



ΠΑΝΕΠΙΣΤΗΜΙΟ ΘΕΣΣΑΛΙΑΣ
ΠΟΛΥΤΕΧΝΙΚΗ ΣΧΟΛΗ
ΤΜΗΜΑ ΗΛΕΚΤΡΟΛΟΓΩΝ ΜΗΧΑΝΙΚΩΝ ΚΑΙ ΜΗΧΑΝΙΚΩΝ
ΥΠΟΛΟΓΙΣΤΩΝ

ΣΥΣΤΗΜΑΤΑ ΑΥΤΟΜΑΤΙΣΜΟΥ ΣΤΟΝ ΚΛΑΔΟ ΤΗΣ
ΒΙΟΜΗΧΑΝΙΑΣ ΓΑΛΑΚΤΟΣ

Διπλωματική Εργασία

Παναγιωτίδης Γεώργιος

Επιβλέπων: Μπαργιώτας Δημήτριος

Ιούνιος 2024



ΠΑΝΕΠΙΣΤΗΜΙΟ ΘΕΣΣΑΛΙΑΣ
ΠΟΛΥΤΕΧΝΙΚΗ ΣΧΟΛΗ
ΤΜΗΜΑ ΗΛΕΚΤΡΟΛΟΓΩΝ ΜΗΧΑΝΙΚΩΝ ΚΑΙ ΜΗΧΑΝΙΚΩΝ
ΥΠΟΛΟΓΙΣΤΩΝ

ΣΥΣΤΗΜΑΤΑ ΑΥΤΟΜΑΤΙΣΜΟΥ ΣΤΟΝ ΚΛΑΔΟ ΤΗΣ
ΒΙΟΜΗΧΑΝΙΑΣ ΓΑΛΑΚΤΟΣ

Διπλωματική Εργασία

Παναγιωτίδης Γεώργιος

Επιβλέπων: Μπαργιώτας Δημήτριος

Ιούνιος 2024



UNIVERSITY OF THESSALY
SCHOOL OF ENGINEERING
DEPARTMENT OF ELECTRICAL AND COMPUTER ENGINEERING

AUTOMATION SYSTEMS IN DAIRY INDUSTRY

Diploma Thesis

Panagiotidis Georgios

Supervisor: Bargiotas Dimitrios

June 2024

Εγκρίνεται από την Επιτροπή Εξέτασης:

Επιβλέπων

Μπαργιώτας Δημήτριος

Καθηγητής, Τμήμα Ηλεκτρολόγων Μηχανικών και Μηχανικών
Υπολογιστών, Πανεπιστήμιο Θεσσαλίας

Μέλος

Λουτρίδης Σπυρίδων

Καθηγητής, Τμήμα Ηλεκτρολόγων Μηχανικών και Μηχανικών
Υπολογιστών, Πανεπιστήμιο Θεσσαλίας

Μέλος

Χροναίος Αλέξανδρος

Καθηγητής, Τμήμα Ηλεκτρολόγων Μηχανικών και Μηχανικών
Υπολογιστών, Πανεπιστήμιο Θεσσαλίας

ΥΠΕΥΘΥΝΗ ΔΗΛΩΣΗ ΠΕΡΙ ΑΚΑΔΗΜΑΪΚΗΣ ΔΕΟΝΤΟΛΟΓΙΑΣ ΚΑΙ ΠΝΕΥΜΑΤΙΚΩΝ ΔΙΚΑΙΩΜΑΤΩΝ

Με πλήρη επίγνωση των συνεπειών του νόμου περί πνευματικών δικαιωμάτων, δηλώνω ρητά ότι η παρούσα διπλωματική εργασία, καθώς και τα ηλεκτρονικά αρχεία και πηγαίοι κώδικες που αναπτύχθηκαν ή τροποποιήθηκαν στα πλαίσια αυτής της εργασίας, αποτελούν αποκλειστικά προϊόν προσωπικής μου εργασίας, δεν προσβάλλουν οποιασδήποτε μορφής δικαιώματα διανοητικής ιδιοκτησίας, προσωπικότητας και προσωπικών δεδομένων τρίτων, δεν περιέχουν έργα/εισφορές τρίτων για τα οποία απαιτείται άδεια των δημιουργών/δικαιούχων και δεν είναι προϊόν μερικής ή ολικής αντιγραφής, οι πηγές δε που χρησιμοποιήθηκαν περιορίζονται στις βιβλιογραφικές αναφορές και μόνον και πληρούν τους κανόνες της επιστημονικής παράθεσης. Τα σημεία όπου έχω χρησιμοποιήσει ιδέες, κείμενο, αρχεία ή/και πηγές άλλων συγγραφέων αναφέρονται ευδιάκριτα στο κείμενο με την κατάλληλη παραπομπή και η σχετική αναφορά περιλαμβάνεται στο τμήμα των βιβλιογραφικών αναφορών με πλήρη περιγραφή. Δηλώνω επίσης ότι τα αποτελέσματα της εργασίας δεν έχουν χρησιμοποιηθεί για την απόκτηση άλλου πτυχίου. Αναλαμβάνω πλήρως, ατομικά και προσωπικά, όλες τις νομικές και διοικητικές συνέπειες που δύναται να προκύψουν στην περίπτωση κατά την οποία αποδειχθεί, διαχρονικά, ότι η εργασία αυτή ή τμήμα της δεν μου ανήκει διότι είναι προϊόν λογοκλοπής.

Ο Δηλών

Παναγιωτίδης Γεώργιος

DISCLAIMER ON ACADEMIC ETHICS AND INTELLECTUAL PROPERTY RIGHTS

Being fully aware of the implications of copyright laws, I expressly state that this diploma thesis, as well as the electronic files and source codes developed or modified in the course of this thesis, are solely the product of my personal work and do not infringe any rights of intellectual property, personality and personal data of third parties, do not contain work / contributions of third parties for which the permission of the authors / beneficiaries is required and are not a product of partial or complete plagiarism, while the sources used are limited to the bibliographic references only and meet the rules of scientific citing. The points where I have used ideas, text, files and / or sources of other authors are clearly mentioned in the text with the appropriate citation and the relevant complete reference is included in the bibliographic references section. I also declare that the results of the work have not been used to obtain another degree. I fully, individually and personally undertake all legal and administrative consequences that may arise in the event that it is proven, in the course of time, that this thesis or part of it does not belong to me because it is a product of plagiarism.

The Declarant

Panagiotidis Georgios

Ευχαριστίες

Θερμές ευχαριστίες θέλω να εκφράσω προς τον καθηγητή μου κύριο Μπαργιώτα ο οποίος δέχθηκε να αναλάβει την επίβλεψη της παρούσας διπλωματικής, καθώς και στον καθηγητή μου κύριο Πιπή με τον οποίο είχαμε εξαιρετική συνεργασία και επικοινωνία καθ' όλη τη διάρκεια της εκπόνησης.

Ακόμη, θα ήθελα να ευχαριστήσω ολόψυχα την οικογένειά μου, που προπαντός μου προσέφερε τη δυνατότητα να σπουδάσω αλλά και με στήριξε σε όλη την πορεία των σπουδών μου.

Τέλος, είμαι πολύ ευγνώμων για τους υπέροχους ανθρώπους που γνώρισα όλα αυτά τα χρόνια της φοιτητικής μου περιόδου καθώς αυτοί είναι ο λόγος που η περίοδος αυτή θα αποτελεί για μένα μια πολύ όμορφη ανάμνηση.

ΣΥΣΤΗΜΑΤΑ ΑΥΤΟΜΑΤΙΣΜΟΥ ΣΤΟΝ ΚΛΑΔΟ ΤΗΣ ΒΙΟΜΗΧΑΝΙΑΣ ΓΑΛΑΚΤΟΣ

Παναγιωτίδης Γεώργιος

Περίληψη

Ένα από τα πιο διαδεδομένα και σημαντικότερα τρόφιμα παγκοσμίως είναι το γάλα και τα προϊόντα του, γεγονός που καθιστά την ευθύνη των γαλακτοβιομηχανιών απέναντι στη σωστή επεξεργασία και παραγωγή του ακόμα μεγαλύτερη. Οι βιομηχανίες γάλακτος απαιτείται λοιπόν να λαμβάνουν πολύ αυστηρά μέτρα κατά τη διαδικασία παραγωγής των γαλακτοκομικών προϊόντων τους, προκειμένου να εξασφαλίζουν την ασφαλή κατανάλωσή του για όλο το καταναλωτικό κοινό. Για το προαναφερθέν εγχείρημα, οι βιομηχανίες χρησιμοποιούν εξελιγμένα και καινοτόμα συστήματα χάρη στα οποία υλοποιείται το επιθυμητό αποτέλεσμα. Αυτά λοιπόν τα συστήματα πρόκειται για αυτοματοποιημένα όπου με απλή χρήση του χειριστή πραγματοποιούν ελέγχους και εκτελούν διαδικασίες ακριβείας και υψηλού επιπέδου, οι οποίες δεν είναι εφικτές και υλοποιήσιμες από πλευράς των εργαζομένων μιας βιομηχανίας. Το γεγονός αυτό επιφέρει ορισμένα πλεονεκτήματα όπως εξοικονόμηση χρόνου -μιας και αυτά τα αυτοματοποιημένα συστήματα λειτουργούν με πολύ γοργούς ρυθμούς- βελτίωση της ανταγωνιστικότητας, παρέχουν καλύτερη ποιότητα του τελικού προϊόντος και γενικά συμβάλλουν στη γρήγορη διανομή τους στους καταναλωτές.

Λαμβάνοντας σοβαρά υπόψη την αυξητική τάση ζήτησης γαλακτοκομικών προϊόντων και την ανάγκη χρήσης συστημάτων αυτοματισμού στις βιομηχανίες, στο πρώτο θεωρητικό μέρος της παρούσας διπλωματικής εργασίας αναλύονται διεξοδικά τα συστήματα αυτοματισμού, και πιο συγκεκριμένα τα δύο βασικότερα κομμάτια που τα απαρτίζουν. Το σύστημα SCADA μέσω του οποίου γίνεται η επίβλεψη και ο χειρισμός ολόκληρης της βιομηχανίας, καθώς και το PLC με τον προγραμματισμό του οποίου ενεργεί ο αυτοματισμός. Στη συνέχεια δίνεται έμφαση στις γαλακτοβιομηχανίες, αναλύοντας τον τρόπο λειτουργίας τους και μελετώντας τη διαδικασία παραγωγής γάλακτος και γιαουρτιού, καθώς και το πως οι αυτοματισμοί βρίσκουν εφαρμογή στον συγκεκριμένο τομέα. Έχοντας ολοκληρώσει με το θεωρητικό κομμάτι της εργασίας, ακολουθεί το πρακτικό

κομμάτι αυτής, και πιο συγκεκριμένα η σχεδίαση αυτοματισμών τόσο με προγραμματισμό PLC ώστε να εκτελούνται όλες οι διαδικασίες που λαμβάνουν χώρα σε μια γαλακτοβιομηχανία, όσο και με την υλοποίηση συστήματος SCADA μέσω του οποίου πραγματοποιείται η εποπτεία ολόκληρης της διαδικασίας ελέγχου γάλακτος αλλά και παραγωγής γάλακτος και γιαουρτιού.

Λέξεις-κλειδιά: Γάλα, γαλακτοβιομηχανία, συστήματα αυτοματισμών, παραγωγή γάλακτος, αυτόματος έλεγχος, PLC, SCADA

AUTOMATION SYSTEMS IN DAIRY INDUSTRY

Panagiotidis Georgios

Abstract

One of the most important and well-known across the world food is milk and its products, a fact that increases the dairy industry's processing and production responsibility. So, the dairy industries must take very strict measures during the production process of their products to ensure product safety for the consumers. In order to do that, the industries are equipped with innovative systems, through which they achieve the desired result. These systems are automated, and with a simple usage from the user's point of view, carry out checks and high-level procedures which are not possible and feasible from the workers of the industry. This fact results into some advantages like time saving, as these automated systems work with very high rhythm, providing better quality and faster distribution to the consumers.

Considering the milk products' high level of demand and the need of dairy industries on using automated systems, in the first part of the thesis this kind of systems and specifically the two most important parts of it are being analyzed. Firstly, the SCADA system is being analyzed, through which the supervisory and handling of the industry are getting done, and then the PLC with the programming of which the automation acts. Secondly, the dairy industries specifically are being analyzed, studying the milk and yoghurt production process, and how the automation systems are being used in such an industry. In the second part of the thesis, the automating systems have been designed by PLC programming so that all the processes of the dairy industry are being executed, and SCADA implementation from which the entire milk and yoghurt production process and also the milk check process are being monitored.

Keywords: Milk, dairy industry, automation systems, milk production, PLC, SCADA

Πίνακας Περιεχομένων

Ευχαριστίες	vii
Περίληψη	viii
Abstract	x
Πίνακας Περιεχομένων	xi
ΚΕΦΑΛΑΙΟ 1: ΕΙΣΑΓΩΓΗ.....	1
1.1 Αντικείμενο της Διπλωματικής	1
1.2 Οργάνωση του τόμου.....	1
ΚΕΦΑΛΑΙΟ 2: ΣΥΣΤΗΜΑΤΑ SCADA	3
2.1 Βασικά στοιχεία συστήματος SCADA.....	3
2.2 Από τι αποτελείται ένα σύστημα SCADA.....	4
2.3 Πρωτόκολλα επικοινωνίας του συστήματος SCADA	5
2.3.1 Πρωτόκολλο IEC 60870-5	5
2.3.2 Πρωτόκολλο DNP3	6
2.3.3 Πρωτόκολλο Modbus - RTU	7
2.3.4 Πρωτόκολλο Profibus.....	7
2.3.5 Σύγκριση πρωτοκόλλων επικοινωνίας.....	8
2.4 Human Machine Interface (HMI)	8
2.5 Λογισμικά ανάπτυξης εφαρμογών SCADA	10
2.5.1 Winlog: Παρουσίαση του λογισμικού υλοποίησης του SCADA της διπλωματικής εργασίας.....	10
2.5.2 Δημοφιλή λογισμικά υλοποίησης SCADA.....	11
ΚΕΦΑΛΑΙΟ 3: ΠΡΟΓΡΑΜΜΑΤΙΖΟΜΕΝΟΙ ΛΟΓΙΚΟΙ ΕΛΕΓΚΤΕΣ	14
3.1 Βασικά στοιχεία των Προγραμματιζόμενων Λογικών Ελεγκτών	14
3.2 Δομή του PLC.....	15
3.3 Αρχή λειτουργίας ενός PLC	16
3.4 Πλεονεκτήματα / Μειονεκτήματα των PLC	17
3.5 Γλώσσες προγραμματισμού PLC.....	18
3.5.1 Ladder Diagram: Η πιο γνωστή γλώσσα προγραμματισμού ενός PLC	18
3.5.2 Άλλες γλώσσες προγραμματισμού ενός PLC	19
3.6 Κατηγορίες PLC στην αγορά.....	22
3.7 Επιπρόσθετες λειτουργίες PLC.....	23

ΚΕΦΑΛΑΙΟ 4: ΓΑΛΑΚΤΟΒΙΟΜΗΧΑΝΙΕΣ.....	24
4.1 Το γάλα.....	24
4.2 Γενικά στοιχεία μιας Γαλακτοβιομηχανίας.....	24
4.3 Διαδικασία συλλογής γάλακτος στη φάρμα και μεταφορά	26
4.4 Διαδικασία ελέγχου ποιότητας γάλακτος στη γαλακτοβιομηχανία.....	27
4.4.1 Λόγος ελέγχου γάλακτος κατά την άφιξη στη γαλακτοβιομηχανία	27
4.4.2 Τεχνικές ελέγχου ποιότητας γάλακτος	27
4.5 Διαδικασία επεξεργασίας – παραγωγής γάλακτος	29
4.5.1 Διαδικασία διαχωρισμού άπαχου γάλακτος – κρέμας.....	29
4.5.2 Διαδικασία ομογενοποίησης γάλακτος	32
4.5.3 Διαδικασία παστερίωσης γάλακτος και έλεγχος αυτής	34
4.5.4 Διαδικασία πακεταρίσματος των προϊόντων	37
4.6 Διαδικασία παραγωγής γιαουρτιού	38
ΚΕΦΑΛΑΙΟ 5: ΥΛΟΠΟΙΗΣΗ ΤΩΝ ΑΥΤΟΜΑΤΙΣΜΩΝ ΜΙΑΣ ΓΑΛΑΚΤΟΒΙΟΜΗΧΑΝΙΑΣ ΜΕ ΠΡΟΓΡΑΜΜΑΤΙΣΜΟ ΤΩΝ PLC ΚΑΙ ΣΧΕΔΙΑΣΗ ΠΕΡΙΒΑΛΛΟΝΤΟΣ SCADA.....	39
5.1 Σχεδίαση περιβάλλοντος SCADA μιας γαλακτοβιομηχανίας.....	39
5.1.1 Γενική εικόνα προγράμματος Winlog Lite 3	40
5.1.2 Δημιουργία του αρχείου της γαλακτοβιομηχανίας.....	40
5.1.3 Διαδικασία υλοποίησης προγράμματος γαλακτοβιομηχανίας – Σχεδίαση του περιβάλλοντος (templates).....	41
5.2 Προγραμματισμός των PLC μιας γαλακτοβιομηχανίας	56
ΚΕΦΑΛΑΙΟ 6: ΣΥΜΠΕΡΑΣΜΑΤΑ	67
6.1 Σύνοψη και συμπεράσματα.....	67
Βιβλιογραφία	69

ΚΕΦΑΛΑΙΟ 1: ΕΙΣΑΓΩΓΗ

Όλες οι βιομηχανίες γενικότερα, αλλά και πιο συγκεκριμένα οι βιομηχανίες τροφίμων, ανέκαθεν έθεταν ως πρωταρχικό τους στόχο τη βέλτιστη αποτελεσματικότητα τους. Έτσι, με την πάροδο των χρόνων στράφηκαν προς τα συστήματα αυτοματισμών για να πετύχουν αυτόν τον σκοπό. Ωστόσο, όταν μιλάμε για παραγωγή τροφίμων, ο αυτοματισμός απλά και μόνο δεν επαρκεί. Χρειάζεται να εξασφαλιστεί ότι ο ίδιος ο αυτοματισμός θα λειτουργεί βέλτιστα και με πολύ υψηλή ακρίβεια, καθώς η συμβολή του είναι υψίστης σημασίας για την υγεία εκατομμυρίων καταναλωτών.

1.1 Αντικείμενο της Διπλωματικής

Το αντικείμενο το οποίο μελετά η παρούσα διπλωματική είναι οι αυτοματισμοί στον τομέα της γαλακτοβιομηχανίας. Στόχος λοιπόν είναι, εφόσον αρχικά γίνει μια ανάλυση των βιομηχανικών αυτοματισμών, να μελετηθεί ο τρόπος λειτουργίας μιας βιομηχανίας παραγωγής γάλακτος, και διαθέτοντας πλέον τη γνώση αυτή, να σχεδιαστούν οι κατάλληλοι αυτοματισμοί, με προγραμματισμό PLC καθώς και με την υλοποίηση συστήματος SCADA ώστε να επιτυγχάνεται η όσο το δυνατόν καλύτερη εποπτεία αλλά και γενικότερα λειτουργία μιας τέτοιας βιομηχανίας. Στην προσπάθεια για βελτίωση των αυτοματισμών, μπορεί η διαδικασία παραγωγής της βιομηχανίας να είναι συγκεκριμένη και να μην αλλάζει, ωστόσο υπάρχουν άλλα περιθώρια βελτίωσης όπως καλύτερο περιβάλλον εποπτείας, αποτελεσματικότερη λειτουργία των PLC και διάφορα άλλα για τα οποία θα γίνει η προσπάθεια να επιτευχθούν στο πλαίσιο αυτής της διπλωματικής.

1.2 Οργάνωση του τόμου

Στο Κεφάλαιο 2, παρουσιάζεται το σύστημα SCADA σε μια προσπάθεια εξοικείωσης με τον όρο αυτό, καθώς και κατανόησης του ρόλου που έχει σε μια βιομηχανία αλλά και του τρόπου λειτουργίας του.

Στο Κεφάλαιο 3 αντίστοιχα, γίνεται παρουσίαση του PLC εξηγώντας τι είναι ένα PLC, ποιος είναι ο τρόπος λειτουργίας του αλλά και πως συνδέεται με το σύστημα SCADA ώστε να αποτελέσουν μαζί το σύστημα αυτοματισμού της βιομηχανίας.

Στο Κεφάλαιο 4, μελετάται ο τρόπος λειτουργίας μιας βιομηχανίας παραγωγής γάλακτος, αναλύοντας τη διαδικασία που ακολουθείται για την παραγωγή γάλακτος και γιαουρτιού. Επίσης, γίνεται μια πρώτη γνωριμία με τις εγκαταστάσεις και τα μηχανήματα που υπάρχουν σε μια τέτοια βιομηχανία αλλά και γενικότερα με τον τρόπο λειτουργίας της.

Στο Κεφάλαιο 5, παρουσιάζεται η σχεδίαση αυτοματισμών με προγραμματισμό PLC καθώς και η υλοποίηση συστήματος SCADA μέσω του οποίου πραγματοποιείται η εποπτεία ολόκληρης της διαδικασίας παραγωγής γάλακτος και γιαουρτιού.

Στο Κεφάλαιο 6, γίνεται μια σύνοψη της διαδικασίας που ακολουθήθηκε ώστε να ολοκληρωθεί η παρούσα διπλωματική εργασία, κάνοντας μια πολύ σύντομη ανασκόπηση αλλά και σχολιάζοντας μερικά συμπεράσματα που προέκυψαν κατά τη διάρκεια της υλοποίησης.

ΚΕΦΑΛΑΙΟ 2: ΣΥΣΤΗΜΑΤΑ SCADA

2.1 Βασικά στοιχεία συστήματος SCADA

Σε κάθε επιχείρηση οι διεργασίες που συμβαίνουν ταυτόχρονα είναι πολλές και απαιτείται σωστή και προσεκτική εποπτεία όλων αυτών σε πραγματικό χρόνο ώστε το αποτέλεσμα να είναι το βέλτιστο. Αυτό φυσικά δεν μπορεί να επιτευχθεί απλά και μόνο με την ύπαρξη κάποιου υπεύθυνου εργαζομένου σε κάθε μια διεργασία ξεχωριστά, καθώς σε μια τέτοια περίπτωση θα υπήρχε μεγάλη απαίτηση σε ανθρώπινο δυναμικό αλλά πέρα από αυτό μπορεί και να προέκυπτε πρόβλημα επικοινωνίας είτε από άποψη καθυστέρησης μεταφοράς ενός μηνύματος είτε απλά λόγω λάθους ενός εργαζομένου. Η επιθυμητή λύση θα ήταν να μπορεί ένας και μόνο εργαζόμενος να εποπτεύει ολόκληρη την επιχείρηση έτσι ώστε να μην υπάρχει κίνδυνος να προκύψει κάποιο εκ των προβλημάτων που αναφέρθηκαν νωρίτερα. Όλα τα παραπάνω, οδήγησαν στη δημιουργία του συστήματος SCADA (Supervisory Control And Data Acquisition).

Όπως προαναφέρθηκε, η ονομασία SCADA προκύπτει από τον όρο Supervisory Control And Data Acquisition, δηλαδή αφορά ένα σύστημα εποπτικού ελέγχου και ανάκτησης δεδομένων. Συμπεραίνοντας και από την ονομασία, το SCADA δεν αποτελεί πλήρως ένα σύστημα ελέγχου αλλά δίνεται μεγάλη σημασία στον τομέα της εποπτείας. Το software κομμάτι συνδέεται με το hardware κυρίως μέσω προγραμματιζόμενων λογικών ελεγκτών (PLC) [1].

Το SCADA εξασφαλίζει την ταυτόχρονη παρακολούθηση όλων των πεδίων και συγχρόνως παρέχει όλα τα δεδομένα στον χειριστή σε πραγματικό χρόνο, μέσω των αισθητήρων που μετρούν και συλλέγουν αυτά, δίνοντάς του έτσι τη δυνατότητα να λάβει γρήγορα κάποια απόφαση σε άμεσο χρόνο ενώ οι λειτουργίες συνεχίζουν να λαμβάνουν μέρος κανονικά. Ουσιαστικά, είναι ένα σύστημα μέσω του οποίου στέλνονται μηνύματα και εντολές από και προς τον εξωτερικό / πραγματικό κόσμο. Αποτελεί το καλύτερο μέσο για τον έλεγχο μεθόδων που έχουν μεγάλη ποσότητα δεδομένων τα οποία πρέπει να παρθούν και να αναλυθούν. Επίσης παραμένει αποτελεσματικό ακόμη κι αν τα δεδομένα είναι «σκορπισμένα» σε μεγάλη απόσταση μεταξύ τους και απαιτούνται κρίσιμοι έλεγχοι σε γρήγορες διαδικασίες [2].

Οι κύριες λειτουργίες ενός συστήματος SCADA είναι οι εξής [3]:

- Συγκέντρωση δεδομένων από τους προγραμματιζόμενους λογικούς ελεγκτές (PLC) και τις απομακρυσμένες τερματικές μονάδες (RTU)
- Αποθήκευση δεδομένων και ειδοποίηση του υπευθύνου με οπτικά και ακουστικά σήματα σε περίπτωση προβλήματος
- Δυνατότητα εκτέλεσης μεθόδων ελέγχου
- Γραφική αναπαράσταση των τμημάτων της διεργασίας απεικονίζοντάς τα ρεαλιστικά (μέσω μιμικών διαγραμμάτων) με σκοπό τη διευκόλυνση της εποπτείας και την καλύτερη κατανόηση δεδομένων
- Δημιουργία ιστορικού αρχείου με σκοπό να διατηρείται πληροφορία για διάφορα συμβάντα που έλαβαν χώρα, κυρίως για κρίσιμες παραμέτρους
- Διπλό υπολογιστικό σύστημα ώστε να υπάρχει κάλυψη σε περίπτωση κάποιας βλάβης, και να μπορεί μέσω εναλλαγής σε άλλο υπολογιστικό σύστημα να συνεχιστεί η απρόσκοπτη εποπτεία των διεργασιών
- Δυνατότητα αποστολής και λήψης δεδομένων μεταξύ των διαφόρων τμημάτων του συστήματος
- Ελεγχόμενη πρόσβαση του προσωπικού στα επιμέρους υποσυστήματα του SCADA
- Ειδικές εφαρμογές λογισμικού, π.χ. εκτέλεση εντολών κώδικα ή και χρήση ευφυών συστημάτων

2.2 Από τι αποτελείται ένα σύστημα SCADA

Ένα σύστημα SCADA περιλαμβάνει ένα σύνολο απομακρυσμένων τερματικών μονάδων (RTU), οι οποίες συλλέγουν δεδομένα από τα πεδία των διαφόρων διεργασιών και τα αποστέλλουν στον κεντρικό υπολογιστή με τη βοήθεια κάποιου μέσου μετάδοσης (π.χ. καλώδιο, τηλεφωνική γραμμή). Στον υπολογιστή αυτόν, λειτουργεί το σύστημα SCADA μέσω του αντίστοιχου λογισμικού και με την κατάλληλη χρήση εκ μέρους του χειριστή, του παρέχει πληροφορίες για όλα τα δεδομένα που έχουν συλλέξει οι μονάδες RTU και του δίνουν τη δυνατότητα μέσω του κεντρικού υπολογιστή να πραγματοποιήσει ασύρματα εντολές ελέγχου που βρίσκουν ισχύ σε απομακρυσμένες συσκευές. Το γεγονός ότι τα δεδομένα αυτά φτάνουν άμεσα στον υπολογιστή και συγχρόνως έχουν πολύ υψηλή ακρίβεια, σε

συνδυασμό με τη δυνατότητα του χειριστή να επέμβει μέσω του υπολογιστή, δημιουργούν τις κατάλληλες συνθήκες για βελτιστοποίηση της διαδικασίας. Επίσης, παράλληλα με την απόδοση της διαδικασίας βελτιώνεται και το επίπεδο αποδοτικότητας, αξιοπιστίας και ασφάλειας των λειτουργιών.

Συνοπτικά, ένα σύστημα SCADA έχει ως βασικά στοιχεία τα εξής:

- Κεντρικός υπολογιστικός σταθμός
- Τερματικές μονάδες (RTU)
- Γραμμές επικοινωνίας
- Όργανα πεδίων και συσκευές ελέγχου

Σε επίπεδο software, τα βασικά χαρακτηριστικά είναι τα εξής:

- Interface του χρήστη
- Προγραμματιζόμενοι Λογικοί Ελεγκτές (PLC)
- Βάση δεδομένων
- Αισθητήρες για μέτρηση δεδομένων (Field Devices)
- Μέθοδος επικοινωνίας μεταξύ των στοιχείων του συστήματος

2.3 Πρωτόκολλα επικοινωνίας του συστήματος SCADA

Αν θέλαμε να επιλέξουμε τρία κομμάτια ενός συστήματος SCADA ως τα βασικότερα αυτού, τότε σίγουρα αυτά θα ήταν: (1) ο Κεντρικός Υπολογιστικός Σταθμός, (2) οι Απομακρυσμένες Τερματικές Μονάδες (RTU) και (3) η επικοινωνία μεταξύ των δύο παραπάνω. Για να επιτευχθεί η καλύτερη δυνατή επικοινωνία μεταξύ των δύο προαναφερθέντων, θα πρέπει να υπάρχει κάποιο πρωτόκολλο επικοινωνίας το οποίο θα ακολουθείται. Υπάρχουν διάφορα πρωτόκολλα επικοινωνίας για συστήματα SCADA και παρακάτω θα δούμε ορισμένες πληροφορίες για μερικά από τα βασικότερα εξ αυτών.

2.3.1 Πρωτόκολλο IEC 60870-5

Το πρωτόκολλο επικοινωνίας IEC 60870-5 προκύπτει από την IEC (International Electrotechnical Commission) και δημιουργήθηκε με σκοπό να παρέχει ένα ανοιχτό πρότυπο μετάδοσης πληροφοριών και ελέγχου τηλεμετρίας για συστήματα SCADA. Πρωτοεμφανίστηκε το 1995 και η αρχική του έκδοση είχε

τη δυνατότητα να καλύψει μόνο μεταδόσεις σειριακών κυκλωμάτων επικοινωνίας χαμηλού εύρους ζώνης. Στη συνέχεια με την εξέλιξη του, το πρωτόκολλο έφτασε σε επίπεδο να μπορεί να παρέχει επικοινωνίες μέσω δικτύων χρησιμοποιώντας TCP/IP πρωτόκολλα. Πιο συγκεκριμένα, για το πρωτόκολλο IEC 60870-5 υπάρχουν δύο διαφορετικές μέθοδοι για τη μεταφορά μηνυμάτων. Η πρώτη μέθοδος είναι η IEC 60870-5-101 ή αλλιώς T101, που παρέχει bit-serial επικοινωνία μέσω καναλιών χαμηλού εύρους ζώνης. Η δεύτερη μέθοδος είναι η IEC 60870-5-104 ή αλλιώς T104, όπου τα χαμηλότερα επίπεδα του πρωτοκόλλου έχουν αντικατασταθεί ολοκληρωτικά από τα πρωτόκολλα ελέγχου μετάδοσης / πρωτόκολλα διαδικτύου TCP/IP.

Το πρωτόκολλο αυτό βρίσκει κυρίως εφαρμογή σε ηλεκτρολογικές βιομηχανίες (και συγκεκριμένα στην Ευρώπη) και έχει αντικείμενα δεδομένων ειδικά σχεδιασμένα για αυτές. Φυσικά, είναι εφαρμόσιμο και σε άλλου είδους βιομηχανίες απλά στις ηλεκτρολογικές είναι αποδοτικότερο [4].

2.3.2 Πρωτόκολλο DNP3

Το πρωτόκολλο επικοινωνίας DNP3 (Distributed Network Protocol Version 3.3) αποτελεί ένα πρότυπο τηλεπικοινωνιών που καθορίζει την επικοινωνία μεταξύ του Κεντρικού Υπολογιστικού Σταθμού, των Απομακρυσμένων Τερματικών Μονάδων (RTU) και άλλων ηλεκτρονικών συσκευών. Δημιουργήθηκε από την Harris Controls Division και κυκλοφόρησε για πρώτη φορά το 1993, με την ιδιοκτησία του πρωτοκόλλου να μεταφέρεται στο DNP3 User Group. Το DNP3 σχεδιάστηκε ειδικά για χρήση σε SCADA εφαρμογές, έχοντας τη δυνατότητα απόκτησης πληροφοριών και αποστολής εντολών ελέγχου μεταξύ διαφορετικών υπολογιστών. Επίσης, έχει σχεδιαστεί ώστε να μεταφέρει μικρά πακέτα δεδομένων με μεγάλη αξιοπιστία.

Ένα πολύ βασικό χαρακτηριστικό του DNP3, είναι ότι αποτελεί ανοικτό πρωτόκολλο, δηλαδή δίνει τη δυνατότητα να υπάρχει ανομοιομορφία από άποψη κατασκευαστή στον εξοπλισμό του συστήματος, καθώς μπορεί να συνδυάσει δύο μηχανήματα τα οποία προέρχονται από διαφορετική κατασκευαστική εταιρία.

Το πρωτόκολλο αυτό χρησιμοποιείται ευρέως σε ηλεκτρολογικές αλλά και υδάτινης υποδομής βιομηχανίες, κυρίως στη Βόρεια και Νότια Αμερική, στη Νότια Αφρική, καθώς και στην Ασία και την Αυστραλία. Όσον αφορά την Ευρώπη,

ανταγωνίζεται με το IEC 60870 που προαναφέρθηκε, με το IEC πρωτόκολλο να απευθύνεται κυρίως σε ηλεκτρολογικές βιομηχανίες, την ίδια ώρα που το DNP3 πρωτόκολλο έχει μεγαλύτερο εύρος εφαρμογής [5].

2.3.3 Πρωτόκολλο Modbus - RTU

Το Modbus – RTU είναι ένα πρωτόκολλο σειριακών επικοινωνιών που εμφανίστηκε για πρώτη φορά το 1979. Με τη χρήση αυτού επιτυγχάνεται η διασύνδεση μεταξύ των συσκευών του πεδίου και του συστήματος εμποπτείας και διαχείρισης. Δεδομένου ότι το πρωτόκολλο δημιουργήθηκε τόσο παλιά (1979) είναι λογικό και αναμενόμενο να έχει ορισμένους περιορισμούς με τις σημερινές απαιτήσεις σε αυτοματισμό και συστήματα ελέγχου, ωστόσο η απλότητα του πρωτοκόλλου το καθιστά ευρέως χρησιμοποιούμενο. Η αρχιτεκτονική master - slave του πρωτοκόλλου, ορίζει ότι στο δίκτυο υπάρχει ένας master μεταξύ πολλών slaves. Ο master είναι ο μοναδικός που έχει το δικαίωμα να ξεκινήσει μια επικοινωνία στέλνοντας κάποιο αίτημα. Αν η επικοινωνία (και άρα η αποστολή του αιτήματος) γίνεται με πολλούς slaves συγχρόνως τότε ισχύει το «broadcast mode» ενώ αν η επικοινωνία γίνεται με έναν μόνο slave τότε ισχύει το «unicast mode». Να επισημανθεί ότι στην περίπτωση του «unicast mode», ο slave απαντά με μήνυμα αποδοχής του αιτήματος επικοινωνίας στον master [6].

2.3.4 Πρωτόκολλο Profibus

Το πρωτόκολλο επικοινωνίας Profibus, σχεδιάστηκε τη δεκαετία του 1990 για να καλύψει όλες τις ανάγκες βιομηχανικής επικοινωνίας τόσο του εργοστασίου όσο και της αυτόματης διαδικασίας. Το Profibus όπως και το Modbus RTU αποτελεί πρωτόκολλο τύπου master-slave, αλλά με την προσθήκη του πρωτοκόλλου token ring δίνει τη δυνατότητα για ύπαρξη περισσοτέρων του ενός masters. Όλες οι συσκευές περνούν από μια ακολουθία εκκίνησης κατά την οποία «συνδέονται» στο δίκτυο. Κάθε slave έχει ένα χρονοδιακόπτη και αν κατά τη μέτρηση του δεν υπάρξει κάποια επικοινωνία μεταξύ του slave με τον master, τότε ο slave μπαίνει σε μια «ασφαλή κατάσταση» και ο master πρέπει να ξανά εκτελέσει την ακολουθία εκκίνησης για να μπορέσει να ανταλλάξει και πάλι δεδομένα με τον συγκεκριμένο slave. Αυτή η λειτουργία σε συνδυασμό με ένα χρονοδιακόπτη που υπάρχει στον

master εξασφαλίζουν ότι όλη η διαδικασία της επικοινωνίας συμβαίνει σε κύκλο συγκεκριμένης χρονικής διάρκειας.

Τέλος, μια παραλλαγή του Profibus αποτελεί το Profinet το οποίο σχεδιάστηκε με σκοπό να εκμεταλλευτεί το Ethernet και να επιτρέψει εύκολη προσθήκη συναρτήσεων Profibus υψηλότερου επιπέδου (όπως π.χ. Profisafe) [7].

2.3.5 Σύγκριση πρωτοκόλλων επικοινωνίας

Μετά και την ανάλυση ορισμένων εκ των βασικότερων πρωτοκόλλων επικοινωνίας, στον Πίνακα 2.1 γίνεται η σύγκριση μεταξύ των πρωτοκόλλων που αναφέρονται παραπάνω καθώς και άλλων αντίστοιχων πρωτοκόλλων που υπάρχουν.

Πίνακας 2.1: Σύγκριση πρωτοκόλλων επικοινωνίας [8]

Protocol	Network Infrastructure	Topologies	Data Rates	Maximum Distance
BITBUS	Fieldbus	Bus	62.5 Kbps, 375 Kbps, 1.5 Mbps	1200m
DC-BUS	2-wire cable	Line	115.2 Kbps up to 1.3 Mbps	100 km
Distributed Network Protocol 3	Ethernet	Line, Peer-to-Peer	100 Mbps, 1 Gbps	100m
EtherCAT	Ethernet	Ring, Line, Daisy-chain	100 Mbps	100m
Ethernet Powerlink	Ethernet	Tree, Line, Star, Peer-to-Peer	100 Mbps	100m
Foundation Fieldbus H1	Fieldbus	Point-to-point, Bus with Spur, Daisy-chain, Tree	31.25 Kbps	1900 m without repeater, 9500 m with up to 4 repeaters
Foundation HSE	Ethernet	Tree, Line, Star, Peer-to-Peer	100 Mbps	100m
HART	2-wire cable	Point-to-point, Multi-drop	1.2 Kbps	3 km
IEC 60870	Serial, Ethernet	Ring, Tree, Line, Star	N/A	N/A
IEC 61850	Ethernet	Ring, Tree, Line, Star	N/A	100m
Modbus	Serial, Ethernet	Line, Star, Ring, Mesh (MB+)	100 Mbps, 1 Gbps	N/A
PROFIBUS	Fieldbus	Point-to-point, Bus with spur, Daisy-chain, Tree	9.6 Kbps to 12 Mbps	100 to 1200m, 15km for optical channel
PROFINET	Ethernet	Ring, Tree, Line, Star	100 Mbps, 1 Gbps	100m
RAPIDnet	Ethernet	Line, Ring	100 Mbps	100m
SERCOS III	Ethernet	Line, Ring	100 Mbps, 1 Gbps	N/A
Unitronics PCOM	Serial, Ethernet	Ring, Line, Star	100 Mbps	100m
WorldFIP	Fieldbus	Bus	31.25 Kbps, 1 Mbps, 2.5 Mbps, 5 Mbps	1km

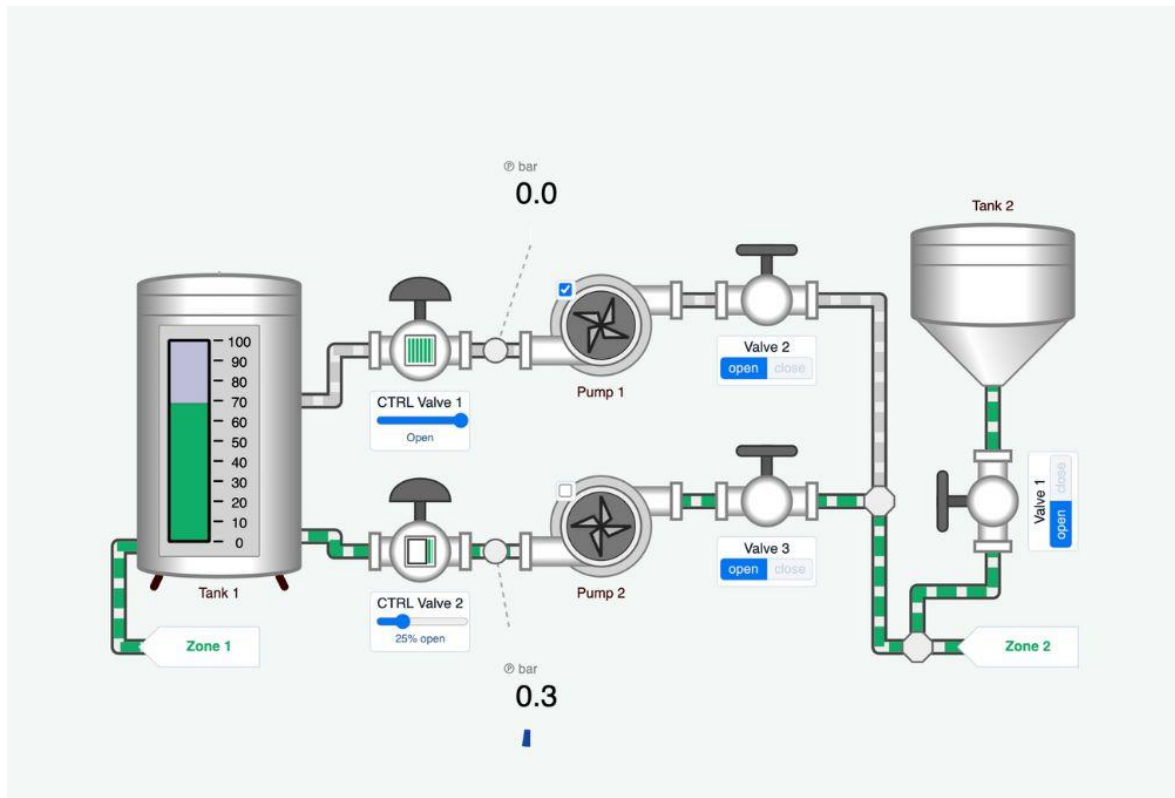
2.4 Human Machine Interface (HMI)

Το HMI αποτελεί το μέσο απεικόνισης, επίβλεψης, διαχείρισης και ελέγχου των διεργασιών που συμβαίνουν. Μέσω λοιπόν της απεικόνισης των διεργασιών στην οθόνη όπως φαίνεται στην Εικόνα 2.1, δίνεται η δυνατότητα στον χρήστη να έχει μια πλήρη εικόνα για την κατάσταση που επικρατεί αλλά και να μπορεί να επέμβει

ανά πάσα στιγμή εκτελώντας τις ρυθμίσεις που θέλει μέσω της οθόνης. Οι ρυθμίσεις αυτές για να μπορέσουν να εφαρμοστούν στο πεδίο των διεργασιών θα πρέπει να περαστούν στους ελεγκτές (PLCs) που υπάρχουν εκεί. Αυτός ακριβώς είναι και ο ρόλος του HMI, να καθιστά δυνατή την αλληλεπίδραση μεταξύ του χρήστη και των ελεγκτών χωρίς να έρχονται άμεσα σε επαφή, αλλά από απόσταση.

Καθώς η τεχνολογία εξελίσσεται, το επίπεδο αναπαράστασης και κατανοησιμότητας του HMI αυξάνεται και άρα απλοποιείται σε μεγάλο βαθμό η δουλειά του χρήστη. Η βελτίωση αυτή, μειώνει την πιθανότητα ανθρώπινου λάθους από μεριάς του, γεγονός το οποίο είναι πολύ σημαντικό και μπορεί να αποβεί καθοριστικό καθώς ένα ανθρώπινο λάθος θα μπορούσε να προκαλέσει μεγάλη καταστροφή. Πλέον με τον τρόπο λειτουργίας των αυτοματισμών στις βιομηχανίες, σε μεγάλο βαθμό το επίπεδο ασφάλειας και απόδοσης καθορίζεται από την ποιότητα της αλληλεπίδρασης μεταξύ των ανθρώπων και των μηχανών, δηλαδή με άλλα λόγια από το HMI. Για τον λόγο αυτό, η σχεδίαση του απαιτεί πολλή προσοχή ώστε να επιτευχθεί η καλύτερη δυνατή επικοινωνία.

Το HMI λοιπόν παρέχει μέσα εισόδου με βάση τα οποία ο χρήστης μπορεί να πραγματοποιήσει αλλαγές στο σύστημα, αλλά και μέσα εξόδου ώστε να μπορεί να δει ο χρήστης ποιο ακριβώς είναι το αποτέλεσμα που απέφεραν στο σύστημα οι αλλαγές αυτές. Μεταξύ όλων των άλλων, το HMI διαθέτει και ειδοποιήσεις σε καταστάσεις κινδύνου οι οποίες απαιτούν άμεση ανταπόκριση από τον χρήστη ώστε να λυθεί το ζήτημα που έχει προκύψει και δεν παύουν να επισημαίνονται έως ότου συμβεί αυτό, έτσι ώστε να εξασφαλιστεί η έγκαιρη διαπίστωση του προβλήματος και να μην υπάρχει ο κίνδυνος να παραμεληθεί τυχόν ζήτημα [9].



Εικόνα 2.1: Παράδειγμα HMI συστήματος SCADA για διάγραμμα σωληνώσεων και οργάνων από την JointJS

2.5 Λογισμικά ανάπτυξης εφαρμογών SCADA

Όσον αφορά τη σχεδίαση και υλοποίηση ενός συστήματος SCADA, υπάρχουν λογισμικά, τα οποία διαθέτοντας το κατάλληλο περιβάλλον δίνουν τη δυνατότητα στον χρήστη να σχεδιάσει το δικό του SCADA, είτε ξεκινώντας και σχεδιάζοντάς το από την αρχή, είτε χρησιμοποιώντας ως βάση κάποιο ήδη υπάρχουν σύστημα πάνω στο οποίο μπορεί να κάνει τροποποιήσεις ώστε να πετύχει το επιθυμητό αποτέλεσμα.

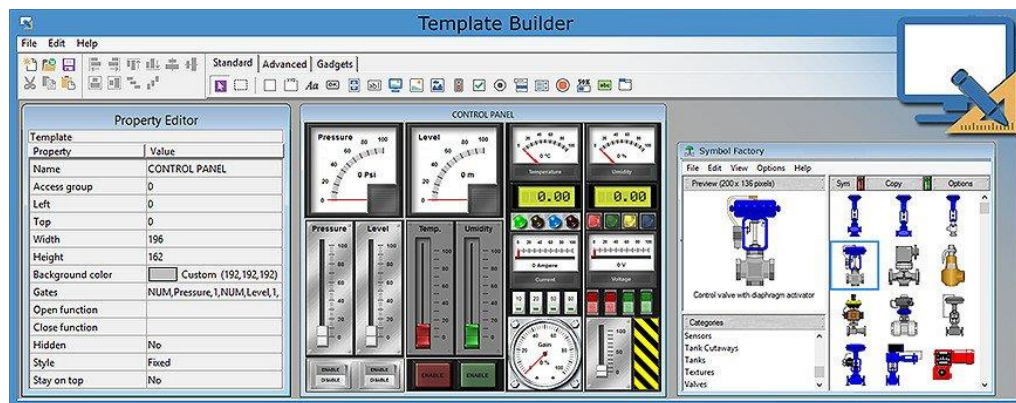
2.5.1 Winlog: Παρουσίαση του λογισμικού υλοποίησης του SCADA της διπλωματικής εργασίας

Όσον αφορά το Winlog, το οποίο είναι το λογισμικό που χρησιμοποιήθηκε στο κομμάτι της υλοποίησης για τον σχεδιασμό του συστήματος SCADA και φαίνεται στην Εικόνα 2.2, αποτελεί ένα βολικό, ευέλικτο και εύκολο στη χρήση λογισμικό σχεδίασης για την ανάπτυξη SCADA/HMI εφαρμογών. Η βασική του έκδοση είναι

το Winlog Pro ενώ διαθέτει και μια πιο προχωρημένη έκδοση που ονομάζεται Winlog Eno. Επίσης, προσφέρεται και η εκπαιδευτική έκδοση Winlog Lite η οποία είναι δωρεάν ωστόσο υπάρχουν ορισμένοι περιορισμοί.

Τα βασικά του χαρακτηριστικά της βασικής έκδοσης Winlog Pro σύμφωνα και με την επίσημη σελίδα του κατασκευαστή είναι τα εξής:

- Πολυγλωσσικές SCADA/HMI εφαρμογές
- Χιλιάδες σύμβολα και αντικείμενα
- Δυνατότητα απεικόνισης γραφικών παραστάσεων
- Περιέχει τα πιο δημοφιλή πρωτόκολλα επικοινωνίας
- Ιστορικό αρχείο με μηνύματα και συναγερμούς
- Διασύνδεση με εξωτερικό Σύστημα Διαχείρισης Βάσης Δεδομένων

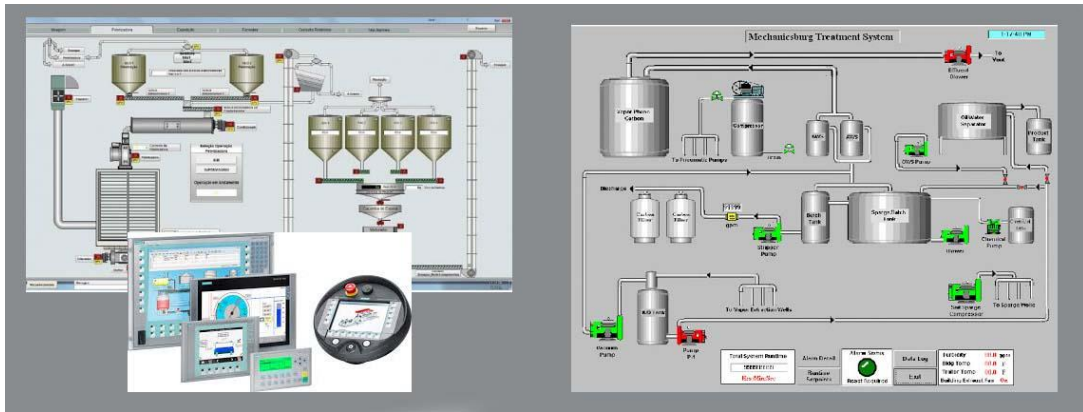


Εικόνα 2.2 : Περιβάλλον Winlog

2.5.2 Δημοφιλή λογισμικά υλοποίησης SCADA

Παρατίθενται μερικά από τα πιο δημοφιλή λογισμικά στον τομέα υλοποίησης SCADA/HMI εφαρμογών με ορισμένα από τα βασικότερα χαρακτηριστικά τους:

- Siemens Simatic WinCC (Εικόνα 2.3)
 - Δυνατότητα αλλαγών και βελτιστοποιήσεων κατά τη λειτουργία
 - Δυνατότητα υλοποίησης υπερβολικά πολύπλοκων συστημάτων
 - Εύκολη χρήση του προγράμματος



Εικόνα 2.3 : Περιβάλλον Siemens Simatic WinCC

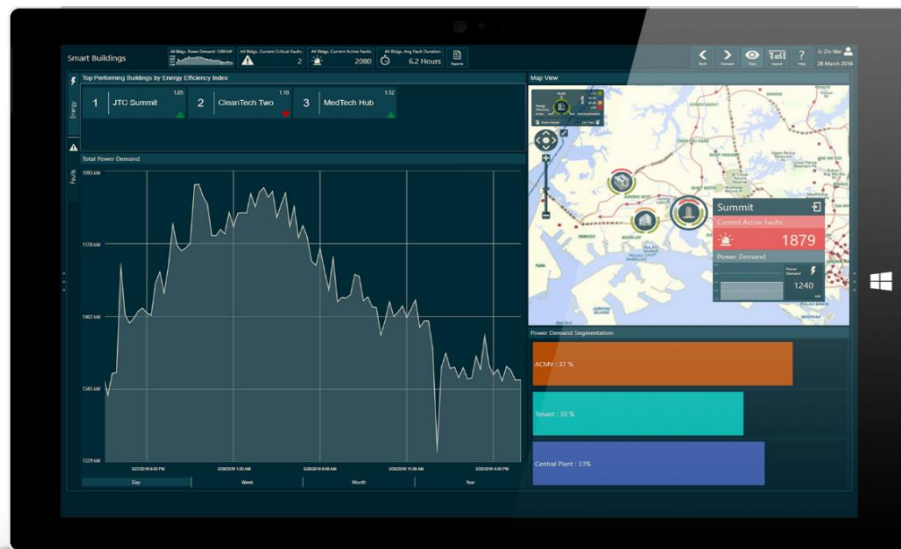
- Ignition by Inductive Automation (Εικόνα 2.4)
 - Απεριόριστοι πελάτες, οθόνες και διασυνδέσεις
 - Ραγδαία ανάπτυξη
 - Βασισμένο σε έμπιστα IT πρότυπα



Εικόνα 2.4 : Περιβάλλον Ignition

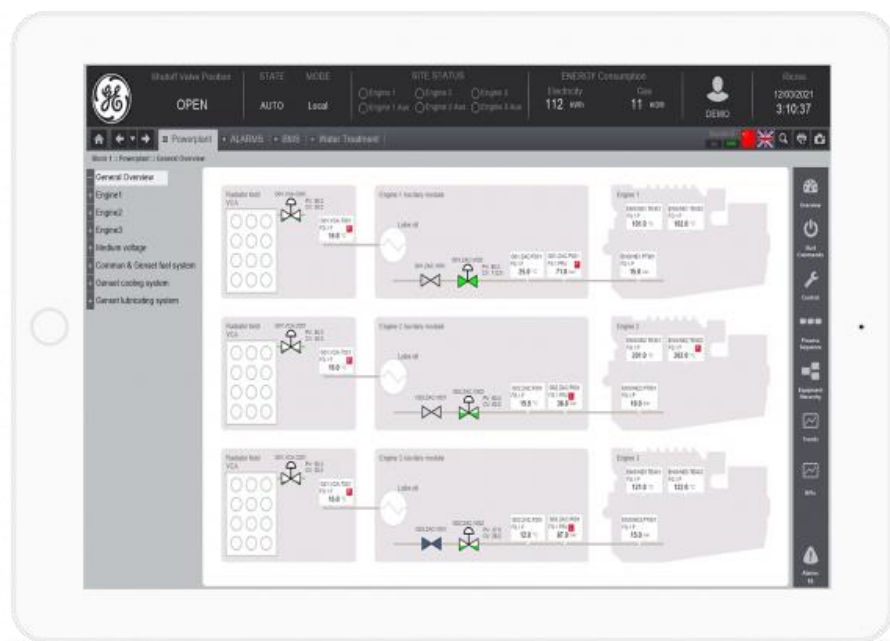
- GENESIS64 by Iconics (Εικόνα 2.5)
 - Σχεδιασμένο για Microsoft operating συστήματα
 - Διαχείριση μηνυμάτων συναγερμού πραγματικού χρόνου

- Πρόσβαση σε ιστορικά καθώς και πραγματικού χρόνου δεδομένα οποιασδήποτε σχεσιακής βάσης δεδομένων



Εικόνα 2.5 : Περιβάλλον GENESIS64

- CIMPLICITY by General Electric (Εικόνα 2.6)
 - Δυνατότητα σχεδιασμού πολύπλοκων συστημάτων συναγερμού με ειδοποιήσεις
 - Δυνατότητα σχεδίασης HMI και Dashboards υψηλής απόδοσης



Εικόνα 2.6 : Περιβάλλον CIMPLICITY

ΚΕΦΑΛΑΙΟ 3: ΠΡΟΓΡΑΜΜΑΤΙΖΟΜΕΝΟΙ ΛΟΓΙΚΟΙ ΕΛΕΓΚΤΕΣ

3.1 Βασικά στοιχεία των Προγραμματιζόμενων Λογικών Ελεγκτών

Οι προγραμματιζόμενοι λογικοί ελεγκτές (PLC) εφευρέθηκαν προς το τέλος της δεκαετίας του 1960, με σκοπό να αντικαταστήσουν τον κλασσικό ηλεκτρολογικό πίνακα με τα ρελέ, με το MODICON 084 να αποτελεί το πρώτο εμπορικό PLC. Το PLC αποτελεί μια ειδική μορφή ελεγκτή βασιζόμενη σε μικροεπεξεργαστή. Περιλαμβάνει προγραμματιζόμενη μνήμη στην οποία αποθηκεύονται εντολές και συναρτήσεις διαφόρων ειδών όπως αριθμητικές, λογικές, χρονικές κλπ. Ο ρόλος του PLC είναι να ελέγχει μια διαδικασία, δεχόμενο πληροφορία ως είσοδο από αισθητήρες και έχοντας τη δυνατότητα να παρέμβει στη διαδικασία μέσω ενεργοποιητών. Θα μπορούσε να θεωρηθεί και ως ειδικός υπολογιστής για βιομηχανική χρήση, δεδομένου ότι δεν επηρεάζεται από παράγοντες όπως θερμοκρασία, υγρασία και θόρυβο γεγονός που τον καθιστά κατάλληλο ελεγκτή ακόμη και για τις δύσκολες συνθήκες που μπορεί να επικρατούν σε μια βιομηχανία. Όσον αφορά τον προγραμματισμό ενός PLC, αυτό αποτελεί μια εύκολη διαδικασία καθώς γίνεται με τη χρήση απλών γλωσσών προγραμματισμού. Τα PLCs μπορούν να χρησιμοποιηθούν τόσο για αναλογικά όσο και για ψηφιακά συστήματα ελέγχου [10].

Όπως είναι εύκολα κατανοητό, η αλλαγή που επήλθε με την εφεύρεση των PLC στον τομέα της βιομηχανίας ήταν τεράστια και η εναλλαγή από τα ρελέ στους υπολογιστές υπήρξε άμεση. Για τον λόγο αυτό οι βιομηχανίες προσπάθησαν να εντάξουν όσο πιο ομαλά γινόταν τα PLC στην καθημερινότητα τους και για να το πετύχουν αυτό [3]:

- Δεν χρησιμοποιούσαν όρους που θα τρομάζανε τους εργαζομένους της βιομηχανίας και ακόμη και τον όρο Προγραμματιζόμενος Λογικός Ελεγκτής τον ανέφεραν απλώς ως PLC.
- Έκαναν προσπάθεια ώστε να μην διαφοροποιήσουν τον ήδη χρησιμοποιούμενο τρόπο που είχαν μάθει οι υπάλληλοι στον τομέα των αυτοματισμών.

- Σκοπός των αρχικά χρησιμοποιούμενων γλωσσών προγραμματισμού των PLC ήταν απλώς να γίνει αντικατάσταση του σχεδίου του ηλεκτρολογικού αυτοματισμού με μια συσκευή προγραμματισμού που διαθέτετε πλήκτρα.

Ήδη από τα παραπάνω πιθανότατα έχει γίνει κατανοητή η σημασία των PLC και το πως αυτά αποτελούν απαραίτητο κομμάτι του σχεδιασμού ενός συστήματος επίβλεψης και απομακρυσμένου ελέγχου. Δεδομένου αυτού, υπάρχουν πολλές εταιρίες παγκοσμίως που κατασκευάζουν PLC. Στον Πίνακα 3.1 αναφέρονται οι σημαντικότεροι κατασκευαστές PLC στην παγκόσμια αγορά:

Πίνακας 3.1 : Σημαντικότεροι κατασκευαστές PLC [11]

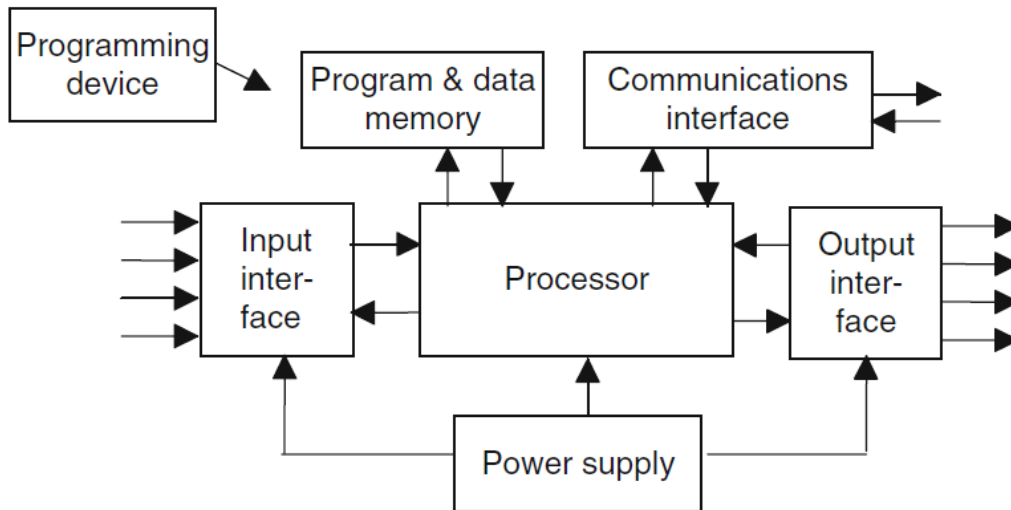
1	Siemens	9	Panasonic
2	ABB	10	Idec
3	Schneider (Modicon)	11	Keyence
4	Rockwell (Allen-Bradley)	12	Toshiba
5	Mitsubishi	13	Fuji
6	GE - Fanuc	14	Beckhoff
7	Omron	15	Bosch Rexroth
8	Koyo	16	Rockwell / Allen - Bradley

3.2 Δομή του PLC

Ένα PLC, όπως φαίνεται στο Σχήμα 3.1, κατά κύριο λόγο αποτελείται από [12]:

- Πλαίσιο τοποθέτησης μονάδων (Rack), όπου τοποθετούνται οι διάφορες μονάδες για να συνθέσουν το PLC
- Κεντρική Μονάδα Επεξεργασίας (CPU), η οποία αποτελεί τον εγκέφαλο του PLC και εκτελεί όλες τις διαδικασίες
- Μνήμη προγραμματισμού, όπου αποθηκεύονται οι οδηγίες του προγράμματος
- Μνήμη δεδομένων, όπου αποθηκεύονται τιμές και δεδομένα από τα inputs και outputs

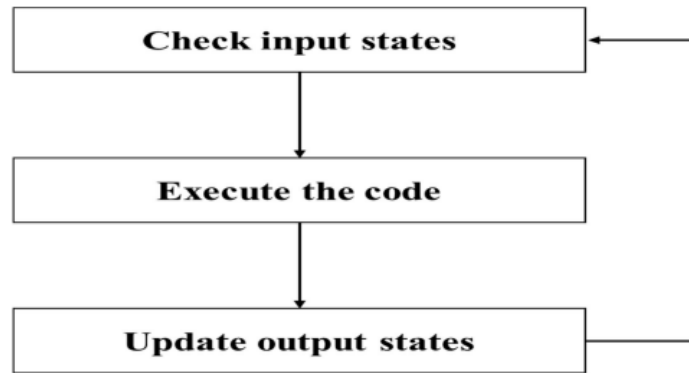
- Μονάδες εισόδων, όπου είναι στοιχεία όπως αισθητήρες που συλλέγουν δεδομένα
- Μονάδες εξόδων, όπου είναι ηλεκτρομαγνητικές βαλβίδες, κινητήρες, ενδείξεις συναγερμών κ.λπ.



Σχήμα 3.1 : Απεικόνιση της δομής ενός Προγραμματιζόμενου Λογικού Ελεγκτή (PLC)

3.3 Αρχή λειτουργίας ενός PLC

Η λειτουργία ενός PLC ξεκινά με τον έλεγχο των δεδομένων εισόδου και την αποθήκευση αυτών στην κατάλληλη θέση μνήμης γνωστή και ως εικόνα εισόδων. Έπειτα, με βάση την πληροφορία που έχει συλλέξει, εκτελεί τις εντολές του προγράμματος ως μια εντολή ανά μονάδα χρόνου. Εφόσον έχει ολοκληρωθεί η εκτέλεση του κώδικα, τα αποτελέσματα αποθηκεύονται στην αντίστοιχη θέση μνήμης γνωστή και ως εικόνα εξόδων. Τέλος, οι τιμές που έχουν προκύψει στην εικόνα εξόδων, οδηγούνται στις εξόδους. Η παραπάνω διαδικασία, όπως φαίνεται και στο Σχήμα 3.2, αποτελεί έναν κύκλο λειτουργίας και όσο το PLC βρίσκεται σε ενεργή κατάσταση, εκτελεί συνεχώς αυτή τη διαδικασία [13].



Σχήμα 3.2 : Απεικόνιση κύκλου λειτουργίας ενός PLC [13]

3.4 Πλεονεκτήματα / Μειονεκτήματα των PLC

Εφόσον έχει γίνει κατανοητό πλέον τι είναι ένα PLC, από τι αποτελείται και πως λειτουργεί, ας δούμε ποια είναι τα πλεονεκτήματα της χρήσης του που το καθιστούν απαραίτητο στις βιομηχανίες τη σημερινή εποχή αλλά και ποια μειονεκτήματα έχει παράλληλα με όλα αυτά που προσφέρει. Ορισμένα από τα πλεονεκτήματα που προσφέρει ένα PLC είναι τα εξής [14]:

- Δεν επηρεάζονται από παράγοντες όπως θερμοκρασία, υγρασία, θορύβους και δονήσεις
- Ο προγραμματισμός τους αποτελεί εύκολη διαδικασία
- Περιέχει προγραμματιζόμενες λειτουργίες
- Σκανάρει τη μνήμη, τις εισόδους και τις εξόδους με προκαθορισμένο τρόπο
- Παρέχει ελέγχους διάγνωσης σφαλμάτων
- Έχει δυνατότητα σύνδεσης με σύστημα SCADA για εποπτεία της λειτουργίας του αυτοματισμού
- Ένα PLC μπορεί να σχεδιαστεί αποδοτικά για μεγάλο εύρος εργασιών ελέγχου
- Το PLC έχει πολύ μικρές διαστάσεις και άρα καταλαμβάνει ελάχιστο χώρο

Ωστόσο, πέρα από όλα αυτά τα πλεονεκτήματα που προσφέρει η χρήση ενός PLC, υπάρχουν και ορισμένα μειονεκτήματα με τα κυριότερα να είναι τα εξής [3]:

- Για κάποια απλή εφαρμογή η επιλογή ενός PLC μπορεί να αποδειχθεί χειρότερη από οικονομική άποψη απ' ότι ένα πεδίο με ηλεκτρονόμους.

- Υπάρχει ανάγκη για συγκεκριμένη προστασία καθώς τα PLC επηρεάζονται εύκολα από τον ηλεκτρονικό θόρυβο.
- Απαιτείται προσωπικό που να διαθέτει τις κατάλληλες γνώσεις τόσο για να μπορεί να χρησιμοποιεί το PLC, όσο και για την εγκατάσταση αλλά και τη συντήρησή του.

3.5 Γλώσσες προγραμματισμού PLC

Όπως προαναφέρθηκε το PLC προγραμματίζεται με σκοπό να μπορεί να εκτελέσει τις επιθυμητές εντολές. Ο προγραμματισμός μπορεί να γίνει με διάφορες γλώσσες προγραμματισμού και συγκεκριμένα πέντε (5) στον αριθμό. Οι γλώσσες προγραμματισμού λοιπόν που μπορούν να χρησιμοποιηθούν για ένα PLC είναι οι εξής [15]:

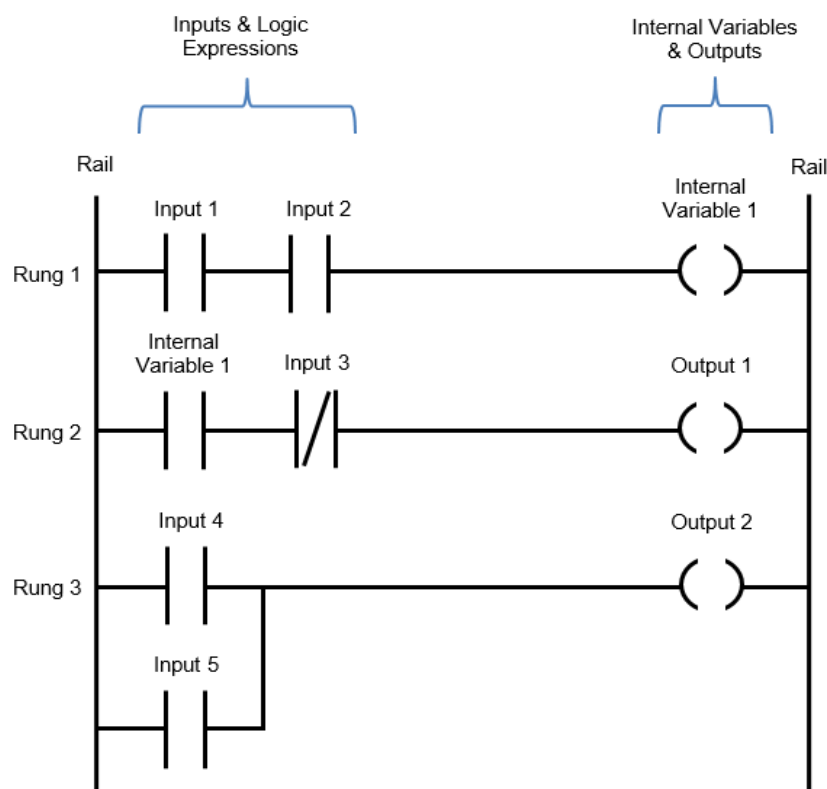
- Instruction List (IL)
- Structured Text (ST)
- Function Blocks Diagrams (FBD)
- Sequential Function Chart (SFC)
- Ladder Diagram (LD)

3.5.1 Ladder Diagram: Η πιο γνωστή γλώσσα προγραμματισμού ενός PLC

Η γλώσσα προγραμματισμού που χρησιμοποιείται κατά κύριο λόγο μεταξύ των προαναφερθέντων είναι η Ladder Diagram, η οποία και επιλέχθηκε για το κομμάτι της υλοποίησης της παρούσας διπλωματικής. Αποτελεί μια γραφική γλώσσα, της οποίας τα βασικά στοιχεία βασίζονται σε αναλογία με τα φυσικά διαγράμματα των ρελέ, γεγονός που διευκόλυνε τη μετάβαση των τεχνικών από τα διαγράμματα ρελέ στη χρήση αυτής. Όπως φαίνεται στην Εικόνα 3.1, ο κώδικας σε γλώσσα LADDER μοιάζει σαν ένα διάγραμμα ρελέ όπου η ισχύς μεταφέρεται από τα αριστερά προς τα δεξιά περνώντας μέσα από εισόδους (αριστερά) και ενεργοποιώντας εξόδους (δεξιά). Υπάρχουν δύο κατακόρυφες γραμμές οι οποίες ορίζονται ως «ράγες» (αριστερή και δεξιά), με την αριστερή να συμβολίζει την τάση τροφοδοσίας και τη δεξιά τη γείωση. Οι οριζόντιες γραμμές ορίζονται ως «σκαλιά» και η κάθε μια σε συνδυασμό με τα στοιχεία της αποτελεί μια δυαδική

έκφραση/εξίσωση, με τα εξαρτημένα στοιχεία (έξοδοι) να τοποθετούνται δεξιά και τα ανεξάρτητα στοιχεία (είσοδοι) να τοποθετούνται αριστερά. Τα «σκαλιά» αυτά του κώδικα, εκτελούνται κατά σειρά από πάνω προς τα κάτω.

Ως προβληματισμός στη συγκεκριμένη γλώσσα προγραμματισμού, στέκεται το γεγονός ότι ακόμη και για προγράμματα μικρής έκτασης και πολυπλοκότητας, ο κώδικας πιθανόν να είναι δυσανάγνωστος [16].



Εικόνα 3.1 : Απεικόνιση τμήματος κώδικα γλώσσας LADDER

3.5.2 Άλλες γλώσσες προγραμματισμού ενός PLC

- Instruction List (IL) (Εικόνα 3.2)
 - Γλώσσα κειμένου χαμηλού επιπέδου
 - Κατάλληλη για επίλυση εύκολων προβλημάτων
 - Δεν υπάρχει δυνατότητα δομημένου προγραμματισμού

```

1. LD Start ;Bit Instructions
2. O Flag
3. A Stop
4. A BLK
5. = Flag
6. L Time ;Byte Instruction
7. SD Timer ;Byte-Bit Instr.
8. LD Timer
9. = Start Up ;Bit Instruction

10. LD Start Up ;Bit Instruction
11. L SP_cur ;Byte Instructions
12. L SP_nom
13. A>=I ;Byte-Bit Instr.
14. = Out ;Bit Instructions

```

Εικόνα 3.2 : Τμήμα κώδικα σε γλώσσα IL

- Structured Text (ST) (Εικόνα 3.3)
 - Γλώσσα διαδικαστικού προγραμματισμού υψηλού επιπέδου
 - Βοηθητική στη διαχείριση των πολύπλοκων μοντέρνων PLC

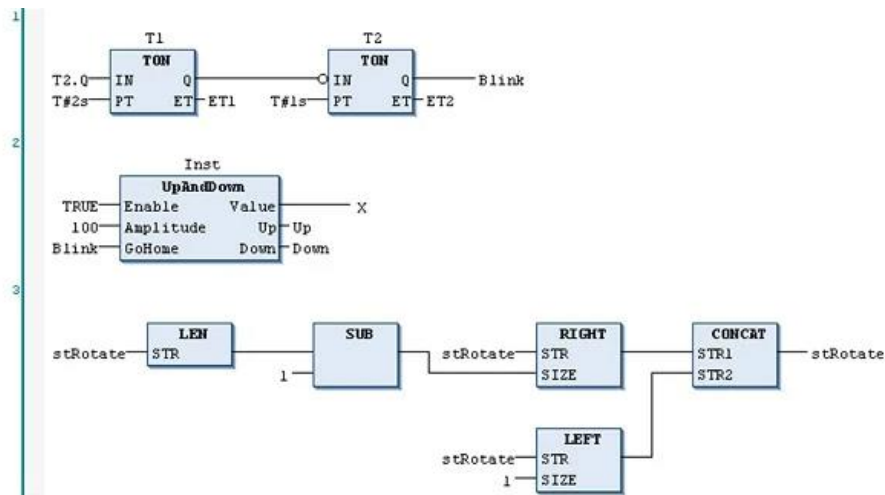
```

1 PROGRAM POU
2 VAR
3 MotorOverload : ARRAY[1..3] OF BOOL;
4 MotorOverCurrent : ARRAY[1..3] OF BOOL;
5 MotorPBStart : ARRAY[1..3] OF BOOL;
6 MotorPBStop : ARRAY[1..3] OF BOOL;
7 MotorCoil : ARRAY[1..3] OF BOOL;
8 i : INT;
9
10 END_VAR
11
12
13
14
15
16
17
18
19
20
21
22
23
24
25
26
27
28
29
30
31
32
33
34
35
36
37
38
39
40
41
42
43
44
45
46
47
48
49
50
51
52
53
54
55
56
57
58
59
60
61
62
63
64
65
66
67
68
69
70
71
72
73
74
75
76
77
78
79
80
81
82
83
84
85
86
87
88
89
90
91
92
93
94
95
96
97
98
99
100
101
102
103
104
105
106
107
108
109
110
111
112
113
114
115
116
117
118
119
120
121
122
123
124
125
126
127
128
129
130
131
132
133
134
135
136
137
138
139
140
141
142
143
144
145
146
147
148
149
150
151
152
153
154
155
156
157
158
159
160
161
162
163
164
165
166
167
168
169
170
171
172
173
174
175
176
177
178
179
180
181
182
183
184
185
186
187
188
189
190
191
192
193
194
195
196
197
198
199
200
201
202
203
204
205
206
207
208
209
210
211
212
213
214
215
216
217
218
219
220
221
222
223
224
225
226
227
228
229
230
231
232
233
234
235
236
237
238
239
240
241
242
243
244
245
246
247
248
249
250
251
252
253
254
255
256
257
258
259
260
261
262
263
264
265
266
267
268
269
270
271
272
273
274
275
276
277
278
279
280
281
282
283
284
285
286
287
288
289
290
291
292
293
294
295
296
297
298
299
300
301
302
303
304
305
306
307
308
309
310
311
312
313
314
315
316
317
318
319
320
321
322
323
324
325
326
327
328
329
330
331
332
333
334
335
336
337
338
339
340
341
342
343
344
345
346
347
348
349
350
351
352
353
354
355
356
357
358
359
360
361
362
363
364
365
366
367
368
369
370
371
372
373
374
375
376
377
378
379
380
381
382
383
384
385
386
387
388
389
390
391
392
393
394
395
396
397
398
399
400
401
402
403
404
405
406
407
408
409
410
411
412
413
414
415
416
417
418
419
420
421
422
423
424
425
426
427
428
429
430
431
432
433
434
435
436
437
438
439
440
441
442
443
444
445
446
447
448
449
450
451
452
453
454
455
456
457
458
459
460
461
462
463
464
465
466
467
468
469
470
471
472
473
474
475
476
477
478
479
480
481
482
483
484
485
486
487
488
489
490
491
492
493
494
495
496
497
498
499
500
501
502
503
504
505
506
507
508
509
510
511
512
513
514
515
516
517
518
519
520
521
522
523
524
525
526
527
528
529
530
531
532
533
534
535
536
537
538
539
540
541
542
543
544
545
546
547
548
549
550
551
552
553
554
555
556
557
558
559
560
561
562
563
564
565
566
567
568
569
570
571
572
573
574
575
576
577
578
579
580
581
582
583
584
585
586
587
588
589
590
591
592
593
594
595
596
597
598
599
600
601
602
603
604
605
606
607
608
609
610
611
612
613
614
615
616
617
618
619
620
621
622
623
624
625
626
627
628
629
630
631
632
633
634
635
636
637
638
639
640
641
642
643
644
645
646
647
648
649
650
651
652
653
654
655
656
657
658
659
660
661
662
663
664
665
666
667
668
669
670
671
672
673
674
675
676
677
678
679
680
681
682
683
684
685
686
687
688
689
690
691
692
693
694
695
696
697
698
699
700
701
702
703
704
705
706
707
708
709
710
711
712
713
714
715
716
717
718
719
720
721
722
723
724
725
726
727
728
729
730
731
732
733
734
735
736
737
738
739
740
741
742
743
744
745
746
747
748
749
750
751
752
753
754
755
756
757
758
759
760
761
762
763
764
765
766
767
768
769
770
771
772
773
774
775
776
777
778
779
780
781
782
783
784
785
786
787
788
789
790
791
792
793
794
795
796
797
798
799
800
801
802
803
804
805
806
807
808
809
810
811
812
813
814
815
816
817
818
819
820
821
822
823
824
825
826
827
828
829
830
831
832
833
834
835
836
837
838
839
840
841
842
843
844
845
846
847
848
849
850
851
852
853
854
855
856
857
858
859
860
861
862
863
864
865
866
867
868
869
870
871
872
873
874
875
876
877
878
879
880
881
882
883
884
885
886
887
888
889
890
891
892
893
894
895
896
897
898
899
900
901
902
903
904
905
906
907
908
909
910
911
912
913
914
915
916
917
918
919
920
921
922
923
924
925
926
927
928
929
930
931
932
933
934
935
936
937
938
939
940
941
942
943
944
945
946
947
948
949
950
951
952
953
954
955
956
957
958
959
960
961
962
963
964
965
966
967
968
969
970
971
972
973
974
975
976
977
978
979
980
981
982
983
984
985
986
987
988
989
990
991
992
993
994
995
996
997
998
999
1000

```

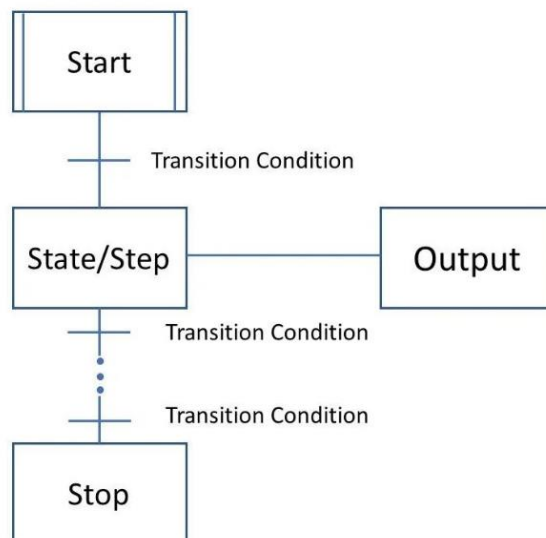
Εικόνα 3.3 : Τμήμα κώδικα σε γλώσσα ST

- Function Block Diagram (FBD) (Εικόνα 3.4)
 - Γραφική γλώσσα προγραμματισμού
 - Μοντελοποίηση των ελεγκτών ως σήματα



Εικόνα 3.4 : Τμήμα κώδικα σε γλώσσα FBD

- Sequential Function Chart (SFC) (Εικόνα 3.5)
 - Γραφική γλώσσα προγραμματισμού
 - Χρησιμοποιείται για να δομήσει τη συμπεριφορά στοιχείων του PLC



Εικόνα 3.5 : Απεικόνιση κώδικα σε γλώσσα SFC

3.6 Κατηγορίες PLC στην αγορά

Τα PLC της αγοράς διακρίνονται σε δύο βασικές κατηγορίες ανάλογα με τη δομή τους. Οι κατηγορίες αυτές είναι τα Compact και Modular PLCs όπως φαίνονται στις Εικόνες 3.6 και 3.7, αντίστοιχα.

Όσον αφορά τα Compact PLCs, έχουν συγκεκριμένο αριθμό εισόδων και εξόδων και άρα δεν έχουν δυνατότητα επέκτασης, γεγονός που τα καθιστά πολύ περιοριστικά ως προς την επιλογή τους.

Όσον αφορά τα Modular PLCs, ο αριθμός εισόδων και εξόδων δεν είναι προκαθορισμένος, καθώς δίνεται η δυνατότητα επέκτασης και άρα προσθήκης εισόδων και εξόδων στο PLC. Τα επιμέρους τμήματά του είναι ανεξάρτητα μεταξύ τους και άρα είναι πιο εύκολος ο συνδυασμός αυτών για να καλυφθούν οι εκάστοτε απαιτήσεις [17].

Συμπερασματικά λοιπόν, δεδομένου ότι στα Compact PLCs όλα τα επιμέρους στοιχεία είναι ήδη ενσωματωμένα σε μια συσκευή δεν τίθεται θέμα επέκτασης και για τον λόγο αυτό είναι πιο οικονομικά. Από την άλλη τα Modular PLCs μπορεί να καταλήξουν να έχουν μεγάλο κόστος, ωστόσο δεν υπάρχει κίνδυνος μη δυνατότητας κάλυψης των απαιτήσεων.



Εικόνα 3.6 : Siemens Compact PLC



Εικόνα 3.7 : Siemens Modular PLC

3.7 Επιπρόσθετες λειτουργίες PLC

Τα PLC διαθέτουν διάφορες λειτουργίες που βοηθούν στη δημιουργία των αυτοματισμών, οι οποίες μάλιστα συνεχώς αυξάνονται και βελτιώνονται. Ενδεικτικά οι βασικότερες εξ αυτών είναι οι παρακάτω [3]:

- Ύπαρξη απαριθμητών, οι οποίοι είναι υπεύθυνοι να μετρούν παλμούς, με την μέτρηση να μπορεί να γίνει είτε κανονικά είτε αντίστροφα.
- Διαθέσιμα πραγματικά ημερολόγια, τα οποία δίνουν τη δυνατότητα για προγραμματισμό εντολών σε πραγματική/συγκεκριμένη μέρα και ώρα.
- Δυνατότητα επεξεργασίας αριθμητικών πράξεων όπως ακριβώς ένας ηλεκτρονικός υπολογιστής.
- Αναλογικές εισοδοί / έξοδοι, καθώς μέσω της εξέλιξής τους πλέον τα PLC μπορούν να πραγματοποιήσουν αναλογικούς ελέγχους όπως θερμοκρασίας, πίεσης κλπ. Αυτό συμβαίνει καθώς τα PLC έχουν την ικανότητα τόσο να δέχονται αναλογικές εισόδους, όσο και να παρέχουν αναλογικές εξόδους. Πριν την επεξεργασία των δεδομένων, το PLC μετατρέπει τις τιμές από αναλογικές σε ψηφιακές
- Δυνατότητα δικτύωσης και συνεργασίας, τόσο με άλλα PLC όσο και με ηλεκτρονικούς υπολογιστές, δημιουργώντας έτσι ένα Βιομηχανικό Δίκτυο Αυτοματισμού.

ΚΕΦΑΛΑΙΟ 4: ΓΑΛΑΚΤΟΒΙΟΜΗΧΑΝΙΕΣ

4.1 Το γάλα

Το γάλα αποτελεί ένα από τα σημαντικότερα και συγχρόνως δημοφιλέστερα φαγώσιμα στη βιομηχανία τροφίμων με βασικό παράγοντα στην επιτυχία του αυτή να αποτελούν οι πλούσιες θρεπτικές ουσίες που περιλαμβάνει. Για να γίνει αντιληπτό το πόσο δημοφιλές τρόφιμο είναι το γάλα, αρκεί να αναφερθεί ότι κατά το χρονολογικό έτος 2018 η παγκόσμια παραγωγή γάλακτος έφτασε τα 843 δισεκατομμύρια λίτρα με εκτιμώμενη αξία που αγγίζει τα 307 δισεκατομμύρια δολάρια. Στα παραπάνω έρχεται να προστεθεί η εκτίμηση ότι μέχρι και το έτος 2027 η παγκόσμια παραγωγή γάλακτος θα έχει αυξηθεί κατά 22% [18]. Όσον αφορά την προέλευση του γάλακτος, αυτή κατά κύριο λόγο προέρχεται από τις αγελάδες, με το αγελαδινό γάλα να αποτελεί το 85% του συνολικού ποσοστού παραγωγής [19]. Ωστόσο πέρα από τις αγελάδες, γάλα προέρχεται τόσο από κατσίκες όσο και από πρόβατα με το κάθε ένα εξ αυτών να διαθέτει διαφορετικά χαρακτηριστικά.

Το γάλα αποτελεί ένα πλήρες τρόφιμο το οποίο καλύπτει σχεδόν όλες τις ανάγκες του ανθρωπίνου οργανισμού. Αποτελείται από πρωτεΐνες, λακτόζη, τριγλυκερίδια, φώσφορο, ασβέστιο και βιταμίνες (κυρίως βιταμίνη D), ενώ το γεγονός ότι είναι πλούσιο σε ασβέστιο και φώσφορο, καθιστά εύκολη την απορρόφησή του από τον ανθρώπινο οργανισμό. Φυσικά, ας μην ξεχνάμε ότι το γάλα είναι το μοναδικό τρόφιμο το οποίο δημιουργεί η φύση ειδικά για τη διατροφή τόσο των ανθρώπων όσο και των θηλαστικών, αναφερόμενος στον θηλασμό των εκάστοτε νεογέννητων οργανισμών, γεγονός που επιβεβαιώνει ότι το γάλα περιλαμβάνει όλα τα απαραίτητα θρεπτικά συστατικά [20].

4.2 Γενικά στοιχεία μιας Γαλακτοβιομηχανίας

Όπως είναι εύκολα κατανοητό, ο σκοπός μιας γαλακτοβιομηχανίας είναι να παράγει γαλακτοκομικά προϊόντα έτοιμα προς κατανάλωση. Για να επιτευχθεί αυτός ο σκοπός, υπάρχει μια συγκεκριμένη διαδικασία που απαιτείται και ακολουθείται. Η διαδικασία αυτή (η οποία αναλύεται στις παρακάτω ενότητες) ως

γενική εικόνα ξεκινάει από τη συγκέντρωση ποσότητας γάλακτος στις φάρμες και την κατάλληλη μεταφορά τους στη γαλακτοβιομηχανία όπου θα γίνουν οι προκαθορισμένοι έλεγχοι και οι απαραίτητες διαδικασίες για να διαμορφωθεί το τελικό προϊόν που θα προωθηθεί στην αγορά.

Όπως προαναφέρθηκε, μια γαλακτοβιομηχανία δεν παρέχει μόνο γάλα ως τελικό προϊόν αλλά και διάφορα άλλα γαλακτοκομικά προϊόντα όπως γιαούρτι, βούτυρο, τυρί κλπ. Όσον αφορά τα προϊόντα αυτά, ακόμη και για ένα συγκεκριμένο προϊόν ποικίλλουν τα διάφορα είδη που προωθούνται στην αγορά ως προς τα χαρακτηριστικά τους, δεδομένων των πολλών και διαφόρων προτιμήσεων των καταναλωτών. Βασικό τομέα διαφοροποίησης συνήθως αποτελεί το ποσοστό λιπαρών του προϊόντος καθώς και η περιεκτικότητα ή μη λακτόζης σε αυτό. Έτσι διαμορφώνονται πολλές και διάφορες υποκατηγορίες στο ίδιο προϊόν και άρα απαίτηση από τις γαλακτοβιομηχανίες να καλύψουν αυτό το εύρος αρεσκείας των καταναλωτών. Για να επιτευχθεί αυτό, η γαλακτοβιομηχανία εφαρμόζει μικρές διαφοροποιήσεις κατά τη διαδικασία παραγωγής στην ίδια κατηγορία προϊόντος και χωρίζει την αρχική ποσότητα γάλακτος που έχει στη διάθεσή της ώστε να μπορέσει εν τέλει να παράξει όλες τις διαφορετικές υποκατηγορίες του ίδιου προϊόντος για να ευχαριστήσει όλο το καταναλωτικό κοινό.

Στην Εικόνα 4.1 γίνεται μια σύγκριση μεταξύ διαφόρων υποκατηγοριών γάλακτος ως προς τα θρεπτικά συστατικά τους.

Nutritional content of different types of milk							
TYPE		CAL.	CARBS	SUGAR	PROTEIN	FAT	FIBER
Semi-skimmed cow		122	12g	12g	8.1g	4.8g	0g
Skimmed cow		91	12g	12g	8.8g	0.6g	0g
Whole cow		149	12g	12g	7.7g	7.9g	0g
Silk unsweetened almond		30	1g	0g	1g	2.5g	0.5g
Oatly original oat		120	16g	7g	3g	5g	2g
Silk original soy		110	9g	6g	18g	4.5g	2g

Εικόνα 4.1 : Σύγκριση μεταξύ των διαφόρων υποκατηγοριών γάλακτος

4.3 Διαδικασία συλλογής γάλακτος στη φάρμα και μεταφορά

Η διαδικασία παραγωγής γάλακτος ξεκινά από τις φάρμες. Τα παλαιότερα χρόνια, η διαδικασία αυτή λάμβανε χώρα όσο το δυνατόν πιο κοντά σε αστικές περιοχές. Ο λόγος που συνέβαινε το παραπάνω, ήταν ώστε να μπορεί να πωληθεί γρήγορα το γάλα για να είναι όσο το δυνατόν πιο φρέσκο. Ωστόσο με την ανάπτυξη οχημάτων ψυγείων, δόθηκε η δυνατότητα μεταφοράς του γάλακτος ακόμη και σε μεγάλες αποστάσεις διατηρώντας το στην κατάλληλη θερμοκρασία χωρίς έτσι να χάνει τη φρεσκάδα του. Αυτό ήταν πολύ σημαντικό καθώς έτσι υπήρξε η ευκαιρία να απομακρυνθεί η όλη διαδικασία παραγωγής γάλακτος από την κατοικημένη περιοχή, με το μεγαλύτερο κέρδος από αυτή την απομάκρυνση να αφορά τις φάρμες. Ο λόγος για αυτό, είναι πως όταν οι φάρμες βρίσκονται μέσα στην πόλη υπάρχουν κίνδυνοι κυρίως όσον αφορά τους γείτονες αλλά και από άποψη φασαρίας, κίνησης στους τοπικούς δρόμους κ.λπ., γεγονός που μπορεί να επηρεάσει την ομαλή ζωή των ζώων και άρα την ποιότητα του γάλακτος που θα παράξουν καθώς αυτή συνδέεται άρρηκτα με τις συνθήκες διαβίωσής τους. Έτσι μεταφέροντας τις φάρμες έξω από την πόλη όλα τα παραπάνω προβλήματα παύουν να υπάρχουν.

Ακόμη σε τεχνολογικό επίπεδο, πέρα από την ανάπτυξη των οχημάτων ψυγείων, πολλές από τις διαδικασίες της φάρμας αυτοματοποιήθηκαν όντας πλέον ταχύτερες αλλά και αποτελεσματικότερες συγχρόνως. Αρχικά, υπήρξε δυνατότητα συστήματος αυτόματου ταΐσματος γλιτώνοντας έτσι τόσο από άποψη χρόνου όσο και από άποψη ανάγκης ανθρωπίνου δυναμικού. Επιπλέον, υπήρξε σύστημα αναγνώρισης αγελάδων το οποίο παρείχε πληροφορία για κάθε μια με βάση την ανάλυση του γάλακτος που είχε παράξει, ώστε να μπορεί ο υπεύθυνος να γνωρίζει αν κάποια εξ αυτών χρειάζεται κάποια ειδική μεταχείριση ή αν έχει ανάγκη από κάποιο φάρμακο, ακόμη και αν έχει φάει καλά. Όλα αυτά φυσικά με σκοπό να δημιουργηθούν οι κατάλληλες συνθήκες ώστε η κάθε μια αγελάδα της φάρμας να παράξει όσο το δυνατόν περισσότερο αλλά και συγχρόνως ποιοτικότερο γάλα [21].

4.4 Διαδικασία ελέγχου ποιότητας γάλακτος στη γαλακτοβιομηχανία

Όπως ισχύει για όλα τα υπόλοιπα τρόφιμα, έτσι και για το γάλα, η κάθε βιομηχανία είναι υπεύθυνη ώστε το προϊόν που θα παράξει τελικά στην αγορά να έχει τις καλύτερες δυνατές προδιαγραφές και να είναι απολύτως ασφαλές προς κατανάλωση για τον καθένα. Για να επιτευχθεί αυτό ακολουθούνται συγκεκριμένες διαδικασίες όπως θα δούμε παρακάτω, ωστόσο πριν αρχίσουν όλες αυτές οι διαδικασίες προηγείται ένα πολύ βασικό στάδιο.

4.4.1 Λόγος ελέγχου γάλακτος κατά την άφιξη στη γαλακτοβιομηχανία

Έχοντας λοιπόν μεταφερθεί το γάλα στη γαλακτοβιομηχανία, το επόμενο βήμα είναι να γίνει ο απαραίτητος έλεγχος ώστε να διαπιστωθεί αν η ποσότητα γάλακτος που έφτασε στη γαλακτοβιομηχανία, έχει την επιθυμητή ποιότητα καθώς αν η ποιότητα του γάλακτος δεν είναι καλή εξ αρχής, τότε δεν θα είναι καλή ούτε και μετά το πέρας των διαδικασιών. Με απλά λόγια, η γαλακτοβιομηχανία χρειάζεται καλής ποιότητας γάλα από τις φάρμες ώστε ενεργώντας πάνω σε αυτό με τις κατάλληλες διαδικασίες να εξασφαλίσει την ασφάλεια των καταναλωτών και να φτάσει σε ένα πολύ καλό τελικό προϊόν.

4.4.2 Τεχνικές ελέγχου ποιότητας γάλακτος

Όπως προαναφέρθηκε, ένα καλό γαλακτοκομικό προϊόν μπορεί να προκύψει μόνο από καλής ποιότητας γάλακτος. Για να εξασφαλιστεί αυτή η καλή ποιότητα στο γάλα, υπάρχουν διάφορες τεχνικές ελέγχου που μπορούν να επιτελέσουν σε αυτό, με την κάθε μια να ελέγχει μια διαφορετική πτυχή της σύνθεσής του και άρα ο συνδυασμός αυτών μπορεί να οδηγήσει σε ένα ολοκληρωμένο συμπέρασμα. Έτσι, αν κάποιο δείγμα δεν έχει τα επιθυμητά αποτελέσματα θα απορριφθεί από την πρώτη κιόλας στιγμή που φτάνει στη γαλακτοβιομηχανία χωρίς να προχωρήσει σε καμία περαιτέρω διαδικασία.

Ακολουθούν ορισμένες από τις βασικότερες και πιο γνωστές τεχνικές ελέγχου που χρησιμοποιούνται στις γαλακτοβιομηχανίες [22]:

- **Οργανοληπτική δοκιμή**
Αποτελεί τη βασικότερη και απλούστερη δοκιμή που λαμβάνει χώρα, και για την υλοποίησή της αρκούν οι ανθρώπινες αισθήσεις.
Οι άνθρωποι που είναι υπεύθυνοι στον έλεγχο του γάλακτος ελέγχουν τόσο οπτικά όσο και με την όσφρησή τους αν το γάλα σε πρώτη φάση είναι όπως πρέπει να είναι. Σε περίπτωση που το γάλα έχει περίεργο χρώμα ή μυρίζει κάπως διαφορετικά από το συνηθισμένο, τότε απορρίπτεται.
- **Τεστ αλκοόλης**
Το τεστ αυτό εκτελείται με σκοπό να ανιχνεύσει αν το γάλα είναι περισσότερο όξινο από όσο θα έπρεπε δηλαδή με άλλα λόγια αν το pH του είναι μικρότερο από το επιθυμητό.
- **Γαλακτομετρικό τεστ νόθευσης**
Ο λόγος που εκτελείται αυτό το τεστ είναι για να ανιχνευθεί πιθανή νόθευση του γάλακτος. Μπορεί κάποιος αγρότης να έχει νοθεύσει το γάλα με νερό ώστε να αυξηθεί η ποσότητα και να βγάλει περισσότερο κέρδος. Για να αντιμετωπιστεί μια τέτοια περίπτωση υπάρχει το παραπάνω τεστ το οποίο με τη χρήση γαλακτομετρητή θα δείξει την πυκνότητα του γάλακτος και σε περίπτωση νόθευσης φυσικά η πυκνότητα θα είναι μικρότερη από την κανονική.

Όπως φαίνεται στην Εικόνα 4.2, ανάλογα με το είδος του γάλακτος, αυτές είναι ορισμένες τιμές που θα πρέπει να επαληθευτούν από τις μετρήσεις κατά τη διάρκεια των ελέγχων για να οδηγήσουν προς το συμπέρασμα ότι το γάλα που εξετάζεται είναι καλής ποιότητας [23].

Indicator of milk quality	Quality of cow fresh milk	Quality of ewe fresh milk	Quality of goat fresh milk
Density	1.028-1.034 g/cm ³	1.034-1.042 g/cm ³	1.024-1.040 g/cm ³
pH value	6.5-6.7	6.5-6.8	6.4-6.7
Freezing point	< - 0.517°C	< - 0.56°C	< - 0.54°C

Εικόνα 4.2 Σύγκριση χαρακτηριστικών με βάση το είδος γάλακτος

4.5 Διαδικασία επεξεργασίας – παραγωγής γάλακτος

Εφόσον λοιπόν έχει ολοκληρωθεί η διαδικασία ελέγχου της ποιότητας του γάλακτος κατά την άφιξή του στη γαλακτοβιομηχανία και έχει γίνει διαχωρισμός της ποσότητας σε καλής και κακής ποιότητας, το γάλα καλής ποιότητας περνάει στο επόμενο στάδιο όπου θα γίνει η κατάλληλη επεξεργασία του μέσα από μια σειρά διεργασιών ώστε να προκύψει το τελικό προϊόν.

Η αρχή της επεξεργασίας γίνεται με την αποθήκευση του γάλακτος σε ειδικές δεξαμενές αποθήκευσης γνωστές και ως silos όπου φυλάσσεται το γάλα και ψύχεται συγχρόνως σε θερμοκρασία 4-6 βαθμούς Κελσίου με σκοπό να προετοιμαστεί για τα επόμενα στάδια της επεξεργασίας του.

4.5.1 Διαδικασία διαχωρισμού άπαχου γάλακτος – κρέμας

Ξεκινώντας λοιπόν τις διεργασίες επεξεργασίας, η πρώτη διεργασία είναι ο διαχωρισμός του γάλακτος σε άπαχο και κρέμα.

Το γάλα αρχικά φτάνοντας στη γαλακτοβιομηχανία έχει κάποιο συγκεκριμένο ποσοστό λίπους. Ωστόσο, κάθε βιομηχανία ως γνωστόν παράγει διάφορα προϊόντα ως προς το ποσοστό λίπους (π.χ. άπαχο γάλα, πλήρες γάλα κλπ.). Για να μπορέσει λοιπόν η βιομηχανία να επιτύχει τον σκοπό της, διαχωρίζει το γάλα σε άπαχο και κρέμα. Για να συμβεί αυτό ακολουθείται μια διαδικασία κατά την οποία το γάλα περνάει από τον φυγοκεντρικό διαχωριστή, ο οποίος είναι υπεύθυνος να πετύχει τον διαχωρισμό αυτό.

Ο φυγόκεντρος διαχωριστής εφευρέθηκε το 1879 από τον Gustaf de Laval και όπως πολύ απλά είχε περιγραφεί τότε, αποτελεί ένα μηχάνημα όπως φαίνεται και στην Εικόνα 4.3, το οποίο περιστρέφεται, και μετά από κάποιο χρονικό διάστημα περιστροφής καταλήγει να διαχωρίσει την κρέμα από το άπαχο γάλα, έχοντας την να επιπλέει στην επιφάνεια αυτού.



Εικόνα 4.3 : Φυγόκεντρος διαχωριστής γαλακτοβιομηχανίας

Πλέον, τα μοντέρνα μηχανήματα φυγόκεντρου διαχωριστή χωρίζονται σε δύο κατηγορίες. Η μια κατηγορία ονομάζεται semi-open design ενώ η άλλη κατηγορία ονομάζεται hermetic design. Πριν γίνει η ανάλυση των δύο αυτών μοντέλων αξίζει να αναφερθεί ότι η αποδοτικότητα των μηχανημάτων αυτών είναι πολύ υψηλή, με το ποσοστό λίπους που παραμένει στο άπαχο γάλα μετά τον διαχωρισμό του από την κρέμα να είναι μόλις της τάξης του 0.04% με 0.07%.

Ως προς τον τρόπο λειτουργίας τους [24]:

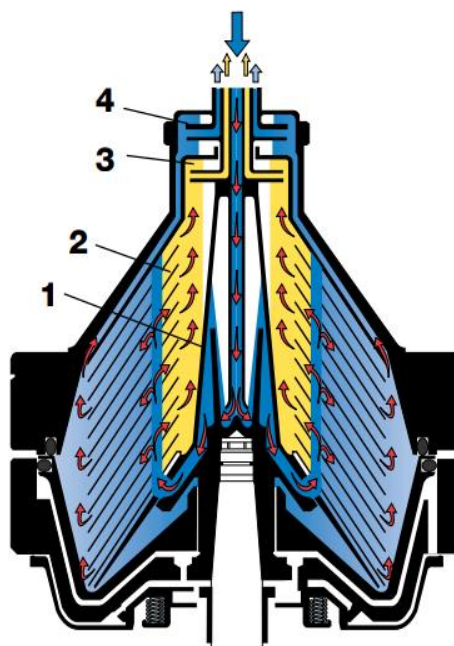
➤ Semi – open design

Σε αυτού του είδους τους διαχωριστές, το γάλα εισέρχεται στο διαχωριστικό δοχείο από μια είσοδο (η οποία βρίσκεται συνήθως στην κορυφή του μηχανήματος) και μέσω ενός σταθερού αξονικού σωλήνα. Μόλις φτάσει στον διανομέα (σημείο 1 Σχήματος 4.1), αρχίζει να περιστρέφεται και στη συνέχεια οδηγείται στα κανάλια διαχωρισμού (σημείο 2 Σχήματος 4.1). Λόγω της φυγόκεντρης δύναμης, το γάλα σχηματίζει ένα δακτυλίδι. Η εσωτερική πλευρά του δακτυλιδιού βρίσκεται σε επαφή με την ατμοσφαιρική πίεση και άρα το ίδιο το γάλα αποκτά ατμοσφαιρική πίεση στο σημείο αυτό. Όσο αυξάνεται η απόσταση από

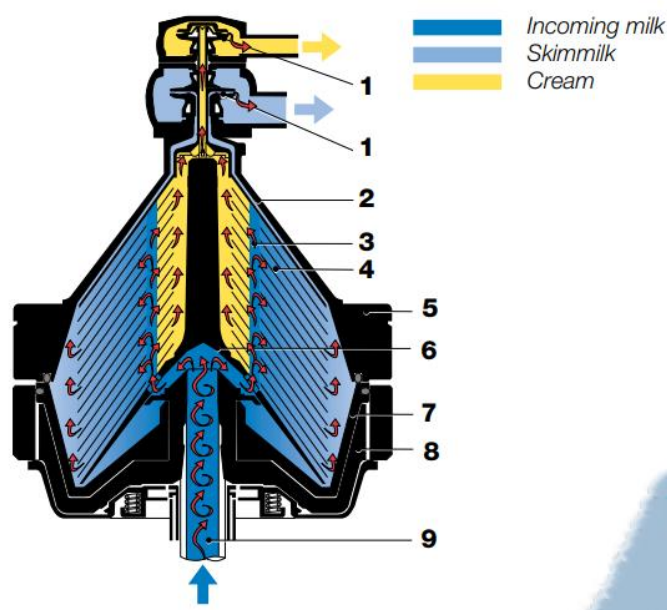
τον άξονα περιστροφής, τόσο αυξάνεται και η πίεση με τη μέγιστη τιμή της να σχηματίζεται στο όριο του δοχείου. Έτσι, η κρέμα μετακινείται προς το εσωτερικό του άξονα περιστροφής και το άπαχο γάλα προς το εξωτερικό και άρα πραγματοποιείται ο διαχωρισμός των δύο με το καθένα να βγαίνει από το δοχείο από την αντίστοιχη έξοδο (σημείο 3 Σχήματος 4.1 έξοδος κρέμας και σημείο 4 Σχήματος 4.1 έξοδος άπαχου) χωρίς να έρχονται ξανά σε επαφή μεταξύ τους.

➤ Hermetic design

Σε αυτού του είδους τους διαχωριστές, αλλάζει ο τρόπος διοχέτευσης του γάλακτος, καθώς αυτό εισέρχεται στο διαχωριστικό δοχείο μέσω μιας ατράκτου που διαθέτει το δοχείο και συνήθως βρίσκεται στο κάτω μέρος του μηχανήματος (σημείο 9 Σχήματος 4.2). Έπειτα, περιστρέφεται στο εσωτερικό του δοχείου και οδηγείται προς τις οπές διανομής (σημείο 3 Σχήματος 4.2). Βασική διαφορά με τα semi-open design αποτελεί το γεγονός ότι στα hermetic design το δοχείο γεμίζει με γάλα και άρα δεν υπάρχει αέρας το κέντρο όπως είδαμε παραπάνω. Για τον λόγο αυτό χαρακτηρίζεται και ως κλειστό σύστημα σωληνώσεως. Η πίεση που δημιουργείται είναι αρκετή ώστε να ξεπεραστεί η αντίσταση ροής προς την αντλία εκκένωσης του δοχείου στις εξόδους (σημείο 1 Σχήματος 4.2) κρέμας και άπαχου γάλακτος αντίστοιχα.



Σχήμα 4.1 : Semi – open διαχωριστής



Σχήμα 4.2 : Hermetic διαχωριστής

Εφόσον έχει γίνει ο διαχωρισμός άπαχου γάλακτος και κρέμας, ακολουθεί μια διαδικασία κατά την οποία γίνεται μίξη αυτών των δύο με σκοπό να επιτευχθεί το επιθυμητό επίπεδο λίπους στο γάλα που θέλει να παράξει η βιομηχανία. Οι αναλογίες προφανώς διαφέρουν ανάλογα με το αν προορίζεται το γάλα για πλήρες, χαμηλών λιπαρών ή χωρίς καθόλου λιπαρά κλπ.

4.5.2 Διαδικασία ομογενοποίησης γάλακτος

Έχοντας προηγηθεί η ενοποίηση του άπαχου γάλακτος με την κρέμα, και εφόσον έχει επιτευχθεί το επιθυμητό ποσοστό λίπους στο μίγμα, ακολουθεί η διαδικασία της ομογενοποίησης.

Κατά τη διαδικασία αυτή, το γάλα που έχει προκύψει περνά από ένα μηχάνημα το οποίο ονομάζεται ομογενοποιητής και έχει ως σκοπό να μειώσει τις διαστάσεις των μεγαλύτερων ατόμων που βρίσκονται στο γάλα ώστε να φτάσουν σε σημείο να είναι παρόμοιας διάστασης με τα μικρότερα. Ο λόγος που είναι επιθυμητή η ομογενοποίηση αυτή, είναι γιατί αν κάποια άτομα είναι πολύ μεγαλύτερα από κάποια άλλα τότε τα μεγαλύτερα αυτά άτομα θα κινηθούν προς την επιφάνεια του γάλακτος και άρα θα σχηματιστεί ένα παχύρευστο επίπεδο στην κορυφή γνωστό

και ως «πέτσα» του γάλακτος το οποίο δεν είναι επιθυμητό. Έτσι λοιπόν, με τη διαδικασία της ομογενοποίησης εξασφαλίζεται ότι δεν θα υπάρξει αυτό το ενδεχόμενο και ότι το γάλα σε όλη του την ποσότητα θα είναι ομοιόμορφο.

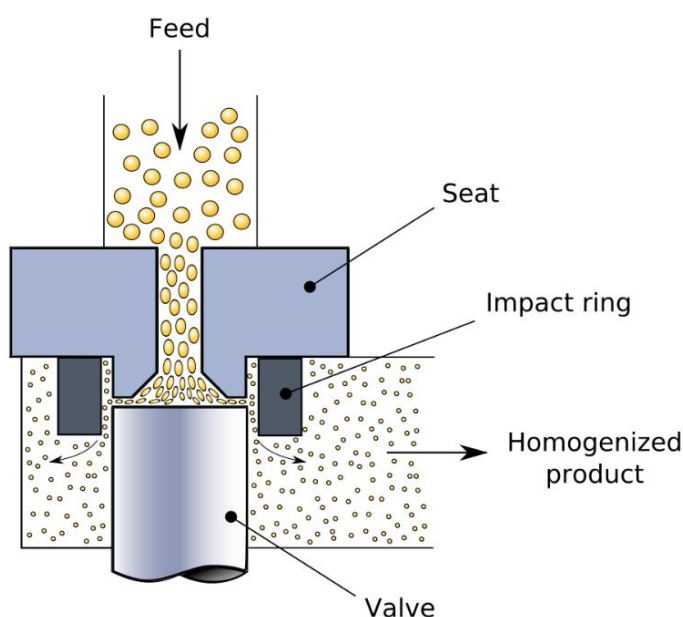
Αρχικά όσον αφορά τον ομογενοποιητή, υπάρχουν τρεις βασικές κατηγορίες:

- Υψηλής πίεσης
- Μηχανικοί
- Υπερηχητικοί

Από τους παραπάνω, αυτοί που χρησιμοποιούνται στις γαλακτοβιομηχανίες είναι αυτοί της υψηλής πίεσης όπως φαίνεται στην Εικόνα 4.4.

Όσον αφορά τον τρόπο λειτουργίας τους σύμφωνα και με το Σχήμα 4.3, το γάλα το οποίο αντλείται από αντλία υψηλής πίεσης, περνάει μέσα από μια μικρή οπή. Την ίδια ώρα ωθείται μετωπικά προς την οπή αυτή ένα έμβολο βαλβίδας το οποίο κινείται αντίθετα προς το γάλα. Καθώς πλησιάζει το έμβολο προς την οπή από την οποία βγαίνει με υψηλή πίεση το γάλα, σχηματίζεται ένα πολύ μικρό κενό από το οποίο πρέπει να περάσει το γάλα και για να καταφέρει να περάσει από το κενό αυτό τα άτομα του διασπώνται και μικραίνει η διάστασή τους.

Αξίζει να σημειωθεί ότι στο σύστημα αυτό είναι εύκολη η προσαρμογή της πίεσης ρυθμίζοντας τη θέση του εμβόλου και άρα αυξομειώνοντας το κενό το οποίο όπως προαναφέρθηκε είναι αυτό που ορίζει το μέγιστο μέγεθος των ατόμων του υγρού [25].



Σχήμα 4.3 : Τρόπος λειτουργίας ομογενοποιητή



Εικόνα 4.4 : Ομογενοποιητής γαλακτοβιομηχανίας υψηλής πίεσης

4.5.3 Διαδικασία παστερίωσης γάλακτος και έλεγχος αυτής

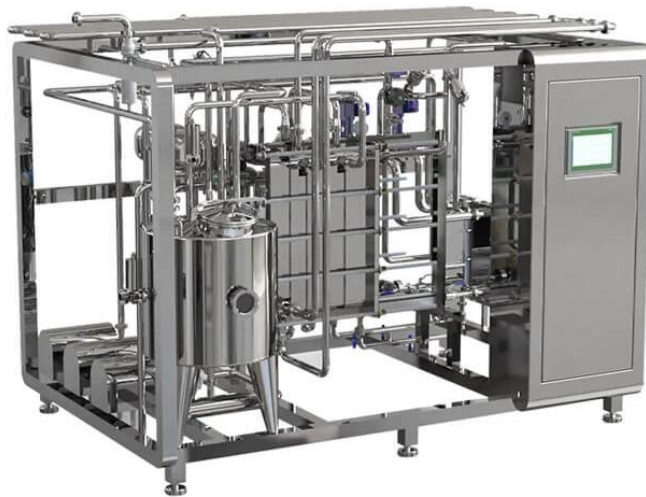
Έχοντας αναλύσει ήδη ορισμένες πολύ βασικές διαδικασίες, θα έχει παρατηρήσει κανείς ότι οι περισσότερες εξ αυτών αφορούν την υφή και τη γεύση του γάλακτος καθώς και τα επιθυμητά επίπεδα λίπους χωρίς να συνεισφέρουν στο βασικότερο κριτήριο το οποίο τίθεται στις γαλακτοβιομηχανίες και έχει τονιστεί στην παρούσα διπλωματική και φυσικά δεν είναι άλλο από την εξασφάλιση της ασφαλούς κατανάλωσης του προϊόντος.

Για τον λόγο αυτό, τις παραπάνω διαδικασίες ακολουθεί η παστερίωση η οποία αποτελεί ίσως τη σημαντικότερη διαδικασία κατά την επεξεργασία γάλακτος, έχοντας ως στόχο να καταστρέψει τα ανθρώπινα παθογόνα που υπάρχουν σε αυτό ώστε να καταστήσει το προϊόν ασφαλές για το καταναλωτικό κοινό. Η διαδικασία αυτή έλαβε το όνομα της από τον Γάλλο φυσικό Louis Pasteur κατά τον 19^ο αιώνα και όσον αφορά τη σύγκρισή της με την αποστείρωση που πολλοί έτειναν να την παρομοιάσουν, έχει ως βασική διαφορά ότι η παστερίωση δεν σκοπεύει να σκοτώσει όλους τους μικροοργανισμούς του φαγητού αλλά να μειώσει τα παθογόνα ώστε να μην είναι πιθανό να προκαλέσουν κάποια ασθένεια [26].

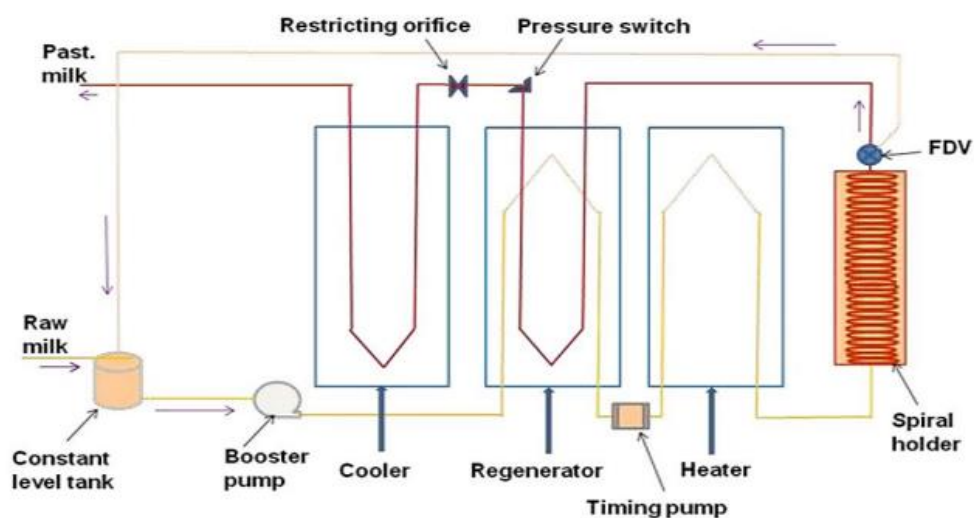
Όπως θα δούμε παρακάτω υπάρχουν πολλά είδη παστερίωσης που διαφέρουν μεταξύ τους είτε ως προς τις θερμοκρασίες είτε ως προς τη χρονική διάρκεια θέρμανσης και ψύξης [27]:

- **Vat Pasteurization**
Σε αυτό το είδος παστερίωσης, πραγματοποιείται θέρμανση στους 63° C για χρονική διάρκεια 30 λεπτών.
- **LTLT Pasteurization (Low Temperature - Long Time)**
Εδώ πραγματοποιείται θέρμανση στους 62.5° C για χρονική διάρκεια 30 λεπτών και έπειτα ψύχεται άμεσα στους 4° C.
- **HTST Pasteurization (High Temperature – Short Time)**
Σε αυτή την περίπτωση γίνεται θέρμανση στους 72° C για χρονική διάρκεια 15 δευτερολέπτων και ακολουθεί άμεση ψύξη σε θερμοκρασία 5° C ή και ακόμη χαμηλότερη.
- **UHT Pasteurization (Ultra High Temperature)**
Αρχικά γίνεται θέρμανση στους 88° C για χρονική διάρκεια 3 δευτερολέπτων και αμέσως μετά ακολουθεί ψύξη και πάλι σε θερμοκρασία έως 5° C.
- **Ultra Pasteurization**
Γίνεται θέρμανση σε θερμοκρασία 150° C για χρονική διάρκεια λιγότερη από 1 δευτερόλεπτο και ακολουθεί ψύξη έως 5° C.

Αφού λοιπόν έχουν προαναφερθεί τα διάφορα είδη παστερίωσης που υπάρχουν, αξίζει να τονιστεί ότι το είδος παστερίωσης εξ αυτών που επιλέγεται σήμερα στις γαλακτοβιομηχανίες είναι το λεγόμενο HTST Pasteurization (High Temperature – Short Time) με το αντίστοιχο μηχάνημα να φαίνεται στην Εικόνα 4.5 και όπως προαναφέρθηκε θερμαίνει το γάλα σε θερμοκρασία 72° C για 15 δευτερόλεπτα και έπειτα το ψύχει σε θερμοκρασία έως 5° C με τη λειτουργία του να φαίνεται στο Σχήμα 4.4.



Εικόνα 4.5 : Απεικόνιση ενός HTST Παστεριωτή Γαλακτοβιομηχανίας



Σχήμα 4.4 : Απεικόνιση λειτουργίας ενός HTST παστεριωτή γάλακτος

Έχοντας λοιπόν ολοκληρωθεί η διαδικασία της παστερίωσης του γάλακτος, θα πρέπει να γίνουν οι κατάλληλοι έλεγχοι ώστε να επιβεβαιωθεί πως όντως η διαδικασία έγινε σωστά και έχει επιφέρει το επιθυμητό αποτέλεσμα. Για τον λόγο αυτό ακολουθεί την παστερίωση μια διαδικασία ελέγχου γνωστή και ως Έλεγχος Αλκαλικής Φωσφατάσης.

Η αλκαλική φωσφατάση αποτελεί ένα ένζυμο το οποίο υπάρχει με φυσικό τρόπο σε όλα τα μη επεξεργασμένα είδη γάλακτος και λειτουργεί ως δείκτης καλής

παστερίωσης γάλακτος καθώς με την παστερίωση το ένζυμο αυτό καταστρέφεται και άρα δεν υπάρχει πλέον στο γάλα. Ο έλεγχος αυτός, ο οποίος ονομάζεται ALP test μπορεί να ανιχνεύσει ακόμη και μικρά επίπεδα περιεκτικότητας με τα αποτελέσματα να εκφράζονται σε miliunits of ALP ανά λίτρο, με το παστεριωμένο γάλα να είναι στο επίπεδο των 20 miliunits of ALP / λίτρο. Φυσικά αν το παστεριωμένο γάλα αναμειχθεί με μη παστεριωμένο, η τιμή αυτή θα αυξηθεί κατά πολύ.

Με το επιτρεπόμενο όριο να βρίσκεται στα 350 miliunits / λίτρο, το παστεριωμένο γάλα φτάνει σε πολύ χαμηλότερες τιμές (όπως προαναφέρθηκε 20 miliunits / λίτρο) και αυτό συμβαίνει λόγω των πολύ υψηλών θερμοκρασιών στις οποίες γίνεται πλέον η παστερίωση όπως είδαμε και παραπάνω [28].

4.5.4 Διαδικασία πακεταρίσματος των προϊόντων

Έχοντας λοιπόν ολοκληρωθεί η διαδικασία επεξεργασίας γάλακτος, είναι πλέον δεδομένο ότι το τελικό προϊόν είναι ασφαλές προς κατανάλωση αλλά και έχει επιτευχθεί η επιθυμητή υφή και γεύση σε αυτό. Ως τελευταίο βήμα απομένει το πακετάρισμα του γάλακτος ώστε να μπορεί να γίνει η διανομή του στην αγορά με σκοπό να φτάσει στα χέρια του καταναλωτή. Το μόνο λοιπόν που μένει να αποφασιστεί είναι το υλικό με το οποίο θα συσκευαστεί το τελικό προϊόν. Όσον αφορά το θέμα αυτό, τρία είναι τα διαφορετικά είδη συσκευασίας που χρησιμοποιούνται κατά βάση με το καθένα να έχει τα δικά του πλεονεκτήματα και αυτά τα τρία είδη δεν είναι άλλα από [29]:

- Πλαστικές συσκευασίες, που αποτελούν την πιο συνηθισμένη για τον κόσμο επιλογή και είναι πιο ευέλικτες.
- Γυάλινες συσκευασίες, που είναι 100% ανακυκλώσιμες και εύκολες στο άνοιγμα και στο κλείσιμο.
- Χάρτινες συσκευασίες, όπου η συσκευασία αποτελεί μόλις το 4% του συνολικού βάρους του προϊόντος με το υπόλοιπο 96% να αποτελεί το περιεχόμενο.

4.6 Διαδικασία παραγωγής γιαουρτιού

Όσον αφορά το γιαούρτι η διαδικασία που ακολουθείται είναι ίδια με αυτή του γάλακτος, ωστόσο περιλαμβάνει μια ακόμη πολύ σημαντική διεργασία η οποία ουσιαστικά είναι αυτή που μετατρέπει το γάλα σε γιαούρτι.

Όπως είδαμε λοιπόν παραπάνω, το γάλα ακολουθεί όλη τη διαδικασία κανονικά ξεκινώντας από την αποθήκευση και ψύξη, συνεχίζοντας με τον διαχωρισμό άπαχου γάλακτος και κρέμας και την κατάλληλη μίξη αυτών. Στη συνέχεια ακολουθεί η ομογενοποίηση και έπειτα η παστερίωση και ο έλεγχος αυτής. Έχοντας λοιπόν φτάσει στο σημείο αυτό, εκτελείται η σημαντικότερη διεργασία της παραγωγής του γιαουρτιού η οποία ονομάζεται ζύμωση και είναι αυτή που θα οδηγήσει στον σχηματισμό του γιαουρτιού.

Η ζύμωση του γιαουρτιού είναι η τελευταία και σημαντικότερη διεργασία, κατά την οποία θα επιτευχθεί το τελικό και επιθυμητό pH του γιαουρτιού, μειώνοντας έτσι το pH από μια τιμή γύρω στο 7 (pH γάλακτος) σε μια πολύ χαμηλότερη τιμή γύρω στο 4 (pH γιαουρτιού). Κατά τη διαδικασία αυτή λοιπόν εκτελούνται βιοχημικές αντιδράσεις που οδηγούν στην πήξη του γάλακτος και τον σχηματισμό γιαουρτιού. Αυτό συμβαίνει καθώς το γιαούρτι περιλαμβάνει δύο ζωντανά βακτηριακά στελέχη τα οποία ονομάζονται 1) *Streptococcus salivarius* subsp. *Thermophilus* (ST) και 2) *Lactobacillus delbrueckii* subsp. *Bulgaricus* (LB) και τα οποία όταν το γάλα θερμανθεί στην κατάλληλη θερμοκρασία πολλαπλασιάζονται και οδηγούν στην πήξη του αλλά και στην πτώση του pH λόγω του σχηματισμού γαλακτικού οξέος. Όταν το pH του γάλακτος φτάσει κοντά στο 5 η δραστηριότητα του ST περιορίζεται με αυτή του LB να «παίρνει τη σκυτάλη» μέχρι να φτάσει το γιαούρτι πλέον στην επιθυμητή τιμή pH και άρα να σταματήσει η διαδικασία της ζύμωσης. Στο τέλος η θερμοκρασία μειώνεται στους 8° C όπου πλέον φυλάσσεται το γιαούρτι [30].

ΚΕΦΑΛΑΙΟ 5: ΥΛΟΠΟΙΗΣΗ ΤΩΝ ΑΥΤΟΜΑΤΙΣΜΩΝ ΜΙΑΣ ΓΑΛΑΚΤΟΒΙΟΜΗΧΑΝΙΑΣ ΜΕ ΠΡΟΓΡΑΜΜΑΤΙΣΜΟ ΤΩΝ PLC ΚΑΙ ΣΧΕΔΙΑΣΗ ΠΕΡΙΒΑΛΛΟΝΤΟΣ SCADA

Έχοντας δει λοιπόν από τι αποτελείται μια γαλακτοβιομηχανία, καθώς και τον τρόπο λειτουργίας της και σε συνδυασμό με την ανάλυση των αυτοματισμών, το επόμενο βήμα είναι η υλοποίηση των αυτοματισμών μιας τέτοιας βιομηχανίας για να δούμε και στην πράξη πως βρίσκουν εφαρμογή οι αυτοματισμοί στις γαλακτοβιομηχανίες. Για να μπορούμε να πούμε ότι αποτελεί μια ολοκληρωμένη υλοποίηση, θα πρέπει να σχεδιαστεί το περιβάλλον SCADA μέσω του οποίου θα γίνεται η επίβλεψη της γαλακτοβιομηχανίας καθώς και οι επιθυμητές ενέργειες σε αυτή. Φυσικά για να μπορέσει να λειτουργήσει το παραπάνω σύστημα απαιτείται ο προγραμματισμός των PLC με τη χρήση των οποίων θα βρίσκει εφαρμογή το SCADA. Οπότε, η υλοποίηση αποτελείται από δύο στάδια τα οποία θα παρουσιαστούν στο παρόν κεφάλαιο.

5.1 Σχεδίαση περιβάλλοντος SCADA μιας γαλακτοβιομηχανίας

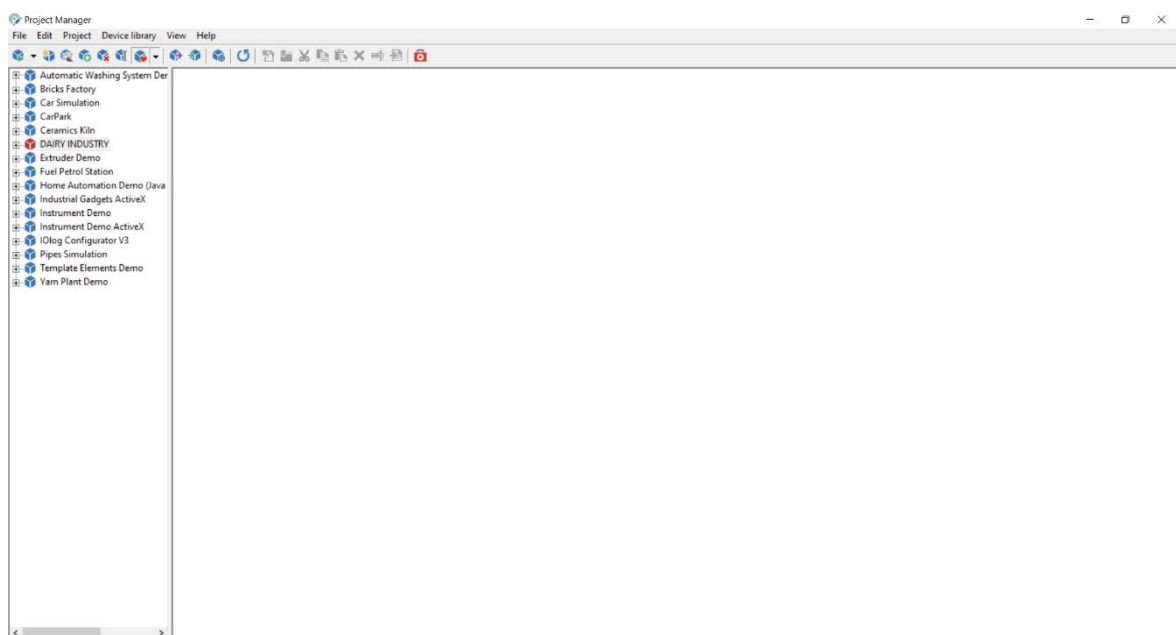
Η σχεδίαση του περιβάλλοντος SCADA αποτελεί σημαντικό κομμάτι ανεξαρτήτου του είδους της βιομηχανίας, καθώς μέσω αυτού του συστήματος γίνεται η επίβλεψη ολόκληρης της διαδικασίας από τον εκάστοτε υπεύθυνο και μέσω αυτού εκτελεί οποιαδήποτε ενέργεια επιθυμεί. Με άλλα λόγια, ο υπεύθυνος βασίζεται στο πρόγραμμα αυτό να του δείξει τη σωστή πληροφορία ανά πάσα ώρα και στιγμή καθώς και να τον ενημερώσει άμεσα για οποιαδήποτε εξέλιξη. Το πρόγραμμα λοιπόν, οφείλει να είναι ακριβές σε οτιδήποτε παρουσιάζει στον χρήστη του, αλλά συγχρόνως πρέπει να είναι και εύκολα κατανοητό ώστε να μπορεί ο υπεύθυνος να το χειρίζεται με άνεση χωρίς να υπάρχει η πιθανότητα να μπερδευτεί και άρα έτσι να αποφευχθεί πιθανή συνθήκη λανθασμένης κατανόησης και χρήσης αυτού.

Ας δούμε λοιπόν την υλοποίηση ενός τέτοιου περιβάλλοντος για την περίπτωση της γαλακτοβιομηχανίας, εξηγώντας παράλληλα τον τρόπο σχεδίασης αυτού αλλά και τον τρόπο λειτουργίας του.

Αρχικά, να αναφέρουμε ότι το λογισμικό μέσω του οποίου πραγματοποιήθηκε η υλοποίηση του συστήματος SCADA ονομάζεται Winlog Lite 3.

5.1.1 Γενική εικόνα προγράμματος Winlog Lite 3

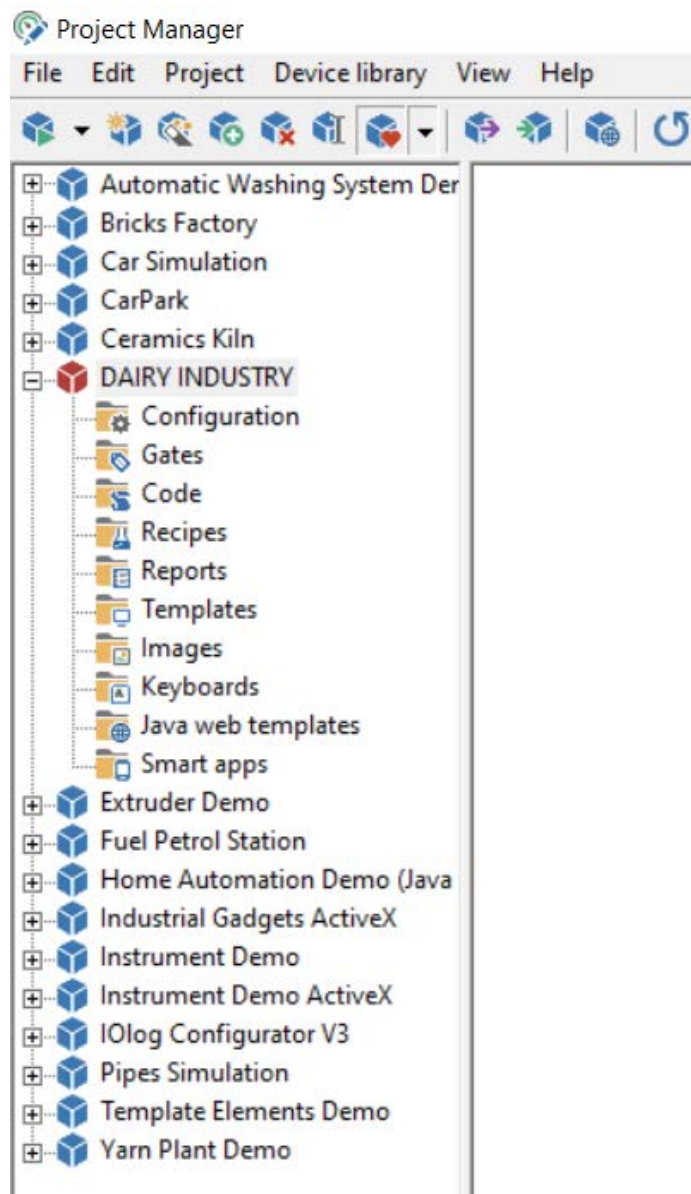
Ανοίγοντας το παραπάνω πρόγραμμα όπως φαίνεται και στην Εικόνα 5.1, υπάρχει μια λίστα στα αριστερά με ήδη υπάρχοντα προγράμματα τα οποία λειτουργούν ως παραδείγματα για τον χρήστη.



Εικόνα 5.1: Περιβάλλον προγράμματος Winlog Lite 3

5.1.2 Δημιουργία του αρχείου της γαλακτοβιομηχανίας

Το πρώτο βήμα λοιπόν για τον σχεδιασμό του περιβάλλοντος μιας γαλακτοβιομηχανίας είναι να δημιουργήσουμε το αρχείο αυτής, που όπως φαίνεται στην Εικόνα 5.2, όπως κάθε άλλο αρχείο έτσι και αυτό έχει τα προκαθορισμένα πεδία του.



Εικόνα 5.2: Επιμέρους πεδία αρχείου γαλακτοβιομηχανίας

5.1.3 Διαδικασία υλοποίησης προγράμματος γαλακτοβιομηχανίας – Σχεδίαση του περιβάλλοντος (templates)

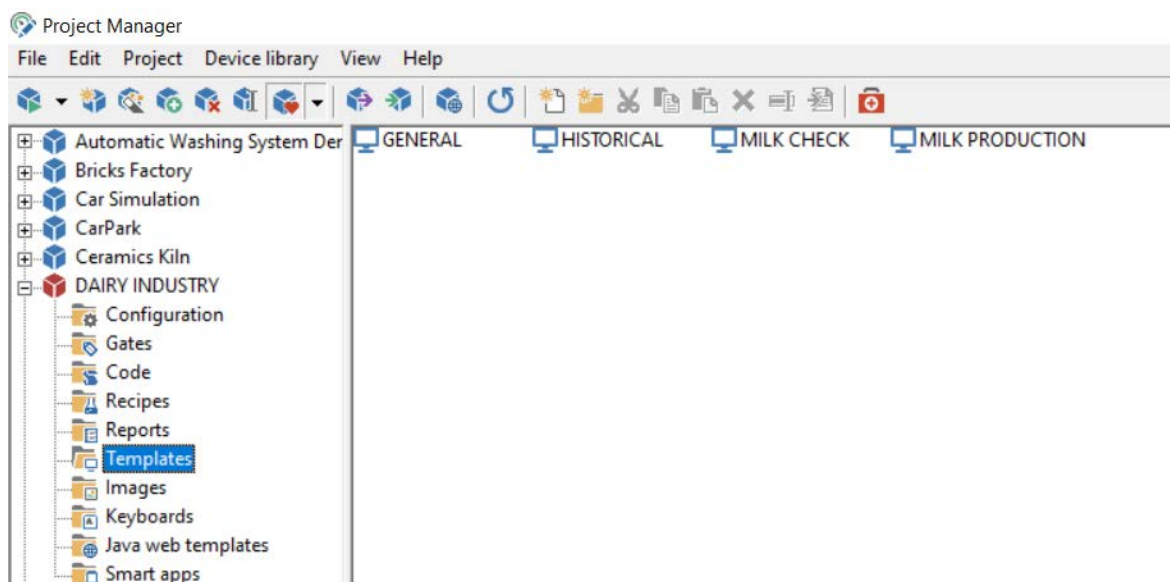
Έχοντας πλέον μια πολύ γενική εικόνα για το πρόγραμμα που χρησιμοποιήθηκε, αφήνουμε τα τυπικά και περνάμε στην υλοποίηση του προγράμματός μας.

Το πρώτο και βασικότερο βήμα κατά την υλοποίηση ενός προγράμματος SCADA είναι η απόφαση για το πως θα μοιάζουν τα περιβάλλοντα τα οποία θα προβάλλει το πρόγραμμα και τα οποία θα βλέπει ο χρήστης κατά τη χρήση αυτού.

Στην περίπτωση μας, πάρθηκε η απόφαση να είναι τέσσερα σε αριθμό τα περιβάλλοντα αυτά με το καθένα εξ αυτών να έχει διαφορετικό σκοπό και ο συνδυασμός τους να μπορεί να καλύψει όλο το εύρος της γαλακτοβιομηχανίας ώστε η πληροφορία που παρέχεται στον χρήστη να του επαρκεί ανά πάσα στιγμή.

Σύμφωνα και με την Εικόνα 5.3, τα τέσσερα templates που υλοποιήθηκαν είναι τα εξής:

- General Template
- Milk Check Template
- Milk Production Template
- Historical Template



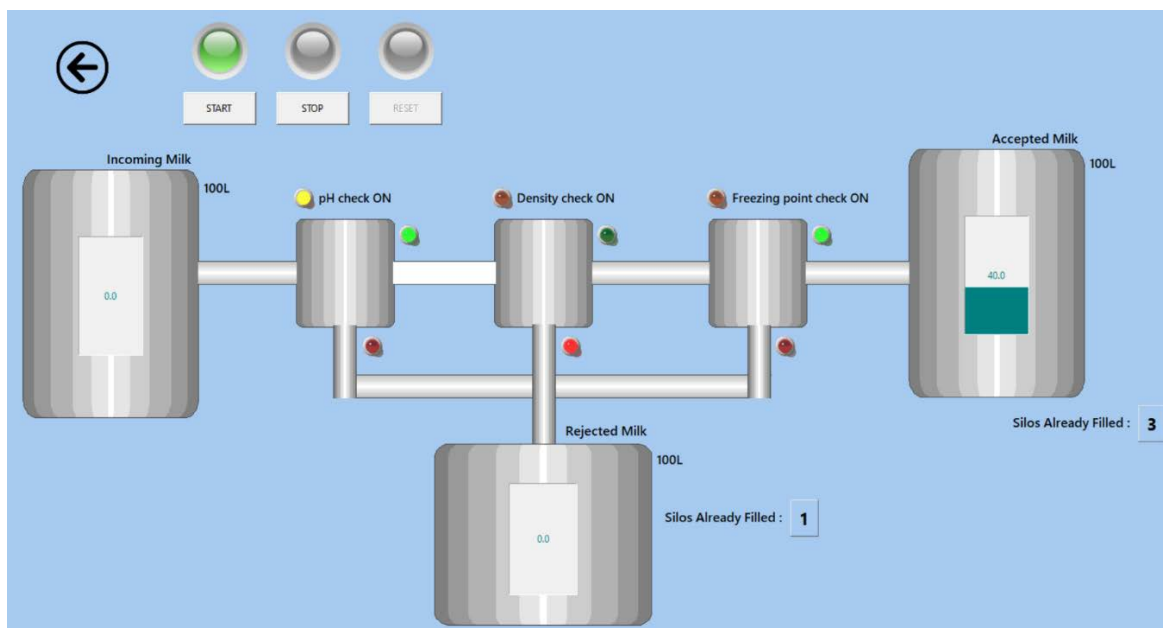
Εικόνα 5.3: Τα τέσσερα templates της γαλακτοβιομηχανίας

Έχοντας αναφέρει λοιπόν ποια είναι τα τέσσερα templates που υλοποιήθηκαν, ακολουθεί η αναλυτική επεξήγηση καθενός εξ αυτών, εξηγώντας για το καθένα ποιος είναι ο λόγος που αποφασίστηκε η υλοποίησή του, τι είναι αυτό που απεικονίζει, ποιες είναι οι διάφορες περιστάσεις που μπορεί να προκύψουν κατά τη λειτουργία μιας γαλακτοβιομηχανίας και πως το συγκεκριμένο περιβάλλον θα βοηθήσει τον χρήστη σε μια τέτοια περίπτωση να τις αντιμετωπίσει αλλά και να λάβει τις σωστές αποφάσεις.

➤ Milk Check Template

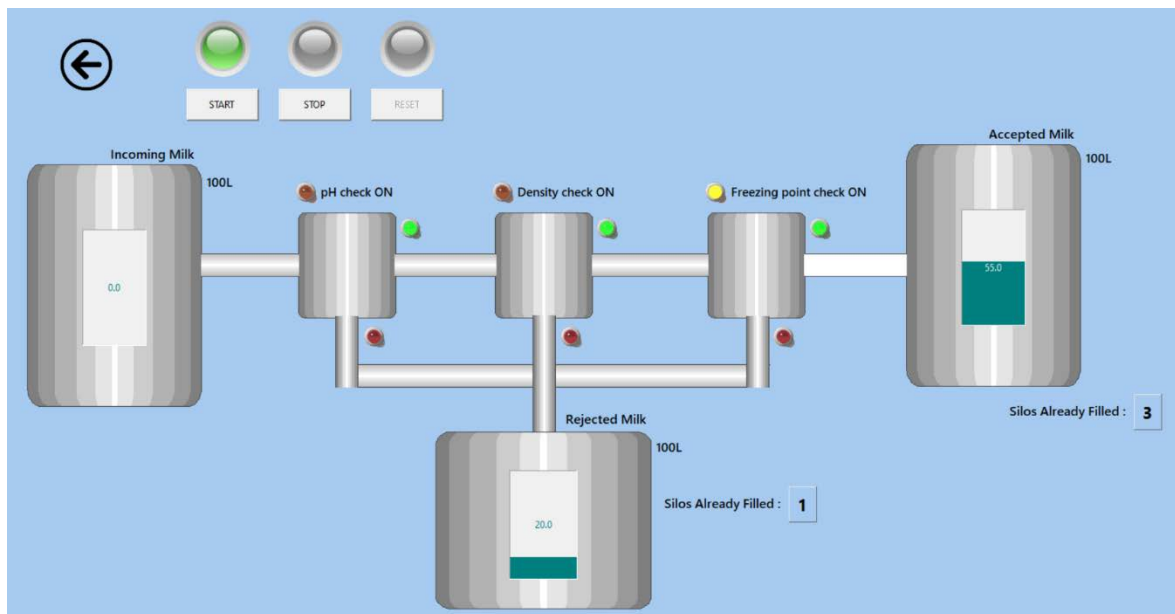
Αποτελεί το περιβάλλον, το οποίο αφορά το στάδιο του ελέγχου του γάλακτος κατά την άφιξη του στη γαλακτοβιομηχανία. Όπως έχει ήδη προαναφερθεί στο 4^ο κεφάλαιο, το πρώτο στάδιο κατά την άφιξη του γάλακτος στη βιομηχανία είναι ο έλεγχος αυτού, ο οποίος γίνεται μέσω συγκεκριμένων διαδικασιών που είδαμε παραπάνω και μετά το πέρας αυτού το γάλα που πληροί τις απαραίτητες προϋποθέσεις προωθείται στη διαδικασία παραγωγής ενώ αυτό που δεν πληροί τις προϋποθέσεις απορρίπτεται.

Όπως φαίνεται λοιπόν και στην Εικόνα 5.4, η διαδικασία του ελέγχου ξεκινάει από το δοχείο με το εισερχόμενο γάλα (Incoming Milk), και περνώντας σειριακά στα κατάλληλα δοχεία γίνεται ο έλεγχος αρχικά για το pH αυτού, έπειτα για την πυκνότητά του και τέλος για τη θερμοκρασία πήξης που όπως είδαμε παραπάνω αποτελούν τους βασικότερους ελέγχους στις γαλακτοβιομηχανίες.



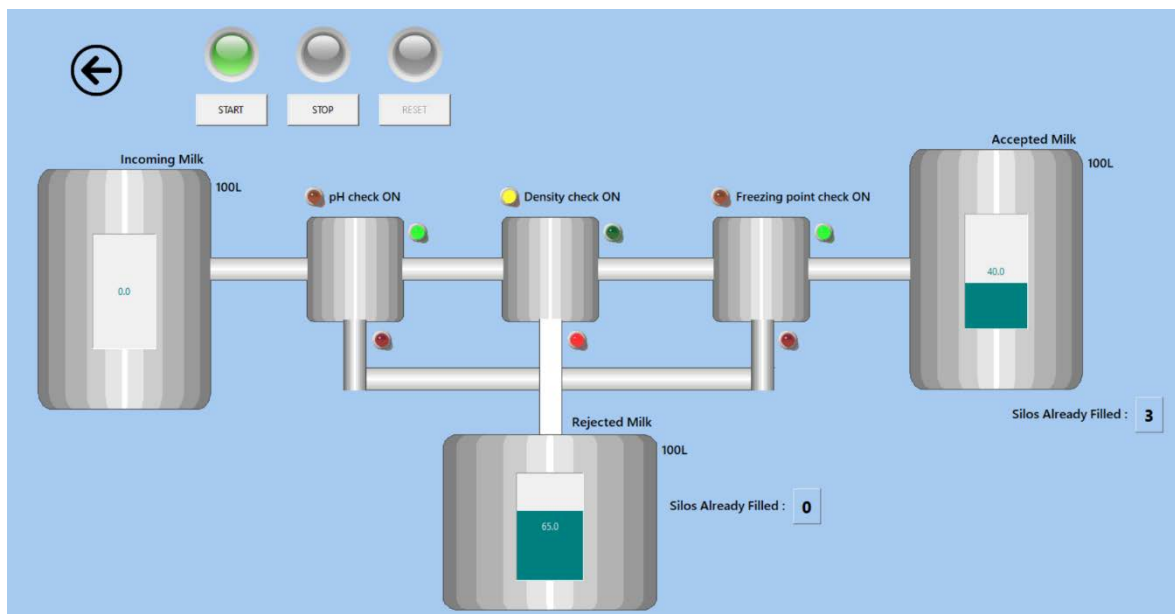
Εικόνα 5.4: Στιγμιότυπο κατά την εξέλιξη του ελέγχου όπου πέτυχε το pH check και μεταφέρει το γάλα στο επόμενο δοχείο για τον επόμενο έλεγχο

Σε περίπτωση που επιτύχουν όλοι οι επιμέρους έλεγχοι σύμφωνα με την Εικόνα 5.5, το γάλα γίνεται αποδεκτό και άρα περνάει στο κατάλληλο δοχείο (Accepted Milk) ώστε να οδηγηθεί στη διαδικασία παραγωγής.

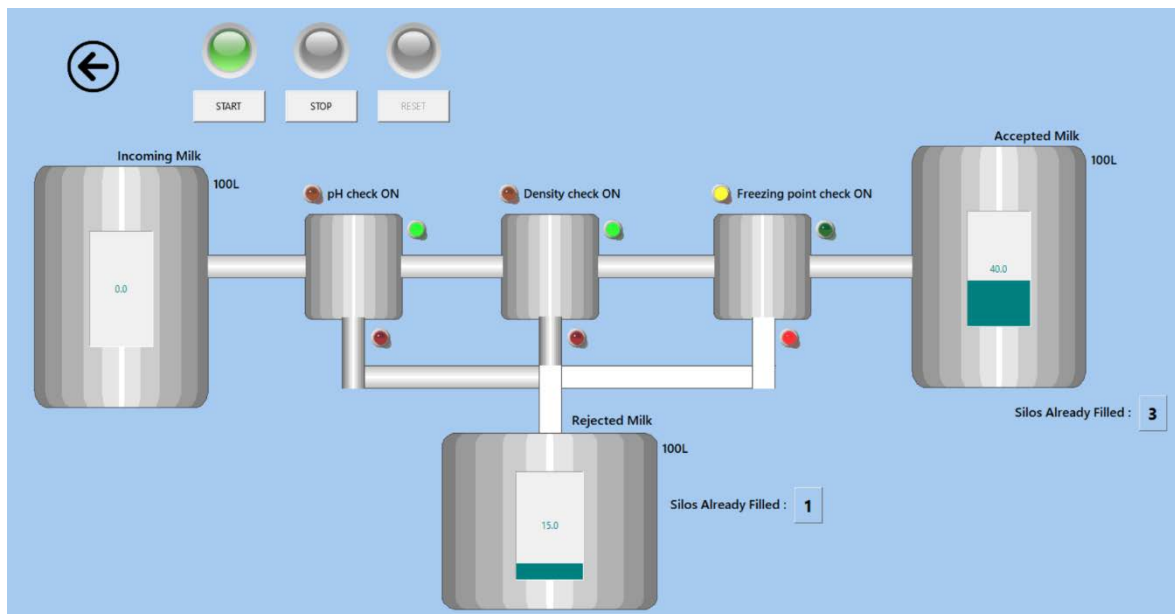


Εικόνα 5.5: Στιγμιότυπο κατά την εξέλιξη του ελέγχου όπου πέτυχε ο τελευταίος χρονικά έλεγχος (έχοντας ήδη επιτύχει οι πρώτοι δύο) και άρα το γάλα περνάει στο δοχείο με το αποδεκτό γάλα

Σε περίπτωση αποτυχίας έστω ενός εκ των τριών επιμέρους ελέγχων όπως στις Εικόνες 5.6 και 5.7, το γάλα απορρίπτεται και άρα περνάει στο αντίστοιχο δοχείο (Rejected Milk).



Εικόνα 5.6: Στιγμιότυπο κατά την εξέλιξη του ελέγχου όπου απέτυχε ο έλεγχος της πυκνότητας και άρα το γάλα περνάει στο δοχείο με το απορριπτέο γάλα



Εικόνα 5.7: Στιγμιότυπο κατά την εξέλιξη του ελέγχου όπου απέτυχε ο έλεγχος της πήξης και άρα το γάλα περνάει στο δοχείο με το απορριπτέο γάλα

Όπως θα έχει γίνει ήδη κατανοητό, κατά τη διάρκεια που βρίσκεται σε εξέλιξη κάποιος έλεγχος είναι αναμμένη η αντίστοιχη κίτρινη λυχνία και σε περίπτωση επιτυχίας αυτού ανάβει η πράσινη λυχνία ενώ σε περίπτωση αποτυχίας η κόκκινη λυχνία. Όσο κάποιος έλεγχος δεν βρίσκεται σε εξέλιξη, η κίτρινη λυχνία σβήνει ενώ η πράσινη και η κόκκινη λυχνία παραμένουν στην κατάσταση που απέκτησαν από τον τελευταίο χρονικά τέτοιου είδους έλεγχο που εξελίχθηκε. Ακόμη, δίπλα από την απεικόνιση καθενός δοχείου υπάρχει και η ενημέρωση που αφορά στον αριθμό των δοχείων που έχουν γεμίσει ως τώρα. Ο αριθμός αυτός μηδενίζεται σε περίπτωση που πατηθεί το κουμπί Reset όπως και τα ποσοστά των δοχείων. Σε περίπτωση που πατηθεί το κουμπί Stop, η εξέλιξη της διαδικασίας σταματάει.

➤ Milk Production Template

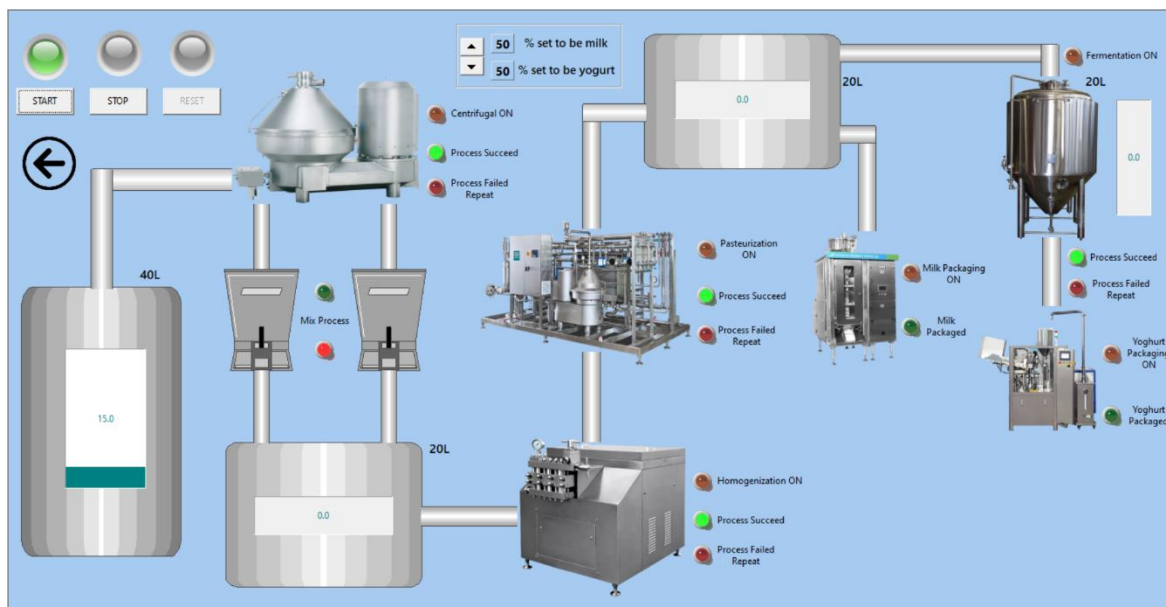
Αποτελεί το περιβάλλον το οποίο αφορά τη διαδικασία παραγωγής γάλακτος και γιαουρτιού. Ξεκινάει από το ελεγμένο γάλα το οποίο είδαμε προηγουμένως πως ακριβώς ελέγχεται και έπειτα ακολουθείται μια σειρά από διαδικασίες οι οποίες αναλύθηκαν στο 4^ο κεφάλαιο και με την ολοκλήρωση αυτών η γαλακτοβιομηχανία φτάνει στην τελική παραγωγή πακέτων γάλακτος και γιαουρτιού, όντας σίγουροι οι άνθρωποι της, πως το κάθε ένα προϊόν ξεχωριστά

είναι απολύτως ασφαλές προς κατανάλωση αλλά και πεπεισμένοι πως έχει επιτευχθεί η κατάλληλη γεύση και υφή ώστε ο καταναλωτής να μείνει απολύτως ευχαριστημένος.

Η σειρά αυτών των διαδικασιών συνοπτικά είναι η εξής:

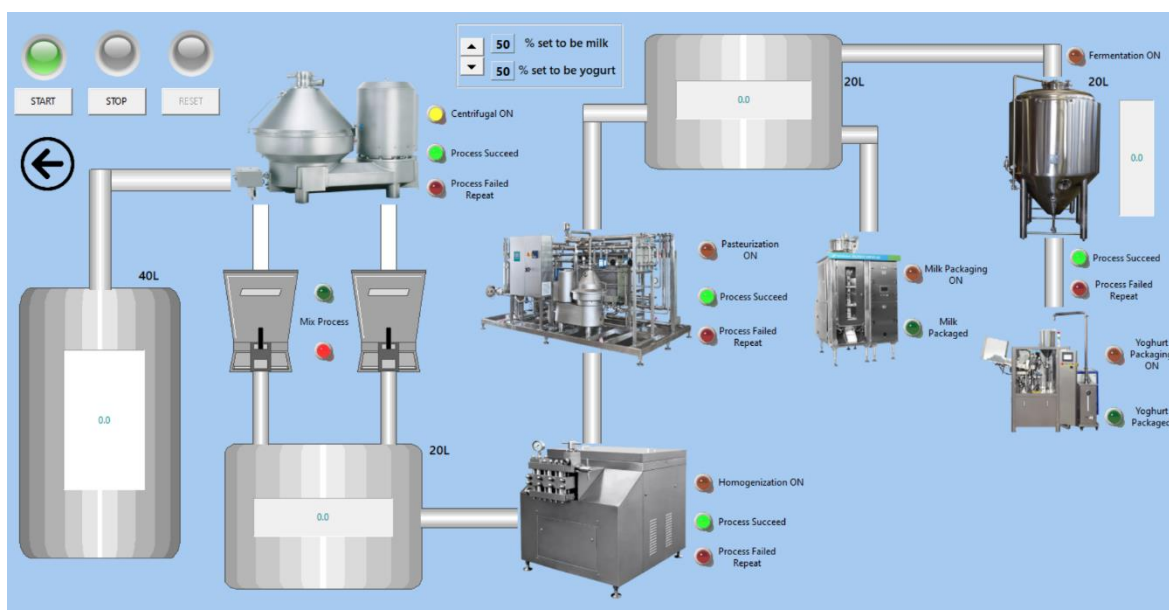
- Λήψη του ελεγμένου γάλακτος
- Διαδικασία φυγοκέντρισης και άρα διαχωρισμός άπαχου γάλακτος και κρέμας
- Κατάλληλη μίξη των δύο ώστε να επιτευχθεί το επιθυμητό ποσοστό λίπους
- Διαδικασία ομογενοποίησης του γάλακτος
- Διαδικασία παστερίωσης του γάλακτος και έλεγχος αυτής
- Αποθήκευση σε silo και διαχωρισμός της ποσότητας που προορίζεται για παραγωγή γιαουρτιού με προώθησή της σε δοχείο ζύμωσης
- Διαδικασία ζύμωσης για το γιαούρτι
- Πακετάρισμα γάλακτος και γιαουρτιού
- Παραλαβή των πακέτων με φορτηγό και προώθηση στην αγορά

Όλα τα παραπάνω φαίνονται στην Εικόνα 5.8 όπου απεικονίζεται το template της διαδικασίας παραγωγής γάλακτος.

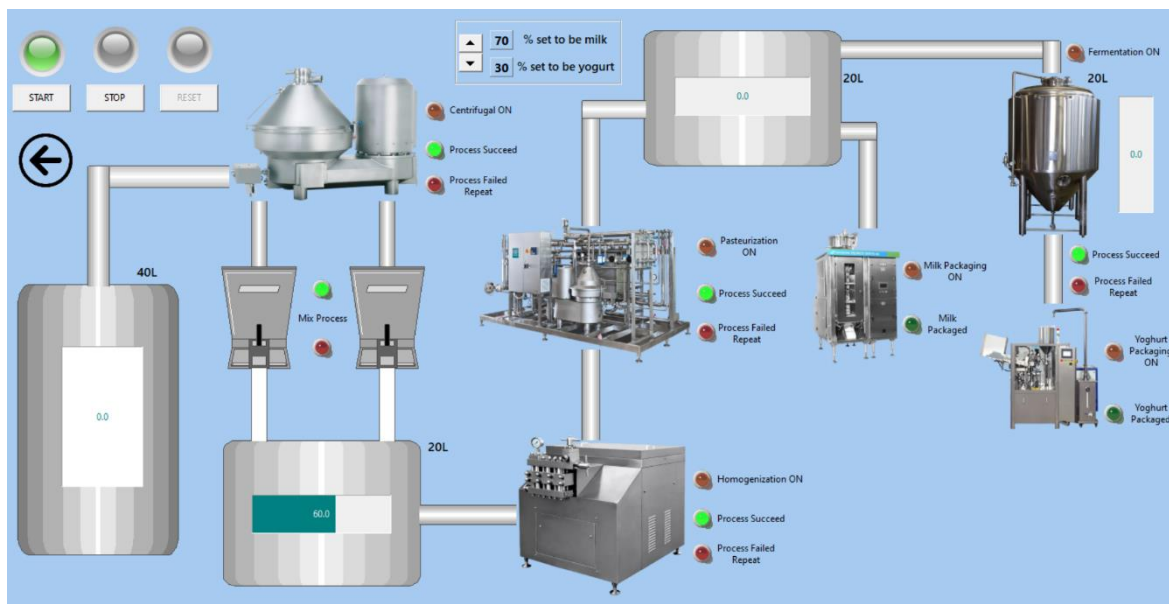


Εικόνα 5.8: Στιγμιότυπο κατά την πλήρωση του δοχείου με ελεγμένο γάλα ώστε να ξεκινήσει η διαδικασία παραγωγής

Ακολουθούν ορισμένα στιγμιότυπα στις Εικόνες 5.9 έως 5.12 από διάφορες στιγμές κατά την εξέλιξη της διαδικασίας παραγωγής γάλακτος και γιαουρτιού:



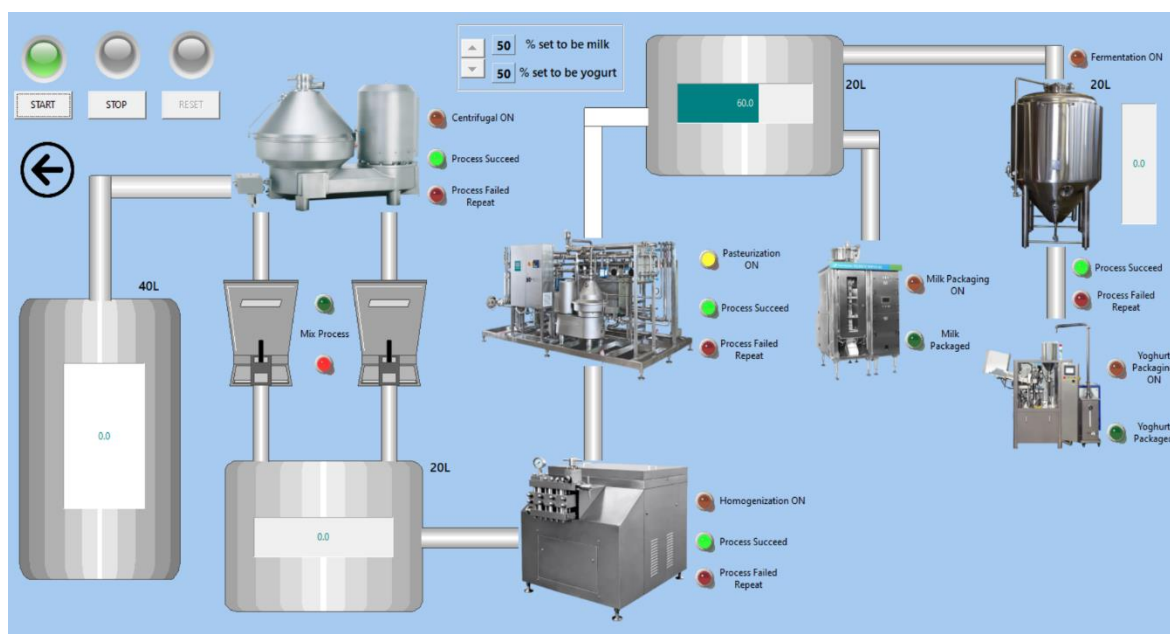
Εικόνα 5.9: Στιγμιότυπο κατά την εξέλιξη της διαδικασίας παραγωγής όπου η φυγοκέντριση έχει μόλις επιτευχθεί και το γάλα χωρίζεται σε άπαχο και κρέμα



Εικόνα 5.10: Στιγμιότυπο κατά την εξέλιξη της διαδικασίας παραγωγής όπου γίνεται μίξη μεταξύ άπαχου γάλακτος και κρέμας

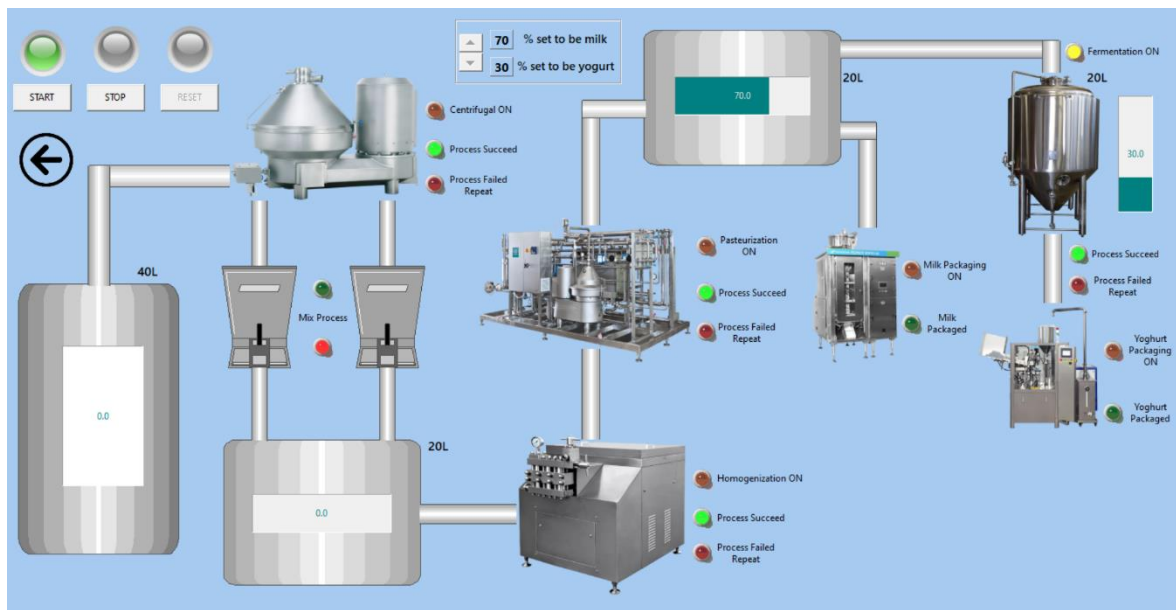
Να αναφερθεί στο σημείο αυτό ότι όπως και στο στάδιο του ελέγχου, έτσι κι εδώ, για κάθε διεργασία όσο αυτή βρίσκεται σε εξέλιξη ανάβει η κίτρινη λυχνία και

με την ολοκλήρωση αυτής σε περίπτωση επιτυχίας ανάβει η πράσινη λυχνία. Η διαφορά είναι ότι σε περίπτωση αποτυχίας κατά τη διαδικασία της παραγωγής δεν οδηγούμαστε σε απόρριψη του γάλακτος αλλά σε επανάληψη της διεργασίας που έχει αποτύχει έως ότου αυτή πετύχει και στην περίπτωση αυτή ανάβει η κόκκινη λυχνία από τη στιγμή της αποτυχίας και παραμένει αναμμένη καθόλη τη διάρκεια της επανάληψης της συγκεκριμένης διεργασίας.



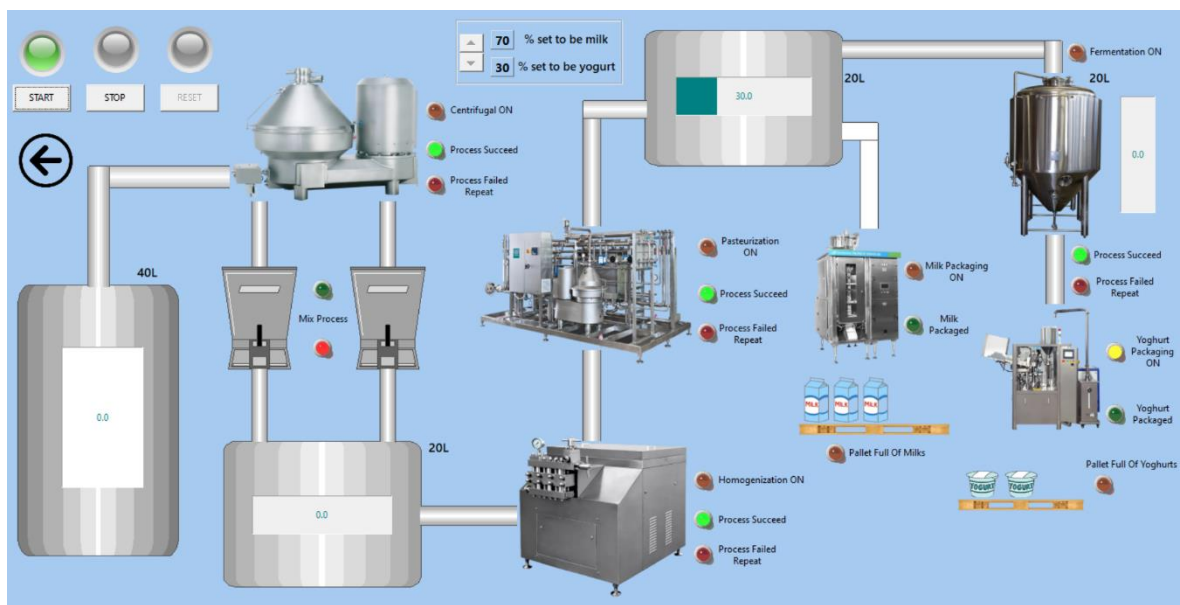
Εικόνα 5.11: Στιγμιότυπο κατά την εξέλιξη της διαδικασίας παραγωγής όπου μόλις έχει επιτύχει η παστερίωση και αποθηκεύεται το γάλα στο δοχείο

Πριν τη μεταφορά ενός ποσοστού του γάλακτος στο δοχείο ζύμωσης με σκοπό να γίνει γιαούρτι, αξίζει να αναφερθεί ότι έχει προβλεφθεί ρυθμιστής (ψηλά στο κέντρο) μέσω του οποίου ο χρήστης μπορεί πολύ εύκολα να ρυθμίσει ποιο θα είναι το ποσοστό της συγκεκριμένης «παρτίδας» γάλακτος που πρόκειται να συσκευαστεί ως γάλα και αντίστοιχα το υπόλοιπο ποσοστό γάλακτος πρόκειται να γίνει γιαούρτι και άρα θα περάσει στο δοχείο ζύμωσης και έπειτα θα συσκευαστεί ως γιαούρτι. Η ρύθμιση αυτή μπορεί να γίνει από την πρώτη στιγμή που ξεκινάει να γεμίζει το αρχικό δοχείο με το ελεγμένο γάλα έως και τη στιγμή που ολοκληρώνεται η παστερίωση. Εφόσον ολοκληρωθεί η παστερίωση και ξεκινήσει η διαδικασία πλήρωσης του δοχείου όπως βλέπουμε στην Εικόνα 5.11, ο ρυθμιστής κλειδώνει και η αναλογία των ποσοστών δεν μπορεί να αλλάξει έως ότου ξεκινήσει η διαδικασία παραγωγής για την επόμενη παρτίδα γάλακτος.

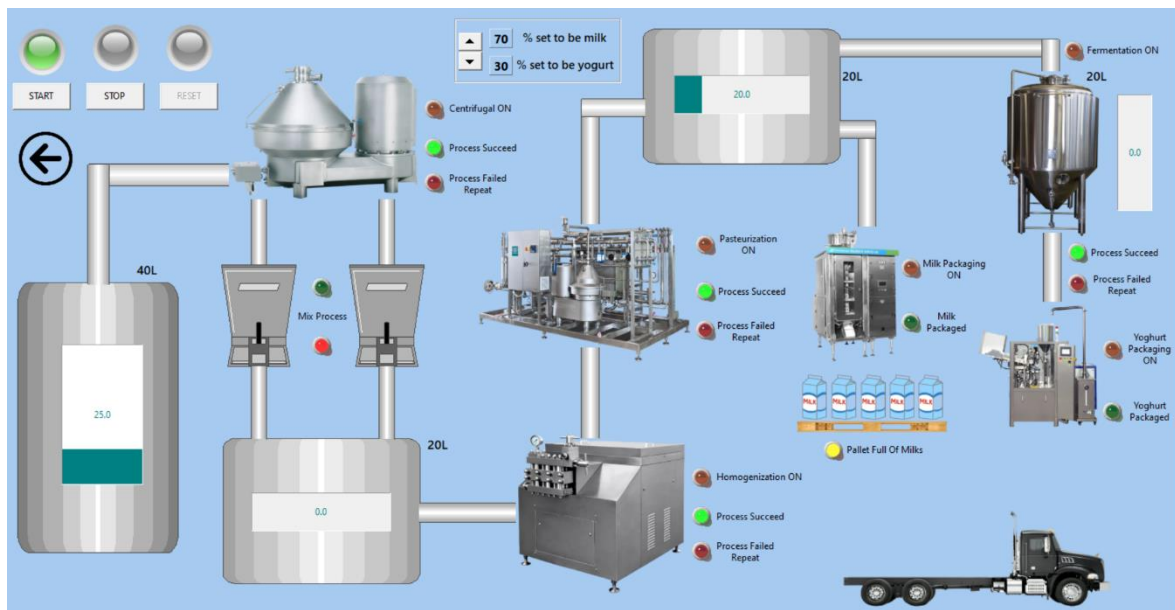


Εικόνα 5.12: Στιγμιότυπο κατά την εξέλιξη της διαδικασίας παραγωγής όπου σύμφωνα με τον ρυθμιστή έτσι και στην πράξη το 30% του γάλακτος περνάει στο δοχείο ζύμωσης και το 70% ετοιμάζεται για πακετάρισμα

Ακολουθούν ορισμένα στιγμιότυπα στις Εικόνες 5.13 έως 5.15 από τη διαδικασία του πακεταρίσματος κατά την εξέλιξη της διαδικασίας παραγωγής γάλακτος και γιαουρτιού:



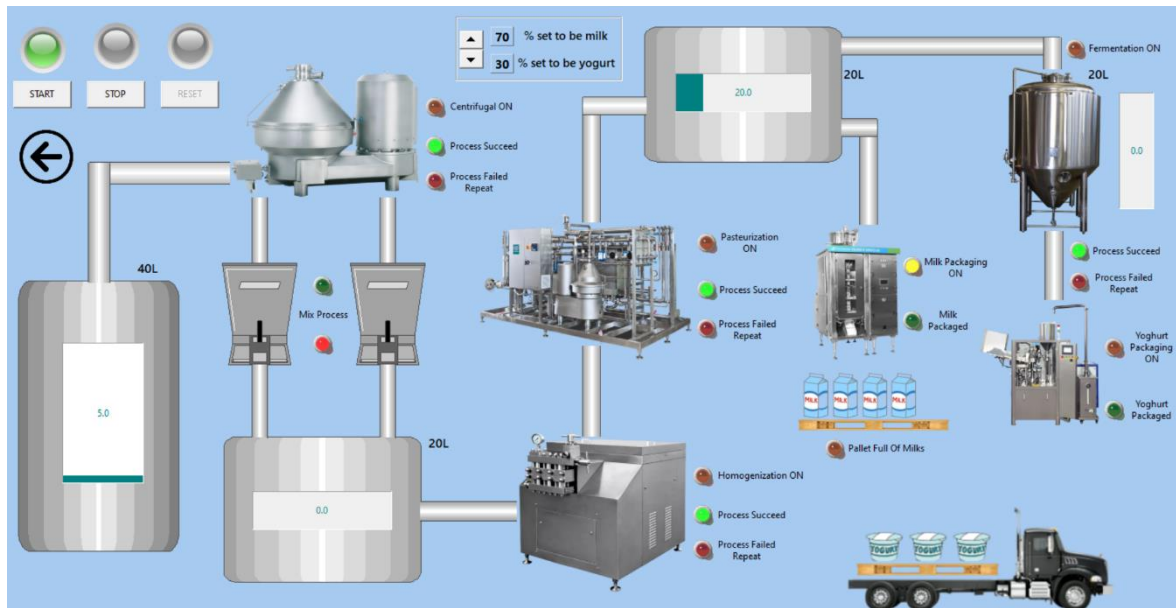
Εικόνα 5.13: Στιγμιότυπο πακεταρίσματος κατά την εξέλιξη της διαδικασίας παραγωγής



Εικόνα 5.14: Στιγμιότυπο κατά την εξέλιξη της διαδικασίας παραγωγής με πλήρωση της παλέτας όπου έρχεται το φορτηγό για να την παραλάβει

Όπως φαίνεται στην Εικόνα 5.14 όταν στην παλέτα φορτωθούν 5 πακέτα τότε η παλέτα γεμίζει και ανάβει η κίτρινη λυχνία που δείχνει ότι πρέπει να έρθει το φορτηγό για να την παραλάβει. Ωστόσο, στην περίπτωση που το πακετάρισμα τελειώσει, ακόμη και να μην έχουν φορτωθεί 5 πακέτα, η παλέτα θεωρείται γεμάτη καθώς δεν υπάρχει άλλο πακέτο στη γραμμή παραγωγής και άρα και σε αυτή την περίπτωση θα έρθει το φορτηγό για να την παραλάβει όπως στην Εικόνα 5.15. Ακόμη, όπως πιθανότατα θα παρατηρήσατε το φορτηγό δεν φορτώνει συγχρόνως γάλατα και γιαούρτια αλλά ξεχωριστά.

Στο τέλος της διαδικασίας και εφόσον πλέον δεν υπάρχει γάλα στη γραμμή παραγωγής αλλά έχουν δημιουργηθεί όλα τα πακέτα και έχει πραγματοποιηθεί η παραλαβή αυτών από το φορτηγό, εμφανίζεται ένα μήνυμα στο χρήστη (Alert), το οποίο τον ειδοποιεί ότι η διαδικασία ολοκληρώθηκε και τον ενημερώνει για τον αριθμό των πακέτων (τόσο γάλακτος όσο και γιαουρτιού) που δημιουργήθηκαν.



Εικόνα 5.15: Στιγμιότυπο κατά την εξέλιξη της διαδικασίας παραγωγής με το φορτηγό να παραλαμβάνει την παλέτα με τα γιαούρτια

➤ General Template

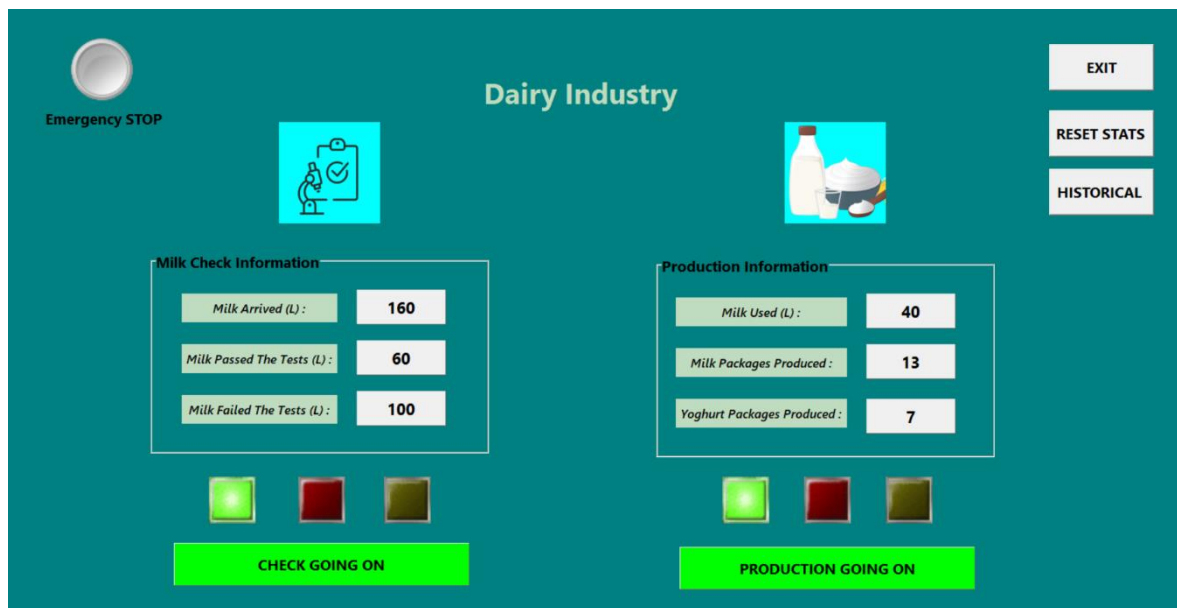
Αποτελεί το αρχικό περιβάλλον το οποίο βλέπει ο χρήστης κατά τη σύνδεση του στο σύστημα SCADA και φαίνεται στην Εικόνα 5.16. Όπως είναι εύκολα κατανοητό και από την ονομασία του, αποτελεί το γενικό περιβάλλον στο οποίο εμφανίζονται τα στατιστικά στοιχεία της γαλακτοβιομηχανίας. Πιο συγκεκριμένα, παρέχει πληροφορία και για τις δύο επιμέρους διαδικασίες (ελέγχου και παραγωγής) με την πληροφορία αυτή να έχει ως εξής:

Για τη διαδικασία ελέγχου:

- ✓ Κατάσταση λειτουργίας (ON, OFF, RESETEED)
- ✓ Ποσότητα γάλακτος που έχει φτάσει στη γαλακτοβιομηχανία
- ✓ Ποσότητα γάλακτος που έχει περάσει επιτυχώς τους ελέγχους
- ✓ Ποσότητα γάλακτος που απορρίφθηκε κατά τους ελέγχους
- ✓ Δυνατότητα μεταφοράς στο περιβάλλον ελέγχου

Για τη διαδικασία παραγωγής:

- ✓ Κατάσταση λειτουργίας (ON, OFF, RESETED)
- ✓ Ποσότητα ελεγμένου γάλακτος που έχει χρησιμοποιηθεί ως τώρα
- ✓ Αριθμός πακέτων γάλακτος που έχουν παραχθεί
- ✓ Αριθμός πακέτων γιαουρτιού που έχουν παραχθεί
- ✓ Δυνατότητα μεταφοράς στο περιβάλλον παραγωγής

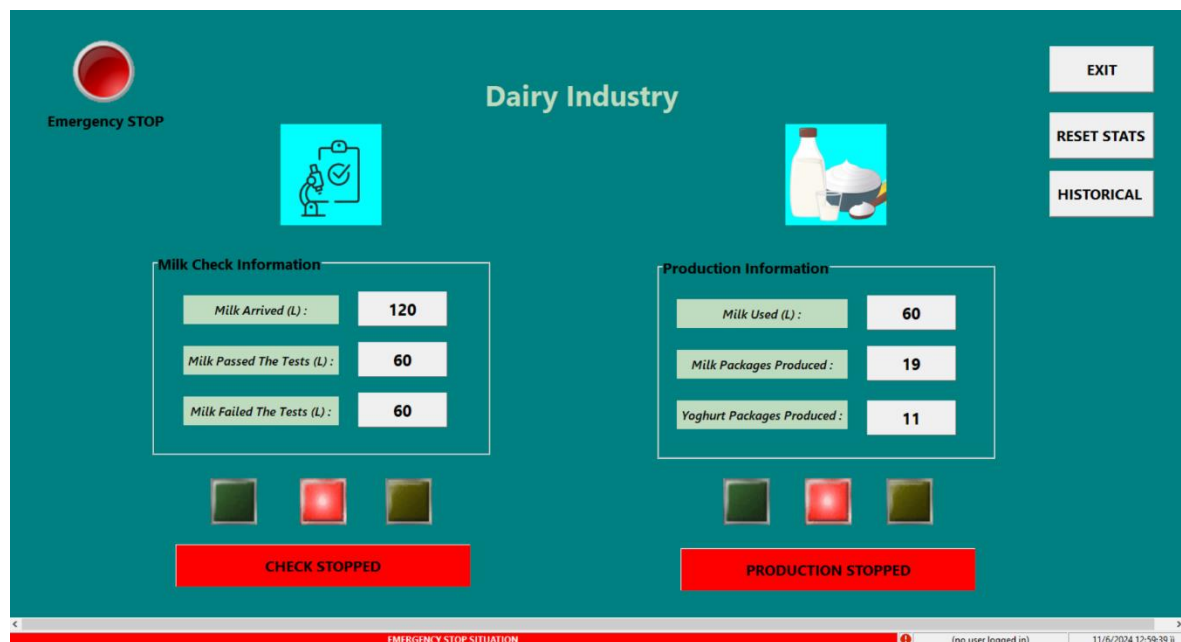


Εικόνα 5.16: Στιγμιότυπο κατά την εξέλιξη τόσο της διαδικασίας του ελέγχου όσο και της διαδικασίας της παραγωγής

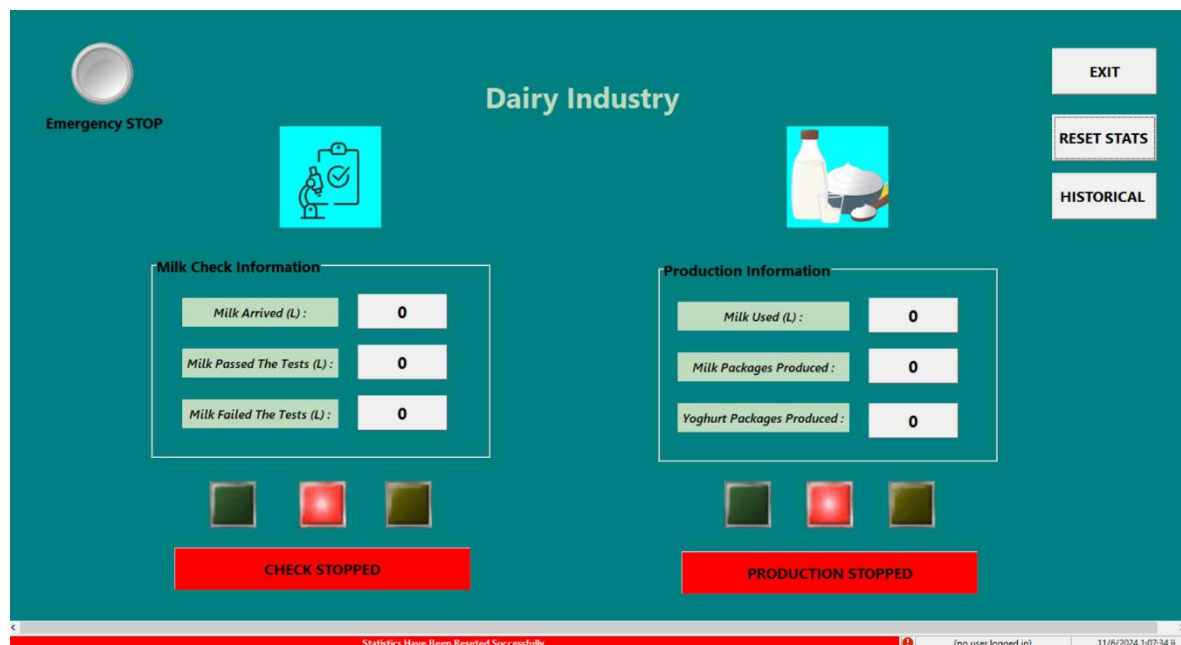
Στο περιβάλλον αυτό, ο χρήστης έχει τη δυνατότητα να «κλικάρει» σε όποιο επιθυμεί από τα δύο γαλάζια σύμβολα και να μεταφερθεί στο περιβάλλον της εκάστοτε διαδικασίας.

Όσον αφορά τα επιπλέον κουμπιά που υπάρχουν στο περιβάλλον αυτό, υπάρχει πάνω αριστερά ένα κουμπί «Emergency Stop» το οποίο σε περίπτωση που πατηθεί, όπως φαίνεται στην Εικόνα 5.17, αυτόματα σταματάνε και οι δύο διαδικασίες και εμφανίζεται alarm «Emergency Stop Situation». Ακόμη, υπάρχει το κουμπί «Reset Stats» το οποίο σε περίπτωση που πατηθεί όπως φαίνεται και στην Εικόνα 5.18 θα μηδενιστούν όλες οι τιμές και για τις δύο διαδικασίες. Το κουμπί αυτό μπορεί να πατηθεί μόνο σε συγκεκριμένες χρονικές στιγμές. Τέλος,

υπάρχει και το κουμπί Historical το οποίο οδηγεί στο αντίστοιχο template το οποίο αναλύεται παρακάτω.



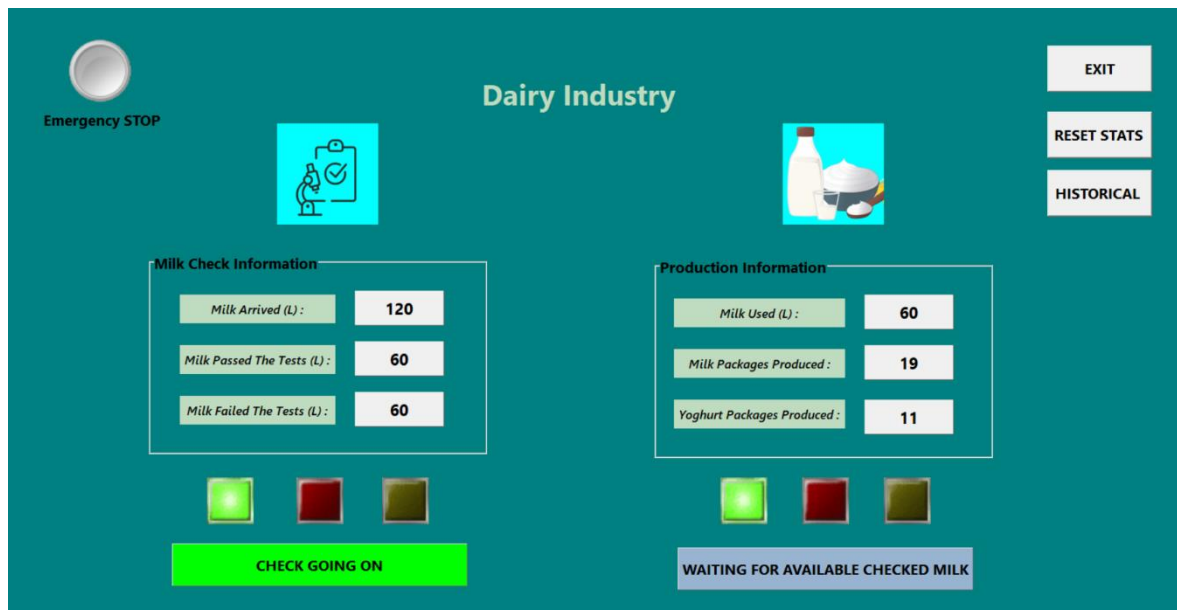
Εικόνα 5.17: Στιγμιότυπο μετά το πάτημα του κουμπιού «Emergency Stop»



Εικόνα 5.18: Στιγμιότυπο μετά το πάτημα του κουμπιού «Reset Stats»

Πολύ σημαντικό να αναφερθεί ότι αυτό που συνδέει τις δύο διαδικασίες είναι η ποσότητα καθαρού γάλακτος. Αυτό ισχύει καθώς αν δεν υπάρχει διαθέσιμο

καθαρό γάλα δεν μπορεί να ξεκινήσει η διαδικασία παραγωγής. Σύμφωνα λοιπόν με την Εικόνα 5.19, σε περίπτωση που έχει χρησιμοποιηθεί όλο το καθαρό γάλα, η διαδικασία παραγωγής μπαίνει σε φάση αναμονής με την κατάσταση λειτουργίας να γίνεται «Waiting For Available Checked Milk».



Εικόνα 5.19: Στιγμιότυπο σε περίπτωση μη διαθέσιμου καθαρού γάλακτος

➤ Historical Template

Αποτελεί ένα περιβάλλον το οποίο όπως προκύπτει και από την ονομασία του έχει ως σκοπό να διατηρεί το ιστορικό της γαλακτοβιομηχανίας. Αυτό το κάνει κρατώντας δεδομένα τόσο για τα Alarms που αποτελούν γεγονότα τα οποία εμφανίζονται στον χρήστη κατά την εκτέλεση με τη μορφή μηνυμάτων, όσο και για τα Events τα οποία αποτελούν γεγονότα που όμως δεν εμφανίζονται με μορφή μηνυμάτων και απλώς καταγράφονται.

Να αναφερθεί ότι έχουν προβλεφθεί Events που σηματοδοτούν:

- ✓ Την έναρξη της διαδικασίας παραγωγής
- ✓ Την ολοκλήρωση της διαδικασίας παραγωγής και ενημερώνουν για τα διαθέσιμα λίτρα καθαρού γάλακτος που απομένουν προς παραγωγή
- ✓ Την ενημέρωση για τα στατιστικά δεδομένα της γαλακτοβιομηχανίας πριν γίνει το Reset Stats (σε περίπτωση που αυτό γίνει)

Καθώς αντίστοιχα και Alarms που σηματοδοτούν:

- ✓ Την ολοκλήρωση της διαδικασίας παραγωγής και ενημερώνουν για τον αριθμό των πακέτων γάλακτος και γιαουρτιού που παράχθηκαν
- ✓ Περίπτωση έκτακτης ανάγκης (Emergency Stop)
- ✓ Περίπτωση που εκτελεστεί Reset Stats

Όλα αυτά φαίνονται στην Εικόνα 5.20 όπου τόσο τα Events όσο και τα Alarms καταγράφονται στο περιβάλλον του ιστορικού της γαλακτοβιομηχανίας.

EVENT HISTORY						EXIT						ALARM HISTORY					
Config	Filter	Print	Save as CSV	Message	Start Date	Start Time	End Date	End Time	Config	Filter	Print	Save as CSV	Message	Start Date	Start Time	End Date	End Time
				Exit supervision session	11/6/2024	1:13:08	---	---					Start supervision session	11/6/2024	1:09:50	---	---
				Start supervision session	11/6/2024	1:15:29	---	---					Truck Arrived To Load 3 Yoghurt Packages	11/6/2024	1:11:58	---	---
				Production Ended: 6 Milk & 4 Yoghurt Packages Produced	11/6/2024	1:17:03	---	---					Truck Arrived To Load 2 Milk Packages	11/6/2024	1:12:18	---	---
				Production Process Started	11/6/2024	1:17:25	---	---					Production Ended: ked Milk Left	11/6/2024	1:12:19	---	---
				Exit supervision session	11/6/2024	1:17:59	---	---					Exit supervision session	11/6/2024	1:12:37	---	---
				Start supervision session	11/6/2024	1:40:33	---	---					Start supervision session	11/6/2024	1:12:43	---	---
				Production Ended: 6 Milk & 4 Yoghurt Packages Produced	11/6/2024	1:42:21	---	---					Exit supervision session	11/6/2024	1:13:08	---	---
				Exit supervision session	11/6/2024	1:44:21	---	---					Start supervision session	11/6/2024	1:15:29	---	---
				Start supervision session	11/6/2024	1:46:06	---	---					Truck Arrived To Load 1 Milk Packages	11/6/2024	1:16:56	---	---
				Production Process Started	11/6/2024	1:46:20	---	---					Production Ended: cked Milk Left	11/6/2024	1:17:03	---	---
				Truck Arrived To Load 1 Milk Packages	11/6/2024	1:47:58	---	---					Exit supervision session	11/6/2024	1:17:59	---	---
				Exit supervision session	11/6/2024	1:48:28	---	---					Start supervision session	11/6/2024	1:40:33	---	---
				Start supervision session	11/6/2024	4:48:32	---	---					Truck Arrived To Load 5 Milk Packages	11/6/2024	1:42:10	---	---
				Production Process Started	11/6/2024	4:48:53	---	---					Truck Arrived To Load 1 Milk Packages	11/6/2024	1:42:20	---	---
				Production Ended: 0.0 Liters Of Available Checked Milk Left	11/6/2024	4:50:25	---	---					Production Ended: cked Milk Left	11/6/2024	1:42:21	---	---
				PROD STATS BEFORE RESET: 31 Miles & 19 Yoghurts Produced, 100 Milk Used	11/6/2024	4:50:53	---	---					Exit supervision session	11/6/2024	1:44:21	---	---
				CHECK STATS BEFORE RESET: 100 Accepted & 160 Rejected, 280 Milk Arrived	11/6/2024	4:50:53	---	---					Start supervision session	11/6/2024	1:46:06	---	---
				Exit supervision session	11/6/2024	4:51:36	---	---					Production Ended: cked Milk Left	11/6/2024	1:47:59	---	---
				Start supervision session	11/6/2024	5:05:46	---	---					Production Ended: 6 Milk & 4 Yoghurt Packages Produced	11/6/2024	1:47:59	---	---
				Production Process Started	11/6/2024	5:06:39	---	---					Exit supervision session	11/6/2024	1:48:28	---	---
				Production Ended: 0.0 Liters Of Available Checked Milk Left	11/6/2024	5:08:18	---	---					Start supervision session	11/6/2024	4:48:32	---	---
				Production Process Started	11/6/2024	5:08:43	---	---					Production Ended: 6 Milk & 4 Yoghurt Packages Produced	11/6/2024	4:50:25	---	---
				Production Ended: 60.0 Liters Of Available Checked Milk Left	11/6/2024	5:10:28	---	---					Statistics Have Been Resetted Successfully	11/6/2024	4:50:53	---	---
				Production Process Started	11/6/2024	5:10:48	---	---					Exit supervision session	11/6/2024	4:51:36	---	---
				Production Ended: 100.0 Liters Of Available Checked Milk Left	11/6/2024	5:12:27	---	---					Start supervision session	11/6/2024	5:05:46	---	---
				Production Process Started	11/6/2024	5:12:38	---	---					Production Ended: 6 Milk & 4 Yoghurt Packages Produced	11/6/2024	5:08:18	---	---
				Production Ended: 140.0 Liters Of Available Checked Milk Left	11/6/2024	5:14:07	---	---					Production Ended: 6 Milk & 4 Yoghurt Packages Produced	11/6/2024	5:10:28	---	---
				Production Process Started	11/6/2024	5:14:18	---	---					Production Ended: 6 Milk & 4 Yoghurt Packages Produced	11/6/2024	5:12:27	---	---
				Production Ended: 140.0 Liters Of Available Checked Milk Left	11/6/2024	5:16:17	---	---					Production Ended: 6 Milk & 4 Yoghurt Packages Produced	11/6/2024	5:14:07	---	---
				Production Process Started	11/6/2024	5:16:40	---	---					Production Ended: 3 Milk & 7 Yoghurt Packages Produced	11/6/2024	5:16:17	---	---
				Production Ended: 120.0 Liters Of Available Checked Milk Left	11/6/2024	5:18:43	---	---					EMERGENCY STOP SITUATION	11/6/2024	5:16:24	---	---
				Production Process Started	11/6/2024	5:18:58	---	---					EMERGENCY STOP SITUATION	11/6/2024	5:16:36	---	---
				Production Ended: 100.0 Liters Of Available Checked Milk Left	11/6/2024	5:20:39	---	---					Production Ended: 5 Milk & 5 Yoghurt Packages Produced	11/6/2024	5:18:16	---	---
				Production Process Started	11/6/2024	5:20:43	---	---					Production Ended: 8 Milk & 2 Yoghurt Packages Produced	11/6/2024	5:20:39	---	---
				Production Ended: 80.0 Liters Of Available Checked Milk Left	11/6/2024	5:22:36	---	---					Production Ended: 1 Milk & 9 Yoghurt Packages Produced	11/6/2024	5:22:36	---	---
													EMERGENCY STOP SITUATION	11/6/2024	5:23:05	---	---

Εικόνα 5.20: Στιγμιότυπο από την καταγραφή του ιστορικού της γαλακτοβιομηχανίας

Είδαμε λοιπόν το περιβάλλον SCADA το οποίο υλοποιήθηκε με σκοπό να μπορεί να γίνεται αποτελεσματική επίβλεψη ολόκληρης της διαδικασίας μιας γαλακτοβιομηχανίας παρέχοντας συγχρόνως στον χρήστη όσο το δυνατόν πιο απλή και εύκολη χρήση ώστε να μειωθεί ο κίνδυνος ανθρωπίνου λάθους, κάτι που όπως έχει προαναφερθεί στο 2^ο κεφάλαιο αποτελεί σημαντικό στόχο για κάθε περιβάλλον SCADA να μπορεί να το παρέχει.

Έχοντας ολοκληρώσει με το κομμάτι αυτό το επόμενο βήμα είναι να περάσουμε στο κομμάτι του προγραμματισμού των PLC μιας γαλακτοβιομηχανίας μέσω των οποίων φυσικά «παίρνει ζωή» το σύστημα SCADA.

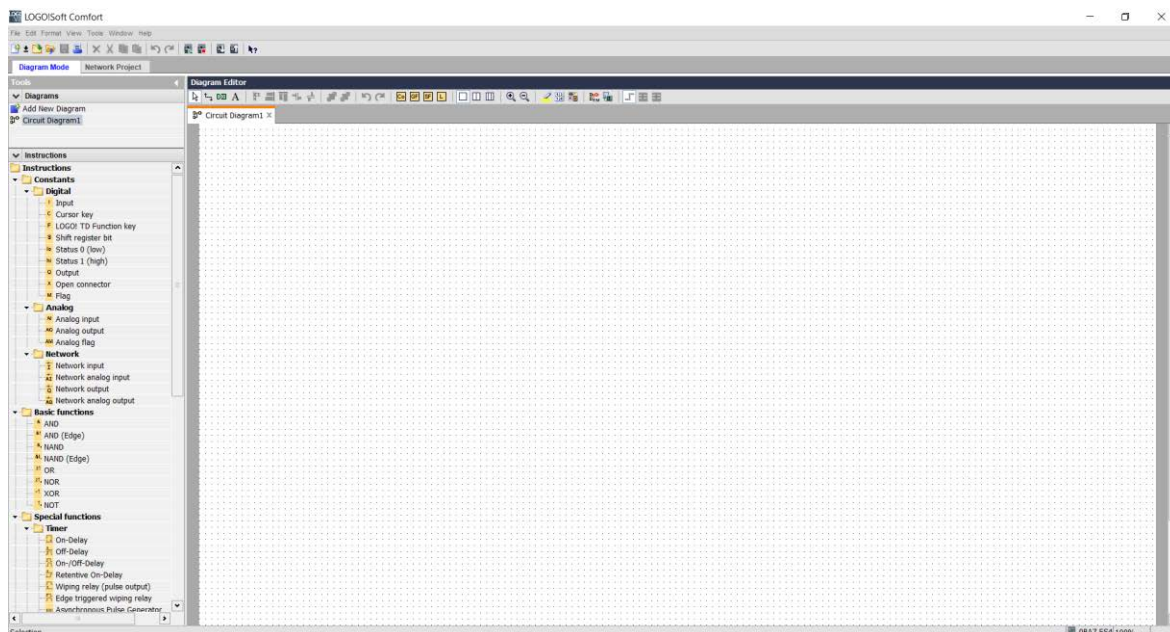
5.2 Προγραμματισμός των PLC μιας γαλακτοβιομηχανίας

Περνώντας λοιπόν στο κομμάτι του προγραμματισμού των PLC της γαλακτοβιομηχανίας, ουσιαστικά έχει έρθει η στιγμή όπου όλα αυτά τα οποία έχουμε δει ως τώρα όσον αφορά τον τρόπο λειτουργίας της γαλακτοβιομηχανίας, θα πρέπει να προγραμματιστούν κατάλληλα στα PLC ώστε όταν γίνει η σύνδεση τους με το υπόλοιπο σύστημα, να μπορούν να εκτελούν τις εκάστοτε λειτουργίες όπως ακριβώς αναμένεται.

Για τον προγραμματισμό των PLC της γαλακτοβιομηχανίας χρησιμοποιήθηκε το λογισμικό LOGO! Soft Comfort V8.0.

5.2.1 Γενική εικόνα λογισμικού LOGO! Soft Comfort V8.0.

Κατά την είσοδο στο λογισμικό LOGO! Soft Comfort V8.0, υπάρχει μια στήλη στα αριστερά η οποία περιλαμβάνει όλα τα διαθέσιμα στοιχεία τα οποία μπορεί να χρησιμοποιήσει ο χρήστης κατά την υλοποίηση του προγράμματος του, και στα δεξιά υπάρχει το περιβάλλον στο οποίο θα λάβει χώρα η σύνδεση των στοιχείων με σκοπό να προγραμματιστεί το PLC. Όλα αυτά φαίνονται στην Εικόνα 5.21.

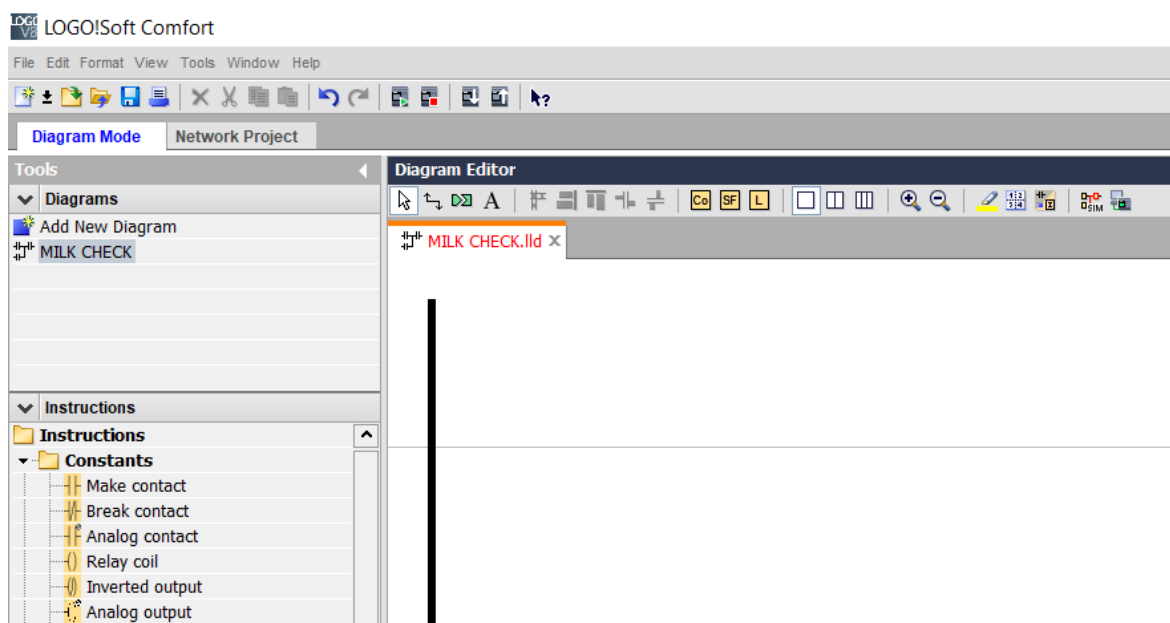


Εικόνα 5.21: Το περιβάλλον του λογισμικού LOGO! Soft Comfort V8.0 κατά την είσοδο

Στο σημείο αυτό να αναφερθεί ότι πριν ξεκινήσει η διαδικασία του προγραμματισμού των PLC της γαλακτοβιομηχανίας, αποφασίστηκε να είναι 2 σε αριθμό τα PLC με το καθένα να είναι υπεύθυνο για τον δικό του τομέα. Πιο συγκεκριμένα, προγραμματίστηκε ένα PLC που αφορά το στάδιο του ελέγχου του γάλακτος κατά την είσοδο του στη γαλακτοβιομηχανία και τον διαχωρισμό του σε αποδεκτό και απορριπτέο, καθώς και ένα άλλο PLC το οποίο αφορά τη διαδικασία της παραγωγής γάλακτος και γιαουρτιού η οποία ξεκινάει εφόσον υπάρχει διαθέσιμο αποδεκτό γάλα.

5.2.2 Προγραμματισμός σε γλώσσα Ladder του PLC ελέγχου

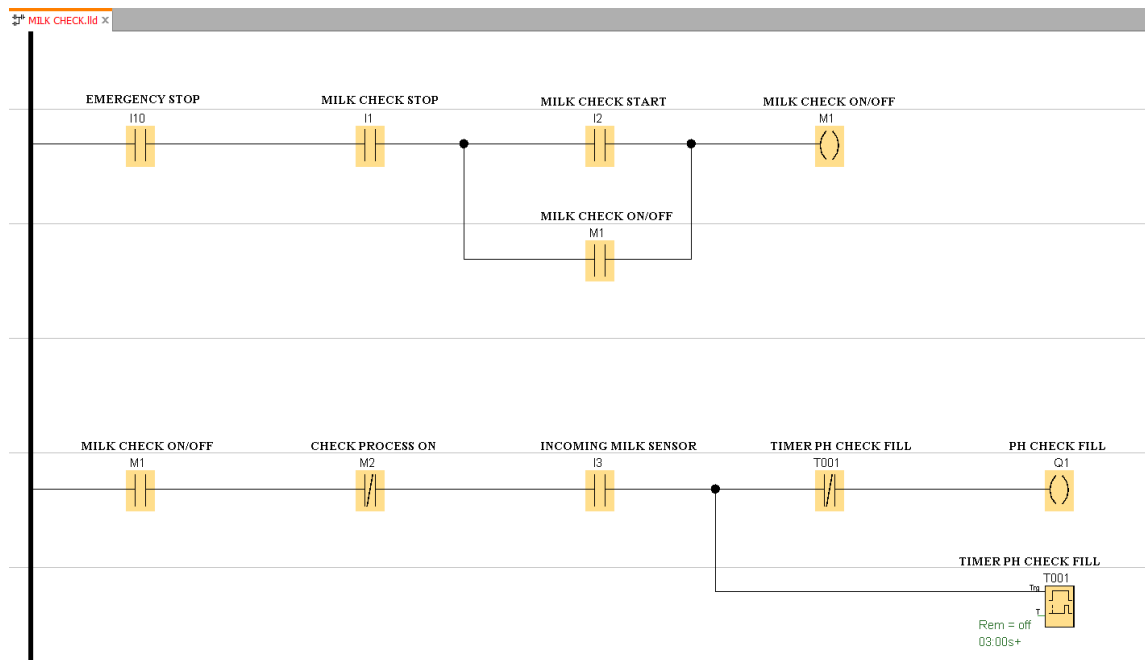
Ξεκινώντας λοιπόν τον προγραμματισμό του PLC που είναι υπεύθυνο για το στάδιο του ελέγχου, το πρώτο βήμα είναι η δημιουργία του διαγράμματος σε γλώσσα LADDER όπως φαίνεται στην Εικόνα 5.22.



Εικόνα 5.22: Δημιουργία διαγράμματος MILK CHECK σε Ladder

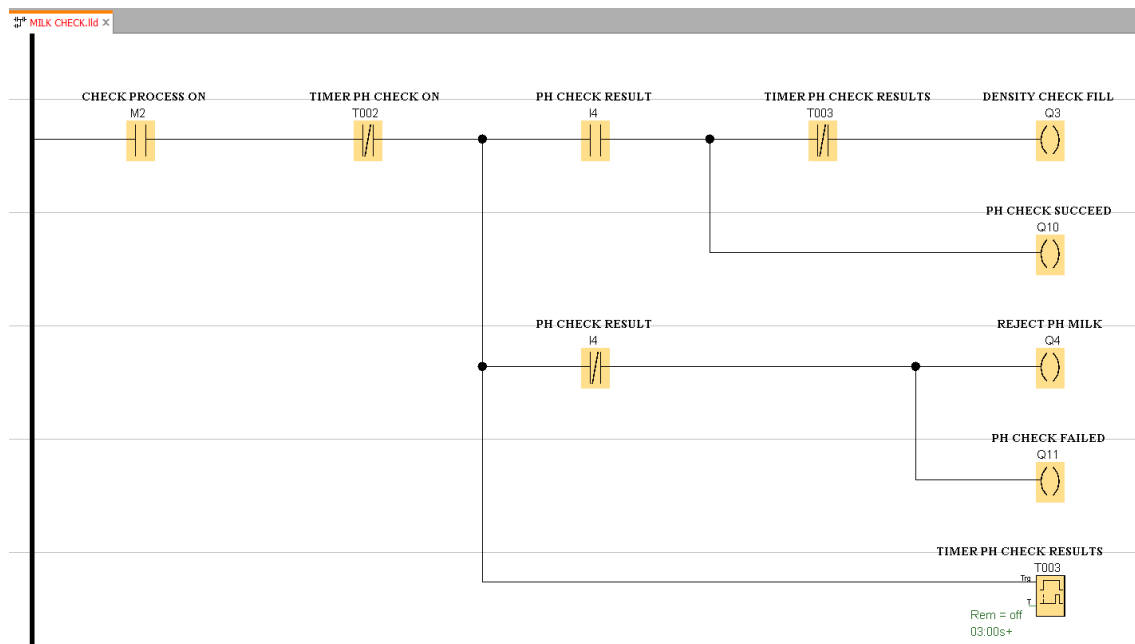
Ακολουθούν ορισμένα στιγμιότυπα από κομμάτια του κώδικα του PLC που είναι υπεύθυνο για τη διαδικασία ελέγχου του γάλακτος κατά την άφιξή του στη γαλακτοβιομηχανία.

Στην Εικόνα 5.23, βλέπουμε πως ξεκινάει η διαδικασία ελέγχου του γάλακτος αλλά και πως θα διακοπεί αμέσως σε περίπτωση που πατηθεί είτε το κουμπί Stop είτε το κουμπί κινδύνου Emergency Stop που είδαμε και νωρίτερα στο πρόγραμμα SCADA. Ακόμη, βλέπουμε το αρχικό στάδιο της διαδικασίας του ελέγχου με την πλήρωση του δοχείου ώστε να εκτελεστεί στη συνέχεια ο πρώτος χρονικά έλεγχος που είναι αυτός του pH.



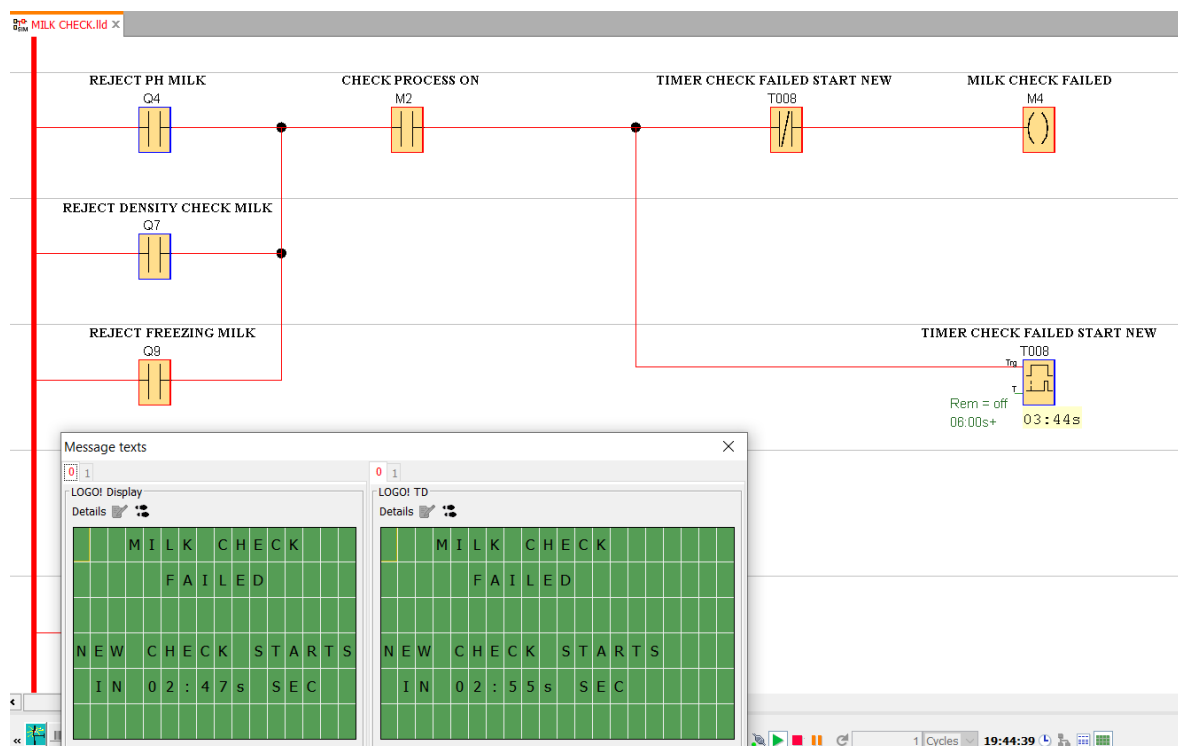
Εικόνα 5.23: Συνθήκη εκκίνησης διαδικασίας ελέγχου και πλήρωση δοχείου ελέγχου pH

Όπως φαίνεται στην Εικόνα 5.24, εφόσον έχει ολοκληρωθεί ο έλεγχος του pH του γάλακτος, σε περίπτωση που αυτός έχει επιτύχει, δίνει σήμα επιτυχίας ανάβοντας την πράσινη λυχνία (pH check succeed) και ενεργοποιεί την πλήρωση του δοχείου της πυκνότητας στο οποίο θα γίνει ο επόμενος χρονικά έλεγχος. Σε περίπτωση αποτυχίας του ελέγχου του pH, δίνεται σήμα αποτυχίας ανάβοντας την κόκκινη λυχνία (pH check failed) και οδηγεί το γάλα προς το δοχείο με το απορριπτό γάλα.



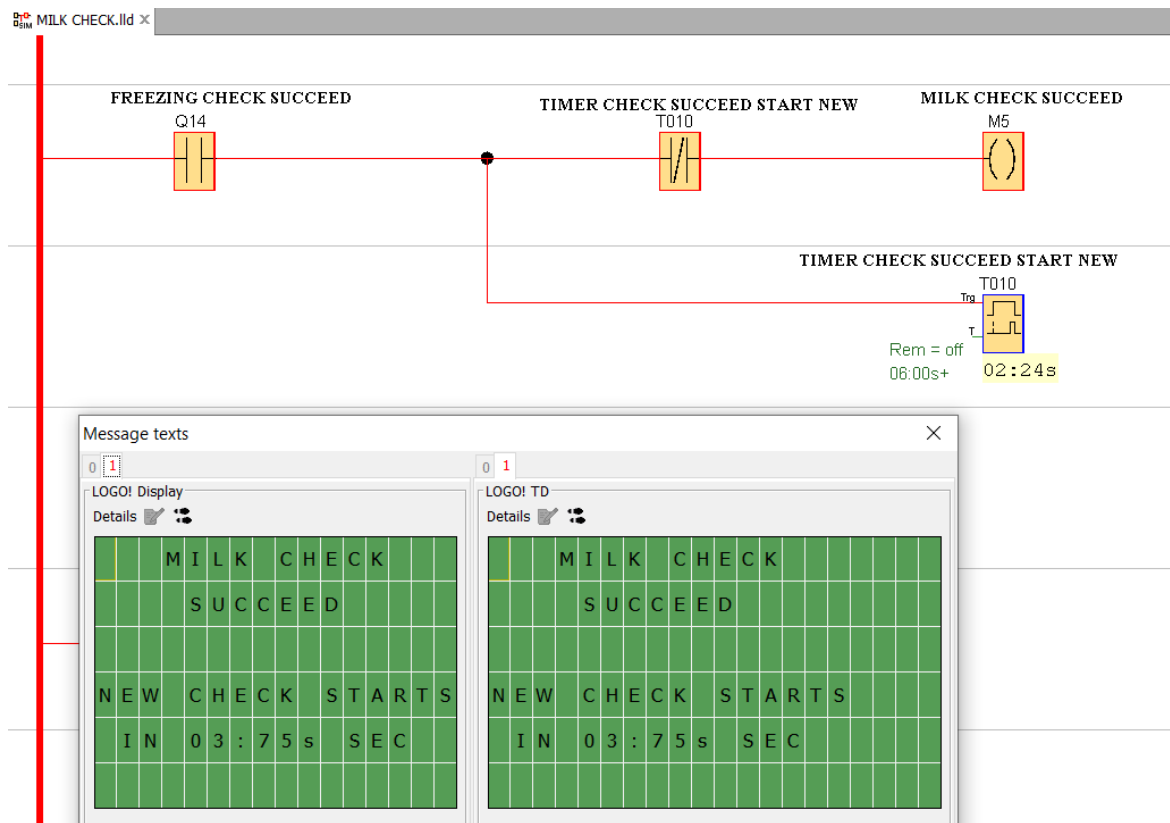
Εικόνα 5.24 : Στιγμιότυπο ενέργειας με βάση το αποτέλεσμα του ελέγχου pH

Σύμφωνα με την Εικόνα 5.25, σε περίπτωση αποτυχίας οποιουδήποτε ενός εκ των τριών ελέγχων, το γάλα απορρίπτεται και εμφανίζεται μήνυμα αποτυχίας, καθώς και αντίστροφη μέτρηση για την έναρξη της επόμενης διαδικασίας ελέγχου.



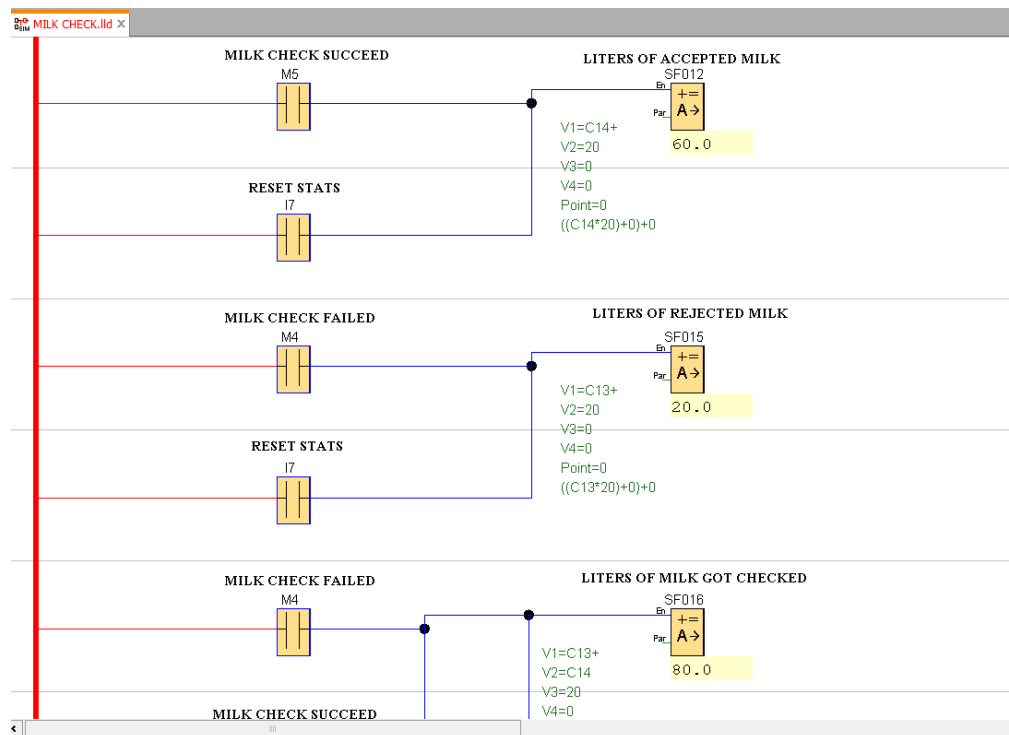
Εικόνα 5.25: Στιγμιότυπο κατά τη λειτουργία του PLC ελέγχου τη στιγμή που αποτυγχάνει ο έλεγχος λόγω του Freezing Check

Αντίστοιχα, όπως φαίνεται στην Εικόνα 5.26, σε περίπτωση που επιτύχουν και οι τρεις έλεγχοι, το γάλα γίνεται αποδεκτό και εμφανίζεται ένα μήνυμα επιτυχίας καθώς και αντίστροφη μέτρηση για την έναρξη της επόμενης διαδικασίας ελέγχου.



Εικόνα 5.26: Στιγμιότυπο κατά τη λειτουργία του PLC ελέγχου τη στιγμή που επιτυγχάνει ο έλεγχος του Freezing Check και άρα συνολικά ο έλεγχος

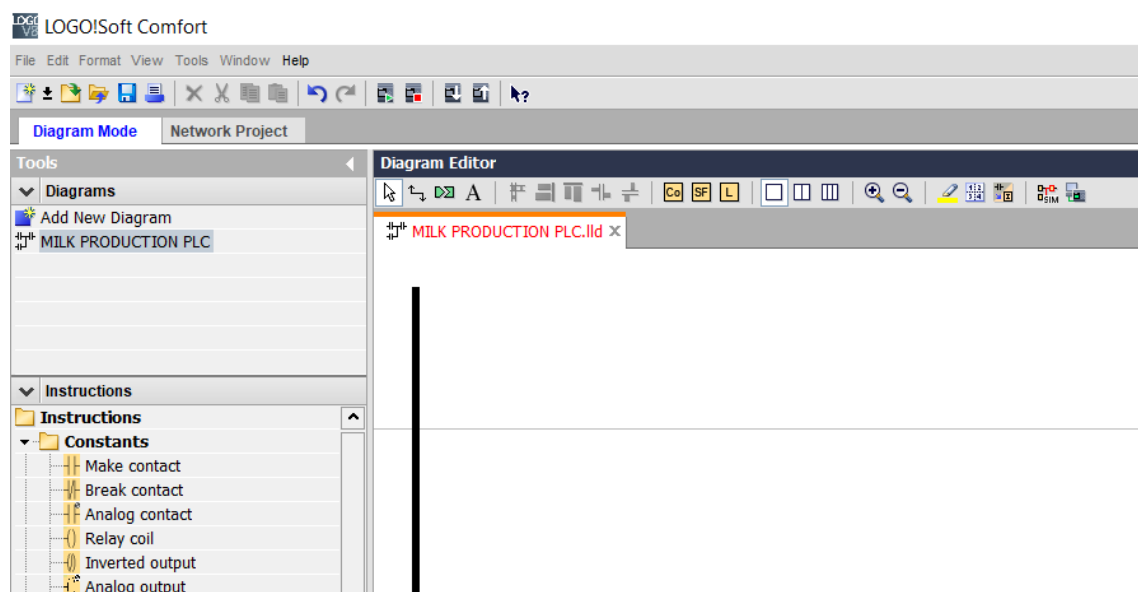
Όπως φαίνεται στην Εικόνα 5.27, το PLC του ελέγχου κρατάει στατιστικά δεδομένα ανά πάσα στιγμή για τα λίτρα γάλακτος που έχουν ελεγχθεί, που έχουν επιτύχει και που έχουν αποτύχει τους ελέγχους.



Εικόνα 5.27: Στιγμιότυπο κατά την εξέλιξη της διαδικασίας ελέγχου γάλακτος

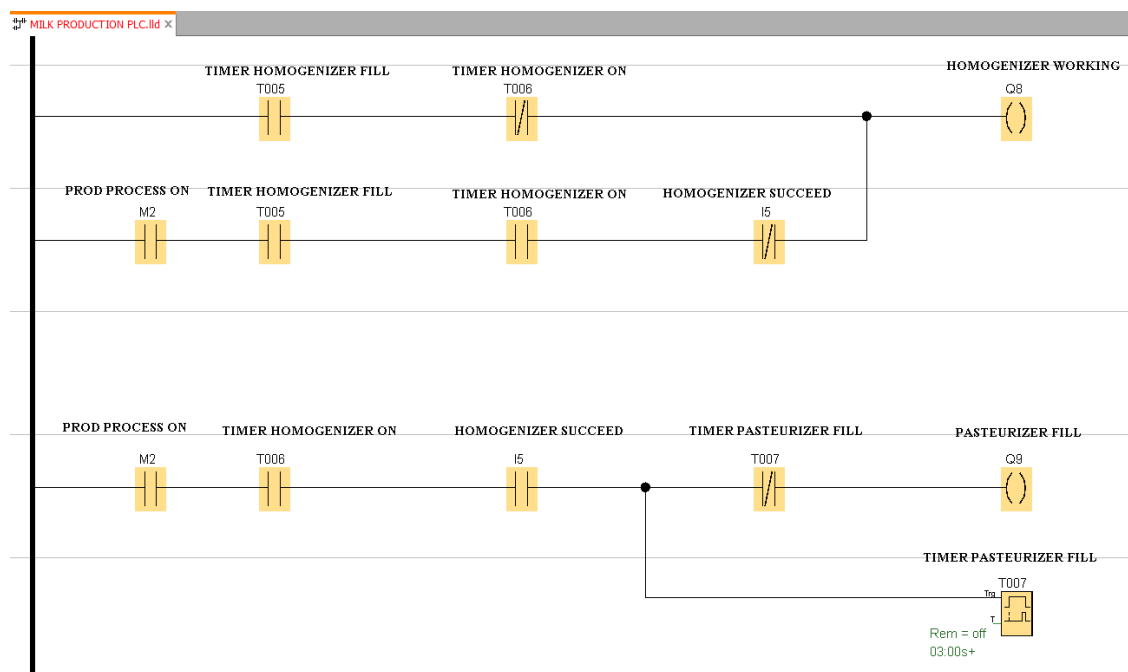
5.2.2 Προγραμματισμός σε γλώσσα Ladder του PLC παραγωγής

Ξεκινώντας λοιπόν τον προγραμματισμό του PLC που είναι υπεύθυνο για τη διαδικασία της παραγωγής, το πρώτο βήμα είναι η δημιουργία του διαγράμματος σε γλώσσα LADDER όπως φαίνεται στην Εικόνα 5.28.

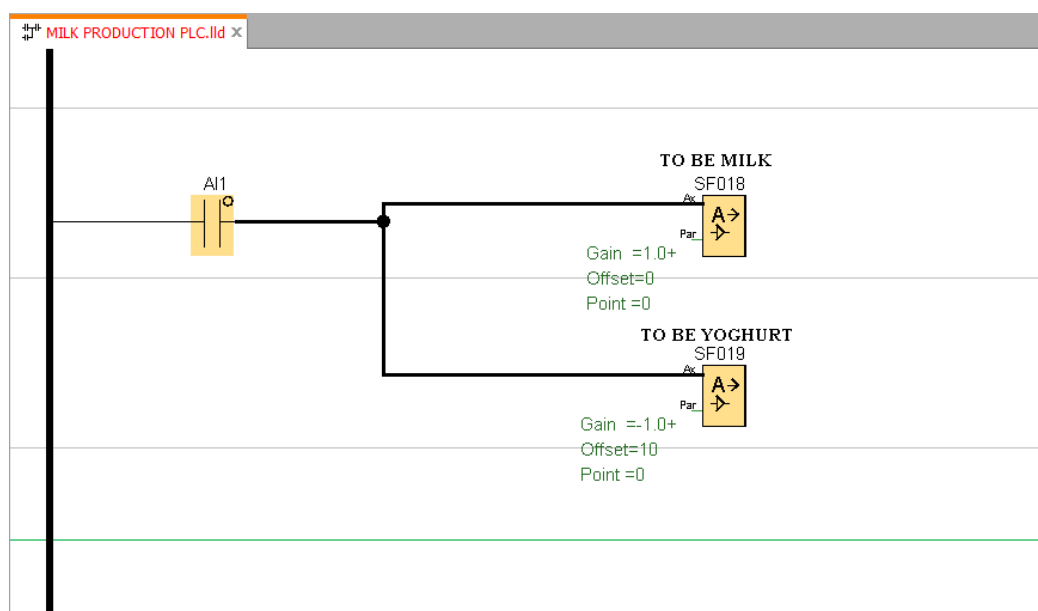


Εικόνα 5.28: Δημιουργία διαγράμματος MILK PRODUCTION σε Ladder

Ακολουθούν δύο στιγμιότυπα από κομμάτια του κώδικα του PLC που είναι υπεύθυνο για τη διαδικασία παραγωγής γάλακτος και γιαουρτιού στις Εικόνες 5.29 και 5.30.

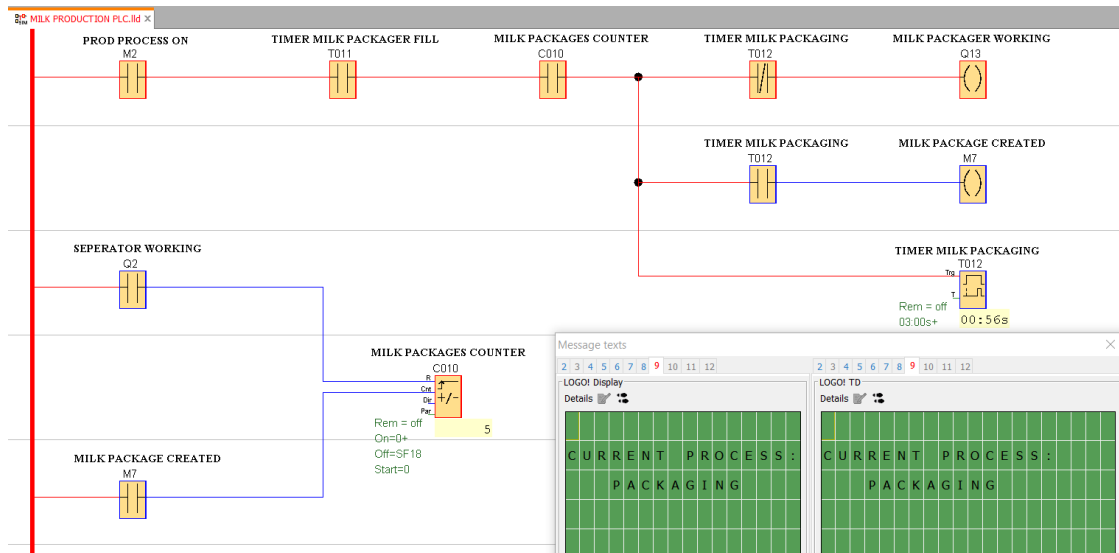


Εικόνα 5.29: Οι συνθήκες λειτουργίας του ομογενοποιητή καθώς και το γέμισμα του παστεριωτή με γάλα μετά την επιτυχία του πρώτου



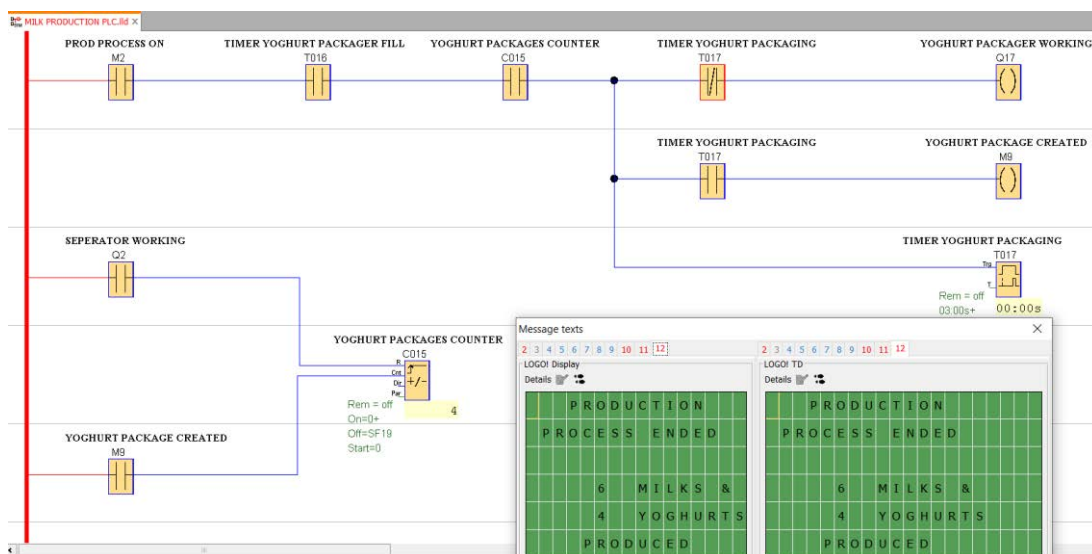
Εικόνα 5.30: Ο ρυθμιστής του ποσοστού γάλακτος που πρόκειται να συσκευαστεί ως γάλα και αυτού που πρόκειται να μετατραπεί σε γιαούρτι

Όπως φαίνεται στην Εικόνα 5.31, το πακετάρισμα τόσο του γάλακτος όσο και του γιαουρτιού βρίσκεται σε εξέλιξη με τον μετρητή να δείχνει πόσα γάλατα έχουν παραχθεί ως τώρα σε αυτή την παρτίδα.



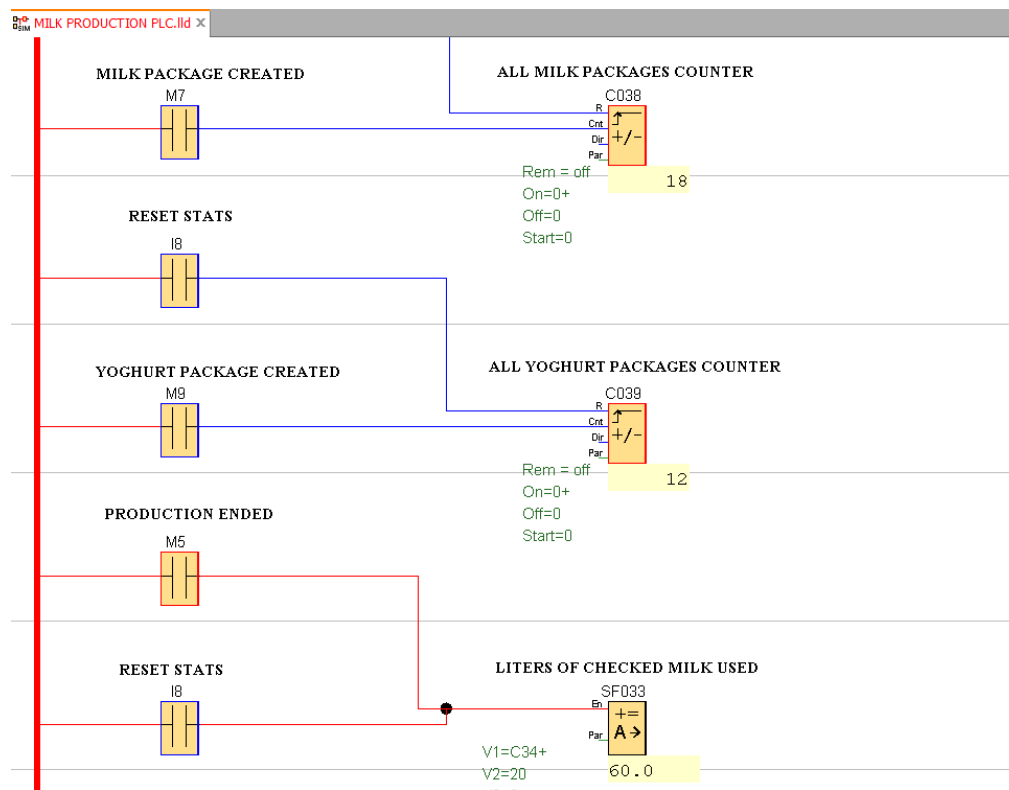
Εικόνα 5.31: Στιγμιότυπο κατά την εξέλιξη της διαδικασίας παραγωγής τη στιγμή του πακεταρίσματος

Στην Εικόνα 5.32, έχει μόλις ολοκληρωθεί η διαδικασία παραγωγής και έτσι έχει εμφανιστεί μήνυμα που ενημερώνει για τη λήξη αλλά και για τον αριθμό των πακέτων που παράχθηκαν. Επίσης, φαίνεται η ολοκληρωμένη διαδικασία πακεταρίσματος γιαουρτιού.



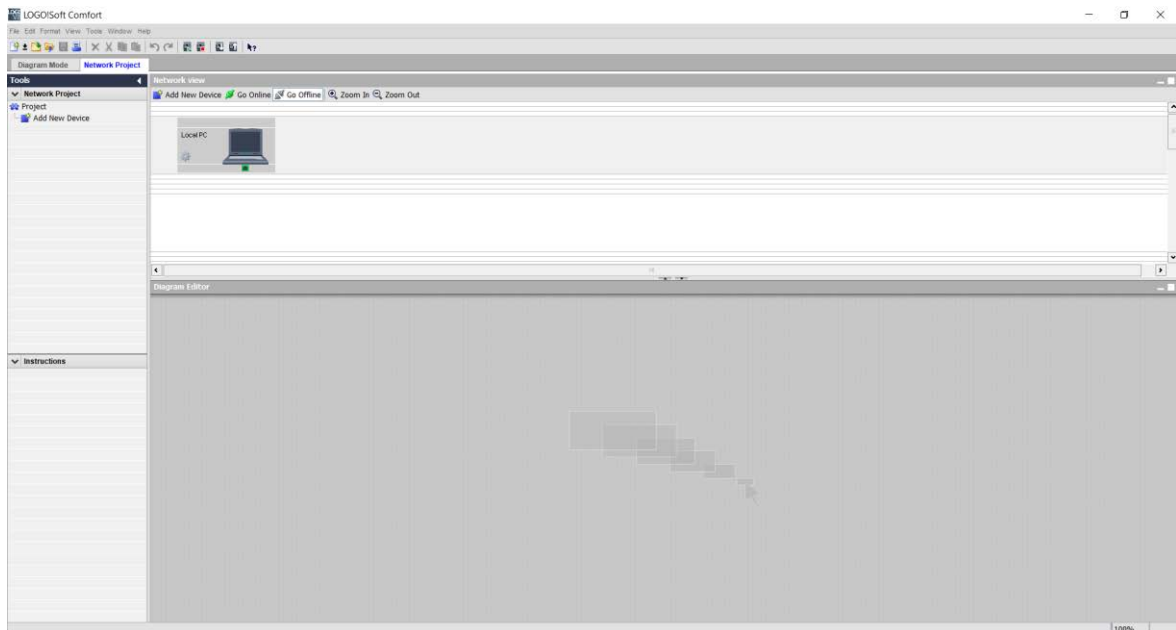
Εικόνα 5.32: Στιγμιότυπο μετά το τέλος της διαδικασίας παραγωγής

Όπως είδαμε νωρίτερα στο SCADA, στο περιβάλλον General διατηρούνται τα συνολικά στατιστικά στοιχεία και αυτό ακριβώς κάνει τόσο το PLC της παραγωγής όσο και αυτό του ελέγχου όπως φαίνεται στις Εικόνες 5.33 και 5.27 αντίστοιχα.



Εικόνα 5.33: Στιγμιότυπο κατά την εξέλιξη της διαδικασίας παραγωγής με τα συνολικά στατιστικά της γραμμής παραγωγής

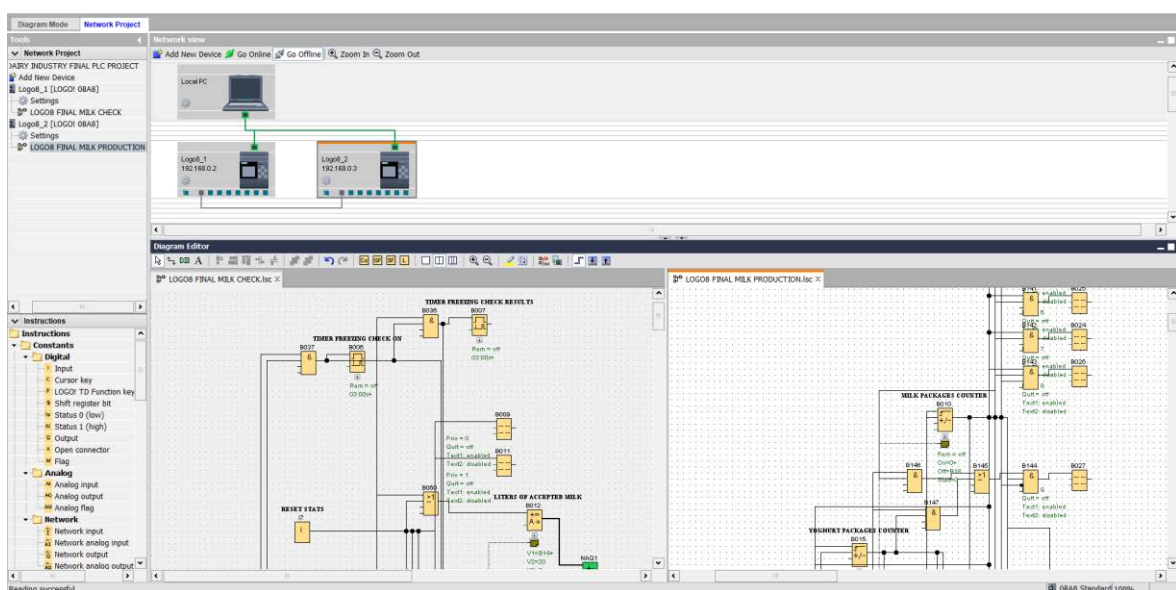
Έχοντας λοιπόν προγραμματίσει τα δύο PLC, το τελευταίο που απομένει είναι να συνδεθούν κατάλληλα καθώς όπως είδαμε νωρίτερα για να ξεκινήσει η διαδικασία της παραγωγής γάλακτος και γιαουρτιού πρέπει να υπάρχει το διαθέσιμο ελεγμένο γάλα και άρα πρέπει να συγκριθούν δύο τιμές με την κάθε μια να βρίσκεται σε διαφορετικό PLC. Για να γίνει λοιπόν αυτή η σύνδεση θα χρησιμοποιηθεί το πεδίο Network Project του λογισμικού με το περιβάλλον του να φαίνεται στην Εικόνα 5.34.



Εικόνα 5.34: Το περιβάλλον του πεδίου Network Project

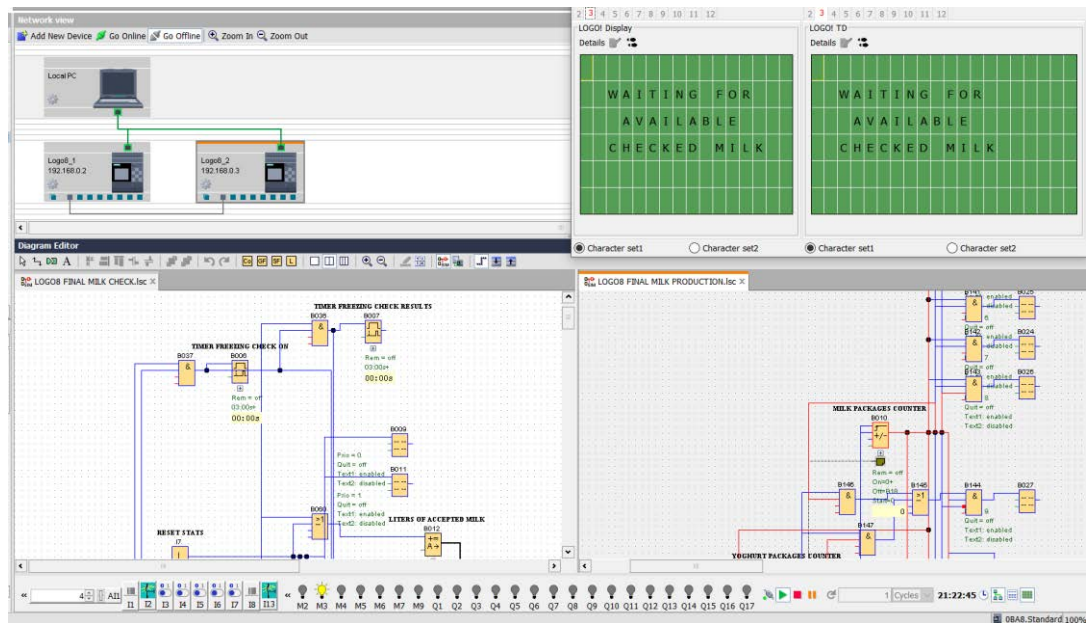
Το επόμενο βήμα για να γίνει η σύνδεση μεταξύ των δύο PLC, είναι η μετατροπή των Ladder διαγραμμάτων που έχουν δημιουργηθεί, σε FBD διαγράμματα καθώς δεν υποστηρίζεται σύνδεση μεταξύ Ladder διαγραμμάτων.

Εκτελώντας λοιπόν την αυτόματη μετατροπή των διαγραμμάτων Ladder σε FBD δημιουργούμε τη σύνδεση μεταξύ των δύο PLC και αυτό που προκύπτει φαίνεται στην Εικόνα 5.35.



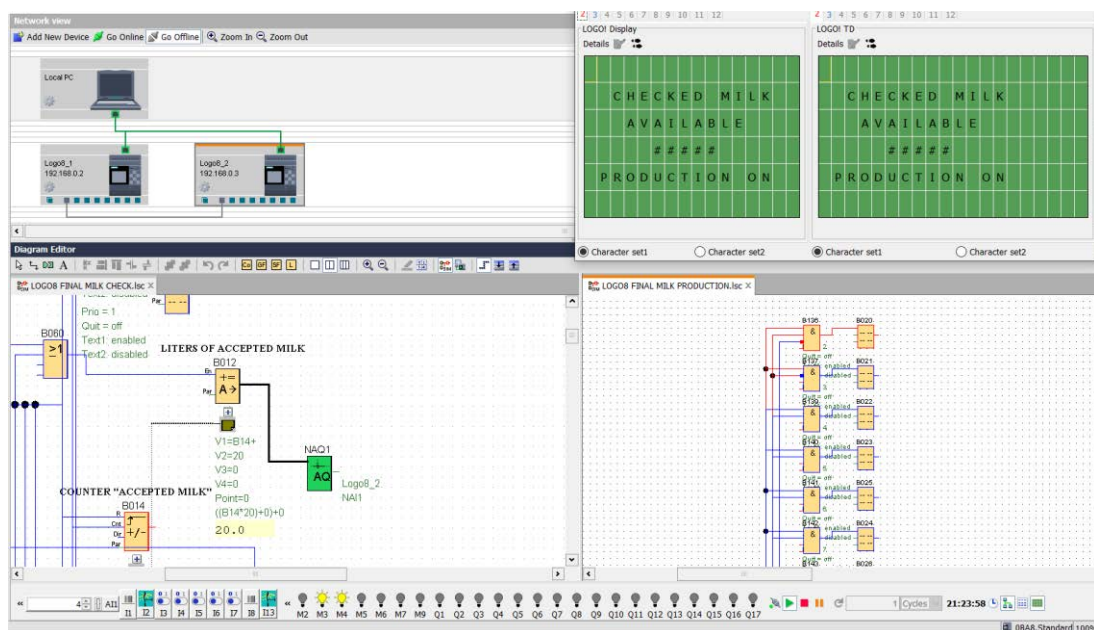
Εικόνα 5.35: Στιγμιότυπο από την σύνδεση των δύο PLC

Όπως φαίνεται και στην Εικόνα 5.36, μετά τη σύνδεση των δύο PLC και εφόσον δεν υπάρχει διαθέσιμο ελεγμένο γάλα, η διαδικασία παραγωγής δεν μπορεί να ξεκινήσει.



Εικόνα 5.36: Στιγμιότυπο όταν δεν υπάρχει διαθέσιμο γάλα προς παραγωγή

Μόλις ενεργοποιηθεί η διαδικασία ελέγχου και εφόσον υπάρξει διαθέσιμο ελεγμένο γάλα, η διαδικασία παραγωγής μπορεί πλέον να ξεκινήσει όπως φαίνεται στην Εικόνα 5.37.



Εικόνα 5.37: Στιγμιότυπο εφόσον πλέον υπάρχει διαθέσιμο γάλα προς παραγωγή

ΚΕΦΑΛΑΙΟ 6: ΣΥΜΠΕΡΑΣΜΑΤΑ

Με την ολοκλήρωση λοιπόν της παρούσας εργασίας, ως τελευταίο βήμα ακολουθεί η σύνοψη όλων αυτών που μελετήθηκαν αλλά και υλοποιήθηκαν καθ' όλη τη διάρκεια της εκπόνησης της, καθώς και η καταγραφή των συμπερασμάτων που προέκυψαν από τη διαδικασία αυτή.

6.1 Σύνοψη και συμπεράσματα

Ξεκινώντας τη διαδικασία εκπόνησης της διπλωματικής εργασίας, ο στόχος που υπήρχε ήταν η μελέτη και υλοποίηση βιομηχανικών αυτοματισμών και πιο συγκεκριμένα για τη βιομηχανία παραγωγής γάλακτος.

Η προσπάθεια αυτή, δεν μπορούσε να ξεκινήσει παρά με την κατάλληλη ενημέρωση για τους βιομηχανικούς αυτοματισμούς καθώς και την ανάλυση του τρόπου λειτουργίας τους, δεδομένου ότι αποτελούν το επίκεντρο της εργασίας.

Έχοντας λοιπόν κατανοήσει τον όρο «βιομηχανικός αυτοματισμός» αλλά και το πως ο ίδιος συνεισφέρει στην ορθή λειτουργία της εκάστοτε βιομηχανίας, το επόμενο βήμα ήταν η παρουσίαση της βιομηχανίας γάλακτος, για την οποία και επρόκειτο να σχεδιαστεί το κατάλληλο σύστημα αυτοματισμού. Εφόσον λοιπόν ολοκληρώθηκε η ανάλυση του τρόπου λειτουργίας της γαλακτοβιομηχανίας και γνωρίζοντας πλέον όλα όσα χρειαζόνταν, δεν έμενε παρά να ξεκινήσει το στάδιο της υλοποίησης και του σχεδιασμού των αυτοματισμών.

Η αρχή έγινε με τον σχεδιασμό του συστήματος SCADA μέσω του οποίου πραγματοποιείται η επίβλεψη της βιομηχανίας, θέτοντας στο σημείο αυτό ως πρωταρχικό στόχο, τη σχεδίαση ενός περιβάλλοντος που θα συνδυάζει την όσο το δυνατόν απλούστερη απεικόνιση για τον χρήστη, αλλά συγχρόνως πλήρη και ολοκληρωμένη ώστε να μην στερεί από αυτόν την παραμικρή πληροφορία. Ο λόγος που τέθηκε αυτός ο σκοπός, ήταν καθώς μέσα από τη μελέτη για τα συστήματα SCADA, έγινε κατανοητό ότι πολλές φορές η απόδοση τους δεν ήταν η βέλτιστη λόγω λαθών. Τα οποία λάθη όμως, δεν ήταν μόνο του συστήματος, αλλά και του ίδιου του χρήστη, καθώς δεν του ήταν απολύτως εύχρηστο το πρόγραμμα ή και ίσως δεν του παρείχε την απαραίτητη πληροφορία σε σημείο που να είναι

εύκολα ορατή για τον ίδιο, οδηγώντας έτσι σε ανθρώπινα λάθη και άρα προβλήματα στη βιομηχανία.

Το επόμενο βήμα ήταν ο προγραμματισμός των PLC της γαλακτοβιομηχανίας. Προγραμματίστηκαν δύο PLC με το πρώτο να είναι υπεύθυνο για τη σωστή εκτέλεση της διαδικασίας ελέγχου του γάλακτος κατά την άφιξή του στη βιομηχανία και το δεύτερο να είναι υπεύθυνο για την εκτέλεση της διαδικασίας παραγωγής γάλακτος και γιαουρτιού. Έχοντας υλοποιήσει το περιβάλλον SCADA, έπρεπε να προστεθούν και άλλα στοιχεία στα PLC, ώστε πέρα από την εκτέλεση των προκαθορισμένων διαδικασιών της βιομηχανίας, να παρέχουν και την επιπλέον πληροφορία που χρειάζεται στην προσπάθεια σχεδίασης ενός πιο αποτελεσματικού συστήματος αυτοματισμών με τα στοιχεία αυτά να αφορούν σε διατήρηση στατιστικών στοιχείων και σημαντικών δεδομένων της γαλακτοβιομηχανίας.

Μετά την υλοποίηση, και κοιτάζοντας πίσω στον στόχο που τέθηκε κατά την έναρξη εκπόνησης της διπλωματικής εργασίας, μπορούμε με ασφάλεια να πούμε ότι ο στόχος αυτός επιτεύχθηκε. Υλοποιήθηκε ένα σύστημα αυτοματισμών που βρίσκει εφαρμογή σε βιομηχανίες παραγωγής γάλακτος, προσφέροντας στο χρήστη ένα φιλικό περιβάλλον που διακρίνεται για τον έξυπνο σχεδιασμό του και τον απλό χειρισμό του. Με τον τρόπο αυτό, περιορίζονται οι πιθανότητες ανθρωπίνου λάθους κατά την επίβλεψη, και άρα εξαλείφει σε μεγάλο βαθμό τα όποια προβλήματα μπορεί να αντιμετώπιζε η βιομηχανία στο τομέα αυτό, προσφέροντας της φυσικά έτσι κέρδος. Μπορεί λοιπόν, οι διαδικασίες της γαλακτοβιομηχανίας να είναι συγκεκριμένες και να έχουν βελτιστοποιηθεί ίσως εδώ και καιρό, ωστόσο υπάρχουν επιμέρους πεδία της βιομηχανίας στα οποία το περιθώριο για βελτίωση συνεχίζει πάντα να υπάρχει και το πεδίο των αυτοματισμών είναι ένα από αυτά. Το περιθώριο αυτό για βελτίωση λοιπόν, ήταν αυτό που αποτέλεσε το κίνητρο για την πραγματοποίηση της παρούσας εργασίας, με την ολοκλήρωση αυτής, να με βρίσκει αισιόδοξο πως θα αποτελέσει ένα ακόμη βήμα προς τη σωστή κατεύθυνση βελτίωσης των γαλακτοβιομηχανιών.

Βιβλιογραφία

- [1] Daneels, A. & Salter, W. (1999). WHAT IS SCADA? *International Conference on Accelerator and Large Experimental Physics Control Systems*, pp. 339-343.
- [2] Sami, A. (2019). SCADA (Supervisory Control and Data Acquisition). *Technology Times*, 13(3), 1440-1447.
- [3] Βελώνη, Α. (2017). *Βιομηχανική πληροφορική*. Εκδόσεις Τσιόλας.
- [4] Jayasamraj, J. (2013). SCADA Communication & Protocols. *NPTI PSTI Bangalore*.
- [5] Clarke, G & Reynders, D. (2004). *Practical Modern SCADA Protocols*. Newness.
- [6] Urrea, C., Morales, C. & Kern, J. (2016). Implementation of error detection and correction in the Modbus-RTU serial protocol. *International Journal of Critical Infrastructure Protection*, 15, 27-37.
- [7] Powell, J. & Eng, P. (2013). Profibus and Modbus: A comparison. *Automation*.
- [8] Pliatsios, D., Sarigiannidis, P., Lagkas, T. & Sarigiannidis, A. (2020). A survey on SCADA systems: Secure protocols, incidents, threats and tactics. *IEEE COMMUNICATIONS SURVEYS & TUTORIALS*, 22(3).
- [9] Normanyo, E., Husinu, F. & Agyare, O.R. (2014). Developing a human machine interface (HMI) for industrial automated systems using Siemens Simatic WinCC Flexible Advanced Software. *Journal of Emerging Trends in Computing and Information Sciences*, 5(2).
- [10] Lashin, M. (2014). Different applications of Programmable Logic Controller (PLC). *International Journal of Computer Science, Engineering and Information Technology (IJCSEIT)*, 4(1).
- [11] Alphonsus, E.R. & Abdullah, M.O. (2016). A review on the applications of programmable logic controllers (PLCs). *Renewable and Sustainable Energy Reviews*, 60, 1185-1205.
- [12] Hudedmani, M.G., Umayal, R.M., Kabberalli S.K. & Hittalamani, R. (2017). Programmable Logic Controller (PLC) in automation. *Advanced Journal of Graduate Research*, 2(1), 37-45.

- [13] Saleh, M.S., Mohammed, K.G., Al – Sagar. Z.S. & Sameen, A.Z. (2018). Design and implementation of PLC-Based Monitoring and Sequence Controller System. *Journal of Advanced Research in Dynamical & Control Systems*, 10(2).
- [14] Bedi, H.S., Verma, S., Sharma, R.K. & Singh, B. (2015). The concept of programmable logic controllers and its role in automation. *International Journal of Advanced Research in Computer and Communication Engineering*, 4(6).
- [15] Baresi, L., Carmeli, S., Monti, A. & Pezze, M. (1998). PLC programming languages: A formal approach. Dipartimento di Elettronica e Informazione - Politecnico di Milano.
- [16] Bender, D.F., Combemale, B., Cregut, X., Farines, J.M., Berthomieu, B. & Vernadat, F. (2008). Ladder metamodeling & PLC program validation through Time Petri Nets. *Model Driven Architecture - Foundations and Applications (ECMDA 2008)*, 121-136.
- [17] Amin, A. & Mridha, M. (2020). A mini view of PLC. *International Journal of Research in Advanced Engineering and Technology*, 6(2), 23-25.
- [18] Linehan, K., Patangia, D.V., Ross, R.P. & Stanton, C. (2024). Production, composition and nutritional properties of organic milk: A critical review. *Foods*, 13(4).
- [19] Lee, S.H.F., Ihsan, N.Z., Sheba, R.D., Siti, R.A., Fairuzeta, J., Ya, C.L. & Rajan, R. (2018). A review on milk and its biological effects on human health: Neurological conditions, cardiovascular diseases and cancer. *International Journal of Food Science and Nutrition*, 3(6), 84-89.
- [20] Kourkouta, L., Frantzana, A., Koukourikos, K., Iliadis, C., Papathanasiou, I. & Tsaloglidou, A. (2021). Milk nutritional composition and its role in human health. *Journal of Pharmacy and Pharmacology*, 9, 8-13.
- [21] Douphrate, D., Hagevoort, R., Nonnenmann, M., Kolstrup, C.L., Reynolds, S., Jakob, M. & Kinsel, M. (2013). The dairy industry: A brief description of production practices, trends, and farm characteristics around the world. *Journal of Agromedicine*, 18(3), 187-197.
- [22] Tessema, A. & Tibbo, M. (2009). Milk quality control. *Technical Bulletin No.2*.

- [23] Ahmedsham, M., Amza, N. & Tamiru, M. (2018). Review on milk and milk product safety, quality assurance and control. *International Journal of Livestock Production*, 9(4), 67-78.
- [24] Bylund, C., Malmgren, B., Holanowski, A., Hellman, M., Mattsson, G., Svensson, B., Palsson, H., Lauritzen, K., Vilsgaard, T., Verweij, E., Bronsveld, E., Adamson, N., Pearse, J., Kouroutsidis, P., Mathisson, J., Franz, F., Svensson, C. & Rehn, U. (1995). *Dairy Processing Handbook*. Utah state university.
- [25] Kohler, K. & Schuchmann, H. (2011). Homogenisation in the dairy process - conventional processes and novel techniques. *Procedia Food Science*, 1(11), 1367-1373.
- [26] Watts, S. (2016). A mini review on technique of milk pasteurization. *Journal of Pharmacognosy and Phytochemistry* 5(5), 99-101.
- [27] Rahman, F. (2022). Pasteurization of milk: Process, importance, procedure & recent advancements. *Food Infotech*.
- [28] Department of Food Science. Alkaline phosphatase (alp) testing for milk pasteurization. *Dairy Foods Science Notes*, 11(7).
- [29] European Dairy Association. (2020). *Packaging in the dairy industry. How the dairy industry chooses its packaging options*.
- [30] Sfakianakis, P. & Tzia, C. (2014). Conventional and innovative processing of milk for yogurt manufacture; Development of texture and flavor: A review. *Foods*, 3(1), 176-193.