



Τμήμα Ηλεκτρολόγων Μηχανικών
& Μηχανικών Υπολογιστών

**ΠΑΝΕΠΙΣΤΗΜΙΟ
ΠΕΛΟΠΟΝΝΗΣΟΥ**

ΠΤΥΧΙΑΚΗ ΕΡΓΑΣΙΑ

ΑΝΑΛΥΣΗ ΗΛΕΚΤΡΙΚΗΣ ΕΓΚΑΤΑΣΤΑΣΗΣ

ΜΟΝΑΔΑΣ ΒΙΟΛΟΓΙΚΟΥ ΚΑΘΑΡΙΣΜΟΥ

ΓΕΡΟΔΗΜΟΣ ΣΤΑΥΡΟΣ ΑΓΓΕΛΟΣ, ΑΜ:7269

ΓΙΔΙΑΡΗΣ ΒΑΣΙΛΕΙΟΣ, ΑΜ:7725

ΕΠΙΒΛΕΠΩΝ ΚΑΘΗΓΗΤΗΣ: ΣΧΟΙΝΑΣ ΝΙΚΟΛΑΟΣ

ΠΑΤΡΑ 2026

ΠΕΡΙΛΗΨΗ

Η παρούσα πτυχιακή εργασία πραγματεύεται τον σχεδιασμό, την ανάλυση και την τεκμηρίωση των ηλεκτρικών εγκαταστάσεων μιας βιομηχανικής μονάδας, με έμφαση στις Εγκαταστάσεις Επεξεργασίας Λυμάτων (ΕΕΛ). Αντικείμενο της εργασίας αποτελεί η συστηματική περιγραφή όλων των επιμέρους υποσυστημάτων που συνθέτουν μια σύγχρονη βιομηχανική ηλεκτρική εγκατάσταση, από την παροχή ηλεκτρικής ενέργειας και τον υποσταθμό μέσης τάσης έως τα συστήματα αυτοματισμού, φωτισμού, εφεδρικής τροφοδοσίας και ασφαλείας.

Στο πρώτο μέρος της εργασίας αναλύεται η δομή μιας μονάδας βιολογικού καθαρισμού και περιγράφονται τα επιμέρους στάδια επεξεργασίας λυμάτων, όπως η προεπεξεργασία, η πρωτοβάθμια καθίζηση, η δευτεροβάθμια βιολογική επεξεργασία (με τις τεχνολογίες ενεργού ιλύος, MBBR, SBR και MBR), η τριτοβάθμια επεξεργασία και η γραμμή ιλύος (Metcalf & Eddy, 2014).

Στη συνέχεια, η εργασία εστιάζει στην ηλεκτρολογική υποδομή της μονάδας. Γίνεται αναλυτική περιγραφή του συστήματος τροφοδοσίας και διανομής ηλεκτρικής ενέργειας, συμπεριλαμβανομένων του υποσταθμού μέσης τάσης, των μετασχηματιστών ισχύος, των πινάκων μέσης και χαμηλής τάσης, καθώς και του δικτύου καλωδιώσεων και οδεύσεων. Ιδιαίτερη έμφαση δίνεται στη συμμόρφωση με το πρότυπο ΕΛΟΤ HD 384 (νυν εναρμονισμένο με τη σειρά ΕΛΟΤ 60364), το οποίο αποτελεί το βασικό κανονιστικό πλαίσιο για ηλεκτρικές εγκαταστάσεις χαμηλής τάσης στην Ελλάδα (ΕΛΟΤ, 2004).

Ακολουθεί η ανάλυση των συστημάτων ασθενών ρευμάτων, όπου περιγράφονται η αρχιτεκτονική των συστημάτων αυτοματισμού (PLC, SCADA), τα βιομηχανικά δίκτυα επικοινωνιών (Modbus, Profibus, Industrial Ethernet) και οι σύγχρονες τάσεις όπως τα ψηφιακά δίδυμα (digital twins) και η τεχνητή νοημοσύνη στα άκρα (AI at the Edge) (Leitão et al., 2018). Εξετάζονται επίσης οι εφεδρικές πηγές ενέργειας, δηλαδή τα ηλεκτροπαραγωγά ζεύγη (H/Z) και τα συστήματα αδιάλειπτης παροχής ισχύος

(UPS), καθώς και ο ρόλος τους στη διασφάλιση της συνεχούς λειτουργίας κρίσιμων φορτίων (Charman, 2012).

Ιδιαίτερη μνεία γίνεται στα συστήματα προστασίας, συμπεριλαμβανομένης της αντικεραυνικής προστασίας, της θεμελιακής γείωσης και της προστασίας από υπερτάσεις (SPD), σύμφωνα με τα πρότυπα ΕΛΟΤ EN 62305 και ΕΛΟΤ HD 384 (ΕΛΟΤ, 2004; ΕΛΟΤ, χ.χ.). Επιπλέον, αναλύεται ο σχεδιασμός του βιομηχανικού φωτισμού με βάση τα πρότυπα EN 12464 και EN 1838, δίνοντας έμφαση στα επίπεδα φωτισμού, στον δείκτη θάμβωσης (UGR), στον δείκτη χρωματικής απόδοσης (CRI) και στην ενεργειακή αποδοτικότητα των φωτιστικών LED.

Η εργασία ολοκληρώνεται με την παρουσίαση των Συστημάτων Διαχείρισης Κτιρίων (BMS) και την ενεργειακή διαχείριση στη βιομηχανία, αναδεικνύοντας τη συμβολή τους στη μείωση του λειτουργικού κόστους και του περιβαλλοντικού αποτυπώματος.

ΛΕΞΕΙΣ-ΚΛΕΙΔΙΑ: Ηλεκτρικές εγκαταστάσεις, βιομηχανική μονάδα, μονάδα βιολογικού καθαρισμού, Εγκατάσταση Επεξεργασίας Λυμάτων (ΕΕΛ), υποσταθμός μέσης τάσης, μετασχηματιστής ισχύος, πίνακες διανομής, καλωδιώσεις, γείωση, αντικεραυνική προστασία, συστήματα αυτοματισμού, PLC, SCADA, βιομηχανικά δίκτυα, ηλεκτροπαραγωγό ζεύγος (Η/Ζ), UPS, φωτισμός, LED, ενεργειακή διαχείριση, BMS, πρότυπα ΕΛΟΤ HD 384, IEC 61439, EN 12464, Industry 4.0.

ABSTRACT

This thesis deals with the design, analysis, and documentation of the electrical installations of an industrial plant, with emphasis on Wastewater Treatment Plants (WWTP). The object of this work is the systematic description of all the individual subsystems that constitute a modern industrial electrical installation, from the power supply and the medium voltage substation to the automation, lighting, backup power, and safety systems.

In the first part of the thesis, the structure of a biological treatment plant is analyzed, and the individual stages of wastewater treatment are described, such as pretreatment, primary sedimentation, secondary biological treatment (with activated sludge, MBBR, SBR, and MBR technologies), tertiary treatment, and the sludge treatment line (Metcalf & Eddy, 2014).

Subsequently, the thesis focuses on the electrical infrastructure of the plant. A detailed description of the power supply and distribution system is provided, including the medium voltage substation, power transformers, medium and low voltage switchgear, as well as the cabling and routing network. Particular emphasis is placed on compliance with the standard ELOT HD 384 (now harmonized with the ELOT 60364 series), which constitutes the main regulatory framework for low voltage electrical installations in Greece (ELOT, 2004).

This is followed by an analysis of the extra-low voltage systems, where the architecture of automation systems (PLC, SCADA), industrial communication networks (Modbus, Profibus, Industrial Ethernet), and modern trends such as digital twins and AI at the Edge are described (Leitão et al., 2018). Backup power sources, namely generator sets (gensets) and Uninterruptible Power Supply (UPS) systems, as well as their role in ensuring the continuous operation of critical loads, are also examined (Chapman, 2012).

Special mention is made of protection systems, including lightning protection, foundation grounding, and surge protection devices (SPDs), in accordance with the standards ELOT EN 62305 and ELOT HD 384 (ELOT,

2004; ELOT, n.d.). Furthermore, the design of industrial lighting is analyzed based on the EN 12464 and EN 1838 standards, emphasizing lighting levels, the Unified Glare Rating (UGR), the Color Rendering Index (CRI), and the energy efficiency of LED luminaires.

The thesis concludes with the presentation of Building Management Systems (BMS) and energy management in industry, highlighting their contribution to reducing operational costs and the environmental footprint.

KEYWORDS:Electrical installations, industrial plant, biological treatment plant, Wastewater Treatment Plant (WWTP), medium voltage substation, power transformer, distribution switchboards, cabling, grounding, lightning protection, automation systems, PLC, SCADA, industrial networks, generator set (genset), UPS, lighting, LED, energy management, BMS, ELOT HD 384 standards, IEC 61439, EN 12464, Industry 4.0.

ΠΙΝΑΚΑΣ ΠΕΡΙΕΧΟΜΕΝΩΝ

ΠΕΡΙΛΗΨΗ	I
ABSTRACT	III
ΠΙΝΑΚΑΣ ΠΕΡΙΕΧΟΜΕΝΩΝ	V
1 ΚΕΦΑΛΑΙΟ 1 – ΕΙΣΑΓΩΓΗ.....	1
2 ΚΕΦΑΛΑΙΟ 2 – ΔΟΜΗ ΜΙΑΣ ΕΓΚΑΤΑΣΤΑΣΗΣ ΒΙΟΛΟΓΙΚΟΥ ΚΑΘΑΡΙΣΜΟΥ (ΕΓΚΑΤΑΣΤΑΣΗΣ ΕΠΕΞΕΡΓΑΣΙΑΣ ΛΥΜΑΤΩΝ, ΕΕΛ)	4
2.1 Στάδια Επεξεργασίας	4
2.1.1 Προκαταρκτική / Προεπεξεργασία (Preliminary / Primary Treatment).....	4
2.1.2 Πρωτοβάθμια Καθίζηση (Primary Sedimentation)	6
2.1.3 Δευτεροβάθμια Βιολογική Επεξεργασία (Secondary / Biological Treatment).....	6
2.1.4 Τριτοβάθμια Επεξεργασία & Απολύμανση (Tertiary Treatment & Disinfection)	7
2.1.5 Γραμμή Ιλύος (Sludge Treatment)	7
2.2 Επιπλέον Χαρακτηριστικά και Σχεδιασμός.....	8
3 ΚΕΦΑΛΑΙΟ 3 – ΗΛΕΚΤΡΟΛΟΓΙΚΗ ΕΓΚΑΤΑΣΤΑΣΗ ΜΟΝΑΔΑΣ ΒΙΟΛΟΓΙΚΟΥ ΚΑΘΑΡΙΣΜΟΥ	9
3.1 1. Σύστημα τροφοδοσίας και διανομής ηλεκτρικής ενέργειας.....	9
3.1.1 Επίπεδα Τάσης και Παροχή.....	9
3.1.2 Κατηγορία και Αξιοπιστία Παροχής.....	10
3.1.3 Μετασχηματιστές Ισχύος	10

3.1.4	Θέση Υποσταθμού και Πινάκων	10
3.2	ΔΙΚΤΥΟ ΔΙΑΝΟΜΗΣ ΧΑΜΗΛΗΣ ΤΑΣΗΣ	10
3.2.1	Γενικοί Πίνακες και Υποπίνακες	10
3.2.2	Κινητήρες και Κέντρα Ελέγχου Κινητήρων (MCC).....	11
3.2.3	Συστήματα Αντιστάθμισης Αέργου Ισχύος.....	11
3.3	Συστήματα ελέγχου και αυτοματισμού.....	11
3.3.1	Προγραμματιζόμενοι Λογικοί Ελεγκτές (PLC)	11
3.3.2	Συστήματα Εποπτείας (SCADA).....	12
3.4	Σύστημα γείωσης και αντικεραυνικής προστασίας	12
3.5	Εφεδρικές πηγές ενέργειας	12
3.5.1	Ηλεκτροπαραγωγή Ζεύγη (H/Z).....	12
3.5.2	Συστήματα UPS	12
3.6	. Φωτισμός	12
3.7	Καλωδιώσεις και οδεύσεις	13
3.8	Συστήματα προστασίας	13
3.9	Συμπεράσματα	13
4	ΚΕΦΑΛΑΙΟ 4 –ΥΠΟΣΤΑΘΜΟΣ ΜΕΣΗΣ ΤΑΣΗΣ ΣΕ ΜΟΝΑΔΑ ΒΙΟΛΟΓΙΚΟΥ ΚΑΘΑΡΙΣΜΟΥ.....	14
4.1	Ρόλος και λειτουργία του υποσταθμού.....	14
4.2	Κύρια μέρη υποσταθμού μέσης τάσης.....	15
4.2.1	Πίνακας Μέσης Τάσης.....	15
4.2.2	Μετασχηματιστής Ισχύος.....	15

4.2.3	Πίνακας Χαμηλής Τάσης	16
4.2.4	Σύστημα προστασίας	17
4.2.5	Σύστημα γείωσης υποσταθμού.....	17
4.3	Θέση και διαμόρφωση υποσταθμού	18
4.4	Εφεδρική τροφοδοσία	18
4.5	Συντήρηση και έλεγχος	19
4.6	Συμπεράσματα	19
5	ΚΕΦΑΛΑΙΟ 5 – ΗΛΕΚΤΡΙΚΟΙ ΠΙΝΑΚΕΣ ΚΑΙ ΔΙΑΝΟΜΗ ΧΑΜΗΛΗΣ ΤΑΣΗΣ ΣΕ ΕΕΛ	20
5.1	Ρόλος των ηλεκτρικών πινάκων	20
5.2	Τύποι ηλεκτρικών πινάκων.....	21
5.2.1	Γενικός Πίνακας Χαμηλής Τάσης	21
5.2.2	Πίνακες Διανομής.....	21
5.2.3	Κέντρα Ελέγχου Κινητήρων (Motor Control Centers – MCC).....	22
5.2.4	Πίνακες Αυτοματισμού.....	22
5.3	Σύστημα διανομής χαμηλής τάσης.....	23
5.4	Σύστημα προστασίας	23
5.5	Περιβαλλοντικές απαιτήσεις.....	24
5.6	Συντήρηση και επιθεώρηση	24
5.7	Συμπεράσματα	24
6	ΚΕΦΑΛΑΙΟ 6 - ΚΑΛΩΔΙΩΣΕΙΣ ΚΑΙ ΟΔΕΥΣΕΙΣ ΣΕ ΜΟΝΑΔΑ ΒΙΟΛΟΓΙΚΟΥ ΚΑΘΑΡΙΣΜΟΥ	26

6.1	Τύποι καλωδίων	26
6.1.1	Καλώδια Ισχύος.....	27
6.1.2	Καλώδια Οργάνων και Αυτοματισμού	27
6.1.3	Καλώδια Επικοινωνίας	28
6.2	Οδεύσεις καλωδίων	28
6.2.1	Καλωδιογέφυρες (Cable Trays)	29
6.2.2	Σωληνώσεις Καλωδίων	29
6.2.3	Υπόγειες Οδεύσεις	30
6.3	Διαχωρισμός καλωδίων	30
6.4	Προστασία από περιβαλλοντικές επιδράσεις	30
6.5	Έλεγχος και συντήρηση καλωδιώσεων.....	31
6.6	Συμπεράσματα	31
7	ΚΕΦΑΛΑΙΟ 7 - ΑΝΤΙΚΕΡΑΥΝΙΚΗ ΠΡΟΣΤΑΣΙΑ ΣΕ ΜΟΝΑΔΑ ΒΙΟΛΟΓΙΚΟΥ ΚΑΘΑΡΙΣΜΟΥ	32
7.1	Θεσμικό πλαίσιο και πρότυπα.....	32
7.2	Σύστημα εξωτερικής αντικεραυνικής προστασίας	33
7.2.1	Συλλεκτήριο Σύστημα (Αλεξικέραυνο)	33
7.2.2	Αγωγοί Καθόδου.....	34
7.3	Σύστημα εσωτερικής αντικεραυνικής προστασίας	34
7.3.1	Ισοδυναμικές Συνδέσεις	34
7.3.2	Απαγωγοί Υπερτάσεων (SPD)	35
7.4	Σύστημα γείωσης	35

7.4.1	Θεμελιακή Γείωση	35
7.4.2	Υλικά Γείωσης	36
7.4.3	Σύνδεση Συστήματος Αντικεραυνικής Προστασίας με Γείωση	36
7.5	Ειδικές απαιτήσεις για μονάδες βιολογικού καθαρισμού.....	36
7.5.1	Ιδιαιτερότητες Εγκατάστασης	36
7.5.2	Προστασία Δικτύων Οργάνων και Αυτοματισμού	37
7.5.3	Προστασία Δικτύων Ισχύος.....	37
7.6	Έλεγχος και συντήρηση	37
7.6.1	Επιθεωρήσεις	37
7.6.2	Μετρήσεις.....	37
7.7	Συμπεράσματα	38
8	ΚΕΦΑΛΑΙΟ 8 - ΗΛΕΚΤΡΟΚΙΝΗΤΗΡΕΣ ΣΕ ΜΟΝΑΔΑ ΒΙΟΛΟΓΙΚΟΥ ΚΑΘΑΡΙΣΜΟΥ	39
8.1	Ρόλος των ηλεκτροκινητήρων στη λειτουργία της μονάδας.....	39
8.2	Τύποι ηλεκτροκινητήρων	40
8.2.1	Ασύγχρονοι Τριφασικοί Κινητήρες	40
8.2.2	Κινητήρες Μεταβλητής Ταχύτητας	40
8.3	Εγκατάσταση και προστασία κινητήρων	41
8.3.1	Συστήματα Εκκίνησης	41
8.3.2	Διατάξεις Προστασίας.....	42
8.4	Περιβαλλοντικές Επιπτώσεις	42
8.5	Ενεργειακή απόδοση.....	43

8.6	Συντήρηση ηλεκτροκινητήρων	43
8.7	Παράδειγμα πραγματικού MCC σε εγκατάσταση επεξεργασίας λυμάτων	44
8.7.1	Γενική περιγραφή	44
8.7.2	Δομή ενός MCC.....	44
8.7.3	Παράδειγμα εφαρμογής - MCC Αντλιοστασίου Εισόδου	45
8.7.3.1	Λειτουργία MCC	45
8.7.3.2	Πλεονεκτήματα MCC.....	45
8.7.3.3	Ιδιαιτερότητες σε ΕΕΛ.....	46
8.7.4	Συμπέρασμα	46
8.8	Παράδειγμα MCC με VFD (INVERTER) σε εγκατάσταση επεξεργασίας λυμάτων	46
8.8.1	Εισαγωγή.....	46
8.8.2	MCC Αερισμού Δεξαμενής	46
8.8.2.1	Δομή κυκλώματος VFD.....	47
1.	Τμήμα ισχύος.....	47
2.	Τμήμα ελέγχου	47
8.8.2.2	Παράδειγμα λειτουργίας	47
8.9	Πλεονεκτήματα της χρήσης VFD	48
8.10	Μειονεκτήματα της χρήσης VFD.....	48
8.11	Προστασίες που παρέχουν τα VFD	48
8.12	Ρόλος σε ΕΕΛ	48

8.13	Παράδειγμα υπολογισμού εξοικονόμησης ενέργειας με VFD	49
8.13.1	Δεδομένα προβλήματος.....	49
8.13.2	Κατανάλωση χωρίς VFD	49
8.13.3	Ετήσιο κόστος:	49
8.13.4	Κατανάλωση με VFD.....	49
8.13.5	Νέα ετήσια κατανάλωση:	49
8.13.6	Νέο ετήσιο κόστος:	49
8.13.7	Εξοικονόμηση.....	49
1.	Εξοικονόμηση ενέργειας:	50
2.	Εξοικονόμηση κόστους:	50
8.14	5. Ποσοστό εξοικονόμησης.....	50
8.15	Συμπεράσματα.....	50
9	ΚΕΦΑΛΑΙΟ 9 – ΦΩΤΙΣΜΟΣ ΣΕ ΜΟΝΑΔΑ ΒΙΟΛΟΓΙΚΟΥ ΚΑΘΑΡΙΣΜΟΥ	52
9.1	Κατηγορίες φωτισμού	52
9.2	Γενικός Φωτισμός	53
9.3	Τοπικός Φωτισμός Εργασίας.....	53
9.4	Φωτισμός Ασφαλείας.....	54
9.5	Φωτισμός εξωτερικών χώρων	54
9.6	3. Απαιτήσεις εξοπλισμού φωτισμού	55
9.7	Ενεργειακή απόδοση του φωτισμού	55
9.8	Συντήρηση του συστήματος φωτισμού	56

9.9	Συμπεράσματα	56
10	ΚΕΦΑΛΑΙΟ 10 – ΕΚΚΙΝΗΣΗ ΚΑΙ ΠΡΟΣΤΑΣΙΑ ΗΛΕΚΤΡΙΚΩΝ ΚΙΝΗΤΗΡΩΝ ΣΕ ΕΕΛ	57
10.1	Μέθοδοι εκκίνησης ηλεκτρικών κινητήρων	57
10.1.1	Απευθείας Εκκίνηση (Direct On Line).....	58
10.1.2	Εκκίνηση Αστέρα – Τριγώνου	58
10.1.3	Εκκίνηση με Soft Starter	58
10.1.4	Εκκίνηση με Μετατροπέα Συχνότητας (VFD)	59
10.2	Σύστημα προστασίας ηλεκτρικών κινητήρων	59
10.2.1	Προστασία Υπερφόρτισης	59
10.2.2	Προστασία Βραχυκυκλώματος	60
10.2.3	Προστασία Απώλειας Φάσης	60
10.2.4	Θερμική Προστασία Κινητήρα.....	60
10.3	Εγκατάσταση σε κέντρα ελέγχου κινητήρων	61
10.4	SOFT STARTER και VFD – Αναλυτική λειτουργία.....	61
10.4.1	SOFT STARTER	62
10.4.1.1	Αρχή λειτουργίας.....	62
10.4.1.2	Στάδια λειτουργίας soft starter	62
1.	Εκκίνηση (Ramp-up).....	62
2.	Κανονική λειτουργία.....	62
10.4.2	Πλεονεκτήματα soft starter	63
10.4.3	Εφαρμογές σε μονάδες βιολογικού καθαρισμού	63

10.5	. Μετατροπείς συχνότητας (VFD).....	63
10.5.1	Αρχή λειτουργίας.....	63
10.5.2	Δομή ενός VFD.....	64
10.5.3	Έλεγχος ταχύτητας κινητήρα.....	64
10.5.4	Πλεονεκτήματα VFD	64
10.5.5	Εφαρμογές σε μονάδες βιολογικού καθαρισμού.....	65
10.6	Συμπεράσματα.....	66
11	ΚΕΦΑΛΑΙΟ 11 – ΕΦΕΡΔΡΙΚΕΣ ΠΗΓΕΣ ΕΝΕΡΓΕΙΑΣ ΣΕ ΕΓΚΑΤΑΣΤΑΣΗ ΒΙΟΛΟΓΙΚΟΥ ΚΑΘΑΡΙΣΜΟΥ: ΗΛΕΚΤΡΟΠΑΡΑΓΩΓΑ ΖΕΥΓΗ (H/Z) ΚΑΙ ΣΥΣΤΗΜΑΤΑ ΑΔΙΑΛΕΙΠΤΗΣ ΠΑΡΟΧΗΣ ΙΣΧΥΟΣ (UPS)	67
11.1	Εισαγωγή.....	67
11.2	Ηλεκτροπαραγωγά Ζεύγη (H/Z)	67
11.2.1	Ορισμός και βασικά χαρακτηριστικά	67
11.2.2	Αρχή λειτουργίας.....	68
11.2.3	Ρόλος σε μονάδες βιολογικού καθαρισμού	68
11.2.4	Πλεονεκτήματα και μειονεκτήματα	68
11.3	ΣΥΣΤΗΜΑΤΑ UPS.....	69
11.3.1	Ορισμός	69
11.3.2	Κατηγορίες UPS	69
11.3.3	Αρχή λειτουργίας.....	69
11.3.4	Εφαρμογές σε ΕΕΛ.....	70
11.3.5	Πλεονεκτήματα και μειονεκτήματα	70

11.4	Συνδυασμός H/Z και UPS	70
11.5	Συντήρηση και έλεγχος	71
11.6	Συμπεράσματα.....	71
12	ΚΕΦΑΛΑΙΟ 12 –ΣΥΣΤΗΜΑΤΑ ΠΥΡΑΝΙΧΝΕΥΣΗΣ ΚΑΙ ΠΥΡΟΣΒΕΣΗΣ ΣΕ ΧΩΡΟ ΒΙΟΛΟΓΙΚΟΥ ΚΑΘΑΡΙΣΜΟΥ	72
12.1	Εισαγωγή.....	72
12.2	Κίνδυνοι πυρκαγιάς σε ΕΕΛ	72
12.3	Συστήματα πυρανίχνευσης.....	73
12.3.1	Ρόλος και λειτουργία	73
12.3.2	Κύρια στοιχεία	73
12.3.3	Τύποι ανιχνευτών.....	73
12.3.4	Διασύνδεση με αυτοματισμούς	73
12.4	Συστήματα Πυρόσβεσης	74
12.4.1	Γενικά.....	74
12.4.2	Μέσα πυρόσβεσης.....	74
12.4.2.1	Νερό (Sprinkler).....	74
12.4.2.2	Αφρός.....	74
12.4.2.3	CO ₂	74
12.4.2.4	Ξηρή σκόνη.....	74
12.4.3	Αυτόματα συστήματα	74
12.5	Ειδικές απαιτήσεις σε ΕΕΛ.....	75
12.5.1	Χώροι υψηλού κινδύνου	75

12.5.2	Εκρηκτικές ατμόσφαιρες.....	75
12.5.3	Συνδυασμός με εξαερισμό.....	75
12.6	Συντήρηση και έλεγχος	75
12.7	Σύγκριση Μέσων Πυρόσβεσης και Κατηγοριών Πυρκαγιάς	76
12.8	Συμπεράσματα.....	77
13	ΚΕΦΑΛΑΙΟ 13 – ΣΥΣΤΗΜΑΤΑ ΔΙΑΧΕΙΡΙΣΗΣ ΚΤΙΡΙΩΝ (BUILDING MANAGEMENT SYSTEMS –BMS) ΚΑΙ ΕΝΕΡΓΕΙΑΚΗ ΔΙΑΧΕΙΡΙΣΗ ΣΕ ΜΟΝΑΔΑ ΒΙΟΛΟΓΙΚΟΥ ΚΑΘΑΡΙΣΜΟΥ	78
13.1	Εισαγωγή.....	78
13.2	Ο ρόλος του BMS σε μονάδα βιολογικού καθαρισμού	78
13.3	Ενεργειακή διαχείριση – Η κρισιμότητα του αερισμού.....	79
13.3.1	Έλεγχος Διαλυμένου Οξυγόνου (DO)	79
13.3.2	Feedforward Control	79
13.3.3	Έλεγχος Αντλήσεων	79
13.4	Τεχνικά χαρακτηριστικά σχεδιασμού BMS	80
13.4.1	Αρχιτεκτονική Δικτύου.....	80
13.4.2	Αισθητήρες και Όργανα Πεδίου.....	80
13.4.3	Ενεργειακοί Μετρητές	80
13.5	5. Κυβερνοασφάλεια σε εγκαταστάσεις ΕΕΛ	80
13.6	Δείκτες απόδοσης και εγγυήσεις	81
13.7	Τεχνικές λεπτομέρειες για το σχεδιασμό BMS σε μονάδα βιολογικού καθαρισμού	81
13.7.1	Αρχιτεκτονική Δικτύου και ιεραρχία ελέγχου.....	81

13.7.2	Εξειδικευμένοι αισθητήρες και εξοπλισμός	82
13.7.3	Αισθητήρες Διεργασίας	82
13.7.3.1	VFD (Variable Frequency Drives)	83
13.8	Στρατηγικές ελέγχου για ενεργειακή βελτιστοποίηση	83
13.8.1	Έλεγχος Αερισμού (Cascade Control with Feedforward)	83
13.8.2	Έλεγχος Αντλητικών Σταθμών	84
13.8.3	Έλεγχος Μονάδας Αφυδάτωσης Ιλύος	84
13.9	Συμπεράσματα.....	84
14	ΣΥΜΠΕΡΑΣΜΑΤΑ.....	85
15	ΒΙΒΛΙΟΓΡΑΦΙΑ	88

ΚΕΦΑΛΑΙΟ 1 – ΕΙΣΑΓΩΓΗ

Η σύγχρονη βιομηχανία χαρακτηρίζεται από υψηλό βαθμό πολυπλοκότητας, αυτοματοποίησης και ενεργειακής έντασης. Οι ηλεκτρικές εγκαταστάσεις αποτελούν τον πυρήνα κάθε βιομηχανικής μονάδας, καθώς εξασφαλίζουν την τροφοδοσία, τον έλεγχο και την προστασία του ηλεκτρομηχανολογικού εξοπλισμού που είναι απαραίτητος για την παραγωγική διαδικασία. Ιδιαίτερο ενδιαφέρον παρουσιάζουν οι Εγκαταστάσεις Επεξεργασίας Λυμάτων (ΕΕΛ), γνωστές ως μονάδες βιολογικού καθαρισμού, οι οποίες αποτελούν κρίσιμες υποδομές για την προστασία του περιβάλλοντος και της δημόσιας υγείας. Οι μονάδες αυτές λειτουργούν συνεχώς, 24 ώρες το εικοσιτετράωρο, και εξαρτώνται άμεσα από την αξιοπιστία και την αποδοτικότητα των ηλεκτρικών τους συστημάτων (Metcalf & Eddy, 2014).

Ο σχεδιασμός μιας ηλεκτρικής εγκατάστασης για βιομηχανική χρήση απαιτεί ολιστική προσέγγιση, η οποία λαμβάνει υπόψη τόσο τα συστήματα ισχύος όσο και τα συστήματα ασθενών ρευμάτων, δηλαδή τα συστήματα αυτοματισμού, ελέγχου και επικοινωνιών. Η ενσωμάτωση αυτών των επιμέρους συστημάτων σε ένα ενιαίο λειτουργικό σύνολο είναι απαραίτητη για την επίτευξη των στόχων της ασφάλειας, της αξιοπιστίας, της ενεργειακής αποδοτικότητας και της βιωσιμότητας (Κισσόπουλος & Στράντζαλης, 2013).

Στην Ελλάδα, ο σχεδιασμός και η κατασκευή των ηλεκτρικών εγκαταστάσεων διέπονται από το πρότυπο **ΕΛΟΤ HD 384**, το οποίο αποτελεί την ελληνική προσαρμογή της διεθνούς σειράς προτύπων **IEC 60364** για ηλεκτρικές εγκαταστάσεις χαμηλής τάσης (ΕΛΟΤ, 2004). Το πρότυπο αυτό καθορίζει τις απαιτήσεις για την προστασία από ηλεκτροπληξία, την επιλογή εξοπλισμού, την εγκατάσταση καλωδιώσεων, τη γείωση και τον περιοδικό έλεγχο των εγκαταστάσεων. Παράλληλα, για τα συστήματα μέσης τάσης (π.χ. 20 kV) εφαρμόζονται τα πρότυπα της σειράς **IEC 62271**, καθώς και οι τεχνικές οδηγίες του

Διαχειριστή Ελληνικού Δικτύου Διανομής Ηλεκτρικής Ενέργειας (ΔΕΔΔΗΕ, 2021).

Η επιλογή του κατάλληλου επιπέδου τάσης τροφοδοσίας (χαμηλή ή μέση τάση) εξαρτάται από το μέγεθος της εγκατάστασης και την εγκατεστημένη ηλεκτρική ισχύ. Για μεγάλες μονάδες βιολογικού καθαρισμού, όπου η συνολική ισχύς υπερβαίνει συγκεκριμένα όρια, απαιτείται σύνδεση μέσης τάσης και εγκατάσταση ιδιωτικού υποσταθμού υποβιβασμού τάσης (Metcalf & Eddy, 2014). Ο υποσταθμός περιλαμβάνει πίνακες μέσης τάσης, μετασχηματιστές ισχύος, πίνακες χαμηλής τάσης και συστήματα προστασίας, ενώ η θέση του επιλέγεται κοντά στο κέντρο των ηλεκτρικών φορτίων για τη μείωση των απωλειών και του κόστους καλωδίωσης.

Τα σύγχρονα συστήματα αυτοματισμού, βασισμένα σε **προγραμματιζόμενους λογικούς ελεγκτές (PLC)** και **συστήματα εποπτείας (SCADA)**, αποτελούν τον «νευρικό άξονα» της βιομηχανικής εγκατάστασης. Τα συστήματα αυτά επιτρέπουν τη συλλογή δεδομένων από αισθητήρες (στάθμης, πίεσης, παροχής, ποιότητας νερού), την εκτέλεση προγραμμάτων ελέγχου και την απομακρυσμένη εποπτεία της λειτουργίας (Leitão et al., 2018). Η ενσωμάτωση των συστημάτων αυτοματισμού με τα συστήματα ισχύος επιτυγχάνεται μέσω βιομηχανικών δικτύων επικοινωνίας, όπως Modbus, Profibus και Industrial Ethernet, τα οποία διασφαλίζουν την αξιόπιστη μεταφορά δεδομένων σε πραγματικό χρόνο.

Η ενεργειακή απόδοση αποτελεί κρίσιμο ζήτημα για τις βιομηχανικές εγκαταστάσεις, καθώς το ενεργειακό κόστος επηρεάζει σημαντικά το λειτουργικό κόστος και την ανταγωνιστικότητα της μονάδας. Οι ηλεκτροκινητήρες αποτελούν το μεγαλύτερο ενεργειακό φορτίο σε μια ΕΕΛ, με τους φυσητήρες αερισμού να καταναλώνουν το 50-80% της συνολικής ηλεκτρικής ενέργειας (Metcalf & Eddy, 2014). Η χρήση **μετατροπέων συχνότητας (VFD)** επιτρέπει τη ρύθμιση της ταχύτητας των κινητήρων και τη βελτιστοποίηση της λειτουργίας, οδηγώντας σε εξοικονόμηση ενέργειας που μπορεί να φτάσει έως και 30-50% σε

φυγοκεντρικά φορτία (Chapman, 2012). Παράλληλα, τα **Συστήματα Διαχείρισης Κτιρίων (BMS)** και τα εξειδικευμένα συστήματα ενεργειακής διαχείρισης επιτρέπουν την παρακολούθηση της κατανάλωσης, την ανάλυση δεδομένων και τη λήψη αποφάσεων για τη βελτιστοποίηση της λειτουργίας (Capehart et al., 2020).

Η ασφάλεια της εγκατάστασης και του προσωπικού αποτελεί πρωταρχική προτεραιότητα. Τα συστήματα **γείωσης** και **αντικεραυνικής προστασίας**, σχεδιασμένα σύμφωνα με τα πρότυπα ΕΛΟΤ HD 384 και ΕΛΟΤ EN 62305, εξασφαλίζουν την προστασία από ηλεκτροπληξία και την απαγωγή των κεραυνικών ρευμάτων (ΕΛΟΤ, 2004; ΕΛΟΤ, χ.χ.). Επιπλέον, τα **συστήματα πυρανίχνευσης και πυρόσβεσης**, ενοποιημένα με το BMS, παρέχουν ολοκληρωμένη προστασία έναντι του κινδύνου πυρκαγιάς (NFPA, 2022).

Τέλος, ο βιομηχανικός φωτισμός υπερβαίνει την απλή κάλυψη των αναγκών ορατότητας. Τα πρότυπα **EN 12464-1** και **EN 12464-2** καθορίζουν τα επίπεδα φωτισμού, την ομοιομορφία, τον δείκτη θάμβωσης (UGR) και τον δείκτη χρωματικής απόδοσης (CRI) για εσωτερικούς και εξωτερικούς χώρους εργασίας, συμβάλλοντας στην οπτική άνεση, την παραγωγικότητα και την ασφάλεια του προσωπικού (DIN EN 12464-1, χ.χ.). Η τεχνολογία **LED**, σε συνδυασμό με έξυπνα συστήματα ελέγχου (αισθητήρες κίνησης, φωτοκύτταρα), προσφέρει σημαντική ενεργειακή εξοικονόμηση και μειωμένο κόστος συντήρησης.

Στο πλαίσιο αυτό, η παρούσα πτυχιακή εργασία φιλοδοξεί να προσφέρει μια ολοκληρωμένη και συστηματική παρουσίαση των ηλεκτρικών εγκαταστάσεων σε βιομηχανικές μονάδες, με έμφαση στις Εγκαταστάσεις Επεξεργασίας Λυμάτων. Μέσα από την ανάλυση των επιμέρους υποσυστημάτων, την παρουσίαση των ισχυόντων προτύπων και κανονισμών, και την ανάδειξη των σύγχρονων τεχνολογιών, επιδιώκεται η τεκμηρίωση των βέλτιστων πρακτικών σχεδιασμού και η συμβολή στη βελτίωση της ασφάλειας, της αξιοπιστίας και της ενεργειακής αποδοτικότητας των βιομηχανικών εγκαταστάσεων.

ΚΕΦΑΛΑΙΟ 2 – ΔΟΜΗ ΜΙΑΣ ΕΓΚΑΤΑΣΤΑΣΗΣ ΒΙΟΛΟΓΙΚΟΥ ΚΑΘΑΡΙΣΜΟΥ (ΕΓΚΑΤΑΣΤΑΣΗΣ ΕΠΕΞΕΡΓΑΣΙΑΣ ΛΥΜΑΤΩΝ, ΕΕΛ)

Η δομή μιας εγκατάστασης επεξεργασίας λυμάτων (ΕΕΛ), γνωστής και ως μονάδα βιολογικού καθαρισμού, οργανώνεται σε διακριτά στάδια, τα οποία στοχεύουν στην απομάκρυνση των ρύπων από τα λύματα σταδιακά, ξεκινώντας από τη φάση της προεπεξεργασίας και καταλήγοντας στην τελική διάθεση ή επαναχρησιμοποίηση του καθαρού νερού και στη διαχείριση της παραγόμενης λάσπης (Metcalf & Eddy, 2014· Τσιχριντζής & Μαλαμής, 2021). Το Διάγραμμα 2.1 απεικονίζει τη συνοπτική δομή και τη ροή των διεργασιών σε μια τυπική μονάδα βιολογικού καθαρισμού:

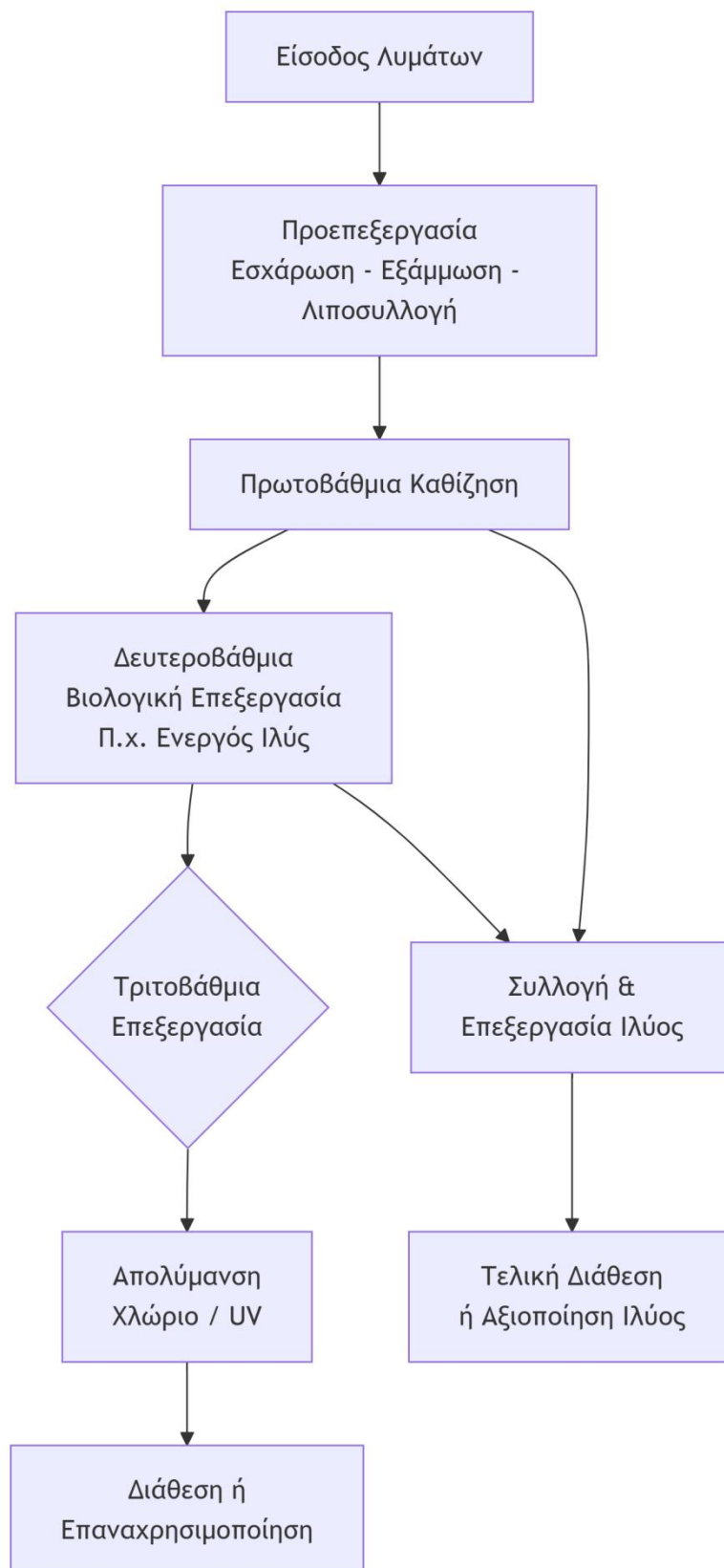
2.1 Στάδια Επεξεργασίας

Ακολουθεί μια αναλυτική περιγραφή των επί μέρους σταδίων και των έργων υποδομής που τα απαρτίζουν.

2.1.1 Προκαταρκτική / Προεπεξεργασία (Preliminary / Primary Treatment)

Σε αυτό το στάδιο αφαιρούνται τα χονδρά υλικά και τα στερεά που μπορεί να προκαλέσουν φθορές ή εμπλοκές στον εξοπλισμό, προστατεύοντας τα επόμενα στάδια της εγκατάστασης (Τσιχριντζής & Μαλαμής, 2021).

- **Εσχάρωση (Screening):** Εγκατάσταση με εσχάρες (συνήθως αυτοκαθαριζόμενες, είτε εντός είτε εκτός κτιρίου) για τη συγκράτηση μεγάλων αντικειμένων. Τα στερεά που συλλέγονται (εσχαρίσματα) απομακρύνονται και διατίθενται ως απορρίμματα (Metcalf & Eddy, 2014).
- **Εξάμμωση - Λιποσυλλογή (Grit & Grease Removal):** Δεξαμενή ή σύστημα όπου μειώνεται η ταχύτητα ροής για να καθιζάνει η άμμος και οι αδρομερείς ανόργανες ύλες, ενώ τα επιπλέοντα λίπη και έλαια συλλέγονται από την επιφάνεια (Metcalf & Eddy, 2014).



Διάγραμμα 2.1

Διάγραμμα Ροής Διεργασιών

2.1.2 Πρωτοβάθμια Καθίζηση (Primary Sedimentation)

Η ροή οδηγείται σε μια μεγάλη δεξαμενή (πρωτοβάθμια δεξαμενή καθίζησης) όπου η ταχύτητα είναι πολύ μικρή. Αυτό επιτρέπει σε ένα σημαντικό ποσοστό των αιωρούμενων στερεών να καθιζάνουν στον πυθμένα, σχηματίζοντας την πρωτοβάθμια λάσπη. Η λάσπη αυτή συλλέγεται και οδηγείται προς περαιτέρω επεξεργασία, ενώ μειώνεται το οργανικό φορτίο που θα εισέλθει στο βιολογικό στάδιο (Metcalf & Eddy, 2014· Τσιχριντζής & Μαλαμής, 2021).

2.1.3 Δευτεροβάθμια Βιολογική Επεξεργασία (Secondary / Biological Treatment)

Αποτελεί την καρδιά της μονάδας, όπου μικροοργανισμοί (βιομάζα) αποδομούν το διαλυμένο οργανικό φορτίο. Υπάρχουν διάφορες τεχνολογίες:

- **Συμβατική Ενεργός Ιλύς:** Ανάμειξη των λυμάτων με βιομάζα (ενεργό ιλύ) σε δεξαμενές αερισμού. Παρέχεται οξυγόνο (μέσω φυσητήρων και διαχυτών αέρα) για την ανάπτυξη των μικροοργανισμών που αποικοδομούν τους ρύπους. Στη συνέχεια, το μείγμα οδηγείται σε δεξαμενή δευτεροβάθμιας καθίζησης για διαχωρισμό του καθαρού νερού από τη βιομάζα, η οποία επιστρέφει εν μέρει στη δεξαμενή αερισμού (Metcalf & Eddy, 2014).
- **Σύστημα MBBR (Moving Bed Biofilm Reactor):** Στον βιολογικό αντιδραστήρα προστίθεται πλαστικό πληρωτικό υλικό (συνήθως μικροί δακτύλιοι). Οι μικροοργανισμοί αναπτύσσονται στην επιφάνεια αυτού του υλικού (βιοφίλμ). Το σύστημα συνδυάζει πλεονεκτήματα της ενεργού ιλύος και των βιολογικών φίλτρων, προσφέροντας εντατική επεξεργασία και μειωμένες απαιτήσεις σε χώρο (Ødegaard, 2006).
- **Σύστημα SBR (Sequencing Batch Reactor):** Πρόκειται για σύστημα ασυνεχούς λειτουργίας. Όλα τα στάδια της βιολογικής επεξεργασίας (πλήρωση, αερισμός, καθίζηση, εκκένωση) συμβαίνουν διαδοχικά στην ίδια δεξαμενή. Είναι ελκυστικό για

μικρές εφαρμογές και για απόβλητα με μεγάλες διακυμάνσεις (Metcalf & Eddy, 2014).

- **Σύστημα MBR (Membrane Bioreactor):** Συνδυάζει τη βιολογική επεξεργασία με μεμβράνες υπερδιήθησης, οι οποίες υποκαθιστούν τη δευτεροβάθμια καθίζηση. Επιτυγχάνει πολύ υψηλή ποιότητα εκροής, κατάλληλη για άρδευση ή βιομηχανική επαναχρησιμοποίηση, και μειωμένη παραγωγή λάσπης (Judd, 2016).

2.1.4 Τριτοβάθμια Επεξεργασία & Απολύμανση (Tertiary Treatment & Disinfection)

Πρόκειται για ένα επιπλέον στάδιο που εφαρμόζεται όταν απαιτείται ιδιαίτερα υψηλή ποιότητα νερού, για παράδειγμα για απόρριψη σε ευαίσθητους αποδέκτες ή για επαναχρησιμοποίηση.

- **Σκοπός:** Απομάκρυνση θρεπτικών (άζωτο, φώσφορος), λεπτών αιωρούμενων στερεών και παθογόνων μικροοργανισμών (Metcalf & Eddy, 2014).
- **Έργα Υποδομής:** Διήθηση (π.χ. φίλτρα άμμου), απολύμανση (με χλώριο ή υπεριώδη ακτινοβολία UV) (Τσιχριντζής & Μαλαμής, 2021).

2.1.5 Γραμμή Ιλύος (Sludge Treatment)

Παράλληλα με την επεξεργασία του νερού, η λάσπη που παράγεται (τόσο πρωτοβάθμια όσο και δευτεροβάθμια) υφίσταται επεξεργασία για να μειωθεί ο όγκος και το οργανικό της φορτίο και να καταστεί κατάλληλη για τελική διάθεση ή αξιοποίηση.

- **Έργα Υποδομής:** Πάχυνση, χώνευση (σταθεροποίηση), αφυδάτωση (με φυγοκέντρηση ή ταινιοφιλτρόπρεσσες) (Metcalf & Eddy, 2014).

2.2 Επιπλέον Χαρακτηριστικά και Σχεδιασμός

- **Συμπαγείς Μονάδες:** Για μικρότερες εφαρμογές (π.χ. μικρός οικισμός, ξενοδοχείο, βιομηχανία), χρησιμοποιούνται συχνά προκατασκευασμένες "compact" μονάδες, όπου τα διάφορα στάδια ενσωματώνονται σε μία ή περισσότερες δεξαμενές από πολυαιθυλένιο ή εντός εμπορευματοκιβωτίου (containerised). Οι μονάδες αυτές προσφέρουν ταχύτερη και ευκολότερη εγκατάσταση (Τσιχριντζής & Μαλαμής, 2021).
- **Αυτοματισμοί (Σύστημα SCADA):** Οι σύγχρονες μονάδες, ιδιαίτερα οι μεγάλες, διαθέτουν κεντρικά συστήματα ελέγχου και τηλεμετρίας (SCADA) για συνεχή παρακολούθηση της λειτουργίας και της ποιότητας της εκροής (Metcalf & Eddy, 2014).
- **Επαναχρησιμοποίηση Νερού:** Ένας ολοένα και σημαντικότερος στόχος είναι η παραγωγή νερού κατάλληλου για άρδευση (π.χ. σε ξενοδοχεία, αγροτικές καλλιέργειες) ή για βιομηχανική χρήση. Αυτό επιβάλλει την ενσωμάτωση προηγμένων σταδίων τριτοβάθμιας επεξεργασίας (Judd, 2016).
- **Δεξαμενές:** Ο σχεδιασμός των δεξαμενών (π.χ. ορθογώνιες παραλληλεπίπεδες ή κυκλικές) και η μεταξύ τους διάταξη επηρεάζει σημαντικά τη λειτουργία, τη δυνατότητα επέκτασης και την ευκολία συντήρησης της μονάδας (Metcalf & Eddy, 2014).

ΚΕΦΑΛΑΙΟ 3 – ΗΛΕΚΤΡΟΛΟΓΙΚΗ ΕΓΚΑΤΑΣΤΑΣΗ ΜΟΝΑΔΑΣ ΒΙΟΛΟΓΙΚΟΥ ΚΑΘΑΡΙΣΜΟΥ

Η ηλεκτρολογική εγκατάσταση μιας μονάδας βιολογικού καθαρισμού (Εγκατάσταση Επεξεργασίας Λυμάτων – ΕΕΛ) αποτελεί κρίσιμο υποσύστημα για την ασφαλή, αξιόπιστη και αποδοτική λειτουργία της εγκατάστασης. Η συνεχής λειτουργία των επιμέρους διεργασιών (άντληση, αερισμός, ανακυκλοφορία ιλύος και απολύμανση) εξαρτάται άμεσα από την αξιοπιστία της ηλεκτρικής τροφοδοσίας και των συστημάτων ελέγχου (Metcalf & Eddy, 2014).

Στην Ελλάδα, ο σχεδιασμός, η κατασκευή και η συντήρηση των ηλεκτρολογικών εγκαταστάσεων διέπονται από το πρότυπο ΕΛΟΤ HD 384 (νυν εναρμονισμένο με τη σειρά προτύπων ΕΛΟΤ 60364), το οποίο αποτελεί προσαρμογή του διεθνούς προτύπου IEC 60364 για ηλεκτρικές εγκαταστάσεις χαμηλής τάσης (ΕΛΟΤ, 2004; Enelec Engineering, 2023). Ο περιοδικός επανέλεγχος είναι υποχρεωτικός για βιομηχανικές εγκαταστάσεις τουλάχιστον ανά πενταετία, σύμφωνα με την ελληνική νομοθεσία και τις απαιτήσεις ασφαλούς λειτουργίας των ηλεκτρικών εγκαταστάσεων (ΕΚΔΔΑ, χ.χ.).

3.1 1. Σύστημα τροφοδοσίας και διανομής ηλεκτρικής ενέργειας

3.1.1 Επίπεδα Τάσης και Παροχή

Η τροφοδοσία μιας μονάδας βιολογικού καθαρισμού εξαρτάται από το μέγεθος της εγκατάστασης και την εγκατεστημένη ηλεκτρική ισχύ. Για μικρές μονάδες (όπως οικισμοί μικρού πληθυσμού ή τουριστικές εγκαταστάσεις), η παροχή γίνεται συνήθως σε Χαμηλή Τάση (400V/230V). Αντίθετα, για μεγαλύτερες εγκαταστάσεις απαιτείται σύνδεση Μέσης Τάσης (π.χ. 20 kV) με ιδιωτικό υποσταθμό υποβιβασμού τάσης (Metcalf & Eddy, 2014).

Η επιλογή του επιπέδου τάσης γίνεται έπειτα από οικονομοτεχνική ανάλυση που λαμβάνει υπόψη την εγκατεστημένη ισχύ, το κόστος εξοπλισμού, τις απώλειες μεταφοράς ενέργειας και την αξιοπιστία του συστήματος τροφοδοσίας.

3.1.2 Κατηγορία και Αξιοπιστία Παροχής

Για κρίσιμο εξοπλισμό, όπως οι αντλίες ανύψωσης λυμάτων και οι αντλίες δοσομέτρησης χημικών, απαιτείται εγκατάσταση εφεδρικών πηγών ενέργειας, ώστε να αποφεύγεται η διακοπή της λειτουργίας της μονάδας. Σε περίπτωση διακοπής της κύριας τροφοδοσίας, η εφεδρική πηγή πρέπει να εξασφαλίζει τη συνεχή λειτουργία του κρίσιμου εξοπλισμού (Metcalf & Eddy, 2014).

3.1.3 Μετασχηματιστές Ισχύος

Για μονάδες που τροφοδοτούνται από Μέση Τάση, εγκαθίστανται μετασχηματιστές υποβιβασμού τάσης, όπως 20 kV / 400 V. Η επιλογή της ισχύος του μετασχηματιστή γίνεται με βάση τη συνολική εγκατεστημένη ισχύ της εγκατάστασης και τον συντελεστή ταυτοχρονισμού των φορτίων (ΕΛΟΤ, 2004).

3.1.4 Θέση Υποσταθμού και Πινάκων

Η θέση του υποσταθμού και των κεντρικών πινάκων χαμηλής τάσης επιλέγεται κοντά στο κέντρο των ηλεκτρικών φορτίων, ώστε να μειωθούν οι αποστάσεις καλωδίωσης και οι απώλειες ισχύος. Η χωροθέτηση πρέπει να λαμβάνει υπόψη τις απαιτήσεις του κανονισμού ΕΛΟΤ HD 384 για προσβασιμότητα, επαρκή αερισμό και προστασία από περιβαλλοντικές επιδράσεις (ΕΛΟΤ, 2004).

3.2 ΔΙΚΤΥΟ ΔΙΑΝΟΜΗΣ ΧΑΜΗΛΗΣ ΤΑΣΗΣ

3.2.1 Γενικοί Πίνακες και Υποπίνακες

Η ηλεκτρική ενέργεια διανέμεται μέσω γενικών πινάκων χαμηλής τάσης (ΓΠΧΤ) και υποπινάκων που τροφοδοτούν επιμέρους διεργασίες της εγκατάστασης. Ο σχεδιασμός των πινάκων πρέπει να συμμορφώνεται με τις απαιτήσεις του προτύπου ΕΛΟΤ HD 384, ώστε να εξασφαλίζεται προστασία από βραχυκυκλώματα, υπερφορτίσεις και θερμικές καταπονήσεις (ΕΛΟΤ, 2004).

Η τεκμηρίωση της εγκατάστασης περιλαμβάνει την κατάρτιση μονογραμμικού διαγράμματος, καθώς και σχεδίων κάτοψης με την ακριβή θέση των πινάκων και των καλωδιώσεων.

3.2.2 Κινητήρες και Κέντρα Ελέγχου Κινητήρων (MCC)

Οι μονάδες βιολογικού καθαρισμού περιλαμβάνουν μεγάλο αριθμό ηλεκτροκινητήρων, όπως:

- αντλίες ανύψωσης λυμάτων
- φυσητήρες αερισμού
- αναδευτήρες δεξαμενών

Ο έλεγχος των κινητήρων πραγματοποιείται μέσω Κέντρων Ελέγχου Κινητήρων (Motor Control Centers – MCC). Οι κινητήρες προστατεύονται από υπερφορτίσεις, βραχυκυκλώματα και απώλεια φάσης με κατάλληλες διατάξεις προστασίας (Chapman, 2012).

3.2.3 Συστήματα Αντιστάθμισης Αέργου Ισχύος

Λόγω της παρουσίας πολλών επαγωγικών φορτίων, όπως κινητήρες και μετασχηματιστές, η εγκατάσταση συστήματος αντιστάθμισης αέργου ισχύος είναι απαραίτητη για τη βελτίωση του συντελεστή ισχύος ($\cos\phi$). Η χρήση συστοιχιών πυκνωτών μειώνει τις απώλειες στο δίκτυο και αποτρέπει την επιβολή χρεώσεων από τον πάροχο ηλεκτρικής ενέργειας (Gonen, 2015).

3.3 Συστήματα ελέγχου και αυτοματισμού

3.3.1 Προγραμματιζόμενοι Λογικοί Ελεγκτές (PLC)

Τα σύγχρονα συστήματα αυτοματισμού βασίζονται σε προγραμματιζόμενους λογικούς ελεγκτές (PLC), οι οποίοι συλλέγουν δεδομένα από αισθητήρες (στάθμης, πίεσης, παροχής και ποιότητας νερού) και εκτελούν προγράμματα ελέγχου για τη λειτουργία των διεργασιών (Leitão, Colombo, & Karnouskos, 2018).

Ο αυτοματισμός είναι ιδιαίτερα σημαντικός στη βιολογική επεξεργασία, όπου απαιτείται συνεχής ρύθμιση των συνθηκών αερισμού και ανάμιξης.

3.3.2 Συστήματα Εποπτείας (SCADA)

Η λειτουργία της μονάδας παρακολουθείται μέσω συστημάτων SCADA (Supervisory Control and Data Acquisition), τα οποία επιτρέπουν την εποπτεία, την καταγραφή δεδομένων και τον απομακρυσμένο έλεγχο της εγκατάστασης σε πραγματικό χρόνο (Leitão et al., 2018).

3.4 Σύστημα γείωσης και αντικεραυνικής προστασίας

Η εγκατάσταση διαθέτει ενιαίο σύστημα γείωσης και συστημα αντικεραυνικής προστασίας (ΣΑΠ) που εξασφαλίζει την προστασία από ηλεκτροπληξία και τη σωστή λειτουργία του ηλεκτρολογικού εξοπλισμού. Ο έλεγχος της αντίστασης γείωσης αποτελεί βασική δοκιμή κατά τον περιοδικό επανέλεγχο (ΕΛΟΤ, 2004).

3.5 Εφεδρικές πηγές ενέργειας

3.5.1 Ηλεκτροπαραγωγή Ζεύγη (H/Z)

Για την εξασφάλιση της συνεχούς λειτουργίας της εγκατάστασης εγκαθίστανται ηλεκτροπαραγωγή ζεύγη, τα οποία τίθενται σε λειτουργία αυτόματα σε περίπτωση διακοπής της τροφοδοσίας (Metcalf & Eddy, 2014).

3.5.2 Συστήματα UPS

Τα συστήματα αδιάλειπτης παροχής ισχύος (UPS) χρησιμοποιούνται για την προστασία ευαίσθητου εξοπλισμού, όπως PLC και συστήματα τηλεμετρίας.

3.6 . Φωτισμός

Ο φωτισμός της εγκατάστασης σχεδιάζεται σύμφωνα με τις απαιτήσεις του κανονισμού ΕΛΟΤ HD 384, εξασφαλίζοντας επαρκή επίπεδα φωτισμού στους χώρους εργασίας και συντήρησης (ΕΛΟΤ, 2004).

3.7 Καλωδιώσεις και οδεύσεις

Για τη μεταφορά ισχύος χρησιμοποιούνται κατάλληλα καλώδια χαμηλής τάσης, ενώ για τα σήματα αυτοματισμού χρησιμοποιούνται θωρακισμένα καλώδια (screened cables) για προστασία από ηλεκτρομαγνητικές παρεμβολές.

3.8 Συστήματα προστασίας

Η εγκατάσταση προστατεύεται με:

- αυτόματους διακόπτες ισχύος
- ασφάλειες
- ρελέ διαρροής ρεύματος (RCD)

οι οποίοι εξασφαλίζουν προστασία από υπερφορτίσεις, βραχυκυκλώματα και ηλεκτροπληξία (ΕΛΟΤ, 2004).

3.9 Συμπεράσματα

Η ηλεκτρολογική εγκατάσταση μιας μονάδας βιολογικού καθαρισμού αποτελεί ένα σύνθετο τεχνικό σύστημα που απαιτεί σωστό σχεδιασμό, συμμόρφωση με τα πρότυπα και εφαρμογή σύγχρονων τεχνολογιών αυτοματισμού. Η αξιοπιστία της τροφοδοσίας, η προστασία του εξοπλισμού και η ενεργειακή αποδοτικότητα αποτελούν βασικούς παράγοντες για την ασφαλή και αποδοτική λειτουργία της εγκατάστασης (Metcalf & Eddy, 2014; ΕΛΟΤ, 2004).

.

ΚΕΦΑΛΑΙΟ 4 –ΥΠΟΣΤΑΘΜΟΣ ΜΕΣΗΣ ΤΑΣΗΣ ΣΕ ΜΟΝΑΔΑ ΒΙΟΛΟΓΙΚΟΥ ΚΑΘΑΡΙΣΜΟΥ

Οι μονάδες βιολογικού καθαρισμού (Εγκαταστάσεις Επεξεργασίας Λυμάτων – ΕΕΛ) αποτελούν ενεργοβόρες βιομηχανικές εγκαταστάσεις, καθώς περιλαμβάνουν μεγάλο αριθμό ηλεκτρομηχανολογικού εξοπλισμού, όπως αντλίες, φυσητήρες, αναδευτήρες και συστήματα αερισμού. Για τον λόγο αυτό, σε εγκαταστάσεις με μεγάλη εγκατεστημένη ισχύ απαιτείται τροφοδότηση μέσω δικτύου μέσης τάσης και η εγκατάσταση ιδιωτικού υποσταθμού μετασχηματισμού (Metcalf & Eddy, 2014).

Ο υποσταθμός μέσης τάσης έχει ως βασικό σκοπό τη μετατροπή της ηλεκτρικής ενέργειας από το επίπεδο μέσης τάσης του δικτύου διανομής σε χαμηλή τάση, κατάλληλη για τη λειτουργία του εξοπλισμού της μονάδας. Στην Ελλάδα, το δίκτυο μέσης τάσης λειτουργεί συνήθως στα 20 kV, ενώ η χαμηλή τάση διανομής είναι 400/230 V (ΕΛΟΤ, 2004).

4.1 Ρόλος και λειτουργία του υποσταθμού

Ο υποσταθμός μέσης τάσης αποτελεί το βασικό σημείο σύνδεσης της εγκατάστασης με το δίκτυο ηλεκτρικής ενέργειας και εξυπηρετεί τις ακόλουθες λειτουργίες:

- παραλαβή ηλεκτρικής ενέργειας από το δίκτυο μέσης τάσης
- μετασχηματισμός της τάσης σε χαμηλή τάση
- προστασία της εγκατάστασης από βραχυκυκλώματα και υπερφορτίσεις
- διανομή ηλεκτρικής ενέργειας στους πίνακες χαμηλής τάσης.

Η ύπαρξη υποσταθμού επιτρέπει την τροφοδοσία μεγάλων φορτίων με μικρότερες απώλειες και χαμηλότερο κόστος μεταφοράς ηλεκτρικής ενέργειας (Metcalf & Eddy, 2014).

4.2 Κύρια μέρη υποσταθμού μέσης τάσης

Ένας τυπικός υποσταθμός μέσης τάσης σε μονάδα βιολογικού καθαρισμού αποτελείται από τα εξής βασικά στοιχεία:

- πίνακα μέσης τάσης
- μετασχηματιστή ισχύος
- πίνακα χαμηλής τάσης
- σύστημα γείωσης
- σύστημα προστασίας και αυτοματισμού.

4.2.1 Πίνακας Μέσης Τάσης

Ο πίνακας μέσης τάσης αποτελεί το πρώτο σημείο εισόδου της ηλεκτρικής ενέργειας στον υποσταθμό.

Περιλαμβάνει:

- αποζεύκτες
- διακόπτες ισχύος
- ασφάλειες
- μετασχηματιστές έντασης και τάσης
- συστήματα προστασίας.

Οι διατάξεις αυτές εξασφαλίζουν την προστασία της εγκατάστασης από σφάλματα όπως:

- βραχυκυκλώματα
- υπερφορτίσεις
- σφάλματα γείωσης

Ο σχεδιασμός του πίνακα πρέπει να συμμορφώνεται με τις απαιτήσεις των διεθνών προτύπων ηλεκτρικών εγκαταστάσεων και των κανονισμών του διαχειριστή δικτύου (ΕΛΟΤ, 2004).

4.2.2 Μετασχηματιστής Ισχύος

Ο μετασχηματιστής ισχύος αποτελεί το βασικό στοιχείο του υποσταθμού, καθώς πραγματοποιεί τον υποβιβασμό της τάσης από το επίπεδο της μέσης τάσης (π.χ. 20 kV) στο επίπεδο της χαμηλής τάσης (400/230 V).

Οι μετασχηματιστές που χρησιμοποιούνται σε μονάδες επεξεργασίας λυμάτων είναι συνήθως ελαιόψυκτοι ή ξηρού τύπου μετασχηματιστές.

Η επιλογή του μετασχηματιστή γίνεται με βάση:

- τη συνολική εγκατεστημένη ισχύ
- τον συντελεστή ταυτοχρονισμού φορτίων
- τις μελλοντικές ανάγκες επέκτασης της εγκατάστασης.

Σε πολλές περιπτώσεις χρησιμοποιούνται περισσότεροι από ένας μετασχηματιστές ώστε να εξασφαλίζεται μεγαλύτερη αξιοπιστία και εφεδρεία τροφοδοσίας.

4.2.3 Πίνακας Χαμηλής Τάσης

Ο πίνακας χαμηλής τάσης αποτελεί το σημείο διανομής της ηλεκτρικής ενέργειας προς τα επιμέρους τμήματα της μονάδας.

Από τον πίνακα αυτό τροφοδοτούνται:

- τα κέντρα ελέγχου κινητήρων (MCC)
- οι πίνακες αυτοματισμού
- τα συστήματα φωτισμού
- οι βοηθητικές εγκαταστάσεις.

Οι πίνακες χαμηλής τάσης περιλαμβάνουν:

- αυτόματους διακόπτες ισχύος
- ρελέ προστασίας
- συστήματα μέτρησης ηλεκτρικών μεγεθών.

4.2.4 Σύστημα προστασίας

Η προστασία του υποσταθμού είναι απαραίτητη για την αποφυγή βλαβών και την ασφαλή λειτουργία της εγκατάστασης.

Τα βασικά συστήματα προστασίας περιλαμβάνουν:

- προστασία υπερρεύματος
- προστασία βραχυκυκλώματος
- προστασία σφάλματος γείωσης
- θερμική προστασία μετασχηματιστή.

Τα συστήματα αυτά ενεργοποιούν τους διακόπτες ισχύος σε περίπτωση σφάλματος ώστε να απομονώνεται το προβληματικό τμήμα της εγκατάστασης.

4.2.5 Σύστημα γείωσης υποσταθμού

Η γείωση αποτελεί κρίσιμο στοιχείο για την ασφαλή λειτουργία του υποσταθμού. Το σύστημα γείωσης εξασφαλίζει:

- την προστασία από ηλεκτροπληξία
- την ασφαλή απαγωγή ρευμάτων σφάλματος
- τη σωστή λειτουργία των συστημάτων προστασίας.

Συνήθως χρησιμοποιείται πλέγμα γείωσης που εγκαθίσταται στο έδαφος γύρω από τον υποσταθμό και συνδέεται με:

- το σύστημα αντικεραυνικής προστασίας
- τη θεμελιακή γείωση των κτιρίων
- τα μεταλλικά μέρη του εξοπλισμού.

Η αντίσταση γείωσης πρέπει να διατηρείται σε χαμηλές τιμές ώστε να εξασφαλίζεται η αποτελεσματική λειτουργία του συστήματος (ΕΛΟΤ, 2004).

4.3 Θέση και διαμόρφωση υποσταθμού

Η θέση εγκατάστασης του υποσταθμού επιλέγεται με βάση:

- την εγγύτητα στα κύρια φορτία
- την εύκολη πρόσβαση για συντήρηση
- την ασφάλεια του προσωπικού.

Στις μονάδες επεξεργασίας λυμάτων ο υποσταθμός τοποθετείται συνήθως:

- σε ανεξάρτητο κτίριο
- σε ειδικά διαμορφωμένο χώρο με επαρκή αερισμό.

Η εγκατάσταση πρέπει να πληροί τις απαιτήσεις για:

- πυροπροστασία
- αερισμό
- προστασία από υγρασία και πλημμύρες.

4.4 Εφεδρική τροφοδοσία

Λόγω της κρίσιμης λειτουργίας των μονάδων βιολογικού καθαρισμού, απαιτείται εφεδρική τροφοδοσία σε περίπτωση διακοπής του δικτύου.

Η εφεδρική τροφοδοσία επιτυγχάνεται μέσω:

- ηλεκτροπαραγωγών ζευγών (H/Z)
- συστημάτων αδιάλειπτης παροχής ισχύος (UPS).

Το σύστημα αυτό εξασφαλίζει τη συνεχή λειτουργία κρίσιμου εξοπλισμού όπως αντλίες ανύψωσης λυμάτων και συστήματα αυτοματισμού.

4.5 Συντήρηση και έλεγχος

Η σωστή λειτουργία του υποσταθμού απαιτεί τακτική συντήρηση και επιθεώρηση.

Οι βασικές εργασίες συντήρησης περιλαμβάνουν:

- έλεγχο μονώσεων μετασχηματιστή
- θερμογραφικό έλεγχο ηλεκτρικών συνδέσεων
- έλεγχο συστημάτων προστασίας
- μέτρηση αντίστασης γείωσης.

Σύμφωνα με την ισχύουσα νομοθεσία, οι ηλεκτρικές εγκαταστάσεις πρέπει να υποβάλλονται σε περιοδικούς ελέγχους ώστε να διασφαλίζεται η ασφαλής λειτουργία τους (ΕΛΟΤ, 2004).

4.6 Συμπεράσματα

Ο υποσταθμός μέσης τάσης αποτελεί βασικό στοιχείο της ηλεκτρολογικής υποδομής μιας μονάδας βιολογικού καθαρισμού. Μέσω του μετασχηματισμού της τάσης και της διανομής της ηλεκτρικής ενέργειας εξασφαλίζεται η αξιόπιστη λειτουργία του ηλεκτρομηχανολογικού εξοπλισμού της εγκατάστασης.

Ο σωστός σχεδιασμός του υποσταθμού, η εφαρμογή κατάλληλων συστημάτων προστασίας και η τακτική συντήρηση συμβάλλουν στην ασφαλή και αποδοτική λειτουργία της μονάδας επεξεργασίας λυμάτων.

ΚΕΦΑΛΑΙΟ 5 – ΗΛΕΚΤΡΙΚΟΙ ΠΙΝΑΚΕΣ ΚΑΙ ΔΙΑΝΟΜΗ ΧΑΜΗΛΗΣ ΤΑΣΗΣ ΣΕ ΕΕΛ

Οι ηλεκτρικοί πίνακες αποτελούν βασικό στοιχείο της ηλεκτρολογικής εγκατάστασης σε μια Εγκατάσταση Επεξεργασίας Λυμάτων (ΕΕΛ), καθώς μέσω αυτών πραγματοποιείται η διανομή της ηλεκτρικής ενέργειας στους επιμέρους καταναλωτές της μονάδας. Η ηλεκτρική ενέργεια που παράγεται ή μετασχηματίζεται στον υποσταθμό μέσης τάσης διανέμεται στη συνέχεια μέσω του δικτύου χαμηλής τάσης προς τον ηλεκτρομηχανολογικό εξοπλισμό της εγκατάστασης, όπως αντλίες, φυσητήρες, αναδευτήρες και συστήματα αυτοματισμού (Metcalf & Eddy, 2014).

Η σωστή σχεδίαση των ηλεκτρικών πινάκων και του συστήματος διανομής χαμηλής τάσης είναι απαραίτητη για την ασφαλή, αξιόπιστη και αποδοτική λειτουργία της μονάδας. Οι εγκαταστάσεις αυτές πρέπει να συμμορφώνονται με τα πρότυπα ηλεκτρικών εγκαταστάσεων, όπως το ΕΛΟΤ HD 384, καθώς και με τα διεθνή πρότυπα για ηλεκτρικούς πίνακες και συστήματα προστασίας (ΕΛΟΤ, 2004).

5.1 Ρόλος των ηλεκτρικών πινάκων

Οι ηλεκτρικοί πίνακες αποτελούν το κέντρο ελέγχου και διανομής της ηλεκτρικής ενέργειας σε μια βιομηχανική εγκατάσταση.

Οι βασικές λειτουργίες τους είναι:

- διανομή ηλεκτρικής ενέργειας προς τα επιμέρους φορτία
- προστασία των ηλεκτρικών κυκλωμάτων
- έλεγχος και χειρισμός του ηλεκτρομηχανολογικού εξοπλισμού
- παρακολούθηση ηλεκτρικών μεγεθών.

Στις μονάδες βιολογικού καθαρισμού οι ηλεκτρικοί πίνακες χρησιμοποιούνται για την τροφοδοσία και τον έλεγχο μεγάλου αριθμού ηλεκτροκινητήρων και άλλων ηλεκτρικών καταναλωτών.

5.2 Τύποι ηλεκτρικών πινάκων

Σε μια ΕΕΛ χρησιμοποιούνται διάφοροι τύποι ηλεκτρικών πινάκων, ανάλογα με τη λειτουργία τους.

Οι βασικές κατηγορίες είναι:

- γενικός πίνακας χαμηλής τάσης
- πίνακες διανομής
- πίνακες ελέγχου κινητήρων
- πίνακες αυτοματισμού.

5.2.1 Γενικός Πίνακας Χαμηλής Τάσης

Ο γενικός πίνακας χαμηλής τάσης (Main Low Voltage Switchboard) αποτελεί το βασικό σημείο διανομής της ηλεκτρικής ενέργειας στην εγκατάσταση.

Από τον πίνακα αυτό τροφοδοτούνται:

- οι επιμέρους πίνακες διανομής
- τα κέντρα ελέγχου κινητήρων
- τα συστήματα φωτισμού
- οι βοηθητικές εγκαταστάσεις.

Ο γενικός πίνακας περιλαμβάνει:

- διακόπτες ισχύος
- ζυγούς διανομής
- συστήματα μέτρησης ηλεκτρικών μεγεθών
- διατάξεις προστασίας.

5.2.2 Πίνακες Διανομής

Οι πίνακες διανομής χρησιμοποιούνται για την τροφοδοσία συγκεκριμένων τμημάτων της εγκατάστασης.

Για παράδειγμα, μπορεί να υπάρχουν ξεχωριστοί πίνακες για:

- αντλιοστάσια
- δεξαμενές επεξεργασίας
- κτίρια διοίκησης
- εργαστηριακούς χώρους.

Οι πίνακες αυτοί τροφοδοτούνται από τον γενικό πίνακα χαμηλής τάσης και διανέμουν την ηλεκτρική ενέργεια στα επιμέρους φορτία της περιοχής τους.

5.2.3 Κέντρα Ελέγχου Κινητήρων (Motor Control Centers – MCC)

Τα κέντρα ελέγχου κινητήρων αποτελούν ειδικούς πίνακες που χρησιμοποιούνται για τον έλεγχο και την προστασία των ηλεκτροκινητήρων της εγκατάστασης.

Περιλαμβάνουν:

- διακόπτες ισχύος
- θερμικά ρελέ προστασίας
- επαφείς (contactors)
- συστήματα εκκίνησης κινητήρων
- μετατροπείς συχνότητας.

Τα MCC επιτρέπουν την ασφαλή λειτουργία και τον αποτελεσματικό έλεγχο μεγάλου αριθμού κινητήρων που χρησιμοποιούνται στις μονάδες επεξεργασίας λυμάτων.

5.2.4 Πίνακες Αυτοματισμού

Οι πίνακες αυτοματισμού φιλοξενούν τον εξοπλισμό ελέγχου της εγκατάστασης, όπως:

- PLC
- συστήματα SCADA
- μονάδες επικοινωνίας
- συστήματα ελέγχου διεργασιών.

Οι πίνακες αυτοματισμού επιτρέπουν την παρακολούθηση και τον έλεγχο της λειτουργίας της μονάδας σε πραγματικό χρόνο.

5.3 Σύστημα διανομής χαμηλής τάσης

Το σύστημα διανομής χαμηλής τάσης μεταφέρει την ηλεκτρική ενέργεια από τον γενικό πίνακα χαμηλής τάσης προς τους επιμέρους καταναλωτές της εγκατάστασης.

Η διανομή πραγματοποιείται μέσω:

- καλωδίων ισχύος
- καλωδιωμένων καναλιών
- καλωδιοδρόμων
- υπόγειων οδεύσεων.

Η επιλογή του τρόπου εγκατάστασης εξαρτάται από:

- τις αποστάσεις μεταξύ των εγκαταστάσεων
- τις περιβαλλοντικές συνθήκες
- τις απαιτήσεις συντήρησης.

5.4 Σύστημα προστασίας

Οι ηλεκτρικοί πίνακες πρέπει να διαθέτουν κατάλληλα συστήματα προστασίας ώστε να αποτρέπονται βλάβες στον εξοπλισμό και να διασφαλίζεται η ασφάλεια του προσωπικού.

Τα βασικά συστήματα προστασίας περιλαμβάνουν:

- προστασία από βραχυκύκλωμα
- προστασία από υπερφόρτιση
- προστασία από σφάλμα γείωσης
- προστασία από υπερτάσεις.

Οι προστασίες αυτές ενεργοποιούνται μέσω αυτόματων διακοπών και ρελέ προστασίας που είναι εγκατεστημένα στους ηλεκτρικούς πίνακες.

5.5 Περιβαλλοντικές απαιτήσεις

Οι μονάδες βιολογικού καθαρισμού χαρακτηρίζονται από ιδιαίτερες περιβαλλοντικές συνθήκες, όπως:

- υψηλή υγρασία
- παρουσία διαβρωτικών αερίων
- πιθανότητα πλημμύρας.

Για τον λόγο αυτό οι ηλεκτρικοί πίνακες πρέπει να διαθέτουν κατάλληλο βαθμό προστασίας, συνήθως **IP54 ή υψηλότερο**, καθώς και ανθεκτικά υλικά κατασκευής.

Σε περιοχές όπου υπάρχει πιθανότητα παρουσίας εκρηκτικών αερίων απαιτείται η χρήση εξοπλισμού **αντιεκρηκτικού τύπου (ATEX)**.

5.6 Συντήρηση και επιθεώρηση

Η σωστή λειτουργία των ηλεκτρικών πινάκων απαιτεί τακτική συντήρηση και επιθεώρηση.

Οι βασικές εργασίες συντήρησης περιλαμβάνουν:

- έλεγχο των ηλεκτρικών συνδέσεων
- θερμογραφικό έλεγχο
- καθαρισμό των πινάκων
- έλεγχο των συστημάτων προστασίας.

Η τακτική συντήρηση συμβάλλει στη διατήρηση της αξιοπιστίας της ηλεκτρικής εγκατάστασης και στη μείωση του κινδύνου βλαβών.

5.7 Συμπεράσματα

Οι ηλεκτρικοί πίνακες και το σύστημα διανομής χαμηλής τάσης αποτελούν κρίσιμα στοιχεία της ηλεκτρολογικής υποδομής μιας μονάδας βιολογικού καθαρισμού. Μέσω των πινάκων πραγματοποιείται η διανομή, η προστασία και ο έλεγχος της ηλεκτρικής ενέργειας προς τον ηλεκτρομηχανολογικό εξοπλισμό της εγκατάστασης.

Ο σωστός σχεδιασμός, η επιλογή κατάλληλου εξοπλισμού και η τακτική συντήρηση των ηλεκτρικών πινάκων εξασφαλίζουν την ασφαλή και αξιόπιστη λειτουργία της μονάδας επεξεργασίας λυμάτων

ΚΕΦΑΛΑΙΟ 6 - ΚΑΛΩΔΙΩΣΕΙΣ ΚΑΙ ΟΔΕΥΣΕΙΣ ΣΕ ΜΟΝΑΔΑ ΒΙΟΛΟΓΙΚΟΥ ΚΑΘΑΡΙΣΜΟΥ

Οι καλωδιώσεις και οι οδεύσεις καλωδίων αποτελούν βασικό τμήμα της ηλεκτρολογικής εγκατάστασης μιας μονάδας βιολογικού καθαρισμού (Εγκατάσταση Επεξεργασίας Λυμάτων – ΕΕΛ). Η σωστή επιλογή τύπων καλωδίων, η κατάλληλη όδευση και η προστασία από περιβαλλοντικές επιδράσεις είναι κρίσιμης σημασίας για την ασφαλή, αξιόπιστη και μακροχρόνια λειτουργία της εγκατάστασης (ΕΛΟΤ, 2004).

Οι εγκαταστάσεις επεξεργασίας λυμάτων χαρακτηρίζονται από αυξημένη υγρασία, παρουσία διαβρωτικών αερίων και εκτεταμένες υπαίθριες κατασκευές, γεγονός που επιβάλλει ιδιαίτερες προδιαγραφές για την επιλογή και εγκατάσταση των καλωδίων (Metcalf & Eddy, 2014).

6.1 Τύποι καλωδίων

Η επιλογή των καλωδίων σε μια μονάδα βιολογικού καθαρισμού γίνεται με βάση:

- την ονομαστική τάση λειτουργίας
- το ρεύμα φόρτισης
- τις συνθήκες περιβάλλοντος
- την πιθανότητα μηχανικών καταπονήσεων
- την αντοχή σε υγρασία και χημικές ουσίες

Σύμφωνα με το πρότυπο ΕΛΟΤ HD 384, τα καλώδια πρέπει να επιλέγονται λαμβάνοντας υπόψη τις εξωτερικές επιδράσεις, όπως υγρασία, θερμοκρασία και μηχανικές καταπονήσεις (ΕΛΟΤ, 2004).

6.1.1 Καλώδια Ισχύος

Τα καλώδια ισχύος χρησιμοποιούνται για την τροφοδοσία ηλεκτρικών φορτίων όπως:

- αντλίες λυμάτων
- φυσητήρες αερισμού
- αναδευτήρες δεξαμενών
- κινητήρες μεταφοράς ιλύος

Στις περισσότερες εγκαταστάσεις χρησιμοποιούνται καλώδια χαμηλής τάσης τύπου:

- **NYF ή NYF-J** για υπόγεια εγκατάσταση
- **N2XF** για εγκαταστάσεις με αυξημένες απαιτήσεις θερμικής αντοχής
- **H07RN-F** για ευέλικτες συνδέσεις εξοπλισμού.

Τα καλώδια αυτά διαθέτουν μόνωση από PVC ή XLPE και κατάλληλο εξωτερικό μανδύα για προστασία από υγρασία και μηχανικές καταπονήσεις.

6.1.2 Καλώδια Οργάνων και Αυτοματισμού

Οι μονάδες βιολογικού καθαρισμού περιλαμβάνουν μεγάλο αριθμό αισθητήρων και συστημάτων αυτοματισμού. Για τη μεταφορά σημάτων χρησιμοποιούνται:

- καλώδια οργάνων (instrumentation cables)
- καλώδια επικοινωνίας
- καλώδια δεδομένων.

Τα καλώδια αυτά είναι συνήθως θωρακισμένα, ώστε να προστατεύονται από ηλεκτρομαγνητικές παρεμβολές που προκαλούνται από κινητήρες ή μετατροπείς συχνότητας (VFD) (Metcalf & Eddy, 2014).

Η χρήση θωρακισμένων καλωδίων είναι ιδιαίτερα σημαντική για:

- αισθητήρες στάθμης
- αισθητήρες παροχής
- αισθητήρες διαλυμένου οξυγόνου
- συστήματα PLC και SCADA.

6.1.3 Καλώδια Επικοινωνίας

Τα σύγχρονα συστήματα αυτοματισμού χρησιμοποιούν βιομηχανικά δίκτυα επικοινωνίας όπως:

- Ethernet
- Modbus
- Profibus
- Profinet.

Για τα δίκτυα αυτά χρησιμοποιούνται ειδικά καλώδια επικοινωνίας με προστασία από ηλεκτρομαγνητικές παρεμβολές και κατάλληλη θωράκιση.

6.2 Οδεύσεις καλωδίων

Η όδευση των καλωδίων πρέπει να σχεδιάζεται έτσι ώστε να εξασφαλίζεται:

- η μηχανική προστασία των καλωδίων
- η εύκολη πρόσβαση για συντήρηση
- η αποφυγή ηλεκτρομαγνητικών παρεμβολών
- η ασφαλής λειτουργία της εγκατάστασης.

Σύμφωνα με το πρότυπο **ΕΛΟΤ HD 384**, οι οδεύσεις πρέπει να επιτρέπουν τον επαρκή αερισμό των καλωδίων και να αποφεύγουν τη θερμική υπερφόρτιση (ΕΛΟΤ, 2004).

6.2.1 Καλωδιογέφυρες (Cable Trays)

Οι καλωδιογέφυρες αποτελούν τον συνηθέστερο τρόπο όδευσης καλωδίων σε μονάδες βιολογικού καθαρισμού.

Κατασκευάζονται συνήθως από:

- γαλβανισμένο χάλυβα
- ανοξείδωτο χάλυβα
- αλουμίνιο.

Οι σχάρες καλωδίων επιτρέπουν:

- επαρκή αερισμό των καλωδίων
- εύκολη προσθήκη νέων γραμμών
- απλή επιθεώρηση και συντήρηση.

Σε διαβρωτικά περιβάλλοντα χρησιμοποιούνται **ανοξείδωτες σχάρες** ή σχάρες με ειδική αντιδιαβρωτική προστασία.

6.2.2 Σωληνώσεις Καλωδίων

Σε ορισμένες περιπτώσεις τα καλώδια τοποθετούνται μέσα σε σωληνώσεις για επιπλέον προστασία.

Οι σωληνώσεις μπορεί να είναι:

- πλαστικές (PVC ή HDPE)
- μεταλλικές γαλβανισμένες
- ανοξείδωτες.

Οι σωληνώσεις χρησιμοποιούνται κυρίως σε:

- υπόγειες διαδρομές
- διελεύσεις από κτίρια
- περιοχές με αυξημένο κίνδυνο μηχανικής καταπόνησης.

6.2.3 Υπόγειες Οδεύσεις

Σε μεγάλες μονάδες επεξεργασίας λυμάτων, τα καλώδια ισχύος συχνά τοποθετούνται υπόγεια σε:

- τάφρους καλωδίων
- σωληνώσεις
- καλωδιοκανάλια.

Τα καλώδια προστατεύονται με άμμο ή ειδικές πλάκες προστασίας ώστε να αποφεύγονται μηχανικές βλάβες.

6.3 Διαχωρισμός καλωδίων

Για την αποφυγή ηλεκτρομαγνητικών παρεμβολών απαιτείται ο διαχωρισμός των καλωδίων σε διαφορετικές κατηγορίες:

- καλώδια ισχύος
- καλώδια ελέγχου
- καλώδια οργάνων
- καλώδια επικοινωνίας.

Η τοποθέτηση αυτών των καλωδίων σε ξεχωριστές καλωδιογέφυρες ή σε διαφορετικά διαμερίσματα της ίδιας σχάρας μειώνει σημαντικά τον κίνδυνο παρεμβολών.

6.4 Προστασία από περιβαλλοντικές επιδράσεις

Οι μονάδες βιολογικού καθαρισμού χαρακτηρίζονται από δύσκολες περιβαλλοντικές συνθήκες.

Οι βασικοί παράγοντες που επηρεάζουν τις καλωδιώσεις είναι:

- υψηλή υγρασία
- παρουσία υδρόθειου και άλλων διαβρωτικών αερίων
- υπερϊώδης ακτινοβολία
- πιθανότητα πλημμύρας.

Για τον λόγο αυτό χρησιμοποιούνται:

- καλώδια με ανθεκτικό μανδύα
- υλικά ανθεκτικά στη διάβρωση
- εξοπλισμός με κατάλληλο βαθμό προστασίας **IP** (π.χ. IP55, IP65).

6.5 Έλεγχος και συντήρηση καλωδιώσεων

Η σωστή λειτουργία των καλωδιώσεων πρέπει να ελέγχεται περιοδικά.

Οι βασικοί έλεγχοι περιλαμβάνουν:

- μέτρηση αντίστασης μόνωσης καλωδίων
- έλεγχος συνέχειας αγωγών
- επιθεώρηση μηχανικών φθορών
- έλεγχος γειώσεων.

Σύμφωνα με το πρότυπο **ΕΛΟΤ HD 384**, οι δοκιμές αυτές αποτελούν μέρος του αρχικού ελέγχου και των περιοδικών επανελέγχων των ηλεκτρικών εγκαταστάσεων (ΕΛΟΤ, 2004).

6.6 Συμπεράσματα

Οι καλωδιώσεις και οι οδεύσεις καλωδίων αποτελούν βασικό στοιχείο της ηλεκτρολογικής εγκατάστασης μιας μονάδας βιολογικού καθαρισμού. Η σωστή επιλογή τύπων καλωδίων, η κατάλληλη όδευση και η προστασία από περιβαλλοντικές επιδράσεις εξασφαλίζουν την αξιόπιστη λειτουργία του εξοπλισμού και την ασφάλεια της εγκατάστασης.

Η συμμόρφωση με τα πρότυπα **ΕΛΟΤ HD 384** και τις διεθνείς τεχνικές προδιαγραφές είναι απαραίτητη για την ορθή λειτουργία και τη μακροχρόνια αξιοπιστία των συστημάτων καλωδίωσης (ΕΛΟΤ, 2004; Metcalf & Eddy, 2014).

ΚΕΦΑΛΑΙΟ 7 - ΑΝΤΙΚΕΡΑΥΝΙΚΗ ΠΡΟΣΤΑΣΙΑ ΣΕ ΜΟΝΑΔΑ ΒΙΟΛΟΓΙΚΟΥ ΚΑΘΑΡΙΣΜΟΥ

Η αντικεραυνική προστασία αποτελεί κρίσιμο στοιχείο για την ασφαλή λειτουργία μιας μονάδας βιολογικού καθαρισμού (Εγκατάσταση Επεξεργασίας Λυμάτων – ΕΕΛ), καθώς προστατεύει τόσο τον ηλεκτρομηχανολογικό εξοπλισμό όσο και το ανθρώπινο δυναμικό από τις επιπτώσεις κεραυνικών εκκενώσεων και των επαγόμενων υπερτάσεων (ΕΛΟΤ, χ.χ.). Οι εγκαταστάσεις επεξεργασίας λυμάτων περιλαμβάνουν μεγάλο αριθμό ηλεκτροκινητήρων, συστημάτων αυτοματισμού και ηλεκτρονικού εξοπλισμού, τα οποία είναι ιδιαίτερα ευαίσθητα σε μεταβατικές υπερτάσεις που προκαλούνται από κεραυνικά φαινόμενα.

Στην Ελλάδα, ο σχεδιασμός και η εγκατάσταση συστημάτων αντικεραυνικής προστασίας διέπονται από τα πρότυπα ΕΛΟΤ EN 62305, που αφορούν την προστασία από κεραυνούς, καθώς και από το ΕΛΟΤ HD 384 / ΕΛΟΤ 60364, τα οποία καθορίζουν τις απαιτήσεις για ηλεκτρικές εγκαταστάσεις χαμηλής τάσης και τα μέτρα προστασίας από ηλεκτροπληξία και υπερτάσεις (ΕΛΟΤ, 2004).

7.1 Θεσμικό πλαίσιο και πρότυπα

Η αντικεραυνική προστασία σε μονάδες βιολογικού καθαρισμού εντάσσεται στο ευρύτερο πλαίσιο των απαιτήσεων για ασφαλείς ηλεκτρικές εγκαταστάσεις. Σύμφωνα με το πρότυπο ΕΛΟΤ HD 384, οι εγκαταστάσεις πρέπει να διαθέτουν κατάλληλη προστασία από υπερτάσεις, αποτελεσματικό σύστημα γείωσης και ισοδυναμικές συνδέσεις ώστε να περιορίζονται τα επικίνδυνα δυναμικά που δημιουργούνται κατά τη διάρκεια κεραυνικών εκκενώσεων (ΕΛΟΤ, 2004).

Το βασικό πρότυπο για τον σχεδιασμό συστημάτων αντικεραυνικής προστασίας είναι το ΕΛΟΤ EN 62305, το οποίο καθορίζει τις τεχνικές απαιτήσεις για:

- την εκτίμηση του κινδύνου κεραυνικής προσβολής,
- την επιλογή του επιπέδου προστασίας (Lightning Protection Level – LPL),
- τον σχεδιασμό εξωτερικής αντικεραυνικής προστασίας,
- τον σχεδιασμό εσωτερικής προστασίας από υπερτάσεις,
- την επιθεώρηση και συντήρηση των εγκαταστάσεων (ΕΛΟΤ, χ.χ.).

Σε τεχνικές περιγραφές έργων εγκαταστάσεων επεξεργασίας λυμάτων αναφέρεται ρητά ότι η αντικεραυνική προστασία και η θεμελιακή γείωση αποτελούν βασικά έργα υποδομής που πρέπει να υλοποιούνται κατά τη φάση κατασκευής της εγκατάστασης (THALIS E.S., 2022).

7.2 Σύστημα εξωτερικής αντικεραυνικής προστασίας

Το σύστημα εξωτερικής αντικεραυνικής προστασίας έχει ως σκοπό τη σύλληψη της κεραυνικής εκκένωσης και την ασφαλή διοχέτευση του κεραυνικού ρεύματος προς το έδαφος χωρίς να προκληθούν βλάβες στην εγκατάσταση (ΕΛΟΤ, χ.χ.).

7.2.1 Συλλεκτήριο Σύστημα (Αλεξικέραυνο)

Το συλληπτήριο σύστημα εγκαθίσταται στα υψηλότερα σημεία της μονάδας, όπως:

- κτίρια διοίκησης και χειρισμού
- στέγαστρα αντλιοστασίων
- υψηλές κατασκευές δεξαμενών
- ιστοί φωτισμού

Σύμφωνα με το πρότυπο ΕΛΟΤ EN 62305-3, το σύστημα μπορεί να είναι:

- μη απομονωμένο, όταν βρίσκεται σε άμεση επαφή με το κτίριο
- απομονωμένο, όταν διατηρείται απόσταση ασφαλείας από την κατασκευή ώστε να αποφεύγεται η διέλευση κεραυνικού ρεύματος μέσα από αυτή (ΕΛΟΤ, χ.χ.).

Οι ακίδες και οι ιστοί του συστήματος κατασκευάζονται από υλικά υψηλής αντοχής και πρέπει να συμμορφώνονται με το πρότυπο ΕΛΟΤ EN 62561-2, το οποίο αφορά τα εξαρτήματα συστημάτων αντικεραυνικής προστασίας (Elemko, χ.χ.).

7.2.2 Αγωγοί Καθόδου

Οι αγωγοί καθόδου μεταφέρουν το κεραυνικό ρεύμα από το συλλεπτήριο σύστημα προς το σύστημα γείωσης. Κατασκευάζονται συνήθως από:

- χαλύβδινους επιψευδαργυρωμένους αγωγούς κυκλικής διατομής
- ταινίες γαλβανισμένου χάλυβα

Τα υλικά αυτά είναι πιστοποιημένα σύμφωνα με το ΕΛΟΤ EN 62561-2 και διαθέτουν πάχος επιψευδαργύρωσης τουλάχιστον 350 gr/m², ώστε να εξασφαλίζεται αντοχή στη διάβρωση (Elemko, χ.χ.).

Οι αγωγοί καθόδου τοποθετούνται σε κατάλληλες αποστάσεις γύρω από το κτίριο, ώστε να διασφαλίζεται η ομοιόμορφη κατανομή του κεραυνικού ρεύματος.

7.3 Σύστημα εσωτερικής αντικεραυνικής προστασίας

7.3.1 Ισοδυναμικές Συνδέσεις

Οι ισοδυναμικές συνδέσεις αποτελούν βασικό στοιχείο της εσωτερικής προστασίας, καθώς εξισώνουν τα δυναμικά μεταξύ μεταλλικών στοιχείων της εγκατάστασης και αποτρέπουν την εμφάνιση επικίνδυνων τάσεων επαφής (ΕΛΟΤ, 2004).

Όλα τα μεταλλικά στοιχεία, όπως:

- σωληνώσεις
- μεταλλικά πλαίσια
- μεταλλικές δεξαμενές
- καλωδιογέφυρες

συνδέονται με το σύστημα γείωσης μέσω αγωγών ισοδυναμικής σύνδεσης.

Για τη σύνδεση μεταλλικών σωληνώσεων χρησιμοποιούνται ειδικά περιλαίμια και ακροδέκτες που συμμορφώνονται με το πρότυπο ΕΛΟΤ EN 62561-1 (Elemko, χ.χ.).

7.3.2 Απαγωγοί Υπερτάσεων (SPD)

Οι απαγωγοί υπερτάσεων (Surge Protective Devices – SPD) προστατεύουν τον ηλεκτρονικό εξοπλισμό από παροδικές υπερτάσεις που προκαλούνται από κεραυνικά φαινόμενα ή από μεταγωγές στο ηλεκτρικό δίκτυο.

Η εγκατάσταση SPD είναι ιδιαίτερα σημαντική για εξοπλισμό όπως:

- προγραμματιζόμενοι λογικοί ελεγκτές (PLC)
- συστήματα SCADA
- αισθητήρες και όργανα μέτρησης

Σύμφωνα με το πρότυπο ΕΛΟΤ HD 384, η προστασία από υπερτάσεις είναι απαραίτητη σε εγκαταστάσεις με ευαίσθητο ηλεκτρονικό εξοπλισμό (ΕΛΟΤ, 2004).

7.4 Σύστημα γείωσης

7.4.1 Θεμελιακή Γείωση

Η θεμελιακή γείωση αποτελεί τη βάση του συστήματος γείωσης και είναι υποχρεωτική για κάθε νέα οικοδομή στην Ελλάδα (ΕΛΟΤ, 2004). Τοποθετείται στα θεμέλια του κτιρίου πριν από τη σκυροδέτηση και αποτελείται από γυμνό αγωγό ή ταινία που σχηματίζει κλειστό περιμετρικό βρόχο.

Από τον βρόχο αυτό δημιουργούνται αναμονές για:

- τον γενικό πίνακα χαμηλής τάσης
- τον χώρο μετρητών ηλεκτρικής ενέργειας
- τον χώρο του ηλεκτροπαραγωγού ζεύγους

- τη σύνδεση των αγωγών καθόδου

(Elemko, χ.χ.).

7.4.2 Υλικά Γείωσης

Τα υλικά που χρησιμοποιούνται για τη θεμελιακή γείωση είναι συνήθως:

- χαλύβδινη επιψευδαργυρωμένη ταινία
- χαλύβδινος κυκλικός αγωγός Ø10 mm
- αγωγοί με πάχος επιψευδαργύρωσης $\geq 350 \text{ gr/m}^2$

Τα υλικά αυτά παρουσιάζουν υψηλή αντοχή στη διάβρωση και κατάλληλη ηλεκτρική αγωγιμότητα (Elemko, χ.χ.).

7.4.3 Σύνδεση Συστήματος Αντικεραυνικής Προστασίας με Γείωση

Το σύστημα αντικεραυνικής προστασίας συνδέεται υποχρεωτικά με το σύστημα γείωσης ώστε το κεραυνικό ρεύμα να διοχετεύεται με ασφάλεια στο έδαφος (ΕΛΟΤ, χ.χ.). Η σύνδεση πραγματοποιείται μέσω των αγωγών καθόδου που καταλήγουν στον περιμετρικό βρόχο της θεμελιακής γείωσης.

7.5 Ειδικές απαιτήσεις για μονάδες βιολογικού καθαρισμού

Οι εγκαταστάσεις επεξεργασίας λυμάτων παρουσιάζουν ιδιαίτερες συνθήκες λειτουργίας που επηρεάζουν τον σχεδιασμό της αντικεραυνικής προστασίας.

7.5.1 Ιδιαιτερότητες Εγκατάστασης

Οι κυριότερες ιδιαιτερότητες είναι:

- εκτεταμένες υπαίθριες εγκαταστάσεις και ανοικτές δεξαμενές
- μεγάλος αριθμός μεταλλικών κατασκευών
- υγρό και διαβρωτικό περιβάλλον
- παρουσία εύφλεκτων αερίων (μεθάνιο, βιοαέριο)

Σε χώρους παραγωγής βιοαερίου απαιτείται εξοπλισμός αντιακρηκτικού τύπου (ATEX) για την αποφυγή κινδύνων ανάφλεξης (ΔΕΥΑ Ορεστιάδας, χ.χ.).

7.5.2 Προστασία Δικτύων Οργάνων και Αυτοματισμού

Τα συστήματα αυτοματισμού PLC/SCADA είναι ιδιαίτερα ευαίσθητα σε υπερτάσεις. Για τον λόγο αυτό απαιτείται:

- εγκατάσταση SPD σε γραμμές σήματος
- χρήση θωρακισμένων καλωδίων
- γείωση των θωρακίσεων και των μεταλλικών κελυφών εξοπλισμού.

7.5.3 Προστασία Δικτύων Ισχύος

Στα δίκτυα ισχύος απαιτούνται:

- απαγωγοί υπερτάσεων στην είσοδο του υποσταθμού
- προστασία πινάκων διανομής και κινητήρων
- σωστός συντονισμός προστασιών.

7.6 Έλεγχος και συντήρηση

7.6.1 Επιθεωρήσεις

Το σύστημα αντικεραυνικής προστασίας πρέπει να επιθεωρείται περιοδικά σύμφωνα με το πρότυπο ΕΛΟΤ EN 62305-3.

Οι έλεγχοι περιλαμβάνουν:

- οπτική επιθεώρηση εξοπλισμού
- έλεγχο συνέχειας αγωγών
- έλεγχο συνδέσεων
- μέτρηση αντίστασης γείωσης.

7.6.2 Μετρήσεις

Οι περιοδικές μετρήσεις περιλαμβάνουν:

- μέτρηση αντίστασης γείωσης
- έλεγχο συνέχειας αγωγών
- έλεγχο λειτουργίας απαγωγών υπερτάσεων.

Σύμφωνα με την ελληνική νομοθεσία, ο επανέλεγχος ηλεκτρικών εγκαταστάσεων σε βιομηχανικές εγκαταστάσεις πρέπει να πραγματοποιείται τουλάχιστον κάθε πέντε χρόνια (ΕΛΟΤ, 2004; Κουτρούλης, χ.χ.).

7.7 Συμπεράσματα

Η αντικεραυνική προστασία σε μονάδες βιολογικού καθαρισμού αποτελεί ένα σύνθετο τεχνικό σύστημα που περιλαμβάνει τόσο εξωτερική όσο και εσωτερική προστασία. Ο σωστός σχεδιασμός σύμφωνα με τα πρότυπα ΕΛΟΤ EN 62305 και ΕΛΟΤ HD 384 εξασφαλίζει την αποτελεσματική προστασία της εγκατάστασης από κεραυνικές εκκενώσεις και τις επαγόμενες υπερτάσεις.

Τα βασικά στοιχεία του συστήματος περιλαμβάνουν:

- συλλεκτήριο σύστημα και αγωγούς καθόδου
- ισοδυναμικές συνδέσεις και απαγωγούς υπερτάσεων
- θεμελιακή γείωση με κλειστό περιμετρικό βρόχο.

Η ενσωμάτωση της αντικεραυνικής προστασίας από το στάδιο του σχεδιασμού της εγκατάστασης συμβάλλει στην προστασία του εξοπλισμού, στη διασφάλιση της απρόσκοπτης λειτουργίας της μονάδας και στην ασφάλεια του προσωπικού.

ΚΕΦΑΛΑΙΟ 8 - ΗΛΕΚΤΡΟΚΙΝΗΤΗΡΕΣ ΣΕ ΜΟΝΑΔΑ ΒΙΟΛΟΓΙΚΟΥ ΚΑΘΑΡΙΣΜΟΥ

Οι ηλεκτροκινητήρες αποτελούν βασικό στοιχείο του ηλεκτρομηχανολογικού εξοπλισμού μιας μονάδας βιολογικού καθαρισμού ή Εγκατάστασης Επεξεργασίας Λυμάτων (ΕΕΛ). Η λειτουργία των περισσότερων μηχανικών συστημάτων της εγκατάστασης βασίζεται σε ηλεκτροκινητήρες, οι οποίοι μετατρέπουν την ηλεκτρική ενέργεια σε μηχανική κίνηση για την κίνηση αντλιών, φυσητήρων, αναδευτήρων και άλλων μηχανισμών επεξεργασίας λυμάτων (Metcalf & Eddy, 2014).

Η σωστή επιλογή, εγκατάσταση και λειτουργία των ηλεκτροκινητήρων είναι καθοριστικής σημασίας για την αποδοτική λειτουργία της μονάδας, καθώς επηρεάζει την ενεργειακή κατανάλωση, την αξιοπιστία του εξοπλισμού και τη διάρκεια ζωής της εγκατάστασης. Σύμφωνα με τις απαιτήσεις των ηλεκτρικών εγκαταστάσεων χαμηλής τάσης, οι κινητήρες πρέπει να προστατεύονται από υπερφορτίσεις, βραχυκυκλώματα και σφάλματα γείωσης μέσω κατάλληλων συστημάτων προστασίας (ΕΛΟΤ, 2004).

8.1 Ρόλος των ηλεκτροκινητήρων στη λειτουργία της μονάδας

Σε μια μονάδα βιολογικού καθαρισμού οι ηλεκτροκινητήρες χρησιμοποιούνται σε πολλά στάδια της επεξεργασίας λυμάτων.

Οι κυριότερες εφαρμογές περιλαμβάνουν:

- αντλίες ανύψωσης λυμάτων
- αντλίες ανακυκλοφορίας ιλύος
- φυσητήρες αερισμού
- αναδευτήρες δεξαμενών
- μηχανισμούς απομάκρυνσης στερεών
- αντλίες δοσομέτρησης χημικών.

Η λειτουργία αυτών των συστημάτων είναι κρίσιμη για τη διατήρηση των κατάλληλων συνθηκών επεξεργασίας των λυμάτων, όπως ο αερισμός, η ανάμιξη και η μεταφορά του υγρού μεταξύ των επιμέρους δεξαμενών της εγκατάστασης (Metcalf & Eddy, 2014).

8.2 Τύποι ηλεκτροκινητήρων

Οι ηλεκτροκινητήρες που χρησιμοποιούνται στις εγκαταστάσεις επεξεργασίας λυμάτων είναι κυρίως **κινητήρες εναλλασσόμενου ρεύματος (AC)**.

8.2.1 Ασύγχρονοι Τριφασικοί Κινητήρες

Ο πιο συνηθισμένος τύπος κινητήρα σε βιομηχανικές εγκαταστάσεις είναι ο **τριφασικός ασύγχρονος κινητήρας βραχυκυκλωμένου δρομέα**.

Τα βασικά πλεονεκτήματα του τύπου αυτού είναι:

- απλή κατασκευή
- υψηλή αξιοπιστία
- χαμηλό κόστος συντήρησης
- μεγάλη διάρκεια ζωής.

Για τον λόγο αυτό χρησιμοποιείται ευρέως σε:

- αντλίες
- φυσητήρες
- μεταφορικούς μηχανισμούς.

8.2.2 Κινητήρες Μεταβλητής Ταχύτητας

Σε πολλές εφαρμογές χρησιμοποιούνται κινητήρες που λειτουργούν με **μετατροπείς συχνότητας (VFD – Variable Frequency Drives)**.

Η τεχνολογία αυτή επιτρέπει:

- ρύθμιση της ταχύτητας περιστροφής του κινητήρα
- βελτιστοποίηση της λειτουργίας του εξοπλισμού

- σημαντική εξοικονόμηση ενέργειας.

Στις μονάδες βιολογικού καθαρισμού οι μετατροπείς συχνότητας χρησιμοποιούνται κυρίως σε:

- φυσητήρες αερισμού
- αντλίες ανακυκλοφορίας
- αναδευτήρες δεξαμενών.

Η ρύθμιση της ταχύτητας είναι ιδιαίτερα σημαντική για τον έλεγχο των βιολογικών διεργασιών και τη διατήρηση των κατάλληλων συνθηκών αερισμού (Metcalf & Eddy, 2014).

8.3 Εγκατάσταση και προστασία κινητήρων

Οι ηλεκτροκινητήρες πρέπει να εγκαθίστανται σύμφωνα με τις απαιτήσεις των ηλεκτρικών κανονισμών και των τεχνικών προδιαγραφών της εγκατάστασης.

8.3.1 Συστήματα Εκκίνησης

Η εκκίνηση των κινητήρων μπορεί να γίνεται με διάφορες μεθόδους, όπως:

- απευθείας εκκίνηση (Direct On Line – DOL)
- εκκίνηση αστέρα–τριγώνου
- εκκίνηση μέσω μετατροπέα συχνότητας
- εκκίνηση με soft starter.

Η επιλογή της μεθόδου εκκίνησης εξαρτάται από:

- την ισχύ του κινητήρα
- τα χαρακτηριστικά του φορτίου
- τις απαιτήσεις του ηλεκτρικού δικτύου.

8.3.2 Διατάξεις Προστασίας

Για την ασφαλή λειτουργία των κινητήρων απαιτούνται κατάλληλες διατάξεις προστασίας.

Οι βασικές προστασίες περιλαμβάνουν:

- προστασία από υπερφόρτιση
- προστασία από βραχυκύκλωμα
- προστασία από απώλεια φάσης
- θερμική προστασία κινητήρα.

Οι προστασίες αυτές εγκαθίστανται συνήθως στους πίνακες ελέγχου κινητήρων (Motor Control Centers – MCC) και συμβάλλουν στην αποφυγή βλαβών στον εξοπλισμό (ΕΛΟΤ, 2004).

8.4 Περιβαλλοντικές Επιπτώσεις

Οι μονάδες βιολογικού καθαρισμού χαρακτηρίζονται από ιδιαίτερες περιβαλλοντικές συνθήκες.

Οι ηλεκτροκινητήρες πρέπει να είναι κατάλληλοι για λειτουργία σε περιβάλλοντα με:

- υψηλή υγρασία
- διαβρωτικά αέρια
- πιθανότητα επαφής με υγρά.

Για τον λόγο αυτό χρησιμοποιούνται κινητήρες με κατάλληλο βαθμό προστασίας IP55 ή IP65, καθώς και με αντιδιαβρωτική προστασία του περιβλήματος.

Σε ορισμένες περιοχές της εγκατάστασης, όπου υπάρχει πιθανότητα παρουσίας εκρηκτικών αερίων (π.χ. βιοαέριο), απαιτείται χρήση αντεκρηκτικών κινητήρων (ATEX).

8.5 Ενεργειακή απόδοση

Η κατανάλωση ηλεκτρικής ενέργειας στις μονάδες επεξεργασίας λυμάτων οφείλεται σε μεγάλο βαθμό στη λειτουργία των ηλεκτροκινητήρων.

Για τον λόγο αυτό χρησιμοποιούνται:

- κινητήρες υψηλής ενεργειακής απόδοσης (IE3 ή IE4)
- μετατροπείς συχνότητας για βελτιστοποίηση λειτουργίας
- συστήματα ενεργειακής διαχείρισης.

Η βελτίωση της ενεργειακής απόδοσης των κινητήρων συμβάλλει σημαντικά στη μείωση του λειτουργικού κόστους της εγκατάστασης (Metcalf & Eddy, 2014).

8.6 Συντήρηση ηλεκτροκινητήρων

Η σωστή συντήρηση των ηλεκτροκινητήρων είναι απαραίτητη για την αποφυγή βλαβών και τη διασφάλιση της συνεχούς λειτουργίας της μονάδας.

Οι βασικές εργασίες συντήρησης περιλαμβάνουν:

- έλεγχο μονώσεων
- έλεγχο θερμοκρασίας λειτουργίας
- λίπανση εδράνων
- έλεγχο ευθυγράμμισης αξόνων
- καθαρισμό κινητήρων.

Η τακτική συντήρηση αυξάνει τη διάρκεια ζωής του εξοπλισμού και μειώνει την πιθανότητα απρογραμματίστων διακοπών λειτουργίας.

8.7 Παράδειγμα πραγματικού MCC σε εγκατάσταση επεξεργασίας λυμάτων

8.7.1 Γενική περιγραφή

Σε μια τυπική εγκατάσταση επεξεργασίας λυμάτων (ΕΕΛ), το Motor Control Center (MCC) αποτελεί τον βασικό πίνακα ελέγχου των ηλεκτροκινητήρων που χρησιμοποιούνται σε διεργασίες όπως η άντληση, ο αερισμός και η ανακυκλοφορία ιλύος.

Το MCC είναι μεταλλικός πίνακας χαμηλής τάσης, τύπου πεδίου (modular), που περιλαμβάνει επιμέρους τμήματα (cells), καθένα από τα οποία αντιστοιχεί σε έναν κινητήρα ή φορτίο (Chapman, 2012).

8.7.2 Δομή ενός MCC

Ένα πραγματικό MCC σε ΕΕΛ περιλαμβάνει:

1. Γενική παροχή
 - Τροφοδοσία: 400V / 50Hz
 - Γενικός διακόπτης (ACB ή MCCB)
 - Ζυγοί διανομής (busbars)
2. Πεδίο κινητήρα (Motor feeder)

Κάθε κινητήρας έχει το δικό του "κύτταρο" (cell), το οποίο περιλαμβάνει:

- Αυτόματο διακόπτη (MCCB)
- Επαφέα (contactor)
- Θερμικό ρελέ (overload relay)
- Ρελέ προστασίας φάσεων
- Μονάδα εκκίνησης (Direct, Soft Starter ή VFD)

3. Συστήματα ελέγχου

- PLC για αυτοματισμό
- Ενδεικτικές λυχνίες (RUN, FAULT)
- Διακόπτες επιλογής (AUTO / MANUAL)
- HMI (οθόνη χειρισμού)

8.7.3 Παράδειγμα εφαρμογής - MCC Αντλιοστασίου Εισόδου

Σε ένα αντλιοστάσιο εισόδου ΕΕΛ, το MCC μπορεί να ελέγχει:

Κινητήρας	Ισχύς	Τύπος Εκκίνησης	Λειτουργία
Αντλία 1	15 kW	Soft Starter	Μεταφορά λυμάτων
Αντλία 2	15 kW	Soft Starter	Εφεδρική
Αντλία 3	7.5 kW	Direct On Line	Βοηθητική
Αναδευτήρας	3 kW	DOL	Ομογενοποίηση

Η λειτουργία είναι αυτόματη μέσω PLC, με εναλλαγή αντλιών για ομοιόμορφη φθορά (Metcalf & Eddy, 2014).

8.7.3.1 Λειτουργία MCC

Η λειτουργία του MCC περιλαμβάνει:

- εκκίνηση/στάση κινητήρων
- προστασία από υπερφόρτιση και βραχυκύκλωμα
- παρακολούθηση λειτουργίας
- επικοινωνία με SCADA

Σε αυτόματη λειτουργία, το PLC δίνει εντολές με βάση στάθμες δεξαμενών ή άλλες μετρήσεις (Chapman, 2012).

8.7.3.2 Πλεονεκτήματα MCC

- συγκεντρωμένος έλεγχος κινητήρων
- εύκολη συντήρηση
- υψηλή αξιοπιστία
- δυνατότητα επέκτασης

8.7.3.3 Ιδιαιτερότητες σε ΕΕΛ

Λόγω του περιβάλλοντος:

- απαιτείται υψηλός βαθμός προστασίας (IP54–IP65)
- χρήση αντιδιαβρωτικών υλικών
- προστασία από υγρασία και αέρια

(Metcalf & Eddy, 2014).

8.7.4 Συμπέρασμα

Το MCC αποτελεί τον «πυρήνα» του ελέγχου των κινητήρων σε μια ΕΕΛ, εξασφαλίζοντας αξιόπιστη λειτουργία, προστασία εξοπλισμού και αποδοτική διαχείριση της εγκατάστασης (Chapman, 2012; Metcalf & Eddy, 2014).

8.8 Παράδειγμα MCC με VFD (INVERTER) σε εγκατάσταση επεξεργασίας λυμάτων

8.8.1 Εισαγωγή

Σε σύγχρονες εγκαταστάσεις επεξεργασίας λυμάτων (ΕΕΛ), η χρήση μετατροπέων συχνότητας (VFD – Variable Frequency Drives) είναι ιδιαίτερα διαδεδομένη, καθώς επιτρέπουν τη ρύθμιση της ταχύτητας των ηλεκτροκινητήρων και συνεπώς τη βελτιστοποίηση της λειτουργίας των διεργασιών και τη μείωση της κατανάλωσης ενέργειας (Chapman, 2012). Τα VFD ενσωματώνονται συνήθως σε πίνακες τύπου MCC, παρέχοντας πλήρη έλεγχο και προστασία των κινητήρων (Metcalf & Eddy, 2014).

8.8.2 MCC Αερισμού Δεξαμενής

Σε μια δεξαμενή αερισμού, οι φουσητήρες (blowers) είναι από τα πιο ενεργοβόρα φορτία. Η χρήση VFD επιτρέπει τη ρύθμιση της παροχής αέρα ανάλογα με το φορτίο ρύπανσης.

8.8.2.1 Δομή κυκλώματος VFD

Ένα τυπικό κύκλωμα κινητήρα με VFD σε MCC περιλαμβάνει:

1. Τμήμα ισχύος

- Γενικός διακόπτης (MCCB)
- Ασφάλειες ή προστασία εισόδου
- Φίλτρο αρμονικών (προαιρετικά)
- VFD (inverter)
- Ηλεκτροκινητήρας

2. Τμήμα ελέγχου

- PLC
- Αναλογικά σήματα (0–10V ή 4–20mA)
- Αισθητήρες (π.χ. διαλυμένου οξυγόνου)
- HMI / SCADA

8.8.2.2 Παράδειγμα λειτουργίας

Παράμετρος	Τιμή
Ισχύς κινητήρα	45 Kw
Τάση	400 V
Έλεγχος	VFD
Σήμα ελέγχου	4–20 mA
Μετρούμενη παράμετρος	Διαλυμένο O ₂

1. Ο αισθητήρας μετρά το επίπεδο οξυγόνου στη δεξαμενή
2. Το PLC επεξεργάζεται το σήμα
3. Στέλνει εντολή στον VFD
4. Ο VFD αυξομειώνει την ταχύτητα του κινητήρα
5. Ρυθμίζεται η παροχή αέρα

8.9 Πλεονεκτήματα της χρήσης VFD

- εξοικονόμηση ενέργειας έως και 30–50%
- ομαλή εκκίνηση (χωρίς ρεύματα αιχμής)
- μειωμένη μηχανική καταπόνηση
- καλύτερος έλεγχος διεργασιών

(Metcalf & Eddy, 2014).

8.10 Μειονεκτήματα της χρήσης VFD

- υψηλότερο αρχικό κόστος
- δημιουργία αρμονικών στο δίκτυο
- ανάγκη φίλτρων και σωστής γείωσης

(Chapman, 2012).

8.11 Προστασίες που παρέχουν τα VFD

Τα VFD παρέχουν ενσωματωμένες προστασίες:

- υπερφόρτιση κινητήρα
- υπέρταση / υπόταση
- υπερθέρμανση
- απώλεια φάσης

8.12 Ρόλος σε ΕΕΛ

Η χρήση VFD σε ΕΕΛ είναι κρίσιμη για:

- βελτιστοποίηση αερισμού
- μείωση λειτουργικού κόστους
- αυτοματοποίηση διεργασιών (Metcalf & Eddy, 2014).

8.13 Παράδειγμα υπολογισμού εξοικονόμησης ενέργειας με VFD

8.13.1 Δεδομένα προβλήματος

Θεωρούμε έναν φυσητήρα αερισμού σε εγκατάσταση επεξεργασίας λυμάτων:

- Ονομαστική ισχύς κινητήρα: **45 kW**
- Ωρες λειτουργίας: **20 ώρες/ημέρα**
- Ημέρες λειτουργίας: **365 ημέρες/έτος**
- Λειτουργία χωρίς VFD: **100% ταχύτητα συνεχώς**
- Λειτουργία με VFD: **70% μέση ταχύτητα**
- Τιμή ενέργειας: **0,15 €/kWh**

8.13.2 Κατανάλωση χωρίς VFD

Η ετήσια κατανάλωση ενέργειας είναι:

$$E = P \cdot t \Rightarrow E = 45 (20 \cdot 365) = 328500 \text{ kWh}$$

8.13.3 Ετήσιο κόστος:

$$\text{Cost} = 328500 \cdot 0,15 = 49275 \text{ €}$$

8.13.4 Κατανάλωση με VFD

Για φυγοκεντρικά φορτία (αντλίες, φυσητήρες) ισχύει:

$$P \propto n^3$$

Άρα στο 70% ταχύτητας:

$$P_{\text{new}} = 45 \cdot (0,7)^3 = 15,4 \text{ kW}$$

8.13.5 Νέα ετήσια κατανάλωση:

$$E_{\text{new}} = 15,4 \cdot 7300 = 112420 \text{ kWh}$$

8.13.6 Νέο ετήσιο κόστος:

$$\text{Cost}_{\text{new}} = 112.420 \cdot 0,15 = 16.863 \text{ €}$$

8.13.7 Εξοικονόμηση

1. Εξοικονόμηση ενέργειας:

$$328.500-112.420=216.080\text{kWh}$$

2. Εξοικονόμηση κόστους:

$$49.275-16.863=32.412\text{€}$$

8.14 5. Ποσοστό εξοικονόμησης

$$216.080/328.500\approx 65,8\%$$

Εξοικονόμηση $\approx 66\%$

8.15 Συμπεράσματα

Οι ηλεκτροκινητήρες αποτελούν βασικό στοιχείο της λειτουργίας μιας μονάδας βιολογικού καθαρισμού, καθώς χρησιμοποιούνται σε όλα τα στάδια της επεξεργασίας λυμάτων. Η σωστή επιλογή, εγκατάσταση και προστασία τους εξασφαλίζει την αξιόπιστη λειτουργία του εξοπλισμού και τη βελτιστοποίηση της ενεργειακής κατανάλωσης.

Η εφαρμογή σύγχρονων τεχνολογιών, όπως οι μετατροπείς συχνότητας και οι κινητήρες υψηλής απόδοσης, συμβάλλει σημαντικά στη βελτίωση της ενεργειακής αποδοτικότητας των εγκαταστάσεων επεξεργασίας λυμάτων.

Η ενσωμάτωση VFD σε πίνακες MCC αποτελεί σύγχρονη πρακτική στις εγκαταστάσεις επεξεργασίας λυμάτων, προσφέροντας σημαντικά πλεονεκτήματα σε ενεργειακή απόδοση και έλεγχο διεργασιών (Chapman, 2012; Metcalf & Eddy, 2014).

Η χρήση VFD σε φυγοκεντρικά φορτία, όπως οι φυσητήρες σε εγκαταστάσεις επεξεργασίας λυμάτων, μπορεί να οδηγήσει σε εξοικονόμηση ενέργειας άνω του 50%, λόγω της κυβικής σχέσης μεταξύ ισχύος και ταχύτητας (Chapman, 2012).

Η εφαρμογή αυτή συμβάλλει σημαντικά στη μείωση του λειτουργικού κόστους και στη βελτίωση της ενεργειακής απόδοσης της εγκατάστασης (Metcalf & Eddy, 2014).

ΚΕΦΑΛΑΙΟ 9 – ΦΩΤΙΣΜΟΣ ΣΕ ΜΟΝΑΔΑ ΒΙΟΛΟΓΙΚΟΥ ΚΑΘΑΡΙΣΜΟΥ

Ο φωτισμός αποτελεί βασικό στοιχείο της ηλεκτρολογικής εγκατάστασης σε μια μονάδα βιολογικού καθαρισμού ή Εγκατάσταση Επεξεργασίας Λυμάτων (ΕΕΛ). Ο σωστός σχεδιασμός του φωτισμού εξασφαλίζει την ασφαλή λειτουργία της εγκατάστασης, τη σωστή εκτέλεση των εργασιών συντήρησης και την προστασία του προσωπικού. Οι μονάδες επεξεργασίας λυμάτων λειτουργούν συνήθως σε συνεχή βάση, δηλαδή επί 24 ώρες το εικοσιτετράωρο, γεγονός που καθιστά απαραίτητη την ύπαρξη επαρκούς και αξιόπιστου φωτισμού τόσο στους εσωτερικούς όσο και στους εξωτερικούς χώρους (Metcalf & Eddy, 2014).

Ο φωτισμός σε τέτοιες εγκαταστάσεις πρέπει να σχεδιάζεται σύμφωνα με τις απαιτήσεις των κανονισμών ηλεκτρικών εγκαταστάσεων και των προτύπων φωτισμού, λαμβάνοντας υπόψη τις ιδιαίτερες περιβαλλοντικές συνθήκες που επικρατούν, όπως υψηλή υγρασία, παρουσία διαβρωτικών αερίων και εκτεταμένοι υπαίθριοι χώροι.

9.1 Κατηγορίες φωτισμού

Στις μονάδες βιολογικού καθαρισμού χρησιμοποιούνται συνήθως τρεις βασικές κατηγορίες φωτισμού:

- γενικός φωτισμός
- τοπικός φωτισμός εργασίας
- φωτισμός ασφαλείας.

Κάθε κατηγορία εξυπηρετεί διαφορετικές ανάγκες της εγκατάστασης.

9.2 Γενικός Φωτισμός

Ο γενικός φωτισμός χρησιμοποιείται για την ομοιόμορφη φωταγώγηση των χώρων της εγκατάστασης. Εγκαθίσταται σε εσωτερικούς χώρους, όπως:

- κτίρια διοίκησης
- ηλεκτρικούς πίνακες
- χώρους αντλιοστασίων
- εργαστήρια και χώρους ελέγχου.

Παράλληλα, γενικός φωτισμός εγκαθίσταται και σε εξωτερικούς χώρους της μονάδας, όπως:

- διάδρομοι κυκλοφορίας
- χώροι δεξαμενών επεξεργασίας
- περιοχές συντήρησης εξοπλισμού.

Ο στόχος του γενικού φωτισμού είναι η παροχή επαρκούς φωτεινότητας ώστε να διευκολύνεται η καθημερινή λειτουργία της εγκατάστασης.

9.3 Τοπικός Φωτισμός Εργασίας

Ο τοπικός φωτισμός χρησιμοποιείται σε σημεία όπου απαιτείται αυξημένη ορατότητα για την εκτέλεση συγκεκριμένων εργασιών.

Τέτοια σημεία περιλαμβάνουν:

- πίνακες αυτοματισμού
- χώρους συντήρησης μηχανημάτων
- αντλιοστάσια
- εργαστηριακούς χώρους.

Ο φωτισμός αυτός συμπληρώνει τον γενικό φωτισμό και παρέχει μεγαλύτερη ένταση φωτισμού σε κρίσιμα σημεία εργασίας.

9.4 Φωτισμός Ασφαλείας

Ο φωτισμός ασφαλείας χρησιμοποιείται σε περίπτωση διακοπής της κανονικής παροχής ηλεκτρικής ενέργειας.

Σκοπός του είναι:

- η ασφαλής εκκένωση των χώρων
- η διατήρηση της ορατότητας σε κρίσιμες περιοχές
- η αποφυγή ατυχημάτων.

Ο φωτισμός ασφαλείας τροφοδοτείται συνήθως από:

- συστήματα αδιάλειπτης παροχής ισχύος (UPS)
- εφεδρικές μπαταρίες
- ηλεκτροπαραγωγή ζεύγη.

9.5 Φωτισμός εξωτερικών χώρων

Οι μονάδες βιολογικού καθαρισμού περιλαμβάνουν εκτεταμένους υπαίθριους χώρους, γεγονός που καθιστά απαραίτητη την εγκατάσταση εξωτερικού φωτισμού.

Ο εξωτερικός φωτισμός εγκαθίσταται συνήθως σε:

- ιστούς φωτισμού
- τοιχώματα κτιρίων
- μεταλλικές κατασκευές.

Ο στόχος του είναι:

- η ασφαλής κίνηση του προσωπικού
- η διευκόλυνση των εργασιών συντήρησης
- η βελτίωση της ασφάλειας της εγκατάστασης.

Στις περισσότερες περιπτώσεις χρησιμοποιούνται φωτιστικά σώματα τεχνολογίας LED, τα οποία παρουσιάζουν υψηλή ενεργειακή απόδοση και μεγάλη διάρκεια ζωής.

9.6 3. Απαιτήσεις εξοπλισμού φωτισμού

Οι ιδιαίτερες συνθήκες που επικρατούν στις μονάδες επεξεργασίας λυμάτων απαιτούν τη χρήση φωτιστικών σωμάτων με συγκεκριμένα χαρακτηριστικά.

Τα βασικά χαρακτηριστικά είναι:

- υψηλός βαθμός προστασίας από υγρασία και σκόνη (IP65 ή υψηλότερος)
- αντοχή στη διάβρωση
- μηχανική αντοχή.

Σε χώρους όπου υπάρχει πιθανότητα παρουσίας εκρηκτικών αερίων, όπως σε εγκαταστάσεις επεξεργασίας ιλύος ή παραγωγής βιοαερίου, χρησιμοποιούνται φωτιστικά σώματα **αντιεκρηκτικού τύπου (ATEX)**.

9.7 Ενεργειακή απόδοση του φωτισμού

Η ενεργειακή κατανάλωση του φωτισμού σε μια μονάδα βιολογικού καθαρισμού μπορεί να μειωθεί σημαντικά μέσω της χρήσης σύγχρονων τεχνολογιών.

Οι βασικές μέθοδοι εξοικονόμησης ενέργειας περιλαμβάνουν:

- χρήση φωτιστικών LED υψηλής απόδοσης
- εγκατάσταση αισθητήρων κίνησης
- χρήση φωτοκυττάρων για τον εξωτερικό φωτισμό
- εφαρμογή συστημάτων αυτοματισμού φωτισμού.

Οι τεχνολογίες αυτές συμβάλλουν στη μείωση της κατανάλωσης ηλεκτρικής ενέργειας και του λειτουργικού κόστους της εγκατάστασης.

9.8 Συντήρηση του συστήματος φωτισμού

Η σωστή λειτουργία του φωτισμού απαιτεί τακτική συντήρηση και επιθεώρηση.

Οι βασικές εργασίες συντήρησης περιλαμβάνουν:

- έλεγχο λειτουργίας των φωτιστικών σωμάτων
- αντικατάσταση λαμπτήρων ή μονάδων LED
- καθαρισμό φωτιστικών σωμάτων
- έλεγχο ηλεκτρικών συνδέσεων.

Η τακτική συντήρηση συμβάλλει στη διατήρηση της αποδοτικότητας του φωτισμού και στη βελτίωση της ασφάλειας των χώρων εργασίας.

9.9 Συμπεράσματα

Ο φωτισμός αποτελεί βασικό στοιχείο της ηλεκτρολογικής υποδομής μιας μονάδας βιολογικού καθαρισμού, καθώς συμβάλλει στην ασφαλή και αποδοτική λειτουργία της εγκατάστασης. Ο σωστός σχεδιασμός του συστήματος φωτισμού πρέπει να λαμβάνει υπόψη τις ιδιαίτερες περιβαλλοντικές συνθήκες της εγκατάστασης και να εξασφαλίζει επαρκή φωτισμό τόσο στους εσωτερικούς όσο και στους εξωτερικούς χώρους.

Η χρήση σύγχρονων τεχνολογιών φωτισμού, όπως τα φωτιστικά LED και τα συστήματα αυτοματισμού, συμβάλλει σημαντικά στη μείωση της ενεργειακής κατανάλωσης και στη βελτίωση της λειτουργικής απόδοσης της μονάδας.

ΚΕΦΑΛΑΙΟ 10 – ΕΚΚΙΝΗΣΗ ΚΑΙ ΠΡΟΣΤΑΣΙΑ ΗΛΕΚΤΡΙΚΩΝ ΚΙΝΗΤΗΡΩΝ ΣΕ ΕΕΛ

Οι ηλεκτροκινητήρες αποτελούν βασικό μέρος του ηλεκτρομηχανολογικού εξοπλισμού μιας Εγκατάστασης Επεξεργασίας Λυμάτων (ΕΕΛ), καθώς χρησιμοποιούνται για την κίνηση αντλιών, φυσητήρων, αναδευτήρων και άλλων μηχανισμών που είναι απαραίτητοι για τη λειτουργία της εγκατάστασης. Η σωστή εκκίνηση και η επαρκής προστασία των κινητήρων είναι απαραίτητες για τη διασφάλιση της ασφαλούς και αξιόπιστης λειτουργίας τους, καθώς και για την αποφυγή βλαβών στον ηλεκτρολογικό εξοπλισμό (Metcalf & Eddy, 2014).

Κατά την εκκίνηση ενός ηλεκτρικού κινητήρα εμφανίζονται υψηλά ρεύματα εκκίνησης, τα οποία μπορεί να φτάσουν έως και πέντε έως επτά φορές το ονομαστικό ρεύμα του κινητήρα. Τα ρεύματα αυτά μπορεί να προκαλέσουν πτώση τάσης στο ηλεκτρικό δίκτυο και αυξημένες μηχανικές καταπονήσεις στον εξοπλισμό. Για τον λόγο αυτό χρησιμοποιούνται ειδικές μέθοδοι εκκίνησης και συστήματα προστασίας που περιορίζουν τα φαινόμενα αυτά και εξασφαλίζουν την ασφαλή λειτουργία του κινητήρα (ΕΛΟΤ, 2004).

10.1 Μέθοδοι εκκίνησης ηλεκτρικών κινητήρων

Η επιλογή της κατάλληλης μεθόδου εκκίνησης εξαρτάται από την ισχύ του κινητήρα, τα χαρακτηριστικά του φορτίου και τις απαιτήσεις του ηλεκτρικού δικτύου.

Οι πιο συνηθισμένες μέθοδοι εκκίνησης που χρησιμοποιούνται σε μονάδες βιολογικού καθαρισμού είναι:

- απευθείας εκκίνηση (Direct On Line – DOL)
- εκκίνηση αστέρα–τριγώνου
- εκκίνηση με soft starter
- εκκίνηση με μετατροπέα συχνότητας.

10.1.1 Απευθείας Εκκίνηση (Direct On Line)

Η απευθείας εκκίνηση αποτελεί την απλούστερη μέθοδο εκκίνησης ηλεκτρικών κινητήρων. Στην περίπτωση αυτή ο κινητήρας συνδέεται απευθείας με το δίκτυο τροφοδοσίας.

Τα βασικά πλεονεκτήματα της μεθόδου είναι:

- απλή κατασκευή
- χαμηλό κόστος εγκατάστασης
- εύκολη συντήρηση.

Ωστόσο, η μέθοδος αυτή προκαλεί υψηλό ρεύμα εκκίνησης και χρησιμοποιείται κυρίως σε κινητήρες μικρής ισχύος

10.1.2 Εκκίνηση Αστέρα – Τριγώνου

Η εκκίνηση αστέρα–τριγώνου χρησιμοποιείται για τη μείωση του ρεύματος εκκίνησης σε τριφασικούς κινητήρες.

Κατά την εκκίνηση ο κινητήρας συνδέεται αρχικά σε διάταξη αστέρα, γεγονός που μειώνει την τάση στα τυλίγματα και συνεπώς το ρεύμα εκκίνησης. Μετά από ορισμένο χρονικό διάστημα η σύνδεση μετατρέπεται σε τρίγωνο ώστε ο κινητήρας να λειτουργεί με την ονομαστική του ισχύ.

Η μέθοδος αυτή χρησιμοποιείται ευρέως σε κινητήρες μέσης ισχύος που λειτουργούν σε αντλίες και φυσητήρες.

10.1.3 Εκκίνηση με Soft Starter

Ο soft starter αποτελεί ηλεκτρονική διάταξη που επιτρέπει τη σταδιακή αύξηση της τάσης κατά την εκκίνηση του κινητήρα.

Τα πλεονεκτήματα της μεθόδου αυτής είναι:

- μειωμένο ρεύμα εκκίνησης
- περιορισμός των μηχανικών καταπονήσεων
- ομαλή επιτάχυνση του κινητήρα.

Οι soft starters χρησιμοποιούνται συχνά σε αντλίες και μηχανισμούς μεταφοράς λυμάτων.

10.1.4 Εκκίνηση με Μετατροπέα Συχνότητας (VFD)

Οι μετατροπείς συχνότητας (Variable Frequency Drives – VFD) επιτρέπουν τον έλεγχο της ταχύτητας περιστροφής του κινητήρα μέσω της μεταβολής της συχνότητας της τροφοδοσίας.

Τα βασικά πλεονεκτήματα της τεχνολογίας αυτής είναι:

- πλήρης έλεγχος της ταχύτητας του κινητήρα
- σημαντική εξοικονόμηση ενέργειας
- ομαλή εκκίνηση και παύση λειτουργίας.

Στις μονάδες επεξεργασίας λυμάτων οι μετατροπείς συχνότητας χρησιμοποιούνται κυρίως σε φυσητήρες αερισμού και αντλίες ανακυκλοφορίας

10.2 Σύστημα προστασίας ηλεκτρικών κινητήρων

Η προστασία των ηλεκτροκινητήρων είναι απαραίτητη για την αποφυγή βλαβών που μπορεί να προκληθούν από ηλεκτρικά ή μηχανικά σφάλματα.

Τα βασικά συστήματα προστασίας περιλαμβάνουν:

- προστασία υπερφόρτισης
- προστασία βραχυκυκλώματος
- προστασία απώλειας φάσης
- θερμική προστασία κινητήρα.

10.2.1 Προστασία Υπερφόρτισης

Η υπερφόρτιση συμβαίνει όταν ο κινητήρας λειτουργεί με φορτίο μεγαλύτερο από το επιτρεπόμενο.

Για την προστασία από υπερφόρτιση χρησιμοποιούνται:

- θερμικά ρελέ
- ηλεκτρονικά ρελέ προστασίας κινητήρων.

Τα συστήματα αυτά διακόπτουν τη λειτουργία του κινητήρα όταν το ρεύμα υπερβεί την ονομαστική τιμή για συγκεκριμένο χρονικό διάστημα.

10.2.2 Προστασία Βραχυκυκλώματος

Το βραχυκύκλωμα αποτελεί μία από τις πιο επικίνδυνες καταστάσεις σε μια ηλεκτρική εγκατάσταση.

Η προστασία από βραχυκύκλωμα επιτυγχάνεται μέσω:

- αυτόματων διακοπών ισχύος
- ασφαλειών υψηλής ταχύτητας.

Οι διατάξεις αυτές διακόπτουν άμεσα την παροχή ρεύματος ώστε να αποτραπεί η καταστροφή του κινητήρα και του ηλεκτρικού εξοπλισμού.

10.2.3 Προστασία Απώλειας Φάσης

Η απώλεια μίας φάσης σε τριφασικό κινητήρα μπορεί να προκαλέσει υπερθέρμανση και σοβαρές βλάβες.

Για την αποφυγή του φαινομένου αυτού χρησιμοποιούνται ρελέ επιτήρησης φάσεων που διακόπτουν τη λειτουργία του κινητήρα σε περίπτωση αστοχίας.

10.2.4 Θερμική Προστασία Κινητήρα

Οι ηλεκτροκινητήρες μπορεί να υπερθερμανθούν λόγω υπερφόρτισης, κακού αερισμού ή μηχανικών προβλημάτων.

Για την αποφυγή υπερθέρμανσης χρησιμοποιούνται:

- θερμικοί αισθητήρες στα τυλίγματα του κινητήρα
- συστήματα επιτήρησης θερμοκρασίας.

Η θερμική προστασία είναι ιδιαίτερα σημαντική για κινητήρες μεγάλης ισχύος.

10.3 Εγκατάσταση σε κέντρα ελέγχου κινητήρων

Οι διατάξεις εκκίνησης και προστασίας των κινητήρων εγκαθίστανται συνήθως σε **κέντρα ελέγχου κινητήρων (Motor Control Centers – MCC)**.

Τα MCC περιλαμβάνουν:

- επαφείς
- θερμικά ρελέ
- διακόπτες ισχύος
- συστήματα εκκίνησης κινητήρων
- μετατροπείς συχνότητας.

Τα κέντρα αυτά επιτρέπουν την κεντρική διαχείριση και τον αποτελεσματικό έλεγχο μεγάλου αριθμού κινητήρων που χρησιμοποιούνται στην εγκατάσταση

10.4 SOFT STARTER και VFD – Αναλυτική λειτουργία

Στις βιομηχανικές εγκαταστάσεις και ιδιαίτερα στις μονάδες βιολογικού καθαρισμού, η εκκίνηση των ηλεκτρικών κινητήρων αποτελεί σημαντικό ζήτημα, καθώς κατά την εκκίνηση εμφανίζονται υψηλά ρεύματα που μπορεί να προκαλέσουν πτώσεις τάσης στο ηλεκτρικό δίκτυο και μηχανικές καταπονήσεις στον εξοπλισμό. Για τον περιορισμό των φαινομένων αυτών χρησιμοποιούνται σύγχρονες ηλεκτρονικές διατάξεις εκκίνησης, όπως οι **soft starters** και οι **μετατροπείς συχνότητας (Variable Frequency Drives – VFD)**. Οι διατάξεις αυτές επιτρέπουν τον έλεγχο της εκκίνησης και της λειτουργίας των ηλεκτροκινητήρων, βελτιώνοντας την απόδοση και την αξιοπιστία της εγκατάστασης (Chapman, 2012)

10.4.1 SOFT STARTER

10.4.1.1 Αρχή λειτουργίας

Ο soft starter είναι μια ηλεκτρονική διάταξη που χρησιμοποιείται για την ομαλή εκκίνηση και παύση λειτουργίας ενός ηλεκτρικού κινητήρα. Η λειτουργία του βασίζεται στη σταδιακή αύξηση της τάσης που εφαρμόζεται στα τυλίγματα του κινητήρα κατά την εκκίνηση.

Η βασική αρχή λειτουργίας του στηρίζεται στη χρήση **θυρίστορ (SCR – Silicon Controlled Rectifiers)**, τα οποία ρυθμίζουν τη γωνία αγωγής της τάσης στο κύκλωμα. Με τον τρόπο αυτό η τάση αυξάνεται σταδιακά από μηδενική τιμή μέχρι την ονομαστική τιμή του κινητήρα.

Η διαδικασία αυτή έχει ως αποτέλεσμα:

- τη μείωση του ρεύματος εκκίνησης
- την ομαλή επιτάχυνση του κινητήρα
- τη μείωση των μηχανικών καταπονήσεων στο σύστημα μετάδοσης κίνησης.

10.4.1.2 Στάδια λειτουργίας soft starter

Η λειτουργία ενός soft starter μπορεί να χωριστεί σε τρία βασικά στάδια:

1. Εκκίνηση (Ramp-up)

Κατά την εκκίνηση η τάση αυξάνεται σταδιακά με προκαθορισμένο ρυθμό. Η αύξηση αυτή ελέγχεται από το ηλεκτρονικό κύκλωμα του soft starter και επιτρέπει στον κινητήρα να επιταχύνει ομαλά.

2. Κανονική λειτουργία

Όταν ο κινητήρας φτάσει στην ονομαστική του ταχύτητα, τα θυρίστορ παρακάμπτονται μέσω ειδικού **bypass contactor**, επιτρέποντας στον κινητήρα να λειτουργεί απευθείας από το δίκτυο.

3. Ομαλή παύση λειτουργίας (Soft stop)

Κατά την παύση λειτουργίας η τάση μειώνεται σταδιακά, αποτρέποντας απότομες μηχανικές καταπονήσεις στο σύστημα

10.4.2 Πλεονεκτήματα soft starter

Τα βασικά πλεονεκτήματα της χρήσης soft starter είναι:

- μειωμένο ρεύμα εκκίνησης
- περιορισμός μηχανικών καταπονήσεων
- αυξημένη διάρκεια ζωής εξοπλισμού
- χαμηλό κόστος σε σχέση με άλλες τεχνολογίες

10.4.3 Εφαρμογές σε μονάδες βιολογικού καθαρισμού

Οι soft starters χρησιμοποιούνται κυρίως σε:

- αντλίες λυμάτων
- αντλίες ανακυκλοφορίας ιλύος
- μεταφορικούς μηχανισμούς.

Η χρήση τους μειώνει τα υδραυλικά πλήγματα (water hammer) και προστατεύει τις σωληνώσεις και τις αντλίες.

10.5 . Μετατροπείς συχνότητας (VFD)

10.5.1 Αρχή λειτουργίας

Ο μετατροπέας συχνότητας ή **Variable Frequency Drive (VFD)** είναι ηλεκτρονική διάταξη που χρησιμοποιείται για τον έλεγχο της ταχύτητας περιστροφής ενός ηλεκτροκινητήρα.

Η ταχύτητα ενός ασύγχρονου κινητήρα εξαρτάται από τη συχνότητα της τάσης τροφοδοσίας σύμφωνα με τη σχέση:

$$n_s = 120 \cdot f / P$$

όπου:

- n_s = σύγχρονη ταχύτητα περιστροφής

- f = συχνότητα τροφοδοσίας
- P = αριθμός πόλων κινητήρα.

Με τη μεταβολή της συχνότητας τροφοδοσίας, ο VFD επιτρέπει τον έλεγχο της ταχύτητας περιστροφής του κινητήρα.

10.5.2 Δομή ενός VFD

Ένας μετατροπέας συχνότητας αποτελείται από τρία βασικά στάδια:

- Ανορθωτής (Rectifier): Μετατρέπει την εναλλασσόμενη τάση του δικτύου σε συνεχές ρεύμα.
- Ενδιάμεσο κύκλωμα συνεχούς τάσης (DC link): Αποτελείται από πυκνωτές και φίλτρα που εξομαλύνουν τη συνεχόμενη τάση.
- Αντιστροφέας (Inverter): Μετατρέπει τη συνεχόμενη τάση σε εναλλασσόμενη τάση μεταβλητής συχνότητας και τάσης μέσω τρανζίστορ ισχύος (IGBT).

10.5.3 Έλεγχος ταχύτητας κινητήρα

Ο VFD ελέγχει ταυτόχρονα:

- τη συχνότητα
- την τάση εξόδου.

Η διατήρηση της σωστής αναλογίας **V/f (τάση προς συχνότητα)** είναι απαραίτητη για τη σωστή λειτουργία του κινητήρα.

10.5.4 Πλεονεκτήματα VFD

Τα βασικά πλεονεκτήματα των μετατροπέων συχνότητας είναι:

- ακριβής έλεγχος ταχύτητας κινητήρα
- σημαντική εξοικονόμηση ενέργειας
- ομαλή εκκίνηση και παύση λειτουργίας
- δυνατότητα αυτοματισμού και ελέγχου διεργασιών.

10.5.5 Εφαρμογές σε μονάδες βιολογικού καθαρισμού

Οι VFD χρησιμοποιούνται ευρέως σε:

- φυσητήρες αερισμού
- αντλίες ανακυκλοφορίας
- αναδευτήρες δεξαμενών.

Η δυνατότητα ρύθμισης της ταχύτητας επιτρέπει τον έλεγχο της παροχής αέρα και της ανάμιξης, γεγονός που είναι κρίσιμο για τη σωστή λειτουργία των βιολογικών διεργασιών.

Πίνακας 10-1 Σύγκριση SOFT STARTER και VFD

Χαρακτηριστικό	Soft Starter	VFD
Έλεγχος ταχύτητας	Όχι	Ναι
Μείωση ρεύματος εκκίνησης	Ναι	Ναι
Εξοικονόμηση ενέργειας	Μικρή	Μεγάλη
Κόστος	Χαμηλότερο	Υψηλότερο
Πολυπλοκότητα	Μικρότερη	Μεγαλύτερη

Η επιλογή μεταξύ των δύο εξαρτάται από τις απαιτήσεις της εφαρμογής.

10.6 Συμπεράσματα

Η εκκίνηση και η προστασία των ηλεκτρικών κινητήρων αποτελούν κρίσιμα στοιχεία για την αξιόπιστη λειτουργία μιας μονάδας βιολογικού καθαρισμού. Η επιλογή κατάλληλων μεθόδων εκκίνησης συμβάλλει στη μείωση των ρευμάτων εκκίνησης και στη βελτίωση της ενεργειακής απόδοσης της εγκατάστασης. Παράλληλα, η εγκατάσταση κατάλληλων συστημάτων προστασίας εξασφαλίζει την ασφαλή λειτουργία των κινητήρων και την αποφυγή βλαβών στον εξοπλισμό.

Η εφαρμογή σύγχρονων τεχνολογιών εκκίνησης και προστασίας συμβάλλει στη βελτίωση της αξιοπιστίας και της αποδοτικότητας των εγκαταστάσεων επεξεργασίας λυμάτων

Οι τεχνολογίες soft starter και VFD αποτελούν σημαντικά εργαλεία για τη βελτίωση της λειτουργίας των ηλεκτροκινητήρων σε βιομηχανικές εγκαταστάσεις. Οι soft starters προσφέρουν ομαλή εκκίνηση και μειώνουν τα ρεύματα εκκίνησης, ενώ οι μετατροπείς συχνότητας επιτρέπουν τον πλήρη έλεγχο της ταχύτητας του κινητήρα και σημαντική εξοικονόμηση ενέργειας.

Στις μονάδες βιολογικού καθαρισμού, η χρήση αυτών των τεχνολογιών συμβάλλει στη βελτίωση της ενεργειακής αποδοτικότητας, στη μείωση των μηχανικών καταπονήσεων και στη βελτιστοποίηση των διεργασιών επεξεργασίας λυμάτων.

ΚΕΦΑΛΑΙΟ 11 – ΕΦΕΡΔΡΙΚΕΣ ΠΗΓΕΣ ΕΝΕΡΓΕΙΑΣ ΣΕ ΕΓΚΑΤΑΣΤΑΣΗ ΒΙΟΛΟΓΙΚΟΥ ΚΑΘΑΡΙΣΜΟΥ: ΗΛΕΚΤΡΟΠΑΡΑΓΩΓΑ ΖΕΥΓΗ (H/Z) ΚΑΙ ΣΥΣΤΗΜΑΤΑ ΑΔΙΑΛΕΙΠΤΗΣ ΠΑΡΟΧΗΣ ΙΣΧΥΟΣ (UPS)

11.1 Εισαγωγή

Η συνεχής και αδιάλειπτη παροχή ηλεκτρικής ενέργειας αποτελεί βασική προϋπόθεση για την ασφαλή και αποδοτική λειτουργία μιας εγκατάστασης βιολογικού καθαρισμού (ΕΕΛ). Οι διεργασίες επεξεργασίας λυμάτων, όπως ο αερισμός, η καθίζηση και η απολύμανση, εξαρτώνται άμεσα από τη λειτουργία ηλεκτρομηχανολογικού εξοπλισμού, όπως αντλίες, φυσητήρες και συστήματα αυτοματισμού (Metcalf & Eddy, 2014).

Η διακοπή της ηλεκτρικής τροφοδοσίας μπορεί να οδηγήσει σε σοβαρές επιπτώσεις, όπως διακοπή της βιολογικής διεργασίας, υποβάθμιση της ποιότητας εκροής και περιβαλλοντική επιβάρυνση. Για τον λόγο αυτό, είναι απαραίτητη η ύπαρξη εφεδρικών πηγών ενέργειας, όπως τα ηλεκτροπαραγωγά ζεύγη (H/Z) και τα συστήματα αδιάλειπτης παροχής ισχύος (UPS) (Metcalf & Eddy, 2014).

11.2 Ηλεκτροπαραγωγά Ζεύγη (H/Z)

11.2.1 Ορισμός και βασικά χαρακτηριστικά

Το ηλεκτροπαραγωγό ζεύγος αποτελείται από έναν κινητήρα εσωτερικής καύσης (συνήθως πετρελαιοκινητήρα) και μία ηλεκτρική γεννήτρια, οι οποίοι συνεργάζονται για την παραγωγή ηλεκτρικής ενέργειας σε περίπτωση διακοπής του δικτύου (Chapman, 2012).

Τα βασικά χαρακτηριστικά ενός H/Z περιλαμβάνουν:

- ονομαστική ισχύ (kVA ή kW)
- τάση και συχνότητα εξόδου
- κατανάλωση καυσίμου

- χρόνο εκκίνησης
- επίπεδο θορύβου.

11.2.2 Αρχή λειτουργίας

Κατά τη διακοπή της κύριας τροφοδοσίας, ένα σύστημα αυτόματης μεταγωγής (ATS – Automatic Transfer Switch) ανιχνεύει την απώλεια τάσης και δίνει εντολή εκκίνησης στο H/Z. Μετά την επίτευξη σταθερών συνθηκών λειτουργίας, το φορτίο μεταφέρεται από το δίκτυο στη γεννήτρια. Όταν επανέλθει η τάση του δικτύου, το σύστημα επαναφέρει το φορτίο στην κανονική τροφοδοσία και το H/Z τίθεται εκτός λειτουργίας (Chapman, 2012).

11.2.3 Ρόλος σε μονάδες βιολογικού καθαρισμού

Τα H/Z καλύπτουν κρίσιμα φορτία, όπως:

- αντλιοστάσια εισόδου και εξόδου
- φυσητήρες αερισμού
- συστήματα ελέγχου (PLC/SCADA)
- φωτισμό ασφαλείας
- συστήματα απολύμανσης

(Metcalf & Eddy, 2014).

Σε πολλές περιπτώσεις, γίνεται διαχωρισμός φορτίων σε κρίσιμα και μη κρίσιμα, ώστε να διασφαλίζεται η βέλτιστη αξιοποίηση της διαθέσιμης ισχύος (Chapman, 2012).

11.2.4 Πλεονεκτήματα και μειονεκτήματα

Πλεονεκτήματα:

- υψηλή ισχύς κάλυψης φορτίου
- δυνατότητα συνεχούς λειτουργίας
- ανεξαρτησία από το δίκτυο (Chapman, 2012)

Μειονεκτήματα:

- χρόνος εκκίνησης (μερικά δευτερόλεπτα)
- ανάγκη συντήρησης
- κατανάλωση καυσίμου
- εκπομπές ρύπων.

11.3 ΣΥΣΤΗΜΑΤΑ UPS

11.3.1 Ορισμός

Τα συστήματα αδιάλειπτης παροχής ισχύος (UPS – Uninterruptible Power Supply) παρέχουν άμεση και αδιάλειπτη τροφοδοσία σε ηλεκτρικά φορτία σε περίπτωση διακοπής ή διαταραχής της τάσης (Chapman, 2012).

11.3.2 Κατηγορίες UPS

Τα UPS διακρίνονται σε:

- Offline (Standby)
- Line-interactive
- Online (Double conversion)

Τα online UPS χρησιμοποιούνται κυρίως σε βιομηχανικές εγκαταστάσεις λόγω της υψηλής αξιοπιστίας και της σταθερότητας της τάσης που παρέχουν (Chapman, 2012).

11.3.3 Αρχή λειτουργίας

Σε κανονική λειτουργία, το UPS τροφοδοτεί τα φορτία μέσω του δικτύου και φορτίζει τις μπαταρίες του. Σε περίπτωση διακοπής, η τροφοδοσία μεταφέρεται άμεσα στις μπαταρίες και ο inverter συνεχίζει να παρέχει τάση χωρίς διακοπή, εξασφαλίζοντας μηδενικό χρόνο μεταγωγής (Chapman, 2012).

11.3.4 Εφαρμογές σε ΕΕΛ

Τα UPS χρησιμοποιούνται για την τροφοδοσία ευαίσθητων φορτίων, όπως:

- PLC και αυτοματισμών
- SCADA συστημάτων
- τηλεμετρίας
- οργάνων μέτρησης

(Metcalf & Eddy, 2014).

11.3.5 Πλεονεκτήματα και μειονεκτήματα

Πλεονεκτήματα:

- μηδενικός χρόνος διακοπής
- υψηλή ποιότητα τάσης
- προστασία από υπερτάσεις και βυθίσεις (Chapman, 2012)

Μειονεκτήματα:

- περιορισμένος χρόνος λειτουργίας
- υψηλό κόστος για μεγάλες ισχείς
- ανάγκη αντικατάστασης μπαταριών.

11.4 Συνδυασμός H/Z και UPS

Στις εγκαταστάσεις βιολογικού καθαρισμού εφαρμόζεται συνδυασμένη χρήση UPS και H/Z. Το UPS εξασφαλίζει την άμεση και αδιάλειπτη τροφοδοσία, ενώ το H/Z αναλαμβάνει την κάλυψη των φορτίων σε μακροχρόνια διακοπή της ηλεκτροδότησης (Metcalf & Eddy, 2014).

Η συνεργασία των δύο συστημάτων διασφαλίζει τη συνέχεια της λειτουργίας των κρίσιμων διεργασιών και την προστασία του εξοπλισμού (Chapman, 2012).

11.5 Συντήρηση και έλεγχος

Η σωστή λειτουργία των εφεδρικών συστημάτων απαιτεί τακτική συντήρηση, η οποία περιλαμβάνει:

- δοκιμές εκκίνησης H/Z
- έλεγχο καυσίμου και λιπαντικών
- περιοδικό έλεγχο μπαταριών UPS
- δοκιμές υπό φορτίο

(Chapman, 2012).

11.6 Συμπεράσματα

Η χρήση εφεδρικών πηγών ενέργειας σε μονάδες βιολογικού καθαρισμού είναι απαραίτητη για τη διασφάλιση της αδιάλειπτης λειτουργίας και της περιβαλλοντικής προστασίας. Τα ηλεκτροπαραγωγά ζεύγη και τα συστήματα UPS λειτουργούν συμπληρωματικά, καλύπτοντας τόσο τις άμεσες όσο και τις μακροχρόνιες ανάγκες ηλεκτροδότησης (Metcalf & Eddy, 2014; Chapman, 2012).

ΚΕΦΑΛΑΙΟ 12 –ΣΥΣΤΗΜΑΤΑ ΠΥΡΑΝΙΧΝΕΥΣΗΣ ΚΑΙ ΠΥΡΟΣΒΕΣΗΣ ΣΕ ΧΩΡΟ ΒΙΟΛΟΓΙΚΟΥ ΚΑΘΑΡΙΣΜΟΥ

12.1 Εισαγωγή

Οι εγκαταστάσεις επεξεργασίας λυμάτων (ΕΕΛ) αποτελούν σύνθετα βιομηχανικά συστήματα με αυξημένες απαιτήσεις ασφάλειας, λόγω της παρουσίας ηλεκτρομηχανολογικού εξοπλισμού, χημικών ουσιών και πιθανών εκρηκτικών αερίων (π.χ. μεθάνιο). Για τον λόγο αυτό, η εγκατάσταση αξιόπιστων συστημάτων πυρανίχνευσης και πυρόσβεσης είναι απαραίτητη για την προστασία του προσωπικού, του εξοπλισμού και της συνέχειας λειτουργίας της μονάδας (Metcalf & Eddy, 2014).

Στην Ελλάδα, ο σχεδιασμός των συστημάτων αυτών βασίζεται σε διεθνή και ευρωπαϊκά πρότυπα, όπως τα πρότυπα EN 54 για πυρανίχνευση και τα πρότυπα NFPA για πυροπροστασία, καθώς και στις εθνικές πυροσβεστικές διατάξεις.

12.2 Κίνδυνοι πυρκαγιάς σε ΕΕΛ

Οι βασικοί κίνδυνοι πυρκαγιάς σε μονάδες βιολογικού καθαρισμού περιλαμβάνουν:

- ηλεκτρικά σφάλματα σε πίνακες και κινητήρες
- υπερθέρμανση εξοπλισμού
- διαρροές καυσίμων (H₂)
- παρουσία εύφλεκτων αερίων (μεθάνιο, υδρόθειο)
- αποθήκευση χημικών (π.χ. πολυηλεκτρολύτες, χλώριο)

Η ύπαρξη αυτών των κινδύνων καθιστά απαραίτητη τη συνδυασμένη εφαρμογή συστημάτων πυρανίχνευσης και πυρόσβεσης (ΔΕΥΑ Ορεστιάδας, χ.χ.).

12.3 Συστήματα πυρανίχνευσης

12.3.1 Ρόλος και λειτουργία

Τα συστήματα πυρανίχνευσης έχουν ως στόχο την έγκαιρη ανίχνευση πυρκαγιάς και την ενεργοποίηση συναγερμού, ώστε να περιοριστούν οι επιπτώσεις (EN 54).

12.3.2 Κύρια στοιχεία

Ένα σύστημα πυρανίχνευσης περιλαμβάνει:

- Κεντρικό πίνακα πυρανίχνευσης
- Ανιχνευτές: καπνού, θερμότητας, φλόγας
- Μπουτόν χειροκίνητης ενεργοποίησης
- Σειρήνες και φάρους

12.3.3 Τύποι ανιχνευτών

- **Ανιχνευτές καπνού:** κατάλληλοι για κλειστούς χώρους (γραφεία, control rooms)
- **Ανιχνευτές θερμότητας:** για χώρους με υγρασία ή σκόνη
- **Ανιχνευτές φλόγας:** για χώρους με καύσιμα ή αέρια

Η επιλογή εξαρτάται από τις συνθήκες του χώρου και τις περιβαλλοντικές επιδράσεις (NFPA, 2021).

12.3.4 Διασύνδεση με αυτοματισμούς

Τα συστήματα πυρανίχνευσης συνδέονται με:

- PLC
- SCADA
- συστήματα εξαερισμού
- διακοπή παροχής καυσίμου

ώστε να ενεργοποιούνται αυτόματα διαδικασίες ασφαλείας.

12.4 Συστήματα Πυρόσβεσης

12.4.1 Γενικά

Τα συστήματα πυρόσβεσης ενεργοποιούνται για την καταστολή ή κατάσβεση της πυρκαγιάς. Διακρίνονται σε:

- **παθητικά συστήματα** (π.χ. πυροδιαμερίσματα)
- **ενεργητικά συστήματα** (π.χ. sprinklers, CO₂)

12.4.2 Μέσα πυρόσβεσης

12.4.2.1 Νερό (Sprinkler)

- χρησιμοποιείται σε γενικούς χώρους
- όχι κατάλληλο για ηλεκτρολογικούς πίνακες

12.4.2.2 Αφρός

- κατάλληλος για καύσιμα υγρά
- χρησιμοποιείται σε δεξαμενές

12.4.2.3 CO₂

- ιδανικό για ηλεκτρολογικούς χώρους
- δεν αφήνει υπολείμματα

12.4.2.4 Ξηρή σκόνη

- κατάλληλη για γενική χρήση
- χρησιμοποιείται σε φορητούς πυροσβεστήρες

12.4.3 Αυτόματα συστήματα

- sprinklers
- κατακλυσμού (deluge systems)
- συστήματα αερίων (CO₂, FM-200)

Τα συστήματα αυτά ενεργοποιούνται αυτόματα μέσω του συστήματος πυρανίχνευσης (NFPA, 2021).

12.5 Ειδικές απαιτήσεις σε ΕΕΛ

12.5.1 Χώροι υψηλού κινδύνου

- χώροι H/Z
- ηλεκτρικοί πίνακες (MCC, υποσταθμοί)
- χωνευτές ιλύος (παραγωγή μεθανίου)

Σε αυτούς τους χώρους απαιτούνται ειδικά συστήματα πυρόσβεσης (π.χ. CO₂ ή αδρανή αέρια).

12.5.2 Εκρηκτικές ατμόσφαιρες

Σε περιοχές με πιθανή παρουσία αερίων:

- απαιτείται εξοπλισμός ATEX
- αποφυγή σπινθήρων
- ειδική γείωση

12.5.3 Συνδυασμός με εξαερισμό

Η πυροπροστασία συνδέεται με:

- συστήματα εξαερισμού
- απομάκρυνση καπνού
- έλεγχο εκρηκτικών συγκεντρώσεων

12.6 Συντήρηση και έλεγχος

Η σωστή λειτουργία απαιτεί:

- περιοδικούς ελέγχους ανιχνευτών
- δοκιμές συναγερμού
- έλεγχο πυροσβεστήρων
- επιθεώρηση σωληνώσεων

Σύμφωνα με την ελληνική νομοθεσία, η συντήρηση των συστημάτων πυροπροστασίας είναι υποχρεωτική (Πυροσβεστική Διάταξη).

12.7 Σύγκριση Μέσων Πυρόσβεσης και Κατηγοριών Πυρκαγιάς

Μέσο Πυρόσβεσης	Τρόπος Δράσης	Κατηγορία Πυρκαγιάς	Κατάλληλο για	Πλεονεκτήματα	Μειονεκτήματα
Νερό (Sprinkler)	Ψύξη	A	Ξύλο, χαρτί, υφάσματα	Οικονομικό, ευρέως διαθέσιμο	Ακατάλληλο για ηλεκτρικά και υγρά καύσιμα
Αφρός	Απομόνωση οξυγόνου	A, B	Καύσιμα υγρά, πετρέλαιο	Πολύ αποτελεσματικό σε υγρά καύσιμα	Όχι για ηλεκτρικές εγκαταστάσεις
Ξηρή σκόνη	Διακοπή αντίδρασης καύσης	A, B, C	Στερεά, υγρά, αέρια καύσιμα	Πολύ ευέλικτο	Ρύπανση και φθορά εξοπλισμού
CO ₂	Εκτόπιση οξυγόνου	B, C	Ηλεκτρικός εξοπλισμός, πίνακες	Δεν αφήνει κατάλοιπα	Κίνδυνος ασφυξίας
Καθαρά αέρια (FM-200 κλπ.)	Διακοπή καύσης	A, B, C	Server rooms, UPS	Ασφαλές για εξοπλισμό	Υψηλό κόστος
Ειδικά μέσα (π.χ. μεταλλικά)	Απομόνωση/καταστολή	D	Μέταλλα (Mg, Na)	Εξειδικευμένη χρήση	Πολύ περιορισμένη εφαρμογή
Υγρά μέσα (π.χ. wet)	Χημική καταστολή	F	Λάδια κουζίνας	Πολύ αποτελεσματικό	Ειδική χρήση μόνο

Μέσο Πυρόσβεσης	Τρόπος Δράσης	Κατηγορία Πυρκαγιάς	Κατάλληλο για	Πλεονεκτήματα	Μειονεκτήματα
chemical)					

Σημείωση: Κατηγορίες Πυρκαγιάς

- **Κατηγορία Α:** Στερεά υλικά (ξύλο, χαρτί)
- **Κατηγορία Β:** Υγρά καύσιμα (βενζίνη, πετρέλαιο)
- **Κατηγορία Γ:** Αέρια καύσιμα (προπάνιο, μεθάνιο)
- **Κατηγορία Δ:** Μέταλλα (μαγνήσιο, νάτριο)
- **Κατηγορία Ε:** Μαγειρικά έλαια και λίπη

12.8 Συμπεράσματα

Τα συστήματα πυρανίχνευσης και πυρόσβεσης αποτελούν κρίσιμο μέρος της ασφάλειας σε μια μονάδα βιολογικού καθαρισμού. Η σωστή επιλογή, εγκατάσταση και συντήρησή τους εξασφαλίζει:

- προστασία ανθρώπινης ζωής
- αποφυγή καταστροφών εξοπλισμού
- αδιάλειπτη λειτουργία της εγκατάστασης

Η συμμόρφωση με διεθνή πρότυπα και η ενσωμάτωση των συστημάτων σε ολοκληρωμένα δίκτυα αυτοματισμού αποτελούν βασικές προϋποθέσεις για σύγχρονες και ασφαλείς εγκαταστάσεις (Metcalf & Eddy, 2014; NFPA, 2021).

ΚΕΦΑΛΑΙΟ 13 – ΣΥΣΤΗΜΑΤΑ ΔΙΑΧΕΙΡΙΣΗΣ ΚΤΙΡΙΩΝ (BUILDING MANAGEMENT SYSTEMS – BMS) ΚΑΙ ΕΝΕΡΓΕΙΑΚΗ ΔΙΑΧΕΙΡΙΣΗ ΣΕ ΜΟΝΑΔΑ ΒΙΟΛΟΓΙΚΟΥ ΚΑΘΑΡΙΣΜΟΥ

13.1 Εισαγωγή

Οι Μονάδες Βιολογικού Καθαρισμού (Εγκαταστάσεις Επεξεργασίας Λυμάτων – ΕΕΛ) αποτελούν κρίσιμες ενεργοβόρες υποδομές, όπου η κατανάλωση ηλεκτρικής ενέργειας μπορεί να φτάσει έως και το 1-2% της συνολικής κατανάλωσης ενός δήμου (Gude, 2015). Η εφαρμογή Συστημάτων Διαχείρισης Κτιρίων (BMS) – ή ευρύτερα Συστημάτων Εποπτικού Ελέγχου και Συλλογής Δεδομένων (SCADA) – αποτελεί πλέον απαραίτητη προϋπόθεση για τη βελτιστοποίηση της λειτουργίας, τη μείωση του ενεργειακού κόστους και τη διασφάλιση της συμμόρφωσης με τις περιβαλλοντικές απαιτήσεις (Olsson et al., 2005).

13.2 Ο ρόλος του BMS σε μονάδα βιολογικού καθαρισμού

Σε μια ΕΕΛ, το BMS λειτουργεί ως ο «εγκέφαλος» της εγκατάστασης, παρέχοντας εποπτεία σε πραγματικό χρόνο, αυτοματοποιημένο έλεγχο και δυνατότητες λήψης αποφάσεων βάσει δεδομένων (data-driven decision making). Σύμφωνα με τους Olsson et al. (2005), οι σύγχρονες εγκαταστάσεις απαιτούν ένα ολοκληρωμένο σύστημα ελέγχου που να συνδυάζει την παραδοσιακή λογική PLC με προηγμένους αλγόριθμους βελτιστοποίησης.

Βασικές λειτουργίες περιλαμβάνουν:

- Συνεχή παρακολούθηση μηχανολογικού εξοπλισμού (φυσητήρες, αντλίες, αναδευτήρες)
- Αυτοματοποιημένους ελέγχους βάσει ωρολογίου, παροχής ή ποιότητας λυμάτων
- Διαχείριση συναγερμών και προληπτική συντήρηση

13.3 Ενεργειακή διαχείριση – Η κρισιμότητα του αερισμού

Το μεγαλύτερο ποσοστό κατανάλωσης ενέργειας (50-80%) σε μια συμβατική ΕΕΛ οφείλεται στους φυσητήρες (υπερσυμπιεστές) που παρέχουν οξυγόνο για τη βιολογική επεξεργασία (Longo et al., 2016). Η ενεργειακή απόδοση του αερισμού εξαρτάται άμεσα από τη στρατηγική ελέγχου που εφαρμόζεται.

13.3.1 Έλεγχος Διαλυμένου Οξυγόνου (DO)

Ο κλασικός έλεγχος του διαλυμένου οξυγόνου (DO) βασίζεται σε αλγόριθμους PID (Proportional-Integral-Derivative). Ωστόσο, οι σύγχρονες προσεγγίσεις αξιοποιούν Model Predictive Control (MPC) για τη βελτιστοποίηση της παροχής αέρα λαμβάνοντας υπόψη δυναμικά μοντέλα της διεργασίας (Bodescu et al., 2025). Οι Ding et al. (2025) απέδειξαν ότι η βελτιστοποίηση του DO μέσω προηγμένων αλγορίθμων μπορεί να οδηγήσει σε μείωση της ενεργειακής κατανάλωσης της τάξης του 3,27%, διατηρώντας παράλληλα την ποιότητα εκροής εντός των επιτρεπόμενων ορίων.

13.3.2 Feedforward Control

Η προσθήκη ελέγχου πρόσθιας τροφοδότησης (feedforward) με βάση την παροχή εισόδου και το φορτίο αμμωνίας (NH_4) βελτιώνει σημαντικά την απόκριση του συστήματος σε μεταβατικά φαινόμενα (Åmand & Carlsson, 2012).

13.3.3 Έλεγχος Αντλήσεων

Οι αντλίες ανύψωσης και ανακυκλοφορίας αποτελούν τη δεύτερη μεγαλύτερη κατηγορία ενεργοβόρων συστημάτων. Η χρήση μεταβλητών στροφών (VFDs) σε συνδυασμό με αλγόριθμους εναλλαγής βάσει ωρών λειτουργίας μειώνει την κατανάλωση ενέργειας και παρατείνει τη ζωή του εξοπλισμού (WEF, 2021).

13.4 Τεχνικά χαρακτηριστικά σχεδιασμού BMS

13.4.1 Αρχιτεκτονική Δικτύου

Η αρχιτεκτονική ενός σύγχρονου BMS ακολουθεί το πρότυπο **ISA-95**, διαχωρίζοντας τα επίπεδα πεδίου, ελέγχου και εποπτείας (ANSI/ISA-95, 2010). Η χρήση τοπολογίας δακτυλίου (ring) με οπτικές ίνες εξασφαλίζει υψηλή διαθεσιμότητα (Cheng et al., 2020).

13.4.2 Αισθητήρες και Όργανα Πεδίου

Η ακρίβεια των μετρήσεων είναι κρίσιμη. Για το DO, οι οπτικοί αισθητήρες (fluorescence) προτιμώνται έναντι των γαλβανικών λόγω μειωμένης συντήρησης (Hach Company, 2019). Για τη μέτρηση της αμμωνίας και των νιτρικών, οι φασματοφωτομετρικές μέθοδοι UV παρέχουν αξιόπιστες μετρήσεις χωρίς αντιδραστήρια (Vanrolleghem & Lee, 2003).

13.4.3 Ενεργειακοί Μετρητές

Η εγκατάσταση ενεργειακών μετρητών (power meters) σε κάθε υποπίνακα κίνησης (MCC) επιτρέπει την παρακολούθηση της κατανάλωσης ανά υποσύστημα. Ο υπολογισμός του Ειδικού Ενεργειακού Δείκτη (SEC) σε kWh/m³ λυμάτων ή kWh/kg BOD αποτελεί βασική πρακτική για τη συγκριτική αξιολόγηση της απόδοσης (Longo et al., 2016).

13.5 5. Κυβερνοασφάλεια σε εγκαταστάσεις ΕΕΛ

Οι μονάδες επεξεργασίας λυμάτων χαρακτηρίζονται ως κρίσιμες υποδομές (Critical Infrastructure) και υπόκεινται σε αυξανόμενες απειλές κυβερνοασφάλειας (Hassan et al., 2022). Η εφαρμογή του προτύπου IEC 62443 είναι πλέον απαραίτητη για τον σχεδιασμό της αρχιτεκτονικής ασφαλείας (IEC, 2018). Οι Gonzalez Burgueño (2025) επισημαίνουν ότι η σύγκλιση IT/OT αυξάνει την επιφάνεια επίθεσης, καθιστώντας επιτακτική την ανάγκη για ζωνική αρχιτεκτονική (zoning) και συνεχή παρακολούθηση. Μελέτες περίπτωσης, όπως αυτή της

CIMA+ (2025), αναδεικνύουν την εφαρμογή του IEC 62443-3-2 σε μεγάλες δημοτικές εγκαταστάσεις ύδρευσης και αποχέτευσης.

13.6 Δείκτες απόδοσης και εγγυήσεις

Για την αξιολόγηση της αποτελεσματικότητας ενός BMS, προτείνονται οι ακόλουθοι δείκτες απόδοσης:

Δείκτης	Τιμή-στόχος	Πηγή
Μείωση SEC αερισμού	$\geq 25\%$	Ding et al. (2025)
Διαθεσιμότητα συστήματος	$\geq 99,5\%$	Cheng et al. (2020)
Χρόνος ανταπόκρισης συναγερμού	$< 5 \text{ sec}$	ISA-101 (2015)

13.7 Τεχνικές λεπτομέρειες για το σχεδιασμό BMS σε μονάδα βιολογικού καθαρισμού

13.7.1 Αρχιτεκτονική Δικτύου και ιεραρχία ελέγχου

Η τυπική αρχιτεκτονική ακολουθεί το πρότυπο ISA-95 με τρία επίπεδα. Η ιεραρχική δομή ελέγχου διασφαλίζει την αξιόπιστη λειτουργία και την απομόνωση των κρίσιμων διεργασιών (Bodescu et al., 2025).

Επίπεδο Πεδίου (Field Level):

- Αισθητήρες DO, NH_4 , NO_3 , pH, θολότητα, πίεση, στάθμη, παροχή, θερμοκρασία, δονήσεις
- Ενεργειακοί μετρητές σε κάθε υποπίνακα (kWh, kW, cosφ, THD)

Επίπεδο Ελέγχου (Control Level):

- PLC με hot-standby redundancy σε κρίσιμες γραμμές (π.χ. γραμμή αερισμού)
- RTU για απομακρυσμένα σημεία με επικοινωνία μέσω οπτικών ινών ή 4G/5G

Επίπεδο Εποπτείας (Supervisory Level):

- SCADA server σε virtualized περιβάλλον με redundancy
- Industrial historian με καταγραφή raw data ανά δευτερόλεπτο

Δίκτυο Επικοινωνιών:

- Backbone οπτικής ίνας με τοπολογία δακτυλίου
- Πρωτόκολλα: Modbus TCP/RTU, Profinet, EtherNet/IP, OPC UA

13.7.2 Εξειδικευμένοι αισθητήρες και εξοπλισμός

13.7.3 Αισθητήρες Διεργασίας

Η ακρίβεια των αισθητήρων είναι κρίσιμη για την αποτελεσματική εφαρμογή προηγμένων στρατηγικών ελέγχου. Έρευνες έχουν δείξει ότι η χρήση μοντέλων προσομοίωσης (π.χ. Benchmark Simulation Model No. 1) επιτρέπει την επικύρωση της απόδοσης των αισθητήρων και των αλγορίθμων ελέγχου (Ding et al., 2025).

Παράμετρος	Τύπος αισθητήρα	Σημειώσεις
Διαλυμένο Οξυγόνο (DO)	Οπτικός (fluorescence)	Προτιμότερος του γαλβανικού λόγω μηδενικής συντήρησης
Αμμωνία (NH ₄ -N)	Ιοντοεκλεκτικό (ISE) ή	Απαιτείται αυτόματη

Παράμετρος	Τύπος αισθητήρα	Σημειώσεις
	φασματοφωτομετρικό	βαθμονόμηση
Νιτρικά (NO ₃ -N)	UV φασματοσκοπία	Χωρίς αντιδραστήρια
Παροχή εισόδου	Μαγνητική ή υπερηχητική	Με έξοδο 4-20 mA και παλμική έξοδο

13.7.3.1 VFD (Variable Frequency Drives)

Όλοι οι φυσητήρες (>30 kW) πρέπει να διαθέτουν VFD με ενσωματωμένο έλεγχο PID. Η χρήση μεταβλητών στροφών σε συνδυασμό με προηγμένους αλγόριθμους ελέγχου μπορεί να μειώσει την ενεργειακή κατανάλωση του αερισμού έως και 3,27% σύμφωνα με πρόσφατες μελέτες (Ding et al., 2025).

13.8 Στρατηγικές ελέγχου για ενεργειακή βελτιστοποίηση

13.8.1 Έλεγχος Αερισμού (Cascade Control with Feedforward)

Ο έλεγχος του διαλυμένου οξυγόνου (DO) αποτελεί την πλέον κρίσιμη παράμετρο για την ενεργειακή απόδοση, καθώς οι φυσητήρες αντιπροσωπεύουν το 50-80% της συνολικής κατανάλωσης ενέργειας σε μια ΕΕΛ.

Προτεινόμενη στρατηγική ελέγχου

- Εξωτερικός βρόχος (Master): Στόχος DO (π.χ. 2,0 mg/l) βάσει κανονιστικών απαιτήσεων (Idaho Administrative Code, 2024)
- Εσωτερικός βρόχος (Slave): Ρύθμιση ροής αέρα ή στροφών φυσητήρων

- **Feedforward:** Προληπτική ρύθμιση βάσει παροχής εισόδου και συγκέντρωσης NH_4

Προχωρημένος έλεγχος (APC)

Για μεγάλες μονάδες εφαρμόζεται Model Predictive Control (MPC). Πρόσφατες συγκριτικές μελέτες μεταξύ παραδοσιακού PI ελέγχου και MPC έδειξαν ότι η εποπτική στρατηγική με MPC επιτυγχάνει καλύτερη απόδοση τόσο στην ποιότητα εκροής όσο και στην ενεργειακή κατανάλωση (Bodescu et al., 2025). Επιπλέον, η χρήση μη γραμμικού MPC (NMPC) έχει αποδειχθεί αποτελεσματική για τον έλεγχο DO σε αντιδραστήρες διαλείποντος έργου (SBR), με δυνατότητα μείωσης του λειτουργικού κόστους άνω του 60% σε σύγκριση με παραδοσιακές διεργασίες (Ujzdowski & Piotrowski, 2024).

13.8.2 Έλεγχος Αντλητικών Σταθμών

- Αλγόριθμος εναλλαγής βάσει ωρών λειτουργίας και αριθμού εκκινήσεων
- Peak shaving: μείωση παροχής κατά τις ώρες αιχμής τιμολόγησης

13.8.3 Έλεγχος Μονάδας Αφυδάτωσης Ιλύος

- Συγχρονισμός λειτουργίας με παροχή πολυηλεκτρολύτη
- Παρακολούθηση ισχύος κινητήρα για ανίχνευση αποκλίσεων

13.9 Συμπεράσματα

Η ενσωμάτωση ενός προηγμένου BMS σε Μονάδα Βιολογικού Καθαρισμού αποτελεί στρατηγική επένδυση που αποφέρει πολλαπλά οφέλη: μείωση ενεργειακού κόστους, βελτίωση της ποιότητας εκροής, αύξηση της αξιοπιστίας και συμμόρφωση με κανονιστικές απαιτήσεις. Η τάση προς την ψηφιοποίηση, με την υιοθέτηση μοντέλων MPC, ψηφιακών διδύμων (digital twins) και αυστηρών πρακτικών κυβερνοασφάλειας, διαμορφώνει το μέλλον του κλάδου (Gude, 2015; Bodescu et al., 2025).

ΣΥΜΠΕΡΑΣΜΑΤΑ

Η παρούσα πτυχιακή εργασία ανέδειξε τη σημασία του ολοκληρωμένου σχεδιασμού, της τήρησης των διεθνών προτύπων και της ενσωμάτωσης σύγχρονων τεχνολογιών για την επίτευξη ασφαλούς, αξιόπιστης και αποδοτικής λειτουργίας των ηλεκτρικών εγκαταστάσεων σε βιομηχανικές μονάδες, με ιδιαίτερη έμφαση στις Εγκαταστάσεις Επεξεργασίας Λυμάτων (ΕΕΛ). Από την ανάλυση των επιμέρους υποσυστημάτων προκύπτουν τα ακόλουθα βασικά συμπεράσματα:

- 1. Σχεδιασμός και Τυποποίηση:** Η συμμόρφωση με τα διεθνή πρότυπα, όπως η σειρά IEC 60364 (ΕΛΟΤ HD 384), η σειρά IEC 61439 για πίνακες χαμηλής τάσης, η σειρά IEC 62271 για πίνακες μέσης τάσης και τα πρότυπα EN 12464 για φωτισμό, αποτελεί θεμελιώδη προϋπόθεση για τη διασφάλιση της ποιότητας, της ασφάλειας και της διαλειτουργικότητας όλων των επιμέρους συστημάτων (ΕΛΟΤ, 2004; IEC, 2020a). Ο σχεδιασμός πρέπει να είναι ολιστικός, λαμβάνοντας υπόψη τόσο τα συστήματα ισχύος όσο και τα συστήματα ασθενών ρευμάτων, καθώς και τις ιδιαίτερες περιβαλλοντικές συνθήκες που επικρατούν σε μια ΕΕΛ (υγρασία, διαβρωτικά αέρια, εκτεταμένοι υπαίθριοι χώροι).
- 2. Υποσταθμός Μέσης Τάσης:** Ο ιδιωτικός υποσταθμός μέσης τάσης αποτελεί την καρδιά της βιομηχανικής ηλεκτρικής εγκατάστασης. Η σωστή διαστασιολόγηση των μετασχηματιστών ισχύος και η επιλογή κατάλληλων πινάκων μέσης τάσης (AIS, GIS) είναι κρίσιμη για την αξιοπιστία και την προστασία του εξοπλισμού (ΔΕΔΔΗΕ, 2021; Metcalf & Eddy, 2014). Η θέση του υποσταθμού πρέπει να επιλέγεται κοντά στο κέντρο των ηλεκτρικών φορτίων για τη μείωση των απωλειών και του κόστους καλωδίωσης.
- 3. Γείωση και Αντικεραυνική Προστασία:** Η θεμελιακή γείωση και η αντικεραυνική προστασία είναι αλληλένδετες και απαραίτητες για την προστασία τόσο του εξοπλισμού όσο και του

ανθρώπινου δυναμικού. Η δημιουργία ενός ενιαίου συστήματος γείωσης με χαμηλή αντίσταση, η εγκατάσταση απαγωγών υπερτάσεων (SPD) και η εφαρμογή ισοδυναμικών συνδέσεων αποτελούν βασικά μέτρα για την απαγωγή ρευμάτων σφάλματος και κεραυνικών εκκενώσεων (ΕΛΟΤ, 2004; ΕΛΟΤ, χ.χ.).

4. **Διανομή Χαμηλής Τάσης:** Οι γενικοί πίνακες χαμηλής τάσης, σχεδιασμένοι σύμφωνα με το πρότυπο IEC 61439, πρέπει να διασφαλίζουν την επιλογική προστασία, τη θερμική αντοχή και την ευελιξία επέκτασης (IEC, 2020a). Τα κέντρα ελέγχου κινητήρων (MCC) αποτελούν τον πυρήνα του ελέγχου των ηλεκτροκινητήρων, ενσωματώνοντας διατάξεις εκκίνησης (DOL, αστέρα-τριγώνου, soft starter, VFD) και προστασίας (θερμικά ρελέ, ρελέ φάσεων) (Chapman, 2012).
5. **Φωτισμός:** Ο βιομηχανικός φωτισμός, σύμφωνα με τα πρότυπα EN 12464 και EN 1838, εξασφαλίζει όχι μόνο την παραγωγικότητα και την οπτική άνεση (επίπεδα lux, δείκτες UGR, CRI, ομοιομορφία), αλλά και την ασφαλή διαφυγή σε περίπτωση ανάγκης (DIN EN 12464-1, χ.χ.; DIN EN 1838:2024). Η τεχνολογία LED, σε συνδυασμό με έξυπνα συστήματα ελέγχου (αισθητήρες κίνησης, φωτοκύτταρα), προσφέρει σημαντική ενεργειακή εξοικονόμηση και ταχύτατη απόσβεση.
6. **Αυτοματισμός και Δίκτυα:** Τα συστήματα αυτοματισμού (PLC, SCADA) και τα βιομηχανικά δίκτυα επικοινωνιών (Modbus, Profibus, Industrial Ethernet) αποτελούν τον «νευρικό άξονα» της σύγχρονης βιομηχανίας (Industry 4.0, IIoT) (Leitão et al., 2018). Η μετάβαση σε δίκτυα βασισμένα σε Ethernet και η υιοθέτηση ασύρματων τεχνολογιών αυξάνουν την ευελιξία και την αποδοτικότητα, αλλά ταυτόχρονα καθιστούν επιτακτική την ανάγκη για κυβερνοασφάλεια (cybersecurity) και προστασία από ηλεκτρομαγνητικές παρεμβολές.
7. **Εφεδρικές Πηγές και Ασφάλεια:** Ο συνδυασμός ηλεκτροπαραγωγών ζευγών (H/Z) και συστημάτων αδιάλειπτης παροχής ισχύος (UPS) εξασφαλίζει την αδιάλειπτη λειτουργία κρίσιμων διεργασιών σε περίπτωση διακοπής του δικτύου,

καλύπτοντας τόσο την άμεση (UPS) όσο και τη μακροχρόνια (H/Z) εφεδρεία (Chapman, 2012; Metcalf & Eddy, 2014). Παράλληλα, τα συστήματα πυρανίχνευσης και πυρόσβεσης, ενοποιημένα με το BMS, παρέχουν ολοκληρωμένη προστασία της εγκατάστασης και του προσωπικού (NFPA, 2022).

8. **Ενεργειακή Διαχείριση:** Τα Συστήματα Διαχείρισης Κτιρίων (BMS) και τα εξειδικευμένα συστήματα ενεργειακής διαχείρισης αναδεικνύονται σε κρίσιμα εργαλεία για τη μείωση του λειτουργικού κόστους και του περιβαλλοντικού αποτυπώματος (Capehart et al., 2020). Η συνεχής παρακολούθηση, η ανάλυση δεδομένων και η βελτιστοποίηση της λειτουργίας (π.χ. αερισμός, άντληση, φωτισμός) οδηγούν σε σημαντική εξοικονόμηση ενέργειας, η οποία σε φυγοκεντρικά φορτία με χρήση VFD μπορεί να φτάσει έως και 30-50% (Chapman, 2012).

Συμπερασματικά, η σύγχρονη βιομηχανική ηλεκτρική εγκατάσταση είναι ένα πολύπλοκο και ενοποιημένο σύστημα, όπου η ισχύς, η πληροφορία και η ασφάλεια συνυπάρχουν και αλληλεπιδρούν. Η επιτυχής υλοποίηση απαιτεί διεπιστημονική γνώση, αυστηρή τήρηση των κανονισμών και στρατηγικό σχεδιασμό που να προβλέπει την ενεργειακή αποδοτικότητα, την ευελιξία και τη δυνατότητα μελλοντικής επέκτασης και ενσωμάτωσης νέων τεχνολογιών (Industry 4.0, IIoT, ψηφιακά δίδυμα). Η συμβολή της παρούσας εργασίας έγκειται στη συστηματική τεκμηρίωση αυτών των αρχών και στην ανάδειξη των βέλτιστων πρακτικών σχεδιασμού για ηλεκτρικές εγκαταστάσεις σε μονάδες βιολογικού καθαρισμού, με στόχο την ασφαλή, αξιόπιστη και βιώσιμη λειτουργία τους.

ΒΙΒΛΙΟΓΡΑΦΙΑ

29 CFR 1910, 1915, 1926. (n.d.). *Occupational Safety and Health Standards*. Occupational Safety and Health Administration.

ABB Service S.r.l. (2004). *Module for high- and medium-voltage electric station* (U.S. Patent No. 6,678,151 B2). Indiana University Bloomington. https://webapp1.dlib.indiana.edu/virtual_disk_library/index.cgi/5628977/FID3294/OG/html/1278-2/us06678151-20040113.html

Åmand, L., & Carlsson, B. (2012). Optimal aeration control in a nitrifying activated sludge process. *Water Research*, *46*(7), 2101–2110. <https://doi.org/10.1016/j.watres.2012.01.023>

ANSI/IESNA RP-7-2001. (2001). *Recommended Practice for Lighting Industrial Facilities*. American National Standards Institute / Illuminating Engineering Society of North America.

ANSI/ISA-95. (2010). *Enterprise-Control System Integration* (ANSI/ISA-95.00.01-2010). International Society of Automation.

ARLITech. (n.d.). *Water & waste water: Safeguarding critical infrastructure*. Retrieved March 22, 2026, from https://arlitech.hu/industries/en_water.html

Άρειος Πάγος. (2025). *Απόφαση 394/2025 (Α2, ΠΟΛΙΤΙΚΕΣ)*.

Bodescu, G. A., Daraban, R. G., Mihály, N. B., Cristea, C. E., Timiş, E. C., Kiss, A. A., & Cristea, V. M. (2025). Control of the WWTP water line using traditional and model predictive approaches. *Systems and Control Transactions*, *4*, 1108–1113. <https://doi.org/10.69997/sct.175378>

Bolton, W. (2015). *Programmable logic controllers* (6th ed.). Newnes.

BSI. (2026). *BS EN IEC 61439 - Low-voltage switchgear and controlgear assemblies* [Multipart document]. British Standards Institution. <https://landingpage.bsigroup.com/LandingPage/Series?UPI=BS%20EN%20IEC%2061439>

Capehart, B. L., Turner, W. C., & Kennedy, W. J. (2020). *Guide to energy management* (9th ed.). CRC Press.

Chapman, S. J. (2012). *Electric machinery fundamentals* (5th ed.). McGraw-Hill.

Cheng, Y., Wang, X., & Li, J. (2020). Reliability analysis of industrial control network with ring topology. In *Proceedings of the 2020 IEEE International Conference on Industrial Technology (ICIT)* (pp. 245–250). IEEE. <https://doi.org/10.1109/ICIT45562.2020.9067221>

CIMA+. (2025, October 1). *Enhancing cybersecurity for a major municipal water treatment plant*. <https://www.cima.ca/en/project/enhancing-cybersecurity-for-a-major-municipal-water-treatment-plant/>

CIREN. (2017). Smart substation MV/LV. *International Conference & Exhibition on Electricity Distribution (CIREN)*. <https://digital-library.theiet.org/doi/10.1049/oap-cired.2017.0143>

Cornejo Apaza, E. A. (2024). *Standardization of the design, construction and engineering of a HV/MV substation*. Politecnico di Milano. <https://hdl.handle.net/10589/217352>

Csanyi, E. (2010, October 22). *Types of Underground lines*. Electrical Engineering Portal. <https://electrical-engineering-portal.com/types-of-underground-lines>

ΔΕΔΔΗΕ. (2021). *Οδηγίες Σχεδίασης και Κατασκευής Υπαίθριων Υποσταθμών Μέσης Τάσης Τύπου Α1 & Α2*. Διαχειριστής Ελληνικού Δικτύου Διανομής Ηλεκτρικής Ενέργειας.

ΔΕΔΔΗΕ. (n.d.). *Συστήματα Εποπτείας Διαχείρισης και Τηλεχειρισμού Δικτύου*. Retrieved from <https://www.deddie.gr>

ΔΕΔΔΗΕ. Παράνομη Εγκατάσταση εναέριων ηλεκτροφόρων καλωδίων μέσης τάσης πάνω από οικία [Forum post]. (2025, March 9). [michanikos.gr](https://www.michanikos.gr). <https://www.michanikos.gr>

ΔΕΥΑ Ορεστιάδας. (n.d.). *Μονάδα επεξεργασίας λυμάτων*. https://www.deyao.gr/yphresies/apoxeteysh/monada_epeksergasias_lymatwn/

DIN EN 1838:2024. (2024). *Lighting applications - Emergency lighting*. Deutsches Institut für Normung.

DIN EN 12464-1. (n.d.). *Light and lighting - Lighting of work places - Part 1: Indoor work places*. Deutsches Institut für Normung.

DIN EN 12464-2. (n.d.). *Light and lighting - Lighting of work places - Part 2: Outdoor work places*. Deutsches Institut für Normung.

Ding, W., Liu, Z., & Wang, X. (2025). Modeling of wastewater treatment and dynamic optimization control of dissolved oxygen concentration in aeration tanks. *Journal of Environmental Engineering*, *151*(9). <https://doi.org/10.1061/JOEEDU.EEENG-7997>

DLC. (n.d.). *Qualified Products List*. DesignLights Consortium.

Dodds, C. (2021, April 29). *Cable Laying & Pulling – Installing LV-HV Cables Into Duct. Power and Cables*. <https://www.powerandcables.com/cable-pulling-laying-duct/>

Drysdale, D. (2011). *An introduction to fire dynamics* (3rd ed.). Wiley.

Durocher, D. B., & Kemper, G. M. (2010). Considerations in unit substation design to optimize reliability and electrical workplace safety. *IEEE Transactions on Industry Applications*. <https://ieeexplore.ieee.org/document/5470066/>

Eaton. (2018). *Unitized power centers*. [de-ion.com. http://www.de-ion.com/us/en-us/catalog/medium-voltage-power-distribution-control-systems/unitized-power-centers.html](http://www.de-ion.com/us/en-us/catalog/medium-voltage-power-distribution-control-systems/unitized-power-centers.html)

Εθνικό Κέντρο Δημόσιας Διοίκησης και Αυτοδιοίκησης. (n.d.). *ΕΛΟΤ HD384 – Εκπαιδευτικό υλικό*. <https://elearning.ekdd.gr>

Electricalnews.gr. (n.d.). Γειώσεις – Θεμελιακή γείωση. <https://www.electricalnews.gr/themeliaki/geioseis-themeliaki-geiosi/>

Elemko. (n.d.). Εξαρτήματα γείωσης. <http://www.elemko.gr/el/exartimata-geiosis>

Elemko. (n.d.). Θεμελιακή γείωση. <http://www.elemko.gr/el/exartimata-geiosis/themeliaki-geiosi>

Elemko. (n.d.). Συστήματα αντικεραυνικής προστασίας. <http://www.elemko.gr/el/systimata-antikeravnikis-prostasias>

ΕΛΟΤ. (2004). ΕΛΟΤ HD 384: Απαιτήσεις για ηλεκτρικές εγκαταστάσεις. Ελληνικός Οργανισμός Τυποποίησης.

ΕΛΟΤ. (n.d.). ΕΛΟΤ EN 62305: Προστασία από κεραυνούς (μέρη 1–4). Ελληνικός Οργανισμός Τυποποίησης.

EN 12665:2024. (2024). *Light and lighting - Basic terms and criteria for specifying lighting requirements*. European Committee for Standardization.

Enelec Engineering. (2023). HD 384 – ΕΛΟΤ 60364. <https://enelec.gr/hd-384/>

FAA. (2014). *FAA-C-1391 REV D: INSTALLATION, TERMINATION, SPLICING, AND TRANSIENT/SURGE PROTECTION OF UNDERGROUND ELECTRICAL DISTRIBUTION SYSTEM POWER CABLES*. Federal Aviation Administration.

Gonen, T. (2015). *Electric power distribution engineering* (3rd ed.). CRC Press.

Gonzalez Burgueño, A. (2025, November 3). *Critical infrastructure operators add more insecure industrial equipment online* [LinkedIn post]. LinkedIn. <https://www.linkedin.com/posts/antonio-gonzalez-burgue%C3%B1o-phd-706a7670-critical-infrastructure-operators-add-more-activity-7391021357758676992-9E5p>

Grainger, J. J., & Stevenson, W. D. (1994). *Power system analysis*. McGraw-Hill.

Gude, V. G. (2015). Energy and water autarky of wastewater treatment and power generation systems. *Renewable and Sustainable Energy Reviews*, *45*, 52–68. <https://doi.org/10.1016/j.rser.2015.01.055>

Hach Company. (2019). *LDO® dissolved oxygen sensors: Technology overview* (Technical Publication DOC026.53.80095). Hach Company.

Hassan, A. U., Shah, S. A. R., & Anwar, Z. (2022). Cybersecurity in water and wastewater infrastructure: A systematic review. *IEEE Access*, *10*, 112345–112360. <https://doi.org/10.1109/ACCESS.2022.3212345>

Idaho Administrative Code. (2024). *Facility and design standards for municipal wastewater treatment or disposal facilities: Biological treatment* (IDAPA 58.01.16.490). <https://www.law.cornell.edu/regulations/idaho/IDAPA-58.01.16.490>

IEC. (2010). *IEC 62305: Protection against lightning*. International Electrotechnical Commission.

IEC. (2017). *IEC 62271: High-voltage switchgear and controlgear*. International Electrotechnical Commission.

IEC. (2018). *Industrial communication networks – Network and system security – Part 3-2: Security risk assessment and system design* (IEC 62443-3-2:2018). International Electrotechnical Commission.

IEC. (2020a). *IEC 61439-1:2020 Low-voltage switchgear and controlgear assemblies - Part 1: General rules* (3rd ed.). International Electrotechnical Commission. <https://webstore.iec.ch/en/publication/32338>

IEC. (2020b). *DS/EN IEC 61439-1:2021/AC:2023-11 Low-voltage switchgear and controlgear assemblies - Part 1: General rules*. Danish Standards. <https://webstore.ansi.org/standards/ds/dseniec614392021ac202311>

IEC. (2024). *IEC 61439-3:2024 CMV Low-voltage switchgear and controlgear assemblies - Part 3: Distribution boards intended to

be operated by ordinary persons (DBO)* (2nd ed.). International Electrotechnical

Commission. <https://www.singaporestandardseshop.sg/Product/SPdtDetail/7f36a77a-caa1-d12c-4878-3a121f93db99>

IEEE. (2025a). *IEEE 3004.5-2025 IEEE Recommended Practice for the Application of Low-Voltage Circuit Breakers in Industrial and Commercial Power Systems*. IEEE Standards Association. <https://standards.ieee.org/ieee/3004.5/11043/>

IEEE. (2025b). *3004.5-2025 - IEEE Recommended Practice for the Application of Low-Voltage Circuit Breakers in Industrial and Commercial Power Systems*. Institute of Electrical and Electronics Engineers. <https://catalog.nccu.edu/trIn/DUKE9911975468330850>

1

IES RP-7-21. (2021). *Recommended Practice: Lighting Industrial Facilities*. Illuminating Engineering Society.

IITM Pravartak. (n.d.). *Integrated Engineering of Medium Voltage Substation*. https://digitalskills.iitmpravartak.org.in/course_details.php?courseID=55&cart=

INTECH Automation & Intelligence. (2025). *MV and LV distribution: Ensuring uninterrupted power for your critical operations*. <https://www.intechww.com/electrical-solutions/mv-and-lv-distribution/>

International Organization for Standardization. (2005). *Industrial automation systems: Requirements for enterprise-reference architectures and methodologies: Amendment 1: Additional views for user concerns* (ISO Standard No. 15745).

International Organization for Standardization. (2021). *Automation systems and integration – Digital twin framework for manufacturing – Part 2: Reference architecture* (ISO Standard No. 23247-2).

ISA-101. (2015). *Human-Machine Interfaces for Process Automation Systems* (ANSI/ISA-101.01-2015). International Society of Automation.

Judd, S. (2016). *The MBR book: Principles and applications of membrane bioreactors for water and wastewater treatment* (3rd ed.). IWA Publishing.

Κισσόπουλος, Β., & Στράντζαλης, Π. (2013). *Βιομηχανικές Ηλεκτρικές Εγκαταστάσεις: Σχεδιασμός - Μελέτη - Εφαρμογές*. Εκδόσεις Τζιόλα.

Κουτρούλης, Χ. Γ. (n.d.). Οπτικός έλεγχος κατά ΕΛΟΤ HD 384 – Μονάδες ιδιοπαραγωγής χαμηλής τάσης. <https://electrologos.gr>

Leitão, P., Colombo, A. W., & Karnouskos, S. (2018). *Industrial automation based on cyber-physical systems technologies: Prototype implementations and challenges*. Springer.

Leonton Technologies. (2025, August 4). Factory automation content: Factory ready: Low-voltage input supported & Power over Ethernet to reduce cost. *IPC2U Worldwide*. <https://ipc2u.com/articles/knowledge-base/factory-automation-content/>

Longo, S., d'Antoni, B. M., Bongards, M., Chaparro, A., Cronrath, A., Fatone, F., Lema, J. M., Mauricio-Iglesias, M., Soares, A., & Hospido, A. (2016). Monitoring and diagnosis of energy consumption in wastewater treatment plants. *Energy*, *107*, 768–780. <https://doi.org/10.1016/j.energy.2016.04.045>

Medium voltage underground cable standard. (2021, November 15). SUNWON Cables. <https://vinacable.vn/medium-voltage-underground-cable-standard/>

Μέση Τάση – Μέρος 6ο (Δίκτυα μέσης τάσης). (n.d.). [electricalnews.gr](https://www.electricalnews.gr). <https://www.electricalnews.gr>

Metcalf & Eddy, Inc. (2014). *Wastewater engineering: Treatment and resource recovery* (5th ed.). McGraw-Hill Education.

Min, A. K. Z. (2025). *Design and protection of a hybrid DC microgrid architecture for industrial applications* [Master's thesis, Politecnico di Milano]. POLITesi. <https://hdl.handle.net/10589/246084>

[Monachos.gr](https://www.monachos.gr). (2008). Κοινή γείωση ΕΗΕ και Υ/Σ ΔΕΗ [Forum post]. <https://www.monachos.gr/forum/showthread.php/1306->

National Fire Protection Association (NFPA). (2021). *NFPA 72: National Fire Alarm and Signaling Code*. National Fire Protection Association.

NFPA. (2022). *NFPA 72: National Fire Alarm and Signaling Code*. National Fire Protection Association.

NECA. (2003). *NECA/MACSCB 600: RECOMMENDED PRACTICE FOR INSTALLING AND MAINTAINING MEDIUM-VOLTAGE CABLE*. National Electrical Contractors Association.

Ντοκόπουλος, Π. (2005). *Ηλεκτρικές Εγκαταστάσεις Καταναλωτών Μέσης & Χαμηλής Τάσης*. Εκδόσεις Ζήτη.

Ødegaard, H. (2006). Innovations in wastewater treatment: The moving bed biofilm process. *Water Science and Technology*, *53*(9), 17–33. <https://doi.org/10.2166/wst.2006.270>

Olsson, G., Nielsen, M. K., Yuan, Z., Lynggaard-Jensen, A., & Steyer, J. P. (2005). *Instrumentation, control and automation in wastewater systems*. IWA Publishing.

Oregon State University. (2022). 26 10 00 Medium-voltage electrical distribution. <https://oppwiki.atlassian.net/wiki/plugins/viewsource/viewpagesrc.action?pagelId=5410314>

Πυργιώτη, Ε. (n.d.). Υποσταθμοί Μέσης Τάσης. *Ηλεκτρολόγος*. <https://electrologos.gr/ypostathmoi-mesis-tasis/>

Romagnole. (2025). Medium voltage primary incoming and metering substation – CCMP. <https://www.romagnole.com.br/en/produtos/cabine-primaria-de-entrada-e-medicao-em-media-tensao-ccmp/>

Ρυθμιστικός Κανόνας για την Εγκατάσταση Εξοπλισμού Μεταφοράς και Διανομής Ηλεκτρικής Ενέργειας, Κεφάλαιο 12, Άρθρα 246-253. (2017). (Ταϊβάν).

SDProget. (2026, February 24). *IEC 61439:2020 (Third Edition): What Changes in Low-Voltage Switchboard Design*. <https://www.sdproget.it/en/news/iec-61439-2020-third-edition-switchboard-design/>

Sobol, A. G., Sheldon, P., Natarahjan, H., Kreidler, J. T., Donlin, B. A., Ledwith, J. G., McVey, P. J., Moore, R. D., Nanni, P., Forsyth, D. D., Sobol, T., Reed, J. D., Ereksan, R. B., & Viesca, S. H. (2023). *Method and system for connectivity and control of industrial equipment using a low power wide area network* (U.S. Patent No. 12,375,366 B2). U.S. Patent and Trademark Office.

THALIS E.S. (2022). *Εγκατάσταση επεξεργασίας λυμάτων (ΕΕΛ) πεδινών οικισμών διευρυμένου Δήμου Νάουσας – Τεχνική περιγραφή έργου*. <https://thalis-es.gr>

Τσιχριντζής, Β., & Μαλαμής, Σ. (2021). *Επεξεργασία και διάθεση υγρών αποβλήτων*. Εκδόσεις Τζιόλα.

Ujzdowski, T., & Piotrowski, R. (2024). An optimized dissolved oxygen concentration control in SBR with the use of adaptive and predictive control schemes. In *2024 European Control Conference (ECC)* (pp. 1214–1221). IEEE. <https://doi.org/10.23919/ECC64448.2024.10590840>

UK Power Networks, & TE Connectivity. (n.d.). *Smart urban low voltage network*. ENA Innovation Portal. Retrieved March 12, 2026, from <https://smarter.energynetworks.org/projects/ukpnt1003/>

UNE 211024-1:2024. (2024). *Cable accessories. Elements of connection to be used in low and medium voltage underground distribution networks up to 18/30 (36) kV. Part 1: General requirements*. Asociacion Espanola de Normalizacion.

University of Stuttgart, University of Kassel, & Westnetz. (2025). *Standardization and integration of modular autonomous automation components in novel intelligent local network stations (i-Autonomous)*.

KETMarket. <https://ketmarket.eu/knowledgebase/standardization-and-integration-of-modular-autonomous-automation-components-in-novel-intelligent-local-network-stations/>

Van Leemput, D., Hoebeke, J., & De Poorter, E. (2024). Supporting ultralow-power nodes in 6TiSCH industrial wireless sensor networks. *IEEE Internet of Things Journal*, *11*(23), 38337–38347. <https://doi.org/10.1109/JIOT.2024.3447234>

Vanrolleghem, P. A., & Lee, D. S. (2003). On-line monitoring equipment for wastewater treatment processes: State of the

art. *Water Science and Technology*, *47*(2), 1–34. <https://doi.org/10.2166/wst.2003.0074>

Wang, S. (2010). *Intelligent buildings and building automation*. Routledge.

Water Environment Federation (WEF). (2021). *Energy conservation in water and wastewater facilities* (Manual of Practice No. 32). Water Environment Federation.

Western Washington University. (2025). Division 26 - Medium Voltage System. <https://fdo.wvu.edu/division-26-medium-voltage-system>