



# ΠΑΝΕΠΙΣΤΗΜΙΟ ΔΥΤΙΚΗΣ ΑΤΤΙΚΗΣ

ΣΧΟΛΗ ΜΗΧΑΝΙΚΩΝ

ΤΜΗΜΑ ΜΗΧΑΝΙΚΩΝ ΒΙΟΜΗΧΑΝΙΚΗΣ ΣΧΕΔΙΑΣΗΣ ΚΑΙ ΠΑΡΑΓΩΓΗΣ

**Πρόγραμμα Μεταπτυχιακών Σπουδών «Αυτοματισμός Παραγωγής και Υπηρεσιών»**

Διπλωματική εργασία

**Τίτλος: «Επισκόπηση της ενσωμάτωσης των τεχνολογιών του Διαδικτύου των Πραγμάτων στη βιομηχανία και την επιχειρηματικότητα»**

Ον/μο: **Σωτήρης Καρακώστας**

ΑΜ: **80697808**

Επιβλέπων καθηγητής: **Χρήστος Δρόσος**

**ΑΘΗΝΑ, ΝΟΕΜΒΡΙΟΣ 2023**



# UNIVERSITY OF WEST ATTICA

SCHOOL OF ENGINEERING

DEPARTMENT OF INDUSTRIAL DESIGN AND PRODUCTION ENGINEERING

**TITLE OF POSTGRADUATE PROGRAM (MSc/MBA)**

**MSc in Industrial Automation**

Diploma Thesis

Title: «**Overview of the integration of Internet of Things technologies in industry and entrepreneurship**»

Student name and surname: **Sotiris Karakostas**

Registration Number: **80697808**

Supervisor name and surname : **Dr. Christos Drosos,**

**ATHENS, NOVEMBER 2023**

## Τίτλος εργασίας

### Μέλη Εξεταστικής Επιτροπής συμπεριλαμβανομένου και του Εισηγητή

Η μεταπτυχιακή διπλωματική εργασία εξετάστηκε επιτυχώς από την κάτωθι Εξεταστική Επιτροπή:

Α/α	ΟΝΟΜΑ ΕΠΩΝΥΜΟ	ΒΑΘΜΙΔΑ/ΙΔΙΟΤΗΤΑ	ΨΗΦΙΑΚΗ ΥΠΟΓΡΑΦΗ
1	ΔΡΟΣΟΣ ΧΡΗΣΤΟΣ	ΕΔΙΠ	
2	ΓΚΑΝΕΤΣΟΣ ΘΕΟΔΩΡΟΣ	ΚΑΘΗΓΗΤΗΣ	
3	ΛΑΣΚΑΡΗΣ ΝΙΚΟΛΑΟ	ΕΠΙΚΟΥΡΟΣ ΚΑΘΗΓΗΤΗΣ	

## ΔΗΛΩΣΗ ΣΥΓΓΡΑΦΕΑ ΜΕΤΑΠΤΥΧΙΑΚΗΣ ΕΡΓΑΣΙΑΣ

Ο κάτωθι υπογεγραμμένος Καρακώστας Σωτήριος του Γεωργίου, με αριθμό μητρώου 80697808, φοιτητής του Προγράμματος Μεταπτυχιακών Σπουδών «Αυτοματισμός Παραγωγής και Υπηρεσιών» του Τμήματος Μηχανικών Βιομηχανικής Σχεδίασης και Παραγωγής της Σχολής Μηχανικών του Πανεπιστημίου Δυτικής Αττικής, δηλώνω ότι:

«Είμαι συγγραφέας αυτής της μεταπτυχιακής εργασίας και ότι κάθε βοήθεια την οποία είχα για την προετοιμασία της, είναι πλήρως αναγνωρισμένη και αναφέρεται στην εργασία. Επίσης, οι όποιες πηγές από τις οποίες έκανα χρήση δεδομένων, ιδεών ή λέξεων, είτε ακριβώς είτε παραφρασμένες, αναφέρονται στο σύνολό τους, με πλήρη αναφορά στους συγγραφείς, τον εκδοτικό οίκο ή το περιοδικό, συμπεριλαμβανομένων και των πηγών που ενδεχομένως χρησιμοποιήθηκαν από το διαδίκτυο. Επίσης, βεβαιώνω ότι αυτή η εργασία έχει συγγραφεί από μένα αποκλειστικά και αποτελεί προϊόν πνευματικής ιδιοκτησίας τόσο δικής μου, όσο και του Ιδρύματος.

Παράβαση της ανωτέρω ακαδημαϊκής μου ευθύνης αποτελεί ουσιώδη λόγο για την ανάκληση του πτυχίου μου».

Ο Δηλών  
Καρακώστας Σωτήρης



**\* Ονοματεπώνυμο /Ιδιότητα**

**Ψηφιακή Υπογραφή Επιβλέποντα**  
(Υπογραφή)

## Ευχαριστίες

*Η παρούσα διπλωματική, καθώς και όλη η δουλειά που έγινε στο πλαίσιο του ΠΜΣ ήταν καρποί κοπιαστικής προσπάθειας, αρωγούς στην οποία είχα την οικογένεια και τους δικούς μου ανθρώπους, τους οποίους και θέλω να ευχαριστήσω. Ακόμα, θέλω να εκφράσω ένα θερμό ευχαριστώ, μετά μεγάλης ευγνωμοσύνης, στον καθηγητή μου και επιβλέποντα της παρούσας εργασίας, κ. Δρόσο Χρήστο. Η συνεργασία που είχαμε ήταν άψογη και οι γνώσεις που μου μετέδωσε από τις διαλέξεις και τις συναντήσεις μας ήταν πολύτιμες.*

## Περίληψη – Λέξεις κλειδιά

Σκοπός της παρούσας εργασίας είναι να αναδείξει την αξία και τη σημασία, αλλά και να συστήσει λεπτομερώς στον αναγνώστη μια νέα τεχνολογία, η οποία έχει κάνει δυναμικά την εμφάνισή της την τελευταία δεκαετία και έχει την προοπτική να αλλάξει άρδην τον τρόπο που εργαζόμαστε και ζούμε, το **Διαδίκτυο των Πραγμάτων**.

Η εργασία διαρθρώνεται με τέτοιο τρόπο ώστε να είναι ευανάγνωστη και να αναλύει το θέμα σφαιρικά, εστιάζοντας και μικροσκοπικά αλλά και μακροσκοπικά σε αυτό.

Πιο συγκεκριμένα, η δομή της παρούσας εργασίας είναι:

**ΕΙΣΑΓΩΓΗ:** Στο ξεκίνημα της εργασίας, γίνεται μια πρώτη σύσταση του όρου, ενώ επεξηγείται το πώς θα αναλυθεί το θέμα στα εξ' ων συνετέθη.

**ΚΕΦΑΛΑΙΟ 1<sup>ο</sup>:** Το πρώτο μέρος είναι αφιερωμένο στην ιστορική αναδρομή, καθώς και στο τί χρειάστηκε ώστε ο άνθρωπος να φτάσει στην εποχή της 4<sup>ης</sup> Βιομηχανικής Επανάστασης.

**ΚΕΦΑΛΑΙΟ 2<sup>ο</sup>:** Το 2<sup>ο</sup> κεφάλαιο εστιάζει στην τεχνική υλοποίηση του IoT και συγκεκριμένα στην αρχιτεκτονική και σε όλα τα πρωτόκολλα που υπάρχουν σήμερα και μπορούν να υποστηρίξουν τέτοιες τεχνολογίες.

**ΚΕΦΑΛΑΙΟ 3<sup>ο</sup>:** Προβληματική του 3<sup>ου</sup> κεφαλαίου αποτελεί η ανάλυση ορισμένων τεχνολογιών που είναι δομικοί λίθοι ώστε ένα εργοστάσιο να καταστεί έξυπνο, με το IoT να αποτελεί μέρος της συγκεκριμένης διαδικασίας.

**ΚΕΦΑΛΑΙΟ 4<sup>ο</sup>:** Στο 4<sup>ο</sup> κεφάλαιο γίνεται αναφορά και ανάλυση στο έξυπνο εργοστάσιο, το οποίο αποτελεί σύνθεση τεχνολογιών όπως το IoT. Για το συγκεκριμένο κεφάλαιο βασικές θεωρούνται και οι πληροφορίες των προηγούμενων κεφαλαίων.

**ΚΕΦΑΛΑΙΟ 5<sup>ο</sup>:** Στο 5<sup>ο</sup> κεφάλαιο, γίνεται μια σύνοψη της πληροφορίας των προηγούμενων κεφαλαίων, εστιάζοντας σε περιπτώσεις εργοστασίων που έχουν εφαρμόσει λύσεις ώστε να γίνουν πιο έξυπνα, εξετάζοντας το πώς το κατάφεραν, αλλά και το τί κέρδισαν από τη μεταμόρφωσή τους αυτή.

**ΣΥΜΠΕΡΑΣΜΑΤΑ:** Ως απόσταγμα της ανάλυσης και έρευνας που προηγήθηκε στα προηγούμενα κεφάλαια, στα Συμπεράσματα γίνεται μια σύνοψη των παραπάνω γνώσεων, ενώ δίνονται και ορισμένες προτάσεις για περαιτέρω μελέτη.

## **ΒΙΒΛΙΟΓΡΑΦΙΑ**

**Λέξεις – κλειδιά:** βιομηχανική επανάσταση, διαδίκτυο των πραγμάτων, πρωτόκολλο επικοινωνίας, αισθητήρας, δεδομένα

## Abstract – Keywords

The purpose of this thesis is to highlight the value and importance, but also to introduce in detail to the reader a new technology that has emerged dynamically over the last decade and has the potential to radically change the way we work and live: the **Internet of Things**.

The thesis is structured in such a way that it is readable and analyzes the subject comprehensively, focusing on it both microscopically and macroscopically.

More specifically, the structure of this thesis is as follows:

**INTRODUCTION:** At the beginning of the paper, a first introduction of the term is given, and it is also explained how the topic will be analyzed over the next paragraphs.

**CHAPTER 1:** The first part is devoted to the historical background, and what it took for man to reach the era of the 4th Industrial Revolution.

**CHAPTER 2:** Chapter 2 focuses on the technical implementation of the IoT technology, in particular the architecture and all the protocols that exist today and can support such technologies.

**CHAPTER 3:** Chapter 3 is concerned with the task to analyze some of the technologies that are cornerstones for a factory to become smart, with IoT being an integral part of this process.

**CHAPTER 4:** Chapter 4 discusses and analyzes what it takes for a factory to be smart, which is a synthesis of technologies, including IoT. For this chapter, the information from the previous chapters is considered necessary.

**CHAPTER 5:** In Chapter 5, a discussion and analysis of the information provided over the length of the thesis is presented.

**Keywords:** industrial revolution, Internet of Things, communication protocol, sensor, data



## Περιεχόμενα

Ευχαριστίες .....	i
Περίληψη – Λέξεις κλειδιά.....	ii
Abstract – Keywords .....	iv
Περιεχόμενα.....	v
Πίνακας Εικόνων.....	vii
Εισαγωγή .....	1
Κεφάλαιο 1 <sup>ο</sup> : Η Βιομηχανία 4.0 .....	2
1.1 Ιστορική αναδρομή στη βιομηχανική εξέλιξη.....	4
1.2 Σχεδιασμός του Industry 4.0 και θεμελιώδεις αρχές.....	6
1.3 Πλεονεκτήματα και μειονεκτήματα .....	11
1.4 Ο εργάτης στην εποχή του Industry 4.0 .....	13
Κεφάλαιο 2 <sup>ο</sup> : Τεχνολογία του Διαδικτύου των Πραγμάτων (IoT) .....	17
2.1 Αρχιτεκτονική IoT .....	19
2.2 Πρωτόκολλα IoT .....	21
2.2.1 MQTT.....	21
2.2.2 CoAP .....	23
2.2.3 HTTP/HTTPS.....	25
2.2.4 AMQP .....	26
2.2.5 WebSocket.....	29
2.2.6 DDS (Data Distribution Service).....	31
2.2.7 LoRaWAN (Long Range Wide Area Network) .....	33
2.2.8 Sigfox.....	36
2.2.9 Zigbee & Z-Wave .....	38

2.2.10 Bluetooth Low Energy (BLE).....	40
Κεφάλαιο 3º: Βιομηχανικά Συστήματα Ελέγχου .....	43
3.1 Προγραμματιζόμενοι Λογικοί Ελεγκτές (PLC).....	43
3.2 Συστήματα RTU .....	46
3.3 Συστήματα SCADA.....	48
3.3.1 Περίπτωση εφαρμογής συστήματος SCADA.....	53
Κεφάλαιο 4: Το έξυπνο εργοστάσιο.....	56
4.1 Οφέλη από την εφαρμογή ενός Έξυπνου Εργοστασίου.....	62
Κεφάλαιο 5º: Περιπτώσεις έξυπνων εργοστασίων .....	64
Συμπεράσματα.....	73
Βιβλιογραφία .....	76

## Πίνακας Εικόνων

Εικόνα 1: Σχηματική απεικόνιση της εξέλιξης των 4 βιομηχανικών επαναστάσεων ....	5
Εικόνα 2: Γραφική απεικόνιση των πλευρών του ΙοΤ.....	18
Εικόνα 3: Απεικόνιση ενός PLC και των συστατικών μερών αυτού.....	44
Εικόνα 4: Μορφή και σχήμα ενός τυπικού RTU .....	47
Εικόνα 5: Τυπικό HMI ενός συστήματος SCADA .....	52
Εικόνα 6: Η απεικόνιση της γραμμής παραγωγής στο εργοστάσιο της ΚΟΡΠΗ στο στάδιο της τοποθέτησης των πλαστικών μπουκαλιών προς εμφιάλωση.....	54
Εικόνα 7: Απεικόνιση της διασυνδεσιμότητας που χαρακτηρίζει ένα Έξυπνο Εργοστάσιο .....	58
Εικόνα 8: Απεικόνιση των λειτουργιών του AgCommand .....	68
Εικόνα 9: Επιθεώρηση και έλεγχος όλων των λειτουργιών μέσα από τη διεπαφή ενός τάμπλετ στο εργοστάσιο του Blaibach.....	70

## Εισαγωγή

Είναι γεγονός πως η εποχή που διαβιεί η παρούσα κοινωνία είναι μια εποχή πλήρους αυτοματοποίησης και βιομηχανοποίησης, μια εποχή που ο άνθρωπος έχει για τα καλά αντιληφθεί πώς ό,τι κι αν σκεφτεί, όποια ανάγκη και αν προτάξει, αυτή μπορεί να ικανοποιηθεί. Ταυτόχρονα, όμως, ζούμε και σε μια εποχή αφύπνισης, κυρίως οικολογικής και περιβαλλοντικής. Η ανθρωπότητα έχει καταλάβει για τα καλά πως η πορεία του 20<sup>ου</sup> αιώνα δεν είναι βιώσιμη για τον πλανήτη και την ανθρωπότητα και θα πρέπει ο τρόπος με τον οποίο καταναλώνονται οι φυσικοί πόροι να αλλάξει άρδην και τάχιστα.

Στο κунήγι αυτών των αλλαγών, παράλληλα με μια κοινωνία που δεν σταματά να ζητά το παραπάνω, το καλύτερο και το ποιοτικότερο στον ελάχιστο δυνατό χρόνο, αρωγός στον άνθρωπο είναι η τεχνολογία και οι ραγδαίες εξελίξεις σε πολλαπλές περιοχές αυτής, ειδικά την τελευταία 30ετία.

Μια από αυτές τις τεχνολογικές εξελίξεις θα αποτελέσει και αντικείμενο ενασχόλησης και προβληματική της παρούσας εργασίας. Συγκεκριμένα, σκοπός της εργασίας αυτής είναι να κατανοήσει εις βάθος το πώς λειτουργεί το διαδίκτυο των πραγμάτων (Internet of Things, IoT), μια έννοια η οποία ναι μεν πλανάται στον αέρα εδώ και αρκετά χρόνια, ωστόσο στα αυτιά πολλών παραμένει αρκετά συγκεχυμένη και νεφελώδης.

Στα ακόλουθα κεφάλαια θα γίνει πολύ ενδελεχής ανάλυση του θέματος, ωστόσο στο πλαίσιο της εισαγωγής της παρούσας εργασίας αξίζει να αναφερθεί πως, ως Διαδίκτυο των Πραγμάτων νοείται ένα δίκτυο φυσικών αντικειμένων ή «πραγμάτων», τα οποία διαθέτουν προσαρτημένα αισθητήρια, λογισμικό και εξειδικευμένες τεχνολογίες, με σκοπό τη μεταξύ τους διασύνδεση και ανταλλαγή δεδομένων, η οποία γίνεται μέσω του διαδικτύου. Τα συγκεκριμένα αντικείμενα μπορούν να είναι οτιδήποτε μπορεί να βάλει κάποιος στο νου του: ένα ρολόι τοίχου, ένα κλιματιστικό, μια καφετιέρα μέχρι και βιομηχανικός εξοπλισμός, όπως φούρνοι, πρέσες, συσκευαστικές και γεμιστικές μηχανές, οχήματα μεταφοράς κ.λπ. Η θεμελιώδης ιδέα, και αυτό που αξίζει να κρατήσει ο αναγνώστης κατά νου στο σημείο αυτό, είναι πως δίνεται η δυνατότητα σε συσκευές να συλλέγουν και να ανταλλάζουν δεδομένα, να λαμβάνουν εξυπνότερες αποφάσεις και να λειτουργούν χωρίς την ανάγκη απευθείας ανθρώπινης παρέμβασης. Όλα αυτά, θα μελετηθούν και ειδικότερα υπό το πρίσμα της 4<sup>ης</sup> Βιομηχανικής Επανάστασης.

## Κεφάλαιο 1<sup>ο</sup>: Η Βιομηχανία 4.0

Ως **4<sup>η</sup> Βιομηχανική Επανάσταση**, θα μπορούσε κάποιος να ορίσει την ενσωμάτωση δικτύων αισθητήρων και λογισμικού σε φυσικά μηχανήματα, ώστε αυτά να ελέγχονται απομακρυσμένα, να μπορούν να γίνουν προβλέψεις για τη λειτουργία τους και να σχεδιάζονται με τον βέλτιστο τρόπο, καθώς ενσωματώνονται στον επιχειρηματικό και κοινωνικό κόσμο.

Σκοπός της 4<sup>ης</sup> Βιομηχανικής Επανάστασης είναι να κάνει τις βιομηχανίες πιο αποδοτικές, πιο ευέλικτες και πιο δεκτικές προς τις ανάγκες του καταναλωτή. Πρόκειται για μια θεμελιώδη μεταστροφή στο πώς οι βιομηχανικές δραστηριότητες διεξάγονται, απομακρυνόμενες από την παραδοσιακή στατική και γραμμική προσέγγιση, σε έναν δυναμικό κόσμο, που τρέφεται με δεδομένα. Η μεταστροφή αυτή έχει την ικανότητα να οδηγήσει σε καινοτομία, να βελτιώσει την ποιότητα των προϊόντων, να μειώσει τις σπατάλες σε υλικά και ενέργεια και να αναπτύξει εντελώς νέα επιχειρησιακά μοντέλα.

Επιγραμματικά, τεχνολογίες που έχουν συμβάλει στο να γίνεται πλέον ανοιχτά κουβέντα για την εποχή του Industry 4.0 είναι:

- Το διαδίκτυο των Πραγμάτων: Όντως και το βασικό θέμα της παρούσας εργασίας, η τεχνολογία αυτή επιτρέπει την άντληση δεδομένων πραγματικού χρόνου από συσκευές και μηχανήματα εντός ενός βιομηχανικού περιβάλλοντος αλλά και τη μεταξύ τους συνεργασία.
- Μεγάλα Δεδομένα και Αναλυτική Δεδομένων: Η επιβίωση της 4<sup>ης</sup> Βιομηχανικής Επανάστασης επαφίεται στα δεδομένα και την αποδοτική και αποτελεσματική διαχείριση αυτών. Οι προχωρημένες τεχνικές αναλυτικής δεδομένων αλλά και οι αλγόριθμοι μηχανικής μάθησης αξιοποιούνται για να αποκτηθούν πολύτιμες γνώσεις από τη διαχείριση των δεδομένων, βοηθώντας στη διαδικασία λήψης αποφάσεων, τις προληπτικές συντηρήσεις και τη βελτιστοποίηση των διαδικασιών.
- Αυτοματισμοί και Ρομποτική: Οι αυτοματισμοί αποτελούν ακρογωνιαίο λίθο του Industry 4.0, με αυτόνομα συστήματα και ρομπότ να χρησιμοποιούνται όλο και περισσότερο προκειμένου να υποβοηθήσουν ή/και υποκαταστήσουν ανθρώπινες εργασίες. Τα συγκεκριμένα ρομπότ είναι σε θέση να αναλαμβάνουν

άκρως επαναλαμβανόμενες, πιο επικίνδυνες και μεγάλης ακρίβειας εργασίες, οι οποίες ενδεχομένως να έθεταν τον άνθρωπο σε εργασιακού κινδύνους.

- **Cloud Computing:** Οι πλατφόρμες στο νέφος (cloud) δίνουν την απαραίτητα υποδομή για αποθήκευση και άμεση πρόσβαση σε τεράστιους όγκους δεδομένων, κάτι αναγκαίο στην εποχή της 4<sup>ης</sup> Βιομηχανικής Επανάστασης, που κάθε συσκευή και μηχάνημα παράγει και λαμβάνει δεδομένα. Επίσης σημαντική αποδείχτηκε η παρούσα τεχνολογία και στην εποχή της πανδημίας του COVID-19, όταν και αυξήθηκε κατακόρυφα η ανάγκη για εξ' αποστάσεως πρόσβαση σε δεδομένα και η απομακρυσμένη συνεργασία.
- **Επαυξημένη και Εικονική Πραγματικότητα (AR & VR):** Χρησιμοποιούνται για εκπαίδευση, συντήρηση και οπτικοποίηση των βιομηχανικών στησιμάτων και ρυθμίσεων. Συνεισφέρουν στην πρόσβαση σε πληροφορία σε συνθήκες πραγματικού χρόνου και υποβοηθούν στη σωστή λήψη αποφάσεων.
- **Τρισδιάστατη εκτύπωση (3D-printing):** Οι τεχνολογίες αυτές βοηθούν στην άμεση κατασκευή πρωτοτύπων και στην παραγωγή πολύπλοκων αντικειμένων και εξαρτημάτων, μειώνοντας τους απαιτούμενους χρόνους και επιτρέποντας τη μέγιστη δυνατή εξατομίκευση.
- **Ψηφιακά δίδυμα (Digital Twins):** Ένα ψηφιακό δίδυμο είναι μια εικονική απεικόνιση ενός απτού αντικειμένου, διαδικασίας ή συστήματος. Επιτρέπει την παρακολούθηση σε πραγματικό χρόνο, την προσομοίωση και ανάλυση και την επίτευξη καλύτερου ελέγχου και βελτιστοποίηση των πραγματικών αντικειμένων.
- **Κυβερνοασφάλεια:** Με την αυξημένη συνδεσιμότητα και την ψηφιακή ενσωμάτωση, αυξάνεται κατακόρυφα το ρίσκο διαρροής απόρρητων και πολύτιμων δεδομένων, κάτι που καθιστά αναγκαία μια εύρωστη σειρά μέτρων κυβερνοασφάλειας (cybersecurity), ώστε να προστατευτούν κρίσιμες πληροφορίες και υποδομές αλλά και ευαίσθητα δεδομένα από κυβερνοεπιθέσεις.

## 1.1 Ιστορική αναδρομή στη βιομηχανική εξέλιξη

Δεδομένου του ονόματος της 4<sup>ης</sup> Βιομηχανικής Επανάστασης, αποτελεί φυσική συνέχεια η απορία για το πώς η Βιομηχανία έφτασε στο σημείο αυτό, από την πρώτη της επανάσταση, πίσω στον 19<sup>ο</sup> αιώνα στη Μ. Βρετανία.

Η πρώτη επανάσταση, αυτή που έφερε τη βιομηχανία στο προσκήνιο και αποτράβηξε την κοινωνία από το φεουδαρχικό σύστημα της εργασίας στην καλλιέργεια της γης και τις μικρές, κλειστές συντεχνίες, ξεκίνησε περίπου στα 1760. Γενεσιουργός δύναμή της ήταν η εφεύρεση της ατμομηχανής και η δυνατότητα που αυτή προσέφερε για πιο γρήγορη μεταφορά ανθρώπων και αγαθών. Άρρηκτα συνδεδεμένη με την ατμομηχανή ήταν και η μεγάλη δημοφιλία του άνθρακα, ενός φυσικού πόρου που στη Μ. Βρετανία ήταν εύκολα διαθέσιμος σε μικρά βάθη, κάτι που επέτρεπε την εύκολη εξόρυξή του.

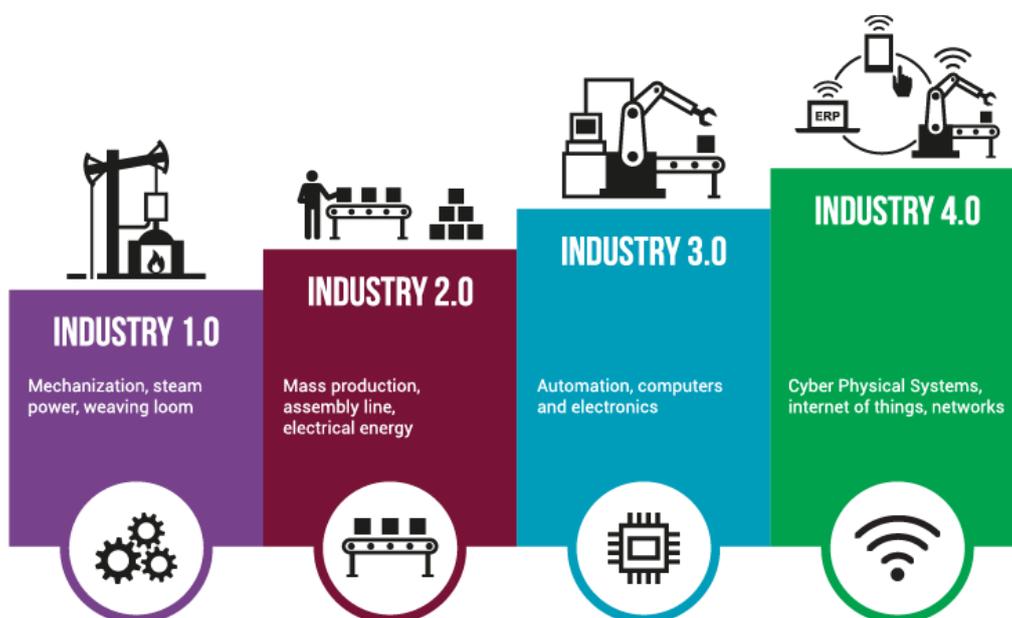
Το μήνυμα της ευρείας κοινωνικής αλλαγής μέσω της βιομηχανικής επανάστασης και της εξάπλωσης των πρώτων εργοστασίων κλωστοϋφαντουργίας στην Αγγλία γρήγορα μεταφέρθηκε σε όλη τη Δυτική Ευρώπη και τις ΗΠΑ, με τις αλλαγές αυτές να ξεκινούν έναν θετικό κύκλο ανατροφοδότησης στο βιοτικό επίπεδο του ανθρώπου, απομακρύνοντάς τον από την «παγίδα της επιβίωσης» στην οποία βρισκόταν εξ' αρχαιοτάτων χρόνων.

Η 2η βιομηχανική επανάσταση είχε ακόμα μεγαλύτερο αντίκτυπο στον τρόπο ζωής του ανθρώπου και περιλάμβανε την ανακάλυψη και ευρεία διάδοση του ηλεκτρισμού. Ο ηλεκτρισμός έκανε εφικτή τη διαβίωση του ανθρώπου όλο το 24ωρο, επιτρέποντας στα εργοστάσια να εργάζονται πιο αποτελεσματικά, χωρίς σταμάτημα, ενώ έδωσε τη δυνατότητα και για κατασκευή μεγάλων γραμμών παραγωγής, ξεκινώντας την περίοδο της μαζικής κατασκευής (και κατανάλωσης) προϊόντων. Εκείνη την εποχή ξεκίνησαν και οι πρώτες χρήσεις του χάλυβα και του σιδήρου, οι οποίες σήμερα αποτελούν θεμέλιο στις περισσότερες βιομηχανίες. Πρωτοπόρες στη 2<sup>η</sup> Βιομηχανική Επανάσταση ήταν οι ΗΠΑ, η Γερμανία, η Μ. Βρετανία και η Ιαπωνία.

Η 3<sup>η</sup> βιομηχανική επανάσταση χρειάστηκε κάποια χρόνια να έρθει, ωστόσο, αν και βασίζεται τις προηγούμενες δύο, κυριολεκτικά εκτίναξε τις δυνατότητες της ανθρωπότητας, δείχνοντας πως τα όρια είναι πολύ μεγαλύτερα απ' ό,τι νόμιζε ο άνθρωπος του 1900. Η επανάσταση αυτή αφορούσε την εφεύρεση των υπολογιστών, ένα τεχνολογικό επίτευγμα που επιταχύνθηκε έντονα από τον Β' Παγκόσμιο Πόλεμο,

με πολλές ανακαλύψεις να γίνονται στη διάρκειά του. Ήταν, αυτή, όμως μόνο η αρχή, καθώς από τη δεκαετία του 1950 ξεκίνησε μια έντονη ψηφιοποίηση της τεχνολογίας, με τις επικοινωνίες και τηλεπικοινωνίες να γνωρίζουν απίστευτη άνθηση, χάρη κυρίως σε τεχνολογικά επιτεύγματα όπως της χρήσης των ημιαγωγών για κατασκευή τρανζίστορ. Η συγκεκριμένη επανάσταση μεταμόρφωσε επίσης και το εμπόριο και τη βιομηχανία, δίνοντας στην ανθρωπότητα το internet, το ηλεκτρονικό εμπόριο, την ψηφιοποίηση της πληροφορίας, ενώ οδήγησε στην ταχεία παγκοσμιοποίηση και την ταχεία μετάδοση της πληροφορίας σε όλο τον πλανήτη.

Η 4η βιομηχανική επανάσταση, που βρίσκεται αυτή τη στιγμή σε πλήρη εξέλιξη, δεν έχει ακόμα αποτυπώσει τον αντίκτυπό της πλήρως. Πλέον, οι μηχανές αρχίζουν να παίρνουν εξ' ολοκλήρου τον ρόλο ενός χειριστή στην παραγωγική διαδικασία, καθιστώντας περιττή σε αρκετές περιπτώσεις την ανθρώπινη δραστηριότητα και παρέμβαση. Το IoT έχει ταυτιστεί από πολλούς με την 4<sup>η</sup> Βιομηχανική Επανάσταση, ωστόσο αποτελεί μόλις μια από τις πολλαπλές εκφάνσεις της. Ως όρος, το Industry 4.0 αναφέρθηκε πρώτη φορά το 2011 από τη γερμανική Bosch, σε έκθεση στο Αννόβερο. Αμέσως μετά την έκθεση αυτή, η γερμανική κυβέρνηση, παίρνοντας στα σοβαρά τα λόγια αυτά, δημιούργησε μια ομάδα εργασίας προκειμένου να βρίσκεται το κράτος μπροστά από τις εξελίξεις αυτού που έβλεπε πως θα ήταν ένα μεγάλο τεχνολογικό κύμα.



Εικόνα 1: Σχηματική απεικόνιση της εξέλιξης των 4 βιομηχανικών επαναστάσεων



## 1.2 Σχεδιασμός του Industry 4.0 και θεμελιώδεις αρχές

Όπως αναφέρθηκε και προηγουμένως, στόχος της 4<sup>ης</sup> Βιομηχανικής Επανάστασης είναι να αναπτύξει πλήρως τα έξυπνα δίκτυα στις δραστηριότητες της βιομηχανίας και των επιχειρήσεων, ώστε αυτά να λειτουργούν με την ελάχιστη ή και μηδενική ανθρώπινη παρέμβαση. Βασική αρχή γι' αυτό είναι οι μηχανές να μπορούν να διασυνδέονται και να λειτουργούν συνεκτικά μεταξύ τους, προσομοιώνοντας τον τρόπο που ένας εργαζόμενος συνεργάζεται με έναν συνάδελφο για την επίτευξη μιας εργασίας.

Οι αρχές σχεδιασμού του Industry 4.0 είναι πέντε και είναι οι ακόλουθες:

- **Διαλειτουργικότητα:** Εννοείται η ευέλικτη συνεργασία και αλληλεπίδραση των συνιστωσών μιας παραγωγικής διαδικασίας. Αφορά κυρίως τη δυνατότητα σύνδεσης όλων των συνιστωσών (άνθρωποι, έξυπνα μηχανήματα) και λειτουργίας μέσω του IoT.
- **Εικονικοποίηση:** Εννοείται η απεικόνιση των παραγωγικών διεργασιών των φυσικών μηχανών σε εικονικά μοντέλα ή μοντέλα προσομοίωσης. Αυτό επιτυγχάνεται μέσα από δεδομένα που λαμβάνονται από διάφορους αισθητήρες και προβάλλονται για ανάλυση. Αφορά δηλαδή την κατασκευή ψηφιακών δίδυμων, κάτι που καθιστά εφικτή την παρακολούθηση των διεργασιών από αρμόδιο προσωπικό ώστε να γίνονται δοκιμές και παραμετροποιήσεις στο εικονικό περιβάλλον, πριν καν την οποιαδήποτε παρέμβαση σε φυσικό αντικείμενο. Με το ψηφιακό δίδυμο, ο κατασκευαστής έχει τη δυνατότητα να ακολουθεί πλήρως τον κύκλο ζωής ενός προϊόντος, από τον σχεδιασμό ως και την ανακύκλωση/καταστροφή του. Αυτό δίνει τη δυνατότητα, χωρίς μεγάλο κόστος, να γίνονται αντιληπτές οι επιδόσεις ενός προϊόντος αλλά και να αξιολογούνται τα συστήματα που ενεπλάκησαν στην ανάπτυξή του.
- **Αποκεντροποίηση:** Όσο αυξάνει η ανάγκη της αγοράς για εξατομίκευση, τόσο πιο δύσκολο γίνεται να υπάρχει κεντρικός έλεγχος σε μια διεργασία. Βασική αρχή της 4<sup>ης</sup> Βιομηχανικής Επανάστασης είναι η αποκεντροποίηση, δηλαδή η δυνατότητα στα συστήματα μιας επιχείρησης να λαμβάνουν αποφάσεις αυτόνομα, χωρίς την επίδραση κάποιου κεντρικού ελέγχου, εξυπηρετώντας ταυτόχρονα την παραγωγική διαδικασία. Με την αρχή αυτή, μια επιχείρηση

διευκολύνεται σημαντικά, καθώς απαιτείται απλούστερος προγραμματισμός και συντονισμών των διαδικασιών.

- **Δυνατότητες πραγματικού χρόνου:** Η συγκεκριμένη αρχή αφορά στην υλοποίηση των διαδικασιών και την παρακολούθησή τους σε πραγματικό χρόνο. Αυτό περιλαμβάνει τη συλλογή δεδομένων από την παραγωγή σε πραγματικό χρόνο ώστε να δίνεται feedback βάσει αυτών. Επίσης, εδώ εντάσσεται και η ανάλυση δεδομένων και λήψη αποφάσεων σε πραγματικό χρόνο. Αυτό μπορεί να βοηθήσει στην ανίχνευση βλαβών ή κυβερνοεπιθέσεων καθώς και στην αποτελεσματικότερη εύρεση λύσεων για αντιμετώπιση πιθανών προβλημάτων, αυξάνοντας ουσιαστικά την παραγωγικότητα.
- **Τμηματοποίηση:** Αναγκαίο στοιχείο της νέας εποχής της βιομηχανίας είναι η ευελιξία, ώστε ένα έξυπνο εργοστάσιο να είναι σε θέση να προσαρμόζεται σε μελλοντικές απαιτήσεις που θα υπάρξουν. Η τμηματοποίηση (modularity) επιτρέπει τη σύσταση τμηματικών, αρθρωτών παραγωγικών συστημάτων, τα οποία επιδέχονται αντικατάστασης ή επέκτασης των επιμέρους δομικών τους στοιχείων. Επιτυγχάνεται, έτσι, προσαρμοστικότητα και ευελιξία. Για παράδειγμα, οι εποχιακές απαιτήσεις που μπορεί να υπάρξουν για κάποιο μηχάνημα μπορεί να απαιτήσουν κάποια επιπλέον ρύθμισή του ή μεταβολή σε ένα χαρακτηριστικό του προϊόντος που παράγει. Οργανώνοντας μια παραγωγική διαδικασία σε επιμέρους ενότητες, υπάρχει η δυνατότητα της προσαρμογής ή της αλλαγής μιας ενότητας, χωρίς να επηρεαστεί όλη η παραγωγική διαδικασία.
- **Προσανατολισμός στην υπηρεσία:** Η συγκεκριμένη αρχή επικεντρώνεται σε δύο έννοιες, την *Κατασκευή ως υπηρεσία (MaaS)* και το *Προϊόν ως υπηρεσία (PaaS)*. Στην πρώτη περίπτωση, έχουμε ένα επιχειρηματικό μοντέλο που αναφέρεται στην παραγωγή αγαθών μέσω της συλλογικής χρήσης υποδομών παραγωγής. Οι κατασκευαστές δηλαδή, μέσω του IoT βρίσκονται σε συνεχή συνεργασία και επικοινωνία, γνωστοποιώντας τις ανάγκες τους άμεσα. Σε ένα τέτοιο περιβάλλον μπορούν να υλοποιηθούν σύνθετες εργασίες κατασκευής από διαφορετικούς οργανισμούς. Στη δεύτερη περίπτωση, υπάρχει το επιχειρηματικό μοντέλο που αφορά προϊόντα που παρέχονται στους πελάτες ως μια υπηρεσία ή ψηφιακή εμπειρία. Εδώ, ένας καταναλωτής κάνει εγγραφή

online και συμφωνεί σε μια συνδρομή, πληρώνοντας ένα επαναλαμβανόμενο ποσό, ανάλογα με τη χρονική διάρκεια που το χρησιμοποιεί.

Προκειμένου να επιτευχθεί η πλήρης εμβάπτιση της βιομηχανίας στην αυτοματοποίηση, θα πρέπει να χρησιμοποιηθούν τεχνολογίες όπως τα **Κυβερνο-Φυσικά Συστήματα (CyberPhysical Systems, - CPS)**. Η συγκεκριμένη τεχνολογία είναι παρόμοια με το IoT, μιας και αμφότερες μοιράζονται την ίδια αρχιτεκτονική. Ωστόσο, χαρακτηρίζεται από υψηλότερο βαθμό συντονισμού ανάμεσα στα φυσικά και υπολογιστικά στοιχεία.

Η έννοια της *Έξυπνης Μηχανής* επικεντρώνεται στο πώς θα αντικατασταθεί η παραδοσιακή ιεραρχία στην παραγωγή, από μια που θα είναι αυτό-οργανωμένη, έχοντας ως επίκεντρο ένα σύστημα CPS/IoT. Σε ένα τέτοιο περιβάλλον, επιτρέπεται η επικοινωνία ανάμεσα σε αυτόνομα στοιχεία, με χρήση τεχνητής νοημοσύνης, κάτι που δίνει ευελιξία και modularity στη γραμμή παραγωγής. Επίσης, καθίσταται εφικτή η αυτόματη ενσωμάτωση νέων τμημάτων, ακόμα και η αντικατάσταση νέων παραγωγικών μονάδων.

Τέλος, ο *Ενισχυμένος Χειριστής* καθιστά τη φυσική οντότητα του ανθρώπου αρκετά πιο ευέλικτο χαρακτηριστικό μιας γραμμής παραγωγής. Ένας τέτοιος εργαζόμενος, της εποχής του Industry 4.0 έρχεται ενώπιον νέων αρμοδιοτήτων στην εργασία του, όπως ο ορισμός προδιαγραφών, η παρακολούθηση και η επαλήθευση στρατηγικών παραγωγής. Την ίδια στιγμή, θα πρέπει να έχει τη δυνατότητα, αλλά και τις γνώσεις να μπορεί να παρεμβαίνει και χειροκίνητα σε ένα αυτόνομο σύστημα παραγωγής, όταν αυτό καθίσταται αναγκαίο. Θα πρέπει να έχει τον ρόλο του υπεύθυνου για τη λήψη αποφάσεων πάνω στη γραμμή, έχοντας υποστήριξη από κινητές, ευέλικτες και φιλικές προς τον χρήστη διεπαφές, διασυνδεδεμένες με το σύστημα παραγωγής. Επίσης, θα πρέπει να έχει γνώση των μηχανισμών επίλυσης προβλημάτων, σε έναν βιομηχανικό κόσμο που χαρακτηρίζεται από σταδιακά αυξανόμενη τεχνική πολυπλοκότητα.

Το *Βιομηχανικό Διαδίκτυο* αποτελεί σύνθεση αρκετών τεχνολογιών. Για παράδειγμα, οι εξελίξεις στο πεδίο των αισθητήρων, τα τελευταία χρόνια, έχουν συμβάλει στην παραγωγή μεγαλύτερων όγκων δεδομένων, διαφορετικών τύπων, υψηλότερη ακρίβεια στα δεδομένα, αλλά και δυνατότητα πρόβλεψης για την εναπομένουσα ωφέλιμη ζωή των αισθητήρων.

Αντίστοιχα, οι αισθητήρες που υπάρχουν πάνω σε μηχανές στην παραγωγική διαδικασία, διαθέτουν ελεγκτές που μπορούν από μόνοι τους να αναλύουν, προβλέπουν και συγκρίνουν τις τρέχουσες ρυθμίσεις παραμέτρων με προκαθορισμένα, βέλτιστα δεδομένα και κατώτατα όρια. Τα τελευταία χρόνια, τόσο το κόστος, όσο και το μέγεθος των αισθητήρων έχουν μειωθεί σημαντικά. Αυτό, κατέστησε πιο εφικτή την τοποθέτηση τέτοιων σε μηχανές, βελτιώνοντας τον χειρισμό τους, τις διαδικασίες της παραγωγής αλλά και προστατεύοντας και ενημερώνοντας καλύτερα το ανθρώπινο δυναμικό.

Μαζί με την μεγάλη επέκταση και βελτίωση των αισθητήρων, έρχεται και η προηγμένη ανάλυση των μεγάλων δεδομένων που παράγονται, με τεχνικές Big Data Analytics. Μέσω της ανάλυσης δεδομένων, γίνεται καλύτερη επεξεργασία των ιστορικών δεδομένων, προβλέποντας με μεγαλύτερη ακρίβεια καταστάσεις όπως το πώς λειτουργεί ανά πάσα στιγμή μια μηχανή αλλά και το πώς θα λειτουργεί σε ένα προκαθορισμένο μελλοντικό χρονικό διάστημα.

Οι τεχνικές αυτές, συζευγμένες με τις τεχνικές ανάλυσης δεδομένων, μπορούν να δώσουν έγκυρα προγράμματα συντήρησης για τις μηχανές, βελτιστοποιώντας τη διάρκεια ζωής τους και τη συνεισφορά τους στην παραγωγική διαδικασία. Συμπληρωματικά και επικουρικά προς τα ανωτέρω λειτουργεί και η ανάπτυξη της αποθήκευσης δεδομένων σε υπολογιστικό νέφος. Πάροχοι τέτοιων υπηρεσιών, όπως το Microsoft Azure και το Amazon Web Services (AWS) παρέχουν τεράστιες υποδομές υπολογιστών για αποθήκευση δεδομένων και χρήση υπολογιστικής ισχύος, μειώνοντας το κόστος αλλά και τον χρόνο για την ανάλυση μεγάλων δεδομένων.

Τέσσερα είναι τα βασικά χαρακτηριστικά που συνθέτουν την εποχή του Industry 4.0. Αυτά είναι:

- **Κάθετη ολοκλήρωση των συστημάτων παραγωγής:** Στα έξυπνα εργοστάσια, τα οποία αποτελούν και τον τόπο γέννησης του Industry 4.0, η ανάγκη για δικτύωση είναι επιτακτική, καθώς πλέον δεν μπορούν να λειτουργήσουν αυτόνομα. Βασικός σκοπός της κάθετης ολοκλήρωσης είναι η χρήση των συστημάτων CPS, τα οποία και επιτρέπουν την ευελιξία και την ταχύτητα στην αντίδραση σε παραμέτρους όπως η ζήτηση, τα αποθέματα, τα σφάλματα στις μηχανές και οι απρόβλεπτες καθυστερήσεις π.χ. λόγω έκτακτων καιρικών φαινομένων. Επίσης, με δεδομένο πως η παραγωγή στρέφεται όλο και

περισσότερο στην πλήρη εξατομίκευση στις απαιτήσεις των πελατών, θα πρέπει η κάθετη ολοκλήρωση των έξυπνων παραγωγικών μονάδων να περιλαμβάνει και υπηρεσίες έξυπνης εφοδιαστικής αλυσίδας αλλά και marketing.

- **Οριζόντια ολοκλήρωση μέσω παγκόσμιο δικτύων αλυσίδας αξίας:** Η ολοκλήρωση σε οριζόντιο επίπεδο θα βοηθήσει στην ανάπτυξη και τη συντήρηση δικτύων που αφενός θα δημιουργούν και αφετέρου θα προσθέτουν αξία σε έναν οργανισμό, κυρίως στο πλαίσιο της σχέσης επιχείρηση-πελάτη. Το συγκεκριμένο χαρακτηριστικό έχει τη δυνατότητα επέκτασης σε ένα παγκόσμιο δίκτυο, εξαπλώνοντας σε πολλαπλές χώρες.
- **Διαφάνεια:** Θα πρέπει όλη η αλυσίδα αξίας στην έξυπνη βιομηχανία να χαρακτηρίζεται από διαφανείς διαδικασίες και υλοποίηση, κατά την οποία όλος ο κύκλος ζωής ενός προϊόντος, απ' την αρχή έως και το τέλος του, θα πρέπει να ιχνηλατείται και να παρακολουθείται. Το συγκεκριμένο ορόσημο, μπορεί να συμβάλει και στην ουσιαστική υλοποίηση της κυκλικής οικονομίας στις βιομηχανίες. Για παράδειγμα, με τα μέχρι τώρα δεδομένα, μια βιομηχανία ενδυμάτων παρακολουθεί το προϊόν της στα στάδια της προμήθειας της πρώτης ύλης, στην παραγωγή του προϊόντος και τη μεταφορά και πώλησή του. Αυτό, ωστόσο, δημιουργεί κενά στο τί γίνεται από την ώρα που το προϊόν θα φτάσει στα χέρια του πελάτη και το κατά πόσο αυτό τον ικανοποιεί στο διηνεκές. Συνεπώς, θα πρέπει η παραγωγή να επικεντρωθεί στην ποιότητα του προϊόντος αλλά και την ικανοποίηση της εμπειρίας του πελάτη απ' αυτό. Το Industry 4.0 είναι σε θέση να καλύπτει τόσο την παραγωγική διαδικασία, όσο και τον συνολικό κύκλο ζωής του προϊόντος.
- **Επιτάχυνση της παραγωγής:** Σε πολλές παραγωγικές διαδικασίες, οι τεχνολογίες που χρησιμοποιούνται δεν είναι πάντα καινοτόμες, με πολλές απ' αυτές να ακολουθούν μια «πεπατημένη» πολλών δεκαετιών, στον δρόμο της ευκολίας χρήσης και της εξοικείωσης, αλλά και της αντίστασης στην αλλαγή που παρουσιάζουν εγγενώς οι οργανισμοί. Βασική αρχή της εποχής της Βιομηχανίας 4.0 είναι η διασύνδεση συστημάτων, μηχανών και ολόκληρων παραγωγικών μονάδων, ώστε να αναπτύσσονται έξυπνα δίκτυα κατά μήκος όλης της αλυσίδας αξίας ενός προϊόντος. Αυτά, αφενός θα πρέπει να λειτουργούν ξεχωριστά, αλλά αφετέρου θα πρέπει να είναι σε θέση να ελέγχουν το ένα το άλλο με συνεκτικότητα.

### 1.3 Πλεονεκτήματα και μειονεκτήματα

Από τα πιο σημαντικά οφέλη της 4<sup>ης</sup> Βιομηχανικής Επανάστασης είναι ότι μπορεί να επιφέρει αυξημένη παραγωγικότητα και αποδοτικότητα στις επιχειρήσεις. Αυτό μπορεί να οδηγήσει σε μεγαλύτερα οικονομικά κέρδη, τα οποία οφείλονται όχι μόνο σε μεγαλύτερες παραγωγές, αλλά και σε πιο ποιοτικές, μειώνοντας ελαττωματικά προϊόντα και βελτιώνοντας την αντιλαμβανόμενη ποιότητα του προϊόντος από τους καταναλωτές. Επίσης, η κερδοφορία δεν έρχεται μόνο μέσω της τιμολόγησης ενός ανώτερου προϊόντος σε περισσότερες ποσότητες, αλλά και στην εξοικονόμηση πρώτων υλών μέσω των λιγότερων ελαττωμάτων και τις βελτιστοποιημένης ροής της αλυσίδας αξίας του προϊόντος, η οποία οδηγεί σε μικρότερες καθυστερήσεις, άρα και λιγότερες διακοπές γραμμών και δυσλειτουργίες στο παραγωγικό σύστημα. Για μια παραγωγική μονάδα, άλλωστε, αποτελεί βασικό σκοπό το να ελαχιστοποιεί τα απρογραμματίστα σταματήματα των γραμμών της.

Επιπλέον όφελος από την 4<sup>η</sup> Επανάσταση είναι πως παρέχει τέτοιες τεχνικές διαχείρισης δεδομένων και ανάλυσης αυτών, που μπορεί να βελτιώσει σημαντικά τον ποιοτικό έλεγχο των προϊόντων, εξασφαλίζοντας πως λιγότερα ελαττωματικά προϊόντα θα βρουν τον δρόμο τους προς τον καταναλωτή. Για παράδειγμα, οι τεχνικές ανάλυσης δεδομένων μπορούν να βρουν εάν η συστηματική ελαττωματική συμπεριφορά ενός προϊόντος οφείλεται σε έναν εξωτερικό παράγοντα, όπως η θερμοκρασία περιβάλλοντος, και να γίνουν διορθωτικές λύσεις προς τη συγκεκριμένη κατεύθυνση.

Χαρακτηρισμός που έχει δοθεί στην εποχή που περνά η βιομηχανία είναι αυτός της **δύναμης του 1%**. Ο χαρακτηρισμός αυτός αφορά στον χρόνο, το κόστος και την αύξηση της αποτελεσματικότητας. Επί της ουσίας, εκφράζει το ότι μια επιχείρηση μπορεί να έχει οφέλη από μείωση της αναποτελεσματικότητας κατά μόλις 1%. Η εξοικονόμηση κατά μόλις 1%, για παράδειγμα, του καυσίμου που χρησιμοποιεί μια βιομηχανία για τους καυστήρες της, μπορεί να οδηγήσει σε πολλαπλά οικονομικά οφέλη σε επίπεδο έτους και δεκαετίας.

Η νέα εποχή, όμως, δεν συνοδεύεται καθολικά από πλεονεκτήματα. Η γιγάντωση της αυτοματοποίησης και της ενσωμάτωσης των ρομπότ στον τρόπο που λειτουργεί ένα εργοστάσιο, κάνει την αγορά εργασίας διαρκώς και πιο ανταγωνιστική. Το εργατικό δυναμικό αρχίζει και υποκαθίσταται από μηχανές και εξειδικευμένους σχεδιαστές λογισμικού. Αυτό σημαίνει πως, όχι μόνο θα δυσκολεύονται να απορροφηθούν από την

αγορά εργασίας άνθρωποι χωρίς κάποια ιδιαίτερη ειδικευση, αλλά και πως άνθρωποι με σπουδές θα πρέπει να προσαρμόζονται σε νέες απαιτήσεις που υποδεικνύονται από τη μεταστροφή της παραγωγικής διαδικασίας στην πλήρη αυτοματοποίηση.

Μαζί με τα μειονεκτήματα έρχονται και προκλήσεις που θα πρέπει να διαχειριστεί ο κλάδος, καθώς μεταβαίνει σε αυτή τη νέα εποχή. Με τα συστήματα να αυτοματοποιούνται και την πληροφορία να ψηφιοποιείται, θα πρέπει όλα τα δεδομένα να είναι και προσβάσιμα και διαθέσιμα σε αυτούς που πρέπει. Θα πρέπει, λοιπόν, να γίνεται παρακολούθηση, σχεδιασμός και συντήρηση σε πραγματικό χρόνο καθ' όλη τη διάρκεια της παραγωγής. Αυτό, φέρνει στο προσκήνιο συγκεκριμένες προκλήσεις, όπως:

- **Ασφάλεια δικτύου:** Λόγω της διασύνδεσης συστημάτων, η ασφάλεια της πληροφορίας είναι μεγάλη πρόκληση. Παραβιάσεις από εισβολείς αποτελούν συχνά φαινόμενα, κάτι που θέτει σε κίνδυνο την πνευματική ιδιοκτησία και το ανταγωνιστικό πλεονέκτημα μιας επιχείρησης, ενώ θα μπορούσε να γίνει μέχρι και δολιοφθορά κατ' αυτό τον τρόπο. Θα πρέπει, επίσης, πέρα από τις εξωτερικές, κακόβουλες επιθέσεις, να δίνεται προσοχή και στην αποτροπή της διαρροής πληροφορίας και υλικού εκ των έσω, όπως για παράδειγμα μια απροσεξία ενός εργαζόμενου.
- **Τεχνητή νοημοσύνη:** Για να λειτουργήσει σωστά η τεχνητή νοημοσύνη, και να δώσει στη βιομηχανία τα οφέλη μέσω από αυτοματοποίηση, βέλτιστη λήψη αποφάσεων κ.ο.κ., θα πρέπει τα συστήματα της ΤΝ να περάσουν από ορθή διαδικασία μάθησης. Αυτό το βήμα αποτελεί μεγάλη πρόκληση καθώς τα δεδομένα πάνω στα οποία θα εκπαιδευτεί ο αλγόριθμος που τρέχει τη μηχανική μάθηση θα πρέπει να είναι επαρκή, αντιπροσωπευτικά και επίκαιρα. Επίσης, θα πρέπει να καλύπτουν επαρκές φάσμα των δραστηριοτήτων μιας παραγωγικής διαδικασίας, ώστε να μπορεί το σύστημα να δοκιμαστεί με επιτυχία σε όλες τις συνθήκες.
- **Έλεγχος συστημάτων:** Όταν πρόκειται να αναπτυχθεί ένα νέο σύστημα ή να γίνουν εκτενείς αλλαγές σε ήδη υφιστάμενο, τότε αναγκαία είναι μια περίοδος δοκιμής και λαθών, ώστε να γίνουν κατανοητά κάποια σφάλματα και να επιλυθούν σε ελεγχόμενο περιβάλλον. Έτσι, ένα νέο σύστημα θα πρέπει για κάποιο χρονικό διάστημα να τρέχει μεν υπό πραγματικές συνθήκες παραγωγής,

ωστόσο εν παραλλήλω με ήδη υπάρχοντα συστήματα, ώστε να γίνεται η δοκιμή και η βαθμονόμηση αυτού, ανάλογα πάντα και με την επικινδυνότητα και τη φύση του συστήματος.

- **Διαχείριση και απορρόφηση προσωπικού και κουλτούρα:** Εδώ, δεν εντάσσεται μόνο αυτό που αναφέρθηκε προηγουμένως ως μειονέκτημα, δηλαδή ο υψηλός κίνδυνος περικοπών προσωπικού από μια διαδικασία που αυτοματοποιείται διαρκώς, αλλά και η ανάγκη για εύρεση εξειδικευμένου προσωπικού, ικανού να φέρνει εις πέρας τις απαιτήσεις των νέων, αυτοματοποιημένων μονάδων. Αποτελεί σύγχρονο πρόβλημα της αγοράς εργασίας πως υπάρχουν συχνά θέσεις σχετικές που δεν βρίσκουν υποψηφίους, μένοντας κενές και καθυστερώντας τη μετάβαση μιας επιχείρησης στην εποχή του Industry 4.0. Επίσης, ανάχωμα στην εξέλιξη αποτελεί πολλές φορές και το ίδιο προσωπικό που παίρνει αποφάσεις εντός της εταιρείας, το οποίο συχνά μένει προσκολλημένο σε παλιές τακτικές, οι οποίες λειτουργούσαν σε μια προγενέστερη εποχή, ωστόσο πλέον είναι απαρχαιωμένες και χρήζουν αντικατάστασης. Πρόκειται δηλαδή για ένα πρόβλημα των ομάδων διοίκησης των επιχειρήσεων, το οποίο αφορά στην «ανθρώπινη αδράνεια», δηλαδή την επίμονη προσκόλληση σε μια ξεπερασμένη κουλτούρα και την καθυστέρηση εναρμόνισης με τις σύγχρονες απαιτήσεις του τεχνολογικού και βιομηχανικού περιβάλλοντος.

#### 1.4 Ο εργάτης στην εποχή του Industry 4.0

Η παρούσα παράγραφος είναι αφιερωμένη στη μεταμόρφωση του εργαζόμενου στις βιομηχανικές μονάδες, με την έλευση των νέων τεχνολογικών και παραγωγικών δεδομένων στην εποχή του Industry 4.0. Αναφορές έγιναν και σε προηγούμενα σημεία της εργασίας, ωστόσο εδώ θα γίνει πιο αναλυτική εστίαση στις αλλαγές που υφίσταται το κλασικό μοντέλο του χειριστή/εργάτη, το οποίο σε μεγάλο βαθμό έχει μείνει अपαράλλαχτο από τις πρώτες βιομηχανίες κλωστοϋφαντουργίας στην Βιομηχανική Αγγλία του 19<sup>ου</sup> αιώνα.

Ο ρόλος του χειριστή είναι κεντρικός, κατ' αρχάς, για την επίτευξη του επιπέδου της Βιομηχανίας 4.0. Ο εργαζόμενος είναι αυτός που εξασφαλίζει την ενσωμάτωση των



προηγμένων τεχνολογιών, των αυτοματισμών και των διαδικασιών που βασίζονται στα δεδομένα. Στην εποχή των έξυπνων εργοστασίων και των διασυνδεδεμένων συστημάτων, ο ρόλος του χειριστή καλείται να μεταβληθεί, εξελιχθεί και προσαρμοστεί, ενσωματώνοντας νέα ταλέντα, νέα χαρακτηριστικά, καθώς και την ικανότητα να υπερβαίνει μοναδικές, χωρίς ιστορικά προηγούμενα, προκλήσεις.

Πιο συγκεκριμένα, τα χαρακτηριστικά που θα πρέπει να διέπουν τον εργάτη της νέας αυτής εποχής για τη βιομηχανία είναι:

- **Προσαρμοστικότητα:** Οι χειριστές θα πρέπει να είναι αρκετά ευέλικτοι ώστε να μπορούν ταχύτατα να ελίσσονται σε τεχνολογικά εναλλασσόμενα περιβάλλοντα. Η ενσωμάτωση των συσκευών IoT, της τεχνητής νοημοσύνης και του αυτοματισμού σημαίνει πως οι χειριστές θα πρέπει άμεσα να μπορούν να ανταποκρίνονται σε νέα εργαλεία και συστήματα.
- **Ψηφιακό αλφαριθμητισμό:** Οι χειριστές στην εποχή της Βιομηχανίας 4.0 θα πρέπει να μπορούν να διαβάζουν αποτελεσματικά πολλαπλές ψηφιακές διεπιφάνειες, εργαλεία ανάλυσης δεδομένων και ψηφιακούς πίνακες. Ισχυρά θεμέλια στον ψηφιακό αλφαριθμητισμό είναι αναγκαία για την αποδοτική παρακολούθηση και έλεγχο πολύπλοκων μηχανών και διαδικασιών.
- **Ικανότητα επίλυσης προβλημάτων:** Όσο η τεχνολογία γίνεται πολυπλοκότερη και πιο προηγμένη, θα προκύπτουν νέες, και διαρκώς δυσκολότερες προκλήσεις. Οι χειριστές θα πρέπει να έχουν κριτική σκέψη και ικανότητα διαχείρισης και επίλυσης προβλημάτων, ώστε να είναι σε θέση να κάνουν σωστές διαγνώσεις και επιλύσεις βλαβών, ώστε να διατηρούν βέλτιστα επίπεδα παραγωγής.
- **Διεπιστημονικές γνώσεις:** Στα καθήκοντα του χειριστή, συχνά εντάσσεται και η επικοινωνία/συνεργασία με μηχανικούς, αναλυτές δεδομένων, αυτοματιστές και ειδικούς σε υπολογιστές. Μια ευρεία αντίληψη ζητημάτων στα πεδία αυτά, από μηχανολογικό εξοπλισμό έως και εργαλεία ανάλυσης δεδομένων, τους δίνει το πλεονέκτημα σε μια ανταγωνιστική αγορά εργασίας.
- **Κουλτούρα ασφάλειας:** Μπορεί οι διαδικασίες να αυτοματοποιούνται, ωστόσο τα νέα δεδομένα δημιουργούν νέα, πιθανά κενά στην ασφάλεια. Έτσι, στην εποχή της Βιομηχανίας 4.0, η κουλτούρα της ασφάλειας παραμένει στο επίκεντρο. Η εργασία πλησίον μηχανημάτων όπως τα ρομπότ και τα αυτόματα

συστήματα, είναι πηγή κινδύνων εάν οι χειριστές δε γνωρίζουν το πώς λειτουργούν μέσα στον χώρο της παραγωγής.

Για να αποκτήσει τα συγκεκριμένα χαρακτηριστικά, ο χειριστής της νέας εποχής στην οποία εισέρχεται ο βιομηχανικός κλάδος, θα πρέπει να διαθέτει τα ακόλουθα ταλέντα:

- **Ανάλυση δεδομένων:** Οι χειριστές έχουν μπροστά τους τη δουλειά του να ερμηνεύσουν μεγάλα ποσά δεδομένων, τα οποία παράγουν οι αισθητήρες και οι μηχανές. Η ευχέρεια στην ανάλυση δεδομένων τους επιτρέπει να παίρνουν πληροφορημένες αποφάσεις, να βρίσκουν τάσεις και να βελτιστοποιούν διεργασίες από το δικό τους επίπεδο.
- **Προγραμματισμός και κατασκευή κώδικα:** Οι βασικές προγραμματιστικές ικανότητες είναι ολοένα και σημαντικότερες, καθώς οι χειριστές ίσως χρειαστεί να τροποποιήσουν ή εξατομικεύσουν τη συμπεριφορά ενός αυτοματοποιημένου συστήματος. Η εξοικείωση με κοινές γλώσσες στα πεδία αυτά, όπως η Python και η Java, μπορούν να αποδειχτούν σημαντικές.
- **Μηχανική Μάθηση και Τεχνητή Νοημοσύνη:** Η κατανόηση των βασικών στοιχείων της μηχανικής μάθησης και της τεχνητής νοημοσύνης επιτρέπει στους χειριστές να δουλεύουν αποτελεσματικά με μηχανήματα που βασίζονται και «πατάνε» πάνω σε τέτοιες τεχνολογίες, όπως είναι οι προγνωστικοί αλγόριθμοι συντήρησης.
- **Κυβερνοασφάλεια:** Οι χειριστές θα πρέπει να είναι ενήμεροι και να γνωρίζουν τους κινδύνους στο κομμάτι της κυβερνοασφάλειας, καθώς και τις βέλτιστες πρακτικές ώστε αυτοί να ελαχιστοποιούνται. Η προστασία ευαίσθητων δεδομένων και η αποτροπή κυβερνοεπιθέσεων σε διασυνδεδεμένα συστήματα είναι ύψιστης σημασίας.
- **Επικοινωνιακές ικανότητες:** Η αποτελεσματική επικοινωνία είναι σημαντική, τόσο για τη συνεργασία με διαλειτουργικές ομάδες αλλά και για τη μεταφορά πολύπλοκης πληροφορίας σε ενδιαφερόμενα μέρη χωρίς παρόμοιο τεχνολογικό υπόβαθρο.

Θα πρέπει, επίσης, να τονιστεί πως ο εργαζόμενος του μέλλοντος, έχει μπροστά του και ορισμένες, διόλου ασήμαντες, προκλήσεις να επιλύσει. Πιο συγκεκριμένα, καλείται να συνεισφέρει στην ενσωμάτωση των νέων τεχνολογιών στις ήδη υπάρχουσες

κατασκευαστικές διεργασίες. Επίσης, ο ταχύτατος ρυθμός με τον οποίο προχωρά η τεχνολογία, σημαίνει πως ο εργαζόμενος, για να μένει πάντα σχετικός με τα πράγματα, θα πρέπει να ενστερνίζεται τη δια βίου και συνεχή μάθηση. Έτσι, θα πρέπει να επενδύεται χρόνος σε βελτίωση των ικανοτήτων ώστε να διατηρούνται ικανοί για την επιτέλεση της δουλειάς τους, μιας δουλειάς που σταδιακά και συνεχώς μεταλλάσσεται.

Ακόμα, ο μαζικός αυτοματισμός που υπάρχει στη βιομηχανία, γεννά στον εργαζόμενο τον φόβο πως η ασφάλεια της εργασίας του απειλείται. Για να μπορέσει ένας εργαζόμενος να λειτουργεί αποδοτικά και να συνεισφέρει στην εργασία του, θα πρέπει να νιώθει ασφαλής. Έτσι, απαιτείται να δίνονται διαβεβαιώσεις και υποστήριξη, καθώς υλοποιείται η μετάβαση σε νέους, διαφορετικούς ρόλους, ενώ δεν θα πρέπει απλώς ο άνθρωπος να αντικαθίσταται από τις μηχανές.

Όπως αναφέρθηκε και ανωτέρω, ο εργαζόμενος πλέον θα χρειάζεται ολοένα και περισσότερη ευχέρεια στην ανάγνωση και επεξεργασία δεδομένων. Αυτό, ωστόσο, θα πρέπει να έχει ένα τέλμα. Οι τεράστιοι όγκοι δεδομένων, έχουν την προοπτική να αποβούν αρκετά κουραστικοί και ψυχοφθόροι για έναν εργαζόμενο, κάτι που αντιμετωπίζεται με την παροχή των κατάλληλων εργαλείων αλλά και τη θέσπιση στρατηγικών ώστε αυτή η υπερφόρτωση με δεδομένα να είναι διαχειρίσιμη.

Τέλος, θα πρέπει να διασφαλίζεται πως ο εργαζόμενος δεν εκτίθεται σε κινδύνους στον τομέα της κυβερνοασφάλειας. Επίσης, θα πρέπει να παραμένει σε επαγρύπνηση για πιθανές ψηφιακές επιθέσεις, ώστε και ο ίδιος αλλά και οι πληροφορίες που μεταχειρίζεται να παραμένουν ασφαλείς.

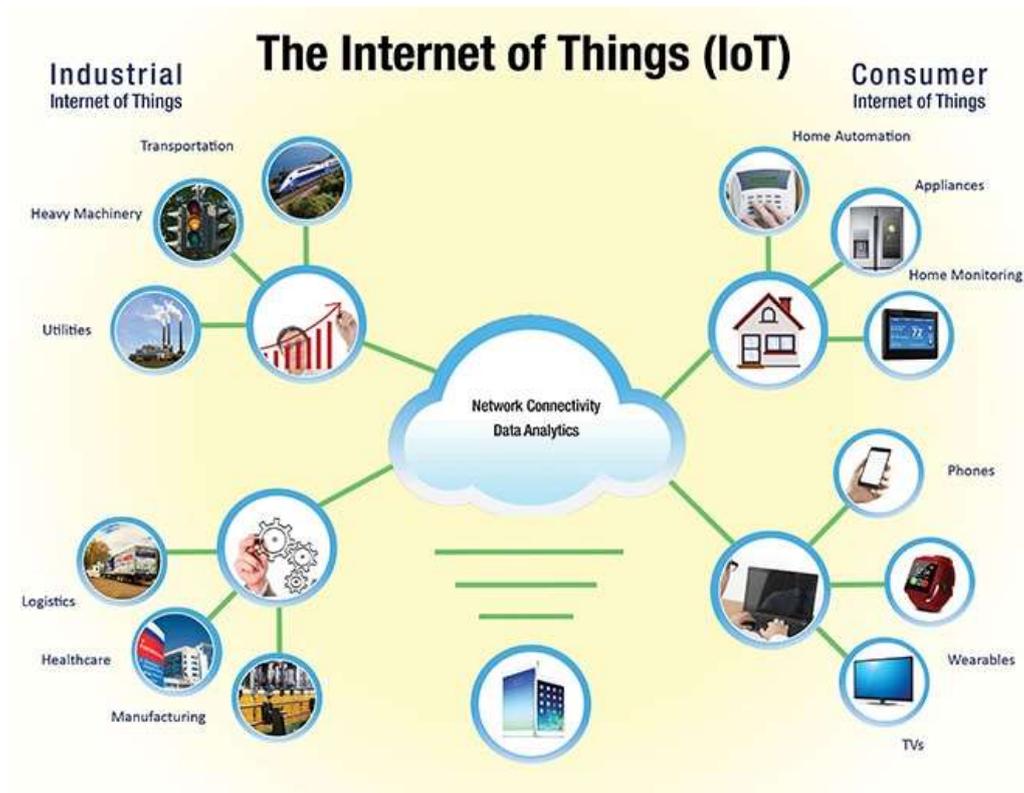
Συνοψίζοντας για τη συγκεκριμένη παράγραφο, φαίνεται πως ο ρόλος του χειριστή στην εποχή του Industry 4.0 περιλαμβάνει μεγάλη ευθυγράμμιση με τις τεχνολογίες αιχμής καθώς και την επιστήμη των δεδομένων. Για να πετύχει στην εποχή αυτή, ο χειριστής θα πρέπει να διαθέτει στο «οπλοστάσιό» του μια μίξη ικανοτήτων όπως προσαρμοστικότητα, ψηφιακό αλφαριθμητισμό, ικανότητα διαχείρισης προβλημάτων καθώς και σφαιρικές γνώσεις για πολλαπλά θέματα. Η επίτευξη των ανωτέρω με τα ταλέντα που αναλύθηκαν είναι κρίσιμη, ώστε να μπορέσουν να ξεπεραστούν και οι περισσότερες προκλήσεις που θα κληθεί να διαχειριστεί, σε μια εποχή που διαρκώς αλλάζει και απαιτεί από τον εργαζόμενο το ίδιο ώστε να επιβιώσει και να εξελιχθεί.

## Κεφάλαιο 2<sup>ο</sup>: Τεχνολογία του Διαδικτύου των Πραγμάτων (IoT)

Ως *Διαδίκτυο των Πραγμάτων* (Internet of Things, IoT), ορίζεται ένα δίκτυο από φυσικές συσκευές και λογισμικό, με μοναδική αναγνώριση, οι οποίες είναι διασυνδεδεμένες και διαθέτουν τη δυνατότητα να συλλέγουν και να ανταλλάσσουν πληροφορίες χωρίς καθόλου σχεδόν παρέμβαση από τον άνθρωπο. Το Global Standards Initiative, ορίζει το IoT ως εξής: «*Πρόκειται για μια παγκόσμια υποδομή για την κοινωνία της πληροφορίας, που επιτρέπει την παροχή υπηρεσιών μέσω της διασύνδεσης φυσικών και εικονικών πραγμάτων, οι οποίες βασίζονται σε υπάρχουσες και εξελισσόμενες διαλειτουργικές τεχνολογίες*».

Η λέξη *Πράγματα* στον ορισμό αφορά στις συσκευές που μπορούν να συνδέονται μεταξύ τους και ελέγχονται μέσω ενός υπολογιστή ή smartphone. Ωστόσο, από μόνες τους, οι συσκευές δεν υποστηρίζουν τη συνδεσιμότητα σε δίκτυα. Η έννοια των πραγμάτων, πιο αναλυτικά, αφορά ένα σύνολο αισθητήρων και ελεγκτών, τα οποία ενσωματώνονται στις συσκευές. Υπό την έννοια αυτή, ως *πράγμα* μπορεί να θεωρηθεί οποιοδήποτε αντικείμενο, ακόμα και ένα έπιπλο ή ένα κτίριο, το οποίο διαθέτει προσαρτημένους αισθητήρες για λήψη ορισμένων μετρήσεων. Τα αντικείμενα, μπορούν να συνδεθούν μεταξύ τους, μέσω πρωτοκόλλων επικοινωνίας, τόσο ενσύρματα όσο και ασύρματα.

Η τεχνολογία IoT είναι αποτέλεσμα πολλαπλών τεχνολογικών εξελίξεων, οι οποίες υποστηρίζονται για ένα επιθυμητό τελικό αποτέλεσμα, το οποίο είναι η «ένωση» της φυσικής με την ψηφιακή παρουσία των πραγμάτων. Πέρα από την επικοινωνία με άλλα αντικείμενα, στόχος είναι και η χρήση των αισθητήριων για εργασίες όπως η αναγνώριση, η διαχείριση πληροφοριών και η διεπαφή μηχανής-χρήστη.



Εικόνα 2: Γραφική απεικόνιση των πλευρών του IoT

Οι δυνατότητες, πιο συγκεκριμένα, είναι οι ακόλουθες:

- 1 **Ενσωμάτωση αισθητήρων και ελεγκτών:** Κάθε αντικείμενο, με χρήση αισθητήρων, συλλέγει τις κατάλληλες πληροφορίες από το περιβάλλον (π.χ. μέτρηση υγρασίας). Στο ίδιο μοτίβο, με τους ελεγκτές εκτελούνται φυσικές διεργασίες.
- 2 **Διευθυνσιοδότηση και αναγνώριση:** Μέσα από πρωτόκολλα επικοινωνίας, μπορεί να γίνει εντοπισμός και έλεγχος αντικειμένων μέσα σε ένα δίκτυο. Επίσης, όταν σε ένα δίκτυο συνδέονται πολλαπλές συσκευές, τότε μπορεί να εντοπιστεί η πηγή των πληροφοριών μέσα στο δίκτυο.
- 3 **Ενσωματωμένη διαχείριση πληροφοριών:** Μέσα σε ένα δίκτυο έξυπνων συσκευών, αυτές μπορούν να επεξεργάζονται και να αποθηκεύουν πληροφορίες που παίρνουν από αισθητήρες. Αυτό το πετυχαίνουν διευθετώντας επεξεργαστές και κατάλληλες αποθηκευτικές μονάδες.
- 4 **Διεπαφή χρήστη-μηχανής:** Τεχνολογίες όπως το HMI (Διεπαφή Ανθρώπου-Μηχανής) επιτρέπουν σε αντικείμενα να επικοινωνούν με ανθρώπους.

Σημαντικό χαρακτηριστικό ενός δικτύου από έξυπνα αντικείμενα είναι ότι επιτρέπει την παρακολούθηση των συσκευών εξ' αποστάσεως, άρα μπορούν στο δίκτυο και στην υπάρχουσα υποδομή να ενσωματωθούν περισσότερα φυσικά στοιχεία. Με απλά λόγια, υπάρχει η δυνατότητα να διαχειρίζονται εξ' αποστάσεως φυσικά αντικείμενα. Οι συσκευές που βρίσκονται εντός ενός δικτύου IoT επικοινωνούν, όπως αναφέρθηκε ξανά, με πρωτόκολλα επικοινωνίας, όπως είναι το TCP/IP. Ωστόσο, υπάρχουν και πρωτόκολλα που συμπεριφέρονται καλύτερα για IoT περιβάλλον, όπου οι συσκευές του δικτύου δεν έχουν μεγάλη υπολογιστική ικανότητα ή/και περιορισμένους ενεργειακούς πόρους. Παράδειγμα τέτοιων πρωτοκόλλων, όπως θα δούμε και στη συνέχεια, είναι τα MQTT, AMQP, CoAP κ.λπ.

## 2.1 Αρχιτεκτονική IoT

Η αρχιτεκτονική σε ένα δίκτυο IoT μπορεί να διακριτοποιηθεί είτε βάσει στρωμάτων, είτε βάσει διαχείρισης είτε βάσει τοπολογίας. Ακολουθεί ευθύς αμέσως η ανάλυση της συγκεκριμένων διακριτοποιήσεων.

Βάσει *στρωμάτων*, ένα δίκτυο IoT μπορεί να ειπωθεί πως διακρίνεται σε 5 στρώματα, τα οποία είναι:

1. Επίπεδο αντίληψης (perception layer): εδώ εντάσσονται οι αισθητήρες που λαμβάνουν δεδομένα φυσικών παραμέτρων, συλλέγοντας πληροφορία από το εξωτερικό περιβάλλον. Σκοπός του επιπέδου αυτού είναι να δώσει πληροφορία στα ακόλουθα επίπεδα. Παράδειγμα τέτοιων αισθητήρων είναι αυτοί που συλλέγουν δεδομένα για θερμοκρασία, υγρασία, υπεριώδη ακτινοβολία, πίεση κ.λπ.
2. Επίπεδο μεταφοράς (transport layer): εδώ, τα δεδομένα που συλλέχθηκαν από τους αισθητήρες μεταφέρονται στο επίπεδο της επεξεργασίας, αλλά και αντίστροφα. Αυτή η μεταφορά μπορεί να γίνει με τεχνολογίες όπως το NFC, RFID, Wi-Fi αλλά και Bluetooth.
3. Επίπεδο επεξεργασίας (processing layer): εδώ γίνεται επεξεργασία, ανάλυση και αποθήκευση της πληροφορίας, η οποία λαμβάνεται από το στρώμα μεταφοράς. Εδώ, υπάρχει και η δυνατότητα παροχής υπηρεσιών και σε

κατώτερα επίπεδα. Τεχνολογίες που χρησιμοποιούνται εδώ είναι αυτή του cloud computing, οι μονάδες επεξεργασίας των big data κ.λπ.

4. Επίπεδο εφαρμογής (application layer): εδώ η επεξεργασμένη πληροφορία/υπηρεσία μεταφέρεται προς τον χρήστη, μετά το τέλος της επεξεργασίας.
5. Επιχειρηματικό επίπεδο (business layer): Από τη στρώση αυτή, διαχειρίζεται όλο το σύστημα IoT συνολικά, καθώς και οι υπηρεσίες που αυτό προσφέρει. Γίνεται απεικόνιση των analytics και των στοιχείων που συγκεντρώνει το συγκεκριμένο δίκτυο IoT, καθώς και σχεδιασμός μελλοντικών, εξυπνότερων στρατηγικών.

Βάσει διαχείρισης, τα συστήματα IoT μπορούν να διαχωριστούν σε δύο μεγάλες κατηγορίες αρχιτεκτονικών:

1. Αρχιτεκτονική βασισμένη στα γεγονότα (event-driven architecture): εδώ, το δίκτυο αισθητήρων μεταδίδει δεδομένα μόνο όταν υπάρξει κάποια δραστηριότητα στο εξωτερικό περιβάλλον, όπως για παράδειγμα όταν εντοπίζεται παρουσία διοξειδίου του άνθρακα στην ατμόσφαιρα.
2. Αρχιτεκτονική βασισμένη στο χρόνο (time-based architecture): εδώ, το δίκτυο αισθητήρων μεταδίδει συνεχώς δεδομένα στο καθορισμένο χρονικό διάστημα, π.χ. μεταδίδει συνεχή δεδομένα για τη θερμοκρασία του χώρου, χωρίς την απαίτηση για κάποιο άνω ή κάτω κατώφλι αποκλεισμού.

Βάσει, τώρα, τοπολογίας, ένα δίκτυο IoT μπορεί να στηρίξει τρεις διαφορετικές τοπολογίες, οι οποίες και είναι:

1. *Σύνδεση σημείου προς σημείο (point-to-point connection)*: αφορά στη μεταφορά πληροφοριών μεταξύ δύο στοιχείων. Η συγκεκριμένη αρχιτεκτονική πλεονεκτεί στην απλότητά της, καθώς και στο χαμηλό της κόστος. Μειονεκτεί, ωστόσο, στο ότι δεν έχει δυνατότητα μεγάλης συνδεσιμότητας των συσκευών εκτός δικτύου.
2. *Τοπολογία αστέρα (star topology)*: αποτελείται από έναν κεντρικό κόμβο, ο οποίος συνδέεται με επιμέρους τερματικούς κόμβους, σχηματίζοντας ένα

νοητικό αστέρι, εξ' ου και η συγκεκριμένη ονοματοδοσία. Ο κεντρικός κόμβος λαμβάνει και μεταδίδει δεδομένα από τους τερματικούς, ώστε να καθίσταται ικανή η επικοινωνία μεταξύ των τερματικών. Η συγκεκριμένη τοπολογία δίνει μεγάλη αξιοπιστία σε ένα σύστημα, μιας και μια επιμέρους βλάβη σε ένα τερματικό, δεν επηρεάζει τη λειτουργία του συνολικού συστήματος.

3. *Τοπολογία πλέγματος (mesh topology)*: Εδώ, διακρίνονται δύο επιμέρους υπό-τοπολογίες, οι οποίες είναι:
  - a. *Τοπολογία πλήρους πλέγματος (full mesh topology)*: Κάθε συσκευή συνδέεται με όλες τις υπόλοιπες.
  - b. *Τοπολογία μερικού πλέγματος (partial mesh topology)*: Μερικές συσκευές συνδέονται με όλες τις υπόλοιπες ενώ κάποιες συνδέονται με συγκεκριμένες συσκευές, όπου και γίνεται η συχνότερη ανταλλαγή δεδομένων.

Η τοπολογία πλέγματος μπορεί να υποστηρίξει δίκτυα μεγάλων όγκων δεδομένων αλλά και εμβέλειας, χρησιμοποιούμενη για ένα μεγάλο εύρος εφαρμογών. Σε σχέση με τις δύο προηγούμενες τοπολογίες, διαθέτει αρκετά μεγαλύτερη πολυπλοκότητα, κάτι που ανεβάζει σημαντικά και το κόστος της.

## 2.2 Πρωτόκολλα IoT

### 2.2.1 MQTT

Ξεκινώντας, υπάρχει το MQTT (Message Queuing Telemetry Transport), το οποίο είναι ένα ελαφρύ και αποδοτικό πρωτόκολλο επικοινωνίας, σχεδιασμένο για μικρά εύρη συχνοτήτων, μεγάλη υστέρηση και αξιόπιστα δίκτυα. Αναπτύχθηκε στα τέλη της δεκαετίας του 1990 από την IBM και έκτοτε αποτελεί τυπικό πρωτόκολλο στις εφαρμογές IoT αλλά και σε άλλες εφαρμογές όπου η επικοινωνία σε πραγματικό χρόνο είναι αναγκαία.

Βασικά χαρακτηριστικά του MQTT είναι:

1. Μοντέλο δημοσίευσης (publish model): Το MQTT χρησιμοποιεί μοτίβο δημοσίευσης μηνυμάτων. Εδώ, ο πελάτης (συσκευές ή εφαρμογές) μπορούν να



δημοσιεύσουν μηνύματα πάνω σε συγκεκριμένα θέματα, ενώ άλλοι πελάτες (clients) μπορούν να εγγραφούν στα θέματα αυτά, ώστε να λαμβάνουν μηνύματα. Αυτή η αποσύζευξη παραγωγών και καταναλωτών, καθιστά το πρωτόκολλο αρκετά ευέλικτο και με δυνατότητα μεγάλης κλιμάκωσης.

2. Ελαφρύ πρωτόκολλο: Το MQTT είναι σχεδιασμένο με σκοπό να είναι ελαφρύ, κάτι που το καθιστά κατάλληλο για περιορισμένα περιβάλλοντα με περιορισμένους πόρους, όπως τα ενσωματωμένα συστήματα και οι συσκευές IoT. Η επικεφαλίδα του πρωτοκόλλου είναι λιτή, μειώνοντας τον φόρτο και το υπολογιστικό κόστος μεταφοράς δεδομένων.
3. Επίπεδα ποιότητας υπηρεσίας (QoS): Το MQTT δίνει τρία επίπεδα ποιότητας, ώστε να διασφαλίσει αξιοπιστία στη μεταφορά των μηνυμάτων:
  - a. Στο επίπεδο 0, γίνεται *το πολύ* μια μεταφορά (fire & forget)
  - b. Στο επίπεδο 1, γίνεται *τουλάχιστον* μια μεταφορά (αναγνωρισμένη μεταφορά με πιθανά διπλότυπα)
  - c. Στο επίπεδο 2, γίνεται *ακριβώς* μια μεταφορά (εξασφαλισμένη μεταφορά, χωρίς διπλότυπα).
4. Τελευταία επιθυμία: Το MQTT επιτρέπει στους πελάτες να καθορίζουν ένα μήνυμα «τελευταίας επιθυμίας», το οποίο δημοσιοποιείται σε συγκεκριμένο θέμα, εάν ο πελάτης αποσυνδεθεί ξαφνικά. Είναι ένα χρήσιμο χαρακτηριστικό για διαχείριση απρόσμενων αποσυνδέσεων και διαχείριση της κατάστασης των συσκευών.
5. Διατηρημένα μηνύματα: Το MQTT υποστηρίζει τη διακράτηση μηνυμάτων, όπου ο μεσίτης διατηρεί το τελευταίο μήνυμα που έχει σταλεί πάνω σε ένα θέμα και το μεταφέρει σε οποιαδήποτε νέα εγγραφή. Είναι χρήσιμο χαρακτηριστικό λόγω της ικανότητάς του να μεταφέρει κάθε φορά την πιο πρόσφατη πληροφορία.
6. Επίμονες συνεδρίες (persistent sessions): Στο MQTT, ο πελάτης μπορεί να καθορίσει κάποιες σταθερές συνεδρίες με τον μεσίτη. Αυτό σημαίνει πως ο μεσίτης δεν ξεχνά τις εγγραφές του πελάτη και τα μηνύματα που έχουν μπει σε ουρά, ακόμα και εάν ο πελάτης αποσυνδεθεί και συνδεθεί μεταγενέστερα.

7. Μικρός φόρτος: Το MQTT ελαχιστοποιεί τον φόρτο δεδομένων που υπάρχει στο πρωτόκολλο, κάτι που εξυπηρετεί σε δίκτυα χαμηλής ισχύος και εύρους.
8. Ασφάλεια: Το MQTT από μόνο του δεν έχει στοιχεία ασφαλείας, όμως μπορεί να χρησιμοποιηθεί σε πολύ ασφαλείς συνδέσεις, όπως οι TLS/SSL, ώστε να διασφαλιστεί η ιδιωτικότητα των δεδομένων και η ταυτοποίηση.

Το MQTT συναντάται συχνά σε αυτοματισμούς έξυπνου σπιτιού, βιομηχανικούς αυτοματισμούς αλλά και σενάρια όπου απαιτείται αξιόπιστη ανταλλαγή, ελαφρών μηνυμάτων.

### 2.2.2 CoAP

Συνεχίζοντας, συναντάμε το CoAP (Constrained Application Protocol). Πρόκειται για ένα πρωτόκολλο που αναπτύχθηκε για χρήση σε περιβάλλοντα με περιορισμούς και συγκεκριμένους πόρους, ειδικά σε εφαρμογές IoT. Πρόκειται για ένα επίπεδο πρωτοκόλλου που «τρέχει» πάνω από UDP (User Datagram Protocol). Αποτελεί παρόμοιο πρωτόκολλο με το HTTP, το οποίο χρησιμοποιείται για επικοινωνία στον ιστό, όμως έχει βελτιστοποιηθεί για περιορισμένα δίκτυα και συσκευές.

Βασικά χαρακτηριστικά του CoAP είναι:

1. Ελαφρότητα: Το CoAP έχει σχεδιαστεί για να είναι ελαφρύ, τόσο ως προς το μέγεθος των μηνυμάτων, όσο και ως προς τις απαιτήσεις για επεξεργασία. Χρησιμοποιεί δυαδικό πρότυπο μηνυμάτων, το οποίο είναι πιο συμπυκνωμένο από τα πρότυπα τύπου μηνυμάτων που χρησιμοποιούνται στο HTTP πρωτόκολλο. Αυτό, μειώνει τον υπολογιστικό φόρτο που σχετίζεται με επικεφαλίδες και αναπαράσταση δεδομένων.
2. Βασισμένο σε UDP: Το UDP δεν έχει σύνδεση και έχει μικρότερο φόρτο από το TCP (Transmission Control Protocol) που χρησιμοποιείται στο HTTP, κάτι που το καθιστά καταλληλότερο για περιορισμένα δίκτυα, με λιγιστούς πόρους.
3. Μοντέλο Αιτήματος-Απάντησης: Όπως και το HTTP, το CoAP πρωτόκολλο ακολουθεί ένα μοντέλο τύπου *αιτήματος-απάντησης*, όπου ο πελάτης στέλνει αιτήματα στον διακομιστή, και αυτός απαντά με τα ζητούμενα δεδομένα ή τη

ζητούμενη κατάσταση. Το CoAP υποστηρίζει αρκετά είδη αιτημάτων, όπως τα GET, PUT, POST και DELETE.

4. URI σχήμα: Το CoAP πρωτόκολλο χρησιμοποιεί παρόμοιο URI (Uniform Resource Identifier) σχήμα με το HTTP, ώστε να εντοπίζει τους πόρους στο δίκτυο.
5. Ενσωματωμένη παρατήρηση: Το CoAP διαθέτει ένα στοιχείο που λέγεται «Παρατήρηση», το οποίο επιτρέπει στον πελάτη να εγγράφεται σε ενημερώσεις πόρων. Όταν ένας πόρος αλλάζει, τότε ο διακομιστής μπορεί να στείλει ειδοποιήσεις σε όλους τους πελάτες που έχουν εγγραφεί, μειώνοντας την ανάγκη για συνεχείς ερωτήσεις.
6. Χαμηλή ισχύς και ικανότητα μεγέθυνσης: Το CoAP έχει σχεδιαστεί ώστε να δουλεύει αποδοτικά με συσκευές με ελάχιστη υπολογιστική ισχύ, μνήμη και ζωή μπαταρίας. Επίσης, μπορεί να μεγεθυνθεί και να χρησιμοποιηθεί σε δίκτυα με μεγάλο αριθμό συσκευών.

Οι εφαρμογές του CoAP επεκτείνονται σε μια σειρά πεδίων και βιομηχανιών, όπου χρειάζονται συσκευές με λιγιστούς πόρους για επικοινωνία, έλεγχο και παρακολούθηση δεδομένων και υπηρεσιών. Παραδείγματα τομέων είναι:

- Κλάδος υγείας: Το CoAP χρησιμοποιείται σε εφαρμογές του κλάδου για παρακολούθηση και έλεγχο ιατρικών συσκευών, εντοπισμό ασθενών και απομακρυσμένο έλεγχο ζωτικών μετρήσεων.
- Αγροτικός τομέας: Το CoAP μπορεί να αξιοποιηθεί για απομακρυσμένο έλεγχο των συνθηκών που χαρακτηρίζουν το έδαφος, συλλογή καιρικών δεδομένων και συστημάτων άρδευσης.
- Έξυπνες πόλεις και δίκτυα: Μέσω του συγκεκριμένου πρωτοκόλλου, μπορεί να γίνει απομακρυσμένος έλεγχος δικτύων φωτισμού, αισθητήρων παρκαρίσματος, συσκευών μέτρησης ποιότητας του αέρα, κατανομής του ηλεκτρισμού βάσει αναγκών πραγματικού χρόνου και αποδοτικής κατανάλωσης και παραγωγής ρεύματος.
- Βιομηχανικοί αυτοματισμοί: Το CoAP επιτρέπει την επικοινωνία μεταξύ αισθητήρων, ενεργοποιητών και συστημάτων ελέγχου σε βιομηχανίες παραγωγής προϊόντων.

### 2.2.3 HTTP/HTTPS

Το HTTP (Hypertext Transfer Protocol) αλλά και η ασφαλή του εκδοχή, HTTPS (HTTP Secure), είναι βασικά πρωτόκολλα που χρησιμοποιούνται, όπως αναφέρθηκε λίγο πιο πάνω, σε επικοινωνίες στον παγκόσμιο ιστότοπο. Το συγκεκριμένο πρωτόκολλο καθορίζει τους κανόνες για την αίτηση και μετάδοση δεδομένων ανάμεσα σε έναν πελάτη (συνήθως έναν περιηγητή) και έναν διακομιστή.

Ακολουθεί μια ξεχωριστή εξέταση των HTTP και HTTPS.

Το HTTP είναι ένα πρωτόκολλο χωρίς κατάσταση, το οποίο σημαίνει ότι κάθε ζευγάρι αιτήματος-απάντησης είναι ανεξάρτητο. Ο διακομιστής δεν διατηρεί πληροφορίες για προηγούμενα αιτήματα από τον ίδιο πελάτη. Αυτό το χαρακτηριστικό απλοποιεί την εφαρμογή αλλά απαιτεί επιπλέον μηχανισμούς (τα λεγόμενα cookies) ώστε να διατηρούνται οι συνεδρίες του πελάτη. Τα μηνύματα στο HTTP βασίζονται σε κείμενο, χρησιμοποιώντας απλές κεφαλίδες κειμένου και, προαιρετικά, ένα σώμα κειμένου. Αυτό το πρότυπο, που γίνεται κατανοητά από τον άνθρωπο, είναι χρήσιμο για εύρεση σφαλμάτων και επιδιόρθωση (debugging), όμως προσθέτει αρκετή πολυπλοκότητα εν συγκρίσει με δυαδικά πρωτόκολλα.

Ιστορικά, το HTTP χρησιμοποιούσε μια νέα σύνδεση για κάθε κύκλο αιτήματος-απάντησης, το οποίο θα μπορούσε να δημιουργήσει μη αποδοτικές συνθήκες. Ωστόσο, οι σύγχρονες εκδοχές του πρωτοκόλλου συχνά καταφεύγουν σε τεχνικές όπως το HTTP keep-alive, ώστε να επαναχρησιμοποιούν συνδέσεις για πολλαπλούς κύκλους αιτήματος-απάντησης, μειώνοντας τη χρονική υστέρηση.

Όσο για το HTTPS, αυτό αποτελεί επέκταση του HTTP, προσθέτοντας ένα στρώμα ασφαλείας στην επικοινωνία, εντάσσοντας την κρυπτογράφηση. Χρησιμοποιεί πρωτόκολλα SSL/TLS (Secure Sockets Layer/Transport Layer Security) ώστε να κρυπτογραφήσει δεδομένα που ανταλλάσσονται μεταξύ πελάτη και διακομιστή. Η κρυπτογράφηση αυτή εξασφαλίζει πως τα δεδομένα παραμένουν εμπιστευτικά και δεν μπορούν εύκολα να υποκλαπούν ή επιμολυνθούν από επιβλαβείς δραστηριότητες. Επίσης, το HTTPS περιλαμβάνει και ταυτοποίηση του διακομιστή, το οποίο σημαίνει ότι ο πελάτης μπορεί να επικυρώσει την ταυτότητα του διακομιστή με τον οποίο επικοινωνεί. Αυτό βοηθά στην πρόληψη κακόβουλων επιθέσεων, κατά τις οποίες ένας άνθρωπος προσποιείται πως είναι διακομιστής.

Επιπρόσθετα της κρυπτογράφησης, το HTTP πρωτόκολλο παρέχει και εγκυρότητα δεδομένων. Αυτό σημαίνει ότι τα δεδομένα που λαμβάνει ο πελάτης είναι εγγυημένα τα ίδια με αυτά που αποστέλλει ο διακομιστής, χωρίς κάποιες μη εγκεκριμένες τροποποιήσεις. Στην ίδια κατηγορία εντάσσονται και τα ψηφιακά πιστοποιητικά που εκδίδουν συγκεκριμένες, έμπιστες Αρχές Πιστοποίησης. Αυτά, επιβεβαιώνουν την ταυτότητα του διακομιστή, και οι περιηγητές τα χρησιμοποιούν ώστε να θέσουν σε ισχύ μια ασφαλή σύνδεση. Κάθε περιηγητής διατηρεί λίστα με έμπιστες Αρχές Πιστοποίησης.

Πλέον, το HTTPS αποτελεί το τυπικό πρότυπο για ασφαλείς επικοινωνίες μέσω του δικτύου, με πολλές ιστοσελίδες και εφαρμογές να το χρησιμοποιούν ώστε να προστατευτούν τα δεδομένα των χρηστών. Είναι ιδιαίτερα χρήσιμο για ιστοτόπους που μεταχειρίζονται ευαίσθητες πληροφορίες, όπως κωδικούς εισόδου, χρηματοοικονομικές συναλλαγές και προσωπικά δεδομένα.

Συνοψίζοντας, το HTTP έθεσε τα θεμέλια της επικοινωνίας μέσω διαδικτύου, ενώ το HTTPS τη βελτίωσε, προσθέτοντας και τον παράγοντα ασφάλειας στη διαδικασία, μέσω κρυπτογράφησης, ταυτοποίησης και ελέγχων εγκυρότητας δεδομένων. Τα πρωτόκολλα αυτά εξασφαλίζουν ασφαλείς ανταλλαγές δεδομένων και είναι αναγκαία για τη διαφύλαξη ευαίσθητων πληροφοριών στο διαδίκτυο.

#### 2.2.4 AMQP

Το AMQP (Advanced Message Queuing Protocol) είναι ένα ανοιχτό, τυπικής εφαρμογής, στρώμα πρωτοκόλλου το οποίο έχει σχεδιαστεί για αξιόπιστη και αποδοτική αποστολή μηνυμάτων και δημιουργία ουράς μηνυμάτων, μεταξύ κατανεμημένων συστημάτων. Δίνει ένα πλαίσιο για ανταλλαγή μηνυμάτων ανάμεσα σε διάφορα λογισμικά, συχνά με τρόπο ασύγχρονο και μη συζευγμένο.

Τα βασικά στοιχεία του AMQP, τα οποία το κάνουν να ξεχωρίζει από τα άλλα πρωτόκολλα, είναι:

**Ανταλλαγή:** Στο AMQP, μια ανταλλαγή είναι ένα στοιχείο δρομολόγησης μηνυμάτων που ευθύνεται για απευθείας μηνύματα σε μια ή περισσότερες ουρές, βάσει κανονισμών δρομολόγησης, οι οποίοι είναι γνωστοί ως «δεσμοί» (bindings). Υπάρχουν πολλά είδη ανταλλαγών σε ένα AMQP πρωτόκολλο, όπως η *direct*, *fanout*, *topic* και

*headers*, καθεμία εξ' αυτών με διαφορετικά χαρακτηριστικά και σημασία δρομολόγησης.

**Ουρά:** Ως ουρά, νοείται μια ονοματισμένη τοποθεσία αποθήκευσης για τα μηνύματα. Τα μηνύματα τοποθετούνται σε ουρές από τους παραγωγούς και καταναλώνονται από τους καταναλωτές. Οι ουρές συχνά σχετίζονται με συγκεκριμένους καταναλωτές που επεξεργάζονται μηνύματα από μια ουρά.

**Δεσμός:** Πρόκειται για μια σχέση ανάμεσα σε μια ανταλλαγή και μια ουρά, η οποία ορίζει το πώς τα μηνύματα θα πρέπει να δρομολογούνται από την ανταλλαγή στην ουρά. Οι δεσμοί καθορίζουν τα κλειδιά δρομολόγησης ή τις τιμές των κεφαλίδων που καθορίζουν το ποια μηνύματα παραδίδονται σε μια ουρά.

**Παραγωγός:** Ο παραγωγός είναι ένα στοιχείο λογισμικού που δημιουργεί και στέλνει μηνύματα σε μια ανταλλαγή. Οι παραγωγοί αναπτύσσουν μηνύματα και τα δημοσιεύουν σε συγκεκριμένες ανταλλαγές προς κατανομή.

**Καταναλωτής:** Ο καταναλωτής είναι επίσης ένα στοιχείο λογισμικού, το οποίο όμως εγγράφεται σε μια ουρά και επεξεργάζεται τα μηνύματα της ουράς αυτής. Οι καταναλωτές μπορούν να ανατρέξουν σε μηνύματα από την ουρά και να εκτελέσουν ενέργειες βάσει του περιεχομένου των μηνυμάτων.

**Διαμεσολαβητής:** Ο διαμεσολαβητής σε ένα πρωτόκολλο AMQP είναι ένας διακομιστής που είναι υπεύθυνος για διαχείριση ανταλλαγών, ουρών, δεσμών και δρομολόγηση μηνυμάτων. Λειτουργεί ως μεσάζοντας ανάμεσα σε παραγωγούς και καταναλωτές, εξασφαλίζοντας πως τα μηνύματα θα παραδίδονται στους σωστούς προορισμούς.

Η ροή, τώρα, ενός μηνύματος, στο πλαίσιο του πρωτοκόλλου AMQP είναι η ακόλουθη:

1. Ο παραγωγός, αρχικά, παράγει ένα μήνυμα και το στέλνει σε μια ανταλλαγή. Ο παραγωγός ορίζει την ανταλλαγή και το κλειδί δρομολόγησης (ή κεφαλίδα) ώστε να καθορίσει το πώς θα πρέπει να δρομολογηθεί το μήνυμα αυτό.
2. Ακολουθεί η δρομολόγηση της ανταλλαγής, με την ανταλλαγή να λαμβάνει το μήνυμα και να το δρομολογεί σε μια ή περισσότερες ουρές βάσει των τιμών δρομολόγησης που ορίζεται από τους δεσμούς. Διαφορετικοί τύποι ανταλλαγών χρησιμοποιούν και διαφορετικούς αλγορίθμους δρομολόγησης.

3. Τα μηνύματα που παράγονται, αποθηκεύονται σε ουρές έως ότου οι καταναλωτές είναι έτοιμοι να τα επεξεργαστούν. Οι ουρές λειτουργούν ως buffers, επιτρέποντας την αποδέσμευση παραγωγού και καταναλωτή.
4. Ο καταναλωτής εγγράφεται στις ουρές και ανατρέχει στα μηνύματα, τα οποία και επεξεργάζεται βάσει της λογικής της εφαρμογής.
5. Μετά την επιτυχή επεξεργασία ενός μηνύματος, ο καταναλωτής συνήθως στέλνει ένα μήνυμα αναγνώρισης προς τον διαμεσολαβητή. Αυτό τον πληροφορεί πως το μήνυμα επεξεργάστηκε και μπορεί να αφαιρεθεί από την ουρά.

Στα πλεονεκτήματα του συγκεκριμένου πρωτοκόλλου εντάσσονται:

**Αντοχή και αξιοπιστία:** Το AMQP εμπεριέχει χαρακτηριστικά που διασφαλίζουν πως ένα μήνυμα μεταφέρεται και επεξεργάζεται σωστά και αποτελεσματικά. Πιο συγκεκριμένα, οι παραγωγοί και οι καταναλωτές, μέσω του στοιχείου της αναγνώρισης/αποδοχής, μπορούν να επιβεβαιώσουν την επιτυχία ανταλλαγή ενός μηνύματος, κάτι που σημαίνει πως αυτά δεν γίνεται να χαθούν στη μετάβαση. Επίσης, ένα μήνυμα μπορεί να επιστημανθεί ως *επίμονο*, το οποίο σημαίνει πως δεν διαγράφεται μετά από τις επανεκκινήσεις του διακομιστή-διαμεσολαβητή. Αυτό, διασφαλίζει πως καίριας σημασίας μηνύματα δεν θα χάνονται, ακόμα και εάν «πέσει» ο διακομιστής.

**Ασφάλεια:** Το AMQP υποστηρίζει στοιχεία ασφαλείας, όπως αυθεντικοποίηση εξουσιοδότηση, ώστε να ελέγχεται η πρόσβαση σε ανταλλαγές, ουρές και άλλους πόρους εντός του διακομιστή-διαμεσολαβητή. Επιπρόσθετα, μπορεί να χρησιμοποιηθεί πάνω από στρώσεις πρωτοκόλλων ασφαλούς μεταφοράς, όπως τα TLS/SSL, για κρυπτογραφημένες επικοινωνίες.

**Πρωτόκολλο ενσύρματου επιπέδου:** Το AMQP νοείται ως ένα δυαδικό, ενσύρματου επιπέδου πρωτόκολλο, το οποίο και σημαίνει πως ορίζει την ακριβή μορφή και δομή των μηνυμάτων που ανταλλάσσονται ανάμεσα σε πελάτες και διαμεσολαβητές. Αυτή η δυαδική μορφή είναι σχεδιασμένη για διαλειτουργικότητα κατά μήκος διαφορετικών προγραμματιστικών γλωσσών και πλατφορμών.

**Εκδόσεις:** Το AMQP βγαίνει σε διάφορες εκδοχές και ανανεωμένες εκδόσεις, με τις πιο γνωστές να είναι οι AMQP 1.0 και AMQP 0-9-1.

Συνοψίζοντας για το συγκεκριμένο πρωτόκολλο, πρόκειται για μια αρκετά ευέλικτη και εύρωστη βάση ανταλλαγής μηνυμάτων, η οποία παρέχει το πλαίσιο για το χτίσιμο ασύγχρονων, κατανεμημένων συστημάτων μηνυμάτων. Χρησιμοποιείται αρκετά κοινά σε εφαρμογές όπως οι χρηματοοικονομικές υπηρεσίες, οι τηλεπικοινωνίες και τα επιχειρησιακά συστήματα, όπου είναι μεγάλης σημασίας η αξιόπιστη δημιουργία ουράς μηνυμάτων και η επικοινωνία.

### 2.2.5 WebSocket

Το **WebSocket** είναι ένα πρωτόκολλο επικοινωνίας που παρέχει δύο κατευθύνσεων, duplex επικοινωνία, πάνω σε μια μονή TCP σύνδεση (Transmission Control Protocol). Επιτρέπεται ανταλλαγή δεδομένων χαμηλής χρονικής υστέρησης σε πραγματικό χρόνο, ανάμεσα σε έναν πελάτη και έναν διακομιστή. Συνήθως ο «πελάτης» είναι ένας περιηγητής. Το WebSocket έχει σχεδιαστεί ώστε να ξεπερνά τους περιορισμούς των κλασσικών, HTTP επικοινωνιών, ειδικά για εφαρμογές που απαιτούν συνεχή ανταλλαγή δεδομένων, όπως οι εφαρμογές ανταλλαγής μηνυμάτων, τα online συνεργατικά εργαλεία, τα online παιχνίδια κ.λπ.

Εξετάζοντάς το πιο τεχνικά, το WebSocket χαρακτηρίζεται από τα ακόλουθα τεχνικά χαρακτηριστικά:

**Σταθερή σύνδεση:** Αντίθετα από το HTTP, το οποίο χρησιμοποιεί ένα μοντέλο ερωταπαντήσεων, με μικρής διάρκειας συνδέσεις, το WebSocket δημιουργεί μια πιο μεγάλης διάρκειας σύνδεση ανάμεσα στον πελάτη και τον διακομιστή. Αυτή η σύνδεση παραμένει ανοιχτή για όσο επιθυμούν οι δύο πλευρές, κάτι που διευκολύνει την επικοινωνία σε πραγματικό χρόνο.

**Πλήρως αμφίδρομη επικοινωνία:** Το WebSocket επιτρέπει τόσο στον πελάτη όσο και στον διακομιστή να στέλνουν ταυτόχρονα και χωρίς καμία αλληλεξάρτηση τα μηνύματά τους, κάτι που καθιστά το συγκεκριμένο πρωτόκολλο ιδανικό για σενάρια που είναι αναγκαία η ροή δεδομένων και από τις δύο πλευρές, σε συνθήκες πραγματικού χρόνου.

**Μικρός υπολογιστικός φόρτος:** Εν συγκρίσει με το πρωτόκολλο HTTP, το WebSocket έχει μικρές ανάγκες υπολογιστικής ισχύος. Μόλις καθιερωθεί η αρχική



σύνδεση, ανταλλάσσονται μονάχα μικρά πλαίσια ελέγχου ώστε να διατηρείται η σύνδεση αυτή, μειώνοντας την υστέρηση και το εύρος που χρησιμοποιείται.

**Διαδικασία «χειραψίας»:** Το πρωτόκολλο WebSocket συνοδεύεται από μια διαδικασία «χειραψίας» που προκύπτει πάνω από το HTTP. Ο πελάτης στέλνει ένα αίτημα HTTP με μια επικεφαλίδα *αναβάθμισης*, ζητώντας μια σύνδεση τύπου WebSocket. Εάν ο διακομιστής υποστηρίζει το συγκεκριμένο πρωτόκολλο, απαντά με status 101 στο HTTP, και η σύνδεση αναβαθμίζεται σε πρωτόκολλο WebSocket.

**Πλαίσια WebSocket:** Τα μηνύματα που ανταλλάσσονται στο WebSocket περιλαμβάνονται και περικλείονται από πλαίσια. Στο συγκεκριμένο πρωτόκολλο υπάρχουν αρκετά είδη πλαισίων, στα οποία συμπεριλαμβάνονται τα πλαίσια *κειμένου*, όπου εμπεριέχονται δεδομένα κειμένου αναγνώσιμα από τον άνθρωπο, τα *δυναμικά* πλαίσια, που κουβαλούν δυναμικά δεδομένα, τα πλαίσια τύπου *ring-rong*, τα οποία χρησιμοποιούνται για να ελεγχθεί η κατάσταση της σύνδεσης και να μετρηθεί η υστέρηση, καθώς και τα *κλειστά* πλαίσια, τα οποία ξεκινούν και το σωστό κλείσιμο μιας σύνδεσης.

**Υποπρωτόκολλα:** Το WebSocket υποστηρίζει υποπρωτόκολλα, τα οποία διαπραγματεύονται κατά τη διάρκεια της αρχικής διαδικασίας «χειραψίας». Τα είδη αυτά επιτρέπουν στους πελάτες και τους διακομιστές να συμφωνούν πάνω σε ένα κοινό πρότυπο ανταλλαγής μηνυμάτων ή συμπεριφορά βασισμένη σε εφαρμογή.

**Ασφάλεια:** Οι συνδέσεις WebSocket μπορούν να διασφαλιστούν χρησιμοποιώντας το TLS πρωτόκολλο (Transport Layer Security) ώστε να κρυπτογραφηθούν τα δεδομένα, κάτι που επιτρέπει την εμπιστευτικότητα και ακεραιότητα της επικοινωνίας.

**Επικοινωνία διασταυρούμενης προέλευσης:** Το WebSocket ακολουθεί την πολιτική ίδιας προέλευσης για λόγους ασφαλείας, ωστόσο μπορούν να επιτραπούν και επικοινωνίες διαφορετικής προέλευσης, εάν χρησιμοποιηθούν κεφαλίδες CORS (Cross-Origin Resource Sharing). Συχνά, οι διακομιστές του WebSocket χρησιμοποιούν μηχανισμούς ασφαλείας για να αποτρέψουν τις μη εξουσιοδοτημένες συνδέσεις.

Η διαδικασία με την οποία λειτουργεί το πρωτόκολλο WebSocket είναι η ακόλουθη:

1. **Χειραψία:** Ο πελάτης ξεκινά τη σύνδεση WebSocket στέλλοντας ένα HTTP αίτημα με την κεφαλίδα αναβάθμισης, όπως αναφέρθηκε και ανωτέρω. Ο

διακομιστής απαντά με το status HTTP 101 ώστε να αναγνωρίσει το αίτημα αναβάθμισης.

2. **Ανταλλαγή δεδομένων:** Μόλις παγιωθεί η σύνδεση, τόσο ο πελάτης όσο και ο διακομιστής μπορούν να ανταλλάσσουν μηνύματα μέσω των πλαισίων του Web Socket. Αυτά τα μηνύματα μπορούν να είναι της μορφής κειμένου ή και δυαδικών δεδομένων
3. **Πλήρως αμφίδρομες λειτουργίες:** Και οι δύο πλευρές μπορούν να συναλλάσσουν μηνύματα ανεξάρτητα. Δεν υπάρχει αυστηρή σειρά με την οποία αυτά θα πρέπει να στέλνονται/λαμβάνονται.
4. **Ping-Pong:** Τα πλαίσια ping-pong ανταλλάσσονται ώστε να εξασφαλιστεί η ακεραιότητα και η ευρωστία της σύνδεσης, καθώς και να μετρηθεί η υστέρηση. Εάν ένα απ' τα μέρη δεν απαντήσει στο πλαίσιο αυτό, τότε το άλλο μέρος μπορεί να αναλάβει και ανάλογη δράση, όπως το κλείσιμο της σύνδεσης.
5. **Κλείσιμο:** Όταν ένας εκ των πελάτη και διακομιστή επιθυμεί να τερματίσει τη σύνδεση, τότε μπορεί να στείλει ένα πλαίσιο τερματισμού. Η άλλη πλευρά αναγνωρίζει το κλείσιμο, επιτρέποντας έναν σωστό τερματισμό της σύνδεσης.

Εν κατακλείδι, το WebSocket είναι μια τεχνολογία που συμβάλλει στο χτίσιμο εφαρμογών που λειτουργούν σε πραγματικό χρόνο. Δίνει μια αξιόπιστη και αποδοτική οδό επικοινωνίας, διπλής κατεύθυνσης και μικρής υστέρησης, ανάμεσα σε πελάτες και διακομιστές, χαρακτηριστικό που καθιστά το συγκεκριμένο πρωτόκολλο ελκυστικό για διαδραστικές και συνεργατικές εφαρμογές στο διαδίκτυο.

#### 2.2.6 DDS (Data Distribution Service)

Το πρωτόκολλο DDS είναι ένα ανοιχτό πρότυπο και υψηλής επίδοσης πρωτόκολλο ανταλλαγής μηνυμάτων, το οποίο έχει σχεδιαστεί για εφαρμογές πραγματικού χρόνου και είναι εξειδικευμένο σε κατανεμημένα συστήματα σημαντικών εργασιών και αποστολών. Παρέχει το πλαίσιο για αξιόπιστες και αποδοτικές ανταλλαγές δεδομένων και διαμοιρασμό ανάμεσα σε κατανεμημένες εφαρμογές και συσκευές.

Πιο τεχνικά μιλώντας, το DDS χαρακτηρίζεται από τα ακόλουθα χαρακτηριστικά:

**Μοντέλο δημοσίευσης – εγγραφής:** Το DDS βασίζεται σε ένα μοντέλο επικοινωνίας τύπου *δημοσίευσης – εγγραφής*. Στο μοντέλο αυτό, οι παραγωγοί δεδομένων (οι εκδότες δηλαδή), στέλνουν δεδομένα για συγκεκριμένα θέματα και οι καταναλωτές δεδομένων (δηλαδή αυτοί που εγγράφονται) εκφράζουν το ενδιαφέρον τους στη λήψη δεδομένων για συγκεκριμένα θέματα. Η σύζευξη και επικοινωνία ανάμεσα σε εκδότες και εγγραφόμενους διευκολύνεται από το DDSI (Data Distribution Service Infrastructure).

**Βασισμένο σε δεδομένα:** Το DDS περιστρέφεται γύρω από τα δεδομένα (data-centric), εστιάζοντας στο πώς αυτά θα διανεμηθούν και ανταλλαχθούν αποδοτικά, και όχι τα μηνύματα. Επιτρέπει τη δημοσίευση και εγγραφή δομημένων τύπων δεδομένων, συμπεριλαμβανόμενων των περίπλοκων δομών δεδομένων, των πινάκων και των ορισμένων από τον χρήστη τύπων.

**Ποιότητα της υπηρεσίας:** Το DDS παρέχει ένα πλούσιο σύνολο QoS (Quality of Service) ρυθμίσεων, οι οποίες επιτρέπουν στους χρήστες να καθορίζουν παραμέτρους για αξιοπιστία, παραμονή σε συγκεκριμένο χρονοδιάγραμμα, ανθεκτικότητα και αξιοποίηση πόρων. Αυτές οι ρυθμίσεις μπορούν να βελτιστοποιηθούν, ώστε να ταιριάζουν σε συγκεκριμένες απαιτήσεις μιας εφαρμογής.

**Μηχανισμός Κρυφής Μνήμης Δεδομένων:** Το πρωτόκολλο DDS συνοδεύεται από έναν ενσωματωμένο μηχανισμό κρυφής μνήμης δεδομένων (data-cache), ο οποίος αποθηκεύει και διαχειρίζεται ιστορικά δεδομένων των εγγραφόμενων. Αυτό το στοιχείο επιτρέπει την αργοπορημένη συμμετοχή εγγραφόμενων και πρόσβαση σε δεδομένα που έχουν δημοσιευτεί κατά το παρελθόν, εξασφαλίζοντας πως δεν θα λείπει κάποια σημαντική πληροφορία.

**Επεκτασιμότητα:** Το DDS είναι σχεδιασμένο για να επεκτείνεται αποδοτικά, υποστηρίζοντας μεγάλης κλίμακας κατανεμημένα συστήματα με πολυάριθμους εκδότες και εγγεγραμμένους. Μπορεί να λειτουργεί πάνω σε τοπικά δίκτυα (LANs) αλλά και σε ευρεία δίκτυα (WANs).

**Εξερεύνηση:** Το DDS χρησιμοποιεί έναν μηχανισμό δυναμικής εξερεύνησης, ώστε να εντοπίζει αυτόματα και να δημιουργεί συνδέσεις ανάμεσα σε εκδότες και εγγεγραμμένους. Αυτό το εργαλείο απλοποιεί τη διαμόρφωση του συστήματος και την προσαρμογή του πάνω σε πιθανόν αλλαγές της τυπολογίας του δικτύου.

**Αξιοπιστία:** Το συγκεκριμένο πρωτόκολλο παρέχει πολλαπλές επιλογές για διασφάλιση αξιοπιστίας, συμπεριλαμβανόμενων της επικοινωνίας βέλτιστης

προσπάθειας (best-effort) και της αξιόπιστης επικοινωνίας. Στη ρύθμιση αξιόπιστης επικοινωνίας (reliable mode), το DDS διασφαλίζει πως τα δεδομένα θα παραδοθούν στους εγγεγραμμένους αφού έχουν περάσει πρώτα από μηχανισμούς αναγνώρισης και εκ νέου μετάδοσης.

**Ασφάλεια:** Το DDS περιλαμβάνει στοιχεία ασφαλείας για τον έλεγχο πρόσβασης, την αυθεντικοποίηση και την κρυπτογράφηση δεδομένων, ώστε αυτά να προστατεύονται και να διασφαλίζονται τα κανάλια επικοινωνίας. Το πρωτόκολλο υποστηρίζει πρότυπα ασφαλείας όπως το TLS, τα οποία συμβάλλουν σε ασφαλείς επικοινωνίες.

**Ελεκτάσιμα μοντέλα δεδομένων:** Το DDS επιτρέπει τον καθορισμό εξατομικευμένων τύπων δεδομένων και δομών, κάτι που το καθιστά κατάλληλο για μια ευρεία γκάμα εφαρμογών με ποικίλες απαιτήσεις για τα δεδομένα.

Το DDS έχει γνωρίσει μεγάλη επιτυχία σε εφαρμογές στους κλάδους των τηλεπικοινωνιών, στο βιομηχανικό αυτοματισμό, την αεροδιαστημική και την αμυντική βιομηχανία, τις μεταφορές και τη διαχείριση ενέργειας. Αυτή η μεγάλη βεντάλια εφαρμογών που έχει να παρουσιάσει οφείλεται στην ικανότητα του πρωτοκόλλου να παρέχει ένα QoS προσαρμόσιμο, να υποστηρίζει περίπλοκες δομές δεδομένων και να διασφαλίζει πως οι επικοινωνίες θα γίνονται αξιόπιστα και με ασφάλεια. Αυτά τα χαρακτηριστικά, το καθιστούν ιδιαίτερα επιθυμητό για επικοινωνίες σε πραγματικό χρόνο αλλά και κατανεμημένες εφαρμογές, όπου η εκάστοτε διαδικασία λήψης αποφάσεων απαιτεί ακρίβεια και πιστότητα στη μετάδοση δεδομένων.

#### 2.2.7 LoRaWAN (Long Range Wide Area Network)

Το LoRaWAN είναι ένα χαμηλής ισχύος και μεγάλου εύρους, ασύρματο πρωτόκολλο επικοινωνίας, το οποίο είναι σχεδιασμένος για επικοινωνίες μεγάλων αποστάσεων, μεταξύ συσκευών χαμηλής ισχύος, συσκευών που λειτουργούν με μπαταρίες και IoT εξόδων. Το συγκεκριμένο πρωτόκολλο είναι γνωστό για την αποδοτική χρήση του μη αδειοδοτημένου φάσματος ραδιοκυμάτων και είναι ιδανικό για εφαρμογές όπου απαιτούνται συσκευές να στέλνουν μικρά ποσά δεδομένων σε μεγάλες αποστάσεις, ενώ παράλληλα διαφυλάσσουν την ενέργειά τους.

Εστιάζοντας στα τεχνικά του συγκεκριμένου πρωτοκόλλου, εντοπίζονται τα ακόλουθα στοιχεία:

**Φυσική βαθμίδα:** Το LoRaWAN χρησιμοποιεί ιδιόκτητο σχήμα διαμόρφωσης, το οποίο ονομάζεται *LoRa* και χρησιμοποιείται για τη μετάδοση δεδομένων. Το LoRa επιτρέπει μεγάλων αποστάσεων επικοινωνίες με μικρή κατανάλωση ενέργειας. Το LoRa λειτουργεί στα sub-GHz ISM (Industrial, Scientific, Medical) εύρη, όπως τα 868 MHz στην Ευρώπη και τα 915 MHz στις ΗΠΑ. Αυτές οι συχνότητες δίνουν το βέλτιστο μήκος που μπορεί να ταξιδέψει η επικοινωνία, καθώς και τη βέλτιστη διαπερατότητα μέσα από εμπόδια.

**Βαθμίδα MAC:** Το LoRaWAN διαθέτει ένα πρωτόκολλο, το MAC (Medium Access Control), το οποίο ευθύνεται για τη διαχείριση της επικοινωνίας ανάμεσα στις εξόδους και τις τελικές συσκευές. Η τοπολογία που χρησιμοποιεί το LoRaWAN είναι αστέρας αστέρων, όπου οι τελικές συσκευές επικοινωνούν με γειτονικές εξόδους, και αυτές μεταφέρουν δεδομένα σε έναν κεντρικό διακομιστή του δικτύου. Η συγκεκριμένη αρχιτεκτονική επιτρέπει την μεγέθυνση του μοντέλου.

**Κλάσεις συσκευών:** Το LoRaWAN υποστηρίζει τρεις κλάσεις τελικών συσκευών:

1. Κλάση A: Οι συσκευές της κλάσης αυτής έχουν βελτιστοποιηθεί για χαμηλή κατανάλωση ενέργειας. Έχουν το πιο απλό μοτίβο επικοινωνίας και είναι ιδανικές για εφαρμογές που οι συσκευές λειτουργούν κυρίως ως αισθητήρια και στέλνουν περιοδικά κάποια δεδομένα.
2. Κλάση B: Εδώ, οι συσκευές έχουν προγραμματιστεί να δέχονται παράθυρα για επικοινωνία από τον διακομιστή του δικτύου. Αυτό επιτρέπει τη δόμηση μιας πιο προβλέψιμης, αμφίδρομης επικοινωνίας, ωστόσο καταναλώνεται λίγη περισσότερη ενέργεια.
3. Κλάση C: Στην κλάση αυτή, οι συσκευές κρατούν μονίμως ανοιχτό το παράθυρο επικοινωνίας, δίνοντας τη μικρότερη υστέρηση για την ανταλλαγή μηνυμάτων, εις βάρος όμως της μεγαλύτερης κατανάλωσης ενέργειας.

**Κανάλια και Τιμές δεδομένων:** Το LoRaWAN καθορίζει πολλαπλές τιμές για δεδομένα και σχέδια καναλιών ώστε να προσαρμόζεται σε διαφορετικές απαιτήσεις βάσει εφαρμογής αλλά και σε τοπικούς κανονισμούς. Οι συσκευές μπορούν δυναμικά να εναλλάσσονται μεταξύ των διάφορων τιμών δεδομένων, βάσει συνθηκών δικτύου.

Οι τιμές των δεδομένων (data rates) επηρεάζονται από τον παράγοντα εξάπλωσης (spreading factor, SF) και το εύρος (BW).

**Προσαρμοστικές τιμές δεδομένων (Adaptive Data Rates):** Οι συσκευές που λειτουργούν με πρωτόκολλο LoRaWAN μπορούν να χρησιμοποιούν αυτόματα το ADR ώστε να προσαρμόζουν άμεσα τις τιμές των δεδομένων και να βελτιστοποιούν την επικοινωνία βάσει ποιότητας σήματος. Αυτό το χαρακτηριστικό διευκολύνει προς τη μέγιστη διάρκεια μπαταρίας και την αποδοτικότητα του δικτύου.

**Ασφάλεια:** Το LoRaWAN περιλαμβάνει ισχυρά στοιχεία ασφαλείας, τα οποία προστατεύουν τα δεδομένα κατά την μετάδοσή τους και εξασφαλίζουν την ακεραιότητα του δικτύου. Το πρωτόκολλο εφαρμόζει AES-128 κρυπτογράφηση για την ιδιωτικότητα των δεδομένων και την ακεραιότητα των μηνυμάτων. Επίσης, οι συσκευές προβλέπονται με μοναδικά κλειδιά, ώστε να διασφαλίζεται αυθεντικοποίηση κατά τη διάρκεια της επικοινωνίας.

**Διαδικασία Ένταξης:** Όταν μια νέα συσκευή θέλει να εισέλθει σε ένα δίκτυο που τρέχει με πρωτόκολλο LoRaWAN, περνά μέσα από μια διαδικασία αυθεντικοποίησης και ενέργοποίησης, η οποία περιλαμβάνει την ανταλλαγή κλειδιών και πληροφοριών σχετικών με το δίκτυο.

Όπως αναφέρθηκε και ανωτέρω, το LoRaWAN είναι αρκετά ταιριαστό για μια ευρεία εφαρμογών γύρω από την τεχνολογία του IoT, όπως:

- Έξυπνες πόλεις: Διαχείριση αποβλήτων, έλεγχος οδο φωτισμού και παρακολούθηση περιβαλλοντικών δεικτών.
- Logistics και διαχείριση περιουσιακών στοιχείων: Εντοπισμός τοποθεσίας και κατάστασης στοιχείων και μεταφορών
- Βιομηχανικό IoT: Έλεγχος κατάστασης μηχανών, προληπτική συντήρηση και διαχείριση εφοδιαστικής αλυσίδας.
- Έξυπνη γεωργία: Παρακολούθηση υγρασίας εδάφους, σταθμός συλλογής καιρικών δεδομένων και γεωργική παραγωγή ακριβείας.

Εν κατακλείδι, η δυνατότητα του LoRaWAN να εξασφαλίζει μεγάλου χωρικού εύρους επικοινωνίες με την ελάχιστη κατανάλωση ισχύος, καθιστά το συγκεκριμένο πρωτόκολλο αρκετά δημοφιλές σε εφαρμογές IoT, τόσο σε επαρχιακά όσο και αστικά

περιβάλλοντα, όπου οι συσκευές συνήθως λειτουργούν με μπαταρίες και πρέπει να μεταδίδουν δεδομένα σε μεγάλες αποστάσεις.

#### 2.2.8 Sigfox

Το πρωτόκολλο Sigfox είναι αντίστοιχης φιλοσοφίας με το LoRaWAN: εστιάζει σε χαμηλή κατανάλωση ισχύος από τις συσκευές, αφορώντας δίκτυα μεγάλης έκτασης, και όντας μια ασύρματη αρχιτεκτονική που εστιάζει σε IoT τεχνολογίες. Είναι γνωστή για την απλότητά της, την απόδοσή της και τη σχέση κόστους-οφέλους.

Τα βασικά της τεχνικά χαρακτηριστικά που την καθιστούν μοναδική είναι:

**Τεχνολογία Εξαιρετικά Μικρού Εύρους (Ultra-narrowband Technology):** Το Sigfox χρησιμοποιεί διαρρύθμιση εξαιρετικά μικρού εύρους (UNB), η οποία χαρακτηρίζεται από υπερβολικά μικρά εύρη (100 Hz) και μεγάλο χρόνο μετάδοσης (πάνω από λίγα δευτερόλεπτα). Το UNB επιτρέπει στις συσκευές που ανήκουν σε ένα δίκτυο Sigfox να πετυχαίνουν επικοινωνία μεγάλων αποστάσεων με ελάχιστη κατανάλωση ισχύος, κάτι που καθιστά το συγκεκριμένο πρωτόκολλο ενδεδειγμένο για συσκευές που λειτουργούν με μπαταρία και έχουν μεγάλη διάρκεια ζωής.

**Εύρος ραδιοκυμάτων:** Όπως και το LoRaWAN, το Sigfox λειτουργεί στις μη αδειοδοτημένες ISM συχνότητες ραδιοκυμάτων και συγκεκριμένα στα 868 MHz για Ευρώπη και 902 MHz για ΗΠΑ. Η επιλογή της συχνότητας μπορεί να παρουσιάζει μικρές αλλαγές ανά περιοχή, ώστε να εναρμονίζεται με τοπικές νομοθεσίες και να εξασφαλίζεται η βέλτιστη κάλυψη.

**Επικοινωνία προς τα πάνω και προς τα κάτω:** Το Sigfox υποστηρίζει δύο καταστάσεις επικοινωνίας:

- Προς τα πάνω: Οι συσκευές μεταδίδουν δεδομένα σε σταθμούς του Sigfox, οι οποίοι είναι γνωστοί ως σημεία πρόσβασης ή έξοδοι. Αυτοί οι σταθμοί ανεβάζουν τα δεδομένα στο υπολογιστικό νέφος του Sigfox.
- Προς τα κάτω: Το Sigfox μπορεί από το νέφος να στείλει βραχεία μηνύματα (downlink) στις συσκευές, ως αναγνώριση, ή ως απομακρυσμένη διαρρύθμιση. Η συγκεκριμένη επικοινωνία περιορίζεται σε συχνότητα και μέγεθος.

**Μέγεθος και φορτίο μηνύματος:** Τα μηνύματα εντός του πρωτοκόλλου Sigfox περιορίζονται σε ένα μέγιστο μέγεθος ίσο με 12 bytes ανά μήνυμα. Αυτός ο περιορισμός βοηθά στη διαφύλαξη εύρους και ισχύος, καθιστώντας το πρωτόκολλο προτιμητέο για εφαρμογές με μικρές ανάγκες σε δεδομένα.

**Κλάση ισχύος και ευαισθησία:** Οι συσκευές που λειτουργούν εντός δικτύου Sigfox κατηγοριοποιούνται σε κλάσεις ισχύος (π.χ. 0, 1, 2) βάσει της ισχύος που χρησιμοποιούν για τη μετάδοση μηνυμάτων αλλά και την ευαισθησία τους. Διαφορετικές κλάσεις ισχύος είναι κατάλληλες για διαφορετικές χρήσεις και μεγέθη μετάδοσης.

**Παγκόσμια κάλυψη δικτύου:** Το Sigfox έχει θεσπίσει υποδομές για παγκόσμιο δίκτυο που δίνει κάλυψη σε πολλές χώρες. Το δίκτυο αυτό λειτουργεί και συντηρείται από συνεργάτες της Sigfox και παρόχους.

**Ενσωμάτωση σε υπολογιστικό νέφος:** Τα δεδομένα που μεταδίδονται από συσκευές Sigfox συνήθως στέλνονται στο νέφος του Sigfox, όπου και μπορούν να επεξεργαστούν και ενσωματωθούν σε ποικίλες εφαρμογές και υπηρεσίες. Το Sigfox παρέχει APIs και πρόσθετα για προγραμματιστές ώστε να συνδέουν τις εφαρμογές τους στο νέφος του Sigfox.

**Ασφάλεια:** Το Sigfox ενσωματώνει μηχανισμούς ασφαλείας ώστε να προστατεύονται τα δεδομένα κατά τη φάση της μετάδοσης και εντός του δικτύου. Τα δεδομένα κρυπτογραφούνται κατά τη διάρκεια της μετάδοσης, και οι συσκευές εξοπλίζονται με μοναδικά κλειδιά κρυπτογράφησης για αυθεντικοποίηση.

Το Sigfox είναι ένα πρωτόκολλο που ταιριάζει σε αρκετές εφαρμογές IoT που απαιτούν χαμηλή κατανάλωση ενέργειας και μεγάλα εύρη επικοινωνίας. Κάποιες από τις πιο συνηθισμένες περιπτώσεις που χρησιμοποιείται το συγκεκριμένο πρωτόκολλο είναι:

1. Παρακολούθηση περιουσιακών στοιχείων: Η παρακολούθηση της τοποθεσίας και την κατάστασης στοιχείων όπως τα container σε καράβια, τα οχήματα και ο εξοπλισμός.
2. Περιβαλλοντική παρακολούθηση: Προκρίνεται κυρίως για συλλογή περιβαλλοντικών δεδομένων, όπως θερμοκρασία, υγρασία, ποιότητα του αέρα και των υδάτων.



3. Αγροτική παραγωγή: Παρακολούθηση της κατάστασης του εδάφους, του καιρού και της ζωικής παραγωγής σε αγροτικές περιοχές.
4. Έξυπνες πόλεις: Εφαρμογή λύσεων για διαχείριση αποβλήτων, έξυπνο παρκάρισμα και αισθητήρες για παρακολούθηση περιβαλλοντικών δεικτών
5. Υπηρεσίες κοινής ωφέλειας: Παρακολούθηση μετρήσεων και καταναλώσεων για το νερό, το φυσικό αέριο, ώστε να γίνει εξ' αποστάσεων ανάγνωση και έλεγχος των μετρητών.
6. Εφοδιαστική αλυσίδα: Παρακολούθηση των κινήσεων αγαθών και προϊόντων μέσα σε όλο το μήκος της εφοδιαστικής αλυσίδας για καλύτερη ορατότητα και αποδοτικότητα.
7. Βιομηχανικό IoT: Εδώ εντάσσεται η συλλογή δεδομένων από αισθητήρες και εξοπλισμό σε βιομηχανική παραγωγή για προληπτική συντήρηση και βελτιστοποίηση διαδικασιών.

Ο μοναδικός συνδυασμός του Sigfox, που επιτρέπει μεγάλου εύρους επικοινωνίες με πολύ μικρό ενεργειακό αποτύπωμα, καθιστά το συγκεκριμένο πρωτόκολλο πολύ ελκυστική λύση για εφαρμογών του Διαδικτύου των Πραγμάτων, όπου συσκευές χρειάζεται να λειτουργούν για εκτεταμένες περιόδους υπό λειτουργία μπαταρίας και να μεταδίδουν με αξιοπιστία δεδομένα σε εκτεταμένες περιοχές.

#### 2.2.9 Zigbee & Z-Wave

Τα Zigbee και Z-Wave είναι ασύρματα πρωτόκολλα επικοινωνίας που χρησιμοποιούνται σε οικιακούς αυτοματισμούς και σε συστήματα ελέγχου κτηρίων. Έχουν σχεδιαστεί ώστε να επιτρέπουν την επικοινωνία μεταξύ διάφορων συσκευών IoT και αισθητήρων σε έξυπνα σπίτια και εμπορικά κτίρια.

Ας εστιάσουμε λίγο περισσότερο στα τεχνικά τους χαρακτηριστικά.

Το Zigbee λειτουργεί στα 2,4 GHz, το οποίο είναι μια παγκόσμια, χωρίς άδεια, συχνότητα. Κάποιες εκδοχές του Zigbee λειτουργούν και σε συχνότητες κάτω του GHz, για βελτίωση του εύρους και της αντίστασης παρεμβολών. Το Zigbee υποστηρίζει τοπολογία δικτύου πλέγματος, όπου οι συσκευές μπορούν να λειτουργούν ως

δρομολογητές και να μεταφέρουν μηνύματα για άλλες συσκευές. Αυτή η τοπολογία βελτιώνει την αξιοπιστία του δικτύου αλλά και την κάλυψη.

Το Zigbee χρησιμοποιεί μοντέλο χαμηλής ενέργειας και μικρού εύρους επικοινωνίας, ιδανικό για συσκευές που λειτουργούν με μπαταρίες. Είναι σχεδιασμένο για να ελαχιστοποιεί την κατανάλωση της μπαταρίας, ώστε να επεκτείνεται η διάρκεια ζωής της στο μέγιστο εφικτό. Το πρωτόκολλο ορίζει το δίκτυο αλλά και τις στρώσεις αυτού, δίνοντας υποστήριξη για ποικίλες εφαρμογές και προφίλ, όπως το Zigbee Home Automation (ZHA) και το Zigbee Light Link (ZLL). Επίσης, το Zigbee συνοδεύεται και από στοιχεία ασφαλείας, όπως την κρυπτογράφηση AES-128 και διαδικασία αυθεντικοποίησης συσκευής, ώστε να προστατεύεται η επικοινωνία μεταξύ συσκευών. Ειδικά για τους οικιακούς αυτοματισμούς, η ασφάλεια είναι μέγιστη προτεραιότητα.

Το Zigbee χρησιμοποιείται σε μια σειρά εφαρμογών, όπως ο έλεγχος του φωτισμού, ο έλεγχος των συστημάτων ΨΘΚ (HVAC), ο έλεγχος συστημάτων ασφαλείας και οι έξυπνες οικιακές συσκευές.

Εξετάζονται το Z-Wave, τώρα, αυτό βλέπουμε πως λειτουργεί καθολικά σε συχνότητα υπό του GHz, όπως τα 868,42 MHz στην Ευρώπη και τα 908,42 MHz στις ΗΠΑ. Πρόκειται για συχνότητες που δημιουργούν λιγότερες παρεμβολές από τα 2,4 GHz, τα οποία υπάρχουν σε αρκετές οικιακές εφαρμογές. Οι συγκεκριμένες, χαμηλής συχνότητας, ζώνες δίνουν μεγαλύτερο εύρος και διαπερατότητα μέσα από μεγάλα εμπόδια. Και εδώ, υπάρχει τοπολογία πλέγματος δικτύου, άρα οι συσκευές μπορούν να μεταφέρουν μηνύματα. Παρομοίως με το Zigbee, το Z-Wave έχει συγκεκριμένα σχεδιαστεί για μικρή κατανάλωση ενέργειας, και επικοινωνία μικρού εύρους, βολική για συσκευές που λειτουργούν με μπαταρία.

Οι εφαρμογές που θεωρούνται ιδανικές για δίκτυα Z-Wave είναι ο έλεγχος φωτισμού, η διαχείριση αποβλήτων, η διαχείριση έξυπνων κλειδαριών και τα συστήματα ασφαλείας.

Τόσο το Zigbee όσο και το Z-Wave είναι ιδιαίτερα ισχυρά, εύρωστα και αξιόπιστα πρωτόκολλα επικοινωνίας για αυτοματισμούς σπιτιού και έλεγχο κτιρίων. Η επιλογή ανάμεσα στις δύο αυτές, παρόμοιες υπό αρκετές έννοιες, εναλλακτικές, εξαρτάται από παράγοντες όπως οι περιφερειακοί κανονισμοί συχνοτήτων, η διαλειτουργικότητα, καθώς και οι εξατομικευμένες ανάγκες κάθε εφαρμογής. Υπάρχουν hubs και συστήματα έξυπνων σπιτιών που υποστηρίζουν και τα δύο πρωτόκολλα, επιτρέποντας

στους χρήστες να ταιριάζουν και συζευγνύουν τις συσκευές βάσει των απαιτήσεων και προτιμήσεών τους.

#### 2.2.10 Bluetooth Low Energy (BLE)

Κλείνοντας την παράγραφο για τις τεχνολογίες και τα πρωτόκολλα επικοινωνίας για τις εφαρμογές γύρω από το IoT, πρέπει να γίνει αναφορά και στο πρωτόκολλο BLE, ή αλλιώς Bluetooth Smart. Πρόκειται για ένα πρωτόκολλο ασύρματης επικοινωνίας, το οποίο είναι σχεδιασμένο για μικρής εμβέλειας, χαμηλής κατανάλωσης και αποδοτικής λειτουργίας συσκευές που ανταλλάσσουν μεταξύ τους δεδομένα. Αποτελεί κομμάτι της τεχνολογίας Bluetooth και είναι βελτιστοποιημένο για εφαρμογές όπου η κατανάλωση ενέργειας είναι σημαντικό κριτήριο, όπως είναι οι συσκευές παρακολούθησης υγείας, τα έξυπνα ρολόγια χειρός, οι αισθητήρες IoT και τα τεχνολογικά gadget σπιτιού.

Βασικά τεχνικά χαρακτηριστικά του συγκεκριμένου πρωτοκόλλου είναι:

**Φάσμα συχνοτήτων:** Το BLE λειτουργεί στα 2,4 GHz, το οποίο είναι ένα παγκόσμιο, χωρίς άδεια, φάσμα συχνοτήτων. Οι συσκευές BLE χρησιμοποιούν τεχνικές για το «άπλωμα» του φάσματος, ώστε να αποφεύγουν την παρεμβολή με άλλες ασύρματες συσκευές που λειτουργούν στα 2,4 GHz.

**Τοπολογία:** Το BLE υποστηρίζει δύο βασικές τοπολογίες, την *κεντρική* και την *περιφερειακή*. Σε μια κεντρική-περιφερειακή σύνδεση, μια κεντρική συσκευή (όπως ένα έξυπνο κινητό ή τάμπλετ) επικοινωνεί με μια ή περισσότερες περιφερειακές συσκευές (αισθητήρες, φάρους ή ενεργοποιητές).

**Μοντέλο επικοινωνίας:** Το BLE χρησιμοποιεί ένα μοντέλο επικοινωνίας τύπου αφέντη-υπηρέτη. Η κεντρική συσκευή (αφέντης) αρχικοποιεί και ελέγχει την επικοινωνία με τις περιφερειακές συσκευές (υπηρέτες).

**Ταχύτητα μεταφοράς δεδομένων:** Το BLE προσφέρει διαφορετικές ταχύτητες μεταφοράς δεδομένων, με τις πιο κοινές να είναι τα 1 Mbps και 2 Mbps. Μικρότερες ταχύτητες μεταφοράς δεδομένων μπορούν επίσης να υποστηριχθούν, κυρίως για εφαρμογές με υπερβολικά χαμηλή κατανάλωση ενέργειας.

**Διάστημα συνδέσεων:** Οι συσκευές που ανήκουν σε ένα δίκτυο BLE μπορούν να αναπτύσσουν συνδέσεις σε διαμορφώσιμα διαστήματα, επιτρέποντάς τους να

ελαχιστοποιούν τον χρόνο που περνάει υπό καθεστώς ενεργής επικοινωνίας, άρα καταφέρνουν να καταναλώνουν λιγότερη ενέργεια.

**GATT (Generic Attribute Profile):** Μέρος του πρωτοκόλλου BLE είναι το GATT πρωτόκολλο, το οποίο καθορίζει το πώς οργανώνονται τα δεδομένα και ανταλλάσσονται μεταξύ συσκευών. Τα προφίλ GATT αποφασίζουν για τη δόμηση των δεδομένων αλλά και των υπηρεσιών που εκτίθενται σε μια συσκευή BLE.

**Ασφάλεια:** Το BLE συμπεριλαμβάνει στοιχεία ασφαλείας όπως την κρυπτογράφηση δεδομένων, την αυθεντικοποίηση των συσκευών και χαρακτηριστικά ιδιωτικότητας. Ανάμεσα σε συζευγμένες συσκευές, εξασφαλίζεται η ασφαλής επικοινωνία.

Ιδιαίτερα γνωρίσματα του συγκεκριμένου πρωτοκόλλου, που το καθιστούν ελκυστικό για διάφορες εφαρμογές IoT, αποτελούν:

- **Χαμηλή κατανάλωση ενέργειας:** Το BLE είναι σχεδιασμένο για να ελαχιστοποιεί την κατανάλωση ενέργειας, κάτι που το καθιστά μοντέλο συμβατό για συσκευές που λειτουργούν με μπαταρίες. Χρησιμοποιεί τεχνικές όπως το στήσιμο ταχείας σύνδεσης, τον χαμηλής κατανάλωσης κύκλο λειτουργίας καθώς και βελτιστοποιημένη μεταφορά δεδομένων, ώστε να χαμηλώνει αρκετά την κατανάλωση ενέργειας.
- **Μικρή εμβέλεια:** Το BLE εστιάζει μόνο σε μικρής εμβέλειας επικοινωνίες, συνήθως έως 100 μέτρα απόσταση, αν και η πραγματική του εμβέλεια μπορεί να ποικίλει βάσει περιβαλλοντικών συνθηκών και μοναδικών χαρακτηριστικών των συσκευών.
- **Αποδοτική μετάδοση δεδομένων:** Το BLE χρησιμοποιεί μια προσέγγιση που προσανατολισμένη προς τη σύνδεση, η οποία και επιτρέπει στις συσκευές να ανταλλάσσουν τα δεδομένα σε μικρά πακέτα. Η συγκεκριμένη τακτική ταιριάζει αρκετά σε εφαρμογές που απαιτούν μη συχνές ανανεώσεις δεδομένων.
- **Επεκτασιμότητα:** Το BLE υποστηρίζει τις πολλαπλές, ταυτόχρονες συνδέσεις, επιτρέποντας σε μια κεντρική συσκευή να αλληλεπιδρά με πολλαπλές περιφερειακές συσκευές, και όλα στον ίδιο χρόνο.
- **Κατάσταση φάρου:** Το BLE υποστηρίζει την κατάσταση φάρου (beacon mode), όπου οι συσκευές εκπέμπουν μικρά πακέτα δεδομένων σε τακτικά

χρονικά διαστήματα. Η συγκεκριμένη κατάσταση χρησιμοποιείται κατά βάση για βασισμένες στην τοποθεσία συσκευές και εντοπισμό εγγύτητας.

- **Διαλειτουργικότητα:** Το BLE είναι προς τα πίσω συμβατό με παλαιότερες εκδόσεις της τεχνολογίας Bluetooth, επιτρέποντας τη διαλειτουργικότητα με συσκευές που χρησιμοποιούν παλαιότερες εκδόσεις του Bluetooth. Οι συσκευές διπλής κατάστασης υποστηρίζουν ταυτόχρονα και το BLE αλλά και το κλασικό Bluetooth.
- **Συμβατότητα με πολλαπλές πλατφόρμες:** Το BLE υποστηρίζεται από πολλαπλά λειτουργικά συστήματα, κάτι που το καθιστά προσβάσιμο σε προγραμματιστές εφαρμογών σε πλατφόρμες όπως το iOS, το Android και τα Windows.
- **Προφίλ εφαρμογών:** Το BLE προσφέρει μια μεγάλη γκάμα προφίλ εφαρμογών (όπως η παρακολούθηση του καρδιακού ρυθμού, ο αισθητήρας θερμοκρασίας και ο ιχνηλάτης φυσικής κατάστασης), οι οποίες ορίζουν το πώς τα δεδομένα θα πρέπει να ανταλλάσσονται ανάμεσα στις συσκευές, εξασφαλίζοντας συμβατότητα ανάμεσα σε συσκευές διαφορετικών κατασκευαστών.

Εν κατακλείδι, το Bluetooth Low Energy έχει γίνει μια επικρατούσα τεχνολογία που επιτρέπει τις ασύρματες επικοινωνίες σε μια μεγάλη γκάμα συσκευών, από βιομηχανικούς αισθητήρες έως και έξυπνες οικιακές συσκευές και smartwatches. Η μικρή κατανάλωση ενέργειας που χαρακτηρίζει τη συγκεκριμένη τεχνολογία, μαζί με την ευελιξία και την προσαρμοστικότητά της, την καθιστούν μια ελκυστική επιλογή για εφαρμογές IoT και φορητές συσκευές.

## Κεφάλαιο 3<sup>ο</sup>: Βιομηχανικά Συστήματα Ελέγχου

Σκοπός του συγκεκριμένου κεφαλαίου είναι να εμβαθύνει περισσότερο στα συστήματα που υιοθετεί η ευρύτερη έννοια του IoT, προκειμένου να μπορέσουν να υπάρξουν τα πλεονεκτήματα που υπόσχεται. Κυρίως, θα γίνει λόγος για συστήματα ελέγχου, βιομηχανικού επιπέδου, τα οποία είναι σε θέση να συλλέγουν πληροφορίες και να δίνουν εντολές.

### 3.1 Προγραμματιζόμενοι Λογικοί Ελεγκτές (PLC)

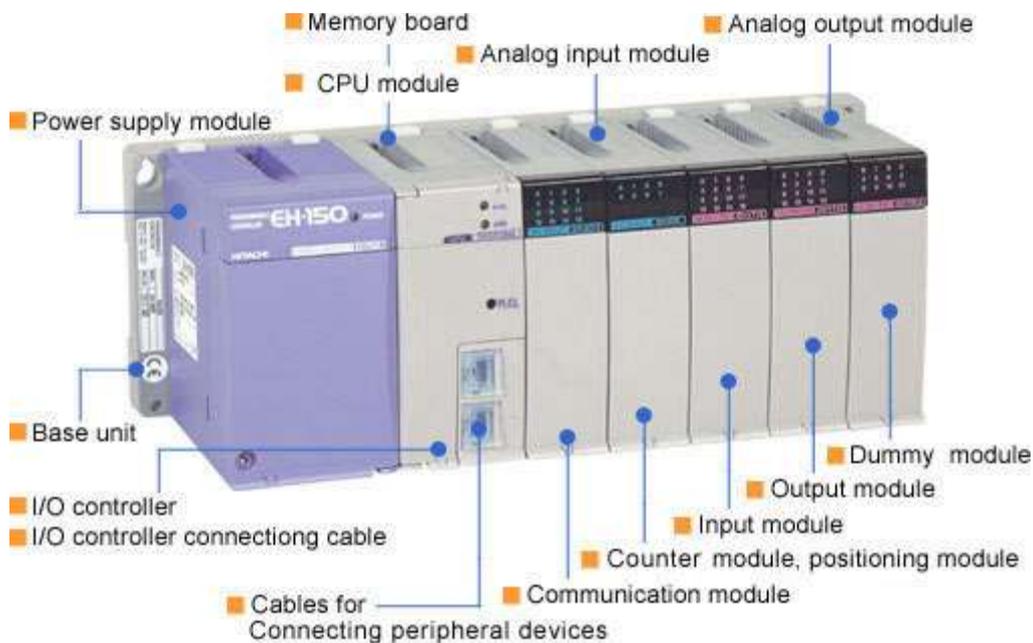
Οι PLCs είναι επί της ουσίας ψηφιακοί υπολογιστές υψηλής εξειδίκευσης, που υιοθετούνται από τις βιομηχανίες ώστε να ελέγχουν ηλεκτρομηχανολογικές διεργασίες. Αναπτύχθηκαν ως μια πιο αξιόπιστη λύση για τα ηλεκτρομηχανολογικά ρελέ. Τα PLC μπορούν να προγραμματιστούν, κάτι που αυξάνει θεαματικά την προσαρμοστικότητά τους για τις διάφορες διεργασίες. Ποικίλουν αρκετά σε μέγεθος, με τα μικρότερα PLC να έχουν έως 128 εισόδους και εξόδους και μνήμη των 2 kByte, ενώ τα μεγαλύτερα φτάνουν τις 16000 εισόδους και εξόδους, με συνολική μνήμη έως και 2 MBytes.

Ένα PLC λειτουργεί με τον ακόλουθο τρόπο:

1. **Στάδιο εισόδου:** Το PLC λαμβάνει είσοδο από αισθητήρες και διακόπτες οι οποίοι παρακολουθούν παραμέτρους όπως θερμοκρασία, πίεση και θέση. Οι εισόδοι αυτές μετατρέπονται σε ηλεκτρικά σήματα.
2. **Επεξεργαστής:** Η κεντρική μονάδα επεξεργασίας του PLC (CPU), εκτελεί ένα λογικό πρόγραμμα ελέγχου το οποίο προκαθορίζει προγραμματίζοντας ο χρήστης. Το συγκεκριμένο πρόγραμμα καθορίζει το ποια θα είναι η απάντηση του PLC βάσει των διαφόρων εισόδων. Αποτελείται από λογικά διαγράμματα κλίμακας, τα οποία προσομοιώνουν τα λογικά διαγράμματα ηλεκτρικού ρελέ.
3. **Στάδιο εξόδου:** Βάσει των οδηγιών του λογικού προγράμματος, το PLC ενεργοποιεί ή απενεργοποιεί τις συσκευές που συνδέονται στην έξοδο, όπως κινητήρες, βαλβίδες και ενδείκτες, τα οποία ενυπάρχουν σε βιομηχανικές διεργασίες.

4. **Επικοινωνία:** Τα PLC συχνά επικοινωνούν με οπτικά συστήματα, διεπαφές ανθρώπου-υπολογιστή ή λοιπά συστήματα ελέγχου. Η επικοινωνία αυτή επιτρέπει τον απομακρυσμένο έλεγχο και παρακολούθηση σε συνθήκες πραγματικού χρόνου.

Ένα PLC μπορεί να δώσει υψηλά επίπεδα αξιοπιστίας στις διαδικασίες που ελέγχει και εκτελεί, όπως για παράδειγμα είναι τα συστήματα εξαναγκασμένου εξαερισμού σε περίπτωση υπέρβασης ποιοτικών ορίων στον εισπνεόμενο αέρα. Επίσης, προσφέρει μεγάλη ευελιξία, λόγω της ικανότητάς του να επαναπρογραμματίζεται κατά το δοκούν. Ακόμα ένα σημαντικό ατού είναι πως υποστηρίζει τη διαδικασία διάγνωσης σφαλμάτων, κάτι που αυξάνει την απόδοση του μηχανισμού αλλά και την ασφάλεια της διάταξης.



Εικόνα 3: Απεικόνιση ενός PLC και των συστατικών μερών αυτού

Συχνά, τα PLC τοποθετούνται το ένα δίπλα στο άλλο, πάνω σε racks, τα οποία υποστηρίζουν πλήθος μεγεθών. Τα σύγχρονα PLC είναι σε θέση να διαχειρίζονται τόσο αναλογικά όσο και δυαδικά δεδομένα σε εισόδους/εξόδους, καθώς και να λειτουργούν και PID ελεγκτές. Στον σχεδιασμό του, ένα PLC θυμίζει αρκετά έναν Η/Υ, ειδικά αν λάβουμε υπόψη και το ποια είναι τα δομικά του μέρη, όπως αυτά αναφέρθηκαν παραπάνω. Συνήθεις εφαρμογές των PLC εντοπίζονται σε ανελκυστήρες, κυλιόμενες σκάλες, τούνελ σε εθνικές οδούς, έξυπνα εργοστάσια, συναγερμούς, συστήματα γεννητριών, ανεμογεννήτριες, φανάρια κ.λπ.

Στα βασικά πλεονεκτήματα των PLC εντάσσονται το κόστος κατασκευής, που είναι πολύ μικρότερο εν συγκρίσει με την κατασκευή ενός κλασικού πίνακα αυτοματισμού, ο χρόνος κατασκευής, η ευελιξία και η επεκτασιμότητα. Το λογισμικό ενός PLC, όπως αναφέρθηκε και ανωτέρω, τροποποιείται εύκολα, χωρίς να υπάρξουν αλλαγές στο hardware. Αυτή η διαδικασία μπορεί να πραγματοποιηθεί σε οποιοδήποτε στάδιο του μηχανισμού (μελέτη, σχεδιασμός, κατασκευή και λειτουργία). Επίσης, εντάσσοντας περισσότερες μονάδες εισόδου και εξόδου, και πραγματοποιώντας νέες συνδέσεις, είναι δυνατό το PLC να επεκτείνει κατά πολύ την αυτοματοποίησή του.

Επιπλέον προτερήματα των PLC που χρήζουν αναφοράς είναι:

1. Οικονομία στον χώρο
2. Ευκολότερη συντήρηση
3. Μικρότερη κατανάλωση ενέργειας
4. Δεν αποτελεί πηγή κινδύνων στον χώρο εργασίας
5. Συνδεσιμότητα με Η/Υ για ανταλλαγή πληροφοριών
6. Προγραμματίζεται με προσιτές γλώσσες προγραμματισμού
7. Συνδεσιμότητα με αρκετά περιφερειακά εξαρτήματα για καλύτερη εμπειρία χρήστη
8. Βελτιστοποιεί την παραγωγική διαδικασία
9. Ύπαρξη LED που διευκολύνουν τον εντοπισμό βλαβών

Ωστόσο, δεν θα πρέπει να παραβλεφθούν και τα μειονεκτήματα/προκλήσεις που συνοδεύουν τη συγκεκριμένη τεχνολογική λύση και τα οποία είναι:

1. Μικρός όγκος δεδομένων που μπορεί να αποθηκευτεί
2. Περιορισμός στις εισόδους και εξόδους που μπορεί να έχει ένα PLC
3. Αυξημένο κόστος για την εκπαίδευση του προσωπικού για την εγκατάσταση, λειτουργία και συντήρηση των PLC μιας παραγωγικής μονάδας
4. Ευαισθησία στον ηλεκτρονικό θόρυβο, γεγονός σύνηθες σε ένα βιομηχανικό περιβάλλον



5. Μεγάλη πιθανότητα για βλάβες στον μηχανισμό του PLC εάν το πρωτόκολλο επικοινωνίας του και το πρωτόκολλο του εταιρικού δικτύου δεν λειτουργούν ξεχωριστά και υπάρχει μεταξύ τους αυξημένη επικοινωνία.

### 3.2 Απομακρυσμένες Τερματικές Μονάδες (RTU)

Οι *Απομακρυσμένες Τερματικές Μονάδες* (Remote Terminal Units, RTU) είναι δομικά στοιχεία του βιομηχανικού αυτοματισμού, ειδικά στο πλαίσιο ενός ευρύτερου συστήματος SCADA. Αποτελούν σε μεγάλο βαθμό τη γέφυρα που κλείνει τη διαφορά ανάμεσα σε αισθητήρες μηχανημάτων και συσκευές ελέγχου σε απομακρυσμένες τοποθεσίες με το κεντρικό σύστημα SCADA.

Τα RTU έχουν ως βασική δουλειά να συλλέγουν δεδομένα και να τα μεταφέρουν, μετά από ένα στάδιο επεξεργασίας τους, στα κεντρικά συστήματα ενός SCADA. Επίσης, απ' αυτό το κεντρικό σύστημα, τα RTU δέχονται εντολές και τις μεταφράζουν σε ενέργειες ελέγχου στους αισθητήρες και τα όργανα που ελέγχουν.

Ένα RTU εκτελεί τις ακόλουθες εργασίες:

1. **Συλλογή δεδομένων:** Οι μονάδες αυτές συλλέγουν δεδομένα από τους αισθητήρες με τους οποίους συνδέονται. Αυτά τα δεδομένα μπορούν να είναι μετρήσεις, συναγερμοί και πληροφορίες για την κατάσταση ενός μετρητικού μεγέθους.
2. **Επεξεργασία δεδομένων:** Τα RTU επεξεργάζονται τα συλλεγόμενα δεδομένα. Ως επεξεργασία μπορούν να θεωρηθούν υπολογισμοί που γίνονται με αυτά, φιλτράρισμα ή και συμπίεσή τους.
3. **Επικοινωνία:** Τα RTU μεταδίδουν τα δεδομένα αυτά στους κεντρικούς υπολογιστές του SCADA, μέσω πρωτοκόλλων επικοινωνίας και διεπαφών. Επίσης, λαμβάνουν εντολές ελέγχου και ενημερώσεις διαρρύθμισης από το κεντρικό σύστημα.
4. **Έλεγχος:** Βάσει των εντολών που θα λάβει από την κεντρική μονάδα, το RTU μπορεί να αναλαμβάνει δράση ώστε να ελέγχει τον απομακρυσμένο εξοπλισμό. Για παράδειγμα, εάν η τιμή της θερμοκρασίας υπερβεί ένα προκαθορισμένο

κατώφλι, τότε το RTU μπορεί να πάρει εντολή και θα εκτελέσει την ενεργοποίηση ενός συστήματος ψύξης.



Εικόνα 4: Μορφή και σχήμα ενός τυπικού RTU

Για να εκτελέσει τις παραπάνω εργασίες, ένα RTU θα πρέπει να αποτελείται από τα ακόλουθα μέρη:

1. Αισθητήρες και μετρητικά όργανα: Αυτά είναι υπεύθυνα για τη λήψη μετρήσεων πάνω σε φυσικές παραμέτρους, όπως η παροχή, η θερμοκρασία κ.λπ.
2. Επεξεργαστής: Η CPU ενός RTU ευθύνεται για την πρωτογενή επεξεργασία δεδομένων και την εκτέλεση λογικών ελέγχων

3. Διεπαφές επικοινωνίας: Οι RTU περιλαμβάνουν θύρες επικοινωνίας για τη σύνδεση με αισθητήρες, το κεντρικό σύστημα ενός SCADA και γενικά οποιοσδήποτε άλλες συσκευές σε έναν χώρο
4. Μνήμη: Χρησιμοποιείται για την αποθήκευση δεδομένων και διαμορφώσεων
5. Έξοδοι ελέγχου: Αυτές χρησιμοποιούνται ώστε να ελέγχονται συσκευές όπως βαλβίδες, αντλίες ή διακόπτες κυκλωμάτων

Οι RT μονάδες παίζουν ζωτικό ρόλο στην ενσωμάτωση των SCADA σε μια μονάδα παραγωγής αλλά και στην μεταποίηση ενός εργοστασίου σε «έξυπνο» εργοστάσιο, υιοθετώντας τεχνολογίες IoT. Μπορούν να στέλνουν τα δεδομένα που συλλέγουν σε πλατφόρμες στο cloud για επιπλέον ανάλυση και λήψη αποφάσεων.

Η ικανότητα των συγκεκριμένων συστημάτων να λειτουργούν απομακρυσμένα, συλλέγοντας, αποστέλλοντας δεδομένα και εκτελώντας λογικές εντολές, τα καθιστά δομικό στέλεχος της βιομηχανικής αυτοματοποίησης, με δυνατότητες εφαρμογής σε μια εκτενή γκάμα βιομηχανιών, από την αεροδιαστημική, στην αγροτική παραγωγή.

### 3.3 Συστήματα SCADA

Τα συστήματα ελέγχου SCADA (Supervisory Control and Data Acquisition) είναι μια αρχιτεκτονική στην οποία υπάρχουν υπολογιστές, υποδομές δικτύων και διεπαφές χρήστη-μηχανής, ώστε να εποπτεύονται ποιοτικά οι εργασίες.

Σε ένα σύστημα SCADA περιλαμβάνονται μονάδες όπως τα PLC, PID ελεγκτές και RTUs, χρησιμεύοντας στη διασύνδεση με διάφορα μηχανήματα σε μια γραμμή παραγωγής. Τα PLC και RTU συλλέγουν δεδομένα μέσω αισθητήρων και διεπαφών που βρίσκονται σε μηχανήματα και τα μεταβιβάζουν στους υπολογιστές του SCADA συστήματος. Στους υπολογιστές αυτούς επεξεργάζονται τα συγκεκριμένα δεδομένα και τα εμφανίζουν στις οθόνες των χειριστών στο κέντρο ελέγχου της παραγωγής.

Τα SCADA, εν γένει, δεν είναι ένα σύστημα που μπορεί να δώσει πλήρη έλεγχο, ωστόσο βασίζεται κυρίως στο να παρέχει έλεγχο στο επίπεδο της εποπτείας. Βασικός σκοπός ενός συστήματος SCADA είναι να παρακολουθούνται εξ' αποστάσεως τοποθεσίες μέσω ενός κεντρικού συστήματος ελέγχου. Έτσι, μειώνεται ο φόρτος εργασίας του προσωπικού και επιτελείται συχνά το έργο τους με μεγαλύτερη εργασιακή ασφάλεια, ενώ μειώνονται ακόμα και τα έξοδα των επιχειρήσεων.

Τα συστήματα SCADA εμφανίστηκαν για πρώτη φορά τη δεκαετία του 1960, και κάλυψαν την ανάγκη που υπήρχε για να παρακολουθείται συστηματικά εξοπλισμός που βρισκόταν απλωμένος σε μεγάλες εκτάσεις. Αν και τα πρώτα SCADA ήταν χειροκίνητα, αυτά ακολούθως εξελίχτηκαν μετά από αρκετές γενιές, ώστε να επιτευχθεί η επιθυμητή λειτουργικότητα και συνδεσιμότητα που θα τους έδινε τη δημοφιλία που απολαμβάνουν σήμερα.

Τη σύγχρονη εποχή, τα SCADA προσφέρουν δυνατότητες πλήρους αυτοματοποίησης, οδηγώντας σε μειούμενα κόστη, κυρίως μέσω της εργασίας που παίρνουν από τις «πλάτες» του προσωπικού, μιας και ελέγχουν εξοπλισμό σε μεγάλες γεωγραφικές εκτάσεις.

Δομικά μέρη ενός συστήματος SCADA αποτελούν τα ακόλουθα:

- Σύστημα εποπτείας
- RTUs
- PLCs
- Υποδομή επικοινωνίας
- Διεπαφή ανθρώπου – μηχανής (HMI)

Στο σημείο αυτό, ας δούμε τις συγκεκριμένες περιπτώσεις πιο αναλυτικά.

Το *σύστημα εποπτείας* είναι μια σειρά διακομιστών που ευθύνονται για την επικοινωνία μεταξύ του εξοπλισμού του συνολικού SCADA, όπως είναι τα PLC, τα RTU, οι αισθητήρες, το HMI στα δωμάτια ελέγχου. Για μικρά SCADA, τα εποπτικά αυτά συστήματα είναι μόνο ένας υπολογιστής, που ονομάζεται MTU (Master Terminal Unit). Για μεγαλύτερες αρχιτεκτονικές, έχουμε πολλαπλούς servers, οι οποίοι λειτουργούν σε πλεόνασμα, το οποίο σημαίνει πως ελέγχουν διαρκώς τη διαδικασία για τυχόν βλάβες σε ενεργούς servers. Έτσι, διασφαλίζεται η αδιάλειπτη ακεραιότητα του συστήματος.

Οι απομακρυσμένες μονάδες τερματικού αλλά και οι προγραμματιζόμενοι λογικοί ελεγκτές αναλύθηκαν στις προηγούμενες παραγράφους, οπότε είναι σκόπιμο να μην αναφερθεί κάτι επιπλέον εδώ, συνεχίζοντας άρα με την *υποδομή επικοινωνίας*. Τα πολλαπλά στοιχεία που συνθέτουν ένα SCADA επικοινωνούν μεταξύ τους, είτε ασύρματα είτε ενσύρματα, μέσω σύνδεσης που βασίζεται σε βιομηχανικά πρότυπα,

ενώ συχνά αξιοποιούνται και ιδιόκτητα πρωτόκολλα από κατασκευαστές. Τα PLC και τα RTU μπορούν να λειτουργούν αυτόνομα, βάσει της τελευταίας εντολής που έλαβαν από το σύστημα εποπτείας. Έτσι, μια βλάβη στο δίκτυο επικοινωνίας δε σημαίνει ότι μια διεργασία θα διακοπεί. Ακόμα, σε κρίσιμα συστήματα υπάρχουν και άνω του ενός δίαυλοι επικοινωνίας, αμφίδρομοι συνήθως, ώστε το σύστημα να λειτουργεί με μεγαλύτερη ακεραιότητα.

Τέλος, η διεπαφή ανθρώπου – μηχανής (Human Machine Interface, HMI) συνδέεται με το σύστημα εποπτείας και αποτελεί το παράθυρο μέσα στο οποίο εργάζονται οι χειριστές του συστήματος σε ένα δωμάτιο ελέγχου. Πρόκειται για ένα στοιχείο του συστήματος SCADA που ευθύνεται για την αλληλεπίδραση και συνολική διαχείριση του συστήματος. Μέσω του HMI οι εταιρείες επωφελούνται από τα χαρακτηριστικά που παρέχονται για τη γενική εποπτεία των διαδικασιών. Συγκεκριμένα, απεικονίζονται γραφικά όλες οι ελεγχόμενες διεργασίες ως μιμητικά διαγράμματα και μέσω σελίδων καταγραφής συμβάντων. Το HMI επικοινωνεί συνεχώς με τους διακομιστές του SCADA ώστε να αντλεί δεδομένα πραγματικού χρόνου για τα γραφήματα, τα διαγράμματα και τις οθόνες συναγερμών που φτιάχνει για τον χρήστη. Επίσης, σε ορισμένες εφαρμογές των SCADA, το HMI «πετά» ειδοποιήσεις αλλά και δημιουργεί αναφορές.

Οι χειριστές στα control rooms μπορούν από τις οθόνες αφής και τα πληκτρολόγια να δίνουν εντολές και να διαχειρίζονται τις διεργασίες εντός του εργοστασίου. Παραδείγματος χάριν, ένας χειριστής μπορεί να αντιληφθεί εάν μια αντλία λειτουργεί μέσω του on/off συμβόλου, ενώ επίσης ένας ψηφιακός μετρητής ροής μπορεί να του δείχνει και την πραγματική παροχή ενός υγρού που ρέει σε έναν σωλήνα. Βάσει αυτής της πληροφορίας, ο χειριστής είναι σε θέση να προχωρήσει σε ενέργειες από το γραφικό περιβάλλον της οθόνης του τάμπλετ του, όπως να απενεργοποιήσει με ένα πάτημα την αντλία. Αυτό θα μεταβάλει και τη ροή του υγρού που δείχνει ο ψηφιακός μετρητής, λειτουργώντας ως το αποδεικτικό μέσο για την υλοποίηση της ενέργειας που ο χειριστής αιτήθηκε ψηφιακά, στον φυσικό κόσμο.

Εντός του HMI, υπάρχει και το “historian” ή «ιστορικός», το οποίο είναι ένα λογισμικό που αποθηκεύει τα χρονικά δεδομένα και συμβάντα σε μια βάση δεδομένων, η οποία και μπορεί να αξιοποιηθεί μελλοντικά για τυχόν συμπληρωματική πληροφόρηση.

Ένα σύστημα SCADA που εκτελεί εποπτικό έλεγχο, διαχωρίζεται και διακρίνεται σε 5 λειτουργικά επίπεδα, τα οποία συνοψίζονται ακολούθως:

#### **Επίπεδο 0**

Είναι το κατώτερο επίπεδο της ιεραρχίας, όπου υπάρχουν όλες οι συσκευές στην παραγωγή που συλλέγουν τα δεδομένα, όπως είναι οι αισθητήρες, οι ενεργοποιητές, οι βαλβίδες ελέγχου κ.λπ.

#### **Επίπεδο 1**

Εδώ εντάσσονται τα PLC και RTU, αλλά και όλοι οι κατανεμημένοι ηλεκτρονικοί επεξεργαστές. Εν γένει, εδώ υπάρχουν όλες οι μονάδες βιομηχανικού τύπου που περιέχουν εισόδους και εξόδους. Αυτές, διασυνδέονται με τα αισθητήρια του επιπέδου 0, ασκώντας τους έλεγχο.

#### **Επίπεδο 2**

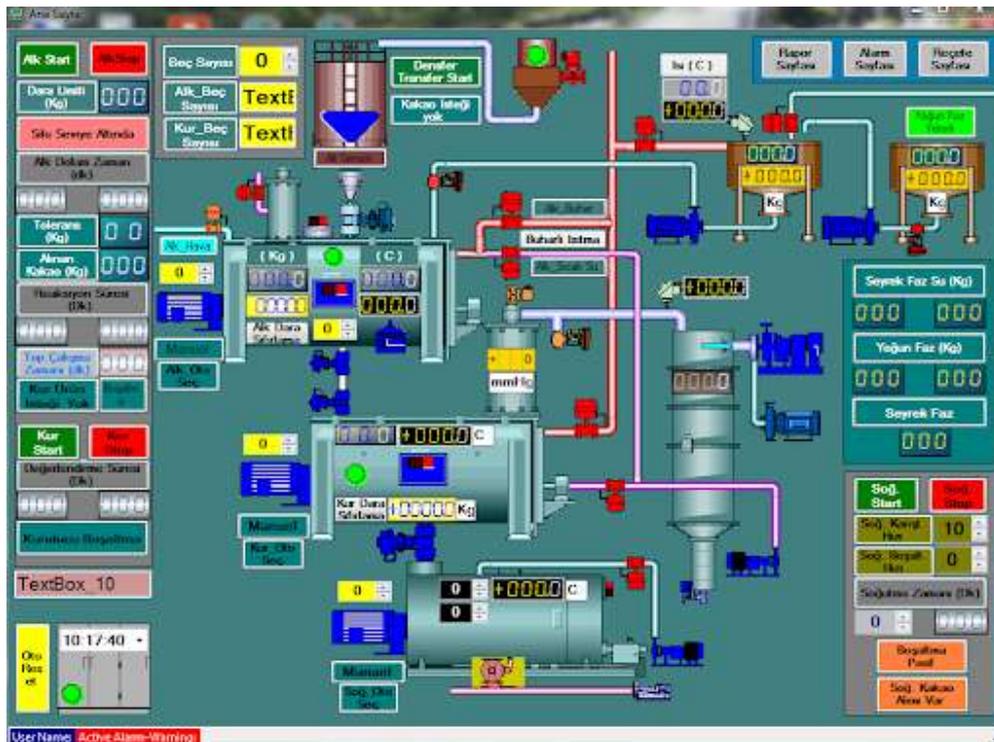
Εδώ βρίσκονται οι διακομιστές του SCADA. Δουλειά τους είναι να συλλέγουν τα δεδομένα από τις μονάδες του επιπέδου 1 και να τα εμφανίζουν στις οθόνες των χρηστών, στις διεπαφές χρήστη-μηχανής (HMI). Βάσει των πληροφοριών που τους παρέχονται, οι χειριστές μπορούν να παίρνουν εποπτικά διάφορες αποφάσεις για να επηρεάζουν αντίστοιχα και τη λειτουργία των PLC ή RTU και να προτεραιοποιούν διαφορετικά πράγματα και ανάγκες. Τα δεδομένα που φτάνουν στο επίπεδο 2 επίσης μπορούν να σταλούν σε ένα ιστορικό, το οποίο συνήθως είναι ένα σύστημα διαχείρισης βάσης δεδομένων που κάνει εκτενέστερο έλεγχο στα δεδομένα. Στα SCADA εντοπίζονται κυρίως tag databases, δηλαδή βάσεις δεδομένων ετικετών, όπου τα δεδομένα ονομάζονται tags (ετικέτες).

#### **Επίπεδο 3**

Εδώ δεν επιτελείται κάποιος άμεσος έλεγχος στην παραγωγή, αλλά παρακολούθηση και συντονισμός όλης της παραγωγικής διαδικασίας μέσω υπολογιστών. Επίσης, παρακολουθείται το κατά πόσο επιτυγχάνονται οι επιχειρησιακοί στόχοι που έχουν τεθεί.

#### **Επίπεδο 4**

Εδώ, είναι το ανώτερο επίπεδο στην ιεραρχία των SCADA, όπου και γίνεται ο προγραμματισμός όλης της παραγωγής



Εικόνα 5: Τυπικό HMI ενός συστήματος SCADA

Πλεονεκτήματα που προσφέρουν τα SCADA συστήματα είναι τα ακόλουθα:

- **Βελτιωμένη διαχείριση δεδομένων:** Μέσω των SCADA μπορούν πολύ εύκολα να συλλεχθούν, διαχειριστούν και αναλυθούν δεδομένα. Επίσης, η αποθήκευση και καταγραφή τους σε μια κεντρική βάση δεδομένων, αυξάνει την αποτελεσματικότητα του συστήματος. Ένα σύγχρονο SCADA επιτρέπει την επικοινωνία σε πραγματικό χρόνο με ERP και MES συστήματα, διαχειρίζοντας έτσι πολύ περισσότερα δεδομένα και με πιο αποτελεσματικό τρόπο
- **Αυξημένη ορατότητα:** Μέσω του HMI αυξάνεται η ορατότητα και η εποπτεία που έχει κάποιος στις διάφορες λειτουργίες ενός εργοστασίου. Προβάλλονται πληροφορίες σε πραγματικό χρόνο ώστε να υπάρχει πλήρης παρακολούθηση και έλεγχος των διαδικασιών.
- **Βελτιστοποιημένη εργασία:** Σε σχέση με το παρελθόν, όπου ο έλεγχος κάθε μηχανήματος γινόταν μεμονωμένα και χειροκίνητα από το προσωπικό, τα σύγχρονα SCADA συστήματα επιτρέπουν πιο γρήγορο και ευκολότερο έλεγχο μέσω του HMI, αυξάνοντας και την ασφάλεια του προσωπικού, που δεν

χρειάζεται πλέον να βρεθεί κοντά στις μηχανές, συχνά δουλεύοντας σε επικίνδυνες ζώνες.

- **Μειωμένες διακοπές λειτουργίας:** Ίσως το πολυτιμότερο πλεονέκτημα των SCADA είναι η εξάλειψη των διακοπών λειτουργίας στα μηχανήματα, άρα και η μείωση των απρογραμματίστων σταματημάτων και καθυστερήσεων στην παραγωγική διαδικασία. Αυτό είναι εφικτό μέσω του έγκαιρου και προδραστικού εντοπισμού των επικείμενων σφαλμάτων στις μηχανές που μπορεί να προκύψουν και την προώθηση άμεσων ειδοποιήσεων για συντήρηση/αντικατάσταση εξοπλισμού στα αρμόδια στελέχη, με παράλληλη υποστήριξη του αιτήματος με αναφορές.

### 3.3.1 Περίπτωση εφαρμογής συστήματος SCADA

Μια περίπτωση πραγματικής εφαρμογής συστήματος SCADA είναι αυτή στο εργοστάσιο της ΚΟΡΠΗ, στο Μοναστηράκι Βόνιτσας του Νομού Αιτωλοακαρνανίας. Βάσει της μελέτης του Σεϊταρίδη (2022), έγινε γνωστό το πώς το συγκεκριμένο εργοστάσιο εμφιάλωσης φυσικού μεταλλικού νερού ενσωματώνει το SCADA στις δραστηριότητές του, εξασφαλίζοντας βελτιστοποιημένη και υψηλού επιπέδου ελέγχου παραγωγή.

Πιο συγκεκριμένα, το εργοστάσιο δουλεύει την έκδοση S7-400 του SCADA, το οποίο έχει προμηθευτεί από τη Siemens. Στο σύστημα SCADA συμπεριλαμβάνονται 4 μονάδες PLC που κάνουν όλους τους απαιτούμενους αυτοματισμούς. Οι συγκεκριμένες μονάδες χρησιμοποιούν το δίκτυο PROFINET ώστε να επικοινωνούν μεταξύ τους και ελέγχουν όλα τα στάδια της αλυσίδας παραγωγής, από τη συλλογή του νερού από τις γεωτρήσεις, έως και την τοποθέτηση των ετικετών στα εμφιαλωμένα μπουκάλια. Ακόμα, το εργοστάσιο της ΚΟΡΠΗ χρησιμοποιεί τοπολογία δακτυλίου, ώστε το κάθε PLC να επικοινωνεί με τις απαιτούμενες διεργασίες.

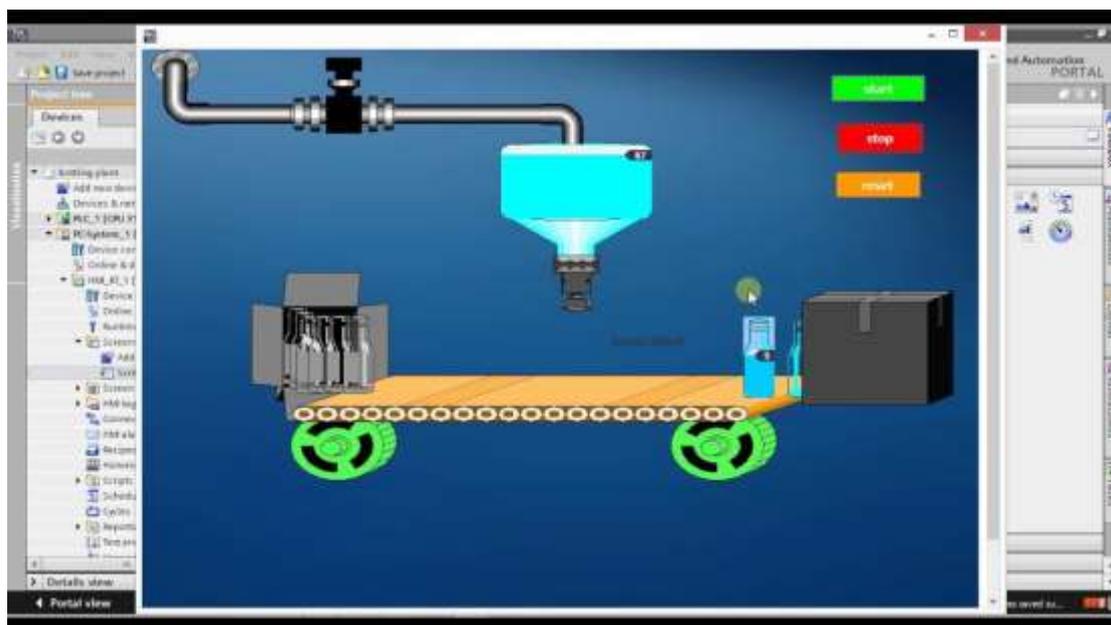
Η συνολική εποπτεία για την απροβλημάτιστη λειτουργία της παραγωγής γίνεται από ηλεκτρονικό πίνακα, όπου και απεικονίζονται σχηματικά οι διεργασίες του εργοστασίου, ενώ δίνεται και η δυνατότητα επέμβασης στον χειριστή μέσω από διάφορες λειτουργίες όπως συναγερούς και αισθητήρια.



Το S7 της Siemens είναι μια ιδιαίτερα δυνατή και εύρωστη λύση για τον αυτοματισμό ενός εργοστασίου, περιλαμβάνοντας προγραμματιστικό περιβάλλον αλλά και λογικούς ελεγκτές της Siemens. Το λογισμικό βοηθά στην εκτέλεση εργασιών μηχανικής, διαισθητικά και αποτελεσματικά. Χάρη στην ενσωμάτωσή του στο TIA Portal, το S7 είναι σε θέση να προσφέρει διαφάνεια, έξυπνη πλοήγηση στον χρήστη αλλά και κατανοητές και απλές ροές εργασίας, σε κάθε βήμα εργασίας και προγραμματισμού.

Επίσης, το Simatic S7, μέσω του Integrated Automation Portal μπορεί να προγραμματίζει, δοκιμάζει και κάνει διαγνώσεις σε όλους τους ελεγκτές και περιλαμβάνει και μια σειρά φιλικών προς τον χρήστη λειτουργιών.

Η γενική εποπτεία της παραγωγικής διαδικασίας βρίσκεται στα χέρια του χρήστη, καθώς μπορεί σε πραγματικό χρόνο να παρακολουθεί διεργασίες από την οθόνη και να μπορεί να επεμβαίνει άμεσα. Στην εικόνα που ακολουθεί, ο χρήστης παρακολουθεί, για παράδειγμα, τη διαδικασία τοποθέτησης των πλαστικών φιαλών πάνω στη γραμμή, καθώς αυτές οδεύουν προς την εμφιάλωσή τους.



*Εικόνα 6: Η απεικόνιση της γραμμής παραγωγής στο εργοστάσιο της ΚΟΡΠΗ στο στάδιο της τοποθέτησης των πλαστικών μπουκαλιών προς εμφιάλωση*

Να τονιστεί, επίσης, πως το λογισμικό του αυτοματισμού, εκτός από καινοτόμες λειτουργίες, όπως είναι ο άμεσος χειρισμός της γραμμής μέσα από οθόνη αφής, δίνει

τη δυνατότητα πλήρους απομακρυσμένου χειρισμού, ακόμα και εκτός εργοστασίου, μέσω της διαπαφής TIA.

## Κεφάλαιο 4: Το έξυπνο εργοστάσιο

Ένα εργοστάσιο θεωρείται ως έξυπνο όταν έχει υποδομές που είναι ικανές να διαχειρίζονται αυξημένη συνδεσιμότητα μεταξύ όλων των συστημάτων αισθητήρων, συσκευών και μηχανημάτων που εμπλέκονται στην παραγωγική διαδικασία. Ο συγκεκριμένος σχεδιασμός θα πρέπει να είναι κατάλληλα στημένος ώστε να δίνει αξία στην αλυσίδα παραγωγής.

Τα σημερινά εργοστάσια, προσαρμόζονται στις λειτουργίες που έχουν να εκτελέσουν, και δομούνται και στήνονται γύρω απ' αυτές. Σε ένα πλήρως έξυπνο εργοστάσιο, ωστόσο, υπάρχει ευελιξία, με τα πράγματα να γίνονται διαφορετικά. Εδώ, η διαφορά βρίσκεται στο πώς γίνεται η δικτύωση. Η οργάνωση δεν γίνεται βάσει διαδικασιών, μιας και οι αλυσίδες παραγωγής συνδέονται μεταξύ τους.

Για να μπορέσει ένα εργοστάσιο να θεωρηθεί έξυπνο, θα πρέπει να χαρακτηρίζεται από τις εξής ιδιότητες:

- Διαλειτουργικότητα
- Διαφάνεια στην πληροφόρηση
- Παροχή τεχνικής βοήθειας
- Αυτοματισμός
- Αποκεντρωμένη λήψη αποφάσεων

Για να γίνει ένα εργοστάσιο έξυπνο, απαιτούνται και οι κατάλληλες τεχνολογίες ώστε να γίνει αυτή η μετάβαση. Η πρόσβαση σε δεδομένα και πληροφορίες, σε συνθήκες πραγματικού χρόνου, θα πρέπει να καθοδηγείται από τη συνεχή και κυκλική ροή πληροφορίας και δράσης ανάμεσα στον φυσικό και ψηφιακό κόσμο. Η συγκεκριμένη ροή καθίσταται δυνατή μέσω μιας επαναληπτικής, τριών βημάτων, σειράς. Πρόκειται για έναν βρόχο φυσικού-ψηφιακού-φυσικού (PDP loop, physical-to-digital-to-physical). Για να μπορέσει η συγκεκριμένη διαδικασία να είναι πετυχημένη, θα πρέπει η Βιομηχανία 4.0 να συνδυάζει φυσικές και ψηφιακές τεχνολογίες, όπως η ανάλυση δεδομένων, η ρομποτική, η υπολογιστική μηχανική, η τεχνητή νοημοσύνη, τα προηγμένα και σύνθετα υλικά, η παραγωγή προσθέτων και η επαυξημένη πραγματικότητα.

Στον βρόχο PDP, τα δεδομένα δημιουργούνται σε μια σταθερή ροή από τις διάφορες φυσικές συσκευές στους διακομιστές των επιχειρήσεων. Οι φυσικές ενέργειες των μηχανών μεταφράζονται σε ψηφιακά σήματα στους αισθητήρες ή ελεγκτές PLC ή τερματικά MES ή συστήματα ERP. Αυτά τα σήματα που θα δημιουργηθούν, συγκεντρώνονται, επεξεργάζονται και αναλύονται.

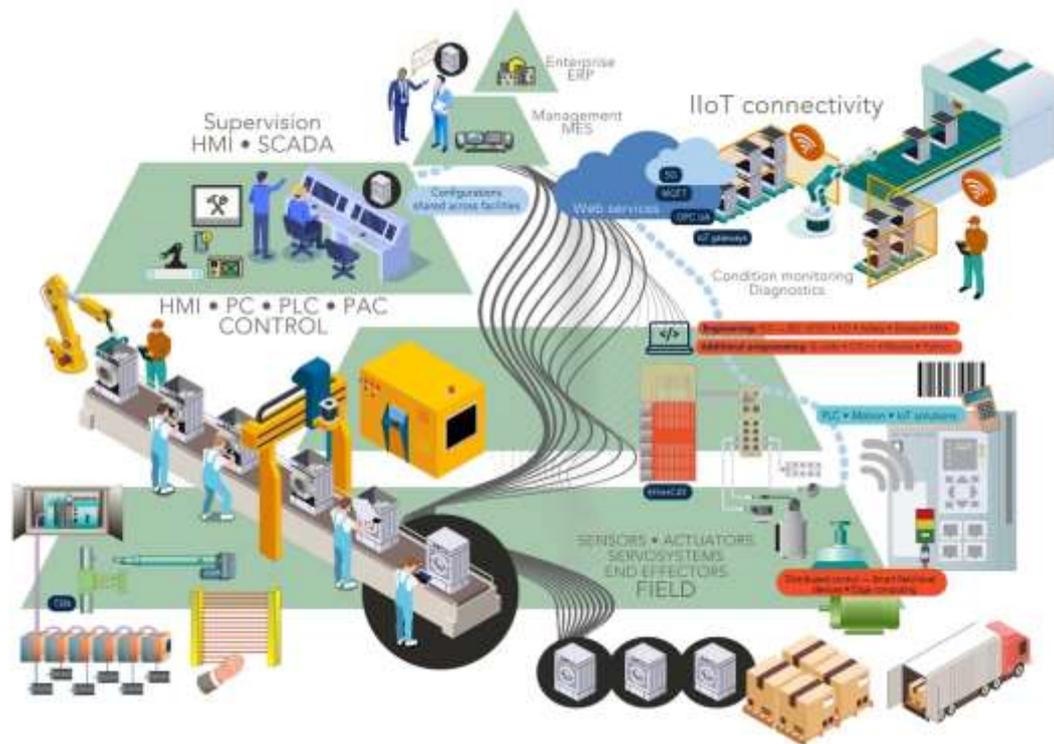
Το δεύτερο βήμα, εδώ, είναι η ανάλυση των ψηφιακών σημάτων που συλλέγονται. Υπάρχουν σήμερα πλατφόρμες που είναι σε θέση να κάνουν τέτοια δουλειά υψηλού επιπέδου, ακόμα και για μη δομημένα δεδομένα. Επίσης, είναι εφικτό να αναπτυχθούν πίνακες ελέγχου, χρησιμοποιώντας διεπαφές προγραμματισμού εφαρμογών που να είναι φιλικές προς τον κάθε χρήστη.

Το τελευταίο βήμα για να ολοκληρωθεί ο κύκλος του βρόχου PDP είναι η μετατροπή των αποτελεσμάτων της ανάλυσης σε φυσική δράση. Τα συμπεράσματα που θα έχει δώσει η διαδικασία της ανάλυσης θα πρέπει να μετασχηματιστούν σε μια δράση από τα μηχανήματα, αλλάζοντας κάποια έκφανση της λειτουργίας τους ή ζητώντας από τον άνθρωπο να αναλάβει δράση. Για παράδειγμα, όταν από την ανάλυση των σημάτων προκύψει πως ένα μηχάνημα βρίσκεται σε χρονικό εύρος που θα πρέπει να υποστεί συντήρηση, θα πρέπει η μηχανή να ελέγχει για την ύπαρξη απαιτούμενων ανταλλακτικών από τη διασυνδεδεμένη αποθήκη/προμηθευτή και να δημιουργεί ένα αίτημα για προμήθεια αυτών των εξαρτημάτων. Στη συνέχεια, ο υπεύθυνος συντήρησης θα πρέπει να ελέγξει και εγκρίνει το συγκεκριμένο αίτημα, ώστε να προχωρήσει η συντήρηση πριν από μια απρογραμμάτιστη διακοπή λειτουργίας που θα απομάκρυνε την παραγωγική μονάδα από τους στόχους της.

Μια από τις τεχνολογίες που μπορούν να επιταχύνουν τη μετάβαση στο Industry 4.0 είναι και το IoT. Στον βιομηχανικό χώρο, το Διαδίκτυο των Πραγμάτων χρησιμοποιείται για τη σύνδεση ενός αντικειμένου στον φυσικό κόσμο με την ψηφιακή του απεικόνιση στο διαδίκτυο. Η ελκυστικότητα του IoT στις βιομηχανίες αυξάνεται διαρκώς, με όλο και περισσότερες μηχανές και συσκευές να γίνονται έξυπνότερες και να συνδέονται μεταξύ τους.

Οι έξυπνες συσκευές παρέχουν τα δεδομένα, την ανάλυση και την ανατροφοδότηση κλειστού βρόχου και συνεισφέρουν στην αυτοματοποίηση και τη διαχείριση των συστημάτων ελέγχου σε κάθε στάδιο της παραγωγικής διαδικασίας. Αποτέλεσμα της εξάπλωσης των έξυπνων συσκευών είναι η μεγαλύτερη ευελιξία στα συστήματα

ελέγχου, καθώς και η μεγαλύτερη πολυπλοκότητα και δημοφιλία τους. Πλέον, οι ασύρματες τεχνολογίες συνδέουν αυτές τις κατακεντρωμένες μονάδες ελέγχου για να ενεργοποιήσουν τη δυναμική επαναδιαμόρφωση των στοιχείων του συστήματος ελέγχου. Οι ευαίσθητες πληροφορίες, έτσι, γίνονται συνεχώς και πιο σημαντικές, μιας και είναι αδύνατο να προβλεφθούν και να ληφθούν υπόψη όλες οι αλλαγές του περιβάλλοντος στις οποίες θα πρέπει ένα σύστημα ελέγχου να ανταποκριθεί.



Εικόνα 7: Απεικόνιση της διασυνδεσιμότητας που χαρακτηρίζει ένα Έξυπνο Εργοστάσιο

Στο έξυπνο εργοστάσιο του μέλλοντος, οι συνδεδεμένες συσκευές θα είναι αρκετές περισσότερες από την παρούσα κατάσταση. Αυτό, είναι συνέχεια της ανάγκης για συλλογή δεδομένων σε πραγματικό χρόνο, σχετικών με την παραγωγική διαδικασία. Ωστόσο, όλες αυτές οι συσκευές/μηχανήματα, είναι πρόκληση να συνδεθούν απλά και οικονομικά. Θα πρέπει, επίσης, να καταστεί δυνατή και η σταθερή, αξιόπιστη και ενοποιημένη επικοινωνία μέσα από ένα δίκτυο Ethernet. Όλες οι επικοινωνίες βασίζονται σε πρωτόκολλα IP και το Ethernet θα είναι το υποκείμενο πρωτόκολλο επικοινωνίας, ανεξάρτητα από το εάν μιλάμε για ασύρματη ή ενσύρματη σύνδεση. Λόγω του μεγάλου όγκου συσκευών, τα δίκτυα του μέλλοντος θα πρέπει να κατατάσσονται σε μια σειρά ώστε να απλοποιείται η διαχείριση και η λειτουργία τους. Το δίκτυο θα εξακολουθεί να χρησιμοποιεί τοπολογίες αστέρων, γραμμών ή δακτυλίων μια μίξη αυτών. Η τοπολογία του αστέρα θα αυξηθεί, μιας και συνοδεύεται από το

πλεονέκτημα της μικρότερης λανθάνουσας κατάστασης, ενώ δίνει και μεγαλύτερη αξιοπιστία. Ωστόσο, περιλαμβάνει το μειονέκτημα της αποσύνδεσης όλων των συνδεδεμένων συσκευών, εάν ένας από τους διακόπτες αστοχήσει.

Ωστόσο, ο βασικός λόγος που συναντώνται τοπολογίες αστερών σε μεγάλα κέντρα δεδομένων σήμερα είναι πως ένας μεγαλύτερος διακόπτης έχει φανεί πως έχει υψηλότερη συνολική αξιοπιστία εν συγκρίσει με ένα σύστημα που αποτελείται από πολλούς, μικρούς και διακεκομμένους διακόπτες. Θα χρησιμοποιηθούν βέβαια και άλλες τοπολογίες, μιας και αυτές ενδέχεται να πλεονεκτούν στην καλωδίωση.

Κατά το παρελθόν, η επικοινωνία στις βιομηχανικές εφαρμογές γινόταν κυρίως με ενσύρματα δίκτυα. Ωστόσο, στη βιομηχανία πλέον απαντώνται όλο και περισσότερο τα ασύρματα δίκτυα. Κυρίως υιοθετούνται για μη κρίσιμες βιομηχανικές εφαρμογές, όπως η παρακολούθηση και η μεταφορά περιφερειακών δεδομένων. Το δύσκολο με τα ασύρματα δίκτυα είναι πως αποτελούν «κοινόχρηστο μέσο», δηλαδή, όλοι οι συσκευές μοιράζονται ένα συγκεκριμένο εύρος συχνοτήτων. Εάν μια συσκευή μεταδίδει, το κανάλι είναι απασχολημένο.

Το μειονέκτημα της αυξανόμενης συνδεσιμότητας και της χρήσης ανοιχτών προτύπων στα βιομηχανικά δίκτυα αποτελεί υψηλό κίνδυνο για κυβερνοεπιθέσεις. Ένα δίκτυο σε ένα έξυπνο εργοστάσιο, λοιπόν, θα πρέπει να υποστηρίζει λειτουργίες ασφαλείας, όπως:

- **Κρυπτογράφηση:** διασφαλίζει την εμπιστευτικότητα των δεδομένων και αποτρέπει οποιαδήποτε μη εξουσιοδοτημένη παρακολούθησή τους. Είναι ιδιαίτερα σημαντικό χαρακτηριστικό για την κυκλοφορία δεδομένων μέσα από δημόσια δίκτυα.
- **Έλεγχος πρόσβασης:** επιβεβαιώνει πως μόνο οι συσκευές που επιτρέπεται να επικοινωνούν μεταξύ τους μπορούν να το κάνουν, κάτι που αποτρέπει μια μη εξουσιοδοτημένη πρόσβαση.
- **Έλεγχος ταυτότητας:** αποτελεί επιπλέον στοιχείο του ελέγχου πρόσβασης για τον αποκλεισμό μη εξουσιοδοτημένων συσκευών και χρηστών.

Στα παραπάνω μπορούν να ενταχθούν επιπλέον μέτρα ασφαλείας, όπως η λεπτομερής καταγραφή όλων των συμβάντων σε αρχεία καταγραφής και τα εργαλεία διαχείρισης

δικτύου και ασφάλειας, τα οποία είναι σε θέση να εντοπίζουν εν δυνάμει απειλές (πολλαπλές απόπειρες πρόσβασης σε ένα δίκτυο συσκευών κ.λπ.).

Ωστόσο, πώς μετατρέπεται ένα εργοστάσιο σε έξυπνο; Για να μπορέσει ένα παραδοσιακό εργοστάσιο να αντλήσει όλα τα οφέλη από την εποχή του Industry 4.0 και του IoT, θα πρέπει να προβεί σε ριζικές αλλαγές, πιθανώς σε κάθε τομέα της λειτουργίας του. Θα πρέπει, ήδη από την κορυφή της διοικητικής πυραμίδας, να γίνει κατανοητή η τωρινή κατάσταση, σε επίπεδο διαδικασιών, εξοπλισμού και τεχνολογικού επιπέδου, καθώς και να αποφασιστεί το επίπεδο στο οποίο είναι επιθυμητό να φτάσει τεχνολογικά το εργοστάσιο.

Στη συνέχεια, το πρώτο, καθοριστικό βήμα είναι το εργοστάσιο να αποκτήσει ένα ψηφιακό δίδυμο (digital twin), το οποίο θα περιλαμβάνει ψηφιοποιημένα, όλο τον εξοπλισμό και τις διαδικασίες παραγωγής, τα οποία θα πρέπει να λειτουργούν χωρίς πρόβλημα.

Για να φτιάξουν το ψηφιακό τους δίδυμο, οι επιχειρήσεις θα πρέπει να συνεργαστούν με εταιρείες πληροφορικής και να ευθυγραμμιστούν στο συγκεκριμένο έργο. Ωστόσο, λόγω της τεχνολογίας που συνεχώς προχωρά, η ψηφιοποίηση αποτελεί εν δυνάμει επικίνδυνη διαδικασία, καθώς η τεχνολογία της πληροφορικής θα πρέπει σε κάθε επιχείριση να ευθυγραμμίζεται με την επιχειρηματική στρατηγική. Έτσι, το IT θα πρέπει να συμμετέχει πλήρως στο έργο της ψηφιοποίησης, διαφορετικά μπορεί να υπάρξουν αποσυνδέσεις και κενά στο πρόγραμμα.

Ο ψηφιακός μετασχηματισμός μιας επιχείρησης, αν και είναι ένα αρκετά επίπονο και χρονοβόρο έργο, μπορεί να μετασχηματίσει κάθε πλευρά της επιχείρησης, πατώντας σε 4 κύριους πυλώνες:

- Συνδεσιμότητα με πελάτες και συνεργάτες
- Καινοτομία προϊόντων, επιχειρηματικών μοντέλων και διαδικασιών
- Αυτοματισμοί που αντικαθιστούν την ανθρώπινη εργασία
- Προηγμένη αναλυτική στα μεγάλα δεδομένα για καλύτερη λήψη αποφάσεων

Για να καταφέρει ένα παραδοσιακό εργοστάσιο να εκμεταλλευτεί πλήρως τις ευκαιρίες που θα του δοθούν μέσω του μετασχηματισμού, θα πρέπει να ευθυγραμμιστούν τρεις συνιστώσες. Θα πρέπει να υπάρχουν τερματικά ελέγχου που να βασίζονται σε αισθητήρες, βιομηχανικές αναλύσεις αλλά και έξυπνες εφαρμογές μηχανών.

Τα τερματικά ελέγχου που βασίζονται σε αισθητήρες αποτελούν τη βάση για το Βιομηχανικό Διαδίκτυο, παρέχοντας σύνδεση του ψηφιακού και το φυσικού κόσμου. Οι αισθητήρες είναι διατάξεις που έχουν φυσική αντίληψη μιας κατάστασης αλλά και του περιβάλλοντος, παρέχοντας δεδομένα στο υπόλοιπο σύστημα για την παραγωγή γνώσης πάνω στις παραγωγικές διαδικασίες και τη λήψη αποφάσεων, αυτόματα.

Οι βιομηχανικές αναλύσεις των ακατέργαστων δεδομένων που προέρχονται από τους αισθητήρες μετατρέπονται σε κατανοητή γνώση για τον άνθρωπο. Λόγω των ορίων της τεχνολογίας, μέχρι πρόσφατα οι αναλύσεις επικεντρώνονταν μόνο σε δεδομένα που είχαν συλλεχθεί ιστορικά, όπως είναι οι πωλήσεις ενός προϊόντος ανά μήνα ή τα σταματήματα μιας γραμμής σε ετήσια βάση. Με την εμφάνιση νέων τεχνολογιών γύρω από τον κλάδο του computing, όπως είναι το υπολογιστικό νέφος και οι μέθοδοι μεγάλων δεδομένων, πλέον υπάρχουν εμπορικά διαθέσιμες αναλύσεις δεδομένων που παρέχουν εκτενή αναφορά για όσα συμβαίνουν στην παραγωγή, ενώ προχωρούν και σε προβλέψεις για το πότε ενδέχεται να συμβεί ένα ανεπιθύμητο γεγονός αλλά και το πώς αυτό μπορεί να προληφθεί.

Εκτός από τις αναλύσεις δεδομένων, οι οποίες παρέχουν και το προσωπικό του εργοστασίου με πρακτικές γνώσεις για πιο έξυπνο έλεγχο των διαδικασιών και προορατική λήψη αποφάσεων, απαιτούνται και μηχανές που λειτουργούν με τεχνητή νοημοσύνη. Πρόκειται για μηχανές που διαθέτουν αυτογνωσία μέχρι ένα σημείο καθώς και δυνατότητα μάθησης, άρα έχουν το πλεονέκτημα του να μαθαίνουν από σφάλματα και να διορθώνονται πριν συμβεί μια ανεπιθύμητη κατάσταση, προσφέροντας και οικονομικά οφέλη στη βιομηχανία καθ' αυτό τον τρόπο.

Το πραγματικό όφελος, όμως, των συγκεκριμένων μηχανών είναι πως μπορούν να συνεργάζονται σε πολλά επίπεδα με άλλες έξυπνες μηχανές. Η αξιοποίηση των βέλτιστων οφελών της έξυπνης συνδεδεμένης τεχνολογίας είναι μια στρατηγική επανεξέταση της διαδικασίας παραγωγής. Ωστόσο, θα πρέπει στα θεμέλια να ενυπάρχει μια ισχυρή αρχιτεκτονική, απαιτώντας πλατφόρμα IoT.

Το μελλοντικό εργοστάσιο θα πρέπει ξεκάθαρα να χαρακτηρίζεται από συνδεσιμότητα και διαλειτουργικότητα. Για να αυξηθεί η ποιότητα του προϊόντος και η απόδοση στην παραγωγή, θα πρέπει να υπάρχουν αμφίδρομες ροές ψηφιακής πληροφορίας. Οι ροές αυτές απαιτούν μια στενότερη συνδεσιμότητα ανάμεσα στις συνιστώσες που αποτελούν ένα σύστημα παραγωγής. Έτσι, θα πρέπει να υπάρχουν διάφορα επίπεδα



διαλειτουργικότητας, αρχικά σε φυσικό επίπεδο, κατά τη συναρμολόγηση και σύνδεση του εξοπλισμού παραγωγής και των προϊόντων, στη συνέχεια σε επίπεδο πληροφορικής κατά την ανταλλαγή πληροφοριών και, τέλος, σε επιχειρηματικό επίπεδο, όπου ευθυγραμμίζονται λειτουργίες και στόχοι.

Όταν ένα βιομηχανικό περιβάλλον γίνεται διαλειτουργικό, θα πρέπει να λαμβάνονται διάφορες διαστάσεις της ενσωμάτωσης αυτής, όπως:

- **Κατακόρυφη ενσωμάτωση** κατά μήκος της πυραμίδας αυτοματισμού. Εδώ εντάσσεται η εργοστασιακή εσωτερική ολοκλήρωση, από αισθητήρες και ενεργοποιητές εντός των μηχανών, έως και συστήματα ERP
- **Οριζόντια ενσωμάτωση**, κατά μήκος της αλυσίδας αξίας και σε όλα τα δίκτυα παραγωγής. Εδώ, εντάσσεται η ολοκλήρωση όλων των δικτύων παραγωγής σε επιχειρηματικό επίπεδο, όπως επιτυγχάνεται με την αλυσίδα εφοδιασμού βάσει της ηλεκτρονικής ανταλλαγής δεδομένων EDI (Electronic Data Interchange).
- **Ολοκλήρωση ως προς τις τεχνολογικές εφαρμογές**, ώστε να γίνεται εύκολα η ανταλλαγή γνώσεων και ο συγχρονισμός ανάμεσα στην ανάπτυξη προϊόντων/υπηρεσιών και του περιβάλλοντος που κατασκευάζονται/αναπτύσσονται.

Ένα παραδοσιακό εργοστάσιο αποτελείται από ανεξάρτητα συστήματα όπως PLC, DCS, CNC αλλά και συστήματα λογισμικού όπως τα ERP, MES, QMS κ.λπ. Το καθένα έχει τους δικούς του τύπους δεδομένων και υποστηρίζει διαφορετικά τον σχεδιασμό και την παραγωγή προϊόντων. Αυτό, καθιστά δύσκολη την ενοποίηση και συμπόρευσή τους. Λόγω της διαλειτουργικότητας που χαρακτηρίζει τα εργοστάσια της εποχής του Industry 4.0, δεν υπάρχουν ευδιάκριτα όρια ανάμεσα στα διάφορα ανεξάρτητα συστήματα. Ουσιαστικά, θα υπάρχει ένα δίκτυο συνδεδεμένων συστημάτων, διαδικασιών και πελατών/προμηθευτών, που θα χαρακτηρίζεται από ακρίβεια, πληρότητα, καθετότητα και αποτελεσματικότητα.

#### 4.1 Οφέλη από την εφαρμογή ενός Έξυπνου Εργοστασίου

Το Cargemini Transformation Institute, αξιολόγησε το πώς οι εταιρείες μπορούν να αυξήσουν την αξία τους μέσω της μετατροπής των μονάδων παραγωγής τους σε

έξυπνες. Έτσι, το Ινστιτούτο πήρε συνεντεύξεις από 1000 στελέχη βιομηχανικών, διαφόρων τομέων και χωρών.

Τα αποτελέσματα της συγκεκριμένης έρευνας ήταν:

1. Τα έξυπνα εργοστάσια μπορούν να βρουν προστιθέμενη αξία ύψους 500 δις έως και 1,5 τρις δολάρια μέσα στα επόμενα πέντε χρόνια.
2. 7 φορές μεγαλύτερη μέσα στα επόμενα 5 χρόνια θα είναι η αποδοτικότητα των μονάδων παραγωγής που έγιναν πιο «έξυπνες».
3. Για έναν μέσο OEM αυτοκινήτων, η ύπαρξη έξυπνων εργοστασίων μπορεί να διπλασιάσει το λειτουργικό κέρδος αλλά και το περιθώριο καθαρού κέρδους
4. Το 76% των βιομηχανιών είτε έχουν ένα πλάνο για διαμόρφωση έξυπνου εργοστασίου σε ισχύ, είτε βρίσκονται σε φάση κατάστρωσής του.
5. Περισσότερες από τις μισές βιομηχανίες (56%) έχουν προχωρήσει σε επενδύσεις άνω των 100 εκατομμυρίων δολαρίων για να μετατρέψουν σε έξυπνα τα εργοστάσιά τους.
6. Μόλις το 14% των βιομηχανιών είναι ικανοποιημένες από το επίπεδο στο οποίο βρίσκεται το έξυπνο εργοστάσιό τους, ενώ στο 6% κυμαίνεται το ποσοστό των εταιρειών που βρίσκονται σε προχωρημένα επίπεδα ψηφιοποίησης της παραγωγικής τους διαδικασίας.

Μέσα στην επόμενη πενταετία, οι βιομηχανίες περιμένουν πως η «έξυπνοποίηση» των μονάδων τους θα οδηγήσουν σε επιπλέον βελτιώσεις όπως:

1. 13 φορές ταχύτερο χρόνο παράδοσης προϊόντων
2. 12 φορές πιο βελτιωμένοι δείκτες ποιότητας σε σχέση με τον ρυθμό βελτίωσής του πίσω στο 1990
3. 7-9 φορές μεγαλύτερη παραγωγικότητα και μικρότερο κόστος εργασίας σε σχέση με τα επίπεδα του 1990

## Κεφάλαιο 5<sup>ο</sup>: Περιπτώσεις έξυπνων εργοστασίων

Οι δυνατότητες των έξυπνων εργοστασίων έχουν ήδη να αξιοποιούνται στην παραγωγική διαδικασία, όπως έγινε και σαφές από τα προηγούμενα.

Πολλά από τα εργοστάσια που εξετάστηκαν στην έρευνα της παραγράφου 3.1, ανεξαρτήτως της περιοχής που βρίσκονταν, έχουν ήδη ενσωματώσει τεχνολογίες έξυπνου εργοστασίου στην παραγωγή τους ή βρίσκονται εν μέσω του μετασχηματισμού αυτού.

Για παράδειγμα, η Adidas, γερμανική εταιρεία κατασκευής αθλητικών ρούχων και υποδημάτων, υιοθέτησε στις μονάδες παραγωγής της τεχνολογίες όπως την τρισδιάστατη εκτύπωση και την έξυπνη ρομποτική. Ακόμα μια γερμανική εταιρεία, η Infineon, που δραστηριοποιείται στον χώρο της κατασκευής ημιαγωγών, προχώρησε σε επένδυση ύψους άνω των 100 εκατ. δολαρίων ώστε να μετατρέψει τη μονάδα παραγωγής της στη Σιγκαπούρη σε ένα Έξυπνο Εργοστάσιο.

Επίσης, η General Electric, κάνοντας έξυπνο το εργοστάσιό της στο Grove City, πέτυχε μείωση κατά 10-20% των μη προγραμματισμένων σταματημάτων στις γραμμές της, ενώ βελτίωση και τον χρόνο του κύκλου προϊόντος της αλλά και το κόστος παραγωγής αυτού.

Σκοπός, λοιπόν, του συγκεκριμένου κεφαλαίου είναι να εξετάσει τέτοιες περιπτώσεις μονάδων ώστε να γίνει πρακτικά αντιληπτό το πώς αυτές μετασχηματίστηκαν και το τί πέτυχαν με αυτή τη σειρά αλλαγών και αναβαθμίσεων στις οποίες προχώρησαν.

Πρωτοπόροι στην υιοθέτηση του μοντέλου των έξυπνων εργοστασίων, από γεωγραφική πλευρά, είναι οι ΗΠΑ, η Δυτική Ευρώπη και η Κίνα. Στην κατάταξη της παγκόσμιας ανταγωνιστικότητας που δημοσίευε το US Council on Competitiveness, 1 στις 4 εταιρείες έχουν μια συνεχή έξυπνη εργοστασιακή εξέλιξη/αναβάθμιση. Εάν σε αυτό προστεθεί και το 53% των εταιρειών που διαμορφώνουν τη στιγμή αυτή ένα έξυπνο εργοστασιακό μοντέλο, τότε το 78% συνολικά είτε αλλάζει είτε σκοπεύει να αλλάξει τα εργοστάσιά του.

Η Γερμανία, στην περίπτωση αυτή, είναι μια περίπτωση που χρήζει μελέτης, δεδομένου ότι πρόκειται για μια αμιγώς βιομηχανοποιημένη χώρα, η οποία συχνά αποτελεί συνώνυμο της αξιοπιστίας και της υψηλής ποιότητας στα προϊόντα της.

Το εργοστάσιο της Siemens αποτελεί μέρος μιας συντονισμένης προσπάθειας του γερμανικού κολοσσού να αναπτύξει πλήρως αυτοματοποιημένα, διαδικτυακά έξυπνα εργοστάσια.

Η Siemens είναι ο κορυφαίος προμηθευτής PLC συστημάτων σε παγκόσμια κλίμακα, με την EWA (Amberg Electronics Plant) να αποτελεί τη βιτρίνα της εταιρείας για τα συγκεκριμένα συστήματα. Η ποιότητα των παραγόμενων προϊόντων αγγίζει τα επίπεδα του 6σ, έχοντας ποσοστό μη ελαττωματικών προϊόντων ίσο με 99,99885%. Ετησίως, από το συγκεκριμένο εργοστάσιο βγαίνουν 12 εκατομμύρια προϊόντα της σειράς Simatic. Σε ένα έτος, δηλαδή, με 230 εργάσιμες ημέρες, ένα προϊόν Simatic παράγεται κάθε δευτερόλεπτο.

Η παραγωγική διαδικασία είναι εν πολλοίς αυτοματοποιημένη. Το 75% της συνολικής αλυσίδας αξίας των προϊόντων περνά από τα «χέρια» και την επίβλεψη υπολογιστών, ενώ το υπόλοιπο έργο γίνεται αποκλειστικά από ανθρώπους.

Το ανθρώπινο χέρι επεμβαίνει μόνο στην αρχή της παραγωγικής διαδικασίας, και συγκεκριμένα στην εργασία της τοποθέτησης των γυμνών κυκλωμάτων πάνω στη γραμμή. Από το σημείο αυτό και έπειτα, όλη η διαδικασία είναι αυτοματοποιημένη. Εντυπωσιακό είναι το γεγονός πως, την παραγωγή των προϊόντων Simatic ελέγχουν συσκευές Simatic που τοποθετούνται πάνω στη γραμμή. Κατά τη διάρκεια της παραγωγής, από την αρχή της γραμμής μέχρι και το σημείο που το τελικό προϊόν αποστέλλεται στον αγοραστή, υπάρχουν 1000 σημεία ελέγχου.

Το 2016, η Siemens μαζί με το Ινστιτούτο Fraunhofer IIS, το κέντρο Fraunhofer SCS και τις εταιρείες iTiZZiMO και KINEXON έχουν ξεκινήσει το ερευνητικό πρόγραμμα “Road to Digital Production (R2D)”. Στόχος του συγκεκριμένου προγράμματος ήταν να επιταχύνει την ανάπτυξη τεχνολογιών και καινοτομιών που θα επέτρεπαν μεγαλύτερη ψηφιοποίηση της βιομηχανικής παραγωγής. Το συγκεκριμένο ερευνητικό πρόγραμμα ήθελε να αποδείξει πως η ψηφιοποίηση της παραγωγής μπορεί να αυξήσει όχι μόνο την αποτελεσματικότητα, αλλά και να βελτιώσει τα επίπεδα ασφάλειας στην εργασία.

Με σκοπό να ψηφιοποιηθεί η αλυσίδα αξίας στην παραγωγή, κάθε προϊόν θα συνοδεύεται σε όλα τα στάδια της διαδικασίας με μια «έξυπνη ετικέτα» (smart tag), με δυνατότητες επικοινωνίας και εντοπισμού. Αυτό αποτελούσε μέρος ενός ευρύτερου συστήματος, γνωστού και ως Κυβερνο-Φυσικό Σύστημα (CPS). Χρησιμοποιώντας τα δεδομένα του προϊόντος, καθώς και τις πληροφορίες που έδινε το σύστημα, η ετικέτα πάνω στο προϊόν ήταν σε θέση να αναγνωρίζει, συνδέεται και ελέγχει αυτόνομα όλα τα στάδια της παραγωγής. Κεντρική προβληματική του συγκεκριμένου ερευνητικού έργου αποτέλεσε το πώς ο σχεδιασμός της παραγωγής και η προμήθεια και παροχή πρώτης ύλης μπορεί να αποκεντρωθεί και να αυξήσει τη δυναμική της. Με τη συγκεκριμένη δοκιμή στα πλαίσια του προγράμματος, κατάφεραν να εξακριβώσουν όχι μόνο τη λειτουργικότητα του συστήματος, αλλά και τα οικονομικά δεδομένα πίσω απ' αυτό. Με τα αποτελέσματα της έρευνας, η Siemens εκτιμά πως πήρε πολύτιμη εμπειρία που θα τη βοηθήσει να επιταχύνει τη μεταφορά της ψηφιοποίησης σε επιπλέον γραμμές και εργοστάσια, με σκοπό να εξατομικεύσει περαιτέρω την βιομηχανική της παραγωγή.

Πέραν της Siemens, ωστόσο, υπάρχουν κι άλλες εταιρείες που ασχολούνται με αντίστοιχα ζητήματα, επιχειρώντας να γίνουν πρωτοπόροι στον τομέα των έξυπνων εργοστασίων. Μια τέτοια περίπτωση είναι και αυτή της AGCO.

Η AGCO καταπιάστηκε κυρίως με το πρόβλημα του υπερπληθυσμού και το πώς θα μπορέσει να δοθεί μια λύση στην εύρεση τροφής για όλο τον πληθυσμό. Μέχρι το 2050, εκτιμάται πως ο παγκόσμιος πληθυσμός θα ανέλθει στα 10 δις, κάτι που σημαίνει πως η παραγόμενη τροφή θα πρέπει να αυξηθεί έως και κατά 70% σε σχέση με τα τωρινά δεδομένα. Έτσι, η σημασία της ακρίβειας στη γεωργία, είναι μεγαλύτερη από ποτέ και σε αυτό προσανατολίζεται και η AGCO.

Η λύση της εταιρείας είναι το AgCommand, το οποίο είναι ένα εργαλείο κατανόησης της γεωργικής παραγωγής από τους παραγωγούς και τις επιχειρήσεις, χρησιμοποιώντας τηλεμετρία.

Βασικά χαρακτηριστικά της συγκεκριμένης, καινοτόμου τεχνολογίας, είναι:

- **Έλεγχος από οθόνη:** Προσφέρει άμεση πρόσβαση σε πληροφορίες για τους αντιπροσώπους μηχανών που παρακολουθούν για λογαριασμό των πελατών τους. Εδώ εντάσσεται η θέση της μηχανής, η κρισιμότητα τυχόν προβλημάτων, οι ειδοποιήσεις για προβλήματα λειτουργίας ή συντήρηση, η γρήγορη

πρόσβαση σε λεπτομερείς παραμέτρους απόδοσης που αποτυπώνονται με γραφικές παραστάσεις.

- **Παρακολούθηση συντήρησης:** Εδώ, ο αντιπρόσωπος μπορεί να παρακολουθεί τα χρονοδιαγράμματα συντήρησης των μηχανημάτων, τόσο από το πρόγραμμα που συστήνει η AGCO όσο και από το προσαρμοσμένη πρόγραμμα που δίνουν οι εξειδικευμένοι αντιπρόσωποι, βάσει των καλλιεργητικών κύκλων. Έτσι, βελτιώνεται η υποστήριξη και δημιουργούνται νέες ευκαιρίες για έσοδα για τους αντιπροσώπους, καθώς και καλύτερη εξυπηρέτηση της σχέσης ανάμεσα σε αντιπρόσωπο και αγρότη.
- **Αναφορές (reports):** Μέσω του AgCommand είναι διαθέσιμες αρκετές αναφορές που μπορούν να βελτιώσουν τη δουλειά του αγρότη, προσθέτοντας αξία στο έργο του.
- **Αυτόματες ειδοποιήσεις:** Μέσω του συγκεκριμένου λογισμικού, μπορούν να σταλούν αυτόματα ειδοποιήσεις στους πελάτες με συμβουλές για συντηρήσεις και αλλαγές. Έτσι, ο αγρότης-πελάτης θα μπορεί να προγραμματίζει τη διακοπή λειτουργίας του μηχανήματος και να εξασφαλίζει πως δεν θα έχει μη προγραμματισμένα σταματήματα αλλά και έγκαιρη εξυπηρέτηση.
- **Παρακολούθηση περιουσιακών στοιχείων:** Ο χρήστης του λογισμικού έχει τη δυνατότητα να γνωρίζει πλήρως τα πάντα για τον εξοπλισμό του, όπως το πού αυτός βρίσκεται ανά πάσα στιγμή, κάτι που βοηθά και σε περιπτώσεις κλοπής.
- **Μέτρα προστασίας ιδιωτικού απορρήτου:** Το λογισμικό αντλεί μόνο δεδομένα που αφορούν τον εξοπλισμό και τη λειτουργία αυτού, χωρίς να επεξεργάζεται γεωπονικά δεδομένα. Αυτό το «όριο» στις πληροφορίες επιτρέπει τη διαφύλαξη των ιδιοκτησιακών πληροφοριών των γεωργών, βοηθώντας τους να διατηρήσουν τα μοναδικά τους χαρακτηριστικά και το ανταγωνιστικό πλεονέκτημά τους.



Εικόνα 8: Απεικόνιση των λειτουργιών του AgCommand

Συνέχεια δίνεται με τη Mercedes-Benz, έναν ακόμα κολοσσό που δραστηριοποιείται στην αυτοκινητοβιομηχανία. Πέρα από την επίτευξη καινοτομίας και ηγεσίας στις σύγχρονες επιταγές της αυτοκίνησης (αποτύπωμα στο περιβάλλον, απόδοση, ηλεκτροκίνηση), η γερμανική φίρμα επιδιώκει να γίνει πρωτοπόρος και στο κομμάτι της ψηφιοποίησης των παραγωγικών της διαδικασιών και επιδόσεων.

Η Mercedes-Benz ερμηνεύει το έξυπνο εργοστάσιο ως έναν τόπο όπου θα υπάρχει πλήρης δικτύωση ανάμεσα σε περιβάλλον, προϊόν και μηχάνημα, αλλά και σύνδεση όλων αυτών με το διαδίκτυο, ώστε να αναπτυχθούν ψηφιακά δίδυμα. Αποσκοπεί, άρα, στη συμβολή του ψηφιακού και του φυσικού κόσμου.

Η Mercedes έχει ήδη προχωρήσει στην υλοποίηση αρκετών έργων που εμπίπτουν στην κατηγορία Smart Industries 4.0. Ενδιαφέρον προκαλεί η πρωτοβουλία της εταιρείας στο κομμάτι της συνεργασίας ρομπότ και εργαζόμενων (HRC, human-robot cooperation). Αν και η παρουσία των ρομπότ στην αυτοκινητοβιομηχανία δεν είναι κάτι το καινούριο, το HRC αναγνωρίζει ότι πολλές διαδικασίες μπορούν να επωφεληθούν/διευκολυνθούν από τη γνωστική ανωτερότητα του ανθρώπου σε σχέση με τη μηχανή, το οποίο μπορεί να συνδυαστεί με τη μεγάλη αντοχή και αξιοπιστία των ρομπότ.

Παράδειγμα εφαρμογής του HRC στη Mercedes είναι η διαδικασία κατασκευής και συναρμολόγησης του εμπρός συστήματος μετάδοσης ταχύτητας τύπου διπλού συμπλέκτη (front double-clutch transmission). Παραδοσιακά, η συναρμολόγηση του

συστήματος αυτού ήταν χειροκίνητη, κάτι που καθιστούσε περίπλοκη και επίπονη τη διαδικασία για τον άνθρωπο, μιας και απαιτεί χειρισμό βαρέων τεμαχίων καθώς και άψογη ευθυγράμμιση των γριναζιών. Με τα ρομπότ τελευταίας γενιάς, όμως είναι εφικτή η συνεργασία τους με τους ανθρώπους, χωρίς την ανάγκη για εξοπλισμό προφύλαξης του ανθρώπου. Έτσι, πλέον τα ρομπότ χειρίζονται τα μεγάλα φορτία και ελέγχου πως τα εξαρτήματα βρίσκονται με ακρίβεια στη θέση που πρέπει.

Άλλο παράδειγμα της φιλοσοφίας HRC στη Mercedes εφαρμόζεται στο εργοστάσιο της Βρέμης, όπου κατασκευάζεται η C-Class. Εκεί, τα ρομπότ πλέον χειρίζονται το αρκετά απαιτητικό κομμάτι της συναρμολόγησης του πακέτου των υβριδικών μπαταριών που τοποθετούνται στο πίσω μέρος του αυτοκινήτου.

Στο ίδιο πλαίσιο έρευνας ωστόσο, η Mercedes έκανε κάτι που ενδεχομένως να ακούγεται αρκετά οπισθοδρομικό, ιδιαίτερα για την εποχή που ακούγεται συνεχώς πως τα ρομπότ αντικαθιστούν και υποκαθιστούν τον άνθρωπο. Η εταιρεία αντικατέστησε τα ρομπότ με ανθρώπους για το κομμάτι της βαθμονόμησης των head-up οθονών (HUD) στα αυτοκίνητά της. Συγκεκριμένα, μετά την εγκατάσταση ενός HUD σε ένα αυτοκίνητο, θα πρέπει να ελεγχθεί πως βρίσκεται ακριβώς στη σωστή θέση για το πεδίο όρασης του οδηγού, λαμβάνοντας υπόψη σωστή εργονομία και ασφάλεια εν ώρα οδήγησης. Προηγουμένως, στη γραμμή παραγωγής, το αυτοκίνητο που κατασκευαζόταν θα έπρεπε να σταματήσει σε μια πολύ συγκεκριμένη θέση πάνω στη γραμμή ώστε να μπει σωστά ο ρομποτικός βραχίονας και να μπει το HUD στην ακριβώς ενδεδειγμένη θέση. Πλέον, όμως, με τη συνεισφορά και της επαυξημένης πραγματικότητας (AR), ένας χειριστής επεμβαίνει μέσα στο όχημα και παίρνει οπτική καθοδήγηση σε ένα τάμπλετ σχετικά με το πώς θα πρέπει το HUD να μπει στη σωστή θέση. Έτσι, ανατρέποντας το στερεότυπο για την έλευση των ρομπότ, η εταιρεία υιοθέτησε μια πιο οικονομική και ταχύτερη λύση, εκτελώντας τη συγκεκριμένη εργασία συναρμολόγησης από άνθρωπο, ο οποίος βέβαια υποστηρίζεται από την κατάλληλη τεχνολογία.

Ένα επίσης μεγάλο επίτευγμα προς την αυτοματοποίηση της βιομηχανικής παραγωγής και μεγάλο βήμα προς το να καταστεί αυτή πιο έξυπνη, είναι και η πρωτοβουλία της Mercedes να ενοποιήσει τα εργοστάσιά της. Πλέον, μια μονάδα παραγωγής αυτοκινήτων μπορεί να έχει πρόσβαση σε δεδομένα από άλλες εγκαταστάσεις αυτοκινήτων, κάτι που σημαίνει ότι μπορεί να βοηθήσει ή να βοηθηθεί σε οποιαδήποτε προβλήματα, μέχρι ακόμα και να επαναπρογραμματίσει τα ρομπότ. Επίσης, επιτρέπει



ταυτόχρονες και όχι διαδοχικές αναβαθμίσεις των εργοστασίων, με τις ομάδες που αναλαμβάνουν το συγκεκριμένο έργο να μη χρειάζεται να ταξιδεύουν από το ένα εργοστάσιο στο άλλο πλέον.

Ακόμα μια γερμανική περίπτωση είναι αυτή της Bosch. Στο εργοστάσιό της στο Blaibach της Γερμανίας, η εταιρεία έκανε μια πρωτοπόρα κίνηση, όπου πλέον η επιθεώρηση μηχανημάτων, η παρακολούθηση της παραγωγής και η παρέμβαση, εάν χρειάζεται, γίνεται από τερματικά ελέγχου.

Διαφορετικά τμήματα εργάζονται παράλληλα και συνεργατικά, μοιραζόμενα πληροφορίες που οδηγούν σε συνεχείς βελτιώσεις στην παραγωγή αλλά και στην ποιότητα των προϊόντων. Αυτά ήταν αποτελέσματα της λύσης που εφαρμόστηκε στη μονάδα του Blaibach. Το σύστημα που αναπτύχθηκε, εμφάνιζε μηνύματα για επικείμενες βλάβες και σφάλματα, ενώ πρότεινε και δοκιμασμένες λύσεις για τη διαχείρισή τους. Επίσης, ενσωματώθηκε στην παραγωγή και ένας tracker επιδόσεων, κάτι που επέτρεπε την παρακολούθηση του χρόνου κύκλου αλλά και την παρέμβαση, εάν κρινόταν απαραίτητο.



*Εικόνα 9: Επιθεώρηση και έλεγχος όλων των λειτουργιών μέσα από τη διεπαφή ενός τάμπλετ στο εργοστάσιο του Blaibach*

Επίσης, γίνεται πλέον αυτόματα η παραγγελία ανταλλακτικών και υλικών για την παραγωγή, καθώς και η οργάνωση των εργασιών συντήρησης που είναι απαραίτητες ώστε η γραμμή να λειτουργεί ομαλά. Επιπλέον, λειτουργεί και εκτενές σύστημα

αισθητήρων μέσα στα μηχανήματα, ώστε να είναι γνωστές κάθε στιγμή, όσες περισσότερες παράμετροι γίνεται. Το συγκεκριμένο σύστημα, επέτρεψε αύξηση της παραγωγικότητας κατά 24%, ενώ εκτιμάται πως η αύξηση από τις πωλήσεις που προκύπτουν ως αποτέλεσμα της βελτιωμένης παραγωγικότητας θα αγγίξει τα 1 δις ευρώ. Σημαντική είναι και η βελτίωση στην ποιότητα των προϊόντων.

Όλα τα παραπάνω, άλλαξαν σημαντικά τον τρόπο που εργάζονταν οι άνθρωποι στη μονάδα, καθώς κλήθηκαν να εκπαιδευτούν, να παραμείνουν ενημερωμένοι για τις σύγχρονες απαιτήσεις και να κατανοούν την τεχνολογία που εφαρμόστηκε, αλλά και τις δυνατότητες που προσφέρει.

Τέλος, δεν αποτελεί έκπληξη η αναφορά στην Toyota, μια εταιρεία στον κλάδο της αυτοκινητοβιομηχανίας που σταθερά καινοτομεί και αποτελεί συνώνυμο της κατασκευαστικής πρωτοπορίας. Οι Ιάπωνες έχουν αξιοποιήσει τεχνολογίες αιχμής ώστε να βελτιστοποιήσουν την παραγωγή τους, να μειώσουν τη σπατάλη και να εξασφαλίσουν πως η ποιότητα των προϊόντων θα είναι η βέλτιστη.

Πιο συγκεκριμένα, η Toyota έχει δραστηριοποιηθεί στους ακόλουθους τομείς ώστε να κάνει τα εργοστάσιά της πιο έξυπνα:

### **Αυτοματισμοί και Ρομποτική**

Η Toyota έχει ενσωματώσει ρομπότ σε εργασίες που έχουν να κάνουν με βαφή, συναρμολόγηση και κολλήσεις. Με τα ρομπότ, το εργοστάσιο της εταιρείας στην Takaoka είναι σε θέση να παράγει ένα αυτοκίνητο κάθε 60 δευτερόλεπτα.

### **Ψηφιακό δίδυμο και προσομοιώσεις**

Η Toyota έχει υιοθετήσει για τα καλά την τεχνολογία του ψηφιακού δίδυμου, φτιάχνοντας αντίγραφα των φυσικών κατασκευαστικών διαδικασιών. Αυτά τα δίδυμα χρησιμοποιούνται για προσομοιώσεις και βελτιστοποίηση παραγωγής, εντοπίζοντας στενώσεις στην παραγωγή και βελτιστοποιώντας λειτουργίες πριν καν εφαρμοστούν στην πράξη. Μάλιστα, η Toyota ανέφερε μείωση κατά 30% στον χρόνο που οι μηχανές βρίσκονται εκτός λόγω συντήρησης μέσω της χρήσης ψηφιακών δίδυμων καθώς και μείωση της τάξης του 25% στον χρόνο που χρειάζεται μια νέα κατασκευαστική διαδικασία να τεθεί σε πρακτική εφαρμογή από το στάδιο της σύλληψής της.

### **Προληπτική συντήρηση**

Μέσω του IoT, η Toyota είναι σε θέση να κλιμακώσει την προληπτική της συντήρηση. Παρακολουθώντας συνεχώς την κατάσταση των μηχανών της, η εταιρεία είναι σε θέση να γνωρίζει το πότε επίκειται ανάγκη συντήρησης, κάτι που έχει συνεισφέρει στην ανωτέρω μείωση κατά 30% στο downtime των μηχανών.

### **Ενεργειακή κατανάλωση**

Μέσω εκτεταμένων αισθητήρων και τεχνολογίας IoT, η Toyota κατάφερε να συλλέξει δεδομένα από καταναλώσεις ενέργειας στα κτήριά της, κάτι που της επέτρεψε ακολούθως να βρει ευκαιρίες για περιορισμό στην κατανάλωση και βελτιστοποίηση κατανάλωσης ενέργειας. Το συγκεκριμένο project οδήγησε σε μείωση κατά 15% της κατανάλωσης ενέργειας ανά παραγόμενο όχημα, κάτι που μεταφράζεται σε περιβαλλοντικά και οικονομικά κέρδη για την εταιρεία.

### **Εμπειρία πελάτη**

Η Toyota εφάρμοσε IoT ακόμα και στη διαδικασία που τα αυτοκίνητά της φεύγουν από το εργοστάσιο και καταλήγουν στους πελάτες της. Γεμίζοντας τα οχήματά της με αισθητήρες και συλλέγοντας τα δεδομένα που αυτοί δίνουν, η Toyota πέτυχε μείωση της τάξης του 25% στα προβλήματα που αναφέρουν οι δυσαρεστημένοι πελάτες, εντοπίζοντάς τα εγκαίρως και ενημερώνοντάς τους και επιλύοντάς τα προδραστικά.

Μέσω του IoT, η Toyota πέτυχε να μειώσει κατά πολύ τα κόστη της, τόσο στην κατανάλωση ενέργειας, όσο και στην εφοδιαστική αλυσίδα, το κόστος για την παραγωγή ανά όχημα και τα έξοδα για παράπονα από πελάτες. Για έναν καινοτόμο οργανισμό που παραδοσιακά προσπαθεί να κάνει τη διαφορά στο πώς παράγει και λειτουργεί, η φιλοσοφία αλλά και το hardware του IoT αποτελούν πολύτιμο σύμμαχο.

## Συμπεράσματα

Η έλευση του Διαδικτύου των Πραγμάτων (IoT) έχει θέσει σε κίνηση την ανάπτυξη μιας νέας εποχής για τη βιομηχανία, μιας εποχής που η διασυνδεσιμότητα και η «νοημοσύνη» μιας μονάδας αποτελούν ακρογωνιαίους λίθους της κατασκευής και παραγωγής προϊόντων.

Σκοπός της παρούσας εργασίας ήταν να εμβαθύνει στην ουσία του IoT, καθώς και των τεχνολογικών και γενικών προκλήσεων που συνοδεύουν την ενσωμάτωσή του στον βιομηχανικό τομέα. Καθώς η εξερεύνηση αυτής της νέας, συναρπαστικής και πολλά υποσχόμενης τεχνολογίας, φτάνει προς το τέλος της, ελπίδα του γράφοντος είναι να έχει γίνει σαφές πως οι προοπτικές του IoT για την καθημερινότητα εν γένει αλλά και για τη βιομηχανία είναι τεράστιες, ωστόσο αυτές συνοδεύονται και από σημαντικές δυσκολίες και προκλήσεις που θα βρουν τα εργοστάσια στην πορεία τους προς ένα πιο «έξυπνο» μέλλον.

Το IoT έχει μεταμορφώσει το τοπίο στα εργοστάσια, προσφέροντας πληθώρα οφελών που υπερτονίζουν τη μεγάλη του σημασία και αξία. Αρχικά, προσφέρει τη δυνατότητα για άντληση δεδομένων πραγματικού χρόνου, τα οποία δίνουν δύναμη στους κατασκευαστές να έχουν ανεπανάληπτη ορατότητα και γνώσεις για τις διαδικασίες που ακολουθούν. Αυτή η διαφάνεια βελτιώνει τη λήψη αποφάσεων και επιτρέπει την προγνωστική συντήρηση, εν τέλει μειώνοντας τα σταματήματα και αυξάνοντας την παραγωγικότητα των μονάδων.

Επιπλέον, το IoT επιτρέπει τον απομακρυσμένο έλεγχο και παρακολούθηση, επιτρέποντας στις βιομηχανίες να βελτιστοποιούν τις διαδικασίες τους αλλά και τους πόρους τους, ενώ μπορούν από απόσταση να ανταποκρίνονται ταχύτερα σε όσα προβλήματα ανακύπτουν. Αυτή η δυνατότητα οδηγεί σε μείωση εξόδων και βελτιώνει την εργασιακή ασφάλεια και εναρμόνιση με τους κανονισμούς αυτής.

Στην εποχή του αγώνα δρόμου προς τη βιωσιμότητα, το IoT παίζει επίσης ζωτικό ρόλο στη μείωση του περιβαλλοντικού αποτυπώματος μιας μονάδας παραγωγής. Μέσω της παρακολούθησης της κατανάλωσης ισχύος, των εκπομπών και του πώς και πού χρησιμοποιείται η ενέργεια, οι βιομηχανίες μπορούν να ελαχιστοποιήσουν το περιβαλλοντικό τους αποτύπωμα, γνωρίζοντας σε ποια σημεία κατανάλωσης να εστιάσουν, καθώς εκεί ενυπάρχουν τα μεγαλύτερα περιθώρια μείωσης. Ακόμα, το IoT

έχει σημαντική συνεισφορά στην εφοδιαστική αλυσίδα, όπου και εκεί μπορεί να μειωθούν οι σπατάλες και να προωθηθεί η βιωσιμότητα, πετυχαίνοντας βέλτιστες διαδρομές στις μεταφορές, μειώνοντας άρα τις εκπομπές στην ατμόσφαιρα.

Αυτά τα οφέλη, ωστόσο, δεν έρχονται αναίμακτα. Στον ορίζοντα, υπάρχουν αρκετές προκλήσεις που θα πρέπει να υπερβληθούν, ώστε η βιομηχανία να δρέψει τους καρπούς της συγκεκριμένης τεχνολογίας.

Μια πολύ βασική πρόκληση είναι τα κόστη της εφαρμογής μιας καθολικής λύσης και ενσωμάτωσης του IoT σε μια παραγωγική μονάδα. Το «ντύσιμο» ενός εργοστασίου με υποδομές για IoT απαιτεί μεγάλες χρηματικές επενδύσεις σε λογισμικό, μηχανήματα καθώς και εκπαίδευσης προσωπικού. Μικρότερες μονάδες ενδεχομένως να βρουν αυτά τα κόστη απαγορευτικά, αν και τα μακροπρόθεσμα οφέλη του IoT είναι πιθανό να ξεπερνούν σημαντικά τα κόστη εγκατάστασης.

Σημαντική παράμετρος είναι και η ασφάλεια. Η διασυνδεδεμένη φύση των IoT συσκευών συχνά μπορεί να εκθέσει μια βιομηχανία σε κυβερνοεπιθέσεις. Όσες περισσότερες συσκευές εντάσσονται σε ένα δίκτυο IoT, τόσο μεγαλύτερο είναι το προσοδοφόρο έδαφος για μια κυβερνοεπίθεση, άρα στο προσκήνιο θα πρέπει να υπάρχουν αξιόπιστες λύσεις ασφαλείας από τέτοιους κινδύνους. Κανονισμοί περί ιδιωτικότητας δεδομένων, όπως το GDPR, προσθέτουν ένα επιπλέον επίπεδο πολυπλοκότητας στην υιοθέτηση του IoT, απαιτώντας εναρμόνιση και αποτελεσματικές στρατηγικές προστασίας δεδομένων.

Η διαλειτουργικότητα και η τυποποίηση είναι επίσης ζητήματα που προκαλούν πίεση. Μπορεί στην αγορά να υπάρχει μια πληθώρα συσκευών που είναι συμβατές με πολλαπλές πλατφόρμες IoT, ωστόσο συχνά μπορεί να λειτουργούν μεμονωμένα, κάτι που μπορεί να παρεμποδίσει την ανταλλαγή δεδομένων και πληροφορίας. Για να μπορέσει το IoT ως επένδυση πραγματικά να αποδώσει, είναι σημαντικό να εξελιχτεί πάνω σε βιομηχανικά πρότυπα και να παραμείνει εντός αυτών, ώστε να γίνεται σωστά ο διαμοιρασμός δεδομένων και η διαλειτουργικότητα.

Τέλος, υπάρχει και η αρκετά ευρεία πλέον, πρόκληση της διαχείρισης δεδομένων. Καθώς το IoT παράγει τεράστιους όγκους δεδομένων, οι εταιρείες θα πρέπει πλέον να επενδύσουν σε υποδομές και δυνατότητες αναλυτικής δεδομένων που να μπορούν να αξιοποιήσουν την πληροφορία που λαμβάνεται από τις συσκευές. Η ποιότητα των δεδομένων, η ενσωμάτωση και αποθήκευσή τους μπορεί να είναι δύσκολες

διαδικασίες. Με τις σωστές επενδύσεις, ωστόσο, με βλέμμα προς τις μελλοντικές ανάγκες, καθώς και τις σωστές στρατηγικές σε ισχύ, τα δεδομένα μπορούν να αποτελέσουν έναν πανίσχυρο σύμμαχο.

Εν μέσω αυτών των δυσκολιών και προκλήσεων, είναι σημαντικό να τονιστούν τα εν δυνάμει οφέλη για τις βιομηχανίες που θα κάνουν το βήμα και θα επενδύσουν σε λύσεις IoT. Πέρα από τα πλεονεκτήματα που αναφέρθηκαν και στο παρόν κεφάλαιο αλλά και σε άλλα σημεία της παρούσας εργασίας, βασικό πλεονέκτημα είναι πως μια βιομηχανία μπορεί να κερδίσει θέση ως προς τον ανταγωνισμό της μέσω των IoT λύσεων. Στο σημερινό, δυναμικό επιχειρηματικό περιβάλλον, μια επιχείρηση που επενδύει ενεργά σε IoT, μπορεί να προσαρμόζεται ευκολότερα, να καινοτομεί συχνότερα και να παίρνει διαρκώς αποφάσεις που βασίζονται σε δεδομένα και όχι υποκειμενικές κρίσεις ανθρώπων.

Στο πλαίσιο του δυναμικού περιβάλλοντος εντάσσονται και οι διαρκώς εναλλασσόμενες απαιτήσεις και προσδοκίες του καταναλωτικού κοινού. Με το IoT, η πλήρης εξατομίκευση προϊόντων καθίσταται πιο εύκολη και αποδοτική. Η συγκεκριμένη προσαρμοστικότητα επιτρέπει την ανάπτυξη πελατο-κεντρικών στρατηγικών που αυξάνουν την πιστότητα του πελάτη και την κερδοφορία για την εταιρεία.

Κλείνοντας το κεφάλαιο αυτό, ας μείνει ως γενικό συμπέρασμα πως το IoT προσφέρει μια «θάλασσα» δυνατοτήτων στη βιομηχανία, ικανή να την βάλει για τα καλά στην εποχή του Industry 4.0 που ζούμε. Πιθανές προτάσεις για μελλοντική έρευνα στον τομέα αυτό θα μπορούσαν να είναι μια συγκριτική μελέτη που θα εντοπίζει και θα επεξηγεί τη διαφορά σε καίριους δείκτες απόδοσης ενός εργοστασίου, πριν και μετά την εφαρμογή τεχνολογιών IoT, μια έρευνα που θα εξηγεί το πώς γίνεται η εξοικείωση του ελληνικού εργατικού δυναμικού με τέτοιες, τελευταίας τεχνολογίας βιομηχανικές λύσεις ή ακόμα και το στήσιμο ενός πιλοτικού δικτύου IoT, στα πλαίσια εργαστηριακού περιβάλλοντος

## Βιβλιογραφία

- Aleksandrovics, V., Filicevs, E., & Kampars, J. (2016). *Internet of Things: Structure, Features and Management*. Riga: Riga Technical University.
- Hermann, M., Pentek, T., & Otto, B. (2016). Design Principles for Industrie 4.0 Scenarios. *IEEE Computer Society*, 3928-3937.
- Hong, I., Park, S., Lee, B., Lee, J., & Jeong, D. (2014). IoT - Based Smart Garbage System for Efficient Food Waste Management. *The Scientific World Journal*, 2014. doi: <https://doi.org/10.1155/2014/646953>
- Kumar, S., Tiwari, P., & Zymbler, M. (2019). Internet of Things ia a revolutionary approach for future technology enhancement: a review. *Journal of Big Data*. doi:<https://doi.org/10.1186/s40537-019-0268-2>
- Madakam, S., R., R., & Tripathi, S. (2015). Internet of Things (IoT): A Literature Review. *Journal of Computer and Communications*, 3.
- Radziwon, A., Bilberg, A., Bogers, M., & Madsen, E. (2014). The Smart Factory: Exploring Adaptive and Flexible Manufacturing Solutions. *Procedia Engineering*, 69.
- Shrout, F., Odieres, J., & Miragliotta, G. (2014). Smart Factories in Industry 4.0: A Review of Concept and of Energy Management Approached in Production Based on the Internet of Things Paradigm. *IEEE*, 697-701.
- Wang, S., Wan, J., Li, D., & Zhang, C. (2016). Implementing Smart Factory of Industry 4.0: An Outlook. *International Journal of Distributed Sensor Networks*, 1-10.
- Λαγούση, Α., & Τσιλιγιάννη, Φ. (2020). *Διαχείριση Αποβλήτων με Τεχνολογίες Internet of Things*. Μεσολόγγι: Πανεπιστήμιο Πατρών, Σχολή Οικονομικών Επιστημών και Διοίκησης Επιχειρήσεων, Τμήμα Διοικητικής Επιστήμης και Τεχνολογίας.
- Μιχαλόπουλος, Γ. (2022). *Η συνδρομή του Internet of Things στη βιομηχανία 4.0*. Πάτρα: Πανεπιστήμιο Πελοποννήσου, Σχολή Μηχανικών, Τμήμα Ηλεκτρολόγων Μηχανικών και Μηχανικών Υπολογιστών.
- Σειταρίδης, Σ. (2022). *Αυτοματισμοί, Συλλογή Δεδομένων και Εποπτικός Έλεγχος της Παραγωγικής Διαδικασίας στο Εργοστάσιο ΚΟΡΠΗ Α.Ε.* Πάτρα: Πανεπιστήμιο Πατρών, Σχολή Πολυτεχνική, Τμήμα Ηλεκτρολόγων Μηχανικών και Τεχνολογίας Υπολογιστών.
- Σωτηρόπουλος, Ε., & Γουλά, Ε. (2018). *Το διαδίκτυο των "Πραγμάτων" στη Βιομηχανία*. Βόλος: Πανεπιστήμιο Θεσσαλίας, Πολυτεχνική Σχολή, Τμήμα Ηλεκτρολόγων Μηχανικών και Μηχανικών Υπολογιστών.
- Τατάς, Ε. (2021). *Βιομηχανικά δίκτυα στην εποχή του Industry 4.0*. Αιγάλεω: Πανεπιστήμιο Δυτικής Αττικής, Σχολή Μηχανικών, Τμήμα Βιομηχανικής Σχεδίασης και Παραγωγής.

