ΠΑΝΕΠΙΣΤΗΜΙΟ ΘΕΣΣΑΛΙΑΣ

Σχολή Τεχνολογίας

Τμήμα Ψηφιακών Συστημάτων

Αυτοματοποίηση και Διαδικτύωση Βιομηχανικών Εφαρμογών

ΠΤΥΧΙΑΚΗ ΕΡΓΑΣΙΑ

Γεώργιος Φαλτάκας (ΑΜ: 3119119)

Επιβλέπων: ***Νικόλαος Σαμαράς, Καθηγητής***

ΛΑΡΙΣΑ, Ιούλιος 2023

UNIVERSITY OF THESSALY

School of Technology

Digital Systems Department

Automation and Internetworking in Industrial Applications

BACHELOR THESIS

Georgios Faltakas (RN: 3119119)

Supervisor: ***Nikolaos Samaras, Professor***

LARISSA, July 2023

Υπεύθυνη Δήλωση περί Ακαδημαϊκής Δεοντολογίας και Πνευματικών Δικαιωμάτων

Με πλήρη επίγνωση των συνεπειών του νόμου περί πνευματικών δικαιωμάτων, δηλώνω ρητά ότι η παρούσα πτυχιακή εργασία, καθώς και τα ηλεκτρονικά αρχεία και πηγαίοι κώδικες που αναπτύχθηκαν ή τροποποιήθηκαν στα πλαίσια αυτής της εργασίας, αποτελεί αποκλειστικά προϊόν προσωπικής μου εργασίας, δεν προσβάλλει κάθε μορφής δικαιώματα διανοητικής ιδιοκτησίας, προσωπικότητας και προσωπικών δεδομένων τρίτων, δεν περιέχει έργα/εισφορές τρίτων για τα οποία απαιτείται άδεια των δημιουργών/δικαιούχων και δεν είναι προϊόν μερικής ή ολικής αντιγραφής, οι πηγές δε που χρησιμοποιήθηκαν περιορίζονται στις βιβλιογραφικές αναφορές και μόνον, και πληρούν τους κανόνες της επιστημονικής παράθεσης. Τα σημεία όπου έχω χρησιμοποιήσει ιδέες, κείμενο, αρχεία ή/και πηγές άλλων συγγραφέων, αναφέρονται ευδιάκριτα στο κείμενο με την κατάλληλη παραπομπή και η σχετική αναφορά περιλαμβάνεται στο τμήμα των βιβλιογραφικών αναφορών με πλήρη περιγραφή.

Αναλαμβάνω πλήρως, ατομικά και προσωπικά, όλες τις νομικές και διοικητικές συνέπειες που δύναται να προκύψουν στην περίπτωση κατά την οποία αποδειχθεί, διαχρονικά, ότι η εργασία αυτή ή τμήμα της δεν μου ανήκει διότι είναι προϊόν λογοκλοπής.

Ο Δηλών

(Υπογραφή)

6/7/2023

Εγκρίνεται από την Επιτροπή Εξέτασης:

Επιβλέπων	**Νικόλαος Σαμαράς** Καθηγητής Τμήμα Ψηφιακών Συστημάτων, Πανεπιστήμιο Θεσσαλίας
Μέλος	**Γεώργιος Καρέτσος** Καθηγητής Τμήμα Ψηφιακών Συστημάτων, Πανεπιστήμιο Θεσσαλίας
Μέλος	**Κωνσταντίνος Χαϊκάλης** Αναπληρωτής Καθηγητής Τμήμα Ψηφιακών Συστημάτων, Πανεπιστήμιο Θεσσαλίας

Ημερομηνία έγκρισης: 6/7/2023

Περίληψη

Η παρούσα πτυχιακή εργασία παρέχει πληροφορίες για τις θεωρητικές βάσεις και τις πρακτικές εφαρμογές του αυτοματισμού και της διαδικτύωσης σε βιομηχανικές εφαρμογές. Γεφυρώνοντας το χάσμα μεταξύ θεωρίας και πράξης, συμβάλλει στην πρόοδο της τεχνολογίας των αυτοματισμών και των εφαρμογών τους στον βιομηχανικό τομέα. Προς αυτή την κατεύθυνση, παρέχεται σε θεωρητικό επίπεδο ενδελεχής διερεύνηση της εξέλιξης του αυτοματισμού, της δομής του ολοκληρωμένου βιομηχανικού πληροφοριακού συστήματος (CIM), των Προγραμματιζόμενων Λογικών Ελεγκτών (PLCs), των συστημάτων SCADA, καθώς και των πρωτοκόλλων και προτύπων διαδικτύωσης των βιομηχανικών εφαρμογών. Όσον αφορά το μέρος της πρακτικής υλοποίησης της πτυχιακής εργασίας, αναπτύσσονται δυο εφαρμογές για την επίδειξη των εννοιών που διερευνώνται. Η πρώτη εφαρμογή επικεντρώνεται στον προγραμματισμό ενός PLC για την λειτουργία μιας αυτόματης μηχανής περιτύλιξης παλετών, συνοδευόμενη από την ενσωμάτωση του ελέγχου της διεργασίας μέσω μιας διεπαφής HMI. Η δεύτερη εφαρμογή αφορά μια εφαρμογή SCADA, όπου γίνεται προγραμματισμός με PLC μιας διεργασίας πλήρωσης και εκκένωσης μιας δεξαμενής νερού και προσομοίωση αυτής με χρήση του λογισμικού Factory I/O. Στη συνέχεια, τα δεδομένα της διεργασίας μεταφέρονται με χρήση του προτύπου διαδικτύωσης OPC στο λογισμικό Ignition, μέσω του οποίου δημιουργούμε δυναμικό HMI για την παρακολούθηση της διεργασίας και των δεδομένων που παράγονται από αυτή σε πραγματικό χρόνο.

Abstract

This thesis provides information on the theoretical foundations and practical applications of automation and internetworking in industrial applications. By bridging the gap between theory and practice, it contributes to the advancement of automation technology and its applications in the industrial sector. To this end, a thorough theoretical study of the evolution of automation, the structure of the Computer Integrated Manufacturing system (CIM), Programmable Logic Controllers (PLCs), SCADA systems, as well as protocols and standards for the internetworking of industrial applications is conducted. Regarding the practical implementation section of the thesis, two applications are developed to demonstrate the concepts explored. The first application focuses on the programming of a PLC for the operation of an automatic pallet wrapping machine, accompanied by the integration of process control via an HMI interface. The second application concerns a SCADA application, where PLC programming of the process of filling and emptying a water tank and its simulation using Factory I/O software is performed. Then, the process data is transferred using the OPC networking standard to the Ignition software, through which we create a dynamic HMI to monitor the process and the data generated by it in real time.

Ευχαριστίες

Η περάτωση της παρούσης πτυχιακής εργασίας σηματοδοτεί την ολοκλήρωση των σπουδών μου στο τμήμα Ψηφιακών Συστημάτων του Πανεπιστημίου Θεσσαλίας. Θα ήθελα να ευχαριστήσω τους φίλους-συμφοιτητές μου για την πολύτιμη βοήθεια τους και την ιδιαίτερα επιτυχημένη συνεργασία μας καθ΄ όλη τη διάρκεια των σπουδών μου. Θα ήθελα επίσης να ευχαριστήσω ιδιαίτερα τον επιβλέποντα καθηγητή μου, τον κ. Νικόλαο Σαμαρά, με τον οποίο είχα εξαιρετική συνεργασία καθ' όλη τη διάρκεια της συγγραφής της πτυχιακής εργασίας μου. Τέλος, πάνω από όλα θα ήθελα να ευχαριστήσω την οικογένεια μου για τη στήριξη της καθ' όλη της διάρκεια της εκπαιδευτικής πορείας μου.

Γεώργιος Φαλτάκας

6/7/2023

Περιεχόμενα

ΠΕΡΙΛΗΨΗ ..... **VII**

ABSTRACT ..... **IX**

ΕΥΧΑΡΙΣΤΙΕΣ ..... **XI**

ΠΕΡΙΕΧΟΜΕΝΑ ..... **XIII**

1 Η ΕΞΕΛΙΞΗ ΤΩΝ ΑΥΤΟΜΑΤΙΣΜΩΝ&CIM **1**

1.1 Εισαγωγη 1

1.2 Ολοκληρωμενο Βιομηχανικο Πληροφοριακο Συστημα 5

2 ΠΡΟΓΡΑΜΜΑΤΙΖΟΜΕΝΟΣ ΛΟΓΙΚΟΣ ΕΛΕΓΚΤΗΣ (PLC) **9**

2.1 Ορισμος του PLC 9

2.2 Σταδια Υλοποιησης Αυτοματισμου 10

2.3 Τυποι Προγραμματιζομενων Λογικων Ελεγκτων 11

2.3.1 Compact PLC *11*

2.3.2 Modular PLC *11*

2.4 Δομη Προγραμματιζομενου Λογικου Ελεγκτη 12

2.4.1 Πλαίσιο Τοποθέτησης Μονάδων *13*

2.4.2 Μονάδα Τροφοδοσίας *13*

2.4.3 Κεντρική Μονάδα Επεξεργασίας *13*

2.4.4 Μονάδες Εισόδων / Εξόδων (I/O) *16*

2.4.5 Συσκευή Προγραμματισμού *20*

2.5 Αρχη Λειτουργιας PLC 20

2.6 Γλωσσες Προγραμματισμου PLC 22

2.6.1 Ladder Diagram (LD) *22*

2.6.2 Sequential Function Charts (SFC) *23*

2.6.3 Function Block Diagram (FBD) *24*

2.6.4 Structured Text (ST) *25*

2.6.5 Instruction List (IL) *26*

2.7 Διευθυνσιοδοτηση και Ονοματολογια 27

2.8 Πλεονεκτηματα PLC 29
2.9 Μειονεκτηματα PLC 31
2.10 Μελλοντικη Εξελιξη PLC 31

3 ΣΥΣΤΗΜΑΤΑ SCADA 33

3.1 Ορισμος SCADA 33
3.2 Η εξελιξη των συστηματων SCADA 34
3.2.1 Μονολιθικά συστήματα SCADA 35
3.2.2 Κατανεμημένα συστήματα SCADA 36
3.2.3 Δικτυωμένα Συστήματα SCADA 37
3.2.4 Συστήματα SCADA βασισμένα στο διαδίκτυο 38
3.3 Βηματα ενσωματωσης ολοκληρωμενης λυσης SCADA 38
3.4 Λειτουργιες συστηματων SCADA 39
3.5 Δομικα στοιχεια συστηματων SCADA 41
3.5.1 MTU 41
3.5.2 PLCs και RTUs 42
3.5.3 Αισθητήρες και Ενεργοποιητές 43
3.5.4 HMI 44
3.5.5 Υποδομή Δικτύου 47
3.6 Συγκριση SCADA και DCS 48
3.7 Προκλησεις συστηματων SCADA 50

4 ΔΙΑΔΙΚΤΥΩΣΗ ΣΤΗ ΒΙΟΜΗΧΑΝΙΑ 53

4.1 Fieldbus 54
4.2 Profibus 56
4.3 Profinet 60
4.4 ControlNet 63
4.4.1 Φυσικό Επίπεδο ControlNet 63
4.4.2 Επίπεδο Ζεύξης Δεδομένων ControlNet 65
4.4.3 Επίπεδο Δικτύου και Μεταφοράς ControlNet 66
4.5 OPC 67
4.5.1 OPC Servers & OPC Clients 68
4.5.2 OPC Classic 70
4.5.3 Λειτουργία και Αρχιτεκτονική OPC UA 70

4.5.4 OPC UA και Industry 4.0 73

5 ΕΦΑΡΜΟΓΗ PLC & HMI: ΑΥΤΟΜΑΤΗ ΜΗΧΑΝΗ ΠΕΡΙΤΥΛΙΞΗΣ ΠΑΛΕΤΩΝ 75

5.1 ΠΑΡΟΥΣΙΑΣΗ ΕΦΑΡΜΟΓΗΣ 75

5.2 ΠΙΝΑΚΑΣ I/O 78

5.3 ΠΡΟΓΡΑΜΜΑ PLC ΣΕ LADDER LOGIC 79

5.4 ΣΧΕΔΙΑΣΜΟΣ ΚΑΙ ΠΡΟΓΡΑΜΜΑΤΙΣΜΟΣ HMI 82

6 ΕΦΑΡΜΟΓΗ SCADA: ΠΛΗΡΩΣΗ ΚΑΙ ΕΚΚΕΝΩΣΗ ΔΕΞΑΜΕΝΗΣ 87

6.1 ΠΕΡΙΓΡΑΦΗ ΕΦΑΡΜΟΓΗΣ 87

6.2 ΠΙΝΑΚΑΣ I/O 89

6.3 ΠΡΟΓΡΑΜΜΑ PLC ΣΕ LADDER LOGIC 90

6.4 3D ΠΡΟΣΟΜΟΙΩΣΗ ΔΙΕΡΓΑΣΙΑΣ ΜΕ ΤΟ FACTORY I/O 93

6.5 ΛΕΙΤΟΥΡΓΙΚΟΤΗΤΑ SCADA ΕΦΑΡΜΟΓΗΣ 96

6.6 ΣΧΕΔΙΑΣΜΟΣ HMI 97

7 ΣΥΜΠΕΡΑΣΜΑΤΑ 101

ΒΙΒΛΙΟΓΡΑΦΙΑ 103

1 Η εξέλιξη των Αυτοματισμών&CIM

1.1 Εισαγωγή

Τα βιομηχανικά επιτεύγματα των τελευταίων δεκαετιών βασίζονται στη διαρκώς αλματώδη ανάπτυξη της πληροφορικής, της ψηφιακής τεχνολογίας και της ηλεκτρονικής. Η βιομηχανική πληροφορική αποτελεί την εφαρμογή της σύγχρονης πληροφορικής στη βιομηχανία και αφορά ένα ευρύ πεδίο εξειδικευμένων τεχνικών και τεχνολογιών που εξελίσσονται διαρκώς μέχρι και σήμερα. Η αξιοποίηση της αποτελεί θεμελιώδη ανάγκη για τη λειτουργία των σύγχρονων παραγωγικών επιχειρήσεων, οι οποίες επιδιώκουν τη μεγιστοποίηση της παραγωγικότητας τους, την έγκαιρη γνώση και διάγνωση των βλαβών εξοπλισμού καθώς και τη βέλτιστη εκμετάλλευση των πόρων τους. Οι στόχοι αυτοί επιτυγχάνονται με την αυτοματοποίηση της παραγωγικής διαδικασίας, η οποία γίνεται με τη χρήση των Προγραμματιζόμενων Λογικών Ελεγκτών. Καθοριστική επίσης για την βέλτιστη λειτουργία των βιομηχανιών έχει υπάρξει η επίδραση των δικτύων τεχνολογίας Bus καθώς και η χρήση των συστημάτων SCADA, τα οποία προσφέρουν τη δυνατότητα οπτικοποίησης και τηλεμετρίας των βιομηχανικών συστημάτων. [1]

Ο βιομηχανικός αυτοματισμός είναι ο έλεγχος των μηχανημάτων και των διαδικασιών που χρησιμοποιούνται σε διάφορες βιομηχανίες από αυτόνομα συστήματα μέσω της χρήσης τεχνολογιών όπως η ρομποτική και το λογισμικό υπολογιστών.

Οι βιομηχανίες εφαρμόζουν τον αυτοματισμό για να αυξήσουν την παραγωγικότητα και να μειώσουν το κόστος που σχετίζεται με τους εργαζόμενους, τις παροχές τους και άλλες συναφείς δαπάνες, αυξάνοντας παράλληλα την ακρίβεια και την ευελιξία.

Με τη Βιομηχανική Επανάσταση ήρθε η μηχανοποίηση, η οποία έφερε φθηνότερα αγαθά σε μεγαλύτερη αφθονία. Γενικά, οι μηχανικές διαδικασίες στις βιομηχανίες ήταν ταχύτερες και παρήγαγαν μεγαλύτερες ποσότητες αγαθών, αλλά εξακολουθούσαν να απαιτούν ειδικευμένους εργαζόμενους. Οι μηχανές όχι μόνο απαιτούσαν χειριστές, αλλά όταν γίνονταν λάθη, σπαταλούνταν υλικά και προκαλούνταν όχι μόνο προβλήματα στην παραγωγή, αλλά και ζημιές στον εξοπλισμό.

Με την άφιξη της αυτοματοποίησης προστέθηκαν βρόχοι ελέγχου (control loops) στη λειτουργία των μηχανημάτων. Αυτοί μπορεί να είναι ανοικτοί βρόχοι ελέγχου που επιτρέπουν την ανθρώπινη παρέμβαση ή κλειστοί βρόχοι που είναι πλήρως αυτοματοποιημένοι. Τα βιομηχανικά συστήματα ελέγχου (Industrial Control Systems - ICS) επιτρέπουν την παρακολούθηση και τον έλεγχο τοπικά αλλά και εξ αποστάσεως. Με αυτούς τους ολοένα και πιο προηγμένους μηχανισμούς ελέγχου, οι βιομηχανίες μπορούν να λειτουργούν 24 ώρες το 24ωρο. [2]

Για περισσότερο από έναν αιώνα, τα συστήματα αυτοματισμού έχουν διαδραματίσει κεντρικό ρόλο στη λειτουργία των βιομηχανιών που παρέχουν τα βασικά δομικά στοιχεία της καθημερινής μας ζωής - ενέργεια, ηλεκτρική ενέργεια, νερό, μέταλλα, ορυκτά, χημικά και μεταφορές. Η αυτοματοποίηση της παραγωγικής διαδικασίας προσφέρει πολλά πλεονεκτήματα:

- *Αύξηση της ασφάλειας στο χώρο εργασίας*: Η μεταφορά ορισμένων επικίνδυνων εργασιών σε αυτοματοποιημένα μηχανήματα καθιστά τον χώρο εργασίας ασφαλέστερο για τους εργαζόμενους.
- *Μείωση του κόστους ενέργειας*: Η επένδυση στην αυτοματοποίηση μπορεί να συμβάλει στην αντικατάσταση χειροκίνητων διαδικασιών και επομένως στη μείωση του εργατικού κόστους.
- *Αύξηση της παραγωγικότητας της εργασίας*: Τα αυτοματοποιημένα συστήματα μπορούν να εκτελούν εργασίες πιο αποτελεσματικά από ό,τι οι χειροκίνητες διαδικασίες. Η αυτοματοποίηση της παραγωγικής διαδικασίας αυξάνει την αποδοτικότητα της εργασίας και τον συνολικό ρυθμό ανάπτυξης. Σε σύγκριση με τα εργοστάσια που χρησιμοποιούν μόνο μερικά συστήματα αυτοματισμού, η πλήρης αυτοματοποίηση ενός εργοστασίου μπορεί να διπλασιάσει ή και να τριπλασιάσει την παραγωγή του.
- *Μείωση των χειροκίνητων εργασιών*: Ο αυτοματισμός μπορεί να εξαλείψει ένα μεγάλο όγκο εργασιών που είναι επαναλαμβανόμενες, εξαντλητικές ή βαρετές για τους εργαζόμενους, επιτρέποντας στο προσωπικό παραγωγής να επικεντρωθεί σε πιο ουσιώδεις και ελκυστικές εργασίες που αποσκοπούν στη βελτιστοποίηση της τελικής παραγωγικής.

- *Διενέργεια αδύνατων χειροκίνητων εργασιών*: Πολλές κατασκευαστικές λειτουργίες και διαδικασίες δεν είναι εφικτές χωρίς τη χρήση μηχανών. Αυτές οι διαδικασίες έχουν ειδικές απαιτήσεις ακρίβειας και γεωμετρίας που δεν μπορούν να επιτευχθούν με το χέρι.
- *Βελτίωση της ποιότητας των προϊόντων*: Η αυτοματοποίηση μειώνει τη συχνότητα εμφάνισης ελαττωμάτων, καθώς επιτυγχάνεται μεγαλύτερη συνέπεια και ομοιομορφία στις αυτοματοποιημένες διαδικασίες.
- *Αποφυγή του υψηλότερου κόστους της μη αυτοματοποίησης*: Η αυτοματοποίηση οδηγεί σε υψηλότερα έσοδα, υψηλότερη ποιότητα, βελτιωμένη παραγωγικότητα, καλύτερα αποτελέσματα λόγω υψηλότερης αποδοτικότητας και συνολικά καλύτερη εικόνα της επιχείρησης. Οι εταιρείες που δεν αυτοματοποιούν την παραγωγική διαδικασία υστερούν σε σχέση με τους ανταγωνιστές τους που έχουν επιλέξει την αυτοματοποίηση αυτής.
- *Μείωση του χρόνου παραγωγής*: Η αυτοματοποίηση συμβάλλει στη μείωση του χρόνου που μεσολαβεί μεταξύ της παραγγελίας του πελάτη και της παράδοσης των προϊόντων.
- *Ευελιξία συστημάτων γραμμής παραγωγής*: Τα συστήματα που χρησιμοποιούνται μπορούν εύκολα μέσω κατάλληλης επεξεργασίας να αξιοποιηθούν για νέα προγράμματα παραγωγής. Για παράδειγμα, τα ρομπότ είναι ευέλικτα και μπορούν εύκολα και σε σύντομο χρονικό διάστημα να επαναχρησιμοποιηθούν σε νέες εφαρμογές, ενώ έχουν τη δυνατότητα εύκολης εναλλαγής μεταξύ ενός μεγάλου εύρους φάσματος προϊόντων χωρίς να χρειάζεται να ανακατασκευαστούν πλήρως οι γραμμές παραγωγής. Παράλληλα, είναι εφικτή η ενσωμάτωση εξαρτημάτων διαφόρων μεγεθών και σχημάτων στην ίδια γραμμή παραγωγής.
- *Μείωση επιπτώσεων βιομηχανίας στο περιβάλλον*: Οι βιομηχανίες που καταναλώνουν ενέργεια και άνθρακα χρειάζονται καλύτερο έλεγχο των λειτουργικών δεικτών και των μοχλών αποδοτικότητας για να μειώσουν τις εκπομπές αερίων του θερμοκηπίου. Τα εργαλεία ψηφιακής αυτοματοποίησης μπορούν να βοηθήσουν σε αυτό, όπως αναδεικνύεται με μεγάλη επιτυχία σε μια νέα γενιά βιομηχανικών εγκαταστάσεων, οι οποίες διαχειρίζονται την παραγωγή, τους πόρους και τις επιχειρηματικές διαδικασίες με οικολογικά αποδοτικό τρόπο, επιβλέποντας τα επιμέρους συστήματα και τα λειτουργικά δεδομένα σε πολλαπλές εγκαταστάσεις.

Οι απεικονίσεις σε πίνακες οργάνων εμφανίζουν χιλιάδες σημεία δεδομένων (data points) για την παρακολούθηση της παραγωγής σε πραγματικό χρόνο, δίνοντας λεπτομερή εικόνα της διαχείρισης των πόρων, της συνολικής αποτελεσματικότητας του εξοπλισμού και της βελτιστοποίησης σε επίπεδο επιχείρησης.

Ακόμα και οι βιομηχανίες με διαβόητα μεγάλες εκπομπές σε τομείς που είναι δύσκολο αυτοί να μειωθούν συγκλίνουν προς την αυτοματοποίηση. Αυτό επιτυγχάνεται με χρήση τεχνολογιών διαχείρισης ενέργειας από ένα κεντρικό σημείο διοίκησης, ώστε να έχουν καλύτερη εικόνα για το πού πρέπει να εξοικονομήσουν ενέργεια και το πώς μπορούν να ελαχιστοποιήσουν τη σπατάλη αυτής. [3] [4]

Οι πρόσφατες εξελίξεις στον τομέα της αυτοματοποίησης στη βιομηχανική παραγωγή επικεντρώνονται στην ευελιξία και την ποιότητα. Η κατασκευαστική ευελιξία όχι μόνο επιτρέπει περισσότερους τύπους προϊόντων, αλλά και επιτρέπει στους καταναλωτές να παραγγείλουν εξατομικευμένα προϊόντα που παράγονται αυτόματα.

Μέχρι τη δεκαετία του ’80 η βιομηχανία δε συνήθιζε να χρησιμοποιεί τα ηλεκτρονικά, με τους αυτοματισμούς με ρελέ (ηλεκτρονόμοι) να καταλαμβάνουν το 90% των αυτοματισμών. Στις αρχές αυτής της δεκαετίας, οι εταιρίες παραγωγής ηλεκτρολογικού υλικού εμφάνισαν στους μηχανικούς των βιομηχανιών ένα νέο προϊόν αυτοματισμού, το PLC (Programmable Logic Controller – Προγραμματιζόμενος Λογικός Ελεγκτής). Το PLC, το οποίο προοριζόταν για την αντικατάσταση του κλασσικού ηλεκτρολογικού πίνακα αυτοματισμού με τα ρελέ, είναι ένας κατάλληλα προσαρμοσμένος μικροϋπολογιστής που έφερε μεγάλες αλλαγές στον τρόπο λειτουργίας της βιομηχανίας. Η ομαλή προσαρμογή του τρόπου χρήσης του PLC στον τρόπο λειτουργίας της βιομηχανίας από τις εταιρείες παραγωγής PLC επέτρεψε την εδραίωση του PLC στον τομέα των βιομηχανικών αυτοματισμών. Παράλληλα, ο κλασσικός αυτοματισμός με ρελέ έχει σχεδόν εκλείψει στις μέρες μας.

Τα PLC έχουν εξελιχθεί πολύ σε σχέση με τα αρχικά μοντέλα που κυκλοφόρησαν τη δεκαετία του ’80, παρέχοντας πολλά πλεονεκτήματα σε σχέση με τον κλασσικό αυτοματισμό τόσο στους τελικούς χρήστες, όσο και στις εταιρείες που παράγουν είδη αυτοματισμού. Για παράδειγμα, σε μια εταιρεία παραγωγής ηλεκτρολογικού εξοπλισμού κοστίζει πολύ λιγότερο ένα PLC, που αποτελεί μια μοναδική συσκευή, σε σχέση με τον κλασσικό αυτοματισμό με ρελέ, όπου απαιτούνταν η παραγωγή ενός μεγάλου αριθμού βοηθητικών ρελέ, απαριθμητών και χρονικών. [1]

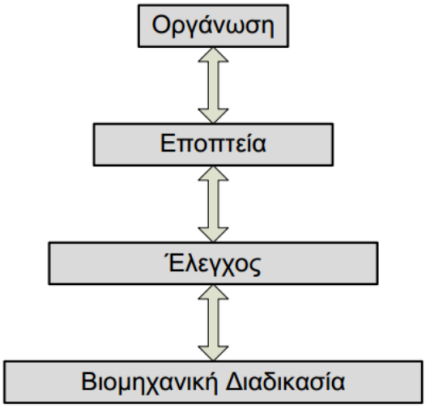
1.2 Ολοκληρωμένο Βιομηχανικό Πληροφοριακό Σύστημα

Η Ολοκληρωμένη Παραγωγή με Υπολογιστές (Computer Integrated Manufacturing - CIM), αποτελεί την σύγχρονη ιεραρχική δομή ελέγχου των μονάδων παραγωγής.

Με βάση την δομή CIM, οι διεργασίες κατανέμονται στα αντίστοιχα υπολογιστικά συστήματα, τα οποία φέρουν συγκεκριμένους βαθμούς ευθύνης, με τις αποφάσεις των υψηλότερων βαθμίδων να μεταδίδονται προς εκτέλεση στα υπολογιστικά συστήματα των κατώτερων βαθμίδων.

Μέσω της τεχνολογίας CIM, έχουν επέλθει μεγάλες αλλαγές στη συλλογή πληροφοριών αλλά και στην επιτήρηση και τον προγραμματισμό των γραμμών παραγωγής, επιφέροντας έτσι μια τεχνολογική επανάσταση στην παραγωγική διαδικασία.

Η ιεραρχική δομή CIM αποτελείται από τα επίπεδα οργάνωσης, εποπτείας και ελέγχου.



Εικόνα 1: Ιεραρχική Δομή CIM

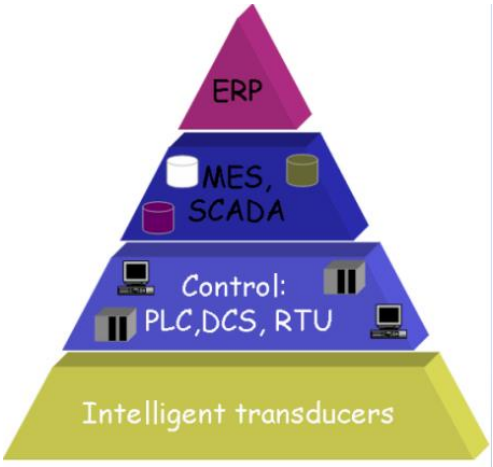
Στο επίπεδο οργάνωσης παράγονται αποφάσεις που σχετίζονται με την παραγωγική διαδικασία.

Στο επίπεδο εποπτείας γίνονται δεκτές οι αποφάσεις που έχουν ληφθεί στο επίπεδο οργάνωσης και δρομολογείται η στρατηγική ελέγχου, η οποία βασίζεται στις ποιοτικές απαιτήσεις της παραγωγής.

Στο επίπεδο ελέγχου υλοποιούνται οι προηγούμενες αποφάσεις και εξασφαλίζεται η λειτουργική ευστάθεια των διεργασιών.

Ανεβαίνοντας από τη βάση προς τη κορυφή της ιεραρχικής δομής CIM όχι μόνο αυξάνεται η σοβαρότητα των λαμβανόμενων αποφάσεων, αλλά και μειώνεται ο ρυθμός λήψης αυτών, ενώ ο όγκος της πληροφορίας προς επεξεργασία αυξάνεται.

Τα τέσσερα επίπεδα της δομής CIM στα σύγχρονα βιομηχανικά συστήματα υλοποιούνται μέσω διαφορετικών συσκευών ή λογισμικών πακέτων. Τα τέσσερα αυτά επίπεδα είναι τα εξής:



Εικόνα 2: Ιεραρχική Δομή CIM και αντίστοιχες συσκευές

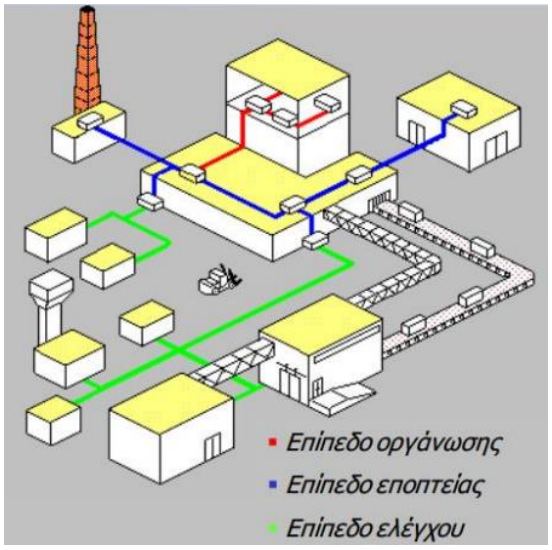
Στο πρώτο επίπεδο, βρίσκονται οι συσκευές πεδίου, δηλαδή οι αισθητήρες και οι ενεργοποιητές. Αυτές είναι συνδεδεμένες ενσύρματα απευθείας στη μονάδα ελέγχου, σε ψηφιακές αλλά και αναλογικές μονάδες εισόδου-εξόδου για τον έλεγχο συνεχών μεταβλητών. Στα βιομηχανικά συστήματα των σύγχρονων γραμμών παραγωγής αυξάνεται συνεχώς ο αριθμός αυτών των συσκευών, καθώς σε συνδυασμό με τα δίκτυα επικοινωνίας παρέχουν κρίσιμα δεδομένα και πληροφορίες, όπως δεδομένα για πρόληψη και διάγνωση σφαλμάτων.

Στο δεύτερο επίπεδο, το επίπεδο ελέγχου, περιλαμβάνονται όλοι οι ελεγκτές πεδίου. Ο κυριότερος και πιο σημαντικός εξ' αυτών είναι ο Προγραμματιζόμενος Λογικός Ελεγκτής (PLC), η χρήση του οποίου έχει ως στόχο τον έλεγχο όλων των συσκευών πεδίου του πρώτου επιπέδου. Εκτός των PLCs, σημαντικό ρόλο διαδραματίζουν και τα κατανεμημένα συστήματα ελέγχου (DCS). Τόσο στα PLCs όσο και στα DCS συνδέονται οι συσκευές πεδίου, με αποτέλεσμα αυτές να λειτουργούν ως μονάδες εισόδων-εξόδων αλλά και ως ελεγκτές πεδίου για την εφαρμογή της στρατηγικής ελέγχου.

Το τρίτο επίπεδο, το επίπεδο εποπτείας, είναι υπεύθυνο για την εξ' ολοκλήρου εποπτεία της παραγωγικής διαδικασίας. Αποτελεί τη διεπαφή μεταξύ της μονάδας παραγωγής και του επιχειρηματικού πλάνου. Το λογισμικό πακέτο που υλοποιεί το επίπεδο εποπτείας είναι το Σύστημα Εποπτικού Ελέγχου και Συλλογής Πληροφοριών, γνωστό ως SCADA (Supervisory Control and Data Acquisition).

Το τέταρτο επίπεδο αποτελεί το επιχειρηματικό σύστημα, όπως ένα ERP (Enterprise Resource Planning). Το σύστημα ERP, το οποίο αποτελεί το πληροφοριακό σύστημα διαχείρισης, ευθύνεται για την εκτέλεση των διεργασιών που στοχεύουν στην επίτευξη των επιχειρηματικών στόχων.

Βασιζόμενη στην ιεραρχική δομή CIM, μια γραμμή παραγωγής απαρτίζεται από τρία επίπεδα, αυτά της οργάνωσης, της εποπτείας και του ελέγχου. [1]



Εικόνα 3: Ολοκληρωμένο Βιομηχανικό Δίκτυο Επικοινωνίας

2 Προγραμματιζόμενος Λογικός Ελεγκτής (PLC)

2.1 Ορισμός του PLC

Το PLC ή Προγραμματιζόμενος Λογικός Ελεγκτής είναι ένας εξειδικευμένος μικροϋπολογιστής που χρησιμοποιείται για τον έλεγχο βιομηχανικών διεργασιών και την αυτοματοποίηση μηχανημάτων. Τα PLC ποικίλλουν σε μέγεθος και μορφή. Ορισμένα είναι αρκετά μικρά ώστε να χωράνε στην τσέπη μας, ενώ άλλα είναι αρκετά μεγάλα και απαιτούν τα δικά τους ράφια (racks) για να τοποθετηθούν. Τα PLC έχουν σχεδιαστεί για να είναι ανθεκτικά απέναντι σε υγρασία, θερμότητα, υψηλή τάση και ηλεκτρικό θόρυβο, αξιόπιστα και εύκολα προγραμματιζόμενα, καθιστώντας τα ιδανικά για χρήση στη βιομηχανία, στη ναυτιλία, σε κτιριακές εγκαταστάσεις, στον τομέα της παραγωγής ενέργειας, στον έλεγχο κυκλοφορίας οχημάτων και σε πλήθος άλλων τομέων εφαρμογών.

Τα PLCs λαμβάνουν σήματα από αισθητήρες και άλλες συσκευές εισόδου, επεξεργάζονται αυτά τα δεδομένα χρησιμοποιώντας ένα πρόγραμμα που είναι αποθηκευμένο στη προγραμματιζόμενη μνήμη τους και στη συνέχεια ενεργοποιούν συσκευές εξόδου, όπως κινητήρες, βαλβίδες και φώτα για τον έλεγχο της εκάστοτε βιομηχανικής διεργασίας. Τα προγράμματα που εκτελούνται στα PLCs μπορούν εύκολα να τροποποιηθούν ή να ενημερωθούν, επιτρέποντας στο σύστημα ελέγχου να προσαρμόζεται στις μεταβαλλόμενες απαιτήσεις της διεργασίας.

Τα PLCs περιλαμβάνουν συνήθως μια σειρά επιλογών εισόδου και εξόδου, καθώς και δυνατότητες επικοινωνίας για τη σύνδεση με άλλα συστήματα. Αυτό επιτρέπει την ενσωμάτωση των PLC με άλλα συστήματα αυτοματισμού, όπως συστήματα παρακολούθησης, αλλά και τη σύνδεση με άλλες τεχνολογίες, όπως αισθητήρες, κινητήρες και ενεργοποιητές.

Το PLC έχει αντικαταστήσει τους ηλεκτρονόμους, τα χρονικά και τους απαριθμητές στους πίνακες κλασικού αυτοματισμού, με το ίδιο να ενσωματώνει μέσω της προγραμματιζόμενης μνήμης του εντολές και λειτουργίες όπως ON/OFF έλεγχο, χρονισμό, καταμέτρηση, αριθμητική, εποπτεία και διαχείριση δεδομένων. [5] [6]

Μερικοί από τους μεγαλύτερους κατασκευαστές PLC παγκοσμίως είναι οι εξής:

- Siemens
- Allen Bradley
- ABB
- Schneider Electric
- Omron
- Mitsubishi Electric

2.2 Στάδια Υλοποίησης Αυτοματισμού

Τα στάδια εργασίας που ακολουθούνται για την υλοποίηση ενός αυτοματισμού στην προγραμματιζόμενη λογική είναι τα εξής:

1. Αρχικά γίνεται η τεχνική περιγραφή του αυτοματισμού, βάσει των απαιτήσεων του πελάτη.
2. Εν συνεχεία, επιλέγεται ο τύπος και η μονάδα PLC που θα χρησιμοποιηθεί με βάση τεχνικά και οικονομικά κριτήρια.
3. Σε επόμενη φάση, γίνεται εκπόνηση του ηλεκτρολογικού σχεδίου με την κατασκευή του πίνακα για την τοποθέτηση του απαραίτητου εξοπλισμού.
4. Κατόπιν, γίνεται ο προγραμματισμός του PLC με βάση συγκεκριμένες προδιαγραφές που τέθηκαν από τον πελάτη.
5. Αφού ολοκληρωθεί ο προγραμματισμός του PLC, γίνεται η εγκατάσταση του συνολικού εξοπλισμού και το πρόγραμμα μεταφέρεται στο PLC, ώστε να ελεγχθεί και να διασφαλιστεί η ορθή λειτουργία του αυτοματισμού σε πραγματικές συνθήκες.
6. Τέλος, εφόσον ολοκληρωθούν επιτυχώς όλοι οι απαραίτητοι έλεγχοι, δημιουργείται ο φάκελος του έργου, στον οποίο περιλαμβάνονται το ηλεκτρολογικό σχέδιο του πίνακα ελέγχου καθώς και το πρόγραμμα του PLC εκτυπωμένο με τα απαραίτητα επεξηγηματικά σχόλια.

2.3 Τύποι Προγραμματιζόμενων Λογικών Ελεγκτών

2.3.1 Compact PLC

Compact είναι τα μικρά PLC, που ενσωματώνουν όλα τα επιμέρους στοιχεία τους, δηλαδή το τροφοδοτικό, τη CPU, τις μονάδες I/O (Input/Output) και τις θύρες επικοινωνίας σε μια συσκευή. Διατίθενται δηλαδή σε μια "συσκευασία" χωρίς ξεχωριστές, αφαιρούμενες μονάδες. Το κυριότερο πλεονέκτημα αυτού του τύπου PLC είναι το χαμηλό κόστος αγοράς. Ο αριθμός των διαθέσιμων εισόδων και εξόδων ποικίλλει, με τον αριθμό τους να φτάνει το πολύ τις 48, γεγονός που σε συνδυασμό με το μικρό αριθμό απαριθμητών και χρονικών καθιστά αυτά τα PLC περιορισμένων δυνατοτήτων. Ορισμένα νεότερα μόνο μοντέλα επιτρέπουν την επέκταση του αριθμού των μονάδων I/O. Γι' αυτό το λόγο χρησιμοποιούνται μόνο σε εφαρμογές χαμηλής πολυπλοκότητας. Ένα ακόμα μειονέκτημα αποτελεί το γεγονός ότι σε περίπτωση που κάποιο μέρος της μονάδας εμφανίσει βλάβη, τότε πρέπει να αντικατασταθεί ολόκληρη η μονάδα. [7]

Εικόνα 4: Allen Bradley Compact PLC

2.3.2 Modular PLC

Modular είναι τα PLC, όπου η κάθε επιμέρους αφαιρούμενη μονάδα (module) είναι ξεχωριστή και όλες μαζί στηρίζονται σε πλαίσιο τοποθέτησης μονάδων (rack) ή σε ράγες (DIN rail). Κάθε modular PLC αποτελείται από μια διεπαφή χειριστή για προγραμματισμό και παρακολούθηση, τροφοδοτικό, κεντρική μονάδα επεξεργασίας (CPU), η οποία μπορεί να οδηγήσει έναν αριθμό εισόδων και εξόδων, αλλά και μονάδες I/O, με καθεμία από αυτές να μπορεί να έχει 4,8,16,32 εισόδους ή εξόδους. Όταν μια μονάδα τοποθετείται στο πλαίσιο τοποθέτησης, κάνει μια ηλεκτρική σύνδεση με μια σειρά επαφών που ονο-

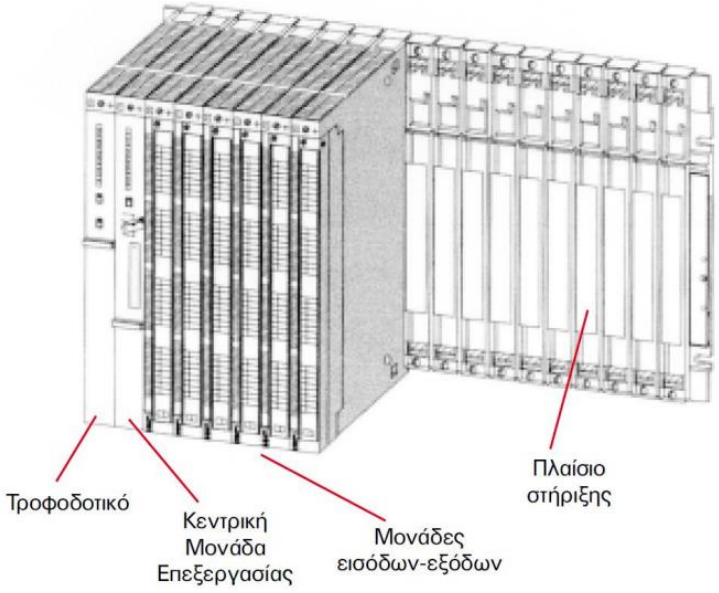
μάζονται backplane και βρίσκονται στο πίσω μέρος του πλαισίου τοποθέτησης. Ο επεξεργαστής του PLC συνδέεται με το backplane, επιτρέποντας του να επικοινωνεί με όλες τις μονάδες του πλαισίου τοποθέτησης.

Αυτά τα PLC είναι τα πλέον ευέλικτα, καθώς ο αυξημένος αριθμός μονάδων αυξάνει τη διαθέσιμη υπολογιστική ισχύ, κάτι που με τη σειρά του δίνει τη δυνατότητα για αξιοποίηση αυτών των PLCs για εφαρμογές αυξημένης πολυπλοκότητας. Ωστόσο, οι αυξημένες δυνατότητες των modular PLCs καθιστούν το κόστος αυτών πολύ υψηλό. [7]

Εικόνα 5: Allen Bradley Modular PLC

2.4 Δομή Προγραμματιζόμενου Λογικού Ελεγκτή

Ανεξάρτητα από τον κατασκευαστή και τον τύπο του PLC, όλα αποτελούνται από συγκεκριμένα στοιχεία που είναι απαραίτητα για τη λειτουργία του. Αυτά είναι το πλαίσιο τοποθέτησης μονάδων (rack), η μονάδα τροφοδοσίας, η κεντρική μονάδα επεξεργασίας (CPU), οι μονάδες I/O (εισόδων/εξόδων) και η συσκευή προγραμματισμού.



Εικόνα 6: Δομή PLC

2.4.1 Πλαίσιο Τοποθέτησης Μονάδων

Η μονάδα τροφοδοσίας, η μονάδα επεξεργασίας και οι κάρτες εισόδων και εξόδων, δηλαδή οι μονάδες που συνθέτουν το σύστημα αυτοματισμού τοποθετούνται στο πλαίσιο στήριξης. Εφόσον οι θέσεις του πλαισίου δεν επαρκούν, χρησιμοποιείται πλαίσιο επέκτασης για προσθήκη περισσότερων μονάδων I/O. Κάθε πλαίσιο επέκτασης συνδέεται με το κεντρικό πλαίσιο ή με άλλα πλαίσια επέκτασης μέσω μια ειδικής μονάδας διασύνδεσης αλλά και μέσω καλωδίου. Στο πλαίσιο τοποθέτησης υπάρχει ένα ενσωματωμένο σύστημα αγωγών, οι οποίοι επιτρέπουν την επικοινωνία των μονάδων του PLC με την κεντρική μονάδα επεξεργασίας (CPU).

2.4.2 Μονάδα Τροφοδοσίας

Η μονάδα τροφοδοσίας είναι απαραίτητη για τη μετατροπή της τάσης εναλλασσόμενου ρεύματος του δικτύου σε χαμηλή DC τάση, η οποία είναι συνήθως DC 5,9 και 24V. Αυτή η τάση είναι απαραίτητη για τη λειτουργία του επεξεργαστή και των καρτών εισόδου και εξόδου. Η μονάδα τροφοδοσίας δεν παρέχει ρεύμα στις συσκευές πεδίου. Επίσης, σε περίπτωση που το πρόγραμμα του PLC είναι αποθηκευμένο στην μνήμη RAM, η μονάδα τροφοδοσίας σε συνδυασμό με μια ενσωματωμένη μπαταρία βοηθούν στη διατήρηση του περιεχόμενου της μνήμης RAM σε μια ενδεχόμενη διακοπή ρεύματος.

Εικόνα 7: Μονάδα Τροφοδοσίας PLC

2.4.3 Κεντρική Μονάδα Επεξεργασίας

Η κεντρική μονάδα επεξεργασίας αποτελεί τον εγκέφαλο του PLC, καθώς είναι υπεύθυνη για τον έλεγχο και την εκτέλεση όλων των λειτουργιών του PLC. Η CPU είναι ένας μικροϋπολογιστής που περιλαμβάνει τον μικροεπεξεργαστή και τη μνήμη. Ο μικροεπεξεργαστής εκτελεί τις λειτουργίες του προγράμματος και επεξεργάζεται τα δεδομένα, προσπελαύνοντας το πρόγραμμα που είναι γραμμένο στη μνήμη συνεχώς.

Η CPU περιέχει παρόμοιου τύπου μικροεπεξεργαστή με αυτούς των προσωπικών υπολογιστών. Η διαφορά είναι ότι το πρόγραμμα που χρησιμοποιείται με τον μικροεπεξεργαστή έχει σχεδιαστεί για να υλοποιήσει τον βιομηχανικό έλεγχο και όχι για να εκτελέσει υπολογισμούς γενικής χρήσης. Η CPU τρέχει το λειτουργικό σύστημα, διαχειρίζεται τη μνήμη, παρακολουθεί τις εισόδους, αξιολογεί τη λογική του χρήστη και ενεργοποιεί τις κατάλληλες εξόδους.

Το κόστος του επεξεργαστή είναι άμεσα συνυφασμένο με την ταχύτητα του, η οποία εκφράζεται από τον ρυθμό σάρωσης των δεδομένων της μνήμης. Η CPU ενός συστήματος PLC μπορεί να περιέχει περισσότερους από έναν επεξεργαστές. Ένα πλεονέκτημα της χρήσης πολυεπεξεργασίας είναι η βελτίωση της συνολικής ταχύτητας λειτουργίας. Κάθε επεξεργαστής διαθέτει τη δική του μνήμη και τα δικά του προγράμματα, τα οποία λειτουργούν ταυτόχρονα και ανεξάρτητα. Σε τέτοιες διαμορφώσεις η σάρωση κάθε επεξεργαστή είναι παράλληλη και ανεξάρτητη, μειώνοντας έτσι το συνολικό χρόνο απόκρισης.

Η επιλογή της CPU γίνεται με βάση τον απαιτούμενο αριθμό εισόδων και εξόδων του συστήματος, το μέγεθος και τις απαιτήσεις του προγράμματος καθώς και τις ανάγκες δικτύωσης και επικοινωνίας με άλλα συστήματα.

Με τη μονάδα επεξεργασίας συσχετίζεται ένας αριθμός ενδεικτικών λυχνιών LED που αξιοποιείται για την παροχή διαγνωστικών πληροφοριών του συστήματος στον χειριστή. Επίσης, μπορεί να παρέχεται ένας διακόπτης με πλήκτρα (keyswitch) που επιτρέπει την επιλογή ενός από τους ακόλουθους τρεις τρόπους λειτουργίας: RUN, PROG και REM.

Θέση RUN

- Τοποθετεί τον επεξεργαστή στη λειτουργία Run (Εκτέλεση).
- Εκτελεί το πρόγραμμα ladder και ενεργοποιεί τις συσκευές εξόδου.
- Εμποδίζει την εκτέλεση online επεξεργασίας του προγράμματος σε αυτή τη θέση.
- Εμποδίζει τη χρήση συσκευής διεπαφής προγραμματιστή/χειριστή για αλλαγή της λειτουργίας του επεξεργαστή.

Θέση PROG

- Τοποθετεί τον επεξεργαστή στη λειτουργία Program (προγράμματος).
- Αποτρέπει τον επεξεργαστή από τη σάρωση ή την εκτέλεση του προγράμματος ladder και οι έξοδοι του ελεγκτή απενεργοποιούνται.

- Επιτρέπει την εισαγωγή και επεξεργασία προγράμματος.
- Εμποδίζει τη χρήση συσκευής διεπαφής προγραμματιστή/χειριστή για αλλαγή της λειτουργίας του επεξεργαστή.

Θέση REM

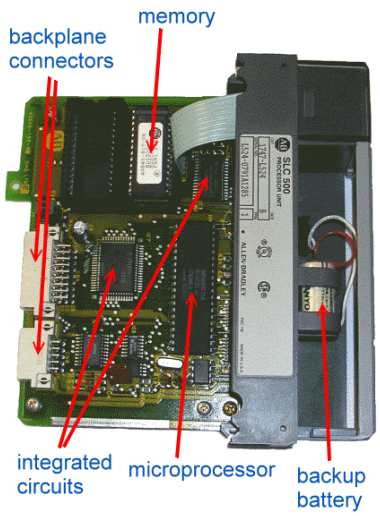
- Τοποθετεί τον επεξεργαστή σε Remote (απομακρυσμένη) λειτουργία: είτε στη λειτουργία REMote Run (Απομακρυσμένη εκτέλεση), REMote Program (Απομακρυσμένο πρόγραμμα) ή REMote Test (Απομακρυσμένη δοκιμή).
- Επιτρέπει αλλαγή λειτουργίας του επεξεργαστή από συσκευή διεπαφής προγραμματιστή/χειριστή.
- Επιτρέπει την online επεξεργασία προγράμματος. [7]

Η μνήμη της CPU διακρίνεται σε μνήμη RAM, ROM και EEPROM.

Η μνήμη RAM είναι αυτή στην οποία είναι εφικτό να γράφουμε και να σβήνουμε, ωστόσο έχει το μειονέκτημα ότι σβήνει όταν διακοπεί η τροφοδοσία της. Οι διαφορετικές πληροφορίες αποθηκεύονται σε ξεχωριστές περιοχές εργασίας της μνήμης RAM.

Η μνήμη ROM είναι αυτή στην οποία ο εκάστοτε κατασκευαστής αποθηκεύει το λειτουργικό σύστημα του PLC, δηλαδή το πρόγραμμα για τις λειτουργίες που απαιτούνται για να δουλέψει το PLC.

Η μνήμη EEPROM αποτελεί εναλλακτική της μνήμης RAM, καθώς η RAM σε περίπτωση σε περίπτωση που δεν ενσωματώνει μπαταρία, χάνει τα δεδομένα της σε όταν διακόπτεται η τροφοδοσία της. Αντιθέτως, η μνήμη EEPROM, που προγραμματίζεται και σβήνει ηλεκτρικά, διατηρεί τα δεδομένα της. [7]



Εικόνα 8: Επεξεργαστής PLC

2.4.4 Μονάδες Εισόδων / Εξόδων (I/O)

Οι μονάδες εισόδων και εξόδων αποτελούν τις μονάδες επικοινωνίας της κεντρικής μονάδας με τις υπόλοιπες συσκευές και όργανα της αυτοματοποιημένης γραμμής παραγωγής. Σκοπός του συστήματος I/O είναι η αποκωδικοποίηση των σημάτων που λαμβάνονται και αποστέλλονται στις εξωτερικές συσκευές.

Τα καλώδια που έρχονται από τις συσκευές εισόδου, όπως είναι οι αισθητήρες, οι διακόπτες και τα μπουτόν συνδέονται στις τερματικές μονάδες εισόδου του ελεγκτή. Τα καλώδια που κατευθύνονται στις συσκευές εξόδου, όπως τα ρελέ ισχύος, οι ηλεκτρομαγνητικές βαλβίδες και οι ενδεικτικές λυχνίες συνδέονται στις τερματικές μονάδες εξόδου.

Η μονάδα εισόδου αποτελεί διεπαφή σύνδεσης των συσκευών εισόδου πεδίου με το PLC. Οι μονάδες εισόδου λαμβάνουν σήματα από τα μηχανήματα και τα μετατρέπουν σε σήματα που μπορούν να χρησιμοποιηθούν από το PLC. Τα PLC χρησιμοποιούν έναν οπτικό απομονωτή, ο οποίος μέσω φωτός απομονώνει ηλεκτρικά τα εσωτερικά εξαρτήματα από τους ακροδέκτες I/O. [5]

Η μονάδα εξόδου αποτελεί τη διεπαφή σύνδεσης των συσκευών εξόδου πεδίου με το PLC. Οι μονάδες εξόδου μετατρέπουν τα σήματα του ελεγκτή σε σήματα που μπορούν να χρησιμοποιηθούν για τον έλεγχο της συσκευής.

Σε όλες τις συσκευές εισόδου και εξόδου αποδίδεται μία διεύθυνση για να μπορεί ο επεξεργαστής να αναγνωρίζει που είναι τοποθετημένη η κάθε συσκευή, ώστε να μπορεί να την ελέγχει.

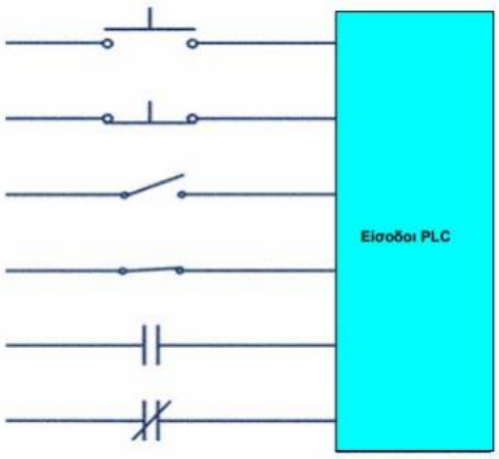
Οι μονάδες I/O χωρίζονται σε δύο κατηγορίες, τις ψηφιακές (discrete) και τις αναλογικές (analog).

Εικόνα 9: PLC I/O

2.4.4.1 Μονάδες Ψηφιακών Εισόδων

Οι μονάδες ψηφιακών ή διακριτών εισόδων είναι ηλεκτρονικές συσκευές που χρησιμοποιούνται για τη λήψη ψηφιακών σημάτων εισόδου από εξωτερικές πηγές, όπως διακόπτες, αισθητήρες ή άλλες συσκευές. Αυτά τα σήματα εισόδου είναι συνήθως δυαδικής (binary) μορφής, που σημαίνει ότι είναι σε κατάσταση "on" ή "off", "high" ή "low" ή αντιπροσωπεύουν ένα λογικό "1" ή "0".

Οι μονάδες ψηφιακών εισόδων χρησιμοποιούνται σε βιομηχανικά συστήματα ελέγχου και αυτοματισμού, όπου συνδέονται με αισθητήρες και διακόπτες για την παρακολούθηση της κατάστασης του εξοπλισμού ή των διαδικασιών και μεταφέρουν την εικόνα της εγκατάστασης στη CPU. Η μονάδα ψηφιακής εισόδου λαμβάνει το ψηφιακό σήμα εισόδου από την εξωτερική πηγή και το μετατρέπει σε μορφή που μπορεί να επεξεργαστεί το PLC. Η μονάδα μπορεί επίσης να παρέχει κλιμάκωση ή φιλτράρισμα του σήματος για να διασφαλίσει ότι το σήμα εισόδου είναι σταθερό και αξιόπιστο. [8] [9]

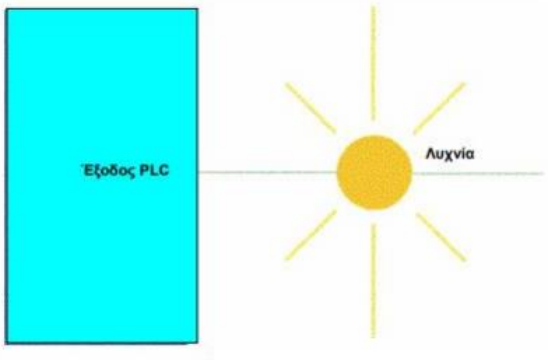


Εικόνα 10: Ψηφιακή Είσοδος [10]

2.4.4.2 Μονάδες Ψηφιακών Εξόδων

Οι μονάδες ψηφιακών ή διακριτών εξόδων είναι ηλεκτρονικές συσκευές που χρησιμοποιούνται για τον έλεγχο ψηφιακών εξόδων, όπως ρελέ ισχύος, ενδεικτικές λυχνίες ή άλλες συσκευές που χρησιμοποιούνται για ενεργοποίηση ή απενεργοποίηση. Αυτά τα σήματα εξόδου, όπως και τα ψηφιακά σήματα εισόδου, είναι συνήθως δυαδικής μορφής, που σημαίνει ότι είναι σε κατάσταση "on" ή "off", "high" ή "low" ή αντιπροσωπεύουν ένα λογικό "1" ή "0".

Ο ρόλος των μονάδων ψηφιακών ή διακριτών εξόδων είναι να μετατρέπουν τις αποφάσεις που πήρε η CPU σε εντολές προς την εγκατάσταση. Η μονάδα διακριτών εξόδων λαμβάνει σήματα από ένα PLC και τα μετατρέπει σε μορφή που μπορεί να χρησιμοποιηθεί για τον έλεγχο των ψηφιακών εξόδων. Η μονάδα μπορεί επίσης να παρέχει κλιμάκωση ή ενίσχυση σήματος για να διασφαλίσει ότι τα σήματα εξόδου είναι επαρκή για την οδήγηση (drive) των συνδεδεμένων συσκευών. [8] [9]



Εικόνα 11: Ψηφιακή Έξοδος [10]

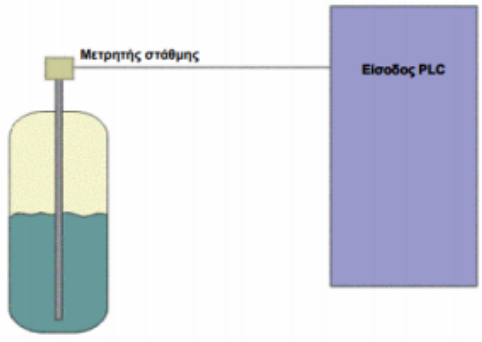
2.4.4.3 Μονάδες Αναλογικών Εισόδων

Τα αναλογικά σήματα εισόδου/εξόδου αναφέρονται σε σήματα που έχουν εύρος τιμών που δεν εκφράζεται από 0 ή 1. Για παράδειγμα, ένα αναλογικό σήμα μπορεί να παράγει τάση εύρους 0 - 10 VDC. Το σήμα θα μπορούσε να είναι 2 V, 3 V, 8,5 κλπ. Στα PLC, οι μονάδες αναλογικών εισόδων συνήθως μετρούν τις αναλογικές εισόδους σε μία από τις ακόλουθες μορφές: -10 έως 10 VDC, 0 - 10 VDC, 1 έως 5 VDC για τις τάσεις και 0 έως 1 mA ή 4 - 20 mA για τα ρεύματα.

Οι μονάδες αναλογικής εισόδου είναι ηλεκτρονικές συσκευές που χρησιμοποιούνται για τη λήψη αναλογικών σημάτων εισόδου από αισθητήρες, μετατροπείς ή άλλες συσκευές που παράγουν συνεχή σήματα που κυμαίνονται σε ένα εύρος τιμών. Αυτά τα σήματα εισόδου μπορεί να αντιπροσωπεύουν φυσικά μεγέθη όπως η θερμοκρασία, η πίεση ή ο ρυθμός ροής, επομένως η μονάδα αναλογικής εισόδου μετρά είτε τάση είτε ρεύμα από τη συσκευή εισόδου.

Οι μονάδες αναλογικών εισόδων χρησιμοποιούνται συνήθως σε βιομηχανικά συστήματα ελέγχου και αυτοματισμού, όπου συνδέονται με αισθητήρες για την παρακολούθηση της κατάστασης του εξοπλισμού ή των διαδικασιών. Η μονάδα λαμβάνει το αναλογικό σήμα εισόδου από την εξωτερική πηγή και το μετατρέπει σε ψηφιακό σήμα που

μπορεί να επεξεργαστεί ένα PLC. Η μονάδα μπορεί επίσης να παρέχει επεξεργασία σήματος, όπως φιλτράρισμα ή ενίσχυση, για να διασφαλίσει ότι το σήμα εισόδου είναι ακριβές και σταθερό. [8] [9]

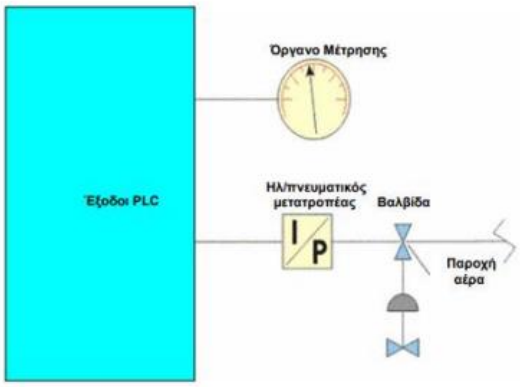


Εικόνα 12: Αναλογική Είσοδος [10]

2.4.4.4 Μονάδες Αναλογικών Εξόδων

Οι μονάδες αναλογικής εξόδου είναι ηλεκτρονικές συσκευές που χρησιμοποιούνται για την παραγωγή αναλογικών σημάτων εξόδου, τα οποία χρησιμοποιούνται για τον έλεγχο εξοπλισμού ή διεργασιών. Αυτά τα σήματα εξόδου είναι συνήθως συνεχή και κυμαίνονται σε ένα εύρος τιμών, μετρώντας μεταξύ άλλων τάση, ρεύμα ή συχνότητα.

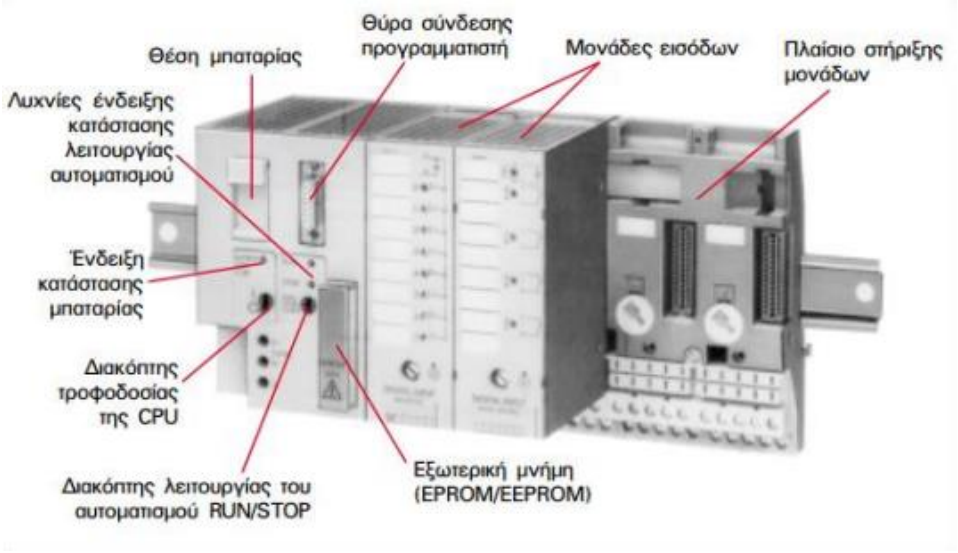
Οι αναλογικές μονάδες εξόδου συνδέονται με ενεργοποιητές ή άλλες συσκευές για τον έλεγχο εξοπλισμού ή διεργασιών. Η μονάδα λαμβάνει ψηφιακά σήματα από ένα PLC και τα μετατρέπει σε αναλογικό σήμα εξόδου που μπορεί να χρησιμοποιηθεί για τον έλεγχο των συνδεδεμένων συσκευών. Η μονάδα μπορεί επίσης να παρέχει κλιμάκωση ή ενίσχυση του σήματος για να διασφαλίσει ότι το σήμα εξόδου είναι ακριβές και σταθερό. [8] [9]



Εικόνα 13: Αναλογική Έξοδος [10]

2.4.5 Συσκευή Προγραμματισμού

Η συσκευή προγραμματισμού στις σημερινές βιομηχανικές εφαρμογές είναι συνήθως ένας φορητός ή επιτραπέζιος υπολογιστής, είναι δηλαδή ξεχωριστή από τη μονάδα αυτοματισμού. Αυτή διευκολύνει τη δημιουργία προγραμμάτων και την εισαγωγή αυτών στο PLC, καθώς και την παρακολούθηση του αυτοματισμού μέσω της οθόνης του. [11]

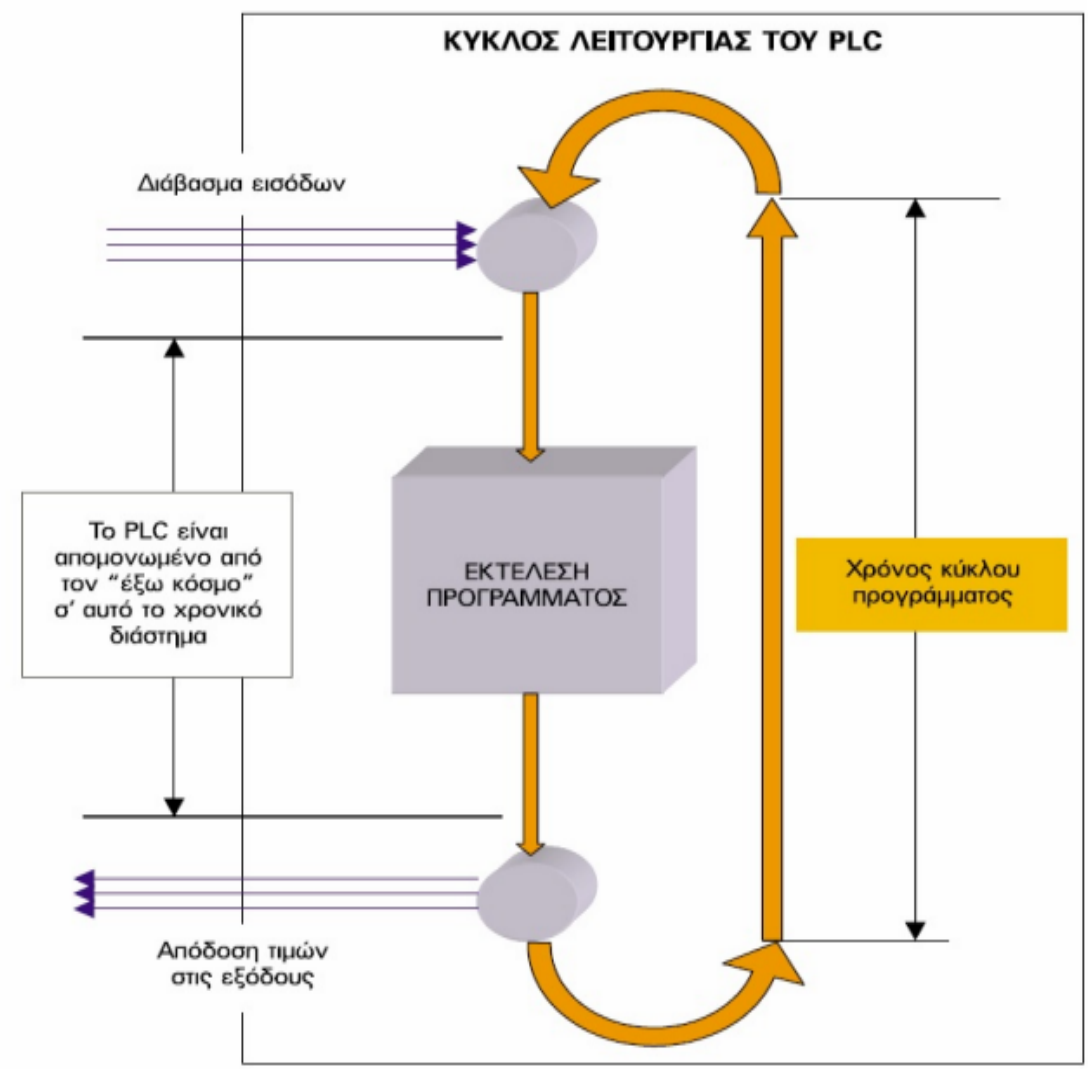


Εικόνα 14: Δομικά Στοιχεία PLC

2.5 Αρχή Λειτουργίας PLC

Το PLC εκτελεί ένα πρόγραμμα σε ακολουθιακή σειρά. Το πρόγραμμα του PLC εκτελείται ως μέρος μιας επαναλαμβανόμενης διαδικασίας που ονομάζεται κύκλος σάρωσης (scan cycle) ή κύκλος λειτουργίας του PLC. Κατά τη διάρκεια αυτού, το PLC διαβάζει και εκτελεί τις εντολές του προγράμματος που έχει φορτωθεί στη μνήμη του για να ελέγξει τη λειτουργία μιας μηχανής ή μιας διεργασίας. Όταν το PLC βρίσκεται σε κατάσταση λειτουργίας RUN, ακολουθεί τα ακόλουθα βήματα.

Αρχικά ο μικροεπεξεργαστής (CPU) κάνει ανάγνωση των εισόδων, ώστε να προσδιορίσει την κατάσταση στην οποία βρίσκονται και κάνει αρχικοποίηση των παραμέτρων. Εν συνεχεία, ο μικροεπεξεργαστής εκτελεί το πρόγραμμα με βάση τις τιμές των εισόδων που έχουν ληφθεί κατά τη σάρωση των εισόδων. Αφού εκτελεστεί το πρόγραμμα, γίνεται η ενημέρωση των εξόδων, οι οποίες είτε τροποποιούνται είτε παραμένουν ίδιες, ενώ η CPU διενεργεί λειτουργίες επικοινωνιών και διαγνωστικές λειτουργίες πριν από την έναρξη του επόμενου κύκλου σάρωσης.



Εικόνα 15: Κύκλος Λειτουργίας PLC

Αυτός είναι ένας πλήρης κύκλος λειτουργίας του PLC. Όσο αυτό βρίσκεται σε κατάσταση RUN, ο κύκλος επαναλαμβάνεται συνεχώς, με κάθε κύκλο να διαρκεί μερικά κλάσματα του δευτερολέπτου. Ο χρόνος κύκλου σάρωσης (scan time) αποτελεί μια σημαντική μετρική απόδοσης για ένα PLC. Ο χρόνος σάρωσης του PLC είναι συνάρτηση της ταχύτητας της CPU, του μεγέθους του προγράμματος, των τύπων των εντολών προς εκτέλεση αλλά και του αριθμού των πραγματικών true/false συνθηκών του προγράμματος. Ο ταχύτερος χρόνος κύκλου σάρωσης οδηγεί σε πιο ακριβή και ευέλικτο έλεγχο, ωστόσο απαιτεί πιο ισχυρό υλικό και λογισμικό για τη διατήρηση της απαιτούμενης απόδοσης. [5]

2.6 Γλώσσες Προγραμματισμού PLC

Υπάρχουν 5 γλώσσες που αποτελούν μέρος του προτύπου IEC 61131-3. Αυτό το πρότυπο IEC επιτρέπει ορισμένους βασικούς κανόνες που τυποποιούν τα PLC και τις γλώσσες τους. Οι 5 αυτές γλώσσες είναι:

1. Ladder Diagram (LD) – Λογικό Διάγραμμα Επαφών
2. Sequential Function Charts (SFC) – Διάγραμμα Ροής
3. Function Block Diagram (FBD) – Λογικό Διάγραμμα Λειτουργίας
4. Structured Text (ST) – Δομημένο Κείμενο
5. Instruction List (IL) – Λίστα Εντολών

2.6.1 Ladder Diagram (LD)

Το διάγραμμα σκάλας αρχικά διαμορφώθηκε από τη λογική ρελέ (relay-logic), η οποία χρησιμοποιούσε φυσικές συσκευές, όπως διακόπτες και μηχανικά ρελέ, για τον έλεγχο διεργασιών. Το Ladder Diagram χρησιμοποιεί εσωτερική λογική για να αντικαταστήσει όλα, εκτός από τις φυσικές συσκευές, όσα χρειάζονται ένα ηλεκτρικό σήμα για την ενεργοποίησή τους.

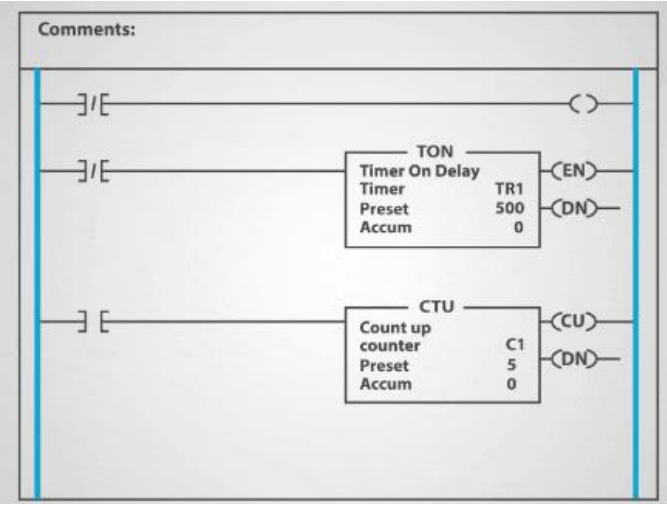
Το Ladder Diagram είναι κατασκευασμένο με τη μορφή οριζόντιων σκαλοπατιών (rung) με δύο κατακόρυφες ράγες (rails) που αντιπροσωπεύουν την ηλεκτρική σύνδεση στα σχήματα relay-logic.

Με χρήση της LD, μπορούν να προγραμματιστούν όλες οι απαραίτητες συνθήκες εισόδου για να επηρεάσουν τις συνθήκες εξόδου, είτε πρόκειται για λογικές είτε για φυσικές συνθήκες.

Τα κύρια πλεονεκτήματα της γλώσσας Ladder Diagram είναι τα εξής:

- Τα rungs επιτρέπουν την καλή οργάνωση και την εύκολη παρακολούθηση του προγράμματος.
- Επιτρέπει οργανωμένη συγγραφή σχολίων τα οποία είναι εύκολα ορατά.
- Υποστηρίζει την online επεξεργασία με μεγάλη επιτυχία.

Το κύριο μειονέκτημα είναι ότι υπάρχουν ορισμένες εντολές που δεν είναι διαθέσιμες, γεγονός που μπορεί να δυσχεράνει τον προγραμματισμό διεργασιών όπως ο έλεγχος κινήσεων ή η ομαδοποίηση. [12]



Εικόνα 16: Γλώσσα Ladder Logic / Ladder Diagram

2.6.2 Sequential Function Charts (SFC)

Στα Sequential Function Charts (διαδοχικά διαγράμματα λειτουργιών) χρησιμοποιούνται βήματα και μεταβάσεις για την επίτευξη του τελικού αποτελέσματος.

Τα βήματα (steps) αποτελούν σημαντικό στοιχείο του προγράμματός, καθώς "στεγάζουν" τις ενέργειες που συμβαίνουν όταν έχουν προγραμματιστεί να συμβούν. Αυτή η απόφαση μπορεί να βασίζεται στο χρονοδιάγραμμα, σε μια συγκεκριμένη φάση της διαδικασίας ή σε μια φυσική κατάσταση ενός εξοπλισμού.

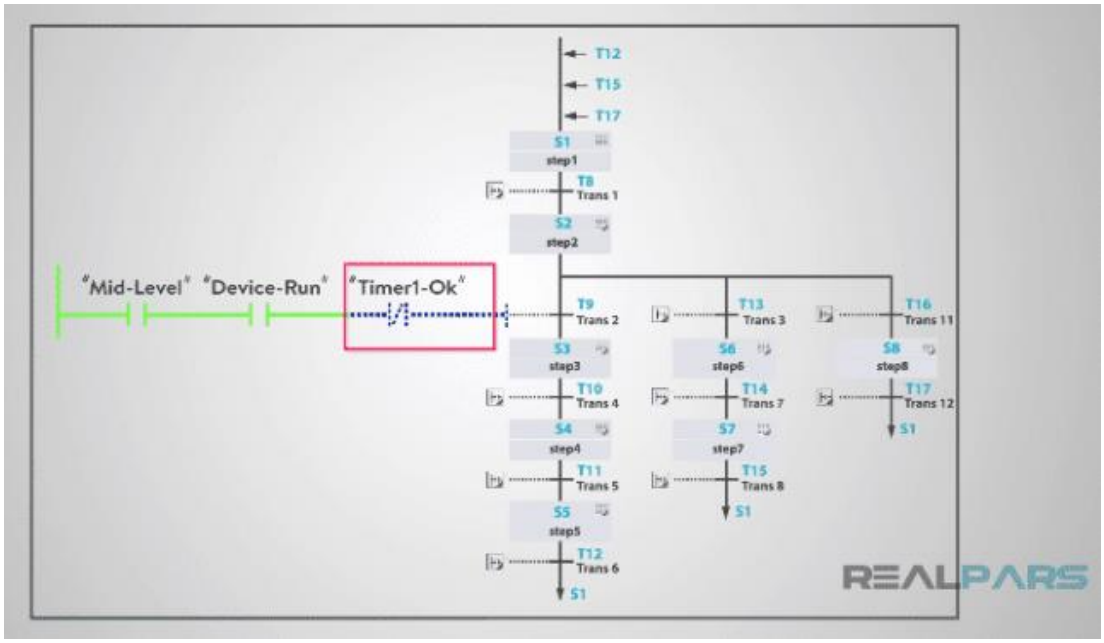
Οι μεταβάσεις (transitions) είναι οι οδηγίες που χρησιμοποιούνται για μετάβαση από το ένα βήμα στο άλλο, θέτοντας συνθήκες true ή false.

Σε αντίθεση με τα παραδοσιακά διαγράμματα ροής, τα Sequential Function Charts μπορούν να έχουν πολλαπλές διαδρομές. Συγκεκριμένα, μπορούν να χρησιμοποιηθούν διακλαδώσεις για την έναρξη πολλαπλών βημάτων ταυτόχρονα.

Μερικά από τα πλεονεκτήματα των διαγραμμάτων διαδοχικών λειτουργιών είναι τα εξής:

- Οι διαδικασίες μπορούν να χωριστούν σε κύρια (major) βήματα που μπορούν να καταστήσουν την αντιμετώπιση προβλημάτων ταχύτερη και ευκολότερη.
- Υπάρχει άμεση πρόσβαση στη λογική για να γίνει ορατό το σημείο πού παρουσίασε βλάβη ένα κομμάτι του εξοπλισμού.
- Μπορεί να είναι ταχύτερος ο σχεδιασμός και η συγγραφή της λογικής λόγω της δυνατότητας επαναλαμβανόμενης εκτέλεσης μεμονωμένων κομματιών της λογικής.

Όσον αφορά τα μειονεκτήματα της, αυτή η γλώσσα προγραμματισμού δεν ταιριάζει πάντα σε κάθε είδους εφαρμογή. [12]



Εικόνα 17: Γλώσσα Sequential Function Charts

2.6.3 Function Block Diagram (FBD)

Το Function Block Diagram, το οποίο είναι επίσης γλώσσα γραφικού τύπου, περιγράφει μια λειτουργία μεταξύ εισόδων και εξόδων που συνδέονται σε μπλοκ μέσω γραμμών σύνδεσης.

Τα Function Blocks αναπτύχθηκαν αρχικά για να δημιουργηθεί ένα σύστημα όπου θα μπορούσαν να ρυθμιστούν πολλές από τις κοινές, επαναλαμβανόμενες εργασίες, όπως μετρητές, χρονοδιακόπτες, βρόχοι PID κ.λπ.

Τα μπλοκ προγραμματίζονται σε sheets, τα οποία στη συνέχεια το PLC σαρώνει συνεχώς είτε με αριθμητική σειρά είτε μέσω συνδέσεων που προγραμματίζονται μεταξύ των μπλοκ.

Τα πλεονεκτήματα της χρήσης αυτής της γλώσσας είναι τα εξής:

- Το διάγραμμα μπλοκ λειτουργιών λειτουργεί καλά με τους ελεγκτές κίνησης.
- Η οπτική μέθοδος είναι ευκολότερη για ορισμένους χρήστες.
- Πολλές γραμμές προγραμματισμού μπορούν να τοποθετηθούν σε ένα ή περισσότερα function blocks.

Το μειονέκτημα της FBD είναι ότι ο κώδικας μπορεί να αποδιοργανωθεί, καθώς είναι εφικτή η τοποθέτηση των μπλοκ συναρτήσεων οπουδήποτε στο sheet, γεγονός που δημιουργεί δυσκολίες κατά τη διαδικασία αντιμετώπισης προβλημάτων (troubleshooting). [12]

Εικόνα 18: Γλώσσα Function Block Diagram

2.6.4 Structured Text (ST)

Η γλώσσα αυτή είναι μια γλώσσα βασισμένη σε κείμενο. Είναι μια γλώσσα υψηλού επιπέδου όπως η Basic, η Pascal και η C.

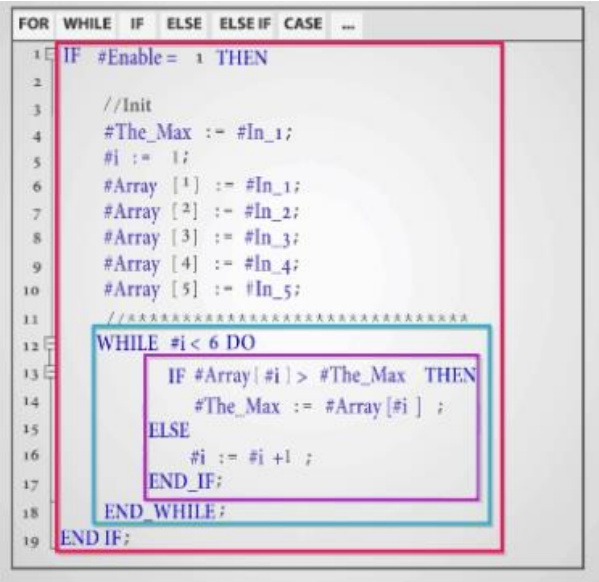
Αποτελεί ένα πολύ ισχυρό εργαλείο που μπορεί να εκτελέσει πολύπλοκες εργασίες χρησιμοποιώντας αλγόριθμους και μαθηματικές συναρτήσεις. Ο κώδικας χρησιμοποιεί εντολές που χωρίζονται με άνω και κάτω τελεία και στη συνέχεια είτε οι είσοδοι, είτε οι έξοδοι, είτε οι μεταβλητές μεταβάλλονται από αυτές τις εντολές. Χρησιμοποιεί συναρτήσεις όπως FOR, WHILE, IF, ELSE, ELSEIF και CASE.

Μερικά από τα πλεονεκτήματα της Structured Text είναι τα εξής:

- Είναι πολύ οργανωμένη και καλή στον υπολογισμό σύνθετων μαθηματικών υπολογισμών.
- Περιλαμβάνει εντολές που δεν είναι διαθέσιμες σε άλλες γλώσσες.

Τα μειονεκτήματα της είναι τα εξής:

- Η σύνταξη μπορεί να είναι δύσκολη.
- Είναι δύσκολη η αποσφαλμάτωση (debugging).
- Είναι δύσκολη η online επεξεργασία της. [12]



Εικόνα 19: Γλώσσα Structured Test

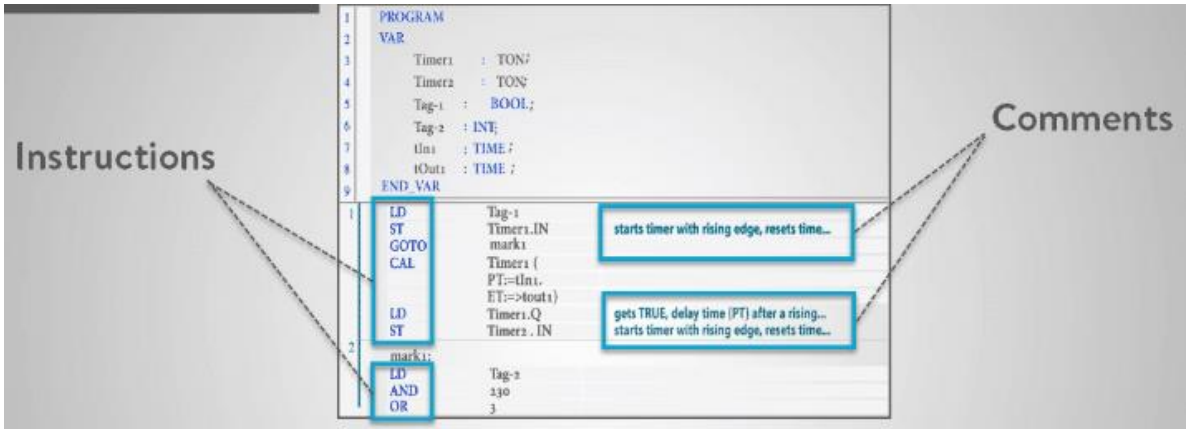
2.6.5 Instruction List (IL)

Η Instruction List είναι γλώσσα βασισμένη σε κείμενο και μοιάζει με τη γλώσσα Assembly. Σε αυτή χρησιμοποιούνται μνημονικοί κώδικες (mnemonic codes) όπως LD (Load), AND, OR, κ.λπ. Η Instruction List περιέχει εντολές, με κάθε εντολή να βρίσκεται σε μια νέα γραμμή με τυχόν σχόλια να μπαίνουν στο τέλος κάθε γραμμής.

Η γλώσσα Instruction List είναι πολύτιμη για εφαρμογές που χρειάζονται κώδικα που είναι συμπαγής και χρονικά κρίσιμος (time critical).

Έχει όμως ορισμένα σημαντικά μειονεκτήματα. Αυτά είναι τα εξής:

- Υπάρχουν λίγες δυνατότητες δόμησης με την εντολή "Goto" να είναι μία από αυτές.
- Μπορεί επίσης να υπάρχουν πολλά σφάλματα, των οποίων η αντιμετώπιση είναι πιο δύσκολη σε σύγκριση με άλλες γλώσσες. [12]



Εικόνα 20: Γλώσσα Instruction List

2.7 Διευθυνσιοδότηση και Ονοματολογία

Η διευθυνσιοδότηση στα PLC είναι η διαδικασία αντιστοίχισης των διευθύνσεων των εισόδων, εξόδων και εσωτερικών μεταβλητών στο πρόγραμμα ελέγχου του PLC. Σε κάθε θέση μνήμης αντιστοιχίζεται μια μοναδική διεύθυνση. Η διευθυνσιοδότηση είναι σημαντική για τη διαχείριση των εισόδων και εξόδων του PLC. Οι διευθύνσεις εισόδων και εξόδων αντιστοιχίζονται σε συγκεκριμένες φυσικές συνδέσεις του PLC, όπως διακόπτες, αισθητήρες και κινητήρες. Επιπλέον, οι διευθύνσεις μπορούν να χρησιμοποιηθούν και για την ανταλλαγή δεδομένων μεταξύ διαφορετικών μονάδων PLC ή ακόμα και μεταξύ PLC και υπολογιστή μέσω ενός δικτύου επικοινωνίας.

Η διευθυνσιοδότηση είναι συνήθως προγραμματιζόμενη και ρυθμίζεται μέσω του λογισμικού προγραμματισμού του PLC. Οι διευθύνσεις μπορούν να είναι αριθμητικές, δυαδικές ή ακόμα και αλφαριθμητικές, ανάλογα με τον τύπο δεδομένων που αντιστοιχίζονται.

Η σωστή διευθυνσιοδότηση είναι σημαντική για την αξιοπιστία και απόδοση του συστήματος ελέγχου του PLC. Εάν οι διευθύνσεις δεν αντιστοιχιστούν στα σωστά στοιχεία του συστήματος, ενδέχεται να προκληθούν σφάλματα ή ακόμα και βλάβες στον εξοπλισμό. Επίσης, η σωστή διεύθυνση επιτρέπει τον εντοπισμό προβλημάτων κατά τη διάρκεια λειτουργίας του PLC, αλλά και την έγκαιρη διάγνωση προβλημάτων στις μονάδες PLC και στον υπόλοιπο εξοπλισμό της αυτοματοποιημένης γραμμής παραγωγής.

Επιπλέον, οι διευθύνσεις χρησιμοποιούνται για να διαχωρίσουν διαφορετικά κομμάτια του συστήματος ελέγχου, όπως οι αισθητήρες, οι ενεργοποιητές, οι μετρητές και οι λογικές λειτουργίες. Τέλος, οι διευθύνσεις συνήθως καθορίζουν το μέγεθος της μνήμης που χρησιμοποιείται για κάθε στοιχείο του συστήματος ελέγχου. Για παράδειγμα, η διεύθυνση ενός αισθητήρα μπορεί να καθορίσει το μέγεθος της μνήμης που θα χρησιμοποιηθεί για την αποθήκευση των δεδομένων που συλλέγει ο αισθητήρας.

Όσον αφορά την ονοματολογία στα PLC, αναφέρεται στον τρόπο που ονομάζονται οι διάφορες λειτουργίες, συστατικά και ενέργειες στο σύστημα ελέγχου. Για τον ορισμό παραμέτρων στα συστήματα αυτοματισμού με PLC χρησιμοποείται ένας συνδυασμός γραμμάτων και αριθμών, με τα γράμματα να χρησιμοποιούνται για την ομαδοποίηση της εκάστοτε παραμέτρου (είσοδος, έξοδος κλπ.) και τους αριθμούς να καθορίζουν τη διεύθυνση μιας παραμέτρου. Η συσχέτιση μεταξύ σημείων εισόδου/εξόδου και θέσεων μνήμης δεν είναι σε καμία περίπτωση τυποποιημένη μεταξύ διαφορετικών κατασκευαστών

PLC ή ακόμη και μεταξύ διαφορετικών μοντέλων PLC που έχουν σχεδιαστεί από τον ίδιο κατασκευαστή.

Για παράδειγμα, η ονοματολογία των επιμέρους στοιχείων στα PLC SLC 500 της Allen Bradley είναι η εξής:

File number	File type	Logical address range
0	Output image	O:0 to O:30
1	Input image	I:0 to I:30
2	Status	S:0 to S:n
3	Binary	B3:0 to B3:255
4	Timers	T4:0 to T4:255
5	Counters	C5:0 to C5:255
6	Control	R6:0 to R6:255
7	Integer	N7:0 to N7:255
8	Floating-point	F8:0 to F8:255
9	Network	x9:0 to x9:255
10 through 255	User defined	x10:0 to x255:255

Εικόνα 21: Διευθυνσιοδότηση και Ονοματολογία PLC SLC 500 της Allen Bradley

Όσον αφορά την ονοματολογία της εισόδου στα PLC της Allen Bradley, αυτή αποτελείται από δύο κομμάτια, τον αριθμό της εισόδου (Input Number) και τον αριθμό της συσκευής (Device Number).

Ο αριθμός της εισόδου αναφέρεται στο αναλογούν κανάλι της εισόδου στη συσκευή εισόδου, όπως π.χ. τη συγκεκριμένη ψηφιακή ή αναλογική είσοδο που επιθυμούμε να χρησιμοποιήσουμε. Ο αριθμός της συσκευής αναφέρεται στον αριθμό της συσκευής στον οποίο είναι συνδεδεμένη η είσοδος. Για παράδειγμα, μια είσοδος στο κανάλι 0 της συσκευής εισόδου 1 θα ονομαζόταν "I:1/0", όπου το "I" σημαίνει "Input" και ο αριθμός "1/0" αναφέρεται στη συσκευή εισόδου και το κανάλι της αντίστοιχα.

Η ονοματολογία της εξόδου, η οποία χρησιμοποιεί τους ίδιους κανόνες με αυτούς της εισόδου, αποτελείται και αυτή από δύο κομμάτια, τον αριθμό της εξόδου (Output Number) και τον αριθμό της συσκευής (Device Number).

Ο αριθμός της εξόδου αναφέρεται στο αναλογούν κανάλι της εξόδου στη συσκευή εξόδου, όπως π.χ. τη συγκεκριμένη ψηφιακή ή αναλογική έξοδο που επιθυμούμε να χρησιμοποιήσουμε. Ο αριθμός της συσκευής αναφέρεται στον αριθμό της συσκευής στον

οποίο είναι συνδεδεμένη η έξοδος. Για παράδειγμα, μια έξοδος στο κανάλι 2 της συσκευής εξόδου 1 θα ονομαζόταν "O:1/2", όπου το "O" σημαίνει "Output" και ο αριθμός "1/2" αναφέρεται στη συσκευή εξόδου και το κανάλι της αντίστοιχα.

Η ονοματολογία αυτής της μορφής αναφέρεται σε συγκεκριμένα μοντέλα PLC της Allen Bradley, και μπορεί να διαφέρει σε άλλα μοντέλα ή σε PLC άλλων κατασκευαστών. [13]

2.8 Πλεονεκτήματα PLC

Τα PLC κάνουν και θα συνεχίσουν να κάνουν αισθητή την παρουσία τους λόγω της απλότητας και της ευελιξίας τους. Είναι αρκετά ισχυρά ώστε να προσαρμόζονται σε πολλαπλά περιβάλλοντα και εργασίες, αλλά αρκετά απλά ώστε ακόμη και τεχνικοί χωρίς προηγούμενες γνώσεις προγραμματισμού να μπορούν να τα μάθουν γρήγορα. Υπάρχουν συγκεκριμένα χαρακτηριστικά των PLC που τα καθιστούν απαραίτητα για όλες τις βιομηχανίες.

Ένα από τα βασικότερα πλεονεκτήματα τους είναι ο εύκολος προγραμματισμός τους. Τα PLC μπορούν να προγραμματιστούν και από άτομα που δε κατέχουν προηγούμενες γνώσεις προγραμματισμού. Επίσης, υπάρχουν γλώσσες προγραμματισμού που βασίζονται σε κείμενο, επιτρέποντας σε ανθρώπους που δεν έχουν προγενέστερες γνώσεις αυτοματισμού, αλλά που γνωρίζουν άλλες γλώσσες προγραμματισμού των υπολογιστών να ασχοληθούν με τον τομέα των βιομηχανικών αυτοματισμών. Χαρακτηριστική είναι ακόμα η ευκολία με την οποία ο προγραμματιστής μπορεί να παρέμβει στον κώδικα του PLC, καθώς μπορεί σύντομα να τροποποιήσει τη λειτουργία του αυτοματισμού χωρίς να πραγματοποιήσει αλλαγές στο υλικό μέρος. Τέτοιου είδους αλλαγές δεν ήταν δυνατές στους πίνακες κλασσικού αυτοματισμού, καθώς ήταν κοστοβόρες και χρονοβόρες.

Ένα άλλο πλεονέκτημα των PLCs είναι το ενοποιημένο περιβάλλον προγραμματισμού που προσφέρουν. Αποτελούν την προτιμώμενη μέθοδο ελέγχου, μέτρησης και εκτέλεσης εργασιών σε σύνθετες βιομηχανικές και κατασκευαστικές εφαρμογές επειδή συνεργάζονται ιδανικά με άλλα συστήματα όπως υπολογιστές, συσκευές ελέγχου κίνησης, HMIs και PACs. Παράδειγμα συνεργασίας τους με τους υπολογιστές, αποτελεί η δυνατότητα σύνδεση τους σε ένα σύστημα SCADA, μέσω του οποίου μπορεί να γίνει η εξ αποστάσεως παρακολούθηση και χειρισμός των αυτοματισμών.

Ένα ακόμα πλεονέκτημα των PLCs είναι η δυνατότητα συλλογής αξιόπιστων δεδομένων. Ό αριθμός εισόδων που ορίζονται σε ένα PLC εξαρτάται από τον χρήστη, κάτι

που σημαίνει ότι δεν υπάρχει όριο στον αριθμό των πηγών δεδομένων και στον όγκο δεδομένων που εισρέουν. Οι συσκευές μέτρησης, οι αισθητήρες και τα συστήματα ελέγχου κίνησης μπορούν να λαμβάνουν διάφορες παραμέτρους, οπότε εναπόκειται στον χρήστη η αρμοδιότητα της οριοθέτησης του τρόπου συλλογής των δεδομένων.

Σημαντικό στοιχείο των PLCs αποτελεί η λιγότερη και απλούστερη καλωδίωση, καθώς το πρόγραμμα αντικαθιστά το μεγαλύτερο μέρος της εξωτερικής καλωδίωσης, βοηθώντας έτσι στην εξοικονόμηση χώρου σε σχέση με τους πίνακες κλασσικού αυτοματισμού. Η "τοποθέτηση" της λογικής στη μνήμη βοηθάει στην αποφυγή λαθών στην καλωδίωση, αυξάνοντας την αξιοπιστία του συστήματος. Τα στοιχεία αυτά, σε συνδυασμό με το γεγονός ότι το PLC είναι solid-state, καθώς δεν υπάρχουν κινούμενα μέρη και η αρθρωτή του σχεδίαση καθιστούν την επισκευή και αναβάθμιση του μια εύκολη διαδικασία. Τα προαναφερθέντα χαρακτηριστικά δικαιολογούν το χαμηλότερο κόστος των PLCs σε σχέση με τους κλασσικούς πίνακες αυτοματισμού, καθώς τόσο το κόστος αγοράς και εγκατάστασης τους, όσο και το κόστος συντήρησης τους είναι σαφώς χαμηλότερο. Μάλιστα, τα PLCs διατίθενται σε ένα ευρύ φάσμα τιμών, συμπεριλαμβανομένων πολλών εξαιρετικά προσιτών βασικών μοντέλων που συχνά χρησιμοποιούν οι μικρές και οι νεοσύστατες επιχειρήσεις .

Ένα τελευταίο πλεονέκτημα των PLCs είναι η δυνατότητα χρησιμοποίησης τους για προληπτική συντήρηση. Δεδομένου ότι τα PLCs εξοπλίζονται σήμερα με μεγαλύτερη μνήμη και επεξεργαστικές δυνατότητες, μπορούν να προγραμματιστούν για να εκτελούν σύνθετες και "βαριές" εργασίες. Μια τέτοια εργασία είναι η προληπτική συντήρηση, η οποία στη σημερινή Βιομηχανία 4.0 είναι εξέχουσας σημασίας. Σε ένα διασυνδεδεμένο εργοστάσιο, το οποίο αποτελεί ένα από τα χαρακτηριστικά της τέταρτης βιομηχανικής επανάστασης, ένα κομμάτι εξοπλισμού μπορεί να συνδεθεί με άλλα και να είναι υπεύθυνο για τη λειτουργία πολλών άλλων διεργασιών. Η προληπτική συντήρηση μπορεί να αυξήσει σημαντικά την αποδοτικότητα μιας βιομηχανίας και να καταστήσει μια ενδεχόμενη διακοπή λειτουργίας λιγότερο συχνό και ζημιογόνο γεγονός. Η προληπτική συντήρηση ξεκινά με την αποτρεπτική συντήρηση. Εάν κάποιος εξοπλισμός φτάσει σε ένα προκαθορισμένο όριο, ενεργοποιείται ένας αισθητήρας που ενημερώνει τον τεχνικό ότι ο εξοπλισμός χρειάζεται συντήρηση ή αντικατάσταση. Αυτή η διαδικασία γίνεται με τη βοήθεια των συστημάτων SCADA. [14]

2.9 Μειονεκτήματα PLC

Ένα από τα μειονεκτήματα του PLC, είναι η απαίτηση για ύπαρξη εξειδικευμένου προσωπικού, το οποίο θα είναι υπεύθυνο για τον προγραμματισμό, την παρακολούθηση της λειτουργίας και τη συντήρηση των PLCs, κάτι που σημαίνει αυξημένο κόστος για μια επιχείρηση.

Ένα ακόμα μειονέκτημα των PLCs είναι η ευαισθησία τους στον ηλεκτρομαγνητικό θόρυβο, γεγονός που προαπαιτεί ύπαρξη ειδικών κατασκευών και προστασιών για την ασφαλή εγκατάσταση τους. Μάλιστα, αν παρουσιαστεί βλάβη στο PLC, ενδέχεται να χρειαστεί όχι μόνο η αντικατάσταση κάποιου τμήματος αλλά και η αντικατάσταση ολόκληρου του PLC.

Τέλος, παρόλο που όλοι οι κατασκευαστές ακολουθούν ένα διεθνές πρότυπο, το υλικό και το λογισμικό αποτελεί ιδιοκτησιακή οντότητα του εκάστοτε κατασκευαστή. [5] [14]

2.10 Μελλοντική Εξέλιξη PLC

Τα PLCs συνεχίζουν να εξελίσσονται και να προσαρμόζονται στις νέες τεχνολογίες και εφαρμογές, εκμεταλλευόμενα τις τεχνολογικές τάσεις και εξελίξεις.

Μια από αυτές τις εξελίξεις αφορά την ενσωμάτωση τους με το βιομηχανικό IoT (IIoT). Καθώς τα PLCs συνδέονται ολοένα και περισσότερο στο διαδίκτυο αλλά και με άλλες διασυνδεδεμένες συσκευές, μπορούν μέσω του IIoT να μοιράζονται δεδομένα και να συνεργάζονται πιο αποτελεσματικά. Αυτό μπορεί να οδηγήσει σε πιο ευέλικτες και έξυπνες διαδικασίες παραγωγής, με παρακολούθηση και ανάλυση της απόδοσης των μηχανών σε πραγματικό χρόνο.

Το μέλλον των PLCs θα περιλαμβάνει αυξημένη χρήση της τεχνητής νοημοσύνης (AI) και της μηχανικής μάθησης (ML). Καθώς τα PLCs γίνονται πιο διασυνδεδεμένα και καθοδηγούμενα από δεδομένα, μπορούν να επωφεληθούν από τις τεχνικές AI και ML για τη βελτιστοποίηση της απόδοσής τους και τον εντοπισμό ανωμαλιών στη διαδικασία παραγωγής. Για παράδειγμα, οι αλγόριθμοι προληπτικής συντήρησης μπορούν να χρησιμοποιηθούν για να ανιχνεύσουν πότε ένα μηχάνημα είναι πιθανό να παρουσιάσει βλάβη και να ειδοποιήσουν το προσωπικό συντήρησης πριν αυτή συμβεί.

Μια ακόμα εξέλιξη των PLCs είναι η επέκταση τους σε νέες αγορές. Ήδη τα PLCs δε χρησιμοποιούνται μόνο στις παραδοσιακές βιομηχανίες παραγωγής, όπως η αυτοκινητοβιομηχανία και η αεροδιαστημική, αλλά έχουν υιοθετηθεί και σε ένα ευρύ φάσμα εφαρμογών, όπως η επεξεργασία τροφίμων και ποτών, η διαχείριση ενέργειας και ο αυτοματισμός κτιρίων.

Μέσα στα επόμενα χρόνια αναμένεται επίσης να δοθεί μεγάλη έμφαση στην κυβερνοασφάλεια. Όσο περισσότερο αυξάνεται ο διακινούμενος όγκος δεδομένων από αυτά, τόσο περισσότερο αυξάνεται ο κίνδυνος κυβερνοεπιθέσεων και παραβίασης των δεδομένων. Γι' αυτό το λόγο οι κατασκευαστές PLC λαμβάνουν μέτρα για να διασφαλίσουν ότι τα προϊόντα τους είναι ασφαλή αλλά και ότι οι πελάτες τους είναι ενημερωμένοι για τους κινδύνους.

Τέλος, συνεχής είναι η ανάπτυξη του λογισμικού και των εργαλείων προγραμματισμού. Δίνεται δηλαδή ολοένα και μεγαλύτερη έμφαση στο να καταστεί ο προγραμματισμός PLC πιο προσιτός και φιλικός προς τον χρήστη, ώστε να μπορούν αυτά να προγραμματιστούν και από μη εξειδικευμένο προσωπικό.

3 Συστήματα SCADA

3.1 Ορισμός SCADA

Τα συστήματα SCADA (Supervisory Control And Data Acquisition - εποπτικός έλεγχος και απόκτηση δεδομένων) είναι ένας τύπος βιομηχανικού συστήματος ελέγχου που χρησιμοποείται ευρέως σχεδόν σε όλες τις βιομηχανικές εγκαταστάσεις και μονάδες παραγωγής για την παρακολούθηση και τον έλεγχο των βιομηχανικών διεργασιών, δηλαδή τη συλλογή δεδομένων σε πραγματικό χρόνο από απομακρυσμένες τοποθεσίες με σκοπό τον έλεγχο του εξοπλισμού και των συνθηκών της γραμμής παραγωγής. Τα συστήματα SCADA παρέχουν στους οργανισμούς τα απαιτούμενα εργαλεία για τη λήψη αποφάσεων σχετικά με τις βιομηχανικές διεργασίες τους βάσει των λαμβανόμενων δεδομένων. Γι' αυτό το λόγο, θεωρούνται κρίσιμα για την αύξηση της αποδοτικότητας των διεργασιών και την ανίχνευση πιθανών προβλημάτων στις εγκαταστάσεις.

Τα συστήματα SCADA περιλαμβάνουν στοιχεία υλικού και λογισμικού. Το υλικό συλλέγει και τροφοδοτεί δεδομένα σε συστήματα ελέγχου πεδίου, τα οποία προωθούν τα δεδομένα σε άλλα συστήματα που τα μορφοποιούν και τα παρουσιάζουν έγκαιρα σε μια διεπαφή ανθρώπου-μηχανής (HMI). Για τη συλλογή μετρήσεων και δεδομένων κατάστασης του εξοπλισμού, τα συστήματα SCADA χρησιμοποιούν RTUs (Remote Terminal Units - απομακρυσμένες τερματικές μονάδες) ή PLCs. Η κύρια εφαρμογή των συστημάτων SCADA είναι ο χειρισμός συναγερμών, καθώς το σύστημα παρακολουθεί εάν πληρούνται ή όχι ορισμένες συνθήκες συναγερμού.

Τα συστήματα SCADA είναι ιδιαίτερα χρήσιμα για διεργασίες που μπορούν να παρακολουθούνται και να ελέγχονται εξ αποστάσεως, ιδίως σε περιπτώσεις όπου είναι δυνατή η μείωση των αποβλήτων και η βελτίωση της αποδοτικότητας. Ορισμένοι τομείς όπου χρησιμοποιούνται τα συστήματα SCADA για βιομηχανικό αυτοματισμό είναι οι εξής:

- παραγωγή και διανομή ηλεκτρικής ενέργειας
- διαδικασία διύλισης πετρελαίου και φυσικού αερίου
- υποδομές τηλεπικοινωνιών
- υποδομές μεταφορών και ναυτιλίας

- τομέας κατασκευών
- επεξεργασία τροφίμων και ποτών
- χημική βιομηχανία
- έλεγχος του νερού και των αποβλήτων

Μέσω των συστημάτων SCADA, αυτές οι διαδικασίες μπορούν να παρακολουθούνται στενά και να προσαρμόζονται, ώστε να βελτιώνεται η απόδοση με την πάροδο του χρόνου, τόσο από άποψη ποιότητας και ποσότητας, όσο και από άποψη χρόνου, καθώς μέσω των δεδομένων εντοπίζονται εγκαίρως προβλήματα, μειώνοντας το χρόνο διακοπής λειτουργίας της γραμμής παραγωγής. [15] [16]

Εικόνα 22: Απεικόνιση βιομηχανικών διεργασιών μέσω συστήματος SCADA

3.2 Η εξέλιξη των συστημάτων SCADA

Πριν από την ύπαρξη συστημάτων SCADA, το προσωπικό των εγκαταστάσεων έπρεπε να παρακολουθεί και να ελέγχει τις βιομηχανικές διεργασίες μέσω επιλογικών διακοπτών και κουμπιών. Αυτό σήμαινε ότι τα εργοστάσια έπρεπε να διατηρούν προσωπικό στο χώρο κατά τη διάρκεια της παραγωγής, προκειμένου να ελέγχουν τις διεργασίες.

Καθώς η παραγωγή αναπτυσσόταν, χρησιμοποιήθηκαν ρελέ και χρονοδιακόπτες για να βοηθήσουν στην εποπτεία και τον έλεγχο των διεργασιών, περιορίζοντας τον απαιτούμενο αριθμό του σχετικού με αυτές τις διεργασίες προσωπικού. Ενώ τα ρελέ και οι χρονοδιακόπτες παρείχαν κάποιο επίπεδο αυτοματοποίησης, οι πίνακες που απαιτούνταν για αυτές τις συσκευές καταλάμβαναν πολύτιμο χώρο, ενώ η αντιμετώπιση προβλημάτων και η αναδιάταξη αποτελούσαν δύσκολες και χρονοβόρες διαδικασίες

Αυτά τα ζητήματα, σε συνδυασμό με την ανάγκη ανάπτυξης ακόμη μεγαλύτερων βιομηχανικών εγκαταστάσεων, συνέβαλαν στη γέννηση του αυτοματισμού.

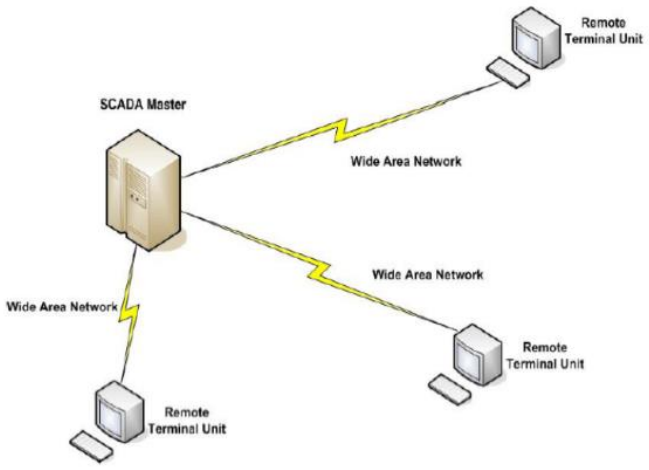
Η ιστορία του SCADA είναι παράλληλη με την ιστορία του επιχειρησιακού υπολογισμού (enterprise computing). Τα πρώτα συστήματα SCADA υλοποιήθηκαν σε μεγάλες βιομηχανικές επιχειρήσεις, καθώς αυτές άρχισαν να ενσωματώνουν τους πόρους υπολογιστών mainframe με βιομηχανικές διαδικασίες.

Καθώς η πληροφορική, η δικτύωση και τα συστήματα παρακολούθησης και ελέγχου διεργασιών βελτιώθηκαν, το SCADA εξελίχθηκε μέσω των ακόλουθων τεσσάρων σταδίων:

- 1η γενιά: Μονολιθικά συστήματα SCADA
- 2η γενιά: Κατανεμημένα συστήματα SCADA
- 3η γενιά: Δικτυωμένα συστήματα SCADA
- 4η γενιά: Συστήματα SCADA βασισμένα στο διαδίκτυο [15]

3.2.1 Μονολιθικά συστήματα SCADA

Τα μονολιθικά συστήματα SCADA που εισήχθησαν τη δεκαετία του 60’ και του '70 συνήθως ενσωμάτωναν RTUs σε βιομηχανικές εγκαταστάσεις που συνδέονταν απευθείας με συστήματα κεντρικών υπολογιστών ή μικροϋπολογιστών. Τα συστήματα αυτά εγκαθίσταντο στην ίδια θέση με τις μονάδες και συσκευές προς παρακολούθηση. Στον ίδιο χώρο βρίσκονταν τόσο ο κύριος ελεγκτής (master controller), όσο και οι slaves. Σε αυτά τα συστήματα δεν υποστηριζόταν απομακρυσμένη πρόσβαση μέσω του διαδικτύου, ενώ η σύνδεση τους γινόταν μέσω δικτύου ευρείας περιοχής (WAN). Τα πρωτόκολλα, όπως και η διαμόρφωση των κύριων υπολογιστών ήταν ιδιόκτητα. [15] [17]

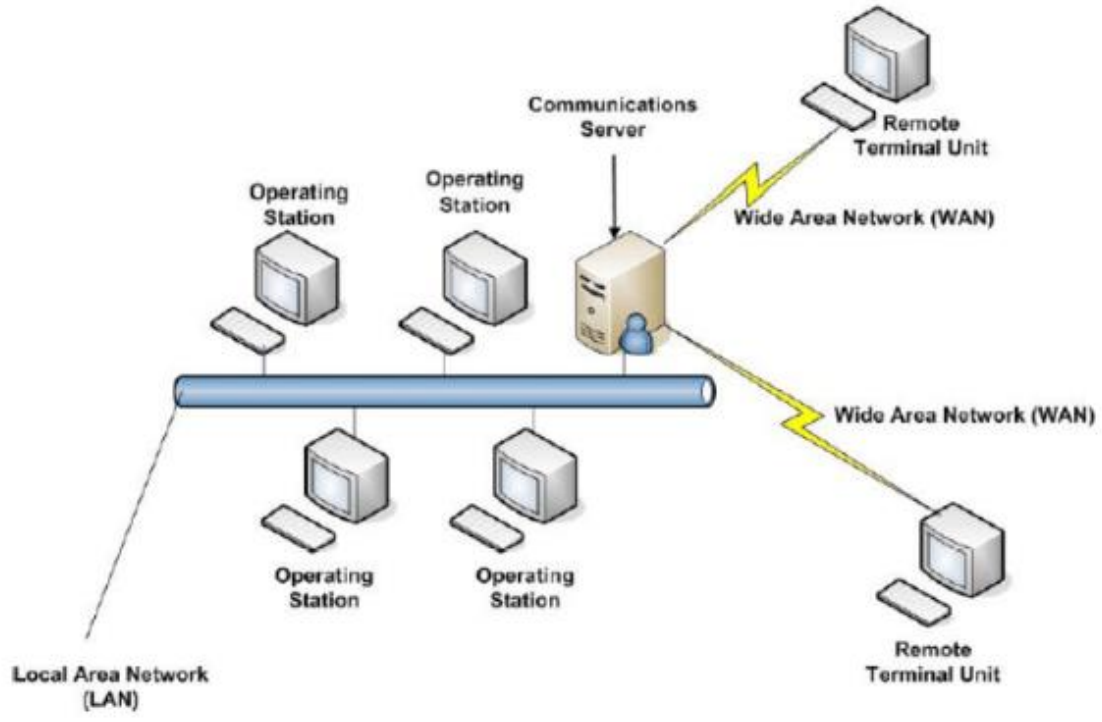


Εικόνα 23: Μονολιθικό σύστημα SCADA

3.2.2 Κατανεμημένα συστήματα SCADA

Τα συστήματα SCADA εκμεταλλεύτηκαν την ευρεία διαθεσιμότητα των ιδιόκτητων τοπικών δικτύων (LAN) και των μικρότερων, ισχυρότερων υπολογιστών κατά τη δεκαετία του ’80 και του 90’ για να επιτρέψουν μεγαλύτερη ανταλλαγή λειτουργικών δεδομένων σε επίπεδο μονάδας (plant) και πέραν αυτής. Πολλαπλοί σταθμοί με διάφορες λειτουργίες ήταν σε θέση να επικοινωνούν σε πραγματικό χρόνο με μεταξύ τους και να ανταλλάσσουν δεδομένα μεταξύ τους. Το τοπικό δίκτυο που χρησιμοποιήθηκε βασιζόταν σε ιδιόκτητα πρωτόκολλα που αναπτύχθηκαν από τους κατασκευαστές. Αυτό προσέφερε τη δυνατότητα αύξησης των ταχύτητας επικοινωνίας, της αξιοπιστίας του συστήματος και της βελτιστοποίησης της κυκλοφορίας σε πραγματικό χρόνο.

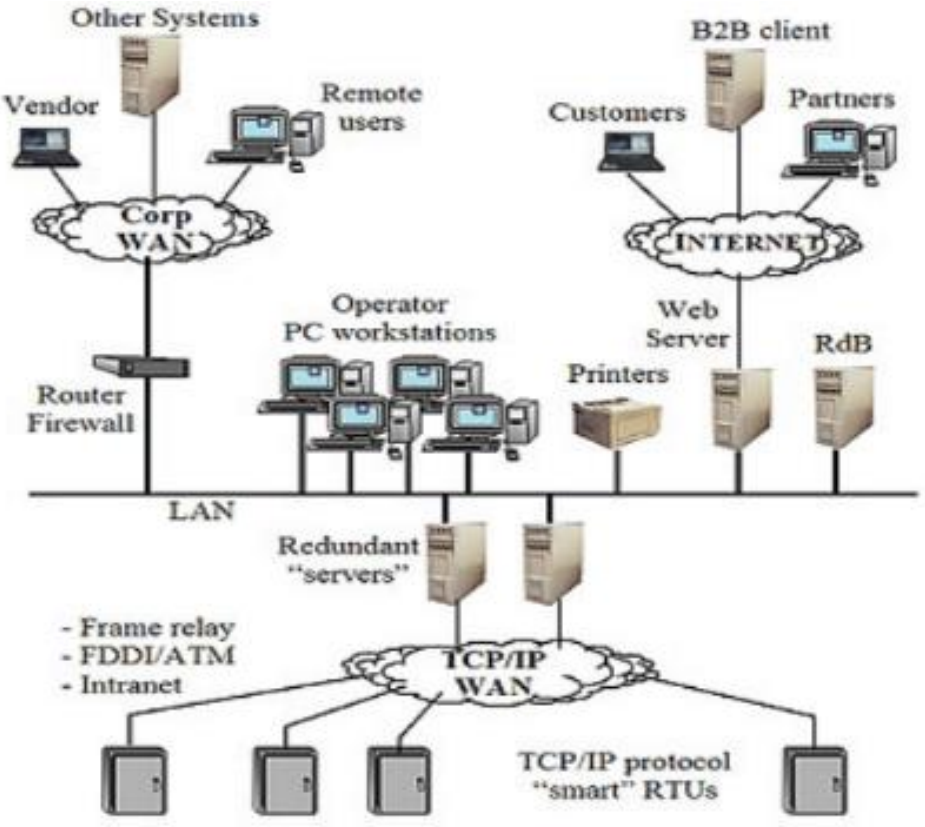
Παρ’ όλα αυτά, όλες οι συσκευές που ήταν συνδεδεμένες στο τοπικό δίκτυο SCADA δεν ήταν σε θέση να επικοινωνούν με άλλες εξωτερικές συσκευές που χρησιμοποιούσαν διαφορετικά πρωτόκολλα. Ως εκ τούτου, τα συστήματα ήταν κατανεμημένα, ικανά να επικοινωνούν μεταξύ τους, αλλά μόνο με ιδιόκτητα πρωτόκολλα που παρείχαν οι κατασκευαστές. [17]



Εικόνα 24: Κατανεμημένο σύστημα SCADA

3.2.3 Δικτυωμένα Συστήματα SCADA

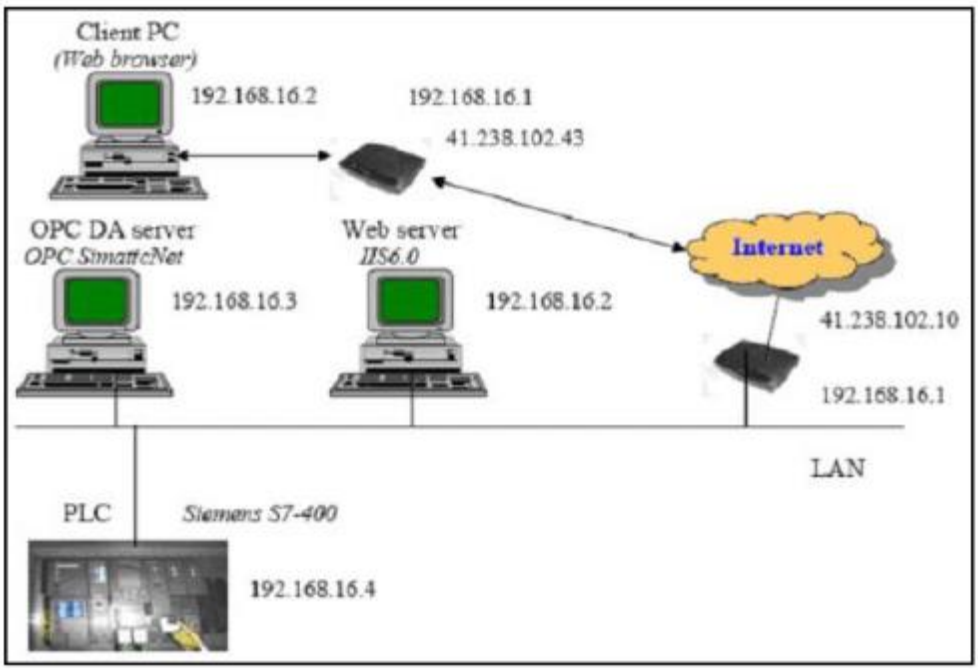
Τα συστήματα SCADA που εισήχθησαν στις αρχές του 2000 έπαυσαν να είναι απομονωμένα, καθώς πλέον μπορούσαν να συνδέονται με εξωτερικά δίκτυα, δηλαδή το διαδίκτυο. Η τρίτη γενιά συστημάτων SCADA είχε αρκετές ομοιότητες με τη δεύτερη, με την κύρια διαφορά να αποτελεί το γεγονός ότι η τρίτη γενιά ήταν προσανατολισμένη σε μια ανοικτή αρχιτεκτονική συστήματος, αντί για μια ελεγχόμενη από τον κατασκευαστή και το εκάστοτε ιδιόκτητο περιβάλλον. Σε αυτά τα συστήματα, η επικοινωνία βασιζόταν πλέον σε ανοικτά πρωτόκολλα, τα οποία επέτρεπαν τη κατανομή της λειτουργικότητας SCADA σε WANs και όχι μόνο σε κλειστά LANs. Επίσης, η χρήση ανοικτών προτύπων και πρωτοκόλλων εξάλειψε τους περιορισμούς του SCADA. Αυτή η εξέλιξη επέτρεψε την ευκολότερη κλιμάκωση των συστημάτων SCADA, καθώς οι επιχειρήσεις ήταν σε θέση να ενσωματώσουν συστήματα στις δικές τους βιομηχανικές υποδομές, χρησιμοποιώντας παράλληλα μια ευρύτερη ποικιλία συσκευών και συστημάτων. [17]



Εικόνα 25: Δικτυωμένο σύστημα SCADA

3.2.4 Συστήματα SCADA βασισμένα στο διαδίκτυο

Η τέταρτη γενιά συστημάτων SCADA, η οποία είναι αυτή που χρησιμοποείται έως και σήμερα, εδραιώθηκε τη δεκαετία του 2000, εκμεταλλευόμενη την ραγδαία ανάπτυξη των εργαλείων ανάπτυξης διαδικτυακού λογισμικού. Αυτά τα συστήματα SCADA κάνουν χρήση του διαδικτύου, του πρωτοκόλλου HTTP και άλλων διαδικτυακών τεχνολογιών ως επίπεδο επικοινωνίας του συστήματος. Επίσης, χρησιμοποιούν το διαδίκτυο για τη μεταφορά δεδομένων μεταξύ των RTUs και της κύριας τερματικής μονάδας (MTU) ή/και μεταξύ των σταθμών εργασίας των χειριστών και της MTU. [17]



Εικόνα 26: Web-based σύστημα SCADA

3.3 Βήματα ενσωμάτωσης ολοκληρωμένης λύσης SCADA

Για την ενσωμάτωση μιας ολοκληρωμένης λύσης SCADA, πρέπει να ακολουθηθούν τα εξής βήματα:

- Καθορισμός και κατανόηση της διεργασίας προς παρακολούθηση.
- Επιλογή κατάλληλης λύσης SCADA που θα ανταποκρίνεται στις ανάγκες του συστήματος προς έλεγχο και στα δεδομένα που θα συλλέγονται.
- Ανάλυση του υπολογιστικού και του δικτυακού περιβάλλοντος στο οποίο θα εγκατασταθεί η λύση SCADA, ώστε να διασφαλιστεί η σωστή λειτουργία και αξιοπιστία του συστήματος.

- Εγκατάσταση και ρύθμιση του λογισμικού της λύσης SCADA στον κεντρικό υπολογιστή ή διακομιστή.
- Προσθήκη αισθητήρων και μονάδων ελέγχου στο δίκτυο της λύσης SCADA και σύνδεση τους με το λογισμικό.
- Δημιουργία οθονών ελέγχου (HMI), οι οποίες θα παρουσιάζουν τα δεδομένα που θα συλλέγονται από τους αισθητήρες και τις μονάδες ελέγχου, καθώς και την κατάσταση του συστήματος.
- Καθορισμός κανόνων και αυτοματισμών για τη διαχείριση του συστήματος.
- Εφαρμογή τεχνικών ασφαλείας και κρυπτογράφησης, εφόσον το σύστημα διαχειρίζεται κρίσιμα δεδομένα.

3.4 Λειτουργίες συστημάτων SCADA

Αν και ορισμένα συστήματα SCADA μπορεί να περιλαμβάνουν ειδικά χαρακτηριστικά για συγκεκριμένες βιομηχανίες ή εφαρμογές, τα περισσότερα συστήματα υποστηρίζουν τις ακόλουθες λειτουργίες:

1. *Εποπτικός έλεγχος*: Τα συστήματα SCADA είναι σχεδιασμένα για να επιβλέπουν και να παρακολουθούν συγκεκριμένες διεργασίες και συμπεριφορές σε εποπτικό επίπεδο. Ο κύριος ρόλος ενός εποπτικού συστήματος είναι να επιτρέπει στους χειριστές να ελέγχουν και να παρακολουθούν τα ψηφιακά δεδομένα που συλλέγονται από τις συσκευές πεδίου (field devices) σε πραγματικό χρόνο, να λαμβάνουν πληροφορίες για τις διεργασίες και την κατάσταση του εξοπλισμού της γραμμής παραγωγής και να αλληλεπιδρούν με το σύστημα για να διορθώσουν προβλήματα. Ο εποπτικός έλεγχος, ο οποίος υλοποιείται μέσω ενός εποπτικού ελεγκτή που συνδέει στοιχεία εισόδου και εξόδου και εκτελείται σε έναν κεντρικό υπολογιστή, παρέχει μια πλούσια γραφική αναπαράσταση του συστήματος μέσω HMI, που βοηθάει στην ανίχνευση σφαλμάτων και την εκτέλεση των απαραίτητων ενεργειών. [18]
2. *Συλλογή & Ανάλυση δεδομένων*: Τα δεδομένα συλλέγονται από τα PLCs, τις RTUs και από απομακρυσμένους αισθητήρες (είσοδοι) και διαβιβάζονται μέσω ελεγκτών πεδίου σε έναν κεντρικό κόμβο ελέγχου (central hub). Τα συλλεγμένα δεδομένα επεξεργάζονται και αναλύονται και στη συνέχεια χρησιμοποιούνται για τον απομακρυσμένο έλεγχο ενεργοποιητών (έξοδοι), όπως λυχνίες LED, σερβοκινητήρες, βηματικοί κινητήρες κ.α. Τα συστήματα SCADA χρησιμοποιούν αυτά τα δεδομένα για πρόβλεψη συμβάντων στην γραμμή παραγωγής. [18]

3. *Γραφική απεικόνιση*: Η γραφική απεικόνιση γίνεται μέσω μιμικών διαγραμμάτων, τα οποία απεικονίζονται σε HMIs. Τα μιμικά διαγράμματα απεικονίζουν ρεαλιστικά τμήματα των διεργασιών, επιτρέποντας στους χειριστές του συστήματος να εποπτεύουν τα συστήματα της γραμμής παραγωγής και να κατανοούν τα λαμβανόμενα δεδομένα. [1] [18]
4. *Καταγραφή συμβάντων*: Τόσο τα δεδομένα πραγματικού χρόνου όσο και τα ιστορικά δεδομένα αποτελούν σημαντικό κομμάτι των συστημάτων SCADA, καθώς επιτρέπουν στους χρήστες να παρακολουθούν τις τρέχουσες επιδόσεις και να τις συγκρίνουν με αντίστοιχες παλαιότερες και ιστορικές τάσεις. Γι' αυτό το λόγο, στις βιομηχανίες όλες οι κρίσιμες παράμετροι αποθηκεύονται στη βάση δεδομένων των συστημάτων SCADA και αναπαρίστανται μέσω γραφημάτων. [18]
5. *Τηλεμετρία & Αποθήκευση Πληροφοριών*: Η τηλεμετρία είναι μια κρίσιμη λειτουργία των συστημάτων SCADA, καθώς επιτρέπει τη διεξαγωγή μετρήσεων και τη συλλογή δεδομένων από απομακρυσμένες τοποθεσίες και την αποστολή αυτών των δεδομένων στο κεντρικό σύστημα SCADA για επεξεργασία και ανάλυση. Μέσω της απομακρυσμένης παρακολούθησης και του ελέγχου των διαφόρων συστημάτων και διεργασιών, οι χειριστές του συστήματος SCADA μπορούν να παρακολουθούν τα δεδομένα και να λαμβάνουν αποφάσεις βασισμένες σε αυτά.

   Συνήθως, οι σταθμοί τηλεμετρίας είναι εξοπλισμένοι με αισθητήρες και μετρητές που μετρούν παραμέτρους όπως η θερμοκρασία, η πίεση, η ροή και η στάθμη. Τα δεδομένα συλλέγονται συνήθως με τη χρήση δικτυακών τεχνολογιών, όπως είναι τα δορυφορικά συστήματα επικοινωνιών, τα συστήματα κινητής τηλεφωνίας ή ακόμα και τα επίγεια δίκτυα τηλεπικοινωνιών.

   Ένα ακόμα σημαντικό στοιχείο της τηλεμετρίας στα συστήματα SCADA είναι η δυνατότητα μακροχρόνιας αποθήκευσης και ανάλυσης δεδομένων. Η συλλογή και αποθήκευση δεδομένων από τους αισθητήρες και τις συσκευές πεδίου της γραμμής παραγωγής είναι ζωτικής σημασίας για την εποπτεία και τον έλεγχο της διαδικασίας. Η ανάλυση αυτών των δεδομένων μπορεί να βοηθήσει στην πρόβλεψη προβλημάτων και στην αντιμετώπιση τους πριν από την εμφάνισή τους (predictive maintenance). [18]
6. *Συναγερμοί*: Οι συναγερμοί αποτελούν βασική λειτουργία των συστημάτων SCADA. Πρόκειται για ειδοποιήσεις που ενημερώνουν τους χειριστές σχετικά με ένα συμβάν και μπορεί να κυμαίνονται από υπενθυμίσεις διενέργειας συντήρησης ρουτίνας έως

ειδοποιήσεις έκτακτης ανάγκης. Ορισμένες κοινές αιτίες συναγερμού έκτακτης ανάγκης είναι η βλάβη του εξοπλισμού, η διακοπή λειτουργίας κάποιου συστήματος και οι αποκλίσεις από τις επιθυμητές μετρήσεις κάποιας συσκευής. Ένας συναγερμός μπορεί να προκαλέσει μια αυτοματοποιημένη αντίδραση, για παράδειγμα, ειδοποιώντας έναν χειριστή για απώλεια ρεύματος σε έναν σταθμό και ταυτόχρονα ενεργοποιώντας αυτόματα ένα UPS και μια εφεδρική παροχή ρεύματος. [18]

3.5 Δομικά στοιχεία συστημάτων SCADA

Τα συστήματα SCADA περιλαμβάνουν εξαρτήματα που αναπτύσσονται στο βιομηχανικό πεδίο για τη συλλογή δεδομένων σε πραγματικό χρόνο, καθώς και συναφή συστήματα που επιτρέπουν τη συλλογή δεδομένων και συνεισφέρουν στον βιομηχανικό αυτοματισμό. Τα δομικά στοιχεία ενός συστήματος SCADA είναι τα ακόλουθα.

3.5.1 MTU

Ο κεντρικός υπολογιστικός σταθμός ή κεντρική τερματική μονάδα (Master Terminal Unit - MTU) χρησιμεύει ως κεντρική μονάδα ελέγχου για το σύστημα SCADA και είναι υπεύθυνη για την επικοινωνία με τις απομακρυσμένες τερματικές μονάδες (RTUs) ή τους προγραμματιζόμενους λογικούς ελεγκτές (PLCs) που είναι εγκατεστημένες/οι στο σύστημα.

Η MTU συλλέγει δεδομένα από τα RTUs/PLCs, τα αναλύει και παρέχει ανατροφοδότηση και ειδοποιήσεις σε πραγματικό χρόνο στους χειριστές του συστήματος. Λειτουργεί ως κεντρικός κόμβος για το σύστημα SCADA, παρέχοντας στους χειριστές πρόσβαση στα δεδομένα των διεργασιών. Το λογισμικό MTU έχει σχεδιαστεί για την παρακολούθηση και τον έλεγχο των διεργασιών σε πραγματικό χρόνο, με τη δυνατότητα προσαρμογής παραμέτρων, έκδοσης εντολών και τροποποίησης ρυθμίσεων ανάλογα με τις ανάγκες. Η MTU μπορεί να είναι ένας ολόκληρος υπολογιστής ή ένας server, ανάλογα με το μέγεθος και την πολυπλοκότητα του συστήματος SCADA. [1]

Εικόνα 27: Κεντρική τερματική μονάδα - MTU

3.5.2 PLCs και RTUs

Αυτές είναι οι συσκευές που διασυνδέονται με τους αισθητήρες και τους ενεργοποιητές και συλλέγουν δεδομένα από αυτούς. Επίσης, ελέγχουν τους ενεργοποιητές με βάση τις οδηγίες που λαμβάνουν από την κεντρική τερματική μονάδα (MTU).

Η απομακρυσμένη τερματική μονάδα (Remote Terminal Unit - RTU) είναι μια ηλεκτρονική συσκευή βασισμένη σε μικροεπεξεργαστή που χρησιμοποιείται σε συστήματα SCADA για την μετάδοση των δεδομένων που συλλέγονται από τις συσκευές πεδίου στην MTU και την έκδοση εντολών από την MTU προς τις συσκευές πεδίου. Αποτελείται από κανάλια εισόδου/εξόδου και μια διεπαφή επικοινωνίας και υποστηρίζει ασύρματη σύνδεση. Τα κανάλια εισόδου χρησιμοποιούνται για την παρακολούθηση διαφόρων παραμέτρων της διεργασίας, όπως η θερμοκρασία, η πίεση και ο ρυθμός ροής, ενώ τα κανάλια εξόδου χρησιμοποιούνται για τον έλεγχο της διεργασίας με τη ρύθμιση βαλβίδων, διακοπτών, κινητήρων κ.λπ. Ο επεξεργαστής συλλέγει δεδομένα από τα κανάλια εισόδου, τα επεξεργάζεται μετατρέποντας τα σε ηλεκτρικά σήματα και τα μεταδίδει στα κανάλια εξόδου. Οι μονάδες RTU βρίσκονται συνήθως στο χώρο που παρακολουθείται, δηλαδή ένα εργοστάσιο ή έναν απομακρυσμένο σταθμό και συνδέονται με την MTU και μεταδίδουν τα σήματα σε αυτή χρησιμοποιώντας ενσύρματα ή ασύρματα δίκτυα επικοινωνίας με κατάλληλες τηλεπικοινωνιακές ζεύξεις.

Η RTU αναφέρεται και ως Remote Telemetry Unit, καθώς υλοποιεί την τηλεμετρία, η οποία είναι η τεχνική που χρησιμοποιείται για τη διάδοση πληροφορίας ή δεδομένων με κάποιο μέσο από απόσταση. Οι RTUs θεωρούνται καταλληλότερες από τα PLCs για απομακρυσμένη γεωγραφική τηλεμετρία, καθώς υποστηρίζουν ασύρματη επικοινωνία, ενώ τα PLC είναι καταλληλότερα για τοπικές διεργασίες ελέγχου σε βιομηχανικά περιβάλλοντα. Οι RTUs έχουν σχεδιαστεί για να λειτουργούν σε αντίξοα περιβάλλοντα, όπως ακραίες θερμοκρασίες, υψηλή υγρασία και ηλεκτρικό θόρυβο. Γι' αυτό το λόγο στεγάζονται σε ανθεκτικό περίβλημα για προστασία. [1]

Εικόνα 28: RTU

3.5.3 Αισθητήρες και Ενεργοποιητές

Είναι οι φυσικές συσκευές που αλληλεπιδρούν με τη διαδικασία που παρακολουθείται και ελέγχεται. Οι αισθητήρες μετρούν διάφορες παραμέτρους της διεργασίας, όπως η θερμοκρασία, η πίεση, ο ρυθμός ροής κ.λπ., ενώ οι ενεργοποιητές ελέγχουν τη διεργασία ρυθμίζοντας βαλβίδες, διακόπτες, κινητήρες κ.λπ.

3.5.4 HMI

3.5.4.1 Ο ρόλος του HMI

Η διεπαφή ανθρώπου-μηχανής (HMI) είναι μια διεπαφή χρήστη ή ένας πίνακας οργάνων (dashboard) που συνδέει ένα άτομο με μια μηχανή, ένα σύστημα ή μια συσκευή. Αν και ο όρος αυτός μπορεί τεχνικά να χρησιμοποιηθεί για οποιαδήποτε οθόνη που επιτρέπει στον χρήστη να αλληλεπιδράσει με μια συσκευή, το HMI χρησιμοποιείται στο πλαίσιο μιας βιομηχανικής διαδικασίας. Τα HMIs μοιάζουν κατά κάποιο τρόπο με τις γραφικές διεπαφές χρήστη (GUI), αλλά δεν είναι ταυτόσημες. Οι GUIs συχνά αξιοποιούνται εντός των HMIs, παρέχοντας δυνατότητες οπτικοποίησης. Τα HMIs μπορούν να είναι ενσωματωμένες οθόνες αφής σε μηχανήματα, οθόνες υπολογιστών ή tablets

Σε βιομηχανικά περιβάλλοντα, τα HMIs μπορούν να χρησιμοποιηθούν για οπτική απεικόνιση δεδομένων, παρακολούθηση του χρόνου παραγωγής και των τάσεων, επίβλεψη των KPIs (Key Performance Indicators – Βασικοί δείκτες απόδοσης) και παρακολούθηση των εισόδων και εξόδων των μηχανημάτων. Τα HMIs χρησιμοποιούνται από όλους σχεδόν τους βιομηχανικούς οργανισμούς για την αλληλεπίδραση με τις μηχανές τους και τη βελτιστοποίηση των βιομηχανικών διεργασιών τους.

Τα HMIs επικοινωνούν με τα PLCs και τους αισθητήρες εισόδου/εξόδου για να λαμβάνουν και να εμφανίζουν πληροφορίες στην οθόνη τους για να τις βλέπουν οι χειριστές τους. Οι οθόνες HMI μπορούν να χρησιμοποιηθούν για μια απλή λειτουργία, όπως η παρακολούθηση μιας διεργασίας, ή για την εκτέλεση πιο σύνθετων λειτουργιών, όπως η απενεργοποίηση μηχανών ή η αύξηση της ταχύτητας παραγωγής. Μπορούν να προβάλλουν πληροφορίες όπως θερμοκρασία, πίεση, βήματα μιας διεργασίας και καταμέτρηση υλικών. Μπορούν επίσης να δείξουν πολύ ακριβή επίπεδα στάθμης σε δεξαμενές και ακριβή θέση των μηχανημάτων.

Τα HMIs χρησιμοποιούνται για τη βελτιστοποίηση μιας βιομηχανικής διαδικασίας μέσω της ψηφιοποίησης και της συγκέντρωσης δεδομένων. Αξιοποιώντας τα HMIs, οι χειριστές μπορούν να βλέπουν σημαντικές πληροφορίες που εμφανίζονται σε γραφήματα, διαγράμματα ή ψηφιακά dashboards, να βλέπουν και να διαχειρίζονται συναγερμούς και να συνδέονται με συστήματα SCADA, ERP και MES, όλα μέσω μιας κονσόλας.

Προηγουμένως, οι χειριστές θα έπρεπε να βρίσκονται μέσα στη γραμμή παραγωγής και να εξετάζουν τη μηχανική πρόοδο και να την καταγράφουν σε ένα κομμάτι χαρτί ή σε έναν πίνακα. Επιτρέποντας στα PLCs να διαβιβάζουν πληροφορίες σε πραγματικό

χρόνο απευθείας σε μια οθόνη HMI, η τεχνολογία HMI εξαλείφει την ανάγκη αυτής της ξεπερασμένης πρακτικής και έτσι εξαλείφει πολλά δαπανηρά προβλήματα που προκαλούνται από την έλλειψη πληροφοριών ή από ανθρώπινο λάθος.

3.5.4.2 Σύγκριση SCADA με HMI

Τα συστήματα SCADA και τα HMIs είναι στενά συνδεδεμένα και συχνά αναφέρονται στο ίδιο πλαίσιο, δεδομένου ότι και τα δύο αποτελούν μέρος ενός ευρύτερου βιομηχανικού συστήματος ελέγχου. Το καθένα όμως παρέχει διαφορετικές δυνατότητες και λειτουργίες.

Τα συστήματα SCADA έχουν μεγαλύτερη ικανότητα συλλογής δεδομένων και χειρισμού του συστήματος ελέγχου. Αντιθέτως, τα HMIs δεν συλλέγουν και δεν καταγράφουν πληροφορίες, ούτε συνδέονται με βάσεις δεδομένων, αλλά επικεντρώνονται στην οπτική μετάδοση πληροφοριών δημιουργώντας αναφορές για τα δεδομένα που συλλέγονται από RTUs και PLCs, για να βοηθήσουν τους χειριστές να επιβλέψουν μια βιομηχανική διεργασία. Το HMI παρέχει ένα αποτελεσματικό εργαλείο επικοινωνίας που λειτουργεί ως μέρος ή παράλληλα με ένα σύστημα SCADA. Ενώ τα συστήματα SCADA θα μπορούσαν θεωρητικά να λειτουργήσουν χωρίς HMI, στις περισσότερες περιπτώσεις κάτι τέτοιο θα ήταν άσκοπο, καθώς οι χειριστές δεν θα μπορούσαν να δουν τα δεδομένα ή να λάβουν αναφορές.

3.5.4.3 Εξελισσόμενες τάσεις στην τεχνολογία HMI

Την τελευταία δεκαετία, οι μεταβαλλόμενες επιχειρησιακές και επιχειρηματικές ανάγκες έχουν δρομολογήσει ενδιαφέρουσες εξελίξεις στην τεχνολογία HMI. Τα πιο εξελιγμένα παραδείγματα HMI περιλαμβάνουν χρήση HMI υψηλής απόδοσης (high-performance HMIs), οθονών αφής και κινητών συσκευών. Αυτές οι εκσυγχρονισμένες διεπαφές προσφέρουν περισσότερες ευκαιρίες για αλληλεπίδραση με τον εξοπλισμό.

1. *High-Performance HMIs*

Οι χειριστές και οι χρήστες κάνουν όλο και περισσότερο χρήση των high-performance HMIs, μια μέθοδο σχεδιασμού HMI που εξασφαλίζει γρήγορη και αποτελεσματική αλληλεπίδραση. Εστιάζοντας μόνο στους πιο απαραίτητους ή κρίσιμους δείκτες της διεπαφής, αυτή η τεχνική σχεδιασμού βοηθά τον χειριστή να βλέπει και να ανταποκρίνε-

ται στα προβλήματα πιο αποτελεσματικά καθώς και να λαμβάνει τις κατάλληλες αποφάσεις. Οι ενδείξεις στα high-performance HMIs είναι απλές, καθαρές και σκόπιμα απαλλαγμένες από οποιαδήποτε περιττά γραφικά ή στοιχεία ελέγχου. Άλλα στοιχεία σχεδιασμού όπως το χρώμα και το μέγεθος χρησιμοποιούνται με διακριτικότητα, με στόχο τη βελτιστοποίηση της εμπειρίας του χρήστη.

Τα σχεδιαστικά αυτά στοιχεία υπόκεινται στο πρότυπο ISA-101 HMI Design Standard. Πρόκειται για το σύνολο των guidelines, αρχών και φιλοσοφιών για την ανάπτυξη γραφικών σε ένα HMI. Αυτό το πρότυπο έχει ως στόχο τη δημιουργία μίας πιο λειτουργικής και εύκολα κατανοητής διεπαφής χειριστή. [19]

2. *Οθόνες αφής & Κινητές συσκευές*

Αντί για κουμπιά και διακόπτες, τα εκσυγχρονισμένα HMIs επιτρέπουν στους χειριστές να αγγίξουν ή να πατήσουν τη φυσική οθόνη για τον χειρισμό τους. Οι οθόνες αφής είναι ιδιαίτερα σημαντικές όταν χρησιμοποιούνται με mobile HMIs, τα οποία αναπτύσσονται είτε μέσω web-based HMI/SCADA, είτε μέσω μιας εφαρμογής. Το mobile HMI προσφέρει διάφορα πλεονεκτήματα στους χειριστές, όπως άμεση πρόσβαση σε πληροφορίες HMI και απομακρυσμένη παρακολούθηση. [20]

3. *Απομακρυσμένη παρακολούθηση*

Η απομακρυσμένη παρακολούθηση προσφέρει μεγαλύτερη ευελιξία και προσβασιμότητα στους χειριστές. Μέσω αυτού του χαρακτηριστικού, ένας μηχανικός συστημάτων ελέγχου μπορεί να ελέγξει κάποια παράμετρο και να επιβεβαιώσει ότι έχει την κατάλληλή τιμή μέσω μιας φορητής συσκευής, χωρίς να χρειάζεται επιτόπια επίβλεψη μετά το πέρας του ωραρίου εργασίας του και ανεξαρτήτως από την απόσταση που τον χωρίζει με τη βιομηχανία. [20]

4. *Edge-of-Network & Cloud HMIs*

Τα Edge-of-network HMIs έχουν μεγάλη ζήτηση, καθώς επιτρέπουν στους χειριστές να έχουν πρόσβαση σε δεδομένα, τα οποία προέρχονται από τις συσκευές πεδίου. Το edge είναι η "συνοριακή" περιοχή του δικτύου, όπου οι συσκευές IoT συλλέγουν δεδομένα από αισθητήρες, επεξεργάζονται τα δεδομένα αυτά και αποστέλλουν τα αποτελέσματα στο υπόλοιπο δίκτυο. Επιπλέον, γίνεται όλο και πιο συνηθισμένη η αποστολή δεδομένων από local HMIs στο cloud, όπου μπορούν να προσπελαστούν και να αναλυθούν εξ αποστάσεως, διατηρώντας παράλληλα τις δυνατότητες ελέγχου σε τοπικό επίπεδο. [20]

Καθώς τα δεδομένα αποκτούν ολοένα και πιο κρίσιμο ρόλο στον τομέα της βιομηχανικής παραγωγής, η εξέλιξη των HMIs αναμένεται να συνεχιστεί. Ήδη διερευνώνται από τους μεγάλους κατασκευαστές του κλάδου τρόποι εφαρμογής της επαυξημένης πραγματικότητας (AR), της εικονικής πραγματικότητας (VR) και των ψηφιακών διδύμων (digital twins) για την ακριβέστερη οπτικοποίηση των βιομηχανικών διεργασιών. [20]

Εικόνα 29: Διεπαφή HMI

3.5.5 Υποδομή Δικτύου

Η υποδομή του δικτύου αποτελεί κρίσιμο δομικό στοιχείο των συστημάτων SCADA, καθώς επιτρέπει την ανταλλαγή δεδομένων και εντολών ελέγχου μεταξύ των διαφόρων στοιχείων του συστήματος. Η υποδομή δικτύου μπορεί να χωριστεί σε δύο κύριες κατηγορίες, την τοπική επικοινωνία και την επικοινωνία ευρείας περιοχής.

Η τοπική επικοινωνία (local communication) αναφέρεται στην επικοινωνία μεταξύ των διαφόρων στοιχείων του συστήματος SCADA εντός ενός δικτύου LAN. Περιλαμβάνει την επικοινωνία μεταξύ της MTU, των RTUs, των PLCs και των HMIs. Η τοπική επικοινωνία επιτυγχάνεται συνήθως με τη χρήση τυποποιημένων πρωτοκόλλων επικοινωνίας, όπως το Profibus, το Profinet, το ControlNet και το OPC, μέσω ενσύρματων ή ασύρματων δικτύων.

Η επικοινωνία ευρείας περιοχής (wide-area communication) αναφέρεται στην επικοινωνία μεταξύ του συστήματος SCADA και απομακρυσμένων εγκαταστάσεων, οι οποίες μπορεί να βρίσκονται σε διαφορετικές γεωγραφικές περιοχές ή να συνδέονται μέσω δορυφορικών συνδέσεων. Αυτό απαιτεί μια πιο ισχυρή υποδομή δικτύου, όπως ένα δίκτυο WAN ή ένα εικονικό ιδιωτικό δίκτυο (VPN), ώστε να διασφαλίζεται η ασφαλής και αξιόπιστη μετάδοση δεδομένων. Η επικοινωνία ευρείας περιοχής επιτυγχάνεται με τη χρήση εξειδικευμένων πρωτοκόλλων, όπως το IEC 61850, το ICCP, το SNMP και το TCP/IP, τα οποία παρέχουν προηγμένες λειτουργικότητες, όπως κρυπτογράφηση, αυθεντικοποίηση και συμπίεση δεδομένων.

Τα πρωτόκολλα βιομηχανικών δικτύων αποτελούν σημαντική πτυχή της δικτυακής υποδομής, καθώς παρέχουν τη βάση για την ανταλλαγή δεδομένων μεταξύ των διαφόρων στοιχείων του συστήματος SCADA. Αυτά τα πρωτόκολλα διαφέρουν μεταξύ τους ως προς τον ρυθμό μετάδοσης δεδομένων, την αξιοπιστία, την ασφάλεια και το εύρος, ενώ η επιλογή του πρωτοκόλλου εξαρτάται από τις συγκεκριμένες απαιτήσεις του εκάστοτε συστήματος.

Εκτός από το πρωτόκολλο επικοινωνίας, ιδιαίτερη έμφαση πρέπει να δίνεται και στο φυσικό στρώμα του δικτύου. Το φυσικό στρώμα, το οποίο περιλαμβάνει την καλωδίωση, τους connectors και άλλα στοιχεία υλικού που χρησιμοποιούνται για τη μετάδοση των δεδομένων μεταξύ των διαφόρων στοιχείων του συστήματος, μπορεί να έχει σημαντικό αντίκτυπο στην απόδοση και την αξιοπιστία της δικτυακής υποδομής.

3.6 Σύγκριση SCADA και DCS

Το SCADA και το DCS είναι δύο τύποι βιομηχανικών συστημάτων ελέγχου που χρησιμοποιούνται σε διαφορετικές εφαρμογές. Οι στόχοι των συστημάτων SCADA και DCS είναι διαφορετικοί. Αν και τα συστήματα μπορούν να εκτελούν τόσο SCADA, όσο και DCS λειτουργίες, λίγα από αυτά έχουν σχεδιαστεί με τον τρόπο αυτό.

Το SCADA είναι ένα λειτουργικά ενιαίο σύστημα που συλλέγει δεδομένα από απομακρυσμένους αισθητήρες, όργανα και συστήματα ελέγχου και τα εμφανίζει σε μια κεντρική αίθουσα ελέγχου που βρίσκεται σε μια κεντρική τοποθεσία. Χρησιμοποιείται κυρίως για την παρακολούθηση και τον έλεγχο διεργασιών μεγάλης κλίμακας από απόσταση, όπως η παραγωγή ενέργειας, η επεξεργασία νερού και υγρών αποβλήτων και η

παραγωγή πετρελαίου και φυσικού αερίου. Τα συστήματα SCADA χρησιμοποιούν συνήθως έλεγχο ανοικτού βρόχου, όπου οι χειριστές ρυθμίζουν χειροκίνητα τις παραμέτρους ελέγχου με βάση τα δεδομένα των αισθητήρων.

Τα συστήματα DCS, από την άλλη πλευρά, είναι συνήθως κατανεμημένα, με τους ελεγκτές να βρίσκονται πιο κοντά στις φυσικές διεργασίες που ελέγχουν. Οι μονάδες ελέγχου βρίσκονται συνήθως σε μια πιο περιορισμένη περιοχή. Χρησιμοποιούνται κυρίως για τον έλεγχο διακριτών παραγωγικών διαδικασιών, όπως η χημική παραγωγή, η διύλιση και η επεξεργασία τροφίμων. Χρησιμοποιούν συνήθως έλεγχο κλειστού βρόχου, όπου οι παράμετροι ελέγχου ρυθμίζονται αυτόματα με βάση την ανατροφοδότηση από αισθητήρες.

Τα συστήματα DCS τείνουν να είναι πιο πολύπλοκα από τα συστήματα SCADA. Αυτό οφείλεται στο γεγονός ότι έχουν σχεδιαστεί για τον έλεγχο και τη βελτιστοποίηση πολύπλοκων παραγωγικών διεργασιών. Τα συστήματα SCADA, από την άλλη πλευρά, έχουν σχεδιαστεί για την παρακολούθηση και τον έλεγχο φυσικών διεργασιών, αλλά δεν έχουν το ίδιο επίπεδο ελέγχου της παραγωγικής διαδικασίας όπως τα συστήματα DCS. Απαιτούν όμως μεγαλύτερη πολυπλοκότητα στο χειρισμό και την συλλογή δεδομένων.

Τα συστήματα SCADA είναι γενικά λιγότερο ισχυρά και έχουν χαμηλότερες επεξεργαστικές δυνατότητες σε σύγκριση με τα συστήματα DCS. Αντιθέτως, τα συστήματα DCS σχεδιάζονται με μεγαλύτερη επεξεργαστική ισχύ, επιτρέποντας ταχύτερους χρόνους απόκρισης και πιο σύνθετους αλγορίθμους ελέγχου.

Όσον αφορά τη συνδεσιμότητα τους, τα συστήματα SCADA σχεδιάζονται με δυνατότητες σύνδεσης σε μια ποικιλία εξοπλισμού και συσκευών που χρησιμοποιούν διαφορετικά πρωτόκολλα και τεχνολογίες. Αντιθέτως, τα συστήματα DCS χρησιμοποιούν τυποποιημένα πρωτόκολλα επικοινωνίας, κάτι που επιτρέπει την απρόσκοπτη ενσωμάτωση τους με άλλα συστήματα.

Τέλος, όσον αφορά την ασφάλεια, τα συστήματα SCADA είναι συχνά λιγότερο ασφαλή από τα συστήματα DCS λόγω της χρήσης πολλαπλών πρωτοκόλλων επικοινωνίας και της έλλειψης τυποποίησης. Τα συστήματα DCS από την πλευρά, σχεδιάζονται με ισχυρά χαρακτηριστικά ασφαλείας και τυποποιημένα πρωτόκολλα επικοινωνίας, ώστε να διασφαλίζεται η ασφαλής λειτουργία τους.

Συμπερασματικά, τα συστήματα DCS είναι προσανατολισμένα στον έλεγχο διεργασιών, ενώ τα συστήματα SCADA είναι προσανατολισμένα στη συλλογή των δεδομένων.

Γι’ αυτό το λόγο, τα δύο αυτά συστήματα έχουν διαφορετική σχεδιαστική φιλοσοφία. [1] [21]

3.7 Προκλήσεις συστημάτων SCADA

Τα περιβάλλοντα εργασίας των σύγχρονων συστημάτων SCADA είναι δυναμικά και αλλάζουν συνεχώς με απρόβλεπτο τρόπο, καθώς οι ταχείες τεχνολογικές εξελίξεις στην εποχή του διαδικτύου και των συνδεδεμένων συσκευών έχουν δημιουργήσει πολλές προκλήσεις. Εάν το σύστημα είναι αρκετά ευέλικτο, θα είναι σε θέση να προσαρμοστεί στις αλλαγές του περιβάλλοντος κατά τη διάρκεια εκτέλεσης (runtime), χωρίς την ανάγκη παρέμβασης του διαχειριστή ή τουλάχιστον με μικρότερη παρέμβαση, διασφαλίζοντας παράλληλα την ασφάλεια των εργαζομένων και του περιβάλλοντος. Οι κύριες προκλήσεις, η αντιμετώπιση και επίλυση των οποίων θα διαμορφώσει το μέλλον των συστημάτων SCADA, είναι οι εξής:

Μια από τις μεγαλύτερες προκλήσεις των συστημάτων SCADA αποτελεί η *πολυπλοκότητα* τους. Τα συστήματα αυτά αποτελούνται από πολλούς διαφορετικούς τύπους συσκευών, πρωτοκόλλα επικοινωνίας, δίκτυα επικοινωνίας , λογισμικά εφαρμογών, καθώς και από πολλαπλές ανεξάρτητες διεργασίες. Όλα αυτά τα στοιχεία πρέπει να συνεργάζονται με ακρίβεια και συνέπεια, ώστε να διασφαλιστεί η σωστή λειτουργία του συστήματος. Η πολυπλοκότητα αυξάνεται περαιτέρω εξαιτίας του αυξανόμενου όγκου των ανταλλασσόμενων δεδομένων και πληροφοριών των διεργασιών, γεγονός που καθιστά δύσκολη την αποτελεσματική διαχείριση του όγκου δεδομένων και την μετατροπή αυτών σε γνώση από τους μηχανικούς. Η μεγάλη πολυπλοκότητα καθιστά τα συστήματα SCADA άκαμπτα, καθώς γίνεται δύσκολη η διαδικασία πραγματοποίησης τροποποιήσεων στη διαδικασία ελέγχου και στον εξοπλισμό παρακολούθησης.

Μια άλλη πρόκληση των συστημάτων SCADA αποτελεί η *επεκτασιμότητα* τους. Επεκτασιμότητα είναι η ικανότητα ενός συστήματος, δικτύου ή διαδικασίας να διαχειρίζεται έναν αυξανόμενο όγκο εργασίας με ικανό τρόπο. Η επεκτασιμότητα και η πολυπλοκότητα συσχετίζονται, διότι αυξημένο μέγεθος σημαίνει αυξημένη πολυπλοκότητα. Η νέα γενιά συστημάτων SCADA θα πρέπει να είναι επεκτάσιμη, με την έννοια ότι νέα στοιχεία ή διεπαφές πελάτη θα μπορούν να προστίθενται δυναμικά, χωρίς να επηρεάζεται η απόδοση του συστήματος και χωρίς να κλείνει το σύστημα και στη συνέχεια να εκτελείται ξανά.

Ένα από τα σημαντικότερα ζητήματα των συστημάτων SCADA αποτελεί η *ασφάλεια*. Για λόγους αποτελεσματικότητας, συντήρησης και οικονομίας, οι πλατφόρμες συλλογής δεδομένων και ελέγχου έχουν "μεταναστεύσει" από απομονωμένα δίκτυα εντός των εγκαταστάσεων που χρησιμοποιούν ιδιόκτητο υλικό και λογισμικό, σε συστήματα βασισμένα σε ηλεκτρονικούς υπολογιστές που χρησιμοποιούν τυποποιημένο λογισμικό, πρωτόκολλα δικτύου και το διαδίκτυο. Το μειονέκτημα αυτής της μετάβασης ήταν ότι τα συστήματα SCADA εκτέθηκαν στις ίδιες ευπάθειες και απειλές που πλήττουν τους υπολογιστές που βασίζονται στα Windows και τα σχετικά τους δίκτυα. Τα συστήματα SCADA που συνδέουν αποκεντρωμένες εγκαταστάσεις, όπως αγωγοί ηλεκτρικής ενέργειας, πετρελαίου και φυσικού αερίου και συστήματα διανομής νερού και συλλογής λυμάτων σχεδιάστηκαν για να είναι ανοικτά, στιβαρά και εύκολα διαχειρίσιμα και επισκευάσιμα, αλλά όχι απαραίτητα ασφαλή. Επίσης δεν προορίζονταν για να λειτουργούν εντός του επιχειρηματικού περιβάλλοντος. Η μετάβαση από τις ιδιόκτητες τεχνολογίες σε πιο τυποποιημένες και ανοικτές λύσεις σε συνδυασμό με τον αυξημένο αριθμό συνδέσεων μεταξύ των συστημάτων SCADA, των δικτύων γραφείων και την εδραίωση του διαδικτύου τα έχει καταστήσει ευάλωτα. Ένα άλλο ζήτημα είναι η αδυναμία των στοιχείων των συστημάτων SCADA να αντιμετωπίσουν την έκθεση σε ιούς, worms και κακόβουλο λογισμικό, το οποίο αποτελεί συνηθισμένο φαινόμενο σήμερα εντός των enterprise networks.

Σημαντικό χαρακτηριστικό για την λειτουργία ενός συστήματος SCADA αποτελεί η *αξιοπιστία*. Η αξιοπιστία είναι η πιθανότητα ένα εξάρτημα ή ένα σύστημα να εκτελέσει την απαιτούμενη λειτουργία του, υπό ορισμένες συνθήκες και σε προκαθορισμένο χρόνο. Ο κύριος λόγος για αστοχίες στα συστήματα SCADA είναι η αστοχία του δικτύου επικοινωνίας. Τα PLCs και οι ηλεκτρονικοί υπολογιστές έχουν χαμηλότερα ποσοστά αστοχίας σε σύγκριση με το δίκτυο επικοινωνίας. Η διαθεσιμότητα του δικτύου επικοινωνίας θα πρέπει να αυξηθεί, για να είναι ένα σύστημα SCADA πιο αξιόπιστο. Όσον αφορά το λογισμικό, η αξιοπιστία του μπορεί να αυξηθεί στο στάδιο του σχεδιασμού αντί για το στάδιο της ανάπτυξης, καθώς το κόστος για τη βελτίωση της αξιοπιστίας μετά το σχεδιασμό είναι υψηλότερο.

Πρόκληση για τα συστήματα SCADA αποτελεί και η *ευελιξία* τους, καθώς τα συστήματα αυτά πρέπει να λειτουργούν συνεχώς, ακόμα και κατά τη διάρκεια αλλαγών στο περιβάλλον όπου είναι εγκατεστημένα. Αυτό συχνά απαιτεί την αλλαγή συγκεκριμένων

παραμέτρων του συστήματος ή των συνδεδεμένων συσκευών, κάτι που μπορεί να επηρεάσει τη σταθερότητα και αξιοπιστία του συστήματος.

Μια άλλη πρόκληση είναι η *διαλειτουργικότητα*, η οποία είναι μια ιδιότητα που αναφέρεται στην ικανότητα διαφορετικών συστημάτων και οργανισμών να συνεργάζονται. Η επικοινωνία, η εκτέλεση προγραμμάτων και η μεταφορά δεδομένων μεταξύ διαφορετικών λειτουργικών μονάδων θα πρέπει να γίνονται με τρόπο που δεν απαιτεί από τον χρήστη να έχει γνώση των μοναδικών χαρακτηριστικών αυτών των μονάδων. Η διαλειτουργικότητα μπορεί να επιτευχθεί μέσω της χρήσης συμφωνημένων προτύπων και προδιαγραφών.

Σημαντικό είναι ένα σύστημα SCADA να χαρακτηρίζεται από *ανθεκτικότητα*. Ανθεκτικότητα είναι η ικανότητα ενός υπολογιστικού συστήματος να αντιμετωπίζει σφάλματα κατά την εκτέλεση του, ή η ικανότητα ενός αλγορίθμου να συνεχίζει να λειτουργεί ανεξάρτητα από ανωμαλίες (abnormalities) στις εισόδους ή στους υπολογισμούς.

Τέλος, πρόκληση αποτελεί η *διαχείριση των legacy συστημάτων*. Τα legacy συστήματα είναι παλαιά συστήματα που συνεχίζουν να χρησιμοποιούνται, παρά τις σχετικά χαμηλές επιδόσεις τους και την έλλειψη συμβατότητας με άλλα συστήματα. Συχνά, η αντικατάσταση εξαρτημάτων είναι μια ακριβή και δυσάρεστη επιλογή για τον πελάτη. Τα ιδιόκτητα συστήματα SCADA παλαιότερης γενιάς δεσμεύουν τον πελάτη σε έναν συγκεκριμένο κατασκευαστή συσκευών ελέγχου, φέρνοντας τον σε μια δύσκολη διαπραγματευτική θέση κατά τις μελλοντικές αγορές. Επομένως, η νέα γενιά SCADA θα πρέπει να διατηρεί τη συμβατότητα με αυτά τα παλαιά συστήματα για ένα χρονικό διάστημα μέχρι να πραγματοποιηθεί πλήρης αναβάθμιση και επικαιροποίηση αυτών. [17]

4 Διαδικτύωση στη Βιομηχανία

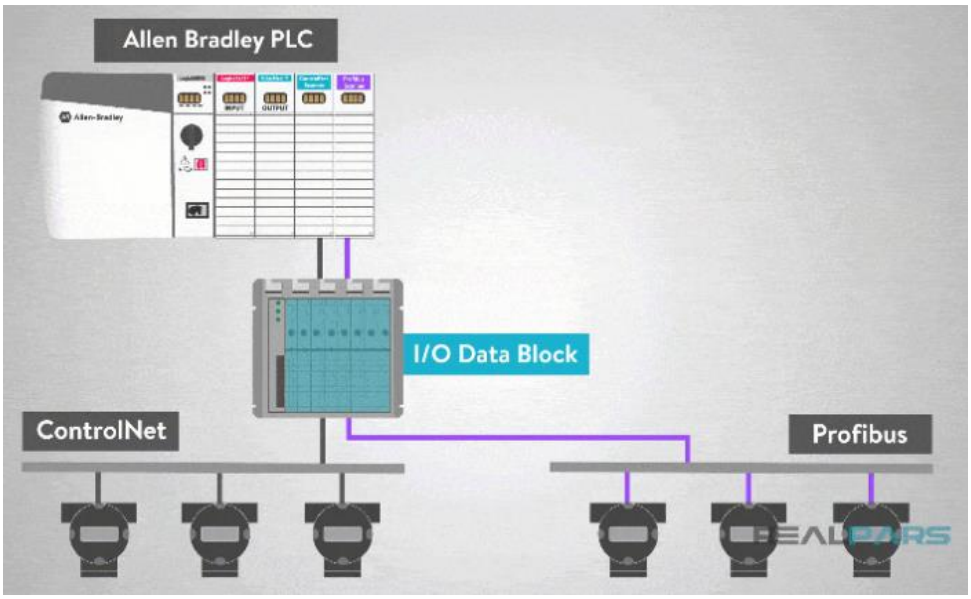
Η διαδικτύωση είναι η διαδικασία σύνδεσης πολλαπλών δικτύων ή τμημάτων δικτύου μεταξύ τους για τη δημιουργία ενός μεγαλύτερου, πιο σύνθετου δικτύου. Στον βιομηχανικό αυτοματισμό, η διαδικτύωση είναι ζωτικής σημασίας για την επίτευξη αποτελεσματικής και αξιόπιστης επικοινωνίας μεταξύ των διαφόρων συσκευών και συστημάτων που χρησιμοποιούνται στις διαδικασίες παραγωγής. Αυτή η επικοινωνία είναι απαραίτητη για την παρακολούθηση, τον έλεγχο και την ανταλλαγή μεγάλου όγκου δεδομένων σε πραγματικό χρόνο μεταξύ συσκευών, μηχανών και συστημάτων, επιτρέποντας τον καλύτερο συντονισμό και τη διαχείριση των βιομηχανικών λειτουργιών. Τα βιομηχανικά δίκτυα διαδραματίζουν κρίσιμο ρόλο στο βιομηχανικό IoT (IIoT) και συμβάλλουν στην ασφαλή και αποδοτική λειτουργία των διαφόρων βιομηχανιών.

Για να επιτευχθεί η διαδικτύωση στον βιομηχανικό αυτοματισμό, έχουν αναπτυχθεί διάφορα πρωτόκολλα και πρότυπα, ώστε να εξασφαλιστεί η απρόσκοπτη επικοινωνία μεταξύ των διαφορετικών συσκευών και συστημάτων. Τα πρωτόκολλα βιομηχανικής διαδικτύωσης μπορεί να διαφέρουν σε μεγάλο βαθμό όσον αφορά το σχεδιασμό, τη λειτουργικότητα και την εφαρμογή τους. Ορισμένα πρωτόκολλα έχουν σχεδιαστεί για συγκεκριμένους τύπους εφαρμογών αυτοματισμού, ενώ άλλα είναι πιο γενικής χρήσης. Επιπλέον, ορισμένα πρωτόκολλα χρησιμοποιούν ιδιόκτητα πρότυπα επικοινωνίας (proprietary communication standards), ενώ άλλα είναι ανοικτά και τυποποιημένα (standardized). Η ταχύτητα, το εύρος ζώνης, η καθυστέρηση (latency), η αξιοπιστία και η ανοχή σε σφάλματα των διαφόρων πρωτοκόλλων μπορεί επίσης να διαφέρουν. Η επιλογή του πρωτοκόλλου που θα χρησιμοποιηθεί εξαρτάται από παράγοντες όπως ο τύπος της εφαρμογής, η απαιτούμενη ταχύτητα και ακρίβεια της επικοινωνίας, η υπάρχουσα υποδομή και οι ειδικές απαιτήσεις του εκάστοτε βιομηχανικού περιβάλλοντος.

4.1 Fieldbus

Για πολλά χρόνια, τα βιομηχανικά δίκτυα συνδέονταν με χρήση σειριακής επικοινωνίας RS232. Τα συστήματα αυτά είχαν περιορισμούς, καθώς οι σειριακές επικοινωνίες επέτρεπαν την επικοινωνία μόνο δύο συσκευών. Ωστόσο, στα τέλη του 20ού αιώνα, η ανάπτυξη του διεθνούς προτύπου Fieldbus αποτέλεσε σημείο καμπής στη σύνδεση των βιομηχανικών δικτύων.

Το Fieldbus αναφέρεται σε μια συλλογή βιομηχανικών δικτύων υπολογιστών που επιτρέπει σε συσκευές εισόδου, όπως διακόπτες Ethernet και αισθητήρες, να επικοινωνούν με συσκευές εξόδου, όπως βαλβίδες και κινητήρες, χωρίς να χρειάζεται να συνδεθεί κάθε συσκευή με έναν ελεγκτή. Οι συσκευές Fieldbus, όπως αισθητήρες, κινητήρες, λυχνίες και διακόπτες συνδέονται σε ένα "I/O data block" , το οποίο στη συνέχεια συνδέεται σε μια "συσκευή διανομής πεδίου" (field distribution device), η οποία συνδέεται σε ένα τροφοδοτικό Fieldbus και τέλος συνδέεται πίσω στο PLC. Η μεταφορά πληροφοριών σε ένα Fieldbus πραγματοποιείται μέσω μικρών πακέτων που μεταδίδονται με διαδοχική (sequential) μέθοδο και πολυπλέκονται (multiplexed) με την πάροδο του χρόνου.



Εικόνα 30: I/O Data Block

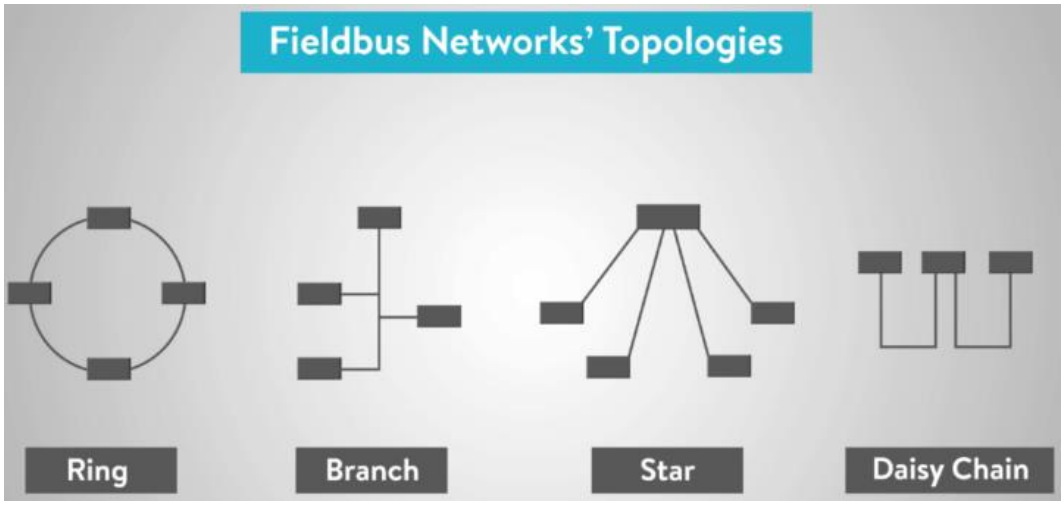
Εν συντομία, το Fieldbus προσφέρει ένα αποδοτικό και αποτελεσματικό μέσο για τη σύνδεση διαφόρων συσκευών σε ένα ενιαίο βιομηχανικό δίκτυο και διευκόλυνση του ελέγχου και της παρακολούθησης σε πραγματικό χρόνο. Το Fieldbus δεν είναι απαραί-

τητα ένας τύπος σύνδεσης, αλλά αναφέρεται σε μια ομάδα πρωτοκόλλων που χρησιμοποιούνται σε βιομηχανικές εφαρμογές. Τα πρωτόκολλα Fieldbus έχουν τυποποιηθεί ως IEC61158.

Επί του παρόντος, δεν υφίσταται ενιαία τυποποιημένη αρχιτεκτονική πρωτοκόλλου για τα συστήματα Fieldbus. Ως εκ τούτου, τα πρωτόκολλα σε ένα Fieldbus μπορεί να διαφέρουν σημαντικά ανάλογα με την εφαρμογή και τον κλάδο στον οποίο χρησιμοποιείται. Μερικά από τα πιο συνηθισμένα πρωτόκολλα που περιλαμβάνονται σε ένα Fieldbus είναι τα εξής:

- Profibus
- Profinet
- ControlNet
- DeviceNet
- ModBus
- EtherCat
- HART

Το Fieldbus λειτουργεί σε ένα δίκτυο που επιτρέπει διάφορες τοπολογίες, όπως η τοπολογία δακτυλίου (ring), η τοπολογία δένδρου (branch), η τοπολογία αστέρα (star) και η τοπολογία διαύλου (bus/daisy chain).



Εικόνα 31: Τοπολογίες δικτύου Fieldbus

Όσον αφορά τα πλεονεκτήματα του Fieldbus, ένα εκ των σημαντικότερων είναι οι μειωμένες απαιτήσεις καλωδίωσης. Επιτρέποντας τη σύνδεση εκατοντάδων συσκευών σε ένα μόνο σημείο σύνδεσης και ελεγκτή, ο αριθμός των απαιτούμενων καλωδίων μειώνεται σημαντικά. Εκτός από τη μείωση του αριθμού των απαιτούμενων καλωδίων, το

μήκος των καλωδίων που απαιτούνται σε ένα σύστημα Fieldbus μειώνεται επίσης, απλοποιώντας περαιτέρω την καλωδίωση ενός συστήματος.

Οι μειωμένες απαιτήσεις καλωδίωσης ενός δικτύου μπορούν επίσης να μειώσουν το κόστος. Εξαλείφοντας την ανάγκη σύνδεσης κάθε μεμονωμένης συσκευής σε ένα δίκτυο με έναν ελεγκτή, το Fieldbus μπορεί να μειώσει σημαντικά το κόστος εγκατάστασης και λειτουργίας ενός δικτύου.

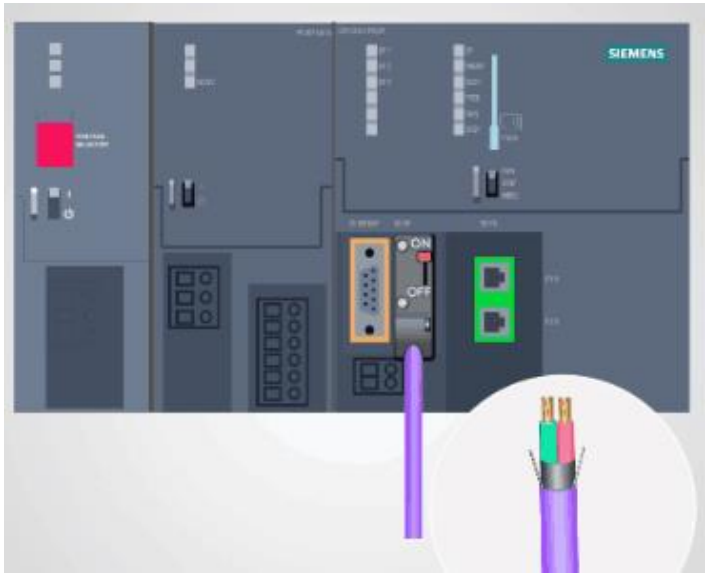
Παράλληλα, το γεγονός ότι τα συστήματα Fieldbus διαθέτουν πολύ λιγότερα καλώδια σε σχέση με την παράλληλη καλωδίωση, καθιστά τη διαδικασία σχεδιασμού, εγκατάστασης και οργάνωσης ενός συστήματος Fieldbus πιο εύκολη και γρήγορη.

Τέλος, τα συστήματα Fieldbus είναι συχνά πιο αξιόπιστα από την παράλληλη καλωδίωση. Επειδή τα συστήματα Fieldbus έχουν σύντομες διαδρομές σήματος, η διαθεσιμότητα και η αξιοπιστία του συστήματος βελτιώνονται. Επιπλέον, τα συστήματα Fieldbus παρέχουν βελτιωμένη προστασία από παρεμβολές, κάτι που είναι ιδιαίτερα εμφανές στην περίπτωση των αναλογικών τιμών. [22] [23]

4.2 Profibus

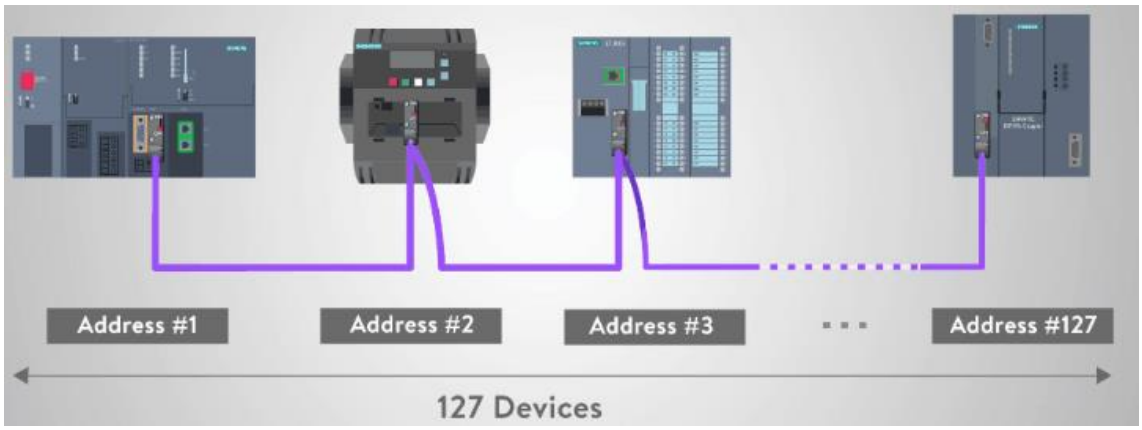
Το Profibus είναι ένα ευρέως χρησιμοποιούμενο πρωτόκολλο βιομηχανικής δικτύωσης που έχει σχεδιαστεί για να διευκολύνει την επικοινωνία και την ανταλλαγή δεδομένων μεταξύ διαφόρων συσκευών και συστημάτων σε εφαρμογές βιομηχανικού αυτοματισμού. Το Profibus ή αλλιώς "Process Field Bus" αναπτύχθηκε από τον γερμανικό οργανισμό Profibus & Profinet International (PI) και χρησιμοποιείται εκτενώς στα συστήματα ελέγχου της Siemens.

Είναι γνωστό για την ευελιξία του και χρησιμοποιείται σε ένα ευρύ φάσμα βιομηχανικών τομέων, όπως η μεταποίηση, ο έλεγχος διεργασιών και ο αυτοματισμός εργοστασίων. Μέσω ενός ενιαίου καλωδίου bus, το Profibus συνδέει ελεγχτές ή συστήματα ελέγχου με αποκεντρωμένες συσκευές πεδίου (αισθητήρες και ενεργοποιητές) στο field level και επιτρέπει τη συνεπή ανταλλαγή δεδομένων με συστήματα επικοινωνίας ανώτερης βαθμίδας με αξιόπιστη και υψηλή ταχύτητα. Τα περισσότερα καλώδια Profibus είναι εύκολα αναγνωρίσιμα από το μωβ εξωτερικό περίβλημα τους.



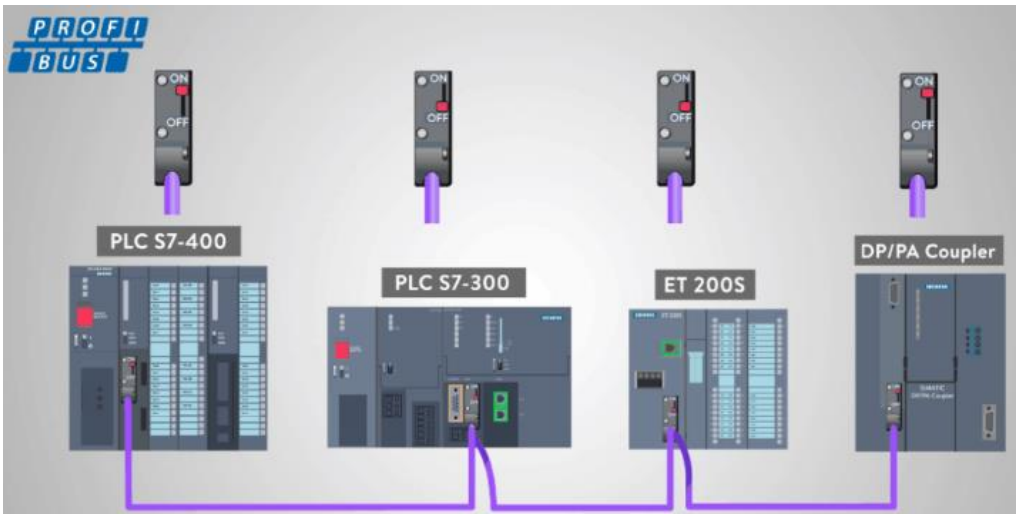
Εικόνα 32: Profibus purple outer jacket

Κάθε συσκευή σε ένα δίκτυο Profibus πρέπει να έχει μια μοναδική διεύθυνση, που κυμαίνεται από 1 έως 127. Αυτό σημαίνει ότι σε ένα δίκτυο Profibus μπορούν να συνδεθούν έως και 127 συσκευές.



Εικόνα 33: Σύνδεση συσκευών στο δίκτυο Profibus

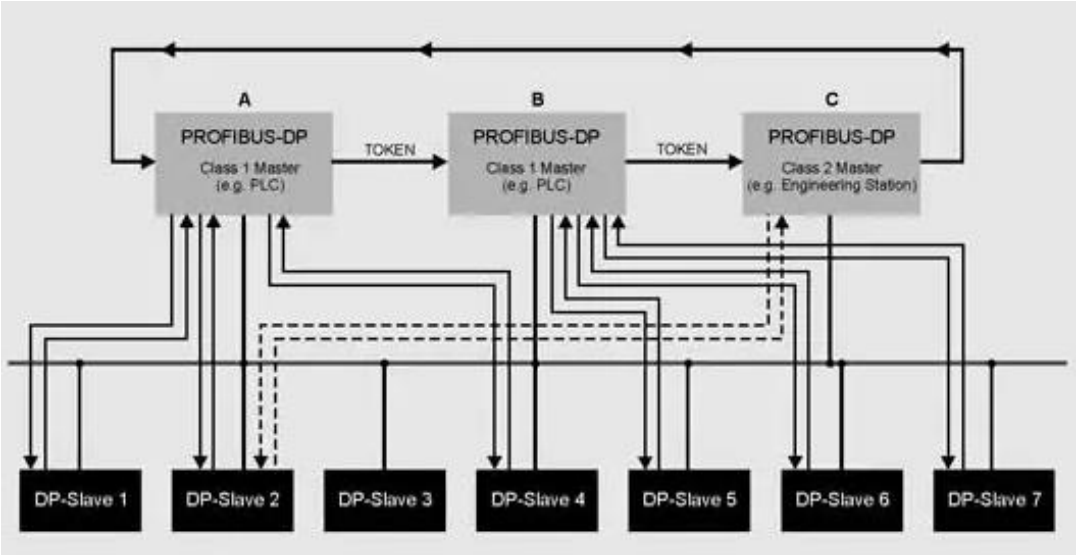
Ορισμένοι Profibus connectors διαθέτουν ένα pass-through port στο πίσω μέρος του connector, ώστε να μπορεί να συνδεθεί μια άλλη συσκευή στον δίαυλο. Οι connectors έχουν έναν κόκκινο διακόπτη στο πίσω μέρος. Αυτός ο διακόπτης ελέγχει την αντίσταση τερματισμού. Η αντίσταση τερματισμού υποδεικνύει το τέλος του δικτύου Profibus. Αυτός ο διακόπτης πρέπει να βρίσκεται στη θέση "on" για την πρώτη και την τελευταία συσκευή και στη θέση "off" για κάθε άλλη συσκευή. Εάν αυτοί οι διακόπτες έχουν ρυθμιστεί λανθασμένα, θα προκύψει σφάλμα διαύλου.



Εικόνα 34: Σύνδεση συσκευών με δίκτυο Profibus

Το Profibus χρησιμοποιεί ένα μοντέλο επικοινωνίας master-slave, όπου μια κεντρική master συσκευή ελέγχει την επικοινωνία με πολλαπλές slave συσκευές. Το πρωτόκολλο ορίζει τη μορφή και τη δομή των μηνυμάτων που ανταλλάσσονται μεταξύ των συσκευών, συμπεριλαμβανομένης της ανταλλαγής δεδομένων, των διαγνωστικών και της παραμετροποίησης των συσκευών. Όλες οι συσκευές περνούν από μια ακολουθία εκκίνησης (startup sequence) μέσα από την οποία "εντάσσονται" στο δίκτυο. Κάθε slave διατηρεί έναν χρονοδιακόπτη ασφαλείας (failsafe timer). Εάν ο master δεν του μιλήσει εντός ενός συγκεκριμένου χρονικού ορίου, ο slave μεταβαίνει σε μια ασφαλή κατάσταση (safe state). Ο master πρέπει στη συνέχεια να περάσει ξανά από την ακολουθία εκκίνησης πριν γίνει περαιτέρω ανταλλαγή δεδομένων. Αυτό, σε συνδυασμό με έναν χρονοδιακόπτη watchdog στον master, διασφαλίζει ότι όλη η επικοινωνία πραγματοποιείται σε κάθε κύκλο διαύλου (bus cycle) με συγκεκριμένη χρονική τιμή.

Η γενική σάρωση διαύλου (general bus scan) γίνεται όπως φαίνεται στο παρακάτω σχήμα. Ο master A λαμβάνει το token, το οποίο του δίνει τον έλεγχο του διαύλου. Στη συνέχεια θα ανταλλάξει δεδομένα με κάθε έναν από τους slaves του και όταν ολοκληρωθεί, θα μεταβιβάσει το token στον επόμενο master (αν υπάρχει). Η απαίτηση για λεπτομερή διαγνωστικά από κάθε slave είναι επίσης ενσωματωμένη στο πρωτόκολλο. Κατά τη διάρκεια της απλής ανταλλαγής δεδομένων, ένας slave μπορεί να ειδοποιήσει τον master ότι διαθέτει διαγνωστικά στοιχεία, τα οποία ο master θα διαβάσει κατά την επόμενη σάρωση του διαύλου.



Εικόνα 35: Profibus Scan

Το Profibus ενσωματώνει ισχυρές διαγνωστικές δυνατότητες, επιτρέποντας την αποτελεσματική αντιμετώπιση προβλημάτων και την παρακολούθηση του δικτύου και των συνδεδεμένων συσκευών. Οι διαγνωστικές πληροφορίες περιλαμβάνουν παρακολούθηση της κατάστασης, ανίχνευση σφαλμάτων και διαγνωστικά ειδικά για τις συσκευές, τα οποία βοηθούν στον εντοπισμό και την επίλυση προβλημάτων στο σύστημα αυτοματισμού.

Υποστηρίζει διαφορετικές τοπολογίες δικτύου, ώστε να ανταποκρίνεται στις ειδικές ανάγκες ενός συστήματος βιομηχανικού αυτοματισμού. Μπορεί να υλοποιηθεί σε μια point-to-point διάταξη, όπου μια master συσκευή επικοινωνεί με μια μοναδική slave συσκευή. Υποστηρίζει επίσης multidrop διατάξεις, επιτρέποντας τη σύνδεση πολλαπλών slaves σε ένα τμήμα διαύλου. Επιπλέον, το Profibus υποστηρίζει διάταξη διαύλου (bus), όπου πολλαπλές συσκευές συνδέονται σε ένα δίκτυο κορμού (network backbone).

Το Profibus, το οποίο υποστηρίζεται από πολυάριθμους κατασκευαστές συσκευών αυτοματισμού, ορίζει διάφορα προφίλ συσκευών που καθορίζουν τη συμπεριφορά, τις λειτουργίες και τις παραμέτρους διαφορετικών τύπων συσκευών. Αυτά τα προφίλ διασφαλίζουν τη συνοχή και τη διαλειτουργικότητα μεταξύ συσκευών από διαφορετικούς κατασκευαστές, διευκολύνοντας την απρόσκοπτη ενσωμάτωση και ανταλλαγή δεδομένων.

Το Profibus υποστηρίζεται από μια σειρά πακέτων λογισμικού, τα οποία απλοποιούν τη διαμόρφωση, τη θέση σε λειτουργία και τη συντήρηση των δικτύων Profibus. Αυτά

τα εργαλεία παρέχουν χαρακτηριστικά όπως παραμετροποίηση συσκευών, διαγνωστικά δικτύου και απεικόνιση της τοπολογίας του δικτύου.

Υπάρχουν δύο κύριες εκδόσεις του Profibus: το Profibus DP (Decentralized Periphery) και το Profibus PA (Process Automation).

Το Profibus DP, το οποίο βασίζεται στο πρωτόκολλο RS485, χρησιμοποιείται κυρίως για την επικοινωνία μεταξύ συσκευών σε εφαρμογές βιομηχανικού αυτοματισμού και διακριτής παραγωγής. Υποστηρίζει μεταφορά δεδομένων υψηλής ταχύτητας και είναι κατάλληλο για εφαρμογές με μεγάλο όγκο δεδομένων ή γρήγορους χρόνους κύκλου (cycle times). Το Profibus DP υποστηρίζει ταχύτητες μετάδοσης έως και 12 Mbps, παρέχοντας γρήγορη και αποτελεσματική ανταλλαγή δεδομένων σε εφαρμογές υψηλής ταχύτητας. Μπορεί να χρησιμοποιηθεί για την αντικατάσταση της παράλληλης μετάδοσης σημάτων με 24 V ή 0 έως 20 mA.

Το Profibus PA, το οποίο βασίζεται στο πρωτόκολλο MBP-IS, έχει σχεδιαστεί ειδικά για αυτοματοποίηση διεργασιών που συναντώνται σε βιομηχανίες χημικών προϊόντων, πετρελαίου και φυσικού αερίου και επεξεργασίας νερού. Το Profibus PA λειτουργεί σε επικίνδυνα περιβάλλοντα και υποστηρίζει την επικοινωνία με συσκευές όπως πομπούς και ενεργοποιητές. Χρησιμοποιεί ασφαλείς τεχνικές μετάδοσης για να διασφαλίσει την ασφαλή και αξιόπιστη λειτουργία. Επιτρέπει τη σύνδεση αισθητήρων και ενεργοποιητών σε μια κοινή γραμμή διαύλου (bus line) ακόμη και σε εγγενώς ασφαλείς περιοχές. Επιτρέπει την επικοινωνία δεδομένων και την τροφοδοσία μέσω του διαύλου χρησιμοποιώντας τεχνολογία δύο καλωδίων, σύμφωνα με το διεθνές πρότυπο IEC 1158-2. Λειτουργεί με ταχύτητα 31,25 kbps, η οποία είναι κατάλληλη για αυτοματοποίηση διεργασιών με χαμηλότερες απαιτήσεις μεταφοράς δεδομένων. [24] [25] [26] [27]

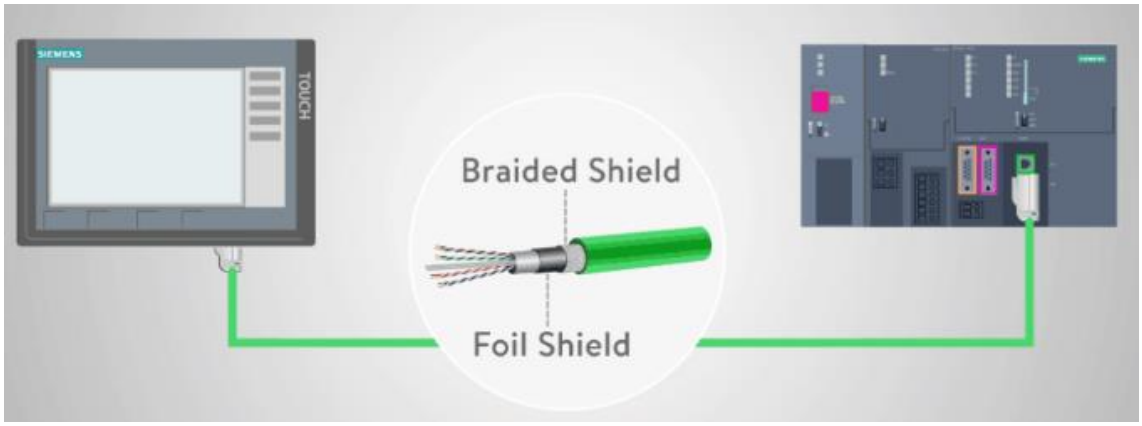
4.3 Profinet

Το Profinet είναι ένα βιομηχανικό πρωτόκολλο επικοινωνίας βασισμένο στο Ethernet που επιτρέπει την ανταλλαγή δεδομένων σε πραγματικό χρόνο και την επικοινωνία μεταξύ διαφόρων συσκευών και συστημάτων σε εφαρμογές βιομηχανικού αυτοματισμού. Είναι ένα ανοικτό πρότυπο που αναπτύχθηκε από την Profibus & Profinet International (PI), τον ίδιο οργανισμό που είναι υπεύθυνος για το Profibus και χρησιμοποιείται και αυτό εκτενώς στα συστήματα ελέγχου της Siemens.

Το Profinet συνδυάζει τα πλεονεκτήματα της τεχνολογίας Ethernet, όπως οι υψηλοί ρυθμοί δεδομένων και η ευρεία διαθεσιμότητα, με την ανθεκτικότητα και την αξιοπιστία

που απαιτείται για τα βιομηχανικά περιβάλλοντα. Παρέχει μια ευέλικτη και επεκτάσιμη λύση για τη σύνδεση συσκευών σε ένα σύστημα αυτοματισμού, συμπεριλαμβανομένων αισθητήρων, ενεργοποιητών, ελεγκτών, HMIs και άλλων συσκευών.

Η φυσική διεπαφή που χρησιμοποιείται για το Profinet είναι μια standard υποδοχή RJ-45 Ethernet. Τα καλώδια Profinet αναγνωρίζονται εύκολα από το πράσινο χρώμα τους. Αν και σε ορισμένες περιπτώσεις μπορεί να χρησιμοποιηθεί ένα standard καλώδιο Ethernet για τη σύνδεση δύο συσκευών Profinet, θα πρέπει να χρησιμοποιούνται επίσημα καλώδια Profinet, καθώς διαθέτουν ισχυρή θωράκιση και έχουν σχεδιαστεί για να λειτουργούν σε σκληρά βιομηχανικά περιβάλλοντα. Το Profinet λειτουργεί με ταχύτητα 100 megabits ανά δευτερόλεπτο και τα καλώδια μπορούν να έχουν μήκος έως και 100 μέτρα. Λόγω της υψηλής ταχύτητας λειτουργίας και του χρόνου απόκρισης μικρότερου από 1 χιλιοστό του δευτερολέπτου, το Profinet είναι ιδανικό για εφαρμογές υψηλής ταχύτητας. Επειδή το Profinet χρησιμοποιεί τα ίδια standards για φυσική σύνδεση με το Ethernet, μπορούν να χρησιμοποιηθούν standard Ethernet switches για την επέκταση του δικτύου.

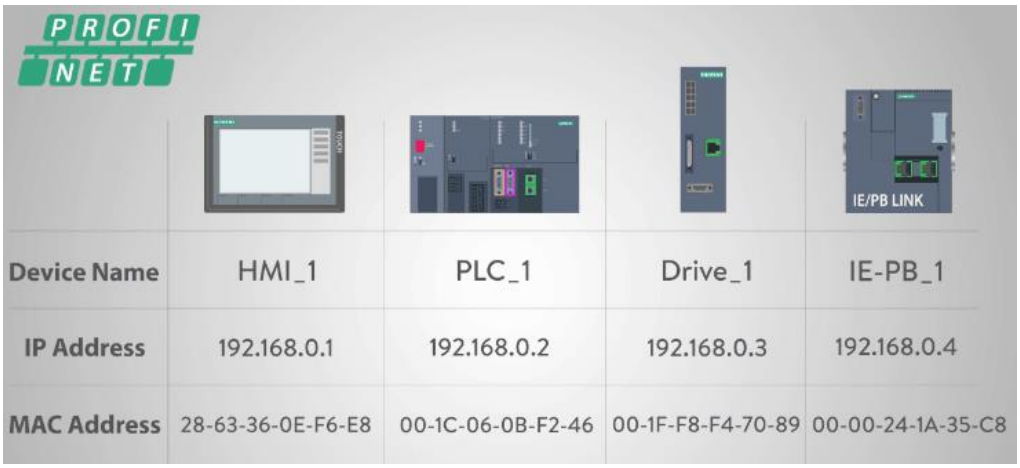


Εικόνα 36: Σύνδεση PLC με HMI με χρήση Profinet

Οι συσκευές Profinet διαθέτουν τρεις διαφορετικούς τύπους διευθύνσεων:

- Διεύθυνση IP
- Διεύθυνση MAC
- Όνομα συσκευής

Όλες οι συσκευές Ethernet χρησιμοποιούν IP και MAC διευθύνσεις, αλλά το όνομα της συσκευής είναι μοναδικό για τις συσκευές Profinet.



Εικόνα 37: Τύποι διευθύνσεων συσκευών Profinet

Το Profinet υποστηρίζει επικοινωνία σε πραγματικό χρόνο, εξασφαλίζοντας ακριβή ανταλλαγή δεδομένων για εφαρμογές κρίσιμου χρόνου. Παρέχει μηχανισμούς για την ιεράρχηση και τον προγραμματισμό της μετάδοσης δεδομένων, εξασφαλίζοντας την έγκαιρη και αξιόπιστη παράδοση κρίσιμων δεδομένων ελέγχου και αισθητήρων.

Επίσης, ενσωματώνει προφίλ συσκευών που καθορίζουν τη συμπεριφορά, τη λειτουργικότητα και τις παραμέτρους διαφορετικών τύπων συσκευών. Αυτά τα προφίλ διασφαλίζουν τη διαλειτουργικότητα και την ευκολία ενσωμάτωσης μεταξύ συσκευών από διαφορετικούς κατασκευαστές, διευκολύνοντας τη λειτουργικότητα plug-and-play.

Προσφέρει ακόμα τη δυνατότητα επεκτασιμότητας για την προσαρμογή σε διάφορα μεγέθη και πολυπλοκότητες δικτύων. Υποστηρίζει διαφορετικές τοπολογίες δικτύου, όπως διαύλου, δακτυλίου, αστέρα ή συνδυασμούς αυτών, παρέχοντας ευελιξία στο σχεδιασμό του δικτύου και δυνατότητα προσαρμογής σε συγκεκριμένες απαιτήσεις εφαρμογών.

Το Profinet παρέχει ολοκληρωμένες δυνατότητες διάγνωσης και παρακολούθησης, επιτρέποντας την αποτελεσματική αντιμετώπιση προβλημάτων, τη συντήρηση και τη διαχείριση συσκευών. Υποστηρίζει χαρακτηριστικά όπως η αναγνώριση συσκευών, τα διαγνωστικά δικτύου και η απομακρυσμένη παραμετροποίηση, απλοποιώντας τη συντήρηση του συστήματος και μειώνοντας τους χρόνους διακοπής λειτουργίας.

Τέλος, το Profinet περιλαμβάνει χαρακτηριστικά που διασφαλίζουν την ασφάλεια και την προστασία των βιομηχανικών δικτύων. Ενσωματώνει πρωτόκολλα Profinet Safety, επιτρέποντας την υλοποίηση λειτουργιών ασφαλείας στο δίκτυο. Επιπλέον, ενσωματώνει μηχανισμούς ασφαλείας, όπως αυθεντικοποίηση και κρυπτογράφηση, για την προστασία από μη εξουσιοδοτημένη πρόσβαση και παραβίαση δεδομένων. [25] [27] [28]

4.4 ControlNet

Το ControlNet είναι ένα ανοιχτό ντετερμινιστικό πρωτόκολλο βιομηχανικού δικτύου πραγματικού χρόνου που χρησιμοποιείται σε εφαρμογές ελέγχου διεργασιών και αυτοματισμού. Αναπτύχθηκε από τη Rockwell Automation και το διαχειρίζεται η "Open DeviceNet Vendors Association" ή ODVA.

Το ControlNet χρησιμοποιεί το πρωτόκολλο CIP (Common Industrial Protocol) για τα ανώτερα στρώματα του μοντέλου OSI, δηλαδή για τα επίπεδα εφαρμογής, παρουσίασης και συνόδου. Επίσης, οι σχεδιαστές του ControlNet προσάρμοσαν τα επίπεδα CIP της μεταφοράς, του δικτύου, της ζεύξης δεδομένων και του φυσικού για να ταιριάζουν στις ανάγκες του δικτύου ControlNet.

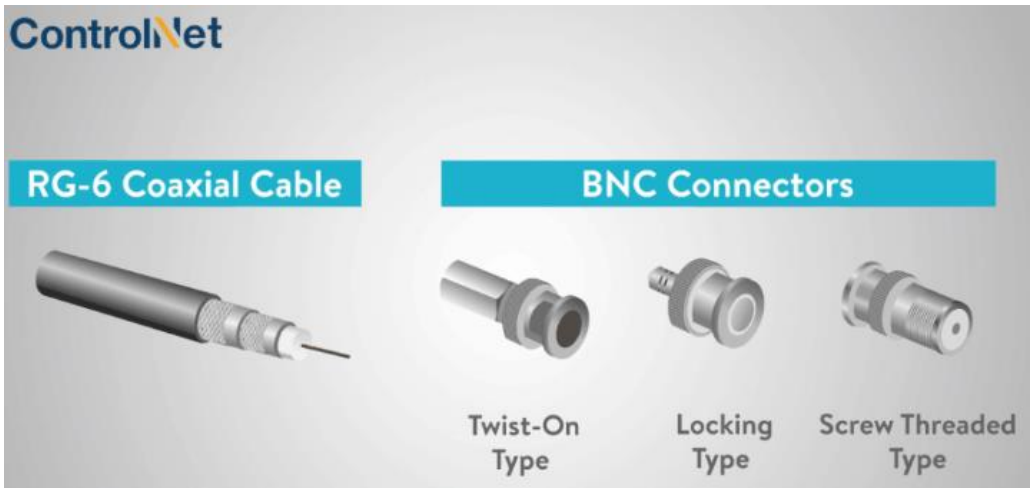
Το ControlNet σχεδιάστηκε για να παρέχει αξιόπιστη, υψηλής ταχύτητας μεταφορά δεδομένων ελέγχου και I/O με τη χρήση προγραμματισμού που θέτει τη λογική σε συγκεκριμένο χρονισμό μέσω του δικτύου. Οι τύποι συσκευών με τις οποίες επικοινωνεί το δίκτυο ControlNet είναι τα PLCs, τα I/O chassis, τα HMIs, οι προσωπικοί υπολογιστές και τα ρομπότ.

Το ControlNet υποστηρίζει εφεδρικές (redundant) λειτουργίες για την ενίσχυση της αξιοπιστίας του δικτύου. Τα εφεδρικά μέσα μπορούν να χρησιμοποιηθούν για την παροχή μονοπατιών επικοινωνίας με ανοχή σε σφάλματα, εξασφαλίζοντας τη συνεχή λειτουργία του δικτύου, ακόμη και σε περίπτωση βλάβης κάποιου εξαρτήματος του. Ενσωματώνει επίσης μηχανισμούς ανίχνευσης και ανάκτησης σφαλμάτων για τη διατήρηση της ακεραιότητας των δεδομένων και της σταθερότητας του δικτύου.

Το δίκτυο ControlNet έχει ρυθμό μεταφοράς δεδομένων 5 Mbps.

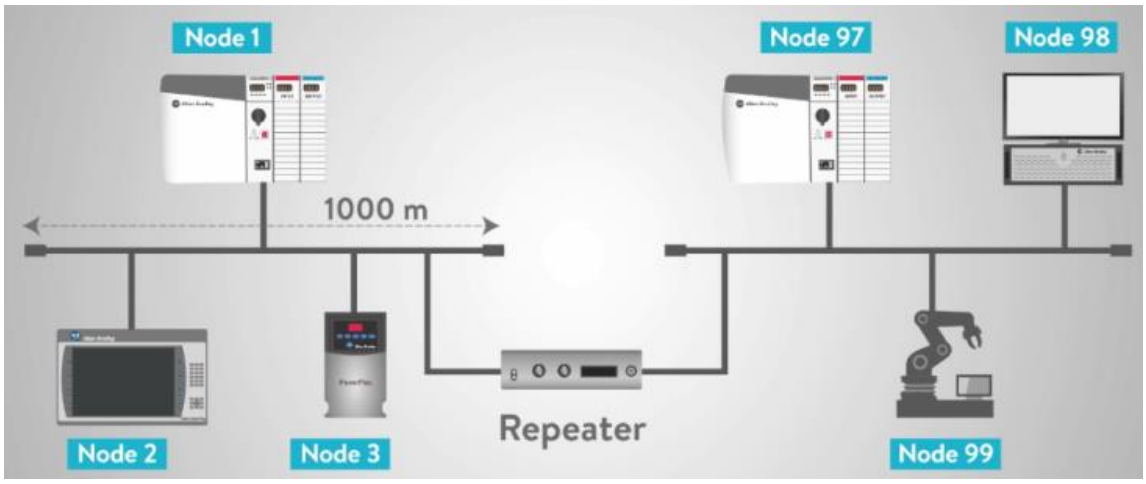
4.4.1 Φυσικό Επίπεδο ControlNet

Τα καλώδια ControlNet είναι ομοαξονικά καλώδια τύπου RG-6 με βύσματα BNC. Οι τύποι αυτών των καλωδίων μπορεί να διαφέρουν, ανάλογα με την εφαρμογή και το περιβάλλον όπου θα χρησιμοποιηθεί το δίκτυο.



Εικόνα 38: Καλώδια ControlNet

Το μέγιστο μήκος ενός καλωδίου ControlNet είναι 1000 μέτρα, εκτός εάν χρησιμοποιείται επαναλήπτης (repeater). Μπορούν να υπάρχουν το πολύ 5 επαναλήπτες ή 10 για εφεδρικά (redundant) δίκτυα. Το ControlNet μπορεί να υποστηρίξει έως και 99 κόμβους στο δίκτυο. Οι επαναλήπτες δεν χρησιμοποιούν αριθμούς κόμβων, επομένως δεν υπολογίζονται ως μέρος αυτού του μέγιστου αριθμού.

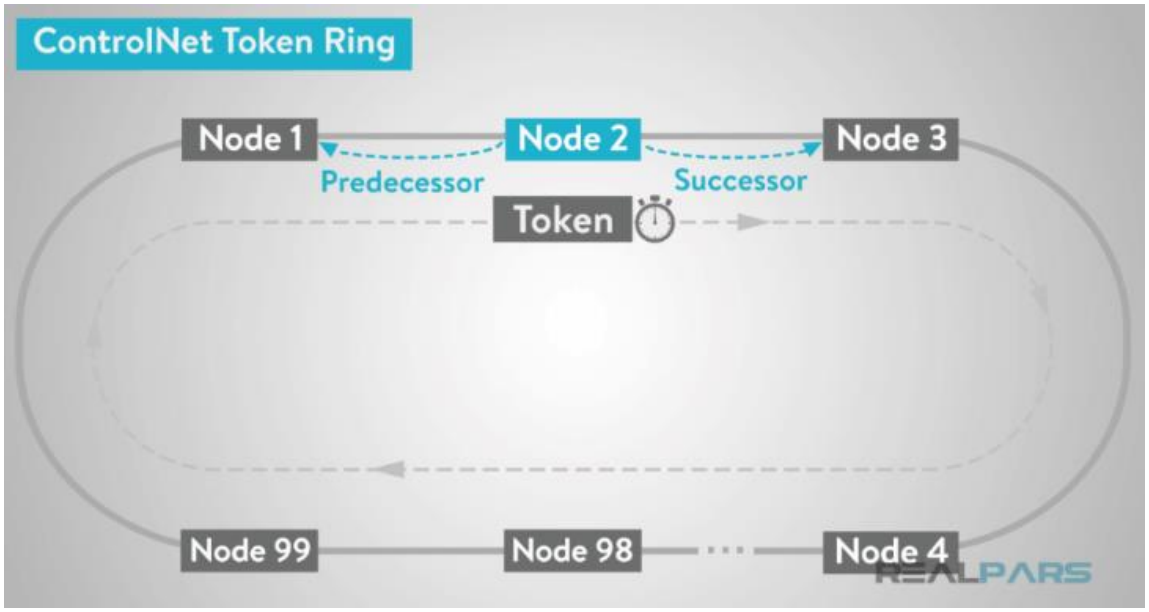


Εικόνα 39: Κόμβοι δικτύου ControlNet

Το ControlNet μπορεί να ενοποιηθεί με άλλα βιομηχανικά δίκτυα, όπως το Ethernet/IP και το DeviceNet, μέσω gateways ή bridges. Αυτό επιτρέπει την απρόσκοπτη συνδεσιμότητα και ανταλλαγή δεδομένων μεταξύ διαφορετικών συστημάτων ελέγχου, συσκευών και αρχιτεκτονικών δικτύου, διευκολύνοντας τη διαλειτουργικότητα και την ολοκλήρωση συστημάτων.

4.4.2 Επίπεδο Ζεύξης Δεδομένων ControlNet

Το ControlNet βασίζεται σε ένα «token-passing» δίκτυο ελέγχου διαύλου, το οποίο υλοποιεί ένα λογικό «token ring» μέσω τους ομοαξονικού καλωδίου. Τους κόμβους αποδίδεται μια MAC ID διεύθυνση από το 1 έως το 99, ενώ κάθε κόμβος γνωρίζει τους τη διεύθυνση του predecessor και του successor του.



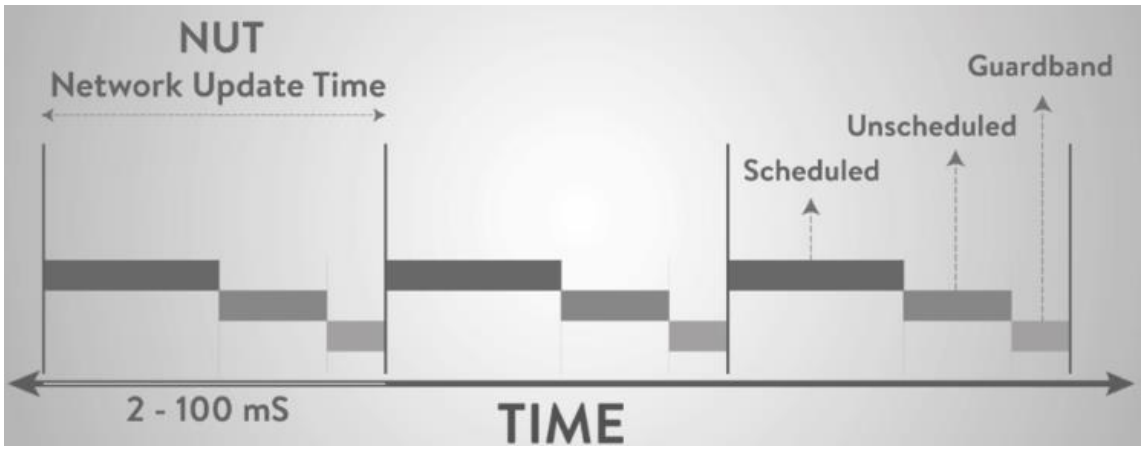
Εικόνα 40: ControlNet Token Ring

Κάθε κόμβος έχει ένα προκαθορισμένο χρόνο που καθορίζεται από ένα token. Όσο ο κόμβος έχει στην κατοχή του το token, μεταδίδει data frames μέχρι να φτάσει στο τέλος τους μεταφοράς του ή το token να φτάσει στο χρονικό όριο του. Έπειτα, δημιουργείται ένα νέο token, το οποίο μεταβιβάζεται στον επόμενο λογικό successor. Ενδέχεται να υπάρχουν κόμβοι που δεν έχουν δεδομένα να μεταφέρουν. Σε αυτή την περίπτωση, απλώς μεταβιβάζουν το token στον επόμενο λογικό successor. Στη συνέχεια, η διαδικασία επαναλαμβάνεται έως ότου όλοι οι κόμβοι περάσουν κυκλικά από τον λογικό κύκλο και στη συνέχεια αρχίζει ξανά.

Στο ControlNet, μόνο ένας κόμβος μπορεί να μεταδίδει κάθε φορά, γεγονός που αποτρέπει τυχόν συγκρούσεις δεδομένων. Εάν οι κόμβοι σταματήσουν να μεταδίδουν και δεν διαβιβαστεί το token, το πρωτόκολλο ControlNet διαθέτει διατάξεις γραμμένες σε αυτό που θα αναδημιουργήσουν το token και θα το στείλουν στον επόμενο λογικό successor.

Στο επίπεδο ζεύξης δεδομένων γίνεται ο χρονισμός για το ControlNet μέσω του NUT (Network Update Time) που βασίζεται σε έναν σταθερό και επαναλαμβανόμενο χρονικό

κύκλο. Ο NUT μπορεί να ρυθμιστεί σε διάρκεια από 2 έως 100 milliseconds και έχει 3 κύρια μέρη: «scheduled», «unscheduled» και «guardband». Οι κόμβοι έχουν τους δικούς τους χρονιστές που συγχρονίζονται με το NUT και το NUT κατανέμει τον χρόνο πρόσβασης ομοιόμορφα μεταξύ των κόμβων.



Εικόνα 41: ControlNet Timing

4.4.3 Επίπεδο Δικτύου και Μεταφοράς ControlNet

Στα επίπεδα δικτύου και μεταφοράς, το ControlNet χρησιμοποιεί δύο μορφές ανταλλαγής μηνυμάτων, την unconnected και την connected. Η "unconnected" ανταλλαγή μηνυμάτων χρησιμοποιείται κατά την δημιουργία συνδέσεων ή για "μηνύματα χαμηλής προτεραιότητας" που δεν συμβαίνουν συχνά. Η "connected" ανταλλαγή μηνυμάτων χρησιμοποιεί ρυθμίσεις σε κάθε κόμβο, όπως συχνά σαφή (explicit) μηνύματα ή "δεδομένα I/O πραγματικού χρόνου".

Το ControlNet χρησιμοποιεί επίσης τα "Requested Packet Intervals" ή RPI για να καθορίσει τη συχνότητα μετάδοσης δεδομένων I/O κατά τη διάρκεια του προγραμματισμένου NUT. [29] [30]

4.5 OPC

Το OPC είναι το πρότυπο διαλειτουργικότητας για την ασφαλή και αξιόπιστη ανταλλαγή δεδομένων στο χώρο των βιομηχανικών αυτοματισμών και σε άλλες βιομηχανίες. Είναι ανεξάρτητο πλατφόρμας και εξασφαλίζει την απρόσκοπτη ροή πληροφοριών μεταξύ συσκευών πολλών προμηθευτών. Το OPC Foundation είναι υπεύθυνο για την ανάπτυξη και τη συντήρηση αυτού του προτύπου. Το ακρωνύμιο OPC σημαίνει Open Platform Communications.

Το πρότυπο OPC είναι μια σειρά προδιαγραφών που αναπτύχθηκαν από κατασκευαστές της βιομηχανίας, τελικούς χρήστες και προγραμματιστές λογισμικού. Αυτές οι προδιαγραφές καθορίζουν τη διεπαφή μεταξύ clients και servers, καθώς και μεταξύ servers και servers, συμπεριλαμβανομένης της πρόσβασης σε δεδομένα πραγματικού χρόνου, της παρακολούθησης συναγερμών και συμβάντων, της πρόσβασης σε ιστορικά δεδομένα και δεδομένα άλλων εφαρμογών.

Το κλασικό σενάριο σύνδεσης OPC είναι μια σύνδεση server-client σε έναν υπολογιστή, ωστόσο υπάρχουν περισσότερες επιλογές που περιλαμβάνουν:

- Σύνδεση ενός OPC client σε πολλούς OPC servers, το οποίο ονομάζεται OPC aggregation.
- Σύνδεση ενός OPC client σε έναν OPC server μέσω δικτύου, το οποίο είναι γνωστό ως OPC tunneling.

Εικόνα 42: OPC Tunneling

- Σύνδεση ενός OPC server σε έναν άλλο OPC server για τον διαμοιρασμό δεδομένων, το οποίο είναι γνωστό ως OPC bridging. [31]

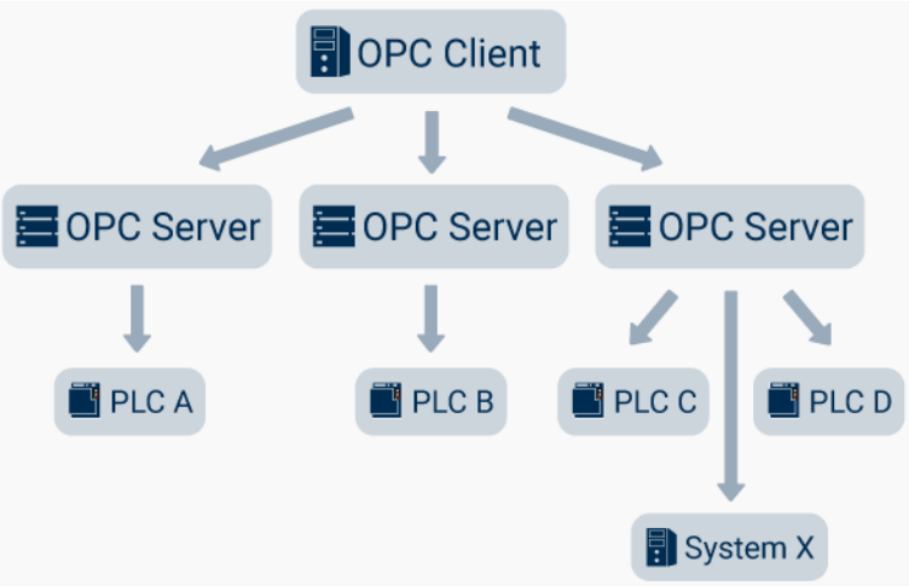
4.5.1 OPC Servers & OPC Clients

Η τεχνολογία OPC αποτελείται από δύο κύρια στοιχεία, τους OPC clients και τους OPC servers. Ο OPC server είναι η βάση της επικοινωνίας OPC, λειτουργεί ως πηγή δεδομένων και παρέχει πρόσβαση σε δεδομένα πραγματικού χρόνου και ιστορικά δεδομένα από τα υφιστάμενα βιομηχανικά συστήματα. Πρόκειται για ένα κομμάτι λογισμικού που υλοποιεί το πρότυπο OPC και παρέχει έτσι τις τυποποιημένες διεπαφές OPC στον εξωτερικό κόσμο. Στο εσωτερικό του υλοποιείται το ιδιωτικό πρωτόκολλο επικοινωνίας για τον έλεγχο του κατασκευαστή. Οι OPC servers διατίθενται από διάφορους κατασκευαστές.

Οι συγκεκριμένες δυνατότητες ενός OPC UA server περιγράφονται από το προφίλ που υποστηρίζει. Ένα προφίλ υποδεικνύει σε άλλες συσκευές και στους ανθρώπους-χειριστές ποια συγκεκριμένα χαρακτηριστικά της προδιαγραφής OPC UA υποστηρίζονται. Οι μηχανικοί μπορούν να καθορίσουν από το προφίλ αν κάποια συγκεκριμένη συσκευή είναι κατάλληλη για μια εφαρμογή. Μια συσκευή client μπορεί να "ρωτήσει" τον server και να καθορίσει αν είναι συμβατός με τον client και την εφαρμογή του και αν πρέπει να ξεκινήσει τη διαδικασία σύνδεσης με τη συσκευή.

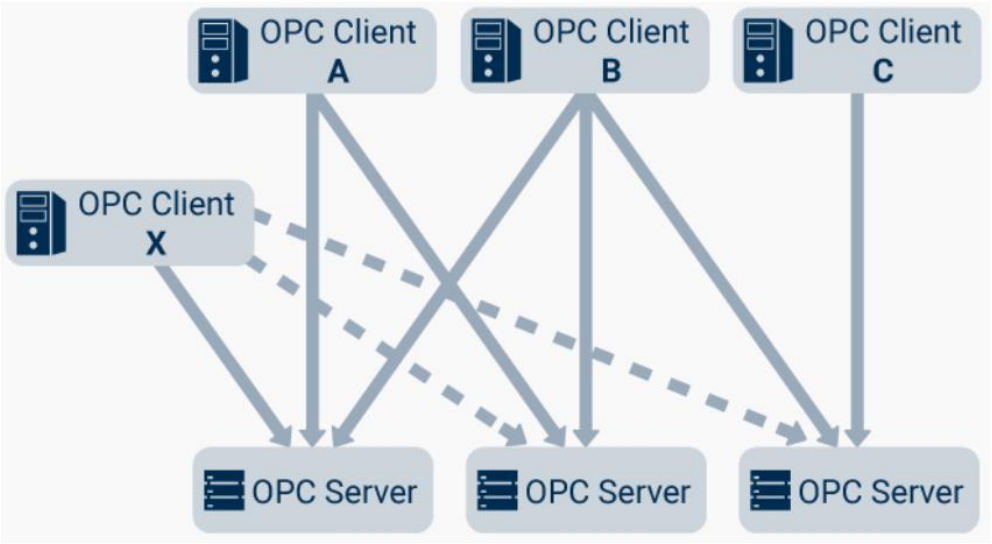
Ο server "γνωστοποιεί" τη διαθεσιμότητά του στις ενδιαφερόμενες συσκευές client και παρέχει έναν κατάλογο των δυνατοτήτων και της λειτουργικότητάς του στους ενδιαφερόμενους clients, καθώς και ειδοποιήσεις για διάφορα είδη συμβάντων. Επίσης, εκτελεί μικρά κομμάτια λογικής που ονομάζονται μέθοδοι και παρέχει πληροφορίες για το χώρο διευθύνσεων μαζικά στους clients (query service) αλλά και υπηρεσίες περιήγησης (browsing services), ώστε να μπορεί ένας client να περιηγηθεί στο χώρο διευθύνσεών του (address space). Τέλος, μπορεί να επιτρέπει στους clients να τροποποιούν τη δομή των κόμβων (nodes) του χώρου διευθύνσεών του.

Η βασική ιδέα του OPC είναι ότι ο κατασκευαστής του hardware παρέχει έναν OPC server για το σύστημά του και επομένως επιτρέπει την τυποποιημένη πρόσβαση. Ο OPC server του κατασκευαστή μπορεί να παρέχεται ως αυτόνομο λογισμικό ή ως ενσωματωμένος OPC server στη συσκευή ή στον ελεγκτή του μηχανήματος. [32]



Εικόνα 43: OPC Server

Ο OPC client είναι το λογικό συμπλήρωμα του OPC server. Οι OPC clients είναι οι εφαρμογές ή συσκευές που λαμβάνουν τα δεδομένα και τα χρησιμοποιούν για παρακολούθηση, έλεγχο, οπτικοποίηση ή ανάλυση. Ο OPC server μπορεί να συνδεθεί με τον OPC client και να διαβάσει τα δεδομένα που παρέχονται από τον server. Δεδομένου ότι οι OPC servers υλοποιούν τις προκαθορισμένες διεπαφές του προτύπου OPC, κάθε client μπορεί να έχει πρόσβαση σε οποιονδήποτε OPC server και να ανταλλάσσει δεδομένα με τον ίδιο τρόπο με τον server. Οι OPC clients είναι εφαρμογές που εξαρτώνται από την ανταλλαγή δεδομένων με τα βιομηχανικά συστήματα. Το τι συμβαίνει με τα δεδομένα στον client εξαρτάται συγκεκριμένα από την εκάστοτε εφαρμογή. [33]



Εικόνα 44: OPC Client

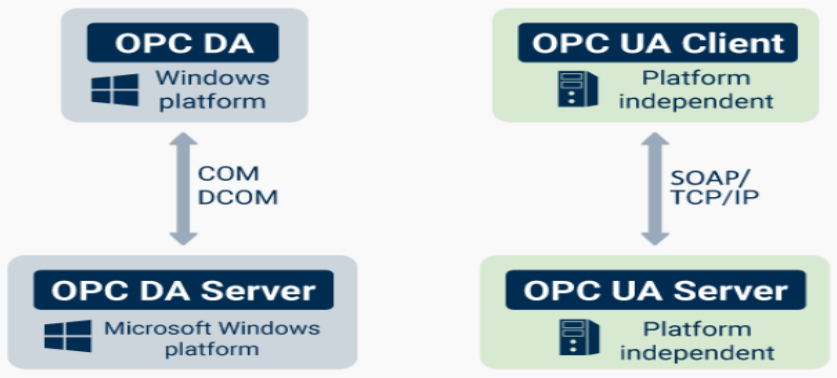
4.5.2 OPC Classic

Αρχικά, το πρότυπο OPC σχεδιάστηκε αποκλειστικά για το λειτουργικό σύστημα Windows. Ως εκ τούτου, το ακρωνύμιο OPC προέκυψε από το OLE (object linking and embedding) for Process Control. Αυτές οι προδιαγραφές, οι οποίες είναι πλέον γνωστές ως OPC Classic, υιοθετήθηκαν ευρέως σε πολλούς κλάδους της βιομηχανίας. Οι προδιαγραφές OPC Classic βασίζονται στην τεχνολογία Microsoft Windows χρησιμοποιώντας το μοντέλο COM/DCOM (Distributed Component Object Model) για την ανταλλαγή δεδομένων μεταξύ τμημάτων λογισμικού. Αυτές οι προδιαγραφές θέτουν ξεχωριστούς ορισμούς για την πρόσβαση σε δεδομένα διεργασιών, συναγερμούς και ιστορικά δεδομένα.

- OPC Data Access (OPC DA): Η προδιαγραφή OPC DA ορίζει την ανταλλαγή δεδομένων, συμπεριλαμβανομένων των τιμών, του χρόνου και των πληροφοριών ποιότητας.
- OPC Alarms & Events (OPC AE): Η προδιαγραφή OPC A&E ορίζει την ανταλλαγή πληροφοριών μηνυμάτων τύπου συναγερμών και συμβάντων, καθώς και μεταβλητών καταστάσεων και διαχείρισης καταστάσεων.
- OPC Historical Data Access (OPC HDA): Η προδιαγραφή OPC HDA ορίζει μεθόδους αναζήτησης και ανάλυσης που μπορούν να εφαρμοστούν σε ιστορικά δεδομένα με χρονοσήμανση. [34]

4.5.3 Λειτουργία και Αρχιτεκτονική OPC UA

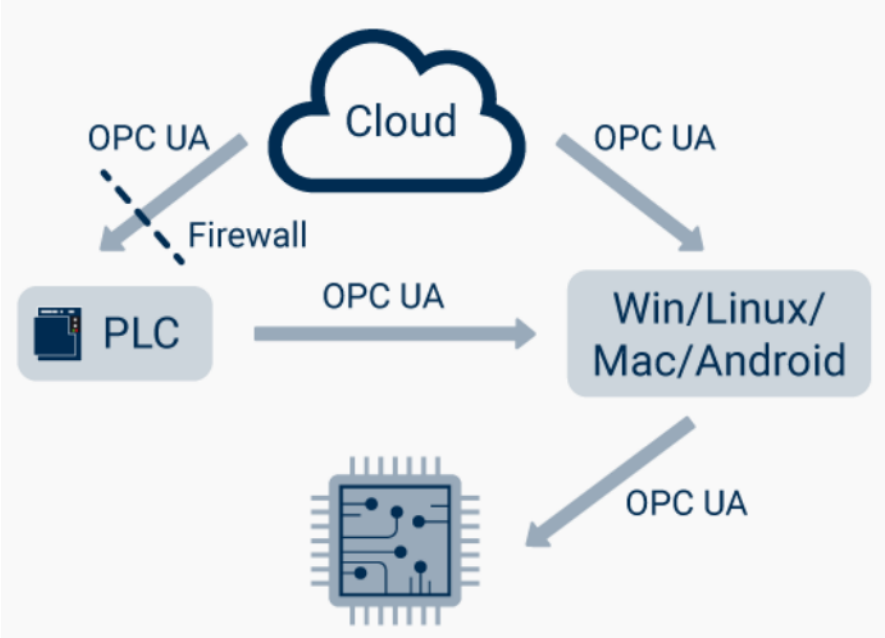
Η χρήση του DCOM ήταν πάντα δύσκολη και γι' αυτό κατέστη σαφές ότι χρειαζόταν μια πιο σύγχρονη λύση. Ως εκ τούτου, αναπτύχθηκε μια νέα προδιαγραφή που χρησιμοποιούσε κοινές αρχές δικτύωσης (όπως το TCP/IP) αντί για το DCOM, ήταν ανεξάρτητη από πλατφόρμες και συνδύαζε τις διάφορες ξεχωριστές προδιαγραφές σε μία, το Open Process Connectivity Unified Architecture (OPC UA). [35]



Εικόνα 45: Διαφορές OPC DA με OPC UA

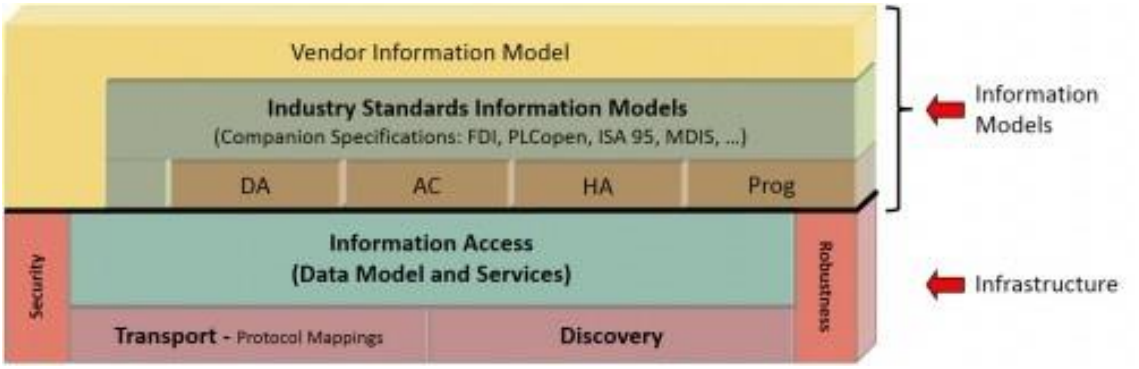
Με την εισαγωγή των αρχιτεκτονικών προσανατολισμένων στις υπηρεσίες (service-oriented architecture) στα συστήματα παραγωγής προέκυψαν νέες προκλήσεις όσον αφορά την ασφάλεια και τη μοντελοποίηση δεδομένων. Το OPC Foundation ανέπτυξε τις προδιαγραφές OPC UA για να ανταποκριθεί σε αυτές τις ανάγκες και ταυτόχρονα παρείχε μια αρχιτεκτονική ανοικτής πλατφόρμας (open-platform architecture), η οποία είναι διαχρονική, κλιμακούμενη και επεκτάσιμη.

Το OPC UA κατήργησε τους περιορισμούς του OPC Classic και επέτρεψε την ελεύθερη ροή δεδομένων και τη διαλειτουργικότητα. Δεν έχει σημασία αν ο OPC server εκτελείται σε λειτουργικό σύστημα Windows, Linux, UNIX ή Mac. Είναι πλήρως λειτουργικό με PLCs, ηλεκτρονικούς υπολογιστές, μικροελεγκτές και υποδομές cloud. Χρησιμοποιώντας το TCP/IP αντί του DCOM, το OPC UA διευκολύνει την ασφαλή μεταφορά δεδομένων μεταξύ δικτύων και μέσω firewalls. Όλες οι συνδέσεις OPC UA βασίζονται στην ίδια τεχνολογία, κάτι που σημαίνει ότι μια σύνδεση με ένα τοπικό μηχάνημα δεν διαφέρει πολύ από μια σύνδεση με ένα απομακρυσμένο μηχάνημα. [35] [36]



Εικόνα 46: Λειτουργικότητα OPC UA

Το OPC UA υποστηρίζει ένα ευρύ φάσμα εφαρμογών. Για την επίτευξη των σχεδιαστικών στόχων του, το πρότυπο OPC UA βασίζεται σε μια πολυεπίπεδη αρχιτεκτονική.



Εικόνα 47: Αρχιτεκτονική OPC UA

Το επίπεδο Discovery (ανακάλυψης) επιτρέπει στους clients να εντοπίζουν τους OPC UA servers, τα υποστηριζόμενα πρωτόκολλα, τις πολιτικές ασφαλείας και άλλες δυνατότητες.

Το επίπεδο Transport (μεταφοράς) ορίζει αντιστοιχίσεις πρωτοκόλλων που επιτρέπουν την δημιουργία σύνδεσης και την ανταλλαγή καλά διαμορφωμένων μηνυμάτων μεταξύ εφαρμογών OPC UA. Το OPC UA μπορεί να λειτουργήσει μέσω διαφόρων πρωτοκόλλων μεταφοράς, συμπεριλαμβανομένων των TCP/IP, HTTP και MQTT. Αυτή η ευελιξία επιτρέπει στο OPC UA να λειτουργεί μέσω Ethernet, Wi-Fi ή δικτύων κινητής τηλεφωνίας. Η επιλογή του πρωτοκόλλου μεταφοράς εξαρτάται από τις συγκεκριμένες απαιτήσεις και τους περιορισμούς του συστήματος.

Το επίπεδο Information Access (πρόσβασης σε πληροφορίες) χρησιμοποιείται για τον καθορισμό των πολιτικών ασφάλειας και ελέγχου πρόσβασης σε ένα σύστημα OPC UA. Βοηθά στον καθορισμό των δικαιωμάτων και των περιορισμών που σχετίζονται με την πρόσβαση και τον χειρισμό δεδομένων ή αντικειμένων στο χώρο διευθύνσεων (address space) ενός OPC UA server. Επιτρέπει στους administrators να καθορίσουν το επίπεδο δικαιωμάτων πρόσβασης που έχουν οι χρήστες ή οι client εφαρμογές για συγκεκριμένους κόμβους ή στοιχεία εντός του χώρου διευθύνσεων του server.

Η ασφάλεια είναι μια κρίσιμη πτυχή του OPC UA για τη διασφάλιση της ακεραιότητας, της εμπιστευτικότητας και της αυθεντικότητας των δεδομένων που ανταλλάσσονται μεταξύ clients και servers. Το OPC UA παρέχει ολοκληρωμένα χαρακτηριστικά ασφάλειας, όπως κρυπτογράφηση, αυθεντικοποίηση, εξουσιοδότηση και υπογραφή μηνυμάτων.

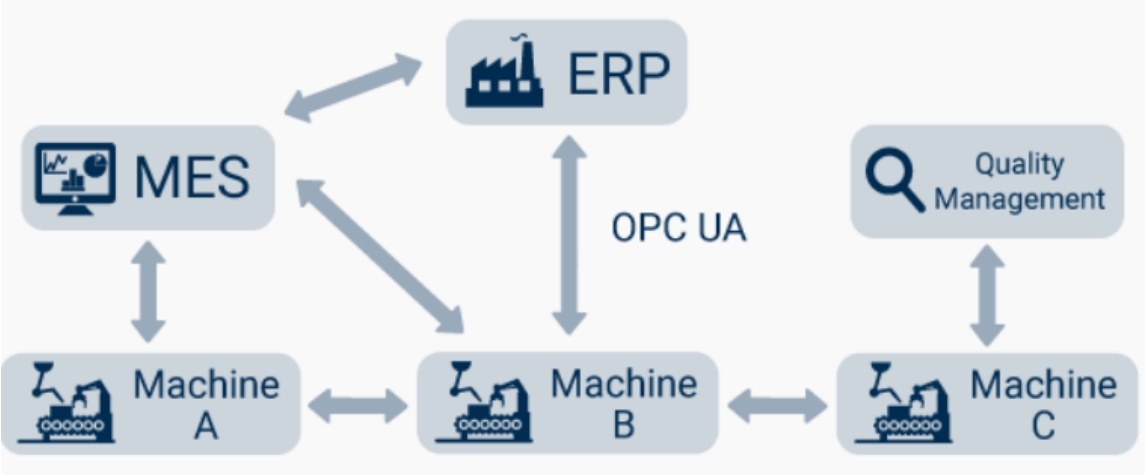
Στο ανώτερο στρώμα της αρχιτεκτονικής του OPC UA τοποθετούνται τα Information Models. Το OPC UA χρησιμοποιεί μια προσέγγιση μοντελοποίησης πληροφοριών για

την αναπαράσταση της δομής, της σημασιολογίας και της συμπεριφοράς των δεδομένων και των υπηρεσιών που προσφέρονται από τους servers. Οι δυνατότητες μοντελοποίησης πληροφοριών του OPC UA επιτρέπουν την τυποποιημένη αναπαράσταση και ανταλλαγή πληροφοριών μεταξύ διαφορετικών συστημάτων. [37]

4.5.4 OPC UA και Industry 4.0

Το IIoT αποτελεί μέρος μιας ευρύτερης έννοιας που είναι γνωστή ως Διαδίκτυο των πραγμάτων (Internet of Things - IoT). Το IoT είναι ένα δίκτυο διασυνδεδεμένων υπολογιστών, συσκευών και αντικειμένων που συλλέγουν και μοιράζονται μεγάλο όγκο δεδομένων. Τα δεδομένα που συλλέγονται αποστέλλονται σε μια κεντρική υπηρεσία που βασίζεται στο cloud. Η εφαρμογή του IoT στη μεταποιητική βιομηχανία ονομάζεται IIoT ή Industry 4.0.

Το IIoT προσφέρει δυνατότητες απόκτησης και πρόσβασης σε πολύ μεγαλύτερες ποσότητες δεδομένων, με πολύ μεγαλύτερη ταχύτητα και αποτελεσματικότητα. Μπορεί να βελτιώσει σημαντικά τη συνδεσιμότητα, την αποδοτικότητα, την επεκτασιμότητα των βιομηχανικών οργανισμών, ενώ παράλληλα συνεισφέρει στην εξοικονόμηση χρόνου και κόστους. Οι εταιρείες μειώνουν τα λειτουργικά έξοδα τους, εκμεταλλευόμενες τις δυνατότητες προληπτικής συντήρησης (predictive maintenance), βελτιωμένης ασφάλειας και λήψης καλύτερων αποφάσεων στην παραγωγική διαδικασία που προσφέρει το IIoT. []



Εικόνα 48: OPC UA & Industry 4.0

Το OPC UA είναι ένα από τα κορυφαία πρωτόκολλα επικοινωνίας για το Industry 4.0. Η ευφυής δικτύωση των εργοστασίων απαιτεί μια κοινή γλώσσα. Αυτό ακριβώς παρέχει το OPC UA και, ως εκ τούτου, αποτελεί σημαντικό μέσο για την υλοποίηση του Industry 4.0.

Το OPC UA διαδραματίζει σημαντικό ρόλο στη διευκόλυνση της επικοινωνίας και της διαλειτουργικότητας στο οικοσύστημα IIoT, παρέχοντας ένα ασφαλές και αποτελεσματικό μέσο ανταλλαγής δεδομένων μεταξύ συσκευών και εφαρμογών, τόσο τοπικά όσο και σε διαφορετικά δίκτυα. Με την αξιοποίηση του OPC UA, οι βιομηχανικοί οργανισμοί μπορούν να ενσωματώσουν απρόσκοπτα τα υπάρχοντα συστήματα OT (Operational Technology) με την ευρύτερη υποδομή IIoT, δίνοντας τους δυνατότητες απομακρυσμένης παρακολούθησης και ελέγχου των διεργασιών καθώς και πρόσβαση σε data-driven insights και προηγμένα analytics. Οι δυνατότητες του OPC UA στη μοντελοποίηση δεδομένων, την ασφαλή επικοινωνία και την επεκτασιμότητα το καθιστούν κατάλληλο για την επίτευξη συνδεσιμότητας και διαλειτουργικότητας σε περιβάλλοντα IIoT. [33]

5 Εφαρμογή PLC & HMI: Αυτόματη Μηχανή Περιτύλιξης Παλετών

5.1 Παρουσίαση Εφαρμογής

Η αυτόματη μηχανή περιτύλιξης παλετών χρησιμοποιείται ευρέως σε βιομηχανίες για την περιτύλιξη παλετών. Η λειτουργικότητα της μηχανής είναι η εξής:

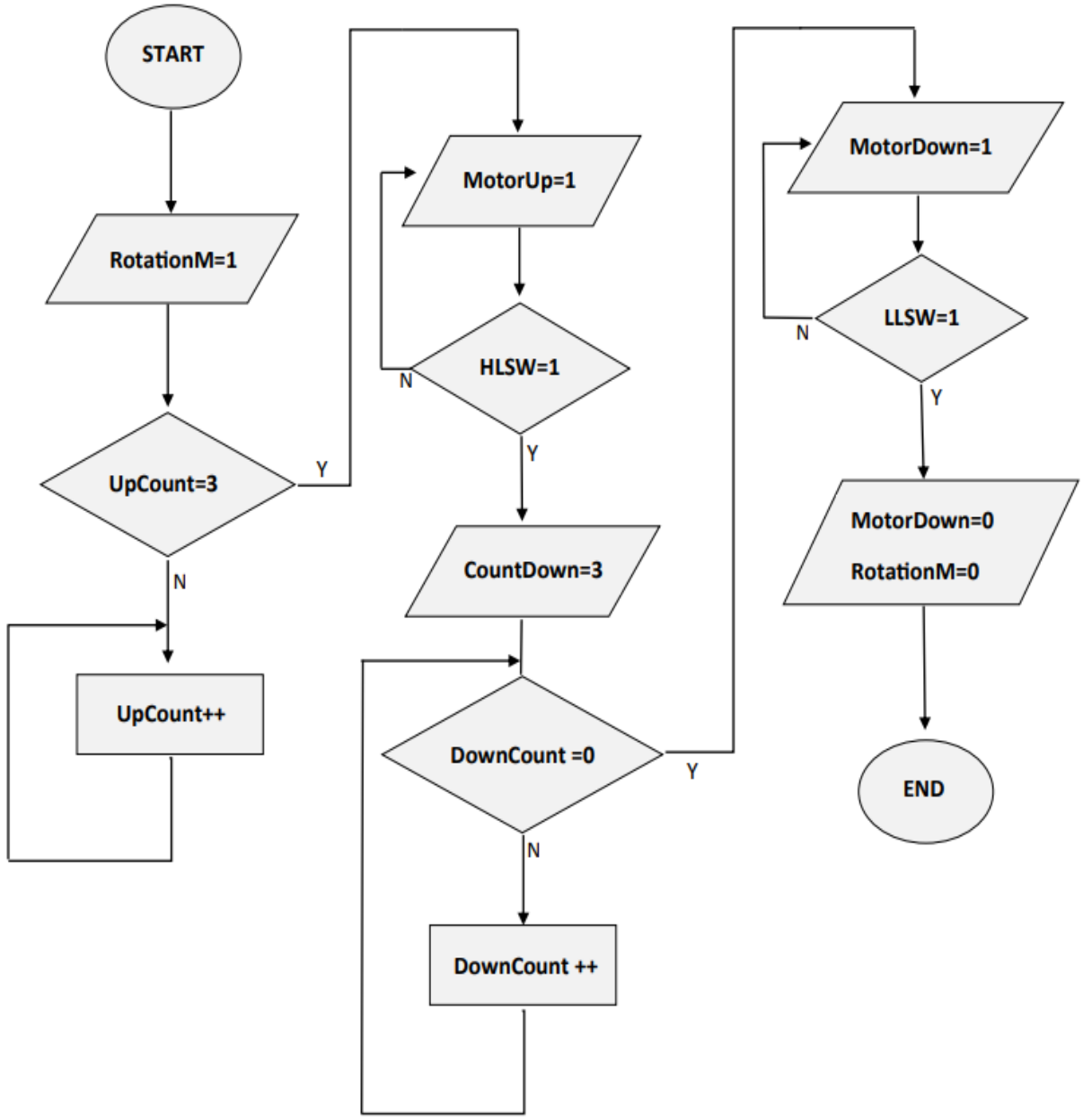
Στη βάση του μηχανήματος τοποθετείται μια παλέτα, πάνω στην οποία τοποθετούνται κουτιά. Πάνω στο βραχίονα του μηχανήματος τοποθετείται στο stretch film, με το οποίο περιτυλίγονται τα κουτιά. Για να περιτυλιχτούν τα κουτιά, η βάση περιστρέφεται μέσω ενός μοτέρ περιστροφής (rotation motor). Επίσης, υπάρχει το slider που φέρει το stretch film και κινείται πάνω-κάτω για να περιτυλίξει τα κουτιά. Ο έλεγχος της κίνησης του slider γίνεται μέσω ενός μοτέρ (up&down motor).

Το μηχάνημα αποτελείται επίσης από 2 διακόπτες ορίου (limit switches), ένα άνω ορίου (high limit) και έναν κάτω ορίου (low limit), οι οποίοι οριοθετούν και διακόπτουν την κίνηση του slider, όταν αυτό φτάσει σε ένα ανώτατο ή κατώτατο όριο.

Υπάρχει επίσης ένας αισθητήρας εγγύτητας (proximity sensor) για την μέτρηση του αριθμού των περιστροφών της βάσης.

Εικόνα 49: Αυτόματη Μηχανή Περιτύλιξης Παλετών

Ο αλγόριθμος που υλοποιείται για την εκτέλεση της διεργασίας περιτύλιξης παλετών α-ναπαρίσταται στο παρακάτω διάγραμμα ροής.



Εικόνα 50: Διάγραμμα ροής αλγορίθμου διεργασίας

Στο διάγραμμα ροής, το ελλειψοειδές σχήμα υποδεικνύει την αρχή και το έλος της διεργασίας. Το πλάγιο παραλληλόγραμμο υποδεικνύει μια ενεργοποίηση (actuation). Οι ρόμβοι αφορούν τη λήψη αποφάσεων στις εσωτερικές διεργασίες και από αυτούς εξάγονται δύο συνθήκες, οι οποίες είναι τύπου αληθής ή ψευδής (Yes/No). Τέλος, τα ορθογώνια παραλληλόγραμμα εμπεριέχουν τις εσωτερικές μεταβλητές της διεργασίας και υποδεικνύουν την εκτέλεση μιας ή περισσότερων πράξεων.

Όσον αφορά τη διεργασία, αυτή είναι η εξής:

Μόλις πατάμε το μπουτόν έναρξης (start button) το μοτέρ περιστροφής (rotation motor) τίθεται σε λειτουργία.

Μόλις ολοκληρωθούν τρεις περιστροφές, το VFD ενεργοποιεί το μοτέρ που ελέγχει την άνω-κάτω κίνηση του slider (up&down motor) και το slider κινείται προς τα πάνω. Αυτό θα συνεχίσει να κινείται προς τα πάνω μέχρι να φτάσει το άνω όριο (high limit) του διακόπτη ορίου (limit switch), όπου και θα σταματήσει, ενώ το μοτέρ περιστροφής συνεχίζει να λειτουργεί.

Σε αυτό το σημείο θα εκτελεστούν άλλες τρεις περιστροφές. Μόλις ολοκληρωθούν αυτές, το slider θα αρχίσει να κινείται να κινείται προς τα κάτω μέχρι να φτάσει το κάτω όριο (low limit) του διακόπτη ορίου, όπου και θα σταματήσει.

Σε αυτό το σημείο τερματίζεται η λειτουργία των δύο VFD που ελέγχουν τη λειτουργία του slider και του μοτέρ περιστροφής, τερματίζοντας έτσι την διεργασία.

Αν πατηθεί το μπουτόν Stop, τότε το μοτέρ περιστροφής σταματάει, ενώ το slider επανέρχεται στην αρχική θέση του, δηλαδή το κάτω όριο (low limit).

Αν πατηθεί το μπουτόν Estop, τότε η διεργασία διακόπτεται άμεσα.

5.2 Πίνακας I/O

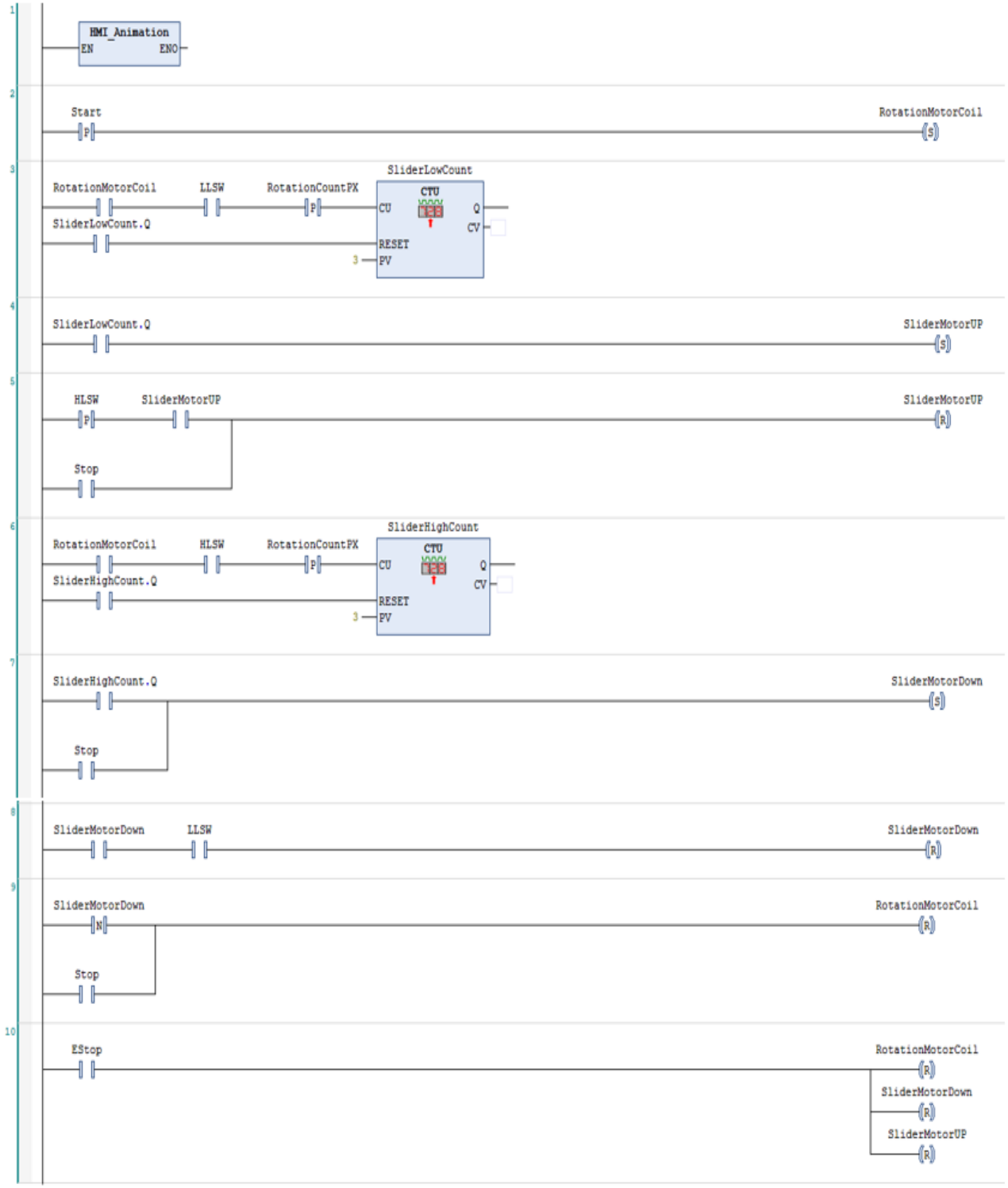
Πίνακας Εισόδων

Όνομα Μεταβλητής	Τύπος Δεδομένων	Περιγραφή
Start	BOOL	Μπουτόν έναρξης διεργασίας
Stop	BOOL	Μπουτόν διακοπής διεργασίας
EStop	BOOL	Μπουτόν έκτακτης διακοπής διεργασίας
HLSW	BOOL	Διακόπτης ορίου – Άνω όριο
LLSW	BOOL	Διακόπτης ορίου – Κάτω όριο
RotationMotorOVLD	BOOL	Overload μοτέρ περιστροφής
SliderOVLD	BOOL	Overload slider
RotationCountPX	BOOL	Αισθητήρας εγγύτητας για καταμέτρηση αριθμού περιστροφών
StretchPX	BOOL	Αισθητήρας εγγύτητας για άνω – κάτω κίνηση του slider

Πίνακας Εξόδων

Όνομα Μεταβλητής	Τύπος Δεδομένων	Περιγραφή
RotationMotorCoil	BOOL	Ενεργοποίηση / Απενεργοποίηση μοτέρ περιστροφής
SliderMotorUP	BOOL	Ανοδική κίνηση slider
SliderMotorDown	BOOL	Καθοδική κίνηση slider
RotationMotorFreq	INT	Συχνότητα VFD 1 για έλεγχο ταχύτητας περιστροφής του μοτέρ
SliderFreq	INT	Συχνότητα VFD 2 για έλεγχο ταχύτητας κίνησης του slider

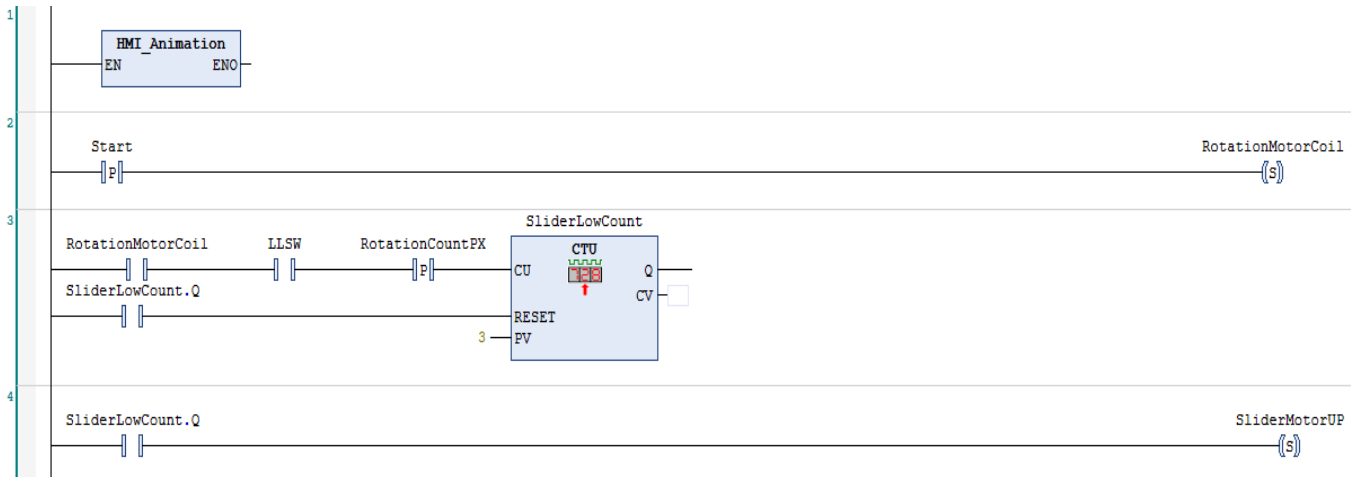
5.3 Πρόγραμμα PLC σε Ladder Logic



Εικόνα 51: BoxWrapperMain

Για τον προγραμματισμό του PLC χρησιμοποιήθηκε το λογισμικό Codesys, ενώ το πρόγραμμα «τρέχει» σε προσομοίωση.

Στη συνέχεια, επεξηγείται ο κώδικας του PLC προγράμματος BoxWrapperMain.



Εικόνα 52: Networks 1-2-3-4

Network 1: Ενεργοποίηση του Animation Action για τη λειτουργία του HMI.

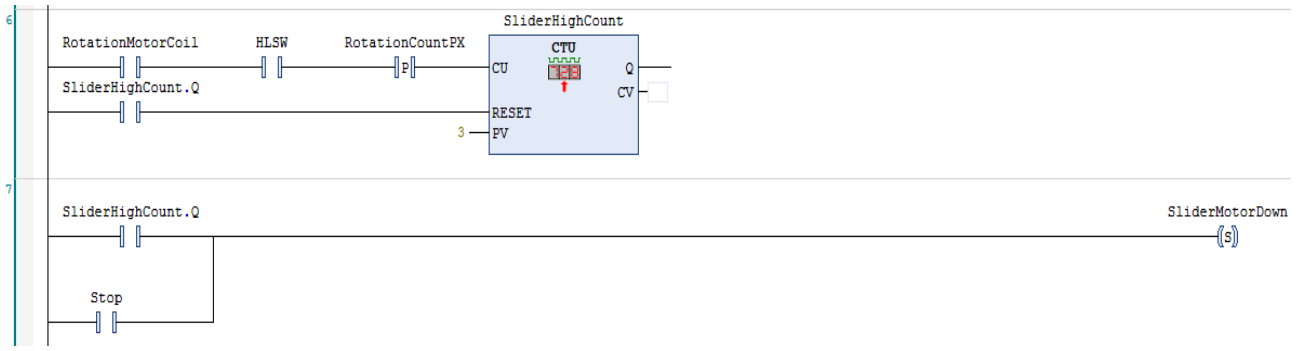
Network 2: Μόλις πατιέται το μπουτόν Start, εκκινεί το μοτέρ περιστροφής.

Network 3: Όταν εκκινεί το μοτέρ περιστροφής, το slider βρίσκεται στο κάτω όριο. Όταν ο αισθητήρας εγγύτητας ανιχνεύει μια περιστροφή, την καταμετράει. Όταν καταμετρηθούν τρεις περιστροφές από τον counter (CTU), η έξοδος, το bit της οποίας (Q) μανδαλώνεται, ενεργοποιείται και ο counter μηδενίζεται.

Network 4: Όταν ολοκληρωθούν τρεις περιστροφές, εκκινεί το μοτέρ που κινείται άνω-κάτω και το slider αρχίζει να κινείται προς το άνω όριο. Αν πατηθεί το μπουτόν Stop, η διεργασία διακόπτεται και το slider σταματάει να ανεβαίνει προς το άνω όριο και επανέρχεται στην αρχική θέση του, δηλαδή το κάτω όριο.

Εικόνα 53: Network 5

Network 5: Όταν το slider φτάσει το άνω όριο του διακόπτη ορίου, τότε διακόπτεται η ανοδική λειτουργεία του μοτέρ που ελέγχει το slider.



Εικόνα 54: Networks 6-7

Network 6: Όταν το μοτέρ περιστροφής βρίσκεται σε λειτουργία και το slider βρίσκεται στο άνω όριο, τότε ο αισθητήρας εγγύτητας καταμετράει εκ νέου τις περιστροφές. Όταν καταμετρηθούν τρεις περιστροφές από τον counter (CTU), η έξοδος, το bit της οποίας (Q) μανδαλώνεται, ενεργοποιείται και ο counter μηδενίζεται.

Network 7: Όταν ολοκληρωθούν τρεις περιστροφές, επανεκκινεί το μοτέρ που ελέγχει το slider και το slider αρχίζει να κινείται προς το κάτω όριο. Αν πατηθεί το μπουτόν Stop, η διεργασία διακόπτεται και το slider επανέρχεται στην αρχική θέση του, δηλαδή το κάτω όριο.

Εικόνα 55: Networks 8-9

Network 8: Όταν το slider φτάσει στο κάτω όριο του διακόπτη ορίου, τότε διακόπτεται η καθοδική λειτουργία του μοτέρ που ελέγχει το slider.

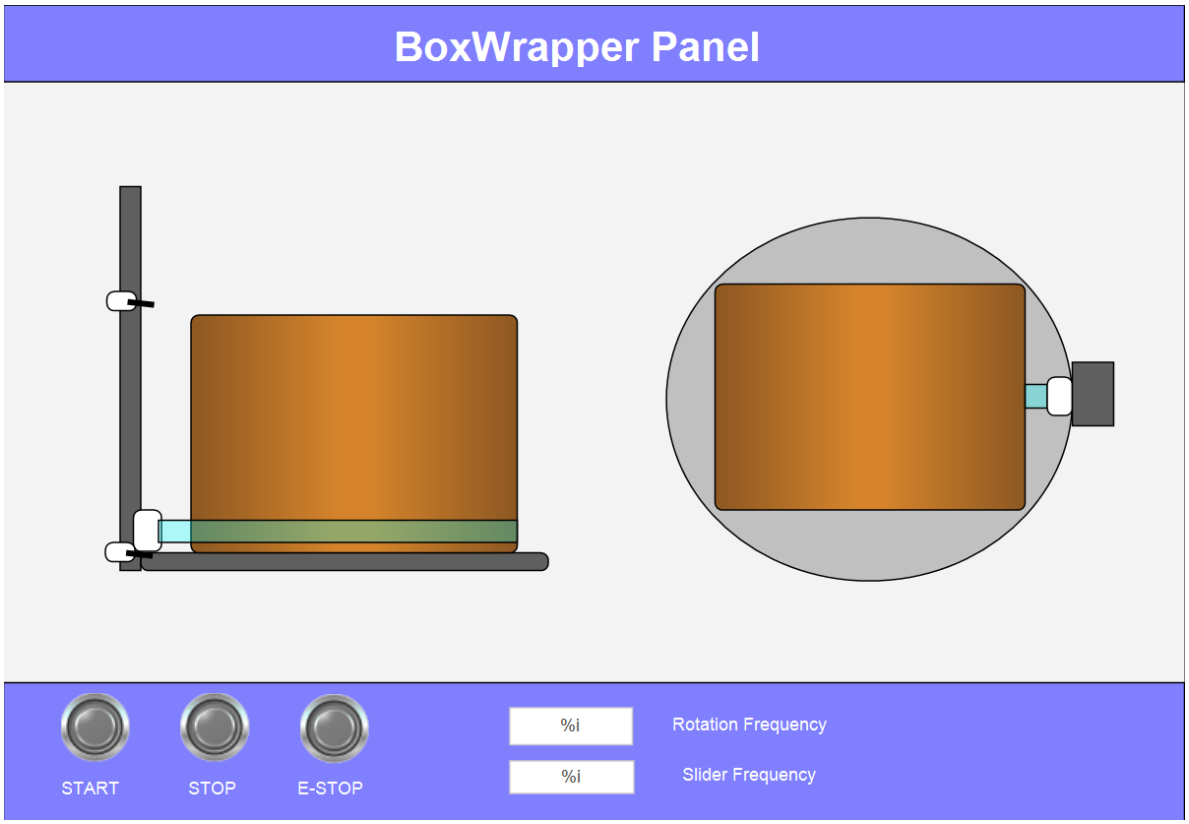
Network 9: Όταν το slider φτάσει στο κάτω όριο του διακόπτη ορίου, ο κύκλος της διεργασίας ολοκληρώνεται και διακόπτεται και η λειτουργία του μοτέρ περιστροφής. Αν πατηθεί το μπουτόν Stop, η διεργασία διακόπτεται, οπότε διακόπτεται η λειτουργία του μοτέρ περιστροφής.

Εικόνα 56: Network 10

Network 10: Αν πατηθεί το μπουτόν Estop (έκτακτης διακοπής), τότε διακόπτεται η λειτουργία και των 2 μοτέρ.

5.4 Σχεδιασμός και Προγραμματισμός HMI

Μέσω του Codesys δημιουργούμε το HMI της εφαρμογής για την οπτικοποίηση και τον έλεγχο της διεργασίας.

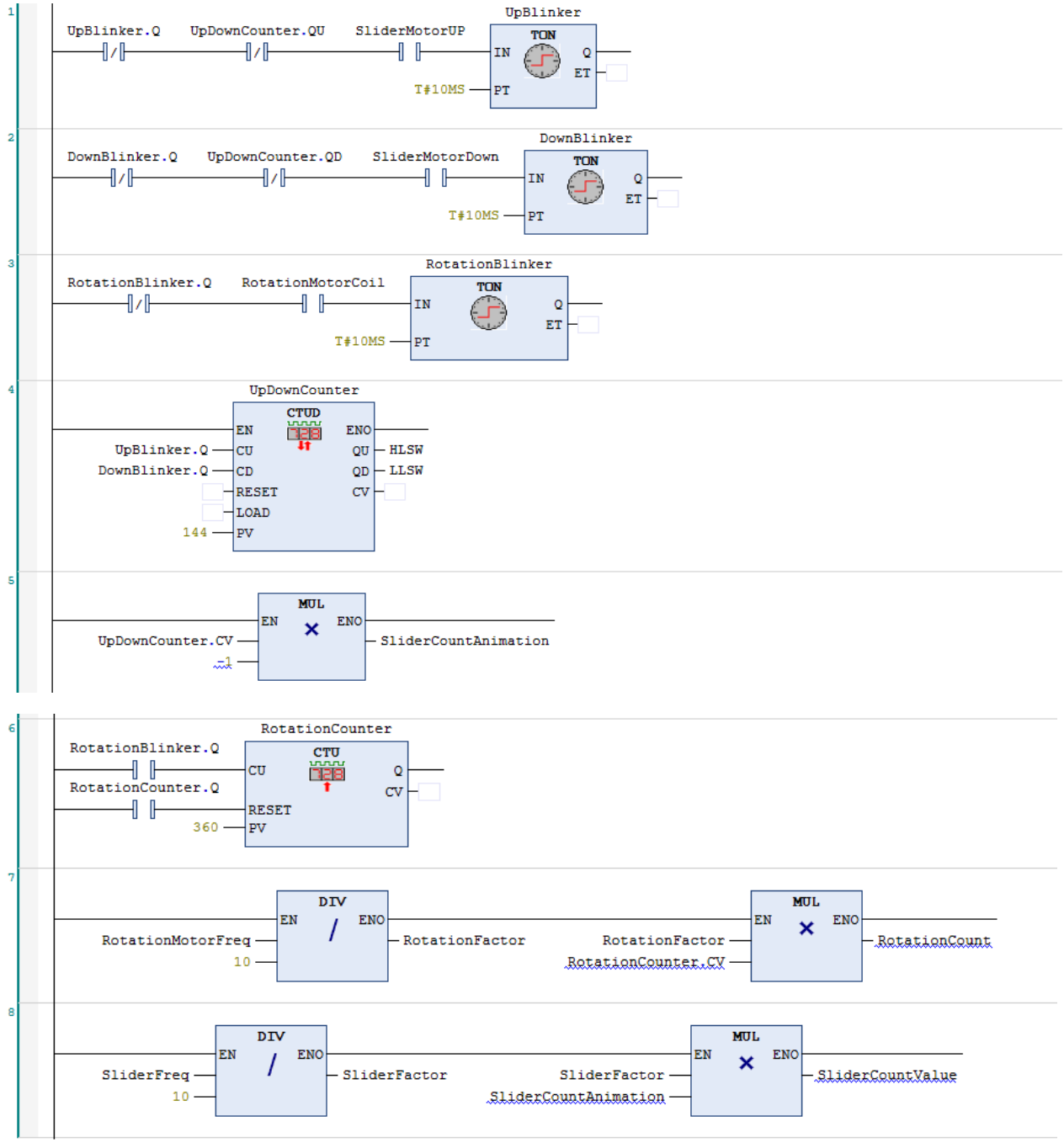


Εικόνα 57: HMI Εφαρμογής

Στο πάνελ του HMI παρουσιάζεται η πλευρική και η άνω όψη του μηχανήματος. Από το σχεδιασμό του διακρίνονται η περιστρεφόμενη βάση, το άνω και κάτω όριο του διακόπτη ορίου καθώς και το slider που φέρει το stretch film για την περιτύλιξη του κουτιού.

Επίσης, διατίθενται τα μπουτόν έναρξης, διακοπής και έκτακτης διακοπής της διεργασίας. Τέλος, παρέχεται η δυνατότητα καθορισμού της συχνότητας (Hz) των δύο VFD, μέσω της οποία ελέγχεται η ταχύτητα περιστροφής της βάσης καθώς και η ταχύτητα κίνησης του slider.

Το πρόγραμμα του HMI, το οποίο υλοποιείται σε γλώσσα LD είναι το εξής:

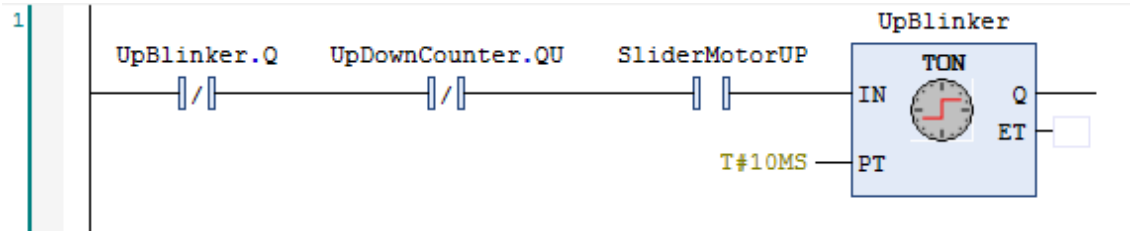


Εικόνα 58: BoxWrapperMain.HMI_Animation

Για τον προγραμματισμό του HMI, δημιουργώ στο Codesys ένα Action, το οποίο είναι ένα SOP (Standard Operating Procedure) πρόγραμμα. Τα SOP προγράμματα παρέχουν τεκμηριωμένες κατευθυντήριες γραμμές ή οδηγίες που περιγράφουν τα βήματα και τα πρωτόκολλα που πρέπει να ακολουθούνται σε διάφορες διαδικασίες ή διεργασίες. Ένα Action μοιράζεται τις μεταβλητές του με το parent πρόγραμμα του. [39]

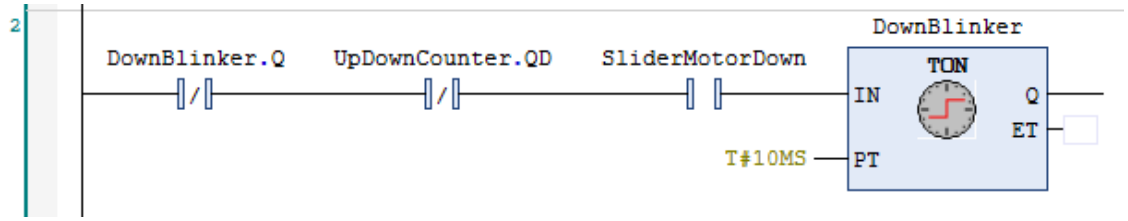
Τα blinkers (up, down, rotation) που χρησιμοποιούνται για τον προγραμματισμό του HMI, στέλνουν παλμούς ώστε να αναπαρασταθεί στο HMI η κίνηση του slider και του μοτέρ περιστροφής. Για τον προγραμματισμό των blinkers χρησιμοποιούνται timers (TON).

Στη συνέχεια, επεξηγείται ο κώδικας του προγράμματος BoxWrapper-Main.HMI_Animation για τη λειτουργία του HMI.



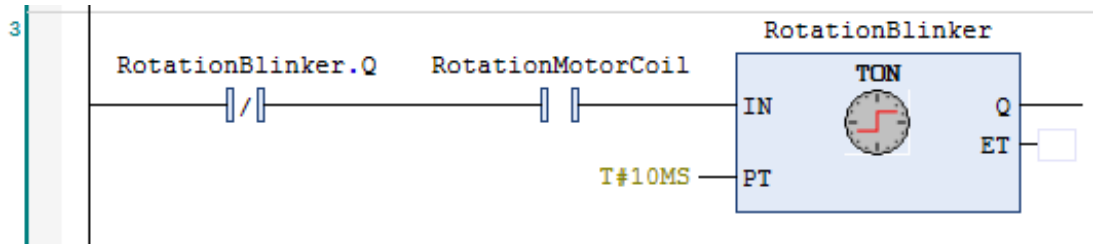
Εικόνα 59: Network 1

Network 1: Το UpBlinker ενεργοποιείται όταν το slider αρχίζει να κινείται προς το άνω όριο του διακόπτη ορίου.



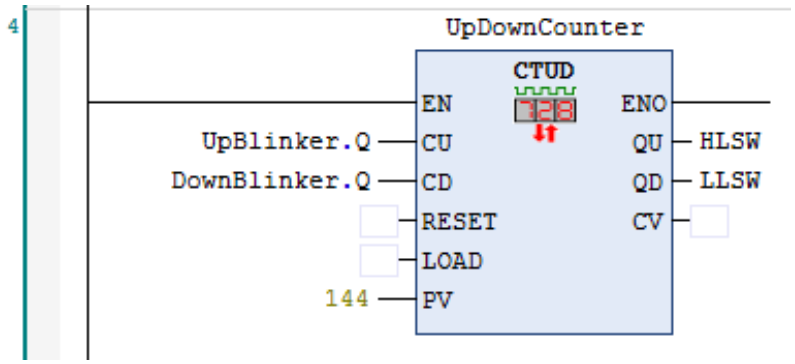
Εικόνα 60: Network 2

Network 2: Το DownBlinker ενεργοποιείται όταν το slider αρχίζει να κινείται προς το κάτω όριο του διακόπτη ορίου.



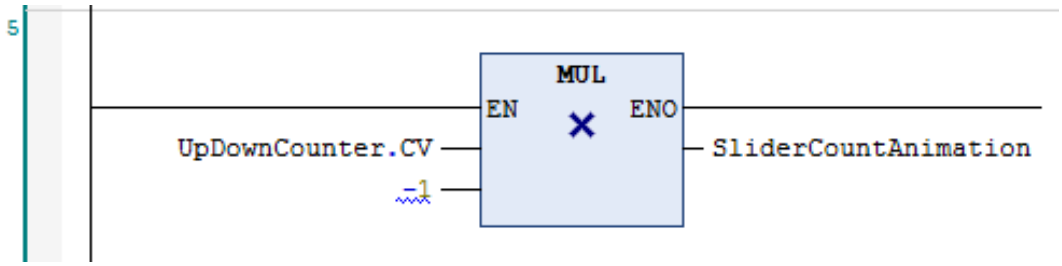
Εικόνα 61: Network 3

Network 3: Το RotationBlinker ενεργοποιείται όταν τίθεται σε λειτουργία το μοτέρ περιστροφής.



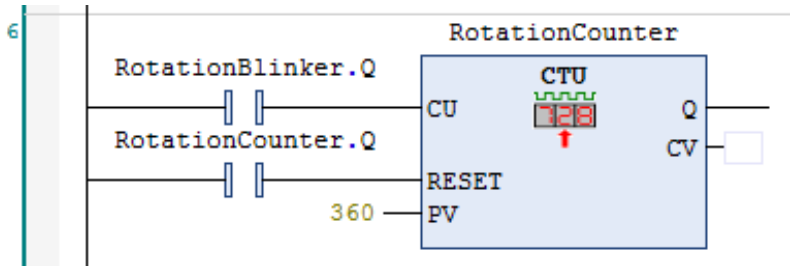
Εικόνα 62: Network 4

Network 4: Το UpBlinker δίνει παλμό στον counter να μετρήσει την απόσταση προς τα πάνω (CU -Counter Up), ενώ το DownBlinker δίνει παλμό στον counter να μετρήσει την απόσταση προς τα κάτω (CD – Counter Down). Όταν το slider φτάσει στο άνω ή κάτω όριο, τότε διακόπτεται η λειτουργία του UpBlinker ή του DownBlinker αντίστοιχα.



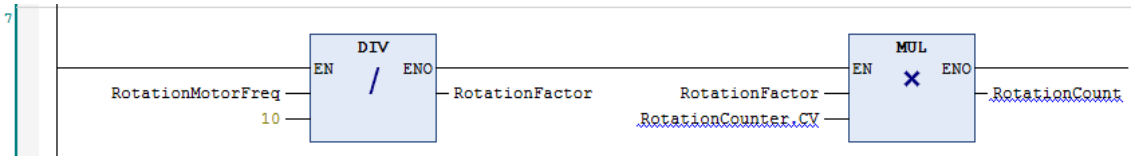
Εικόνα 63: Network 5

Network 5: Μέθοδος σχεδίασης HMI στο Codesys για την κίνηση του slider με φορά από κάτω προς τα πάνω.



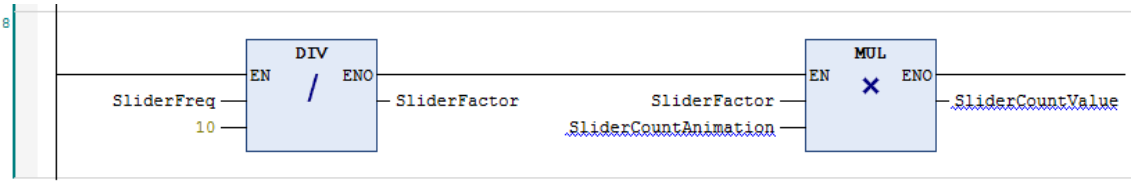
Εικόνα 64: Network 6

Network 6: Το RotationBlinker δίνει παλμό στον counter να μετρήσει τον αριθμό των περιστροφών.



Εικόνα 65: Network 7

Network 7: Έλεγχος της συχνότητας του VFD που ελέγχει την ταχύτητα περιστροφής του μοτέρ περιστροφής και σύνδεση με το HMI Animation.



Εικόνα 66: Network 8

Network 8: Έλεγχος της συχνότητας του VFD που ελέγχει την ταχύτητα ανοδικής / καθοδικής κίνησης του slider και σύνδεση με το HMI Animation.

6 Εφαρμογή SCADA: Πλήρωση και Εκκένωση Δεξαμενής

6.1 Περιγραφή Εφαρμογής

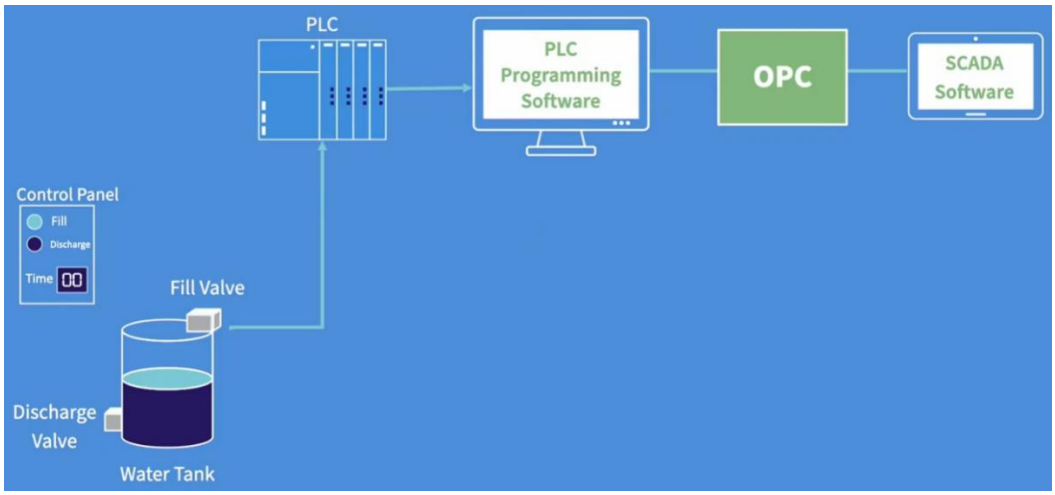
Η εφαρμογή που υλοποιείται σε αυτό το κεφάλαιο είναι μια εφαρμογή SCADA. Αφορά τη διεργασία γεμίσματος και αδειάσματος μιας δεξαμενής νερού σε μια βιομηχανική γραμμή παραγωγής. Στη δεξαμενή υπάρχουν δύο βαλβίδες, μια βαλβίδα πλήρωσης και μια εκκένωσης. Μέσω της βαλβίδας πλήρωσης γεμίζει η δεξαμενή με νερό, ενώ μέσω της βαλβίδας εκκένωσης αδειάζει. Για τον έλεγχο της διεργασίας χρησιμοποείται ένας πίνακας ελέγχου, πάνω στον οποίο υπάρχουν τρία διαφορετικά μπουτόν. Ένα εξ αυτών χρησιμοποιείται για την ενεργοποίηση της βαλβίδας πλήρωσης, το άλλο αξιοποιείται για την ενεργοποίηση της βαλβίδας εκκένωσης, ενώ το τρίτο χρησιμοποιείται σε περίπτωση ανάγκης για έκτακτη διακοπή της διεργασίας. Πάνω στον πίνακα ελέγχου υπάρχει και μια οθόνη, η οποία δείχνει τον χρόνο πλήρωσης της δεξαμενής σε δευτερόλεπτα.

Πιο συγκεκριμένα, η διεργασία πλήρωσης και εκκένωσης της δεξαμενής είναι η εξής:

Όταν πατιέται το μπουτόν πλήρωσης (Fill PB), ανοίγει η βαλβίδα πλήρωσης για δέκα δευτερόλεπτα γεμίζοντας την δεξαμενή με νερό και στη συνέχεια κλείνει. Στη συνέχεια, όταν πατιέται το μπουτόν εκκένωσης (Discharge PB), ανοίγει η βαλβίδα εκκένωσης και αδειάζει η δεξαμενή. Σε περίπτωση που απαιτείται η έκτακτη διακοπή της διεργασίας, πατάμε το μπουτόν Emergency Stop και η διεργασία διακόπτεται άμεσα, ανεξάρτητα από το στάδιο στο οποίο βρίσκεται.

Όλοι οι αισθητήρες που χρησιμοποιούνται για την ανίχνευση και μέτρηση διαφόρων παραμέτρων, καθώς και όλοι οι ενεργοποιητές που χρησιμοποιούνται για την εκτέλεση ενεργειών στη διεργασία είναι συνδεδεμένοι με ένα PLC. Αυτό επιτρέπει στον χειριστή, μέσω ενός PLC να παρακολουθεί την κατάσταση της διεργασίας και να λαμβάνει αποφάσεις για τον έλεγχο και τη διαχείριση της. Το PLC προγραμματίζεται στη γλώσσα προγραμματισμού Ladder Logic μέσω ειδικού λογισμικού προγραμματισμού PLC.

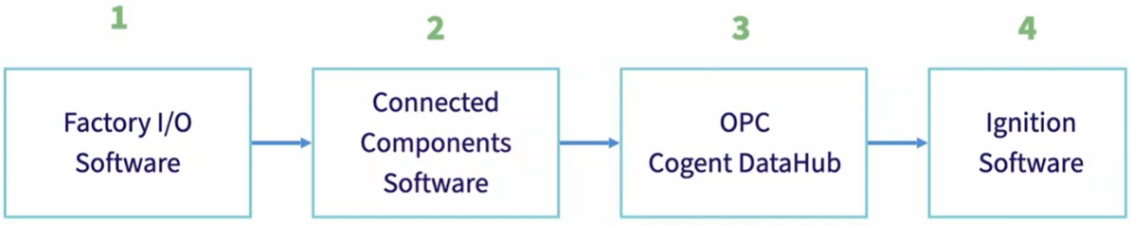
Στη συνέχεια, τα δεδομένα μεταφέρονται με χρήση του προτύπου επικοινωνίας OPC σε ένα λογισμικό SCADA για την απομακρυσμένη παρακολούθηση της διεργασίας.



Εικόνα 67: Διάγραμμα Λειτουργίας Εφαρμογής [40]

Για την υλοποίηση της εφαρμογής χρησιμοποιούνται τα εξής λογισμικά:

- Για την 3D προσομοίωση της διεργασίας χρησιμοποιείται το Factory I/O.
- Όσον αφορά το PLC, χρησιμοποιείται ένα Simulator PLC που προσφέρει το λογισμικό Connected Components Workbench. Το συγκεκριμένο PLC είναι το AB Micro 850 που ανήκει στη σειρά Allen-Bradley Micro800, που κατασκευάζονται από την Rockwell Automation.
- Για τη μεταφορά των δεδομένων, αξιοποιείται η δυνατότητα του Cogent DataHub να λειτουργήσει ταυτόχρονα ως OPC server και OPC client. Μέσω αυτού, τα δεδομένα μεταφέρονται στο Ignition.
- Μέσω του Ignition Designer, σχεδιάζεται το HMI που αξιοποιείται για την παρακολούθηση της διεργασίας.



Εικόνα 68: Κύρια μέρη εφαρμογής SCADA

6.2 Πίνακας I/O

Οι είσοδοι και οι έξοδοι του προγράμματος καθορίζονται από τη σκηνή *Filling Water Tank* στο Factory I/O, το οποίο χρησιμοποιείται για την 3D προσομοίωση της διεργασίας.

Πίνακας Εισόδων

Διεύθυνση	**Τύπος δεδομένων**	**Όνομα Μεταβλητής**	**Περιγραφή**
BOOL_IN_0	BOOL	Fill PB	Μπουτόν ενεργοποίησης βαλβίδας πλήρωσης
BOOL_IN_1	BOOL	Discharge PB	Μπουτόν ενεργοποίησης βαλβίδας εκκένωσης
BOOL_IN_2	BOOL	Factory I/O (Running)	Λειτουργία Factory I/O
BOOL_IN_3	BOOL	Emergency Stop	Μπουτόν έκτακτης διακοπής διεργασίας

Πίνακας Εξόδων

Διεύθυνση	**Τύπος δεδομένων**	**Όνομα Μεταβλητής**	**Περιγραφή**
BOOL_OUT_0	BOOL	Fill Valve	Βαλβίδα πλήρωσης δεξαμενής
BOOL_OUT_1	BOOL	Filling LED Green	Ένδειξη LED πλήρωσης δεξαμενής
BOOL_OUT_2	BOOL	Discharge Valve	Βαλβίδα εκκένωσης δεξαμενής
BOOL_OUT_3	BOOL	Discharge LED Red	Ένδειξη LED εκκένωσης δεξαμενής
INT_OUT_0	INT	Timer Display	Μέτρηση χρόνου πλήρωσης
FLOAT_OUT_0	FLOAT	Level Control	Μέτρηση στάθμης

6.3 Πρόγραμμα PLC σε Ladder Logic

Για τον προγραμματισμό του PLC χρησιμοποιήθηκε το λογισμικό Connected Components Workbench της Rockwell Automation, ενώ το πρόγραμμα «τρέχει» σε προσομοίωση.

Στη συνέχεια, επεξηγείται ο κώδικας του PLC προγράμματος Filling Water Tank.

Εικόνα 69: Rung 1

Rung 1

Όταν πατιέται το μπουτόν γεμίσματος (Fill PB) ανοίγει η βαλβίδα πλήρωσης της δεξαμενής (Fill Valve) και ταυτόχρονα ενεργοποιείται η πράσινη λυχνία LED (Filling LED Green) του μπουτόν γεμίσματος. Ταυτόχρονα, ενεργοποιείται ο timer (TON), ο οποίος μετράει τον χρόνο πλήρωσης της δεξαμενής.

Επειδή οι timers στο Connected Components Workbench δεν διαθέτουν timer timing bit (TT), αυτό αντικαθίσταται από τον συνδυασμό των TON_1.Redge κα TON_1.Q bit. Το TON_1.Q bit λειτουργεί ως Done bit (DN), ενώ το TON_1.Redge bit λειτουργεί ως Enabled Bit (EN). Η ανοιχτή επαφή TON_1.Redge και η κλειστή επαφή, που σημαίνει ότι ο timer είναι ενεργοποιημένος όταν δεν έχει ξεπεραστεί ο προκαθορισμένος χρόνος, τοποθετούνται σε σειρά μεταξύ τους και μανδαλώνονται με την ανοιχτή επαφή BOOL_IN_0 (Fill PB). [41]

Επομένως, η βαλβίδα πλήρωσης της δεξαμενής είναι ανοιχτή για όσο χρόνο μετράει ο timer.

Αν πατηθεί το μπουτόν Emergency Stop (BOOL_IN_3), η διεργασία διακόπτεται άμεσα.

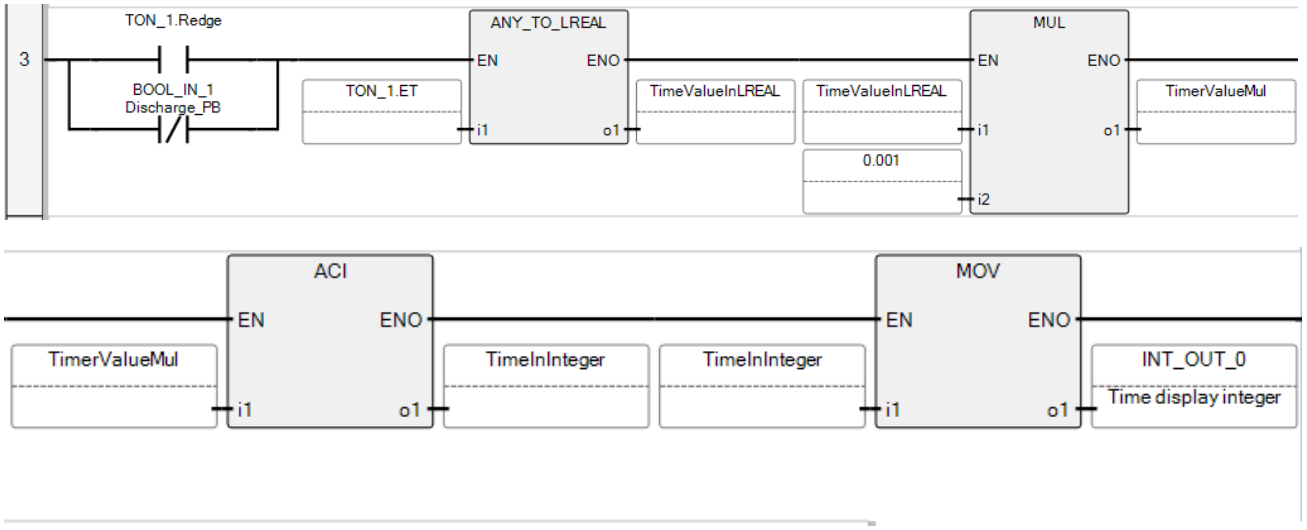
Εικόνα 70: Rung 2

Rung 2

Όταν πατιέται το μπουτόν εκκένωσης (Discharge PB) ανοίγει η βαλβίδα εκκένωσης (Discharge Valve) και ταυτόχρονα ενεργοποιείται η κόκκινη λυχνία LED (Discharge LED Red) του μπουτόν εκκένωσης. Το μπουτόν εκκένωσης είναι κλειστή επαφή. [42]

Η βαλβίδα εκκένωσης δε μπορεί να ενεργοποιηθεί αν είναι ενεργοποιημένη η βαλβίδα πλήρωσης.

Αν πατηθεί το μπουτόν Emergency Stop (BOOL_IN_3), η διεργασία διακόπτεται άμεσα.



Εικόνα 71: Rung 3

Rung 3

Αποστολή της τιμής ET (elapsed time) του timer στη διεύθυνση INT_OUT_0, δηλαδή της διεύθυνσης της οθόνης του πίνακα ελέγχου που δείχνει το χρόνο πλήρωσης της δεξαμενής στο Factory I/O.

Για τη μεταφορά τιμών από μια διεύθυνση σε μια άλλη χρησιμοποείται η εντολή MOV (move). Στην εντολή MOV ο τύπος δεδομένων των δύο διευθύνσεων πρέπει να είναι ίδιος. [41]

Επειδή ο τύπος δεδομένων του ET του timer είναι TIME και ο τύπος δεδομένων του INT_OUT_0 είναι Integer, καθώς και επειδή θέλω η τιμή του INT_OUT_0 να είναι σε sec και όχι msec, χρησιμοποιώ τις εντολές μετατροπής τύπων δεδομένων ANY_TO_LREAL (Any to Long Real) και ACI (Any to Integer) σε συνδυασμό με ορισμένες τοπικές μεταβλητές που δημιουργώ. [41]

Η οθόνη του πίνακα ελέγχου είναι ενεργοποιημένη, μόνο όταν ο timer είναι ενεργός και η ένδειξη του χρόνου συνεχίζει να εμφανίζεται, μέχρι να πατηθεί το μπουτόν ενεργοποίησης της βαλβίδας εκκένωσης της δεξαμενής.

Εικόνα 72: Rung 4

Rung 4

Επειδή η σκηνή στο Factory I/O δε διαθέτει μετρητή στάθμης της δεξαμενής, η στάθμη υπολογίζεται με χρήση συνάρτησης. Κατά την πλήρωση της δεξαμενής, η στάθμη ανεβαίνει 2.5cm κάθε 1sec. Επομένως, στη συνάρτηση πολλαπλασιάζεται ο χρόνος (σε δευτερόλεπτα) επί την στάθμη και το αποτέλεσμα, αφού αποθηκευτεί σε μια τοπική μεταβλητή, μεταφέρεται μέσω της εντολής MOV στη διεύθυνση FLOAT_OUT_0.

6.4 3D Προσομοίωση Διεργασίας με το Factory I/O

Το Factory I/O είναι ένα λογισμικό τρισδιάστατης προσομοίωσης που έχει σχεδιαστεί για εκπαίδευση και δοκιμές πάνω σε εφαρμογές βιομηχανικού αυτοματισμού. Προσφέρει ένα εικονικό περιβάλλον που μιμείται μια πραγματική μονάδα παραγωγής, επιτρέποντας στους χρήστες να προσομοιώνουν και να αλληλεπιδρούν με διάφορες βιομηχανικές διεργασίες και εξοπλισμό.

Το Factory I/O ενσωματώνεται με προγραμματιζόμενους λογικούς ελεγκτές. Υποστηρίζει διάφορους κατασκευαστές και πρωτόκολλα PLC, επιτρέποντας στους χρήστες να συνδέσουν το εικονικό περιβάλλον τους με συστήματα ελέγχου του πραγματικού κόσμου.

Το λογισμικό προσφέρει μια ποικιλία εικονικών αισθητήρων που μπορούν να χρησιμοποιηθούν για την παρακολούθηση και τον έλεγχο των προσομοιωμένων διεργασιών. Οι χρήστες μπορούν να διαμορφώσουν τη συμπεριφορά των αισθητήρων και να τους χρησιμοποιήσουν για την ενεργοποίηση δραστηριοτήτων ή τη συλλογή δεδομένων εντός της προσομοίωσης.

Εικόνα 73: Σκηνή Πλήρωσης / Εκκένωσης δεξαμενής στο Factory I/O

Η εφαρμογή που έχει υλοποιηθεί βασίζεται στην προκατασκευασμένη σκηνή του Factory I/O "Filling Tank (Timers)", πάνω στην οποία έχουν γίνει ορισμένες τροποποιήσεις και προσθήκες. [43]

Στη σκηνή αυτή υπάρχει η δεξαμενή, καθώς και οι 2 βαλβίδες που ελέγχουν την πλήρωση και την εκκένωση της δεξαμενής (Fill Valve & Discharge Valve).

Στη σκηνή αυτή υπάρχει και ο ηλεκτρικός πίνακας ελέγχου, πάνω στον οποίο υπάρχουν τα 2 μπουτόν για την ενεργοποίηση των 2 βαλβίδων (Fill PB & Discharge PB), τα οποία φέρουν και ένδειξη λυχνίας LED όταν είναι πατημένα (πράσινη και κόκκινη αντίστοιχα). Επίσης, υπάρχει το μπουτόν Emergency Stop, μέσω του οποίου γίνεται έκτακτη διακοπή της διεργασίας, σε όποιο στάδιο και αν βρίσκεται αυτή. Τέλος, πάνω στον ηλεκτρικό πίνακα ελέγχου υπάρχει και μια οθόνη που δείχνει το χρόνο πλήρωσης της δεξαμενής σε δευτερόλεπτα.

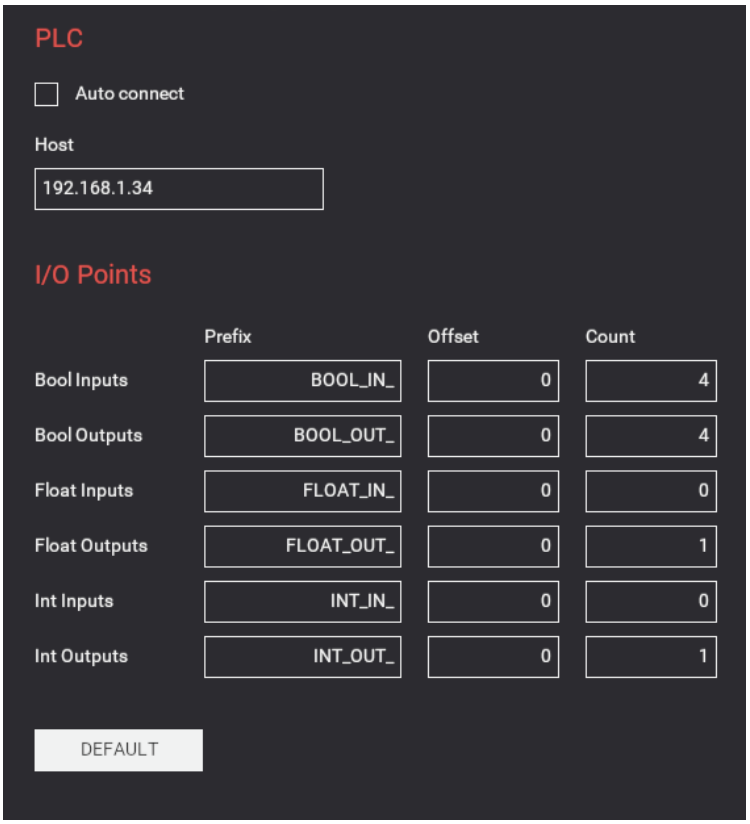
Εικόνα 74: Ηλεκτρικός πίνακας ελέγχου διεργασίας

Όπως προαναφέρθηκε, οι είσοδοι και οι έξοδοι του προγράμματος του PLC μέσω του οποίου γίνεται η αυτοματοποίηση της διεργασίας, καθορίζονται από την εκάστοτε σκηνή του Factory I/O. Οι είσοδοι και οι έξοδοι της συγκεκριμένης σκηνής της εφαρμογής παρατίθενται στην επόμενη εικόνα.

Εικόνα 75: Είσοδοι και Έξοδοι σκηνής

Μέσω του μενού Configuration στο Factory I/O, μπορούμε να επιλέξουμε πόσες από τις εισόδους και εξόδους της σκηνής θα χρησιμοποιήσουμε, καθώς και πόσες από αυτές είναι κάποιου συγκεκριμένου τύπου δεδομένων.

Τέλος, μέσω του ίδιου μενού εισάγουμε την IP του PLC της εφαρμογής, ώστε να μπορεί το Factory I/O να συνδεθεί και να επικοινωνήσει με το PLC και να επιστρέψει με αυτό τον τρόπο στο χειριστή να παρακολουθήσει και να ελέγξει τη λειτουργία του μέσα στο περιβάλλον προσομοίωσης.



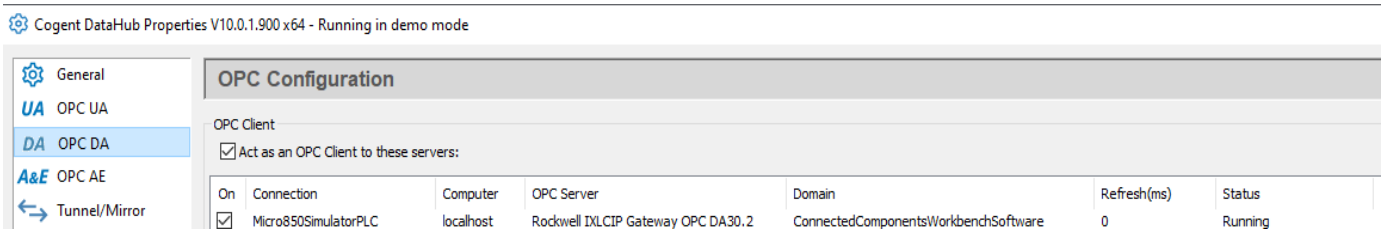
Εικόνα 76: Ρύθμιση IP του PLC και επιλογή αριθμού Εισόδων / Εξόδων

6.5 Λειτουργικότητα SCADA Εφαρμογής

Σε αυτό το στάδιο της εφαρμογής, θα μεταφερθούν τα δεδομένα που παράγονται από το PLC στο σύστημα SCADA με χρήση του προτύπου OPC.

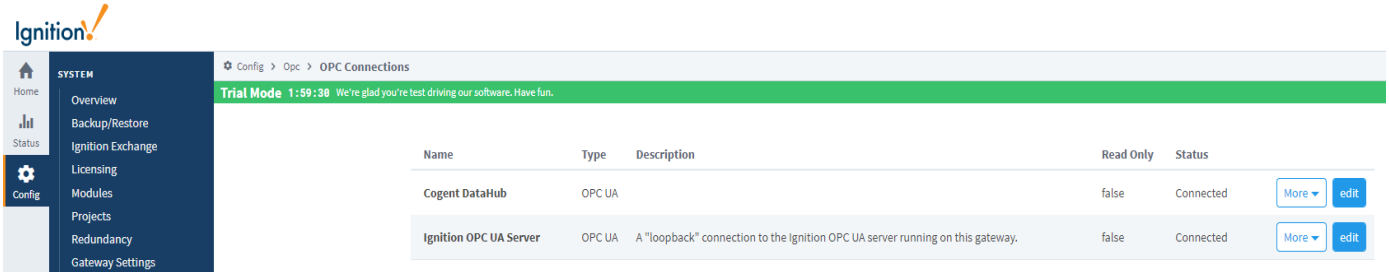
Το λογισμικό Connected Components Workbench διαθέτει έναν Rockwell OPC DA server, στον οποίο μπορούμε να αποκτήσουμε πρόσβαση χρησιμοποιώντας οποιονδήποτε συμβατό OPC client. Για τον OPC client, χρησιμοποιώ το λογισμικό Cogent DataHub για τη λήψη και εμφάνιση των δεδομένων. Όπως θα γίνει αντιληπτό στην εφαρμογή, το Cogent DataHub μπορεί να λειτουργήσει ταυτόχρονα ως OPC server και OPC client, καθιστώντας το σύνδεσμο για τη διευκόλυνση της σύνδεσης μεταξύ OPC UA και OPC DA.

Ο OPC server για το Simulator PLC είναι ο Rockwell IXLCIP Gateway OPC DA. Αφού "κατέβει" το πρόγραμμα στο Simulator PLC και συνδεθεί σε αυτό η σκηνή του Factory I/O, ανοίγω το Cogent DataHub, το οποίο λειτουργεί ως OPC client προς τον server. Μέσα από την κατηγορία OPC DA του Cogent DataHub, προστίθεται ο Rockwell OPC DA server.



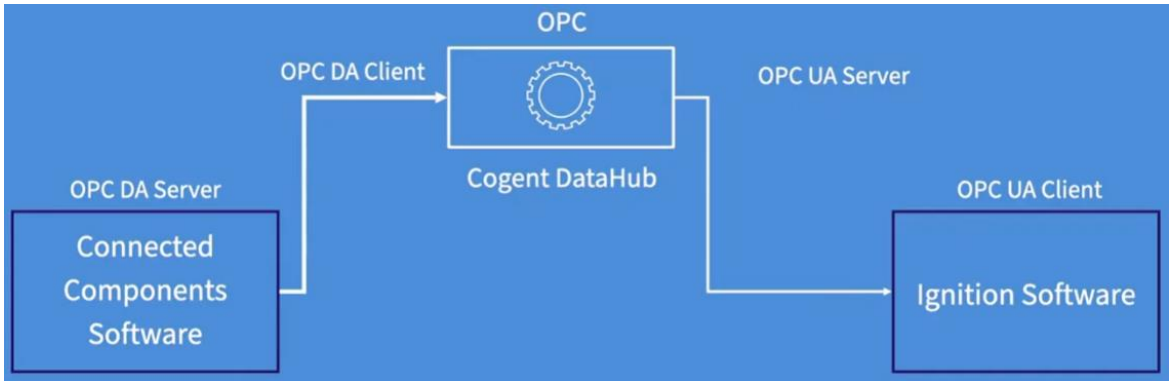
Εικόνα 77: Προσθήκη Rockwell OPC DA server στο Cogent DataHub

Το επόμενο βήμα αφορά την προσθήκη του OPC server στο λογισμικό Ignition. Πρώτα προστίθεται ο OPC server στο Ignition Gateway. Μέσω του μενού Configure, στην κατηγορία OPC Connections, δημιουργώ μια νέα OPC UA σύνδεση.



Εικόνα 78: Δημιουργία νέας OPC UA σύνδεσης στο Ignition Gateway

Όπως προαναφέρθηκε, τα δεδομένα από το Connected Components Workbench φτάνουν μέσω ενός OPC DA server στο Cogent DataHub και λαμβάνονται μέσω ενός OPC DA client. Παράλληλα το Cogent DataHub μπορεί να λειτουργεί ως OPC UA server για κάποιους OPC UA clients. Επομένως, σε αυτή την εφαρμογή το Cogent DataHub μπορεί να λειτουργήσει ως OPC UA server και το Ignition ως OPC UA client.

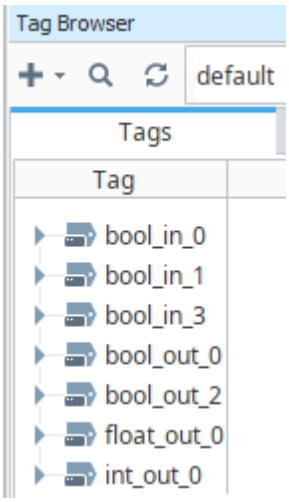


Εικόνα 79: Ροή μεταφοράς δεδομένων εφαρμογής SCADA [40]

6.6 Σχεδιασμός HMI

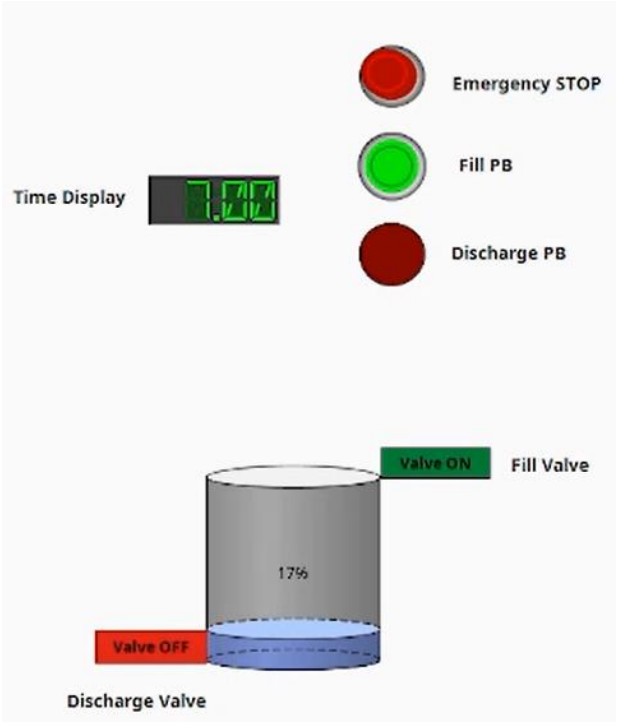
Σε αυτό το στάδιο της εφαρμογής, εισάγονται στο λογισμικό Ignition Designer τα tags και γίνεται ο σχεδιασμός του HMI της εφαρμογής SCADA. Σκοπός του HMI είναι η παρακολούθηση της διαδικασίας πλήρωσης και εκκένωσης της δεξαμενής σε πραγματικό χρόνο. Για να γίνει αυτό, το HMI πρέπει να είναι δυναμικό. Ένα δυναμικό HMI παρέχει δυναμικά και διαδραστικά χαρακτηριστικά, προσφέροντας ενημερώσεις σε πραγματικό χρόνο και ευέλικτη απεικόνιση δεδομένων και ελέγχων.

Για να γίνει το HMI δυναμικό και να εμφανίζονται τιμές σε πραγματικό χρόνο, κάθε αντικείμενο πρέπει να "συνδέεται" (bind) με το αντίστοιχο tag source. Τα tag sources αποτελούν τις εισόδους και εξόδους (I/O) της διεργασίας και προέρχονται από το Factory I/O, ενώ έχουν προστεθεί και στο Connected Components Workbench. Τα tags προστίθενται στο Ignition Designer μέσω του Tag Browser.

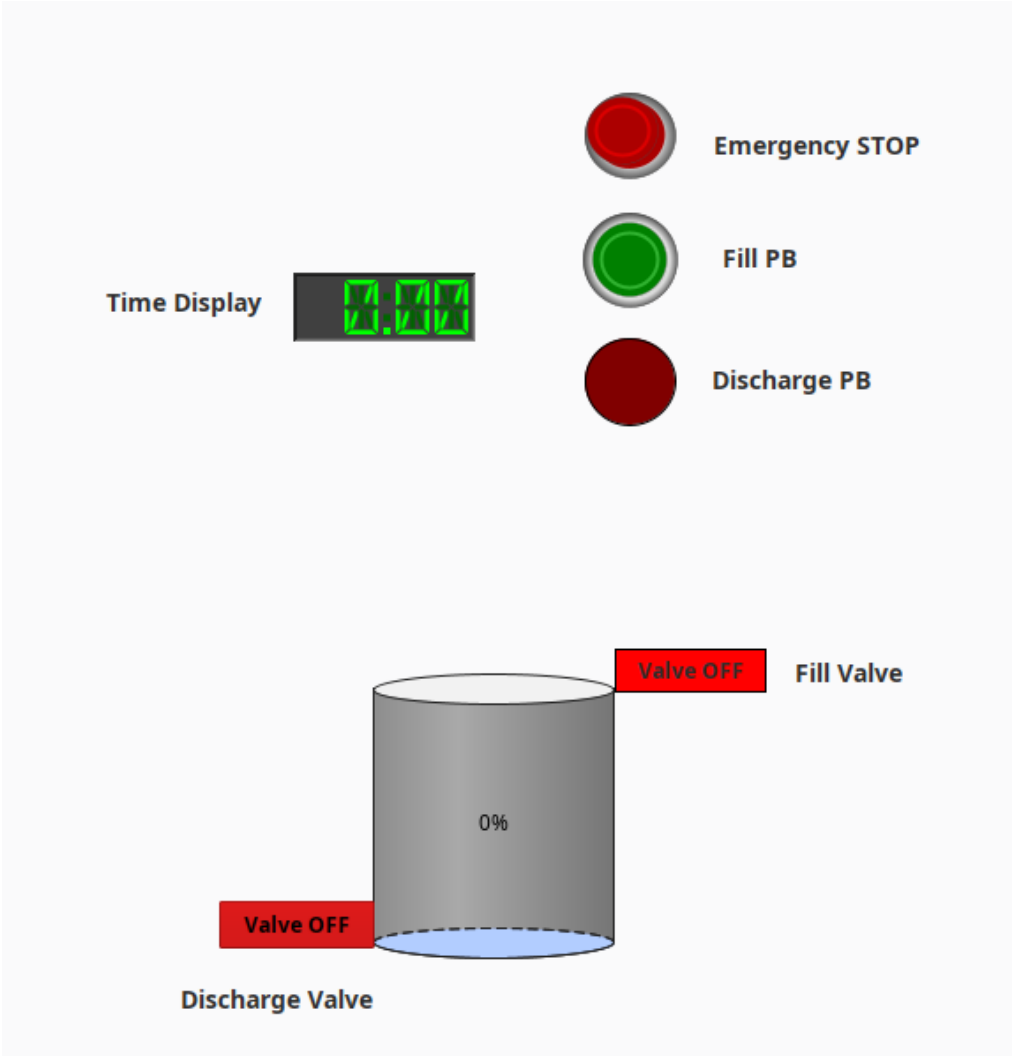


Εικόνα 80: Ignition Designer Tags

Το HMI περιλαμβάνει τα μπουτόν πλήρωσης και εκκένωσης της δεξαμενής καθώς και τις αντίστοιχες λυχνίες LED πάνω σε αυτά, όταν τα μπουτόν είναι ενεργοποιημένα. Περιλαμβάνονται επίσης τα μπουτόν έκτακτης διακοπής της διεργασίας, καθώς και η οθόνη που φέρει το χρόνο πλήρωσης της δεξαμενής. Ακόμα, περιέχεται η δεξαμενή, η οποία φέρει ένδειξη για την στάθμη του νερού (η οποία επίσης αναπαρίσταται) μέσα σε αυτή σε ποσοστό %, το οποίο μεταβάλλεται σε πραγματικό χρόνο, όσο αυτή γεμίζει. Τέλος, περιέχονται στο γράφημα οι βαλβίδες πλήρωσης και εκκένωσης, οι οποίες φέρουν την ένδειξη ON ή OFF όταν είναι ενεργοποιημένες ή απενεργοποιημένες αντίστοιχα.



Εικόνα 81: HMI διεργασίας σε λειτουργία



Εικόνα 82: HMI διεργασίας πλήρωσης / εκκένωσης δεξαμενής

7 Συμπεράσματα

Συνοψίζοντας, η πτυχιακή εργασία προσφέρει μια εμπεριστατωμένη μελέτη για την αυτοματοποίηση και τη διαδικτύωση στον τομέα των βιομηχανικών εφαρμογών. Οι πρακτικές εφαρμογές που υλοποιήθηκαν αποτελούν παραδείγματα της αξίας και των δυνατοτήτων των εμπλεκόμενων τεχνολογιών.

Η αυτοματοποίηση και η διαδικτύωση αποτελούν κρίσιμες πτυχές της σύγχρονης βιομηχανίας, καθώς διαδραματίζουν σημαντικό ρόλο στη βελτίωση της απόδοσης, της ασφάλειας και της ευελιξίας των βιομηχανικών διεργασιών. Παράλληλα, η σταδιακή εδραίωση του Industry 4.0 δημιουργεί νέες προοπτικές και προκλήσεις. Ο συνδυασμός διαρκώς εξελισσόμενων τεχνολογιών όπως το Διαδίκτυο των Πραγμάτων (IoT), τα Ασύρματα Δίκτυα Αισθητήρων (WSNs) και η Τεχνητή Νοημοσύνη (AI) δημιουργεί απεριόριστες ευκαιρίες για αυξημένες επιδόσεις, προβλεπτική συντήρηση και άλλες υπηρεσίες.

Η έρευνα που έγινε στο πλαίσιο αυτής της πτυχιακής εργασίας αποδεικνύει τη σημασία της σταδιακής υιοθέτησης και ενσωμάτωσης των προηγμένων τεχνολογιών στον βιομηχανικό τομέα. Η μετάβαση σε ένα πλήρως διασυνδεδεμένο και έξυπνο περιβάλλον απαιτεί τη συνεργασία και τον συντονισμό μεταξύ διαφόρων επιπέδων και συστημάτων, από την παραγωγή μέχρι τη διαχείριση και τη λήψη αποφάσεων. Επίσης, απαιτεί διαρκή έρευνα, ανάπτυξη και συνεργασία μεταξύ βιομηχανίας, ακαδημαϊκής κοινότητας και του τεχνολογικού κλάδου. Η αξιοποίηση των προηγμένων τεχνολογιών θα επιτρέψει στη βιομηχανία να αποκτήσει ανταγωνιστικό πλεονέκτημα και να προσαρμοστεί στις συνεχώς εξελισσόμενες και αυξανόμενες απαιτήσεις της αγοράς.

Βιβλιογραφία

[1] Αναστασία Βελώνη, "Βιομηχανική Πληροφορική", Εκδόσεις Τζιόλα, 2017

[2] https://www.techtarget.com/whatis/definition/industrial-automation

[3] https://www.weforum.org/agenda/2022/01/industrial-automation-matters/

[4] https://blog.thepipingmart.com/b2b/importance-automation-industries/

[5] Νικόλαος Σαμαράς, Βασικά Στοιχεία Προγραμματιζόμενου Λογικού Ελεγκτή

[6] https://inductiveautomation.com/resources/article/what-is-a-PLC

[7] Frank D. Petruzella, "Programmable Logic Controllers", Fifth Edition, 2019

[8] https://www.automation.com/en-us/articles/2018/a-beginners-plc-overview-part-3-of-4-plc-inputs-an

[9] https://control.com/textbook/programmable-logic-controllers/inputoutput-io-capabilities/

[10] PLC, ΤΕΙ Ανατολικής Μακεδονίας και Θράκης | Τμήμα Ηλεκτρολογίας

[11] https://realpars.com/plc-hardware/

[12] https://realpars.com/plc-programming-languages/

[13] https://instrumentationtools.com/plc-memory-mapping-io-addressing/

[14] https://www.telstarinc.com/what-is-plc-and-why-use-it/

[15] https://www.techtarget.com/whatis/definition/SCADA-supervisory-control-and-data-acquisition

[16] https://inductiveautomation.com/resources/article/what-is-scada

[17] Hosny A. Abbas, "Future SCADA challenges and the promising solution: the agent-based SCADA", International Journal of Critical Infrastructures, Qena, Egypt, 2014

[18] https://www.paessler.com/it-explained/scada

[19] https://realpars.com/high-performance-hmi/

[20] https://inductiveautomation.com/resources/article/what-is-hmi

[21] https://www.linkedin.com/pulse/difference-between-scada-vs-dcs-world-of-electrical/

[22] https://realpars.com/fieldbus/

[23] https://www.antaira.com.tw/Insight/Detail/6

[24] https://instrumentationtools.com/how-profibus-communication-works/

[25] https://realpars.com/difference-between-profibus-and-profinet/

[26] https://procentec.com/content/profibus-vs-profinet-what-are-the-main-differences/

[27] https://www.profibus.com/

[28] https://www.elprocus.com/profinet/

[29] https://realpars.com/controlnet/

[30] https://www.odva.org/technology-standards/other-technologies/controlnet/

[31] https://www.einfochips.com/blog/implementing-opc-the-interoperability-protocol-for-embedded-automation-industry-4-0-and-the-internet-of-things/

[32] https://www.rtautomation.com/technologies/opcua/

[33] https://www.opc-router.com/what-is-opc-ua/

[34] https://opcfoundation.org/about/opc-technologies/opc-classic/

[35] https://docs.inductiveautomation.com/display/DOC80/OPC+UA

[36] https://opcfoundation.org/about/what-is-opc/

[37] https://opcfoundation.org/about/opc-technologies/opc-ua/ua-companion-specifications/

[38] https://inductiveautomation.com/resources/article/what-is-iiot

[39] https://help.codesys.com/api-content/2/codesys/3.5.12.0/en/_cds_obj_action/

[40] https://www.linkedin.com/learning/learning-scada

[41] Micro800 Programmable Controllers General Instructions, Rockwell Automation

[42] https://docs.factoryio.com/manual/parts/operators/

[43] https://docs.factoryio.com/manual/scenes/filling-tank/