

**Τ.Ε.Ι. ΛΑΡΙΣΑΣ**  
**Τμήματος Ηλεκτρολόγων Μηχανικών Τ.Ε.**

**Μεταπτυχιακό**  
**Ενεργειακές Τεχνολογίες και Συστήματα Αυτοματισμών**

**Διπλωματική εργασία**  
**Αυτοματισμός εγκατάστασης βιολογικού καθαρισμού**



**Φοιτητής: Παζώλης Γεώργιος**  
**Επιβλέπων Καθηγητής: Παυλός Γρηγόρης**

**Λάρισα, 2021**

## ΥΠΕΥΘΥΝΗ ΔΗΛΩΣΗ

Δηλώνω υπεύθυνα ότι η συγκεκριμένη μεταπτυχιακή διπλωματική εργασία για τη λήψη του μεταπτυχιακού τίτλου σπουδών του ΠΜΣ Πλήρους Φοίτησης του Πανεπιστημίου Θεσσαλίας «ΕΝΕΡΓΕΙΑΚΕΣ ΤΕΧΝΟΛΟΓΙΕΣ ΚΑΙ ΣΥΣΤΗΜΑΤΑ ΑΥΤΟΜΑΤΙΣΜΩΝ» έχει συγγραφεί από εμένα προσωπικά και δεν έχει υποβληθεί ούτε έχει εγκριθεί στο πλαίσιο κάποιου άλλου μεταπτυχιακού ή προπτυχιακού τίτλου σπουδών, στην Ελλάδα ή στο εξωτερικό. Η εργασία αυτή έχοντας εκπονηθεί από εμένα, αντιπροσωπεύει τις προσωπικές μου απόψεις επί του θέματος και το κείμενο είναι γραμμένο με τα δικά μου λόγια και δεν αποτελεί προϊόν λογοκλοπής από τρίτες πηγές. Οι πηγές στις οποίες ανέτρεξα για την εκπόνηση της συγκεκριμένης διπλωματικής αναφέρονται στο σύνολό τους, δίνοντας πλήρεις αναφορές στους συγγραφείς, συμπεριλαμβανομένων και των πηγών που ενδεχομένως χρησιμοποιήθηκαν από το διαδίκτυο.

Ο Δηλών  
Παζώλης Γεώργιος

# 1 Περίληψη

Η παρούσα διπλωματική εργασία με τίτλο «Αυτοματισμός εγκατάστασης βιολογικού καθαρισμού», πραγματοποιήθηκε στο πλαίσιο του μεταπτυχιακού προγράμματος Ενεργειακές Τεχνολογίες και Συστήματα Αυτοματισμών του τμήματος ηλεκτρολόγων μηχανικών ΤΕΙ Λάρισας. Σκοπός της διπλωματικής εργασίας είναι η μελέτη, ο σχεδιασμός και η κατασκευή ενός ολοκληρωμένου αυτοματισμού μιας εγκατάστασης βιολογικού καθαρισμού. Όπως και η κατανόηση όλων των επιπέδων του σχεδιασμού ξεκινώντας από τον ορισμό της λειτουργίας του αυτοματισμού μέχρι και την πλήρη καλωδίωση όλου του συστήματος.

Έγινε μια εισαγωγή στην λειτουργία του βιολογικού όπως και μια λεπτομερής αναφορά σε όλα τα περιφερειακά που απαρτίζουν ένα σύστημα αυτοματισμού με προγραμματιζόμενο λογικό ελεγκτή.

Ο αυτοματισμός που μελετήθηκε όσον αφορά το λογισμικό, πραγματοποιήθηκε στο SoMachine της εταιρίας Schneider και το ηλεκτρολογικό σχέδιο στο σχεδιαστικό πρόγραμμα ePlan. Η μελέτη και ο σχεδιασμός του αυτοματισμού έγινε με βάση τις πραγματικές απαιτήσεις μιας εγκατάστασης έπειτα από συνεννόηση με έμπειρους μηχανικούς που δουλεύουν αυτήν την στιγμή στην κατασκευή εγκαταστάσεων βιολογικού καθαρισμού. Καλύπτοντας παράλληλα ένα μεγάλο φάσμα από έξυπνες και ποιοτικές λύσεις όπως ελεγκτή PID, σύνδεση αισθητήρων και μετρητών και φυσικά όλα αυτά σε συνεργασία με έναν προγραμματιζόμενο λογικό ελεγκτή (PLC) της Schneider.

## 2 Περιεχόμενα

1	Περίληψη .....	3
2	Περιεχόμενα .....	4
3	Βιολογικός καθαρισμός .....	5
3.1	Εισαγωγή στο βιολογικό καθαρισμό λυμάτων .....	5
3.2	Ιστορική εξέλιξη .....	6
3.3	Ορισμός.....	7
3.4	Περιγραφή λειτουργίας ενός βιολογικού .....	8
3.4.1	Μονάδα βοθρολυμάτων .....	8
3.4.2	Προεπεξεργασία.....	8
3.4.3	Βιολογική επεξεργασία .....	9
3.4.4	Γέφυρα καθίζησης.....	9
3.4.5	Μονάδα αφυδάτωσης.....	9
3.4.6	Μονάδα χλωρίωσης .....	10
4	Εισαγωγή στους Προγραμματιζόμενους Λογικούς Ελεγκτές (PLC).....	10
4.1	Η δημιουργία και η εξέλιξη των PLC .....	10
4.2	Δομή.....	12
4.3	Κεντρική μονάδα επεξεργασίας (Central Processing Unit) .....	13
4.4	Μνήμη.....	14
4.4.1	Μη πτητικές μνήμες .....	14
4.4.2	Πτητικές μνήμες .....	15
4.5	Μονάδες εισόδου – εξόδου .....	16
4.5.1	Μονάδα εισόδων .....	16
4.5.2	Μονάδα εξόδων .....	17
4.5.3	Εξειδικευμένες μονάδες εισόδου/εξόδου.....	17
4.6	Τροφοδοτικό (PowerSupply) .....	23
4.7	Πρωτόκολλα επικοινωνίας .....	24
4.7.1	Modbus .....	24
4.7.2	Profibus .....	27
4.7.3	Profinet.....	29
4.7.4	Profisafe .....	30
4.8	Προγραμματισμός.....	31
4.8.1	Συσκευή προγραμματισμού και λογισμικό .....	31
4.8.2	Ορισμός λειτουργίας του συστήματος .....	32
4.8.3	Σχεδιασμός προγράμματος .....	32
4.8.3	Γλώσσες προγραμματισμού .....	34
5	Αυτοματοποίηση εγκατάστασης βιολογικού .....	38
5.1	Λειτουργία αυτοματισμού – Περιγραφή προγράμματος .....	39
5.2	Βιομηχανικοί ελεγκτές PID .....	41

5.3	Ηλεκτρολογικό σχέδιο πινάκων.....	42
5.4	Κώδικας .....	43
6	Βιβλιογραφία .....	47
7	Σύνδεσμοι στο Διαδίκτυο .....	47
8	Κατάλογος πηγών εικόνων .....	47
9	Ευχαριστίες.....	48

### 3 Βιολογικός καθαρισμός

#### 3.1 Εισαγωγή στο βιολογικό καθαρισμό λυμάτων

Η μαζική διαχείριση των υδατικών λυμάτων για την αφαίρεση τους από την πόλη ξεκίνησε από τα αρχαία χρόνια, αλλά το πραγματικό σύστημα αποχέτευσης και η επεξεργασία λυμάτων δεν χρησιμοποιήθηκε μέχρι τον 19ο αιώνα, όταν άρχισαν να εμφανίζονται οι μεγάλες πόλεις. Δεδομένου ότι κάθε άτομο παράγει 200 έως 500 λίτρα λυμάτων κάθε μέρα δεν είναι δύσκολο να φανταστεί κανείς την τεράστια ποσότητα λυμάτων που μπορεί να δημιουργήσει μια μεσαίου μεγέθους πόλη με πληθυσμό 100000 έως 900000. Έτσι, οι αρχές και οι εμπειρογνώμονες άρχισαν να κατανοούν την ανάγκη μείωσης της ποσότητας των ρύπων και ανακύκλωσης του χρησιμοποιημένου νερού. Η επεξεργασία των λυμάτων συμβαίνει φυσικά σε ωκεανούς, λίμνες και ποτάμια, αλλά οι πληθυσμοί και η τεράστια ποσότητα των παραγόμενων λυμάτων είχαν γίνει τόσο σημαντικές και ήταν αδύνατο να ρίξουν αυτή η ποσότητα λυμάτων στα ωκεάνια ή επιφανειακά ύδατα. Διότι τα παθογόνα βακτηρίδια στα λύματα προκαλούν απειλητικές για τη ζωή ασθένειες και αλλοιώνουν το περιβάλλον. Έτσι, ήταν απαραίτητο να καθαριστεί το νερό αποχέτευσης και να επιταχυνθεί η διαδικασία επεξεργασίας λυμάτων. Σήμερα τα συστήματα συλλογής λυμάτων και η επεξεργασία λυμάτων είναι σχεδόν τέλεια και η ποιότητα του νερού που απορρίπτεται στη φύση είναι πολύ καλύτερη από πριν.

Η ταχεία ανάπτυξη των πόλεων, η αύξηση του πληθυσμού τους και η επέκταση των βιομηχανιών και των εργοστασίων έχουν καταστήσει τη σημασία της περιβαλλοντικής ρύπανσης πιο σημαντική από ποτέ. Ο βιομηχανικός τρόπος ζωής και η παραμέληση στην εξοικονόμηση των φυσικών πόρων μολύνουν το περιβάλλον δημιουργώντας μεγάλα προβλήματα στους ανθρώπους αλλά και στην φύση γενικότερα. Ο βιολογικός καθαρισμός ασχολείται με τα αστικά, βιομηχανικά και γεωργικά/αγροτικά απόβλητα ή αλλιώς «λύματα». Τα αστικά λύματα αφορούν τις κατοικίες και είναι κυρίως τροφή, χρήση νερού για καθαρισμό και βιολογική ανάγκη αλλά και λύματα που προέρχονται κυρίως από τα δημόσια κτίρια. Τα βιομηχανικά απόβλητα απορρίπτονται από χώρους ή κτήρια που χρησιμοποιούνται για οποιαδήποτε βιομηχανική δραστηριότητα. Τέλος τα αγροτικά/γεωργικά απόβλητα προέρχονται από διάφορες δραστηριότητες όπως για παράδειγμα οι κτηνοτροφικές μονάδες.

Η ορθή διαχείριση των υδατικών πόρων είναι απαραίτητη για τους παρακάτω λόγους

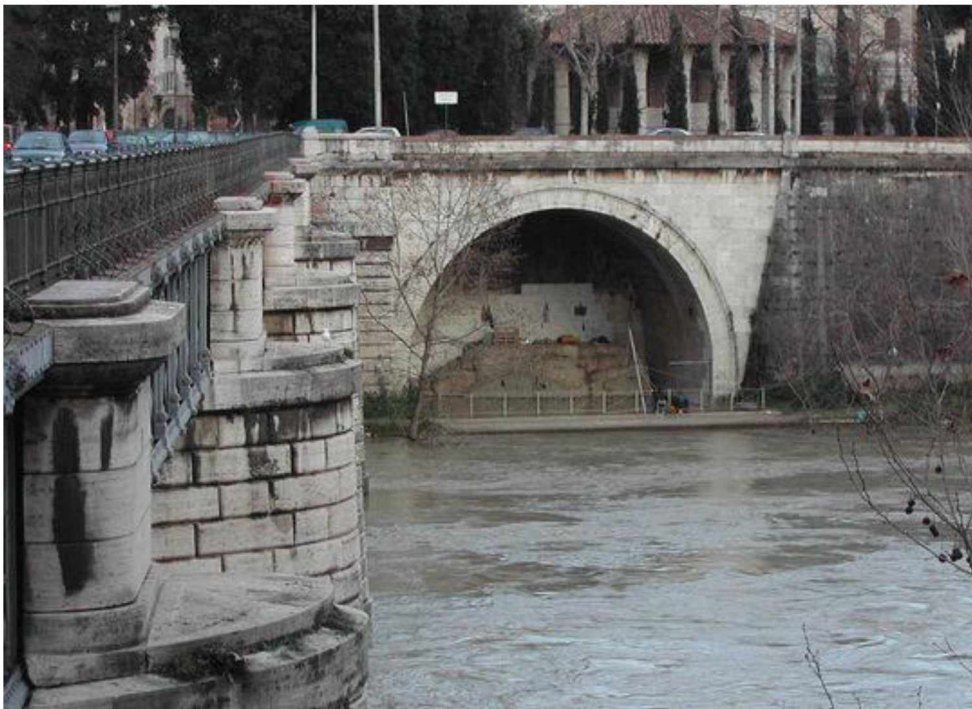
- για να προστατεύσουμε το περιβάλλον και την υγιεινή των ανθρώπων
- να αυξηθεί η παραγωγικότητα της γεωργίας

- να υπάρξει τουριστική και αστική ανάπτυξη
- να υπάρξει η δυνατότητα για επαναχρησιμοποίηση των επεξεργασμένων υγρών αποβλήτων που θα βοηθήσουν να καλυφθούν οι υδατικές ανάγκες της περιοχής.
- για την παραγωγή ενέργειας

### 3.2 Ιστορική εξέλιξη

Η ανθρωπότητα από τα αρχαία ακόμα χρόνια ξεκίνησε να ψάχνει τρόπους για την απομάκρυνση των λυμάτων από τις πόλεις. Αυτές οι προσπάθειες εντατικοποιούνται όταν διαπιστώθηκε πόσο σημαντικό είναι το νερό και ο ρόλος του στην απομάκρυνση των λυμάτων. Έτσι εμφανίζονται οι πρώτες κατασκευές.

Οι πρώτοι αναπτυγμένοι πολιτισμοί που κατασκεύασαν αυτά τα έργα ήταν Ελληνικοί (Μινωικός πολιτισμός) και Ασσύριοι οι οποίοι κατασκεύασαν τους πρώτους υπονόμους. Αυτοί οι υπόνομοι δεν χρησίμευαν μόνο για την απομάκρυνση των λυμάτων αλλά και για την απομάκρυνση των βρόχινων νερών. Είναι γεγονός ότι μερικές εγκαταστάσεις υπονόμων ήταν τόσο καλά κατασκευασμένες που λειτουργούν μέχρι και σήμερα. Ένα χαρακτηριστικό παράδειγμα είναι η εγκατάσταση υπονόμων που λειτουργεί ακόμα είναι οι εγκαταστάσεις στην αρχαία Ρώμη.



Εικόνα 1: Cloaca Maxima ήταν ένα από τα πρώτα συστήματα αποχέτευσης στον κόσμο.

Στην συνέχεια ακολουθεί η κατασκευή των βόθρων που πραγματοποιήθηκαν κατά την περίοδο του Μεσαίωνα. Στους βόθρους αυτούς, συγκεντρώνονται τα λύματα και όταν γεμίσουν, τα συνεργεία της πόλης ήταν υπεύθυνα να τους αδειάσουν και να μεταφέρουν τα λύματα σε λίμνες, παράκτιες περιοχές ή ποτάμια. Από τότε διαπιστώθηκε η ανάγκη της επεξεργασίας των λυμάτων που θα κατέληγαν στους υδάτινους φορείς για να μειωθεί το ποσοστό της ρύπανσης.

Στις αρχές τους 19<sup>ου</sup> αιώνα όμως κατασκευάστηκαν καλύτερα και ποιο σύγχρονα αποχετευτικά έργα. Ωστόσο μεγάλο πρόβλημα ρύπανσης όπως και σοβαρά προβλήματα στο περιβάλλον δημιουργεί η βιομηχανική επανάσταση του 20<sup>ου</sup> αιώνα. Λόγω της βιομηχανικής επανάστασης ξεκίνησε μια τεράστια αύξηση στην παραγωγή αστικών και βιομηχανικών υγρών αποβλήτων σε παράκτιες περιοχές. Έτσι η κατασκευή της πρώτης εγκατάστασης επεξεργασίας λυμάτων ξεκινάει το 1950 σε μια προσπάθεια να περιοριστεί η ρύπανση του περιβάλλοντος. Στην αρχή διαπίστωσαν ότι είχαν μεγάλα προβλήματα στο κόστος λειτουργίας και στην διαχείριση αυτών των έργων λόγω περιορισμένων οικονομικών αλλά και ενεργειακών πόρων. Αυτό είχε σαν αποτέλεσμα να επιλεγθούν τεχνικές λύσεις με μικρότερες ενεργειακές απαιτήσεις και όσο τον δυνατόν μικρότερο κόστος. Επιπλέον πρέπει να σημειωθεί ότι η τεχνική λύση που θα επιλεγθεί πρέπει να ικανοποιεί και τους κοινωνικούς και περιβαλλοντικούς περιορισμούς.



Εικόνα 2: Σύγχρονες εγκαταστάσεις βιολογικού καθαρισμού

### 3.3 Ορισμός

Υπάρχουν πολλοί μέθοδοι για να αντιμετωπιστεί η ρύπανση από τα απόβλητα που καταλήγουν στους υδάτινους πόρους. Η επεξεργασία λυμάτων είναι μια από τις πιο αποτελεσματικές μεθόδους. Ο βιολογικός καθαρισμός πραγματοποιείται κατά την επεξεργασία των λυμάτων. Με τον όρο βιολογικό καθαρισμό ορίζουμε την τεχνική διαδικασία που ακολουθείτε για να εξομοιωθεί η λειτουργία της φύσης όταν αδρανοποιούνται τα λύματα. Συνοπτικά η διαδικασία του βιολογικού καθαρισμού είναι η εξής: Τα λύματα αφού συλλεχθούν, εισάγονται στο σύστημα εντός του οποίου θα υποβληθούν σε διαδικασίες καθαρισμού και στην έξοδο θα προκύψει καθαρό διαυγές νερό. Αυτό το νερό μπορεί να χρησιμοποιηθεί ξανά και ακίνδυνα. Με αποτέλεσμα ο βιολογικός καθαρισμός δεν προσφέρει μόνο την ακίνδυνη διάθεση των λυμάτων που εισήγαμε στο σύστημα πίσω στο περιβάλλον αλλά ταυτόχρονα εξοικονομούμε νερό. Τα λύματα που καταλήγουν στην θάλασσα έχουν ένα ποσοστό καθαρότητας περίπου 95%.

### 3.4 Περιγραφή λειτουργίας ενός βιολογικού

Υπάρχουν πολλοί τρόποι για να επιτευχθεί ο καθαρισμός λυμάτων, έτσι υπάρχουν μεγάλες διαφορές ανάλογα με τον τρόπο που χρησιμοποιούμε και στην εγκατάσταση του βιολογικού. Οι εγκαταστάσεις που είναι συνηθέστερες στην Ελλάδα και που θα μελετηθεί στην παρούσα διπλωματική χωρίζονται σε 8 στάδια

- 1) Μονάδα βοθρολυμάτων
- 2) Προεπεξεργασία
- 3) Βιολογική επεξεργασία
- 4) Γέφυρα καθίζηση
- 5) Χλωρίωση
- 6) Αφυδάτωση

Το μέγεθος της εγκατάστασης, δηλαδή ο αριθμός των δεξαμενών και το μέγεθος αυτών εξαρτώνται από τους υπολογισμούς που θα κάνει ο χημικός μηχανικός. Οι πιο καθοριστικοί παράγοντες είναι οι απαιτήσεις στην καθαρότητα των υγρών εξόδου, η ποσότητα των λυμάτων που θα δέχεται ο βιολογικός αλλά και το είδος των λυμάτων που θα εισέρχονται στο σύστημα. Το καθαρό νερό που θα εξέρχεται του βιολογικού πέφτει σε ποτάμι ή θάλασσα.

#### 3.4.1 Μονάδα βοθρολυμάτων

Είναι το μέρος που μαζεύονται τα λύματα από σπίτια και επιχειρήσεις που δεν είναι συνδεδεμένες στο δίκτυο αποχέτευσης. Για αυτόν τον λόγο αναγκαστικά μεταφέρονται με φορτηγά και υπάρχει κατάλληλη υποδομή ώστε να μπορούν να εισέλθουν στο βιολογικό σε αυτό το σημείο. Σε αυτήν την δεξαμενή υπάρχουν φυσητήρες βοθρολυμάτων και φυσικά αντλίες βοθρολυμάτων που παίρνουν εντολές ανάλογα με την στάθμη του υγρού ώστε να σταλούν τα λύματα προς τις δεξαμενές προεπεξεργασίας.

#### 3.4.2 Προεπεξεργασία

Η προεπεξεργασία γίνεται σε δύο δεξαμενές. Στην πρώτη υπάρχει η δεξαμενή με την εσχάρα που δέχεται τα λύματα της πόλης μέσω του δικτιού της αποχέτευσης από αντλίες ή βαρυτικά. Η εσχάρα μοιάζει με μία τεράστια τσουγκράνα που διώχνει όλα τα χοντρά σκουπίδια που έρχονται από το δίκτυο της αποχέτευσης και με την βοήθεια μιας μεταφορικής ταινίας τα τοποθετεί σε έναν κάδο. Από την δεξαμενή της εσχάρας και έπειτα, τα λύματα κινούνται με ελεύθερη ροή. Δηλαδή αντί να χρησιμοποιούνται αντλίες σε όλες τις μεταφορές των λυμάτων μεταξύ των δεξαμενών, τα λύματα κινούνται από την μία δεξαμενή στην επόμενη βαρυτικά λόγω της διαφοράς ύψους. Αυτό επιτυγχάνεται με την σωστή τοποθέτηση των δεξαμενών και γίνεται για να μικρύνει σημαντικά το κόστος της εγκατάστασης και η κατανάλωση αλλά και να αποφευχθούν τυχόν βλάβες που εμφανίζονται στις αντλίες, κάνοντας πιο απλό το σύστημα.



Η δεύτερη δεξαμενή για την προεπεξεργασία περιέχει την παλινδρομική γέφυρα η οποία κινείται κυκλικά. Στο βυθό της δεξαμενής κινείται από πίσω προς τα μπροστά και ουσιαστικά σπρώχνει την άμμο στον πάτο της δεξαμενής ενώ στον γυρισμό σηκώνεται στην επιφάνεια και πηγαίνει από μπροστά προς τα πίσω για να ολοκληρώσει τον κύκλο και να σπρώξει αντίστοιχα τα λίπη που επιπλέουν. Με αυτόν τον τρόπο η άμμος που βρίσκεται στον βυθό μεταφέρεται προς τις αντλίες άμμου και από εκεί σε έναν κοχλία για να σταλεί στα στραγγίδια ενώ τα λίπη που επιπλέουν λόγω των φυσητήρων αλλά και επειδή είναι ελαφριά καταλήγουν σε ένα φρεάτιο. Τα λύματα στην συνέχεια πηγαίνουν βαρυντικά προς την δεξαμενή για την βιολογική επεξεργασία.

### 3.4.3 Βιολογική επεξεργασία

Η δεξαμενή της βιολογικής επεξεργασίας χωρίζεται σε τρία διαμερίσματα. Της βιοεπιλογής, της απονιτροποίησης και της αποφωσφόρωσης τα οποία έχουν από έναν αναδευτήρα. Σε αυτήν την δεξαμενή υπάρχουν και φυσητήρες αερισμού για να κρατάνε σταθερά τα επίπεδα του οξυγόνου. Στο τέλος της δεξαμενής υπάρχουν οι αντλίες ανακυκλοφορίας ανάμικτου υγρού ώστε να μεταφέρουν τα λύματα στην είσοδο της βιοεπιλογής και να περνάνε ξανά τα τρία στάδια της βιολογικής επεξεργασίας. Έπειτα τα λύματα μεταφέρονται βαρυντικά προς την δεξαμενή με την γέφυρα καθίζησης.

### 3.4.4 Γέφυρα καθίζησης

Η καθίζηση των στερεών, είναι αναπόσπαστο κομμάτι των εγκαταστάσεων επεξεργασίας υγρών αποβλήτων. Οι κυκλικές δεξαμενές καθίζησης συλλέγουν την λάσπη από τον πυθμένα της δεξαμενής. Εκεί υπάρχει μια περιστροφική γέφυρα που λειτουργεί με χαμηλό ρυθμό περιστροφής, διατηρώντας έτσι τις απαιτούμενες συνθήκες ηρεμίας στην δεξαμενή καθίζησης. Η κίνηση δίνεται από την βάση της γέφυρας, ενώ το ξέστρο εδράζεται στον πυθμένα συγκεντρώνοντας την λάσπη που κατακάθεται, στην χοάνη συλλογής στο κέντρο της δεξαμενής όπου στέλνει την λάσπη σε μια διπλανή δεξαμενή. Ταυτόχρονα υπάρχει και επιφανειακό ξέστρο το οποίο καθαρίζει τα λίπη. Στην διπλανή δεξαμενή το υπερχειλίζον νερό καταλήγει στην μονάδα χλωρίωσης. η λάσπη μέσω της αντλίας απαγωγής ύλιος καταλήγει στην μονάδα αφυδάτωσης ενώ κάποιες αντλίες ανακυκλοφορίας στέλνουν τα υπόλοιπα λύματα πίσω στην βιολογική επεξεργασία.

### 3.4.5 Μονάδα αφυδάτωσης

Η μονάδα αφυδάτωσης αποτελείται από κλίνες ξήρανσης. Οι συμβατικές κλίνες ξήρανσης είναι συνήθως ορθογωνικής κάτοψης, πλάτους 5-20m και μήκους 15-50m. Τα τοιχώματα και ο πυθμένας κατασκευάζονται από ελαφρά οπλισμένο σκυρόδεμα. Ο πυθμένας έχει κατάλληλη κλίση προς το κεντρικό άξονα της κλίνης για τη συλλογή των στραγγιδίων σε έναν διάτρητο σωλήνα στράγγισης που βρίσκεται κατά μήκος του κεντρικού άξονα της κλίνης. Η λάσπη μεταφέρεται στην μονάδα αφυδάτωσης με τις αντλίες απαγωγής και η τροφοδοσία κάθε κλίνης με λάσπη γίνεται με σύστημα χειροκίνητης βάνας και εύκαμπτου

σωλήνα. Όταν ο όγκος του χρώματος που παράγεται από αυτήν την διαδικασία φτάσει σε ένα συγκεκριμένο όγκο, αφαιρείτε.

### 3.4.6 Μονάδα χλωρίωσης

Τα υπερχειλίζοντα υγρά από την δεξαμενή καθίζησης καταλήγουν στην δεξαμενή χλωρίωσης, όπου χλωριώνονται με δοσομετρικές αντλίες. Ανάμεσα από την μονάδα καθίζησης και χλωρίωσης υπάρχει μετρητής παροχής ώστε η δοσομετρική αντλία χλωρίωσης να ξεκινάει και να σταματάει όταν υπάρχει παροχή πάνω ή κάτω από κάποιο συγκεκριμένο όριο που θα ορίσει ο χημικός μηχανικός.

## 4 Εισαγωγή στους Προγραμματιζόμενους Λογικούς Ελεγκτές (PLC)

### 4.1 Η δημιουργία και η εξέλιξη των PLC

Ο πρώτος ηλεκτρονικός υπολογιστής, ο ENIAC, κατασκευάστηκε το 1945 και χρησιμοποιούσε λυχνίες. Ο ENIAC δεν θύμιζε σε τίποτα τους μοντέρνους σύγχρονους υπολογιστές που κατασκευάζονται σήμερα, ήταν ένα μικρό εργοστάσιο το οποίο έλυνε μαθηματικές εξισώσεις. Μετά το 1950 με τη χρήση των τρανζίστορ κατασκευάστηκαν οι πρώτοι πραγματικοί υπολογιστές, χρησιμοποιούνται κατά κύριο λόγο στο θέμα της μηχανογράφησης, δηλαδή στην διαχείριση και αποθήκευση μεγάλων αρχείων με δεδομένα. Από την δεκαετία του εξήντα ήδη οι μηχανικοί ξεκίνησαν να σκέφτονται τρόπους για να αξιοποιήσουν τις τεράστιες δυνατότητες των υπολογιστών σε μια ποιο σύγχρονη βιομηχανία. Οι πρώτες εφαρμογές των υπολογιστών που εμφανίστηκαν στη βιομηχανία ήταν αυτόματες εργαλειομηχανές (φρέζες, τόρνοι κ.λπ.), οι οποίες μέχρι εκείνη την στιγμή χρησιμοποιούσαν κυρίως μηχανολογικούς και πολύ λιγότερο ηλεκτρολογικούς αυτοματισμούς. Όταν αυτή η εφαρμογή ολοκληρώθηκε με επιτυχία οδήγησε τους μηχανικούς να ξεκινήσουν να σκέφτονται να αντικαταστήσουν το σύνολο των αυτοματισμών των εργοστασίων από ένα υπολογιστή. Μέχρι την δεκαετία του ογδόντα αυτό δεν ήταν δυνατό, διότι οι υπολογιστές ήταν πανάκριβοι και δύσκολοι στην χρήση.

Η επανάσταση της πληροφορικής ξεκίνησε μετά το 1975 με την ολοκλήρωση της κατασκευής του πρώτου μικροϋπολογιστή. Έπειτα η τεχνολογία άλλαξε πορεία, επηρεάζοντας όλους τους τομείς της καθημερινής ζωής του ανθρώπου. Ο μικροϋπολογιστής εμφανίστηκε παντού, σε οποιοδήποτε εφαρμογή και σε όλους τους τομείς.

Μέχρι την δεκαετία του '80 στην βιομηχανία χρησιμοποιούνταν ελάχιστα τα ηλεκτρονικά. Πάνω από το 90% των αυτοματισμών αποτελούσαν οι αυτοματισμοί με ηλεκτρονόμους και χρονικά, έτσι ονομάζεται σήμερα σαν «κλασικός αυτοματισμός». Τα ηλεκτρονικά χρησιμοποιούνται κατά κύριο λόγο για κάποιες «ευφυείς» εργασίες, και οι πλακέτες τους εγκαθίστανται μέσα στους πίνακες μαζί με τους ηλεκτρονόμους.

Στις αρχές της δεκαετίας του '80 όλες οι μεγάλες εταιρείες κατασκευής ηλεκτρολογικού υλικού παρουσιάζουν στους τεχνικούς και μηχανικούς της βιομηχανίας ένα καινούργιο προϊόν αυτοματισμού που το ονόμασαν PLC. Ολόκληρη η ονομασία της καινούργιας συσκευής είναι Προγραμματιζόμενος Λογικός Ελεγκτής. (Programmable Logic Controller).

Το PLC ουσιαστικά είναι ένας προσαρμοσμένος μικροϋπολογιστής, κατάλληλος για την λειτουργία αυτοματισμών. Τα PLC δημιουργήθηκαν για να αντικαταστήσουν το κλασικό πίνακα αυτοματισμού με ηλεκτρονόμους. Όπως γίνεται εύκολα κατανοητό αυτό ήταν μια πολύ μεγάλη αλλαγή στον τρόπο που δούλευε μέχρι τότε η βιομηχανία, διότι έπρεπε να περάσει αμέσως από τους ηλεκτρονόμους στους μικροϋπολογιστές. Έτσι οι εταιρείες παραγωγής των PLC ξεκίνησαν ένα σπουδαίο «παιχνίδι» μάρκετινγκ. Προσάρμοσαν τους τρόπους με τους οποίους χρησιμοποιείτε και προγραμματίζεται το PLC στον τρόπο που δούλευε μέχρι τότε η βιομηχανία, έτσι:

- Έντεχνα δεν χρησιμοποιούσαν λέξεις που θα φαινόταν ξένες το τεχνικό κατεστημένο της βιομηχανίας, όπως για παράδειγμα προγραμματισμός, υπολογιστής κλπ. Μέχρι και το όνομα του νέου προϊόντος δεν το χρησιμοποιούσαν ολοκληρωμένο και προτίμησαν να αναφέρουν την συσκευή απλά σαν PLC.
- Προσπάθησαν να μην κάνουν καμία αλλαγή στον μέχρι τότε τρόπο εργασίας στους αυτοματισμούς. Δηλαδή δεν άλλαξαν τίποτα σε ότι είχε σχέση με τον σχεδιασμό ενός αυτοματισμού. Απλά μάθαιναν στους τεχνικούς αντί να κατασκευάζουν το σχέδιο με την βοήθεια κάποιου ηλεκτρολόγου, να το παίρνουμε μέσα στο PLC. Έτσι ουσιαστικά μάθαιναν προγραμματισμό.
- Οι πρώτες γλώσσες προγραμματισμού απλά αντέγραφαν σε μια ειδική συσκευή προγραμματισμού το σχέδιο του αυτοματισμού με την βοήθεια κάποιων πλήκτρων. Με αυτούς τους τρόπους η είσοδος των PLC στην βιομηχανία ήταν ομαλή και στέφτηκε με επιτυχία. Σήμερα, στους πίνακες ή στα πεδία με μεγάλο αριθμό κινητήρων, αντλιών κλπ., ο κλασικός αυτοματισμός με ηλεκτρονόμους έχει εκλείψει. Ακόμα και στους μικρότερους πίνακες, η είσοδος στην αγορά μικρών plc με λιγότερες δυνατότητες και χαμηλότερη τιμή έχουν αρχίσει να χρησιμοποιούνται πολύ συχνά. Στα επόμενα χρόνια οι εγκαταστάσεις που θα δημιουργούνται ανεξάρτητα από τις απαιτήσεις τους, δεν έχουν ποτέ πίνακες με κλασικό αυτοματισμό.

Σήμερα, τα PLC ξελιχτήκαν πολύ σε σχέση με τα αρχικά μοντέλα της δεκαετίας του 80. Έτσι ένα κομμάτι από το προσωπικό της βιομηχανίας είναι εκπαιδευμένο κατάλληλα στον προγραμματισμό και την εσφυρμάτωσή τους. Όλες οι σχολές που εκπαιδεύουν μηχανικούς που ασχολούνται με τους αυτοματισμούς, διδάσκουν τουλάχιστον τις στοιχειώδη γνώσεις στα ηλεκτρονικά και τις βασικές αρχές των υπολογιστών αλλιώς θα ήταν υπερβολικά δύσκολο οι απόφοιτοι να κατανοήσουν ακόμα και το πιο απλό εγχειρίδιο ενός PLC. Φυσικά σε σχολές όπως οι μηχανικοί αυτοματισμού, τα PLC διδάσκονται εκτενέστερα.

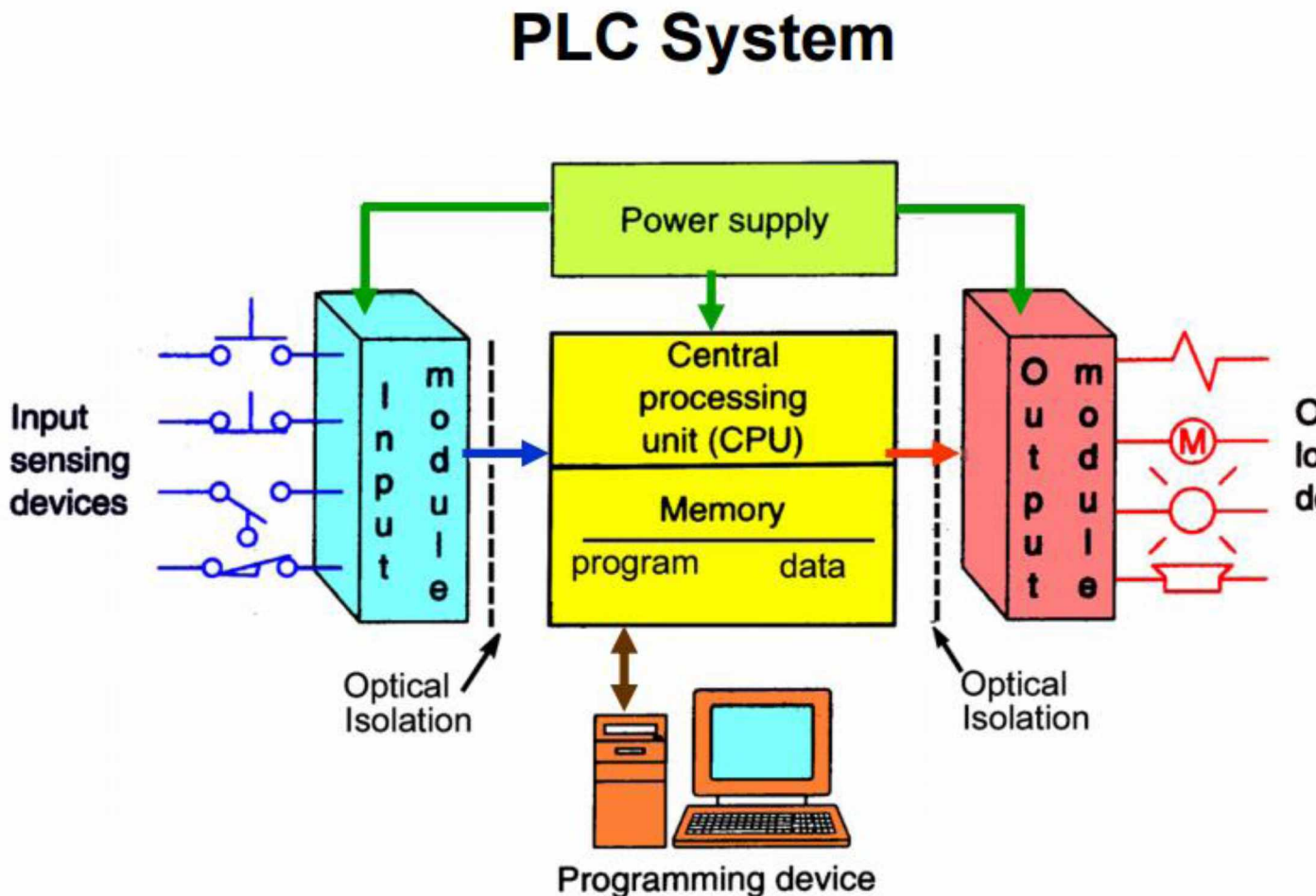
Η χρήση των PLC παρέχει αμέτρητα πλεονεκτήματα σε σχέση με τον κλασικό αυτοματισμό. Η μεγάλη αύξηση της χρήσης τους όμως δεν οφείλεται μόνο σε αυτά τα πλεονεκτήματα που παρέχουν στους τεχνικούς κατασκευής πινάκων και στους τελικούς χρήστες.

Η χρήση τους συμφέρει και τις εταιρείες που παράγουν τις συσκευές για τους αυτοματισμούς των πινάκων. Δεν είναι δύσκολο να φανταστεί κάποιος πόσο κοστίζει σε μία εταιρεία που κατασκευάζει ηλεκτρικό εξοπλισμό η παραγωγή ενός τεράστιου αριθμού βοηθητικών ηλεκτρονόμων, χρονικών, απαριθμητών, βοηθητικών επαφών κλπ. Σε αντίθεση με όλα αυτά τα υλικά αυτοματισμού, η εταιρεία μπορεί να κατασκευάζει μόνο μία συσκευή και μερικές κάρτες ανάλογα το έργο.

Είναι πλέον κοινή λογική ότι ψηφιοποιήσει σε όλους τους τομείς (πόσο μάλλον για τον τομέα των αυτοματισμών) οδηγεί σε τεράστια μείωση του κόστους της παραγωγής των

αντίστοιχων συσκευών παλαιότερης τεχνολογίας. Έτσι οι τιμές στα ηλεκτρονικά πέφτουν ενώ ταυτόχρονα τα κέρδη των εταιρειών ανεβαίνουν.

## 4.2 Δομή



Εικόνα 3: Η δομή ενός plc

Η δομή ενός συστήματος PLC είναι παρόμοια ενός ηλεκτρονικού υπολογιστή, αποτελείται από:

- την CPU (επεξεργαστής), δηλαδή την κεντρική μονάδα επεξεργασίας
- μία μνήμη για να αποθηκεύει το πρόγραμμα
- τουλάχιστον μία μονάδα εισόδου η οποία δέχεται εξωτερικά σήματα
- τουλάχιστον μια μονάδα εξόδου ώστε να αποστέλλονται τα σήματα-εντολές του plc προς τα εξωτερικά μηχανήματα που πρέπει να αυτοματοποιηθούν
- ένα μηχάνημα με το αντίστοιχο software για τον προγραμματισμό του, τα σύγχρονα plc προγραμματίζονται από ηλεκτρονικούς υπολογιστές
- και τέλος μια μονάδα τροφοδοσίας αν το plc λειτουργεί στα 24VDC

### 4.3 Κεντρική μονάδα επεξεργασίας (Central Processing Unit)

Η κεντρική μονάδα επεξεργασίας ή ποιο απλά CPU, έχει την ίδια ακριβώς σχεδίαση με τη CPU ενός συνηθισμένου ψηφιακού Ηλεκτρονικού Υπολογιστή. Τα κριτήρια κατασκευής της CPU, όπως και τα ηλεκτρονικά στοιχεία από τα οποία κατασκευάζονται επιλέγονται πολύ προσεκτικά και πληρούν πολύ αυστηρές προδιαγραφές αξιοπιστίας. Αυτό συμβαίνει γιατί θα χρειαστεί να λειτουργούν σε μεγαλύτερες ή χαμηλότερες θερμοκρασίες από άλλες ηλεκτρονικές συσκευές που βρίσκονται μέσα σε γραφεία ή σπίτια. Τα plc βρίσκονται σε βιομηχανικό χώρο που δεν έχει πάντα ιδανικές συνθήκες και φυσικά θα πρέπει η αντοχή τους να είναι τέτοια ώστε να μην σταματήσει η λειτουργία τους από μικρούς κραδασμούς που είναι συχνό φαινόμενο στην βιομηχανία.

Η CPU πραγματοποιεί λογικές αποφάσεις ανάλογα με τις εντολές του προγράμματος που έχει αποθηκευτεί στην μνήμη εφόσον έχει δεχθεί σήματα εισόδου. Οι εντολές του προγράμματος γίνονται συνεχώς κυκλικά. Αυτό σημαίνει ότι ο μικροεπεξεργαστής του PLC ελέγχει ανά πάσα στιγμή όλες τις εισόδους, τις επεξεργάζεται ανάλογα με τον προγραμματισμό που έχει γίνει και βάσει των λογικών αποφάσεων που εξάγει, δίνει εντολές στις εξόδους να διεγερθούν ή όχι. Έτσι ενεργοποιεί ή απενεργοποιεί διάφορα εξωτερικά στοιχεία όπως τα ρελέ, οι βαλβίδες κ.α. που είναι συνδεδεμένα στις εξόδους του PLC. Ένα PLC έχει συνήθως μία CPU η οποία μπορεί να εξυπηρετεί πολλές εισόδους και εξόδους. Κάθε μοντέλο έχει διαφορετικό μέγιστο αριθμό εισόδων και εξόδων.

Η κεντρική μονάδα επεξεργασίας (CPU) εκτελεί όλες τις βασικές λειτουργίες. Διαβάζει, επεξεργάζεται και εκτελεί με τη κατάλληλη σειρά τις εντολές που βρίσκονται στην μνήμη. Αποθηκεύει την πληροφορία και ελέγχει το πρωτόκολλο επικοινωνίας.

Πιο αναλυτικά, η κεντρική μονάδα διαβάζει τη μνήμη βήμα – βήμα με σταθερή ταχύτητα. Ανάλογα με τον αριθμό των εγγεγραμμένων εντολών στην μνήμη, σε μερικά χιλιοστά του δευτερολέπτου θα έχει διαβάσει ολόκληρη τη μνήμη, δηλαδή θα έχει τελειώσει έναν κύκλο ανάγνωσης του προγράμματος. Αυτό σημαίνει ότι μια οδηγία σ' ένα οποιοδήποτε σημείο του προγράμματος επεξεργάζεται πολλές φορές μέσα σε ένα δευτερόλεπτο. Όσο γρήγορη και αν φαίνεται αυτή η ταχύτητα, πάντα θα υπάρχει ένας ενδιάμεσος χρόνος καθυστέρησης π.χ. 0,03 δευτερόλεπτα πριν από ένα γεγονός, δηλαδή ένα σήμα από κάποιο μηχανήματα εντοπισθεί από την κεντρική μονάδα.

## 4.4 Μνήμη

### 4.4.1 Μη πτητικές μνήμες

Η μη πτητική μνήμη έχει την ικανότητα να διατηρεί τις αποθηκευμένες πληροφορίες όταν η τροφοδοσία της διακοπεί.

- Μνήμη ROM (Read Only Memory). Αυτό το είδος μνήμης είναι σχεδιασμένο για την μόνιμη αποθήκευση ενός προγράμματος και δεν επιτρέπει την αλλαγή των πληροφοριών του με κανένα τρόπο. Ένα μεγάλο θετικό των ROM είναι η προστασία των δεδομένων από αλλοίωση εξαιτίας ηλεκτρικού θορύβου ή διακοπή ρεύματος. Όμως η χρήση αυτού του είδους μνήμης απαιτεί προγράμματα με σταθερά δεδομένα αλλά προσφέρει πλεονεκτήματα σε περιπτώσεις που ενδιαφέρει η ταχύτητα, το κόστος και η αξιοπιστία της μνήμης. Συνήθως τα προγράμματα PLC που τρέχουν στις μνήμες ROM παρέχονται ήδη γραμμένα από το εργοστάσιο του κατασκευαστή. Ο χρήστης δεν μπορεί να κάνει καμία αλλαγή στο αρχικό σετ εντολών του κατασκευαστή. Χρησιμοποιείται από το PLC ως λειτουργικό σύστημα, εκεί βρίσκεται το λογισμικό που χρησιμοποιούν οι χρήστες για να προγραμματίσουν το PLC.
- Μνήμη PROM (Programmable Read Only Memory). Είναι μια ειδική κατηγορία μνήμης ROM που μπορεί να προγραμματιστεί. Ήταν διάσημη σε παλιότερα συστήματα και είναι σπάνια στα καινούρια. Η χρήση της είναι για τη δημιουργία μόνιμων αντιγράφων ασφαλείας από κάποιο είδος RAM της συσκευής. Διαθέτει όλα τα πλεονεκτήματα της ROM όπως επίσης και τη δυνατότητα να προγραμματιστεί ξανά. Ο προγραμματισμός γίνεται με ένα ειδικό μηχάνημα προγραμματισμού το οποίο φορτώνει το πρόγραμμα από έναν υπολογιστή. Η συχνή χρήση αυτού του είδους ROM είναι για την αποθήκευση ενός προγράμματος αφού έχει δοκιμαστεί σε μια μνήμη RAM και δεν χρειάζεται άλλες αλλαγές στον κώδικά του. Ελάχιστοι ελεγκτές χρησιμοποιούν τη μνήμη PROM για τη μνήμη προγράμματος, γιατί οποιαδήποτε αλλαγή στο πρόγραμμα θα απαιτούσε ένα νέο σύνολο από PROM ολοκληρωμένα.
- Μνήμη EPROM (Erasable Programmable Read Only Memory). Είναι μια προγραμματιζόμενη μνήμη μόνο για ανάγνωση που μπορεί να διαγραφεί εντελώς με φως υπεριώδων ακτίνων (UV) και να αναπρογραμματιστεί από την αρχή. Αυτό το ολοκληρωμένο μνήμης που επίσης ονομάζεται υπεριώδης PROM (UV PROM) έχει ένα παράθυρο διοξειδίου του πυριτίου πάνω από το τσιπ πυριτίου. Αυτό το παράθυρο διοξειδίου του πυριτίου συνήθως είναι καλυμμένο από αδιαφανές υλικό. Όταν αυτό το αδιαφανές υλικό απομακρυνθεί και το κύκλωμα θα εκτεθεί στο υπεριώδες φως για 20 περίπου λεπτά, τότε το περιεχόμενο της μνήμης θα διαγραφεί. Εφόσον διαγραφεί τότε το ολοκληρωμένο EPROM μπορεί να προγραμματιστεί ξανά χρησιμοποιώντας τη συσκευή προγραμματισμού. Η μνήμη EPROM ή UV PROM χρησιμοποιείται για να στηρίξει, να αποθηκεύσει ή να μεταφέρει PLC προγράμματα. Η UV PROM είναι μη πτητική συσκευή μνήμης δεν είναι κατάλληλη για αλλαγή ή επεξεργασία δεδομένων σε κάποιο πρόγραμμα και δεν απαιτεί υποστήριξη μπαταρίας για να καρτήσει τα δεδομένα.

- **ΜνήμηEEPROM (ElectricallyErasableProgrammableReadOnlyMemory).**  
Δημιουργήθηκε στα μέσα του 1970 και παρέχει όλα τα θετικά μιας μνήμης ROM, αλλά και τηνευκολία προγραμματισμού που παρέχουν οι μνήμες RAM. Η μνήμη EEPROM είναι αρκετά συχνή στους σημερινούς ελεγκτές μικρού και μετρίου μεγέθους σαν η μόνη και κύρια μνήμη στο σύστημα. Μπορεί να παρέχει μόνιμη αποθήκευση του προγράμματος αλλά και την εύκολη αλλαγή δεδομένων μέσα στη μνήμη με τη χρήση ενός εργαλείου προγραμματισμού μνημών ή με τη χρήση υπολογιστή με ένα πρόγραμμα προγραμματισμού. Ο συνδυασμός αυτών των δυνατοτήτων προσφέρουν την μείωση των καθυστερήσεων και τη παύση του μηχανήματος που ελέγχει ο ελεγκτής κάθε φορά που χρειάζονται αλλαγές στο κώδικα του PLC. Η διαγραφή τέτοιου είδους μνημών γίνεται μόνο ηλεκτρικά και όχι με τη χρήση υπεριώδους φωτός. Το μειονέκτημα τηςEEPROM είναι αργή διαγραφή της μνήμης της. Για την εγγραφή ενός καινούργιουbyteστη μνήμη, πρώτα πρέπει να διαγραφεί ένα από αυτήν, δημιουργώντας μια καθυστέρηση. Η καθυστέρηση αυτή είναι αρκετά προφανές όταν πραγματοποιούμε αλλαγές στο πρόγραμμα και αποθηκεύουμε το πρόγραμμα για αποσφαλματισμό στη μνήμη ξανά. Επίσης δεν μπορούμε να κάνουμε άπειρες αλλαγές στη μνήμη, υπάρχει ένα όριο περίπου 10000 εντολών ανάγνωσης και εγγραφής στη μνήμη, μέχρι η μνήμη να μην είναι πλέον λειτουργική. Αυτά τα μειονεκτήματα όμως είναι μικρά στα μεγάλα πλεονεκτήματα που μπορεί να προσφέρει η EEPROM.

#### 4.4.2 Πτητικές μνήμες

Οι πτητικές μνήμες είναι οι μνήμες που δεν έχουν την δυνατότητα να διατηρήσουν τα δεδομένα που έχουν αποθηκεύσει σε περίπτωση διακοπής της τροφοδοσίας τους.

- **RAM (Random access memory)** Είναι σχεδιασμένη για την ανάγνωση αλλά και την ελεύθερη εγγραφή δεδομένων στη μνήμη της. Στη διακοπή ρεύματος όλα τα στοιχεία κρατημένα στη μνήμη χάνονται για πάντα, για αυτό η συχνή χρήση αυτού του είδους μνήμης στους ελεγκτές είναι με τη βοήθεια μιας βοηθητικής μπαταρίας για την αποφυγή αυτού του περιορισμού. Είναι αρκετά πιο γρήγορη από άλλα είδους επαναγραφόμενης μνήμης και παρέχει μεγάλη ευκολία στην εγγραφή του προγράμματος στη μνήμη, στην αλλαγή του προγράμματος σε περιπτώσεις που οι ανάγκες μας αλλάζουν, αλλά και την αποθήκευση δεδομένων από το πρόγραμμα ή την αλλαγή τιμών.Ανά πάσα στιγμή πρέπει να υπάρχει έλεγχος της κατάστασης του ρεύματος αλλά και την κατάσταση φόρτισης της μπαταρίας για την αποφυγή διακοπής λειτουργίας του ελεγκτή. Οι μνήμες RAM καταναλώνουν λίγο ρεύματος και έτσι μπορούν να διατηρηθούν για αρκετά μεγάλο χρονικό διάστημα απο την τροφοδοσία μπαταρίας. Οι μπαταρίες διαφέρουν όσο αφορά τον χρόνο ζωής τους. Αυτές που έχουν μικρό χρόνο ζωής είναι οι αλκαλικές μπαταρίες και οι μπαταρίες υδραργύρου οι οποίες πρέπει να αντικατασταθούν περιοδικά (από έξι μήνες μέχρι ένα έτος). Υπάρχουνκαι οιμπαταρίεςμεμεγαλύτεροχρόνοζωής,όπωςγια παράδειγμα οιμπαταρίεςλιθίουοι οποίεςπρέπει να αντικατασταθούν κάθε 10 χρόνια καθώς και οι επαναφορτιζόμενες μπαταρίες Νικελίου-Καδμίου και Μολύβδου.

## 4.5 Μονάδες εισόδου – εξόδου

Οι μονάδες εισόδων και των εξόδων είναι οι μονάδες επικοινωνίας της κεντρικής μονάδας με οτιδήποτε υλικό ή συσκευή που μπορεί να δεχτεί εντολές από το PLC ή να στείλει πληροφορίες στο PLC. Όπως για παράδειγμα, αισθητήρες, μπουτόνκ.α. που δίνουν τις πληροφορίες στη κεντρική μονάδα μέσω των μονάδων εισόδου και έλεγχο κινητήρων, ηλεκτρομαγνητικών βαλβίδων, ενδεικτικών λυχνιώνκ.α. που παίρνουν την εντολή από τις μονάδες εξόδου. Συχνά το σήμα των εντολών στέλνεται με την βοήθεια ρελέ ισχύος ή βοηθητικών μικρορελέ ώστε να υπάρχει η απαιτούμενη ισχύς.

Το PLC αντιλαμβάνεται την τάση στις κλέμμες εισόδου και καταλαβαίνει την κατάσταση ενός αισθητηρίου, ανάλογα με το αν είναι ανοικτό ή κλειστό θα εμφανίζεται τάση στην αντίστοιχη κλέμμα εισόδου. Με την ίδια λογική, αν από το πρόγραμμα που έχουμε φορτώσει στο PLC δώσει εντολή για το άναμμα π.χ. μίας λυχνίας, τότε εμφανίζεται τάση στην αντίστοιχη κλέμμα εξόδου του PLC.

Οι μονάδες εισόδων και εξόδων κατασκευάζονται με διαφορετικό τρόπο ώστε λειτουργούν με συνεχή τάση ή με εναλλασσόμενη. Οι συνηθέστερες τάσεις λειτουργίας είναι DC 24V και AC 230V.

Τα συστήματα εισόδων-εξόδων των PLC μπορεί να βρίσκονται στο ίδιο πακέτο με τον επεξεργαστή να προσθέτονται με κάρτες όταν υπάρχουν απαιτήσεις για περισσότερα σήματα, δηλαδή για περισσότερες κινήσεις/αισθητήρια κτλπ. Οι μεγάλοι κατασκευαστές δίνουν την επιλογή στο χρήστη να αγοράσει PLC με μικρό κόστος και λίγες εισόδους/εξόδους οι οποίες είναι πάνω στο ίδιο πακέτο με τον επεξεργαστή για μικρότερα έργα. Παρόλα αυτά τα περισσότερα PLC που χρησιμοποιούνται είναι εκείνα που δίνουν την δυνατότητα στον χρήστη να προστεθούν πολλά και διαφορετικά είδη καρτών ώστε να υπάρχουν περισσότερες εισοδοί/εξοδοί. Με αυτόν τον τρόπο επιτυγχάνετε μεγαλύτερη ευελιξία για την ικανοποίηση όλων των απαιτήσεων ενός μεγάλου έργου. Κάθε επιπλέον κάρτα εισόδων και εξόδων προσθέτουν συνήθως 4, 8, 16 ή 32 σήματα στο PLC.

Φυσικά σε όλους τους τύπους PLC ανεξαρτήτως κατασκευαστή, είναι συγκεκριμένος ο αριθμός καρτών που μπορούν να προστεθούν και αυτός αλλάζει ακόμα και σε διαφορετικά μοντέλα του ίδιου κατασκευαστή. Το μεγάλο κόστος αναγκάζει τους μηχανικούς αυτοματισμών να είναι ποιο προσεκτικοί στον αριθμό των σημάτων που στέλνουν στο PLC ώστε να περιορίσουν τον αριθμό των εισόδων/εξόδων.

### 4.5.1 Μονάδα εισόδων

Όπως έχει ειδη αναφερθεί ο μοναδικός σκοπός των μονάδων εισόδου είναι να λαμβάνονται όλα σήματα που πρέπει να φτάσουν στην κεντρική μονάδα επεξεργασίας. Τα οποία αλλάζουν κατάσταση ανάλογα από τις πληροφορίες που πρέπει να συλλέξει το PLC, από διακοπτάκια, μπουτόν, αισθητήρες, επαφές κ.α. Κάθε ακροδέκτης εισόδου έχει ένα ξεχωριστό όνομα, το



οποίο κάνει κάθε είσοδο μοναδική. Αυτό το όνομα είναι η διεύθυνση και καθορίζεται πάντα από τον κατασκευαστή και δεν γίνεται να αλλάξει. Παρόλα αυτά έχει επικρατήσει όλοι οι είσοδοι να συμβολίζονται πάντα με το αγγλικό γράμμα I από την λέξη Input (είσοδος). Τα νούμερα που ακολουθούν αρχίζουν από το 0 π.χ I0.0 , I0.1 ή απο μεγαλύτερα νούμερα αν υπάρχει μονάδα προέκτασης. Για την πρώτη μονάδα προέκτασης οι διεύθυνσης ξεκινάνε με τις ονομασίες I1.0, I1.1 έως I1.8 , I1.16 ή I1.32 ανάλογα την προέκταση, ενώ για την δεύτερη I2.0, I2.1 κτλπ.

Οι βασικοί τύποι των μονάδων εισόδου είναι δύο:

Οι αναλογικές όπου το σήμα εισόδου είναι ένα αναλογικό σήμα, συνήθως της τάσης 0 μέχρι 10V, -10V μέχρι 10V ή έντασης ρεύματος από 0 μέχρι 20mA και 4mA μέχρι 20mA.

Οι ψηφιακές στις οποίες στην είσοδο αναγνωρίζονται μόνο δύο τιμές τάσης. Υψηλή (ON) και η χαμηλή (OFF).

#### 4.5.2 Μονάδα εξόδων

Ο μοναδικός σκοπός των μονάδων εξόδου είναι να μεταφέρουν τα σήματα εξόδου από τον επεξεργαστή στους ακροδέκτες όπου είναι συνδεδεμένα φορτία που πρέπει να ελεγχθούν. Όλοι οι ακροδέκτες εξόδου έχουν ένα ξεχωριστό όνομα, την διεύθυνση τους, η οποία είναι καθοριζόμενη από τον κατασκευαστή.

Το σήμα των εξόδων είναι το αποτέλεσμα των λογικών καταστάσεων που εμφανίζονται στις εισόδους αφού επεξεργαστούν από το προγράμματα, δηλαδή τις εντολές που έγραψε ο προγραμματιστής του PLC. Έτσι οι εντολές του εκάστοτε προγραμματιστή μέσω των ακροδεκτών εξόδου ενώνονται με οτιδήποτε μπορεί να ελεγχθεί.

Οι έξοδοι συμβολίζονται με το γράμμα Q, αμέσως μετά ακολουθεί ο αριθμός της βάσης ή της προέκτασης (κάρτας εξόδου) και τέλος ο αριθμός της εξόδου. Για παράδειγμα η έξοδος Q1.3 συμβολίζει την τρίτη έξοδο στην πρώτη προέκταση.

Όπως και στην είσοδο, οι μονάδες εξόδου χωρίζονται σε αναλογικές και ψηφιακές. Οι τυπικές τιμές της τάσης των ψηφιακών εξόδων είναι 24 V<sub>DC</sub> και 220 V<sub>AC</sub> και των αναλογικών εξόδων από -10V μέχρι +10V, 0V μέχρι 10V ή έντασης ρεύματος 0 ή 4mA μέχρι 20mA. Και στις μονάδες ψηφιακών εξόδων κατασκευάζονται με 4, 8, 16, ή 32 εξόδους.

#### 4.5.3 Εξειδικευμένες μονάδες εισόδου/εξόδου

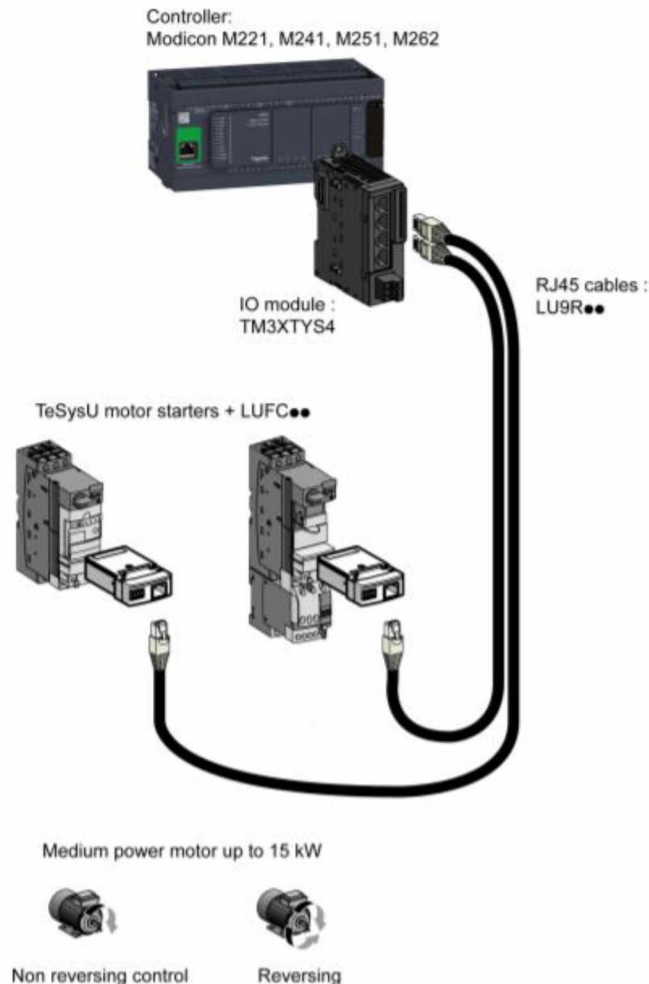
Υπάρχουν αρκετές εξειδικευμένες μονάδες έχουν αναπτυχθεί για πολύ συγκεκριμένες ανάγκες. Οι πιο γνωστές από αυτές είναι:

- Μονάδα μετρητής υψηλής ταχύτητας

Μετρητές υψηλής ταχύτητας χρησιμοποιούνται όταν πρέπει να μπορούν να εξυπηρετηθούν εφαρμογές που απαιτούν πολύ γρήγορο χρόνο σάρωσης. Για την ακρίβεια πρέπει ο χρόνος σάρωσης να είναι τουλάχιστον δύο φορές πιο γρήγορος από τους παλμούς που πρέπει να διαβάσει η είσοδος στο PLC. Ουσιαστικά οι μετρητές υψηλής ταχύτητας χρησιμεύουν για να ξεχωρίζουν τους παλμούς που είναι πολύ γρήγοροι για να διαβάζονται μόνο μία φορά σε κάθε κύκλο ενός PLC.

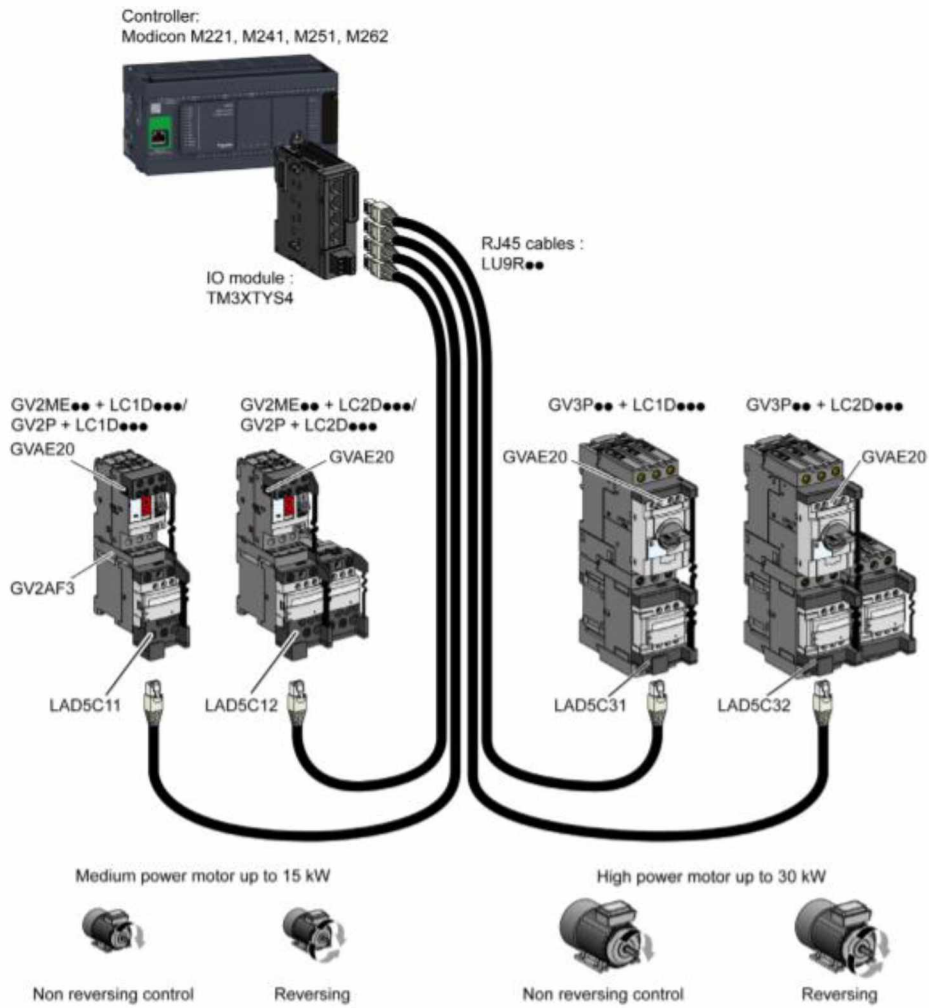
- Μονάδες απευθείας σύνδεσης PLC με έξυπνο αργολικό ή εκκινητές κινητήρων

Ειδικές εισόδους/εξόδους που έχουν σχεδιαστεί για εκκινητές κινητήρων έτσι ώστε να μπορούν να συνδεθούν απευθείας στο PLC. Για παράδειγμα η μονάδα TM3XTYS4 της schneider (υπάρχει παρόμοια και σε άλλες εταιρίες) συνδέει το PLC παράλληλα με 4 εκκινητές και μπορεί να επεκταθεί για περισσότερους. Έτσι δέχεται πληροφορίες για την κατάσταση τους και στέλνει εντολές κάνοντας την καλωδίωση πιο εύκολη αλλά και το σύστημα πιο έξυπνο.



Εικόνα 4: Σύνδεση plc (schneider) με 2 εκκινητές

Επίσης μπορεί να συνδεθεί απευθείας με έξυπνα ρελέ ισχύος και θερμικά. Το αποτέλεσμα είναι εύκολη και έξυπνη καλωδίωση σε λιγότερο χρόνο και μικρότερο χώρο.



Εικόνα 5: Συνδεση plc (schneider) με ρελέ ισχύος και θερμικά

- Μονάδα IO-Link master



Εικόνα 6: Μονάδα IO-Link

Μία μονάδα IO-Link master μπορεί να συνδεθεί με μία ή περισσότερες συσκευές IO-Link, δηλαδή αισθητήρες, εκκινητές (soft starter) κ.α. Η μονάδα IO-Link παρέχει τη διεπαφή στον ελεγκτή υψηλότερου επιπέδου (PLC) και ελέγχει την επικοινωνία με τις συνδεδεμένες συσκευές IO-Link. Το IO-Link master είναι σε θέση να επεξεργάζεται ψηφιακά σήματα και αναλογικές τιμές. Μπορεί να ενσωματωθεί σε υπάρχοντα συστήματα και να επικοινωνήσει χρησιμοποιώντας μερικά από τα ποιά αναγνωρισμένα από τη βιομηχανικά δίκτυα Profinet, Profibus και Modbus. Μια συσκευή IO-Link μπορεί να συνδεθεί σε κάθε θύρα του IO-Linkmaster, πράγμα που σημαίνει ότι το IO-Link είναι επικοινωνία από σημείο σε σημείο και όχι Fieldbus. Το πρωτόκολλο IO-Link επιτρέπει τη λειτουργία μιας θύρας IO-Link σε έναν από τους τέσσερις διαφορετικούς τρόπους λειτουργίας. Η πρώτη λειτουργία είναι η λειτουργία IO-Link, η θύρα χρησιμοποιείται για επικοινωνία IO-Link. Η δεύτερη λειτουργία είναι η λειτουργία DI, η θύρα λειτουργεί με τον ίδιο τρόπο όπως μια ψηφιακή συσκευή εισόδου. Η τρίτη λειτουργία είναι η λειτουργία DQ δηλαδή η θύρα λειτουργεί με τον ίδιο τρόπο όπως μια ψηφιακή συσκευή εξόδου. Η τέταρτη λειτουργία είναι η απενεργοποίηση. Αυτό σημαίνει ότι η θύρα δεν έχει εκχωρηθεί σε άλλες λειτουργίες και προορίζεται για όταν η θύρα δεν χρησιμοποιείται. Σφάλματα μετάδοσης που μπορεί να προκύψουν για διάφορους λόγους όπως ένα σφάλμα καλωδίου ή ένα κύμα ισχύος μπορεί προσωρινά να επηρεάσει τις μεταδόσεις. Μια συσκευή IO-Link έχει 4 τύπους μετάδοσης. "Δεδομένα επεξεργασίας", "Κατάσταση τιμής", "Δεδομένα συσκευής" και "Συμβάντα".

Τα Δεδομένα επεξεργασίας θεωρούνται ως η τελευταία τιμή που στάλθηκε από τον αισθητήρα ή τον εκκινητή, όπως η ταχύτητα. Τα δεδομένα επεξεργασίας μεταδίδονται κυκλικά, πράγμα που σημαίνει αυτόματα, σε τακτικά καθορισμένα διαστήματα.

Η κατάσταση τιμής υποδεικνύει εάν τα δεδομένα επεξεργασίας είναι έγκυρα ή μη έγκυρα και

μεταδίδονται μαζί με τα δεδομένα διεργασίας κυκλικά.

Τα δεδομένα συσκευής περιέχουν λεπτομερείς πληροφορίες σχετικά με μια συσκευή και μεταδίδονται κατόπιν αιτήματος του IO-Linkmaster, δηλαδή όχι κυκλικά/αυτόματα. Τα δεδομένα συσκευής μπορούν να διαβαστούν από τη συσκευή, αλλά και να γραφτούν σε αυτήν.

Τέλος μια συσκευή μπορεί να ενεργοποιήσει ένα συμβάν, το οποίο με τη σειρά του σηματοδοτεί την παρουσία ενός συμβάντος στο IO-Link Master. Ένα παράδειγμα ενός συμβάντος είναι ένα μήνυμα σφάλματος ή προειδοποίησης, για παράδειγμα, ένα βραχυκύκλωμα ή μια συσκευή που υπερθερμαίνεται. Αυτές οι πληροφορίες μπορούν να χρησιμοποιηθούν για την εμφάνιση ενδείξεων ή μηνυμάτων σε συσκευές HMI, όπως μηνύματα σφάλματος που σηματοδοτούν διακοπή καλωδίου ή αποτυχία επικοινωνίας.

- Μονάδα παρακολούθησης κατάστασης μηχανημάτων



Εικόνα 7: Μονάδα SIPLUSCMS1200

Η διαθεσιμότητα μηχανημάτων και εγκαταστάσεων αποτελεί βασική απαίτηση για αύξηση της παραγωγικότητας. Προκειμένου να ελαχιστοποιηθούν οι μη προγραμματισμένοι χρόνοι διακοπής λειτουργίας, είναι απαραίτητο να εντοπιστούν οι πηγές σφάλματος σε πρώιμο στάδιο. Σε αυτό ακριβώς το σημείο εισέρχονται τα συστήματα παρακολούθησης κατάστασης SIPLUS CMS που είναι συνδεδεμένα με αισθητήρες δόνησης/κραδασμών και ταχύτητας. Παρακολουθούν συνεχώς την κατάσταση των μηχανικών εξαρτημάτων των μηχανημάτων, ακόμη και σε ολόκληρη τη μονάδα με αποτέλεσμα να γίνεται ένα σημαντικό βήμα προς το ψηφιακό εργοστάσιο.

- Μονάδα ζύγισης



Εικόνα 8: Μονάδα SIWAREX WP231

Το SIWAREXWP231 είναι μια μονάδα ζύγισης για το SIMATIC S7-1200. Η δυνατότητα χειρισμού του με ή χωρίς SIMATIC PLC προσφέρει μεγάλη ευελιξία. Οι διεπαφές Ethernet και RS485 με πρωτόκολλο Modbus επιτρέπουν στην μονάδα ζύγισης να ενσωματωθεί σε διαφορετικά συστήματα ελέγχου. Το SIWAREXWP231 προσφέρει τέσσερις ψηφιακές εισόδους και εξόδους και μία αναλογική έξοδο. Η μονάδα προσφέρει εκτεταμένες διαγνωστικές υπηρεσίες για την έναρξη της λειτουργίας (commissioning) αλλά και κατά την διάρκεια της λειτουργίας, όπως μέτρηση βάρους ή παρακολούθηση οριακών τιμών.

- Μονάδες εισόδων/εξόδων ασφαλείας



Εικόνα 9: Μονάδα SM1226 F-DI 16x24VDC

Οι μονάδες ασφαλείας (fail-safe) επιτρέπουν την εφαρμογή απαιτήσεων σχετικών με την ασφάλεια που ενσωματώνονται στον συνολικό αυτοματισμό. Οι λειτουργίες ασφαλείας που απαιτούνται για ασφαλή λειτουργία είναι ενσωματωμένες στις μονάδες. Οι plc μονάδες ασφαλείας ξεχωρίζουν και από το χρώμα τους, όπως για παράδειγμα κίτρινο για την Siemens και κόκκινο για την Schneider.

## 4.6 Τροφοδοτικό (PowerSupply)

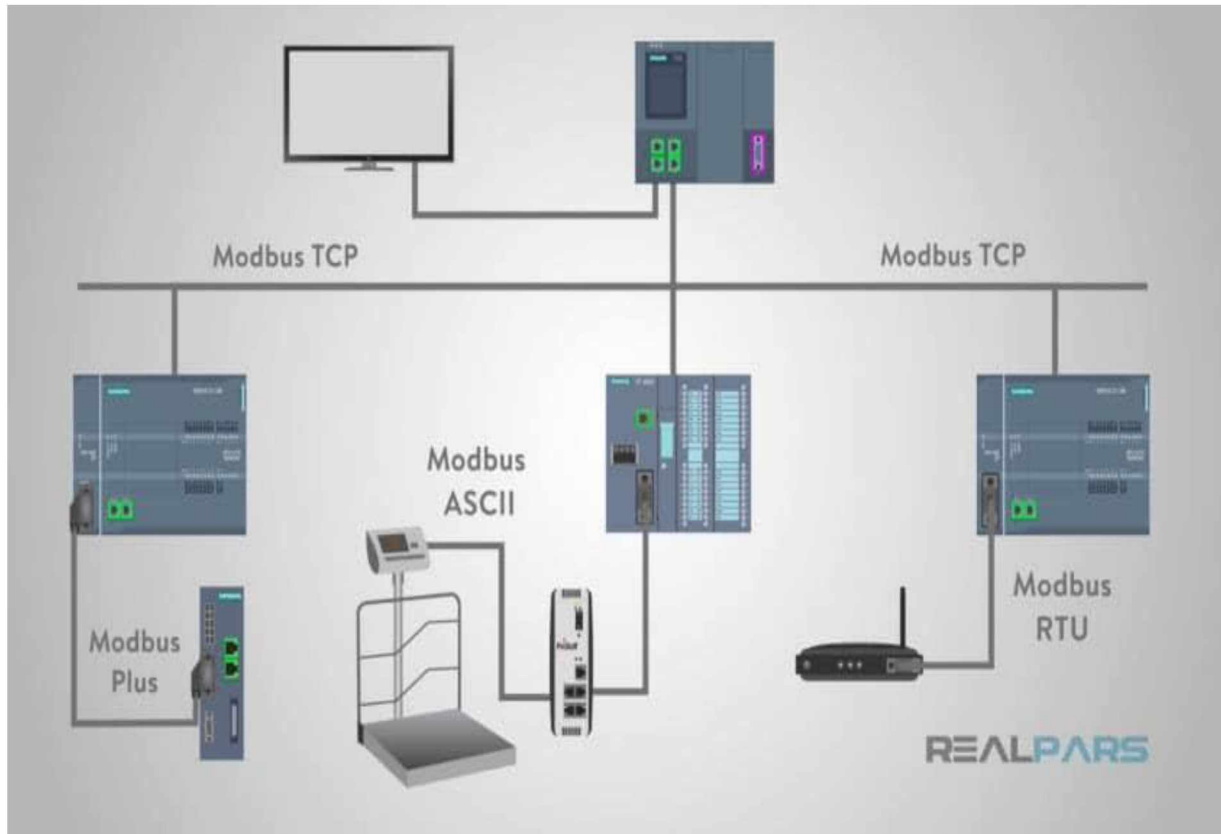
Το τροφοδοτικό PLC μετατρέπει μια τάση συνήθως 120 ή 240 βολτ εναλλασσόμενο ρεύμα σε συνεχές ρεύμα, συνήθως 24 βολτ, για την τροφοδοσία του PLC και των εξαρτημάτων του. Η τάση μειώνεται με έναν μετασχηματιστή, ένας ανορθωτής καταργεί τις αρνητικές ημιπεριόδους της ac τάσης, ένα φίλτρο εξομαλύνει τις κυματώσεις και ένας σταθεροποιητής διατηρεί τη dc τάση σταθερή. Όλα αυτά συσκευασμένα σε ένα μικρό τροφοδοτικό. Αυτό είναι που κάνει το τροφοδοτικό ενδιαφέρον είναι τα εξαρτήματα του PLC. Στα περισσότερα PLC τύπου modular, το τροφοδοτικό είναι επίσης μέρος του backplane ή του rack, όπως το λένε ορισμένοι. Το backplane είναι η βάση στην οποία συνδέονται όλα τα άλλα εξαρτήματα, ώστε να μπορούν όλα να συνεργαστούν. Σε ορισμένα συστήματα το τροφοδοτικό παρέχει την ισχύ για όλα αυτά τα εξαρτήματα μέσω ενός συστήματος bus. Σε άλλα συστήματα, ένας τεχνικός μπορεί να χρειαστεί να συνδέσει αυτά τα εξαρτήματα ξεχωριστά. Τα τροφοδοτικά των PLC διατίθενται σε διαφορετικά μεγέθη και ισχύ ανάλογα με το PLC που πρέπει να τροφοδοτήσει, όπως και τα PLC διατίθενται σε διαφορετικά μεγέθη για διαφορετικές εφαρμογές. Η ένταση ρεύματος που μπορεί να δώσουν τα τροφοδοτικών PLC είναι οπουδήποτε από 2 έως 10 amp για μικρότερα συστήματα και έως 50 amp για μεγαλύτερα.

Ορισμένα μοντέλα PLC, όταν δεν τροφοδοτούνται από το δίκτυο, η μονάδα τροφοδοσίας τους διατηρεί όλο το περιεχόμενο της μνήμης τους με την βοήθεια μιας μπαταρίας, που διαθέτει. Σε μερικά μοντέλα PLC η μπαταρία βρίσκεται στην κεντρική μονάδα επεξεργασίας (CPU).

Ανάλογα με τους τύπους των καρτών εισόδων-εξόδων, η τάση δημιουργείται είτε από τροφοδοτικό αν είναι 24V DC είτε από έναν μετασχηματιστή, για τάση 115/220V. Υπάρχει δηλαδή η δυνατότητα διαφορετικής τάσης χειρισμού για τις εξόδους και τις εισόδους.

## 4.7 Πρωτόκολλα επικοινωνίας

### 4.7.1 Modbus



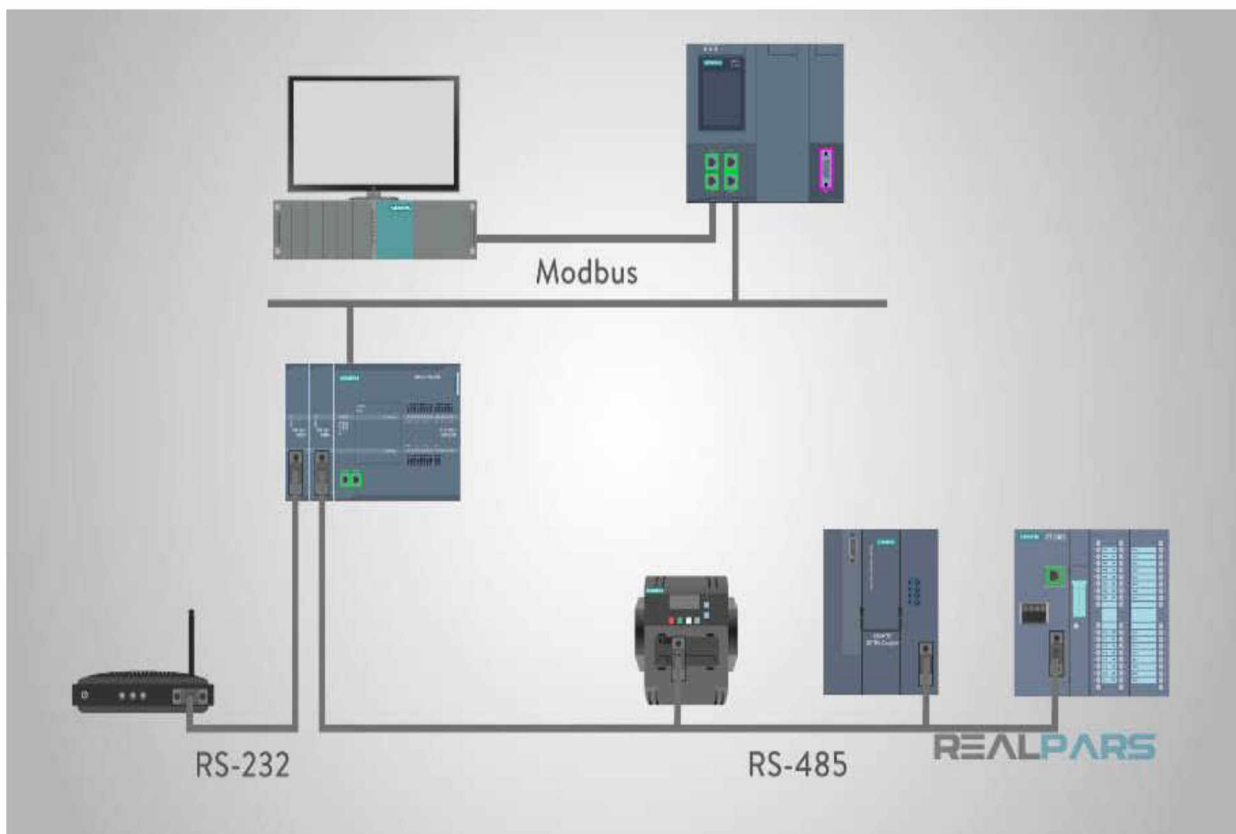
Εικόνα 10: Δίκτυο modbus

Ανάλογα με τον κατασκευαστή του εξοπλισμού αυτοματοποίησης διαδικασιών, χρησιμοποιούνται πολύ συγκεκριμένες γλώσσες. Ιδιόκτητες ή γλώσσες ανοιχτές στη βιομηχανία που είναι ανοιχτά πρωτόκολλα που προσαρμόζουν πολλοί κατασκευαστές για να ενσωματώσουν εύκολα τα προϊόντα τους σε μια αγορά.

«Ανοιχτό πρωτόκολλο» (open protocol) σημαίνει ότι οι προδιαγραφές δημοσιεύονται και μπορούν να χρησιμοποιηθούν από οποιονδήποτε ελεύθερα ή με άδεια. Τα ανοιχτά πρωτόκολλα υποστηρίζονται συνήθως από συνδυασμό εταιρειών, ομάδων χρηστών, επαγγελματικών εταιρειών και κυβερνήσεων. Αυτό παρέχει στους χρήστες μια πολύ ευρύτερη επιλογή συσκευών ή συστημάτων που μπορούν να χρησιμοποιηθούν για την κάλυψη συγκεκριμένων εφαρμογών. Τα πλεονεκτήματα των ανοικτών πρωτοκόλλων περιλαμβάνουν υποστήριξη από πολλούς κατασκευαστές, προμηθευτές λογισμικού και οργανισμούς εγκατάστασης ή παροχής υπηρεσιών, ενεργές ομάδες κοινότητας για υποστήριξη, δυνατότητα παραμονής στην επικαιρότητα και προσθήκη δυνατοτήτων στο μέλλον. Ένα από τα πιο κοινά πρωτόκολλα επικοινωνίας αυτοματισμού για τη σύνδεση βιομηχανικών ηλεκτρονικών συσκευών που χρησιμοποιούνται σήμερα είναι το Modbus. Το πρωτόκολλο επικοινωνίας Modbus είναι το παλαιότερο και μακράν το πιο δημοφιλές πρωτόκολλο αυτοματισμού στον τομέα της αυτοματοποίησης διαδικασιών και του SCADA (Supervisory Control and Data Acquisition). Η γνώση του τρόπου δημιουργίας δικτύων που βασίζονται σε Modbus είναι απαραίτητη για κάθε ηλεκτρολόγο τεχνικό και μηχανικό που εργάζεται σε αυτούς τους τομείς απασχόλησης, πόσο μάλλον για τους μηχανικούς



αυτοματισμού που ειδικεύονται σε αυτόν τον τομέα. Η ικανότητα ενσωμάτωσης συσκευών από διαφορετικούς κατασκευαστές είναι μια δεξιότητα που έχει ζήτηση και τελικά κάνει τους μηχανικούς πιο πολύτιμους και εμπορεύσιμους στον κλάδο. Το Modbus είναι ένα πρωτόκολλο επικοινωνίας που δημοσιεύθηκε από τον Modicon το 1979 για χρήση με προγραμματιζόμενους λογικούς ελεγκτές (PLC). Η Modicon ανήκει πλέον στην Schneider Electric. Το Modbus παρέχει μια κοινή γλώσσα για τις συσκευές και τον εξοπλισμό που επικοινωνούν μεταξύ τους. Για παράδειγμα, το Modbus επιτρέπει στις συσκευές σε ένα σύστημα που μετρά τη θερμοκρασία και την υγρασία που είναι συνδεδεμένες στο ίδιο δίκτυο να επικοινωνούν τα αποτελέσματα σε έναν εποπτικό υπολογιστή ή PLC. Η ανάπτυξη και ενημέρωση των πρωτοκόλλων Modbus διαχειρίζεται ο Οργανισμός Modbus (Modbus Organization). Ο Οργανισμός Modbus είναι μια ένωση χρηστών και προμηθευτών συσκευών συμβατών με Modbus. Υπάρχουν αρκετές εκδόσεις του πρωτοκόλλου Modbus για τη σειριακή θύρα και το Ethernet και οι πιο συνηθισμένες είναι: Modbus RTU, Modbus ASCII, Modbus TCP και Modbus Plus. Η Modicon δημοσίευσε τη διεπαφή επικοινωνίας Modbus για multidropδίκτυο που βασίζεται σε αρχιτεκτονική Master-Slave. Το Modbus είναι ένα ανοιχτό πρότυπο που περιγράφει το παράθυρο διαλόγου επικοινωνίας μηνυμάτων. Το Modbus επικοινωνεί με διάφορους τύπους φυσικών μέσων όπως: RS-232, RS-485, RS-422 και Ethernet. Η αρχική διεπαφή Modbus λειτουργούσε με σειριακή επικοινωνία RS-232, αλλά οι περισσότερες από τις μεταγενέστερες εφαρμογές Modbus χρησιμοποιούν RS-485 επειδή επέτρεπαν μεγαλύτερες αποστάσεις, υψηλότερες ταχύτητες και τη δυνατότητα πολλαπλών συσκευών σε ένα multi-drop δίκτυο.



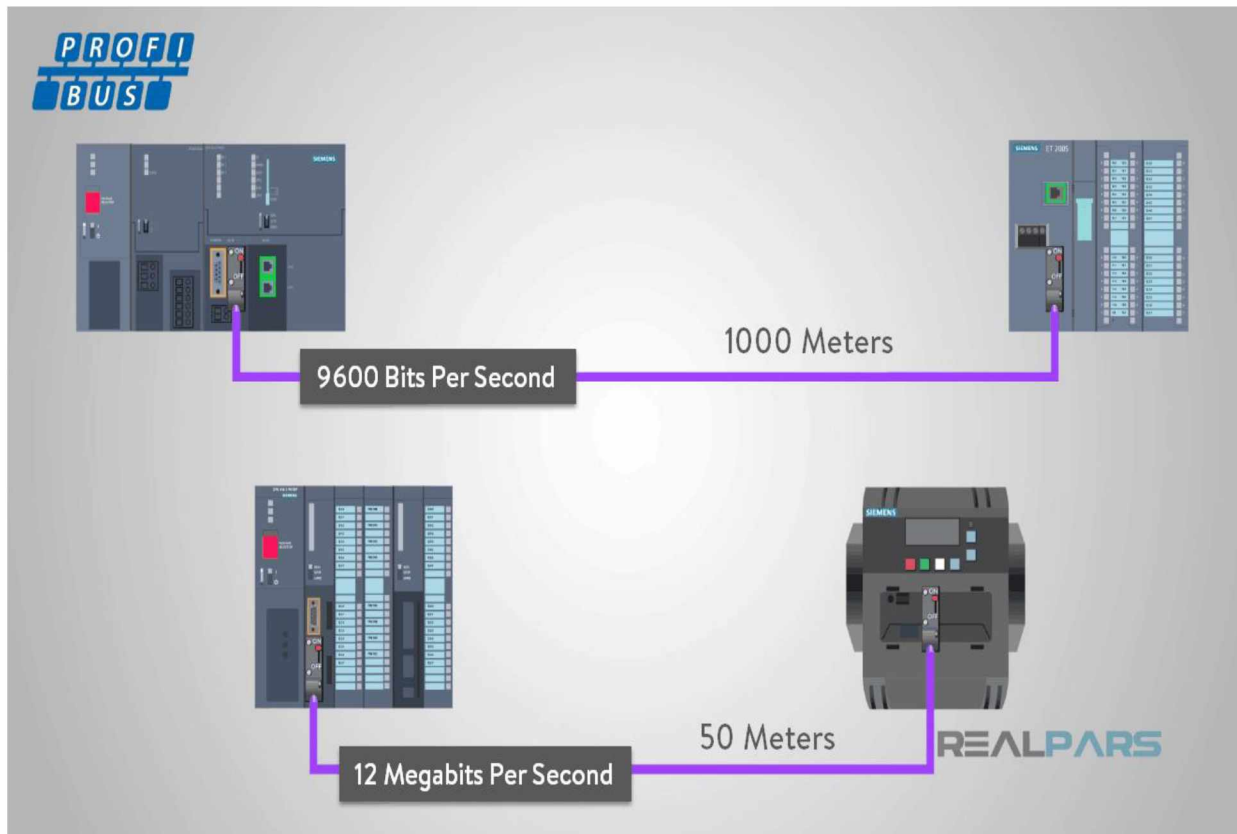
Εικόνα 11: Δίκτυο modbusκαι RS-232 / 485

Ανάλογα με τον κατασκευαστή του εξοπλισμού αυτοματοποίησης διαδικασιών, χρησιμοποιούνταιπολύ συγκεκριμένεςγλώσσες. Ιδιόκτητητες ή γλώσσες ανοιχτές στη

βιομηχανία που είναι ανοιχτά πρωτόκολλα που προσαρμόζουν πολλοί κατασκευαστές για να ενσωματώσουν εύκολα τα προϊόντα τους σε μια αγορά.

«Ανοιχτό πρωτόκολλο» (open protocol) σημαίνει ότι οι προδιαγραφές δημοσιεύονται και μπορούν να χρησιμοποιηθούν από οποιονδήποτε ελεύθερα ή με άδεια. Τα ανοιχτά πρωτόκολλα υποστηρίζονται συνήθως από συνδυασμό εταιρειών, ομάδων χρηστών, επαγγελματικών εταιρειών και κυβερνήσεων. Αυτό παρέχει στους χρήστες μια πολύ ευρύτερη επιλογή συσκευών ή συστημάτων που μπορούν να χρησιμοποιηθούν για την κάλυψη συγκεκριμένων εφαρμογών. Τα πλεονεκτήματα των ανοικτών πρωτοκόλλων περιλαμβάνουν υποστήριξη από πολλούς κατασκευαστές, προμηθευτές λογισμικού και οργανισμούς εγκατάστασης ή παροχής υπηρεσιών, ενεργές ομάδες κοινότητας για υποστήριξη, δυνατότητα παραμονής στην επικαιρότητα και προσθήκη δυνατοτήτων στο μέλλον. Ένα από τα πιο κοινά πρωτόκολλα επικοινωνίας αυτοματισμού για τη σύνδεση βιομηχανικών ηλεκτρονικών συσκευών που χρησιμοποιούνται σήμερα είναι το Modbus. Το πρωτόκολλο επικοινωνίας Modbus είναι το παλαιότερο και μακράν το πιο δημοφιλές πρωτόκολλο αυτοματισμού στον τομέα της αυτοματοποίησης διαδικασιών και του SCADA (Supervisory Control and Data Acquisition). Η γνώση του τρόπου δημιουργίας δικτύων που βασίζονται σε Modbus είναι απαραίτητη για κάθε ηλεκτρολόγο τεχνικό και μηχανικό που εργάζεται σε αυτούς τους τομείς απασχόλησης, πόσο μάλλον για τους μηχανικούς αυτοματισμού που ειδικεύονται σε αυτόν τον τομέα. Η ικανότητα ενσωμάτωσης συσκευών από διαφορετικούς κατασκευαστές είναι μια δεξιότητα που έχει ζήτηση και τελικά κάνει τους μηχανικούς πιο πολύτιμους και εμπορεύσιμους στον κλάδο. Το Modbus είναι ένα πρωτόκολλο επικοινωνίας που δημοσιεύθηκε από τον Modicon το 1979 για χρήση με προγραμματιζόμενους λογικούς ελεγκτές (PLC). Η Modicon ανήκει πλέον στην Schneider Electric. Το Modbus παρέχει μια κοινή γλώσσα για τις συσκευές και τον εξοπλισμό που επικοινωνούν μεταξύ τους. Για παράδειγμα, το Modbus επιτρέπει στις συσκευές σε ένα σύστημα που μετρά τη θερμοκρασία και την υγρασία που είναι συνδεδεμένες στο ίδιο δίκτυο να επικοινωνούν τα αποτελέσματα σε έναν εποπτικό υπολογιστή ή PLC. Η ανάπτυξη και ενημέρωση των πρωτοκόλλων Modbus διαχειρίζεται ο Οργανισμός Modbus (Modbus Organization). Ο Οργανισμός Modbus είναι μια ένωση χρηστών και προμηθευτών συσκευών συμβατών με Modbus. Υπάρχουν αρκετές εκδόσεις του πρωτοκόλλου Modbus για τη σειριακή θύρα και το Ethernet και οι πιο συνηθισμένες είναι: Modbus RTU, Modbus ASCII, Modbus TCP και Modbus Plus. Η Modicon δημοσίευσε τη διεπαφή επικοινωνίας Modbus για multi-drop δίκτυο που βασίζεται σε αρχιτεκτονική Master-Slave. Το Modbus είναι ένα ανοιχτό πρότυπο που περιγράφει το παράθυρο διαλόγου επικοινωνίας μηνυμάτων. Το Modbus επικοινωνεί με διάφορους τύπους φυσικών μέσων όπως: RS-232, RS-485, RS-422 και Ethernet. Η αρχική διεπαφή Modbus λειτουργούσε με σειριακή επικοινωνία RS-232, αλλά οι περισσότερες από τις μεταγενέστερες εφαρμογές Modbus χρησιμοποιούν RS-485 επειδή επέτρεπαν μεγαλύτερες αποστάσεις, υψηλότερες ταχύτητες και τη δυνατότητα πολλαπλών συσκευών σε ένα multi-drop δίκτυο.

## 4.7.2 Profibus



Εικόνα 12: Δίκτυα επικοινωνίας Profibus

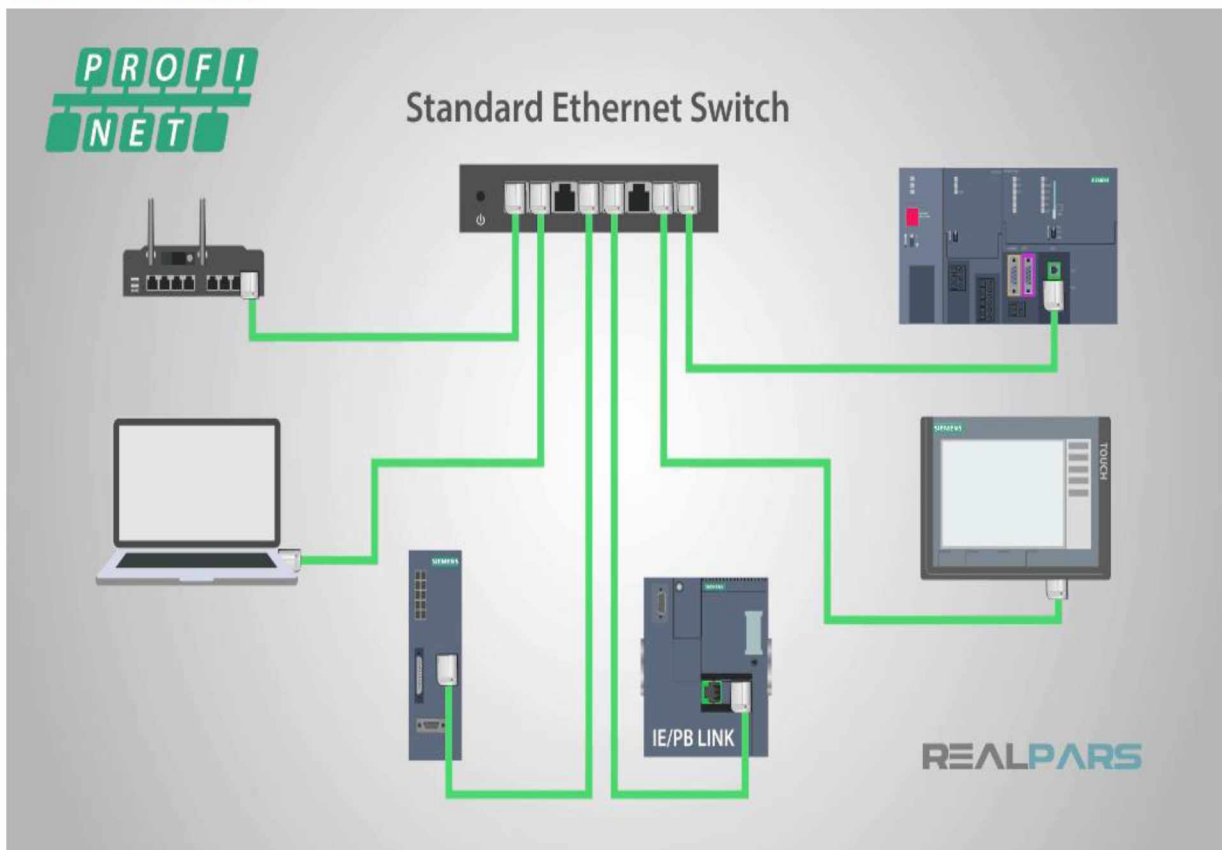
Το Profibus αναπτύχθηκε τη δεκαετία του 1990 για να εξυπηρετήσει όλες τις ανάγκες βιομηχανικής επικοινωνίας τόσο για τη βιομηχανική όσο και για την αυτοματοποίηση διαδικασιών. Το Profibus, ή "PROcess-FIeld-BUS", είναι ένα δοκιμασμένο βιομηχανικό πρωτόκολλο επικοινωνίας. Με πάνω από 50 εκατομμύρια συσκευές εγκατεστημένες μέχρι το τέλος του 2017, είναι μια καλά εδραιωμένη τεχνολογία που χρησιμοποιείται σε πολλές διαφορετικές εφαρμογές ελέγχου. Μια θύρα σύνδεσης Profibus μπορεί να φαίνεται πολύ οικεία διότι μοιάζει ακριβώς με μια τυπική σειριακή υποδοχή DB-9. Αν και μπορεί να φαίνεται το ίδιο, το υποκείμενο πρωτόκολλο είναι πολύ διαφορετικό. Τα περισσότερα καλώδια Profibus αναγνωρίζονται εύκολα από το μοβ εξωτερικό χρώμα τους. Ορισμένοι σύνδεσμοι Profibus έχουν μια θύρα διέλευσης στο πίσω μέρος, ώστε να υπάρχει η δυνατότητα να συνδεθεί ακόμα μια συσκευή. Όλα τα είδη των συνδέσμων έχουν έναν κόκκινο διακόπτη στο πίσω μέρος. Αυτός ο διακόπτης ελέγχει την αντίσταση τερματισμού. Η αντίσταση τερματισμού υποδεικνύει το τέλος του δικτύου Profibus. Έτσι αυτός ο διακόπτης πρέπει να ρυθμιστεί στη θέση "on" στην τελευταία συσκευή και "off" για κάθε άλλη συσκευή. Εάν αυτοί οι διακόπτες δεν έχουν ρυθμιστεί σωστά, θα προκύψει σφάλμα. Κάθε συσκευή σε ένα δίκτυο Profibus πρέπει να έχει μια μοναδική διεύθυνση, που κυμαίνεται από 1 έως 127. Αυτό σημαίνει ότι έως και 127 συσκευές ενδέχεται να βρίσκονται σε ένα δίκτυο Profibus. Για ορισμένες συσκευές, η διεύθυνση θα οριστεί χρησιμοποιώντας STEP7 ή TIAportal. Για άλλους, η διεύθυνση πρέπει να ρυθμιστεί χρησιμοποιώντας διακόπτες που βρίσκονται στο μπροστινό μέρος της συσκευής. Τα δίκτυα Profibus λειτουργούν με ταχύτητες 9600 bit ανά δευτερόλεπτο έως 12 megabits ανά δευτερόλεπτο. Ενώ τα καλώδια Profibus μπορεί να έχουν μήκος έως και 1000 μέτρα, απαιτούνται μικρότερα μήκη καλωδίων για υψηλότερους ρυθμούς δεδομένων. Υπάρχουν δύο παραλλαγές του Profibus που

χρησιμοποιούνται σήμερα, είναι το ProfibusDP (Decentralised Peripherals) και το ProfibusPA (Process Automation).

Το PROFIBUS DP χρησιμοποιείται για τον έλεγχο αισθητήρων και ενεργοποιητών χρησιμοποιώντας έναν κεντρικό ελεγκτή. Εδώ, ιδιαίτερη έμφαση δίνεται στις πολλές τυπικές επιλογές διάγνωσης. Άλλες πιθανές χρήσεις περιλαμβάνουν τη σύνδεση "κατανεμημένης νοημοσύνης", με άλλα λόγια τη διαδικτυακή εργασία μεταξύ πολλών ελεγκτών. Οι ρυθμοί μεταφοράς δεδομένων φτάνουν έως και 12 Mbps σε καλώδια περιστρεφόμενου ζεύγους και/ή καλώδια οπτικών ινών. Τα πρωτόκολλα για το PROFIBUS με μεγάλο αριθμό υπηρεσιών ή περίπλοκη επεξεργασία δεδομένων είναι ακατάλληλα επειδή ο απαιτούμενος ο χρόνος αντίδρασης δεν μπορεί να επιτευχθεί. Για να καλυφθεί αυτή η ανάγκη αναπτύχθηκε το PROFIBUS DP (κατανεμημένο περιφερειακό I/O). Το βασικό χαρακτηριστικό του PROFIBUS DP είναι ότι τα δεδομένα χρήστη αναπαρίστανται με τη μορφή κυκλικής εικόνας δεδομένων. Εδώ, οι αντικειμενοστραφείς διεπαφές αποφεύγονται εντελώς. Η αρχή της επικοινωνίας PROFIBUS DP είναι ένα σύστημα master-slave. Ένας κύριος διακομιστής διαλέγει κυκλικά έναν ή περισσότερους «υπηρέτες».

Το PROFIBUSPA χρησιμοποιείται για τον έλεγχο συσκευών μέτρησης από ένα σύστημα ελέγχου. Αυτή η έκδοση του PROFIBUS είναι κατάλληλη για επικίνδυνες περιοχές. Εδώ, μόνο ένα ασθενές ρεύμα ρέει μέσα από ένα εγγενώς ασφαλές κύκλωμα στα καλώδια του δίαυλου, έτσι ώστε να μην παράγονται σπινθήρες που μπορούν να προκαλέσουν έκρηξη ακόμη και αν συμβεί σφάλμα. Ο μέγιστος ρυθμός μετάδοσης δεδομένων είναι 31,25 kbps.

### 4.7.3 Profinet



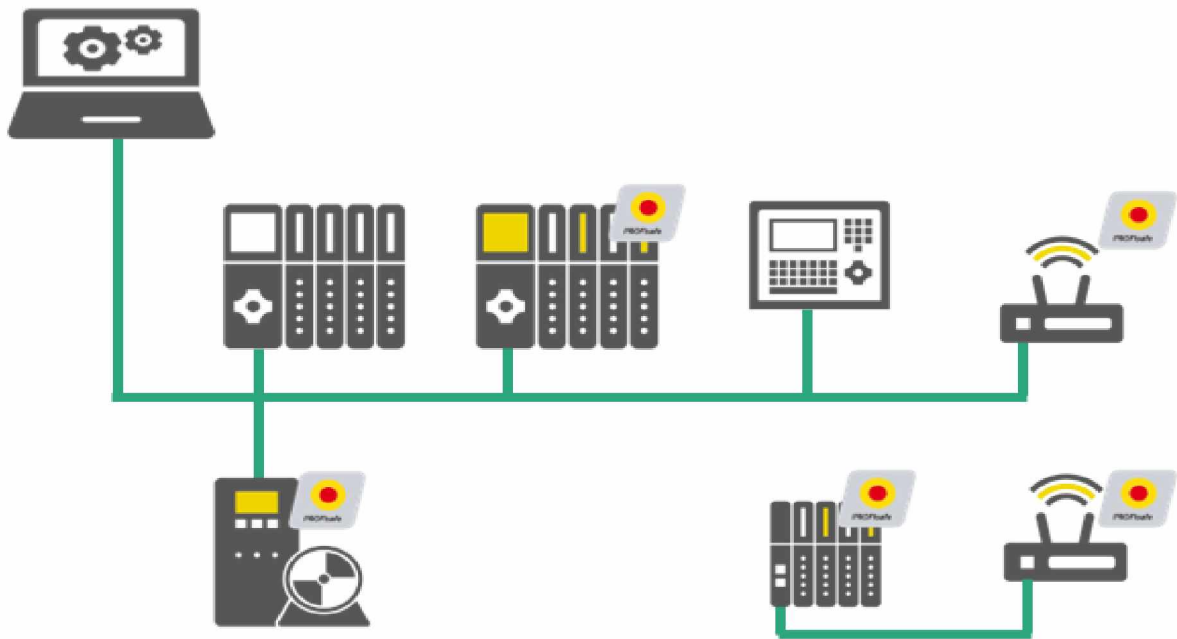
Εικόνα 13: Πρωτόκολλο επικοινωνίας profinet

Το Profinet είναι ένα νεότερο πρωτόκολλο βιομηχανικής επικοινωνίας με βάση το Ethernet. Η φυσική διεπαφή που χρησιμοποιείται για το Profinet είναι μια τυπική υποδοχή Ethernet RJ-45. Τα καλώδια Profinet αναγνωρίζονται εύκολα από το πράσινο χρώμα τους. Ενώ σε ορισμένες περιπτώσεις μπορεί να χρησιμοποιηθεί ένα τυπικό καλώδιο Ethernet για τη σύνδεση δύο συσκευών Profinet, τα επίσημα καλώδια Profinet πρέπει να χρησιμοποιούνται καθώς περιέχουν ισχυρή θωράκιση και έχουν σχεδιαστεί για να λειτουργούν καλά σε σκληρά βιομηχανικά περιβάλλοντα. Το Profinet λειτουργεί με ταχύτητα 100 megabit ανά δευτερόλεπτο και τα καλώδια μπορεί να έχουν μήκος έως και 100 μέτρα. Λόγω της υψηλής ταχύτητας λειτουργίας του και του χρόνου απόκρισης λιγότερο από 1 χιλιοστό του δευτερολέπτου, το Profinet είναι ιδανικό για εφαρμογές υψηλής ταχύτητας. Επειδή το Profinet χρησιμοποιεί τα ίδια πρότυπα φυσικής σύνδεσης με το Ethernet, τα τυπικά switches μπορούν να χρησιμοποιηθούν για την επέκταση ενός δικτύου. Οι συσκευές Profinet έχουν τρεις διαφορετικούς τύπους διευθύνσεων:

- 1) Διεύθυνση IP
- 2) Διεύθυνση MAC
- 3) Όνομα συσκευής

Όλες οι συσκευές Ethernet χρησιμοποιούν διευθύνσεις IP και διευθύνσεις MAC, αλλά το όνομα της συσκευής είναι μοναδικό για συσκευές Profinet. Οι μηχανικοί αυτοματισμού θα ασχοληθούν κυρίως με τα ονόματα συσκευών και τις διευθύνσεις IP καθώς διαμορφώνουν τα δίκτυα Profinet. Λόγω της υψηλότερης ταχύτητας και της μεγαλύτερης ευελιξίας του, το Profinet γίνεται το προτιμώμενο πρωτόκολλο επικοινωνίας για βιομηχανική εφαρμογή.

#### 4.7.4 Profisafe



Εικόνα 14: Profinetκαι profisafe

Το PROFIsafe είναι ένα πρόσθετο επίπεδο λογισμικού που παρέχει λειτουργική ασφάλεια στα δίκτυα PROFINET (ή PROFIBUS). Το PROFIsafe θα φροντίσει για το λειτουργικό τμήμα ασφάλειας των επικοινωνιών. Διασφαλίζει την ακεραιότητα των ασφαλή σημάτων που μεταδίδονται μεταξύ συσκευών ασφαλείας και ενός ελεγκτή ασφαλείας που πληροί τα σχετικά πρότυπα ασφαλείας για βιομηχανικά δίκτυα. Το PROFIsafe είναι μια προαιρετική λειτουργία του PROFINET. Μέσα στη λίστα των προαιρετικών χαρακτηριστικών του PROFINET, το PROFIsafe είναι μέρος της υποομάδας «Προφίλ εφαρμογών». Τα προφίλ εφαρμογών αναπτύσσονται σε ομάδες εργασίας PI για να εξασφαλίσουν την ευρυπύτητα, τη διαλειτουργικότητα και την εναλλαξιμότητα των συσκευών. Τα προφίλ εφαρμογών PROFINET είναι προδιαγραφές ανεξάρτητες από τον προμηθευτή. Εφαρμόζονται σε συσκευές PROFINET για να επιτρέπουν την ομοιόμορφη συμπεριφορά συσκευών από διαφορετικούς κατασκευαστές. Δεδομένου ότι το PROFIsafe είναι μια προαιρετική λειτουργία, δεν υποστηρίζουν όλες οι συσκευές PROFINET το PROFIsafe. Ο χρήστης πρέπει να επιλέξει τα κατάλληλα υλικά/συσκευές για την εφαρμογή του PROFIsafe. Κατά τη διάρκεια της εφαρμογής, ο χρήστης πρέπει να επιλέξει στοιχεία δικτύου που απαιτούν ασφάλεια. μόνο αυτά τα στοιχεία δικτύου απαιτούν δυνατότητες PROFIsafe. Η συνολική διαμόρφωση δικτύου ενδέχεται να περιέχει ένα μείγμα από fail-safe (ασφαλές για αστοχία) και τυπικά στοιχεία. Το παρακάτω διάγραμμα δείχνει ένα παράδειγμα δικτύου PROFINET με ένα μείγμα εξαρτημάτων, μερικά έχουν δυνατότητες PROFIsafe (κίτρινο). άλλοι όχι (γκρι). Επίσης, το PROFIsafe έχει σχεδιαστεί για να λειτουργεί ανεξάρτητα από το βασικό κανάλι μετάδοσης, είτε αυτό το κανάλι είναι χάλκινο σύρμα, οπτικές ίνες ή ασύρματο.

## 4.8 Προγραμματισμός

### 4.8.1 Συσκευή προγραμματισμού και λογισμικό

Διάφοροι τύποι συσκευών προγραμματισμού χρησιμοποιούνται για την εισαγωγή, τροποποίηση και αντιμετώπιση προβλημάτων ενός προγράμματος PLC. Αυτές οι συσκευές προγραμματισμού είναι φορητές συσκευές ή συσκευές που βασίζονται σε υπολογιστή. Στη μέθοδο της συσκευής χειρός, η συσκευή συνδέεται στο PLC μέσω ενός καλωδίου σύνδεσης. Αυτή η συσκευή επιτρέπει την εισαγωγή, επεξεργασία και διαγραφή του κώδικα στο PLC. Οι φορητές συσκευές αποτελούνται από μία μικρή οθόνη για να κάνουν ορατή την οδηγία που έχει προγραμματιστεί. Αυτές είναι συμπαγείς και εύχρηστες συσκευές, αλλά έχουν περιορισμένες δυνατότητες γιαυτό και χρησιμοποιούνται πολύ σπάνια πλέον. Πιο δημοφιλής είναι ο ηλεκτρονικός υπολογιστής, χρησιμοποιείται για τον προγραμματισμό του PLC από κοντά με την χρήση laptop (φορητού υπολογιστή) και απόμακριά μέσω internet. Πάντα σε συνδυασμό με το λογισμικό που παρέχεται από τον κατασκευαστή. Μέσω ηλεκτρονικού υπολογιστή υπάρχει η δυνατότητα να τρέξει το πρόγραμμα είτε online είτε εκτός σύνδεσης, να παρακολουθεί και να γίνεται διάγνωση ώστε να αντιμετωπιστούν τυχόν προβλήματα στο πρόγραμμα του PLC. Ένα ειδικό λογισμικό προγραμματισμού που προέρχεται από εταιρία του κατασκευαστή του PLC, επιτρέπει την εισαγωγή και ανάπτυξη κώδικα ο οποίος μπορεί τελικά να μεταβιβαστεί στο PLC. Ανάλογα με τον κατασκευαστή, αυτό το λογισμικό μπορεί να είναι δωρεάν για να προσελκύσει νέους χρήστες ή πολύ ακριβό λόγω του κόστους που απαιτείτε για την ανάπτυξή του. Το λογισμικό ουσιαστικά διασφαλίζει την διεπαφή ανθρώπινου μηχανήματος με γραφική αναπαράσταση μεταβλητών. Μόλις γίνει λήψη αυτού του προγράμματος στο PLC και τοποθετηθεί σε λειτουργία εκτέλεσης (run) τότε το PLC λειτουργεί συνεχώς σύμφωνα με το πρόγραμμα.

## 4.8.2 Ορισμός λειτουργίας του συστήματος

Ο χρήστης θα ξεκινήσει με την επίλυση του προβλήματος εξακριβώνοντας τον αυτοματισμό που πρέπει να δημιουργήσει και καθορίζοντας τα βήματα για τη λύση του. Οι πληροφορίες αυτές θα του παρέχουν τη βάση για το πρόγραμμα του PLC. Για τη μείωση σφαλμάτων, το πρόγραμμα θα πρέπει να καθοριστεί και να γραφτεί από ένα χρήστη που έχει γνώση με το μηχάνημα ή την εργασία που θα αυτοματοποιεί το πρόγραμμα αυτό. Όσο πιο σαφής και σωστός είναι ο καθορισμός του έργου στην αρχή του, τόσο μεγαλύτερη επιτυχία υπάρχει για την απόδοση του προγράμματος.

Ο καθορισμός του προγράμματος έχει πολλά στάδια. Διαφορετικά τμήματα μιας εταιρίας πρέπει να συνεργαστούν και να ορίσουν τις εισόδους του προγράμματος που απαιτούνται, ώστε να θεμελιωθεί ο σκοπός και το πεδίο εφαρμογής του έργου. Για παράδειγμα, εάν το έργο περιλαμβάνει τον αυτοματισμό ενός εργοστασίου, στο οποίο μεταφέρουμε υλικά από την αποθήκη του εργοστασίου προς το αυτόματο τμήμα συσκευασιών. Για τη σωστή θεμελίωση του προγράμματος αυτοματισμού που θα δημιουργεί, θα χρειαστεί να ρωτήσουμε το προσωπικό από το τμήμα μηχανικών, το τμήμα αποθήκης και το τμήμα συσκευασίας για τις ανάγκες του καθενός. Όπως επίσης και το τμήμα διοίκησης μπορεί να ζητήσει το έργο να περιλαμβάνει την εξαγωγή αναφορών δεδομένων από τον αυτοματισμό.

Εάν το πρόγραμμα υπάρχει και λειτουργεί ήδη με κλασικό αυτοματισμό, ο χρήστης θα πρέπει να αναλύσει τα βήματα της διαδικασίας και να παρουσιάσει ποιες βελτιώσεις θα μπορεί να παρέχει το σύστημα που θα δημιουργηθεί. Ο κλασικός αυτοματισμός μπορεί να μεταφραστεί και να εφαρμοστεί άμεσα σε ένα PLC. Θα ήταν όμως καλύτερο να σχεδιαστεί από την αρχή, όπου είναι εφικτό, για να αξιοποιηθούν πλήρως οι δυνατότητες ενός προγραμματιζόμενου ελεγκτή και να προστεθούν λειτουργίες που παλιότερα με τον κλασικό αυτοματισμό ήταν ανέφικτες.

## 4.8.3 Σχεδιασμός προγράμματος

Μετά την ολοκλήρωση του ορισμού της λειτουργίας, μπορούμε να ξεκινήσουμε με τον σχεδιασμό του προγράμματος. Αυτή η διαδικασία περιλαμβάνει τα βήματα που θα πρέπει να δημιουργηθούν μέσα στο πρόγραμμα για να έχουμε τον επιθυμητό έλεγχο του αυτοματισμού. Αυτό το κομμάτι δημιουργίας κώδικα ονομάζεται και ως δημιουργία αλγορίθμου. Ο αλγόριθμος είναι μια σειρά κανόνων που θα πρέπει να ακολουθούνται, συνήθως με υπολογισμούς ή άλλες δραστηριότητες επίλυσης προβλημάτων. Πολλοί από εμάς χρησιμοποιούμε αλγόριθμους και στην καθημερινή μας ζωή για μερικές εργασίες της ημέρας. Για παράδειγμα, η ακολουθία ενός ατόμου από το σπίτι μέχρι τη δουλειά του μπορεί να θεωρηθεί αλγοριθμικά ως:

- Το άτομο βγαίνει από το σπίτι του
- Εισέρχεται στο αυτοκίνητό του
- Ανάβει τη μηχανή του αυτοκινήτου
- Φτάνει στο προορισμό του



Η στρατηγική για τη δημιουργία ενός προγράμματος σε ένα σύστημα αυτοματισμού PLC, ακολουθεί τα βήματα της δημιουργίας ενός αλγορίθμου. Ο χρήστης θα δημιουργήσει το πρόγραμμα από μια ακολουθία οδηγιών και παράγει μια λύση σε ένα πεπερασμένο αριθμό βημάτων. Εάν η δημιουργία ενός αλγορίθμου για την επίλυση του προβλήματος προβεί δύσκολη, τότε ο χρήστης θα πρέπει να γυρίσει πίσω στο ορισμό του προβλήματος και να το επαναπροσδιορίσει. Δεν μπορούμε, για παράδειγμα, να δώσουμε σημείο συνάντησης σε ένα μέρος του χάρτη, χωρίς να ξέρουμε τη τοποθεσία του σημείου αλλά και πως θα φτάσουμε εκεί, το μεταφορικό μέσο που θα χρειαστούμε αλλά και το χρόνο που θα διαθέσουμε για να φτάσουμε εκεί. Έτσι ακριβώς και ο χρήστης δεν μπορεί να δημιουργήσει το σχέδιο του προγράμματος εάν δεν κατέχει όλες τις απαραίτητες πληροφορίες.

Ο θεμελιώδης κανόνας για τον σχεδιασμό ενός προγράμματος είναι να σκεφτούμε πρώτα και να προγραμματίσουμε ύστερα. Ο χρήστης μπορεί να χρησιμοποιήσει και εναλλακτικές μεθόδους επίλυσης του προβλήματος και να ξοδέψει χρόνο στην βελτίωση του αλγόριθμου πριν το προγραμματισμό αυτού. Χρησιμοποιώντας αυτήν τη φιλοσοφία θα βελτιώσει και θα μειώσει το χρόνο προγραμματισμού όπως και το χρόνο στον έπειτα έλεγχο σφαλμάτων.

Ανεξάρτητα εάν πρόκειται για μια καινούργια εφαρμογή ή μοντεροποίηση μιας παλιότερης. Ο σχεδιαστής θα πρέπει να κοιτάζει τη σειρά γεγονότων μέσα στο κώδικα και να βρει την καλύτερη δυνατή λύση αλλά και τα αφαιρέσει περιττά βήματα ή την πρόσθεση άλλων για τη βέλτιστη λειτουργία του αυτοματισμού. Όλο αυτό απαιτεί καλές γνώσεις συσκευών που ελέγχονται με προγραμματιζόμενους ελεγκτές, όπως επίσης και αναλυτικές πληροφορίες σχετικά με τις εισόδους και εξόδους που θα έχουν αυτές οι συσκευές.

Για την ολοκλήρωση του σταδίου του σχεδιασμού ο απαραίτητος εξοπλισμός μπορεί να παραγγελθεί. Αυτή η απόφαση βασίζεται στον αριθμό των απαραίτητων εισόδων, εξόδων και άλλων λειτουργιών που έχουν σχεδιαστεί για τον εκλεκτή. Η πρώτη απόφαση αφορά τον τύπο του ελεγκτή και μπορεί να εξαρτηθεί από τα παρακάτω κριτήρια:

- Αριθμός λογικών εισόδων και εξόδων.
- Μνήμη. Η οποία εξαρτάται από τις απαιτήσεις μεγέθους του λογικού προγράμματος..
- Αριθμός ειδικών μονάδων εισόδου/εξόδου. Για τα έργα που απαιτούν εξειδικευμένες λειτουργίες, θα χρειαστεί η προσθήκη ειδικών καρτών για την παροχή αυτών των λειτουργιών.
- Χρόνος Σάρωσης. Μεγάλα προγράμματα θα χρειαστούν να μειώσουν τον χρόνο σάρωσης του προγράμματος. Όμως ο μικρότερος χρόνος θα βελτιωθεί με μεγαλύτερο αρχικό κόστος..
- Επικοινωνία. Μπορούμε να παρέχουμε δικτυακή ή και σειριακή λειτουργία στο PLC ώστε αυτό να μπορούμε να το προγραμματίσουμε από απόσταση αλλά και τη δυνατότητα να συνδεθεί με άλλα PLC.
- Λογισμικό. Η διαθεσιμότητα του λογισμικού για το προγραμματισμό του ελεγκτή αλλά και άλλων εργαλείων για την αποσφαλμάτωση αυτού.

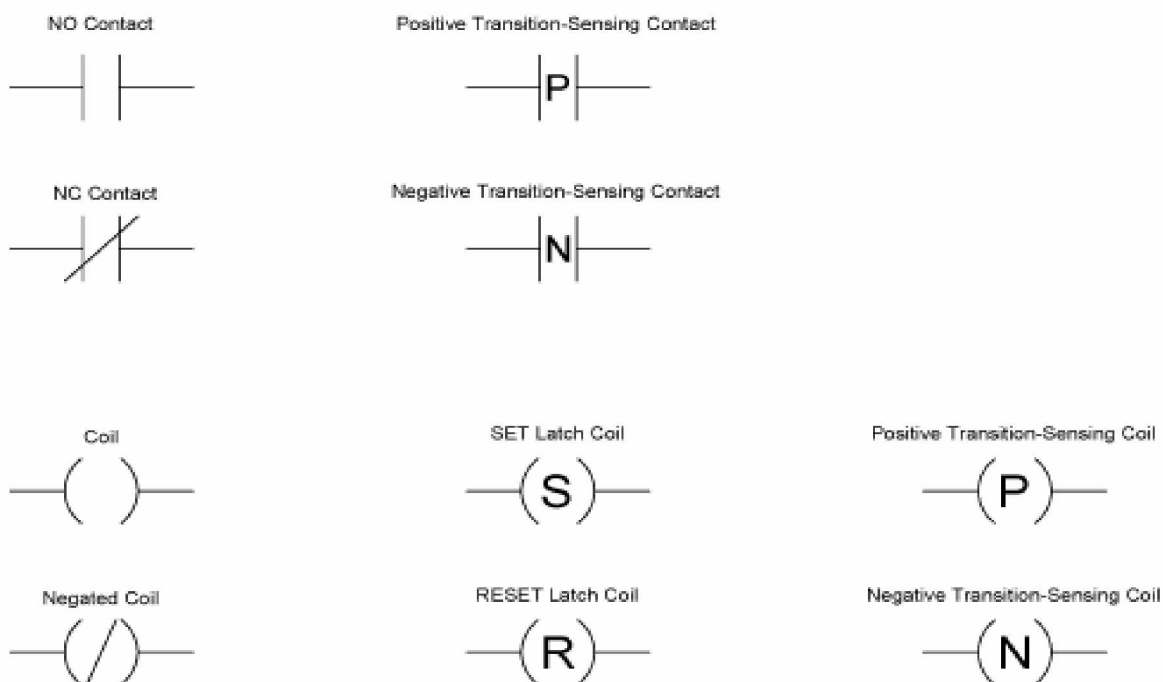
## 4.8.3 Γλώσσες προγραμματισμού

### 3.8.3.1 Διάγραμμα σκάλας (Ladder)

Για να μπορέσουμε να καταλάβουμε αυτήν την γλώσσα προγραμματισμού των PLC, η οποία είναι η ποιο διαδεδομένη και χρησιμοποιείται περισσότερο από κάθε άλλη αυτήν την στιγμή. Θα πρέπει πρώτα να ανατρέξουμε στο λόγο που εφευρέθηκε και τι αντικατέστησε το PLC. Αυτό που αντικατέστησε ήταν οι πολύπλοκες ηλεκτρολογικές συνδέσεις που απαιτούσαν πολύ χρόνο, χώρο και τελικά μεγαλύτερο κόστος για να πραγματοποιηθούν. Έτσι οι πολύπλοκες συνδέσεις και ο μεγάλος αριθμός μικροελέ, χρονικών και πολλών άλλων συσκευών αντικαταστάθηκαν από σύμβολα μέσα στο περιβάλλον προγραμματισμού ενός PLC. Τα σύμβολα αυτά είναι αρκετά εκτενή και μπορούν να είναι διαφορετικά σε κάθε PLC ανάλογα την εταιρία που το κατασκευάζει. Όπως ακριβώς είναι διαφορετικά πάνω στα ηλεκτρολογικά σχέδια ανάλογα με την χώρα που έχει εκπαιδευτεί ο αντίστοιχος μηχανικός. Τα σύμβολα είναι μια αναλυτική περιγραφή του μηχανισμού που χρησιμοποιείται. Στη παρακάτω εικόνα απεικονίζονται μερικά σύμβολα και η λειτουργία τους.

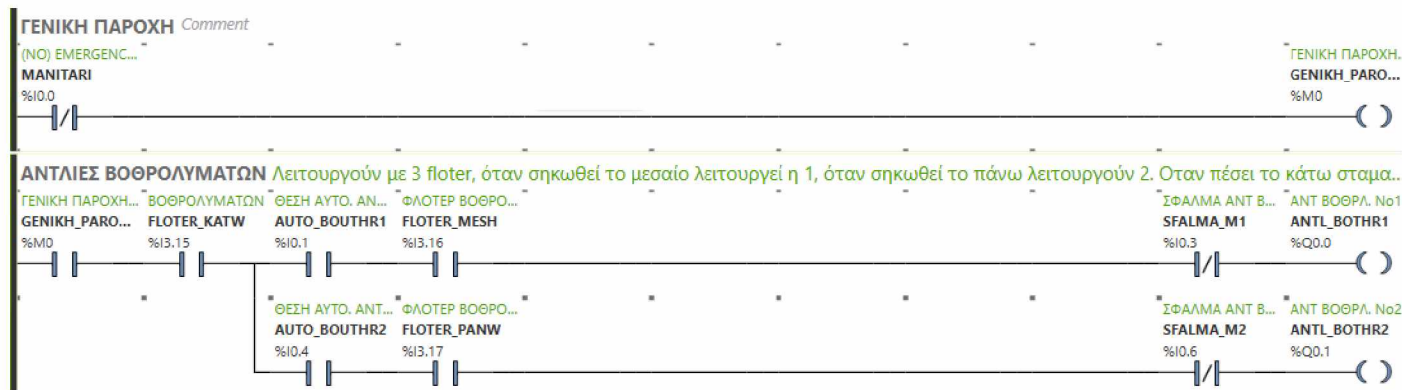
## IEC 61131-3 Ladder Diagram Symbols

by PLC Academy



Εικόνα 15: Σύμβολα στην γλώσσα Ladder

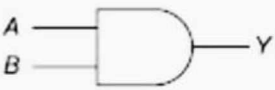
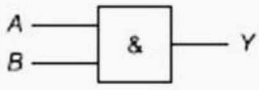
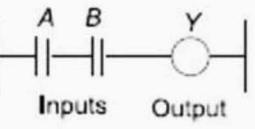


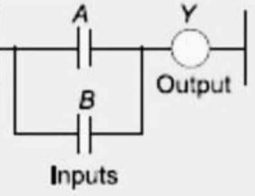

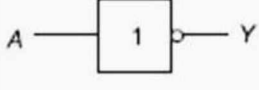
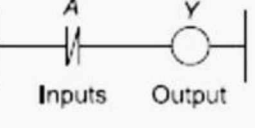


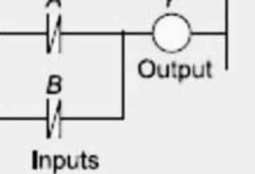

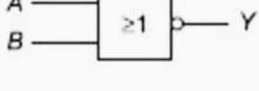
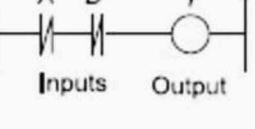

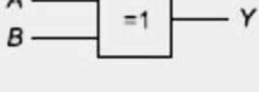
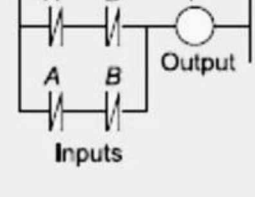
Το πρόγραμμα τρέχει πάντα από τα αριστερά προς τα δεξιά, σαν να βρίσκεται μια μπάρα πηγής ενέργειας στην αριστερή πλευρά και μία μπάρα ουδέτερου ή αρνητικού ρεύματος εξόδου στα δεξιά, έτσι οι επαφές βρίσκονται πάντα αριστερά και τα πηνία στα δεξιά. Επίσης όλα προγράμματα έχουν πολλαπλές γραμμές κώδικα και το PLC διαβάζει τις εντολές πάντα από πάνω προς τα κάτω. Με αυτές τις πληροφορίες ένας μηχανικός που γνωρίζει ηλεκτρολογικό σχέδιο μπορεί αμέσως να διαβάσει ένα πρόγραμμα ladder και να κατανοήσει την λειτουργία του.



Εικόνα 16: Ένα μέρος προγράμματος σε γλώσσα Ladder

Είναι πολύ σημαντική η κατανόηση της λειτουργίας των επαφών. Οι επαφές που κλείνουν όταν ενεργοποιείται το πηνίο λέγονται κανονικά ανοιχτές (NO). Ενώ οι επαφές που είναι κανονικά κλειστές (NC), είναι κλειστές όταν το πηνίο δεν είναι ενεργοποιημένο και ανοίγουν όταν ενεργοποιηθεί.

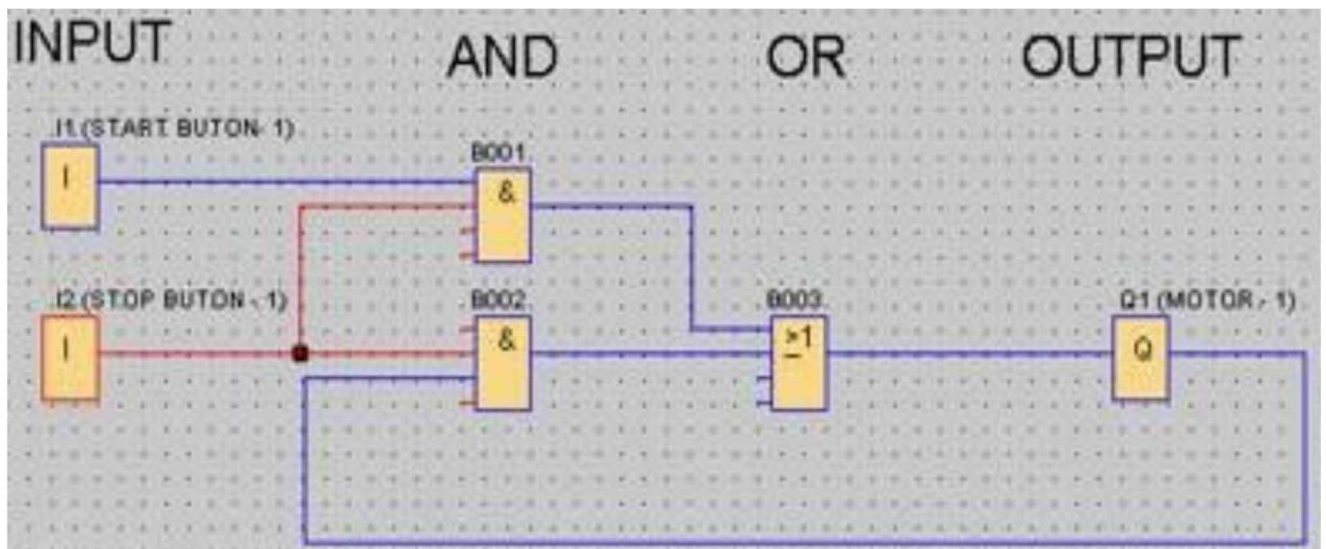
Ακολουθούν μερικά παραδείγματα ψηφιακής λογικής (AND, OR, NOT, NOR, NAND, XOR) που μπορούν να χρησιμοποιηθούν με διάφορους συνδυασμούς επαφών ώστε να στείλουμε τις κατάλληλες εντολές στις εξόδους του plc.

Logic	Logic Symbol	Truth Table	Functional Block diagram	Ladder Logic															
AND		<table border="1" data-bbox="651 309 837 555"> <thead> <tr> <th>A</th> <th>B</th> <th>Y</th> </tr> </thead> <tbody> <tr> <td>0</td> <td>0</td> <td>0</td> </tr> <tr> <td>0</td> <td>1</td> <td>0</td> </tr> <tr> <td>1</td> <td>0</td> <td>0</td> </tr> <tr> <td>1</td> <td>1</td> <td>1</td> </tr> </tbody> </table>	A	B	Y	0	0	0	0	1	0	1	0	0	1	1	1		
A	B	Y																	
0	0	0																	
0	1	0																	
1	0	0																	
1	1	1																	
OR		<table border="1" data-bbox="651 577 837 824"> <thead> <tr> <th>A</th> <th>B</th> <th>Y</th> </tr> </thead> <tbody> <tr> <td>0</td> <td>0</td> <td>0</td> </tr> <tr> <td>0</td> <td>1</td> <td>1</td> </tr> <tr> <td>1</td> <td>0</td> <td>1</td> </tr> <tr> <td>1</td> <td>1</td> <td>1</td> </tr> </tbody> </table>	A	B	Y	0	0	0	0	1	1	1	0	1	1	1	1		
A	B	Y																	
0	0	0																	
0	1	1																	
1	0	1																	
1	1	1																	
NOT		<table border="1" data-bbox="651 869 837 1064"> <thead> <tr> <th>A</th> <th>Y</th> </tr> </thead> <tbody> <tr> <td>0</td> <td>1</td> </tr> <tr> <td>1</td> <td>0</td> </tr> </tbody> </table>	A	Y	0	1	1	0											
A	Y																		
0	1																		
1	0																		
NAND		<table border="1" data-bbox="651 1093 837 1339"> <thead> <tr> <th>A</th> <th>B</th> <th>Y</th> </tr> </thead> <tbody> <tr> <td>0</td> <td>0</td> <td>1</td> </tr> <tr> <td>0</td> <td>1</td> <td>1</td> </tr> <tr> <td>1</td> <td>0</td> <td>1</td> </tr> <tr> <td>1</td> <td>1</td> <td>0</td> </tr> </tbody> </table>	A	B	Y	0	0	1	0	1	1	1	0	1	1	1	0		
A	B	Y																	
0	0	1																	
0	1	1																	
1	0	1																	
1	1	0																	
NOR		<table border="1" data-bbox="651 1361 837 1608"> <thead> <tr> <th>A</th> <th>B</th> <th>Y</th> </tr> </thead> <tbody> <tr> <td>0</td> <td>0</td> <td>1</td> </tr> <tr> <td>0</td> <td>1</td> <td>0</td> </tr> <tr> <td>1</td> <td>0</td> <td>0</td> </tr> <tr> <td>1</td> <td>1</td> <td>0</td> </tr> </tbody> </table>	A	B	Y	0	0	1	0	1	0	1	0	0	1	1	0		
A	B	Y																	
0	0	1																	
0	1	0																	
1	0	0																	
1	1	0																	
XOR		<table border="1" data-bbox="651 1630 837 1877"> <thead> <tr> <th>A</th> <th>B</th> <th>Y</th> </tr> </thead> <tbody> <tr> <td>0</td> <td>0</td> <td>0</td> </tr> <tr> <td>0</td> <td>1</td> <td>1</td> </tr> <tr> <td>1</td> <td>0</td> <td>1</td> </tr> <tr> <td>1</td> <td>1</td> <td>0</td> </tr> </tbody> </table>	A	B	Y	0	0	0	0	1	1	1	0	1	1	1	0		
A	B	Y																	
0	0	0																	
0	1	1																	
1	0	1																	
1	1	0																	

Εικόνα 17: Λογικά σύμβολα, πίνακες αλήθειας, λειτουργικά μπλοκ διαγράμματα και Ladder

### 3.8.3.2 Διάγραμμα λειτουργιών (FBD)

Το διάγραμμα λειτουργιών (FBD) είναι μια γλώσσα προγραμματισμού που οι εντολές εμφανίζονται με όρους γραφικών μπλοκ. Περιγράφεται ως μία γραφική γλώσσα για την απεικόνιση των ροών σήματος και δεδομένων μέσω μπλοκ. Ένα μπλοκ είναι μία εντολή προγράμματος, η οποία, όταν εκτελείται, αποδίδει μία ή περισσότερες τιμές εξόδου. Τα μπλοκ μπορούν να έχουν τυπικές λειτουργίες, όπως αυτές που έχουν οι λογικές πύλες ή οι μετρητές, τα χρονόμετρα ακόμα και λειτουργίες που ορίζονται από το χρήστη.



Εικόνα 18: Γλώσσα FBD σε λογισμικό για LOGO

### 3.8.3.3 Λίστα εντολών (instructionlist - IL)

Η γλώσσα προγραμματισμού λίστας εντολών (IL), χρησιμοποιεί ένα σύνολο εντολών όμοιο με τις εντολές της γλώσσας assembly για έναν μικροεπεξεργαστή. Διατίθενται σε λίγους τύπους PLC, είναι η πιο ευέλικτη μορφή προγραμματισμού για έναν αρκετά έμπειρο χρήστη αλλά σε καμία περίπτωση δεν είναι τόσο εύκολη στην κατανόηση του προγράμματος σε σχέση με τις άλλες γλώσσες προγραμματισμού. Παράδειγμα:

```
LD Speed
GT 2000
JMPCN VOLTS OK
LD Volts
VOLTS OK LD 1
ST %Q75
```

### 3.8.3.4 Δομημένο κείμενο (Structured text - ST)

Το δομημένο κείμενο (ST ή STX), είναι μια γλώσσα υψηλού επιπέδου που μοιάζει συντακτικά με την Pascal, στην οποία βασίζεται. Υποστηρίζει σύνθετες δηλώσεις όπως: Βρόγχοι επανάληψης (REPEAT-UNTIL, WHILE-DO)  
Υπόρουσ εκτέλεση (IF-THEN-ELSE, CASE)  
Λειτουργίες (FUNCTIONS)  
Παράδειγμα:

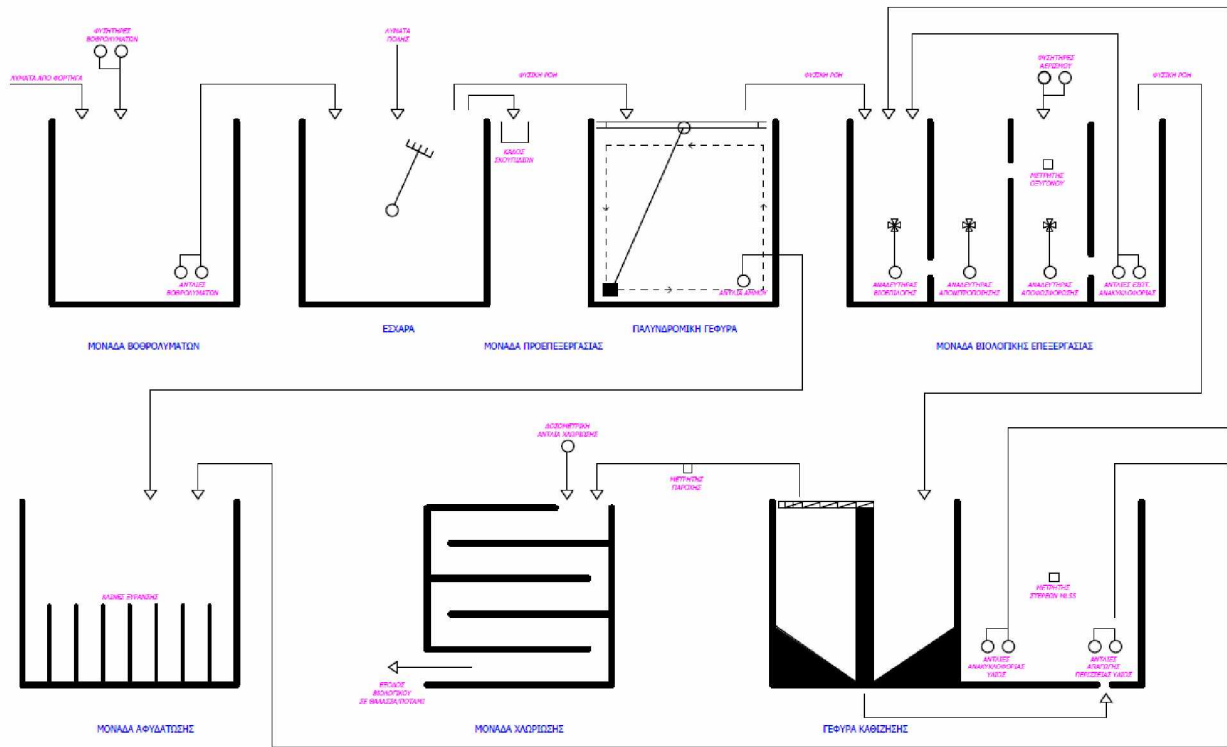
```
(* simple state machine *)
TxtState:=STATES[StateMachine];

CASE StateMachine OF
1: ClosingValve();
  StateMachine:=2;
2: OpeningValve();
ELSE
BadCase();
END_CASE;
```

## 5 Αυτοματοποίηση εγκατάστασης βιολογικού

Σε αυτό το κεφάλαιο θα αναλυθεί λεπτομερώς ο πραγματικός αυτοματισμός μίας εγκατάστασης βιολογικού καθαρισμού με βάση τις απαιτήσεις των μηχανικών μιας από τις μεγαλύτερες κατασκευαστικές εταιρίες στην Ελλάδα. Οι απαιτήσεις όσο αφορά το μέγεθος της εγκατάστασης, δηλαδή ο αριθμός και το μέγεθος των μονάδων/δεξαμενών εξαρτώνται από τους υπολογισμούς που θα κάνει ο χημικός μηχανικός με βάση τις απαιτήσεις στην καθαρότητα των υγρών εξόδου, την ποσότητα των λυμάτων που θα δέχεται ο βιολογικός αλλά και το είδος των λυμάτων που θα εισέρχονται στο σύστημα. Στο πρόγραμμα που ακολουθεί όλες οι μονάδες εμφανίζονται από μια φορά, αυτό φυσικά μπορεί να αλλάξει ανάλογα με τις απαιτήσεις. Ουσιαστικά όμως ακόμα και για μεγαλύτερες μονάδες, το πρόγραμμα δεν αλλάζει, απλά προσθέτονται οι ίδιες γραμμές «κώδικα» περισσότερες φορές.

## 5.1 Λειτουργία αυτοματισμού – Περιγραφή προγράμματος



Εικόνα 19: Εγκατάσταση βιολογικού στο σχεδιαστικό πρόγραμμα ePlan, σελ 53 του σχεδίου

Για να δημιουργηθεί σωστά οποιοδήποτε πρόγραμμα στο plc πρέπει να έχει καταγραφεί επακριβώς ο αυτοματισμός της εγκατάστασης. Στην περίπτωση του βιολογικού καθαρισμού, ο χημικός μηχανικός δίνει τα δεδομένα που θα παρατεθούν παρακάτω στον μηχανικό αυτοματισμού.

Οι αντλίες βοθρολυμάτων παίρνουν εντολές απο τρία φλοτέρ. Μόλις σηκωθεί το φλοτέρ που τοποθετήθηκε στην μέση της δεξαμενής ξεκινάει η μία αντλία, μόλις πέσει το φλοτέρ που τοποθετήθηκε στον πάτο τότε σταματάει και μόλις σηκωθεί το φλοτέρ που τοποθετήθηκε ψηλά, τότε ξεκινάνε και οι δύο.

Οι φυσητήρες βοθρολυμάτων δουλεύουν με χρονοπρόγραμμα εναλάη, δηλαδή δουλεύει για πέντε ώρες η πρώτη και μετά σταματάει για να δουλέψει η δεύτερη για πέντε ώρες. Αυτό συνεχίζεται επ' αόριστον μέχρι να πέσει το φλοτέρ τον βυθό της δεξαμενής. Όταν γίνει αυτό τότε σταματάνε και οι δύο. Αν υπάρξει κάποιο σφάλμα σε έναν απο τους δύο φυσητήρες, τότε ένας τρίτος θα πάρει την θέση τους.

Η εσχάρα λυμάτων παίρνει εντολές με ηλεκτρόδιο στάθμης, όταν υπάρχει η σωστή στάθμη ξεκινάει η λειτουργία, όταν δεν υπάρχει σταματάει.

Η μεταφορική ταινία εσχάρας ξεκινάει μαζί με την εσχάρα λυμάτων και σταματάει με ένα λεπτό καθυστέρηση εφόσον σταματήσει η εσχάρα.

Η παλινδρομική γέφυρα κάνει μια κυκλική κίνηση, πάντα αριστερόστροφα. Δηλαδή πάει ευθεία, πάνω, πίσω, κάτω και μετά ξανα ευθεία για να ξεκινήσει τον επόμενο κύκλο. Όταν πάει πίσω, περιμένει δύο λεπτά. Αυτό γίνεται με δύο κινητήρες, ένας κάνει μπρος-πίσω και ένας πάνω-κάτω. Οι κινήσεις αυτές γίνονται με την βοήθεια τεσσάρων τερματικών.

Οι φυσητήρες της παλινδρομικής γέφυρας δουλεύουν με χρονοπρόγραμμα εναλλάξ ανα 5 ώρες όπως οι προηγούμενοι φυσητήρες αλλά σε αυτήν την περίπτωση, όταν κάποιος παρουσιάσει σφάλμα τότε ξεκινάει ο δεύτερος. Δεν υπάρχει εφεδρικός αλλά πάντα λειτουργεί ένας. Δεν έρχουμε την στάθμη σε αυτήν την περίπτωση γιατί η δεξαμενή είναι πάντα γεμάτη.

Η αντλία άμμου δουλεύει κάθε φορά που πηγαίνει ευθεία η παλινδρομική γέφυρα για λίγα λεπτά και μετά σταματάει.

Ο κοχλίας άμμου ξεκινάει μαζί με αντλία άμμου και σταματάει μετά από μερικά λεπτά.

Η αντλία στραγγιδίων ξεκινάει μόλις πάρει εντολή απο ένα φλοτέρ.

Οι αναδευτήρες βιοεπιλογής, αποφωσφόρωσης και απονιτροποίησης δουλεύουν 24/24 και υπάρχει πάντα στάθμη στην δεξαμενή τους.

Οι φυσητήρες αερισμού στην βιολογική επεξεργασία ελέγχονται απο έναν μετρητή οξυγόνου, όταν η ποσότητα του οξυγόνου είναι κάτω από 0,5mg/lt τότε λειτουργούν και όταν η ποσότητα είναι πάνω από 7mg/lt σταματάνε.

Οι αντλίες ανακυκλοφορίας ανάμικτου υγρού στην βιολογική επεξεργασία δουλεύουν εναλλάξ για λίγες ώρες η καθε μία, αν κάποια σταματήσει λόγο σφάλματος τότε ξεκινάει αμέσως η άλλη.

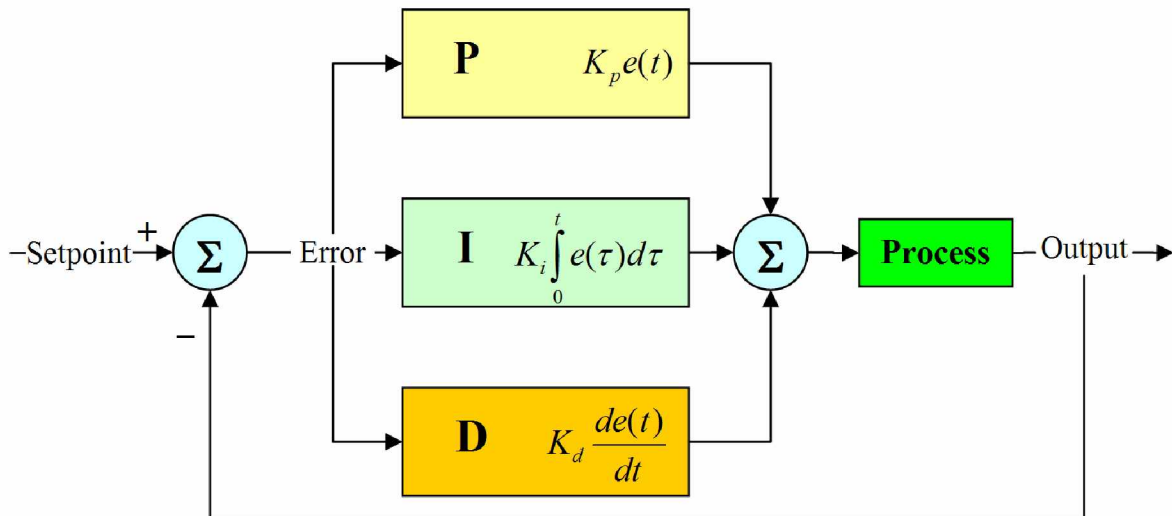
Η γέφυρα καθίζησης δουλεύει συνέχεια.

Οι τρεις αντλίες ανακυκλοφορίας ιλύος πρέπει να λειτουργούν πάντα οι δύο απο τις τρεις ανα πάσα στιγμή. Κάθε 10 ώρες αλλάζει ο συνδιασμός των αντλιών που δουλεύουν.

Οι αντλίες απαγωγής περίσσειας ιλύος ελέγχονται απο τον μετρητή στερεών MLSS. Όταν είναι μεγάλη η τιμή δίνει εντολή στις αντλίες να ξεκινήσουν. Τέλος η δοσομετρική αντλία χλωρίωσης παρέχει χλώριο συνέχεια ανάλογα με την παροχή του νερού και σταματάει όταν πέσει κάτω απο ένα όριο. Αυτό γίνεται με έλεγχο PID που θα αναλυθεί στο επόμενο κεφάλαιο.



## 5.2 Βιομηχανικοί ελεγκτές PID



Εικόνα 20: Ανάλυση ελεγκτή PID

Οι βιομηχανικοί ελεγκτές ή ελεγκτές τριών όρων PID χρησιμοποιούνται και σε διάφορους συνδυασμούς όπως: P, PI. Η προτίμηση των ελεγκτών PID οφείλεται στην αξιόπιστη και απλή τους λειτουργία, κάτω από πολυάριθμες και διαφορετικές συνθήκες. Η υλοποίηση ενός ελεγκτή PID βασίζεται στον προσδιορισμό των τριών παραμέτρων  $K_p$  (Αναλογικό κέρδος),  $K_i$  (Ολοκληρωτικό κέρδος) και  $K_d$  (Διαφορικό κέρδος). Η έξοδος του ελεγκτή PID σχηματίζεται από το άθροισμα των τριών όρων, ενός όρου P (Proportional) ανάλογου του σφάλματος, ενός όρου I (Integral) ανάλογου του ολοκληρώματος του σφάλματος και ενός όρου D (Derivative) ανάλογου της παραγώγου του σφάλματος.

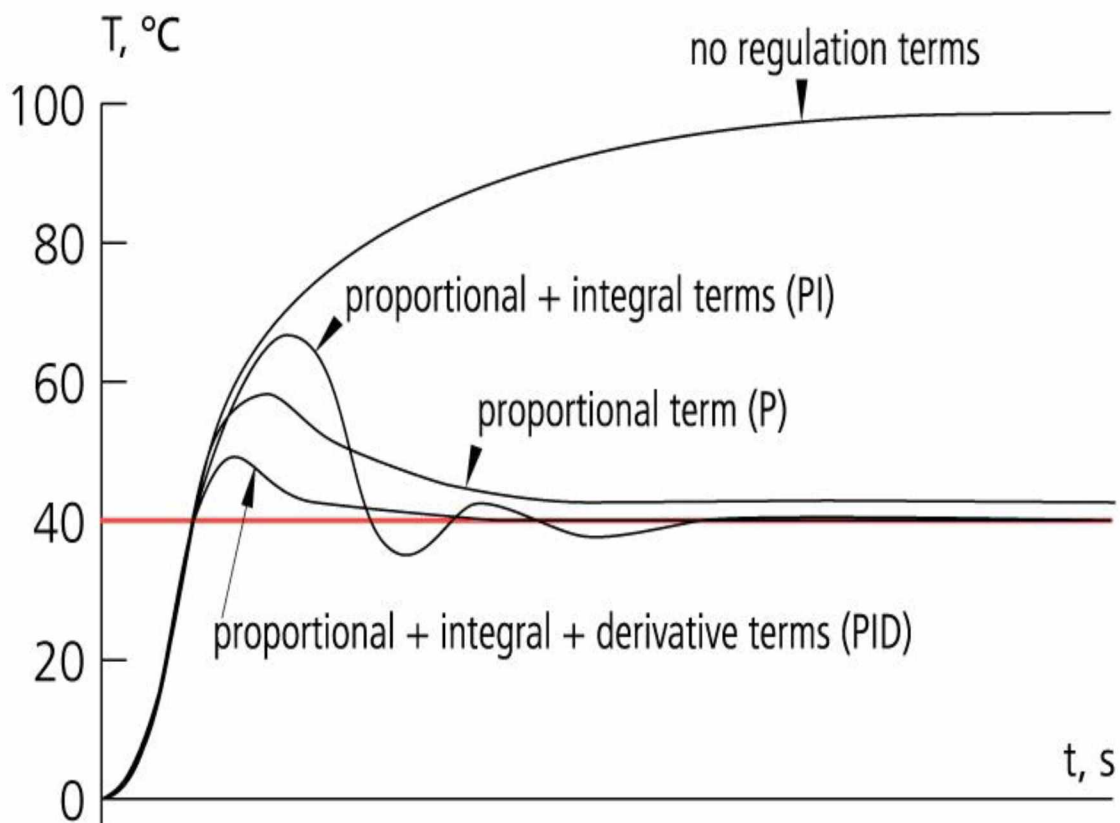
Ο αναλογικός όρος P βοηθάει στη βελτίωση της συμπεριφοράς (έξοδο) του συστήματος τόσο στην μεταβατική όσο και στην μόνιμη κατάσταση, αλλά αδυνατεί να εξαλείψει ολοκληρωτικά το μόνιμο σφάλμα στην έξοδο του συστήματος. Δεν μπορεί να ανταπεξέλθει ικανοποιητικά σε όλους τους διαφορετικούς τύπους των συστημάτων και των εξωτερικών διαταραχών, γι' αυτό όπου απαιτείται ανάλογα με την εφαρμογή, συνδυάζεται μαζί με άλλους όρους.

Ο ολοκληρωτικός όρος I χρησιμοποιείται στα συστήματα που παρουσιάζουν σφάλμα στη μόνιμη κατάσταση, αφού για όσο χρόνο υπάρχει σφάλμα, η έξοδος του ελεγκτή, λόγω του ολοκληρώματος αυξάνεται με αποτέλεσμα την εξάλειψη του σφάλματος, αλλά αυτό γίνεται σε βάρος της ευστάθειας και της ταχύτητας απόκρισης του συστήματος.

Ο διαφορικός όρος D αυξάνει την ευστάθεια ενός συστήματος και βελτιώνει τη συμπεριφορά του κατά τη μεταβατική κατάσταση, αλλά λόγω της επιβολής στην πράξη περιορισμού της εξόδου ενός ελεγκτή δεν χρησιμοποιείται ποτέ μόνος του.

Η επιρροή των όρων P, I και D φαίνεται στον παρακάτω πίνακα και αποτυπώνεται στην γραφική παράσταση. Η συσχέτιση στον πίνακα μπορεί να μην είναι ακριβής, διότι οι όροι  $K_p$ ,  $K_i$  και  $K_d$  είναι αλληλεξαρτώμενοι.

	Χρόνος ανόδου ή ανύψωση	Μέγιστη υπερύψωση	Χρόνος αποκατάστασης	Μόνιμο σφάλμα
P	μείωση	αύξηση	μικρή αλλαγή	μείωση
I	μείωση	μείωση	αύξηση	εξάλειψη
D	μικρή αλλαγή	μείωση	μείωση	μικρή αλλαγή



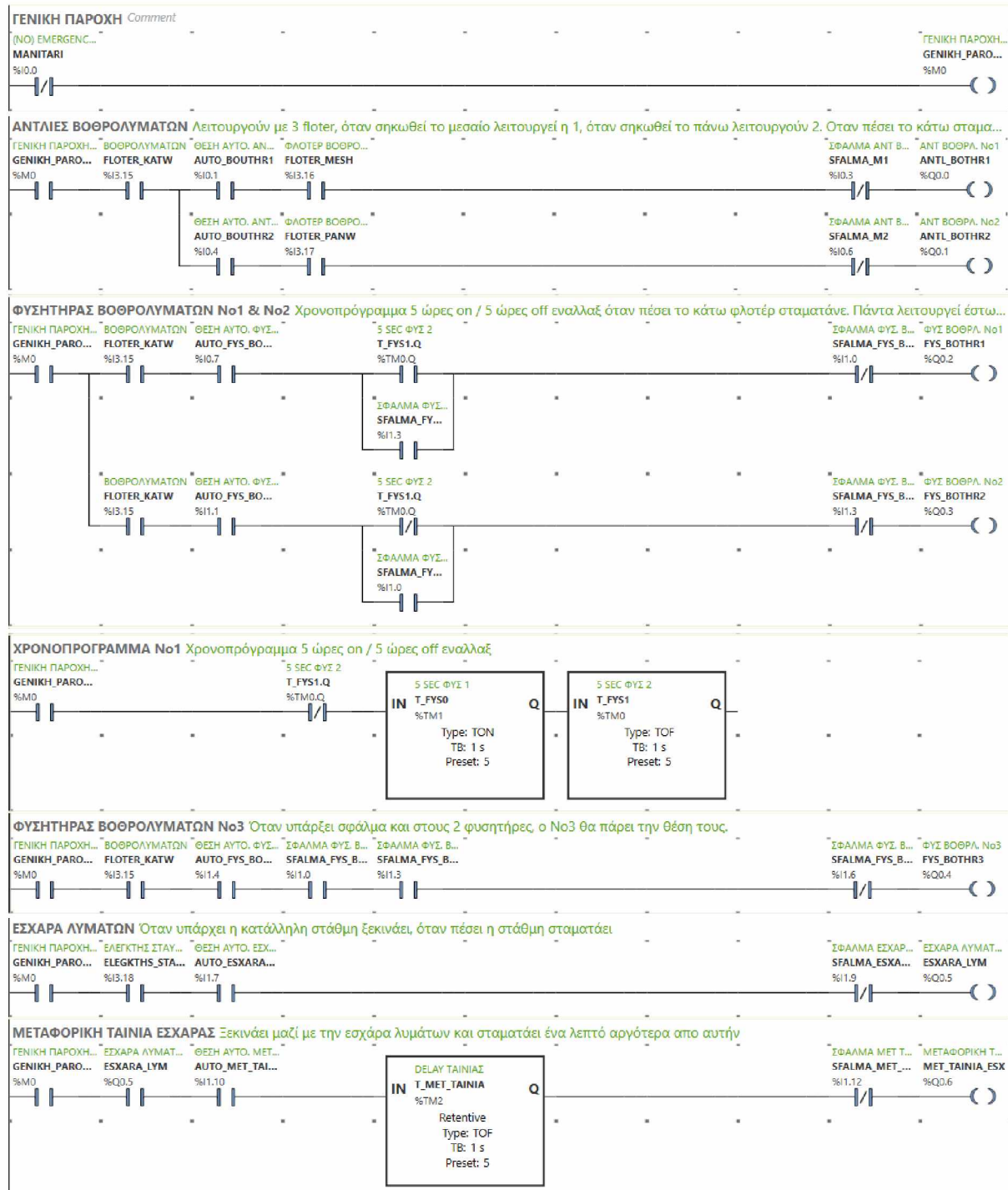
Εικόνα 21: Γραφική PID

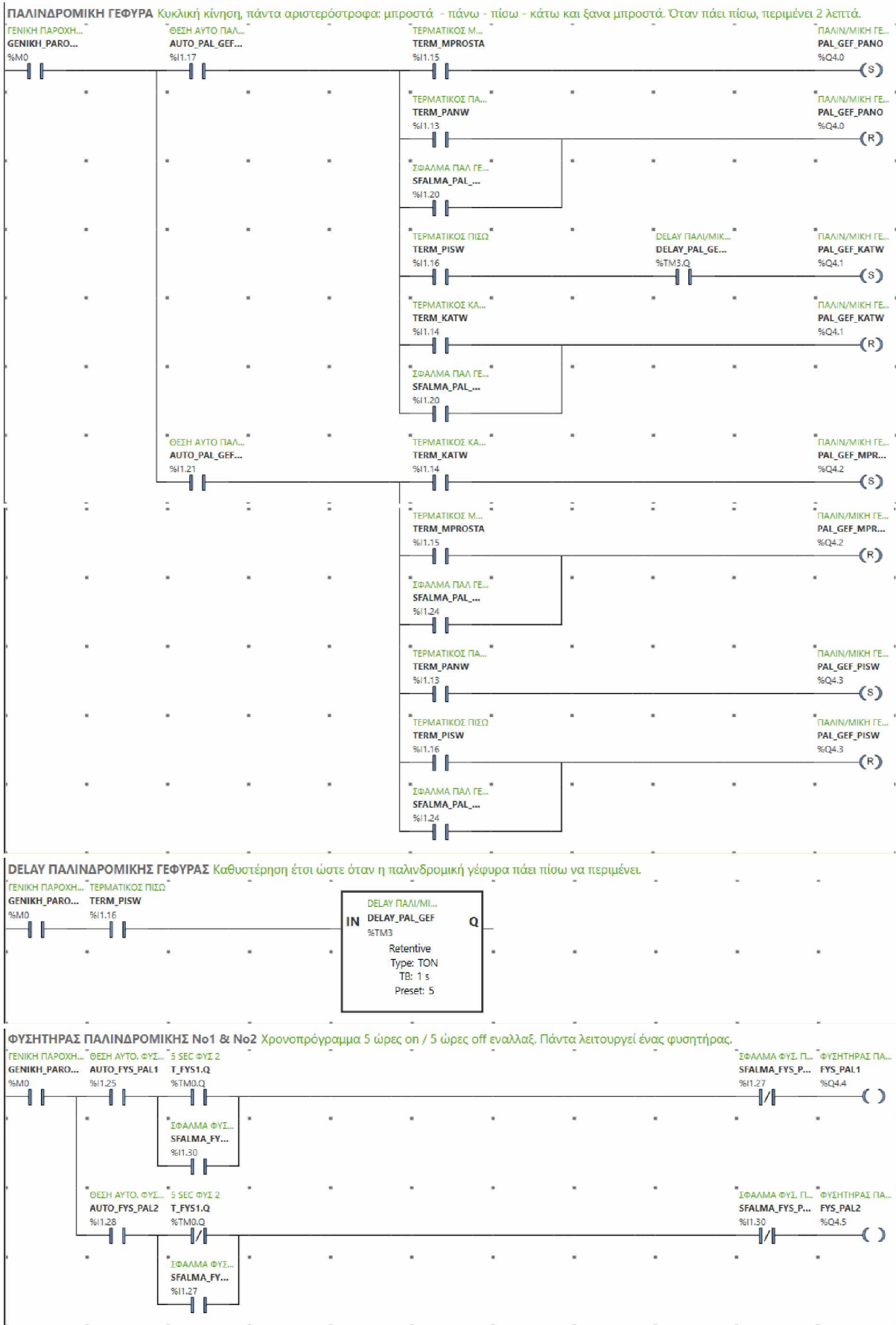
### 5.3 Ηλεκτρολογικό σχέδιο πινάκων

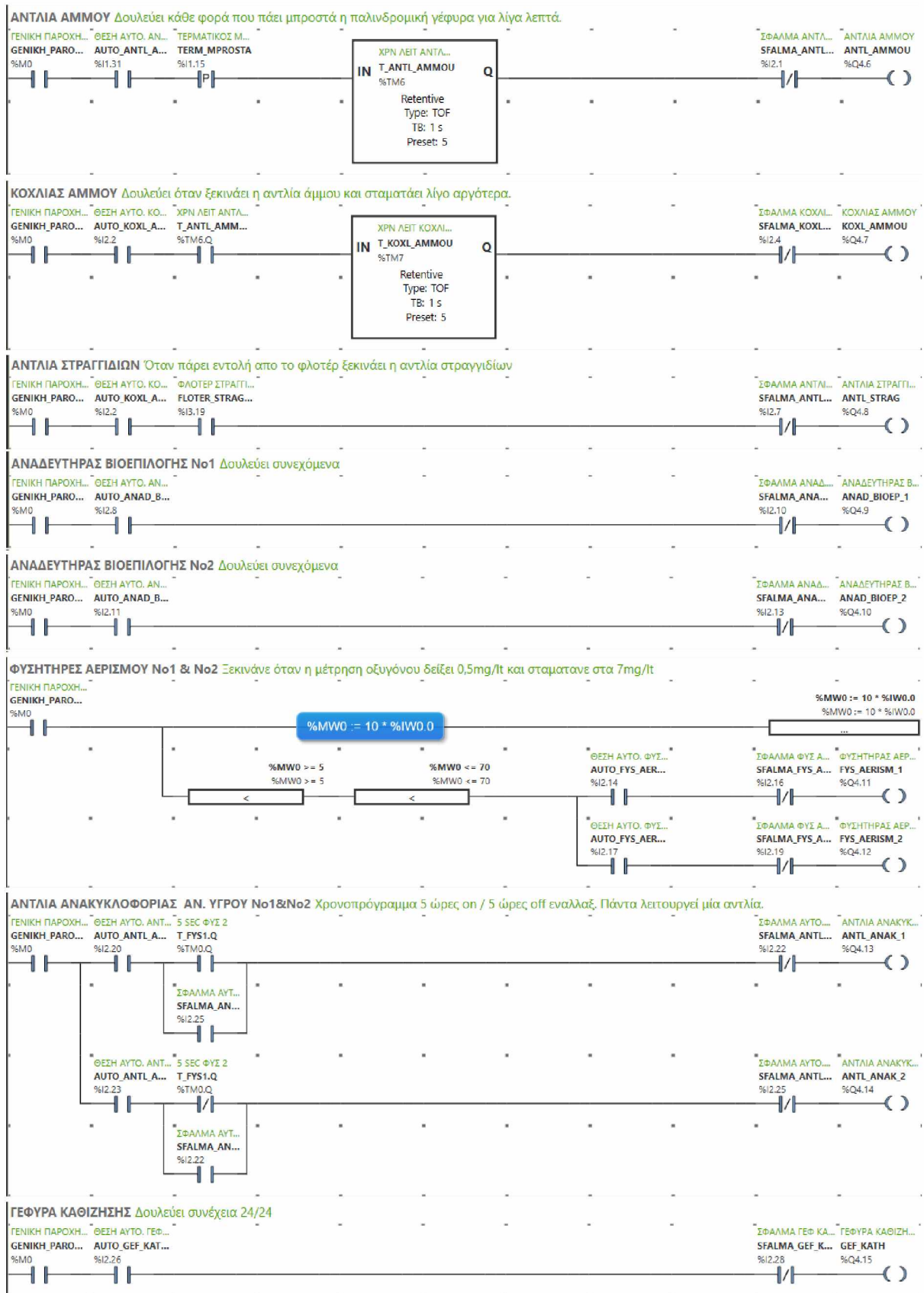
Το ηλεκτρολογικό σχέδιο ισχύος και αυτοματισμού με όλες τις λεπτομέρειες για τις συνδέσεις φλωτέρ, plc κτλ αποτελείτε απο 41 σελίδες και θα δοθεί ξεχωριστά.

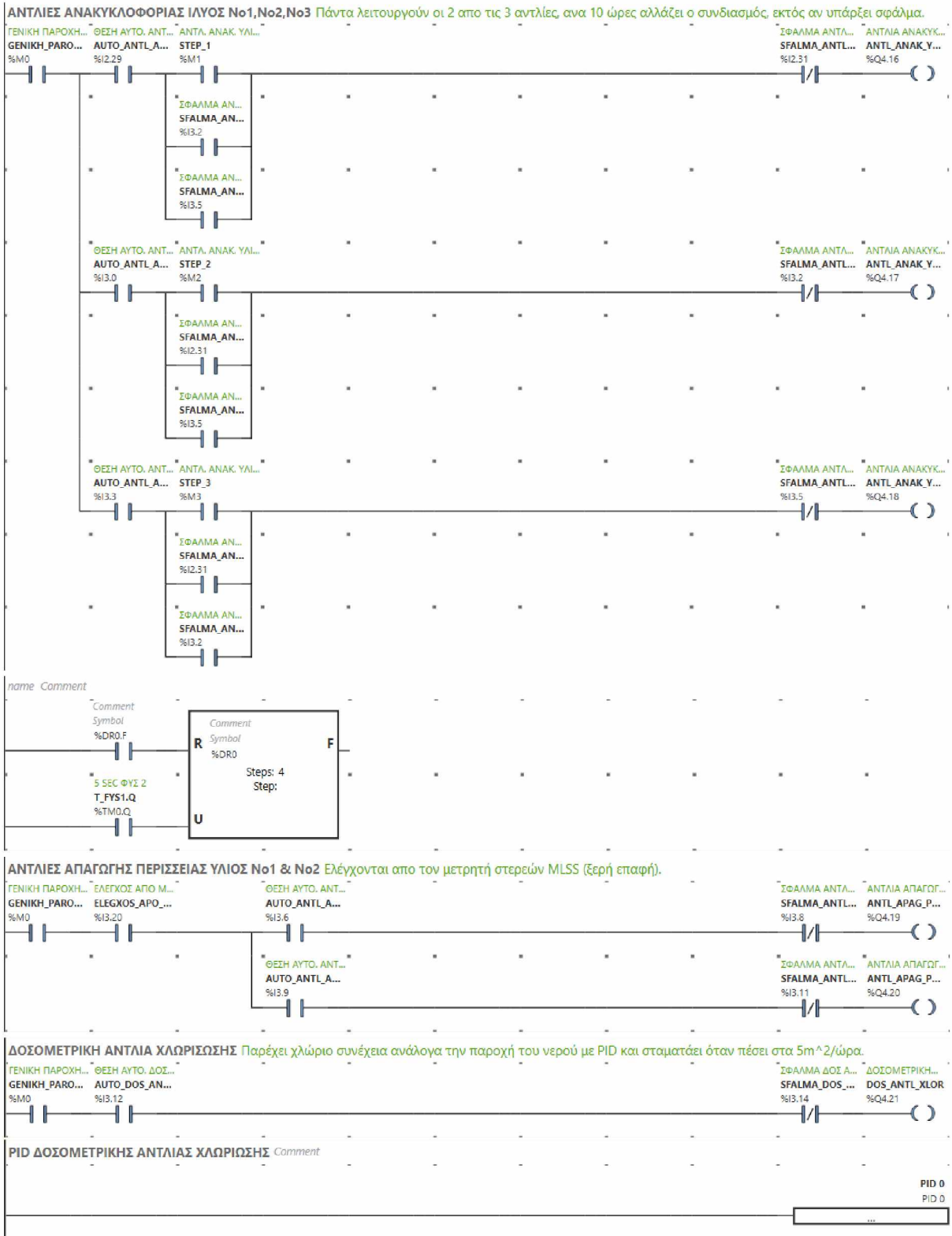
## 5.4 Κώδικας

Το πρόγραμμα δημιουργήθηκε στο λογισμικό SoMachine και σε γλώσσα Ladder. Εμπεριέχει όλες τις απαιτήσεις του αυτοματισμού για την εγκατάσταση βιολογικού καθαρισμού που έχουν περιγραφεί στην παράγραφο 5.1









## 6 Βιβλιογραφία

1. Programmable logic controllers by Petruzella Frank D.
2. Introduction to PLCs, Second Edition 2nd Edition by Jay F. Hooper
3. Technician's Guide to Programmable Controllers 6th Edition by Terry Borden, Richard A. Cox
4. Programmable Logic Controller (PLC) Tutorial, Siemens Simatic S7-1200 by Stephen Philip Tubbs
5. Biological Wastewater Treatment 3rd Edition by C. P. Leslie Grady Jr.

## 7 Σύνδεσμοι στο Διαδίκτυο

1. [www.realpars.com](http://www.realpars.com)
2. [www.plcademy.com](http://www.plcademy.com)
3. [www.schneider-electric.com](http://www.schneider-electric.com)
4. [www.siemens.com](http://www.siemens.com)
5. [www.theautomation.com](http://www.theautomation.com)
6. [www.watelectronics.com](http://www.watelectronics.com)
7. [www.ecmweb.com](http://www.ecmweb.com)
8. [www.instrumentationtools.com](http://www.instrumentationtools.com)
9. [www.crushtymks.com](http://www.crushtymks.com)
10. en.wikipedia.org
11. [http://micro-kosmos.uoa.gr/gr/magazine/ergasies\\_foititon/ettap/2010-11/h-taxi/var/SAE\\_B\\_TOMOS\\_SEL9\\_106.PDF](http://micro-kosmos.uoa.gr/gr/magazine/ergasies_foititon/ettap/2010-11/h-taxi/var/SAE_B_TOMOS_SEL9_106.PDF)

## 8 Κατάλογος πηγών εικόνων

- Εικόνα 1: wikipedia.org
- Εικόνα 2: dexiextrem.blogspot.com
- Εικόνα 3: automatas.org
- Εικόνα 4: product-help.schneider-electric.com
- Εικόνα 5: product-help.schneider-electric.com
- Εικόνα 6: realpars.com
- Εικόνα 7: mall.industry.siemens.com
- Εικόνα 8: mall.industry.siemens.com
- Εικόνα 9: mall.industry.siemens.com
- Εικόνα 10-14: realpars.com
- Εικόνα 15: plcademy.com
- Εικόνα 17: eemhguzel.wixsite.com

- Εικόνα 20: [wikimedia.org](https://www.wikimedia.org)
- Εικόνα 21: [akytec.de](https://www.akytec.de)

## 9 Ευχαριστίες

Θα ήθελα να ευχαριστήσω, τον κοΠαυλή Γρηγόριο, επιβλέπων καθηγητή της διπλωματικής εργασίας, για την άριστη συνεργασία μας και την σημαντική βοήθεια του καθ' όλη την διάρκεια αυτής της εργασίας. Επιπλέον θα ήθελα να ευχαριστήσω όλους τους καθηγητές του τμήματος καθώς και τους γονείς μου για την στήριξη τους όλα αυτά τα χρόνια.