



ΕΘΝΙΚΟ ΜΕΤΣΟΒΙΟ ΠΟΛΥΤΕΧΝΕΙΟ  
ΣΧΟΛΗ ΗΛΕΚΤΡΟΛΟΓΩΝ ΜΗΧΑΝΙΚΩΝ  
ΚΑΙ ΜΗΧΑΝΙΚΩΝ ΥΠΟΛΟΓΙΣΤΩΝ  
ΤΟΜΕΑΣ ΗΛΕΚΤΡΙΚΗΣ ΙΣΧΥΟΣ

Ανάπτυξη αυτοματισμού συστήματος προσαγωγής  
και επεξεργασίας ακαθάρτων Δήμου Πόρου

ΔΙΠΛΩΜΑΤΙΚΗ ΕΡΓΑΣΙΑ

Φίλιππος Α. Γλαρός

**Επιβλέπων:** Γεώργιος Κορρές  
Αν. Καθηγητής

Αθήνα, Ιούνιος 2012





ΕΘΝΙΚΟ ΜΕΤΣΟΒΙΟ ΠΟΛΥΤΕΧΝΕΙΟ  
ΣΧΟΛΗ ΗΛΕΚΤΡΟΛΟΓΩΝ ΜΗΧΑΝΙΚΩΝ  
ΚΑΙ ΜΗΧΑΝΙΚΩΝ ΥΠΟΛΟΓΙΣΤΩΝ  
ΤΟΜΕΑΣ ΗΛΕΚΤΡΙΚΗΣ ΙΣΧΥΟΣ

Ανάπτυξη αυτοματισμού συστήματος προσαγωγής  
και επεξεργασίας ακαθάρτων Δήμου Πόρου

ΔΙΠΛΩΜΑΤΙΚΗ ΕΡΓΑΣΙΑ

Φίλιππος Α. Γλαρός

**Επιβλέπων:** Γεώργιος Κορρές  
Αν. Καθηγητής

Εγκρίθηκε από την τριμελή εξεταστική επιτροπή την 27<sup>η</sup> Ιουνίου 2012

.....  
Γεώργιος Κορρές

Αναπληρωτής Καθηγητής

.....  
Κωνσταντίνος Βουρνάς

Καθηγητής

.....  
Πάυλος Γεωργιλάκης

Λέκτορας

Αθήνα, Ιούνιος 2012

Φίλιππος Α. Γλαρός

Διπλωματούχος Ηλεκτρολόγος Μηχανικός και Μηχανικός Υπολογιστών Ε.Μ.Π.

Copyright © Φίλιππος Α. Γλαρός, 2012

Με επιφύλαξη παντός δικαιώματος. All rights reserved.

Απαγορεύεται η αντιγραφή, αποθήκευση και διανομή της παρούσας εργασίας, εξ' ολοκλήρου ή τμήματος αυτής, για εμπορικό σκοπό. Επιτρέπεται η ανατύπωση, αποθήκευση και διανομή για σκοπό μη κερδοσκοπικό, εκπαιδευτικής ή ερευνητικής φύσης, υπό την προϋπόθεση να αναφέρεται η πηγή προέλευσης και να διατηρείται το παρόν μήνυμα. Ερωτήματα που αφορούν τη χρήση της εργασίας για κερδοσκοπικό σκοπό πρέπει να απευθύνονται προς τον συγγραφέα.

Οι απόψεις και τα συμπεράσματα που περιέχονται σε αυτό το έγγραφο εκφράζουν τον συγγραφέα και δεν πρέπει να ερμηνευθεί ότι αντιπροσωπεύουν τις επίσημες θέσεις του Εθνικού Μετσόβιου Πολυτεχνείου.

Αθήνα, Ιούνιος 2012

## Περίληψη

Αντικείμενο της παρούσας εργασίας αποτελεί η ανάπτυξη του λογισμικού ελέγχου των αντλιοστασίων ενός αποχετευτικού συστήματος και της Εγκατάστασης Επεξεργασίας Λυμάτων στην οποία αυτό αποδίδει. Η εφαρμογή αυτού έγινε στο αντίστοιχο σύστημα προσαγωγής και επεξεργασίας ακαθάρτων του Δήμου Πόρου που εξυπηρετεί τον οικισμό του Γαλατά και τη Νήσο Πόρου.

Αν και τα δύο έργα συνδέονται σε φυσικό επίπεδο, η λογική λειτουργίας τους δεν είναι συζευγμένη και για το λόγο αυτό η παρούσα εργασία θα χωρισθεί σε δύο σκέλη, με κάθε σκέλος να αφιερώνεται στο αντίστοιχο έργο.

Απώτερος σκοπός της εργασίας είναι να αποδώσει τις ανάγκες αυτοματισμού ενός πλήρους συστήματος προσαγωγής και επεξεργασίας ακαθάρτων. Δεδομένης της εξάπλωσης των συστημάτων αυτών, τόσο μέσα από πρακτικές ανάγκες και οικολογικές ευαισθησίες όσο και μέσα από την κωδικοποίηση των αναγκών αυτών στο εθνικό και κοινοτικό δίκαιο, η εργασία αποσκοπεί στο να συνδράμει στη βιβλιογραφία αυτής της εξειδικευμένης θεματολογίας. Προσβλέπει ακόμα στο να καταγράψει κάποιες καλές πρακτικές στην υλοποίηση αυτοματισμών κρίσιμων συστημάτων και να αποδώσει, στο βαθμό που είναι εφικτό, τις δυσκολίες που θα κληθεί ο ηλεκτρολόγος μηχανικός και μηχανικός υπολογιστών να αντιμετωπίσει.

Λέξεις κλειδιά: Αυτοματισμός, Αντλιοστάσιο, Προγραμματιζόμενος Λογικός Ελεγκτής (PLC), Εγκατάσταση Επεξεργασίας Λυμάτων (ΕΕΛ), Αποχετευτικό Σύστημα, 07KR51 (ABB), CP502 (ABB), Σύστημα Εποπτικού Ελέγχου και Συλλογής Δεδομένων (SCADA), FactoryLink, S7-300 (Siemens)

# Abstract

The scope of this thesis is the implementation of the control software for the pumping stations of a sewage system and for the Sewage Treatment Plant that it connects to. Its application took place in the corresponding system of sewage adduction and treatment of the municipality of Poros that serves the settlement of Galata and the Island of Poros.

Even though both systems are linked in a physical level, the logic that dictates their function is not coupled and thus this thesis will be split in two parts, with each part being dedicated to the corresponding system.

The overall objective of this thesis is to attribute the automation needs of a complete sewage adduction and treatment system. Given their prevalence, due to practical concerns and ecological sensitivities but also due to the inclusion of these concerns in state and European law, this thesis tries to add to the bibliography of this specialized subject. It also aims to register some good practices in implementing automation for critical systems and to transcribe, up to a level, the difficulties that the electrical and computer engineer will be asked to surmount.

Keywords: Automation, Pumping station, Programmable Logic Controller (PLC), Sewage Treatment Plant, Sewage System, 07KR51 (ABB), CP502 (ABB), Supervisory Control And Data Acquisition (SCADA), FactoryLink, S7-300 (Siemens)

# Περιεχόμενα

1	Εγκατάσταση Επεξεργασίας Λυμάτων	14
1.1	Αναγκαιότητα	14
1.2	Αρχές Λειτουργίας	15
1.3	Υφιστάμενη Εγκατάσταση	17
1.3.1	Τύπος Εγκατάστασης	17
1.3.1.1	Γενική Περιγραφή	18
1.3.1.2	Τυπικό Κύκλωμα Λειτουργίας Ηλεκτροκινητήρα	22
1.3.2	Αυτοματισμός	23
1.4	Προβληματική Λειτουργία	24
1.4.1	Λανθασμένη και Ελλιπής Λογική Ελέγχου	25
1.4.1.1	Αυτόματες Εσχάρες	25
1.4.1.2	Απουσία Κυκλικής Εναλλαγής	28
1.4.1.3	Αδυναμία Ρύθμισης Αναλογικών Παραμέτρων	31
1.4.2	Λανθασμένη Λήψη Μετρήσεων	33
1.4.3	Υποσταθμός	34
1.4.4	Επιπτώσεις	35
1.5	Υλοποίηση Αυτοματισμού	37
1.5.1	Άντληση Πληροφοριών	38
1.5.2	Αρχιτεκτονική SCADA	40
1.5.3	Πρόγραμμα Λογικού Ελέγχου	43
1.5.3.1	Δομή Προγράμματος Λογικού Ελέγχου	50
1.5.3.2	Κεντρικά δομικά στοιχεία προγράμματος	57
1.5.3.3	FB101 - PULSE	60
1.5.3.4	FB102 - MOTOR	63
1.5.3.5	FB103 - MOTOR_TM	67
1.5.3.6	FB104 - CYCLE	69
1.5.3.7	FB105 - MOTOR_GRP	73
1.5.3.8	Διάρθρωση Προγράμματος Υποπινάκων	76
1.5.3.9	FB6 - Υποπίνακας αερισμού	77

1.5.3.10	Διάρθρωση Κεντρικού Προγράμματος (OB1)	81
1.5.4	Κατασκευές Ηλεκτρολογικών Πινάκων	82
2	Αποχετευτικό Δίκτυο	83
2.1	Αρχές Λειτουργίας	83
2.2	Υφιστάμενο Δίκτυο	85
2.2.1	Περιγραφή Δικτύου	85
2.2.2	Υδραυλική Εγκατάσταση	88
2.2.3	Εμβαπτιζόμενες αντλίες	90
2.2.4	Ηλεκτρολογική Εγκατάσταση	92
2.2.5	Τύπος Λειτουργίας Αντλιοστασίου	95
2.2.6	Αυτοματισμός	97
2.3	Προβληματική Λειτουργία	98
2.3.1	Αστοχίες Υλικού	99
2.3.1.1	Μηχανολογικές αστοχίες	99
2.3.2	Λανθασμένη Λογική Ελέγχου	101
2.3.2.1	Κυκλική Εναλλαγή	101
2.3.2.2	Χειρισμός Μηνυμάτων	103
2.3.3	Ελλείψεις στη Λογική Ελέγχου	105
2.3.3.1	Ελλιπής Καταγραφή Λειτουργίας Αντλιών	105
2.3.3.2	Απουσία Καταγραφών Σφαλμάτων	105
2.3.3.3	Ελλιπής Διαχείριση Σφάλματος Ανάδρασης	105
2.3.3.4	Ελλιπής Διάγνωση Σφαλμάτων Σταθμημέτρου	106
2.3.3.5	Απουσία Σφάλματος Χαμηλής Παροχής Αντλίας	106
2.3.4	Επιπτώσεις	107
2.4	Υλοποίηση Αυτοματισμού	108
2.4.1	Άντληση Πληροφοριών	109
2.4.2	Πρόγραμμα Λογικού Ελέγχου	112
2.4.3	Σχολιασμός Κώδικα	114
2.4.3.1	Συμβάσεις Απεικόνισης Κώδικα	114
2.4.3.2	Αρχικοποιήσεις Μεταβλητών	116
2.4.3.3	Επιλογικοί Διακόπτες	117
2.4.3.4	Διαμόρφωση Αναλογικών Σημάτων	119
2.4.3.5	Σφάλμα Υγρασίας	120
2.4.3.6	Σφάλμα Θερμικού/Θερμίστορ	122
2.4.3.7	Σφάλμα Ανάδρασης	124
2.4.3.8	Σφάλμα Χαμηλού Ρεύματος	131



2.4.3.9	Σφάλματα Στάθμης . . . . .	132
2.4.3.10	Σφάλμα Χαμηλής Παροχής Αντλίας . . . . .	135
2.4.3.11	Εντολές Εκκινήσεως . . . . .	136
2.4.3.12	Κυκλική Εναλλαγή . . . . .	139
2.4.3.13	Μηνύματα Βλαβών . . . . .	145
2.4.3.14	Ενδεικτικές Λυχνίες . . . . .	150
2.4.3.15	Αποθήκευση Καταγραφών Λειτουργίας . . . . .	152
2.4.3.16	Καταγραφή Ωρών λειτουργίας . . . . .	155
2.4.3.17	Καταγραφή Εκκινήσεων Αντλιών . . . . .	158
2.4.3.18	Καταγραφή Σφαλμάτων . . . . .	159
	Γλωσσάρι . . . . .	163
	Ακρωνύμια . . . . .	165
	Α΄ Εκκινήτες αστέρα/τριγώνου . . . . .	166
	Β΄ Εικόνες από τα έργα . . . . .	169
	Γ΄ Κωδικοποίηση ηλεκτροκινητήρων Ε.Ε.Λ. . . . .	174
	Δ΄ Εμβαπτιζόμενες Αντλίες . . . . .	175
	Δ΄.1 Λεζάντα Κωδικοποίησης Ονομασίας . . . . .	175
	Δ΄.2 Πιστοποιητικά Δοκιμών Απόδοσης . . . . .	178

# Κατάλογος σχημάτων

1.1	Μιμικό διάγραμμα ΕΕΛ . . . . .	18
1.2	Hardware Configuration S7-300 . . . . .	19
1.3	S7-300 . . . . .	19
1.4	Γέφυρα Khafagi-Venturi . . . . .	21
1.5	FactoryLink 7.5 . . . . .	23
1.6	Αυτόματη εσχάρα . . . . .	25
1.7	FMU-862 Endress+Hauser . . . . .	26
1.8	Μέτρηση διαφορικής στάθμης . . . . .	26
1.9	Αστοχία αυτόματης εσχάρας . . . . .	27
1.10	Αεραντλίες αερισμού . . . . .	28
1.11	Αντλιοστάσιο ανακυκλοφορίας . . . . .	29
1.12	Μετρητής υπολειμματικού χλωρίου . . . . .	32
1.13	Διάγραμμα ροής και υπολειμματικού χλωρίου . . . . .	33
1.14	Φαινόμενο bulking . . . . .	35
1.15	Επικοινωνία SCADA με PLC . . . . .	42
1.16	Δομή προγράμματος . . . . .	52

1.17	Εσωτερική δομή FB105 . . . . .	53
1.18	Ιεραρχική δομή του προγράμματος . . . . .	54
1.19	Διάγραμμα εξόδου προς χρόνο του FB101 PULSE . . . . .	62
1.20	Μονάδα μέτρησης διαλυμένου οξυγόνου . . . . .	77
2.1	Οδοιπορικό κεντρικού συστήματος προσαγωγής ακαθάρτων . . . . .	87
2.2	Εμβαπτιζόμενη αντλία . . . . .	88
2.3	Κάτοψη αντλιοστασίου - βανοστασίου . . . . .	89
2.4	Τομή αντλιοστασίου - βανοστασίου . . . . .	89
2.5	Αντλία τοποθεσίας A4.2 Ρωσικό . . . . .	91
2.6	Ενδεικτική διάταξη κτιρίου ηλεκτρολογικού εξοπλισμού . . . . .	92
2.7	Πεδίο αυτοματισμού ηλεκτρολογικού πίνακα τοποθεσίας A3 Γηροκομείο . . . . .	93
2.8	Πεδίο εκκινήσεων ηλεκτρολογικού πίνακα τοποθεσίας A3 Γηροκομείο . . . . .	94
2.9	Σταθμήμετρο . . . . .	95
2.10	Λειτουργία πλωτήρων . . . . .	96
2.11	Μονάδα 07KR51 με επέκταση εξόδου X016N1 . . . . .	97
2.12	Οθόνη HMI CP502 . . . . .	97
2.13	Παράδειγμα SMS μηνυμάτων . . . . .	104
2.14	Θερμικός ηλεκτρονόμος υπερφόρτισης . . . . .	122
2.15	Βοηθητική επαφή ηλεκτρονόμου . . . . .	124
2.16	Στίβα FIFO . . . . .	152
A'.1	Ρεύμα εκκίνησης διαφόρων εκκινήτων . . . . .	167

A'.2	Κομμένος άξονας αντλίας . . . . .	167
B'.1	Γέφυρα Εξάμωσης . . . . .	169
B'.2	Δεξαμενή Καθίζησης . . . . .	170
B'.3	Κενή Δεξαμενή Καθίζησης . . . . .	170
B'.4	Δεξαμενές Αερισμού . . . . .	171
B'.5	Κενή Δεξαμενή Χλωρίωσης . . . . .	171
B'.6	Βλάβη Στάτορα Υποβρύχιας Αντλίας Λυμάτων . . . . .	172
B'.7	Τοποθέτηση Αντλίας . . . . .	172
B'.8	Διάγνωση Σφάλματος Αντλίας . . . . .	173
B'.9	Πανόραμα Νεωρίου . . . . .	173
Γ'.1	Λεζάντα ηλεκτροκινητήρων Ε.Ε.Λ. . . . .	174

# Κατάλογος πινάκων

1.1	Ομάδες ηλεκτροκινητήρων της ΕΕΛ . . . . .	29
1.2	Σήματα ανάδρασης και σφαλμάτων από τον υποσταθμό μέσης τάσης. .	34
1.3	Πίνακας ελεγχόμενων ηλεκτροκινητήρων από το PLC. . . . .	45
1.4	Ακριβής περιγραφή της λογικής λειτουργίας των ηλεκτροκινητήρων της ΕΕΛ . . . . .	48
1.5	Ψηφιακά και αναλογικά αισθητήρια της ΕΕΛ . . . . .	49
1.6	Πίνακας δομικών στοιχείων προγράμματος λογικού ελέγχου . . . . .	51
2.1	Περιγραφή εισόδων και εξόδων λογικής μονάδας ελέγχου αντλιοστασίου και επεκτάσεων αυτής. . . . .	111
2.2	Περιγραφή τμημάτων του προγράμματος. . . . .	112

# Κεφάλαιο 1

## Εγκατάσταση Επεξεργασίας Λυμάτων

### 1.1 Αναγκαιότητα

Η επεξεργασία λυμάτων αποτελεί μια σημαντική διεργασία για τον περιορισμό ή και την εξάλειψη των δυσμενών επιπτώσεων στο περιβάλλον από την ανεξέλεγκτη και ακατέργαστη διάθεση τους σε διάφορους αποδέκτες. Η αναγκαιότητά της προκύπτει από την έκταση της περιβαλλοντικής υποβάθμισης στην περιφέρεια των αστικών, αγροτικών και βιομηχανικών κέντρων και κωδικοποιείται τόσο στις οδηγίες της Ευρωπαϊκής Ένωσης όσο και στο Εθνικό Δίκαιο.

Η ουσιαστική λειτουργία της Εγκατάστασης Επεξεργασίας Λυμάτων (ΕΕΛ) είναι η επιτάχυνση των φυσικών διεργασιών με τις οποίες επιτυγχάνεται η αφαίρεση των οργανικών ουσιών από τα λύματα.

Με τον όρο λύματα αναφερόμαστε είτε στα υγρά απόβλητα από τις κατοικίες (οικιακά λύματα) είτε στα υγρά απόβλητα από τις συνήθεις δραστηριότητες μια πόλης (αστικά λύματα). Καθώς στην παρούσα εργασία δεν ερχόμαστε αντιμέτωποι με βιομηχανικά απόβλητα και δεδομένου ότι τα οικιακά και αστικά λύματα παρουσιάζουν μικρές διαφοροποιήσεις μεταξύ τους, στο εξής θα αναφερόμαστε σε αυτά απλώς ως «λύματα».

## 1.2 Αρχές Λειτουργίας

Τα λύματα έχουν δύο βασικές ομάδες παραμέτρων, τις ποσοτικές και τις ποιοτικές. Οι ποσοτικές αναφέρονται τόσο στον ολικό όγκο της παροχής όσο και στη στιγμιαία διακύμανσή της. Οι ποιοτικές παράμετροι αποτελούν ενδείξεις για το ρυπαντικό δυναμικό που έχουν τα λύματα.

Η επεξεργασία λυμάτων διακρίνεται ως προς την ποιότητα της εκροής και χωρίζεται σε τρεις βαθμίδες. Ανάλογα με το βαθμό επεξεργασίας των λυμάτων και τις ενέργειες που έλαβαν χώρα προκειμένου τα λύματα να καταστούν κατάλληλα για διάθεση, η εγκατάσταση χαρακτηρίζεται ως πρωτοβάθμια έως και τριτοβάθμια επεξεργασία. Αξίζει να σημειώσουμε ότι οι βαθμίδες αυτές ακολουθούν μια συναρτησιακή (modular) λογική η οποία τους επιτρέπει να συνδέονται διαδοχικά, με την έξοδο της μια βαθμίδας να αποτελεί την είσοδο της αμέσως επόμενης στην ιεραρχία. Έτσι μια δευτεροβάθμια ΕΕΛ εμπεριέχει και την πρώτη βαθμίδα επεξεργασίας.

Κατά την πρωτοβάθμια επεξεργασία τα λύματα διέρχονται από εσχάρες όπου κατακρατούνται διάφορα ευμεγέθη στερεά και στη συνέχεια ακολουθεί ο αμμοσυλλέκτης όπου αφαιρείται η άμμος. Η πρωτοβάθμια καθίζηση αφαιρεί τα καθιζάνοντα στερεά υπό μορφή πρωτοβάθμιας ιλύος και το υπερκείμενο υγρό αποτελεί την πρωτοβάθμια επεξεργασμένη εκροή. Η εκροή αυτή συνήθως δεν είναι κατάλληλη για διάθεση και έτσι ακολουθεί η δευτεροβάθμια επεξεργασία.

Στα λύματα δευτεροβάθμιας επεξεργασίας έχει επιτευχθεί σημαντική αφαίρεση οργανικού υλικού (80-85%). Η αφαίρεση αυτή επιτυγχάνεται με τη βοήθεια μικροοργανισμών σε διεργασίες αιωρούμενης βιομάζας (ενεργός ιλύς) ή προσκολλημένης βιομάζας (αντιδραστήρες με πληρωτικό υλικό ή μέσα επαφής). Κατά τη δευτεροβάθμια επεξεργασία προκύπτει βιολογική λάσπη για την οποία απαιτείται (όπως συμβαίνει και στην περίπτωση της πρωτοβάθμιας λάσπης) κατάλληλη επεξεργασία και διάθεση. Η δευτεροβάθμια επεξεργασία συμπληρώνεται με την απολύμανση. Η απολύμανση γίνεται σε αρκετές περιπτώσεις με χλώριο. Όταν το υπολειπόμενο χλώριο δημιουργεί προβλήματα (ψάρια, υδρόβια ζωή, βλάστηση) ακολουθεί αποχλωρίωση πριν από την τελική διάθεση. Σε μερικές περιπτώσεις πάντως η απολύμανση γίνεται χωρίς τη χρησιμοποίηση χλωρίου (π.χ. με όζον ή υπεριώδη ακτινοβολία). Η αφαίρεση θρεπτικών συστατικών (αζώτου και φωσφόρου) απαιτεί εμπλοκή επιπλέον διεργασιών ή σταδίων στη δευτεροβάθμια επεξεργασία, ή μπορεί να γίνεται σε περαιτέρω στάδια επεξεργασίας. Για την καλύτερη αφαίρεση των αιωρούμενων στερεών γίνεται, σε μερικές περιπτώ-

σεις, διύλιση των δευτεροβάθμια επεξεργασμένων λυμάτων.

Η τριτοβάθμια επεξεργασία για αφαίρεση βαρέων μετάλλων και τοξικών ή άλλων συστατικών είναι επιθυμητή συνήθως όταν η συνιστώσα των υγρών βιομηχανικών αποβλήτων που περιέχουν τα αστικά λύματα είναι αισθητή και στόχος είναι η επαναχρησιμοποίηση των λυμάτων (π.χ. στη βιομηχανία, για άρδευση κ.λ.π.). Στην τριτοβάθμια επεξεργασία μπορεί να εμπλακούν διεργασίες κροκίδωσης - ιζηματοποίησης και διύλισης ή διεργασίες προσρόφησης σε ενεργό άνθρακα ή ακόμη και διεργασίες με μεμβράνες.



## 1.3 Υφιστάμενη Εγκατάσταση

### 1.3.1 Τύπος Εγκατάστασης

Η ΕΕΛ της Νήσου Πόρου κατασκευάστηκε το 2000 και τέθηκε για σε λειτουργία το 2007.

Η εγκατάσταση αποδίδει εκροή δευτεροβάθμιας επεξεργασίας. Ο τύπος του βιολογικού αντιδραστήρα που κάνει χρήση είναι αυτός της ενεργού ιλύος πλήρους ανάμιξης με ανοξικό επιλογέα. Κατά την πρωτοβάθμια επεξεργασία απουσιάζει η δεξαμενή καθίζησης και η απολύμανση της εκροής επιτυγχάνεται με χρήση χλωρίου, άνευ αποχλωριωτή. Τέλος η εκροή της εγκατάστασης οδηγείται βαρυτικά σε φρεάτιο φόρτισης στην παρακείμενη ακτή από όπου διαχέεται στη θάλασσα μέσω υποθαλάσσιου αγωγού μήκους 200m.

Καθώς η εξυπηρετούμενη περιοχή έχει έντονη τουριστική δραστηριότητα, παρουσιάζεται μεγάλη διακύμανση του πληθυσμού. Για τον λόγο αυτό η Ε.Ε.Λ. κατασκευάστηκε με δύο συνολικά γραμμές βιολογικής επεξεργασίας, αποσκοπώντας κατά τους χειμερινούς μήνες να λειτουργεί η μία εξ αυτών, ενώ κατά το θέρος να λειτουργούν και οι δύο ταυτόχρονα.

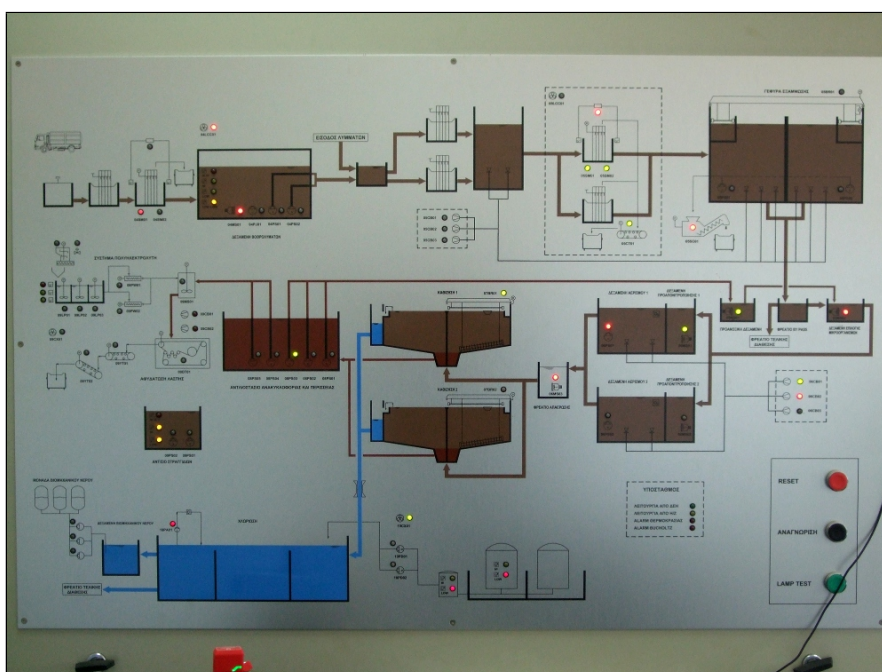
Πέραν τούτου, η εγκατάσταση κατασκευάστηκε με την πρόνοια μελλοντικών επεκτάσεων για κάλυψη αυξημένων παροχών που θα προκύψουν από την δημογραφική μεγέθυνση των εξυπηρετούμενων περιοχών. Ο σχεδιασμός χωρίζει την ανάπτυξη αυτή σε δύο φάσεις, Α' και Β'. Κατά την εκπόνηση της παρούσας εργασίας έχει υλοποιηθεί η Α' φάση και δεν έχει προκύψει ανάγκη για υλοποίηση της Β' φάσης.

Στην Α' φάση η εγκατάσταση έχει τη δυνατότητα να εξυπηρετήσει 7.500 κατοίκους κατά τη χειμερινή περίοδο και 25.000 κατοίκους κατά τη θερινή. Κατά τη Β' φάση, με την προσθήκη μιας επιπλέον γραμμής βιολογικής επεξεργασίας, η μέγιστη δυναμικότητα της εγκατάστασης επεκτείνεται στους 35.000 κατοίκους. Επιπλέον έχει σχεδιαστεί να δέχεται 200m<sup>3</sup> βοθρολυμάτων ημερησίως.

### 1.3.1.1 Γενική Περιγραφή

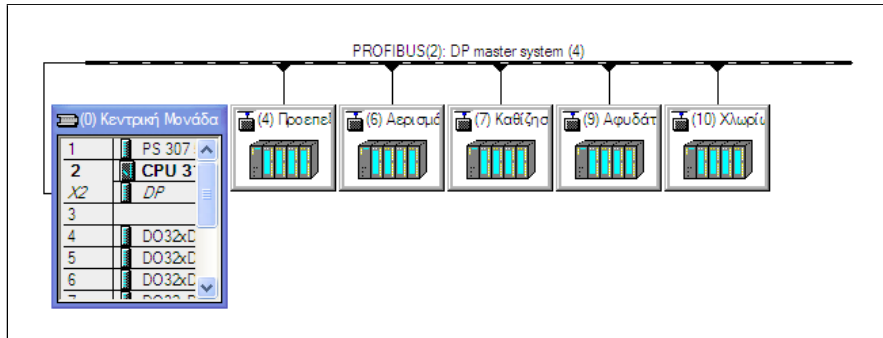
Η ΕΕΛ διαθέτει συνολικά 56 ηλεκτροκινητήρες, 11 πλωτήρες και 6 αναλογικά αισθητήρια. Ο έλεγχος των παραπάνω στοιχείων γίνεται από ένα κεντρικό σύστημα ελέγχου με καταναμημένες εισόδους και εξόδους κατά μήκος της εγκατάστασης.

Στον κεντρικό πίνακα που βρίσκεται τοποθετημένος εντός του κτιρίου διοικήσεως, στεγάζεται το Programmable Logic Controller (PLC) S7-300 της Siemens και στο μπροστινό τμήμα του πίνακα έχει εγκατασταθεί το μιμικό διάγραμμα της εγκατάστασης. Το μιμικό διάγραμμα παρέχει ενδείξεις λειτουργίας και σφάλματος για όλα τα επιμέρους συστήματα της εγκατάστασης μέσω ενδεικτών λυχνιών δύο χρωμάτων (πράσινου και κόκκινου) ή και μονοχρωματικούς, όπου αυτό κρίνεται επαρκές.



Σχήμα 1.1: Το μιμικό διάγραμμα της ΕΕΛ που βρίσκεται τοποθετημένο στο μπροστινό τμήμα του κεντρικού ηλεκτρολογικού πίνακα.

Το PLC εκτελεί όλο το λογικό έλεγχο της εγκατάστασης. Για την επικοινωνία του με τους υποπίνακες γίνεται χρήση του πρωτοκόλλου Profibus DP. Βάσει του πρωτοκόλλου, κάθε υποπίνακας διαθέτει μια μονάδα ET 200M. Το καλώδιο επικοινωνίας που ξεκινάει από το κεντρικό PLC συνδέεται σειριακά με κάθε μια τέτοια μονάδα και τερματίζει στην τελευταία εξ αυτών.



Σχήμα 1.2: Το Hardware Configuration της Ε.Ε.Λ.

Τόσο το PLC όσο και οι μονάδες ET 200M είναι συνδεδεμένες σε ένα rack με μια σειρά από υπομονάδες εισόδου και εξόδου. Οι υπομονάδες αυτές διαβάζουν τα σήματα που απαιτούνται για τη λήψη αποφάσεων από την κεντρική μονάδα και ενεργοποιούν στις εξόδους αυτών τους κατάλληλους ηλεκτρομηχανικούς διακόπτες.



Σχήμα 1.3: Το PLC S7-300 της Siemens που στεγάζεται στον κεντρικό ηλεκτρολογικό πίνακα εντός του κτιρίου διοίκησης.

Κάθε υποπίνακας είναι επιφορτισμένος με ένα κομμάτι της εγκατάστασης και εκτός από τη μονάδα επικοινωνίας και τις υπομονάδες εισόδου και εξόδου, διαθέτει τους απαιτούμενους ηλεκτρομηχανικούς διακόπτες, θερμομαγνητικούς διακόπτες για προστασία των ηλεκτροκινητήρων, κεντρικούς διακόπτες, όργανα ενδείξεων, επιλογικούς διακόπτες λειτουργίας και πλήκτρα χειροκίνητων χειρισμών. Επιγραμματικά οι υπο-

πίνακες έχουν ως εξής:

1. Υποπίνακας κτιρίου προεπεξεργασίας λυμάτων

Ελέγχει τόσο το κτίριο προεπεξεργασίας λυμάτων πόλης όσο και το κτίριο προεπεξεργασίας βοθρολυμάτων καθώς επίσης και τη βαθμίδα εξάμμωσης.

Ο υποπίνακας στο κτίριο προεπεξεργασίας βοθρολυμάτων ελέγχει την αυτόματη εσχάρα, τον αναδευτήρα της δεξαμενής, την αεραντλία flow-jet της δεξαμενής καθώς και τις δύο αντλίες βοθρολυμάτων. Λαμβάνει εισόδους από τους τέσσερις πλωτήρες στάθμης που βρίσκονται εντός της δεξαμενής.

Στο κτίριο προεπεξεργασίας λυμάτων πόλης, ελέγχει την αυτόματη εσχάρα και την κατάντι κυλιόμενη ταινία.

Στη βαθμίδα εξάμμωσης ελέγχει τις τρεις αεραντλίες, την γέφυρα εξάμμωσης, τις δύο αντλίες άμμου και τον διαχωριστή άμμου. Τέλος ελέγχει τους δύο αναδευτήρες που βρίσκονται εγκατεστημένοι στη δεξαμενή επιλογής μικροοργανισμών και στην προανοξική δεξαμενή έκαστος.

2. Υποπίνακας κτιρίου αερισμού.

Ελέγχει τις τρεις αεραντλίες των δεξαμενών οξυγόνωσης, τις δύο αντλίες ανακυκλοφορίας μεταξύ των δεξαμενών αερισμού και απονιτροποίησης, τους δύο αναδευτήρες των δεξαμενών απονιτροποίησης και τον αναδευτήρα της δεξαμενής απαέρωσης. Λαμβάνει εισόδους από τα αναλογικά σήματα των δύο οργάνων μέτρησης οξυγόνου που είναι εγκατεστημένα, από ένα σε κάθε δεξαμενή αερισμού.

3. Υποπίνακας αντλιοστασίου ανακυκλοφορίας

Ελέγχει τις τρεις αντλίες ανακυκλοφορίας, τις δύο αντλίες περίσσειας ιλύος και τις δύο περιστροφικές γέφυρες των δεξαμενών καθίζησης.

4. Υποπίνακας κτιρίου αφυδάτωσης ιλύος

Ελέγχει τη φιλτρόπρεσσα ιλύος, τη βάνα του πολυηλεκτρολύτη, το δοσομετρητή του πολυηλεκτρολύτη, τους τρεις αναδευτήρες της δεξαμενής του πολυηλεκτρολύτη, τις δύο αντλίες του πολυηλεκτρολύτη, τον αναδευτήρα πολυηλεκτρολύτη προ φιλτρόπρεσσας, τους δύο πρεσοστάτες των αεροσυμπιεστών, τις δύο μεταφορικές ταινίες της αφυδατωμένης ιλύος, τον απορροφητήρα του κτιρίου και τις δύο αντλίες του αντλιοστασίου στραγγιδίων. Λαμβάνει εισόδους από τα τρία φλοτέρ της δεξαμενής στραγγιδίων.

##### 5. Υποπίνακας κτιρίου χλωρίωσης

Ελέγχει τις δύο δοσομετρικές αντλίες υποχλωριώδους νατρίου, τη δειγματοληπτική αντλία υπολειμματικού χλωρίου και τις αντλίες του συστήματος πυρόσβεσης. Λαμβάνει εισόδους από τα φλοτέρ των δεξαμενών του χλωρίου και επίσης διαβάζει τα αναλογικά σήματα της *disprventuri* γέφυρας Khafagi-Venturi και του οργάνου ελέγχου υπολειμματικού χλωρίου.



Σχήμα 1.4: Η γέφυρα Khafagi-Venturi της δεξαμενής χλωρίωσης.

### 1.3.1.2 Τυπικό Κύκλωμα Λειτουργίας Ηλεκτροκινητήρα

Η τυπική περίπτωση ηλεκτροκινητήρα της εγκατάστασης είναι αυτή ενός τριφασικού μοτέρ, απ' ευθείας εκκίνησης. Ο ηλεκτροκινητήρας διαθέτει έναν επιλογικό διακόπτη τριών θέσεων που αντιστοιχούν στις λειτουργίες «Χειροκίνητο», «Εκτός Λειτουργίας» και «Αυτόματο», όπως αυτές απαντώνται κατά την περιστροφή του διακόπτη από την αριστερά τερματική θέση προς τα δεξιά.

Κατά τη χειροκίνητη λειτουργία ο επιτόπου χειριστής μπορεί τόσο να εκκινήσει όσο και να διακόψει τη λειτουργία του ηλεκτροκινητήρα μέσω των δύο αντίστοιχων push-buttons. Τα δύο πλήκτρα χειροκίνητου χειρισμού, χρώματος πράσινου και κόκκινου, διαθέτουν στο πίσω μέρος αυτών ενδεικτική λυχνία. Η πράσινη λυχνία είναι ενδεικτική της λειτουργίας ενώ η κόκκινη επισημαίνει σφάλμα ρεύματος, όπως αυτό παρουσιάζεται στο θερμομαγνητικό διακόπτη προστασίας.

Κατά την αυτόματη λειτουργία ο έλεγχος του ηλεκτροκινητήρα γίνεται από το PLC, μέσω της αντίστοιχης ψηφιακής εξόδου του.

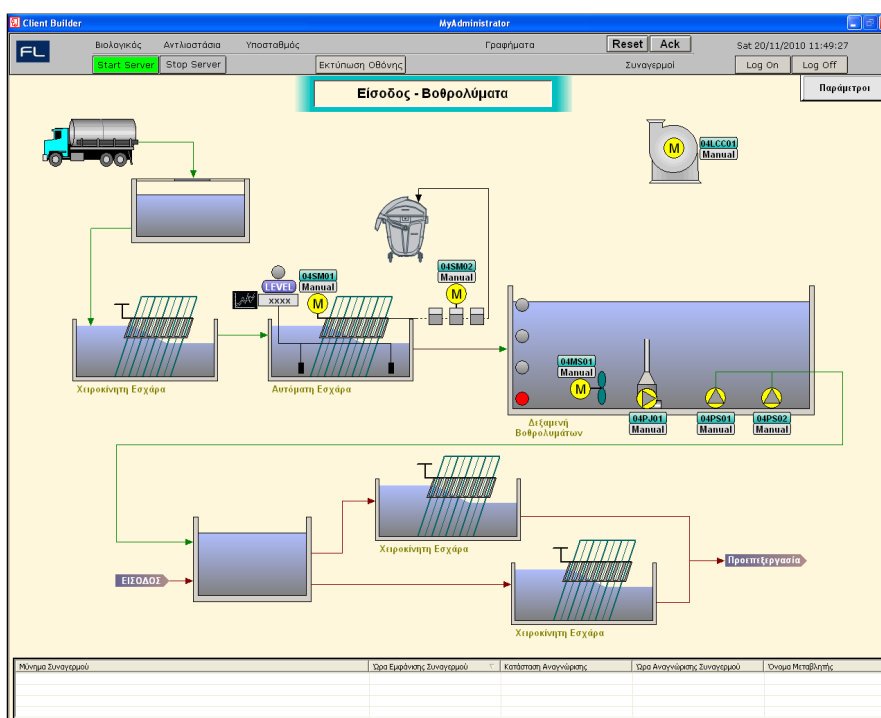
Το κύκλωμα επιστρέφει τρία ψηφιακά σήματα στο PLC, ένα της ανάδρασης, η οποία επιστρέφει μέσω βοηθητικής επαφής του ηλεκτρονόμου ισχύος, ένα του θερμικού σφάλματος, μέσω του θερμομαγνητικού και ένα του επιλογικού διακόπτη από τον οποίο λαμβάνει υψηλό επίπεδο τάσης όταν αυτός είναι στην θέση Αυτόματης λειτουργίας.

Η βασική αρχή λειτουργίας του παραπάνω κυκλώματος είναι ότι κατά την αυτόματη λειτουργία αποκλειστικό έλεγχο του ηλεκτροκινητήρα έχει το PLC και το λογικό πρόγραμμα αυτού, ενώ κατά τη χειροκίνητη λειτουργία αποκλειστικό έλεγχο έχει ο επιτόπου χειριστής. Κατά τη λειτουργία υπάρχει επισήμανση τόσο στον πίνακα μέσω της πράσινης ενδεικτικής λυχνίας όσο και στο PLC μέσω της εισόδου ανάδρασης. Ομοίως και το θερμικό σφάλμα παρουσιάζεται τόσο στον ηλεκτρολογικό πίνακα όσο και στο PLC.

Να σημειώσουμε ότι στην εγκατάσταση απαντάμε συνολικά τριών ειδών εκκινητές, απ' ευθείας, αστέρα-τριγώνου και μέσω ομαλού εκκινητή, ανάλογα με το εξυπηρετούμενο φορτίο. Σε κάθε περίπτωση η βασική λειτουργία που περιγράψαμε δεν αλλάζει παρά μόνο η συνδεσμολογία του ίδιου του εκκινητή.

### 1.3.2 Αυτοματισμός

Ο λογικός έλεγχος της ΕΕΛ διεξάγεται αποκλειστικά από τη μονάδα PLC S7-300 που βρίσκεται εγκατεστημένη στον κεντρικό πίνακα. Η εν λόγω μονάδα επικοινωνεί με το σύστημα SCADA FactoryLink 7.5, που βρίσκεται εγκατεστημένο σε υπολογιστή πλησίον του πίνακα, μέσω πρωτοκόλλου MPI.



Σχήμα 1.5: Η οθόνη του SCADA που απεικονίζει τη μονάδα εισόδου και επεξεργασίας βοθρολυμάτων.

Το σύστημα SCADA παρέχει με τη σειρά του μια αναπαράσταση της εγκατάστασης, ενδείξεις για τη λειτουργία όλων των στοιχείων και επιτρέπει στο χειριστή να εκτελέσει μια σειρά από ενέργειες. Συγκεκριμένα ο χειριστής του μπορεί να δώσει εντολή εκκίνησης σε ένα ηλεκτροκινητήρα, να διακόψει τη λειτουργία αυτού καθώς επίσης και να παραμετροποιήσει τον τρόπο λειτουργίας συγκεκριμένων ηλεκτροκινητήρων, είτε με χρήση χρονοπρογράμματος, είτε με άλλες συνθήκες λειτουργίας. Πρέπει να τονίσουμε ότι το πρόγραμμα του SCADA δεν επιτελεί κανένα λογικό έλεγχο στα επί μέρους τμήματα της εγκατάστασης.

## 1.4 Προβληματική Λειτουργία

Η λειτουργία της ΕΕΛ αντιμετωπίζει μια σειρά προβλημάτων που ποικίλλουν στη φύση τους και στη γενεσιουργό τους αιτία. Στο παρόν τμήμα της εργασίας εμείς θα εξετάσουμε σύντομα τα προβλήματα του αυτοματισμού, καθώς αυτά είναι που κληθήκαμε να αντιμετωπίσουμε.

Κατά τη διάρκεια της παραμονής του συγγραφέα στο έργο, εκπονήθηκε μελέτη βελτίωσης της λειτουργίας της ΕΕΛ προκειμένου να καλύψει τις δομικές ανεπάρκειες της εγκατάστασης η οποία όμως δεν μπορεί να επισυναφθεί στην παρούσα εργασία.



## 1.4.1 Λανθασμένη και Ελλιπής Λογική Ελέγχου

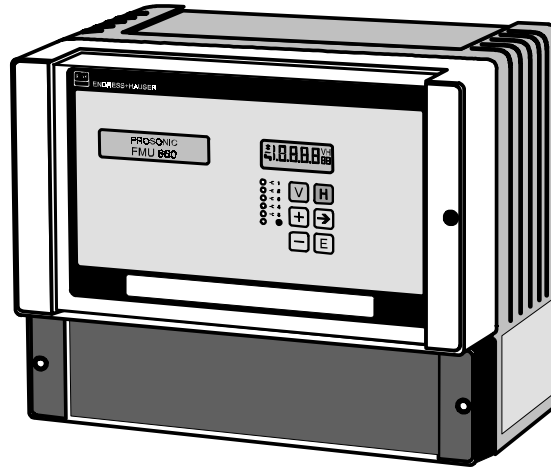
### 1.4.1.1 Αυτόματες Εσχάρες



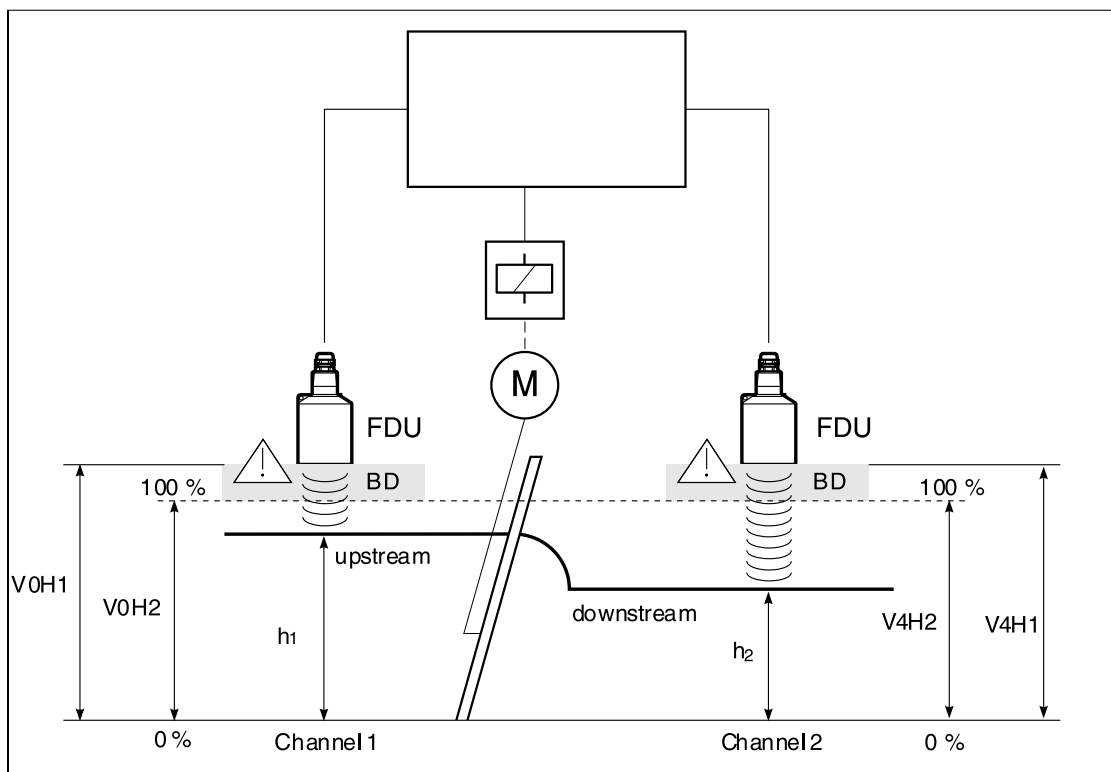
Σχήμα 1.6: Αυτόματη εσχάρα με την κυλιόμενη ταινία αυτής.

Στις δύο αυτόματες εσχάρες που είναι τοποθετημένες στη μονάδα βοθρολυμάτων και στη μονάδα εσχάρωσης, βρίσκονται παράπλευρα τοποθετημένες από μια μονάδα μέτρησης της στάθμης του καναλιού. Η κάθε μια εξ αυτών των μονάδων διαθέτει δύο αισθητήρια υπέρηχων τοποθετημένα στο κανάλι, ανάντι και κατάντι της κάθε αυτόματης εσχάρας. Η λογική λειτουργίας που θα πρέπει να διέπει μια τέτοια εγκατάσταση είναι η εξής: Καθώς τα λύματα διέρχονται μέσα από την εσχάρα, αυτή κατακρατεί τα ευμεγέθη στερεά. Όσο αυτά συσσωρεύονται, τόσο πιο δυσχερής είναι η διέλευση των λυμάτων από την εσχάρα. Αποτέλεσμα είναι η στάθμη των λυμάτων εντός του καναλιού πρό της εσχάρας να ανεβαίνει σε σχέση με αυτή μετά την εσχάρα. Τα αισθητήρια των υπέρηχων που μετρούν τις αντίστοιχες στάθμες μεταδίδουν τις μετρήσεις τους στην παράπλευρη μονάδα, κατασκευής Endress+Hauser, τύπου FMU-862. Μόλις η διαφορά στάθμης υπερβεί ένα ορισμένο όριο τότε η μονάδα κλείνει τον αντίστοιχο ηλεκτρονόμο στην έξοδό της. Το σήμα που περνάει μέσα από τον κλειστό πλέον ηλεκτρονόμο διαβάζεται στην είσοδο του PLC. Το PLC τότε δίνει εντολή για λειτουργία της αυτόματης εσχάρας. Κατά τη λειτουργία της η εσχάρα αφαιρεί τα συσσωρευμένα ογκώδη στερεά από τα λύματα και τα αποθέτει σε μια κυλιόμενη ταινία. Η εντολή παραμένει μέχρις ότου η μονάδα FMU-862 σταματήσει να σηματοδοτεί διαφορά στάθμης. Παράλληλα

δίνει εντολή εκκίνησης και στην κυλιόμενη ταινία που απομακρύνει τα εσχαρίσματα. Αυτός ο τρόπος λειτουργίας εξασφαλίζει ότι η αυτόματη εσχάρα και η κυλιόμενη ταινία θα λειτουργούν μόνον όταν είναι αναγκαίο, μειώνοντας έτσι τις μηχανικές φθορές αυτών.



Σχήμα 1.7: Ενισχυτής αισθητηρίων υπέρηχων, τύπου FMU-86X, κατασκευής Endress+Hauser.



Σχήμα 1.8: Η προτεινόμενη από τον κατασκευαστή εγκατάσταση για μέτρηση διαφορικής στάθμης.

Σε αντίθεση με τον παραπάνω τρόπο λειτουργίας που περιγράψαμε οι αυτόματες εσχάρες λειτουργούν με χρονοπρόγραμμα. Το αποτέλεσμα ήταν η πρόωρη αστοχία και των δύο εσχάρων καθώς επίσης και της μιας εκ των δύο κυλιόμενων ταινιών. Το πρόβλημα εστιάστηκε στη μηχανική καταπόνηση των ρουλεμάν και ράουλών τους. Η εσχάρα των βοθρολυμάτων παραμένει έως και σήμερα εκτός λειτουργίας.



Σχήμα 1.9: Η αυτόματη εσχάρα της φωτογραφίας έχει χάσει μια πλειάδα από τα ράουλα αυτής με αποτέλεσμα να αδυνατεί να λειτουργήσει.

#### 1.4.1.2 Απουσία Κυκλικής Εναλλαγής

Η ΕΕΛ διαθέτει συνολικά επτά (7) ομάδες ηλεκτροκινητήρων οι οποίες απαρτίζονται από μεγαλύτερο πλήθος ηλεκτροκινητήρων από αυτό που απαιτείται σε μια δεδομένη στιγμή για τη λειτουργία της εγκατάστασης. Η σκοπιμότητα των επιπλέον ηλεκτροκινητήρων είναι διπλή. Αφενός εξασφαλίζει εφεδρείες έκτακτης ανάγκης για κρίσιμα τμήματα της εγκατάστασης που δεν επιτρέπεται να παραμείνουν εκτός λειτουργίας για παρατεταμένα χρονικά διαστήματα και αφετέρου περιορίζει τη μηχανική καταπόνηση και επιτρέπει την εύκολη συντήρηση του εξοπλισμού.



Σχήμα 1.10: Οι τρεις αεραντλίες αερισμού και το κολλεκτέρ στο οποίο αποδίδουν.

Αξίζει να σημειώσουμε ότι ένα βασικό χαρακτηριστικό των ηλεκτροκινητήρων, που ορίζεται από τον κατασκευαστή, είναι οι μέγιστες εκκινήσεις ανά ώρα. Ο περιορισμός αυτός οφείλεται στα αυξημένα ρεύματα κατά την εκκίνηση του ηλεκτροκινητήρα, τα οποία με την σειρά τους οδηγούν σε αυξημένες θερμοκρασίες και εν τέλει σε θερμική καταπόνηση της μόνωσης των τυλιγμάτων του στάτη. Η πιο συχνή αστοχία που παρουσιάζεται σε ηλεκτροκινητήρα ο οποίος λειτουργεί σε θερμοκρασίες υψηλότερες από τις προτεινόμενες είναι η φθορά της μόνωσης των τυλιγμάτων του στάτη και η αναπόφευκτη βραχυκύκλωση αυτών. Για το λόγο αυτό όλοι οι ηλεκτροκινητήρες πάνω από ένα μέγεθος διαθέτουν κάποιο είδος θερμικής ένδειξης.

Οι επτά (7) αυτές ομάδες είναι οι παρακάτω:

Ομάδες ηλεκτροκινήτηρων	
Ομάδα ηλεκτροκινήτηρων	Αριθμός ηλεκτροκινήτηρων
Αντλίες της δεξαμενής βοθρολυμάτων	2
Φυσητήρες της προεπεξεργασίας	3
Φυσητήρες της δεξαμενής αερισμού	3
Αντλίες ανακυκλοφορίας ιλύος	3
Αντλίες στραγγιδίων	2
Αντλίες βιομηχανικού νερού	3
Δοσομετρικές αντλίες χλωρίου	2

Πίνακας 1.1: Ομάδες ηλεκτροκινήτηρων της ΕΕΛ



Σχήμα 1.11: Το αντλιοστάσιο ανακυκλοφορίας που εκκενώθηκε για εκτέλεση εργασιών συντήρησης. Διακρίνονται στα δεξιά οι δύο αντλίες περισσειας ιλύος που οδηγούν τη λυματολάσπη στη μονάδα αφυδάτωσης και οι τρεις αντλίες ανακυκλοφορίας που οδηγούν τη λυματολάσπη στην προανοξική δεξαμενή.

Κάθε μια από αυτές τις ομάδες οφείλει στην αυτόματη λειτουργία της να εκκινεί έναν αριθμό ηλεκτροκινήτηρων που καθορίζεται από το χειριστή σύμφωνα με χρονοπρό-

γραμμα ή με κάποια άλλη συνθήκη εκκίνησης, καθώς επίσης και να εφαρμόζει μια στρατηγική κυκλικής εναλλαγής αυτών.

Στην παρούσα φάση της ΕΕΛ, όσο και στις μελλοντικές επεκτάσεις αυτής (Β' φάση), κάθε μια από τις ομάδες των ηλεκτροκινητήρων καλύπτει τις λειτουργικές της ανάγκες έχοντας σε λειτουργία ένα και μόνο ηλεκτροκινητήρα. Συνεπώς κρίνεται ότι κατά την αυτόματη λειτουργία δεν απαιτείται ο χειριστής να είναι σε θέση να εκκινεί άνω του ενός ηλεκτροκινητήρα.

Διαπιστώθηκε επίσης μετά από δοκιμές ότι με τον ορισμό νέων χρόνων λειτουργίας στο υφιστάμενο πρόγραμμα λογικού ελέγχου, αυτοί δεν εφαρμόζονταν άμεσα, αλλά έπρεπε να εκτελεσθούν τουλάχιστον δύο πλήρεις κύκλοι του χρονοπρογράμματος προτού αυτό συμμορφωθεί με τις νέες τιμές. Το πρόβλημα εντοπίστηκε στην κακή χρήση από την πλευρά του λογικού ελέγχου των χρονικών συναρτήσεων που διέπουν τον κύκλο του εκάστοτε ηλεκτροκινητήρα.

Πέραν τούτου απουσίαζε από τον υφιστάμενο προγραμματισμό η δικλείδα ασφαλείας που εξασφαλίζει ότι κατά την εναλλαγή λειτουργίας δύο ηλεκτροκινητήρων της ίδιας ομάδας θα παρεμβάλλεται μεταξύ της σβέσης του ενός και της εκκίνησης του άλλου ένα εύλογο χρονικό διάστημα. Ο λόγος που απαιτείται κάτι τέτοιο είναι για την αποφυγή καταπονήσεων στον κατάντι εγκατεστημένο μηχανολογικό εξοπλισμό από φαινόμενα όπως το υδραυλικό πλήγμα.

#### 1.4.1.3 Αδυναμία Ρύθμισης Αναλογικών Παραμέτρων

Η λειτουργία κάποιων εκ των ηλεκτροκινητήρων διέπεται από τις τιμές οι οποίες διαβάζονται στα διάφορα αναλογικά αισθητήρια.

Συγκεκριμένα, η λειτουργία των φυσητήρων του αερισμού εξαρτάται από τη μέτρηση του διαλυμένου οξυγόνου στις αντίστοιχες δεξαμενές, ενώ η λειτουργία των δοσομετρικών αντλιών του χλωρίου εξαρτάται τόσο από τη μέτρηση της τρέχουσας παροχής, όσο και από τη μέτρηση του υπολειμματικού χλωρίου.

Στην παρούσα φάση ο χειριστής δε δύναται να ορίσει άνω και κάτω όρια διαλυμένου οξυγόνου για τη λειτουργία των φυσητήρων. Η αδυναμία αυτή έχει οδηγήσει στη συνεχή επί 24ώρου βάσεως λειτουργία των φυσητήρων, με αποτέλεσμα την αυξημένη μηχανική και θερμική καταπόνηση του συστήματος. Μέχρι και τη συγγραφή του παρόντος υπήρξαν συνολικά δύο αστοχίες φυσητήρων και ισάριθμες αστοχίες ομαλών εκκινήτων της εταιρίας Telemecanique τύπου Altistar 46. Πέραν τούτου αυξάνεται δυσανάλογα το κόστος λειτουργίας της εγκατάστασης, καθώς η ισχύς αυτών είναι 55kW και δεν επιτυγχάνεται το επιθυμητό αποτέλεσμα, δεδομένου ότι ξεπερνιούνται διαρκώς τα όρια διαλυμένου οξυγόνου που απαιτούνται στις δεξαμενές.

Παρόμοια έλλειψη παρουσιάζουν και οι δοσομετρικές αντλίες χλωρίου, καθώς δεν δίνεται η δυνατότητα στο χειριστή, μέσω του προγράμματος SCADA, να διαμορφώσει τις συνθήκες εκκίνησης και παύσης αυτών.

Οι εν λόγω αντλίες, όπως έχει αναφερθεί, διοχετεύουν υποχλωριώδες νάτριο στη δεξαμενή χλωρίου προκειμένου να απολυμανθούν τα εξερχόμενα λύματα. Οι παράμετροι πάνω στις οποίες οφείλει να βασίζεται η λογική λειτουργία αυτών των αντλιών είναι οι εξής:

1. Η στιγμιαία παροχή των λυμάτων, όπως αυτή καταγράφεται από τη γέφυρα Khafagi-Venturi.
2. Η χρονική υστέρηση μεταξύ της εμφάνισης μιας παροχής στη γέφυρα Khafagi-Venturi και της εμφάνισής της στο σημείο διοχέτευσης του υποχλωριώδους νατρίου.
3. Η μέτρηση του υπολειμματικού χλωρίου, όπως καταγράφεται από τον αντίστοιχο αισθητήρα που δειγματοληπτεί στην έξοδο της δεξαμενής χλωρίωσης.

Αυτή τη στιγμή οι αντλίες ελέγχονται βάσει χρονοπρογράμματος που ως λογική είναι λανθασμένη. Το γεγονός αυτό, σε συνδυασμό με την απουσία μέτρησης του υπολειμματικού χλωρίου και την αδυναμία του προσωπικού να εκτελέσει μετρήσεις στο εργαστήριο, έχει ως αποτέλεσμα την υπερχλωρίωση της εκροής εξόδου.



Σχήμα 1.12: Στην εικόνα διακρίνεται ο μετρητής υπολειμματικού χλωρίου και το φίλτρο των εισερχόμενων λυμάτων σε αυτό.

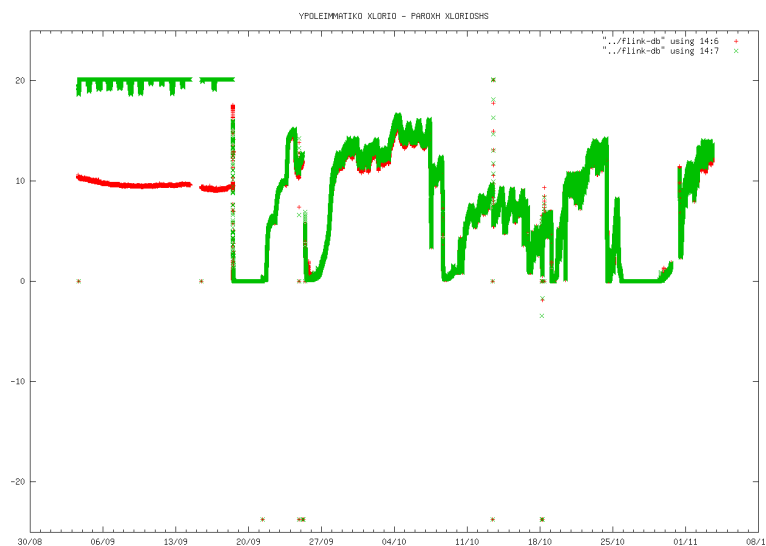


## 1.4.2 Λανθασμένη Λήψη Μετρήσεων

Όπως έχουμε καταγράψει παραπάνω η ΕΕΛ διαθέτει συνολικά έξι (6) αναλογικά αισθητήρια. Εξ' αυτών, τα δύο που μετρούν διαφορική στάθμη ανάντι και κατάντι των αυτόματων εσχάρων δεν αποστέλλουν στο PLC αναλογικό σήμα, παρά η έξοδός τους είναι ψηφιακή. Τα άλλα τέσσερα (4) επιστρέφουν σήμα αναλογικό, διαμόρφωσης 4..20mA.

Κατόπιν εποπτείας των tags του KEPServerEX<sup>1</sup> διαπιστώσαμε ότι δεν έχει γίνει σωστή διευθυνσιοδότηση των αναλογικών εισόδων, με αποτέλεσμα να μη γίνεται ούτε και σωστή καταγραφή.

Πέραν αυτού, από τις καταγραφές που έγιναν στη βάση δεδομένων του SCADA προέκυψε ότι η μέτρηση της παροχής από τη γέφυρα Khafagi-Venturi και η μέτρηση του υπολειμματικού χλωρίου γίνονται λανθασμένα. Αφότου τα δεδομένα τοποθετήθηκαν σε διάγραμμα τιμής - χρόνου, προέκυψε το παρακάτω γράφημα:



Σχήμα 1.13: Το διάγραμμα ροής και υπολειμματικού χλωρίου μεταξύ των μηνών Αυγούστου και Νοεμβρίου του 2008.

Στο παραπάνω διάγραμμα παρατηρούμε μια μέγιστη εξερχόμενη ροή περίπου ίση με  $20 \text{ m}^3/h$ . Αυτή γνωρίζουμε ότι σε καμία περίπτωση δεν είναι η πραγματική, καθώς το δημογραφικό μέγεθος της εξυπηρετούμενης περιοχής προβλέπει σαφώς μεγαλύτερες παροχές.

Επιπλέον παρατηρούμε ότι περίπου από τα μέσα Σεπτεμβρίου οι δύο μετρήσεις ουσιαστικά ταυτίζονται. Κάτι τέτοιο πάλι δεν ανταποκρίνεται στην πραγματικότητα.

<sup>1</sup>Ο KEPServerEX είναι ο υφιστάμενος OPC Server τον οποίο χρησιμοποιεί το SCADA.

### 1.4.3 Υποσταθμός

Ο υποσταθμός μέσης τάσης που βρίσκεται εντός της εγκατάστασης παρέχει ως εισόδους στο PLC τα εξής τέσσερα σήματα:

Σήματα Υποσταθμού	
Κωδική ονομασία	Περιγραφή
DEH	Λειτουργία από ΔΕΗ, που είναι ενδεικτικό της τροφοδοσίας από το δίκτυο.
HZ	Λειτουργία από ΗΖ, που είναι ενδεικτικό της τροφοδοσίας από το ηλεκτροπαραγωγό ζεύγος (HZ).
ALARM	Συναγερμός θερμοκρασίας, που είναι ένδειξη υπερθέρμανσης του ηλεκτροπαραγωγού ζεύγους.
BUCHHOLZ	Συναγερμός Buchholz, που είναι αισθητήριο καλής λειτουργίας του μετασχηματιστή μέσης σε χαμηλή τάση.

Πίνακας 1.2: Σήματα ανάδρασης και σφαλμάτων από τον υποσταθμό μέσης τάσης.

Τα παραπάνω αισθητήρια ουδέποτε λειτούργησαν και οι αντίστοιχες ενδείξεις δεν ανταποκρίνονται τόσο στον πίνακα του μιμικού διαγράμματος της εγκατάστασης, όσο και στο SCADA.

#### 1.4.4 Επιπτώσεις

Οι επιπτώσεις που έχουν όλα τα παραπάνω μπορούν να συνοψιστούν στα εξής:

Έχει παρατηρηθεί μεγάλη διακύμανση στην ποιότητα εκροής της εγκατάστασης. Με ιδιαίτερη συχνότητα κάνει την εμφάνισή του το φαινόμενο του bulking κατά το οποίο μεγάλοι όγκοι βιομάζας επιπλέουν στην επιφάνεια των δεξαμενών καθίζησης. Το εν λόγω φαινόμενο είναι συνδεδεμένο με τη μεγάλη ηλικία της ιλύος και το μικρό λόγο τροφής προς βιομάζα.



Σχήμα 1.14: Επιπλέουσα λυματολάσπη στην επιφάνεια της μιας εκ των δύο δεξαμενών καθίζησης, με αποτέλεσμα την υποβαθμισμένη ποιότητα εκροής της εγκατάστασης.

Οι αεραντλίες της δεξαμενής αερισμού και οι αντλίες ανακυκλοφορίας λειτουργούν σχεδόν 24 ώρες το 24ώρο, προκειμένου να επιτύχουν τις ελάχιστες δυνατές απαιτήσεις για την ποιότητα της εκροής. Αποτέλεσμα είναι η μηχανική και θερμική καταπόνηση, καθώς επίσης και η αυξημένη δαπάνη ηλεκτρικού ρεύματος, που δεδομένων των ηλεκτρικών μεγεθών, δεν είναι αμελητέα.

Οι δοσομετρικές αντλίες της δεξαμενής χλωρίωσης υπερβαίνουν συστηματικά το απαιτούμενο χλώριο. Αποτέλεσμα είναι το αυξημένο κόστος λειτουργίας και η υποβάθμιση της ποιότητας εκροής. Με βάση τα πλυθησμιακά δεδομένα της εξυπηρετούμενης περιοχής και της ποιότητας εκροής της εγκατάστασης, η απαιτούμενη ποσότητα ανά έτος

υπολογίζεται σε τέσσερις (4) τόννους. Στην παρούσα φάση, αυτή η ποσότητα αναλώνεται εντός δύο (2) έως τριών (3) μηνών.

Η αδυναμία για αυτόματη λειτουργία της γέφυρας εξάμμωσης σε συνδυασμό με την ανεπαρκή σχεδιάσή της έχει ως αποτέλεσμα την παρουσία σημαντικών ποσοτήτων άμμου στα επόμενα στάδια της εγκατάστασης, με την αναμενόμενη υποβάθμιση της εκροής.

Η απουσία αυτόματου ελέγχου με χρήση διαφορικής στάθμης και η απουσία κυκλικής εναλλαγής στις διάφορες ομάδες των ηλεκτροκινητήρων οδηγούν στις συχνές αστοχίες και στα αυξημένα κόστη συντήρησης.

## 1.5 Υλοποίηση Αυτοματισμού

Στο μέρος αυτό της εργασίας θα αναπτύξουμε τη μεθοδολογία που ακολουθήσαμε προκειμένου να αποκατασταθεί η καλή λειτουργία του τμήματος του αυτοματισμού της εγκατάστασης. Το πρόβλημα της εξυγίανσης του αυτοματισμού προσεγγίστηκε από αρκετές πλευρές και εκτιμώντας τα πλεονεκτήματα και μειονεκτήματα της εκάστοτε λύσης, ως δόκιμη κρίθηκε αυτή της πλήρους επανασυγγραφής του προγράμματος λογικού ελέγχου.

Πρέπει να σημειώσουμε ότι αν και ο λογικός έλεγχος της εγκατάστασης είναι μείζονος σημασίας, υφίστανται ακόμα προβλήματα που σαν αιτία έχουν την ανεπαρκή δομική σχεδίαση της εγκατάστασης και ως τέτοια δεν υπάγονται στην αρμοδιότητα του συγγραφέα.

### 1.5.1 Άντληση Πληροφοριών

Προκειμένου να γίνει είτε η εξυγίανση του υπάρχοντος προγράμματος του PLC και του SCADA, είτε η αντικατάσταση αυτών, απαιτείται πρώτα η γνώση της υποδομής του συστήματος, τόσο σε ηλεκτρολογικό επίπεδο όσο και σε υλικό. Το σκέλος του υλικού που ελέγχεται από το πρόγραμμα καλύφθηκε εν συντομία σε προηγούμενο κεφάλαιο, όπου έγινε περιγραφή τόσο των διάφορων ηλεκτροκινητήρων όσο και των αισθητηρίων που βρίσκονται εγκατεστημένα στη μονάδα. Στο παρόν κεφάλαιο θα ακολουθήσει μια πιο αναλυτική περιγραφή των εν λόγω στοιχείων, συνοδευόμενη και από τμήμα του αντίστοιχου κώδικα που επιτελεί το λογικό έλεγχο.

Η πρώτη εργασία που έλαβε χώρα στα πλαίσια της υλοποίησης του επιθυμητού αυτοματισμού ήταν αυτή της άντλησης πληροφοριών για την υφιστάμενη εγκατάσταση. Συγκεντρώθηκαν πληροφορίες από την τεκμηρίωση της ΕΕΛ, από την ίδια την εγκατάσταση και από διαθέσιμη βιβλιογραφία. Αναλυτικά οι πηγές από τις οποίες αντλήθηκαν οι ζητούμενες πληροφορίες είναι οι ακόλουθες:

1. Αντιγράφηκε το υφιστάμενο πρόγραμμα του PLC προκειμένου να μελετηθεί για τυχόν δυνατότητα παρέμβασης. Η αδυναμία αυτής της προσέγγισης είναι ότι εντός της μνήμης του PLC δεν φυλάσσονται ούτε τα σχόλια του κώδικα αλλά και ούτε τα συμβολικά ονόματα των μεταβλητών. Αποτέλεσμα ήταν η συγκεκριμένη πηγή να είναι περιορισμένης χρησιμότητας. Πέραν τούτου η δομή του υφιστάμενου προγράμματος υπήρξε ανελαστική σε παρεμβάσεις, με πολλαπλά σημεία επανάληψης και περιπλεγμένη πέραν της πραγματικής ανάγκης του έργου.
2. Αντλήθηκαν από το SCADA και από τον OPC Server (KEPServerEX) τα tags αυτών που παρείχαν μια αντιστοίχιση μεταξύ θέσεων μνήμης και συμβολικών ονομάτων. Δεδομένου ότι δυνατότητα ριζικής παρέμβασης στο SCADA δεν υπήρχε, βασικός άξονας της δοθείσας λύσης ήταν η συμμόρφωση των συμβάσεων στην είσοδο και στην έξοδο των δεδομένων με αυτές που προϋπήρχαν.
3. Από τα ηλεκτρολογικά σχέδια των πινάκων προέκυψαν οι αντιστοιχίες μεταξύ εισόδων και εξόδων του PLC και των αντίστοιχων ηλεκτρονόμων.
4. Από δοκιμές στην ίδια την εγκατάσταση, καθώς υπήρχαν αναντιστοιχίες μεταξύ προγράμματος, SCADA, σχεδίων πινάκων και των πραγματικών πινάκων. Υπήρξαν περιπτώσεις όπου στοιχεία απουσίαζαν πλήρως. Άλλες φορές η καλωδίωση δεν συμφωνούσε με τα σχέδια. Η λογική του υφιστάμενου προγράμματος έκανε

χρήση λανθασμένων εισόδων και εξόδων σε πλειάδα περιπτώσεων και τέλος υπήρχαν αναντιστοιχίες και στην ανάθεση συμβολικών ονομάτων από το SCADA.

5. Όπου κρίθηκε σκόπιμο έγινε αλλαγή της υφιστάμενης καλωδίωσης των αντίστοιχων πινάκων για την επίτευξη του επιθυμητού αποτελέσματος. Σε κάθε περίπτωση που έγιναν αλλαγές σε επίπεδο υλικού, αυτές συνοδεύονταν και από την ακριβή τεκμηρίωση και ενσωμάτωσή τους στην υφιστάμενη τεκμηρίωση της ΕΕΛ.

## 1.5.2 Αρχιτεκτονική SCADA

Καθώς είχαμε περιορισμένη δυνατότητα παρέμβασης στο SCADA, αποφασίσαμε να διατηρήσουμε το υφιστάμενο πρόγραμμα και η παρέμβασή μας να περιοριστεί σε πολύ μικρές αλλαγές, προκειμένου να καλύψουμε τις ανάγκες του νέου προγράμματος λογικού ελέγχου του PLC.

Το SCADA στο σύστημά μας λειτουργεί αποκλειστικά ως μια διεπαφή μεταξύ χρήστη και μηχανημάτων, καθώς επίσης εκτελεί την καταγραφή επιλεγμένων σημάτων. Όπως έχουμε ήδη αναφέρει, το SCADA δεν εκτελεί κανένα λογικό έλεγχο. Έτσι η ουσιαστική του λειτουργία συνοψίζεται ως εξής:

*Το SCADA αντιγράφει επιλεγμένες θέσεις μνήμης από το PLC μέσω του OPC server, τις απεικονίζει στην οθόνη σε γραφικό περιβάλλον και είναι σε θέση να γράψει και σε κάποιες εξ αυτών. Οι αναγνώσεις αφορούν την τρέχουσα εικόνα λειτουργίας της εγκατάστασης, ενώ οι εγγραφές αφορούν εντολές του χειριστή. Τέλος, ένα πλήθος από αυτές τις θέσεις μνήμης καταχωρούνται, είτε σε τακτά χρονικά διαστήματα, είτε κατά την αλλαγή τους, σε μια βάση δεδομένων.*

Κεντρικό ρόλο στα παραπάνω παίζουν δύο Data Blocks του PLC με ονόματα «FORCE» και «LOAD»<sup>2</sup>. Τα εν λόγω Data Blocks χρησιμοποιούνται από το SCADA προκειμένου να δοθεί εντολή σε κάποιον ηλεκτροκινητήρα και να αναγνωρισθεί η κατάσταση λειτουργίας αυτού αντίστοιχα. Εντός αυτών φυλάσσονται μια σειρά από μεταβλητές τύπου Integer που παίρνουν τιμές από το 0 μέχρι και το 5. Η σημασία αυτών είναι η ακόλουθη:

Για το «FORCE»

- (α') 0 - Αυτόματη λειτουργία σε χρονοπρόγραμμα.
- (β') 4 - Εξαναγκασμένη συνεχής λειτουργία.
- (γ') 5 - Εξαναγκασμένη παύση λειτουργίας.

Να σημειώσουμε ότι οποιοδήποτε χειρισμοί μέσω του SCADA είναι εφικτοί μόνον όταν ο αντίστοιχος τριεπιλογικός διακόπτης του ηλεκτροκινητήρα είναι στη θέση AUTO.

<sup>2</sup>Η χρήση των εν λόγω Data Blocks ήταν μια αρχιτεκτονική επιλογή της προηγούμενης υλοποίησης και ο συγγραφέας της παρούσης όφειλε να συμμορφωθεί με τη σύμβαση αυτή, καθώς ήταν στενά συνδεδεμένη με την επικοινωνία με το SCADA και ως τέτοια δεν ήταν δυνατόν να τροποποιηθεί.



Στις δύο άλλες περιπτώσεις (θέση MANUAL και θέση OFF) καμια ενέργεια του χειριστή από το SCADA δεν επιφέρει αλλαγή.

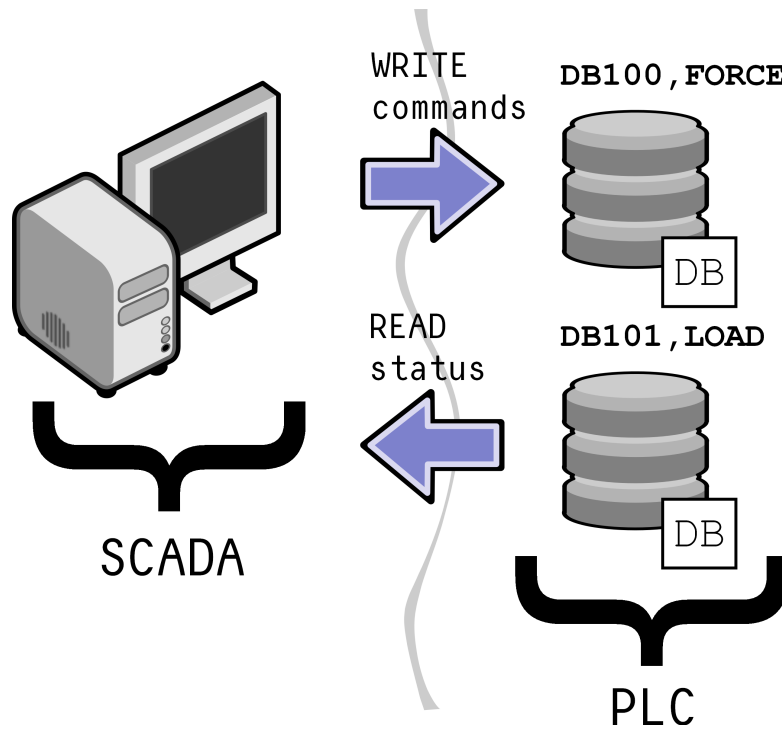
Για το DB «LOAD»

- (α΄) 0 - Ο ηλεκτροκινητήρας δε λειτουργεί και δεν έχει σφάλμα.
- (β΄) 1 - Λειτουργία ηλεκτροκινητήρα είτε από τη θέση MANUAL, είτε από τη θέση AUTO με χρονοπρόγραμμα.
- (γ΄) 2 - Ο ηλεκτροκινητήρας έχει σφάλμα (είτε θερμικό είτε ανάδρασης) και ο χειριστής δεν το έχει αναγνωρίσει<sup>3</sup>.
- (δ΄) 3 - Ο ηλεκτροκινητήρας έχει σφάλμα το οποίο έχει αναγνωρισθεί. Η αντίστοιχη κόκκινη φωτεινή ένδειξη παραμένει σταθερά αναμμένη.
- (ε΄) 4 - Εξαναγκασμένη συνεχής λειτουργία του ηλεκτροκινητήρα άνευ χρονοπρογράμματος.
- (στ΄) 5 - Εξαναγκασμένη παύση λειτουργίας του ηλεκτροκινητήρα άνευ χρονοπρογράμματος.

---

<sup>3</sup>Η αναγνώριση του σφάλματος επιτυγχάνεται πατώντας το αντίστοιχο μπουτόν στην κάτω δεξιά μεριά του μιμικού διαγράμματος ή πατώντας το αντίστοιχο μπουτόν εντός SCADA. Με το που ένα σφάλμα αναγνωρισθεί παύει η αντίστοιχη κόκκινη ένδειξη να αναβοσβήνει και γίνεται σταθερά κόκκινη. Η λειτουργία που εξυπηρετεί είναι να μπορεί ο χειριστής άμεσα να εντοπίζει νέες βλάβες και είτε να προχωράει σε αποκατάσταση, είτε να τις θέτει ως αναγνωρισμένες, αν το πρώτο δεν είναι εφικτό. Με τον τρόπο αυτό στη νέα βλάβη που τυχόν προκύπτει, ο χειριστής είναι σε θέση γρήγορα να την εντοπίσει στην αντίστοιχη έξοδο από το χαρακτηριστικό αναβόσβημα αυτής και να μην την αγνοήσει, θεωρώντας ότι ενδεχόμενα είναι μια προγενέστερη βλάβη.

Έτσι το σύνολο<sup>4</sup> της επικοινωνίας του SCADA με το PLC λαμβάνει χώρα μέσω αυτών των δύο Data Blocks.



Σχήμα 1.15: Αρχιτεκτονική επικοινωνίας SCADA με PLC.

Η όλη διαδικασία άντλησης των παραπάνω δεδομένων υπήρξε αρκετά δαιδαλώδης και χρονοβόρα. Σε κάθε περίπτωση τελικός έλεγχος και ο μοναδικός κριτής της αλήθειας των πραγμάτων στάθηκαν οι εκτενείς δοκιμές που εκτελέσαμε επί του υλικού της εγκατάστασης.

---

<sup>4</sup>Υπάρχουν δύο ακόμα Data Blocks που κάνει χρήση το SCADA για την επικοινωνία με το PLC, αλλά είναι μικρότερης σημασίας.

### 1.5.3 Πρόγραμμα Λογικού Ελέγχου

Προκειμένου ο αναγνώστης της παρούσας εργασίας να είναι σε θέση να αξιολογήσει το πρόγραμμα λογικού ελέγχου της εγκατάστασης θα πρέπει να κατέχει τις προαπαιτούμενες γνώσεις προγραμματισμού με το Step7 της Siemens και τις ιδέες που το διέπουν.

Στην υλοποίηση της παρούσας εργασίας κάνουμε εκτεταμένη χρήση των Function Blocks, καθώς αυτά προσφέρουν έναν αφαιρετικό τρόπο περιγραφής των στοιχείων του προγράμματος και περιορίζουν σε πολύ μεγάλο βαθμό την ανάγκη για επανάληψη του ίδιου κώδικα σε διαφορετικά σημεία. Σε αντιστοιχία με την αρχή του encapsulation του αντικειμενοστρεφή προγραμματισμού, χρησιμοποιούμε τα Function Blocks κατά τέτοιο τρόπο ώστε να μοντελοποιήσουμε κοινές λειτουργίες ανάμεσα στα προς έλεγχο στοιχεία μας, αποκρύπτοντας από τα υψηλότερα επίπεδα λογικού ελέγχου την υποκείμενη πολυπλοκότητα και αποφεύγοντας την επαναλαμβανόμενη συγγραφή ίδιων λειτουργιών.

Προκειμένου να είμαστε σε θέση να επιλέξουμε την ορθή μοντελοποίηση των στοιχείων της εγκατάστασής μας, είναι απαραίτητο να τα ομαδοποιήσουμε σύμφωνα με τις αρχές λειτουργίας τους και κατόπιν να αποφασίσουμε ποια τμήματά τους είναι κοινά.

Οι ηλεκτροκινητήρες που ελέγχονται από το PLC παρατίθενται στον παρακάτω πίνακα.

---

#### Ηλεκτροκινητήρες ελεγχόμενοι από το PLC

---

Κωδικός	Περιγραφή
04SM01	Πρώτος ηλεκτροκινητήρας αυτόματης εσχάρας κτιρίου βοηθολυμάτων
04SM02	Δεύτερος ηλεκτροκινητήρας αυτόματης εσχάρας κτιρίου βοηθολυμάτων
04CX01	Αξονικός εξαεριστήρας κτιρίου βοηθολυμάτων
04MS01	Αναδευτήρας δεξαμενής βοηθολυμάτων
04PJ01	Αεραντλία flow-jet δεξαμενής βοηθολυμάτων
04PS01	Πρώτη αντλία δεξαμενής βοηθολυμάτων
04PS02	Δεύτερη αντλία δεξαμενής βοηθολυμάτων
05CB01	Πρώτος φυσητήρας κτιρίου προεπεξεργασίας και σταδίου εξάμμωσης
05CB02	Δεύτερος φυσητήρας κτιρίου προεπεξεργασίας και σταδίου εξάμμωσης
05CB03	Τρίτος φυσητήρας κτιρίου προεπεξεργασίας και σταδίου εξάμμωσης
05SM01	Πρώτος ηλεκτροκινητήρας αυτόματης εσχάρας κτιρίου προεπεξεργασίας

---

*συνεχίζεται στην επόμενη σελίδα*

---

---

*συνεχίζεται από την προηγούμενη σελίδα*

---

Κωδικός	Περιγραφή
05SM02	Δεύτερος ηλεκτροκινητήρας αυτόματης εσχάρας κτιρίου προεπεξεργασίας
05CT01	Κυλιόμενη ταινία αυτόματης εσχάρας κτιρίου προεπεξεργασίας
05CX01	Αξονικός εξαεριστήρας κτιρίου προεπεξεργασίας
05SC01	Διαχωριστής άμμου σταδίου εξάμμωσης
05BR01	Γέφυρα σταδίου εξάμμωσης
05PS01	Πρώτη αντλία άμμου σταδίου εξάμμωσης
05PS02	Δεύτερη αντλία άμμου σταδίου εξάμμωσης
05MS01	Αναδευτήρας δεξαμενής επιλογής μικροοργανισμών
05MS02	Αναδευτήρας προανοξικής δεξαμενής
06MS01	Αναδευτήρας πρώτης δεξαμενής προαπονιτροποίησης σταδίου αερισμού
06MS02	Αναδευτήρας δεύτερης δεξαμενής προαπονιτροποίησης σταδίου αερισμού
06MS03	Αναδευτήρας φρεατίου απαέρωσης
06CB01	Πρώτος φυσητήρας σταδίου αερισμού
06CB02	Δεύτερος φυσητήρας σταδίου αερισμού
06CB03	Τρίτος φυσητήρας σταδίου αερισμού
06PS01	Αντλία ανακυκλοφορίας ανάμεικτου υγρού πρώτης δεξαμενής σταδίου αερισμού
06PS02	Αντλία ανακυκλοφορίας ανάμεικτου υγρού δεύτερης δεξαμενής σταδίου αερισμού
07BR01	Γέφυρα πρώτης δεξαμενής καθίζησης
07BR02	Γέφυρα δεύτερης δεξαμενής καθίζησης
08PS01	Πρώτη αντλία ανακυκλοφορίας
08PS02	Δεύτερη αντλία ανακυκλοφορίας
08PS03	Τρίτη αντλία ανακυκλοφορίας
08PS04	Πρώτη αντλία περίσσειας ιλύος
08PS05	Δεύτερη αντλία περίσσειας ιλύος
09PD01	Δοσομετρική αντλία δεξαμενής πολυηλεκτρολύτη
09VL01	Ηλεκτροβάνα δεξαμενής πολυηλεκτρολύτη
09LP01	Πρώτος αναδευτήρας δεξαμενής πολυηλεκτρολύτη
09LP02	Δεύτερος αναδευτήρας δεξαμενής πολυηλεκτρολύτη
09LP03	Τρίτος αναδευτήρας δεξαμενής πολυηλεκτρολύτη

---

*συνεχίζεται στην επόμενη σελίδα*

---

συνεχίζεται από την προηγούμενη σελίδα

Κωδικός	Περιγραφή
09PW01	Πρώτη αντλία πολυηλεκτρολύτη
09PW02	Δεύτερη αντλία πολυηλεκτρολύτη
09MS01	Αναδευτήρας πολυηλεκτρολύτη
09CB01	Πρώτος αεροσυμπιεστής ταινιοφιλτρόπρεσσας αφυδάτωσης ιλύος
09CB02	Δεύτερος αεροσυμπιεστής ταινιοφιλτρόπρεσσας αφυδάτωσης ιλύος
09DT01	Ταινιοφιλτρόπρεσσα αφυδάτωσης ιλύος
09YT01	Πρώτη μεταφορική ταινία αφυδατωμένης ιλύος
09YT02	Δεύτερη μεταφορική ταινία αφυδατωμένης ιλύος
09CX01	Αξονικός εξαεριστήρας κτιρίου αφυδάτωσης ιλύος
09PS01	Πρώτη αντλία αντλιοστασίου στραγγιδίων
09PS02	Δεύτερη αντλία αντλιοστασίου στραγγιδίων
10PS01	Πρώτη αντλία πιεστικού συγκροτήματος πυροσβεστικού νερού
10PS02	Δεύτερη αντλία πιεστικού συγκροτήματος πυροσβεστικού νερού
10PS03	Τρίτη αντλία πιεστικού συγκροτήματος πυροσβεστικού νερού
10PA01	Δειγματοληπτική αντλία εξόδου δεξαμενής χλωρίωσης
10CX01	Αξονικός εξαεριστήρας κτιρίου χλωρίωσης
10PD01	Πρώτη δοσομετρική αντλία υποχλωριώδους νατρίου
10PD02	Δεύτερη δοσομετρική αντλία υποχλωριώδους νατρίου

Πίνακας 1.3: Πίνακας ελεγχόμενων ηλεκτροκινητήρων από το PLC.

Κάθε ένας από τους παραπάνω ηλεκτροκινητήρες<sup>5</sup> λειτουργεί βάσει λογικών συνθηκών οι οποίες έχουν ως εξής:

#### Λογική λειτουργία ηλεκτροκινητήρων

Κωδικός	Λογική λειτουργία
04SM01	Λειτουργεί όταν δοθεί σήμα διαφορικής στάθμης από το αισθητήριο 04DIFF. Σταματάει όταν πάψει να υφίσταται το σήμα.
04SM02	Ομοίως με ηλεκτροκινητήρα 04SM01.
04CX01	Λειτουργεί βάσει χρονοπρογράμματος.

συνεχίζεται στην επόμενη σελίδα

<sup>5</sup> Για την ευκολότερη ταυτοποίηση των επί μέρους ηλεκτροκινητήρων παρατίθεται στο παράρτημα Γ' στη σελίδα 174 μια επεξηγηματική λεζάντα της κωδικοποίησής τους.

Κωδικός    Λογική λειτουργία

---

- 04MS01    Λειτουργεί βάσει χρονοπρογράμματος και διακόπτει λειτουργία όταν η στάθμη της δεξαμενής βοθρολυμάτων φτάσει στο κατώτατο σημείο. Η θέση αυτή σηματοδοτείται από την απουσία σήματος από το φλοτέρ 04LOWLOW.
- 04PJ01    Ομοίως με ηλεκτροκινητήρα 04MS01.
- 04PS01    Μαζί με τον ηλεκτροκινητήρα 04PS02 αποτελεί μια ομάδα αντλιών που λειτουργούν με κυκλική εναλλαγή. Η έναρξη λειτουργίας ενός εξ' αυτών λαμβάνει χώρα όταν έχουμε σήμα από το φλοτέρ των βοθρολυμάτων στην υψηλότερη θέση, το 04HI και διακόπτεται όταν φτάσει η στάθμη στην θέση του φλοτέρ 04LOWLOW. Τέλος η ομάδα λαμβάνει σήμα λειτουργίας κάθε 24ώρο, σε ώρα καθορισμένη από το χρήστη και εκκενώνει τη δεξαμενή ανεξαρτήτως αν αυτή έχει φτάσει την ανώτατη στάθμη.
- 04PS02    Ομοίως με ηλεκτροκινητήρα 04PS01.
- 05CB01    Μαζί με τους ηλεκτροκινητήρες 05CB02 και 05CB03 αποτελεί μια ομάδα φουσητήρων που λειτουργούν με κυκλική εναλλαγή. Η λειτουργία αυτών καθορίζεται σύμφωνα με χρονοπρόγραμμα.
- 05CB02    Ομοίως με ηλεκτροκινητήρα 05CB01.
- 05CB03    Ομοίως με ηλεκτροκινητήρα 05CB01.
- 05SM01    Λειτουργεί όταν δοθεί σήμα διαφορικής στάθμης από το αισθητήριο 05DIFF. Σταματάει όταν πάψει να υφίσταται το σήμα.
- 05SM02    Ομοίως με ηλεκτροκινητήρα 05SM01.
- 05CT01    Λειτουργεί συγχρόνως με τους ηλεκτροκινητήρες 05SM01 και 05SM02 και κατά την παύση λειτουργίας αυτών λειτουργεί ένα επιπλέον χρονικό διάστημα που ορίζει ο χειριστής.
- 05CX01    Λειτουργεί βάσει χρονοπρογράμματος.
- 05SC01    Λειτουργεί συγχρόνως με τους ηλεκτροκινητήρες 05PS01 και 05PS02 όταν έστω και ένας εξ' αυτών εκκινήσει. Κατά την παύση λειτουργίας αυτών λειτουργεί για ένα επιπλέον χρονικό διάστημα που ορίζει ο χειριστής.
- 05BR01    Λειτουργεί βάσει χρονοπρογράμματος.
- 05PS01    Λειτουργεί βάσει χρονοπρογράμματος με απαιτούμενη συνθήκη η λειτουργία του να λαμβάνει χώρα ταυτόχρονα με την κίνηση της γέφυρας της εξάμμωσης.
- 05PS02    Ομοίως με ηλεκτροκινητήρα 05PS01.
- 05MS01    Λειτουργεί βάσει χρονοπρογράμματος.

Κωδικός    Λογική λειτουργία

---

05MS02	Λειτουργεί βάσει χρονοπρογράμματος.
06MS01	Λειτουργεί βάσει χρονοπρογράμματος.
06MS02	Λειτουργεί βάσει χρονοπρογράμματος.
06MS03	Λειτουργεί βάσει χρονοπρογράμματος.
06CB01	Μαζί με τους ηλεκτροκινητήρες 06CB02 και 06CB03 αποτελεί μια ομάδα. Λειτουργεί με άνω και κάτω περιεκτικότητα οξυγόνου των δεξαμενών αερισμού. Ο χειριστής ορίζει τα άνω και κάτω όρια λειτουργίας και ο φυσητήρας δουλεύει προκειμένου να εξασφαλίσει ότι το διαλυμένο οξυγόνο θα παραμείνει εντός των ορίων αυτών.
06CB02	Ομοίως με ηλεκτροκινητήρα 06CB01.
06CB03	Ομοίως με ηλεκτροκινητήρα 06CB01.
06PS01	Λειτουργεί βάσει χρονοπρογράμματος.
06PS02	Λειτουργεί βάσει χρονοπρογράμματος.
07BR01	Λειτουργεί βάσει χρονοπρογράμματος.
07BR02	Λειτουργεί βάσει χρονοπρογράμματος.
08PS01	Μαζί με τους ηλεκτροκινητήρες 08PS02 και 08PS03 αποτελεί μια ομάδα αντλιών. Λειτουργεί με χρονοπρόγραμμα.
08PS02	Ομοίως με ηλεκτροκινητήρα 08PS01.
08PS03	Ομοίως με ηλεκτροκινητήρα 08PS01.
08PS04	Μαζί με τον ηλεκτροκινητήρα 08PS05 αποτελεί μια ομάδα αντλιών περίσσειας ιλύος. Λειτουργεί ταυτόχρονα με αντλίες του μείγματος πολυηλεκτρολύτη 09PW01 και 09PW02.
08PS05	Ομοίως με ηλεκτροκινητήρα 08PS05.
09PD01	Λειτουργεί με επιτόπια χειροκίνητη έναρξη και σβέση.
09VL01	Λειτουργεί με επιτόπια χειροκίνητη έναρξη και σβέση.
09LP01	Λειτουργεί με επιτόπια χειροκίνητη έναρξη και σβέση.
09LP02	Λειτουργεί με επιτόπια χειροκίνητη έναρξη και σβέση.
09LP03	Λειτουργεί με επιτόπια χειροκίνητη έναρξη και σβέση.
09PW01	Λειτουργεί με επιτόπια χειροκίνητη έναρξη και σβέση.
09PW02	Λειτουργεί με επιτόπια χειροκίνητη έναρξη και σβέση.
09MS01	Λειτουργεί με επιτόπια χειροκίνητη έναρξη και σβέση.
09CB01	Λειτουργεί με αυτόματη έναρξη και σβέση βασιζόμενη σε επιτόπιο έλεγχο.
09CB02	Λειτουργεί με αυτόματη έναρξη και σβέση βασιζόμενη σε επιτόπιο έλεγχο.

συνεχίζεται από την προηγούμενη σελίδα

Κωδικός	Λογική λειτουργία
09DT01	Λειτουργεί με επιτόπια χειροκίνητη έναρξη και σβέση.
09YT01	Λειτουργεί με επιτόπια χειροκίνητη έναρξη και σβέση.
09YT02	Λειτουργεί με επιτόπια χειροκίνητη έναρξη και σβέση.
09CX01	Αξονικός εξαεριστήρας κτιρίου αφυδάτωσης ιλύος.
09PS01	Μαζί με τον ηλεκτροκινητήρα 09PS02 αποτελεί μια ομάδα αντλιών που λειτουργούν με κυκλική εναλλαγή. Η έναρξη λειτουργίας ενός εξ' αυτών λαμβάνει χώρα όταν έχουμε σήμα από το φλοτέρ της δεξαμενής στραγγιδίων στην υψηλότερη θέση, το 09HI και διακόπτεται όταν φτάσει η στάθμη στην θέση του φλοτέρ 09LOW.
09PS02	Ομοίως με ηλεκτροκινητήρα 09PS02.
10PS01	Λειτουργεί με αυτόματη έναρξη και σβέση βασιζόμενη σε επιτόπιο έλεγχο.
10PS02	Λειτουργεί με αυτόματη έναρξη και σβέση βασιζόμενη σε επιτόπιο έλεγχο.
10PS03	Λειτουργεί με αυτόματη έναρξη και σβέση βασιζόμενη σε επιτόπιο έλεγχο.
10PA01	Λειτουργεί βάσει χρονοπρογράμματος.
10CX01	Λειτουργεί βάσει χρονοπρογράμματος.
10PD01	Μαζί με τον ηλεκτροκινητήρα 10PD02 αποτελεί μια ομάδα δοσομετρικών αντλιών υποχλωριώδους νατρίου. Λειτουργεί βάσει της ροής που μετρείται στη γέφυρα Khafagi-Venturi και βάσει του υπολειμματικού χλωρίου που μετρείται από τη δειγματοληψία της αντλίας 10PA01.
10PD02	Ομοίως με τον ηλεκτροκινητήρα 10PD01.

Πίνακας 1.4: Ακριβής περιγραφή της λογικής λειτουργίας των ηλεκτροκινητήρων της ΕΕΛ

Πέραν αυτών υπάρχουν αισθητήρια ψηφιακά και αναλογικά τα οποία επιστρέφουν σήματα αναγκαία για τη λειτουργία της εγκατάστασης. Αυτά είναι τα εξής:

#### Αισθητήρια Εγκατάστασης

Κωδικός	Τύπος	Περιγραφή
04DIFF	αναλογικό	Διαφορική στάθμη αυτόματης εσχάρας βοθρολυμάτων.
04HIHI	ψηφιακό	Φλοτέρ υψηλότερης στάθμης δεξαμενής βοθρολυμάτων.
04HI	ψηφιακό	Φλοτέρ υψηλής στάθμης δεξαμενής βοθρολυμάτων.
04LOW	ψηφιακό	Φλοτέρ χαμηλής στάθμης δεξαμενής βοθρολυμάτων.

συνεχίζεται στην επόμενη σελίδα



συνεχίζεται από την προηγούμενη σελίδα

Κωδικός	Τύπος	Περιγραφή
04LOWLOW	ψηφιακό	Φλοτέρ χαμηλότερης στάθμης δεξαμενής βοθρολυμάτων.
05DIFF	αναλογικό	Διαφορική στάθμη αυτόματης εσχάρας προεπεξεργασίας.
06OX01	αναλογικό	Διαλυμένο οξυγόνο πρώτης δεξαμενής αερισμού.
06OX02	αναλογικό	Διαλυμένο οξυγόνο δεύτερης δεξαμενής αερισμού.
09HI	ψηφιακό	Φλοτέρ υψηλής στάθμης δεξαμενής στραγγιδίων.
09LOW	ψηφιακό	Φλοτέρ χαμηλής στάθμης δεξαμενής στραγγιδίων.
09LOWLOW	ψηφιακό	Φλοτέρ χαμηλότερης στάθμης δεξαμενής στραγγιδίων.
10dHI	ψηφιακό	Φλοτέρ υψηλής στάθμης μικρής δεξαμενής υποχλωριώδους νατρίου.
10dLOW	ψηφιακό	Φλοτέρ χαμηλής στάθμης μικρής δεξαμενής υποχλωριώδους νατρίου.
10HI	ψηφιακό	Φλοτέρ υψηλής στάθμης μεγάλης δεξαμενής υποχλωριώδους νατρίου.
10LOW	ψηφιακό	Φλοτέρ χαμηλής στάθμης μεγάλης δεξαμενής υποχλωριώδους νατρίου.
10CL01	αναλογικό	Υπολειμματικό χλώριο εκροής.
10VT01	αναλογικό	Παροχή γέφυρα Khafagi-Venturi.

Πίνακας 1.5: Ψηφιακά και αναλογικά αισθητήρια της ΕΕΛ

Βάσει των παραπάνω καταλήγουμε στο εξής σημαντικό συμπέρασμα:

Ο πυρήνας του αυτοματισμού της Εγκατάστασης Επεξεργασίας Λυμάτων συνίσταται στο χειρισμό των ηλεκτροκινητήρων της.

Αντιλαμβανόμαστε λοιπόν ότι ο πυρήνας του προγράμματός μας είναι το μοντέλο του ηλεκτροκινητήρα και ο λογικός έλεγχός του. Με αυτό στο νου, θα προχωρήσουμε στο παρακάτω τμήμα της εργασίας στην επιγραμματική περιγραφή του συνόλου του προγράμματος και θα εντρυφήσουμε περισσότερο στην τεκμηρίωση των Function Blocks που απαρτίζουν τον πυρήνα.

### 1.5.3.1 Δομή Προγράμματος Λογικού Ελέγχου

Η βασική ροή του προγράμματος είναι γραμμική και απουσιάζουν interrupts καθώς δεν κρίνεται ότι υπάρχει κάποιο στοιχείο το οποίο χρήζει άμεσης επεξεργασίας υπό συνθήκες και εκτός του κανονικού κύκλου. Το κυρίως πρόγραμμα (Main Cycle) βρίσκεται στο Organization Block 1 (OB1). Εντός αυτού καλούνται τα Function Blocks FB4 μέχρι και FB10, με κάθε ένα εξ' αυτών να συμπίπτει με την αντίστοιχη υπομονάδα της Ε.Ε.Λ., όπως κωδικοποιείται στο παράρτημα Γ'.

Το σύνολο των δομικών στοιχείων του προγράμματος παρατίθεται στον παρακάτω πίνακα:

---

#### Δομικά στοιχεία προγράμματος λογικού ελέγχου

---

Κωδικός	Περιγραφή
OB1	Main Cycle. Το βασικό οργανωτικό Block εντός του οποίου καλούνται όλα τα υπόλοιπα.
OB86	Rack Failure Organization Block. Ορίζεται από το σύστημα και χρησιμοποιείται για ανάνηψη από σφάλματα επικοινωνίας μεταξύ της κεντρικής μονάδας του PLC και των κατανεμημένων συστημάτων στο PROFIBUS DP. [4]
FB4	Χειρισμός της υπομονάδας των βοθρολυμάτων.
FB5	Χειρισμός της υπομονάδας της προεπεξεργασίας.
FB6	Χειρισμός της υπομονάδας του αερισμού.
FB7	Χειρισμός της υπομονάδας των καθιζήσεων.
FB8	Χειρισμός της υπομονάδας του αντλιοστασίου ανακυκλοφορίας.
FB9	Χειρισμός της υπομονάδας της αφυδάτωσης ιλύος.
FB10	Χειρισμός της υπομονάδας χλωρίωσης.
FB101	Γεννήτρια τετραγωνικών παλμών.
FB102	Ηλεκτροκινητήρας.
FB103	Ηλεκτροκινητήρας με χρονοπρόγραμμα.
FB104	Κυκλική εναλλαγή.
FB105	Ομάδα ηλεκτροκινητήρων με κυκλική εναλλαγή.
FC1	Add DT Time. Συνάρτηση άθροισης χρόνου.
FC3	Date & TOD to DT. Συνάρτηση μετατροπής χρόνου μεταξύ δύο διαφορετικών format.
FC8	DT to DOT. Συνάρτηση μετατροπής χρόνου μεταξύ δύο διαφορετικών format.

---

*συνεχίζεται στην επόμενη σελίδα*

---

συνεχίζεται από την προηγούμενη σελίδα

---

Κωδικός	Περιγραφή
FC9	Equal DT. Συνάρτηση σύγκρισης χρόνων.
FC14	Greater than DT. Συνάρτηση σύγκρισης χρόνων.
FC35	Substract DT Time. Συνάρτηση αφαίρεσης χρόνων.
FC126	Συνάρτηση ισότητας χρόνων.
FC127	Συνάρτηση σύγκρισης χρόνων.
FC128	Συνάρτηση σύγκρισης χρόνων.
DB1	Παγκόσμιες μεταβλητές.
DB2	Μεταβλητές για debugging.
DB4	Data Block βοθρολυμάτων.
DB5	Data Block προεπεξεργασίας.
DB6	Data Block αερισμού.
DB7	Data Block καθίζησης.
DB8	Data Block αντλιοστασίου ανακυκλοφορίας.
DB9	Data Block αφυδάτωσης ιλύος.
DB10	Data Block χλωρίωσης.
DB100	FORCE
DB101	LOAD
DB103	CTRLS. Χειριστήρια κεντρικού πίνακα.
DB110	Χρόνοι ON για ηλεκτροκινητήρες με χρονοπρόγραμμα.
DB111	Χρόνοι OFF για ηλεκτροκινητήρες με χρονοπρόγραμμα.
SFB1	CTD IEC_IC. Μετρητής προς τα κάτω.
SFB3	TP IEC_IC. Πάνω/κάτω μετρητής.
SFB4	TON IEC_IC. Χρονικό Delay ON.
SFB5	TOFF IEC_IC. Χρονικό Delay OFF.
SFC1	READ_CLK CLK_FUNC. Τρέχουσα ώρα.

---

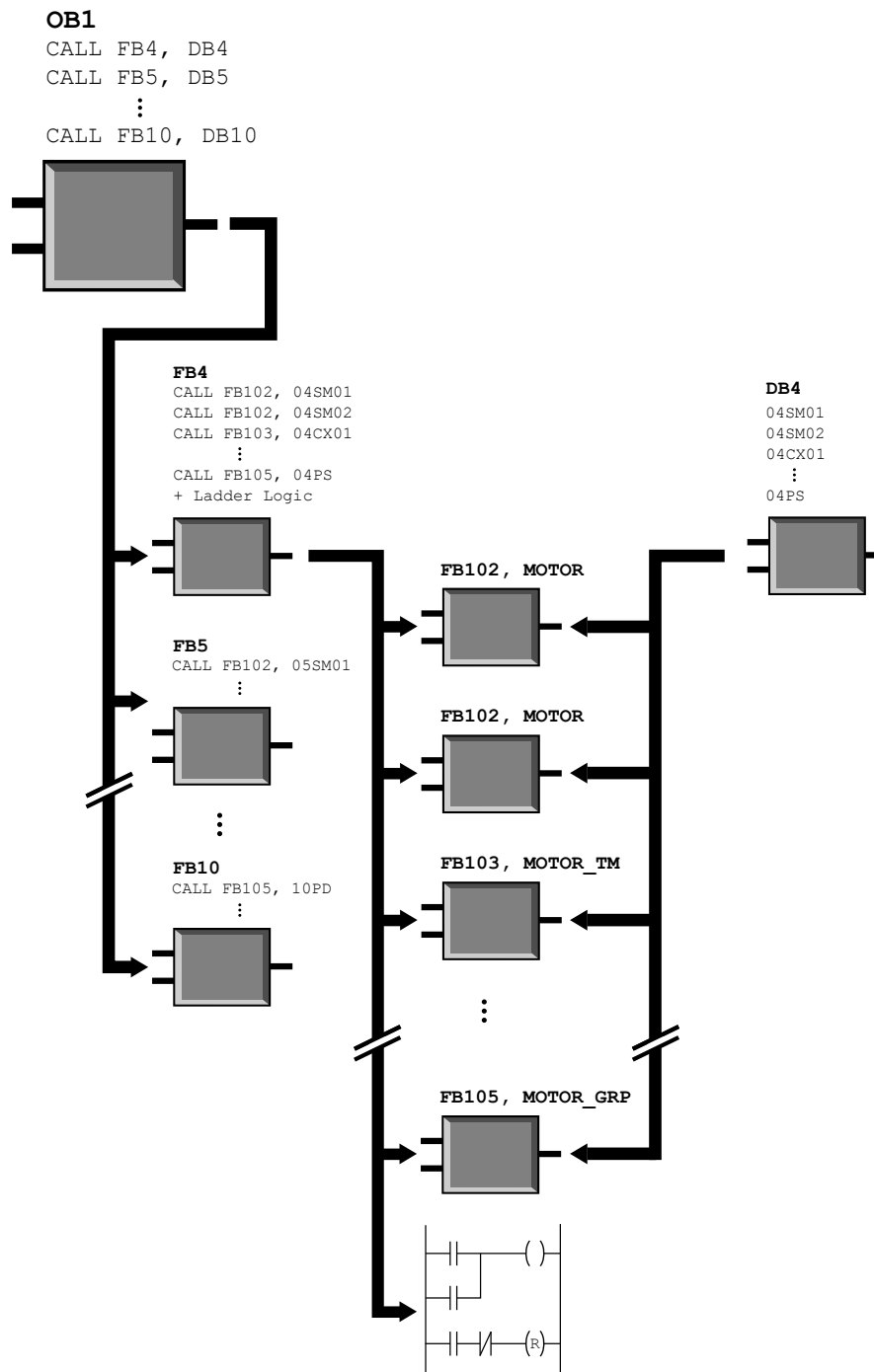
Πίνακας 1.6: Πίνακας δομικών στοιχείων προγράμματος λογικού ελέγχου

Οι γραμμές του πίνακα που είναι χρωματισμένες με γκρι αντιστοιχούν σε συναρτήσεις και Organization Blocks του συστήματος, τα οποία βρίσκονται εντός αντίστοιχων βιβλιοθηκών και των οποίων κάναμε χρήση στο πρόγραμμα.

Ο πυρήνας του προγράμματός μας, όπως αναφέραμε παραπάνω, απαρτίζεται ουσιαστικά από τα Function Blocks FB101 μέχρι και FB105. Αυτά μοντελοποιούν δύο βασικές

λογικές οντότητες: τον αυτόνομο ηλεκτροκινητήρα και την ομάδα ηλεκτροκινητήρων. Όλα τα επιπλέον στοιχεία υπάρχουν για να κατακερματίζουν το πρόγραμμά μας σε εύχρηστες λογικές ενότητες και κάνουν εκτεταμένη χρήση αυτού του πυρήνα.

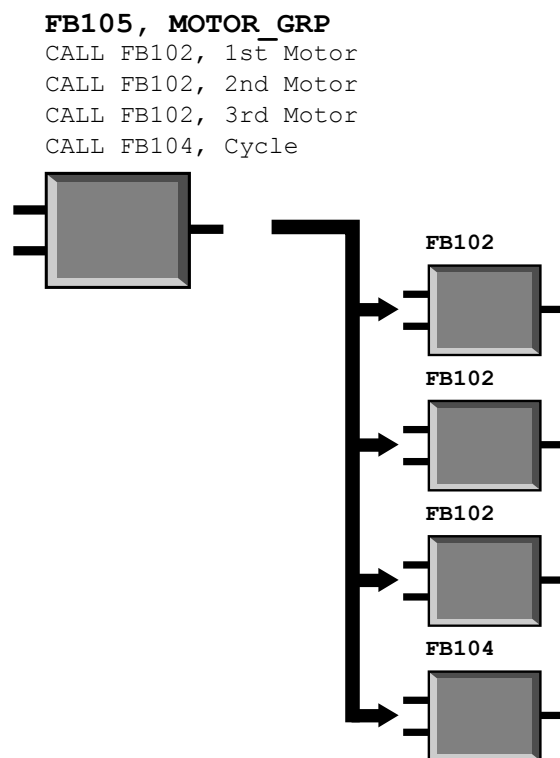
Μια γραφική αναπαράσταση της οργανωτικής δομής του προγράμματος είναι η παρακάτω:



Σχήμα 1.16: Συνοπτική δομή προγράμματος.

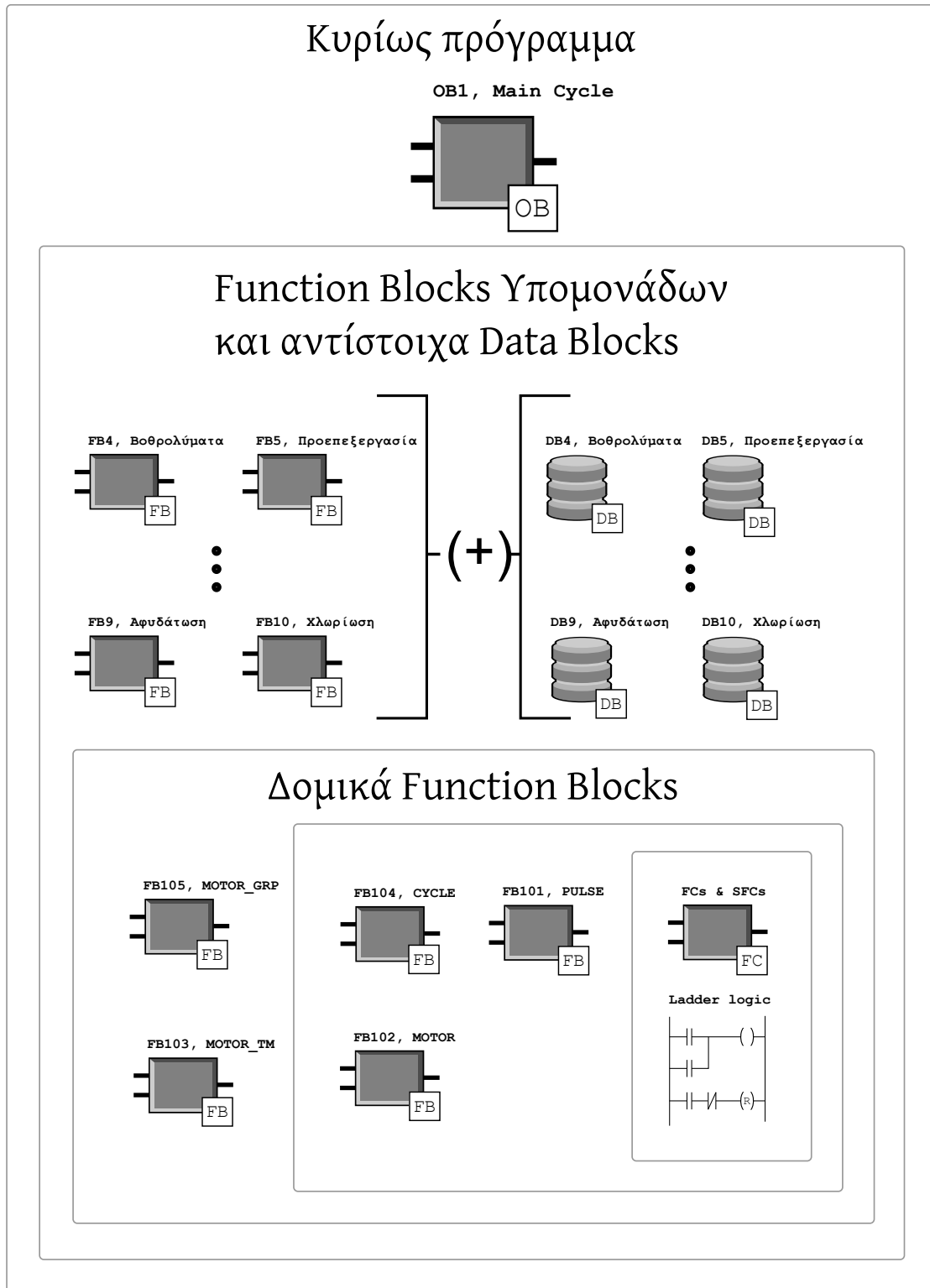
Το κεντρικό πρόγραμμα βρίσκεται εντός του OB1 που σύμφωνα με τις προδιαγραφές της κατασκευάστριας εταιρείας είναι ο κεντρικός κύκλος. Μέσα από αυτό καλούνται κατά σειρά τα Function Blocks FB4, FB5 κ.λ.π. μέχρι και το FB10. Καθένα εξ' αυτών αντιστοιχεί και σε μια φυσική υπομονάδα της εγκατάστασης. Εντός αυτών γίνονται κλήσεις προς τα Function Blocks που αποτελούν τον πυρήνα. Ενδέχεται παράλληλα σε αυτά τα Function Blocks να βρίσκεται και λογική ελέγχου υλοποιημένη σε γλώσσα Ladder. Σκοπός αυτής στις περισσότερες περιπτώσεις είναι να εισάγει επιπλέον ειδικές συνθήκες χειρισμού των ηλεκτροκινητήρων, οι οποίοι κρίθηκαν εξειδικευμένοι για να ενσωματωθούν εντός του αντίστοιχου Function Block που μοντελοποιεί τον ηλεκτροκινητήρα.

Διευκρινίζουμε στο σημείο αυτό ότι τα κεντρικά δομικά Function Blocks δεν απαρτίζονται αποκλειστικά από λογική γραμμένη στη γλώσσα Ladder με χρήση μόνο των συναρτήσεων του συστήματος. Τα Function Blocks FB103 και FB105 με ονομασίες MOTOR\_TM και MOTOR\_GRP δομούνται κάνοντας χρήση κάποιων εκ των FB101, FB102 και FB104. Ως παράδειγμα παραθέτουμε αντίστοιχα την περιγραφική δομή του FB105.



Σχήμα 1.17: Η εσωτερική δομή και οι κλήσεις που κάνει το FB105.

Ως τελική αναπαράσταση παραθέτουμε ένα γράφημα που απεικονίζει την ιεραρχική δομή των παραπάνω.



Σχήμα 1.18: Ιεραρχική δομή του προγράμματος.

Ο λόγος για τον οποίο επιλέχθηκε αυτός ο τρόπος οργάνωσης είναι διότι προσφέρει τη γρηγορότερη αναζήτηση και εντοπισμό σημείων που χρήζουν βελτίωσης ή αλλαγών κατά τη δοκιμαστική λειτουργία. Ως αντιπαράδειγμα παραθέτουμε δύο διαφορετικούς

τρόπους οργάνωσης που εκτιμήσαμε κατά τα αρχικά στάδια της υλοποίησης, καθώς και τον τρόπο οργάνωσης του υφιστάμενου προγράμματος.

### 1. Function Blocks κατά είδος ηλεκτροκινητήρα

Μια τέτοια οργάνωση θα απαιτούσε στο σύνολο δεκαπέντε (15) διαφορετικά Function Blocks για τους ισάριθμους διαφορετικούς τύπους ηλεκτροκινητήρων. Πέραν αυτού θα χρειαζόταν ένα επιπλέον για το χειρισμό των αισθητηρίων που δεν εμπίπτουν στην κατηγορία των ηλεκτροκινητήρων, όπως οι ενδεικτικές λυχνίες του υποσταθμού και οι διάφοροι πλωτήρες των δεξαμενών. Επίσης, δεν θα γινόταν άμεσα αντιληπτή η σχέση μεταξύ Function Block και τύπου ηλεκτροκινητήρα. Επιπρόσθετη δυσκολία θα ήταν και η απομνημόνευση της κωδικής ονομασίας κάθε ηλεκτροκινητήρα έτσι ώστε η αναζήτηση να γίνεται στο αντίστοιχο Function Block. Αν και κατά τη συγγραφή του προγράμματος και τη δοκιμαστική λειτουργία αυτού κάτι τέτοιο ήταν εφικτό, δεδομένης της καθημερινής τριβής με το αντικείμενο, δε θα υφίστατο η ίδια ευκολία στον εντοπισμό του ορθού στοιχείου όταν τυχόν κληθούμε να κάνουμε τροποποιήσεις στη λύση που δώσαμε.

### 2. Function Blocks κατά τρόπο λειτουργίας ηλεκτροκινητήρα

Αυτό αποτελεί μια βελτίωση του πρώτου και μειώνει το πρώτο layer από Function Blocks σε συνολικά τρία (3) συν ένα για τον έλεγχο των διάφορων αισθητηρίων και λυχνιών. Όμως θα υφίστατο ακόμα το πρόβλημα της απομνημόνευσης του τρόπου λειτουργίας κάθε ηλεκτροκινητήρα (με ή χωρίς χρονοπρόγραμμα, σε ομάδα ή όχι ηλεκτροκινητήρων) και κατά την εκτίμησή μας δεν κατακερματίζει επαρκώς το πρόβλημα.

### 3. Υφιστάμενο πρόγραμμα

Το υφιστάμενο πρόγραμμα δεν κάνει σε κανένα σημείο αυτού χρήση των Function Blocks, παρά περιορίζεται κατ' αποκλειστικότητα σε χρήση Functions. Κατακερματίζει δε τα διάφορα Functions με τέτοιο τρόπο ώστε ένα εξ' αυτών να λειτουργεί τις πράσινες ενδεικτικές λυχνίες όλων των ηλεκτροκινητήρων, ένα εξ' αυτών τις κόκκινες ενδεικτικές λυχνίες όλων των ηλεκτροκινητήρων, ένα εξ' αυτών την εξαναγκασμένη λειτουργία μέσω SCADA κ.λ.π. Ο παραπάνω τρόπος οργάνωσης του προγράμματος αποδείχθηκε ιδιαίτερα προβληματικός τόσο στον εντοπισμό του επίμαχου σημείου προς αλλαγή όσο και στην τροποποίησή του. Αυτός άλλωστε υπήρξε και ο λόγος για τον οποίο κρίναμε σκόπιμη τη συγγραφή εκ νέου του προγράμματος λογικού ελέγχου της εγκατάστασης και δεν περιοριστήκαμε στην τροποποίηση του υφιστάμενου.

Η εφαρμοσμένη από εμάς λύση διαθέτει, σε σχέση με τα παραπάνω, μια πλειάδα προτερημάτων:

Περιορίζει σε σημαντικό βαθμό τον αριθμό των δομικών στοιχείων του προγράμματος. Το πλεονέκτημα που προκύπτει είναι ότι δεν κατακλύζεται ο Program Manager με μια πλειάδα δομικών στοιχείων.

Η γραμμική ροή του προγράμματος είναι απλή στην κατανόησή της και ιδιαίτερα δεκτική στις αλλαγές. Κατά τη διάρκεια των δοκιμών που έγιναν επί της εγκατάστασης, χρειάστηκε σε πληθώρα περιπτώσεων να τροποποιήσουμε τη λογική λειτουργία και κάτι τέτοιο επιτεύχθηκε με ελάχιστες αλλαγές σε σύντομο χρονικό διάστημα.

Είναι σαφές το σημείο που θα χρειαστεί να αναζητήσουμε εντός του προγράμματος, προκειμένου να εντοπίσουμε ένα συγκεκριμένο στοιχείο, όπως ένας ηλεκτροκινητήρας ή ένα φλοτέρ. Η αναζήτηση λαμβάνει χώρα εντός του Functions Block το οποίο έχει αύξοντα αριθμό που συμπίπτει με την κωδικοποίηση της αντίστοιχης υπομονάδας. Έτσι, ως παράδειγμα, αν θελήσουμε να προχωρήσουμε σε αλλαγές στον τρόπο λειτουργίας των φυσητήρων αερισμού, γνωρίζοντας ότι ο αερισμός έχει κωδικό 06, θα αναζητήσουμε το επίμαχο σημείο στο Function Block FB6. Οι κωδικοί των υπομονάδων είναι εύκολο να απομνημονευθούν και ακόμα και αν υπάρξει σύγχυση στο σημείο αυτό, μπορούμε γρήγορα να τους εντοπίσουμε από το μιμικό πίνακα.

Το μοντέλο λειτουργίας του ηλεκτροκινητήρα είναι κεντρικά προσβάσιμο στο αντίστοιχο Function Block. Έτσι, τυχόν βελτιώσεις που επιθυμούμε να κάνουμε επηρεάζουν όλους τους ηλεκτροκινητήρες, δίχως να χρειάζεται να ανατρέξουμε σε κάθε έναν εξ' αυτών.

Οι γενικές παράμετροι του προγράμματος, όπως ο χρόνος καθυστέρησης ανάδρασης, είναι κεντρικά αποθηκευμένοι σε ένα Data Block και η αλλαγή αυτών καθίσταται ιδιαίτερα εύκολη.



### 1.5.3.2 Κεντρικά δομικά στοιχεία προγράμματος

Στο τμήμα αυτό της εργασίας θα παραθέσουμε τον κώδικα και το σχολιασμό των κεντρικών δομικών στοιχείων του προγράμματος. Επιπλέον θα καταγράψουμε και την ανάλυση πάνω στην οποία βασιστήκαμε προκειμένου να οδηγηθούμε σε αυτή τη μορφή οργάνωσής τους και όχι σε κάποια άλλη.

Από τα δεδομένα για τα ελεγχόμενα στοιχεία της εγκατάστασης μπορούμε να εξάγουμε τα παρακάτω συμπεράσματα:

1. Όλα τα ελεγχόμενα στοιχεία που δέχονται εντολές είναι ηλεκτροκινητήρες.
2. Οι ηλεκτροκινητήρες εκκινούν και σταματούν σύμφωνα με τους παρακάτω τρόπους:
  - (α') Μέσω χρονοπρογράμματος.
  - (β') Μέσω φλοτέρ υψηλής και χαμηλής στάθμης.
  - (γ') Μέσω τιμών από αναλογικά αισθητήρια.
  - (δ') Μέσω χειροκίνητης επιλογής.
  - (ε') Μέσω αυτοματισμού ανεξάρτητου του PLC.
3. Όλοι οι ηλεκτροκινητήρες διαθέτουν ενδεικτική λυχνία λειτουργίας και σφάλματος.
4. Υπάρχουν ομάδες ηλεκτροκινητήρων που λειτουργούν με κυκλική εναλλαγή.

Βάσει των παραπάνω οδηγηθήκαμε στην ακόλουθη επιλογή για τα δομικά μας Function Blocks. Κρίνουμε ότι είναι αρκούτσως αφαιρετική προς διευκόλυνση τόσο της συγγραφής του προγράμματος όσο και της κατανόησής του, αλλά όχι σε σημείο που να δυσχεραίνει τον πιο λεπτομερή έλεγχο της εγκατάστασης.

---

#### Δομικά Function Blocks

---

Ονομασία	Κωδικός	Περιγραφή
PULSE	FB101	Γεννήτρια παλμών
MOTOR	FB102	Ηλεκτροκινητήρας
MOTOR_TM	FB103	Ηλεκτροκινητήρας με χρονοπρόγραμμα
CYCLE	FB104	Κυκλική εναλλαγή
MOTOR_GRP	FB105	Ομάδα ηλεκτροκινητήρων με κυκλική εναλλαγή

---

- FB101 - PULSE** Γεννήτρια παλμών. Η λειτουργία αυτής συνοψίζεται ως εξής: δοθέντων δύο χρόνων TON και TOFF (Time ON και Time OFF) παράγει ένα τετραγωνικό παλμό με τους αντίστοιχους χρόνους HIGH και LOW. Στην περίπτωση που ο χρόνος TON είναι μηδενικός τότε η έξοδος Q είναι καθόλη τη διάρκεια λειτουργίας σε κατάσταση LOW. Στην περίπτωση που ο χρόνος TOFF είναι μηδενικός και ο χρόνος TON μη μηδενικός, τότε η έξοδος Q καθόλη τη διάρκεια λειτουργίας είναι σε κατάσταση HIGH. Τέλος, στην περίπτωση όπου τόσο ο χρόνος TON όσο και ο χρόνος TOFF είναι και οι δύο μηδενικοί, η έξοδος Q καθόλη τη διάρκεια λειτουργίας είναι σε κατάσταση LOW. Μια αναπαράσταση σε διαγράμματα των παραπάνω δίνεται στο σχήμα 1.19, στη σελίδα 62.
- FB102 - MOTOR** Ηλεκτροκινητήρας. Το συγκεκριμένο Function Block ενσωματώνει όλες τις λειτουργίες που χαρακτηρίζουν κάθε ηλεκτροκινητήρα της εγκατάστασης, ανεξάρτητα από τη λογική που διέπει τη λειτουργία του. Συγκεκριμένα λαμβάνουν χώρα οι εξής λειτουργίες:
1. Έλεγχος των αντίστοιχων λυχνιών λειτουργίας και σφάλματος του ηλεκτροκινητήρα στο μιμικό πίνακα εντός του κτιρίου διοικήσεως.
  2. Κοινοποίηση στο SCADA της τρέχουσας κατάστασης λειτουργίας του ηλεκτροκινητήρα με χρήση του Data Block «LOAD», όπως αναλύθηκε παραπάνω.
  3. Αναγνώριση των σφαλμάτων της θερμομαγνητικής προστασίας του ηλεκτροκινητήρα και του σφάλματος της ανάδρασης.
  4. Ανάγνωση των εντολών που δίνει ο χειριστής μέσω SCADA κάνοντας χρήση του Data Block «FORCE».
  5. Εκκίνηση και σβέση του ηλεκτροκινητήρα.
- FB103 - MOTOR\_TM** Ηλεκτροκινητήρας με χρονοπρόγραμμα. Αυτό το Function Block αποτελεί ουσιαστικά έναν συνδυασμό των FB101 και FB102 με την εντολή εκκίνησης του ηλεκτροκινητήρα (FB102) να είναι συνδεδεμένη στην έξοδο της γεννήτριας παλμών (FB101).
- FB104 - CYCLE** Κυκλική εναλλαγή. Το συγκεκριμένο Function Block υλοποιεί τη λογική της κυκλικής εναλλαγής μέχρι τριών ηλεκτροκινητήρων. Ως είσοδο έχουμε μια εντολή εκκίνησης. Κατά την εντολή εκκίνησης το Function Block αποφασίζει ποιος ηλεκτροκινητήρας θα λειτουργήσει.

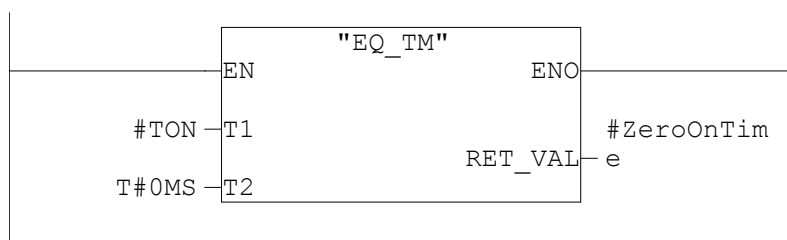
FB105 - MOTOR\_GRP Ομάδα ηλεκτροκινητήρων. Αποτελεί στην ουσία τρία Function Blocks ηλεκτροκινητήρων (FB102) και ένα κυκλικής εναλλαγής (FB104).

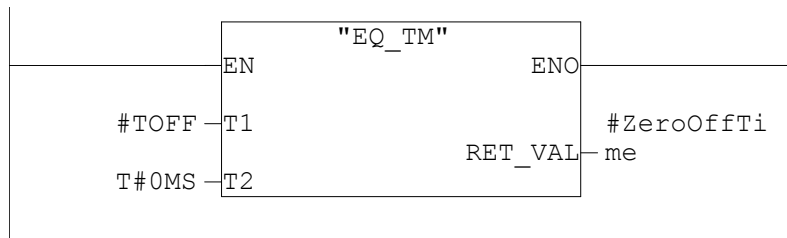
### 1.5.3.3 FB101 - PULSE

Name	Data Type	Address	Initial Value	Comment
IN		0.0		
IN	Bool	0.0	FALSE	Ενεργοποίηση της γεννήτριας παλμών
TON	Time	2.0	T#0MS	Διάρκεια παλμού σε υψηλή κατάσταση
TOFF	Time	6.0	T#0MS	Διάρκεια παλμού σε χαμηλή κατάσταση
OUT		0.0		
Q	Bool	10.0	FALSE	Έξοδος γεννήτριας παλμών
IN_OUT		0.0		
STAT		0.0		
TimerOn	TON	12.0		Χρονικό Delay ON, υψηλής κατάστασης
TimerOff	TON	34.0		Χρονικό Delay ON, χαμηλής κατάστασης
TimeOnElapsed	Bool	56.0	FALSE	Flag για συμπλήρωση χρόνου σε υψηλή κατάσταση
TimeOffElapsed	Bool	56.1	FALSE	Flag για συμπλήρωση χρόνου σε χαμηλή κατάσταση
TEMP		0.0		
ZeroOnTime	Bool	0.0		True αν έχουμε μηδενικό χρόνο παλμού σε υψηλή κατάσταση
ZeroOffTime	Bool	0.1		True αν έχουμε μηδενικό χρόνο παλμού σε χαμηλή κατάσταση

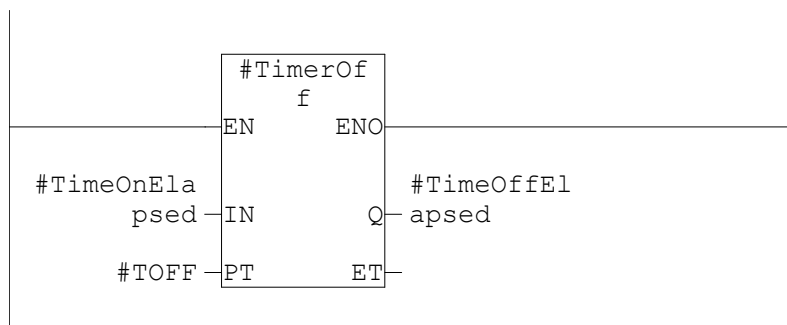
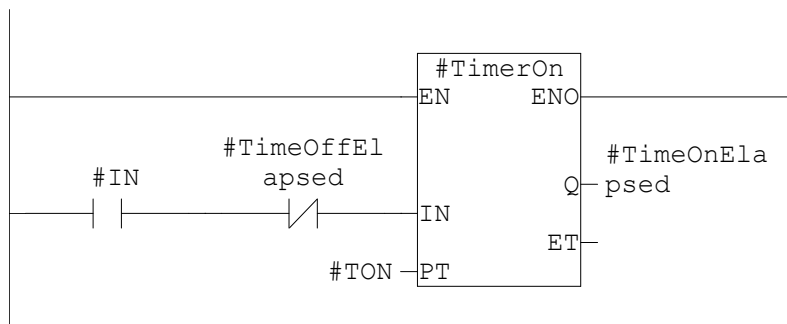
Ο παραπάνω πίνακας είναι αυτός των μεταβλητών που κάνουμε χρήση για την υλοποίηση του FB101. Σημείο το οποίο αξίζει προσοχή είναι η επιλογή μας να εργαστούμε με τη συνάρτηση SFB4 (TON). Αυτή την κάναμε καθώς τα χρονικά που προσφέρει το S7-300 είναι περιορισμένα στον αριθμό και συγκεκριμένα δεν πρέπει να ξεπερνάνε τα 128 [4]. Καθώς το FB101 κάνει χρήση δύο τέτοιων χρονικών και αυτό με τη σειρά του χρησιμοποιείται σε κάθε ηλεκτροκινητήρα που λειτουργεί με χρονοπρόγραμμα, ήμασταν οριακά κάτω από το όριο. Προκειμένου να αποφύγουμε την ανάγκη για μελλοντική επανασχεδίαση αρκετών τμημάτων του κώδικα επιλέξαμε να εργαστούμε με τα χρονικά της βιβλιοθήκης IEC τα οποία δεν έχουν περιορισμό ως προς τον αριθμό τους.

Το πρόβλημα το οποίο προέκυψε είναι ότι οι χρονικές συναρτήσεις της IEC βιβλιοθήκης δουλεύουν με το αντίστοιχο format της IEC για το χρόνο. Αυτό μας οδήγησε στην ανάγκη για συγγραφή των συναρτήσεων FC126, FC127 και FC128, προκειμένου να μπορούμε να εργαστούμε με αυτό το format.

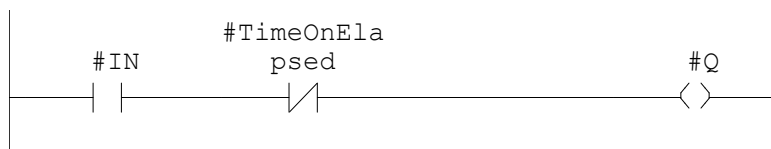




Ελέγχουμε αρχικά αν οι χρόνοι TON (TimeON) και TOFF (TimeOFF) που δόθηκαν είναι μηδενικοί<sup>6</sup> και θέτουμε τα αντίστοιχα flags.

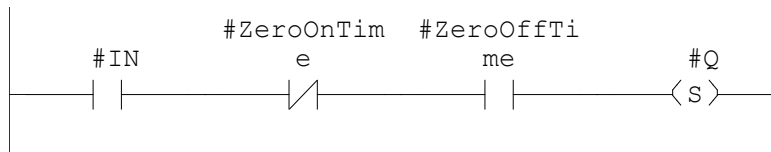


Στο κομμάτι αυτό του προγράμματος κάνουμε χρήση δύο χρονικών Delay ON τα οποία αλληλομανδαλώνουμε προκειμένου να επιτύχουμε το ζητούμενο τετραγωνικό σήμα.



Για όσο το Function Block είναι ενεργοποιημένο (#IN) και ο χρόνος TON δεν έχει παρέλθει (#TimeOnElapsed) θέτουμε την κατάσταση της εξόδου σε υψηλή λογική κατάσταση. Αν αυτός έχει παρέλθει τότε η έξοδος (#Q) τίθεται σε χαμηλή λογική κατάσταση.

<sup>6</sup> Η τιμή T#0MS αντιστοιχεί σε 0ms.

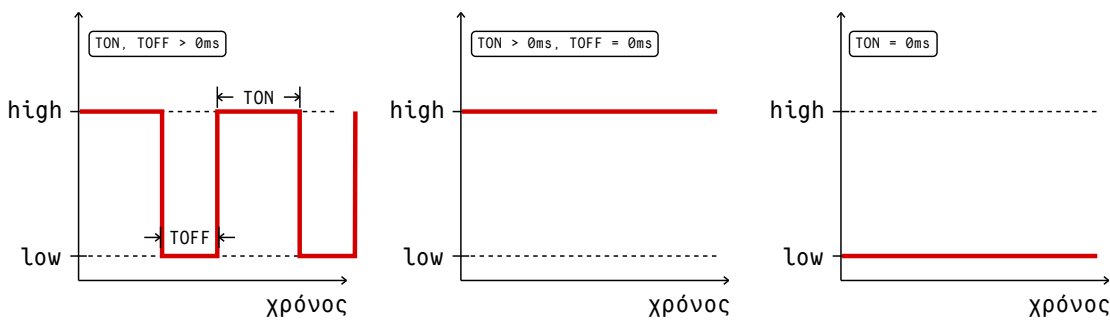


Σε περίπτωση που έχουμε μηδενικό χρόνο για τη χαμηλή κατάσταση (#ZeroOffTime) και μη μηδενικό χρόνο για την υψηλή κατάσταση (#ZeroOnTime) θέτουμε την έξοδο σε υψηλή κατάσταση.



Σε περίπτωση που έχουμε μηδενικό χρόνο υψηλής κατάστασης, ανεξάρτητα από το χρόνο χαμηλής κατάστασης, θέτουμε την έξοδο σε χαμηλή κατάσταση.

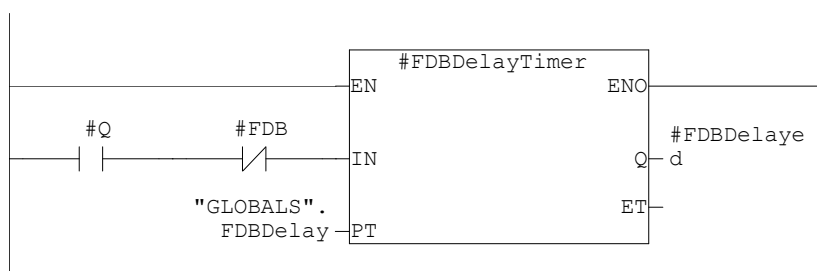
Συνοπτικά η λειτουργία του FB101 PULSE αποδίδεται στα τρία παρακάτω γραφήματα:



Σχήμα 1.19: Τρία διαγράμματα εξόδου προς χρόνο του FB101 PULSE για αντίστοιχες τιμές TON & TOFF.

### 1.5.3.4 FB102 - MOTOR

Name	Data Type	Address	Initial Value	Comment
IN		0.0		
FDB	Bool	0.0	FALSE	Σήμα ανάδρασης
TH	Bool	0.1	FALSE	Θερμικό σφάλμα από θερμομαγνητικό διακόπτη
AU	Bool	0.2	FALSE	Αυτόματη λειτουργία από επιλογικό διακόπτη
FORCE	Int	2.0	0	Εντολή από SCADA
EN	Bool	4.0	FALSE	
OUT		0.0		
RED	Bool	6.0	FALSE	Κόκκινη ενδεικτική λυχνία
GREEN	Bool	6.1	FALSE	Πράσινη ενδεικτική λυχνία
LOAD	Int	8.0	0	Αναφορά για SCADA
IN_OUT		0.0		
Q	Bool	10.0	FALSE	Εξοδος λειτουργίας ηλεκτροκινητήρα
STAT		0.0		
Acked	Bool	12.0	FALSE	Αναγνώριση σφάλματος
FDBDelayTimer	TON	14.0		Χρονικό Delay ON για ανάγνωση ανάδρασης
FDBDelayed	Bool	36.0	FALSE	Flag για καθυστέρηση ανάδρασης
Error	Bool	36.1	FALSE	Flag σφάλματος
TEMP		0.0		

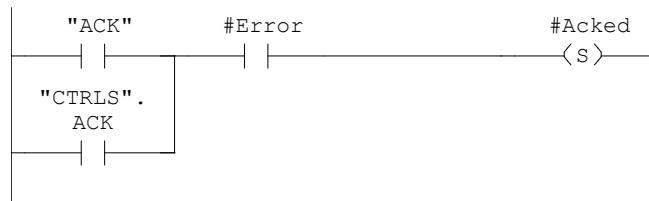


Ελέγχουμε αν ενόσω έχουμε δώσει εντολή εκκίνησης δεν υπάρχει σήμα ανάδρασης. Εισάγουμε μια μικρή χρονοκαθυστέρηση, προτού σηματοδοτήσουμε το σφάλμα, η οποία απαιτείται λόγω της υστέρησης μεταξύ εντολής και επιστροφής από την ανάδραση. Αυτή η υστέρηση οφείλεται στους ηλεκτρομηχανικούς διακόπτες και στην ανάγνωση από το PLC των σημάτων που εμφανίζονται στις εισόδους του.

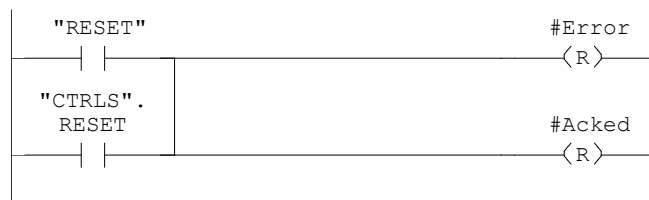
Ο χρόνος για τον οποίο αναμένουμε το σήμα ανάδρασης ορίζεται ως η παγκόσμια μεταβλητή «FDBDelay» στο Data Block «GLOBALS» και είναι ίδιος για όλους τους ηλεκτροκινητήρες.



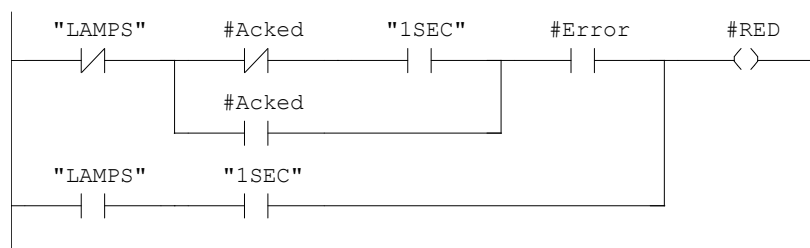
Σε περίπτωση που έχουμε σφάλμα ανάδρασης ή θερμικό σφάλμα τότε σηματοδοτούμε σφάλμα του ηλεκτροκινητήρα.



Αν το σφάλμα αναγνωρισθεί, είτε από το πλήκτρο του μιμικού πίνακα «ACK» είτε από το SCADA «CTRLS.ACK», τότε θέτουμε την κατάσταση του σφάλματος ως αναγνωρισμένη.



Σε περίπτωση που ο χειριστής πιέσει είτε το πλήκτρο του μιμικού πίνακα «RESET», είτε το αντίστοιχο κουμπί στο SCADA «CTRLS.RESET», τότε μηδενίζουμε τόσο την κατάσταση σφάλματος όσο και την αναγνώριση αυτού.

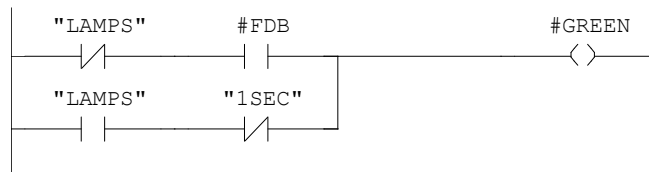


Στο τμήμα αυτό χειριζόμαστε τις λυχνίες του μιμικού πίνακα που αντιστοιχούν στον ηλεκτροκινητήρα. Η λυχνία σφαλμάτων είθισται να είναι χρώματος κόκκινου. Ο έλεγχος αυτής υποπίπτει σε δύο κατηγορίες: κανονικός έλεγχος, ενδεικτικός της παρουσίας ή όχι σφάλματος στον ηλεκτροκινητήρα και έλεγχος της ίδιας της λυχνίας.

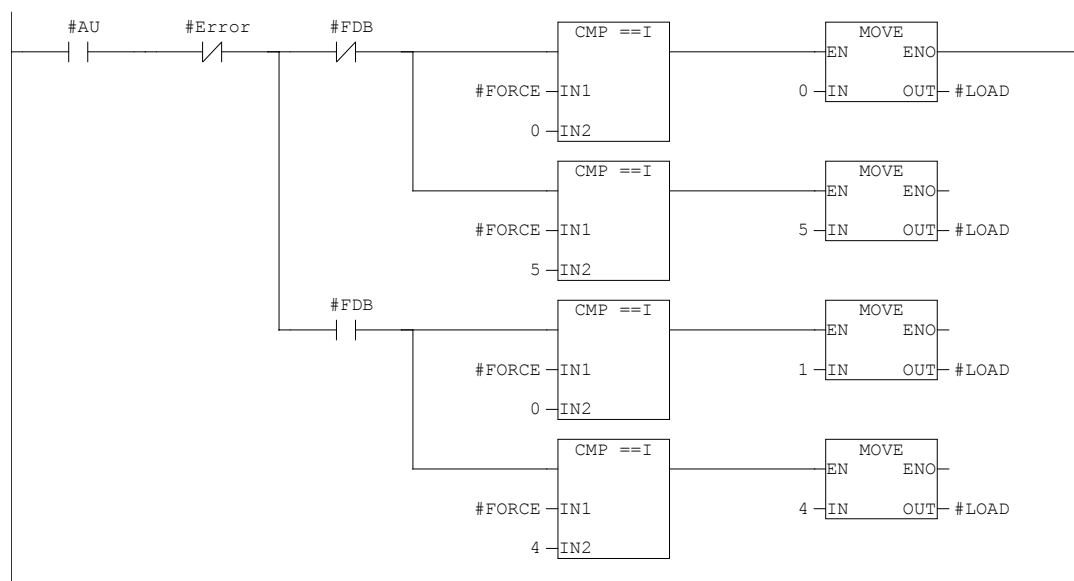
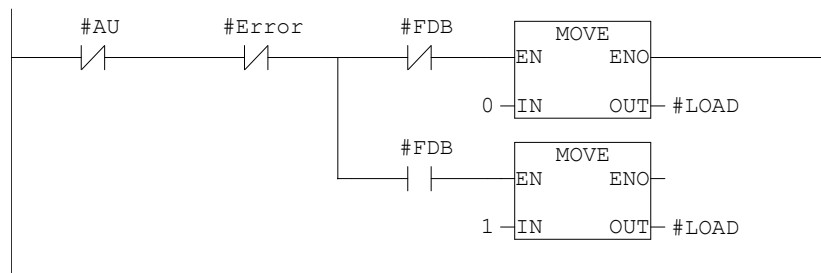
Στην πρώτη περίπτωση, αν παρουσιασθεί σφάλμα κατά τη λειτουργία του ηλεκτροκινητήρα, τότε η ενδεικτική λυχνία σφάλματος αναβοσβήνει με παλμό περιόδου 1 δευτερόλεπτο. Αν ο χειριστής πιέσει το πλήκτρο αναγνώρισης των σφαλμάτων τότε η κόκκινη λυχνία παραμένει σταθερά αναμμένη.

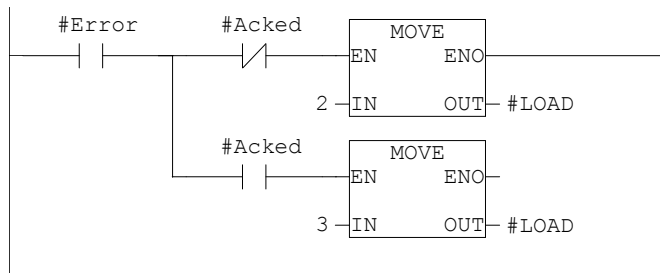


Στη δεύτερη περίπτωση ο χειριστής επιθυμεί να ελέγξει την καλή λειτουργία των ενδεικτικών λυχνιών του μιμικού πίνακα. Πατώντας το πλήκτρο «LAMP TEST» που βρίσκεται στο μιμικό πίνακα η πράσινη και κόκκινη λυχνία ανάβουν και σβήνουν εναλλάξ κάθε ένα δευτερόλεπτο. Ο έλεγχος μέσω του πλήκτρου «LAMP TEST» λαμβάνει προτεραιότητα.

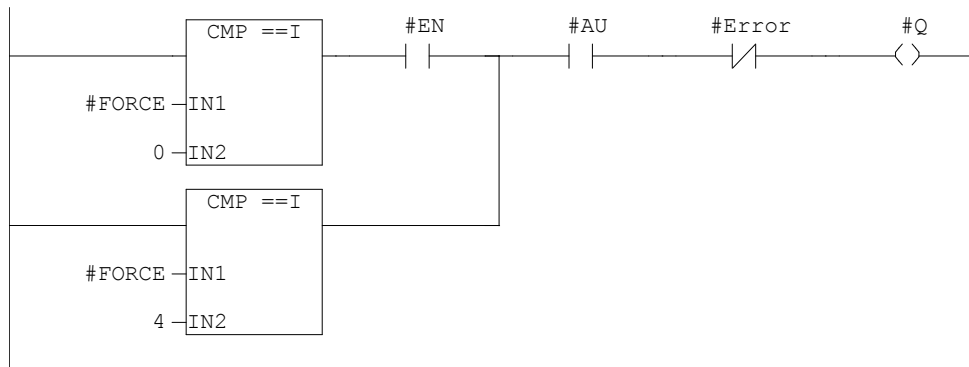


Με παρόμοιο τρόπο η πράσινη λυχνία ανάβει είτε όταν έχουμε ανάδραση (και προφανώς λειτουργεί ο κινητήρας), είτε όταν κάνουμε δοκιμαστική λειτουργία των λυχνιών.





Τα τρία παραπάνω δικτυώματα υπολογίζουν την τιμή της μεταβλητής #LOAD για τον ηλεκτροκινητήρα. Η μεταβλητή αυτή, όπως αναφέρουμε και στο 1.5.2, αποτελεί την αναφορά της τρέχουσας κατάστασης του ηλεκτροκινητήρα προς το SCADA και η κωδικοποίηση αυτής επεξηγείται στην αντίστοιχη λίστα στο παραπάνω τμήμα της εργασίας.

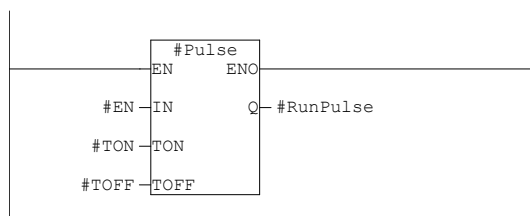


Αντίστοιχα, ο ηλεκτροκινητήρας δέχεται εντολές από το SCADA μέσω της μεταβλητής #FORCE. Σε πλήρη αντιστοιχία, η κωδικοποίησή της περιγράφεται στη λίστα στο τμήμα 1.5.2.

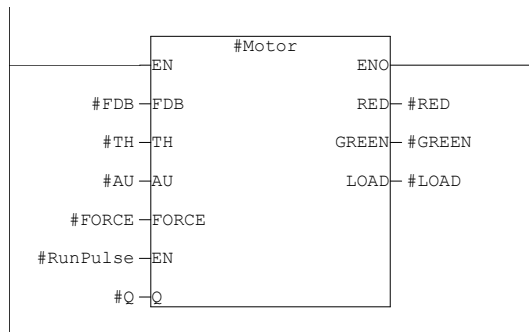
### 1.5.3.5 FB103 - MOTOR\_TM

Name	Data Type	Address	Initial Value	Comment
IN		0.0		
FDB	Bool	0.0	FALSE	Σήμα ανάδρασης
TH	Bool	0.1	FALSE	Θερμικό σφάλμα από θερμομαγνητικό διακόπτη
AU	Bool	0.2	FALSE	Αυτόματη λειτουργία από επιλογικό διακόπτη
FORCE	Int	2.0	0	Εντολή από SCADA
TON	Time	4.0	T#0MS	Χρόνος λειτουργίας
TOFF	Time	8.0	T#0MS	Χρόνος σε αδράνεια
EN	Bool	12.0	FALSE	
OUT		0.0		
RED	Bool	14.0	FALSE	Κόκκινη ενδεικτική λυχνία
GREEN	Bool	14.1	FALSE	Πράσινη ενδεικτική λυχνία
LOAD	Int	16.0	0	Αναφορά για SCADA
IN_OUT		0.0		
Q	Bool	18.0	FALSE	Έξοδος λειτουργίας ηλεκτροκινητήρα
STAT		0.0		
Pulse	FB 101	20.0		Γεννήτρια παλμών
Motor	FB 102	78.0		Ηλεκτροκινητήρας
TEMP		0.0		
RunPulse	Bool	0.0		

Η συνάρτηση FB103 μας δίνει την ευκαιρία να εξετάσουμε τα πλεονεκτήματα του αντικειμενοστρεφή τρόπου συγγραφής του προγράμματός μας. Καθώς πλήθος ηλεκτροκινητήρων της ΕΕΛ λειτουργούν βάσει χρονοπρογράμματος, προκειμένου να αποφύγουμε τη συγγραφή επαναλαμβανόμενων τμημάτων κώδικα, επιλέξαμε να δημιουργήσουμε ένα αντίστοιχο Function Block. Έχουμε όμως ήδη στα χέρια μας τα δομικά στοιχεία για αυτό: το Function Block για τον ηλεκτροκινητήρα και αυτό για τη δημιουργία τετραγωνικών παλμών. Έτσι εύκολα μπορούμε να διασυνδέσουμε τα δύο αυτά για να πάρουμε το ζητούμενο.



Στο τμήμα αυτό δημιουργούμε τον τετραγωνικό παλμό, σύμφωνα με τις παραμέτρους που έδωσε ο χρήστης.



Και εδώ εφαρμόζουμε τον παραπάνω τετραγωνικό παλμό ως συνθήκη εκκίνησης του ηλεκτροκινητήρα.

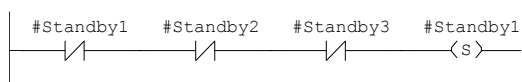
### 1.5.3.6 FB104 - CYCLE

Name	Data Type	Address	Initial Value	Comment
IN		0.0		
IN	Bool	0.0	FALSE	Εντολή εκκίνησης ομάδας ηλεκτροκινητήρων
EN1	Bool	0.1	FALSE	1ος ηλεκτροκινητήρας λειτουργικός
EN2	Bool	0.2	FALSE	2ος ηλεκτροκινητήρας λειτουργικός
EN3	Bool	0.3	FALSE	3ος ηλεκτροκινητήρας λειτουργικός
OUT		0.0		
Q1	Bool	2.0	FALSE	Εξοδος 1ου ηλεκτροκινητήρα
Q2	Bool	2.1	FALSE	Εξοδος 2ου ηλεκτροκινητήρα
Q3	Bool	2.2	FALSE	Εξοδος 3ου ηλεκτροκινητήρα
IN_OUT		0.0		
STAT		0.0		
Standby1	Bool	4.0	FALSE	1ος ηλεκτροκινητήρας σε κατάσταση αναμονής
Standby2	Bool	4.1	FALSE	2ος ηλεκτροκινητήρας σε κατάσταση αναμονής
Standby3	Bool	4.2	FALSE	3ος ηλεκτροκινητήρας σε κατάσταση αναμονής
StartDelay1	SFB 4	6.0		Χρονικό Delay ON, 1ου ηλεκτροκινητήρα
StartDelay2	SFB 4	28.0		Χρονικό Delay ON, 2ου ηλεκτροκινητήρα
StartDelay3	SFB 4	50.0		Χρονικό Delay ON, 3ου ηλεκτροκινητήρα
TEMP		0.0		

Το Function Block της κυκλικής εναλλαγής χρησιμοποιείται αποκλειστικά εντός των διαφόρων ομάδων ηλεκτροκινητήρων. Ο λόγος που αποφασίσαμε να χωρίσουμε την υλοποίησή του από αυτή της ομάδας των ηλεκτροκινητήρων είναι για να πετύχουμε καλύτερη οργάνωση του κώδικα.

Καθώς η γλώσσα στην οποία γράφουμε το πρόγραμμα δεν προσφέρει κάποιο εύχρηστο είδος πίνακα, αποφασίσαμε να περιορίσουμε τον αριθμό των ελεγχόμενων ηλεκτροκινητήρων σε τρεις (3). Σε περίπτωση που έχουμε να λειτουργήσουμε ομάδα με δύο (2) ηλεκτροκινητήρες, τότε απλά θα θέτουμε την είσοδο ενεργοποίησης (#EN{1,2,3}) ενός ηλεκτροκινητήρα ως False.

Η υλοποίηση που ακολουθεί είναι σχεδόν ταυτόσημης λογικής με αυτή που χρησιμοποιούμε και για την κυκλική εναλλαγή των αντλιών στο αποχετευτικό σύστημα στο τμήμα 2.4.3.12 της εργασίας. Η μοναδική ουσιαστική διαφορά είναι ότι αυτή η υλοποίηση επιτρέπει σε ένα και μόνο ηλεκτροκινητήρα να λειτουργεί κάθε φορά. Με δεδομένο ότι στην ΕΕΛ δεν υπάρχει κάποια ομάδα ηλεκτροκινητήρων που να απαιτεί ταυτόχρονη λειτουργία δύο ή τριών ηλεκτροκινητήρων η λύση αυτή είναι επαρκής, με το επιπλέον πλεονέκτημα της απλότητας στην υλοποίηση και κατανόησή της.

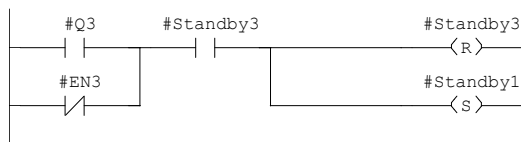
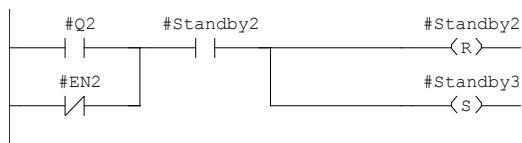
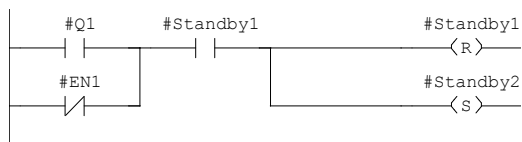


Η κεντρική πληροφορία που διαχειριζόμαστε κατά την κυκλική εναλλαγή είναι «ποιός είναι ο επόμενος ηλεκτροκινητήρας που θα λειτουργήσει». Εμείς αυτή την πληροφορία την κωδικοποιούμε με τρεις μεταβλητές, τύπου Boolean, μια για κάθε ηλεκτροκινητήρα. Κάθε στιγμή, μόνο μια εξ' αυτών θα είναι True, ενώ οι άλλες δύο θα είναι False. Δηλαδή θα ισχύει ότι:

$$\text{XOR}(\text{STANDBY}_1, \text{STANDBY}_2, \text{STANDBY}_3) = \text{TRUE}$$

Μοναδική εξαίρεση έχουμε κατά την εκκίνηση ή όταν και οι τρεις ηλεκτροκινητήρες είναι εκτός λειτουργίας, οπότε όλες οι μεταβλητές θα είναι False.

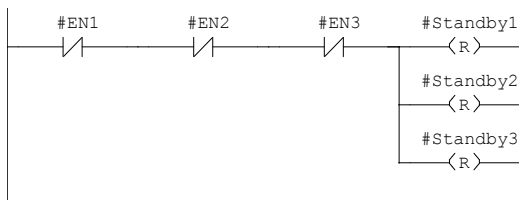
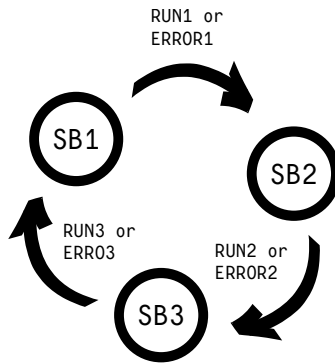
Έτσι κατά την αρχικοποίηση του προγράμματος εξασφαλίζουμε με το παραπάνω τμήμα του κώδικα ότι μια τουλάχιστον μεταβλητή STANDBY θα έχει τιμή TRUE.



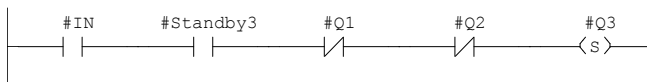
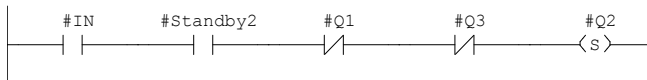
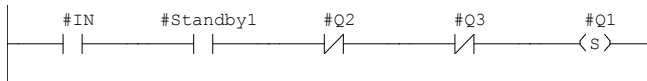
Ακολουθώς υλοποιούμε τη μετάβαση της κατάστασης «αναμονή για εκκίνηση» από κινητήρα σε κινητήρα βάσει δύο συνθηκών:

1. Ο εν λόγω ηλεκτροκινητήρας λειτουργεί.
2. Ο εν λόγω ηλεκτροκινητήρας είναι εκτός λειτουργίας.

Η κυκλική αυτή εναλλαγή της κατάστασης αποδίδεται γραφικά ως εξής:



Τέλος διασφαλίζουμε ότι στην περίπτωση που και οι τρεις ηλεκτροκινητήρες είναι εκτός λειτουργίας τότε αντίστοιχα και όλες οι καταστάσεις αναμονής θα είναι False.



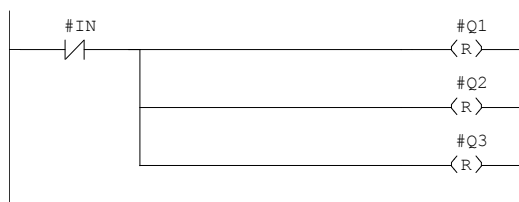
Όταν δοθεί εντολή εκκίνησης (#IN) για την ομάδα, τότε ο ηλεκτροκινητήρας που είναι σε κατάσταση αναμονής τίθεται σε λειτουργία.

Επειδή η μετάβαση της κατάστασης αναμονής λαμβάνει χώρα αμέσως μετά από κάθε εντολή εκκίνησης, προκειμένου να δώσουμε εντολή σε έναν εκ των ηλεκτροκινητήρων, εξετάζουμε πρώτα αν οι άλλοι δύο είναι εκτός λειτουργίας.





Σε περίπτωση που κάποιος ηλεκτροκινητήρας τεθεί εκτός λειτουργίας, είτε από σφάλμα είτε από χειρισμό, τότε μηδενίζουμε και την εντολή εξόδου αυτού, προκειμένου να μπορέσει ο επόμενος να λειτουργήσει, διασφαλίζοντας εναλλαγή λειτουργίας των ηλεκτροκινητήρων κατά την παρουσίαση σφάλματος.



Τελικά, αν μηδενιστεί η εντολή εκκίνησης για την ομάδα, τότε μηδενίζουμε και έκαστη εντολή εκκίνησης προς του ηλεκτροκινητήρες.

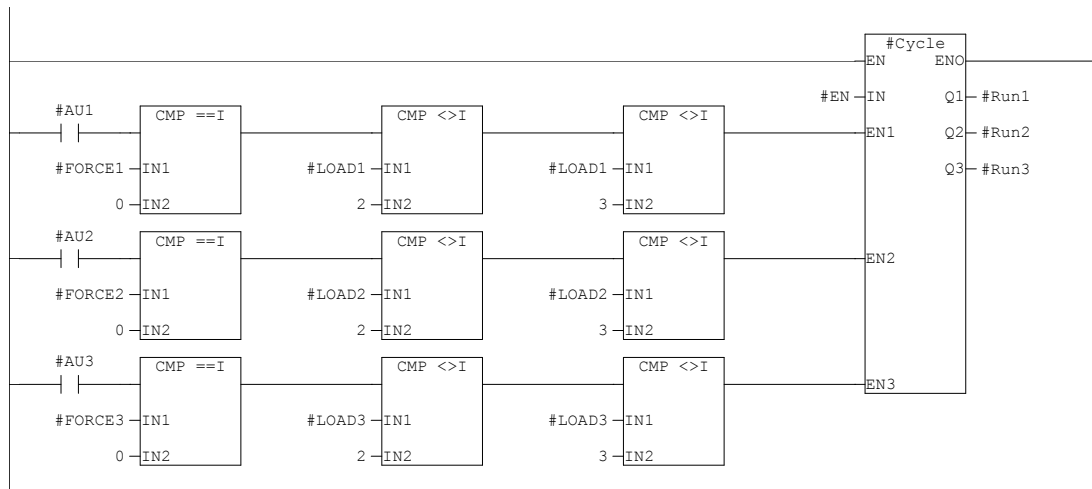


### 1.5.3.7 FB105 - MOTOR\_GRP

Name	Data Type	Address	Initial Value	Comment
IN		0.0		
FDB1	Bool	0.0	FALSE	Ανάδραση 1ου ηλ/ρα
TH1	Bool	0.1	FALSE	Θερμικό σφάλμα 1ου ηλ/ρα
AU1	Bool	0.2	FALSE	Αυτόματη λειτουργία 1ου ηλ/ρα
FORCE1	Int	2.0	0	Εντολή SCADA 1ου ηλ/ρα
FDB2	Bool	4.0	FALSE	Ανάδραση 2ου ηλ/ρα
TH2	Bool	4.1	FALSE	Θερμικό σφάλμα 2ου ηλ/ρα
AU2	Bool	4.2	FALSE	Αυτόματη λειτουργία 2ου ηλ/ρα
FORCE2	Int	6.0	0	Εντολή SCADA 2ου ηλ/ρα
FDB3	Bool	8.0	FALSE	Ανάδραση 3ου ηλ/ρα
TH3	Bool	8.1	FALSE	Θερμικό σφάλμα 3ου ηλ/ρα
AU3	Bool	8.2	FALSE	Αυτόματη λειτουργία 3ου ηλ/ρα
FORCE3	Int	10.0	0	Εντολή SCADA 3ου ηλ/ρα
EN	Bool	12.0	FALSE	
OUT		0.0		
RED1	Bool	14.0	FALSE	Κόκκινη ενδεικτική λυγχνία 1ου ηλ/ρα
GREEN1	Bool	14.1	FALSE	Πράσινη ενδεικτική λυγχνία 1ου ηλ/ρα
RED2	Bool	14.2	FALSE	Κόκκινη ενδεικτική λυγχνία 2ου ηλ/ρα
GREEN2	Bool	14.3	FALSE	Πράσινη ενδεικτική λυγχνία 2ου ηλ/ρα
RED3	Bool	14.4	FALSE	Κόκκινη ενδεικτική λυγχνία 3ου ηλ/ρα
GREEN3	Bool	14.5	FALSE	Πράσινη ενδεικτική λυγχνία 3ου ηλ/ρα
IN_OUT		0.0		
LOAD1	Int	16.0	0	Αναφορά για SCADA 1ου ηλ/ρα
Q1	Bool	18.0	FALSE	Έξοδος 1ου ηλ/ρα
LOAD2	Int	20.0	0	Αναφορά για SCADA 2ου ηλ/ρα
Q2	Bool	22.0	FALSE	Έξοδος 2ου ηλ/ρα
LOAD3	Int	24.0	0	Αναφορά για SCADA 3ου ηλ/ρα
Q3	Bool	26.0	FALSE	Έξοδος 3ου ηλ/ρα
STAT		0.0		
Cycle	FB 104	28.0		Γεννήτρια παλμών
Motor1	FB 102	100.0		1ος ηλεκτροκινητήρας
Motor2	FB 102	138.0		2ος ηλεκτροκινητήρας
Motor3	FB 102	176.0		3ος ηλεκτροκινητήρας
TEMP		0.0		
Run1	Bool	0.0		Εντολή εκκίνησης 1ου ηλ/ρα
Run2	Bool	0.1		Εντολή εκκίνησης 2ου ηλ/ρα
Run3	Bool	0.2		Εντολή εκκίνησης 3ου ηλ/ρα

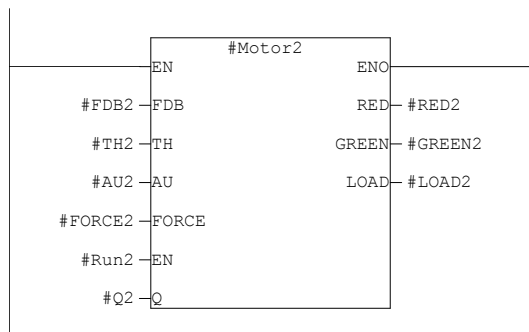
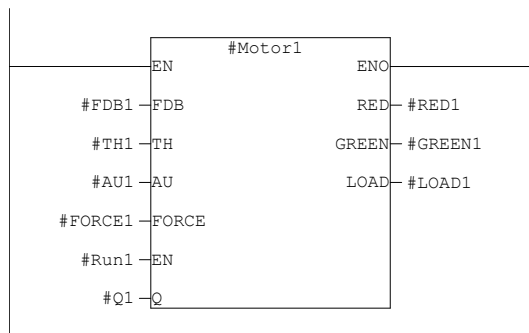
Το Function Block της ομάδας ηλεκτροκινητήρων, όπως και το FB103 MOTOR\_TM, απαρτίζεται αποκλειστικά από άλλα δομικά Function Blocks, με τις ελάχιστες δυνατές διασυνδέσεις μεταξύ τους.

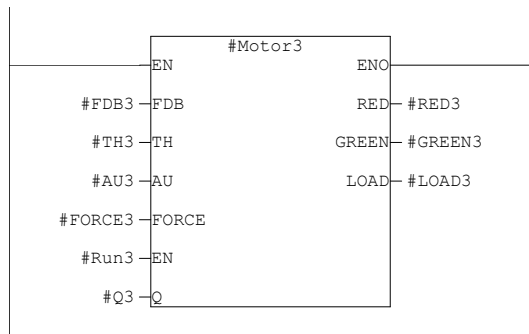
Συγκεκριμένα αποτελείται από ένα FB104 CYCLE και τρία FB102 MOTOR.



Η επιπλέον λογική που εισάγουμε στις εισόδους του FB104 CYCLE εξασφαλίζει ότι οι ηλεκτροκινητήρες της ομάδας θα συμμετέχουν στον κύκλο εναλλαγής όταν πληρούνται οι παρακάτω προϋποθέσεις:

1. Ο ηλεκτροκινητήρας είναι σε αυτόματη λειτουργία τόσο από τον επιλογικό διακόπτη όσο και από SCADA ( $\#AU \ \& \ \#FORCE = 1$ ).
2. Ο ηλεκτροκινητήρας δεν θα παρουσιάζει σφάλμα ( $\#LOAD \neq 2, 3$ ).





Στο τμήμα αυτό κάνουμε απλώς χρήση του FB102 MOTOR για έκαστο ηλεκτροκινητήρα, με τις αντίστοιχες εισόδους και εξόδους.

#### 1.5.3.8 Διάρθρωση Προγράμματος Υποπινάκων

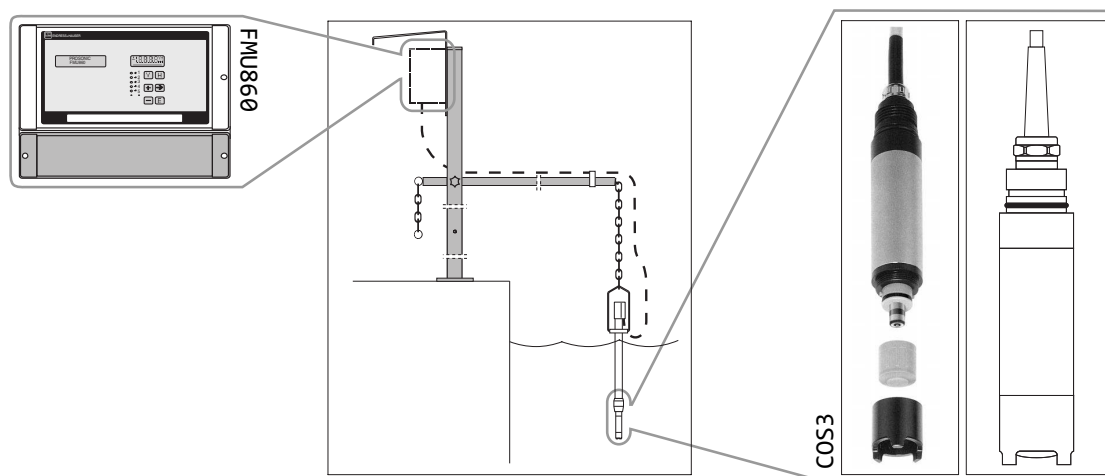
Έχοντας περιγράψει στα αμέσως προηγούμενα τμήματα της εργασίας τον πυρήνα του προγράμματος είναι πλέον εύκολο να υλοποιήσουμε τους υποπίνακες της εγκατάστασης. Κάνοντας χρήση των Function Blocks FB102, FB103 και FB105 μπορούμε να περιγράψουμε τους ελεγχόμενους ηλεκτροκινητήρες με την ελάχιστη προσπάθεια και όπου χρειάζονται ειδικές συνθήκες λειτουργίας των ηλεκτροκινητήρων τότε συμπληρώνουμε τον απαραίτητο κώδικα.

Στο τμήμα αυτό της εργασίας θα παραθέσουμε τον κώδικα του FB6 που αντιστοιχεί στον υποπίνακα του κτιρίου αερισμού ως παράδειγμα της χρήσης του πυρήνα στο υπόλοιπο πρόγραμμα και της ευχρηστίας του αντικειμενοστρεφούς μοντέλου προγραμματισμού που προσφέρει το STEP7.

### 1.5.3.9 FB6 - Υποπίνακας αερισμού

Name	Data Type	Address	Initial Value	Comment
IN		0.0		
OUT		0.0		
IN_OUT		0.0		
STAT		0.0		
_06CB	MOTOR_GRP	0.0		Ομάδα φυσητήρων δεξαμενών αερισμού
_06PS01	MOTOR_TM	214.0		Αντλία ανακυκλοφορίας ανάμεικτου υγρού 1ης δεξαμενής αερισμού
_06PS02	MOTOR_TM	330.0		Αντλία ανακυκλοφορίας ανάμεικτου υγρού 2ης δεξαμενής αερισμού
_06MS01	MOTOR_TM	446.0		Αναδευτήρας 1ης δεξαμενής προαπονιτροποίησης
_06MS02	MOTOR_TM	562.0		Αναδευτήρας 2ης δεξαμενής προαπονιτροποίησης
_06MS03	MOTOR_TM	678.0		Αναδευτήρας φρεατίου απαέρωσης
Run06CB	Bool	794.0	FALSE	Συνθήκη για την εκκίνηση της ομάδας των φυσητήρων
TEMP		0.0		
LessOxygen01	Bool	0.0		Η 1η δεξαμενή αερισμού έχει λιγότερο οξυγόνο από το απαιτούμενο
LessOxygen02	Bool	0.1		Η 2η δεξαμενή αερισμού έχει λιγότερο οξυγόνο από το απαιτούμενο
MoreOxygen01	Bool	0.2		Η 1η δεξαμενή αερισμού έχει περισσότερο οξυγόνο από το απαιτούμενο
MoreOxygen02	Bool	0.3		Η 2η δεξαμενή αερισμού έχει περισσότερο οξυγόνο από το απαιτούμενο

Ο υποπίνακας του αερισμού ελέγχει την ομάδα των τριών (3) φυσητήρων, δύο (2) αντλίες ανακυκλοφορίας ανάμεικτου υγρού, δύο (2) αναδευτήρες στις δεξαμενές προαπονιτροποίησης και έναν (1) αναδευτήρα στο φρεάτιο απαρέωσης.

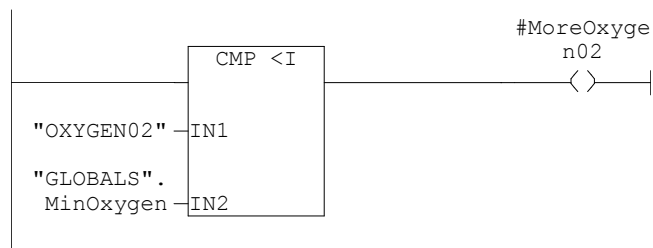
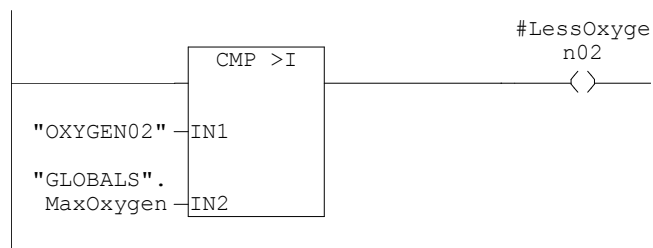
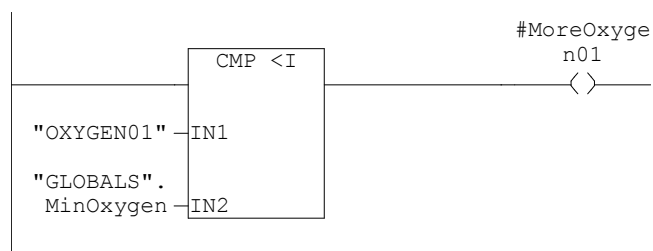
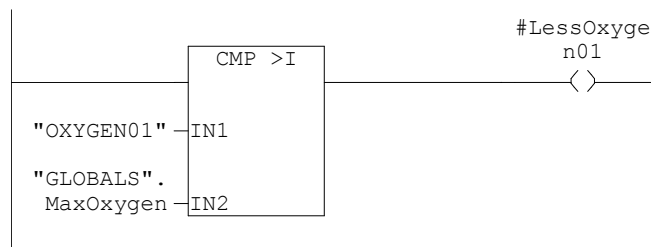


Σχήμα 1.20: Η μονάδα FMU860 της εταιρίας Endress+Hausser με το αισθητήριο μέτρησης διαλυμένου οξυγόνου COS3.

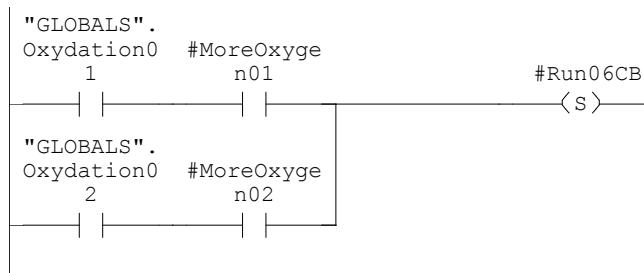
Η ομάδα των φυσητήρων λειτουργεί εξετάζοντας την ποσότητα του διαλυμένου οξυγόνου στις δεξαμενές αερισμού. Το διαλυμένο οξυγόνο το μετράμε με τη μονάδα FMU860 της εταιρίας Endress+Hausser, η οποία συνδέεται με το αισθητήριο διαλυμένου οξυγόνου COS3. Το αισθητήριο αυτό είναι εμβαπτισμένο σε προκαθορισμένο ύψος εντός

του ανάμεικτου υγρού και στις δύο δεξαμενές του αερισμού (βλέπετε σχήμα 1.20). Οι τιμές από τη μονάδα FMU860 διαβάζονται ως σήμα 4..20mA από την αντίστοιχη αναλογική είσοδο στον υποπίνακα. Έτσι όταν το διαλυμένο οξυγόνο πέσει κάτω από το επιτρεπτό όριο που έχει ορίσει ο χειριστής της εγκατάστασης, η ομάδα των φυσητήρων ξεκινάει τη λειτουργία της. Όταν αντίστοιχα το διαλυμένο οξυγόνο εντός των δεξαμενών ξεπεράσει το άνω όριο που έχει ορίσει ο χειριστής, τότε οι φυσητήρες διακόπτουν τη λειτουργία τους.

Όλοι οι υπόλοιποι ηλεκτροκινητήρες του υποπίνακα λειτουργούν βάση χρονοπρογράμματος.

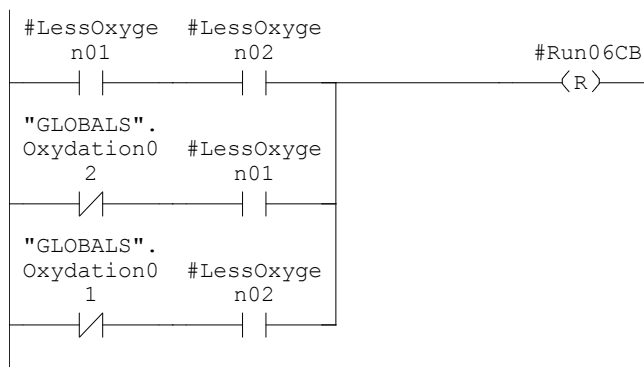


Αρχικά εξετάζουμε κατά πόσο η τιμή του διαλυμένου οξυγόνου σε κάθε μια από τις δεξαμενές του αερισμού, βρίσκεται εντός των ορίων λειτουργίας.



Στην περίπτωση που έστω μια από τις δύο δεξαμενές χρειάζεται περισσότερο οξυγόνο, τότε εκκινούμε τους φυσητήρες. Ο λόγος για τον οποίο κάνουμε αυτή την επιλογή είναι διότι το πλεόνασμα οξυγόνου δεν μας ζημιώνει σε αντίθεση με την έλλειψη αυτού. Έτσι ακόμα κι αν μόνο μια εκ των δύο δεξαμενών είναι κάτω από το επιτρεπτό όριο οι φυσητήρες οφείλουν να λειτουργήσουν.

Απαιτούμενη συνθήκη βέβαια για να λάβουμε υπόψη την εν λόγο δεξαμενή είναι αυτή να βρίσκεται σε λειτουργία (GLOBALS.Oxydation0{1,2}). Οι συγκεκριμένες μεταβλητές ορίζονται από το χειριστή της εγκατάστασης και απαιτούνται καθώς σπανίως είναι αναγκαίο και επιθυμητό να λειτουργούν και οι δύο δεξαμενές ταυτόχρονα. Οι τυπικές παροχές του συστήματος είναι τέτοιες, στο μεγαλύτερο τμήμα του χρόνου, που καθιστούν επαρκή μια και μόνο δεξαμενή. Η λειτουργία και της δεύτερης, στην περίπτωση αυτή, όχι απλά πλεονάζει, αλλά δημιουργεί και πρόβλημα στην εύρυθμη λειτουργία της εγκατάστασης, καθώς ο χρόνος παραμονής των λυμάτων εντός των δύο δεξαμενών ξεπερνάει το ανώτατο επιτρεπτό όριο.



Σε πλήρη αναλογία, στην περίπτωση που και οι δύο δεξαμενές χρειάζονται λιγότερο οξυγόνο, τότε διακόπτουμε τη λειτουργία των φυσητήρων.

```

CALL #_06CB
  FDB1 := "06CB01_FDB"
  TH1  := "06CB01_TH"
  AU1  := "06CB01_AU"
  FORCE1 := "FORCE"._06CB01
  FDB2 := "06CB02_FDB"
  TH2  := "06CB02_TH"
  AU2  := "06CB02_AU"
  FORCE2 := "FORCE"._06CB02
  FDB3 := "06CB03_FDB"
  TH3  := "06CB03_TH"
  AU3  := "06CB03_AU"
  FORCE3 := "FORCE"._06CB03
  EN   := "Run06CB"
  RED1 := "06CB01_RED"
  GREEN1 := "06CB01_GREEN"
  RED2 := "06CB02_RED"
  GREEN2 := "06CB02_GREEN"
  RED3 := "06CB03_RED"
  GREEN3 := "06CB03_GREEN"
  LOAD1 := "LOAD"._06CB01
  Q1    := "06CB01_Q"
  LOAD2 := "LOAD"._06CB02
  Q2    := "06CB02_Q"
  LOAD3 := "LOAD"._06CB03
  Q3    := "06CB03_Q"

CALL #_06PS01
  FDB := "06PS01_FDB"
  TH  := "06PS01_TH"
  AU  := "06PS01_AU"
  FORCE := "FORCE"._06PS01

TON := "MTON"._06PS01
TOFF := "MTOFF"._06PS01
EN := "GLOBALS".Oxydation01
RED := "06PS01_RED"
GREEN := "06PS01_GREEN"
LOAD := "LOAD"._06PS01
Q := "06PS01_Q"

CALL #_06PS02
  FDB := "06PS02_FDB"
  TH  := "06PS02_TH"
  AU  := "06PS02_AU"
  FORCE := "FORCE"._06PS02
  TON := "MTON"._06PS02
  TOFF := "MTOFF"._06PS02
  EN := "GLOBALS".Oxydation02
  RED := "06PS02_RED"
  GREEN := "06PS02_GREEN"
  LOAD := "LOAD"._06PS02
  Q := "06PS02_Q"

CALL #_06MS01
  FDB := "06MS01_FDB"
  TH  := "06MS01_TH"
  AU  := "06MS01_AU"
  FORCE := "FORCE"._06MS01
  TON := "MTON"._06MS01
  TOFF := "MTOFF"._06MS01
  EN := "GLOBALS".Oxydation01
  RED := "06MS01_RED"

GREEN := "06MS01_GREEN"
LOAD := "LOAD"._06MS01
Q := "06MS01_Q"

CALL #_06MS02
  FDB := "06MS02_FDB"
  TH  := "06MS02_TH"
  AU  := "06MS02_AU"
  FORCE := "FORCE"._06MS02
  TON := "MTON"._06MS02
  TOFF := "MTOFF"._06MS02
  EN := "GLOBALS".Oxydation02
  RED := "06MS02_RED"
  GREEN := "06MS02_GREEN"
  LOAD := "LOAD"._06MS02
  Q := "06MS02_Q"

CALL #_06MS03
  FDB := "06MS03_FDB"
  TH  := "06MS03_TH"
  AU  := "06MS03_AU"
  FORCE := "FORCE"._06MS03
  TON := "MTON"._06MS03
  TOFF := "MTOFF"._06MS03
  EN := TRUE
  RED := "06MS03_RED"
  GREEN := "06MS03_GREEN"
  LOAD := "LOAD"._06MS03
  Q := "06MS03_Q"

```

Στο παραπάνω τμήμα, προς εξοικονόμηση χώρου, συμπύξαμε τα αντίστοιχα Function Blocks σε τρεις στήλες.

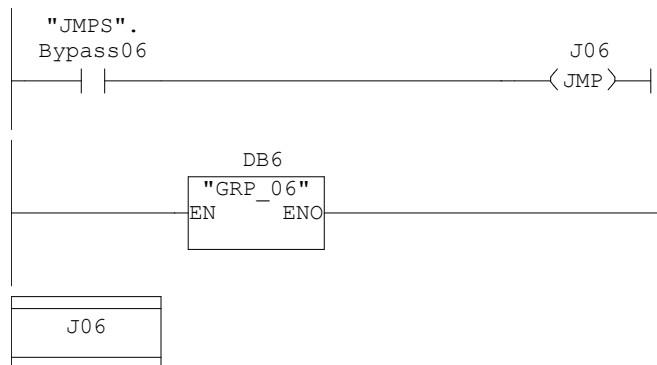
Οι κλήσεις των Function Blocks που αντιπροσωπεύουν τους ηλεκτροκινητήρες του υποπίνακα γίνονται σε γλώσσα Statment List (STL). Ο λόγος για την παραδρομή αυτή από τη γλώσσα Ladder (LAD) είναι για την ευκολία που προσφέρει στην εισαγωγή των δεδομένων εντός του περιβάλλοντος συγγραφής και για το περιορισμένο «όγκο» που καταλαμβάνει στην απεικόνιση εντός του ίδιου περιβάλλοντος. Η λειτουργία αυτών παραμένει ταυτόσημη.

Παρατηρήστε ότι η συνθήκη για τη λειτουργία της ομάδας των φυσητήρων (06CB) είναι η μεταβλητή Run06CB που την τιμή της είχαμε υπολογίσει στα παραπάνω τμήματα του Function Block.



### 1.5.3.10 Διάρθρωση Κεντρικού Προγράμματος (OB1)

Εν τέλει καλούμε τα Function Blocks των υποπινάκων εντός του κεντρικού προγράμματος (OB1). Το OB1 δεν προσθέτει νέα τμήματα λογικής, παρά κάνει μια απλή κλήση των FB4 έως και FB10. Τμήμα του OB1 παρατίθεται παρακάτω.



Η υπό συνθήκη μεταπήδηση στο παραπάνω τμήμα του κώδικα χρησιμοποιείται σε συνδυασμό με τη μεταβλητή JMPS.Bypass06. Για κάθε έναν εκ των υποπινάκων έχουμε προγραμματίσει μια αντίστοιχη υπό συνθήκη μεταπήδηση.

Ο λόγος αυτών είναι για την τμηματική διακοπή λειτουργίας του προγράμματος σε περίπτωση που απαιτηθεί να προχωρήσουμε σε αλλαγές ενόσω αυτό είναι λειτουργικό. Πετυχαίνουμε έτσι την ελάχιστη δυνατή διατάραξη στη λειτουργία της ΕΕΛ, απομονώνοντας μόνο το τμήμα εκείνο που μας ενδιαφέρει. Είναι βέβαια εφικτό να προχωρήσουμε στην τροποποίηση του κώδικα δίχως μια τέτοια διαδικασία, με τον απ' ευθείας επαναπρογραμματισμό της μονάδας. Στη πράξη διαπιστώσαμε ότι μια τέτοια προσθήκη μας έδωσε μεγάλη ευχέρεια, ιδιαίτερα κατά την πρώτη εκκίνηση του συστήματος, όπου αυτή έγινε τμηματικά, με την επαλήθευση της ορθής λειτουργίας κάθε υπομονάδας προτού προχωρήσουμε στην ενεργοποίηση της επόμενης.

## 1.5.4 Κατασκευές Ηλεκτρολογικών Πινάκων

Κατά τη διάρκεια της υλοποίησης του προγράμματος κληθήκαμε να προχωρήσουμε και σε αλλαγές εντός ορισμένων ηλεκτρολογικών πινάκων. Συγκεκριμένα οι εργασίες που έλαβαν χώρα είναι οι ακόλουθες:

### 1. Υποπίνακας γέφυρας εξάμμωσης

Η γέφυρα εξάμμωσης διαθέτει έναν υποπίνακα που την ελέγχει όπως διακρίνεται στο σχήμα Β'.1. Ο υποπίνακας αυτός ελέγχει την παλινδρομική κίνηση της γέφυρας και τις δύο αντλίες άμμου του αντίστοιχου σταδίου. Καθώς δεν διαθέτει μονάδα επικοινωνίας με το κεντρικό PLC, η διασύνδεση αυτού γίνεται διαμέσου του υποπίνακα της προεπεξεργασίας.

Η ανάγκη για επανακατασκευή του πίνακα προέκυψε από την απουσία ορθού ελέγχου της γέφυρας. Η γέφυρα, αν και εντός του προγράμματος της εργασίας αντιμετωπίζεται ως μια συνεκτική μονάδα, αποτελείται από δύο ηλεκτροκινητήρες και τέσσερις τερματικούς διακόπτες. Οι ηλεκτροκινητήρες αναλαμβάνουν την κίνηση της γέφυρας και την κίνηση του ξέστρου αντίστοιχα. Σε κάθε έναν από τους ηλεκτροκινητήρες αντιστοιχούν και δύο τερματικοί διακόπτες.

### 2. Υποπίνακας προεπεξεργασίας

Ο υποπίνακας του σταδίου της προεπεξεργασίας καταστράφηκε ολικώς λόγω φωτιάς που ξέσπασε εντός αυτού. Ακολούθησε η πλήρης αντικατάσταση αυτού μαζί με το αντίστοιχο ερμάριο και η δοκιμαστική λειτουργία του νέου.

### 3. Υποπίνακας αερισμού

Στον υποπίνακα αερισμού έλαβαν χώρα μια σειρά από αλλαγές στα συστήματα εκκίνησης των φυσητήρων, προκειμένου να προσαρμοστούν στους δύο νέους ομαλούς εκκινητές. Καθώς κάθε κατασκευάστρια εταιρεία διαθέτει διαφορετικές εξόδους και λογική για τη λειτουργία των συστημάτων της, αυτό κρίθηκε αναγκαίο προκειμένου οι φυσητήρες με τους νέους ομαλούς εκκινητές να είναι σε θέση να ελέγχονται τόσο αυτόματα όσο και χειροκίνητα από το πρόγραμμα λογικού ελέγχου.

Επιπλέον καθώς ο υποπίνακας του αερισμού ήταν ο πλησιέστερος στο ηλεκτροπαραγωγό ζεύγος και το μετασχηματιστή χαμηλής από μέση τάση, έγιναν οι απαιτούμενες διασυνδέσεις έτσι ώστε τυχόν αναφορά σφαλμάτων από αυτούς να παρουσιάζεται στις εισόδους του αυτοματισμού του πίνακα.

## Κεφάλαιο 2

# Αποχετευτικό Δίκτυο

### 2.1 Αρχές Λειτουργίας

Απώτερος σκοπός ενός αποχετευτικού δικτύου είναι η απαγωγή των λυμάτων από μια περιοχή προς ένα σημείο απόδοσης. Με την ευρεία εξάπλωση των Εγκαταστάσεων Επεξεργασίας Λυμάτων, αυτό το σημείο απόδοσης είναι τις περισσότερες φορές μια τέτοια μονάδα.

Η δομή του αποχετευτικού δικτύου και τα μέρη τα οποία το απαρτίζουν εξαρτώνται από τη μορφολογία της εξυπηρετούμενης περιοχής, τη γεωγραφική της σχέση με το σημείο απόδοσης και τον τύπο των λυμάτων που απάγονται. Εμείς εξετάζουμε την περίπτωση αστικών λυμάτων που οδηγούνται από μια σχετικά μικρή απόσταση προς την αντίστοιχη ΕΕΛ, η οποία βρίσκεται σε μεγαλύτερο υψόμετρο. Η τελευταία παράμετρος είναι και αυτή η οποία μας οδηγεί στη χρήση αντλιοστασίων προκειμένου να υπερνικήσουμε της βαρυτικές δυνάμεις και να ανυψώσουμε τα λύματα στην επιθυμητή τοποθεσία. Δεδομένης της αυξημένης πληθυσμιακής συγκέντρωσης σε παράκτιες περιοχές στην Ελλάδα, αυτή η διαμόρφωση των αποχετευτικών συστημάτων απαντάται συχνά.

Το ίδιο το δίκτυο χωρίζεται σε πρωτεύον και δευτερεύον. Το πρωτεύον δίκτυο αποτελείται από τους κεντρικούς συλλεκτήριους αγωγούς, ενώ το δευτερεύον απαρτίζεται από τα κάθετα δίκτυα στα οποία συνδέονται οι χρήστες του συστήματος. Το δευτερεύον δίκτυο αποδίδει βαρυτικά τα λύματα στους κεντρικούς συλλεκτήριους αγωγούς, οι οποίοι με τη σειρά τους τα οδηγούν, πάλι βαρυτικά, σε παρακείμενα αντλιοστάσια.

Από εκεί τα λύματα απάγονται με χρήση αντλιών μέσα από καταθλιπτικούς αγωγούς<sup>1</sup>. Τα λύματα με τον τρόπο αυτό οδηγούνται από αντλιοστάσιο σε αντλιοστάσιο, μέχρις ότου να φθάσουν στον τελικό προορισμό τους, που στην περίπτωση μας είναι η Εγκατάσταση Επεξεργασίας Λυμάτων.

---

<sup>1</sup>Ως καταθλιπτικούς ονομάζουμε τους αγωγούς εκείνους οι οποίοι λειτουργούν υπό πίεση και με 100% πληρότητα. Σε αυτούς δεν συνδέονται κάθετα δίκτυα.

## 2.2 Υφιστάμενο Δίκτυο

### 2.2.1 Περιγραφή Δικτύου

Το υφιστάμενο δίκτυο υλοποιήθηκε το έτος 2004 και τέθηκε σε λειτουργία το 2007.

Το δίκτυο αποχέτευσης του Δήμου Πόρου περιλαμβάνει αντλιοστάσια, συλλεκτήρες και καταθλιπτικούς αγωγούς στους οικισμούς Σφαιρία, Πέρλια και Νεώριο. Οι κεντρικοί συλλεκτήριοι αγωγοί καταλήγουν στα αντλιοστάσια, από τα οποία οι καταθλιπτικοί αγωγοί απάγουν τα ακάθαρτα και τα κατευθύνουν προς την ΕΕΛ. Επίσης έχει κατασκευαστεί μικρό τμήμα αγωγού βαρύτητας που συνδέει το φρεάτιο απόδοσης του αντλιοστασίου με το φρεάτιο εισόδου στην ΕΕΛ.

Στη Σφαιρία έχει κατασκευαστεί ο κεντρικός συλλεκτήριος αγωγός Σ2, ο οποίος καταλήγει στο αντλιοστάσιο Α1.

Το αντλιοστάσιο Α1 έχει κατασκευαστεί στην Σφαιρία. Έχουν τοποθετηθεί τρεις υποβρύχιες αντλίες λυμάτων παροχής  $210 \text{ m}^3/\text{h}$  μανομετρικού 21m. Η λειτουργία των αντλιών είναι αυτόματη, με εκκίνηση και στάση ελεγχόμενη από τη στάθμη των λυμάτων στη δεξαμενή συγκεντρώσεως του αντλιοστασίου.

Από το αντλιοστάσιο Α1 οδεύει ο καταθλιπτικός αγωγός ΚΑ1 που καταλήγει σε φρεάτιο απόδοσης. Από εκεί ο κεντρικός συλλεκτήρας Π1 καταλήγει στο αντλιοστάσιο Α3 στην περιοχή της Πέρλιας. Επειδή ο συλλεκτήρας Π1 δέχεται και λύματα από άλλα τμήματα της Πέρλιας, αλλά και εξαιτίας της όδευσής του κάτω από υφιστάμενους οχετούς, επιβλήθηκε η κατασκευή του αντλιοστασίου ανύψωσης Α01 στο οποίο τοποθετήθηκε μια αντλία παροχής  $513 \text{ m}^3/\text{h}$  μανομετρικού 1m (εκ των υστέρων έχει τοποθετηθεί και μια επιπλέον αντλία ως εφεδρεία της υφιστάμενης).

Το αντλιοστάσιο Α3 έχει κατασκευαστεί στην Πέρλια. Έχουν τοποθετηθεί τρεις υποβρύχιες αντλίες λυμάτων παροχής  $360 \text{ m}^3/\text{h}$ , μανομετρικού 27m, οι οποίες οδηγούν τα ακάθαρτα σε φρεάτιο απόδοσης μέσω του καταθλιπτικού αγωγού ΚΑ2. Η λειτουργία των αντλιών είναι αυτόματη, με εκκίνηση και στάση ελεγχόμενη από τη στάθμη των λυμάτων στη δεξαμενή συγκεντρώσεως του αντλιοστασίου.

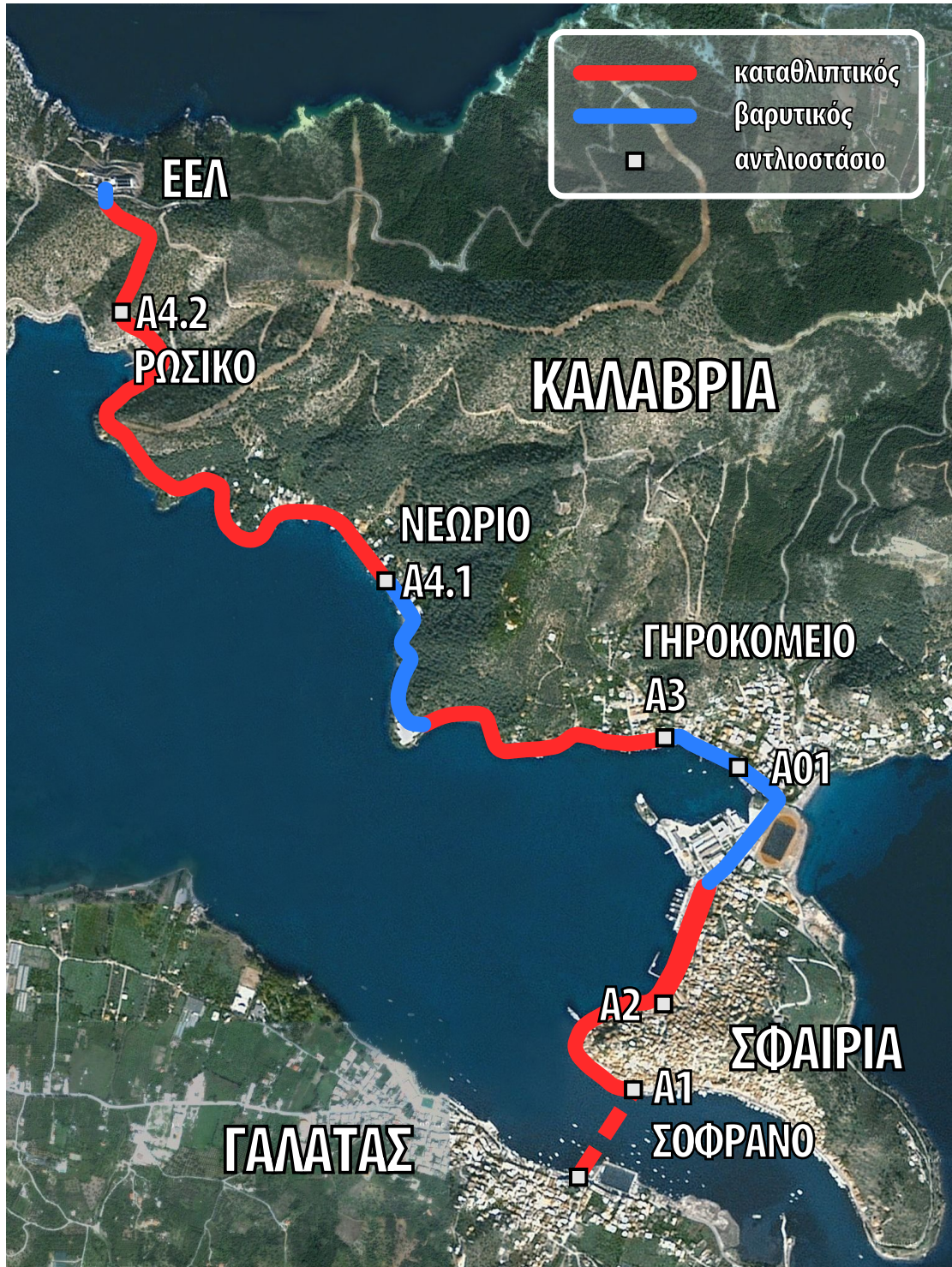
Από το αντλιοστάσιο Α3 οδεύει ο καταθλιπτικός αγωγός ΚΑ2 που καταλήγει σε φρεάτιο απόδοσης. Από εκεί ο κεντρικός συλλεκτήρας Ν1 καταλήγει στο αντλιοστάσιο Α4.1.

Το αντλιοστάσιο A4.1 έχει κατασκευαστεί στο Νεώριο. Έχουν τοποθετηθεί τρεις υποβρύχιες αντλίες λυμάτων παροχής  $385 \text{ m}^3/\text{h}$  μανομετρικού 52m, οι οποίες οδηγούν τα ακάθαρτα σε φρεάτιο απόδοσης μέσω του καταθλιπτικού αγωγού ΚΑ3. Η λειτουργία των αντλιών είναι αυτόματη, με εκκίνηση και στάση ελεγχόμενη από τη στάθμη των λυμάτων στη δεξαμενή συγκεντρώσεως του αντλιοστασίου.

Από το αντλιοστάσιο A4.1 οδεύει ο καταθλιπτικός αγωγός ΚΑ3. Εξαιτίας του μεγάλου μανομετρικού ύψους μεταξύ του αντλιοστασίου A4.1 και του φρεατίου απόδοσης, κατασκευάστηκε το αντλιοστάσιο A4.2.

Το αντλιοστάσιο A4.2 έχει κατασκευαστεί πάνω στον υφιστάμενο χωματόδρομο από τον «Ρώσικο Ναύσταθμο» που οδηγεί στην ΕΕΛ. Έχουν τοποθετηθεί τρεις υποβρύχιες αντλίες λυμάτων παροχής  $385 \text{ m}^3/\text{h}$  μανομετρικού 52m, οι οποίες οδηγούν τα ακάθαρτα στο φρεάτιο απόδοσης μέσω του καταθλιπτικού αγωγού ΚΑ3. Η λειτουργία των αντλιών είναι αυτόματη, με εκκίνηση και στάση ελεγχόμενη από τη στάθμη των λυμάτων στην δεξαμενή συγκεντρώσεως του αντλιοστασίου.

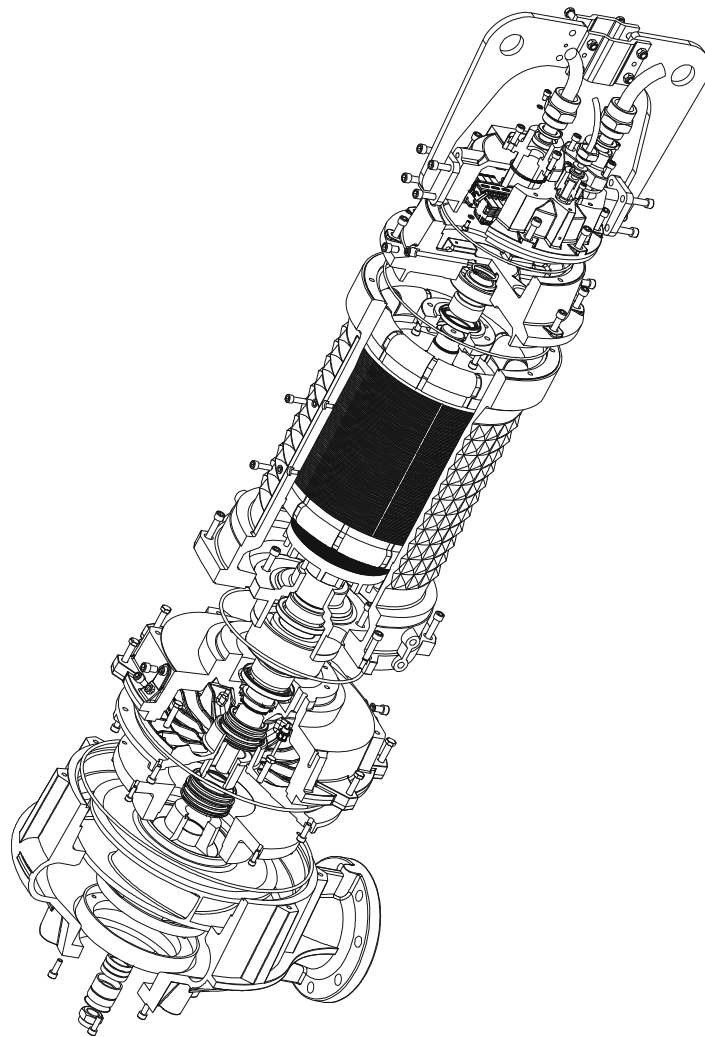
Τέλος, από το φρεάτιο απόδοσης του αντλιοστασίου A4.2 οδεύει ο αγωγός από PVC, που συνδέει το φρεάτιο απόδοσης με το υφιστάμενο φρεάτιο εισόδου της ΕΕΛ.



Σχήμα 2.1: Το σύνολο των αντλιοστασίων και των αγωγών που αποτελούν το κεντρικό σύστημα προσαγωγής ακαθάρτων.

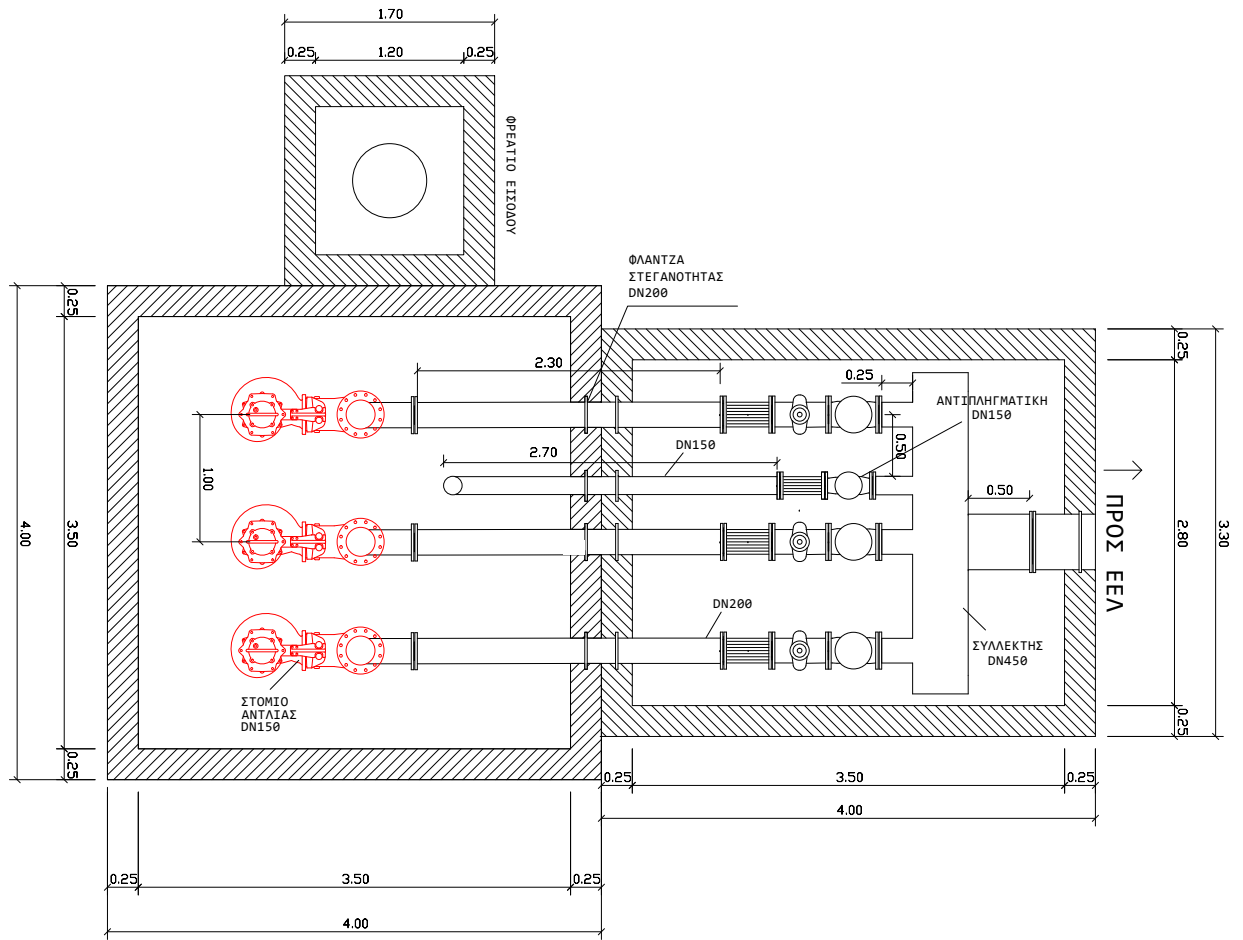
## 2.2.2 Υδραυλική Εγκατάσταση

Η τυπική υδραυλική εγκατάσταση του αντλιοστασίου έχει ως εξής: εντός του χώρου του αντλιοστασίου βρίσκονται εγκατεστημένες τρεις εμβαπτιζόμενες αντλίες λυμάτων. Η στήριξή τους γίνεται με ειδική βάση στον πυθμένα του αντλιοστασίου. Από κάθε αντλία φεύγει ένας αγωγός κατάλληλης διατομής που διαπερνώντας το τοιχίο, εισέρχεται εντός του χώρου του βανοστασίου. Ο αγωγός αυτός προσαρμόζεται κατάλληλα με εξαρμωτικό στοιχείο, αντεπίστροφη βαλβίδα και μαχαιρωτή βάννα, προτού καταλήξει στο συλλεκτήρα. Ο συλλεκτήρας αθροίζει και τις τρεις εισερχόμενες ροές από τις αντλίες και τις διοχετεύει στον ανάντι καταθλιπτικό αγωγό. Αυτή η τοπολογία ακολουθείται σε όλα τα αντλιοστάσια του αποχετευτικού συστήματος δίχως αποκλίσεις.

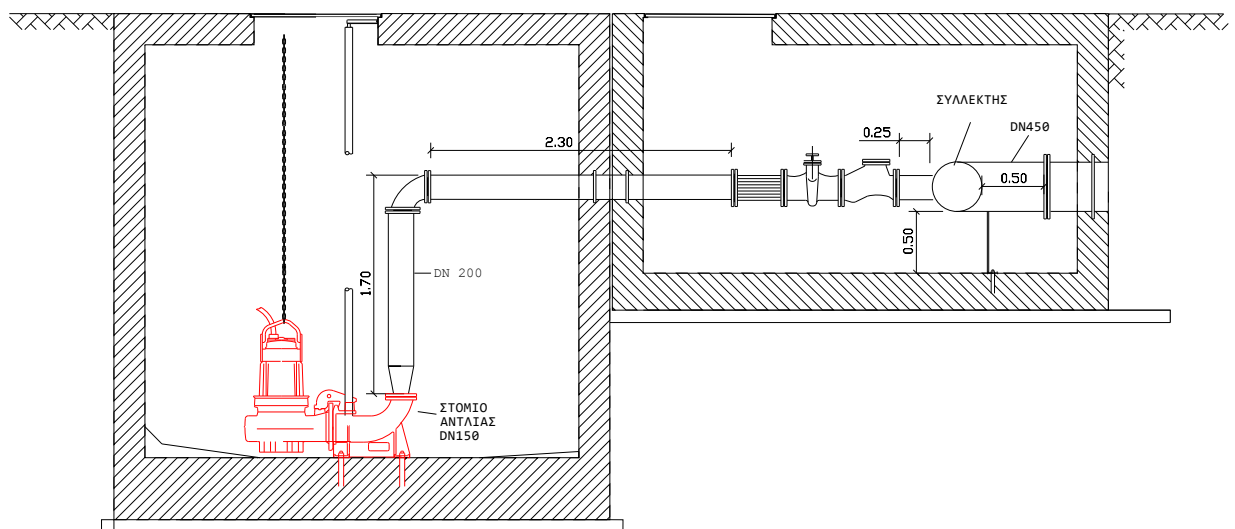


Σχήμα 2.2: Μηχανολογικό σχέδιο εμβαπτιζόμενης αντλίας των αντλιοστασίων A4.1 & A4.2, δίχως το μανδύα ψύξης.





Σχήμα 2.3: Κάτοψη του αντλιοστασίου - βανοστασίου A4.2



Σχήμα 2.4: Τομή του αντλιοστασίου - βανοστασίου A4.2

### 2.2.3 Εμβαπτιζόμενες αντλίες

Οι αντλίες που χρησιμοποιούνται στα αντλιοστάσια είναι εμβαπτιζόμενου τύπου με αυτόματο προσαρμογέα και οδηγούς, σε κατάλληλο πέδιλο στήριξης και εφαρμογής με τον αγωγό.

Από τη σκοπιά του αυτοματισμού ο τύπος της αντλίας δεν διαδραματίζει καίριο ρόλο. Υπάρχουν όμως κάποια χαρακτηριστικά της τα οποία πρέπει να λάβουμε υπόψη:

#### 1. Μέγιστος αριθμός εκκινήσεων

Ο μέγιστος αριθμών εκκινήσεων για έναν ηλεκτροκινητήρα είναι μια προδιαγραφή που ορίζει ο κατασκευαστής και αφορά το μεγαλύτερο επιτρεπτό αριθμό εκκινήσεων του ηλεκτροκινητήρα μέσα σε μια ώρα. Οι εκκινήσεις αυτές θεωρούνται ως απ' ευθείας (Direct-on-Line (DoL)) και ως τέτοιες προκαλούν τη μέγιστη ηλεκτρική και μηχανολογική καταπόνηση από κάθε άλλο είδος εκκίνησης. Εμείς στο πρόγραμμά μας δεν παρεμβαίνουμε στη λειτουργία της αντλίας σε περίπτωση που αυτή ξεπεράσει το μέγιστο αριθμό εκκινήσεων, αλλά φροντίζουμε να γίνεται η καταγραφή τους.

#### 2. Χαμηλότερο επίπεδο στάθμης

Οι εγκατεστημένες αντλίες είναι υδρόψυκτες, με τη ψύξη να επιτυγχάνεται από περιβάλλον υγρό. Για το λόγο αυτό οι αντλίες δεν πρέπει να λειτουργούν για παρατεταμένο χρονικό διάστημα σε χαμηλό επίπεδο στάθμης ή εν κενώ. Την εν κενώ λειτουργία την ανιχνεύουμε μέσω του σφάλματος χαμηλού ρεύματος, καθώς όπως φαίνεται και από τις καμπύλες λειτουργίας των αντλιών στο τμήμα Δ'2 στη σελίδα 178, σε χαμηλά φορτία πέφτει αντίστοιχα και η ένταση του ρεύματος που τραβάει ο ηλεκτροκινητήρας.

#### 3. Θερμική προστασία του ηλεκτροκινητήρα

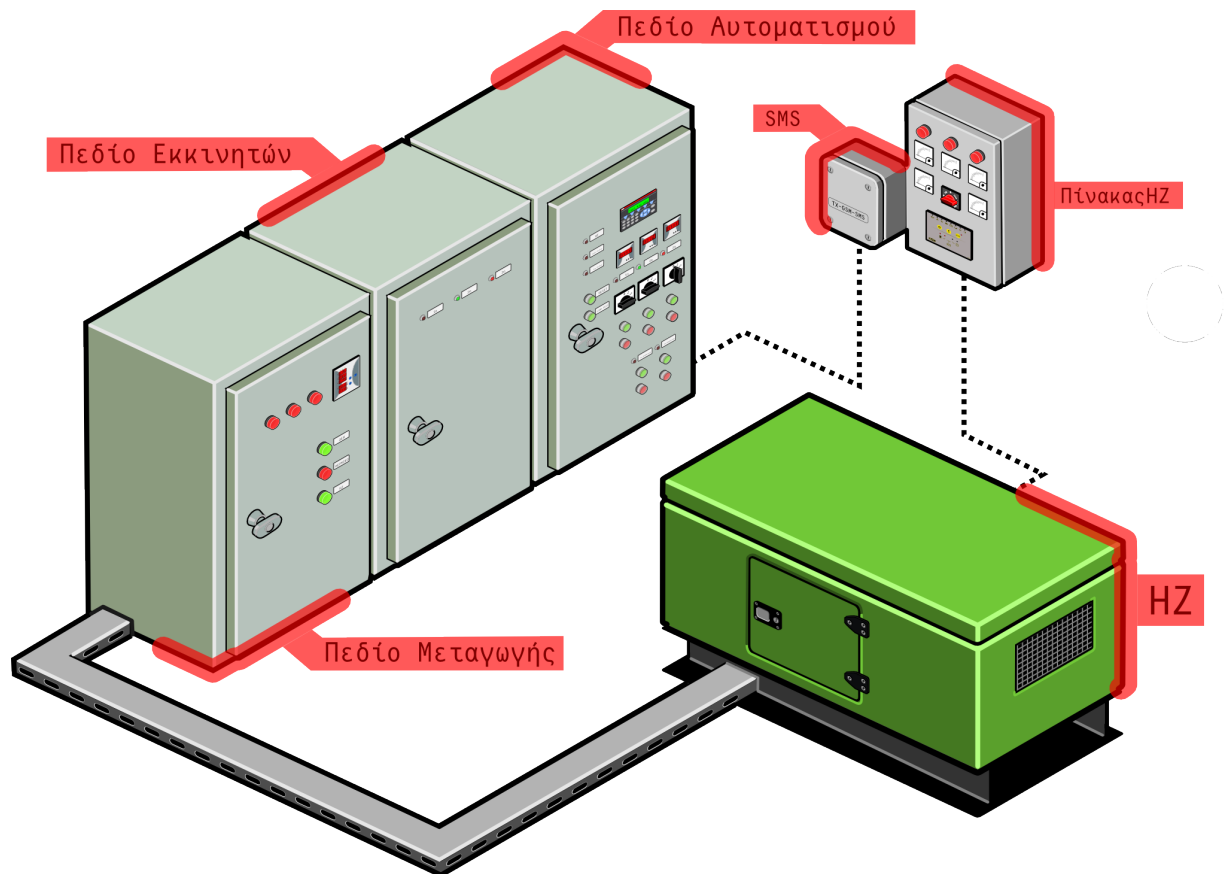
Εντός του στάτη των αντλιών υπάρχει όργανο μέτρησης της θερμοκρασίας το οποίο συνδέεται με κατάλληλο ηλεκτρονόμο στον πίνακα. Η πληροφορία της υπερθέρμανσης του στάτη είναι, σε αρκετές περιπτώσεις, ανεξάρτητη της υπερφόρτισης. Δηλαδή, μπορούμε να έχουμε υψηλή θερμοκρασία εκτός των ορίων λειτουργίας δίχως απαραίτητα να υπάρχει κάποιο βραχυκύκλωμα. Δυστυχώς στην υφιστάμενη ηλεκτρολογική εγκατάσταση το σήμα της υπερφόρτισης και αυτό της υπερθέρμανσης αθροίζονται σε ένα και μόνο σήμα. Η απουσία επιπλέον εισόδων στο PLC μας απέτρεψε στο να προβούμε στις απαιτούμενες τροποποιήσεις του πίνακα ώστε τα δύο σήματα να ανιχνεύονται ξεχωριστά.



Σχήμα 2.5: Αντλία εκτός αντλιοστασίου στην τοποθεσία Ρωσικό. Διακρίνεται έντονα η διάβρωσή της, ιδιαίτερα στο σκέλος ανάρτησής της, από το οποίο ανελκύεται και καθελκύεται.

## 2.2.4 Ηλεκτρολογική Εγκατάσταση

Τα ερμάρια με τους ηλεκτρολογικούς πίνακες στεγάζονται σε ξεχωριστό κτίριο, κοντά στο κάθε αντλιοστάσιο. Εντός του ίδιου κτιρίου στεγάζεται και το ηλεκτροπαραγωγό ζεύγος.



Σχήμα 2.6: Μια ενδεικτική διάταξη εντός του κτιρίου με τον ηλεκτρολογικό εξοπλισμό.

Οι ηλεκτρολογικοί πίνακες αποτελούνται από συνολικά τρία πεδία, με κάθε ένα εξ' αυτών να επιτελεί διαφορετική λειτουργία:

### 1. Πεδίο Μεταγωγής

Βασική λειτουργία του είναι η μεταγωγή της τροφοδοσίας της εγκατάστασης από το δίκτυο της ΔΕΗ προς το ΗΖ και το ανάστροφο. Αυτό επιτυγχάνεται κάνοντας χρήση δύο αυτόματων διακοπών, μηχανικά μανδαλωμένων μεταξύ τους, με τον πρώτο διακόπτη να αντιστοιχεί στο δίκτυο της ΔΕΗ και το δεύτερο στο ΗΖ. Επιπλέον διαθέτει τους απαιτούμενους βοηθητικούς ηλεκτρονόμους για την ανίχνευση σφάλματος του δικτύου της ΔΕΗ.

## 2. Πεδίο εκκινητών

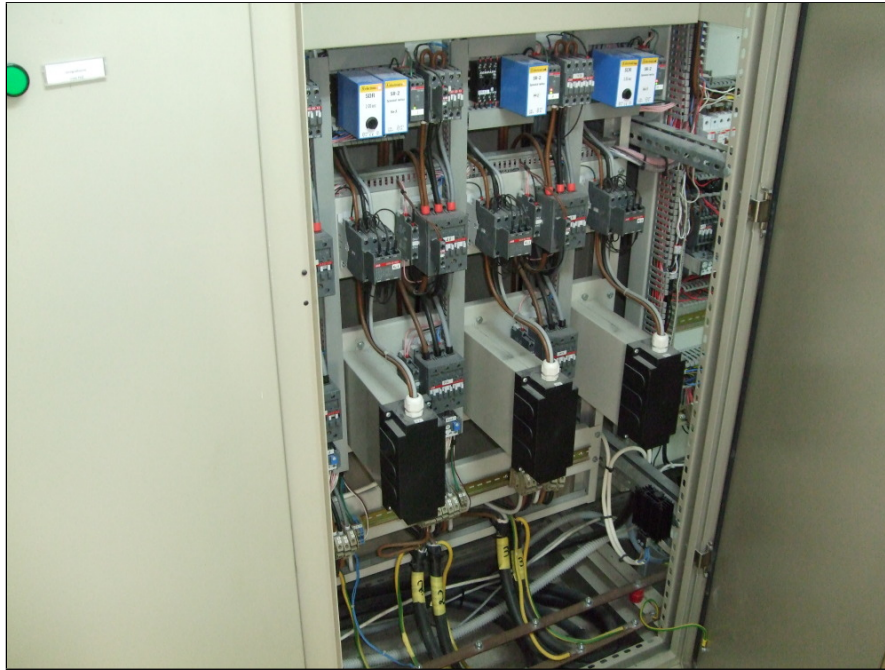
Στεγάζει τους εκκινητές αστέρα/τριγώνου (δείτε το παράρτημα Α΄) των αντλιών, καθώς και τους πυκνωτές αντιστάθμισης του συνημιτόνου.

## 3. Πεδίο αυτοματισμού

Στεγάζει το PLC και τις επεκτάσεις του, καθώς επίσης την οθόνη CP502 για ανάγνωση αναφορών και ρύθμιση παραμέτρων. Στη θύρα του αντίστοιχου ερμάριου είναι τοποθετημένοι οι επιλογικοί διακόπτες κάθε αντλίας και οι ενδεικτικές λυχνίες αυτών.



Σχήμα 2.7: Το πεδίο αυτοματισμού του ηλεκτρολογικού πίνακα τοποθεσίας Α3 Γηροκομείο. Στο υψηλότερο rack και αριστερά βρίσκεται τοποθετημένο το PLC της ABB με τις επεκτάσεις εισόδων/εξόδων του. Δεξιά του βρίσκεται το PLC της Allen-Brandley τοποθετημένο σε μεταγενέστερο χρόνο, προκειμένου να συλλέγει στοιχεία λειτουργίας του αντλιοστασίου τα οποία και διαβίβαζε στο SCADA της Ε.Ε.Λ. Η απουσία καλυμμάτων στα κανάλια των καλωδίων οφείλεται στις τρέχουσες εργασίες που εκτελούνταν επί του πίνακα.



Σχήμα 2.8: Το πεδίο εκκινήσεων του ηλεκτρολογικού πίνακα τοποθεσίας Α3 Γηροκομείο. Διακρίνονται οι ηλεκτρονόμοι που απαρτίζουν τον εκκινητή αστέρα-τριγώνου καθώς επίσης και ο ηλεκτρονόμος μανδάλωσης των πυκνωτών διόρθωσης του συνημιτόνου. Οι πυκνωτές βρίσκονται εντός των μαύρων πλαισίων.

## 2.2.5 Τύπος Λειτουργίας Αντλιοστασίου

Το αντλιοστάσιο υλοποιεί τύπο αυτοματισμού ON-OFF με κυκλική εναλλαγή της λειτουργίας των αντλιών. Ο έλεγχος της στάθμης επιτυγχάνεται με όργανο μέτρησης υδροστατικής πίεσης. Επίσης στα άκρα λειτουργίας της στάθμης είναι εγκατεστημένοι δύο (2) πλωτήρες για επιπλέον προστασία και εφεδρεία σε περίπτωση βλάβης του υδροστατικού οργάνου.

Το όργανο μέτρησης υδροστατικής πίεσης είναι εμβαπτιζόμενου τύπου με κεραμική μεμβράνη που έρχεται σε άμεση επαφή με τα λύματα. Με χρήση μορφομετατροπέα μετατρέπει την υδροστατική πίεση σε ηλεκτρικό σήμα 4..20mA. Το εύρος πιέσεων που μπορεί να μετρήσει καθορίζεται από τον κατασκευαστή. Τα υπάρχοντα όργανα έχουν εύρος 0..400mbar ή 0..600mbar, προκειμένου να καλύπτουν όλο το ύψος της δεξαμενής. Η ανάρτησή τους γίνεται από το ίδιο το καλώδιο του οργάνου.

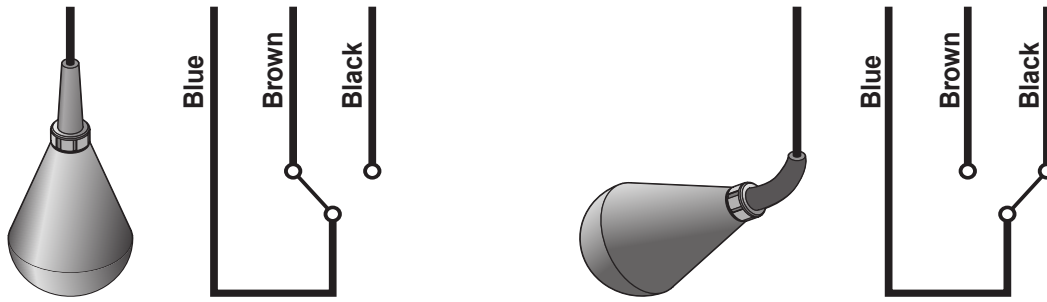


Σχήμα 2.9: Εμβαπτιζόμενο όργανο μέτρησης υδροστατική πίεσης.

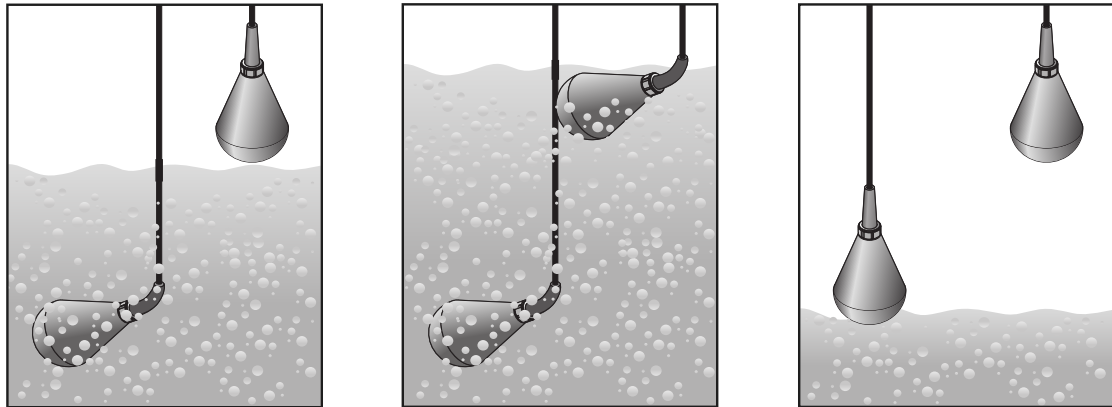
Η πυκνότητα των λυμάτων δεν διαφοροποιείται σημαντικά από αυτή του καθαρού νερού και αντίστοιχα στο πρόγραμμα λογικού ελέγχου η σύμβαση που ακολουθείται είναι ότι 1bar αντιστοιχεί σε 10 μέτρα στήλης, δίχως να υπάρχει σημαντική απόκλιση από την πραγματική στάθμη.

Οι πλωτήρες, γνωστοί και ως φλοτεροδιακόπτες ή flotter, λειτουργούν με διακόπτη υδραργύρου που στεγάζεται στο εσωτερικό του ίδιου του πλωτήρα. Η ανάρτησή του γίνεται από το ίδιο το καλώδιο του διακόπτη.

## Ο πλωτήρας ως διακόπτης δύο θέσεων



## Δυνατές θέσεις των πλωτήρων

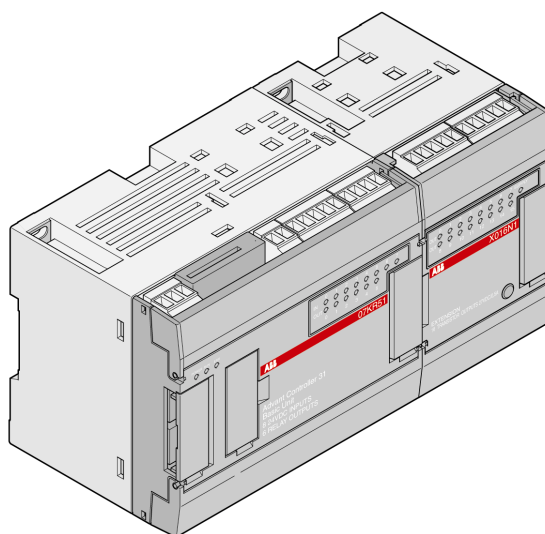


Σχήμα 2.10: Οι πλωτήρες ως διακόπτες και η λειτουργία τους εντός αντλιοστασίου.



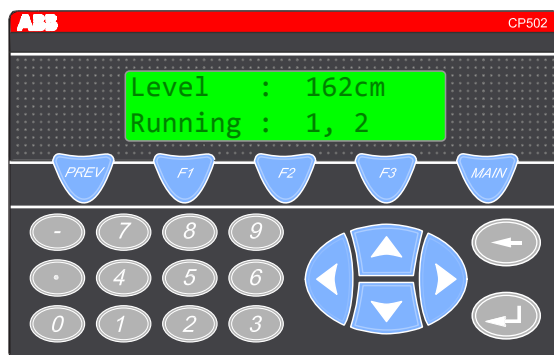
## 2.2.6 Αυτοματισμός

Η κεντρική μονάδα λογικού ελέγχου του ηλεκτρολογικού πίνακα είναι κατασκευής της ABB τύπου 07KR51. Η μονάδα διαθέτει συνολικά οκτώ (8) εισόδους 24VDC και έξι (6) εξόδους τύπου relay. Καθώς το πλήθος τόσο των εισόδων όσο και των εξόδων κρίνεται ανεπαρκές για τον ορθό έλεγχο της εγκατάστασης, έχουν προστεθεί συνολικά τρεις (3) επεκτάσεις που επικοινωνούν με τη μονάδα. Αυτές είναι η XI16E1 που παρέχει δεκαέξι (16) εισόδους 24VDC, η XO16N1 που παρέχει δεκαέξι (16) εξόδους τύπου τρανζίστορ 24VDC/0.5A και η XM06B5 που παρέχει τέσσερις (4) αναλογικές εισόδους και δύο (2) αναλογικές εξόδους.



Σχήμα 2.11: Μια μονάδα 07KR51 συνδεδεμένη με μια επέκταση εξόδου XO16N1.

Διασυνδεδεμένη με την κεντρική μονάδα είναι μια οθόνη CP502 της ABB, μέσω της οποίας μπορεί ο χειριστής να ρυθμίσει παραμέτρους του λογικού προγράμματος και διαβάσει μηνύματα τυχόν σφαλμάτων και καταγραφές λειτουργίας των αντλιών.



Σχήμα 2.12: Οθόνη HMI CP502 της ABB

Τέλος η κεντρική μονάδα συνδέεται μέσω τεσσάρων (4) ψηφιακών εξόδων με μονάδα αποστολής μηνυμάτων SMS για άμεση ειδοποίηση σε περίπτωση σφάλματος.

## 2.3 Προβληματική Λειτουργία

Η προγενέστερη υλοποίηση του συστήματος αυτοματισμού κρίθηκε ανεπαρκής για τις ανάγκες των υφιστάμενων αντλιοστασίων. Εμείς κληθήκαμε να βελτιώσουμε τη λογική λειτουργία των αντλιοστασίων και να εξασφαλίσουμε, μέσω των απαιτούμενων ελέγχων, τη μέγιστη δυνατή προστασία του υλικού εξοπλισμού.

Η όλη διαδικασία του λογικού προγραμματισμού και της προσαρμογής του προγράμματος στις τρέχουσες ανάγκες είχε χαρακτήρα δοκιμής και αποτυχίας (trial and error). Η πρώτη υλοποίηση έλαβε χώρα σε δοκιμαστική μονάδα 07KR51 η οποία λόγω αστοχίας μιας εκ των εισόδων της έχρηζε αντικατάστασης. Αφού έλαβε χώρα η πλήρης αποσφαλμάτωση του αρχικού προγράμματος και πιστοποιήθηκε η ορθή λογική της λειτουργίας αυτού στη δοκιμαστική μονάδα, ακολούθησε η εγκατάσταση και λειτουργία του σε ένα εκ των αντλιοστασίων. Η τοποθεσία του αντλιοστασίου επιλέχθηκε έτσι ώστε να είναι όσο το δυνατόν απομακρυσμένο από κατοικημένες περιοχές. Κατόπιν της δοκιμαστικής εφαρμογής του προγράμματος ακολούθησε η σταδιακή προσαρμογή και εξειδίκευσή του στις ανάγκες της λειτουργίας του αντλιοστασίου, όπως αυτές προέκυπταν εκ νέου.

Οι βασικοί κλάδοι του προγράμματος που υπέστησαν τις περισσότερες από τις τροποποιήσεις ήταν αυτοί της καταγραφής και χειρισμού των σφαλμάτων καθώς και της ειδοποίησης μέσω μηνυμάτων.

### 2.3.1 Αστοχίες Υλικού

Αστοχίες υπήρξαν τόσο στο μηχανολογικό όσο και στο ηλεκτρολογικό τμήμα του έργου.

Στην παρούσα εργασία θα ασχοληθούμε μόνο με τις αστοχίες εκείνες που κρίνουμε ότι προκλήθηκαν άμεσα ή έμμεσα από σφάλματα της λογικής λειτουργίας του αυτοματισμού ή από κακές επιλογές στην υλοποίηση του ηλεκτρολογικού τμήματος.

#### 2.3.1.1 Μηχανολογικές αστοχίες

Η βασική πληγή των αντλιοστασίων υπήρξε η συχνή αστοχία των αντλιών. Οι συνηθέστεροι λόγοι που οδήγησαν στην αστοχία ήταν οι εξής δύο:

##### 1. Καταστροφή της βάσης στήριξης ή του άξονα της αντλίας

Σε πληθώρα περιπτώσεων υπήρξε πλήρης αστοχία της βάσης στήριξης της αντλίας. Το αποτέλεσμα ήταν η αντλία να βρεθεί εκτός θέσεων και ως εκ τούτου να αδυνατεί να λειτουργήσει κατά το προδιαγεγραμμένο.

Υπήρξαν επίσης και τρεις περιπτώσεις στις οποίες είχαμε κοπή του άξονα της αντλίας.

Τις δύο παραπάνω βλάβες, αν και εκ πρώτης όψεως δεν συσχετίζονται, επιλέξαμε να τις ομαδοποιήσουμε γιατί θεωρούμε ότι είναι και οι δύο απόρροια των εξής δύο φαινομένων: του υδραυλικού πλήγματος το οποίο παρουσιάζεται κατά την παύση λειτουργίας τους, και του συστήματος εκκίνησης των αντλιών, στη συγκεκριμένη περίπτωση εκκινήτη αστέρα-τριγώνου.

Κατά την παύση λειτουργίας της αντλίας και εφόσον αυτή γίνεται σχεδόν ακαριαία, η κινούμενη στήλη των λυμάτων εξαναγκάζεται σε εξίσου απότομη στάση. Η ολική κινητική ενέργεια της στήλης καλείται στο σημείο αυτό να εκτονωθεί πάνω στο υδραυλικό τμήμα της εγκατάστασης και να μετατραπεί σε θερμική. Από παρατήρηση του φαινομένου τόσο πάνω στην αντλία όσο και με χρήση βαρόμετρου εγκατεστημένου πάνω στο κολλεκτέρ του βανοστασίου, διαπιστώσαμε την έντονη υπερπήδηση της μετρούμενης πίεσης του αγωγού κατά την παύση λειτουργίας. Απόρροια αυτής είναι η εμφάνιση έντονων δονήσεων στον υδραυλικό εξοπλισμό της εγκατάστασης. Δεδομένου του τρόπου στήριξης της αντλίας και της συνδέσεως αυτής με τον αγωγό κατάθλιψης, η μηχανική καταπόνηση που

δέχεται η αντλία και δη το σημείο στήριξης αυτής είναι ικανή ώστε να προκαλέσει την πλήρη αστοχία του.

Αξίζει να σημειώσουμε ότι κατά τη διάρκεια της παρομοnής του συγγραφέα της παρούσης στο έργο υπήρξε αλλαγή υλικών από την κατασκευάστρια εταιρεία των αντλιών σε ότι αφορά τα εξαρτήματα στήριξης. Θεωρούμε ότι αυτό αποτελεί ένδειξη του αυξημένου αριθμού αστοχιών του εν λόγω στοιχείου.

Κατά την εκκίνηση της αντλίας παρουσιάζονται επίσης μεγάλες μηχανικές καταπονήσεις πάνω στον άξονα με τη μορφή υπερπηδήσεων (spikes) της ροπής. Αυτές λαμβάνουν χώρα κατά την εναλλαγή από αστέρα σε τρίγωνο. Δεδομένου ότι οι άξονες των αντλιών είναι διαστασιολογημένοι ώστε να μπορούν να αντεπεξέλθουν σε Direct On Line εκκίνηση και δεδομένου του αριθμού των αστοχιών αυτής της φύσης, κρίνουμε ότι η μηχανική καταπόνηση που οδήγησε στην αστοχία τους προήλθε από το σύστημα εκκίνησης.<sup>2</sup>

## 2. Είσοδος υγρασίας εντός των στεγανών της αντλίας

Υπήρξαν τουλάχιστον δύο περιπτώσεις όπου είχαμε πλήρη αστοχία της αντλίας εξαιτίας καμένου στάτη αυτής, καθώς επίσης και ένας μη καταγεγραμμένος αριθμός από άλλες περιπτώσεις όπου η αντλία διέκοψε λειτουργία προ της ολικής καταστροφής της.

---

<sup>2</sup>Η αυξημένη μηχανολογική καταπόνηση κατά την εκκίνηση ηλεκτροκινητήρων με εκκινήτη αστέρα/τριγώνου ανοικτής μετάβασης είναι φαινόμενο καλά μελετημένο και τεκμηριωμένο. Από πλευράς αυτοματισμού δεν υφίσταται κάποια λύση που μπορούμε να δώσουμε, αξίζει όμως η πιο εκτενής αναφορά του και αυτό γίνεται στο παράρτημα Α΄

## 2.3.2 Λανθασμένη Λογική Ελέγχου

### 2.3.2.1 Κυκλική Εναλλαγή

Το προγενέστερα εγκατεστημένο πρόγραμμα λογικού ελέγχου υλοποιούσε μια πολυσύνθετη στρατηγική για την κυκλική εναλλαγή της λειτουργίας των αντλιών, η οποία ήταν περίπλοκη πέραν του αναγκαίου. Η λογική αυτής είχε ως εξής:

Κατά την κανονική λειτουργία του προγράμματος, στον κύκλο εναλλαγής συμμετείχαν δύο εκ των αντλιών, ενώ η τρίτη παρέμενε σε κατάσταση εφεδρείας. Μόλις μια εκ των δύο πρώτων αντλιών συμπλήρωνε ένα χρόνο `TIME_RESERVE`<sup>3</sup> μεγαλύτερο από τον ολικό χρόνο λειτουργίας της αντλίας σε εφεδρεία, τότε η αντλία αυτή και εκείνη σε εφεδρεία ενάλλασαν τις λειτουργίες τους.

Επιπλέον ο επί τόπου χειριστής του πίνακα είχε τη δυνατότητα μέσω ενός επιλογικού διακόπτη να θέσει την αντλία στις εξής τέσσερις καταστάσεις:

- Εκτός Λειτουργίας
- Χειροκίνητη Λειτουργία
- Εφεδρεία
- Αυτόματη Λειτουργία

Αποτέλεσμα της παραπάνω σχεδιαστικής επιλογής ήταν οι κάτωθι αδυναμίες:

- Αναντιστοιχία μεταξύ θέσεων των επιλογικών διακοπών των αντλιών και της πραγματικής κατάστασης εντός του προγράμματος. Μπορούσε ανά πάσα στιγμή μια αντλία η οποία ήταν στην Αυτόματη Λειτουργία να έχει τεθεί σε Εφεδρεία και το ανάποδο. Αποτέλεσμα ήταν να μην αποδίδεται η ακριβής εικόνα της λειτουργικής κατάστασης των αντλιών στο χειριστή με μια απλή εποπτεία των επιλογικών διακοπών.
- Ο κώδικας ο οποίος υλοποιεί την παραπάνω λογική εναλλαγή είναι ιδιαίτερα ογκώδης και πολύπλοκος καθιστώντας τυχόν παρεμβάσεις σε αυτόν απαγορευτικές.

---

<sup>3</sup>Ο χρόνος `TIME_RESERVE` ήταν ρυθμιζόμενος από το χειριστή.

- Η συγκεκριμένη λογική ελέγχου της κυκλικής εναλλαγής το μόνο που επιτυγχάνει σε σύγκριση με την δική μας υλοποίηση είναι η εξομοίωση των ωρών λειτουργίας των αντλιών. Σε αντίθεση εμείς επιτυγχάνουμε εξομοίωση του αριθμού των εκκινήσεων των αντλιών. Οι λόγοι που μια τέτοια επιλογή υπερτερεί είναι οι εξής:

1. Η βασική μηχανολογική καταπόνηση των αντλιών λαμβάνει χώρα κατά την εκκίνηση τους. Έτσι, αφενός μοιράζουμε το πραγματικό φορτίο ισομερώς, αφετέρου εξασφαλίζουμε ότι στη μονάδα χρόνου οι εκκινήσεις θα διαιρούνται με το μέγιστο δυνατό αριθμό των υφιστάμενων λειτουργικών αντλιών. Ως παράδειγμα ας θεωρήσουμε ότι εντός μιας ώρας έχουμε 18 εκκινήσεις και λειτουργούν και οι τρεις αντλίες.

Με τη μια αντλία σε εφεδρεία οι άλλες δύο εκκινούν, εντός της ώρας, 9 φορές έκαστη που πλησιάζει επικίνδυνα το όριο των 10 εκκινήσεων ανά ώρα που δίνει ο κατασκευαστής.

Με τις τρεις αντλίες σε κανονική λειτουργία εκκινούν εντός της ώρας 6 φορές έκαστη.

2. Κατά τη διάρκεια εποπτείας του αντλιοστασίου και καταγραφής των ωρών λειτουργίας των αντλιών, γίνεται άμεσα εμφανές ποιες εξ' αυτών λειτουργούν με χαμηλότερη παροχή από την προδιαγραφόμενη, καθώς αυτές καταγράφουν μεγαλύτερο χρόνο λειτουργίας. Έτσι ο χειριστής μπορεί να προβεί άμεσα στις απαιτούμενες ενέργειες προκειμένου να εξακριβώσει τους λόγους που οδήγησαν την εκάστοτε αντλία σε υπολειτουργία.

Η παραπάνω ασυμφωνία μεταξύ ωρών λειτουργίας δύο ή τριών αντλιών μας οδήγησε σε αρκετές περιπτώσεις στην έγκαιρη διάγνωση προβληματικής λειτουργίας που οφειλόταν ως επί το πλείστον είτε σε έμφραξη της κατάθλιψης της αντλίας, είτε σε μετατόπισή της από τη βάση σύνδεσης.

### 2.3.2.2 Χειρισμός Μηνυμάτων

Η κεντρική μονάδα λογικού ελέγχου 07KR51 συνδέεται με μονάδα αποστολής μηνυμάτων SMS μέσω τεσσάρων ψηφιακών εξόδων της πρώτης. Οι εξοδοί αυτές αντιστοιχούν σε τέσσερις ομάδες σφαλμάτων, οι οποίες είναι οι ακόλουθες:

1. Διακοπή ρεύματος
2. Σφάλμα στάθμης
3. Σφάλμα αντλίας
4. Υπερχείλιση

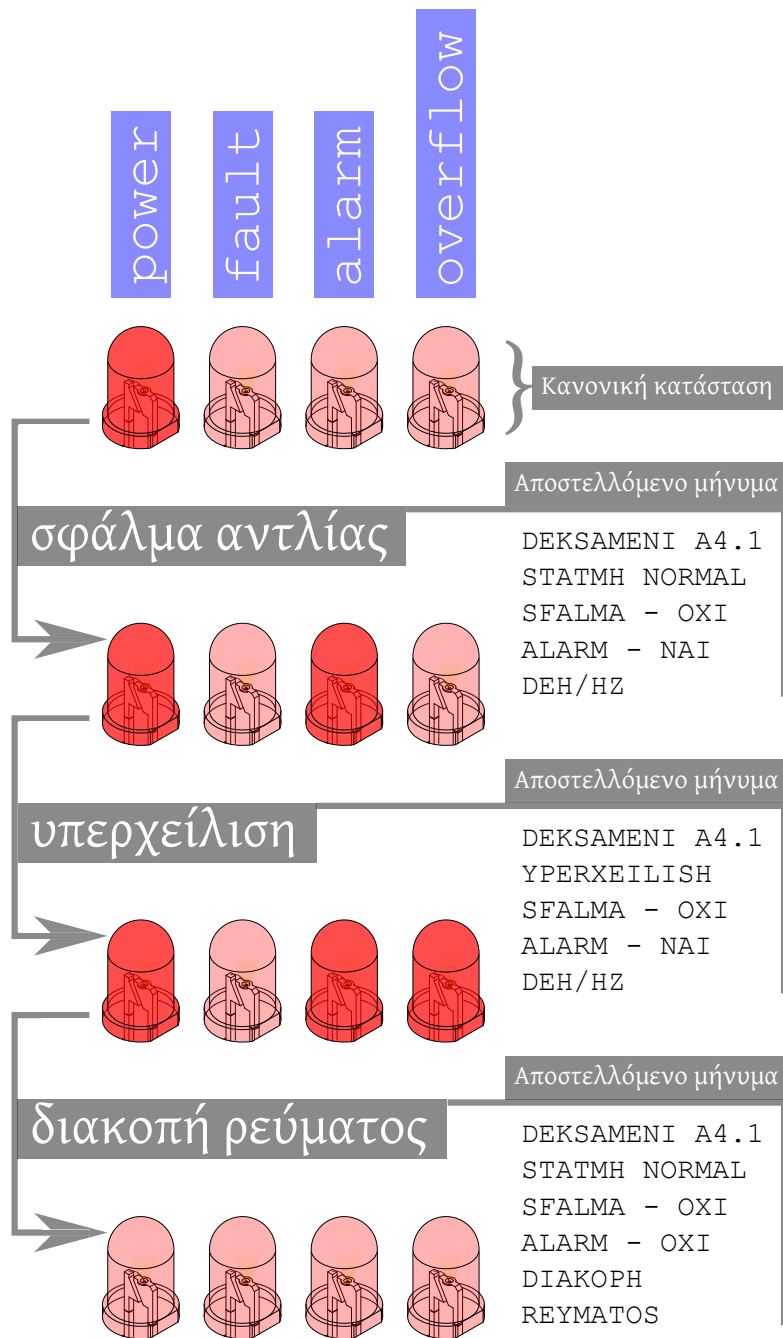
Η μονάδα μηνυμάτων επιβλέπει τις τέσσερις αυτές εξόδους και όταν μια εξ' αυτών αλλάξει κατάσταση αποστέλλει ένα μήνυμα.

Η δομή του μηνύματος έχει ως εξής:

```
DEKSAMENI [A1] [A3] [A4.1] [A4.2]
[STATHMH NORMAL] [YPERXEILISH] -
BLABH - [OXI] [NAI] -
ALARM - [OXI] [NAI] -
[DEH-HZ] [DIAKOPH REYMATOS]
```

Εντός των αγκυλών βρίσκονται οι παράμετροι του κειμένου που αλλάζουν ανάλογα με την εκάστοτε κατάσταση των εξόδων. Ως παράδειγμα της λειτουργίας της μονάδας δείτε το σχήμα 2.13 όπου παραθέτουμε ένα εικονικό σφάλμα αντλίας στο αντλιοστάσιο A4.1, μια επακόλουθη υπερχείλιση και στη συνέχεια μια διακοπή ρεύματος.

Το μειονέκτημα της υφιστάμενης υλοποίησης είναι ότι μια αστοχία αντλίας ή οργάνου μέτρησης της στάθμης, επικαλύπτει όλες τις επόμενες ειδοποιήσεις. Κατ' αυτόν τον τρόπο αν παρουσιαστεί σφάλμα στον πλωτήρα υψηλής στάθμης, μέχρι να λάβουν χώρα οι απαιτούμενες εργασίες αποκατάστασης της βλάβης, τυχόν αστοχίες στον πλωτήρα χαμηλής στάθμης ή στο σταθμήμετρο δεν γίνονται άμεσα αντιληπτές.



Σχήμα 2.13: Παράδειγμα λειτουργίας αποστολής SMS μηνυμάτων

Η ορθή λύση στο παραπάνω πρόβλημα θα ήταν η αλλαγή της μονάδας αποστολής μηνυμάτων SMS με μια η οποία θα υποστήριζε το πρωτόκολλο επικοινωνίας Modbus και μέσω αυτού θα ήταν σε θέση να παρακολουθεί μια πλειάδα παραμέτρων. Καθώς όμως δεν μας δόθηκε η δυνατότητα να προχωρήσουμε σε αυτή την αλλαγή, επιλέξαμε μια διαφορετική λύση η οποία αντιμετωπίζει την παραπάνω αδυναμία του υφιστάμενου προγράμματος στα πλαίσια του εγκατεστημένου εξοπλισμού. Η λύση αυτή θα συζητηθεί στο αντίστοιχο κομμάτι της εργασίας.



### 2.3.3 Ελλείψεις στη Λογική Ελέγχου

#### 2.3.3.1 Ελλιπής Καταγραφή Λειτουργίας Αντλιών

Το προγενέστερο πρόγραμμα ως μοναδική καταγραφή που επιτελούσε ήταν αυτή του αθροίσματος των ωρών λειτουργίας ανά αντλία. Καθώς η εισερχόμενη παροχή σε ένα αντλιοστάσιο αποχετευτικού δικτύου κυμαίνεται τόσο κατά τη διάρκεια της ημέρας, βάση ενός γνωστού προφίλ, όσο και κατά τη διάρκεια του μήνα, κρίναμε απαραίτητο οι καταγραφές που γίνονται να είναι σε πιο αναλυτική βάση.

Πέραν αυτού προχωρήσαμε και υλοποιήσαμε με την ίδια αναλυτική μορφή την καταγραφή του αριθμού των εκκινήσεων ανά αντλία, δεδομένο ιδιαίτερα χρήσιμο, τόσο στον προσδιορισμό ενός σημαντικού παράγοντα μηχανολογικής καταπόνησης, όσο και στη στατιστική ανάλυση του χρόνου παραμονής των λυμάτων εντός δικτύου.

#### 2.3.3.2 Απουσία Καταγραφών Σφαλμάτων

Το προγενέστερο πρόγραμμα δεν επιτελούσε καμία καταγραφή σφαλμάτων παρά μόνο μπορούσε να απεικονίσει τα εκάστοτε τρέχοντα σφάλματα. Αυτό, σε συνδυασμό με την αυτόματη επαναφορά μετά από το πέρας κάποιου χρονικού διαστήματος, οδηγούσε στην αδυναμία του τεχνικού προσωπικού να διαγνώσει ορθά και άμεσα τις εμφανιζόμενες βλάβες.

#### 2.3.3.3 Ελλιπής Διαχείριση Σφάλματος Ανάδρασης

Κατά τη διάρκεια της παρουσίας μας στις εγκαταστάσεις του αποχετευτικού συστήματος υπήρξαμε μάρτυρες μιας ποικιλίας σφαλμάτων ανάδρασης που το προγενέστερο πρόγραμμα λογικού ελέγχου αδυνατούσε να ανιχνεύσει. Τις παραπάνω περιπτώσεις τις κωδικοποιήσαμε κατάλληλα εντός του νέου προγράμματος προς προφύλαξη έναντι μελλοντικών παρόμοιων σφαλμάτων.

#### 2.3.3.4 Ελλιπής Διάγνωση Σφαλμάτων Σταθμημέτρου

Όπως και με τα σφάλματα ανάδρασης, γίναμε μάρτυρες σφαλμάτων του σταθμημέτρου τα οποία αν και είναι εφικτό να ανιχνευθούν μέσω του προγράμματος λογικού ελέγχου, μια τέτοια υλοποίηση απουσίαζε από το προγενέστερο πρόγραμμα. Στο νέο πρόγραμμα προχωρήσαμε στην υλοποίηση των απαιτούμενων ελέγχων και η συζήτηση τους γίνεται στο αντίστοιχο κομμάτι της εργασίας.

#### 2.3.3.5 Απουσία Σφάλματος Χαμηλής Παροχής Αντλίας

Τέλος, απουσιάζει από το προγενέστερο πρόγραμμα ο λογικός έλεγχος για την ικανότητα μιας αντλίας να αποδώσει την προδιαγραφόμενη παροχή της, ή έστω εντός λογικών πλαισίων διακύμανσης. Με την υλοποίηση του νέου προγράμματος είχαμε τη δυνατότητα να παρέμβουμε άμεσα σε εκείνες τις περιπτώσεις όπου μια χαμηλή παροχή αντλίας δεν συνέπιπτε απαραίτητα και με αντίστοιχα χαμηλό ρεύμα λειτουργίας της. Κατ' αυτόν τον τρόπο μπορέσαμε έγκαιρα να εντοπίσουμε μια πλειάδα περιπτώσεων έμφραξης της κατάθλιψης των αντλιών και να προβούμε στην έγκαιρη συντήρηση της εκάστοτε αντλίας.

Κάτι τέτοιο δεν ήταν δυνατόν να ανιχνευθεί από το προγενέστερο πρόγραμμα λογικού ελέγχου.

### 2.3.4 Επιπτώσεις

Οι κύριες επιπτώσεις που είχαν οι λανθασμένες και ελλιπείς σχεδιαστικές επιλογές του προγενέστερου λογικού προγράμματος μπορούν να συνοψιστούν στα παρακάτω:

- Αυξημένος ρυθμός αστοχιών των αντλιών λόγω μη έγκαιρου εντοπισμού σφαλμάτων τους.
- Υπερχειλίσσεις αντλιοστασίων δίχως να υπάρχει ειδοποίηση από το σύστημα.
- Δυσκολία κατά τη διάγνωση των σφαλμάτων ανάδρασης απουσία αναλυτικών και πλήρων καταγραφών.
- Ελλιπή συμπεράσματα για τη λειτουργία του αντλιοστασίου απουσία αναλυτικών καταγραφών.
- Ανισομερής κατανομή του φόρτου εργασίας λόγω λογικά εσφαλμένης διαχείρισης της κυκλικής εναλλαγής.
- Σημαντική δυσχέρεια στην τροποποίηση του λογικού προγράμματος ελέγχου λόγω αναίτιας πολυπλοκότητας αυτού και ελλιπούς τεκμηρίωσής του.

## 2.4 Υλοποίηση Αυτοματισμού

Στο τμήμα αυτό της εργασίας θα εξετάσουμε τη διαδικασία που ακολουθήσαμε προκειμένου να υλοποιήσουμε το πρόγραμμα λογικού ελέγχου. Θα παραθέσουμε την εργασία άντλησης πληροφοριών, τις αρχές λειτουργίας του αντλιοστασίου από την οπτική του λογικού ελέγχου, τις απαιτούμενες δικλείδες ασφαλείας, τα σημεία που χρήζουν προσοχής και τη δομή του προγράμματος που υλοποιήσαμε.

## 2.4.1 Άντληση Πληροφοριών

Τα στοιχεία από όπου είμαστε σε θέση να αντλήσουμε πληροφορίες είναι τα ηλεκτρολογικά σχέδια του πίνακα και το υφιστάμενο πρόγραμμα ελέγχου.

Σε ότι αφορά τα σχέδια, αυτά είναι διαθέσιμα σε έντυπη μορφή και από τη μελέτη αυτών προέκυψαν οι αντιστοιχίες μεταξύ των εισόδων και εξόδων της μονάδας ελέγχου και των επεκτάσεων αυτής σε φυσικό επίπεδο.

Έπειτα προσπαθήσαμε να αντλήσουμε το υφιστάμενο πρόγραμμα ελέγχου μέσω της προσφερόμενης διαδικασίας αντιγραφής από τη μονάδα στον σταθμό προγραμματισμού, ήτοι από τον υπολογιστή με το αντίστοιχο περιβάλλον προγραμματισμού. Διαπιστώσαμε όμως ότι η μορφή στην οποία η κεντρική μονάδα αντέγραψε το πρόγραμμα ήταν της μορφής Instruction Language και ως τέτοια αποδείχθηκε ανελαστική και επίπονη τόσο στην κατανόηση της λειτουργίας της όσο και στην τροποποίησή της. Κατόπιν επικοινωνίας με τον προγραμματιστή της υφιστάμενης υλοποίησης, εκείνος μας παρείχε τον πηγαίο κώδικα συνοδευόμενο από σχολιασμό γραμμένο σε Function Block γλώσσα. Η δεύτερη μορφή αυτή αποδείχθηκε πιο δεκτική τόσο σε ανάγνωση όσο και σε τροποποίηση. Παρά το γεγονός αυτό δεν βασίσαμε εν τέλει το δικό μας πρόγραμμα στο προϋπάρχον αλλά αρχίσαμε μια εξολοκλήρου νέα υλοποίηση αποσκοπώντας στην εκβάθρων αλλαγή του τρόπου λειτουργίας, στην απλούστευσή του και στη συμμόρφωση του λογικού ελέγχου με νέες περιοριστικές παραμέτρους, όπως αυτές προέκυψαν από την εμπειρία μας πάνω στη λειτουργία των αντλιοστασίων.

Έτσι εν τέλει η μόνη πληροφορία που χρησιμοποιήσαμε ήταν η αντιστοιχία μεταξύ των εισόδων και εξόδων της μονάδας λογικού ελέγχου με τα επί μέρους στοιχεία του πίνακα.

---

### Είσοδοι και έξοδοι PLC

---

Address	Περιγραφή
I62.00	Ανάδραση του δέλτα relay πρώτης αντλίας.
I62.01	Ανάδραση του δέλτα relay δεύτερης αντλίας.
I62.02	Ανάδραση του δέλτα relay τρίτης αντλίας.
I62.03	Σφάλμα θερμικού ή θερμίστορ πρώτης αντλίας.
I62.04	Σφάλμα θερμικού ή θερμίστορ δεύτερης αντλίας.

---

συνεχίζεται στην επόμενη σελίδα

---

συνεχίζεται από την προηγούμενη σελίδα

---

Address	Περιγραφή
I62.05	Σφάλμα θερμικού ή θερμίστορ τρίτης αντλίας.
I62.06	Αισθητήριο υγρασίας στο ελαιοδοχείο πρώτης αντλίας.
I62.07	Αισθητήριο υγρασίας στο ελαιοδοχείο δεύτερης αντλίας.
I63.00	Αισθητήριο υγρασίας στο ελαιοδοχείο τρίτης αντλίας.
I63.01	Παρουσία ρεύματος από το δίκτυο της ΔΕΗ.
I63.02	Επιλογικός διακόπτης πρώτης αντλίας σε θέση AUTO.
I63.03	Επιλογικός διακόπτης δεύτερης αντλίας σε θέση AUTO.
I63.04	Επιλογικός διακόπτης τρίτης αντλίας σε θέση AUTO.
I63.05	Επιλογικός διακόπτης πρώτης αντλίας σε θέση RESERVE.
I63.06	Επιλογικός διακόπτης δεύτερης αντλίας σε θέση RESERVE.
I63.07	Επιλογικός διακόπτης τρίτης αντλίας σε θέση RESERVE.
I63.08	Πλωτήρας χαμηλής στάθμης.
I63.09	Πλωτήρας υψηλής στάθμης.
I63.10	Αναίρεση σφαλμάτων.
I63.11	Μπουτόν ελέγχου καλής λειτουργίας ενδεικτικών λυχνιών.
I63.12	Επιλογικός διακόπτης για λειτουργία ελέγχου στάθμης από σταθμήμετρο ή flo- tter.
I63.13	Ανάδραση του κυρίως relay πρώτης αντλίας.
I63.14	Ανάδραση του κυρίως relay δεύτερης αντλίας.
I63.15	Ανάδραση του κυρίως relay τρίτης αντλίας.
IW63.00	Ρεύμα πρώτης αντλίας.
IW63.01	Ρεύμα δεύτερης αντλίας.
IW63.02	Ρεύμα τρίτης αντλίας.
IW63.03	Στάθμη αντλιοστασίου από ένδειξη σταθμήμετρου.
O62.00	Not Connected.
O62.01	Not Connected.
O62.02	Αποστολή μηνύματος για παρουσία ρεύματος.
O62.03	Αποστολή μηνύματος για βλάβη στα όργανα μέτρησης στάθμης.
O62.04	Αποστολή μηνύματος για βλάβη αντλίας.
O62.05	Αποστολή μηνύματος για υπερχειλίση αντλιοστασίου.
O63.00	Αυτόματη λειτουργία πρώτης αντλίας.
O63.01	Χειροκίνητη λειτουργία πρώτης αντλίας.
O63.02	Αυτόματη λειτουργία δεύτερης αντλίας.

---

συνεχίζεται στην επόμενη σελίδα

---

---

συνεχίζεται από την προηγούμενη σελίδα

---

Address	Περιγραφή
063.03	Χειροκίνητη λειτουργία δεύτερης αντλίας.
063.04	Αυτόματη λειτουργία τρίτης αντλίας.
063.05	Χειροκίνητη λειτουργία τρίτης αντλίας.
063.06	Ενδεικτική λυχνία λειτουργίας ηλεκτροπαραγωγού ζεύγους.
063.07	Ενδεικτική λυχνία flotter υψηλής στάθμης.
063.08	Ενδεικτική λυχνία flotter χαμηλής στάθμης.
063.09	Κόκκινη ενδεικτική λυχνία πρώτης αντλίας.
063.10	Πράσινη ενδεικτική λυχνία πρώτης αντλίας.
063.11	Κόκκινη ενδεικτική λυχνία δεύτερης αντλίας.
063.12	Πράσινη ενδεικτική λυχνία δεύτερης αντλίας.
063.13	Κόκκινη ενδεικτική λυχνία τρίτης αντλίας.
063.14	Πράσινη ενδεικτική λυχνία τρίτης αντλίας.

---

Πίνακας 2.1: Περιγραφή εισόδων και εξόδων λογικής μονάδας ελέγχου αντλιοστασίου και επεκτάσεων αυτής.

## 2.4.2 Πρόγραμμα Λογικού Ελέγχου

Η υλοποίηση του προγράμματος έγινε σε περιβάλλον προγραμματισμού AC31GRAF της εταιρείας ABB. Η δομή του προγράμματος είναι μονολιθική δίχως να κάνει χρήση interrupts καθώς κρίθηκε ότι δεν υπάρχει κάποιον συμβάν το οποίο να απαιτεί άμεση παρέμβαση σε χρόνο μικρότερο από αυτόν που απαιτείται για έναν πλήρη κύκλο του προγράμματος. Σε γενικές γραμμές το πρόγραμμα εκτελεί έναν κύκλο ανά 100ms, χρόνος που κρίνεται αρκετά μικρός και αιτιολογεί την προηγούμενη επιλογή μας.

Το πρόγραμμα οργανώθηκε σε τμήματα που αντιστοιχούν στις κύριες λειτουργίες του αυτοματισμού προς ευκολότερη πλοήγηση κατά τη διάρκεια της αποσφαλμάτωσης του και σε τυχόν αναγκαίες μεταγενέστερες τροποποιήσεις. Συγκεκριμένα τα τμήματα στα οποία κατακερματίσαμε το πρόγραμμα είναι τα ακόλουθα:

---

### Τμήματα προγράμματος

---

Ονομασία	Περιγραφή
init	Αρχικοποίηση του προγράμματος.
ctrls	Ανάγνωση επιλογικών διακοπών ανά αντλία.
analog	Διαμόρφωση των αναλογικών τιμών από τα αισθητήρια στάθμης και ρεύματος.
errhumid	Διαχείριση σφάλματος υγρασίας.
errtherm	Διαχείριση θερμικού σφάλματος.
errfeedb	Διαχείριση σφάλματος ανάδρασης.
errcurr	Διαχείριση σφάλματος χαμηλού ρεύματος.
errlevel	Διαχείριση σφάλματος σταθμήμετρου και πλωτήρων.
erroutfl	Διαχείριση σφάλματος αδυναμίας άντλησης.
run	Εντολές εκκινήσεων αντλιών.
cycle	Υλοποίηση κυκλικής εναλλαγής λειτουργίας μεταξύ των αντλιών.
sms	Αποστολή προειδοποιητικών μηνυμάτων σε περίπτωση σφάλματος.
led	Λειτουργία ενδεικτικών λαμπτήρων.
timerec	Καταγραφή ωρών λειτουργίας ανά αντλία.
startrec	Καταγραφή αριθμού εκκινήσεων ανά αντλία.
errlog	Καταγραφή σφαλμάτων και χρόνου που αυτά έλαβαν χώρα.
logrot	Αποθήκευση καταγραφών σφαλμάτων και στοιχείων λειτουργίας στη μνήμη κάνοντας χρήση στιβών First In First Out (FIFO).

---

Πίνακας 2.2: Περιγραφή τμημάτων του προγράμματος.



Ο παραπάνω πίνακας, πέρα από μια σύντομη περιγραφή της εργασίας που επιτελεί κάθε τμήμα του προγράμματος, παραθέτει τα τμήματα αυτά και στη σειρά που απαντώνται κατά την εκτέλεση. Αξίζει να σημειώσουμε ότι η σειρά δεν είναι ιδιαίτερης σημασίας, καθώς η εκτέλεση αυτών είναι κυκλική και η χρονική διάρκεια κάθε κύκλου εκτέλεσης είναι αρκετά μικρή. Πέραν αυτού τα επιμέρους τμήματα είναι γραμμένα έτσι ώστε να μην απαιτείται η εκτέλεσή τους σε συγκεκριμένη σειρά.

## 2.4.3 Σχολιασμός Κώδικα

### 2.4.3.1 Συμβάσεις Απεικόνισης Κώδικα

Η γλώσσα προγραμματισμού που υλοποιήσαμε το πρόγραμμα λογικού ελέγχου είναι η Function Block Diagram (FBD).

Οι συμβάσεις που ακολουθούμε στην απεικόνιση του προγράμματος στο παρόν κείμενο είναι οι εξής:

1. Οι μεταβλητές του προγράμματος σημειώνονται ως μακρόστενα ορθογώνια με το όνομα της μεταβλητής να αναγράφεται πάνω σε αυτά.



:variable      START\_PROGRAM

2. Οι συναρτήσεις παράστανται ως κουτιά με διάφορες γεωμετρίες που εξαρτώνται από τον αριθμό των εισόδων και εξόδων τους. Το όνομα της συνάρτησης αναγράφεται στην πάνω αριστερή μεριά του κουτιού. Στην πάνω δεξιά μεριά αναγράφεται ένας αριθμός με το διακριτό στίγμα της άνω και κάτω τελείας να προηγείται. Ο αριθμός αυτός αντιστοιχεί στο μοναδικό αναγνωριστικό (id) της συγκεκριμένης συνάρτησης, εντός της τρέχουσας λογικής ενότητας και αποδίδεται από το πρόγραμμα συγγραφής AC31GRAF. Στις εισόδους της συνάρτησης αναγράφονται τα ονόματα αυτών, όπου είναι αναγκαίο να υπάρχει διάκριση μεταξύ τους.



:function      ESV :37  
T-0  
2D

3. Τα jumps του προγράμματος εμφανίζονται με το ίδιο σχήμα με τις μεταβλητές αλλά έχουν γκρι υπόβαθρο και το όνομα του label που αυτά μεταπηδούν, τοποθετείται αμέσως μετά από το σύμβολο >>.



:jump      >>INITIAL

4. Τα labels του προγράμματος εμφανίζονται με το ίδιο σχήμα με τις μεταβλητές αλλά έχουν γκρι υπόβαθρο και το όνομα τους ακολουθείται από άνω και κάτω τελεία.

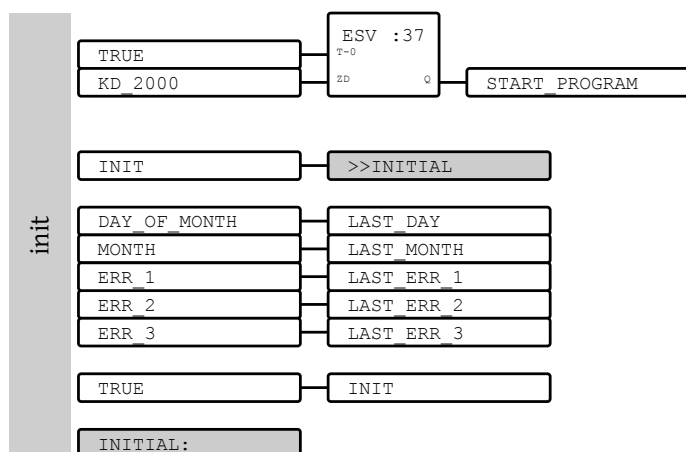


:label      INITIAL:

5. Ο λογικός τελεστής της άρνησης (not) εμφανίζεται στη σχέση μεταξύ δύο στοιχείων ως ένας μικρός κύκλος με μαύρο περίγραμμα και άσπρο υπόβαθρο και τοποθετείται στο τέλος αυτής.



### 2.4.3.2 Αρχικοποιήσεις Μεταβλητών

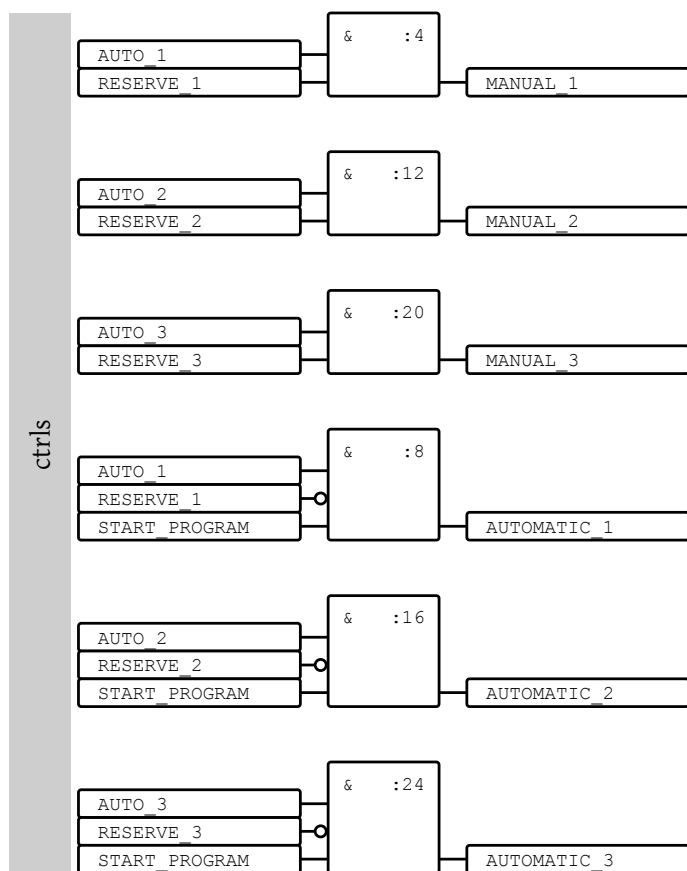


Το αρχικό Function Block ESV :37 εισάγει μια χρονική καθυστέρηση των δύο δευτερολέπτων κατά την εκκίνηση του προγράμματος προτού αποδώσει την τιμή TRUE στη μεταβλητή START\_PROGRAM. Σε επόμενα τμήματα του κώδικα αυτή η μεταβλητή θα χρησιμοποιηθεί ως απαιτούμενη συνθήκη για έναρξη της αυτόματης λειτουργίας των αντλιών. Από πλευράς προγράμματος δεν προσφέρει κάτι, αποδείχθηκε όμως χρήσιμη από πλευράς του χειριστή που επανεκκινεί τον εξοπλισμό και ο μικρός αυτός χρόνος είναι αρκετός για να έρθει σε θέση εποπτείας μετά την ηλεκτροδότηση του κυκλώματος.

Ακολουθεί μια υπό συνθήκη μετάβαση στο label INITIAL. Η μεταβλητή INIT αντιστοιχεί στη θέση μνήμης M253.12 και η χαρακτηριστική ιδιότητα αυτής είναι ότι μετά από κάθε επανεκκίνηση αυτή τίθεται σε λογική κατάσταση FALSE. Έτσι στον πρώτο κύκλο του προγράμματος η υπό συνθήκη μετάβαση δεν εκτελείται και γίνονται μια σειρά από αρχικοποιήσεις μεταβλητών. Οι μεταβλητές αυτές σχετίζονται με την καταγραφή των σφαλμάτων και στοιχείων λειτουργίας των αντλιών και ο λόγος που τους αποδίδουμε αρχικώς τις τιμές αυτές θα γίνει κατανοητός όταν φθάσουμε στο αντίστοιχο τμήμα του κώδικα που διαχειρίζεται αυτά τα θέματα.

Προκειμένου να εξασφαλίσουμε ότι δεν θα έχουμε εκ νέου αρχικοποίηση των μεταβλητών σε επόμενους κύκλους, η μεταβλητή INIT τίθεται σε κατάσταση TRUE. Έτσι σε μεταγενέστερους κύκλους η υπό συνθήκη μετάβαση λαμβάνει χώρα και αυτό το τμήμα του προγράμματος δεν εκτελείται.

### 2.4.3.3 Επιλογικοί Διακόπτες



Στο κομμάτι του κώδικα αυτό εξετάζουμε την κατάσταση των επιλογικών διακοπών κάθε αντλίας και θέτουμε έκαστη στην αντίστοιχη λογική κατάσταση.

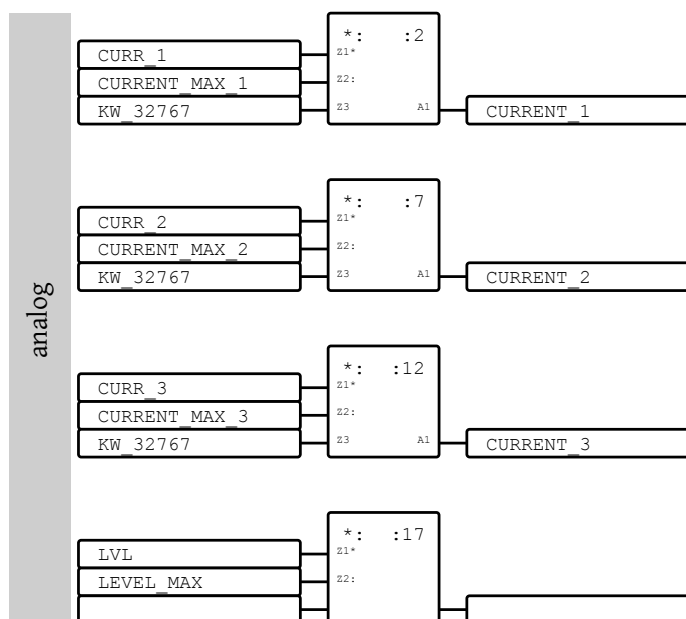
Οι υφιστάμενοι επιλογικοί διακόπτες είναι τεσσάρων (4) θέσεων συνολικά, OFF, MANUAL, RESERVE και AUTO. Η υλοποίηση του επιλογικού διακόπτη γίνεται με χρήση δύο (2) επαφών: την RESEVE και την AUTO. Η κατάσταση και των δύο αυτών επαφών καθορίζει τη λογική λειτουργία της εκάστοτε αντλίας. Ο πίνακας επιλογής έχει ως εξής:

Κατάσταση	REVERSE	AUTO
OFF	Low	Low
MANUAL	High	High
RESERVE	High	Low
AUTO	Low	High

Η δική μας σχεδιαστική επιλογή υπήρξε να καταργήσουμε τη λειτουργία RESERVE όπως έχουμε εξηγήσει παραπάνω. Έτσι ελέγχουμε για κατάσταση MANUAL ή AUTO. Οι μετα-

βλητές RESERVE\_{1,2,3} και AUTO\_{1,2,3} αντιστοιχούν στις εισόδους του επιλογικού διακόπτη. Με χρήση της συνάρτησης & (AND) διαπιστώνουμε την επιλογή που έχει κάνει ο χειριστής του αντλιοστασίου.

#### 2.4.3.4 Διαμόρφωση Αναλογικών Σημάτων

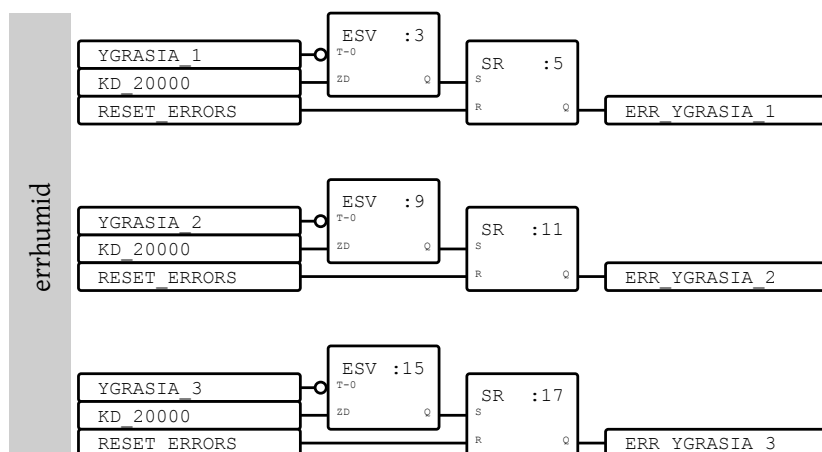


Τα αναλογικά σήματα που διαβάζει η κεντρική μονάδα ελέγχου είναι τέσσερα (4). Μια ένδειξη έντασης ρεύματος για κάθε αντλία και μια ένδειξη στάθμης λυμάτων εντός του αντλιοστασίου. Τα μεγέθη αυτά μετρώνται από κατάλληλα όργανα και μεταφέρονται ως ηλεκτρικό σήμα στη μονάδα με τη μορφή 4..20mA. Η μονάδα τότε αντιστοιχεί στην ένταση που βλέπει μια τιμή από 0 έως 32767. Προκειμένου να μπορούμε να χειριστούμε με ευκολία τις τιμές αυτές τις μετατρέπουμε με τη μέθοδο των τριών. Γνωρίζοντας τις μέγιστες τιμές που μετράνε τα όργανά μας, μετατρέπουμε τις μετρούμενες τιμές σε γνωστές μονάδες μέτρησης.

Η συνάρτηση \*: :2 κάνει αυτή ακριβώς την εργασία. Η μεταβλητή CURR\_1 αντιστοιχεί στη μετρούμενη τιμή από το αναλογικό αισθητήριο σε κλίμακα 0..32767. Η μεταβλητή CURRENT\_MAX\_1 αντιστοιχεί στη μέγιστη ένταση ρεύματος που μπορεί το αισθητήριο να μετρήσει, σε μονάδες Ampere. Η μεταβλητή KW\_32767 είναι μια σταθερά με τιμή 32767. Τέλος η μεταβλητή CURRENT\_1 είναι η μετρούμενη ένταση ρεύματος εκφραζόμενη πλέον σε Ampere.

Κατά τον ίδιο τρόπο εργαζόμαστε και στο Function Block :17 όπου μετασχηματίζουμε την τρέχουσα μετρούμενη τιμή της στάθμης σε εκατοστά.

### 2.4.3.5 Σφάλμα Υγρασίας



Το σφάλμα υγρασίας αφορά την παρουσία νερού εντός του ελαιοδοχείου της αντλίας. Αυτό οφείλεται σε αστοχία του στυπιοθλίπτη που απομονώνει το δοχείο από το αντλούμενο υγρό, στη δική μας περίπτωση τα λύματα. Αν και μια τέτοια αστοχία δεν θέτει την αντλία εκτός λειτουργίας άμεσα, είναι οίωνός γρήγορης φθοράς αυτής που επέρχεται από τη διείσδυση νερού εντός του ελαιοδοχείου, αυξάνει την πίεση εντός αυτού και σύντομα ο στυπιοθλίπτης που απομονώνει το ελαιοδοχείο από το διαμέρισμα του στάτη αστοχεί και αυτός. Αποτέλεσμα είναι η βραχυκύκλωση του στάτη και η αναπόφευκτη καταστροφή αυτού.

Η παρουσία νερού ανιχνεύεται μέσα στο δοχείο μετρώντας την αύξηση της αγωγιμότητας του υγρού κάνοντας χρήση δύο ηλεκτροδίων. Ασκώντας μια διαφορά τάσης στα δύο αυτά ηλεκτρόδια και μετρώντας το ρεύμα διαρροής μπορούμε να εξάγουμε συμπεράσματα για την αγωγιμότητα του υγρού εντός του ελαιοδοχείου. Το λάδι που περιέχει το δοχείο έχει μικρή αγωγιμότητα και έτσι μια μικρή ποσότητα νερού μπορεί να προκαλέσει μεγάλη αύξηση αυτής.

Η λογική που διέπει την ανίχνευση νερού είναι διακοπτικής φύσεως. Το αντίστοιχο όργανο μέτρησης έχει μια προκαθορισμένη τιμή ρεύματος πάνω από την οποία σηματοδοτεί την παρουσία νερού εντός του ελαιοδοχείου. Η αντίστοιχη είσοδος στην κεντρική μονάδα είναι ψηφιακή. Να σημειώσουμε ότι παρουσία νερού στο ελαιοδοχείο σηματοδοτείται όταν η μεταβλητή YGRASIA\_{1,2,3} είναι σε κατάσταση FALSE. Η κανονική κατάσταση της μεταβλητής, δηλαδή αυτή άνευ σφάλματος, είναι TRUE.

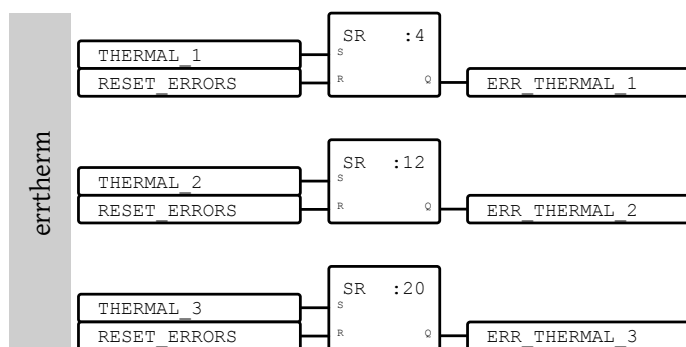
Σε περίπτωση που εντοπίσουμε παρουσία νερού εντός του ελαιοδοχείου περιμένουμε ένα διάστημα είκοσι (20) δευτερολέπτων κατά τη διάρκεια του οποίου η μεταβλητή



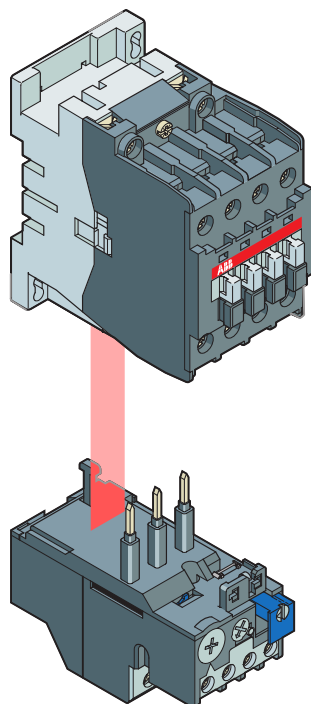
ΥGRASIA\_{1,2,3} πρέπει να παραμείνει σταθερά σε κατάσταση LOW. Ο λόγος που εισάγουμε αυτή τη χρονική υστέρηση είναι για να αποφύγουμε false positives στην ανίχνευση του σφάλματος. Άλλωστε, όπως αναφέρουμε και παραπάνω, το σφάλμα δεν δρα ακαριαία και θανάσιμα στη λειτουργική ικανότητα της αντλίας και το χρονικό διάστημα των είκοσι (20) δευτερολέπτων θεωρείται αμελητέο. Η υλοποίηση της χρονικής υστέρησης γίνεται με το Function Block ESV.

Μόλις η έξοδος του παραπάνω Function Block τεθεί σε κατάσταση TRUE κάνουμε χρήση ενός μανδαλωτή προκειμένου να διατηρήσουμε το σφάλμα μέχρι και την άφιξη του εκάστοτε χειριστή του αντλιοστασίου. Ο μανδαλωτής υλοποιείται από το Function Block SR :5. Προκειμένου να μηδενιστεί το σφάλμα ο χειριστής μπορεί να πιέσει το πλήκτρο RESET\_ERRORS. Κάτι τέτοιο βέβαια οφείλει να λάβει χώρα μόνο αφότου έχει επιλυθεί η γενεσιουργός αιτία του σφάλματος. Σε καμία περίπτωση δεν εξαλείφεται οποιοδήποτε μηχανολογικό σφάλμα με το μηδενισμό της κατάστασης των σφαλμάτων στη μνήμη της κεντρικής μονάδας.

#### 2.4.3.6 Σφάλμα Θερμικού/Θερμίστορ



Το θερμικό σφάλμα απαρτίζεται συνολικά από δύο (2) ξεχωριστά αισθητήρια που επιτελούν διαφορετική λειτουργία, το θερμικό σφάλμα και το σφάλμα θερμίστορ. Το θερμικό αφορά μια δικλείδα ασφαλείας που είναι τοποθετημένη σε σειρά με το κύκλωμα τροφοδοσίας της αντλίας και επιτηρεί την ένταση του ρεύματος. Στην περίπτωση μας πρόκειται για θερμικό ηλεκτρονόμο υπερφόρτισης με περιοχή ρύθμισης της λειτουργίας του. Ο συγκεκριμένος τύπος που βρίσκεται σε λειτουργία είναι της κατασκευάστριας εταιρείας ABB και συνδέεται απευθείας στην έξοδο των ηλεκτρονόμων ισχύος της ίδιας εταιρείας. Όταν η ένταση υπερβεί το όριο που έχει ορίσει ο χρήστης κατά την κανονική λειτουργία της αντλίας, τότε ο θερμικός ηλεκτρονόμος διακόπτει το κύκλωμα και εγείρει σφάλμα.



Σχήμα 2.14: Ηλεκτρονόμος ισχύος της ABB με τον αντίστοιχο θερμικό ηλεκτρονόμο υπερφόρτισης.

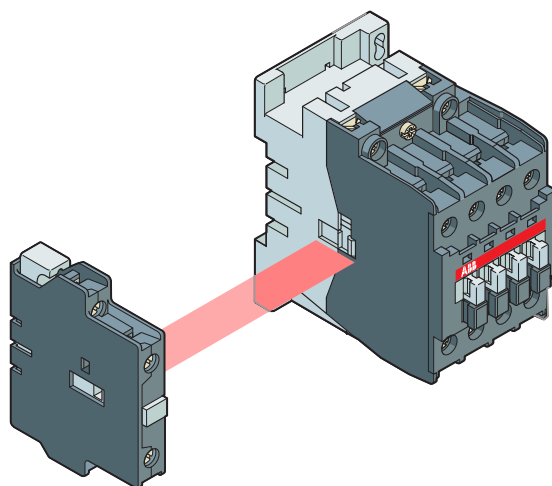
Το θερμίστορ είναι κατάλληλο αισθητήριο το οποίο βρίσκεται εγκατεστημένο εντός του στάτη του ηλεκτροκινητήρα της αντλίας και το οποίο οδηγείται από κατάλληλο ηλεκτρονόμο. Μόλις η θερμοκρασία του στάτη υπερβεί ένα όριο ασφαλείας ρυθμισμένο από τον κατασκευαστή τότε ο αντίστοιχος ηλεκτρονόμος σηματοδοτεί βλάβη.

Σε κάθε μια από τις δύο περιπτώσεις εγείρεται σφάλμα στην είσοδο THERMAL\_{1,2,3} και αυτό άμεσα αποδίδεται στη μεταβλητή ERR\_THERMAL\_{1,2,3} μέσω του μανδαλωτή SR :4. Σε αντίθεση με το σφάλμα υγρασίας, το θερμικό θεωρείται θανάσιμο και απαιτείται άμεση διακοπή της λειτουργίας της αντλίας. Ο εξαναγκασμός της αντλίας σε λειτουργία, ενώ έχει εγείρει θερμικό σφάλμα, θα οδηγήσει με βεβαιότητα στην ολική καταστροφή του στάτη της.

#### 2.4.3.7 Σφάλμα Ανάδρασης

Σφάλμα ανάδρασης θεωρούμε ότι έχουμε όταν η λειτουργία των ηλεκτρονόμων που τροφοδοτούν την εκάστοτε αντλία δεν συμφωνεί με τις εντολές που έχουμε δώσει μέσω του αυτοματισμού. Το συγκεκριμένο σφάλμα παρουσιάστηκε σε διάφορες μορφές και αυτό αποτυπώνεται στην έκταση του κώδικα που αναλαμβάνει τον εντοπισμό και διαχείριση αυτού. Το προγενέστερο πρόγραμμα λογικού ελέγχου δεν υλοποιούσε παρά μόνο μια εκ των τριών (3) περιπτώσεων που θα εξετάσουμε παρακάτω. Όλες οι περιπτώσεις που εξετάζουμε και για τις οποίες έχουμε γράψει κώδικα προς αντιμετώπισή τους παρουσιάστηκαν κατά καιρούς κατά τη λειτουργία των αντλιών. Η συγγραφή λοιπόν αυτού του κώδικα δεν είναι μια περίπτωση υπερβάλλουσας προστασίας, αλλά αντιμετωπίζει πραγματικά προβλήματα όπως αυτά παρουσιάστηκαν.

Τα σήματα ανάδρασης που λαμβάνουμε είναι δύο (2). Ένα από τον κύριο (main) ηλεκτρονόμο του εκκινητή και ένα από τον ηλεκτρονόμο τριγώνου (delta). Με την ενεργοποίηση έκαστου από τους δύο ηλεκτρονόμους το αντίστοιχο σήμα μεταβαίνει από κατάσταση FALSE σε κατάσταση TRUE. Τα σήματα αυτά, σε ηλεκτρολογικό επίπεδο, τα παίρνουμε από βοηθητικές επαφές που είναι εγκατεστημένες πάνω στον ηλεκτρονόμο και εξαναγκάζονται μηχανικά να ακολουθούν την κίνηση του συγγενικού ηλεκτρονόμου.



Σχήμα 2.15: Ηλεκτρονόμος ισχύος της ABB με την αντίστοιχη βοηθητική επαφή.

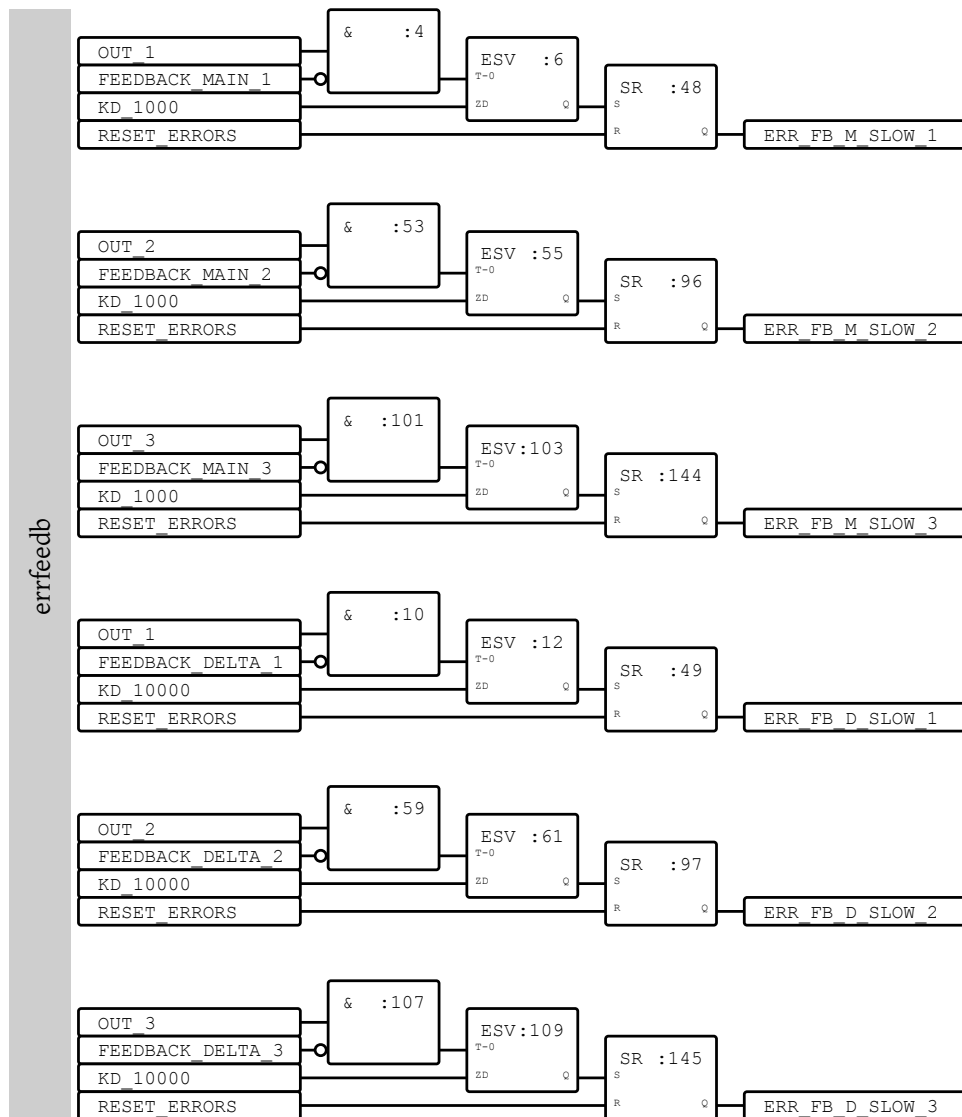
Αξίζει εδώ να σημειώσουμε ότι στα σφάλματα ανάδρασης που εξετάζουμε αντιστοιχούμε και μια κωδικοποίηση στις μεταβλητές αυτών για ευκολότερη ανάγνωση του κώδικα. Έτσι έχουμε τα έξης:

MAIN κύριος ηλεκτρονόμος  
 DELTA ηλεκτρονόμος τριγώνου

ERR\_FB\_{M,D}\_{SLOW,UNLCH,RLCH}\_{1,2,3}

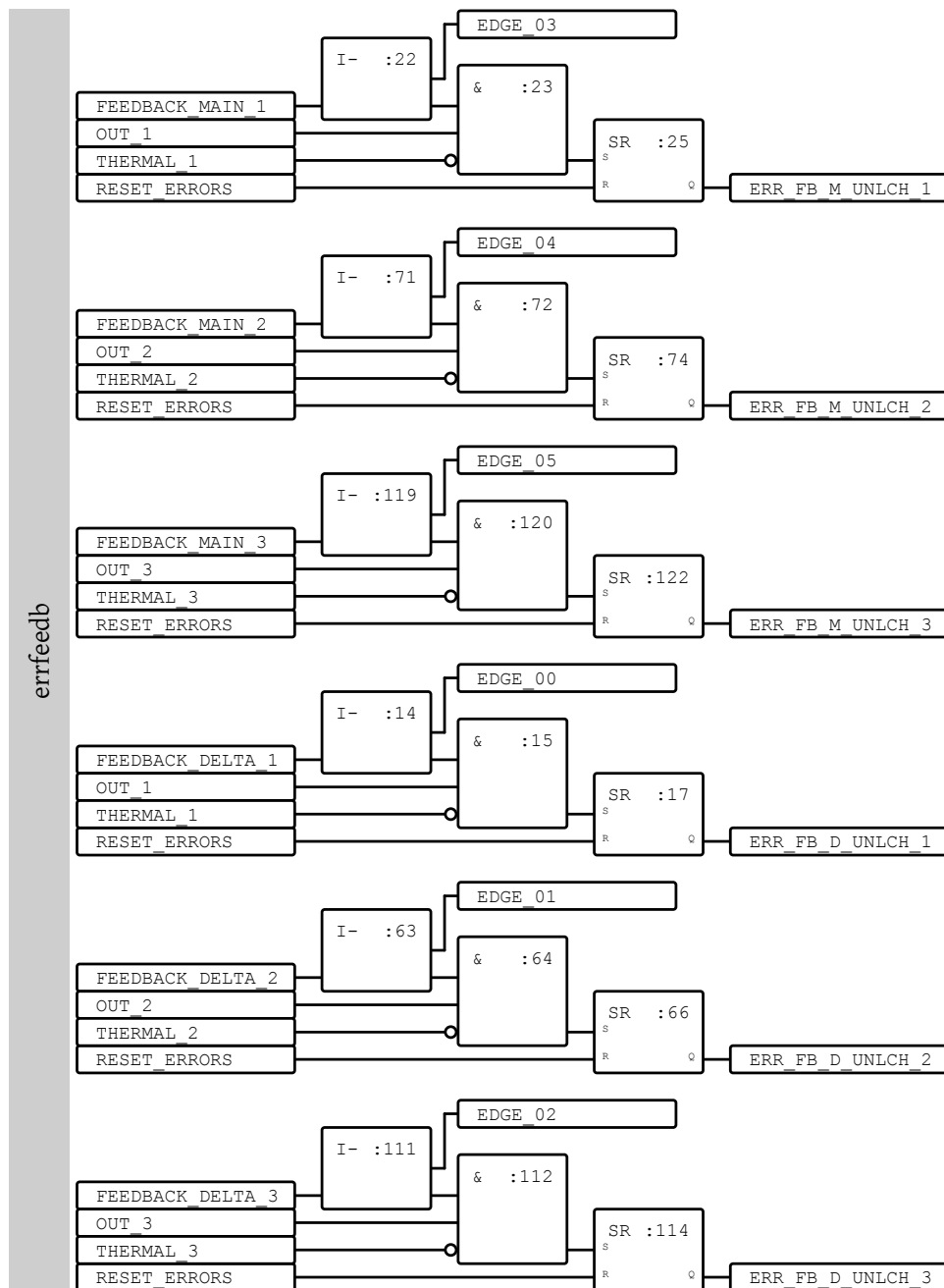
SLOW υστέρηση απόκρισης  
 UNLCH (unlatched) απομανδάλωση  
 RLCH (remaining latched) παραμένουσα μανδάλωση

Έτσι η μεταβλητή ERR\_FB\_M\_UNLCH\_2 αντιστοιχεί στο σφάλμα ανάδρασης απομανδάλωσης του κύριου ηλεκτρονόμου του εκκινήτη αστέρα/τριγώνου της δεύτερης αντλίας.



Καθώς στο σημείο αυτό ο επιμελής αναγνώστης είναι πλέον σε θέση να αναγνωρίσει όλα τα χρησιμοποιούμενα Function Blocks του παραπάνω τμήματος του κώδικα, μπορούμε να περιγράψουμε σε πιο αφαιρετικό επίπεδο τη λειτουργία αυτού. Έτσι αυτό που υλοποιούμε είναι ο εξής έλεγχος:

Αν έχουμε δώσει εντολή στην αντλία να εκκινήσει (OUT\_{1,2,3}) και δεν έχουμε ανάδραση από τον κύριο ηλεκτρονόμο του εκκινήτη αστέρατριγώνου (& NOT FEEDBACK\_MAIN\_{1,2,3}) για περισσότερο από ένα δευτερόλεπτο (ESV KD\_1000), τότε μανδαλώνουμε το σφάλμα της υστέρησης κατά την εκκίνηση (SR ERR\_FB\_M\_SLOW\_{1,2,3}).



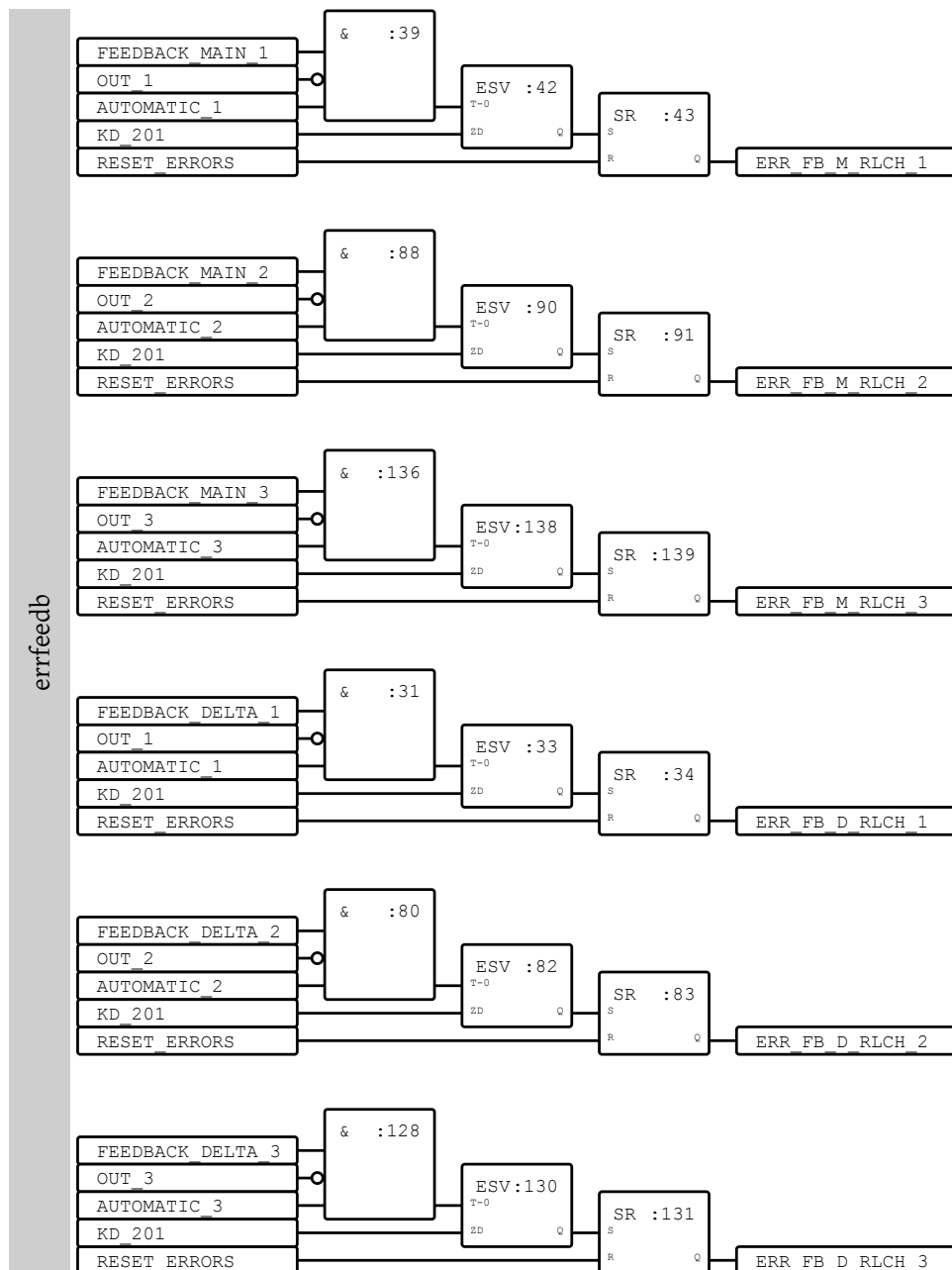
Η δεύτερη περίπτωση σφάλματος ανάδρασης που εξετάζουμε είναι αυτή κατά την οποία ενώ έχουμε δώσει εντολή εκκίνηση και αρχικώς ο ηλεκτρονόμος αποκρίνεται, αυτός έπειτα απομανδαλώνει δίχως να έχουμε άρει την εντολή εκκίνησης. Μια τέτοια βλάβη οφείλεται συνήθως σε αστοχία του βοηθητικού κυκλώματος ενεργοποίησης των ηλεκτρονόμων και δεν σχετίζεται με βλάβη της αντλίας.

Το ζητούμενο είναι να ανιχνεύσουμε την αρνητική ακμή μετάβασης του σήματος ανάδρασης από τιμή TRUE σε τιμή FALSE. Τη λειτουργία αυτή την πετυχαίνουμε κάνοντας χρήση του Function Block I-. Το εν λόγω Function Block ανιχνεύει τη μετάβαση ενός σήματος από τιμή TRUE σε τιμή FALSE στην είσοδό του 1-0 μεταξύ δύο διαδοχικών κύ-

κλων και επιστρέφει ένα θετικό παλμό στην έξοδο PULS με διάρκεια την περίοδο του προγράμματος. Η έξοδος Q διασυνδέεται με μια μεταβλητή η οποία χρησιμοποιείται από το Function Block εσωτερικά και δεν μας ενδιαφέρει η τιμή αυτής.

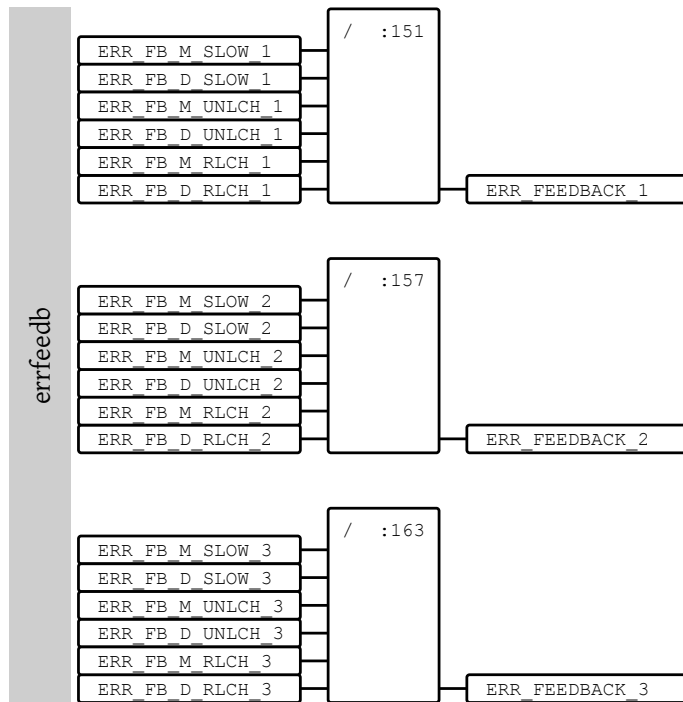
Έτσι μπορούμε πλέον να ερμηνεύσουμε το παραπάνω κομμάτι κώδικα ως εξής: όταν ανιχνεύσουμε αρνητική ακμή του σήματος ανάδρασης, ενώ έχουμε δώσει εντολή λειτουργίας στην αντλία και δεν έχει διακοπεί η λειτουργία αυτής από σφάλμα του θερμικού ηλεκτρονόμου υπερφόρτισης, τότε μανδαλώνουμε σφάλμα απομανδάλωσης του ηλεκτρονόμου.





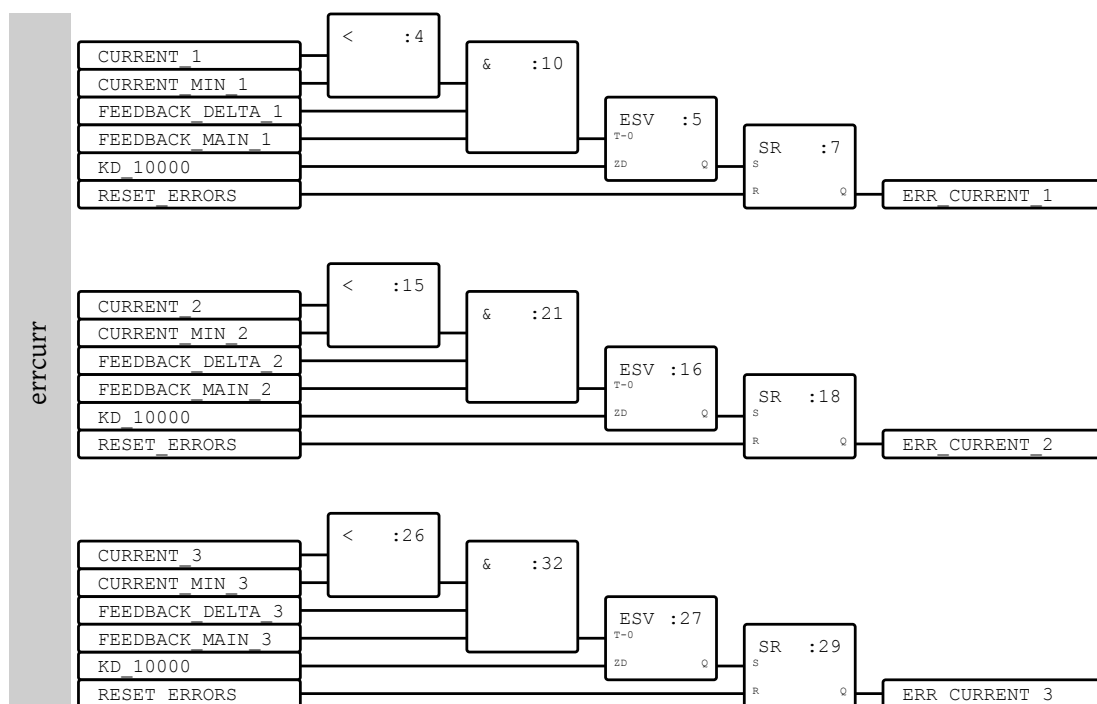
Η τρίτη και τελευταία περίπτωση σφάλματος ανάδρασης είναι αυτή κατά την οποία έχουμε άρει την εντολή λειτουργίας της εκάστοτε αντλίας και ο αντίστοιχος ηλεκτρονόμος παραμένει μανδαλωμένος. Το σφάλμα αυτό προκύπτει από αστοχία του ηλεκτρονόμου και δεν σχετίζεται με σφάλμα της αντλίας.

Έτσι το αντίστοιχο τμήμα του κώδικα διαβάζεται ως εξής: σε περίπτωση που έχουμε ανάδραση του ηλεκτρονόμου, ενώ δεν υπάρχει εντολή λειτουργίας της αντλίας και αυτή είναι σε κατάσταση αυτόματης λειτουργίας (για αποφυγή καταγραφής σφάλματος όταν έχουμε χειροκίνητη λειτουργία), τότε περιμένουμε 200ms και μανδαλώνουμε σφάλμα παραμένουσας μανδάλωσης.



Τέλος αθροίζουμε όλα τα καταγεγραμμένα σφάλματα ανά αντλία με μια συνάρτηση OR στο γενικό σφάλμα ανάδρασης. Η χρήση αυτής γίνεται σε επόμενα τμήματα του προγράμματος και διευκολύνει στη συγγραφή του.

### 2.4.3.8 Σφάλμα Χαμηλού Ρεύματος



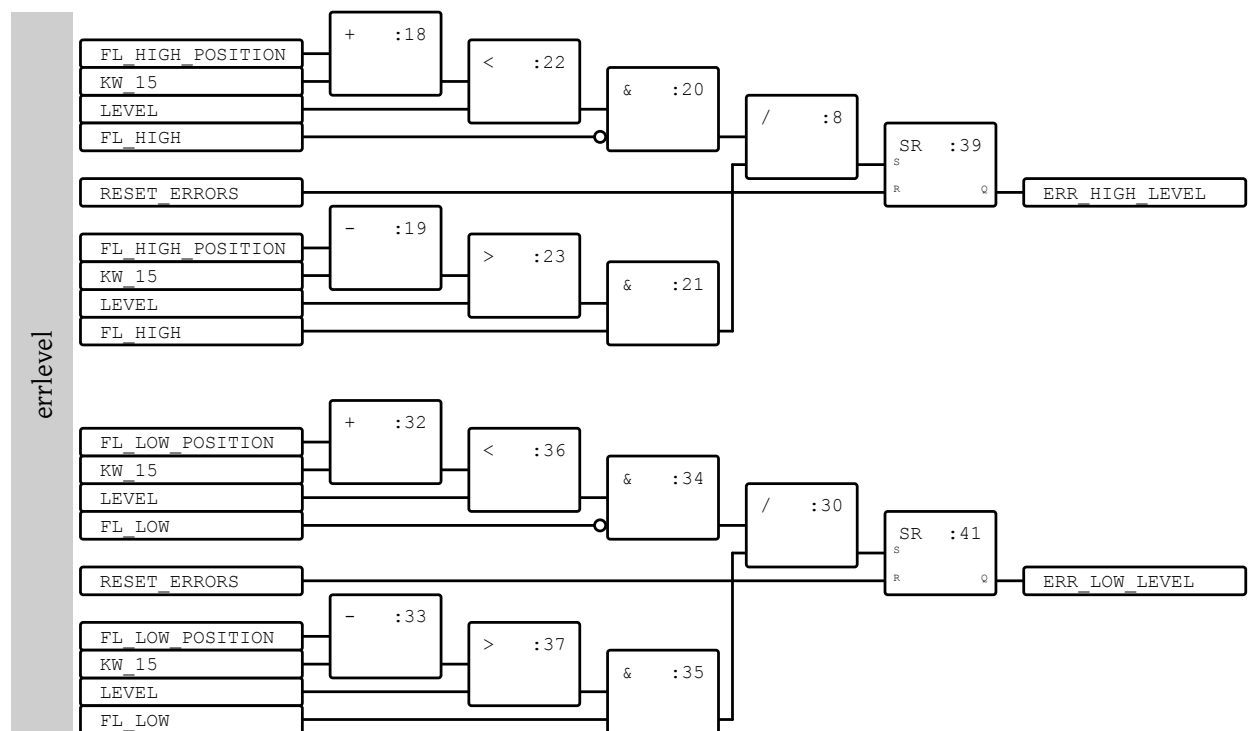
Κατά το σφάλμα του χαμηλού ρεύματος εξετάζουμε την ένταση του ρεύματος λειτουργίας της αντλίας και αν αυτή είναι κάτω από ένα επιτρεπτό όριο. Αν και χαμηλές εντάσεις ρεύματος δεν δύνανται να προκαλέσουν βλάβη στον ηλεκτρολογικό εξοπλισμό και δη στην αντλία, είναι ενδεικτικές κακής λειτουργίας και χρήζουν προσοχής. Η χαμηλή ένταση του ρεύματος σε μια κατά τα άλλα λειτουργική αντλία σχετίζεται άμεσα με την παροχή αυτής. Χαμηλή παροχή στις περιπτώσεις αυτές μπορεί να οφείλεται σε διαρροή στο υδραυλικό κύκλωμα της αντλίας, μετακίνηση αυτής από τη βάση σύνδεσης με τον αγωγό κατάθλιψης ή συγκέντρωση μακρόνινων και άλλων ογκοδών φερτών εντός της πτερωτής αυτής. Λόγοι που όλοι θα οδηγήσουν σε χαμηλότερη παροχή της αντλίας από την προδιαγραφόμενη.

Το αντίστοιχο τμήμα του προγράμματος διαβάζεται ως εξής: αν το ρεύμα της αντλίας είναι χαμηλότερο από το ορισμένο για αυτήν ενόσω λειτουργεί και έχουμε ανάδραση τόσο από τον κύριο ηλεκτρονόμο όσο και από τον ηλεκτρονόμο τριγώνου, τότε περιμένουμε δέκα (10) δευτερόλεπτα προκειμένου να σταθεροποιηθεί η ένταση και αν το ρεύμα παραμένει χαμηλό τότε μανδαλώνουμε σφάλμα χαμηλού ρεύματος.

Το σφάλμα χαμηλού ρεύματος δεν θεωρείται θανάσιμο, καθώς δεν απειλεί την αντλία με άμεση καταστροφή, χρήζει όμως προσοχής και αντιμετώπισης καθώς μειώνει την ικανότητα απαγωγής λυμάτων του αντλιοστασίου και αυξάνει τη μηχανολογική καταπόνηση λόγω παρατεταμένων χρόνων λειτουργίας.

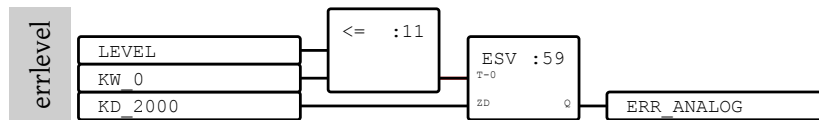
### 2.4.3.9 Σφάλματα Στάθμης

Στο τμήμα αυτό του προγράμματος εξετάζουμε τα σφάλματα που μπορεί να προκύψουν κατά την ανάγνωση των αισθητηρίων στάθμης. Τα αισθητήρια στάθμης όπως έχουμε αναφέρει είναι συνολικά τρία (3) και απαρτίζονται από δύο (2) πλωτήρες και ένα (1) σταθμήμετρο. Οι πλωτήρες λειτουργούν με διακοπτική λογική ενώ το σταθμήμετρο είναι αναλογικής φύσεως.



Ο πρώτος έλεγχος που εκτελούμε είναι για να πιστοποιήσουμε την καλή λειτουργία των πλωτήρων. Ο τρόπος που πραγματοποιούμε τον έλεγχο είναι παρατηρώντας την τιμή που παίρνουν όταν η στάθμη των λυμάτων είναι σε ένα εύρος τιμών  $\pm 15$  εκατοστών από το ύψος που έχουν τοποθετηθεί. Τη στάθμη των λυμάτων την παίρνουμε από το σταθμήμετρο που στην περίπτωση των αντλιοστασίων αποχετευτικού συστήματος αποδείχθηκε πιο αξιόπιστο στη λειτουργία του από τους πλωτήρες.

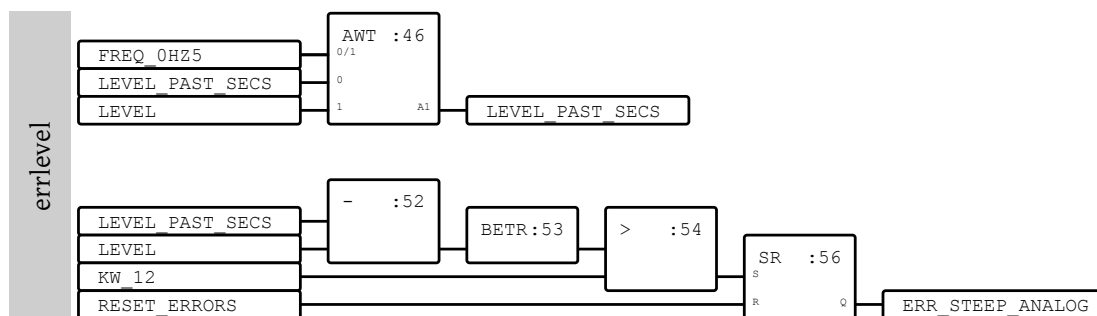
Έτσι αν η στάθμη των λυμάτων έχει υπερβεί τη θέση του πλωτήρα κατά δεκαπέντε (15) εκατοστά και ο πλωτήρας δεν έχει δώσει σήμα ακόμα ή αν η στάθμη είναι κάτω από τη θέση του πλωτήρα κατά δεκαπέντε (15) εκατοστά και ο πλωτήρας συνεχίζει να δίνει σήμα, τότε μανδαλώνουμε σφάλμα του πλωτήρα.



Τα εγκατεστημένα αισθητήρια στάθμης επιστρέφουν σήμα 4..20mA. Ο λόγος για τον οποίο η χαμηλότερη δυνατή τιμή είναι τα 4mA είναι για να μπορεί κανείς άμεσα να ανιχνεύσει βλάβη του αισθητηρίου σε περίπτωση απουσίας ρεύματος. Έτσι σε περίπτωση είτε αστοχίας του ίδιου του οργάνου είτε σε περίπτωση διακοπής της ηλεκτρικής επαφής μπορεί κανείς άμεσα να διαπιστώσει το σφάλμα.

Αυτή την ιδιότητα του αισθητηρίου χρησιμοποιούμε στο παραπάνω τμήμα του προγράμματος προκειμένου να διαπιστώσουμε ότι το αισθητήριο λειτουργεί και η επικοινωνία με αυτό παραμένει. Σε περίπτωση απώλειας της επικοινωνίας η τιμή που διαβάζουμε στην αντίστοιχη μεταβλητή της στάθμης είναι αρνητική, πράγμα αδύνατο υπό κανονικές συνθήκες.

Εξετάζουμε λοιπόν αν η τιμή της στάθμης είναι θετική και ως εκ τούτου ενδεικτική ότι η επικοινωνία υφίσταται. Σε περίπτωση που είναι αρνητική μανδαλώνουμε σφάλμα του αναλογικού αισθητηρίου.



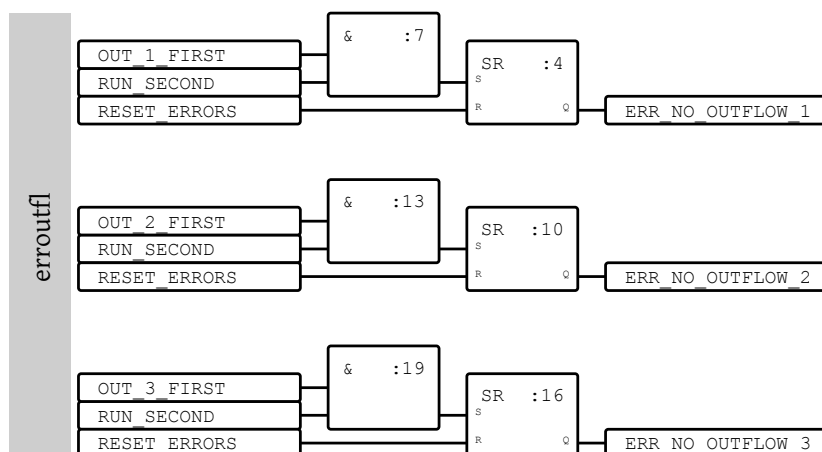
Ο τελευταίος έλεγχος που εκτελούμε αφορά πάλι το αισθητήριο στάθμης και εξετάζει την εν γένει καλή λειτουργία αυτού. Ξεκινάμε από την παρατήρηση ότι η στάθμη των λυμάτων, ως μέγεθος, δεν έχει απότομες μεταβολές, παρά η μείωση ή αύξηση αυτής γίνεται ομαλά. Έτσι εξετάζουμε τη στάθμη στην πάροδο του χρόνου και κρίνουμε αν οι μεταβολές αυτής είναι αρκούτσως ομαλές ή συντρέχει λόγος ανησυχίας.

Κάθε δύο (2) δευτερόλεπτα (FREQ\_0HZ5) αποθηκεύουμε στη μεταβλητή LEVEL\_PAST\_SECS την τρέχουσα τιμή της στάθμης. Αυτό γίνεται μέσω του Function Block AWT :46

το οποίο είναι μια πύλη επιλογής. Η είσοδος 0/1 αποφασίζει για το ποια εκ των δύο εισόδων 0 και 1 θα είναι εκείνη που θα αποδώσει την τιμή της στην έξοδο Q. Έπειτα υπολογίζουμε την απόλυτη μεταβολή της στάθμης από την αμέσως προηγούμενη αποθηκευμένη τιμή και αν αυτή ξεπεράσει το όριο των δώδεκα (12) εκατοστών τότε μανδλώνουμε σφάλμα απότομης μεταβολής του αναλογικού. Ο υπολογισμός της απόλυτης τιμής γίνεται με χρήση του Function Block BETR :53.

Το συγκεκριμένο σφάλμα απαντάται είτε λόγω έμφραξης του ίδιου του αισθητηρίου είτε λόγω αστοχίας της αντίστοιχης εισόδου ανάγνωσης του σήματος από το PLC. Σε κάθε περίπτωση τυχόν σφάλμα του αναλογικού σταθμήμετρου είναι απολύτως κρίσιμο διότι άνευ γνώσης της στάθμης το αντλιοστάσιο δεν λειτουργεί.

### 2.4.3.10 Σφάλμα Χαμηλής Παροχής Αντλίας



Η τρέχουσα εικόνα του αποχετευτικού με τις συγκεκριμένες παροχές και τις υφιστάμενες αντλίες εξασφαλίζει ότι, ακόμα και για τις ώρες αιχμής, ουδέποτε θα χρειαστεί να λειτουργήσει πάνω από μια αντλία για να παραλάβει την εισερχόμενη παροχή.

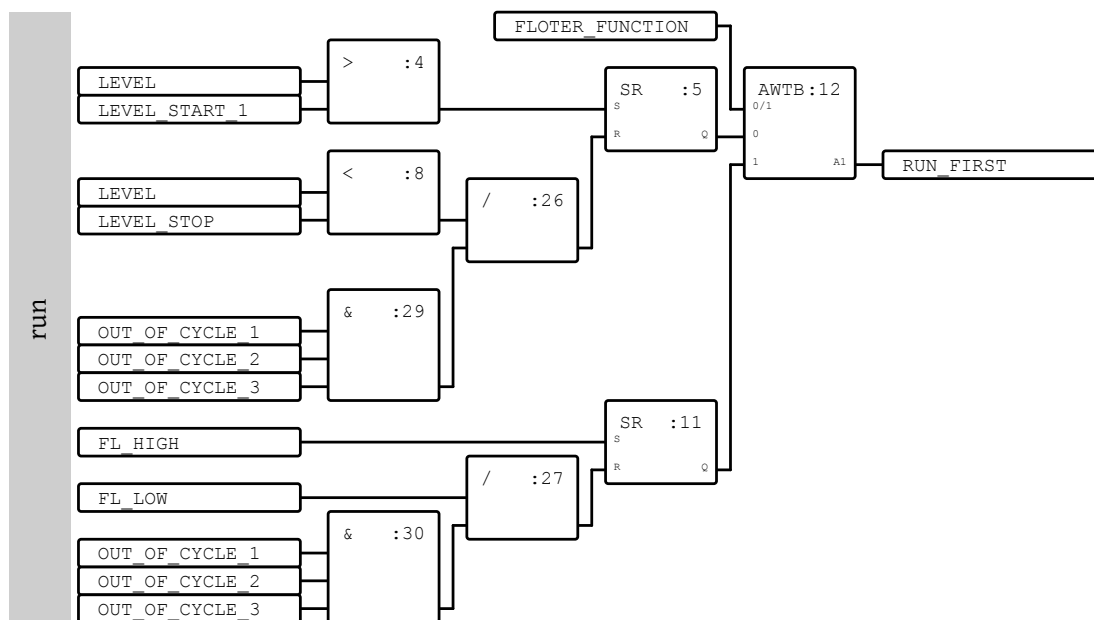
Για το λόγο αυτό τυχόν έναρξη και δεύτερης αντλίας μας οδηγεί με ασφάλεια στο συμπέρασμα ότι η πρώτη αντλία που λειτούργησε δεν είναι πλήρως λειτουργική. Οι λόγοι που μπορεί κάτι τέτοιο να συμβαίνει ταυτίζονται πολλές φορές με τις αιτίες του σφάλματος χαμηλού ρεύματος. Έχουμε υπάρξει όμως και μάρτυρες περιπτώσεων όπου η μοναδική ένδειξη ότι η αντλία δεν λειτουργούσε ορθά ήταν η αδυναμία αυτής να ανταποκριθεί στην εισερχόμενη παροχή. Όλα τα υπόλοιπα ηλεκτρικά μεγέθη και αισθητήρια βρίσκονταν σε κανονική κατάσταση λειτουργίας.

Προκειμένου λοιπόν να προειδοποιήσουμε τον εκάστοτε χειριστή, σε περίπτωση όπου ενώ λειτουργεί μια αντλία εξαναγκαστεί να εκκινήσει και δεύτερη, τότε μανδαλώνουμε σφάλμα χαμηλής παροχής για την αντλία αυτή.

#### 2.4.3.11 Εντολές Εκκινήσεως

Οι τρέχουσες και αναμενόμενες μελλοντικές παροχές του δικτύου είναι τέτοιες ώστε σε κάθε στιγμή η λειτουργία μιας και μόνο αντλίας να αρκεί. Εμείς λαμβάνουμε μέριμνα ώστε να μπορεί να ξεκινήσει και δεύτερη αντλία σε περίπτωση που η πρώτη δεν είναι ικανή να ανταπεξέρθει στην εισερχόμενη παροχή. Κατά τον τρόπο αυτό αποθηκεύουμε τις δύο εντολές εκκίνησης RUN\_FIRST και RUN\_SECOND στις δύο αντίστοιχες μεταβλητές. Οι στάθμες εκκίνησης της πρώτης και της δεύτερης αντλίας παρέχονται από το χρήστη μέσω της οθόνης CP502 και αποθηκεύονται στις μεταβλητές LEVEL\_START\_1 και LEVEL\_START\_2 αντίστοιχα.

Σε περίπτωση βλάβης του σταθμήμετρου ο χρήστης έχει τη δυνατότητα να επιλέξει η εκκίνηση των αντλιών να ελέγχεται από τους πλωτήρες του αντλιοστασίου. Καθώς στην περίπτωση αυτή έχουμε μόνο δύο πλωτήρες εγκατεστημένους, περιοριζόμαστε στην εκκίνηση μιας και μόνο αντλίας. Η επιλογή του χρήστη για έλεγχο μέσω πλωτήρων αποθηκεύεται στη μεταβλητή FLOTER\_FUNCTION.

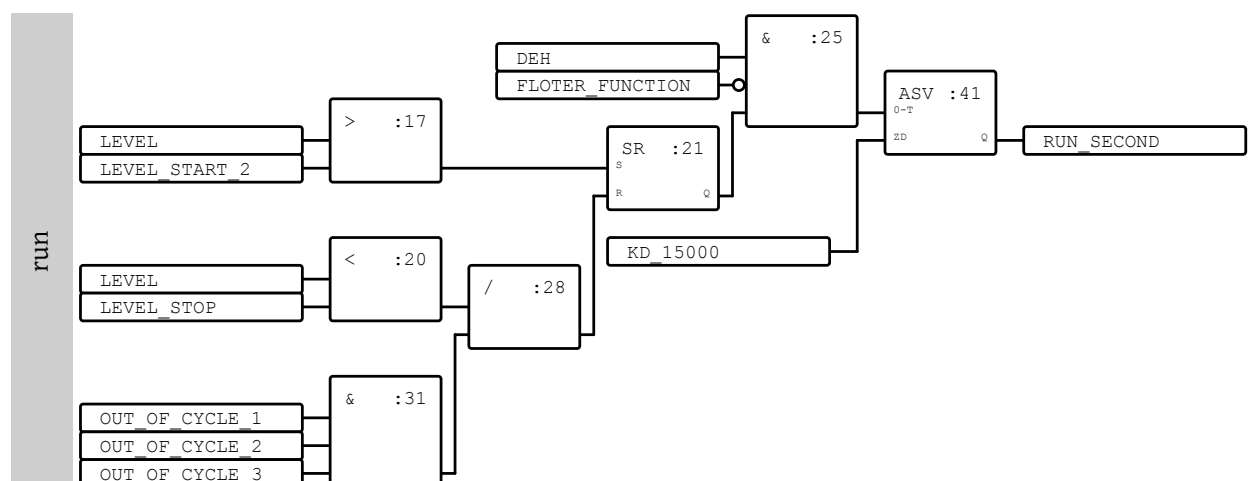


Στο Function Block AWTB :12 επιλέγουμε με ποιο τρόπο θα γίνεται ο έλεγχος του αντλιοστασίου, δηλαδή με σταθμήμετρο ή με πλωτήρες. Το Function Block αυτό είναι μια πύλη επιλογής, με τον επιλογέα να βρίσκεται στην είσοδο 01 αυτού.



Σε περίπτωση που η μεταβλητή FLOTER\_FUNCTION είναι σε κατάσταση FALSE, στην έξοδο A1 του AWTB εμφανίζεται η είσοδος του από το 0. Αυτή η είσοδος συνδέεται με το τμήμα του προγράμματος που κάνει έλεγχο της στάθμης με χρήση του σταθμήμετρου. Συγκεκριμένα δίνουμε εντολή εκκίνησης αν η τρέχουσα στάθμη ξεπεράσει την προκαθορισμένη στάθμη εκκίνησης της πρώτης αντλίας. Η εντολή μανδαλώνεται μέσω του SR :5 και παραμένει μανδαλωμένη έως ότου η στάθμη πέσει κάτω από το προκαθορισμένο επίπεδο σβέσης των αντλιών ή σε περίπτωση που καμία εκ των τριών αντλιών δεν είναι σε θέση να λειτουργήσει.

Σε περίπτωση που η μεταβλητή FLOTER\_FUNCTION είναι σε κατάσταση HIGH, στην έξοδο A1 του AWTB εμφανίζεται η είσοδος του από το 1. Αυτή η είσοδος συνδέεται με το τμήμα του προγράμματος που κάνει έλεγχο της στάθμης με χρήση των πλωτήρων. Στην περίπτωση αυτή μανδαλώνουμε την εντολή εκκίνησης όταν ο πλωτήρας υψηλής στάθμης είναι σε κατάσταση TRUE. Η εντολή αυτή παραμένει μανδαλωμένη έως ότου ο πλωτήρας χαμηλής στάθμης έρθει σε κατάσταση HIGH ή σε περίπτωση που καμία εκ των τριών αντλιών δεν είναι σε θέση να λειτουργήσει. Αξίζει να σημειώσουμε ότι η ηλεκτρολογική διασύνδεση μεταξύ των εισόδων του PLC και των ηλεκτρονόμων που οδηγούν τους πλωτήρες είναι τέτοια ώστε ο πλωτήρας υψηλής στάθμης να δίνει λογικό σήμα HIGH όταν είναι σε επαφή με τα λύματα, ενώ ο πλωτήρας χαμηλής στάθμης λειτουργεί αντίστροφα.



Προκειμένου να ελέγξουμε δύο αντλίες ταυτόχρονα υπάρχουν δύο απαιτήσεις:

1. Ο έλεγχος της στάθμης να γίνεται μέσω του σταθμήμετρου.

2. Η τροφοδοσία του αντλιοστασίου να γίνεται μέσω του δικτύου της ΔΕΗ και όχι από το ηλεκτροπαραγωγό ζεύγος.

Εξασφαλίζουμε τις παραπάνω συνθήκες με το Function Block & :25.

Η εντολή εκκίνησης της δεύτερης αντλίας δίνεται μόλις η στάθμη ξεπεράσει το προκαθορισμένο ύψος εκκίνησης LEVEL\_START\_2. Η λογική μανδάλωσης και απομανδάλωσης της εντολής εκκίνησης είναι όμοια με αυτή που ακολουθήσαμε παραπάνω.

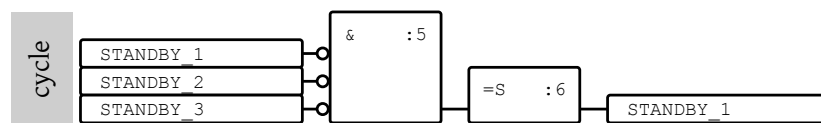
Τέλος προκειμένου να αποφύγουμε την ταυτόχρονη σβέση των αντλιών εισάγουμε μια χρονοκαθυστέρηση κατά τη σβέση λειτουργίας της δεύτερης αντλίας. Αυτό το επιτυγχάνουμε με το Function Block ASV :41. Η εισαγόμενη χρονοκαθυστέρηση είναι των δεκαπέντε (15) δευτερολέπτων και αντιστοιχεί στη μεταβλητή KD\_15000.

#### 2.4.3.12 Κυκλική Εναλλαγή

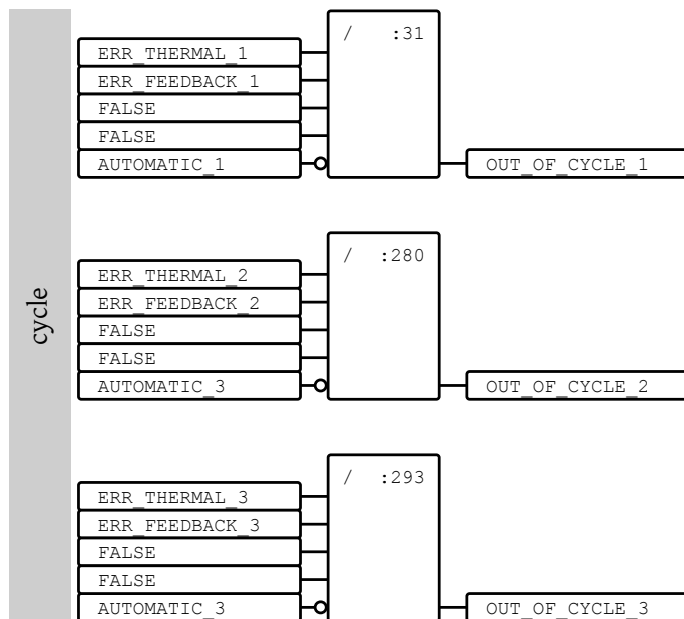
Η κυκλική εναλλαγή μεταξύ των αντλιών γίνεται κατά τη σειρά αρίθμησης αυτών και με κάθε εκκίνηση. Έτσι, ως παράδειγμα, αν προηγουμένως λειτούργησε η πρώτη αντλία, στην επόμενη εκκίνηση θα λειτουργήσει η δεύτερη. Στην περίπτωση που εκκινήσουν δύο αντλίες, στην επόμενη εκκίνηση θα λειτουργήσει εκείνη η αντλία που είχε παραμείνει ανενεργή.

Προκειμένου να υλοποιήσουμε αυτή τη λειτουργία κάνουμε χρήση τριών μεταβλητών, τις STANDBY\_{1,2,3}. Αυτές οι μεταβλητές σηματοδοτούν ότι αντίστοιχα η πρώτη, δεύτερη ή τρίτη αντλία είναι σε κατάσταση αναμονής και έτοιμη να λειτουργήσει κατά την επόμενη εκκίνηση.

Η μετάβαση της κατάστασης αναμονής από αντλία σε αντλία είναι ο πυρήνας του ακόλουθου προγράμματος.

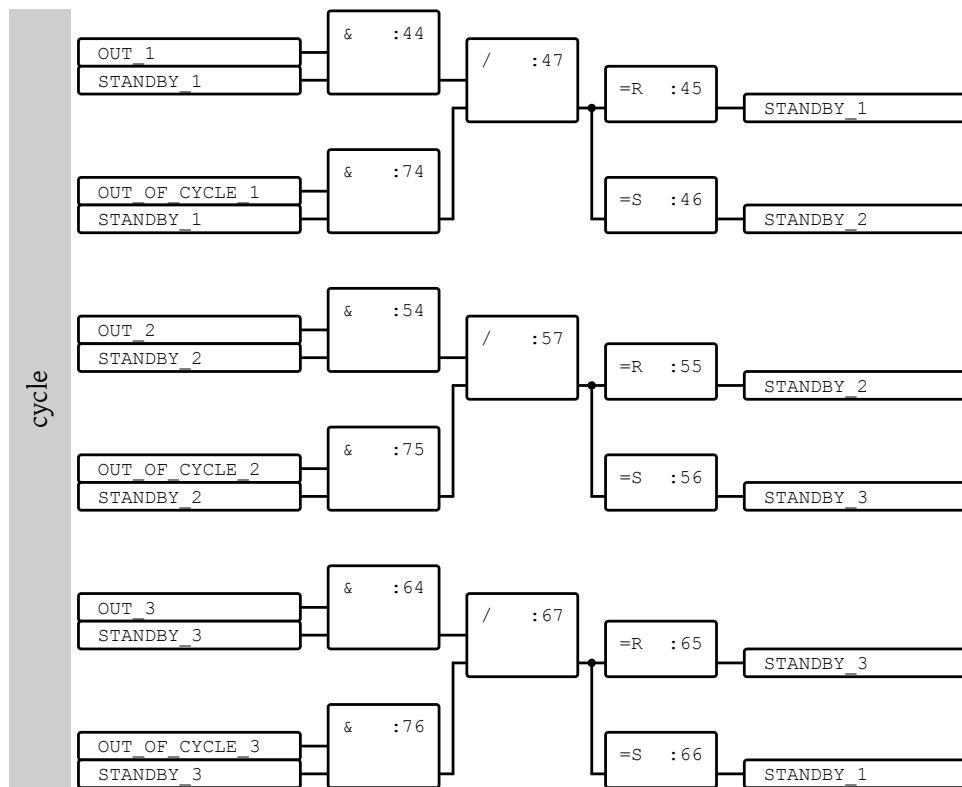


Κατά την αρχικοποίηση του προγράμματος και καθώς και οι τρεις μεταβλητές STANDBY έχουν τιμή FALSE εμείς επιλέγουμε αυθαίρετα την πρώτη και τη θέτουμε σε κατάσταση αναμονής. Η συνθήκη για αυτή την ανάθεση εξετάζεται από το Function Block & :5. Η ίδια η ανάθεση γίνεται με το Function Block S :6.



Αμέσως μετά εξετάζουμε ποιες από τις τρεις αντλίες συμμετέχουν στην κυκλική εναλλαγή. Οι απαιτούμενες συνθήκες είναι η αντλία να μην έχει παρουσιάσει κάποιο θανάσιμο σφάλμα και ο επιλογικός διακόπτης αυτής να είναι σε κατάσταση αυτόματης λειτουργίας.

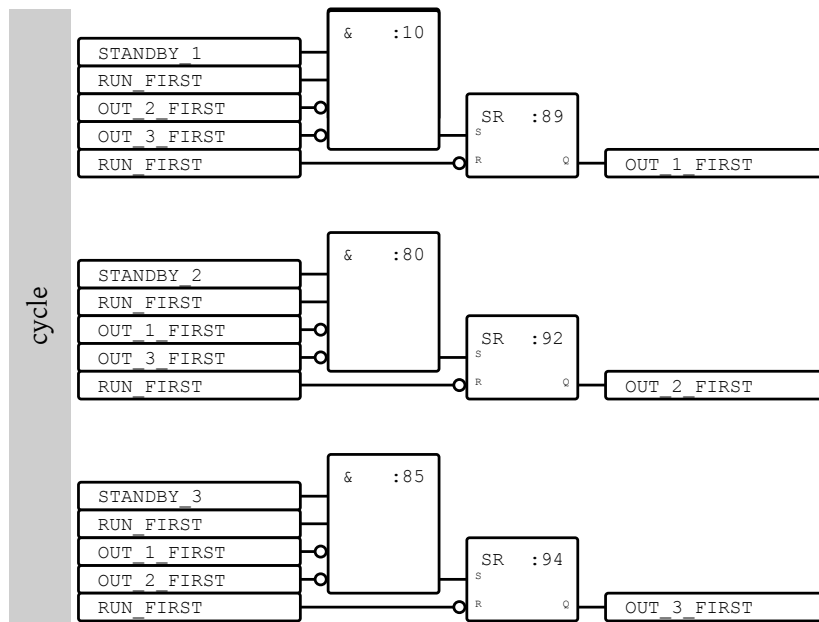
Η επιλογή των θανάσιμων σφαλμάτων έγινε κυρίως από την εμπειρία και συμπεριλαμβάνει το θερμικό σφάλμα και το σφάλμα ανάδρασης. Οι δύο τιμές FALSE που παρουσιάζονται στο :31 είναι placeholders για το σφάλμα υγρασίας και το σφάλμα χαμηλού ρεύματος. Καθώς όμως αυτά δεν θεωρούνται κρίσιμα σφάλματα που απαιτούν την άμεση διακοπή της λειτουργίας, οι τιμές αντικαταστάθηκαν με την τιμή FALSE.



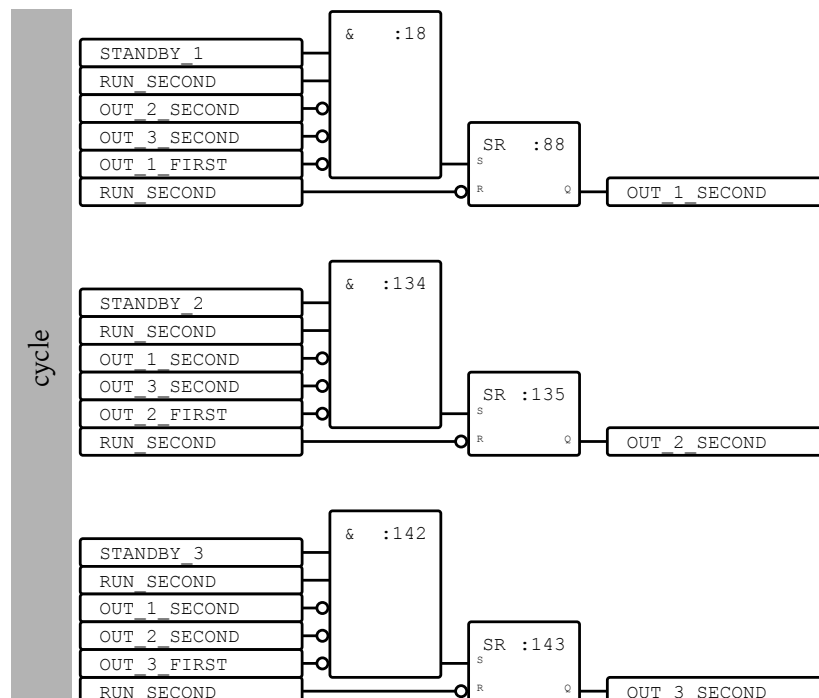
Ακολουθεί η μεταβίβαση της κατάστασης αναμονής από αντλία σε αντλία. Όπως αναφέραμε, αυτή γίνεται από την πρώτη στη δεύτερη, από τη δεύτερη στην τρίτη και από την τρίτη στην πρώτη ξανά. Οι συνθήκες που απαιτούνται για να λάβει χώρα η μεταβίβαση είναι μία εκ των δύο:

1. Η αντλία λειτουργεί την προκειμένη στιγμή.
2. Η αντλία είναι εκτός κύκλου, όπως υπολογίσαμε στο παραπάνω τμήμα του κώδικα.

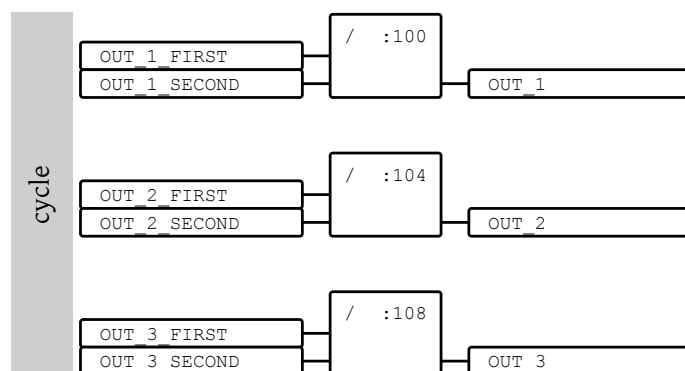
Είναι άμεσα κατανοητό ότι για να λάβει χώρα η μεταβίβαση της κατάστασης αναμονής πρέπει η αντλία που κάνει τη μεταβίβαση να είναι η ίδια σε κατάσταση αναμονής.



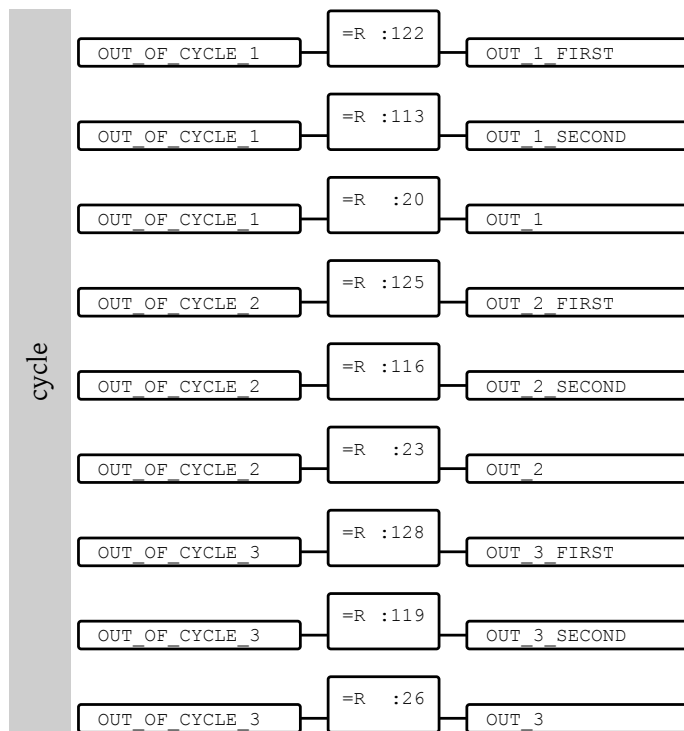
Όταν έρθει η εντολή εκκίνησης RUN\_FIRST κάθε αντλία εξετάζει τα εξής: αν την προκειμένη στιγμή είναι σε κατάσταση αναμονής και καμία εκ των άλλων αντλιών δεν λειτουργεί. Στην περίπτωση αυτή μανδαλώνεται η εντολή εκκίνησης της αντλίας OUT\_{1,2,3}\_FIRST σε κατάσταση TRUE. Η απομανδάλωση λαμβάνει χώρα όταν η εντολή εκκίνησης RUN\_FIRST πάρει τιμή FALSE.



Σε περίπτωση που λάβουμε εκκίνηση και για δεύτερη αντλία, μέσω της εντολής RUN\_SECOND η λογική μας παραμένει σχεδόν ίδια. Κάθε αντλία εξετάζει αν βρίσκεται αυτή σε κατάσταση αναμονής, αν δεν λειτουργεί ήδη από την εντολή RUN\_FIRST και αν κάποια άλλη από τις αντλίες δεν εξυπηρετεί ήδη το σήμα εκκίνησης RUN\_SECOND. Στην περίπτωση αυτή μανδαλώνουμε την εντολή εκκίνησης OUT\_{1,2,3}\_SECOND σε κατάσταση TRUE. Η απομανδάλωση λαμβάνει χώρα όταν η εντολή εκκίνησης RUN\_SECOND πάρει τιμή FALSE.



Εξετάζουμε τώρα τις εντολές εκκίνησης που έχουν προκύψει για κάθε αντλία. Αν κάποια από αυτές έχει τιμή TRUE τότε την εκκινούμε μέσω του σήματος OUT\_{1,2,3}.



Τέλος μηδενίζουμε τις εντολές εκκίνησης κάθε αντλίας αν αυτή δεν συμμετέχει στην κυκλική εναλλαγή. Κάτι τέτοιο είναι απαραίτητο καθώς το πρόγραμμά μας εγγυάται ότι σε κάθε κύκλο μία και μόνο μία αντλία θα είναι πάντα σε κατάσταση αναμονής. Υπάρχει όμως η περίπτωση όπου καμία αντλία δεν συμμετέχει στην κυκλική εναλλαγή. Αυτό δεν προκύπτει απαραίτητα από σφάλμα των αντλιών όσο από επιλογή του χειριστή. Αν χρειαστεί να γίνουν εργασίες συντήρησης εντός του χώρου του αντλιοστασίου τότε θα πρέπει ο χειριστής να είναι σε θέση να διακόψει τη λειτουργία όλων των αντλιών.

Για τους παραπάνω λόγους εκτελούμε ένα τελευταίο έλεγχο και μηδενίζουμε την έξοδο κάθε αντλίας που δεν συμμετέχει στην κυκλική εναλλαγή.

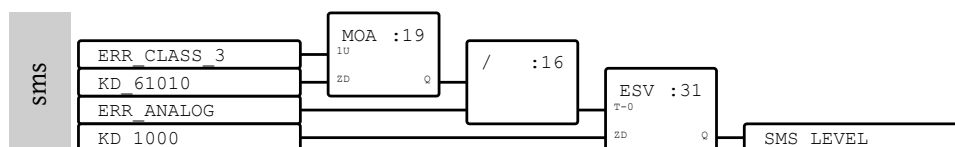


### 2.4.3.13 Μηνύματα Βλαβών

Τη λογική αποστολής των μηνυμάτων την εξηγήσαμε σε παραπάνω τμήμα αυτής της εργασίας. Στο κομμάτι αυτό θα μελετήσουμε τον τρόπο που υλοποιούμε τη λογική αυτή. Ας θυμηθούμε μόνο ότι υπάρχουν συνολικά τέσσερις έξοδοι για τη σηματοδότηση των σφαλμάτων. Κάθε έξοδος δεσμεύεται για μια κατηγορία σφάλματος. Οι κατηγορίες αυτές είναι:

1. Αισθητήρια στάθμης
2. Αντλίες
3. Παρουσία ρεύματος
4. Υπερχείλιση αντλιοστασίου

Βασικός δομικός λίθος για την υλοποίηση αποτελεί το Function Block MOA το οποίο παράγει έναν τετραγωνικό παλμό συγκεκριμένου πλάτους. Κάνοντας χρήση αυτού μπορούμε για κάθε σφάλμα που προκύπτει να αποστέλλουμε δύο συνολικά μηνύματα με προκαθορισμένο χρόνο που θα παρεμβάλλεται μεταξύ τους. Κατά τον τρόπο αυτό μπορούμε να «πολυπλέξουμε» επιπλέον πληροφορίες που αφορούν τα σφάλματα.

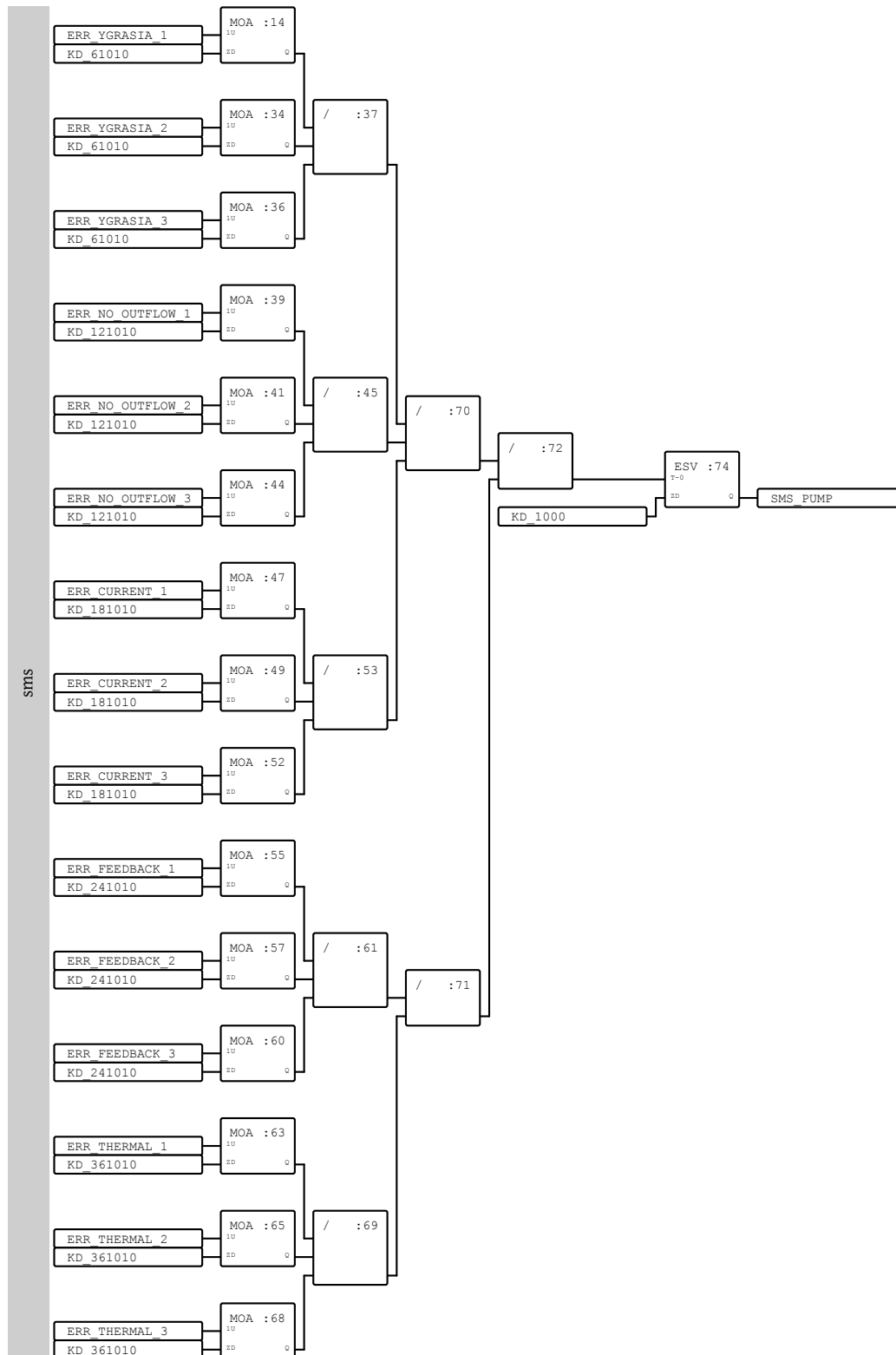


Από τα αισθητήρια στάθμης εξετάζουμε μόνο βλάβες του σταθμήμετρου. Οι πλωτήρες χρησιμοποιούνται μόνο σε έκτακτες περιπτώσεις και ως τελευταία λύση.

Έτσι επιλέγουμε να «πολυπλέξουμε» μόνο δύο σφάλματα. Το πρώτο είναι το σφάλμα ERR\_CLASS\_3 το οποίο ανιχνεύεται από το ίδιο το PLC. Το συγκεκριμένο σφάλμα εγείρεται σε περίπτωση που η κεντρική μονάδα επεξεργασίας χάνει την επικοινωνία με τις επεκτάσεις. Κατά τον τρόπο αυτό το πρόγραμμα πλέον δεν είναι σε θέση να διαβάσει τη στάθμη αλλά ούτε και καμία από τις άλλες εισόδους.

Το δεύτερο σφάλμα είναι αυτό του σταθμήμετρου. Καθώς, όπως εξηγήσαμε, έχουμε μόνο δύο σφάλματα προς κωδικοποίηση, αυτό το σφάλμα παραμένει σταθερά σε κατάσταση TRUE.

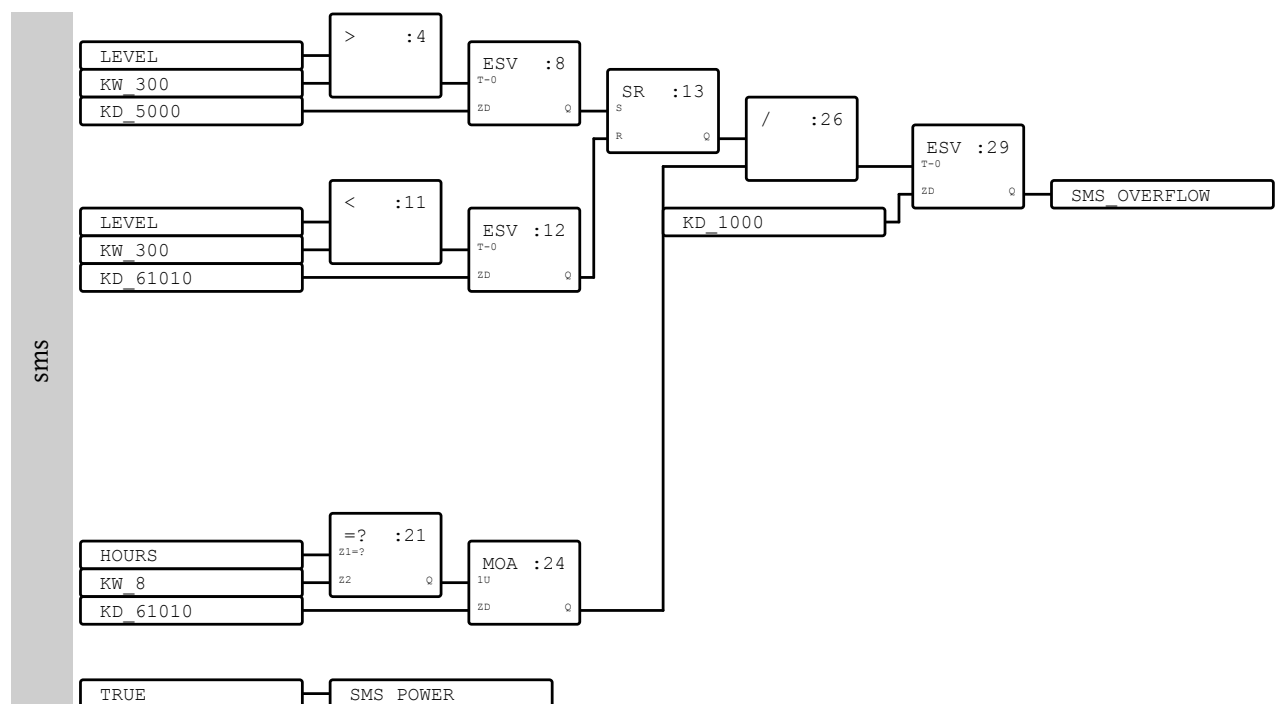
Σε κάθε μια από τις δύο παραπάνω περιπτώσεις η παρέμβαση και αποκατάσταση της βλάβης πρέπει να είναι άμεση καθώς το αντλιοστάσιο βρίσκεται ουσιαστικά εκτός λειτουργίας.



Στα σφάλματα αντλιών «πολυπλέκουμε» όλα τα σφάλματα που έχουμε εντοπίσει. Για καθένα από αυτά επιλέγουμε διαφορετικό χρόνο που παρεμβάλλεται μεταξύ του πρώτου και του δεύτερου μηνύματος. Οι χρόνοι αυτοί σε λεπτά έχουν ως εξής:

Σφάλμα	Λεπτά
Υγρασίας	1
Χαμηλή παροχή	2
Χαμηλό ρεύμα	3
Ανάδραση	4
Θερμικό	6

Η επιλογή του χρόνου παρεμβολής, μεταξύ πρώτου και δεύτερου μηνύματος, είναι τέτοια ώστε αυτός να αυξάνει ανάλογα με την κρισιμότητα του σφάλματος. Με τον τρόπο αυτό ο παραλήπτης των μηνυμάτων μπορεί να γνωρίζει ότι όσο περισσότερο καθυστερεί το δεύτερο μήνυμα τόσο πιο επείγουσα είναι η βλάβη.



Οι επόμενοι δύο τύποι μηνυμάτων είναι αυτοί της υπερχειλίσης και της παρουσίας ρεύματος είτε από το δίκτυο της ΔΕΗ, είτε από το ηλεκτροπαραγωγό ζεύγος.

Για την υπερχειλίση αποστέλλουμε μήνυμα μόλις η στάθμη ξεπεράσει τα τρία (3) μέτρα. Παρεμβάλλουμε ένα χρονικό διάστημα των πέντε (5) δευτερολέπτων προκειμένου να είμαστε σίγουροι ότι όντως έχουμε κατάσταση υπερχειλίσης και ότι δεν διαβάσαμε κάποια τυχαία στιγμιαία τιμή λόγω κακής λειτουργίας του σταθμήμετρου.

Στο κανάλι των υπερχειλίσεων πολυπλέκουμε επίσης και δύο μηνύματα με διαφορά ενός λεπτού τα οποία αποστέλλονται κάθε ημέρα στις 8:00 πμ. Η λειτουργία αυτή εκτελείται από τα Function Blocks =? :21 και MOA :24. Ο λόγος ύπαρξης αυτής είναι για να μπορεί ο χειριστής να είναι βέβαιος για την καλή λειτουργία του συστήματος ειδοποιήσεων.

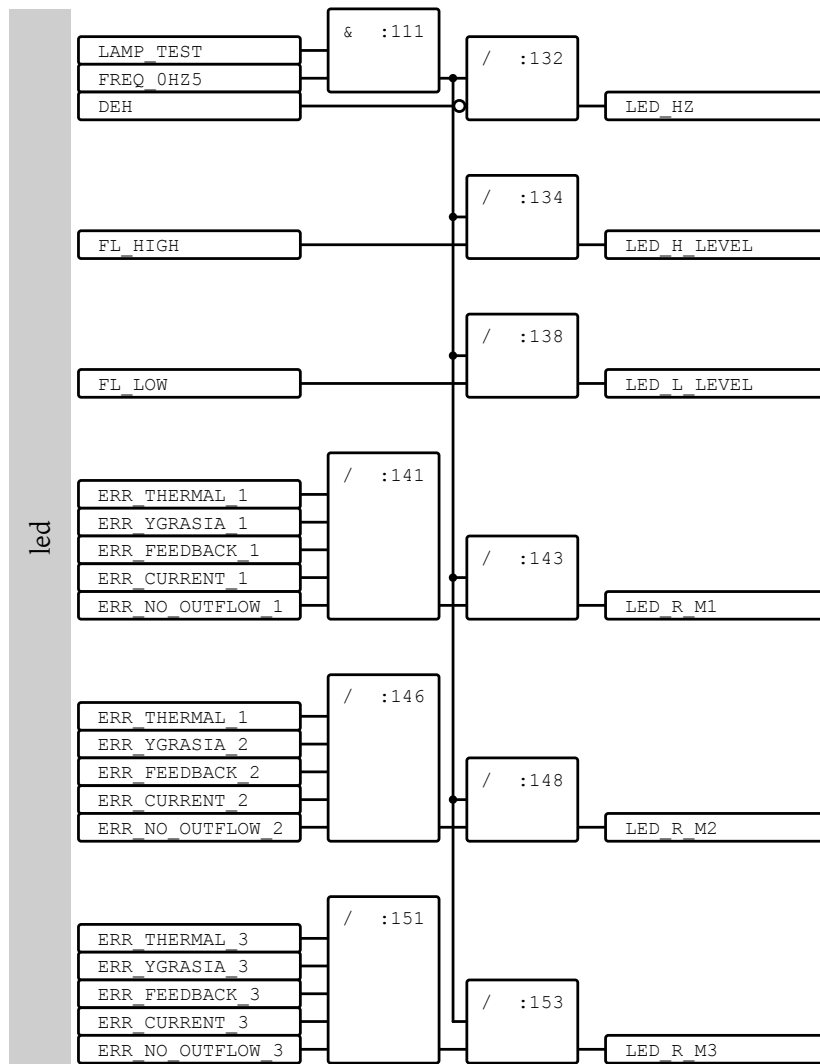
Τέλος θέτουμε το μήνυμα παρουσίας ρεύματος σε κατάσταση TRUE για όλες τις περιπτώσεις. Έτσι όταν έχουμε διακοπή της ηλεκτροδότησης η αντίστοιχη έξοδος του PLC μηδενίζεται και αποστέλλεται μήνυμα απουσίας ρεύματος από τη μονάδα SMS. Να σημειώσουμε ότι η μονάδα αποστολής των SMS έχει δική της μπαταρία που της επιτρέπει να λειτουργήσει για αρκετό χρονικό διάστημα δίχως την παρουσία εξωτερικής παροχής.

#### 2.4.3.14 Ενδεικτικές Λυχνίες

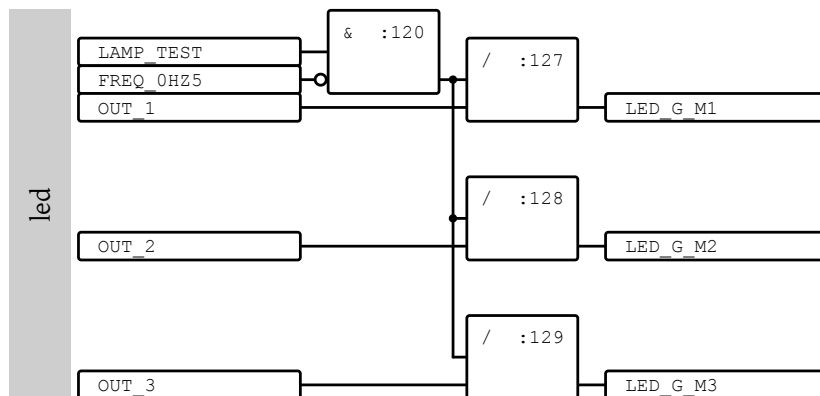
Το σύνολο των ενδεικτικών λυχνιών που χρησιμοποιούμε στον πίνακα είναι εννέα (9).

Λυχνία	Περιγραφή
LED_HZ	Λειτουργία HZ
LED_H_LEVEL	Πάνω πλωτήρας
LED_L_LEVEL	Κάτω πλωτήρας
LED_R_M1	Σφάλμα 1 αντλίας
LED_R_M2	Σφάλμα 2 αντλίας
LED_R_M3	Σφάλμα 3 αντλίας
LED_G_M1	Λειτουργία 1 αντλίας
LED_G_M2	Λειτουργία 2 αντλίας
LED_G_M3	Λειτουργία 3 αντλίας

Οι ενδεικτικές λυχνίες αυτές ανάβουν είτε όταν πληρούνται οι κατά περίπτωση απαιτούμενες προϋποθέσεις (π.χ. για την LED\_G\_M1 πρέπει να λειτουργεί η 1 αντλία), είτε όταν ο χειριστής πατάει το πλήκτρο ελέγχου των λυχνιών.



Η μεταβλητή `FREQ_OHZ5` παρέχεται από το σύστημα και αποτελεί ουσιαστικά έναν τετραγωνικό παλμό περιόδου ενός δεύτερου. Τον χρησιμοποιούμε για το αναβόσβημα των λυχνιών κατά τη δοκιμαστική λειτουργία τους.

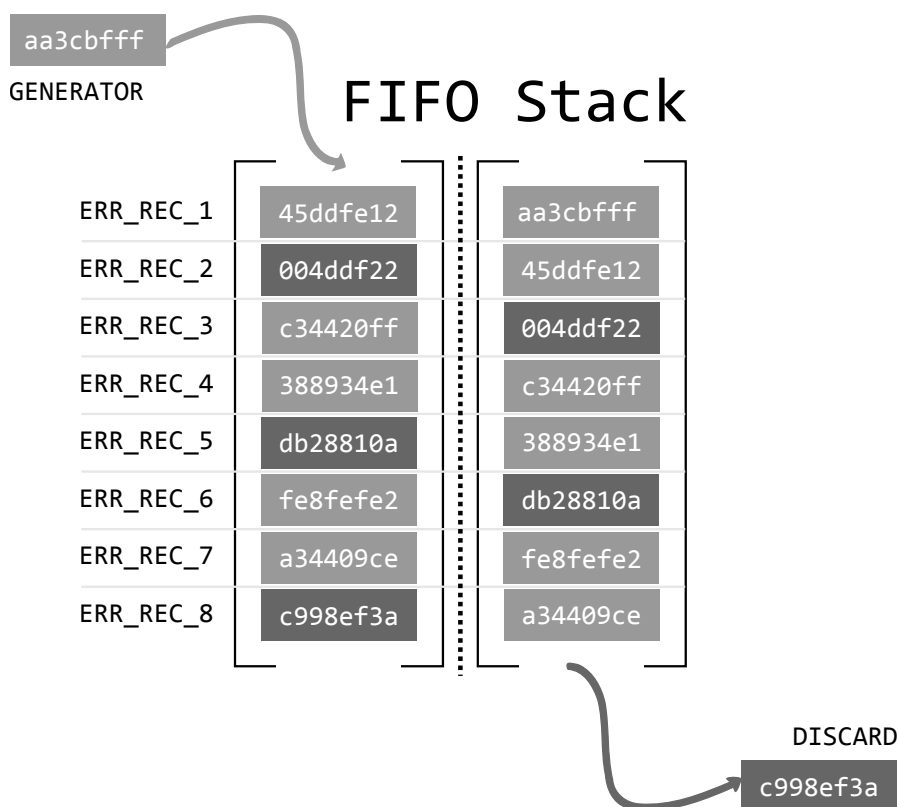


Ομοίως με παραπάνω, με τη μόνη διαφορά ότι κατά τη δοκιμαστική λειτουργία οι πράσινες λυχνίες ανάβουν στη χαμηλή στάθμη του παλμού `FREQ_OHZ5`.

### 2.4.3.15 Αποθήκευση Καταγραφών Λειτουργίας

Οι καταγραφές που αποθηκεύουμε είναι αυτές του χρόνου λειτουργίας και του αριθμού εκκινήσεων. Οι καταγραφές αυτές γίνονται για τις τριάντα (30) τελευταίες ημέρες και τους δώδεκα (12) τελευταίους μήνες. Σκοπός αυτών είναι να παρέχουν μια εικόνα λειτουργίας της αντλίας σε ένα μεγάλο χρονικό διάστημα, τόσο για την εποπτεία της ίδιας της αντλίας, όσο και για τη συλλογή χρήσιμων δεδομένων για τη λειτουργία και χρήση του συστήματος.

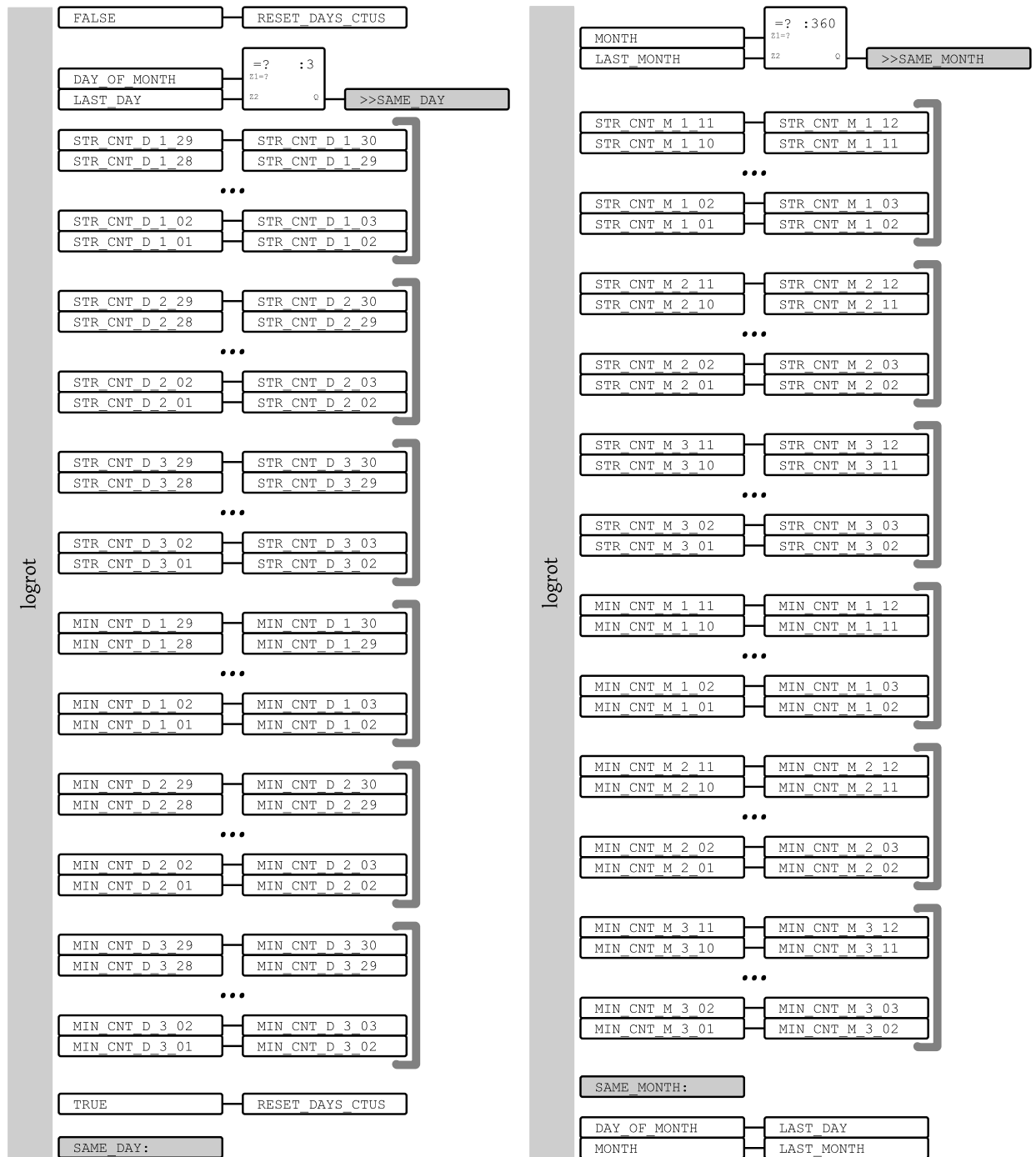
Η μονάδα 07KR51, την οποία προγραμματίζουμε, και το περιβάλλον προγραμματισμού αυτής, δεν προσφέρουν κάποια εύχρηστη δομή δεδομένων για αυτή την εργασία. Έτσι κάνοντας χρήση μια σειράς από θέσεις μνήμης υλοποιήσαμε μια στίβα FIFO.



Σχήμα 2.16: Αναπαράσταση της στίβας FIFO που υλοποιήσαμε για την αποθήκευση των πιο πρόσφατων καταγραφών. Η «τροφοδοσία» της στίβας γίνεται από μια θέση μνήμης που θεωρούμε ως γεννήτρια και στην οποία αποθηκεύονται πάντα οι τελευταίες των καταγραφών.

Η εισαγωγή νέων στοιχείων στις δύο στίβες συμβαίνει όταν έχουμε αλλαγή ημέρας ή αλλαγή μηνός.





Οι μεταβλητές DAY\_OF\_MONTH και MONTH παρέχονται από το PLC και αντιπροσωπεύουν την τρέχουσα ημέρα και μήνα αντίστοιχα. Οι τιμές που μπορούν να λάβουν είναι 1..31 για την πρώτη και 1..12 για τη δεύτερη.

Συγκρίνοντας σε κάθε κύκλο τις νέες τιμές των δύο αυτών μεταβλητών με την τιμή που είχαν στον αμέσως προηγούμενο κύκλο είμαστε σε θέση να ανιχνεύσουμε την αλλαγή ημέρας και μήνα αντίστοιχα.

Προς διευκόλυνση της ανάγνωσης του παραπάνω τμήματος κώδικα παραθέτουμε μια λεζάντα που εξηγεί τον τρόπο ονομασίας των χρησιμοποιούμενων μεταβλητών:

START εκκινήσεις αντλίας

MINUTES λεπτά λειτουργίας



{STR,MIN}\_CNT\_{D,M}\_{1,2,3}\_{1..30}

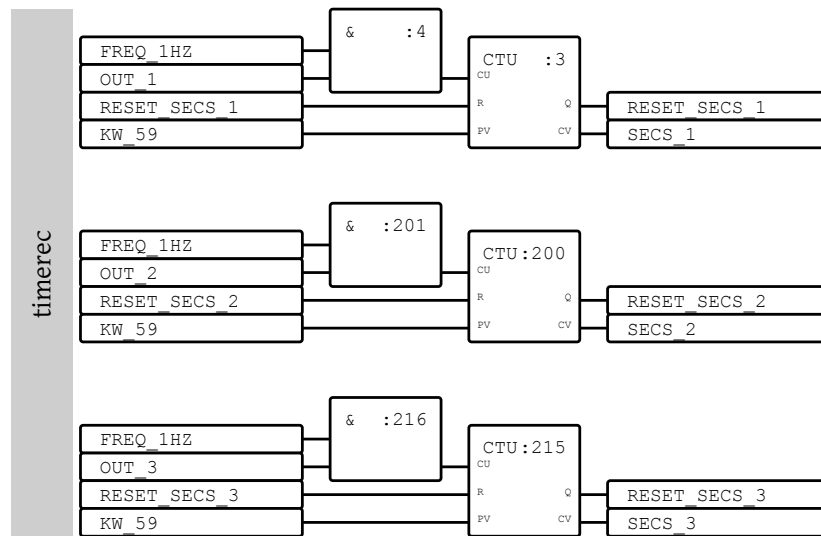
{1..12}



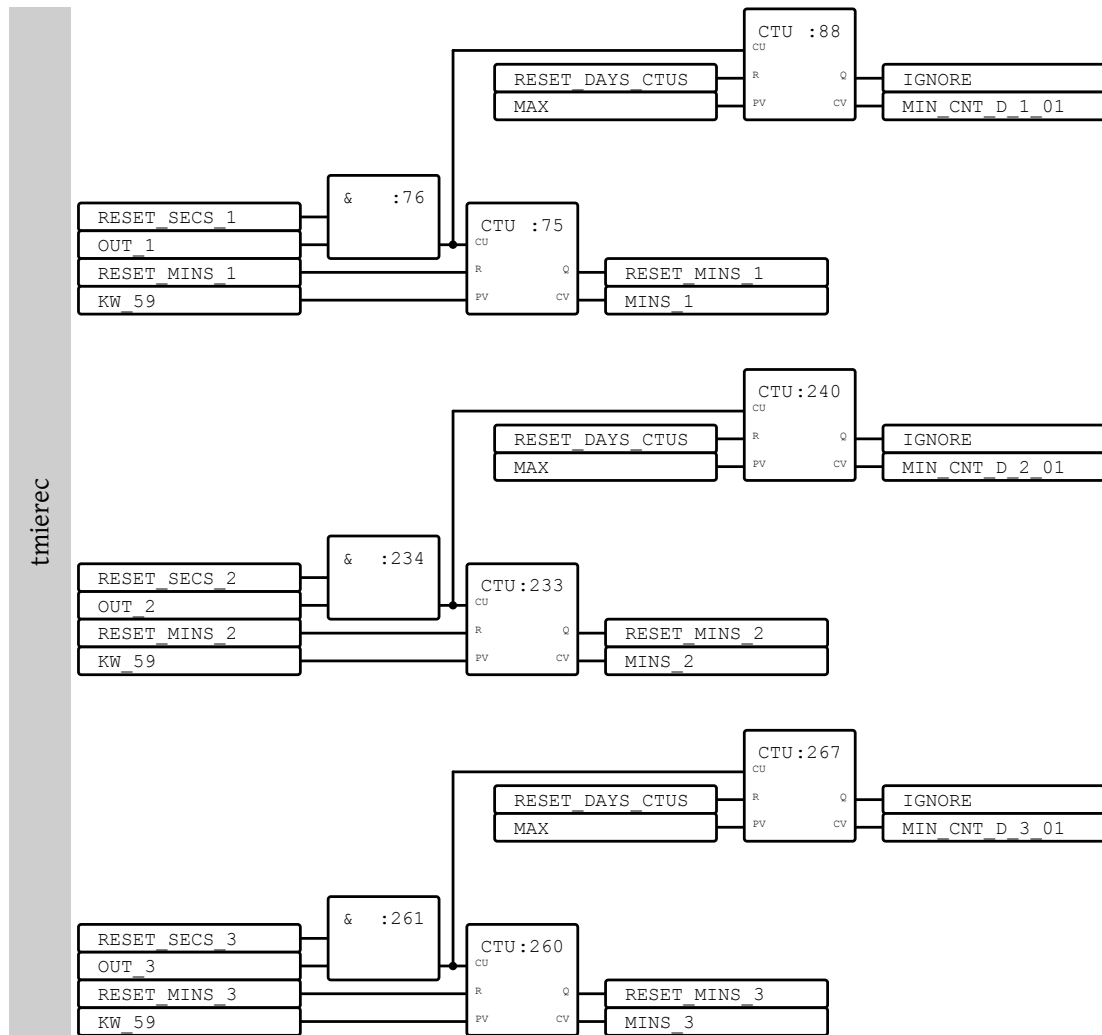
DAY ημέρα

MONTH μήνας

### 2.4.3.16 Καταγραφή Ωρών λειτουργίας

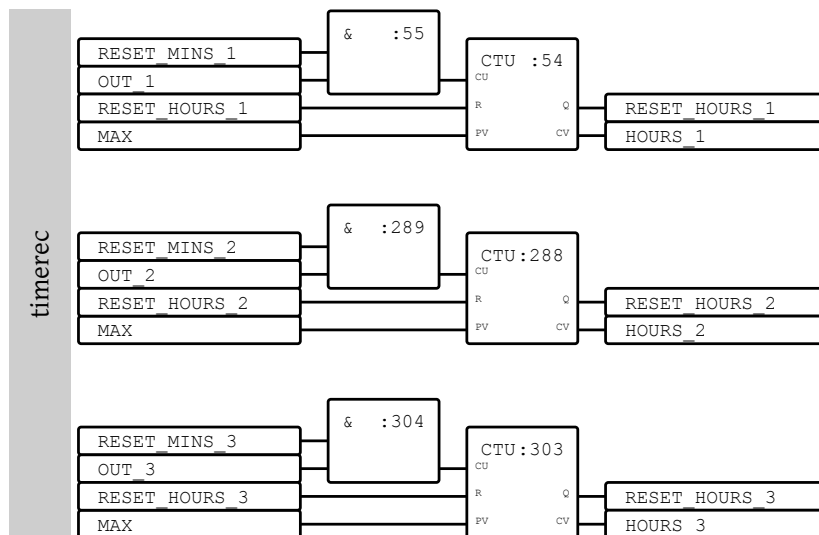


Χρησιμοποιώντας τρεις μετρητές, έναν για κάθε αντλία, μετράμε τα δευτερόλεπτα που η κάθε αντλία έχει λειτουργήσει. Μόλις συμπληρωθούν εξήντα (60) δευτερόλεπτα μηδενίζουμε τους μετρητές και οι μεταβλητές RESET\_SECS\_{1,2,3} παίρνουν τιμή TRUE.



Χρησιμοποιώντας τις μεταβλητές RESET\_SECS\_{1,2,3} από το αμέσως προηγούμενο τμήμα μπορούμε να μετράμε τα λεπτά που κάθε αντλία έχει λειτουργήσει.

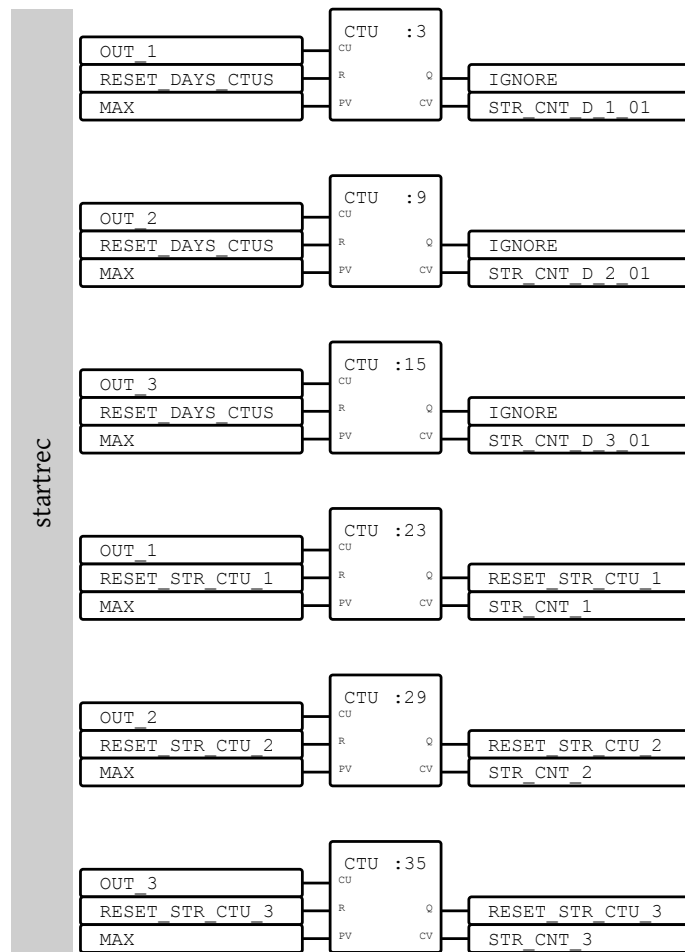
Για τα λεπτά χρησιμοποιούμε δύο (2) μετρητές ανά αντλία. Ο πρώτος, σε αντιστοιχία με το μετρητή των δευτερολέπτων μηδενίζει μετά από εξήντα (60) λεπτά λειτουργίας και οι μεταβλητές RESET\_MINS\_{1,2,3} παίρνουν την τιμή TRUE. Ο δεύτερος χρησιμοποιείται για να αθροίζει τα λεπτά που λειτούργησε η αντλία εντός του εικοσιτετραώρου. Καθώς οι αντλίες λειτουργούν πολύ λιγότερα λεπτά από όσα μπορεί να αποθηκεύσει μια μεταβλητή τύπου WORD (32678), στην αντίστοιχη έξοδο των μετρητών που σηματοδοτεί το πέρας του προκαθορισμένου ορίου έχουμε αναθέσει τη μεταβλητή IGNORE που, όπως δηλώνει και όνομά της, αγνοείται.



Τέλος χρησιμοποιώντας τις μεταβλητές RESET\_MINS\_{1,2,3} μετράμε τις ώρες που έχει λειτουργήσει μια αντλία. Η χρήση των RESET\_HOURS\_{1,2,3} είναι πλεονασματική στην περίπτωση αυτή, καθώς ο χρόνος ζωής μιας αντλίας είναι σημαντικά λιγότερος από 32678 ώρες. Έχουν τοποθετηθεί ως ένα είδος «αμυντικού προγραμματισμού»<sup>4</sup>.

<sup>4</sup>Δείτε [http://en.wikipedia.org/wiki/Defensive\\_programming](http://en.wikipedia.org/wiki/Defensive_programming)

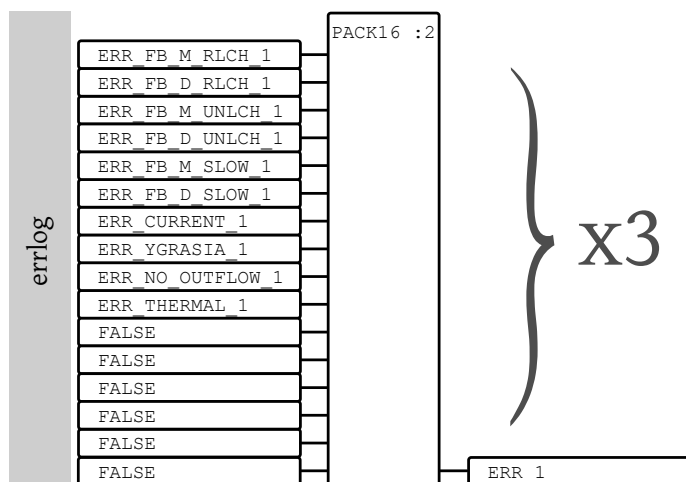
### 2.4.3.17 Καταγραφή Εκκινήσεων Αντλιών



Με παρόμοιο τρόπο όπως και στο 2.4.3.16 προχωράμε στην καταγραφή του αριθμού των εκκινήσεων των αντλιών.

Για κάθε αντλία χρησιμοποιούμε δύο μετρητές. Ένας για τις εκκινήσεις εντός εικοσιτετραώρου και ένας για τις ολικές εκκινήσεις της αντλίας.

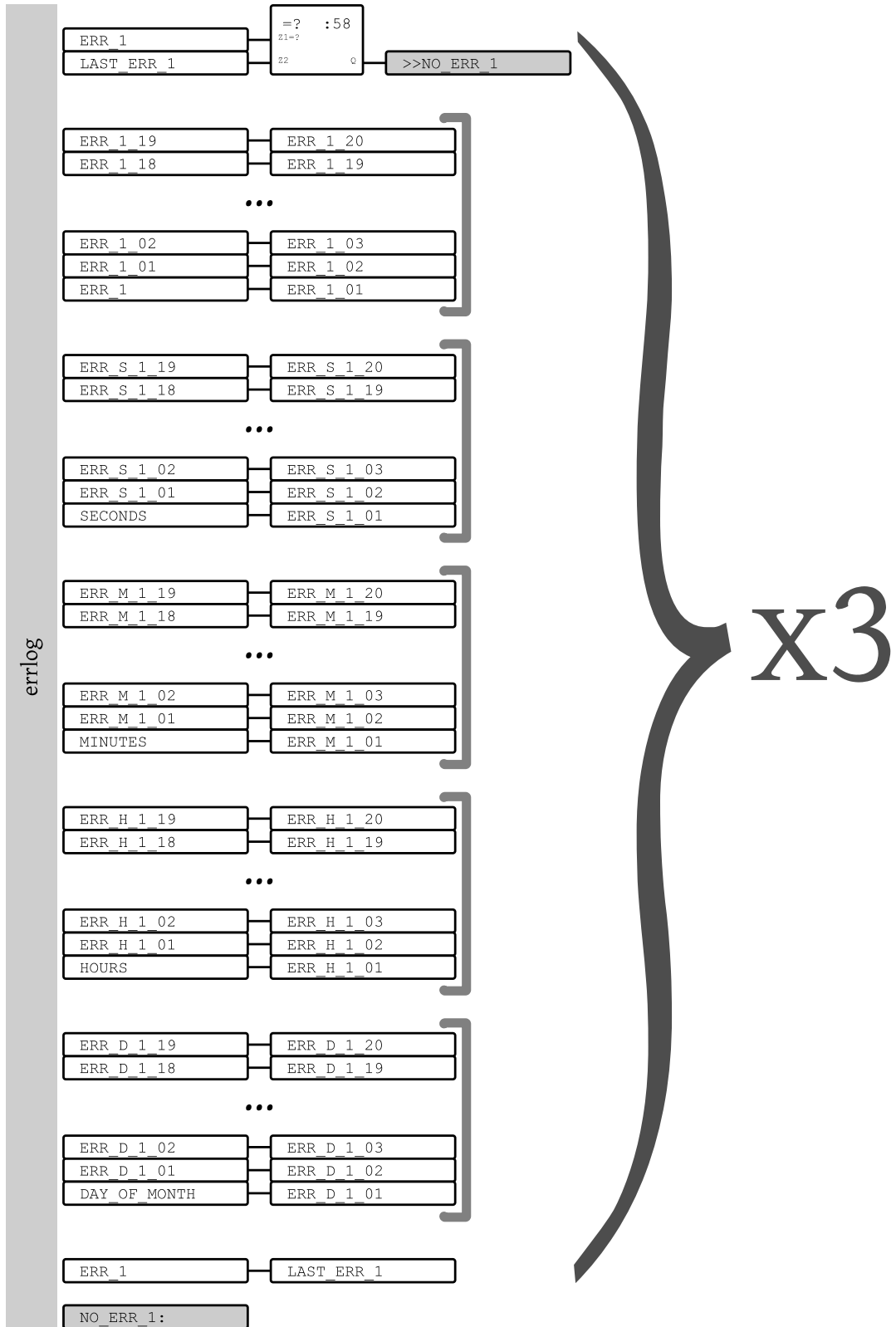
### 2.4.3.18 Καταγραφή Σφαλμάτων



Χρησιμοποιώντας τη συνάρτηση PACK16 ομαδοποιούμε τα σφάλματα κάθε αντλίας εντός μιας μεταβλητής τύπου WORD προς ευκολότερη διαχείριση και εξοικονόμηση μνήμης. Το παραπάνω τμήμα του κώδικα επαναλαμβάνεται συνολικά τρεις (3) φορές, μια για κάθε αντλία.

Όπως και στο τμήμα του προγράμματος logrot (βλέπετε 2.4.3.15 στη σελίδα 152), χρησιμοποιούμε μια στίβα FIFO για την καταγραφή των τελευταίων είκοσι (20) σφαλμάτων και της ώρας (ώρα, λεπτά και δευτερόλεπτα) και ημέρας που αυτά παρουσιάστηκαν. Καθώς η απόκριση στην παρουσίαση σφάλματος σε αντλία είναι σε γενικές γραμμές άμεση, ή τουλάχιστον έτσι οφείλει, κρίνουμε ότι δεν απαιτείται να καταγράφονται στη μνήμη περισσότερα σφάλματα ή με αναλυτικότερο timestamp. Υφίσταται εξωτερικό ημερολόγιο για κάθε αντλία στο οποίο σημειώνονται όλα τα συμβάντα που αφορούν αυτή και χρησιμεύει στη μακροπρόθεσμη εποπτεία της.

Η συνθήκη που εξετάζουμε προκειμένου να διαπιστώσουμε αν υφίσταται νέο σφάλμα είναι η σύγκριση του αθροιστικού σφάλματος ERR\_{1,2,3} με το αποθηκευμένο σφάλμα από τον προηγούμενο κύκλο LAST\_ERR\_{1,2,3}.





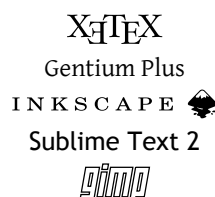
## Ευχαριστίες

Πρώτο θα ήθελα να ευχαριστήσω τον επιβλέποντα καθηγητή μου κο Γεώργιο Κορρέ τόσο για την καθοδήγησή του και τις καίριες υποδείξεις του σε όλη τη διάρκεια της συγγραφής, όσο και για την μνημειώδη υπομονή του στις διαρκώς κυλιόμενες παρατάσεις που ζητάγα και λάμβανα.

Θερμές ευχαριστίες στη συνάδελφο μηχανικό κα Ευγενία Ζαχαροπούλου, στο συνάδελφο μηχανικό κο Αλκιβιάδη Καλογήρου και στην κα Χριστίνα Καλογήρου για τη λεπτομερή, επίπονη και ογκώδη «αποσφαλμάτωση» του κειμένου. Η γλωσσική τους πειθαρχία καθιστά λιγότερο επώδυνη την ανάγνωση όλων των παραπάνω.

Τέλος θα ήθελα να ευχαριστήσω τον εργοδότη μου και συνάδελφο μηχανικό κο Στέφανο Μπονάτο, ο οποίος μου πρόσφερε την δυνατότητα να εργαστώ στα συστήματα που διαπραγματεύεται η παρούσα εργασία. Σε πολλές περιπτώσεις, όταν είχα χαρακτηριστικά αργήσει την παράδοση της εκάστοτε εργασίας που μου είχε αναθέσει, με ρωτούσε «Και τί ακριβώς κάνεις τώρα δηλαδή;», για να λάβει την απάντηση «...τη διπλωματική μου». Σε κάθε περίπτωση αποκρινόταν «Α! Πολύ ωραία! Συνέχισε, να μη σε ενοχλώ».

Η παρούσα εργασία υλοποιήθηκε χρησιμοποιώντας



# Βιβλιογραφία

- [1] Γεώργιος Κορρές Στοιχεία Συστημάτων SCADA Εκδόσεις ΕΜΠ 2001.
- [2] Στυλιανός Π. Τσώνης Επεξεργασία Λυμάτων Εκδόσεις Παπασωτηρίου 1η έκδοση 2004.
- [3] Παπαντώνης Ε. Δημήτριος Υδροδυναμικές Εγκαταστάσεις 1998.
- [4] SIEMENS System Software for S7-300/400 System and Standard Functions 3rd Edition 2006.
- [5] ABB Technical Manual For 40 series and 50 series 2001.
- [6] Rockwell Automation Wye-Delta and Solid State Starter Application Guide 2004.

# Γλωσσάρι

## Buchholz

Ένας ηλεκτρονόμος Buchholz είναι μια συσκευή ασφαλείας η οποία τοποθετείται σε μετασχηματιστές ελαίου και ανιχνεύει την προοδευτική απώλεια της μονωτικής ικανότητας του διηλεκτρικού λαδιού. 34

## OPC Server

Ένας OPC Server είναι μια εφαρμογή λογισμικού η οποία λειτουργεί ως API (Application Programming Interface) ή μετατροπέας πρωτοκόλλων. Ένας OPC Server συνδέεται σε συσκευές όπως π.χ. ένα PLC, ή σε πηγές δεδομένων όπως μια βάση δεδομένων και θα μεταφράζει τα διάφορα δεδομένα σε ένα τυποποιημένο OPC format. Εφαρμογές που μπορούν και διαβάζουν OPC format, όπως ένα HMI (Human Machine Interface) ή ένα spreadsheet μπορούν να συνδεθούν στον OPC Server για να διαβάσουν και να γράψουν δεδομένα. Η αρχιτεκτονική του OPC Server βασίζεται στο μοντέλο Server/Client. 33, 38

## Profibus DP

Profibus DP, Process Field Bus Decentralized Peripherals. Το Profibus είναι ένα τυποποιημένο πρωτόκολλο επικοινωνίας στο χώρο του αυτοματισμού. Πρωτοεμφανίσθηκε το 1989 από την BMBF (Γερμανικό Υπουργείο Παιδείας και Έρευνας) και κατόπιν υιοθετήθηκε από τη Siemens. Το Profibus DP είναι μια διαφορετική έκδοση αυτού που εστιάζει στο χειρισμό αισθητηρίων και κινητήρων μέσω ενός κεντρικού ελεγκτή. Το Profibus DP βρίσκει ευρεία εφαρμογή σε βιομηχανικές εγκαταστάσεις. 18

## rack

Ένα rack στεγάζει ένα PLC με όλα τα modules εισόδου εξόδου. Συνήθως ένα rack είναι μια ράγα στο πίσω μέρος του πίνακα πάνω στην οποία στηρίζονται όλες οι παραπάνω μονάδες. 19

## SCADA

Supervisory Control And Data Acquisition. Πρόγραμμα καταγραφής δεδομένων, επίβλεψης και ελέγχου μιας διαδικασίας κάνοντας χρήση ηλεκτρονικού υπολογιστή. 31, 33

## tag

Ένα tag είναι μια μοναδιαία πηγή δεδομένων. Μπορεί να αναπαριστά την κατάσταση ενός ηλεκτρονόμου ή μια θέση μνήμης ενός PLC. Συνοδεύεται από καταγραφή ημερομηνίας και ώρας. 33, 38

## γέφυρα Khafagi-Venturi

Ειδικά διαμορφωμένο στένωμα σε ένα κανάλι ώστε να προκαλείται ανύψωση του υγρού κατά τη ροή. Η ανύψωση αυτή μετριέται με τη βοήθεια υπερήχων και έπειτα η μέτρηση αυτή αντιστοιχίζεται στην πραγματική ροή του υγρού. 31, 33

## θερμομαγνητικός διακόπτης

Οι θερμομαγνητικοί διακόπτες (Manual Motor Starters) χρησιμοποιούνται κυρίως για τη χειροκίνητη εκκίνηση και σβέση ηλεκτροκινητήρων. Παρέχουν προστασία από βραχυκυκλώματα, υπερεντάσεις ρεύματος και αστοχία των φάσεων. Σε περίπτωση βραχυκυκλώματος η απόκρισή τους είναι πολύ ταχύτερη των τηκτών ασφαλειών, παρέχοντας έτσι καλύτερη προστασία του κυκλώματος και του κινητήρα. 19

## λύματα

Είναι υγρά απόβλητα που προέρχονται από ανθρώπινες δραστηριότητες της πόλης ή του χωριού από κατοικίες ή ξενοδοχεία. Τα λύματα περιέχουν ανθρώπινα περιττώματα, υγρά καθαρισμού - κουζίνας, υπολείμματα τροφών, αέρια αποσύνθεσης. 14

# Ακρωνύμια

DoL

Direct-on-Line. 90

FBD

Function Block Diagram. 114

FIFO

First In First Out. 112, 152

LAD

Ladder. 80

PLC

Programmable Logic Controller. 18

STL

Statment List. 80

ΕΕΛ

Εγκατάσταση Επεξεργασίας Λυμάτων. 14, 15, 17, 85

HZ

Ηλεκτροπαραγωγό Ζεύγος. 34, 92

# Παράρτημα Α΄

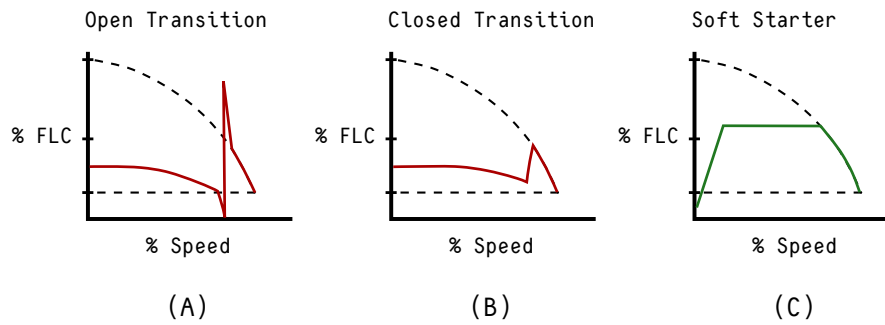
## Εκκινητές αστέρα/τριγώνου

Ο εκκινητής αστέρα/τριγώνου είναι μια παραδοσιακή ηλεκτρομηχανική μέθοδος για την ελάττωση της εφαρμοζόμενης τάσης στον ηλεκτροκινητήρα κατά την εκκίνησή του. Ενώ αυτή η μέθοδος έχει σημαντικά πλεονεκτήματα σε σύγκριση με την απ' ευθείας εκκίνηση (Direct-On-Line), τα μειονεκτήματα αυτής είναι ότι απαιτεί μεγαλύτερο χώρο στο εκάστοτε ερμάριο, περισσότερα στοιχεία και το πλέον βασικό ότι απαιτείται ο ηλεκτροκινητήρας να έχει τερματικές απολήξεις για όλα τα τυλίγματα αυτού άμεσα προσβάσιμες στο εξωτερικό του.[6]

Η πλειοψηφία των εκκινητών αστέρα/τριγώνου, όπως και αυτοί που κάνουμε χρήση στις αντλίες του αποχετευτικού συστήματος, αποτελούνται από τρεις ηλεκτρονόμους, με τους δύο να είναι ίδιας διάστασης, ενώ τον τρίτο να είναι λίγο μικρότερος. Η πλέον διαδεδομένη διάταξη εκκινητή αστέρα/τριγώνου είναι αυτή της ανοικτής μετάβασης.

Ο όρος ανοικτή μετάβαση χρησιμοποιείται για να περιγράψει τη μέθοδο αυτή, καθώς κατά τη μετάβαση από αστέρα σε τρίγωνο ο ηλεκτροκινητήρας αποσυνδέεται στιγμιαία από την παροχή. Ανάλογα με το φορτίο του ηλεκτροκινητήρα και τη στιγμή που λαμβάνει χώρα η μετάβαση, εμφανίζονται στιγμιαίες υπερπηδήσεις στο ρεύμα και στη ροπή. Σε μερικές περιπτώσεις οι υπερπηδήσεις αυτές ξεπερνούν το ρεύμα εκκίνησης.

Στο μηχανολογικό τμήμα του ηλεκτροκινητήρα τέτοιες υπερπηδήσεις στη ροπή αρκούν, αρκετές φορές, για να προκαλέσουν ζημιά σε αυτόν. Τυπικές βλάβες που έχουν προκύψει, στις αντλίες του αποχετευτικού συστήματος κατά τον τρόπο αυτό είναι η καταστροφή των ρουλεμάν, το σπάσιμο της βάσης στήριξης της αντλίας και το κόψιμο του άξονα.



Σχήμα Α΄.1: Ρεύμα εκκίνησης διαφόρων εκκινητών



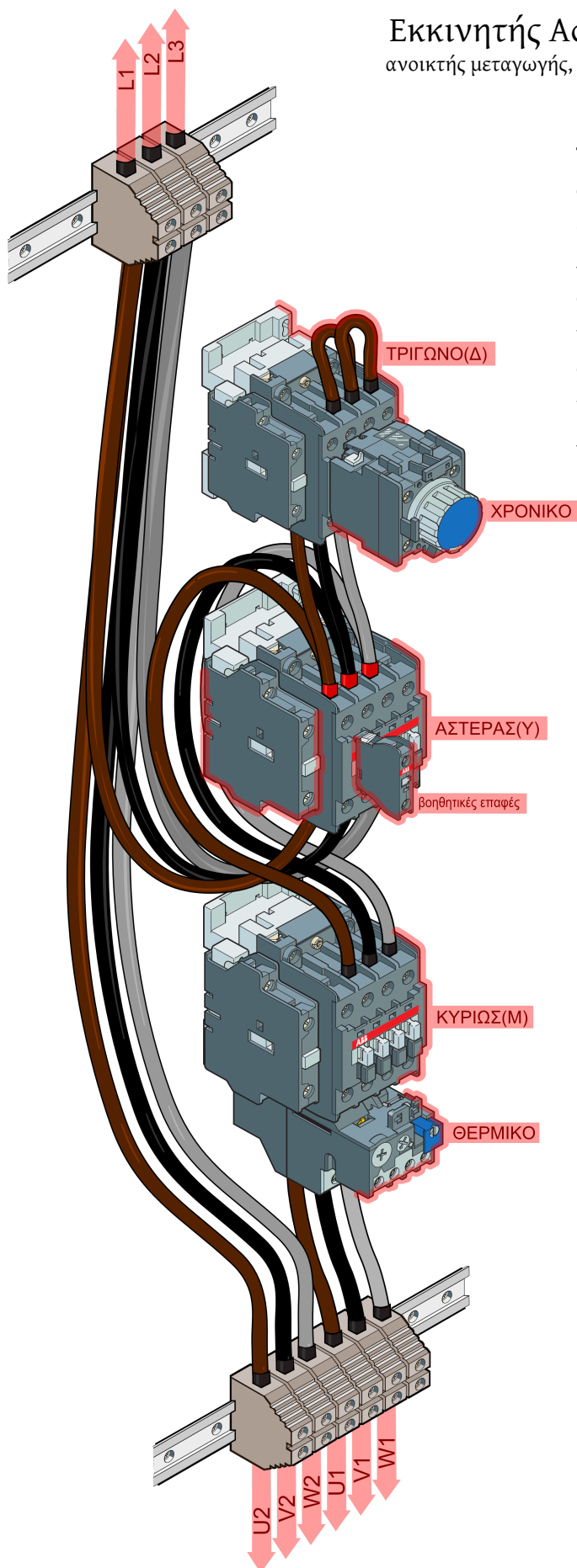
Σχήμα Α΄.2: Ο κομμένος άξονας αντλίας του αντλιοστασίου Α1. Διακρίνεται το σπύρωμα πάνω στο οποίο βιδώνει η βίδα συγκράτησης της περρωτής και η εγκοπή που εφαρμόζει η σφήνα.

Ο λόγος που χρησιμοποιείται ο εκκινητής αστέρα/τριγώνου αντί π.χ. ενός ομαλού εκκινητή είναι ο οικονομικός. Προτιμάται δε η ανοικτή μεταγωγή έναντι της κλειστής καθώς απαιτεί λιγότερα στοιχεία, χώρο και καλωδίωση.

Πρέπει όμως κανείς να εξετάσει προσεκτικά την εφαρμογή αυτού καθώς σε πολλές περιπτώσεις είναι ακατάλληλος. Μια τέτοια περίπτωση είναι αυτή των αντλιών του αποχετευτικού συστήματος. Ο συγγραφέας του παρόντος έχει παραστεί μάρτυρας σε πλειάδα αστοχιών αντλιών οι οποίες είναι της παραπάνω φύσης. Το συνολικό δε κόστος αποκατάστασης αυτών υπήρξε υπερπολλαπλάσιο της διαφοράς κόστους λύσεων με ηλεκτρονικά ισχύος, χωρίς να συνυπολογίζουμε την επιβάρυνση του συστήματος από την απουσία αντλιών.

Επιπλέον λόγος για την επιλογή ομαλών εκκινητών στην περίπτωση του αποχετευτικού συστήματος υπήρξε το φαινόμενο του υδραυλικού πλήγματος κατά τη σβέση των αντλιών. Η καταπόνηση που προκύπτει δε από αυτό πλήττει όχι μόνο την αντλία αλλά και όλο το μηχανολογικό εξοπλισμό που βρίσκεται εγκατεστημένος εντός του βανοστασίου. Καθώς αυτό ως φαινόμενο άπτεται μηχανολογικού ενδιαφέροντος δεν θα εντυφλήσουμε περαιτέρω σε αυτό.

## Εκκινητής Αστέρα/Τριγώνου, ανοικτής μετάγωγής, κατακόρυφης εγκατάστασης

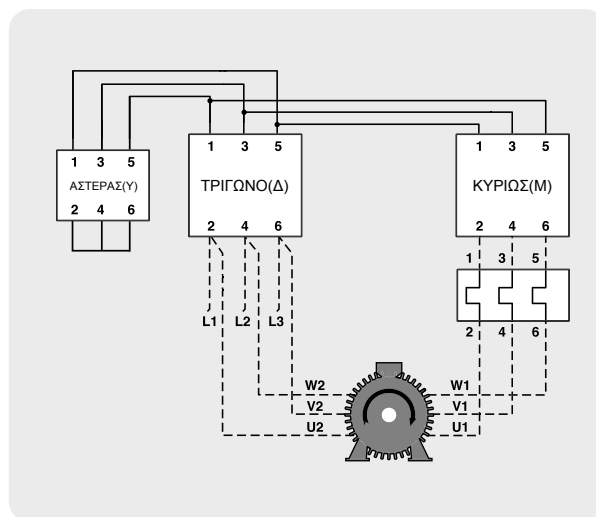


Το διπλανό σχήμα είναι αυτό ενός εκκινητή αστέρα/τριγώνου ανοικτής μετάγωγής σε κατακόρυφη εγκατάσταση. Υπάρχουν διάφοροι τρόποι τόσο οργάνωσης των στοιχείων, όσο και επιλογής συνδεσμολογίας. Το συγκεκριμένο κύκλωμα είναι αυτό το οποίο χρησιμοποιούμε στις αντλίες του αποχετευτικού συστήματος. Το σχήμα αποδίδει τόσο τα στοιχεία του κυκλώματος ισχύος, όσο και τις απαιτούμενες βοηθητικές επαφές και το χρονικό ηλεκτρονόμο. Αυτό το οποίο δεν αποδίδεται στο σχήμα είναι οι καλωδιώσεις του βοηθητικού κυκλώματος.

Στις μεγαλύτερες αντλίες του συστήματος το πνευματικό χρονικό αντικαθίσταται από ένα αντίστοιχο ηλεκτρονικό. Η βασική λειτουργία αυτού είναι η εισαγωγή μιας μικρής υστέρησης κατά τη μετάβαση από αστέρα σε τρίγωνο της τάξεως των 50ms. Βάσει των όσων αναφέραμε παραπάνω κάτι τέτοιο είναι αντίθετο της λογικής. Απαιτείται όμως, καθώς μικρότεροι χρόνοι μετάβασης είναι επιρρεπείς στη δημιουργία βραχυκυκλώματος γι' αυτό το μέγεθος ηλεκτρονόμων. Ο λόγος οφείλεται στην σχεδόν ακαριαία απόκρισή τους και στο ξέσπασμα σπινθήρα (arc) μεταξύ των σημείων επαφής κατά την εναλλαγή κατάστασης.

Κατά τη διάρκεια των εργασιών αντικατάστασης ενός χρονικού που είχε αστοχήσει, ο συγγραφέας υπήρξε μάρτυρας των παραπάνω και της ανάγκης για εισαγωγή μιας μικρής χρονικής υστέρησης κατά τη μετάβαση. Αυτή βέβαια, αν και απαραίτητη, δεν παύει να εντείνει τα προβλήματα που περιγράψαμε.

### Διάγραμμα κυκλώματος ισχύος





## Παράρτημα Β΄

### Εικόνες από τα έργα



Σχήμα Β΄.1: Γέφυρα εξάμμωσης



Σχήμα Β'.2: Δεξαμενή καθίζησης



Σχήμα Β'.3: Κενή δεξαμενή καθίζησης



Σχήμα Β΄.4: Δεξαμενές αερισμού. Η δεξιά εξ αυτών είναι εκτός λειτουργίας, καθώς μια δεξαμενή αρκεί για τις παροχές κατά την χειμερινή περίοδο.



Σχήμα Β΄.5: Κενή δεξαμενή χλωρίωσης



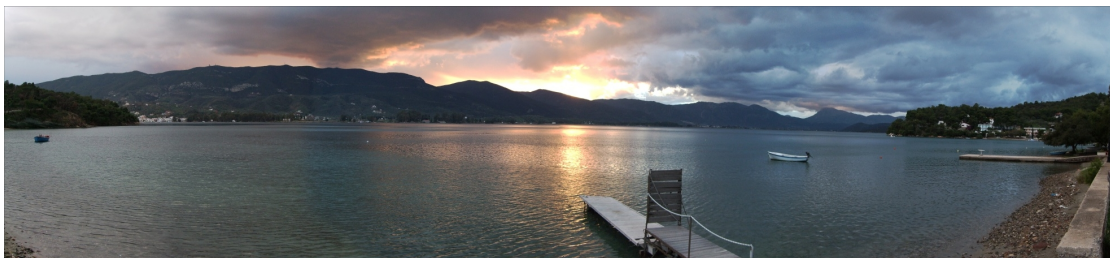
Σχήμα Β΄.6: Ο στάτορας της εικόνας είναι από αντλία λυμάτων του αποχετευτικού κατόπιν διεύθυνσης υγρασίας εντός του κλωβού αυτής.



Σχήμα Β΄.7: Τοποθέτηση αντλίας λυμάτων στο αντλιοστάσιο Α4.2 της περιοχής Ρωσικός Ναύσταθμος.



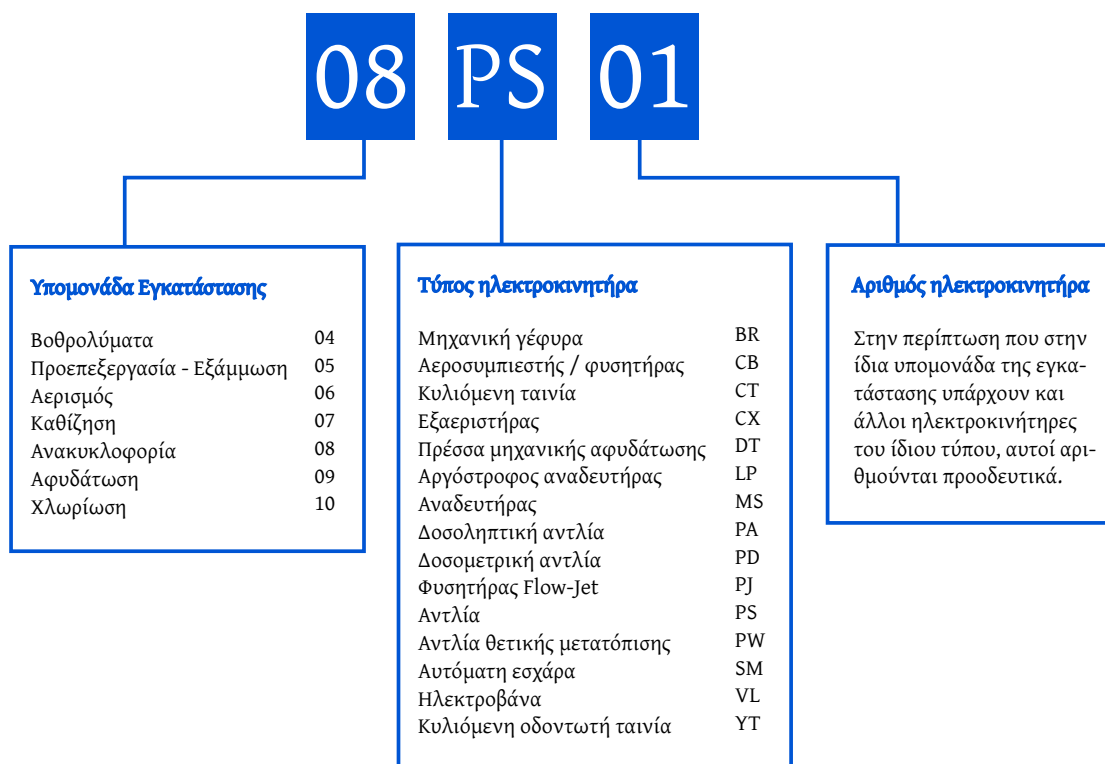
Σχήμα Β΄.8: Η αντλία λυμάτων του αποχετευτικού συστήματος ανοίχθηκε στο σημείο των ακροδεκτών των τυλιγμάτων της προκειμένου να μετρηθεί η ποιότητα της μόνωσης αυτών με ένα όργανο μέτρησης Megger.



Σχήμα Β΄.9: Πανόραμα της παραλίας του Νεωρίου

# Παράρτημα Γ΄

## Κωδικοποίηση ηλεκτροκινητήρων Ε.Ε.Λ.



Σχήμα Γ΄.1: Λεζάντα με την κωδικοποίηση των ηλεκτροκινητήρων της Ε.Ε.Λ.

## Παράρτημα Δ΄

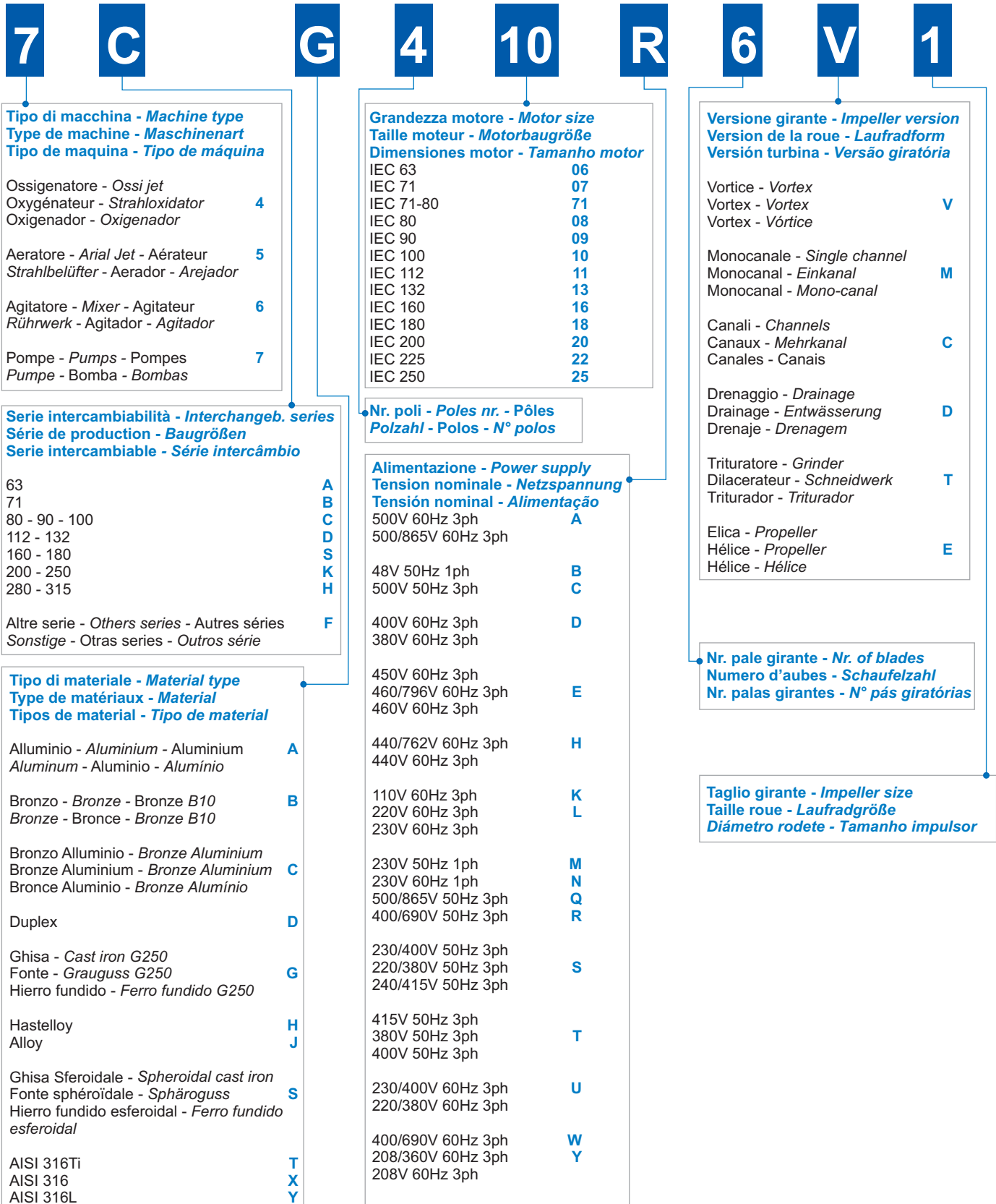
### Εμβαπτιζόμενες Αντλίες

#### Δ΄.1 Λεζάντα Κωδικοποίησης Ονομασίας

**Metodo di identificazione e denominazione - Identification and denomination method**  
**Méthode d'identification et de dénomination - Identifikations- und Bezeichnungsmethode**  
**Método de identificación y denominación - Método de identificação e denominação**

Serie - Series  
 Série - Serie  
 Serie - Série

Sigla base elettropompa - Electric pump initial base  
 Sigle de base pompe - Basisdaten  
 Sigla base bomba - Sigla base bomba eléctrica





**Metodo di identificazione e denominazione - Identification and denomination method**  
**Méthode d'identification et de dénomination - Identifikations- und Bezeichnungsmethode**  
**Método de identificación y denominación - Método de identificação e denominação**

Costruzione - Construction  
 Construction - Ausführung  
 Construcción - Construção



**Diametro bocca - Outlet diameter (mm)**  
**Diam. refoulement - Freier Kugeldurchg. (mm)**  
**Diámetro impulsión - Diâmetro boca (mm)**

1"1/4	D
1"1/2	F
2"	G
32	H
40	J
50	K
65	L
80	M
100	P
125	R
150	S
200	T
250	V
300	W
350	X
400	Y
500	Z

**Passaggio libero - Free passage (mm)**  
**Passage libre - Freier Kugeldurchg. (mm)**  
**Paso libre - Passagem livre (mm)**

**Varianti protezione del motore - Variants of motor protections**  
**Variantes protection du moteur - Motorschutzarten**  
**Variantes protección del motor - Variantes protecção do motor**  
 Standard

Standard	0
Protezione termica statore - Stator's thermal sensors Protection thermique stator - Thermoschutz Wicklung Protección térmicos del estator - Protecção térmica estator	1
Protettori, sonda controllo infiltrazioni - Thermal sensors, water probe Protecteur, sonde de contrôle infiltrations - Thermoschutz Sonde Protectores, sonda - Protectores, sonda controlo infiltrações	2
PTC, sonda - PTC, water probe - PTC, sonde PTC Kaltleiter, Sonde - PTC, sonda - PTC, sonda	3
Avvolgimento classe H trop. - Motor winding H trop. class Bobine classe H trop. - Motorisolutionsklasse H trop. Bobina classe H trop. - Bobines classe H tropicalizado	4
Classe H trop., Protettori, Sonda - H trop. class, Thermal sensors, Water probe Classe H trop., Protecteur, Sonde - H trop. class, Thermoschutz, Sonde Classe H trop., Protectores, Sonda - Classe H trop., Protectores, Sonda	5
Protezione Ex - Ex protection - Protection Ex Ex-Schutz - Protección EEx - Protecção EEx	6
Protezione termica statore, classe H trop. - Thermal sensors, H trop. class Protection thermique stator, classe H trop. - Thermoschutz, Isokl. H trop. Protectores, classe H trop. - Protectores, classe H tropicalizado	7
Protettori, classe H trop., Ex - Thermal sensors, H trop. class, Ex Protecteur, classe H trop., Ex - Thermoschutz, Isokl. H trop., Ex Protectores, classe H trop., Ex - Protectores, classe H tropicalizado, Ex	8

**Varianti legate al tipo di liquido - Variants of liquid type**  
**Variantes liées au type du liquide - Sondervarianten**  
**Variantes legadas al tipo de líquido - Variantes ao tipo de líquido**

Standard (<40°, 1,2 Kg/dm³)	A
Girante bronzo, albero inox - Bronze impeller, Inox shaft Roue en bronze, arbre inox - Bronzelaufrad, Edelstahlwelle Rodete bronze, eje inoxidable - Giratório bronze, eixo inox	H
Tenuta e O-Ring Viton - Seal and O-Ring Viton Garniture et O-ring Viton - Dichtungen Viton Sello mecánico y junta tórica Viton - Capacidade e O-Ring Viton	J
Girante e albero Inox - Inox impeller and shaft Roue et arbre inox - Edelstahlaufrad und welle Rodete y eje inoxidable - Giratória e eixo Inox	K
J+K	L
Trattamento anti corrosione - Treatment against corrosion Traitement anti-corrosion - Korrosionsschutz Tratamiento anticorrosion - Tratamento anti-corrosão	M
Motore sovradimensionate - Increased motor Moteur surdimensionné - Größere Motorleistung Motor sobredimens. - Motor sobredimensionado	S

**Varianti all'installazione - Installation variants**  
**Variantes à l'installation - Anwendungsspez. Varianten**  
**Variantes a la instalación - Variantes à instalação**

Standard	A
Galleggiante - Float switch - Flotteurs Schwimmerschalter - Interruptor de nivel - Bóia	B
Disgiuntore - Capacitor circuit breaker Disjoncteurs - Anlaufkondensatorsicherung Capacitor - Disjuntor	C
B+C	D
Cavo - cable - câble - kabel - cable - cabo NSSH	J
Cavo speciale - Special cable - Câble spécial Spezialkabel - Cable especial - Cabo especial	L
Mantello raffreddamento - Cooling jacket Chemise de refroidissement - Kühlmantel Camisa de refrigeración - Cobertura de arrefecimento	M
Temperatura liquido - Liquid temp. 50/60°C Température du liquide - Medientemperatur 50/60°C Temperatura liquido - Temperatura líquido 50/60°C	U
Temperatura liquido - Liquid temp. >60°C Température du liquide - Medientemperatur >60°C Temperatura liquido - Temperatura líquido >60°C	X

## Δ'.2 Πιστοποιητικά Δοκιμών Απόδοσης

Certificato nr.: <i>Certificate nr.:</i>	<b>3971/04/001</b>	Data collaudo: <i>Test date:</i>	<b>25/02/2005</b>	Operatore: <i>Operator:</i>	<b>Simone Serafini</b>
Norma: <i>Specification:</i>	<b>UNI EN ISO 9906 Annex A</b>	Strumenti per il collaudo: <i>Instruments for test:</i>	Portata / Capacity: Prevalenza / Head: Potenza / Power:	<b>PROMAG 30F 337209</b> <b>CERABAR S PMC731 W2 Y0245</b> <b>MICROVIP 17554</b>	

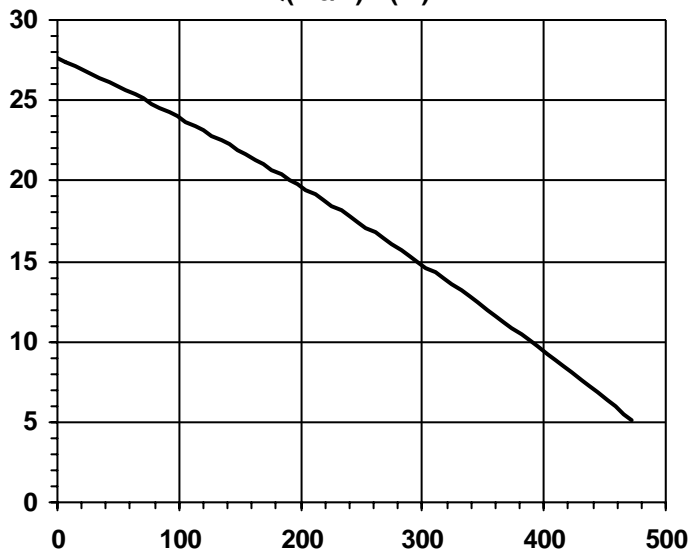
**Riferimenti:**  
*References:*

Riferimento ordine nr.: <i>Order reference nr.:</i>	<b>3971/04</b>	Cliente: <i>Customer:</i>	<b>S. AIVAZIDIS A.E.B.E. (S.A.) ZAPPA str.</b>		
Sigla elettropompa: <i>Electric pump type:</i>	<b>G418R2C3-S100AM2</b>	Codice: <i>Code:</i>	<b>7003971</b>	Nr. matricola: <i>Serial nr.:</i>	<b>0120050415</b>
Alimentazione: <i>Power supply:</i>	<b>3ph 400V 50Hz</b>	R.P.M.:	<b>1450</b>	ATEX:	<b>NO</b>

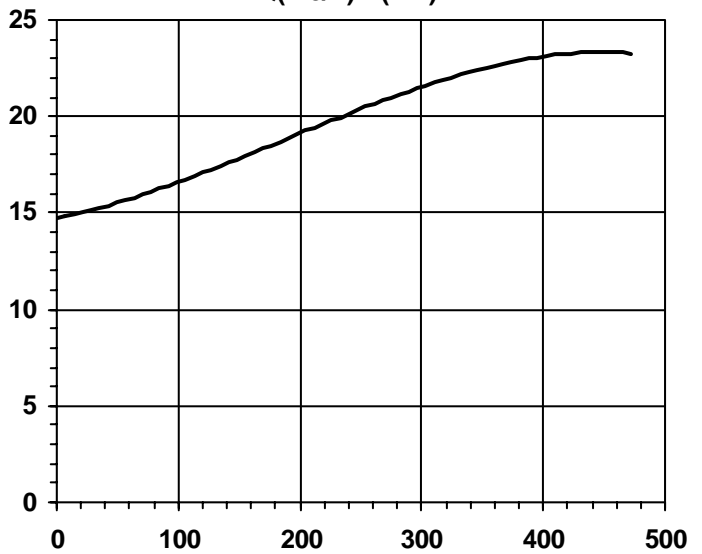
**Prestazioni**  
*Performance*

Portata <i>Capacity</i>	Prevalenza <i>Head</i>	Potenza <i>Power</i>
<b>m<sup>3</sup>/h</b>	<b>m</b>	<b>kW</b>
0,0	27,7	14,7
68,9	25,1	16,0
219,7	18,7	19,4
326,6	13,8	22,5
406,2	8,5	22,8
472,8	5,3	23,4

**Q(m<sup>3</sup>/h)-H(m)**



**Q(m<sup>3</sup>/h)-P(kW)**



**Ulteriori prove effettuate sulla pompa:**  
*Further tests carried out on the pump:*

<input checked="" type="checkbox"/>	Prova di tensione applicata di 2kV per 60s (rigidità dielettrica) <i>Power frequency voltage withstand test at 2kV for 60s (dielectric strength)</i>
<input checked="" type="checkbox"/>	Misura resistenza di isolamento <i>Insulation resistance measurement</i>
<input checked="" type="checkbox"/>	Prova pneumatica di ermeticità ad 1,5 bar <i>Pneumatic tightness test at 1,5 bar</i>
<input checked="" type="checkbox"/>	Prova idrostatica della parte idraulica a 1,5 volte la pressione massima della pompa <i>Hydrostatic test of the hydraulic section at 1,5 times the maximum pump pressure</i>

Esito del collaudo:  
*Test result:*

**Positivo**       **Negativo**   
*Positive*                              *Negative*

Il responsabile:  
*The chief:*

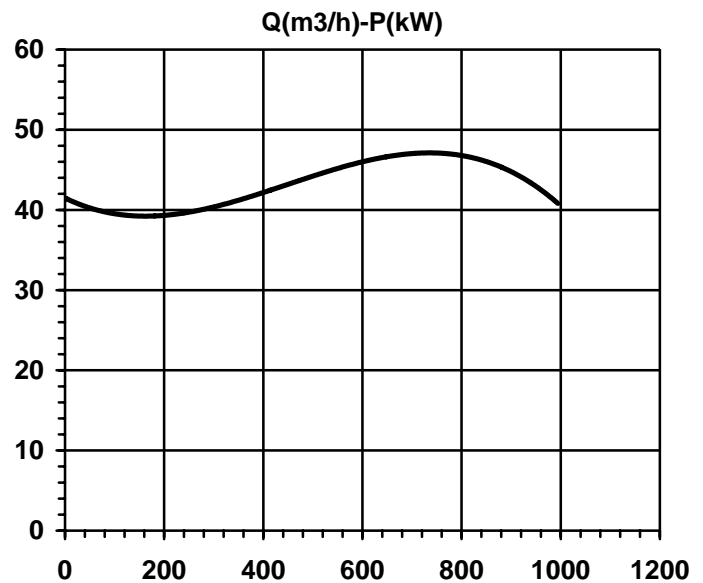
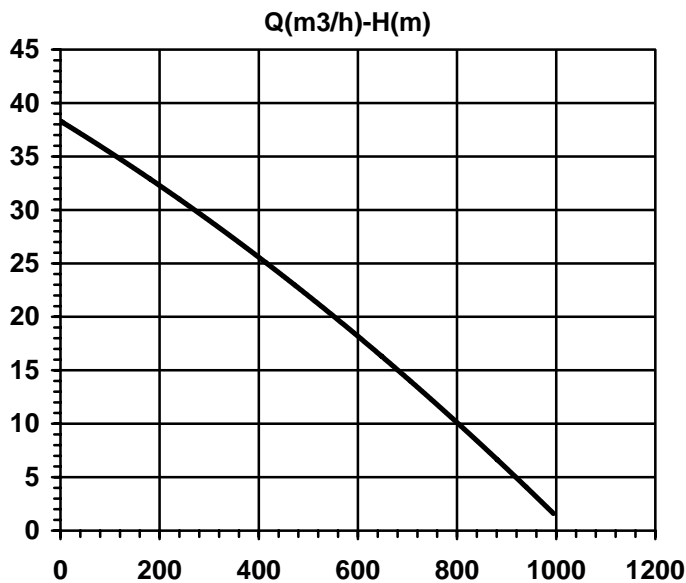
Certificato nr.: <i>Certificate nr.:</i>	<b>3937/04/001</b>	Data collaudo: <i>Test date:</i>	<b>22/12/2004</b>	Operatore: <i>Operator:</i>	<b>Simone Serafini</b>
Norma: <i>Specification:</i>	<b>UNI EN ISO 9906</b>	Strumenti per il collaudo: <i>Instruments for test:</i>	Portata / Capacity: Prevalenza / Head: Potenza / Power:	<b>PROMAG 30F 337209</b> <b>CERABAR S PMC731 W2 Y0245</b> <b>MICROVIP 17554</b>	

**Riferimenti:**  
*References:*

Riferimento ordine nr.: <i>Order reference nr.:</i>	<b>3937/04</b>	Cliente: <i>Customer:</i>	<b>S. AIVAZIDIS A.E.B.E. (S.A.)</b>		
Sigla elettropompa: <i>Electric pump type:</i>	<b>G420R2C1-T102XM2</b>	Codice: <i>Code:</i>	<b>7000164</b>	Nr. matricola: <i>Serial nr.:</i>	<b>1220049328</b>
Alimentazione: <i>Power supply:</i>	<b>3ph 400/690V 50Hz</b>	R.P.M.:	<b>1450</b>	ATEX:	<b>NO</b>

**Prestazioni**  
*Performance*

Portata <i>Capacity</i>	Prevalenza <i>Head</i>	Potenza <i>Power</i>
<b>m3/h</b>	<b>m</b>	<b>kW</b>
0,0	38,3	41,7
223,5	31,7	38,9
352,5	26,9	41,2
620,0	17,8	47,7
816,5	9,1	45,1
994,3	1,7	41,3



**Ulteriori prove effettuate sulla pompa:**  
*Further tests carried out on the pump:*

<input checked="" type="checkbox"/>	Prova di tensione applicata di 2kV per 60s (rigidità dielettrica) <i>Power frequency voltage withstand test at 2kV for 60s (dielectric strength)</i>
<input checked="" type="checkbox"/>	Misura resistenza di isolamento <i>Insulation resistance measurement</i>
<input checked="" type="checkbox"/>	Prova pneumatica di ermeticità ad 1,5 bar <i>Pneumatic tightness test at 1,5 bar</i>
<input checked="" type="checkbox"/>	Prova idrostatica della parte idraulica a 1,5 volte la pressione massima della pompa <i>Hydrostatic test of the hydraulic section at 1,5 times the maximum pump pressure</i>

Esito del collaudo:  
*Test result:*

**Positivo**       **Negativo**   
*Positive*                              *Negative*

Il responsabile:  
*The chief:*

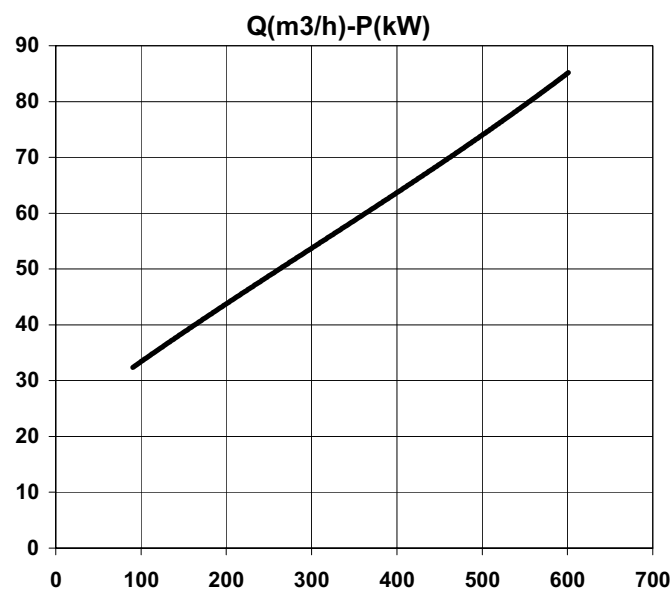
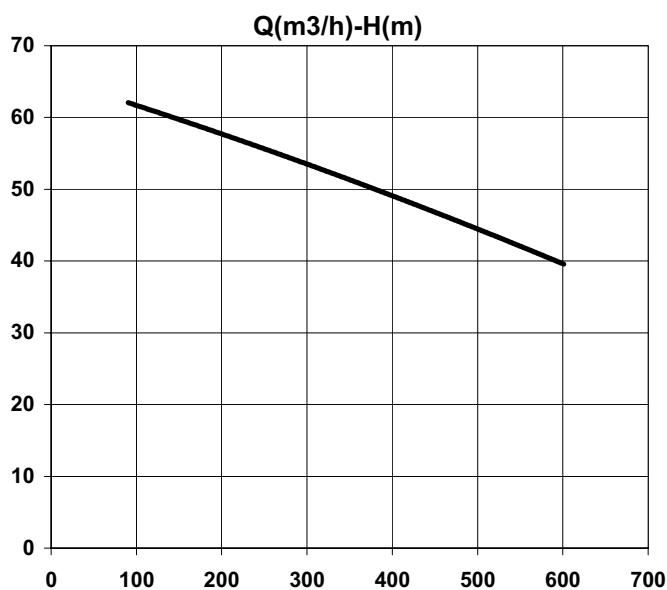
Certificato nr.: <i>Certificate nr.:</i>	<b>3971/04/004</b>	Data collaudo: <i>Test date:</i>	<b>13/06/2005</b>	Operatore: <i>Operator:</i>	<b>Simone Serafini</b>
Norma: <i>Specification:</i>	<b>UNI EN ISO 9906 Annex A</b>	Strumenti per il collaudo: <i>Instruments for test:</i>	<b>Portata / Capacity: PROMAG 30F 337209</b> <b>Prevalenza / Head: CERABAR S PMC731 W2 Y0245</b> <b>Potenza / Power: MICROVIP 17554</b>		

**Riferimenti:**  
**References:**

Riferimento ordine nr.: <i>Order reference nr.:</i>	<b>3971/04</b>	Cliente: <i>Customer:</i>	<b>S. AIVAZIDIS A.E.B.E. (S.A.) ZAPPA str.</b>		
Elettropompa: <i>Electric pump:</i>	<b>G425R3C9-S100AM2</b>	Codice: <i>Code:</i>	<b>7000180</b>	Nr. matricola: <i>Serial nr.:</i>	<b>0320052140</b>
Alimentazione: <i>Power supply:</i>	<b>3ph 400/690V 50Hz</b>	R.P.M.:	<b>1450</b>	ATEX:	<b>NO</b>

**Prestazioni**  
**Performance**

Portata <i>Capacity</i>	Prevalenza <i>Head</i>	Potenza <i>Power</i>
<b>m<sup>3</sup>/h</b>	<b>m</b>	<b>kW</b>
90,4	61,2	32,2
181,4	59,8	42,4
262,9	54,9	49,6
356,4	51,8	59,2
436,5	45,9	67,6
600,9	40,1	85,1


**Ulteriori prove effettuate sulla pompa:**  
**Further tests carried out on the pump:**

<input checked="" type="checkbox"/>	Prova di tensione applicata di 2kV per 60s (rigidità dielettrica) <i>Power frequency voltage withstand test at 2kV for 60s (dielectric strength)</i>
<input checked="" type="checkbox"/>	Misura resistenza di isolamento <i>Insulation resistance measurement</i>
<input checked="" type="checkbox"/>	Prova pneumatica di ermeticità ad 1,5 bar <i>Pneumatic tightness test at 1,5 bar</i>
<input checked="" type="checkbox"/>	Prova idrostatica della parte idraulica a 1,5 volte la pressione massima della pompa <i>Hydrostatic test of the hydraulic section at 1,5 times the maximum pump pressure</i>

Esito del collaudo:

*Test result:*
**Positivo**                       **Negativo**   
**Positive**    **Negative**

 Il responsabile:  
*The chief:*