

ΠΟΛΥΤΕΧΝΕΙΟ ΚΡΗΤΗΣ

**ΣΧΟΛΗ ΜΗΧΑΝΙΚΩΝ
ΠΑΡΑΓΩΓΗΣ ΚΑΙ ΔΙΟΙΚΗΣΗΣ**



**ΠΡΟΣΟΜΟΙΩΣΗ ΠΑΡΑΓΩΓΗΣ ΦΡΕΣΚΟΥ
ΓΑΛΑΚΤΟΣ ΣΤΗ ΒΙΟΜΗΧΑΝΙΑ
ΣΤΑΜΟΥ ΑΒΕΕ**

ΑΤΤΙΛΑ ΑΚΑΤΣ

Επιβλέπων:
Βασίλειος Κουϊκόγλου

Στην οικογένεια μου.

Ευχαριστίες

Με αφορμή την ολοκλήρωση της διπλωματικής εργασίας, θα ήθελα να ευχαριστήσω τον επιβλέποντα καθηγητή κ. Βασίλειο Κουϊκόγλου για την πολύτιμη βοήθεια του, τις συμβουλές του σε τεχνικό και θεωρητικό επίπεδο, καθώς και την άψογη συνεργασία που είχαμε καθ' όλη τη διάρκεια εκπόνησης της. Επιπλέον θα ήθελα να ευχαριστήσω όλους τους φίλους μου για την στήριξη που μου παρείχαν όλο αυτό το διάστημα.

Τέλος θα ήθελα να ευχαριστήσω τους υπεύθυνους της βιομηχανίας ΣΤΑΜΟΥ ΑΒΕΕ και ιδιαίτερα τον πρόεδρο και ιδιοκτήτη της εταιρίας Γεώργιο Στάμου και τον Μηχανικό Παραγωγής της εταιρείας κ. Θεόδωρο Πλακετά, για την παροχή των απαιτούμενων πληροφοριών που οδήγησαν στην επιτυχή ολοκλήρωση της παρούσας διπλωματικής εργασίας και για τις ώρες που διέθεσαν σε μένα για την επίλυση αποριών και την εύρεση σχετικών πληροφοριών.

Περίληψη

Στη παρούσα διπλωματική εργασία αναπτύσσεται ένα μοντέλο προσομοίωσης της γραμμής παραγωγής φρέσκου γάλακτος της βιομηχανίας ΣΤΑΜΟΥ ABEE και γίνεται εκτίμηση διαφόρων μέτρων απόδοσης του συστήματος. Η έρευνα βασίζεται στη χρήση δεδομένων για τα οποία έχει εξασφαλιστεί σχετική άδεια και στη χρήση του ειδικού λογισμικού προσομοίωσης Arena Simulation. Συγκεκριμένα, εξετάζεται ένας αριθμός προϊόντων φρέσκου γάλακτος, τα στάδια επεξεργασίας τους και βασικές παράμετροι που επηρεάζουν τη διαδικασία παραγωγής. Από την εκτέλεση προσομοιώσεων εκτιμώνται στατιστικές παράμετροι των ποσοτήτων και χρόνων παραγωγής, των αποθεμάτων και καθυστερήσεων σε κάθε στάδιο της γραμμής και συνολικά. Τα στοιχεία αυτά δίνουν την απαραίτητη πληροφορία για την εκτίμηση της απόδοσης του συστήματος και για τον εντοπισμό των σημείων της παραγωγικής διαδικασίας τα οποία χρήζουν βελτιώσεων.

Από τη μελέτη των αποτελεσμάτων των προσομοιώσεων της υπάρχουσας γραμμής παραγωγής και κάποιων βασικών ρεαλιστικών σεναρίων, εντοπίζονται κρίσιμες παράμετροι/στάδια της γραμμής παραγωγής που επιδρούν στη παραγωγικότητα της γραμμής και παραμέτρους που χρήζουν βελτιώσεων. Σε τελικό στάδιο πραγματοποιείται σύγκριση της υπάρχουσας γραμμής παραγωγής με τα εναλλακτικά ρεαλιστικά σενάρια που έχουν προταθεί από την εταιρία.

Περιεχόμενα

Ευχαριστίες	3
Περίληψη	4
Περιεχόμενα	5
1 Εισαγωγή	7
1.1 Κίνητρα	7
1.2 Αντικείμενο της διπλωματικής εργασίας	7
1.3 Μέθοδος επίλυσης	8
1.4 Στόχος της διπλωματικής εργασίας	8
1.5 Δομή διπλωματικής εργασίας	8
2 Εισαγωγή στην μοντελοποίηση και προσομοίωση συστημάτων	10
2.1 Μοντελοποίηση	10
2.1.1 Διαδικασία μοντελοποίησης	10
2.2 Προσομοίωση	11
3 Η βιομηχανία ΣΤΑΜΟΥ ΑΒΕΕ	13
3.1 Αγορά εμφιαλωμένου γάλακτος στην Ελλάδα	13
3.2 Παρουσίαση της βιομηχανίας	15
3.3 Γεωγραφική θέσης της εταιρίας	16
3.4 Περιγραφή πηγής άντλησης/εισαγωγής γάλακτος	17
3.5 Χημικά χαρακτηριστικά γάλακτος και ποιοτικός έλεγχος γάλακτος	17
3.6 Αποθήκευση και διακίνηση έτοιμου προϊόντος	18
3.7 Δεδομένα πωλήσεων εταιρίας	18
4 Παραγωγική διαδικασία	22
4.1 Γραμμές εμφιάλωσης γάλακτος	22
4.2 Διάγραμμα ροής παραγωγικής διαδικασίας	23
5 Μελέτη των σεναρίων παραγωγικών διαδικασιών	27
5.1 Εισαγωγή	27
5.2 Υπάρχουσα παραγωγική διαδικασία της βιομηχανίας	27
5.3 Σενάριο Α - Αύξηση της ζήτησης όλων των ειδών γάλακτος κατά 10%	36
5.4 Σενάριο Β - Αλλαγή μηχανημάτων παστερίωσης και εμφιάλωσης για οκτάωρο (8 ώρες) ημερήσιο χρόνο παραγωγής	43
5.5 Σενάριο Γ - Αλλαγή μηχανημάτων παστερίωσης και εμφιάλωσης για δεκάωρο (10 ώρες) ημερήσιο χρόνο παραγωγής	51
5.6 Παρατηρήσεις και συγκρίσεις σεναρίων	59

6	Συμπεράσματα και προτάσεις	62
6.1	Ανακεφαλαίωση	62
6.2	Συμπεράσματα	62
6.3	Προτάσεις	63
6.4	Επεκτάσεις διπλωματικής εργασίας	63
	Βιβλιογραφία	64
	Πίνακας Εικόνων	65
	Πίνακας Πινάκων	67
	Πίνακας Γραφημάτων	68
	Παράρτημα Α	69
	Περιγραφή του μοντέλου προσομοίωσης με τη χρήση του προγράμματος Arena Simulation	69

1 Εισαγωγή

1.1 Κίνητρα

Στο σύγχρονο επιχειρηματικό περιβάλλον όπου επικρατεί έντονος ανταγωνισμός και διαρκώς εντεινόμενες πιέσεις για μείωση των χρόνων και του κόστους παραγωγής, η μέγιστη δυνατή αξιοποίηση των πόρων και των παραγωγικών δυνατοτήτων είναι από τους σημαντικότερους και πιο καθοριστικούς παράγοντες για την επιβίωση και την ανάπτυξη των βιομηχανιών. Η μελέτη προβλημάτων βιομηχανικών συστημάτων και συστημάτων παραγωγής αποτελεί ιδιαίτερα δημοφιλές αντικείμενο στην επιστημονική κοινότητα, καθώς μικρές αναβαθμίσεις και εξελίξεις μπορεί να οδηγήσουν σε τεράστια οφέλη ([Βροντάκης, 2015](#)). Αυτό οφείλεται στο μεγάλο εύρος παραγόντων που συνδέονται με τα συστήματα παραγωγής και το γεγονός ότι πολλά προβλήματα δεν μπορούν να επιλυθούν αναλυτικά λόγω της ιδιαίτερα αυξημένης πολυπλοκότητας ([Μίχος, 2012](#)).

Ο συνδυασμός του σωστού προγραμματισμού της παραγωγικής διαδικασίας μαζί με την μελέτη του συστήματος μέσω, συνήθως, κατάλληλης προσομοίωσης, θεωρούνται δύο από τους σημαντικότερους παράγοντες βιωσιμότητας μίας βιομηχανίας. Μέσα από μία σωστή μελέτη μπορούν να βρεθούν λύσεις που θα αποφέρουν μεγαλύτερα κέρδη, ένα πιο αυτόνομο περιβάλλον λειτουργίας και καλύτερη αξιοποίηση των διαθέσιμων πόρων. Παρόλα αυτά ο παράγοντας της αβεβαιότητας, που είναι παρών τόσο στο επίπεδο της αγοράς όσο και της λειτουργίας μιας επιχείρησης, βάζει αρκετούς περιορισμούς στην εκπόνηση μιας αποτελεσματικής και ρεαλιστικής μελέτης. Ένας τρόπος αντιμετώπισης των προβλημάτων αυτών είναι η χρήση μαθηματικών μοντέλων πρόβλεψης των μελλοντικών πωλήσεων και ο συνδυασμός τους με εργαλεία προσομοίωσης στοχαστικών συστημάτων.

1.2 Αντικείμενο της διπλωματικής εργασίας

Στην παρούσα διπλωματική εργασία μελετάται μία βιομηχανία παραγωγής γάλακτος που εδρεύει στο νομό Αττικής. Σε πρώτο στάδιο καταγράφηκε ο τρόπος λειτουργίας της κεντρικής βιομηχανικής μονάδας, τα στάδια επεξεργασίας γάλακτος, η χρονική διάρκεια της κάθε εργασίας και ελέγχου, οι τρόποι αλληλεπίδρασης καθώς και οι ροές των πρώτων υλών και των προϊόντων μέσα στην μονάδα. Στη συνέχεια γίνεται μοντελοποίηση της γραμμής παραγωγής πέντε διαφορετικών ειδών προϊόντων γάλακτος και με τη βοήθεια προσομοιώσεων μελετώνται τα βασικά σενάρια παραγωγής (υπάρχων και υποθετικά σενάρια). Όλα τα παραπάνω πραγματοποιήθηκαν λαμβάνοντας υπόψη τους διάφορους περιορισμούς (φυσικούς και τεχνολογικούς) ώστε να προσεγγιστεί ο τρόπος λειτουργίας της βιομηχανικής μονάδας σαν ένας συνδυασμός πολλών παραμέτρων με χαρακτηριστικά που συσχετίζονται μεταξύ τους. Οι παράμετροι αυτές λαμβάνουν συγκεκριμένες τιμές, τις οποίες προσδιορίζουμε στην παρούσα εργασία σε συνεργασία με το βασικό στέλεχος της επιχείρησης.

Με τη χρήση κατάλληλων μαθηματικών μοντέλων, πραγματοποιείται εκτίμηση του μέσου όγκου παραγωγής ανά μέρα για κάθε κατηγορία γάλακτος (αγελαδινό πλήρες, αγελαδινό ελαφρύ και κατσικίσιο) ξεχωριστά, σε συνεργασία με το βασικό στέλεχος της επιχείρησης. Αξιοποιώντας τα αποτελέσματα που προκύπτουν από την εκτέλεση αλληλέπληλων προσομοιώσεων, προτείνεται ένα ημερήσιο πλάνο παραγωγής που μεγιστοποιεί τον όγκο παραγωγής και ελαχιστοποιεί τις χρονικές παραμέτρους που επιβραδύνουν το σύστημα, στηριζόμενο στις πωλήσεις των προηγούμενων 2 ετών, από όπου αντλήθηκαν και τα δεδομένα.

1.3 Μέθοδος επίλυσης

Το βασικό εργαλείο που χρησιμοποιείται στην παρούσα διπλωματική εργασία για την ανάπτυξη του πλαισίου μοντελοποίησης και μελέτης συστημάτων παραγωγής, είναι **τα μοντέλα συστημάτων αναμονής**. **Πιο αναλυτικά**, οντότητες (παραγγελίες, προϊόντα, πρώτες ύλες, ημικατεργασμένα κομμάτια, κλπ.) φθάνουν σε χώρους αναμονής (αποθήκες) και περιμένουν τη σειρά τους προκειμένου να υποστούν κατεργασίες από κάποια μηχανή (ή εξυπηρετούνται) και ακολούθως συνεχίζουν σε άλλες αποθήκες και μηχανές μέχρις ότου αναχωρήσουν από το σύστημα. Ένα σύστημα αναμονής μπορεί να έχει πολλά υποσυστήματα, καθένα με δικό του χώρο αναμονής και μονάδα εξυπηρέτησης/παραγωγής. Η γενικότερη κατηγορία υποσυστημάτων είναι τα λεγόμενα συστήματα αναμονής **G/G/h**, όπου τα G συμβολίζουν ότι οι χρόνοι αφίξεων και οι χρόνοι εξυπηρέτησης/παραγωγής των οντοτήτων είναι τυχαίες μεταβλητές που έχουν αυθαίρετη (γενική-General) κατανομή και η είναι ο αριθμός όμοιων εξυπηρετητών/μηχανών που λειτουργούν εν παραλλήλω στο συγκεκριμένο υποσύστημα. Μία κατηγορία συστημάτων παραγωγής είναι τα **ευέλικτα συστήματα παραγωγής (FMS)**. Πρόκειται για δίκτυα με διασυνδεδεμένα υποσυστήματα στα οποία υπάρχει κάποια ελευθερία (ευελιξία) στη δρομολόγηση υλικών και έλεγχος εισροών (νέων) πρώτων υλών. Και τα δύο αυτά συστήματα αποτελούν προσεγγίσεις της συγκεκριμένης γραμμής παραγωγής που μελετούμε σε αυτήν την εργασία, τόσο σε θεωρητικό επίπεδο (αποτύπωση του διαγράμματος ροής της γραμμής παραγωγής), όσο και σε πειραματικό επίπεδο (μοντελοποίηση της γραμμής παραγωγής στο πρόγραμμα προσομοίωσης).

1.4 Στόχος της διπλωματικής εργασίας

Η εκπόνηση της εργασίας επιλέχθηκε με αφορμή δύο βασικούς παράγοντες. Αρχικά την υπαρκτή ανάγκη για βελτίωση της παραγωγικής διαδικασίας στο συγκεκριμένο κλάδο, όπου οι απαιτήσεις ολοένα και αυξάνονται. Δεύτερον, έχει διαπιστωθεί πως πολλές σημαντικές αποφάσεις και διαδικασίες για την λειτουργία της μονάδας εκτελούνται και προσδιορίζονται εμπειρικά. Σε συνεργασία με τα βασικά στελέχη της επιχείρησης αντλήθηκαν όλα τα απαραίτητα στοιχεία για την δημιουργία μιας πιο ολοκληρωμένης αποτύπωσης της παραγωγικής διαδικασίας. Πολλά από τα στοιχεία αυτά είναι ευαίσθητα ή απόρρητα και αφορούν κατά κύριο λόγο τη σχέση με τους προμηθευτές, τις πρώτες ύλες, τη δυναμικότητα του συστήματος αλλά κυρίως τις επιμέρους αναλυτικές διαδικασίες που απαιτούνται για την παραγωγή των διαφόρων ειδών προϊόντων γάλακτος.

Λαμβάνοντας ως δεδομένα τη χωροθέτηση, τη σύνδεση των παραγωγικών διαδικασιών, τα λειτουργικά χαρακτηριστικά των μηχανών και τη δυναμικότητα του εργοστασίου, υλοποιείται ένα μοντέλο λειτουργίας του εργοστασίου, το οποίο αποτελεί το κύριο αντικείμενο μελέτης μέσω προσομοίωσης.

1.5 Δομή διπλωματικής εργασίας

Στο εισαγωγικό αυτό κεφάλαιο, συνοψίσθηκαν το αντικείμενο της παρούσας διπλωματικής εργασίας, η μέθοδος επίλυσης που χρησιμοποιείται, οι αντικειμενικοί στόχοι που τέθηκαν καθώς και τα αντίστοιχα αποτελέσματα που εκπορεύτηκαν από πολλαπλές προσομοιώσεις.

Στο δεύτερο κεφάλαιο γίνεται εισαγωγή στις κύριες έννοιες που χρησιμοποιούνται για την μοντελοποίηση και προσομοίωση γραμμών παραγωγής.

Στο τρίτο κεφάλαιο παρουσιάζεται η βιομηχανία γάλακτος ΣΤΑΜΟΥ ΑΒΕΕ και η πορεία της στην γαλακτοκομική αγορά από το ξεκίνημά της μέχρι σήμερα. Περιγράφονται οι πρώτες ύλες, τα χημικά χαρακτηριστικά του γάλακτος και η διαδικασία άντλησης αυτού. Ακολούθως αναλύεται ο ποιοτικός έλεγχος (κατά τη διάρκεια παραγωγής και στο τελικό στάδιο) του προϊόντος και η διαδικασία αποθήκευσής του πριν την διακίνησή του στη αγορά. Στην τελευταία παράγραφο του κεφαλαίου, καταγράφονται τα δεδομένα πωλήσεων της βιομηχανίας ανά τύπο τελικού προϊόντος, όπως αυτά παραχωρήθηκαν από τους υπεύθυνους της βιομηχανίας για την τελευταία διετία.

Στο τέταρτο κεφάλαιο περιγράφονται τα στάδια της παραγωγικής διαδικασίας της βιομηχανίας. Αρχικά γίνεται αναλυτική περιγραφή της παραγωγικής διαδικασίας για κάθε τύπο συσκευασίας ξεχωριστά, συμπεριλαμβάνοντας και το αντίστοιχο διάγραμμα ροής. Έπειτα παρουσιάζονται οι χώροι και τα μηχανήματα που χρησιμοποιούνται για την παραγωγή ανά στάδιο. Τέλος, αναγράφονται λεπτομερώς τα τελικά παραγόμενα προϊόντα της βιομηχανίας, όπως επίσης και οι απαιτούμενες πρώτες ύλες που απαιτούνται για την εμφιάλωση του γάλακτος και την μεταφορά του τελικού προϊόντος στις αποθήκες της εταιρίας.

Στο πέμπτο κεφάλαιο πραγματοποιείται η προσομοίωση της γραμμής παραγωγής για το έτος 2017 μέσω του προγράμματος προσομοίωσης Arena Simulation, χρησιμοποιώντας δεδομένα των δύο προηγούμενων ετών που έχουν ληφθεί σε συνεργασία με στελέχη της επιχείρησης και παρουσιάζονται τα αποτελέσματα της προσομοίωσης. Αναλύονται οι ποσότητες παραγωγής, οι χρόνοι παραγωγής και οι χρόνοι καθυστέρησης των συστημάτων παραγωγής με βάση τα δεδομένα ζήτησης των αντίστοιχων προϊόντων. Η ανάλυση πραγματοποιείται για την υπάρχουσα γραμμή παραγωγής και για τρία εναλλακτικά σενάρια που έχουν προταθεί από την εταιρία.

Στο έκτο και τελευταίο κεφάλαιο συνοψίζονται τα αποτελέσματα που προέκυψαν από τα προηγούμενα κεφάλαια και προτείνονται λύσεις για την αύξηση της παραγωγής, την μείωση των χρονικών παραμέτρων επιβράδυνσης της παραγωγής και πιθανές μελλοντικές επεκτάσεις της τρέχουσας εργασίας.

2 Εισαγωγή στην μοντελοποίηση και προσομοίωση συστημάτων

2.1 Μοντελοποίηση

Η μοντελοποίηση ενός συστήματος είναι η διαδικασία αναπαράστασης των επί μέρους συνιστωσών που το απαρτίζουν, των κανόνων λειτουργίας και φυσικών νόμων που διέπουν τη λειτουργία του, με σκοπό την αναπαραγωγή του φυσικού συστήματος και της εξέλιξής του στο χρόνο (μαθηματικά, στο εργαστήριο ή μέσω προσομοίωσης με χρήση ηλεκτρονικών υπολογιστών). Το μοντέλο ενός συστήματος είναι μία απλοποιημένη αναπαράστασή του, που περιέχει λογικές ή μαθηματικές συσχετίσεις. Αυτές οι συσχετίσεις περιγράφουν το σύστημα ως προς την κατάστασή του, τα συστατικά/χαρακτηριστικά που το αποτελούν, το σύνολο που δημιουργούν, το πλήθος γεγονότων/ενεργειών και καθυστερήσεων που μπορούν να συμβούν. Εναλλακτικά ένα μοντέλο ορίζεται ως ένας αλγόριθμος ή ως ένα σύνολο από εξισώσεις το οποίο συνδυάζεται με ένα σύνολο τιμών δεδομένων (π.χ. αρχικές συνθήκες και τιμές) και παραμέτρων (π.χ. χρόνοι που απαιτούνται σε κάθε στάδιο κατεργασίας μίας γραμμής παραγωγής) για να αναπαραστήσει τη συμπεριφορά ενός συστήματος, μιας διαδικασίας ή ενός φαινομένου ([Χατούπης & Πετρόπουλος, 2015](#)).

Η μοντελοποίηση ενός συστήματος αποτελεί το πρώτο βήμα για τη μελέτη της συμπεριφοράς του κάτω από διαφορετικές συνθήκες (για διαφορετικές τιμές παραμέτρων ή διαφορετικές συναρτήσεις εισόδου). Το μοντέλο ενός συστήματος μπορεί να χρησιμοποιηθεί παραπέρα για τη σχεδίαση ή επανασχεδίαση του, για την ανάπτυξη ενός ελεγκτή που διασφαλίζει πως η συμπεριφορά του ικανοποιεί δεδομένους περιορισμούς και απαιτήσεις, για την εξερεύνηση, επαλήθευση και βελτιστοποίηση της συμπεριφοράς του σύμφωνα με συγκεκριμένες αντικειμενικές συναρτήσεις (π.χ. μέση μεταφορά πρώτης ύλης από δεξαμενή σε δεξαμενή ανά μονάδα χρόνου) και για την ποιοτική και ποσοτική ανάλυση της συμπεριφοράς του ([Λειβαδιωτάκης, 2016](#)).

Η κατασκευή ενός μοντέλου προσδίδει την δυνατότητα μελέτης και πρόβλεψης της συμπεριφοράς και αποδοτικότητας του συστήματος κάτω από ακραίες συνθήκες λειτουργίας που για διάφορους λόγους δεν μπορούν να εφαρμοστούν σε αυτό (λόγω της ύπαρξης κινδύνων, μεγάλου κόστους ή ακόμα και της πρόκλησης αντιδράσεων) ή σε περιπτώσεις που το φυσικό σύστημα δεν είναι άμεσα διαθέσιμο.

Το συγκεκριμένο μοντέλο που χρησιμοποιήθηκε, όπως αναφέραμε στην αρχή της παραγράφου, αποτελεί απλοποιημένη αναπαράσταση του αντίστοιχου υπαρκτού συστήματος. Αυτό συμβαίνει επειδή η αναπαράσταση του συνόλου των χαρακτηριστικών, των διαδικασιών και των αλληλεπιδράσεων μεταξύ των τμημάτων ενός συστήματος θα οδηγούσε σε μοντέλα αντίστοιχης πολυπλοκότητας με τα πραγματικά συστήματα. Με βάση αυτή τη παρατήρηση τα μοντέλα που θα πρόκυπταν δε θα μπορούσαν να αξιοποιηθούν παραπέρα για τη μελέτη και πρόβλεψη της συμπεριφοράς του συστήματος. Τα υπάρχοντα εργαλεία ανάλυσης που χρησιμοποιούνται σήμερα είτε επιστημονικά, είτε εταιρικά, έχουν εξαιρετικά υψηλές απαιτήσεις σε υπολογιστικούς χρόνους, υπολογιστική ισχύ και σε κόστος. Η πραγματική πρόκληση της μοντελοποίησης είναι η εύρεση του αναγκαίου αριθμού αρχών, γεγονότων και διαδικασιών που συνθέτουν την παρατηρούμενη πολυπλοκότητα ενός συστήματος, τα οποία σε συνδυασμό με μια σειρά από σωστά ορισμένες παραδοχές περιγράφουν ικανοποιητικά τη συμπεριφορά του ([Τσιναράκης, 2007](#)).

2.1.1 Διαδικασία μοντελοποίησης

Η διαδικασία μοντελοποίησης συνοψίζεται στα ακόλουθα 5 βήματα ([Zhou and DiCesare, 1993](#)):

1. Αναγνώριση των συστατικών στοιχείων του μοντέλου.

2. Συγκέντρωση πληροφοριών για τις μεταξύ τους σχέσεις, προτεραιότητες, τρόπους σύνδεσης και λειτουργίας, χαρακτηριστικά, χρήση κοινών πόρων.
3. Κατασκευή του μοντέλου.
4. Δοκιμή του μοντέλου κατά τη χρήση του (αν είναι εφικτό να γίνει κατά αντιπαράσταση με το πραγματικό σύστημα, όποτε τα αποτελέσματα μπορούν να αξιολογηθούν άμεσα).
5. Τροποποίηση του μοντέλου αν αυτό θεωρηθεί αναγκαίο και επαναπροσδιορισμός της αρχικής του κατάστασης.

Τα πέντε αυτά βήματα δεν αποτελούν μία τυποποιημένη αλληλουχία εργασιών, αφού κάθε βήμα οδηγεί στα επόμενα και ανατροφοδοτεί τα προηγούμενα, οδηγώντας τον αλγόριθμο σε αρκετές επαναλήψεις μέχρι να καταλήξει στην επιθυμητή και τελική του μορφή. Η τελική μορφή του μοντέλου μπορεί να χρειαστεί τροποποίηση αν προκύψουν οποιεσδήποτε αλλαγές στο σύστημα όπως η εισαγωγή νέων δεδομένων, είτε αν το μοντέλο αποδειχθεί ελλιπές για την περιγραφή καταστάσεων, είτε επεκταθεί ή τροποποιηθεί η χρήση του συστήματος ([Χατούπης & Πετρόπουλος, 2015](#)).

Η παραπάνω διαδικασία μπορεί να χωριστεί σε δύο στάδια, πρώτα στο στάδιο κατασκευής και ύστερα στο στάδιο προσομοίωσης του μοντέλου. Στο πρώτο στάδιο ορίζονται η βασική δομή και οι κανόνες του μοντέλου ώστε να δώσουν την αρχική μορφή που μπορεί να περιγράψει τις πιθανές καταστάσεις που μπορεί να διαπιστώσει ο χρήστης στο σύστημα. Ύστερα προκύπτει η ανάλυση του μοντέλου με τη χρήση κατάλληλων εργαλείων που βοηθούν στον προσδιορισμό των ιδιοτήτων του. Με αυτό τρόπο ο χρήστης μπορεί να αποφύγει τυχόν λάθη που θα δυσχεραίνουν τη χρήση του μοντέλου και να οδηγήσουν στην μείωση της αποτελεσματικότητας του. Κατά τη διάρκεια της προσομοίωσης, εξετάζεται κατά πόσον η συμπεριφορά του μοντέλου αντιστοιχεί σε αυτή του πραγματικού βιομηχανικού συστήματος. Πιθανώς συγκεκριμένα χαρακτηριστικά του μοντέλου χρειαστούν αλλαγή με βάση τις ανάγκες του χρήστη και τους φυσικούς περιορισμούς, ωστόσο η βασική του δομή παραμένει αναλλοίωτη.

2.2 Προσομοίωση

Η προσομοίωση (simulation) παρουσιάστηκε στο χώρο της επιστημονικής έρευνας ως μέθοδος μελέτης των αποτελεσμάτων μιας δράσης πάνω σε ένα φαινόμενο χωρίς να απαιτείται παρέμβαση στο ίδιο το φαινόμενο. Οι προσομοιώσεις χρησιμοποιούνται για τη μελέτη και την κατανόηση αρχών λειτουργίας πολλών φυσικών, βιολογικών και κοινωνικών διαδικασιών. Πιο συγκεκριμένα, προσομοίωση ονομάζεται η μίμηση της λειτουργίας συστημάτων ή της εξέλιξης διαδικασιών μέσα στο χρόνο με τη βοήθεια ηλεκτρονικού υπολογιστή ([Κουϊκόγλου, 2002](#)).

Διαδικασία ή σύστημα ονομάζεται ένα σύνολο στοιχείων που εξελίσσονται και αλληλεπιδρούν σύμφωνα με κάποιους κανόνες και παραμέτρους. Οι κανόνες αυτοί μπορούν να εκφραστούν με τη μορφή μαθηματικών ή λογικών σχέσεων και αποτελούν το μοντέλο του συστήματος. Στην περίπτωση που οι σχέσεις περιγράφουν απλουστευμένα (σε απλή μορφή) την εξέλιξη του συστήματος, τότε είναι δυνατή η εύρεση λύσεων κλειστής μορφής. Τότε λέμε ότι το μοντέλο επιλύεται αναλυτικά. Ωστόσο σε συστήματα που περιγράφονται μέσω πιο πολύπλοκων μοντέλων η αναλυτική επίλυση είναι αδύνατη. Για την μελέτη πολύπλοκων συστημάτων εφαρμόζονται οι λεγόμενες αριθμητικές μέθοδοι, όπως η αριθμητική ανάλυση και η προσομοίωση. Η προσομοίωση βασίζεται στην ανάπτυξη ενός μοντέλου ή αλγορίθμου του συστήματος, που επιθυμεί να εξετάσει ο χρήστης, με τη μορφή προγράμματος σε υπολογιστή και ακολούθως στην εκτέλεση ενός (ή περισσότερων) πειράματος το οποίο καταγράφει την κατάσταση του συστήματος σε διαδοχικές χρονικές στιγμές ([Κουϊκόγλου, 2002](#)). Μέσω αυτού (ή αυτών) του πειράματος αποτυπώνεται ένα πιθανό σενάριο εξέλιξης του συστήματος στο χρόνο. Ως κατάσταση ορίζεται το σύνολο των τιμών των μεταβλητών που έχει θέσει ο χρήστης, οι οποίες δίνουν τις απαραίτητες πληροφορίες για την περιγραφή του συστήματος ([Σοϊλεμεζίδης, 2006](#)).

Η προσομοίωση έχει συνηθέστερα τις παρακάτω εφαρμογές:

- Λεπτομερής ανάλυση και σχεδίαση συστημάτων παραγωγής (βιομηχανία)
- Αναλυτικός έλεγχος αποθεμάτων (βιομηχανία, εμπορικές επιχειρήσεις)
- Μελέτη κυκλοφοριακών συστημάτων (οδικό δίκτυο, αεροδρόμια) και συστημάτων εξυπηρέτησης πελατών (τράπεζες, νοσοκομεία, τηλεπικοινωνίες)

- Ακριβής αξιολόγηση αποφάσεων υπό αβεβαιότητα (χρηματιστήριο, επενδύσεις, marketing).

Μέσω της προσομοίωσης οποιοσδήποτε μπορεί να αξιολογήσει την απόδοση ενός συστήματος πριν την κατασκευή του με στόχο τη βέλτιστη σχεδίασή του, την οικονομικότερη, ταχύτερη και λιγότερο επικίνδυνη απεικόνιση της πραγματικότητας σε υπολογιστικό περιβάλλον.

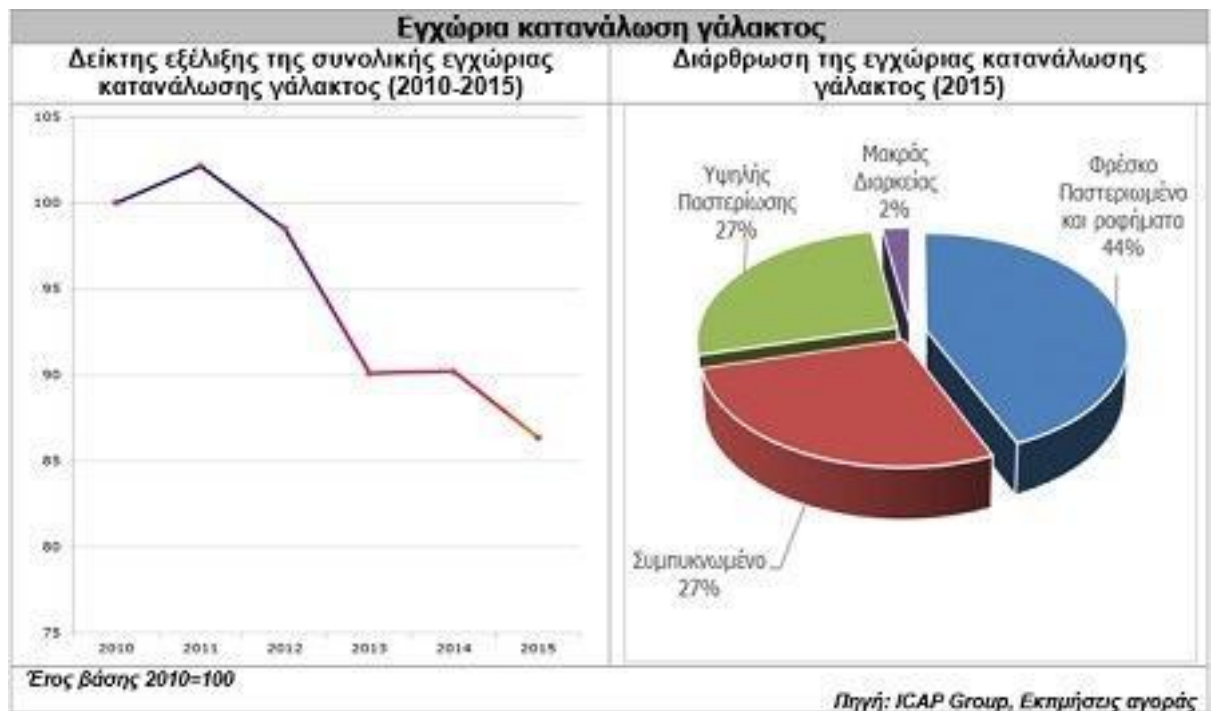
3 Η βιομηχανία ΣΤΑΜΟΥ ΑΒΕΕ

3.1 Αγορά εμφιαλωμένου γάλακτος στην Ελλάδα

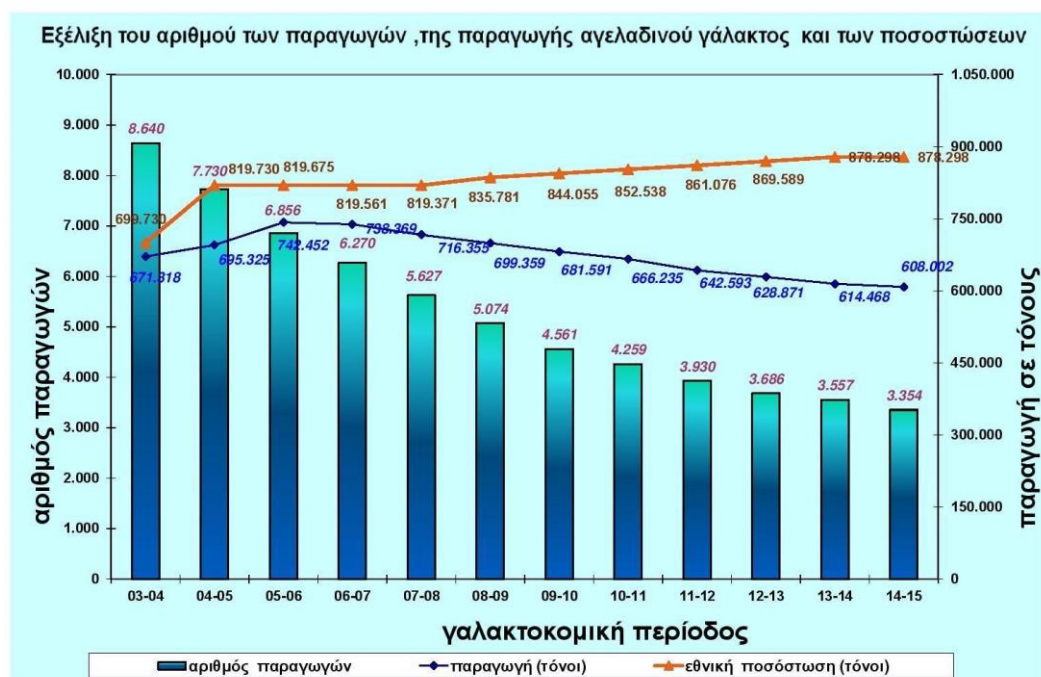
Το γάλα είναι ένα από τα συνηθέστερα προϊόντα που βρίσκεται στο ψυγείο του κάθε καταναλωτή σήμερα. Η θρεπτική αξία του γάλακτος είναι πολύτιμη και αποτελεί εξαιρετικό συνδυασμό όλων των μακροθρεπτικών συστατικών, όπως υδατάνθρακες, πρωτεΐνες και λίπος μαζί, σε άριστη αναλογία μεταξύ τους και σε βαθμό απόλυτα ισορροπημένο. Η Ελλάδα είναι μια από τις σταθερές δυνάμεις στην Ευρώπη στην παραγωγή γάλακτος με πάνω από 160 χιλιάδες τόνους παραγόμενο αγελαδινό ανά χρόνο.

Τα εμφιαλωμένα γάλατα, ανεξάρτητα από το είδος των ζώων που τα παράγουν, διακρίνονται ανάλογα με το ποσοστό λίπους που περιέχει σε «Πλήρες» (3% λίπος) και «Ελαφρύ» (1,5% λίπος). Την πρώτη κατηγορία απαρτίζουν προϊόντα τα οποία εμφιαλώνονται ύστερα από φυσικό καθαρισμό και παστερίωση, ενώ την δεύτερη κατηγορία αποτελούν προϊόντα τα οποία υποβάλλονται σε ένα επιπλέον καθαρισμό με φυγόκεντρο φίλτρο για να αφαιρεθεί το περιττό λίπος σύμφωνα βέβαια με όλες τις προϋποθέσεις παστερίωσης και εμφιάλωσης του γάλακτος.

Στον κλάδο των γαλακτοκομικών προϊόντων δραστηριοποιείται αξιόλογος αριθμός παραγωγικών επιχειρήσεων, οι οποίες είτε ασχολούνται αποκλειστικά με την παραγωγή γαλακτοκομικών προϊόντων, είτε δραστηριοποιούνται στον ευρύτερο κλάδο (γαλακτοκομικών και μη) τροφίμων και ποτών. Στις περισσότερες κατηγορίες προϊόντων, η εγχώρια ζήτηση καλύπτεται σε σημαντικό βαθμό από τις γαλακτοβιομηχανίες μεγάλου μεγέθους, καθώς διαθέτουν οργανωμένα δίκτυα διανομής και καλύπτουν το μεγαλύτερο μέρος της ελληνικής επικράτειας. Επιπλέον, ο παραγωγικός τομέας περιλαμβάνει αρκετές επιχειρήσεις με μικρότερη παραγωγική δυναμικότητα, οι οποίες είναι κυρίως τοπικής εμβέλειας (όπως και η εταιρία αυτής της εργασίας). Ωστόσο, αρκετές από αυτές έχουν σημαντική παρουσία στις τοπικές αγορές. Ο εισαγωγικός τομέας περιλαμβάνει αρκετές επιχειρήσεις, από τις οποίες οι περισσότερες δραστηριοποιούνται στον ευρύτερο κλάδο των γαλακτοκομικών και τυροκομικών προϊόντων. Το 2015, η εγχώρια αγορά γάλακτος χαρακτηρίστηκε από αύξηση στην κατανάλωση του φρέσκου (λευκού) γάλακτος κατά 3% σε σχέση με το 2014. Μείωση της κατανάλωσης παρατηρείται την ίδια περίοδο στις κατηγορίες του γάλακτος υψηλής παστερίωσης (-12% περίπου), του συμπυκνωμένου γάλακτος και του γάλακτος μακράς διαρκείας. Το φρέσκο παστεριωμένο γάλα (συμπεριλαμβάνονται και τα διάφορα ροφήματα) εξακολουθεί να αποτελεί την κυριότερη κατηγορία γάλακτος, καθώς το ποσοστό συμμετοχής του επί του συνολικού μεγέθους, εκτιμάται σε 44% το 2015, ενώ το αντίστοιχο ποσοστό για το ισοδύναμο του συμπυκνωμένου γάλακτος διαμορφώθηκε σε 27%. Το μερίδιο του γάλακτος υψηλής παστερίωσης μέχρι και το 2013 ήταν ανοδικό. Ωστόσο τη διετία 2014-2015 είναι πτωτικό, κυμαινόμενο στο 27% περίπου το 2015. Τέλος, το γάλα μακράς διαρκείας καλύπτει μικρό μέρος της αγοράς (μερίδιο 2% το 2015) ([Δελτίο τύπου της ICAP Group AE, 2016](#)).



Εικόνα 1. Δείκτης εξέλιξης της συνολικής εγχώριας κατανάλωσης γάλακτος (2010-2015) & Διάρθρωση της εγχώριας κατανάλωσης γάλακτος (2015), Πηγή: *ICAP Group, εκτιμήσεις αγοράς*



Πηγή : ΕΛΛΗΝΙΚΟΣ ΓΕΩΡΓΙΚΟΣ ΟΡΓΑΝΙΣΜΟΣ "ΔΗΜΗΤΡΑ"

Εικόνα 2. Εξέλιξη του αριθμού παραγωγών, της παραγωγικής αγελαδινού γάλακτος και των ποσοστώςσεων (2003-2015), Πηγή: *Ελληνικός Γεωργικός Οργανισμός "Δήμητρα"*

Σημειώνεται ότι η ελληνική αγορά γάλακτος έχει μέση ετήσια κατανάλωση 400 χιλιάδες τόνους παστεριωμένου γάλακτος ανά έτος (με βάση στοιχεία του 2015), έναντι περίπου 250 χιλιάδων τόνων γάλακτος υψηλής παστερίωσης και ενός εύρους 20-26 χιλιάδων τόνων γάλακτος μακράς διάρκειας ανά έτος. Σε σχέση με την μέση ετήσια κατανάλωση γάλακτος στην Ελλάδα πριν από 20 χρόνια, παρατηρείται τώρα σημαντική αύξηση στην κατανάλωση προϊόντων υψηλής παστερίωσης (αύξηση 208,3 %) και στο παστεριωμένο γάλα (14,3 %). Τα προϊόντα φρέσκου γάλακτος και μακράς διάρκειας παρουσιάζουν μια σταθερότητα στην αγορά γάλακτος με συγκεκριμένη διακύμανση εντός εύρους 5-6 χιλιάδες τόνους ανά έτος ([Γεωργακόπουλος Ι., 2012](#)).

3.2 Παρουσίαση της βιομηχανίας



Εικόνα 3. Λογότυπο εταιρίας STAMOY ABEE Πηγή: *Ιστοσελίδα Εταιρίας STAMOY ABEE*

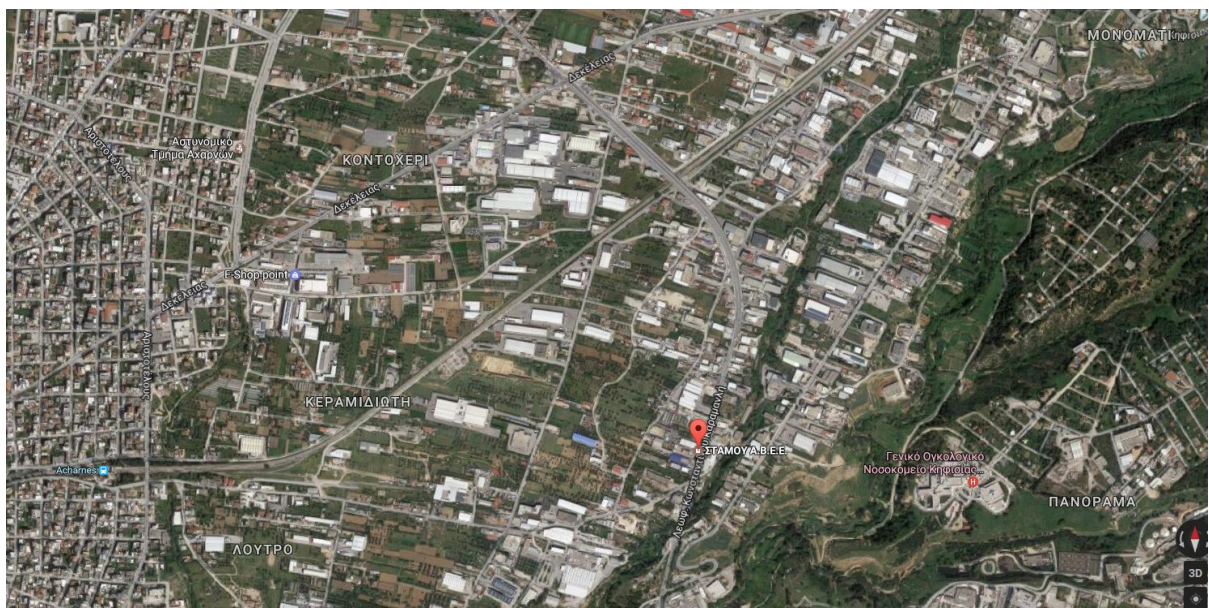
Η STAMOY ABEE δραστηριοποιείται στην παραγωγή και εμπορία γαλακτοκομικών προϊόντων από το 1964. Από το 2000 η παραγωγή γίνεται σε ιδιόκτητο χώρο (Λεωφόρος Καραμανλή 206 - Αχαρναί) με πάθος, εμπειρία και γνώση. Συνδυάζοντας την παράδοση με τις πιο σύγχρονες μεθόδους, η εταιρία επιδιώκει συνεχώς το καλύτερο δυνατό αποτέλεσμα και τα πιο φρέσκα και αγνά προϊόντα γάλακτος προς τους καταναλωτές της ([Ιστοσελίδα STAMOY ABEE, 2017](#)).

Βασική αρχή της εταιρείας είναι ο συνεχής εκσυγχρονισμός όλης της διαδικασίας παραγωγής ώστε να πληρούνται οι υψηλές απαιτήσεις σε ποιότητα και ασφάλεια των παραγόμενων προϊόντων, σε απόλυτη αρμονία με τη διατήρηση του παραδοσιακού τρόπου παραγωγής. Η μεθοδολογία παραγωγής των προϊόντων της εταιρίας παραμένει ίδια από το ξεκίνημά της και διαφέρει από μια σπιτική παραγωγή μόνο στην κλίμακα μεγέθους. Τα τελευταία χρόνια η STAMOY ABEE έχει κάνει σημαντικές επενδύσεις στον τεχνολογικό εξοπλισμό και στις κτιριακές εγκαταστάσεις αναβαθμίζοντας τις υπηρεσίες της και αυξάνοντας την παραγωγή και τα σημεία πώλησης στην Ελλάδα. Πιο συγκεκριμένα, η εταιρία έχει μία μεγάλη λίστα συνεργατών αλυσίδων super market όπως ΒΕΡΟΠΟΥΛΟΣ, ΒΑΖΑΑΡ, ΓΑΛΑΞΙΑΣ, MARKET IN, MY MARKET και ΣΚΛΑΒΕΝΙΤΗΣ. Από το 2000 λειτουργούν και ιδιωτικά γαλακτοπωλεία της εταιρίας σε διάφορα σημεία του νομού Αττικής για την πιο άμεση εξυπηρέτηση των πελατών της ([Ιστοσελίδα STAMOY ABEE, 2017](#)).



Εικόνα 4. Φωτογραφία του κεντρικού εργοστασίου της εταιρίας ΣΤΑΜΟΥ ΑΒΕΕ Πηγή: *Ιστοσελίδα Εταιρίας ΣΤΑΜΟΥ ΑΒΕΕ*

3.3 Γεωγραφική θέσης της εταιρίας



Εικόνα 5. Τοποθεσία της εταιρίας ΣΤΑΜΟΥ ΑΒΕΕ στο χάρτη Πηγή: *Ιστοσελίδα Εταιρίας ΣΤΑΜΟΥ ΑΒΕΕ*

Το εργοστάσιο στο οποίο εμφιαλώνονται και συσκευάζονται τα γαλακτοκομικά προϊόντα ΣΤΑΜΟΥ είναι στεγασμένο σε μία επιφάνεια που καλύπτει συνολικά 3.500 τ.μ. σε ιδιόκτητο οικόπεδο 5 στρεμμάτων και απασχολεί ως μόνιμο προσωπικό 70 άτομα.

3.4 Περιγραφή πηγής άντλησης/εισαγωγής γάλακτος

Το γάλα που χρησιμοποιείται στις εγκαταστάσεις παραγωγής της εταιρίας είναι αποκλειστικά φρέσκο και ελληνικό. Παραλαμβάνεται με τα βυτία περισυλλογής της εταιρίας από συγκεκριμένες κτηνοτροφικές μονάδες, οι οποίες είναι αδειούχες και ελεγχόμενες από τις αρμόδιες κρατικές υπηρεσίες. Οι μονάδες από τις οποίες παραλαμβάνει το γάλα η βιομηχανία ΣΤΑΜΟΥ ΑΒΕΕ βρίσκονται στους νομούς Κορινθίας, Αργολίδας, Βοιωτίας, Ευβοίας, καθώς και στις παρυφές του νομού Αττικής. Οι παραλαβές γάλακτος είναι καθημερινές. Ως εκ τούτου, όλα τα προϊόντα παρασκευάζονται με γάλα το οποίο έχει αρμεχθεί το πολύ 24 ώρες πριν, δηλαδή με γάλα ημέρας.



Εικόνα 6. Άντληση του αγελαδινού γάλακτος από μία συνεργαζόμενη φάρμα **Πηγή: Ιστοσελίδα Εταιρίας ΣΤΑΜΟΥ ΑΒΕΕ**

3.5 Χημικά χαρακτηριστικά γάλακτος και ποιοτικός έλεγχος γάλακτος

Το γάλα που εισέρχεται στις εγκαταστάσεις της εταιρίας περνά από στάδια ελέγχου της ποιότητας και των χημικών χαρακτηριστικών του. Ο έλεγχος του γάλακτος κρίνεται απαραίτητος για την εξασφάλιση της καταλληλότητας διανομής του τελικού προϊόντος και την άρτια συμπεριφορά των μηχανημάτων επεξεργασίας του γάλακτος κατά τη διαδικασία εμφιάλωσης της πρώτης ύλης.

Πιο συγκεκριμένα, οι μικροβιολογικοί έλεγχοι του γάλακτος πραγματοποιούνται σε εξωτερικά συνεργαζόμενα μικροβιολογικά εργαστήρια και εντός του εργοστασίου γίνονται οι μετρήσεις του pH (6,7 - 6,9) και η περιεκτικότητα σε λίπος και πρωτεΐνες. Στα εργαστήρια ελέγχεται η ύπαρξη αντιβιοτικών και αφλατοξίνης εντός του γάλακτος.

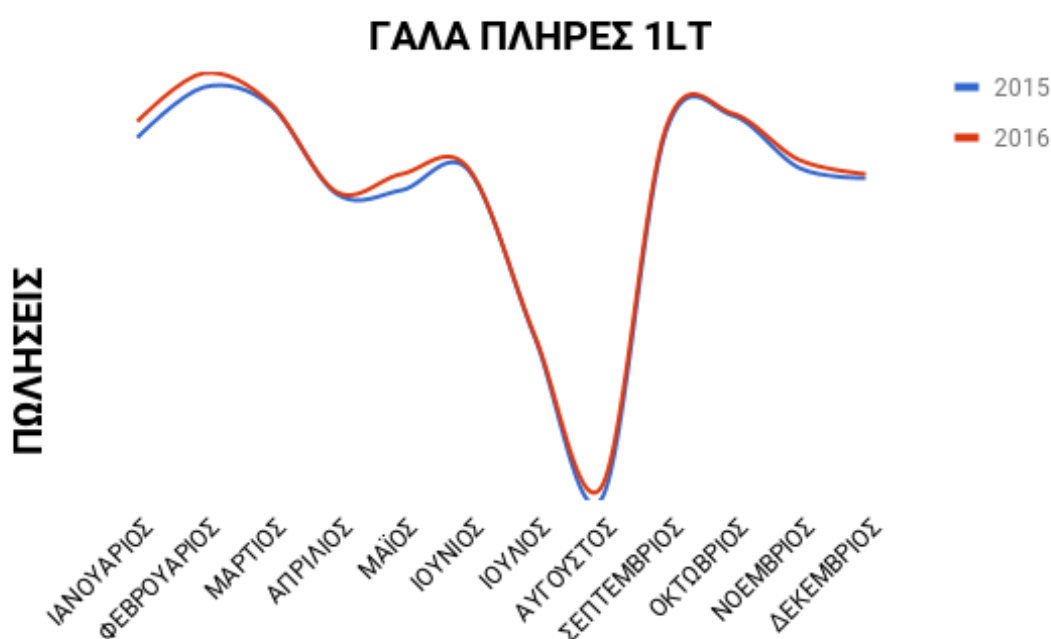
3.6 Αποθήκευση και διακίνηση έτοιμου προϊόντος

Η αποθήκευση των προϊόντων γίνεται σε αποθήκες κλειστές, σκιερές, χωρίς οσμές και κλιματιζόμενες. Η ΣΤΑΜΟΥ ΑΒΕΕ διαθέτει σύγχρονους αποθηκευτικούς χώρους προσαρμοσμένους στις απαιτήσεις του ΕΛΟΤ EN ISO 22000:2005 έτσι ώστε κατά την αποθήκευση του τελικού προϊόντος να διασφαλίζονται:

- Η επαρκής και σωστά κατανομημένη αποθήκευση του προϊόντος έτσι ώστε να τηρείται ο κανόνας FIFO (first in-first out, δηλαδή το πρώτο που αποθηκεύεται είναι και το πρώτο που διανέμεται – έτσι ώστε το προϊόν περνάει το λιγότερο δυνατό χρόνο στην αποθήκη).
- Οι κανόνες υγιεινής, εύκολης και αποτελεσματικής απολύμανσης, καθαριότητας και συντήρησης των χώρων.
- Η άνετη και ασφαλής μετακίνηση των οχημάτων μεταφοράς κατά τη φόρτωση και εκφόρτωση του προϊόντος.
- Οι κατάλληλες συνθήκες για την ασφαλή παραμονή των προϊόντων στις αποθήκες της εταιρείας.
- Τέλος η διακίνηση των προϊόντων γίνεται με ιδιόκτητα φορτηγά οχήματα κλειστού τύπου είτε με συνεργαζόμενες μεταφορικές εταιρείες, οχήματα των οποίων πληρούν τις απαραίτητες προδιαγραφές για διακίνηση γάλακτος.

3.7 Δεδομένα πωλήσεων εταιρίας

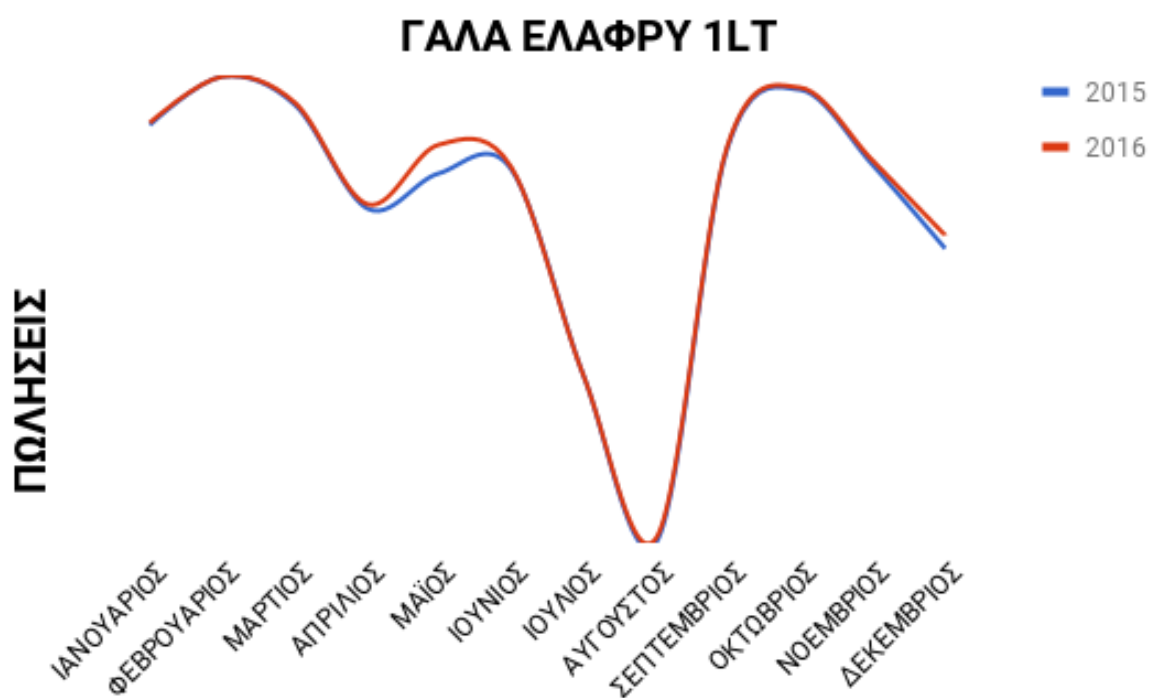
Στα γραφήματα 1-6 παρουσιάζονται τα ετήσια στοιχεία πωλήσεων ανά κωδικό προϊόντος (συσκευασία), σύμφωνα με τα δεδομένα πωλήσεων της, υπό μελέτη βιομηχανίας. Οι γραφικές παραστάσεις έχουν προκύψει από εξομάλυνση δεδομένων σε διακριτούς χρόνους, γι' αυτό εμφανίζονται ως συνεχείς καμπύλες.



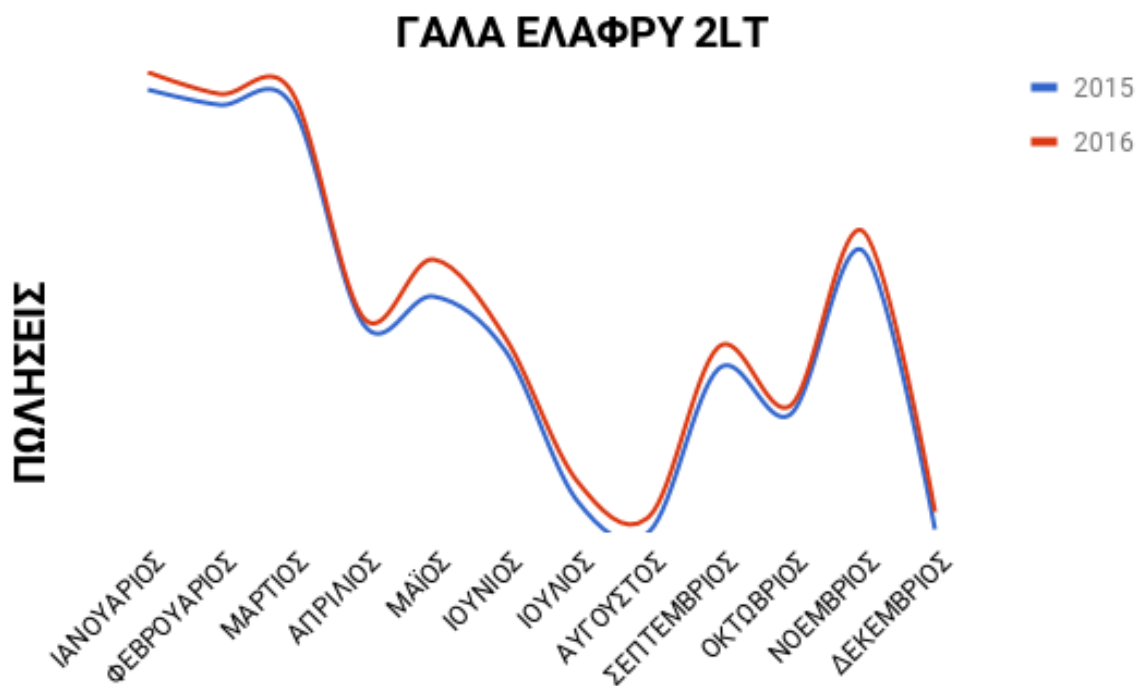
Γράφημα 1. Μηνιαία διακύμανση των πωλήσεων συσκευασίας Γάλακτος Πλήρες 1 LT ανά έτος



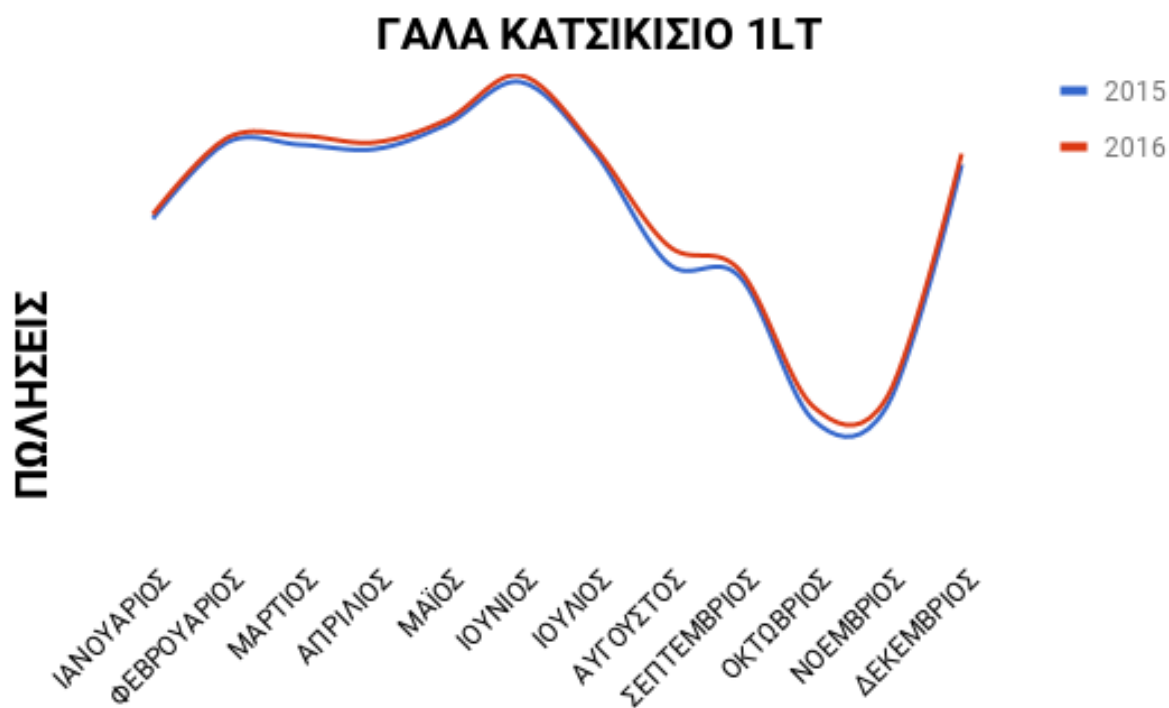
Γράφημα 2. Μηνιαία διακύμανση των πωλήσεων συσκευασίας Γάλακτος Πλήρες 2 LT ανά έτος



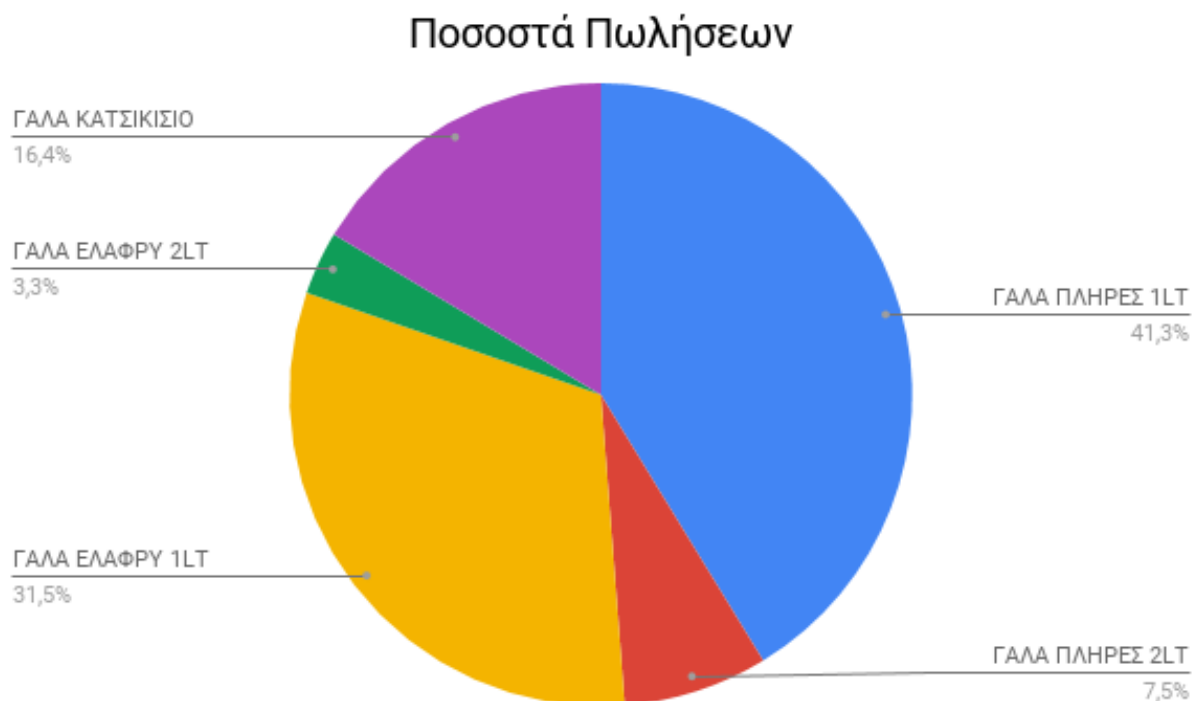
Γράφημα 3. Μηνιαία διακύμανση των πωλήσεων συσκευασίας Γάλακτος Ελαφρύ 1 LT ανά έτος



Γράφημα 4. Μηνιαία διακύμανση των πωλήσεων συσκευασίας Γάλακτος Ελαφρύ 2 LT ανά έτος



Γράφημα 5. Μηνιαία διακύμανση των πωλήσεων συσκευασίας Γάλακτος Κατσικίσιο 1 LT ανά έτος



Γράφημα 6. Ποσοστά συνολικού όγκου γάλακτος ανά κωδικό προϊόντος (συσκευασία)

Μέσω των παραπάνω γραφημάτων (Γραφήματα 1-6), παρατηρούμε την έντονη πτωτική τάση που ακολουθείται στη ζήτηση του αγελαδινού γάλακτος κατά τις εορταστικές περιόδους (Χριστούγεννα, Πάσχα) και περιόδους καλοκαιρινών διακοπών (Ιούλιος και Αύγουστος). Ωστόσο, στην ζήτηση του κατσικίσιου γάλακτος έχουμε ανοδική τάση στις εορταστικές περιόδους και συνεχή πτωτική τάση την περίοδο Ιούνιο έως Νοέμβριο. Κυρίως το δίμηνο Οκτώβριο και Νοέμβριο παρατηρούμε τις χαμηλότερες τιμές, λόγω της μη διαθεσιμότητας του κατσικίσιου γάλακτος από τους συνεργαζόμενους προμηθευτές.

Επιπλέον, στο παραπάνω Γράφημα 6 παρουσιάζονται τα ποσοστά πωλήσεων σε συνολικούς όγκους παραγωγής για τους πέντε διαφορετικούς κωδικούς προϊόντων. Η παραγωγή των εξετασμένων προϊόντων λαμβάνει χώρα στην υπό μελέτη μονάδα, σύμφωνα με τα δεδομένα πωλήσεων των δύο τελευταίων ετών (2015 & 2016).

Όπως παρατηρείται το μεγαλύτερο ποσοστό πωλήσεων καταλαμβάνει το προϊόν “Γάλακτος Πλήρες 1 LT” (41,3%). Ακολουθεί το προϊόν “Γάλακτος Ελαφρύ 1 LT” (31,5%), το προϊόν “Γάλακτος Κατσικίσιο 1 LT” (16,4%), το προϊόν “Γάλακτος Πλήρες 2 LT” (7,5%) και τέλος το προϊόν “Γάλακτος Ελαφρύ 2 LT” (3,3%).

4 Παραγωγική διαδικασία

4.1 Γραμμές εμφιάλωσης γάλακτος

Η ΣΤΑΜΟΥ ΑΒΕΕ διαθέτει μία αυτοματοποιημένη γραμμή εμφιάλωσης γάλακτος για όλους τους κωδικούς προϊόντων της (συνολικά πέντε). Με κατάλληλη διαδικασία αλλαγής των παραμέτρων του μηχανήματος εμφιάλωσης, η οποία διαρκεί 25 λεπτά, η γραμμή παραγωγής προσαρμόζεται στην εμφιάλωση ενός κωδικού προϊόντος ανά φορά. Στην γραμμή αυτή γίνεται η εμφιάλωση φιαλών PET (συσκευασία από πολυαιθυλένιο) γάλακτος 1 LT και 2 LT (πλήρες και άπαχο-ελαφρύ γάλα), με δυναμικότητα 1500 φιαλών ανά ώρα.



Εικόνα 7. Διαφορετικά είδη παραγόμενων φιαλών.

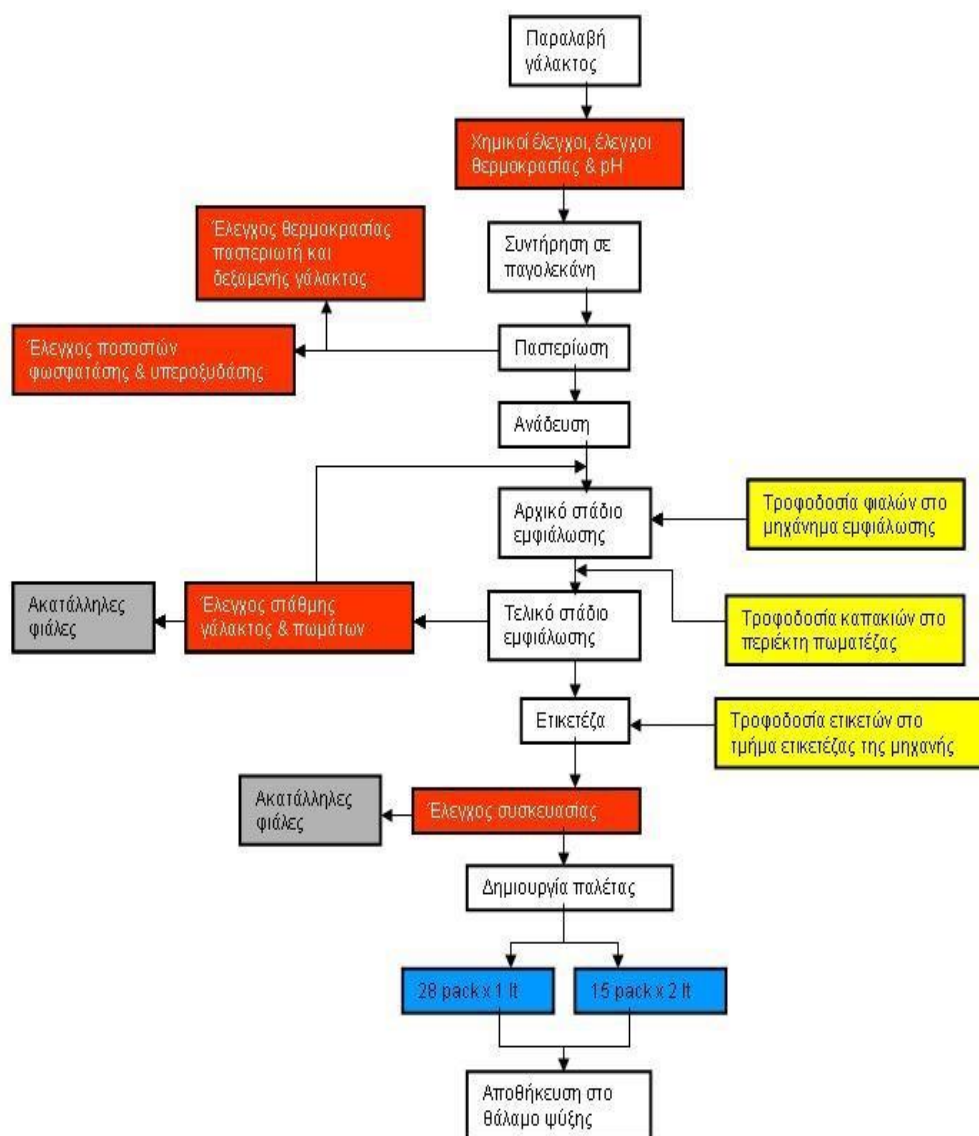
Αριστερά: Αγελαδινό Γάλα Πλήρες (1 & 2 λίτρα), Μεσαία: Αγελαδινό Γάλα Ελαφρύ 1,5% (1 & 2 λίτρα), Δεξιά: Κατσικίσιο Γάλα (1 λίτρο)

Στη παρούσα διπλωματική εργασία μελετάται η λειτουργία της συγκεκριμένης γραμμής εμφιάλωσης. Στο παρακάτω διάγραμμα απεικονίζονται συνοπτικά οι επιμέρους ενέργειες και τα βήματα που απαιτούνται για τη διαδικασία εμφιάλωσης φιαλών 1 και 2 LT της εταιρείας ΣΤΑΜΟΥ ΑΒΕΕ. Συγκεκριμένα οι κωδικοί προϊόντων που παράγει η εταιρία είναι:

- Αγελαδινό πλήρες γάλα 1 LT
- Αγελαδινό πλήρες γάλα 2 LT
- Αγελαδινό ελαφρύ γάλα 1 LT
- Αγελαδινό ελαφρύ γάλα 2 LT
- Κατσικίσιο γάλα 1 LT

Αρχικά πραγματοποιείται έλεγχος της επάρκειας της καταλληλότητας και ικανοποίησης προδιαγραφών των βοηθητικών πρώτων υλών που είναι αναγκαίες για την παραγωγή του προϊόντος. Ως βοηθητικές πρώτες ύλες θεωρούνται τα πώματα (χρώματος μπλε, άσπρο και πράσινο ανάλογα με το είδος προϊόντος), οι ετικέτες ανά κωδικό προϊόντος, η κόλλα της ετικέτας, τα πλαστικά τελάρα για την αποθήκευση των μπουκαλιών και το καροτσάκι μεταφοράς των τελικών εμφιαλωμένων προϊόντων. Ως κύρια πρώτη ύλη θεωρείται το γάλα, το οποίο λαμβάνεται από την πηγή και διοχετεύεται στις γραμμές εμφιάλωσης.

4.2 Διάγραμμα ροής παραγωγικής διαδικασίας



Εικόνα 8. Διάγραμμα ροής της γραμμής παραγωγής γάλακτος

Αρχικά στην πρώτη φάση της παραγωγής, παραλαμβάνεται το γάλα μέσω των εταιρικών βυτίων, είτε των βυτίων του προμηθευτή χωρητικότητας 4.000, 6.000 και 7.300 kg αντίστοιχα. Υπό την επίβλεψη 2 ατόμων, γίνεται το πρώτο στάδιο χημικού ελέγχου του αφιχθέντος γάλακτος. Κατά τη διάρκεια των συγκεκριμένων ελέγχων γίνονται μετρήσεις της περιεκτικότητας λίπους και πρωτεΐνης, έλεγχοι παρουσίας αντιβιοτικών και αφλατοξίνης και έλεγχοι πιθανής πρόσμιξης της πρώτης ύλης με άλλα είδη γάλακτος ή με νερό. Ύστερα, γίνεται ο τελικός έλεγχος της θερμοκρασίας (το γάλα θα πρέπει να είναι μεταξύ 6-8 °C), του pH (μεταξύ 6,7 - 6,9) και φιλτράρισμα της πρώτης ύλης. Στην περίπτωση του άπαχου γάλακτος (ελαφρύ - 0% λίπος) γίνεται ειδικό φιλτράρισμα και αποβολή του περιττού λίπους μέσω της κατεργασίας του γάλακτος σε φυγόκεντρο διαχωριστήρα συνεχής ροής (χωρητικότητας 2.000 LT/ ώρα). Στο πλήρες (αγελαδινό & κατσικίσιο) γάλα γίνεται απλό φιλτράρισμα. Τέλος, το γάλα ξεχωρίζεται ανά κωδικό προϊόντος και αποθηκεύεται προσωρινά σε δεξαμενές καθορισμένης χωρητικότητας. Οι διαθέσιμες δεξαμενές στην μονάδα του εργοστασίου είναι οι εξής:

- 1 δεξαμενή χωρητικότητας 800 LT
- 1 δεξαμενή χωρητικότητας 250 LT
- 2 δεξαμενές χωρητικότητας 1500 LT
- 1 δεξαμενή χωρητικότητας 2400 LT
- 1 δεξαμενή χωρητικότητας 3200 LT

Όπως βλέπουμε παραπάνω, η συνολική δυνατότητα αποθήκευσης γάλακτος πριν την παστερίωση καταγράφεται στα 9.650 λίτρα (LT) σε συνθήκες θερμοκρασίας έως 4°C.



Εικόνα 9. Φωτογραφία κεντρικής εγκατάστασης εργοστασίου με απεικόνιση του φυγοκεντρικού διαχωριστήρα (αριστερά), του εταιρικού βυτίου (κέντρο) και της δεξαμενής αποθήκευσης γάλακτος (δεξιά).

Στη δεύτερη φάση της παραγωγής πραγματοποιείται η παστερίωση του γάλακτος για κάθε κωδικό ξεχωριστά και η ανάδευση του πριν το στάδιο εμφιάλωσης. Πριν την έναρξη της διαδικασίας παστερίωσης ελέγχονται οι θερμοκρασίες της δεξαμενής αποθήκευσης (4°C), της δεξαμενής μεταφοράς του γάλακτος προς τον παστεριωτή (6-8°C) και του παστεριωτή (72°C). Αφού έχουν πραγματοποιηθεί οι παραπάνω θερμοκρασιακοί έλεγχοι εισέρχεται το γάλα στον παστεριωτή. Ο παστεριωτής αποτελείται από ένα σωλήνα συγκεκριμένου μήκους 57 m και διατομής 1,6 m, χωρητικότητας 450 LT (κρατείται σταθερός ο όγκος γάλακτος εντός του παστεριωτή μέσω μίας βάνας), που θερμαίνεται σε θερμοκρασία 72°C και παραμένει το γάλα εντός του παστεριωτή για 15 λεπτά. Σε αυτό το χρονικό διάστημα καταστρέφονται όλοι οι βλαβεροί και περιττοί μικροοργανισμοί εντός του γάλακτος, συνεπώς το παστεριωμένο γάλα να είναι έτοιμο για την μεταφορά του στο καζάνι παστερίωσης. Το παστεριωμένο γάλα εντός του καζανιού ελέγχεται ως προς τα ποσοστά φωσφατάσης και υπεροξειδάσης που εμπεριέχει. Στο συγκεκριμένο έλεγχο, υπό την επίβλεψη 2 ατόμων, ένα δείγμα γάλακτος από το καζάνι ξεχωρίζεται σε ένα ειδικό φιαλίδιο χημικής εξέτασης και χρωματίζεται με ένα συγκεκριμένο χρωματικό κώδικα. Με βάση την αντίδραση του υγρού κατά το χρωματισμό (θετικό ή αρνητικό), αν το δείγμα βγάλει αρνητικά ποσοστά των δύο στοιχείων τότε το γάλα καθίσταται ιδανικό για να προχωρήσει στο επόμενο στάδιο, την ανάδευση. Στην ανάδευση, το παστεριωμένο γάλα αποθηκεύεται προσωρινά σε μία κυλινδρική δεξαμενή και αναδεύεται στους 72°C

με αναδευτήρα μικρής διατομής για 5 λεπτά. Έστερα το γάλα μέσω μίας δεξαμενής μεταφέρεται στο μηχάνημα εμφιάλωσης.



Εικόνα 10. Φωτογραφία κεντρικής εγκατάστασης εργοστασίου με απεικόνιση της δεξαμενής αποθήκευσης του γάλακτος πριν το στάδιο παστερίωσης του.

Στο τρίτο στάδιο παραγωγής πραγματοποιείται η εμφιάλωση του γάλακτος. Καθώς υπάρχει μία μηχανή εμφιάλωσης στην παραγωγική μονάδα του εργοστασίου, κάθε κωδικός προϊόντος εμφιαλώνεται ξεχωριστά. Με βάση αυτό, τροποποιούνται οι παράμετροι ρυθμίσεων της μηχανής και τοποθετούνται από ένα άτομο οι αντίστοιχες φιάλες στο μηχάνημα. Η αλλαγή παραμέτρων και ρυθμίσεων ανά κωδικό προϊόντος διαρκεί 25 λεπτά και οι ρυθμίσεις αυτές πραγματοποιούνται πριν την έναρξη της διαδικασίας εμφιάλωσης. Αφού ρυθμιστεί το μηχάνημα, ξεκινά η διαδικασία εμφιάλωσης. Εισέρχονται οι φιάλες μέσω μίας ταινίας και γεμίζονται τα μπουκάλια με γάλα (ονομαστική ταχύτητα 1.500 φιάλες ανά ώρα - 1.500 brh). Παράλληλα με τη διαδικασία γεμίσματος των φιαλών πραγματοποιείται η διαδικασία τοποθέτησης των πωμάτων στη δεξαμενή της μηχανής πωματισμού (ονομαστική ταχύτητα 1.500 brh) με συγκεκριμένο χρωματικό κωδικό πώματος ανά κωδικό προϊόντος (μπλε καπάκι αντιστοιχεί σε κασιόγιο γάλα, άσπρο καπάκι σε πλήρες γάλα και πράσινο καπάκι σε ελαφρύ γάλα αντίστοιχα), έτσι ώστε να είναι όλα έτοιμα τη στιγμή που θα γεμίσουν οι φιάλες με γάλα. Πιο συγκεκριμένα, τα πώματα μέσω ταινιομεταφοράς ευθυγραμμίζονται και ελέγχονται για ελαττωματικά. Στη συνέχεια καθαρίζονται με αναρρόφηση και τοποθετούνται στη μηχανή πωματισμού. Μετά την πλήρωση των μπουκαλιών PET με γάλα ακολουθεί ο πωματισμός τους. Οι φιάλες που εξέρχονται από τη μηχανή πωματισμού περνούν από ένα ηλεκτρονικό σύστημα ελέγχου ορθού πωματισμού και στάθμης γάλακτος. Με αυτό τον τρόπο γίνεται πρωταρχικός έλεγχος για την καταλληλότητα των φιαλών. Οποιαδήποτε φιάλη κρίνεται ακατάλληλη απορρίπτεται και οι ελαττωματικές φιάλες επανατοποθετούνται στην μηχανή εμφιάλωσης. Οι κατάλληλες γεμισμένες φιάλες περνούν από το καταγραφικό laser όπου και τυπώνεται στη συσκευασία η ημερομηνία παραγωγής και λήξης. Ακολούθως, αφού οι φιάλες διασχίσουν τις αναμονές (προσωρινοί αποθηκευτικοί χώροι εντός της γραμμής παραγωγής), σειρά έχει η μηχανή επικόλλησης ετικέτας (μέγιστη ταχύτητα 2.000 brh – ονομαστική) στη φιάλη. Στην έξοδο της μηχανής λαμβάνει χώρα ο γενικός έλεγχος τοποθέτησης ετικέτας και η τοποθέτηση των έτοιμων προϊόντων σε παλέτες.

Στο τέταρτο στάδιο (τελευταίο) τα έτοιμα προϊόντα ξεχωρίζονται σε παλέτες. Δημιουργούνται δύο παλέτες προϊόντων, 28 τεμάχια 1 LT (28 packs x 1 LT) και 15 τεμάχια 2 LT (15 packs x 2 LT), ξεχωριστό για κάθε κωδικό προϊόντος. Αφού έχουν ετοιμαστεί οι παλέτες, 3 άτομα της εταιρίας διαχωρίζουν τα κιβώτια/κούτες και τις μεταφέρουν στους θαλάμους ψύξης (ψυγεία) για αποθήκευση και παραμένουν εκεί από λίγες ώρες μέχρι το μέγιστο μία ολόκληρη μέρα. Η διάρκεια παραμονής του έτοιμου προϊόντος στα ψυγεία προσδιορίστηκε από την εταιρία για την διατήρηση της άριστης ποιότητας του προϊόντος και την άμεση εξυπηρέτηση των πελατών τους. Έπειτα από το πέρας της διαδικασίας παραγωγής ενός συγκεκριμένου κωδικού προϊόντος, καθαρίζονται όλα τα μηχανήματα με παράλληλο έλεγχο swap test για να εξεταστούν πιθανές βλάβες/δυσλειτουργίες και μετράται το pH στα υπολείμματα και τα τοιχώματα των δεξαμενών/μηχανημάτων. Το pH πρέπει να είναι ουδέτερο (ίσο με 7) μετά τον καθαρισμό των μηχανημάτων ώστε να μην γίνει αλλοίωση της ερχόμενης πρώτης ύλης που θα επεξεργαστεί στη συνέχεια.

5 Μελέτη των σεναρίων παραγωγικών διαδικασιών

5.1 Εισαγωγή

Έχοντας παρουσιάσει στο προηγούμενο κεφάλαιο το διάγραμμα ροής της παραγωγικής διαδικασίας της βιομηχανίας ΣΤΑΜΟΥ ΑΒΕΕ, αναλύουμε στο συγκεκριμένο κεφάλαιο την υπάρχουσα παραγωγική διαδικασία που χρησιμοποιεί η εταιρία και κάποια συγκεκριμένα εναλλακτικά σενάρια, με την βοήθεια του προγράμματος προσομοίωσης Arena Simulation.

Πρωτίστως, θα παρουσιαστούν τα δεδομένα της υπάρχουσας παραγωγικής διαδικασίας και ύστερα από την εκτέλεση της προσομοίωσης με το πρόγραμμα Arena Simulation θα αναλυθούν τα αποτελέσματα της συγκεκριμένης προσομοίωσης. Τα αποτελέσματα διακρίνονται στους χρόνους κατεργασίας, αναμονής ή μεταφοράς ανά σταθμό επεξεργασίας, τις ποσότητες αγελαδινού και κατσικίσιου γάλακτος που δέχτηκαν επεξεργασία εντός του συστήματος, τον τελικό αριθμό συσκευασιών (μπουκαλιών), παλετών και τις τιμές/διακυμάνσεις συγκεκριμένων μεταβλητών που έχουν τοποθετηθεί από τον χρήστη για την ομαλή λειτουργία του μοντέλου. Η υπάρχουσα παραγωγική διαδικασία αναλύεται με σκοπό να αποτυπωθούν όλα τα παραπάνω στατιστικά δεδομένα που προαναφέρθηκαν και να χρησιμοποιηθούν ως μέτρο σύγκρισης για τα υπόλοιπα σενάρια της παραγωγής γάλακτος που θα αναλυθούν μετέπειτα. Η υπάρχουσα παραγωγή εκτελείται καθημερινά με διάρκεια 10 ώρες ανά μέρα και θα προσομοιωθεί σε διάρκεια ενός μήνα (30 ημερών).

Τα υπόλοιπα υποθετικά σενάρια που θα αναλυθούν σε αυτό το κεφάλαιο, μαζί με την υπάρχουσα παραγωγική διαδικασία της εταιρίας ΣΤΑΜΟΥ ΑΒΕΕ, έχουν συμφωνηθεί με την εταιρία κατόπιν συνεννόησης. Τα σενάρια αυτά είναι τρία, με το πρώτο να είναι η αύξηση της ζήτησης της αγοράς γάλακτος (κατ' επέκταση το συνολικό γάλα που εισέρχεται στο σύστημα για να παραχθεί) κατά 10% κρατώντας σταθερές τις ποσοτικές αναλογίες του κάθε είδους γάλακτος (πχ. 85% αγελαδινό γάλα και 15% κατσικίσιο γάλα). Σε αυτό το σενάριο παραμένει ο ίδιος χρόνος ημερήσιας παραγωγής (10 ώρες ανά μέρα). Το δεύτερο και το τρίτο σενάριο που θα μελετηθεί αναφέρεται στην αλλαγή των μηχανημάτων παστερίωσης και εμφιάλωσης γάλακτος με αντίστοιχα μεγαλύτερης δυναμικότητας (μεγαλύτερη ονομαστική ταχύτητα/ρυθμός παραγωγής). Συγκεκριμένα και στα δύο αυτά σενάρια θα υπάρχει η ίδια αναβάθμιση μηχανημάτων αλλά θα μελετηθούν με διαφορετικές ώρες παραγωγής ανά ημέρα, 8 ώρες ανά μέρα στο δεύτερο σενάριο και 10 ώρες ανά μέρα στο τρίτο σενάριο. Επιπροσθέτως, σε κάθε σενάριο ξεχωριστά θα βρεθεί η κατάλληλη ποσότητα γάλακτος που θα παραχθεί, με τη χρήση ενός μαθηματικού μοντέλου που αποτυπώνει τη σχέση χρόνου και ποσότητας γάλακτος.

Τελικώς, αφού έχουν παρουσιαστεί τα στατιστικά αποτελέσματα και οι παρατηρήσεις για κάθε σενάριο μεμονωμένα, θα συγκριθεί κάθε σενάριο ξεχωριστά με την υπάρχουσα παραγωγική διαδικασία που χρησιμοποιεί η επιχείρηση ΣΤΑΜΟΥ ΑΒΕΕ σήμερα. Οι συγκρίσεις θα οδηγήσουν σε ξεκάθαρους παρατηρήσεις για την αποδοτικότητα των συστημάτων και την επιλογή του βέλτιστου σεναρίου, ανάλογα με τις μελλοντικές επιθυμίες της εταιρίας.

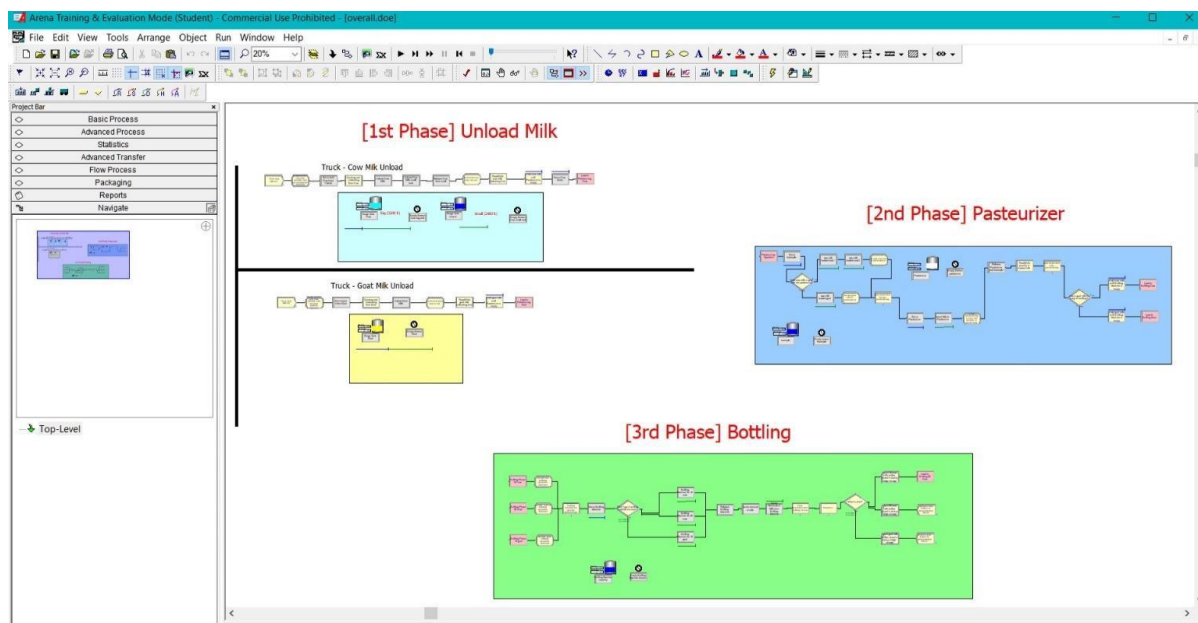
5.2 Υπάρχουσα παραγωγική διαδικασία της βιομηχανίας

Σε αυτό το κεφάλαιο θα ξεκινήσει η παρουσίαση των αποτελεσμάτων της προσομοίωσης του μοντέλου που χρησιμοποιήθηκε στην παρούσα διπλωματική εργασία. Επιπροσθέτως με όσα έχουν παρουσιαστεί στο κεφάλαιο 4.2 για την παρούσα παραγωγική διαδικασία γάλακτος, θα αναφέρουμε κάποια επιπλέον βασικά στοιχεία για το συγκεκριμένο μοντέλο.

Στο συγκεκριμένο μοντέλο έχουμε την εισροή αγελαδινού γάλακτος, ποσότητας που ακολουθεί την ομοιόμορφη κατανομή **U(3386,5373) LT**, και κατσικίσιου γάλακτος, ποσότητας που ακολουθεί την ομοιόμορφη κατανομή **U(645,1023) LT**. Οι ελάχιστες και μέγιστες τιμές (min και max αντίστοιχα) των διαστημάτων των παραπάνω ομοιόμορφων κατανομών U προκύπτουν μέσω στατιστικών υπολογισμών των μέσων τιμών της ποσότητας γάλακτος που παραγγέλλει η εταιρία ανά ημέρα για κάθε είδος γάλακτος μαζί με την αναλογία των ποσοτήτων αγελαδινού-κατσικίσιου γάλακτος ανά ημέρα, που παρουσιάζεται αναλυτικότερα παρακάτω. Η συνολική ποσότητα γάλακτος εισέρχεται στο σύστημα και αποθηκεύεται σε καθορισμένες δεξαμενές, συγκεκριμένα δύο δεξαμενές των 3200 LT και 2400 LT αντίστοιχα για το αγελαδινό γάλα και μία δεξαμενή 1500 LT για το κατσικίσιο γάλα, μέχρι να ελευθερωθεί ο παστεριωτής. Οι ποσότητες γάλακτος για κάθε κωδικό προϊόντος (που έχουν παρουσιαστεί στο κεφάλαιο 4.1) έχουν οριστεί μέσω στατιστικών υπολογισμών των μέσων τιμών της ποσότητας γάλακτος που παραγγέλλει η εταιρία ανά ημέρα από τους προμηθευτές της. Τα υπολογιστικά φύλλα αυτά δεν παρουσιάζονται στην παρούσα διπλωματική εργασία κατόπιν συνεννόησης με την εταιρία ΣΤΑΜΟΥ ΑΒΕΕ. Οι αναλογίες που χρησιμοποιούνται για όλα τα σενάρια είναι:

- ο **84%** της συνολικής ποσότητας γάλακτος είναι **αγελαδινό** (πλήρες & ελαφρύ)
- ο **16%** της συνολικής ποσότητας γάλακτος είναι **κατσικίσιο**
- ο **58%** του αγελαδινού γάλακτος που εισέρχεται στο σύστημα είναι **πλήρες**
- ο **42%** του αγελαδινού γάλακτος που εισέρχεται στο σύστημα είναι **ελαφρύ**
- ο **85%** του πλήρες γάλακτος εμφιαλώνεται σε **συσκευασία 1 LT**
- ο **15%** του πλήρες γάλακτος εμφιαλώνεται σε **συσκευασία 2 LT**
- ο **91%** του ελαφρύ γάλακτος εμφιαλώνεται σε **συσκευασία 1 LT**
- ο **9%** του ελαφρύ γάλακτος εμφιαλώνεται σε **συσκευασία 2 LT**

Μόλις αποθηκευτεί ολόκληρη η ποσότητα αγελαδινού ή κατσικίσιου γάλακτος μεταφέρεται στον παστεριωτή, όπου εκεί παραμένει για 15 λεπτά. Η ροή γάλακτος στον παστεριωτή είναι συνεχής με ονομαστική ταχύτητα **30 LT/λεπτό (LT/min)**. Μόλις παστεριωθεί το γάλα μεταφέρεται μέσω σωλήνα στο μηχάνημα εμφιάλωσης, όπου έχουν τοποθετηθεί όλες οι απαραίτητες πρώτες ύλες (πώματα, φιάλες, ετικέτες) για να ξεκινήσει η διαδικασία εμφιάλωσης. Η εμφιάλωση πραγματοποιείται ξεχωριστά για κάθε κωδικό προϊόντος (προετοιμασία του μηχανήματος με διάρκεια 25 λεπτών κάθε φορά που αλλάζει ο κωδικός προϊόντος) δίνοντας προτεραιότητα στην εμφιάλωση των συσκευασιών 1 LT πρώτα και ύστερα των συσκευασιών 2 LT. Το μηχάνημα εμφιάλωσης γεμίζει τις άδειες φιάλες με ονομαστική ταχύτητα **25 LT/λεπτό (LT/min)**. Όλες οι έτοιμες φιάλες τοποθετούνται σε παλέτες, με τη βοήθεια του προσωπικού του εργοστασίου, και αποθηκεύονται στα ειδικά διαμορφωμένα ψυγεία αποθήκευσης μέχρι να φορτωθούν στα φορτηγά της εταιρίας. Οι παραπάνω λεπτομέρειες παρουσιάζονται στην παρακάτω εικόνα (Εικόνα 13).

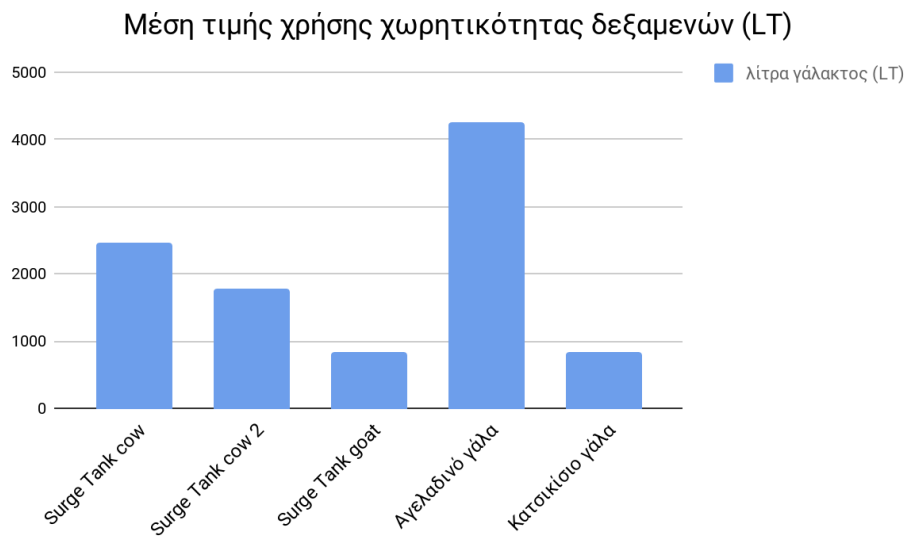


Εικόνα 11. Συνοπτική φωτογραφία του μοντέλου προσομοίωσης της υπάρχουσας παραγωγικής διαδικασίας γάλακτος στο πρόγραμμα Arena Simulation

Στο συγκεκριμένο μοντέλο που αποτυπώνει την υπάρχουσα παραγωγική διαδικασία, όπως παρουσιάστηκε παραπάνω συντόμως, εκτελούμε μία σειρά προσομοιώσεων με τη βοήθεια του λογισμικού Arena Simulation. Αναλυτικότερα, εκτελούμε μία προσομοίωση 30 εργάσιμων ημερών (1 μήνας) με διάρκεια 10 ώρες ανά ημέρα, με διάστημα εμπιστοσύνης 95% (αρχική ρύθμιση λογισμικού), η οποία μας καλύπτει. Συγκεκριμένα, το διάστημα εμπιστοσύνης 95% προσδιορίζει την πιθανότητα εμφάνισης των τιμών των παραμέτρων της προσομοίωσης (ποσότητες γάλακτος, συνολικός χρόνος προσομοίωσης κλπ.) εντός των διαστημάτων που έχουμε θέσει για το σύνολο των προσομοιώσεων. Στο τέλος της συγκεκριμένης προσομοίωσης όλα τα στατιστικά αποτελέσματα αποτυπώνονται στους παρακάτω πίνακες (Πίνακας 1-5) και γραφήματα (Γράφημα 7-10). Αρχικά, στον Πίνακα 1 παρουσιάζουμε την συνολική χρήση των δεξαμενών αποθήκευσης γάλακτος (χρήση χωρητικότητας δεξαμενής) για το πρώτο στάδιο παραγωγής και τη συνολική ποσότητα γάλακτος (αγελαδινού και κατσικίσιου) που προστέθηκε ανά ημέρα.

Δεξαμενή (LT)	Μέση τιμή (μ)	Τυπική απόκλιση (σ)	Ελάχιστη τιμή (min)	Μέγιστη Τιμή (max)
Surge Tank cow (πλήρες αγελαδινό γάλα)	2467,34	123,79	2000,18	2963,52
Surge Tank cow 2 (ελαφρύ αγελαδινό γάλα)	1786,7	89,64	1448,41	2145,99
Surge Tank goat (κατσικίσιο γάλα)	842,4	36,13	668,31	1016,05
Αγελαδινό γάλα (πλήρες & ελαφρύ)	4254,04	213,44	3448,58	5109,51
Κατσικίσιο γάλα	842,4	36,13	668,31	1016,05

Πίνακας 1. Συνολική χρήση χωρητικότητας δεξαμενών της πρώτης φάσης παραγωγής και συνολική ποσότητα γάλακτος που εισέρχεται στο εργοστάσιο ανά ημέρα σε λίτρα (LT)



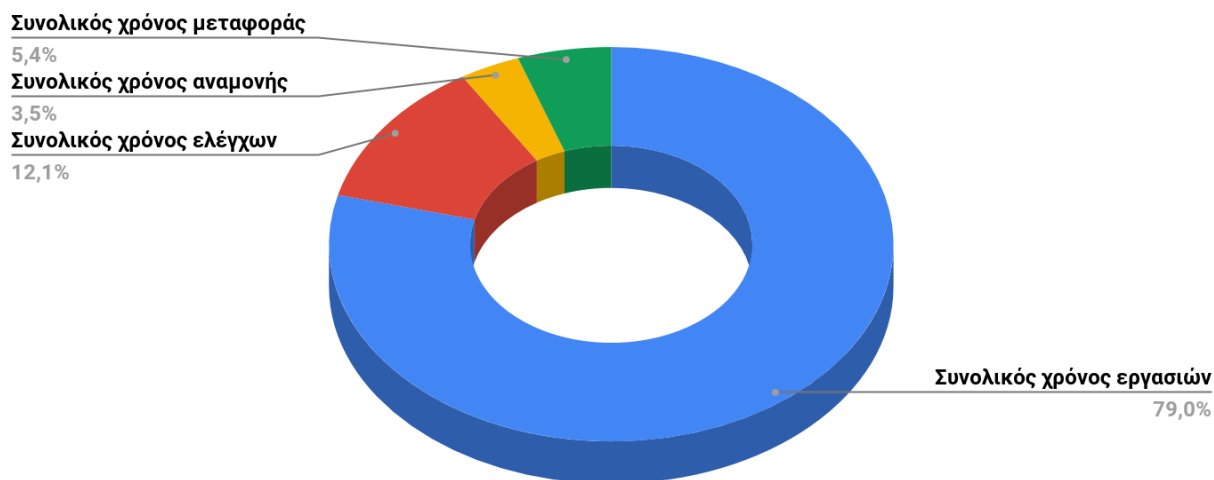
Γράφημα 7. Παρουσίαση των μέσων τιμών της συνολικής χρήσης χωρητικότητας δεξαμενών σε λίτρα (LT) του Πίνακα 1

Οι τιμές των ελάχιστων και μέγιστων τιμών του Πίνακα 1 μας δείχνουν την ομαλή λειτουργίας της γεννήτριας αριθμών $U(\min, \max)$ που χρησιμοποιήθηκε για κάθε είδος γάλακτος στο μοντέλο προσομοίωσης. Ύστερα, στον ακόλουθο πίνακα (Πίνακας 2) και γράφημα (Γράφημα 8) αποτυπώνονται οι συνολικοί χρόνοι των εργασιών, ελέγχων του γάλακτος σε όλα τα στάδια και της μεταφοράς του γάλακτος από τη μία δεξαμενή στην επόμενη δεξαμενή/μηχάνημα επεξεργασίας του μαζί με το συνολικό χρόνο παραγωγής του εργοστασίου ανά ημέρα. Τέλος, ο πίνακας περιλαμβάνει και τον συνολικό χρόνο λειτουργίας του κάθε σταδίου της παραγωγής.

Είδος χρόνου/σταδίου (min)	Μέση τιμή (μ)	Τυπική απόκλιση (σ)	Ελάχιστη τιμή (min)	Μέγιστη Τιμή (max)
Συνολικός χρόνος εργασιών (value added time)	236,41	9,97	65,72	468,41
Συνολικός χρόνος ελέγχων (non-value added time)	36,32	0,31	22,19	50,75
Συνολικός χρόνος αναμονής γάλακτος (wait time)	10,4	2,07	4,07	41,72
Συνολικός χρόνος μεταφοράς γάλακτος (transfer time)	16,03	1,48	4,26	35,49
Συνολικός χρόνος παραγωγής (total time)	299,17	8,55	104,58	549,21
Στάδιο φόρτωσης γάλακτος και αποθήκευσης (1ο στάδιο)	109,91	14,36	90,85	132,66
Στάδιο παστερίωσης (2ο στάδιο)	172,9	7,23	147,31	204,71
Στάδιο εμφιάλωσης (3ο στάδιο)	282,01	10,03	236,22	334,69
Στάδιο εμφιάλωσης φιαλών αγελαδινού 1 LT (3ο στάδιο)	159,14	6,2	131,51	192,28
Στάδιο εμφιάλωσης φιαλών αγελαδινού 2 LT (3ο στάδιο)	54,04	1,81	45,09	63,18
Στάδιο εμφιάλωσης φιαλών κατσικίσιου 1 LT (3ο στάδιο)	68,83	2,02	59,62	78,63

Πίνακας 2. Συνολικοί χρόνοι εργασιών/ελέγχων/αναμονής/μεταφοράς/παραγωγής και επεξεργασίας γάλακτος ανά στάδιο και συνολικοί χρόνοι λειτουργίας κάθε σταδίου σε λεπτά (min)

Ποσοστά ενεργών συνολικών χρόνων ανά στάδιο παραγωγής



Γράφημα 8. Παρουσίαση των ποσοστών των χρόνων που είναι ενεργό κάθε στάδιο παραγωγής ως προς το συνολικό χρόνο παραγωγής (μέσες τιμές)

Από τις παραπάνω τιμές του πίνακα, παρατηρούμε ότι η πιο ενεργή μονάδα (φάση) της παραγωγής είναι η μονάδα εμφιάλωσης, καθώς όλο το γάλα που έχει εισέλθει στο εργοστάσιο περνάει από αυτή μονάδα όπως αναφέραμε με σειρά προτεραιότητας (όποιο έχει παστεριωθεί πρώτο) λόγω της μίας μοναδικής διαθέσιμης μηχανής που υπάρχει στο χώρο της βιομηχανίας. Αντιθέτως, η πρώτη φάση της παραγωγής (αποθήκευση εισερχόμενου γάλακτος σε δεξαμενές) είναι η λιγότερο ενεργή καθώς η εκφόρτωση του αγελαδινού και κατσικίσιου γάλακτος μπορεί να γίνει ταυτόχρονα. Επιπλέον, εξετάζοντας τους συνολικούς χρόνους εργασιών, ελέγχων, μεταφοράς και αναμονής του γάλακτος στο πρώτο μισό τμήμα του Πίνακα 2 και γνωρίζοντας πως οι χρόνοι ελέγχων και μεταφοράς του γάλακτος εντός του εργοστασίου είναι σταθεροί, επιδιώκουμε την ελαχιστοποίηση των συνολικών χρόνων αναμονής και την βελτιστοποίηση του συνολικού χρόνου εργασιών σε συσχέτιση με την ποσότητα γάλατος που επεξεργάζεται εντός της ημέρας. Δηλαδή, θέλουμε να αυξήσουμε την παραγόμενη ποσότητα προϊόντων στον ίδιο συνολικό χρόνο παραγωγής (8 ή 10 ώρες). Αυτό θα επιτευχθεί μέσω της σύγκρισης της υπάρχουσας παραγωγικής διαδικασίας με τα υποθετικά σενάρια που έχει ζητήσει η εταιρία ΣΤΑΜΟΥ ABEE στα παρακάτω κεφάλαια.

Στον Πίνακα 3 συμπεριλαμβάνονται αναλυτικότερα οι χρόνοι των ουρών αναμονής που δημιουργούνται κατά την παραγωγική διαδικασία. Ιδανικά, η κάθε επιχείρηση επιθυμεί τον ελάχιστο δυνατό χρόνο αναμονής της πρώτης ύλης σε κάθε σημείο της παραγωγικής μονάδας της. Στη δική μας περίπτωση παρατηρούμε ότι υπάρχει πιθανότητα αναμονής του αγελαδινού γάλακτος πριν τη παστερίωση. Αυτό συμβαίνει γιατί ο παστεριωτής εκείνη τη χρονική στιγμή βρίσκεται σε λειτουργία και επεξεργάζεται το κατσικίσιο γάλα. Κατά τη διάρκεια παστερίωσης του κατσικίσιου γάλακτος, το αγελαδινό γάλα παραμένει στις δεξαμενές που έχει αποθηκευτεί χωρίς να αλλοιώνεται σύσταση και η ποιότητα του, καθώς είναι σε περιβάλλον με σταθερή θερμοκρασία (5-7 °C) και υγρασία. Μπορεί να παραμείνει σε αυτό το περιβάλλον μέχρι και μία ώρα χωρίς να επηρεάσει την παραγωγική διαδικασία. Η συγκεκριμένη ουρά αναμονής πρακτικώς μπορεί να ελαχιστοποιηθεί (εώς και να μηδενιστεί) μέσω της αλλαγής του μηχανήματος παστερίωσης με ένα καινούργιο μηχάνημα με μεγαλύτερη ονομαστική ταχύτητα ή χωρητικότητα παστερίωσης.

Είδος χρόνου αναμονής (min)	Μέση τιμή (μ)	Τυπική απόκλιση (σ)	Ελάχιστη τιμή (min)	Μέγιστη Τιμή (max)
Αναμονή αγελαδινού γάλακτος πριν την παστερίωση	8,53	3,96	0	34,28
Αναμονή κατακίσιου γάλακτος πριν την παστερίωση	0	0	0	0
Αναμονή αγελαδινού γάλακτος πριν την εμφιάλωση	0	0	0	0
Αναμονή κατακίσιου γάλακτος πριν την εμφιάλωση	0	0	0	0
Υπερφόρτωση δεξαμενών αποθήκευσης (1ο στάδιο)	0	0	0	0
Υπερφόρτωση μηχανής εμφιάλωσης (3ο στάδιο)	0	0	0	0

Πίνακας 3. Αναλυτικοί χρόνοι των ουρών αναμονής του γάλακτος σε όλα τα στάδια παραγωγής σε λεπτά (min)

Αφού έχουμε αναλύσει τους χρόνους αναμονής και εργασιών κατά την παραγωγική διαδικασία θα εξετάσουμε παρακάτω τα αποτελέσματα των συνολικών χρόνων των ελέγχων που πραγματοποιούνται σε όλα τα στάδια της παραγωγής. Στον ακόλουθο πίνακα (Πίνακας 4) εμφανίζονται οι αριθμητικές τιμές των προαναφερθέντων ελέγχων.

Είδος χρόνου διαδικασίας ελέγχου (min)	Μέση τιμή (μ)	Τυπική απόκλιση (σ)	Ελάχιστη τιμή (min)	Μέγιστη Τιμή (max)
Ποιοτικός έλεγχος γάλακτος πριν την παστερίωση	0,73	0,03	0,5	0,99
Ποιοτικός έλεγχος γάλακτος πριν την εμφιάλωση	0,77	0,03	0,51	1
Προετοιμασία μηχανής εμφιάλωσης για συγκεκριμένο κωδικό προϊόντος	24,21	0,21	22,19	25,86
Τοποθέτηση έτοιμων φιαλών σε παλέτες	10,51	0,98	3,74	20,16
Τελευταίος ποιοτικός έλεγχος γάλακτος μετά την εμφιάλωση	0,77	0,03	0,5	1

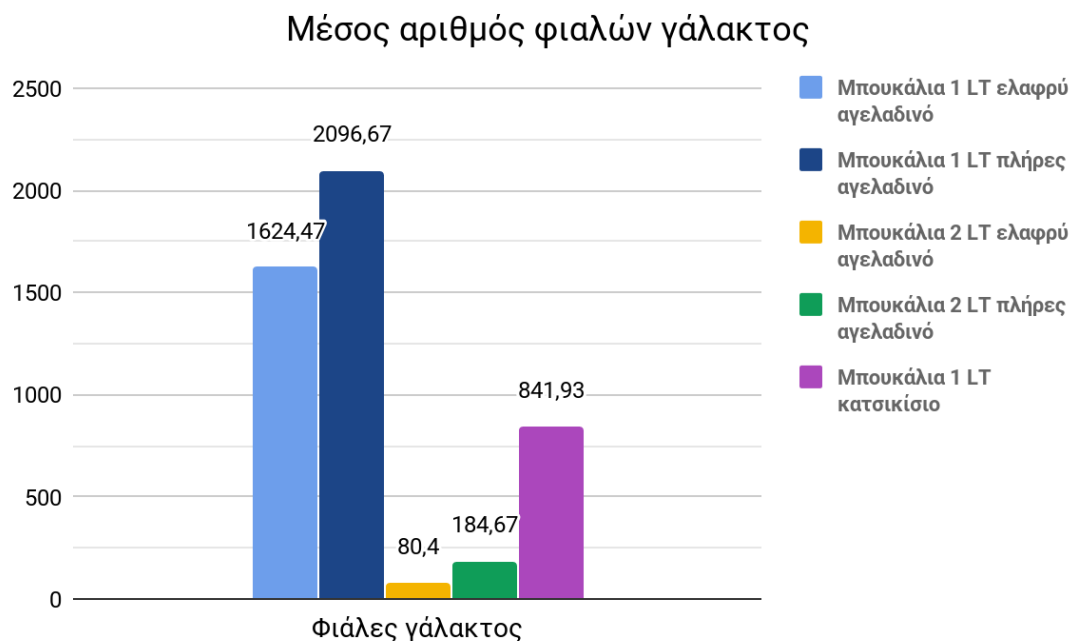
Πίνακας 4. Αναλυτικοί χρόνοι των διαδικασιών ελέγχου του γάλακτος σε όλα τα στάδια παραγωγής σε λεπτά (min)

Εξετάζοντας τις τιμές του παραπάνω πίνακα (Πίνακας 4) με τους θεωρητικούς χρόνους που γνωρίζουμε για τους συγκεκριμένους ελέγχους, παρατηρούμε απόλυτη ταύτιση και άριστη λειτουργία των γεννητριών αριθμών U (min,max) που έχει ο αλγόριθμος. Έτσι δεν επιδιώκουμε κάποια αλλαγή στους συγκεκριμένους χρόνους, καθώς δεν επηρεάζουν το σύστημα παραγωγής αισθητά. Τέλος,

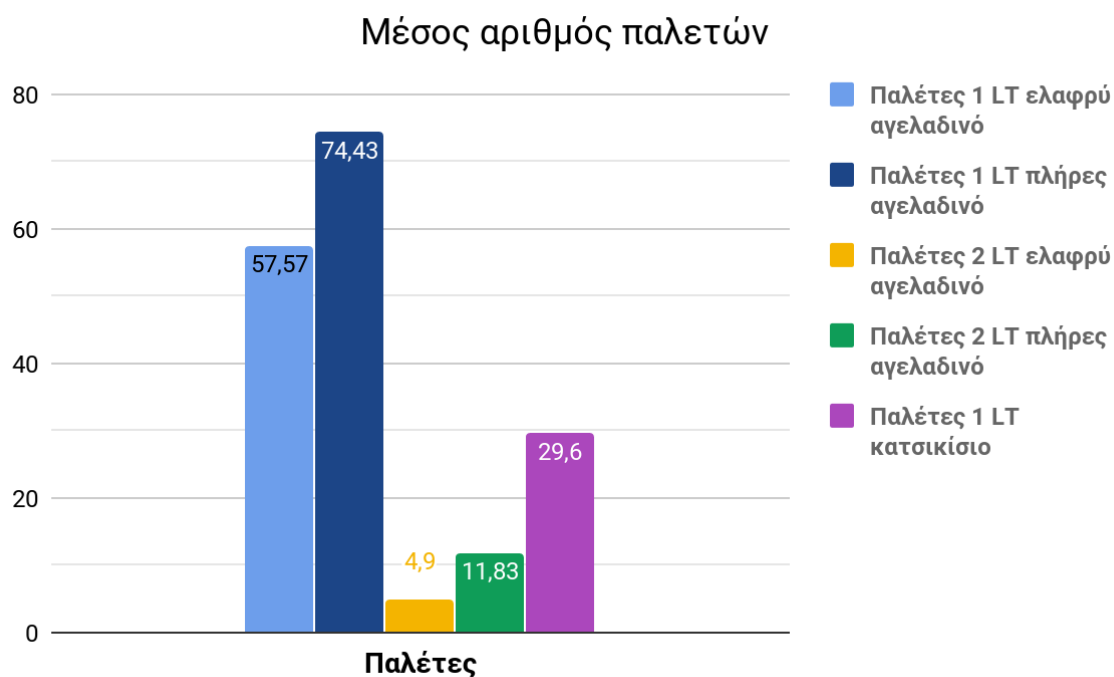
αφού έχει ολοκληρωθεί η προσομοίωση του μοντέλου παρουσιάζονται στον τελευταίο πίνακα αυτού του κεφαλαίου (Πίνακας 5) και στα δύο παρακάτω γραφήματα (Γράφημα 9-10), οι τελικές τιμές των έτοιμων φιαλών γάλακτος ανά κωδικό προϊόντος, τη συνολική ποσότητα των παλετών που αποθηκεύτηκαν στα ψυγεία αποθήκευσης ανά κωδικό προϊόντος και οι συνολικοί κύκλοι παστερίωσης που ολοκληρώθηκαν κατά τη διάρκεια της μίας εργάσιμης παραγωγικής ημέρας.

Είδος μεταβλητής	Μέση τιμή (μ)	Τυπική απόκλιση (σ)	Ελάχιστη τιμή (min)	Μέγιστη Τιμή (max)
Κύκλοι παστερίωσης	7,19	0,12	0	13
Μπουκάλια 1 LT ελαφρύ αγελαδινό	1624,47	81,56	1317	1951
Μπουκάλια 1 LT πλήρες αγελαδινό	2096,67	105,22	1700	2518
Μπουκάλια 2 LT ελαφρύ αγελαδινό	80,4	4,08	65	97
Μπουκάλια 2 LT πλήρες αγελαδινό	184,67	9,28	150	222
Μπουκάλια 1 LT κατσικίσιο	841,93	36,13	668	1016
Παλέτες 1 LT ελαφρύ αγελαδινό	57,57	2,93	47	69
Παλέτες 1 LT πλήρες αγελαδινό	74,43	3,76	60	89
Παλέτες 2 LT ελαφρύ αγελαδινό	4,9	0,32	4	6
Παλέτες 2 LT πλήρες αγελαδινό	11,83	0,63	10	14
Παλέτες 1 LT κατσικίσιο	29,6	1,3	23	36

Πίνακας 5. Τελικός αριθμός φιαλών/παλετών και συνολικών κύκλων παστερίωσης



Γράφημα 9. Παρουσίαση μέσου αριθμού μπουκαλιών ανά κωδικό προϊόντος



Γράφημα 10. Παρουσίαση μέσου αριθμού παλετών ανά κωδικό προϊόντος

Παρατηρώντας τον παραπάνω πίνακα (Πίνακας 5) και τα γραφήματα (Γράφημα 9-10), μπορούμε να συμπεραίνουμε οπτικώς την ταύτιση των αναλογιών ανά κωδικό προϊόντος που παρουσιάστηκαν στην αρχή του κεφαλαίου με τις τιμές των αποτελεσμάτων της προσομοίωσης.

Τελικώς, έπειτα από την αναλυτική παρουσίαση των αποτελεσμάτων της υπάρχουσας παραγωγικής γραμμής που χρησιμοποιεί η εταιρία ΣΤΑΜΟΥ ΑΒΕΕ θα συνεχίσουμε στην ανάλυση των υποθετικών σεναρίων που έχουν τεθεί από την εταιρία. Η υπάρχουσα παραγωγική γραμμή θα χρησιμοποιηθεί, όπως αναφέραμε στην εισαγωγή του κεφαλαίου 5 (Κεφάλαιο 5.1), ως μέτρο σύγκρισης. Δηλαδή θα συγκριθούν όλα τα ακόλουθα σενάρια με το υπάρχον δίκτυο παραγωγής στο τέλος κάθε κεφαλαίου του κάθε σεναρίου ξεχωριστά.

5.3 Σενάριο Α - Αύξηση της ζήτησης όλων των ειδών γάλακτος κατά 10%

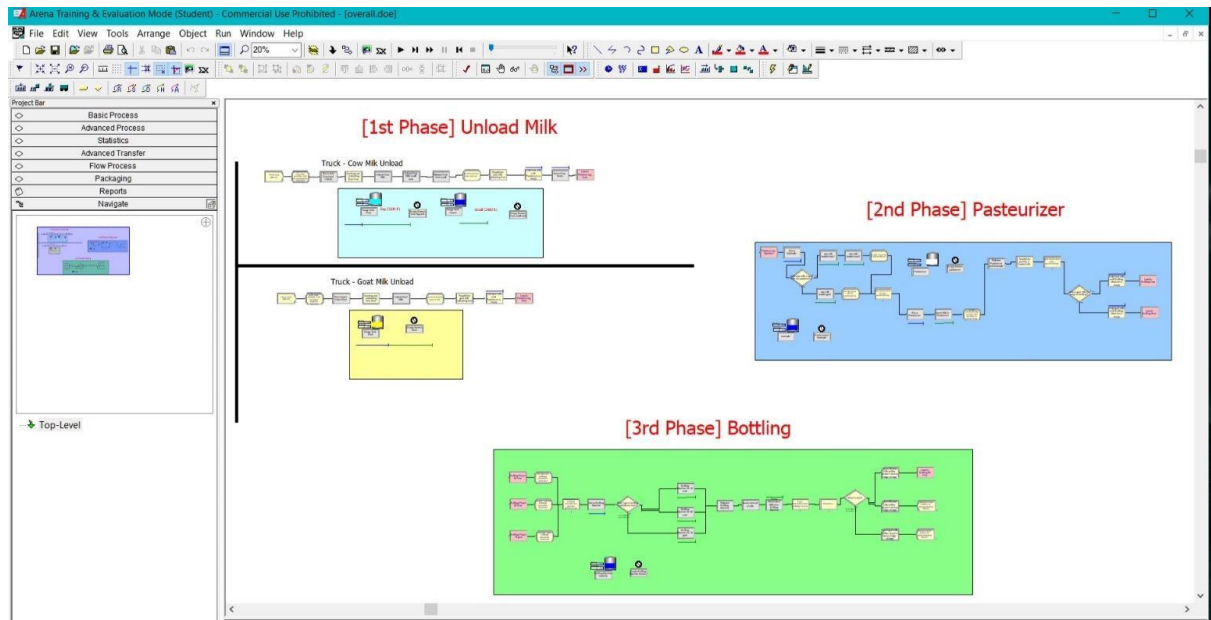
Σε αυτό το κεφάλαιο θα ξεκινήσει η παρουσίαση των αποτελεσμάτων της προσομοίωσης του μοντέλου που χρησιμοποιήθηκε για την αναπαράσταση του σεναρίου Α σε αυτή τη διπλωματική εργασία. Επιπροσθέτως με όσα έχουν παρουσιαστεί στο κεφάλαιο 4.2 για την παρούσα παραγωγική διαδικασία γάλακτος, θα αναφέρουμε κάποια επιπλέον βασικά στοιχεία για το συγκεκριμένο μοντέλο. Το σενάριο αυτό δείχνει την αύξηση της ζήτησης γάλακτος της επιχείρησης ΣΤΑΜΟΥ ΑΒΕΕ κατά 10% συνολικά, οπότε υπάρχει ανάλογη αύξηση της εισερχόμενης ποσότητας γάλακτος ανά είδος ξεχωριστά.

Στο συγκεκριμένο μοντέλο έχουμε την εισροή αγελαδινού γάλακτος, ποσότητας που ακολουθεί την ομοιόμορφη κατανομή **U(3724,5910) LT**, και κατσικίσιου γάλακτος, ποσότητας που ακολουθεί την ομοιόμορφη κατανομή **U(709,1125) LT**. Οι ελάχιστες και μέγιστες τιμές (min και max αντίστοιχα) των διαστημάτων των παραπάνω ομοιόμορφων κατανομών U προκύπτουν μέσω στατιστικών υπολογισμών των μέσων τιμών της ποσότητας γάλακτος που παραγγέλλει η εταιρία ανά ημέρα για κάθε είδος γάλακτος (με την επιπλέον αύξηση 10%) μαζί με την αναλογία των ποσοτήτων αγελαδινού-κατσικίσιου γάλακτος ανά ημέρα, που παρουσιάζεται αναλυτικότερα παρακάτω. Η συνολική ποσότητα γάλακτος εισέρχεται στο σύστημα και αποθηκεύεται σε καθορισμένες δεξαμενές, συγκεκριμένα δύο δεξαμενές των 3200 LT και 2400 LT αντίστοιχα για το αγελαδινό γάλα και μία δεξαμενή 1500 LT για το κατσικίσιο γάλα, μέχρι να ελευθερωθεί ο παστεριωτής. Οι ποσότητες γάλακτος για κάθε κωδικό προϊόντος (που έχουν παρουσιαστεί στο κεφάλαιο 4.1) έχουν οριστεί μέσω στατιστικών υπολογισμών των μέσων τιμών της ποσότητας γάλακτος που παραγγέλλει η εταιρία ανά ημέρα από τους προμηθευτές της. Τα υπολογιστικά φύλλα αυτά δεν παρουσιάζονται στην παρούσα διπλωματική εργασία κατόπιν συνεννόησης με την εταιρία ΣΤΑΜΟΥ ΑΒΕΕ. Οι αναλογίες που χρησιμοποιούνται για όλα τα σενάρια είναι:

- ο **84%** της συνολικής ποσότητας γάλακτος είναι **αγελαδινό** (πλήρες & ελαφρύ)
- ο **16%** της συνολικής ποσότητας γάλακτος είναι **κατσικίσιο**
- ο **58%** του αγελαδινού γάλακτος που εισέρχεται στο σύστημα είναι **πλήρες**
- ο **42%** του αγελαδινού γάλακτος που εισέρχεται στο σύστημα είναι **ελαφρύ**
- ο **85%** του πλήρες γάλακτος εμφιαλώνεται σε **συσκευασία 1 LT**
- ο **15%** του πλήρες γάλακτος εμφιαλώνεται σε **συσκευασία 2 LT**
- ο **91%** του ελαφρύ γάλακτος εμφιαλώνεται σε **συσκευασία 1 LT**
- ο **9%** του ελαφρύ γάλακτος εμφιαλώνεται σε **συσκευασία 2 LT**

Μόλις αποθηκευτεί ολόκληρη η ποσότητα αγελαδινού ή κατσικίσιου γάλακτος μεταφέρεται στον παστεριωτή, όπου εκεί παραμένει για 15 λεπτά. Η ροή γάλακτος στον παστεριωτή είναι συνεχής με ονομαστική ταχύτητα **30 LT/λεπτό** (LT/min). Μόλις παστεριωθεί το γάλα μεταφέρεται μέσω σωλήνα στο μηχάνημα εμφιάλωσης, όπου έχουν τοποθετηθεί όλες οι απαραίτητες πρώτες ύλες (πώματα, φιάλες, ετικέτες) για να ξεκινήσει η διαδικασία εμφιάλωσης. Η εμφιάλωση πραγματοποιείται ξεχωριστά για κάθε κωδικό προϊόντος (προετοιμασία του μηχανήματος με διάρκεια 25 λεπτών κάθε φορά που αλλάζει ο κωδικός προϊόντος) δίνοντας προτεραιότητα στην εμφιάλωση των συσκευασιών

1 LT πρώτα και ύστερα των συσκευασιών 2 LT. Το μηχάνημα εμφιάλωσης γεμίζει τις άδειες φιάλες με ονομαστική ταχύτητα **25 LT/λεπτό** (LT/min). Όλες οι έτοιμες φιάλες τοποθετούνται σε παλέτες, με τη βοήθεια του προσωπικού του εργοστασίου, και αποθηκεύονται στα ειδικά διαμορφωμένα ψυγεία αποθήκευσης μέχρι να φορτωθούν στα φορτηγά της εταιρίας. Οι παραπάνω λεπτομέρειες παρουσιάζονται στην παρακάτω εικόνα (Εικόνα 14).

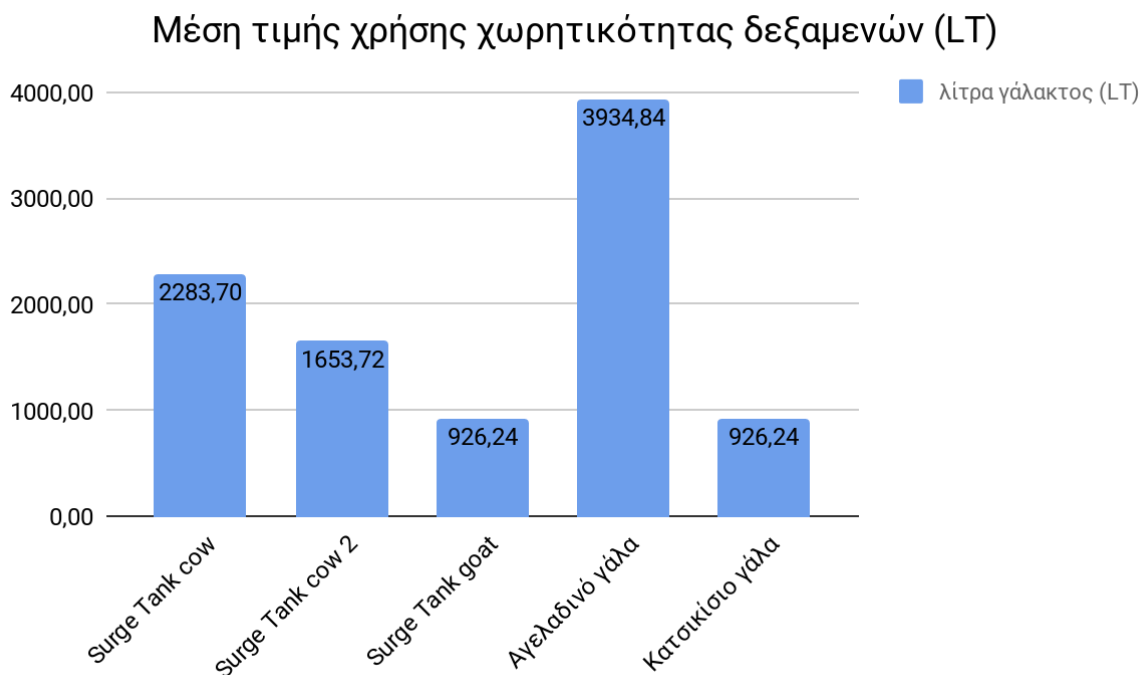


Εικόνα 12. Συνοπτική φωτογραφία του μοντέλου προσομοίωσης της υπάρχουσας παραγωγικής διαδικασίας γάλακτος στο πρόγραμμα Arena Simulation

Στο συγκεκριμένο μοντέλο που αποτυπώνει το σενάριο Α, όπως παρουσιάστηκε παραπάνω συντόμως, εκτελούμε μία σειρά προσομοιώσεων με τη βοήθεια του λογισμικού Arena Simulation. Αναλυτικότερα, εκτελούμε μία προσομοίωση 30 εργάσιμων ημερών (1 μήνας) με διάρκεια 10 ώρες ανά ημέρα, με διάστημα εμπιστοσύνης 95% (αρχική ρύθμιση λογισμικού), η οποία μας καλύπτει. Συγκεκριμένα, το διάστημα εμπιστοσύνης 95% προσδιορίζει την πιθανότητα εμφάνισης των τιμών των παραμέτρων της προσομοίωσης (ποσότητες γάλακτος, συνολικός χρόνος προσομοίωσης κλπ.) εντός των διαστημάτων που έχουμε θέσει για το σύνολο των προσομοιώσεων. Στο τέλος της συγκεκριμένης προσομοίωσης όλα τα στατιστικά αποτελέσματα αποτυπώνονται στους παρακάτω πίνακες (Πίνακας 6-10) και γραφήματα (Γράφημα 11-14). Αρχικά, στον Πίνακα 6 παρουσιάζουμε την συνολική χρήση των δεξαμενών αποθήκευσης γάλακτος (χρήση χωρητικότητας δεξαμενής) για το πρώτο στάδιο παραγωγής και τη συνολική ποσότητα γάλακτος (αγελαδινού και κατσικίσιου) που προστέθηκε ανά ημέρα.

Δεξαμενή (LT)	Μέση τιμή (μ)	Τυπική απόκλιση (σ)	Ελάχιστη τιμή (min)	Μέγιστη Τιμή (max)
Surge Tank cow (πλήρες αγελαδινό γάλα)	2283,70	358,37	2000,18	3199,02
Surge Tank cow 2 (ελαφρύ αγελαδινό γάλα)	1653,72	259,51	1448,41	2316,53
Surge Tank goat (κατσικίσιο γάλα)	926,24	39,72	734,65	1117,35
Αγελαδινό γάλα (πλήρες & ελαφρύ)	3934,84	234,81	3792,85	5620,12
Κατσικίσιο γάλα	926,24	39,72	734,65	1117,35

Πίνακας 6. Συνολική χρήση χωρητικότητας δεξαμενών της πρώτης φάσης παραγωγής και συνολική ποσότητα γάλακτος που εισέρχεται στο εργοστάσιο ανά ημέρα σε λίτρα (LT)



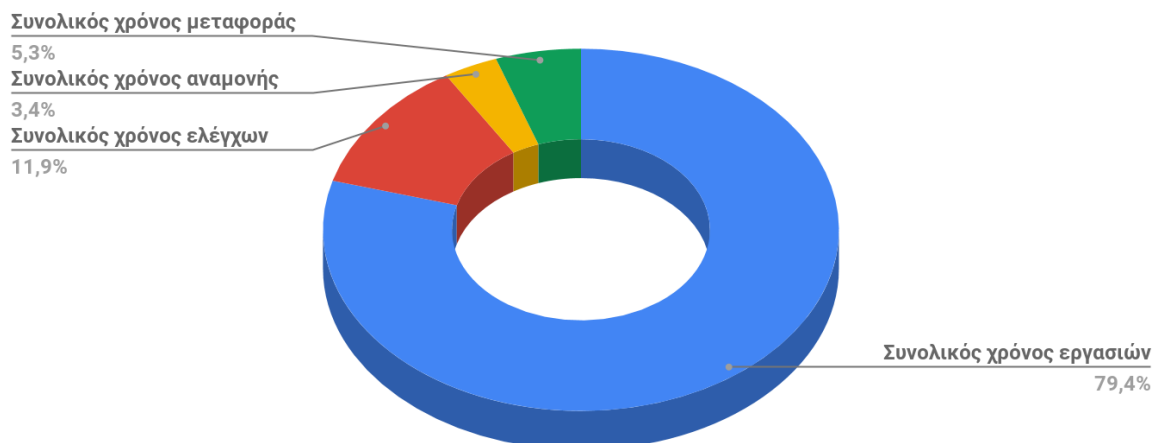
Γράφημα 11. Παρουσίαση των μέσων τιμών της συνολικής χρήσης χωρητικότητας δεξαμενών σε λίτρα (LT) του Πίνακα 6

Οι τιμές των ελάχιστων και μέγιστων τιμών του Πίνακα 6 μας δείχνουν την ομαλή λειτουργίας της γεννήτριας αριθμών $U(\min, \max)$ που χρησιμοποιήθηκε για κάθε είδος γάλακτος στο μοντέλο προσομοίωσης. Ύστερα, στον ακόλουθο πίνακα (Πίνακας 7) και γράφημα (Γράφημα 12) αποτυπώνονται οι συνολικοί χρόνοι των εργασιών, ελέγχων του γάλακτος σε όλα τα στάδια και της μεταφοράς του γάλακτος από τη μία δεξαμενή στην επόμενη δεξαμενή/μηχάνημα επεξεργασίας του μαζί με το συνολικό χρόνο παραγωγής του εργοστασίου ανά ημέρα. Τέλος, ο πίνακας περιλαμβάνει και τον συνολικό χρόνο λειτουργίας του κάθε σταδίου της παραγωγής.

Είδος χρόνου/σταδίου (min)	Μέση τιμή (μ)	Τυπική απόκλιση (σ)	Ελάχιστη τιμή (min)	Μέγιστη Τιμή (max)
Συνολικός χρόνος εργασιών (value added time)	232,01	23,15	72,25	505,63
Συνολικός χρόνος ελέγχων (non-value added time)	34,71	1,74	22,19	50,75
Συνολικός χρόνος αναμονής γάλακτος (wait time)	9,96	2,13	4,07	42,50
Συνολικός χρόνος μεταφοράς γάλακτος (transfer time)	15,62	1,54	4,26	35,49
Συνολικός χρόνος παραγωγής (total time)	292,3	25,67	111,19	594,85
Στάδιο φόρτωσης γάλακτος και αποθήκευσης (1ο στάδιο)	117,04	13,91	99,46	140,78
Στάδιο παστερίωσης (2ο στάδιο)	172,9	7,23	147,31	204,71
Στάδιο εμφιάλωσης (3ο στάδιο)	266,03	21,95	238,95	352,98
Στάδιο εμφιάλωσης φιαλών αγελαδινού 1 LT (3ο στάδιο)	145,5	12,42	131,51	205,84
Στάδιο εμφιάλωσης φιαλών αγελαδινού 2 LT (3ο στάδιο)	48,35	7,42	45,09	65,08
Στάδιο εμφιάλωσης φιαλών κατσικίσιου 1 LT (3ο στάδιο)	72,18	2,11	62,35	82,06

Πίνακας 7. Συνολικοί χρόνοι εργασιών/ελέγχων/αναμονής/μεταφοράς/παραγωγής και επεξεργασίας γάλακτος ανά στάδιο και συνολικοί χρόνοι λειτουργίας κάθε σταδίου σε λεπτά (min)

Ποσοστά ενεργών συνολικών χρόνων ανά στάδιο παραγωγής



Γράφημα 12. Παρουσίαση των ποσοστών των χρόνων που είναι ενεργό κάθε στάδιο παραγωγής ως προς το συνολικό χρόνο παραγωγής (μέσες τιμές)

Από τις παραπάνω τιμές του πίνακα, παρατηρούμε ότι η πιο ενεργή μονάδα (φάση) της παραγωγής είναι η μονάδα εμφιάλωσης, καθώς όλο το γάλα που έχει εισέλθει στο εργοστάσιο περνάει από αυτή μονάδα όπως αναφέραμε με σειρά προτεραιότητας (όποιο έχει παστεριωθεί πρώτο) λόγω της μίας μοναδικής διαθέσιμης μηχανής που υπάρχει στο χώρο της βιομηχανίας. Αντιθέτως, η πρώτη φάση της παραγωγής (αποθήκευση εισερχόμενου γάλακτος σε δεξαμενές) είναι η λιγότερο ενεργή καθώς η εκφόρτωση του αγελαδινού και κατσικίσιου γάλακτος μπορεί να γίνει ταυτόχρονα. Επιπλέον, εξετάζοντας τους συνολικούς χρόνους εργασιών, ελέγχων, μεταφοράς και αναμονής του γάλακτος στο πρώτο μισό τμήμα του πίνακα 7 και γνωρίζοντας πως οι χρόνοι ελέγχων και μεταφοράς του γάλακτος εντός του εργοστασίου είναι σταθεροί, επιδιώκουμε την ελαχιστοποίηση των συνολικών χρόνων αναμονής και την βελτιστοποίηση του συνολικού χρόνου εργασιών σε συσχέτιση με την ποσότητα γάλατος που επεξεργάζεται εντός της ημέρας. Δηλαδή, επιτυγχάνουμε να αυξήσουμε την παραγόμενη ποσότητα προϊόντων στον ίδιο συνολικό χρόνο παραγωγής (10 ώρες). Όμως παρατηρούμε ότι ο μέγιστος συνολικός χρόνος παραγωγής του εργοστασίου (max) αγγίζει την οριακή τιμή των 10 ωρών (600 λεπτά). Αυτό σημαίνει ότι το σύστημα μας είναι πολύ εύκολο να καταστεί ασταθές με τις συγκεκριμένες παραμέτρους προσομοίωσης που έχουν τεθεί.

Στον παρακάτω πίνακα (Πίνακας 8) συμπεριλαμβάνονται αναλυτικότερα οι χρόνοι των ουρών αναμονής που δημιουργούνται κατά την παραγωγική διαδικασία. Ιδανικά, η κάθε επιχείρηση επιθυμεί τον ελάχιστο δυνατό χρόνο αναμονής της πρώτης ύλης σε κάθε σημείο της παραγωγικής μονάδας της. Στη δική μας περίπτωση παρατηρούμε ότι υπάρχει πιθανότητα αναμονής του αγελαδινού γάλακτος πριν τη παστερίωση. Αυτό συμβαίνει γιατί ο παστεριωτής εκείνη τη χρονική στιγμή βρίσκεται σε λειτουργία και επεξεργάζεται το κατσικίσιο γάλα. Κατά τη διάρκεια παστερίωσης του κατσικίσιου γάλακτος, το αγελαδινό γάλα παραμένει στις δεξαμενές που έχει αποθηκευτεί χωρίς να αλλοιώνεται σύσταση και η ποιότητα του, καθώς είναι σε περιβάλλον με σταθερή θερμοκρασία (5-7 °C) και υγρασία. Μπορεί να παραμείνει σε αυτό το περιβάλλον μέχρι και μία ώρα χωρίς να επηρεάσει την παραγωγική διαδικασία. Η συγκεκριμένη ουρά αναμονής πρακτικώς μπορεί να ελαχιστοποιηθεί (εώς και να μηδενιστεί) μέσω της αλλαγής του μηχανήματος παστερίωσης με ένα καινούργιο μηχάνημα με μεγαλύτερη ονομαστική ταχύτητα ή χωρητικότητα παστερίωσης.

Είδος χρόνου αναμονής (min)	Μέση τιμή (μ)	Τυπική απόκλιση (σ)	Ελάχιστη τιμή (min)	Μέγιστη Τιμή (max)
Αναμονή αγελαδινού γάλακτος πριν την παστερίωση	7,9	4,02	0	35,04
Αναμονή κατσικίσιου γάλακτος πριν την παστερίωση	0	0	0	0
Αναμονή αγελαδινού γάλακτος πριν την εμφιάλωση	0	0	0	0
Αναμονή κατσικίσιου γάλακτος πριν την εμφιάλωση	0	0	0	0
Υπερφόρτωση δεξαμενών αποθήκευσης (1ο στάδιο)	0	0	0	0
Υπερφόρτωση μηχανής εμφιάλωσης (3ο στάδιο)	0	0	0	0

Πίνακας 8. Αναλυτικοί χρόνοι των ουρών αναμονής του γάλακτος σε όλα τα στάδια παραγωγής σε λεπτά (min)

Αφού έχουμε αναλύσει τους χρόνους αναμονής και εργασιών κατά την παραγωγική διαδικασία θα εξετάσουμε παρακάτω τα αποτελέσματα των συνολικών χρόνων των ελέγχων που πραγματοποιούνται σε όλα τα στάδια της παραγωγής. Στον ακόλουθο πίνακα (Πίνακας 9) εμφανίζονται οι αριθμητικές τιμές των προαναφερθέντων ελέγχων.

Είδος χρόνου διαδικασίας ελέγχου (min)	Μέση τιμή (μ)	Τυπική απόκλιση (σ)	Ελάχιστη τιμή (min)	Μέγιστη Τιμή (max)
Ποιοτικός έλεγχος γάλακτος πριν την παστερίωση	0,73	0,04	0,5	0,99
Ποιοτικός έλεγχος γάλακτος πριν την εμφιάλωση	0,77	0,04	0,51	1
Προετοιμασία μηχανής εμφιάλωσης για συγκεκριμένο κωδικό προϊόντος	24,17	0,27	22,19	25,86
Τοποθέτηση έτοιμων φιαλών σε παλέτες	10,72	0,98	3,75	20,15
Τελευταίος ποιοτικός έλεγχος γάλακτος μετά την εμφιάλωση	0,76	0,04	0,5	1

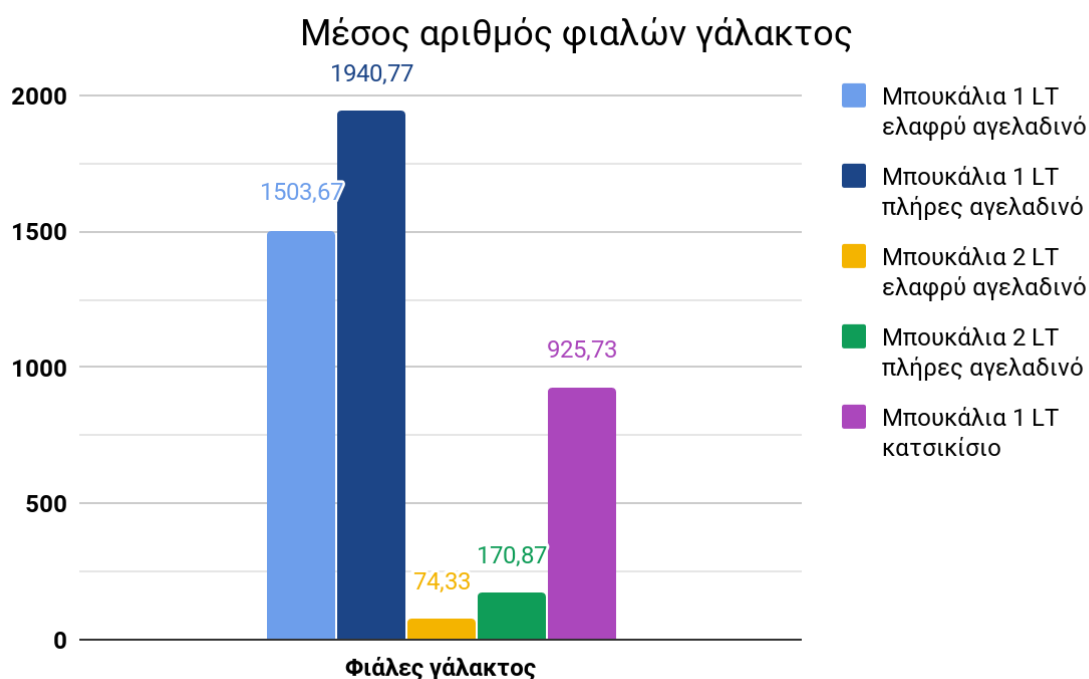
Πίνακας 9. Αναλυτικοί χρόνοι των διαδικασιών ελέγχου του γάλακτος σε όλα τα στάδια παραγωγής σε λεπτά (min)

Εξετάζοντας τις τιμές του παραπάνω πίνακα (Πίνακας 4) με τους θεωρητικούς χρόνους που γνωρίζουμε για τους συγκεκριμένους ελέγχους, παρατηρούμε απόλυτη ταύτιση και άριστη λειτουργία των γεννητριών αριθμών U (min,max) που έχει ο αλγόριθμος. έτσι δεν επιδιώκουμε κάποια αλλαγή στους συγκεκριμένους χρόνους, καθώς δεν επηρεάζουν το σύστημα παραγωγής αισθητά. Τέλος, αφού έχει ολοκληρωθεί η προσομοίωση του μοντέλου παρουσιάζονται στον τελευταίο πίνακα αυτού του κεφαλαίου (Πίνακας 10) και στα δύο παρακάτω γραφήματα (Γράφημα 13-14), οι τελικές τιμές των έτοιμων φιαλών γάλακτος ανά κωδικό προϊόντος, τη συνολική ποσότητα των παλετών που

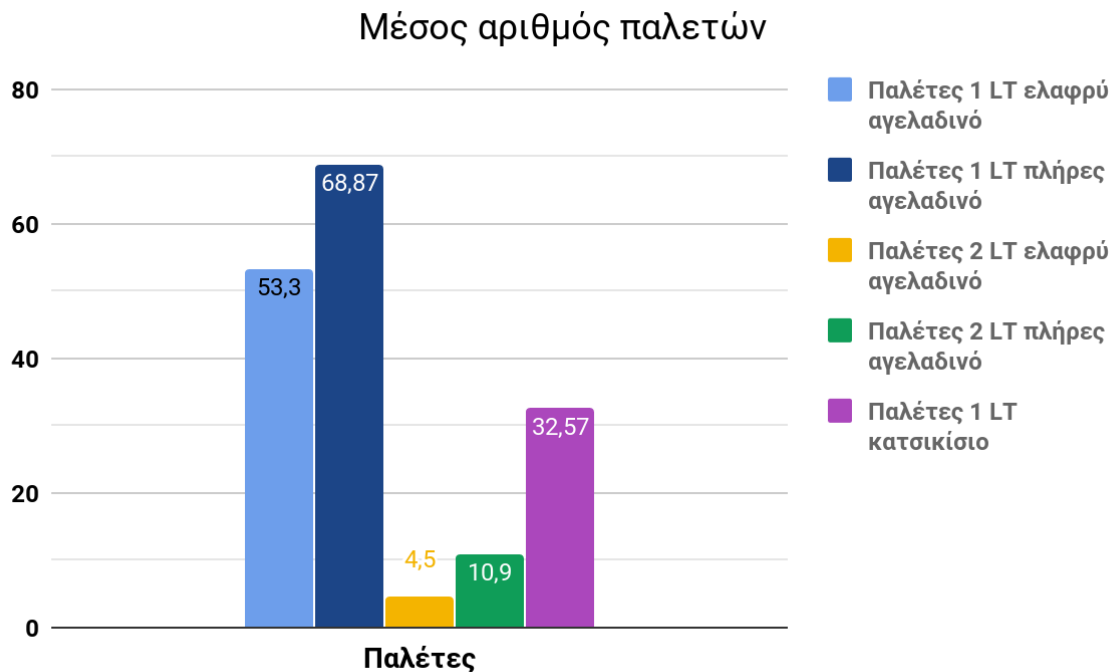
αποθηκεύτηκαν στα ψυγεία αποθήκευσης ανά κωδικό προϊόντος και οι συνολικοί κύκλοι παστερίωσης που ολοκληρώθηκαν κατά τη διάρκεια της μίας εργάσιμης παραγωγικής ημέρας.

Είδος μεταβλητής	Μέση τιμή (μ)	Τυπική απόκλιση (σ)	Ελάχιστη τιμή (min)	Μέγιστη Τιμή (max)
Κύκλοι παστερίωσης	6,63	0,72	0	14
Μπουκάλια 1 LT ελαφρύ αγελαδινό	1503,67	135,98	1317	2106
Μπουκάλια 1 LT πλήρες αγελαδινό	1940,77	104,56	1700	2719
Μπουκάλια 2 LT ελαφρύ αγελαδινό	74,33	11,66	65	104
Μπουκάλια 2 LT πλήρες αγελαδινό	170,87	16,82	150	239
Μπουκάλια 1 LT κατσικίσιο	925,73	39,78	734	1117
Παλέτες 1 LT ελαφρύ αγελαδινό	53,3	8,38	47	75
Παλέτες 1 LT πλήρες αγελαδινό	68,87	5,82	60	97
Παλέτες 2 LT ελαφρύ αγελαδινό	4,5	0,71	3	6
Παλέτες 2 LT πλήρες αγελαδινό	10,9	1,72	8	15
Παλέτες 1 LT κατσικίσιο	32,57	1,42	26	39

Πίνακας 10. Τελικός αριθμός φιαλών/παλετών και συνολικών κύκλων παστερίωσης



Γράφημα 13. Παρουσίαση μέσου αριθμού μπουκαλιών ανά κωδικό προϊόντος



Γράφημα 14. Παρουσίαση μέσου αριθμού παλετών ανά κωδικό προϊόντος

Παρατηρώντας τον παραπάνω πίνακα (Πίνακας 10) και τα γραφήματα (Γράφημα 13-14), μπορούμε να συμπεραίνουμε οπτικώς την ταύτιση των αναλογιών ανά κωδικό προϊόντος που παρουσιάστηκαν στην αρχή του κεφαλαίου με τις τιμές των αποτελεσμάτων της προσομοίωσης.

Τελικώς, αναλύοντας και συγκρίνοντας τα αποτελέσματα του σεναρίου Α με την υπάρχουσα παραγωγική διαδικασία δεν παρατηρούμε σημαντικές βελτιώσεις στους χρόνους παραγωγής και επιπλέον καμία καθυστέρηση στις διαδικασίες ελέγχου, αναμονής κλπ. Παρόλα αυτά, η αύξηση της ζήτησης κατά 10% φέρνει το σύστημα κοντά στην οριακή τιμή διαθέσιμου χρόνου παραγωγής ανά ημέρα (10 ώρες ή 600 λεπτά) και καθιστά το σύστημα ασταθές σε συγκεκριμένες περιπτώσεις. Ιδανικότερο, η επιχείρηση θα μπορούσε να αντεπεξέλθει σε αύξηση της παραγωγικής ικανότητας της με τον ίδιο εξοπλισμό αλλά σε μικρότερο ποσοστό αύξησης (εώς 6-7%). Παρακάτω θα συνεχίσουμε με την ανάλυση των υπόλοιπων δύο σεναρίων (Σενάριο Β και Σενάριο C).

5.4 Σενάριο Β - Αλλαγή μηχανημάτων παστερίωσης και εμφιάλωσης για οκτάωρο (8 ώρες) ημερήσιο χρόνο παραγωγής

Σε αυτό το κεφάλαιο θα ξεκινήσει η παρουσίαση των αποτελεσμάτων της προσομοίωσης του μοντέλου που χρησιμοποιήθηκε για την αναπαράσταση του σεναρίου Β. Επιπροσθέτως με όσα έχουν παρουσιαστεί στο κεφάλαιο 4.2 για την παρούσα παραγωγική διαδικασία γάλακτος, θα αναφέρουμε κάποια επιπλέον βασικά στοιχεία για το συγκεκριμένο μοντέλο. Το σενάριο αυτό αποτελεί την αντικατάσταση των μηχανημάτων παστερίωσης και εμφιάλωσης γάλακτος της επιχείρησης ΣΤΑΜΟΥ ΑΒΕΕ με μηχανήματα νέας τεχνολογίας με μεγαλύτερη ονομαστική ταχύτητα κατεργασίας. Λεπτομερώς, το νέο μηχάνημα παστερίωσης επεξεργάζεται 56,67% περισσότερο γάλα και το νέο μηχάνημα εμφιάλωσης, αντίστοιχα, 200% περισσότερο γάλα (διπλάσια χωρητικότητα φιαλών) στον ίδιο χρόνο. Η αύξηση των συγκεκριμένων παραμέτρων στα δύο μηχανήματα οδηγεί αυτομάτως και σε αύξηση της πρώτης ύλης (γάλα). Παρακάτω αναλύουμε τα χαρακτηριστικά του σεναρίου Β και

τις αλλαγές που πραγματοποιούνται σε σύγκριση με το υπάρχον παραγωγικό δυναμικό της επιχείρησης.

Στην αρχή υπολογίζεται το νέο διάστημα τιμών των γεννητριών αριθμών $U(\min, \max)$ που ορίζουν τις ποσότητες αγελαδινού και κατσικίσιου γάλακτος που εισέρχονται στο εργοστάσιο για επεξεργασία. Για τον υπολογισμό των νέων τιμών \min και \max κάθε γεννήτριας U ξεχωριστά, χρειάζεται να οριστεί μια μεταβλητή x , η οποία θα δηλώνει την συνολική ποσότητα γάλακτος (και των δύο ειδών) που εισέρχεται στο εργοστάσιο. Οι μαθηματικές σχέσεις που εκφράζουν τη μεταβλητή x είναι:

$$(1) \quad 0,84x + 0,16x \quad (\text{συνολική ποσότητα γάλακτος στο σύστημα})$$

$$(2) \quad 5+0,84x/40 + \text{hold} + 0,84x/ (4000 - 60) + 1+0,84x/47 + 1 + 25+0,84x/50 + 1+22,4+25+1+22,4 \\ \Rightarrow 103,8+\text{hold}+0,056x - 600 \quad (\text{συνολικός χρόνος παραμονής αγελαδινού γάλακτος εντός συστήματος})$$

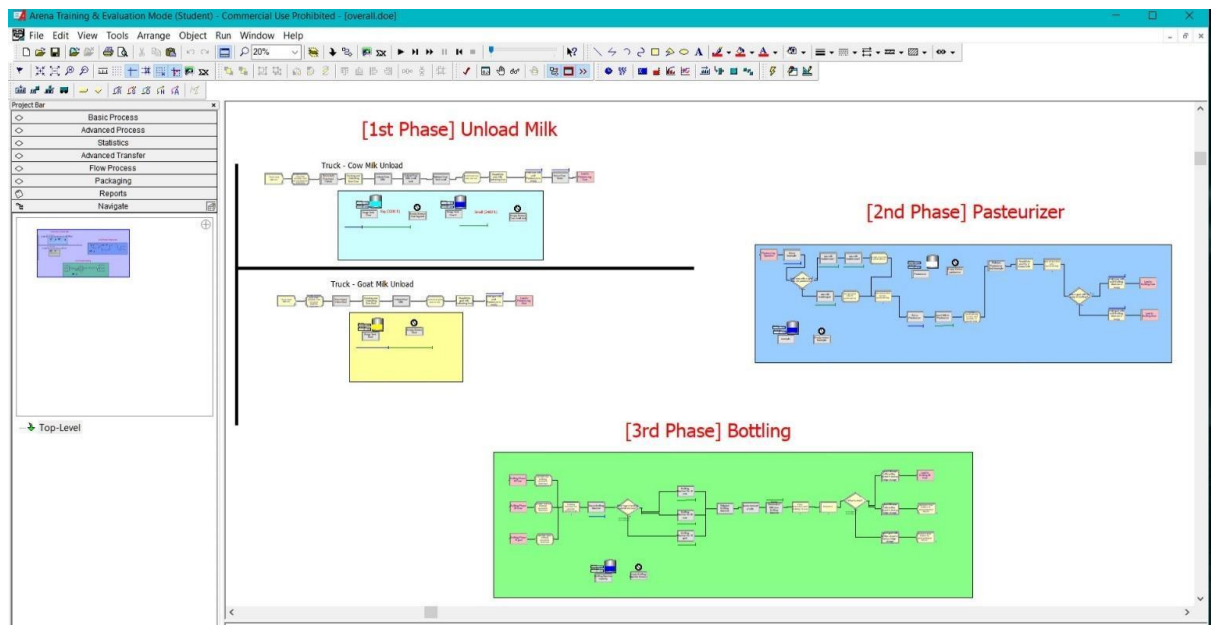
Επιλύοντας την εξίσωση (2) καταλήγουμε στο αποτέλεσμα $x \leq 6717$ LT. Συγκρίνοντας τη μέγιστη ποσότητα γάλακτος x του σεναρίου B με την μέγιστη ποσότητα της παρούσας παραγωγικής γραμμής αντίστοιχα, παρατηρούμε ότι επιτυγχάνεται **αύξηση 9,8%** της ημερήσιας ποσότητας γάλακτος. Οπότε το σενάριο B κρίνεται αξιόλογο από την εταιρία για περαιτέρω μελέτη. Στη συνέχεια με τη βοήθεια της εξίσωσης (1) και των στατιστικών δεδομένων που μας έδωσε η εταιρία, έχουμε τα νέα διαστήματα των τυχαίων γεννητριών αριθμών $U(\min, \max)$ για κάθε είδος γάλακτος ξεχωριστά. Παρακάτω παρουσιάζονται τα συγκεκριμένα διαστήματα, καθώς και οι υπόλοιπες αλλαγές σε παραμέτρους του μοντέλου.

Στο συγκεκριμένο μοντέλο έχουμε την εισροή αγελαδινού γάλακτος, ποσότητας που ακολουθεί την ομοιόμορφη κατανομή **$U(3712,5642)$ LT**, και κατσικίσιου γάλακτος, ποσότητας που ακολουθεί την ομοιόμορφη κατανομή **$U(690,1074)$ LT**. Οι ελάχιστες και μέγιστες τιμές (\min και \max αντίστοιχα) των διαστημάτων των παραπάνω ομοιόμορφων κατανομών U προκύπτουν μέσω στατιστικών υπολογισμών των μέσων τιμών της ποσότητας γάλακτος που παραγγέλλει η εταιρία ανά ημέρα (νέων τιμών με βάσει τις παραπάνω εξισώσεις) για κάθε είδος γάλακτος μαζί με την αναλογία των ποσοτήτων αγελαδινού-κατσικίσιου γάλακτος ανά ημέρα, που παρουσιάζεται αναλυτικότερα παρακάτω. Η συνολική ποσότητα γάλακτος εισέρχεται στο σύστημα και αποθηκεύεται σε καθορισμένες δεξαμενές, συγκεκριμένα δύο δεξαμενές των 3200 LT και 2400 LT αντίστοιχα για το αγελαδινό γάλα και μία δεξαμενή 1500 LT για το κατσικίσιο γάλα, μέχρι να ελευθερωθεί ο παστεριωτής. Οι ποσότητες γάλακτος για κάθε κωδικό προϊόντος (που έχουν παρουσιαστεί στο κεφάλαιο 4.1) έχουν οριστεί μέσω στατιστικών υπολογισμών των μέσων τιμών της ποσότητας γάλακτος που παραγγέλλει η εταιρία ανά ημέρα από τους προμηθευτές της. Τα υπολογιστικά φύλλα αυτά δεν παρουσιάζονται στην παρούσα διπλωματική εργασία κατόπιν συνεννόησης με την εταιρία ΣΤΑΜΟΥ ΑΒΕΕ. Οι αναλογίες που χρησιμοποιούνται για όλα τα σενάρια είναι:

- ο **84%** της συνολικής ποσότητας γάλακτος είναι **αγελαδινό** (πλήρες & ελαφρύ)
- ο **16%** της συνολικής ποσότητας γάλακτος είναι **κατσικίσιο**
- ο **58%** του αγελαδινού γάλακτος που εισέρχεται στο σύστημα είναι **πλήρες**
- ο **42%** του αγελαδινού γάλακτος που εισέρχεται στο σύστημα είναι **ελαφρύ**
- ο **85%** του πλήρες γάλακτος εμφιαλώνεται σε **συσκευασία 1 LT**
- ο **15%** του πλήρες γάλακτος εμφιαλώνεται σε **συσκευασία 2 LT**
- ο **91%** του ελαφρύ γάλακτος εμφιαλώνεται σε **συσκευασία 1 LT**
- ο **9%** του ελαφρύ γάλακτος εμφιαλώνεται σε **συσκευασία 2 LT**

Μόλις αποθηκευτεί ολόκληρη η ποσότητα αγελαδινού ή κατσικίσιου γάλακτος μεταφέρεται στον νέο παστεριωτή, όπου εκεί παραμένει για 15 λεπτά. Η ροή γάλακτος στον παστεριωτή είναι συνεχής με ονομαστική ταχύτητα **47 LT/λεπτό** (LT/min). Μόλις παστεριωθεί το γάλα μεταφέρεται μέσω σωλήνα στο νέο μηχάνημα εμφιάλωσης, όπου έχουν τοποθετηθεί όλες οι απαραίτητες πρώτες

ύλες (πώματα, φιάλες, ετικέτες) για να ξεκινήσει η διαδικασία εμφιάλωσης. Η εμφιάλωση πραγματοποιείται ξεχωριστά για κάθε κωδικό προϊόντος (προετοιμασία του μηχανήματος με διάρκεια 25 λεπτών κάθε φορά που αλλάζει ο κωδικός προϊόντος) δίνοντας προτεραιότητα στην εμφιάλωση των συσκευασιών 1 LT πρώτα και ύστερα των συσκευασιών 2 LT. Το νέο μηχανήμα εμφιάλωσης γεμίζει τις άδειες φιάλες με ονομαστική ταχύτητα **50 LT/λεπτό** (LT/min). Όλες οι έτοιμες φιάλες τοποθετούνται σε παλέτες, με τη βοήθεια του προσωπικού του εργοστασίου, και αποθηκεύονται στα ειδικά διαμορφωμένα ψυγεία αποθήκευσης μέχρι να φορτωθούν στα φορτηγά της εταιρίας. Οι παραπάνω λεπτομέρειες παρουσιάζονται στην παρακάτω εικόνα (Εικόνα 15).

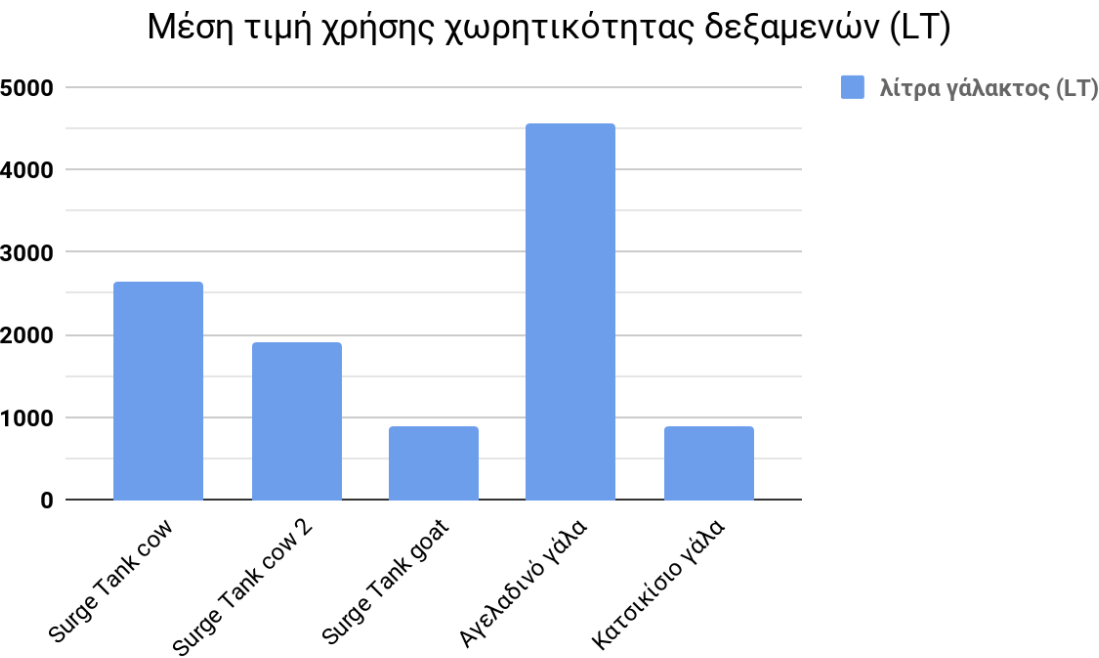


Εικόνα 13. Συνοπτική φωτογραφία του μοντέλου προσομοίωσης της υπάρχουσας παραγωγικής διαδικασίας γάλακτος στο πρόγραμμα Arena Simulation

Στο συγκεκριμένο μοντέλο που αποτυπώνει το σενάριο Β, όπως παρουσιάστηκε παραπάνω συντόμως, εκτελούμε μία σειρά προσομοιώσεων με τη βοήθεια του λογισμικού Arena Simulation. Αναλυτικότερα, εκτελούμε μία προσομοίωση 30 εργάσιμων ημερών (1 μήνας) με διάρκεια 8 ώρες ανά ημέρα, με διάστημα εμπιστοσύνης 95% (αρχική ρύθμιση λογισμικού), η οποία μας καλύπτει. Συγκεκριμένα, το διάστημα εμπιστοσύνης 95% προσδιορίζει την πιθανότητα εμφάνισης των τιμών των παραμέτρων της προσομοίωσης (ποσότητες γάλακτος, συνολικός χρόνος προσομοίωσης κλπ.) εντός των διαστημάτων που έχουμε θέσει για το σύνολο των προσομοιώσεων. Στο τέλος της συγκεκριμένης προσομοίωσης όλα τα στατιστικά αποτελέσματα αποτυπώνονται στους παρακάτω πίνακες (Πίνακας 11-15) και γραφήματα (Γράφημα 15-18). Αρχικά, στον Πίνακα 11 παρουσιάζουμε την συνολική χρήση των δεξαμενών αποθήκευσης γάλακτος (χρήση χωρητικότητας δεξαμενής) για το πρώτο στάδιο παραγωγής και τη συνολική ποσότητα γάλακτος (αγελαδινού και κατσικίσιου) που προστέθηκε ανά ημέρα.

Δεξαμενή (LT)	Μέση τιμή (μ)	Τυπική απόκλιση (σ)	Ελάχιστη τιμή (min)	Μέγιστη Τιμή (max)
Surge Tank cow (πλήρες αγελαδινό γάλα)	2641,98	120,24	2188,22	3123,92
Surge Tank cow 2 (ελαφρύ αγελαδινό γάλα)	1913,16	87,07	1584,57	2262,15
Surge Tank goat (κατσικίσιο γάλα)	890,53	36,7	713,68	1066,94
Αγελαδινό γάλα (πλήρες & ελαφρύ)	4555,14	207,31	3772,79	5386,07
Κατσικίσιο γάλα	890,53	36,7	713,68	1066,94

Πίνακας 11. Συνολική χρήση χωρητικότητας δεξαμενών της πρώτης φάσης παραγωγής και συνολική ποσότητα γάλακτος που εισέρχεται στο εργοστάσιο ανά ημέρα σε λίτρα (LT)



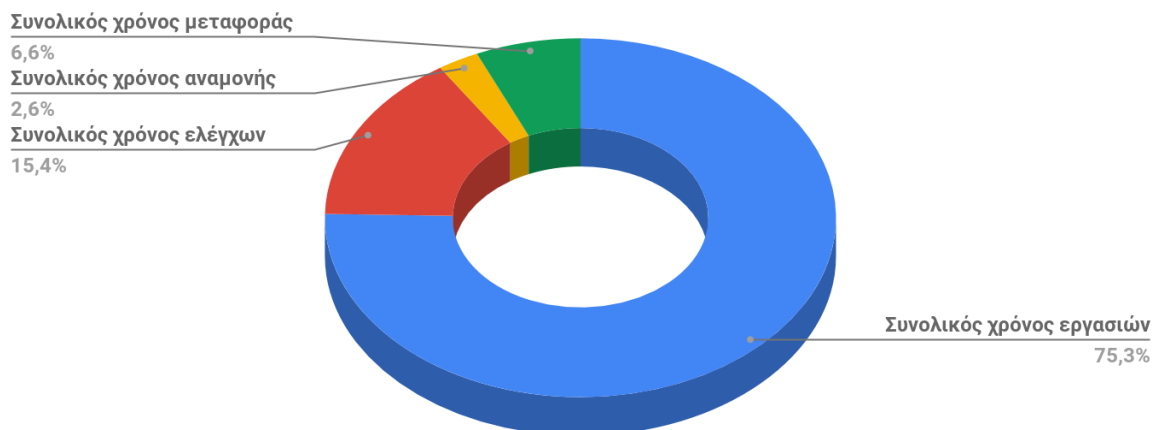
Γράφημα 15. Παρουσίαση των μέσων τιμών της συνολικής χρήσης χωρητικότητας δεξαμενών σε λίτρα (LT) του Πίνακα 11

Οι τιμές των ελάχιστων και μέγιστων τιμών του Πίνακα 11 μας δείχνουν την ομαλή λειτουργίας της γεννήτριας αριθμών $U(\min, \max)$ που χρησιμοποιήθηκε για κάθε είδος γάλακτος στο μοντέλο προσομοίωσης. Ύστερα, στον ακόλουθο πίνακα (Πίνακας 12) και γράφημα (Γράφημα 16) αποτυπώνονται οι συνολικοί χρόνοι των εργασιών, ελέγχων του γάλακτος σε όλα τα στάδια και της μεταφοράς του γάλακτος από τη μία δεξαμενή στην επόμενη δεξαμενή/μηχάνημα επεξεργασίας του μαζί με το συνολικό χρόνο παραγωγής του εργοστασίου ανά ημέρα. Τέλος, ο πίνακας περιλαμβάνει και τον συνολικό χρόνο λειτουργίας του κάθε σταδίου της παραγωγής.

Είδος χρόνου/σταδίου (min)	Μέση τιμή (μ)	Τυπική απόκλιση (σ)	Ελάχιστη τιμή (min)	Μέγιστη Τιμή (max)
Συνολικός χρόνος εργασιών (value added time)	177,57	6,87	47,31	350,14
Συνολικός χρόνος ελέγχων (non-value added time)	36,32	0,31	22,19	50,75
Συνολικός χρόνος αναμονής γάλακτος (wait time)	6,15	0,28	4,07	8,13
Συνολικός χρόνος μεταφοράς γάλακτος (transfer time)	15,65	1,57	3,92	35,49
Συνολικός χρόνος παραγωγής (total time)	235,7	6,72	85,87	433,67
Στάδιο φόρτωσης γάλακτος και αποθήκευσης (1ο στάδιο)	117,44	13,95	98,95	139,58
Στάδιο παστερίωσης (2ο στάδιο)	113,1	4,22	98,23	131,77
Στάδιο εμφιάλωσης (3ο στάδιο)	214,66	7,43	192,76	256,98
Στάδιο εμφιάλωσης φιαλών αγελαδινού 1 LT (3ο στάδιο)	114,78	3,8	96,95	138,06
Στάδιο εμφιάλωσης φιαλών αγελαδινού 2 LT (3ο στάδιο)	47,7	1,78	39,81	56,3
Στάδιο εμφιάλωσης φιαλών κατσικίσιου 1 LT (3ο στάδιο)	52,18	1,85	46,11	62,62

Πίνακας 12. Συνολικοί χρόνοι εργασιών/ελέγχων/αναμονής/μεταφοράς/παραγωγής και επεξεργασίας γάλακτος ανά στάδιο και συνολικοί χρόνοι λειτουργίας κάθε σταδίου σε λεπτά (min)

Ποσοστά ενεργών συνολικών χρόνων ανά στάδιο παραγωγής



Γράφημα 16. Παρουσίαση των ποσοστών των χρόνων που είναι ενεργό κάθε στάδιο παραγωγής ως προς το συνολικό χρόνο παραγωγής (μέσες τιμές)

Από τις παραπάνω τιμές του πίνακα, παρατηρούμε ότι η πιο ενεργή μονάδα (φάση) της παραγωγής είναι η μονάδα εμφιάλωσης, όπως και στις προηγούμενες περιπτώσεις. Αντιθέτως, η πρώτη φάση της παραγωγής (αποθήκευση εισερχόμενου γάλακτος σε δεξαμενές) συνεχίζει να είναι η λιγότερο ενεργή καθώς η εκφόρτωση του αγελαδινού και κατσικίσιου γάλακτος μπορεί να γίνει ταυτόχρονα. Επιπλέον, εξετάζοντας τους συνολικούς χρόνους εργασιών, ελέγχων, μεταφοράς και αναμονής του γάλακτος στο πρώτο μισό τμήμα του Πίνακα 12 και γνωρίζοντας τους χρόνους ελέγχων και μεταφοράς του γάλακτος εντός του εργοστασίου για τα προηγούμενα σενάρια, φτάνουμε στο συμπέρασμα ότι υπάρχει σημαντική μείωση του συνολικού μέγιστου χρόνου αναμονής του γάλακτος εντός του εργοστασίου κατά τη παραγωγή. Αυτό σημαίνει ότι το σύστημα μας είναι ευσταθές με τις συγκεκριμένες παραμέτρους προσομοίωσης που έχουν τεθεί.

Στον παρακάτω πίνακα (Πίνακας 13) συμπεριλαμβάνονται αναλυτικότερα οι χρόνοι των ουρών αναμονής που δημιουργούνται κατά την παραγωγική διαδικασία. Ιδανικά, η κάθε επιχείρηση επιθυμεί τον ελάχιστο δυνατό χρόνο αναμονής της πρώτης ύλης σε κάθε σημείο της παραγωγικής μονάδας της. Στη δική μας περίπτωση παρατηρούμε ότι όλες οι τιμές του πίνακα είναι μηδενικές. Σε αυτό το σενάριο έχει επιτευχθεί για την επιχείρηση να λειτουργούν άρτια όλα τα στάδια της παραγωγικής γραμμής, χωρίς καμία υπερφόρτωση μηχανημάτων και επακολούθως καμία καθυστέρηση.

Είδος χρόνου αναμονής (min)	Μέση τιμή (μ)	Τυπική απόκλιση (σ)	Ελάχιστη τιμή (min)	Μέγιστη Τιμή (max)
Αναμονή αγελαδινού γάλακτος πριν την παστερίωση	0	0	0	0
Αναμονή κατσικίσιου γάλακτος πριν την παστερίωση	0	0	0	0
Αναμονή αγελαδινού γάλακτος πριν την εμφιάλωση	0	0	0	0
Αναμονή κατσικίσιου γάλακτος πριν την εμφιάλωση	0	0	0	0
Υπερφόρτωση δεξαμενών αποθήκευσης (1ο στάδιο)	0	0	0	0
Υπερφόρτωση μηχανής εμφιάλωσης (3ο στάδιο)	0	0	0	0

Πίνακας 13. Αναλυτικοί χρόνοι των ουρών αναμονής του γάλακτος σε όλα τα στάδια παραγωγής σε λεπτά (min)

Αφού έχουμε αναλύσει τους χρόνους αναμονής και εργασιών κατά την παραγωγική διαδικασία θα εξετάσουμε παρακάτω τα αποτελέσματα των συνολικών χρόνων των ελέγχων που πραγματοποιούνται σε όλα τα στάδια της παραγωγής. Στον ακόλουθο πίνακα (Πίνακας 14) εμφανίζονται οι αριθμητικές τιμές των προαναφερθέντων ελέγχων.

Είδος χρόνου διαδικασίας ελέγχου (min)	Μέση τιμή (μ)	Τυπική απόκλιση (σ)	Ελάχιστη τιμή (min)	Μέγιστη Τιμή (max)
Ποιοτικός έλεγχος γάλακτος πριν την παστερίωση	0,74	0,04	0,5	0,99
Ποιοτικός έλεγχος γάλακτος πριν την εμφιάλωση	0,77	0,03	0,51	1
Προετοιμασία μηχανής εμφιάλωσης για συγκεκριμένο κωδικό προϊόντος	24,21	0,21	22,19	25,86
Τοποθέτηση έτοιμων φιαλών σε παλέτες	10,26	1,05	3,67	20,16
Τελευταίος ποιοτικός έλεγχος γάλακτος μετά την εμφιάλωση	0,77	0,03	0,5	1

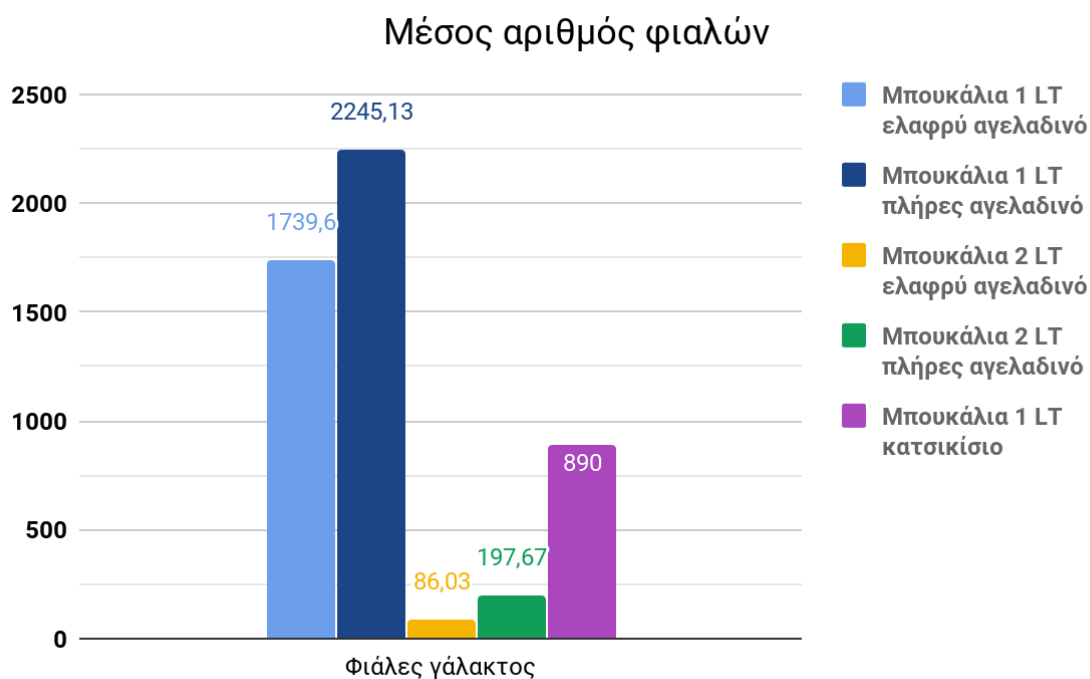
Πίνακας 14. Αναλυτικοί χρόνοι των διαδικασιών ελέγχου του γάλακτος σε όλα τα στάδια παραγωγής σε λεπτά (min)

Εξετάζοντας τις τιμές του παραπάνω πίνακα (Πίνακας 14) με τους θεωρητικούς χρόνους που γνωρίζουμε για τους συγκεκριμένους ελέγχους, παρατηρούμε απόλυτη ταύτιση και άριστη λειτουργία των γεννητριών αριθμών U (min,max) που έχει ο αλγόριθμος. Έτσι δεν επιδιώκουμε κάποια αλλαγή στους συγκεκριμένους χρόνους, καθώς δεν επηρεάζουν το σύστημα παραγωγής αισθητά. Τέλος, αφού έχει ολοκληρωθεί η προσομοίωση του μοντέλου παρουσιάζονται στον τελευταίο πίνακα αυτού του κεφαλαίου (Πίνακας 15) και στα δύο παρακάτω γραφήματα (Γράφημα 17-18), οι τελικές τιμές των έτοιμων φιαλών γάλακτος ανά κωδικό προϊόντος, τη συνολική ποσότητα των παλετών που

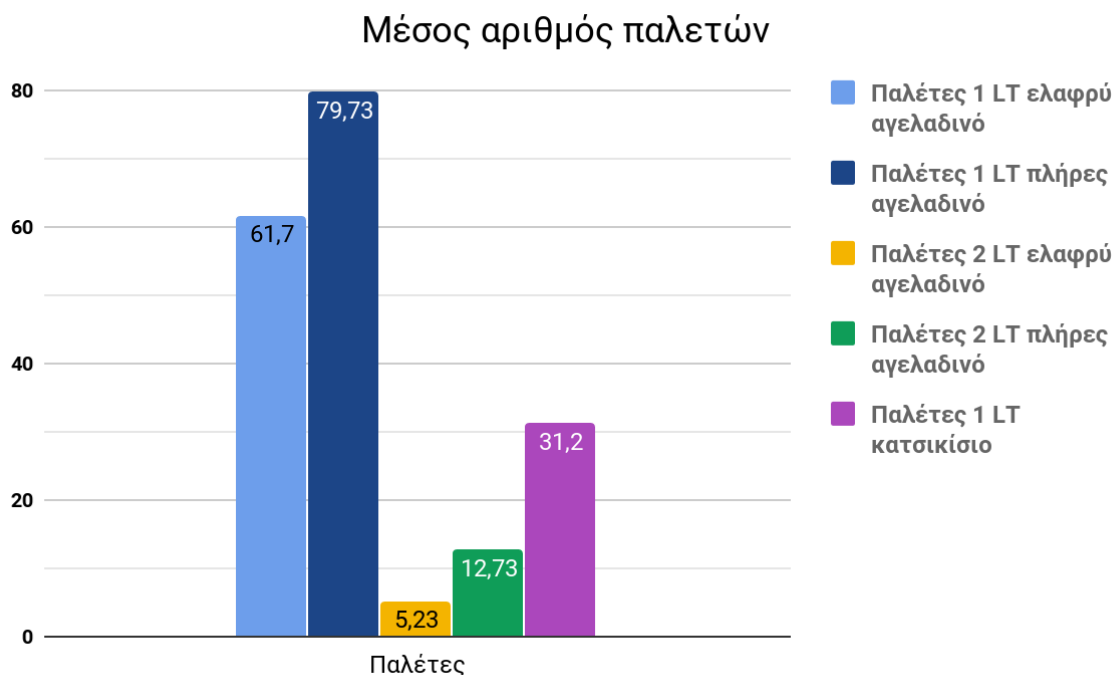
αποθηκεύτηκαν στα ψυγεία αποθήκευσης ανά κωδικό προϊόντος και οι συνολικοί κύκλοι παστερίωσης που ολοκληρώθηκαν κατά τη διάρκεια της μίας εργάσιμης παραγωγικής ημέρας.

Είδος μεταβλητής	Μέση τιμή (μ)	Τυπική απόκλιση (σ)	Ελάχιστη τιμή (min)	Μέγιστη Τιμή (max)
Κύκλοι παστερίωσης	7,7	0,09	0	14
Μπουκάλια 1 LT ελαφρύ αγελαδινό	1739,6	79,19	1441	2057
Μπουκάλια 1 LT πλήρες αγελαδινό	2245,13	102,18	1859	2655
Μπουκάλια 2 LT ελαφρύ αγελαδινό	86,03	3,93	71	102
Μπουκάλια 2 LT πλήρες αγελαδινό	197,67	9,01	164	234
Μπουκάλια 1 LT κατσικίσιο	890	36,72	713	1066
Παλέτες 1 LT ελαφρύ αγελαδινό	61,7	2,83	51	73
Παλέτες 1 LT πλήρες αγελαδινό	79,73	3,68	66	94
Παλέτες 2 LT ελαφρύ αγελαδινό	5,23	0,25	4	6
Παλέτες 2 LT πλήρες αγελαδινό	12,73	0,63	10	15
Παλέτες 1 LT κατσικίσιο	31,2	1,32	25	38

Πίνακας 15. Τελικός αριθμός φιαλών/παλετών και συνολικών κύκλων παστερίωσης



Γράφημα 17. Παρουσίαση μέσου αριθμού μπουκαλιών ανά κωδικό προϊόντος



Γράφημα 18. Παρουσίαση μέσου αριθμού παλετών ανά κωδικό προϊόντος

Παρατηρώντας τον παραπάνω πίνακα (Πίνακας 15) και τα γραφήματα (Γράφημα 17-18), μπορούμε να συμπεραίνουμε οπτικώς την ταύτιση των αναλογιών ανά κωδικό προϊόντος που παρουσιάστηκαν στην αρχή του κεφαλαίου με τις τιμές των αποτελεσμάτων της προσομοίωσης.

Τελικώς, αναλύοντας και συγκρίνοντας τα αποτελέσματα του σεναρίου Β με την υπάρχουσα παραγωγική διαδικασία, παρατηρούμε σημαντικές βελτιώσεις στους χρόνους παραγωγής και επιπλέον καμία καθυστέρηση στις διαδικασίες ελέγχου, αναμονής κλπ. Το σύστημα παραμένει ευσταθές και ικανοποιούνται οι τωρινές απαιτήσεις της αγοράς (ζήτηση) και στις δύο περιπτώσεις. Ιδανικά, η επιχείρηση επενδύοντας στην αναβάθμιση των συγκεκριμένων μηχανημάτων (μηχάνημα παστερίωσης και εμφιάλωσης) καταφέρνει να μειώσει τις εργατικές ώρες του προσωπικού της με το ίδιο αποτέλεσμα. Παρακάτω θα συνεχίσουμε με την ανάλυση του τελευταίου σεναρίου (Σενάριο C).

5.5 Σενάριο C - Αλλαγή μηχανημάτων παστερίωσης και εμφιάλωσης για δεκάωρο (10 ώρες) ημερήσιο χρόνο παραγωγής

Σε αυτό το κεφάλαιο θα ξεκινήσει η παρουσίαση των αποτελεσμάτων της προσομοίωσης του μοντέλου που χρησιμοποιήθηκε για την αναπαράσταση του τελευταίου σεναρίου, του σεναρίου C. Επιπροσθέτως με όσα έχουν παρουσιαστεί στο κεφάλαιο 4.2 για την παρούσα παραγωγική διαδικασία γάλακτος, θα αναφέρουμε κάποια επιπλέον βασικά στοιχεία για το συγκεκριμένο μοντέλο. Το σενάριο αυτό αποτελεί την αντικατάσταση των μηχανημάτων παστερίωσης και εμφιάλωσης γάλακτος της επιχείρησης ΣΤΑΜΟΥ ABEE με μηχανήματα νέας τεχνολογίας με μεγαλύτερη ονομαστική ταχύτητα κατεργασίας. Λεπτομερώς, το νέο μηχανήμα παστερίωσης επεξεργάζεται 56,67% περισσότερο γάλα και το νέο μηχανήμα εμφιάλωσης, αντίστοιχα, 200% περισσότερο γάλα

(διπλάσια χωρητικότητα φιαλών) στον ίδιο χρόνο. Η αύξηση των συγκεκριμένων παραμέτρων στα δύο μηχανήματα οδηγεί αυτομάτως και σε αύξηση της πρώτης ύλης (γάλα). Παρακάτω αναλύουμε τα χαρακτηριστικά του σεναρίου C και τις αλλαγές που πραγματοποιούνται σε σύγκριση με το υπάρχον παραγωγικό δυναμικό της επιχείρησης.

Στην αρχή υπολογίζεται το νέο διάστημα τιμών της γεννήτριας αριθμών $U(\min, \max)$ που ορίζει τις ποσότητες αγελαδινού και κατσικίσου γάλακτος που εισέρχονται στο εργοστάσιο για επεξεργασία. Για τον υπολογισμό των νέων τιμών \min και \max κάθε γεννήτριας U ξεχωριστά, χρειάζεται να οριστεί μια μεταβλητή x , η οποία θα δηλώνει την συνολική ποσότητα γάλακτος (και των δύο ειδών) που εισέρχεται στο εργοστάσιο. Οι μαθηματικές σχέσεις που εκφράζουν τη μεταβλητή x είναι:

$$(1) \quad 0,84x + 0,16x \quad (\text{συνολική ποσότητα γάλακτος στο σύστημα})$$

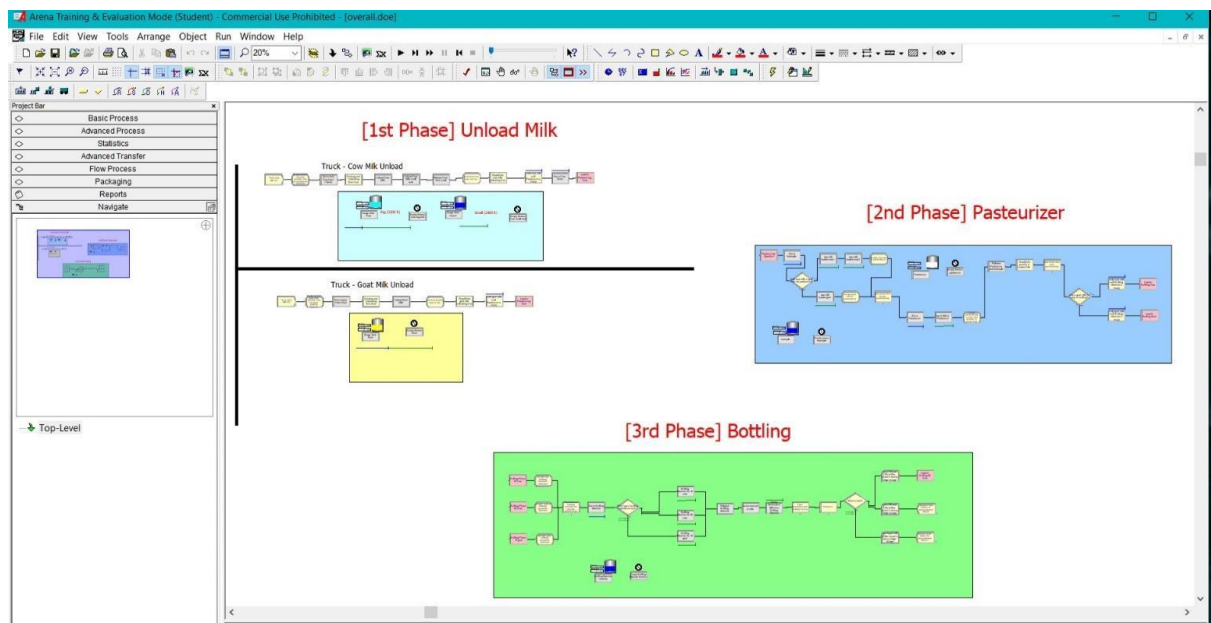
$$(2) \quad 5+0,84x/40 + \text{hold} + 0,84x/ (4000 - 60) + 1+0,84x/47 + 1 + 25+0,84x/50 + 1+22,4+25+1+22,4 \\ \Rightarrow 103,8+\text{hold}+0,056x \cdot 600 \quad (\text{συνολικός χρόνος παραμονής αγελαδινού γάλακτος εντός συστήματος})$$

Επιλύοντας την εξίσωση (2) καταλήγουμε στο αποτέλεσμα $x \leq 8860$ LT. Συγκρίνοντας τη μέγιστη ποσότητα γάλακτος x του σεναρίου C με την μέγιστη ποσότητα του σεναρίου B αντίστοιχα, παρατηρούμε ότι επιτυγχάνεται **αύξηση 24,19%** της ημερήσιας ποσότητας γάλακτος. Οπότε, αφού κρίθηκε προηγουμένως το σενάριο B αξιόλογο, το σενάριο C κρίνεται αντιστοίχως αξιόλογο για περαιτέρω μελέτη. Στη συνέχεια με τη βοήθεια της εξίσωσης (1) και των στατιστικών δεδομένων που μας έδωσε η εταιρία, έχουμε τα νέα διαστήματα των τυχαίων γεννητριών αριθμών $U(\min, \max)$ για κάθε είδος γάλακτος ξεχωριστά. Παρακάτω παρουσιάζονται τα συγκεκριμένα διαστήματα, καθώς και οι υπόλοιπες αλλαγές σε παραμέτρους του μοντέλου.

Στο συγκεκριμένο μοντέλο έχουμε την εισροή αγελαδινού γάλακτος, ποσότητας που ακολουθεί την ομοιόμορφη κατανομή **$U(5426,7442)$ LT**, και κατσικίσου γάλακτος, ποσότητας που ακολουθεί την ομοιόμορφη κατανομή **$U(1033,1417)$ LT**. Οι ελάχιστες και μέγιστες τιμές (\min και \max αντίστοιχα) των διαστημάτων των παραπάνω ομοιόμορφων κατανομών U προκύπτουν μέσω στατιστικών υπολογισμών των μέσων τιμών της ποσότητας γάλακτος που παραγγέλνει η εταιρία ανά ημέρα (νέες τιμές με βάσει τις παραπάνω εξισώσεις) για κάθε είδος γάλακτος μαζί με την αναλογία των ποσοτήτων αγελαδινού-κατσικίσου γάλακτος ανά ημέρα, που παρουσιάζεται αναλυτικότερα παρακάτω. Η συνολική ποσότητα γάλακτος εισέρχεται στο σύστημα και αποθηκεύεται σε καθορισμένες δεξαμενές, συγκεκριμένα σε τέσσερις δεξαμενές των 3200 LT, 800 LT, 2400 LT και 1500 LT αντίστοιχα για το αγελαδινό γάλα και μία δεξαμενή 1500 LT για το κατσικίσιο γάλα, μέχρι να ελευθερωθεί ο παστεριωτής. Οι ποσότητες γάλακτος για κάθε κωδικό προϊόντος (που έχουν παρουσιαστεί στο κεφάλαιο 4.1) έχουν οριστεί μέσω στατιστικών υπολογισμών των μέσων τιμών της ποσότητας γάλακτος που παραγγέλνει η εταιρία ανά ημέρα από τους προμηθευτές της. Τα υπολογιστικά φύλλα αυτά δεν παρουσιάζονται στην παρούσα διπλωματική εργασία κατόπιν συνεννόησης με την εταιρία ΣΤΑΜΟΥ ΑΒΕΕ. Οι αναλογίες που χρησιμοποιούνται για όλα τα σενάρια είναι:

- **84%** της συνολικής ποσότητας γάλακτος είναι **αγελαδινό** (πλήρες & ελαφρύ)
- **16%** της συνολικής ποσότητας γάλακτος είναι **κατσικίσιο**
- **58%** του αγελαδινού γάλακτος που εισέρχεται στο σύστημα είναι **πλήρες**
- **42%** του αγελαδινού γάλακτος που εισέρχεται στο σύστημα είναι **ελαφρύ**
- **85%** του πλήρες γάλακτος εμφιαλώνεται σε **συσκευασία 1 LT**
- **15%** του πλήρες γάλακτος εμφιαλώνεται σε **συσκευασία 2 LT**
- **91%** του ελαφρύ γάλακτος εμφιαλώνεται σε **συσκευασία 1 LT**
- **9%** του ελαφρύ γάλακτος εμφιαλώνεται σε **συσκευασία 2 LT**

Μόλις αποθηκευτεί ολόκληρη η ποσότητα αγελαδινού ή κατσικίσιου γάλακτος μεταφέρεται στον νέο παστεριωτή, όπου εκεί παραμένει για 15 λεπτά. Η ροή γάλακτος στον παστεριωτή είναι συνεχής με ονομαστική ταχύτητα **47 LT/λεπτό** (LT/min). Μόλις παστεριωθεί το γάλα μεταφέρεται μέσω σωλήνα στο νέο μηχάνημα εμφιάλωσης, όπου έχουν τοποθετηθεί όλες οι απαραίτητες πρώτες ύλες (πώματα, φιάλες, ετικέτες) για να ξεκινήσει η διαδικασία εμφιάλωσης. Η εμφιάλωση πραγματοποιείται ξεχωριστά για κάθε κωδικό προϊόντος (προετοιμασία του μηχανήματος με διάρκεια 25 λεπτών κάθε φορά που αλλάζει ο κωδικός προϊόντος) δίνοντας προτεραιότητα στην εμφιάλωση των συσκευασιών 1 LT πρώτα και ύστερα των συσκευασιών 2 LT. Το νέο μηχάνημα εμφιάλωσης γεμίζει τις άδειες φιάλες με ονομαστική ταχύτητα **50 LT/λεπτό** (LT/min). Όλες οι έτοιμες φιάλες τοποθετούνται σε παλέτες, με τη βοήθεια του προσωπικού του εργοστασίου, και αποθηκεύονται στα ειδικά διαμορφωμένα ψυγεία αποθήκευσης μέχρι να φορτωθούν στα φορτηγά της εταιρίας. Οι παραπάνω λεπτομέρειες παρουσιάζονται στην παρακάτω εικόνα (Εικόνα 16).

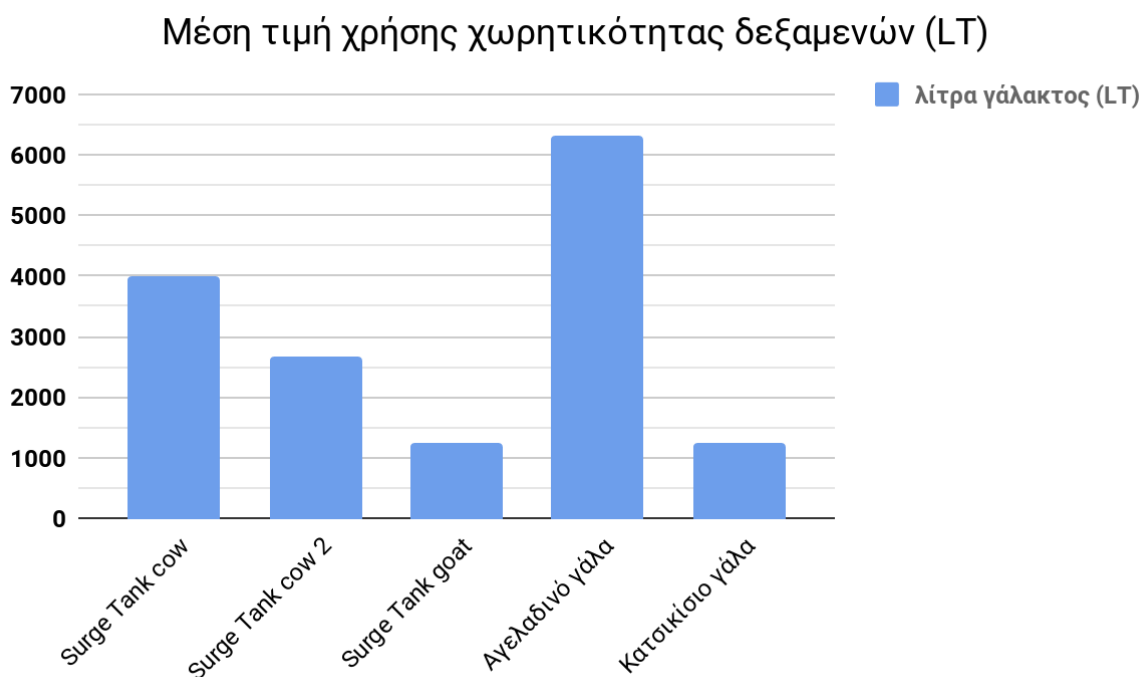


Εικόνα 14. Συνοπτική φωτογραφία του μοντέλου προσομοίωσης της υπάρχουσας παραγωγικής διαδικασίας γάλακτος στο πρόγραμμα Arena Simulation

Στο συγκεκριμένο μοντέλο που αποτυπώνει το σενάριο C, όπως παρουσιάστηκε παραπάνω συντόμως, εκτελούμε μία σειρά προσομοιώσεων με τη βοήθεια του λογισμικού Arena Simulation. Αναλυτικότερα, εκτελούμε μία προσομοίωση 30 εργάσιμων ημερών (1 μήνας) με διάρκεια 10 ώρες ανά ημέρα, με διάστημα εμπιστοσύνης 95% (αρχική ρύθμιση λογισμικού), η οποία μας καλύπτει. Συγκεκριμένα, το διάστημα εμπιστοσύνης 95% προσδιορίζει την πιθανότητα εμφάνισης των τιμών των παραμέτρων της προσομοίωσης (ποσότητες γάλακτος, συνολικός χρόνος προσομοίωσης κλπ.) εντός των διαστημάτων που έχουμε θέσει για το σύνολο των προσομοιώσεων. Στο τέλος της συγκεκριμένης προσομοίωσης όλα τα στατιστικά αποτελέσματα αποτυπώνονται στους παρακάτω πίνακες (Πίνακας 16-20) και γραφήματα (Γράφημα 19-22). Αρχικά, στον Πίνακα 16 παρουσιάζουμε την συνολική χρήση των δεξαμενών αποθήκευσης γάλακτος (χρήση χωρητικότητας δεξαμενής) για το πρώτο στάδιο παραγωγής και τη συνολική ποσότητα γάλακτος (αγελαδινού και κατσικίσιου) που προστέθηκε ανά ημέρα.

Δεξαμενή (LT)	Μέση τιμή (μ)	Τυπική απόκλιση (σ)	Ελάχιστη τιμή (min)	Μέγιστη Τιμή (max)
Surge Tank cow (πλήρες αγελαδινό γάλα)	4010,4	87,12	3859,5	4161,3
Surge Tank cow 2 (ελαφρύ αγελαδινό γάλα)	2662,94	194,61	2325,87	3000
Surge Tank goat (κατσικίσιο γάλα)	1233,53	36,7	1056,68	1409,94
Αγελαδινό γάλα (πλήρες & ελαφρύ)	6306,71	216,55	5489,5	7174,66
Κατσικίσιο γάλα	1233,53	36,7	1056,68	1409,94

Πίνακας 16. Συνολική χρήση χωρητικότητας δεξαμενών της πρώτης φάσης παραγωγής και συνολική ποσότητα γάλακτος που εισέρχεται στο εργοστάσιο ανά ημέρα σε λίτρα (LT)



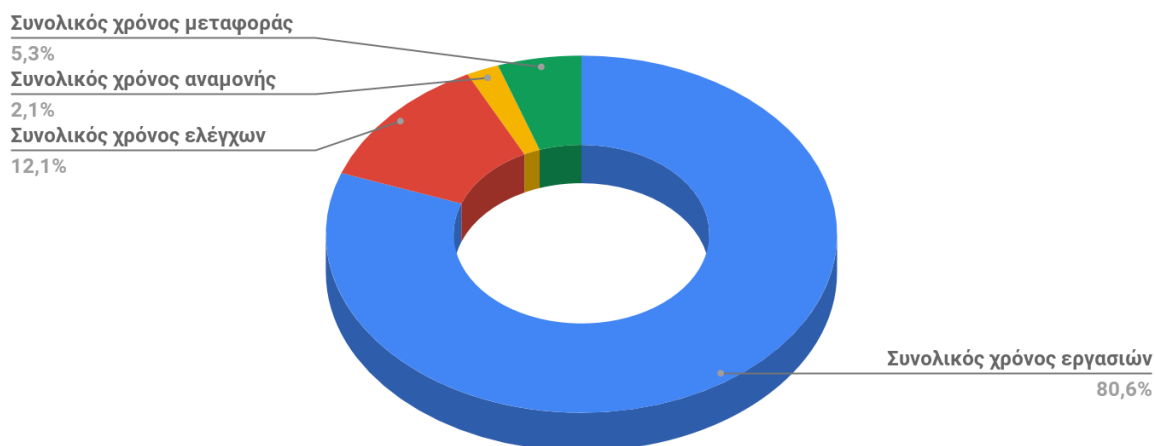
Γράφημα 19. Παρουσίαση των μέσων τιμών της συνολικής χρήσης χωρητικότητας δεξαμενών σε λίτρα (LT) του Πίνακα 16

Οι τιμές των ελάχιστων και μέγιστων τιμών του Πίνακα 16 μας δείχνουν την ομαλή λειτουργίας της γεννήτριας αριθμών $U(\min, \max)$ που χρησιμοποιήθηκε για κάθε είδος γάλακτος στο μοντέλο προσομοίωσης. Ύστερα, στον ακόλουθο πίνακα (Πίνακας 17) και γράφημα (Γράφημα 20) αποτυπώνονται οι συνολικοί χρόνοι των εργασιών, ελέγχων του γάλακτος σε όλα τα στάδια και της μεταφοράς του γάλακτος από τη μία δεξαμενή στην επόμενη δεξαμενή/μηχάνημα επεξεργασίας του μαζί με το συνολικό χρόνο παραγωγής του εργοστασίου ανά ημέρα. Τέλος, ο πίνακας περιλαμβάνει και τον συνολικό χρόνο λειτουργίας του κάθε σταδίου της παραγωγής.

Είδος χρόνου/σταδίου (min)	Μέση τιμή (μ)	Τυπική απόκλιση (σ)	Ελάχιστη τιμή (min)	Μέγιστη Τιμή (max)
Συνολικός χρόνος εργασιών (value added time)	239,58	12,63	70,04	463,45
Συνολικός χρόνος ελέγχων (non-value added time)	35,93	0,83	22,19	50,75
Συνολικός χρόνος αναμονής γάλακτος (wait time)	6,11	0,3	4,07	8,13
Συνολικός χρόνος μεταφοράς γάλακτος (transfer time)	15,74	1,54	3,92	35,49
Συνολικός χρόνος παραγωγής (total time)	297,36	13,45	108,61	549,65
Στάδιο φόρτωσης γάλακτος και αποθήκευσης (1ο στάδιο)	160,43	14,14	141,87	183,11
Στάδιο παστερίωσης (2ο στάδιο)	150,62	9,47	30,18	172,74
Στάδιο εμφιάλωσης (3ο στάδιο)	249,85	16,44	204,55	299,52
Στάδιο εμφιάλωσης φιαλών αγελαδινού 1 LT (3ο στάδιο)	140,27	10,63	111,21	169,33
Στάδιο εμφιάλωσης φιαλών αγελαδινού 2 LT (3ο στάδιο)	50,54	3,96	40,37	60,71
Στάδιο εμφιάλωσης φιαλών κατσικίσιου 1 LT (3ο στάδιο)	59,04	1,85	52,97	69,48

Πίνακας 17. Συνολικοί χρόνοι εργασιών/ελέγχων/αναμονής/μεταφοράς/παραγωγής και επεξεργασίας γάλακτος ανά στάδιο και συνολικοί χρόνοι λειτουργίας κάθε σταδίου σε λεπτά (min)

Ποσοστά ενεργών συνολικών χρόνων ανά στάδιο παραγωγής



Γράφημα 20. Παρουσίαση των ποσοστών των χρόνων που είναι ενεργό κάθε στάδιο παραγωγής ως προς το συνολικό χρόνο παραγωγής (μέσες τιμές)

Από τις παραπάνω τιμές του πίνακα, παρατηρούμε ότι η πιο ενεργή μονάδα (φάση) της παραγωγής είναι η μονάδα εμφιάλωσης, όπως και στις προηγούμενες περιπτώσεις. Αντιθέτως, η πρώτη φάση της παραγωγής (αποθήκευση εισερχόμενου γάλακτος σε δεξαμενές) συνεχίζει να είναι η λιγότερο ενεργή καθώς η εκφόρτωση του αγελαδινού και κατσικίσιου γάλακτος μπορεί να γίνει ταυτόχρονα. Επιπλέον, εξετάζοντας τους συνολικούς χρόνους εργασιών, ελέγχων, μεταφοράς και αναμονής του γάλακτος στο πρώτο μισό τμήμα του Πίνακα 17 και γνωρίζοντας τους χρόνους ελέγχων και μεταφοράς του γάλακτος εντός του εργοστασίου για τα προηγούμενα σενάρια, φτάνουμε στο συμπέρασμα ότι υπάρχει σημαντική μείωση του συνολικού μέγιστου χρόνου αναμονής του γάλακτος εντός του εργοστασίου κατά τη παραγωγή (ίδια τιμή με αυτή στο σενάριο Β). Αυτό σημαίνει ότι το σύστημα μας είναι ευσταθές με τις συγκεκριμένες παραμέτρους προσομοίωσης που έχουν τεθεί.

Στον παρακάτω πίνακα (Πίνακας 18) συμπεριλαμβάνονται αναλυτικότερα οι χρόνοι των ουρών αναμονής που δημιουργούνται κατά την παραγωγική διαδικασία. Ιδανικά, η κάθε επιχείρηση επιθυμεί τον ελάχιστο δυνατό χρόνο αναμονής της πρώτης ύλης σε κάθε σημείο της παραγωγικής μονάδας της. Στη δική μας περίπτωση παρατηρούμε ότι όλες οι τιμές του πίνακα είναι μηδενικές. Σε αυτό το σενάριο έχει επιτευχθεί για την επιχείρηση να λειτουργούν άρτια όλα τα στάδια της παραγωγικής γραμμής, χωρίς καμία υπερφόρτωση μηχανημάτων και επακόλουθως καμία καθυστέρηση.

Είδος χρόνου αναμονής (min)	Μέση τιμή (μ)	Τυπική απόκλιση (σ)	Ελάχιστη τιμή (min)	Μέγιστη Τιμή (max)
Αναμονή αγελαδινού γάλακτος πριν την παστερίωση	0	0	0	0
Αναμονή κατσικίσιου γάλακτος πριν την παστερίωση	0	0	0	0
Αναμονή αγελαδινού γάλακτος πριν την εμφιάλωση	0	0	0	0
Αναμονή κατσικίσιου γάλακτος πριν την εμφιάλωση	0	0	0	0
Υπερφόρτωση δεξαμενών αποθήκευσης (1ο στάδιο)	0	0	0	0
Υπερφόρτωση μηχανής εμφιάλωσης (3ο στάδιο)	0	0	0	0

Πίνακας 18. Αναλυτικοί χρόνοι των ουρών αναμονής του γάλακτος σε όλα τα στάδια παραγωγής σε λεπτά (min)

Αφού έχουμε αναλύσει τους χρόνους αναμονής και εργασιών κατά την παραγωγική διαδικασία θα εξετάσουμε παρακάτω τα αποτελέσματα των συνολικών χρόνων των ελέγχων που πραγματοποιούνται σε όλα τα στάδια της παραγωγής. Στον ακόλουθο πίνακα (Πίνακας 19) εμφανίζονται οι αριθμητικές τιμές των προαναφερθέντων ελέγχων.

Είδος χρόνου διαδικασίας ελέγχου (min)	Μέση τιμή (μ)	Τυπική απόκλιση (σ)	Ελάχιστη τιμή (min)	Μέγιστη Τιμή (max)
Ποιοτικός έλεγχος γάλακτος πριν την παστερίωση	0,75	0,04	0,5	0,99
Ποιοτικός έλεγχος γάλακτος πριν την εμφιάλωση	0,78	0,04	0,51	1
Προετοιμασία μηχανής εμφιάλωσης για συγκεκριμένο κωδικό προϊόντος	24,23	0,22	22,19	25,86
Τοποθέτηση έτοιμων φιαλών σε παλέτες	10,47	1,04	3,67	20,16
Τελευταίος ποιοτικός έλεγχος γάλακτος μετά την εμφιάλωση	0,77	0,03	0,5	1

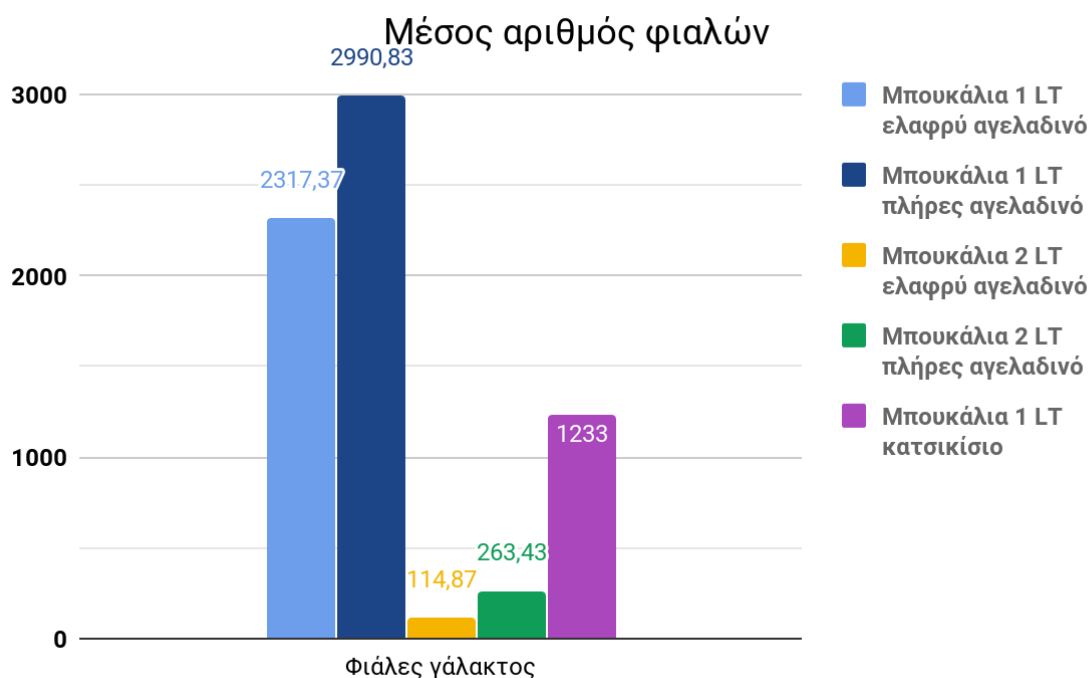
Πίνακας 19. Αναλυτικοί χρόνοι των διαδικασιών ελέγχου του γάλακτος σε όλα τα στάδια παραγωγής σε λεπτά (min)

Εξετάζοντας τις τιμές του παραπάνω πίνακα (Πίνακας 19) με τους θεωρητικούς χρόνους που γνωρίζουμε για τους συγκεκριμένους ελέγχους, παρατηρούμε απόλυτη ταύτιση και άριστη λειτουργία των γεννητριών αριθμών U (min,max) που έχει ο αλγόριθμος. έτσι δεν επιδιώκουμε κάποια αλλαγή στους συγκεκριμένους χρόνους, καθώς δεν επηρεάζουν το σύστημα παραγωγής αισθητά. Τέλος, αφού έχει ολοκληρωθεί η προσομοίωση του μοντέλου παρουσιάζονται στον τελευταίο πίνακα αυτού του κεφαλαίου (Πίνακας 20) και στα δύο παρακάτω γραφήματα (Γράφημα 21-22), οι τελικές τιμές των έτοιμων φιαλών γάλακτος ανά κωδικό προϊόντος, τη συνολική ποσότητα των παλετών που

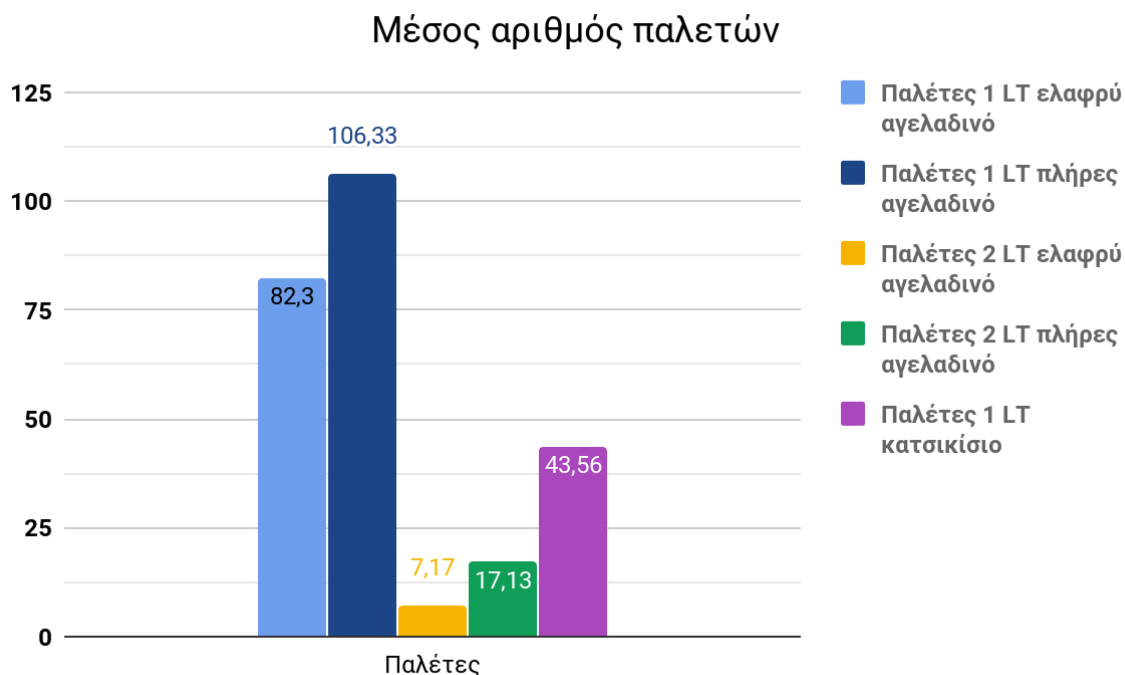
αποθηκεύτηκαν στα ψυγεία αποθήκευσης ανά κωδικό προϊόντος και οι συνολικοί κύκλοι παστερίωσης που ολοκληρώθηκαν κατά τη διάρκεια της μίας εργάσιμης παραγωγικής ημέρας.

Είδος μεταβλητής	Μέση τιμή (μ)	Τυπική απόκλιση (σ)	Ελάχιστη τιμή (min)	Μέγιστη Τιμή (max)
Κύκλοι παστερίωσης	9,7	0,5	0	19
Μπουκάλια 1 LT ελαφρύ αγελαδινό	2317,37	181,65	1911	2723
Μπουκάλια 1 LT πλήρες αγελαδινό	2990,83	234,45	2467	3514
Μπουκάλια 2 LT ελαφρύ αγελαδινό	114,87	9	94	135
Μπουκάλια 2 LT πλήρες αγελαδινό	263,43	20,66	216	310
Μπουκάλια 1 LT κατσικίσιο	1233	36,72	1056	1409
Παλέτες 1 LT ελαφρύ αγελαδινό	82,3	6,46	67	97
Παλέτες 1 LT πλήρες αγελαδινό	106,33	8,33	87	125
Παλέτες 2 LT ελαφρύ αγελαδινό	7,17	0,56	5	9
Παλέτες 2 LT πλήρες αγελαδινό	17,13	1,36	14	20
Παλέτες 1 LT κατσικίσιο	43,56	1,32	37	50

Πίνακας 20. Τελικός αριθμός φιαλών/παλετών και συνολικών κύκλων παστερίωσης



Γράφημα 21. Παρουσίαση μέσου αριθμού μπουκαλιών ανά κωδικό προϊόντος



Γράφημα 22. Παρουσίαση μέσου αριθμού παλετών ανά κωδικό προϊόντος

Παρατηρώντας τον παραπάνω πίνακα (Πίνακας 20) και τα γραφήματα (Γράφημα 21-22), μπορούμε να συμπεραίνουμε οπτικώς την ταύτιση των αναλογιών ανά κωδικό προϊόντος που παρουσιάστηκαν στην αρχή του κεφαλαίου με τις τιμές των αποτελεσμάτων της προσομοίωσης.

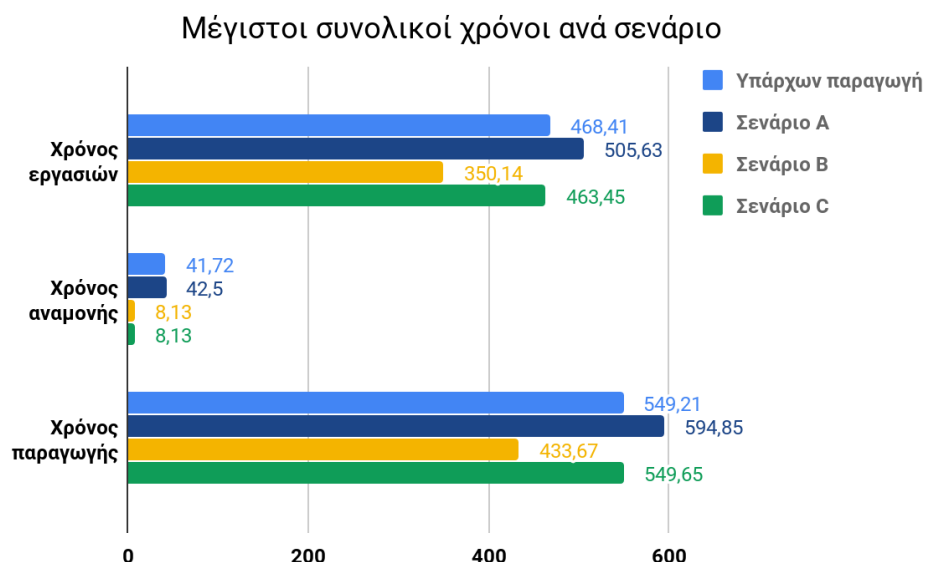
Τελικώς, αναλύοντας και συγκρίνοντας τα αποτελέσματα του σεναρίου C με την υπάρχουσα παραγωγική διαδικασία, παρατηρούμε σημαντικές βελτιώσεις στους χρόνους παραγωγής και επιπλέον καμία καθυστέρηση στις διαδικασίες ελέγχου, αναμονής κλπ. Το σύστημα παραμένει ευσταθές και ικανοποιούνται οι απαιτήσεις της αγοράς (ζήτηση). Στην περίπτωση του σεναρίου C έχουμε αύξηση της ικανοποίησης της ζήτησης **κατά 38,44% περισσότερο**. Ιδανικά, η επιχείρηση επενδύοντας στην αναβάθμιση των συγκεκριμένων μηχανημάτων (μηχάνημα παστερίωσης και εμφιάλωσης) καταφέρνει να αυξήσει τα κέρδη της, κρατώντας σταθερό τον ημερήσιο χρόνο παραγωγής (10 ώρες). Στο επόμενο κεφάλαιο θα γίνουν οι τελικές συγκρίσεις και παρατηρήσεις μεταξύ των σεναρίων που αναλύσαμε προηγουμένως.

5.6 Παρατηρήσεις και συγκρίσεις σεναρίων

Στα προηγούμενα τμήματα του κεφαλαίου 5 (Κεφάλαια 5.2-5.5) παρουσιάσαμε όλες τις διαφορετικές εκδοχές του μοντέλου προσομοίωσης της εταιρίας ΣΤΑΜΟΥ ABEE, με σκοπό την τελική σύγκριση όλων των σεναρίων μεταξύ τους και την επιλογή της βέλτιστης λύσης. Οι συγκρίσεις που θα πραγματοποιηθούν θα βοηθήσουν την επιχείρηση να υλοποιήσει το πλάνο (σενάριο) που επιθυμεί με βάση τις ανάγκες της αγοράς γαλακτοκομικών προϊόντων της Ελλάδος και τις δυνατότητές της σε οικονομικούς και ανθρώπινους πόρους. Σε αυτή τη διπλωματική εργασία δεν γνωρίζουμε τους διαθέσιμους πόρους της εταιρίας προς επένδυση. Ακολουθώντας, οι παρατηρήσεις θα εστιάσουν στην αναλογία της παραγόμενης ποσότητας προϊόντος ως προς τον χρόνο λειτουργίας του εργοστασίου ανά ημέρα (λεπτά) και στην ελαχιστοποίηση των πιθανών καθυστερήσεων (χρόνοι ελέγχου και

αναμονής) εντός της παραγωγικής διαδικασίας. Η παρουσίαση των συγκρίσεων θα γίνει με τη χρήση γραφημάτων (Γράφημα 23-24).

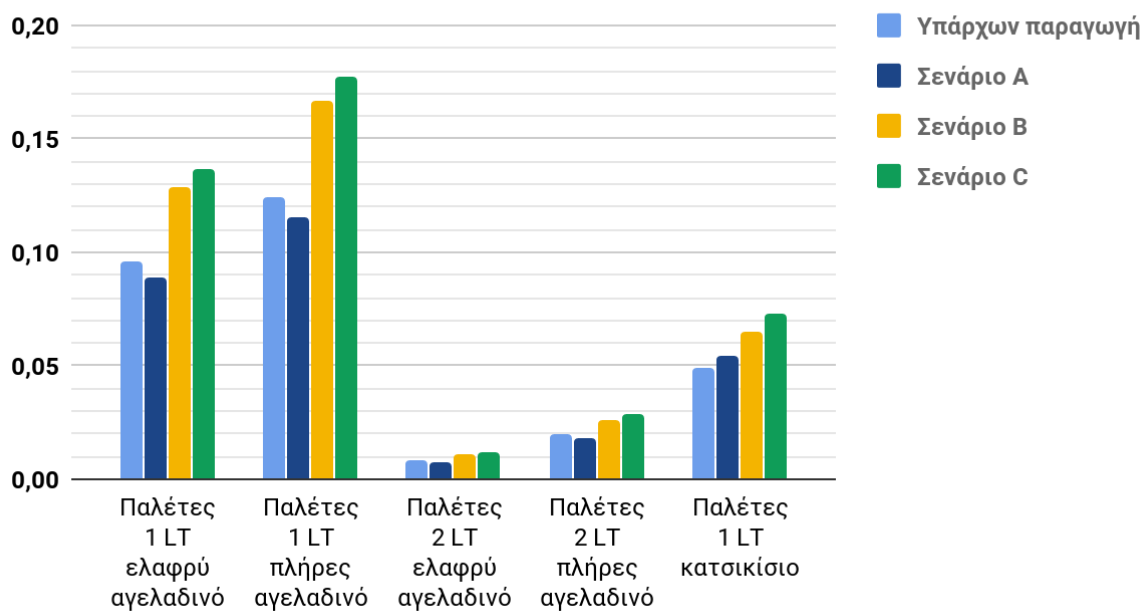
Οι πρώτοι παράμετροι σύγκρισης που θα εξεταστούν είναι οι μέγιστοι συνολικοί χρόνοι εργασιών, ελέγχων, αναμονής του γάλακτος και οι μέγιστοι χρόνοι λειτουργίας του εργοστασίου (συνολικός χρόνος παραγωγής). Στο παρακάτω γράφημα (Γράφημα 23) παρατηρούμε τις τιμές των συνολικών χρόνων ανά σενάριο.



Γράφημα 23. Παρουσίαση μέγιστων συνολικών χρόνων εργασιών/αναμονής/παραγωγής ανά σενάριο (min)

Σε αυτό το σημείο παρατηρούμε πως οι χρόνοι αναμονής του γάλακτος εντός της μονάδας παραγωγής είναι μεγαλύτερη στις δύο περιπτώσεις που χρησιμοποιείται ο υπάρχων εξοπλισμός του εργοστασίου (υπάρχων παραγωγή και σενάριο A) από τις δύο περιπτώσεις με τις αναβαθμισμένες μηχανές (σενάριο B και C). Αντίστοιχα ισχύει και για τους χρόνους παραγωγής/εργασιών των σεναρίων B και C σε σχέση με τα άλλα δύο σενάρια. Συνεχίζοντας θα μετρηθούν οι σημαντικότεροι παράμετροι σύγκρισης, που σε συνδυασμό με τα αποτελέσματα του προηγούμενου γραφήματος (Γράφημα 23) θα δείξουν την βέλτιστη πρόταση, οι αναλογίες του μέσου αριθμού παλετών (που τοποθετούνται στην αποθήκη έπειτα από την εμφιάλωσή των μπουκαλιών) ανά λεπτό παραγωγής (παλέτες/λεπτό). Έχοντας το σενάριο B με διαφορετικό χρόνο παραγωγής από τα υπόλοιπα σενάρια καθιστά τις συγκεκριμένες ποσοτικές αναλογίες ένα αξιόπιστο αριθμητικό μέσο σύγκρισης. Οι αναλογίες αυτές παρουσιάζονται στο επόμενο γράφημα (Γράφημα 24).

Αναλογίες παλετών ανά λεπτό παραγωγής (παλέτες/λεπτό)



Γράφημα 24. Παρουσίαση αναλογιών των μέσων παραγόμενων παλετών ανά λεπτό παραγωγής (παλέτες/λεπτό ή pallets/min)

Κοιτάζοντας το τελευταίο γράφημα (Γράφημα 24) ανά κωδικό προϊόντος, βλέπουμε ξεκάθαρα ότι το σενάριο C είναι η πιο αποτελεσματική μέθοδος παραγωγής σε όλες τις κατηγορίες προϊόντων της βιομηχανίας. Στην συνέχεια ακολουθεί το σενάριο B και στην τελευταία θέση το σενάριο A λόγω της αστάθειας του συστήματος που αναφέραμε στο Κεφάλαιο 5.3. Κρατώντας αυτή τη κατάταξη και σε συνδυασμό με το πόρισμα από το Γράφημα 23, φαίνεται η υπεροχή των σεναρίων B και C, έναντι των άλλων δύο σεναρίων. Με βάση τις συγκεκριμένες παρατηρήσεις, η επιχείρηση θα ήταν βέλτιστο να προβεί στη συγκεκριμένη αναβάθμιση των δύο μηχανημάτων παστερίωσης και εμφιάλωσης. Σε περίπτωση αναβάθμισης των μηχανημάτων, το ιδανικό σενάριο είναι να κρατήσει τις ώρες λειτουργίας του εργοστασίου στις 10 ώρες ανά ημέρα (Σενάριο C). Σε αντίθετη περίπτωση, αν δεν αναβαθμιστούν τα μηχανήματα παστερίωσης και εμφιάλωσης, τότε η βέλτιστη επιλογή είναι να αυξήσει την ποσότητα γάλακτος που επεξεργάζεται κατά 5%.

6 Συμπεράσματα και προτάσεις

6.1 Ανακεφαλαίωση

Στη παρούσα εργασία μελετάται η γραμμή παραγωγής γάλακτος της εταιρείας ΣΤΑΜΟΥ ΑΒΕΕ. Η συγκεκριμένη γραμμή χρησιμοποιείται για την αποθήκευση, την παστερίωση και την εμφιάλωση γάλακτος σε φιάλες PET, χωρητικότητας 1 και 2 λίτρων (LT). Στα αρχικά κεφάλαια παρουσιάζεται η θεωρία της μοντελοποίησης και προσομοίωσης μίας γραμμής παραγωγής και η ιστορία της εταιρείας, μαζί με τη ποικιλία συσκευασιών που εμφιαλώνει και τα οικονομικά στοιχεία για τη συγκεκριμένη αγορά. Επιπροσθέτως, γίνεται παρουσίαση των σταδίων παρασκευής/επεξεργασίας του γάλακτος, των συνθηκών εκτέλεσης κάθε παραγωγικής φάσης, των πρώτων υλών (πρωτεύουσες και βοηθητικές), των χρόνων παραγωγής και των ποσοτήτων των τελικών προϊόντων, μέσα από ένα διάγραμμα ροής και μέσω αναλυτικής περιγραφής. Τόσο η παραγωγική διαδικασία όσο και τα υπόλοιπα μέρη της συγκεκριμένης μελέτης, έχουν χωριστεί αρχικά με βάσει των (τριών) διαφορετικών φάσεων παραγωγής.

Βάσει των στοιχείων πωλήσεων της εταιρείας των δύο τελευταίων ετών (2015 & 2016), πραγματοποιήθηκε η μοντελοποίηση της γραμμής παραγωγής γάλακτος και ο προσδιορισμός των παραμέτρων παραγωγής που χρησιμοποιήθηκαν στον αλγόριθμο προσομοίωσης. Βάσει των διαγραμμάτων αλλά και των μετρήσεων που συλλέχθηκαν, πραγματοποιήθηκε η μοντελοποίηση της διαδικασίας παραγωγής με τη χρήση του λογισμικού Arena Simulation. Στη συνέχεια προσομοιώνεται το μοντέλο παραγωγής, μέσω του λογισμικού, για κάθε ένα βασικό (ρεαλιστικό) σενάριο λειτουργίας (4 εναλλακτικά σενάρια) και καταγράφονται οι αριθμοί των εξαγόμενων μπουκαλιών και παλετών για κάθε ένα τύπο συσκευασίας ανά οκτάωρο (σενάριο Β) ή δεκάωρο (μία ημερήσια βάρδια – υπόλοιπα σενάρια), καθώς και οι χρονικές μεταβλητές ανά στάδιο παραγωγής (αποθήκευση, παστερίωση και εμφιάλωση γάλακτος).

Η διαδικασία ελέγχου της αξιοπιστίας των αποτελεσμάτων μέσω ανάλυσης των στατιστικών παραμέτρων και σύγκρισης των αποτελεσμάτων κάθε σεναρίου μεταξύ τους είναι αναγκαία για να μπορούν στη συνέχεια τα μοντέλα να αξιοποιηθούν από την εταιρεία για την μελέτη άλλων ρεαλιστικών σεναρίων και των αλλαγών που θα επιφέρουν στη λειτουργία και την απόδοση της μονάδας (πχ. μελέτη για την εγκατάσταση νέου εξοπλισμού με άλλα παραγωγικά χαρακτηριστικά). Ένα βασικό χαρακτηριστικό του μοντέλου που έχει υλοποιηθεί με το λογισμικό Arena Simulation, είναι η δυνατότητα επαναχρησιμοποίησής του τροποποιώντας κάποιες παραμέτρους τους, δομικές ή ποσοτικές. Με αυτό το τρόπο δεν θα απαιτείται να χτιστεί το μοντέλο από την αρχή μελλοντικά.

Τα παραπάνω αποτελέσματα συγκρίνονται μεταξύ τους για την επιλογή της βέλτιστης πρότασης βελτίωσης της παραγωγικής μονάδας του εργοστασίου, χωρίς να ληφθούν υπόψιν οικονομοτεχνικοί περιορισμοί και οι διαθέσιμοι ανθρώπινοι πόροι της επιχείρησης.

6.2 Συμπεράσματα

Στην εργασία αυτή μελετήθηκε η αξιοπιστία και η ακρίβεια του μοντέλου προσομοίωσης που υλοποιήθηκε αναπαριστώντας συνολικά τις τρεις φάσεις (στάδια) παραγωγής. Η αξιοπιστία του μοντέλου ήταν αποτέλεσμα των συγκρίσεων των αποτελεσμάτων των προσομοιώσεων, για κάθε τύπο συσκευασίας και για κάθε επιμέρους βασικό σενάριο λειτουργίας. Τα αποτελέσματα αυτά αποτυπώνουν τους αριθμούς εξαγόμενων μπουκαλιών και παλετών, για κάθε κωδικό προϊόντος ξεχωριστά, τους χρόνους λειτουργίας της γραμμής παραγωγής και τους χρόνους αναμονής/ελέγχου και μεταφοράς του γάλακτος ανά στάδιο παραγωγής.

Οι παραπάνω συγκρίσεις έδειξαν πως όλα τα μοντέλα ήταν σε μεγάλο βαθμό αξιόπιστα, δίνοντας σαφείς πληροφορίες για την λειτουργία της υπάρχουσας παραγωγικής μονάδας και τις επιπτώσεις μίας πιθανής αλλαγής των μηχανημάτων παστερίωσης και εμφιάλωσης με στόχο την αύξηση της παραγωγικής δυναμικότητας της επιχείρησης. Συγκεκριμένα, προκύπτει πως στην περίπτωση που οι μηχανές παστερίωσης και εμφιάλωσης ανανεωθούν με αντίστοιχες πιο πρόσφατης τεχνολογίας και μεγαλύτερης ονομαστικής ταχύτητας/χωρητικότητας, επιτυγχάνεται ανάλογη αύξηση της τελικής παραγωγής σε παλέτες προϊόντων.

6.3 Προτάσεις

Από τις συγκρίσεις που πραγματοποιήθηκαν για κάθε τύπο προϊόντος και για κάθε επιμέρους σενάριο παραγωγής, αποδείχθηκε πως η υπάρχουσα γραμμή παραγωγής είναι ικανοποιητική, ωστόσο χρήζει βελτίωσης. Αναλυτικότερα, η παρούσα γραμμή παραγωγής ικανοποιεί τις ανάγκες ζήτησης των πελατών της εταιρίας με επιπλέον δυνατότητα αύξησης της ποσότητας γάλακτος (πρώτης ύλης) κατά 6-7%. Όμως έχοντας ως γνώμονα την επιθυμία αύξησης της παραγωγικής δυναμικότητας της επιχείρησης ΣΤΑΜΟΥ ΑΒΕΕ, η εταιρία σε αυτή τη περίπτωση θα χρειαστεί να προβεί σε αντικατάσταση των μηχανημάτων παστερίωσης και εμφιάλωσης γάλακτος με μηχανήματα νέας τεχνολογίας με μεγαλύτερη χωρητικότητα (υλοποίηση σεναρίου Β ή σεναρίου C).

Αυτή η πιθανή επένδυση θα οδηγήσει σε αύξηση των τελικών παραγόμενων φιαλών σε ποσοστά **εώς και 38,44%**. Ασφαλώς, το συγκεκριμένο πλάνο επένδυσης θα μπορεί να επιτευχθεί εφόσον η επιχείρηση διαθέτει τους αντίστοιχους οικονομικούς και ανθρώπινους πόρους.

6.4 Επεκτάσεις διπλωματικής εργασίας

Η συγκεκριμένη διπλωματική εργασία αποτελεί μία πολύ καλή εναρκτήρια βάση για την επέκταση της συγκεκριμένης μελέτης. Παρακάτω, παρουσιάζονται πιθανά επόμενα βήματα της μελέτης που μπορούν να πραγματοποιηθούν με την συγκαταβολή της βιομηχανίας ΣΤΑΜΟΥ ΑΒΕΕ και την χρήση περισσότερων στοιχείων:

- Εναλλακτικά (ρεαλιστικά) σενάρια λειτουργίας με τον υπάρχων εξοπλισμό, (άλλοι όγκοι παραγωγής, διαφορετικές ημερήσιες ώρες λειτουργίας του εργοστασίου)
- Μελέτη για την παραγωγή επιπλέον προϊόντων (π.χ. γάλακτος μακράς διαρκείας ή περισσότερων τύπων κασικίσου γάλακτος) ή συσκευασιών στη μονάδα,
- Οικονομοτεχνική μελέτη των εναλλακτικών σεναρίων λειτουργίας με τον υπάρχων εξοπλισμό και με τυχόν αναβαθμίσεις του εξοπλισμού του εργοστασίου,
- Μελέτη για την επίπτωση της υπάρχουσας παραγωγικής διαδικασίας ή των προτεινόμενων εναλλακτικών σεναρίων στο πλάνο εφοδιαστικής αλυσίδας (logistics) της εταιρίας,

Βιβλιογραφία

Βασίλης Κουϊκόγλου – Σημειώσεις μαθήματος: Προσομοίωση, Χανιά 2002, σελ. 5
http://www.mie.uth.gr/ekp_yliko/simulation.pdf.

Γεωργακόπουλος Ι. Δημήτριος, ΜΕΤΑΠΤΥΧΙΑΚΗ ΕΡΕΥΝΗΤΙΚΗ ΕΡΓΑΣΙΑ, «Η αγορά γαλακτοκομικών προϊόντων στην Ελλάδα και σύνδεση με τη διεθνή αγορά. Μια μικροοικονομική και μακροοικονομική προσέγγιση», Μάρτιος 2012, ΑΘΗΝΑ, σελ. 82-89.

Γεώργιος Τσιναράκης – Διδακτορική διατριβή, «Μοντελοποίηση και μελέτη συστημάτων παραγωγής τυχαίας τοπολογίας με δίκτυα Petri», μία προσέγγιση ιεραρχικού ελέγχου, Χανιά 2007.

Γεώργιος Χατούπης και Μάριος-Θεόδωρος Πετρόπουλος, ΔΙΠΛΩΜΑΤΙΚΗ ΕΡΓΑΣΙΑ, «Μοντελοποίηση και έλεγχος ρομποτικού οχήματος», Μάρτιος 2015, Πανεπιστήμιο Πατρών, σελ. 46-48. <http://hdl.handle.net/10889/8417>

Δελτίο τύπου της Διεύθυνσης Οικονομικών Μελετών της ICAP Group ΑΕ, Φεβρουάριος 2016.
<http://www.icap.gr/ECPage.aspx?id=1844&nt=149&lang=1&tabID=3>

Ιστοσελίδα εταιρίας ΣΤΑΜΟΥ ΑΒΕΕ, Ιούνιος 2017. <http://www.stamou.gr/index.php/company>

Κωνσταντίνος Βροντάκης, Αξιολόγηση αποδοτικότητας και μελέτη λειτουργίας μονάδας επεξεργασίας δέρματος, Χανιά 2015.

Κωνσταντίνος Σοϊλεμεζίδης, ΔΙΠΛΩΜΑΤΙΚΗ ΕΡΓΑΣΙΑ, «Βελτιστοποίηση μέσω προσομοίωσης συστήματος δύο σειριακών σταδίων με ανεξάρτητη ζήτηση σε κάθε στάδιο», 2016, Πανεπιστήμιο Θεσσαλίας, σελ. 14. <http://hdl.handle.net/11615/13661>

Νικόλαος Μίχος, ΜΕΤΑΠΤΥΧΙΑΚΗ ΕΡΕΥΝΗΤΙΚΗ ΕΡΓΑΣΙΑ, «Διοίκηση αλλαγής και μέθοδοι πολυκριτήριας ανάλυσης», Απρίλιος 2012, Πανεπιστήμιο Πατρών. <http://hdl.handle.net/10889/5169>

Νικόλαος Λειβαδιωτάκης, ΔΙΠΛΩΜΑΤΙΚΗ ΕΡΓΑΣΙΑ, «Προγραμματισμός Παραγωγής για τη γραμμή εμφιάλωσης φιαλών PET 0.5,1 και 1,5 LIT της εταιρίας ΕΤΑΝΑΠ Α.Ε.-ΕΠΙΤΡΑΠΕΖΙΟ ΝΕΡΟ ΣΑΜΑΡΙΑ», Χανιά 2016, σελ. 18.

Zhou M.C. and DiCesare F., Petri Net Synthesis for Discrete Event Control of Manufacturing Systems, Kluwer Academic Publishers, 1993.

Πίνακας Εικόνων

1. Δείκτης εξέλιξης της συνολικής εγχώριας κατανάλωσης γάλακτος (2010-2015) & Διάρθρωση της εγχώριας κατανάλωσης γάλακτος (2015) , Πηγή: **ICAP Group, εκτιμήσεις αγοράς**
2. Εξέλιξη του αριθμού παραγωγών, της παραγωγικής αγελαδινού γάλακτος και των ποσοστρώσεων (2003-2015), Πηγή: **Ελληνικός Γεωργικός Οργανισμός “Δήμητρα”**
3. Λογότυπο εταιρίας ΣΤΑΜΟΥ ΑΒΕΕ, Πηγή: **Ιστοσελίδα Εταιρίας ΣΤΑΜΟΥ ΑΒΕΕ**
4. Φωτογραφία του κεντρικού εργοστασίου της εταιρίας ΣΤΑΜΟΥ ΑΒΕΕ, Πηγή: **Ιστοσελίδα Εταιρίας ΣΤΑΜΟΥ ΑΒΕΕ**
5. Τοποθεσία της εταιρίας ΣΤΑΜΟΥ ΑΒΕΕ στο χάρτη, Πηγή: **Ιστοσελίδα Εταιρίας ΣΤΑΜΟΥ ΑΒΕΕ**
6. Άντληση του αγελαδινού γάλακτος από μία συνεργαζόμενη φάρμα, Πηγή: **Ιστοσελίδα Εταιρίας ΣΤΑΜΟΥ ΑΒΕΕ**
7. Διαφορετικά είδη παραγόμενων φιαλών. Αριστερά: Αγελαδινό Γάλα Πλήρες (1 & 2 λίτρα), Μεσαία: Αγελαδινό Γάλα Ελαφρύ 1,5% (1 & 2 λίτρα), Δεξιά: Κατσικίσιο Γάλα (1 λίτρο), Πηγή: **Ιστοσελίδα Εταιρίας ΣΤΑΜΟΥ ΑΒΕΕ**
8. Διάγραμμα ροής της γραμμής παραγωγής γάλακτος
9. Φωτογραφία κεντρικής εγκατάστασης εργοστασίου με απεικόνιση του φυγοκεντρικού διαχωριστήρα (αριστερά), του εταιρικού βυτίου (κέντρο) και της δεξαμενής αποθήκευσης γάλακτος (δεξιά), Πηγή: **Ιστοσελίδα Εταιρίας ΣΤΑΜΟΥ ΑΒΕΕ**
10. Φωτογραφία κεντρικής εγκατάστασης εργοστασίου με απεικόνιση της δεξαμενής αποθήκευσης του γάλακτος πριν το στάδιο παστερίωσης του, Πηγή: **Ιστοσελίδα Εταιρίας ΣΤΑΜΟΥ ΑΒΕΕ**
11. Συνοπτική φωτογραφία του μοντέλου προσομοίωσης της υπάρχουσας παραγωγικής διαδικασίας γάλακτος στο πρόγραμμα Arena Simulation
12. Συνοπτική φωτογραφία του μοντέλου προσομοίωσης του σεναρίου Α στο πρόγραμμα Arena Simulation
13. Συνοπτική φωτογραφία του μοντέλου προσομοίωσης του σεναρίου Β στο πρόγραμμα Arena Simulation
14. Συνοπτική φωτογραφία του μοντέλου προσομοίωσης του σεναρίου C στο πρόγραμμα Arena Simulation
15. Συνοπτική φωτογραφία του μοντέλου προσομοίωσης στο πρόγραμμα Arena Simulation σε Παράρτημα Α
16. Συνοπτική φωτογραφία του πρώτου σταδίου (στάδιο εισαγωγής γάλακτος στο εργοστάσιο) του μοντέλου προσομοίωσης
17. Φωτογραφία που παρουσιάζει τις προαναφερόμενες κατεργασίες/μεταβλητές του σταδίου εισαγωγής γάλακτος στο εργοστάσιο (1ο μέρος, εργασίες 1-11)
18. Φωτογραφία που παρουσιάζει τις προαναφερόμενες κατεργασίες/μεταβλητές του σταδίου εισαγωγής γάλακτος στο εργοστάσιο (2ο μέρος, εργασίες 11-16)
19. Φωτογραφία που παρουσιάζει τις προαναφερόμενες κατεργασίες/μεταβλητές του σταδίου εισαγωγής του κατσικίσιου γάλακτος στο εργοστάσιο (3ο μέρος)
20. Συνοπτική φωτογραφία του δεύτερου σταδίου (στάδιο παστερίωσης) του μοντέλου προσομοίωσης
21. Φωτογραφία που παρουσιάζει τις προαναφερόμενες κατεργασίες/μεταβλητές του σταδίου παστερίωσης (1ο μέρος, εργασίες 1-12)
22. Φωτογραφία που παρουσιάζει τις προαναφερόμενες κατεργασίες/μεταβλητές του σταδίου παστερίωσης (2ο μέρος, εργασίες 13-21)
23. Συνοπτική φωτογραφία του τρίτου σταδίου (στάδιο εμφιάλωσης γάλακτος) του μοντέλου προσομοίωσης
24. Φωτογραφία που παρουσιάζει τις προαναφερόμενες κατεργασίες/μεταβλητές του σταδίου εμφιάλωσης του γάλακτος (1ο μέρος, εργασίες 1-8)

- 25. Φωτογραφία που παρουσιάζει τις προαναφερόμενες κατεργασίες/μεταβλητές του σταδίου εμφιάλωσης του γάλακτος (2ο μέρος, εργασίες 9-18)
- 26. Βασικές ρυθμίσεις των παραμέτρων προσομοίωσης του προγράμματος
- 27. Ρύθμιση των στατιστικών παραμέτρων της τελικής παρουσίασης των αποτελεσμάτων (output report) του προγράμματος

Πίνακας Πινάκων

1. Συνολική χρήση χωρητικότητας δεξαμενών της πρώτης φάσης παραγωγής και συνολική ποσότητα γάλακτος που εισέρχεται στο εργοστάσιο ανά ημέρα σε λίτρα (LT) - Υπάρχουσα γραμμή παραγωγής
2. Συνολικοί χρόνοι εργασιών/ελέγχων/αναμονής/μεταφοράς/παραγωγής και επεξεργασίας γάλακτος ανά στάδιο και συνολικοί χρόνοι λειτουργίας κάθε σταδίου σε λεπτά (min) - Υπάρχουσα γραμμή παραγωγής
3. Αναλυτικοί χρόνοι των ουρών αναμονής του γάλακτος σε όλα τα στάδια παραγωγής σε λεπτά (min) - Υπάρχουσα γραμμή παραγωγής
4. Αναλυτικοί χρόνοι των διαδικασιών ελέγχου του γάλακτος σε όλα τα στάδια παραγωγής σε λεπτά (min) - Υπάρχουσα γραμμή παραγωγής
5. Τελικός αριθμός φιαλών/παλετών και συνολικών κύκλων παστερίωσης - Υπάρχουσα γραμμή παραγωγής
6. Συνολική χρήση χωρητικότητας δεξαμενών της πρώτης φάσης παραγωγής και συνολική ποσότητα γάλακτος που εισέρχεται στο εργοστάσιο ανά ημέρα σε λίτρα (LT) - Σενάριο A
7. Συνολικοί χρόνοι εργασιών/ελέγχων/αναμονής/μεταφοράς/παραγωγής και επεξεργασίας γάλακτος ανά στάδιο και συνολικοί χρόνοι λειτουργίας κάθε σταδίου σε λεπτά (min) - Σενάριο A
8. Αναλυτικοί χρόνοι των ουρών αναμονής του γάλακτος σε όλα τα στάδια παραγωγής σε λεπτά (min) - Σενάριο A
9. Αναλυτικοί χρόνοι των διαδικασιών ελέγχου του γάλακτος σε όλα τα στάδια παραγωγής σε λεπτά (min) - Σενάριο A
10. Τελικός αριθμός φιαλών/παλετών και συνολικών κύκλων παστερίωσης - Σενάριο A
11. Συνολική χρήση χωρητικότητας δεξαμενών της πρώτης φάσης παραγωγής και συνολική ποσότητα γάλακτος που εισέρχεται στο εργοστάσιο ανά ημέρα σε λίτρα (LT) - Σενάριο B
12. Συνολικοί χρόνοι εργασιών/ελέγχων/αναμονής/μεταφοράς/παραγωγής και επεξεργασίας γάλακτος ανά στάδιο και συνολικοί χρόνοι λειτουργίας κάθε σταδίου σε λεπτά (min) - Σενάριο B
13. Αναλυτικοί χρόνοι των ουρών αναμονής του γάλακτος σε όλα τα στάδια παραγωγής σε λεπτά (min) - Σενάριο B
14. Αναλυτικοί χρόνοι των διαδικασιών ελέγχου του γάλακτος σε όλα τα στάδια παραγωγής σε λεπτά (min) - Σενάριο B
15. Τελικός αριθμός φιαλών/παλετών και συνολικών κύκλων παστερίωσης - Σενάριο B
16. Συνολική χρήση χωρητικότητας δεξαμενών της πρώτης φάσης παραγωγής και συνολική ποσότητα γάλακτος που εισέρχεται στο εργοστάσιο ανά ημέρα σε λίτρα (LT) - Σενάριο C
17. Συνολικοί χρόνοι εργασιών/ελέγχων/αναμονής/μεταφοράς/παραγωγής και επεξεργασίας γάλακτος ανά στάδιο και συνολικοί χρόνοι λειτουργίας κάθε σταδίου σε λεπτά (min) - Σενάριο C
18. Αναλυτικοί χρόνοι των ουρών αναμονής του γάλακτος σε όλα τα στάδια παραγωγής σε λεπτά (min) - Σενάριο C
19. Αναλυτικοί χρόνοι των διαδικασιών ελέγχου του γάλακτος σε όλα τα στάδια παραγωγής σε λεπτά (min) - Σενάριο C
20. Τελικός αριθμός φιαλών/παλετών και συνολικών κύκλων παστερίωσης - Σενάριο C

Πίνακας Γραφημάτων

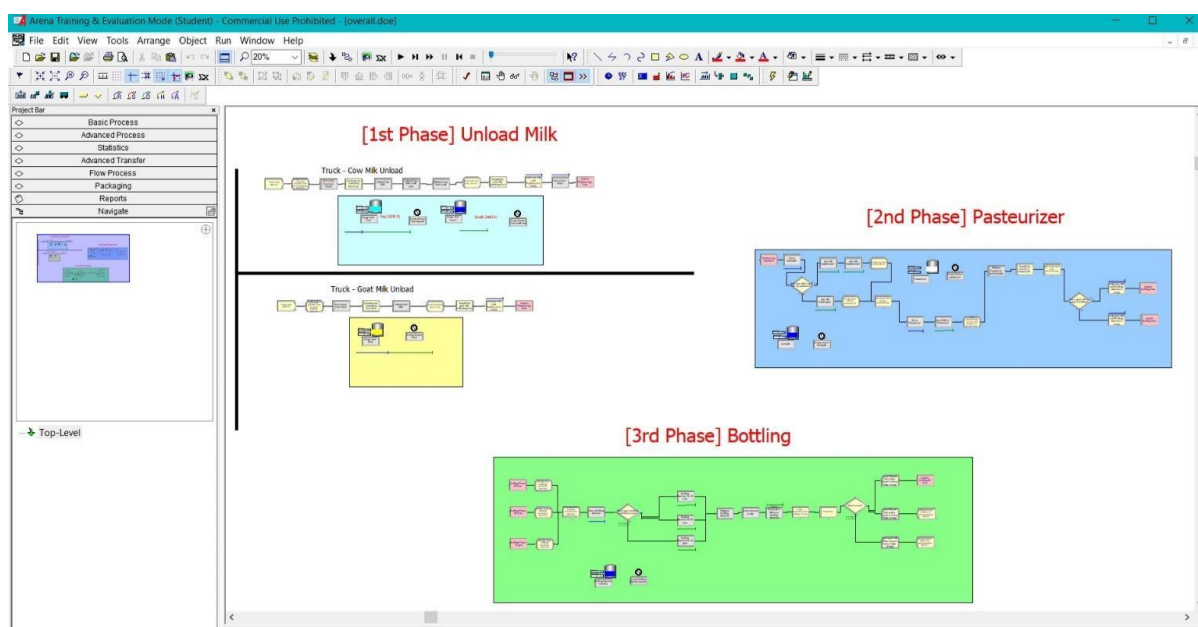
1. Ετήσιες πωλήσεις συσκευασίας Γάλακτος Πλήρες 1 LT
2. Ετήσιες πωλήσεις συσκευασίας Γάλακτος Πλήρες 2 LT
3. Ετήσιες πωλήσεις συσκευασίας Γάλακτος Ελαφρύ 1 LT
4. Ετήσιες πωλήσεις συσκευασίας Γάλακτος Ελαφρύ 2 LT
5. Ετήσιες πωλήσεις συσκευασίας Γάλακτος Κατσικίσιο 1 LT
6. Ποσοστά πωλήσεων ανά κωδικό προϊόντος (συσκευασία)
7. Παρουσίαση των μέσων τιμών της συνολικής χρήσης χωρητικότητας δεξαμενών σε λίτρα (LT) του Πίνακα 1
8. Παρουσίαση των ποσοστών των χρόνων που είναι ενεργό κάθε στάδιο παραγωγής ως προς το συνολικό χρόνο παραγωγής (μέσες τιμές) - Υπάρχουσα γραμμή παραγωγής
9. Παρουσίαση μέσου αριθμού μπουκαλιών ανά κωδικό προϊόντος - Υπάρχουσα γραμμή παραγωγής
10. Παρουσίαση μέσου αριθμού παλετών ανά κωδικό προϊόντος - Υπάρχουσα γραμμή παραγωγής
11. Παρουσίαση των μέσων τιμών της συνολικής χρήσης χωρητικότητας δεξαμενών σε λίτρα (LT) του Πίνακα 6
12. Παρουσίαση των ποσοστών των χρόνων που είναι ενεργό κάθε στάδιο παραγωγής ως προς το συνολικό χρόνο παραγωγής (μέσες τιμές) - Σενάριο A
13. Παρουσίαση μέσου αριθμού μπουκαλιών ανά κωδικό προϊόντος - Σενάριο A
14. Παρουσίαση μέσου αριθμού παλετών ανά κωδικό προϊόντος – Σενάριο A
15. Παρουσίαση των μέσων τιμών της συνολικής χρήσης χωρητικότητας δεξαμενών σε λίτρα (LT) του Πίνακα 11
16. Παρουσίαση των ποσοστών των χρόνων που είναι ενεργό κάθε στάδιο παραγωγής ως προς το συνολικό χρόνο παραγωγής (μέσες τιμές) - Σενάριο B
17. Παρουσίαση μέσου αριθμού μπουκαλιών ανά κωδικό προϊόντος - Σενάριο B
18. Παρουσίαση μέσου αριθμού παλετών ανά κωδικό προϊόντος - Σενάριο B
19. Παρουσίαση των μέσων τιμών της συνολικής χρήσης χωρητικότητας δεξαμενών σε λίτρα (LT) του Πίνακα 16
20. Παρουσίαση των ποσοστών των χρόνων που είναι ενεργό κάθε στάδιο παραγωγής ως προς το συνολικό χρόνο παραγωγής (μέσες τιμές) - Σενάριο C
21. Παρουσίαση μέσου αριθμού μπουκαλιών ανά κωδικό προϊόντος - Σενάριο C
22. Παρουσίαση μέσου αριθμού παλετών ανά κωδικό προϊόντος - Σενάριο C
23. Παρουσίαση μέγιστων συνολικών χρόνων εργασιών/αναμονής/παραγωγής ανά σενάριο (min)
24. Παρουσίαση αναλογιών των μέσων παραγόμενων παλετών ανά λεπτό παραγωγής (παλέτες/λεπτό ή pallets/min)

Παράρτημα Α

Περιγραφή του μοντέλου προσομοίωσης με τη χρήση του προγράμματος Arena Simulation

Σε αυτό το κεφάλαιο παρουσιάζεται λεπτομερώς το μοντέλο παραγωγής που αναπτύχθηκε εκ του μηδενός και χρησιμοποιήθηκε στην παρούσα διπλωματική εργασία. Το παρόν μοντέλο έχει υλοποιηθεί με τη χρήση του υπολογιστικού προγράμματος προσομοίωσης Rockwell Arena Simulation, έκδοσης 15.00. Οι εντολές του συγκεκριμένου προγράμματος που έχουν χρησιμοποιηθεί και οι μεταβλητές/παράμετροι που συνδέουν και επηρεάζουν την εκάστοτε εντολή, καθώς και το σύστημα συνολικά, παρουσιάζονται αναλυτικά στην συνέχεια του κεφαλαίου.

Το μοντέλο δημιουργήθηκε με απώτερο σκοπό την κατά το δυνατόν αξιόπιστη αναπαράσταση της γραμμής παραγωγής γάλακτος της βιομηχανίας. Όπως φαίνεται στην Εικόνα 17 και προαναφέραμε στην παράγραφο 4.2, η γραμμή παραγωγής χωρίζεται σε τρία στάδια. Το πρώτο στάδιο είναι το στάδιο εισαγωγής του γάλακτος στο σύστημα (εργοστάσιο) και μεταφοράς του γάλακτος στις δεξαμενές αποθήκευσης, το δεύτερο είναι η μεταφορά του εκάστοτε τύπου γάλακτος στον παστεριωτή μαζί με την παστερίωση του και το τρίτο στάδιο, αντίστοιχα, είναι η εμφιάλωση του κάθε κωδικού προϊόντος (είδους γάλακτος) ξεχωριστά και η αποθήκευση των έτοιμων εμφιαλωμένων προϊόντων στην αποθήκη του εργοστασίου, πριν την αποστολή των έτοιμων προϊόντων στα σημεία πώλησης τους.

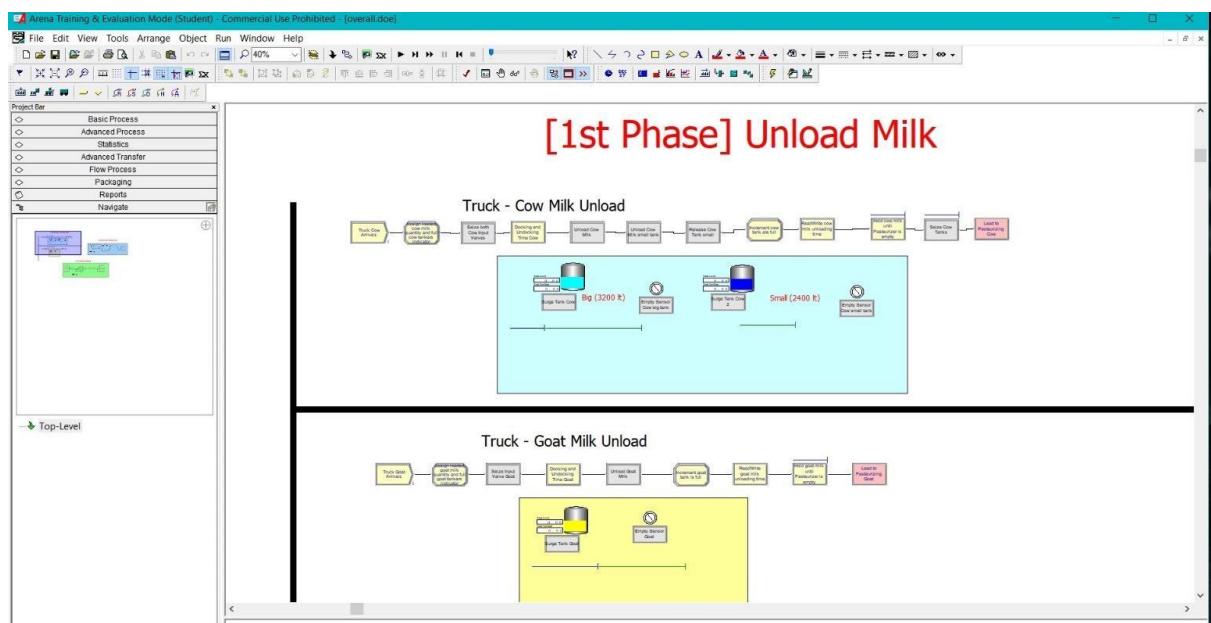


Εικόνα 15. Συνοπτική φωτογραφία του μοντέλου προσομοίωσης στο πρόγραμμα Arena Simulation

Το μοντέλο αυτό δέχεται ως αφίξεις οντότητες (Entity) που είναι βυτία (truck) που μεταφέρουν το γάλα (πρώτη ύλη) από τους συνεργαζόμενους παραγωγούς στην κεντρική βιομηχανική εγκατάσταση

της εταιρίας. Έτσι δηλώνουμε στο σύστημα ως όρισμα εισόδου και εξόδου τα φορτηγά/βυτία (truck) γάλακτος, με σταθερό ρυθμό άφιξης μία φορά την ημέρα για κάθε τύπο γάλακτος (ένα βυτίο που θα φέρει το αγελαδινό γάλα και ένα βυτίο που θα φέρει ξεχωριστά το κατσικίσιο γάλα). Στην πραγματικότητα, η επιχείρηση έχοντας υπολογίσει τις ανάγκες ζήτησης της επόμενης παραγωγικής μέρας από το τέλος της προηγούμενης, καταλογίζει την επιθυμητή ποσότητα γάλακτος που θέλουν να εισέλθουν στο εργοστάσιο για επεξεργασία την επόμενη μέρα, όπως έχουμε ήδη αναφέρει στο κεφάλαιο 5.1. Η παραγωγική διαδικασία της βιομηχανίας ΣΤΑΜΟΥ ΑΒΕΕ διαρκεί 10 ώρες καθημερινά από την έναρξη προετοιμασίας των εγκαταστάσεων/μηχανημάτων μέχρι την αποθήκευση και της τελευταίας διαθέσιμης προς πώληση φιάλης γάλακτος.

Στην πρώτη φάση (στάδιο) της παραγωγής, όπως αναφέραμε προηγουμένως, πραγματοποιείται η εισαγωγή του γάλακτος στις εγκαταστάσεις της εταιρίας και η αποθήκευσή του σε συγκεκριμένες δεξαμενές (tanks). Όπως παρουσιάζεται και στην Εικόνα 18 παρακάτω, η πρώτη φάση της παραγωγής αποτελείται από δύο ανεξάρτητα τμήματα. Το πρώτο τμήμα είναι η άφιξη και αποθήκευση του αγελαδινού γάλακτος, ενώ το δεύτερο τμήμα δηλώνει την άφιξη και αποθήκευση του κατσικίσιου γάλακτος. Τα δύο τμήματα είναι ανεξάρτητα μεταξύ τους, καθώς η άφιξη των βυτίων μεταφοράς γάλακτος γίνεται σε διαφορετική ανεξάρτητη χρονική στιγμή και η αποθήκευση του κάθε τύπου γάλακτος εκτελείται σε διαφορετικές και ανεξάρτητες δεξαμενές αποθήκευσης. Ωστόσο, παρότι και τα δύο τμήματα έχουν ανεξάρτητη αρχή καταλήγουν στο δεύτερο στάδιο παραγωγής (παστερίωση γάλακτος) που είναι μοναδικό.



Εικόνα 16. Συνοπτική φωτογραφία του πρώτου σταδίου (στάδιο εισαγωγής γάλακτος στο εργοστάσιο) του μοντέλου προσομοίωσης

Στο πρώτο τμήμα (άφιξη βυτίων μεταφοράς αγελαδινού γάλακτος) του συγκεκριμένου σταδίου παραγωγής έχουμε μία συγκεκριμένη ακολουθία εργασιών και εντολών, που παρουσιάζονται στην παρακάτω λίστα και στις αντίστοιχες εικόνες (Εικόνα 19-20).

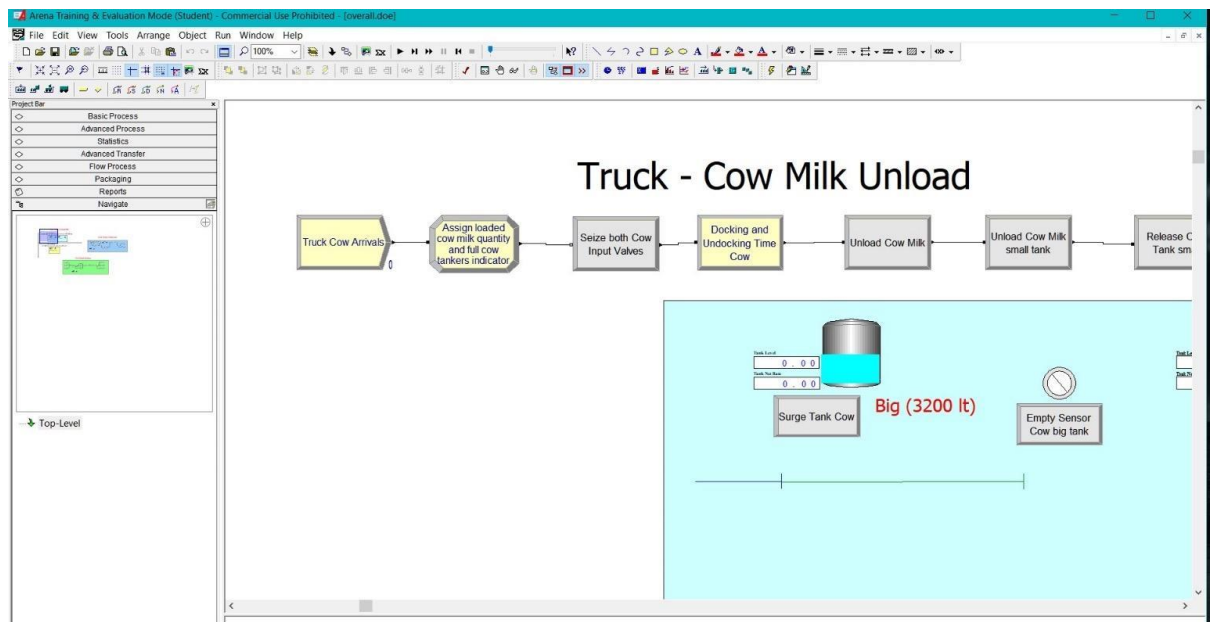
- 1) **Truck Cow Arrivals:** Άφιξη των βυτίων που μεταφέρουν το αγελαδινό γάλα στο εργοστάσιο. Κάθε άφιξη του συγκεκριμένου τύπου βυτίου πραγματοποιείται με συχνότητα μία μέρα (ένα βυτίο ανά μέρα). Ως όρισμα εισόδου δέχεται την οντότητα (entity) **truck** που δηλώνει το βυτίο/φορτηγό.
- 2) **Assign loaded cow milk and full cow tankers indicator:** Με αυτή την εντολή ορίζουμε μία μεταβλητή (loaded cow milk) και ένα δείκτη (tankers indicator) στο σύστημα για να

προσδιορίσουμε την εισερχόμενη (τυχαία με βάση την ζήτηση) ποσότητα γάλακτος (μεταβλητή) και το είδος γάλακτος που έχει φορτωθεί στις δεξαμενές του συστήματος (δείκτης). Η μεταβλητή **loaded cow milk** ακολουθεί την ομοιόμορφη κατανομή **U(min,max)** με οριακές τιμές τις ελάχιστες/μέγιστες τιμές ζήτησης αγελαδινού γάλακτος σε λίτρα που μπορεί να υπάρχουν ανά ημέρα. Συγκεκριμένα, οι τιμές που δέχονται τα δύο ορίσματα είναι **loaded cow milk = U(1024, 3383) LT (λίτρα)** και **full tankers = 0** αντίστοιχα.

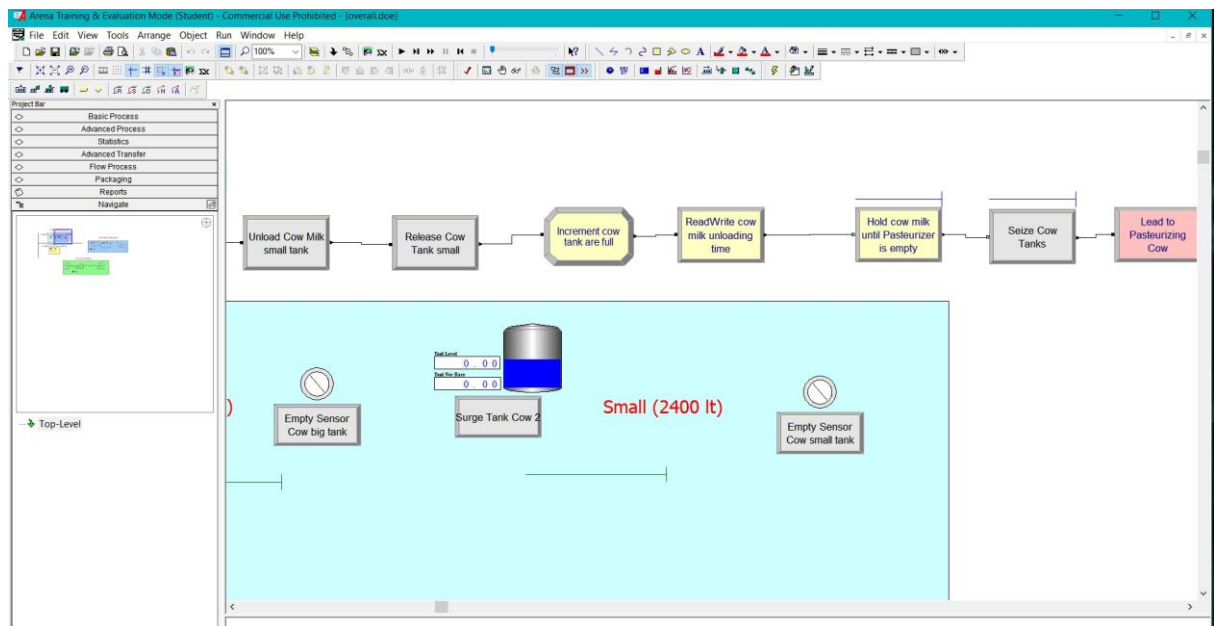
- 3) **Seize both cow input valves:** Ενεργοποίηση της λειτουργίας συγκεκριμένων δεξαμενών και ροών στο σύστημα. Συγκεκριμένα, ενεργοποιούνται οι ροές στις δύο δεξαμενές που θα υποδεχτούν το αγελαδινό γάλα. Η μία δεξαμενή θα περιέχει το πλήρες αγελαδινό γάλα και η δεύτερη δεξαμενή το ελαφρύ αγελαδινό γάλα.
- 4) **Docking and Undocking time cow:** Εργασία που περιγράφει το χρόνο φόρτωσης και στάθμευσης του βυτίου στον χώρο αποβίβασης των οχημάτων του εργοστασίου. Ο χρόνος αυτός ακολουθεί την ομοιόμορφη κατανομή **U(min,max)**, με τιμή **U(2,5) minutes (λεπτά)**.
- 5) **Unload cow milk:** Εδώ πραγματοποιείται η μεταφορά του γάλακτος από το βυτίο στη μεγάλη δεξαμενή αποθήκευσης Surge Tank Cow. Εδώ αποθηκεύεται η συνολική ποσότητα πλήρους αγελαδινού γάλακτος, που αντιστοιχεί στο 58% της συνολικής ποσότητας αγελαδινού γάλακτος ($0.58 \times \text{loaded cow milk}$) με ονομαστική ταχύτητα φόρτωσης 40 LT/min.
- 6) **Unload cow milk small tank:** Εδώ πραγματοποιείται η μεταφορά του γάλακτος από το βυτίο στη μεγάλη δεξαμενή αποθήκευσης Surge Tank Cow 2. Εδώ αποθηκεύεται η συνολική ποσότητα ελαφρύ (0%) αγελαδινού γάλακτος, που αντιστοιχεί στο 42% της συνολικής ποσότητας αγελαδινού γάλακτος ($0.42 \times \text{loaded cow milk}$) με ονομαστική ταχύτητα φόρτωσης 40 LT/min.
- 7) **Surge Tank Cow:** Δηλώνεται η δεξαμενή αποθήκευσης του πλήρους αγελαδινού γάλακτος. Η χωρητικότητα της δεξαμενής ανέρχεται στα 3200 λίτρα (LT) με ρυθμό εφοδιασμού 40 λίτρα/λεπτό (40 LT/min). Το γάλα αποθηκεύεται σε αυτή τη δεξαμενή μέχρι να ετοιμαστεί για παστερίωση.
- 8) **Empty sensor cow big tank:** Η δεξαμενή αποθήκευσης του πλήρους αγελαδινού γάλακτος (Surge Tank Cow) είναι συνδεδεμένη με έναν αισθητήρα που εξετάζει την ποσότητα γάλακτος εντός δεξαμενής. Ο συγκεκριμένος αισθητήρας στέλνει ένα αριθμητικό κωδικό σήμα στο κέντρο έλεγχου, με τον οποίο δηλώνει ότι η δεξαμενή είναι άδεια (ελεύθερη). Η τιμή του σήματος αυτού ορίζεται ως **τιμή σήματος (signal value) = 112**.
- 9) **Surge Tank Cow 2:** Δηλώνεται η δεξαμενή αποθήκευσης του πλήρους αγελαδινού γάλακτος. Η χωρητικότητα της δεξαμενής ανέρχεται στα 2400 λίτρα (LT) με ρυθμό εφοδιασμού 40 λίτρα/λεπτό (40 LT/min). Το γάλα αποθηκεύεται σε αυτή τη δεξαμενή μέχρι να ετοιμαστεί για παστερίωση.
- 10) **Empty sensor cow small tank:** Η δεξαμενή αποθήκευσης του ελαφρύ αγελαδινού γάλακτος (Surge Tank Cow 2) είναι συνδεδεμένη με έναν αισθητήρα που εξετάζει την ποσότητα γάλακτος εντός δεξαμενής. Ο συγκεκριμένος αισθητήρας στέλνει ένα αριθμητικό κωδικό σήμα στο κέντρο έλεγχου, με τον οποίο δηλώνει ότι η δεξαμενή είναι άδεια (ελεύθερη). Η τιμή του σήματος αυτού ορίζεται ως **τιμή σήματος (signal value) = 122**.
- 11) **Release cow tank small:** Εντολή απενεργοποίησης της ροής μεταξύ των δύο δεξαμενών αποθήκευσης αγελαδινού γάλακτος (πλήρες και ελαφρύ).
- 12) **Increment cow tanks are full:** Έπειτα από τον εφοδιασμό του εργοστασίου με το αγελαδινό γάλα στις δεξαμενές αποθήκευσης, μέσω της συγκεκριμένης εντολής ορίζεται νέα τιμή στον δείκτη full tankers (full tankers=2). Αυτός ο δείκτης, όπως αναφέραμε προηγουμένως, δηλώνει το είδος γάλακτος (αγελαδινό) που αποθηκεύτηκε στο σύστημα και είναι έτοιμο για παστερίωση.
- 13) **ReadWrite cow milk unload time:** Η εντολή αυτή καταγράφει σε ένα αρχείο δεδομένων (.xls) το συνολικό χρόνο που χρειάστηκε για την αποθήκευση των δύο ειδών αγελαδινού γάλακτος στις αντίστοιχες δεξαμενές. Μέσα στο αρχείο δεδομένων καταγράφονται τρεις παράμετροι. Οι παράμετροι αυτοί είναι ο αριθμός επανάληψης προσομοίωσης (replication), ο χρόνος αποθήκευσης αγελαδινού γάλακτος (unload cow milk time) και η τιμή του δείκτη τύπου γάλακτος που αποθηκεύτηκε (full tankers). Η κάθε παράμετρος παίρνει τις ακόλουθες τιμές αντίστοιχα

replication = REPNOW (παρούσα επανάληψη), **unload cow milk time = TNOW** (παρών χρόνος προσομοίωσης) και **full tankers = 2**.

- 14) **Hold cow milk until Pasteuriser is empty:** Μέσω της εντολής ακινητοποίησης (hold), το αποθηκευμένο αγελαδινό γάλα παραμένει στις δεξαμενές και μεταφέρεται στον παστεριωτή μόνο όταν λάβει σήμα από τον αντίστοιχο αισθητήρα του παστεριωτή ότι είναι άδειος (ελεύθερος) για χρήση. Η συνθήκη απελευθέρωσης του γάλακτος και στη συνέχεια, μεταφοράς του στον παστεριωτή επιτυγχάνεται μόλις ο παστεριωτής περιέχει λιγότερο από 1 λίτρο γάλακτος στο εσωτερικό ($\text{TankLevel}(\text{Pasteurizer}) < 1$), ξεκινάει η μεταφορά του αγελαδίσιου γάλακτος στον παστεριωτή.
- 15) **Seize Cow Tanks:** Ενεργοποιούνται ξανά οι δεξαμενές που έχουν αποθηκευμένο το πλήρες και ελαφρύ αγελαδινό γάλα.
- 16) **Lead to Pasteurizing Cow:** Εδώ συνδέονται μέσω ενός δικτύου σωλήνωσης οι προαναφερθέντες δεξαμενές με τον παστεριωτή. Η ενεργοποίηση του δικτύου μεταφοράς διαρκεί ένα λεπτό.



Εικόνα 17. Φωτογραφία που παρουσιάζει τις προαναφερόμενες κατεργασίες/μεταβλητές του σταδίου εισαγωγής γάλακτος στο εργοστάσιο (1ο μέρος, εργασίες 1-11)

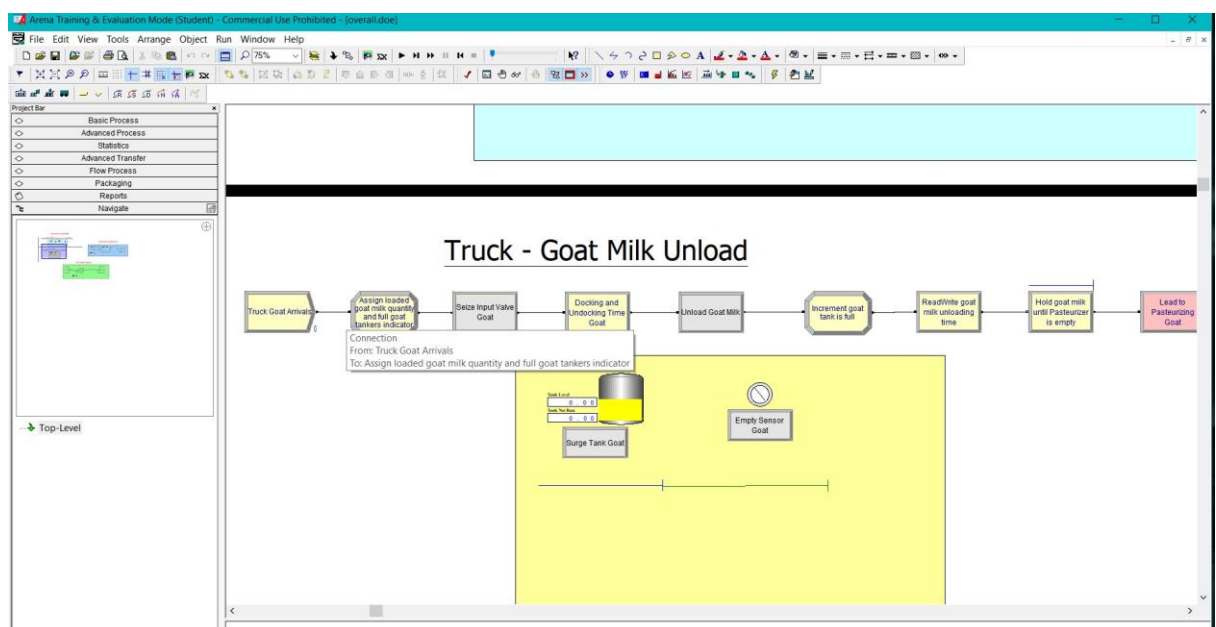


Εικόνα 18. Φωτογραφία που παρουσιάζει τις προαναφερόμενες κατεργασίες/μεταβλητές του σταδίου εισαγωγής γάλακτος στο εργοστάσιο (2ο μέρος, εργασίες 11-16)

Αντίστοιχη ακολουθία εντολών/εργασιών ακολουθεί και το δεύτερο τμήμα (άφιξη βυτίων μεταφοράς κατσικίσιου γάλακτος) του συγκεκριμένου σταδίου παραγωγής, με την διαφορά ότι το κατσικίσιο γάλα αποθηκεύεται σε μία δεξαμενή καθώς παρασκευάζεται μόνο ένας τύπος προϊόντος με βάση το συγκεκριμένο είδος γάλακτος. Παρακάτω παρουσιάζεται η αντίστοιχη λίστα εντολών/εργασιών και εικόνα του συγκεκριμένου τμήματος (Εικόνα 21).

- 1) **Truck Goat Arrivals:** Άφιξη των βυτίων που μεταφέρουν το κατσικίσιο γάλα στο εργοστάσιο. Κάθε άφιξη του συγκεκριμένου τύπου βυτίου πραγματοποιείται με συχνότητα μία μέρα (ένα βυτίο ανά μέρα). Ως όρισμα εισόδου δέχεται την οντότητα (entity) **truck** που δηλώνει το βυτίο/φορηγό.
- 2) **Assign loaded goat milk and full goat tankers indicator:** Με αυτή την εντολή ορίζουμε μία μεταβλητή (loaded goat milk) και ένα δείκτη (tankers indicator) στο σύστημα για να προσδιορίσουμε την εισερχόμενη (τυχαία με βάση την ζήτηση) ποσότητα γάλακτος (μεταβλητή) και το είδος γάλακτος που έχει φορτωθεί στις δεξαμενές του συστήματος (δείκτης). Η μεταβλητή **loaded goat milk** ακολουθεί την ομοιόμορφη κατανομή **$U(\min, \max)$** με οριακές τιμές τις ελάχιστες/μέγιστες τιμές ζήτησης κατσικίσιου γάλακτος σε λίτρα που μπορεί να υπάρχουν ανά ημέρα. Συγκεκριμένα, οι τιμές που δέχονται τα δύο όρια είναι **loaded goat milk = $U(645, 1023)$ LT (λίτρα)** και **full tankers = 0** αντίστοιχα.
- 3) **Seize input valve goat:** Ενεργοποίηση της λειτουργίας συγκεκριμένων δεξαμενών και ροών στο σύστημα. Συγκεκριμένα, ενεργοποιείται η ροή στη δεξαμενή που θα υποδεχτεί το κατσικίσιο γάλα.
- 4) **Docking and Undocking time goat:** Εργασία που περιγράφει το χρόνο φόρτωσης και στάθμευσης του βυτίου στον χώρο αποβίβασης των οχημάτων του εργοστασίου. Ο χρόνος αυτός ακολουθεί την ομοιόμορφη κατανομή **$U(\min, \max)$** , με τιμή **$U(2, 5)$ minutes (λεπτά)**.
- 5) **Unload goat milk:** Εδώ πραγματοποιείται η μεταφορά του γάλακτος από το βυτίο στη μεγάλη δεξαμενή αποθήκευσης **Surge Tank Goat**. Εδώ αποθηκεύεται η συνολική ποσότητα κατσικίσιου γάλακτος (loaded goat milk), με ονομαστική ταχύτητα φόρτωσης **40 LT/min**.
- 6) **Surge Tank goat:** Δηλώνεται η δεξαμενή αποθήκευσης του κατσικίσιου γάλακτος. Η χωρητικότητα της δεξαμενής ανέρχεται στα 1500 λίτρα (LT) με ρυθμό εφοδιασμού **40 λίτρα/λεπτό (40 LT/min)**. Το γάλα αποθηκεύεται σε αυτή τη δεξαμενή μέχρι να ετοιμαστεί για παστερίωση.

- 7) **Empty sensor goat tank:** Η δεξαμενή αποθήκευσης του κασικίσου γάλακτος (Surge Tank Goat) είναι συνδεδεμένη με έναν αισθητήρα που εξετάζει την ποσότητα γάλακτος εντός δεξαμενής. Ο συγκεκριμένος αισθητήρας στέλνει ένα αριθμητικό κωδικό σήμα στο κέντρο έλεγχου, με τον οποίο δηλώνει ότι η δεξαμενή είναι άδεια (ελεύθερη). Η τιμή του σήματος αυτού ορίζεται ως **τιμή σήματος (signal value)= 22**.
- 8) **Increment goat tank is full:** Έπειτα από τον εφοδιασμό του εργοστασίου με το κασικίσιο γάλα στη δεξαμενή αποθήκευσης, μέσω της συγκεκριμένης εντολής ορίζεται νέα τιμή στον δείκτη full tankers (full tankers=1). Αυτός ο δείκτης, όπως αναφέραμε προηγουμένως, δηλώνει το είδος γάλακτος (κασικίσιο) που αποθηκεύτηκε στο σύστημα και είναι έτοιμο για παστερίωση.
- 9) **ReadWrite goat milk unload time:** Η εντολή αυτή καταγράφει σε ένα αρχείο δεδομένων (.xls) το συνολικό χρόνο που χρειάστηκε για την αποθήκευση του κασικίσου γάλακτος στις αντίστοιχες δεξαμενές. Μέσα στο αρχείο δεδομένων καταγράφονται τρεις παράμετροι. Οι παράμετροι αυτοί είναι ο αριθμός επανάληψης προσομοίωσης (replication), ο χρόνος αποθήκευσης κασικίσου γάλακτος (unload goat milk time) και η τιμή του δείκτη τύπου γάλακτος που αποθηκεύτηκε (full tankers). Η κάθε παράμετρος παίρνει τις ακόλουθες τιμές αντίστοιχα **replication = REPNOW** (παρούσα επανάληψη), **unload goat milk time = TNOW** (παρών χρόνος προσομοίωσης) και **full tankers = 1**.
- 10) **Hold goat milk until Pasteuriser is empty:** Μέσω της εντολής ακινητοποίησης (hold), το αποθηκευμένο κασικίσιο γάλα παραμένει στη δεξαμενή και μεταφέρεται στον παστεριωτή μόνο όταν λάβει σήμα από τον αντίστοιχο αισθητήρα του παστεριωτή ότι είναι άδειος (ελεύθερος) για χρήση. Η συνθήκη απελευθέρωσης του γάλακτος και στη συνέχεια, μεταφοράς του στον παστεριωτή επιτυγχάνεται μόλις ο παστεριωτής περιέχει λιγότερο από 1 λίτρο γάλακτος στο εσωτερικό ($\text{TankLevel}(\text{Pasteurizer}) < 1$), ξεκινάει η μεταφορά του γάλακτος στον παστεριωτή.
- 11) **Lead to Pasteurizing goat:** Εδώ συνδέονται μέσω ενός δικτύου σωλήνωσης οι προαναφερθέντες δεξαμενές με τον παστεριωτή. Η ενεργοποίηση του δικτύου μεταφοράς διαρκεί ένα λεπτό.

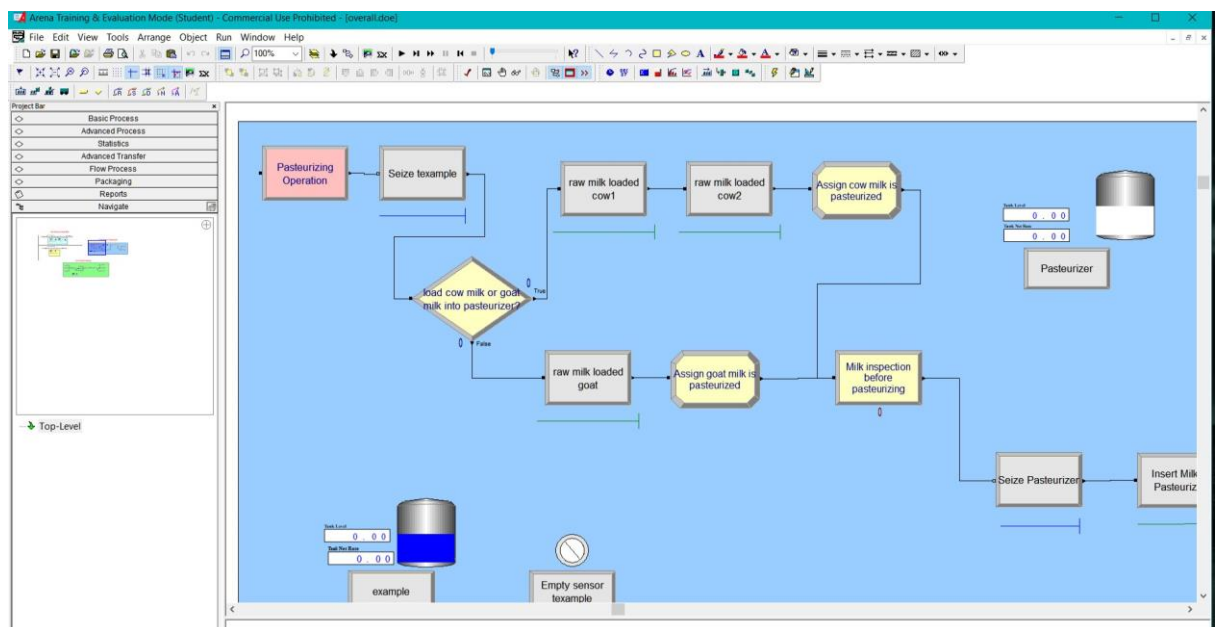


Εικόνα 19. Φωτογραφία που παρουσιάζει τις προαναφερόμενες κατεργασίες/μεταβλητές του σταδίου εισαγωγής του κασικίσου γάλακτος στο εργοστάσιο (3ο μέρος)

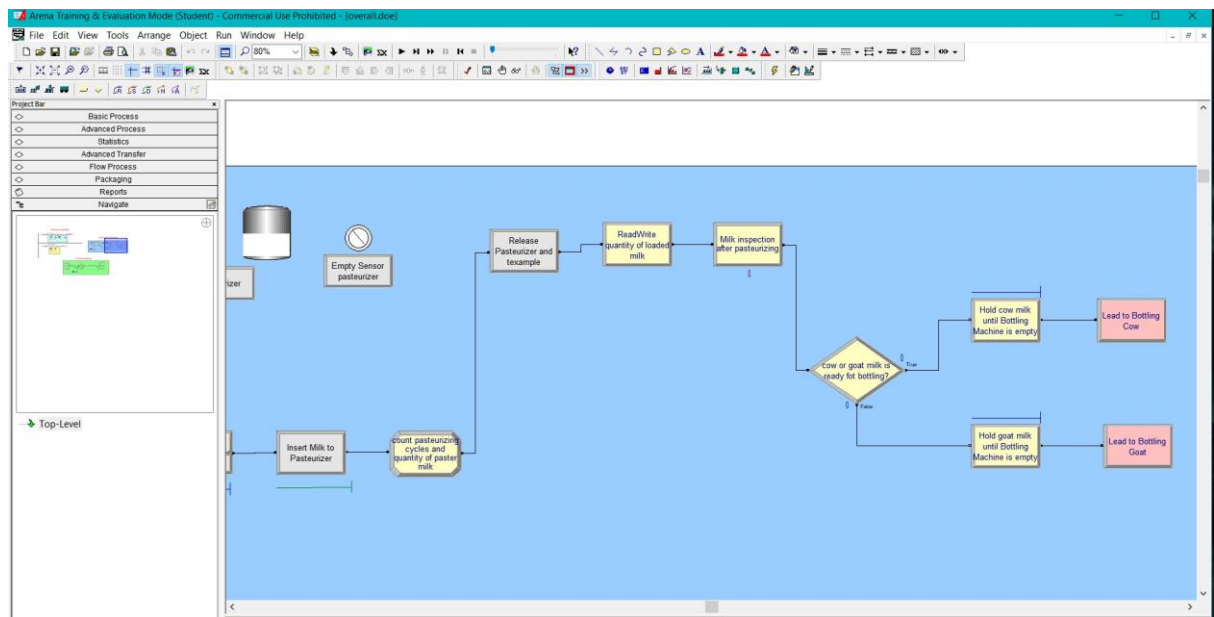
Έχοντας παρουσιάσει το πρώτο στάδιο της παραγωγής, προχωρούμε στην ανάλυση του μοντέλου της δεύτερης φάσης της παραγωγικής διαδικασίας. Συγκεκριμένα, παρουσιάζεται το

- 5) **Empty sensor texample:** Η εικονική προσωρινή δεξαμενή αποθήκευσης (example) είναι συνδεδεμένη με έναν αισθητήρα που εξετάζει την ποσότητα γάλακτος εντός δεξαμενής. Ο συγκεκριμένος αισθητήρας στέλνει ένα αριθμητικό κωδικό σήμα στο κέντρο έλεγχου, με τον οποίο δηλώνει ότι η δεξαμενή είναι άδεια (ελεύθερη). Η τιμή του σήματος αυτού ορίζεται ως **τιμή σήματος (signal value)= 32**.
- 6) **raw milk loaded cow1:** Εδώ πραγματοποιείται η μεταφορά του γάλακτος από τη δεξαμενή αποθήκευσης πλήρους αγελαδινού γάλακτος **Surge Tank Cow** στη προσωρινή δεξαμενή αποθήκευσης **example**. Εδώ αποθηκεύεται η συνολική ποσότητα πλήρους αγελαδινού γάλακτος ($0.58 \times \text{loaded cow milk}$), με ονομαστική ταχύτητα φόρτωσης **400 LT/sec**.
- 7) **raw milk loaded cow2:** Εδώ πραγματοποιείται η μεταφορά του γάλακτος από τη δεξαμενή αποθήκευσης ελαφρύ αγελαδινού γάλακτος **Surge Tank Cow 2** στη προσωρινή δεξαμενή αποθήκευσης **example**. Εδώ αποθηκεύεται η συνολική ποσότητα ελαφρύ αγελαδινού γάλακτος ($0.42 \times \text{loaded cow milk}$), με ονομαστική ταχύτητα φόρτωσης **400 LT/sec**.
- 8) **raw milk loaded goat:** Εδώ πραγματοποιείται η μεταφορά του γάλακτος από τη δεξαμενή αποθήκευσης κατσικίσιου γάλακτος **Surge Tank Goat** στη προσωρινή δεξαμενή αποθήκευσης **example**. Εδώ αποθηκεύεται η συνολική ποσότητα πλήρους αγελαδινού γάλακτος (loaded goat milk), με ονομαστική ταχύτητα φόρτωσης **400 LT/sec**.
- 9) **Assign cow/goat milk is pasteurised:** Έπειτα από την μεταφορά του γάλακτος στην εικονική προσωρινή δεξαμενή, μέσω της συγκεκριμένης εντολής ορίζεται ένας νέος δείκτης (**paster milk**) που δηλώνει το είδος γάλακτος που αποθηκεύτηκε προσωρινά και είναι έτοιμο για παστερίωση. Όταν αποθηκεύεται αγελαδινό γάλα τότε ο δείκτης παίρνει την τιμή 2 (**paster milk = 2**), ενώ όταν αποθηκεύεται κατσικίσιο παίρνει την τιμή 1 (**paster milk = 1**). Αυτός ο δείκτης λειτουργεί στη συνέχεια ως συνθήκη ελέγχου για την καταγραφή απαραίτητων δεδομένων και έναρξης της διαδικασίας εμφιάλωσης.
- 10) **Milk inspection before pasteurising:** Εργασία που περιγράφει τον έλεγχο που πραγματοποιείται πριν την έναρξη της παστερίωσης από το προσωπικό του εργοστασίου. Ο χρόνος αυτός ακολουθεί την ομοιόμορφη κατανομή $U(\min, \max)$, με τιμή **$U(0.5, 1)$ minutes (λεπτά)**.
- 11) **Seize Pasteurizer:** Με αυτή την εντολή ενεργοποιείται η ροή μεταξύ της προσωρινής δεξαμενής αποθήκευσης **example** με τον παστεριωτή.
- 12) **Pasteurizer:** Δηλώνεται ο παστεριωτής με χωρητικότητα στα 6400 λίτρα (LT), η οποία είναι εικονική τιμή που δεν περιορίζει το σύστημα καθώς η ροή είναι συνεχής, με ρυθμό εφοδιασμού **25 λίτρα/λεπτό (25 LT/min)** που ισούται με τον ονομαστικό ρυθμό παστερίωσης **450 LT/ 15 min**.
- 13) **Empty sensor pasteurizer:** Ο παστεριωτής (Pasteurizer) είναι συνδεδεμένος με έναν αισθητήρα που εξετάζει την ποσότητα γάλακτος εντός της σωλήνωσης. Ο συγκεκριμένος αισθητήρας στέλνει ένα αριθμητικό κωδικό σήμα στο κέντρο έλεγχου, με τον οποίο δηλώνει ότι ο παστεριωτής είναι άδειος (ελεύθερος). Η τιμή του σήματος αυτού ορίζεται ως **τιμή σήματος (signal value)= 42**.
- 14) **Insert Milk to Pasteurizer:** Εδώ πραγματοποιείται η μεταφορά του γάλακτος από τη προσωρινή δεξαμενή αποθήκευσης **example** στον παστεριωτή (**Pasteurizer**), με ονομαστική ταχύτητα **25 λίτρα/λεπτό (25 LT/min)**.
- 15) **count pasteurising cycles and quantity of paster milk:** Καθώς εκτελείται η παστερίωση του γάλακτος, με τη συγκεκριμένη εντολή θέτουμε ένα δείκτη που υπολογίζει τους κύκλους παστερίωσης που έχει εκτελέσει ο παστεριωτής (**pasteurizing cycles**), καθώς και μία μεταβλητή που καταγράφει την ποσότητα γάλακτος που έχει περάσει από τον παστεριωτή καθ όλη τη διάρκεια λειτουργίας της παραγωγικής μονάδας (**processed milk**). Οι συγκεκριμένοι δείκτες ορίζονται αντίστοιχα με τις τιμές **pasteurizing cycles = quantity added (pasteurizer)/ 450** και **processed milk = TankLevel (Pasteurizer)**.
- 16) **Release Pasteuriser and texample:** Εντολή απενεργοποίησης της ροής μεταξύ της εικονικής δεξαμενής **example** και του παστεριωτή (**Pasteurizer**).

- 17) **ReadWrite quantity of loaded milk:** Η εντολή αυτή καταγράφει σε ένα αρχείο δεδομένων (.xls) το συνολικό χρόνο που χρειάστηκε για την αποθήκευση του κατσικίσιου γάλακτος στις αντίστοιχες δεξαμενές. Μέσα στο αρχείο δεδομένων καταγράφονται τρεις παράμετροι. Οι παράμετροι αυτοί είναι ο αριθμός επανάληψης προσομοίωσης (replication), ο χρόνος αποθήκευσης κατσικίσιου γάλακτος (unload goat milk time) και η τιμή του δείκτη τύπου γάλακτος που αποθηκεύτηκε (full tankers). Η κάθε παράμετρος παίρνει τις ακόλουθες τιμές αντίστοιχα **replication = REPNOW** (παρούσα επανάληψη), **unload goat milk time = TNOW** (παρών χρόνος προσομοίωσης) και **full tankers = 1**.
- 18) **Milk inspection after pasteurising:** Εργασία που περιγράφει τον έλεγχο που πραγματοποιείται αφού έχει ολοκληρωθεί η παστερίωση. Ο χρόνος αυτός ακολουθεί την ομοιόμορφη κατανομή $U(\min, \max)$, με τιμή **$U(0.5, 1)$ minutes (λεπτά)**.
- 19) **cow or goat milk ready for bottling?** : Εδώ αποτυπώνεται μία συνθήκη ελέγχου που εξετάζει το είδος γάλακτος που έχει παστεριωθεί προηγουμένως. Ο ελεγκτής εξετάζει την τιμή του δείκτη paster milk αν ισούται με την τιμή 1 (κατσικίσιο) ή 2 (αγελαδινό). Ανάλογα με την τιμή του συγκεκριμένου δείκτη, οδηγείται στην αντίστοιχη διακλάδωση.
- 20) **Hold cow/goat milk until Bottling Machine is empty:** Μέσω της εντολής ακινητοποίησης (hold), το παστεριωμένο γάλα (κατσικίσιο ή αγελαδινό) περιμένει και μεταφέρεται στη μηχανή εμφιάλωσης μόνο όταν λάβει σήμα από τον αντίστοιχο αισθητήρα του μηχανήματος ότι είναι άδειος (ελεύθερος) για χρήση. Η συνθήκη απελευθέρωσης του γάλακτος και στη συνέχεια, μεταφοράς του στον παστεριωτή επιτυγχάνεται μόλις η μηχανή εμφιάλωσης περιέχει λιγότερο από 1 λίτρο γάλακτος στο εσωτερικό ($TankLevel(Bottling Machine) < 1$), ξεκινάει η μεταφορά του γάλακτος στο στάδιο εμφιάλωσης.
- 21) **Lead to Bottling Cow/Goat:** Εδώ συνδέονται μέσω ενός δικτύου σωλήνωσης το στάδιο της παστερίωσης με το στάδιο εμφιάλωσης. Η ενεργοποίηση του δικτύου μεταφοράς διαρκεί ένα λεπτό.

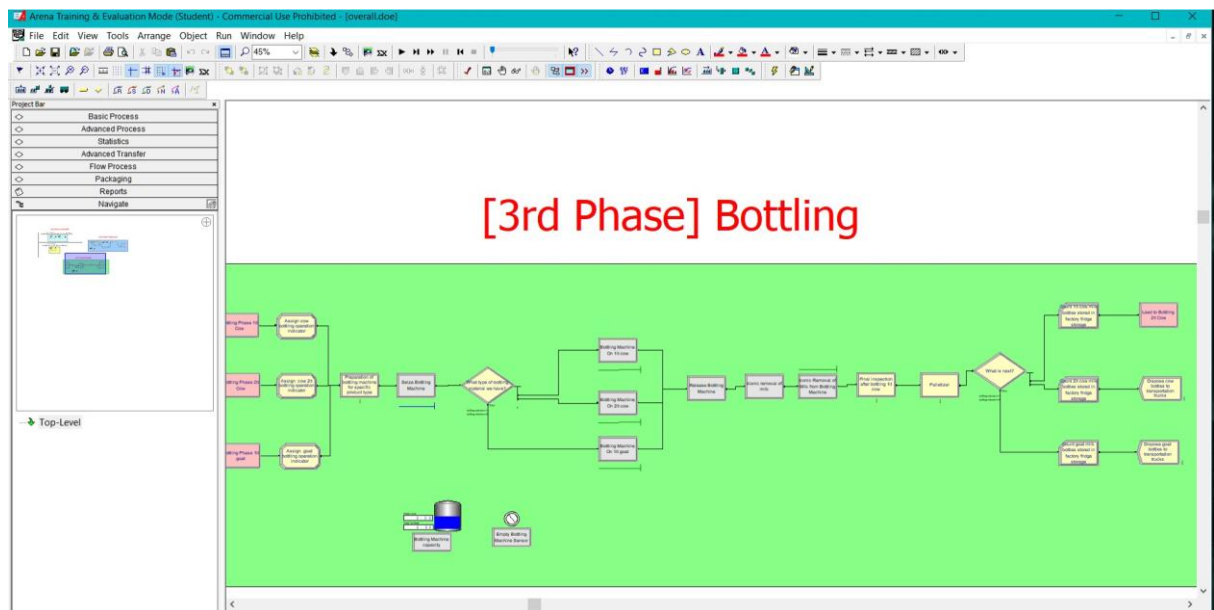


Εικόνα 21. Φωτογραφία που παρουσιάζει τις προαναφερόμενες κατεργασίες/μεταβλητές του σταδίου παστερίωσης (1ο μέρος, εργασίες 1-12)



Εικόνα 22. Φωτογραφία που παρουσιάζει τις προαναφερόμενες κατεργασίες/μεταβλητές του σταδίου παστερίωσης (2ο μέρος, εργασίες 13-21)

Έχοντας ολοκληρώσει την περιγραφή του μοντέλου προσομοίωσης του πρώτου και δεύτερου σταδίου, προχωρούμε στην επεξήγηση του τρίτου και τελευταίου σταδίου του μοντέλου (Εικόνα 25). Αυτό το στάδιο, όπως προαναφέραμε στην αρχή του παραρτήματος, είναι το στάδιο εμφιάλωσης του κάθε κωδικού προϊόντος (τύπου γάλακτος) ξεχωριστά και τελικής αποθήκευσης του έτοιμου προς χρήση προϊόντος, πριν την αποστολή του στα σημεία πώλησης. Σε αυτό το στάδιο, όπως περιγράφεται και στο κεφάλαιο 4.2, εισέρχεται το παστεριωμένο γάλα, ανάλογα ποιο είδος έχει παστεριωθεί προηγουμένως, ετοιμάζεται η μηχανή παστερίωσης από το προσωπικό του εργοστασίου και στη συνέχεια εμφιαλώνεται σε φιάλες του ενός λίτρου (1 LT) ή των 2 λίτρων (2 LT), με βάση τις απαιτήσεις της αγοράς τη συγκεκριμένη ημέρα. Έτσι στο τέλος το εμφιαλωμένο γάλα ελέγχεται για τελευταία φορά, στοιβάζεται σε παλέτες και μεταφέρεται στα ψυγεία αποθήκευσης για τελευταία φορά πριν μεταφερθούν στα σημεία πώλησης τους. Το εργοστάσιο διαθέτει ένα και μοναδικό μηχάνημα εμφιάλωσης γάλακτος, αλλά στο πρόγραμμα για λόγους αυτοματοποίησης και κατανοητής αποτύπωσης του συγκεκριμένου σταδίου παραγωγής, υπάρχουν τρεις διακλαδώσεις (διαφορετική για κάθε τύπο εμφιάλωσης). Όπως και στα προηγούμενα δύο στάδια, παρακάτω περιγράφονται αναλυτικά όλες οι εντολές/εργασίες της τρίτης φάσης παραγωγής στην παρακάτω λίστα και στις παρακάτω εικόνες (Εικόνα 25-27).



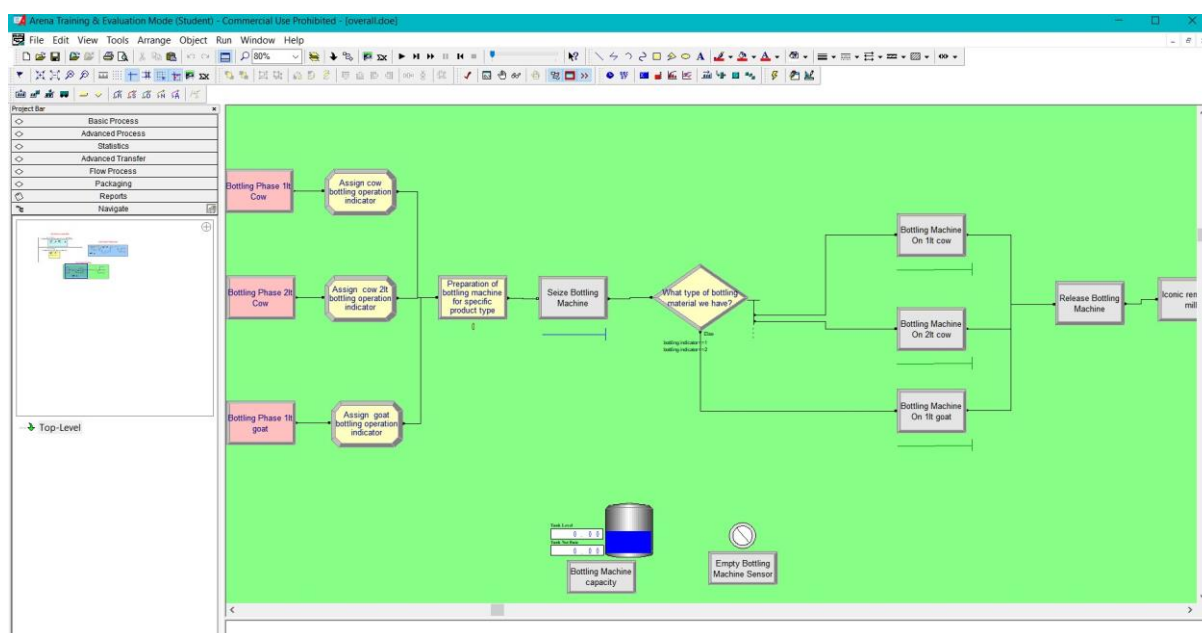
Εικόνα 23. Συνοπτική φωτογραφία του τρίτου σταδίου (στάδιο εμφιάλωσης γάλακτος) του μοντέλου προσομοίωσης

- 1) **Bottling Phase 1LT cow/ 2LT cow/ 1LT goat:** Αυτοί οι τρεις διαφορετικοί κόμβοι ενώνουν ξεχωριστά το δεύτερο στάδιο (στάδιο παστερίωσης) με το τρίτο στάδιο (στάδιο εμφιάλωσης). Ανάλογα με το είδος του γάλακτος που έχει παστεριωθεί προηγουμένως, αγελαδινό ή κατσικίσιο, που έχει καθοριστεί από την τιμή του δείκτη **paster milk** μεταφέρεται στην αντίστοιχη γραμμή εμφιάλωσης. Οι γραμμές εμφιάλωσης είναι τρεις. Η πρώτη γραμμή εμφιαλώνει το πλήρες και ελαφρύ αγελαδινό γάλα σε συσκευασία του ενός λίτρου, η δεύτερη γραμμή εμφιαλώνει το πλήρες και ελαφρύ αγελαδινό γάλα σε συσκευασία των 2 λίτρων και η τρίτη το κατσικίσιο γάλα σε συσκευασία του ενός λίτρου.
- 2) **Assign cow/ cow 2LT/ goat bottling operation indicator:** Με αυτή την εντολή σε κάθε γραμμή που αναφέραμε στην παραπάνω εντολή ξεχωριστά, ορίζεται ένας δείκτης που αποτυπώνει το είδος γάλακτος και το είδος της συσκευασίας που θα χρησιμοποιηθεί στο μηχάνημα εμφιάλωσης. Σκοπός αυτού του δείκτη είναι να προετοιμάσει το μηχάνημα εμφιάλωσης και να καταγράψει συγκεκριμένες μεταβλητές/παραμέτρους πριν την τελική αποθήκευση του έτοιμου προϊόντος στα ψυγεία. Ο δείκτης αυτός ορίζεται ως **bottling indicator** και παίρνει καθορισμένες τιμές. Όταν εμφιαλώνεται πλήρες και ελαφρύ αγελαδινό γάλα ενός λίτρου τότε παίρνει την τιμή 1 (**bottling indicator =1**). Όταν εμφιαλώνεται πλήρες και ελαφρύ αγελαδινό γάλα συσκευασίας 2 λίτρων τότε παίρνει την τιμή 2 (**bottling indicator =2**). Όταν εμφιαλώνεται κατσικίσιο γάλα ενός λίτρου τότε παίρνει την τιμή 0 (**bottling indicator =0**).
- 3) **Preparation of bottling machine for specific product type:** Ξεκινάει η προετοιμασία της μηχανής εμφιάλωσης, η οποία ρυθμίζεται από το προσωπικό του εργοστασίου. Ο χρόνος προετοιμασίας της μηχανής ακολουθεί τριγωνική κατανομή **Triang(min, average, max) σε λεπτά (min)**, με τιμή **Triang(22, 25, 26) min**.
- 4) **Seize Bottling Machine:** Με αυτή την εντολή ενεργοποιείται η ροή μεταξύ του παστεριωτή (Pasteurizer) και της μηχανής εμφιάλωσης (Bottling Machine).
- 5) **What type of bottling material we have?:** Εδώ τοποθετείται μία συνθήκη ελέγχου που ελέγχει την τιμή του δείκτη **bottling indicator**. Ανάλογα με την τιμή του δείκτη, οδηγεί το γάλα στην αντίστοιχη διακλάδωση.
- 6) **Bottling Machine capacity:** Η μηχανή εμφιάλωσης αναπαριστάται στο σύστημα με τη μορφή σωλήνωσης/δεξαμενής συνεχούς ροής γάλακτος με “άπειρη” χωρητικότητα (6400 λίτρα) και ονομαστική ταχύτητα εμφιάλωσης **25 λίτρα/λεπτό (25 LT/min)**.

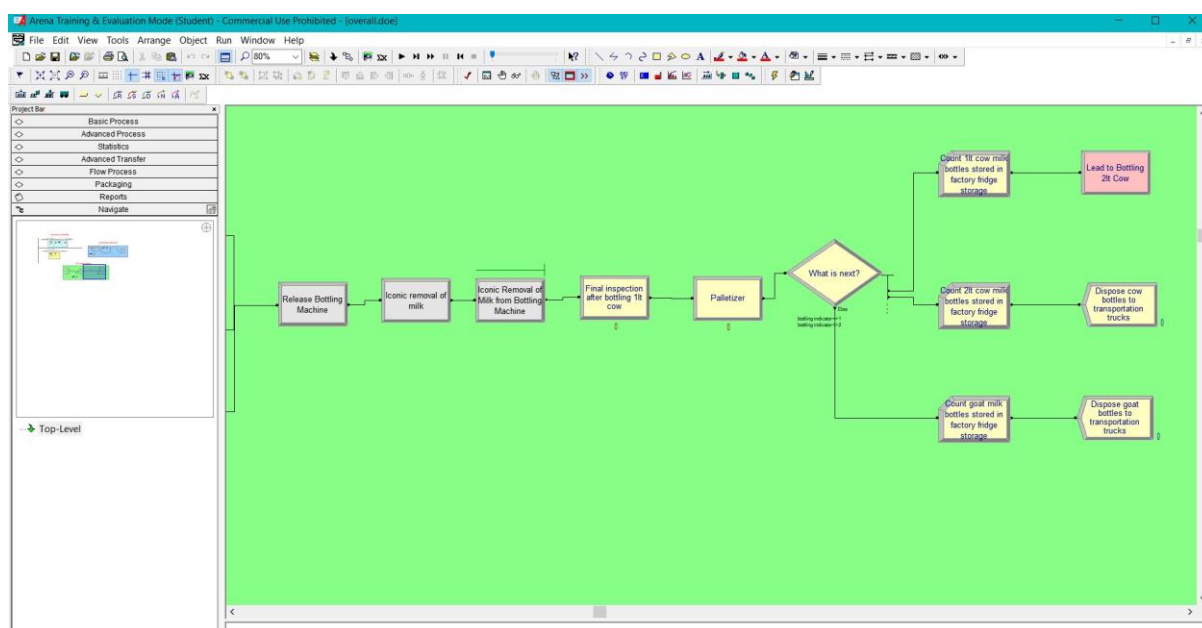
- 7) Empty Bottling Machine sensor:** Η μηχανή εμφιάλωσης (Bottling Machine) είναι συνδεδεμένη με έναν αισθητήρα που εξετάζει την ποσότητα φιαλών εντός της μηχανής. Ο συγκεκριμένος αισθητήρας στέλνει ένα αριθμητικό κωδικό σήμα στο κέντρο έλεγχου, με τον οποίο δηλώνει ότι ο παστεριωτής είναι άδειος (ελεύθερος). Η τιμή του σήματος αυτού ορίζεται ως τιμή σήματος (signal value)= 7.
- 8) Bottling Machine On 1LT cow/ 2LT cow/ 1LT goat:** Εδώ πραγματοποιείται η εμφιάλωση του γάλακτος (ανά διαφορετική γραμμή όπως αναφέρθηκε προηγουμένως) με ονομαστική ταχύτητα **25 λίτρα/λεπτό (25 LT/min)**.
- 9) Release Bottling Machine:** Εντολή απενεργοποίησης της ροής μεταξύ του παστεριωτή (Pasteurizer) και της μηχανής εμφιάλωσης (Bottling Machine).
- 10) Iconic removal of milk:** Το γάλα που έχει εμφιαλωθεί και είναι έτοιμο να μπει σε παλέτες, εξέρχεται από το μηχάνημα μέσω ενός ιμάντα. Στο μοντέλο αυτό αποτυπώνεται μέσω μίας εντολής ελέγχου ροής, με την οποία το σύστημα προχωρεί σε εικονική αφαίρεση της ποσότητας γάλακτος μόλις έχει εμφιαλωθεί όλη η ποσότητα γάλακτος. Μέσω αυτής της εντολής ενεργοποιείται η ροή στο μηχάνημα εμφιάλωσης.
- 11) Iconic removal of milk from bottling machine:** Ως συνέχεια της προηγούμενης εντολής/εργασίας (Iconic removal of milk), πραγματοποιείται η εικονική αφαίρεση γάλακτος από τη μηχανή με ρυθμό **400 λίτρα/δευτερόλεπτο (400 LT/sec)**.
- 12) Final inspection after bottling:** Τελευταία εργασία ελέγχου από το προσωπικό του εργοστασίου για την ποιότητα των μπουκαλιών γάλακτος πριν μπουν σε παλέτες. Ο χρόνος αυτός ακολουθεί την ομοιόμορφη κατανομή **U(min,max)**, με τιμή **U(0.5,1) minutes (λεπτά)**.
- 13) Palletizer:** Κατά την έξοδο των μπουκαλιών από την μηχανή εμφιάλωσης μέσω ενός ιμάντα, ξεκινάει η τοποθέτηση των φιαλών σε παλέτες. Σχηματίζονται δύο ειδών παλέτες ανάλογα με το είδος συσκευασίας (1 ή 2 λίτρων). Οι συσκευασίες του ενός λίτρου σχηματίζουν παλέτες των 28 φιαλών ανά παλέτα. Αντίστοιχα, σχηματίζονται παλέτες των 15 φιαλών ανά παλέτα για τις συσκευασίες των 2 λίτρων. Ο χρόνος της συγκεκριμένης εργασίας εξαρτάται από τον αριθμό των φιαλών και την διαθεσιμότητα του προσωπικού στο εργοστάσιο, δηλαδή ακολουθεί τριγωνική κατανομή **Triang(min, average, max) σε λεπτά (min)**, με τιμή **Triang(2.72, 5.2, 22.4) min**.
- 14) What is next?:** Εδώ ορίζεται στο μοντέλο η τελευταία συνθήκη ελέγχου, η οποία ελέγχει την τιμή του δείκτη bottling indicator και ανάλογα με την τιμή του οδηγεί το πρόγραμμα προσομοίωσης στο επόμενο στάδιο. Υπάρχουν τρεις διαφορετικές συνθήκες ελέγχου (διακλαδώσεις), μία για κάθε τιμή του προαναφερθέντος δείκτη.
- 15) Count 1LT cow milk bottles stored in factory fridge storage:** Με αυτή την εντολή το πρόγραμμα καταγράφει τις ποσότητες φιαλών πλήρους και ελαφρύ αγελαδινού γάλακτος (συσκευασία 1 λίτρου) που έχουν μεταφερθεί στα ψυγεία αποθήκευσης του εργοστασίου, καθώς και τις ποσότητες παλετών που ταξινομήθηκαν οι συγκεκριμένες φιάλες για κάθε τύπο συσκευασίας αντίστοιχα.
- 16) Count 2LT cow milk bottles stored in factory fridge storage:** Με αυτή την εντολή το πρόγραμμα καταγράφει τις ποσότητες φιαλών πλήρους και ελαφρύ αγελαδινού γάλακτος (συσκευασία 2 λίτρων) που έχουν μεταφερθεί στα ψυγεία αποθήκευσης του εργοστασίου, καθώς και τις ποσότητες παλετών που ταξινομήθηκαν οι συγκεκριμένες φιάλες για κάθε τύπο συσκευασίας αντίστοιχα.
- 17) Count 1LT goat milk bottles stored in factory fridge storage:** Με αυτή την εντολή το πρόγραμμα καταγράφει τις ποσότητες φιαλών κατσικίσιου γάλακτος (συσκευασία 1 λίτρου) που έχουν μεταφερθεί στα ψυγεία αποθήκευσης του εργοστασίου, καθώς και τις ποσότητες παλετών που ταξινομήθηκαν οι συγκεκριμένες φιάλες.
- 18) Lead to Bottling 2LT cow:** Έχοντας ολοκληρωθεί η αποθήκευση όλων των τελικών φιαλών 1 λίτρου των δύο τύπων αγελαδινού γάλακτος, οδηγούμαστε μέσω μίας εντολής στην έναρξη εμφιάλωσης των συσκευασιών 2 λίτρων για τους ίδιους τύπους αγελαδινού γάλακτος (πλήρες και

ελαφρύ). Αυτή η διαδρομή έχει οριστεί με βάση το πρόγραμμα υλοποίησης παραγωγής της εταιρίας.

- 19) **Dispose cow/ goat bottles to transportation trucks:** Έχοντας ολοκληρωθεί η αποθήκευση όλων των τελικών φιαλών 1 λίτρου κατσικίσιου γάλακτος και των φιαλών 2 λίτρων πλήρους και ελαφρύ αγελαδινού γάλακτος, τα γάλατα μεταφέρονται στα τελικά ψυγεία αποθήκευσης. Ουσιαστικά, το όρισμα εισόδου (entity) του βυτίου που αναφέραμε στην αρχή του παραρτήματος πως εισέρχεται στο σύστημα (εργοστάσιο), τώρα εξέρχεται από αυτό. Τελικώς, καταγράφονται όλα τα αποτελέσματα της προσομοίωσης του συστήματος και τερματίζεται η προσομοίωση.

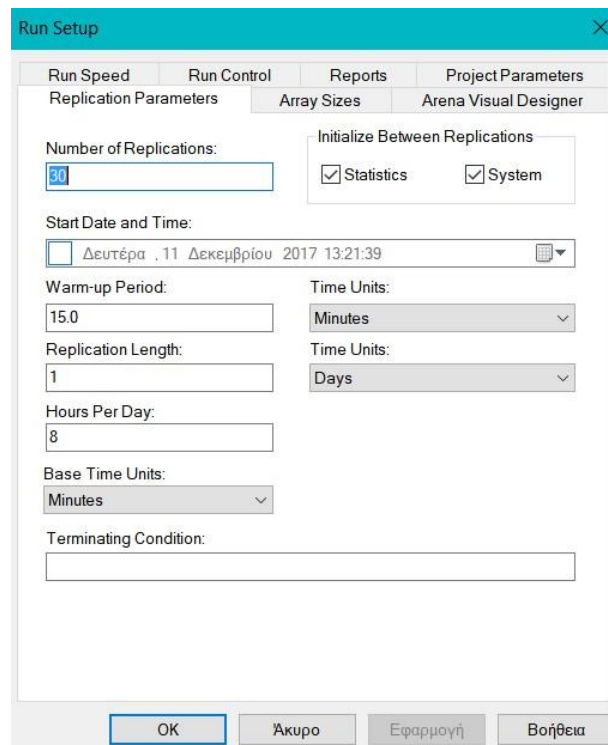


Εικόνα 24. Φωτογραφία που παρουσιάζει τις προαναφερόμενες κατεργασίες/μεταβλητές του σταδίου εμφιάλωσης του γάλακτος (1ο μέρος, εργασίες 1-8)



Εικόνα 25. Φωτογραφία που παρουσιάζει τις προαναφερόμενες κατεργασίες/μεταβλητές του σταδίου εμφιάλωσης του γάλακτος (2ο μέρος, εργασίες 9-18)

Εν κατακλείδι, στο παράρτημα αυτό παρουσιάστηκε αναλυτικά όλη η δομή του μοντέλου που χρησιμοποιήθηκε για την παρούσα διπλωματική εργασία. Παρουσιάστηκαν λεπτομερώς όλες οι εντολές/εργασίες των τριών σταδίων παραγωγής γάλακτος της βιομηχανίας και οι μεταξύ τους συνδέσεις μέσω των εκάστοτε λιστών και εικόνων για κάθε στάδιο παραγωγής ξεχωριστά. Στο κλείσιμο αυτού του παραρτήματος, παρουσιάζονται οι βασικές ρυθμίσεις εκτέλεσης του μοντέλου (Run settings) στο πρόγραμμα Arena Simulation με τη βοήθεια εικόνων (Εικόνες 28-29).



Εικόνα 26. Βασικές ρυθμίσεις των παραμέτρων προσομοίωσης του προγράμματος

Όπως βλέπουμε στην παραπάνω εικόνα (Εικόνα 29), για την παρούσα διπλωματική εργασία ορίζουμε την εκτέλεση 30 επαναλήψεων (number of replications), που αντιστοιχεί σε λειτουργία της παραγωγικής μονάδας για ένα μήνα (30 ημέρες), με χρονική μονάδα μέτρησης σε λεπτά. Ο αριθμός αυτός έχει οριστεί με βάση τον βέλτιστο αριθμό προσομοιώσεων που παρουσιάζεται στο κεφάλαιο 5.1. Κάθε επανάληψη (replication length) αντιστοιχεί σε μία ημέρα παραγωγής, η οποία αποτελείται από 10 εργάσιμες ώρες. Αφού έχουν οριστεί οι βασικοί παράμετροι προσομοίωσης που αναφέραμε, στην συνέχεια επιλέγουμε την ονομασία της συγκεκριμένης εργασίας και τις στατιστικές παραμέτρους που επιθυμούμε να παρουσιαστούν στο τελικό αρχείο αρχείο παρουσίασης των αποτελεσμάτων (output report). Η συγκεκριμένη εργασία προσομοίωσης αφορά την υπάρχουσα παραγωγική μονάδα του εργοστασίου και παρουσιάζονται τα στατιστικά αποτελέσματα των δεξαμενών (tanks), των ορισμάτων εισόδου (entities), των διαδικασιών (processes), των σταθμών παραγωγής (stations) και των σταδίων παραγωγής ξεχωριστά σε ένα ξεχωριστό αποθηκευμένο αρχείο μορφής pdf.

Run Setup

Replication Parameters Array Sizes Arena Visual Designer

Run Speed Run Control Reports Project Parameters

Project Title:
Current Production Line

Analyst Name:
akac

Project Description:

Statistics Collection

<input type="checkbox"/> Costing	<input checked="" type="checkbox"/> Queues	<input type="checkbox"/> Transporters
<input checked="" type="checkbox"/> Entities	<input checked="" type="checkbox"/> Processes	<input checked="" type="checkbox"/> Conveyors
<input type="checkbox"/> Resources	<input checked="" type="checkbox"/> Stations	<input checked="" type="checkbox"/> Activity Areas
<input checked="" type="checkbox"/> Tanks		

OK Ακυρο Εφαρμογή Βοήθεια

Εικόνα 27. Ρύθμιση των στατιστικών παραμέτρων της τελικής παρουσίασης των αποτελεσμάτων (output report) του προγράμματος