



ΔΙΕΘΝΕΣ  
ΠΑΝΕΠΙΣΤΗΜΙΟ  
ΤΗΣ ΕΛΛΑΔΟΣ

ΔΙΕΘΝΕΣ ΠΑΝΕΠΙΣΤΗΜΙΟ ΤΗΣ ΕΛΛΑΔΟΣ  
ΤΜΗΜΑ ΜΗΧΑΝΙΚΩΝ ΠΑΡΑΓΩΓΗΣ ΚΑΙ ΔΙΟΙΚΗΣΗΣ  
ΔΙΠΛΩΜΑΤΙΚΗ ΕΡΓΑΣΙΑ

**ΑΝΑΛΥΣΗ ΓΡΑΜΜΗΣ ΠΑΡΑΓΩΓΗΣ ΠΑΓΩΤΟΥ ΣΕ  
ΠΛΑΣΤΙΚΗ ΣΥΣΚΕΥΑΣΙΑ**

ΤΑΝΤΑΛΙΔΗΣ ΗΛΙΑΣ

ΑΜ: 2020/0034

ΕΠΙΒΛΕΠΩΝ:

ΤΖΙΩΝΑΣ ΠΑΝΑΓΙΩΤΗΣ

ΕΠΙΚΟΥΡΙΚΟ ΕΡΓΟ:

ΜΑΛΛΙΩΡΗΣ ΠΑΝΑΓΙΩΤΗΣ

ΘΕΣΣΑΛΟΝΙΚΗ 2022



## Ευχαριστίες

Η παρούσα διπλωματική εργασία αποτελεί το τελευταίο κομμάτι για την ολοκλήρωση των υποχρεώσεων του μεταπτυχιακού μου τίτλου.

Σε αυτό ακριβώς το σημείο θα ήθελα να ευχαριστήσω θερμά τον επιβλέποντα καθηγητή μου κ. Τζιώρα Παναγιώτη για την ευκαιρία να εκπονήσω τη διπλωματική μου όπως επίσης και τη βοήθεια που μου παρείχε, την καθοδήγηση και την υποστήριξη σε όλη τη διάρκεια του ταξιδιού μου . Επιπλέον θα ήθελα να ευχαριστήσω και τον υποψήφιο διδάκτορα κ. Μαλλιώρα Παναγιώτη για την συμβολή του σε όλη αυτή τη προσπάθεια που κατέβαλα για την υλοποίηση της διπλωματικής.

Παράλληλα, θα ήθελα να ευχαριστήσω την οικογένεια μου για την αμέριστη ηθική συμπαράσταση και υποστήριξη τους κατά τη διάρκεια των μεταπτυχιακών σπουδών μου.



## Περίληψη

Ο κύριος σκοπός της παρούσας διπλωματικής εργασίας είναι ο σχεδιασμός μίας προσομοίωσης γραμμής παραγωγής παγωτού καθώς η ανάλυση και επεξήγηση των επιμέρους διεργασιών της συγκεκριμένης παραγωγικής γραμμής.

Στο πλαίσιο αυτό γίνεται ανάλυση σε κάθε επιμέρους στάδιο της γραμμής όπως αυτά συμμετέχουν στην παραγωγή του τελικού προϊόντος.

Στη συνέχεια, μέσω του λογισμικού ARENA Software, αποτυπώνεται η γραμμή παραγωγής για παγωτό σε πλαστική συσκευασία.

Ο στόχος της συγκεκριμένης προσομοίωσης είναι η παρουσίαση και η ανάλυση όλων διεργασιών της γραμμής παραγωγής, καθώς και η εξαγωγή συμπερασμάτων που θα βοηθήσουν στην βελτιστοποίηση της διαδικασίας με άξονα την ελαχιστοποίηση των χρόνων αναμονής ανά στάδιο.

## Λέξεις κλειδιά

Βιομηχανία, γραμμή παραγωγής, ARENA Software.

## **Abstract**

The main purpose of this master thesis is to design a simulation of an ice-cream production line as the analysis and explanation of the individual processes of this production line.

In this context, an analysis is carried out at each individual stage of the line such as those involved in the production of the final product.

Then, through the ARENA Software, the production line is reflected for ice cream in plastic packaging. The objective of this simulation is to present and analyze all processes of the production line as well as to draw conclusions that will help optimize the process with an axis to minimize waiting times per step.

## Περιεχόμενα

Περιεχόμενα.....	7
Πίνακας εικόνων .....	8
<i>Εισαγωγή</i> .....	11
1 Κεφάλαιο 1 : Διάρθρωση διπλωματικής εργασίας .....	12
1.1 Σκοπός – Στόχοι.....	12
1.2 Δομή εργασίας .....	12
2 Κεφάλαιο 2: Βιβλιογραφική ανασκόπηση .....	14
2.1 Κλάδος δραστηριότητας.....	14
2.2 Το παγωτό ως προϊόν .....	15
2.3 Παραγωγικότητα.....	16
3 Κεφάλαιο 3: Διαδικασία παραγωγής παγωτού .....	17
3.1 Πρώτη ύλη.....	17
3.2 Δημιουργία μείγματος.....	18
3.3 Παρασκευή παγωτού.....	19
Τα βασικά στάδια μιας ολοκληρωμένης παραγωγικής διαδικασίας παγωτού είναι: .....	19
Ιδιαίτερη προσοχή θα πρέπει να δοθεί κατά την διαδικασία της κατάψυξης για να μην χαλάσει η ποιότητα παραγωγής, σε:.....	20
1. Ποσότητα των συστατικών του μείγματος .....	20
2. ταχύτητα κατάψυξης.....	20
3.5 Επιλογή συσκευασίας .....	21
3.6 Γέμισμα.....	22
3.7 Τελικό προϊόν.....	23
4 Arena Software .....	24
4.2 Στόχος.....	24
4.3 Πλεονεκτήματα .....	25
5 Εφαρμογή λογισμικού ARENA στη διαδικασία παραγωγής παγωτού.....	31
6 Ανάλυση αποτελεσμάτων και Συμπεράσματα .....	49
7 Προτάσεις βελτιστοποίησης .....	57
Reference: .....	58
Βιβλιογραφία.....	58

## Πίνακας εικόνων

Εικόνα 1 Στιγμιότυπο Animation .....	26
Εικόνα 2 Διάγραμμα Προσομοίωσης .....	27
Εικόνα 3 Υπορουτίνες Προσομοίωσης 1 .....	28
Εικόνα 4 Υπορουτίνες Προσομοίωσης 2 .....	28
Εικόνα 5 Υπορουτίνες Προσομοίωσης 3 .....	29
Εικόνα 6 Διάγραμμα Προσομοίωσης Διαδικασίας Συσκευασίας.....	29
Εικόνα 7 Αποτελέσματα Παραδείγματος 1 .....	30
Εικόνα 8 Αποτελέσματα Παραδείγματος 2 .....	30
Εικόνα 9 Κύριο πρόγραμμα παραγωγής .....	32
Εικόνα 10 Create Supply .....	32
Εικόνα 11 Πίνακας Create .....	32
Εικόνα 12 Processing. ....	33
Εικόνα 13 Υπορουτίνα Processing.....	33
Εικόνα 14 Εντολή Assign.....	34
Εικόνα 15 Assign Έξοδος.....	35
Εικόνα 16 Εντολή Station .....	36
Εικόνα 17 Εντολή Access .....	37
Εικόνα 18 Εντολή Convey .....	38
Εικόνα 19 Εντολή Process .....	39
Εικόνα 20 Εντολή Exit .....	40
Εικόνα 21 Match .....	41
Εικόνα 22 Match .....	42
Εικόνα 23 Wrap Supply.....	42
Εικόνα 24 Delay.....	43
Εικόνα 25 Covering .....	44
Εικόνα 26 Sealing Ice Creame .....	45
Εικόνα 27 Output .....	46
Εικόνα 28 Ρυθμίσεις Προγράμματος 1 .....	47
Εικόνα 29 Ρυθμίσεις Προγράμματος 2 .....	48



Εικόνα 30 Αποτελέσματα 1 .....	49
Εικόνα 31 Αποτελέσματα 2.....	50
Εικόνα 32 Αποτελέσματα 3.....	51
Εικόνα 33 Αποτελέσματα 4.....	52



## Εισαγωγή

Η βιομηχανία έχει καθοριστικό ρόλο στη στήριξη της οικονομίας, την απασχόληση, την καινοτομία και την εξωστρέφεια κάθε χώρας. Με τον όρο βιομηχανία εννοείται ένα σύνολο εταιρειών με παραγωγή προϊόντων ή προσφορά υπηρεσιών σε ένα οικονομικό σύνολο. Πιο αναλυτικά, θα μπορούσαμε να ορίσουμε τη βιομηχανία ως μια μονάδα η οποία δέχεται πρώτες ύλες ως εισερχόμενο, τις επεξεργάζεται με τη χρήση μηχανών και στη συνέχεια παράγει ένα τελικό προϊόν. Η ταξινόμηση του τύπου βιομηχανίας κατηγοριοποιείται με βάση το είδος και τον τρόπο μεταποίησης της πρώτης ύλης σε τελικό ή ενδιάμεσο καταναλωτικό προϊόν. Κατά συνέπεια, η κατηγοριοποίηση του τύπου, αναφέρεται στον τρόπο με τον οποίο ταξινομούνται όλες οι μονάδες παραγωγής που δραστηριοποιούνται στην παροχή προστιθέμενης αξίας σε όλα εκείνα τα αγαθά που για να χρησιμοποιηθούν από τους καταναλωτές θα πρέπει να υποστούν ένα είδος επεξεργασίας ή μεταποίησης. Δύο μεγάλες κατηγορίες είναι η ελαφριά και βαριά βιομηχανία, όροι που χρησιμοποιούνται ευρέως στην καθημερινότητα για την ταξινόμηση του τύπου της βιομηχανίας, παρόλα αυτά, αυτός ο χαρακτηρισμός αναφέρεται μόνο στην κατηγοριοποίηση βάση του όγκου των πρώτων υλών.

Στις αρχές του 20<sup>ου</sup> αιώνα και συγκεκριμένα το 1936, ιδρύθηκε η Εθνική Βιομηχανία Γάλακτος (ΕΒΓΑ) η οποία δημιούργησε στην Ελλάδα το πρώτο παγωτό σε ξυλάκι, σε κύπελλο και χωνάκι με σοκολάτα και αμύγδαλο. Το παγωτό «ξυλάκι» έδωσε στην εταιρία και το πρώτο δίπλωμα ευρεσιτεχνίας. Για την εποχή το εν λόγω προϊόν αποτελούσε ιδιαίτερη καινοτομία με αποτέλεσμα να μονοπωλήσει το ενδιαφέρον των καταναλωτών. Αποτέλεσε το πρώτο τυποποιημένο προϊόν στην Ελλάδα και ταυτόχρονα είχε λάβει πιστοποίηση από το Γενικό Χημείο του Κράτους, γεγονός που εξασφάλιζε άριστη ποιότητα. Τη δεκαετία του '50 μεταξύ των καινοτομιών που παρουσιάστηκαν από την εταιρία ήταν και το παγωτό σε πλαστική μη επιστρεφόμενη συσκευασία. Την ίδια περίοδο, εισέρχεται στην αγορά και η εταιρία Κρι-Κρι μετατρέποντας την αγορά από μονοπώλιο σε oligopώλιο. Η ειδοποιός διαφορά μεταξύ των δυο εταιριών ήταν πως το προϊόν της δεύτερης παρασκευαζόταν από πρόβειο γάλα έναντι του αγελαδινού της πρώτης.

Στην Ελλάδα σήμερα, ηγετικές εταιρίες στη βιομηχανία του παγωτού με βάση το μερίδιο που κατέχουν στην αγορά, είναι η Unilever, η Froneri και η Κρι Κρι, που κατέχουν αθροιστικά ποσοστό άνω του 50%, ενώ ταυτόχρονα ποσοστό περίπου 10% κατέχει το private labeling. Το υπόλοιπο μερίδιο της αγοράς φέρεται να μοιράζεται μεταξύ νέων ανερχόμενων μικρομεσαίων επιχειρήσεων με πρωτοπόρο την εταιρία Kayak, η οποία εισήχθη στην αγορά με χύμα παγωτό αλλά πλέον εμφανίζεται στο λιανεμπόριο και με συσκευασμένο προϊόν. Στη σύγχρονη εποχή, η συνεχιζόμενη τεχνολογική εξέλιξη και καινοτομία σε συνάρτηση με την ανάγκη για αύξηση της αποδοτικότητας έχουν καταστήσει τη βελτιστοποίηση της παραγωγικότητας επιτακτική ανάγκη. Η ελαχιστοποίηση του χρόνου αναμονής, η επιτάχυνση της παραγωγής, η αυτοματοποίηση διαδικασιών όπως και η εφαρμογή συστημάτων ελέγχου ποιότητας είναι μόνο μερικές από τις ενέργειες που πραγματοποιούνται από τις σύγχρονες βιομηχανίες στην κατεύθυνση της βελτιστοποίησης.

# 1 Κεφάλαιο 1 : Διάρθρωση διπλωματικής εργασίας

## 1.1 Σκοπός – Στόχοι

Ο σκοπός της εκπόνησης της παρούσας διπλωματικής εργασίας είναι η αναφορά και η επεξήγηση μιας γραμμής παραγωγής σε βιομηχανία παγωτού. Με τη βοήθεια του λογισμικού προγράμματος APENA ακόμα γίνεται η αποτύπωση των διαγραμμάτων των επιμέρους σταδίων της παραγωγικής διαδικασίας από την εισαγωγή της πρώτης ύλης, άρα και την παραγωγή του παγωτού, μέχρι και την αποτύπωση του τελικού συσκευασμένου προϊόντος. το τελικό προϊόν θα συσκευαστεί σε πλαστική συσκευασία, όπως και επιλέχθηκε, κατά συνέπεια μέχρι την ολοκλήρωση της προσομοίωσης το συγκεκριμένο υλικό λαμβάνεται ως σταθερά.

Χρησιμοποιώντας το λογισμικό πρόγραμμα αρένα έχουμε ως στόχο την βελτιστοποίηση του αυτοματισμού, στην μείωση του συνολικού χρόνου παραγωγής, το οποίο θα φέρει ως αποτέλεσμα την αύξηση της παραγόμενης ποσότητας. Πάνω σε αυτό το κομμάτι θα πρέπει να προσέξουμε όμως και την σωστή παραγωγή, την ασφάλεια και το κόστος της συγκεκριμένης κατασκευής.

## 1.2 Δομή εργασίας

Η παρούσα διπλωματική εργασία διαρθρώνεται σε κεφάλαια. Στο πρώτο κεφάλαιο γίνεται μια πρώτη αποτύπωση του στόχου και σκοπού της εκπόνησης της εργασίας ενώ στη συνέχεια στο δεύτερο κεφάλαιο παρουσιάζεται μια γενική ανάλυση πάνω στην δραστηριότητα, το προϊόν παραγωγής και την παραγωγικότητα του. Στο τρίτο κεφάλαιο περιγράφεται η διαδικασία παρασκευής του παγωτού καθώς επίσης γίνεται και αναφορά σε όλα τα επιμέρους στάδια της παρασκευής από την εισαγωγή των

πρώτων υλών μέχρι και τη συσκευασία του τελικού προϊόντος. Έπειτα στο τέταρτο κεφάλαιο γίνεται η γενική αναφορά του λογισμικού προσομοίωσης ARENA καθώς και ποιοι είναι οι στόχοι και τα πλεονεκτήματα του συγκεκριμένου προγράμματος, το οποίο χρησιμοποιήθηκε για την αποτύπωση της γραμμής παραγωγής παγωτού και στη συνέχεια στο πέμπτο κεφάλαιο βλέπουμε μια ειδίκευση του προγράμματος για την αποτύπωση της παραγωγικής διαδικασίας του συγκεκριμένου προϊόντος. Στο έκτο κεφάλαιο παρουσιάζεται η ανάλυση των αποτελεσμάτων άγλη μείωσε στο συγκεκριμένο πρόγραμμα καθώς και στο έβδομο και τελικό κομμάτι της εργασίας αποτυπώνονται τα τελικά συμπεράσματα και οι τρόποι αντιμετώπισης των προβλημάτων πάνω στην προσομοίωση του προγράμματος.

## 2 Κεφάλαιο 2: Βιβλιογραφική ανασκόπηση

### 2.1 Κλάδος δραστηριότητας

Η βιομηχανία των γαλακτοκομικών προϊόντων στην Ελλάδα τόσο σε επίπεδο παραγωγής πρώτης ύλης όσο και στις παραγωγικές μονάδες εμφανίζει μια συγκεντρωτική τάση, γεγονός που οδήγησε στον πιο ουσιαστικό έλεγχο της αγοράς στην οποία κατά καιρούς υπήρχε έντονος εγχώριος αλλά και ξένος ανταγωνισμός. Η παραγωγή γάλακτος – ως βασικό συστατικό του παγωτού – είναι από τα πιο σημαντικά αγαθά σε κατανάλωση παγκοσμίως με σταθερά αυξητική τάση ( Bocker et al., 2022).

Το παγωτό κατέχει το μεγαλύτερο μερίδιο στην αγορά των παγωμένων γαλακτοκομικών προϊόντων (Goff and Hartel, 2013). Σύμφωνα με τον Οργανισμό Τροφίμων και Γεωργίας των Ηνωμένων Εθνών (FAO), το 2019, παρήχθησαν 852 εκατομμύρια τόνοι γάλακτος με αύξηση στην παραγωγή 1,4% συγκριτικά με την προηγούμενη χρονιά (Bocker et al., 2022). Την ίδια χρονιά, η στατιστική υπηρεσία της ΕΕ Eurostat σε ανακοίνωσή της ανέφερε πως στην Γερμανία, σε διάστημα ενός έτους, παρήχθησαν συνολικά 635 εκατομμύρια λίτρα. Σε σύγκριση με την συνολική παραγωγή της Ευρωπαϊκής ένωσης, η παραγωγή της Γερμανίας αντιστοιχεί στο ένα πέμπτο.

Οι εταιρίες που δραστηριοποιούνται στην παραγωγή παγωτού σήμερα, έχουν επεκτείνει την παραγωγή τους και σε προϊόντα για ειδικές ομάδες διατροφής και προτιμήσεις ώστε να καλύψουν ένα ευρύ φάσμα καταναλωτών. Το μεγαλύτερο ποσοστό των εταιριών έχουν πλέον στο χαρτοφυλάκιο των προϊόντων τους παγωτά χωρίς ή με λιγότερα λιπαρά, παγωμένο γιαούρτι, σορμπέ και επιλογές με μη ζωικό γάλα (Goff and Hartel, 2013). Τα τελευταία χρόνια έχουν αναπτυχθεί νέες συνθέσεις παγωτού με βελτιωμένες θρεπτικές, αισθητικές ιδιότητες αλλά και διαφορές στην υφή. Αρκετές είναι οι μελέτες που αναφέρουν πως η ενίσχυση του παγωτού με θρεπτικά συστατικά μπορεί να προσδώσει στις εταιρίες παραγωγής ανταγωνιστικό πλεονέκτημα (Aboulfazli et al., 2016; Ranadheera et al., 2013; Silva et al., 2015; Homayouni et al., 2012; Vasiljevic et al., 2008; Malik et al., 2013; Kumar et al., 2016; Rizk et al., 2014; Sun-Waterhouse et al., 2013).

## 2.2 Το παγωτό ως προϊόν

Το παγωτό είναι ένα σύνθετο τρόφιμο με κολλώδη υφή η σύσταση του οποίου αποτελείται από φυσαλίδες αέρα, σφαιρίδια λίπους, κρυστάλλους πάγου και μια μη-παγωμένη φάση ορού (Goff, 1997; Hamayouni et al., 2018). Αναλύοντας το παγωτό σε επίπεδο συστατικών υπάρχουν λιπαρά, μη λιπαρή ουσία γάλακτος, η σακχαρόζη, ο σταθεροποιητής και ο γαλακτωματοποιητής (Goff, 1997; Hamayouni et al., 2018).

Για την παραγωγή το παγωτού, μεσολαβούν διαφορετικά στάδια από την πρώτη ύλη μέχρι το τελικό προϊόν. Κατά την παρασκευή του μερικά από τα στάδια είναι η ανάμειξη, η παστερίωση, η ομογενοποίηση, η γήρανση, η κατάψυξη και η σκλήρυνση (Hamayouni et al., 2018), με στόχο την διαμόρφωση ενός προϊόντος που πληροί τις προδιαγραφές γεύσης και υφής της εκάστοτε εταιρίας.

Το παγωτό ως τελικό προϊόν εμφανίζει μια αρκετά σύνθετη δομή γεγονός που οφείλεται στις πολλαπλές φάσεις που είναι ικανές να έχουν επίδραση στην ποιότητα και τα φυσικά χαρακτηριστικά του τελικού παραγόμενου προϊόντος (Goff and Hartel, 2013).

Σήμερα βλέποντας μια μεγάλη εξέλιξη σε όλα τα στάδια ακόμα την τεχνολογία και την ανάπτυξη της αυτοματοποιημένης παραγωγής, παρατηρούμε ότι υπάρχουν πολλά διαφορετικά είδη παγωτών σε γεύσεις, υφές, ποσοστού λιπαρών καθώς και συσκευασιών, τόσο στην ποιότητα όσο και γενικά στην διαφοροποίηση σχημάτων και υλικών

## 2.3 Παραγωγικότητα

Ένας ορισμός για την παραγωγικότητα αναφέρει πως είναι το πηλίκο μεταξύ παραγόμενου προϊόντος και χρησιμοποιούμενων εισροών, διατηρώντας ταυτόχρονα την ποιότητα του προϊόντος αμετάβλητη (Grönploos, 2001). Ο όρος εισροές περιλαμβάνει όλους τους συντελεστές παραγωγής καθώς και την αξία των πληροφοριακών πόρων.

Από την οπτική των οικονομικών, η παραγωγικότητα μπορεί να μην είναι άμεσα ορατή και συχνά να θεωρείται δευτερεύουσας σημασίας μέσα σε μία επιχείρηση, αλλά μακροπρόθεσμα είναι αυτή που θα καθορίσει την υγεία και την μακροβιότητα μιας εταιρίας (Krugman, 1994). Ενώ από την κοινωνική σκοπιά, η καινοτομία στην παραγωγικότητα αποτελεί τον μοναδικό τρόπο οικονομικής άνθισης για τις κοινωνίες όταν με τον ίδιο αριθμό εισερχόμενων παράγονται περισσότερα αγαθά (Brynjolfsson and McFee, 2014).

Ανάμεσα στους παράγοντες που είναι ικανοί να επηρεάσουν τον δείκτη της παραγωγικότητας μιας εταιρίας είναι το ανθρώπινο δυναμικό, η τεχνολογική εξέλιξη της εταιρίας, συμπεριλαμβανομένης της εφαρμογής σύγχρονων μεθόδων στην παραγωγή και καινοτομίας και τέλος τα γενικότερο περιβάλλον και ο χώρος εργασίας. Οι συνεχείς μεταβολές στο ανθρώπινο δυναμικό μια επιχείρησης σε

συνδυασμό με την αδυναμία διαρκούς εκπαίδευσης και υποστήριξης του δύναται να επηρεάζει την αποδοτικότητα και κατ'επέκταση την παραγωγικότητα μιας επιχείρησης (Birdi et al., 2008). Η διοίκηση της τεχνολογίας (Brynjolfsson and Yang, 1996) καθώς και η εφαρμογή καινοτόμων μεθόδων στην παραγωγική διαδικασία μπορούν επίσης να έχουν σημαντική επίδραση στην αύξηση της παραγωγικότητας (Mohnen and Hall, 2013). Πιο συγκεκριμένα, η εγκατάσταση πληροφοριακών συστημάτων βοηθάει αποτελεσματικά στην οργάνωση των δεδομένων και την ανάλυση της πληροφορίας σε όλα τα στάδια της παραγωγής αλλά και ολόκληρης της εταιρίας. Αν γίνει συνδυασμός και με συστήματα αυτοματισμού ιδιαίτερα στη γραμμή παραγωγής της εταιρίας τότε δύναται να υπάρξει εξαιρετική βελτίωση της παραγωγικότητας, ιδιαίτερη εξοικονόμηση χρόνου και πόρων καθώς και βελτίωση του εργασιακού περιβάλλοντος γεγονός που συμβάλει και στην αποδοτικότητα των εργαζομένων. Τέλος η μείωση του χρόνου απόκρισης της κάθε μηχανής που μετέχει στη συνολική γραμμή παραγωγής είναι ικανοί να επηρεάσει θετικά σε σημαντικό βαθμό την παραγόμενη ποσότητα και κατ'επέκταση τη συνολική παραγωγικότητα (Singo and Dillon, 1989; Rübmann et al., 2015).



## 3 Κεφάλαιο 3: Διαδικασία παραγωγής παγωτού

Ο στόχος μιας μονάδας παραγωγής παγωτού είναι η παραγωγή τόσο του παγωτού όσο και λοιπών παραλλαγών και υποπροϊόντων. Η γραμμή παραγωγής μιας βιομηχανίας αυτού το είδους περιλαμβάνει αρκετές επιμέρους διεργασίες. Οι διεργασίες αυτές, μπορεί να γίνονται με χρήση μηχανημάτων πλήρως ή μερικώς αυτοματοποιημένα και να υπάρχει ως εκ τούτου τουλάχιστον ένας χειριστής. Στο κεφάλαιο αυτό παρουσιάζονται και περιγράφονται οι επιμέρους διεργασίες που αποτελούν μια γραμμή παραγωγής παγωτού.

### 3.1 Πρώτη ύλη

Η επιλογή των πρώτων υλών έχει καθοριστικό ρόλο στην ποιότητα, την υφή και γεύση του τελικού προϊόντος. Εξαιρετικά σημαντική είναι και η σημασία της επιλογής εκτός από την ποιότητα και στην ασφάλεια του προϊόντος (Salgueiro et al., 2010).

Μία από τις βασικές πρώτες ύλες για την παραγωγή παγωτού είναι η πηγή λιπαρών όπως είναι το γάλα, ενώ εκτός από ζωικό τα τελευταία χρόνια έχει υπάρξει μεγάλη αύξηση και στη χρήση γάλακτος φυτικής προέλευσης. Το γάλα αποτελεί μία από τις βασικότερες πρώτες ύλες για την παραγωγή παγωτού, ενώ εκτός από ζωικό, τα τελευταία χρόνια έχει υπάρξει μεγάλη αύξηση και στη χρήση γάλακτος φυτικής προέλευσης. Από θρεπτικής άποψης, το γάλα είναι πλούσιο σε πρωτεΐνες, υδατάνθρακες, βιταμίνες και ασβέστιο (Guetouache et al., 2014) γεγονός που δίνει ιδιαίτερη αξία και στο τελικό προϊόν. Κάποιες άλλες ύλες που χρησιμοποιούνται είναι οι γλυκαντικές ουσίες όπως είναι η ζάχαρη, και οι χρωστικές ουσίες, δηλαδή διάφορα είδη χυμών, όπου θα δώσουν διαφορετική γεύση στο τελικό προϊόν.

Κάθε πρώτη ύλη για τη χρήση της μπορεί να χρειάζεται επεξεργασία πριν τη χρήση κάτι που αποτελεί ξεχωριστή διεργασία.

Στην περίπτωση που η βιομηχανία παραγωγής παγωτού είναι και βιομηχανία παραγωγής γάλακτος, κάτι που συναντάται αρκετά συχνά, η διαδικασία μεταφοράς της πρώτης ύλης και επεξεργασίας, γίνεται απλούστερη. Σε αντίθετη περίπτωση κατά την παραλαβή της πρώτης ύλης, η βιομηχανία υποχρεούται σε επιπλέον δειγματοληπτικό έλεγχο για την εκτίμηση και εξασφάλιση της ποιότητας.

### 3.2 Δημιουργία μείγματος

Μετά τη συγκέντρωση, τον υπολογισμό και την ενδεχόμενη επεξεργασία των απαραίτητων πρώτων υλών, το επόμενο στάδιο περιλαμβάνει την παρασκευή του μείγματος. Τα βασικά συστατικά που καταγράφονται στο μείγμα είναι νερό, υπόλειμμα γάλακτος, σάκχαρα (σακχαρόζη και μερικώς υδρολυμένο άμυλο, συμπεριλαμβανομένης της γλυκόζης και της μαλτόζης), σταθεροποιητές και γαλακτωματοποιητές (Goff and Hartel, 2013; Hamayouni et al., 2018). Σε αυτό το στάδιο θα πρέπει να γίνει με καλή ανάμειξη των πρώτων υλών και μεταξύ υγρών και στέρεων συστατικών.

Αρχικά τα υγρά συστατικά θερμαίνονται και ταυτόχρονα αναδεύονται σε θερμοκρασία 10°C περίπου. Ακολούθως γίνεται η προσθήκη των στέρεων συστατικών χωρίς λίπος πριν η θερμοκρασία υπερβεί τους 27° και σταδιακά προστίθενται και τα υπόλοιπα. Γίνεται μίξη της βάσης παγωτού ή του πηκτικού με τη ζάχαρη και προστίθεται στο μείγμα. Εξαιρετικά σημαντικό είναι να διαλυθούν όλα τα συστατικά πριν η θερμοκρασία φτάσει στη φάση της παστερίωσης. Έπειτα ακολουθεί η διαδικασία της παστερίωσης όπου το μείγμα εισάγεται σε ειδικό παστεριωτή και μετά πραγματοποιείται η ομογενοποίηση του παστεριωμένου μείγματος. Η ομογενοποίηση προσφέρει τη βέλτιστη ανάμειξη των συστατικών, μέσα από το διαχωρισμό των λιποσφαιρίων εμποδίζεται η απόσπαση του λίπους μόλις το μείγμα καταψυχθεί και η δημιουργία δύο φάσεων στο μείγμα, συμβάλει στην καλύτερη υφή

και ομοιομορφία ενώ παράλληλα προσδίδει γεύση στο τελικό προϊόν και ελαχιστοποιείται ο χρόνος ωρίμανσης. Μόλις ολοκληρωθεί η διαδικασία το μείγμα θα πρέπει να ψυχθεί άμεσα. Επειδή οι θερμοκρασίες του μείγματος μετά τις δύο προηγούμενες φάσεις είναι γύρω στους 75°C, θα πρέπει να ψυχθεί ταχύτατα σε θερμοκρασία 2°C – 5°C, ώστε να αποφευχθεί η ανάπτυξη βακτηρίων στο παγωτό. Τελευταία φάση της παρασκευής του μείγματος είναι η διαδικασία της ωρίμανσης κατά την οποία το μείγμα παραμένει σε θερμοκρασία ψυγείου δηλαδή από 2°C έως 4°C και χρονικά από 4 έως και 24 ώρες. Η διάρκεια της ωρίμανσης δίνει τη δυνατότητα στο μείγμα να πραγματοποιήσει ορισμένες σημαντικές διεργασίες. Αρχικά να απορροφηθούν οι γαλακτωματοποιητικές ουσίες στην επιφάνεια του λίπους. Καθώς το μίγμα παγώνει τα συστατικά των γαλακτωματοποιητών ενώνονται πιο σταθερά με τα λιποσφαίρια. Παράλληλα να κρυσταλλωθεί το λίπος που υπάρχει μέσα στα λιποσφαίρια (Hartel, 1996) και να στερεοποιηθεί και να αυξηθεί η ικανότητα του μείγματος να ενσωματώνει και να συγκρατεί αέρα, εάν παραληφθεί η διαδικασία της ωρίμανσης αυτό το στάδιο γίνεται εξαιρετικά δύσκολο. Τέλος, το νερό που βρίσκεται στο μείγμα να ενωθεί με τους σταθεροποιητές και να πραγματοποιηθεί μια ήπια μεταβολή των πρωτεϊνών.

### 3.3 Παρασκευή παγωτού

Τα βασικά στάδια μιας ολοκληρωμένης παραγωγικής διαδικασίας παγωτού είναι:

1. Δημιουργία μίγματος
2. παστερίωση
3. ομογενοποίηση
4. ωρίμανση
5. προσθήκη γευστικών ή αρωματικών ουσιών
6. κατάψυξη
7. συσκευασία
8. ταχεία κατάψυξη
9. αποθήκευση

Το πιο σημαντικό στάδιο κατά την παρασκευή του παγωτού πραγματοποιείται μέσα στην παγωτομηχανή. Ο σκοπός της χρήσης είναι τόσο η κατάψυξη ενός μέρους του νερού που βρίσκεται στο μείγμα όσο και η ενσωμάτωση του αέρα.

Στα προηγούμενα στάδια της διαδικασίας παραγωγής διαμορφώνεται ένα μέρος της δομής του τελικού προϊόντος. Το βασικότερο στάδιο στην παρασκευή παγωτού είναι η διαδικασία ενσωμάτωσης αέρα που πραγματοποιείται εντός της παγωτομηχανής με ταυτόχρονη ψύξη.

Ιδιαίτερη προσοχή θα πρέπει να δοθεί κατά την διαδικασία της κατάψυξης για να μην χαλάσει η ποιότητα παραγωγής, σε:

1. Ποσότητα των συστατικών του μείγματος
2. ταχύτητα κατάψυξης
3. θερμοκρασία κατάψυξης
4. ταχύτητα απόψεως του παγωτού μέσα από τον θάλαμο κατάψυξης
5. αποτελεσματικότητα της λειτουργίας των λεπίδων απόψεως

Το αποτέλεσμα αυτού του σταδίου μόλις εξέρχεται από την παγωτομηχανή, βρίσκεται σε θερμοκρασία από  $-4^{\circ}\text{C}$  έως  $-8^{\circ}\text{C}$ , ανάλογα με τη συσκευή που χρησιμοποιήθηκε. Στο στάδιο της σκλήρυνσης που ακολουθεί η θερμοκρασία του παγωτού δύναται να φτάσει μέχρι τους  $-23^{\circ}\text{C}$ .

### 3.4 Ενσωμάτωση αέρα-Κατάψυξη μίγματος

Με τα προηγούμενα στάδια της παραγωγικής διαδικασίας, διαμορφώνεται κυρίως ένα μέρος της μικροδομής του παγωτού, τα λιπαρά. Το επόμενο στάδιο, δηλαδή η ενσωμάτωση αέρα με ταυτόχρονη ψύξη του μίγματος, αποτελεί τον πυρήνα της διαδικασίας παρασκευής του παγωτού. Ένα εργοστασιακό μηχάνημα παρασκευής παγωτού μετατρέπει το μίγμα σε παγωτό ψύχοντάς το με ταυτόχρονη ενσωμάτωση αέρα (απόδραση) και ανάδευση. Αυτό έχει ως αποτέλεσμα τη δημιουργία των τριών διαφορετικών φάσεων που συναντώνται στο παγωτό. Οι οικιακές παγωτομηχανές είναι βασισμένες στην ίδια λογική. Η παραπάνω διεργασία ονομάζεται επίσης και δυναμική κατάψυξη λόγω της ανάδευσης, σε αντίθεση με τη στατική κατάψυξη που

ακολουθεί, όπου το μερικώς κατεψυγμένο προϊόν προωθείται για σκλήρυνση, χωρίς όμως ανάδευση.

Οι σύγχρονες παγωτομηχανές ανήκουν σε μία κατηγορία εξοπλισμών που ονομάζονται εναλλάκτες θερμότητας με πτερύγια απόξεσης επιφάνειας (scraped surface heat exchangers) και χρησιμοποιούν ως ψυκτικό υγρό αμμωνία ή Freon που ρέει στο εξωτερικό τοίχωμα της δεξαμενής. Η ανάδευση και η ενσωμάτωση αέρα γίνονται με χρήση μηχανικών μέσων με ενσωματωμένες λεπίδες απόξεσης, που χρησιμεύουν στην ανάκτηση του παγωμένου στρώματος μίγματος από τα τοιχώματα της δεξαμενής. Υπάρχουν δύο ειδών μηχανικά συστήματα ανάδευσης, τα κλειστά και τα ανοιχτά. Και τα δύο συστήματα έχουν πλεονεκτήματα και μειονεκτήματα. Το ποιό θα χρησιμοποιηθεί τελικά στην παρασκευή του παγωτού εξαρτάται από πολλούς παράγοντες όπως τη χρήση του τελικού προϊόντος και την επιθυμητή υφή.

### **3.5 Επιλογή συσκευασίας**

Μετά την διαδικασία της δυναμικής κατάψυξης ακολουθεί συσκευασία του προϊόντος. Η επιλογή της συσκευασίας η οποία θα χρησιμοποιηθεί για το τελικό προϊόν που θα παρασκευαστεί έχει ιδιαίτερη σημασία και δεν μπορεί να γίνει τυχαία διότι συμβάλλει στον αποδοτικότερο λειτουργικό χειρισμό του προϊόντος, στην αποδοτικότερη σκλήρυνση, στην προστασία του προϊόντος καθώς και στην ικανοποίηση του καταναλωτή. Ο τύπος του υλικού συσκευασίας των γαλακτοκομικών προϊόντων είναι κρίσιμης σημασίας λόγω των επιπτώσεών του στην ποιότητα, την ασφάλεια, το κόστος και την εμπορία των βασικών προϊόντων στους καταναλωτές.

Μετά τον Β' Παγκόσμιο Πόλεμο, η ανάπτυξη του πολυπροπυλενίου, του πολυεστέρα και άλλων στοιχείων οδήγησε στην διάδοση της χρήσης της πλαστικής συσκευασίας έναντι των συσκευασιών από αλουμίνιο και χαρτί που χρησιμοποιούνταν μέχρι εκείνη την εποχή. Η εξέλιξη του πλαστικού δοχείου παρέχει ιδιαίτερη ασφάλεια στα τρόφιμα για αυτό και για δεκαετίες χρησιμοποιείται σχεδόν με αποκλειστικότητα.

Η επιλογή του τύπου της συσκευασίας είναι αποτελέσματα συνεργασίας διαφορετικών τμημάτων σε μία επιχείρηση.

### 3.6 Γέμισμα

Το γέμισμα της συσκευασίας με το μείγμα που έχει παραχθεί στα προηγούμενα στάδια, πληροί ομοίως συγκεκριμένες προδιαγραφές. Το γέμισμα σε σταθερή ποσότητα ανά συσκευασία, ο ρυθμός όπως και η ταχύτητα γεμίσματος είναι μερικές από τις προδιαγραφές που λαμβάνει υπ' όψιν μία εταιρία πριν την επιλογή του κατάλληλου γεμιστικού μηχανήματος που θα εντάξει στην παραγωγική γραμμή της.

Για να επιτευχθεί αυτό θα πρέπει να έχει δημιουργηθεί πρώτα η κατάλληλη δομή και υφή του μείγματος. Για να αποκτήσει το παγωτό την καλύτερη δυνατή δομή και υφή θα πρέπει να συνδυάζονται τα συστατικά του μίγματος με τρόπο τέτοιο ώστε κατά την κατάψυξη να μην παρουσιάζονται μεγάλοι ή μικροί παγοκρύσταλλοι όπου θα προκαλέσουν αλλοίωση στην υφή. Αυτό θα έχει ως αποτέλεσμα την προσθήκη αυξώ μειωμένων δόσεων παγωτού στην κατασκευασια καθώς θα φέρει και αρνητικά αποτελέσματα κατά τη διαδικασία της αποθήκευσης, χαλώντας την ποιότητα των προϊόντων.

Οι μεταβολές στον ρυθμό και την ποσότητα του προϊόντος που γεμίζει μία συσκευασία ενδέχεται να έχουν επιπτώσεις τόσο στην ποιότητα του τελικού προϊόντος όσο και στην κοστολόγησή του.

### 3.7 Τελικό προϊόν

Ο τύπος του υλικού συσκευασίας των γαλακτοκομικών προϊόντων είναι κρίσιμης σημασίας λόγω των επιπτώσεών του στην ποιότητα, την ασφάλεια, το κόστος και την εμπορία των βασικών προϊόντων στους καταναλωτές (Karaman et al., 2015). Οι προδιαγραφές του προϊόντος καθορίζονται στην αρχή και πριν από οποιαδήποτε διεργασία. Σε όλες τις φάσεις ανάπτυξης και παραγωγής εφαρμόζονται δειγματοληπτικοί έλεγχοι ποιότητας για τη διασφάλιση της επίτευξης του επιθυμητού αποτελέσματος.

Η σωστή ποιότητα του προϊόντος καθορίζεται κυρίως από:

1. Την ασφάλεια
2. τα οργανοληπτικά χαρακτηριστικά των τροφίμων
3. το κόστος παραγωγής
4. την βέλτιστη ποιότητα στις πρώτες ύλες
5. την τεχνολογία του εξοπλισμού που θα επιλεγθεί
6. την σωστή αποθήκευση

Η ασφάλεια στα τρόφιμα συνδέεται με την ύπαρξη παραγόντων που χαρακτηρίζονται βλαπτικοί και ενέχουν κινδύνους. Καθώς η εισαγωγή των κινδύνων ενδέχεται να παρουσιαστεί σε οποιοδήποτε στάδιο της αλυσίδας και γραμμής παραγωγής ενός τροφίμου είναι απαραίτητο να υπάρχει καθολικός έλεγχος σε κάθε στάδιο επεξεργασίας.

## 4 Arena Software

### 4.1 Γενικά

Εκατοντάδες πανεπιστήμια και κολέγια σε όλο τον κόσμο χρησιμοποιούν το λογισμικό αρένα. Στην πραγματικότητα ακόμα διδάσκεται σε περισσότερα ιδρύματα παγκοσμίως από οποιοδήποτε άλλο εργαλείο λογισμικού προσομοίωσης διακριτών συμβάντων στην αγορά.

### 4.2 Στόχος

Ο στόχος της πρόσθετης πανεπιστημιακής εκπαίδευσης είναι να παρέχει στους φοιτητές τις γνώσεις και την πρακτική εμπειρία που χρειάζονται για να ξεκινήσουν την επαγγελματική τους σταδιοδρομία. Το λογισμικό αρένα είναι το πιο ευρέως χρησιμοποιημένο και ολοκληρωμένο λογισμικό προσομοίωσης διακριτών συμβάντων στον κόσμο. Οι εταιρείες θεωρούν ότι η εμπειρία με το λογισμικό προσομοίωσης αρένα είναι ένας διαφοροποιηθείς και ανταγωνιστικό πλεονέκτημα κατά τη λήψη αποφάσεων πρόσληψης. Η προσομοίωση αρένα αντιμετωπίζει την ποικιλία των ακαδημαϊκών αναγκών και προκλήσεων που μπορεί να αντιμετωπίσει κάθε φοιτητής ή οργανισμός. το λογισμικό αρένα έχει ως στόχο την βελτίωση της ποιότητας ζωής κάνοντας τον κόσμο πιο παραγωγικό και βιώσιμο φέρνοντας όλο και πιο κοντά μια γενιά έξυπνης κατασκευής. Με τη σωστή στρατηγική και την εκπαίδευση ταλαντούχων ανθρώπων, καθώς και τη βοήθεια του λογισμικού, μπορούν να βρεθούν πιο εύκολα λύσεις πάνω στο κομμάτι του βιομηχανικού αυτοματισμού.



## 4.3 Πλεονεκτήματα

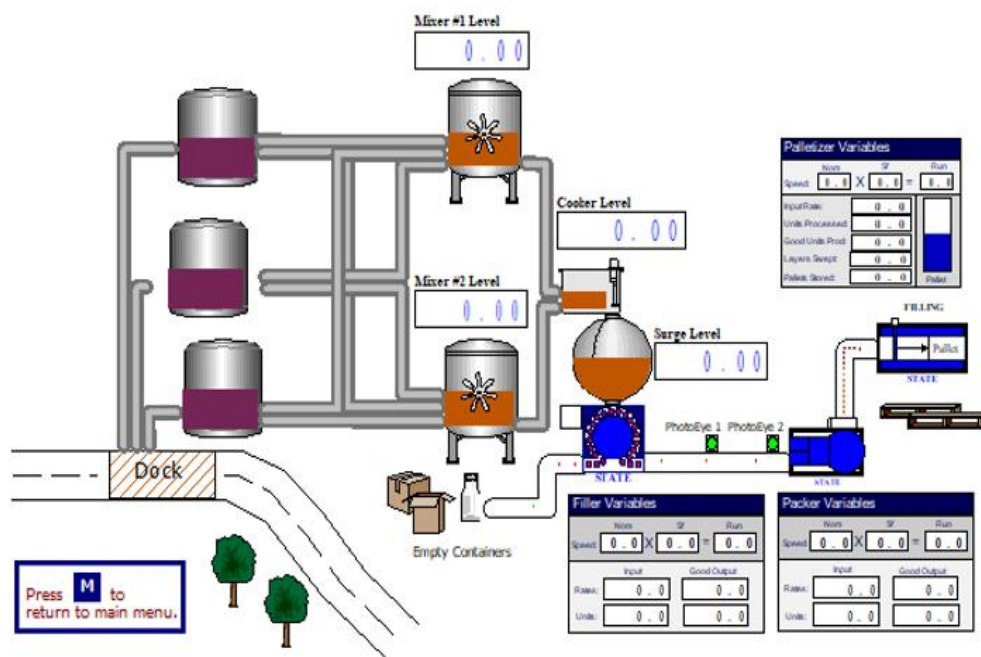
Το πρόγραμμα αρένα προσφέρει μια καθηλωτική εμπειρία που αναδεικνύει τη δύναμη και την αξία της σύνδεσης της επιχείρησης από το ένα άκρο στο άλλο έτσι ώστε να παρέχονται πιο εύκολα οι πληροφορίες που τροφοδοτούνται από τα δεδομένα.

Με την εκπαίδευση του λογισμικού προσομοίωσης αρένα, οι μαθητές εισάγονται στις αρχές της προσομοίωσης και θα ενισχύσουν τις δεξιότητές τους στην επίλυση προβλημάτων διεξάγοντας αποτελεσματικά μοντέλα προσομοίωσης, αναλύσεις και ερευνητικά έργα. Οι έννοιες προσομοίωσης ή γίνονται κατανοητές γρήγορα και εύκολα μέσω μιας απλής προσέγγισης μοντελοποίησης διαγράμματος ροής.

αυτό το πακέτο είναι μια μόνο θέση άδεια που περιλαμβάνει ένα κλειδί gold για εύκολη μεταφορά της άδειας χρήσης σε μηχανήματα. Το λογισμικό αρένα είναι η επιλογή πολλών πανεπιστημίων και κολλεγίων παγκοσμίως διότι προσφέρει πολλαπλές επιλογές για την κάλυψη των αναγκών όλων των ακαδημαϊκών.

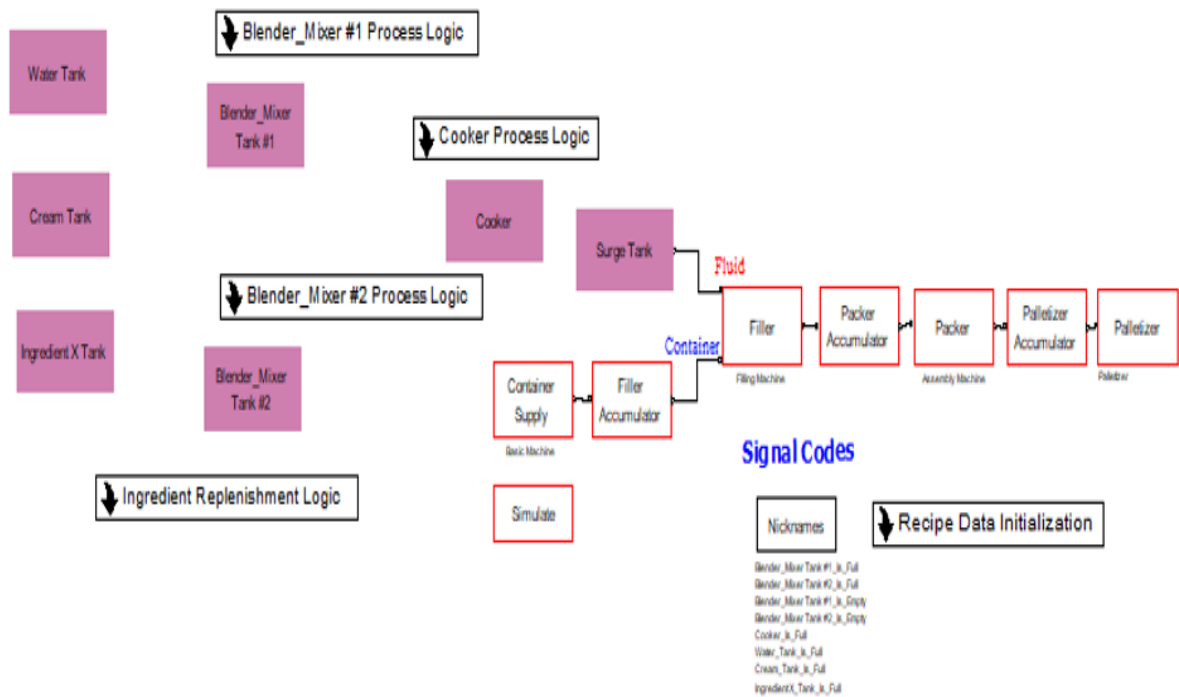
## 4.4 Παραδείγματα Εκμάθησης

- Προσομοίωση γραμμής παραγωγής με δύο δεξαμενές μίξης των πρώτων υλών.
- Χρησιμοποιεί τρία βασικά υλικά (νερό, κρέμα και υλικό X), τα οποία ανακατεύει σε μια δεξαμενή.
- Φορτηγά προμηθεύουν συνεχώς με πρώτες ύλες τις δεξαμενές.
- Το μείγμα που βγαίνει από τις δεξαμενές, ψήνεται και στη συνέχεια τοποθετείται σε κούτες και έπειτα σε παλέτες.



Στιγμιότυπο από το ANIMATION

(Εικόνα 1)

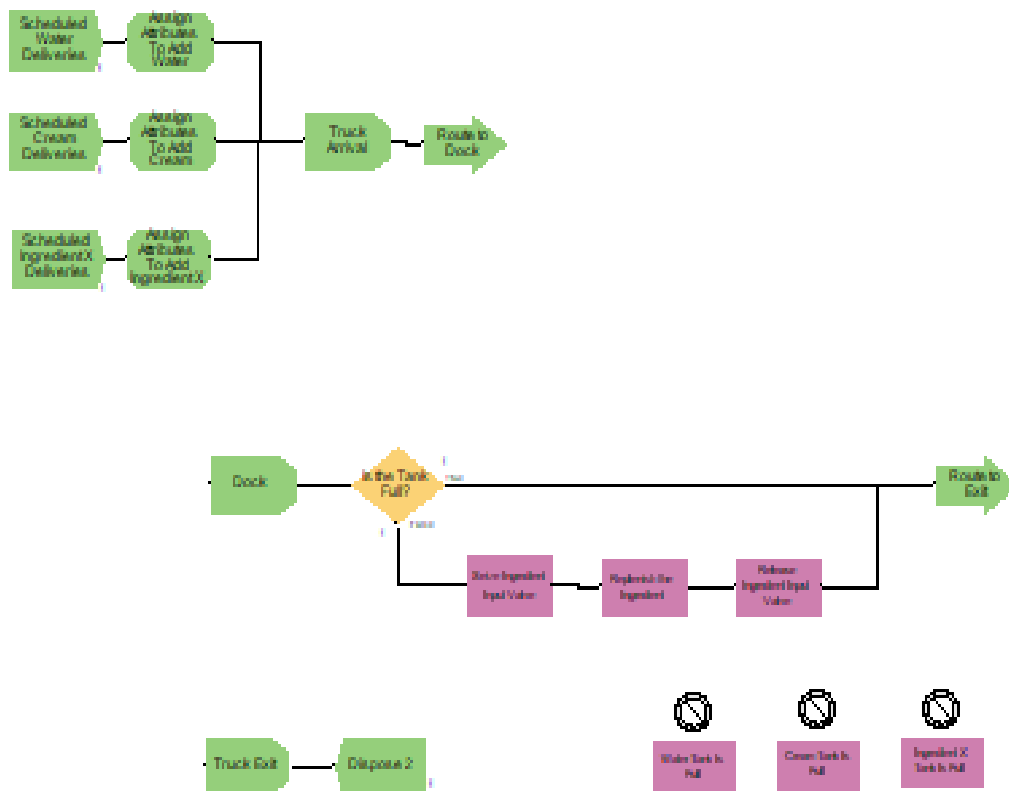


Το διάγραμμα της προσωμείωσης.

(Εικόνα 2)

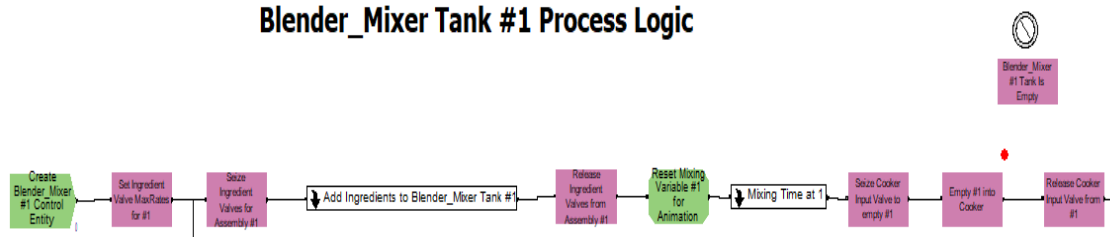
- Διαδικασία προμήθειας πρώτων υλών.
- Ανά σταθερούς χρόνους ξεκινάει ένα όχημα με νερό, κρέμα ή υλικό X, με σκοπό να γεμίσει την εκάστοτε δεξαμενή.
- Αν η δεξαμενή είναι γεμάτη, το φορτηγό αποχωρεί.
- Αν όχι, τότε τη γεμίζει.

## Ingredient Replenishment Logic



(Εικόνα 3)

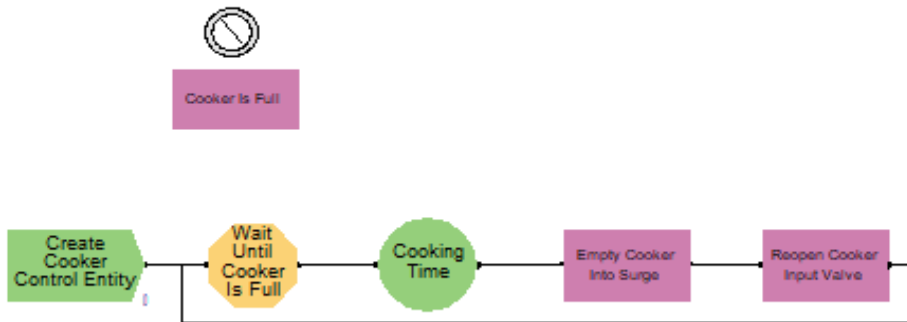
## Blender\_Mixer Tank #1 Process Logic



(Εικόνα 4)

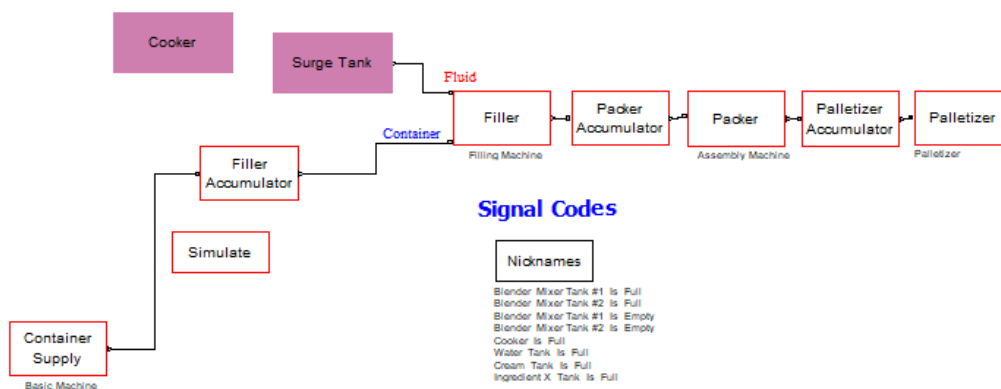
- Διαδικασία ανάμιξης των υλικών.
- Ανοίγει τις βαλβίδες από τις δεξαμενές των πρώτων υλών και οι πρώτες ύλες εισέρχονται στη δεξαμενή ανάδευσης.
- Αδειάζει το μείγμα στο φούρνο.

## Cooker Process Logic



(Εικόνα 5)

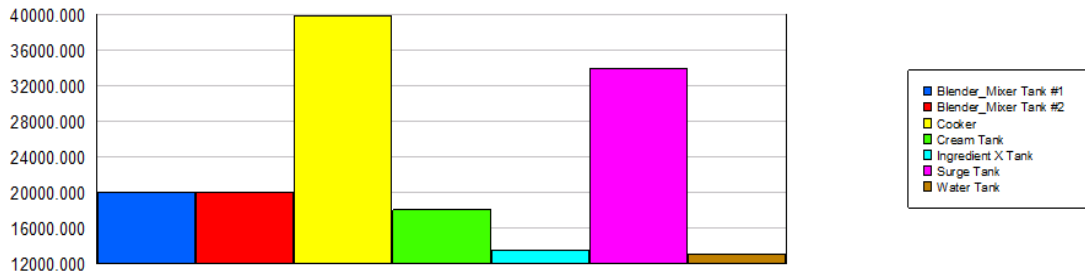
- Διαδικασία ψησίματος του μείγματος για παραγωγή του τελικού προϊόντος.
- Αναμονή μέχρι να γεμίσει ο φούρνος.
- Όταν περάσει ο χρόνος ψησίματος, ο φούρνος διώχνει το τελικό προϊόν και η διαδικασία επαναλαμβάνεται.
- 



(Εικόνα 6)

- Διαδικασία συσκευασίας.
- Χρησιμοποιεί μια Filling Machine για να συνδεθεί η γραμμή ρευστού (έξοδος του φούρνου) και τη γραμμή συσκευασίας.
- Χρησιμοποιεί μια μηχανή για να τοποθετεί σε μία παλέτα έξι κούτες.

Total Quantity Removed	Average	Half Width	Minimum Average	Maximum Average
Blender_Mixer Tank #1	20000.00	0.00	20000.00	20000.00
Blender_Mixer Tank #2	20000.00	0.00	20000.00	20000.00
Cooker	39800.00	555.20	39000.00	40000.00
Cream Tank	18000.00	0.00	18000.00	18000.00
Ingredient X Tank	13500.00	0.00	13500.00	13500.00
Surge Tank	33933.65	1,566.60	31886.60	35311.21
Water Tank	13000.00	0.00	13000.00	13000.00



(Εικόνα 7)

Πόσο χρησιμοποιήθηκε η κάθε δεξαμενή.

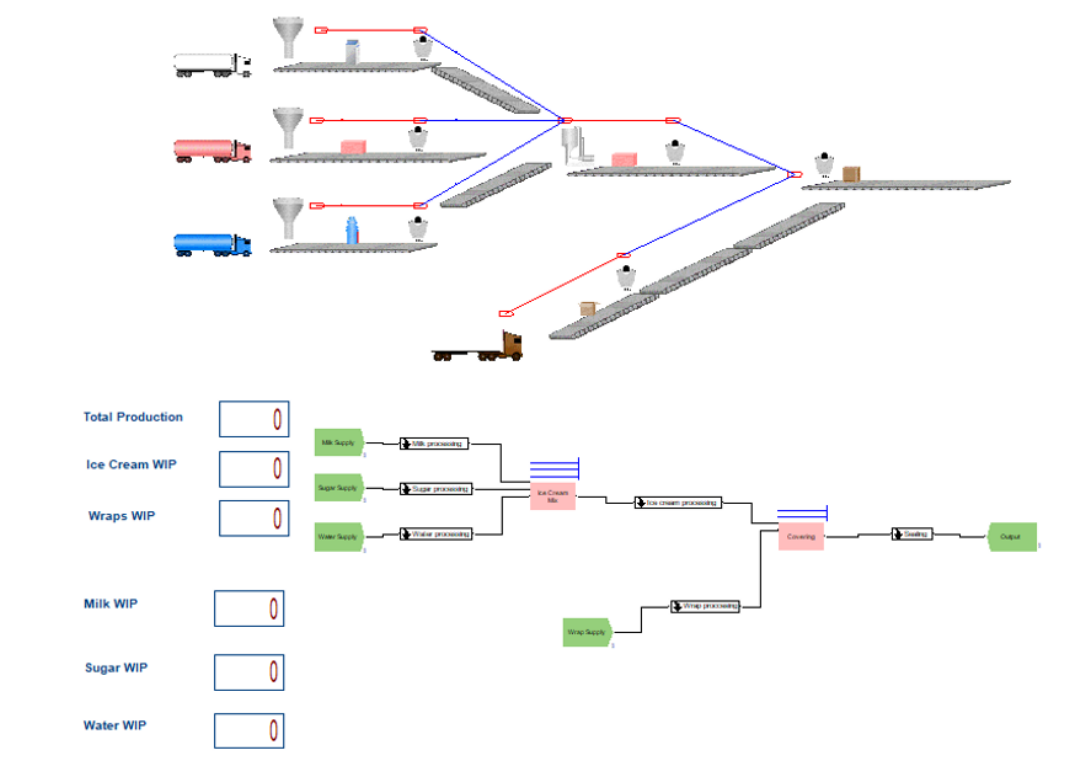
Waiting Time	Average	Half Width	Minimum Average	Maximum Average	Minimum Value	Maximum Value
Ingredient Assembly #1 Complete.Queue	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
Ingredient Assembly #2 Complete.Queue	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
Seize Cooker Input Valve to empty #1.Queue	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
Seize Cooker Input Valve to empty #2.Queue	5.3750	0.00	5.3750	5.3750	0.00	21.5000
Seize Ingredient Input Valve.Queue	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
Seize Ingredient Valves for Assembly #1.Queue	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
Seize Ingredient Valves for Assembly #2.Queue	3.1250	0.00	3.1250	3.1250	0.00	12.5000
Wait Until Cooker Is Full.Queue	5.8000	0.00	5.8000	5.8000	2.0000	74.5000

(Εικόνα 8)

Οι καθυστερήσεις σε κάθε ουρά.

## 5 Εφαρμογή λογισμικού ARENA στη διαδικασία παραγωγής παγωτού

### Γραμμή παραγωγής παγωτού Arena Simulation



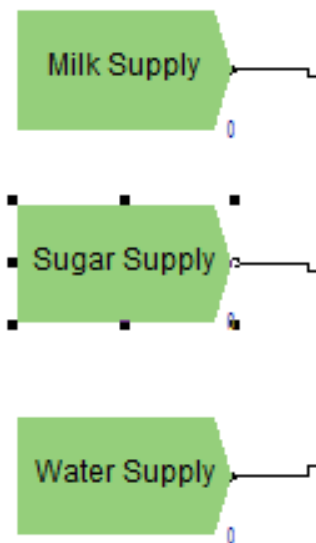
(Εικόνα 9)

### 5.1 Εντολές “Create”

Οι εντολές αυτές “δημιουργούν” τις οντότητες που εισέρχονται κάθε φορά στο πρόβλημά μας. Στο δικό μας πρόβλημα, έχουμε τα create για “Milk Supply”, “Water Supply”, “Sugar Supply” και “Wrap Supply” που αντιστοιχούν σε Γάλα, Νερό, Ζάχαρη, ως ενδεικτικά για την παραγωγή παγωτού, και σε περιτυλίγματα για τη συσκευασία των παγωτών. (εικόνα 1)

Μέσα σε κάθε εντολή Create, ορίζουμε (εικόνα 2):

- Name (το όνομα της εντολής)
- Entity type: (το όνομα κάθε ξεχωριστής οντότητας που μπαίνει στο σύστημα)
- Expression (οι οντότητες εισάγονται στο σύστημα με συγκεκριμένους ρυθμούς. Εμείς έχουμε βάλει εισαγωγή οντοτήτων με βάση την κανονική κατανομή NORM με μέση τιμή 24 οντότητες ανά ώρα και απόκλιση  $\pm 4$ )



(εικόνα 10)



Create

Name: Milk Supply Entity Type: Milk

Time Between Arrivals

Type: Expression Expression: NORM( 24 , 4 ) Units: Hours

Entities per Arrival: 1 Max Arrivals: Infinite First Creation: 0.0

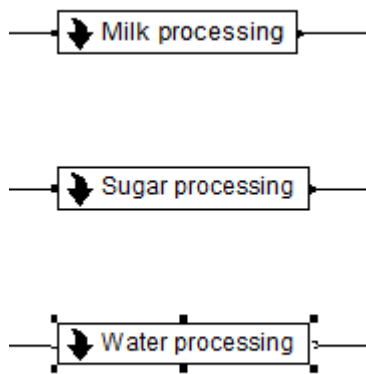
Comment:

OK Cancel Help

(εικόνα 11)

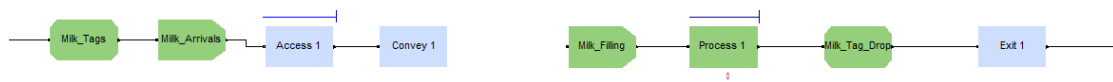
## 5.2 Υπορουτίνες (Subroutines)

Αμέσως μετά τα Create, δημιουργούμε υπορουτίνες, οι οποίες είναι μεγάλες κατηγορίες που περιέρχουν στο εσωτερικό τους διάφορες εντολές και διαδικασίες επεξεργασίας των προϊόντων. Εμείς έχουμε τα “Milk processing”, “Sugar processing”, “Water processing”, “Ice cream processing” και “Sealing”. (π.χ. εικόνα 3)



(εικόνα 12)

Ανοίγοντας μία υπορουτίνα, βλέπουμε τις επιμέρους εντολές στο εσωτερικό της (εικόνα 4)

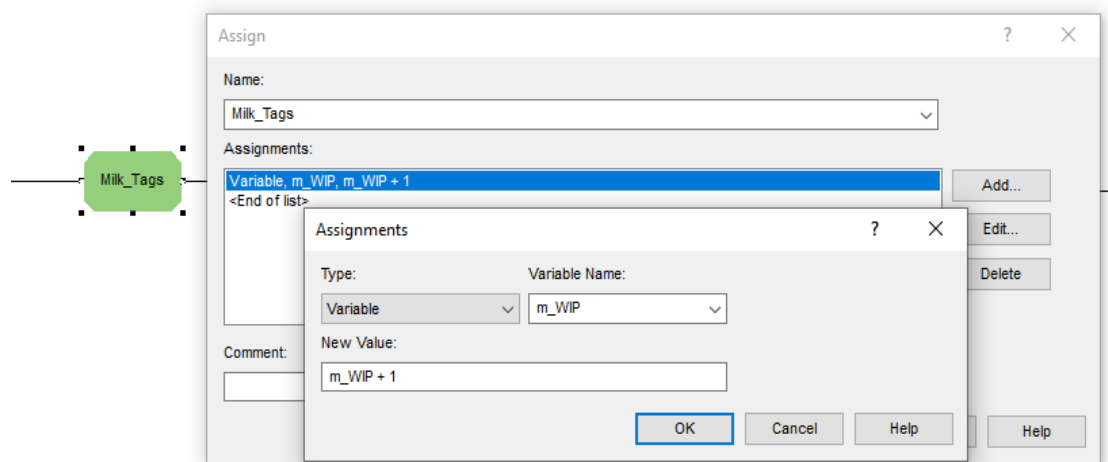


(εικόνα 13)

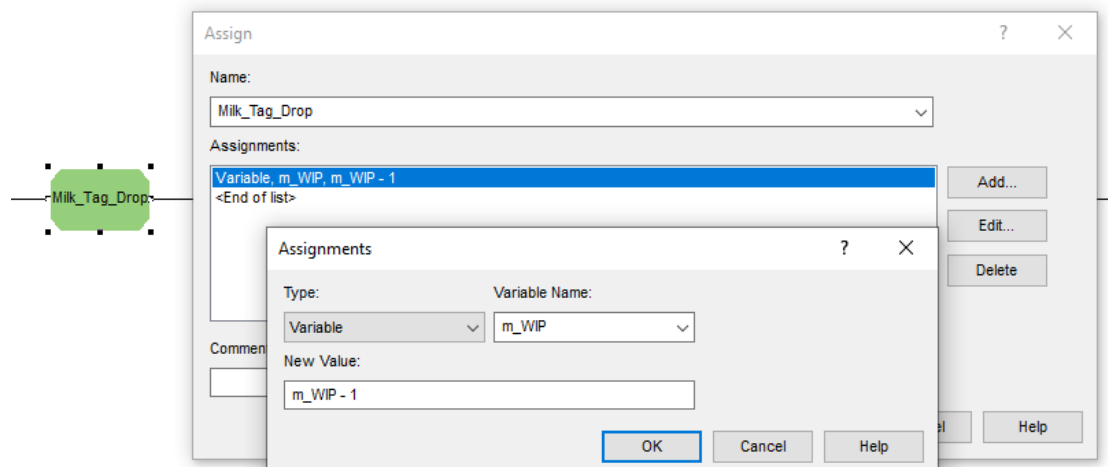
### 5.2.1 Εντολή “Assign”

Η εντολή αυτή αναθέτει “ταμπελάκια” σε κάθε οντότητα που περνάει από αυτήν, τα οποία μας εξυπηρετούν ώστε να έχουμε την εικόνα που θέλουμε για το πόσες οντότητες εισέρχονται στο σύστημα, και ορίζουμε την αύξηση του WIP κατά +1, κάθε φορά που έρχεται μία οντότητα στο σύστημα ή τη μείωση του WIP κατά -1, κάθε φορά που παύει αυτή η οντότητα να υπάρχει, εδώ πχ στη δεύτερη εικόνα κάνουμε αυτή την ενέργεια, καθώς το γάλα θα συνενωθεί με τα άλλα συστατικά και σταματάει να υπάρχει ως οντότητα “γάλα”

WIP = Work In Process: Μας δείχνει πόσες οντότητες είναι ενεργές μέσα στην παραγωγή (τρέχουν μέσα στο σύστημα)



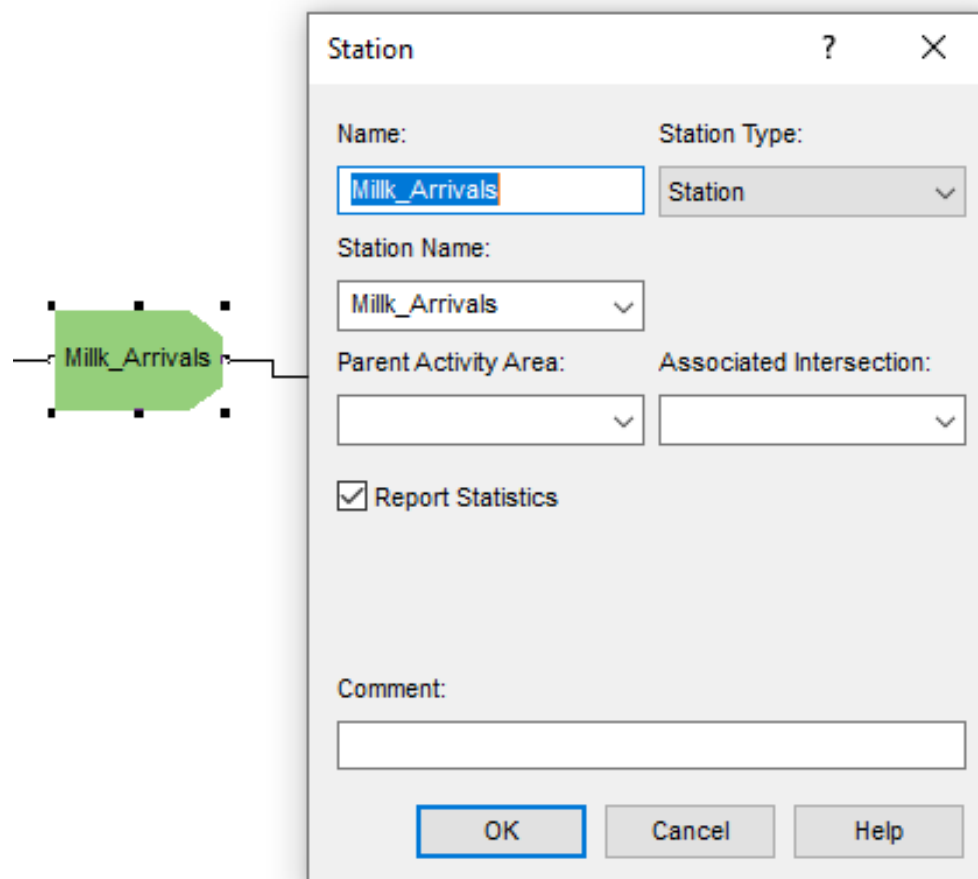
(εικόνα 14)



(εικόνα 15)

## 5.2.2 Εντολή “Station”

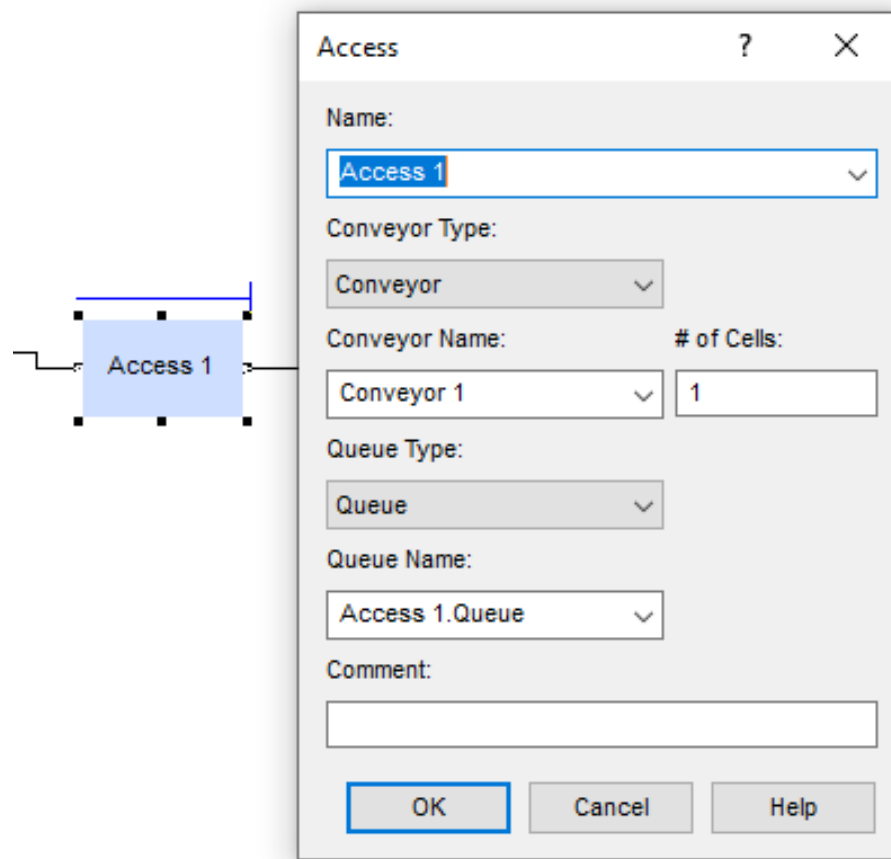
Είναι ένας σταθμός από τον οποίο περνούν οι οντότητες προκειμένου να πάρουν σειρά για την υπόλοιπη διεργασία. Εδώ απλά ορίζουμε ένα όνομα σταθμού, χωρίς παραπάνω πληροφορίες.



(εικόνα 16)

### 5.2.3 Εντολή “Access”

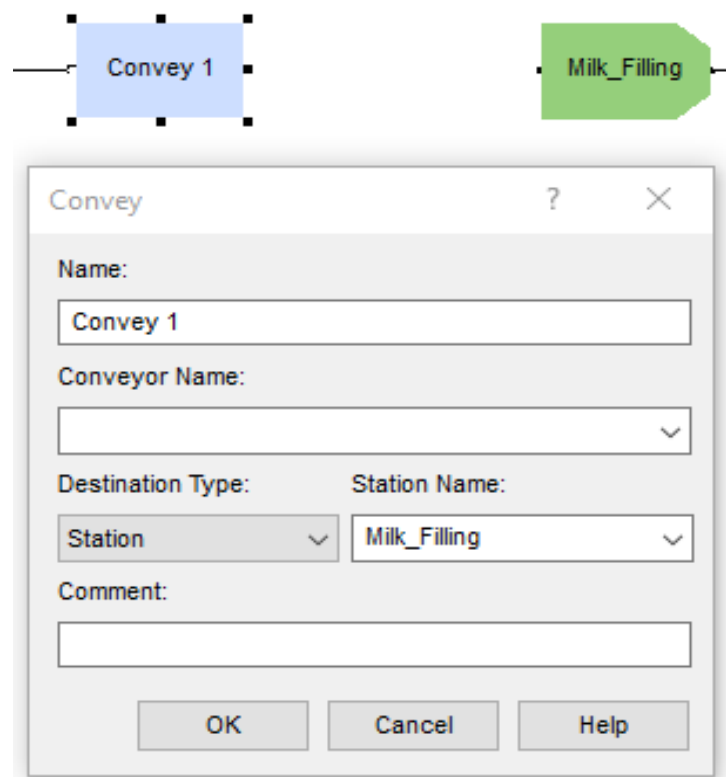
Η εντολή αυτή δίνει πρόσβαση στις οντότητες προκειμένου να μεταβιβαστούν σε ένα σταθμό εργασίας αργότερα. Εδώ ορίζουμε το Access ως “Conveyor - Μεταβιβαστή” και του βάζουμε ουρά αναμονής “Queue”, ώστε να μπορεί να κρατάει οντότητες στην περίπτωση που ο επόμενος σταθμός εργασίας είναι απασχολημένος.



(εικόνα 17)

## 5.2.4 Εντολή “Convey”

Η συγκεκριμένη εντολή είναι η εντολή μεταβίβασης από το Access στον επόμενο σταθμό. Εδώ ορίζουμε τον τύπο και το όνομα του προορισμού που θα πάει η οντότητα κάθε φορά στο “Destination Type” και “Station Name” αντίστοιχα.



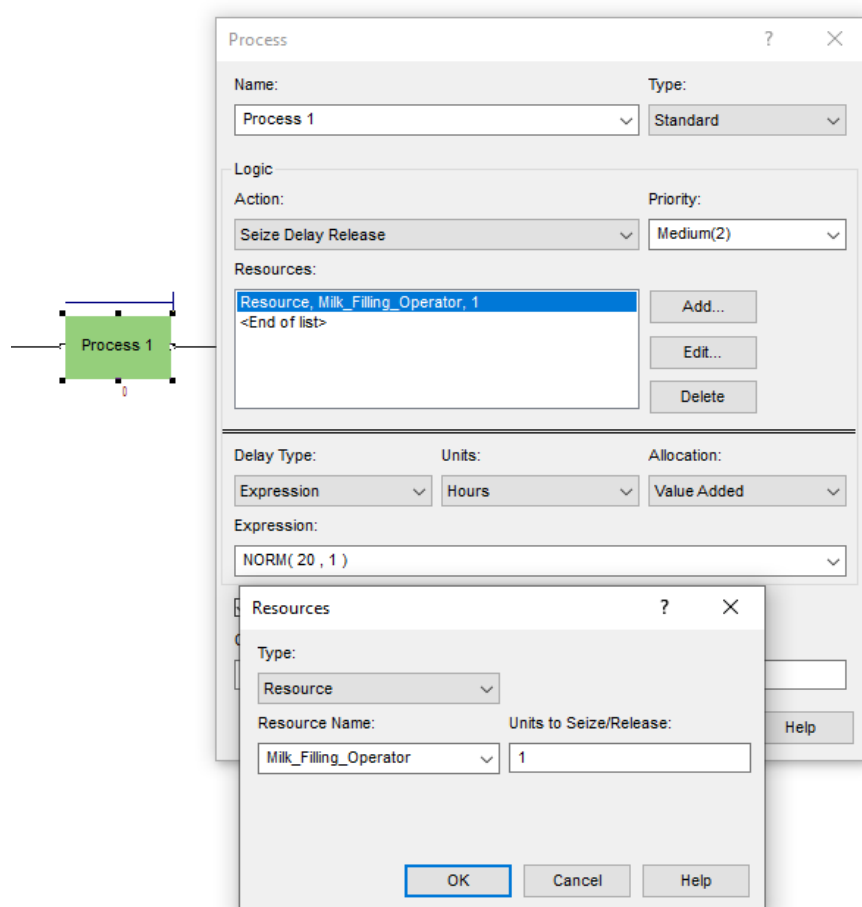
(εικόνα 18)

## 5.2.5 Εντολή “Process”

Η εντολή αυτή ορίζει μία διεργασία ή εργασία που υφίσταται η κάθε οντότητα (π.χ. επεξεργασία προϊόντος από έναν εργάτη). Εδώ ορίζουμε το όνομα και τον τύπο της διαδικασίας (Name και Type)

Ορίζουμε την ενέργεια που θέλουμε να κάνει. Εδώ έχουμε ορίσει “Seize Delay Release”, ώστε ο σταθμός εργασίας να δεσμευει μία οντότητα (seize), να την επεξεργάζεται με μία καθυστέρηση (delay) και να την απελευθερώνει αμέσως μετά (release)

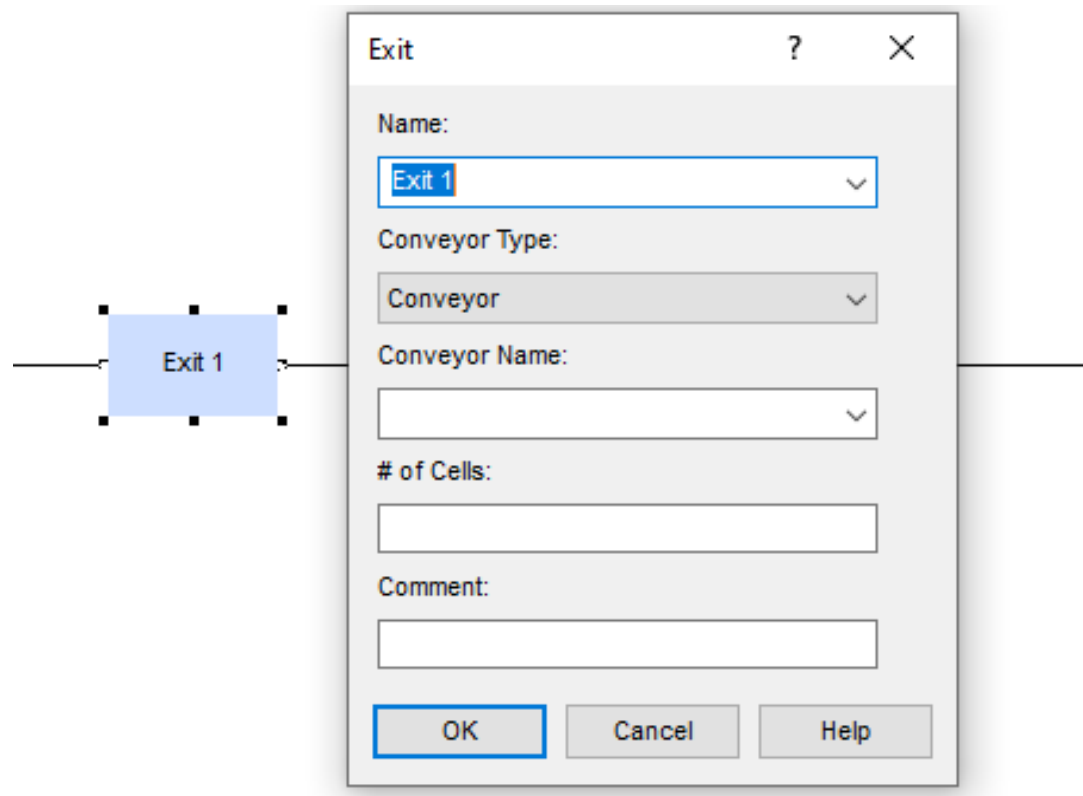
Στη συνέχεια ορίζουμε τον τύπο του process ως Resource, δηλαδή σταθμό εργασίας, ονομάζουμε τον χειριστή του resource “Milk\_Filling\_Oprator”, και ορίζουμε τις οντότητες που μπορεί κάθε φορά να επεξεργάζεται, εδώ π.χ. 1 οντότητα τη φορά.



(εικόνα 19)

### 5.2.5 Εντολή “Exit”

Η εντολή αυτή δηλώνει την Έξοδο από την Υπορουτίνα όταν έχουμε τελειώσει με όλες τις σχετικές ενέργειες. Ορίζουμε απλά ότι είναι Conveyor.



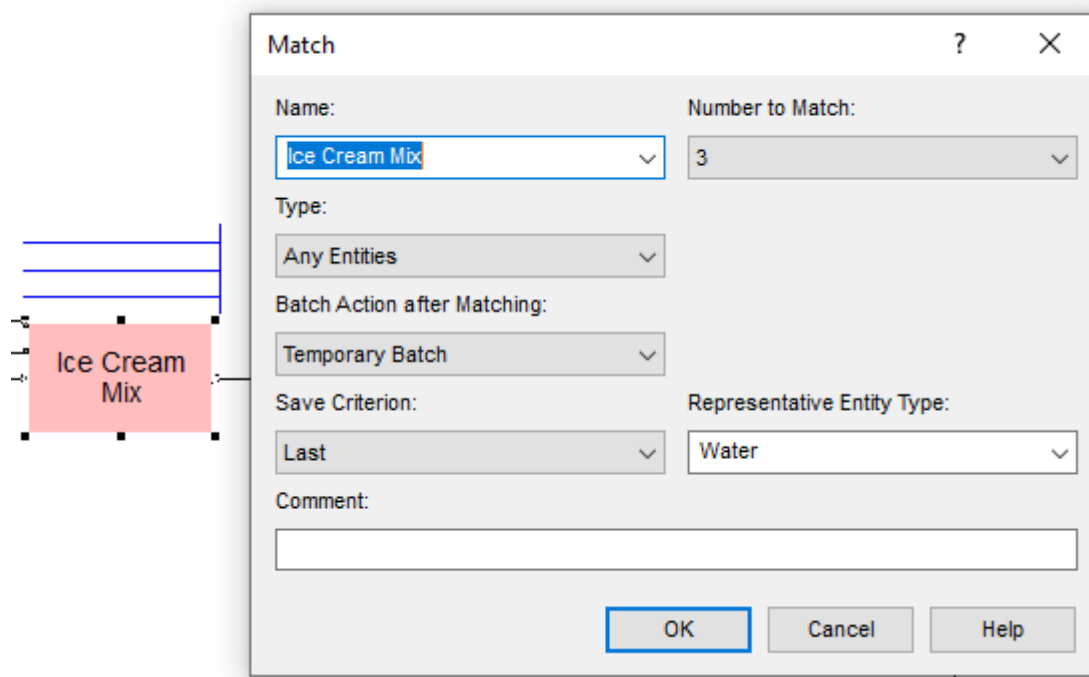
(εικόνα 20)



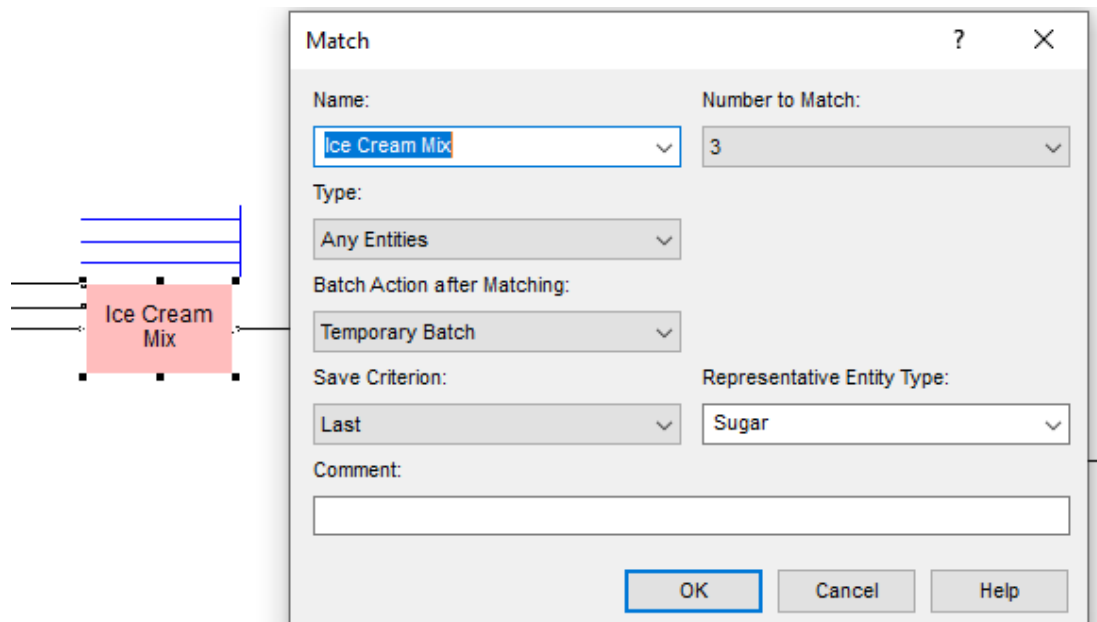
### 5.3 Ένωση (Match)

Αφού κάνουμε τα παραπάνω για κάθε συστατικό ξεχωριστά, ενώνουμε τα τρία συστατικά (Milk, Sugar, Water) με την εντολή Match. (Εδώ περικλείεται όλη η διαδικασία παραγωγής μείγματος που αναφέραμε στην ενότητα 3.2)

Εδώ ονομάζουμε την εντολή, και ορίζουμε τον αριθμό ένωσης οντοτήτων σε 3, αφού έχουμε 3 συστατικά. Επιλέγουμε ότι μπορούν να εισάθουν “Any entities” και ότι η συνένωση “Batch” είναι “Temporary”. Τέλος επιλέγουμε την οντότητα που θα εκπροσωπεί τη συνένωση όταν βγαίνει από το σταθμό, βάζουμε το νερό, γιατί η τελευταία διαδικασία ένωσης του μείγματος είναι η «Ένωση του Νερού με τους σταθεροποιητές». Δοκιμάσαμε να βάλουμε και τις άλλες ως Representative αλλά τα αποτελέσματα είναι όμοια και δεν υπάρχουν σημαντικές αποκλίσεις που μπορεί να επηρεάσουν το πρόβλημα.

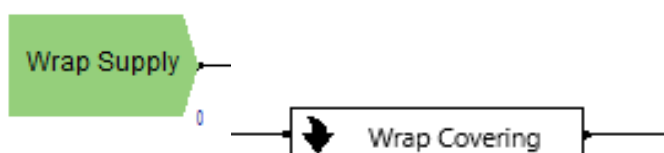


(εικόνα 21)



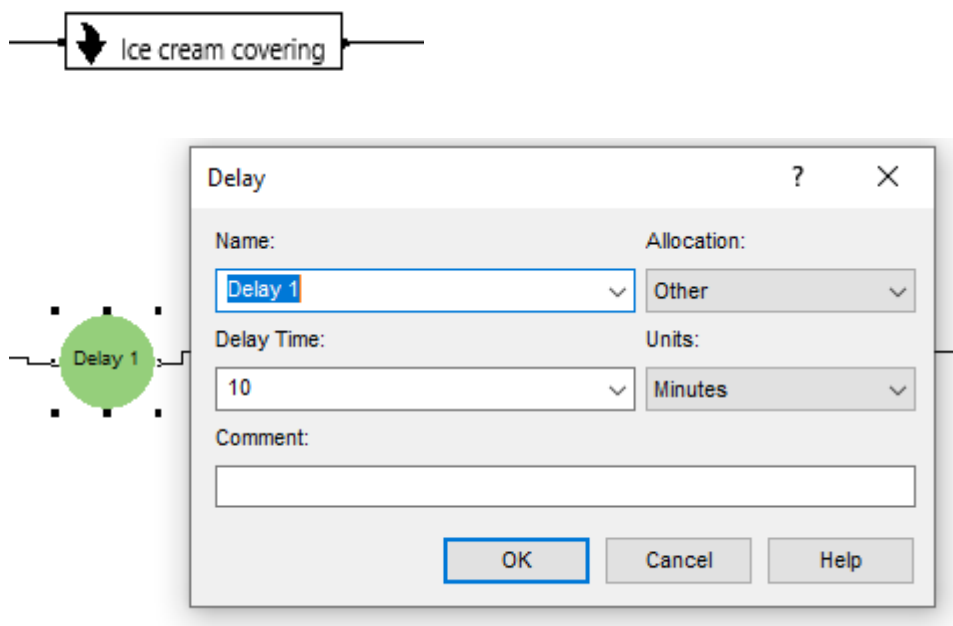
(εικόνα 23)

**5.4 Στο σημείο αυτό επαναλαμβάνουμε την ενότητα 1 για τα τυλίγματα συσκευασίας (wraps) και την ενότητα 2 για την υπορουτίνα “Wrap Covering”**



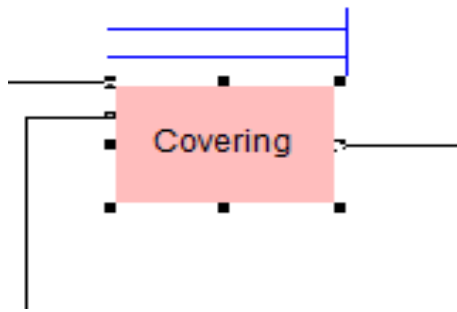
(εικόνα 24)

Στο σημείο αυτό επαναλαμβάνουμε την ενότητα 2 για την υπορουτίνα της επεξεργασίας παγωτού σαν μία ολόκληρη οντότητα. Η διαφορά εδώ θα είναι ότι προσθέτουμε την εντολή “Delay” στην υπορουτίνα ακριβώς μετά το Process, ώστε σκόπιμα να αποδώσουμε μία καθυστέρηση μηχανής στην επεξεργασία του παγωτού. Ορίζουμε την καθυστέρηση ως 10 λεπτά. Η καθυστέρηση αυτή προκύπτει από το γεγονός ότι η πιο σύνθετη και χρονοβόρα διαδικασία είναι το Covering, που απαιτεί ιδιαίτερη προσοχή σχετικά με τη διαδικασία ενσωμάτωσης αέρα στη συσκευασία.



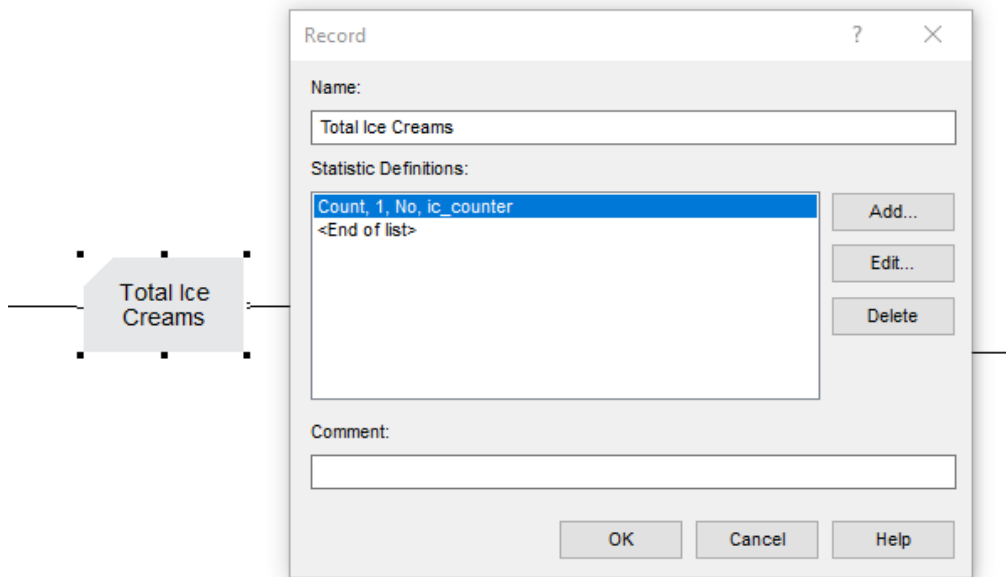
(εικόνα 25)

**5.5** Στο σημείο αυτό επαναλαμβάνουμε την ενότητα 3 για την ένωση του παγωτού με το περιτύλιγμα στο Match “Covering”.



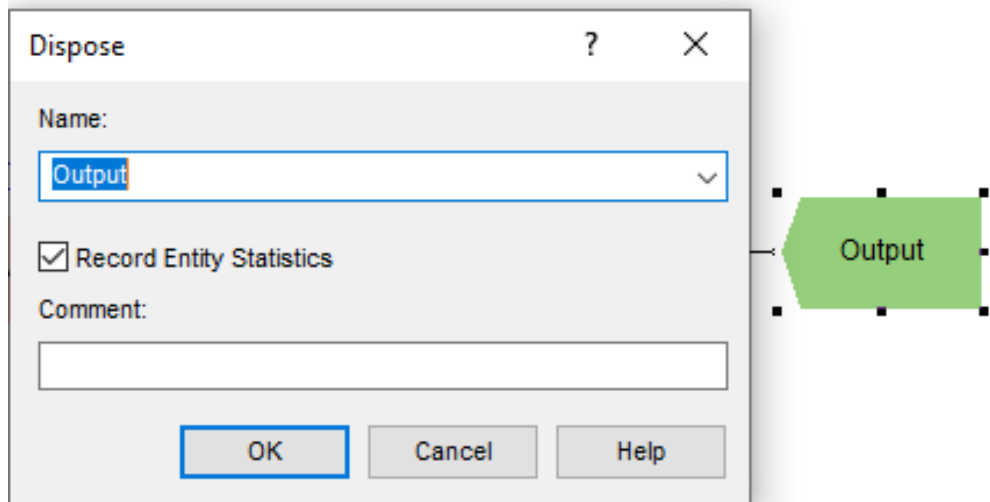
(εικόνα 26)

**5.6** Στο σημείο αυτό επαναλαμβάνουμε την ενότητα 2 για την υπορουτίνα του σφραγίσματος της πλήρους συσκευασίας “Sealing”. Η διαφορά εδώ είναι ότι υπάρχει και ένας μετρητής “Record” συνολικών συσκευασιών που βγαίνουν από την παραγωγή, ώστε να έχουμε εικόνα πόσα συνολικά έτοιμα προϊόντα παράχθηκαν στη διάρκεια της προσομοίωσης. Ορίζουμε τι θα κάνει (Count), πόσο θα μετράει κάθε φορά που περνάει μία οντότητα (+1), και το όνομά του.



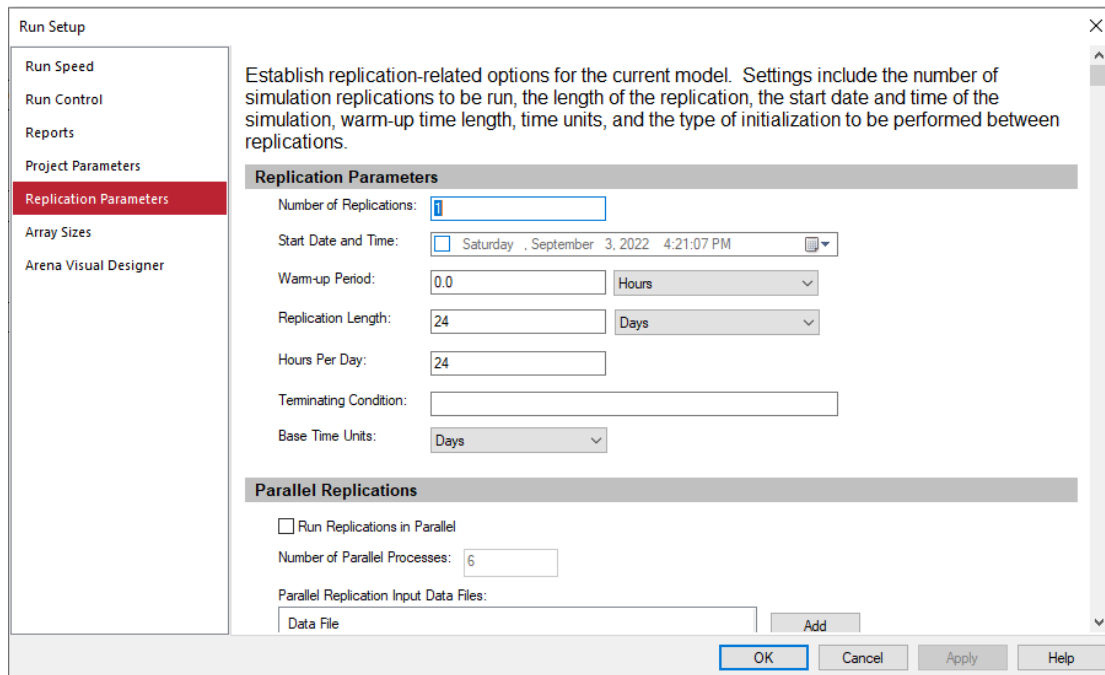
(εικόνα 27)

5.7 Στο καταληκτικό κομμάτι του σχεδιαγράμματος της προσομοίωσης, ορίζουμε την έξοδο των οντοτήτων από το σύστημα με την εντολή Output.



(εικόνα 28)

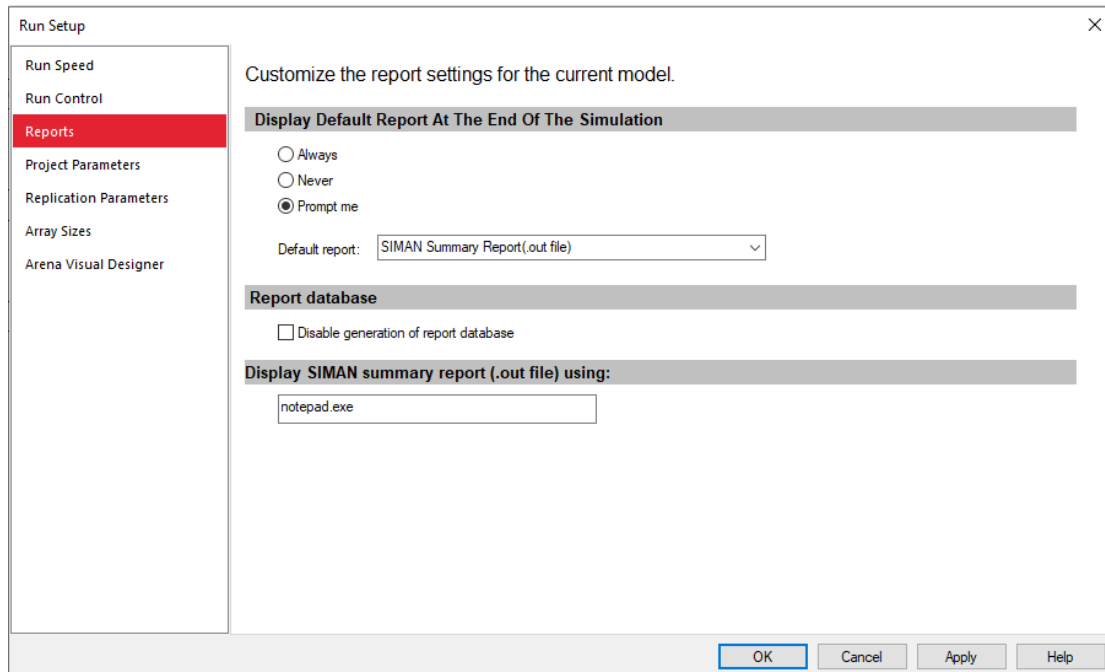
**5.8** Στο σημείο αυτό, ορίζουμε τις παραμέτρους πραγματοποίησης της προσομοίωσης (Run Setup), από την σχετική ενότητα «Replication Parameters». Θέτουμε ως χρόνο προσομοίωσης τις 24 εργάσιμες ημέρες που υπάρχουν σε ένα μήνα, θεωρώντας πως κάθε μέρα έχει 24 εργάσιμες ώρες (3 βάρδιες των 8 ωρών).



(εικόνα 29)

**5.9** Τέλος, ορίζουμε τον τρόπο εξαγωγής αποτελεσμάτων προς μελέτη (Run Setup), από την σχετική ενότητα «Reports». Ορίζουμε την ενημέρωση να πραγματοποιηθεί στο τέλος της προσομοίωσης, ερωτώντας μας κάθε φορά

(Prompt me) για την εξαγωγή μίας αναφοράς αποτελεσμάτων (Report) σε ένα αρχείο του Notepad



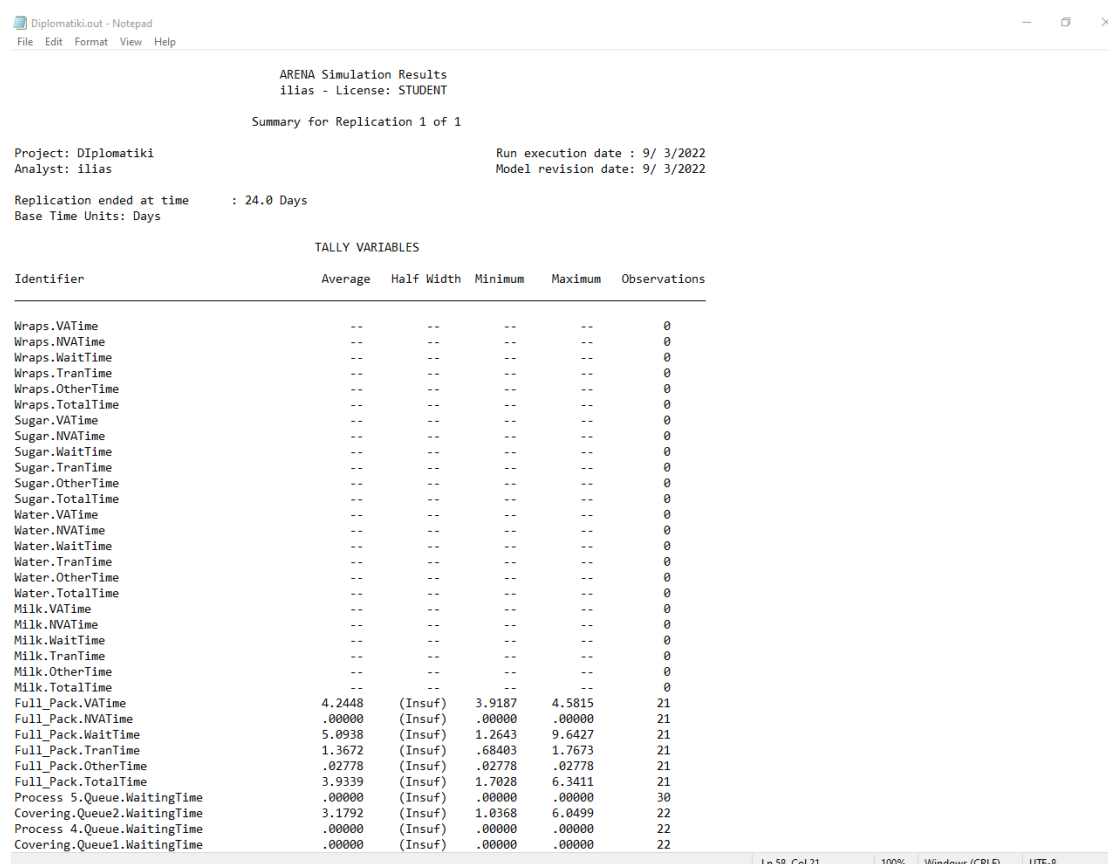
(εικόνα 30)



## 6 Ανάλυση αποτελεσμάτων και Συμπεράσματα

Η διαδικασία ανάλυσης των αποτελεσμάτων θα γίνει μέσω της αναφοράς (Report) που παράχθηκε στο βήμα 9. Της προηγούμενης ενότητας. Στην παρούσα ενότητα θα αναδειχθούν ορισμένοι παράγοντες αποτελεσμάτων που εκτιμάται ότι είναι ιδιαίτερης σημασίας για την εξαγωγή συμπερασμάτων, αλλά και για την εύρεση και διατύπωση προτάσεων βελτιστοποίησης του μοντέλου στη συνέχεια.

Οι παράγοντες αυτοί είναι σημαντικοί για την αποτύπωση του χρόνου των διαδικασιών και επομένως εκεί μπορούν να εντοπισθούν και να αντιμετωπιστούν οι παθογένειες που προκαλούν καθυστερήσεις στη διαδικασία παραγωγής παγωτού, που είναι και ο σκοπός της παρούσας εργασίας.



ARENA Simulation Results  
ilias - License: STUDENT  
Summary for Replication 1 of 1

Project: Diplomatiki  
Analyst: ilias  
Run execution date : 9/ 3/2022  
Model revision date: 9/ 3/2022

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

TALLY VARIABLES

Identifier	Average	Half Width	Minimum	Maximum	Observations
Wraps.VATime	--	--	--	--	0
Wraps.NVATime	--	--	--	--	0
Wraps.WaitTime	--	--	--	--	0
Wraps.TranTime	--	--	--	--	0
Wraps.OtherTime	--	--	--	--	0
Wraps.TotalTime	--	--	--	--	0
Sugar.VATime	--	--	--	--	0
Sugar.NVATime	--	--	--	--	0
Sugar.WaitTime	--	--	--	--	0
Sugar.TranTime	--	--	--	--	0
Sugar.OtherTime	--	--	--	--	0
Sugar.TotalTime	--	--	--	--	0
Water.VATime	--	--	--	--	0
Water.NVATime	--	--	--	--	0
Water.WaitTime	--	--	--	--	0
Water.TranTime	--	--	--	--	0
Water.OtherTime	--	--	--	--	0
Water.TotalTime	--	--	--	--	0
Milk.VATime	--	--	--	--	0
Milk.NVATime	--	--	--	--	0
Milk.WaitTime	--	--	--	--	0
Milk.TranTime	--	--	--	--	0
Milk.OtherTime	--	--	--	--	0
Milk.TotalTime	--	--	--	--	0
Full_Pack.VATime	4.2448	(Insuf)	3.9187	4.5815	21
Full_Pack.NVATime	.00000	(Insuf)	.00000	.00000	21
Full_Pack.WaitTime	5.0938	(Insuf)	1.2643	9.6427	21
Full_Pack.TranTime	1.3672	(Insuf)	.68403	1.7673	21
Full_Pack.OtherTime	.02778	(Insuf)	.02778	.02778	21
Full_Pack.TotalTime	3.9339	(Insuf)	1.7028	6.3411	21
Process 5.Queue.WaitingTime	.00000	(Insuf)	.00000	.00000	30
Covering.Queue2.WaitingTime	3.1792	(Insuf)	1.0368	6.0499	22
Process 4.Queue.WaitingTime	.00000	(Insuf)	.00000	.00000	22
Covering.Queue1.WaitingTime	.00000	(Insuf)	.00000	.00000	22

(εικόνα 31)

Στην αναφορά (Report), θα επικεντρωθούμε στο τμήμα των «Μεταβλητών Διακριτής Μεταβολής» (Discrete – Change Variables). Οι τιμές αναφοράς που δίνουμε προσοχή, είναι η στήλη με την ονομασία «Average», που απεικονίζει τις «Μέσες Τιμές» των εν προκειμένω μεγεθών υπό εξέταση.

DISCRETE-CHANGE VARIABLES

Identifier	Average	Half Width	Minimum	Maximum	Final Value
Wraps.WIP	4.7283	(Insuf)	.00000	9.0000	9.0000
Sugar.WIP	3.5581	(Insuf)	.00000	6.0000	6.0000
Water.WIP	2.4682	(Insuf)	.00000	4.0000	3.0000
Milk.WIP	2.5121	(Insuf)	.00000	4.0000	4.0000
Full_Pack.WIP	.38528	(Insuf)	.00000	1.0000	1.0000
Water_Filling_Operator.NumberBusy	.79926	(Insuf)	.00000	1.0000	1.0000
Water_Filling_Operator.NumberScheduled	1.0000	(Insuf)	1.0000	1.0000	1.0000
Water_Filling_Operator.Utilization	.79926	(Insuf)	.00000	1.0000	1.0000
Wrap_Cover_Operator.NumberBusy	.28835	(Insuf)	.00000	1.0000	.00000
Wrap_Cover_Operator.NumberScheduled	1.0000	(Insuf)	1.0000	1.0000	1.0000
Wrap_Cover_Operator.Utilization	.28835	(Insuf)	.00000	1.0000	.00000
ic_Cover_Operator.NumberBusy	.26423	(Insuf)	.00000	1.0000	.00000
ic_Cover_Operator.NumberScheduled	1.0000	(Insuf)	1.0000	1.0000	1.0000
ic_Cover_Operator.Utilization	.26423	(Insuf)	.00000	1.0000	.00000
Sugar_Filling_Operator.NumberBusy	.86916	(Insuf)	.00000	1.0000	.00000
Sugar_Filling_Operator.NumberScheduled	1.0000	(Insuf)	1.0000	1.0000	1.0000
Sugar_Filling_Operator.Utilization	.86916	(Insuf)	.00000	1.0000	.00000
Milk_Filling_Operator.NumberBusy	.82749	(Insuf)	.00000	1.0000	.00000
Milk_Filling_Operator.NumberScheduled	1.0000	(Insuf)	1.0000	1.0000	1.0000
Milk_Filling_Operator.Utilization	.82749	(Insuf)	.00000	1.0000	.00000
Sealing_Operator.NumberBusy	.31330	(Insuf)	.00000	1.0000	1.0000
Sealing_Operator.NumberScheduled	1.0000	(Insuf)	1.0000	1.0000	1.0000
Sealing_Operator.Utilization	.31330	(Insuf)	.00000	1.0000	1.0000
Process 5.Queue.NumberInQueue	.00000	(Insuf)	.00000	.00000	.00000
Covering.Queue2.NumberInQueue	3.8535	(Insuf)	.00000	8.0000	8.0000
Process 4.Queue.NumberInQueue	.00000	(Insuf)	.00000	.00000	.00000
Covering.Queue1.NumberInQueue	.00000	(Insuf)	.00000	1.0000	.00000
Process 2.Queue.NumberInQueue	.00000	(Insuf)	.00000	.00000	.00000
Process 6.Queue.NumberInQueue	.00000	(Insuf)	.00000	.00000	.00000
Access 6.Queue.NumberInQueue	.02424	(Insuf)	.00000	1.0000	.00000
Access 5.Queue.NumberInQueue	.06659	(Insuf)	.00000	1.0000	.00000
Access 4.Queue.NumberInQueue	.02912	(Insuf)	.00000	1.0000	.00000
Access 3.Queue.NumberInQueue	.03470	(Insuf)	.00000	1.0000	.00000
Access 2.Queue.NumberInQueue	.08465	(Insuf)	.00000	1.0000	1.0000
Access 1.Queue.NumberInQueue	.03530	(Insuf)	.00000	1.0000	.00000
Ice Cream Mix.Queue1.NumberInQueue	.60389	(Insuf)	.00000	2.0000	2.0000
Ice Cream Mix.Queue2.NumberInQueue	1.2174	(Insuf)	.00000	3.0000	3.0000
Ice Cream Mix.Queue3.NumberInQueue	.02249	(Insuf)	.00000	1.0000	.00000
Process 1.Queue.NumberInQueue	.00000	(Insuf)	.00000	.00000	.00000
Process 3.Queue.NumberInQueue	.00000	(Insuf)	.00000	.00000	.00000

(εικόνα 32)

Επιπλέον θα εξάγουμε σημαντικά συμπεράσματα και από την ενότητα των «Εξόδων» (Outputs), επικεντρώνοντας την προσοχή μας στη μοναδική στήλη «Value» της ενότητας.

OUTPUTS	
Identifier	Value
Wraps.NumberIn	30.000
Wraps.NumberOut	21.000
Sugar.NumberIn	27.000
Sugar.NumberOut	21.000
Water.NumberIn	45.000
Water.NumberOut	42.000
Milk.NumberIn	25.000
Milk.NumberOut	21.000
Full_Pack.NumberIn	22.000
Full_Pack.NumberOut	21.000
Water_Filling_Operator.NumberSeized	23.000
Water_Filling_Operator.ScheduledUtilization	.79926
Wrap_Cover_Operator.NumberSeized	30.000
Wrap_Cover_Operator.ScheduledUtilization	.28835
ic_Cover_Operator.NumberSeized	22.000
ic_Cover_Operator.ScheduledUtilization	.26423
Sugar_Filling_Operator.NumberSeized	25.000
Sugar_Filling_Operator.ScheduledUtilization	.86916
Milk_Filling_Operator.NumberSeized	24.000
Milk_Filling_Operator.ScheduledUtilization	.82749
Sealing_Operator.NumberSeized	22.000
Sealing_Operator.ScheduledUtilization	.31330
System.NumberOut	21.000

(εικόνα 33)

### **Έξοδοι (Outputs)**

Εδώ θα χρησιμοποιηθούν οι συνολικές παρατηρήσεις που εισάχθηκαν στο σύστημα («NumberIn») και οι συνολικές παρατηρήσεις που εξήχθησαν από το σύστημα («NumberOut»), προκειμένου να υπολογίσουμε ένα ποσοστό ολοκλήρωσης διεργασιών ( $\text{NumberOut} / \text{NumberIn}$ ) και να συμπεράνουμε εάν το μοντέλο μας διεξάγει την παραγωγή με ικανοποιητικό ρυθμό και αποτελεσματικότητα.

Λαμβάνοντας τιμές από τον Πίνακα 2 του Παραρτήματος, μπορούμε να υπολογίσουμε τα παρακάτω ποσοστά για κάθε κατηγορία:

**Πρώτες ύλες** Στις πρώτες ύλες εντοπίζουμε ένα ικανοποιητικό ποσοστό διεκπεραίωσης των οντοτήτων, με την μικρότερη διεκπεραίωση στη Ζάχαρη.

- **Γάλα:**  $\text{NumberOut} / \text{NumberIn} = 21/25 = 84\%$
- **Ζάχαρη:**  $\text{NumberOut} / \text{NumberIn} = 21/27 = 77\%$
- **Νερό:**  $\text{NumberOut} / \text{NumberIn} = 42/45 = 93\%$

**Πλαστικές συσκευασίες** Στις πλαστικές συσκευασίες εντοπίζουμε ένα μέτριο ποσοστό διεκπεραίωσης των οντοτήτων.

- $\text{NumberOut} / \text{NumberIn} = 21/30 = 70\%$

**Πλήρες Πακέτο** Στα «Πλήρη πακέτα», δηλαδή στα συσκευασμένα παγωτά, έτοιμα προς έξοδο από τη γραμμή παραγωγής εντοπίζουμε ένα σχεδόν άριστο ποσοστό διεκπεραίωσης των οντοτήτων.

- $\text{NumberOut} / \text{NumberIn} = 21/22 = 95\%$

### **Μεταβλητές Διακριτής Μεταβολής**

Σε αυτό το τμήμα εστιάζουμε περισσότερο σε τρία σημαντικά μεγέθη για την εκάστοτε οντότητα ή εξυπηρετητή, προκειμένου να αντλήσουμε χρήσιμα συμπεράσματα σχετικά με τις καθυστερήσεις που προκύπτουν στη γραμμή παραγωγής:

- **WIP (Work In Process):** Εργασίες υπό επεξεργασία ( WIP ) ή εργασίες σε εξέλιξη ( WIP ), ή αγαθά υπό επεξεργασία, ή απόθεμα υπό επεξεργασία αναφέρεται στα μερικώς έτοιμα προϊόντα της εταιρείας σε αναμονή για την ολοκλήρωση και την τελική πώληση ή την αξία αυτών των ειδών.
- **Utilization:** Είναι το ποσοστό χρόνου που χρησιμοποιήθηκε ένας σταθμός επεξεργασίας (Process) σε σχέση με το διαθέσιμο χρόνο που είχε.
- **NumberInQueue:** Είναι ο αριθμός οντοτήτων που περίμεναν στην ουρά του εκάστοτε σταθμού ή διαδικασίας

(Όλες οι τιμές είναι σε μέσους όρους «Average», όπως αναφέραμε νωρίτερα και λαμβάνονται από τον Πίνακα 1 του Παραρτήματος)

### **Πρώτες ύλες**

Όπως εξετάσαμε και νωρίτερα, οι πρώτες ύλες έχουν έναν αρκετά ικανοποιητικό βαθμό διεκπεραίωσης, με τον μικρότερο βαθμό να τον παρουσιάζουν οι οντότητες της ζάχαρης (77%).

WIP

Τα WIP για το Γάλα, τη Ζάχαρη και το Νερό είναι 2.5121, 3.5581 και 2.4682 αντίστοιχα. Παρατηρούμε ότι όλα έχουν ένα αξιοσημείωτο WIP με το μεγαλύτερο να εντοπίζεται στις οντότητες της Ζάχαρης.

#### Utilization

Τα Utilization για τους επεξεργαστές του Γάλακτος, της Ζάχαρης και του Νερού είναι 0.82749, 0.86916 και 0.79926 αντίστοιχα.

Παρατηρούμε ότι χρησιμοποιήθηκαν περισσότερο οι σταθμοί επεξεργασίας του Γάλακτος και της Ζάχαρης, με αυτόν της Ζάχαρης να έχει το μεγαλύτερο ποσοστό απασχόλησης (86%)

- NumberInQueue:

Τα NumberInQueue για την αναμονή των οντοτήτων πριν την επεξεργασία τους (Processing), για το Γάλα, τη Ζάχαρη και το Νερό είναι 0.03530, 0.08465 και 0.03470 αντίστοιχα. Παρατηρούμε έναν πολύ σημαντικότερο αριθμό οντοτήτων στην ουρά του Access της Ζάχαρης, σχεδόν κατά 2.5 φορές μεγαλύτερο από τις υπόλοιπες ουρές.

Αξιοσημείωτο είναι επίσης ότι η ουρά 2 (Ζάχαρης) της συνένωσης του μείγματος ("Ice Cream Mix.Queue2.NumberInQueue") έχει τις περισσότερες οντότητες, με μέσο όρο 1.2174 οντότητες.

Εξάγεται, επομένως το εξής συνολικότερο συμπέρασμα:

- Οι οντότητες της Ζάχαρης, έχουν άφιξη με τον ίδιο ρυθμό με τις υπόλοιπες πρώτες ύλες
- Περιμένουν περισσότερο στην ουρά πριν από την επεξεργασία τους
- Ο επεξεργαστής της Ζάχαρης δουλεύει περισσότερο από τους άλλους επεξεργαστές
- Περιμένουν περισσότερο στην ουρά πριν τη συνένωσή τους σε μείγμα με τις υπόλοιπες πρώτες ύλες.
- Το WIP τους είναι το μεγαλύτερο από τις υπόλοιπες οντότητες.

Επομένως γίνεται εύκολα αντιληπτό ότι οφείλουμε να εξετάσουμε προσεκτικά το κομμάτι της ζάχαρης, σε ότι αφορά τις μεγαλύτερες καθυστερήσεις και να διατυπώσουμε τις κατάλληλες προτάσεις.

## 1. Πλαστικές συσκευασίες

Όπως εξετάσαμε νωρίτερα, οι πλαστικές συσκευασίες έχουν ένα μέτριο ποσοστό διεκπεραίωσης των οντοτήτων.

- **WIP**

Το WIP για τις πλαστικές συσκευασίες είναι 4.7283 κατά μέσο όρο.

Παρατηρούμε ένα αρκετά μεγάλο WIP, μεγαλύτερο από όλα τα υπόλοιπα όλων των οντοτήτων του μοντέλου.

- **Utilization**

Το Utilization για την επεξεργασία των πλαστικών συσκευασιών είναι 0.28835 .

Παρατηρούμε ότι είναι ένα αρκετά μικρό ποσοστό απασχόλησης του επεξεργαστή (28%)

- **NumberInQueue**

Το NumberInQueue για την αναμονή των πακέτων πριν από την επεξεργασία τους (Wrap Covering) είναι 0.06659 κατά μέσο όρο.

Παρατηρούμε ένα σημαντικό αριθμό οντοτήτων στην ουρά της επεξεργασίας των πλαστικών συσκευασιών.

Αξιοσημείωτο είναι επίσης ότι η ουρά 2 (Συσκευασίες) της συνένωσης του μείγματος με τις συσκευασίες (“Covering.Queue2.NumberInQueue”) έχει τις περισσότερες οντότητες, με μέσο όρο 3.8535 οντότητες.

Εξάγεται, επομένως το εξής συνολικότερο συμπέρασμα:

- Οι πλαστικές συσκευασίες έχουν μία σημαντική αναμονή στην ουρά πριν από την επεξεργασία τους.
- Ο επεξεργαστής των πλαστικών συσκευασιών δουλεύει για ένα πολύ μικρό ποσοστό του διαθέσιμου χρόνου του.
- Οι πλαστικές συσκευασίες έχουν μία πολύ μεγάλη αναμονή στην ουρά πριν από την ένωσή τους με το μείγμα του παγωτού.
- Το WIP των πλαστικών συσκευασιών είναι το μεγαλύτερο από όλες τις οντότητες του μοντέλου

Επομένως γίνεται εύκολα αντιληπτό ότι οφείλουμε να εξετάσουμε προσεκτικά και το κομμάτι των πλαστικών συσκευασιών, σε ότι αφορά τις μεγαλύτερες καθυστερήσεις και να διατυπώσουμε τις κατάλληλες προτάσεις.

## 2. Πλήρες Πακέτο

Όπως εξετάσαμε νωρίτερα, τα Πλήρη Πακέτα έχουν ένα πολύ καλό ποσοστό διεκπεραίωσης των οντοτήτων, το μεγαλύτερο όλου του μοντέλου.

- WIP

Το WIP για τα Πλήρη Πακέτα είναι 0.38528 κατά μέσο όρο.

Παρατηρούμε ότι είναι αρκετά μικρό και ικανοποιητικό, το μικρότερο όλων των οντοτήτων του προβλήματος.

- Utilization

Το Utilization για την επεξεργασία των Πλήρων Πακέτων είναι 0.31330 κατά μέσο όρο.

Παρατηρούμε ότι είναι ένα αρκετά μικρό ποσοστό απασχόλησης του επεξεργαστή (31%)

- NumberInQueue

Το NumberInQueue για την αναμονή των πλήρων πακέτων πριν από την επεξεργασία τους (Sealing) είναι 0 .02424 κατά μέσο όρο.

Παρατηρούμε έναν πολύ μικρό αριθμό οντοτήτων στην ουρά της επεξεργασίας των Πλήρων Πακέτων.

Εξάγεται, επομένως το εξής συνολικότερο συμπέρασμα:

- Τα πλήρη πακέτα έχουν μία πολύ μικρή αναμονή στην ουρά πριν την επεξεργασία τους.
- Ο επεξεργαστής των πλήρων πακέτων δουλεύει για ένα αρκετά μικρό ποσοστό του διαθέσιμου χρόνου του.
- Το WIP των πλήρων πακέτων είναι πολύ μικρό, το μικρότερο όλων των οντοτήτων του μοντέλου

Επομένως γίνεται εύκολα αντιληπτό ότι μπορούμε να παραλείψουμε το κομμάτι των πλήρων πακέτων, σε ότι αφορά τις καθυστερήσεις, καθώς δεν φαίνεται εκ πρώτης όψεως να συμβάλουν σε αξιοπρόσεκτο βαθμό σε αυτές.

### **Συνολικό Συμπέρασμα:**

Οι καθυστερήσεις που δημιουργεί η διαδικασία επεξεργασίας των πρώτων υλών, με ιδιαίτερη έμφαση σε αυτή της Ζάχαρης, θα προσεχθούν ιδιαίτερα στην επόμενη ενότητα, ως καθυστερήσεις που δημιουργούνται ανεξάρτητα.

Το σκέλος των σημαντικών καθυστερήσεων που παρουσιάζουν οι οντότητες των πλαστικών συσκευασιών είναι εξίσου σημαντικός, αλλά η εξέτασή τους θα γίνει πάντοτε υπό το πρίσμα ότι στη συνένωση (Match) της διαδικασίας “Covering” οι πλαστικές συσκευασίες αναμένουν τις αφίξεις του συνολικού μείγματος του παγωτού πριν προχωρήσουν στη συνένωσή τους σε «Πλήρη Πακέτα». Επομένως αυτός ο παράγοντας αναμένεται να συμβάλει σημαντικά στις καθυστερήσεις που εμφανίζονται στο τμήμα των οντοτήτων των πλαστικών συσκευασιών.



## 7 Προτάσεις βελτιστοποίησης

Όπως είδαμε στην προηγούμενη ενότητα, θα εξετάσουμε συγκεκριμένους παράγοντες βελτιστοποίησης, οι οποίοι φαίνονται να επηρεάζουν το πρόβλημα περισσότερο, δημιουργώντας τις μεγαλύτερες καθυστερήσεις.

Η παρούσα εργασία εξετάζει αποκλειστικά τους τρόπους μείωσης του ενεργού WIP. Επομένως υποθέτοντας ότι η συνολική διαδικασία παραγωγής θέλουμε να παραμείνει σταθερή και να μην αυξηθεί ή εντατικοποιηθεί, θα επικεντρωθούμε αποκλειστικά τους παράγοντες που παρουσιάζουν τους μεγάλους αριθμούς WIP.

Δεδομένου αυτού, οι σημαντικότεροι παράγοντες υπό εξέταση είναι οι πρώτες ύλες, με έμφαση στις οντότητες της ζάχαρης, και οι οντότητες των πλαστικών συσκευασιών.

### 1. Πρώτες ύλες

Επικεντρώνοντας την προσοχή μας στα στοιχεία που παρουσιάστηκαν για τις οντότητες της Ζάχαρης μπορούν να καταβληθούν οι παρακάτω προτάσεις βελτιστοποίησης:

- Καλύτερη διαχείριση των αφίξεων των πακέτων Ζάχαρης, με μείωση του ρυθμού αφίξεών τους.

Δεν προτείνεται κάποια αύξηση του ρυθμού επεξεργασίας της ζάχαρης από τον επεξεργαστή, καθώς παρατηρούμε ότι το μεγάλο WIP δημιουργείται, παρ' όλο που ο επεξεργαστής ζάχαρης είναι κατειλημμένος για ένα 86% του διαθέσιμου χρόνου του.

Εκτιμάται ότι μία αύξηση της παραγωγικότητας του επεξεργαστή θα οδηγούσε σε ακόμη μεγαλύτερη συσσώρευση ζάχαρης στην ουρά της συνένωσης «Ice cream mix», όπου ήδη παρουσιάζεται μεγάλη ουρά.

Θα μπορούσε να προταθεί η αύξηση αφίξεων των υπόλοιπων οντοτήτων των πρώτων υλών, αλλά αυτό αναμένεται να δημιουργήσει μεγαλύτερη συσσώρευση και μεγαλύτερες ουρές σε επόμενες επεξεργασίες. Στην περίπτωση που θα προτεινόταν κάτι τέτοιο, θα έπρεπε ταυτόχρονα να αναζητηθούν λύσεις αύξησης της παραγωγικότητας των υπόλοιπων επεξεργαστών.

## 2. Πλαστικές συσκευασίες:

Επικεντρώνοντας την προσοχή μας στα στοιχεία που παρουσιάστηκαν για τις οντότητες των πλαστικών συσκευασιών, μπορούν να καταβληθούν οι παρακάτω προτάσεις βελτιστοποίησης:

- Καλύτερη διαχείριση των αφίξεων των πλαστικών συσκευασιών, με μείωση του ρυθμού αφίξεών τους.

Εδώ είναι αρκετά ξεκάθαρο ότι με έναν φυσιολογικό αριθμό άφιξης των συγκεκριμένων οντοτήτων, παρουσιάζεται μία αρκετά μεγάλη συσσώρευση τους σε όλες τις ουρές, κάτι που εκφράζεται στο WIP.

Κάποιος μπορεί να αντλήσει εύκολα το συμπέρασμα (παρατηρώντας και το animation του ARENA), ότι όλη η καθυστέρηση αυτή οφείλεται στην προϋπάρχουσα καθυστέρηση αφίξεων του μείγματος του παγωτού στη συνένωση “Covering”.

## Reference:

## Βιβλιογραφία

- Κυρίου, Β., 2015. Προδιαγραφές γραμμής παραγωγής παγωτού ΕΒΓΑ.
- Aboufazli, F., Shori, A.B., Baba, A.S. Effects of the replacement of cow milk with vegetable milk on probiotics and nutritional profile of fermented ice cream. *LWT - Food Science and Technology*, 2016, 70(1): 261- 270.
- Birdi, K., Clegg, C., Patterson, M., Robinson, A., Stride, C.B., Wall, T.D. and Wood, S.J., 2008. The impact of human resource and operational management practices on company productivity: A longitudinal study. *Personnel psychology*, 61(3), pp.467-501.
- Bocker, R. and Silva, E.K., 2021. Innovative technologies for manufacturing plant-based non-dairy alternative milk and their impact on nutritional, sensory and safety aspects. *Future Foods*, p.100098.
- Brynjolfsson, E. and McAfee, A., 2014. *The Second Machine Age: Work, Progress, and Prosperity in a Time of Brilliant Technologies*, New York: W.W. Norton & Co. pp. 72-73.
- Brynjolfsson, E. and Yang, S., 1996. Information technology and productivity: a review of the literature. *Advances in computers*, 43, pp.179-214.
- Goff, H.D., 1997. Colloidal aspects of ice cream—a review. *International Dairy Journal*, 7(6-7), pp.363-373.
- Goff, H.D. and Hartel, R.W., 2013. *Formulations for Specialty Products. Ice Cream*, pp.437-453.
- Goff, H.D. and Hartel, R.W., 2013. Ice cream structure. *Ice cream*, pp.313-352.
- Grönroos, C., 2001. The perceived service quality concept—a mistake?. *Managing Service Quality: An International Journal*.
- Guetouache, M., Guessas, B. and Medjekal, S., 2014. Composition and nutritional value of raw milk. *J Issues Biol Sci Pharm Res*, 2350, p.1588.
- Hartel, R.W., 1996. Ice crystallization during the manufacture of ice cream. *Trends in Food Science & Technology*, 7(10), pp.315-321.
- Homayouni, A., Azizi, A., Javadi, M. Factors influencing probiotic survival in ice cream: A review. *International Journal of Dairy Science*, 2012, 7(1): 1-10.
- Homayouni, A., Javadi, M., Ansari, F., Pourjafar, H., Jafarzadeh, M. and Barzegar, A., 2018. Advanced methods in ice cream analysis: a review. *Food Analytical Methods*, 11(11), pp.3224-3234.
- Karaman, A.D., Özer, B., Pascall, M.A. and Alvarez, V., 2015. Recent advances in dairy packaging. *Food Reviews International*, 31(4), pp.295-318.
- Krugman, P., 1994. Proving my point. *Foreign Affairs*, 73(4), pp.198-203.
- Kumar, D.D., Mann, B., Pothuraju, R., Sharma, R., Bajaj, R., Minaxi. Formulation and characterization of nanoencapsulated curcumin using sodium caseinate and its incorporation in ice cream. *Food and Function*, 2016, 7(1): 417-424.

- Mohnen, P. and Hall, B.H., 2013. Innovation and productivity: An update. *Eurasian Business Review*, 3(1), pp.47-65.
- Malik, P., Kempanna, C., Paul, A. Quality characteristics of ice cream enriched with spirulina powder. *International Journal of Food and Nutritional Sciences*, 2013, 2(1): 44- 50.
- Ranadheera, C.S., Evans, C.A., Adams, M.C., Baines, S.K. Production of probiotic ice cream from goat's milk and effect of packaging materials on product quality. *Small Ruminant Research*, 2013, 112(1-3): 174-180.
- Rizk, E. M., El-Kady, A. T., El-Bialy, A. R. Characterization of carotenoids (lyco-red) extracted from tomato peels and its uses as natural colorants and antioxidants of ice cream. *Annals of Agricultural Science*, 2014, 59(1): 53-61.
- Rüßmann, M., Lorenz, M., Gerbert, P., Waldner, M., Justus, J., Engel, P. and Harnisch, M., 2015. Industry 4.0: The future of productivity and growth in manufacturing industries. *Boston consulting group*, 9(1), pp.54-89.
- Salgueiro, L., Martins, A.P. and Correia, H., 2010. Raw materials: the importance of quality and safety. A review. *Flavour and Fragrance Journal*, 25(5), pp.253-271.
- Silva, P.D.L., Bezerra, M.F., Santos, K.M.O., Correia, R.T.P. Potentially probiotic ice cream from goat's milk, Characterization and cell viability during processing, storage and simulated gastrointestinal conditions. *LWT - Food Science and Technology*, 2015, 62(1): 452-457.
- Shingo, S. and Dillon, A.P., 1989. A study of the Toyota production system: From an Industrial Engineering Viewpoint. *CRC Press*.
- Sun-Waterhouse, D., Edmonds, L., Wadhwa, S.S., Wibisono, R. Producing ice cream using a substantial amount of juice from kiwifruit with green, gold or red flesh. *Food Research International*, 2013, 50(2): 647-656.
- Vasiljevic, T., Shah, N.P. Probiotics-from Metchnikoff to bioactives. *International Dairy Journal*, 2008, 18(7): 714-728.