

ΠΤΥΧΙΑΚΗ ΕΡΓΑΣΙΑ

Σχεδιασμός και Υλοποίηση Συστήματος Ελέγχου και Εποπτείας Δεξαμενής με χρήση PLC και HMI



Φοιτητής:

Κωνσταντίνος Πανόπουλος
Αριθμός Μητρώου: 517106

Επιβλέπων:

Κωνσταντίνος Τσιντώτας

31 Αυγούστου 2026

Title of Dissertation
Design and Implementation of a Tank Control and Monitoring System Using PLC and HMI Code
of Dissertation 23101
Student's full name Konstantinos Panopoulos
Supervisor's full name Konstantinos Tsintotas
Date of undertaking 28-03-2025
Date of completion 31-08-2026

We hereby affirm the authorship of this paper as well as the acknowledgement and credit of whichever assistance We received in its composition. We have, furthermore, noted the various sources from which We extracted data, ideas, visual or written material, in paraphrase or exact quotation. Moreover, we affirm the exclusive composition of this paper by myself only, for the purpose of it being a dissertation, in the Department of Information and Electronic Engineering of the I.H.U.

This paper constitutes the intellectual property of Konstantinos Panopoulos the student that composed it. According to the open-access policy, the author/composer offers the International Hellenic University authorisation to use the right to reproduce, borrow, publicly present and digitally distribute the paper globally, in electronic form and media of all kinds, for teaching or research purposes, voluntarily. Open access to the full text, by no means grants the right to trespass the intellectual property of the author/composer, nor does it authorise the reproduction, republication, duplication, selling, commercial use, distribution, publication, downloading, uploading, translation, modification of any kind, in part or summary of the paper, without the explicit written consent of the authors.

The approval of this dissertation by the Department of Information and Electronic Engineering of the International Hellenic University, does not necessarily entail the adoption of the author's views, on behalf of the Department.

Αφιέρωση

Αφιερώνω την παρούσα εργασία στην οικογένειά μου, η οποία στάθηκε δίπλα μου σε όλη τη διάρκεια των σπουδών μου, προσφέροντάς μου στήριξη, υπομονή και ενθάρρυνση σε κάθε στάδιο αυτής της πορείας. Η παρουσία και η εμπιστοσύνη τους στις επιλογές μου αποτέλεσαν σημαντικό κίνητρο για να συνεχίσω και να ολοκληρώσω την προσπάθειά μου, ακόμη και στις περιόδους που οι απαιτήσεις και οι δυσκολίες ήταν μεγαλύτερες.

Παράλληλα, αφιερώνω την εργασία αυτή στους ανθρώπους που με στήριξαν και με ενθάρρυναν όλα αυτά τα χρόνια, ο καθένας με τον δικό του τρόπο. Η ολοκλήρωση της πτυχιακής εργασίας αποτελεί για εμένα το τέλος ενός σημαντικού κύκλου σπουδών και ταυτόχρονα την αρχή μιας νέας πορείας. Για τον λόγο αυτό, η εργασία αυτή αφιερώνεται σε όλους όσοι αποτέλεσαν μέρος αυτής της διαδρομής.

Πρόλογος

Η συνεχής εξέλιξη της τεχνολογίας έχει μεταβάλει σημαντικά τον τρόπο με τον οποίο σχεδιάζονται και λειτουργούν οι σύγχρονες βιομηχανικές εγκαταστάσεις. Τα συστήματα αυτοματισμού αποτελούν πλέον βασικό μέρος της παραγωγικής διαδικασίας, καθώς επιτρέπουν τον ακριβέστερο έλεγχο, τη συνεχή παρακολούθηση και την ασφαλέστερη λειτουργία του εξοπλισμού. Ιδιαίτερα σημαντικό ρόλο σε αυτές τις εφαρμογές έχουν οι Προγραμματιζόμενοι Λογικοί Ελεγκτές (Programmable Logic Controllers – PLC), οι οποίοι σε συνδυασμό με τις Διεπαφές Ανθρώπου–Μηχανής (Human–Machine Interfaces – HMI) παρέχουν τη δυνατότητα δημιουργίας ολοκληρωμένων συστημάτων ελέγχου και εποπτείας.

Η διαχείριση της στάθμης υγρών σε δεξαμενές αποτελεί μία χαρακτηριστική εφαρμογή βιομηχανικού αυτοματισμού. Παρότι η βασική διαδικασία πλήρωσης μπορεί αρχικά να φαίνεται σχετικά απλή, η ανάπτυξη ενός ολοκληρωμένου συστήματος απαιτεί τον συνδυασμό διαφορετικών λειτουργιών. Ο έλεγχος της αντλίας πρέπει να πραγματοποιείται σύμφωνα με τις πληροφορίες στάθμης, ενώ ταυτόχρονα είναι απαραίτητη η αντιμετώπιση μη κανονικών καταστάσεων, η προστασία του εξοπλισμού και η παροχή κατάλληλης πληροφόρησης προς τον χειριστή. Η δυνατότητα καταγραφής και γραφικής απεικόνισης δεδομένων προσφέρει επιπλέον μία πληρέστερη εικόνα της συμπεριφοράς του συστήματος κατά τη λειτουργία του.

Με αφετηρία τις παραπάνω απαιτήσεις, η παρούσα πτυχιακή εργασία επικεντρώνεται στον σχεδιασμό και την υλοποίηση ενός συστήματος αυτόματης πλήρωσης δεξαμενής με χρήση PLC και HMI. Στο πλαίσιο της εργασίας αναπτύχθηκε η απαιτούμενη λογική ελέγχου στο περιβάλλον UniLogic, ενσωματώθηκαν λειτουργίες προστασίας και διαχείρισης συναγερμών και σχεδιάστηκε κατάλληλο περιβάλλον HMI για την εποπτεία και τον χειρισμό της εφαρμογής. Παράλληλα, πραγματοποιήθηκε η κατασκευή και καλωδίωση πίνακα ελέγχου, ώστε η προγραμματιστική ανάπτυξη να συνδυαστεί με την πρακτική πλευρά ενός συστήματος βιομηχανικού αυτοματισμού.

Στα κεφάλαια που ακολουθούν παρουσιάζονται αρχικά το θεωρητικό υπόβαθρο και οι βασικές αρχές των συστημάτων αυτοματισμού και στη συνέχεια αναλύονται ο σχεδιασμός και η υλοποίηση της εφαρμογής. Ιδιαίτερη έμφαση δίνεται στη λογική λειτουργίας του PLC, στη διαχείριση των σημάτων στάθμης, στους μηχανισμούς προστασίας, στη διεπαφή HMI και στην καταγραφή λειτουργικών δεδομένων. Τέλος, μέσω διαφορετικών σεναρίων δοκιμών αξιολογείται η συμπεριφορά του συστήματος και παρουσιάζονται τα αποτελέσματα και τα συμπεράσματα που προέκυψαν από την υλοποίηση. Με τον τρόπο αυτό, η εργασία επιχειρεί να συνδέσει τη θεωρητική γνώση των βιομηχανικών αυτοματισμών με την πρακτική ανάπτυξη μιας

ολοκληρωμένης εφαρμογής ελέγχου και εποπτείας.

Περίληψη

Η παρούσα πτυχιακή εργασία παρουσιάζει τον σχεδιασμό, την υλοποίηση και την αξιολόγηση ενός αυτοματοποιημένου συστήματος πλήρωσης και ελέγχου στάθμης δεξαμενής με χρήση Προγραμματιζόμενου Λογικού Ελεγκτή (Programmable Logic Controller – PLC) και Διεπαφής Ανθρώπου–Μηχανής (Human–Machine Interface – HMI). Βασικός στόχος ήταν η ανάπτυξη ενός ολοκληρωμένου συστήματος αυτοματισμού, ικανού να ελέγχει τη λειτουργία της αντλίας σύμφωνα με τις καταστάσεις στάθμης της δεξαμενής και παράλληλα να παρέχει δυνατότητες εποπτείας, προστασίας, διαχείρισης συναγερμών και καταγραφής λειτουργικών δεδομένων. Για την ανάπτυξη του συστήματος χρησιμοποιήθηκε PLC της Unitronics και το προγραμματιστικό περιβάλλον UniLogic, ενώ η λογική ελέγχου υλοποιήθηκε σε γλώσσα Διαγράμματος Κλίμακας (Ladder Diagram). Η εφαρμογή περιλαμβάνει έλεγχο της αντλίας βάσει της στάθμης, διαφορετικούς τρόπους λειτουργίας, χρονικές λειτουργίες, μηχανισμούς προστασίας, μετρητές εκκινήσεων και χρόνου λειτουργίας, διαχείριση συναγερμών και HMI για την εποπτεία και τον χειρισμό του συστήματος.

Η υλοποίηση αξιολογήθηκε μέσω διαφορετικών σεναρίων κανονικής λειτουργίας και δυσλειτουργίας, με σκοπό την επαλήθευση της απόκρισης της λογικής ελέγχου και των λειτουργιών εποπτείας. Οι δοκιμές επιβεβαίωσαν την ορθή λειτουργία των βασικών λειτουργιών ελέγχου και προστασίας στις συνθήκες που εξετάστηκαν. Επιπλέον, αξιοποιήθηκαν οι λειτουργίες Data Sampling και Trend για την καταγραφή και γραφική απεικόνιση επιλεγμένων μεταβλητών, επιτρέποντας την παρακολούθηση της χρονικής συμπεριφοράς της αντλίας και των σημάτων στάθμης. Συνολικά, τα αποτελέσματα δείχνουν ότι η εφαρμογή PLC–HMI αποτελεί μία λειτουργική και ολοκληρωμένη προσέγγιση για την αυτοματοποίηση της πλήρωσης δεξαμενής, συνδυάζοντας έλεγχο, εποπτεία, προστασία, διαχείριση συναγερμών και παρακολούθηση δεδομένων σε ένα ενιαίο σύστημα αυτοματισμού.

Περιεχόμενα

1	Εισαγωγή	1
1.1	Ιστορική Αναδρομή των Βιομηχανικών Αυτοματισμών	1
1.2	Διεπαφή Ανθρώπου–Μηχανής και Σύγχρονες Τεχνολογίες	2
1.3	Αυτοματισμός σε Συστήματα Δεξαμενών	2
1.4	Ανάλυση του Προβλήματος	3
1.5	Πλεονεκτήματα των Συστημάτων Αυτοματισμού	4
1.6	Προκλήσεις και Περιορισμοί	4
1.7	Αντικείμενο και Στόχος της Εργασίας	5
1.8	Δομή της Εργασίας	5
2	Αρχιτεκτονική Συστημάτων Αυτοματισμού	7
2.1	Εισαγωγή στην Αρχιτεκτονική Συστημάτων Αυτοματισμού	7
2.2	Βασικά Στοιχεία Συστήματος Αυτοματισμού	7
2.2.1	Αισθητήρες (Sensors)	7
2.2.2	Ελεγκτές (Controllers)	9
2.2.3	Ενεργοποιητές (Actuators)	10
2.2.4	Συστήματα Εποπτείας	10
2.2.5	Διαχείριση Συναγερμών	12
2.3	Επίπεδα και Τύποι Αρχιτεκτονικής	12
2.4	Ροή Δεδομένων και Βρόχος Ελέγχου	15
2.5	Βιομηχανική Επικοινωνία και Δίκτυα	15
2.6	Αξιοπιστία, Επεκτασιμότητα και Συντήρηση	15
2.7	Εφαρμογές Αυτοματισμού στον Έλεγχο Στάθμης Υγρών	16
3	Ανάλυση και Υλοποίηση του Συστήματος	17
3.1	Γενική Περιγραφή του Συστήματος	17
3.2	Αισθητήρες και Είσοδοι	17
3.3	Αντλία και Ηλεκτρικός Κινητήρας	18
3.4	Λογική Ελέγχου του Συστήματος	18
3.5	Συστήματα Προστασίας Και Διαχείριση Συναγερμών	19
3.6	Ανάλυση Λειτουργίας του Συστήματος	19
3.7	Ladder Logic	20
3.8	Κύκλος Σάρωσης του PLC	20
3.9	Λογικές Επαφές και Πηνία	20
3.10	Χρήση Εσωτερικών Μεταβλητών	21

3.11	Χρήση Χρονομετρητών Και Μετρητών	21
3.12	Δομή και Οργάνωση του Προγράμματος	21
3.13	Ανάλυση Εισόδων και Εξόδων του Συστήματος	22
3.14	Αναλογικά Σήματα	23
3.15	Ηλεκτρολογικός Πίνακας	23
3.16	Μπουτόν Χειρισμού και Ενδεικτικές Λυχνίες	26
3.17	Ασφάλεια και Προστασία Εξοπλισμού	26
3.18	Ανάλυση της Διεπαφής Ανθρώπου-Μηχανής	26
3.19	Επικοινωνία PLC και HMI	29
3.20	Ανάλυση Σεναρίων Βλάβης και Δυσλειτουργιών	29
3.21	Καταγραφή και Αξιοποίηση Δεδομένων Λειτουργίας	31
3.22	Καταγραφή Χρόνου Λειτουργίας της Αντλίας	31
3.23	Καταγραφή Αριθμού Εκκινήσεων και Κύκλων Λειτουργίας	32
3.24	Συσχέτιση Χρόνου Λειτουργίας και Μεταφερόμενης Ποσότητας	32
3.25	Ηλεκτρολογικό σχέδιο της κατασκευής	33
3.26	Ανάλυση της Υλοποιημένης Λογικής Ελέγχου σε Ladder	34
3.26.1	Υλοποίηση Τοπικού και Απομακρυσμένου Ελέγχου της Αντλίας	34
3.26.2	Ενοποίηση των Εντολών Χειρισμού	36
3.26.3	Επεξεργασία του Σήματος Χαμηλής Στάθμης της Πρώτης Δεξαμενής και Απεικόνιση	37
3.26.4	Χρονική Επεξεργασία των Σημάτων Στάθμης της Δεύτερης Δεξαμενής	39
3.26.5	Δημιουργία Ενδείξεων Κατάστασης της Αντλίας	40
3.26.6	Απεικόνιση της Στάθμης της Δεύτερης Δεξαμενής	41
3.26.7	Υλοποίηση Συναγερμών Προστασίας	42
3.26.8	Καταμέτρηση και Περιορισμός του Αριθμού Εκκινήσεων	43
3.26.9	Καταγραφή του Χρόνου Λειτουργίας της Αντλίας	45
3.26.10	Υπολογισμός της Εκτιμώμενης Παροχής	46
3.26.11	Μέτρηση του Χρόνου Πλήρωσης της Δεύτερης Δεξαμενής	46
3.26.12	Ολοκλήρωση και Αποθήκευση του Χρόνου Πλήρωσης	46
3.26.13	Ανίχνευση Υπερβολικού Χρόνου Πλήρωσης	47
3.27	Χώρος ανάπτυξης και υλοποίησης της εργασίας	48
3.28	Σύνοψη Κεφαλαίου	50
4	Αποτελέσματα	51
4.1	Εισαγωγή	51
4.2	Πειραματική Διάταξη και Διαδικασία Δοκιμών	52
4.3	Έλεγχος Τοπικής και Απομακρυσμένης Λειτουργίας	53
4.4	Έλεγχος Σήματος Χαμηλής Στάθμης	53
4.5	Έλεγχος Σήματος Υψηλής Στάθμης και Διακοπής της Αντλίας	55
4.6	Έλεγχος Χρονικών Περιορισμών Λειτουργίας της Αντλίας	55
4.7	Περιορισμός Αριθμού Εκκινήσεων της Αντλίας	56
4.8	Έλεγχος Λειτουργίας Emergency Stop	56
4.9	Έλεγχος Μη Έγκυρου Συνδυασμού Σημάτων Στάθμης	57
4.10	Καταγραφή Χρόνου Λειτουργίας της Αντλίας	57
4.11	Παρακολούθηση Χρόνου Πλήρωσης	58

4.12	Γραφική Παρακολούθηση των Μεταβλητών	58
4.13	Έλεγχος Συστήματος Συναγερμών	62
4.14	Ιστορικό Συναγερμών	63
4.15	Συνολική Αξιολόγηση Αποτελεσμάτων	64
5	Συζήτηση και Ερμηνεία	67
5.1	Αξιολόγηση των αποτελεσμάτων σε σχέση με τους στόχους της εργασίας	67
5.2	Αξιολόγηση της στρατηγικής ελέγχου και των λειτουργιών προστασίας	69
5.3	Αξιολόγηση της διεπαφής ΗΜΙ και της εποπτείας του συστήματος	71
5.4	Σύγκριση και συσχέτιση με τη βιβλιογραφία	74
5.5	Περιορισμοί της υλοποίησης	76
5.6	Μελλοντικές επεκτάσεις	78
6	Σύνοψη	81
	Βιβλιογραφία	83

Κατάλογος σχημάτων

1.1	Ενδεικτική απεικόνιση ενός Προγραμματιζόμενου Λογικού Ελεγκτή (PLC) και των βασικών επιμέρους στοιχείων του.	2
1.2	Ενδεικτική απεικόνιση βιομηχανικής δεξαμενής αποθήκευσης υγρού.	3
2.1	Ενδεικτικός αισθητήρας στάθμης υγρού.	8
2.2	Βασική αρχιτεκτονική ενός Προγραμματιζόμενου Λογικού Ελεγκτή (PLC). Προσαρμογή από [5].	10
2.3	Ενδεικτική απεικόνιση διεπαφής ανθρώπου-μηχανής (HMI) για την παρακολούθηση και τον έλεγχο συστήματος αυτόματου γεμίσματος δεξαμενής.	11
2.4	Ιεραρχική δομή των επιπέδων ενός σύγχρονου συστήματος βιομηχανικού αυτοματισμού, από το επίπεδο πεδίου έως το επίπεδο διαχείρισης.	13
3.1	Ενδεικτική απεικόνιση φυγοκεντρικής αντλίας σε σύζευξη με ηλεκτροκινητήρα.	18
3.2	Εξωτερική όψη του πίνακα ελέγχου του συστήματος αυτόματου γεμίσματος δεξαμενής και παρουσίαση των βασικών στοιχείων χειρισμού και εποπτείας.	24
3.3	Εσωτερική όψη του πίνακα ελέγχου και παρουσίαση των βασικών ηλεκτρικών και ηλεκτρονικών στοιχείων της κατασκευής.	25
3.4	Στάδιο ανάπτυξης και δοκιμής της διεπαφής HMI του συστήματος αυτόματου γεμίσματος δεξαμενής.	28
3.5	Ηλεκτρολογικό σχέδιο κυκλώματος ισχύος και ελέγχου του αυτοματοποιημένου συστήματος πλήρωσης δεξαμενής.	34
3.6	Υλοποίηση της λογικής χειροκίνητου ελέγχου της αντλίας στο πρόγραμμα Ladder.	35
3.7	Υλοποίηση της λογικής απομακρυσμένου ελέγχου της αντλίας μέσω του HMI.	36
3.8	Ενοποίηση των εντολών τοπικού και απομακρυσμένου χειρισμού και δημιουργία της κοινής εντολής λειτουργίας.	36
3.9	Χρονική επεξεργασία του σήματος στάθμης της πρώτης δεξαμενής.	37
3.10	Μετατροπή της λογικής κατάστασης στάθμης της πρώτης δεξαμενής σε αριθμητική τιμή για την απεικόνισή της στο HMI.	38
3.11	Χρονική επεξεργασία του σήματος χαμηλής στάθμης της δεύτερης δεξαμενής.	39
3.12	Χρονική επεξεργασία του σήματος υψηλής στάθμης της δεύτερης δεξαμενής.	39
3.13	Λογική δημιουργίας των ενδείξεων λειτουργίας και διακοπής της αντλίας.	40
3.14	Αρχικό τμήμα της λογικής οπτικοποίησης της στάθμης της δεύτερης δεξαμενής.	41
3.15	Αντιστοίχιση της κατάστασης υψηλής στάθμης με την αριθμητική τιμή οπτικοποίησης της δεύτερης δεξαμενής.	42
3.16	Λογική ανίχνευσης μη συμβατής κατάστασης των αισθητήρων στάθμης.	42

3.17	Λογική αρχικοποίησης του μετρητή εκκινήσεων και επαναφοράς του χρονικού κύκλου καταμέτρησης.	43
3.18	Έλεγχος υπέρβασης του επιτρεπόμενου αριθμού εκκινήσεων της αντλίας. . . .	44
3.19	Καταμέτρηση των εκκινήσεων της αντλίας και λειτουργία του χρονικού παραθύρου παρακολούθησης.	44
3.20	Οθόνες γραφικής απεικόνισης Trend και Live Trend στο HMI για την παρακολούθηση της χρονικής εξέλιξης των μεταβλητών του συστήματος.	48
3.21	Ενδεικτικές φωτογραφίες του χώρου στον οποίο πραγματοποιήθηκε μέρος της ανάπτυξης και υλοποίησης της εργασίας.	49
3.22	Στάδια κατασκευής και συναρμολόγησης του ηλεκτρολογικού πίνακα του συστήματος αυτοματισμού. Απεικονίζονται η προετοιμασία της πρόσοψης του πίνακα για την τοποθέτηση των στοιχείων χειρισμού και η εσωτερική εγκατάσταση και καλωδίωση του PLC και των επιμέρους ηλεκτρολογικών εξαρτημάτων.	50
4.1	Τελική πειραματική κατασκευή του συστήματος αυτόματης πλήρωσης δεξαμενής με HMI και φυσικά χειριστήρια.	52
4.2	Παρακολούθηση της λογικής χρονικής καθυστέρησης των σημάτων στάθμης στο περιβάλλον UniLogic.	54
4.3	Γραφική καταγραφή της μεταβολής της κατάστασης λειτουργίας της αντλίας μέσω της μεταβλητής PumpRun.	59
4.4	Γραφική απεικόνιση της μεταβολής του σήματος χαμηλής στάθμης κατά τη διάρκεια των δοκιμών.	60
4.5	Γραφική απεικόνιση της μεταβολής του σήματος υψηλής στάθμης κατά τη διάρκεια των δοκιμών.	61
4.6	Γραφική παρακολούθηση της μεταβλητής χρόνου λειτουργίας της αντλίας. . .	62
4.7	Οθόνη Alarm Summary με καταγραφή της κατάστασης και της σοβαρότητας των συναγερμών του συστήματος.	63
4.8	Ιστορικό συναγερμών του συστήματος μέσω της λειτουργίας Alarm History του HMI.	64

Κεφάλαιο 1

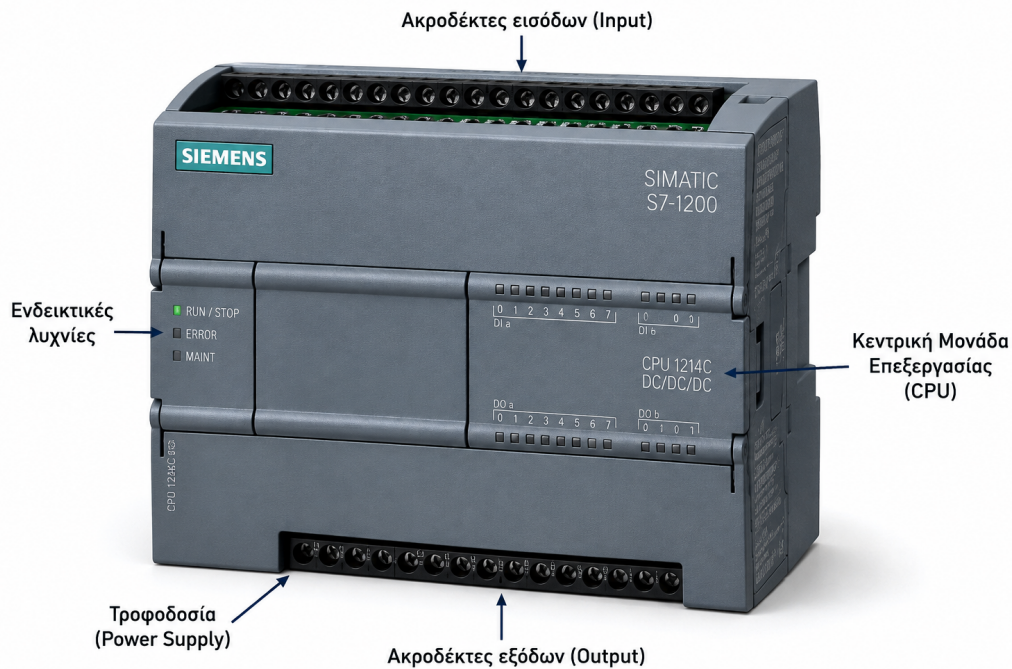
Εισαγωγή

1.1 Ιστορική Αναδρομή των Βιομηχανικών Αυτοματισμών

Η σύγχρονη βιομηχανική παραγωγή λειτουργεί σε ένα διαρκώς μεταβαλλόμενο περιβάλλον, στο οποίο οι απαιτήσεις της αγοράς εξελίσσονται συνεχώς, ενώ παράλληλα οι επιχειρήσεις καλούνται να αντιμετωπίσουν αβεβαιότητες που σχετίζονται με την εφοδιαστική αλυσίδα. Ο έντονος διεθνής ανταγωνισμός δημιουργεί την ανάγκη για ταχύτερη προσαρμογή στις απαιτήσεις των πελατών, διατήρηση υψηλών προτύπων ποιότητας και δυνατότητα παραγωγής εξατομικευμένων προϊόντων. Παράλληλα, η συνεχής ανανέωση των προϊόντων και η μείωση του κύκλου ζωής τους καθιστούν την ευελιξία και την προσαρμοστικότητα των παραγωγικών διαδικασιών ιδιαίτερα σημαντικές. Σημαντικό ρόλο στην ευελιξία ενός σύγχρονου βιομηχανικού συστήματος εξακολουθεί να διαδραματίζει ο ανθρώπινος παράγοντας. Σε αντίθεση με ένα πλήρως αυτοματοποιημένο σύστημα, ο άνθρωπος έχει τη δυνατότητα να αξιολογεί απρόβλεπτες καταστάσεις, να λαμβάνει αποφάσεις και να προσαρμόζει τη συμπεριφορά του ανάλογα με τις εκάστοτε συνθήκες. Για τον λόγο αυτό, η αποτελεσματική συνεργασία ανθρώπου και μηχανής μπορεί να βελτιώσει σημαντικά την ευελιξία και την προσαρμοστικότητα ενός συστήματος παραγωγής. Τα αυτοματοποιημένα συστήματα μπορούν να αναλαμβάνουν επαναλαμβανόμενες και τυποποιημένες εργασίες, ενώ ο ανθρώπινος παράγοντας μπορεί να επικεντρωθεί σε δραστηριότητες που απαιτούν κρίση, εμπειρία και δυνατότητα λήψης αποφάσεων [1]. Στα αρχικά στάδια ανάπτυξης του βιομηχανικού αυτοματισμού, ο έλεγχος των παραγωγικών διεργασιών πραγματοποιούνταν κυρίως με χειροκίνητο τρόπο ή με τη χρήση απλών ηλεκτρομηχανικών διατάξεων, όπως διακόπτες, ηλεκτρονόμοι (relays) και χρονικά. Αν και οι λύσεις αυτές ήταν επαρκείς για σχετικά απλές εφαρμογές, παρουσίαζαν σημαντικούς περιορισμούς, όπως αυξημένη πολυπλοκότητα στην καλωδίωση, δυσκολία τροποποίησης της λειτουργίας και περιορισμένες δυνατότητες επέκτασης και προσαρμογής των συστημάτων.

Η εμφάνιση των **Προγραμματιζόμενων Λογικών Ελεγκτών (Programmable Logic Controllers – PLCs)** αποτέλεσε καθοριστικό βήμα στην εξέλιξη των βιομηχανικών αυτοματισμών. Τα PLC είναι ψηφιακές συσκευές ελέγχου, ειδικά σχεδιασμένες για αξιόπιστη λειτουργία σε απαιτητικά βιομηχανικά περιβάλλοντα. Μέσω του προγραμματισμού τους είναι δυνατή η υλοποίηση σύνθετων λειτουργιών ελέγχου και η αυτοματοποίηση ενός μεγάλου εύρους παραγωγικών διεργασιών. Χαρακτηριστικά όπως η δυνατότητα επαναπρογραμματισμού, η υψηλή αξιοπιστία, η ανθεκτικότητα και η ευκολία συντήρησης έχουν καταστήσει τα PLC βασικό στοιχείο των σύγχρονων βιομηχανικών συστημάτων αυτοματισμού [2].

Η βασική δομή ενός Προγραμματιζόμενου Λογικού Ελεγκτή και τα κύρια επιμέρους στοιχεία του παρουσιάζονται στο Σχήμα 1.1.



Σχήμα 1.1: Ενδεικτική απεικόνιση ενός Προγραμματιζόμενου Λογικού Ελεγκτή (PLC) και των βασικών επιμέρους στοιχείων του.

1.2 Διεπαφή Ανθρώπου–Μηχανής και Σύγχρονες Τεχνολογίες

Παράλληλα με την ανάπτυξη των ελεγκτών, σημαντική εξέλιξη σημειώθηκε και στον τομέα της αλληλεπίδρασης ανθρώπου και μηχανής. Η Διεπαφή Ανθρώπου–Μηχανής (Human Machine Interface - HMI) αποτελεί το μέσο μέσω του οποίου ο χρήστης μπορεί να παρακολουθεί και να ελέγχει τη λειτουργία ενός συστήματος αυτοματισμού. Τα συστήματα HMI παρέχουν δυνατές απεικόνισης δεδομένων σε πραγματικό χρόνο, εμφάνισης συναγερμών και καταγραφής λειτουργικών παραμέτρων. Μέσω αυτών, ο χειριστής αποκτά πλήρη εικόνα της κατάστασης του συστήματος και μπορεί να παρεμβαίνει άμεσα όταν απαιτείται [3]. Η ενσωμάτωση των PLC με τα HMI έχει οδηγήσει στη δημιουργία ολοκληρωμένων συστημάτων αυτοματισμού, τα οποία προσφέρουν υψηλό επίπεδο ελέγχου και εποπτείας.

1.3 Αυτοματισμός σε Συστήματα Δεξαμενών

Ένας από τους σημαντικότερους τομείς εφαρμογής των βιομηχανικών αυτοματισμών είναι η διαχείριση υγρών σε δεξαμενές. Συστήματα δεξαμενών χρησιμοποιούνται σε πολλές βιομη-

χανικές εφαρμογές, όπως στην επεξεργασία νερού, στη βιομηχανία τροφίμων και στη χημική βιομηχανία [4].

Μία τυπική μορφή βιομηχανικής δεξαμενής αποθήκευσης υγρού παρουσιάζεται ενδεικτικά στο Σχήμα 1.2.



Σχήμα 1.2: Ενδεικτική απεικόνιση βιομηχανικής δεξαμενής αποθήκευσης υγρού.

Η διατήρηση της στάθμης του υγρού εντός προκαθορισμένων ορίων αποτελεί βασική απαίτηση για την ασφαλή και αποδοτική λειτουργία του συστήματος. Η χαμηλή στάθμη μπορεί να οδηγήσει σε λειτουργία της αντλίας χωρίς υγρό (dry-run), ενώ η υψηλή στάθμη μπορεί να προκαλέσει υπερχειλίση και πιθανές ζημιές στον εξοπλισμό [5].

Για την αποφυγή αυτών των προβλημάτων, χρησιμοποιούνται αισθητήρες στάθμης, οι οποίοι παρέχουν πληροφορίες σχετικά με την κατάσταση της δεξαμενής. Τα δεδομένα αυτά επεξεργάζονται από τον ελεγκτή, ο οποίος λαμβάνει αποφάσεις για τη λειτουργία της αντλίας [6].

1.4 Ανάλυση του Προβλήματος

Η χειροκίνητη διαχείριση της στάθμης παρουσιάζει σημαντικά μειονεκτήματα. Η εξάρτηση από τον ανθρώπινο παράγοντα αυξάνει την πιθανότητα σφαλμάτων, ενώ η έλλειψη συνεχούς παρακολούθησης μπορεί να οδηγήσει σε καθυστερημένη αντίδραση σε κρίσιμες καταστάσεις [7].

Επιπλέον, η απουσία μηχανισμών καταγραφής δεδομένων καθιστά δύσκολη την ανάλυση της λειτουργίας του συστήματος και την έγκαιρη ανίχνευση προβλημάτων. Για παράδειγμα, δεν είναι εύκολο να εντοπιστεί αν η αντλία παρουσιάζει μειωμένη απόδοση ή αν υπάρχει διαρ-

ροή στο σύστημα. Η ανάγκη για αυτοματοποίηση προκύπτει από την απαίτηση για ασφαλή, αξιόπιστη και αποδοτική λειτουργία των εγκαταστάσεων.

Επομένως, το πρόβλημα δεν περιορίζεται αποκλειστικά στην αυτόματη ενεργοποίηση και απενεργοποίηση μιας αντλίας. Ένα ολοκληρωμένο σύστημα ελέγχου στάθμης πρέπει να μπορεί να ανταποκρίνεται με προβλέψιμο τρόπο στις διαφορετικές καταστάσεις της διεργασίας, να περιορίζει ανεπιθύμητες συνθήκες λειτουργίας και ταυτόχρονα να παρέχει στον χειριστή επαρκή πληροφόρηση σχετικά με την κατάσταση του συστήματος.

Παράλληλα, ιδιαίτερη σημασία παρουσιάζει η δυνατότητα παρακολούθησης της λειτουργίας σε βάθος χρόνου. Η καταγραφή λειτουργικών δεδομένων και συμβάντων μπορεί να διευκολύνει την αξιολόγηση της συμπεριφοράς του συστήματος και να παρέχει χρήσιμες πληροφορίες για τον εντοπισμό μη φυσιολογικών καταστάσεων. Κατά συνέπεια, η ανάπτυξη ενός συστήματος αυτοματισμού για εφαρμογές δεξαμενών απαιτεί τον συνδυασμό ελέγχου, προστασίας, εποπτείας και καταγραφής δεδομένων.

1.5 Πλεονεκτήματα των Συστημάτων Αυτοματισμού

Τα συστήματα αυτοματισμού προσφέρουν σημαντικά πλεονεκτήματα σε σχέση με τις παραδοσιακές μεθόδους. Η αυτοματοποίηση οδηγεί σε αύξηση της παραγωγικότητας και μείωση των σφαλμάτων, ενώ επιτρέπει τη συνεχή λειτουργία του συστήματος χωρίς διακοπές. Παράλληλα, η δυνατότητα καταγραφής και ανάλυσης δεδομένων επιτρέπει τη βελτιστοποίηση της λειτουργίας και τη λήψη αποφάσεων για τη βελτίωση της απόδοσης [8]. Ένα ακόμη σημαντικό πλεονέκτημα των συστημάτων αυτοματισμού είναι η βελτίωση της αξιοπιστίας και της ασφάλειας μιας εγκατάστασης. Μέσω της συνεχούς παρακολούθησης των κρίσιμων παραμέτρων λειτουργίας είναι δυνατός ο έγκαιρος εντοπισμός μη φυσιολογικών καταστάσεων και η ενεργοποίηση κατάλληλων μηχανισμών προστασίας. Με αυτόν τον τρόπο μπορούν να περιοριστούν οι συνέπειες ενός σφάλματος, να προστατευθεί ο εξοπλισμός και να μειωθεί η ανάγκη συνεχούς ανθρώπινης επίβλεψης.

1.6 Προκλήσεις και Περιορισμοί

Παρά τα πλεονεκτήματα, τα συστήματα αυτοματισμού παρουσιάζουν και ορισμένες προκλήσεις. Το αρχικό κόστος εγκατάστασης μπορεί να είναι υψηλό, ενώ απαιτείται εξειδικευμένη γνώση για τον σχεδιασμό και τη συντήρησή τους. Επιπλέον, η εξάρτηση από τον εξοπλισμό και το λογισμικό καθιστά απαραίτητη την ύπαρξη μηχανισμών προστασίας, ώστε να διασφαλίζεται η απρόσκοπτη λειτουργία του συστήματος.

Επιπλέον, η αξιοπιστία ενός αυτοματοποιημένου συστήματος εξαρτάται σε σημαντικό βαθμό από την ποιότητα των πληροφοριών που λαμβάνει από το φυσικό περιβάλλον. Μία λανθασμένη ένδειξη αισθητήρα, μία αστοχία επικοινωνίας ή μία μη αναμενόμενη κατάσταση της διεργασίας μπορεί να επηρεάσει τις αποφάσεις του συστήματος ελέγχου. Για τον λόγο αυτό, ο σχεδιασμός δεν πρέπει να βασίζεται αποκλειστικά στην κανονική λειτουργία, αλλά να λαμβάνει υπόψη και πιθανές καταστάσεις σφάλματος.

Μία ακόμη πρόκληση αφορά την ισορροπία μεταξύ αυτοματοποιημένης λειτουργίας και ανθρώπινης εποπτείας. Παρόλο που ο αυτοματισμός μπορεί να μειώσει την ανάγκη συνεχούς

ανθρώπινης παρέμβασης, ο χειριστής εξακολουθεί να αποτελεί σημαντικό μέρος του συστήματος, ιδιαίτερα σε περιπτώσεις σφάλματος ή έκτακτης ανάγκης. Επομένως, η παροχή σαφούς πληροφόρησης και κατάλληλων δυνατοτήτων χειρισμού αποτελεί σημαντική παράμετρο κατά τον σχεδιασμό ενός ολοκληρωμένου συστήματος αυτοματισμού.

1.7 Αντικείμενο και Στόχος της Εργασίας

Η παρούσα εργασία έχει ως αντικείμενο τη μελέτη, τον σχεδιασμό και την υλοποίηση ενός συστήματος αυτόματου ελέγχου πλήρωσης δεξαμενής με χρήση PLC και HMI. Βασικός στόχος είναι η ανάπτυξη ενός ολοκληρωμένου συστήματος στο οποίο ο έλεγχος της αντλίας πραγματοποιείται σύμφωνα με την κατάσταση της στάθμης της δεξαμενής, ενώ παράλληλα παρέχονται δυνατότητες εποπτείας, προστασίας και καταγραφής της λειτουργίας. Η εργασία δεν επικεντρώνεται μόνο στην εκτέλεση της βασικής λειτουργίας πλήρωσης, αλλά και στην αντιμετώπιση καταστάσεων που μπορούν να επηρεάσουν την ασφαλή και αξιόπιστη λειτουργία της εγκατάστασης.

Οι επιμέρους στόχοι της εργασίας περιλαμβάνουν:

- τον σχεδιασμό της βασικής αρχιτεκτονικής του συστήματος αυτοματισμού,
- την ανάπτυξη της λογικής ελέγχου της διαδικασίας μέσω PLC,
- την αξιοποίηση των σημάτων στάθμης για τον έλεγχο της λειτουργίας της αντλίας,
- την ενσωμάτωση κατάλληλων λειτουργιών προστασίας και διαχείρισης μη κανονικών καταστάσεων,
- την ανάπτυξη διεπαφής HMI για την εποπτεία και τον χειρισμό του συστήματος,
- την καταγραφή λειτουργικών δεδομένων και συμβάντων με σκοπό την καλύτερη αξιολόγηση της συμπεριφοράς του συστήματος,
- και την πειραματική επαλήθευση της λειτουργίας της εφαρμογής μέσω διαφορετικών σεναρίων δοκιμών.

Μέσω των παραπάνω επιδιώκεται η ανάπτυξη μιας εφαρμογής που προσεγγίζει τη βασική φιλοσοφία ενός βιομηχανικού συστήματος αυτοματισμού, συνδυάζοντας τον αυτόματο έλεγχο με την εποπτεία, την προστασία και την καταγραφή πληροφοριών.

1.8 Δομή της Εργασίας

Η παρούσα εργασία οργανώνεται σε έξι κεφάλαια. Το πρώτο κεφάλαιο αποτελεί την εισαγωγή και παρουσιάζει το γενικό πλαίσιο των βιομηχανικών αυτοματισμών, το πρόβλημα που εξετάζεται, καθώς και το αντικείμενο και τους βασικούς στόχους της εργασίας.

Στο δεύτερο κεφάλαιο παρουσιάζεται το θεωρητικό υπόβαθρο που σχετίζεται με την αρχιτεκτονική των συστημάτων αυτοματισμού. Αναλύονται τα βασικά στοιχεία ενός συστήματος, όπως οι αισθητήρες, οι ελεγκτές και οι ενεργοποιητές, καθώς και ο ρόλος των PLC, των HMI

και των συστημάτων εποπτείας. Παράλληλα, εξετάζονται βασικές μορφές αρχιτεκτονικής και ζητήματα επικοινωνίας, αξιοπιστίας και διαχείρισης πληροφοριών.

Στο τρίτο κεφάλαιο παρουσιάζεται αναλυτικά ο σχεδιασμός και η υλοποίηση του προτεινόμενου συστήματος πλήρωσης δεξαμενής. Περιγράφονται ο χρησιμοποιούμενος εξοπλισμός, η λογική ελέγχου, οι λειτουργίες προστασίας, η διεπαφή HMI και οι υπόλοιπες λειτουργίες που αναπτύχθηκαν στο πλαίσιο της εφαρμογής.

Στο τέταρτο κεφάλαιο παρουσιάζονται τα αποτελέσματα των δοκιμών που πραγματοποιήθηκαν για την επαλήθευση της λειτουργίας του συστήματος. Εξετάζεται η απόκριση της εφαρμογής σε διαφορετικές καταστάσεις λειτουργίας και παρουσιάζονται οι αντίστοιχες καταγραφές και ενδείξεις.

Στο πέμπτο κεφάλαιο πραγματοποιείται η συζήτηση και αξιολόγηση των αποτελεσμάτων. Τα ευρήματα συσχετίζονται με τους στόχους της εργασίας και με τη σχετική βιβλιογραφία, ενώ εξετάζονται οι περιορισμοί της υλοποίησης και πιθανές κατευθύνσεις μελλοντικής επέκτασης. Τέλος, στο έκτο κεφάλαιο παρουσιάζονται τα βασικά συμπεράσματα της εργασίας και συνοψίζεται η συνολική συνεισφορά της υλοποίησης.

Κεφάλαιο 2

Αρχιτεκτονική Συστημάτων Αυτοματισμού

2.1 Εισαγωγή στην Αρχιτεκτονική Συστημάτων Αυτοματισμού

Η αρχιτεκτονική ενός συστήματος αυτοματισμού αναφέρεται στη συνολική δομή, την οργάνωση και τον τρόπο διασύνδεσης των επιμέρους στοιχείων που το αποτελούν. Αποτελεί ένα από τα σημαντικότερα στάδια σχεδιασμού, καθώς καθορίζει τον τρόπο λειτουργίας, την αποδοτικότητα και την αξιοπιστία του συστήματος. Στα σύγχρονα βιομηχανικά περιβάλλοντα, η ανάγκη για ολοκληρωμένα και ευέλικτα συστήματα έχει οδηγήσει στην ανάπτυξη πολυεπίπεδων αρχιτεκτονικών, όπου διαφορετικά επίπεδα συνεργάζονται για την επίτευξη του ελέγχου και της εποπτείας. Η σωστή αρχιτεκτονική επιτρέπει την εύκολη επέκταση του συστήματος, τη συντήρηση και την ενσωμάτωση νέων τεχνολογιών, ενώ παράλληλα εξασφαλίζει την ομαλή λειτουργία της διεργασίας.

2.2 Βασικά Στοιχεία Συστήματος Αυτοματισμού

2.2.1 Αισθητήρες (Sensors)

Οι αισθητήρες αποτελούν το πρώτο επίπεδο ενός συστήματος αυτοματισμού και είναι υπεύθυνοι για τη συλλογή δεδομένων από το φυσικό περιβάλλον. Μετρούν φυσικά μεγέθη, όπως θερμοκρασία, πίεση, στάθμη και ροή, και τα μετατρέπουν σε ηλεκτρικά σήματα. Η ακρίβεια των μετρήσεων είναι κρίσιμη, καθώς επηρεάζει άμεσα την απόδοση του συστήματος. Σφάλματα στους αισθητήρες μπορεί να οδηγήσουν σε λανθασμένες αποφάσεις από τον ελεγκτή. Σε εφαρμογές ελέγχου στάθμης, χρησιμοποιούνται συχνά πλωτηροδιακόπτες (float switches) ή αναλογικοί αισθητήρες, οι οποίοι επιτρέπουν τη συνεχή παρακολούθηση της στάθμης [9].

Ένα ενδεικτικό παράδειγμα αισθητήρα στάθμης παρουσιάζεται στο Σχήμα 2.1.

Ανάλογα με τις απαιτήσεις της εφαρμογής, η ανίχνευση της στάθμης μπορεί να πραγματοποιηθεί είτε σε συγκεκριμένα προκαθορισμένα σημεία είτε με συνεχή μέτρηση της μεταβολής της στάθμης.

Στην πρώτη περίπτωση χρησιμοποιούνται αισθητήρες σημειακής ανίχνευσης (point level sensors),



Σχήμα 2.1: Ενδεικτικός αισθητήρας στάθμης υγρού.

οι οποίοι παρέχουν πληροφορία σχετικά με το αν η στάθμη έχει φτάσει σε ένα συγκεκριμένο όριο. Χαρακτηριστικό παράδειγμα αποτελούν οι πλωτηροδιακόπτες (float switches), στους οποίους η μεταβολή της θέσης ενός πλωτήρα προκαλεί την αλλαγή της κατάστασης μιας ηλεκτρικής επαφής. Η συγκεκριμένη μέθοδος χαρακτηρίζεται από σχετικά απλή λειτουργία και μπορεί να χρησιμοποιηθεί για την ανίχνευση καταστάσεων όπως χαμηλή ή υψηλή στάθμη.

Αντίθετα, η συνεχής μέτρηση στάθμης παρέχει μία μεταβαλλόμενη τιμή η οποία αντιστοιχεί στην πραγματική στάθμη του υγρού. Για τον σκοπό αυτό μπορούν να χρησιμοποιηθούν διαφορετικές τεχνολογίες, όπως αισθητήρες υπερήχων, χωρητικοί αισθητήρες και αισθητήρες υδροστατικής πίεσης. Οι αισθητήρες υπερήχων υπολογίζουν την απόσταση μεταξύ του αισθητήρα και της επιφάνειας του υγρού μέσω της εκπομπής και λήψης ηχητικών κυμάτων, επιτρέποντας τη μέτρηση χωρίς άμεση επαφή με το υγρό. Οι χωρητικοί αισθητήρες βασίζονται στη μεταβολή της ηλεκτρικής χωρητικότητας που προκαλείται από την παρουσία του υλικού, ενώ η υδροστατική μέτρηση βασίζεται στη σχέση μεταξύ της πίεσης που ασκείται σε ένα συγκεκριμένο σημείο και του ύψους της στήλης του υγρού.

Η επιλογή της κατάλληλης τεχνολογίας εξαρτάται από παράγοντες όπως το είδος του υγρού, το εύρος μέτρησης, η απαιτούμενη ακρίβεια, οι συνθήκες του περιβάλλοντος και το κόστος εγκατάστασης. Σε εφαρμογές όπου απαιτείται μόνο η ανίχνευση συγκεκριμένων ορίων, η χρήση διακριτών αισθητήρων μπορεί να αποτελέσει μία απλούστερη λύση. Αντίθετα, όταν απαιτείται λεπτομερέστερη παρακολούθηση της διεργασίας ή εφαρμογή συνεχούς ελέγχου, η χρήση αναλογικής μέτρησης παρέχει περισσότερες πληροφορίες σχετικά με την κατάσταση του συστήματος.

2.2.2 Ελεγκτές (Controllers)

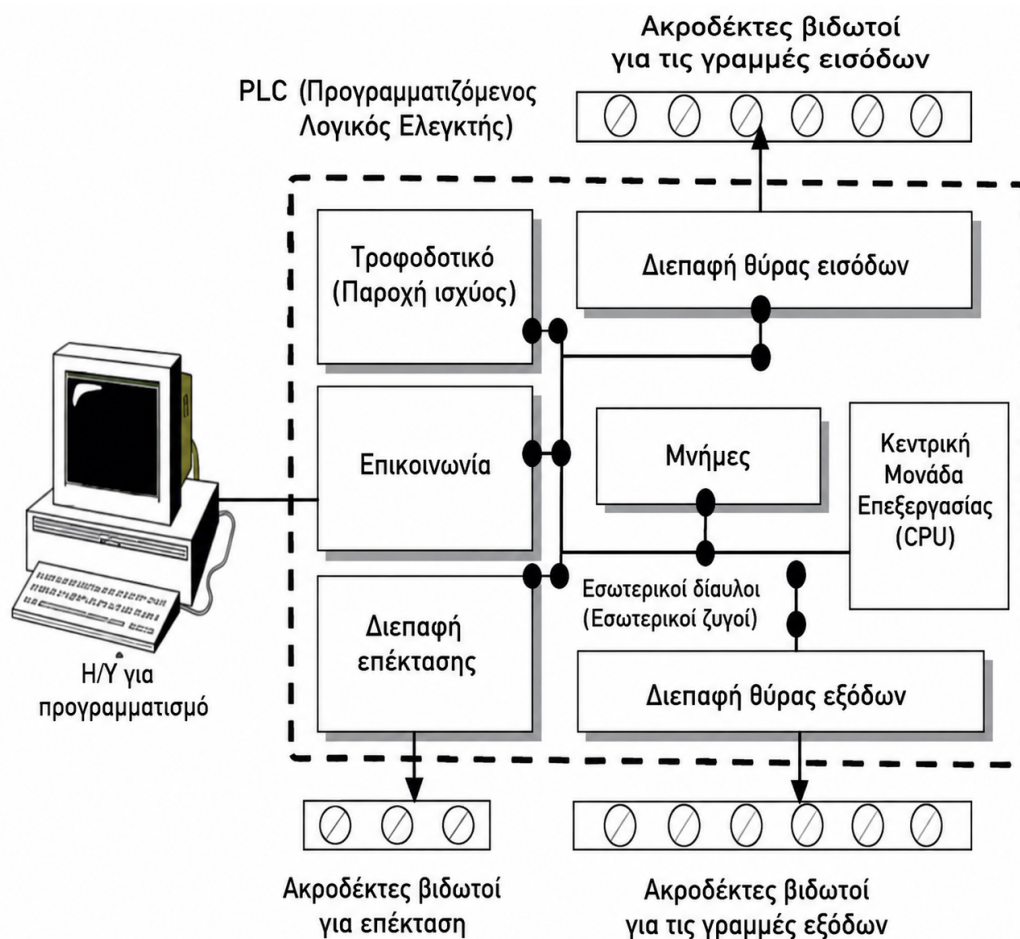
Οι ελεγκτές αποτελούν τον πυρήνα του συστήματος. Οι Προγραμματιζόμενοι Λογικοί Ελεγκτές (Programmable Logic Controllers - PLC) είναι οι πιο διαδεδομένοι στη βιομηχανία λόγω της αξιοπιστίας και της ευελιξίας τους [10].

Ένας **Προγραμματιζόμενος Λογικός Ελεγκτής** αποτελεί μια εξειδικευμένη συσκευή ελέγχου που χρησιμοποιείται ευρέως σε βιομηχανικές εφαρμογές και συστήματα αυτοματισμού. Η λειτουργία του βασίζεται στη λήψη σημάτων από τις εισόδους του, στην επεξεργασία τους σύμφωνα με το πρόγραμμα που έχει αποθηκευτεί στη μνήμη του και στην ενεργοποίηση των κατάλληλων εξόδων, μέσω των οποίων ελέγχεται ο εξοπλισμός της εγκατάστασης [11].

Η βασική δομή ενός PLC περιλαμβάνει τα ακόλουθα επιμέρους τμήματα:

1. **Κεντρική Μονάδα Επεξεργασίας (Central Processing Unit – CPU):** Αποτελεί το βασικό τμήμα επεξεργασίας και ελέγχου του PLC. Η CPU εκτελεί τις εντολές του αποθηκευμένου προγράμματος, επεξεργάζεται τις πληροφορίες που προέρχονται από τις εισόδους και καθορίζει την κατάσταση των εξόδων του συστήματος.
2. **Μνήμη (Memory):** Χρησιμοποιείται για την αποθήκευση του προγράμματος λειτουργίας, των εντολών που εκτελεί η CPU, καθώς και των δεδομένων που απαιτούνται κατά τη λειτουργία του συστήματος. Με αυτόν τον τρόπο, το PLC διαθέτει τις απαραίτητες πληροφορίες για την εκτέλεση της επιθυμητής λογικής ελέγχου.
3. **Μονάδες Εισόδων και Εξόδων (Input/Output Modules – I/O):** Επιτρέπουν την επικοινωνία του PLC με τον εξωτερικό εξοπλισμό. Μέσω των εισόδων συλλέγονται πληροφορίες από συσκευές όπως αισθητήρες, διακόπτες και μπουτόν, ενώ μέσω των εξόδων αποστέλλονται εντολές σε συσκευές όπως ηλεκτρονόμοι, κινητήρες, αντλίες, βαλβίδες και ενδεικτικές λυχνίες.
4. **Μονάδες Επέκτασης (Extension Modules):** Όταν οι διαθέσιμες εισοδοί και έξοδοι ενός PLC δεν επαρκούν για τις απαιτήσεις μιας εφαρμογής, υπάρχει η δυνατότητα προσθήκης επιπλέον μονάδων. Με αυτές μπορεί να αυξηθεί ο αριθμός των εισόδων και εξόδων ή να προστεθούν επιπλέον δυνατότητες επικοινωνίας και λειτουργίας.
5. **Μονάδα Τροφοδοσίας (Power Supply):** Είναι υπεύθυνη για την παροχή της κατάλληλης ηλεκτρικής τάσης στα επιμέρους ηλεκτρονικά τμήματα του PLC. Μετατρέπει την τάση τροφοδοσίας στα επίπεδα που απαιτούνται για την ασφαλή και ομαλή λειτουργία της CPU και των υπόλοιπων μονάδων.

Τα βασικά δομικά στοιχεία ενός Προγραμματιζόμενου Λογικού Ελεγκτή παρουσιάζονται σχηματικά στο Σχήμα 2.2.



Σχήμα 2.2: Βασική αρχιτεκτονική ενός Προγραμματιζόμενου Λογικού Ελεγκτή (PLC). Προσαρμογή από [5].

2.2.3 Ενεργοποιητές (Actuators)

Οι ενεργοποιητές είναι τα στοιχεία που υλοποιούν τις εντολές του ελεγκτή και επηρεάζουν τη φυσική διεργασία. Περιλαμβάνουν συσκευές όπως κινητήρες, βαλβίδες και αντλίες. Η επιλογή των ενεργοποιητών πρέπει να γίνεται με βάση τις απαιτήσεις της εφαρμογής, λαμβάνοντας υπόψη παράγοντες όπως η ισχύς, η ταχύτητα και η ακρίβεια.

2.2.4 Συστήματα Εποπτείας

Τα συστήματα εποπτείας περιλαμβάνουν το HMI και τα συστήματα Εποπτικού Ελέγχου και Συλλογής Δεδομένων (Supervisory Control and Data Acquisition - SCADA). Μέσω των συστημάτων αυτών, ο χρήστης μπορεί να παρακολουθεί τη λειτουργία του συστήματος σε πραγματικό χρόνο, να λαμβάνει ειδοποιήσεις και να καταγράφει δεδομένα για περαιτέρω ανάλυση [12]. Ένα ενδεικτικό παράδειγμα τέτοιας διεπαφής παρουσιάζεται στο Σχήμα 2.3.



Σχήμα 2.3: Ενδεικτική απεικόνιση διεπαφής ανθρώπου-μηχανής (HMI) για την παρακολούθηση και τον έλεγχο συστήματος αυτόματου γεμίσματος δεξαμενής.

Η χρησιμότητα ενός HMI δεν περιορίζεται στην απλή γραφική απεικόνιση. Η σωστή οργάνωση των πληροφοριών μπορεί να βοηθήσει τον χειριστή να αντιληφθεί γρηγορότερα την κατάσταση μιας εγκατάστασης και να εντοπίσει αποκλίσεις από την κανονική λειτουργία. Για τον λόγο αυτό, η σχεδίαση των σύγχρονων HMI συνδέεται άμεσα με την εργονομία και την αποτελεσματική παρουσίαση των πληροφοριών [13].

Η αποτελεσματικότητα μιας διεπαφής HMI εξαρτάται σε σημαντικό βαθμό από τον τρόπο με τον οποίο οργανώνεται και παρουσιάζεται η πληροφορία. Η ύπαρξη μεγάλου αριθμού ενδείξεων δεν συνεπάγεται απαραίτητα αποτελεσματικότερη εποπτεία. Αντίθετα, μία υπερφορτωμένη οθόνη μπορεί να δυσκολέψει την αναγνώριση των σημαντικότερων πληροφοριών, ιδιαίτερα όταν εμφανίζεται μία μη κανονική κατάσταση.

Για τον λόγο αυτό, κατά τον σχεδιασμό μιας διεπαφής πρέπει να διατηρείται σαφής οπτική ιεράρχηση. Οι σημαντικές μεταβλητές και καταστάσεις πρέπει να είναι εύκολα αναγνωρίσιμες, ενώ τα γραφικά στοιχεία πρέπει να χρησιμοποιούνται με συνέπεια. Παράλληλα, η πλοήγηση μεταξύ διαφορετικών οθονών πρέπει να παραμένει απλή, ώστε ο χειριστής να μπορεί να μεταβαίνει γρήγορα στην πληροφορία που χρειάζεται.

Η σύγχρονη προσέγγιση στον σχεδιασμό HMI δίνει ιδιαίτερη έμφαση στον άνθρωπο ως μέρος του συνολικού συστήματος ελέγχου. Επομένως, η ποιότητα της διεπαφής δεν αξιολογείται μόνο από την αισθητική της εμφάνιση, αλλά κυρίως από το κατά πόσο επιτρέπει στον χειριστή να κατανοεί την κατάσταση της διεργασίας και να λαμβάνει σωστές αποφάσεις.

Η καταγραφή δεδομένων αποτελεί σημαντική λειτουργία των σύγχρονων συστημάτων επο-

πτείας. Εκτός από την εμφάνιση της στιγμιαίας τιμής μιας μεταβλητής, είναι συχνά χρήσιμη η αποθήκευση των προηγούμενων τιμών της, ώστε να είναι δυνατή η εξέταση της συμπεριφοράς της διεργασίας σε ένα μεγαλύτερο χρονικό διάστημα.

Οι γραφικές παραστάσεις χρονικής εξέλιξης (trends) επιτρέπουν την παρουσίαση της μεταβολής μιας ή περισσότερων μεταβλητών ως προς τον χρόνο. Με τον τρόπο αυτό μπορούν να αναγνωριστούν αλλαγές κατάστασης, επαναλαμβανόμενα μοτίβα ή αποκλίσεις από τη συνθηθισμένη λειτουργία. Η ιστορική πληροφορία είναι ιδιαίτερα χρήσιμη όταν ένα συμβάν έχει ήδη ολοκληρωθεί και απαιτείται μεταγενέστερη διερεύνηση των συνθηκών που προηγήθηκαν.

Η συλλογή και αποθήκευση δεδομένων μπορεί επίσης να χρησιμοποιηθεί για την αξιολόγηση της απόδοσης ενός συστήματος και την υποστήριξη διαδικασιών συντήρησης. Σε μεγαλύτερες βιομηχανικές εγκαταστάσεις, τα δεδομένα αυτά μπορούν να μεταφέρονται σε συστήματα ανώτερου επιπέδου για περαιτέρω επεξεργασία και ανάλυση.

2.2.5 Διαχείριση Συναγερμών

Οι συναγερμοί αποτελούν βασικό μηχανισμό ενημέρωσης του χειριστή όταν μία μεταβλητή ή μία κατάσταση της διεργασίας αποκλίνει από τα προκαθορισμένα όρια λειτουργίας. Ένα σύστημα συναγερμών δεν πρέπει απλώς να εμφανίζει ότι έχει παρουσιαστεί ένα πρόβλημα, αλλά να παρέχει επαρκείς πληροφορίες ώστε ο χειριστής να μπορεί να κατανοήσει τη φύση και τη σοβαρότητά του. Για τον λόγο αυτό, στα σύγχρονα συστήματα αυτοματισμού μπορούν να χρησιμοποιούνται διαφορετικά επίπεδα προτεραιότητας ή σοβαρότητας (severity). Η κατηγοριοποίηση αυτή βοηθά στον διαχωρισμό ενός κρίσιμου συμβάντος που απαιτεί άμεση επέμβαση από μία απλή προειδοποίηση ή ενημερωτική κατάσταση. Σημαντική είναι επίσης η έννοια της αναγνώρισης ενός συναγερμού (acknowledgement). Η αναγνώριση υποδεικνύει ότι ο χειριστής έχει ενημερωθεί για την ύπαρξη του συμβάντος, χωρίς αυτό να σημαίνει απαραίτητα ότι η αιτία του έχει αποκατασταθεί. Με αυτόν τον τρόπο διαχωρίζεται η ανθρώπινη επιβεβαίωση της ειδοποίησης από την πραγματική κατάσταση της διεργασίας.

Παράλληλα, η διατήρηση ιστορικού συναγερμών επιτρέπει την καταγραφή στοιχείων όπως ο χρόνος εμφάνισης, η αλλαγή κατάστασης και η αποκατάσταση ενός συμβάντος. Τα δεδομένα αυτά μπορούν να χρησιμοποιηθούν για την αναδρομική διερεύνηση προβλημάτων και την αξιολόγηση της λειτουργίας μιας εγκατάστασης. Η διαχείριση συναγερμών αποτελεί επομένως σημαντικό τμήμα της συνολικής αρχιτεκτονικής εποπτείας και όχι απλώς μία πρόσθετη λειτουργία γραφικής απεικόνισης [14].

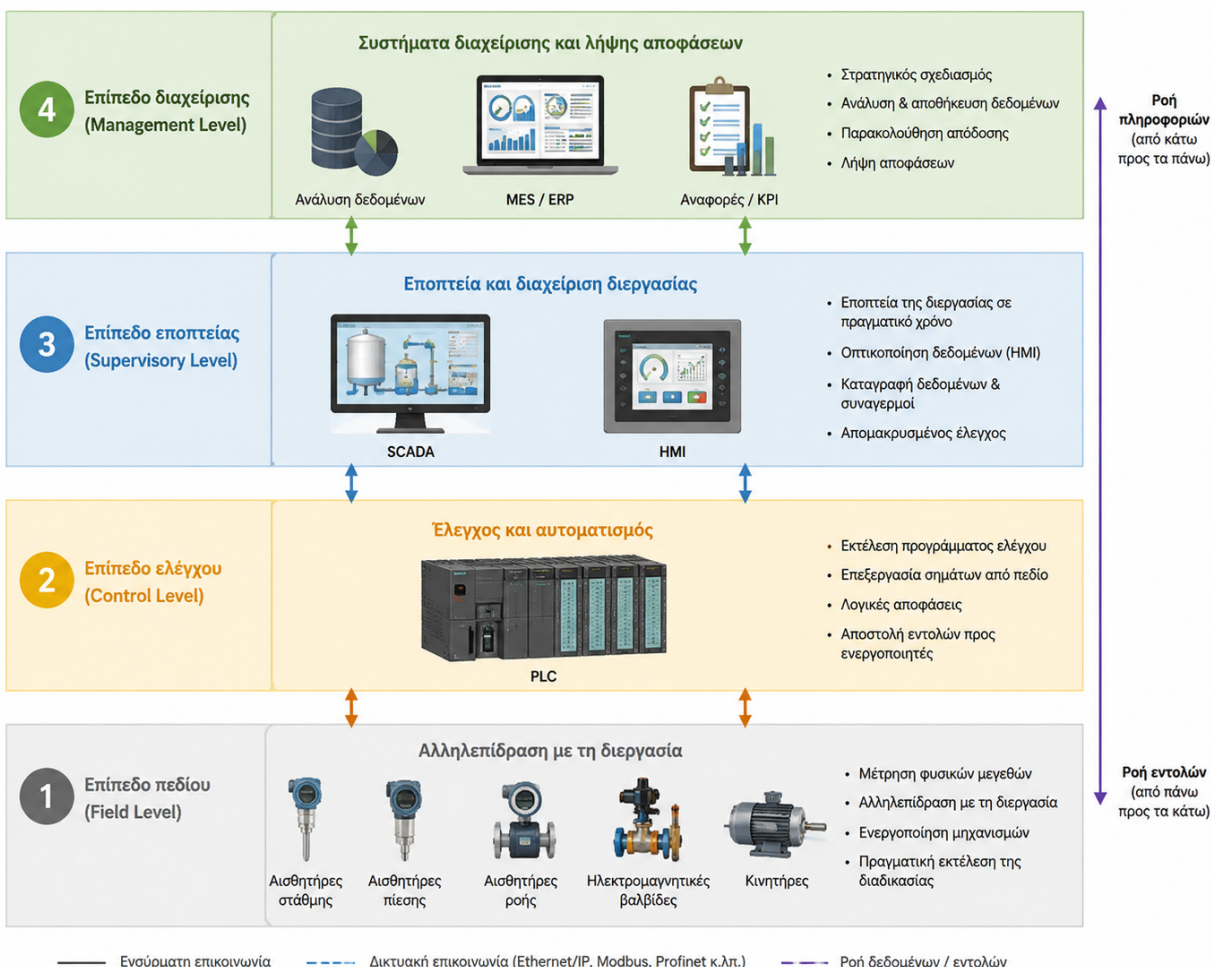
2.3 Επίπεδα και Τύποι Αρχιτεκτονικής

Η αρχιτεκτονική των συστημάτων αυτοματισμού οργανώνεται σε επίπεδα, τα οποία επιτρέπουν τον διαχωρισμό των λειτουργιών:

- **Επίπεδο πεδίου (Field Level):** Περιλαμβάνει αισθητήρες και ενεργοποιητές που αλληλεπιδρούν άμεσα με τη διεργασία.
- **Επίπεδο ελέγχου (Control Level):** Περιλαμβάνει τους ελεγκτές (PLC).
- **Επίπεδο εποπτείας (Supervisory Level):** Περιλαμβάνει τα HMI και SCADA.

- **Επίπεδο διαχείρισης (Management Level):** Περιλαμβάνει συστήματα ανάλυσης δεδομένων και λήψης αποφάσεων.

Ο διαχωρισμός αυτός επιτρέπει την καλύτερη οργάνωση και διαχείριση των συστημάτων. [15]
Η ιεραρχική δομή παρουσιάζεται στο Σχήμα 2.4.



Σχήμα 2.4: Ιεραρχική δομή των επιπέδων ενός σύγχρονου συστήματος βιομηχανικού αυτοματισμού, από το επίπεδο πεδίου έως το επίπεδο διαχείρισης.

Η παραπάνω ιεραρχική οργάνωση επιτρέπει τον διαχωρισμό των λειτουργιών ελέγχου, εποπτείας και διαχείρισης ενός βιομηχανικού συστήματος. Οι αισθητήρες του επιπέδου πεδίου παρέχουν πληροφορίες σχετικά με την κατάσταση της διεργασίας, οι οποίες επεξεργάζονται από το PLC στο επίπεδο ελέγχου. Στη συνέχεια, οι σημαντικότερες πληροφορίες μπορούν να παρουσιάζονται στον χειριστή μέσω ενός HMI ή ενός συστήματος SCADA, επιτρέποντας την εποπτεία της λειτουργίας και, όπου απαιτείται, την παρέμβαση του χειριστή.

Η επικοινωνία μεταξύ των επιπέδων αποτελεί βασική προϋπόθεση για τη συνολική λειτουργία της αρχιτεκτονικής. Το επίπεδο πεδίου βρίσκεται πλησιέστερα στη φυσική διεργασία και παράγει τις πρωτογενείς πληροφορίες του συστήματος. Το επίπεδο ελέγχου χρησιμοποιεί τις πλη-

ροφορίες αυτές για την εκτέλεση της προγραμματισμένης λογικής, ενώ το επίπεδο εποπτείας μετατρέπει τα δεδομένα σε πληροφορίες που μπορούν να αξιοποιηθούν από τον χειριστή.

Καθώς οι πληροφορίες μεταφέρονται προς τα ανώτερα επίπεδα, ο χαρακτήρας τους μπορεί να αλλάζει. Για παράδειγμα, ένα απλό σήμα ενός αισθητήρα στο επίπεδο πεδίου μπορεί να χρησιμοποιηθεί από τον ελεγκτή για τη λήψη μιας απόφασης και στη συνέχεια να παρουσιαστεί στο επίπεδο εποπτείας ως κατάσταση λειτουργίας, συναγερμός ή ιστορική πληροφορία. Αντίστοιχα, εντολές που προέρχονται από ανώτερο επίπεδο μπορούν να μεταφέρονται προς τον ελεγκτή και τελικά να επηρεάζουν τον εξοπλισμό πεδίου.

Η πολυεπίπεδη οργάνωση διευκολύνει επίσης την επέκταση και τη συντήρηση των βιομηχανικών συστημάτων, καθώς επιτρέπει τον λειτουργικό διαχωρισμό μεταξύ της φυσικής διεργασίας, του αυτόματου ελέγχου, της εποπτείας και της διαχείρισης [15].

Στα συστήματα βιομηχανικού αυτοματισμού μπορούν να εφαρμοστούν διαφορετικές αρχιτεκτονικές ελέγχου, ανάλογα με το μέγεθος, την πολυπλοκότητα και τις απαιτήσεις της εκάστοτε εγκατάστασης. Οι βασικότερες κατηγορίες είναι η κεντριοποιημένη, η κατανεμημένη και η ιεραρχική αρχιτεκτονική.

Στην **κεντριοποιημένη αρχιτεκτονική**, ένας κεντρικός ελεγκτής αναλαμβάνει τη διαχείριση του συνόλου των λειτουργιών του συστήματος, λαμβάνοντας τα δεδομένα από τις εισόδους και καθορίζοντας αντίστοιχα τη λειτουργία των εξόδων. Η συγκεκριμένη προσέγγιση χαρακτηρίζεται από σχετικά απλή δομή και είναι ιδιαίτερα κατάλληλη για μικρά και μεσαίας κλίμακας συστήματα αυτοματισμού. Ωστόσο, όσο αυξάνεται το μέγεθος και η πολυπλοκότητα μιας εγκατάστασης, η εξάρτηση από έναν μοναδικό κεντρικό ελεγκτή μπορεί να αποτελέσει περιορισμό.

Αντίθετα, στην **κατανεμημένη αρχιτεκτονική**, οι λειτουργίες ελέγχου κατανέμονται σε περισσότερους ελεγκτές, οι οποίοι μπορούν να επικοινωνούν και να συνεργάζονται μεταξύ τους. Με αυτόν τον τρόπο επιτυγχάνεται μεγαλύτερη ευελιξία στην ανάπτυξη και επέκταση του συστήματος, ενώ παράλληλα μειώνεται η εξάρτηση της συνολικής λειτουργίας από έναν μόνο ελεγκτή. Για τον λόγο αυτό, η συγκεκριμένη αρχιτεκτονική συναντάται συχνά σε μεγαλύτερες και περισσότερο σύνθετες βιομηχανικές εγκαταστάσεις.

Τέλος, η **ιεραρχική αρχιτεκτονική** βασίζεται στη διαμόρφωση πολλαπλών επιπέδων ελέγχου και εποπτείας. Στα χαμηλότερα επίπεδα πραγματοποιείται συνήθως ο άμεσος έλεγχος του εξοπλισμού και η συλλογή δεδομένων από αισθητήρες, ενώ στα ανώτερα επίπεδα εκτελούνται λειτουργίες εποπτείας, συντονισμού και διαχείρισης της παραγωγικής διαδικασίας. Η συγκεκριμένη δομή επιτρέπει την αποτελεσματικότερη οργάνωση σύνθετων συστημάτων αυτοματισμού και διευκολύνει τη διαχείριση μεγάλου αριθμού επιμέρους διεργασιών.

Η επιλογή της κατάλληλης αρχιτεκτονικής είναι καθοριστική για την επιτυχία ενός συστήματος. Μια σωστή αρχιτεκτονική προσφέρει:

- Υψηλή αξιοπιστία
- Ευκολία συντήρησης
- Δυνατότητα επέκτασης
- Βελτιστοποίηση απόδοσης

Αντίθετα, ένας λανθασμένος σχεδιασμός μπορεί να οδηγήσει σε προβλήματα λειτουργίας και αυξημένο κόστος [16].

2.4 Ροή Δεδομένων και Βρόχος Ελέγχου

Η λειτουργία ενός συστήματος αυτοματισμού βασίζεται στη συνεχή ροή δεδομένων. Οι αισθητήρες συλλέγουν δεδομένα, τα οποία μεταφέρονται στον ελεγκτή. Ο ελεγκτής επεξεργάζεται τα δεδομένα και αποστέλλει εντολές στους ενεργοποιητές. Η διαδικασία αυτή δημιουργεί έναν κλειστό βρόχο ελέγχου (closed-loop control system), όπου η έξοδος του συστήματος επηρεάζει την είσοδο. Η ύπαρξη βρόχου ελέγχου επιτρέπει τη σταθεροποίηση της λειτουργίας και την προσαρμογή σε μεταβολές της διεργασίας.

2.5 Βιομηχανική Επικοινωνία και Δίκτυα

Η ανταλλαγή πληροφοριών μεταξύ των επιμέρους συσκευών αποτελεί βασικό στοιχείο ενός σύγχρονου συστήματος αυτοματισμού. PLC, HMI, απομακρυσμένες μονάδες εισόδων και εξόδων, αισθητήρες, μετατροπείς και συστήματα SCADA μπορεί να χρειάζεται να επικοινωνούν μεταξύ τους για τη μεταφορά δεδομένων και εντολών.

Σε απλούστερες εφαρμογές, τα στοιχεία πεδίου μπορούν να συνδέονται απευθείας στις εισόδους και εξόδους του PLC. Καθώς όμως αυξάνεται η πολυπλοκότητα μιας εγκατάστασης, η χρήση βιομηχανικών δικτύων επιτρέπει την ανταλλαγή μεγαλύτερου όγκου πληροφοριών μεταξύ διαφορετικών συσκευών και συστημάτων.

Για τη βιομηχανική επικοινωνία έχουν αναπτυχθεί διάφορα πρωτόκολλα και τεχνολογίες. Μεταξύ αυτών περιλαμβάνονται τεχνολογίες που βασίζονται στο Industrial Ethernet, καθώς και πρωτόκολλα όπως Modbus TCP, PROFINET και EtherNet/IP. Παρά τις διαφορές τους, ο κοινός στόχος είναι η αξιόπιστη μεταφορά δεδομένων μεταξύ των διαφορετικών επιπέδων του συστήματος αυτοματισμού [17].

Ιδιαίτερα σημαντική είναι η επικοινωνία μεταξύ PLC και HMI. Το HMI χρειάζεται πρόσβαση σε επιλεγμένες μεταβλητές του ελεγκτή, ώστε να παρουσιάζει την κατάσταση της διεργασίας, ενώ ταυτόχρονα μπορεί να μεταφέρει προς το PLC εντολές που εισάγονται από τον χειριστή. Η επικοινωνία είναι επομένως αμφίδρομη και αποτελεί τον σύνδεσμο μεταξύ της λογικής αυτομάτου ελέγχου και της ανθρώπινης εποπτείας.

Σε πιο εκτεταμένες εφαρμογές, η ίδια πληροφορία μπορεί να χρησιμοποιείται και από συστήματα SCADA ή άλλες πλατφόρμες συλλογής και επεξεργασίας δεδομένων. Με αυτόν τον τρόπο, η επικοινωνιακή υποδομή επιτρέπει τη διασύνδεση διαφορετικών επιπέδων της αρχιτεκτονικής και συμβάλλει στη δημιουργία ολοκληρωμένων συστημάτων αυτοματισμού.

2.6 Αξιοπιστία, Επεκτασιμότητα και Συντήρηση

Κατά τον σχεδιασμό της αρχιτεκτονικής ενός συστήματος αυτοματισμού δεν εξετάζεται μόνο η δυνατότητα εκτέλεσης της επιθυμητής λειτουργίας. Εξίσου σημαντικά χαρακτηριστικά είναι η αξιοπιστία, η δυνατότητα συντήρησης και η δυνατότητα μελλοντικής επέκτασης του συστήματος.

Η αξιοπιστία σχετίζεται με την ικανότητα του συστήματος να διατηρεί προβλέψιμη λειτουργία ακόμη και όταν εμφανίζονται μεταβολές ή μη κανονικές καταστάσεις. Για τον λόγο αυτό, σε μία βιομηχανική εφαρμογή είναι σημαντικό να προβλέπονται κατάλληλοι μηχανισμοί ανίχνευσης σφαλμάτων και ασφαλούς αντίδρασης. Η πληροφορία που παρέχεται από τους αισθητήρες, σε

συνδυασμό με τη λογική του ελεγκτή και τα συστήματα εποπτείας, μπορεί να χρησιμοποιηθεί για τον έγκαιρο εντοπισμό ανεπιθύμητων καταστάσεων.

Η δυνατότητα συντήρησης επηρεάζεται επίσης από τη δομή της αρχιτεκτονικής. Η σαφής οργάνωση των επιμέρους λειτουργιών και η ύπαρξη κατάλληλων διαγνωστικών πληροφοριών μπορούν να διευκολύνουν τον εντοπισμό μιας βλάβης και να μειώσουν τον χρόνο που απαιτείται για την αποκατάστασή της.

Τέλος, η επεκτασιμότητα αποτελεί σημαντικό κριτήριο σε εφαρμογές όπου είναι πιθανό να προστεθούν νέοι αισθητήρες, ενεργοποιητές, ελεγκτές ή λειτουργίες εποπτείας. Μία κατάλληλα σχεδιασμένη αρχιτεκτονική επιτρέπει την προσθήκη νέων στοιχείων χωρίς να απαιτείται πλήρης ανασχεδιασμός του υπάρχοντος συστήματος. Η δυνατότητα αυτή αποκτά ιδιαίτερη σημασία στις σύγχρονες βιομηχανικές εγκαταστάσεις, οι οποίες εξελίσσονται συνεχώς ως προς τις απαιτήσεις παραγωγής και διαχείρισης δεδομένων.

2.7 Εφαρμογές Αυτοματισμού στον Έλεγχο Στάθμης Υγρών

Ο έλεγχος στάθμης υγρών αποτελεί χαρακτηριστική εφαρμογή των συστημάτων βιομηχανικού αυτοματισμού. Συναντάται σε εγκαταστάσεις ύδρευσης, συστήματα αποθήκευσης, βιομηχανικές διεργασίες και εφαρμογές στις οποίες απαιτείται ελεγχόμενη μεταφορά ή αποθήκευση υγρών. Παρά τη σχετικά απλή περιγραφή του προβλήματος, η πρακτική υλοποίησή του μπορεί να περιλαμβάνει διαφορετικά επίπεδα ελέγχου, μέτρησης και εποπτείας.

Στη βιβλιογραφία έχουν παρουσιαστεί διαφορετικές προσεγγίσεις για τον αυτοματισμό δεξαμενών με τη χρήση PLC και συστημάτων εποπτείας. Οι Abdulwahid et al. παρουσιάζουν εφαρμογή διαχείρισης στάθμης νερού στην οποία συνδυάζονται PLC και SCADA/HMI, αναδεικνύοντας τον ρόλο της επικοινωνίας μεταξύ του ελεγκτή και του επιπέδου εποπτείας [18]. Αντίστοιχα, οι Armin et al. παρουσιάζουν σύστημα PLC-HMI για τον έλεγχο και την παρακολούθηση δεξαμενής, στο οποίο χρησιμοποιούνται μετρήσεις της διεργασίας για την αξιολόγηση της απόκρισης του συστήματος [19].

Επιπλέον, οι Mystkowski και Kierdelewicz μελέτησαν τον έλεγχο στάθμης δεξαμενής με χρήση PLC και πραγματοποίησαν πειραματική αξιολόγηση της συμπεριφοράς του συστήματος μέσω Hardware-In-The-Loop (HIL) προσομοιώσεων και πραγματικών μετρήσεων. Η μελέτη τους αναδεικνύει τη δυνατότητα των PLC να χρησιμοποιηθούν όχι μόνο για λογικό έλεγχο, αλλά και για περισσότερο σύνθετες στρατηγικές ρύθμισης της στάθμης [20].

Οι διαφορετικές εφαρμογές δείχνουν ότι δεν υπάρχει μία μοναδική αρχιτεκτονική κατάλληλη για κάθε σύστημα ελέγχου στάθμης. Σε μία απλούστερη εγκατάσταση μπορεί να είναι επαρκής η χρήση διακριτών ορίων στάθμης και βασικής λογικής ελέγχου, ενώ σε εφαρμογές με αυξημένες απαιτήσεις μπορεί να χρησιμοποιηθεί συνεχής αναλογική μέτρηση, πιο σύνθετη στρατηγική ελέγχου και εκτεταμένη συλλογή δεδομένων.

Κοινό χαρακτηριστικό των παραπάνω προσεγγίσεων είναι η ανάγκη συνδυασμού της πληροφορίας από το φυσικό επίπεδο, της λογικής που εκτελείται στον ελεγκτή και της κατάλληλης παρουσίας της κατάστασης στον χειριστή. Επομένως, οι εφαρμογές ελέγχου στάθμης αποτελούν χαρακτηριστικό παράδειγμα της αλληλεπίδρασης μεταξύ των διαφορετικών επιπέδων μιας αρχιτεκτονικής αυτοματισμού.

Κεφάλαιο 3

Ανάλυση και Υλοποίηση του Συστήματος

3.1 Γενική Περιγραφή του Συστήματος

Το σύστημα που αναπτύχθηκε στο πλαίσιο της παρούσας εργασίας αφορά την αυτοματοποιημένη διαχείριση της στάθμης υγρού σε δεξαμενή με χρήση Προγραμματιζόμενου Λογικού Ελεγκτή και Διεπαφής Ανθρώπου–Μηχανής. Ο βασικός στόχος του συστήματος είναι η ενεργοποίηση και απενεργοποίηση της αντλίας, ανάλογα με την κατάσταση της στάθμης, όπως αυτή ανιχνεύεται από αισθητήρες. Παράλληλα, το σύστημα παρέχει δυνατότητες εποπτείας, εμφάνισης συναγερμών και καταγραφής δεδομένων. Το σύστημα βασίζεται στη λειτουργική συνεργασία δύο δεξαμενών. Η πρώτη δεξαμενή (Tank 1) λειτουργεί ως δεξαμενή τροφοδοσίας, από την οποία η αντλία αντλεί το υγρό, ενώ η δεύτερη δεξαμενή (Tank 2) αποτελεί τη δεξαμενή πλήρωσης, προς την οποία μεταφέρεται το υγρό.

Η υλοποίηση του συστήματος βασίστηκε σε συνδυασμό βιομηχανικού εξοπλισμού και στοιχείων αυτοματισμού. Ο κύριος ελεγκτής του συστήματος είναι Προγραμματιζόμενος Λογικός Ελεγκτής της εταιρείας Unitronics. Ο ελεγκτής συνεργάζεται με αισθητήρες στάθμης, μπουτόν χειρισμού, ενδεικτικές λυχνίες και σύστημα Διεπαφής Ανθρώπου–Μηχανής. Η χρήση PLC σε εφαρμογές βιομηχανικού ελέγχου προσφέρει υψηλή αξιοπιστία και ευκολία προγραμματισμού, γεγονός που τα καθιστά ιδιαίτερα κατάλληλα για εφαρμογές διαχείρισης διεργασιών [21].

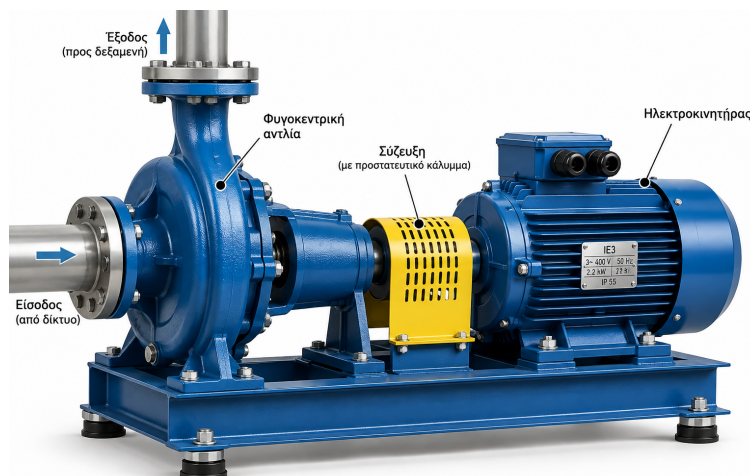
3.2 Αισθητήρες και Είσοδοι

Οι αισθητήρες αποτελούν βασικό στοιχείο του συστήματος, καθώς παρέχουν πληροφορίες σχετικά με την κατάσταση της δεξαμενής. Τα σήματα των αισθητήρων εισάγονται στις εισόδους του PLC και χρησιμοποιούνται για τη λήψη αποφάσεων. Επιπλέον, το σύστημα περιλαμβάνει μπουτόν χειρισμού για την ενεργοποίηση και απενεργοποίηση λειτουργιών, καθώς και διακόπτες επιλογής τρόπου λειτουργίας. Η σωστή επεξεργασία των σημάτων εισόδου είναι ιδιαίτερα σημαντική για την αποφυγή λανθασμένων ενεργειών και ανεπιθύμητων καταστάσεων.

3.3 Αντλία και Ηλεκτρικός Κινητήρας

Η μεταφορά του υγρού πραγματοποιείται μέσω αντλίας, η οποία ενεργοποιείται από ηλεκτρικό κινητήρα. Ο κινητήρας ελέγχεται από το PLC μέσω των κατάλληλων εξόδων. Η λειτουργία της αντλίας εξαρτάται από τη στάθμη της δεξαμενής και από τις συνθήκες ασφαλείας που έχουν υλοποιηθεί στο πρόγραμμα. Μέσω του αυτοματισμού εξασφαλίζεται η προστασία της αντλίας από ανεπιθύμητες συνθήκες λειτουργίας.

Ενδεικτική απεικόνιση φυγοκεντρικής αντλίας σε σύζευξη με ηλεκτροκινητήρα παρουσιάζεται στο Σχήμα 3.1



Σχήμα 3.1: Ενδεικτική απεικόνιση φυγοκεντρικής αντλίας σε σύζευξη με ηλεκτροκινητήρα.

3.4 Λογική Ελέγχου του Συστήματος

Η λειτουργία του συστήματος βασίζεται σε συγκεκριμένη λογική ελέγχου, η οποία υλοποιήθηκε μέσω του προγράμματος του PLC. Η λογική αυτή καθορίζει τις συνθήκες υπό τις οποίες πραγματοποιείται η ενεργοποίηση ή η απενεργοποίηση της αντλίας, λαμβάνοντας υπόψη τις πληροφορίες που προέρχονται από τους αισθητήρες στάθμης και τις εντολές του χρήστη. Η λειτουργία του συστήματος διαχωρίζεται σε δύο βασικούς τρόπους χειρισμού: την απομακρυσμένη λειτουργία (Remote Mode) και τη χειροκίνητη λειτουργία (Local Mode). Η επιλογή του τρόπου λειτουργίας καθορίζει το σημείο από το οποίο πραγματοποιείται ο έλεγχος της εγκατάστασης, χωρίς να αναιρεί τις βασικές λογικές συνθήκες και τις προστασίες που έχουν ενσωματωθεί στο πρόγραμμα του PLC.

Κατά τη χειροκίνητη λειτουργία (Local Mode), ο χειριστής έχει τη δυνατότητα να ελέγχει το σύστημα τοπικά μέσω των φυσικών στοιχείων χειρισμού που έχουν τοποθετηθεί στον ηλεκτρολογικό πίνακα. Η λειτουργία αυτή επιτρέπει την άμεση παρέμβαση του χειριστή και είναι ιδιαίτερα χρήσιμη κατά τη διαδικασία ελέγχου, δοκιμών και συντήρησης της εγκατάστασης.

Αντίθετα, κατά την απομακρυσμένη λειτουργία (Remote Mode), ο χειρισμός πραγματοποιείται μέσω του HMI. Οι εντολές που εισάγονται από τον χρήστη μέσω του γραφικού περιβάλλοντος

μεταφέρονται στον PLC, ο οποίος τις επεξεργάζεται σύμφωνα με τη λογική που έχει υλοποιηθεί στο πρόγραμμα και ελέγχει τις αντίστοιχες εξόδους του συστήματος.

Η ύπαρξη των δύο διαφορετικών τρόπων χειρισμού αυξάνει την ευελιξία της κατασκευής, καθώς παρέχει τόσο δυνατότητα τοπικού ελέγχου μέσω του φυσικού πίνακα όσο και δυνατότητα χειρισμού και εποπτείας μέσω του HMI. Παράλληλα, ο PLC εξακολουθεί να αποτελεί το κεντρικό στοιχείο επεξεργασίας των σημάτων και εφαρμογής των λογικών συνθηκών και των μηχανισμών προστασίας.

3.5 Συστήματα Προστασίας Και Διαχείριση Συναγερμών

Η ενσωμάτωση μηχανισμών προστασίας αποτελεί ιδιαίτερα σημαντικό στοιχείο για την ασφαλή λειτουργία του συστήματος. Μία από τις βασικότερες προστασίες είναι η αποφυγή λειτουργίας της αντλίας χωρίς παρουσία υγρού (dry-run protection). Η λειτουργία αυτή προστατεύει τον εξοπλισμό από υπερθέρμανση και μηχανικές φθορές. Για την αποφυγή ανεπιθύμητης συνέχισης της πλήρωσης χρησιμοποιείται το σήμα υψηλής στάθμης (HighLevel) της δεύτερης δεξαμενής. Μετά τη χρονική επεξεργασία του σήματος, η μεταβλητή DelayedHighLevel συμμετέχει στη λογική ελέγχου και, όταν επιτευχθεί η υψηλή στάθμη, διακόπτεται η λειτουργία της αντλίας.

Η διαχείριση συναγερμών (alarm management) αποτελεί σημαντικό μέρος του συστήματος αυτοματισμού. Σε περίπτωση ανωμαλίας, όπως υπερχειλίση, αστοχία αισθητήρα ή μη φυσιολογική λειτουργία της αντλίας, ενεργοποιούνται συναγερμοί οι οποίοι ενημερώνουν τον χρήστη σχετικά με την κατάσταση του συστήματος. Οι συναγερμοί εμφανίζονται μέσω του HMI, ενώ παράλληλα καταγράφονται στο ιστορικό λειτουργίας. Η σωστή διαχείριση συναγερμών συμβάλλει στην ταχύτερη ανίχνευση προβλημάτων και στη μείωση πιθανών βλαβών [22].

3.6 Ανάλυση Λειτουργίας του Συστήματος

Κατά τη λειτουργία του συστήματος πραγματοποιήθηκαν δοκιμές διαφορετικών σεναρίων λειτουργίας και δυσλειτουργίας.

Μεταξύ των σεναρίων που εξετάστηκαν περιλαμβάνονται:

- Κανονική λειτουργία πλήρωσης
- Χαμηλή στάθμη δεξαμενής
- Υπερχείλιση
- Αστοχία αισθητήρα
- Συχνές εκκινήσεις αντλίας

Η ανάλυση των σεναρίων αυτών επέτρεψε την αξιολόγηση της συμπεριφοράς του συστήματος και την επιβεβαίωση της σωστής λειτουργίας των μηχανισμών προστασίας.

3.7 Ladder Logic

Η γλώσσα Ladder Logic αποτελεί μία από τις πιο διαδεδομένες γλώσσες προγραμματισμού PLC. Η ανάπτυξη της βασίστηκε στη λογική λειτουργίας των παραδοσιακών ηλεκτρολογικών κυκλωμάτων με ρελέ, γεγονός που την καθιστά ιδιαίτερα κατανοητή σε τεχνικούς και μηχανικούς με εμπειρία σε ηλεκτρολογικές εγκαταστάσεις [23].

Η δομή της Ladder Logic βασίζεται σε δύο κατακόρυφες γραμμές τροφοδοσίας και σε οριζόντιες βαθμίδες (rungs), στις οποίες υλοποιούνται οι λογικές συνθήκες λειτουργίας. Κάθε βαθμίδα αντιπροσωπεύει μία λογική λειτουργία, η οποία εκτελείται από τον ελεγκτή κατά τη διάρκεια του κύκλου σάρωσης.

Η Ladder Logic χρησιμοποιείται ευρέως στη βιομηχανία λόγω της αξιοπιστίας και της ευκολίας κατανόησης που προσφέρει. Η δυνατότητα γρήγορης ανίχνευσης σφαλμάτων, η συμβατότητα με βιομηχανικά πρότυπα και η απλότητα της λογικής δομής την καθιστούν ιδανική για εφαρμογές αυτοματισμού. Παράλληλα, η συνεχής εξέλιξη των PLC και των λογισμικών ανάπτυξης επιτρέπει την υλοποίηση ολοένα και πιο σύνθετων εφαρμογών, διατηρώντας παράλληλα τη βασική φιλοσοφία της Ladder Logic [24].

3.8 Κύκλος Σάρωσης του PLC

Η λειτουργία ενός PLC βασίζεται στον κύκλο σάρωσης (scan cycle). Κατά τη διάρκεια κάθε κύκλου, το PLC εκτελεί διαδοχικά συγκεκριμένες λειτουργίες. Αρχικά πραγματοποιείται η ανάγνωση των εισόδων του συστήματος. Τα σήματα από αισθητήρες, μπουτόν και διακόπτες αποθηκεύονται στη μνήμη του ελεγκτή. Στη συνέχεια, εκτελείται το πρόγραμμα του χρήστη, κατά το οποίο αξιολογούνται οι λογικές συνθήκες και λαμβάνονται αποφάσεις σχετικά με τη λειτουργία του συστήματος. Τέλος, ενημερώνονται οι εξόδοι του PLC, ενεργοποιώντας ή απενεργοποιώντας στοιχεία όπως αντλίες, κινητήρες και ενδεικτικές λυχνίες. Η διαδικασία αυτή επαναλαμβάνεται συνεχώς με πολύ μεγάλη ταχύτητα, επιτρέποντας την άμεση απόκριση του συστήματος σε μεταβολές της διεργασίας [25].

3.9 Λογικές Επαφές και Πηνία

Στη γλώσσα Ladder χρησιμοποιούνται λογικές επαφές και πηνία για την υλοποίηση των λογικών συνθηκών.

Οι επαφές μπορεί να είναι:

- Κανονικά ανοικτές επαφές (Normally Open - NO)
- Κανονικά κλειστές επαφές (Normally Closed - NC)

Οι επαφές χρησιμοποιούνται για τον έλεγχο της ροής της λογικής συνθήκης, ενώ τα πηνία χρησιμοποιούνται για την ενεργοποίηση εξόδων ή εσωτερικών μεταβλητών. Η χρήση των στοιχείων αυτών επιτρέπει την υλοποίηση πολύπλοκων λογικών λειτουργιών με τρόπο απλό και κατανοητό.

3.10 Χρήση Εσωτερικών Μεταβλητών

Για την ανάπτυξη της λογικής λειτουργίας χρησιμοποιούνται βοηθητικές ή εσωτερικές μεταβλητές (internal bits). Οι μεταβλητές αυτές αποθηκεύονται στη μνήμη του PLC και χρησιμοποιούνται για την αποθήκευση καταστάσεων λειτουργίας. Οι εσωτερικές μεταβλητές επιτρέπουν τη δημιουργία πιο οργανωμένου και ευέλικτου προγράμματος, καθώς μπορούν να χρησιμοποιηθούν σε πολλαπλά σημεία της λογικής λειτουργίας. Η χρήση τέτοιων τεχνικών αποτελεί βασικό χαρακτηριστικό των σύγχρονων βιομηχανικών εφαρμογών.

3.11 Χρήση Χρονομετρητών Και Μετρητών

Οι χρονομετρητές (timers) αποτελούν σημαντικό εργαλείο στα συστήματα αυτοματισμού. Μέσω αυτών είναι δυνατή η υλοποίηση χρονικών καθυστερήσεων και η διαχείριση λειτουργιών που εξαρτώνται από τον χρόνο [26].

Στην παρούσα εργασία, οι χρονομετρητές χρησιμοποιούνται για:

- Καθυστέρηση ενεργοποίησης της αντλίας
- Καθυστέρηση απενεργοποίησης
- Προστασία από συχνές εκκινήσεις
- Ανίχνευση υπερχειλίσας
- Έλεγχο μέγιστου χρόνου λειτουργίας

Η χρήση χρονομετρητών βελτιώνει σημαντικά τη σταθερότητα και την αξιοπιστία του συστήματος.

Οι μετρητές χρησιμοποιούνται για την καταγραφή επαναλαμβανόμενων γεγονότων. Στο σύστημα που αναπτύχθηκε, οι μετρητές χρησιμοποιούνται για:

- Καταγραφή αριθμού εκκινήσεων της αντλίας
- Καταγραφή κύκλων λειτουργίας
- Παρακολούθηση λειτουργίας ανά χρονικό διάστημα

Η ανάλυση των δεδομένων αυτών επιτρέπει την αξιολόγηση της κατάστασης λειτουργίας του εξοπλισμού και τον εντοπισμό πιθανών δυσλειτουργιών.

3.12 Δομή και Οργάνωση του Προγράμματος

Η σωστή οργάνωση του προγράμματος αποτελεί ιδιαίτερα σημαντικό στοιχείο στην ανάπτυξη βιομηχανικών εφαρμογών. Το πρόγραμμα οργανώθηκε σε επιμέρους λογικές ενότητες, ώστε να είναι πιο ευανάγνωστο και ευκολότερο στη συντήρηση. Κάθε ενότητα είναι υπεύθυνη για διαφορετική λειτουργία του συστήματος, όπως:

- Έλεγχος στάθμης
- Διαχείριση λειτουργίας αντλίας
- Χειρισμός συναγερμών
- Καταγραφή δεδομένων
- Ενημέρωση HMI

Η προσέγγιση αυτή βελτιώνει την επεκτασιμότητα του συστήματος και επιτρέπει την ευκολότερη υλοποίηση μελλοντικών βελτιώσεων.

3.13 Ανάλυση Εισόδων και Εξόδων του Συστήματος

Οι είσοδοι και οι έξοδοι αποτελούν βασικό μέρος κάθε συστήματος αυτοματισμού, καθώς επιτρέπουν την επικοινωνία μεταξύ του Προγραμματιζόμενου Λογικού Ελεγκτή (Programmable Logic Controller - PLC) και της φυσικής εγκατάστασης. Οι είσοδοι χρησιμοποιούνται για τη λήψη σημάτων από αισθητήρες, διακόπτες και μπουτόν χειρισμού, ενώ οι έξοδοι χρησιμοποιούνται για τον έλεγχο ενεργοποιητών, όπως αντλίες, κινητήρες και ενδεικτικές λυχνίες. Η σωστή διαχείριση των εισόδων και εξόδων είναι απαραίτητη για την ασφαλή και αξιόπιστη λειτουργία του συστήματος [27].

Οι ψηφιακές είσοδοι (digital inputs) χρησιμοποιούνται για τη λήψη δυαδικών σημάτων, δηλαδή σημάτων που έχουν μόνο δύο καταστάσεις: ενεργοποιημένη ή απενεργοποιημένη.

Στο σύστημα που αναπτύχθηκε, οι ψηφιακές είσοδοι χρησιμοποιούνται για:

- Ανίχνευση στάθμης δεξαμενής
- Ανάγνωση μπουτόν εκκίνησης και διακοπής
- Επιλογή τρόπου λειτουργίας
- Ανίχνευση καταστάσεων συναγερμού

Τα σήματα των αισθητήρων αποστέλλονται στο PLC, όπου επεξεργάζονται από το πρόγραμμα ελέγχου. Η χρήση ψηφιακών εισόδων προσφέρει απλότητα και υψηλή αξιοπιστία, γεγονός που τις καθιστά ιδιαίτερα κατάλληλες για βιομηχανικές εφαρμογές.

Οι ψηφιακές έξοδοι (digital outputs) χρησιμοποιούνται για την ενεργοποίηση ή απενεργοποίηση συσκευών.

Στην παρούσα εφαρμογή, οι ψηφιακές έξοδοι χρησιμοποιούνται για:

- Έλεγχο λειτουργίας της αντλίας
- Ενεργοποίηση ενδεικτικών λυχνιών
- Ενεργοποίηση συναγερμών
- Έλεγχο βοηθητικών κυκλωμάτων

Οι έξοδοι του PLC ενεργοποιούν κατάλληλα στοιχεία ισχύος, όπως ρελέ και επαφείς, τα οποία με τη σειρά τους ελέγχουν τον ηλεκτρικό κινητήρα της αντλίας.

3.14 Αναλογικά Σήματα

Παρόλο που η βασική λειτουργία του συστήματος υλοποιείται με ψηφιακά σήματα, τα αναλογικά σήματα (analog signals) αποτελούν σημαντικό μέρος πολλών βιομηχανικών εφαρμογών. Τα αναλογικά σήματα χρησιμοποιούνται όταν απαιτείται συνεχής μέτρηση ενός φυσικού μεγέθους, όπως στάθμη, πίεση ή θερμοκρασία. Η χρήση αναλογικών εισόδων επιτρέπει την ακριβέστερη παρακολούθηση της λειτουργίας της εγκατάστασης και τη δυνατότητα ανάπτυξης πιο σύνθετων στρατηγικών ελέγχου.

3.15 Ηλεκτρολογικός Πίνακας

Ο ηλεκτρολογικός πίνακας αποτελεί το κεντρικό σημείο εγκατάστασης του εξοπλισμού αυτοματισμού.

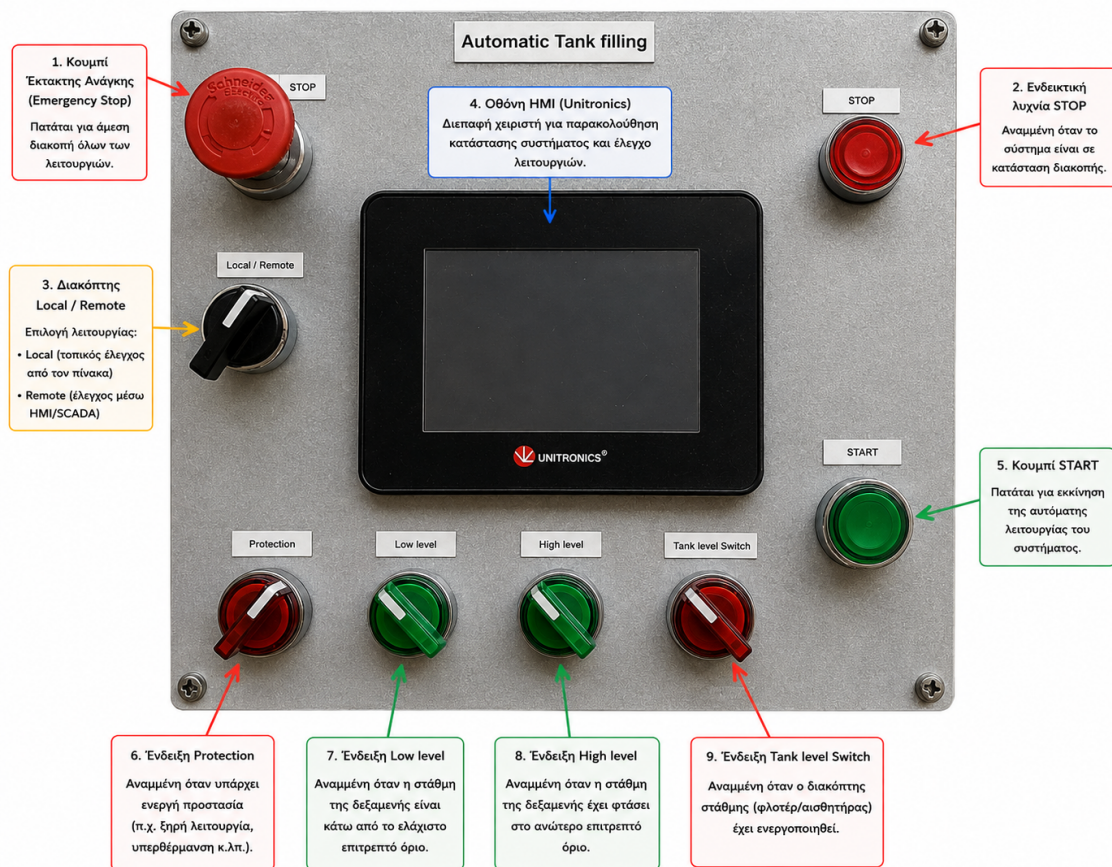
Στο εσωτερικό του πίνακα τοποθετούνται:

- Ο Προγραμματιζόμενος Λογικός Ελεγκτής
- Τροφοδοτικά
- Ρελέ και επαφείς
- Ασφάλειες προστασίας
- Κλέμες σύνδεσης
- Ενδεικτικές λυχνίες

Η σωστή οργάνωση του πίνακα διευκολύνει τη συντήρηση και αυξάνει την ασφάλεια της εγκατάστασης.

Στις Εικόνες 3.2 και 3.3 παρουσιάζεται ο πίνακας ελέγχου που χρησιμοποιήθηκε για την υλοποίηση του συστήματος αυτόματου γεμίσματος δεξαμενής. Στην εξωτερική όψη του πίνακα έχουν τοποθετηθεί τα βασικά στοιχεία χειρισμού και εποπτείας της εγκατάστασης. Κεντρικό στοιχείο αποτελεί η οθόνη HMI της Unitronics, μέσω της οποίας ο χειριστής μπορεί να παρακολουθεί την κατάσταση του συστήματος και να αλληλεπιδρά με τη διαδικασία ελέγχου. Επιπλέον, στην πρόσοψη βρίσκονται το κομβίο έκτακτης ανάγκης (Emergency Stop), τα στοιχεία εκκίνησης και διακοπής, ο επιλογικός διακόπτης Local/Remote, η ηχητική ειδοποίηση, καθώς και οι διακόπτες και ενδείξεις που χρησιμοποιούνται για την προσομοίωση και την παρακολούθηση των διαφορετικών καταστάσεων στάθμης και προστασίας.

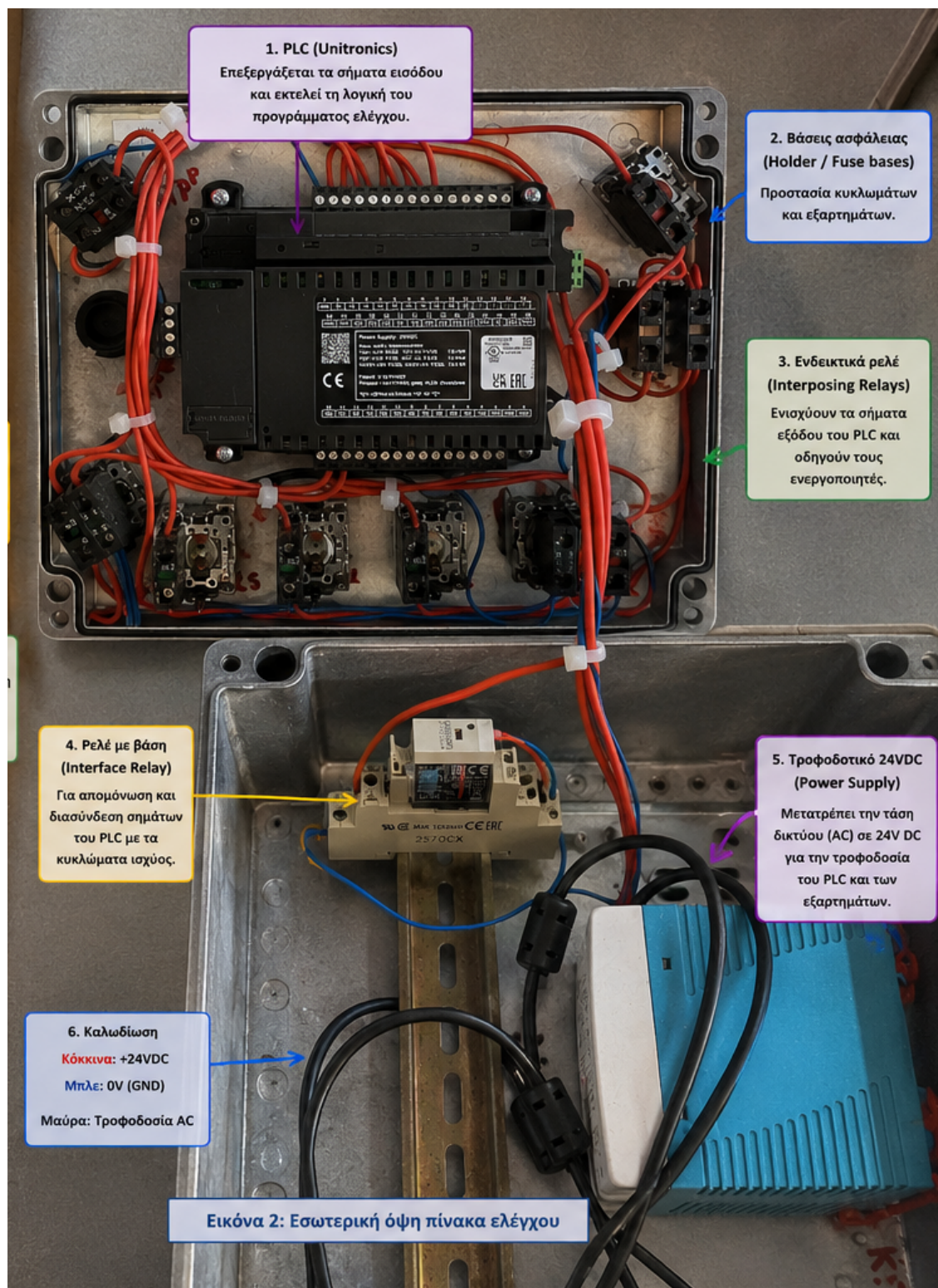
Η εξωτερική όψη του πίνακα και η διάταξη των επιμέρους χειριστηρίων παρουσιάζονται στο Σχήμα 3.2.



Σχήμα 3.2: Εξωτερική όψη του πίνακα ελέγχου του συστήματος αυτόματου γεμίσματος δεξαμενής και παρουσίαση των βασικών στοιχείων χειρισμού και εποπτείας.

Στην εσωτερική όψη του πίνακα διακρίνονται τα βασικά ηλεκτρικά και ηλεκτρονικά στοιχεία που είναι απαραίτητα για τη λειτουργία του συστήματος. Το PLC της Unitronics αποτελεί την κεντρική μονάδα ελέγχου, καθώς λαμβάνει τα σήματα από τις εισόδους, τα επεξεργάζεται σύμφωνα με το πρόγραμμα ελέγχου και διαχειρίζεται κατάλληλα τις εξόδους. Παράλληλα, το τροφοδοτικό παρέχει την απαιτούμενη τάση τροφοδοσίας στα επιμέρους στοιχεία, ενώ τα ρελέ και τα υπόλοιπα στοιχεία διασύνδεσης χρησιμοποιούνται για την ασφαλή μεταφορά και προσαρμογή των σημάτων μεταξύ του PLC και των συσκευών του πίνακα. Η καλωδίωση συνδέει τα στοιχεία της πρόσοψης με το κύκλωμα ελέγχου, διαμορφώνοντας έτσι ένα ολοκληρωμένο σύστημα μέσω του οποίου είναι δυνατή η προσομοίωση και ο έλεγχος της διαδικασίας αυτόματου γεμίσματος της δεξαμενής.

Η εσωτερική διάταξη και η τοποθέτηση των επιμέρους στοιχείων παρουσιάζονται στο Σχήμα 3.3.



Σχήμα 3.3: Εσωτερική όψη του πίνακα ελέγχου και παρουσίαση των βασικών ηλεκτρικών και ηλεκτρονικών στοιχείων της κατασκευής.

3.16 Μπουτόν Χειρισμού και Ενδεικτικές Λυχνίες

Τα μπουτόν χειρισμού επιτρέπουν την αλληλεπίδραση του χρήστη με το σύστημα. Μέσω αυτών πραγματοποιούνται λειτουργίες όπως:

- Εκκίνηση λειτουργίας
- Διακοπή λειτουργίας
- Επιλογή απομακρυσμένης ή τοπικής λειτουργίας
- Επαναφορά συναγερμών

Παράλληλα, οι ενδεικτικές λυχνίες παρέχουν πληροφορίες σχετικά με την κατάσταση λειτουργίας του συστήματος, επιτρέποντας την άμεση οπτική ενημέρωση του χρήστη.

3.17 Ασφάλεια και Προστασία Εξοπλισμού

Η προστασία του εξοπλισμού αποτελεί βασική απαίτηση σε κάθε βιομηχανική εγκατάσταση. Για τον λόγο αυτό χρησιμοποιούνται:

- Ασφάλειες προστασίας
- Θερμικά προστασίας κινητήρα
- Ρελέ υπερφόρτωσης
- Κουμπί έκτακτης διακοπής (Emergency Stop)

Οι μηχανισμοί αυτοί συμβάλλουν στην αποφυγή βλαβών και στην προστασία τόσο του εξοπλισμού όσο και του χειριστή.

3.18 Ανάλυση της Διεπαφής Ανθρώπου–Μηχανής

Η Διεπαφή Ανθρώπου–Μηχανής σχεδιάστηκε με στόχο την εύκολη και άμεση αλληλεπίδραση του χρήστη με το σύστημα.

Μέσω του HMI παρέχεται η δυνατότητα:

- Παρακολούθησης της στάθμης
- Εμφάνισης κατάστασης λειτουργίας
- Εμφάνισης συναγερμών
- Χειροκίνητου ελέγχου λειτουργιών
- Παρακολούθησης μετρητών και στατιστικών

Η χρήση γραφικού περιβάλλοντος βελτιώνει σημαντικά την εμπειρία του χρήστη και επιτρέπει την αποτελεσματικότερη διαχείριση του συστήματος [13].

Το σύστημα επίσης παρέχει δυνατότητα καταγραφής δεδομένων λειτουργίας (data logging), επιτρέποντας την αποθήκευση πληροφοριών σχετικών με τη λειτουργία της αντλίας και τη συμπεριφορά του συστήματος.

Μεταξύ των δεδομένων που καταγράφονται περιλαμβάνονται:

- Ο συνολικός χρόνος λειτουργίας της αντλίας
- Ο αριθμός κύκλων λειτουργίας
- Υπολογιστική εκτίμηση της παροχής του μεταφερόμενου υγρού
- Η συχνότητα ενεργοποίησης της αντλίας

Η ανάλυση των δεδομένων αυτών επιτρέπει την αξιολόγηση της λειτουργίας του συστήματος και τη δυνατότητα εντοπισμού πιθανών ανωμαλιών.

Κατά τον σχεδιασμό δόθηκε ιδιαίτερη έμφαση:

- Στην ευανάγνωστη απεικόνιση πληροφοριών
- Στην άμεση εμφάνιση κρίσιμων καταστάσεων
- Στη γρήγορη πλοήγηση μεταξύ των οθονών
- Στην απλοποίηση των χειρισμών
- Στη μείωση πιθανότητας ανθρώπινου σφάλματος

Στο Σχήμα 3.4 παρουσιάζεται ενδεικτικά στάδιο της ανάπτυξης και δοκιμής του HMI στη φυσική οθόνη της Unitronics, πριν από την τελική ενσωμάτωσή της στον πίνακα ελέγχου.



Σχήμα 3.4: Στάδιο ανάπτυξης και δοκιμής της διεπαφής HMI του συστήματος αυτόματου γεμίσματος δεξαμενής.

Η κεντρική οθόνη αποτελεί το βασικό σημείο παρακολούθησης της λειτουργίας του συστήματος. Μέσω αυτής ο χρήστης μπορεί να παρακολουθεί:

- Την κατάσταση λειτουργίας της αντλίας
- Τη στάθμη της δεξαμενής
- Τις ενεργές λειτουργίες του συστήματος
- Την κατάσταση των αισθητήρων

- Την ύπαρξη συναγερμών

Η χρήση γραφικών στοιχείων και ενδεικτικών συμβόλων επιτρέπει την άμεση κατανόηση της κατάστασης λειτουργίας χωρίς την ανάγκη ανάλυσης πολύπλοκων δεδομένων.

Η διαχείριση συναγερμών αποτελεί ιδιαίτερα σημαντική λειτουργία στα βιομηχανικά συστήματα αυτοματισμού.

Σε περίπτωση εμφάνισης ανωμαλίας, το σύστημα ενημερώνει τον χρήστη μέσω ειδικής οθόνης συναγερμών. Οι συναγερμοί μπορεί να σχετίζονται με:

- Υπερχείλιση δεξαμενής
- Χαμηλή στάθμη
- Αστοχία αισθητήρα
- Μη φυσιολογική λειτουργία αντλίας
- Υπέρβαση επιτρεπόμενου χρόνου λειτουργίας

Η χρήση ξεχωριστής οθόνης συναγερμών επιτρέπει την άμεση αναγνώριση προβλημάτων και συμβάλλει στη μείωση του χρόνου αντίδρασης.

3.19 Επικοινωνία PLC και HMI

Η επικοινωνία μεταξύ του PLC και του HMI πραγματοποιείται μέσω ανταλλαγής δεδομένων σε πραγματικό χρόνο. Το PLC αποστέλλει πληροφορίες σχετικά με την κατάσταση των εισόδων, εξόδων, μετρητών και συναγερμών, ενώ το HMI αποστέλλει εντολές χειρισμού προς το PLC. Η συνεχής ανταλλαγή δεδομένων επιτρέπει την άμεση ενημέρωση των οθονών και τη σωστή λειτουργία του συστήματος [28].

3.20 Ανάλυση Σεναρίων Βλάβης και Δυσλειτουργιών

Η ανάλυση πιθανών βλαβών αποτελεί ιδιαίτερα σημαντικό μέρος κατά τον σχεδιασμό ενός βιομηχανικού συστήματος αυτοματισμού. Η ύπαρξη μηχανισμών ανίχνευσης και διαχείρισης σφαλμάτων επιτρέπει τη βελτίωση της αξιοπιστίας και της ασφάλειας της εγκατάστασης. Στο πλαίσιο της παρούσας εργασίας εξετάστηκαν διαφορετικά σενάρια δυσλειτουργίας, ώστε να αξιολογηθεί η συμπεριφορά του συστήματος και η αποτελεσματικότητα των μηχανισμών προστασίας.

Ένα από τα σημαντικότερα προβλήματα σε συστήματα διαχείρισης στάθμης είναι η πιθανότητα υπερχείλισης της δεξαμενής.

Η υπερχείλιση μπορεί να προκληθεί από:

- Αστοχία αισθητήρα στάθμης
- Καθυστερήση απενεργοποίησης της αντλίας

- Λανθασμένη λειτουργία του ελεγκτή
- Σφάλμα χειριστή

Για την αποφυγή τέτοιων καταστάσεων, το σύστημα περιλαμβάνει λογική προστασίας υπερχειλίσης, η οποία ενεργοποιεί συναγερμό και απενεργοποιεί την αντλία όταν ανιχνευθεί υψηλή στάθμη για συγκεκριμένο χρονικό διάστημα. Η προστασία αυτή συμβάλλει σημαντικά στην ασφαλή λειτουργία της εγκατάστασης.

Η λειτουργία της αντλίας χωρίς παρουσία υγρού αποτελεί μία από τις σημαντικότερες αιτίες φθοράς βιομηχανικών αντλιών.

Η κατάσταση αυτή, γνωστή ως dry-run, μπορεί να προκαλέσει:

- Υπερθέρμανση
- Φθορά μηχανικών μερών
- Μείωση διάρκειας ζωής
- Καταστροφή της αντλίας

Για τον λόγο αυτό υλοποιήθηκε ειδική λογική προστασίας, μέσω της οποίας η λειτουργία της αντλίας απαγορεύεται όταν η στάθμη βρίσκεται κάτω από το επιτρεπόμενο όριο.

Οι αισθητήρες αποτελούν κρίσιμο μέρος κάθε συστήματος αυτοματισμού. Εσφαλμένες μετρήσεις ή αστοχίες αισθητήρων μπορούν να οδηγήσουν σε λανθασμένες αποφάσεις του ελεγκτή. Πιθανές αιτίες αστοχίας περιλαμβάνουν:

- Φθορά αισθητήρα
- Κακή καλωδίωση
- Ηλεκτρικό θόρυβο
- Βλάβη τροφοδοσίας

Στο σύστημα υλοποιήθηκαν μηχανισμοί ανίχνευσης μη φυσιολογικών καταστάσεων, ώστε να είναι δυνατή η έγκαιρη ενημέρωση του χρήστη μέσω συναγερμών.

Οι συχνές εκκινήσεις και διακοπές της αντλίας μπορούν να προκαλέσουν αυξημένη καταπόνηση στον ηλεκτρικό κινητήρα και στα μηχανικά μέρη του συστήματος. Το φαινόμενο αυτό παρατηρείται κυρίως όταν η στάθμη μεταβάλλεται συνεχώς γύρω από το όριο ενεργοποίησης. Για την αποφυγή τέτοιων καταστάσεων χρησιμοποιήθηκε λογική υστέρησης, καθώς και χρονομετρητές καθυστέρησης. Η χρήση των τεχνικών αυτών συμβάλλει στη σταθερότερη λειτουργία του συστήματος και στη μείωση των μηχανικών καταπονήσεων.

Ένα πιθανό πρόβλημα σε συστήματα δεξαμενών είναι η ύπαρξη διαρροής, η οποία μπορεί να οδηγήσει σε συνεχή λειτουργία της αντλίας και αυξημένη κατανάλωση ενέργειας. Η ανάλυση της συχνότητας λειτουργίας της αντλίας και των μεταβολών της στάθμης μπορεί να συμβάλει στον εντοπισμό μη φυσιολογικής συμπεριφοράς. Μέσω της καταγραφής δεδομένων λειτουργίας είναι δυνατή η αξιολόγηση της συμπεριφοράς του συστήματος και η έγκαιρη ανίχνευση τέτοιων φαινομένων.

Οι ηλεκτρικές βλάβες αποτελούν σημαντικό κίνδυνο σε βιομηχανικές εγκαταστάσεις.

Για την προστασία του συστήματος χρησιμοποιήθηκαν:

- Ασφάλειες προστασίας
- Θερμικά κινητήρα
- Ρελέ υπερφόρτωσης
- Κύκλωμα έκτακτης διακοπής

Οι μηχανισμοί αυτοί προστατεύουν τον εξοπλισμό από υπερφόρτωση, βραχυκύκλωμα και μη φυσιολογικές συνθήκες λειτουργίας.

3.21 Καταγραφή και Αξιοποίηση Δεδομένων Λειτουργίας

Η καταγραφή δεδομένων λειτουργίας (data logging) αποτελεί σημαντικό χαρακτηριστικό των σύγχρονων συστημάτων βιομηχανικού αυτοματισμού. Η λειτουργία ενός αυτοματοποιημένου συστήματος δεν περιορίζεται αποκλειστικά στην εκτέλεση εντολών ελέγχου, αλλά μπορεί να περιλαμβάνει και τη συλλογή πληροφοριών σχετικά με τη συμπεριφορά της εγκατάστασης κατά τη διάρκεια του χρόνου. Με τον τρόπο αυτό δημιουργείται μια περισσότερο ολοκληρωμένη εικόνα της λειτουργικής κατάστασης του εξοπλισμού.

Στην παρούσα εφαρμογή, πληροφορίες όπως ο χρόνος λειτουργίας της αντλίας, ο αριθμός των κύκλων λειτουργίας και οι καταστάσεις που σχετίζονται με τη λειτουργία του συστήματος μπορούν να χρησιμοποιηθούν για την παρακολούθηση της συμπεριφοράς της εγκατάστασης. Η συλλογή τέτοιων δεδομένων δεν εξυπηρετεί μόνο την ενημέρωση του χειριστή, αλλά μπορεί να αποτελέσει τη βάση για την εξαγωγή χρήσιμων συμπερασμάτων σχετικά με τη χρήση και την κατάσταση του εξοπλισμού.

3.22 Καταγραφή Χρόνου Λειτουργίας της Αντλίας

Ο συνολικός χρόνος λειτουργίας (operating time) αποτελεί μία από τις βασικότερες πληροφορίες για την αξιολόγηση της χρήσης ενός ηλεκτρομηχανολογικού συστήματος. Στην περίπτωση της αντλίας, η παρακολούθηση του χρόνου κατά τον οποίο ο ηλεκτρικός κινητήρας παραμένει ενεργοποιημένος παρέχει μία άμεση ένδειξη της συνολικής καταπόνησης του εξοπλισμού.

Η πληροφορία αυτή αποκτά ιδιαίτερη αξία όταν εξετάζεται σε μεγαλύτερο χρονικό διάστημα. Δύο αντλίες που έχουν εγκατασταθεί την ίδια χρονική στιγμή δεν παρουσιάζουν απαραίτητα την ίδια πραγματική χρήση. Μία εγκατάσταση μπορεί να απαιτεί σημαντικά μεγαλύτερο αριθμό ωρών λειτουργίας, με αποτέλεσμα ο εξοπλισμός της να υπόκειται σε μεγαλύτερη λειτουργική καταπόνηση.

Για τον λόγο αυτό, ο χρόνος λειτουργίας μπορεί να χρησιμοποιηθεί ως ένας απλός δείκτης για την οργάνωση διαδικασιών επιθεώρησης και συντήρησης. Αντί η αξιολόγηση του εξοπλισμού να βασίζεται αποκλειστικά στον ημερολογιακό χρόνο, μπορεί να λαμβάνεται υπόψη και η πραγματική χρήση του.

Η συγκεκριμένη λογική αποτελεί ένα πρώτο επίπεδο μετάβασης από την παραδοσιακή περιοδική συντήρηση προς περισσότερο πληροφοριοκεντρικές στρατηγικές συντήρησης. Η σύγχρονη βιβλιογραφία σχετικά με την παρακολούθηση κατάστασης (condition monitoring) υπο-

γραμμίζει τη σημασία των πραγματικών λειτουργικών δεδομένων για την αξιολόγηση κινητήρων, αντλιών και άλλου βιομηχανικού εξοπλισμού.

3.23 Καταγραφή Αριθμού Εκκινήσεων και Κύκλων Λειτουργίας

Εκτός από τον συνολικό χρόνο λειτουργίας, σημαντική πληροφορία αποτελεί και ο αριθμός των εκκινήσεων της αντλίας. Κάθε μετάβαση του κινητήρα από κατάσταση ακινησίας σε κατάσταση λειτουργίας αποτελεί ένα λειτουργικό γεγονός το οποίο μπορεί να καταγράφεται από τον Προγραμματιζόμενο Λογικό Ελεγκτή. Ο αριθμός των εκκινήσεων δεν είναι απαραίτητα ανάλογος με τον συνολικό χρόνο λειτουργίας. Για παράδειγμα, μία αντλία μπορεί να λειτουργήσει για μία ώρα συνεχόμενα ή να πραγματοποιήσει πολλές μικρές περιόδους λειτουργίας μέσα στην ίδια ώρα. Παρότι ο συνολικός χρόνος μπορεί να είναι παρόμοιος, η δεύτερη περίπτωση χαρακτηρίζεται από σημαντικά μεγαλύτερο αριθμό μεταβάσεων μεταξύ των καταστάσεων λειτουργίας και ακινησίας. Η πληροφορία αυτή είναι χρήσιμη για την αξιολόγηση της συμπεριφοράς του συστήματος. Ασυνήθιστα μεγάλος αριθμός εκκινήσεων μέσα σε μικρό χρονικό διάστημα μπορεί να αποτελεί ένδειξη μεταβολής των συνθηκών της διεργασίας ή να οδηγήσει στην ανάγκη περαιτέρω διερεύνησης. Για τον λόγο αυτό, η καταγραφή των κύκλων λειτουργίας μπορεί να συνδυαστεί με τον συνολικό χρόνο λειτουργίας, παρέχοντας μία πληρέστερη εικόνα της χρήσης της αντλίας.

3.24 Συσχέτιση Χρόνου Λειτουργίας και Μεταφερόμενης Ποσότητας

Μία επιπλέον πληροφορία που μπορεί να εξαχθεί από τον χρόνο λειτουργίας της αντλίας είναι η εκτίμηση της ποσότητας υγρού που έχει μεταφερθεί. Εφόσον είναι γνωστή ή έχει προσδιοριστεί πειραματικά μία μέση παροχή της αντλίας, είναι δυνατό να πραγματοποιηθεί προσεγγιστικός υπολογισμός του μεταφερόμενου όγκου.

Η βασική σχέση μπορεί να εκφραστεί ως:

$$V = Q \cdot t \quad (3.1)$$

όπου:

- V είναι ο εκτιμώμενος όγκος του μεταφερόμενου υγρού,
- Q είναι η μέση ογκομετρική παροχή (volumetric flow rate) της αντλίας,
- t είναι ο χρόνος λειτουργίας της αντλίας.

Η παραπάνω σχέση παρέχει μία εκτίμηση και δεν πρέπει να θεωρείται ισοδύναμη με άμεση μέτρηση μέσω παροχόμετρου (flow meter). Η πραγματική παροχή μιας αντλίας μπορεί να μεταβάλλεται ανάλογα με τις συνθήκες λειτουργίας, τη διαφορά πίεσης, τις απώλειες του δικτύου

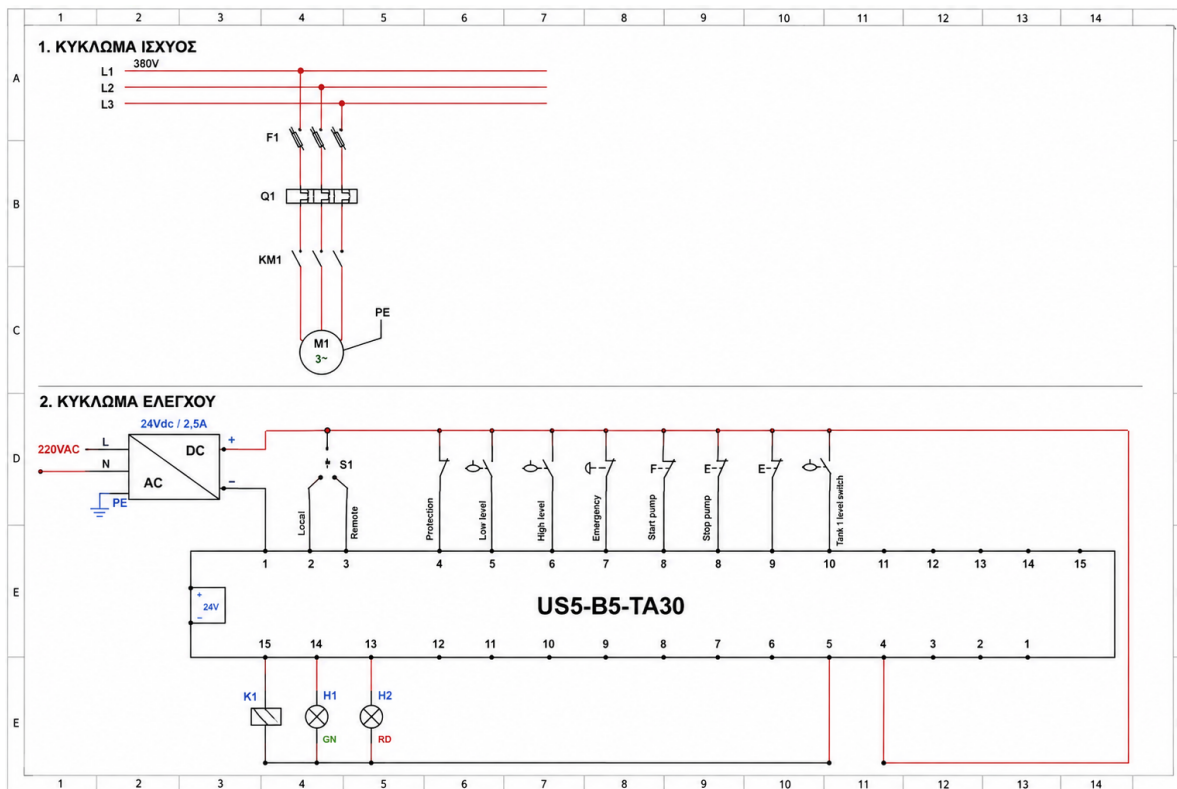
και άλλα χαρακτηριστικά της εγκατάστασης. Ωστόσο, σε μία εφαρμογή όπου οι συνθήκες λειτουργίας παραμένουν σχετικά σταθερές, η μέθοδος αυτή μπορεί να χρησιμοποιηθεί για την απόκτηση μιας προσεγγιστικής εικόνας της ποσότητας υγρού που έχει διακινηθεί χωρίς την προσθήκη επιπλέον αισθητήρα παροχής.

3.25 Ηλεκτρολογικό σχέδιο της κατασκευής

Το ηλεκτρολογικό σχέδιο της κατασκευής διακρίνεται σε δύο βασικά τμήματα: το **κύκλωμα ισχύος** και το **κύκλωμα ελέγχου**. Στο κύκλωμα ισχύος απεικονίζεται η τριφασική τροφοδοσία του κινητήρα της αντλίας μέσω των κατάλληλων στοιχείων προστασίας και του ηλεκτρονόμου ισχύος (contactor) **KM1**, ο οποίος επιτρέπει την ενεργοποίηση και απενεργοποίηση του κινητήρα σύμφωνα με τις εντολές του συστήματος αυτοματισμού. Παράλληλα, προβλέπεται η σύνδεση προστατευτικής γείωσης (PE) του κινητήρα.

Το κύκλωμα ελέγχου λειτουργεί σε τάση **24 V DC**, η οποία προκύπτει μέσω τροφοδοτικού από την τάση δικτύου **220 V AC**, και περιλαμβάνει το PLC **US5-B5-TA30**. Στις εισόδους του PLC συνδέονται τα επιμέρους σήματα του συστήματος, όπως η επιλογή τοπικού ή απομακρυσμένου ελέγχου, η προστασία του κινητήρα, οι αισθητήρες χαμηλής και υψηλής στάθμης, το Emergency Stop, τα μπουτόν εκκίνησης και διακοπής της αντλίας, καθώς και ο διακόπτης στάθμης της δεξαμενής. Μέσω των εξόδων του PLC ελέγχονται το ρελέ/contactator της αντλίας και οι αντίστοιχες ενδεικτικές λυχνίες. Με αυτόν τον τρόπο, το PLC αποτελεί το κεντρικό στοιχείο ελέγχου της κατασκευής, καθώς επεξεργάζεται τα σήματα των αισθητήρων και των χειριστηρίων και, σύμφωνα με τη λογική του προγράμματος Ladder, καθορίζει τη λειτουργία της αντλίας και τις απαιτούμενες καταστάσεις ένδειξης και προστασίας.

Στο Σχήμα 3.5 παρουσιάζονται οι βασικές συνδέσεις μεταξύ των επιμέρους στοιχείων του αυτοματισμού.



Σχήμα 3.5: Ηλεκτρολογικό σχέδιο κυκλώματος ισχύος και ελέγχου του αυτοματοποιημένου συστήματος πλήρωσης δεξαμενής.

3.26 Ανάλυση της Υλοποιημένης Λογικής Ελέγχου σε Ladder

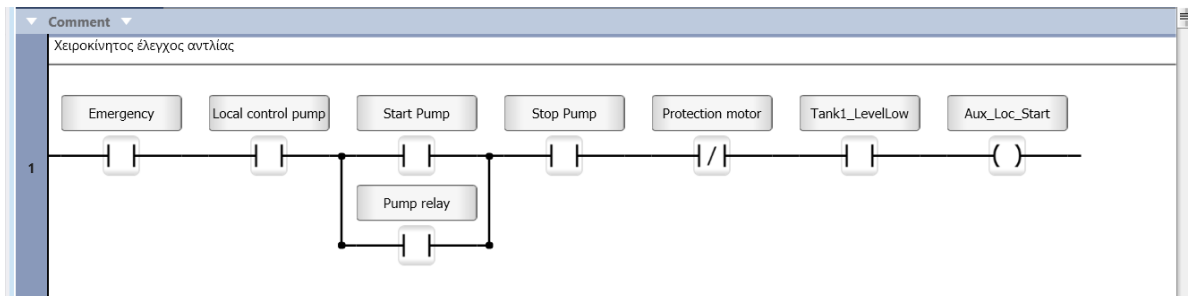
Στην παρούσα ενότητα παρουσιάζονται και αναλύονται επιλεγμένα τμήματα του προγράμματος που αναπτύχθηκε στο περιβάλλον UniLogic. Σε αντίθεση με τις προηγούμενες ενότητες, στις οποίες παρουσιάστηκαν οι βασικές αρχές λειτουργίας και τα επιμέρους χαρακτηριστικά του συστήματος, εδώ η ανάλυση επικεντρώνεται στον τρόπο με τον οποίο οι απαιτούμενες λειτουργίες υλοποιήθηκαν στην πράξη μέσω της γλώσσας Διαγράμματος Κλίμακας (Ladder Diagram – LD).

Η παρουσίαση πραγματοποιείται με βάση τις πραγματικές βαθμίδες (rungs) του προγράμματος και τις μεταβλητές που χρησιμοποιήθηκαν. Με αυτόν τον τρόπο γίνεται εμφανής η σύνδεση μεταξύ των φυσικών σημάτων εισόδου, των εσωτερικών μεταβλητών, των εντολών του χειριστή, των μηχανισμών προστασίας και της τελικής εντολής λειτουργίας της αντλίας.

3.26.1 Υλοποίηση Τοπικού και Απομακρυσμένου Ελέγχου της Αντλίας

Το πρώτο τμήμα του προγράμματος αφορά τη δημιουργία της εντολής λειτουργίας όταν έχει επιλεγεί ο χειροκίνητος ή τοπικός τρόπος χειρισμού. Η αντίστοιχη βαθμίδα του προγράμματος παρουσιάζεται στο Σχήμα 3.6.

Στην αρχή της βαθμίδας πραγματοποιείται έλεγχος των συνθηκών που επιτρέπουν την εκτέλεση της εντολής. Μεταξύ αυτών περιλαμβάνεται η μεταβλητή Emergency, η οποία σχετίζε-



Σχήμα 3.6: Υλοποίηση της λογικής χειροκίνητου ελέγχου της αντλίας στο πρόγραμμα Ladder.

ται με την κατάσταση του κυκλώματος έκτακτης διακοπής, καθώς και η μεταβλητή `Local control pump`, μέσω της οποίας προσδιορίζεται ότι έχει επιλεγεί ο τοπικός τρόπος χειρισμού.

Στη συνέχεια συναντάται η μεταβλητή `Start Pump`, η οποία αντιστοιχεί στην εντολή εκκίνησης που δίνεται από τον χειριστή. Παράλληλα προς αυτήν έχει τοποθετηθεί επαφή της μεταβλητής `Pump relay`. Η παράλληλη αυτή σύνδεση δημιουργεί λογική συνθήκη Ή (OR) και χρησιμοποιείται για τη διατήρηση της κατάστασης λειτουργίας μετά την αρχική εντολή εκκίνησης, εφόσον εξακολουθούν να ικανοποιούνται οι υπόλοιπες συνθήκες της βαθμίδας.

Η συγκεκριμένη διάταξη αποτελεί εφαρμογή λογικής αυτοσυγκράτησης (self-holding ή seal-in). Μετά την αρχική ενεργοποίηση, η κατάσταση λειτουργίας μπορεί να διατηρηθεί μέσω της επαφής που συνδέεται με τη μεταβλητή `Pump relay`, χωρίς να απαιτείται συνεχής ενεργοποίηση της αρχικής εντολής εκκίνησης.

Στην ίδια βαθμίδα λαμβάνεται υπόψη η εντολή `Stop Pump`, καθώς και η κατάσταση της μεταβλητής `Protection motor`. Η τελευταία χρησιμοποιείται ως συνθήκη αλληλομανδάλωσης (interlock), έτσι ώστε η εμφάνιση κατάστασης προστασίας του κινητήρα να μπορεί να εμποδίσει τη δημιουργία έγκυρης εντολής λειτουργίας.

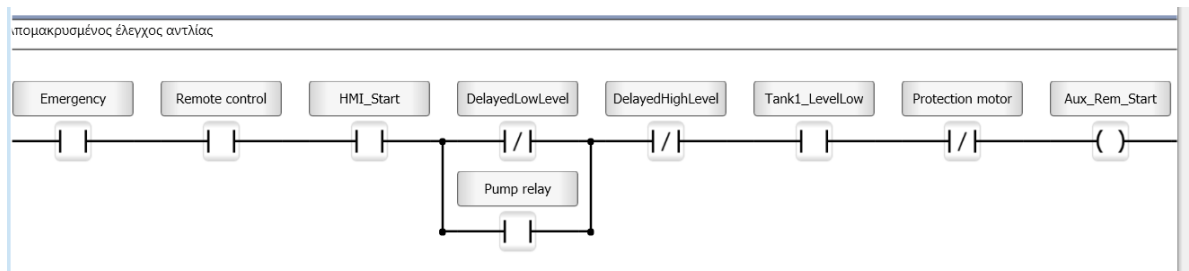
Επιπλέον, ελέγχεται η μεταβλητή `Tank1_LevelLow`, η οποία μεταφέρει προς τη συγκεκριμένη βαθμίδα την επεξεργασμένη πληροφορία στάθμης της πρώτης δεξαμενής. Η χρήση της συγκεκριμένης μεταβλητής επιτρέπει στη στάθμη του υγρού να συμμετέχει άμεσα στις συνθήκες που καθορίζουν εάν μπορεί να δοθεί εντολή λειτουργίας.

Όταν όλες οι απαιτούμενες συνθήκες της βαθμίδας ικανοποιηθούν, ενεργοποιείται η εσωτερική μεταβλητή `Aux_Loc_Start`. Η συγκεκριμένη μεταβλητή δεν αποτελεί την τελική έξοδο ελέγχου της αντλίας. Χρησιμοποιείται ως ενδιάμεσο αποτέλεσμα, το οποίο δηλώνει ότι έχει δημιουργηθεί έγκυρη εντολή εκκίνησης από τον τοπικό τρόπο χειρισμού.

Αντίστοιχη λογική έχει αναπτυχθεί για τον απομακρυσμένο χειρισμό της εγκατάστασης. Στην περίπτωση αυτή, η εντολή του χειριστή προέρχεται από το HMI, ενώ η τελική αξιολόγηση των συνθηκών εξακολουθεί να πραγματοποιείται από το πρόγραμμα του PLC.

Στο Σχήμα 3.7 εμφανίζεται αρχικά η μεταβλητή `Remote control`, η οποία χρησιμοποιείται για την επιλογή της συγκεκριμένης διαδρομής ελέγχου. Με τον τρόπο αυτό, οι εντολές που προέρχονται από το HMI λαμβάνονται υπόψη από τη συγκεκριμένη βαθμίδα όταν έχει επιλεγεί ο απομακρυσμένος τρόπος χειρισμού.

Η εντολή εκκίνησης από το γραφικό περιβάλλον αντιστοιχεί στη μεταβλητή `HMI_Start`. Η ενεργοποίησή της δεν οδηγεί απευθείας στην τελική εντολή προς την αντλία. Αντίθετα, αποτελεί μία από τις συνθήκες της βαθμίδας και αξιολογείται μαζί με τις υπόλοιπες μεταβλητές



Σχήμα 3.7: Υλοποίηση της λογικής απομακρυσμένου ελέγχου της αντλίας μέσω του HMI.

του προγράμματος.

Στη λογική συμμετέχουν επίσης οι μεταβλητές `DelayedLowLevel` και `DelayedHighLevel`. Οι μεταβλητές αυτές προέρχονται από την επεξεργασία των πληροφοριών στάθμης και χρησιμοποιούνται ώστε η απόφαση του προγράμματος να μη βασίζεται αποκλειστικά στην άμεση και στιγμιαία κατάσταση των αντίστοιχων σημάτων.

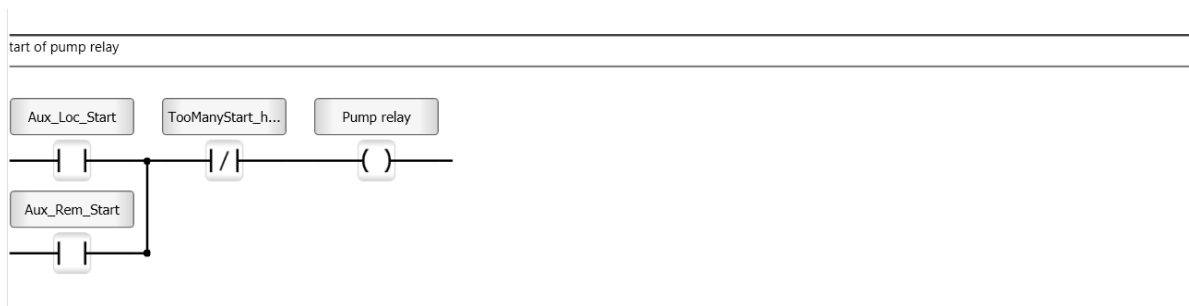
Στο συγκεκριμένο τμήμα του προγράμματος υπάρχει επίσης παράλληλος κλάδος στον οποίο συμμετέχει η μεταβλητή `Pump relay`. Η παράλληλη σύνδεση επιτρέπει στην υπάρχουσα κατάσταση λειτουργίας της αντλίας να συμμετέχει στη διατήρηση της λογικής κατάστασης, εφόσον οι υπόλοιπες απαραίτητες συνθήκες εξακολουθούν να ικανοποιούνται.

Παράλληλα, η μεταβλητή `Protection motor` συμμετέχει και στην απομακρυσμένη λειτουργία. Επομένως, η εντολή που δίνεται από το HMI δεν παρακάμπτει τη λογική προστασίας του κινητήρα. Η προσέγγιση αυτή διατηρεί τις βασικές συνθήκες προστασίας ανεξάρτητες από την προέλευση της εντολής του χειριστή.

Το αποτέλεσμα της συγκεκριμένης βαθμίδας αποθηκεύεται στη μεταβλητή `Aux_Rem_Start`. Όπως και η `Aux_Loc_Start`, πρόκειται για εσωτερική βοηθητική μεταβλητή. Στην περίπτωση αυτή δηλώνει ότι έχουν ικανοποιηθεί οι συνθήκες για τη δημιουργία έγκυρης εντολής από τον απομακρυσμένο τρόπο χειρισμού.

3.26.2 Ενοποίηση των Εντολών Χειρισμού

Μετά την ανεξάρτητη επεξεργασία των δύο τρόπων χειρισμού, οι βοηθητικές μεταβλητές που δημιουργήθηκαν χρησιμοποιούνται σε κοινή βαθμίδα του προγράμματος. Η συγκεκριμένη βαθμίδα παρουσιάζεται στο Σχήμα 3.8.



Σχήμα 3.8: Ενοποίηση των εντολών τοπικού και απομακρυσμένου χειρισμού και δημιουργία της κοινής εντολής λειτουργίας.

Οι μεταβλητές `Aux_Loc_Start` και `Aux_Rem_Start` έχουν τοποθετηθεί σε παράλληλους κλάδους. Συνεπώς, η λογική που υλοποιείται στο συγκεκριμένο σημείο είναι λογική Ή (OR). Αρκεί επομένως να υπάρχει έγκυρη εντολή από έναν από τους δύο τρόπους χειρισμού ώστε η λογική να προχωρήσει προς το επόμενο στάδιο.

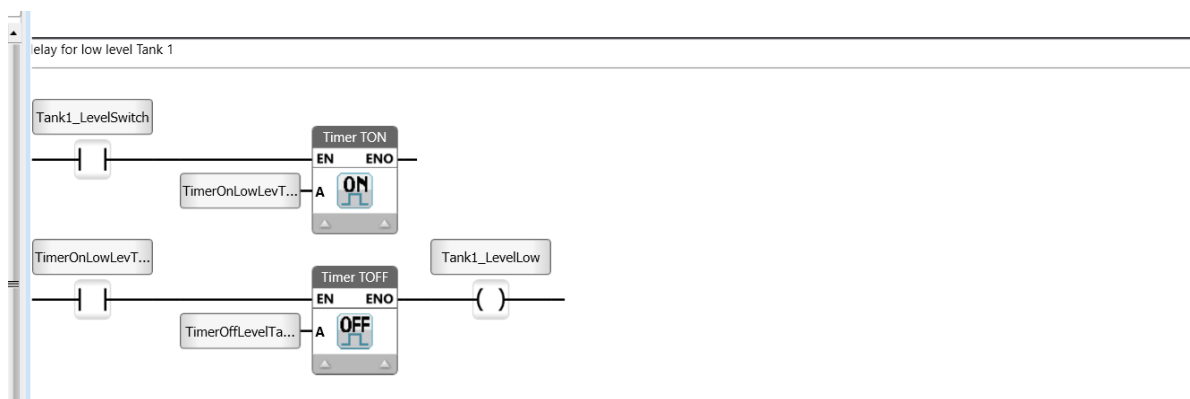
Η χρήση των δύο βοηθητικών μεταβλητών επιτρέπει τον διαχωρισμό της λογικής που αφορά την προέλευση της εντολής από τη λογική που αφορά την τελική ενεργοποίηση. Έτσι, ο τοπικός και ο απομακρυσμένος χειρισμός μπορούν να ελέγχονται ανεξάρτητα στις προηγούμενες βαθμίδες και να ενοποιούνται μόνο όταν έχει ήδη επιβεβαιωθεί ότι η αντίστοιχη εντολή είναι έγκυρη.

Πριν από τη μεταβλητή `Pump_relay` υπάρχει επιπλέον συνθήκη που σχετίζεται με τον περιορισμό των πολλαπλών εκκινήσεων της αντλίας. Η συγκεκριμένη συνθήκη λειτουργεί ως πρόσθετη αλληλομανδάλωση και επιτρέπει στο πρόγραμμα να εμποδίσει νέα εντολή λειτουργίας όταν έχει ξεπεραστεί το προκαθορισμένο όριο εκκινήσεων.

Το τελικό αποτέλεσμα της βαθμίδας είναι η μεταβλητή `Pump_relay`. Επομένως, η ενεργοποίησή της δεν εξαρτάται απευθείας από ένα μοναδικό μπουτόν ή μία εντολή του HMI, αλλά αποτελεί το αποτέλεσμα της προηγούμενης επεξεργασίας των συνθηκών χειρισμού και προστασίας.

3.26.3 Επεξεργασία του Σήματος Χαμηλής Στάθμης της Πρώτης Δεξαμενής και Απεικόνιση

Ένα διαφορετικό τμήμα της λογικής αφορά την επεξεργασία του σήματος που προέρχεται από τον διακόπτη στάθμης της πρώτης δεξαμενής. Στην περίπτωση αυτή χρησιμοποιούνται χρονικές συναρτήσεις πριν η πληροφορία στάθμης χρησιμοποιηθεί από τις υπόλοιπες βαθμίδες του προγράμματος.



Σχήμα 3.9: Χρονική επεξεργασία του σήματος στάθμης της πρώτης δεξαμενής.

Στο Σχήμα 3.9, το αρχικό σήμα αντιπροσωπεύεται από τη μεταβλητή `Tank1_LevelSwitch`. Το συγκεκριμένο σήμα δεν χρησιμοποιείται απευθείας ως τελική πληροφορία χαμηλής στάθμης, αλλά προηγείται χρονική επεξεργασία μέσω των αντίστοιχων χρονομετρητών.

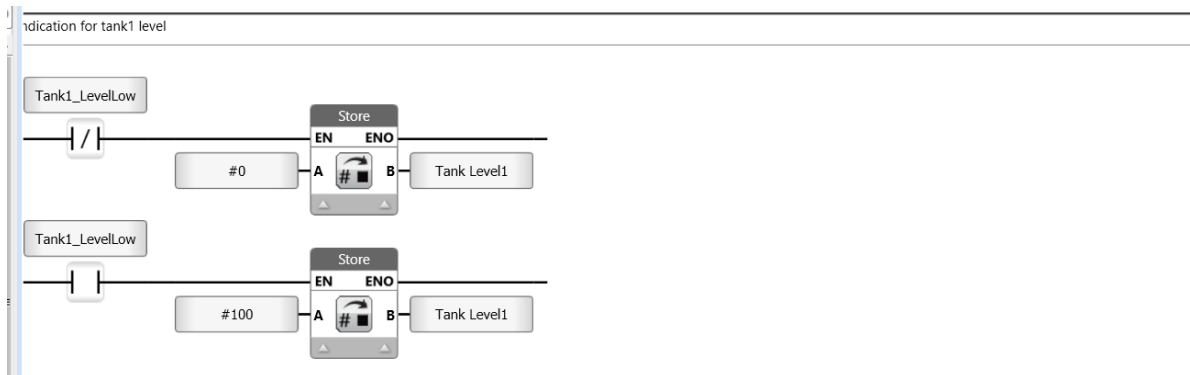
Αρχικά χρησιμοποιείται Χρονομετρητής Καθυστέρησης Ενεργοποίησης (On-Delay Timer – TON). Η λειτουργία του επιβάλλει την παραμονή της αντίστοιχης λογικής συνθήκης στην απαιτούμενη κατάσταση για το καθορισμένο χρονικό διάστημα πριν θεωρηθεί έγκυρη η αλλαγή.

Στη συνέχεια χρησιμοποιείται Χρονομετρητής Καθυστέρησης Απενεργοποίησης (Off-Delay Timer – TOF), μέσω του οποίου πραγματοποιείται αντίστοιχη χρονική διαχείριση κατά την απενεργοποίηση του σήματος.

Ο συνδυασμός των χρονικών αυτών λειτουργιών έχει ως αποτέλεσμα τη δημιουργία μιας περισσότερο σταθερής λογικής πληροφορίας. Στιγμιαίες μεταβολές του διακόπτη στάθμης δεν είναι επιθυμητό να προκαλούν άμεσα αντίστοιχες μεταβολές στην κύρια λογική ελέγχου. Η χρονική επεξεργασία περιορίζει την επίδραση τέτοιων σύντομων μεταβατικών καταστάσεων. Το τελικό αποτέλεσμα αποθηκεύεται στη μεταβλητή Tank1_LevelLow. Επομένως, είναι σημαντικό να γίνεται διάκριση μεταξύ της Tank1_LevelSwitch, η οποία αντιπροσωπεύει το αρχικό σήμα, και της Tank1_LevelLow, η οποία αποτελεί την πληροφορία που προκύπτει μετά τη χρονική επεξεργασία και χρησιμοποιείται σε επόμενα τμήματα του προγράμματος.

Η συγκεκριμένη μεταβλητή εμφανίζεται, μεταξύ άλλων, στη λογική χειρισμού που αναλύθηκε προηγουμένως. Με τον τρόπο αυτό γίνεται εμφανής η αλληλεξάρτηση των διαφορετικών βαθμίδων του προγράμματος: η έξοδος μιας επιμέρους λογικής διαδικασίας χρησιμοποιείται ως συνθήκη εισόδου σε επόμενη βαθμίδα.

Εκτός από τη χρήση των σημάτων στάθμης στη λογική ελέγχου, πραγματοποιείται κατάλληλη επεξεργασία τους ώστε η κατάσταση των δεξαμενών να μπορεί να απεικονίζεται στο περιβάλλον HMI.



Σχήμα 3.10: Μετατροπή της λογικής κατάστασης στάθμης της πρώτης δεξαμενής σε αριθμητική τιμή για την απεικόνισή της στο HMI.

Όπως παρουσιάζεται στο Σχήμα 3.10, για την οπτικοποίηση της κατάστασης της πρώτης δεξαμενής χρησιμοποιείται η μεταβλητή Tank1_LevelLow. Ανάλογα με τη λογική κατάσταση της μεταβλητής αυτής, πραγματοποιείται αποθήκευση διαφορετικής αριθμητικής τιμής στη μεταβλητή Tank Level1.

Στην πρώτη βαθμίδα χρησιμοποιείται ανεστραμμένη επαφή της Tank1_LevelLow. Όταν επομένως η συγκεκριμένη μεταβλητή βρίσκεται σε ανενεργή λογική κατάσταση, εκτελείται η συνάρτηση αποθήκευσης (Store) και η αριθμητική τιμή μηδέν αποθηκεύεται στη μεταβλητή Tank Level1.

Στη δεύτερη βαθμίδα χρησιμοποιείται κανονική επαφή της ίδιας μεταβλητής. Όταν η Tank1_LevelLow βρίσκεται σε ενεργή κατάσταση, η συνάρτηση Store αποθηκεύει την αριθμητική τιμή εκατό στη Tank Level1.

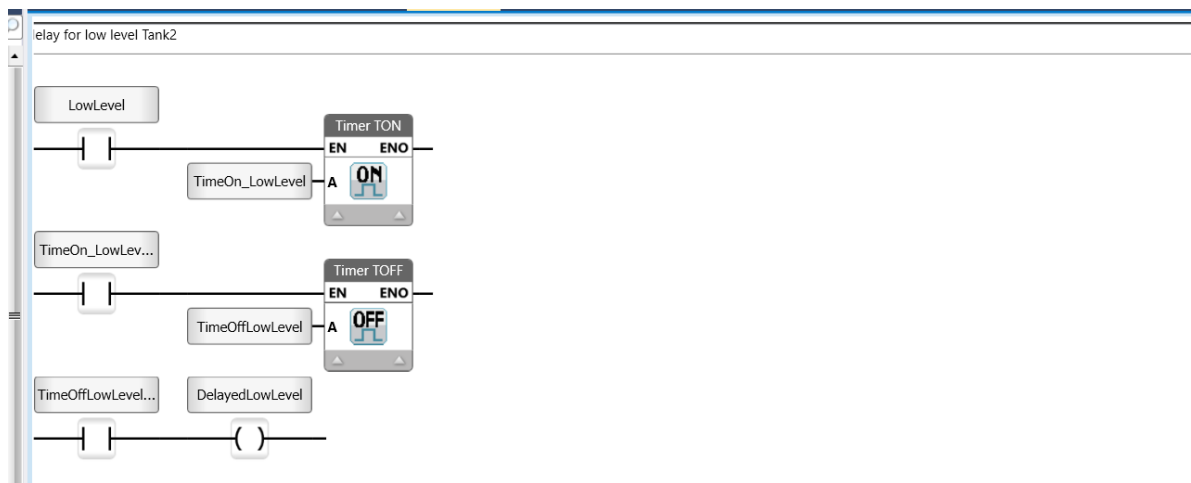
Με τον τρόπο αυτό, μία δυαδική πληροφορία μετατρέπεται σε αριθμητική τιμή κατάλληλη για χρήση από τα γραφικά στοιχεία του HMI. Η τιμή μηδέν αντιστοιχεί στη μία λογική κατάσταση

και η τιμή εκατό στην αντίθετη κατάσταση, επιτρέποντας την κατάλληλη μεταβολή της γραφικής απεικόνισης της δεξαμενής.

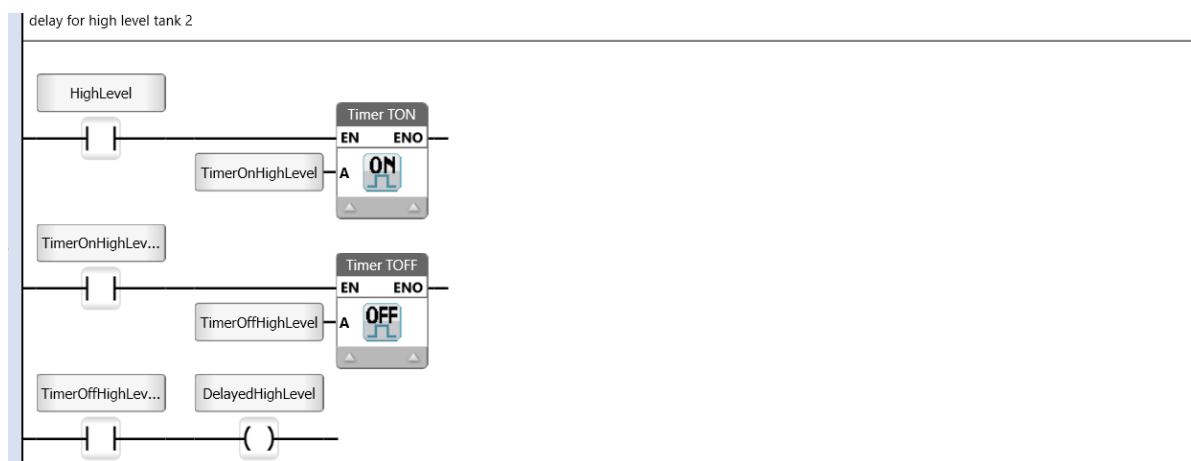
Πρέπει να επισημανθεί ότι οι τιμές μηδέν και εκατό δεν αποτελούν συνεχή αναλογική μέτρηση της πραγματικής ποσότητας υγρού. Χρησιμοποιούνται ως τιμές οπτικοποίησης που προκύπτουν από τη δυαδική πληροφορία του αντίστοιχου αισθητήρα στάθμης.

3.26.4 Χρονική Επεξεργασία των Σημάτων Στάθμης της Δεύτερης Δεξαμενής

Αντίστοιχη χρονική επεξεργασία εφαρμόζεται στα σήματα χαμηλής και υψηλής στάθμης που σχετίζονται με τη δεύτερη δεξαμενή. Η λογική παρουσιάζεται στις Εικόνες 3.11 και 3.12.



Σχήμα 3.11: Χρονική επεξεργασία του σήματος χαμηλής στάθμης της δεύτερης δεξαμενής.



Σχήμα 3.12: Χρονική επεξεργασία του σήματος υψηλής στάθμης της δεύτερης δεξαμενής.

Στην πρώτη περίπτωση, το αρχικό σήμα LowLevel οδηγείται σε Χρονομετρητή Καθυστερήσης Ενεργοποίησης (On-Delay Timer – TON). Η χρονικά επεξεργασμένη κατάσταση χρησιμο-

ποιείται στη συνέχεια από Χρονομετρητή Καθυστέρησης Απενεργοποίησης (Off-Delay Timer – TOF), ενώ το τελικό αποτέλεσμα μεταφέρεται στη μεταβλητή `DelayedLowLevel`.

Με αντίστοιχο τρόπο πραγματοποιείται η επεξεργασία του σήματος `HighLevel`. Μετά τη διαδοχική εφαρμογή των χρονικών συναρτήσεων, το αποτέλεσμα αποθηκεύεται στη μεταβλητή `DelayedHighLevel`.

Η δημιουργία των μεταβλητών `DelayedLowLevel` και `DelayedHighLevel` επιτρέπει στην κύρια λογική του προγράμματος να χρησιμοποιεί χρονικά επεξεργασμένες πληροφορίες αντί να εξαρτάται αποκλειστικά από στιγμιαίες μεταβολές των αντίστοιχων σημάτων.

Η λειτουργία αυτή συνδέεται άμεσα με τη βαθμίδα απομακρυσμένου ελέγχου που παρουσιάστηκε προηγουμένως, καθώς οι δύο συγκεκριμένες μεταβλητές χρησιμοποιούνται ως συνθήκες στη λογική δημιουργίας της `Aux_Rem_Start`. Με αυτόν τον τρόπο γίνεται εμφανής η σύνδεση μεταξύ της επεξεργασίας των σημάτων στάθμης και της κύριας λογικής ελέγχου της αντλίας.

3.26.5 Δημιουργία Ενδείξεων Κατάστασης της Αντλίας

Για την ενημέρωση του χειριστή σχετικά με την τρέχουσα κατάσταση της αντλίας δημιουργούνται δύο διαφορετικές μεταβλητές ένδειξης, οι οποίες προκύπτουν απευθείας από την κατάσταση της μεταβλητής `Pump relay`.



Σχήμα 3.13: Λογική δημιουργίας των ενδείξεων λειτουργίας και διακοπής της αντλίας.

Όπως φαίνεται στο Σχήμα 3.13, στην πρώτη βαθμίδα χρησιμοποιείται κανονική επαφή της μεταβλητής `Pump relay`. Όταν η μεταβλητή βρίσκεται σε ενεργή κατάσταση, ενεργοποιείται η έξοδος `Ind pump run`. Η συγκεκριμένη μεταβλητή χρησιμοποιείται επομένως ως ένδειξη ότι η λογική εντολή λειτουργίας της αντλίας είναι ενεργή.

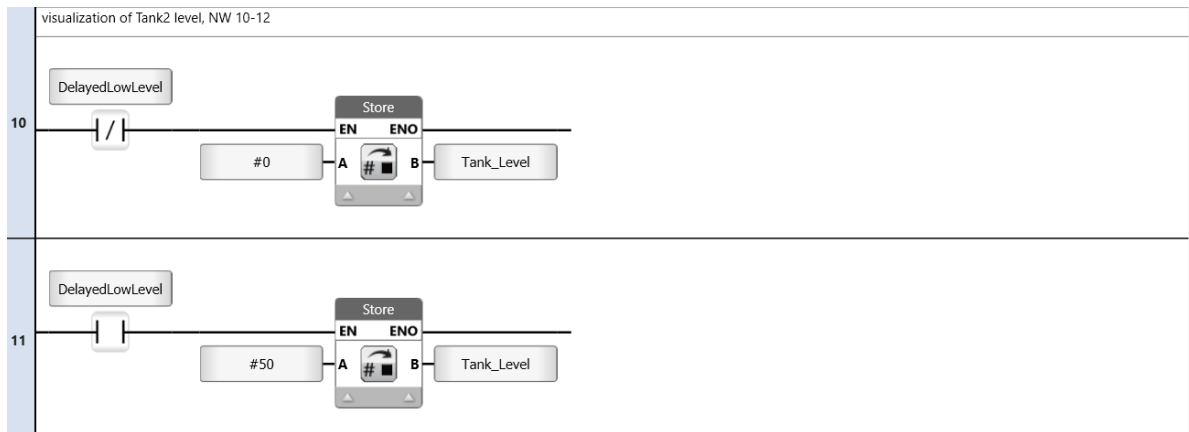
Στη δεύτερη βαθμίδα χρησιμοποιείται ανεστραμμένη επαφή της `Pump relay`. Όταν η μεταβλητή `Pump relay` είναι ανενεργή, η ανεστραμμένη επαφή επιτρέπει την ενεργοποίηση της `Ind Pump stop`. Με τον τρόπο αυτό δημιουργείται η αντίθετη ένδειξη, η οποία αντιπροσωπεύει την κατάσταση διακοπής της αντλίας.

Οι δύο βαθμίδες λειτουργούν συμπληρωματικά. Όταν η `Pump relay` είναι ενεργή, ενεργοποιείται η ένδειξη λειτουργίας, ενώ όταν είναι ανενεργή ενεργοποιείται η ένδειξη διακοπής. Έτσι ο χειριστής μπορεί να ενημερώνεται με σαφή τρόπο για την τρέχουσα λογική κατάσταση της αντλίας.

Η πληροφορία αυτή μπορεί να χρησιμοποιηθεί τόσο για την οπτική ένδειξη στον ηλεκτρολογικό πίνακα όσο και για την αντίστοιχη απεικόνιση στο περιβάλλον HMI, ανάλογα με την αντιστοίχιση των μεταβλητών στην τελική υλοποίηση.

3.26.6 Απεικόνιση της Στάθμης της Δεύτερης Δεξαμενής

Για τη γραφική αναπαράσταση της δεύτερης δεξαμενής χρησιμοποιείται η μεταβλητή `Tank_Level`, στην οποία αποθηκεύονται διαφορετικές αριθμητικές τιμές ανάλογα με την κατάσταση των σημάτων στάθμης.



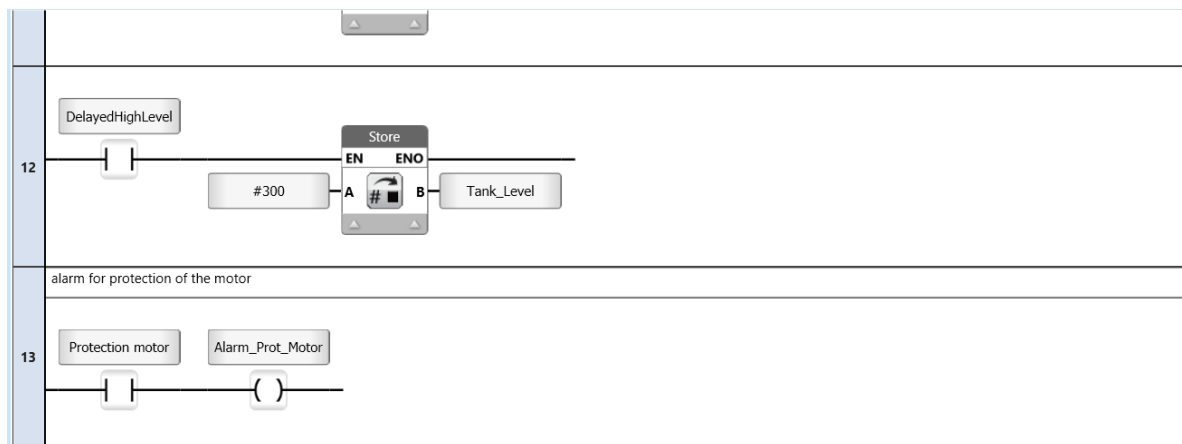
Σχήμα 3.14: Αρχικό τμήμα της λογικής οπτικοποίησης της στάθμης της δεύτερης δεξαμενής.

Στο Σχήμα 3.14 χρησιμοποιείται η χρονικά επεξεργασμένη μεταβλητή `DelayedLowLevel`. Στην πρώτη βαθμίδα η μεταβλητή εμφανίζεται ως ανεστραμμένη επαφή. Όταν επομένως η `DelayedLowLevel` είναι ανενεργή, εκτελείται η συνάρτηση αποθήκευσης (`Store`) και η τιμή μηδέν μεταφέρεται στη μεταβλητή `Tank_Level`.

Στην επόμενη βαθμίδα χρησιμοποιείται κανονική επαφή της `DelayedLowLevel`. Όταν η συγκεκριμένη μεταβλητή είναι ενεργή, αποθηκεύεται η αριθμητική τιμή πενήντα στη `Tank_Level`. Η συγκεκριμένη μετατροπή επιτρέπει τη σύνδεση των διακριτών καταστάσεων των αισθητήρων με ένα γραφικό στοιχείο απεικόνισης στο HMI. Η μεταβλητή `Tank_Level` μπορεί έτσι να χρησιμοποιηθεί ως αριθμητική παράμετρος για την αλλαγή της γραφικής αναπαράστασης της στάθμης.

Οι αριθμητικές τιμές που χρησιμοποιούνται για την οπτικοποίηση δεν πρέπει να ερμηνεύονται ως συνεχής αναλογική μέτρηση της πραγματικής στάθμης. Αποτελούν προκαθορισμένες τιμές που αντιστοιχίζονται στις διακριτές καταστάσεις των αισθητήρων για τις ανάγκες της γραφικής αναπαράστασης.

Στην τρίτη βαθμίδα της ίδιας λειτουργίας χρησιμοποιείται η μεταβλητή `DelayedHighLevel`. Όταν η συγκεκριμένη μεταβλητή ενεργοποιηθεί, εκτελείται μία ακόμη συνάρτηση αποθήκευσης, μέσω της οποίας η αριθμητική τιμή τριακόσια μεταφέρεται στη μεταβλητή `Tank_Level`. Η τιμή αυτή συμπληρώνει τις προηγούμενες καταστάσεις που χρησιμοποιούνται για τη γραφική αναπαράσταση της δεξαμενής. Επομένως, η μεταβλητή `Tank_Level` δεν προκύπτει από συνεχή αναλογική μέτρηση της στάθμης, αλλά λαμβάνει προκαθορισμένες αριθμητικές τιμές ανάλογα με τις ενεργές διακριτές καταστάσεις των αισθητήρων.



Σχήμα 3.15: Αντιστοίχιση της κατάστασης υψηλής στάθμης με την αριθμητική τιμή οπτικοποίησης της δεύτερης δεξαμενής.

Οι συγκεκριμένες αριθμητικές τιμές χρησιμοποιούνται για τις ανάγκες της γραφικής απεικόνισης στο HMI και δεν πρέπει να ερμηνεύονται απευθείας ως πραγματικό ποσοστό πλήρωσης της δεξαμενής.

3.26.7 Υλοποίηση Συναγερμών Προστασίας

Εκτός από τη λογική κανονικής λειτουργίας, στο πρόγραμμα έχουν ενσωματωθεί βαθμίδες που δημιουργούν κατάλληλες μεταβλητές συναγερμού όταν εντοπίζονται συγκεκριμένες καταστάσεις βλάβης ή μη επιτρεπτής λειτουργίας.

Στην πρώτη περίπτωση, η μεταβλητή `Protection motor` χρησιμοποιείται ως συνθήκη ενεργοποίησης της μεταβλητής `Alarm_Prot_Motor`. Όταν επομένως η κατάσταση προστασίας του κινητήρα είναι ενεργή, το αντίστοιχο πηνίο ενεργοποιείται και δημιουργείται η πληροφορία συναγερμού.

Η χρήση ξεχωριστής μεταβλητής συναγερμού επιτρέπει στην κατάσταση προστασίας να αξιοποιηθεί από τα υπόλοιπα τμήματα της εφαρμογής, όπως από το σύστημα απεικόνισης και διαχείρισης συναγερμών.



Σχήμα 3.16: Λογική ανίχνευσης μη συμβατής κατάστασης των αισθητήρων στάθμης.

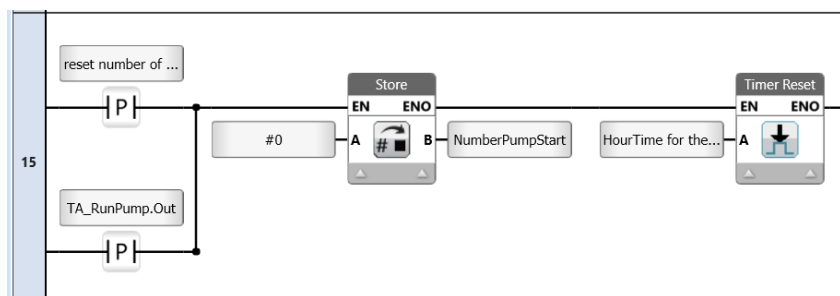
Στη δεύτερη περίπτωση πραγματοποιείται έλεγχος της λογικής συσχέτισης μεταξύ των μεταβλητών `DelayedLowLevel` και `DelayedHighLevel`. Στη συγκεκριμένη βαθμίδα η `DelayedLowLevel` χρησιμοποιείται ως ανεστραμμένη επαφή, ενώ η `DelayedHighLevel` ως κανονική επαφή. Κατά συνέπεια, όταν η `DelayedLowLevel` βρίσκεται σε ανενεργή κατάσταση και ταυτόχρονα η `DelayedHighLevel` βρίσκεται σε ενεργή κατάσταση, ενεργοποιείται η μεταβλητή `AlarmLevelSwitch`.

Ο συγκεκριμένος συνδυασμός αντιμετωπίζεται από τη λογική του προγράμματος ως μη συμβατή κατάσταση των πληροφοριών στάθμης. Η ανίχνευσή του επιτρέπει τη δημιουργία συναγερμού που υποδεικνύει πιθανή λανθασμένη ή μη αναμενόμενη κατάσταση των αντίστοιχων σημάτων στάθμης.

Η συγκεκριμένη βαθμίδα αποτελεί χαρακτηριστικό παράδειγμα του τρόπου με τον οποίο το PLC δεν χρησιμοποιεί απλώς τα σήματα των αισθητήρων για τον έλεγχο της εγκατάστασης, αλλά μπορεί επιπλέον να ελέγχει τη λογική συνέπεια μεταξύ διαφορετικών σημάτων.

3.26.8 Καταμέτρηση και Περιορισμός του Αριθμού Εκκινήσεων

Για την προστασία της αντλίας και του κινητήρα έχει υλοποιηθεί μηχανισμός καταμέτρησης των εκκινήσεων μέσα σε καθορισμένο χρονικό διάστημα. Η λειτουργία αυτή βασίζεται στη συνεργασία εσωτερικών μεταβλητών, χρονικών συναρτήσεων και αριθμητικής σύγκρισης.



Σχήμα 3.17: Λογική αρχικοποίησης του μετρητή εκκινήσεων και επαναφοράς του χρονικού κύκλου καταμέτρησης.

Στο αρχικό τμήμα της λογικής προβλέπεται η δυνατότητα μηδενισμού της μεταβλητής `NumberPumpStart`. Μέσω της συνάρτησης `Store` αποθηκεύεται η τιμή μηδέν στη συγκεκριμένη μεταβλητή, ξεκινώντας έναν νέο κύκλο καταμέτρησης. Στην ίδια λογική περιλαμβάνεται η επαναφορά του αντίστοιχου χρονομετρητή μέσω της συνάρτησης `Timer Reset`.

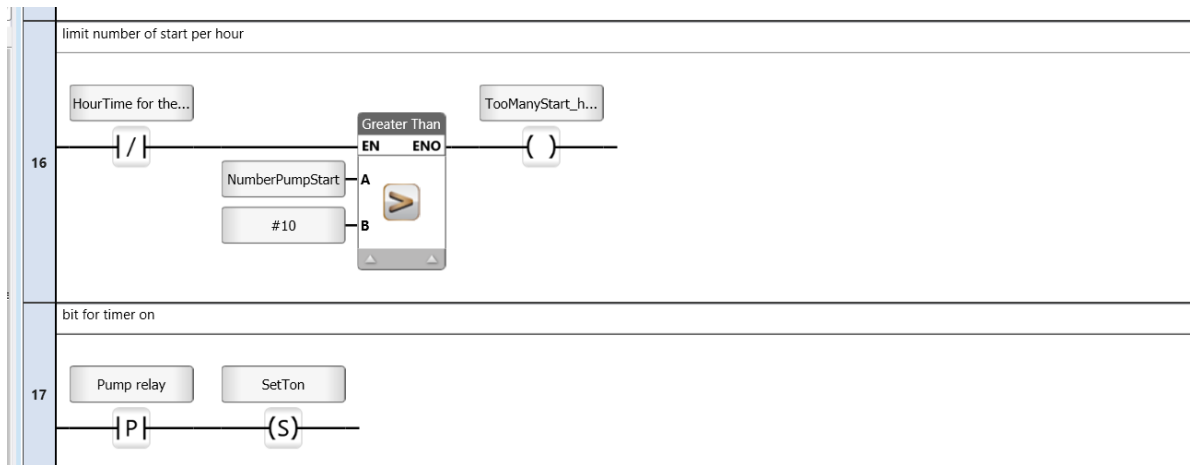
Με τον τρόπο αυτό ο αριθμός των εκκινήσεων δεν αντιμετωπίζεται ως ένας απεριόριστος συνολικός μετρητής, αλλά αξιολογείται σε συνδυασμό με συγκεκριμένο χρονικό παράθυρο.

Για τον έλεγχο του αριθμού εκκινήσεων χρησιμοποιείται συνάρτηση αριθμητικής σύγκρισης `Μεγαλύτερο Από (Greater Than)`. Η τρέχουσα τιμή της μεταβλητής `NumberPumpStart` συγκρίνεται με την προκαθορισμένη τιμή δέκα.

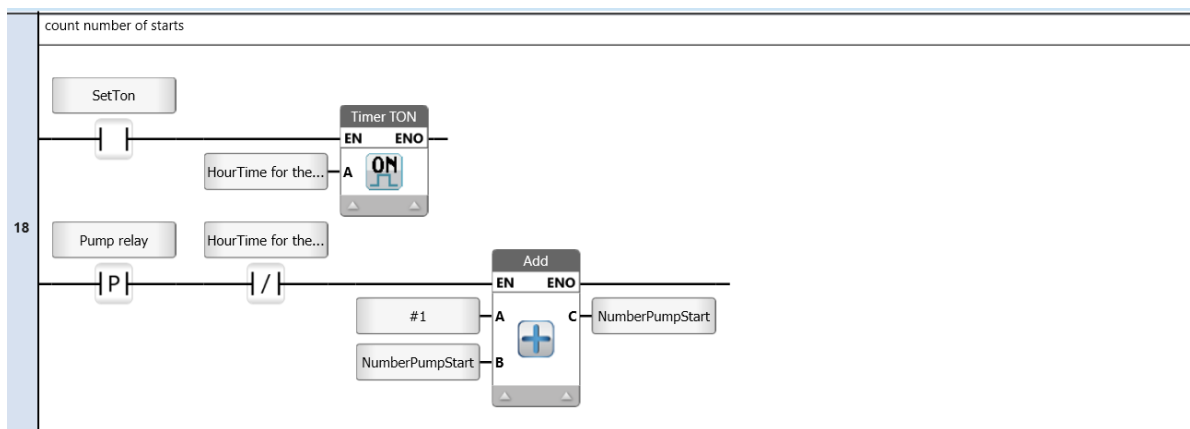
Όταν ικανοποιηθεί η συνθήκη της σύγκρισης, ενεργοποιείται η μεταβλητή που αντιστοιχεί στην κατάσταση υπερβολικού αριθμού εκκινήσεων. Η συγκεκριμένη μεταβλητή χρησιμοποιείται στη συνέχεια ως συνθήκη προστασίας στην κύρια λογική λειτουργίας της αντλίας, όπως παρουσιάστηκε σε προηγούμενη βαθμίδα.

Με αυτόν τον τρόπο δημιουργείται σύνδεση μεταξύ της καταγραφής των εκκινήσεων και της πραγματικής δυνατότητας λειτουργίας του συστήματος. Ο αριθμός των εκκινήσεων επομένως δεν αποτελεί μόνο πληροφορία παρακολούθησης, αλλά συμμετέχει ενεργά στη λογική προστασίας.

Η καταμέτρηση κάθε νέας εκκίνησης βασίζεται στην ανίχνευση θετικής μετάβασης της μεταβλητής `Pump relay`. Με αυτόν τον τρόπο η αύξηση του μετρητή πραγματοποιείται μόνο



Σχήμα 3.18: Έλεγχος υπέρβασης του επιτρεπόμενου αριθμού εκκινήσεων της αντλίας.



Σχήμα 3.19: Καταμέτρηση των εκκινήσεων της αντλίας και λειτουργία του χρονικού παραθύρου παρακολούθησης.

κατά τη μετάβαση της αντλίας από την κατάσταση διακοπής στην κατάσταση λειτουργίας και όχι σε κάθε κύκλο σάρωσης του PLC όσο η αντλία παραμένει ενεργή.

Όταν ανιχνευθεί νέα εκκίνηση και πληρούνται οι αντίστοιχες χρονικές συνθήκες, εκτελείται αριθμητική πρόσθεση μέσω της συνάρτησης Add. Η τιμή ένα προστίθεται στην τρέχουσα τιμή της `NumberPumpStart` και το αποτέλεσμα αποθηκεύεται εκ νέου στην ίδια μεταβλητή.

Παράλληλα, μέσω της μεταβλητής `SetTon` ενεργοποιείται ο χρονομετρητής που χρησιμοποιείται για τον καθορισμό του χρονικού παραθύρου παρακολούθησης. Η `SetTon` τίθεται σε ενεργή κατάσταση κατά την ανίχνευση της θετικής μετάβασης της `Pump relay`.

Με την ολοκλήρωση του αντίστοιχου χρονικού διαστήματος, η `SetTon` επαναφέρεται μέσω πηνίου επαναφοράς (Reset Coil), επιτρέποντας την αρχικοποίηση του μηχανισμού για τον επόμενο κύκλο καταμέτρησης.

Συνολικά, οι συγκεκριμένες βαθμίδες υλοποιούν έναν μηχανισμό μέσω του οποίου οι πραγματικές εκκινήσεις της αντλίας καταμετρώνται και αξιολογούνται μέσα σε καθορισμένο χρονικό διάστημα. Η υπέρβαση του προκαθορισμένου ορίου μπορεί στη συνέχεια να χρησιμοποιηθεί για την αναστολή νέων εκκινήσεων και την προστασία του ηλεκτρομηχανολογικού εξοπλι-

σμού.

3.26.9 Καταγραφή του Χρόνου Λειτουργίας της Αντλίας

Για την παρακολούθηση της πραγματικής διάρκειας λειτουργίας της αντλίας έχει αναπτυχθεί ξεχωριστή λογική καταμέτρησης χρόνου. Η πληροφορία αυτή μπορεί να χρησιμοποιηθεί τόσο για την εποπτεία της εγκατάστασης όσο και για τη δημιουργία ιστορικών δεδομένων λειτουργίας.

Η καταμέτρηση πραγματοποιείται μόνο όταν είναι ενεργή η μεταβλητή `Ind pump run`, δηλαδή όταν το πρόγραμμα αναγνωρίζει ότι η αντλία βρίσκεται σε κατάσταση λειτουργίας. Σε συνδυασμό με αυτήν χρησιμοποιείται περιοδικό σήμα χρονικής βάσης και ανίχνευση θετικής μετάβασης. Κάθε κατάλληλος χρονικός παλμός προκαλεί την εκτέλεση της συνάρτησης Αύξησης (Increment – INC), η οποία αυξάνει τη μεταβλητή `PumpRun_sec`.

Με τον τρόπο αυτό η `PumpRun_sec` χρησιμοποιείται ως μετρητής της διάρκειας λειτουργίας σε δευτερόλεπτα, ενώ η καταμέτρηση διακόπτεται όταν η αντλία δεν βρίσκεται σε λειτουργία. Στην επόμενη βαθμίδα η τιμή της μεταβλητής `PumpRun_sec` συγκρίνεται με την αριθμητική τιμή εξήντα μέσω συνάρτησης σύγκρισης Μεγαλύτερο ή Ίσο (Greater Than or Equal).

Όταν η τιμή φτάσει ή ξεπεράσει τα εξήντα δευτερόλεπτα, ενεργοποιείται η μεταβλητή `PumpRun_min`.

Παράλληλα, μέσω συνάρτησης Store αποθηκεύεται εκ νέου η τιμή μηδέν στη `PumpRun_sec`, ώστε να ξεκινήσει η καταμέτρηση των δευτερολέπτων για το επόμενο λεπτό λειτουργίας.

Η συγκεκριμένη δομή επιτρέπει την οργάνωση του συνολικού χρόνου λειτουργίας σε διαφορετικές χρονικές μονάδες και δημιουργεί τη βάση για περαιτέρω επεξεργασία και καταγραφή της διάρκειας λειτουργίας της αντλίας.

Η λογική καταγραφής του χρόνου λειτουργίας συνεχίζεται με τη μετατροπή των δευτερολέπτων σε λεπτά και στη συνέχεια των λεπτών σε ώρες. Με τον τρόπο αυτό δημιουργείται μία περισσότερο χρήσιμη μορφή παρουσίασης του συνολικού χρόνου λειτουργίας της αντλίας.

Στην πρώτη βαθμίδα χρησιμοποιείται η μεταβλητή `PumpRun_min`, η οποία δημιουργείται όταν συμπληρωθούν εξήντα δευτερόλεπτα λειτουργίας. Η θετική μετάβαση της συγκεκριμένης μεταβλητής ανιχνεύεται μόνο όταν η αντλία βρίσκεται σε κατάσταση λειτουργίας, όπως υποδεικνύεται από τη `Ind pump run`.

Κάθε θετική μετάβαση προκαλεί την εκτέλεση της συνάρτησης Αύξησης (Increment – INC), μέσω της οποίας αυξάνεται κατά μία μονάδα η μεταβλητή `PumpRunMin`. Με αυτόν τον τρόπο η συγκεκριμένη μεταβλητή λειτουργεί ως συσσωρευτής των λεπτών πραγματικής λειτουργίας της αντλίας.

Στην επόμενη βαθμίδα η `PumpRunMin` συγκρίνεται με την τιμή εξήντα μέσω συνάρτησης Μεγαλύτερο ή Ίσο (Greater Than or Equal). Όταν συμπληρωθούν εξήντα λεπτά, ενεργοποιείται η μεταβλητή `PumpRun_H`. Παράλληλα, η τιμή της `PumpRunMin` μηδενίζεται μέσω συνάρτησης Store, ώστε να ξεκινήσει η καταμέτρηση του επόμενου χρονικού διαστήματος μίας ώρας.

Η θετική μετάβαση της `PumpRun_H` χρησιμοποιείται στη συνέχεια για την αύξηση της μεταβλητής `PumpRunHours`. Επομένως, κάθε φορά που συμπληρώνονται εξήντα λεπτά πραγματικής λειτουργίας, ο συνολικός μετρητής ωρών αυξάνεται κατά μία μονάδα.

Η δομή αυτή επιτρέπει τη διατήρηση του συνολικού χρόνου λειτουργίας σε μορφή ωρών, ενώ παράλληλα εξακολουθούν να χρησιμοποιούνται ξεχωριστές μεταβλητές για τα δευτερόλεπτα και τα λεπτά.

3.26.10 Υπολογισμός της Εκτιμώμενης Παροχής

Στο πρόγραμμα έχει υλοποιηθεί επιπλέον διαδικασία υπολογισμού της εκτιμώμενης παροχής της αντλίας. Ο υπολογισμός βασίζεται στον γνωστό όγκο της δεύτερης δεξαμενής και στον χρόνο που απαιτείται για την πλήρωσή της.

Για τον υπολογισμό χρησιμοποιείται η συνάρτηση Διαίρεσης (Division – DIV). Στην είσοδο της συνάρτησης χρησιμοποιείται η μεταβλητή Vol_Tank2, η οποία αντιπροσωπεύει τον όγκο της δεύτερης δεξαμενής, καθώς και η μεταβλητή TimeFill_real, η οποία αντιπροσωπεύει τον χρόνο πλήρωσης σε πραγματικό αριθμητικό τύπο.

Το αποτέλεσμα της διαίρεσης αποθηκεύεται στη μεταβλητή FlowRate. Η βασική μαθηματική σχέση μπορεί να εκφραστεί ως:

$$Q = \frac{V}{t} \quad (3.2)$$

όπου Q είναι η εκτιμώμενη παροχή, V ο γνωστός όγκος και t ο μετρούμενος χρόνος πλήρωσης. Πριν πραγματοποιηθεί η διαίρεση, η μεταβλητή TimeFill_prev μετατρέπεται από ακέραιο αριθμητικό τύπο (Integer) σε πραγματικό αριθμητικό τύπο (Real). Η μετατροπή αυτή είναι απαραίτητη ώστε ο υπολογισμός της παροχής να μπορεί να δώσει και μη ακέραιο αποτέλεσμα.

Η συγκεκριμένη μέθοδος δεν αποτελεί άμεση μέτρηση μέσω φυσικού παροχόμετρου (flow meter), αλλά υπολογιστική εκτίμηση που βασίζεται στον γνωστό όγκο της δεξαμενής και στον πραγματικό χρόνο που απαιτείται για την πλήρωσή της.

3.26.11 Μέτρηση του Χρόνου Πλήρωσης της Δεύτερης Δεξαμενής

Για την εκτίμηση της παροχής είναι απαραίτητο να προσδιοριστεί ο χρόνος που απαιτείται για τη μετάβαση της δεύτερης δεξαμενής από την καθορισμένη κατάσταση χαμηλής στάθμης έως την κατάσταση υψηλής στάθμης.

Η έναρξη της μέτρησης βασίζεται στην ανίχνευση αρνητικής μετάβασης (Negative Transition) της μεταβλητής DelayedLowLevel. Όταν ανιχνευθεί η συγκεκριμένη μετάβαση, τίθεται σε ενεργή κατάσταση η μεταβλητή SetFlow μέσω πηνίου Set.

Η SetFlow χρησιμοποιείται στη συνέχεια ως συνθήκη ενεργοποίησης του μηχανισμού χρονικής καταμέτρησης.

Στην επόμενη βαθμίδα ελέγχεται ταυτόχρονα ότι η SetFlow είναι ενεργή και ότι η αντλία βρίσκεται σε λειτουργία μέσω της Ind pump run. Παράλληλα χρησιμοποιείται περιοδικό σήμα χρονικής βάσης.

Κάθε θετική μετάβαση του χρονικού αυτού σήματος προκαλεί αύξηση της μεταβλητής Time_Fill μέσω της συνάρτησης Increment. Επομένως, η Time_Fill καταγράφει τον χρόνο που παρέχεται κατά τη διαδικασία πλήρωσης όσο η αντλία βρίσκεται σε λειτουργία.

3.26.12 Ολοκλήρωση και Αποθήκευση του Χρόνου Πλήρωσης

Η διαδικασία χρονικής μέτρησης ολοκληρώνεται όταν ανιχνευθεί η κατάσταση υψηλής στάθμης της δεύτερης δεξαμενής.

Η θετική μετάβαση της μεταβλητής DelayedHighLevel, σε συνδυασμό με την ενεργή κατάσταση λειτουργίας της αντλίας, σηματοδοτεί την ολοκλήρωση της διαδικασίας πλήρωσης.

Στο συγκεκριμένο σημείο επαναφέρεται η μεταβλητή `SetFlow`, τερματίζοντας τη χρονική καταμέτρηση. Η τιμή που έχει συσσωρευθεί στη `Time_Fill` αποθηκεύεται στη μεταβλητή `TimeFill_prev` μέσω συνάρτησης `Store`.

Με τον τρόπο αυτό διατηρείται ο συνολικός χρόνος του τελευταίου ολοκληρωμένου κύκλου πλήρωσης και μπορεί στη συνέχεια να χρησιμοποιηθεί στους υπολογισμούς του προγράμματος. Αμέσως μετά, η μεταβλητή `Time_Fill` μηδενίζεται, ώστε να είναι έτοιμη για την καταγραφή του επόμενου κύκλου πλήρωσης.

3.26.13 Ανίχνευση Υπερβολικού Χρόνου Πλήρωσης

Εκτός από τη χρήση του χρόνου πλήρωσης για τον υπολογισμό της παροχής, η ίδια πληροφορία αξιοποιείται και ως κριτήριο διάγνωσης μη φυσιολογικής λειτουργίας.

Η μεταβλητή `TimeFill_prev`, η οποία περιέχει τον χρόνο του τελευταίου ολοκληρωμένου κύκλου πλήρωσης, συγκρίνεται με την τιμή τρεις χιλιάδες εξακόσια μέσω συνάρτησης `Μεγαλύτερο Από (Greater Than)`.

Όταν ο καταγεγραμμένος χρόνος υπερβεί τη συγκεκριμένη τιμή, ενεργοποιείται η μεταβλητή `FillTooLong`. Η μεταβλητή αυτή αποτελεί ένδειξη ότι η διαδικασία πλήρωσης απαίτησε περισσότερο χρόνο από το προκαθορισμένο όριο.

Μία τέτοια κατάσταση μπορεί να χρησιμοποιηθεί ως ένδειξη ότι η συμπεριφορά της εγκατάστασης αποκλίνει από την αναμενόμενη. Επομένως, ο χρόνος πλήρωσης αξιοποιείται όχι μόνο ως παράμετρος υπολογισμού αλλά και ως στοιχείο παρακολούθησης της λειτουργικής κατάστασης του συστήματος.

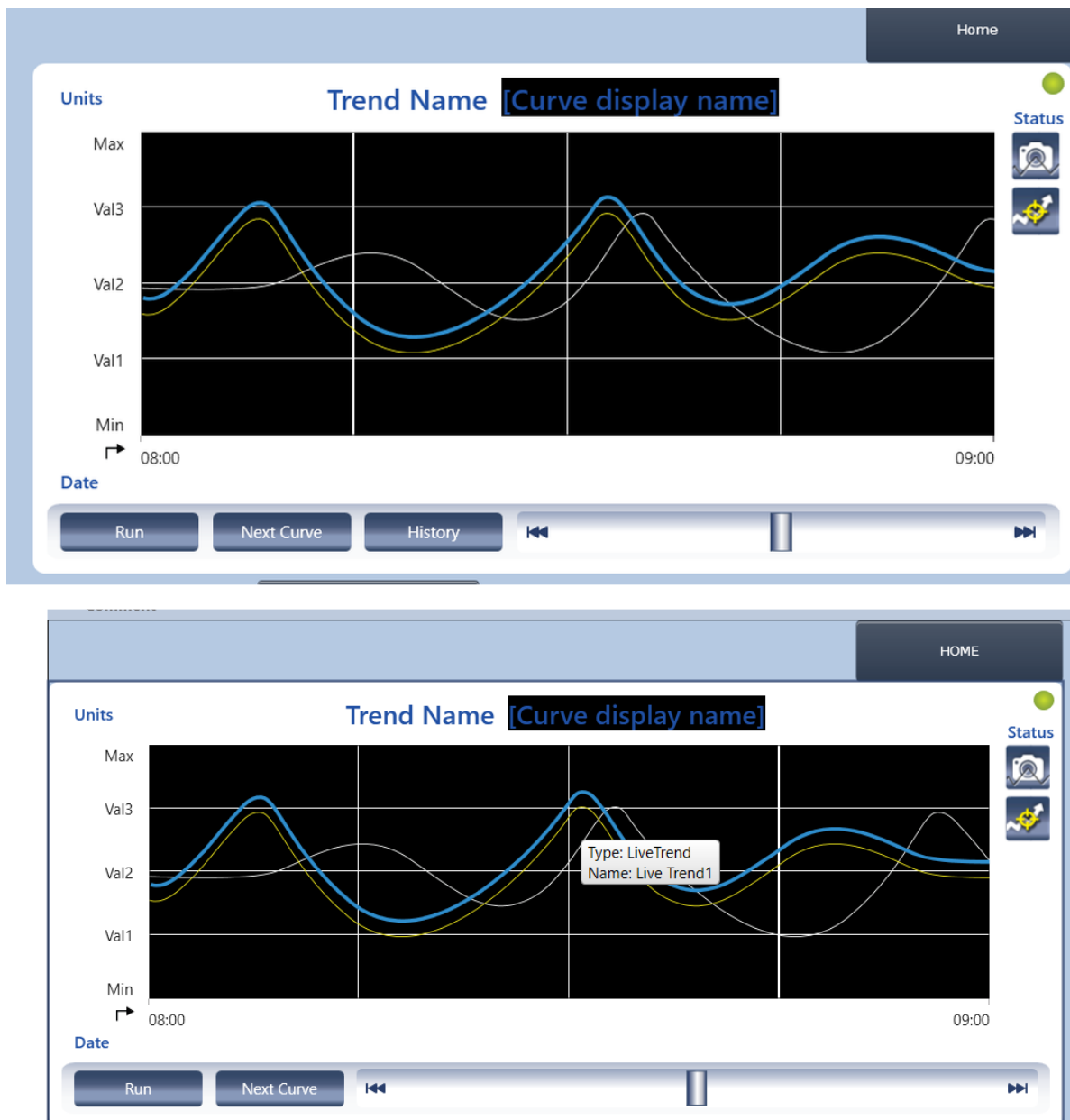
Καταγραφή και γραφική απεικόνιση δεδομένων

Για την παρακολούθηση της λειτουργίας του συστήματος χρησιμοποιήθηκε η δυνατότητα *Data Sampling* του UniLogic. Μέσω αυτής της λειτουργίας επιλέγονται συγκεκριμένες μεταβλητές του PLC, οι τιμές των οποίων καταγράφονται περιοδικά και μπορούν στη συνέχεια να χρησιμοποιηθούν για την απεικόνιση της συμπεριφοράς του συστήματος σε συνάρτηση με τον χρόνο. Στην παρούσα εφαρμογή δημιουργήθηκε ο `Data Sampler` με την ονομασία `TANK2DATA_SAMPLER`, στον οποίο έχουν οριστεί τέσσερις βασικές μεταβλητές. Η μεταβλητή `PumpRun` χρησιμοποιείται για την καταγραφή της κατάστασης λειτουργίας της αντλίας, επιτρέποντας τον προσδιορισμό των χρονικών διαστημάτων κατά τα οποία η αντλία βρίσκεται σε λειτουργία. Οι μεταβλητές `TANK2_LowLevel` και `TANK2_HighLevel` αντιστοιχούν στις καταστάσεις χαμηλής και υψηλής στάθμης της δεύτερης δεξαμενής αντίστοιχα. Με αυτόν τον τρόπο είναι δυνατή η χρονική παρακολούθηση των μεταβολών της στάθμης και η συσχέτισή τους με τη λειτουργία της αντλίας. Τέλος, η μεταβλητή `PumpRunHours` χρησιμοποιείται για την παρακολούθηση των συσσωρευμένων ωρών λειτουργίας της αντλίας.

Το χρονικό διάστημα δειγματοληψίας (*Sampling Interval*) έχει οριστεί στο ένα δευτερόλεπτο. Επομένως, οι επιλεγμένες μεταβλητές δειγματοληπτούνται ανά ένα δευτερόλεπτο, παρέχοντας επαρκή χρονική ανάλυση για την παρακολούθηση της λειτουργίας του συστήματος.

Η καταγραφή των παραπάνω μεταβλητών επιτρέπει τη δημιουργία γραφικών παραστάσεων μέσω των λειτουργιών *Graph* και *Trend* του HMI. Με τον τρόπο αυτό, ο χειριστής μπορεί να παρακολουθεί τη χρονική εξέλιξη των καταγεγραμμένων μεγεθών και να εξετάζει τη σχέση μεταξύ της λειτουργίας της αντλίας και των καταστάσεων στάθμης της δεξαμενής. Η γρα-

φική απεικόνιση διευκολύνει επίσης τον εντοπισμό μη φυσιολογικής συμπεριφοράς και την αξιολόγηση της συνολικής λειτουργίας της εγκατάστασης.



Σχήμα 3.20: Οθόνες γραφικής απεικόνισης Trend και Live Trend στο HMI για την παρακολούθηση της χρονικής εξέλιξης των μεταβλητών του συστήματος.

3.27 Χώρος ανάπτυξης και υλοποίησης της εργασίας

Η ανάπτυξη και η πρακτική υλοποίηση της παρούσας εργασίας πραγματοποιήθηκε σε βιομηχανικό περιβάλλον, γεγονός που έδωσε τη δυνατότητα σύνδεσης του θεωρητικού μέρους της με πραγματικές πρακτικές βιομηχανικού αυτοματισμού. Στον συγκεκριμένο χώρο πραγματο-

ποιήθηκε σημαντικό μέρος της ανάπτυξης του συστήματος, όπως ο προγραμματισμός και η παραμετροποίηση του PLC, η διαμόρφωση του HMI, καθώς και η κατασκευή και καλωδίωση του πίνακα ελέγχου.

Ενδεικτικές φωτογραφίες από τη διαδικασία ανάπτυξης παρουσιάζονται στο Σχήμα 3.21.



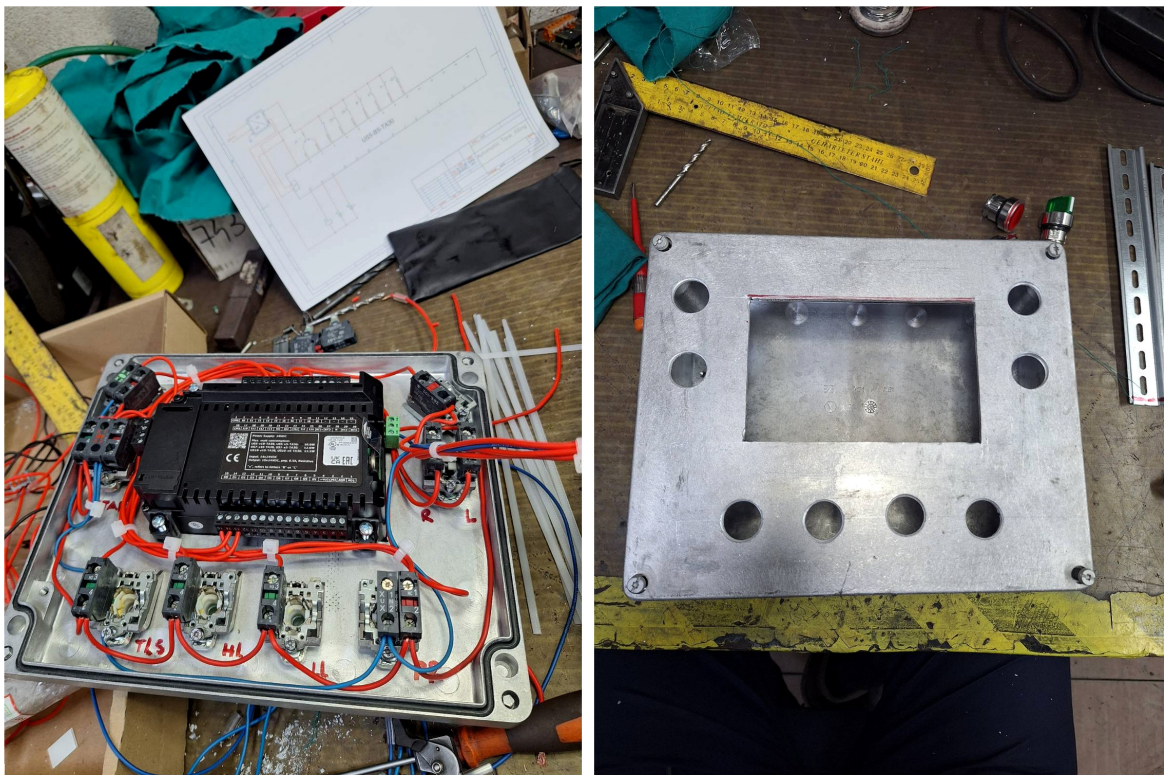
(α)



(β)

Σχήμα 3.21: Ενδεικτικές φωτογραφίες του χώρου στον οποίο πραγματοποιήθηκε μέρος της ανάπτυξης και υλοποίησης της εργασίας.

Ενδεικτικά στάδια της διαδικασίας κατασκευής παρουσιάζονται στο Σχήμα 3.22.



Σχήμα 3.22: Στάδια κατασκευής και συναρμολόγησης του ηλεκτρολογικού πίνακα του συστήματος αυτοματισμού. Απεικονίζονται η προετοιμασία της πρόσωσης του πίνακα για την τοποθέτηση των στοιχείων χειρισμού και η εσωτερική εγκατάσταση και καλωδίωση του PLC και των επιμέρους ηλεκτρολογικών εξαρτημάτων.

3.28 Σύνοψη Κεφαλαίου

Στο παρόν κεφάλαιο παρουσιάστηκε αναλυτικά η υλοποίηση του συστήματος αυτόματου ελέγχου πλήρωσης δεξαμενής, τόσο σε επίπεδο ηλεκτρολογικής σύνδεσης όσο και σε επίπεδο προγραμματισμού και εποπτείας. Αρχικά παρουσιάστηκε η ηλεκτρολογική διάταξη του συστήματος και η διασύνδεση του PLC με τα επιμέρους στοιχεία εισόδου και εξόδου. Στη συνέχεια αναλύθηκε η λογική ελέγχου που αναπτύχθηκε στο περιβάλλον UniLogic, με έμφαση στον έλεγχο της αντλίας, στην παρακολούθηση της στάθμης, στους χρονισμούς λειτουργίας και στους μηχανισμούς προστασίας και διαχείρισης καταστάσεων συναγερμού.

Παράλληλα, παρουσιάστηκε η διεπαφή HMI, μέσω της οποίας παρέχεται στον χειριστή η δυνατότητα εποπτείας και ελέγχου της εγκατάστασης. Η καταγραφή των δεδομένων λειτουργίας και η γραφική απεικόνισή τους μέσω των λειτουργιών Trend και Live Trend ολοκληρώνουν το σύστημα εποπτείας, επιτρέποντας την παρακολούθηση της συμπεριφοράς του συστήματος κατά τη λειτουργία του. Με τον τρόπο αυτό ολοκληρώνεται η παρουσίαση της σχεδίασης και της υλοποίησης του προτεινόμενου συστήματος αυτοματισμού.

Κεφάλαιο 4

Αποτελέσματα

4.1 Εισαγωγή

Στο παρόν κεφάλαιο παρουσιάζονται τα αποτελέσματα των δοκιμών που πραγματοποιήθηκαν για την αξιολόγηση της λειτουργίας του συστήματος αυτοματοποιημένης πλήρωσης δεξαμενής. Οι δοκιμές πραγματοποιήθηκαν στην τελική πειραματική διάταξη, με το PLC συνδεδεμένο σε πραγματικό χρόνο με το περιβάλλον UniLogic, ώστε να είναι δυνατή η ταυτόχρονη παρακολούθηση των φυσικών εισόδων και εξόδων, των εσωτερικών μεταβλητών του προγράμματος και της απόκρισης του HMI.

Βασικός στόχος της διαδικασίας ήταν να εξεταστεί η συμπεριφορά του συστήματος τόσο κατά την κανονική λειτουργία όσο και κατά την εμφάνιση διαφορετικών συνθηκών στάθμης και προστασίας. Για τον σκοπό αυτό πραγματοποιήθηκαν διαδοχικά σενάρια λειτουργίας, στα οποία μεταβάλλονταν οι εισοδοί της κατασκευής μέσω των αντίστοιχων διακοπών και μπουτόν, ενώ παράλληλα παρακολουθούνταν οι μεταβολές των μεταβλητών στο Online Ladder και οι αντίστοιχες ενδείξεις στην οθόνη HMI.

Οι δοκιμές περιλάμβαναν τον τοπικό και απομακρυσμένο έλεγχο της αντλίας, την απόκριση στα σήματα χαμηλής και υψηλής στάθμης, τις χρονικές καθυστερήσεις των αισθητήρων, τη λειτουργία των συστημάτων προστασίας και του Emergency Stop, καθώς και τον περιορισμό του αριθμού εκκινήσεων της αντλίας. Επιπλέον, εξετάστηκαν η καταγραφή του συνολικού χρόνου λειτουργίας, η μέτρηση του χρόνου πλήρωσης, ο υπολογισμός της εκτιμώμενης παροχής και η λειτουργία του συστήματος συναγερμών.

Ιδιαίτερη έμφαση δόθηκε στη σύγκριση της πραγματικής απόκρισης της κατασκευής με τη λογική που είχε υλοποιηθεί στο πρόγραμμα. Για τον λόγο αυτό, κατά τη διάρκεια των δοκιμών χρησιμοποιήθηκε η δυνατότητα Online παρακολούθησης του UniLogic, μέσω της οποίας ήταν δυνατή η άμεση παρατήρηση της κατάστασης των εισόδων, των βοηθητικών μεταβλητών και της εξόδου που ελέγχει την αντλία.

Τέλος, αξιολογήθηκε η δυνατότητα γραφικής παρακολούθησης των βασικών μεταβλητών μέσω των λειτουργιών Graph και Trend του HMI. Καταγράφηκαν οι μεταβολές της κατάστασης της αντλίας και των σημάτων στάθμης, ενώ εξετάστηκε και η λειτουργία του Alarm Summary και του Alarm History για την εμφάνιση και αποθήκευση των συμβάντων του συστήματος.



Σχήμα 4.1: Τελική πειραματική κατασκευή του συστήματος αυτόματης πλήρωσης δεξαμενής με HMI και φυσικά χειριστήρια.

4.2 Πειραματική Διάταξη και Διαδικασία Δοκιμών

Για την πραγματοποίηση των δοκιμών χρησιμοποιήθηκε η τελική πειραματική κατασκευή του συστήματος. Η διάταξη περιλαμβάνει το PLC, την οθόνη HMI και τον πίνακα χειρισμού, στον οποίο έχουν τοποθετηθεί οι απαραίτητοι διακόπτες και τα μπουτόν για την προσομοίωση των διαφορετικών καταστάσεων λειτουργίας.

Μέσω των φυσικών χειριστηρίων ήταν δυνατή η επιλογή μεταξύ τοπικού και απομακρυσμένου ελέγχου, η εκκίνηση και διακοπή της αντλίας, καθώς και η προσομοίωση των σημάτων στάθμης και προστασίας. Παράλληλα, το Emergency Stop χρησιμοποιήθηκε για τον έλεγχο της άμεσης διακοπής της λειτουργίας σε περίπτωση έκτακτης ανάγκης.

Κατά τη διάρκεια των δοκιμών το PLC παρέμενε συνδεδεμένο με τον υπολογιστή και το UniLogic βρισκόταν σε κατάσταση Online. Με αυτόν τον τρόπο ήταν δυνατή η παρακολούθηση της λογικής Ladder σε πραγματικό χρόνο και η επιβεβαίωση της τιμής κάθε μεταβλητής κατά τη μεταβολή των φυσικών εισόδων.

Η διαδικασία πραγματοποιήθηκε σταδιακά. Αρχικά ελέγχθηκαν οι βασικές λειτουργίες εκκίνησης και διακοπής της αντλίας σε Local και Remote mode. Στη συνέχεια εξετάστηκε η συμπε-

ριφορά του συστήματος κατά την ενεργοποίηση των σημάτων Low Level και High Level και επιβεβαιώθηκαν οι χρονικές καθυστερήσεις που είχαν οριστεί στο πρόγραμμα.

Ακολούθησαν οι δοκιμές των συνθηκών προστασίας, του Emergency Stop και του περιορισμού του αριθμού εκκινήσεων. Στο επόμενο στάδιο εξετάστηκαν οι μετρητές χρόνου λειτουργίας και η διαδικασία υπολογισμού του χρόνου πλήρωσης και της εκτιμώμενης παροχής. Τέλος, πραγματοποιήθηκε έλεγχος των γραφικών καταγραφών και του συστήματος συναγερμών.

Κατά τη διάρκεια κάθε δοκιμής καταγράφηκαν οι αντίστοιχες καταστάσεις στο HMI και στο Online Ladder. Με αυτόν τον τρόπο τα αποτελέσματα δεν βασίστηκαν μόνο στην οπτική κατάσταση της κατασκευής, αλλά επιβεβαιώθηκαν και μέσω των εσωτερικών μεταβλητών του PLC.

4.3 Έλεγχος Τοπικής και Απομακρυσμένης Λειτουργίας

Μία από τις πρώτες δοκιμές που πραγματοποιήθηκαν αφορούσε την επιβεβαίωση της ορθής λειτουργίας των δύο διαθέσιμων τρόπων χειρισμού του συστήματος, δηλαδή της τοπικής (Local) και της απομακρυσμένης (Remote) λειτουργίας. Η επιλογή του τρόπου χειρισμού πραγματοποιείται μέσω του αντίστοιχου επιλογικού διακόπτη που βρίσκεται στον πίνακα της κατασκευής.

Κατά την τοπική λειτουργία, η εντολή εκκίνησης της αντλίας δόθηκε μέσω του φυσικού μπουτόν START του πίνακα. Με την ενεργοποίησή του παρατηρήθηκε η μεταβολή της αντίστοιχης μεταβλητής στο Online Ladder και η ενεργοποίηση της εξόδου ελέγχου της αντλίας. Παράλληλα, η κατάσταση λειτουργίας ήταν άμεσα ορατή μέσω των ενδεικτικών στοιχείων της κατασκευής.

Στη συνέχεια ο επιλογικός διακόπτης μεταφέρθηκε στη θέση Remote, ώστε να ελεγχθεί η δυνατότητα χειρισμού μέσω του HMI. Η εντολή εκκίνησης δόθηκε από την αντίστοιχη επιλογή της οθόνης και επιβεβαιώθηκε ότι η εντολή μεταφέρθηκε σωστά στη λογική του PLC και οδήγησε στην ενεργοποίηση της αντλίας.

Αντίστοιχα ελέγχθηκε και η διαδικασία διακοπής της λειτουργίας. Και στις δύο περιπτώσεις η έξοδος της αντλίας ακολούθησε την εντολή χειρισμού, ενώ η μεταβολή μπορούσε να παρατηρηθεί ταυτόχρονα τόσο στην πραγματική κατασκευή όσο και στο Online Ladder.

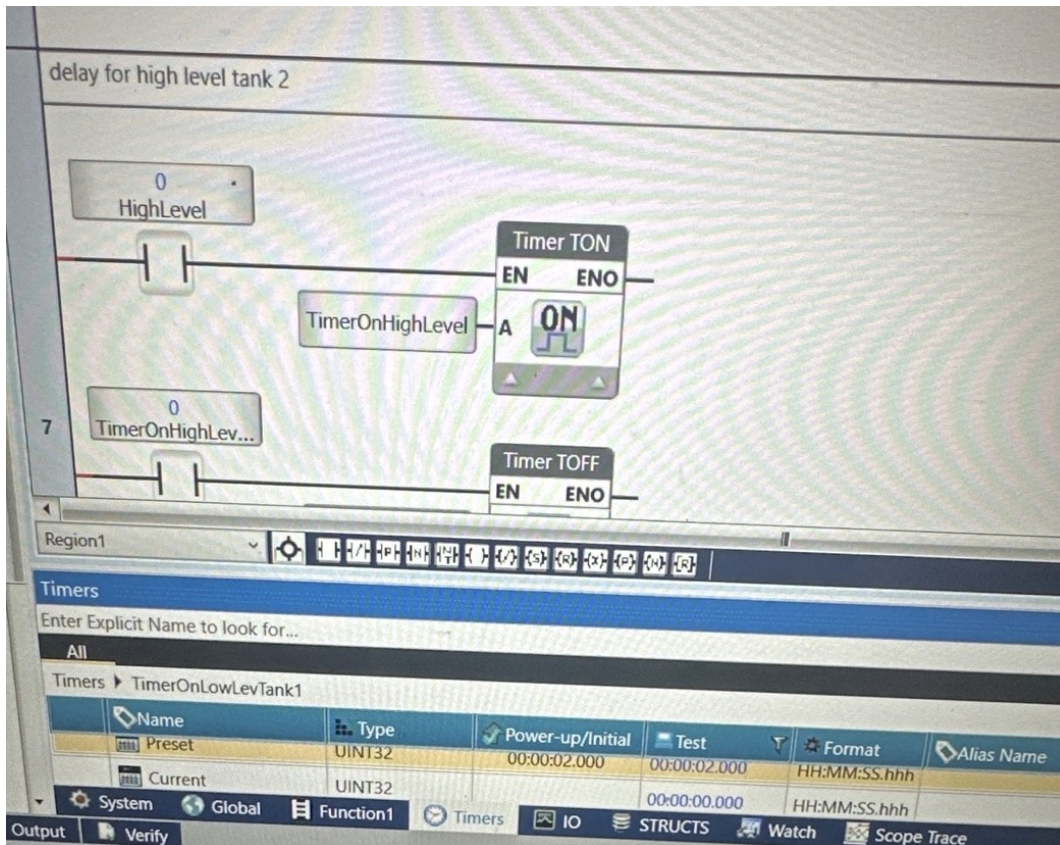
Η δοκιμή επιβεβαίωσε ότι η επιλογή μεταξύ Local και Remote λειτουργίας πραγματοποιείται σύμφωνα με τη σχεδιασμένη λογική και ότι οι δύο τρόποι χειρισμού μπορούν να χρησιμοποιηθούν για τον έλεγχο της αντλίας χωρίς να επηρεάζεται η βασική λειτουργία του συστήματος.

4.4 Έλεγχος Σήματος Χαμηλής Στάθμης

Στη συνέχεια πραγματοποιήθηκε δοκιμή του σήματος χαμηλής στάθμης (Low Level), με σκοπό να επιβεβαιωθεί ότι το PLC αναγνωρίζει σωστά τη μεταβολή της αντίστοιχης εισόδου και ότι η πληροφορία μεταφέρεται στα επιμέρους τμήματα του συστήματος.

Η κατάσταση χαμηλής στάθμης προσομοιώθηκε μέσω του αντίστοιχου διακόπτη “Low level” της πειραματικής κατασκευής. Κατά την αλλαγή της κατάστασης του διακόπτη παρακολούθηθηκε ταυτόχρονα η αντίστοιχη είσοδος και οι σχετικές μεταβλητές μέσω του Online Ladder. Στη λογική του προγράμματος έχει ενσωματωθεί χρονική καθυστέρηση για την επιβεβαίωση

του σήματος χαμηλής στάθμης. Συγκεκριμένα, ο χρονοδιακόπτης TimerOnLowLevTank1 έχει ρυθμιστεί σε χρόνο 2 s. Με τον τρόπο αυτό αποφεύγεται η άμεση αποδοχή μιας στιγμιαίας αλλαγής της εισόδου και η κατάσταση στάθμης θεωρείται έγκυρη αφού διατηρηθεί για το προβλεπόμενο χρονικό διάστημα.



Σχήμα 4.2: Παρακολούθηση της λογικής χρονικής καθυστέρησης των σημάτων στάθμης στο περιβάλλον UniLogic.

Κατά τη δοκιμή επιβεβαιώθηκε η απόκριση του συστήματος στη μεταβολή της εισόδου Low Level. Η μεταβολή ήταν επίσης ορατή μέσω της λειτουργίας γραφικής καταγραφής του HMI. Στο αντίστοιχο Trend η ενεργοποίηση του σήματος αποτυπώθηκε ως μετάβαση από την αρχική κατάσταση σε υψηλότερη τιμή, ενώ κατά την απενεργοποίησή του η καταγραφή επέστρεψε στην αρχική της κατάσταση.

Η γραφική απεικόνιση είναι ιδιαίτερα χρήσιμη, καθώς επιτρέπει την παρακολούθηση όχι μόνο της τρέχουσας κατάστασης της εισόδου αλλά και της χρονικής εξέλιξής της. Έτσι μπορεί να επιβεβαιωθεί εκ των υστέρων η χρονική στιγμή κατά την οποία πραγματοποιήθηκε μία αλλαγή κατάστασης.

Τα αποτελέσματα της δοκιμής έδειξαν ότι το σήμα χαμηλής στάθμης αναγνωρίζεται και επεξεργάζεται σωστά από το PLC και ότι η κατάστασή του μπορεί να παρακολουθείται σε πραγματικό χρόνο μέσω του HMI.

4.5 Έλεγχος Σήματος Υψηλής Στάθμης και Διακοπής της Αντλίας

Ιδιαίτερη σημασία για τη λειτουργία του συστήματος έχει το σήμα υψηλής στάθμης (High Level), καθώς χρησιμοποιείται για την αναγνώριση της κατάστασης κατά την οποία η δεξαμενή έχει φτάσει στο ανώτερο επιθυμητό επίπεδο πλήρωσης.

Για την πραγματοποίηση της δοκιμής η αντλία τέθηκε αρχικά σε λειτουργία και στη συνέχεια ενεργοποιήθηκε ο διακόπτης “High level” της πειραματικής κατασκευής. Με την αναγνώριση της κατάστασης υψηλής στάθμης από το PLC παρατηρήθηκε η διακοπή της λειτουργίας της αντλίας, σύμφωνα με τη λογική ελέγχου που είχε υλοποιηθεί.

Η μεταβολή επιβεβαιώθηκε τόσο από την κατάσταση των ενδεικτικών στοιχείων της κατασκευής όσο και μέσω του Online Ladder. Παράλληλα, στο HMI εμφανίστηκε η αντίστοιχη πληροφορία κατάστασης της δεξαμενής.

Η συμπεριφορά καταγράφηκε επίσης μέσω των Trend του HMI. Στην καταγραφή του σήματος High Level ήταν εμφανής η αλλαγή της τιμής κατά την ενεργοποίηση και την απενεργοποίηση του αντίστοιχου διακόπτη. Αντίστοιχα, στην καταγραφή της κατάστασης λειτουργίας της αντλίας (PumpRun) παρατηρήθηκε η μετάβαση από κατάσταση λειτουργίας σε κατάσταση παύσης όταν ενεργοποιήθηκε η υψηλή στάθμη.

Επιπλέον, κατά τη δοκιμή εξετάστηκε η συμπεριφορά του συστήματος μετά την απομάκρυνση της συνθήκης High Level. Παρατηρήθηκε ότι, εφόσον η εντολή εκκίνησης μέσω HMI παρέμενε ενεργή, η απενεργοποίηση του High Level επέτρεπε την επανεκκίνηση της αντλίας. Η συγκεκριμένη συμπεριφορά είναι αποτέλεσμα της υλοποιημένης λογικής, καθώς η εντολή HMI_Start εξακολουθεί να βρίσκεται σε ενεργή κατάσταση.

Με βάση τα παραπάνω, επιβεβαιώθηκε ότι το σήμα High Level χρησιμοποιείται επιτυχώς για τη διακοπή της αντλίας κατά την επίτευξη της ανώτερης στάθμης, ενώ η επαναφορά του σήματος επιτρέπει την επανεκκίνηση όταν εξακολουθεί να υπάρχει ενεργή εντολή λειτουργίας.

4.6 Έλεγχος Χρονικών Περιορισμών Λειτουργίας της Αντλίας

Για την προστασία της αντλίας από συχνές και ανεπιθύμητες εναλλαγές κατάστασης, στη λογική ελέγχου έχουν ενσωματωθεί χρονικοί περιορισμοί που αφορούν την εκκίνηση και τη διακοπή της λειτουργίας της. Οι περιορισμοί αυτοί έχουν ως στόχο την αποφυγή συνεχόμενων ενεργοποιήσεων και απενεργοποιήσεων σε πολύ μικρά χρονικά διαστήματα.

Κατά τη διαδικασία ελέγχου παρακολουθήθηκαν οι αντίστοιχοι χρονιστές στο Online Ladder και η επίδρασή τους στην τελική εντολή λειτουργίας της αντλίας. Με αυτόν τον τρόπο επιβεβαιώθηκε ότι η αλλαγή της κατάστασης της αντλίας δεν εξαρτάται αποκλειστικά από μία στιγμιαία μεταβολή των σημάτων εισόδου, αλλά λαμβάνονται υπόψη και οι χρονικές συνθήκες που έχουν ενσωματωθεί στον αλγόριθμο ελέγχου.

Η χρήση ελάχιστου χρόνου λειτουργίας (Minimum ON Time) και ελάχιστου χρόνου παραμονής εκτός λειτουργίας (Minimum OFF Time) αποτελεί σημαντικό στοιχείο της προστασίας του συστήματος. Ο πρώτος περιορισμός αποτρέπει την άμεση διακοπή της αντλίας αμέσως μετά την εκκίνησή της, ενώ ο δεύτερος εμποδίζει την άμεση επανεκκίνησή της μετά από μία διακοπή, εφόσον δεν έχει παρέλθει το προβλεπόμενο χρονικό διάστημα.

Η εφαρμογή των παραπάνω χρονικών περιορισμών συμβάλλει στη μείωση των πολύ συχνών

μεταβολών της κατάστασης της αντλίας και, κατά συνέπεια, στην προστασία του ηλεκτρομηχανολογικού εξοπλισμού από περιττές καταπονήσεις.

4.7 Περιορισμός Αριθμού Εκκινήσεων της Αντλίας

Εκτός από τους χρονικούς περιορισμούς λειτουργίας, στο πρόγραμμα υλοποιήθηκε μηχανισμός καταμέτρησης του αριθμού εκκινήσεων της αντλίας. Η λειτουργία αυτή χρησιμοποιείται για την προστασία της αντλίας από υπερβολικά μεγάλο αριθμό εκκινήσεων μέσα σε συγκεκριμένο χρονικό διάστημα.

Κάθε νέα εκκίνηση της αντλίας ανιχνεύεται μέσω της θετικής μετάβασης της αντίστοιχης κατάστασης λειτουργίας και αυξάνει την τιμή της μεταβλητής `NumberPumpStart`. Με τον τρόπο αυτό το PLC διατηρεί έναν μετρητή των εκκινήσεων που έχουν πραγματοποιηθεί.

Στη λογική προστασίας έχει οριστεί ως όριο η τιμή των 10 εκκινήσεων. Η συνθήκη ελέγχου πραγματοποιείται με σύγκριση της μορφής `NumberPumpStart > 10`. Επομένως, όταν πραγματοποιηθεί η ενδέκατη εκκίνηση, η τιμή του μετρητή υπερβαίνει το επιτρεπόμενο όριο και ενεργοποιείται η αντίστοιχη συνθήκη προστασίας.

Παράλληλα, έχει προβλεφθεί χρονικό παράθυρο μίας ώρας για την καταμέτρηση. Με την ολοκλήρωση του χρονικού αυτού διαστήματος η τιμή του μετρητή μπορεί να μηδενιστεί, ώστε να ξεκινήσει νέος κύκλος καταμέτρησης. Στη λογική του προγράμματος έχει επίσης προβλεφθεί δυνατότητα επαναφοράς του μετρητή μέσω της αντίστοιχης συνθήκης `reset`.

Η συγκεκριμένη λειτουργία προσθέτει ένα επιπλέον επίπεδο προστασίας, καθώς δεν επιτρέπει την ανεξέλεγκτη επανάληψη εκκινήσεων σε σύντομο χρονικό διάστημα. Η πληροφορία του αριθμού εκκινήσεων μπορεί παράλληλα να αξιοποιηθεί για την παρακολούθηση της καταπόνησης και της συνολικής χρήσης της αντλίας.

4.8 Έλεγχος Λειτουργίας Emergency Stop

Σημαντικό μέρος της διαδικασίας ελέγχου αποτέλεσε η λειτουργία του Emergency Stop, το οποίο βρίσκεται στο επάνω αριστερό τμήμα του φυσικού πίνακα χειρισμού. Ο σκοπός του είναι η άμεση διακοπή της λειτουργίας του συστήματος σε περίπτωση κατάστασης έκτακτης ανάγκης.

Κατά τον έλεγχο ενεργοποιήθηκε το Emergency Stop ενώ το σύστημα βρισκόταν σε κατάσταση λειτουργίας. Η εντολή αναγνωρίστηκε από το PLC και η λειτουργία της αντλίας διακόπηκε, ανεξάρτητα από την ενεργή εντολή εκκίνησης.

Η συγκεκριμένη δοκιμή είναι σημαντική, καθώς επιβεβαιώνει ότι μία συνθήκη ασφαλείας έχει προτεραιότητα έναντι της κανονικής εντολής λειτουργίας. Με τον τρόπο αυτό ο χειριστής διαθέτει τη δυνατότητα άμεσης παύσης της εγκατάστασης χωρίς να απαιτείται προηγουμένως αλλαγή του τρόπου λειτουργίας ή χρήση των υπόλοιπων χειριστηρίων.

Η ενσωμάτωση του Emergency Stop στην πειραματική κατασκευή επιτρέπει την πληρέστερη προσομοίωση ενός πραγματικού βιομηχανικού συστήματος αυτοματισμού, στο οποίο η δυνατότητα άμεσης διακοπής αποτελεί βασική απαίτηση ασφαλούς λειτουργίας.

4.9 Έλεγχος Μη Έγκυρου Συνδυασμού Σημάτων Στάθμης

Κατά τη λειτουργία του συστήματος είναι δυνατό να εμφανιστεί ένας μη αναμενόμενος συνδυασμός των σημάτων στάθμης. Μία τέτοια κατάσταση μπορεί να υποδηλώνει λανθασμένη ένδειξη ή ασυμφωνία μεταξύ των σημάτων που χρησιμοποιούνται για τον προσδιορισμό της κατάστασης της δεξαμενής.

Για την αξιολόγηση της συγκεκριμένης λειτουργίας δημιουργήθηκε μέσω των διακοπών της πειραματικής διάταξης συνδυασμός σημάτων που αναγνωρίζεται από το πρόγραμμα ως μη έγκυρος. Το PLC ανίχνευσε την κατάσταση και ενεργοποίησε το αντίστοιχο συμβάν *Faulty level switches*.

Η εμφάνιση του σφάλματος επιβεβαιώθηκε στην οθόνη HMI μέσω του συστήματος συναγερμών. Το συμβάν *Faulty level switches* καταγράφηκε με βαθμό σοβαρότητας *Critical*, γεγονός που το διαφοροποιεί από τις απλές ενημερωτικές καταστάσεις στάθμης.

Μετά την απομάκρυνση της συνθήκης που προκάλεσε το σφάλμα, καταγράφηκε και η μετάβαση του συμβάντος από κατάσταση ON σε κατάσταση OFF. Η πληροφορία παρέμεινε διαθέσιμη στο ιστορικό συναγερμών, επιτρέποντας την εκ των υστέρων εξέταση του συμβάντος.

Η δοκιμή επιβεβαίωσε ότι το σύστημα δεν περιορίζεται στην απλή ανάγνωση των αισθητηρίων σημάτων, αλλά μπορεί να αναγνωρίζει μη αναμενόμενες καταστάσεις και να ενημερώνει τον χειριστή μέσω του HMI.

4.10 Καταγραφή Χρόνου Λειτουργίας της Αντλίας

Εκτός από τον άμεσο έλεγχο της αντλίας, στο σύστημα υλοποιήθηκε και η παρακολούθηση του χρόνου λειτουργίας της. Η πληροφορία αυτή είναι χρήσιμη για την αξιολόγηση της συνολικής χρήσης του εξοπλισμού και μπορεί να αξιοποιηθεί για σκοπούς συντήρησης και παρακολούθησης της εγκατάστασης.

Κατά τη λειτουργία της αντλίας, ο χρόνος λειτουργίας καταγράφεται μέσω της λογικής του PLC. Η αύξηση της αντίστοιχης μεταβλητής πραγματοποιείται όσο η ένδειξη λειτουργίας της αντλίας παραμένει ενεργή, χρησιμοποιώντας παλμό συχνότητας 1 Hz. Με αυτόν τον τρόπο πραγματοποιείται συσσώρευση του χρόνου λειτουργίας σε διαδοχικά χρονικά βήματα.

Κατά τη διαδικασία των δοκιμών παρακολουθήθηκε η μεταβολή της σχετικής τιμής τόσο μέσω του Online Ladder όσο και μέσω του HMI. Όταν η αντλία βρισκόταν σε λειτουργία, η τιμή αυξανόταν, ενώ μετά τη διακοπή της λειτουργίας της η αύξηση σταματούσε.

Η χρονική εξέλιξη της μεταβλητής παρακολουθήθηκε επιπλέον μέσω της γραφικής απεικόνισης *RunHours of Pump*. Στην καταγραφή ήταν εμφανής η σταδιακή αύξηση της τιμής κατά τη διάρκεια λειτουργίας της αντλίας. Η δυνατότητα αυτή επιτρέπει στον χειριστή να παρακολουθεί την εξέλιξη του χρόνου λειτουργίας και όχι μόνο την τρέχουσα αριθμητική τιμή του.

Η καταγραφή του χρόνου λειτουργίας αποτελεί χρήσιμο διαγνωστικό στοιχείο, καθώς μπορεί να χρησιμοποιηθεί μελλοντικά για τον προγραμματισμό εργασιών προληπτικής συντήρησης ή για τη σύγκριση της χρήσης της αντλίας σε διαφορετικές χρονικές περιόδους.

4.11 Παρακολούθηση Χρόνου Πλήρωσης

Στο πρόγραμμα έχει ενσωματωθεί επιπλέον μηχανισμός παρακολούθησης του χρόνου που απαιτείται για την ολοκλήρωση ενός κύκλου πλήρωσης. Η λειτουργία αυτή παρέχει μία επιπλέον πληροφορία σχετικά με τη συμπεριφορά του συστήματος και μπορεί να χρησιμοποιηθεί για την ανίχνευση σημαντικών αποκλίσεων από την αναμενόμενη λειτουργία.

Κατά τη διάρκεια της διαδικασίας πλήρωσης ενημερώνεται η μεταβλητή `Time_Fill`. Η τιμή της μεταβλητής αυξάνεται όσο εξελίσσεται ο αντίστοιχος κύκλος, παρέχοντας μία χρονική ένδειξη της διάρκειάς του.

Στη λογική του προγράμματος έχει προβλεφθεί η αποθήκευση της διάρκειας του προηγούμενου κύκλου. Όταν ανιχνευθεί η μετάβαση που αντιστοιχεί στην επίτευξη της υψηλής στάθμης, η τρέχουσα τιμή της `Time_Fill` αποθηκεύεται στη μεταβλητή `TimeFill_prev`. Στη συνέχεια η `Time_Fill` μηδενίζεται, ώστε να είναι διαθέσιμη για την καταγραφή του επόμενου κύκλου.

Κατά την Online παρακολούθηση επιβεβαιώθηκε η ενημέρωση της μεταβλητής `Time_Fill` κατά τη λειτουργία της σχετικής λογικής. Επιπλέον, στο πρόγραμμα έχει ενσωματωθεί έλεγχος για υπερβολικά μεγάλη διάρκεια πλήρωσης, με χρονικό όριο 3600 s. Η ύπαρξη αυτού του ελέγχου επιτρέπει την αναγνώριση μιας διαδικασίας πλήρωσης που διαρκεί σημαντικά περισσότερο από το προβλεπόμενο.

Η παρακολούθηση του χρόνου πλήρωσης μπορεί να αποτελέσει χρήσιμο εργαλείο διάγνωσης, καθώς σημαντικές μεταβολές μεταξύ διαδοχικών κύκλων μπορούν να αποτελέσουν ένδειξη μεταβολής της απόδοσης του συστήματος ή κάποιας μη φυσιολογικής κατάστασης.

4.12 Γραφική Παρακολούθηση των Μεταβλητών

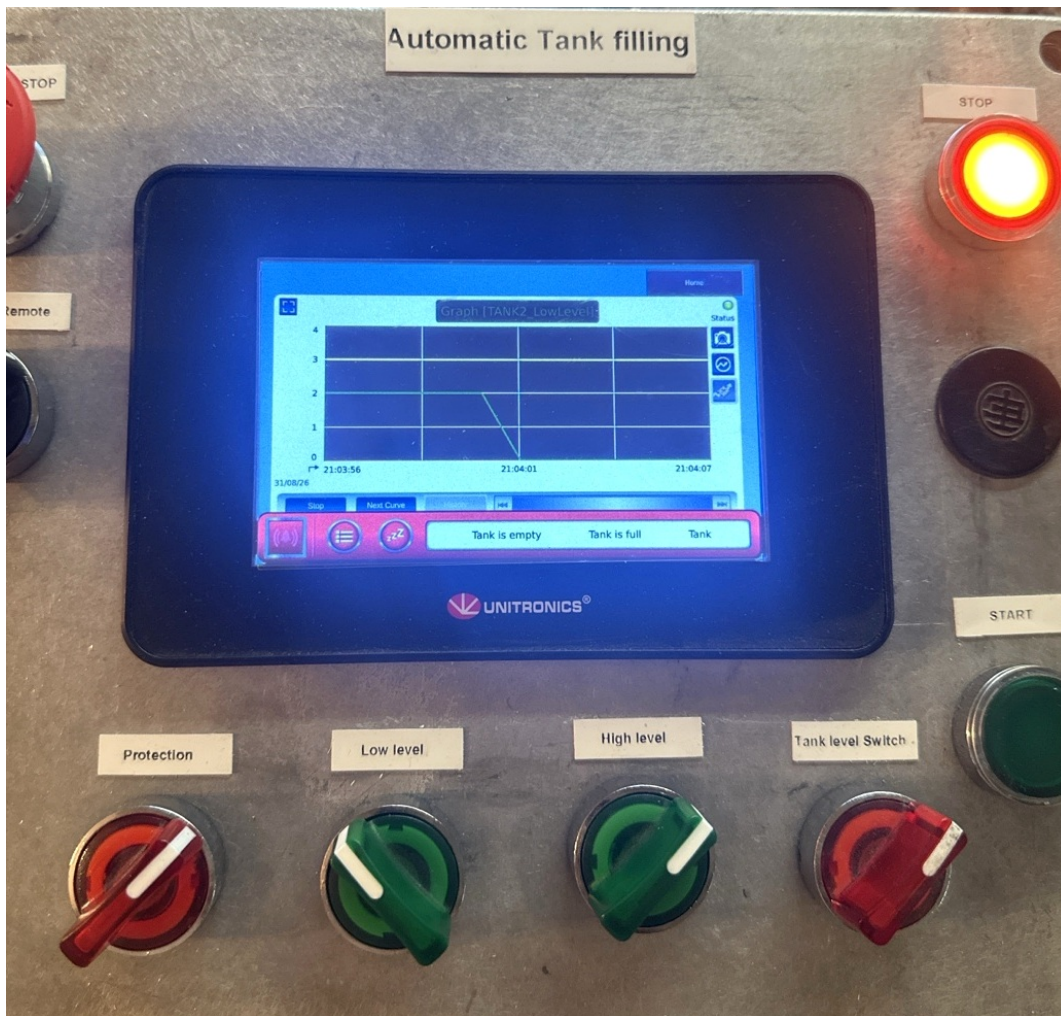
Για την καλύτερη εποπτεία της λειτουργίας του συστήματος χρησιμοποιήθηκαν οι δυνατότητες γραφικής απεικόνισης και καταγραφής του HMI. Μέσω των αντίστοιχων Trend και Graph screens είναι δυνατή η παρακολούθηση της χρονικής εξέλιξης βασικών μεταβλητών του συστήματος.

Αρχικά εξετάστηκε η μεταβλητή `PumpRun`, η οποία αντιπροσωπεύει την κατάσταση λειτουργίας της αντλίας. Κατά την εκκίνηση της αντλίας παρατηρήθηκε άνοδος της καταγραφόμενης τιμής από την κατάσταση ηρεμίας στην κατάσταση λειτουργίας. Αντίστοιχα, κατά τη διακοπή της αντλίας η γραφική παράσταση επέστρεψε στην αρχική της κατάσταση. Με αυτόν τον τρόπο ήταν δυνατή η σαφής αναγνώριση των χρονικών διαστημάτων κατά τα οποία η αντλία βρισκόταν σε λειτουργία.



Σχήμα 4.3: Γραφική καταγραφή της μεταβολής της κατάστασης λειτουργίας της αντλίας μέσω της μεταβλητής PumpRun.

Αντίστοιχες δοκιμές πραγματοποιήθηκαν για τα σήματα Low Level και High Level. Η ενεργοποίηση και η απενεργοποίηση των αντίστοιχων διακοπών αποτυπώθηκαν στις γραφικές παραστάσεις ως διακριτές μεταβολές της καταγραφόμενης τιμής. Έτσι επιβεβαιώθηκε ότι οι αλλαγές των σημάτων στάθμης μπορούν να αποθηκεύονται και να απεικονίζονται χρονικά μέσω του HMI.



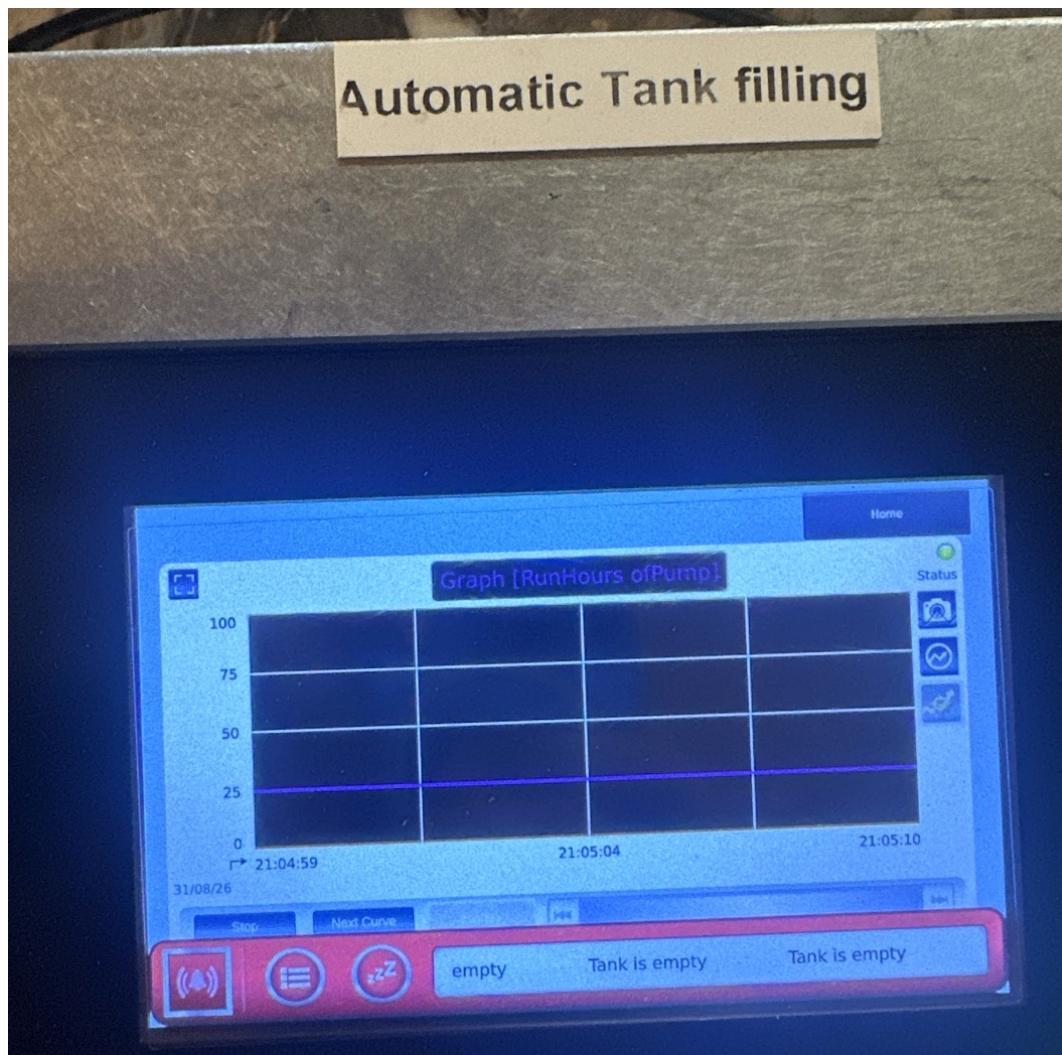
Σχήμα 4.4: Γραφική απεικόνιση της μεταβολής του σήματος χαμηλής στάθμης κατά τη διάρκεια των δοκιμών.



Σχήμα 4.5: Γραφική απεικόνιση της μεταβολής του σήματος υψηλής στάθμης κατά τη διάρκεια των δοκιμών.

Ιδιαίτερα χαρακτηριστική ήταν η ταυτόχρονη παρατήρηση της κατάστασης High Level και της λειτουργίας της αντλίας. Κατά την επίτευξη της συνθήκης υψηλής στάθμης, η αντλία σταμάτησε και η αντίστοιχη αλλαγή αποτυπώθηκε στο Trend της PumpRun. Μετά την απομάκρυνση της συνθήκης High Level, και εφόσον παρέμενε ενεργή η εντολή εκκίνησης, καταγράφηκε η επαναφορά της αντλίας σε κατάσταση λειτουργίας.

Επιπλέον, μέσω της οθόνης RunHours of Pump παρακολουθήθηκε η εξέλιξη της μεταβλητής που σχετίζεται με τον χρόνο λειτουργίας της αντλίας. Σε αντίθεση με τα δυαδικά σήματα κατάστασης, η συγκεκριμένη καταγραφή παρουσίαζε σταδιακή μεταβολή, σύμφωνα με τη συσσώρευση του χρόνου λειτουργίας.



Σχήμα 4.6: Γραφική παρακολούθηση της μεταβλητής χρόνου λειτουργίας της αντλίας.

Τα αποτελέσματα των γραφικών καταγραφών επιβεβαιώνουν ότι το HMI δεν χρησιμοποιείται αποκλειστικά για τον άμεσο χειρισμό της εγκατάστασης, αλλά παρέχει και δυνατότητες εποπτείας και ιστορικής παρακολούθησης των βασικών μεταβλητών του συστήματος.

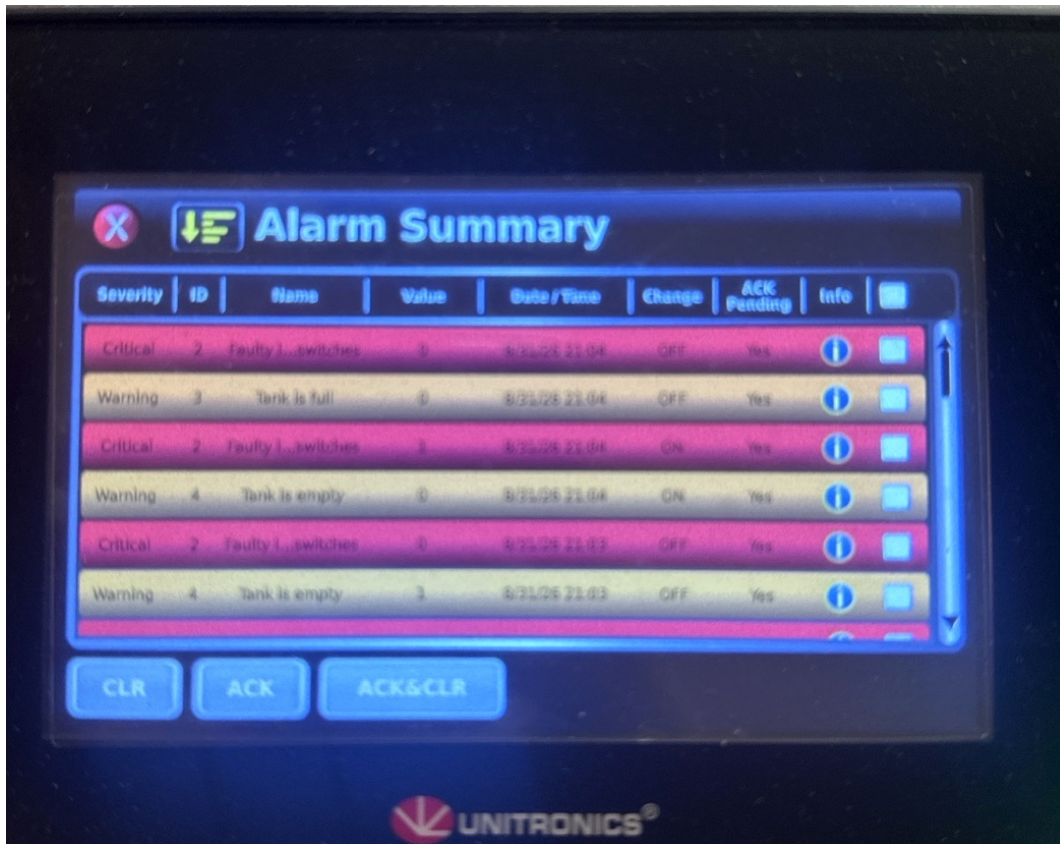
4.13 Έλεγχος Συστήματος Συναγερμών

Το σύστημα συναγερμών του HMI ελέγχθηκε με τη δημιουργία διαφορετικών καταστάσεων κατά τη διάρκεια των δοκιμών. Στόχος ήταν να επιβεβαιωθεί τόσο η εμφάνιση των ενεργών συμβάντων όσο και η διατήρηση των σχετικών πληροφοριών μετά την αποκατάσταση της αντίστοιχης συνθήκης.

Κατά τις δοκιμές καταγράφηκαν, μεταξύ άλλων, τα συμβάντα Faulty level switches, Tank is full και Tank is empty. Τα συμβάντα δεν έχουν όλα την ίδια σοβαρότητα. Η κατάσταση Faulty level switches έχει χαρακτηριστεί ως Critical, καθώς υποδηλώνει μη έγκυρο συνδυασμό των σημάτων στάθμης. Αντίθετα, οι καταστάσεις Tank is

full και Tank is empty εμφανίζονται με βαθμό σοβαρότητας Warning.

Μέσω της οθόνης Alarm Summary ήταν δυνατή η παρακολούθηση των μεταβολών των συναγερμών. Για τα συμβάντα εμφανίζονταν πληροφορίες όπως ο βαθμός σοβαρότητας, ο αναγνωριστικός αριθμός, η ονομασία του συναγερμού, η ημερομηνία και ώρα και η αλλαγή της κατάστασης μεταξύ ON και OFF.



Σχήμα 4.7: Οθόνη Alarm Summary με καταγραφή της κατάστασης και της σοβαρότητας των συναγερμών του συστήματος.

Κατά την ενεργοποίηση μιας συνθήκης καταγραφόταν η μετάβαση σε κατάσταση ON, ενώ μετά την αποκατάστασή της εμφανιζόταν η αντίστοιχη μετάβαση σε OFF. Με αυτόν τον τρόπο ο χειριστής μπορεί να διαπιστώσει όχι μόνο ποιος συναγερμός εμφανίστηκε, αλλά και αν η αιτία που τον προκάλεσε εξακολουθεί να υφίσταται.

Στην ίδια οθόνη εμφανιζόταν επίσης η κατάσταση επιβεβαίωσης (ACK Pending), ενώ παρέχονταν οι επιλογές ACK, CLR και ACK&CLR. Οι λειτουργίες αυτές επιτρέπουν την επιβεβαίωση και τη διαχείριση των καταγεγραμμένων συμβάντων από τον χειριστή.

4.14 Ιστορικό Συναγερμών

Εκτός από την εμφάνιση των συναγερμών κατά τη διάρκεια λειτουργίας, ελέγχθηκε και η δυνατότητα ιστορικής καταγραφής τους μέσω της οθόνης Alarm History.

Κατά τη δοκιμή διαπιστώθηκε ότι συμβάντα τα οποία είχαν ήδη πάψει να είναι ενεργά παρέμεναν διαθέσιμα στο ιστορικό. Χαρακτηριστικά, στην οθόνη εμφανίζονταν το συμβάν Faulty level switches, με βαθμό σοβαρότητας Critical, καθώς και το συμβάν Tank is full, με βαθμό σοβαρότητας Warning. Παράλληλα καταγράφονταν πληροφορίες σχετικά με την ημερομηνία και ώρα εμφάνισης και τη μεταβολή της κατάστασής τους.



Σχήμα 4.8: Ιστορικό συναγερμών του συστήματος μέσω της λειτουργίας Alarm History του HMI.

Η λειτουργία αυτή είναι ιδιαίτερα σημαντική σε ένα σύστημα αυτοματισμού, καθώς ένα σφάλμα μπορεί να εμφανιστεί και να αποκατασταθεί πριν ο χειριστής ελέγξει την εγκατάσταση. Μέσω του ιστορικού είναι δυνατή η εκ των υστέρων αναζήτηση των συμβάντων και η χρονική συσχέτισή τους με τη συμπεριφορά του συστήματος.

Ο συνδυασμός των λειτουργιών Alarm Summary και Alarm History παρέχει επομένως τόσο άμεση ενημέρωση για την τρέχουσα κατάσταση όσο και δυνατότητα εξέτασης προηγούμενων συμβάντων.

4.15 Συνολική Αξιολόγηση Αποτελεσμάτων

Η διαδικασία δοκιμών που πραγματοποιήθηκε επέτρεψε την αξιολόγηση της συνολικής λειτουργίας του συστήματος αυτοματοποιημένης πλήρωσης δεξαμενής και την επιβεβαίωση της απόκρισης των βασικών λειτουργιών που υλοποιήθηκαν στο PLC και στο HMI.

Αρχικά, επιβεβαιώθηκε η δυνατότητα ελέγχου της αντλίας μέσω των διαθέσιμων τρόπων χειρισμού, καθώς και η σωστή ανταπόκριση του συστήματος στις μεταβολές των σημάτων στάθμης. Η ενεργοποίηση και η απενεργοποίηση των σημάτων Low Level και High Level αναγνωρίστηκαν από το PLC και επηρέασαν τη λειτουργία του συστήματος σύμφωνα με τη λογική ελέγχου. Ιδιαίτερα σημαντική ήταν η συμπεριφορά του συστήματος κατά την ενεργοποίηση της υψηλής στάθμης. Η συνθήκη High Level οδήγησε στη διακοπή της λειτουργίας της αντλίας, αποτρέποντας τη συνέχιση της πλήρωσης μετά την επίτευξη της ανώτερης στάθμης. Παράλληλα, η συμπεριφορά μετά την απομάκρυνση της συγκεκριμένης συνθήκης ήταν σύμφωνη με την υλοποιημένη λογική, καθώς η αντλία μπορούσε να επανέλθει σε λειτουργία εφόσον παρέμενε ενεργή η αντίστοιχη εντολή εκκίνησης.

Οι χρονικές συνθήκες και οι μηχανισμοί προστασίας που έχουν ενσωματωθεί στο πρόγραμμα προσθέτουν ένα επιπλέον επίπεδο ελέγχου στη λειτουργία της αντλίας. Η χρήση χρονικών καθυστερήσεων στα σήματα στάθμης περιορίζει την επίδραση στιγμιαίων μεταβολών, ενώ οι περιορισμοί Minimum ON και Minimum OFF συμβάλλουν στην αποφυγή ανεπιθύμητων γρήγορων εναλλαγών της κατάστασης λειτουργίας. Επιπλέον, η καταμέτρηση των εκκινήσεων και ο έλεγχος του μέγιστου επιτρεπόμενου αριθμού τους παρέχουν πρόσθετη προστασία από υπερβολικά συχνές εκκινήσεις.

Η λειτουργία του Emergency Stop παρέχει τη δυνατότητα άμεσης διακοπής της αντλίας ανεξάρτητα από την κανονική εντολή λειτουργίας. Παράλληλα, η αναγνώριση μη έγκυρων συνδυασμών των σημάτων στάθμης και η δημιουργία του αντίστοιχου συναγερμού επιβεβαιώνουν ότι το σύστημα διαθέτει μηχανισμούς εντοπισμού μη φυσιολογικών καταστάσεων και ενημέρωσης του χειριστή.

Εκτός από τον άμεσο έλεγχο της διεργασίας, το σύστημα παρέχει δυνατότητες παρακολούθησης της λειτουργίας του. Η καταγραφή του χρόνου λειτουργίας της αντλίας, του αριθμού εκκινήσεων και του χρόνου πλήρωσης δημιουργεί ένα σύνολο πληροφοριών που μπορεί να χρησιμοποιηθεί για την αξιολόγηση της συμπεριφοράς του εξοπλισμού και για μελλοντικές εφαρμογές προληπτικής συντήρησης.

Οι λειτουργίες Trend και Graph του HMI επέτρεψαν τη γραφική παρακολούθηση βασικών μεταβλητών σε συνάρτηση με τον χρόνο. Οι αλλαγές στην κατάσταση της αντλίας και στα σήματα στάθμης αποτυπώθηκαν στις αντίστοιχες γραφικές παραστάσεις, επιτρέποντας την εύκολη συσχέτιση των ενεργειών που πραγματοποιήθηκαν στην πειραματική διάταξη με την απόκριση του προγράμματος.

Αντίστοιχα, το σύστημα συναγερμών παρείχε τόσο άμεση ενημέρωση μέσω του Alarm Summary όσο και δυνατότητα ιστορικής αναζήτησης μέσω του Alarm History. Η καταγραφή των μεταβάσεων ON και OFF, του χρόνου εμφάνισης και του βαθμού σοβαρότητας κάθε συμβάντος διευκολύνει την εποπτεία της εγκατάστασης και την αναγνώριση προηγούμενων μη φυσιολογικών καταστάσεων.

Συνολικά, τα αποτελέσματα έδειξαν ότι η υλοποιημένη διάταξη μπορεί να εκτελέσει τις βασικές λειτουργίες ελέγχου και εποπτείας για τις οποίες σχεδιάστηκε. Η συνεργασία μεταξύ του PLC, του HMI και των φυσικών χειριστηρίων της κατασκευής επέτρεψε την προσομοίωση διαφορετικών καταστάσεων λειτουργίας και την παρακολούθηση της απόκρισης του συστήματος σε πραγματικό χρόνο.

Η πειραματική διαδικασία κατέδειξε επίσης τη σημασία του HMI ως εργαλείου εποπτείας και όχι μόνο ως μέσου χειρισμού. Η δυνατότητα εμφάνισης της τρέχουσας κατάστασης, καταγραφής μεταβλητών, παρουσίασης γραφικών παραστάσεων και διαχείρισης συναγερμών

δημιουργεί ένα ολοκληρωμένο περιβάλλον αλληλεπίδρασης μεταξύ του χειριστή και του συστήματος αυτοματισμού.

Κεφάλαιο 5

Συζήτηση και Ερμηνεία

Το παρόν κεφάλαιο επικεντρώνεται στη συζήτηση και ερμηνεία των αποτελεσμάτων που προέκυψαν κατά την ανάπτυξη και τη δοκιμή του συστήματος αυτόματης πλήρωσης δεξαμενής. Σε αντίθεση με το προηγούμενο κεφάλαιο, όπου παρουσιάστηκαν οι επιμέρους δοκιμές και η απόκριση του συστήματος, στο παρόν κεφάλαιο επιχειρείται η συνολική αξιολόγηση της υλοποίησης σε σχέση με τους αρχικούς στόχους της εργασίας. Παράλληλα, εξετάζεται η σημασία των λειτουργιών ελέγχου και προστασίας που αναπτύχθηκαν, η συμβολή της διεπαφής ανθρώπου-μηχανής στην εποπτεία της εγκατάστασης, καθώς και οι περιορισμοί που προκύπτουν από τη συγκεκριμένη πειραματική διάταξη.

Η αξιολόγηση των αποτελεσμάτων είναι ιδιαίτερα σημαντική, καθώς η επιτυχής εκτέλεση μιας επιμέρους λειτουργίας δεν αποτελεί από μόνη της επαρκή ένδειξη για τη συνολική αποτελεσματικότητα ενός συστήματος αυτοματισμού. Απαιτείται να εξεταστεί κατά πόσο οι διαφορετικές λειτουργίες συνεργάζονται μεταξύ τους, εάν η συμπεριφορά του συστήματος παραμένει προβλέψιμη κατά τη μεταβολή των εισόδων και εάν οι μηχανισμοί προστασίας και εποπτείας μπορούν να υποστηρίξουν την ασφαλή λειτουργία της εγκατάστασης.

5.1 Αξιολόγηση των αποτελεσμάτων σε σχέση με τους στόχους της εργασίας

Βασικός στόχος της παρούσας εργασίας ήταν ο σχεδιασμός και η υλοποίηση ενός αυτοματοποιημένου συστήματος πλήρωσης δεξαμενής με τη χρήση PLC και HMI. Η εφαρμογή σχεδιάστηκε με σκοπό να προσεγγίζει τη λειτουργική φιλοσοφία μιας πραγματικής εγκατάστασης και να μην περιορίζεται αποκλειστικά στην απλή ενεργοποίηση και απενεργοποίηση μιας αντλίας. Για τον λόγο αυτό ενσωματώθηκαν λειτουργίες ελέγχου στάθμης, χρονικές καθυστερήσεις, μηχανισμοί προστασίας της αντλίας, διαχείριση συναγερμών, καταγραφή λειτουργικών δεδομένων και δυνατότητα εποπτείας μέσω του HMI.

Με βάση τα αποτελέσματα των δοκιμών, ο βασικός στόχος του ελέγχου της αντλίας σε συνάρτηση με την κατάσταση της δεξαμενής επιτεύχθηκε. Η λογική που υλοποιήθηκε στο PLC ήταν σε θέση να επεξεργάζεται τις μεταβολές των σημάτων στάθμης και να μεταβάλλει αντίστοιχα την κατάσταση λειτουργίας της αντλίας. Ιδιαίτερα σημαντική ήταν η απόκριση του συστήματος στην κατάσταση υψηλής στάθμης, καθώς η ενεργοποίησή της οδηγούσε στη διακοπή λειτουργίας της αντλίας. Με αυτόν τον τρόπο αποτρέπεται η συνέχιση της πλήρωσης όταν η

δεξαμενή έχει φτάσει στο προκαθορισμένο ανώτερο επίπεδο.

Η χρήση διαφορετικών σημάτων για τη χαμηλή και την υψηλή στάθμη προσφέρει μεγαλύτερη ευελιξία σε σχέση με μία απλή λογική ενός μοναδικού ορίου. Η αντλία δεν εξαρτάται από μία μόνο στιγμιαία κατάσταση, αλλά η λειτουργία της καθορίζεται από διαφορετικά επίπεδα της δεξαμενής. Η συγκεκριμένη προσέγγιση συμβάλλει στον περιορισμό των συχνών εναλλαγών της εξόδου ελέγχου και δημιουργεί μία σαφέστερη περιοχή λειτουργίας μεταξύ της απαίτησης για πλήρωση και της ολοκλήρωσής της.

Ταυτόχρονα, οι χρονικές καθυστερήσεις που εφαρμόστηκαν στα σήματα στάθμης ενισχύουν τη σταθερότητα της λογικής ελέγχου. Σε μία πραγματική εγκατάσταση, η στάθμη ενός υγρού δεν είναι πάντοτε απόλυτα σταθερή, καθώς μπορεί να επηρεάζεται από αναταράξεις, μεταβολές της παροχής ή στιγμιαίες αλλαγές στην ένδειξη ενός αισθητήρα. Η απαίτηση διατήρησης μιας κατάστασης για συγκεκριμένο χρονικό διάστημα πριν αυτή επηρεάσει τη λογική του PLC περιορίζει την πιθανότητα ανεπιθύμητης αντίδρασης σε πολύ σύντομες μεταβολές του σήματος. Η λειτουργία αυτή αποκτά μεγαλύτερη σημασία όταν ο έλεγχος συνδέεται άμεσα με την εκκίνηση ή τη διακοπή ενός ηλεκτρομηχανικού φορτίου, όπως είναι η αντλία.

Ένας επιπλέον στόχος ήταν η προστασία του εξοπλισμού από καταστάσεις που θα μπορούσαν να οδηγήσουν σε μη επιθυμητή ή καταπονητική λειτουργία. Για τον σκοπό αυτό δεν χρησιμοποιήθηκαν μόνο οι πληροφορίες στάθμης, αλλά ενσωματώθηκαν χρονικοί περιορισμοί λειτουργίας και παύσης, καταμέτρηση των εκκινήσεων της αντλίας και έλεγχος του αριθμού αυτών μέσα σε καθορισμένο χρονικό διάστημα. Η συγκεκριμένη σχεδιαστική επιλογή είναι σημαντική, επειδή μεταφέρει την εφαρμογή από ένα απλό εκπαιδευτικό κύκλωμα ON/OFF προς μία πιο ολοκληρωμένη λογική βιομηχανικού αυτοματισμού, στην οποία λαμβάνεται υπόψη και η κατάσταση του ίδιου του εξοπλισμού.

Αντίστοιχα, η υλοποίηση του Emergency Stop προσέθεσε ένα επιπλέον επίπεδο χειρισμού σε περίπτωση ανάγκης. Η δυνατότητα άμεσης διακοπής της λειτουργίας αποτελεί ουσιαστικό χαρακτηριστικό της πειραματικής διάταξης, καθώς επιτρέπει στον χειριστή να επέμβει ανεξάρτητα από την κανονική ακολουθία λειτουργίας του συστήματος. Σε συνδυασμό με τις υπόλοιπες συνθήκες προστασίας, η λειτουργία αυτή ενισχύει τη συνολική λογική ασφαλούς χειρισμού της εγκατάστασης.

Σημαντικό αποτέλεσμα της υλοποίησης ήταν επίσης η δυνατότητα αναγνώρισης μη κανονικών συνδυασμών των σημάτων στάθμης. Σε ένα πραγματικό σύστημα, μία λογικά ασύμβατη κατάσταση των αισθητήρων μπορεί να αποτελεί ένδειξη βλάβης, λανθασμένης καλωδίωσης ή δυσλειτουργίας κάποιου στοιχείου μέτρησης. Η εμφάνιση του αντίστοιχου συναγερμού στο HMI επιτρέπει στον χειριστή να αντιληφθεί ότι η κατάσταση των εισόδων δεν αντιστοιχεί στην αναμενόμενη φυσική κατάσταση της δεξαμενής. Επομένως, το PLC δεν χρησιμοποιείται μόνο για την εκτέλεση της ακολουθίας πλήρωσης, αλλά και για την αξιολόγηση της εγκυρότητας των πληροφοριών που λαμβάνει.

Ένας ακόμη βασικός στόχος της εργασίας ήταν η παροχή επαρκούς πληροφόρησης στον χειριστή. Η ανάπτυξη του HMI επέτρεψε τη συγκέντρωση των βασικών πληροφοριών λειτουργίας σε ένα κοινό περιβάλλον, όπου μπορούν να παρακολουθούνται η κατάσταση της αντλίας, τα σήματα στάθμης, οι συναγερμοί και οι λειτουργικές μεταβλητές του συστήματος. Η δυνατότητα αυτή είναι ιδιαίτερα χρήσιμη, καθώς η κατάσταση της εγκατάστασης δεν χρειάζεται να εξαχθεί αποκλειστικά από τις φυσικές ενδείξεις του πίνακα ή από την παρακολούθηση του Ladder προγράμματος.

Επιπλέον, η χρήση γραφικών Trend επέτρεψε την παρακολούθηση της χρονικής εξέλιξης επι-

λεγμένων μεταβλητών. Τα αποτελέσματα έδειξαν ότι οι αλλαγές στην κατάσταση της αντλίας και στα σήματα στάθμης μπορούσαν να καταγραφούν και να παρουσιαστούν γραφικά. Αυτό παρέχει διαφορετικού τύπου πληροφορία από μία απλή στιγμιαία ένδειξη, καθώς επιτρέπει την εξέταση της συμπεριφοράς μιας μεταβλητής σε ένα χρονικό διάστημα και τη συσχέτισή της με άλλα γεγονότα της διαδικασίας.

Παρόμοια σημασία έχει η υλοποίηση των Alarm Summary και Alarm History. Κατά τις δοκιμές διαπιστώθηκε ότι οι συναγερμοί μπορούσαν να εμφανίζονται με πληροφορίες σχετικά με την κατάστασή τους και να διατηρούνται στο ιστορικό ακόμη και μετά την αποκατάσταση της συνθήκης που τους προκάλεσε. Η λειτουργία αυτή είναι σημαντική για την εποπτεία ενός αυτοματοποιημένου συστήματος, επειδή ένα προσωρινό συμβάν δεν χάνεται μετά την επιστροφή του συστήματος στην κανονική του κατάσταση. Αντίθετα, παραμένει διαθέσιμο για μεταγενέστερη αξιολόγηση από τον χειριστή.

Συνολικά, τα αποτελέσματα δείχνουν ότι οι κύριοι λειτουργικοί στόχοι που τέθηκαν κατά τον σχεδιασμό της εργασίας καλύφθηκαν από την τελική υλοποίηση. Το σύστημα δεν περιορίζεται στον βασικό έλεγχο στάθμης, αλλά συνδυάζει έλεγχο, προστασία, χειρισμό, απεικόνιση και καταγραφή δεδομένων. Η συνεργασία αυτών των λειτουργιών αποτελεί το σημαντικότερο αποτέλεσμα της υλοποίησης, καθώς δημιουργεί μία ολοκληρωμένη πλατφόρμα πάνω στην οποία μπορούν να προστεθούν επιπλέον αισθητήρες, λειτουργίες επικοινωνίας και προηγμένες μέθοδοι εποπτείας σε μία μελλοντική επέκταση.

5.2 Αξιολόγηση της στρατηγικής ελέγχου και των λειτουργιών προστασίας

Η στρατηγική ελέγχου που αναπτύχθηκε στην παρούσα εργασία βασίζεται στη συνδυασμένη αξιοποίηση των σημάτων στάθμης, των εντολών του χειριστή και ενός συνόλου χρονικών και λογικών περιορισμών. Η προσέγγιση αυτή επιλέχθηκε ώστε η λειτουργία της αντλίας να μην καθορίζεται αποκλειστικά από μία απλή εντολή εκκίνησης ή διακοπής, αλλά να εξαρτάται από την πραγματική κατάσταση του συστήματος και από τις συνθήκες προστασίας που έχουν οριστεί στο πρόγραμμα του PLC.

Η χρήση δύο διακριτών ορίων στάθμης, Low Level και High Level, αποτελεί βασικό στοιχείο της στρατηγικής ελέγχου. Με τον τρόπο αυτό δημιουργείται μία περιοχή λειτουργίας μεταξύ της χαμηλής και της υψηλής στάθμης, μέσα στην οποία η κατάσταση της αντλίας μπορεί να διατηρείται χωρίς να προκαλούνται συνεχείς μεταβολές της εξόδου ελέγχου. Η λογική αυτή παρουσιάζει σημαντικά πλεονεκτήματα σε σχέση με έναν έλεγχο που θα βασιζόταν σε ένα μόνο σημείο ενεργοποίησης, καθώς περιορίζεται η πιθανότητα συχνών εκκινήσεων και διακοπών όταν η στάθμη βρίσκεται κοντά στο όριο μεταγωγής.

Η παραπάνω συμπεριφορά είναι ιδιαίτερα σημαντική για ένα σύστημα που περιλαμβάνει ηλεκτρομηχανικό εξοπλισμό. Οι επαναλαμβανόμενες εκκινήσεις μιας αντλίας σε μικρό χρονικό διάστημα μπορούν να προκαλέσουν αυξημένη καταπόνηση τόσο στον κινητήρα όσο και στα επιμέρους στοιχεία ισχύος και ελέγχου. Για τον λόγο αυτό, η χρήση διαφορετικών ορίων στάθμης σε συνδυασμό με τις υπόλοιπες χρονικές προστασίες αποτελεί μία περισσότερο ολοκληρωμένη προσέγγιση από έναν απλό έλεγχο ON/OFF.

Σημαντικό ρόλο στη σταθερότητα της λειτουργίας έχουν και οι χρονικές καθυστερήσεις που εφαρμόστηκαν στα σήματα στάθμης. Στην πειραματική διάταξη τα σήματα μεταβάλλονταν

μέσω φυσικών διακοπών, ωστόσο σε μία πραγματική εγκατάσταση οι αισθητήρες θα μπορούσαν να επηρεαστούν από την κίνηση του υγρού, από στιγμιαίες μεταβολές της στάθμης ή από ηλεκτρικό θόρυβο. Η εισαγωγή μιας χρονικής επιβεβαίωσης πριν από την αποδοχή μιας μεταβολής από το PLC λειτουργεί ουσιαστικά ως φίλτρο απέναντι σε πολύ σύντομες μεταβολές των εισόδων.

Η επιλογή αυτή παρουσιάζει, ωστόσο, έναν συμβιβασμό μεταξύ σταθερότητας και ταχύτητας απόκρισης. Μία πολύ μικρή χρονική καθυστέρηση ενδέχεται να μην είναι επαρκής για την απόρριψη ανεπιθύμητων μεταβολών, ενώ μία υπερβολικά μεγάλη καθυστέρηση θα μπορούσε να επιβραδύνει την αντίδραση του συστήματος σε μία πραγματική αλλαγή της στάθμης. Επομένως, σε μία πραγματική βιομηχανική εφαρμογή οι αντίστοιχοι χρόνοι θα πρέπει να προσδιοριστούν λαμβάνοντας υπόψη τα χαρακτηριστικά της δεξαμενής, τον τύπο των αισθητήρων, την παροχή της αντλίας και τη δυναμική της διαδικασίας. Στην παρούσα εργασία οι χρονικές παράμετροι χρησιμοποιήθηκαν κυρίως για την ανάπτυξη και την επαλήθευση της λογικής ελέγχου.

Επιπλέον, στο πρόγραμμα ενσωματώθηκαν περιορισμοί ελάχιστου χρόνου λειτουργίας και παύσης της αντλίας. Η σημασία αυτών των περιορισμών γίνεται εμφανής όταν εξεταστεί η λειτουργία του συστήματος σε συνθήκες όπου οι εντολές εκκίνησης και διακοπής μπορεί να μεταβάλλονται σε μικρό χρονικό διάστημα. Ο ελάχιστος χρόνος λειτουργίας αποτρέπει την άμεση διακοπή της αντλίας αμέσως μετά την εκκίνησή της, ενώ ο ελάχιστος χρόνος παύσης εμποδίζει μία νέα εκκίνηση πριν παρέλθει το απαιτούμενο χρονικό διάστημα. Με τον τρόπο αυτό μειώνεται η πιθανότητα διαδοχικών μεταγωγών της εξόδου και δημιουργείται μία περισσότερο ελεγχόμενη ακολουθία λειτουργίας.

Η καταμέτρηση των εκκινήσεων της αντλίας αποτελεί μία επιπλέον λειτουργία προστασίας. Στην υλοποιημένη λογική παρακολουθείται κάθε νέα εκκίνηση και ενημερώνεται ο αντίστοιχος μετρητής. Όταν ο αριθμός των εκκινήσεων υπερβεί το καθορισμένο όριο μέσα στο χρονικό διάστημα παρακολούθησης, ενεργοποιείται η αντίστοιχη συνθήκη προστασίας. Η λογική αυτή είναι σημαντική επειδή επιτρέπει στο σύστημα να αναγνωρίσει μία κατάσταση υπερβολικά συχνών εκκινήσεων, η οποία μπορεί να αποτελεί ένδειξη ακατάλληλων συνθηκών λειτουργίας ή αστάθειας της διαδικασίας.

Παράλληλα, η περιοδική επαναφορά του μετρητή επιτρέπει την αξιολόγηση του αριθμού εκκινήσεων μέσα σε συγκεκριμένο χρονικό παράθυρο και όχι σε ολόκληρη τη διάρκεια λειτουργίας της εγκατάστασης. Με αυτόν τον τρόπο η συγκεκριμένη μεταβλητή αποκτά μεγαλύτερη λειτουργική αξία, καθώς δεν χρησιμοποιείται απλώς ως συνολικός μετρητής, αλλά ως μέρος της λογικής προστασίας της αντλίας.

Οι λειτουργίες προστασίας από μη επιθυμημένες καταστάσεις, όπως η ξηρή λειτουργία και η υπερχειλίση, επεκτείνουν περαιτέρω τη βασική λογική πλήρωσης. Η προστασία από ξηρή λειτουργία είναι σημαντική επειδή η λειτουργία μιας αντλίας χωρίς τις κατάλληλες συνθήκες τροφοδοσίας μπορεί να οδηγήσει σε καταπόνηση ή βλάβη του εξοπλισμού. Αντίστοιχα, η παρακολούθηση μιας κατάστασης υπερχειλίσης ή μιας ασυνήθιστα μεγάλης διάρκειας πλήρωσης μπορεί να χρησιμοποιηθεί για την αναγνώριση προβλημάτων που δεν είναι δυνατόν να εντοπιστούν μόνο από μία απλή εντολή START ή STOP.

Ιδιαίτερο ενδιαφέρον κατά την αξιολόγηση της συμπεριφοράς του συστήματος παρουσίασε η σχέση μεταξύ της εντολής εκκίνησης και του σήματος High Level. Κατά την ενεργοποίηση της υψηλής στάθμης, η λειτουργία της αντλίας διακόπτεται όπως προβλέπεται από τη λογική ελέγχου. Ωστόσο, εφόσον η εντολή εκκίνησης μέσω του HMI παραμένει ενεργή, η απομάκρυνση

της συνθήκης High Level επιτρέπει την επανεκκίνηση της αντλίας, εφόσον ικανοποιούνται και οι υπόλοιπες συνθήκες λειτουργίας.

Η συγκεκριμένη συμπεριφορά δεν αποτελεί απαραίτητα σφάλμα της εφαρμογής, αλλά προκύπτει από τον τρόπο με τον οποίο έχει οριστεί η εντολή εκκίνησης. Ουσιαστικά, το High Level λειτουργεί ως συνθήκη που αναστέλλει τη λειτουργία της αντλίας όσο παραμένει ενεργό, χωρίς να ακυρώνει την ήδη υπάρχουσα απαίτηση εκκίνησης. Όταν η συγκεκριμένη συνθήκη παύσει να ισχύει, η λογική αξιολογείται εκ νέου και η αντλία μπορεί να ενεργοποιηθεί.

Το αποτέλεσμα αυτό αναδεικνύει τη σημασία που έχει ο ακριβής καθορισμός της φιλοσοφίας λειτουργίας ήδη από το στάδιο του σχεδιασμού. Σε μία διαφορετική εφαρμογή θα μπορούσε να θεωρηθεί επιθυμητό, μετά την επίτευξη της υψηλής στάθμης, να απαιτείται νέα εντολή START πριν επιτραπεί η επόμενη εκκίνηση. Αυτό θα μπορούσε να επιτευχθεί με διαφορετική διαχείριση της εντολής εκκίνησης ή με κατάλληλη λογική μανδάλωσης και επαναφοράς (latch/reset). Στην παρούσα υλοποίηση, όμως, διατηρήθηκε η υπάρχουσα συμπεριφορά, καθώς ανταποκρίνεται στη λογική σύμφωνα με την οποία η εντολή εκκίνησης παραμένει ενεργή μέχρι να μεταβληθεί από τον χειριστή ή να παρεμποδιστεί από κάποια συνθήκη του συστήματος.

Ένα ακόμη σημαντικό στοιχείο είναι η δυνατότητα ανίχνευσης ασύμβατων καταστάσεων των σημάτων στάθμης. Εφόσον οι αισθητήρες αντιπροσωπεύουν διαφορετικά φυσικά ύψη της ίδιας δεξαμενής, δεν είναι όλοι οι πιθανοί συνδυασμοί των σημάτων λογικά αποδεκτοί. Η αναγνώριση μιας τέτοιας κατάστασης και η δημιουργία του συναγερμού Faulty level switches επιτρέπει στο σύστημα να πραγματοποιεί έναν βασικό έλεγχο εγκυρότητας των δεδομένων εισόδου. Η λειτουργία αυτή είναι σημαντική, καθώς ένα σύστημα αυτοματισμού δεν θα πρέπει να θεωρεί δεδομένο ότι κάθε σήμα που λαμβάνει αντιστοιχεί απαραίτητα σε μία έγκυρη φυσική κατάσταση.

Η ύπαρξη του Emergency Stop ολοκληρώνει τη βασική φιλοσοφία προστασίας της πειραματικής διάταξης. Σε αντίθεση με τις αυτόματες συνθήκες που αξιολογούνται από το πρόγραμμα, η συγκεκριμένη λειτουργία παρέχει στον χειριστή τη δυνατότητα άμεσης επέμβασης. Αυτό είναι ιδιαίτερα χρήσιμο τόσο κατά τη διαδικασία των δοκιμών όσο και ως γενική αρχή σχεδιασμού ενός αυτοματοποιημένου συστήματος, όπου πρέπει να υπάρχει σαφής τρόπος μετάβασης σε ασφαλή κατάσταση όταν προκύψει μία μη αναμενόμενη συνθήκη.

Συνολικά, η στρατηγική ελέγχου και οι λειτουργίες προστασίας που εφαρμόστηκαν αποδείχθηκαν κατάλληλες για τους στόχους της συγκεκριμένης πειραματικής εφαρμογής. Ο συνδυασμός ελέγχου στάθμης, χρονικών περιορισμών, παρακολούθησης εκκινήσεων, ελέγχου μη κανονικών καταστάσεων και δυνατότητας άμεσης διακοπής δημιουργεί μία πολυεπίπεδη λογική λειτουργίας. Το σημαντικότερο συμπέρασμα είναι ότι η αξιοπιστία ενός συστήματος πλήρωσης δεν εξαρτάται αποκλειστικά από το εάν η αντλία μπορεί να ενεργοποιηθεί και να απενεργοποιηθεί στις κατάλληλες στάθμες, αλλά και από τον τρόπο με τον οποίο το σύστημα αντιδρά σε μεταβατικές, μη κανονικές και δυνητικά επιβαρυντικές καταστάσεις.

5.3 Αξιολόγηση της διεπαφής HMI και της εποπτείας του συστήματος

Η διεπαφή ανθρώπου-μηχανής (Human-Machine Interface, HMI) αποτέλεσε βασικό τμήμα της συνολικής υλοποίησης, καθώς λειτουργεί ως το κύριο μέσο επικοινωνίας μεταξύ του χειριστή και του αυτοματοποιημένου συστήματος. Η χρησιμότητα του HMI δεν περιορίζεται στην απο-

στολή εντολών προς το PLC, αλλά επεκτείνεται στην απεικόνιση της κατάστασης της εγκατάστασης, στην παρακολούθηση λειτουργικών μεταβλητών και στη διαχείριση των συναγερμών. Η συγκεκριμένη προσέγγιση είναι σύμφωνη με τη σύγχρονη αντίληψη για τα βιομηχανικά HMI, όπου ιδιαίτερη σημασία δίνεται στην αποτελεσματική παρουσίαση των πληροφοριών και στην υποστήριξη της αλληλεπίδρασης του χειριστή με το σύστημα.

Κατά την ανάπτυξη της εφαρμογής επιδιώχθηκε οι βασικές πληροφορίες να είναι συγκεντρωμένες σε ένα περιβάλλον από το οποίο ο χειριστής μπορεί να αντιληφθεί άμεσα την κατάσταση της διαδικασίας. Η απεικόνιση της στάθμης της δεξαμενής, της κατάστασης της αντλίας και των ενεργών συναγερμών μειώνει την ανάγκη παρακολούθησης του ίδιου του Ladder προγράμματος για την κατανόηση της λειτουργίας. Αυτό είναι ιδιαίτερα σημαντικό σε μία πραγματική εφαρμογή, όπου ο τελικός χειριστής δεν είναι απαραίτητο να διαθέτει γνώση της εσωτερικής δομής του προγράμματος PLC.

Η ύπαρξη φυσικών χειριστηρίων στην πειραματική κατασκευή σε συνδυασμό με τις λειτουργίες του HMI επέτρεψε επίσης την αξιολόγηση διαφορετικών τρόπων αλληλεπίδρασης με το σύστημα. Μέσω της επιλογής Local/Remote μπορεί να διαφοροποιηθεί ο τρόπος με τον οποίο πραγματοποιείται ο χειρισμός, ενώ παράλληλα το HMI εξακολουθεί να παρέχει πληροφορίες σχετικά με την κατάσταση της εγκατάστασης. Η δυνατότητα αυτή προσεγγίζει τη φιλοσοφία πραγματικών συστημάτων αυτοματισμού, στα οποία συχνά απαιτείται τόσο τοπικός χειρισμός όσο και δυνατότητα ελέγχου από μία κεντρική διεπαφή.

Ιδιαίτερα σημαντική για την αξιολόγηση της λειτουργίας ήταν η χρήση των γραφικών Trend. Μία απλή ένδειξη ON/OFF παρέχει πληροφορία μόνο για την τρέχουσα κατάσταση μιας μεταβλητής. Αντίθετα, η γραφική καταγραφή επιτρέπει την παρακολούθηση της εξέλιξής της σε ένα χρονικό διάστημα. Κατά τις δοκιμές, η μεταβολή της κατάστασης της αντλίας μπορούσε να παρατηρηθεί μέσω του PumpRun Trend, ενώ αντίστοιχα καταγράφηκαν οι μεταβολές των σημάτων Low Level και High Level. Με αυτόν τον τρόπο ήταν δυνατή η οπτική επιβεβαίωση της χρονικής σχέσης μεταξύ της μεταβολής μιας εισόδου και της αντίδρασης του συστήματος. Η δυνατότητα αυτή αποδείχθηκε ιδιαίτερα χρήσιμη κατά τη διαδικασία των δοκιμών, επειδή επέτρεψε την εξέταση όχι μόνο της τελικής κατάστασης του συστήματος αλλά και της μετάβασης από μία κατάσταση σε μία άλλη. Η αποτύπωση μιας ενεργοποίησης ή απενεργοποίησης σε γράφημα δημιουργεί ένα απλό ιστορικό της συμπεριφοράς της μεταβλητής και διευκολύνει τον εντοπισμό της χρονικής στιγμής κατά την οποία πραγματοποιήθηκε η αλλαγή. Επομένως, τα Trend μπορούν να χρησιμοποιηθούν όχι μόνο για την εποπτεία αλλά και ως εργαλείο υποστήριξης κατά τη διάγνωση της συμπεριφοράς του συστήματος.

Η χρήση Data Sampling επεκτείνει αυτή τη δυνατότητα, καθώς επιτρέπει τη συλλογή επιλεγμένων λειτουργικών δεδομένων αντί η πληροφορία να περιορίζεται αποκλειστικά στην τρέχουσα τιμή που εμφανίζεται στην οθόνη. Η καταγραφή δεδομένων μπορεί να αποτελέσει σημαντικό εργαλείο για τη μεταγενέστερη αξιολόγηση της λειτουργίας μιας εγκατάστασης, ιδιαίτερα όταν ενδιαφέρει η παρακολούθηση μεταβλητών σε μεγαλύτερο χρονικό διάστημα.

Χαρακτηριστικό παράδειγμα αποτελεί η παρακολούθηση του χρόνου λειτουργίας της αντλίας. Η καταγραφή του runtime δεν επηρεάζει άμεσα την εντολή λειτουργίας της αντλίας, παρέχει όμως μία επιπλέον πληροφορία σχετικά με τη χρήση του εξοπλισμού. Σε μία πραγματική εφαρμογή, τέτοιου είδους δεδομένα θα μπορούσαν να αξιοποιηθούν για τον προγραμματισμό εργασιών συντήρησης ή για τη σύγκριση της λειτουργίας της εγκατάστασης μεταξύ διαφορετικών χρονικών περιόδων. Αντίστοιχα, ο αριθμός εκκινήσεων μπορεί να χρησιμοποιηθεί όχι μόνο ως άμεση συνθήκη προστασίας αλλά και ως δείκτης του τρόπου με τον οποίο λειτουργεί

η διαδικασία.

Ιδιαίτερη σημασία παρουσιάζει και το σύστημα διαχείρισης συναγερμών. Η απλή εμφάνιση μιας γενικής ένδειξης σφάλματος θα παρείχε περιορισμένη πληροφορία στον χειριστή. Αντίθετα, στην υλοποιημένη εφαρμογή οι συναγερμοί εμφανίζονται με συγκεκριμένη ονομασία και επίπεδο σοβαρότητας. Κατά τις δοκιμές καταγράφηκαν, μεταξύ άλλων, καταστάσεις όπως *Faulty level switches*, *Tank is full* και *Tank is empty*. Με τον τρόπο αυτό ο χειριστής δεν ενημερώνεται απλώς ότι έχει συμβεί κάποιο γεγονός, αλλά λαμβάνει πληροφορία για το είδος της κατάστασης που προέκυψε.

Η διαφοροποίηση της σοβαρότητας των συμβάντων αποτελεί επίσης χρήσιμο χαρακτηριστικό. Για παράδειγμα, μία μη έγκυρη κατάσταση των διακοπών στάθμης αντιμετωπίζεται διαφορετικά από μία φυσιολογική ενημέρωση ότι η δεξαμενή έχει φτάσει σε υψηλή ή χαμηλή στάθμη. Η κατηγοριοποίηση αυτή μπορεί να βοηθήσει τον χειριστή να ιεραρχήσει τις πληροφορίες που εμφανίζονται και να αναγνωρίσει ποια συμβάντα απαιτούν μεγαλύτερη προσοχή.

Επιπλέον, η δυνατότητα αναγνώρισης και επιβεβαίωσης ενός συναγερμού μέσω της λειτουργίας ACK είναι σημαντική από την πλευρά της αλληλεπίδρασης με τον χειριστή. Η επιβεβαίωση δεν σημαίνει απαραίτητα ότι η αιτία του συναγερμού έχει εξαλειφθεί, αλλά επιτρέπει να καταγράφεται ότι το συμβάν έγινε αντιληπτό. Αντίστοιχα, οι λειτουργίες εκκαθάρισης παρέχουν τη δυνατότητα διαχείρισης των καταγεγραμμένων συμβάντων από το κατάλληλο περιβάλλον του HMI.

Ακόμη μεγαλύτερη αξία έχει η ύπαρξη του Alarm History. Κατά την πειραματική διαδικασία παρατηρήθηκε ότι συμβάντα παρέμεναν διαθέσιμα στο ιστορικό ακόμη και μετά τη μετάβαση της αντίστοιχης κατάστασης σε OFF. Αυτό σημαίνει ότι ένα προσωρινό συμβάν δεν εξαφανίζεται χωρίς να αφήσει πληροφορία για την εμφάνισή του. Η διατήρηση της ημερομηνίας, της ώρας και της μεταβολής της κατάστασης επιτρέπει τη μεταγενέστερη ανακατασκευή της ακολουθίας γεγονότων.

Η λειτουργία αυτή αποκτά ιδιαίτερη σημασία όταν εξετάζεται η εφαρμογή σε μεγαλύτερη χρονική κλίμακα. Εάν, για παράδειγμα, ένας συναγερμός εμφανίζεται επανειλημμένα χωρίς να παραμένει συνεχώς ενεργός, η στιγμιαία παρακολούθηση της εγκατάστασης μπορεί να μην είναι αρκετή για τον εντοπισμό του προβλήματος. Η ύπαρξη ιστορικού μπορεί να αποκαλύψει την επαναληψιμότητα του συμβάντος και να αποτελέσει αφετηρία για περαιτέρω διερεύνηση. Από την άλλη πλευρά, η αύξηση της διαθέσιμης πληροφορίας δημιουργεί και μία πρόσθετη απαίτηση σχεδιασμού. Ένα HMI δεν γίνεται απαραίτητα αποτελεσματικότερο όσο αυξάνεται ο αριθμός των ενδείξεων, των γραφημάτων και των συναγερμών που εμφανίζει. Η πληροφορία πρέπει να οργανώνεται με τρόπο που να επιτρέπει στον χειριστή να αναγνωρίζει γρήγορα τις σημαντικές καταστάσεις χωρίς να επιβαρύνεται από περιττές ενδείξεις. Η ανθρωποκεντρική σχεδίαση και η κατάλληλη προσαρμογή της παρουσίας της πληροφορίας αποτελούν σημαντικά ζητήματα στη σύγχρονη ανάπτυξη HMI.

Στην παρούσα εφαρμογή, ο περιορισμένος αριθμός μεταβλητών και λειτουργιών επέτρεψε τη σχετικά σαφή οργάνωση των πληροφοριών. Ωστόσο, εάν το σύστημα επεκτεινόταν ώστε να περιλαμβάνει περισσότερες δεξαμενές, αντλίες, αισθητήρες και συναγερμούς, θα ήταν απαραίτητη μία πιο αυστηρή ιεράρχηση των οθονών και των πληροφοριών. Θα μπορούσαν, για παράδειγμα, να δημιουργηθούν διαφορετικά επίπεδα εποπτείας, όπου μία κεντρική οθόνη θα παρουσιάζει τη συνολική κατάσταση της εγκατάστασης και επιμέρους οθόνες θα παρέχουν αναλυτικότερες πληροφορίες για κάθε τμήμα.

Συνολικά, η ανάπτυξη του HMI δεν αποτέλεσε απλώς ένα συμπληρωματικό οπτικό στοιχείο

της εφαρμογής, αλλά ουσιαστικό μέρος της λειτουργίας και της αξιολόγησης του συστήματος. Ο συνδυασμός χειρισμού, απεικόνισης πραγματικού χρόνου, γραφικών Trend, καταγραφής λειτουργικών μεταβλητών και διαχείρισης συναγερμών επέτρεψε μία πληρέστερη εικόνα της συμπεριφοράς της εγκατάστασης. Τα αποτελέσματα υποδεικνύουν ότι η αποτελεσματικότητα ενός συστήματος PLC δεν εξαρτάται μόνο από την ορθότητα της λογικής ελέγχου, αλλά και από την ποιότητα της πληροφορίας που παρέχεται στον χειριστή και από τη δυνατότητα αξιοποίησης των δεδομένων που παράγονται κατά τη λειτουργία.

5.4 Σύγκριση και συσχέτιση με τη βιβλιογραφία

Τα αποτελέσματα της παρούσας εργασίας μπορούν να συσχετιστούν με αντίστοιχες εφαρμογές που έχουν παρουσιαστεί στη βιβλιογραφία σχετικά με τον αυτοματοποιημένο έλεγχο στάθμης, τη χρήση προγραμματιζόμενων λογικών ελεγκτών και την ενσωμάτωση διεπαφών HMI. Παρόλο που οι επιμέρους υλοποιήσεις διαφέρουν ως προς τον εξοπλισμό, τους αισθητήρες και τη στρατηγική ελέγχου, κοινό χαρακτηριστικό αποτελεί η χρήση του PLC ως κεντρικής μονάδας επεξεργασίας των σημάτων της εγκατάστασης και του HMI ως μέσου εποπτείας και αλληλεπίδρασης με τον χειριστή.

Πρόσφατη εργασία των Armin et al. [19] παρουσιάζει ένα σύστημα ελέγχου και παρακολούθησης στάθμης δεξαμενής βασισμένο σε PLC και HMI. Στη συγκεκριμένη εφαρμογή χρησιμοποιείται PLC Schneider M221 σε συνδυασμό με αναλογικό αισθητήρα στάθμης, ενώ στο HMI παρέχονται λειτουργίες απεικόνισης της στάθμης, ρύθμισης της επιθυμητής τιμής, παρακολούθησης της κατάστασης της αντλίας και εμφάνισης συναγερμών. Τα αποτελέσματα της μελέτης υποδεικνύουν ότι η ενσωμάτωση PLC και HMI μπορεί να παρέχει αξιόπιστη παρακολούθηση και έλεγχο της στάθμης μιας δεξαμενής.

Η παραπάνω προσέγγιση παρουσιάζει σημαντικές ομοιότητες με την αρχιτεκτονική που αναπτύχθηκε στην παρούσα εργασία. Και στις δύο περιπτώσεις, το PLC αποτελεί το βασικό στοιχείο λήψης αποφάσεων, ενώ το HMI χρησιμοποιείται για την παρουσίαση της κατάστασης της διαδικασίας και της αντλίας. Η βασική διαφορά βρίσκεται κυρίως στον τρόπο μέτρησης της στάθμης. Στην εργασία των Armin et al. [19] χρησιμοποιείται αναλογική μέτρηση μέσω level transmitter, επιτρέποντας συνεχή παρακολούθηση της στάθμης. Αντίθετα, στην παρούσα πειραματική εφαρμογή χρησιμοποιούνται διακριτές καταστάσεις Low Level και High Level, οι οποίες προσομοιώνονται μέσω των φυσικών διακοπών της κατασκευής.

Η διαφορά αυτή επηρεάζει και το είδος του ελέγχου που μπορεί να πραγματοποιηθεί. Η συνεχής αναλογική μέτρηση επιτρέπει την αξιολόγηση της δυναμικής απόκρισης του συστήματος και τη χρήση μεγεθών όπως ο χρόνος ανόδου, ο χρόνος αποκατάστασης και η απόκλιση από μία επιθυμητή τιμή. Αντίθετα, η παρούσα εφαρμογή επικεντρώνεται περισσότερο στη λογική ακολουθία λειτουργίας, στην απόκριση σε διαφορετικές καταστάσεις στάθμης και στην εφαρμογή προστασιών. Επομένως, οι δύο προσεγγίσεις δεν είναι άμεσα ανταγωνιστικές, αλλά αντιπροσωπεύουν διαφορετικά επίπεδα και στόχους ελέγχου μιας διαδικασίας πλήρωσης.

Αντίστοιχη φιλοσοφία αυτοματοποιημένης διαχείρισης νερού παρουσιάζεται από τους Abdulwahid et al. [18], όπου αναπτύσσεται σύστημα βασισμένο σε PLC και SCADA/HMI για την παρακολούθηση και τον έλεγχο της μεταβολής της στάθμης νερού. Η συγκεκριμένη εργασία αναδεικνύει τη σημασία της σύνδεσης της λογικής ελέγχου με ένα εποπτικό περιβάλλον, ώστε η διαδικασία να μπορεί να παρακολουθείται και να ελέγχεται αποτελεσματικότερα. Η δυνατότητα

αυτή εμφανίζεται και στην παρούσα υλοποίηση, όπου οι πληροφορίες που επεξεργάζεται το PLC μεταφέρονται στο HMI και παρουσιάζονται στον χειριστή με τη μορφή ενδείξεων, γραφικών και συναγερμών.

Η σύγκριση αυτή υποστηρίζει την επιλογή της αρχιτεκτονικής PLC–HMI για την παρούσα εφαρμογή. Το PLC αναλαμβάνει την εκτέλεση της λογικής ελέγχου και των προστασιών, ενώ το HMI διαχωρίζει την εσωτερική λειτουργία του προγράμματος από τον τρόπο με τον οποίο ο χειριστής αλληλεπιδρά με την εγκατάσταση. Αυτό επιτρέπει στον χειριστή να λαμβάνει τις απαραίτητες πληροφορίες χωρίς να απαιτείται άμεση πρόσβαση ή γνώση του Ladder προγράμματος.

Η σημασία της κατάλληλης σχεδίασης του HMI έχει επίσης αναδειχθεί στη σύγχρονη βιβλιογραφία. Οι Šverko και Galinac Grbac [13] εξετάζουν τη σχεδίαση HMI σε βιομηχανικά συστήματα SCADA, δίνοντας έμφαση σε περισσότερο ανθρωποκεντρικές και προσαρμοστικές προσεγγίσεις. Η παρατήρηση αυτή είναι σχετική με τα αποτελέσματα της παρούσας εργασίας, καθώς κατά τη διαδικασία των δοκιμών διαπιστώθηκε ότι η χρησιμότητα του HMI δεν εξαρτάται μόνο από το εάν μία μεταβλητή μπορεί να εμφανιστεί στην οθόνη, αλλά και από το κατά πόσο η πληροφορία παρουσιάζεται με τρόπο που διευκολύνει την κατανόηση της κατάστασης της εγκατάστασης.

Στην παρούσα εφαρμογή, η χρήση διαφορετικών οθονών για τον βασικό χειρισμό, τα Trends και τους συναγερμούς επιτρέπει τον λειτουργικό διαχωρισμό των πληροφοριών. Η επιλογή αυτή είναι ιδιαίτερα σημαντική εάν ληφθεί υπόψη ότι η προσθήκη περισσότερων μεταβλητών σε μία ενιαία οθόνη δεν οδηγεί απαραίτητα σε καλύτερη εποπτεία. Αντίθετα, σε μεγαλύτερες εφαρμογές μπορεί να αυξήσει την πληροφοριακή επιβάρυνση του χειριστή. Συνεπώς, η οργάνωση και η ιεράρχηση των πληροφοριών αποτελούν εξίσου σημαντικό μέρος του σχεδιασμού με την ίδια τη λογική του PLC.

Επιπλέον, η διαχείριση των συναγερμών που υλοποιήθηκε παρουσιάζει κοινά στοιχεία με τις αρχές που εφαρμόζονται σε βιομηχανικά συστήματα alarm management. Η ύπαρξη διαφορετικών επιπέδων σοβαρότητας, η αναγνώριση της μετάβασης ενός συναγερμού μεταξύ ενεργής και ανενεργής κατάστασης, η δυνατότητα επιβεβαίωσης από τον χειριστή και η διατήρηση ιστορικού συμβάντων αποτελούν λειτουργίες που επιτρέπουν αποτελεσματικότερη διαχείριση των μη κανονικών καταστάσεων.

Η βιβλιογραφία και οι βιομηχανικές κατευθυντήριες γραμμές για τη διαχείριση συναγερμών τονίζουν ότι ένας συναγερμός πρέπει να παρέχει ουσιαστική πληροφορία στον χειριστή και να υποστηρίζει την αντίδρασή του σε μη κανονικές συνθήκες. Στο πλαίσιο της παρούσας εργασίας, η διαφοροποίηση μεταξύ ενός συναγερμού υψηλότερης σοβαρότητας, όπως το Faulty level switches, και ενημερωτικών καταστάσεων που σχετίζονται με τη στάθμη συμβάλει στη δημιουργία μιας βασικής ιεράρχησης των συμβάντων.

Ταυτόχρονα, τα αποτελέσματα του Alarm History αναδεικνύουν τη σημασία της ιστορικής πληροφορίας. Η διατήρηση ενός συμβάντος μετά την επιστροφή της αντίστοιχης κατάστασης σε OFF επιτρέπει τη μεταγενέστερη διερεύνησή του. Σε μία πραγματική εγκατάσταση, η δυνατότητα αυτή θα μπορούσε να χρησιμοποιηθεί για την αναγνώριση επαναλαμβανόμενων προβλημάτων ή για τη συσχέτιση ενός συναγερμού με άλλες μεταβολές της διαδικασίας.

Σε επίπεδο ελέγχου, τα αποτελέσματα της εργασίας συμφωνούν με τη γενικότερη χρήση των PLC σε εφαρμογές διαχείρισης στάθμης, όπου πληροφορίες από αισθητήρες χρησιμοποιούνται για τη λήψη αποφάσεων σχετικά με την ενεργοποίηση ή τη διακοπή μιας αντλίας. Η παρούσα υλοποίηση επεκτείνει τη βασική αυτή λογική μέσω χρονικών περιορισμών, καταμέτρησης εκ-

κινήσεων, συναγερμών και καταγραφής λειτουργικών μεταβλητών. Με τον τρόπο αυτό δίνεται μεγαλύτερη έμφαση όχι μόνο στην επίτευξη της επιθυμητής στάθμης αλλά και στην προστασία και εποπτεία του εξοπλισμού.

Παράλληλα, η σύγκριση με εφαρμογές που χρησιμοποιούν αναλογικούς αισθητήρες και πιο προηγμένες τεχνικές ελέγχου αναδεικνύει ένα σαφές πεδίο μελλοντικής εξέλιξης. Η χρήση ενός αναλογικού αισθητήρα στάθμης θα επέτρεπε την ακριβή μέτρηση της πραγματικής στάθμης αντί της αναγνώρισης μόνο προκαθορισμένων σημείων. Αυτό θα καθιστούσε δυνατή την εφαρμογή διαφορετικών στρατηγικών ελέγχου και την ποσοτική αξιολόγηση της δυναμικής απόκρισης της διαδικασίας.

Ωστόσο, για τους στόχους της παρούσας εργασίας, η χρήση διακριτών σημάτων στάθμης προσφέρει το πλεονέκτημα της απλούστερης υλοποίησης και επιτρέπει την επικέντρωση στη λογική PLC, στις προστασίες, στο HMI και στη διαχείριση των διαφορετικών καταστάσεων λειτουργίας. Τα αποτελέσματα δείχνουν ότι ακόμη και με μία σχετικά απλή διάταξη αισθητήρων είναι δυνατόν να αναπτυχθεί ένα σύστημα που ενσωματώνει περισσότερες λειτουργίες από έναν βασικό αυτοματισμό εκκίνησης και διακοπής μιας αντλίας.

Συνολικά, η σύγκριση με τη σχετική βιβλιογραφία δείχνει ότι η αρχιτεκτονική και η λειτουργική φιλοσοφία που επιλέχθηκαν βρίσκονται σε συμφωνία με αντίστοιχες προσεγγίσεις αυτοματισμού και εποπτείας δεξαμενών. Ταυτόχρονα, οι διαφορές ως προς τον τρόπο μέτρησης της στάθμης και το επίπεδο ελέγχου αναδεικνύουν τα όρια αλλά και τις δυνατότητες επέκτασης της συγκεκριμένης υλοποίησης. Η βασική συνεισφορά της εφαρμογής βρίσκεται στον συνδυασμό της λογικής ελέγχου της αντλίας με μηχανισμούς προστασίας, καταγραφή λειτουργικών δεδομένων και ολοκληρωμένο περιβάλλον HMI, δημιουργώντας μία βάση που μπορεί να εξελιχθεί σε μία περισσότερο σύνθετη εφαρμογή βιομηχανικού αυτοματισμού.

5.5 Περιορισμοί της υλοποίησης

Παρόλο που τα αποτελέσματα των δοκιμών επιβεβαίωσαν τη λειτουργία των βασικών τμημάτων του συστήματος, η παρούσα υλοποίηση παρουσιάζει ορισμένους περιορισμούς, οι οποίοι σχετίζονται κυρίως με τον πειραματικό χαρακτήρα της κατασκευής. Οι περιορισμοί αυτοί δεν επηρεάζουν την αξιολόγηση της λογικής ελέγχου που αναπτύχθηκε, αλλά καθορίζουν το εύρος στο οποίο μπορούν να γενικευθούν τα αποτελέσματα σε μία πραγματική βιομηχανική εγκατάσταση.

Ο σημαντικότερος περιορισμός αφορά την προσομοίωση των καταστάσεων στάθμης. Στην πειραματική διάταξη, τα σήματα που αντιστοιχούν στις διαφορετικές καταστάσεις της δεξαμενής δημιουργούνται μέσω των φυσικών διακοπών του πίνακα. Με αυτόν τον τρόπο ήταν δυνατός ο ελεγχόμενος έλεγχος των διαφορετικών σεναρίων και η επαλήθευση της αντίδρασης του PLC. Ωστόσο, δεν χρησιμοποιήθηκε πραγματική δεξαμενή στην οποία η στάθμη να μεταβάλλεται δυναμικά κατά τη διάρκεια της πλήρωσης.

Η συγκεκριμένη επιλογή ήταν επαρκής για τον έλεγχο της λογικής του προγράμματος, καθώς επέτρεψε την αναπαραγωγή των απαραίτητων συνθηκών εισόδου με ελεγχόμενο και επαναλήψιμο τρόπο. Παρ' όλα αυτά, μία πραγματική διαδικασία πλήρωσης θα εισήγαγε πρόσθετους παράγοντες, όπως η μεταβολή της παροχής, η κίνηση της επιφάνειας του υγρού, οι καθυστερήσεις απόκρισης των αισθητήρων και οι πιθανές διακυμάνσεις της στάθμης κοντά στα σημεία ενεργοποίησης. Επομένως, οι παράμετροι που σχετίζονται με τις χρονικές καθυστερήσεις θα

απαιτούσαν εκ νέου προσαρμογή πριν από την εφαρμογή της ίδιας λογικής σε μία πραγματική εγκατάσταση.

Ένας δεύτερος περιορισμός αφορά τον τρόπο προσδιορισμού της στάθμης. Η εφαρμογή βασίζεται σε διακριτές πληροφορίες Low Level και High Level και όχι σε συνεχή αναλογική μέτρηση. Η συγκεκριμένη προσέγγιση είναι κατάλληλη για τον έλεγχο μεταξύ προκαθορισμένων σημείων και παρουσιάζει το πλεονέκτημα της απλής και σαφούς λογικής. Δεν παρέχει, όμως, πληροφορία για την ακριβή ενδιάμεση τιμή της στάθμης.

Η χρήση ενός αναλογικού αισθητήρα στάθμης θα επέτρεπε την απόκτηση συνεχούς πληροφορίας και, κατά συνέπεια, την ακριβέστερη γραφική παρακολούθηση της διαδικασίας. Θα καθιστούσε επίσης δυνατή την αξιολόγηση χαρακτηριστικών όπως ο ρυθμός μεταβολής της στάθμης και η πραγματική διάρκεια μετάβασης μεταξύ διαφορετικών επιπέδων. Η σύγκριση με αντίστοιχες εφαρμογές της βιβλιογραφίας, στις οποίες χρησιμοποιούνται αναλογικοί αισθητήρες στάθμης, αναδεικνύει τη συγκεκριμένη δυνατότητα ως μία φυσική επέκταση της παρούσας εφαρμογής [19].

Αντίστοιχος περιορισμός υπάρχει ως προς τη μέτρηση της παροχής. Στην παρούσα εφαρμογή δεν χρησιμοποιείται φυσικό παροχόμετρο (flowmeter), επομένως δεν πραγματοποιείται άμεση μέτρηση της πραγματικής ποσότητας υγρού που μεταφέρεται από την αντλία. Η εκτίμηση της ποσότητας μπορεί να βασιστεί στον χρόνο λειτουργίας της αντλίας και σε μία θεωρητική ή ονομαστική τιμή παροχής. Η προσέγγιση αυτή μπορεί να χρησιμοποιηθεί για μία αρχική εκτίμηση, αλλά δεν μπορεί να λάβει υπόψη μεταβολές της πραγματικής παροχής που ενδέχεται να εμφανιστούν κατά τη λειτουργία.

Σε μία πραγματική εγκατάσταση, η πραγματική παροχή μπορεί να επηρεαστεί από διάφορους παράγοντες, όπως η κατάσταση της αντλίας, οι απώλειες του δικτύου, η πίεση λειτουργίας ή πιθανές μεταβολές στα χαρακτηριστικά της εγκατάστασης. Για τον λόγο αυτό, η προσθήκη ενός flowmeter θα επέτρεπε τη σύγκριση της πραγματικής παροχής με την αναμενόμενη τιμή και θα παρείχε πιο αξιόπιστη πληροφορία για την απόδοση της διαδικασίας.

Περιορισμός υπάρχει επίσης ως προς τη χρονική διάρκεια των δοκιμών. Οι δοκιμές που πραγματοποιήθηκαν είχαν ως κύριο στόχο την επιβεβαίωση της σωστής απόκρισης της λογικής ελέγχου στις διαφορετικές καταστάσεις εισόδου. Δεν πραγματοποιήθηκε δοκιμή συνεχούς λειτουργίας μεγάλης χρονικής διάρκειας, όπως θα μπορούσε να απαιτηθεί για την αξιολόγηση της συμπεριφοράς του συστήματος σε πραγματικές συνθήκες παραγωγής. Κατά συνέπεια, οι μεταβλητές που σχετίζονται με τον συνολικό χρόνο λειτουργίας, τον αριθμό εκκινήσεων και το ιστορικό συναγερμών αξιολογήθηκαν ως προς τη λειτουργικότητά τους και όχι μέσω μακροχρόνιας συλλογής δεδομένων.

Η μακροχρόνια λειτουργία θα μπορούσε να προσφέρει πρόσθετες πληροφορίες σχετικά με τη συχνότητα εμφάνισης συγκεκριμένων συμβάντων, την κατανομή των εκκινήσεων της αντλίας και τη συνολική χρήση του εξοπλισμού. Τέτοιου είδους δεδομένα θα ήταν ιδιαίτερα χρήσιμα εάν ο στόχος επεκτεινόταν από τον βασικό έλεγχο και την προστασία προς την αξιολόγηση της κατάστασης του εξοπλισμού και τον προγραμματισμό συντήρησης.

Επιπλέον, η λειτουργία των προστασιών αξιολογήθηκε στο πλαίσιο της πειραματικής προσομοίωσης. Οι συνθήκες όπως η ξηρή λειτουργία, οι μη έγκυροι συνδυασμοί σημάτων και οι χρονικοί περιορισμοί αναπαράχθηκαν μέσω της μεταβολής των αντίστοιχων εισόδων και της παρακολούθησης της λογικής του PLC. Σε μία πραγματική εγκατάσταση, οι ίδιες συνθήκες θα εξαρτώνταν από φυσικά φαινόμενα και από τη συμπεριφορά πραγματικών αισθητήρων και ενεργοποιητών. Συνεπώς, πριν από μία βιομηχανική εφαρμογή θα απαιτούνταν πρόσθετη

διαδικασία θέσης σε λειτουργία και ρύθμισης των παραμέτρων με βάση τα πραγματικά χαρακτηριστικά της εγκατάστασης.

Ένας ακόμη περιορισμός σχετίζεται με την έκταση του συστήματος. Η παρούσα εργασία επικεντρώνεται στον έλεγχο μίας διαδικασίας πλήρωσης και στην εποπτεία των αντίστοιχων μεταβλητών. Σε μία εγκατάσταση μεγαλύτερης κλίμακας θα μπορούσαν να υπάρχουν πολλαπλές δεξαμενές, περισσότερες αντλίες, βαλβίδες και σημαντικά μεγαλύτερος αριθμός σημάτων. Σε αυτή την περίπτωση θα απαιτούνταν διαφορετική οργάνωση του προγράμματος, περισσότερα επίπεδα HMI και πιθανώς μία ανώτερη πλατφόρμα εποπτείας, όπως ένα σύστημα SCADA. Η χρήση PLC σε συνδυασμό με εποπτικά συστήματα για εφαρμογές διαχείρισης νερού έχει παρουσιαστεί και σε αντίστοιχες εφαρμογές της βιβλιογραφίας [18].

Τέλος, η καταγραφή δεδομένων και συναγεμίων πραγματοποιείται στο πλαίσιο των δυνατοτήτων της υλοποιημένης πλατφόρμας. Παρόλο που τα Trends, το Data Sampling και το Alarm History παρέχουν σημαντική πληροφορία για την κατάσταση του συστήματος, δεν αναπτύχθηκε εξωτερική βάση δεδομένων ή σύστημα απομακρυσμένης αποθήκευσης και ανάλυσης. Κατά συνέπεια, η εφαρμογή επικεντρώνεται κυρίως στην τοπική εποπτεία και καταγραφή.

Οι παραπάνω περιορισμοί πρέπει να εξετάζονται σε σχέση με τον σκοπό της εργασίας. Η πειραματική διάταξη σχεδιάστηκε κυρίως για την ανάπτυξη, εφαρμογή και αξιολόγηση της λογικής ενός συστήματος αυτόματης πλήρωσης με PLC και HMI και όχι ως τελική εγκατάσταση έτοιμη για άμεση βιομηχανική χρήση. Μέσα σε αυτό το πλαίσιο, η χρήση προσομοιωμένων σημάτων στάθμης και ελεγχόμενων σεναρίων επέτρεψε την επαλήθευση των βασικών λειτουργιών με ασφαλή και επαναλήψιμο τρόπο. Ταυτόχρονα, οι περιορισμοί που εντοπίστηκαν προσδιορίζουν συγκεκριμένες κατευθύνσεις μέσω των οποίων η υπάρχουσα κατασκευή μπορεί να εξελιχθεί σε ένα περισσότερο ολοκληρωμένο σύστημα.

5.6 Μελλοντικές επεκτάσεις

Η παρούσα υλοποίηση αποτελεί μία λειτουργική βάση πάνω στην οποία μπορούν να αναπτυχθούν πρόσθετες δυνατότητες, τόσο σε επίπεδο εξοπλισμού όσο και σε επίπεδο λογισμικού. Οι επεκτάσεις αυτές θα μπορούσαν να μετατρέψουν την πειραματική διάταξη σε ένα περισσότερο ολοκληρωμένο σύστημα εποπτείας και ελέγχου, προσεγγίζοντας ακόμη περισσότερο τις απαιτήσεις μιας πραγματικής βιομηχανικής εγκατάστασης.

Μία από τις σημαντικότερες επεκτάσεις αφορά την αντικατάσταση των προσομοιωμένων σημάτων στάθμης από πραγματικούς αισθητήρες εγκατεστημένους σε φυσική δεξαμενή. Με τον τρόπο αυτό θα ήταν δυνατή η αξιολόγηση της συμπεριφοράς του συστήματος υπό πραγματικές συνθήκες πλήρωσης και εκκένωσης. Παράγοντες όπως οι διακυμάνσεις της επιφάνειας του υγρού, οι καθυστερήσεις των αισθητήρων και η μεταβολή της παροχής θα μπορούσαν να ληφθούν υπόψη κατά τη ρύθμιση των χρονικών παραμέτρων και των συνθηκών λειτουργίας. Ιδιαίτερο ενδιαφέρον θα παρουσίαζε η προσθήκη ενός αναλογικού αισθητήρα στάθμης. Σε αντίθεση με τα διακριτά σήματα Low Level και High Level, ένας τέτοιος αισθητήρας θα μπορούσε να παρέχει συνεχή πληροφορία σχετικά με το πραγματικό ύψος του υγρού. Η τιμή αυτή θα μπορούσε να εμφανίζεται αριθμητικά και γραφικά στο HMI και να καταγράφεται μέσω του Data Sampling. Αντίστοιχες εφαρμογές PLC-HMI για έλεγχο δεξαμενών έχουν αξιοποιηθεί συνεχώς μετρήσης της στάθμης, επιτρέποντας λεπτομερέστερη παρακολούθηση της διαδικασίας [19].

Η διαθεσιμότητα συνεχούς μέτρησης θα επέτρεπε επίσης την εφαρμογή πιο σύνθετων στρατηγικών ελέγχου. Θα μπορούσαν, για παράδειγμα, να οριστούν περισσότερα επίπεδα προειδοποίησης ή διαφορετικές περιοχές λειτουργίας της αντλίας. Σε περίπτωση χρήσης κατάλληλου μετατροπέα συχνότητας (Variable Frequency Drive – VFD), θα μπορούσε επιπλέον να διερευνηθεί η μεταβολή της ταχύτητας της αντλίας ανάλογα με την πραγματική στάθμη ή την απαίτηση της διαδικασίας, αντί της αποκλειστικής λειτουργίας ON/OFF.

Μία δεύτερη σημαντική επέκταση αφορά την προσθήκη πραγματικού αισθητήρα παροχής (flowmeter). Στην παρούσα υλοποίηση η ποσότητα του μεταφερόμενου υγρού μπορεί να εκτιμηθεί με βάση τον χρόνο λειτουργίας και μία θεωρητική τιμή παροχής. Η άμεση μέτρηση της παροχής θα επέτρεπε την ακριβέστερη παρακολούθηση της ποσότητας υγρού που μεταφέρεται και τη σύγκριση της πραγματικής απόδοσης της αντλίας με την αναμενόμενη.

Ο συνδυασμός δεδομένων παροχής, χρόνου λειτουργίας και αριθμού εκκινήσεων θα μπορούσε να χρησιμοποιηθεί και για την ανάπτυξη πιο προηγμένων λειτουργιών παρακολούθησης της κατάστασης του εξοπλισμού. Για παράδειγμα, μία σταδιακή αύξηση του απαιτούμενου χρόνου πλήρωσης για την ίδια μεταβολή στάθμης θα μπορούσε να αποτελέσει ένδειξη μειωμένης απόδοσης της αντλίας ή μεταβολής των χαρακτηριστικών του δικτύου. Αντίστοιχα, ένας ασυνήθιστα μεγάλος αριθμός εκκινήσεων θα μπορούσε να αποτελέσει ένδειξη προβλήματος στη διαδικασία ή στη στρατηγική ελέγχου.

Με την ύπαρξη επαρκούς ιστορικού δεδομένων, οι παραπάνω πληροφορίες θα μπορούσαν μελλοντικά να αποτελέσουν τη βάση για εφαρμογές προληπτικής ή βασισμένης στην κατάσταση συντήρησης. Η παρούσα εφαρμογή ήδη καταγράφει λειτουργικές πληροφορίες, όπως ο χρόνος λειτουργίας και οι εκκινήσεις της αντλίας. Η επέκταση της καταγραφής σε μεγαλύτερα χρονικά διαστήματα και η συσχέτιση περισσότερων μεταβλητών θα επέτρεπαν την αξιοποίηση των δεδομένων όχι μόνο για την εποπτεία της τρέχουσας λειτουργίας αλλά και για την υποστήριξη αποφάσεων συντήρησης.

Μία ακόμη δυνατότητα εξέλιξης αφορά την αποθήκευση των δεδομένων σε εξωτερικό σύστημα. Τα δεδομένα που παράγονται από το PLC θα μπορούσαν να μεταφέρονται σε μία βάση δεδομένων ή σε ένα ανώτερο σύστημα εποπτείας, επιτρέποντας τη διατήρηση μεγαλύτερου ιστορικού και την πραγματοποίηση αναλύσεων σε βάθος χρόνου. Με αυτόν τον τρόπο θα ήταν δυνατή η δημιουργία αναφορών σχετικά με τις ώρες λειτουργίας, τις εκκινήσεις, τους χρόνους πλήρωσης και τη συχνότητα εμφάνισης συγκεκριμένων συναγερμών.

Η απομακρυσμένη εποπτεία αποτελεί επίσης μία σημαντική πιθανή επέκταση. Σε μία πραγματική εγκατάσταση, ο υπεύθυνος λειτουργίας δεν βρίσκεται απαραίτητα συνεχώς μπροστά από το τοπικό HMI. Η δυνατότητα απομακρυσμένης πρόσβασης στις βασικές πληροφορίες της εγκατάστασης θα επέτρεπε την παρακολούθηση της κατάστασης της δεξαμενής και της αντλίας από διαφορετική θέση. Η χρήση PLC σε συνδυασμό με συστήματα εποπτείας αποτελεί καθιερωμένη προσέγγιση σε εφαρμογές αυτοματοποιημένης διαχείρισης νερού [18].

Σε συνδυασμό με την απομακρυσμένη εποπτεία, θα μπορούσε να προστεθεί σύστημα αυτόματων ειδοποιήσεων. Οι συναγερμοί που σήμερα εμφανίζονται στο HMI και καταγράφονται στο Alarm History θα μπορούσαν, για συγκεκριμένες κατηγορίες σοβαρότητας, να προκαλούν την αποστολή ειδοποίησης προς τον υπεύθυνο της εγκατάστασης. Με τον τρόπο αυτό, μία κρίσιμη κατάσταση θα μπορούσε να γίνει αντιληπτή ακόμη και όταν δεν υπάρχει χειριστής μπροστά από τον πίνακα ελέγχου.

Περαιτέρω επέκταση θα μπορούσε να πραγματοποιηθεί και στο ίδιο το σύστημα συναγερμών. Σε μία μεγαλύτερη εγκατάσταση θα ήταν χρήσιμη η ανάπτυξη αυστηρότερης ιεράρχησης των

συναγερμών, η δημιουργία διαφορετικών κατηγοριών και η σύνδεσή τους με συγκεκριμένες οδηγίες προς τον χειριστή. Παράλληλα, η ανάλυση του ιστορικού θα μπορούσε να χρησιμοποιηθεί για τον εντοπισμό επαναλαμβανόμενων συμβάντων και την αξιολόγηση της συχνότητάς τους.

Σε επίπεδο HMI, μία μελλοντική έκδοση θα μπορούσε να περιλαμβάνει περισσότερα επίπεδα απεικόνισης. Μία κεντρική οθόνη θα μπορούσε να παρουσιάζει συνοπτικά την κατάσταση της εγκατάστασης, ενώ επιμέρους οθόνες θα μπορούσαν να παρέχουν λεπτομερέστερα δεδομένα για την αντλία, τη δεξαμενή, τους συναγερμούς και τις λειτουργικές μετρήσεις. Η οργάνωση αυτή αποκτά μεγαλύτερη σημασία όσο αυξάνεται ο αριθμός των μεταβλητών που πρέπει να παρακολουθεί ο χειριστής, καθώς η αποτελεσματική παρουσίαση της πληροφορίας αποτελεί βασικό παράγοντα της σχεδίασης ενός HMI.

Μία ακόμη δυνατότητα είναι η επέκταση της εφαρμογής σε περισσότερες από μία δεξαμενές και αντλίες. Σε μία τέτοια περίπτωση το PLC θα μπορούσε να διαχειρίζεται τη μεταφορά υγρού μεταξύ διαφορετικών δεξαμενών, να επιλέγει την κατάλληλη αντλία ανάλογα με τις απαιτήσεις και να εφαρμόζει στρατηγικές εναλλαγής μεταξύ διαφορετικών αντλιών. Η επέκταση αυτή θα αύξανε σημαντικά την πολυπλοκότητα της λογικής, αλλά θα αποτελούσε φυσική συνέχεια της αρχιτεκτονικής που αναπτύχθηκε στην παρούσα εργασία.

Τέλος, μία περισσότερο προηγμένη εξέλιξη θα μπορούσε να περιλαμβάνει την αξιοποίηση των δεδομένων λειτουργίας για την αυτόματη αναγνώριση αποκλίσεων από τη φυσιολογική συμπεριφορά. Αντί το σύστημα να βασίζεται αποκλειστικά σε προκαθορισμένα όρια συναγερμών, θα μπορούσαν να αναλυθούν ιστορικά δεδομένα σχετικά με τον χρόνο πλήρωσης, την παροχή, τις εκκινήσεις και τη διάρκεια λειτουργίας της αντλίας, ώστε να εντοπίζονται σταδιακές μεταβολές της απόδοσης. Μία τέτοια προσέγγιση θα απαιτούσε σημαντικά μεγαλύτερο όγκο πραγματικών δεδομένων και ξεπερνά το αντικείμενο της παρούσας εργασίας, αποτελεί όμως ενδιαφέρουσα κατεύθυνση για περαιτέρω έρευνα.

Συνολικά, οι προτεινόμενες επεκτάσεις δείχνουν ότι η υπάρχουσα υλοποίηση μπορεί να αποτελέσει τη βάση για ένα περισσότερο ολοκληρωμένο σύστημα βιομηχανικού αυτοματισμού. Η προσθήκη πραγματικών αισθητήρων, συνεχούς μέτρησης στάθμης και παροχής, απομακρυσμένης εποπτείας, εκτεταμένης καταγραφής δεδομένων και προηγμένων λειτουργιών συντήρησης θα μπορούσε να αυξήσει σημαντικά τις δυνατότητες του συστήματος. Παράλληλα, η βασική αρχιτεκτονική PLC-HMI που χρησιμοποιήθηκε στην παρούσα εργασία μπορεί να διατηρηθεί και να επεκταθεί σταδιακά, γεγονός που αποτελεί ένα από τα σημαντικότερα πλεονεκτήματα της συγκεκριμένης προσέγγισης.

Κεφάλαιο 6

Σύνοψη

Η παρούσα πτυχιακή εργασία είχε ως κύριο στόχο τον σχεδιασμό και την υλοποίηση ενός αυτοματοποιημένου συστήματος πλήρωσης δεξαμενής με τη χρήση προγραμματιζόμενου λογικού ελεγκτή και διεπαφής ανθρώπου-μηχανής. Η ανάπτυξη πραγματοποιήθηκε στο περιβάλλον UniLogic και περιλάμβανε τόσο την υλοποίηση της λογικής ελέγχου όσο και την κατασκευή πειραματικού πίνακα, μέσω του οποίου πραγματοποιήθηκαν οι δοκιμές των διαφορετικών καταστάσεων λειτουργίας.

Τα αποτελέσματα έδειξαν ότι ο συνδυασμός PLC και HMI μπορεί να χρησιμοποιηθεί αποτελεσματικά για την ανάπτυξη ενός ολοκληρωμένου συστήματος ελέγχου και εποπτείας μιας διαδικασίας πλήρωσης. Η λειτουργία της αντλίας συνδέθηκε με τις καταστάσεις στάθμης της δεξαμενής, ενώ παράλληλα ενσωματώθηκαν χρονικές καθυστερήσεις και πρόσθετες συνθήκες ελέγχου. Με τον τρόπο αυτό, η εφαρμογή δεν περιορίστηκε σε έναν απλό αυτοματισμό εκκίνησης και διακοπής της αντλίας, αλλά επεκτάθηκε ώστε να περιλαμβάνει λειτουργίες που σχετίζονται με την προστασία, την παρακολούθηση και τη διαχείριση της εγκατάστασης.

Ιδιαίτερη σημασία δόθηκε στην προστασία της αντλίας και στην αντιμετώπιση μη κανονικών καταστάσεων. Στη λογική του PLC ενσωματώθηκαν περιορισμοί σχετικά με τους χρόνους λειτουργίας και παύσης, παρακολούθηση του αριθμού εκκινήσεων, προστασία από συνθήκες ξηρής λειτουργίας και υπερχειλίσης, καθώς και έλεγχος της εγκυρότητας των σημάτων στάθμης. Επιπλέον, η ύπαρξη λειτουργίας Emergency Stop παρέχει τη δυνατότητα άμεσης επέμβασης του χειριστή. Οι λειτουργίες αυτές ενισχύουν τη συνολική αξιοπιστία της εφαρμογής και αναδεικνύουν τη σημασία της ενσωμάτωσης μηχανισμών προστασίας ήδη από το στάδιο σχεδιασμού ενός συστήματος αυτοματισμού.

Η ανάπτυξη του HMI αποτέλεσε επίσης σημαντικό μέρος της εργασίας. Μέσω της διεπαφής κατέστη δυνατή η παρακολούθηση της κατάστασης της αντλίας και των σημάτων στάθμης, καθώς και η πρόσβαση στις βασικές λειτουργίες χειρισμού. Παράλληλα, η χρήση γραφικών Trend και Data Sampling επέτρεψε την καταγραφή και τη γραφική παρακολούθηση επιλεγμένων λειτουργικών μεταβλητών. Με αυτόν τον τρόπο, η πληροφορία δεν περιορίζεται αποκλειστικά στην τρέχουσα κατάσταση του συστήματος, αλλά μπορεί να χρησιμοποιηθεί και για την αξιολόγηση της συμπεριφοράς του σε βάθος χρόνου.

Αντίστοιχα, η υλοποίηση των Alarm Summary και Alarm History παρείχε τη δυνατότητα οργάνωσης διαχείρισης των συναγερμών. Κατά τη διάρκεια των δοκιμών επιβεβαιώθηκε η εμφάνιση διαφορετικών συμβάντων, η καταγραφή των μεταβολών της κατάστασής τους και η διατήρησή τους στο ιστορικό. Η δυνατότητα αυτή είναι ιδιαίτερα σημαντική για ένα σύστημα

βιομηχανικού αυτοματισμού, καθώς επιτρέπει τόσο την άμεση ενημέρωση του χειριστή όσο και τη μεταγενέστερη διερεύνηση γεγονότων που εμφανίστηκαν κατά τη λειτουργία.

Σε ευρύτερο επίπεδο, η εργασία αναδεικνύει ότι ακόμη και μία σχετικά απλή διαδικασία, όπως η πλήρωση μιας δεξαμενής, μπορεί να αποτελέσει τη βάση για την εφαρμογή σημαντικών αρχών του βιομηχανικού αυτοματισμού. Η χρήση PLC επιτρέπει τη δημιουργία επεκτάσιμης λογικής ελέγχου, ενώ η ενσωμάτωση του HMI προσθέτει δυνατότητες εποπτείας, αλληλεπίδρασης και διάγνωσης. Ο συνδυασμός αυτών των στοιχείων δημιουργεί μία αρχιτεκτονική η οποία μπορεί να προσαρμοστεί και σε περισσότερο σύνθετες εφαρμογές διαχείρισης υγρών και βιομηχανικών διεργασιών.

Παρά τα θετικά αποτελέσματα, πρέπει να ληφθούν υπόψη οι περιορισμοί της παρούσας υλοποίησης. Η στάθμη της δεξαμενής προσομοιώθηκε μέσω των φυσικών χειριστηρίων της πειραματικής διάταξης και δεν πραγματοποιήθηκαν δοκιμές με πραγματική δεξαμενή και συνεχή μεταβολή της στάθμης. Επιπλέον, δεν χρησιμοποιήθηκε αναλογικός αισθητήρας στάθμης ή πραγματικό παροχόμετρο, με αποτέλεσμα η εφαρμογή να επικεντρώνεται κυρίως στην αξιολόγηση της λογικής ελέγχου και όχι στην ακριβή μέτρηση των φυσικών χαρακτηριστικών της διαδικασίας. Οι δοκιμές πραγματοποιήθηκαν επίσης σε ελεγχόμενο πειραματικό περιβάλλον και όχι σε συνθήκες μακροχρόνιας βιομηχανικής λειτουργίας.

Οι περιορισμοί αυτοί δημιουργούν παράλληλα δυνατότητες για περαιτέρω ανάπτυξη. Μία μελλοντική επέκταση θα μπορούσε να περιλαμβάνει πραγματική δεξαμενή και αισθητήρες, συνεχή αναλογική μέτρηση στάθμης και πραγματική μέτρηση παροχής. Επιπλέον, η καταγραφή μεγαλύτερου όγκου λειτουργικών δεδομένων θα μπορούσε να αξιοποιηθεί για την παρακολούθηση της απόδοσης της αντλίας και την υποστήριξη στρατηγικών προληπτικής συντήρησης. Η απομακρυσμένη εποπτεία, η αυτόματη αποστολή ειδοποιήσεων και η σύνδεση με εξωτερική βάση δεδομένων ή σύστημα SCADA αποτελούν επίσης πιθανές κατευθύνσεις εξέλιξης.

Συμπερασματικά, η εργασία πέτυχε τον βασικό της στόχο, καθώς αναπτύχθηκε και δοκιμάστηκε μία ολοκληρωμένη εφαρμογή ελέγχου πλήρωσης δεξαμενής που συνδυάζει PLC, HMI, φυσικά χειριστήρια, λειτουργίες προστασίας, παρακολούθηση δεδομένων και διαχείριση συναγερμών. Η πειραματική διαδικασία επέτρεψε την επαλήθευση της λειτουργίας των βασικών επιμέρους τμημάτων και ανέδειξε τη σημασία της συνδυασμένης αντιμετώπισης του ελέγχου, της προστασίας και της εποπτείας. Παράλληλα, η δομή της εφαρμογής παρέχει μία κατάλληλη βάση για περαιτέρω επέκταση προς πιο σύνθετες και περισσότερες ολοκληρωμένες εφαρμογές βιομηχανικού αυτοματισμού.

Βιβλιογραφία

- [1] F. Mo, M. Ugarte Querejeta, J. Hellewell κ.ά., “PLC orchestration automation to enhance human–machine integration in adaptive manufacturing systems”, *Journal of Manufacturing Systems*, τόμ. 71, σσ. 172–187, 2023, issn: 0278-6125. doi: 10.1016/j.jmsy.2023.07.015. διεύθυν.: <https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S0278612523001474>.
- [2] M. Chattal, V. Bhan, H. Madiha και S. A. Shaikh, “Industrial Automation & Control Through PLC and LabVIEW”, στο *2019 2nd International Conference on Computing, Mathematics and Engineering Technologies (iCoMET)*, 2019, σσ. 1–5. doi: 10.1109/ICOMET.2019.8673448.
- [3] M. U. Mojumder και R. A. Ruddro, “Human-Machine Interfaces in Industrial Systems: Enhancing Safety and Throughput in Semi-Automated Facilities”, *American Journal of Interdisciplinary Studies*, τόμ. 4, αρθμ. 1, σσ. 1–26, Απρ. 2023. doi: 10.63125/s2qa0125. διεύθυν.: <https://ajisresearch.com/index.php/ajis/article/view/33>.
- [4] N. Kunicina, R. Grants, M. Bisenieks και V. Balodis, “Automated Level Control System Development for Harbor Tank Storage for Smart Cities”, στο *2025 IEEE 66th International Scientific Conference on Power and Electrical Engineering of Riga Technical University (RTUCON)*, 2025, σσ. 1–8. doi: 10.1109/RTUCON67996.2025.11415052.
- [5] A. I. Abashar, M. A. Mohammedeltoum και O. D. Abaker, “Automated and Monitored Liquid Filling System Using PLC Technology”, στο *2017 International Conference on Communication, Control, Computing and Electronics Engineering (ICCCCEE)*, 2017, σσ. 1–5. doi: 10.1109/ICCCCEE.2017.7866699.
- [6] Y. M. K. Ali, O. A. Zargelin, F. Lashhab και A. Alaribi, “Water Level Control System Using Programmable Logic Controller (PLC): Rujban Water Supply System”, στο *2021 IEEE International IOT, Electronics and Mechatronics Conference (IEMTRONICS)*, 2021, σσ. 1–9. doi: 10.1109/IEMTRONICS52119.2021.9422619.
- [7] M. Sreejeth και S. Chouhan, “PLC Based Automated Liquid Mixing and Bottle Filling System”, στο *2016 IEEE 1st International Conference on Power Electronics, Intelligent Control and Energy Systems (ICPEICES)*, 2016, σσ. 1–5. doi: 10.1109/ICPEICES.2016.7853685.
- [8] A. Mahrez, A. Hilmy, A. Alasoad κ.ά., “Design a PLC-Based Automated and Controlled Liquid Filling-Capping System”, στο *2022 International Engineering Conference on Electrical, Energy, and Artificial Intelligence (EICEEAI)*, 2022, σσ. 1–5. doi: 10.1109/EICEEAI56378.2022.10050478.

- [9] S. Eswar, L. Jaiganesh, N. Hariprasad, M. Mohamedimthiyas και A. Gopikrishnan, “Automatic Liquid Mixing and Filling Using PLC”, στο *2018 International Conference on Current Trends towards Converging Technologies (ICCTCT)*, 2018, σσ. 1–6. doi: 10.1109/ICCTCT.2018.8551099.
- [10] K. Vadivukkarasi και S. Bhargava, “Mixing and Filling Operations using PLC, SCADA and IoT”, στο *2024 7th International Conference on Circuit Power and Computing Technologies (ICCPCT)*, τόμ. 1, 2024, σσ. 635–639. doi: 10.1109/ICCPCT61902.2024.10672892.
- [11] N. Miljevic, N. Ratkovic Kovačević και D. Dihovicni, “Automation of Cup Filling Machine by Inserting PLC Control Unit for Educational Purpose”, στο *Experimental and Computational Investigations in Engineering*, N. Mitrovic, G. Mladenovic και A. Mitrovic, επιμελητές, Cham: Springer International Publishing, 2021, σσ. 344–361. doi: 10.1007/978-3-030-58362-0_20.
- [12] D. Mourtzis, J. Angelopoulos και N. Panopoulos, “The Future of the Human–Machine Interface (HMI) in Society 5.0”, *Future Internet*, τόμ. 15, αρθμ. 5, σ. 162, 2023, issn: 1999-5903. doi: 10.3390/fi15050162. διεύθυν.: <https://www.mdpi.com/1999-5903/15/5/162>.
- [13] M. Šverko και T. Galinac Grbac, “Automated HMI Design as a Custom Feature in Industrial SCADA Systems”, *Procedia Computer Science*, τόμ. 232, σσ. 1789–1798, 2024, 5th International Conference on Industry 4.0 and Smart Manufacturing (ISM 2023), issn: 1877-0509. doi: 10.1016/j.procs.2024.02.001. διεύθυν.: <https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S1877050924001789>.
- [14] F. E. Mustafa, I. Ahmed, A. Basit κ.ά., “A Review on Effective Alarm Management Systems for Industrial Process Control: Barriers and Opportunities”, *International Journal of Critical Infrastructure Protection*, τόμ. 41, σ. 100599, 2023. doi: 10.1016/j.ijcip.2023.100599.
- [15] F. P. Maturana, P. Tichý, P. Šlechta, F. Discenzo, R. J. Staron και K. Hall, “Distributed Multi-Agent Architecture for Automation Systems”, *Expert Systems with Applications*, τόμ. 26, αρθμ. 1, σσ. 49–56, 2004, Intelligent Computing in the Petroleum Industry, ICPI-02, issn: 0957-4174. doi: 10.1016/S0957-4174(03)00068-X. διεύθυν.: <https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S095741740300068X>.
- [16] A. G. Malyutin, A. A. Lavrukhin και A. S. Okishev, “Architecture of the Automated Information System for Monitoring and Resources Accounting”, *Journal of Physics: Conference Series*, τόμ. 1050, αρθμ. 1, σ. 012050, Ιούλ. 2018. doi: 10.1088/1742-6596/1050/1/012050. διεύθυν.: <https://doi.org/10.1088/1742-6596/1050/1/012050>.
- [17] E. Tapia, L. Sastoque-Pinilla, U. Lopez-Novoa, I. Bediaga και N. López de Lacalle, “Assessing Industrial Communication Protocols to Bridge the Gap between Machine Tools and Software Monitoring”, *Sensors*, τόμ. 23, αρθμ. 12, σ. 5694, 2023. doi: 10.3390/s23125694.
- [18] M. M. Abdulwahid, H. K. Abdullah, W. M. Ateah και S. Ahmed, “Implementation of Automated Water based Level Management Model by using SCADA system and PLC”, *Journal of Energy Engineering and Thermodynamics*, τόμ. 3, αρθμ. 3, σσ. 40–51, 2023. doi: 10.55529/jeet.33.40.51.

- [19] A. Armin, I. Ihsan, M. Bahit κ.ά., “PLC–HMI Integration for Water Tank Control and Monitoring System with Control Performance Evaluation Industrial”, *Jurnal Ilmu Komputer dan Sistem Informasi (JIKSI)*, τόμ. 7, αρθμ. 1, σσ. 1–16, 2026. doi: 10.61346/jiksi.v7i01.327.
- [20] A. Mystkowski και A. Kierdelewicz, “Fractional-Order Water Level Control Based on PLC: Hardware-In-The-Loop Simulation and Experimental Validation”, *Energies*, τόμ. 11, αρθμ. 11, σ. 2928, 2018. doi: 10.3390/en11112928.
- [21] M. Walker, C. Bissell και J. Monk, “The PLC: A Logical Development”, *Measurement and Control*, τόμ. 43, αρθμ. 9, σσ. 280–284, 2010. doi: 10.1177/002029401004300904. διεύθν.: <https://doi.org/10.1177/002029401004300904>.
- [22] D. G. Dunn και N. Sands, “Alarm Management Fundamentals – What is the Impact of Electrical Equipment Automation on Industrial Control Systems”, στο *2024 IEEE IAS Petroleum and Chemical Industry Technical Conference (PCIC)*, 2024, σσ. 1–10. doi: 10.1109/PCIC47799.2024.10832189.
- [23] S. Maesschalck, A. Staves, R. Derbyshire, B. Green και D. Hutchison, “Walking under the Ladder Logic: PLC-VBS: A PLC Control Logic Vulnerability Scanning Tool”, *Computers & Security*, τόμ. 127, σ. 103116, 2023, issn: 0167-4048. doi: 10.1016/j.cose.2023.103116. διεύθν.: <https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S0167404823000263>.
- [24] N. P. DeGuglielmo, S. M. S. Basnet και D. E. Dow, “Introduce Ladder Logic and Programmable Logic Controller (PLC)”, στο *2020 Annual Conference Northeast Section (ASEE-NE)*, 2020, σσ. 1–5. doi: 10.1109/ASEENE51624.2020.9292646.
- [25] C. M. Ahmed, M. Ochoa, J. Zhou και A. Mathur, “Scanning the Cycle: Timing-Based Authentication on PLCs”, στο *Proceedings of the 2021 ACM Asia Conference on Computer and Communications Security*, σειρά ASIA CCS ’21, New York, NY, USA: Association for Computing Machinery, 2021, σσ. 886–900, isbn: 9781450382878. doi: 10.1145/3433210.3453102. διεύθν.: <https://doi.org/10.1145/3433210.3453102>.
- [26] M. Chmiel, R. Czerwinski και A. Malcher, “FPGA Implementation of IEC 61131-3-Based Hardware-Aided Timers for Programmable Logic Controllers”, *Electronics*, τόμ. 12, αρθμ. 20, σ. 4255, 2023, issn: 2079-9292. doi: 10.3390/electronics12204255. διεύθν.: <https://www.mdpi.com/2079-9292/12/20/4255>.
- [27] M. G. Ioannides, “Design and Implementation of PLC-Based Monitoring Control System for Induction Motor”, *IEEE Transactions on Energy Conversion*, τόμ. 19, αρθμ. 3, σσ. 469–476, 2004. doi: 10.1109/TEC.2003.822303.
- [28] A. Setiawan, Sugeng, K. I. Koesoema, S. Bakhri και J. Aditya, “The SCADA System Using PLC and HMI to Improve the Effectiveness and Efficiency of Production Processes”, *IOP Conference Series: Materials Science and Engineering*, τόμ. 550, αρθμ. 1, σ. 012008, Ιούλ. 2019. doi: 10.1088/1757-899X/550/1/012008. διεύθν.: <https://doi.org/10.1088/1757-899X/550/1/012008>.