



**ΠΑΝΕΠΙΣΤΗΜΙΟ ΔΥΤΙΚΗΣ
ΑΤΤΙΚΗΣ**

**ΤΜΗΜΑ ΜΗΧΑΝΙΚΩΝ ΠΛΗΡΟΦΟΡΙΚΗΣ ΚΑΙ
ΥΠΟΛΟΓΙΣΤΩΝ**

ΔΙΠΛΩΜΑΤΙΚΗ ΕΡΓΑΣΙΑ

**Διασύνδεση Βιομηχανικών μονάδων
μέσω οπτικών ινών**

**Λουκάς Θεοφανόπουλος
Α.Μ. 711151055**

**Επιβλέπων Καθηγητής:
Δρ. Κωνσταντίνος Μαυρομάτης**

Μάρτιος 2024, Αθήνα

Εξεταστική επιτροπή:

<p>Κωνσταντίνος Μαυρομμάτης Επιβλέπων Καθηγητής</p>	<p>Σταύρος Φατούρος Αν. Καθηγητής</p>	<p>Νικόλαος Μυριδάκης Επίκουρος Καθηγητής</p>
---	---	---

Ημερομηνία εξέτασης 20/03/2024

Περιεχόμενα

Κατάλογος εικόνων	4
Περίληψη	5
Abstract	6
Εισαγωγή.....	7
1. Οπτικές ίνες και εξοπλισμός.....	10
1.1 Εισαγωγή στις οπτικές ίνες	10
1.2 Οπτικοί πομποί και δέκτες.....	16
1.3 Οπτικά καλώδια και σύνδεσμοι.....	20
2. Περιγραφή βιομηχανικών μονάδων	26
2.1 Επισκόπηση των βιομηχανικών μονάδων.....	26
2.1.1 Πρωταρχικές λειτουργίες των βιομηχανικών εγκαταστάσεων	26
2.1.2 Σημασία σε όλες τις βιομηχανίες.....	27
2.2 Τυπικός εξοπλισμός και συστήματα.....	28
2.3 Προκλήσεις ενσωμάτωσης διαφορετικών εξοπλισμών εντός μιας βιομηχανικής μονάδας	30
3. Σχεδιασμός και εγκατάσταση εξοπλισμού οπτικών ινών σε μια βιομηχανική μονάδα.....	33
3.1 Σχεδιασμός	33
3.1.1 Τοπολογία και αρχιτεκτονική δικτύου.....	33
3.2 Ελεγκτές προγραμματιζόμενης λογικής (PLC)	36
3.3 Συστήματα SCADA	38
3.4 PLC και SCADA στον αυτόματο βιομηχανικό έλεγχο	41
3.4.1 Χρήση συστημάτων SCADA και PLC από τη βιομηχανική μονάδα της εταιρίας ΚΟΡΠΗ	42
4. Μετάδοση και έλεγχος πληροφοριών.....	44
4.1 Μέθοδοι μετάδοσης πληροφοριών.....	44
4.2 Τύποι μεταδιδόμενων πληροφοριών	45
4.3 Εφαρμογές της επικοινωνίας με οπτικές ίνες σε βιομηχανικές μονάδες.....	46
4.4 Λειτουργίες του κέντρου ελέγχου.....	48
Συμπέρασμα	52
Βιβλιογραφία.....	54

Κατάλογος εικόνων

Εικόνα 1. Τα τρία βασικά στοιχεία μιας οπτικής ίνας	11
Εικόνα 2. Αναπαράσταση λειτουργίας των οπτικών ινών.....	12
Εικόνα 3. Στοιχεία και λειτουργίες οπτικών πομπών	18
Εικόνα 4. Στοιχεία και λειτουργίες οπτικών δεκτών	19
Εικόνα 5. Διαφορές στη διάμετρο των πυρήνων και της πηγής φωτός και διαμόρφωσης των οπτικών δεκτών των μονότροπων και των πολύτροπων καλωδίων.....	21
Εικόνα 6. Καλώδιο ινών διανομής	22
Εικόνα 7. Καλώδιο ινών διανομής	22
Εικόνα 8. Θωρακισμένο καλώδιο ινών	23
Εικόνα 9. Προ-τερματισμένα καλώδια ινών.....	24
Εικόνα 10. Μέθοδοι μετάδοσης	34
Εικόνα 11. Διάφορες τοπολογίες δικτύων.....	36
Εικόνα 12. Βασικοί τύποι άμεσα εγκατεστημένων οπτικών καλωδίων. Από αριστερά προς τα δεξιά: GASLLDV, GRHLWLTV, και GRSLTLV	Σφάλμα! Δεν έχει οριστεί σελιδοδείκτης.
Εικόνα 13. Σωλήνες που περιέχουν υποσωλήνες	Σφάλμα! Δεν έχει οριστεί σελιδοδείκτης.
Εικόνα 14. FTTH δίκτυο.....	46

Περίληψη

Η παρούσα εργασία παρέχει μια ολοκληρωμένη διερεύνηση των οπτικών ινών και του καθοριστικού τους ρόλου στις βιομηχανικές εφαρμογές. Ξεκινώντας με μια εισαγωγή στη μετασχηματιστική τεχνολογία των οπτικών ινών, η μελέτη εμβαθύνει στα βασικά στοιχεία της, όπως οι οπτικοί πομποί και δέκτες, καθώς και στην κρίσιμη υποδομή των οπτικών καλωδίων και των συνδέσμων. Συνεχίζει προσφέροντας μια διορατική επισκόπηση των βιομηχανικών εγκαταστάσεων, υπογραμμίζοντας τις πρωταρχικές λειτουργίες τους και την καθολική σημασία τους σε διάφορες βιομηχανίες. Στη συνέχεια, η εργασία εμβαθύνει στον τυπικό εξοπλισμό και στα συστήματα που βρίσκονται εντός των βιομηχανικών εγκαταστάσεων, τονίζοντας τις προκλήσεις της ενσωμάτωσης αυτών των διαφορετικών στοιχείων. Η εγκατάσταση του εξοπλισμού οπτικών ινών εξετάζεται λεπτομερώς, καλύπτοντας ζητήματα σχεδιασμού, επιλογής υλικών και διαδικασιών εγκατάστασης εξοπλισμού, με έντονη έμφαση στην ασφάλεια και την τήρηση των προτύπων. Επιπλέον, η εργασία διερευνά τις μεθόδους μετάδοσης πληροφοριών, τους τύπους των μεταδιδόμενων πληροφοριών και τις εφαρμογές της επικοινωνίας μέσω οπτικών ινών εντός βιομηχανικών εγκαταστάσεων. Κλείνει με τη διασαφήνιση των σημαντικών λειτουργιών των κέντρων ελέγχου σε βιομηχανικές εγκαταστάσεις. Συμπερασματικά, η παρούσα εργασία υπογραμμίζει τον απαραίτητο ρόλο των οπτικών ινών στα σύγχρονα βιομηχανικά περιβάλλοντα, επιτρέποντας την απρόσκοπτη διάδοση δεδομένων, την παρακολούθηση σε πραγματικό χρόνο και τον αποτελεσματικό έλεγχο.

Λέξεις-Κλειδιά: οπτικές ίνες, βιομηχανική μονάδα, εγκατάσταση, δεδομένα

Abstract

This paper provides a comprehensive investigation of optical fibres and their crucial role in industrial applications. Beginning with an introduction to the transformational technology of optical fibers, the study delves into its key elements, such as optical transmitters and receivers, as well as the critical infrastructure of optical cables and connectors. It goes on to offer an insightful overview of industrial facilities, highlighting their primary functions and their universal importance in various industries. The paper then delves into the typical equipment and systems found within industrial facilities, highlighting the challenges of integrating these diverse elements. The installation of fibre optic equipment is examined in detail, covering issues of design, material selection and equipment installation procedures, with a strong emphasis on safety and compliance with standards. In addition, the document explores the methods of information transmission, the types of information transmitted and the applications of fibre optic communication within industrial installations. It concludes by clarifying the vital functions of control centres in industrial installations. In conclusion, this paper highlights the indispensable role of fibre optics in modern industrial environments, enabling seamless data dissemination, real-time monitoring and effective control.

Keywords: optical fibres, industrial plant, facility, data

Εισαγωγή

Στο σημερινό ταχέως εξελισσόμενο βιομηχανικό τοπίο, η ανάγκη διασύνδεσης των βιομηχανικών μονάδων έχει καταστεί ολοένα και πιο κρίσιμη. Οι βιομηχανικές εγκαταστάσεις είναι πολύπλοκα οικοσυστήματα που περιλαμβάνουν ποικίλο εξοπλισμό, διαδικασίες και συστήματα που βασίζονται στην αποτελεσματική επικοινωνία για την απρόσκοπτη λειτουργία και τον συντονισμό. Παραδοσιακά, τα συστήματα επικοινωνίας σε βιομηχανικές εγκαταστάσεις βασίζονται σε συμβατικές μεθόδους, όπως η χάλκινη καλωδίωση και οι ασύρματες τεχνολογίες. Ωστόσο, τα συστήματα αυτά συχνά αντιμετωπίζουν περιορισμούς όταν πρόκειται να ανταποκριθούν στις απαιτήσεις των σύγχρονων βιομηχανικών περιβαλλόντων.

Ένας από τους κύριους περιορισμούς των παραδοσιακών συστημάτων επικοινωνίας είναι η περιορισμένη χωρητικότητα εύρους ζώνης. Οι βιομηχανικές μονάδες παράγουν τεράστιες ποσότητες δεδομένων που πρέπει να μεταδίδονται και να υποβάλλονται σε επεξεργασία σε πραγματικό χρόνο. Από την επικοινωνία μεταξύ μηχανών έως την ενσωμάτωση συστημάτων ελέγχου, ο όγκος και η ταχύτητα μεταφοράς δεδομένων αποτελούν κρίσιμους παράγοντες για τη διασφάλιση αποτελεσματικών λειτουργιών. Τα συστήματα που βασίζονται στον χαλκό δυσκολεύονται να ανταποκριθούν σε αυτές τις απαιτήσεις, οδηγώντας σε συμφόρηση της επικοινωνίας και μειωμένη παραγωγικότητα (Shalf, 2020).

Για να ξεπεραστούν αυτοί οι περιορισμοί και να αντιμετωπιστούν οι εξελισσόμενες απαιτήσεις διασύνδεσης βιομηχανικών εγκαταστάσεων, η χρήση της τεχνολογίας οπτικών ινών έχει αναδειχθεί ως μια πολλά υποσχόμενη λύση. Οι οπτικές ίνες προσφέρουν πολλά διακριτά πλεονεκτήματα σε σχέση με τα παραδοσιακά συστήματα επικοινωνίας. Πρώτον, οι οπτικές ίνες παρέχουν σημαντικά υψηλότερες δυνατότητες εύρους ζώνης, επιτρέποντας τη μετάδοση μεγάλου όγκου δεδομένων σε απίστευτα γρήγορες ταχύτητες. Αυτό επιτρέπει την παρακολούθηση, τον έλεγχο και τον συντονισμό των βιομηχανικών διεργασιών σε πραγματικό χρόνο, οδηγώντας σε αυξημένη παραγωγικότητα και αποδοτικότητα.

Δεύτερον, οι οπτικές ίνες είναι απρόσβλητες από ηλεκτρομαγνητικές παρεμβολές, οι οποίες είναι διαδεδομένες σε βιομηχανικά περιβάλλοντα. Αυτή η ανοσία εξασφαλίζει αξιόπιστη και αδιάλειπτη επικοινωνία, ακόμη και παρουσία ηλεκτρικού θορύβου ή

ηλεκτρομαγνητικής ακτινοβολίας που παράγεται από κοντινό εξοπλισμό. Η ανθεκτικότητα των οπτικών ινών τις καθιστά κατάλληλες για χρήση σε βιομηχανικά περιβάλλοντα, όπου η συνύπαρξη διαφόρων ηλεκτρονικών συσκευών και μηχανημάτων μπορεί να προκαλέσει παρεμβολές και υποβάθμιση του σήματος στα παραδοσιακά συστήματα επικοινωνίας.

Επιπλέον, οι οπτικές ίνες προσφέρουν αυξημένη ασφάλεια για τη μετάδοση δεδομένων. Σε αντίθεση με τα χάλκινα καλώδια, τα οποία μπορεί να είναι ευάλωτα σε υποκλοπές ή μη εξουσιοδοτημένη πρόσβαση, τα καλώδια οπτικών ινών είναι δύσκολο να παραβιαστούν χωρίς να εντοπιστούν. Αυτό το πρόσθετο επίπεδο ασφάλειας είναι ζωτικής σημασίας για τη διαφύλαξη ευαίσθητων βιομηχανικών πληροφοριών και την προστασία κρίσιμων συστημάτων από πιθανές απειλές στον κυβερνοχώρο (Fried and Irby, 2018).

Ο πρωταρχικός στόχος της παρούσας διπλωματικής εργασίας είναι η διερεύνηση της διασύνδεσης βιομηχανικών εγκαταστάσεων μέσω της τεχνολογίας οπτικών ινών. Η έρευνα αποσκοπεί στη διερεύνηση της πρακτικής εφαρμογής και των πλεονεκτημάτων της αξιοποίησης των οπτικών ινών για την επικοινωνία σε βιομηχανικά περιβάλλοντα. Συγκεκριμένα, θα εξεταστούν οι ακόλουθοι στόχοι:

- Αξιολόγηση της απόδοσης και της αποδοτικότητας των συστημάτων επικοινωνίας με βάση τις οπτικές ίνες στη διασύνδεση βιομηχανικών μονάδων.
- Αξιολόγηση του αντίκτυπου των οπτικών ινών στη μεταφορά δεδομένων σε πραγματικό χρόνο, στον έλεγχο και στο συντονισμό βιομηχανικών διεργασιών.
- Διερεύνηση της αξιοπιστίας και της ευρωστίας των οπτικών ινών σε βιομηχανικές εγκαταστάσεις, λαμβάνοντας υπόψη παράγοντες όπως οι ηλεκτρομαγνητικές παρεμβολές και οι περιβαλλοντικές συνθήκες.
- Ανάλυση των πτυχών ασφάλειας της διασύνδεσης με βάση τις οπτικές ίνες και την ικανότητά τους να προστατεύουν τα βιομηχανικά συστήματα και τα δεδομένα από πιθανές απειλές.
- Διερεύνηση της επεκτασιμότητας και των μελλοντικών προοπτικών των οπτικών ινών για τη διασύνδεση βιομηχανικών μονάδων, λαμβάνοντας υπόψη τις τεχνολογικές εξελίξεις και τις αναδυόμενες τάσεις.

Ωστόσο, είναι σημαντικό να αναγνωριστούν οι περιορισμοί και οι περιορισμοί που μπορεί να επηρεάσουν τη μελέτη. Πρώτον, η έρευνα δεν θα εμβαθύνει στις λεπτομερείς πτυχές του σχεδιασμού και της εγκατάστασης των δικτύων οπτικών ινών, καθώς επικεντρώνεται κυρίως στην αξιολόγηση των επιδόσεων και των πλεονεκτημάτων τους σε βιομηχανικό πλαίσιο.

Δεύτερον, η μελέτη αναγνωρίζει ότι κάθε βιομηχανική μονάδα έχει μοναδικά χαρακτηριστικά και απαιτήσεις, τα οποία μπορεί να επηρεάσουν την εφαρμογή και την αποτελεσματικότητα της διασύνδεσης με βάση τις οπτικές ίνες. Ως εκ τούτου, τα ευρήματα της παρούσας έρευνας θα πρέπει να ερμηνεύονται λαμβάνοντας υπόψη το συγκεκριμένο πλαίσιο κάθε βιομηχανικού περιβάλλοντος.

Συνοψίζοντας, η παρούσα διατριβή έχει ως στόχο να διερευνήσει τη διασύνδεση βιομηχανικών μονάδων μέσω της τεχνολογίας οπτικών ινών, αναδεικνύοντας τα πλεονεκτήματά της έναντι των παραδοσιακών συστημάτων επικοινωνίας. Η έρευνα θα αντιμετωπίσει τους στόχους της αξιολόγησης της απόδοσης, της αποδοτικότητας, της αξιοπιστίας, της ασφάλειας και της επεκτασιμότητας, λαμβάνοντας υπόψη τα μοναδικά χαρακτηριστικά και τους περιορισμούς των βιομηχανικών περιβαλλόντων.

1. Οπτικές ίνες και εξοπλισμός

1.1 Εισαγωγή στις οπτικές ίνες

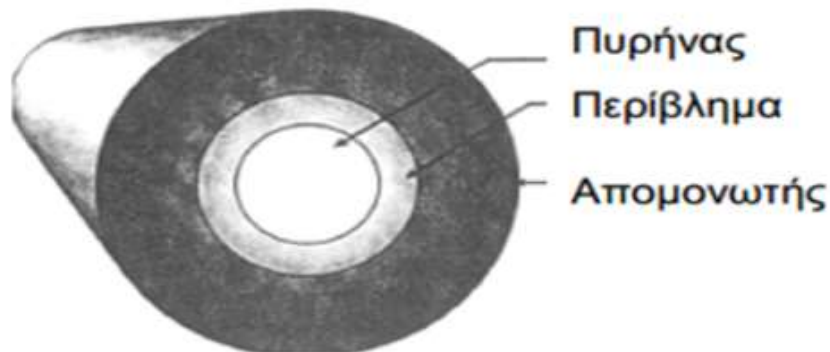
Η οπτική ίνα είναι μια τεχνολογία που χρησιμοποιεί τη μετάδοση του φωτός για σκοπούς επικοινωνίας. Βασίζεται στην αρχή της καθοδήγησης του φωτός κατά μήκος ενός λεπτού, εύκαμπτου και διαφανούς νήματος υλικού, συνήθως από γυαλί ή πλαστικό.

Μια οπτική ίνα μπορεί να περιγραφεί ως ένας κυλινδρικός κυματοδηγός κατασκευασμένος από υλικά όπως γυαλί ή πολυμερές, σχεδιασμένος για να ελαχιστοποιεί τις απώλειες στην ορατή και εγγύς υπέρυθη ακτινοβολία. Αποτελείται από τρία βασικά στοιχεία (Hecht, 2015) (Εικόνα 1):

Πυρήνας: Η κεντρική κυλινδρική ίνα που αποτελείται από γυαλί αποτελεί τον πυρήνα, μέσω του οποίου διαδίδεται το φως.

Περίβλημα: Το περίβλημα είναι ένας ομόκεντρος κύλινδρος που περιβάλλει τον πυρήνα, συνήθως κατασκευασμένος από υλικά με χαμηλότερο δείκτη διάθλασης. Αυτός ο χαμηλότερος δείκτης διάθλασης εξασφαλίζει ότι το φως υφίσταται συνεχή ολική εσωτερική ανάκλαση εντός του πυρήνα.

Απομονωτής: Το εξωτερικό στρώμα της οπτικής ίνας ονομάζεται απομονωτής, το οποίο είναι διαφανές και κατασκευάζεται από πλαστικό.



Εικόνα 1. Τα τρία βασικά στοιχεία μιας οπτικής ίνας

Αξιοποιώντας αυτές τις διακριτές περιοχές, μια οπτική ίνα επιτρέπει την αποτελεσματική μετάδοση φωτεινών σημάτων σε μεγάλες αποστάσεις με ελάχιστες απώλειες.

Η παρούσα ενότητα θα παράσχει μια επισκόπηση των θεμελιωδών αρχών της οπτικής ίνας, συμπεριλαμβανομένης της διάδοσης του φωτός, της ολικής εσωτερικής ανάκλασης και των διαφόρων τύπων ιών.

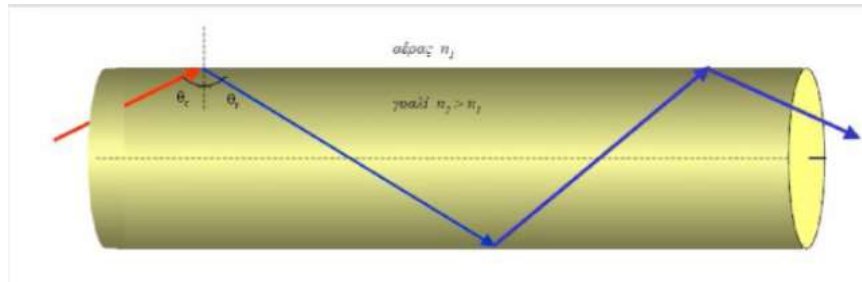
Διάδοση του φωτός στις οπτικές ίνες:

Στις οπτικές ίνες, το φως χρησιμοποιείται ως φορέας πληροφοριών. Συνήθως έχει τη μορφή διαμορφωμένου φωτεινού σήματος λέιζερ ή LED. Το φως ταξιδεύει μέσω του πυρήνα της οπτικής ίνας, ο οποίος περιβάλλεται από ένα υλικό επένδυσης με χαμηλότερο δείκτη διάθλασης. Η δομή πυρήνα-επένδυσης διασφαλίζει τη διάδοση του φωτός εντός της ίνας με τη χρήση της αρχής της ολικής εσωτερικής ανάκλασης (Xavier and Lima, 2020).

Ολική εσωτερική ανάκλαση:

Η ολική εσωτερική ανάκλαση είναι ένα φαινόμενο που συμβαίνει όταν το φως που ταξιδεύει σε ένα μέσο με υψηλό δείκτη διάθλασης συναντά μια διεπιφάνεια με ένα μέσο με χαμηλότερο δείκτη διάθλασης σε γωνία μεγαλύτερη από την κρίσιμη γωνία. Στις οπτικές ίνες, η αρχή αυτή αξιοποιείται για τον περιορισμό του φωτός εντός του

πυρήνα της ίνας. Όταν το φως προσκρούει στη διεπιφάνεια πυρήνα-περιβλήματος υπό γωνία μεγαλύτερη από την κρίσιμη γωνία, ανακλάται πίσω στον πυρήνα, αποτρέποντας σημαντικές απώλειες φωτός (Sanderson et al., 2014). Συγκεκριμένα, το φως επιστρέφει στον πυρήνα λόγω του χαμηλότερου δείκτη διάθλασης του περιβλήματος n_2 σε σύγκριση με τον δείκτη διάθλασης του πυρήνα n_1 .



Εικόνα 2. Αναπαράσταση λειτουργίας των οπτικών ινών

Το φως που εισέρχεται στον πυρήνα μιας ίνας υπό γωνία κατάλληλη για ολική εσωτερική ανάκλαση ανακλάται στην επαφή μεταξύ του πυρήνα και του περιβλήματος και περνά μέσα στον πυρήνα (Εικόνα 2). Ο δείκτης διάθλασης (IOR) είναι ο λόγος της ταχύτητας του φωτός στο κενό προς την ταχύτητα του φωτός σε ένα μέσο. Το φως θα ανακλαστεί ή θα διαθλαστεί στη διεπιφάνεια δύο υλικών με διαφορετικούς δείκτες διάθλασης ως αποτέλεσμα των δύο προηγούμενων.

Διαφορετικοί τύποι ινών:

Υπάρχουν διάφοροι τύποι οπτικών ινών που χρησιμοποιούνται στα συστήματα επικοινωνίας με οπτικές ίνες. Οι δύο κύριοι τύποι είναι οι μονότροπες ίνες (SMF) και οι πολύτροπες ίνες (MMF).

Μονότροπες ίνες (SMF):

Οι μονότροπες ίνες έχουν σχεδιαστεί για τη μετάδοση ενός μόνο τρόπου φωτός, επιτρέποντας μεγαλύτερες αποστάσεις μετάδοσης και υψηλότερο εύρος ζώνης. Έχουν μικρή διάμετρο πυρήνα (συνήθως περίπου 9 μm) και απαιτούν την εκτόξευση του φωτός στην ίνα με στενό γωνιακό εύρος. Οι SMF προσφέρουν χαμηλή διασπορά και χαμηλή εξασθένηση, καθιστώντας τις κατάλληλες για συστήματα επικοινωνιών

μεγάλων αποστάσεων και εφαρμογές που απαιτούν υψηλούς ρυθμούς δεδομένων (Li et al., 2017).

Πολύτροπες ίνες (MMF):

Οι πολύτροπες ίνες έχουν μεγαλύτερη διάμετρο πυρήνα (συνήθως μεταξύ 50 μm και 62,5 μm) και υποστηρίζουν πολλαπλούς τρόπους διάδοσης του φωτός. Λόγω του μεγαλύτερου μεγέθους του πυρήνα τους, οι MMF μπορούν να δεχτούν μεγαλύτερο εύρος γωνιών εισόδου, επιτρέποντας ευκολότερη σύζευξη των πηγών φωτός. Ωστόσο, πάσχουν από διαμορφική διασπορά, όπου οι διάφοροι τρόποι του φωτός ταξιδεύουν με διαφορετικές ταχύτητες, περιορίζοντας την απόσταση μετάδοσης και το εύρος ζώνης τους. Τα MMF χρησιμοποιούνται συνήθως σε συστήματα επικοινωνίας μικρής εμβέλειας, όπως τα τοπικά δίκτυα (LAN) και τα κέντρα δεδομένων (Chen and Wang, 2017).

Εκτός από τις SMF και τις MMF, υπάρχουν και άλλες εξειδικευμένες ίνες, συμπεριλαμβανομένων των ινών με μετατόπιση διασποράς (DSF) και των ινών με αντιστάθμιση διασποράς (DCF).

Ίνες με μετατόπιση διασποράς (DSF):

Οι ίνες με μετατόπιση διασποράς (DSF) είναι εξειδικευμένες οπτικές ίνες που έχουν σχεδιαστεί για την ελαχιστοποίηση της διασποράς σε συγκεκριμένα μήκη κύματος. Η διασπορά αναφέρεται στην εξάπλωση των οπτικών παλμών καθώς διαδίδονται μέσω της ίνας, οδηγώντας σε παραμόρφωση του σήματος και περιορίζοντας την απόσταση μετάδοσης και τους ρυθμούς μετάδοσης δεδομένων. Οι DSF αποσκοπούν στον μετριασμό αυτού του φαινομένου διασποράς, επιτρέποντας υψηλότερους ρυθμούς δεδομένων σε μεγαλύτερες αποστάσεις.

Τα DSF επιτυγχάνουν μείωση της διασποράς με προσεκτική σχεδίαση του προφίλ του δείκτη διάθλασης της ίνας. Ο δείκτης διάθλασης τροποποιείται ώστε να μετατοπιστεί το μήκος κύματος μηδενικής διασποράς (το μήκος κύματος στο οποίο η ίνα έχει ελάχιστη διασπορά) σε μια συγκεκριμένη επιθυμητή τιμή. Ευθυγραμμίζοντας το μήκος κύματος μηδενικής διασποράς με το μήκος κύματος λειτουργίας του συστήματος, οι DSF ελαχιστοποιούν τις επιπτώσεις της διασποράς, επιτρέποντας την αποτελεσματική μετάδοση σημάτων υψηλής ταχύτητας σε μεγάλες αποστάσεις.

Ο σχεδιασμός των DSF περιλαμβάνει ένα συμβιβασμό μεταξύ της μείωσης της διασποράς και των μη γραμμικών επιδράσεων. Μη γραμμικά φαινόμενα όπως η ανάμιξη τεσσάρων κυμάτων και η αυτοφασική διαμόρφωση μπορούν να προκύψουν λόγω της υψηλής έντασης των φωτεινών παλμών. Τα φαινόμενα αυτά μπορούν να περιορίσουν τους επιτευξιμους ρυθμούς δεδομένων και τις αποστάσεις μετάδοσης. Ως εκ τούτου, τα DSF πρέπει να επιτύχουν ισορροπία μεταξύ της μείωσης της διασποράς και της διαχείρισης των μη γραμμικών φαινομένων για να εξασφαλίσουν τη βέλτιστη απόδοση (Huerta-Mascotte et al., 2016).

Ίνες με αντιστάθμιση διασποράς (DCF):

Οι ίνες αντιστάθμισης διασποράς (DCF) είναι οπτικές ίνες που χρησιμοποιούνται για την αντιστάθμιση της διασποράς σε συστήματα επικοινωνιών μεγάλων αποστάσεων. Καθώς τα οπτικά σήματα διαδίδονται μέσω τυπικών μονότροπων ινών (SMF), εμφανίζεται διασπορά, η οποία προκαλεί διεύρυνση των παλμών και περιορίζει τις αποστάσεις μετάδοσης. Οι DCF εισάγονται στο σύστημα για να εξουδετερώσουν αυτή τη διασπορά, "αντισταθμίζοντας" ουσιαστικά τα φαινόμενα διασποράς.

Τα DCFs είναι κατασκευασμένα έτσι ώστε να έχουν χαρακτηριστικό διασποράς αντίθετο από αυτό των SMFs. Εισάγουν ένα σημαντικό ποσό διασποράς, αλλά με αντίθετο πρόσημο, το οποίο ακυρώνει τη διασπορά από την προηγούμενη ίνα. Με τη στρατηγική τοποθέτηση των DCF σε συγκεκριμένα σημεία κατά μήκος της διαδρομής μετάδοσης, επιτυγχάνεται αντιστάθμιση της διασποράς, με αποτέλεσμα τη βελτίωση της ποιότητας του σήματος και την αύξηση των αποστάσεων μετάδοσης.

Ο σχεδιασμός των DCF περιλαμβάνει προσεκτική εξέταση των χαρακτηριστικών διασποράς τους. Η τιμή διασποράς, η κλίση διασποράς και το μήκος του DCF πρέπει να υπολογίζονται με ακρίβεια για να επιτευχθεί η βέλτιστη αντιστάθμιση διασποράς. Επιπλέον, τα DCF μπορεί να παρουσιάζουν μη γραμμικά φαινόμενα παρόμοια με τα DSF και η διαχείριση αυτών των φαινομένων είναι ζωτικής σημασίας για τη διατήρηση της απόδοσης του συστήματος (Jyotsana, Kaur and Singh, 2014).

Είναι σημαντικό να σημειωθεί ότι τόσο οι DSF όσο και οι DCF είναι εξειδικευμένες ίνες που χρησιμοποιούνται σε συγκεκριμένα σενάρια για την αντιμετώπιση των προκλήσεων που σχετίζονται με τη διασπορά. Οι DSF χρησιμοποιούνται για την ελαχιστοποίηση της διασποράς και τη μεγιστοποίηση των ρυθμών δεδομένων σε

μεγάλες αποστάσεις, ενώ οι DCF χρησιμοποιούνται για την αντιστάθμιση της διασποράς και τη βελτίωση των αποστάσεων μετάδοσης σε συστήματα μεγάλων αποστάσεων. Με την ενσωμάτωση αυτών των εξειδικευμένων ινών στα συστήματα επικοινωνίας οπτικών ινών, οι μηχανικοί μπορούν να βελτιστοποιήσουν την απόδοση και να επεκτείνουν την εμβέλεια των οπτικών μεταδόσεων υψηλής ταχύτητας.

Συνολικά, οι DSF και οι DCF αποτελούν βασικά συστατικά στοιχεία στο σχεδιασμό και την υλοποίηση προηγμένων δικτύων οπτικών ινών, επιτρέποντας την αποτελεσματική και αξιόπιστη μετάδοση δεδομένων σε μεγάλες αποστάσεις με τον μετριασμό των επιζήμιων επιπτώσεων της διασποράς.

Οι οπτικές ίνες συνήθως συσσωρεύονται μαζί σε μια προστατευτική δομή καλωδίου για να παρέχουν μηχανική αντοχή και προστασία από εξωτερικούς παράγοντες. Η δομή του καλωδίου αποτελείται από πολλαπλά στρώματα, συμπεριλαμβανομένων του πυρήνα, της επένδυσης, του ρυθμιστικού στοιχείου, των μελών αντοχής και του εξωτερικού μανδύα. Το ρυθμιστικό στρώμα χρησιμεύει ως προστατευτική επίστρωση γύρω από την ίνα, ενώ τα μέλη αντοχής παρέχουν εφελκυστική αντοχή στο καλώδιο. Ο εξωτερικός μανδύας προστατεύει το καλώδιο από την υγρασία, τα χημικά και τις φυσικές φθορές.

Αυτή η ενότητα παρείχε μια εισαγωγή στις οπτικές ίνες, υπογραμμίζοντας τις θεμελιώδεις αρχές που διέπουν τη λειτουργία τους. Η διάδοση του φωτός εντός των οπτικών ινών βασίζεται στην ολική εσωτερική ανάκλαση, επιτρέποντας τη μετάδοση φωτεινών σημάτων σε μεγάλες αποστάσεις. Οι μονότροπες ίνες (SMF) και οι πολύτροπες ίνες (MMF) είναι οι κύριοι τύποι ινών που χρησιμοποιούνται στα συστήματα επικοινωνίας με οπτικές ίνες, με το καθένα να προσφέρει διακριτά πλεονεκτήματα και περιορισμούς. Επιπλέον, σε συγκεκριμένες εφαρμογές χρησιμοποιούνται εξειδικευμένες ίνες, όπως οι ίνες με μετατόπιση διασποράς (DSF) και οι ίνες με αντιστάθμιση διασποράς (DCF). Η κατανόηση των αρχών και των τύπων των ινών είναι απαραίτητη για την κατανόηση των επόμενων κεφαλαίων, όπου θα εξεταστεί λεπτομερέστερα η διασύνδεση βιομηχανικών μονάδων μέσω οπτικών ινών.

1.2 Οπτικοί πομποί και δέκτες

Οι οπτικοί πομποί και δέκτες είναι βασικά εξαρτήματα στα συστήματα επικοινωνίας οπτικών ινών. Παίζουν καθοριστικό ρόλο στη μετατροπή ηλεκτρικών σημάτων σε οπτικά σήματα για μετάδοση και αντίστροφα. Στην παρούσα ενότητα θα γίνει λεπτομερής ανάλυση των στοιχείων και των λειτουργιών των οπτικών πομπών και δεκτών, συμπεριλαμβανομένων των λέιζερ, των διόδων πηγών φωτός και των ενισχυτών.

Οπτικοί πομποί:

Η κύρια λειτουργία ενός οπτικού πομπού είναι η μετατροπή των ηλεκτρικών σημάτων στο απαιτούμενο ηλεκτρικό ρεύμα για την οδήγηση μιας φωτεινής πηγής. Αυτά τα ηλεκτρικά σήματα μπορεί να είναι είτε αναλογικά είτε ψηφιακά. Όταν το σήμα είναι ψηφιακό, ο πομπός πρέπει να ενσωματώνει ολοκληρωμένο κύκλωμα ικανό να παρέχει γρήγορη κωδικοποίηση παλμών μεταγωγής. Στην περίπτωση αναλογικών σημάτων, ο πομπός πρέπει να παρέχει ρεύμα σε μια πηγή φωτός για να είναι δυνατή η μετάδοση των μεταβολών του σήματος (Webster et al., 2014).

Στα οπτικά συστήματα επικοινωνίας χρησιμοποιούνται δύο κύριοι τύποι πηγών φωτός, ο καθένας με διαφορετικά επίπεδα ενέργειας, χαρακτηριστικά εκπομπής φωτός και διάρκεια ζωής. Αυτές οι πηγές φωτός είναι οι δίοδοι εκπομπής φωτός (LED) και τα λέιζερ ημιαγωγών. Η επιλογή της κατάλληλης πηγής φωτός εξαρτάται από διάφορους παράγοντες, όπως το επιθυμητό μήκος κύματος μετάδοσης εντός του παραθύρου μετάδοσης της ίνας, η σχέση μεταξύ ισχύος και απόστασης μετάδοσης, το εύρος του εύρους μήκους κύματος για την ελαχιστοποίηση των φαινομένων σκέδασης και η αποτελεσματική σύζευξη του παραγόμενου φωτός στην οπτική ίνα μετάδοσης (Sokolovskii et al., 2014).

Οι απαιτήσεις ενός οπτικού πομπού είναι οι εξής:

- Λειτουργία εντός ενός από τα "παράθυρα" ελάχιστης εξασθένησης, συνήθως στα 850 nm, 1310 nm ή 1550 nm.
- Εκπομπή οπτικού σήματος που είναι όσο το δυνατόν πιο μονοχρωματικό, με εύρος εκπομπής (Δλ) γύρω από το κεντρικό μήκος κύματος λειτουργίας κάτω από 50 nm.

- Ισχύς εξόδου περίπου 1 mW.
- Δυνατότητα διαμόρφωσης με ψηφιακά σήματα υψηλού ρυθμού.
- Υψηλός λόγος σβέσης, που υπερβαίνει συνήθως τα 8 dB.
- Λόγος απόσβεσης εκφραζόμενος ως $10\log(P_{out}/P(0))$.
- Διαστάσεις επιφάνειας εκπομπής παρόμοιες με εκείνες των οπτικών ινών.
- Υψηλή αξιοπιστία.
- Χαμηλό κόστος.

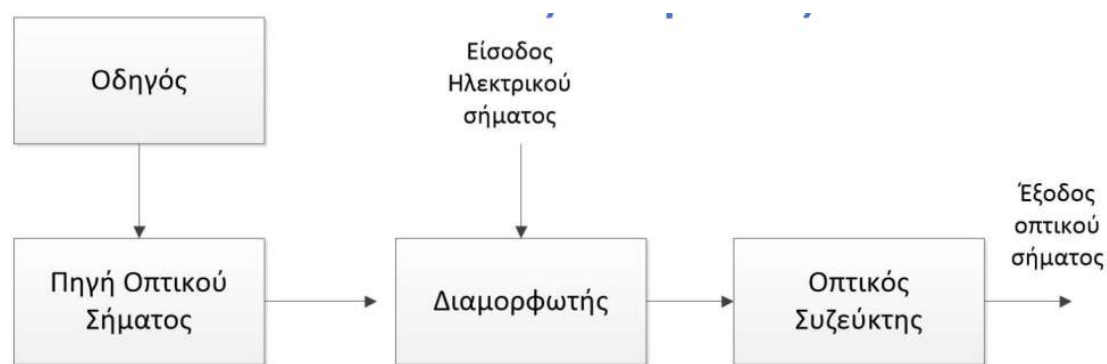
Συνοψίζοντας, ο κύριος σκοπός του οπτικού πομπού είναι η μετατροπή των ηλεκτρικών σημάτων στο απαραίτητο ηλεκτρικό ρεύμα για την οδήγηση μιας φωτεινής πηγής. Η επιλογή της πηγής φωτός, είτε πρόκειται για LED είτε για λέιζερ ημιαγωγών, εξαρτάται από παράγοντες όπως το επιθυμητό μήκος κύματος μετάδοσης, η σχέση ισχύος-απόστασης, τα φαινόμενα σκέδασης και η αποτελεσματική σύζευξη με την οπτική ίνα. Ο οπτικός πομπός θα πρέπει να πληροί συγκεκριμένες απαιτήσεις, μεταξύ των οποίων η λειτουργία εντός κατάλληλου παραθύρου εξασθένισης, η εκπομπή μονοχρωματικού σήματος, η παροχή επαρκούς ισχύος, η υποστήριξη ψηφιακής διαμόρφωσης υψηλού ρυθμού και η παρουσίαση χαρακτηριστικών όπως ο υψηλός λόγος σβέσης, ο λόγος απόσβεσης, το συμπαγές μέγεθος, η αξιοπιστία και η οικονομική αποδοτικότητα. Τα βασικά εξαρτήματα των οπτικών πομπών περιλαμβάνουν (Εικόνα 3):

Πηγή οπτικού σήματος(λέιζερ) (LD): Οι δίοδοι λέιζερ είναι οι πιο κοινές πηγές φωτός που χρησιμοποιούνται στους οπτικούς πομπούς. Εκπέμπουν συνεκτικό φως σε ένα στενό εύρος μηκών κύματος. Οι δίοδοι λέιζερ λειτουργούν με βάση τη διεγερμένη εκπομπή, όπου τα φωτόνια εκπέμπονται όταν τα ηλεκτρόνια στο υλικό του ημιαγωγού διεγείρονται από ένα εξωτερικό ηλεκτρικό ρεύμα. Οι δίοδοι λέιζερ παρέχουν υψηλής έντασης, στενού φάσματος και μονοχρωματικό φως κατάλληλο για αποτελεσματική μετάδοση μέσω οπτικών ινών (Mithun and Xia, 2020).

Διαμορφωτής: Οι διαμορφωτές χρησιμοποιούνται για την αποτύπωση του ηλεκτρικού σήματος στον οπτικό φορέα που παράγεται από τη δίοδο λέιζερ. Υπάρχουν διάφοροι τύποι διαμορφωτών, όπως διαμορφωτές έντασης, διαμορφωτές φάσης και διαμορφωτές πλάτους, ανάλογα με την τεχνική διαμόρφωσης που χρησιμοποιείται. Ο διαμορφωτής ελέγχει τις ιδιότητες του οπτικού σήματος για να κωδικοποιήσει την επιθυμητή πληροφορία πάνω στη φωτεινή δέσμη (Khwandah et al., 2015).

Οπτικός Συζεύκτης: Ο οπτικός συζεύκτης χρησιμοποιείται για τη ζεύξη του οπτικού σήματος από τη δίοδο λέιζερ στο καλώδιο οπτικών ινών. Εξασφαλίζει την αποτελεσματική μεταφορά του φωτός από την πηγή στην ίνα, ελαχιστοποιώντας τις απώλειες και μεγιστοποιώντας τη μεταφορά ισχύος (S. Perumal Sankar, Hariharan and R. Varatharajan, 2015).

Οδηγός: Ο οδηγός παρέχει τα απαραίτητα ηλεκτρικά σήματα και ρεύμα για τον έλεγχο της λειτουργίας της δίοδου λέιζερ. Εξασφαλίζει τη σωστή διαμόρφωση και σταθεροποίηση της οπτικής εξόδου (He, 2019)



Εικόνα 3. Στοιχεία και λειτουργίες οπτικών πομπών

Οπτικοί δέκτες:

Οι οπτικοί δέκτες είναι υπεύθυνοι για τη μετατροπή των οπτικών σημάτων που λαμβάνονται από το καλώδιο οπτικών ινών σε ηλεκτρικά σήματα για περαιτέρω επεξεργασία. Τα βασικά εξαρτήματα των οπτικών δεκτών περιλαμβάνουν (Muhammad Yasir, Ho and Vellambi, 2016) (Εικόνα 4):

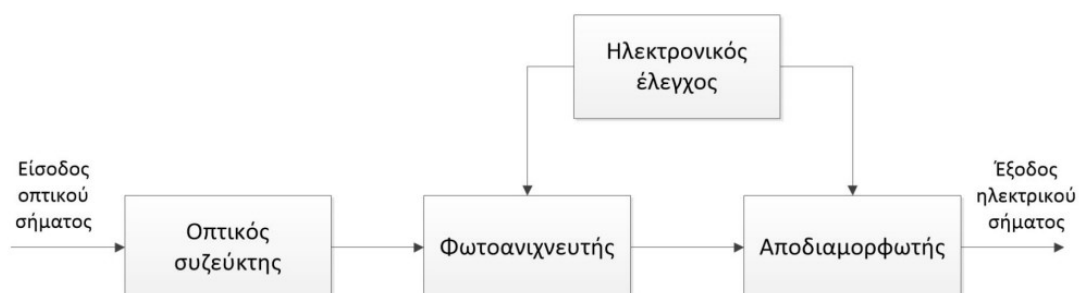
Οπτικός συζεύκτης: Οι οπτικοί συζεύκτες είναι διατάξεις ημιαγωγών που μετατρέπουν τα εισερχόμενα οπτικά σήματα σε ηλεκτρικά ρεύματα. Όταν φωτόνια προσπίπτουν στην επιφάνεια του οπτικού συζεύκτη, δημιουργούνται ζεύγη ηλεκτρονίων-οπών, δημιουργώντας ρεύμα ανάλογο της έντασης του προσπίπτοντος φωτός. Οι οπτικοί συζεύκτες βελτιστοποιούνται για συγκεκριμένες περιοχές μήκους κύματος και μπορεί να είναι είτε οπτικοί συζεύκτες PIN είτε χιονοστιβάδας (APD),

ανάλογα με την επιθυμητή ευαισθησία και την απόδοση θορύβου (Mirzazadeh et al., 2015).

Φωτοανιχνευτής: Ο φωτοανιχνευτής μετατρέπει το ρεύμα που παράγεται από τον οπτικό συζεύκτη σε σήμα τάσης για περαιτέρω ενίσχυση και επεξεργασία. Παρέχει μια έξοδο χαμηλής αντίστασης κατάλληλη για την οδήγηση επόμενων κυκλωμάτων (Ruben et al., 2018).

Αποδιαμορφωτής: Ο αποδιαμορφωτής ενισχύει περαιτέρω το σήμα τάσης από τον φωτοανιχνευτή για να ενισχύσει την ισχύ του για επακόλουθη επεξεργασία και αποδιαμόρφωση. Αντισταθμίζει τυχόν απώλειες και παρέχει την απαραίτητη ενίσχυση σήματος (Yu et al., 2021).

Ηλεκτρονικός έλεγχος: Το ηλεκτρικό σήμα από τον αποδιαμορφωτή συνήθως επεξεργάζεται με διάφορα κυκλώματα, συμπεριλαμβανομένων ισοσταθμιστών, φίλτρων και ενισχυτών, για να βελτιωθεί η ποιότητα του σήματος και να ανακτηθούν τα αρχικά δεδομένα (Tan and Jiang, 2018).



Εικόνα 4. Στοιχεία και λειτουργίες οπτικών δεκτών

Είναι σημαντικό να σημειωθεί ότι οι οπτικοί πομποί και δέκτες λειτουργούν σε συνδυασμό για να εξασφαλίσουν αποτελεσματική και αξιόπιστη επικοινωνία μέσω οπτικών ινών. Ο πομπός μετατρέπει τα ηλεκτρικά σήματα σε οπτικά σήματα, τα οποία στη συνέχεια μεταδίδονται μέσω του καλωδίου οπτικών ινών. Στο άκρο λήψης, ο δέκτης ανιχνεύει τα οπτικά σήματα και τα μετατρέπει ξανά σε ηλεκτρικά σήματα για περαιτέρω επεξεργασία και χρήση.

Συμπερασματικά, οι οπτικοί πομποί και δέκτες είναι κρίσιμα εξαρτήματα στα συστήματα επικοινωνίας μέσω οπτικών ινών. Οι πομποί χρησιμοποιούν διόδους

λείζερ και διαμορφωτές για τη μετατροπή των ηλεκτρικών σημάτων σε οπτικά σήματα, ενώ οι δέκτες χρησιμοποιούν φωτοδιόδους, ενισχυτές και κυκλώματα επεξεργασίας σήματος για τη μετατροπή των οπτικών σημάτων πίσω σε ηλεκτρικά σήματα. Η σωστή επιλογή και ενσωμάτωση αυτών των εξαρτημάτων είναι ζωτικής σημασίας για την επίτευξη υψηλής απόδοσης και αξιόπιστης επικοινωνίας οπτικών ινών.

2.3 Οπτικά καλώδια και σύνδεσμοι

Τα οπτικά καλώδια και οι σύνδεσμοι διαδραματίζουν καθοριστικό ρόλο στη διασύνδεση βιομηχανικών μονάδων μέσω οπτικών ινών. Παρέχουν τα μέσα για τη μετάδοση οπτικών σημάτων με αξιοπιστία και αποτελεσματικότητα. Στην παρούσα ενότητα θα συζητηθούν οι τύποι οπτικών καλωδίων που χρησιμοποιούνται συνήθως σε βιομηχανικές εφαρμογές, δίνοντας έμφαση στα χαρακτηριστικά τους και τονίζοντας τη σημασία των αξιόπιστων συνδέσεων.

Καλώδια μονότροπων ινών (SMF):

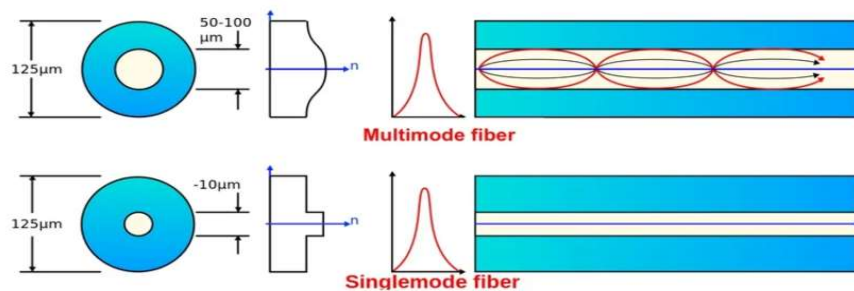
Τα καλώδια ινών μονής λειτουργίας (SMF) χρησιμοποιούνται ευρέως σε βιομηχανικές εφαρμογές λόγω της ανώτερης απόδοσής τους στην επικοινωνία σε μεγάλες αποστάσεις. Τα SMF έχουν μικρή διάμετρο πυρήνα (συνήθως γύρω στα 9,5 μm) που επιτρέπει τη διάδοση ενός μόνο τρόπου φωτός. Αυτός ο σχεδιασμός ελαχιστοποιεί τη διασπορά και την εξασθένηση του σήματος, επιτρέποντας τη μετάδοση σημάτων υψηλής ταχύτητας και υψηλού εύρους ζώνης σε μεγάλες αποστάσεις. Τα SMF είναι ιδιαίτερα κατάλληλα για τη διασύνδεση βιομηχανικών μονάδων που βρίσκονται σε μεγάλη απόσταση μεταξύ τους ή σε περιβάλλοντα με εκτεταμένη δικτυακή υποδομή (Ellis et al., 2022).

Καλώδια πολύτροπων ινών (MMF):

Τα καλώδια ινών πολλαπλών λειτουργιών (MMF) χρησιμοποιούνται συνήθως σε βιομηχανικές εφαρμογές μικρής εμβέλειας, όπως τοπικά δίκτυα (LAN) και κέντρα δεδομένων. Τα MMF έχουν μεγαλύτερη διάμετρο πυρήνα (συνήθως μεταξύ 50 μm και 62,5 μm) σε σύγκριση με τα SMF, επιτρέποντας τη διάδοση πολλαπλών τρόπων φωτός. Αν και οι MMF υποφέρουν από διασπορά τρόπων, η οποία περιορίζει την

απόσταση μετάδοσης και το εύρος ζώνης τους, προσφέρουν οικονομικά αποδοτικές λύσεις για μικρότερες διασυνδέσεις εντός βιομηχανικών μονάδων Multimode fiber (MMF) cables:.

Παρακάτω φαίνονται οι διαφορές των καλωδίων των μονότροπων και των πολύτροπων ινών (Εικόνα 5).



Εικόνα 5. Διαφορές στη διάμετρο των πυρήνων και της πηγής φωτός και διαμόρφωσης των οπτικών δεκτών των μονότροπων και των πολύτροπων καλωδίων

Καλώδια κατανεμημένων ινών:

Τα καλώδια κατανεμημένων ινών, γνωστά και ως καλώδια διάσπασης, χρησιμοποιούνται όταν πολλαπλές ίνες πρέπει να τερματιστούν ξεχωριστά. Τα καλώδια αυτά αποτελούνται από ένα κεντρικό στοιχείο αντοχής και πολλαπλές υπομονάδες, καθεμία από τις οποίες περιέχει μία ή περισσότερες ίνες. Οι υπομονάδες έχουν χρωματική κωδικοποίηση για εύκολη αναγνώριση και τερματισμό. Τα καλώδια κατανεμημένων ινών χρησιμοποιούνται συχνά σε βιομηχανικές εγκαταστάσεις όπου πρέπει να γίνουν πολλές συνδέσεις σε περιορισμένο χώρο, όπως σε πίνακες ελέγχου ή ράφια εξοπλισμού (Hicke et al., 2017) (Εικόνα 6).



Εικόνα 6. Καλώδιο ιών διανομής

Καλώδια οπτικών ιών τύπου σωλήνα:

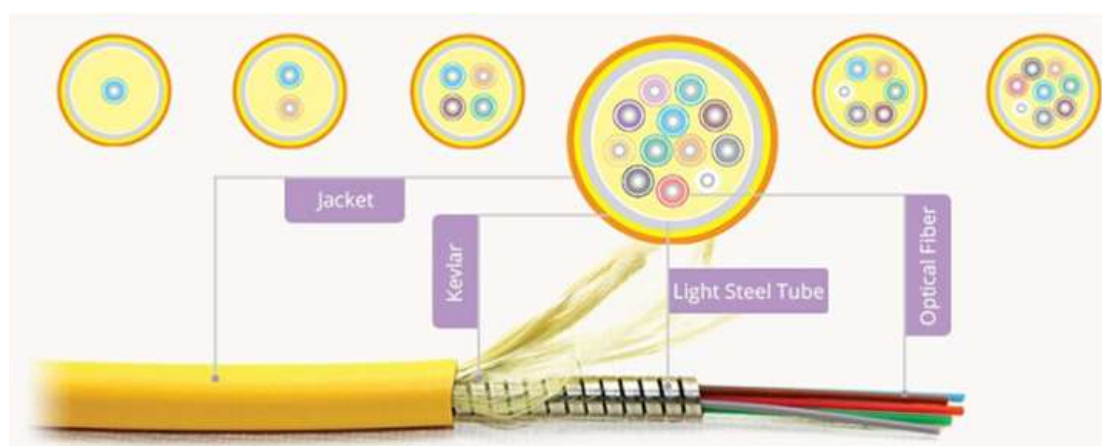
Τα καλώδια οπτικών ιών τύπου σωλήνα έχουν σχεδιαστεί για να αντέχουν σε σκληρές περιβαλλοντικές συνθήκες που συνήθως συναντώνται σε βιομηχανικά περιβάλλοντα. Αυτά τα καλώδια έχουν στιβαρή κατασκευή που προστατεύει τις ίνες από την υγρασία, τις διακυμάνσεις της θερμοκρασίας και τη φυσική καταπόνηση. Τα καλώδια τύπου σωλήνα αποτελούνται από μεμονωμένες ίνες που τοποθετούνται μέσα σε προστατευτικούς σωλήνες, επιτρέποντας ανεξάρτητη κίνηση και ευελιξία. Αυτός ο σχεδιασμός παρέχει αυξημένη αντίσταση στην εισροή υγρασίας και μειώνει τον κίνδυνο βλάβης των ιών λόγω κάμψης ή συστροφής (Kurosawa, 2013) (Εικόνα 7).



Εικόνα 7. Καλώδιο ιών διανομής

Θωρακισμένα καλώδια ινών:

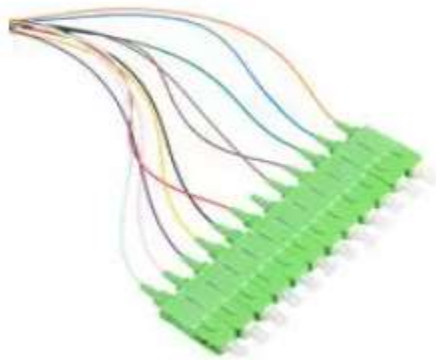
Τα θωρακισμένα καλώδια ινών είναι ενισχυμένα με ένα πρόσθετο στρώμα θωράκισης για να παρέχουν πρόσθετη προστασία από μηχανικές καταπονήσεις και εξωτερικούς παράγοντες. Η θωράκιση γίνεται συνήθως από χάλυβα ή αλουμίνιο και προστατεύει τις ίνες από σύνθλιψη, κρούση, ζημιές από τρωκτικά και άλλους φυσικούς κινδύνους. Τα θωρακισμένα καλώδια οπτικών ινών χρησιμοποιούνται συνήθως σε βιομηχανικές εφαρμογές όπου τα καλώδια μπορεί να εκτεθούν σε σκληρές συνθήκες, όπως σε εξωτερικές εγκαταστάσεις ή σε περιοχές που είναι επιρρεπείς σε βαριά μηχανήματα (Hall and Minto, 2019) (Εικόνα 8).



Εικόνα 8. Θωρακισμένο καλώδιο ινών

Προ-τερματισμένα καλώδια ινών:

Τα καλώδια προ-τερματισμένων ινών με προ-τερματισμό τερματίζονται στο εργοστάσιο και ελέγχονται πριν από την εγκατάσταση, προσφέροντας μια λύση plug-and-play για γρήγορη και αξιόπιστη συνδεσιμότητα. Αυτά τα καλώδια διατίθενται με συνδέσμους ήδη προσαρτημένους και στα δύο άκρα, εξαλείφοντας την ανάγκη για τερματισμό στο πεδίο. Τα καλώδια οπτικών ινών με προ-τερματισμούς είναι ιδιαίτερα ωφέλιμα σε βιομηχανικά περιβάλλοντα όπου ο χρόνος και οι εργατικοί πόροι για τον τερματισμό είναι περιορισμένοι. Εξασφαλίζουν σταθερές και υψηλής ποιότητας συνδέσεις, μειώνοντας τον χρόνο εγκατάστασης και ελαχιστοποιώντας τον κίνδυνο σφαλμάτων (M.A. Shoaie et al., 2017) (Εικόνα 9).



Εικόνα 9. Προ-τερματισμένα καλώδια ινών

Σημασία των αξιόπιστων συνδέσεων:

Οι αξιόπιστες συνδέσεις είναι υψίστης σημασίας στις βιομηχανικές εφαρμογές, όπου η αδιάλειπτη επικοινωνία και η μεταφορά δεδομένων είναι ζωτικής σημασίας για τη λειτουργική αποδοτικότητα και την ασφάλεια. Τα καλώδια και οι σύνδεσμοι οπτικών ινών διαδραματίζουν ζωτικό ρόλο στη διασφάλιση αξιόπιστων συνδέσεων με τους ακόλουθους τρόπους:

Χαμηλή απώλεια σήματος: Τα οπτικά καλώδια ελαχιστοποιούν την απώλεια σήματος και διατηρούν την ακεραιότητα του σήματος σε μεγάλες αποστάσεις. Αυτό είναι ζωτικής σημασίας για την ακριβή και χωρίς σφάλματα μετάδοση δεδομένων μεταξύ βιομηχανικών μονάδων, επιτρέποντας τον αποτελεσματικό έλεγχο, την παρακολούθηση και τον συντονισμό των διαδικασιών (Tamura et al., 2018).

Ανοχή στις ηλεκτρομαγνητικές παρεμβολές (EMI): Τα καλώδια οπτικών ινών αντέχουν τις ηλεκτρομαγνητικές παρεμβολές, οι οποίες είναι διαδεδομένη σε βιομηχανικά περιβάλλοντα λόγω της παρουσίας ηλεκτρικών μηχανημάτων και ηλεκτρομαγνητικής ακτινοβολίας. Αυτή η ανοχή εξασφαλίζει αξιόπιστη επικοινωνία χωρίς υποβάθμιση του σήματος ή διακοπές που προκαλούνται από ηλεκτρομαγνητική ακτινοβολία (Scott et al., 2019).

Προστασία από περιβαλλοντικούς παράγοντες: Τα οπτικά καλώδια που έχουν σχεδιαστεί για βιομηχανικές εφαρμογές είναι σχεδιασμένα ώστε να αντέχουν σε δύσκολες περιβαλλοντικές συνθήκες, συμπεριλαμβανομένων των διακυμάνσεων της θερμοκρασίας, της υγρασίας, των χημικών ουσιών και της φυσικής καταπόνησης.

Αυτή η προστασία εξασφαλίζει τη μακροζωία και την αξιοπιστία των συνδέσεων, ακόμη και σε δύσκολες βιομηχανικές συνθήκες (Almuslem, Shaikh and Muhammad Mustafa Hussain, 2019).

Ασφαλής και κλιμακούμενη συνδεσιμότητα: Οι σύνδεσμοι οπτικών ινών παρέχουν ασφαλείς και σταθερές συνδέσεις, μειώνοντας τον κίνδυνο μη εξουσιοδοτημένης πρόσβασης ή παραποίησης. Επιπλέον, η επεκτασιμότητα των συστημάτων οπτικών ινών επιτρέπει την εύκολη επέκταση και ενσωμάτωση νέων βιομηχανικών μονάδων χωρίς σημαντικές διαταραχές ή αλλαγές στην υπάρχουσα υποδομή. (Zhao et al., 2018)

Ελαχιστοποίηση του χρόνου διακοπής λειτουργίας και της συντήρησης: Οι αξιόπιστες συνδέσεις που προσφέρουν τα οπτικά καλώδια και οι σύνδεσμοι ελαχιστοποιούν τον χρόνο διακοπής λειτουργίας και τις απαιτήσεις συντήρησης. Οι βιομηχανικές διεργασίες μπορούν να λειτουργούν συνεχώς χωρίς διακοπές που προκαλούνται από αστοχίες συνδέσεων, μειώνοντας το λειτουργικό κόστος και βελτιώνοντας την παραγωγικότητα (Varga et al., 2018).

Συμπερασματικά, η επιλογή των κατάλληλων οπτικών καλωδίων και συνδετήρων είναι απαραίτητη για την αξιόπιστη διασύνδεση βιομηχανικών μονάδων μέσω οπτικών ινών. Τα καλώδια οπτικών ινών μονής λειτουργίας (SMF) και τα καλώδια οπτικών ινών πολλαπλής λειτουργίας (MMF) καλύπτουν διαφορετικές αποστάσεις μετάδοσης και απαιτήσεις εύρους ζώνης. Τα κατανεμημένα καλώδια ινών, τα καλώδια ινών τύπου σωλήνα, τα θωρακισμένα καλώδια ινών και τα προτερματισμένα καλώδια ινών καλύπτουν συγκεκριμένες περιβαλλοντικές ανάγκες και ανάγκες εγκατάστασης. Χρησιμοποιώντας αυτά τα καλώδια και τους συνδέσμους, οι βιομηχανικές εφαρμογές επωφελούνται από τη χαμηλή απώλεια σήματος, την ανοσία στις ηλεκτρομαγνητικές παρεμβολές, την προστασία από περιβαλλοντικούς παράγοντες, την ασφαλή συνδεσιμότητα και την ελαχιστοποίηση του χρόνου διακοπής λειτουργίας και συντήρησης. Αυτοί οι παράγοντες συμβάλλουν στην αποτελεσματική και αξιόπιστη λειτουργία των διασυνδεδεμένων βιομηχανικών μονάδων, ενισχύοντας τελικά την παραγωγικότητα και την ασφάλεια σε βιομηχανικά περιβάλλοντα.

2. Περιγραφή βιομηχανικών μονάδων

2.1 Επισκόπηση των βιομηχανικών μονάδων

Οι βιομηχανικές εγκαταστάσεις είναι πολύπλευρα και ουσιώδη στοιχεία των σύγχρονων οικονομιών παγκοσμίως. Χρησιμεύουν ως ραχοκοκαλιά των δραστηριοτήτων μεταποίησης, παραγωγής και επεξεργασίας σε ένα ευρύ φάσμα βιομηχανιών. Η κατανόηση των θεμελιωδών χαρακτηριστικών, των λειτουργιών και της σημασίας των βιομηχανικών εγκαταστάσεων είναι καθοριστικής σημασίας για την εκτίμηση του πλαισίου στο οποίο η τεχνολογία οπτικών ινών μπορεί να εφαρμοστεί για τη βελτίωση των λειτουργιών τους.

2.1.1 Πρωταρχικές λειτουργίες των βιομηχανικών εγκαταστάσεων

Οι βιομηχανικές εγκαταστάσεις έχουν σχεδιαστεί για να επιτελούν διάφορες πρωταρχικές λειτουργίες, οι οποίες μπορούν να κατηγοριοποιηθούν ως εξής (Qin et al., 2016):

Παραγωγή: Πολλές βιομηχανικές εγκαταστάσεις είναι στοχεύουν στη μαζική παραγωγή αγαθών. Οι μονάδες αυτές μετατρέπουν πρώτες ύλες ή ημιτελή προϊόντα σε τελικά καταναλωτικά προϊόντα. Παραδείγματα περιλαμβάνουν εργοστάσια κατασκευής αυτοκινήτων, εγκαταστάσεις συναρμολόγησης ηλεκτρονικών συσκευών και εργοστάσια κλωστοϋφαντουργίας.

Επεξεργασία: Οι βιομηχανικές εγκαταστάσεις σε τομείς όπως τα τρόφιμα και τα ποτά, τα χημικά και τα φαρμακευτικά προϊόντα επικεντρώνονται στην επεξεργασία πρώτων υλών σε εξευγενισμένα προϊόντα. Αυτό μπορεί να περιλαμβάνει καθαρισμό, χημικές αντιδράσεις και άλλες διεργασίες για την επίτευξη της επιθυμητής ποιότητας και ιδιοτήτων.

Παραγωγή ενέργειας: Οι μονάδες παραγωγής ηλεκτρικής ενέργειας, συμπεριλαμβανομένων των εγκαταστάσεων άνθρακα, πυρηνικών, φυσικού αερίου

και ανανεώσιμων πηγών ενέργειας, είναι αναπόσπαστο μέρος της παροχής ηλεκτρικής ενέργειας σε οικιακούς, εμπορικούς και βιομηχανικούς καταναλωτές.

Εξόρυξη και διύλιση: Στις εξορυκτικές βιομηχανίες, όπως η εξόρυξη, το πετρέλαιο και το φυσικό αέριο, οι βιομηχανικές εγκαταστάσεις είναι υπεύθυνες για την εξόρυξη φυσικών πόρων από τη γη και τη διύλισή τους σε χρήσιμα προϊόντα.

Αποθήκευση και διανομή: Ορισμένες βιομηχανικές μονάδες χρησιμεύουν κυρίως ως κόμβοι αποθήκευσης και διανομής. Για παράδειγμα, τα διυλιστήρια πετρελαίου αποθηκεύουν και διανέμουν προϊόντα πετρελαίου για την κάλυψη των παγκόσμιων ενεργειακών αναγκών.

2.1.2 Σημασία σε όλες τις βιομηχανίες

Οι βιομηχανικές εγκαταστάσεις διαδραματίζουν κρίσιμο ρόλο σε διάφορους κλάδους, συμβάλλοντας στην οικονομική ανάπτυξη και παρέχοντας βασικά προϊόντα και υπηρεσίες (Gupta, 2014):

Βιομηχανία μεταποίησης: Οι βιομηχανικές εγκαταστάσεις αποτελούν τον πυρήνα της μεταποίησης, εξασφαλίζοντας την αποτελεσματική παραγωγή ενός ευρέος φάσματος αγαθών, από αυτοκίνητα και ηλεκτρονικά είδη μέχρι κλωστοϋφαντουργικά προϊόντα και καταναλωτικές συσκευές.

Χημική και φαρμακευτική βιομηχανία: Οι μονάδες αυτές είναι απαραίτητες για την παραγωγή χημικών, φαρμακευτικών και ειδικών προϊόντων που υποστηρίζουν αμέτρητες εφαρμογές, όπως η υγειονομική περίθαλψη, η γεωργία και η μεταποίηση.

Ενεργειακός τομέας: Οι μονάδες παραγωγής ηλεκτρικής ενέργειας παρέχουν ηλεκτρική ενέργεια για οικιακή και βιομηχανική χρήση, επιτρέποντας τις οικονομικές δραστηριότητες και βελτιώνοντας την ποιότητα ζωής.

Βιομηχανία επεξεργασίας τροφίμων: Οι βιομηχανικές μονάδες αυτού του τομέα εξασφαλίζουν την επεξεργασία, τη συσκευασία και τη διανομή τροφίμων που είναι ασφαλή για κατανάλωση και ανταποκρίνονται στην παγκόσμια ζήτηση.

Ορυχεία και εξορυκτικές βιομηχανίες: Οι εγκαταστάσεις αυτές είναι υπεύθυνες για την εξόρυξη πολύτιμων ορυκτών, μετάλλων και ενεργειακών πόρων που κινούν διάφορους τομείς, συμπεριλαμβανομένων των κατασκευών, της τεχνολογίας και των μεταφορών.

Τέλος, η ποικιλομορφία των βιομηχανικών μονάδων είναι εκτεταμένη. Μπορεί να κυμαίνονται από μικρής κλίμακας επιχειρήσεις με τοπική παραγωγή έως ογκώδη, ολοκληρωμένα συγκροτήματα με διασυνδεδεμένες διαδικασίες. Αυτή η ποικιλομορφία απαιτεί προσαρμόσιμες τεχνολογίες και συστήματα επικοινωνίας, όπως οι οπτικές ίνες, για την υποστήριξη των ιδιαίτερων αναγκών τους.

2.2 Τυπικός εξοπλισμός και συστήματα

Οι βιομηχανικές μονάδες βασίζονται σε ένα ευρύ φάσμα τυπικού εξοπλισμού και συστημάτων για να εξασφαλίσουν αποτελεσματική και αξιόπιστη λειτουργία. Η κατανόηση αυτών των θεμελιωδών στοιχείων είναι απαραίτητη για την αξιολόγηση της ενσωμάτωσης της τεχνολογίας οπτικών ινών. Σε αυτή την ενότητα, θα εξερευνήσουμε ορισμένους από τους τυπικούς εξοπλισμούς και τα συστήματα που συναντώνται συνήθως σε βιομηχανικές μονάδες.

Εξοπλισμός διεργασιών: Εντός των βιομηχανικών μονάδων, υπάρχουν διάφοροι τύποι εξοπλισμού διεργασιών. Οι αντλίες και οι συμπιεστές, για παράδειγμα, παίζουν καθοριστικό ρόλο στη μεταφορά ρευστών και την πίεση, είτε πρόκειται για χημική επεξεργασία, δύλιση πετρελαίου ή επεξεργασία νερού. Οι εναλλάκτες θερμότητας είναι ζωτικής σημασίας για τον έλεγχο των θερμοκρασιών εντός των βιομηχανικών διεργασιών, ιδίως σε βιομηχανίες όπως η HVAC (θέρμανση, αερισμός και κλιματισμός) και η παραγωγή ενέργειας. Οι αντιδραστήρες, από την άλλη πλευρά, είναι εξειδικευμένα δοχεία που έχουν σχεδιαστεί για τη διεξαγωγή χημικών αντιδράσεων, συχνά υπό συγκεκριμένες συνθήκες θερμοκρασίας και πίεσης. Βιομηχανίες όπως η χημική βιομηχανία και η φαρμακευτική βιομηχανία βασίζονται σε μεγάλο βαθμό σε αυτούς. Οι αναμικτήρες και οι αναδευτήρες χρησιμοποιούνται για την ανάμειξη και την ομογενοποίηση υλικών σε διαδικασίες παραγωγής, εξασφαλίζοντας ομοιόμορφη ποιότητα προϊόντων, κάτι που είναι ιδιαίτερα σημαντικό στην επεξεργασία τροφίμων και στα καλλυντικά. Ο εξοπλισμός διαχωρισμού,

συμπεριλαμβανομένων των διαχωριστών, των φυγοκεντρικών και των φίλτρων, αναπτύσσεται για τον διαχωρισμό διαφορετικών συστατικών μέσα σε μείγματα, όπως στερεά από υγρά ή αέρια, και είναι διαδεδομένος στις πετροχημικές εγκαταστάσεις και στις εγκαταστάσεις επεξεργασίας λυμάτων (Grondzik & Kwok, 2019).

Συστήματα ελέγχου και παρακολούθησης: Οι βιομηχανικές μονάδες χρησιμοποιούν μια σειρά από συστήματα ελέγχου και παρακολούθησης για την εποπτεία και την αποτελεσματική διαχείριση των διεργασιών. Τα συστήματα εποπτικού ελέγχου και συλλογής δεδομένων (SCADA), για παράδειγμα, επιτρέπουν την απομακρυσμένη παρακολούθηση και τον έλεγχο συλλέγοντας δεδομένα από αισθητήρες και παρέχοντας δυνατότητες ελέγχου σε πραγματικό χρόνο. Οι προγραμματιζόμενοι λογικοί ελεγκτές (PLC) είναι προγραμματιζόμενες συσκευές που αυτοματοποιούν και ελέγχουν συγκεκριμένες εργασίες βάσει συνθηκών εισόδου, αποτελώντας τη ραχοκοκαλιά του αυτοματισμού σε πολλές βιομηχανικές διεργασίες. Αισθητήρες και όργανα, όπως αισθητήρες πίεσης, θερμοκρασίας, ροής και στάθμης, είναι διάσπαρτοι σε όλες τις βιομηχανικές μονάδες για την παρακολούθηση των συνθηκών και την παροχή δεδομένων για τον έλεγχο της διαδικασίας. Τα καταναμημένα συστήματα ελέγχου (DCS) χρησιμοποιούνται σε βιομηχανικές διεργασίες μεγάλης κλίμακας για τη διαχείριση σύνθετων στρατηγικών ελέγχου και βρίσκουν εκτεταμένη χρήση σε βιομηχανίες όπως η πετροχημική και η ηλεκτροπαραγωγή (Golnaraghi & Kuo, 2017).

Συστήματα ασφάλειας και προστασίας: Η ασφάλεια και η προστασία είναι υψίστης σημασίας στις βιομηχανικές μονάδες. Τα συστήματα ανίχνευσης και καταστολής πυρκαγιάς περιλαμβάνουν συναγερμούς πυρκαγιάς, καταιονιστήρες και μέσα καταστολής πυρκαγιάς, διαδραματίζοντας κρίσιμο ρόλο στην πρόληψη και τη διαχείριση πυρκαγιών. Συχνά υπάρχουν ισχυρά συστήματα ασφαλείας, που περιλαμβάνουν κάμερες παρακολούθησης, συστήματα ελέγχου πρόσβασης και συστήματα ανίχνευσης εισβολής. Τα συστήματα διακοπής λειτουργίας έκτακτης ανάγκης (ESD) έχουν σχεδιαστεί για την ταχεία διακοπή κρίσιμων διεργασιών σε καταστάσεις έκτακτης ανάγκης, αποτρέποντας ατυχήματα ή ζημιές στον εξοπλισμό (Siwar Kriaa et al., 2015).

Ηλεκτρικά συστήματα: Τα ηλεκτρικά συστήματα αποτελούν την αιμοδοσία των βιομηχανικών μονάδων. Οι διακόπτες και οι μετασχηματιστές διευκολύνουν τη διανομή ηλεκτρικής ενέργειας και τον μετασχηματισμό τάσης εντός της

εγκατάστασης. Οι γεννήτριες και οι μονάδες αδιάλειπτης παροχής ρεύματος (UPS) χρησιμεύουν ως εφεδρικές πηγές ενέργειας, εξασφαλίζοντας την αδιάλειπτη λειτουργία σε περίπτωση διακοπής ρεύματος. Τα επαρκή συστήματα φωτισμού είναι ζωτικής σημασίας για τη διατήρηση της ασφάλειας και της παραγωγικότητας εντός των βιομηχανικών εγκαταστάσεων (Grondzik & Kwok, 2019).

Μηχανολογικά συστήματα: Τα συστήματα HVAC (θέρμανσης, εξαερισμού και κλιματισμού) είναι απαραίτητα για τη ρύθμιση των εσωτερικών συνθηκών, εξασφαλίζοντας την άνεση και την ασφάλεια τόσο του εξοπλισμού όσο και του προσωπικού. Οι μεταφορές και ο εξοπλισμός χειρισμού υλικών διευκολύνουν την αποτελεσματική μετακίνηση υλικών και προϊόντων εντός της εγκατάστασης, βελτιστοποιώντας την παραγωγή και την εφοδιαστική (Grondzik & Kwok, 2019).

Η κατανόηση αυτού του τυποποιημένου εξοπλισμού και των συστημάτων είναι ζωτικής σημασίας όταν εξετάζεται η ενσωμάτωση οπτικών ινών για τη μετάδοση δεδομένων, την παρακολούθηση και τον έλεγχο εντός των βιομηχανικών μονάδων. Στις επόμενες ενότητες της παρούσας διπλωματικής εργασίας, θα εμβαθύνουμε στις προκλήσεις και τα πλεονεκτήματα της χρήσης της τεχνολογίας οπτικών ινών σε συνδυασμό με αυτά τα συστήματα, με στόχο την ενίσχυση της συνολικής αποδοτικότητας και αξιοπιστίας των βιομηχανικών λειτουργιών.

2.3 Προκλήσεις ενσωμάτωσης διαφορετικών εξοπλισμών εντός μιας βιομηχανικής μονάδας

Η ενσωμάτωση διαφορετικού εξοπλισμού και συστημάτων εντός μιας βιομηχανικής μονάδας είναι ένα πολύπλοκο εγχείρημα, κρίσιμο για την απρόσκοπτη λειτουργία και τη βελτιστοποίηση των διαφόρων βιομηχανικών διεργασιών. Ωστόσο, η ενσωμάτωση αυτή παρουσιάζει διάφορες σημαντικές προκλήσεις που πρέπει να αντιμετωπίσουν οι μηχανικοί και οι χειριστές για να διασφαλίσουν την αξιοπιστία, την ασφάλεια και την αποδοτικότητα ολόκληρου του συστήματος.

1. Συμβατότητα και διαλειτουργικότητα: Μία από τις σημαντικότερες προκλήσεις έγκειται στη διασφάλιση της συμβατότητας και της διαλειτουργικότητας των διαφόρων τύπων εξοπλισμού και συστημάτων. Οι βιομηχανικές μονάδες συχνά

περιλαμβάνουν εξαρτήματα από διάφορους κατασκευαστές, το καθένα με τα δικά του πρωτόκολλα επικοινωνίας και διεπαφές. Η ενσωμάτωση αυτών των διαφορετικών συστημάτων μπορεί να είναι ένα δύσκολο έργο, το οποίο απαιτεί προσεκτικό σχεδιασμό και την ανάπτυξη λύσεων ενδιάμεσου λογισμικού για τη διευκόλυνση της ανταλλαγής δεδομένων και του ελέγχου (Madni & Sievers, 2013).

2. *Ενσωμάτωση δεδομένων*: Οι βιομηχανικές εγκαταστάσεις παράγουν τεράστιες ποσότητες δεδομένων από αισθητήρες, ελεγκτές και άλλες συσκευές παρακολούθησης. Η αποτελεσματική ενσωμάτωση απαιτεί την εναρμόνιση αυτών των δεδομένων, καθιστώντας τα προσβάσιμα και χρήσιμα για τη λήψη αποφάσεων και τον έλεγχο. Η διασφάλιση της απρόσκοπτης ροής των δεδομένων μεταξύ του εξοπλισμού, των συστημάτων ελέγχου και των κεντρικών σταθμών παρακολούθησης είναι απαραίτητη για τη βελτιστοποίηση της διαδικασίας σε πραγματικό χρόνο (Mourtzis et al., 2016).

3. *Επεκτασιμότητα*: Οι βιομηχανικές μονάδες δεν είναι στατικές- μπορεί να υποστούν επεκτάσεις, αναβαθμίσεις ή τροποποιήσεις με την πάροδο του χρόνου. Η ενσωμάτωση νέου εξοπλισμού με παράλληλη διατήρηση της συνοχής του υπάρχοντος συστήματος αποτελεί πρόκληση. Οι εκτιμήσεις σχετικά με την επεκτασιμότητα πρέπει να ενσωματωθούν στη διαδικασία ολοκλήρωσης, ώστε να προσαρμόζονται σε μελλοντικές αλλαγές χωρίς να διαταράσσονται οι τρέχουσες λειτουργίες (Harjunkoski et al., 2014).

4. *Ασφάλεια στον κυβερνοχώρο*: Καθώς οι βιομηχανικές εγκαταστάσεις διασυνδέονται όλο και περισσότερο μέσω ψηφιακών συστημάτων και δικτύων, καθίστανται ευάλωτες σε απειλές στον κυβερνοχώρο. Η προστασία των κρίσιμων υποδομών από κυβερνοεπιθέσεις είναι υψίστης σημασίας. Η ενσωμάτωση μέτρων ασφαλείας και η διασφάλιση της ακεραιότητας των επικοινωνιών δεδομένων είναι μια συνεχής πρόκληση που απαιτεί συνεχή επαγρύπνηση και προσαρμογή (Thakur et al., 2015).

5. *Συστήματα παλαιάς τεχνολογίας*: Πολλές βιομηχανικές εγκαταστάσεις εξακολουθούν να βασίζονται σε παλιό εξοπλισμό και συστήματα, τα οποία ενδέχεται να μην είναι εγγενώς συμβατά με τις σύγχρονες τεχνολογίες. Η ενσωμάτωση αυτών των παλαιότερων συστημάτων σε ένα συνεκτικό, τεχνολογικά προηγμένο δίκτυο μπορεί να είναι ιδιαίτερα δύσκολη και μπορεί να απαιτεί προσαρμοσμένες λύσεις ή μετασκευή (Bartolomeu et al., 2019).

6. *Συντήρηση και αξιοπιστία*: Η ενσωμάτωση διαφορετικού εξοπλισμού μπορεί να επηρεάσει τις διαδικασίες συντήρησης και τη συνολική αξιοπιστία της εγκατάστασης. Η διασφάλιση ότι οι ομάδες συντήρησης μπορούν να έχουν πρόσβαση και να αντιμετωπίζουν αποτελεσματικά τα ενσωματωμένα συστήματα είναι ζωτικής σημασίας για την ελαχιστοποίηση του χρόνου διακοπής λειτουργίας και τη βελτιστοποίηση της λειτουργικής απόδοσης (Lee et al., 2015).

7. *Εκπαίδευση και επάρκεια του εργατικού δυναμικού*: Με την εισαγωγή νέων τεχνολογιών και ολοκληρωμένων συστημάτων, η επάρκεια και η κατάρτιση του εργατικού δυναμικού καθίστανται ζωτικής σημασίας. Οι χειριστές, οι τεχνικοί και οι μηχανικοί πρέπει να αποκτήσουν τις απαραίτητες δεξιότητες για να κατανοήσουν και να διαχειριστούν αποτελεσματικά τον ολοκληρωμένο εξοπλισμό (Klotz et al., 2014).

8. *Κανονιστική συμμόρφωση*: Οι βιομηχανικές εγκαταστάσεις λειτουργούν συχνά σε ιδιαίτερα ρυθμισμένα περιβάλλοντα, που υπόκεινται σε ειδικά βιομηχανικά πρότυπα και κυβερνητικούς κανονισμούς. Η διασφάλιση της συμμόρφωσης των ολοκληρωμένων συστημάτων με αυτές τις απαιτήσεις αποτελεί μια διαρκή πρόκληση που απαιτεί σχολαστική τεκμηρίωση και τήρηση των βέλτιστων πρακτικών (Majone, 2019).

Συνοψίζοντας, η ενσωμάτωση ποικίλου εξοπλισμού και συστημάτων σε μια βιομηχανική μονάδα είναι απαραίτητη για την επίτευξη λειτουργικής αριστείας, αλλά δεν είναι χωρίς προκλήσεις. Η αντιμετώπιση ζητημάτων συμβατότητας, ολοκλήρωσης δεδομένων, επεκτασιμότητας, ασφάλειας στον κυβερνοχώρο, παλαιών συστημάτων, συντήρησης, επάρκειας του εργατικού δυναμικού και κανονιστικής συμμόρφωσης είναι επιτακτική ανάγκη για την επιτυχή ολοκλήρωση. Επιπλέον, καθώς η τεχνολογία συνεχίζει να εξελίσσεται, οι βιομηχανικές μονάδες πρέπει να παραμένουν προσαρμόσιμες και ανθεκτικές για να ανταποκρίνονται στις απαιτήσεις ενός συνεχώς μεταβαλλόμενου βιομηχανικού τοπίου. Οι επόμενες ενότητες της παρούσας διατριβής θα διερευνήσουν τον τρόπο με τον οποίο η τεχνολογία οπτικών ινών μπορεί να προσφέρει λύσεις σε ορισμένες από αυτές τις προκλήσεις, ενισχύοντας την ενσωμάτωση του εξοπλισμού και των συστημάτων εντός των βιομηχανικών μονάδων.

3. Σχεδιασμός και εγκατάσταση εξοπλισμού οπτικών ινών σε μια βιομηχανική μονάδα

3.1 Σχεδιασμός

Η φάση του σχεδιασμού αποτελεί κρίσιμο σημείο εκκίνησης για την εγκατάσταση εξοπλισμού οπτικών ινών σε βιομηχανικές μονάδες. Ένας καλά μελετημένος σχεδιασμός θέτει τα θεμέλια για ένα στιβαρό και αποδοτικό δίκτυο οπτικών ινών που μπορεί να ανταποκριθεί στις συγκεκριμένες ανάγκες της βιομηχανικής μονάδας. Σε αυτή την ενότητα, θα εμβαθύνουμε στις βασικές πτυχές της διαδικασίας σχεδιασμού για εγκαταστάσεις οπτικών ινών.

3.1.1 Τοπολογία και αρχιτεκτονική δικτύου

Ο σχεδιασμός ενός δικτύου οπτικών ινών ξεκινά με τον καθορισμό της τοπολογίας και της αρχιτεκτονικής του. Μπορούν να χρησιμοποιηθούν διάφορες τοπολογίες, όπως αστέρας, δακτύλιος, σημείο προς σημείο, δέντρο και δίαυλος, ανάλογα με τις απαιτήσεις της εγκατάστασης. Παράγοντες όπως ο πλεονασμός, η επεκτασιμότητα και η ανοχή σε σφάλματα παίζουν καθοριστικό ρόλο στον καθορισμό της κατάλληλης τοπολογίας. Επιπλέον, η αρχιτεκτονική θα πρέπει να λαμβάνει υπόψη την τοποθέτηση βασικών στοιχείων, όπως οι κεντρικές αίθουσες ελέγχου, τα σημεία διανομής και τα τελικά σημεία για τη συλλογή και τη μετάδοση δεδομένων (Huang et al., 2018).

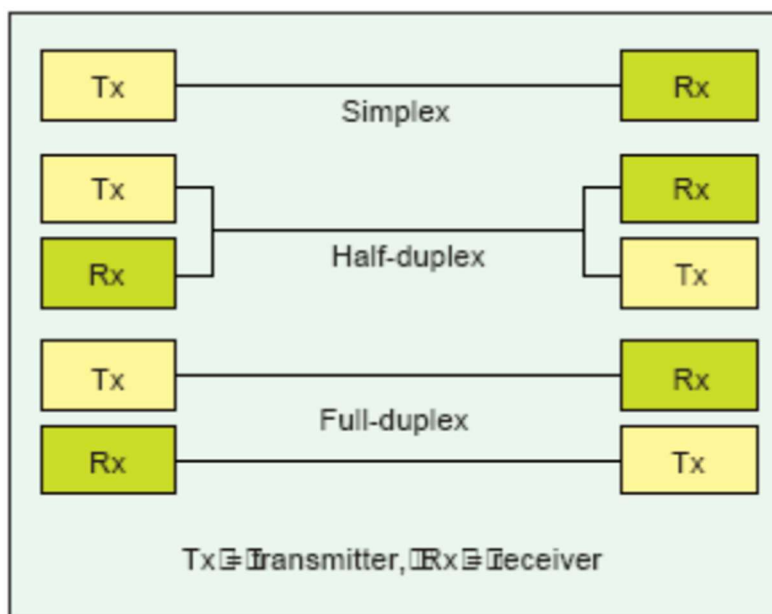
Αρχικά, είναι απαραίτητο να εξετάσουμε τους τύπους μετάδοσης δεδομένων, οι οποίοι διαμορφώνουν θεμελιωδώς τη λειτουργικότητα του δικτύου (Koc, 2022) (Εικόνα 10):

Απλή μετάδοση: Αυτός ο τρόπος περιλαμβάνει μονόδρομη ροή δεδομένων, με πληροφορίες που μεταδίδονται προς μία μόνο κατεύθυνση. Χρησιμοποιείται συνήθως σε εφαρμογές όπου η ανταλλαγή δεδομένων γίνεται κυρίως προς μία μόνο κατεύθυνση.

Ημι-αμφίδρομη μετάδοση: Σε αυτόν τον τρόπο λειτουργίας, τα δεδομένα μπορούν να μεταδίδονται και προς τις δύο κατευθύνσεις, αλλά όχι ταυτόχρονα. Διευκολύνει την

αμφίδρομη επικοινωνία, με τα δεδομένα να εναλλάσσονται μπρος-πίσω μεταξύ των κατευθύνσεων μετάδοσης ανάλογα με τις ανάγκες.

Πλήρως αμφίδρομη μετάδοση: Η πλήρως αμφίδρομη μετάδοση επιτρέπει την ταυτόχρονη ροή δεδομένων και στις δύο κατευθύνσεις, επιτρέποντας την αμφίδρομη επικοινωνία σε πραγματικό χρόνο, χωρίς την ανάγκη εναλλαγής κατεύθυνσης. Αυτή η λειτουργία είναι ιδανική για εφαρμογές που απαιτούν συνεχή, διαδραστική ανταλλαγή δεδομένων.



Εικόνα 10. Μέθοδοι μετάδοσης

Η επιλογή της τοπολογίας δικτύου περιλαμβάνει την επιλογή μιας από τις ακόλουθες φυσικές μορφές κατασκευής, καθεμία από τις οποίες έχει τα δικά της χαρακτηριστικά και την καταλληλότητά της για διαφορετικά σενάρια (Εικόνα 11):

Σημείο-προς-σημείο: Σε μια τοπολογία σημείου-προς-σημείο, δύο μονάδες επικοινωνίας συνδέονται απευθείας, σχηματίζοντας μια αποκλειστική, ενιαία διαδρομή επικοινωνίας. Αυτή η διαμόρφωση είναι κατάλληλη για σενάρια που απαιτούν άμεση, αποκλειστική σύνδεση μεταξύ δύο τελικών σημείων.

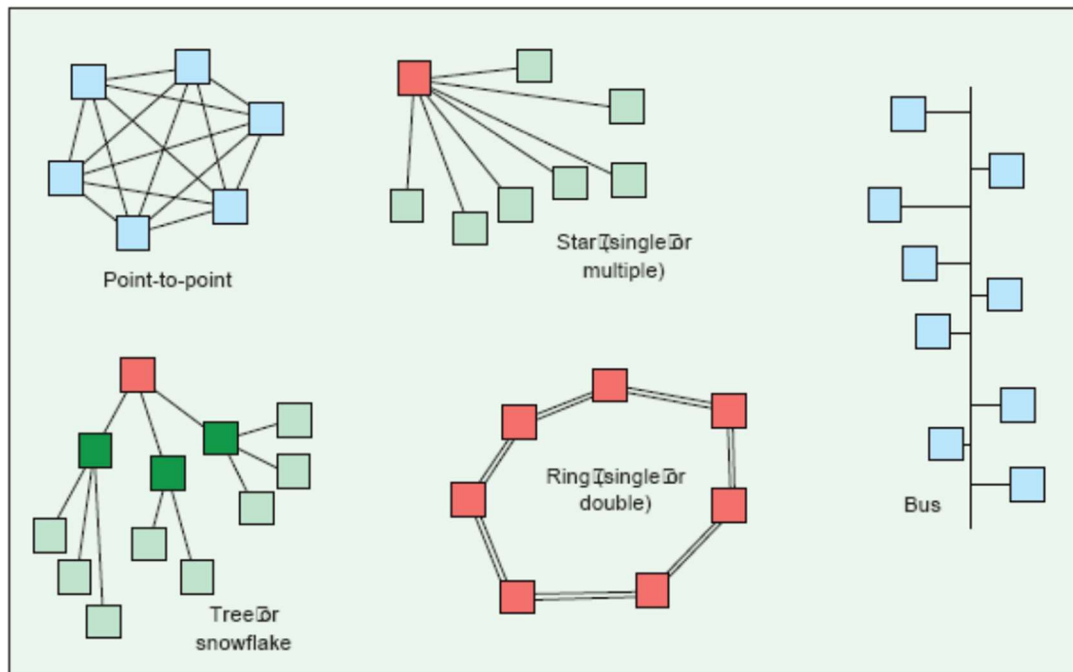
Αστέρι: Η τοπολογία αστέρα επικεντρώνεται γύρω από έναν κεντρικό κόμβο που συνδέεται με πολλαπλές μονάδες επικοινωνίας που εκπέμπουν προς τα έξω. Αυτή η δομή κόμβου και ακτίνας απλοποιεί τη διαχείριση και την αντιμετώπιση προβλημάτων και είναι ιδιαίτερα αποτελεσματική για εφαρμογές κεντρικού ελέγχου και παρακολούθησης.

Δέντρο: Η τοπολογία δέντρου επεκτείνει την έννοια του αστέρα επιτρέποντας πολλαπλά ιεραρχικά επίπεδα μονάδων επικοινωνίας. Τα δεδομένα μπορούν να ρέουν τόσο κάθετα όσο και οριζόντια, καθιστώντας την ευέλικτη για ιεραρχικές δομές δικτύου.

Δακτύλιος: Σε μια τοπολογία δακτυλίου, οι μονάδες επικοινωνίας διασυνδέονται μεταξύ τους σε διαμόρφωση κλειστού βρόχου, διευκολύνοντας τη μετάδοση δεδομένων με κυκλικό τρόπο. Οι τοπολογίες δακτυλίου προσφέρουν πλεονασμό και ανοχή σε σφάλματα, καθώς τα δεδομένα μπορούν να ακολουθήσουν πολλαπλές διαδρομές εάν ένα τμήμα διακοπεί.

Διάυλος: Η τοπολογία διαύλου διαθέτει μια ενιαία γραμμή επικοινωνίας στην οποία συνδέονται όλες οι μονάδες. Τα δεδομένα μεταδίδονται κατά μήκος της γραμμής και κάθε μονάδα λαμβάνει τα δεδομένα, επιτρέποντας την απλή επεκτασιμότητα και την οικονομική αποδοτικότητα στις ρυθμίσεις δικτύου.

Αυτή η στρατηγική απόφαση θέτει τις βάσεις για ένα αποδοτικό και ανθεκτικό δίκτυο οπτικών ινών, ευθυγραμμίζοντάς το με τις μοναδικές λειτουργικές απαιτήσεις του βιομηχανικού περιβάλλοντος (Bisht & Singh, 2015).



Εικόνα 11. Διάφορες τοπολογίες δικτύων

3.2 Ελεγκτές προγραμματιζόμενης λογικής (PLC)

Οι ελεγκτές προγραμματιζόμενης λογικής (PLC) χρησιμεύουν ως απαραίτητα στοιχεία στον βιομηχανικό αυτοματισμό, βελτιώνοντας και βελτιώνοντας τα συστήματα ελέγχου για διάφορες εφαρμογές. Αποτελώντας μια σύγχρονη εναλλακτική λύση στις παραδοσιακές καλωδιώσεις, τους χρονοδιακόπτες και τα ρελέ, τα PLC λειτουργούν ως βιομηχανικοί υπολογιστές που έχουν σχεδιαστεί σχολαστικά για την επίβλεψη και τη ρύθμιση των διαδικασιών παραγωγής. Είτε αναπτύσσονται σε σύγχρονες γραμμές παραγωγής, ρομποτικά μηχανήματα είτε σε εξειδικευμένο εξοπλισμό όπως ο παλετοποιητής, τα PLC προσφέρουν ένα κρίσιμο μείγμα υψηλής αξιοπιστίας ελέγχου και βελτιωμένων διαγνωστικών δυνατοτήτων για αποτελεσματική επίλυση βλαβών. Εξοπλισμένα με ενσωματωμένη οθόνη πληκτρολογίου, τα PLC διευκολύνουν τον άμεσο προγραμματισμό και τις τροποποιήσεις προγραμμάτων, εξασφαλίζοντας φιλική προς τον χρήστη αλληλεπίδραση. Οι τράπεζες μνήμης τους αποθηκεύουν τις διαμορφώσεις και τις τροποποιήσεις του προγράμματος, ενώ ένας εξελιγμένος μικροεπεξεργαστής διαχειρίζεται αποτελεσματικά τις εντολές του προγράμματος και επεξεργάζεται τα

δεδομένα που λαμβάνονται από τις συσκευές εισόδου και εξόδου. Στην ουσία, τα PLC στέκονται ως κομβικά εργαλεία στις βιομηχανικές εγκαταστάσεις, αποτελώντας παράδειγμα ευελιξίας, αξιοπιστίας και φιλικής προς τον χρήστη προγραμματιμότητας (Bolton, 2015) (Εικόνα 12).



Εικόνα 12. Ένας τύπος PLC Siemens Logo

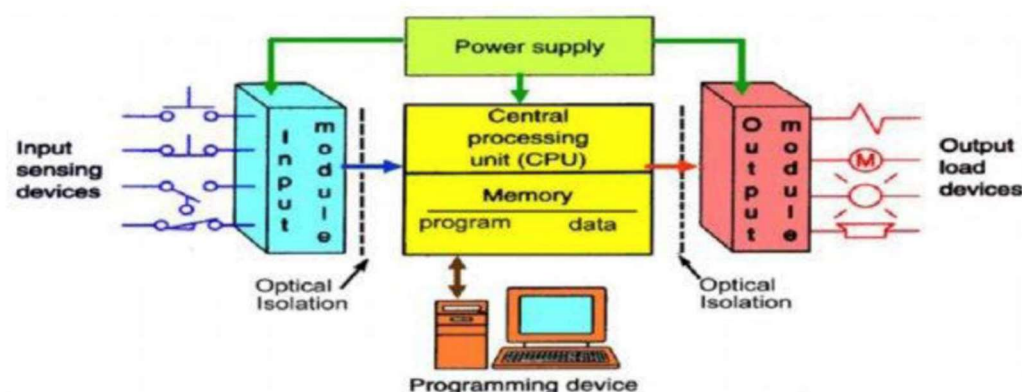
Βασικοί τύποι PLC:

Οι PLC κυκλοφορούν σε τρεις διαφορετικούς τύπους: μίνι, μικρούς και μεγάλους, οι οποίοι κατηγοριοποιούνται κυρίως με βάση το μέγεθος και τα διαφορετικά χαρακτηριστικά τους. Τα μίνι PLC, λόγω του συμπαγούς μεγέθους τους, είναι κατάλληλα για άμεση τοποθέτηση στον εξοπλισμό που ελέγχουν και διακρίνονται για την επίβλεψη απλών λειτουργιών. Ωστόσο, καθώς αυξάνεται η ζήτηση για περισσότερες εισόδους και εξόδους, γεγονός που οδηγεί σε αυξημένες απαιτήσεις επεξεργασίας δεδομένων, τα μίνι PLC συχνά αντικαθίστανται από μικρά PLC. Τα μικρά PLC προσφέρουν την ευκολία της επέκτασης μέσω μιας πληθώρας καρτών εισόδου και εξόδου, καθιστώντας τα κατάλληλα για πολύπλοκα συστήματα ελέγχου. Τελικά, τα μεγάλα PLC μπαίνουν στο προσκήνιο, εξυπηρετώντας ακόμη μεγαλύτερες ποσότητες δεδομένων εισόδου και εξόδου, που συνήθως συναντώνται στις ολοκληρωμένες λειτουργίες μιας ολόκληρης βιομηχανικής μονάδας (Hudedmani et al., 2017).

Κύρια μέρη ενός PLC:

Η κατανόηση των βασικών εξαρτημάτων ενός PLC είναι απαραίτητη για την κατανόηση της λειτουργικότητάς του. Ο κεντρικός επεξεργαστής, η μνήμη, οι μονάδες εισόδου και εξόδου, η μονάδα επικοινωνίας, ο δίαυλος επικοινωνίας και η

παροχή ρεύματος αποτελούν τα κύρια μέρη ενός PLC. Αξίζει να σημειωθεί ότι η διάκριση μεταξύ μικρών και μεγάλων PLC έγκειται στην κλίμακα των εντολών που μπορούν να επεξεργαστούν και όχι στη δομή ή στα εξαρτήματα (Εικόνα 13). Ο κεντρικός επεξεργαστής, ένα κεντρικό στοιχείο που στεγάζεται στο κύριο σώμα του PLC, περιλαμβάνει μια κεντρική μονάδα επεξεργασίας, μια αριθμητική λογική μονάδα για την επεξεργασία δεδομένων από τις εισόδους και μνήμη για την αποθήκευση μεταβλητών τιμών. Υπεύθυνος για την εποπτεία ολόκληρου του συστήματος, ο κεντρικός επεξεργαστής εκτελεί προγράμματα που έχουν οριστεί από τον χρήστη και είναι αποθηκευμένα στη μνήμη του, διασφαλίζοντας τη σωστή λειτουργία μέσω τακτικών ελέγχων κατά τη διάρκεια του χρόνου εκτέλεσης. Δύο τύποι μνήμης αποτελούν αναπόσπαστο τμήμα του κεντρικού επεξεργαστή: ROM, που φιλοξενεί το πρόγραμμα PLC και τις λειτουργίες επικοινωνίας, και RAM, που αποθηκεύει τις τιμές από τις εισόδους και τις εξόδους. Η επικοινωνία μεταξύ των διαφόρων στοιχείων του συστήματος PLC διευκολύνεται μέσω καλωδίωσης, συγκεκριμένα με τη χρήση καλωδίων τύπου PROFIBUS (Vadi et al., 2022).



Εικόνα 13: Τα βασικά μέρη ενός μικρού PLC

3.3 Συστήματα SCADA

Αυτή η ενότητα εμβαθύνει στη διερεύνηση των συστημάτων SCADA (Supervisory Control and Data Acquisition), συνθέτοντας τις γνώσεις από την υπάρχουσα βιβλιογραφία. Ξεκινώντας με έναν σαφή ορισμό, η συζήτηση επεκτείνεται στην ανάλυση των δομικών στοιχείων και των τρόπων λειτουργίας των συστημάτων SCADA, με ιδιαίτερη έμφαση στον κρίσιμο ρόλο τους στην εποπτεία των συστημάτων βιομηχανικού αυτοματισμού, ιδίως εκείνων που ενσωματώνονται με προγραμματιζόμενους λογικούς ελεγκτές (PLC).

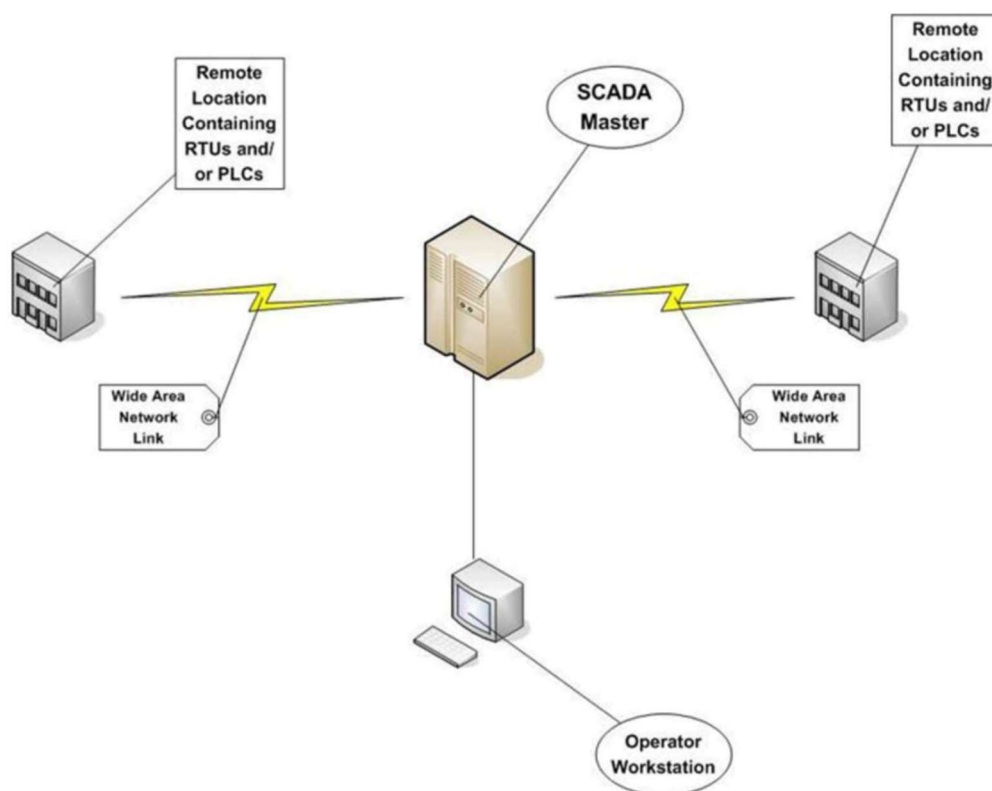
Στην ουσία, το SCADA, που σημαίνει Εποπτικός έλεγχος και απόκτηση δεδομένων, αποτελεί ένα ολοκληρωμένο σύστημα προσαρμοσμένο για την παρακολούθηση και τον έλεγχο διαφόρων βιομηχανικών διεργασιών και εγκαταστάσεων. Περιλαμβάνοντας εφαρμογές όπως γραμμές παραγωγής, πυρηνικούς αντιδραστήρες, κυκλώματα ψύξης, τηλεπικοινωνίες, δίκτυα ηλεκτρικής ενέργειας και δίκτυα ύδρευσης, τα συστήματα SCADA λειτουργούν ως εντοχιστρωτές που διευκολύνουν τη ροή δεδομένων μεταξύ ενός κεντρικά τοποθετημένου υπολογιστή - που υπόκειται στην εποπτεία και την παρέμβαση ενός χειριστή - και ενός δικτύου περιφερειακών συσκευών που έχουν σχεδιαστεί για τη συλλογή και τη μετάδοση δεδομένων, όπως τονίζεται από τους (Zhou et al., 2017).

Η δομική σύνθεση ενός συστήματος SCADA περιλαμβάνει τα εξής (Yadav and Paul, 2021):

- Ο κεντρικός υπολογιστής ή κεντρικός υπολογιστής, που συχνά αποκαλείται κεντρικός σταθμός ή κύρια τερματική μονάδα, λειτουργεί ως νευραλγικό κέντρο. Αυτό το στοιχείο λαμβάνει δεδομένα από περιφερειακές συσκευές, επεξεργάζεται πληροφορίες, δίνει εντολές σε συσκευές αυτόματου ελέγχου όπως τα PLC και παρέχει μια ολοκληρωμένη απεικόνιση των δεδομένων και της κατάστασης του συστήματος για την παρακολούθηση του χειριστή.
- Οι απομακρυσμένες ή περιφερειακές τερματικές μονάδες, γνωστές και ως απομακρυσμένες τερματικές μονάδες, διαδραματίζουν καθοριστικό ρόλο στη συλλογή δεδομένων. Στο πλαίσιο του βιομηχανικού αυτοματισμού με PLC, μπορούν επίσης να λειτουργούν ως PLC που είναι υπεύθυνα για τη συλλογή δεδομένων και τον αυτόματο έλεγχο της εγκατάστασης. Οι εντολές που εκδίδονται και μεταδίδονται από τον κεντρικό σταθμό του συστήματος καθοδηγούν τις λειτουργίες τους.
- Το σύστημα επικοινωνίας είναι υπεύθυνο για τη μετάδοση των δεδομένων που συλλέγονται από τις απομακρυσμένες τερματικές μονάδες, τον κεντρικό σταθμό και τις απομακρυσμένες συσκευές αυτόματου ελέγχου. Το σύστημα επικοινωνίας προσαρμόζεται στα χαρακτηριστικά του χώρου της εγκατάστασης και στις αποστάσεις μετάδοσης δεδομένων, χρησιμοποιώντας δομημένη καλωδίωση, ασύρματη επικοινωνία, δορυφορική επικοινωνία ή συνδυασμό αυτών.

- Το λογισμικό SCADA περιλαμβάνει εργαλεία για την αποθήκευση, την επεξεργασία και τη διαχείριση των εισερχόμενων δεδομένων στον κεντρικό σταθμό του συστήματος. Αυτό το λογισμικό είναι αναπόσπαστο μέρος για τη λήψη αποφάσεων στον αυτόματο έλεγχο, καθώς και για την οπτικοποίηση της κατάστασης της εγκατάστασης για αλληλεπίδραση με τον χειριστή του συστήματος.

Αυτή η περίπλοκη αλληλεπίδραση συστατικών στοιχείων τοποθετεί τα συστήματα SCADA ως κεντρικά όργανα στον βιομηχανικό αυτοματισμό, προσφέροντας απρόσκοπτη παρακολούθηση, έλεγχο και δυνατότητες λήψης αποφάσεων σε ποικίλα λειτουργικά πλαίσια.



Εικόνα 14. Τα κύρια μέρη ενός συστήματος SCADA

3.4 PLC και SCADA στον αυτόματο βιομηχανικό έλεγχο

Η σύγκλιση των Προγραμματιζόμενων Λογικών Ελεγκτών (PLC) και των συστημάτων Εποπτικού Ελέγχου και Συλλογής Δεδομένων (SCADA) αποτελεί κομβικό σημείο της σύγχρονης έρευνας, ιδιαίτερα στο πεδίο των αυτοματοποιημένων βιομηχανικών διαδικασιών (Cwikla, 2013). Ένα αξιοσημείωτο πλεονέκτημα των συστημάτων SCADA έγκειται στην απρόσκοπτη ενσωμάτωσή τους με τις μονάδες PLC που αναπτύσσονται στις βιομηχανίες, αναλαμβάνοντας ουσιαστικά το ρόλο των απομακρυσμένων τερματικών μονάδων (RTU). Η ενσωμάτωση αυτή επιτρέπει την αμφίδρομη επικοινωνία, επιτρέποντας στα συστήματα SCADA να συνδέονται απευθείας με τα PLC, παρέχοντας δεδομένα σε πραγματικό χρόνο στους χειριστές και διευκολύνοντας τη μεταφορά εντολών για προσαρμογές και επεμβάσεις σε αυτοματοποιημένες διαδικασίες.

Η διασύνδεση μεταξύ των PLC και του SCADA είναι καθοριστική για τη βελτιστοποίηση της απόδοσης των βιομηχανικών διεργασιών μέσω έξυπνων παρεμβάσεων και αυτόματου ελέγχου υπό την επίβλεψη του χειριστή, επιτρέποντας στους χειριστές να λαμβάνουν τεκμηριωμένες αποφάσεις σε πραγματικό χρόνο. Ιδιαίτερα σε διαδικασίες συσκευασίας, όπως αυτές που εκτελούνται από παλετοποιητές, ο συνδυασμός ελέγχου PLC και παρακολούθησης SCADA επεκτείνεται ώστε να περιλαμβάνει όργανα όπως κάμερες, υπέρυθρες κάμερες και ζυγαριές. Αυτά τα πρόσθετα εργαλεία χρησιμεύουν για τον εντοπισμό παραγόντων όπως το μέγεθος, η θέση και η κατάσταση των κιβωτίων, ενισχύοντας την ακρίβεια της διαδικασίας αυτοματισμού.

Η σύνδεση μεταξύ των PLC και των συστημάτων SCADA μπορεί να πραγματοποιηθεί είτε με ενσύρματα είτε με ασύρματα μέσα, ανάλογα με τις ειδικές απαιτήσεις κάθε βιομηχανικής εγκατάστασης. Μέσω της εφαρμογής συστημάτων SCADA, οι βιομηχανικές παραγωγές που ελέγχονται από PLC μπορούν να παρακολουθούνται κεντρικά εντός της εγκατάστασης, αποδίδοντας αναμενόμενα οφέλη όπως η αυξημένη αποδοτικότητα, η μείωση των χρόνων λειτουργίας της διαδικασίας, η ελαχιστοποίηση του χρόνου διακοπής λειτουργίας λόγω βλαβών και η έγκαιρη ανίχνευση πιθανών προβλημάτων, όπως τονίζεται σε μελέτες που διεξήγαγαν οι Kiangala και Wang το 2018 και οι Tomar και Kumar το 2020. Η ενσωμάτωση αυτή υπογραμμίζει μια εξελιγμένη προσέγγιση του βιομηχανικού ελέγχου, προωθώντας

ένα πιο απλοποιημένο και ευέλικτο επιχειρησιακό περιβάλλον (Alphonsus & Abdullah, 2016).

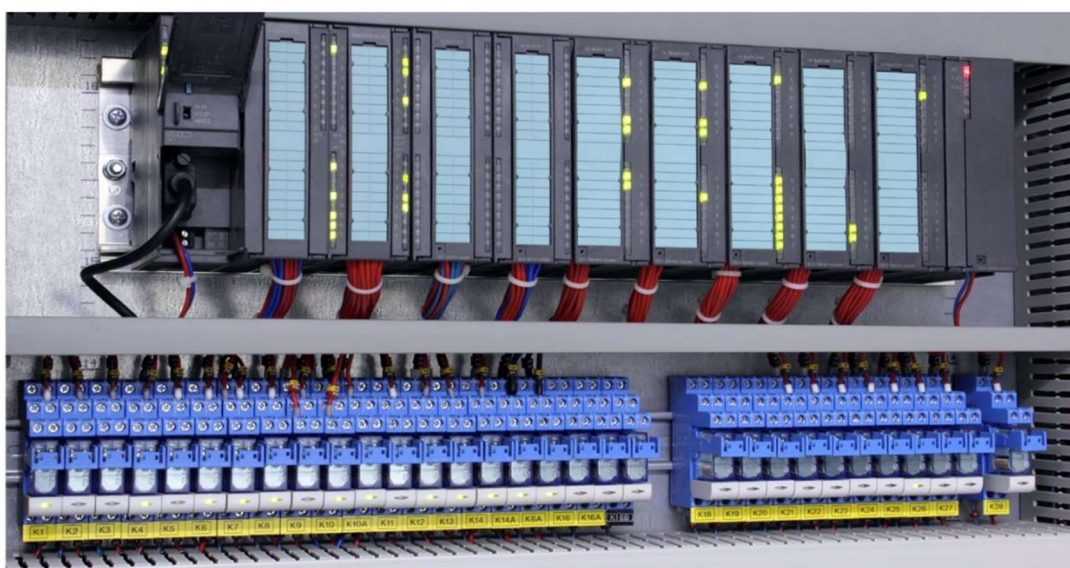
3.4.1 Χρήση συστημάτων SCADA και PLC από τη βιομηχανική μονάδα της εταιρίας ΚΟΡΠΗ

Στο εργοστάσιο της ΚΟΡΠΗ, η Siemens χρησιμεύει ως ραχοκοκαλιά για το σύστημα SCADA, υιοθετώντας αρχικά την έκδοση S5 και αναβαθμίζοντας στη συνέχεια την πιο προηγμένη έκδοση S7-400 το 2016. Παρόλο που το σύστημα SCADA δεν περιλαμβάνει ολόκληρη τη διαδικασία παραγωγής, συνεργάζεται αποτελεσματικά με τους τέσσερις προγραμματιζόμενους λογικούς ελεγκτές (PLC) που χρησιμοποιούνται στρατηγικά σε όλο το εργοστάσιο για την εκπλήρωση των ολοκληρωμένων απαιτήσεων αυτοματισμού. Τα PLC διαχειρίζονται συλλογικά διάφορες εργασίες αυτοματισμού, δημιουργώντας μια συνεργιστική προσέγγιση.

Παρά το γεγονός ότι δεν επιβλέπει άμεσα ολόκληρη τη διαδικασία παραγωγής, το σύστημα SCADA στην ΚΟΡΠΗ διαδραματίζει καθοριστικό ρόλο στη συνολική εποπτεία και στις δυνατότητες παρέμβασης. Ένας ηλεκτρονικός πίνακας χρησιμεύει ως κόμβος ελέγχου, εμφανίζοντας σχηματικές αναπαραστάσεις των διαφόρων διεργασιών του εργοστασίου. Αυτή η διεπαφή εξοπλίζει τους χειριστές με μια σειρά λειτουργιών, συμπεριλαμβανομένων των συναγερμών και της ανατροφοδότησης από αισθητήρες, παρέχοντάς τους τη δυνατότητα να παρεμβαίνουν ανάλογα με τις ανάγκες. Το λογισμικό που ενσωματώνεται στον S7-400 είναι αναγνωρισμένο για τα σύγχρονα χαρακτηριστικά του, συμβάλλοντας στην αποτελεσματική και αξιόπιστη λειτουργία των βιομηχανικών διεργασιών.

Το Siemens SIMATIC S7-400, γνωστό παγκοσμίως για την αξιοπιστία και την ευελιξία του, αποτελεί κεντρικό στοιχείο του συστήματος SCADA της ΚΟΡΠΗ. Διαθέτοντας αρθρωτή σχεδίαση, βελτιστοποιεί το χώρο εγκατάστασης και υποστηρίζει ένα ευρύ φάσμα μονάδων επέκτασης, επιτρέποντας κεντρικές ή αποκεντρωμένες διαμορφώσεις συστήματος προσαρμοσμένες σε συγκεκριμένες εργασίες. Το SIMATIC S7-400 χρησιμοποιείται ευρέως παγκοσμίως, γεγονός που πιστοποιεί την επιτυχία του σε μυριάδες εφαρμογές. Το σύστημα αυτό διευκολύνει, επίσης, την οικονομική αποθήκευση ανταλλακτικών, συμβάλλοντας στην επιχειρησιακή ανθεκτικότητα.

Στο πλαίσιο της οικογένειας SIMATIC, η βιομηχανική μονάδα ΚΟΡΠΗ χρησιμοποιεί διάφορους ελεγκτές βελτιστοποιημένους για ποικίλες εργασίες ελέγχου, όπως τα προϊόντα μικροαυτοματισμού S7-200 και S7-1200, τα αρθρωτά συστήματα PLC S7-300 και S7-400, τον ελεγκτή C7, τη συνδυαστική πλακέτα και το σύστημα διανομής ET 200 I/O με τοπική ευφυΐα. Η σουίτα λογισμικού SIMATIC, συμπεριλαμβανομένου του STEP 7 και μιας σειράς εργαλείων μηχανικής, αποτελεί το καθολικό περιβάλλον διαμόρφωσης και προγραμματισμού για ελεγκτές και συστήματα διεπαφής ανθρώπου-μηχανής. Υποστηρίζοντας όλα τα στάδια της ανάπτυξης προϊόντων, από τη διαμόρφωση του υλικού έως τη συντήρηση του συστήματος, το λογισμικό SIMATIC προσφέρει μια ποικιλία επιλογών προγραμματισμού, που περιλαμβάνει βασικές και υψηλού επιπέδου γλώσσες, καθώς και εξειδικευμένα εργαλεία μηχανικής, εξασφαλίζοντας ευελιξία και προσαρμοστικότητα στην ικανοποίηση των ειδικών απαιτήσεων των εφαρμογών της ΚΟΡΠΗ. Αυτή η ενσωμάτωση των συστημάτων SCADA και PLC αποτελεί παράδειγμα μιας εξελιγμένης τεχνολογικής προσέγγισης, ενισχύοντας τη λειτουργική αποδοτικότητα της βιομηχανικής μονάδας της ΚΟΡΠΗ (Σεϊταρίδης, 2022).



Εικόνα 15. Τα PLC SIMATIC S7-400 του εργοστασίου ΚΟΡΠΗ

4. Μετάδοση και έλεγχος πληροφοριών

4.1 Μέθοδοι μετάδοσης πληροφοριών

Στο ταχέως εξελισσόμενο τοπίο της επικοινωνίας με οπτικές ίνες, οι μέθοδοι μετάδοσης πληροφοριών έχουν γίνει αναπόσπαστο μέρος διαφόρων βιομηχανικών τομέων. Η παρούσα ενότητα διερευνά τις ποικίλες προσεγγίσεις που χρησιμοποιούνται στη μετάδοση πληροφοριών μέσω οπτικών ινών σε βιομηχανικό πλαίσιο. Θα εμβαθύνουμε στον τρόπο μετάδοσης των πληροφοριών, στους τύπους δεδομένων που μεταφέρονται και θα εξετάσουμε συγκεκριμένες εφαρμογές, όπως σήματα ελέγχου πυρκαγιάς, κάμερες, συστήματα τηλεχειρισμού και άλλα.

Μέθοδοι μετάδοσης στην επικοινωνία με οπτικές ίνες:

Πριν την ανάλυση συγκεκριμένων εφαρμογών της επικοινωνίας με οπτικές ίνες, είναι ζωτικής σημασίας να κατανοήσουμε τις θεμελιώδεις μεθόδους μετάδοσης που καθιστούν δυνατή αυτή την τεχνολογία. Η επικοινωνία με οπτικές ίνες βασίζεται κυρίως σε δύο βασικές μεθόδους:

Ψηφιακή μετάδοση:

Η ψηφιακή μετάδοση περιλαμβάνει την κωδικοποίηση των πληροφοριών σε διακριτά ψηφιακά σήματα, τα οποία συνήθως αναπαρίστανται ως δυαδικά δεδομένα (0 και 1). Αυτή η μέθοδος είναι εξαιρετικά αξιόπιστη και ανθεκτική στην υποβάθμιση του σήματος σε μεγάλες αποστάσεις. Σε ένα βιομηχανικό περιβάλλον, η ψηφιακή μετάδοση μέσω οπτικών ινών χρησιμοποιείται ευρέως για διάφορες εφαρμογές, συμπεριλαμβανομένης της μεταφοράς δεδομένων, των σημάτων ελέγχου και της επιτήρησης (Xu et al., 2017).

Αναλογική μετάδοση:

Η αναλογική μετάδοση μεταφέρει πληροφορίες μέσω συνεχών, μεταβλητών σημάτων, όπως η μεταβαλλόμενη ένταση του φωτός στις οπτικές ίνες. Αν και είναι λιγότερο απρόσβλητη από το θόρυβο και την υποβάθμιση του σήματος σε σύγκριση με την ψηφιακή μετάδοση, είναι πολύτιμη για εφαρμογές που απαιτούν συνεχή

δεδομένα, όπως ο ήχος, το βίντεο και ορισμένα δεδομένα αισθητήρων (Rommel et al., 2020).

4.2 Τύποι μεταδιδόμενων πληροφοριών

Τώρα, ας διερευνήσουμε τους τύπους δεδομένων που μεταδίδονται συνήθως μέσω οπτικών ινών σε βιομηχανικά περιβάλλοντα (Rahmani et al., 2018):

Σήματα δεδομένων και ελέγχου:

Μία από τις κύριες εφαρμογές των οπτικών ινών σε βιομηχανικά περιβάλλοντα είναι η μετάδοση δεδομένων και σημάτων ελέγχου. Αυτά περιλαμβάνουν κρίσιμες πληροφορίες για τον έλεγχο διεργασιών, τη λειτουργία μηχανημάτων και τα συστήματα αυτοματισμού. Τα ψηφιακά σήματα, που αντιπροσωπεύουν οδηγίες, εντολές και ανατροφοδότηση δεδομένων, ταξιδεύουν γρήγορα και αξιόπιστα μέσω οπτικών ινών για να διευκολύνουν τον ακριβή έλεγχο και την παρακολούθηση.

Βιντεοεπιτήρηση και κάμερες:

Η ενσωμάτωση καμερών και συστημάτων βιντεοεπιτήρησης είναι απαραίτητη για την ασφάλεια και την παρακολούθηση των βιομηχανικών μονάδων. Οι οπτικές ίνες μεταδίδουν υψηλής ποιότητας τροφοδοσία βίντεο από κάμερες στρατηγικά τοποθετημένες σε όλη την εγκατάσταση. Αυτό επιτρέπει την επιτήρηση σε πραγματικό χρόνο, την ανίχνευση περιστατικών και την παρακολούθηση διαδικασιών, ενισχύοντας την ασφάλεια και την προστασία.

Συστήματα απομακρυσμένου ελέγχου:

Οι οπτικές ίνες διαδραματίζουν καθοριστικό ρόλο στην ενεργοποίηση συστημάτων τηλεχειρισμού σε βιομηχανικές μονάδες. Τα συστήματα αυτά επιτρέπουν στους χειριστές να διαχειρίζονται και να χειρίζονται εξ αποστάσεως μηχανήματα, διαδικασίες και εξοπλισμό με ακρίβεια και ελάχιστη καθυστέρηση. Οι συνδέσεις οπτικών ινών εξασφαλίζουν γρήγορη και αξιόπιστη επικοινωνία μεταξύ των κέντρων ελέγχου και των απομακρυσμένων τοποθεσιών.

Δεδομένα αισθητήρων:

Οι αισθητήρες είναι αναπόσπαστο μέρος των βιομηχανικών διεργασιών, παρέχοντας κρίσιμα δεδομένα για την παρακολούθηση και τη λήψη αποφάσεων. Οι οπτικές ίνες μεταδίδουν δεδομένα αισθητήρων, όπως θερμοκρασία, πίεση, υγρασία και άλλα, με υψηλή ακρίβεια και ελάχιστες ηλεκτρομαγνητικές παρεμβολές. Οι ίνες αυτές επιτρέπουν την απρόσκοπτη ενσωμάτωση των αισθητήρων στο οικοσύστημα βιομηχανικού αυτοματισμού.

Σήματα φωνής και ήχου:

Σε ορισμένα βιομηχανικά σενάρια, όπως η αντιμετώπιση εκτάκτων αναγκών και τα κέντρα διοίκησης, η φωνητική επικοινωνία παραμένει ζωτικής σημασίας. Οι οπτικές ίνες υποστηρίζουν τη μετάδοση φωνητικών και ηχητικών σημάτων υψηλής ποιότητας, εξασφαλίζοντας καθαρή και αξιόπιστη επικοινωνία ακόμη και σε θορυβώδη ή δύσκολα περιβάλλοντα.

4.3 Εφαρμογές της επικοινωνίας με οπτικές ίνες σε βιομηχανικές μονάδες

Ας διερευνήσουμε τώρα συγκεκριμένες εφαρμογές εντός βιομηχανικών μονάδων, όπου οι μέθοδοι επικοινωνίας με οπτικές ίνες είναι υψίστης σημασίας (Vadi et al., 2022):

Συστήματα ελέγχου πυρκαγιάς και ασφάλειας:

Η διασφάλιση της ασφάλειας του προσωπικού και των περιουσιακών στοιχείων είναι υψίστης σημασίας στις βιομηχανικές μονάδες. Οι οπτικές ίνες χρησιμοποιούνται για τη μετάδοση κρίσιμων δεδομένων και σημάτων ελέγχου για συστήματα ελέγχου πυρκαγιάς και ασφάλειας. Οι ανιχνευτές καπνού, οι αισθητήρες θερμοότητας και τα συστήματα συναγερμού συνδέονται μέσω οπτικών ινών, επιτρέποντας την ταχεία ανίχνευση και ανταπόκριση σε περιστατικά πυρκαγιάς.

Επιτήρηση και παρακολούθηση:

Τα βιομηχανικά συστήματα επιτήρησης και παρακολούθησης βασίζονται σε μεγάλο βαθμό στις οπτικές ίνες. Οι κάμερες υψηλής ανάλυσης που είναι στρατηγικά τοποθετημένες σε κρίσιμες περιοχές μεταδίδουν ροές βίντεο σε πραγματικό χρόνο, επιτρέποντας τη συνεχή παρακολούθηση των διαδικασιών, του εξοπλισμού και της

ασφάλειας. Σε περίπτωση ανωμαλιών ή παραβιάσεων της ασφάλειας, μπορούν να ληφθούν άμεσα μέτρα.

Βιομηχανικός αυτοματισμός και έλεγχος:

Ο βιομηχανικός αυτοματισμός βασίζεται σε ακριβή σήματα ελέγχου και στην ανταλλαγή δεδομένων μεταξύ των διαφόρων στοιχείων της παραγωγικής διαδικασίας. Οι οπτικές ίνες επιτρέπουν τη γρήγορη και αξιόπιστη επικοινωνία μεταξύ των συστημάτων ελέγχου, των προγραμματιζόμενων λογικών ελεγκτών (PLC) και των μηχανημάτων, διευκολύνοντας τις αυτοματοποιημένες διαδικασίες και βελτιστοποιώντας την αποδοτικότητα της παραγωγής.

Απομακρυσμένη λειτουργία και συντήρηση:

Πολλές βιομηχανικές μονάδες είναι εκτεταμένες και μπορεί να διαθέτουν απομακρυσμένες εγκαταστάσεις ή εξοπλισμό. Οι οπτικές ίνες υποστηρίζουν λειτουργίες απομακρυσμένου ελέγχου και συντήρησης, επιτρέποντας στους τεχνικούς και τους μηχανικούς να διαγνώσουν προβλήματα, να εκτελέσουν συντήρηση και να κάνουν ρυθμίσεις χωρίς φυσική παρουσία. Η δυνατότητα αυτή μειώνει το χρόνο διακοπής λειτουργίας και ενισχύει την επιχειρησιακή αποδοτικότητα.

Παρακολούθηση του περιβάλλοντος:

Οι περιβαλλοντικοί αισθητήρες που αναπτύσσονται σε όλες τις βιομηχανικές μονάδες βοηθούν στην παρακολούθηση συνθηκών όπως η θερμοκρασία, η υγρασία και η ποιότητα του αέρα. Οι οπτικές ίνες μεταδίδουν αυτά τα δεδομένα σε κεντρικά συστήματα ελέγχου, επιτρέποντας την περιβαλλοντική παρακολούθηση σε πραγματικό χρόνο και την εφαρμογή διορθωτικών μέτρων όταν χρειάζεται.

Φωνητική επικοινωνία σε καταστάσεις έκτακτης ανάγκης:

Σε σενάρια αντιμετώπισης καταστάσεων έκτακτης ανάγκης, η φωνητική επικοινωνία είναι κρίσιμη. Οι οπτικές ίνες υποστηρίζουν συστήματα φωνητικής επικοινωνίας, διασφαλίζοντας ότι οι ανταποκριτές έκτακτης ανάγκης μπορούν να επικοινωνούν αποτελεσματικά κατά τη διάρκεια κρίσεων, ενισχύοντας την ασφάλεια και τον συντονισμό της αντιμετώπισης.

4.4 Λειτουργίες του κέντρου ελέγχου

Στον τομέα των δικτύων οπτικών ινών, τα κέντρα ελέγχου παίζουν καθοριστικό ρόλο στη συντήρηση και την ομαλή λειτουργία της υποδομής. Η παρούσα ενότητα εξετάζει τις ολοκληρωμένες λειτουργίες που εκτελούνται σε αυτά τα κέντρα ελέγχου, με ιδιαίτερη έμφαση στην ανίχνευση σφαλμάτων, την αντιμετώπιση προβλημάτων και τη διαχείριση του δικτύου. Η σχολαστική εκτέλεση αυτών των λειτουργιών είναι υψίστης σημασίας για τη διατήρηση της ποιότητας των υπηρεσιών που παρέχονται από τα δίκτυα οπτικών ινών (Asamoah, 2021).

Τα κέντρα ελέγχου χρησιμοποιούν μια σειρά λειτουργιών και συστημάτων που προορίζονται για την ανίχνευση και τον εντοπισμό διαφόρων τύπων βλαβών που μπορούν δυνητικά να διαταράξουν τα δίκτυα οπτικών ινών. Τα σφάλματα αυτά μπορούν να ταξινομηθούν σε γενικές γραμμές σε τέσσερις κύριες κατηγορίες (Liu et al., 2018):

1. Σφάλματα πλακέτας σύνδεσης: Τα κέντρα ελέγχου παρακολουθούν τα ζητήματα που περιστρέφονται γύρω από τις πλακέτες σύνδεσης και τους συνδέσμους. Προκύπτουν συχνά λόγω λανθασμένης τοποθέτησης των καλωδίων, αναποτελεσματικής ασφάλισης των συνδέσμων, παρουσίας ακαθαρσιών στις συνδέσεις ή λανθασμένης δρομολόγησης των καλωδίων. Χρησιμοποιούνται προηγμένα συστήματα παρακολούθησης για την άμεση ανίχνευση και τον εντοπισμό αυτών των βλαβών.
2. Σφάλματα που σχετίζονται με το σύστημα: Τα συστήματα παρακολούθησης έχουν σχεδιαστεί για τον εντοπισμό αποκλίσεων στα επίπεδα οπτικού σήματος, οι οποίες ενδέχεται να υποδεικνύουν σφάλματα που σχετίζονται με το σύστημα. Η υπερβολική ή υποβολιμαία οδήγηση των οπτικών μεταδόσεων μπορεί να οδηγήσει σε ολική αποτυχία ή διακοπτόμενη λειτουργία. Οι αυτόματες ειδοποιήσεις ενεργοποιούνται σε απάντηση σε μη φυσιολογικές συμπεριφορές σήματος.
3. Σφάλματα που σχετίζονται με την εγκατάσταση: Τα σφάλματα που προέρχονται από την εγκατάσταση των καλωδίων οπτικών ινών μπορεί να έχουν εκτεταμένες επιπτώσεις. Τα σφάλματα αυτά μπορεί να περιλαμβάνουν ακατάλληλη ακτίνα κάμψης, συμπίεση καλωδίων ή εσφαλμένη περιτύλιξη καλωδίων. Τα κέντρα ελέγχου βασίζονται στη σχολαστική τεκμηρίωση των διαδικασιών εγκατάστασης και στις

αυστηρές ρουτίνες επιθεώρησης για τον εντοπισμό και την αποκατάσταση των προβλημάτων που σχετίζονται με την εγκατάσταση.

4. Βλάβες από εξωτερικούς παράγοντες: Τα δίκτυα οπτικών ινών είναι ευάλωτα σε εξωτερικούς παράγοντες, όπως μηχανήματα εκσκαφών, κλαδιά δέντρων, ατυχήματα και περιβαλλοντικά στοιχεία, όπως κεραυνοί. Τα κέντρα ελέγχου χρησιμοποιούν επιτήρηση και παρακολούθηση για τον ταχύ εντοπισμό ζημιών που προκύπτουν από αυτούς τους εξωτερικούς παράγοντες.

Εξοπλισμός αποκατάστασης βλαβών:

Τα κέντρα ελέγχου είναι εξοπλισμένα με εξειδικευμένα εργαλεία και εξοπλισμό που είναι απαραίτητα για τον εντοπισμό και την επίλυση βλαβών. Ο βασικός εξοπλισμός αποκατάστασης βλαβών περιλαμβάνει (Liu et al., 2019):

Σετ καθαρισμού: Η διασφάλιση της καθαριότητας των συνδέσμων είναι καθοριστικής σημασίας για τη διατήρηση της βέλτιστης μετάδοσης σήματος. Τα σετ καθαρισμού χρησιμοποιούνται τακτικά για την εξάλειψη των ρύπων που θα μπορούσαν να θέσουν σε κίνδυνο την ποιότητα του σήματος.

Όργανο οπτικής επιθεώρησης: Τα όργανα οπτικής επιθεώρησης παρέχουν ένα μέσο για την οπτική εξέταση των συνδέσμων και των καλωδίων για τυχόν σημάδια φυσικής βλάβης ή μόλυνσης. Επιτρέπουν στους τεχνικούς να εντοπίζουν και να αντιμετωπίζουν τις φυσικές βλάβες.

Συσκευή ελέγχου οπτικών απωλειών: Η μέτρηση των οπτικών απωλειών είναι ζωτικής σημασίας για τη διάγνωση και την αντιμετώπιση προβλημάτων του δικτύου. Οι συσκευές ελέγχου οπτικών απωλειών βοηθούν στην ποσοτικοποίηση της εξασθένησης του σήματος κατά μήκος της σύνδεσης οπτικών ινών.

Σύστημα ελέγχου συνέχειας οπτικών ινών: Η διασφάλιση της συνέχειας των οπτικών ινών είναι απαραίτητη για τη διατήρηση της αδιάλειπτης μετάδοσης δεδομένων. Τα συστήματα αυτά χρησιμοποιούνται για να επαληθεύουν ότι οι ίνες παραμένουν ανέπαφες και δεν έχουν σπάσει ή υποστεί ζημιά.

Οπτικό ανακλασιόμετρο χρονικού τομέα (OTDR): Τα OTDR διαδραματίζουν ζωτικό ρόλο στον χαρακτηρισμό των οπτικών ινών. Εκτοξεύουν παλμούς φωτός στην ίνα και

αναλύουν τις ανακλάσεις για τον εντοπισμό σφαλμάτων, τη μέτρηση του μήκους του καλωδίου και την αξιολόγηση της ακεραιότητας του σήματος.

Μεθοδολογία για την επιδιόρθωση σφαλμάτων:

Η συστηματική προσέγγιση για την άρση βλαβών περιλαμβάνει διάφορα κρίσιμα βήματα για την ελαχιστοποίηση της διακοπής και τη διευκόλυνση της ταχείας αποκατάστασης των υπηρεσιών. Αυτή η δομημένη μεθοδολογία περιλαμβάνει τα ακόλουθα βασικά στάδια.

Αναφορά και καταγραφή σφαλμάτων: Οι βλάβες αναφέρονται στο κέντρο ελέγχου, όπου καταγράφονται σχολαστικά και καταγράφονται στο σύστημα διαχείρισης δικτύου.

Επαλήθευση βλαβών: Οι τεχνικοί επικυρώνουν την αναφερόμενη βλάβη αποσυνδέοντας προσωρινά το επηρεαζόμενο κύκλωμα, διευκολύνοντας την άμεση ανίχνευση της βλάβης.

Μέτρηση απωλειών: Λαμβάνονται ακριβείς μετρήσεις των απωλειών σήματος στο πλησιέστερο κέντρο ελέγχου για την επιβεβαίωση της ύπαρξης και του τύπου της βλάβης.

Εντοπισμός σφάλματος: Χρησιμοποιούνται προηγμένες τεχνικές εντοπισμού σφάλματος, συχνά με τη χρήση OTDR για τον ακριβή εντοπισμό της θέσης του σφάλματος κατά μήκος της σύνδεσης οπτικών ινών.

Σχεδιασμός αποκατάστασης: Αναπτύσσεται ένα ολοκληρωμένο σχέδιο για την αντιμετώπιση της βλάβης, το οποίο μπορεί να περιλαμβάνει αντικατάσταση καλωδίων, κατασκευή συνδέσμων και επανασύνδεση ινών.

Δοκιμή συνδέσμων: Οι πρόσφατα κατασκευασμένοι σύνδεσμοι υποβάλλονται σε αυστηρές δοκιμές για να διασφαλιστεί η σωστή ευθυγράμμιση και η ελάχιστη απώλεια σήματος.

Αντιστοίχιση ινών: Η αντιστοίχιση ινών πραγματοποιείται σχολαστικά και στα δύο άκρα για να διασφαλιστεί η συμβατότητα και η βέλτιστη μετάδοση σήματος.

Ενεργοποίηση του συστήματος: Το κέντρο ελέγχου δρομολογεί την ενεργοποίηση των συστημάτων που έχουν διακοπεί, εξασφαλίζοντας την απρόσκοπτη μετάβαση στην κανονική λειτουργία.

Επιβεβαίωση λειτουργικότητας: Οι τεχνικοί επιβεβαιώνουν αυστηρά την πλήρη λειτουργικότητα των κυκλωμάτων και των υπηρεσιών για να εγγυηθούν την επιτυχή αποκατάσταση της βλάβης.

Συμπερασματικά, τα κέντρα ελέγχου στα δίκτυα οπτικών ινών χρησιμεύουν ως νευραλγικά κέντρα για την ανίχνευση βλαβών, την αντιμετώπιση προβλημάτων και τη διαχείριση του δικτύου. Τα κέντρα αυτά είναι εξοπλισμένα με εξειδικευμένο εξοπλισμό και τηρούν μια δομημένη μεθοδολογία για τον ταχύ εντοπισμό, την αντιμετώπιση και την επίλυση βλαβών, εξασφαλίζοντας έτσι αδιάλειπτες υπηρεσίες και βέλτιστη απόδοση του δικτύου (Liu et al., 2019).

Συμπέρασμα

Συνοψίζοντας, αυτή η ολοκληρωμένη εξέταση των οπτικών ινών και των βιομηχανικών εφαρμογών τους αποκαλύπτει τον καίριο ρόλο που διαδραματίζει αυτή η τεχνολογία στη διαμόρφωση του σύγχρονου βιομηχανικού τοπίου. Το ταξίδι μέσα από τις οπτικές ίνες, τον εξοπλισμό, τις περιγραφές των βιομηχανικών εγκαταστάσεων, τις διαδικασίες εγκατάστασης, καθώς και τη μετάδοση και τον έλεγχο πληροφοριών, αναδεικνύει τον βαθύ αντίκτυπο των οπτικών ινών στη βιομηχανική επικοινωνία και λειτουργία.

Οι οπτικές ίνες, όπως διευκρινίζεται στην εισαγωγική ενότητα, αναδεικνύονται ως ένα μετασχηματιστικό μέσο ικανό να μεταδίδει δεδομένα με την ταχύτητα του φωτός μέσω μικροσκοπικών κλώνων γυαλιού ή πλαστικού. Αυτή η θεμελιώδης κατανόηση θέτει τις βάσεις για μια βαθύτερη διερεύνηση των κρίσιμων εξαρτημάτων, συμπεριλαμβανομένων των οπτικών πομπών και δεκτών, που βρίσκονται στην καρδιά των συστημάτων επικοινωνίας οπτικών ινών.

Η σημασία των οπτικών καλωδίων και των συνδέσμων στη διατήρηση της ακεραιότητας του σήματος γίνεται εμφανής, υπογραμμίζοντας τον απαραίτητο ρόλο τους στη διευκόλυνση της ροής δεδομένων σε βιομηχανικά πλαίσια. Αυτή η υποδομή αποτελεί τη ραχοκοκαλιά πάνω στην οποία στηρίζονται τα δίκτυα οπτικών ινών.

Μεταβαίνοντας στο βιομηχανικό πεδίο, η επισκόπηση των βιομηχανικών εγκαταστάσεων παρέχει το πλαίσιο για την ανάπτυξη της τεχνολογίας οπτικών ινών. Μέσα σε αυτά τα πολύπλοκα περιβάλλοντα, ο τυπικός εξοπλισμός και τα συστήματα βρίσκουν ενισχυμένη λειτουργικότητα μέσω των οπτικών ινών, επιτρέποντας την ανταλλαγή δεδομένων σε πραγματικό χρόνο και τη λειτουργική αποδοτικότητα. Ωστόσο, οι προκλήσεις της ενσωμάτωσης διαφορετικού εξοπλισμού σε βιομηχανικές εγκαταστάσεις αναδεικνύουν την ανάγκη για απρόσκοπτη τεχνολογική σύγκλιση.

Η επακόλουθη διερεύνηση των διαδικασιών σχεδιασμού και εγκατάστασης υπογραμμίζει την ακρίβεια και την τεχνογνωσία που απαιτούνται για τη δημιουργία εύρωστων και αξιόπιστων δικτύων οπτικών ινών εντός βιομηχανικών εγκαταστάσεων. Η φάση αυτή είναι απαραίτητη για τη βελτιστοποίηση της μετάδοσης και του ελέγχου δεδομένων.

Στο πεδίο της μετάδοσης πληροφοριών και του ελέγχου, οι οπτικές ίνες αποκαλύπτουν την ευελιξία τους. Διευκολύνουν τη μεταφορά σημάτων ελέγχου πυρκαγιάς, επιτρέπουν συστήματα τηλεχειρισμού και βελτιώνουν τις δυνατότητες των καμερών, χρησιμεύοντας ως ραχοκοκαλιά για την ανταλλαγή δεδομένων σε βιομηχανικά πλαίσια.

Ο καθοριστικός ρόλος των κέντρων ελέγχου στην ανίχνευση βλαβών, την αντιμετώπιση προβλημάτων και τη διαχείριση του δικτύου υπογραμμίζει τη σημασία τους για τη διασφάλιση της αδιάλειπτης βιομηχανικής λειτουργίας. Εξοπλισμένα με προηγμένα εργαλεία και μεθοδολογίες, τα κέντρα αυτά ελαχιστοποιούν τις διακοπές, αναβαθμίζοντας περαιτέρω το ρόλο των οπτικών ινών σε βιομηχανικά περιβάλλοντα.

Εν κατακλείδι, η παρούσα εργασία επιβεβαιώνει ότι οι οπτικές ίνες έχουν καταστεί απαραίτητη δύναμη στα σύγχρονα βιομηχανικά περιβάλλοντα. Η απρόσκοπτη μετάδοση πληροφοριών, οι δυνατότητες παρακολούθησης σε πραγματικό χρόνο και η αποτελεσματική επίλυση βλαβών συμβάλλουν καθοριστικά στη διαμόρφωση του παρόντος και του μέλλοντος των βιομηχανικών τοπίων. Καθώς η τεχνολογία συνεχίζει να εξελίσσεται, οι οπτικές ίνες θα παραμείνουν στο προσκήνιο, προωθώντας την καινοτομία και βελτιστοποιώντας τις βιομηχανικές διαδικασίες για τα επόμενα χρόνια.

Βιβλιογραφία

- A. Champavere. (2014). New OTDR Measurement and Monitoring Techniques. *Optical Fiber Communication Conference*.
<https://doi.org/10.1364/ofc.2014.w3d.1>
- Almuslem, A.S., Shaikh, S.N. and Muhammad Mustafa Hussain (2019). Flexible and Stretchable Electronics for Harsh Environmental Applications. [online] 4(9), pp.1900145–1900145. doi:<https://doi.org/10.1002/admt.201900145>.
- Alphonsus, E.R. and Abdullah, M.O. (2016). A review on the applications of programmable logic controllers (PLCs). *Unimas Institutional Repository (Universiti Malaysia Sarawak)*, [online] 60, pp.1185–1205.
doi:<https://doi.org/10.1016/j.rser.2016.01.025>.
- Asamoah, M. K. (2021). *ICT officials' opinion on deploying Open Source Learning Management System for teaching and learning in universities in a developing society - Moses Kumi Asamoah, 2021*. E-Learning and Digital Media.
<https://journals.sagepub.com/doi/full/10.1177/2042753020946280>
- Bartolomeu, P., Vieira, E., Hosseini, S. M., & Ferreira, J. (2019). *Self-Sovereign Identity: Use-cases, Technologies, and Challenges for Industrial IoT*.
<https://doi.org/10.1109/etfa.2019.8869262>
- Bisht, N., & Singh, S. (2015). Analytical study of different network topologies. *International Research Journal of Engineering and Technology (IRJET)*, 2(01), 88-90.
- Bolton, W. (2015). *Programmable Logic Controllers*. [online] *Google Books*.
Newnes. Available at:

[https://books.google.gr/books?hl=en&lr=&id=sDqnBQAAQBAJ&oi=fnd&pg=PP1&dq=Programmable+Logic+Controllers+\(PLC\)&ots=-cat8p7nep&sig=ojzXpImhyCoxPT2-iptzA5VnxAQ&redir_esc=y#v=onepage&q=Programmable%20Logic%20Controllers%20\(PLC\)&f=false](https://books.google.gr/books?hl=en&lr=&id=sDqnBQAAQBAJ&oi=fnd&pg=PP1&dq=Programmable+Logic+Controllers+(PLC)&ots=-cat8p7nep&sig=ojzXpImhyCoxPT2-iptzA5VnxAQ&redir_esc=y#v=onepage&q=Programmable%20Logic%20Controllers%20(PLC)&f=false) [Accessed 2 Feb. 2024].

Chen, G., Hao, M., Xu, Z., Vaughan, A. S., Cao, J., & Maggie Haitian Wang. (2015).

Review of high voltage direct current cables. *CSEE Journal of Power and Energy Systems*, 1(2), 9–21. <https://doi.org/10.17775/cseejpes.2015.00015>

Chen, S. and Wang, J. (2017). Theoretical analyses on orbital angular momentum modes in conventional graded-index multimode fibre. [online] 7(1).

doi:<https://doi.org/10.1038/s41598-017-04380-7>.

Chen, Z., Lau, D., Ju Teng Teo, Say Kong Ng, Yang, X., & Pin Lin Kei. (2014).

Simultaneous measurement of breathing rate and heart rate using a microbend multimode fiber optic sensor. *Journal of Biomedical Optics*, 19(5), 057001–057001. <https://doi.org/10.1117/1.jbo.19.5.057001>

Ćwikła, G. (2013). Real-Time Monitoring Station for Production Systems. *Advanced Materials Research*, [online] 837, pp.334–339.

doi:<https://doi.org/10.4028/www.scientific.net/amr.837.334>.

Ellis, R.B., Fake, M., A. Saljoghei, Sandoghchi, S.R., Sakr, H., Bradley, T., Hayes, J., G. Jasion, E. Numkam Fokoua, Richardson, D.J. and Poletti, F. (2022). The Prospects of Hollowcore Fibres with Lower Attenuation Than Single-Mode Fibre. *Optica.org*, [online] p.Tu3A.5. Available at: <https://opg.optica.org/abstract.cfm?uri=ECEOC-2022-Tu3A.5> [Accessed 18 Jul. 2023].

- Ellmauthaler, A., LeBlanc, M., Bush, J., Willis, M.E., Maida, J.L. and Wilson, G.D. (2021). Real-Time DAS VSP Acquisition and Processing on Single- and Multi-Mode Fibers. [online] 21(13), pp.14847–14852.
doi:<https://doi.org/10.1109/jsen.2020.3036930>.
- Fabritius, A., Heinemann, B., Dornstädter, J., & Trick, T. (2017). Distributed fibre optic temperature measurements for dam safety monitoring: Current state of the art and further developments. In *Proceedings of the Annual South African National Committee on Large Dams (SANCOLD) Conference, Centurion, Tshwane, South Africa*.
- Foorginezhad, S., Mohseni-Dargah, M., Firoozirad, K., Aryai, V., Razmjou, A., Abbassi, R., Garaniya, V., Beheshti, A., & Asadnia, M. (2021). Recent Advances in Sensing and Assessment of Corrosion in Sewage Pipelines. *Chemical Engineering Research & Design*, 147, 192–213.
<https://doi.org/10.1016/j.psep.2020.09.009>
- Fried, N.M. and Irby, P.B. (2018). Advances in laser technology and fibre-optic delivery systems in lithotripsy. [online] 15(9), pp.563–573.
doi:<https://doi.org/10.1038/s41585-018-0035-8>.
- Gennaro D'Amato, Holgate, S. T., Pawankar, R., Ledford, D. K., Cecchi, L., Al-Ahmad, M., Fatma Al-Enezi, Saleh Al-Muhsen, Ansotegui, I. J., Baena-Cagnani, C. E., Baker, D. J., Bayram, H., Bergmann, K.-C., Boulet, L.-P., Jeroen Buters, D'Amato, M., Dorsano, S., Jeroen Douwes, Finlay, S., & Donata Garrasi. (2015). Meteorological conditions, climate change, new emerging factors, and asthma and related allergic disorders. A statement of the World Allergy Organization. *World Allergy Organization Journal*, 8, 25–25.
<https://doi.org/10.1186/s40413-015-0073-0>

- Golnaraghi, D. F., & Kuo, D. B. C. (2017). Automatic Control Systems. In *www.accessengineeringlibrary.com*. McGraw-Hill Education.
<https://www.accessengineeringlibrary.com/content/book/9781259643835>
- Grondzik, W. T., & Kwok, A. G. (2019). Mechanical and Electrical Equipment for Buildings. In *Google Books*. John Wiley & Sons.
https://books.google.gr/books?hl=en&lr=&id=kgOqDwAAQBAJ&oi=fnd&pg=PA3&dq=Typical+equipment+and+systems+of+industrial+units&ots=9Ks23VkeJ5&sig=Uj-Lk24kSISSCdztUUWGZ_H4KhY&redir_esc=y#v=onepage&q=Typical%20equipment%20and%20systems%20of%20industrial%20units&f=false
- Gupta, H. (2014). Public expenditure and economic growth.
- Hall, A.J. and Minto, C. (2019). Using Fibre Optic Cables To Deliver Intelligent Traffic Management In Smart Cities. [online]
 doi:<https://doi.org/10.1680/icsic.64669.125>.
- Harjunkoski, I., Maravelias, C. T., Bongers, P., Castro, P. M., Engell, S., Grossmann, I. E., Hooker, J., Méndez, C. A., Sand, G., & Wassick, J. M. (2014). Scope for industrial applications of production scheduling models and solution methods. *Computers & Chemical Engineering*, 62, 161–193.
<https://doi.org/10.1016/j.compchemeng.2013.12.001>
- He (2019). *A novel power stability drive system of semiconductor Laser Diode for high-precision measurement - He Huang, Jingxue Ni, Hui Feng Wang, Jiajia Zhang, Rong Gao, Limin Guan, Guiping Wang, 2019*. [online] Measurement and Control. Available at:
<https://journals.sagepub.com/doi/full/10.1177/0020294019840760> [Accessed 18 Jul. 2023].

- Hecht, J. (2015). *Understanding Fiber Optics*. [online] *Google Books*. Jeff Hecht.
Available at:
https://books.google.gr/books?hl=el&lr=&id=PIglCQAAQBAJ&oi=fnd&pg=PT13&dq=the+three+basic+elements+of+fibre+optics&ots=YRO9m-wQ4Y&sig=dR9aZzCjRXkD5yXQf6Nx6wuDms8&redir_esc=y#v=onepage&q=the%20three%20basic%20elements%20of%20fibre%20optics&f=false
[Accessed 17 Jul. 2023].
- Heo, Y.-J., Kim, B., Kang, D., & Jung-Chan Na. (2016). A design of unidirectional security gateway for enforcement reliability and security of transmission data in industrial control systems. *2016 18th International Conference on Advanced Communication Technology (ICACT)*.
<https://doi.org/10.1109/icact.2016.7423372>
- Hicke, K., Maria-Teresa Hussels, Eisermann, R., Chruscicki, S. and Katerina Krebber (2017). Condition monitoring of industrial infrastructures using distributed fibre optic acoustic sensors. [online] doi:<https://doi.org/10.1117/12.2272463>.
- Huang, C., Huang, G., Li, S., Luo, M.-C., Liu, H., Fu, X., Qu, W., Xie, Z., & Wu, J. (2018). Research on architecture and composition of natural network in natural rubber. *Polymer*, 154, 90–100.
<https://doi.org/10.1016/j.polymer.2018.08.057>
- Hudedmani, M.G., Umayal, R.M., Kabberalli, S.K. and Hittalamani, R. (2017). Programmable Logic Controller (PLC) in Automation. *Advanced journal of graduate research*, [online] 2(1), pp.37–45.
doi:<https://doi.org/10.21467/ajgr.2.1.37-45>.
- Huerta-Mascotte, E., Juan Manuel Sierra-Hernández, Mata-Chavez, R.I., Jauregui-Vazquez, D., A. Castillo-Guzman, Estudillo-Ayala, J.M., Guzman-Chavez, A.D. and Rojas-Laguna, R. (2016). A Core-Offset Mach Zehnder Interferometer Based on A Non-Zero Dispersion-Shifted Fiber and Its Torsion

Sensing Application. [online] 16(6), pp.856–856.

doi:<https://doi.org/10.3390/s16060856>.

Jyotsana, Kaur, R. and Singh, R. (2014). Performance comparison of pre-, post- and symmetrical-dispersion compensation techniques using DCF on 40 Gbps OTDM system for different fibre standards. [online] 125(9), pp.2134–2136. doi:<https://doi.org/10.1016/j.ijleo.2013.10.059>.

Khan, A., & Arya, R. R. (2021). Towards cost analysis and energy estimation of simple multiplexer and demultiplexer using quantum dot cellular automata. *International Nano Letters*, 12(1), 67–77. <https://doi.org/10.1007/s40089-021-00352-y>

Khwandah, S.A., Cosmas, J., Glover, I., Lazaridis, P.I., Prasad, N.R. and Zaharis, Z.D. (2015). Direct and External Intensity Modulation in OFDM RoF Links. [online] 7(4), pp.1–10. doi:<https://doi.org/10.1109/jphot.2015.2456499>.

Kinet, D., Mégret, P., Goossen, K. W., Qiu, L., Heider, D., & Christophe Caucheteur. (2014). Fiber Bragg Grating Sensors toward Structural Health Monitoring in Composite Materials: Challenges and Solutions. *Sensors*, 14(4), 7394–7419. <https://doi.org/10.3390/s140407394>

Klotz, V. K., Billett, S., & Winther, E. (2014). Promoting workforce excellence: formation and relevance of vocational identity for vocational educational training. *Empirical Research in Vocational Education and Training*, 6(1). <https://doi.org/10.1186/s40461-014-0006-0>

Koc, A. (2022). *Hybrid Beamforming Techniques in Full-Duplex/Half-Duplex Massive MIMO Wireless Communications - ProQuest*. www.proquest.com. <https://www.proquest.com/openview/a2d9d56350470ba32d6091fd6de4f749/1?pq-origsite=gscholar&cbl=18750&diss=y>

- Kurosawa, K. (2013). Development of fiber-optic current sensing technique and its applications in electric power systems. [online] 4(1), pp.12–20.
doi:<https://doi.org/10.1007/s13320-013-0138-z>.
- Lee, J., Hossein Davari Ardakani, Yang, S., & Bagheri, B. (2015). Industrial Big Data Analytics and Cyber-physical Systems for Future Maintenance & Service Innovation. *Procedia CIRP*, 38, 3–7.
<https://doi.org/10.1016/j.procir.2015.08.026>
- Li, C., Peng, X., Liu, Q., Gan, X., Ruitao Lv and Fan, S. (2017). Nondestructive and in situ determination of graphene layers using optical fiber Fabry–Perot interference. doi:<https://doi.org/10.1088/1361-6501/aa54f8>.
- Lienhart, W., Wiesmeyr, C., Wagner, R., Klug, F., Litzenberger, M., & Maicz, D. (2016). Condition monitoring of railway tracks and vehicles using fibre optic sensing techniques. In *Transforming the Future of Infrastructure through Smarter Information: Proceedings of the International Conference on Smart Infrastructure and Construction Construction, 27–29 June 2016* (pp. 45-50). ICE Publishing.
- Liu, H., Shi, D., Hou, X., Yan, B., & Wang, W. (2018). Manufacture process quality control of interferometric fibre optic gyroscope using analyses of multi-type assembly and test data. *International Journal of Computer Integrated Manufacturing*, 31(11), 1124–1140.
<https://doi.org/10.1080/0951192x.2018.1509128>
- Liu, T., Mei, H., Sun, Q., & Zhou, H. (2019). Application of neural network in fault location of optical transport network. *China Communications*, 16(10), 214–225. <https://doi.org/10.23919/jcc.2019.10.014>
- M.A. Shoaie, S Meroli, Sergio A.S. Machado and Ricci, D. (2017). Evolving trends in CERN optical fibre infrastructure. [online]
doi:<https://doi.org/10.1109/icton.2017.8024940>.

- Madni, A. M., & Sievers, M. (2013). Systems Integration: Key Perspectives, Experiences, and Challenges. *Systems Engineering*, 17(1), 37–51.
<https://doi.org/10.1002/sys.21249>
- Majone, G. (2019). The Rise of the Regulatory State in Europe. *Routledge EBooks*, 77–101. <https://doi.org/10.4324/9781315037479-5>
- Mirzazadeh, M., Eslami, M., Essaid Zerrad, Mahmood, M.F., Biswas, A. and Belic, M.R. (2015). Optical solitons in nonlinear directional couplers by sine–cosine function method and Bernoulli’s equation approach. [online] 81(4), pp.1933–1949. doi:<https://doi.org/10.1007/s11071-015-2117-y>.
- Mishra, S., & Amit Kumar Tyagi. (2019). Intrusion Detection in Internet of Things (IoTs) Based Applications using Blockchain Technology. *2019 Third International Conference on I-SMAC (IoT in Social, Mobile, Analytics and Cloud) (I-SMAC)*. <https://doi.org/10.1109/i-smac47947.2019.9032557>
- Mithun and Xia, W. (2020). Portable and Affordable Light Source-Based Photoacoustic Tomography. [online] 20(21), pp.6173–6173.
doi:<https://doi.org/10.3390/s20216173>.
- Mourtzis, D., Vlachou, E., & Milas, N. (2016). Industrial Big Data as a Result of IoT Adoption in Manufacturing. *Procedia CIRP*, 55, 290–295.
<https://doi.org/10.1016/j.procir.2016.07.038>
- Muhammad Yasir, Ho, S.-W. and Vellambi, B.N. (2016). Indoor Position Tracking Using Multiple Optical Receivers. [online] 34(4), pp.1166–1176.
doi:<https://doi.org/10.1109/jlt.2015.2507182>.
- Peter E.D. Love, Zhou, J., Matthews, J., Michael C.P. Sing, & David John Edwards. (2017). System information modelling in practice: Analysis of tender documentation quality in a mining mega-project. *Automation in Construction*, 84, 176–183. <https://doi.org/10.1016/j.autcon.2017.08.034>

- Qin, J., Liu, Y., & Roger Ivor Grosvenor. (2016). A Categorical Framework of Manufacturing for Industry 4.0 and Beyond. *Procedia CIRP*, 52, 173–178. <https://doi.org/10.1016/j.procir.2016.08.005>
- Rahmani, B., Loterie, D., Konstantinou, G., Psaltis, D., & Moser, C. (2018). Multimode optical fiber transmission with a deep learning network. *Light-Science & Applications*, 7(1). <https://doi.org/10.1038/s41377-018-0074-1>
- Rommel, S., Delphin Dodane, Grivas, E., Cimoli, B., Jérôme Bourderionnet, Gilles Feugnet, Morales, A., Evangelos Pikasis, C.G.H. Roeloffzen, Paul van Dijk, Katsikis, M., Konstantinos Ntontin, Dimitrios Kritharidis, Izabela Spaleniak, Mitchell, P., Dubov, M., Franco, M., & Idelfonso Tafur Monroy. (2020). Towards a Scaleable 5G Fronthaul: Analog Radio-over-Fiber and Space Division Multiplexing. *Journal of Lightwave Technology*, 38(19), 5412–5422. <https://doi.org/10.1109/jlt.2020.3004416>
- Ruben, Santos, D.R., Inês Mendes Pinto, Azevedo, A., Maria Raquel Aires-Barros, João Pedro Conde and João Pedro Conde (2018). Multiplexed microfluidic fluorescence immunoassay with photodiode array signal acquisition for sub-minute and point-of-need detection of mycotoxins. [online] 18(11), pp.1569–1580. doi:<https://doi.org/10.1039/c8lc00259b>.
- S. Perumal Sankar, Hariharan, N. and R. Varatharajan (2015). A Novel Method to Increase the Coupling Efficiency of Laser to Single Mode Fibre. [online] 87(2), pp.419–430. doi:<https://doi.org/10.1007/s11277-015-3028-4>.
- Sanderson, M.J., Ian, Parker, I. and Bootman, M.D. (2014). Fluorescence Microscopy. [online] 2014(10), pp.pdb.top071795–pdb.top071795. doi:<https://doi.org/10.1101/pdb.top071795>.
- Scott, R.T., Sanjay Chikermane, Vidakovic, M., McKinley, B., Sun, T., Banerji, P. and Kenneth (2019). Development of low cost packaged fibre optic sensors for

use in reinforced concrete structures. [online] 135, pp.617–624.

doi:<https://doi.org/10.1016/j.measurement.2018.11.056>.

Shalf, J. (2020). The future of computing beyond Moore's Law. *Philosophical Transactions of the Royal Society A: Mathematical, Physical and Engineering Sciences*, 378(2166), p.20190061. doi:<https://doi.org/10.1098/rsta.2019.0061>.

Siwar Kriaa, Ludovic Piètre-Cambacédès, Bouissou, M., & Yoran Halgand. (2015). A survey of approaches combining safety and security for industrial control systems. *Reliability Engineering & System Safety*, 139, 156–178.
<https://doi.org/10.1016/j.ress.2015.02.008>

Sokolovskii, G.S., Dudelev, V.V., Losev, S.N., K.K. Soboleva, Deryagin, A.G., Fedorova, K.A., Kuchinskii, V.I., Sibbett, W. and Rafailov, E.U. (2014). Bessel beams from semiconductor light sources. [online] 38(4), pp.157–188. doi:<https://doi.org/10.1016/j.pquantelec.2014.07.001>.

Strande, L., & Brdjanovic, D. (2014). Faecal Sludge Management: Systems Approach for Implementation and Operation. In *Google Books*. IWA Publishing.
https://books.google.gr/books?hl=el&lr=&id=c4rHCgAAQBAJ&oi=fnd&pg=PP1&dq=3.2.6+Cable+management+systems&ots=5Neci9U274&sig=tL4QoAo-I612GqTHDecD0CSzxIM&redir_esc=y#v=onepage&q&f=false

Strang-Moran, C. (2020). *Subsea cable management: Failure trending for offshore wind*. <https://doi.org/10.5194/wes-2020-56>

Sutehall, R., Davies, M., Spicer, L., Gill, P., & Piras, F. (2018, October). Development of an Optical Fibre Cable Overblowing System. In *Proceedings of the 67th International Cable and Connectivity Symposium (IWCS 2018), Providence, RI, USA* (pp. 14-17).

Tamura, Y., Sakuma, H., Morita, K., Suzuki, M., Yamamoto, Y., Shimada, K., Honma, Y., Kazuyuki Sohma, Fujii, T. and Hasegawa, T. (2018). The First

0.14-dB/km Loss Optical Fiber and its Impact on Submarine Transmission. [online] 36(1), pp.44–49. doi:<https://doi.org/10.1109/jlt.2018.2796647>.

Tan, L. and Jiang, J. (2018). *Digital Signal Processing: Fundamentals and Applications*. [online] *Google Books*. Academic Press. Available at: <https://books.google.gr/books?hl=en&lr=&id=MxlxDwAAQBAJ&oi=fnd&pg=PP1&dq=Electronic+control:+the+electrical+signal+from+the+demodulator+is+usually+processed+with+various+circuits> [Accessed 18 Jul. 2023].

Thakur, K., Qiu, M., Gai, K., & Ali, L. (2015). *An Investigation on Cyber Security Threats and Security Models*. <https://doi.org/10.1109/cscloud.2015.71>

Vadi, S., Bayindir, R., Toplar, Y. and Colak, I. (2022). Induction motor control system with a Programmable Logic Controller (PLC) and Profibus communication for industrial plants — An experimental setup. *ISA Transactions*, [online] 122, pp.459–471. doi:<https://doi.org/10.1016/j.isatra.2021.04.019>.

Vadi, S., Ramazan Bayindir, Yigit Toplar, & Colak, I. (2022). Induction motor control system with a Programmable Logic Controller (PLC) and Profibus communication for industrial plants — An experimental setup. *Isa Transactions*, 122, 459–471. <https://doi.org/10.1016/j.isatra.2021.04.019>

Varga, J., Hilt, A., József Bíró, Rotter, C. and Jaro, G. (2018). Reducing operational costs of ultra-reliable low latency services in 5G. [online] (4), pp.37–45. doi:<https://doi.org/10.36244/icj.2018.4.6>.

Webster, M.S., Prakash Gothoskar, Patel, V.R., Piede, D., Anderson, S.B., Tummidi, R.S., Adams, D.H., Appel, C., Metz, P., Sunder, S., Dama, B. and Shastri, K. (2014). An efficient MOS-capacitor based silicon modulator and CMOS drivers for optical transmitters. [online] doi:<https://doi.org/10.1109/group4.2014.6961998>.

- Wijesekara, R. T., Gunapala, S. D., & Malin Premaratne. (2022). Towards quantum thermal multi-transistor systems: Energy divider formalism. *Physical Review*, *105*(23). <https://doi.org/10.1103/physrevb.105.235412>
- Xavier, G.B. and Lima, G. (2020). Quantum information processing with space-division multiplexing optical fibres. [online] 3(1). doi:<https://doi.org/10.1038/s42005-019-0269-7>.
- Xu, T., Shevchenko, N. A., Lavery, D., Semrau, D., Liga, G., Alvarado, A., Killey, R. I., & Polina Bayvel. (2017). Modulation format dependence of digital nonlinearity compensation performance in optical fibre communication systems. *Optics Express*, *25*(4), 3311–3311. <https://doi.org/10.1364/oe.25.003311>
- Yadav, G. and Paul, K. (2021). Architecture and security of SCADA systems: A review. *International Journal of Critical Infrastructure Protection*, [online] 34, pp.100433–100433. doi:<https://doi.org/10.1016/j.ijcip.2021.100433>.
- Yu, M.Y., Schewe, M., Bauer, G. and Rembe, C. (2021). Impact of a clipped phase-modulated photodiode signal on the demodulated signal. [online] 2041(1), pp.012006–012006. doi:<https://doi.org/10.1088/1742-6596/2041/1/012006>.
- Zeng, L., Li, E., Zhou, Z., & Xu, C. (2019). Boomerang: On-Demand Cooperative Deep Neural Network Inference for Edge Intelligence on the Industrial Internet of Things. *IEEE Network*, *33*(5), 96–103. <https://doi.org/10.1109/mnet.001.1800506>
- Zhao, Y., Cao, Y., Wang, W., Wang, H., Yu, X., Zhang, J., Tornatore, M., He, Z. and Biswanath Mukherjee (2018). Resource Allocation in Optical Networks Secured by Quantum Key Distribution. [online] 56(8), pp.130–137. doi:<https://doi.org/10.1109/mcom.2018.1700656>.

Zhong, R. Y., Xu, X., Klotz, E., & Newman, S. T. (2017). Intelligent Manufacturing in the Context of Industry 4.0: A Review. *Engineering*, 3(5), 616–630.

<https://doi.org/10.1016/j.eng.2017.05.015>

Zhou, X., Xu, Z., Wang, L. and Chen, K. (2017). What should we do? A structured review of SCADA system cyber security standards. [online]

doi:<https://doi.org/10.1109/codit.2017.8102661>.

Σεϊταρίδης, Σ. (2022). *Αυτοματισμοί, συλλογή δεδομένων και εποπτικός έλεγχος της παραγωγικής διαδικασίας στο εργοστάσιο Κορπή Α.Ε.* [online] Upatras.gr.

Available at: <https://nemertes.library.upatras.gr/handle/10889/16508>

[Accessed 2 Feb. 2024].