



ΠΑΝΕΠΙΣΤΗΜΙΟ ΘΕΣΣΑΛΙΑΣ
ΠΟΛΥΤΕΧΝΙΚΗ ΣΧΟΛΗ
ΤΜΗΜΑ ΜΗΧΑΝΟΛΟΓΩΝ ΜΗΧΑΝΙΚΩΝ

Μελέτη Περίπτωσης Επιχείρησης Παρασκευής Ζεστών Γευμάτων με Χρήση Προσομοίωσης

υπό
ΦΑΝΗ ΠΙΕΤΡΗ

Επιβλέπων Καθηγητής
Δρ. Στέλιος Κουκούμιαλος

Διπλωματική Εργασία

Υπεβλήθη για την εκπλήρωση μέρους των απαιτήσεων για
την απόκτηση του Διπλώματος Μηχανολόγου Μηχανικού

Βόλος, 2022



ΠΑΝΕΠΙΣΤΗΜΙΟ ΘΕΣΣΑΛΙΑΣ
ΠΟΛΥΤΕΧΝΙΚΗ ΣΧΟΛΗ
ΤΜΗΜΑ ΜΗΧΑΝΟΛΟΓΩΝ ΜΗΧΑΝΙΚΩΝ

Μελέτη Περίπτωσης Επιχείρησης Παρασκευής Ζεστών Γευμάτων με Χρήση Προσομοίωσης

υπό
ΦΑΝΗ ΠΙΕΤΡΗ

Επιβλέπων Καθηγητής
Δρ. Στέλιος Κουκούμιαλος

Διπλωματική Εργασία

Υπεβλήθη για την εκπλήρωση μέρους των απαιτήσεων για
την απόκτηση του Διπλώματος Μηχανολόγου Μηχανικού

Βόλος, 2022

© 2023 Φάνης Πιέτρης

Η έγκριση της διπλωματικής εργασίας από το Τμήμα Μηχανολόγων Μηχανικών της Πολυτεχνικής Σχολής του Πανεπιστημίου Θεσσαλίας δεν υποδηλώνει αποδοχή των απόψεων του συγγραφέα (Ν. 5343/32 αρ. 202 παρ. 2).

Εγκρίθηκε από τα Μέλη της Τριμελούς Εξεταστικής Επιτροπής:

Πρώτος Εξεταστής (Επιβλέπων)	Δρ. Στέλιο Κουκούμιαλο Αναπληρωτής Καθηγητής, Τμήμα Μηχανολόγων Μηχανικών, Πανεπιστήμιο Θεσσαλίας
Δεύτερος Εξεταστής	Δρ. Λυμπερόπουλο Γιώργο Καθηγητής, Τμήμα Μηχανολόγων Μηχανικών, Πανεπιστήμιο Θεσσαλίας
Τρίτος Εξεταστής	Δρ. Παντελής Δημήτριος Καθηγητής, Τμήμα Μηχανολόγων Μηχανικών, Πανεπιστήμιο Θεσσαλίας

Ευχαριστίες

Θα ήθελα να εκφράσω τις ειλικρινείς ευχαριστίες μου στον επιβλέποντα της διπλωματικής εργασίας μου, Δρ. Στέλιο Κουκούμιαλο, για την πολύτιμη βοήθεια και καθοδήγησή του κατά τη διάρκεια της υλοποίησης της εργασίας μου.

Επίσης, είμαι ευγνώμων στα υπόλοιπα μέλη της εξεταστικής επιτροπής της διπλωματικής εργασίας μου. Ευχαριστώ τους συναδέλφους μου για την πολύτιμη βοήθειά τους κατά τα έτη των σπουδών μου. Ευχαριστώ τους φίλους μου για την ηθική υποστήριξή τους. Τέλος, είμαι ευγνώμων στους γονείς μου για την ολόψυχη αγάπη και υποστήριξή τους όλα αυτά τα χρόνια.

Μελέτη Περίπτωσης Επιχείρησης Παρασκευής Ζεστών Γευμάτων με Χρήση Προσομοίωσης

ΦΑΝΗΣ ΠΙΕΤΡΗΣ

Τμήμα Μηχανολόγων Μηχανικών, Πανεπιστήμιο Θεσσαλίας, 2022

Επιβλέπων Καθηγητής: Δρ. Στέλιος Κουκούμιαλος,

Περίληψη

Η παρούσα διπλωματική εργασία ασχολείται με την δημιουργία ενός προσομοιωτικού μοντέλου που αναπαριστά μια εταιρεία που απασχολείται στον τομέα της παρασκευής ζεστών γευμάτων. Παρουσιάζονται επίσης, κάποιες βελτιωτικές εκδοχές με σκοπό την καλύτερη δυνατή λειτουργία της.

Αρχικά προσεγγίσαμε αναλυτικά την Προσομοίωση, καθώς όντας νέα επιστήμη δεν είναι γνωστή σαν αντικείμενο στο ευρύ κοινό. Δίνεται επίσης ένας κοινά αποδεκτός ορισμός, αναλύοντας τα πλεονεκτήματα, τα μειονεκτήματά καθώς και τις βασικές έννοιες που μπορούν να υπάρξουν κατά τη δημιουργία ενός μοντέλου. Αναλύεται επίσης το πρόγραμμα που επιλέχθηκε (Arena) για την προσομοίωση παρουσιάζοντας το βασικό περιβάλλον λειτουργίας του καθώς και τα μενού από όπου χρησιμοποιούνται τα απαραίτητα εργαλεία για τη δημιουργία ενός εικονικού αντιγράφου της προτεινόμενης από το θέμα επιχείρησης.

Στο κύριο κομμάτι της διπλωματικής εργασίας ασχολούμαστε με την δημιουργία του προσομοιωτικού μοντέλου. Αυτό χωρίστηκε σε επιμέρους τμήματα. Την είσοδο των δεδομένων από αντιπροσωπευτικό δείγμα παραγγελιών, τον έλεγχο των γευμάτων, την προσθήκη επιπρόσθετου εξοπλισμού και εργαζόμενων. Αφού δημιουργήσαμε και τρέξαμε το μοντέλο πήραμε τους δείκτες που μας ενδιέφεραν.

Στη συνέχεια δημιουργήσαμε κάποια εναλλακτικά σενάρια ώστε να έχουμε εύρυθμη ροή εξυπηρέτησης των παραγγελιών και των χρόνων παρασκευής. Στη συνέχεια αναλύθηκαν

τα αποτελέσματα ώστε να καταλήξουμε στο βέλτιστο σενάριο το οποίο θα αποτελεί και την τελική μας πρόταση για τη δομή της βελτίωσης της επιχείρησης.

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

Λέξεις-κλειδιά: επιχειρησιακή έρευνα, ανάλυση συστήματος, προσομοίωση, arena

Case Study of a Hot Meal Preparation Business Using Simulation

FANIS PIETRIS

Department of Mechanical Engineering, University of Thessaly, 2022

Supervisor: Dr. Stelios Koukounialos

Abstract

This thesis deals with the creation of a simulation model that represents a company engaged in the field of preparing hot meals. Some improvement versions are also presented in order to make it work better.

Initially we approached Simulation in detail, as being a new science it is not known as a subject to the general public. A commonly accepted definition is also given, analyzing the advantages, disadvantages as well as the key concepts that can exist when creating a model. The program chosen (Arena) for the simulation is also analyzed, presenting its basic operating environment as well as the menus from which the necessary tools are used to create a virtual copy of the business proposed by the subject.

In the main part of the thesis we deal with the creation of the simulation model. This was divided into individual sections. Entering data from a representative sample of orders, checking meals, adding additional equipment and workers. After building and running the model we got the indicators we were interested in.

We then created some alternative scenarios so that we could have a smooth flow of order service and lead times. The results were then analyzed in order to arrive at the best scenario which will be our final proposal for the structure of the business improvement.

Finally, in order to clarify the answers to the initial questions, a summary and a comparative study of the results is made, while some perspectives are proposed for the further expansion of the work.

Key words: operational research, system analysis, simulation, arena

Πίνακας Περιεχομένων

Κεφάλαιο 1. ΕΙΣΑΓΩΓΗ	1
1.1 Γενικά	1
1.2 Υπολογιστική Προσομοίωση.....	2
1.2.1 Πλεονεκτήματα και Μειονεκτήματα της Προσομοίωσης με Υπολογιστή.....	4
1.2.2 Διαφορετικοί Τύποι Προσομοίωσης.....	5
1.2.3 Βασικές Έννοιες Προσομοίωσης.....	6
1.3 Επισκόπηση Μελέτης Προσομοίωσης.....	9
Κεφάλαιο 2. ΕΠΙΧΕΙΡΗΣΙΑΚΟ ΠΡΟΒΛΗΜΑ ΚΑΙ ΛΟΓΙΣΜΙΚΟ ARENA.....	10
2.1 Επιχειρησιακό πρόβλημα	10
2.1.1 Τμήμα προετοιμασίας και μαγειρέματος	11
2.1.2 Τμήμα πακεταρίσματος	12
2.1.3 Στόχοι της προσομοίωσης.....	12
2.2 Λογισμικό ARENA	13
2.2.1 Πρότυπο ARENA	14
2.2.2 Κινούμενα Σχέδια (Animation) στο ARENA	15
2.2.3 Ανάπτυξη μοντέλου διαγράμματος ροής ARENA	16
2.2.4 Ενσωμάτωση μέσω ActiveX, DAO και ODBC	16
2.2.5 Βασικό περιβάλλον.....	16
2.2.6 Αντικείμενα αποθήκευσης δεδομένων.....	20
2.2.7 Συλλογή δεδομένων μέσω της Ενότητας Στατιστικής.....	21
2.2.8 Συλλογή δεδομένων μέσω της Ενότητας Εγγραφής.....	23
2.2.9 Αναφορές προσομοίωσης και εξόδου στο Arena.....	25
Κεφάλαιο 3. ΣΥΛΛΟΓΗ ΔΕΔΟΜΕΝΩΝ ΚΑΙ ΠΡΟΣΟΜΟΙΩΤΙΚΟ ΜΟΝΤΕΛΟ	28
3.1 Συλλογή δεδομένων	28
3.1.1 Γενικά.....	28
3.1.2 Ιδιότητες της επιχείρησης και γενικό σύστημα	30
3.2 Δεδομένα εισόδου προσομοίωσης.....	31
3.3 Προσομοίωση εισαγωγής των υλικών και προετοιμασίας	34
3.4 Προσομοίωση του τμήματος μαγειρέματος.....	35
3.5 Προσομοίωση του τμήματος ομαδοποίησης και πακεταρίσματος	36
3.6 Συμπεράσματα	37
Κεφάλαιο 4. ΑΠΟΤΕΛΕΣΜΑΤΑ ΚΑΙ ΕΝΑΛΛΑΚΤΙΚΑ ΣΕΝΑΡΙΑ	39
4.1 Σενάριο βελτιστοποίησης του εξοπλισμού	Error! Bookmark not defined.
4.2 Αποτελέσματα	41
4.3 Σύντομη οικονομική αποτύπωση της παρέμβασης του εναλλακτικού σεναρίου	44
Κεφάλαιο 5. ΣΥΜΠΕΡΑΣΜΑΤΑ - ΠΡΟΤΑΣΕΙΣ	46
Βιβλιογραφία	47
ΠΑΡΑΡΤΗΜΑ.....	48

Κατάλογος Πινάκων

Πίνακας 3.1: Συνολικοί χρόνοι και χρόνοι αναμονής	37
Πίνακας 3.2: Τελικός πίνακας προσομοίωσης στο Arena και τελικά προϊόντα.....	38
Πίνακας 4.1: Συνολικοί χρόνοι και χρόνοι αναμονής	42
Πίνακας 4.2: Τελικός πίνακας προσομοίωσης στο Arena και τελικά προϊόντα.....	43

Κατάλογος Σχημάτων

Σχήμα 2.1: Γενική απεικόνιση της προτεινόμενης δομής του συστήματος	10
Σχήμα 2.2: Βασικό περιβάλλον Arena [2].....	18
Σχήμα 2.3: Τύποι στατιστικών που συλλέγονται από την Ενότητα «Εγγραφή» [3]	24
Σχήμα 3.1: Εισαγωγή των υλικών και προετοιμασία.....	35
Σχήμα 3.2: Μαγείρεμα των υλικών στο φούρνο και στο βραστήρα	36
Σχήμα 3.3: Πακετάρισμα μαγειρεμένων γευμάτων σε κουτιά	36
Σχήμα 4.1: Εναλλακτικό σενάριο προσομοίωσης στο Arena	40
Σχήμα 4.2: Μαγείρεμα των υλικών στο φούρνο και στο βραστήρα (εναλλακτικό σενάριο) ..	40
Σχήμα 4.3: Πακετάρισμα μαγειρεμένων γευμάτων σε κουτιά (εναλλακτικό σενάριο)	41

Κεφάλαιο 1. ΕΙΣΑΓΩΓΗ

Η παγκοσμιοποίηση των αγορών και ο παγκόσμιος ανταγωνισμός, αναγκάζει τις επιχειρήσεις να εφαρμόσουν νέες τεχνολογίες και να οργανωθούν χρησιμοποιώντας νέες έννοιες προκειμένου να διατηρήσουν την ανταγωνιστικότητά τους.

Η επιχείρηση που δε μπορεί να αναπτυχθεί αναγκάζεται να εξαφανιστεί, αφού δε συμμορφώνεται με τις απαιτήσεις της παγκόσμιας αγοράς. Μια επιχείρηση λοιπόν πρέπει να είναι σε θέση να αναπτύσσεται κατάλληλα, ώστε να συμβαδίζει αντίστοιχα με τις απαιτήσεις της εποχής. Για να επιτευχθεί αυτή η ανάπτυξη θα πρέπει πολλές φορές να επενδυθούν χρήματα σε εξοπλισμό, ή προσωπικό προκειμένου να αυξηθεί η παραγωγή και τελικά το κέρδος της επιχείρησης. Για να επιτευχθεί αυτό υπάρχουν τα αντίστοιχα μοντέλα προσομοιώσεων τα οποία είναι ικανά να βοηθήσουν στην πιθανή εκτίμηση της τελικής παραγωγής.

1.1 Γενικά

Η προσομοίωση αποσκοπεί στη μοντελοποίηση πραγματικών ή υποθετικών καταστάσεων με σκοπό τη μελέτη της λειτουργίας ενός συστήματος, συνήθως μέσω λογισμικού. Η προσομοίωση υπολογιστή αναφέρεται στην προσομοίωση συστημάτων, που μπορεί να είναι διαδικασίες είτε πραγματικές είτε προγραμματισμένες. Παραδείγματα συστημάτων περιλαμβάνουν δίκτυα διανομής, σούπερ μάρκετ και εργοστάσια παραγωγής. Η προσομοίωση χρησιμοποιείται όταν δεν είναι δυνατή η πείραμα με το πραγματικό σύστημα, λόγω δυσκολίας, δαπανηρότητας ή αδυναμίας παραγωγής πειραματικής διάταξης στο σύστημα. Τα μοντέλα μπορούν να είναι φυσικά ή λογικά/μαθηματικά.

- Τα φυσικά μοντέλα μπορούν να είναι τόσο επιτραπέζια μοντέλα που είναι μικροσκοπικές εκδόσεις της εγκατάστασης, όσο και μια έκδοση πλήρους κλίμακας που προσομοιώνει την ίδια την εγκατάσταση

- Τα λογικά (ή μαθηματικά) μοντέλα αναπαρίστανται συνήθως σε ένα πρόγραμμα υπολογιστή που ασκείται για την αντιμετώπιση ερωτήσεων σχετικά με τη συμπεριφορά του μοντέλου

Εάν το μοντέλο είναι αρκετά απλό, είναι δυνατό να χρησιμοποιηθούν παραδοσιακά μαθηματικά εργαλεία όπως η θεωρία των ουρών, οι μέθοδοι των διαφορικών εξισώσεων, ή ο γραμμικός προγραμματισμός, αλλά τα περισσότερα συστήματα που αποτελούν αντικείμενο μελέτης είναι τόσο περίπλοκα και μπορεί να μην είναι δυνατή η εύρεση ακριβών μαθηματικών λύσεων (όπου σε αυτό το σημείο βοηθάει η προσομοίωση). Σε αυτή την εργασία θα αναλυθεί με προσομοίωση ένα εργοστάσιο παραγωγής ζεστών γευμάτων με λογικά μοντέλα χρησιμοποιώντας το λογισμικό προσομοίωσης Arena® της Rockwell Automation.

1.2 Υπολογιστική Προσομοίωση

Η προσομοίωση ενός συστήματος είναι η λειτουργία ενός μοντέλου του συστήματος. Η προσομοίωση είναι ένα εργαλείο για την αξιολόγηση της απόδοσης ενός συστήματος, υπάρχοντος ή προτεινόμενου, κάτω από διαφορετικές διαμορφώσεις ενδιαφέροντος και σε μεγάλες περιόδους πραγματικού χρόνου. Αυτό θα βοηθήσει τους χρήστες να δουν διάφορα αποτελέσματα στην οθόνη του υπολογιστή, δεδομένου ότι μπορεί να είναι αδύνατο να περάσει κανείς από τις ίδιες αλλαγές στο σύστημα που αντιπροσωπεύει (λόγω ακρίβειας ή μη πρακτικότητας). Το εργαλείο προσομοίωσης χρησιμοποιείται επίσης για ένα νέο σύστημα που θα κατασκευαστεί για να βοηθήσει στη μείωση των πιθανοτήτων αποτυχίας της τήρησης των προδιαγραφών, στην εξάλειψη των απροσδόκητων σημείων συμφόρησης, στην πρόληψη της υπο-χρησιμοποίησης, ή της υπερβολικής χρήσης των πόρων και στη βελτιστοποίηση της απόδοσης του συστήματος [2].

Στα τέλη της δεκαετίας του 1950 και του 1960, η προσομοίωση ήταν ένα πολύ ακριβό και εξειδικευμένο εργαλείο που γενικά χρησιμοποιούνταν μόνο από τις μεγάλες εταιρείες που απαιτούσαν μεγάλες επενδύσεις κεφαλαίου. Τυπικοί χρήστες προσομοίωσης βρέθηκαν στη βιομηχανία του χάλυβα και της αεροδιαστημικής. Παλιότερα, μόνο εξειδικευμένα άτομα όπως οι κάτοχοι διδακτορικών θα μπορούσαν να αναπτύξουν μεγάλα, πολύπλοκα μοντέλα προσομοίωσης χρησιμοποιώντας τις τότε διαθέσιμες γλώσσες, όπως η FORTRAN.

Η χρήση της προσομοίωσης όπως τη γνωρίζουμε σήμερα ξεκίνησε κατά τη διάρκεια της δεκαετίας του 1970 και στις αρχές της δεκαετίας του 1980. Οι υπολογιστές γίνονταν πιο γρήγοροι και φθηνότεροι και η αξία της προσομοίωσης ανακαλύφθηκε από άλλες βιομηχανίες. Ωστόσο, η προσομοίωση σπάνια εξεταζόταν μέχρι να εμφανιστεί κάποιο πρόβλημα (συμφόρηση) στη γραμμή παραγωγής. Έγινε το εργαλείο επιλογής πολλών εταιρειών, ιδίως της αυτοκινητοβιομηχανίας και της βαριάς βιομηχανίας, για να προσδιορίσουν γιατί παρουσιάστηκε το πρόβλημα. Με τη χρήση εργαλείων προσομοίωσης, οι εταιρείες είχαν πραγματοποιήσει μια καλή ανάλυση της ευαισθησίας σε αυτά τα αμφισβητήσιμα δεδομένα και το πρόβλημα είχε αποκαλυφθεί και επιλυθεί πολύ πριν από την εφαρμογή. Εν τω μεταξύ, η προσομοίωση βρήκε επίσης ένα σπίτι στον ακαδημαϊκό χώρο ως τυπικό μέρος της βιομηχανικής μηχανικής και της επιχειρησιακής έρευνας. Μέχρι το τέλος της δεκαετίας του 1980, η αξία της προσομοίωσης αναγνωρίστηκε από πολλές μεγαλύτερες εταιρείες. Ωστόσο, δεν ήταν ακόμη σε ευρεία χρήση και χρησιμοποιήθηκε σπάνια από μικρότερες εταιρείες. Η προσομοίωση άρχισε πραγματικά να ωριμάζει κατά τη δεκαετία του 1990. Τα καλύτερα κινούμενα σχέδια, η ευκολία στη χρήση, οι ταχύτεροι υπολογιστές και η εύκολη ενσωμάτωση με άλλα πακέτα έχουν βοηθήσει τις προσομοιώσεις να γίνουν ένα τυπικό εργαλείο σε πολλές εταιρείες [3].

Σε μια μελέτη προσομοίωσης, απαιτείται η λήψη των αποφάσεων από τον άνθρωπο σε όλα τα στάδια. Πιο συγκεκριμένα στην ανάπτυξη του μοντέλου, στο σχεδιασμό του πειράματος, στην ανάλυση των εκροών, στη διατύπωση των συμπερασμάτων και στη λήψη των αποφάσεων για την τροποποίηση του υπό μελέτη συστήματος. Το μόνο στάδιο όπου δεν απαιτείται ανθρώπινη παρέμβαση είναι η εκτέλεση των προσομοιώσεων, τις οποίες τα περισσότερα πακέτα λογισμικού προσομοίωσης εκτελούν αποτελεσματικά.

Συνοπτικά, τα βήματα που εμπλέκονται στην ανάπτυξη ενός μοντέλου προσομοίωσης, μπορούν να εξηγηθούν ως προς το σχεδιασμό ενός πειράματος προσομοίωσης και την εκτέλεση της ανάλυσης της προσομοίωσης (προσδιορισμός του προβλήματος, προσδιορισμός των στόχων και του γενικού σχεδίου έργου, συλλογή και επεξεργασία δεδομένων πραγματικού συστήματος, διαμόρφωση και ανάπτυξη μοντέλου, επικύρωση του μοντέλου, επιλογή του κατάλληλου πειραματικού σχεδιασμού, δημιουργία πειραματικών συνθηκών για εκτελέσεις και εκτέλεση προσομοιώσεων, τεκμηρίωση, αναφορά και υλοποίηση).

Αν και γενικότερα υπάρχει μια λογική σειρά των βημάτων σε μια μελέτη προσομοίωσης, μπορεί να απαιτηθούν πρόσθετα βήματα σε διάφορα προηγούμενα στάδια πριν επιτευχθούν οι στόχοι μιας μελέτης προσομοίωσης. Επίσης, μπορεί να μην είναι δυνατά, ή απαραίτητα πάντα όλα τα βήματα.

1.2.1 Πλεονεκτήματα και Μειονεκτήματα της Προσομοίωσης με Υπολογιστή

Η προσομοίωση υπολογιστή αναφέρεται σε μεθόδους για τη μελέτη μιας μεγάλης ποικιλίας μοντέλων που αναπαράγουν μια μεγάλη ποικιλία συστημάτων πραγματικού κόσμου με αριθμητική αξιολόγηση. Τις τελευταίες τρεις δεκαετίες η προσομοίωση θεωρείται το πιο ισχυρό και δημοφιλές εργαλείο έρευνας των επιχειρησιακών δραστηριοτήτων. Ο λόγος για αυτό είναι ότι το μοντέλο μπορεί να επιτραπεί να γίνει εξαιρετικά περίπλοκο, ώστε να μπορεί να αναπαραστήσει πιστά το σύστημα, ενώ άλλες μέθοδοι μπορεί να απαιτούν ισχυρότερες απλές υποθέσεις σχετικά με το σύστημα για να καταστεί δυνατή η ανάλυση, η οποία θα μπορούσε να θέσει υπό αμφισβήτηση την εγκυρότητα του μοντέλου.

Η μοντελοποίηση και η ανάλυση της προσομοίωσης είναι μια από τις πιο συχνά χρησιμοποιούμενες τεχνικές έρευνας των λειτουργιών. Όταν χρησιμοποιείται με σύνεση, η μοντελοποίηση και η ανάλυση της προσομοίωσης καθιστούν δυνατά τα εξής:

- Απόκτηση καλύτερης κατανόησης του συστήματος αναπτύσσοντας ένα μαθηματικό μοντέλο ενός συστήματος ενδιαφέροντος και παρατηρώντας τη λειτουργία του συστήματος λεπτομερώς για μεγάλες χρονικές περιόδους
- Μελέτη των εσωτερικών αλληλεπιδράσεων ενός πολύπλοκου συστήματος
- Έλεγχο των υποθέσεων σχετικά με το σύστημα για σκοπιμότητα
- Συμπίεση του χρόνου για να παρατηρηθεί μια συγκεκριμένη εργασία για μεγάλες περιόδους, ή επέκταση του χρόνου για να παρατηρηθεί μια σύνθετη εργασία λεπτομερώς
- Μελέτη των επιπτώσεων ορισμένων ενημερωτικών, οργανωτικών, περιβαλλοντικών και πολιτικών αλλαγών στη λειτουργία ενός συστήματος αλλάζοντας το μοντέλο του συστήματος. Αυτό μπορεί να γίνει χωρίς να

διαταραχθεί το πραγματικό σύστημα και μειώνει σημαντικά τον κίνδυνο πειραματισμού με το πραγματικό σύστημα

- Εκπαίδευση και τη μάθηση με χαμηλότερο κόστος
- Πειραματισμός με νέες ή άγνωστες καταστάσεις για τις οποίες είναι διαθέσιμες μόνο κάποιες αδύναμες πληροφορίες
- Προσδιορισμός των σημείων συμφόρησης του συστήματος (υλικό, άτομα, κ.λπ.)
- Βελτίωση του συστήματος μέσω της κατασκευής μοντέλων
- Χρήση πολλαπλών μετρήσεων απόδοσης για την ανάλυση των διαμορφώσεων του συστήματος
- Κατανόηση και επαλήθευση των αναλυτικών λύσεων
- Χρήση μιας συστημικής προσέγγισης για την επίλυση των προβλημάτων
- Οπτικοποίηση των λειτουργιών μέσω κινούμενων εικόνων
- Ανάπτυξη καλά σχεδιασμένων και στιβαρών συστημάτων και μείωση του χρόνου ανάπτυξης του συστήματος

Από την άλλη πλευρά, η προσομοίωση δεν είναι πάντα τόσο εύκολη όσο φαίνεται. Πολλά πραγματικά συστήματα επηρεάζονται από τυχαίες εισόδους και κατά συνέπεια πολλά μοντέλα προσομοίωσης περιλαμβάνουν στοχαστικές συνιστώσες εισόδου που κάνουν την έξοδο τους να είναι επίσης τυχαία [4].

1.2.2 Διαφορετικοί Τύποι Προσομοίωσης

Υπάρχουν πολλές διαφορετικές μέθοδοι ταξινόμησης των μοντέλων προσομοίωσης, αλλά ένας χρήσιμος τρόπος είναι η ταξινόμησή τους σε τρεις διαστάσεις:

- Δυναμικός ή Στατικός: Στα δυναμικά μοντέλα, ο χρόνος έχει φυσικό ρόλο, ενώ στα στατικά μοντέλα δεν παίζει κάποιον ρόλο. Τα περισσότερα λειτουργικά μοντέλα είναι δυναμικά και το Arena είναι σχεδιασμένο για να ταιριάζει καλύτερα με αυτά τα μοντέλα.

- Διακριτός ή Συνεχής: Σε ένα διακριτό μοντέλο, οι αλλαγές συμβαίνουν μόνο σε συγκεκριμένα χρονικά σημεία, ενώ σε ένα συνεχές μοντέλο η κατάσταση του συστήματος αλλάζει συνεχώς με την πάροδο του χρόνου. Για παράδειγμα, ένα διακριτό μοντέλο μπορεί να είναι ένα σύστημα παραγωγής, όπου τα εξαρτήματα φτάνουν και αναχωρούν σε συγκεκριμένα χρονικά σημεία. Από την άλλη πλευρά, μια δεξαμενή νερού με νερό που ρέει μέσα και έξω είναι ένα τέλειο παράδειγμα ενός συνεχούς μοντέλου. Μπορεί να υπάρχουν στοιχεία διακριτής και συνεχούς αλλαγής στο ίδιο μοντέλο, το οποίο ονομάζεται μικτό συνεχόμενο-διακριτό μοντέλο.

- Ντετερμινιστικά ή Στοχαστικά: Τα μοντέλα που δεν έχουν τυχαίες εισόδους ονομάζονται ντετερμινιστικά, ενώ αυτά που λειτουργούν με τουλάχιστον μερικές τυχαίες εισόδους ονομάζονται στοχαστικά. Λόγω της τυχαιότητας των εισροών, τα αποτελέσματα των στοχαστικών μοντέλων είναι αβέβαια και απαιτείται προσεκτική εξέταση κατά τον σχεδιασμό και την ερμηνεία των αποτελεσμάτων.

1.2.3 Βασικές Έννοιες Προσομοίωσης

Πολλές προσομοιώσεις, ή πιο σωστά οι περισσότερες από αυτές, περιλαμβάνουν οντότητες που κινούνται γύρω από το σύστημα, επηρεάζουν και επηρεάζονται από άλλες οντότητες και την κατάσταση του συστήματος, αλλάζουν κατάσταση και επηρεάζουν, προφανώς, τα μέτρα απόδοσης εξόδου [5]. Οι οντότητες είναι τα δυναμικά αντικείμενα που εμπλέκονται στην προσομοίωση Arena. Όλες οι οντότητες πρέπει να δημιουργηθούν, είτε από τον αναλυτή, είτε αυτόματα από το λογισμικό. Συνήθως, κατά τη μοντελοποίηση ενός συστήματος, οι οντότητες είναι το πρώτο πράγμα που πρέπει να σκεφτούμε για να έχουμε μια ιδέα για το τι πρέπει να αναπαρασταθεί στο ίδιο το σύστημα. Οι περισσότερες οντότητες αντιπροσωπεύουν «πραγματικά» πράγματα σε μια προσομοίωση, αλλά μερικές φορές θα μπορούσαν να είναι χρήσιμες για τη χρήση λογικών οντοτήτων, οι οποίες δεν αντιστοιχούν σε τίποτα από, αλλά μπορούν να δημιουργηθούν για να φροντίσουν ορισμένες λειτουργίες της μοντελοποίησης.

Τα χαρακτηριστικά είναι κοινά χαρακτηριστικά όλων των οντοτήτων, με μια συγκεκριμένη τιμή που μπορεί να διαφέρει από τη μια οντότητα στην άλλη και προσαρτώνται

σε οντότητες Arena για να εξατομικεύονται. Οι τιμές τους συνδέονται με συγκεκριμένες οντότητες (το ίδιο χαρακτηριστικό θα έχει συνήθως διαφορετικές τιμές για διαφορετικές οντότητες).

Ως παράδειγμα, οι οντότητες των εξαρτημάτων θα μπορούσαν να έχουν διαφορετικά χαρακτηριστικά που ονομάζονται «Προτεραιότητα», «Χρώμα» και «Ημερομηνία λήξης» για να υποδεικνύουν αυτά τα χαρακτηριστικά για κάθε μεμονωμένη οντότητα. Εναπόκειται στον αναλυτή να καταλάβει ποια χαρακτηριστικά χρειάζεται μια οντότητα, να τα ονομάσει, να τους εκχωρήσει τιμές, να τα αλλάξει ανάλογα και στη συνέχεια να τα χρησιμοποιήσει όταν έρθει η ώρα.

Μια μεταβλητή (ή καθολική μεταβλητή) είναι μια πληροφορία που αντικατοπτρίζει ορισμένα χαρακτηριστικά του συστήματος, ανεξάρτητα από τα είδη, ή πόσες οντότητες μπορεί να υπάρχουν στο ίδιο το σύστημα.

Υπάρχουν δύο διαφορετικά είδη μεταβλητών. Οι μεταβλητές που ορίζονται από το χρήστη και οι ενσωματωμένες μεταβλητές του Arena. Για παράδειγμα, οι μεταβλητές που ορίζονται από τον χρήστη θα πρέπει να είναι ο μέσος χρόνος υπηρεσίας, ο χρόνος ταξιδιού, ή η τρέχουσα βάρδια, ενώ οι ενσωματωμένες μεταβλητές Arena θα πρέπει να είναι ο αριθμός στην ουρά, ο τρέχων χρόνος της προσομοίωσης, ή ο αριθμός των απασχολημένων διακομιστών.

Σε αντίθεση με τα χαρακτηριστικά, οι μεταβλητές δε συνδέονται με κάποια συγκεκριμένη οντότητα, αλλά αφορούν ένα σύστημα γενικότερα. Για παράδειγμα, ο χρόνος μετακίνησης μεταξύ δύο διαδοχικών σταθμών σε ένα μοντέλο μπορεί να είναι ο ίδιος ανεξάρτητα από τους σταθμούς, επομένως μια μεταβλητή που ονομάζεται «TransferTime» θα μπορούσε να οριστεί στην κατάλληλη τιμή και να χρησιμοποιηθεί όποτε χρειάζεται αυτός ο σταθερός χρόνος.

Οι πόροι στο Arena αντιπροσωπεύουν πράγματα όπως το προσωπικό, τον εξοπλισμό, ή το χώρο σε αποθηκευτικό χώρο περιορισμένου μεγέθους. Μια οντότητα δεσμεύει μονάδες ενός πόρου όταν είναι διαθέσιμος και αποδεσμεύει αυτόν (ή αυτές) όταν τελειώσει.

Ένας πόρος μπορεί να αντιπροσωπεύει μια ομάδα πολλών μεμονωμένων διακομιστών, καθένας από τους οποίους ονομάζεται μονάδα του πόρου. Όταν μια οντότητα δε μπορεί να προχωρήσει, ίσως επειδή χρειάζεται να καταλάβει μια μονάδα ενός πόρου που είναι συνδεδεμένη από μια άλλη οντότητα, χρειάζεται μια ουρά για να περιμένει αυτόν τον

πόρο. Στο Arena, οι ουρές μπορεί να έχουν περιορισμένη χωρητικότητα για να αντιπροσωπεύουν, για παράδειγμα τον περιορισμένο χώρο προσωρινής αποθήκευσης.

Ένα συμβάν, ή γεγονός είναι κάτι που συμβαίνει σε μια συγκεκριμένη στιγμή προσομοιωμένου χρόνου που μπορεί να αλλάξει χαρακτηριστικά, μεταβλητές ή στατιστικούς συσσωρευτές. Για να εκτελεστεί μια προσομοίωση πρέπει να παρακολουθούνται τα γεγονότα που υποτίθεται ότι θα συμβούν στο προσομοιωμένο μέλλον (αυτές οι πληροφορίες αποθηκεύονται σε ένα ημερολόγιο συμβάντων).

Ένα παράδειγμα μπορεί να αποτελούν τα παρακάτω τρία είδη γεγονότων σε μια γραμμή παραγωγής και επισκευής ανταλλακτικών:

- Άφιξη: Ένα νέο τμήμα εισέρχεται στο σύστημα
- Αναχώρηση: Ένα εξάρτημα τελειώσει το σέρβις του και φεύγει από το σύστημα
- Τελευταίο τμήμα: Η προσομοίωση διακόπτεται μετά από 20 λεπτά

Η τρέχουσα τιμή του χρόνου στην προσομοίωση απλώς διατηρείται σε μια μεταβλητή που ονομάζεται ρολόι προσομοίωσης. Σε αντίθεση με τον πραγματικό χρόνο, το ρολόι της προσομοίωσης δεν παίρνει όλες τις τιμές και δε ρέει συνεχώς, αλλά κυλά από τη στιγμή ενός συμβάντος στην ώρα του επόμενου γεγονότος που έχει προγραμματιστεί να συμβεί.

Ενώ θα παρακολουθούμε μόνοι μας το ρολόι προσομοίωσης και το ημερολόγιο συμβάντων στις προσομοιώσεις, αυτά είναι σαφώς σημαντικά κομμάτια οποιασδήποτε δυναμικής προσομοίωσης, έτσι ώστε το Arena να τα παρακολουθεί (το ρολόι είναι μια μεταβλητή που ονομάζεται TNOW).

Για να λάβει μέτρα απόδοσης της εξόδου, ο αναλυτής πρέπει να παρακολουθεί διάφορες ενδιάμεσες μεταβλητές στατιστικού συσσωρευτή, όπως ο αριθμός των εξαρτημάτων που έχουν παραχθεί μέχρι στιγμής, ο μεγαλύτερος χρόνος που δαπανήθηκε στην ουρά, ο μεγαλύτερος χρόνος στο σύστημα που έχει δει μέχρι τώρα, κ.λπ.

1.3 Επισκόπηση Μελέτης Προσομοίωσης

Για να αποφασιστεί πώς να μοντελοποιηθεί ένα σύστημα, τείνουν να εμφανίζονται συχνά πολλές πτυχές:

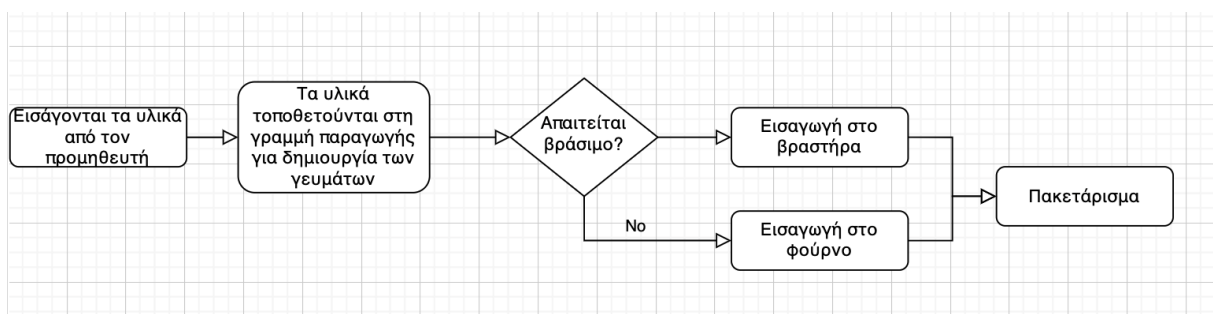
- Κατανόηση του συστήματος: Ο αναλυτής πρέπει να έχει μια διαισθητική αίσθηση του πώς λειτουργεί αυτό το συγκεκριμένο σύστημα
- Σαφείς στόχοι: Πρέπει να υπάρχει πάντα ο ρεαλισμός. Ένα από τα πρώτα πράγματα που πρέπει να κάνει ο αναλυτής είναι να κατανοήσει τι μπορεί να μαθευτεί από τη μελέτη και να προσδιορίσει τι πρόκειται να παρατηρηθεί, να χειριστεί, να αλλάξει και να παραδοθεί
- Μετάφραση σε λογισμικό μοντελοποίησης: Μόλις συμφωνηθούν οι παραδοχές της μοντελοποίησης, πρέπει να αντιπροσωπευτούν πιστά στο λογισμικό προσομοίωσης
- Βεβαίωση ότι η αναπαράσταση του υπολογιστή αντιπροσωπεύει πιστά το εννοιολογικό μοντέλο: Εξέταση των ακραίων περιοχών των παραμέτρων εισόδου, με επαλήθευση ότι συμβαίνουν τα σωστά πράγματα με προφανή είσοδο
- Επικύρωση του μοντέλου: Οι κατανομές εισόδου ταιριάζουν με αυτό που έχει παρατηρηθεί στο πραγματικό σύστημα. Τα μέτρα απόδοσης της εξόδου από το μοντέλο θα πρέπει να ταιριάζουν με αυτά της πραγματικότητας
- Ανάλυση των αποτελεσμάτων: Είναι θεμελιώδες να διεξαχθούν τα σωστά είδη στατιστικών αναλύσεων για να μπορούν να γίνουν ακριβείς δηλώσεις.

Κεφάλαιο 2. ΕΠΙΧΕΙΡΗΣΙΑΚΟ ΠΡΟΒΛΗΜΑ ΚΑΙ ΛΟΓΙΣΜΙΚΟ ARENA

Σε αυτό το κεφάλαιο παρουσιάζεται το επιχειρησιακό πρόβλημα της διπλωματικής εργασίας. Πιο συγκεκριμένα αποτυπώνεται μια αναλυτική περιγραφή του προβλήματος, ενώ στη συνέχεια πραγματοποιείται αναφορά στο πρόγραμμα Arena που επιλέχθηκε να για την επίλυση καθώς και στις βασικές αρχές λειτουργίας του.

2.1 Επιχειρησιακό πρόβλημα

Η προς ανάλυση επιχείρηση είναι μια μικρή εταιρεία στην Ελλάδα που παράγει ζεστά γεύματα για πώληση σε ιδιώτες. Όσον αφορά την παραγωγική διαδικασία θα πρέπει να τηρούνται αυστηρά τα χρονοδιαγράμματα για την παραγωγή των γευμάτων, καθώς και ότι οι αντίστοιχες διαδικασίες λειτουργούν όπως θα έπρεπε. Αυτό είναι πολύ σημαντικό για την επιχείρηση καθώς είναι το μοναδικό προϊόν της και τόσο η ποιότητα, όσο και η εξυπηρέτηση παίζουν σημαντικό ρόλο για την ευχαρίστηση των πελατών. Η επιχείρηση πλέον θα ήθελε την ανάπτυξή της με την παραγωγή επιπρόσθετων γευμάτων, καθώς παρακολουθείται ότι υπάρχει αυξημένη ζήτηση για ζεστά γεύματα και πολλοί από τους πελάτες δεν εξυπηρετούνται, καθώς τελειώνουν τα διαθέσιμα έτοιμα γεύματα σε μικρό χρονικό διάστημα. Επομένως, υπάρχει το πρόβλημα της αρκετά μικρότερης προσφοράς σε σχέση με τη ζήτηση που επιχειρείται να καλυφθεί. Στο Σχήμα 2.1: Γενική απεικόνιση της προτεινόμενης δομής του συστήματος παρουσιάζεται μια γενική μορφή της διαδικασίας και της δομής που υπάρχει ήδη στην επιχείρηση.



Σχήμα 2.1: Γενική απεικόνιση της προτεινόμενης δομής του συστήματος

Συνεχώς καταφθάνουν σε εβδομαδιαία βάση (7ήμερο) οι παραγγελίες για ζεστά γεύματα. Οι ποσότητες των υλικών προσδιορίζονται από την εκτίμηση των εργαζόμενων σχετικά με τα περασμένα δεδομένα της επιχείρησης. Η επιχείρηση αποτελείται αυτή τη στιγμή από ένα φούρνο και δύο βραστήρες. Αναλόγως το είδος του γεύματος χρησιμοποιείται και η αντίστοιχη συσκευή (φούρνος, ή βραστήρας) και στο τέλος μετά την επεξεργασία του γεύματος τοποθετείται σε ειδικό πάγκο, όπου συνδυάζεται με επιπρόσθετα υλικά και τρόφιμα (για παράδειγμα κάποια υλικά χρειάστηκε να βραστούν, ενώ άλλα ψήθηκαν και η ανάμειξή τους αποτελεί ένα ενιαίο γεύμα).

Υπάρχουν στην ουσία τρία επιμέρους τμήματα στην εν λόγω διαδικασία. Αυτά είναι το τμήμα της προετοιμασίας, το τμήμα της επεξεργασίας και μαγειρέματος και το τμήμα του πακεταρίσματος. Αφού λοιπόν τα υλικά μαζευτούν και προετοιμαστούν, εισάγονται προς μαγείρεμα. Αφού μαγειρευτούν στη συνέχεια πακετάρονται σε αντίστοιχα κουτιά και μετακινούνται έξω από την περιοχή του μαγειρέματος και πακεταρίσματος.

2.1.1 Τμήμα προετοιμασίας και μαγειρέματος

Υπάρχουν δύο διαφορετικές γραμμές οι οποίες διαχειρίζονται από δύο εργαζόμενους. Σε αυτές τις δύο γραμμές πρέπει κάποιος εργαζόμενος να απασχολείται καθώς είναι και οι δύο αναλογικές. Επειδή αναφερόμαστε σε αναλογικές γραμμές, αυτό σημαίνει ότι ο κάθε εργαζόμενος θα πρέπει να επιλέγει τα υλικά που θα χρησιμοποιηθούν για την παρασκευή του κάθε συγκεκριμένου γεύματος. Ο χρόνος για την εν λόγω διαδικασία σε συνδυασμό με την ακόλουθη διαδικασία στο τμήμα μαγειρέματος ακολουθεί ομοιόμορφη διαδικασία. Αυτό σημαίνει ότι ο κάθε εργαζόμενος δε μπορεί να σταματήσει την προετοιμασία και το μαγείρεμα ακόμη κι αν χρειαστεί να εμπλακεί σε κάποια άλλη διαδικασία πέρα των καθηκόντων του.

Για να πραγματοποιηθεί η σωστή παρασκευή ενός γεύματος θα πρέπει να εισαχθούν τα σωστά υλικά και στις σωστές ποσότητες στο κομμάτι της προετοιμασίας. Στη συνέχεια μετά την τοποθέτηση στο μηχάνημα του βραστήρα, ή στο φούρνο ακολουθείται η σειρά εξυπηρέτησης «First in – First out». Εάν κάποιο από τα γεύματα που μαγειρεύονται καεί, μεταφέρεται στη γραμμή που προορίζεται προς τα απορρίμματα από τον αντίστοιχο εργαζόμενο, χωρίς να απαιτείται κάποια άλλη ενέργεια.

2.1.2 Τμήμα πακεταρίσματος

Αφού τα γεύματα μαγειρευτούν με επιτυχία, μεταφέρονται σε αντίστοιχους πάγκους όπου θα πακεταριστούν. Υπάρχουν και εδώ δύο γραμμές με έναν εργαζόμενο η κάθε μία. Τα γεύματα όσον αφορά τις ποσότητες είναι σχεδόν όμοια, οπότε και τοποθετούνται σε ίδια κουτιά από τους εργαζόμενους. Ακολουθείται επίσης και σε αυτό το σημείο ομοιόμορφη κατανομή στο χρόνο για το πακετάρισμα των γευμάτων. Στο τέλος της γραμμής παραγωγής υπάρχει αντίστοιχη θέση όπου στοιβάζονται τα παραγόμενα γεύματα. Κάθε φορά που κάποιο από τα κουτιά με τα γεύματα αποσυρθεί θα συνεχίζεται η ίδια διαδικασία στοιβάξης χωρίς να επηρεάζεται η παραγωγή. Οι διαδικασίες μετά από αυτό το τμήμα δεν αφορούν το προς μελέτη μοντέλο.

2.1.3 Στόχοι της προσομοίωσης

Ο κύριος στόχος της προσομοίωσης είναι να αναπτυχθεί ένα πλαίσιο για τον προσδιορισμό της αύξησης της παραγωγής, λόγω της αυξημένης ζήτησης μέσω της αγοράς και εγκατάστασης επιπρόσθετου εξοπλισμού. Η επιτυχία της αύξησης της παραγωγής μπορεί να μετρηθεί με διαφορετικές παραμέτρους, αλλά στη συγκεκριμένη εργασία, θα προσδιοριστεί το ποσοστό της αύξησης της παραγωγής. Επιπλέον, θα προσδιοριστεί και η αντίστοιχη αναλογία του κόστους για την αγορά του επιπρόσθετου εξοπλισμού και το εκτιμώμενο περιθώριο κέρδους.

Στην πραγματικότητα θα πραγματοποιηθούν δύο προσομοιώσεις. Στην πρώτη θα δημιουργηθεί ένα μοντέλο προσομοίωσης όπου θα παρουσιαστεί η τρέχουσα κατάσταση λειτουργίας της επιχείρησης. Στη δεύτερη προσομοίωση θα δημιουργηθεί ένα νέο σχεδιάγραμμα της επιχείρησης με τις καινούριες προσθήκες του εξοπλισμού.

Πρέπει να εξεταστεί η ποσότητα των μερίδων που θα παραχθεί με την προσθήκη του καινούργιου εξοπλισμού και να αξιολογηθεί η επένδυση αφού γίνει η προσομοίωση.

2.2 Λογισμικό ARENA

Υπάρχουν δύο είδη πακέτων προσομοίωσης: οι γλώσσες προσομοίωσης και οι προσομοιωτές προσανατολισμένοι στην εφαρμογή. Οι γλώσσες προσομοίωσης είναι πιο ευέλικτες από τους προσομοιωτές που εστιάζουν στην εφαρμογή. Ωστόσο, απαιτούν περισσότερη εξειδίκευση στον προγραμματισμό. Οι προσομοιωτές προσανατολισμένοι στην εφαρμογή είναι πιο εύκολοι στην εκμάθηση και έχουν δομές μοντελοποίησης που σχετίζονται άμεσα με την εφαρμογή. Πολλά πακέτα προσομοίωσης περιλαμβάνουν κινούμενα σχέδια που μπορούν να χρησιμοποιηθούν για την επικοινωνία και τον εντοπισμό σφαλμάτων στο πρόγραμμα προσομοίωσης. Ωστόσο, ένα κινούμενο σχέδιο δεν αποτελεί εγγύηση για ένα έγκυρο μοντέλο. Το πιο σημαντικό είναι ότι τα κινούμενα σχέδια δεν μπορούν να υποκαταστήσουν την ανάλυση της έξοδου.

Αν και τα στατιστικά φαίνεται να είναι πιο σημαντικά από τα κινούμενα σχέδια, η ιδιότητα των κινούμενων εικόνων είναι απαραίτητη και για τον μοντελιστή. Οι οντότητες και οι πόροι μπορούν εύκολα να εντοπιστούν από τον μοντελιστή. Αρχικά, το εργαλείο προσομοίωσης θα πρέπει να επιλεγεί από τον μοντελιστή. Όταν όλα τα δεδομένα υλοποιηθούν σε επιλεγμένο πρόγραμμα θα σχηματιστεί «ένα μοντέλο προσομοίωσης». Σε αυτή τη μελέτη, το ARENA® Simulation Tool χρησιμοποιήθηκε για την ανάπτυξη του μοντέλου. Αυτό το εργαλείο επιλέχθηκε λόγω των διακριτών ιδιοτήτων του που εξηγούνται παρακάτω [6].

Το σύστημα μοντελοποίησης Arena από την «Systems Modeling Corporation» είναι ένα ευέλικτο και ισχυρό εργαλείο που επιτρέπει στους αναλυτές να δημιουργούν κινούμενα μοντέλα προσομοίωσης που αντιπροσωπεύουν με ακρίβεια σχεδόν οποιοδήποτε σύστημα. Κυκλοφόρησε για πρώτη φορά το 1993. Το Arena χρησιμοποιεί αντικειμενοστραφή σχεδιασμό για εξ' ολοκλήρου γραφική ανάπτυξη των μοντέλων. Οι αναλυτές προσομοίωσης τοποθετούν γραφικά αντικείμενα, που ονομάζονται «modules», σε μια διάταξη προκειμένου να ορίσουν στοιχεία του συστήματος όπως μηχανές, χειριστές και συσκευές χειρισμού του υλικού. Το Arena είναι χτισμένο στη γλώσσα προσομοίωσης SIMAN. Μετά τη δημιουργία ενός μοντέλου προσομοίωσης γραφικά, το Arena δημιουργεί αυτόματα το υποκείμενο μοντέλο SIMAN που χρησιμοποιείται για την εκτέλεση εκτελέσεων προσομοίωσης [7].

Πιο συγκεκριμένα οι μονάδες που περιέχονται στο πρότυπο Arena δημιουργήθηκαν χρησιμοποιώντας τα μπλοκ μοντελοποίησης της SIMAN ως συστατικά τους. Τα μπλοκ SIMAN διατίθενται σε όλους τους χρήστες του Arena στο πρότυπο SIMAN. Οι μονάδες SIMAN

παρέχουν στο χρήστη αυξημένη ευελιξία και αυξημένο έλεγχο της λεπτομερούς λογικής του συστήματος. Όσοι χρήστες έχουν συνηθίσει να γράφουν τον κώδικα SIMAN απευθείας σε ένα πρόγραμμα επεξεργασίας κειμένου μπορούν να το κάνουν εντός του Arena. Σε αυτήν την περίπτωση, το Arena παρέχει μια επιλογή για την άμεση αναγνώριση αυτού του κώδικα, ο οποίος περιέχεται σε ένα αρχείο εκτός του περιβάλλοντος γραφικής μοντελοποίησης του Arena [8].

2.2.1 Πρότυπο ARENA

Το πρότυπο Arena είναι η βασική συλλογή περισσότερων από 60 ενότητων που παρέχονται ως μέρος του γενικού συστήματος του Arena. Σχεδιάστηκε για να παρέχει μια συλλογή χαρακτηριστικών μοντελοποίησης γενικής χρήσης για όλους τους τύπους των εφαρμογών. Εκτός από την παροχή βασικών δυνατοτήτων για πόρους, ουρά, επιθεώρηση, λογική συστήματος και εξωτερική διεπαφή των αρχείων, το πρότυπο Arena παρέχει ενότητες που εστιάζονται ειδικά σε συγκεκριμένες πτυχές της κατασκευής και του χειρισμού των υλικών.

Για την κατασκευή, περιέχει ενότητες που ενσωματώνουν χαρακτηριστικά όπως ο χρόνος διακοπής της λειτουργίας του μηχανήματος και τα προγράμματα συντήρησης. Για εφαρμογές χειρισμού των υλικών, υπάρχουν ενότητες για την αναπαράσταση μεταφορέων (σύγχρονων και ασύγχρονων) και διαφόρων τύπων συσκευών μεταφοράς. Τρεις πίνακες συνθέτουν το πρότυπο Arena: το «Γενικό πίνακα», που περιέχει ενότητες που αντιπροσωπεύουν θεμελιώδεις διαδικασίες προσομοίωσης, όπως αφίξεις, υπηρεσίες και αναχωρήσεις. τον «Πίνακα υποστήριξης», που περιέχει συμπληρωματικές ενότητες για συγκεκριμένες ενέργειες και λογική απόφασης και τον «Πίνακα μεταφοράς», του οποίου οι μονάδες χρησιμοποιούνται για τη μοντελοποίηση της μεταφοράς (ή της ροής) των οντοτήτων μέσω του συστήματος.

Προκειμένου να αναπτυχθεί ένα μοντέλο προσομοίωσης χρησιμοποιώντας το πρότυπο Arena, ο χρήστης απλώς επιλέγει μια λειτουργική μονάδα, την τοποθετεί στο μοντέλο και στη συνέχεια, ερωτάται για τις απαραίτητες πληροφορίες. Για παράδειγμα, κατά την τοποθέτηση της λειτουργικής μονάδας διακομιστή από το πρότυπο Arena, ζητούνται από το χρήστη πληροφορίες όπως πόσο χρόνο περνούν οι οντότητες στο διακομιστή, το πρόγραμμα λειτουργίας του διακομιστή και πού πρέπει να πάνε οι οντότητες. Αφού

απαντήσει με τις κατάλληλες πληροφορίες, ο χρήστης κλείνει το παράθυρο διαλόγου για να αποδεχτεί την ολοκληρωμένη ενότητα.

Η κινούμενη εικόνα περιλαμβάνεται αυτόματα σε πολλές από τις ενότητες στο πρότυπο Arena. Τα σύμβολα των γραφικών που παρέχονται αυτόματα κατά την τοποθέτηση μιας λειτουργικής μονάδας από το πρότυπο Arena μπορούν να αλλάξουν με τα ενσωματωμένα εργαλεία γραφικών του Arena (παρόμοια με τα συστήματα CAD) ή μπορούν να αντικατασταθούν με εικονίδια από τη βιβλιοθήκη συμβόλων του Arena ή από εξωτερικές εφαρμογές (π.χ. clip art , M.S Visio κ.λπ.).

2.2.2 Κινούμενα Σχέδια (Animation) στο ARENA

Τα κινούμενα σχέδια στο Arena μπορούν να εκτελεστούν ταυτόχρονα με το εκτελούμενο μοντέλο προσομοίωσης. Τα κινούμενα σχέδια μπορούν να δημιουργηθούν με διάφορους τρόπους. Μπορούν να δημιουργηθούν εξ' ολοκλήρου χρησιμοποιώντας τα εργαλεία σχεδίασης γραφικών του Arena, μπορούν να δημιουργηθούν από το AutoCAD, ή άλλες μορφές αρχείων (.DXF). Επιπλέον, μπορούν να δημιουργηθούν σε άλλα εργαλεία και να εισαχθούν στο Arena μέσω του Active X (παλαιότερα γνωστό ως OLE), καθώς επίσης μπορούν να δημιουργηθούν χρησιμοποιώντας άλλα συστήματα σχεδίασης συμβατά με Windows® που μπορούν να επικολληθούν σε διατάξεις Arena, ή οποιονδήποτε συνδυασμό των παραπάνω.

Τα εργαλεία σχεδίασης του Arena περιλαμβάνουν όλα τα τυπικά αντικείμενα CAD (π.χ. ορθογώνιο, έλλειψη, τόξο, κείμενο κ.λπ.) και παρέχουν ουσιαστικά απεριόριστη επιλογή χρωμάτων. Η διεπαφή του Arena με μορφές αρχείων .DXF αναπτύχθηκε για να επιτρέπει την άμεση εισαγωγή σχεδίων CAD για την παροχή του φόντου κινούμενων εικόνων και των δυναμικών εικονιδίων.

Το Arena περιλαμβάνει διάφορες επιλογές κινούμενων εικόνων για εμφάνιση στατιστικών μοντέλων σε πραγματικό χρόνο. Για παράδειγμα, ο χρήστης μπορεί να τοποθετήσει δυναμικές γραφικές παραστάσεις, ιστογράμματα, επίπεδα και χρονικά ρολόγια απευθείας μέσα σε μια προσομοίωση προκειμένου να απεικονίσει την κατάσταση του συστήματος όπως εκτελεί το μοντέλο.

2.2.3 Ανάπτυξη μοντέλου διαγράμματος ροής ARENA

Το λογισμικό Arena σχεδιάστηκε με σκοπό να διευκολύνει τη δημιουργία μοντέλων προσομοίωσης μέσω μιας εντελώς γραφικής διαδικασίας. Όλες οι συμπεριφορές του συστήματος παρουσιάζονται με τη χρήση γραφικών μονάδων, που αναλύθηκαν παραπάνω. Για την καθοριστική λογική του συστήματος, όπως οι κανόνες διακλάδωσης και επιλογής ουράς τύπου IF/THEN/ELSE, ο χρήστης μπορεί να δημιουργήσει ένα διάγραμμα ροής του συστήματός του στην διεπαφή του Arena, τοποθετώντας τις κατάλληλες γραφικές μονάδες και συνδέοντας αυτές τις μονάδες απευθείας.

2.2.4 Ενσωμάτωση μέσω ActiveX, DAO και ODBC

Το Arena είναι ένα λογισμικό που είναι συμβατό με το λειτουργικό σύστημα Microsoft® Windows® και έχει αναπτυχθεί χρησιμοποιώντας τη βασική τεχνολογία της Microsoft (MFC) και γραμμένο σε αντικειμενοστραφή Visual C++™. Επιπλέον, το Arena είναι συμβατό με το Microsoft® Office, επιτρέποντας στους χρήστες να χρησιμοποιούν τις τυπικές επιλογές διεπαφής του χρήστη που χρησιμοποιούνται σε όλα τα προϊόντα του Microsoft® Office. Το Arena υποστηρίζει επίσης τη χρήση του Active X, παλαιότερα γνωστό ως OLE, επιτρέποντας στους χρήστες να ενσωματώνουν άλλες τεχνολογίες όπως υπολογιστικά φύλλα Excel®, αρχεία Microsoft® Word, clipart και παρουσιάσεις Microsoft® PowerPoint® στα μοντέλα προσομοίωσης. Επιπλέον, η υποστήριξη του Arena για τα DAO (Data Access Objects) και ODBC (Open Database Connectivity) επιτρέπει στους χρήστες να ενσωματώνουν όλα τα συστήματα βάσεων δεδομένων που είναι συμβατά με το πρότυπο ODBC της Microsoft, και να διαβάζουν εύκολα τα δεδομένα των μοντέλων που περιέχονται σε προϊόντα όπως η βάση δεδομένων FoxPro®, Excel®, Oracle®, Informix® και άλλα, χωρίς την ανάγκη για χειροκίνητη εισαγωγή του.

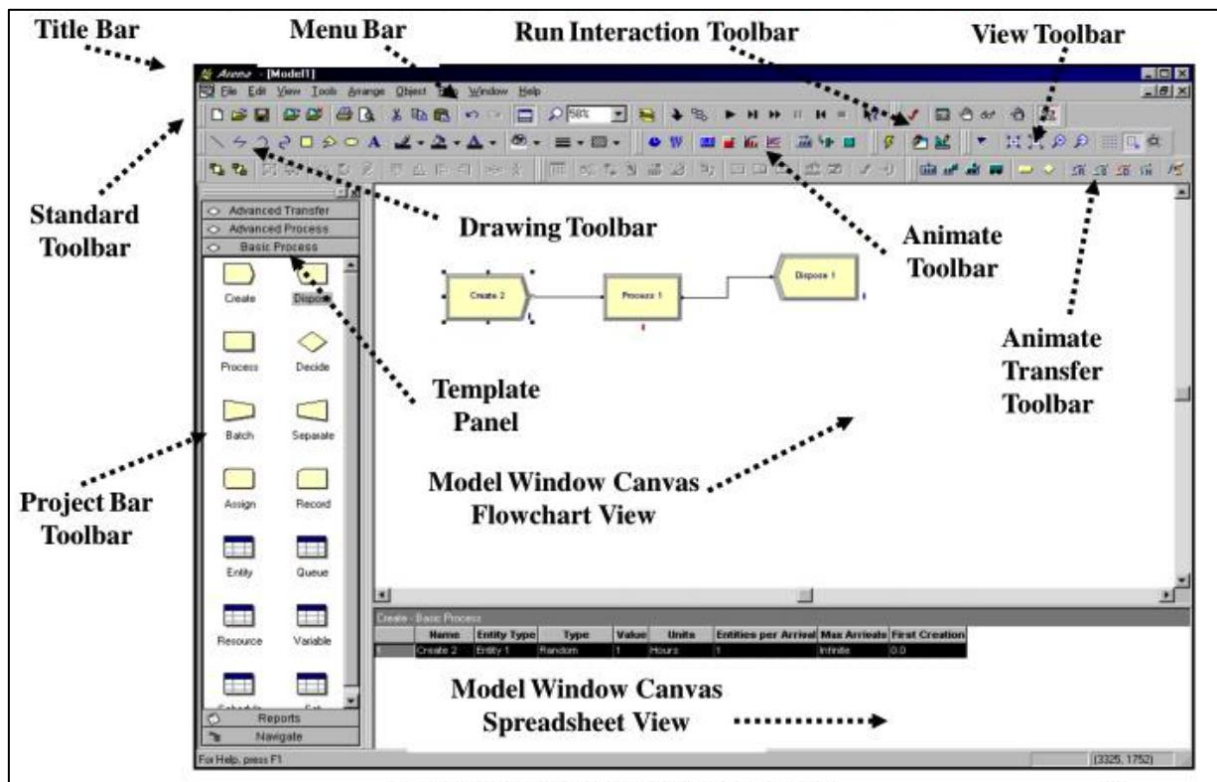
2.2.5 Βασικό περιβάλλον

Στο Σχήμα 2.2 φαίνεται το βασικό περιβάλλον του Arena. Η αρχική οθόνη του Arena περιλαμβάνει μια γραμμή τίτλου στο επάνω μέρος της, με το όνομα του μοντέλου. Κάτω από τη γραμμή τίτλου βρίσκεται η γραμμή μενού, που περιλαμβάνει γενικά μενού και μενού ειδικά για το Arena. Κάτω από τη γραμμή μενού, υπάρχει ένα σύνολο γραμμών εργαλείων

που περιλαμβάνουν κουμπιά που υποστηρίζουν τη δημιουργία και την εκτέλεση μοντέλων. Αυτές οι γραμμές εργαλείων μπορούν να εμφανιστούν και να κρυφτούν κάνοντας κλικ στο δεξί κουμπί του ποντικιού στην περιοχή φόντου μιας συγκεκριμένης γραμμής εργαλείων. Ορισμένα κουμπιά της γραμμής εργαλείων αντιγράφουν εύκολα τη λειτουργικότητα ορισμένων επιλογών μενού στη γραμμή του μενού.

Το κυρίαρχο στοιχείο της αρχικής οθόνης είναι ένα παράθυρο μοντέλου, που αποτελείται από μια προβολή διαγράμματος ροής και μια προβολή υπολογιστικού φύλλου.. Ο χρήστης δημιουργεί ενότητες και άλλα αντικείμενα, τα σύρει στον καμβά προβολής του διαγράμματος ροής και σταδιακά δημιουργεί ένα μοντέλο από στοιχεία των εννοιών που επιλέγονται από τη γραμμή «Project» (στα αριστερά) με τη βοήθεια λειτουργιών υποστήριξης.

Επιλέγοντας μια λειτουργική μονάδα στην προβολή του διαγράμματος ροής εμφανίζεται μια προβολή υπολογιστικού φύλλου (κάτω από την προβολή διαγράμματος ροής) που συνοψίζει όλες τις πληροφορίες της μονάδας και επιτρέπει την επεξεργασία των σχετικών δεδομένων. Εκτός από τη γραμμή Project, ο χρήστης μπορεί επίσης να εμφανίσει (ή να αποκρύψει) δύο επιπλέον γραμμές κάτω από τον καμβά του παραθύρου του μοντέλου. Η γραμμή εντοπισμού των σφαλμάτων επιτρέπει στο χρήστη να παρακολουθεί την εξέλιξη των εκτελέσεων της προσομοίωσης, ενώ η γραμμή κατάστασης (κάτω από αυτήν) εμφανίζει οδηγίες και μηνύματα ανατροφοδότησης σχετικά με τις ενέργειες του χρήστη.



Σχήμα 2.2: Βασικό περιβάλλον Arena [9]

Η γραμμή μενού του Arena αποτελείται από έναν αριθμό γενικών μενού όπως το «Αρχείο», η «Επεξεργασία», η «Προβολή», το «Παράθυρο» και η «Βοήθεια» τα οποία υποστηρίζουν αρκετά τη γενική λειτουργικότητα. Διαθέτει επίσης το ακόλουθο σύνολο μενού ειδικά για το Arena:

- Το μενού «Εργαλεία» παρέχει πρόσβαση σε εργαλεία προσομοίωσης και παραμέτρους του Arena
- Το μενού «Τακτοποίηση» υποστηρίζει τις λειτουργίες του διαγράμματος ροής και της σχεδίασης
- Το μενού «Αντικείμενο» υποστηρίζει τις συνδέσεις μονάδων και τη δημιουργία υπομοντέλων
- Το μενού «Εκτέλεση» παρέχει τον έλεγχο της εκτέλεσης της προσομοίωσης
- Η επιλογή της «Εγκατάστασης» ανοίγει μια φόρμα που επιτρέπει στον χρήστη να εισάγει πληροφορίες, όπως παραμέτρους του έργου (όνομα, αναλυτής, ημερομηνία, κ.λπ.), καθώς και παραμέτρους της αναπαραγωγής (διάρκεια, περίοδος προθέρμανσης, κ.λπ.). Διαθέτει επίσης επιλογές που παρέχουν

λειτουργικότητα τύπου VCR για την εκτέλεση των επαναλήψεων της προσομοίωσης και την εκτέλεση των επιλογών του ελέγχου για την παρακολούθηση της κίνησης των οντοτήτων, τις εκχωρήσεις των μεταβλητών κ.λπ.

Μέσω της γραμμής "Project", ο χρήστης μπορεί να αποκτήσει πρόσβαση σε πίνακες προτύπων του Arena, όπου περιλαμβάνονται λειτουργικές μονάδες του Arena, μπλοκ SIMAN και διάφορα άλλα αντικείμενα. Οι πίνακες προτύπων μπορούν να προσαρτηθούν στη γραμμή έργου μέσω του κουμπιού "Επισύναψη" στη βασική γραμμή εργαλείων. Όταν το κουμπί "Επισύναψη" πατηθεί, εμφανίζεται ένα παράθυρο διαλόγου στην οθόνη και εμφανίζονται τα αρχεία ".tro", που αντιστοιχούν σε κάθε πίνακα προτύπων. Επιλέγοντας ένα αρχείο ".tro", ο πίνακας προτύπων προσαρτάται στη γραμμή έργου. Οι διαθέσιμοι πίνακες προτύπων Arena που είναι διαθέσιμοι στους χρήστες περιλαμβάνουν:

- Ο πίνακας προτύπου Basic Process αποτελείται από ένα σύνολο βασικών λειτουργικών μονάδων, όπως Create, Dispose, Process, Decide, Batch, Separate, Assign και Record
- Ο πίνακας προτύπου «Advanced Process» παρέχει πρόσθετες βασικές ενότητες καθώς και πιο προηγμένες, όπως Pickup, Dropoff και Match
- Ο πίνακας προτύπου «Advanced Transfer» αποτελείται από λειτουργικές μονάδες που υποστηρίζουν μεταφορές οντοτήτων στο μοντέλο. Αυτές μπορεί να είναι συνήθεις μεταφορές ή μεταφορές με χρήση εξοπλισμού χειρισμού υλικών
- Ο πίνακας προτύπου «Αναφορές» υποστηρίζει τη δημιουργία αναφορών που σχετίζονται με διάφορα στοιχεία ενός μοντέλου, όπως οντότητες, πόρους, ουρές και ούτω καθεξής
- Ο πίνακας προτύπου «Blocks» περιέχει ολόκληρο το σύνολο των μπλοκ SIMAN
- Ο πίνακας προτύπου «Elements» περιέχει στοιχεία που απαιτούνται για τη δήλωση πόρων μοντέλου, ουρών, μεταβλητών, χαρακτηριστικών και ορισμένων συλλογών στατιστικών στοιχείων

Εκτός από τους παραπάνω πίνακες προτύπων Arena, υποστηρίζονται επίσης οι παρακάτω πίνακες προτύπων Arena από προηγούμενες εκδόσεις:

- Ο πίνακας «Common template» περιέχει λειτουργικές μονάδες Arena όπως Arrive, Server, Depart, Inspect και ούτω καθεξής, καθώς και λειτουργικές μονάδες στοιχείων όπως Stats, Variables, Expressions και Simulate
- Ο πίνακας «προτύπου υποστήριξης» περιέχει ένα υποσύνολο μπλοκ SIMAN που χρησιμοποιούνται συχνά

2.2.6 Αντικείμενα αποθήκευσης δεδομένων

Ένα σημαντικό μέρος της διαδικασίας δημιουργίας μοντέλου είναι η εκχώρηση και αποθήκευση των δεδομένων που παρέχονται από τον χρήστη (παράμετροι εισόδου), ή δημιουργούνται από το μοντέλο κατά τη διάρκεια μιας εκτέλεσης προσομοίωσης (παρατηρήσεις εξόδου). Για να αποθηκεύσει ο χρήστης δεδομένα στο Arena, το πρόγραμμα παρέχει τρεις επιλογές αντικειμένων αποθήκευσης: μεταβλητές, εκφράσεις και χαρακτηριστικά. Οι μεταβλητές και εκφράσεις μπορούν να δημιουργηθούν και να αρχικοποιηθούν μέσω των λειτουργικών μονάδων Variable και Expression, που είναι διαθέσιμες στα πρότυπα Basic Process και Advanced Process αντίστοιχα, και είναι προσβάσιμες στη γραμμή Project του Arena.

Οι μεταβλητές είναι καθολικά αντικείμενα αποθήκευσης δεδομένων που ορίζονται από το χρήστη και χρησιμοποιούνται για την αποθήκευση και την τροποποίηση των πληροφοριών κατάστασης κατά την προετοιμασία της εκτέλεσης, ή κατά τη διάρκεια μιας εκτέλεσης. Τέτοιες (καθολικές) μεταβλητές είναι ορατές παντού στο μοντέλο. Δηλαδή, μπορούν να προσπελαστούν, να εξεταστούν και να τροποποιηθούν από κάθε στοιχείο του μοντέλου. Σε ένα πρόγραμμα Arena, οι μεταβλητές εξετάζονται συνήθως στις ενότητες «Αποφάσεων» και τροποποιούνται στις ενότητες «Εκχώρησης». Σε αντίθεση με τις μεταβλητές που καθορίζονται από το χρήστη, ορισμένες προκαθορισμένες μεταβλητές του Arena (συστήματος) είναι μόνο για ανάγνωση (δηλαδή, μπορούν να εξεταστούν μόνο για να αποφασίσουν σχετικά με μια πορεία δράσης, ή για τη συλλογή στατιστικών στοιχείων) και δε μπορεί να τους εκχωρηθεί μια νέα τιμή από το χρήστη. Το σύστημα δηλαδή είναι αποκλειστικά υπεύθυνο για την αλλαγή αυτών των τιμών. Για παράδειγμα, η μεταβλητή NQ(Machine_Q) αποθηκεύει την τρέχουσα τιμή του αριθμού των οντοτήτων στην ουρά που

ονομάζεται Machine_Q. Ομοίως, η μεταβλητή NR(Machine) αποθηκεύει τον αριθμό των κατεληγμένων μονάδων του πόρου που ονομάζεται Machine. Άλλες σημαντικές μεταβλητές του Arena είναι το TNOW, το οποίο αποθηκεύει την τρέχουσα ώρα της εκτέλεσης της προσομοίωσης (ρολόι προσομοίωσης) και το TFIN, το οποίο αποθηκεύει το χρόνο ολοκλήρωσης της προσομοίωσης.

Οι εκφράσεις μπορούν να θεωρηθούν ως εξειδικευμένες μεταβλητές που αποθηκεύουν την τιμή ενός συσχετισμένου τύπου (έκφραση). Χρησιμοποιούνται ως βολική συντομογραφία για τον υπολογισμό μαθηματικών παραστάσεων που μπορεί να επαναλαμβάνονται σε πολλά μέρη του μοντέλου. Όποτε το όνομα μιας έκφρασης εμφανίζεται στο μοντέλο, αξιολογείται αμέσως σε εκείνο το σημείο του χρόνου προσομοίωσης και η υπολογισμένη τιμή αντικαθιστά το όνομα της έκφρασης. Μεταβλητές οποιουδήποτε είδους (καθορίζονται από το χρήστη ή ορίζονται από το σύστημα) καθώς και χαρακτηριστικά μπορούν να χρησιμοποιηθούν σε εκφράσεις.

Τα χαρακτηριστικά είναι αντικείμενα αποθήκευσης δεδομένων που σχετίζονται με οντότητες. Σε αντίθεση με τις μεταβλητές, οι ιδιότητες είναι τοπικές για κάθε οντότητα και κάθε παρουσία μιας οντότητας έχει το δικό της αντίγραφο των χαρακτηριστικών. Για παράδειγμα, η ώρα άφιξης ενός πελάτη μπορεί να αποθηκευτεί ως χαρακτηριστικό της κάθε παρουσίας πελάτη, προκειμένου να επιτραπεί ο υπολογισμός μεμονωμένων χρόνων αναμονής. Επίσης, όταν οι αφίξεις αποτελούνται από πολλούς τύπους πελατών, ο τύπος της κάθε παρουσίας πελάτη μπορεί επίσης να αποθηκευτεί ως χαρακτηριστικό της κάθε παρουσίας πελάτη, προκειμένου να επιτραπεί η χωριστή συλλογή στατιστικών στοιχείων για κάθε τύπο πελάτη.

2.2.7 Συλλογή δεδομένων μέσω της Ενότητας Στατιστικής

Όπως αναφέρθηκε προηγουμένως, το τελικό προϊόν μιας προσομοίωσης είναι ένα σύνολο στατιστικών που υπολογίζουν μέτρα απόδοσης του υπό μελέτη συστήματος. Τέτοια στατιστικά στοιχεία μπορούν να ταξινομηθούν στις δύο τυπικές κατηγορίες των μέσων όρων χρόνου και των μέσων όρων πελατών. Πιο συγκεκριμένα, οι μέσοι όροι του χρόνου προκύπτουν διαιρώντας την περιοχή κάτω από τη συνάρτηση απόδοσης (π.χ. αριθμός στο σύστημα, περίοδοι καταστάσεων απασχολήσεως και αδράνειας κ.λπ.) με τον χρόνο της προσομοίωσης που έχει παρέλθει. Τα στατιστικά του μέσου όρου πελατών είναι μέσοι όροι τιμών απόδοσης που σχετίζονται με τον πελάτη (π.χ. χρόνοι αναμονής πελατών σε ουρές).

Το Arena παρέχει δύο βασικούς μηχανισμούς για τη συλλογή στατιστικών εξόδων προσομοίωσης: έναν μέσω της μονάδας «Statistic» και τον άλλο μέσω της ενότητας «Record». Τα στατιστικά του μέσου όρου χρόνου συλλέγονται στο Arena μέσω της ενότητας «Statistic», ενώ τα στατιστικά μέσου όρου των πελατών πρέπει να συλλέγονται μέσω μιας ενότητας «Record» και (προαιρετικά) να καθορίζονται στη μονάδα «Statistic».

Η συλλογή λεπτομερών στατιστικών στο Arena καθορίζεται συνήθως στη μονάδα «Statistic» που βρίσκεται στον πίνακα προτύπου «Advanced Process». Επιλέγοντας τη μονάδα «Statistic» ανοίγει ένα παράθυρο διαλόγου. Ο μοντελιστής μπορεί στη συνέχεια να ορίσει τα στατιστικά ως σειρές πληροφοριών στην προβολή υπολογιστικού φύλλου που παραθέτει όλα τα στατιστικά στοιχεία που ορίζονται από το χρήστη. Για κάθε στατιστική, ο μοντελιστής καθορίζει ένα όνομα στη στήλη «Όνομα» και επιλέγει τον τύπο της στατιστικής από μια αναπτυσσόμενη λίστα στη στήλη «Τύπος». Οι επιλογές είναι οι εξής:

- Τα στατιστικά της ώρας είναι απλώς στατιστικά του μέσου χρόνου στην ορολογία του Arena
- Τα τυπικά στατιστικά στοιχεία για την ώρα είναι τα μέσα μήκη ουράς, η χρήση του διακομιστή και οι διάφορες πιθανότητες. Οποιαδήποτε πιθανότητα που ορίζεται από το χρήστη, ή ως μέσος όρος του χρόνου μιας έκφρασης μπορεί να εκτιμηθεί χρησιμοποιώντας αυτήν την επιλογή
- Τα στατιστικά στοιχεία της καταμέτρησης είναι οι μέσοι όροι των πελατών και πρέπει να προσδιορίζονται σε μια ενότητα «Εγγραφής», προκειμένου να ξεκινήσει η συλλογή των στατιστικών στοιχείων. Ωστόσο, συνιστάται να συμπεριλαμβάνεται ο ορισμός στην ενότητα «Statistic», έτσι ώστε ολόκληρο το σύνολο των στατιστικών να μπορεί να προβληθεί στο ίδιο υπολογιστικό φύλλο για ευκολία στη μοντελοποίηση
- Τα στατιστικά των μετρητών χρησιμοποιούνται για την παρακολούθηση των μετρήσεων και πρέπει και αυτά να καθοριστούν σε μια ενότητα «Εγγραφής» προκειμένου να ξεκινήσει η συλλογή στατιστικών
- Τα στατιστικά στοιχεία της εξόδου λαμβάνονται με την αξιολόγηση μιας έκφρασης στο τέλος μιας εκτέλεσης προσομοίωσης. Οι εκφράσεις μπορεί να περιλαμβάνουν μεταβλητές του Arena όπως DAVG(S) (μέσος όρος χρόνου του στατιστικού του χρόνου S), TAVG(S) (ο μέσος όρος του στατιστικού

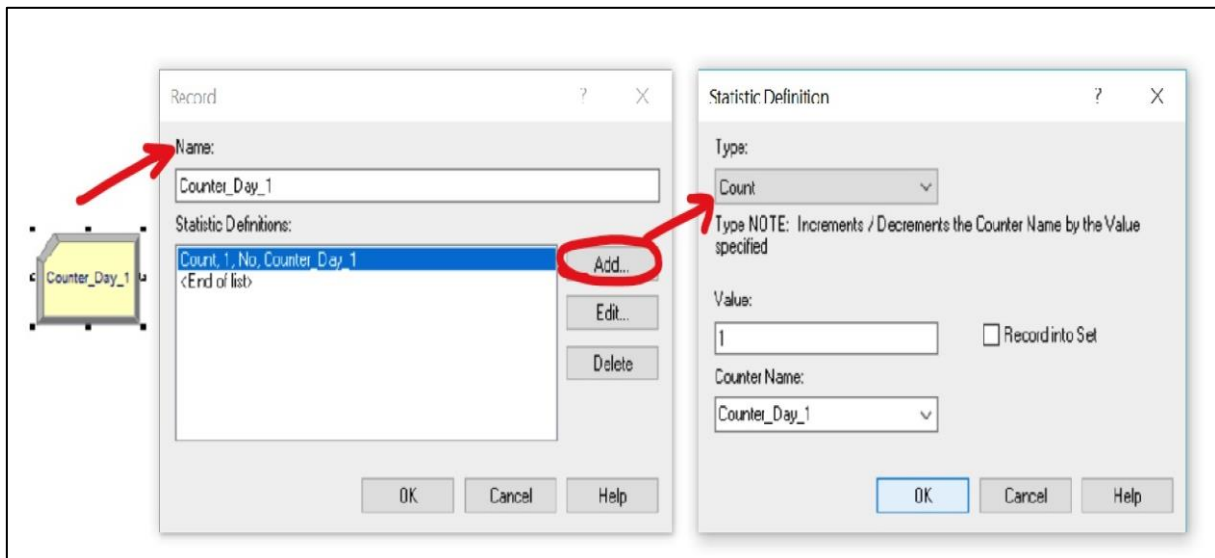
καταμέτρησης S), TFIN (χρόνος ολοκλήρωσης της προσομοίωσης), NR(), NQ() , ή οποιαδήποτε μεταβλητή από τον Οδηγό μεταβλητών του Arena

- Τα στατιστικά στοιχεία της συχνότητας χρησιμοποιούνται για την παραγωγή κατανομών συχνότητας (τυχαίων) εκφράσεων, όπως μεταβλητές Arena, ή καταστάσεις πόρων. Αυτός ο μηχανισμός επιτρέπει στους χρήστες να υπολογίζουν τις πιθανότητες των γεγονότων σε σταθερή κατάσταση, όπως η κατάληψη της ουράς ή οι καταστάσεις των πόρων

Όλα τα στατιστικά στοιχεία που ορίζονται στη μονάδα «Statistic» αναφέρονται αυτόματα στην ενότητα «User Specified» της αναφοράς εξόδου του Arena. Επιπλέον, τα στατιστικά στοιχεία της ουράς και του χρόνου των πόρων θα υπολογιστούν αυτόματα και δε χρειάζεται να οριστούν στη μονάδα «Statistic».

2.2.8 Συλλογή δεδομένων μέσω της Ενότητας Εγγραφής

Η ενότητα «Εγγραφή» χρησιμοποιείται για τη συλλογή διαφόρων στατιστικών στοιχείων. Οποιαδήποτε στατιστικά στοιχεία που σχετίζονται με τους μέσους όρους των πελατών, ή τις παρατηρήσεις των πελατών (π.χ. Counter), πρέπει να προσδιορίζονται σε μια ενότητα «Εγγραφής». Στο Σχήμα 2.3: Τύποι στατιστικών που συλλέγονται από την Ενότητα «Εγγραφή» εμφανίζεται ένα πλαίσιο διαλόγου για την Ενότητα «Εγγραφής», που παραθέτει τον τύπο Count ως παράδειγμα στο πεδίο «Τύπος».



Σχήμα 2.3: Τύποι στατιστικών που συλλέγονται από την Ενότητα «Εγγραφή» [10]

Οι επιλογές γενικότερα σε αυτή την καρτέλα είναι οι εξής:

- Η επιλογή Count διατηρεί μια μέτρηση με μια προβλεπόμενη αύξηση (θετική ή αρνητική). Η αύξηση είναι αρκετά γενική (μπορεί να οριστεί ως οποιαδήποτε έκφραση, ή συνάρτηση και μπορεί να λάβει οποιαδήποτε πραγματική τιμή). Ο αντίστοιχος μετρητής αυξάνεται κάθε φορά που μια οντότητα εισέρχεται στη μονάδα «Εγγραφής»
- Η επιλογή «Στατιστικά οντοτήτων» παρέχει πληροφορίες για οντότητες, όπως πληροφορίες χρόνου, κόστους/διάρκειας κ.λπ.
- Η επιλογή «Time Interval» υπολογίζει τη διαφορά μεταξύ της τρέχουσας ώρας και του χρόνου που είναι αποθηκευμένος σε ένα προκαθορισμένο χαρακτηριστικό της οντότητας που εισέρχεται
- Η επιλογή «Time Between» υπολογίζει το χρονικό διάστημα μεταξύ των διαδοχικών καταχωρήσεων των οντοτήτων στη μονάδα «Εγγραφής». Αυτά τα διαστήματα αντιστοιχούν σε χρόνους μεταξύ των αναχωρήσεων από τη μονάδα και το αντίστροφο των μέσων χρόνων μεταξύ των αναχωρήσεων και είναι η απόδοση της μονάδας
- Η επιλογή «Έκφραση» καταγράφει μια παράσταση της οποίας η τιμή υπολογίζεται εκ νέου κάθε φορά που μια οντότητα εισέρχεται στη λειτουργική μονάδα «Εγγραφή».

Εκτός από την επιλογή Στατιστικά στοιχεία οντοτήτων, όλες οι παραπάνω επιλογές υλοποιούνται στο SIMAN μέσω μπλοκ COUNT ή TALLY.

2.2.9 Αναφορές προσομοίωσης και εξόδου στο Arena

Μια εκτέλεση ενός μοντέλου στο Arena μπορεί να ξεκινήσει και να διαχειριστεί με δύο τρόπους:

- Μέσω των κουμπιών που μοιάζουν με VCR στη γραμμή εργαλείων «Arena Standard»
- Μέσω των αντίστοιχων επιλογών στην αναπτυσσόμενη γραμμή μενού «Εκτέλεση»

Οι αναφορές εξόδου «Standard Arena» παρέχουν περιλήψεις των στατιστικών στοιχείων εκτέλεσης της προσομοίωσης, όπως ζητήθηκε από τον διαμορφωτή έμμεσα, ή ρητά. Κατά συνέπεια, οι αναφορές εξόδου του Arena χωρίζονται σε δύο κατηγορίες:

- Αυτόματες αναφορές: Ένας αριθμός κατασκευών Arena, όπως οντότητες, ουρές και πόροι, θα δημιουργήσουν αυτόματα αναφορές συνοπτικών στατιστικών στο τέλος μιας εκτέλεσης της προσομοίωσης. Αυτά τα στατιστικά στοιχεία καθορίζονται σιωπηρά από το διαμορφωτή απλώς με μεταφορά και απόθεση αυτών των λειτουργικών μονάδων σε ένα μοντέλο Arena και δεν απαιτείται περαιτέρω ενέργεια από τον χρήστη
- Αναφορές που καθορίζονται από το χρήστη. Αυτές οι αναφορές μπορούν να ληφθούν για πρόσθετα στατιστικά στοιχεία προσδιορίζοντας ρητά τη συλλογή στατιστικών μέσω της ενότητας «Statistic» (Πίνακας προτύπου Advanced Process) και της ενότητας «Record» (Πίνακας προτύπου Basic Process).

Για να ζητήσει μια μορφοποιημένη αναφορά, ο χρήστης ανοίγει τον πίνακα «Αναφορές» στη γραμμή «Έργου» για να εμφανίσει μια λίστα επιλογών αναφοράς που αντιστοιχούν σε διάφορους τύπους στατιστικών ως εξής:

- Οι αναφορές των οντοτήτων παρέχουν αυτόματα διάφορες μετρήσεις των οντοτήτων
- Οι αναφορές συχνотήτων παρέχουν χρονικούς μέσους όρους των εκφράσεων (συμπεριλαμβανομένων των πιθανοτήτων ως ειδική περίπτωση). Η έκφραση πρέπει να καθοριστεί σε μια ενότητα «Statistic» με επιλεγμένη την επιλογή «Frequency»
- Οι αναφορές των διεργασιών παρέχουν στατιστικά στοιχεία που σχετίζονται με την κάθε ενότητα των «Διαδικασιών». Αυτά περιλαμβάνουν τις μετρήσεις των εισερχόμενων και των εξερχόμενων οντοτήτων, τους μέσους χρόνους εξυπηρέτησης και τις μέσες καθυστερήσεις. Τα στατιστικά στοιχεία προσανατολισμένα στο χρόνο (π.χ. καθυστερήσεις) περιλαμβάνουν το μέσο όρο, το μισό πλάτος των διαστημάτων εμπιστοσύνης 95% και τις ελάχιστες και μέγιστες παρατηρούμενες τιμές. Η τιμή του μισού πλάτους δεν εμφανίζεται εάν οι παρατηρήσεις συσχετίζονται, ή αν υπάρχουν ανεπαρκή δεδομένα (οπότε το Arena εκτυπώνει «ανεπαρκές» στο αντίστοιχο πεδίο)
- Οι αναφορές ουρών παρέχουν στατιστικά στοιχεία για κάθε ουρά στο μοντέλο, όπως τη μέση καθυστέρηση της ουράς και το μέσο μέγεθος της ουράς. Τα πρόσθετα στατιστικά στοιχεία περιλαμβάνουν το μισό πλάτος του διαστήματος εμπιστοσύνης 95% και τις ελάχιστες και μέγιστες παρατηρούμενες τιμές
- Οι αναφορές των πόρων παρέχουν στατιστικά στοιχεία για κάθε πόρο του μοντέλου, όπως η χρήση, ο μέσος αριθμός απασχολημένων μονάδων των πόρων και ο αριθμός των φορών
- Οι αναφορές που καθορίζονται από το χρήστη δημιουργούνται ως απόκριση σε ρητά αιτήματα του μοντελιστή για τη συλλογή στατιστικών στοιχείων στην ενότητα «Statistic» ή στις μονάδες «Record». Σε αυτά περιλαμβάνονται τυχόν στατιστικά στοιχεία για τα μόνιμα χρονικά στοιχεία, τα στοιχεία καταμέτρησης, μέτρησης, συχνότητας και εξόδου

Κάνοντας κλικ σε μια επιλογή αναφοράς στον πίνακα προτύπου «Αναφορές» της γραμμής «έργου» ζητά από το Arena να μορφοποιήσει την αντίστοιχη αναφορά και να την εμφανίσει σε ένα παράθυρο. Το επάνω μέρος αυτού του παραθύρου περιέχει κουμπιά

πλοήγησης που μοιάζουν με VCR που επιτρέπουν στο χρήστη να περιηγηθεί στις σελίδες των αναφορών.

Μπορεί να επιλεγεί οποιοσδήποτε αριθμός επιλογών (διαδοχικά) και η προκύπτουσα αναφορά που δημιουργείται από το Arena θα αποτελείται από αντίστοιχες ενότητες αναφοράς. Το κουμπί «Εναλλαγή» στο επάνω μέρος του παραθύρου αναφοράς αναδύει ένα πλαίσιο προεπισκόπησης για να βοηθήσει στην πλοήγηση στις ενότητες της αναφοράς.

Κεφάλαιο 3. ΣΥΛΛΟΓΗ ΔΕΔΟΜΕΝΩΝ ΚΑΙ ΠΡΟΣΟΜΟΙΩΤΙΚΟ ΜΟΝΤΕΛΟ

Σε αυτό το κεφάλαιο θα παρουσιαστεί αναλυτικά η δομή της επιχείρησης καθώς και η δημιουργία του μοντέλου προσομοίωσης και η αντίστοιχη συλλογή των δεδομένων

3.1 Συλλογή δεδομένων

3.1.1 Γενικά

Το κύριο ζήτημα για αυτή τη μελέτη μπορεί να δηλωθεί ως η εύρεση των χαρακτηριστικών της επιχείρησης για την εκπλήρωση ενός καθορισμένου έργου παραγωγής. Για να επιτευχθεί αυτός ο στόχος, πρώτα θα πρέπει να μοντελοποιηθεί η επιχείρηση με τον τρέχοντα φόρτο εργασίας της. Στη συνέχεια, νέες εργασίες αναβάθμισης θα πειραματιστούν στο αναπτυγμένο μοντέλο. Για την κατασκευή του μοντέλου, θα ακολουθήσει ο μοντελιστής τα βήματα που εξηγούνται παρακάτω.

Για να υπάρξουν ρεαλιστικά και ακριβή αποτελέσματα, το μοντέλο πρέπει να αναπτυχθεί με επιτυχία. Η εργασία της ανάπτυξης του μοντέλου μπορεί να χωριστεί σε δύο κύρια μέρη. Το ένα από αυτά είναι το τμήμα μπλοκ/μονάδων που είναι μέρος του προγραμματισμού του εργαλείου και το άλλο είναι το τμήμα των κινούμενων εικόνων όπου εμφανίζεται η κινούμενη εικόνα της προσομοίωσης. Μετά τον προσδιορισμό των κύριων ιδιοτήτων της επιχείρησης θα πρέπει να δημιουργηθεί η λειτουργική περιγραφή των στοιχείων του συστήματος και οι αλληλεπιδράσεις τους με τις εισερχόμενες θέσεις εργασίας, ή εξοπλισμού αντίστοιχα. Για την επίτευξη αυτού του στόχου πρέπει να συλλεχθούν ορισμένα βασικά δεδομένα. Αυτά τα δεδομένα που συλλέγονται θα χρησιμοποιηθούν, είτε για το τμήμα του προγραμματισμού, είτε για το τμήμα των κινούμενων εικόνων του μοντέλου.

Τα βήματα που πρέπει να ακολουθήσει ο μοντελιστής για τη συλλογή δεδομένων είναι τα εξής:

- Προσδιορισμός των Παραμέτρων της Προσομοίωσης: Πρόγραμμα εργασίας
- Προσδιορισμός των δυνατοτήτων πόρων (εργασίας και μηχανής) της επιχείρησης: Πρέπει να προετοιμαστεί η λίστα των πόρων. Η εξειδίκευση των εργαζομένων και των τύπων των μηχανών θα πρέπει να αναγράφονται σε αυτόν τον κατάλογο
- Εξέταση των Μηχανών και των Ακολουθιών: Τα δεδομένα για τις μηχανές παρέχουν πληροφορίες στο μοντελιστή σχετικά με τον κανόνα της αλληλουχίας για την κατεργασία
- Προετοιμασία του Σκίτσου: Το σκίτσο της εταιρείας πρέπει να σχεδιαστεί όπως ακριβώς υπάρχει. Αυτό το σκίτσο θα χρησιμοποιηθεί για φόντο της κινούμενης εικόνας (Το Arena επιτρέπει στο χρήστη να ενσωματώσει σκίτσα MS VISIO® ή AutoCAD® σε μοντέλα προσομοίωσης)

Σε αυτό το βήμα, θα πρέπει να προετοιμαστούν τα δεδομένα και θα πρέπει να υπάρξει η κατάλληλη οργάνωση. Μια πολύ γνωστή αρχή της προσομοίωσης είναι το «Garbage In – Garbage Out», που σημαίνει ότι ακόμη και ένα καλά ανεπτυγμένο μοντέλο δε θα μπορούσε να παράγει αποτελέσματα πλησίον της πραγματικότητας, εάν τα δεδομένα εισόδου του διαφέρουν από αυτά που υπάρχουν στην πραγματικότητα. Θα πρέπει να λαμβάνονται υπόψη στατιστικές εκτιμήσεις κατά την περιγραφή των τυχαίων παραγόντων, π.χ. τυχαίων μεταβλητών. Επίσης αυτό το βήμα περιλαμβάνει τους τύπους των κατανομών των πιθανοτήτων που χρησιμοποιούνται για την περιγραφή των τυχαίων μεταβλητών εισόδου. Τα στοιχεία που πρέπει να γίνουν βήμα προς βήμα κατά τη συλλογή δεδομένων είναι τα ακόλουθα με τη σειρά.

- Πρέπει να περιγραφεί ο τύπος της οντότητας και ο κύκλος διεργασίας της
- Τα μέρη της οντότητας και οι ακολουθίες διεργασιών τους πρέπει να καθοριστούν
- Πρέπει να προετοιμαστεί ο πίνακας καταλόγου των διάφορων μερών
- Το σχέδιο της διαδικασίας πρέπει να αναλυθεί
- Πρέπει να καθοριστούν οι χρόνοι κατεργασίας και οι διανομές των εισροών

- Θα πρέπει να λαμβάνονται υπόψη από τον μοντελιστή επίσης, οι ώρες άφιξης, οι χρόνοι μεταφοράς μεταξύ των μηχανών, οι χρόνοι εγκατάστασης και οι ώρες εργασίας

3.1.2 Ιδιότητες της επιχείρησης και γενικό σύστημα

Για την παρούσα εργασία επιλέχθηκε μια εταιρεία παραγωγής ζεστών γευμάτων. Η εταιρεία παραγωγής ζεστών γευμάτων λειτουργεί με την υπόθεση της εκ των προτέρων γνώση των παραγγελιών της. Αυτό σημαίνει ότι υπάρχει μεγάλη ζήτηση για τα ζεστά γεύματα και επομένως υπάρχει η υπόθεση ότι τα περισσότερα γεύματα θα διατίθενται προς δεδομένη πώληση.

Το υπό εξέταση μοντελοποιημένο σύστημα είναι ένα σύστημα κατασκευής διακριτών γευμάτων. Όλες οι εργασίες για την παραγωγή των ζεστών γευμάτων γίνονται στην εταιρεία, αγοράζοντας μόνο τις πρώτες ύλες (υλικά) των αντίστοιχων γευμάτων. Για να βελτιστοποιηθεί η απόδοση του συστήματος, όλα τα πιθανά προβλήματα θα πρέπει να προσδιοριστούν πριν από την ανάπτυξη του μοντέλου.

Η πολιτική παραγωγής της εταιρείας ζεστών γευμάτων βασίζεται σε σύστημα παραγγελιών στη συνέχεια αφού ήδη έχει ξεκινήσει η παραγωγή τους. Τα περισσότερα παραγγελθέντα προϊόντα ελήφθησαν ως οντότητα για μοντελοποίηση της προσομοίωσης. Αναλυτικά δεδομένα των οντοτήτων θα συλλεχθούν στο επόμενο βήμα. Το ωράριο των εργαζομένων ορίστηκε από τις 8:00 π.μ. έως τις 4:00 μ.μ. , με 30 λεπτά μεσημεριανό διάλειμμα. Εάν το μεσημεριανό διάλειμμα έρθει πριν ο εργαζόμενος ολοκληρώσει τη δουλειά του, κάνει το διάλειμμα των 30 λεπτών μετά την ολοκλήρωση της εργασίας.

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

Η επιχείρηση χωρίστηκε για την εισαγωγή στο πρόγραμμα Arena στα εξής επιμέρους τμήματα:

- Τμήμα εισαγωγής των υλικών και προετοιμασίας

- Τμήμα μαγειρέματος
- Τμήμα ομαδοποίησης και πακεταρίσματος

3.2 Δεδομένα εισόδου προσομοίωσης

Τα δεδομένα εισόδου στην προσομοίωση αποτελούν οι χρόνοι λειτουργίας και αντίστοιχης παραγωγής του εξοπλισμού, καθώς και οι αφίξεις των υλικών στην αντίστοιχη γραμμή παραγωγής, οι χρόνοι προετοιμασίας και επεξεργασίας των υλικών κ.λπ. Για την εύρεση των κατάλληλων κατανομών όπου θα ικανοποιούν τα δεδομένα της επιχείρησης, ερευνήθηκαν οι πιο κοινώς χρησιμοποιούμενες κατανομές.

Πιο συγκεκριμένα, το λογισμικό Arena περιέχει διάφορες ενσωματωμένες συναρτήσεις για τη δημιουργία τυχαίων διακυμάνσεων από τις κοινώς χρησιμοποιούμενες κατανομές πιθανοτήτων. Κάθε κατανομή αποτελείται στο Arena από μία, ή περισσότερες τιμές παραμέτρων που σχετίζονται με αυτήν και απαιτείται να καθορίσει αυτές τις τιμές των παραμέτρων [7].

Αυτές οι κατανομές μπορούν να καθοριστούν χρησιμοποιώντας δύο διαφορετικές μορφές. Η κύρια μορφή μπορεί να επιλεγεί χρησιμοποιώντας το πλήρες όνομα της μεταβλητής, ή μια συντομογραφία τεσσάρων γραμμάτων του ονόματος. Η δευτερεύουσα μορφή επιλέγεται προσδιορίζοντας την κατανομή με συντομογραφία δύο γραμμάτων.

Στην κύρια μορφή είναι απαραίτητο να εισαχθούν ρητά οι παράμετροι της κατανομής ως ορίσματα, για παράδειγμα $TRIA(1, 2, 3)$ στη δευτερεύουσα μορφή. Για παράδειγμα το $TR(ProcessTime)$ καθορίζει μια Τριγωνική κατανομή με το ελάχιστο, τη λειτουργία και το μέγιστο που ορίζονται στο σύνολο παραμέτρων $ProcessTime$.

Η διακριτή εμπειρική κατανομή χρησιμοποιείται για την ενσωμάτωση διακριτών εμπειρικών δεδομένων απευθείας στο μοντέλο. Χρησιμοποιείται συχνά για διακριτές αναθέσεις, όπως ο τύπος εργασίας, η ακολουθία επισκέψεων, ή το μέγεθος της παρτίδας για μια οντότητα που φτάνει.

Η διακριτή συνάρτηση επιστρέφει ένα δείγμα από μια καθορισμένη από το χρήστη διακριτή κατανομή πιθανότητας που ορίζεται από το σύνολο των n δυνατών διακριτών τιμών $(x_1, \dots, x_n)$ που μπορούν να επιστραφούν από τη συνάρτηση και τις αθροιστικές πιθανότητες $(c_1, \dots, c_n)$ που σχετίζονται με αυτές τις διακριτές τιμές.

$$p(x_j) = c_j - c_{j-1} \text{ όπου } c_0 = 0 \quad (3.1)$$

Η κατανομή Erlang χρησιμοποιείται συνήθως όταν μια δραστηριότητα εμφανίζεται σε διαδοχικές φάσεις και καθεμία από αυτές έχει μια εκθετική κατανομή. Αυτή η κατανομή χρησιμοποιείται συχνά για να αναπαραστήσει τον χρόνο που απαιτείται για την ολοκλήρωση μιας εργασίας.

Ο μέσος όρος (β) καθεμιάς από τις συνιστώσες εκθετικές κατανομές και ο αριθμός των εκθετικών τυχαίων μεταβλητών (k) είναι οι παράμετροι αυτής της κατανομής.

$$f(x) = \begin{cases} \frac{\beta^{-k} x^{k-1} e^{-x/\beta}}{(k-1)!} \text{ για } x > 0 \\ 0 \text{ για } x \leq 0 \end{cases} \quad (3.2)$$

Η εκθετική κατανομή χρησιμοποιείται για τη μοντελοποίηση των χρόνων παρέμβασης σε διαδικασίες τυχαίας άφιξης και ανάλυσης, αλλά συνήθως είναι ακατάλληλη για τους χρόνους καθυστέρησης της διαδικασίας μοντελοποίησης.

Ο μέσος όρος (β) είναι η παράμετρος αυτής της κατανομής και είναι ένας θετικός πραγματικός αριθμός.

$$f(x) = \begin{cases} \frac{1}{\beta} e^{-x/\beta} \text{ για } x > 0 \\ 0 \text{ για } x \leq 0 \end{cases} \quad (3.3)$$

Η κανονική κατανομή χρησιμοποιείται όταν ισχύει το κεντρικό οριακό θεώρημα και, εμπειρικά, για διαδικασίες που φαίνεται να έχουν συμμετρική κατανομή. Επειδή η κανονική κατανομή έχει ένα θεωρητικό εύρος $(-\infty, +\infty)$, δε μπορεί να χρησιμοποιηθεί για θετικές ποσότητες όπως οι χρόνοι επεξεργασίας.

Ο μέσος όρος (μ) είναι ένας πραγματικός αριθμός και η τυπική απόκλιση (σ) είναι ένας θετικός πραγματικός αριθμός.

$$f(x) = \frac{1}{\sigma\sqrt{2\pi}} e^{-(x-\mu)^2/(2\sigma^2)} \text{ για κάθε πραγματικό } x \quad (3.4)$$

Η τριγωνική κατανομή χρησιμοποιείται όταν η ακριβής μορφή της κατανομής είναι άγνωστη αλλά υπάρχουν διαθέσιμες εκτιμήσεις για τις ελάχιστες, τις πιο πιθανές και τις μέγιστες τιμές.

Το ελάχιστο (a), η πιο συχνή τιμή (m) και το μέγιστο (b) για την τριγωνική κατανομή είναι πραγματικοί αριθμοί με $a < m < b$.

$$f(x) = \begin{cases} \frac{2(x-a)}{(m-a)(b-a)} & \text{για } a \leq x \leq m \\ \frac{2(b-x)}{(b-m)(b-a)} & \text{για } m \leq x \leq b \\ 0 & \text{για άλλη περ.} \end{cases} \quad (3.5)$$

Η ομοιόμορφη κατανομή χρησιμοποιείται όταν όλες οι τιμές σε ένα πεπερασμένο εύρος θεωρούνται εξίσου πιθανές. Μερικές φορές χρησιμοποιείται όταν δεν υπάρχουν διαθέσιμες πληροφορίες εκτός από το εύρος. Το ελάχιστο (a) και το μέγιστο (b) είναι πραγματικές τιμές με $a < b$.

$$f(x) = \begin{cases} \frac{1}{b-a} & \text{για } a \leq x \leq b \\ 0 & \text{για άλλη περ.} \end{cases} \quad (3.6)$$

Η κατανομή weibull χρησιμοποιείται σε μοντέλα αξιοπιστίας για να αναπαραστήσει τη διάρκεια ζωής μιας συσκευής. Εάν ένα σύστημα αποτελείται από μεγάλο αριθμό εξαρτημάτων που αποτυγχάνουν ανεξάρτητα και εάν αυτό το σύστημα αποτύχει όταν κάποιο μεμονωμένο εξάρτημα αποτύχει, τότε ο χρόνος μεταξύ των διαδοχικών αστοχιών ακολουθεί την κατανομή weibull.

Η παράμετρος της κλίμακας (β) και η παράμετρος του σχήματος (α) είναι θετικοί πραγματικοί αριθμοί.

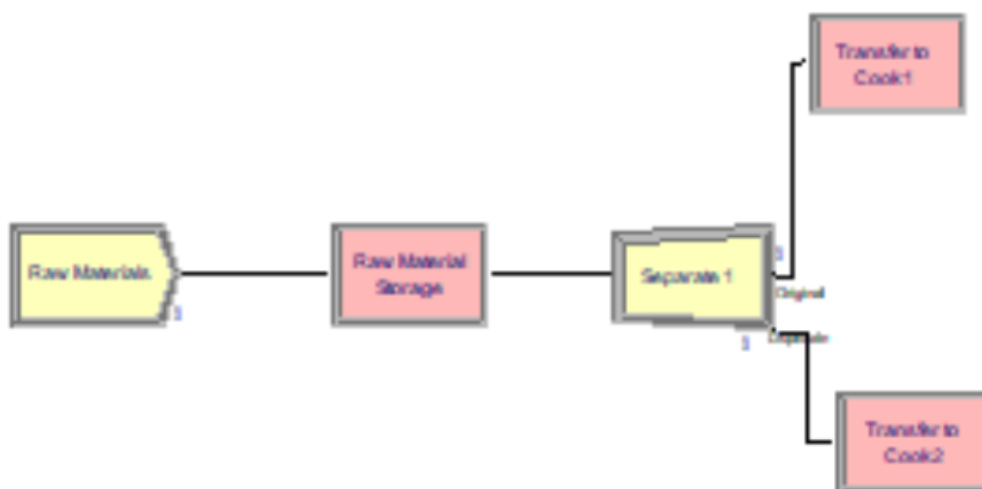
$$f(x) = \begin{cases} \alpha \beta^{-\alpha} x^{\alpha-1} e^{-\left(\frac{x}{\beta}\right)^{\alpha}} & \text{για } x > 0 \\ 0 & \text{για άλλη περ.} \end{cases} \quad (3.7)$$

3.3 Προσομοίωση εισαγωγής των υλικών και προετοιμασίας

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

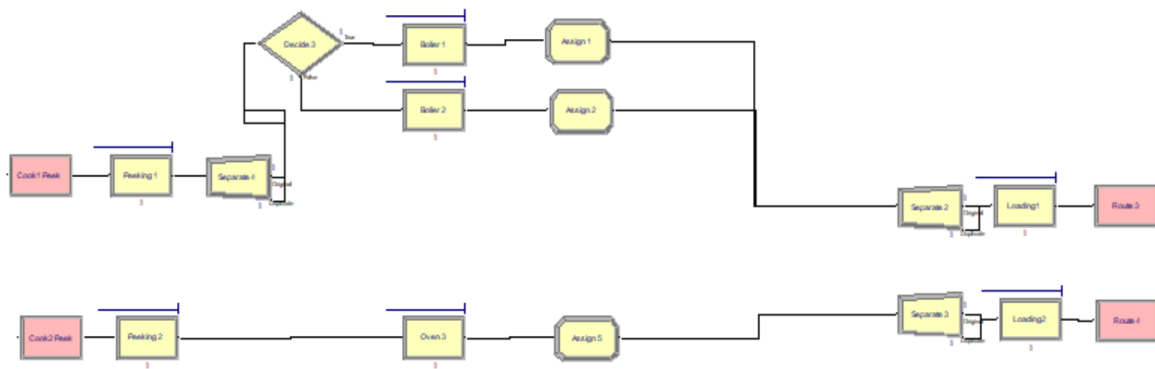
Στο Σχήμα 3.1: Εισαγωγή των υλικών και προετοιμασία παρατηρείται το πρώτο τμήμα της διακριτοποίησης των επιμέρους τμημάτων της επιχείρησης, το οποίο αφορά την εισαγωγή των υλικών στη γραμμή παραγωγής και την προετοιμασία τους, όπως και μοντελοποιήθηκε.

Μετά από τη διαχείριση των δεδομένων σχετικά με τους χρόνους άφιξης των νέων υλικών κάθε φορά στη γραμμή παραγωγής, σε συνδυασμό με την επιλογή στο Arena για την εύρεση της κατάλληλης κατανομής δημιουργήθηκε μια εξίσωση προσεγγιστική των χρόνων άφιξης. Η κατανομή με την οποία εισέρχονταν οι πρώτες ύλες είναι 50 κουτ./ώρα και αυτό προκύπτει από τον πραγματικό χρόνο που κάνει ο αποθηκάριος να παραλάβει όλα τα υλικά για το καθημερινό φαγητό και να τα μεταφέρει σε μορφή παλέτας στην κουζίνα οτιδήποτε περισσεύει τοποθετείτε σε αποθηκευτικό χώρο στο χώρο των πρώτων υλών. Στην συνέχεια γίνεται διαχωρισμός των πρώτων υλών, τα υλικά τα οποία είναι για τον φούρνο μεταφέρονται στο φούρνο και τα υλικά τα οποία είναι για βραστήρα πάνε στον βραστήρα.



3.4 Προσομοίωση του τμήματος μαγειρέματος

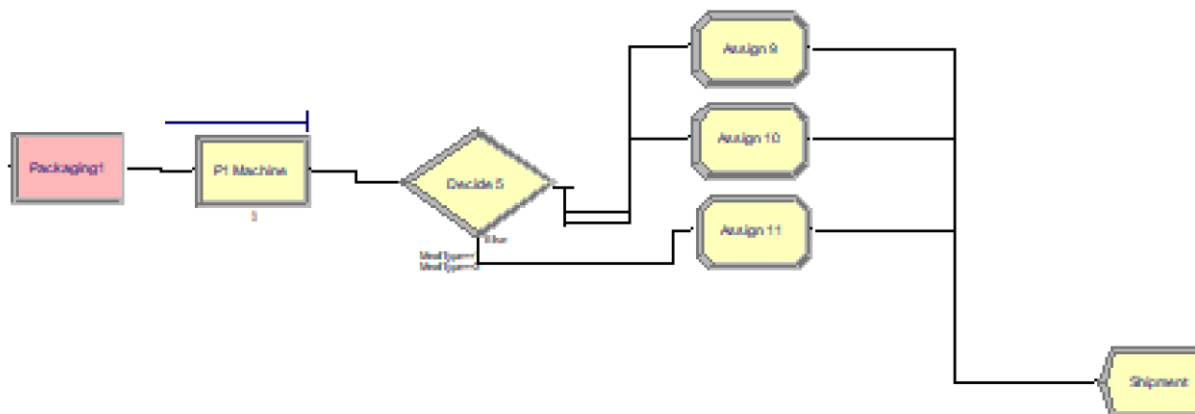
Σε αυτό το διακριτό τμήμα της επιχείρησης χρησιμοποιούνται τα προετοιμασμένα υλικά με σκοπό το ψήσιμο, ή το βράσιμο μέσα στο φούρνο, ή στο βραστήρα αντίστοιχα. Αυτή η διαδικασία όπως μοντελοποιήθηκε και στο λογισμικό Arena φαίνεται στο Σχήμα 3.2: Μαγείρεμα των υλικών στο φούρνο και στους βραστήρ. Στη μία γραμμή της παραγωγής τοποθετούνται τα υλικά που προορίζονται για ψήσιμο, ενώ στην άλλη γραμμή της παραγωγής τοποθετούνται τα υλικά που προορίζονται για βράσιμο. Την διαδικασία αυτή την στελεχώνουν 2 άτομα μάγειρες οι οποίοι μαγειρεύουν και τροφοδοτούν το τμήμα συσκευασίας. Για το λόγο ότι υπάρχουν δύο βραστήρες υπάρχει και μία αντίστοιχη συνθήκη που ελέγχει ποιος από τους δύο βραστήρες είναι διαθέσιμος με σκοπό να τοποθετηθούν εκεί τα υλικά. Ο χρόνος για το μαγείρεμα του κάθε υλικού ποικίλει επομένως μετά από ανάλυση των επιμέρους δεδομένων. Μετά από καλύτερη ανάλυση στα δεδομένα βρέθηκε ότι οι χρόνοι μαγειρέματος παρουσίαζαν κάποιες συγκεκριμένες ελάχιστες και μέγιστες τιμές. Τα γεύματα όπου μαγειρεύονται είναι συγκεκριμένα, επομένως και οι αντίστοιχοι χρόνοι μπορούν να εκτιμηθούν. Για το λόγο αυτό τελικά χρησιμοποιήθηκε η τριγωνική κατανομή. Με ελάχιστη τιμή τα 10 λεπτά μέγιστη τα 35 και μέση τιμή 25 λεπτά για τους βραστήρες. Για τον φούρνο πάλι ακολουθήθηκε τριγωνική κατανομή με ελάχιστη τιμή τα 20 λεπτά μέγιστη τα 45 και μέση τα 35 λεπτά. Τα δεδομένα έχουν αντληθεί από τα πραγματικά δεδομένα σε πραγματικές συνθήκες και έχουν σημειωθεί σε διάρκεια ενός μήνα.



Σχήμα 3.2: Μαγείρεμα των υλικών στο φούρνο και στους βραστήρες

3.5 Προσομοίωση του τμήματος ομαδοποίησης και πακεταρίσματος

Η διαδικασία στο τμήμα της ομαδοποίησης και του πακεταρίσματος είναι απλή. Στην είσοδο έρχονται τα έτοιμα και μαγειρεμένα τρόφιμα και τοποθετούνται σε πακέτα. Η διαδικασία ακολουθεί την αρχή «First in – First out», δηλαδή τα τρόφιμα που εισέρχονται πρώτα τοποθετούνται σε πακέτα και πρώτα. Έπειτα από αυτή τη διαδικασία τα πακέτα αποχωρούν από το σύστημα (Σχήμα 3.3: Πακετάρισμα μαγειρεμένων γευμάτων σε κουτιά). Το τμήμα συσκευασίας το στελεχώνουν τρία άτομα, ένα που τροφοδοτεί την μηχανή ένα που τοποθετεί τα έτοιμα γεύματα σε θερμομποξ και ένας που τροφοδοτεί τα φορτηγά, η μηχανή συσκευάζει 11 γεύματα το λεπτό. Το φαγητό τοποθετείτε σε ειδικές συσκευασίες ret και σφραγίζεται από την μηχανή με ειδικό φιλμ.



Σχήμα 3.3: Πακετάρισμα μαγειρεμένων γευμάτων σε κουτιά

3.6 Συμπεράσματα

Σε αυτή την πρώτη προσομοίωση προσπαθήσαμε να επαληθεύσουμε μέσω του Arena τις πραγματικές συνθήκες παραγωγής. Μετά από την εξαγωγή της συνολικής παραγωγής και των σχετικών χρόνων μπορέσαμε να επαληθεύσουμε ότι προσομοιώνονται οι πραγματικές συνθήκες παραγωγής. Με αυτόν τον τρόπο μπορούμε στη συνέχεια αξιόπιστα να υποθέσουμε τη λειτουργία του Arena σε εναλλακτικά σενάρια.

Το επόμενο βήμα αφορά το «τρέξιμο» της προσομοίωσης στο λογισμικό με σκοπό τη διαπίστωση της λειτουργικότητας του συστήματος της επιχείρησης και το σημείο στο οποίο θα μπορούσαν να προταθούν βελτιώσεις.

Για την επιχείρηση υπήρχε ένα καθορισμένος τρόπος λειτουργίας ο οποίος αφορά 24 ώρες λειτουργίας σε ημερήσια βάση. Τα αποτελέσματα από την πρώτη αυτή προσομοίωση παρουσιάζονται παρακάτω.

Στον Πίνακα 3.1: Συνολικοί χρόνοι και χρόνοι αναμονής παρουσιάζονται οι χρόνοι όπου απαιτούνται συνολικά για τη δημιουργία και διάθεση των ζεστών γευμάτων, καθώς και οι αντίστοιχοι χρόνοι που πρέπει να περιμένουν στην ουρά. Μπορεί να βρεθεί ότι υπάρχει κάποια ανομοιομορφία στους αντίστοιχους χρόνους αναμονής για τη συνολική διαδικασία, καθώς και ο χρόνος αναμονής είναι αρκετά μικρός συγκριτικά με τη διαδικασία παρασκευής.

Πίνακας 3.1: Συνολικοί χρόνοι και χρόνοι αναμονής

	Συνολικές μερίδες ανά τμήμα	Αναμονή ανά τμήμα (λεπτά)
Μαγειρεμα βραστήρα 1	1500	75
Μαγείρεμα βραστήρα 2	1140	20
Μαγείρεμα φούρνου	840	20
Πακετάρισμα	3480	30

Ο τελικός πίνακας που παράχθηκε από το Arena αποτυπώνεται παρακάτω (Πίνακας 3.2: Τελικός πίνακας προσομοίωσης στο Arena και τελικά προϊόντα) και στο τέλος φαίνονται τα συνολικά ζεστά γεύματα που παράγονται από την προσομοίωση τα οποία είναι συνολικά 3.480 μερίδες. Περισσότερες λεπτομέρειες για τα αποτελέσματα της προσομοίωσης και τις λεπτομέρειες των μεταβλητών που χρησιμοποιήθηκαν μπορούν να βρεθούν στο Παράρτημα.

Πίνακας 3.2: Τελικός πίνακας προσομοίωσης στο Arena και τελικά προϊόντα

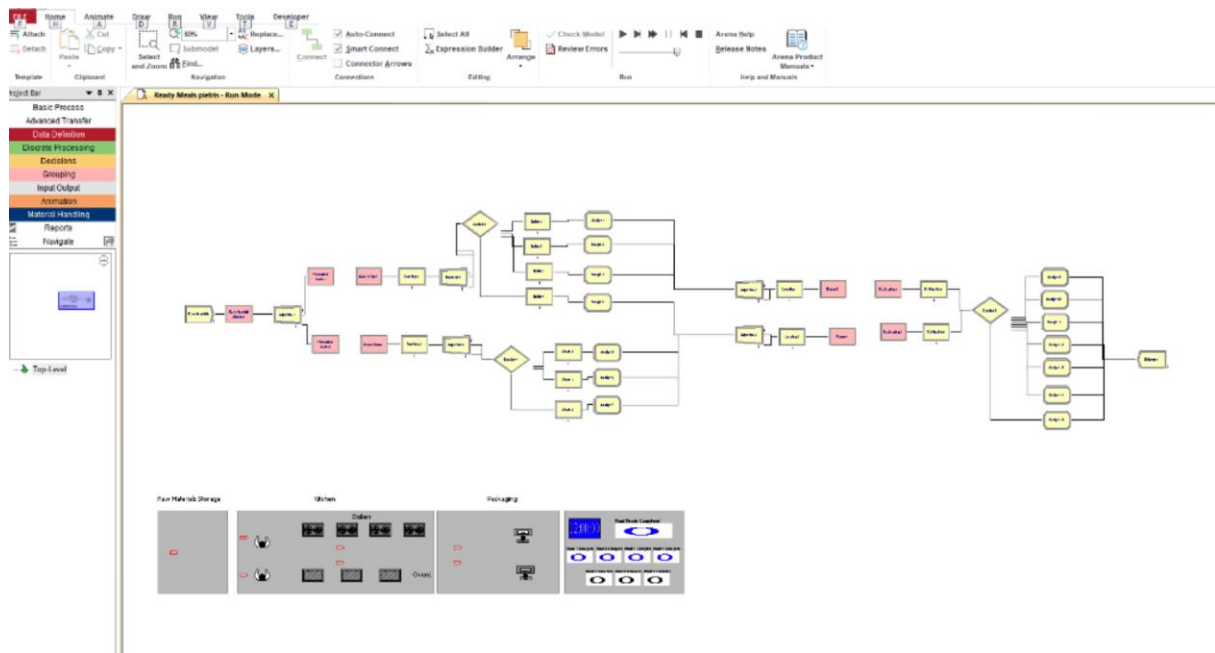
Entity 1.NumberIn	3509.0	
Entity 1.NumberOut	3480.0	
Loader1.NumberSeized	2640.0	
Loader1.ScheduledUtilization	.01528	
Loader2.NumberSeized	840.00	
Loader2.ScheduledUtilization	.00486	
Packaging Machine 1.NumberSeized	3480.0	
Packaging Machine 1.ScheduledUtilization	.08056	
Boiler2.NumberSeized		39.000
Boiler2.ScheduledUtilization	.93750	
Cook2.NumberSeized		29.000
Cook2.ScheduledUtilization	.50347	
Boiler1.NumberSeized		51.000
Boiler1.ScheduledUtilization	.88542	
Cook1.NumberSeized		29.000
Cook1.ScheduledUtilization	.60417	
Oven1.NumberSeized		29.000
Oven1.ScheduledUtilization	.78125	
System.NumberOut	3480.0	
Simulation run time: 0.37 minutes.		
Simulation run complete.		

Κεφάλαιο 4. ΑΠΟΤΕΛΕΣΜΑΤΑ ΚΑΙ ΕΝΑΛΛΑΚΤΙΚΑ ΣΕΝΑΡΙΑ

Στο προηγούμενο κεφάλαιο αναλύθηκε η βασική λειτουργία της επιχείρησης με τις υπάρχουσες συνθήκες. Παρατηρήθηκαν αρκετά λίγα παραγόμενα γεύματα που προσομοιώνουν σε αρκετά μεγάλο βαθμό την πραγματικότητα, καθώς και παρατηρήθηκαν και κάποιοι χρόνοι λειτουργίας σε ουρές που θα μπορούσαν να μειωθούν. Σε αυτό το κεφάλαιο αναλύεται το εναλλακτικό σενάριο που προτείνεται με την προσθήκη επιπρόσθετου εξοπλισμού. Ο επιπρόσθετος εξοπλισμός που προτείνεται θα επιβαρύνει με επιπρόσθετα έξοδα την επιχείρηση για την αγορά του, τα οποία φαίνεται να μπορούν να καλυφθούν με την επιπρόσθετη παραγωγή.

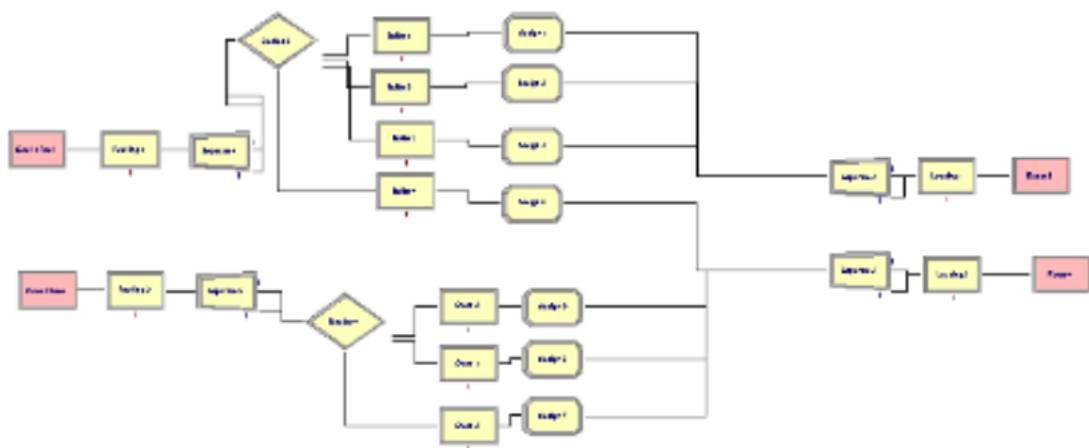
4.1 Εναλλακτικό σενάριο

Με σκοπό την αύξηση της παραγωγής προτείνεται σε αυτό το σενάριο η αύξηση του εξοπλισμού. Πιο συγκεκριμένα προτείνεται η αύξηση των βραστήρων κατά δύο (συνολικά πλέον τέσσερις), αύξηση των φούρνων κατά δύο (συνολικά πλέον τρεις) και την αύξηση των μηχανών πακεταρίσματος κατά μία (συνολικά πλέον δύο). Η αντίστοιχη μοντελοποίηση της νέας προσομοίωσης στο λογισμικό Arena αποτυπώνεται στο Σχήμα 4.1: Εναλλακτικό σενάριο προσομοίωσης στο Arena.

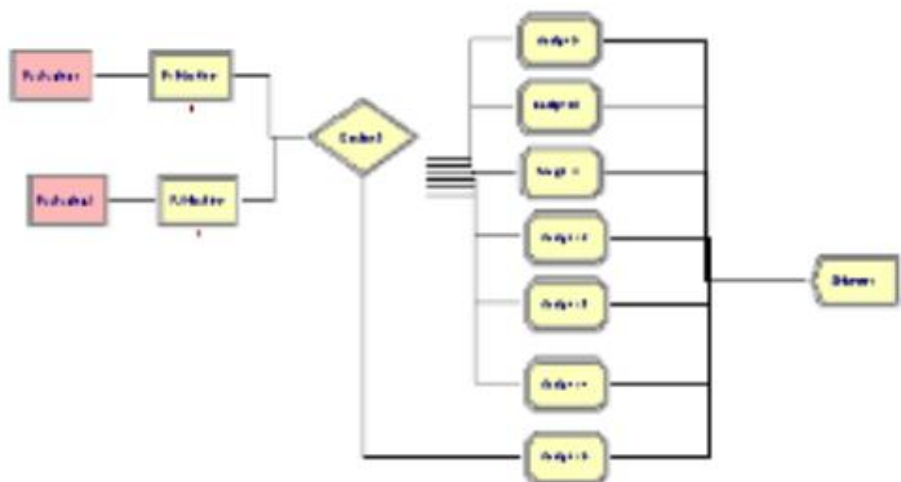


Σχήμα 4.1: Εναλλακτικό σενάριο προσομοίωσης στο Arena

Πιο συγκεκριμένα ανά διαφορετικό τμήμα η αντίστοιχη αποτύπωση φαίνεται στο Σχήμα 4.2: Μαγείρεμα των υλικών στο φούρνο και στο βραστήρα (εναλλακτικό σενάριο) και στο Σχήμα 4.3: Πακετάρισμα μαγειρεμένων γευμάτων σε κουτιά (εναλλακτικό σενάριο).



Σχήμα 4.2: Μαγείρεμα των υλικών στο φούρνο και στο βραστήρα (εναλλακτικό σενάριο)



Σχήμα 4.3: Πακετάρισμα μαγειρεμένων γευμάτων σε κουτιά (εναλλακτικό σενάριο)

4.2 Αποτελέσματα

Ο Πίνακας 4.1: Συνολικοί χρόνοι και χρόνοι αναμονής αποτελεί τα αποτελέσματα που εξήχθησαν από το Arena μετά τη δημιουργία της προσομοίωσης του εναλλακτικού σεναρίου. Σε αυτόν τον πίνακα παρουσιάζονται οι χρόνοι όπου απαιτούνται συνολικά για τη δημιουργία και διάθεση των ζεστών γευμάτων, καθώς και οι αντίστοιχοι χρόνοι που πρέπει να περιμένουν στην ουρά. Η αναμονή τόσο στα σημεία του βραστήρα, όσο και στους φούρνους μειώθηκε στο μηδέν σε σχέση με πριν. Από την άλλη πλευρά αυξήθηκε αλλά όχι σημαντικά ο χρόνος αναμονής της προετοιμασίας (κάτι το αναμενόμενο αφού χωρίς αλλαγές σε αυτό το τμήμα, δημιουργούμε αύξηση της παραγωγής, άρα και αύξηση στα υλικά). Αυτός ο πίνακας αποτελεί τα σύντομα πιο σημαντικά αποτελέσματα από το Arena.

Πίνακας 4.1: Συνολικοί χρόνοι και χρόνοι αναμονής

	Συνολικός χρόνος ανά τμήμα (λεπτά)	Αναμονή ανά τμήμα (λεπτά)
Εισαγωγή υλικών και προετοιμασία	0,07037	0,29954
Μαγείρεμα βραστήρα	11	0
Μαγείρεμα φούρνου	10	0
Πακετάρισμα	10	11

Ο τελικός αναλυτικός πίνακας που παράχθηκε από το Arena αποτυπώνεται παρακάτω (Πίνακας 4.2: Τελικός πίνακας προσομοίωσης στο Arena και τελικά προϊόντα) και στο τέλος φαίνονται τα συνολικά ζεστά γεύματα που παράγονται από την προσομοίωση τα οποία είναι συνολικά 10.260 μερίδες. Περισσότερες λεπτομέρειες για τα αποτελέσματα της προσομοίωσης και τις λεπτομέρειες των μεταβλητών που χρησιμοποιήθηκαν μπορούν να βρεθούν στο Παράρτημα.

Με βάση αυτό το νέο σενάριο οι επιπρόσθετοι βραστήρες και φούρνοι μπορούν να βοηθήσουν τόσο τη μείωση των χρόνων αναμονής, όσο και την αύξηση της παραγωγής, ώστε να μπορεί να καλυφθεί η επιπρόσθετη ζήτηση. Πιο συγκεκριμένα η νέα παραγωγή θα ανέρχεται στο 194% της αρχικής, ενώ η μείωση των χρόνων αναμονής φτάνει το 100% των αρχικών χρόνων.

Πίνακας 4.2: Τελικός πίνακας προσομοίωσης στο Arena και τελικά προϊόντα

Identifier		Value
Entity 1.NumberIn		10264.
Entity 1.NumberOut		10260.
Loader1.NumberSeized		3960.0
Loader1.ScheduledUtilization		.02292
Loader2.NumberSeized		6300.0
Loader2.ScheduledUtilization		.03646
Packaging Machine 2.NumberSeized		6300.0
Packaging Machine 2.ScheduledUtilization		.21875
Packaging Machine 1.NumberSeized		3960.0
Packaging Machine 1.ScheduledUtilization		.09167
Boiler4.NumberSeized		40.000
Boiler4.ScheduledUtilization		.27778
Boiler2.NumberSeized		49.000
Boiler2.ScheduledUtilization		.68056
Boiler3.NumberSeized		45.000
Boiler3.ScheduledUtilization		.31250
Cook2.NumberSeized		44.000
Cook2.ScheduledUtilization		.60486
Boiler1.NumberSeized		38.000
Boiler1.ScheduledUtilization		.26389
Cook1.NumberSeized		44.000
Cook1.ScheduledUtilization		.60486
Oven1.NumberSeized		48.000
Oven1.ScheduledUtilization		.50000
Oven3.NumberSeized		58.000
Oven3.ScheduledUtilization		.79444
Oven2.NumberSeized		66.000
Oven2.ScheduledUtilization		.68542
System.NumberOut		10260.
Simulation run time: 0.92 minutes.		
Simulation run complete.		

4.3 Σύντομη οικονομική αποτύπωση της παρέμβασης του εναλλακτικού σεναρίου

Είναι γνωστό από τα δεδομένα της επιχείρησης ότι το κόστος κάθε παρασκευασμένου γεύματος ανέρχεται στα 2,5 ευρώ. Έχοντας υπόψιν τη συνολική παραγόμενη ποσότητα της προσομοίωσης της επιχείρησης ανά ημέρα ως έχει, έχουμε:

- Τρέχον κόστος παραγόμενης ποσότητας = $2,5 \text{ ευρώ} \times 3480 \text{ γεύματα} = 8.700 \text{ ευρώ/ημέρα}$

Επιπλέον τα μέσα έσοδα για κάθε γεύμα είναι 4,60 ευρώ και επομένως τα αντίστοιχα συνολικά έσοδα υπολογίζονται ως:

- Τρέχον έσοδα παραγόμενης ποσότητας = $4,60 \text{ ευρώ} \times 3480 \text{ γεύματα} = 16.008 \text{ ευρώ/ημέρα}$

Επομένως το τρέχον κέρδος είναι:

- Τρέχον κέρδος παραγόμενης ποσότητας = $16.008 \text{ ευρώ} - 8.700 \text{ ευρώ} = 7.308 \text{ ευρώ/ημέρα}$

Υπολογίζοντας τα αντίστοιχα μεγέθη για το εναλλακτικό σενάριο έχουμε τα εξής:

- Κόστος παραγόμενης ποσότητας εναλλακτικού σεναρίου = $2,5 \text{ ευρώ} \times 10.260 \text{ γεύματα} = 25.650 \text{ ευρώ/ημέρα}$
- Έσοδα παραγόμενης ποσότητας εναλλακτικού σεναρίου = $4,60 \text{ ευρώ} \times 10.260 \text{ γεύματα} = 47.196 \text{ ευρώ/ημέρα}$
- Κέρδος παραγόμενης ποσότητας εναλλακτικού σεναρίου = $47.196 \text{ ευρώ} - 25.650 \text{ ευρώ} = 21.546 \text{ ευρώ/ημέρα}$

Επομένως η διαφορά ανά ημέρα σε ευρώ είναι 14.238 σε σχέση με την παλαιά εγκατάσταση.

Επιπλέον, η εκτίμηση για την αγορά και τοποθέτηση του νέου εξοπλισμού ανέρχεται στα 10.000.000 ευρώ.

Άρα η εκτιμώμενη απόσβεση θα γίνει σε 703 ημέρες δηλαδή σε περίπου δύο χρόνια

Κεφάλαιο 5. ΣΥΜΠΕΡΑΣΜΑΤΑ - ΠΡΟΤΑΣΕΙΣ

Σε αυτήν την διπλωματική εργασία μελετήθηκε μέσω μοντελοποίησης η λειτουργία της παραγωγής της επιχείρησης ζεστών γευμάτων. Η μοντελοποίηση έγινε μέσω του λογισμικού Arena.

Αφού πραγματοποιήθηκε η μοντελοποίηση για την παραγωγή της επιχείρησης όπως είναι στην πραγματικότητα, έπειτα πραγματοποιήθηκε μοντελοποίηση της παραγωγής της επιχείρησης με επιπρόσθετο εξοπλισμό. Αυτός ο εξοπλισμός θα βοηθήσει την επιχείρηση τόσο να αυξήσει την προσφορά των ζεστών γευμάτων που προσφέρει, όσο και να αυξήσει τα κέρδη της.

Μερικά από τα ερωτήματα που έχουν μείνει αναπάντητα και θα μπορούσαν να αποτελέσουν αντικείμενο για περαιτέρω έρευνα είναι η αναπροσαρμογή του εξοπλισμού που προτείνεται ώστε να λειτουργεί με πιο αποδοτικό τρόπο. Επιπλέον, στην περίπτωση που η επιχείρηση δε θέλει να πραγματοποιήσει την αγορά του νέου εξοπλισμού, θα μπορούσε να δημιουργηθεί ένα νέο σενάριο προσομοίωσης με τον υπάρχοντα εξοπλισμό και με αναπροσαρμογή του ώστε να λειτουργεί πιο αποδοτικά ως προς το χρόνο και τις ουρές.

Βιβλιογραφία

- [1] White P. & Ingalls R. , "Introduction to Simulation," *Proceedings - Winter Simulation Conference*. 12-23. 10.1109/WSC.2009.5429315. , 2009.
- [2] Mielke R., Leathrum J., Collins A., Audette M., "Overview of Computational Modeling and Simulation," *Healthcare Simulation Research*, 2019.
- [3] Velasco R. M. , "The use of computational simulations in experimentation," *Theoria: Revista de Teoria, Historia y Fundamentos de la Ciencia*, vol. 17, pp. 317-331, 2002.
- [4] Rashidifar R., "Simulation and analyze a production line by using Arena: A case study," *Engineering: engrxiv*, 2021.
- [5] Silva P., Tringo A., Varajão J., Pinto T., "Simulation - Concepts and Applications," *Conference: Organizational, Business, and Technological Aspects of the Knowledge Society - Third World Summit on the Knowledge Society*, 2010.
- [6] Bradley A., "Rockwell Software," *Rockwell Automation Arena Users Guide User Manual*, 2007.
- [7] Takus D. & Profozich D., "Arena® Software Tutorial," *Proceedings of the 1997 Winter Simulation Conference*, pp. 541-543, 1997.
- [8] Kelton W., "Simulation with Arena, Fifth Edition," *McGRAW hill international edition*.
- [9] "www.slideserve.com," [Online]. Available: <https://www.slideserve.com/jara/simulation-modeling-and-analysis-with-arena-t-altiok-and-b-melamed-chapter-5-arena-basics>. [Accessed 20 8 2022].
- [10] "www.researchgate.net," [Online]. Available: https://www.researchgate.net/post/In_arena_simulation_how_to_gather_statistics_for_specific_time_units. [Accessed 20 8 2022].
- [11] Boteanu G., Iuliana E., Miron Z. , "INPUT MODELLING USING STATISTICAL DISTRIBUTIONS AND ARENA SOFTWARE.," *Annals of the Academy of Romanian Scientists: Series on Mathematics and its Applications*. , 2015.

ΠΑΡΑΡΤΗΜΑ

Αποτελέσματα προσομοιώσεων στο Arena

ARENA Simulation Results
Windows User - License: STUDENT

Summary for Replication 1 of 1

Project: Unnamed Project
Run execution date : 8/22/2022
Analyst: Arena
Model revision date: 8/22/2022

Replication ended at time : 24.0 Hours
Base Time Units: Hours

TALLY VARIABLES

Identifier	Average	Half Width
Minimum Maximum Observations		
Entity 1.VATime 6.9444E-4 1.0840 3480	.02522	.00190
Entity 1.NVATime .00000 .00000 3480	.00000	.00000
Entity 1.WaitTime .00000 9.3333 3480	.06830	(Corr)
Entity 1.TranTime .00167 .16833 3480	.00416	(Corr)
Entity 1.OtherTime .00000 .00000 3480	.00000	.00000
Entity 1.TotalTime .00292 9.9190 3480	.09768	(Corr)
Loading1.Queue.WaitingTime .00000 .00819 2640	.00230	1.9723E-4
Loading2.Queue.WaitingTime .00000 .00403 840	.00201	(Corr)
Boiler 2.Queue.WaitingTime .00000 9.3333 39	4.3953	(Insuf)
Boiler 1.Queue.WaitingTime .00000 2.0833 51	.84967	(Insuf)
Oven 3.Queue.WaitingTime .00000 .00000 29	.00000	(Insuf)
Peeking 2.Queue.WaitingTime .00000 .00000 29	.00000	(Insuf)
P1 Machine.Queue.WaitingTime .00000 .02875 3480	.00726	7.3427E-4
Peeking 1.Queue.WaitingTime .00000 .00000 29	.00000	(Insuf)

DISCRETE-CHANGE VARIABLES

Identifier	Minimum	Maximum	Final Value	Average	Half Width
Entity 1.WIP				18.461	(Corr)
.00000	86.000	29.000			
Loader1.NumberBusy				.01528	(Insuf)
.00000	1.0000	.00000			
Loader1.NumberScheduled				1.0000	(Insuf)
1.0000	1.0000	1.0000			
Loader1.Utilization				.01528	(Insuf)
.00000	1.0000	.00000			
Loader2.NumberBusy				.00486	(Insuf)
.00000	1.0000	.00000			
Loader2.NumberScheduled				1.0000	(Insuf)
1.0000	1.0000	1.0000			
Loader2.Utilization				.00486	(Insuf)
.00000	1.0000	.00000			
Packaging Machine 1.NumberBusy				.08056	(Insuf)
.00000	1.0000	.00000			
Packaging Machine 1.NumberScheduled				1.0000	(Insuf)
1.0000	1.0000	1.0000			
Packaging Machine 1.Utilization				.08056	(Insuf)
.00000	1.0000	.00000			
Boiler2.NumberBusy				.93750	(Insuf)
.00000	1.0000	1.0000			
Boiler2.NumberScheduled				1.0000	(Insuf)
1.0000	1.0000	1.0000			
Boiler2.Utilization				.93750	(Insuf)
.00000	1.0000	1.0000			
Cook2.NumberBusy				.50347	(Insuf)
.00000	1.0000	.00000			
Cook2.NumberScheduled				1.0000	(Insuf)
1.0000	1.0000	1.0000			
Cook2.Utilization				.50347	(Insuf)
.00000	1.0000	.00000			
Boiler1.NumberBusy				.88542	(Insuf)
.00000	1.0000	1.0000			
Boiler1.NumberScheduled				1.0000	(Insuf)
1.0000	1.0000	1.0000			
Boiler1.Utilization				.88542	(Insuf)
.00000	1.0000	1.0000			
Cook1.NumberBusy				.60417	(Insuf)
.00000	1.0000	.00000			
Cook1.NumberScheduled				1.0000	(Insuf)
1.0000	1.0000	1.0000			
Cook1.Utilization				.60417	(Insuf)
.00000	1.0000	.00000			
Oven1.NumberBusy				.78125	(Insuf)
.00000	1.0000	1.0000			
Oven1.NumberScheduled				1.0000	(Insuf)
1.0000	1.0000	1.0000			
Oven1.Utilization				.78125	(Insuf)
.00000	1.0000	1.0000			
Loading1.Queue.NumberInQueue				.25278	.04364
.00000	59.000	.00000			

Loading2.Queue.NumberInQueue	.07049	.01229
.00000 29.000 .00000		
Boiler 2.Queue.NumberInQueue	10.684	(Insuf)
.00000 21.000 20.000		
Boiler 1.Queue.NumberInQueue	1.9444	(Insuf)
.00000 6.0000 6.0000		
Oven 3.Queue.NumberInQueue	.00000	(Insuf)
.00000 .00000 .00000		
Peeking 2.Queue.NumberInQueue	.00000	(Insuf)
.00000 .00000 .00000		
P1 Machine.Queue.NumberInQueue	1.0531	.17864
.00000 52.000 .00000		
Peeking 1.Queue.NumberInQueue	.00000	(Insuf)
.00000 .00000 .00000		

OUTPUTS

Identifier	Value
------------	-------

Entity 1.NumberIn	3509.0
Entity 1.NumberOut	3480.0
Loader1.NumberSeized	2640.0
Loader1.ScheduledUtilization	.01528
Loader2.NumberSeized	840.00
Loader2.ScheduledUtilization	.00486
Packaging Machine 1.NumberSeized	3480.0
Packaging Machine 1.ScheduledUtilization	.08056
Boiler2.NumberSeized	39.000
Boiler2.ScheduledUtilization	.93750
Cook2.NumberSeized	29.000
Cook2.ScheduledUtilization	.50347
Boiler1.NumberSeized	51.000
Boiler1.ScheduledUtilization	.88542
Cook1.NumberSeized	29.000
Cook1.ScheduledUtilization	.60417
Oven1.NumberSeized	29.000
Oven1.ScheduledUtilization	.78125
System.NumberOut	3480.0

Simulation run time: 0.37 minutes.
Simulation run complete.

ARENA Simulation Results
Windows User - License: STUDENT

Summary for Replication 1 of 1

Project: Unnamed Project
Run execution date : 8/22/2022
Analyst: Arena
Model revision date: 8/22/2022

Replication ended at time : 24.0 Hours
Base Time Units: Hours

TALLY VARIABLES

Identifier	Average	Half Width
Minimum Maximum Observations		
Entity 1.VATime	.01185	(Corr)
6.9444E-4 .66764 10260		
Entity 1.NVATime	.00000	.00000
.00000 .00000 10260		
Entity 1.WaitTime	.01983	9.0922E-4
.00000 1.0333 10260		
Entity 1.TranTime	.00306	(Corr)
.00167 .16833 10260		
Entity 1.OtherTime	.00000	.00000
.00000 .00000 10260		
Entity 1.TotalTime	.03475	.00110
.00292 1.5359 10260		
Loading1.Queue.WaitingTime	.00283	2.3462E-4
.00000 .00819 3960		
Loading2.Queue.WaitingTime	.00253	2.1342E-4
.00000 .01236 6300		
Boiler 4.Queue.WaitingTime	.05000	(Insuf)
.00000 .33333 40		
Boiler 3.Queue.WaitingTime	.07037	(Insuf)
.00000 .33333 45		
Boiler 2.Queue.WaitingTime	.24252	(Insuf)
.00000 1.0166 49		
Boiler 1.Queue.WaitingTime	.05702	(Insuf)
.00000 .33333 38		
Oven 3.Queue.WaitingTime	.34397	(Insuf)
.00000 1.0333 58		
Oven 2.Queue.WaitingTime	.21667	(Insuf)
.00000 .95000 66		
Oven 1.Queue.WaitingTime	.12500	(Insuf)
.00000 .50000 48		
Peeking 2.Queue.WaitingTime	.00000	(Insuf)
.00000 .00000 44		
P2 Machine.Queue.WaitingTime	.01328	9.8564E-4
.00000 .06181 6300		
P1 Machine.Queue.WaitingTime	.00850	7.0386E-4
.00000 .02458 3960		

Peeking 1.Queue.WaitingTime	.00000	.00000	44	.00000	(Insuf)
-----------------------------	--------	--------	----	--------	---------

DISCRETE-CHANGE VARIABLES

Identifier	Average	Half Width
Minimum Maximum Final Value		

Entity 1.WIP	14.917	.85363
.00000 112.00 4.0000		
Loader1.NumberBusy	.02292	(Insuf)
.00000 1.0000 .00000		
Loader1.NumberScheduled	1.0000	(Insuf)
1.0000 1.0000 1.0000		
Loader1.Utilization	.02292	(Insuf)
.00000 1.0000 .00000		
Loader2.NumberBusy	.03646	.00337
.00000 1.0000 .00000		
Loader2.NumberScheduled	1.0000	(Insuf)
1.0000 1.0000 1.0000		
Loader2.Utilization	.03646	.00337
.00000 1.0000 .00000		
Packaging Machine 2.NumberBusy	.21875	.02037
.00000 1.0000 .00000		
Packaging Machine 2.NumberScheduled	1.0000	(Insuf)
1.0000 1.0000 1.0000		
Packaging Machine 2.Utilization	.21875	.02037
.00000 1.0000 .00000		
Packaging Machine 1.NumberBusy	.09167	(Insuf)
.00000 1.0000 .00000		
Packaging Machine 1.NumberScheduled	1.0000	(Insuf)
1.0000 1.0000 1.0000		
Packaging Machine 1.Utilization	.09167	(Insuf)
.00000 1.0000 .00000		
Boiler4.NumberBusy	.27778	(Insuf)
.00000 1.0000 .00000		
Boiler4.NumberScheduled	1.0000	(Insuf)
1.0000 1.0000 1.0000		
Boiler4.Utilization	.27778	(Insuf)
.00000 1.0000 .00000		
Boiler2.NumberBusy	.68056	(Insuf)
.00000 1.0000 .00000		
Boiler2.NumberScheduled	1.0000	(Insuf)
1.0000 1.0000 1.0000		
Boiler2.Utilization	.68056	(Insuf)
.00000 1.0000 .00000		
Boiler3.NumberBusy	.31250	(Insuf)
.00000 1.0000 .00000		
Boiler3.NumberScheduled	1.0000	(Insuf)
1.0000 1.0000 1.0000		
Boiler3.Utilization	.31250	(Insuf)
.00000 1.0000 .00000		
Cook2.NumberBusy	.60486	(Insuf)
.00000 1.0000 1.0000		
Cook2.NumberScheduled	1.0000	(Insuf)
1.0000 1.0000 1.0000		

Cook2.Utilization	.60486	(Insuf)
.00000 1.0000 1.0000		
Boiler1.NumberBusy	.26389	(Insuf)
.00000 1.0000 .00000		
Boiler1.NumberScheduled	1.0000	(Insuf)
1.0000 1.0000 1.0000		
Boiler1.Utilization	.26389	(Insuf)
.00000 1.0000 .00000		
Cook1.NumberBusy	.60486	(Insuf)
.00000 1.0000 1.0000		
Cook1.NumberScheduled	1.0000	(Insuf)
1.0000 1.0000 1.0000		
Cook1.Utilization	.60486	(Insuf)
.00000 1.0000 1.0000		
Oven1.NumberBusy	.50000	(Insuf)
.00000 1.0000 .00000		
Oven1.NumberScheduled	1.0000	(Insuf)
1.0000 1.0000 1.0000		
Oven1.Utilization	.50000	(Insuf)
.00000 1.0000 .00000		
Oven3.NumberBusy	.79444	(Insuf)
.00000 1.0000 1.0000		
Oven3.NumberScheduled	1.0000	(Insuf)
1.0000 1.0000 1.0000		
Oven3.Utilization	.79444	(Insuf)
.00000 1.0000 1.0000		
Oven2.NumberBusy	.68542	(Insuf)
.00000 1.0000 1.0000		
Oven2.NumberScheduled	1.0000	(Insuf)
1.0000 1.0000 1.0000		
Oven2.Utilization	.68542	(Insuf)
.00000 1.0000 1.0000		
Loading1.Queue.NumberInQueue	.46771	.06460
.00000 59.000 .00000		
Loading2.Queue.NumberInQueue	.66406	.08653
.00000 89.000 .00000		
Boiler 4.Queue.NumberInQueue	.08333	(Insuf)
.00000 2.0000 .00000		
Boiler 3.Queue.NumberInQueue	.13194	(Insuf)
.00000 2.0000 .00000		
Boiler 2.Queue.NumberInQueue	.49514	(Insuf)
.00000 4.0000 .00000		
Boiler 1.Queue.NumberInQueue	.09028	(Insuf)
.00000 2.0000 .00000		
Oven 3.Queue.NumberInQueue	.83125	(Insuf)
.00000 4.0000 .00000		
Oven 2.Queue.NumberInQueue	.59583	(Insuf)
.00000 4.0000 .00000		
Oven 1.Queue.NumberInQueue	.25000	(Insuf)
.00000 2.0000 .00000		
Peeking 2.Queue.NumberInQueue	.00000	(Insuf)
.00000 .00000 .00000		
P2 Machine.Queue.NumberInQueue	3.4869	.44533
.00000 75.000 .00000		
P1 Machine.Queue.NumberInQueue	1.4031	.19385
.00000 45.000 .00000		
Peeking 1.Queue.NumberInQueue	.00000	(Insuf)
.00000 .00000 .00000		

OUTPUTS

Identifier	Value
Entity 1.NumberIn	10264.
Entity 1.NumberOut	10260.
Loader1.NumberSeized	3960.0
Loader1.ScheduledUtilization	.02292
Loader2.NumberSeized	6300.0
Loader2.ScheduledUtilization	.03646
Packaging Machine 2.NumberSeized	6300.0
Packaging Machine 2.ScheduledUtilization	.21875
Packaging Machine 1.NumberSeized	3960.0
Packaging Machine 1.ScheduledUtilization	.09167
Boiler4.NumberSeized	40.000
Boiler4.ScheduledUtilization	.27778
Boiler2.NumberSeized	49.000
Boiler2.ScheduledUtilization	.68056
Boiler3.NumberSeized	45.000
Boiler3.ScheduledUtilization	.31250
Cook2.NumberSeized	44.000
Cook2.ScheduledUtilization	.60486
Boiler1.NumberSeized	38.000
Boiler1.ScheduledUtilization	.26389
Cook1.NumberSeized	44.000
Cook1.ScheduledUtilization	.60486
Oven1.NumberSeized	48.000
Oven1.ScheduledUtilization	.50000
Oven3.NumberSeized	58.000
Oven3.ScheduledUtilization	.79444
Oven2.NumberSeized	66.000
Oven2.ScheduledUtilization	.68542
System.NumberOut	10260.

Simulation run time: 0.92 minutes.
Simulation run complete.