαδή ο μεγαλύτερος όγκος πληροφοριών έχει συγκεντρωθεί σε αρχεία Excel και μέσω αυτών αναπτύσσεται το μοντέλο προσομοίωσης προκειμένου να μελετηθεί η λειτουργία της γραμμής. Στα αρχεία αυτά υπάρχουν στοιχεία από το παρελθόν έτσι ώστε να ορίζονται πλήρως οι μεταβλητές κατάστασης που αναφέρθηκαν νωρίτερα καθώς και οι πάγιες μεταβλητές του συστήματος όπως οι ταχύτητες μηχανημάτων.

Η προσομοίωση διακριτών γεγονότων έχει χρησιμοποιηθεί πολλάκις σε αντίστοιχες εφαρμογές στη βιομηχανία μέχρι σήμερα. Ενδεικτικά, οι [Kellner et al. \(2019\)](#) περιγράφουν την ένταξη 3D εκτυπωτών σε ένα λογισμικό προσομοίωσης διακριτών συμβάντων υπολογίζοντας την δυναμικότητά τους και τον παραγωγικό χρόνο για την εγκατάστασή τους στον εργασιακό χώρο. Στην μελέτη τους χρησιμοποιούν την πρώτη από τις προηγούμενες τέσσερις μεθόδους. Οι [Supsomboon and Varodhomwathana \(2017\)](#) χρησιμοποιούν δύο διαφορετικά λογισμικά προσομοίωσης διακριτών συμβάντων, ένα για να αναπαραστήσουν τον χειρισμό ενός ρομπότ σε μία συγκεκριμένη λειτουργία και το δεύτερο για να μοντελοποιήσουν μία παραγωγική διαδικασία συμπεριλαμβάνοντας την συμπεριφορά του ρομπότ. Σε άλλη μελέτη περίπτωσης οι [Hutabarat et al. \(2016\)](#) χρησιμοποιώντας την τρίτη από τις προαναφερθείσες μεθόδους προτείνουν την χρήση εικονικής πραγματικότητας (VR) εντός συγκεκριμένου λογισμικού προσομοίωσης διακριτών συμβάντων για τη συλλογή πληροφοριών σε πραγματικό χρόνο από βιομηχανικά τμήματα και ανθρώπινες ενέργειες για μεταγενέστερη χρήση ως μεταβλητές κατάστασης. Οι [Oyekan et al. \(2015\)](#) εξελίσσουν την προηγούμενη πρακτική ενισχύοντας την προσομοίωση διακριτών γεγονότων με την ένταξη ενός εργαλείου 3D οπτικοποίησης, το οποίο ενημερώνει το λογισμικό προσομοίωσης με τα στοιχεία που έχει συλλέξει από μόνο του.

Όπως εξηγεί ο [Bednall \(2020\)](#), τα μοντέλα προσομοίωσης διακριτών γεγονότων αναλύουν τις διαδικασίες σε μία σειρά από διαφορετικά συμβάντα ή μικρότερα λειτουργικά κομμάτια, τα οποία μπορούν στη συνέχεια να ενεργοποιηθούν όπως απαιτείται. Η διαδικασία αναλύεται αποτελεσματικά στα χαμηλότερα επίπεδα, συμπεριλαμβανομένων των αποστάσεων που

διανύουν τα αγαθά, των σημείων προς τα οποία κατευθύνονται, της ταχύτητας με την οποία ταξιδεύουν και φυσικά των χρόνων επεξεργασίας.

Οι περιπτώσεις στις οποίες μπορεί να βρει εφαρμογή η προσομοίωση διακριτών συμβάντων ποικίλουν. Η μέθοδος αυτή έχει χρησιμοποιηθεί σε γραμμή συναρμολόγησης φερού αεροσκάφους F-35 της FastPAKS, σκοπός της οποίας ήταν να ελαχιστοποιήσει τους χρόνους επεξεργασίας ορισμένων κομματιών. Σε άλλη περίπτωση, το Ιατρικό Κέντρο της Νεμπράσκα αξιοποίησε την προσομοίωση διακριτών συμβάντων έτσι ώστε να μελετήσει την βέλτιστη θέση των μελλοντικών της εγκαταστάσεων με κύριο γνώμονα την προτεραιότητα των επιχειρησιακών τους στόχων ανάλογα με την κατηγορία ασθενών που θα εξυπηρετούσαν. Στο τμήμα Logistics της Cosan (μεγαλύτερη εταιρία εξαγωγών ζάχαρης και αλκοόλ της Βραζιλίας) ανατέθηκε να βρει τρόπους για τη μείωση των κεφαλαιακών δαπανών της εταιρίας. Για να το πετύχει αυτό, η Cosan εστίασε σε τομείς της εφοδιαστικής αλυσίδας όπως ο αριθμός οχημάτων μεταφοράς που απαιτούνταν για τη μεταφορά ζαχαροκάλαμου στα εργοστάσια, στην αύξηση της δυναμικότητας των μύλων ζαχαροκάλαμου και στην αναγνώριση και μείωση των σημείων συμφόρησης στην παραγωγή. Η Cosan επέλεξε να χρησιμοποιήσει προσομοίωση διακριτών γεγονότων καλύπτοντας 240 ημέρες «λαμβάνοντας υπόψη τις διακυμάνσεις της εργασίας, τον απρογραμμάτιστο χρόνο διακοπής λειτουργίας, τις μη βέλτιστες ταχύτητες του εξοπλισμού και άλλες αβεβαιότητες». Ο σκοπός για την επιλογή αυτής της μεθόδου ήταν ότι αντικατόπτριζε τη δυναμική της εταιρίας στον πραγματικό κόσμο και παράλληλα της επέτρεψε να μειώσει τις δαπάνες της εταιρίας (MOSIMTEC, 2021).

Σύμφωνα με τους Tumbajoy et al. (2022) το πεδίο εφαρμογής αλλά και ο συγκεκριμένος τύπος πιθανών ψηφιακών τεχνολογιών πρέπει να επιλέγονται προσεκτικά κατά τον σχεδιασμό ή τη βελτίωση ενός παραγωγικού συστήματος. Η διαμόρφωση και η λειτουργία τους μπορούν να υποστηριχθούν από τεχνικές προσομοίωσης που εκτιμούν το αντίκτυπό τους στο παραγωγικό σύστημα και την τελική του απόδοση. Παρ' όλα αυτά η παραμετροποίηση των ψηφιακών τεχνολογιών σε ένα εργαλείο προσομοίωσης δεν είναι απλή δεδομένου ότι συγκεκριμένα μοντέλα είναι δύσκολο να αποδοθούν με ακρίβεια και το πραγματικό αντίκτυπό τους παραμένει αβέβαιο.

Αντίστοιχα, κατά τους Scheidegger et al. (2018) η εισαγωγή δεδομένων σε ένα σύστημα προσομοίωσης κρίνεται δύσκολη και αργή διαδικασία εξαιτίας της χαμηλής ποιότητας δεδομένων αλλά και της δυσκολίας ταυτοποίησης διαθέσιμων δεδομένων εισόδου.

### 3.3 Εφαρμογές προσομοίωσης στη βιομηχανία

Για την προσομοίωση παραγωγικών συστημάτων υπάρχουν πολλά διαθέσιμα λογισμικά όπως το FlexSim, το Tecnomatix Plant Simulation, το factory I/O, το Visual Components, το RobotStudio ABB κ.α. Αυτά συχνά χρησιμοποιούνται για τον σχεδιασμό παραγωγικών συστημάτων, τη βελτίωση των διαδικασιών τους και την προσαρμογή τεχνολογιών σε αυτά. Σύμφωνα με τους Malega et al. (2022) κατά την ανάπτυξη ενός μοντέλου προσομοίωσης είναι απαραίτητο να προσδιοριστεί ο σκοπός, το πεδίο εφαρμογής και ο τύπος των δεδομένων για την επιλογή του κατάλληλου λογισμικού. Για τη διαμόρφωση του σεναρίου ενός παραγωγικού συστήματος γίνεται χρήση διαφορετικών παραμέτρων για την μοντελοποίηση της συμπεριφοράς των μηχανών. Αυτές περιλαμβάνουν μεταβλητές που σχετίζονται όχι μόνο με το χρόνο αλλά και την διαθεσιμότητα, ή μεταβλητές που σχετίζονται με την ενέργεια ή την ποιότητα, χαρακτηριστικά τα οποία συνδέονται άμεσα και με τους δείκτες OEE που αναφέρθηκαν πιο πάνω.

Το FlexSim είναι μία πλατφόρμα αφιερωμένη στην ανάπτυξη, μοντελοποίηση, προσομοίωση, οπτικοποίηση και παρακολούθηση διαδικασιών και δραστηριοτήτων σε εταιρίες ή

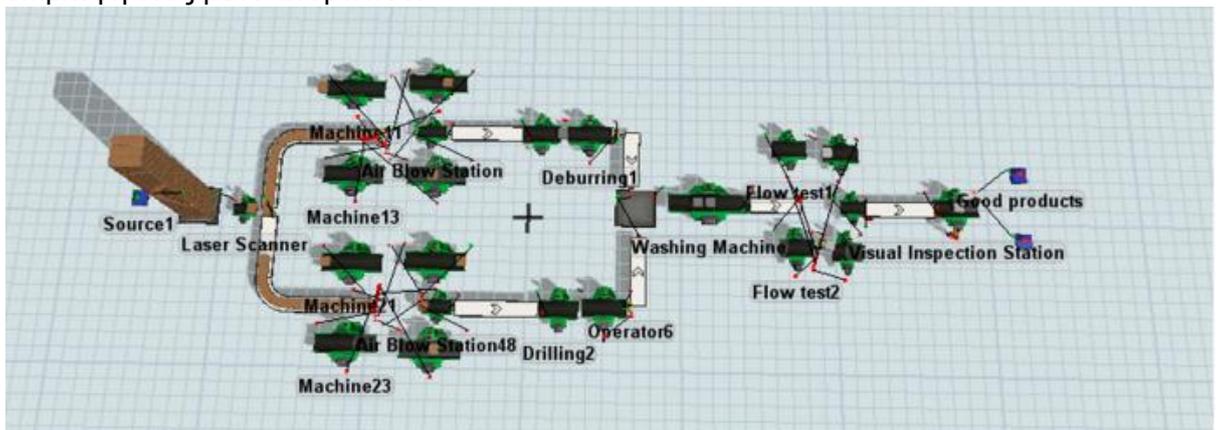
οργανισμούς. Χρησιμοποιείται για την εκτέλεση εργασιών που περιλαμβάνουν διάταξη και κατασκευή μοντέλων, τρισδιάστατες προσομοιώσεις, ανάλυση μοντέλων και βελτιστοποιήσεις. Λόγω των ρεαλιστικών τρισδιάστατων γραφικών και των πολύπλοκων αναφορών, είναι εύκολο να αποκαλυφθεί ένα πρόβλημα στη διαδικασία και να σχεδιαστούν οι κατάλληλες λύσεις (Binsztok et al., 2022).

Τα κύρια οφέλη από τη χρήση του FlexSim είναι κατά τον Nordgren (2013) τα εξής:

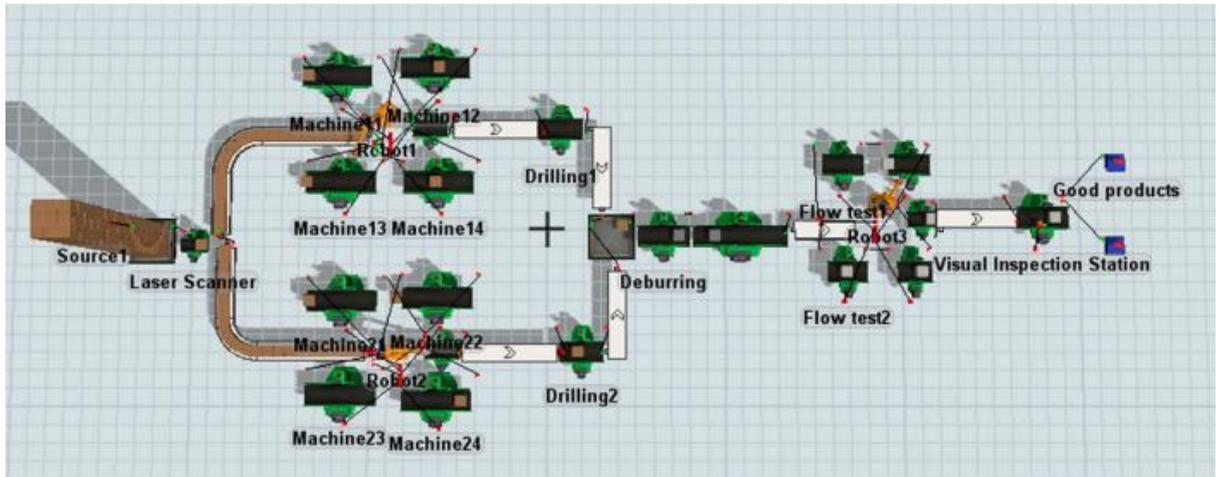
- Μείωση των επιχειρηματικών κινδύνων χρησιμοποιώντας ένα εικονικό περιβάλλον το οποίο μπορεί να αναπαρασταθεί με ακρίβεια, ακριβώς όπως στην πραγματικότητα για να ελεγχθεί πως λειτουργούν συγκεκριμένα σενάρια στην πράξη
- Ανάλυση περιπτώσεων και σεναρίων που αποτελούν περισσότερα από απλά δεδομένα σε βασικά υπολογιστικά φύλλα
- Δυνατότητες υλοποίησης ρεαλιστικών τρισδιάστατων απεικονίσεων
- Βελτιστοποίηση του συστήματος πριν την πραγματική εφαρμογή, η οποία εξοικονομεί χρόνο και χρήμα

Το FlexSim έχει χρησιμοποιηθεί σε πολλές μελέτες περίπτωσης στο πρόσφατο παρελθόν και τα αποτελέσματα χρήσης του έχουν φανεί ιδιαίτερα χρήσιμα σύμφωνα με την βιβλιογραφία.

- I. Οι Barozs et al. (2020) ανέπτυξαν μοντέλα στο FlexSim έτσι ώστε να αναλύσουν το πρόβλημα της αποδοτικότητας σε μία γραμμή παραγωγής όπου ο χειρισμός των μηχανών μπορεί να γίνεται είτε από ανθρώπους ή από ρομπότ. Οι γραμμή παραγωγής στη συγκεκριμένη περίπτωση αφορά τη συναρμολόγηση μερών του κινητήρα ενός αυτοκινήτου σε μία αυτοκινητοβιομηχανία. Στα μοντέλα τους έλαβαν υπόψη τη διαθεσιμότητα και αξιοπιστία των μηχανών, των χειριστών και των ρομπότ. Σκοπός της μελέτης τους ήταν η σύγκριση των δύο σεναρίων που φαίνονται στο **Σχήμα 10** και **Σχήμα 11**. Στο πρώτο σενάριο ο χειρισμός της γραμμής πραγματοποιείται αποκλειστικά από ανθρώπους, έτσι έξι χειριστές αναλαμβάνουν όλα τα καθήκοντα. Στο δεύτερο σενάριο ο χειρισμός εκτελείται με την βοήθεια τριών ρομπότ και υπό την επίβλεψη ενός μόνο ανθρώπου.



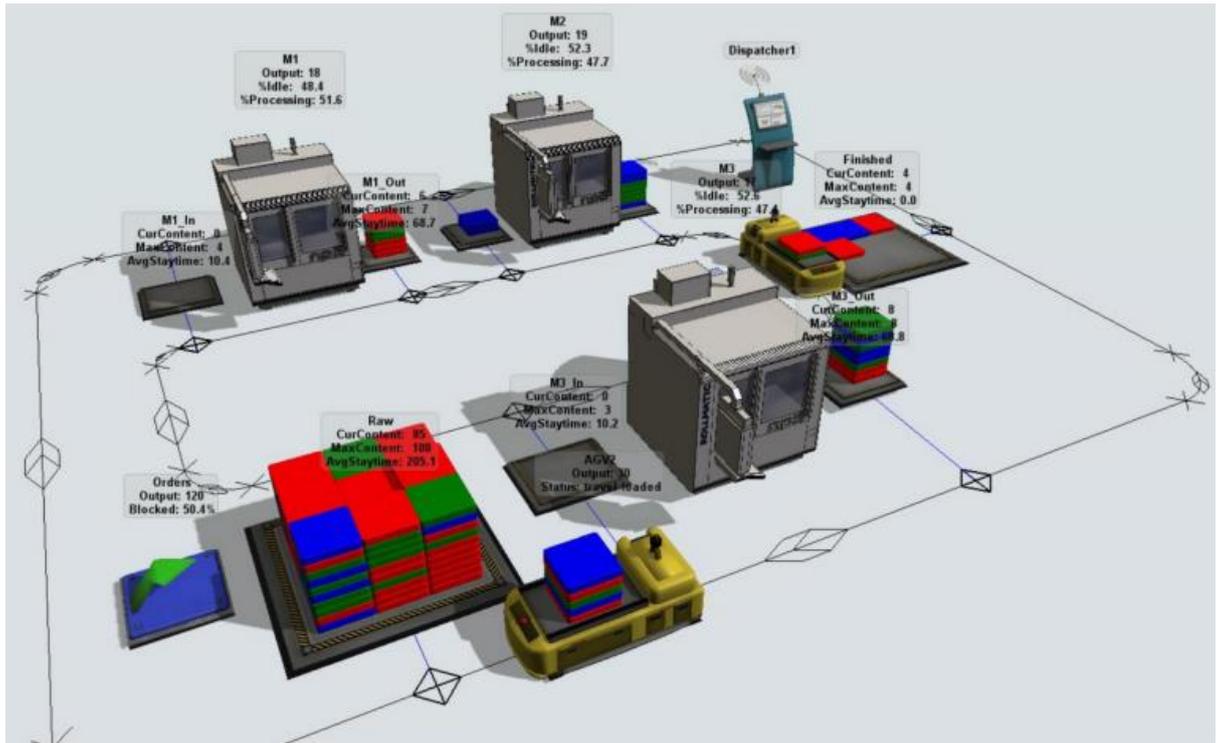
Σχήμα 3-2 Μοντέλο γραμμής παραγωγής με χειρισμό από 6 ανθρώπους  
(Πηγή: Barozs et al., 2020)



Σχήμα 3-3 Μοντέλο γραμμής παραγωγής με χειρισμό από ρομπότι (Πηγή: Barozs et al., 2020)

Τα αποτελέσματά τους περιείχαν διαγράμματα με τα ποσοστά χρήσης (Utilization Rates) των μηχανών καθώς και την διακίνηση αγαθών (Throughput) και κατέληξαν στο συμπέρασμα πως το δεύτερο σενάριο ήταν πιο αποδοτικό από το πρώτο χωρίς όμως να συμπεριλαμβάνουν στην έρευνά τους τα οικονομικά στοιχεία τα οποία υποστηρίζουν την μετέπειτα εφαρμογή της πρότασής τους. Ο βασικότερος δείκτης που αξιολογείται στην έρευνά τους είναι ο OEE και δεδομένου ότι τα μοντέλα τους χτίστηκαν στη λογική του, μπορούν να αξιοποιηθούν για σύγκριση με αντίστοιχα μοντέλα παραγωγικών συστημάτων όπως οι ίδιοι αναφέρουν.

- II. Οι [Luscinski and Ivanov \(2020\)](#) αξιοποίησαν τις δυνατότητες του προγράμματος FlexSim έτσι ώστε να εντοπίσουν το βέλτιστο σημείο λειτουργίας ενός ευέλικτου παραγωγικού συστήματος. Το παραγωγικό σύστημα αποτελούνταν από πηγές, αποθηκευτικούς χώρους, χώρους αναμονής (buffers), συστήματα διακίνησης υλικών για τη μεταφορά πρώτων υλών και την κυκλοφορία υπό επεξεργασία μερών. Με την χρήση του FlexSim ερευνάται η λύση σε δύο προβλήματα, της εφαρμογής ευέλικτης διακίνησης και της στρατηγικής ελέγχου των συστημάτων διακίνησης. Στο μοντέλο περιέχονται τρεις σταθμοί κατεργασίας υλικών, ο καθένας εξοπλισμένος με διαφορετικά εργαλεία για την εκτέλεση συγκεκριμένων καθηκόντων. Για εσωτερική μετακίνηση αγαθών χρησιμοποιούνται AGVs (Automated Guided Vehicles) τα οποία ακολουθούν προκαθορισμένες διαδρομές. Το μοντέλο του συστήματος φαίνεται στο **Σχήμα 12**.



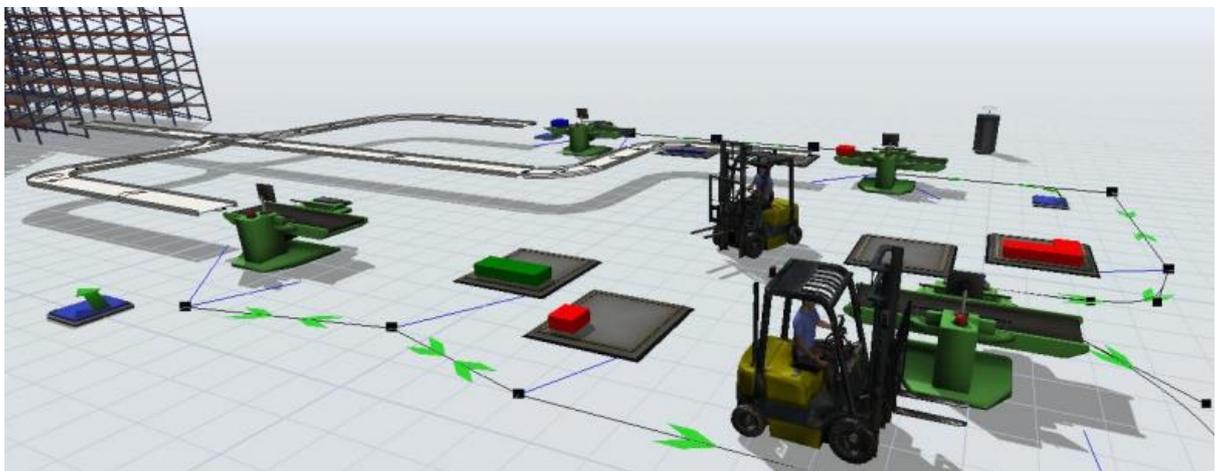
Σχήμα 3-4 Μοντέλο γραμμής παραγωγής εργοταξίου (Πηγή: Luscinski & Ivanov, 2020)

Το ανεπτυγμένο αυτό μοντέλο χρησιμοποιήθηκε σε μία σειρά προσομοιώσεων. Τα τρεξίματα των προσομοιώσεων συγκέντρωσαν σχετικά στοιχεία τα οποία φαίνονται στο **Σχήμα 13**. Για την προσομοίωση θεωρήθηκε δεδομένη δυναμικότητα των AGVs και εκτιμήθηκαν όλοι οι χρόνοι κατεργασίας των προϊόντων από κάθε κέντρο επεξεργασίας. Με τα κατάλληλα εργαλεία του λογισμικού έγινε βελτιστοποίηση στις κινήσεις και των προγραμματισμό των AGVs και μετά από σύγκριση των αποτελεσμάτων διαφόρων σεναρίων επιλέχθηκε αυτό με τους καλύτερους δείκτες.



Σχήμα 3-5 Διαγράμματα FlexSim (Πηγή: Luscinski & Ivanov, 2020)

- III. Στην περίπτωση που ακολουθεί στόχος της έρευνας ήταν η ανάπτυξη μίας αποδοτικής μεθόδου ενσωμάτωσης συστήματος ERP σε σύστημα προσομοίωσης, η οποία αποτελεί και μέθοδο ημιαυτόματης παραγωγής μοντέλων για συστήματα προσομοίωσης. Μέθοδοι ενσωμάτωσης ERP συστημάτων σε άλλα συστήματα, βασιζόμενες σε ανταλλαγή δεδομένων, χρησιμοποιούνται σήμερα για να επεκτείνουν την λειτουργικότητα και αποδοτικότητα στις δραστηριότητες ενός οργανισμού σε πολλούς τομείς (Krenczyk et al., 2018). Στην έρευνα τα στοιχεία λαμβάνονταν από τα συστήματα MRP και ERP έτσι ώστε να δημιουργούνται μοντέλα με ημιαυτόματο τρόπο. Μετά την εισαγωγή των δεδομένων ο κώδικας του μοντέλου προσομοίωσης περιείχε παραμετροποιημένα βασικά αντικείμενα. Στο **Σχήμα 14** φαίνεται το μοντέλο μετά την εισαγωγή όλων των αντικειμένων.



Σχήμα 3-6 Μοντέλο προσομοίωσης (Πηγή: Krenczyk et al., 2018)

Οι Krenczyk et al. (2018) συμπεραίνουν με το πέρας της έρευνάς τους ότι μέσα από το συγκεκριμένο παράδειγμα εκτίθεται η αξία της προσομοίωσης στην στήριξη της διαδικασίας επιβεβαίωσης του προγραμματισμού παραγωγής. Μπορεί ακόμα να συνδράμει σαν εργαλείο στην βελτιστοποίηση των παραμέτρων ενός παραγωγικού συστήματος.

## 4. Λογισμικό προσομοίωσης διακριτών γεγονότων FLEXSIM

Το FlexSim αποτελεί ένα λογισμικό προσομοίωσης διακριτών γεγονότων που παρέχει τρισδιάστατη απεικόνιση και έχει σχεδιαστεί για την μοντελοποίηση συστημάτων και διαδικασιών. Το συγκεκριμένο λογισμικό έχει εξυπηρετήσει εφαρμογές σε πολλούς κλάδους μεταξύ των οποίων ο κατασκευαστικός, αυτός της διαχείρισης υλικών, της υγείας, τα αποθηκευτικά συστήματα και η εφοδιαστική αλυσίδα. Ενδεικτικά, το FlexSim έχει χρησιμοποιηθεί από εταιρίες όπως η Coca-Cola, η Amazon, η Toyota, η ABB, η Walmart, η Apple, η Nissan κ.α. Σαν εργαλείο απευθύνεται κατά κύριο λόγο σε μηχανικούς και ανθρώπους υπεύθυνους για αποφάσεις που αφορούν τη βελτίωση κάποιου συστήματος και των διαδικασιών που το διέπουν. Η FlexSim ιδρύθηκε σαν εταιρία το 1993 με διαφορετικό όνομα και πήρε το σημερινό της όνομα το 2000. Από το 2003 κι έπειτα αναπτύχθηκε το λογισμικό που μέχρι σήμερα εξελίσσεται και αφορά την μοντελοποίηση συστημάτων. Το FlexSim είναι ένα λογισμικό που μπορεί κανείς να αποκτήσει είτε επί πληρωμή ή δωρεάν για ένα σύντομο χρονικό διάστημα για εκπαιδευτικούς σκοπούς.

Μέσω του λογισμικού ο χρήστης έχει τη δυνατότητα να εκτελέσει τις πέντε κύριες διεργασίες που φαίνονται παρακάτω. Δηλαδή, κάθε χρήστης του λογισμικού μπορεί εύκολα να αναπαραστήσει ένα σύστημα σε τρισδιάστατο περιβάλλον, μπορεί να σχεδιάσει το υπόμνημα ενός μοντέλου, να χτίσει το μοντέλο στο περιβάλλον του λογισμικού, να αναλύσει τη λειτουργία του και τέλος να το βελτιστοποιήσει. Όλα αυτά μπορούν να γίνουν σε μεγάλο επίπεδο ακρίβειας και λεπτομέρειας καθώς το λογισμικό έχει φροντίσει έτσι ώστε να μπορούν να προσομοιωθούν κινήσεις, συμπεριφορές και τυχαία γεγονότα σε πολύ καλό επίπεδο. Σημαντική είναι η εμπειρία που έχει ο κάθε χρήστης στο περιβάλλον του λογισμικού αλλά και ο τρόπος σκέψης του.



3D SIMULATION

Σε ό,τι αφορά την τρισδιάστατη αναπαράσταση ενός μοντέλου, το λογισμικό προσφέρει την δυνατότητα εισαγωγής αντικειμένων εντός του περιβάλλοντός του που επιτρέπει την πιστή απεικόνιση οποιουδήποτε πραγματικού συστήματος. Για τα αντικείμενα αυτά ακολουθεί ανάλυση στη συνέχεια του κεφαλαίου .



MODEL LAYOUT

Το FlexSim διευκολύνει τον χρήστη και στον τομέα του σχεδιασμού του μοντέλου. Η επιφάνεια εργασίας του FlexSim επιτρέπει την τοποθέτηση των απαραίτητων αντικειμένων με πολύ εύκολο τρόπο και δίνει την επιλογή αντικειμένων που οριοθετούν τον χώρο λειτουργίας.



MODEL BUILDING

Το χτίσιμο του μοντέλου στο λογισμικό μπορεί να αποτελεί το πιο απλό ή και το πιο σύνθετο καθήκον του χρήστη ανάλογα με την περιπλοκότητα του πραγματικού μοντέλου. Ο τρόπος με τον οποίο μπορεί να επικοινωνούν ή αλληλεπιδρούν τα αντικείμενα στην πραγματικότητα καθορίζει και το βάθος στο οποίο θα πρέπει να φτάσει ο χρήστης για να έχει μία σωστή απεικόνιση του συστήματος. Το FlexSim επιτρέπει την παραμετροποίηση των αντικειμένων έτσι ώστε να μπορούν να αποδοθούν όλα τα συστήματα.



MODEL  
ANALYSIS

Από τη στιγμή που το μοντέλο έχει δημιουργηθεί, το λογισμικό προσφέρει στον χρήστη έναν σημαντικό αριθμό διαγραμμάτων και γραφημάτων που εξυπηρετούν στην ανάλυση της λειτουργίας του μοντέλου. Σημαντική είναι η ευελιξία του λογισμικού στη συγκέντρωση αλλά και εξαγωγή δεδομένων μέσω των διαφόρων εργαλείων του καθώς και η διατήρηση και προβολή στατιστικών στοιχείων.

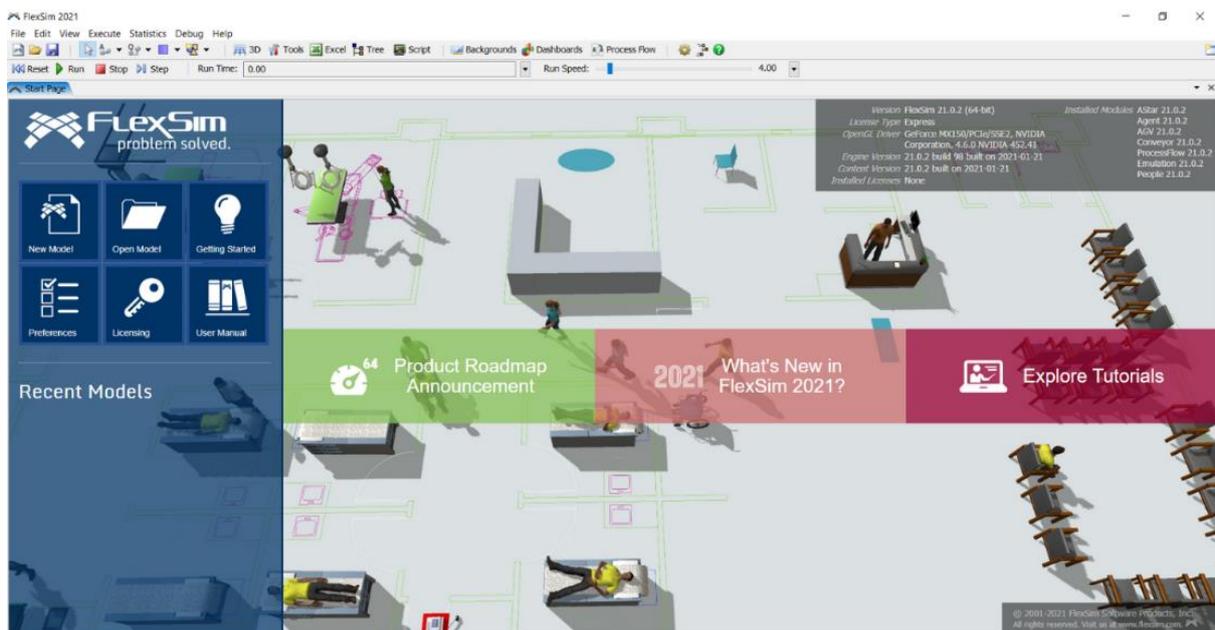


OPTIMIZATION

Τέλος, μία εκ των σημαντικότερων δυνατοτήτων του προγράμματος αποτελεί η βελτιστοποίηση του μοντέλου καθώς το λογισμικό μπορεί να συγκρίνει ταυτόχρονα πληθώρα σεναρίων και να παρουσιάσει τα αποτελέσματα έτσι ώστε ο υπεύθυνος να τα ερμηνεύσει και να προβεί σε κατάλληλες ενέργειες.

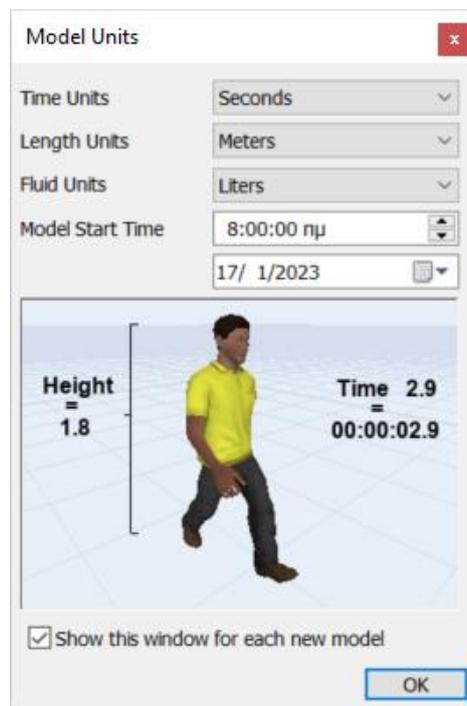
#### 4.1 Εισαγωγή στο λογισμικό

Έχοντας αποκτήσει κι εγκαταστήσει το λογισμικό του FlexSim, ο χρήστης κάθε φορά που ανοίγει το πρόγραμμα βλέπει την οθόνη που φαίνεται στο **Σχήμα 4-1** από όπου επιλέγει αν θα ανοίξει ένα νέο αρχείο ή θα ανοίξει ένα αρχείο που έχει αποθηκεύσει στο παρελθόν.



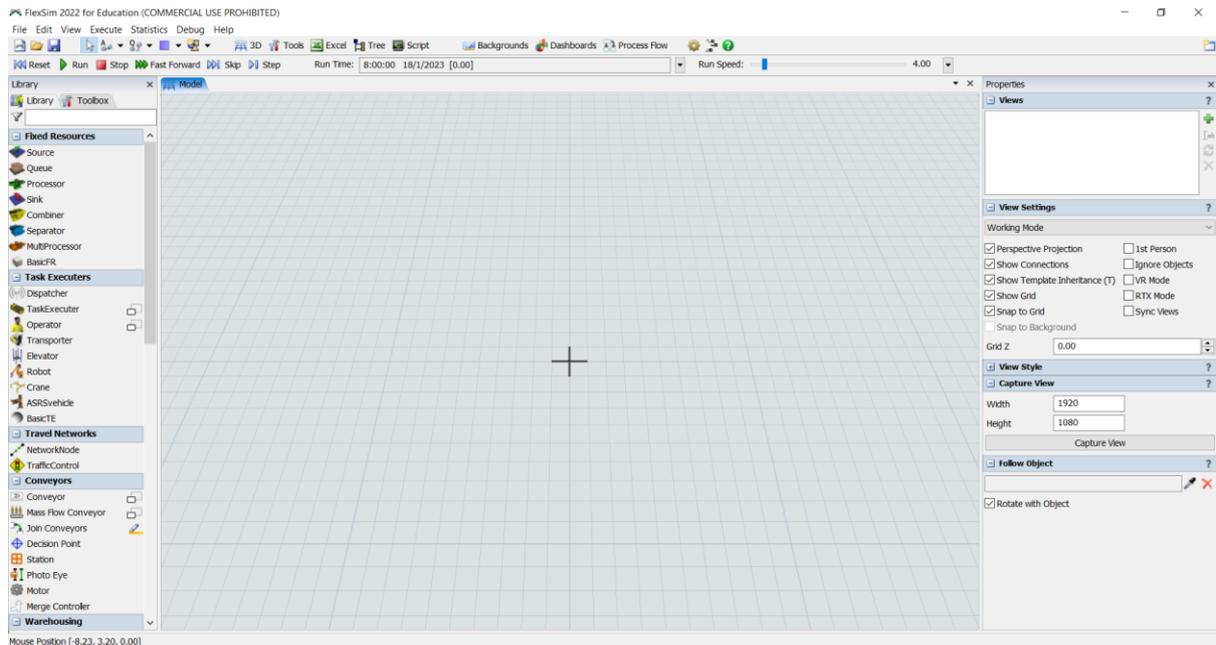
Σχήμα 4-1 Αρχική οθόνη FlexSim

Για κάθε νέο αρχείο που δημιουργείται, ο χρήστης ερωτάται στην αρχή ποιες είναι μονάδες μέτρησης που επιθυμεί να χρησιμοποιεί στο μοντέλο του καθ' όλη τη διάρκεια της προσομοίωσης (**Σχήμα 4-2**). Οι μονάδες αυτές αφορούν τον χρόνο, την απόσταση και την μονάδα μέτρησης των ρευστών και δεν είναι δυνατόν να αλλάξουν μετά την επιλογή τους.



*Σχήμα 4-2 Μονάδες μέτρησης μοντέλου*

Έχοντας επιλέξει τις παραπάνω μονάδες, εμφανίζεται στον χρήστη η επιφάνεια εργασίας του προγράμματος, πάνω στην οποία θα χτιστεί το μοντέλο και θα τρέξουν τα επιθυμητά σενάρια. Η επιφάνεια αυτή είναι τρισδιάστατη και ο χρήστης μπορεί να ξεκινήσει το χτίσιμο του μοντέλου από όποιο σημείο θέλει (**Σχήμα 4-3**). Στα αριστερά της επιφάνειας εργασίας βρίσκονται οι καρτέλες με τα αντικείμενα που μπορεί να χρησιμοποιήσει ο χρήστης για την αναπαράσταση του μοντέλου του καθώς και κάποια ακόμα βασικά εργαλεία του λογισμικού. Στα δεξιά της βρίσκεται μία καρτέλα με τις ρυθμίσεις που αφορούν κάθε αντικείμενο έτσι ώστε πατώντας πάνω σε κάποιο αντικείμενο του μοντέλου να εμφανίζονται αμέσως οι παράμετροι λειτουργίας του και ο χρήστης να έχει άμεσα την εποπτεία τους. Στο πάνω μέρος της επιφάνειας εργασίας βρίσκεται μία μπάρα με τις βασικότερες λειτουργίες του λογισμικού, όπως η αποθήκευση του αρχείου, η επανεκκίνηση του μοντέλου και το τρέξιμο ενός σεναρίου.



Σχήμα 4-3 Επιφάνεια εργασίας FlexSim

Το FlexSim είναι ιδιαίτερα εύχρηστο καθώς επιτρέπει την εισαγωγή δεδομένων από εξωτερικές πηγές, δηλαδή μπορεί να «διαβάσει» ένα αρχείο Excel και να αντλήσει στοιχεία από αυτό, ή να αναγνωρίσει κάποιον πίνακα και να τον χρησιμοποιήσει με συγκεκριμένο τρόπο. Στο περιβάλλον του FlexSim είναι ακόμη δυνατό να εισάγει κανείς αρχείο AutoCAD και να χτίσει το μοντέλο του πάνω στην δισδιάστατη απεικόνιση που έχει προκύψει. Πολλές μελέτες ξεκινάνε με την απεικόνιση του χώρου σε κάποιο σχεδιαστικό πρόγραμμα όπως το AutoCAD επομένως είναι ιδιαίτερα χρήσιμο να υπάρχει συμβατότητα μεταξύ των προγραμμάτων. Μία άλλη σημαντική ιδιότητα του λογισμικού είναι η δυνατότητα εισαγωγής τρισδιάστατου σχεδίου κάποιου αντικειμένου από προγράμματα όπως το Solidworks. Η εισαγωγή προσχεδιασμένου αντικειμένου επιτρέπει την πιστή απόδοση του πραγματικού μοντέλου μέσα στο λογισμικό. Τα αντικείμενα αυτά μπορούν να αντικαταστήσουν τα ήδη υπάρχοντα αντικείμενα και με αυτό τον τρόπο να λειτουργούν και με την αντίστοιχη λογική. Δηλαδή η λειτουργία του αντικειμένου που εισάγεται στο πρόγραμμα από ένα άλλο σχεδιαστικό πρόγραμμα προσομοιάζεται με την λειτουργία των υπαρχόντων αντικειμένων και κατ' επέκταση παραμετροποιείται σε ανάλογο βαθμό.

Στη συνέχεια γίνεται μία περιγραφή των αντικειμένων του λογισμικού και δίνεται έμφαση σε αυτά που χρησιμοποιήθηκαν σε μεγαλύτερο βαθμό για την αναπαράσταση του μοντέλου της παρούσας διπλωματικής. Επιπλέον, αναλύονται οι παράμετροι που μπορούν να επηρεάσουν με τον σημαντικότερο τρόπο το μοντέλο καθώς και τα εργαλεία που αξιοποιήθηκαν για την εργασία.

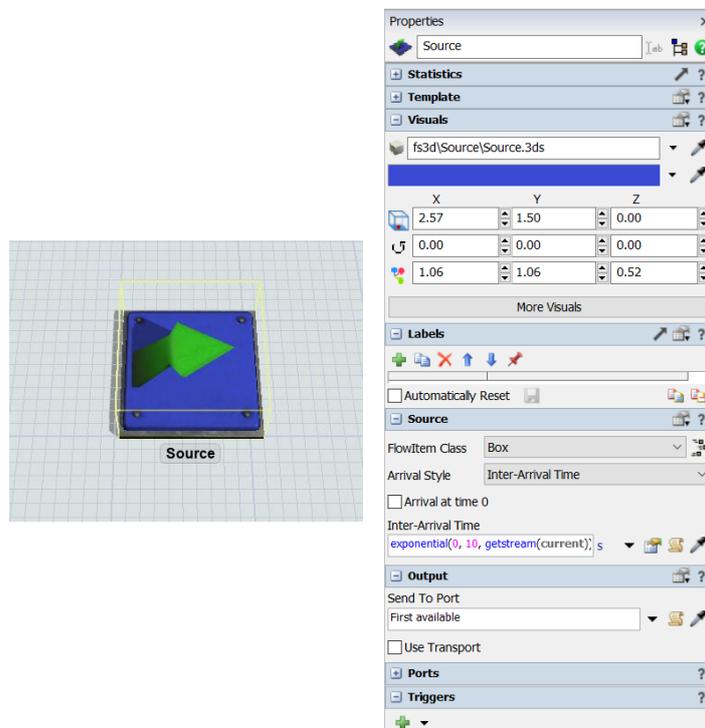
## 4.2 Σταθερά αντικείμενα

Τα αντικείμενα που χρησιμοποιούνται σε ένα μοντέλο του FlexSim προκύπτουν κατά κύριο λόγο από την βιβλιοθήκη αντικειμένων που βρίσκεται στο αριστερό μέρος της επιφάνειας εργασίας του προγράμματος. Παρακάτω περιγράφονται τα βασικότερα από αυτά και με την

σειρά που εμφανίζονται στο περιβάλλον του FlexSim. Πέρα από τα «σταθερά» αυτά αντικείμενα υπάρχουν και τα αντικείμενα ροής των οποίων η χρήση εξηγείται πιο κάτω. Για κάθε αντικείμενο που περιγράφεται πιο κάτω, εκτός των άλλων, το FlexSim δίνει την δυνατότητα αλλαγής της όψης του στους τρεις άξονες.

- Πηγή

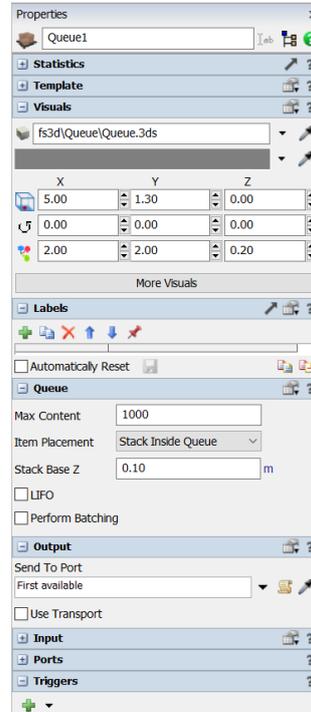
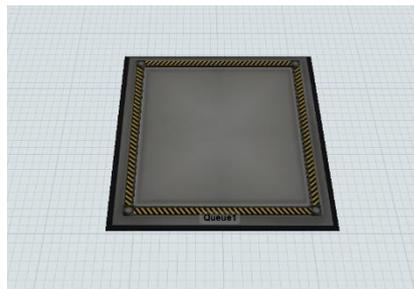
Χρησιμοποιείται για να παράγει τα αντικείμενα ροής που διακινούνται εντός του μοντέλου. Κάθε πηγή μπορεί να παράγει μόνο ένα είδος αντικειμένων (κουτιά, παλέτες, κυλίνδρους κ.α.) σε συχνότητα που ορίζει ο χρήστης είτε χρησιμοποιώντας κάποια στατιστική κατανομή ή ανά δεδομένα χρονικά διαστήματα. Για τις πηγές, πέρα από τη συχνότητα παραγωγής αντικειμένων ροής, μπορεί να οριστεί και η εκκίνηση παραγωγής τους.



Σχήμα 4-4 Πηγή και ιδιότητές της

- Ουρά

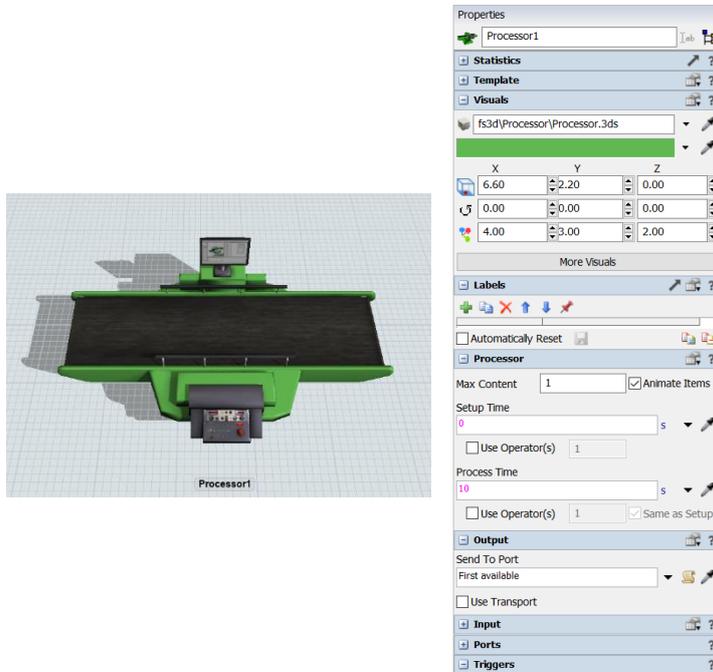
Η ουρά είναι το αντικείμενο του λογισμικού στο οποίο μπορούν να συσσωρευτούν αντικείμενα ροής. Ουσιαστικά οι ουρές αποτελούν μια γενική αναπαράσταση κάθε buffer και δίνουν στο μοντέλο ένα διαθέσιμο χρονικό διάστημα για όσο χρόνο παραμένουν σε αυτές τα αντικείμενα ροής.



Σχήμα 4-5 Ουρά και ιδιότητές της

- Επεξεργαστής

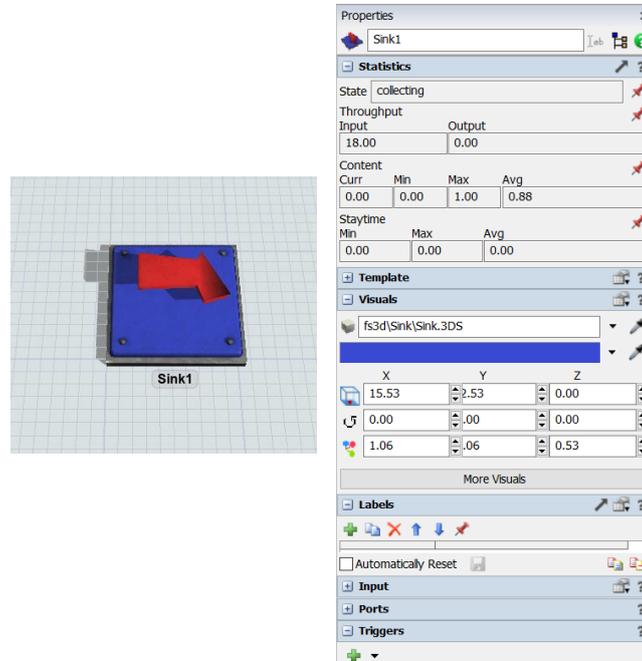
Ο επεξεργαστής είναι το αντικείμενο μέσω του οποίου μοντελοποιείται οποιαδήποτε κατεργασία/επεξεργασία μπορεί να υποστεί ένα αντικείμενο ροής. Στον επεξεργαστή ο χρήστης έχει τη δυνατότητα να ορίσει τον χρόνο προετοιμασίας, τον χρόνο επεξεργασίας καθώς και την ποσότητα των επεξεργαζόμενων αγαθών την ίδια χρονική στιγμή.



Σχήμα 4-6 Επεξεργαστής και ιδιότητές του

- Έξοδος

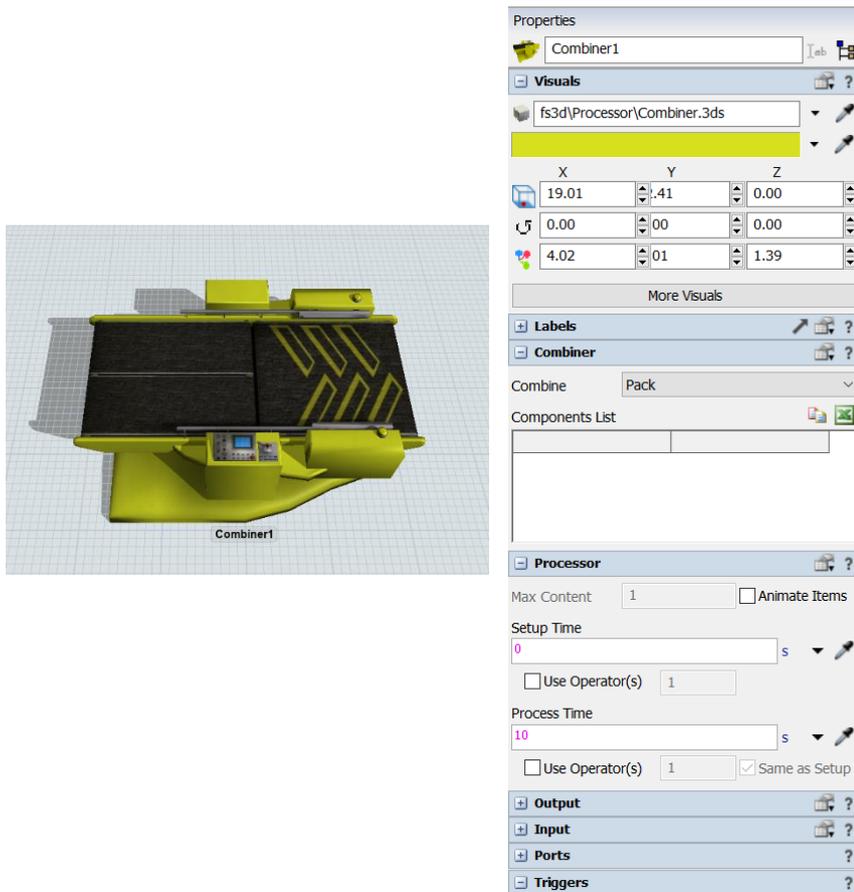
Η έξοδος είναι ένα αντικείμενο που εξυπηρετεί στην ολοκλήρωση ενός μοντέλου καθώς είναι ο προορισμός στον οποίο τελικά καταλήγουν τα αντικείμενα ροής προκειμένου να «καταστραφούν». Από τη στιγμή που ένα αντικείμενο ροής εισέλθει στην έξοδο, δεν μπορεί να επιστρέψει στο σύστημα.



Σχήμα 4-7 Έξοδος και ιδιότητές της

ο Συνδυαστής

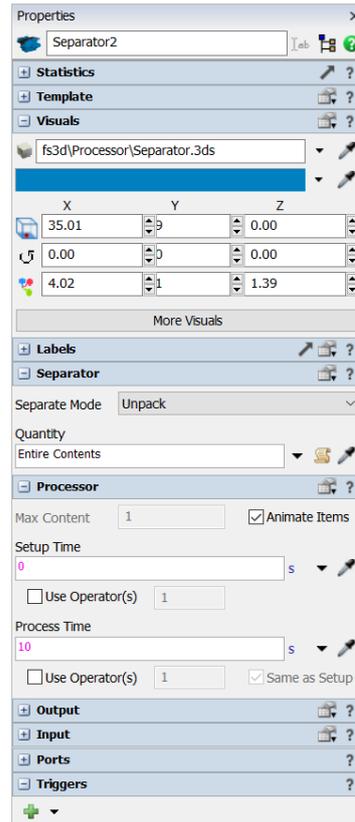
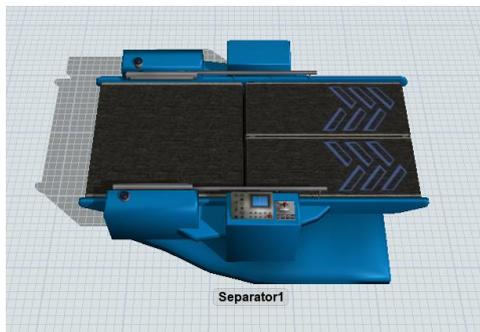
Ο συνδυαστής είναι ένα αντικείμενο το οποίο εκτελεί τη λειτουργία της ομαδοποίησης διαφόρων αντικειμένων ροής. Στον συνδυαστή καταλήγουν και' ελάχιστο δύο διαφορετικές ροές, με την πρώτη να ορίζει ποιος θα είναι ο περιέκτης και τις επόμενες να ορίζουν τα περιεχόμενα εντός αυτού (στο πλήθος που ο χρήστης αποφασίζει). Σε αυτό το αντικείμενο μπορεί ομοίως να οριστεί χρόνος προετοιμασίας και επεξεργασίας, ενώ ακόμα το λογισμικό προσφέρει τρεις διαφορετικούς τύπους ομαδοποίησης των αντικειμένων ροής.



Σχήμα 4-8 Συνδυαστής και ιδιότητές του

ο Διαχωριστής

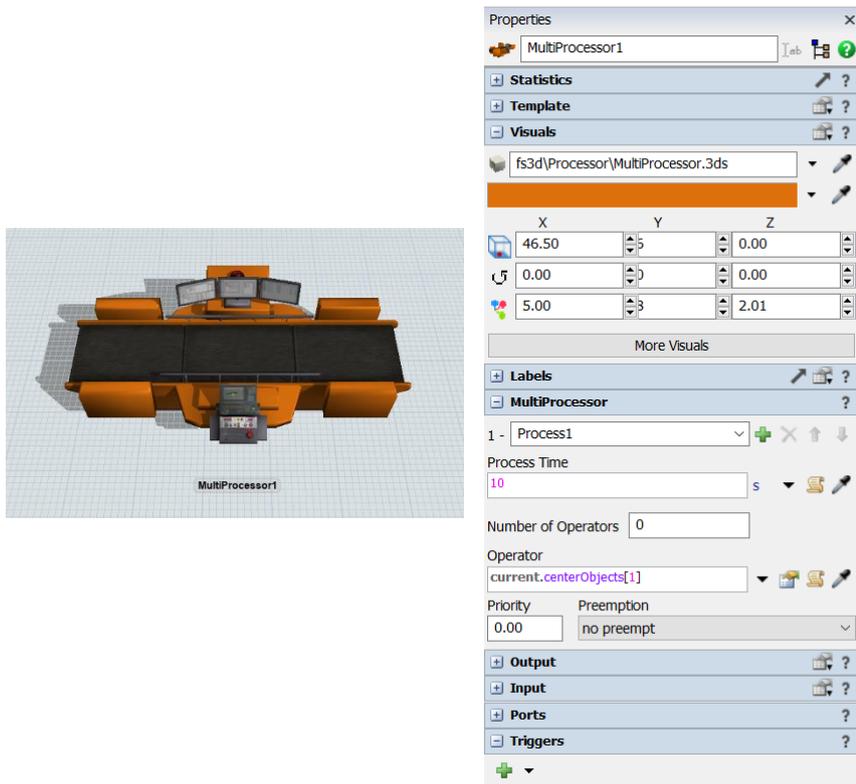
Διαχωριστής ονομάζεται το αντικείμενο του FlexSim στο οποίο λαμβάνει χώρα ο «διαχωρισμός» των αντικειμένων ροής. Η λειτουργία αυτή μπορεί να συμβεί με δύο τρόπους, το ξεπακετάρισμα, κατά το οποίο διαχωρίζονται τα διαφορετικά αντικείμενα ροής μέσα από ένα σύνθετο αντικείμενο ροής, ή με τη διαίρεση, κατά την οποία δημιουργούνται πολλαπλά αντίγραφα του αρχικού αντικειμένου ροής που εισέρχεται στον διαχωριστή. Ο διαχωριστής είναι ένα ακόμα αντικείμενο με δυνατότητα ορισμού χρόνου προετοιμασίας κι επεξεργασίας.



Σχήμα 4-9 Διαχωριστής και ιδιότητές του

- ο Πολυεπεξεργαστής

Ο πολυεπεξεργαστής αποτελεί ένα αντικείμενο που έχει τη δυνατότητα να εκτελέσει μία σειρά διεργασιών σε ένα αντικείμενο ροής, διαφορετικής διάρκειας η κάθε μία. Ο χρήστης μπορεί να ορίσει την σειρά με την οποία θα εκτελεστεί κάθε διεργασία ή να θέσει κριτήρια που θα παραχωρούν προτεραιότητα διεκπεραίωσης στη σειρά εκτέλεσής τους. Για κάθε διεργασία πέρα από διαφορετικός απαιτούμενος χρόνος, μπορεί να οριστεί και διαφορετικός αριθμός χειριστών που θα χρειαστούν.



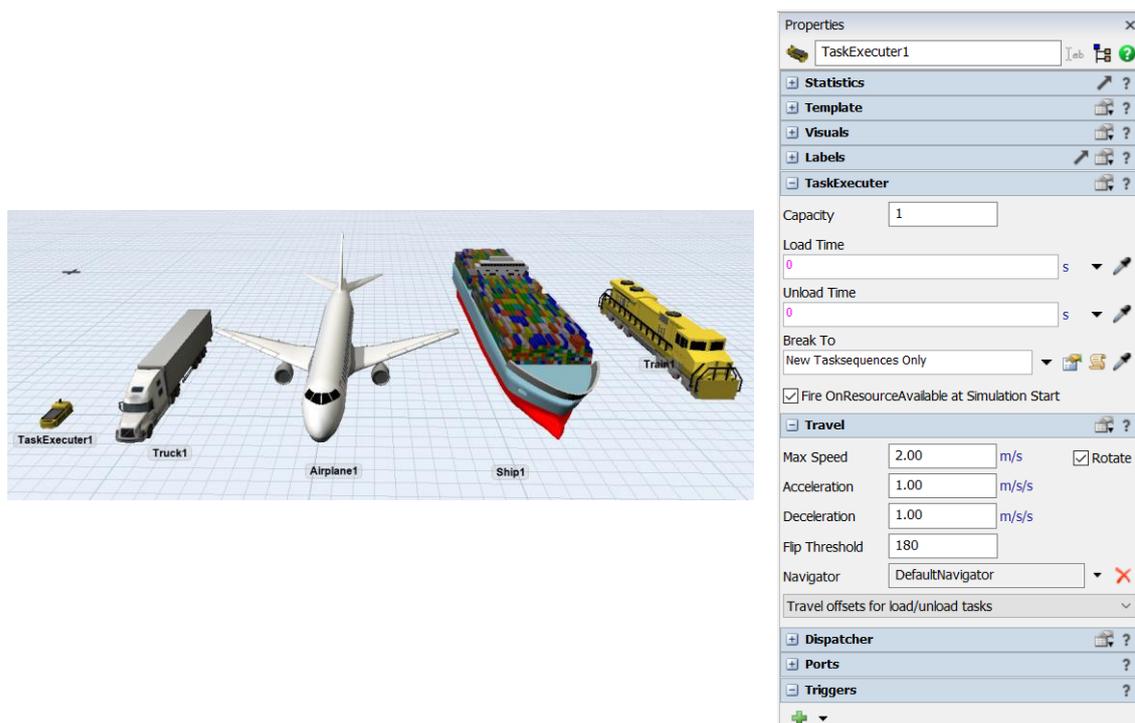
Σχήμα 4-10 Πολυεπεξεργαστής και ιδιότητές του

### 4.3 Εκτελεστές καθηκόντων

Οι εκτελεστές καθηκόντων είναι μία ομάδα επιλογών του λογισμικού που χρησιμοποιούνται για την μοντελοποίηση κυρίως της μεταφοράς των αντικειμένων ροής αλλά και για τον χειρισμό των αντικειμένων που περιγράφηκαν στο προηγούμενο υποκεφάλαιο. Στους εκτελεστές καθηκόντων ανήκουν οι άνθρωποι καθώς και πολλά μεταφορικά μέσα κάθε είδους. Το λογισμικό δίνει τη δυνατότητα στον χρήστη να ορίσει ο ίδιος, αν το επιθυμεί, ποια θα είναι η διαδρομή που θα ακολουθάει κάποιος άνθρωπος ή ένα μεταφορικό μέσο.

- Εκτελεστές καθηκόντων

Το FlexSim δίνει σε μία ομάδα μεταφορικών μέσων την ονομασία όλης της κατηγορίας. Η ομάδα αυτή αποτελείται από τα AGVs (Automated Guided Vehicles), τα φορτηγά, τα αεροπλάνα, τα πλοία, και τα τρένα. Όλοι αυτοί οι εκτελεστές καθηκόντων έχουν ακριβώς τις ίδιες παραμέτρους (ελάχιστες δυνατές) και λειτουργούν μόνο ως μεταφορείς, κινούμενοι από κάποιο σημείο σε κάποιο άλλο. Στις ρυθμίσεις τους μπορεί κανείς να ορίσει χρόνο φόρτωσης-ξεφόρτωσης, ταχύτητα μεταφοράς και επιτάχυνση.



Σχήμα 4-11 Εκτελεστές καθηκόντων και ιδιότητές τους

- Άνθρωποι

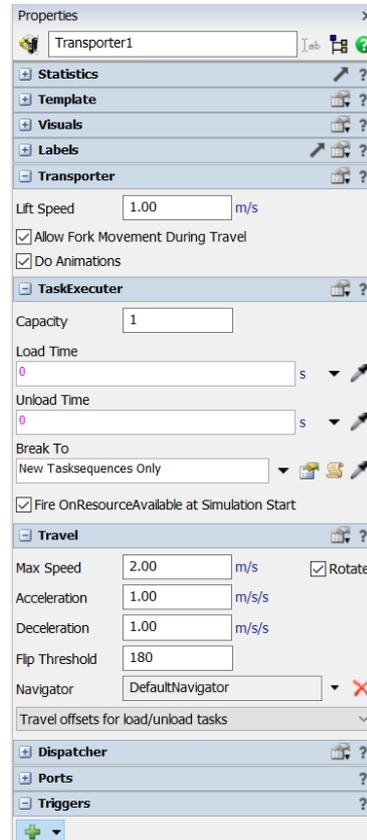
Οι άνθρωποι μπορούν να χρησιμοποιηθούν τόσο για την μεταφορά των αντικειμένων ροής όσο και για τον χειρισμό των πιο πάνω σταθερών αντικειμένων. Για τους ανθρώπους μπορεί να οριστεί ο χρόνος φόρτωσης και ξεφόρτωσης των αντικειμένων ροής, η ταχύτητα μεταφοράς τους και η δραστηριότητά τους για κάποιο δεδομένο διάστημα. Με αυτό τον τρόπο, πέρα από τον χειρισμό ενός μηχανήματος, μπορούν να μοντελοποιηθούν πολλές δραστηριότητες, όπως η ανατροφοδοσία μηχανών με απαιτούμενες πρώτες ύλες, η επιδιόρθωση βλαβών, η συντήρηση μηχανημάτων κ.α.



Σχήμα 4-12 Άνθρωποι και ιδιότητές τους

ο Περονοφόρα οχήματα

Τα περονοφόρα οχήματα δεν ανήκουν στην πρώτη κατηγορία καθώς ο χρήστης μπορεί να επιλέξει κάποιες περισσότερες ρυθμίσεις πέρα από όσες έχουν οι απλοί εκτελεστές καθηκόντων. Στα περονοφόρα οχήματα μπορεί να οριστεί και η ταχύτητα ανύψωσης των περονών καθώς και το εάν ανεβοκατεβαίνουν κατά τη διάρκεια της κίνησης του οχήματος.



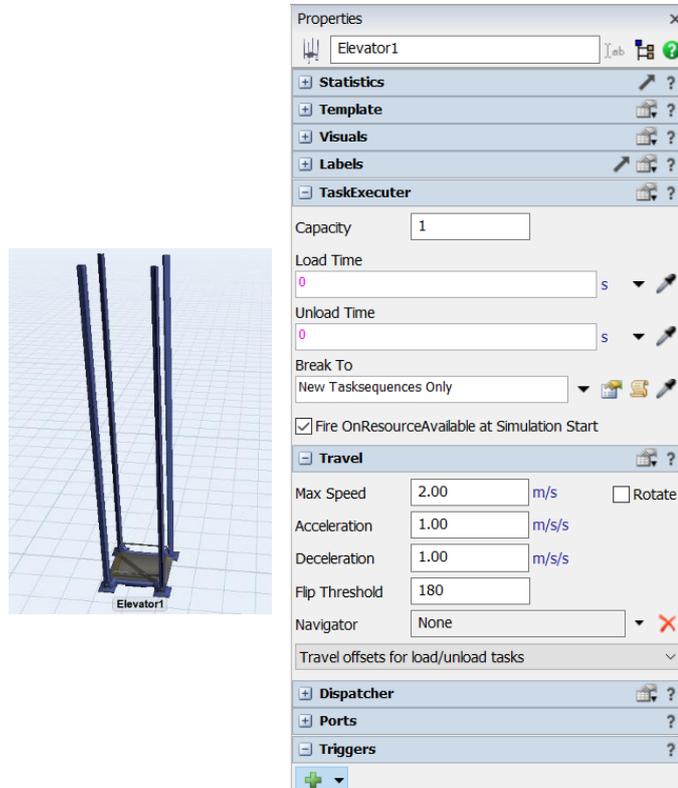
The Properties window for 'Transporter1' includes the following settings:

- Statistics**, **Template**, **Visuals**, **Labels**, **Transporter**: Each has a help icon (?) and a settings icon.
- Lift Speed**: 1.00 m/s
- Allow Fork Movement During Travel
- Do Animations
- TaskExecutor**:
  - Capacity**: 1
  - Load Time**: 0 s
  - Unload Time**: 0 s
  - Break To**: New Tasksequences Only
  - Fire OnResourceAvailable at Simulation Start
- Travel**:
  - Max Speed**: 2.00 m/s (with  Rotate)
  - Acceleration**: 1.00 m/s/s
  - Deceleration**: 1.00 m/s/s
  - Flip Threshold**: 180
  - Navigator**: DefaultNavigator
  - Travel offsets for load/unload tasks: (dropdown menu)
- Dispatcher**, **Ports**, **Triggers**: Each has a help icon (?) and a settings icon.
- Bottom: A plus sign (+) in a dropdown menu.

Σχήμα 4-13 Περονοφόρα οχήματα και ιδιότητές τους

- Ανελκυστήρας

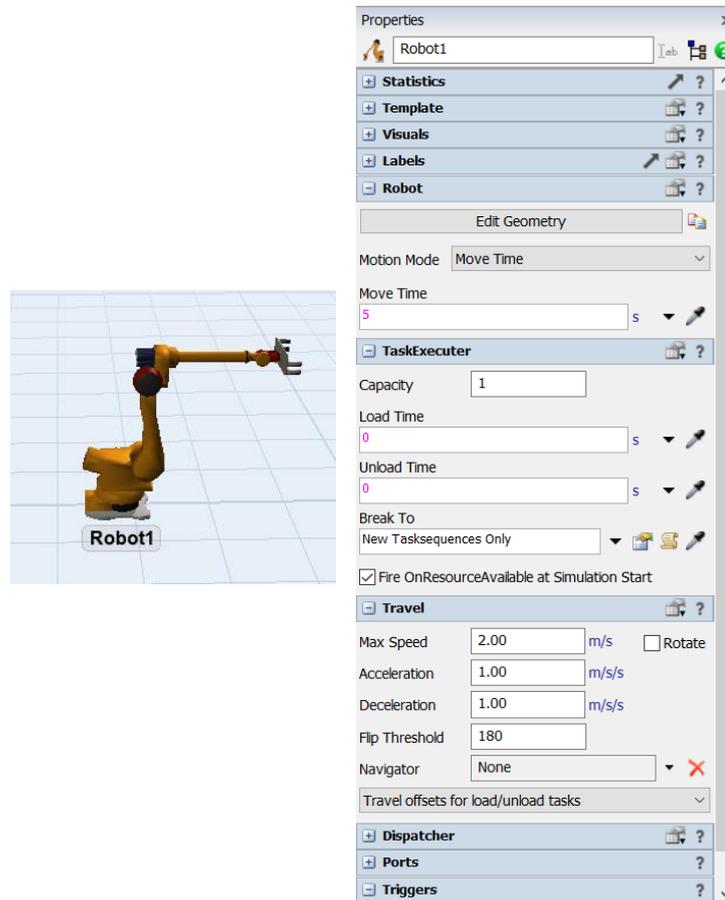
Ο ανελκυστήρας έχει τη δυνατότητα να ανεβοκατεβάζει τα αντικείμενα ροής. Το λογισμικό επιτρέπει το χτίσιμο του μοντέλου και υπό του επιπέδου μηδέν οπότε οι ανελκυστήρες μπορούν να τοποθετηθούν και «υπογείως», αν αυτό κρίνεται σκόπιμο.



Σχήμα 4-14 Ανελκυστήρας και ιδιότητές του

- ο Ρομπότ

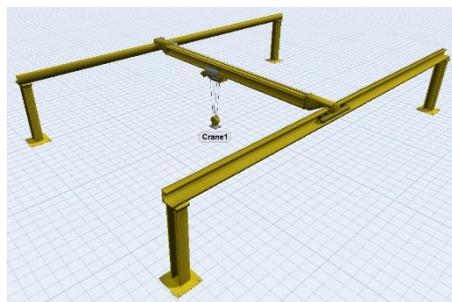
Τα ρομπότ όντας κι αυτά σταθερά συλλέγουν από κάποιο σταθερό αντικείμενο τα αντικείμενα ρόής και τα τοποθετούν σε μία νέα προκαθορισμένη θέση. Η κίνηση των ρομπότ γίνεται και στους τρεις άξονες και υπάρχει η δυνατότητα να ορίσει ο χρήστης την ταχύτητα με την οποία εκτελούν κάθε κίνηση τους.



Σχήμα 4-15 Ρομπότ και ιδιότητές του

ο Γερανογέφυρα

Η γερανογέφυρα μιμείται πιστά το πραγματικό αντικείμενο, κινούμενη και στις τρεις κατευθύνσεις. Όπως και στο ρομπότ έτσι και στη γερανογέφυρα μπορούν να οριστούν οι ταχύτητες κάθε κίνησης καθώς και χωρικοί περιορισμοί που μπορεί να χρειάζονται, όπως το ύψος ανύψωσης.



Properties

Crane1

Statistics

Template

Visuals

Labels

Crane

Lift Height: 4.00 m

Lift Radius: 0.01 m

Travel Sequence: L>XY>D

Speeds

	Max Speed	Acceleration	Deceleration
Gantry	2	1	1
Trolley	2	1	1
Hoist Lift	2	1	1
Hoist Drop	2	1	1

Frame X: 60.52 Y: -48.85 Z: 0.00

TaskExecutor

Capacity: 1

Load Time: 0 s

Unload Time: 0 s

Break To: New Tasksequences Only

Fire OnResourceAvailable at Simulation Start

Travel

Dispatcher

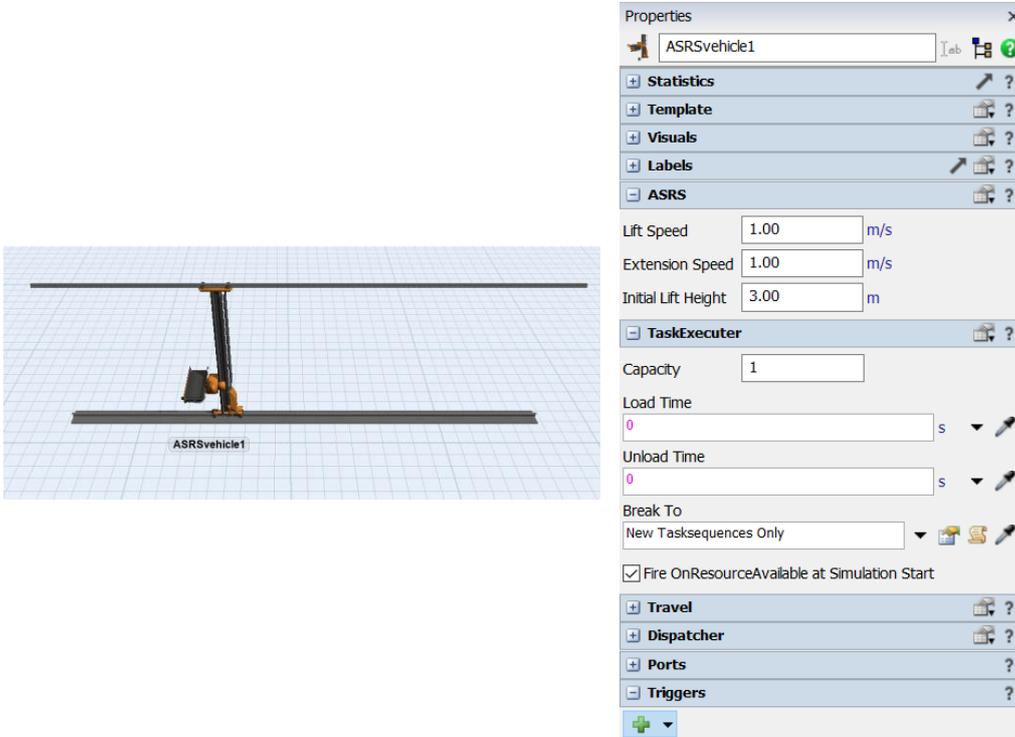
Ports

Triggers

Σχήμα 4-16 Γερανογέφυρα και ιδιότητές της

- ASRS

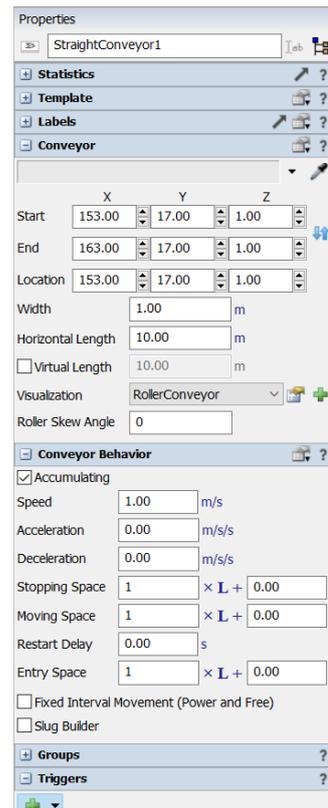
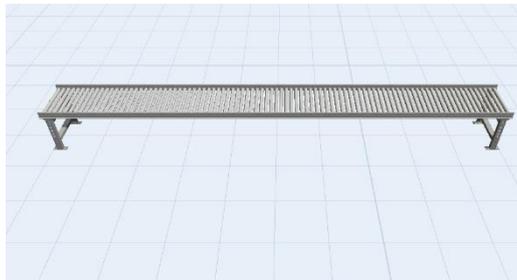
Τα ASRS (Automated Storage and Retrieval Systems) μπορούν να μεταφέρουν αγαθά σε δύο κατευθύνσεις και είναι και αυτά «σταθερά» μεταφορικά μέσα. Κι εδώ μπορεί να καθορισθεί ο χρόνος που απαιτείται για την κίνηση του συστήματος.



Σχήμα 4-17 ASRS και ιδιότητές του

#### 4.4 Μεταφορικές ταινίες

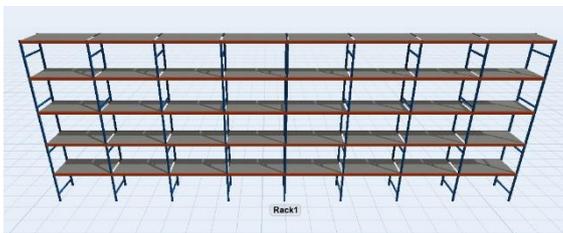
Οι μεταφορικές ταινίες είναι ένα αντικείμενο του FlexSim που εξυπηρετεί στη διακίνηση των αντικειμένων ροής από ένα μηχάνημα σε ένα άλλο. Μπορούν να είναι ευθείες ή με στροφή και να αλλάζουν σε ύψος, πλάτος και μήκος. Οι μεταφορικές ταινίες μπορούν να έχουν διάφορες όψεις (π.χ. ραουλόδρομοι) ενώ η ταχύτητά τους παραμετροποιείται σε μεγάλο βαθμό από τον χρήστη. Πάνω στις μεταφορικές ταινίες μπορούν να εισαχθούν εργαλεία του FlexSim έτσι ώστε να ελέγχεται με απόλυτη ακρίβεια η θέση και κίνηση των αντικειμένων ροής που κινούνται σε αυτές. Επίσης, υπάρχει η δυνατότητα χρήσης φωτοκουπάρων που ελέγχουν τη ροή των κινούμενων αγαθών.



Σχήμα 4-18 Μεταφορική ταινία και ιδιότητές της

## 4.5 Αποθήκευση αγαθών

Για την αποθήκευση των αντικειμένων ροής, το λογισμικό προσφέρει τη δυνατότητα εισαγωγής βιομηχανικών ραφιών στο μοντέλο. Το αποθηκευτικό αυτό σύστημα μπορεί να πάρει πολλές διαφορετικές μορφές ανάλογα με την περίπτωση στην οποία χρησιμοποιείται. Ο χρήστης μεταξύ άλλων μπορεί και να ορίσει την λογική με την οποία τα αντικείμενα ροής καταλαμβάνουν μία θέση στο αποθηκευτικό σύστημα.



Properties

Rack1

Statistics ?

Template ?

Visuals ?

Labels ?

Storage Object ?

Edit Dimensions

Visualization Rack

Slot Assignment Strategy  
First Slot with Space

Slot Stacking Order  
X+ >> Y+ >> Z+

Storage Options ?

Mark Slots with Outbound Items

Extend Columns

Shelf Tilt Amount 0.00 m

Pick/Place Y Offset 0.00 m

Address Mapping ?

Address Scheme None

	Start	Stride	Progression
Bay	1	1	X+
Level	1	1	Z+
Slot	1	1	X+

Flow ?

Use as Fixed Resource

Ports ?

Triggers ?

Σχήμα 4-19 Αποθηκευτικά ράφια και ιδιότητές τους

## 4.6 Δυνατότητες λογισμικού

Το λογισμικό του FlexSim προσφέρει μια σειρά από εργαλεία και δυνατότητες τα οποία επιτρέπουν την καλύτερη παραμετροποίηση των αντικειμένων καθώς και την εξαγωγή αναλυτικών αναφορών για τη λειτουργία τους. Ένα από τα βασικότερα και πιο νέα χαρακτηριστικά του FlexSim αποτελεί το περιβάλλον του ProcessFlow. Επιλέγοντας το άνοιγμα μιας νέας καρτέλας ProcessFlow, ο χρήστης αποκτά τη δυνατότητα να δημιουργήσει μόνος του τη λογική πίσω από την οποία λειτουργεί κάποιο αντικείμενο, ένας χειριστής, ακόμα και μία ολόκληρη γραμμή παραγωγής. Το περιβάλλον αυτό αποτελείται από επιλογές όπως πηγές (τεσσάρων διαφορετικών ειδών), εντολές για μετακινήσεις και καθυστερήσεις καθώς και οδηγίες ανάθεσης εργασιών ή άλλων καθηκόντων. Μέσα από το ProcessFlow μπορεί να αναπαρασταθεί εξ ολοκλήρου η λειτουργία οποιουδήποτε συστήματος, παρ' όλα αυτά κρίνεται πολύ απαιτητική εργασία και προϋποθέτει μεγάλη εμπειρία στη χρήση του προγράμματος.

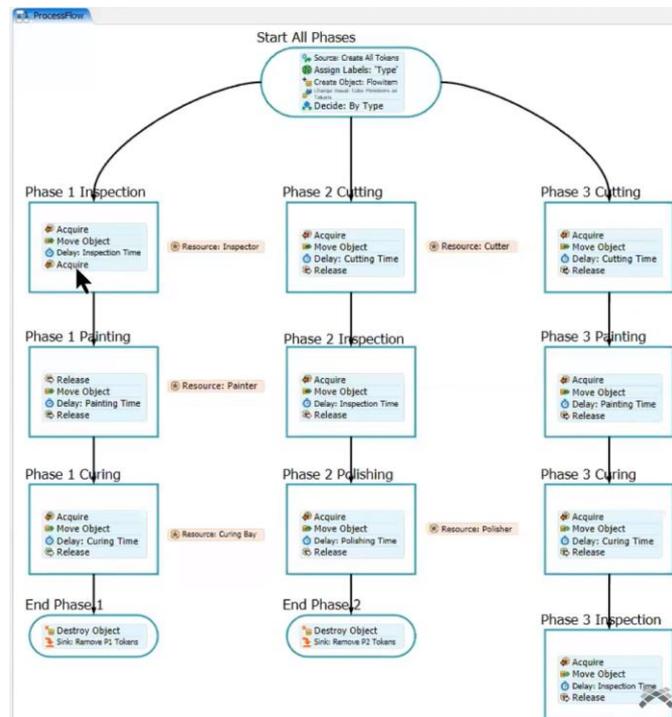


Σχήμα 4-20 Επιλογές ProcessFlow

Στο ProcessFlow μπορεί να γίνει εισαγωγή «αντικειμένων» που να δεσμεύουν αντικείμενα του κανονικού μοντέλου και να ορίζουν τη λειτουργία τους. Αντίστοιχα, όπως γίνεται σύνδεση μεταξύ αντικειμένων στο πραγματικό μοντέλο, έτσι και στο ProcessFlow είναι σημαντικό να γίνονται οι απαραίτητες συνδέσεις μεταξύ των «αντικειμένων». Στο περιβάλλον αυτό γίνεται αναπαράσταση ενός συστήματος μόνο μέσω εντολών, δηλαδή δεν υπάρχει ρεαλιστική οπτικοποίηση του συστήματος. Τα αγαθά που διακινούνται στο σύστημα μοντελοποιούνται μέσω κερμάτων (tokens) τα οποία φαίνονται να περνάνε από την μία εντολή στην άλλη. Τη δημιουργία αυτών των κερμάτων καθορίζουν εντολές δημιουργίας αντικειμένων, ενώ υπάρχουν και αντίστοιχες εντολές για την μετακίνησή τους.

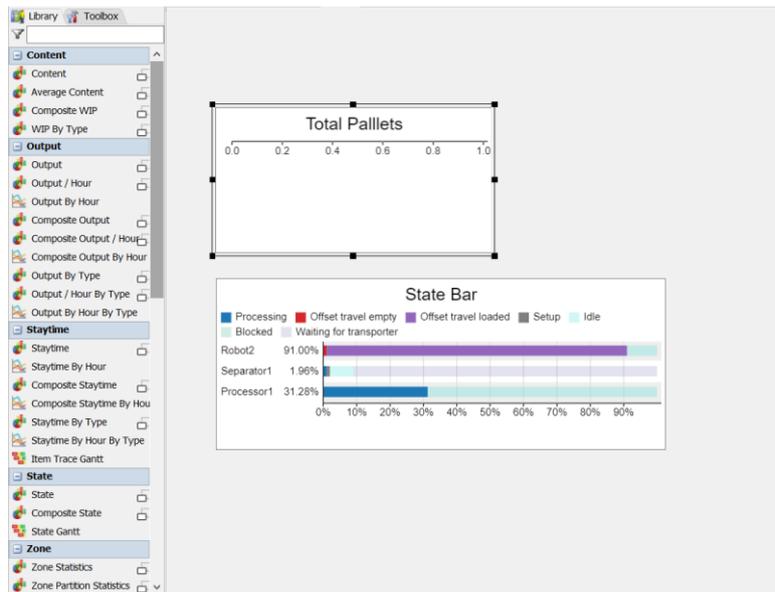
Από το περιβάλλον του ProcessFlow μπορεί ο χρήστης να εξάγει συμπεράσματα με τον ίδιο τρόπο, όπως κάνοντας χρήση του κανονικού μοντέλου. Γενικά, το ProcessFlow επιτρέπει καλύτερο έλεγχο του αναπαριστάμενου συστήματος, αλλά εξυπηρετεί περισσότερο τον δημιουργό του μοντέλου, ο οποίος έχει εικόνα της αληθινής μορφής του συστήματος και όχι κάποιον άλλο που θα ασχοληθεί με αυτό το μοντέλο. Έτσι, σε περιπτώσεις όπου κρίνεται απαραίτητη η τρισδιάστατη αναπαράσταση ενός μοντέλου προτιμάται περιορισμένη χρήση

του ProcessFlow ώστε να είναι κατανοητή σε όλους η λειτουργία του συστήματος. Στο παρακάτω σχήμα παρουσιάζεται ένα παράδειγμα χρήσης του ProcessFlow, όπου μοντελοποιείται μία γραμμή παραγωγής με τέσσερα στάδια, ένα στο οποίο γίνεται κοπή, ένα για βαφή, ένα για καθαρισμό και ένα για επιθεώρηση τελικού προϊόντος.



Σχήμα 4-21 Παράδειγμα χρήσης ProcessFlow

Ένα ακόμη πολύ χρήσιμο εργαλείο του FlexSim είναι τα διαγράμματα τα οποία μπορεί να εξάγει για τον χρήστη. Ο χρήστης έχει τη δυνατότητα να επιλέξει, ανάμεσα σε μία πολύ μεγάλη λίστα, ποια παράμετρο θέλει να μελετήσει κατά την διάρκεια ενός τρεξίματος της προσομοίωσης και με το πέρας αυτής να λάβει ένα διάγραμμα που να αποτυπώνει αυτήν ακριβώς την πληροφορία. Τα διαγράμματα μπορεί να έχουν την μορφή πίνακα, την μορφή πίτας, σωρευτικά διαγράμματα κ.α. Ενδεικτικά, αναφέρεται ότι μέσα από την επιλογή των διαγραμμάτων μπορεί κανείς να εξετάσει, τις εισροές (Input) και εκροές (Output) μίας γραμμής ή ενός αντικειμένου, τον χρόνο παραμονής αγαθών (Staytime) σε ένα αντικείμενο, τον χρόνο για τον οποίο κάποιος χειριστής δεν αξιοποιείται ή κινείται (State) κ.α. Τα διαγράμματα αυτά μπορούν να προσαρμοστούν από τον χρήστη για να εμφανίζονται συγκεκριμένες παράμετροι ενός συστήματος.



Σχήμα 4-22 Επιλογές διαγραμμάτων και παράδειγμα

Το εργαλείο που επιτρέπει σε κάθε χρήστη να μοντελοποιήσει με ευκολία ένα σύστημα του οποίου οι παράμετροι μπορούν ανά πάσα στιγμή να αλλάξουν ονομάζεται Model Parameters Table. Μέσω αυτής της καρτέλας δημιουργούνται πίνακες στους οποίους εισάγονται οι μεταβλητές ενός συστήματος. Αυτές οι μεταβλητές μπορεί να αφορούν ταχύτητες αντικειμένων, πλήθος χειριστών ή περνοφόρων οχημάτων, το εάν θα ξεκινήσει να λειτουργεί μία μεταφορική ταινία ή όχι καθώς και οτιδήποτε άλλο μπορεί να προκύψει για κάποιο σύστημα που να αλλάζει δυναμικά. Στους πίνακες αυτούς ορίζονται οι παράμετροι που επιθυμεί ο χρήστης, μία αρχική τιμή που μπορεί να καταλάβουν, η μονάδα μέτρησης της παραμέτρου καθώς και μία περιγραφή της για να είναι κατανοητό το τι αντιπροσωπεύει.

The screenshot shows the Parameters window with a table containing the following data:

Name	Value	Display Units	Description
Team Size	3	Members	Number of operators executing tasks
Conveyor 1	10	m/s	Velocity of Conveyor 1
Conveyor 2	7	m/s	Velocity of Conveyor 2
Conveyor 3	9	m/s	Velocity of Conveyor 3

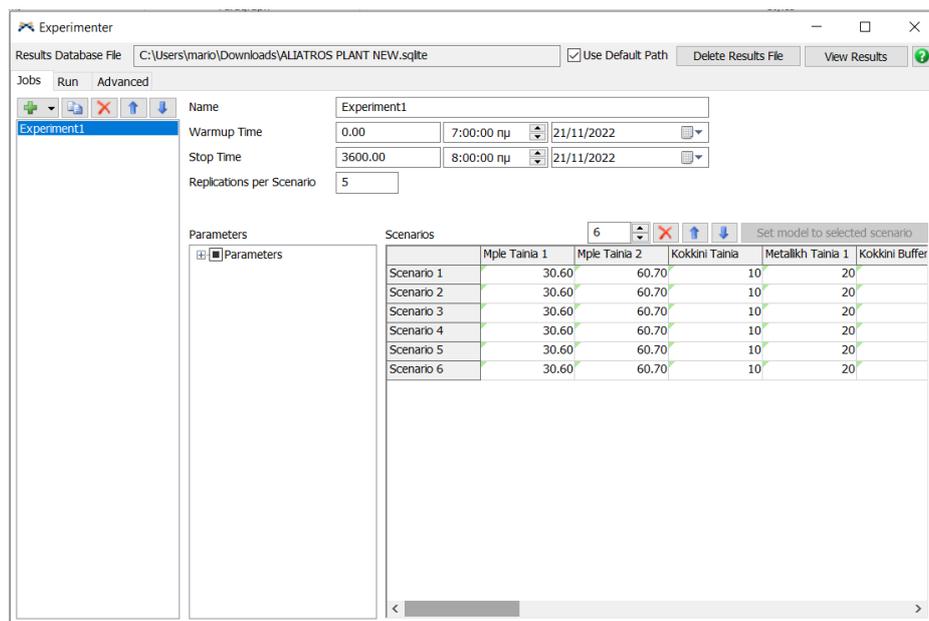
Σχήμα 4-23 Παράδειγμα χρήσης εργαλείου Parameters

Εξίσου σημαντικό με τα προηγούμενα και ευρέως χρησιμοποιούμενο είναι το εργαλείο με την ονομασία Experimenter. Με την χρήση του Experimenter μπορεί κανείς να τρέξει μία σειρά σεναρίων, ορίζοντας τις παραμέτρους που επιθυμεί να εξετάσει. Επί της ουσίας, το Experimenter εκτελεί τρία σημαντικά καθήκοντα.

- Αρχικά αυτοματοποιεί την αλλαγή των παραμέτρων του μοντέλου (οι οποίες έχουν προκαθοριστεί μέσω του εργαλείου Parameters).
- Η δεύτερη λειτουργία του είναι να «τρέχει» ταυτόχρονα πολλές επαναλήψεις του μοντέλου, όσες ορίζει ο χρήστης.
- Τελικό καθήκον του είναι να δημιουργεί αυτομάτως συγκεντρωτικές αναφορές για όλα τα τρεξίματα του μοντέλου.

Μέσα από το εργαλείο αυτό, ο χρήστης αποκτάει συνολική εικόνα της λειτουργίας του συστήματος που μελετάει και μπορεί να πειραματιστεί χωρίς να πειράξει το ίδιο το μοντέλο. Το εργαλείο αυτό αποτελεί ένα από τα σημαντικότερα εργαλεία του FlexSim καθώς πραγματοποιεί την προσομοίωση νέων σεναρίων και την εξαγωγή αναφορών, κάτι που συχνά αποτελεί την αιτία για την οποία επιλέχθηκε εξ αρχής να μοντελοποιηθεί ένα σύστημα.

Στο περιβάλλον του Experimenter ο χρήστης τοποθετεί τις τιμές των παραμέτρων που εξετάζει, ορίζει τον αριθμό των επαναλήψεων που επιθυμεί να πραγματοποιηθούν, ορίζει τον χρόνο για τον οποίο επιθυμεί να πραγματοποιηθούν οι επαναλήψεις και τέλος δίνει την εντολή να «τρέξουν».



Σχήμα 4-24 Περιβάλλον Experimenter

## 5. Επίλυση προβλήματος

Το πρόβλημα που παρουσιάζεται σε αυτή τη διπλωματική είναι πολυδιάστατο και η επίλυσή του πραγματοποιήθηκε σε δύο κύρια στάδια. Στο πρώτο στάδιο ολοκληρώθηκε η αναθεώρηση της δυναμικότητας της γραμμής συσκευασίας, έτσι ώστε η εταιρία να μπορεί άμεσα να παρακολουθεί την πορεία της γραμμής και να κρατάει στα αρχεία της τα αποτελέσματά της. Επίσης, διαπιστώθηκε η λειτουργία της γραμμής ανά περίπτωση συσκευασίας, δηλαδή συγκεντρώθηκαν και αποτυπώθηκαν σε ένα αρχείο όλες οι παράμετροι που αφορούν το σύστημα. Με αυτό τον τρόπο υπήρξε καλύτερη εποπτεία των ρυθμίσεων της γραμμής και συνολική αξιολόγησή της. Στο δεύτερο και βασικότερο στάδιο έγινε η μοντελοποίηση του συστήματος στο πρόγραμμα FlexSim. Μέσω του λογισμικού προσομοιάστηκε η λειτουργία του φυσικού συστήματος και δοκιμάστηκαν νέα σενάρια λειτουργίας του, για να γίνει τελικά η σύγκριση και να διατυπωθούν προτάσεις βελτίωσης. Τα σενάρια που εξετάστηκαν ανταποκρίνονταν σε ρεαλιστικές συνθήκες και η εταιρία ήταν πρόθυμη να εφαρμόσει τις όποιες αλλαγές προτεινόταν.

### 5.1 Αναθεώρηση δυναμικότητας γραμμής συσκευασίας

Προκειμένου να αναθεωρηθεί η δυναμικότητα της γραμμής χρειαζόταν να βρεθεί η μέγιστη ταχύτητα στην οποία μπορούσε να λειτουργήσει κάθε μηχανή από την οποία αποτελούνταν η γραμμή. Έχοντας την μέγιστη ταχύτητα κάθε μηχανής και «μεταφράζοντάς» την σε δυναμικότητα, θα ορίζονταν μέγιστη δυναμικότητα όλης της γραμμής η μικρότερη από αυτές που βρέθηκαν για τις μηχανές. Δηλαδή, η μέγιστη ταχύτητα της γραμμής συσκευασίας είναι η μέγιστη ταχύτητα του πιο αργού σταδίου της. Για κάθε μία από αυτές τις μηχανές υπήρχε μία μέγιστη ονομαστική ταχύτητα, η οποία μπορεί να αποτελούσε και εκτίμηση, επομένως κρίθηκε απαραίτητο να διαπιστωθεί στην πράξη ποια ήταν πλέον η ταχύτητα αυτή για κάθε ένα από τα πέντε στάδια που αναφέρθηκαν στο υποκεφάλαιο 2.2. Στον πίνακα που ακολουθεί παρουσιάζεται η δυναμικότητα της γραμμής για κάθε περίπτωση πριν πραγματοποιηθεί η μελέτη.

Πίνακας 5-1 Αρχική δυναμικότητα ανά περίπτωση (τεμάχια/ώρα)

Περίπτωση	Αρχική δυναμικότητα
2,5kg χαρτόδισκος	1.008 τεμάχια/ώρα
2,5kg χαρτοκιβώτιο	1.120 τεμάχια/ώρα
5kg χαρτόδισκος τετράδα	1.920 τεμάχια/ώρα
5kg χαρτόδισκος εξάδα	2.520 τεμάχια/ώρα
5kg χαρτοκιβώτιο	1.800 τεμάχια/ώρα

Προκειμένου να υπολογιστεί η δυναμικότητα καθενός από τα πέντε κύρια στάδια της γραμμής, έγιναν χρονομετρήσεις κατά τη λειτουργία της γραμμής.

Πιο συγκεκριμένα:

- Για το **ντεπάλ** έγινε χρονομέτρηση κατά την λειτουργία του και χωρίς να υπάρξει κάποια διακοπή και διαπιστώθηκε ότι σε ιδανικές συνθήκες μπορεί να αδειάσει μία παλέτα σε 7 λεπτά. Για την επιβεβαίωση της μέτρησης έγιναν επανειλημμένες χρονομετρήσεις ενώ ακόμη βιντεοσκοπήθηκε και η λειτουργία υπό αυτές τις συνθήκες. Η ταχύτητα του ντεπάλ είναι ρυθμιζόμενη και ελέγχθηκε σε μεγαλύτερες τιμές από την προαναφερθείσα αλλά κατόπιν παρακολούθησης της λειτουργίας συμφωνήθηκε να μην υπερβαίνει αυτή την τιμή για λόγους ασφαλείας.
- Η **ετικετέζα** αποτελεί το πιο απλό στάδιο της γραμμής σε ότι αφορά την δυναμικότητά της καθώς ορίζεται κατά κύριο λόγο από την ταχύτητα με την οποία έρχονται οι κονσέρβες σε αυτήν. Ο χρόνος που διαρκεί η παραμονή μίας κονσέρβας στην ετικετέζα υπολογίστηκε ίσος με 0,8 δευτερόλεπτα, το σημαντικότερο όμως είναι ότι η απόσταση μεταξύ των κονσερβών κατά το πέρασμά τους από την ετικετέζα είναι μηδαμινή.
- Για το **wrap-around** χρειάστηκε να γίνουν χρονομετρήσεις για κάθε μία από τις πέντε περιπτώσεις συσκευασίας. Όπως και στο ντεπάλ, έτσι και στο wrap-around, δοκιμάστηκαν ταχύτητες μεγαλύτερες των τελικά ορισμένων. Αυτές ομοίως απορρίφθηκαν καθώς παρατηρήθηκαν προβλήματα στη λειτουργία του μηχανήματος. Ξεπερνώντας κάποια ταχύτητα, οι κονσέρβες εισέρχονταν στο χαρτοκιβώτιο ή στον χαρτόδισκο με λάθος τρόπο προκαλώντας ζημιές σε μέρη του μηχανήματος κατά τη διαμόρφωση της συσκευασίας αλλά και στις άλλες κονσέρβες, με αποτέλεσμα να δημιουργούνται καθυστερήσεις και να προκύπτουν μη συμμορφούμενα τεμάχια. Όπως είναι λογικό η ταχύτητα του μηχανήματος εξαρτάται και από το βάρος όσων διακινεί, επομένως οι συσκευασίες που αφορούσαν τα δυομισόκιλα κυτία κινούνταν ταχύτερα από αυτές με τα πεντόκιλα κυτία. Οι μετρήσεις αφορούσαν τη δυναμικότητα του μηχανήματος σε συσκευασία/λεπτό και έπειτα αυτή υπολογίστηκε σε τεμάχια/ώρα.

*Πίνακας 5-2 Δυναμικότητα wrap-around ανά περίπτωση*

Περίπτωση	Δυναμικότητα wrap-around
2,5kg χαρτόδισκος	9 χαρτόδισκοι/λεπτό
2,5kg χαρτοκιβώτιο	9 χαρτοκιβώτια/λεπτό
5kg χαρτόδισκος τετράδα	9 χαρτόδισκοι/λεπτό
5kg χαρτόδισκος εξάδα	8 χαρτόδισκοι/λεπτό
5kg χαρτοκιβώτιο	8 χαρτοκιβώτια/λεπτό

- Για τον **φούρνο** τη διαφορά στην δυναμικότητα ανά περίπτωση προκαλεί η χρήση ή μη του νάιλον καθώς η διαδικασία τυλίγματος και κοπής του νάιλον χρονομετρήθηκε στα 7 δευτερόλεπτα. Έτσι λοιπόν για κάθε χαρτόδισκο που περνάει από τον φούρνο, είτε πρόκειται για δυομισόκιλες κονσέρβες ή για πεντόκιλες, προστίθεται μία καθυστέρηση 7 δευτερολέπτων. Η ταχύτητα των ταινιών του φούρνου παραμένει σταθερή ανεξαρτήτως συσκευασίας που διέρχεται μέσα από αυτόν. Για κάθε συσκευασία που περνάει από τύλιγμα με νάιλον, η επόμενη καλείται να περιμένει μέχρι να ολοκληρωθεί η διαδικασία καθώς υπάρχει μόνο ένα μαχαίρι (άρα μόνο μία θέση).
- Η δυναμικότητα του **ρομπότ** ορίζεται από τις κινήσεις που πραγματοποιεί εντός καθορισμένου χρονικού διαστήματος. Κατ' αντιστοιχία με το wrap-around, στο ρομπότ ορίζεται ταχύτητα και με κριτήριο το βάρος όσων χρειάζεται να σηκώσει. Για τον λόγο αυτό, οι κινήσεις που πραγματοποιεί το ρομπότ εντός ενός λεπτού διαφέρουν ανά περίπτωση. Έτσι, για κάθε κίνησή του, το ρομπότ μπορεί να σηκώσει έως και τρεις εξάδες από δυομισόκιλες συσκευασίες (45 κιλά), δύο τετράδες από πεντόκιλες συσκευασίες (40 κιλά) και δύο εξάδες από πεντόκιλες συσκευασίες (60 κιλά). Πολύ σημαντικό για το τελευταίο αυτό στάδιο της γραμμής είναι το γεγονός πως σε περίπτωση συσσώρευσης, ακριβώς πριν από το ρομπότ υπάρχει ταινία που κατευθύνει τις συσκευασίες προς σημείο από όπου συλλέγονται από τους χειριστές και τοποθετούνται χειρωνακτικά σε παλέτα. Έτσι, η δυναμικότητα του σταδίου αυτού προκύπτει πολύ μεγαλύτερη της δυναμικότητας μόνο του ρομπότ και εξαρτάται από το πλήθος και τη διαθεσιμότητα των χειριστών.

*Πίνακας 5-3 Δυναμικότητα ρομπότ ανά περίπτωση*

Περίπτωση	Δυναμικότητα ρομπότ
2,5kg χαρτόδισκος (x3)	5 κινήσεις/λεπτό
2,5kg χαρτοκιβώτιο (x3)	6 κινήσεις/λεπτό
5kg χαρτόδισκος τετράδα (x2)	6 κινήσεις/λεπτό
5kg χαρτόδισκος εξάδα (x2)	5 κινήσεις/λεπτό
5kg χαρτοκιβώτιο (x2)	5 κινήσεις/λεπτό

Αναλύοντας τα παραπάνω αποτελέσματα προκύπτει η νέα δυναμικότητα κάθε γραμμής. Για καμία από τις πέντε περιπτώσεις δεν χρειάστηκε να συμπεριληφθεί στην ανάλυση η ετικετέζα δεδομένου ότι δεν προκαλεί καθυστερήσεις στη γενική λειτουργία της γραμμής πέρα από τις στιγμές που χρειάζεται ανατροφοδοσία ετικετών. Αντιστοίχως, το τελευταίο στάδιο της γραμμής θεωρήθηκε ότι, τουλάχιστον κατά το διάστημα της παρούσας μελέτης, δεν απέφερε καθυστερήσεις αφού υπήρχε η δυνατότητα χειρωνακτικού στησίματος της παλέτας σε περίπτωση που δεν προλαβαίνει το ρομπότ. Επομένως, η δυναμικότητα κάθε περίπτωσης κρίνεται στην δυναμικότητα των σταδίων του ντεπάλ, του wrap-around και του φούρνου. Για

τις περιπτώσεις των συσκευασιών που περνάνε από τον φούρνο χωρίς όμως να τυλίγονται με νάιλον για θερμοσυρρίκνωση, η δυναμικότητα εξαρτάται μόνο από τα άλλα δύο στάδια.

Σε ό,τι αφορά το ντεπάλ, με ταχύτητα ξεφόρτωσης μίας παλέτας ανά 7 λεπτά, η δυναμικότητα σε τεμάχια/ώρα είναι σταθερή για κάθε περίπτωση και ίση με 3.300 τεμάχια/ώρα.

Αναφορικά με τον φούρνο, δεδομένων των περίπου επτά δευτερολέπτων ανά συσκευασία για τύλιγμα με νάιλον, η δυναμικότητά του προκύπτει σταθερή και ίση με 2.880 τεμάχια/ώρα.

Τέλος, για το wrap-around με μετατροπή των μετρήσεων του **Πίνακα 4** προκύπτει ο επόμενος στον οποίο φαίνονται τα τεμάχια/ώρα που ολοκληρώνονται εντός του μηχανήματος.

*Πίνακας 5-4 Δυναμικότητα wrap-around σε τεμάχια/ώρα*

Περίπτωση	Δυναμικότητα wrap-around
2,5kg χαρτόδισκος	3.240 τεμάχια/ώρα
2,5kg χαρτοκιβώτιο	3.240 τεμάχια/ώρα
5kg χαρτόδισκος τετράδα	2.160 τεμάχια/ώρα
5kg χαρτόδισκος εξάδα	2.880 τεμάχια/ώρα
5kg χαρτοκιβώτιο	2.880 τεμάχια/ώρα

Όπως αναφέρθηκε και νωρίτερα, την τελική δυναμικότητα για κάθε περίπτωση διαμορφώνει το πιο αργό από τα στάδια που συμπεριλαμβάνονται στην γραμμή. Λαμβάνοντας όλα τα προηγούμενα υπόψη, προκύπτει πως για την περίπτωση του χαρτόδισκου 2,5kg η δυναμικότητα ορίζεται από το στάδιο του φούρνου καθώς αυτό έχει την μικρότερη δυναμικότητα. Για την περίπτωση του χαρτοκιβωτίου 2,5kg την μικρότερη δυναμικότητα έχει το wrap-around. Για τις συσκευασίες με πεντόκιλες κονσέρβες, στον χαρτόδισκο με τέσσερις την δυναμικότητα ορίζει το στάδιο του φούρνου, στον χαρτόδισκο με έξι ο φούρνος και το wrap-around, ενώ στο χαρτοκιβώτιο το wrap-around. Τα αποτελέσματα των τελικών αναθεωρημένων δυναμικότητων της γραμμής συσκευασίας φαίνονται στον επόμενο πίνακα συγκρινόμενα με τις αρχικές τιμές.

Πίνακας 5-5 Τελική δυναμικότητα και σύγκριση με αρχική

Περίπτωση	Αρχική δυναμικότητα	Τελική δυναμικότητα
2,5kg χαρτόδισκος	1.008 τεμάχια/ώρα	2.880 τεμάχια/ώρα
2,5kg χαρτοκιβώτιο	1.120 τεμάχια/ώρα	3.240 τεμάχια/ώρα
5kg χαρτόδισκος τετράδα	1.920 τεμάχια/ώρα	1.920 τεμάχια/ώρα
5kg χαρτόδισκος εξάδα	2.520 τεμάχια/ώρα	2.880 τεμάχια/ώρα
5kg χαρτοκιβώτιο	1.800 τεμάχια/ώρα	2.880 τεμάχια/ώρα

Αναλύοντας τα πιο πάνω αποτελέσματα και συγκρίνοντάς τα με τα στοιχεία της εταιρίας για τους προηγούμενους μήνες λειτουργίας επιβεβαιώνεται το γεγονός πως αποτελούν μία αρκετά βελτιωμένη εκδοχή του εγγράφου. Από τη στιγμή που επιβεβαιώθηκαν και συμφωνήθηκε από όλους τους υπεύθυνους να οριστούν ως νέες δυναμικότητες της γραμμής, ποτέ δεν ξεπεράστηκε το ποσοστό του 100% ενώ οι μέσες τιμές κυμαίνονται από 60% έως 70% για κάθε περίπτωση.

Πέρα από τη δυναμικότητα της γραμμής, αναθεώρηση κρίθηκε ότι χρειάζεται και η συνολική λειτουργία της γραμμής έτσι ώστε να μπορεί να αποδώσει με τον καλύτερο δυνατό τρόπο. Σε αυτό το πλαίσιο χρειάστηκε να διαπιστωθεί ποια ήταν μέχρι εκείνη τη στιγμή η λειτουργία και να αναλυθεί για την εξαγωγή συμπερασμάτων.

Για τον λόγο αυτό πραγματοποιήθηκαν χρονομετρήσεις σε όλα τα στάδια της γραμμής και για κάθε περίπτωση, παρά το γεγονός ότι η γραμμή σε μεγάλο μέρος της λειτουργούσε με ένα μόνο πρόγραμμα ταχυτήτων. Δηλαδή, ενώ υπήρχε η δυνατότητα δημιουργίας περισσότερων «συνταγών» για το μέρος της γραμμής που περιλαμβάνει το ντεπάλ και όλες τις μεταφορικές ταινίες, δεν είχαν πραγματοποιηθεί ακόμα, κι έτσι προέκυψε η ευκαιρία μέσα από την ανάλυση της γραμμής να υλοποιηθούν κι άλλες τέτοιες «συνταγές».

Για τις χρονομετρήσεις των ταινιών της γραμμής χρησιμοποιήθηκε ψηφιακό ταχύμετρο DIGITAKER τεσσάρων ψηφίων. Για μέτρηση γραμμικής ταχύτητας σε m/min προσαρμόζεται στην άκρη του ταχύμετρου διακριβωμένος λαστιχένιος δακτύλιος, ο οποίος τοποθετείται πάνω στην κινούμενη ταινία με ελαφριά πίεση. Το ταχύμετρο εμφανίζει την ένδειξη, η οποία στην συνέχεια καταγράφεται. Αν η ταινία είναι τέτοια που να μην επιτρέπει ομαλή ρύθμιση, προσαρμόζεται μία λαστιχένια άκρη στο ταχύμετρο και αυτό μετράει την ταχύτητα του άξονα του μοτέρ που κινεί την ταινία. Έπειτα βρίσκεται η σχέση ταχυτήτων μεταξύ άξονα και ταινίας και προκύπτει η ταχύτητα αυτής.



Σχήμα 5-1 Ψηφιακό ταχύμετρο



Σχήμα 5-3 Ψηφιακό ταχύμετρο με λαστιχένιο δακτύλιο



Σχήμα 5-2 Ψηφιακό ταχύμετρο με λαστιχένια ακμή

Για να προκύψει ο πίνακας ταχυτήτων έγιναν πολλές μετρήσεις σε κάθε ταινία για καθεμία από τις περιπτώσεις που εξετάζονται. Δηλαδή, αν μία ημέρα η γραμμή συσκεύαζε δυομισόκιλες κονσέρβες σε χαρτόδισκους, μετρούνταν η ταχύτητα κάθε ταινίας τουλάχιστον πέντε διαφορετικές στιγμές έτσι ώστε να συμπεριληφθεί στην μελέτη η όποια πιθανή απόκλιση υπάρχει κάθε φορά, είτε λόγω διαφορετικού βάρους πάνω στην ταινία ή και απλά λόγω ανακρίβειας της ίδιας της μέτρησης. Τα τελικά αποτελέσματα που παρουσιάζονται αποτελούν τον μέσο όρο των μετρήσεων, οι οποίες τελικά δεν διέφεραν σημαντικά. Δηλαδή, οι περισσότερες μετρήσεις, πέραν της πρώτης, για κάθε ταινία ουσιαστικά επιβεβαίωναν την αρχική μέτρηση παρά προσέθεταν μία τιμή για την εξαγωγή του μέσου όρου.

Οι ταινίες των οποίων η ταχύτητα μετρήθηκε είναι δεκαπέντε. Οι ταχύτητες μετρήθηκαν όλες με το ψηφιακό ταχύμετρο, με κατάλληλο άκρο κάθε φορά, και οι τιμές που βρίσκονται στον επόμενο πίνακα είναι σε μέτρα/λεπτό. Σε περίπτωση που χρησιμοποιούνταν η λαστιχένια ακμή έναντι του δακτυλίου, το ταχύμετρο εμφανίζει ως ένδειξη γωνιακή ταχύτητα, επομένως έπρεπε να μετρηθεί η ακτίνα που σχηματίζονταν από την ταινία κατά την περιστροφή της γύρω από τον άξονα του μοτέρ, να ληφθούν υπόψη οι μονάδες μέτρησης, να γίνουν οι απαραίτητες προσαρμογές και με μία απλή διαίρεση μετατρέπονταν σε γραμμική ταχύτητα.

Οι ταινίες εξετάζονται κατά τη ροή των αγαθών ξεκινώντας από το ντεπάλ και καταλήγοντας στο ρομπότ. Τη περίοδο που πραγματοποιήθηκαν οι μετρήσεις δεν ήταν εμφανές ποιες από αυτές θα αξιοποιηθούν στο μοντέλο του συστήματος, επομένως μετρήθηκαν όλες, ενώ τελικά κάποιες από αυτές συμπεριλήφθηκαν στο μοντέλο μέσω άλλων αντικειμένων και όχι ταινιών μεταφοράς. Παρακάτω παρουσιάζονται σε δύο πίνακες για καλύτερη εποπτεία.

*Πίνακας 5-6 Ταχύτητες πρώτων επτά μεταφορικών ταινιών της γραμμής (m/min)*

Περίπτωση	Μπλε ταινία 1 (m/min)	Μπλε ταινία 2 (m/min)	Κόκκινη ταινία (m/min)	Μεταλλική ταινία 1 (m/min)	Κόκκινη ταινία buffer (m/min)	Μπλε ταινία 3 (m/min)
2,5kg χαρτόδισκος	30,6	60,7	32,8	21,8	16,2	27,3
2,5kg χαρτοκιβώτιο	32,7	65,6	32,6	19,2	15,7	26,6
5kg χαρτόδισκος τετράδα	35,1	68,2	31,4	19,1	15,2	26,1
5kg χαρτόδισκος εξάδα	30,7	68,6	31,8	20,1	15,2	26,6
5kg χαρτοκιβώτιο	33,2	67,6	31,9	19,5	15,0	26,1

*Πίνακας 5-7 Ταχύτητες επόμενων οκτώ μεταφορικών ταινιών της γραμμής (m/min)*

Περίπτωση	Μπλε ταινία 4 (m/min)	Μεταλλική ταινία 2 (m/min)	Μπλε ταινία 5 (m/min)	Ταινία στροφής (m/min)	Ταινία προ φούρνου (m/min)	Ταινία φούρνου (m/min)
2,5kg χαρτόδισκος	52,9	27,5	11,6	15,4	20,6	9,7
2,5kg χαρτοκιβώτιο	53	27,4	11,6	15,1	20,6	9,7
5kg χαρτόδισκος τετράδα	53,3	27,4	11,1	15,1	20,4	9,6
5kg χαρτόδισκος εξάδα	53,0	27,2	11,4	15,4	20,5	9,7
5kg χαρτοκιβώτιο	52,5	27,2	11,1	15,4	20,4	9,7

Οι παραπάνω ταινίες κινούνται με μοτέρ τα οποία είναι συνδεδεμένα σε inverter επομένως η ταχύτητά τους είναι ρυθμιζόμενη. Έχουν λάβει τις παραπάνω τιμές μετά από παρακολούθηση της λειτουργίας της γραμμής από τους αρμόδιους και με γνώμονα την ασφάλεια των δοχείων και των μηχανημάτων. Όλες οι ταινίες βρίσκονται στο 60-70% της μέγιστης ταχύτητας που μπορούν να λάβουν άρα η τιμή τους μπορεί να αυξηθεί ή μειωθεί κατά ένα μικρό ποσοστό στην προσομοίωση της γραμμής.

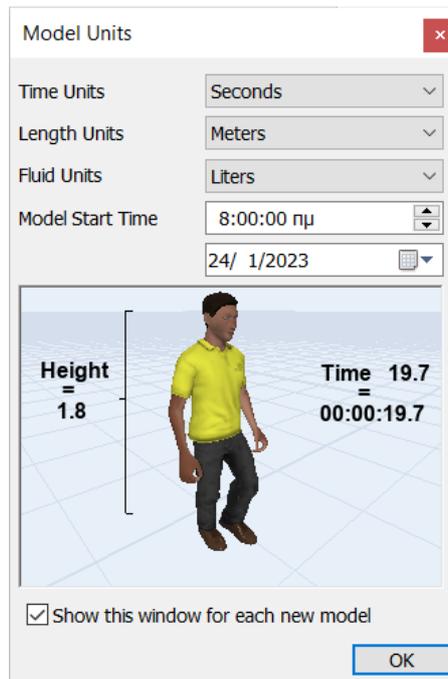
Φυσικά για την αξιοποίηση των παραπάνω τιμών απαιτείται και η μέτρηση του μήκους κάθε ταινίας προκειμένου να μπορεί να αξιοποιηθεί σαν δεδομένο στο μοντέλο. Τα μήκη των ταινιών που χρησιμοποιήθηκαν στο μοντέλο φαίνονται στη συνέχεια του κεφαλαίου στις καρτέλες των αντικειμένων.

## 5.2 Προσομοίωση γραμμής με χρήση FLEXSIM

Η λογική που ακολουθήθηκε κατά τη δημιουργία του μοντέλου ήταν να προσομοιωθεί ρεαλιστικά το πραγματικό σύστημα εντός του περιβάλλοντος του FlexSim, χωρίς όμως να γίνει πλεονάζουσα χρήση πολύ προχωρημένων εργαλείων. Δηλαδή, στόχος είναι η κατά το δυνατόν πιο πιστή και ρεαλιστική απεικόνιση του συστήματος αξιοποιώντας τα προκαθορισμένα εργαλεία του προγράμματος. Για την αναπαράσταση των μηχανημάτων χρησιμοποιήθηκαν τα ήδη υπάρχοντα αντικείμενα του προγράμματος, προσαρμοσμένα σε όψη και διαστάσεις που να υπηρετούν την πραγματικότητα. Δεν έγινε εισαγωγή αντικειμένων από κάποιο άλλο σχεδιαστικό πρόγραμμα καθώς εκτιμήθηκε ότι η όψη που απέκτησαν με τη χρήση των εργαλείων του ίδιου του FlexSim ήταν ταυτόχρονα και ικανοποιητική αλλά επίσης και γνώριμη για κάθε χρήστη του προγράμματος. Σε σημεία που η λογική μίας λειτουργίας, μίας διεργασίας ή μίας δραστηριότητας απαιτεί περισσότερα του ενός μηχανήματα, γίνεται η προσπάθεια να φαίνονται διακριτικά έτσι ώστε ούτε να επηρεάζουν την λειτουργία του μοντέλου αλλά ούτε και να παραπλανούν για την χωροταξία και εικόνα της γραμμής.

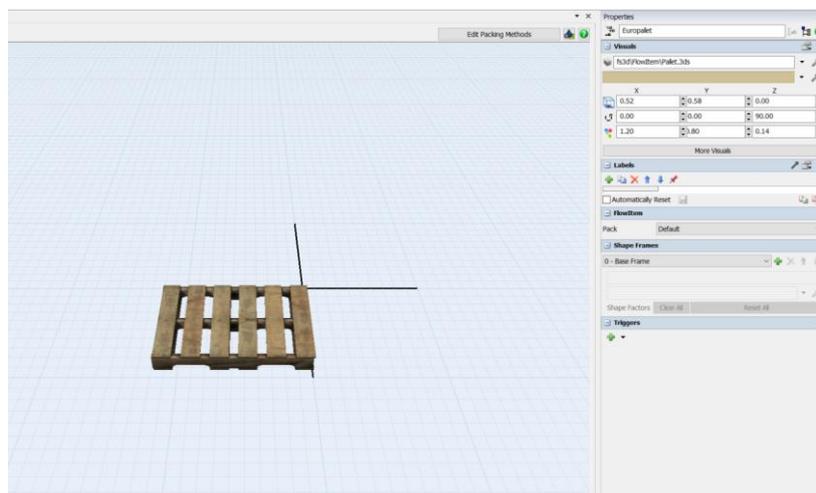
Κατά το ξεκίνημα της δημιουργίας του μοντέλου, όπως κάθε φορά, το πρόγραμμα ζητάει να οριστούν οι μονάδες μέτρησης που αναφέρθηκαν στο υποκεφάλαιο 4.1 .

Δεδομένης της διάρκειας των διεργασιών που πραγματοποιούνται κατά τη λειτουργία της γραμμής, ορίστηκε ως μονάδα μέτρησης του χρόνου, τα δευτερόλεπτα. Αντίστοιχα, λαμβάνοντας υπόψη τις αποστάσεις μεταξύ των αντικειμένων στο πραγματικό σύστημα, επιλέχθηκε ως μονάδα μέτρησης της απόστασης τα μέτρα, ενώ για την μέτρηση των ρευστών παρέμεινε η προεπιλογή των λίτρων.



Σχήμα 5-4 Μονάδες μέτρησης μοντέλου

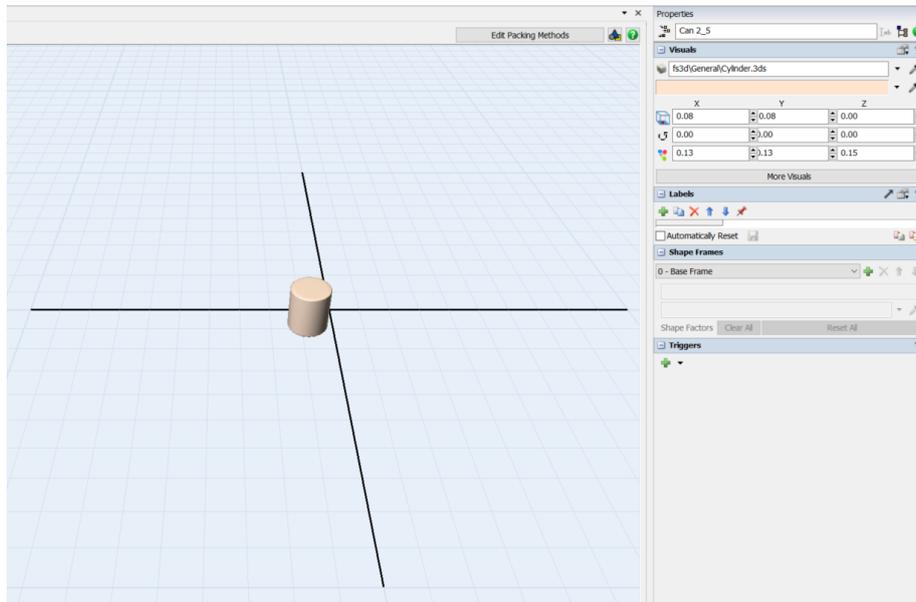
Για την δημιουργία του μοντέλου και την πιστή αναπαράσταση της γραμμής αρχικά δημιουργήθηκαν οι οντότητες του συστήματος. Μέσω της καρτέλας FlowItem Bin δημιουργήθηκαν όλα τα αντικείμενα. Όπως και στην πραγματικότητα, έτσι και στο μοντέλο, οι παλέτες που χρησιμοποιούνται είναι ευρωπαϊκές διαστάσεων 800 x 1200 mm η κάθε μία.



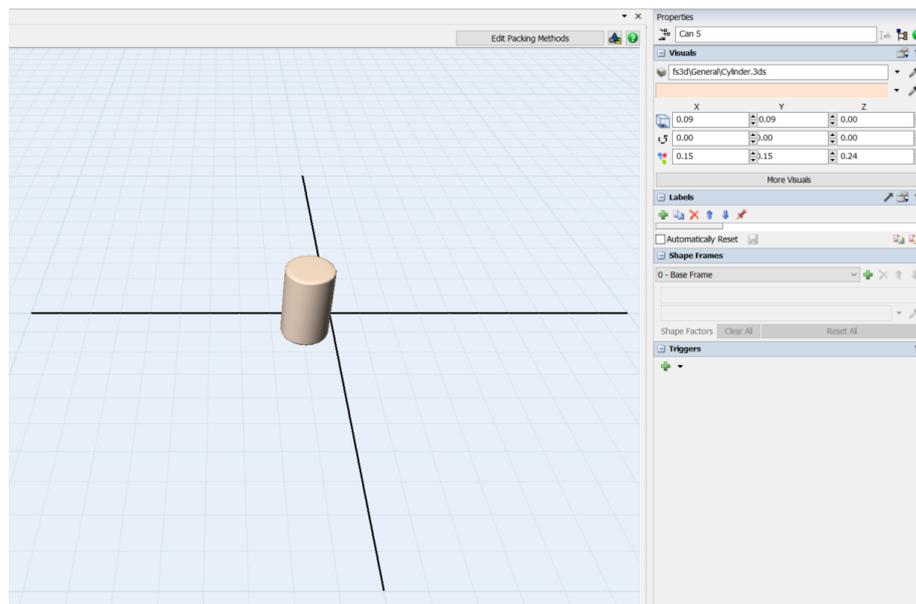
Σχήμα 5-5 Ευρωπαϊκέτα (0,8x1,2 m)

Στην συνέχεια δημιουργήθηκαν οι κονσέρβες, τα χαρτοκιβώτια και οι χαρτόδισκοι στις διαστάσεις που απαιτούνταν. Σημαντικό είναι οι χαρτόδισκοι και τα χαρτοκιβώτια να αποτελούν container flowitems, όπως οι παλέτες, για να διευκολύνεται η τοποθέτηση των κονσερβών εντός τους. Στην καρτέλα πλάι στα αντικείμενα φαίνονται οι διαστάσεις τους. Για τις κονσέρβες ορίστηκε η διάμετρος και το ύψος τους, ενώ ακόμα επιλέχθηκε χρώμα που να ανταποκρίνεται στο πραγματικό για καλύτερη οπτικοποίηση των αντικειμένων. Για τους

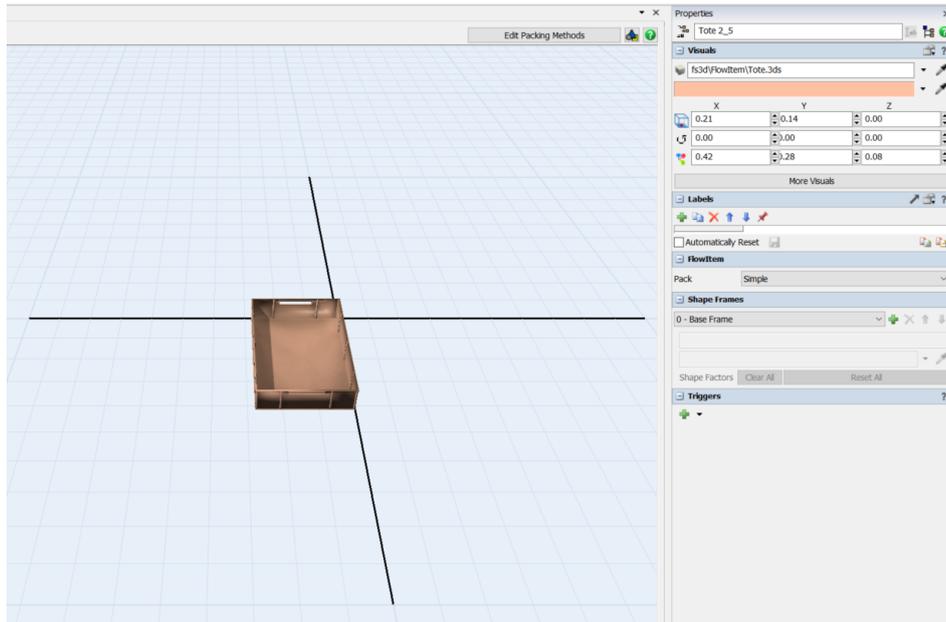
χαρτόδισκους και τα χαρτοκιβώτια συμπληρώθηκαν το μήκος, το πλάτος και το ύψος και επιλέχθηκαν χρώματα που να αναλογούν σε κάποιες από τις περιπτώσεις που πραγματικά υπάρχουν.



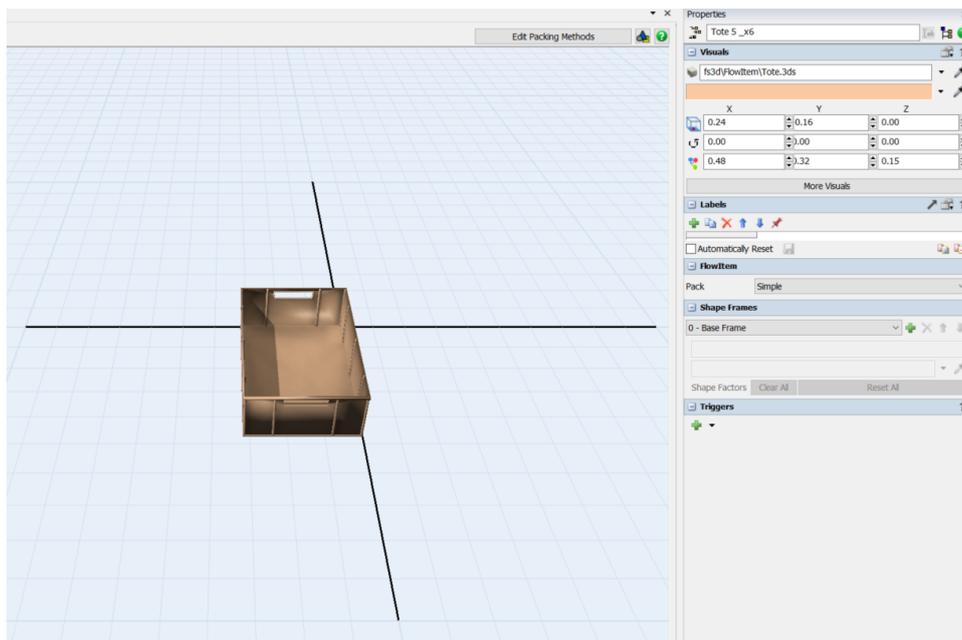
Σχήμα 5-6 Κονσέρβα 2,5kg



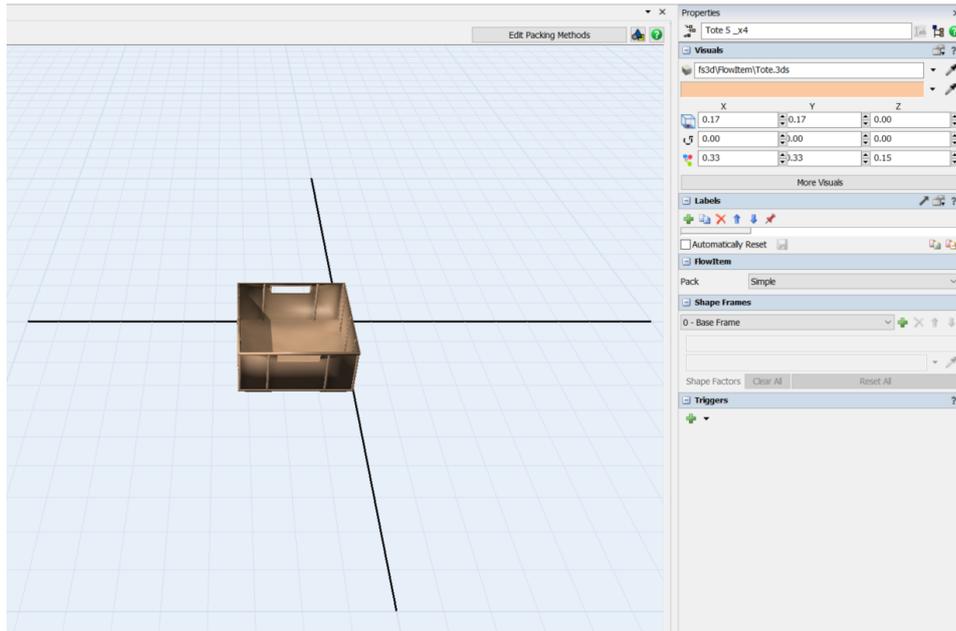
Σχήμα 5-7 Κονσέρβα 5kg



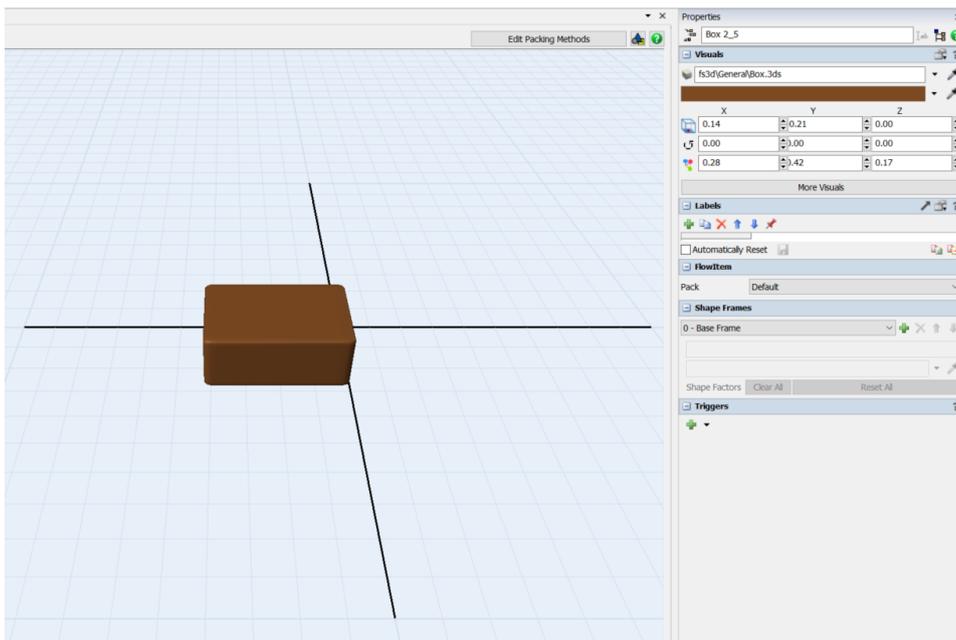
Σχήμα 5-8 Χαρτόδοσκος 2,5kg



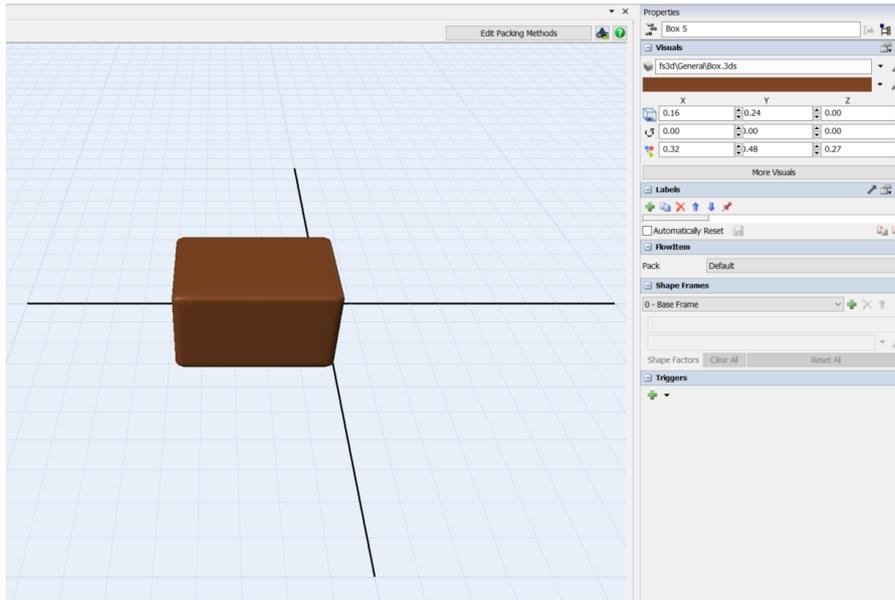
Σχήμα 5-9 Χαρτόδοσκος 5kg, για εξάδες



Σχήμα 5-10 Χαρτόδισκος 5 kg, για τετράδες



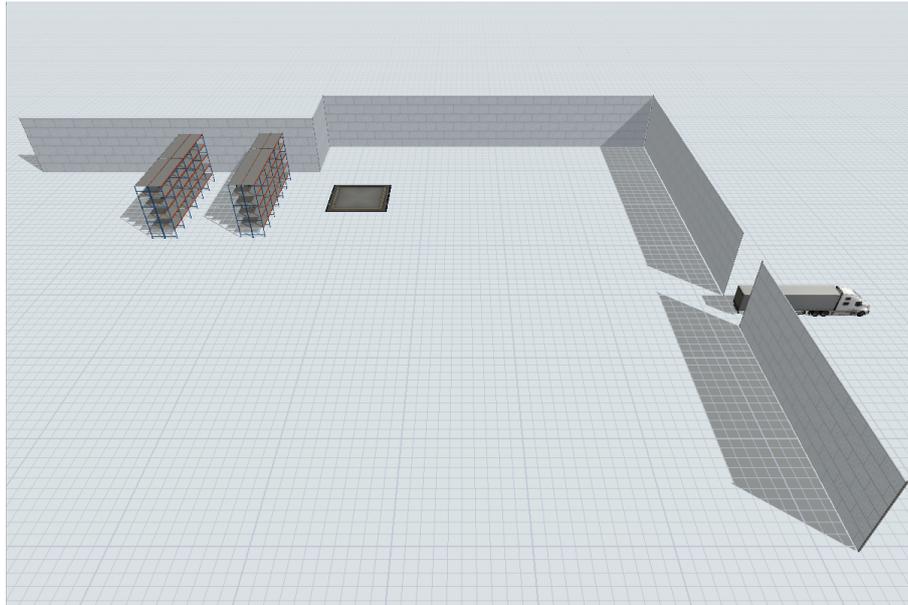
Σχήμα 5-11 Χαρτοκιβώτιο 2,5kg



Σχήμα 5-12 Χαρτοκιβώτιο 5kg

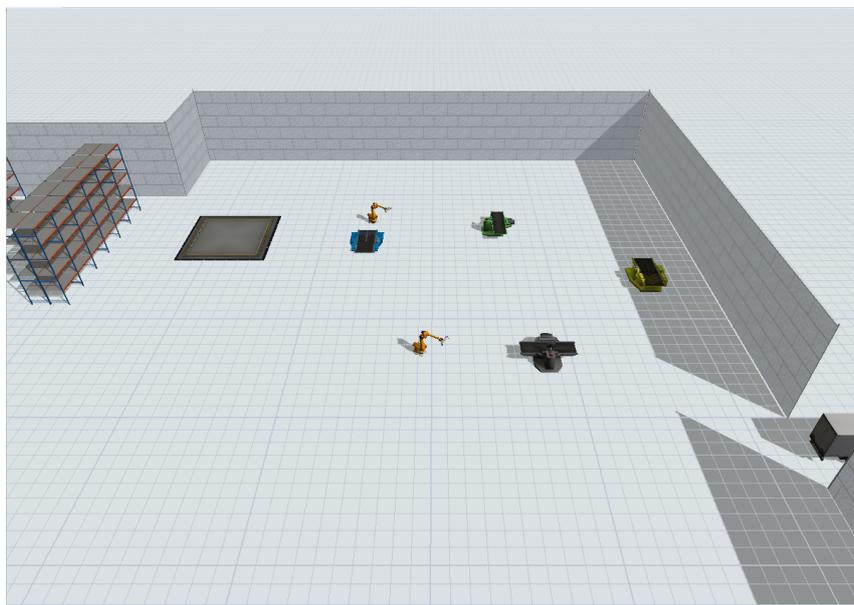
Επόμενο βήμα αποτέλεσε μία πρώτη διαμόρφωση του χώρου. Αρχικά έγινε η τοποθέτηση των τοίχων που περιορίζουν τον χώρο για να δημιουργηθεί η αίσθηση του πραγματικού χώρου και στην συνέχεια να τοποθετηθούν τα κατάλληλα αντικείμενα στην θέση τους. Για τους τοίχους ορίστηκε το σωστό μήκος και ένα ενδεικτικό ύψος ενώ ο χώρος παρέμεινε ανοιχτός σε σημεία που θεωρήθηκαν πέραν της γραμμής συσκευασίας, επιτρέποντας με αυτό τον τρόπο και την καλύτερη ανασκόπησή του. Η γραμμή συσκευασίας βρίσκεται σε μία από τις «γωνίες» του εργοστασίου κι επειδή το εργοστάσιο εσωτερικά δεν χωρίζεται από τοίχους αλλά κολώνες, ο χώρος δείχνει ανοιχτός. Σκόπιμα, λοιπόν, δεν έχουν τοποθετηθεί επιπλέον τοίχοι διότι ούτε πραγματικά υπάρχουν, ούτε έχουν κάποια ουσιώδη επίδραση στο μοντέλο. Στην αρχική αναπαράσταση (**Σχήμα 5-13**) φαίνεται και το άνοιγμα από το οποίο διέρχονται τα κλαρκ ώστε να τροφοδοτούν με παλέτες τα φορτηγά.

Στα αριστερά του χώρου, κοιτάζοντάς τον πανοραμικά από την μπροστινή όψη που παρέχει το FlexSim, βρίσκονται τα αποθηκευτικά ράφια στα οποία τοποθετούνται οι παλέτες που έρχονται από τα άλλα εργοστάσια. Τα ράφια αυτά τροφοδοτούν με παλέτες μόνο τη γραμμή συσκευασίας και όχι κάποιο άλλο τμήμα του εργοστασίου, δηλαδή περιέχουν αποκλειστικά παλέτες με δυομισόκιλες και πεντόκιλες κονσέρβες που θα περάσουν από τη γραμμή συσκευασίας για να λάβουν την ετικέτα τους. Τα κλαρκ που απασχολούνται στην γραμμή τροφοδοτούν έναν οριοθετημένο χώρο δεξιά των ραφιών αυτών με παλέτες από τα κατάλληλα προϊόντα πριν την εκκίνηση της γραμμής έτσι ώστε να ελαχιστοποιούνται οι μετακινήσεις τους κατά τη λειτουργία της και να αποφεύγονται τυχόν λάθη σε κωδικούς παλέτας, που μπορούν να αποφέρουν καθυστερήσεις. Έτσι, με το ξεκίνημα της βάρδιας υπάρχουν ήδη τουλάχιστον δέκα παλέτες προς αξιοποίηση, ενώ όταν μειώνεται ο αριθμός τους δίνεται οδηγία να συμπληρωθεί ο χώρος ώστε η τροφοδοσία να προλαβαίνει την συσκευασία.



*Σχήμα 5-13 Πρώτο στάδιο διαμόρφωσης χώρου*

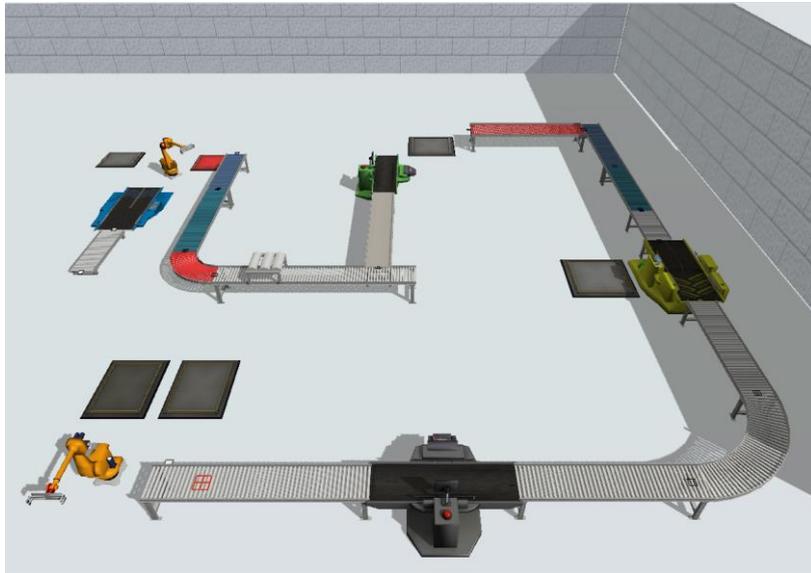
Στο επόμενο βήμα της αναπαράστασης του χώρου έγινε η εισαγωγή των κύριων μηχανών της γραμμής, δηλαδή των πέντε βασικών σταδίων που την αποτελούν. Σε πρώτη μορφή τα μηχανήματα αυτά είχαν την όψη των αντικειμένων του FlexSim, αλλά μετά από επεξεργασία τους έλαβαν μορφή που να αντιπροσωπεύει σε ικανοποιητικό βαθμό την αληθινή. Στο **Σχήμα 5-14** φαίνονται τα μηχανήματα τοποθετημένα στον χώρο με την αρχική τους μορφή.



*Σχήμα 5-14 Δεύτερο στάδιο διαμόρφωσης χώρου*

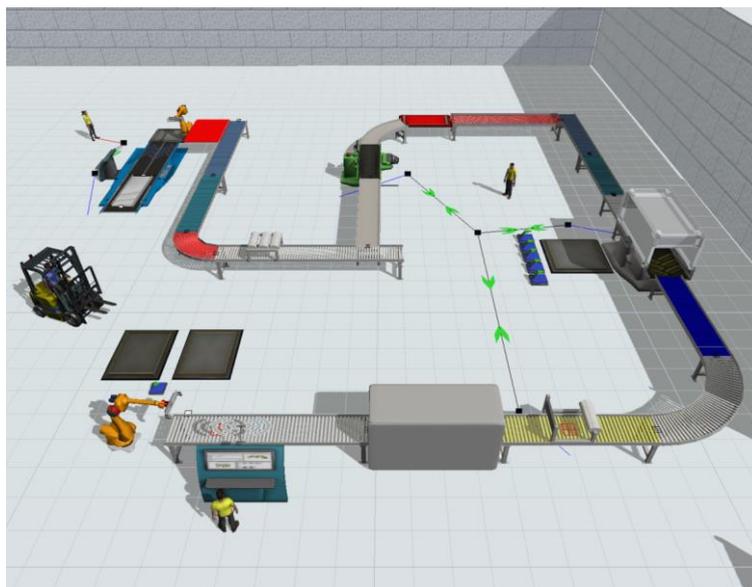
Στο επόμενο στάδιο έγινε η εισαγωγή των μεταφορικών ταινιών και των ραουλοδρόμων. Έχοντας υπολογισμένα το μήκος και το πλάτος καθεμίας από αυτές τις ταινίες έγινε η

τοποθέτησή τους στην σωστή θέση και προσαρμόστηκαν ανάλογα οι διαστάσεις των υπόλοιπων μηχανημάτων. Επίσης, τοποθετήθηκαν και ουρές που αντιπροσωπεύουν τις θέσεις ορισμένων αγαθών, όπως παλέτες, χαρτοκιβώτια κ.α., ενώ ακόμη τοποθετήθηκαν και οι βούρτσες που βρίσκονται ανάμεσα στο στάδιο του ντεπάλ και της ετικετζας.



Σχήμα 5-15 Τρίτο στάδιο διαμόρφωσης χώρου

Στην τελική απεικόνιση του χώρου έχουν τοποθετηθεί οι χειριστές και τα περνοφόρα οχήματα που εξυπηρετούν τη γραμμή. Έχουν ακόμα γίνει σχεδιαστικές βελτιώσεις για καλύτερη απόδοση της εικόνας του πραγματικού συστήματος. Σε αυτό το πλαίσιο έχει δημιουργηθεί και ο φούρνος με χρήση των αντικειμένων του FlexSim στα οποία μπορεί ο χρήστης να καθορίσει την μορφή (BasicFR). Με τον ίδιο τρόπο δημιουργήθηκε και η διάταξη του μαχαιριού που κόβει το νάιλον πριν τον φούρνο. Έχουν επίσης αποδοθεί τα σωστά χρώματα στις ταινίες και τα αντικείμενα του μοντέλου με βάση τα χρώματα που έχουν στην πραγματικότητα.

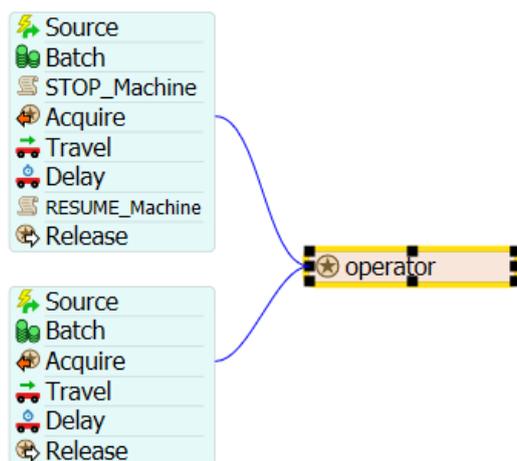


Σχήμα 5-16 Τελικό στάδιο διαμόρφωσης χώρου

Για τις μετακινήσεις των εργαζομένων και την πραγματοποίηση καθηκόντων, όπως η ανατροφοδοσία των μηχανών με πρώτες ύλες, χρησιμοποιήθηκε λογική που δημιουργήθηκε στο ProcessFlow και φαίνεται στο **Σχήμα 5-17**. Η λογική αφορά την συμπλήρωση της ετικετέζας με ετικέτες και του φούρνου με νάιλον. Για την περίπτωση της ετικετέζας όσο διαρκεί η πλήρωσή της με ετικέτες, διακόπτεται η λειτουργία της γραμμής πίσω από αυτήν. Αντιθέτως, όσο διαρκεί η αλλαγή νάιλον στον φούρνο η γραμμή εξακολουθεί να λειτουργεί σε κανονικές ταχύτητες.

Αρχικά, επιλέχθηκε από τις διαθέσιμες πηγές η Event-Triggered Source. Η πηγή αυτή συνδέθηκε με το αντικείμενο του μοντέλου που αναπαριστά την ετικετέζα στην επιλογή Object, ενώ για το Event επιλέχθηκε το On Process Finish. Στη συνέχεια εισήχθη η εντολή Batch όπου ορίστηκε μέσω τριγωνικής στατιστικής κατανομής με μέγιστη τιμή 300, ελάχιστη τιμή 200 και πιο πιθανή 250, για κάθε ολοκληρωμένη παρτίδα αντικειμένων να δημιουργείται ένα token. Στην συνέχεια έγινε εισαγωγή Custom Code όπου επιλέχθηκε από την κατηγορία Control το Stop Object και το αντικείμενο στο οποίο γίνεται η αναφορά. Έπειτα έγινε η εισαγωγή της Resource που αντιστοιχεί στον χειριστή. Επόμενη εντολή είναι η Acquire όπου επιλέγεται να ανατεθεί το token στον χειριστή. Με την εντολή Travel δίνεται η οδηγία στον χειριστή να μετακινηθεί στον επιθυμητό προορισμό, δηλαδή την ετικετέζα. Η εντολή Delay ορίζει τον χρόνο που απαιτείται για την ολοκλήρωση της εργασίας του χειριστή όπου επίσης καθορίζεται από στατιστική κατανομή. Επίσης, υπάρχει η δυνατότητα καθορισμού του λόγου για τον οποίο προκύπτει η καθυστέρηση, επομένως σε αυτή την περίπτωση επιλέγεται το Filling. Με την εισαγωγή νέου Custom Code γίνεται η επαναφορά της λειτουργίας της ετικετέζας, πάλι από την επιλογή Control κι έπειτα επιλέγοντας Resume Object και το αντικείμενο. Τέλος, με την εντολή Release αποδεδμεύεται το token που έχει ανατεθεί στον χειριστή.

Η λογική αυτή χρησιμοποιείται και για την πλήρωση του φούρνου με νάιλον. Δεδομένου ότι δεν υπάρχει κάποια διακοπή της λειτουργίας όσο γίνεται η αλλαγή του νάιλον, παραλείπονται από την λογική του ProcessFlow τα βήματα με τον κώδικα που μοντελοποιεί το σταμάτημα της μηχανής.

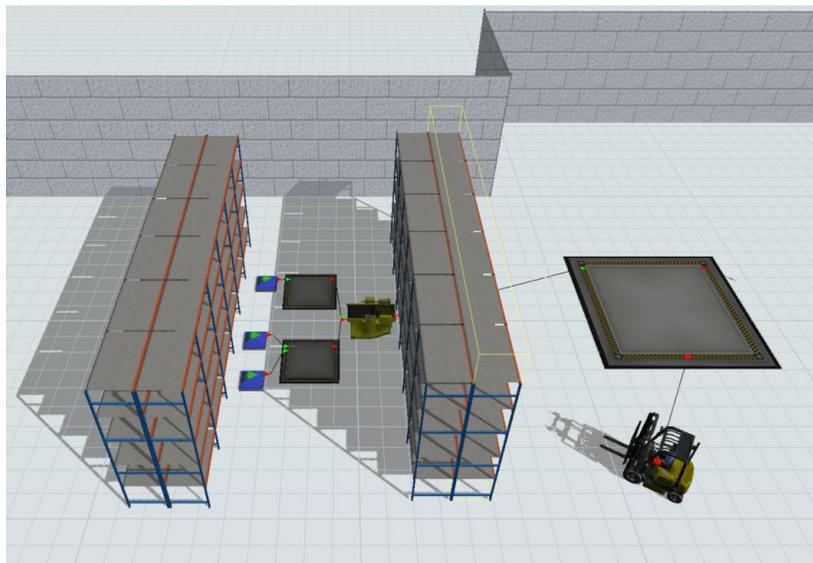


*Σχήμα 5-17 ProcessFlow για ανατροφοδοσία ετικετών και νάιλον*

Προκειμένου ο αρμόδιος, για τα παραπάνω καθήκοντα, χειριστής να μετακινηθεί στις θέσεις που χρειάζεται, τοποθετήθηκαν κόμβοι μετακίνησης που καθορίζουν τις διαδρομές που

μπορεί αυτός να ακολουθήσει. Αυτό επιτυγχάνεται με την εισαγωγή των NetworkNodes από την βιβλιοθήκη και τη σύνδεσή τους με τον χειριστή.

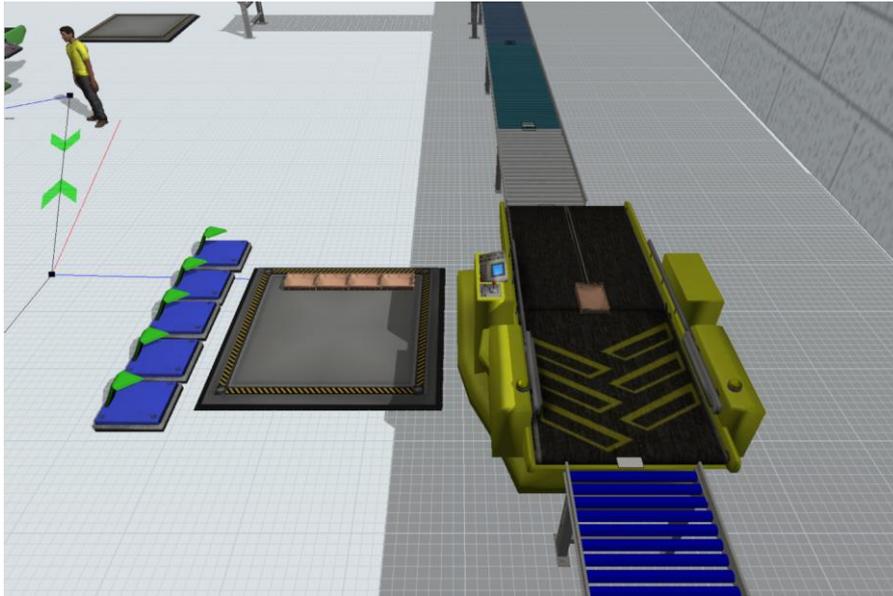
Στη συνέχεια μοντελοποιήθηκε η δημιουργία παλετών γεμάτων κονσέρβες. Με την χρήση πηγών που παρέχουν την κατάλληλη ποσότητα κονσερβών και παλετών, καθώς κι ενός συνδυαστή που τα ενώνει, προκύπτουν από την εκκίνηση κάθε βάρδιας έτοιμες παλέτες στον χώρο που είναι ειδικά διαμορφωμένος για να λειτουργεί ως buffer παλετών. Στην προκειμένη περίπτωση χρησιμοποιήθηκαν δύο πηγές για την δημιουργία κονσερβών. Από την μία προκύπτουν κονσέρβες βάρους 2,5 κιλών ενώ από την άλλη 5 κιλών. Η πηγή που δημιουργεί παλέτες παράγει το ίδιο αντικείμενο κάθε φορά.



*Σχήμα 5-18 Μοντελοποίηση προετοιμασίας παλετών*

Στο επόμενο βήμα τοποθετήθηκαν στο wrap-around πηγές που δημιουργούν τις συσκευασίες που χρησιμοποιεί καθένα από τα πέντε πιθανά σενάρια. Για κάθε πηγή δημιουργήθηκε ένας πίνακας ο οποίος απέδιδε ένα label στη συσκευασία που δημιουργούνταν. Ο συνδυαστής με την επιλογή κατάλληλου ερεθίσματος (Trigger), διαβάζοντας, από έναν άλλο πίνακα που δημιουργήθηκε, την τιμή του label λάμβανε τον σωστό αριθμό κυτίων για να δημιουργήσει ένα πακέτο. Έτσι, διασφαλίστηκε ότι σε κάθε περίπτωση συσκευασίας θα εισάγονταν ο σωστός αριθμός κυτίων, άλλοτε τέσσερα και άλλοτε έξι.

Μπροστά από τις πηγές αυτές βρίσκεται μία ουρά που αντιπροσωπεύει τον χώρο στον οποίο βρίσκονταν τα αποθέματα των χαρτόδισκων και των χαρτοκιβωτίων.



Σχήμα 5-19 Προσομοίωση δημιουργίας χαρτόδισκων/χαρτοκιβωτίων

Στο επόμενο βήμα έπρεπε να οριστούν οι ταχύτητες με τις οποίες κινούνται οι μεταφορικές ταινίες καθώς και η δυναμικότητα κάθε μηχανής. Δεδομένου ότι κάποιες ταινίες έχουν διαφορετική ταχύτητα ανά σενάριο, εμφανίστηκε η ανάγκη να δημιουργηθεί μία λογική, σύμφωνα με την οποία η επιλογή της κονσέρβας και της περίπτωσης συσκευασίας της θα όριζαν τις ταχύτητες της γραμμής. Αντίστοιχα, θα έπρεπε οποιαδήποτε άλλη παράμετρος επηρεάζεται από την περίπτωση συσκευασίας να είναι εφικτό να αλλάξει ώστε να ταιριάζει στο κατάλληλο σενάριο. Για να επιτευχθεί αυτό, επιστρατεύθηκε το εργαλείο του FlexSim, Model Parameter Tables.

Εκεί δημιουργήθηκε ένας πίνακας στον οποίο καταγράφηκαν όλες οι παράμετροι που αλλάζουν ανά περίπτωση, όπως οι ταχύτητες των ταινιών, η δημιουργία συγκεκριμένου είδους συσκευασιών, ο χρόνος παραμονής για τύλιγμα με νάιλον. Στον πίνακα αυτό εμφανίζεται στην πρώτη στήλη η παράμετρος, στην δεύτερη στήλη η τιμή της, στην τρίτη στήλη η μονάδα μέτρησής της και στην τέταρτη η περιγραφή της. Από την δεύτερη στήλη επιλέγεται για κάθε παράμετρο η τιμή, με την οποία αντιστοιχίζεται στο κατάλληλο αντικείμενο του μοντέλου. Στην τέταρτη στήλη η περιγραφή μπορεί να γραφτεί μόνο με λατινικούς χαρακτήρες. Από τον πίνακα αυτό μπορεί εύκολα να γίνει η αλλαγή σε κάποια παράμετρο χωρίς να αναζητηθεί το αντικείμενο, με αποτέλεσμα να εξοικονομείται σημαντικός χρόνος και να διευκολύνεται το έργο του χρήστη.

Name	Value	Display Units	Description
Mple Tainias 1	15	min/s	Taxuthta Tainias
Mple Tainias 2	12	min/s	Taxuthta Tainias
Kokkini Tainia	10	min/s	Taxuthta Tainias
Metallikh Tainia 1	20	min/s	Taxuthta Tainias
Kokkini Buffer Tania	30	min/s	Taxuthta Tainias
Mple Tainia 3	15	min/s	Taxuthta Tainias
Mple Tainia 4	10	min/s	Taxuthta Tainias
Metallikh Tainia 2	10	min/s	Taxuthta Tainias
Mple Tainia 5	10	min/s	Taxuthta Tainias
Tainia Strofis	10	min/s	Taxuthta Tainias
Tainia pro Fournou	10	min/s	Taxuthta Tainias
Tainia Fournou	10	min/s	Taxuthta Tainias
Cans 2.5 kg	7680	Temaxia	Posothta Cans pou tha dhmiourgithoun
Cans 5 kg	0	Temaxia	Posothta Cans pou tha dhmiourgithoun
Tote 2_5	10000	Temaxia	Posothta syskeuaswn pou tha dhmiourgithoun
Box 2_5	0	Temaxia	Posothta syskeuaswn pou tha dhmiourgithoun
Tote 5x4	0	Temaxia	Posothta syskeuaswn pou tha dhmiourgithoun
Tote 5x6	0	Temaxia	Posothta syskeuaswn pou tha dhmiourgithoun
Box 5	0	Temaxia	Posothta syskeuaswn pou tha dhmiourgithoun
Station 3	7	sec	Xronos paramonhs gia tyigma me nailon

Σχήμα 5-20 Παράμετροι συστήματος

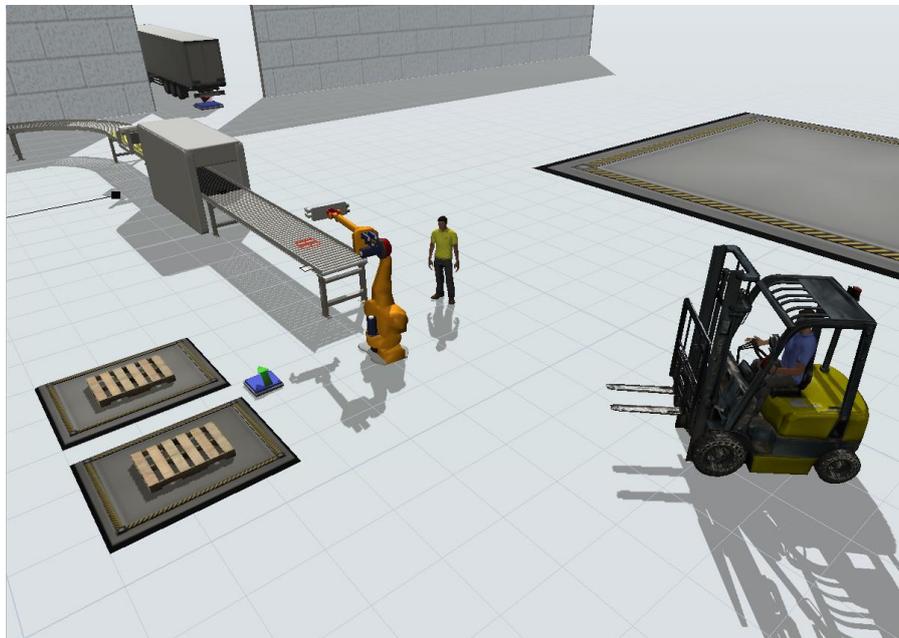
Από τις παραπάνω παραμέτρους λείπει ο αριθμός των κυτίων που περιέχονται ανά συσκευασία κατά την ομαδοποίησή τους στο wrap-around. Ενώ ο αριθμός αυτός αλλάζει κατά περίπτωση, είναι δεδομένο ότι θα παραμείνει σταθερός για την εκάστοτε περίπτωση, καθώς δεν αποτελεί στοιχείο που να μπορεί να αλλάξει ο υπεύθυνος της γραμμής. Ο αριθμός των κονσερβών που περιέχει κάθε χαρτόδισκος ή χαρτοκιβώτιο ορίζεται από τους πελάτες και η εταιρία συσκευάζει το περιεχόμενο αναλόγως. Επομένως, το δεδομένο αυτό μοντελοποιήθηκε έτσι ώστε να ρυθμίζεται ο αριθμός των κυτίων ανάλογα με το ποια πηγή παράγει συσκευασίες. Στις συσκευασίες αποδίδεται μία ετικέτα (Label) με το που παραχθούν και ο συνδυαστής «διαβάζοντας» αυτή την ετικέτα, επιλέγει από κατάλληλα διαμορφωμένο πίνακα των αριθμό των κυτίων που θα προωθήσει για ομαδοποίηση. Για την υλοποίηση αυτής της λογικής χρειάζεται να επιλεγεί κατάλληλο ερέθισμα (Trigger) στη λειτουργία του συνδυαστή κατά την είσοδο των συσκευασιών, το οποίο ονομάζεται Update Combiner Component List. Παρακάτω φαίνονται οι πέντε περιπτώσεις που έχουν δημιουργηθεί, από τις οποίες ο συνδυαστής αναθεωρεί την ποσότητα των κυτίων ανάλογα με το είδος συσκευασίας που εισέρχεται σε αυτόν. Ο πίνακας αυτός είναι ένας απλός καθολικός πίνακας (Global Table).

	Case_1	Case_2	Case_3	Case_4	Case_5
NumberOfCans	6	6	4	6	6

Σχήμα 5-21 Αριθμός κυτίων που ομαδοποιούνται ανά περίπτωση

Ένα ακόμη σημείο που χρειάστηκε να μοντελοποιηθεί με την χρήση περισσότερων του ενός αντικειμένων είναι το σημείο στο οποίο γίνεται το χτίσιμο των έτοιμων παλετών. Οι παλέτες τοποθετούνται σε προκαθορισμένες θέσεις και το ρομπότ τοποθετεί πάνω τους τις συσκευασίες που συλλέγει. Το ρομπότ χτίζει δύο παλέτες προτού κάποιο περνοφόρο όχημα επιτραπεί να πάρει κάποια. Αφού απομακρυνθούν οι δύο παλέτες δύο νέες παλέτες τοποθετούνται χειρωνακτικά στις κατάλληλες θέσεις, έτσι ώστε να διασφαλίζεται η ακρίβεια της τοποθέτησής τους. Για να μοντελοποιηθεί αυτή η κατάσταση χρησιμοποιήθηκαν δύο συνδυαστές σε μορφή ουράς. Τοποθετήθηκε μία πηγή παλετών, η οποία συνδέθηκε και με τους δύο συνδυαστές για να τους τροφοδοτεί με παλέτες. Έπειτα, ορίστηκε ο αριθμός των χαρτοκιβωτίων ή χαρτόδισκων που απαιτείται για το χτίσιμο της παλέτας και τέλος έγινε η σύνδεση των συνδυαστών με το περνοφόρο όχημα. Για το ταυτόχρονο χτίσιμο των παλετών επιλέχθηκε στην έξοδο της μεταφορικής ταινίας η λογική round-robin, δηλαδή η εναλλάξ επιλογή προορισμού εξόδου από την μεταφορική ταινία. Έτσι, σε κάθε κίνηση το ρομπότ τοποθετεί τις συσκευασίες σε διαφορετικές παλέτες με αποτέλεσμα αυτές να ολοκληρώνονται πρακτικά την ίδια στιγμή.

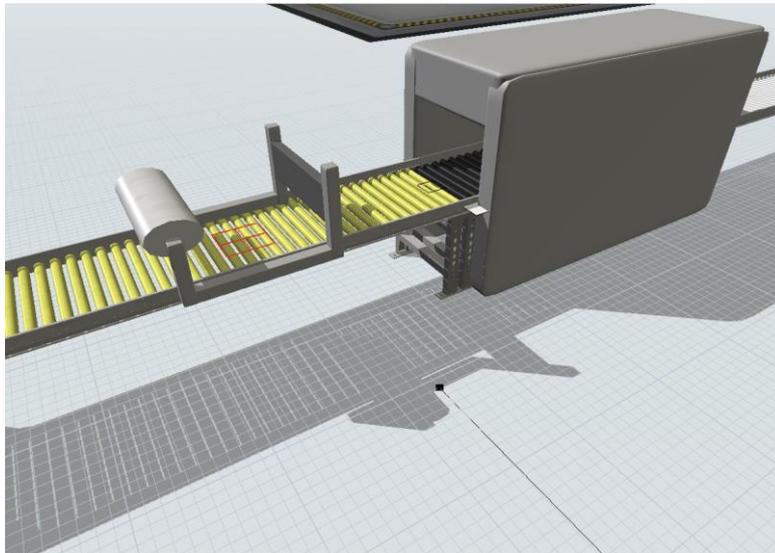
Οι συνδυαστές είναι συνδεδεμένοι με δύο προορισμούς εξόδου ο κάθε ένας. Ο ένας προορισμός είναι ο χώρος στον οποίο τοποθετούνται έτοιμες προς φόρτωση παλέτες αλλά περιμένουν εντολή φόρτωσης άλλη στιγμή, ενώ ο άλλος προορισμός είναι η ράμπα φορτώσεων και το φορτηγό που περιμένει να φορτωθεί. Για τους προορισμούς αυτούς επιλέχθηκε να προτιμώνται βάσει ποσοστών. Πιο συγκεκριμένα, επιλέχθηκε το 60% των παλετών που ολοκληρώνεται από κάθε θέση να μεταφέρεται στον χώρο όπου προετοιμάζονται οι παλέτες για φόρτωση άλλη στιγμή, ενώ το 40% των ολοκληρωμένων παλετών να προωθούνται στην ράμπα φόρτωσης. Η επιλογή των ποσοστών έγινε εμπειρικά και δεν επηρεάζει την λειτουργία της γραμμής ή την απόδοσή της.



Σχήμα 5-22 Προσομοίωση χτισίματος παλέτας

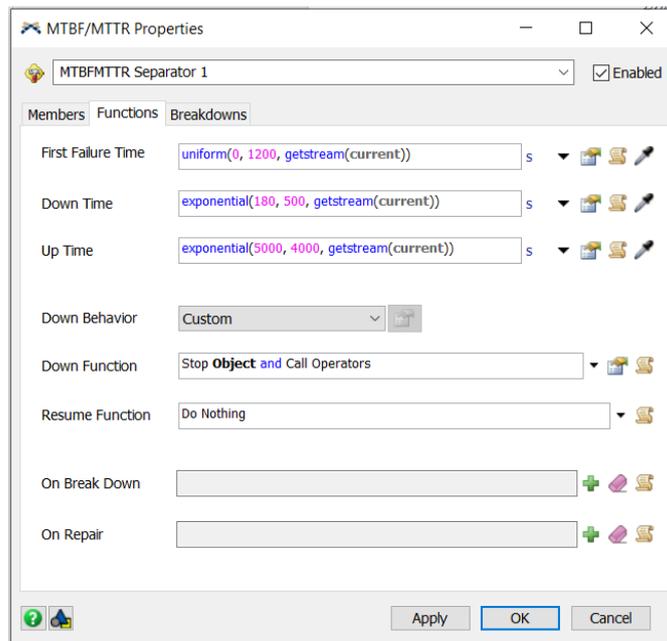
Έπειτα, τοποθετήθηκε στην μεταφορική ταινία, στο σημείο όπου βρίσκεται η διάταξη με το μαχαίρι και το νάιλον, ένας σταθμός (Station) έτσι ώστε να προσομοιωθεί η καθυστέρηση που προκύπτει κατά το τύλιγμα με νάιλον. Η καθυστέρηση αυτή εισήχθη ως παράμετρος στον

πίνακα παραμέτρων, έτσι ώστε να ισχύει μόνο για τις περιπτώσεις χαρτόδισκων και είναι μηδενική όταν διέρχονται χαρτοκιβώτια.



*Σχήμα 5-23 Προσομοίωση σταθμού τυλίγματος με νάilon*

Τέλος, προστέθηκε η λογική της τυχαίας εμφάνισης καθυστερήσεων και βλαβών σε διάφορα σημεία της γραμμής. Από την εργαλειοθήκη του FlexSim, επιλέγοντας MTBFMTTR (Mean Time Between Failure Mean Time To Repair) δημιουργήθηκε, για ορισμένα αντικείμενα, καρτέλα, σύμφωνα με την οποία εμφανίζεται βλάβη βάσει κάποιας στατιστικής κατανομής. Στην δημιουργία της λογικής αυτής υπάρχει η δυνατότητα να οριστεί η πιθανότητα της χρονικής στιγμής που θα εμφανιστεί η βλάβη για πρώτη φορά, η πιθανότητα για την διάρκεια της βλάβης και η πιθανότητα του χρονικού διαστήματος μέχρι την επανεμφάνισή της. Για κάθε μηχανήμα ορίστηκε ο κατάλληλος χειριστής που απασχολείται για την επιδιόρθωση του προβλήματος και θεωρήθηκε δεδομένο ότι το αντικείμενο σταματάει να λειτουργεί όσο επιδιορθώνεται. Τα αντικείμενα που επιλέχθηκαν να εμφανίζουν σταματήματα λόγω βλαβών είναι το ντεπάλ, η ετικετέζα, το wrap-around και ο ρομποτικός βραχίονας. Αυτό προκύπτει από τις αναφορές των εργαζομένων της γραμμής καθώς και από την παρακολούθησή της για αρκετούς μήνες.



Σχήμα 5-24 Παράδειγμα χρήσης MTBFMTTR στο ντεπάλ

### 5.3 Υφιστάμενη κατάσταση

Από τη στιγμή που δημιουργήθηκε το μοντέλο, επόμενο βήμα αποτελεί η επικύρωσή του (Validation). Με την επικύρωση του μοντέλου νοείται η επιβεβαίωση πως το μοντέλο ανταποκρίνεται με τρόπο όμοιο του πραγματικού συστήματος. Δηλαδή, η διαδικασία της επικύρωσης του μοντέλου αναζητά την επαλήθευση ότι το μοντέλο αποτελεί ικανοποιητική αναπαράσταση του πραγματικού συστήματος.

Στην συγκεκριμένη περίπτωση, επικύρωση μπορεί να πραγματοποιηθεί συγκρίνοντας ορισμένα αποτελέσματα μεταξύ της λειτουργίας του πραγματικού συστήματος και του μοντέλου του. Έτσι, το πρώτο σενάριο λειτουργίας που προσομοιώνεται μέσω του λογισμικού, πέρα από το να υποδείξει τα σημεία που χρειάζονται βελτίωση, μπορεί και να επιβεβαιώσει ότι το μοντέλο προσεγγίζει ικανοποιητικά το σύστημα που εξετάζεται.

Για να γίνει αυτό, το πρώτο βήμα που ακολουθείται είναι ο ορισμός των στατιστικών στοιχείων που έχει νόημα να μελετηθούν κατά τη λειτουργία του μοντέλου. Δεδομένου ότι η εταιρία διατηρεί αρχείο στο οποίο αναφέρεται ο συνολικός αριθμός τεμαχίων που έχουν διακινηθεί μέσα στη γραμμή ανά ημέρα, κρίνεται σκόπιμο να διατηρηθεί το ίδιο ακριβώς στατιστικό κατά την λειτουργία του μοντέλου. Στην περίπτωση όπου το output του μοντέλου ξεπεράσει τα επιτρεπτά όρια, δηλαδή την μέγιστη δυναμικότητα της γραμμής, ή έχει μία μέση τιμή αρκετά διαφορετική της μέσης τιμής της πραγματικότητας, χρειάζεται αναθεώρηση.

Στο επόμενο σχήμα φαίνονται τα στοιχεία που κρίθηκε ότι ενδιαφέρουν περισσότερο την ανάλυση του συστήματος, τα οποία είναι το συνολικό throughput της γραμμής καθώς και η κατάσταση στην οποία βρίσκονται τα πέντε κύρια στάδια της γραμμής.

Αυτό έγινε με την επιλογή των αντικειμένων στα επιλεγμένα διαγράμματα. Όπως φαίνεται και παρακάτω ο συνολικός αριθμός παλετών προκύπτει ως το άθροισμα των δύο θέσεων.



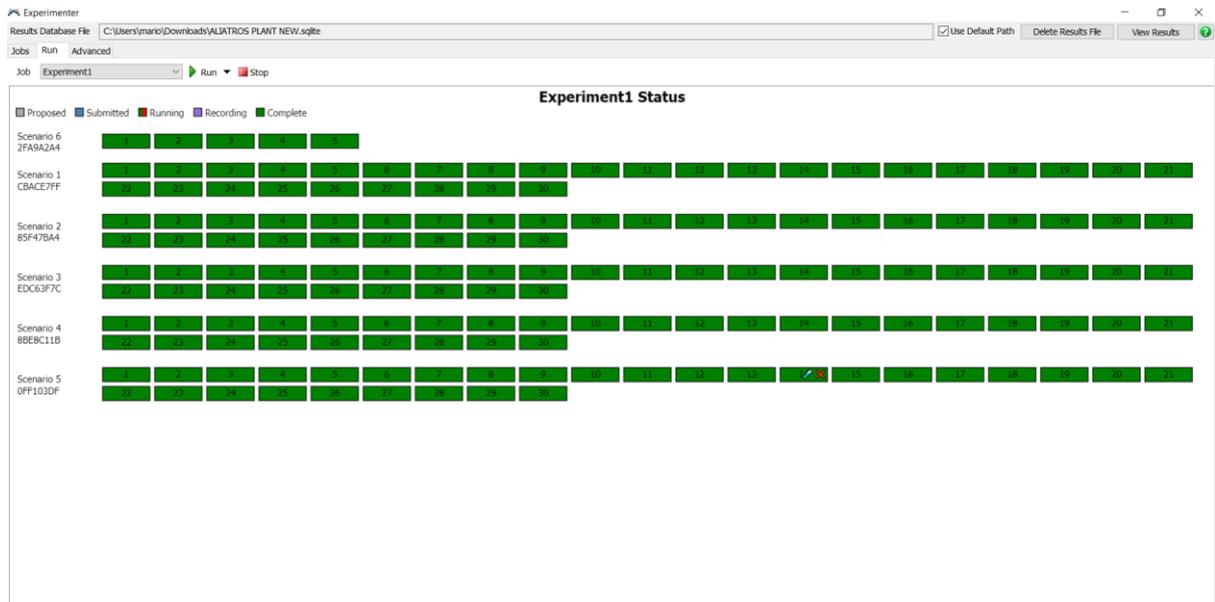
Σχήμα 5-25 Διαγράμματα ενδιαφέροντος για την γραμμή

Όπως αναφέρθηκε νωρίτερα, η εταιρία διατηρεί αρχείο με την ημερήσια απόδοση της γραμμής αρκετούς μήνες πριν δημιουργηθεί το μοντέλο στο FlexSim. Ως απόδοση ορίζεται η συνολική εκροή έτοιμων παλετών προς φόρτωση (Output). Επομένως, με το τρέξιμο ενός ικανοποιητικού αριθμού επαναλήψεων, το FlexSim καθορίζει πόσο καλά έχει αποδοθεί το πραγματικό σύστημα ανάλογα με το πόσο κοντά βρίσκεται το output της γραμμής με το πραγματικό.

Ο αριθμός των επαναλήψεων που θα πραγματοποιηθούν ορίζεται από τον χρήστη και συνήθως είναι κατ' ελάχιστον 30. Ο βέλτιστος αριθμός εξαρτάται από την υπολογιστική ικανότητα του υπολογιστή καθώς και τον διαθέσιμο χρόνο του χρήστη δεδομένου ότι αποτελεί μία χρονοβόρα διαδικασία. Λαμβάνοντας υπόψη το γεγονός ότι στο μοντέλο που εξετάζεται υπάρχουν πέντε διαφορετικές περιπτώσεις που πρέπει να επικυρωθούν, επιλέχθηκε να γίνουν 30 επαναλήψεις ανά περίπτωση και όχι περισσότερες, για οικονομία χρόνου.

Την διαδικασία αυτή υλοποιεί το εργαλείο του FlexSim που περιγράφηκε στο προηγούμενο κεφάλαιο, ονόματι Experimenter. Στην προκειμένη περίπτωση ορίστηκε εκκίνηση της προσομοίωσης στις 7:00 π.μ. και λήξη αυτής στις 3:00 μ.μ. Έπειτα, επιλέχθηκαν οι κατάλληλες τιμές των παραμέτρων ανά περίπτωση, για όλες τις ταχύτητες των μεταφορικών ταινιών, την ποσότητα των κυτρίων, των παλετών και των συσκευασιών που θα δημιουργηθούν καθώς και οι χρόνοι παραμονής στο wrap-around και στον φούρνο.

Σημαντική είναι και η επιλογή, στις προχωρημένες ρυθμίσεις, της διατήρησης διαγραμμάτων και πινάκων εκροών για κάθε επανάληψη.



Σχήμα 5-26 Ολοκληρωμένες επαναλήψεις ανά περίπτωση στην υφιστάμενη κατάσταση

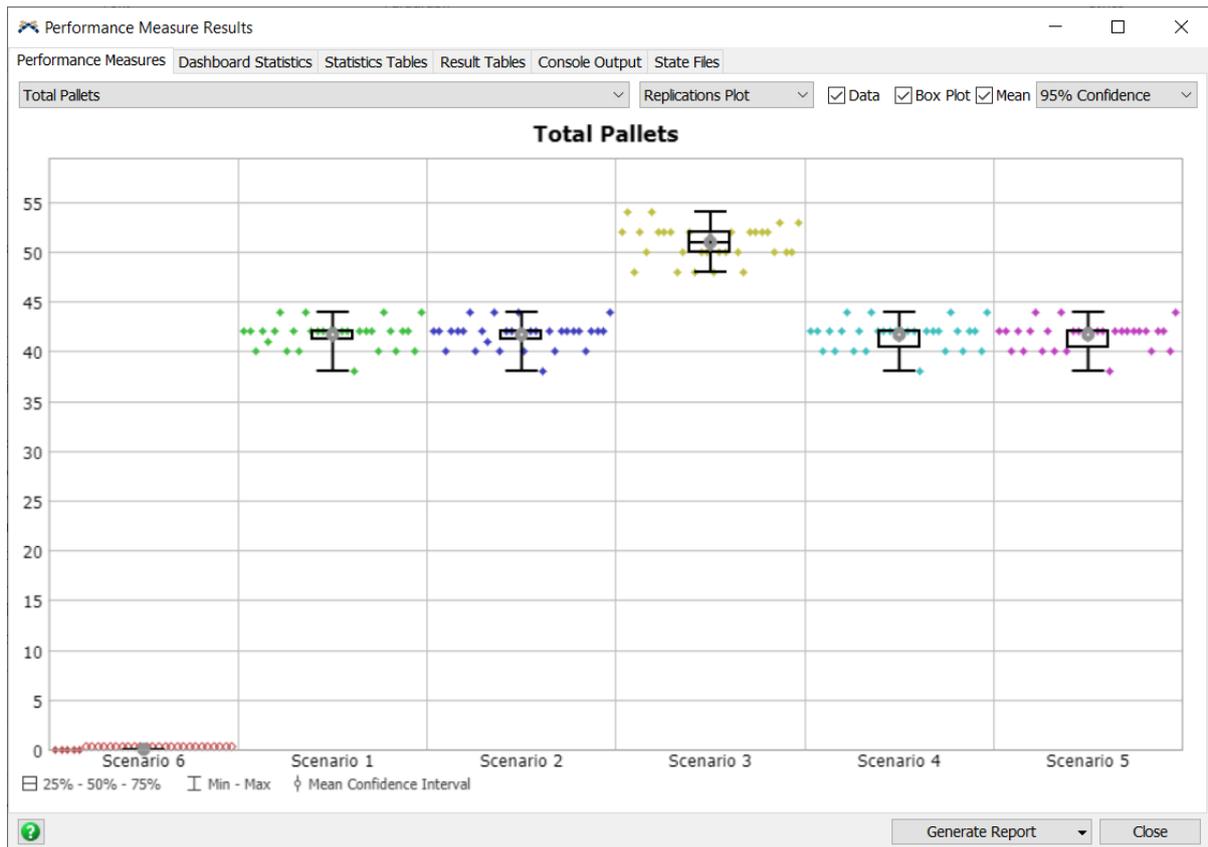
Στο επόμενο σχήμα παρουσιάζονται τα αποτελέσματα των τριάντα επαναλήψεων ανά περίπτωση.

Αρχικά, αίσθηση προκαλεί το γεγονός ότι στο τρίτο σενάριο παρουσιάζεται μία αυξημένη απόδοση της γραμμής σε δημιουργία παλετών. Με δεδομένο ότι η τρίτη περίπτωση αφορά τον χαρτόδισκο με τέσσερα πεντόκιλα κυτία, η οποία έχει και την χαμηλότερη δυναμικότητα από όλες τις περιπτώσεις, προβληματίζει το γεγονός ότι το τελικό throughput είναι το μέγιστο. Τελικά, όμως, λαμβάνοντας υπόψη πως το throughput υπολογίζεται σε αριθμό παλετών, υπολογίζεται ο αριθμός των κυτιών που βρίσκονται σε κάθε παλέτα και προκύπτει ότι η περίπτωση αυτή έχει το χαμηλότερο throughput κυτιών από όλες, όπως είναι και λογικό να συμβαίνει.

Από την ανάλυση των υπόλοιπων περιπτώσεων, πάλι σε πρώτη ανάλυση προβληματίζει το γεγονός ότι δείχνουν να έχουν ακριβώς την ίδια συμπεριφορά, παρά την αλλαγή ορισμένων παραμέτρων. Διακρίνοντας καλύτερα τις τιμές που λαμβάνονται ανά περίπτωση, προκύπτει ότι υπάρχουν διαφορές, αν και μικρές, το οποίο είναι επίσης λογικό καθώς όπως αναφέρθηκε οι ταχύτητες των ταινιών δεν διαφοροποιούνται σημαντικά και επιπλέον οι δυναμικότητες ανά περίπτωση για τρεις περιπτώσεις είναι ίδιες, ενώ για την τελευταία είναι πολύ κοντά στις άλλες τρεις.

Για τα αποτελέσματα αυτά επιλέγεται ποσοστό 95% Confidence.

Τα αποτελέσματα όλων των αναφορών του FlexSim φαίνονται πιο αναλυτικά στο Παράρτημα.



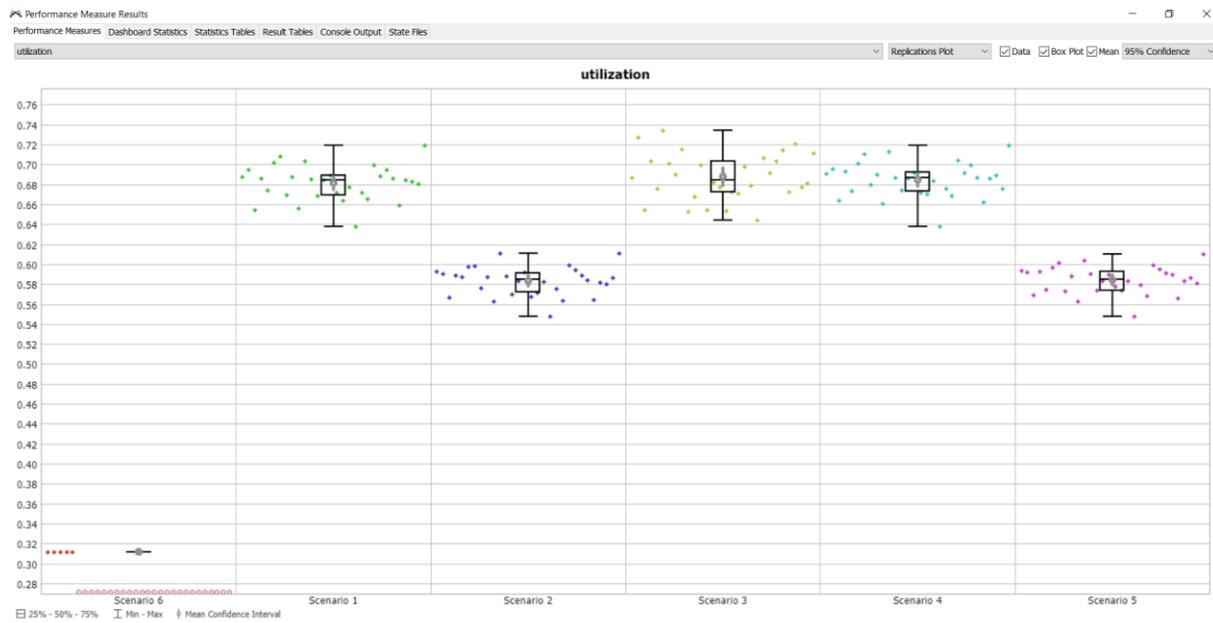
Σχήμα 5-27 Αποτελέσματα Experimenter για σύνολο παλετών ανά περίπτωση

Στον επόμενο πίνακα παρουσιάζονται συνοπτικά τα αποτελέσματα της παραπάνω ανάλυσης. Για τις τιμές έχει γίνει μετατροπή του αριθμού παλετών σε αριθμό κυτίων ανάλογα με τον αριθμό των κυτίων που συσκευάζονται σε κάθε πακέτο. Καμία από τις μέγιστες τιμές ανά περίπτωση δεν ξεπέρασε την μέγιστη τιμή της ορισθείσας δυναμικότητας, επομένως τα αποτελέσματα είναι έγκυρα και δεδομένου ότι προσεγγίζουν τους πραγματικούς μέσους όρους είναι και λογικά.

Πίνακας 5-8 Ελάχιστη - Μέση - Μέγιστη τιμή κυτίων ανά περίπτωση(Output)

Περίπτωση	Ελάχιστη τιμή	Μέση τιμή	Μέγιστη τιμή
2,5kg χαρτόδισκος (scenario 1)	11.400	12.500	13.200
2,5kg χαρτοκιβώτιο (scenario 2)	11.700	12.800	13.500
5kg χαρτόδισκος τετράδα (scenario 3)	9.600	10.200	10.800
5kg χαρτόδισκος εξάδα (scenario 4)	11.400	12.600	13.200
5kg χαρτοκιβώτιο (scenario 5)	11.400	12.600	13.200

Στο επόμενο σχήμα φαίνονται τα ποσοστά συνολικής αξιοποίησης (utilization) των πέντε βασικών σταδίων ανά περίπτωση. Παρατηρεί κανείς ότι η δεύτερη και πέμπτη περίπτωση παρουσιάζουν τα μικρότερα ποσοστά utilization, ενώ η πρώτη, η τρίτη και η τέταρτη έχουν σχεδόν τα ίδια. Αυτό συμβαίνει διότι στην δεύτερη και την πέμπτη περίπτωση οι κονσέρβες ουσιαστικά δεν διέρχονται από τον φούρνο οπότε δεν τον αξιοποιούν.



Σχήμα 5-28 Αποτελέσματα Experimenter για utilization εξοπλισμού

Πίνακας 5-9 Ελάχιστη - Μέση - Μέγιστη τιμή αξιοποίησης εξοπλισμού ανά περίπτωση (Utilization)

Περίπτωση	Ελάχιστη τιμή	Μέση τιμή	Μέγιστη τιμή
2,5kg χαρτόδισκος (scenario 1)	64%	68%	72%
2,5kg χαρτοκιβώτιο (scenario 2)	55%	58%	61%
5kg χαρτόδισκος τετράδα (scenario 3)	64%	69%	73%
5kg χαρτόδισκος εξάδα (scenario 4)	63%	68%	72%
5kg χαρτοκιβώτιο (scenario 5)	54%	58%	61%

## 5.4 Πρώτο υπό εξέταση σενάριο

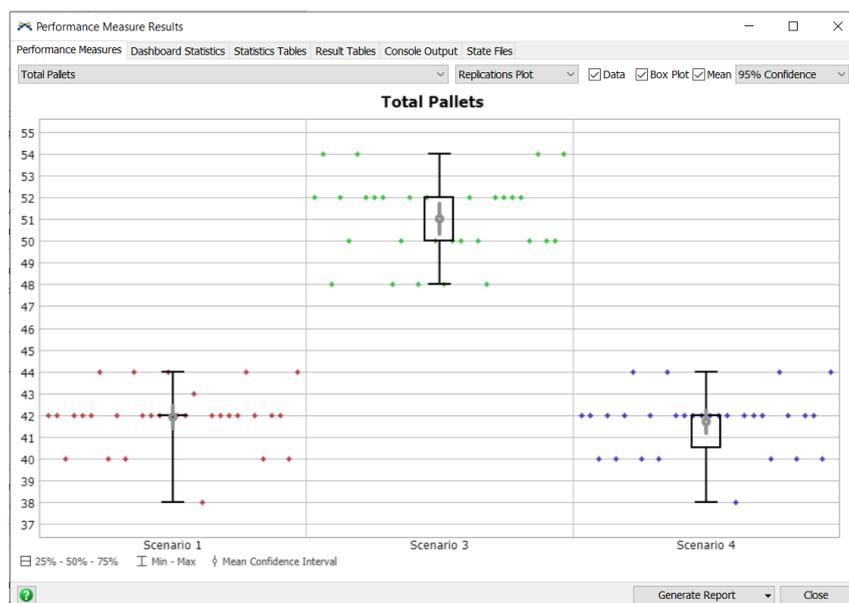
Όπως έχει αναφερθεί και σε προηγούμενα κεφάλαια, η εταιρία διαθέτει σε άλλο εργοστάσιο της εξοπλισμό, ο οποίος δύναται να αξιοποιηθεί προς όφελος της γραμμής που μελετάται. Ένα παράδειγμα τέτοιου εξοπλισμού αποτελεί ένας φούρνος αντίστοιχων προδιαγραφών με αυτόν που υπάρχει ήδη στη γραμμή, συμπεριλαμβανομένης της διάταξης με το μαχαίρι και το νάιλον. Αναλύοντας την μελέτη για την αναθεώρηση της δυναμικότητας της γραμμής προέκυψε ότι τρεις από τις πέντε δυναμικότητες επηρεάζονται σε μεγάλο βαθμό από το στάδιο του φούρνου.

Οι δύο παραπάνω συγκυρίες οδηγούν στην απόφαση να προσομοιωθεί και αναλυθεί η λειτουργία της γραμμής με το νέο εξοπλισμό, έτσι ώστε να μπορεί να εκτιμηθεί η πιθανή συνεισφορά του στο πραγματικό σύστημα.

Για τον εξοπλισμό που δύναται να αντικαταστήσει τον ήδη υπάρχοντα, έχει διαπιστωθεί ότι μπορεί να ολοκληρώσει το τύλιγμα με νάιλον και τη θερμοσυρρίκνωσή του σε λιγότερο από πέντε δευτερόλεπτα ανά πακέτο, προσεγγίζοντας μία δυναμικότητα της τάξης των 14 τεμαχίων/λεπτό.

Για την προσομοίωση της λειτουργίας του στη γραμμή συσκευασίας που μελετάται, υποτέθηκε ότι μία λογική δυναμικότητα σε πρώτο στάδιο θα αποτελούσαν τα 12 πακέτα/λεπτό, δηλαδή η ολοκλήρωση κάθε πακέτου εντός 5 δευτερολέπτων. Για τον λόγο αυτό, στο σενάριο που εξετάζεται, η παράμετρος που αλλάζει σε σχέση με τις προηγούμενες τιμές που είχαν οριστεί, είναι η διάρκεια παραμονής στο σημείο που τυλίγεται και κόβεται το νάιλον. Η τιμή αυτή από 0 και 7 δευτερόλεπτα, πλέον λαμβάνει τιμές 0 και 5 δευτερόλεπτα.

Οι περιπτώσεις που μελετώνται αφορούν μόνο τις συσκευασίες των χαρτόδισκων καθώς είναι μόνο αυτές που μπορούν να επηρεαστούν από την αλλαγή στη δυναμικότητα του φούρνου. Έτσι, παρακάτω παρουσιάζονται οι ελάχιστες, μέσες και μέγιστες τιμές κυτίων που μπορούν να διακινηθούν εντός της γραμμής συσκευασίας μετά την προσομοίωση αντικατάστασης του φούρνου και συγκρίνονται με τις ισχύουσες υπολογισμένες τιμές.



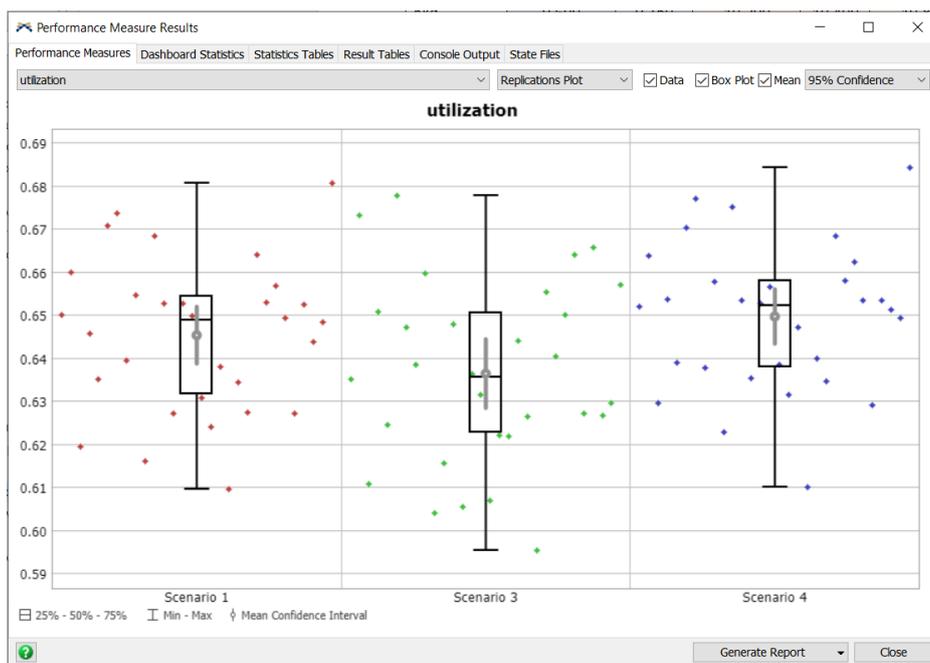
Σχήμα 5-29 Αποτελέσματα Experimenter για σύνολο παλετών ανά περίπτωση με νέο φούρνο

Πίνακας 5-10 Ελάχιστη - Μέση - Μέγιστη τιμή κυτίων ανά περίπτωση με νέο φούρνο

Περίπτωση	Υφιστάμενη ελάχιστη τιμή	Νέα ελάχιστη τιμή	Υφιστάμενη μέση τιμή	Νέα μέση τιμή	Υφιστάμενη μέγιστη τιμή	Νέα μέγιστη τιμή
2,5kg χαρτόδισκος (scenario 1)	11.400	11.400	12.500	12.600	13.200	13.350
5kg χαρτόδισκος τετράδα (scenario 3)	9.600	9.750	10.200	10.400	10.800	11.000
5kg χαρτόδισκος εξάδα (scenario 4)	11.400	11.500	12.600	12.750	13.200	13.300

Από τα παραπάνω αποτελέσματα παρατηρείται μία μικρή μόνο αύξηση στην απόδοση της γραμμής παρά την μεγάλη αύξηση δυναμικότητας του φούρνου.

Στη συνέχεια παρατίθενται τα αντίστοιχα αποτελέσματα για το utilization του εξοπλισμού της γραμμής με την προσθήκη του νέου φούρνου. Όπως φαίνεται στα στοιχεία που παρουσιάζονται, το συνολικό utilization του εξοπλισμού μειώνεται παρά την αύξηση της απόδοσης. Αυτό συμβαίνει καθώς από τη στιγμή που αντικαθίσταται ο φούρνος, είναι πλέον το wrap-around που ρυθμίζει την δυναμικότητα της γραμμής για κάθε περίπτωση. Ο χρόνος αξιοποίησης του φούρνου, όμως, μειώνεται σημαντικά σε αυτό το σενάριο, προφανώς περισσότερο από τον επιπλέον χρόνο που αξιοποιείται το wrap around, αν υπάρχει τέτοιος. Έτσι, προσθέτοντας τον χρόνο που αξιοποιείται περισσότερο το wrap-around και αφαιρώντας τον χρόνο που δεν αξιοποιείται πλέον ο φούρνος, προκύπτει συνολικά μικρότερος χρόνος αξιοποίησης του συνόλου του εξοπλισμού, δηλαδή μικρότερο utilization.

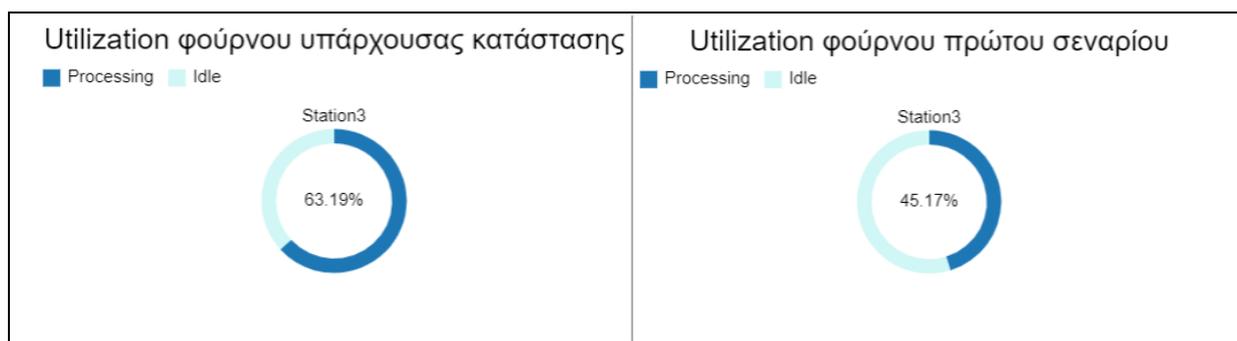


Σχήμα 5-30 Αποτελέσματα Experimenter για utilization εξοπλισμού με νέο φούρνο

Πίνακας 5-11 Ελάχιστη -Μέση - Μέγιστη τιμή utilization εξοπλισμού ανά περίπτωση με νέο φούρνο

Περίπτωση	Υφιστάμενη ελάχιστη τιμή	Νέα ελάχιστη τιμή	Υφιστάμενη μέση τιμή	Νέα μέση τιμή	Υφιστάμενη μέγιστη τιμή	Νέα μέγιστη τιμή
2,5kg χαρτόδισκος (scenario 1)	64%	61%	68%	64%	72%	68%
5kg χαρτόδισκος τετράδα (scenario 3)	64%	59%	69%	64%	73%	68%
5kg χαρτόδισκος εξάδα (scenario 4)	63%	61%	68%	65%	72%	68%

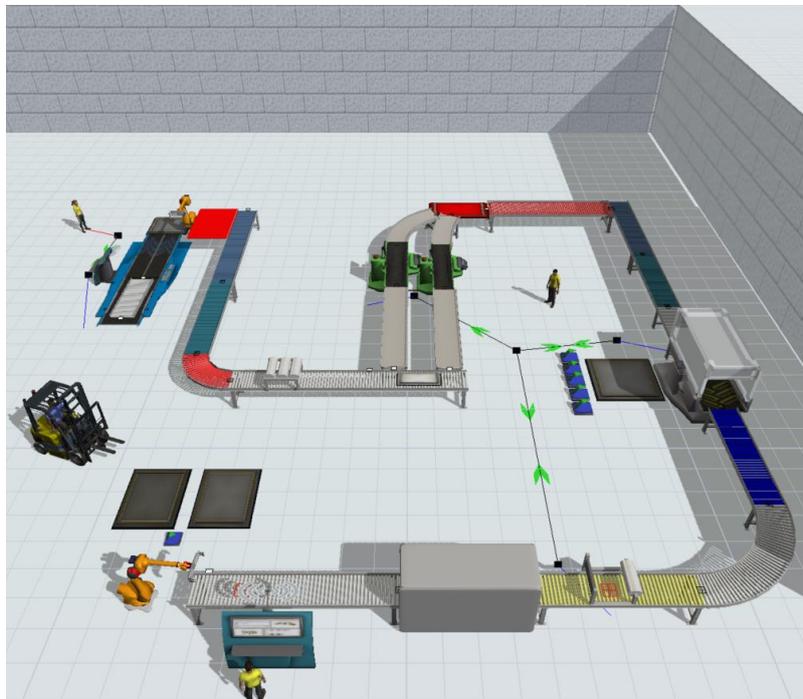
Ενδεικτικά, για την περίπτωση του χαρτόδισκου που περιέχει τετράδα πεντόκιλων κυτίων φαίνονται παρακάτω τα ποσοστά utilization του φούρνου που ήδη υπάρχει και του φούρνου που ενδέχεται να τον αντικαταστήσει. Όπως παρουσιάζεται στα επόμενα διαγράμματα, το στάδιο του φούρνου αξιοποιείται κατά **63,19%** με τον υφιστάμενο εξοπλισμό, ενώ το ποσοστό αυτό μειώνεται σημαντικά στο **45,17%** με την εγκατάσταση του νέου φούρνου. Τα ποσοστά utilization του σταδίου του wrap-around είναι παρεμφερή ανεξαρτήτως φούρνου, οπότε αποδεικνύεται και η υπόθεση ότι είναι αυτός ο λόγος για τον οποίο μειώνεται το συνολικό utilization του εξοπλισμού.



Σχήμα 5-31 Ποσοστά utilization φούρνου υφιστάμενης κατάστασης και πρώτου σεναρίου

## 5.5 Δεύτερο υπό εξέταση σενάριο

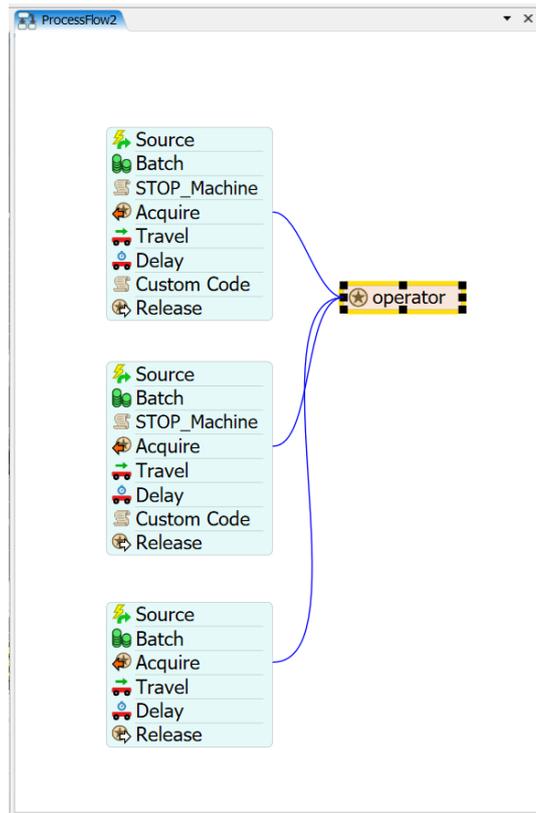
Στο σενάριο που ακολουθεί προσομοιάστηκε η λειτουργία της γραμμής με την αξιοποίηση μίας ακόμα ετικετέζας. Η ετικετέζα αυτή βρίσκεται στον ευρύτερο χώρο εργασίας, όπως και οι αντίστοιχοι ραουλόδρομοι που απαιτούνται για να συνδεθεί στη γραμμή όπως φαίνεται στο επόμενο σχήμα. Για την μοντελοποίηση της λειτουργίας με αυτή τη χωροταξία χρειάστηκε να γίνουν ορισμένες παρεμβάσεις στο μοντέλο. Αρχικά, αντιγράφηκε και προσαρμόστηκε σωστά η διάταξη με τον επεξεργαστή και τις ταινίες πριν και μετά από αυτόν. Έπειτα, προστέθηκε μία ουρά στον ραουλόδρομο, η οποία συνδέθηκε με τους δύο ταινιοδρόμους, και τέθηκε μέγιστη δυναμικότητά της το ένα τεμάχιο. Στις ιδιότητες της ουράς επιλέχθηκε να στέλνει τα προϊόντα στην πρώτη διαθέσιμη πύλη εξόδου, αφού πρώτα διαχωρίστηκαν ελάχιστα οι ταινιοδρόμοι από τον ραουλόδρομο. Έτσι, επιτυγχάνεται η διακίνηση των κυτίων μέσω της ετικετέζας που βρίσκεται σε λειτουργία όταν η δεύτερη είναι σταματημένη για τον οποιοδήποτε λόγο.



Σχήμα 5-32 Χωροταξία με προσθήκη δεύτερης ετικετέζας

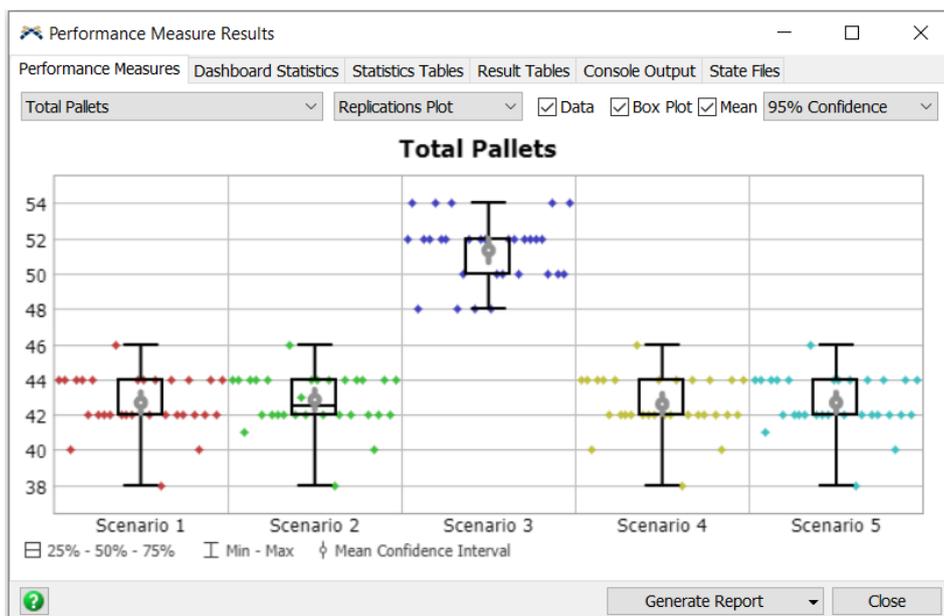
Στην συνέχεια προσαρμόστηκε κατάλληλα και το ProcessFlow που αφορά την ανατροφοδосία της ετικετέζας με ετικέτες. Αντιγράφηκε η λογική που είχε σχεδιαστεί για την πρώτη ετικετέζα, συνδέθηκε όλο το μπλοκ με την πηγή του χειριστή, και επιλέχθηκε η νέα ετικετέζα σε όποια σημεία του κώδικα χρειαζόταν.

Επίσης, χρειάστηκε να συνδεθεί και η νέα ετικετέζα με το δίκτυο των μετακινήσεων (NetworkNodes) του κατάλληλου χειριστή, έτσι ώστε αυτός να μπορεί να μετακινηθεί μέχρι και το νέο μηχάνημα για να εκτελέσει το καθήκον του.



Σχήμα 5-33 ProcessFlow με προσθήκη δεύτερης ετικετζας

Για το σενάριο αυτό έγιναν δοκιμές μέσω του Experimenter με τις παραμέτρους που δοκιμάστηκαν στο σενάριο της υπάρχουσας κατάστασης. Δηλαδή, στο σενάριο αυτό η γραμμή συσκευασίας λειτουργεί με τον πρώτο φούρνο. Οι επαναλήψεις για κάθε σενάριο ορίστηκαν πάλι στις 30 και τα αποτελέσματα φαίνονται στη συνέχεια.



Σχήμα 5-34 Αποτελέσματα Experimenter για σύνολο παλετών ανά περίπτωση με προσθήκη δεύτερης ετικετζας

Όπως φαίνεται στο παραπάνω σχήμα, η εικόνα των αποτελεσμάτων είναι παρόμοια αυτής για την υφιστάμενη κατάσταση, δηλαδή η πρώτη, η δεύτερη, η τέταρτη και η πέμπτη περίπτωση έχουν χαμηλότερο output παλετών αλλά υψηλότερο output κυτίων, το οποίο είναι και λογικό.

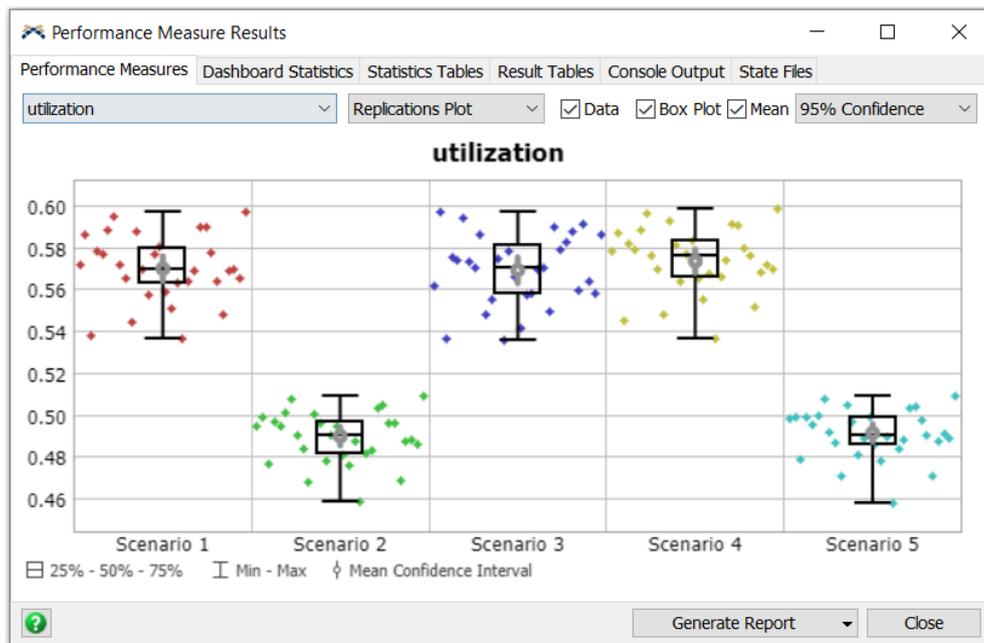
Στον πίνακα που ακολουθεί παρουσιάζονται τα αποτελέσματα ελάχιστης, μέσης και μέγιστης ποσότητας κυτίων που διακινούνται ανά περίπτωση εντός της γραμμής με τη χρήση και δεύτερης ετικετέζας. Οι τιμές αυτές συγκρίνονται και με τις τιμές που προέκυψαν κατά την ανάλυση της υφιστάμενης κατάστασης.

*Πίνακας 5-12 Ελάχιστη - Μέση - Μέγιστη τιμή κυτίων ανά περίπτωση με προσθήκη δεύτερης ετικετέζας*

Περίπτωση	Υφιστάμενη ελάχιστη τιμή	Νέα ελάχιστη τιμή	Υφιστάμενη μέση τιμή	Νέα μέση τιμή	Υφιστάμενη μέγιστη τιμή	Νέα μέγιστη τιμή
2,5kg χαρτόδισκος (scenario 1)	11.400	11.400	12.500	12.810	13.200	13.800
2,5kg χαρτοκιβώτιο (scenario 2)	11.700	11.400	12.800	12.840	13.500	13.800
5kg χαρτόδισκος τετράδα (scenario 3)	9.600	9.600	10.200	10.260	10.800	10.900
5kg χαρτόδισκος εξάδα (scenario 4)	11.400	11.400	12.600	12.780	13.200	13.800
5kg χαρτοκιβώτιο (scenario 5)	11.400	11.400	12.600	12.810	13.200	13.800

Από τον προηγούμενο πίνακα προκύπτει πως η προσθήκη της δεύτερης ετικετέζας έχει συνεισφέρει ουσιαστικά στην απόδοση δύο εκ των περιπτώσεων, αυτών με χαρτοκιβώτια.

Στη συνέχεια, όπως και στο προηγούμενο σενάριο, έτσι και σε αυτό, παρατίθενται τα αντίστοιχα διαγράμματα με το ποσοστό utilization του συνόλου του εξοπλισμού για κάθε περίπτωση. Κατ' αντιστοιχία με όσα προέκυψαν για το output παλετών, το utilization του εξοπλισμού ακολουθεί το μοτίβο που σχηματίστηκε από τα αποτελέσματα της υφιστάμενης κατάστασης, δηλαδή οι τρεις περιπτώσεις συσκευασίας με χαρτόδισκο που δεν αξιοποιούν τον φούρνο έχουν τα χαμηλότερα ποσοστά.



Σχήμα 5-35 Αποτελέσματα *Experimenter* για utilization εξοπλισμού ανά περίπτωση με προσθήκη δεύτερης ετικετέζας

Όπως φαίνεται στον επόμενο πίνακα, που συγκεντρώνει πιο συνοπτικά τα παραπάνω στοιχεία, οι ελάχιστες, μέσες και μέγιστες τιμές utilization του εξοπλισμού έχουν μειωθεί σε σχέση με τις αρχικές. Το γεγονός αυτό ερμηνεύεται με τον ίδιο τρόπο με τον οποίο ερμηνεύτηκε και στο προηγούμενο σενάριο.

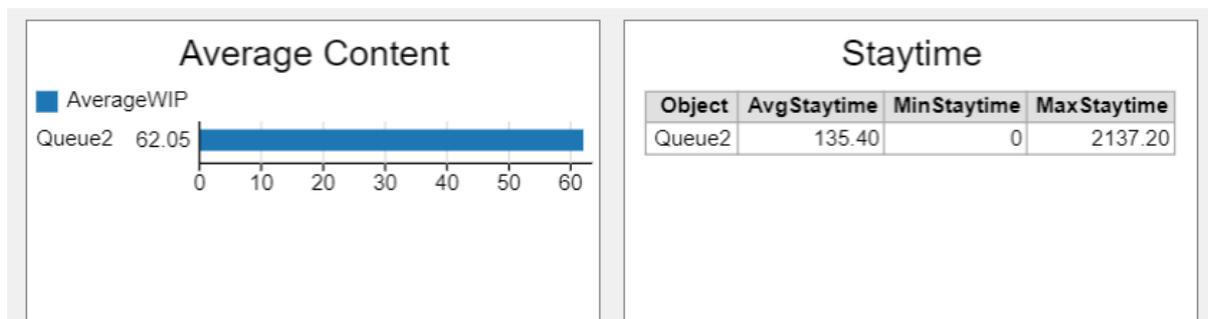
Στο σενάριο αυτό οι μηχανές έχουν αυξηθεί κατά μία, την δεύτερη ετικετέζα, η οποία μοιράζεται τον διαθέσιμο χρόνο αξιοποίησης με την πρώτη ετικετέζα. Επομένως, είναι λογικό να παρατηρείται μείωση στο ποσοστό αξιοποίησης του συνόλου του εξοπλισμού.

Η απόδοση της γραμμής δεν αλλάζει σημαντικά, παρ' όλα αυτά παρουσιάζεται μια μικρή βελτίωση. Η βελτίωση αυτή κρίνεται ότι οφείλεται στο γεγονός πως με τη χρήση δεύτερης ετικετέζας αξιοποιείται πιο σωστά σαν buffer κυτίων η κόκκινη ταινία μετά τις ετικετέζες. Δηλαδή, όσο λειτουργούν δύο ετικετέζες, δεν διακόπτεται η τροφοδοσία κυτίων στα επόμενα στάδια λόγω ανατροφοδοσίας ετικετών, κάποιας βλάβης της ετικετέζας ή άλλου λόγου. Επομένως, ενώ την δυναμικότητα θέτουν τα στάδια του wrap-around και του φούρνου, τελικά η προσθήκη δεύτερης ετικετέζας εξυπηρετεί στην ομαλότερη λειτουργία της γραμμής.

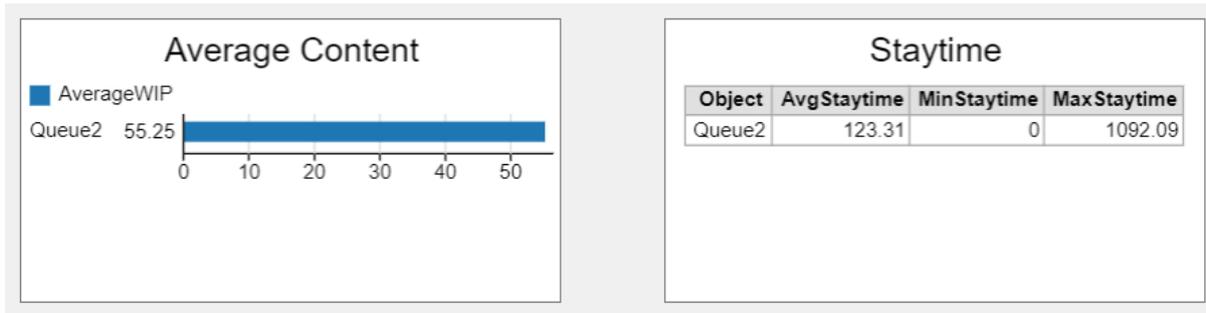
Πίνακας 5-13 Ελάχιστη - Μέση - Μέγιστη τιμή utilization εξοπλισμού ανά περίπτωση με προσθήκη δεύτερης ετικετζας

Περίπτωση	Υφιστάμενη ελάχιστη τιμή	Νέα ελάχιστη τιμή	Υφιστάμενη μέση τιμή	Νέα μέση τιμή	Υφιστάμενη μέγιστη τιμή	Νέα μέγιστη τιμή
2,5kg χαρτόδισκος (scenario 1)	64%	53%	68%	57%	72%	60%
2,5kg χαρτοκιβώτιο (scenario 2)	55%	46%	58%	49%	61%	51%
5kg χαρτόδισκος τετράδα (scenario 3)	64%	53%	69%	56%	73%	59%
5kg χαρτόδισκος εξάδα (scenario 4)	63%	53%	68%	57%	72%	60%
5kg χαρτοκιβώτιο (scenario 5)	54%	46%	58%	49%	61%	51%

Στη συνέχεια παρατίθενται διαγράμματα που αφορούν την κόκκινη ταινία που λειτουργεί σαν buffer κυτίων μεταξύ ετικετζας και wrap-around για την υφιστάμενη κατάσταση αλλά και το σενάριο με την προσθήκη δεύτερης ετικετζας. Όπως φαίνεται σε αυτά, με την προσθήκη δεύτερης ετικετζας στον χώρο μειώνεται το μέσο περιεχόμενο της ταινίας από 62 κυτία σε 55, καθώς και ο μέσος χρόνος παραμονής κάθε κυτίου στην ταινία αυτή από 135 δευτερόλεπτα σε 123. Τα διαγράμματα που παρουσιάζονται αφορούν ενδεικτικά την περίπτωση με δυομισόκιλες κονσέρβες που συσκευάζονται σε χαρτόδισκους.



Σχήμα 5-36 Μέσο περιεχόμενο και μέσος χρόνος παραμονής σε buffer σε υφιστάμενη κατάσταση

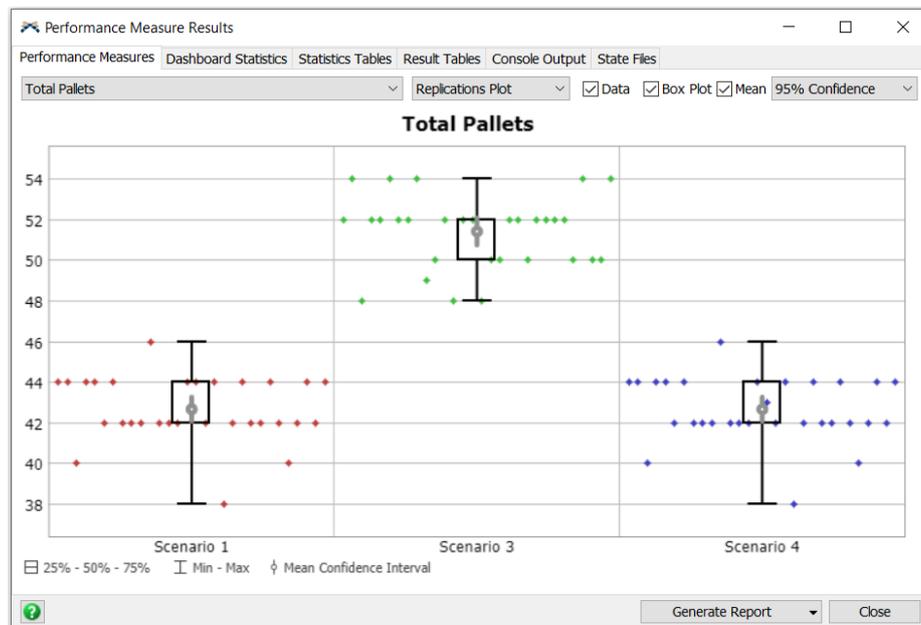


Σχήμα 5-37 Μέσο περιεχόμενο και μέσος χρόνος παραμονής σε buffer με προσθήκη δεύτερης ετικετζας

### 5.6 Τρίτο υπό εξέταση σενάριο

Στο σενάριο αυτό αποτυπώνεται η κατάσταση της λειτουργίας της γραμμής συσκευασίας ως αποτέλεσμα συνδυασμού των δύο προηγούμενων σεναρίων. Δηλαδή, προσομοιώνεται η λειτουργία της γραμμής με προσθήκη δεύτερης ετικετζας αλλά και αντικατάσταση του φούρνου με τον νέο. Το σενάριο αυτό, όπως και το πρώτο πειραματικό με την αντικατάσταση του φούρνου, αφορά μόνο τις περιπτώσεις όπου διακινούνται χαρτόδισκοι εντός της γραμμής. Αυτό συμβαίνει διότι είναι μόνο σε αυτές τις τρεις περιπτώσεις που διαφοροποιούνται παράμετροι σε σχέση με το αμέσως προηγούμενο σενάριο, δηλαδή αυτό με την προσθήκη δεύτερης ετικετζας.

Στη συνέχεια ακολουθούν τα διαγράμματα με το σύνολο των παλετών και το ποσοστό utilization του εξοπλισμού για κάθε μία από τις τρεις αυτές περιπτώσεις.

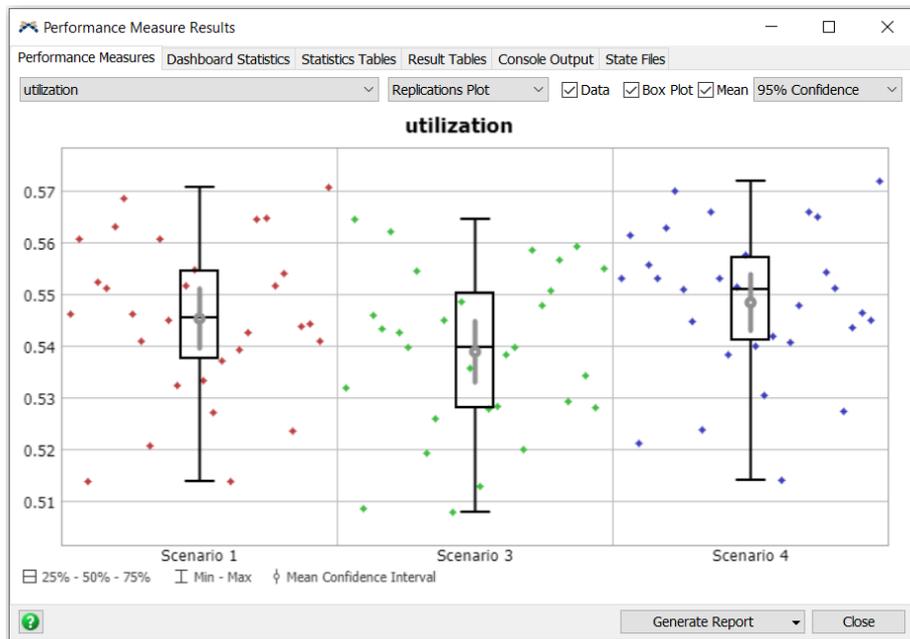


Σχήμα 5-38 Αποτελέσματα Experimenter για σύνολο παλετών ανά περίπτωση σε συνδυασμό σεναρίων

Πίνακας 5-14 Ελάχιστη - Μέση - Μέγιστη τιμή κυτίων ανά περίπτωση σε συνδυασμό σεναρίων

Περίπτωση	Υφιστάμενη ελάχιστη τιμή	Νέα ελάχιστη τιμή	Υφιστάμενη μέση τιμή	Νέα μέση τιμή	Υφιστάμενη μέγιστη τιμή	Νέα μέγιστη τιμή
2,5kg χαρτόδισκος (scenario 1)	11.400	11.400	12.500	12.810	13.200	13.800
5kg χαρτόδισκος τετράδα (scenario 3)	9.600	9.600	10.200	10.280	10.800	11.000
5kg χαρτόδισκος εξάδα (scenario 4)	11.400	11.400	12.600	12.780	13.200	13.800

Στη συνέχεια ακολουθούν τα διαγράμματα με το ποσοστό αξιοποίησης του συνόλου του εξοπλισμού για το παρόν σενάριο, δηλαδή τον συνδυασμό του σεναρίου αντικατάστασης του φούρνου και του σεναρίου προσθήκης δεύτερης ετικετζας.



Σχήμα 5-39 Αποτελέσματα Experimenter για utilization εξοπλισμού ανά περίπτωση σε συνδυασμό σεναρίων

Πίνακας 5-15 Ελάχιστη - Μέση - Μέγιστη τιμή utilization εξοπλισμού ανά περίπτωση σε συνδυασμό σεναρίων

Περίπτωση	Υφιστάμενη ελάχιστη τιμή	Νέα ελάχιστη τιμή	Υφιστάμενη μέση τιμή	Νέα μέση τιμή	Υφιστάμενη μέγιστη τιμή	Νέα μέγιστη τιμή
2,5kg χαρτόδισκος (scenario 1)	64%	51%	68%	55%	72%	57%
5kg χαρτόδισκος τετράδα (scenario 3)	64%	50%	69%	54%	73%	56%
5kg χαρτόδισκος εξάδα (scenario 4)	63%	51%	68%	55%	72%	57%

## 6. Συμπεράσματα

Ο στόχος της παρούσας εργασίας ήταν διπλός. Από την μία επιχείρησε να επιλύσει το πρόβλημα που παρουσιάστηκε σε μία επιχείρηση, αναδεικνύοντας αδυναμίες και προτείνοντας βελτιώσεις σε πραγματικές συνθήκες. Από τη άλλη επιχείρησε να αναδείξει την αξία της προσομοίωσης ως εργαλείο στις σύγχρονες βιομηχανίες.

Στο προηγούμενο κεφάλαιο αναλύθηκαν τέσσερα διαφορετικά σενάρια για την γραμμή συσκευασίας που μελετάται. Το πρώτο από αυτά αφορά την υφιστάμενη κατάσταση και λειτουργία της γραμμής, ενώ τα επόμενα τρία εξετάζουν προτάσεις που ενδέχεται να βελτιώσουν την ως έχει κατάσταση. Στα τρία αυτά σενάρια, οι αλλαγές που εξετάζονται αφορούν εξοπλισμό που ανήκει στην επιχείρηση και μπορεί σχετικά άμεσα να προσαρμοστεί στην λειτουργία της γραμμής.

Η ανάλυση που ακολουθεί, καθίσταται δυνατή μετά από την μελέτη που προηγήθηκε σχετικά με τον ορισμό της πραγματικής δυναμικότητας της γραμμής.

Τα αποτελέσματα του σεναρίου της υφιστάμενης κατάστασης επιβεβαίωσαν ότι το μοντέλο αναπαριστά ικανοποιητικά το πραγματικό σύστημα, καθώς συγκρίθηκαν με αντίστοιχα πραγματικά δεδομένα και είχαν μία μικρή μόνο απόκλιση. Η μοντελοποίηση ενός τέτοιου συστήματος δεν μπορεί να αναπαραστήσει πιστά το πραγματικό σύστημα καθώς υπάρχουν πολλοί παράγοντες που είναι αδύνατο να ποσοτικοποιηθούν και εισαχθούν στο πρόγραμμα σαν δεδομένα. Το γεγονός δε ότι η γραμμή αποτελεί σύνθεση κομματιών διαφορετικών γραμμών, αλλά και το ότι κάποια από αυτά τα κομμάτια αξιοποιούνται ήδη πολλά χρόνια, προσθέτει στις άγνωστες μεταβλητές την τυχαιότητα στη συχνότητα εμφάνισης αστοχιών, η οποία οδηγεί σε απρόσμενες καθυστερήσεις.

### 6.1 Ανάλυση αποτελεσμάτων

Η ανάλυση που ακολουθεί αφορά τα τρία πειραματικά σενάρια που εξετάστηκαν, συγκρινόμενα με το σενάριο της υφιστάμενης κατάστασης αλλά και μεταξύ τους. Για την ανάλυση γίνεται η παραδοχή ότι κάθε μία από τις πέντε περιπτώσεις συσκευασίας καταλαμβάνει τον ίδιο χρόνο στην γραμμή. Δηλαδή, κάθε περίπτωση εκτελείται μία φορά την εβδομάδα, με αποτέλεσμα στις πέντε εργάσιμες ημέρες της εβδομάδας κάθε περίπτωση να εκτελείται μία ημέρα.

Σε ότι αφορά το πρώτο σενάριο που εξετάζεται, δηλαδή την αντικατάσταση του υπάρχοντος φούρνου με άλλον, διαφορά στην απόδοση της γραμμής παρατηρείται μόνο στις τρεις από τις πέντε περιπτώσεις και μάλιστα όχι σημαντική. Σε επίπεδο εβδομάδας συσκευάζονται κατά μέσο όρο 450 περισσότερα κυτία, δηλαδή μιάμιση παλέτα. Παρ' όλα αυτά, με την εγκατάσταση του νέου φούρνου η δυναμικότητα εξαρτάται πλέον στον μεγαλύτερο βαθμό της από το στάδιο του wrap-around και ο φούρνος επιτρέπει δυνητικά πολύ μεγαλύτερη εκροή τελικών προϊόντων από την υπάρχουσα. Αυτό φαίνεται και στη μείωση του ποσοστού utilization του συνόλου του εξοπλισμού.

Αναφορικά με το δεύτερο υπό εξέταση σενάριο, δηλαδή την προσθήκη μίας ακόμα παρεμφερούς ετικετέζας, παρουσιάζεται βελτίωση στην απόδοση της γραμμής για όλες τις περιπτώσεις, αλλού μεγαλύτερη και αλλού μικρότερη. Αθροιστικά η γραμμή παρουσιάζει βελτίωση της τάξης των 800 κυτίων σε διάστημα μίας εβδομάδας, δηλαδή κάτι παραπάνω από δύο ολόκληρες παλέτες. Όπως αποδεικνύεται, η προσθήκη μίας ακόμα ετικετέζας επιτρέπει μία πιο ομαλή λειτουργία της γραμμής καθώς εξαλείφονται προβλήματα τροφοδοσίας σε επόμενα στάδια λόγω καθυστερήσεων στην ετικετέζα. Δηλαδή, κατά το διάστημα στο οποίο γίνεται ανατροφοδοσία ετικετών σε μία ετικετέζα ή επιδιορθώνεται μία

βλάβη, η δεύτερη επιτρέπει την κανονική λειτουργία της γραμμής χωρίς να προκύπτουν καθυστερήσεις. Παρ' όλα αυτά, η προσθήκη της ετικετέζας δεν φαίνεται να μπορεί να αυξήσει σημαντικά την δυναμικότητα της γραμμής, δεδομένου ότι το wrap-around, ο φούρνος και τέλος το ντεπάλ, την περιορίζουν σε πολύ μεγαλύτερο βαθμό.

Σχετικά με το τρίτο σενάριο, το οποίο αποτελεί συνδυασμό των δύο προηγούμενων, δηλαδή γραμμή συσκευασίας με δύο ετικετέζες και νέο φούρνο, παρατηρείται αύξηση 820 κυτίων κατά μέσο όρο σε διάστημα εβδομάδας. Ο αριθμός αυτός προκύπτει ως το άθροισμα των τριών περιπτώσεων χαρτόδισκου για το σενάριο που αναφέρεται και των δύο περιπτώσεων χαρτοκιβωτίων του προηγούμενου σεναρίου. Η βελτίωση στην απόδοση είναι πολύ μικρή σε σχέση με αυτή του προηγούμενου σεναρίου, γεγονός που υποδηλώνει ότι ο συνδυασμός των δύο αλλαγών δεν επιφέρει και αθροιστική αύξηση απόδοσης.

## 6.2 Προτάσεις/εισηγήσεις

Προκειμένου να διατυπωθούν προτάσεις προς το συμφέρον της επιχείρησης και την βελτίωση της λειτουργίας της γραμμής συσκευασίας, είναι σημαντικό να ληφθούν όλοι οι καίριοι παράγοντες υπόψη. Από την παραπάνω ανάλυση προκύπτει ότι όλα τα σενάρια μπορούν να βελτιώσουν τη λειτουργία της γραμμής αλλά η προσθήκη ετικετέζας θα επιφέρει άμεσα μεγαλύτερη βελτίωση από την αντικατάσταση του φούρνου.

Πέρα όμως από την απόδοση, είναι σημαντικό να αναφερθεί ότι με την προσθήκη ετικετέζας μειώνεται ο διαθέσιμος χώρος, αυξάνονται τα μηχανήματα που απαιτούν συντήρηση, αυξάνονται τα μηχανήματα στα οποία πρέπει να επεμβαίνουν οι χειριστές, ενώ ακόμα απαιτούνται νέα έργα για μηχανολογικές και ηλεκτρολογικές εγκαταστάσεις/προσαρμογές. Από την άλλη, η αντικατάσταση του φούρνου αποτελεί πιο απλή διαδικασία καθώς η χωροταξία παραμένει σταθερή, ενώ ταυτόχρονα δεν επιφέρει κάποια αλλαγή στον φόρτο εργασίας των χειριστών.

Συμυπολογίζοντας όλα τα παραπάνω και αγνοώντας οικονομικούς παράγοντες, κρίνεται λογικό να δοθεί προτεραιότητα στην άμεση αντικατάσταση του φούρνου, αν αποτελεί πρωταρχικό στόχο η αύξηση της δυναμικότητας. Η δυναμικότητα της γραμμής επηρεάζεται κυρίως από τον φούρνο και το wrap-around, όχι την ετικετέζα. Κινήσεις στην κατεύθυνση της αύξησης της δυναμικότητας θα πρέπει σε πρώτο στάδιο να αφορούν αυτά τα δύο μηχανήματα. Αντιθέτως, αν στόχο αποτελεί μία πιο σωστή λειτουργία γραμμής, τότε η προσθήκη της δεύτερης ετικετέζας είναι μία αξιόπιστη και προσιτή λύση. Διαφορετικά αποτελεί πολυτέλεια και επιλογή που εξυπηρετεί περισσότερο το βραχυπρόθεσμο μέλλον.

## 6.3 Αποτίμηση προσωπικής εμπειρίας

Κατά την εκπόνηση της παρούσας διπλωματικής εργασίας αποκόμισα πολλές εμπειρίες που θα μου φανούν χρήσιμες τόσο στο ξεκίνημα της επαγγελματικής μου σταδιοδρομίας, όσο και στη ζωή μου γενικότερα.

Αρχικά, καταπιάστηκα και ολοκλήρωσα μία μελέτη αξιοποιώντας πολλές από τις γνώσεις που έλαβα κατά τη διάρκεια των σπουδών μου. Μέσα από τη συγκεκριμένη διπλωματική μου δόθηκε η ευκαιρία να γνωρίσω την μέθοδο της προσομοίωσης και να αντιληφθώ την αξία της στη σύγχρονη βιομηχανία. Ιδιαίτερως χρήσιμες θα φανούν οι γνώσεις που έλαβα από την ενασχόλησή μου με το FlexSim, ένα λογισμικό που μπορεί να αξιοποιηθεί σε αμέτρητες εφαρμογές, όμοιες αυτής που πραγματεύεται η εργασία.

Εξίσου σημαντικό εφόδιο αποτελεί το γεγονός πως κατά την εκπόνηση της διπλωματικής εργασίας, όντας εργαζόμενος στην επιχείρηση, διαπίστωσα την αξία του σεβασμού και της διάθεσης για συνεργασία ανάμεσα στους συναδέλφους. Η λήψη των φωτογραφιών, η βιντεοσκόπηση της λειτουργίας των μηχανημάτων και οι χρονομετρήσεις των διαφόρων σταδίων με βοήθησαν να συγκεντρώσω και να αποτυπώσω με τον καλύτερο δυνατό τρόπο τα απαραίτητα στοιχεία, έχοντας την αμέριστη βοήθεια και συγκατάθεση των συναδέλφων μου.

## Κατάλογος αναφορών

- Andijani, A., & Duffuaa, S. (2002). Critical evaluation of simulation studies in maintenance systems. *Production Planning & Control*, 13(4), 336-341.
- Barosz, P., Gołda, G., & Kampa, A. (2020). Efficiency analysis of manufacturing line with Industrial robots and human operators. *Applied Sciences*, 10(8), 2862.
- Bednall, T. (2020, March 25). *Maximising efficiency using discrete event simulation*. PlastikMedia. Retrieved January 13, 2023, from <https://www.plastikmedia.co.uk/maximising-efficiency-using-discrete-event-simulation/>
- Binsztok, A., Butryn, B., Hołowińska, K., Owoc, M. L., & Sobińska, M. (2022). Business computer simulation supporting competencies. Potential areas of application and barriers. *Procedia Computer Science*, 207, 3875-3883.
- Bogner, E., Voelklein, T., Schroedel, O., & Franke, J. (2016). Study based analysis on the current digitalization degree in the manufacturing industry in Germany. *Procedia Cirp*, 57, 14-19.
- Chan, A. P., & Chan, A. P. (2004). Key performance indicators for measuring construction success. *Benchmarking: an international journal*.
- de Paula Ferreira, W., Armellini, F., & De Santa-Eulalia, L. A. (2020). Simulation in industry 4.0: A state-of-the-art review. *Computers & Industrial Engineering*, 149, 106868.
- Dobra, P., & Jósваи, J. (2022). Assembly Line Overall Equipment Effectiveness (OEE) Prediction from Human Estimation to Supervised Machine Learning. *Journal of Manufacturing and Materials Processing*, 6(3), 59.
- Gabryelewicz, I., Krupa, P., & Sadłowska-Wrzesińska, J. (2015). IT tool for aiding assessment of safety culture level in an organization. In *Applied Mechanics and Materials* (Vol. 795, pp. 77-83). Trans Tech Publications Ltd.
- Gejo-García, J., Reschke, J., Gallego-García, S., & García-García, M. (2022). Development of a System Dynamics Simulation for Assessing Manufacturing Systems Based on the Digital Twin Concept. *Applied Sciences*, 12(4), 2095.
- Hutabarat, W., Oyekan, J., Turner, C., Tiwari, A., Prajapat, N., Gan, X. P., & Waller, A. (2016, December). Combining virtual reality enabled simulation with 3D scanning technologies towards smart manufacturing. In *2016 winter simulation conference (WSC)* (pp. 2774-2785). IEEE.
- Jasiulewicz-Kaczmarek, M., & Bartkowiak, T. (2016, August). Improving the performance of a filling line based on simulation. In *IOP Conference Series: Materials Science and Engineering* (Vol. 145, No. 4, p. 042024). IOP Publishing.
- Jeong, D. Y., Baek, M. S., Lim, T. B., Kim, Y. W., Kim, S. H., Lee, Y. T., ... & Lee, I. B. (2022). Digital Twin: Technology Evolution Stages and Implementation Layers with Technology Elements. *IEEE Access*.
- Joppen, R., von Enzberg, S., Gundlach, J., Kühn, A., & Dumitrescu, R. (2019). Key performance indicators in the production of the future. *Procedia CIRP*, 81, 759-764.

- Kellner, T., Kyncl, J., Pitrmuc, Z., Beranek, L., Kanak, M., & Kyncl, M. (2019). Production process planning in additive manufacturing and conventional machining technology manufacturing system. *Manufacturing technology*, 19(2), 232-237.
- Krenczyk, D., Kempa, W. M., Kalinowski, K., Grabowik, C., & Paprocka, I. (2018, August). Integration of manufacturing operations management tools and discrete event simulation. In *IOP Conference Series: Materials Science and Engineering* (Vol. 400, No. 2, p. 022037). IOP Publishing.
- Li, L., Chang, Q., & Ni, J. (2009). Data driven bottleneck detection of manufacturing systems. *International Journal of production research*, 47(18), 5019-5036.
- Luściński, S., & Ivanov, V. (2020). A simulation study of industry 4.0 factories based on the ontology on flexibility with using FlexSim® software. *Management and Production Engineering Review*, 11.
- Malega, P., Gazda, V., & Rudy, V. (2022). Optimization of production system in plant simulation. *Simulation*, 98(4), 295-306.
- Martínez-Gutiérrez, A., Díez-González, J., Ferrero-Guillén, R., Verde, P., Álvarez, R., & Perez, H. (2021). Digital twin for automatic transportation in industry 4.0. *Sensors*, 21(10), 3344.
- Maté, A., Trujillo, J., & Mylopoulos, J. (2017). Specification and derivation of key performance indicators for business analytics: A semantic approach. *Data & Knowledge Engineering*, 108, 30-49.
- Mohammed, W. M., Haber, R. E., & Martinez Lastra, J. L. (2022). Ontology-Driven Guidelines for Architecting Digital Twins in Factory Automation Applications. *Machines*, 10(10), 861.
- Mosimtec. (2021, September 30). *4 definitive discrete event simulation examples*. MOSIMTEC. Retrieved January 13, 2023, from <https://mosimtec.com/discrete-event-simulation-examples/>
- Natanael, D., & Sutanto, H. (2022). Machine Learning Application Using Cost-Effective Components for Predictive Maintenance in Industry: A Tube Filling Machine Case Study. *Journal of Manufacturing and Materials Processing*, 6(5), 108.
- Oyekan, J., Hutabarat, W., Turner, C., Tiwari, A., Prajapat, N., Ince, N., ... & Waller, T. (2015). A 3D immersive Discrete Event Simulator for enabling prototyping of factory layouts. *Procedia CIRP*, 38, 63-67.
- Scheidegger, A. P. G., Pereira, T. F., de Oliveira, M. L. M., Banerjee, A., & Montevechi, J. A. B. (2018). An introductory guide for hybrid simulation modelers on the primary simulation methods in industrial engineering identified through a systematic review of the literature. *Computers & Industrial Engineering*, 124, 474-492.
- Skoogh, A., & Johansson, B. (2008, December). A methodology for input data management in discrete event simulation projects. In *2008 Winter Simulation Conference* (pp. 1727-1735). IEEE.
- Supsomboon, S., & Varodhomwathana, T. (2017). Robot and plant simulation for automotive part production process design: A case study. *International Journal of Simulation Modelling*, 16(4), 617-629.

Tumbajoy, L. M., Muñoz-Añasco, M., & Thiede, S. (2022). Enabling Industry 4.0 impact assessment with manufacturing system simulation: an OEE based methodology. *Procedia CIRP*, 107, 681-686.

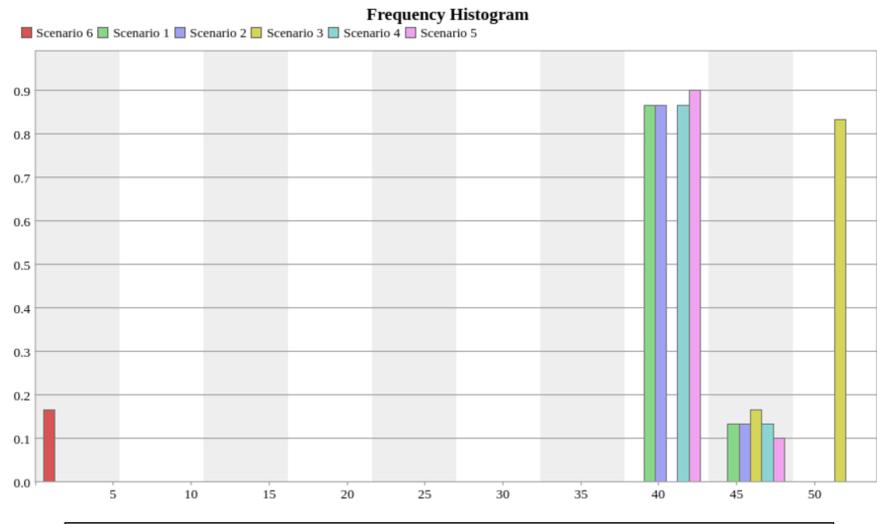
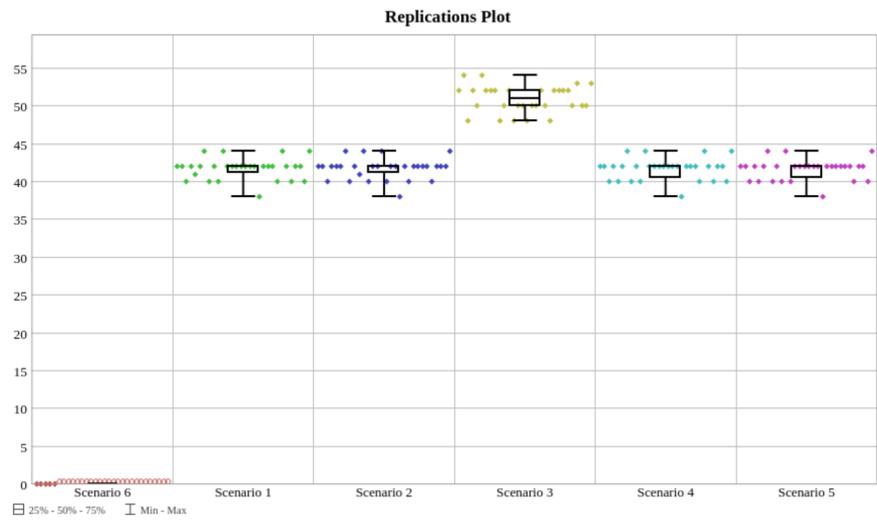
## Παράρτημα

# Experimentation Report

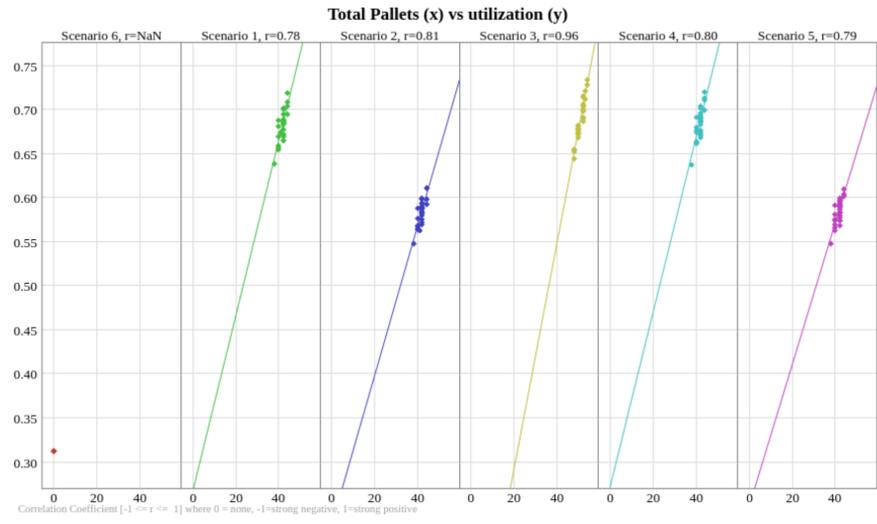
Number of Scenarios:	6
Number of Replications Per Scenario:	30

## Total Pallets

Summary				
	Mean (95% Confidence Interval)	Sample Std Dev	Min	Max
Scenario 6	0.000 ± N/A	0.000	0.000	0.000
Scenario 1	41.700 ± 0.511	1.368	38.000	44.000
Scenario 2	41.700 ± 0.511	1.368	38.000	44.000
Scenario 3	50.867 ± 0.663	1.776	48.000	54.000
Scenario 4	41.667 ± 0.522	1.398	38.000	44.000
Scenario 5	41.600 ± 0.496	1.329	38.000	44.000

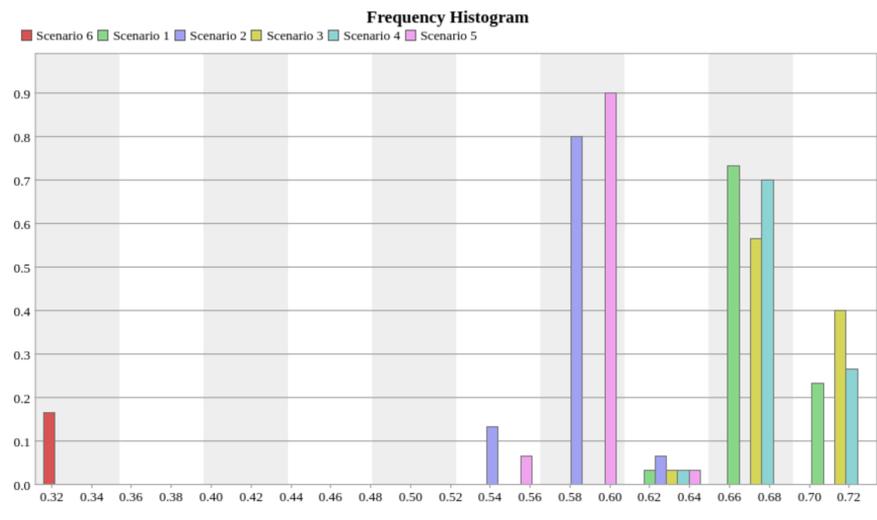
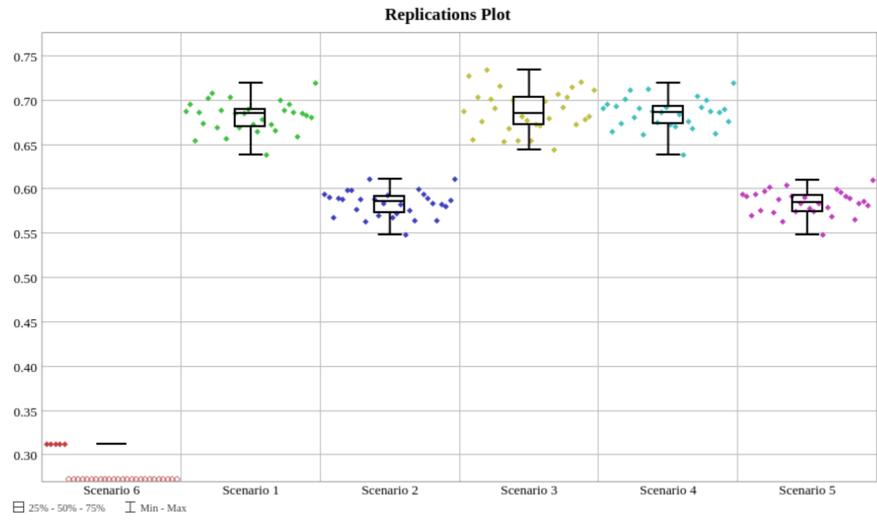


Raw Data																														
	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16	17	18	19	20	21	22	23	24	25	26	27	28	29	30
Scenario 6	0	0	0	0	0																									
Scenario 1	42	42	40	42	41	42	44	40	42	40	44	42	42	42	42	42	42	38	42	42	42	40	44	42	40	42	42	40	44	
Scenario 2	42	42	40	42	42	44	40	42	41	44	40	42	42	44	40	42	42	38	42	40	42	42	42	42	42	42	42	42	42	44
Scenario 3	52	54	48	52	50	54	52	52	48	50	52	48	50	50	48	50	50	52	50	48	52	52	52	50	53	50	50	50	53	
Scenario 4	42	42	40	42	40	42	44	40	42	40	44	42	42	42	42	42	38	42	42	42	40	44	42	40	42	42	42	40	44	
Scenario 5	42	42	40	42	40	42	44	40	42	40	44	40	42	42	42	42	38	42	42	42	42	42	42	42	40	42	42	40	44	



## utilization

Summary				
	Mean (95% Confidence Interval)	Sample Std Dev	Min	Max
Scenario 6	0.31185 ± N/A	0.00000	0.31185	0.31185
Scenario 1	0.68114 ± 0.00652	0.01745	0.63819	0.71905
Scenario 2	0.58304 ± 0.00537	0.01437	0.54808	0.61109
Scenario 3	0.68732 ± 0.00884	0.02367	0.64393	0.73392
Scenario 4	0.68440 ± 0.00645	0.01729	0.63760	0.71941
Scenario 5	0.58392 ± 0.00507	0.01357	0.54780	0.61004



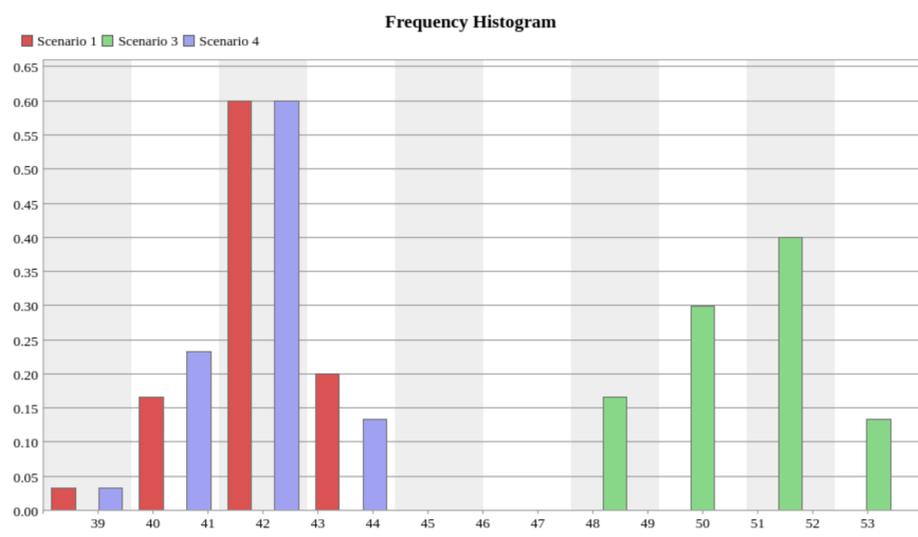
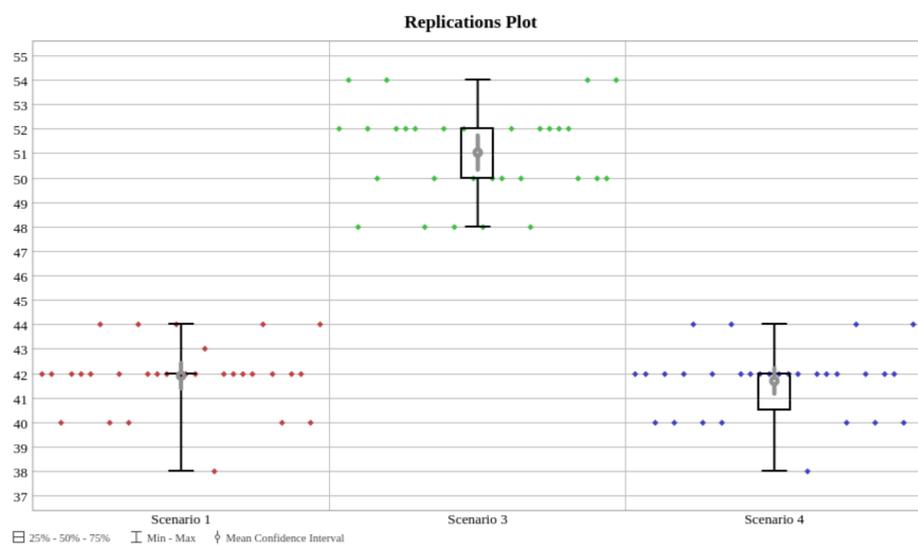
	1	2	3	4	5	6	7	8	9
Scenario 6	0.31185185185185194	0.31185185185185194	0.31185185185185194	0.31185185185185194	0.31185185185185194				
Scenario 1	0.6872945172826568	0.6946745364602848	0.6544528773324954	0.6859789009655634	0.6738062304127961	0.7017092473074119	0.7078496140861685	0.6691604523293886	0.68801847
Scenario 2	0.593143034621525	0.5902307026456284	0.5670790124840221	0.5888773830573397	0.5874227251848388	0.5976035928670463	0.5982201940398575	0.5764130559403396	0.58741112
Scenario 3	0.6868460003959598	0.7274422262787893	0.6547406589624633	0.7036280989800151	0.6754378638829348	0.7339174002754913	0.7007449854428123	0.690360385857097	0.71556641
Scenario 4	0.6905935833643666	0.6956899391588197	0.6638289869733033	0.6931512284236063	0.6735993953815308	0.700999004492122	0.7106921277743574	0.6799436424967773	0.69018972
Scenario 5	0.5933729161210678	0.5917006200033432	0.5691132784406149	0.5931212215802092	0.5748425726022164	0.5969726475824317	0.6014662708194601	0.5734258001049994	0.58846444

# Experimentation Report

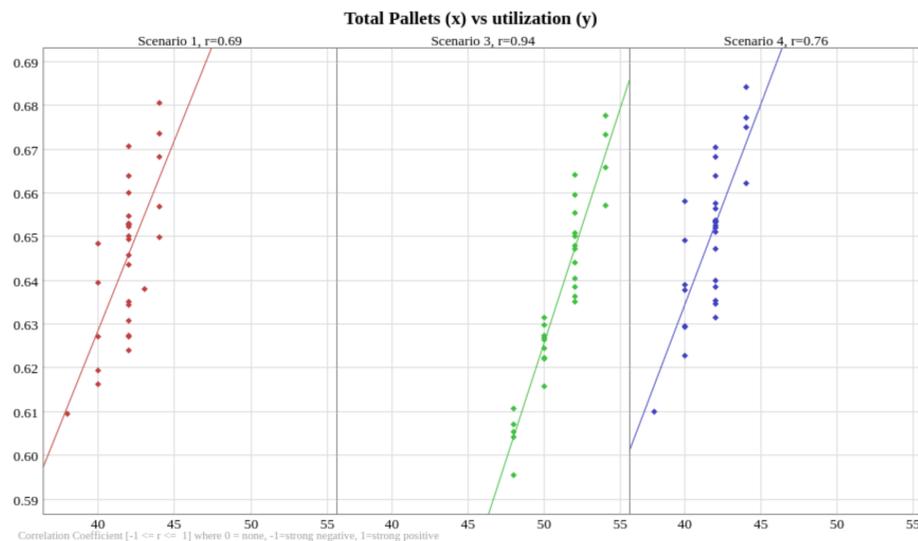
Number of Scenarios:	3
Number of Replications Per Scenario:	30

## Total Pallets

Summary				
	Mean (95% Confidence Interval)	Sample Std Dev	Min	Max
Scenario 1	41.900 ± 0.522	1.398	38.000	44.000
Scenario 3	51.000 ± 0.700	1.875	48.000	54.000
Scenario 4	41.667 ± 0.522	1.398	38.000	44.000

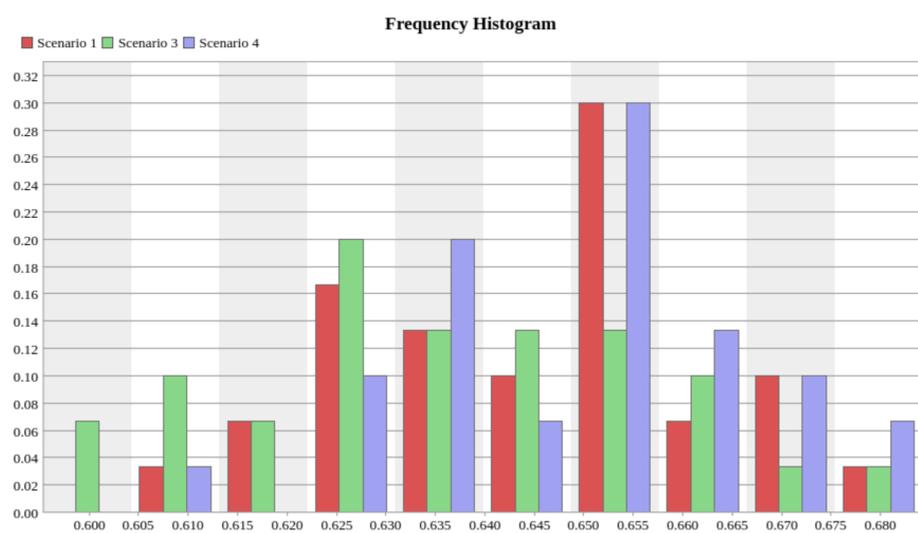
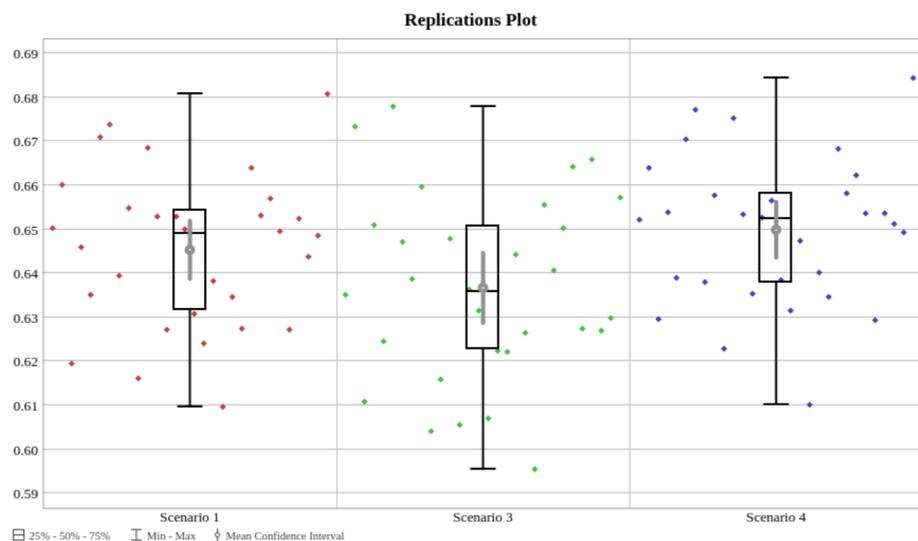


Raw Data																														
	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16	17	18	19	20	21	22	23	24	25	26	27	28	29	30
Scenario 1	42	42	40	42	42	42	44	40	42	40	44	42	42	42	44	42	42	43	38	42	42	42	42	44	42	40	42	42	40	44
Scenario 3	52	54	48	52	50	54	52	52	52	48	50	52	48	52	50	48	50	50	52	50	48	52	52	52	50	54	50	50	54	
Scenario 4	42	42	40	42	40	42	44	40	42	40	44	42	42	42	42	42	42	38	42	42	42	40	44	42	40	42	42	40	44	



## utilization

Summary				
	Mean (95% Confidence Interval)	Sample Std Dev	Min	Max
Scenario 1	0.64517 ± 0.00660	0.01767	0.60959	0.68063
Scenario 3	0.63639 ± 0.00799	0.02140	0.59538	0.67769
Scenario 4	0.64959 ± 0.00633	0.01696	0.60998	0.68425



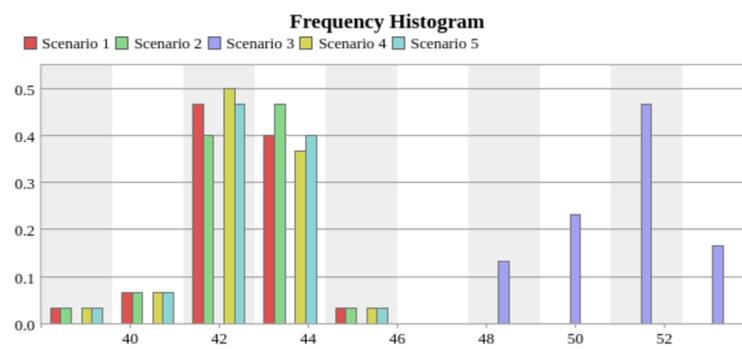
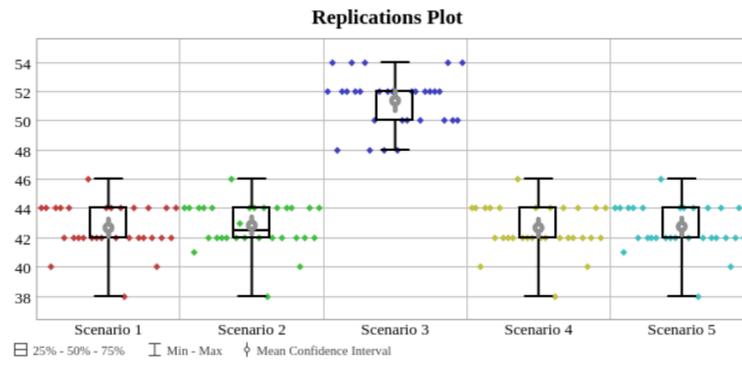
	1	2	3	4	5	6	7	8	9
Scenario 1	0.6500772011607869	0.6600152398757206	0.6193908857954958	0.6458189987824504	0.6350823889227076	0.6707009217237234	0.6735701511784408	0.6393368460448791	0.6547209895355
Scenario 3	0.6351139033251695	0.6732254633501035	0.610737995455891	0.6507861657114601	0.6245413592024388	0.6776897065811892	0.6470756696709055	0.6385501309070261	0.6596193259321
Scenario 4	0.6520171926544673	0.6637908803950407	0.6295039754399802	0.6537600283015962	0.6388825035840319	0.6703297183170109	0.6770537652357432	0.6378534036184211	0.6576871847997

# Experimentation Report

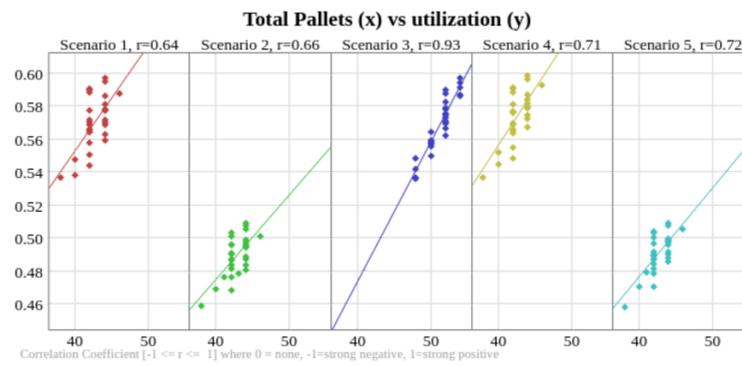
Number of Scenarios:	5
Number of Replications Per Scenario:	30

## Total Pallets

Summary				
	Mean (95% Confidence Interval)	Sample Std Dev	Min	Max
Scenario 1	42.667 ± 0.599	1.605	38.000	46.000
Scenario 2	42.800 ± 0.583	1.562	38.000	46.000
Scenario 3	51.333 ± 0.689	1.845	48.000	54.000
Scenario 4	42.600 ± 0.593	1.589	38.000	46.000
Scenario 5	42.700 ± 0.581	1.557	38.000	46.000

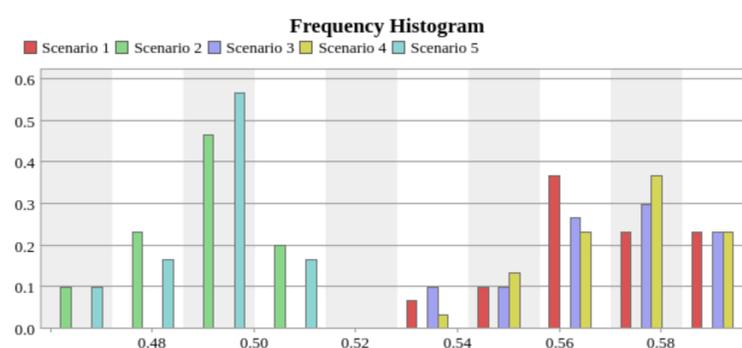
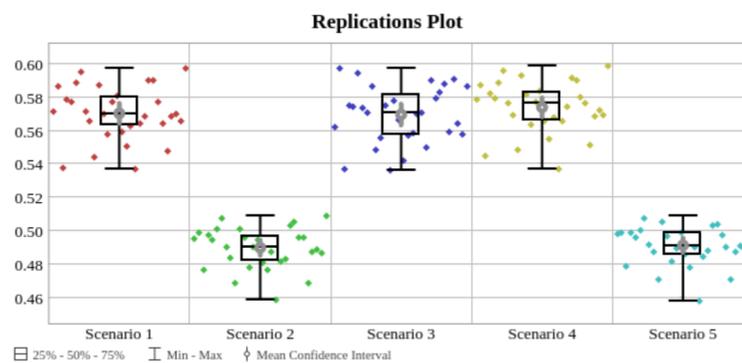


Raw Data																														
	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16	17	18	19	20	21	22	23	24	25	26	27	28	29	30
Scenario 1	44	44	40	44	44	42	44	42	42	42	46	42	42	42	44	44	42	44	38	42	44	42	42	44	42	40	42	44	42	44
Scenario 2	44	44	41	44	44	42	44	42	42	42	46	42	43	42	44	44	42	44	38	42	44	42	44	44	42	40	42	44	42	44
Scenario 3	52	54	48	52	54	52	52	54	48	50	52	48	52	48	50	50	52	52	50	52	52	52	52	52	52	50	54	50	50	54
Scenario 4	44	44	40	44	44	42	44	42	42	46	42	42	42	44	42	42	44	38	42	44	42	42	44	42	40	42	44	42	44	44
Scenario 5	44	44	41	44	44	42	44	42	42	46	42	42	42	44	44	42	44	38	42	44	42	42	44	42	40	42	44	42	44	44



## utilization

Summary				
	Mean (95% Confidence Interval)	Sample Std Dev	Min	Max
Scenario 1	0.56994 ± 0.00601	0.01609	0.53641	0.59678
Scenario 2	0.48924 ± 0.00453	0.01215	0.45855	0.50911
Scenario 3	0.56901 ± 0.00627	0.01681	0.53607	0.59682
Scenario 4	0.57358 ± 0.00572	0.01531	0.53672	0.59817
Scenario 5	0.49076 ± 0.00436	0.01168	0.45812	0.50909



	1	2	3	4	5	6	7	8	9
Scenario 1	0.5715396726534878	0.5860518940938804	0.5378165025531219	0.5781723439738404	0.5769643587769974	0.5884929530784803	0.5945817657638052	0.571531080841934	0.5655591583
Scenario 2	0.49494001111144314	0.4986274321207576	0.4763034380740075	0.4971055460945046	0.4942824855361253	0.5008134094551571	0.5072370373922784	0.49011655214362937	0.4836926994
Scenario 3	0.561721427492146	0.5968229757075292	0.5365056043259457	0.5751116121856221	0.5740204343347357	0.5940013529813749	0.5730912640914299	0.5703908512354036	0.5862310076
Scenario 4	0.5785183712883805	0.5869731946678215	0.544762947089503	0.5817461388110082	0.5788845918406293	0.5882054457682439	0.595998025503663	0.5763238616526106	0.5693391079
Scenario 5	0.4981757133335663	0.49864536574850254	0.47891387785848477	0.4988521776490919	0.4956324149040919	0.4997850897207289	0.5072649858032926	0.4916937731661319	0.4870252469