



ΔΙΕΘΝΕΣ
ΠΑΝΕΠΙΣΤΗΜΙΟ
ΤΗΣ ΕΛΛΑΔΟΣ

ΔΙΕΘΝΕΣ ΠΑΝΕΠΙΣΤΗΜΙΟ ΤΗΣ ΕΛΛΑΔΟΣ
ΤΜΗΜΑ ΜΗΧΑΝΙΚΩΝ ΠΑΡΑΓΩΓΗΣ ΚΑΙ ΔΙΟΙΚΗΣΗΣ
ΔΙΠΛΩΜΑΤΙΚΗ ΕΡΓΑΣΙΑ

**Ανάπτυξη υλικού προσομοίωσης, δοκιμής και επικύρωσης
κρίσιμων διεργασιών παραγωγής, με έμφαση
σε θέματα αξιοπιστίας και συντήρησής τους**

ΙΣΚΗΣ ΝΙΚΟΛΑΟΣ

ΑΜ: 2020/0010

ΕΠΙΒΛΕΠΩΝ

ΤΖΙΩΝΑΣ ΠΑΝΑΓΙΩΤΗΣ

ΕΠΙΚΟΥΡΙΚΟ ΕΡΓΟ

ΜΑΛΛΙΩΡΗΣ ΠΑΝΑΓΙΩΤΗΣ

ΘΕΣΣΑΛΟΝΙΚΗ 2022

Ευχαριστίες

Η διπλωματική εργασία εκπονήθηκε υπό την επίβλεψη του καθηγητή κ. Τζιώνα Παναγιώτη, στον οποίο οφείλω ιδιαίτερες ευχαριστίες για την ευκαιρία αυτή. Επιπλέον θα ήθελα ευχαριστήσω τον διδακτορικό φοιτητή κ. Μαλλιώρα Παναγιώτη για την καθοδήγησή του σε όλη τη διάρκεια της εκπόνησης αυτής της εργασίας.

Περίληψη

Σκοπός της παρούσας διπλωματικής εργασίας είναι η σχεδίαση μιας γραμμής παραγωγής αλεύρου και η παρουσίαση των επιμέρους διεργασιών αυτής. Γίνεται ιδιαίτερη ανάλυση σε κάθε στάδιο διεργασίας και πως όλα αυτά συνδέονται για την παραγωγή του τελικού προϊόντος.

Στη συνέχεια, μέσω του λογισμικού ARENA Simulation Software της εταιρίας Rockwell Automation, γίνεται προσομοίωση στην παραπάνω γραμμή παραγωγής. Σκοπός της προσομοίωσης είναι η παρουσίαση και κατανόηση όλων των σταδίων της γραμμής παραγωγής, καθώς και τις αλληλεπιδράσεις μεταξύ αυτών. Μέσω του λογισμικού ARENA μπορεί να γίνει μια αρκετά ρεαλιστική προσομοίωση και να εντοπιστούν τα σημεία που υπάρχουν τυχών καθυστερήσεις και αστοχίες στην παραγωγή και επιδρούν αρνητικά στο τελικό προϊόν.

Στη συνέχεια παρουσιάζεται και μια δεύτερη προσομοίωση, πάνω στην ίδια γραμμή παραγωγής, ωστόσο με διαφορετική χωροθέτηση των εργασιών. Τέλος, συγκρίνονται τα αποτελέσματα από τις δύο προσομοιώσεις και εξάγονται μερικά χρήσιμα συμπεράσματα σχετικά με τη χωροθέτηση των εργασιών, καθώς και πιθανές βελτιώσεις στη γραμμή παραγωγής.

Abstract

The purpose of this thesis is the design of a flour production line and the presentation of its processes. A special analysis is made at each stage of the process and how all these are connected to produce the final product.

Then, through the ARENA Simulation Software of Rockwell Automation, a simulation is made on the production line. The purpose of the simulation is to present and understand all the stages of the production line, as well as the interactions between them. With the ARENA software, a realistic simulation can be made and the possible delays and failures in the production, which negatively affect the final product, can be identified.

Then a second simulation is presented, on the same production line, however with a different location of the tasks. In the end, the results from both simulations are compared and some useful conclusions are drawn, regarding process placement, as well as possible improvements to the production line.

Περιεχόμενα

Πίνακας εικόνων	7
1. Εισαγωγή.....	8
1.1 Γενικά	8
1.2 Το αντικείμενο αυτής της διπλωματικής εργασίας.....	10
1.3 Δομή της εργασίας.....	10
2. Παραγωγικότητα	11
2.1 Παράγοντες που επηρεάζουν στην παραγωγικότητα	11
3. Χωροθέτηση εργασιών.....	13
3.1 Πλεονεκτήματα σωστής χωροθέτησης.....	13
3.2 Χωροθέτηση κατά διεργασία	14
3.3 Χωροθέτηση κατά προϊόν	15
4. Περιγραφή παραγωγικής διαδικασίας αλευροβιομηχανίας	17
4.1 Παραλαβή πρώτων υλών	17
4.2 Αποθήκευση πρώτων υλών	17
4.3 Ζύγισμα – Καθάρισμα – Κοσκίνισμα.....	18
4.4 Άλεσμα	18
4.5 Προσθήκη επιπλέον συστατικών.....	18
4.6 Συσκευασία – Αποθήκευση.....	18
5. ARENA Software.....	21
5.1 Blocks που χρησιμοποιήθηκαν.....	21
6. Το μοντέλο προσομοίωσης της αλευροβιομηχανίας στο ARENA	30
6.1 Animation στο ARENA για προσομοίωση της αλευροβιομηχανίας.....	30
6.2 Προσομοίωση στο ARENA με blocks	33
6.3 Προσομοίωση με διαφορετική χωροθέτηση εργασιών	37
7. Ανάλυση των αποτελεσμάτων	39
7.1 Προσομοίωση με ορθή χωροθέτηση εργασιών	39
7.2 Προσομοίωση με διαφορετική χωροθέτηση εργασιών	43
7.3 Σύγκριση των δύο προσομοιώσεων.....	46
7.4 Λοιπά παραδείγματα χρήσης του ARENA	49
7.4.1 General Assembly Line.....	49
7.4.2 Packaging basic	52
8. Συμπεράσματα	57

Πίνακας εικόνων

Εικόνα 1: Οι κυριότεροι κλάδοι που χρησιμοποιούν αλεύρι στην Ευρώπη.	8
Εικόνα 2: Οι κυριότεροι κλάδοι που χρησιμοποιούν αλεύρι στην Ελλάδα.....	9
Εικόνα 3: Διάγραμμα ροής γραμμής παραγωγής ζαχαροπλαστέιου.	15
Εικόνα 4: Διάγραμμα ροής γραμμής παραγωγής εμφιαλωτηρίου.	16
Εικόνα 5: Διάγραμμα ροής γραμμής παραγωγής αλευροβιομηχανίας.	20
Εικόνα 6: Create Block ARENA.	21
Εικόνα 7: Dispose Block ARENA.	22
Εικόνα 8: Process Block Arena.....	23
Εικόνα 9: Decide Block ARENA.....	24
Εικόνα 10: Assign Block ARENA.....	25
Εικόνα 11: Record Block ARENA.	26
Εικόνα 12: Station Block ARENA.....	27
Εικόνα 13: Batch Block ARENA.....	28
Εικόνα 14: Seperate Block ARENA.	29
Εικόνα 15: Γραμμή παραγωγής αλευροβιομηχανίας και συσκευασιών.	31
Εικόνα 16: Διαδρομή ανυψωτικού μηχανήματος.	32
Εικόνα 17: Γραμμή παραγωγής αλευροβιομηχανίας στο ARENA.	32
Εικόνα 18: Στιγμιότυπο γραμμής παραγωγής αλευροβιομηχανίας στο ARENA...	33
Εικόνα 19: Διεργασίες επεξεργασίας πρώτης ύλης.	34
Εικόνα 20: Διεργασίες κατασκευής συσκευασιών.	35
Εικόνα 21: Χρήση Ανυψωτικού Μηχανήματος.....	35
Εικόνα 22: Τελικό σύστημα προσομοίωσης.	36
Εικόνα 23: Μετρητές του Συστήματος.	37
Εικόνα 24: Μετρητές κατά τη Λειτουργία του Συστήματος.	37
Εικόνα 25: Σύστημα με Διαφορετική Χωροθέτηση Εργασιών.	38
Εικόνα 26: Ποσοστό Χρήσης Χειριστών.....	42
Εικόνα 27: Πλήθος αντικειμένων που έχουν Επεξεργαστεί.	43
Εικόνα 28: Ποσοστό Χρήσης Χειριστών.....	45
Εικόνα 29: Πλήθος αντικειμένων που έχουν επεξεργαστεί.....	46
Εικόνα 30: General Assembly Line.	49
Εικόνα 31: Animation General Assembly Line.	50
Εικόνα 32: Ποσοστό χρήσης κάθε χειριστή.	51
Εικόνα 33: Πλήθος αντικειμένων που έχουν επεξεργαστεί.....	51
Εικόνα 34: Machine block ARENA.....	52
Εικόνα 35: Conveyor block ARENA.....	53
Εικόνα 36: Στιγμιότυπο από το πρόγραμμα σε αρχική κατάσταση.....	54
Εικόνα 37: Στιγμιότυπο από το πρόγραμμα σε κατάσταση λειτουργίας.....	55
Εικόνα 38: Πλήθος αντικειμένων που έχει επεξεργαστεί η κάθε μηχανή.	55

1. Εισαγωγή

1.1 Γενικά

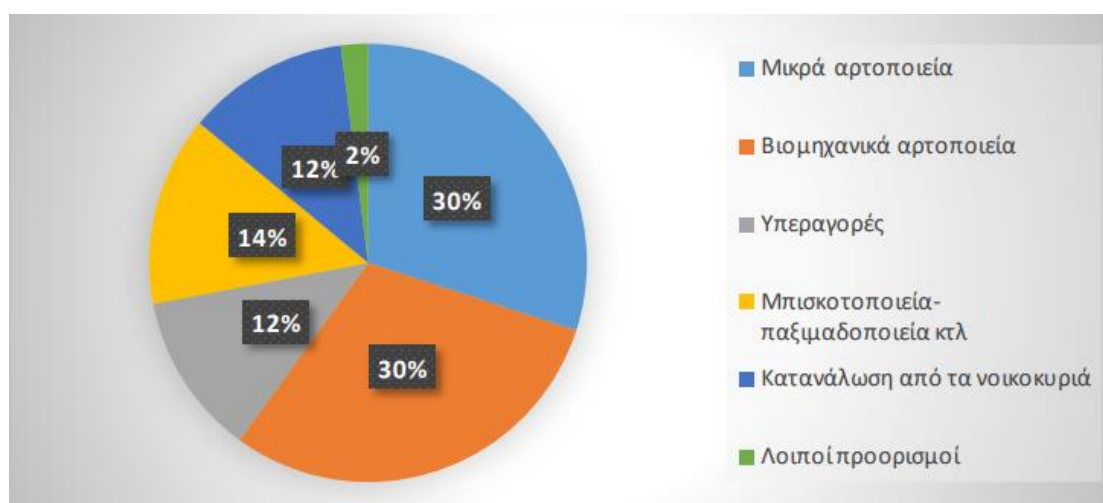
Στη σημερινή εποχή, η βιομηχανία αποτελεί βασικό κομμάτι της κοινωνίας. Δημιουργεί νέες θέσεις εργασίας, στηρίζει την οικονομία μιας χώρας ενώ παράλληλα οι εξελίξεις στο βιομηχανικό τομέα επηρεάζουν το εθνικό ΑΕΠ.

Ως βιομηχανία χαρακτηρίζεται μια μονάδα παραγωγής προϊόντων, η οποία δέχεται πρώτες ύλες και μετά από επεξεργασία με τη χρήση μηχανών, παράγει ένα τελικό προϊόν. Οι βιομηχανίες χωρίζονται σε δύο κατηγορίες, ανάλογα με τον όγκο των πρώτων υλών που χρησιμοποιούν [1].

- **Ελαφριά Βιομηχανία.** Ασχολείται κυρίως με την παραγωγή καταναλωτικών αγαθών όπως τρόφιμα, ποτά, καλλυντικά, ηλεκτρονικές συσκευές κ.ά.
- **Βαριά Βιομηχανία.** Χρησιμοποιεί μεγάλη ποσότητα πρώτων υλών. Με αυτόν τον τρόπο αναπτύσσει προϊόντα που θα χρησιμοποιηθούν αργότερα σε άλλους κλάδους. Τέτοιες βιομηχανίες είναι η βιομηχανία σιδήρου, χάλυβα, η χημική βιομηχανία κ.ά.

Στην Ευρωπαϊκή Ένωση επεξεργάζονται περίπου 45 εκατομμύρια τόνοι σιταριού και 2 εκατομμύρια τόνοι λοιπών δημητριακών κάθε χρόνο. Αυτό οδηγεί σε παραγωγή 35 εκατομμυρίων τόνων αλεύρων κάθε χρόνο.

Στην Εικόνα 1 παρουσιάζονται οι κυριότεροι κλάδοι που χρησιμοποιούν αλεύρι στην Ευρώπη [2].



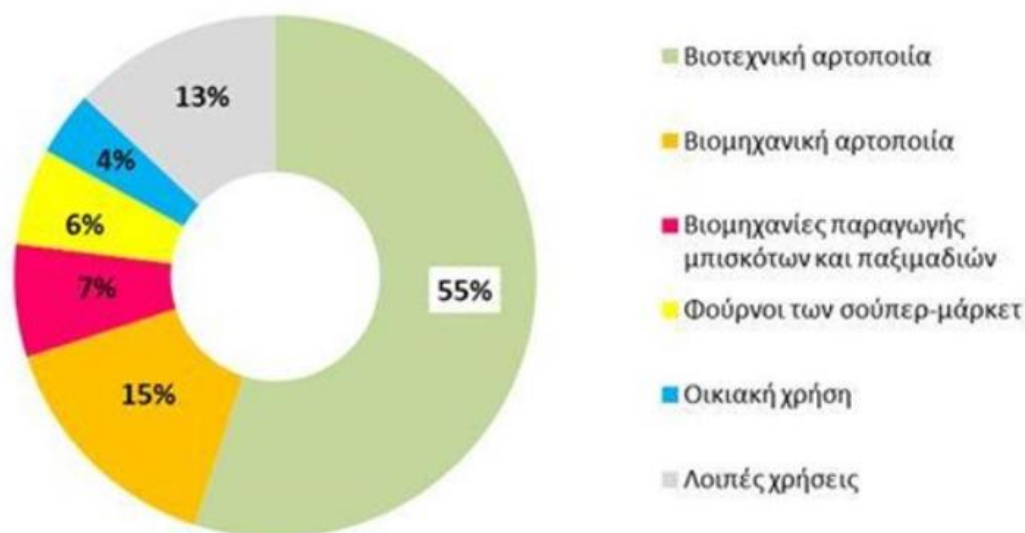
Εικόνα 1: Οι κυριότεροι κλάδοι που χρησιμοποιούν αλεύρι στην Ευρώπη.

Στην Ελλάδα υπάρχουν λιγιστές μεγάλες αλευροβιομηχανίες και περισσότερες μικρομεσαίες. Το ποσοστό της αλευροβιομηχανίας στη χώρα μας, σε σχέση με τις λοιπές βιομηχανίες φαγητού και ποτού, ανέρχεται στο 7.5%.

Πολλές αλευροβιομηχανίες δεν μένουν μόνο στην παραγωγή ενός τύπου αλεύρου, αλλά επεκτείνουν την παραγωγή τους σε διάφορους τύπους με πολλαπλές χρήσεις (αρτοποιία, ζαχαροπλαστική κλπ.). Αξιοσημείωτο είναι το γεγονός πως το μεγαλύτερο μέρος της κατανάλωσης στην Ελλάδα, καλύπτεται από την εγχώρια παραγωγή.

Παρότι η οικονομική ύφεση και η συνεχής άνοδος των τιμών στα δημητριακά, έχει επηρεάσει αρνητικά τις αλευροβιομηχανίες, εξακολουθούν να παρουσιάζουν μεγάλη σταθερότητα, ακόμα και σε περιόδους κρίσης. Ο λόγος που συμβαίνει αυτό, είναι τα προϊόντα που παράγουν, αποτελούν πρώτες ύλες για βασικά αγαθά πρώτης ανάγκης και χαρακτηρίζεται από ανελαστική ζήτηση.

Στην Εικόνα 2 παρουσιάζονται οι κυριότεροι κλάδοι που χρησιμοποιούν αλεύρι στην Ελλάδα [3]:



Εικόνα 2: Οι κυριότεροι κλάδοι που χρησιμοποιούν αλεύρι στην Ελλάδα.

1.2 Το αντικείμενο αυτής της διπλωματικής εργασίας

Οι συνεχείς εξελίξεις των τελευταίων χρόνων πάνω στον τομέα των επιχειρήσεων, έχουν φέρει στην επιφάνεια την ανάγκη για βελτιστοποίηση της παραγωγής. Η αντίληψη αυτή έχει οδηγήσει πολλές εταιρίες να διεξάγουν ελέγχους στα επιμέρους τμήματα της παραγωγής, με σκοπό να εξαλείψουν τα ελαττωματικά προϊόντα, τους χρόνους αναμονής, να επιταχύνουν την παραγωγή κ.ά.

Η παρούσα διπλωματική εργασία ασχολείται με τη γραμμή παραγωγής μιας αλευροβιομηχανίας. Οι αλευροβιομηχανίες ανήκουν στον κλάδο της ελαφριάς βιομηχανίας. Στον τομέα της αλευροβιομηχανίας, λίγες βιομηχανίες έχουν αναπτύξει σύγχρονες εγκαταστάσεις και αυτοματοποιημένη παραγωγή.

1.3 Δομή της εργασίας

- Στο δεύτερο κεφάλαιο γίνεται μια εισαγωγή στην παραγωγικότητα. Αναλύεται το πόσο σημαντική είναι για μια επιχείρηση και παρουσιάζονται οι παράγοντες που την επηρεάζουν.
- Στο τρίτο κεφάλαιο αναλύεται η χωροθέτηση των εργασιών σε μια επιχείρηση. Γίνεται μια εκτεταμένη αναφορά στους τύπους χωροθέτησης εργασιών και ποιος τύπος αντιστοιχεί στην εκάστοτε επιχείρηση.
- Στο τέταρτο κεφάλαιο γίνεται μια περιγραφή των επιμέρους διεργασιών μιας αλευροβιομηχανίας. Παρουσιάζεται η λειτουργία του κάθε τμήματος και το πως συνεργάζονται όλα τα τμήματα μεταξύ τους για την παραγωγή του τελικού προϊόντος.
- Στο πέμπτο κεφάλαιο γίνεται μια εισαγωγή στο πρόγραμμα προσομοίωσης ARENA Software της εταιρίας Rockwell Automation. Περιγράφεται επιπλέον ξεχωριστά κάθε block που χρησιμοποιήθηκε.
- Στο έκτο κεφάλαιο γίνεται μια παρουσίαση της τελικής προσομοίωσης της αλευροβιομηχανίας και των αποτελεσμάτων αυτής. Επιπλέον παρουσιάζεται και μια δεύτερη προσομοίωση της ίδιας γραμμής παραγωγής, με διαφορετική χωροθέτηση.
- Στο έβδομο κεφάλαιο γίνεται η ανάλυση και η σύγκριση των αποτελεσμάτων που προέκυψαν, καθώς γίνεται και μια αναφορά σε μελλοντική εργασία.

2. Παραγωγικότητα

Ο όρος παραγωγικότητα δεν αναφέρεται μόνο στις επιχειρήσεις, αλλά σε οτιδήποτε δέχεται μια ή περισσότερες εισόδους και παράγει μια ή περισσότερες εξόδους. Ορίζεται ως το πηλίκο της εισόδου προς την έξοδο. Ένας πιο συγκεκριμένος ορισμός που χρησιμοποιείται στις επιχειρήσεις είναι η χρηματική αξία του παραγόμενου αγαθού, προς το συνολικό κόστος των εισροών. Εισροές θεωρούνται η εργασία των υπαλλήλων, τα λειτουργικά έξοδα, οι πρώτες ύλες κ.ά.

2.1 Παράγοντες που επηρεάζουν στην παραγωγικότητα

Πολλοί είναι οι παράγοντες που επηρεάζουν την παραγωγικότητα. Αυτούς τους παράγοντες καλείται να διαχειριστεί μια υγιής εταιρία για να αυξήσει την παραγωγικότητα.

Αρχικά πολύ σημαντικές είναι οι μεταβολές του ανθρώπινου δυναμικού. Το προσωπικό μιας εταιρίας είναι αδιάσπαστο κομμάτι της. Οι συχνές προσλήψεις, απολύσεις και ανακατανομές ρόλων σε μια εταιρία, συχνά επηρεάζουν το κλίμα εργασιακής ασφάλειας και την απόδοση των εργαζομένων. Θα πρέπει οι εργαζόμενοι να μην έχουν το άγχος της προσωπικής τους απόδοσης.

Ένας ακόμα πολύ σημαντικός παράγοντας είναι ο εκσυγχρονισμός μιας εταιρίας. Πλέον στις μέρες μας είναι πολύ σημαντικό κάθε εταιρία να έχει το κατάλληλα πληροφορικά συστήματα και οργάνωση των δεδομένων την. Αυτό φυσικά προϋποθέτει πως υπάρχουν κατάλληλα εκπαιδευμένοι εργαζόμενοι, που γνωρίζουν πως να τα χειριστούν. Τα πληροφορικά συστήματα μπορεί να είναι ένα σύστημα οργάνωσης τύπου ERP, ή ακόμα και συστήματα αυτοματισμού τύπου PLC.

Εξαιρετικά σημαντικό ρόλο έχει η αποδοτική χρήση των πρώτων υλών. Μειώνοντας τα σφάλματα σε μια επιχείρηση, η παραγωγικότητα αυξάνεται. Οι διεργασίες παραγωγής πρέπει συνεχώς να αναβαθμίζονται. Αν δεν συμβαίνουν τα παραπάνω, τότε υπάρχει σπατάλη πρώτων υλών.

Ο χώρος εργασίας είναι εξίσου σημαντικός. Με τη σωστή χωροθέτηση των εργασιών μειώνονται οι περιττές μετακινήσεις ανθρώπων, υλικών και πληροφοριών. Επιπλέον, σχεδόν μηδενίζονται οι νεκροί χρόνοι. Φυσικά, πολύ σημαντικό ρόλο παίζουν τα μέτρα ατομικής προστασίας στο χώρο εργασίας.

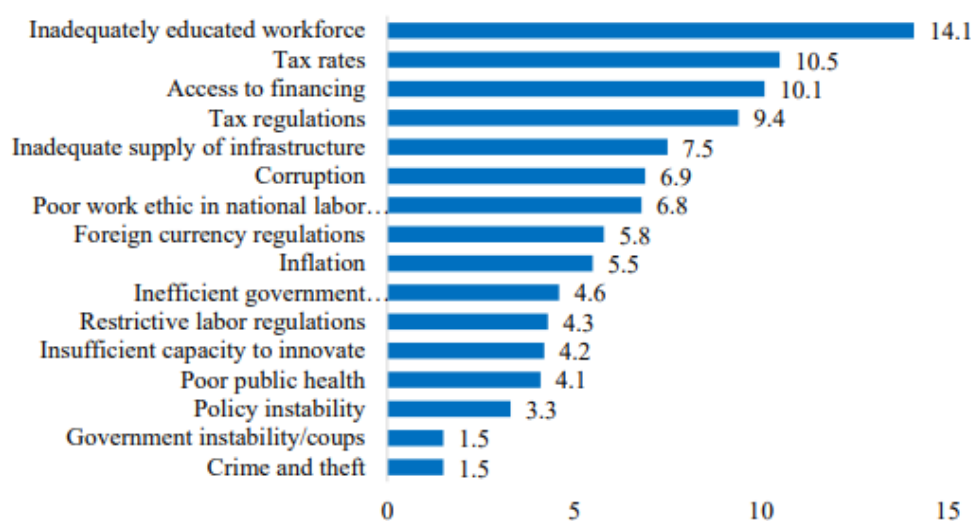
Οι εταιρίες πρέπει συνεχώς να εξελίσσονται και να προσαρμόζονται στις ανάγκες του σύγχρονου καταναλωτή. Για αυτό το λόγο χρειάζεται ένα τμήμα έρευνας και

καινοτομίας, το οποίο θα αναζητεί τις νέες ανάγκες της αγοράς και θα επεμβαίνει, είτε εισάγοντας νέα προϊόντα ή βελτιώνοντας τα ήδη υπάρχοντα. Σίγουρα θα πρέπει να έχει λόγο και σε νέες διοικητικές πρακτικές.

Τα σημαντικότερα σφάλματα σε μια εταιρία προέρχονται από αστοχίες της διοίκησης. Αυτό συνεπάγεται πως μια εταιρία θα πρέπει να ακολουθεί σωστές διοικητικές πρακτικές. Στο κομμάτι αυτό θα πρέπει να υπάρχει και σωστή επικοινωνία μεταξύ των εργαζομένων, ώστε να υπάρχει ένα κλίμα συλλογικότητας.

Όλοι οι παραπάνω παράγοντες είναι λίγο πολύ γνωστοί στις επιχειρήσεις. Υπάρχουν ωστόσο πάντοτε και οι εξωγενείς παράγοντες που επηρεάζουν την παραγωγικότητα. Αυτοί μπορεί να ξεκινάνε από το εκπαιδευτικό σύστημα, τις κυβερνητικές πολιτικές, τις συγκοινωνίες και άλλα που μια εταιρία δεν μπορεί να ελέγξει και δυστυχώς επιδρούν αρνητικά στην παραγωγικότητα αυτής.

Στην Εικόνα 3 παρουσιάζονται οι πιο προβληματικοί παράγοντες στις επιχειρήσεις για τα έτη 2017-2018. Για τη δημιουργία του διαγράμματος, το World Economic Forum [3] έκανε μια έρευνα που ζήτησε να διαλέξουν τους 5 πιο προβληματικούς παράγοντες και να τους βαθμολογήσουν από το 1 (πιο προβληματικός) έως το 5 [4].



Εικόνα 3: Προβληματικοί παράγοντες στις επιχειρήσεις.

3. Χωροθέτηση εργασιών

Η παρούσα διπλωματική εργασία ασχολείται με τη σωστή χωροθέτηση των διεργασιών μιας γραμμής παραγωγής. Η αποτελεσματική χωροθέτηση εξασφαλίζει την ομαλή ροή των υλικών, εργαζομένων και πληροφοριών, από μία διεργασία στην επόμενη. Αυτό συνεπάγεται με τα παρακάτω:

- Ελαχιστοποίηση κόστους παραγωγής.
- Αύξηση της παραγωγικότητας της βιομηχανικής μονάδας.
- Βελτίωση της ποιότητας του τελικού προϊόντος.

3.1 Πλεονεκτήματα σωστής χωροθέτησης

Μια βιομηχανική μονάδα έχει συγκεκριμένο χώρο που μπορεί να λειτουργήσει. Σκοπός της είναι να τον αξιοποιήσει όσο το δυνατόν καλύτερα μπορεί. Μια πρώτη σκέψη που κάνει κάποιος όταν ξεκινάει να σχεδιάσει μια γραμμή παραγωγής είναι η τοποθέτηση των πρώτων υλών στην είσοδο του συστήματος και το τελικό προϊόν στην έξοδο. Αυτό αποτελεί μια κίνηση ορθής χωροθέτησης.

Μεγάλο κεφάλαιο στις επιχειρήσεις αποτελεί ο συνολικός χρόνος παραγωγής ενός προϊόντος και η μείωση αυτού. Φέρνοντας τις διεργασίες που συσχετίζονται μεταξύ τους πιο κοντά, σχεδόν εξαλείφονται οι περιττές μετακινήσεις υλικών και εργαζομένων στους χώρους εργασίας, καθώς και το κόστος μεταφοράς αυτών.

Επιπλέον, οι νεκροί χρόνοι αποτελούν τροχοπέδη για μια γραμμή παραγωγής, καθώς προστίθενται στο συνολικό χρόνο παραγωγής του προϊόντος. Ως νεκρός χρόνος αναφέρεται το διάστημα για τη μεταφορά ενός υλικού, ενός ατόμου ή μιας πληροφορίας από μια διεργασία στην επόμενη. Αν αυτές οι διεργασίες έρθουν κοντά, οι νεκροί χρόνοι σχεδόν μηδενίζονται.

Φυσικά δεν πρέπει παραμερίζονται τα οφέλη της ορθής χωροθέτησης στην επικοινωνία μεταξύ εργαζομένων, όπως και την ευκολία στην εποπτεία, καθώς υπάρχει οπτική επαφή.

3.2 Χωροθέτηση κατά διεργασία

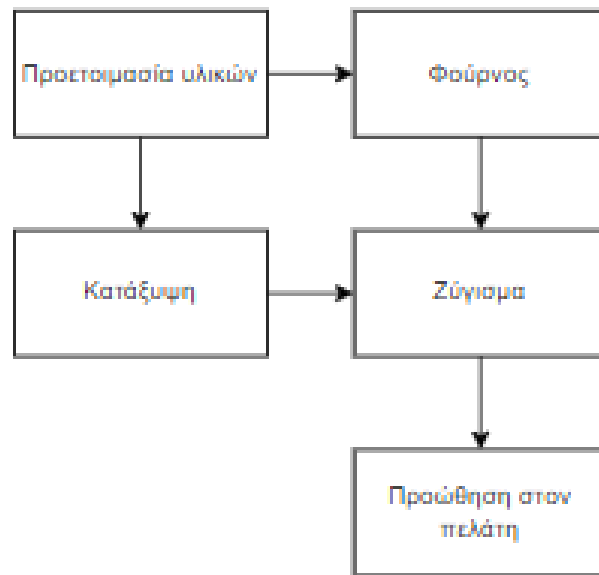
Η χωροθέτηση διεργασιών μπορεί να χωριστεί σε δύο κατηγορίες. Η πρώτη εξ αυτών είναι η χωροθέτηση κατά διεργασία. Η μέθοδος αυτή ταιριάζει κυρίως σε επιχειρήσεις που έχουν μεταβλητή δομή και εξαρτάται από τις ανάγκες του πελάτη. Για αυτό το λόγο είναι πλήρως συμβατή με την παραγωγή κατά παραγγελία. Η γραμμή παραγωγής χωρίζεται σε σταθμούς εργασίας, ο οποίοι εκτελούν ομοειδείς εργασίες, χωρίς να είναι απαραίτητα σταθερή η διαδοχή των εργασιών.

Τα δύο βασικά πλεονεκτήματα της χωροθέτησης κατά διεργασία είναι ο μικρός αριθμός ελαττωματικών προϊόντων και η ευελιξία στην παραγωγή. Το προσωπικό είναι εξειδικευμένο και δεν γίνονται λάθη στην παραγωγή. Οι μηχανές που χρησιμοποιούνται μπορούν να αξιοποιηθούν για πολλούς διαφορετικούς στόχους παραγωγής, αυξάνοντας έτσι την ευελιξία και προσαρμοστικότητα της επιχείρησης στις επιθυμίες του πελάτη.

Ένα απλό παράδειγμα θα μπορούσε να είναι ένα ζαχαροπλαστείο που παράγει παγωτά και τούρτες. Ως σταθμούς εργασίας μπορούν να θεωρηθούν η προετοιμασία των υλικών, η κατάψυξη, ο φούρνος, το ζύγισμα και η προώθηση στον πελάτη. Τα παγωτά ξεκινάνε από την προετοιμασία των υλικών, πηγαίνουν στην κατάψυξη, το ζύγισμα και καταλήγουν στον πελάτη. Οι τούρτες ξεκινάνε από την προετοιμασία των υλικών, οδηγούνται στο φούρνο, στο ζύγισμα και στην προώθηση στον πελάτη. Είναι φανερό πως τα δύο προϊόντα ακολουθούν διαφορετική διαδικασία παραγωγής. Επιπλέον αν έρθει κάποιος πελάτης και ζητήσει τσουρέκια, υπάρχει η υφιστάμενη υποδομή και είναι εφικτό να μεταβληθεί η δομή της γραμμής παραγωγής.

Φυσικά υπάρχει πάντα η πιθανότητα να δημιουργηθούν ουρές αναμονής, αυξάνοντας τους νεκρούς χρόνους και τη συνολική καθυστέρηση παραγωγής του τελικού προϊόντος. Αυτό συμβαίνει, καθώς η ροή των διεργασιών δεν είναι προκαθορισμένη. Επιπλέον το κόστος για την επιχείρηση αυξάνεται, αφού το προσωπικό πρέπει να είναι καλά εκπαιδευμένο.

Στην Εικόνα 2 παρουσιάζεται το διάγραμμα ροής μιας γραμμής παραγωγής ενός ζαχαροπλαστείου.



Εικόνα 3: Διάγραμμα ροής γραμμής παραγωγής ζαχαροπλαστικού.

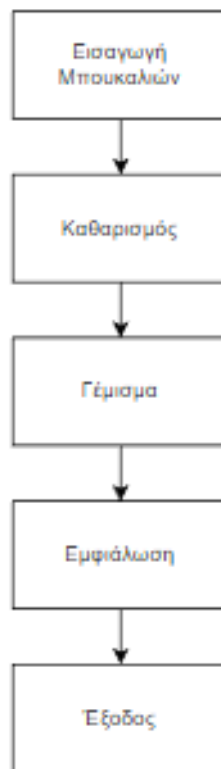
3.3 Χωροθέτηση κατά προϊόν

Η δεύτερη εξίσου μεγάλη κατηγορία της χωροθέτησης διεργασιών, είναι η χωροθέτηση κατά προϊόν. Η κατηγορία αυτή απευθύνεται σε επιχειρήσεις με σταθερή δομή και είναι συμβατή με τη μαζική παραγωγή. Ο ροή των διεργασιών είναι προκαθορισμένη και δεν υπάρχει ευελιξία στην παραγωγή. Οι εταιρίες που το εφαρμόζουν έχουν συνήθως σταθερή ζήτηση.

Όσον αφορά τους εργαζόμενους, δεν απαιτείται κάποια ιδιαίτερη εξειδίκευση, καθώς οι μηχανές που χρησιμοποιούνται είναι για συγκεκριμένο σκοπό. Η απόδοση μιας γραμμής παραγωγής που ακολουθεί τη χωροθέτηση κατά προϊόν είναι καλύτερη από τη χωροθέτηση κατά διεργασία.

Ένα τέτοιο παράδειγμα είναι μια γραμμή εμφιάλωσης. Ως πρώτη ύλη είναι τα μπουκάλια, τα οποία καθαρίζονται, γεμίζουν, εμφιαλώνονται και οδηγούνται στην έξοδο. Δεν υπάρχει περιθώριο να αλλάξει αυτή η γραμμή παραγωγής κατά παραγγελία. Επιπλέον, πολλές φορές τα μηχανήματα είναι αυτοματοποιημένα, επομένως η εταιρία έχει να αντιμετωπίσει μόνο το κόστος αγοράς και συντήρησής τους.

Στην Εικόνα 3 παρουσιάζεται το διάγραμμα ροής ενός εμφιαλωτηρίου.



Εικόνα 4: Διάγραμμα ροής γραμμής παραγωγής εμφιαλωτηρίου.

4. Περιγραφή παραγωγικής διαδικασίας αλευροβιομηχανίας

Ο στόχος μια αλευροβιομηχανίας είναι η παραγωγή αλεύρων και λοιπών υποπροϊόντων αλεύρου, καθώς και πολλές φορές η διανομή τους. Η γραμμή παραγωγής μιας αλευροβιομηχανίας αποτελείται από πολλές διεργασίες. Οι διεργασίες μπορεί να είναι πλήρως αυτοματοποιημένες με χρήση μηχανημάτων, να υπάρχει ένας ή περισσότεροι χειριστές ή και τα δύο.

Στο κεφάλαιο αυτό παρουσιάζονται οι διεργασίες που αποτελούν μια γραμμή παραγωγής αλευροβιομηχανίας και γίνεται μια περιγραφή αυτών.

4.1 Παραλαβή πρώτων υλών

Στις περισσότερες γραμμές παραγωγής, το πρώτο στάδιο είναι κοινό. Για να ξεκινήσει η παραγωγική διαδικασία χρειάζονται οι πρώτες ύλες. Σε μια αλευροβιομηχανία, η πρώτη ύλη είναι το σιτάρι, το κριθάρι ή/και το καλαμπόκι.

Η μεταφορά των πρώτων υλών διαφέρει, ανάλογα με την τοποθεσία της βιομηχανικής μονάδας και του προμηθευτή και ανάλογα με τον όγκο των πρώτων υλών. Μπορεί να γίνει είτε με οχήματα (βιομηχανικές μονάδες στην Ηπειρωτική Ελλάδα) ή με δεξαμενόπλοια (βιομηχανικές μονάδες σε νησιωτικές περιοχές). Και στις δύο περιπτώσεις το μεταφορικό μέσο πρέπει να είναι καθαρό και να έχει απολυμανθεί, προτού χρησιμοποιηθεί για τη μεταφορά του φορτίου.

Κατά την παραλαβή των πρώτων υλών, η βιομηχανία οφείλει να κάνει δειγματοληπτικούς ελέγχους, προκειμένου να εκτιμήσει την ποιότητα του προϊόντος. Στη συνέχεια γίνεται το πρώτο στάδιο του καθαρισμού των πρώτων υλών, πριν την αποθήκευση.

4.2 Αποθήκευση πρώτων υλών

Μετά το πέρας της παραλαβής των πρώτων υλών, έρχεται η σειρά της αποθήκευσης. Η αποθήκευση γίνεται σε κατάλληλα διαμορφωμένους χώρους, με ελεγχόμενη θερμοκρασία για την αποφυγή αλλοίωσης των πρώτων υλών.

Η εκτεταμένη αποθήκευση συχνά οδηγεί σε αλλοίωση του προϊόντος και πολλές φορές, όταν δεν γίνεται σωστά, οδηγεί σε ελαττωματικό τελικό προϊόν. Σε περιπτώσεις που η πρώτη ύλη διαθέτει υγρασία, θα πρέπει να γίνουν διαδικασίες αφύγρανσης.

4.3 Ζύγισμα – Καθάρισμα – Κοσκίνισμα

Ως αρχικά στάδια της επεξεργασίας και της προετοιμασίας του τελικού προϊόντος, ορίζονται το ζύγισμα, το καθάρισμα και το κοσκίνισμα των πρώτων υλών. Το ζύγισμα γίνεται για να επιτευχθεί η κατάλληλη ποσότητα πρώτων υλών. Το στάδιο του καθαρισμού υπάρχει πριν και μετά το κοσκίνισμα των πρώτων υλών. Με το κοσκίνισμα επιτυγχάνεται η απομάκρυνση ξένων υλών που μπορούν να βλάψουν το τελικό προϊόν (π.χ. άχυρα, σκόνες, γυαλιά κ.ά.).

4.4 Άλεσμα

Το επόμενο στάδιο της παραγωγικής διαδικασίας είναι το άλεσμα. Χρησιμοποιούνται κυλινδρομηχανές ή παραδοσιακοί πετρόμυλοι. Στη συνέχεια προχωράει σε ένα δεύτερο στάδιο κοσκινίσματος με σκοπό να ξεχωρίσει το αλεύρι, το σιμιγδάλι και το πίτυρο.

Τα κόσκινα είναι διαφορετικά και έτσι ξεχωρίζουν οι τρεις κατηγορίες. Αφού ολοκληρωθεί η παραπάνω διαδικασία, διαφορετικά προϊόντα ομαδοποιούνται και αποθηκεύονται σε ξεχωριστά σιλό. Σε αυτό το στάδιο παράγονται και υποπροϊόντα που αποθηκεύονται σε διαφορετικά σιλό και χρησιμοποιούνται για ζωοτροφές.

4.5 Προσθήκη επιπλέον συστατικών

Στο τελικό προϊόν προστίθενται διάφορα επιπλέον συστατικά, όπως η γλουτένη, οι πρωτεΐνες και η μαγιά. Όλα αυτά τα συστατικά αναμιγνύονται με το αλεύρι, ώστε να αποκτήσει βελτιωμένες ιδιότητες. Φυσικά υπάρχουν και άλευρα τα οποία είναι χωρίς γλουτένη ή χωρίς κάποια άλλα συστατικά. Ο διαχωρισμός γίνεται σε αυτό το στάδιο.

Αφού ολοκληρωθεί η κάθε παρτίδα ανάμειξης, απαιτείται να γίνει έλεγχος ποιότητας και ανάλυση ενός δείγματος. Επιπλέον, είναι απαραίτητο να αναγράφονται στη συσκευασία οι ποσότητες των λοιπών συστατικών που προστέθηκαν.

4.6 Συσκευασία – Αποθήκευση

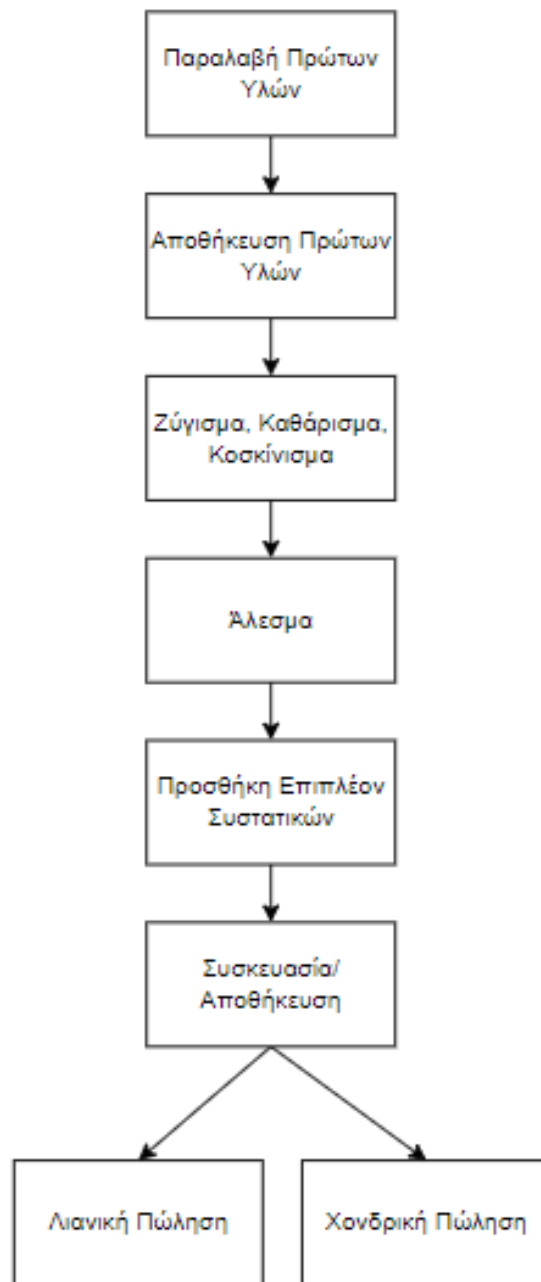
Το τελικό προϊόν έχει πλέον παραχθεί και πρέπει να συσκευασθεί. Πολλές αλευροβιομηχανίες παράγουν μόνες τους τη συσκευασία των προϊόντων τους, ενώ άλλες τις παραγγέλνουν.

Σε περίπτωση που το τελικό προϊόν προορίζεται για λιανική πώληση, τότε μπαίνει σε κούτες και φορτώνεται σε κατάλληλα μηχανήματα (ανυψωτικά, φορητά μεταφοράς κλπ.). Πολλές φορές μπορεί να φορτωθεί και σε τσουβάλια, αντί για συσκευασίες και κουτιά. Με αυτόν τον τρόπο οδηγείται στους πελάτες.

Μια δεύτερη περίπτωση είναι το τελικό προϊόν να προορίζεται για κάποια άλλη βιομηχανία. Σε αυτή την περίπτωση δεν χρησιμοποιούνται συσκευασίες, αλλά αποθηκεύονται σε κατάλληλα σιλό ή φορτώνεται σε σιλοφόρα φορητά.

Πολλές φορές, όταν η παραγωγή δεν συγχρονίζεται με τη ζήτηση, το τελικό προϊόν καλείται να αποθηκευτεί σε σιλό και να παραμείνει στη μονάδα παραγωγής, μέχρις ότου αυξηθεί η ζήτηση. Σε περιπτώσεις που η αποθήκευση γίνεται για μεγάλο διάστημα, αυξάνονται οι έλεγχοι που πρέπει να γίνουν από τη βιομηχανία και αυξάνεται ο κίνδυνος το τελικό προϊόν να μην μπορεί να προωθηθεί στον πελάτη.

Στην Εικόνα 6 παρουσιάζεται το διάγραμμα ροής μιας γραμμής παραγωγής μιας αλευροβιομηχανίας.



Εικόνα 5: Διάγραμμα ροής γραμμής παραγωγής αλευροβιομηχανίας.

5. ARENA Software

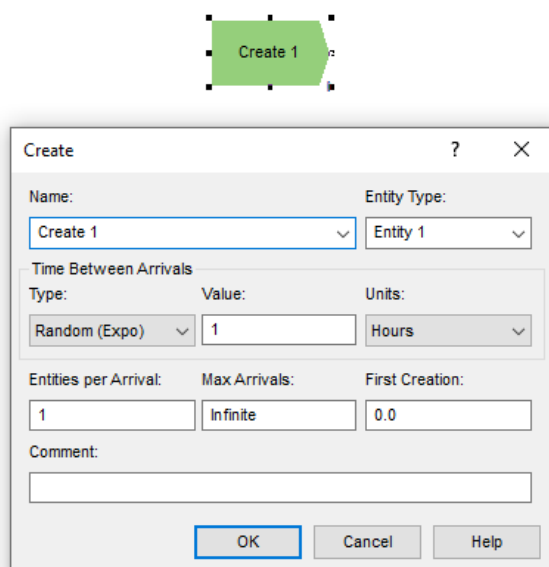
Το λογισμικό που χρησιμοποιήθηκε στην παρούσα διπλωματική εργασία είναι το ARENA Software από τη Rockwell Automation [6]. Αποτελεί ένα πρόγραμμα προσομοίωσης με αρκετές βιβλιοθήκες, κάνοντας έτσι τη δουλειά του χρήστη πιο εύκολη και την προσομοίωση πιο ακριβείας. Χρησιμοποιείται από πολλές εταιρίες, με σκοπό να προσομοιώσουν τη γραμμή παραγωγής τους και είτε να προσπαθήσουν να τη βελτιστοποιήσουν, ή να προλάβουν πιθανά σφάλματα και αστοχίες.

Το λογισμικό διαθέτει μια ελεύθερη φοιτητική άδεια, η οποία ωστόσο έρχεται με περιορισμένες δυνατότητες προσομοίωσης. Παρακάτω αναλύονται μερικά block του ARENA, τα οποία χρησιμοποιήθηκαν.

5.1 Blocks που χρησιμοποιήθηκαν

Όλα τα προγράμματα του ARENA ξεκινάνε με το block “Create”. Χρησιμοποιείται για την προσομοίωση της εισόδου στη γραμμή παραγωγής. Η είσοδος μπορεί να είναι σταθερή ή μεταβλητή, ακολουθώντας κάποια κατανομή που επιλέγει ο χρήστης (κανονική, poisson, εκθετική κ.ά.). Επιπλέον, ο χρήστης επιλέγει το ρυθμό γεννήτριας εισόδων.

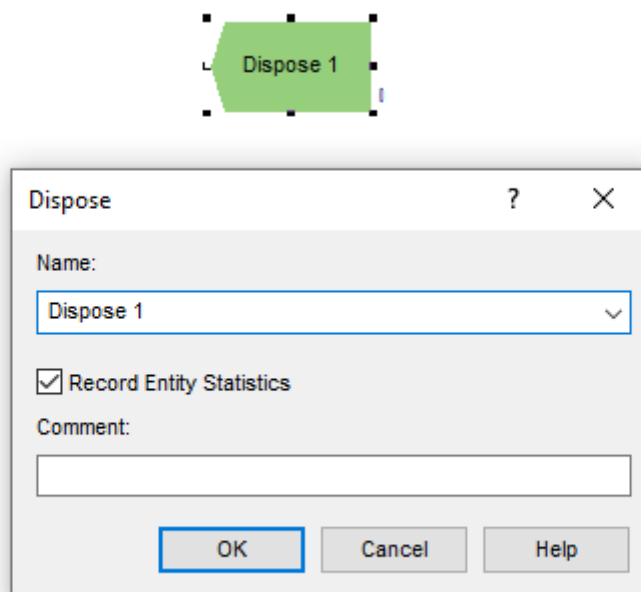
Στην Εικόνα 7 παρουσιάζεται το Create Block στο ARENA.



Εικόνα 6: Create Block ARENA.

Το ζευγάρι του block “Create” είναι το block “Dispose”. Αποτελεί το τελευταίο block του συστήματος και λειτουργεί ως τερματικός κόμβος. Οποιαδήποτε πληροφορία χρειάζεται ο χρήστης, πρέπει να υπολογιστεί πριν από αυτό το block. Δεν χρειάζεται κάποια παραμετροποίηση, καθώς ο ρόλος του είναι να τερματίζει το πρόγραμμα.

Στην Εικόνα 8 παρουσιάζεται το Dispose Block στο ARENA.

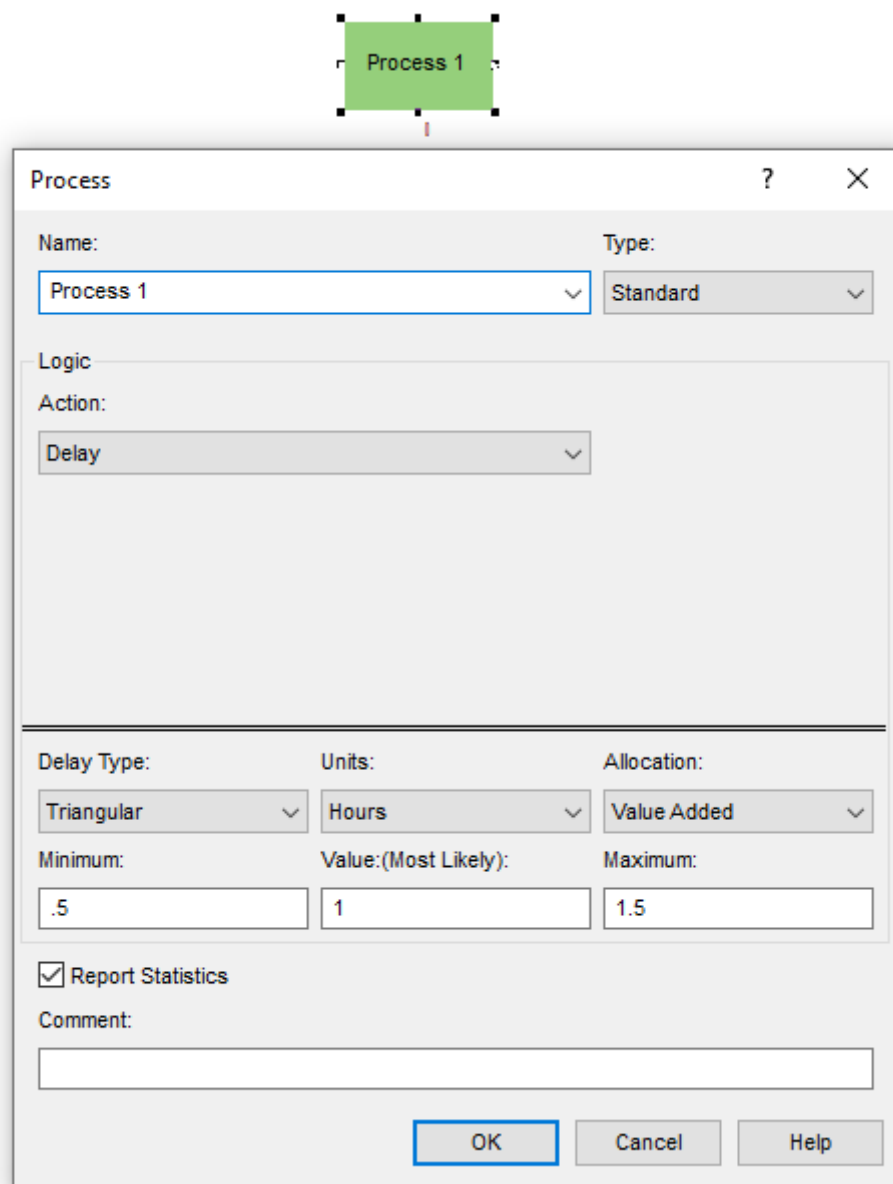


Εικόνα 7: Dispose Block ARENA.

Για να είναι ρεαλιστική η προσομοίωση χρειάζεται να εισαχθούν κάποιες καθυστερήσεις στο σύστημα. Υπάρχουν πολλά τέτοια blocks και ένα βασικό από αυτά είναι το block “Process”. Η βασικότερη είναι η απλή καθυστέρηση, που “κρατάει” την

είσοδο για κάποιο χρόνο. Ο χρόνος μπορεί να είναι σταθερός ή να ακολουθεί κάποια κατανομή που επιλέγει ο χρήστης (κανονική, poisson, εκθετική κ.ά.). Υπάρχουν και άλλες δυνατότητες στο block “Process”, όπως η συλλογή των εισόδων και η ομαδοποίησή τους, να αποθηκεύει τον τύπο της εισόδου κ.ά.

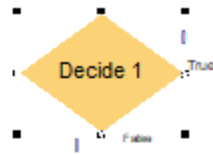
Στην Εικόνα 9 παρουσιάζεται το Process Block στο ARENA.



Εικόνα 8: Process Block Arena.

Πολύ χρήσιμο στις προσομοιώσεις είναι το block “Decide”. Όπως φαίνεται και από το όνομά του, το block αυτό οδηγεί κάθε έξοδο σε διαφορετικό μονοπάτι, είτε βάσει πιθανοτήτων, είτε βάση μιας συνθήκης που θα έχει ορίσει ο χρήστης.

Στην Εικόνα 10 παρουσιάζεται το block “Decide”.



Decide

Name: Decide 1 Type: 2-way by Chance

Percent True (0-100): 50 %

Comment:

OK Cancel Help

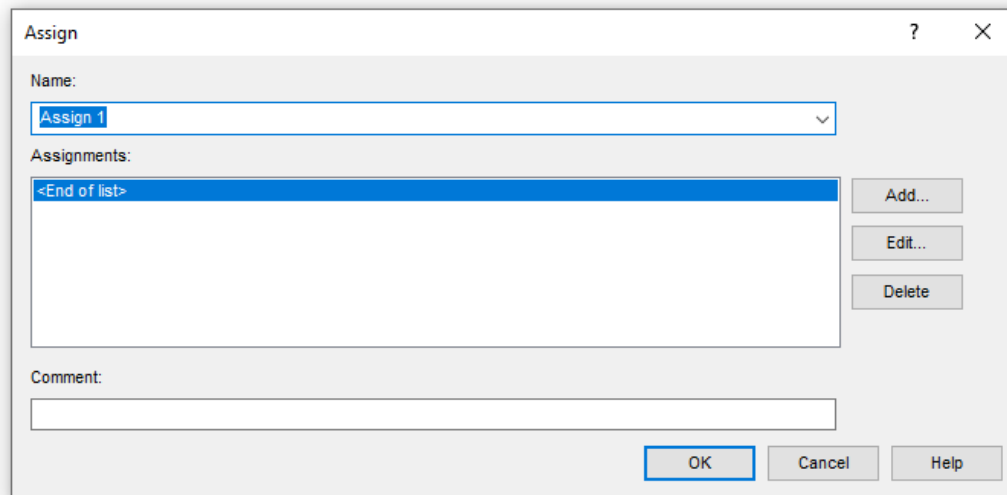
Εικόνα 9: Decide Block ARENA.

Σε ένα σύστημα προσομοίωσης είναι σημαντικό κάθε αντικείμενο να έχει κάποια χαρακτηριστικά, βάσει των οποίων γίνεται ο σχολιασμός των αποτελεσμάτων. Για να δοθούν αυτά τα χαρακτηριστικά χρησιμοποιείται το block “Assign”.

Με αυτό το block οι εισοδοί παίρνουν τιμές (π.χ. αλεύρι, ψωμί, κούτες κλπ). Επιπλέον πολλές φορές χρειάζεται να χρησιμοποιηθούν μεταβλητές, για να υπάρχει μια καλύτερη κατανόηση της παραγωγής. Μια πολύ συνηθισμένη μεταβλητή είναι το WIP (Work In Progress), η οποία μετράει τα αντικείμενα που βρίσκονται τη δεδομένη

χρονική στιγμή εντός της γραμμής παραγωγής. Οι μεταβλητές ορίζονται με τη χρήση του block “Assign”.

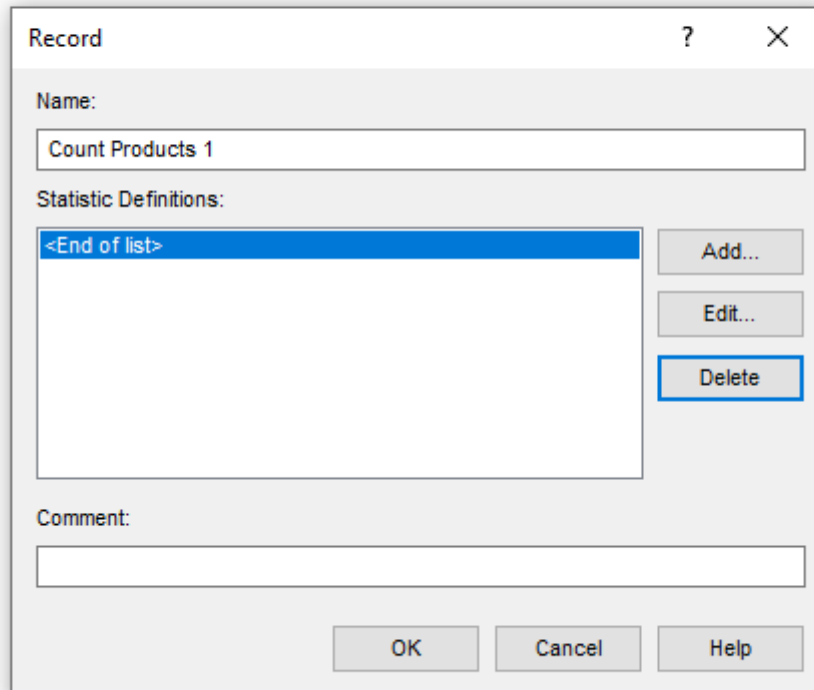
Στην Εικόνα 11 παρουσιάζεται το Assign Block στο ARENA.



Εικόνα 10: Assign Block ARENA.

Πολύ σημαντική είναι η χρήση μετρητών, ώστε να δίνουν μια γρήγορα εικόνα για την προσομοίωση, μέχρις ότου διαμορφωθεί το τελικό αποτέλεσμα. Για παράδειγμα, μια βασική μέτρηση που χρειάζεται κάθε προσομοίωση είναι το πλήθος των τελικών προϊόντων που παρήχθησαν. Οι μετρητές υλοποιούνται το ARENA με τη χρήση του block “Record”. Ο χρήστης επιλέγει το βήμα του μετρητή και υπάρχει η δυνατότητα να μετράει μόνο ένα συγκεκριμένο τύπου εισόδου, από όλες όσες διέρχονται.

Στην Εικόνα 12 παρουσιάζεται το block “Record”.



Εικόνα 11: Record Block ARENA.

Σε μια προσομοίωση μιας βιομηχανικής παραγωγής, πρέπει να υπάρχουν κόμβοι που αντιστοιχούν στις διεργασίες της γραμμής παραγωγής. Για το σχεδιασμό των κόμβων, χρησιμοποιείται το block “Station”. Συνδυάζοντάς το με το block “Process”, δημιουργείται μια διεργασία με ένα ρεαλιστικό χρόνο επεξεργασίας. Χωρίς αυτά τα block δεν θα ήταν δυνατό να σχεδιαστεί το animation της προσομοίωσης.

Στην Εικόνα 13 παρουσιάζεται το block “ Station ”.



Station

Name: Station 1

Station Type: Station

Station Name: Station 1

Parent Activity Area:

Associated Intersection:

Report Statistics

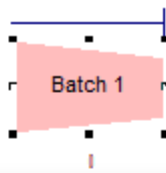
Comment:

OK Cancel Help

Εικόνα 12: Station Block ARENA.

Όταν πρέπει να προσομοιωθεί η ένωση δύο παράλληλων γραμμών παραγωγής, για την παραγωγή ενός τελικού προϊόντος, τότε χρησιμοποιείται το block “Match”. Δέχεται δύο εισόδους και παράγει μια έξοδο. Πριν οδηγηθεί το αντικείμενο στην έξοδο (block Dispose), θα πρέπει να χρησιμοποιηθεί το block “Separate” για να χωρίσει τις εισόδους και αν οδηγηθούν στην έξοδο. Τα δύο blocks χρησιμοποιούνται πάντα ως ζευγάρι.

Στην Εικόνα 14 και 15 παρουσιάζονται τα δύο blocks, “Match” και “Separate”.



Batch

Name: Batch 1 Type: Permanent

Batch Size: 2 Save Criterion: Last

Rule: Any Entity

Representative Entity Type:

Comment:

OK Cancel Help

Εικόνα 13: Batch Block ARENA.



Separate

Name: Type:

Member Attributes:

Comment:

Εικόνα 14: Seperate Block ARENA.

6. Το μοντέλο προσομοίωσης της αλευροβιομηχανίας στο ARENA

Όπως έχει αναφερθεί και παραπάνω, η παρούσα διπλωματική εργασία ασχολείται με τη μελέτη, προσομοίωση και βελτιστοποίηση μιας αλευροβιομηχανίας. Χρησιμοποιώντας τα blocks που αναλύθηκαν και συνδυάζοντάς τα μεταξύ τους, αναπτύχθηκε το τελικό μοντέλο.

Η προσομοίωση αποτελείται από δύο κομμάτια. Το πρώτο κομμάτι είναι το animation. Χρησιμοποιείται για να δείξει τη μεταφορά των αντικειμένων μεταξύ των διεργασιών και δίνει έτσι μια καλύτερη εικόνα για το πως παράγεται το τελικό προϊόν. Οι δυνατότητες του ARENA όσο αφορά το animation είναι πάρα πολλές.

Το δεύτερο και βασικότερο κομμάτι είναι ο σχεδιασμός του συστήματος με blocks. Χρησιμοποιούνται τα blocks που παρουσιάστηκαν στο προηγούμενο κεφάλαιο και με συνδυασμό αυτών παράγεται η τελική προσομοίωση. Δίχως τα blocks δεν μπορεί να σχεδιαστεί το animation. Στην πλήρη έκδοση του ARENA δεν υπάρχει κάποιος περιορισμός, ωστόσο στη φοιτητική έκδοση που χρησιμοποιήθηκε, κάποιες λειτουργίες ήταν περιορισμένες και έπρεπε να εξετασθούν με μεγάλη ακρίβεια οι τιμές εισόδου της προσομοίωσης.

Αφού ολοκληρωθεί η ανάλυση των προσομοιώσεων, περιγράφονται ακόμα δύο προσομοιώσεις που υπάρχουν έτοιμες στο ARENA. Οι δύο αυτές προσομοιώσεις αποτέλεσαν τη βάση για να σχεδιαστούν οι τελικές.

6.1 Animation στο ARENA για προσομοίωση της αλευροβιομηχανίας.

Στο τέταρτο κεφάλαιο παρουσιάστηκαν όλα τα στάδια της αλευροβιομηχανίας, από την πρώτη ύλη, μέχρι το τελικό προϊόν. Ένα πρόβλημα που αντιμετωπίζει το Student License του ARENA, είναι ο περιορισμός των αντικειμένων μέσα στην προσομοίωση (δεν έπρεπε το WIP να ξεπερνά το 150). Για αυτό το λόγο δεν ήταν δυνατό να προσομοιωθούν όλα τα στάδια, αλλά προσομοιώθηκαν η είσοδος, ο καθαρισμός, το κοσκίνισμα, το άλεσμα και ο έλεγχος. Επιπλέον, ο ίδιος περιορισμός, ανάγκασε την υλοποίηση να τρέχει σε ώρες αντί για λεπτά, για αυτό τα τελικά αποτελέσματα είναι σε ώρες.

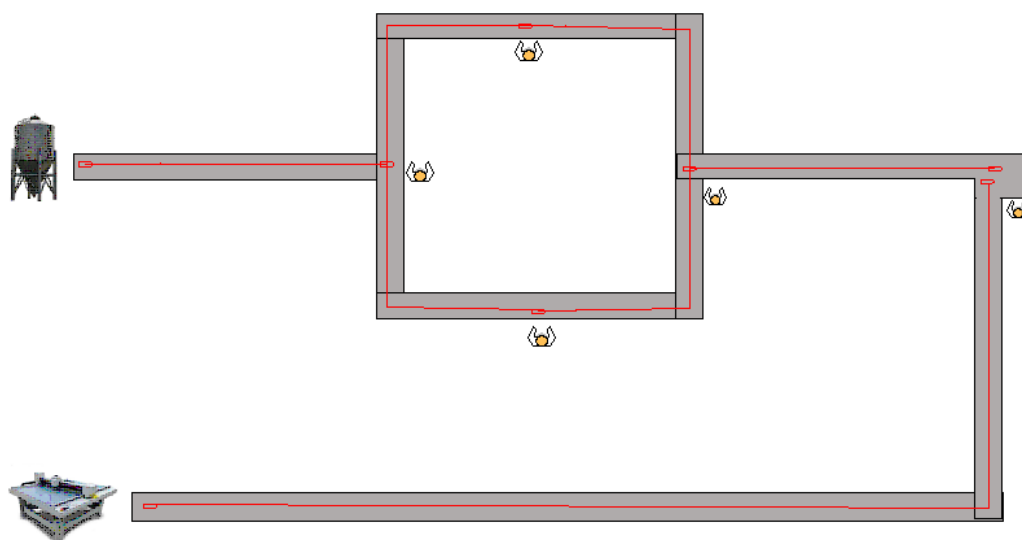
Για να έχει μεγαλύτερο ενδιαφέρον, έχουν προστεθεί δύο ακόμα παράμετροι στην προσομοίωση. Έχει δημιουργηθεί μια μικρή γραμμή παραγωγής συσκευασιών του τελικού προϊόντος. Αυτή αποτελείται από δύο διεργασίες, την είσοδο του χαρτονιού και

τη συναρμολόγησή του. Οι δύο γραμμές παραγωγής συναντώνται στην έξοδό τους και συνθέτουν το τελικό προϊόν με αναλογία 1:1 (ένα κουτί ανά αλεύρι).

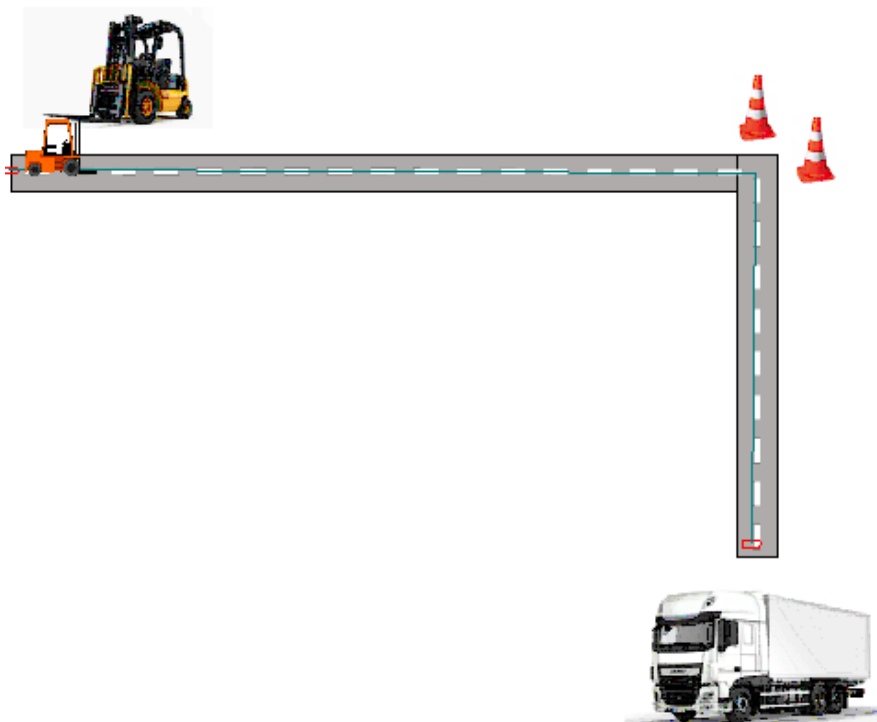
Επιπλέον, έχει προστεθεί ένα ανυψωτικό μηχάνημα, το οποίο παίρνει το συσκευασμένο πλέον τελικό προϊόν και το οδηγεί στην έξοδο. Όταν υπάρχει κάποιο συσκευασμένο τελικό προϊόν, τότε καλείται το ανυψωτικό μηχάνημα να το παραλάβει. Ως έξοδος έχει οριστεί ένα φορτηγό, για να προχωρήσει η μεταφορά του.

Σε κάθε διαδρομή από έναν κόμβο στον επόμενο έχει οριστεί πως μπορούν να υπάρχουν μέχρι δέκα αντικείμενα. Αυτό επηρεάζει πολλές φορές τις ουρές αναμονής που δημιουργούνται πριν τις διεργασίες ή ακόμα και πριν την είσοδο ενός αντικειμένου στη γραμμή παραγωγής.

Στην Εικόνα 16 παρουσιάζεται η γραμμή παραγωγής της αλευροβιομηχανίας, μαζί με τη γραμμή παραγωγής συσκευασίας και στην Εικόνα 17 η προσομοίωση του ανυψωτικού μηχανήματος.

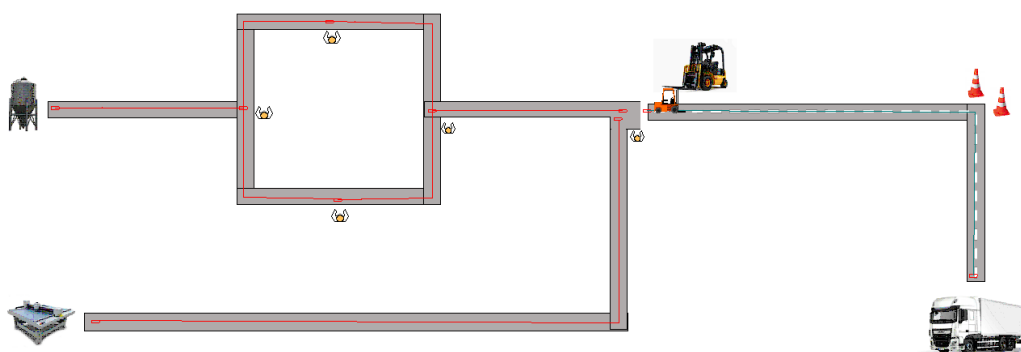


Εικόνα 15: Γραμμή παραγωγής αλευροβιομηχανίας και συσκευασιών.

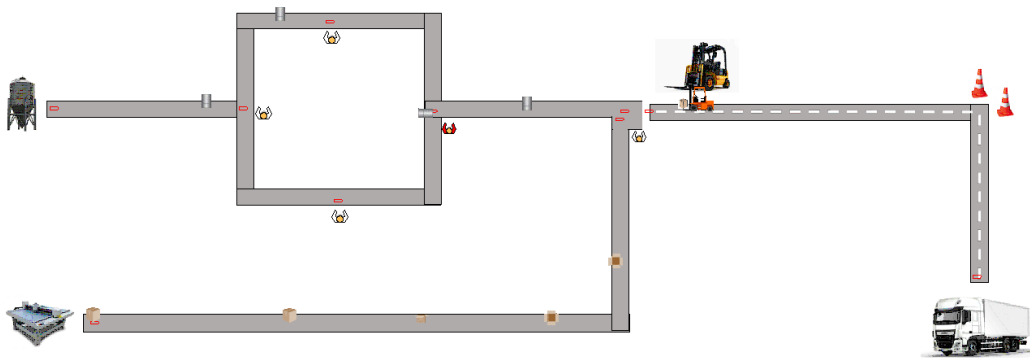


Εικόνα 16: Διαδρομή ανυψωτικού μηχανήματος.

Στην Εικόνα 18 παρουσιάζεται η σύνθεση των παραπάνω, που έχει προσομοιωθεί και στην Εικόνα 19 ένα στιγμιότυπο αυτής κατά τη λειτουργία της προσομοίωσης.



Εικόνα 17: Γραμμή παραγωγής αλευροβιομηχανίας στο ARENA.



Εικόνα 18: Στιγμιότυπο γραμμής παραγωγής αλευροβιομηχανίας στο ARENA.

Στην επάνω γραμμή παραγωγής απεικονίζονται οι διεργασίες της γραμμής παραγωγής της αλευροβιομηχανίας. Ξεκινάει από ένα σιλό με την πρώτη ύλη και στη συνέχεια φτάνει στην πρώτη διεργασία, τον καθαρισμό. Αφού φύγει από τον καθαρισμό, έχουν χρησιμοποιηθεί δύο παράλληλες διεργασίες για το κοσκίνισμα. Η πιθανότητα να ακολουθήσει ένα αντικείμενο μια από τις δύο κατευθύνσεις είναι 50%. Στη συνέχεια υπάρχει η διεργασία του αλέσματος.

Ακριβώς από κάτω βρίσκεται η γραμμή παραγωγής συσκευασιών. Ως είσοδο δέχεται το χαρτί συσκευασίας και αποτελείται από μια διεργασία, την κατασκευή της συσκευασίας. Στη διεργασία της κατασκευής συναντώνται οι δύο γραμμές παραγωγής και παράγεται το συσκευασμένο πλέον, τελικό προϊόν.

Το τελικό προϊόν περιμένει να έρθει το ανυψωτικό μηχάνημα να το παραλάβει και να το οδηγήσει στην έξοδο (στο φορτηγό). Το ανυψωτικό μηχάνημα μπορεί να κουβαλήσει ένα τελικό προϊόν ανά διαδρομή.

6.2 Προσομοίωση στο ARENA με blocks

Φυσικά το Animation δεν θα μπορούσε να λειτουργήσει χωρίς να υπάρχουν τα απαραίτητα blocks που το υποστηρίζουν. Για την είσοδο στο σύστημα χρησιμοποιήθηκε το block “Create” και μετονομάστηκε σε “Flour Arrivals”. Η είσοδος δεν είναι σταθερή, αλλά ακολουθεί την κανονική κατανομή με μέση τιμή 10 και τυπική απόκλιση 5. Το αμέσως επόμενο block είναι το “Assign”, το οποίο αυξάνει το WIP κατά 1.

Στη συνέχεια είναι η πρώτη διεργασία, το καθάρισμα. Με το block “Station”, το οποίο έχει μετονομαστεί σε Cleaning, η πρώτη ύλη φτάνει στον πρώτο κόμβο. Ο χρόνος επεξεργασίας ορίζεται από το block “Process” και ακολουθεί κανονική

κατανομή με μέση τιμή 2.5 και τυπική απόκλιση 1. Με το πρώτο block έχει εισαχθεί ήδη και η πρώτη καθυστέρηση στο σύστημα.

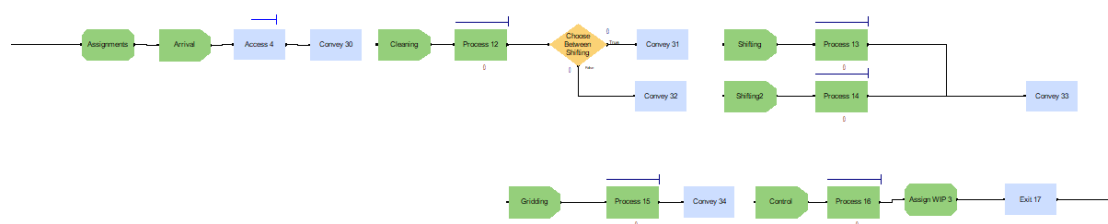
Στο επόμενο βήμα υπάρχει το block “Decide”, με όνομα Choose Between Shifting. Επιλέγει με πιθανότητα 50% σε ποια από τις δύο διεργασίες κοσκινίσματος θα προχωρήσει το αντικείμενο.

Οι δύο διεργασίες κοσκινίσματος εκτελούν τον ίδιο σκοπό και είναι παράλληλα συνδεδεμένες μεταξύ τους. Στο σύστημα έχουν προσομοιωθεί με το block “Station”. Η πρώτη έχει χρόνο καθυστέρησης που ακολουθεί κανονική κατανομή με μέση τιμή 5 και τυπική απόκλιση 1, ενώ η δεύτερη μέση τιμή 2 και τυπική απόκλιση 1. Η σημασία της παράλληλης σύνδεσης δύο ίδιων διεργασιών αναλύεται με αποτελέσματα στο επόμενο κεφάλαιο. Επιπλέον, δεν υπάρχει ο κίνδυνος, αν χαλάσει κάποιο μηχάνημα σε μια από τις δύο διεργασίες ή αν αποσυρθεί για προγραμματισμένη συντήρηση, να μη σταματήσει η γραμμή παραγωγής.

Το επόμενο στάδιο είναι το άλεσμα. Εδώ οι έξοδοι από τις δύο παράλληλες διεργασίες συναντώνται ξανά σε μία. Έχει προσομοιωθεί με το block “Station” και ονομάζεται Gridding. Ο χρόνος καθυστέρησης στο στάδιο αυτό, ακολουθεί ξανά κανονική κατανομή με μέση τιμή 4 και τυπική απόκλιση 1.

Από κάθε σύστημα δεν μπορεί να λείπει ο έλεγχος. Είναι επόμενο στάδιο από το άλεσμα και προσομοιώνεται με παρόμοιο τρόπο. Ακολουθεί και αυτό κανονική κατανομή για την καθυστέρηση με μέση τιμή 3.5 και τυπική απόκλιση ίση με 1. Αποτελεί το τελευταίο στάδιο της γραμμής παραγωγής αλεύρου, πριν τη συσκευασία του τελικού προϊόντος.

Στην Εικόνα 20 παρουσιάζεται το σύστημα επεξεργασίας της πρώτης ύλης, από τον καθαρισμό μέχρι και τον έλεγχο.



Εικόνα 19: Διεργασίες επεξεργασίας πρώτης ύλης.

Όπως έχει αναφερθεί παραπάνω, έχει σχεδιαστεί και μια δεύτερη γραμμή παραγωγής συσκευασιών, παράλληλα με την πρώτη. Αποτελείται από δύο κόμβους, την είσοδο και την κατασκευή. Η είσοδος σε αυτή ακολουθεί κανονική κατανομή με μέση τιμή 10 και τυπική απόκλιση 5, όμοια με την πρώτη.

Το στάδιο της κατασκευής έχει προσομοιωθεί με τη χρήση του block “Station”. Ο χρόνος επεξεργασίας ακολουθεί κανονική κατανομή με μέση τιμή 10 και τυπική

απόκλιση 2. Είναι φανερό πως ο χειριστής εδώ είναι πιο αργός από τους αντίστοιχους της γραμμής παραγωγής αλεύρου.

Στην Εικόνα 21 παρουσιάζονται οι διεργασίες κατασκευής των συσκευασιών συσκευασίας.



Εικόνα 20: Διεργασίες κατασκευής συσκευασιών.

Στο στάδιο της συσκευασίας συναντώνται οι δύο γραμμές παραγωγής. Εκεί συσκευάζεται το τελικό προϊόν και οδηγείται στην έξοδο. Η ένωση των δύο γραμμών παραγωγής προσομοιώνεται με τη χρήση του block “Match”.

Το τελευταίο κομμάτι της προσομοίωσης αφορά τη χρήση ανυψωτικού μηχανήματος για τη μεταφορά του τελικού προϊόντος. Εδώ το σύστημα καλεί το ανυψωτικό, το φορτώνει και το οδηγεί στην έξοδο. Υπάρχει ένας μετρητής που κρατάει αποθηκευμένη την ποσότητα τελικών προϊόντων που έχουν παραχθεί.

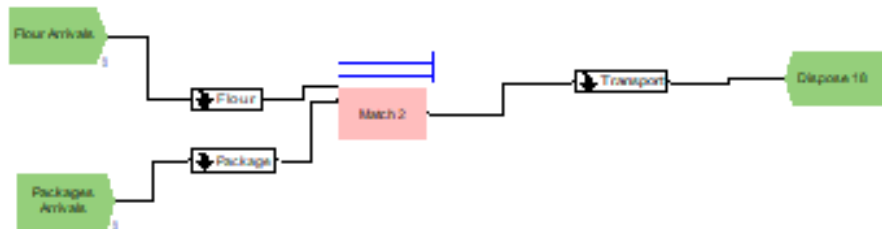
Στην Εικόνα 22 παρουσιάζεται η υλοποίηση του ανυψωτικού.



Εικόνα 21: Χρήση Ανυψωτικού Μηχανήματος.

Τα τρία τμήματα που περιγράφονται παραπάνω, έχουν υλοποιηθεί με υπορουτίνες στο πρόγραμμα ARENA, ώστε το τελικό σύστημα να είναι πιο εύκολα διαχειρίσιμο και πιο κατανοητό. Εκτός των υπορουτινών έχουν παραμείνει τα blocks δημιουργίας των εισόδων, το block Match για να είναι πιο κατανοητή η ένωση των δύο γραμμών παραγωγής, καθώς και τελικό block Dispose, για να φαίνεται που ολοκληρώνεται η προσομοίωση.

Στην Εικόνα 23 παρουσιάζεται το τελικό σύστημα προσομοίωσης.



Εικόνα 22: Τελικό σύστημα προσομοίωσης.

Πολύ χρήσιμες πληροφορίες δίνουν οι μετρητές που έχουν χρησιμοποιηθεί κατά την προσομοίωση. Έχουν χρησιμοποιηθεί τρεις μετρητές:

- Total production: Αριθμεί το πλήθος των τελικών προϊόντων που έχουν παραχθεί. Ο μετρητής τοποθετείται πριν την έξοδο των αντικειμένων από το σύστημα.
- WIP: Αριθμεί το πλήθος των αντικειμένων που βρίσκονται μια δεδομένη χρονική στιγμή, εντός της προσομοίωσης. Τα αντικείμενα που μετράει είναι από τη γραμμή παραγωγής της αλευροβιομηχανίας, πριν συσκευαστούν.
- WIP Packages: Αριθμεί το πλήθος των χαρτονιών εντός του συστήματος, πριν γίνουν κουτιά και συσκευαστούν το προϊόν.

Στην Εικόνα 24 παρουσιάζονται οι μετρητές και στην Εικόνα 25 ένα στιγμιότυπο, όταν η προσομοίωση έχει ξεκινήσει.

Total Production	0
WIP	0
WIP Packages	0

Εικόνα 23: Μετρητές του Συστήματος.

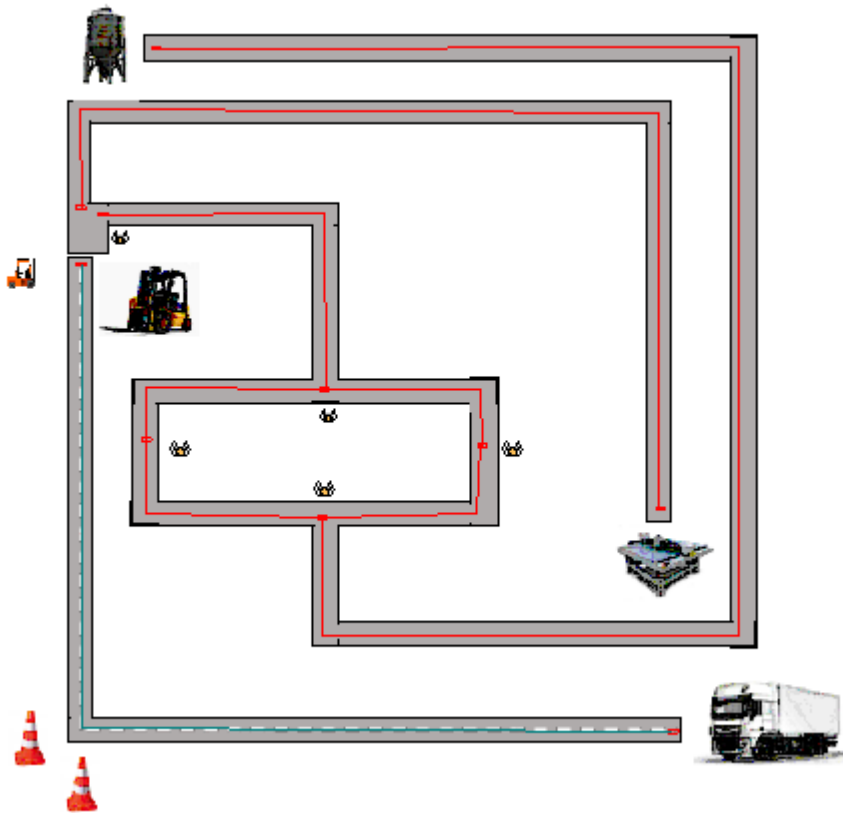
Total Production	8 2
WIP	7
WIP Packages	2

Εικόνα 24: Μετρητές κατά τη Λειτουργία του Συστήματος.

6.3 Προσομοίωση με διαφορετική χωροθέτηση εργασιών

Σε προηγούμενο κεφάλαιο έχει αναφερθεί πως επιδρά η χωροθέτηση των εργασιών στην παραγωγικότητα. Στη δεύτερη προσομοίωση υλοποιήθηκε η ίδια μονάδα παραγωγής με την πρώτη, με τους ίδιους χρόνους, αλλά διαφορετική διάταξη των εργασιών. Αυτό συνεπάγεται με μεγαλύτερους χρόνους μεταφοράς των αντικειμένων από μια διεργασία στην επόμενη, αλλά και καθυστέρηση στη μεταφορά του τελικού προϊόντος, καθώς έχει απομακρυνθεί η τελευταία διεργασία από την έξοδο.

Στην Εικόνα 26 παρουσιάζεται το σύστημα με διαφορετική χωροθέτηση εργασιών.



Εικόνα 25: Σύστημα με Διαφορετική Χωροθέτηση Εργασιών.

Αισθητά μεγαλύτερη είναι η απόσταση που έχει να διανύσει το αντικείμενο από την είσοδό του, μέχρι το στάδιο του καθαρισμού. Επιπλέον έχει αυξηθεί κατά 3 φορές η διαδρομή που καλείτε να καλύψει το ανυψωτικό μηχάνημα. Οι διαδρομές μεταξύ των σταδίων καθαρισμού, κοσκινίσματος 1, κοσκινίσματος 2, αλέσματος και ελέγχου έχουν αυξηθεί, όχι όμως τόσο πολύ όσο οι υπόλοιπες.

Η υλοποίηση με χρήση blocks είναι ακριβώς τη ίδια, καθώς οι αλλαγές έχουν γίνει μόνο στους χρόνους μεταφοράς των αντικειμένων. Δεν έχει αλλάξει κάτι ως προς τους χρόνους επεξεργασίας των διεργασιών, ούτε ως προς το ρυθμό εισόδου των αντικειμένων. Επιπλέον ο περιορισμός των δέκα αντικειμένων μεταξύ δύο διεργασιών είναι σταθερός και στις δύο προσομοιώσεις.

7. Ανάλυση των αποτελεσμάτων

Στο κεφάλαιο αυτό γίνεται ανάλυση των αποτελεσμάτων του συστήματος προσομοίωσης που έχει περιγραφεί παραπάνω. Παρουσιάζονται τα αποτελέσματα για τις δύο υλοποιήσεις με διαφορετική χωροθέτηση.

7.1 Προσομοίωση με ορθή χωροθέτηση εργασιών

Λόγω του περιορισμού του student license του ARENA, η προσομοίωση εκτελέστηκε για 200 ημέρες και η ημέρα είχε 24 ώρες. Εάν επιχειρούσαμε να αυξήσουμε της ημέρες προσομοίωσης, τότε αυξανόταν το WIP και περνούσε το όριο των 150 του student license. Οι χρόνοι που χρησιμοποιήθηκαν είναι σε ώρες, λόγω των ίδιων περιορισμών. Σε ένα πραγματικό σύστημα οι χρόνοι μετρώνται σε λεπτά.

Στο πρώτο σύστημα με την ορθή χωροθέτηση, το σύστημα παράγαγε 456 τελικά προϊόντα μέσα σε 200 μέρες. Στον Πίνακα 1 παρουσιάζονται οι χρόνοι που χρειάστηκε το κάθε αντικείμενο της γραμμής παραγωγής αλεύρου, από την είσοδό του, μέχρι να φτάσει στο στάδιο της συσκευασίας.

Πίνακας 1: Χρόνοι Παραγωγής Αλεύρου			
Flour (Entrance)			
Χρόνοι	Μέση τιμή (ώρες)	Ελάχιστη τιμή (ώρες)	Μέγιστη τιμή (ώρες)
Χρόνος Αναμονής	125.31	0.00	197.39
Χρόνος Μεταφοράς	13.03	12.02	24.28
Συνολικός Χρόνος	151.59	24.41	225.17

Ο δείκτης Wait Time αντιστοιχεί στο συνολικό χρόνο που χρειάστηκε ένα αντικείμενο να περιμένει σε ουρά, όταν μια διεργασία ήταν κατειλημμένη. Ο χρόνος είναι αρκετά μεγάλος, καθώς ένα αντικείμενο πρέπει να περάσει από πολλές διεργασίες. Λόγω του χρόνου επεξεργασίας δημιουργούνται ουρές αναμονής. Ο ελάχιστη τιμή είναι ίση με 0 και αντιστοιχεί στο πρώτο αντικείμενο, καθώς δεν περίμενε σε ουρές.

Ο δείκτης Transfer Time εκφράζει το συνολικό χρόνο που χρειάστηκε το αντικείμενο για να μεταφερθεί από μια διεργασία στην επόμενη. Η τιμή του είναι σχετικά μικρή, λόγω της ορθής χωροθέτησης εργασιών, που επιτρέπει τη γρήγορη μεταφορά των αντικειμένων.

Ο δείκτης Total Time αναφέρεται στο συνολικό χρόνο που χρειάστηκε ένα αντικείμενο, μέχρι να φτάσει στο στάδιο της συσκευασίας. Ο χρόνος αυτός

περιλαμβάνει την αναμονή σε ουρές, το χρόνο επεξεργασίας καθώς και το χρόνο μεταφοράς ενός αντικειμένου από μία διεργασία σε μία άλλη. Αξιοσημείωτο είναι πως το 82.66% του συνολικού χρόνου αποτελούν οι ουρές αναμονής.

Αντίστοιχη πληροφορία υπάρχει και για τη γραμμή κατασκευής συσκευασιών. Στον Πίνακα 2 παρουσιάζονται οι χρόνοι αυτής.

Πίνακας 2: Χρόνοι κατασκευής συσκευασιών			
Packages (Entrance)			
Χρόνοι	Μέση τιμή (ώρες)	Ελάχιστη τιμή (ώρες)	Μέγιστη τιμή (ώρες)
Χρόνος Αναμονής	18.64	1.00	121.34
Χρόνος Μεταφοράς	29.00	3.00	68.40
Συνολικός Χρόνος	57.60	9.86	191.37

Φαίνεται καθαρά πως οι χρόνοι είναι σαφώς μικρότεροι από την πρώτη γραμμή παραγωγής. Αυτό συμβαίνει, γιατί η γραμμή συσκευασίας αποτελείται από δύο στάδια, την είσοδο και την κατασκευή. Ο χρόνος που ξοδεύει το αντικείμενο σε ουρές, είναι αποκλειστικά για την ουρά που δημιουργείται κατά την κατασκευή.

Το τελικό προϊόν αποτελείται από το συνδυασμό του αλεύρου και της συσκευασίας. Τα αποτελέσματα της προσομοίωσης παρουσιάζονται στον Πίνακα 3.

Πίνακας 3: Αποτελέσματα προσομοίωσης	
Προϊόν	Πλήθος
Αλεύρι	473
Συσκευασίες	456
Τελικό Προϊόν	456

Η γραμμή αλεύρου φαίνεται πως παρήγαγε περισσότερα προϊόντα από την γραμμή συσκευασίας, παρότι αποτελείται από περισσότερες διεργασίες. Το άθροισμα των μέσων τιμών των διεργασιών στη γραμμή παραγωγής αλεύρου είναι μεγαλύτερο από τη μέση τιμή της μίας διεργασίας στη γραμμή συσκευασίας. Η διαφορά είναι πως η γραμμή παραγωγής αλεύρου έχει δύο παράλληλες διεργασίες για το κοσκίνισμα. Αυτή η διαφορά κάνει τη γραμμή παραγωγής αλεύρου πιο γρήγορη, καθώς στο κομμάτι του κοσκινίσματος, επεξεργάζεται περισσότερα αντικείμενα στον ίδιο χρόνο.

Γίνεται μεγάλη αναφορά στο χρόνο αναμονής των αντικειμένων σε ουρές. Στο λογισμικό ARENA υπάρχει η πληροφορία του χρόνου αναμονής του αλεύρου και της συσκευασίας, μέχρι να γίνουν ένα προϊόν. Η πληροφορία αυτή φαίνεται στον Πίνακα 4.

Πίνακας 4: Χρόνος αναμονής συσκευασίας	
Προϊόν	Μέση τιμή (ώρες)
Αλεύρι	124.21
Συσκευασίες	0.22

Παρότι έχει αναφερθεί πως η γραμμή συσκευασίας έχει λιγότερες διεργασίες, όταν φτάνει η στιγμή να συσκευασθεί το προϊόν, το αλεύρι περιμένει να έρθει η εκάστοτε συσκευασία. Αυτό συμβαίνει, για τον ίδιο λόγο που η γραμμή παραγωγής αλεύρου, παράγει τελικά περισσότερα προϊόντα.

Σημαντική επίδραση στο πρόγραμμα έχουν οι χειριστές. Αυτοί είναι υπεύθυνοι για τις διεργασίες και ο χρόνος αυτών προκαλεί τις κυριότερες καθυστερήσεις. Οι χρόνοι επεξεργασίας των αντικειμένων ακολουθούν την κανονική κατανομή, με διαφορετική μέση τιμή και διασπορά, όπως φαίνεται στον Πίνακα 5.

Πίνακας 5: Χρόνοι διεργασιών		
Όνομα Χειριστή	Μέση Τιμή	Διασπορά
Άφιξη Αλεύρου	10	5
Καθαρισμός	2.5	1
Κοσκίνισμα 1	5	1
Κοσκίνισμα 2	2	1
Άλεσμα	4	1
Έλεγχος	3.5	1
Άφιξη Συσκευασίας	10	5
Κατασκευή	10	2

Το κοσκίνισμα έχει δύο καταχωρήσεις, καθώς υπάρχουν δύο διεργασίες συνδεδεμένες παράλληλα, που εκτελούν τον ίδιο σκοπό. Η πιθανότητα επιλογής της μιας διεργασίας έναντι της άλλης είναι 50%. Ο χειριστής της κατασκευής των συσκευασιών είναι αισθητά πιο αργός από τους άλλους.

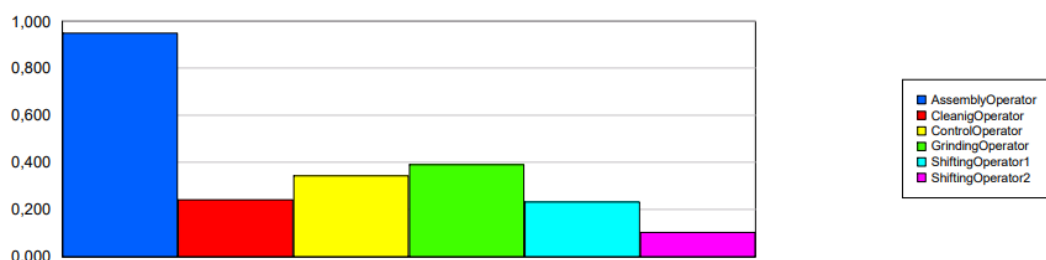
Στον Πίνακα 6 παρουσιάζεται το ποσοστό χρήσης του κάθε χειριστή.

Πίνακας 6: Ποσοστό χρήσης χειριστή	
Διεργασία χειρισμού	Ποσοστό Χρήσης (%)
Καθαρισμός	24.08
Κοσκίνισμα 1	23.19
Κοσκίνισμα 2	10.22
Άλεσμα	39.02
Έλεγχος	34.24
Κατασκευή	95.00

Το ποσοστό αυτό εξαρτάται από τη μέση τιμή και τη διασπορά που έχει ο κάθε χειριστής. Μεγαλύτερο ποσοστό χρήσης έχει η κατασκευή με ποσοστό 95%, καθώς

ακολουθεί κανονική κατανομή με μέση τιμή 10 και διασπορά 2. Παρότι οι χειριστές στο κοσκίνισμα 1 & 2, η μέση τιμή τους δεν διαφέρει πολύ από τις άλλες, το ποσοστό τους είναι σχετικά χαμηλό, καθώς ο φόρτος εργασίας τους είναι ο μισός. Ο χειριστής στη διεργασία κοσκίνισμα 1 έχει μεγαλύτερο ποσοστό από τον αντίστοιχο στη διεργασία κοσκίνισμα 2, καθώς είναι πιο αργός.

Στην Εικόνα 27 παρουσιάζεται το ποσοστό χρήσης των χειριστών με χρήση διαγράμματος.



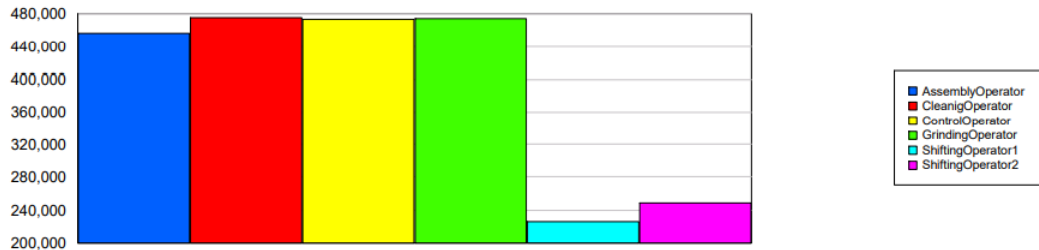
Εικόνα 26: Ποσοστό Χρήσης Χειριστών.

Αντίστοιχη πληροφορία αποτελεί το πλήθος των αντικειμένων που επεξεργάστηκε ο κάθε χειριστής. Η πληροφορία αυτή παρουσιάζεται στον Πίνακα 7.

Διεργασία Χειρισμού	Πλήθος Αντικειμένων
Καθαρισμός	475
Κοσκίνισμα 1	226
Κοσκίνισμα 2	249
Άλεσμα	474
Έλεγχος	473
Κατασκευή	457

Είναι φανερό πως όσο πιο κοντά στην είσοδο της πρώτης ύλης βρίσκεται μια διεργασία, τόσα περισσότερα αντικείμενα έχει επεξεργαστεί. Ο λόγος είναι, γιατί με την ολοκλήρωση της προσομοίωσης, κάποια αντικείμενα παραμένουν χωρίς να έχει ολοκληρωθεί ο κύκλος επεξεργασίας. Το πλήθος των αντικειμένων στις διεργασίες κοσκίνισμα 1 και κοσκίνισμα 2 είναι το μισό από τις υπόλοιπες.

Στην Εικόνα 28 παρουσιάζεται το πλήθος των αντικειμένων που έχουν επεξεργαστεί από κάθε χειριστή.



Εικόνα 27: Πλήθος αντικειμένων που έχουν Επεξεργαστεί.

7.2 Προσομοίωση με διαφορετική χωροθέτηση εργασιών

Για την προσομοίωση αυτού του παραδείγματος χρησιμοποιήθηκαν οι ίδιοι χρόνοι επεξεργασίας και ο ρυθμός γεννήτριας εισόδων με το πρώτο παράδειγμα. Το μόνο που άλλαξε είναι οι θέσεις των διεργασιών και οι αποστάσεις μεταξύ τους. Ένα αντικείμενο πλέον χρειάζεται περισσότερο χρόνο για να μεταβεί από μια διεργασία στην επόμενη.

Η προσομοίωση εκτελέστηκε και πάλι για 200 ημέρες, με 24 ώρες εργασίας την ημέρα. Συνολικά παρήχθησαν 425 τελικά προϊόντα. Στον Πίνακα 8 παρουσιάζονται οι χρόνοι που χρειάστηκε το κάθε αντικείμενο της γραμμής παραγωγής αλεύρου, από την είσοδό του, μέχρι να φτάσει στο στάδιο της συσκευασίας.

Πίνακας 8: Χρόνοι παραγωγής αλεύρου			
Flour (Entrance)			
Χρόνοι	Μέση τιμή (ώρες)	Ελάχιστη τιμή (ώρες)	Μέγιστη τιμή (ώρες)
Χρόνος Αναμονής	221.24	0.00	580.17
Χρόνος Μεταφοράς	145.97	53.93	161.26
Συνολικός Χρόνος	380.62	76.21	740.61

Το 38.35% του συνολικού χρόνου αποτελείται από το χρόνο μεταφοράς, ενώ το 58% αποτελείται από το χρόνο που ξοδεύει ένα αντικείμενο στις ουρές αναμονής.

Αντίστοιχη πληροφορία υπάρχει και για τη γραμμή κατασκευής συσκευασιών. Στον Πίνακα 9 παρουσιάζονται οι χρόνοι αυτής.

Πίνακας 9: Χρόνοι Κατασκευής Συσκευασιών			
Packages (Entrance)			
Χρόνοι	Μέση τιμή (ώρες)	Ελάχιστη τιμή (ώρες)	Μέγιστη τιμή (ώρες)
Χρόνος Αναμονής	295.23	38.45	564.68
Χρόνος Μεταφοράς	57.69	6.99	72.00
Συνολικός Χρόνος	362.91	75.33	629.81

Ο χρόνοι είναι και πάλι μικρότεροι συγκριτικά με τη γραμμή επεξεργασίας αλεύρου. Το 81% του συνολικού χρόνου αποτελείται από το χρόνο αναμονής στις ουρές.

Το τελικό προϊόν αποτελείται από το συνδυασμό του αλεύρου και της συσκευασίας. Τα αποτελέσματα της προσομοίωσης παρουσιάζονται στον Πίνακα 10.

Πίνακας 10: Αποτελέσματα προσομοίωσης	
Προϊόν	Πλήθος
Αλεύρι	432
Συσκευασίες	419
Τελικό Προϊόν	418

Στον Πίνακα 11 παρουσιάζονται οι χρόνοι αναμονής του αλεύρου και της συσκευασίας, όταν περιμένουν να συσκευασθεί το τελικό προϊόν.

Πίνακας 11: Χρόνος αναμονής συσκευασίας	
Προϊόν	Μέση τιμή (ώρες)
Αλεύρι	51.93
Συσκευασίες	8.61

Στον Πίνακα 12 παρουσιάζεται ο χρόνος που απαιτείται από την κάθε διεργασία για την επεξεργασία ενός αντικειμένου. Οι χρόνοι ακολουθούν την κανονική κατανομή και παραμένουν ίδιοι και στα δύο παραδείγματα.

Πίνακας 12: Χρόνοι διεργασιών		
Όνομα Χειριστή	Μέση Τιμή	Διασπορά
Άφιξη Αλεύρου	10	5
Καθαρισμός	2.5	1
Κοσκίνισμα 1	5	1
Κοσκίνισμα 2	2	1
Άλεσμα	4	1
Έλεγχος	3.5	1

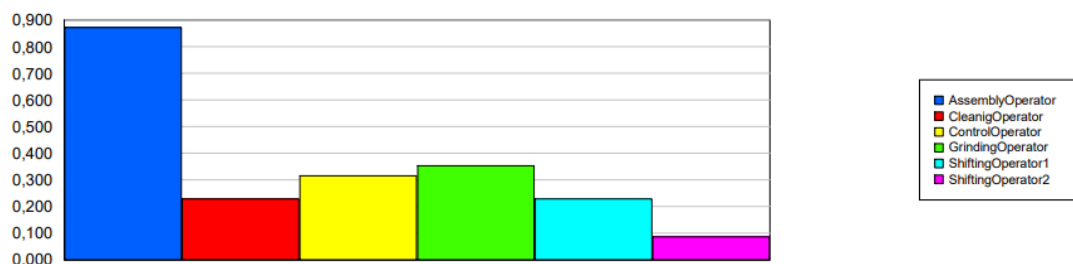
Άφιξη Συσκευασίας	10	5
Κατασκευή	10	2

Στον Πίνακα 13 παρουσιάζεται το ποσοστό χρήσης του κάθε χειριστή.

Πίνακας 13: Ποσοστό Χρήσης Χειριστή	
Διεργασία Χειρισμού	Ποσοστό Χρήσης (%)
Καθαρισμός	22.84
Κοσκίνισμα 1	22.86
Κοσκίνισμα 2	8.57
Άλεσμα	35.23
Έλεγχος	31.5
Κατασκευή	87.19

Το ποσοστό αυτό εξαρτάται από τη μέση τιμή και τη διασπορά που έχει ο κάθε χειριστής. Μεγαλύτερο ποσοστό χρήσης έχει η κατασκευή συσκευασιών με ποσοστό 87,19%, καθώς ακολουθεί κανονική κατανομή με μέση τιμή 10 και διασπορά 2. Παρότι οι χειριστές στο κοσκίνισμα 1 & 2, η μέση τιμή τους δεν διαφέρει πολύ από τις άλλες, το ποσοστό τους είναι σχετικά χαμηλό, καθώς ο φόρτος εργασίας τους είναι ο μισός. Ο χειριστής στη διεργασία κοσκίνισμα 1 έχει μεγαλύτερο ποσοστό από τον αντίστοιχο στη διεργασία κοσκίνισμα 2, καθώς είναι πιο αργός.

Στην Εικόνα 29 παρουσιάζεται το ποσοστό χρήσης των χειριστών με χρήση διαγράμματος.

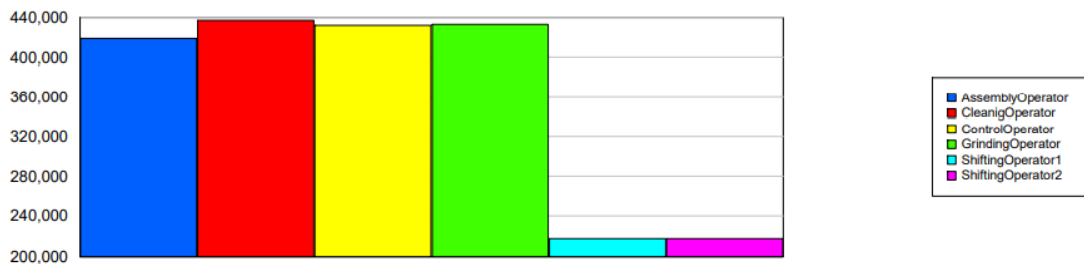


Εικόνα 28: Ποσοστό Χρήσης Χειριστών.

Αντίστοιχη πληροφορία αποτελεί το πλήθος των αντικειμένων που επεξεργάστηκε ο κάθε χειριστής. Η πληροφορία αυτή παρουσιάζεται στον Πίνακα 14.

Διεργασία Χειρισμού	Πλήθος Αντικειμένων
Καθαρισμός	437
Κοσκίνισμα 1	217
Κοσκίνισμα 2	217
Άλεσμα	433
Έλεγχος	432
Κατασκευή	419

Στην Εικόνα 30 παρουσιάζεται το πλήθος των αντικειμένων που έχουν επεξεργαστεί από κάθε χειριστή.



Εικόνα 29: Πλήθος αντικειμένων που έχουν επεξεργαστεί.

7.3 Σύγκριση των δύο προσομοιώσεων

Δεδομένου ότι οι δύο προσομοιώσεις διήρκησαν τον ίδιο χρόνο, το πρώτο πράγμα που καλείται να συγκρίνει κάποιος είναι το πλήθος των τελικών προϊόντων που παρήχθησαν. Στον Πίνακα 15 παρουσιάζεται το πλήθος προϊόντων των δύο προσομοιώσεων

Προϊόν	Προσομοίωση 1	Προσομοίωση 2
Αλεύρι	473	432
Συσκευασίες	456	419
Τελικό Προϊόν	456	418

Η πρώτη προσομοίωση με την ορθή χωροθέτηση εργασιών παρήγαγε συνολικά 8.66 % περισσότερο αλεύρι, 8.14% περισσότερες συσκευασίες και συνολικά 8.33% περισσότερα τελικά προϊόντα. Όλη αυτή η διαφορά δημιουργείται αποκλειστικά από τους χρόνους μεταφοράς των αντικειμένων, λόγω απομάκρυνσης των διεργασιών μεταξύ τους.

Στον Πίνακα 16 παρουσιάζονται οι χρόνοι που χρειάστηκε το αλεύρι από την είσοδο του στη γραμμή παραγωγής, μέχρι το σημείο της συσκευασίας του, στις δύο προσομοιώσεις.

Πίνακας 15: Χρόνοι παραγωγής αλεύρου		
Προϊόν	Προσομοίωση 1	Προσομοίωση 2
Χρόνος Αναμονής	125.31	580.17
Χρόνος Μεταφοράς	13.03	161.26
Συνολικός Χρόνος	151.59	740.61

Όπως ήταν αναμενόμενο ο χρόνος μεταφοράς αυξήθηκε κατά 91%, όταν άλλαξε η χωροθέτηση. Το ποσοστό αυτό οφείλεται στην αύξηση της απόστασης μεταξύ των διεργασιών. Ενδιαφέρον παρουσιάζει η αύξηση 78% του χρόνου αναμονής στις ουρές αναμονής. Το σύστημα υποστηρίζει μέχρι δέκα αντικείμενα σε κάθε λωρίδα μεταφοράς από τη μία διεργασία στην επόμενη. Δεδομένου πως δεν άλλαξε ο ρυθμός γεννήτριας εισόδων στο σύστημα, τα αντικείμενα συσσωρεύονται από την είσοδο προς τον καθαρισμό (πρώτος κόμβος). Ο συνολικός χρόνος έχει αυξηθεί κατά 79%.

Στον Πίνακα 16 παρουσιάζονται τα αντίστοιχα αποτελέσματα για τη γραμμή συσκευασίας.

Πίνακας 15: Χρόνοι παραγωγής συσκευασίας		
Προϊόν	Προσομοίωση 1	Προσομοίωση 2
Χρόνος Αναμονής	18.64	295.23
Χρόνος Μεταφοράς	29.00	57.69
Συνολικός Χρόνος	57.60	362.91

Ομοίως και στους χρόνους παραγωγής συσκευασίας, ο χρόνος μεταφοράς αυξήθηκε κατά 93.68%. Ο χρόνος αναμονής σε ουρές αυξήθηκε κατά 49,73%, για τον ίδιο λόγο με της γραμμή παραγωγής αλεύρου. Ο συνολικός χρόνος αυξήθηκε κατά 85%.

Στον Πίνακα 16 παρουσιάζεται ο χρόνος αναμονής για συσκευασία.

Πίνακας 15: Χρόνος αναμονής συσκευασίας		
Προϊόν	Μέση τιμή (ώρες)	Προσομοίωση 2
Αλεύρι	124.21	51.93
Συσκευασίες	0.22	8.61

Οι καθυστερήσεις κατά τη μεταφορά έχουν προκαλέσει μείωση του μέσου χρόνου αναμονής του αλεύρου κατά τη συσκευασία κατά 58.19%. Αυτό συμβαίνει γιατί πλέον η παραγωγή του αλεύρου έχει γίνει πιο αργή έχει μειωθεί η διαφορά στο χρόνο μεταξύ των δύο γραμμών παραγωγής και συσκευασίας.

Αντίθετα, για τον ίδιο λόγο έχει αυξηθεί ο χρόνος αναμονής των συσκευασιών κατά 97%. Μπορεί η αύξηση να είναι τεράστια συγκριτικά με την αρχική τιμή, ωστόσο ο μέσος χρόνος έχει μειωθεί.

Στον Πίνακα 16 παρουσιάζεται το ποσοστό επεξεργασίας του κάθε χειριστή.

Πίνακας 16: Ποσοστό χρήσης χειριστή		
Διεργασία χειρισμού	Προσομοίωση 1	Προσομοίωση 2
Καθαρισμός	24.08	22.84
Κοσκίνισμα 1	23.19	22.86
Κοσκίνισμα 2	10.22	8.57
Άλεσμα	39.02	35.23
Έλεγχος	34.24	31.5
Κατασκευή	95.00	87.19

Ενδιαφέρον παρουσιάζει η μείωση του ποσοστού του κάθε χρήστη. Κατά μέσο όρο έχει μειωθεί κατά 7.78%. Αυτό σημαίνει πως οι χειριστές παραμένουν ανενεργοί κατά 7.78% περισσότερο κατά την προσομοίωση με διαφορετική χωροθέτηση. Ο λόγος είναι πως τα αντικείμενα φτάνουν με χαμηλότερο ρυθμό στους χειριστές και έτσι έχει περισσότερο χρόνο να τα επεξεργαστεί και να περιμένει το επόμενο.

Αντίστοιχη πληροφορία είναι και το πλήθος αντικειμένων που επεξεργάστηκε ο κάθε χειριστής, στον Πίνακα 17.

Πίνακας 17: Πλήθος αντικειμένων από κάθε χειριστή		
Διεργασία χειρισμού	Προσομοίωση 1	Προσομοίωση 2
Καθαρισμός	475	437
Κοσκίνισμα 1	226	217
Κοσκίνισμα 2	249	217
Άλεσμα	474	433
Έλεγχος	473	432
Κατασκευή	457	419

Με την προσομοίωση με ορθή χωροθέτηση, ο κάθε χειριστής επεξεργάστηκε κατά μέσο όρο 8.45% περισσότερα αντικείμενα.

7.4 Λοιπά παραδείγματα χρήσης του ARENA

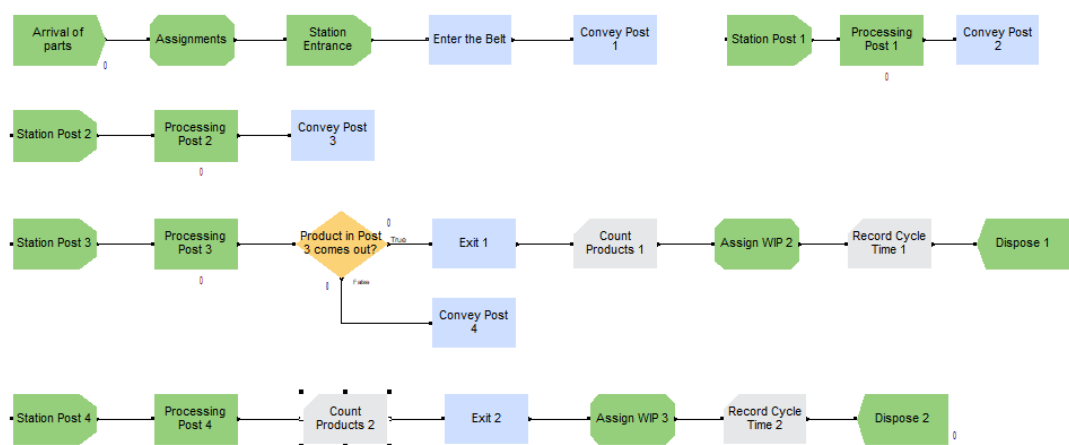
Το λογισμικό ARENA παρέχει μερικά έτοιμα παραδείγματα, ώστε να καταλάβει ο χρήστης πως λειτουργεί. Σε αυτό το κομμάτι περιγράφονται δύο τέτοια παραδείγματα, πάνω στα οποία βασίστηκε η τελική προσομοίωση.

7.4.1 General Assembly Line

Το πρόγραμμα αυτό προσομοιώνει μια γραμμή παραγωγής με τέσσερις σταθμούς επεξεργασίας (χειριστές). Εκτελέστηκαν δέκα διαφορετικές προσομοιώσεις με ίδια δεδομένα εισόδου και χρόνους επεξεργασίας. Τα block που χρησιμοποιήθηκαν είναι αυτά που έχουν περιγραφεί σε προηγούμενο κεφάλαιο.

Η προσομοίωση χρησιμοποιεί το μετρητή WIP, προκειμένου να αντιλαμβάνεται ο χρήστης πόσα αντικείμενα υπάρχουν κάθε δεδομένη χρονική στιγμή στην προσομοίωση. Επιπλέον, αποθηκεύει το μέσο χρόνο επεξεργασίας από την είσοδο των αντικειμένων, μέχρι την έξοδο αυτών. Φυσικά, με τη χρήση του block “Counter”, κρατάει την πληροφορία του πλήθους των παραγόμενων προϊόντων.

Στην Εικόνα 30 παρουσιάζεται το σύστημα προσομοίωσης με χρήση block.



Εικόνα 30: General Assembly Line.

Ένα αντικείμενο είναι εφικτό να εξέλθει της προσομοίωσης, χωρίς να περάσει από τον τέταρτο χειριστή. Αυτό εξαρτάται από το block “Decide”, το οποίο στέλνει το 10% των αντικειμένων προς την έξοδο, μετά τον τρίτο χειριστή.

Στην Εικόνα 31 παρουσιάζεται το animation της προσομοίωσης.

12:00:00

Total Production

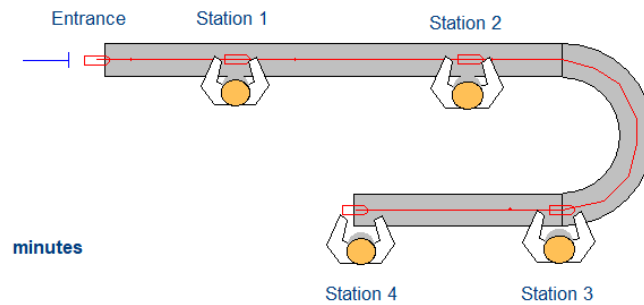
0

WIP

0

Average
Cycle Time

0



Εικόνα 31: Animation General Assembly Line.

Η είσοδος παράγει αντικείμενα ακολουθώντας κανονική κατανομή με μέση τιμή 3 και τυπική απόκλιση 1. Όλοι οι χειριστές ακολουθούν κανονική κατανομή. Στον Πίνακα 18 παρουσιάζεται η μέση τιμή και η τυπική απόκλιση των χειριστών.

Πίνακας 18: Χρόνοι διεργασιών		
Όνομα Χειριστή	Μέση Τιμή	Διασπορά
Χειριστής 1	2	1
Χειριστής 2	2.5	1
Χειριστής 3	2.5	1
Χειριστής 4	3	1.5

Το ποσοστό χρήσης των χειριστών παρουσιάζεται στον Πίνακα 18.

Πίνακας 19: Ποσοστό επεξεργασίας χειριστών	
Όνομα Χειριστή	Ποσοστό (%)
Χειριστής 1	66.3
Χειριστής 2	81.95
Χειριστής 3	82.53
Χειριστής 4	89.68

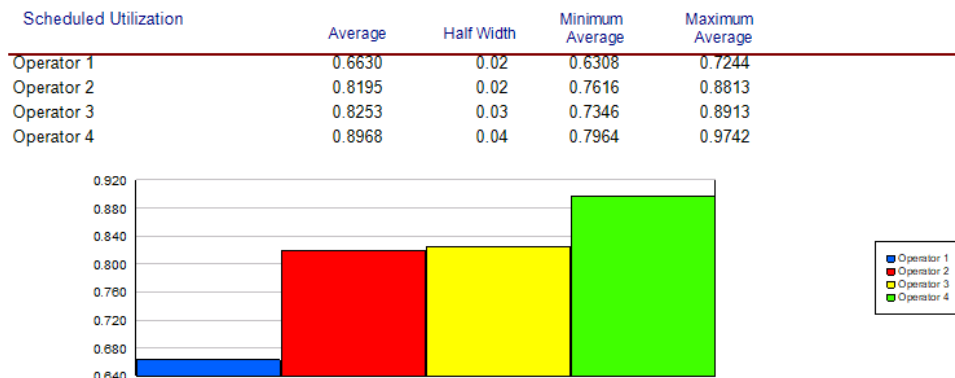
Είναι φανερό πως ο πιο γρήγορος χειριστής είναι ο πρώτος, καθώς έχει το μικρότερο χρόνο επεξεργασίας. Οι χειριστές 2 και 3 έχουν σχεδόν ίδιο ποσοστό χρήσης, καθώς έχουν τους ίδιους χρόνους επεξεργασίας. Ο τέταρτος χειριστής, παρότι επεξεργάζεται 10% λιγότερα αντικείμενα από τους υπόλοιπους, έχει το μεγαλύτερο ποσοστό χρήσης. Αυτό γίνεται, γιατί είναι ο πιο αργός από όλους τους χειριστές.

Στον Πίνακα 20 παρουσιάζεται ο μέσος όρος του πλήθους των αντικειμένων που επεξεργάστηκε ο κάθε χειριστής.

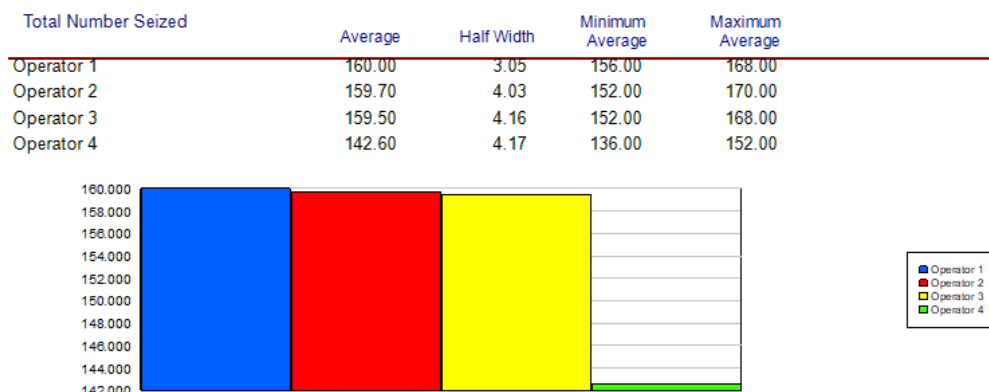
Πίνακας 20: Μέσος όρος πλήθους αντικειμένων επεξεργασίας χειριστών	
Όνομα Χειριστή	Πλήθος
Χειριστής 1	160
Χειριστής 2	159.7
Χειριστής 3	159.5
Χειριστής 4	142.6

Ο τέταρτος χειριστής επεξεργάστηκε 10.8% λιγότερα αντικείμενα από τους υπόλοιπους χειριστές. Το ποσοστό αυτό είναι σχεδόν ίδιο με το ποσοστό επιλογής του block “Decide”.

Στην Εικόνα 32 παρουσιάζεται το ποσοστό χρήσης κάθε χειριστή και στην Εικόνα 33 το πλήθος αντικειμένων που επεξεργάστηκε ο κάθε χειριστής, με χρήση γραφήματος.



Εικόνα 32: Ποσοστό χρήσης κάθε χειριστή.



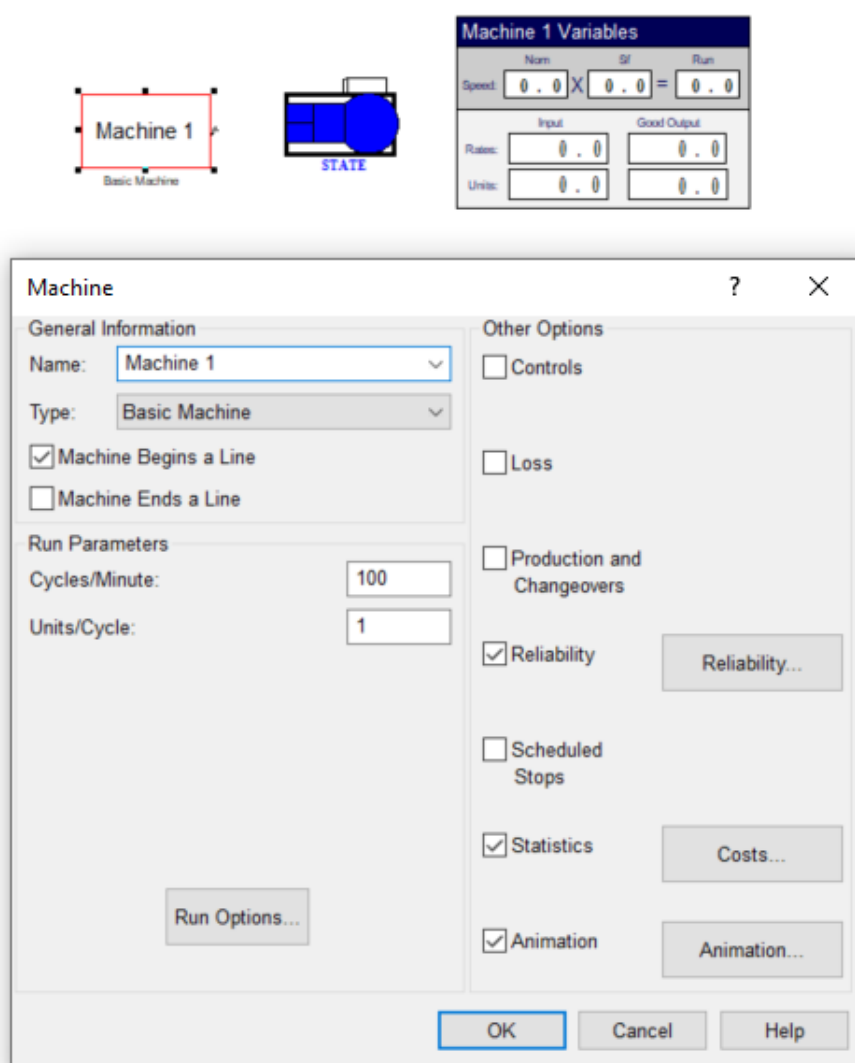
Εικόνα 33: Πλήθος αντικειμένων που έχουν επεξεργαστεί.

7.4.2 Packaging basic

Το πρόγραμμα αυτό προσομοιώνει μια γραμμή συσκευασίας με δύο μηχανές και ένα χειριστή. Εκτελέστηκε μια προσομοίωση για 24 ώρες. Τα block που χρησιμοποιήθηκαν είναι διαφορετικά από αυτά που έχουν περιγραφεί.

Αρχικά χρησιμοποιήθηκε το block “Machine”. Το block αυτό είναι ιδανικό για προσομοίωση μιας οποιαδήποτε μηχανής, καθώς ο χρήστης μπορεί να ρυθμίσει πολλές διαφορετικές παραμέτρους πολύ γρήγορα. Αρχικά επιλέγει αν αυτή η μηχανή αρχίζει ή τελειώνει μια γραμμή παραγωγής. Μπορεί να ρυθμίσει ελέγχους εκκίνησης, να προσομοιώσει απώλειες και σφάλματα καθώς και προγραμματισμένες διακοπές για συντήρηση. Επιπλέον το animation είναι πολύ εύκολο και προμηθεύει το πρόγραμμα με ένα πίνακα, ο οποίος για κάθε χρονική στιγμή δείχνει τα στοιχεία της μηχανής.

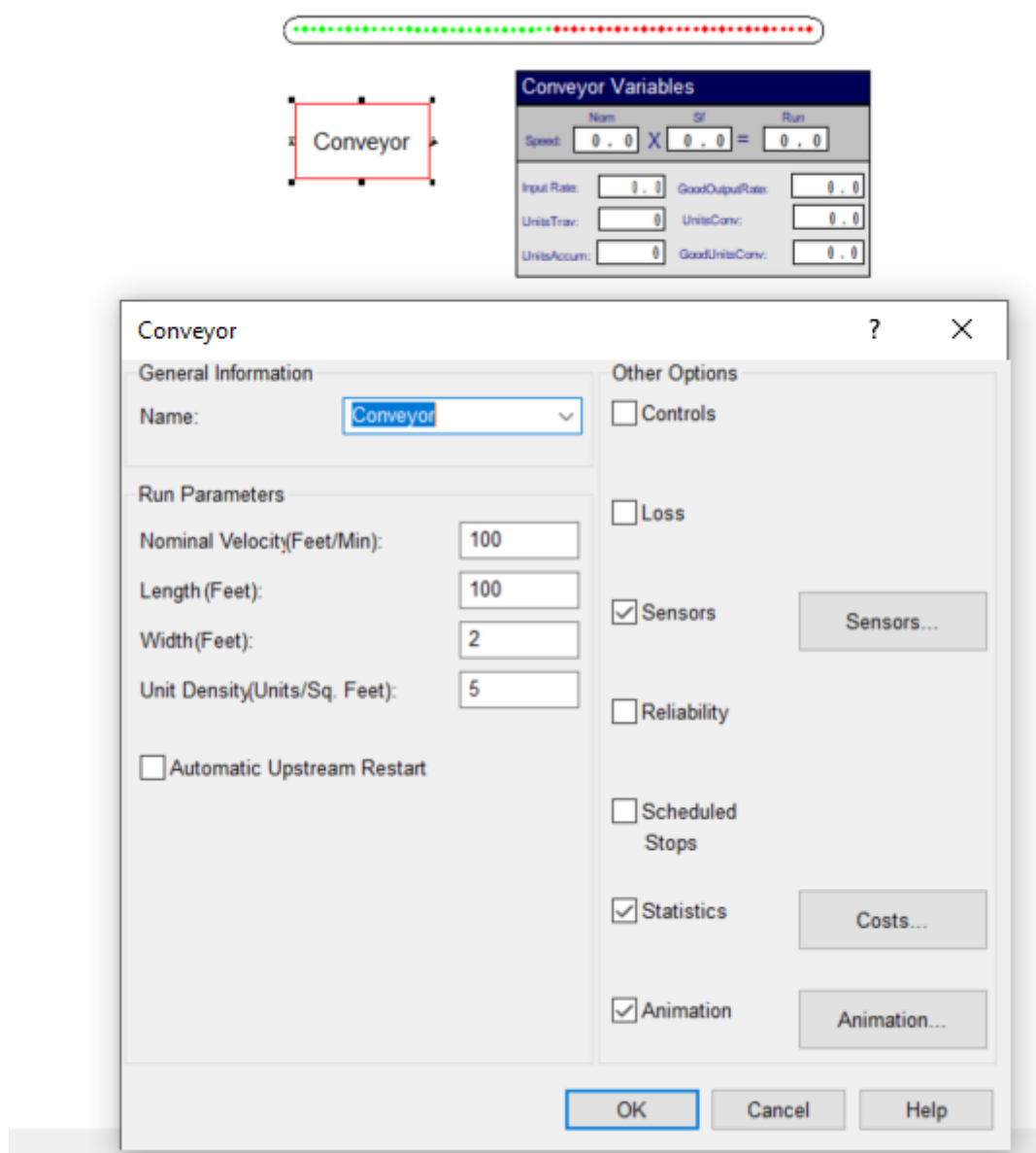
Στην Εικόνα 34 παρουσιάζεται το block “Machine”.



Εικόνα 34: Machine block ARENA.

Το δεύτερο block που χρησιμοποιείται είναι το block “Conveyor”. Η λειτουργία του είναι να επιβλέπει και να επεμβαίνει στις δύο μηχανές. Αν για παράδειγμα η δεύτερη μηχανή έχει κάποιο σφάλμα, θα πρέπει να διακόψει την παραγωγή της πρώτης για να μην υπάρχει σωρεία αντικειμένων. Υπάρχει η δυνατότητα να χρησιμοποιηθούν αισθητήρες για να διεξάγει καλύτερο έλεγχο. Ομοίως με το block “Machine”, υπάρχει πολύ εύκολο animation και πίνακας με τις τιμές.

Στην Εικόνα 35 παρουσιάζεται το block “Conveyor”.

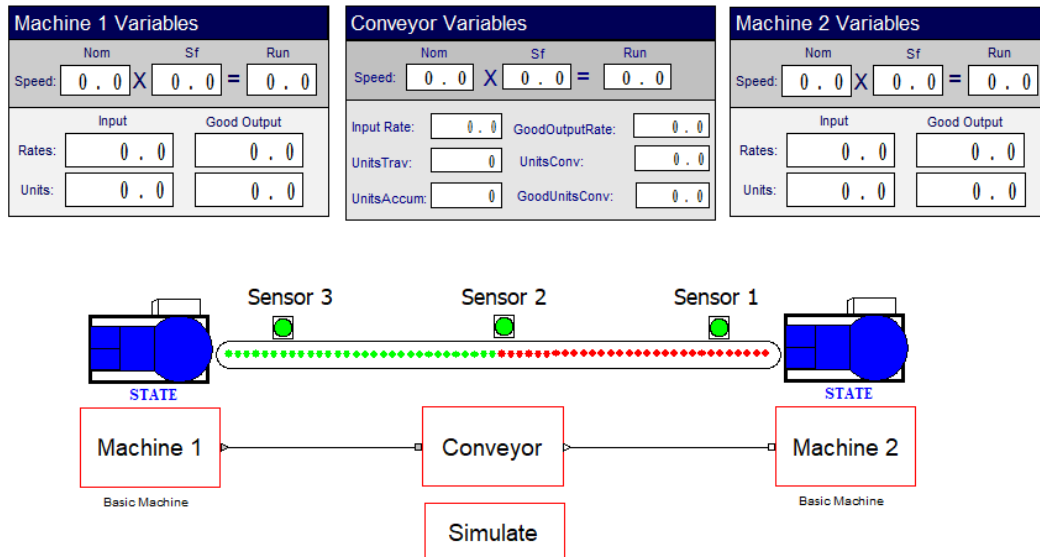


Εικόνα 35: Conveyor block ARENA.

Η προσομοίωση χρησιμοποιεί τρεις αισθητήρες, τοποθετημένους σε διαφορετικά σημεία πάνω στον μάντα συσκευασίας, ώστε ο χειριστής να γνωρίζει πότε πρέπει να

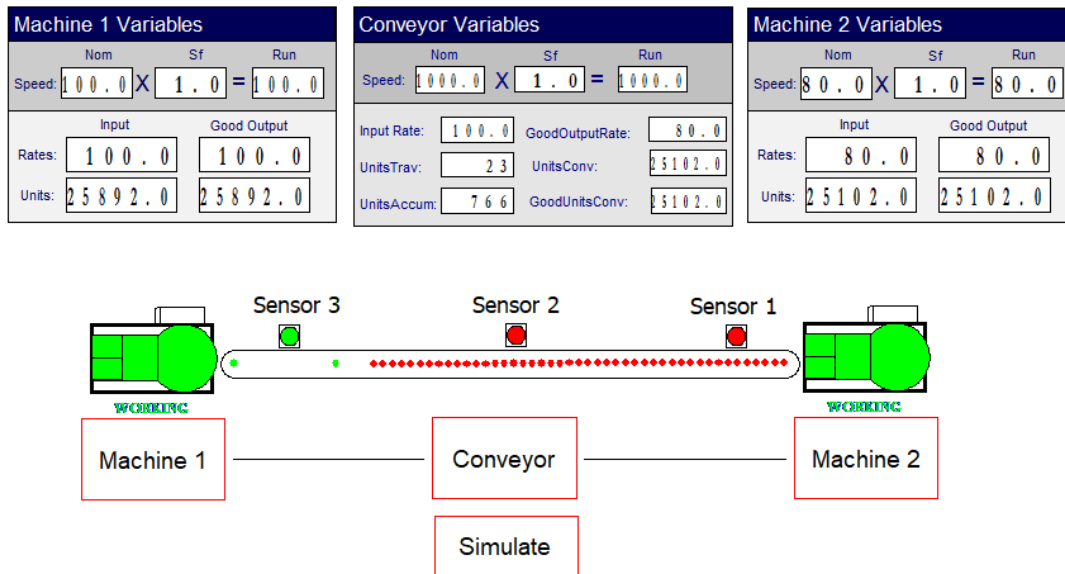
αυξομειώσει ή ακόμη και να απενεργοποιήσει τις μηχανές. Οι δύο μηχανές λειτουργούν με μηδενικό κόστος παραγωγής και λειτουργίας. Η πρώτη μηχανή, η οποία παράγει τα αντικείμενα, έχει αξιοπιστία ίση με 95% και σε περίπτωση σφάλματος χρειάζεται 5 λεπτά για να επανέλθει.

Στην Εικόνα 36 παρουσιάζεται ένα στιγμιότυπο από την προσομοίωση στην αρχική κατάσταση.



Εικόνα 36: Στιγμιότυπο από το πρόγραμμα σε αρχική κατάσταση.

Στην Εικόνα 37 παρουσιάζεται ένα στιγμιότυπο όταν η προσομοίωση είναι σε λειτουργία.

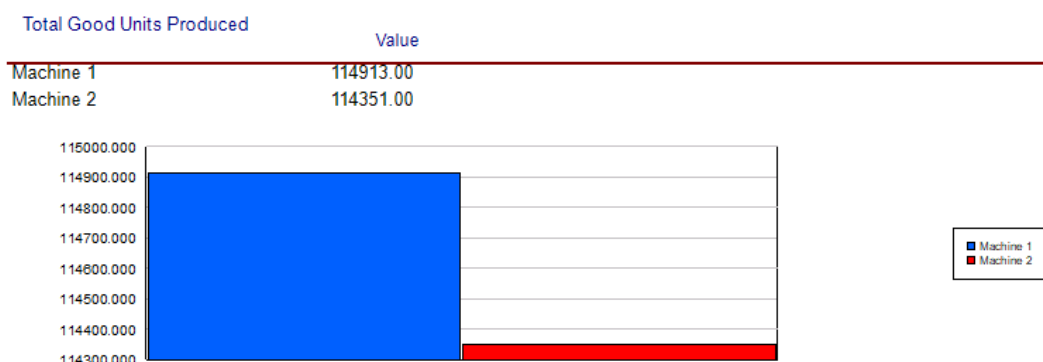


Εικόνα 37: Στιγμιότυπο από το πρόγραμμα σε κατάσταση λειτουργίας.

Στον Πίνακα 20 παρουσιάζεται η λογική που χρησιμοποιεί το σύστημα, ανάλογα με τα σήματα των αισθητήρων.

Πίνακας 20: Αισθητήρες		
Όνομα Αισθητήρα	Ενέργειες όταν ανάβει	Ενέργειες όταν δεν ανάβει
Αισθητήρας 1	Ξεκίνηση μηχανής 2	Σταμάτημα μηχανής 2
Αισθητήρας 2	-	Αύξηση μηχανής 1 σε 100/λεπτό
Αισθητήρας 3	Μείωση μηχανής 1 σε 50/λεπτό	-

Όταν ολοκληρωθεί η προσομοίωση, συνολικά έχουν επεξεργαστεί 114351 αντικείμενα. Στην Εικόνα 38 παρουσιάζεται το πλήθος των αντικειμένων που έχει επεξεργαστεί η κάθε μηχανή, με χρήση γραφήματος.



Εικόνα 38: Πλήθος αντικειμένων που έχει επεξεργαστεί η κάθε μηχανή.

Η πρώτη μηχανή έχει παράξει 561 αντικείμενα περισσότερα από αυτά που έχει επεξεργαστεί η δεύτερη. Αυτά τα αντικείμενα είναι που έχουν παραμείνει εντός του μάντα συσκευασίας, μετά το πέρας του χρόνου προσομοίωσης.

8. Συμπεράσματα

Σκοπός της παρούσας διπλωματικής εργασίας ήταν η σχεδίαση μιας γραμμής παραγωγής αλεύρου. Προκειμένου να πραγματοποιηθεί μια ρεαλιστική προσομοίωση, σχεδιάστηκε μια γραμμή συσκευασίας, η οποία λειτουργεί παράλληλα με τη γραμμή παραγωγής αλεύρου. Οι δύο αυτές γραμμές συνδέονται και έτσι το αλεύρι συσκευάζεται για να παραχθεί το τελικό προϊόν. Επιπλέον σχεδιάστηκε μια επιπλέον γραμμή μεταφοράς του τελικού προϊόντος. Αφού συσκευασθεί το αλεύρι, χρησιμοποιείται ένα ανυψωτικό μηχάνημα για να μεταφέρει το τελικό προϊόν στο φορτηγό.

Στη συνέχεια δημιουργήθηκε και μια δεύτερη προσομοίωση, με τα ίδια δεδομένα εισόδου και χρόνους επεξεργασίας, αλλά με διαφορετική χωροθέτηση. Το κάθε αντικείμενο χρειαζόταν περισσότερο χρόνο για να μεταφερθεί από τη μία διεργασία στην επόμενη.

Παρουσιάστηκαν τα αποτελέσματα των δύο προσομοιώσεων ξεχωριστά και πραγματοποιήθηκε σύγκριση των αποτελεσμάτων που προκύπτουν. Οι προσομοιώσεις συγκρίθηκαν ως προς το πλήθος των τελικών προϊόντων, τους χρόνους αναμονής, μεταφοράς και συνολικό χρόνο παραγωγής, το ποσοστό χρήσης του κάθε χειριστή και το πλήθος των αντικειμένων που επεξεργάστηκε.

Για την επιλογή της ορθής χωροθέτησης σε μια εταιρία, συνυπολογίζονται αρκετοί παράγοντες. Θα πρέπει να βρει ποιες διεργασίες είναι εξαρτώμενες μεταξύ τους και να γίνει μια εκτίμηση στους χρόνους επεξεργασίας των χειριστών. Επιπλέον οι προσομοιώσεις δείχναν πως επιδρά θετικά στην παραγωγικότητα η παράλληλη χρήση δύο διεργασιών για το κοσκίνισμα. Θα πρέπει λοιπόν μια εταιρία να εντοπίσει ποιες διεργασίες είναι περισσότερο φορτισμένες και να πράξει ανάλογα.

Το αντικείμενο της παρούσας διπλωματικής εργασίας παρουσιάζει τεράστιο ερευνητικό ενδιαφέρον. Ένα κομμάτι για την επέκταση της εργασίας θα μπορούσε να είναι η προσθήκη περισσότερων παράλληλων διεργασιών, καθώς όπως αποδείχθηκε στο κοσκίνισμα, βελτιώνει την παραγωγικότητα και τους τελικούς χρόνους. Επιπλέον, αν δεν είναι εφικτό να γίνει πιο γρήγορη η γραμμή παραγωγής, μια λύση είναι η προμήθεια λιγότερων πρώτων υλών. Με το υφιστάμενο σύστημα παρατηρήθηκε πως υπάρχει συσσώρευση των πρώτων υλών μέχρι να μπουν στη γραμμή παραγωγής. Αυτό οδηγεί σε ανάγκες αποθήκευσης και πολλές φορές η εκτεταμένη αποθήκευση οδηγεί σε αλλοίωση ή ακόμα και αχρήστευση της πρώτης ύλης.

Επιπλέον ενδιαφέρον θα είχε η προσομοίωση μιας αλευροβιομηχανίας με πραγματικούς χρόνους, δεδομένου ότι θα έχει διατεθεί η ολοκληρωμένη άδεια του ARENA. Αυτό θα οδηγούσε σε μια επαλήθευση των αποτελεσμάτων που παρήχθησαν από την προσομοίωση. Η διασταύρωση των αποτελεσμάτων της προσομοίωσης αυτής και μιας πραγματικής βιομηχανίας, θα μπορούσε να δώσει μια πιο σφαιρική εικόνα γύρω από τις καθυστερήσεις, τη χωροθέτηση και τις παράλληλες διεργασίες σε μια γραμμή παραγωγής.

Reference:

- [1] <https://el.economy-pedia.com/11037266-industry-types>
- [2] <https://flourmillers.eu/>
- [3] <https://m.naftemporiki.gr/story/1828131>
- [4] <https://www.weforum.org/>
- [5] https://www.researchgate.net/figure/Most-Problematic-Factors-for-Doing-Business-by-Score-in-2017-2018_fig3_329443395
- [6] <https://www.rockwellautomation.com/en-us/products/software/arena-simulation.html>