



ΠΑΝΕΠΙΣΤΗΜΙΟ ΔΥΤΙΚΗΣ ΑΤΤΙΚΗΣ  
ΣΧΟΛΗ ΜΗΧΑΝΙΚΩΝ ΒΙΟΜΗΧΑΝΙΚΗΣ  
ΣΧΕΔΙΑΣΗΣ ΚΑΙ ΑΥΤΟΜΑΤΙΣΜΟΥ  
ΑΥΤΟΜΑΤΙΣΜΟΣ ΠΑΡΑΓΩΓΗΣ ΚΑΙ ΥΠΗΡΕΣΙΩΝ

**Μεταπτυχιακή Διπλωματική Εργασία**  
**ΤΟ ΔΙΑΔΙΚΤΥΟ ΤΩΝ ΠΡΑΓΜΑΤΩΝ (IoT) ΣΤΑ ΣΥΣΤΗΜΑΤΑ**  
**ΒΙΟΜΗΧΑΝΙΚΟΥ ΑΥΤΟΜΑΤΙΣΜΟΥ**

Ρουμελιώτης Παναγιώτης

**A.M.:** 80697814

**Επιβλέπων:**

Δρ. Δρόσος Χρήστος

Αθήνα

Ιούνιος 2023



**UNIVERSITY OF WEST ATTICA**  
**DEPARTMENT OF INDUSTRIAL DESIGN AND PRODUCTION ENGINEERING**  
**MSc IN INDUSTRIAL AUTOMATION**

## **Diploma Thesis**

**IOT in industrial automation systems**

**Roumeliotis Panagiotis**

**Registration Number: 80697814**

**Supervisor name and surname:**

**Dr. Drosos Christos**

**Athens, June 2023**



**ΠΑΝΕΠΙΣΤΗΜΙΟ ΔΥΤΙΚΗΣ ΑΤΤΙΚΗΣ**  
**ΣΧΟΛΗ ΜΗΧΑΝΙΚΩΝ ΒΙΟΜΗΧΑΝΙΚΗΣ**  
**ΣΧΕΔΙΑΣΗΣ ΚΑΙ ΑΥΤΟΜΑΤΙΣΜΟΥ**  
**ΑΥΤΟΜΑΤΙΣΜΟΣ ΠΑΡΑΓΩΓΗΣ ΚΑΙ ΥΠΗΡΕΣΙΩΝ**

Τίτλος εργασίας

**ΤΟ ΔΙΑΔΙΚΤΥΟ ΤΩΝ ΠΡΑΓΜΑΤΩΝ (IoT) ΣΤΑ ΣΥΣΤΗΜΑΤΑ ΒΙΟΜΗΧΑΝΙΚΟΥ**  
**ΑΥΤΟΜΑΤΙΣΜΟΥ**

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
	κ. Παπουτσιδάκης Μιχαήλ		
	κ. Γιανέτσος Θεόδωρος		
	κ. Δροσος Χρήστος		

## ΔΗΛΩΣΗ ΣΥΓΓΡΑΦΕΑ ΜΕΤΑΠΤΥΧΙΑΚΗΣ ΕΡΓΑΣΙΑΣ

Ο κάτωθι υπογεγραμμένος Ρουμελιώτης Παναγιώτης του Ζαφείρη, με αριθμό μητρώου 80697814 φοιτητής του Προγράμματος Μεταπτυχιακών Σπουδών Αυτοματισμός Παραγωγής και υπηρεσιών του Τμήματος Μηχανικών Βιομηχανικής σχεδίασης και παραγωγής 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

Παναγιώτης Ρουμελιώτης



**Όνοματεπώνυμο /Ιδιότητα**

**Δρ. Δρόσος Χρήστος**

**Ψηφιακή Υπογραφή Επιβλέποντα**

(Υπογραφή)

*Στην οικογένειά μου*

# ΠΕΡΙΕΧΟΜΕΝΑ

<b>ΕΥΧΑΡΙΣΤΙΕΣ</b> .....	<b>vi</b>
<b>ΠΕΡΙΛΗΨΗ</b> .....	<b>vii</b>
<b>ABSTRACT</b> .....	<b>viii</b>
<b>ΣΥΝΤΟΜΟΓΡΑΦΙΕΣ</b> .....	<b>ix</b>
<b>ΚΑΤΑΛΟΓΟΣ ΕΙΚΟΝΩΝ</b> .....	<b>xi</b>
<b>ΕΙΣΑΓΩΓΗ</b> .....	<b>1</b>
<b>ΚΕΦΑΛΑΙΟ 1<sup>ο</sup></b> .....	<b>4</b>
<b>ΤΟ ΔΙΑΔΙΚΤΥΟ ΤΩΝ ΠΡΑΓΜΑΤΩΝ</b> .....	<b>4</b>
1.1. ΟΡΙΣΜΟΙ .....	4
1.2. ΤΕΧΝΟΛΟΓΙΕΣ .....	6
1.2.1. ΕΝΕΡΓΕΙΑ.....	6
1.2.2. ΑΙΣΘΗΤΗΡΕΣ.....	7
1.2.3. ΥΠΟΛΟΓΙΣΤΙΚΟ ΝΕΦΟΣ.....	7
1.3. ΧΑΡΑΚΤΗΡΙΣΤΙΚΑ .....	8
1.4. ΑΡΧΙΤΕΚΤΟΝΙΚΗ .....	9
1.4.1. ΣΤΡΩΜΑ ΑΙΣΘΗΤΗΡΑ .....	9
1.4.2. ΠΥΛΕΣ ΚΑΙ ΔΙΚΤΥΑ.....	9
1.4.3. ΕΠΙΠΕΔΟ ΥΠΗΡΕΣΙΩΝ ΔΙΑΧΕΙΡΙΣΗΣ.....	10
1.5. ΜΕΛΛΟΝΤΙΚΕΣ ΠΡΟΟΠΤΙΚΕΣ.....	11
1.6. ΔΙΑΛΕΙΤΟΥΡΓΙΚΟΤΗΤΑ.....	12
1.6.1. ΤΕΧΝΙΚΗ ΔΙΑΛΕΙΤΟΥΡΓΙΚΟΤΗΤΑ.....	13
1.6.2. ΣΥΝΤΑΚΤΙΚΗ ΔΙΑΛΕΙΤΟΥΡΓΙΚΟΤΗΤΑ.....	13
1.6.3. ΣΗΜΑΣΙΟΛΟΓΙΚΗ ΔΙΑΛΕΙΤΟΥΡΓΙΚΟΤΗΤΑ .....	13
1.6.4. ΟΡΓΑΝΩΣΙΑΚΗ ΔΙΑΛΕΙΤΟΥΡΓΙΚΟΤΗΤΑ .....	13
1.7. ΠΡΟΚΛΗΣΕΙΣ ΚΑΙ ΕΜΠΟΔΙΑ .....	14
1.7.1. ΑΠΟΡΡΗΤΟ ΚΑΙ ΑΣΦΑΛΕΙΑ .....	14
1.7.2. ΚΟΣΤΟΣ ΕΝΑΝΤΙ ΧΡΗΣΤΙΚΟΤΗΤΑΣ .....	14
1.7.3. ΔΙΑΧΕΙΡΙΣΗ ΔΕΔΟΜΕΝΩΝ .....	14
1.7.4. ΖΗΤΗΜΑΤΑ ΕΝΕΡΓΕΙΑΣ ΕΠΙΠΕΔΟΥ ΣΥΣΚΕΥΗΣ .....	15
1.8. ΕΦΑΡΜΟΓΕΣ.....	15
1.8.1. ΕΞΥΠΝΕΣ ΠΟΛΕΙΣ .....	15

1.8.2.	ΦΡΟΝΤΙΔΑ ΥΓΕΙΑΣ .....	16
1.8.3.	ΕΞΥΠΝΑ ΣΠΙΤΙΑ / ΚΤΙΡΙΑ.....	16
1.8.4.	ΚΙΝΗΤΙΚΟΤΗΤΑ ΚΑΙ ΜΕΤΑΦΟΡΕΣ .....	17
1.8.5.	ΕΞΥΠΝΗ ΕΝΕΡΓΕΙΑ / ΑΙΣΘΗΤΗΡΕΣ .....	17
<b>ΚΕΦΑΛΑΙΟ 2<sup>ο</sup> .....</b>		<b>18</b>
<b>ΤΑ ΣΥΣΤΗΜΑΤΑ ΒΙΟΜΗΧΑΝΙΚΟΥ ΑΥΤΟΜΑΤΙΣΜΟΥ .....</b>		<b>18</b>
2.1.	ΒΑΣΙΚΑ ΣΤΟΙΧΕΙΑ .....	19
2.1.1.	ΣΥΣΚΕΥΕΣ ΕΙΣΟΔΟΥ / ΕΞΟΔΟΥ .....	19
2.1.2.	ΣΥΣΚΕΥΕΣ ΑΣΦΑΛΕΙΑΣ .....	20
2.1.3.	ΡΟΜΠΟΤΙΚΗ.....	20
2.2.	ΕΡΓΑΛΕΙΑ ΑΥΤΟΜΑΤΙΣΜΟΥ .....	21
2.2.1.	ΣΥΣΤΗΜΑ ΡΕΛΕ .....	21
2.2.2.	ΔΙΑΚΟΠΤΕΣ.....	22
2.2.3.	ΠΡΟΓΡΑΜΜΑΤΙΖΟΜΕΝΟΙ ΛΟΓΙΚΟΙ ΕΛΕΓΚΤΕΣ (PLC).....	23
2.2.4.	SCADA.....	24
2.2.5.	ΚΑΤΑΝΕΜΗΜΕΝΟ ΣΥΣΤΗΜΑ ΕΛΕΓΧΟΥ.....	26
2.3.	ΕΠΙΠΕΔΑ ΒΙΟΜΗΧΑΝΙΚΟΥ ΑΥΤΟΜΑΤΙΣΜΟΥ .....	27
2.3.1.	ΕΠΙΠΕΔΟ 0: ΑΙΣΘΗΣΗ ΚΑΙ ΕΝΕΡΓΟΠΟΙΗΣΗ .....	27
2.3.2.	ΕΠΙΠΕΔΟ 1: ΑΥΤΟΜΑΤΟΣ ΕΛΕΓΧΟΣ.....	28
2.3.3.	ΕΠΙΠΕΔΟ 2: ΕΠΟΠΤΙΚΟΣ ΕΛΕΓΧΟΣ.....	28
2.3.4.	ΕΠΙΠΕΔΟ 3: ΕΛΕΓΧΟΣ ΠΑΡΑΓΩΓΗΣ .....	29
2.4.	ΠΛΕΟΝΕΚΤΗΜΑΤΑ / ΜΕΙΟΝΕΚΤΗΜΑΤΑ.....	30
2.4.1.	ΠΛΕΟΝΕΚΤΗΜΑΤΑ .....	30
2.4.2.	ΜΕΙΟΝΕΚΤΗΜΑΤΑ .....	32
<b>ΚΕΦΑΛΑΙΟ 3<sup>ο</sup>.....</b>		<b>34</b>
<b>ΙοΤ ΣΤΑ ΒΙΟΜΗΧΑΝΙΚΑ ΣΥΣΤΗΜΑΤΑ (IIoT) .....</b>		<b>34</b>
3.1.	ΑΡΧΙΤΕΚΤΟΝΙΚΗ .....	35
3.2.	ΚΙΝΗΤΡΑ ΑΞΙΟΠΟΙΗΣΗΣ .....	38
3.3.	ΕΦΑΡΜΟΓΕΣ.....	40
3.4.	ΠΛΕΟΝΕΚΤΗΜΑΤΑ / ΜΕΙΟΝΕΚΤΗΜΑΤΑ.....	41
3.4.1.	ΠΛΕΟΝΕΚΤΗΜΑΤΑ .....	41
3.4.2.	ΜΕΙΟΝΕΚΤΗΜΑΤΑ .....	42
3.5.	IIoT ΚΑΙ ΕΞΟΙΚΟΝΟΜΗΣΗ ΕΝΕΡΓΕΙΑΣ.....	43

<b>ΚΕΦΑΛΑΙΟ 4<sup>ο</sup></b> .....	<b>45</b>
<b>ΜΕΛΕΤΗ ΠΕΡΙΠΤΩΣΗΣ: ΠΟΤ ΚΑΙ ΕΚΠΟΜΠΕΣ CO<sub>2</sub></b> .....	<b>45</b>
4.1. ΚΕΝΤΡΙΚΑ ΖΗΤΗΜΑΤΑ .....	45
4.1.1. ΠΗΓΕΣ ΕΚΠΟΜΠΩΝ .....	45
4.1.2. ΖΗΤΗΜΑΤΑ ΣΧΕΔΙΑΣΜΟΥ .....	46
4.1.3. ΜΕΘΟΔΟΣ ΕΦΑΡΜΟΓΗΣ.....	47
4.2. ΠΑΡΑΔΕΙΓΜΑ: ΤΟ ΔΙΚΤΥΟ ESTAINIUM .....	48
4.2.1. ΣΚΟΠΟΣ .....	49
4.2.2. ΒΑΣΙΚΕΣ ΠΡΟΣΕΓΓΙΣΕΙΣ .....	50
<b>ΑΝΑΣΚΟΠΗΣΗ</b> .....	<b>51</b>
ΕΡΕΥΝΗΤΙΚΟΙ ΣΤΟΧΟΙ.....	51
ΜΕΘΟΔΟΛΟΓΙΑ .....	51
ΑΝΑΜΕΝΟΜΕΝΑ ΑΠΟΤΕΛΕΣΜΑΤΑ.....	52
ΧΡΗΣΙΜΟΤΗΤΑ ΣΤΗΝ ΕΠΙΣΤΗΜΗ / ΚΟΙΝΩΝΙΑ.....	52
ΠΕΡΙΟΡΙΣΜΟΙ ΕΡΕΥΝΑΣ .....	52
<b>ΣΥΜΠΕΡΑΣΜΑΤΑ</b> .....	<b>53</b>
<b>ΒΙΒΛΙΟΓΡΑΦΙΑ</b> .....	<b>55</b>



## **ΕΥΧΑΡΙΣΤΙΕΣ**

Αρχικά θα ήθελα να ευχαριστήσω τον καθηγητή που επέβλεψε τη μελέτη μου, τον κ. Χρήστο Δρόσο, του οποίου η εμπειρία ήταν πολύτιμη για τη διατύπωση των ερευνητικών ερωτήσεων και της μεθοδολογίας αυτής της εργασίας.

Επιπλέον, θα ήθελα να ευχαριστήσω τους γονείς μου για την υποστήριξη, την κατανόηση και τα ενθαρρυντικά τους λόγια.

Τέλος, δεν θα μπορούσα να ολοκληρώσω αυτήν τη διατριβή χωρίς την υποστήριξη των φίλων μου, οι οποίοι μου παρείχαν ευχάριστους περισπασμούς όταν είχα ανάγκη να απασχολήσω και να ξεκουράσω το μυαλό μου με κάτι έξω από την έρευνά μου.

## ΠΕΡΙΛΗΨΗ

Το Διαδίκτυο των Πραγμάτων (αγγλ.: *IoT / Internet of Things*) έχει φέρει μια νέα επανάσταση στις βιομηχανίες. Πιο συγκεκριμένα, έχει δημιουργήσει τον όρο «Βιομηχανία 4.0», όπου τα συστήματα συνδέονται μεταξύ τους μέσω του διαδικτύου και μπορούν να επικοινωνούν μεταξύ τους για να λάβουν τις απαραίτητες αποφάσεις (ονομάζεται επίσης επικοινωνία M2M – Machine to Machine) μέσω της τεχνητής νοημοσύνης (Niranjan, Madhukar, Ashwini, Muddsar, & Saish, 2017). Το IoT ενεργοποιείται από τις τελευταίες εξελίξεις στην ταυτοποίηση μέσω ραδιοσυχνοτήτων (αγγλ.: *RFID / Radio Frequency Identification*), στους έξυπνους αισθητήρες, στις τεχνολογίες επικοινωνίας και στα πρωτόκολλα διαδικτύου. Η βασική προϋπόθεση είναι η ύπαρξη έξυπνων αισθητήρων που συνεργάζονται απευθείας χωρίς ανθρώπινη συμμετοχή για την παροχή μιας νέας κατηγορίας εφαρμογών. Η τρέχουσα επανάσταση στις τεχνολογίες διαδικτύου, κινητής τηλεφωνίας και μηχανής με μηχανή μπορεί να θεωρηθεί ως η πρώτη φάση του IoT. Τα επόμενα χρόνια, το IoT αναμένεται να γεφυρώσει διάφορες τεχνολογίες για να επιτρέψει νέες εφαρμογές συνδέοντας φυσικά αντικείμενα μεταξύ τους για την υποστήριξη της έξυπνης λήψης αποφάσεων (Yadav & Sharma, 2017).

Η παρούσα εργασία ασχολείται με το ζήτημα της εφαρμογής του IoT στον κλάδο της αυτοματοποίησης, παρουσιάζοντας τα κίνητρα πίσω από την επιλογή της αξιοποίησής του, τα πλεονεκτήματα που προσφέρει και τα πιθανά ρίσκα που μπορεί να ενέχει η χρήση του, χρησιμοποιώντας παράλληλα ένα παράδειγμα (μέσω της μεθόδου της μελέτης περίπτωσης) μιας συγκεκριμένης εφαρμογής του στο κομμάτι της αυτοματοποίησης των διεργασιών εντός μίας επιχείρησης. Στο τελικό κομμάτι του πονήματος, καταγράφονται τα συμπεράσματα τα οποία προέκυψαν από τη μελέτη.

**Λέξεις – κλειδιά:** διαδίκτυο των πραγμάτων, βιομηχανικός αυτοματισμός, βιομηχανικό διαδίκτυο των πραγμάτων, έξυπνοι αισθητήρες, εκπομπές CO<sub>2</sub>

## **ABSTRACT**

The Internet of Things (IoT) has brought a new revolutionary trend to the industrial sector. More specifically, it has created the term "Industry 4.0", where systems are connected to each other via the internet and can communicate accordingly in order to make the necessary decisions (also called M2M – Machine to Machine communication) through artificial intelligence. The IoT is enabled by the latest developments in radio frequency identification (RFID), smart sensors, communication technologies and internet protocols. The key premise is to have smart sensors that work together directly without human involvement to deliver a new class of applications. The current revolution in internet, mobile and machine-to-machine technologies can be considered as the first phase of IoT. In the coming years, the IoT is expected to bridge various technologies to enable new applications by connecting physical objects together to support intelligent decision-making.

This paper deals with the issue of the application of IoT in the automation industry, presenting the motivations behind the choice of its use, the advantages it offers and the possible risks that its use may involve, while using an example (via a case study) of a specific application of it in the automation of processes within a company. In the final part of the paper, the conclusions obtained from the study are recorded.

**Keywords:** Internet of Things, industrial automation, Industrial Internet of Things, smart sensors, CO<sub>2</sub> emissions

## ΣΥΝΤΟΜΟΓΡΑΦΙΕΣ

ΑΡΧΙΚΑ	ΣΗΜΑΣΙΑ	ΕΛΛΗΝΙΚΗ ΑΠΟΔΟΣΗ
<b>IoT</b>	Internet of Things	Διαδίκτυο των Πραγμάτων
<b>M2M</b>	Machine-to-machine communication	Επικοινωνία μηχανής με μηχανή
<b>RFID</b>	Radio Frequency Identification	ταυτοποίηση μέσω ραδιοσυχνοτήτων
<b>IIoT</b>	Industrial Internet of Things	Βιομηχανικό Διαδίκτυο των Πραγμάτων
<b>RMS</b>	Reconfigurable Manufacturing Systems	Αναδιαμορφούμενα Συστήματα Κατασκευής
<b>CPS</b>	Cyber-physical systems	Κυβερνοφυσικά συστήματα
<b>ITU</b>	International Telecommunication	Διεθνής Ένωση Τηλεπικοινωνιών
<b>AI</b>	Artificial Intelligence	τεχνητή νοημοσύνη
<b>ML</b>	Machine learning	μηχανική μάθηση
<b>LAN</b>	Local area network	τοπικό δίκτυο υπολογιστών
<b>WAN</b>	Wide area network	δίκτυο ευρείας περιοχής
<b>IP</b>	Internet Protocol	πρωτόκολλο διαδικτύου
<b>IaaS</b>	Infrastructure as a Service	Υποδομή ως Υπηρεσία
<b>SaaS</b>	Software as a Service	Λογισμικό ως Υπηρεσία
<b>RAM</b>	Random Access Memory	μνήμη τυχαίας προσπέλασης
<b>AAL</b>	Ambient assisted living	υποβοηθούμενη από το περιβάλλον διαβίωση
<b>GNSS</b>	Global Navigation Satellite System	Παγκόσμιο Δορυφορικό Σύστημα Πλοήγησης
<b>IPS</b>	Information processing system	Σύστημα επεξεργασίας πληροφοριών
<b>PLC</b>	Programmable logic controller	προγραμματιζόμενος λογικός ελεγκτής
<b>CPU</b>	Central Processing Unit	Κεντρική Μονάδα Επεξεργασίας
<b>HMI</b>	Human-machine interface	διεπαφή ανθρώπου – μηχανής
<b>UPS</b>	Uninterruptible power supply	αδιάλειπτη παροχή ενέργειας

<b>SCADA</b>	Supervisory Control and Data Acquisition	Έλεγχος Εποπτείας και Απόκτησης Δεδομένων
<b>RTU</b>	Remote terminal unit	Απομακρυσμένη τερματική μονάδα
<b>MTU</b>	Master terminal unit	Κύρια τερματική μονάδα
<b>DCS</b>	Distributed control system	κατανεμημένο σύστημα ελέγχου
<b>EWS</b>	Engineering workstation	Σταθμός μηχανικών εργασιών
<b>PHA</b>	Process historical archives	Ιστορικά αρχεία διαδικασιών
<b>FCU</b>	Field control unit	μονάδα ελέγχου πεδίου
<b>OSHA</b>	Occupational Safety and Health Act	Νόμος για την Ασφάλεια και την Υγεία στην Εργασία
<b>IED</b>	Intelligent electronic devices	ευφυείς ηλεκτρονικές συσκευές
<b>API</b>	Application programming interface	διεπαφή προγραμματισμού
<b>ICT</b>	Information and Communication technology	τεχνολογία πληροφοριών και επικοινωνιών
<b>WSN</b>	Wireless sensor networks	ασύρματο δίκτυο αισθητήρων
<b>KPI</b>	Key performance indicators	Καίριοι δείκτες απόδοσης
<b>GVG</b>	Green Vehicle Guide	Οδηγός «Πράσινων» Οχημάτων
<b>IPCC</b>	Intergovernmental Panel on Climate Change	Διακυβερνητική Επιτροπή για την Κλιματική
<b>PCF</b>	Product carbon footprint	αποτύπωμα άνθρακα του προϊόντος
<b>TSX</b>	Trustworthy supply chain exchange	αξιόπιστη ανταλλαγή αλυσίδας εφοδιασμού
<b>VC</b>	Verifiable credentials	Επαληθεύσιμα διαπιστευτήρια
<b>W3C</b>	World Wide Web Consortium	κοινοπραξία του παγκόσμιου ιστού

## ΚΑΤΑΛΟΓΟΣ ΕΙΚΟΝΩΝ

**Εικόνα 1:** Ο αισθητήρας ABB Ability™ Smart Sensor για κινητήρες. **Πηγή:** ABB Group, 2021 ..... 18

**Εικόνα 2:** Η θέση του ΠoT σε σχέση με το ΙoT και τη Βιομηχανία 4.0. **Πηγή:** Scholten, 2017..... 35

## ΕΙΣΑΓΩΓΗ

Τις τελευταίες δύο δεκαετίες, το Διαδίκτυο των Πραγμάτων έχει γίνει θέμα συζήτησης σε διάφορους τομείς της ζωής, αναφερόμενο σε αντικείμενα που μπορούν να συνδεθούν και να μεταφέρουν δεδομένα μέσω του διαδικτύου (Ly, Lai, Hsu, & Shih, 2018). Το IoT είναι ένα νέο πρότυπο τεχνολογίας που στοχεύει να συνδέσει οτιδήποτε και οποιονδήποτε ανά πάσα στιγμή και οπουδήποτε, δημιουργώντας νέες καινοτόμες εφαρμογές και υπηρεσίες (Lu, Paragiannidis, & Alamanos, 2018). Αυτή η τεχνολογία επιτρέπει στις φυσικές συσκευές να συνδέονται και να ανταλλάσσουν δεδομένα μέσω του διαδικτύου μέσω της συλλογής στρατηγικών πληροφοριών, δημιουργώντας έτσι ευκαιρίες για τις εταιρείες να είναι πιο αποτελεσματικές και να ανταποκρίνονται στις αλλαγές της αγοράς (Lo & Campos, 2018). Η φράση «Διαδίκτυο των Πραγμάτων» επινοήθηκε από τον πρωτοπόρο στον τομέα της τεχνολογίας **Kevin Ashton** για να περιγράψει την τεχνολογία ταυτοποίησης μέσω ραδιοσυχνοτήτων (RFID) και τους αισθητήρες που τοποθετούνται σε διάφορα αντικείμενα. Το IoT χρησιμοποιείται επί του παρόντος για οντότητες δικτύου που συνδέονται μέσω όλων των μορφών αισθητήρων που του επιτρέπουν να εγκαθίσταται, να αναγνωρίζεται και να λειτουργεί χωρίς ανθρώπινη παρέμβαση (Falkenreck & Wagner, 2017).

Η τεχνολογία IoT επιτρέπει σε ανθρώπους, διαδικασίες, δεδομένα κλπ. να αλληλεπιδρούν για να σχηματίζουν σχετικά δίκτυα και να μετατρέπουν τις πληροφορίες σε συγκεκριμένες ενέργειες που μπορούν να δημιουργήσουν νέες εμπειρίες και ευκαιρίες για κάθε επιχείρηση (Abazi, 2016). Πρόκειται για διαδικασίες που ουδέποτε είχαν καταγραφεί στην πρότερη ιστορία, με την τεχνολογία να επιτρέπει την αλληλεπίδραση με 4,5 δισεκατομμύρια χρήστες του διαδικτύου σήμερα. Αυτές οι συνθήκες παρέχουν χρήσιμα εργαλεία στις επιχειρήσεις ώστε να αναπτύξουν νέα επιχειρηματικά μοντέλα και να αποκτήσουν ευρύτερο μερίδιο αγοράς (Murthy & Kumar, 2015).

Οι πρόσφατες εξελίξεις στις τεχνολογίες της πληροφορίας και στη δικτύωση ενσωματωμένων συστημάτων φέρνουν επανάσταση στη βιομηχανία, οδηγώντας σε ένα νέο στάδιο γνωστό ως **Βιομηχανία 4.0** (Kagermann, Hellbig, Hellinger, & Wahlster, 2013). Συγκεκριμένα, για να αντιμετωπίσουν τις κυμαινόμενες απαιτήσεις της αγοράς, οι κατασκευαστές έχουν υιοθετήσει τη μαζική προσαρμογή και το

παράδειγμα παραγωγής εξατομίκευσης (El Maraghy, et al., 2013), κάτι το οποίο επιτυγχάνεται μέσω της εξασφάλισης υψηλού επιπέδου ευελιξίας και προσαρμοστικότητας των συστημάτων κατασκευής μέσω γρήγορων και οικονομικά αποδοτικών αλλαγών στη δομή, τη λειτουργικότητα και τη χωρητικότητά τους (Koren, Gu, & Guo, 2018). Με άλλα λόγια, υπάρχει μια κίνηση προς τα Αναδιαμορφούμενα Συστήματα Κατασκευής (αγγλ.: *RMS / Reconfigurable Manufacturing Systems*) που μπορούν να διαμορφωθούν εκ νέου για να υποστηρίξουν μια μεγάλη ποικιλία προϊόντων. Η πλέον εξέχουσα τεχνολογία για την ανάπτυξη των RMS είναι το **Βιομηχανικό Διαδίκτυο των Πραγμάτων** (αγγλ.: *IIoT / Industrial Internet of Things*) (Jakovljevic, et al., 2017).

Για να διασφαλιστεί η επεκτασιμότητα, η μετατρεψιμότητα και η προσαρμογή, τα RMS θα πρέπει να είναι δομημένα σε συσκευές πεδίου κατασκευής (αισθητήρες, εργαλεία, μηχανές κλπ.). Αυτά αντιπροσωπεύουν κυβερνοφυσικά συστήματα (αγγλ.: *CPS / Cyber-Physical Systems*) που εκτός από τις φυσικές συσκευές, ενσωματώνουν υπολογισμούς και επικοινωνία για να υποστηρίξουν ένα υψηλότερο επίπεδο αυτοματισμού και αυτονομίας (Lesi, Jakovljevic, & Pajic, 2019). Οι δυνατότητες RMS επιβάλλουν νέες απαιτήσεις στο σχεδιασμό του συστήματος ελέγχου: χαρακτηριστικά, παραδοσιακή πυραμίδα αυτοματισμού (όπου κάθε επίπεδο συσκευών έχει αυστηρά χαμηλότερο επίπεδο αυτοματισμού από το παραπάνω επίπεδο) διαλύεται, δίνοντας τη θέση της σε συστήματα ελέγχου με λειτουργικότητα κατανεμημένη σε διαφορετικές συσκευές πεδίου που επικοινωνούν μεταξύ τους. Η λειτουργικότητα μιας επιχείρησης Βιομηχανίας 4.0 βασίζεται στη συνεχή επικοινωνία μεταξύ των στοιχείων που αποτελούν το IIoT και επιτρέπουν την κάθετη, οριζόντια και από άκρο σε άκρο ενοποίηση των διαδικασιών παραγωγής (Adolphs, et al., 2015; He, Guo, & Zheng, 2018).

Ωστόσο, η αξιόπιστη λειτουργία των RMS με κατανεμημένες εργασίες ελέγχου / αυτοματισμού απαιτεί συνδεσιμότητα υψηλής απόδοσης έξυπνων συσκευών. Οι βασικοί δείκτες απόδοσης της συνδεσιμότητας IIoT αντιπροσωπεύουν τα εξής:

1. Διαθεσιμότητα δικτύου (ανθεκτικότητα σε αστοχίες).
2. Απώλεια δεδομένων και σφάλματα μετάδοσης.
3. Καθυστέρηση δεδομένων και διακυμάνσεις της.
4. Διακίνηση δεδομένων (Ferrari, et al., 2018).



Σήμερα, υπάρχουν περισσότερες παρά ποτέ συσκευές συνδεδεμένες στο διαδίκτυο, αφού σε αυτές έχουν προστεθεί οι αισθητήρες και τα ρομπότ. Χαρακτηριστικό είναι ότι οι λήπτες δεδομένων από συσκευές IoT δεν περιορίζονται στις εταιρείες, αλλά περιλαμβάνουν και τους ιδιώτες (Remondes & Afonso, 2019).

Η τεχνολογία των υπολογιστών, μαζί με την τεχνολογία δικτύου και τηλεπικοινωνιών, έχει συνεργαστεί για να σχηματίσει μια πιο σύνθετη πλατφόρμα δικτύου που συνδέει τους ανθρώπους και τις μηχανές μεταξύ τους, αλλά και τον ένα με τον άλλο, με τη βιβλιογραφία να τονίζει την κρισιμότητα της ενσωμάτωσης αυτών των τεχνολογιών στο σύγχρονο μάρκετινγκ (Brady, Saren, & Tzokas, 2002). Το IoT έχει πάμπολλες πολυχρηστικές δυνατότητες, κι έτσι το 51% των κορυφαίων παγκόσμιων εμπόρων του κόσμου, βασισμένο σε αυτές, αναμένει ότι το IoT θα φέρει επανάσταση στο τοπίο του μάρκετινγκ. Αυτό είναι επίσης σύμφωνο με την άποψη που εξέφρασε η Διεθνής Ένωση Τηλεπικοινωνιών (αγγλ.: *ITU / International Telecommunication Union*), δηλαδή ότι «*το IoT είναι μια παγκόσμια υποδομή για μια κοινωνία της πληροφορίας που μπορεί να συνδέσει οτιδήποτε (φυσικό και εικονικό) με βάση υπάρχουσες και αναπτυσσόμενες πληροφορίες που μπορούν να λειτουργήσουν από πληροφορίες και τηλεπικοινωνίες τεχνολογία*» (ITU, 2015).

Με βάση την έρευνα, το IoT θα συνεχίσει να εξελίσσεται σε τεχνολογία του μέλλοντος και να αποτελεί τη βάση άλλων τάσεων, όπως η ευρύτερη διάδοση των αλληλοσυνδεδεμένων έξυπνων προϊόντων, η αυτοματοποίηση και η συνδεσιμότητα των διαδικασιών και των συσκευών, καθώς και η ενίσχυση των τάσεων της δεδομενοποίησης (αγγλ.: *datafication*) και η αύξηση των επενδύσεων (Marr, 2017). Στον καταναλωτικό τομέα, υπάρχουν πολλά παραδείγματα συσκευών IoT που κάνουν τη ζωή των καταναλωτών πολύ πιο απλή και αποτελεσματική: για παράδειγμα, υπάρχουν εφαρμογές που μπορούν να συνδέσουν τους καταναλωτές με γιατρούς, φαρμακεία, νοσοκομεία και άλλες υπηρεσίες υγείας, καθώς και εφαρμογές που εξυπηρετούν τους καταναλωτές σε σχέση με τη φυσική κατάσταση και την υγεία τους, συνδεδεμένα με τα τηλέφωνα τους και συλλέγοντας δεδομένα σχετικά με τις δραστηριότητες των καταναλωτών, όπως τα βήματα, η άσκηση, οι παλμοί κλπ. (Purwanto, Hurriyati, & Dirgantari, 2020).

# ΚΕΦΑΛΑΙΟ 1<sup>ο</sup>

## ΤΟ ΔΙΑΔΙΚΤΥΟ ΤΩΝ ΠΡΑΓΜΑΤΩΝ

Το IoT έχει εξελιχθεί από μια ιδέα που συζητείται κυρίως σε εργαστήρια, δεξαμενές σκέψης και εταιρείες τεχνολογίας σε πραγματικότητα. Από ιχνηλάτες φυσικής κατάστασης έως έξυπνους θερμοστάτες έως συστήματα που παρακολουθούν την ποιότητα του αέρα, το IoT έχει ενσωματωθεί στις ανθρώπινες ζωές και στις λειτουργίες των επιχειρήσεων και των κυβερνήσεων (McKinsey & Company, 2021).

Αυτό το αυξανόμενο εύρος εφαρμογών οδήγησε επίσης στην περαιτέρω υιοθέτηση του IoT κάθε χρόνο. Οι καταναλωτές χρησιμοποιούν το IoT για να αυτοματοποιήσουν τις χρονοβόρες εργασίες, ενώ οι επιχειρήσεις και οι κυβερνήσεις αναπτύσσουν πιλοτικά προγράμματα για να εντοπίσουν γρήγορα τη σωστή τεχνολογία και να αποδείξουν την αξία της προτού επεκτείνουν τη χρήση της στο σύνολο των οργανισμών τους. Η πρόσβαση σε ασύρματα και ενσύρματα δίκτυα υψηλής απόδοσης, το μειωμένο κόστος και το υλικό υψηλότερης απόδοσης, καθώς και οι μεγάλες βελτιώσεις σε προηγμένα αναλυτικά στοιχεία, η μηχανική μάθηση (αγγλ.: ML / *machine learning*) και η τεχνητή νοημοσύνη (αγγλ.: AI / *artificial intelligence*), έχουν συμβάλει σημαντικά στην υιοθέτηση του IoT (McKinsey & Company, 2021).

### 1.1. ΟΡΙΣΜΟΙ

Ο κοινός ορισμός του διαδικτύου των πραγμάτων ορίζεται ως ένα δίκτυο φυσικών αντικειμένων. Το διαδίκτυο δεν είναι μόνο ένα δίκτυο υπολογιστών, αλλά έχει εξελιχθεί σε ένα δίκτυο συσκευών όλων των τύπων και μεγεθών, οχημάτων, έξυπνων τηλεφώνων, οικιακών συσκευών, παιχνιδιών, φωτογραφικών μηχανών, ιατρικών οργάνων, βιομηχανικών συστημάτων κλπ., τα οποία διασυνδέονται, επικοινωνούν και μοιράζονται πληροφορίες με βάση καθορισμένα πρωτόκολλα για την επίτευξη έξυπνων αναδιοργανώσεων, εντοπισμού θέσης, ιχνηλάτησης, ασφάλειας και ελέγχου, ή ακόμη και προσωπικής ηλεκτρονικής παρακολούθησης σε πραγματικό χρόνο, διαδικτυακής αναβάθμισης, ελέγχου και διαχείρισης διαδικασιών (Vermesan & Friess, 2013; 2014).

Το IoT μπορεί να χωριστεί σε τρεις κατηγορίες ως εξής:

1. Άνθρωποι προς ανθρώπους.
2. Άνθρωποι προς μηχανές / πράγματα.
3. Πράγματα / μηχανές προς πράγματα / μηχανές (Patel & Patel, 2016).

Το IoT είναι μια έννοια και ένα παράδειγμα που εξετάζει τη διάχυτη παρουσία στο περιβάλλον μιας ποικιλίας πραγμάτων που, μέσω ασύρματων και ενσύρματων συνδέσεων, είναι σε θέση να αλληλεπιδρούν μεταξύ τους και να συνεργάζονται με άλλα πράγματα / αντικείμενα για τη δημιουργία νέων εφαρμογών και υπηρεσιών για την επίτευξη κοινών στόχων. Σε αυτό το πλαίσιο, οι προκλήσεις στην έρευνα και ανάπτυξη για τη δημιουργία αυτών των εφαρμογών είναι τεράστιες, καθώς απαιτείται η δημιουργία ενός τοπίου όπου το πραγματικό, το ψηφιακό και το εικονικό συγκλίνουν για να δημιουργήσουν περιβάλλοντα που κάνουν τομείς όπως η ενέργεια, οι μεταφορές κλπ. πιο έξυπνους (Vermesan & Friess, 2013).

Το IoT αναφέρεται στη γενική ιδέα των πραγμάτων, ειδικά των καθημερινών αντικειμένων, που είναι αναγνώσιμα, αναγνωρίσιμα, ή / και ελεγχόμενα μέσω του διαδικτύου, ανεξάρτητα από τα μέσα επικοινωνίας (είτε μέσω RFID, ασύρματων τοπικών δικτύων υπολογιστών [αγγλ.: LAN / local area networks], δικτύων ευρείας περιοχής [αγγλ.: WAN / wide area networks] ή άλλων μέσων). Τα καθημερινά αντικείμενα περιλαμβάνουν όχι μόνο τις ηλεκτρονικές συσκευές ή τα προϊόντα υψηλότερης τεχνολογικής ανάπτυξης, αλλά και πράγματα που συνήθως δεν θεωρούνται ηλεκτρονικά (Vermesan & Friess, 2014).

Το IoT είναι μια νέα επανάσταση του διαδικτύου, καθώς μέσω αυτού, τα αντικείμενα γίνονται αναγνώσιμα και αποκτούν νοημοσύνη, λαμβάνοντας ή επιτρέποντας αποφάσεις που σχετίζονται με το εκάστοτε πλαίσιο χρησιμοποίησής τους, χάρη στο γεγονός ότι μπορούν να επικοινωνήσουν πληροφορίες για τον εαυτό τους (Vermesan & Friess, 2013). Μπορούν να έχουν πρόσβαση σε πληροφορίες που έχουν συγκεντρωθεί από άλλα πράγματα ή μπορεί να αποτελούν συστατικά σύνθετων υπηρεσιών. Αυτός ο μετασχηματισμός είναι συνεπής με την εμφάνιση δυνατοτήτων υπολογιστικού νέφους και τη μετάβαση του διαδικτύου προς την έκτη έκδοσή του (αγγλ.: IPv6 / Internet Protocol version 6) με σχεδόν απεριόριστη χωρητικότητα διευθύνσεων (Patel & Patel, 2016).

Ο στόχος του IoT είναι να επιτρέψει τη σύνδεση των πραγμάτων ανά πάσα στιγμή, οπουδήποτε, με οτιδήποτε και οποιονδήποτε, ιδανικά χρησιμοποιώντας οποιαδήποτε διαδρομή / δίκτυο και οποιαδήποτε υπηρεσία (Sultan, 2019).

## **1.2. ΤΕΧΝΟΛΟΓΙΕΣ**

Οι τεχνολογίες ενεργοποίησης για το διαδίκτυο των πραγμάτων μπορούν να ομαδοποιηθούν σε τρεις κατηγορίες:

1. Τεχνολογίες που επιτρέπουν στα «πράγματα» να αποκτούν πληροφορίες σχετικά με την εκάστοτε διαδικασία που καλούνται να φέρουν εις πέρας.
2. Τεχνολογίες που επιτρέπουν στα «πράγματα» να επεξεργάζονται πληροφορίες με βάση τη διαδικασία.
3. Τεχνολογίες για τη βελτίωση της ασφάλειας και της ιδιωτικής ζωής (Patel & Patel, 2016).

Οι δύο πρώτες κατηγορίες μπορούν να κατανοηθούν από κοινού ως λειτουργικά δομικά στοιχεία που απαιτούν τη δημιουργία «ευφυΐας» σε «πράγματα», τα οποία είναι πράγματι τα χαρακτηριστικά που διαφοροποιούν το IoT από το συνηθισμένο διαδίκτυο. Η τρίτη κατηγορία είναι μια όχι λειτουργική, αλλά μάλλον τυπική απαίτηση, χωρίς την οποία η διείσδυση του IoT θα μειωνόταν σημαντικά (Vermesan & Friess, 2014).

### **1.2.1. ΕΝΕΡΓΕΙΑ**

Οι τεχνολογίες αποθήκευσης ενέργειας βοηθούν την ανάπτυξη εφαρμογών IoT, ιδιαίτερα δε από τη στιγμή που τα ενεργειακά ζητήματα, σε όλες τις φάσεις τους, από τη συγκομιδή έως τη διατήρηση και τη χρήση, είναι κεντρικά για την εξέλιξή του. Αυτές οι τεχνολογίες πρέπει να παρέχουν λύσεις παραγωγής και συγκομιδής ενέργειας υψηλής πυκνότητας ισχύος, οι οποίες, όταν χρησιμοποιούνται με τη σημερινή νανοηλεκτρονική χαμηλής ισχύος, επιτρέπουν το σχεδιασμό αυτοτροφοδοτούμενων ευφυών ασύρματων συσκευών αναγνώρισης που βασίζονται σε αισθητήρες (Salazar & Silvestre, 2017).

## 1.2.2. ΑΙΣΘΗΤΗΡΕΣ

Οι αισθητήρες είναι ένα από τα βασικά δομικά στοιχεία του Διαδικτύου των Πραγμάτων. Ως πανταχού παρόντα συστήματα, μπορούν να αναπτυχθούν παντού, ενώ παρά το συνήθως πολύ μικρό μέγεθός τους, τα δεδομένα που συλλέγουν μπορούν να ληφθούν από εκατοντάδες χιλιόμετρα μακριά, γεγονός το οποίο τα έχει καταστήσει απαραίτητα σε μεγάλο αριθμό βιομηχανιών, από την υγειονομική περίθαλψη έως τις κατασκευές. Οι αισθητήρες έχουν το βασικό πλεονέκτημα ότι μπορούν να προβλέψουν τις ανθρώπινες ανάγκες με βάση τις πληροφορίες που συλλέγονται για το περιβάλλον τους, ενώ η ευφυΐα τους, η οποία πολλαπλασιάζεται λόγω των πολυάριθμων δικτύων στα οποία κυκλοφορούν, επιτρέπει όχι μόνο τις αναφορές για το εξωτερικό περιβάλλον, αλλά και την ανάληψη δράσης χωρίς ανθρώπινη παρέμβαση (Salazar & Silvestre, 2017).

## 1.2.3. ΥΠΟΛΟΓΙΣΤΙΚΟ ΝΕΦΟΣ

Το υπολογιστικό νέφος (αγγλ.: *cloud computing*) είναι ένα μοντέλο για πρόσβαση κατ' απαίτηση σε μια κοινόχρηστη ομάδα διαμορφώσιμων πόρων (π.χ. υπολογιστές, δίκτυα, διακομιστές, αποθηκευτικός χώρος, εφαρμογές, υπηρεσίες, λογισμικό) που μπορεί να παρέχεται με τη μορφή **Υποδομής ως Υπηρεσία** (αγγλ.: *IaaS / Infrastructure as a Service*) ή **Λογισμικού ως Υπηρεσία** (αγγλ.: *SaaS / Software as a Service*). Ένα από τα πιο σημαντικά αποτελέσματα του IoT είναι ο τεράστιος όγκος δεδομένων που παράγεται από συσκευές συνδεδεμένες στο διαδίκτυο (Gubbi, Buyya, Marusic, & Palaniswami, 2013). Πολλές εφαρμογές IoT απαιτούν τεράστια αποθήκευση δεδομένων, τεράστια ταχύτητα επεξεργασίας για τη λήψη αποφάσεων σε πραγματικό χρόνο και ευρυζωνικά δίκτυα υψηλής ταχύτητας για ροή δεδομένων, ήχου ή βίντεο. Το υπολογιστικό νέφος παρέχει μια ιδανική λύση λειτουργικού συστήματος για το χειρισμό τεράστιων ροών δεδομένων και την επεξεργασία τους για τον άνευ προηγουμένου αριθμό συσκευών IoT και ανθρώπων σε πραγματικό χρόνο (Salazar & Silvestre, 2017).

### 1.3. ΧΑΡΑΚΤΗΡΙΣΤΙΚΑ

Τα θεμελιώδη χαρακτηριστικά του IoT είναι τα εξής:

- ❖ **Διασυνδεσιμότητα:** Όσον αφορά το IoT, οτιδήποτε μπορεί να διασυνδεθεί με την παγκόσμια υποδομή πληροφοριών και επικοινωνιών.
- ❖ **Υπηρεσίες που σχετίζονται με πράγματα:** Το IoT είναι σε θέση να παρέχει υπηρεσίες που σχετίζονται με πράγματα εντός των περιορισμών τους, όπως η προστασία του απορρήτου και η σημασιολογική συνέπεια μεταξύ φυσικών πραγμάτων και των σχετικών εικονικών πραγμάτων τους. Προκειμένου να παρέχονται υπηρεσίες που σχετίζονται με πράγματα εντός των περιορισμών των πραγμάτων, τόσο οι τεχνολογίες στον φυσικό κόσμο όσο και στον κόσμο της πληροφορίας θα πρέπει να αλλάξουν (Patel & Patel, 2016).
- ❖ **Ετερογένεια:** Οι συσκευές στο IoT είναι ετερογενείς καθώς βασίζονται σε διαφορετικές πλατφόρμες και δίκτυα υλικού. Μπορούν να αλληλεπιδρούν με άλλες συσκευές ή πλατφόρμες υπηρεσιών μέσω διαφορετικών δικτύων.
- ❖ **Δυναμικές αλλαγές:** Η κατάσταση των συσκευών αλλάζει δυναμικά, π.χ. ύπνος και αφύπνιση, συνδεδεμένη και/ή αποσύνδεση, καθώς και το περιβάλλον των συσκευών, συμπεριλαμβανομένης της τοποθεσίας και της ταχύτητας. Επιπλέον, ο αριθμός των συσκευών μπορεί να αλλάξει δυναμικά (Vermesan & Friess, 2014).
- ❖ **Τεράστια κλίμακα:** Ο αριθμός των συσκευών που πρέπει να διαχειρίζονται και που επικοινωνούν μεταξύ τους θα είναι τουλάχιστον μια τάξη μεγέθους μεγαλύτερος από τις συσκευές που είναι συνδεδεμένες στο τρέχον Διαδίκτυο. Ακόμη πιο κρίσιμη θα είναι η διαχείριση των δεδομένων που δημιουργούνται και η ερμηνεία τους για σκοπούς εφαρμογής. Αυτό σχετίζεται με τη σημασιολογία των δεδομένων, καθώς και με τον αποτελεσματικό χειρισμό δεδομένων (Patel & Patel, 2016).
- ❖ **Ασφάλεια:** Καθώς αποκομίζονται οφέλη από το IoT, δε θα πρέπει να παραλείπεται η ασφάλεια, η οποία περιλαμβάνει την ασφάλεια των προσωπικών δεδομένων και την ασφάλεια της σωματικής ευεξίας. Η διασφάλιση των τελικών σημείων, των δικτύων και των δεδομένων που διακινούνται σε όλα συνεπάγεται τη δημιουργία ενός κλιμακούμενου παραδείγματος ασφαλείας (Elena-Lenz, 2015).

- ❖ **Συνδεσιμότητα:** Η συνδεσιμότητα επιτρέπει την προσβασιμότητα και τη συμβατότητα του δικτύου. Η προσβασιμότητα σημαίνει την είσοδο ένα δίκτυο, ενώ η συμβατότητα παρέχει την κοινή δυνατότητα κατανάλωσης και παραγωγής δεδομένων (Patel & Patel, 2016).

## **1.4. ΑΡΧΙΤΕΚΤΟΝΙΚΗ**

Η αρχιτεκτονική του IoT αποτελείται από διαφορετικά επίπεδα τεχνολογιών που το υποστηρίζουν. Χρησιμεύει για να απεικονίσει τον τρόπο με τον οποίο διάφορες τεχνολογίες σχετίζονται μεταξύ τους και να επικοινωνήσει την επεκτασιμότητα, την αρθρωτή και τη διαμόρφωση των αναπτύξεων IoT σε διαφορετικά σενάρια (Vermesan & Friess, 2014).

### **1.4.1. ΣΤΡΩΜΑ ΑΙΣΘΗΤΗΡΑ**

Το χαμηλότερο στρώμα αποτελείται από έξυπνα αντικείμενα ενσωματωμένα με αισθητήρες, οι οποίοι επιτρέπουν τη διασύνδεση του φυσικού και του ψηφιακού κόσμου επιτρέποντας τη συλλογή και επεξεργασία πληροφοριών σε πραγματικό χρόνο. Υπάρχουν διάφοροι τύποι αισθητήρων για διαφορετικούς σκοπούς, οι οποίοι έχουν την ικανότητα να λαμβάνουν μετρήσεις όπως η θερμοκρασία, η ποιότητα του αέρα, η ταχύτητα, η υγρασία, η πίεση, η ροή, η κίνηση, ο ηλεκτρισμός κλπ. (Elksasy, 2023). Ένας αισθητήρας μπορεί να μετρήσει τη φυσική ιδιότητα και να τη μετατρέψει σε σήμα που μπορεί να γίνει κατανοητό από ένα όργανο. Οι αισθητήρες ομαδοποιούνται ανάλογα με τον μοναδικό σκοπό τους, όπως αισθητήρες περιβάλλοντος, αισθητήρες σώματος, αισθητήρες οικιακών συσκευών και αισθητήρες τηλεματικής οχημάτων κλπ. (Minerva, Biru, & Rotondi, 2015).

### **1.4.2. ΠΥΛΕΣ ΚΑΙ ΔΙΚΤΥΑ**

Οι αισθητήρες παράγουν τεράστιο όγκο δεδομένων, κάτι το οποίο απαιτεί μια ισχυρή και υψηλής απόδοσης ενσύρματη ή ασύρματη υποδομή δικτύου ως μέσο μεταφοράς. Τα τρέχοντα δίκτυα, συχνά συνδεδεμένα με πολύ διαφορετικά πρωτόκολλα, έχουν

χρησιμοποιηθεί για την υποστήριξη δικτύων μηχανής με μηχανή (M2M) και των εφαρμογών τους (Prasanna, Mangalam, Yuce, Beisswenger, & Lukas, 2017). Με τη ζήτηση που απαιτείται για την εξυπηρέτηση ενός ευρύτερου φάσματος υπηρεσιών και εφαρμογών IoT, όπως υπηρεσίες συναλλαγών υψηλής ταχύτητας, εφαρμογές με επίγνωση του περιβάλλοντος κλπ., απαιτούνται πολλαπλά δίκτυα με διάφορες τεχνολογίες και πρωτόκολλα πρόσβασης για να συνεργαστούν μεταξύ τους σε ετερογενή διαμόρφωση (Minerva, Biru, & Rotondi, 2015). Αυτά τα δίκτυα μπορούν να έχουν τη μορφή ιδιωτικών, δημόσιων ή υβριδικών μοντέλων και είναι κατασκευασμένα για να υποστηρίξουν τις απαιτήσεις επικοινωνίας για καθυστέρηση, εύρος ζώνης ή ασφάλεια (Patel & Patel, 2016).

#### **1.4.3. ΕΠΙΠΕΔΟ ΥΠΗΡΕΣΙΩΝ ΔΙΑΧΕΙΡΙΣΗΣ**

Η υπηρεσία διαχείρισης καθιστά δυνατή την επεξεργασία πληροφοριών μέσω αναλυτικών στοιχείων, ελέγχων ασφαλείας, μοντελοποίησης διαδικασιών και διαχείρισης συσκευών (Minerva, Biru, & Rotondi, 2015).

Ένα από τα σημαντικά χαρακτηριστικά του επιπέδου υπηρεσιών διαχείρισης είναι οι μηχανές κανόνων επιχειρήσεων και διεργασιών. Το IoT συνδυάζει τη σύνδεση και την αλληλεπίδραση αντικειμένων και συστημάτων παρέχοντας πληροφορίες με τη μορφή γεγονότων ή δεδομένων συμφραζομένων, όπως η θερμοκρασία των αγαθών, η τρέχουσα τοποθεσία και τα δεδομένα κίνησης (Elksasy, 2023). Ορισμένα από αυτά τα συμβάντα απαιτούν φιλτράρισμα ή δρομολόγηση σε συστήματα μετα-επεξεργασίας, όπως η σύλληψη περιοδικών αισθητηριακών δεδομένων, ενώ άλλα απαιτούν απόκριση στις άμεσες καταστάσεις, όπως η αντίδραση σε καταστάσεις έκτακτης ανάγκης για τις συνθήκες υγείας του ασθενούς. Οι μηχανές κανόνων υποστηρίζουν τη διατύπωση λογικών αποφάσεων και ενεργοποιούν διαδραστικές και αυτοματοποιημένες διαδικασίες για να επιτρέψουν ένα σύστημα IoT με μεγαλύτερη απόκριση (Sultan, 2019).

Στον τομέα της ανάλυσης, χρησιμοποιούνται διάφορα εργαλεία για την εξαγωγή σχετικών πληροφοριών από τεράστιο όγκο ακατέργαστων δεδομένων και την επεξεργασία τους με πολύ ταχύτερο ρυθμό. Τα αναλυτικά στοιχεία στη μνήμη επιτρέπουν την αποθήκευση μεγάλου όγκου δεδομένων στη μνήμη τυχαίας



προσπέλασης (αγγλ.: *RAM / random access memory*) αντί να αποθηκεύονται σε φυσικούς δίσκους, ενώ παράλληλα μειώνουν τον χρόνο αναζήτησης δεδομένων και αυξάνουν την ταχύτητα λήψης αποφάσεων. Η ανάλυση ροής είναι μια άλλη μορφή ανάλυσης όπου η ανάλυση δεδομένων, που θεωρούνται ως δεδομένα σε κίνηση, απαιτείται να πραγματοποιείται σε πραγματικό χρόνο, ώστε οι αποφάσεις να λαμβάνονται σε λίγα δευτερόλεπτα (Elksasy, 2023).

## 1.5. ΜΕΛΛΟΝΤΙΚΕΣ ΠΡΟΟΠΤΙΚΕΣ

Η ανάπτυξη τεχνολογιών ενεργοποίησης όπως οι εφαρμογές ημιαγωγών, οι επικοινωνίες, οι αισθητήρες, τα «έξυπνα τηλέφωνα» (smartphones), τα ενσωματωμένα συστήματα, η δικτύωση υπολογιστικού νέφους, η ψηφιοποίηση δικτύου και λογισμικού κλπ. θα διαδραματίσει σημαντικό ρόλο ώστε να επιτραπεί στις φυσικές συσκευές να λειτουργούν σε μεταβαλλόμενα περιβάλλοντα και να συνδέονται συνεχώς παντού. Ενώ το IoT έχει σχεδιαστεί σε επίπεδα, οι τεχνολογίες έχουν κατηγοριοποιηθεί σε τρεις ομάδες (Patel & Patel, 2016):

- Η πρώτη ομάδα τεχνολογιών επηρεάζει τις συσκευές μικροεπεξεργαστών:
  - Αισθητήρες χαμηλής ισχύος για βιωσιμότητα ισχύος και ενέργειας.
  - Ευφυΐα αισθητήρων στο πεδίο.
  - Ελαχιστοποίηση μεγέθους συσκευών.
  - Ασύρματο δίκτυο αισθητήρων για καλύτερη συνδεσιμότητα.
- Η δεύτερη ομάδα περιλαμβάνει τεχνολογίες που υποστηρίζουν την κοινή χρήση δικτύου και αντιμετωπίζουν ζητήματα χωρητικότητας και καθυστέρησης:
  - Τεχνολογίες κοινής χρήσης δικτύου, όπως ραδιόφωνα που καθορίζονται από λογισμικό και γνωστικά δίκτυα.
  - Τεχνολογίες δικτύου που αντιμετωπίζουν ζητήματα χωρητικότητας και καθυστέρησης (Patel & Patel, 2016).
- Η τρίτη ομάδα επηρεάζει τις υπηρεσίες διαχείρισης που υποστηρίζουν τις εφαρμογές IoT:
  - Έξυπνες τεχνολογίες λήψης αποφάσεων, όπως η υπηρεσία υπολογιστών με επίγνωση του περιβάλλοντος, η προγνωστική ανάλυση, η σύνθετη επεξεργασία συμβάντων και η ανάλυση συμπεριφοράς.

- Ταχύτητα των τεχνολογιών επεξεργασίας δεδομένων όπως η μνήμη και η ροή αναλύσεων (Patel & Patel, 2016).

## 1.6. ΔΙΑΛΕΙΤΟΥΡΓΙΚΟΤΗΤΑ

Η διαλειτουργικότητα είναι μια βασική πρόκληση στη σφαίρα του Διαδικτύου των Πραγμάτων. Αυτό οφείλεται στα ακόλουθα δομικά χαρακτηριστικά του:

- I. Είναι μεγάλων διαστάσεων, με τη ύπαρξη πολλών συστημάτων (συσκευές, αισθητήρες, εξοπλισμός κλπ.) που χρειάζονται επικοινωνία και ανταλλαγή πληροφοριών στο περιβάλλον του.
- II. Είναι εξαιρετικά ετερογενές, καθώς τα προαναφερθέντα συστήματα έχουν σχεδιαστεί από πολλούς κατασκευαστές για πολύ διαφορετικούς σκοπούς και στοχεύουν σε διαφορετικούς τομείς εφαρμογών, καθιστώντας εξαιρετικά δύσκολη την επίτευξη παγκόσμιων συμφωνιών και ευρέως αποδεκτών προδιαγραφών (Patel & Patel, 2016).
- III. Είναι δυναμικό και μη γραμμικό, και κατά συνέπεια νέα πράγματα εισέρχονται και εξέρχονται από το περιβάλλον συνεχώς, τα οποία υποστηρίζουν νέες απρόβλεπτες μορφές και πρωτόκολλα, αλλά παράλληλα πρέπει να επικοινωνούν και να μοιράζονται δεδομένα στο IoT.
- IV. Είναι δύσκολο να μοντελοποιηθεί λόγω της ύπαρξης πολλών μορφών δεδομένων που περιγράφονται σε πολύ διαφορετικές γλώσσες, και παράλληλα μπορούν να μοιράζονται (ή όχι) τις ίδιες αρχές μοντελοποίησης και να σχετίζονται με πολλούς τρόπους μεταξύ τους. Αυτό χαρακτηρίζει τη διαλειτουργικότητα στο IoT ως πρόβλημα σύνθετης φύσης (Vermesan & Friess, 2014).

Οι Patel & Patel (2016) αναφέρονται στη διαλειτουργικότητα ως «η ικανότητα δύο ή περισσότερων συστημάτων ή στοιχείων να ανταλλάσσουν δεδομένα και να χρησιμοποιούν πληροφορίες». Αυτός ο ορισμός είναι ενδιαφέρων καθώς παρέχει πολλές προκλήσεις σχετικά με τη λήψη πληροφοριών, την ανταλλαγή δεδομένων και τη χρήση των πληροφοριών για την κατανόηση και τη δυνατότητα επεξεργασίας τους. Διαφορετικοί τύποι διαλειτουργικότητας είναι η τεχνική, η συντακτική, η σημσιολογική και η οργανωτική διαλειτουργικότητα (van der Veer & Wiles, 2008).

### **1.6.1. ΤΕΧΝΙΚΗ ΔΙΑΛΕΙΤΟΥΡΓΙΚΟΤΗΤΑ**

Η τεχνική διαλειτουργικότητα συνδέεται συνήθως με στοιχεία υλικού / λογισμικού, συστήματα και πλατφόρμες που επιτρέπουν την επικοινωνία μηχανής με μηχανή. Αυτό το είδος διαλειτουργικότητας επικεντρώνεται συχνά στα πρωτόκολλα επικοινωνίας και στην υποδομή που απαιτείται για τη λειτουργία τους (Patel & Patel, 2016).

### **1.6.2. ΣΥΝΤΑΚΤΙΚΗ ΔΙΑΛΕΙΤΟΥΡΓΙΚΟΤΗΤΑ**

Η συντακτική διαλειτουργικότητα συνήθως συνδέεται με μορφοποιήσεις δεδομένων. Τα μηνύματα που μεταφέρονται από τα πρωτόκολλα επικοινωνίας μπορεί μεν να είναι απαραίτητο να έχουν μια καλά καθορισμένη σύνταξη και κωδικοποίηση, ακόμη και αν είναι μόνο σε μορφή πινάκων bit, ωστόσο πολλά πρωτόκολλα μεταφέρουν δεδομένα ή περιεχόμενο, κάτι το οποίο μπορεί να αναπαρασταθεί με χρήση συντακτικών μεταφοράς υψηλού επιπέδου όπως HTML, XML ή ASN.1 (van der Veer & Wiles, 2008).

### **1.6.3. ΣΗΜΑΣΙΟΛΟΓΙΚΗ ΔΙΑΛΕΙΤΟΥΡΓΙΚΟΤΗΤΑ**

Η σημασιολογική διαλειτουργικότητα συνήθως συνδέεται με την έννοια του περιεχομένου και αφορά την ανθρώπινη και όχι τη μηχανική ερμηνεία του. Έτσι, η διαλειτουργικότητα σε αυτό το επίπεδο σημαίνει ότι υπάρχει κοινή κατανόηση μεταξύ των ανθρώπων για την έννοια του περιεχομένου (πληροφορίας) που ανταλλάσσεται (Patel & Patel, 2016).

### **1.6.4. ΟΡΓΑΝΩΣΙΑΚΗ ΔΙΑΛΕΙΤΟΥΡΓΙΚΟΤΗΤΑ**

Οργανωσιακή διαλειτουργικότητα είναι η ικανότητα των οργανισμών να επικοινωνούν αποτελεσματικά και να μεταφέρουν σημαντικά δεδομένα και πληροφορίες, ακόμη και αν χρησιμοποιούν μια ποικιλία διαφορετικών συστημάτων πληροφοριών σε πολύ

διαφορετικές υποδομές, πιθανώς σε διαφορετικές γεωγραφικές περιοχές και πολιτισμούς. Η οργανωσιακή διαλειτουργικότητα εξαρτάται από την επιτυχημένη ή όχι εφαρμογή των προηγούμενων τύπων (van der Veer & Wiles, 2008).

## **1.7. ΠΡΟΚΛΗΣΕΙΣ ΚΑΙ ΕΜΠΟΔΙΑ**

### **1.7.1. ΑΠΟΡΡΗΤΟ ΚΑΙ ΑΣΦΑΛΕΙΑ**

Καθώς το IoT γίνεται βασικό στοιχείο του μελλοντικού διαδικτύου και η χρήση του προορίζεται για μεγάλης κλίμακας συστήματα που πιθανότατα να αποβούν κρίσιμα για την εκάστοτε αποστολή, δημιουργείται η ανάγκη να αντιμετωπιστούν επαρκώς τα ζητήματα εμπιστοσύνης και ασφάλειας. Οι νέες προκλήσεις που έχουν εντοπιστεί για το απόρρητο, την εμπιστοσύνη και την αξιοπιστία είναι:

- ✓ Η παροχή εμπιστοσύνης και ποιότητας πληροφοριών σε κοινά μοντέλα πληροφοριών για να επιτραπεί η επαναχρησιμοποίηση σε πολλές εφαρμογές.
- ✓ Η παροχή ασφαλούς ανταλλαγής δεδομένων μεταξύ συσκευών IoT και των καταναλωτών των πληροφοριών τους.
- ✓ Η παροχή μηχανισμών προστασίας για ευάλωτες συσκευές (Serrano, et al., 2015).

### **1.7.2. ΚΟΣΤΟΣ ΕΝΑΝΤΙ ΧΡΗΣΤΙΚΟΤΗΤΑΣ**

Το IoT χρησιμοποιεί τεχνολογία για τη σύνδεση φυσικών αντικειμένων στο διαδίκτυο. Για να αυξηθεί η υιοθέτησή του, το κόστος των εξαρτημάτων που χρειάζονται για την υποστήριξη δυνατοτήτων όπως οι μηχανισμοί ανίχνευσης, παρακολούθησης και ελέγχου, πρέπει να είναι σχετικά φθηνά τα επόμενα χρόνια (Patel & Patel, 2016).

### **1.7.3. ΔΙΑΧΕΙΡΙΣΗ ΔΕΔΟΜΕΝΩΝ**

Η διαχείριση δεδομένων είναι μια κρίσιμη πτυχή στο IoT. Όταν εξετάζεται ένας κόσμος αντικειμένων που διασυνδέονται και ανταλλάσσουν συνεχώς όλους τους τύπους

πληροφοριών, ο όγκος των δεδομένων που παράγονται και οι διαδικασίες που εμπλέκονται στον χειρισμό αυτών των δεδομένων γίνονται κρίσιμοι (Serrano, και συν., 2015).

#### **1.7.4. ΖΗΤΗΜΑΤΑ ΕΝΕΡΓΕΙΑΣ ΕΠΙΠΕΔΟΥ ΣΥΣΚΕΥΗΣ**

Μία από τις βασικές προκλήσεις στο IoT είναι ο τρόπος διασύνδεσης των «πράξεων» με διαλειτουργικό τρόπο, λαμβάνοντας παράλληλα υπόψη τους ενεργειακούς περιορισμούς, γνωρίζοντας ότι η επικοινωνία είναι η πιο ενεργοβόρα εργασία στις συσκευές (Patel & Patel, 2016).

### **1.8. ΕΦΑΡΜΟΓΕΣ**

Μια συμβίωση μεταξύ πλατφορμών, εφαρμογών, συσκευών και υπηρεσιών δίνει τη δυνατότητα βελτίωσης της ευημερίας και της ποιότητας ζωής των πολιτών. Οι μεγάλες δυνατότητες που προσφέρει το IoT καθιστούν δυνατή την ανάπτυξη ενός τεράστιου αριθμού εφαρμογών, ενώ διαδραματίζει επίσης καθοριστικό ρόλο στη λεγόμενη Τέταρτη Βιομηχανική Επανάσταση. Το IoT δημιουργήθηκε με στόχο να μεταμορφώσει τη βιομηχανία μέσω έξυπνων, διασυνδεδεμένων αντικειμένων που μπορούν να βελτιώσουν την απόδοση, να μειώσουν το κόστος και να αυξήσουν την αξιοπιστία (Baras & Brito, 2018).

#### **1.8.1. ΕΞΥΠΝΕΣ ΠΟΛΕΙΣ**

Η εύρεση τρόπων χρήσης της τεχνολογίας για τη βελτίωση της ποιότητας ζωής σε μια πόλη έχει γίνει ένα από τα πιο δημοφιλή ερευνητικά θέματα στον τομέα των εφαρμογών IoT (Yin, et al., 2015). Οι λύσεις έξυπνων πόλεων περιλαμβάνουν διάφορους τομείς, που κυμαίνονται από τη διαχείριση νερού και απορριμμάτων (όπως έξυπνοι κάδοι απορριμμάτων), τον έλεγχο του φωτισμού, την ενέργεια, τις μεταφορές, την κυκλοφορία και τη διαχείριση στάθμευσης, έως την αποδοτικότητα του κτιρίου, τις υπηρεσίες και την ασφάλεια (Perera, Zaslavsky, Christen, & Georgakopoulos, 2014).

### **1.8.2. ΦΡΟΝΤΙΔΑ ΥΓΕΙΑΣ**

Οι τεχνολογίες IoT μπορούν να αποφέρουν σημαντικά οφέλη στον τομέα της υγειονομικής περίθαλψης, συγκεκριμένα, σε δύο τομείς: την κλινική φροντίδα και την απομακρυσμένη παρακολούθηση. Η χρήση φορητών βιοαισθητήρων μικρού μεγέθους, χαμηλού κόστους και χαμηλής ισχύος μπορεί να βελτιώσει την ποιότητα ζωής των ατόμων που πάσχουν από χρόνιες ασθένειες ή ακόμη και κατά τη διάρκεια έκτακτων περιστατικών, είτε στο εσωτερικό είτε έξω από τα σπίτια τους (Domingo, 2012; Doukas & Maglogiannis, 2012). Η παρακολούθηση ηλικιωμένων ή η υποβοηθούμενη από το περιβάλλον διαβίωση (αγγλ.: AAL / *ambient assisted living*) περιλαμβάνει τεχνικά συστήματα για την υποστήριξη των ηλικιωμένων στην καθημερινή τους ρουτίνα για να επιτρέψουν έναν ανεξάρτητο και ασφαλή τρόπο ζωής όσο το δυνατόν περισσότερο. Πρόκειται για μια ειδική περίπτωση υγειονομικής περίθαλψης που έχει αποκτήσει αυξημένη σημασία λόγω του προβλήματος της γήρανσης του πληθυσμού (Yang et al., 2014).

### **1.8.3. ΕΞΥΠΝΑ ΣΠΙΤΙΑ / ΚΤΙΡΙΑ**

Οι εφαρμογές έξυπνου σπιτιού μπορούν να κυμαίνονται από την παρακολούθηση ηλικιωμένων, τον οικιακό αυτοματισμό και τον έλεγχο και την παρακολούθηση του κλιματισμού ή του φωτισμού, έως την παρακολούθηση της κατανάλωσης και την εξοικονόμηση ενέργειας, ή ακόμα και την παραγωγή του ηλιακού θερμοκηπίου (Wang, Dong, Chin, Hettiarachchi, & Zhang, 2004). Το επίκεντρο των εφαρμογών IoT για «έξυπνα κτίρια» είναι ουσιαστικά η εξοικονόμηση κόστους, για τους σκοπούς της οποίας παρέχεται στο εκάστοτε κτίριο κάποια ευφυΐα μέσω του σχετικού αυτοματισμού. Αυτές οι εφαρμογές επικεντρώνονται κυρίως στην παρακολούθηση και τον έλεγχο του κλιματισμού και του φωτισμού, καθώς και στην παρακολούθηση της κατανάλωσης και στην εξοικονόμηση ενέργειας (Moreno, Zamora, & Skarmeta, 2014; Ji, Teng, & Su, 2014). Η ασφάλεια είναι επίσης ένα σημαντικό ζήτημα: ως εκ τούτου, η παρακολούθηση πυρκαγιάς και εισβολής είναι επίσης κρίσιμης σημασίας (Ryu, 2015).

#### **1.8.4. ΚΙΝΗΤΙΚΟΤΗΤΑ ΚΑΙ ΜΕΤΑΦΟΡΕΣ**

Όλοι οι τύποι οχημάτων σε μια πόλη (αυτοκίνητα, τρένα, λεωφορεία και ποδήλατα) εξοπλίζονται όλο και περισσότερο με αισθητήρες ή / και ενεργοποιητές, με αποτέλεσμα τη δημιουργία ενός δικτύου που αποτελείται από ένα σύνολο κινητών αισθητήρων. Οι δρόμοι και οι ράγες, καθώς επίσης και τα μεταφερόμενα εμπορεύματα, είναι επίσης εξοπλισμένα με ετικέτες και αισθητήρες που στέλνουν σημαντικές πληροφορίες στους χώρους ελέγχου κυκλοφορίας, γεγονός το οποίο όχι μόνο επιτρέπει την παρακολούθηση της κατάστασης των μεταφερόμενων αγαθών, αλλά επιτρέπει επίσης τη δημιουργία καινοτόμων λύσεων, επιτρέποντας στα οχήματα μεταφοράς να δρομολογούν καλύτερα την κυκλοφορία ή να παρέχουν στον επιβαίνοντα χρήστη τις κατάλληλες πληροφορίες μεταφοράς (Baras & Brito, 2018).

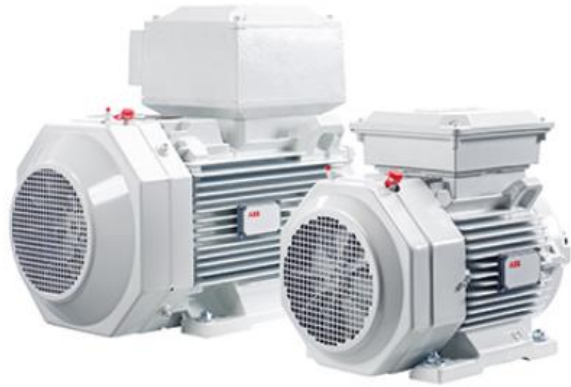
#### **1.8.5. ΕΞΥΠΝΗ ΕΝΕΡΓΕΙΑ / ΑΙΣΘΗΤΗΡΕΣ**

Οι έξυπνες υπηρεσίες αντιπροσωπεύουν νέες τάσεις στις υπηρεσίες κινητής τηλεφωνίας, δηλαδή, ένα εντελώς νέο φάσμα υπηρεσιών και εφαρμογών με επίγνωση του πλαισίου, εξατομικευμένες και έξυπνες. Μια ποικιλία από υπάρχουσες υπηρεσίες χρησιμοποιούν ήδη πληροφορίες σχετικά με τη θέση του χρήστη ή της κινητής συσκευής. Σε πολλές εφαρμογές, η θέση των φορητών συσκευών επιτυγχάνεται χάρη στη χρήση των κυκλωμάτων του Παγκόσμιου Δορυφορικού Συστήματος Πλοήγησης (αγγλ.: *GNSS / Global Navigation Satellite System*) που είναι ενσωματωμένα σε όλες τις σύγχρονες φορητές συσκευές (smartphones). Ωστόσο, το GNSS δεν αποτελεί πάντα αξιόπιστη πηγή εκτιμήσεων θέσης λόγω της διάδοσης πολλαπλών διαδρομών και των πιθανών παρεμποδίσεων του σήματος, ενώ παράλληλα, σε ορισμένες εφαρμογές IoT, η χρήση κυκλωμάτων GNSS ενσωματωμένων σε όλες τις συσκευές μπορεί να έχει αρνητικό αντίκτυπο στη διάρκεια ζωής της μπαταρίας τους. Επομένως, εναλλακτικές λύσεις για την εκτίμηση θέσης θα πρέπει να διερευνηθούν και να ενσωματωθούν σε εφαρμογές IoT (Brida, Krejcar, Selamat, & Kertesz, 2021).

Επιπλέον, οι έξυπνοι αισθητήρες και οι συσκευές κινητής τηλεφωνίας θα μπορούσαν να ικανοποιήσουν ένα εκπληκτικά ευρύ φάσμα απαιτήσεων χρηστών και παρόχων.

Ένας από τους λόγους πίσω από την ανάπτυξη ασύρματων συσκευών είναι η συνεχώς αυξανόμενη υπολογιστική ισχύς μαζί με τη μείωση της κατανάλωσης ενέργειας και τις βελτιωμένες δυνατότητες επικοινωνίας των συσκευών.

Ένα χαρακτηριστικό παράδειγμα εδώ είναι ο αισθητήρας ABB Ability™ Smart Sensor, ο οποίος μετατρέπει τους παραδοσιακούς κινητήρες και τα γενικά μηχανήματα σε έξυπνες, ασύρματα συνδεδεμένες συσκευές. Ειδικεύεται στους υπολογισμούς ειδικών μεταβλητών της επιφάνειας των μηχανημάτων που



μπορούν να χρησιμοποιηθούν για την απόκτηση ουσιαστικών στοιχείων σχετικά με την κατάσταση και την απόδοσή τους, επιτρέποντας στους χρήστες να εντοπίσουν τις αναποτελεσματικότητες του

*Εικόνα 1: Ο αισθητήρας ABB Ability™ Smart Sensor για κινητήρες. Πηγή: ABB Group, 2021*

συστήματός τους και να προβούν σε πιο ασφαλή χρήση των μηχανημάτων για να επεκτείνουν τη διάρκεια ζωής και λειτουργίας τους (ABB Group, 2021).

## ΚΕΦΑΛΑΙΟ 2<sup>ο</sup>

### ΤΑ ΣΥΣΤΗΜΑΤΑ ΒΙΟΜΗΧΑΝΙΚΟΥ ΑΥΤΟΜΑΤΙΣΜΟΥ

Ο βιομηχανικός αυτοματισμός είναι η χρήση συστημάτων ελέγχου και εξελιγμένου εξοπλισμού σε περιβάλλον παραγωγής. Αυτό περιλαμβάνει ρομπότ, διάφορους αισθητήρες και υπολογιστές. εκτέλεση εργασιών που προηγουμένως εκτελούνταν χειροκίνητα. Αυτά τα συστήματα θα λειτουργούν χωρίς σημαντική ανθρώπινη παρέμβαση ή επίβλεψη, βελτιώνοντας την ποιότητα και την επαναληψιμότητα των επαναλαμβανόμενων λειτουργιών (Koos, 2022).



## 2.1. ΒΑΣΙΚΑ ΣΤΟΙΧΕΙΑ

Οι αυτοματοποιημένες πλατφόρμες μοιράζονται πολλά βασικά στοιχεία, το καθένα με τα δικά του κριτήρια επιτυχίας. Ακολουθεί η παρουσίαση των σημαντικότερων θεμελιωδών στοιχείων, με πρώτο το μεγαλύτερο:

### 2.1.1. ΣΥΣΚΕΥΕΣ ΕΙΣΟΔΟΥ / ΕΞΟΔΟΥ

Μια συσκευή εισόδου (αγγλ.: *input device*) είναι μια συσκευή που χρησιμοποιείται για την παροχή δεδομένων και σημάτων ελέγχου σε ένα σύστημα επεξεργασίας πληροφοριών (αγγλ.: *IPS / information processing system*) όπως ένας προγραμματιζόμενος λογικός ελεγκτής (αγγλ.: *PLC / programmable logic controller*) (μέσω του συστήματος εισόδου / εξόδου του) ή κάποιος άλλος μηχανισμός ελέγχου. Τα παραδείγματα περιλαμβάνουν:

- ❖ **Συσκευές ανθρώπινης αλληλεπίδρασης:** Διακόπτες και κουμπιά, πληκτρολόγια, οθόνες αφής.
- ❖ **Συσκευές αντίληψης:** Αισθητήρες εγγύτητας, φωτοηλεκτρικοί αισθητήρες, αισθητήρες υπερήχων.
- ❖ **Μηχανικά ενεργοποιημένοι διακόπτες:** Τερματικοί διακόπτες, διακόπτες κενού, διακόπτες θερμοκρασίας, διακόπτες στάθμης, διακόπτες πίεσης (Koos, 2022).

Μια συσκευή εξόδου (αγγλ.: *output device*) είναι μια συσκευή που χρησιμοποιείται για να ενεργεί στα αποτελέσματα της επεξεργασίας δεδομένων που εκτελείται από ένα IPS, μετατρέποντας εκ νέου την επεξεργασία σε μια ενέργεια που απαιτείται από το αυτοματοποιημένο μηχάνημα. Τα παραδείγματα περιλαμβάνουν:

- ❖ **Μηχανική κίνηση:** Πεπιεσμένοι / υδραυλικοί κύλινδροι, μαγνητικές βαλβίδες, εκκινητήρες κινητήρα, ρελέ ελέγχου, αντλίες, ανεμιστήρες.
- ❖ **Οπτική ή ακουστική ανάδραση:** Κόρνες και συναγερμοί, προειδοποιητικά φώτα.
- ❖ **Ανατροφοδότηση συστήματος:** Ηλεκτρονικές ειδοποιήσεις μέσω συστημάτων ανταλλαγής μηνυμάτων (Koos, 2022).

### 2.1.2. ΣΥΣΚΕΥΕΣ ΑΣΦΑΛΕΙΑΣ

Καθώς ένα εργοστάσιο γίνεται πιο αυτοματοποιημένο, η προστασία των ανθρώπων που εργάζονται σε αυτούς τους χώρους καθίσταται ζωτικής σημασίας. Ο Koos (2022) αναφέρει ότι *«οι συσκευές είναι απαραίτητες για την πρόληψη τυχόν ζημιών στους χειριστές, τους τεχνικούς και τους ειδικούς συντήρησης κατά τη λειτουργία ή την αντιμετώπιση προβλημάτων. Η πολιτική με προτεραιότητα την ασφάλεια είναι η σωστή πολιτική στον αυτοματοποιημένο χώρο»*.

Πολλές συσκευές ασφαλείας έχουν σχεδιαστεί για να σταματήσουν την αυτοματοποιημένη συσκευή όσο το δυνατόν γρηγορότερα μόλις εντοπιστεί ανθρώπινη παρουσία. Μηχανικές συσκευές όπως διακόπτες πόρτας τοποθετούνται σε λαβές, μεντεσέδες κλωβών ασφαλείας και σταματούν τη διαδικασία στο εσωτερικό μόλις ανοίξουν. Οι οπτοηλεκτρονικοί αισθητήρες όπως οι κουρτίνες φωτός ή οι σαρωτές λέιζερ χρησιμοποιούν αόρατο φως για να ανιχνεύσουν ξένα αντικείμενα κοντά στο μηχάνημα, κάτι το οποίο είναι ιδιαίτερα χρήσιμο σε γραμμές παραγωγής που δεν χρειάζονται φυσικά εμπόδια και απαιτούν συχνή πρόσβαση. Άλλες συσκευές ασφαλείας μπορεί να περιλαμβάνουν την ανίχνευση αερίου ή πυρκαγιάς, με ηχητικές προειδοποιήσεις ή συστήματα εξαγωγής / καταστολής (Oliveira & Gaspar, 2015).

### 2.1.3. ΡΟΜΠΟΤΙΚΗ

Η ρομποτική που χρησιμοποιείται στον βιομηχανικό αυτοματισμό είναι μια εξέλιξη των αυτοματοποιημένων μηχανημάτων, η οποία σχεδιάστηκε για να μιμείται περισσότερο την ευελιξία ενός ανθρώπινου χειριστή. Τα περισσότερα βιομηχανικά ρομπότ βασίζονται σε έναν μόνο βραχίονα, με κίνηση έξι αξόνων:

- **Άξονας 1** - Περιστροφή του ρομπότ (στη βάση του ρομπότ).
- **Άξονας 2** - Προέκταση προς τα εμπρός / πίσω του κάτω βραχίονα του ρομπότ.
- **Άξονας 3** - Ανύψωση / χαμήλωμα του βραχίονα του ρομπότ.
- **Άξονας 4** - Περιστροφή του βραχίονα του ρομπότ (καρπού).
- **Άξονας 5** - Ανύψωση / χαμήλωμα του καρπού του χεριού του ρομπότ.

➤ **Άξονας 6** - Περιστροφή του καρπού του βραχίονα του ρομπότ.

Αυτοί οι ρομποτικοί βραχίονες μπορούν να βρίσκονται υπό τον έλεγχο συστημάτων υψηλότερου επιπέδου, αλλά συχνά έχουν το δικό τους πακέτο ελέγχου για αυτόνομη λειτουργία (Koos, 2022).

Οι ρομποτικοί βραχίονες είναι πολύ ευέλικτες μηχανές που μπορούν να υποκαταστήσουν και να αναπαράγουν ανθρώπινες ενέργειες σε πολύ επικίνδυνα και σκληρά περιβάλλοντα. Συχνά παρατηρούνται σε μηχανές συγκόλλησης, βαφής, διαμόρφωσης πλαστικών και μετάλλων και τροφοδοσίας σε μηχανές σφυρηλάτησης. Η ευελιξία τους σημαίνει ότι μπορούν να προγραμματιστούν με πολλές διαφορετικές εργασίες και να μετακινηθούν σε ένα εργοστάσιο ανάλογα με τη χωρητικότητα (Oliveira & Gaspar, 2015).

Η τελευταία προσθήκη στον ρομποτικό αυτοματισμό είναι το *cobot*: ένας ρομποτικός βραχίονας που έχει σχεδιαστεί για να λειτουργεί στον ίδιο χώρο με τον άνθρωπο. Ο βραχίονας αυτός έχει συνήθως καλύμματα ή επένδυση, ώστε να μην υπάρχουν αιχμηρές άκρες, ενώ επίσης περιλαμβάνει πολλούς αισθητήρες για να σταματά ή να αντιστρέφει την κίνηση όταν συναντά οποιοδήποτε άλλο αντικείμενο (Koos, 2022).

## **2.2. ΕΡΓΑΛΕΙΑ ΑΥΤΟΜΑΤΙΣΜΟΥ**

### **2.2.1. ΣΥΣΤΗΜΑ ΡΕΛΕ**

Το ρελέ είναι ένας ηλεκτρικός διακόπτης που ανοίγει και κλείνει υπό τον έλεγχο ενός άλλου ηλεκτρικού κυκλώματος, του οποίου οι γενικές λειτουργίες είναι η προστασία, η παρακολούθηση και ο έλεγχος. Στην αρχική του μορφή, ο διακόπτης λειτουργεί από έναν ηλεκτρομαγνήτη για να ανοίξει ή να κλείσει ένα ή πολλά σετ επαφών: εάν το πηνίο ενεργοποιείται με συνεχές ρεύμα, μια δίοδος εγκαθίσταται συχνά κατά μήκος του πηνίου, για να διαχέει την ενέργεια από το μαγνητικό πεδίο που καταρρέει κατά την απενεργοποίηση, το οποίο διαφορετικά θα δημιουργούσε μια ακίδα τάσης και θα μπορούσε να προκαλέσει βλάβη στα εξαρτήματα του κυκλώματος (Zhou & Triss, 1998).

Το σύστημα αυτό βέβαια παρουσιάζει και τα εξής μειονεκτήματα:

1. Το κόστος συντήρησης του συστήματος είναι αρκετά υψηλό, καθώς απαιτεί συχνή συντήρηση.
2. Απαιτείται κύκλωμα οδηγού μαζί με μεγαλύτερα ρελέ.
3. Απαιτείται πολύ υψηλή ανθρώπινη παρέμβαση σε αυτό το σύστημα.
4. Δεν επιτρέπεται χειροκίνητη ρύθμιση της κατάστασης του ρελέ όταν η τροφοδοσία ελέγχου είναι απενεργοποιημένη.
5. Χρησιμοποιείται μόνο για έλεγχο λειτουργίας.
6. Ο ενδιάμεσος έλεγχος δεν είναι δυνατός (Madhanamohan, et al., 2013).

### 2.2.2. ΔΙΑΚΟΠΤΕΣ

Ένας επαφέας (αγγλ.: *contactor*) είναι ένας ηλεκτρικά ελεγχόμενος διακόπτης (ρελέ) που χρησιμοποιείται για τη μεταγωγή ενός κυκλώματος ισχύος και ενεργοποιείται από μια είσοδο ελέγχου η οποία έχει χαμηλότερη τάση από αυτή που διακόπτει ο επαφέας. Οι επαφείς διατίθενται σε πολλές μορφές με ποικίλες δυνατότητες και χαρακτηριστικά, ενώ σε αντίθεση με έναν διακόπτη κυκλώματος, δεν προορίζονται για τη διακοπή ενός βραχυκυκλώματος (Nagda, 2021).

Ένας επαφέας αποτελείται από τρία διαφορετικά συστήματα:

- Το σύστημα επαφής είναι το μέρος που φέρει ρεύμα του επαφέα. Αυτό περιλαμβάνει
  - τις επαφές ισχύος,
  - τις βοηθητικές επαφές και
  - τα ελατήρια επαφών.
- Το σύστημα ηλεκτρομαγνητών παρέχει την κινητήρια δύναμη για το κλείσιμο των επαφών.
- Το σύστημα περιβλήματος είναι ένα πλαίσιο που στεγάζει την επαφή και τον ηλεκτρομαγνήτη.

Οι επαφές ανοιχτού πλαισίου μπορεί να έχουν ένα επιπλέον περίβλημα για προστασία από τη σκόνη, το λάδι, τους κινδύνους έκρηξης και τις καιρικές συνθήκες. Το σημαντικότερο μειονέκτημα των διακοπών είναι ότι δεν έχουν κανένα περιττό σύστημα, πράγμα που σημαίνει ότι εάν το εγχείρημα αποτύχει, δεν υπάρχει κανένα

σύστημα ελέγχου για να συνεχίσει τη διαδικασία ελέγχου και παρακολούθησης (Madhanamohan, et al., 2013).

### 2.2.3. ΠΡΟΓΡΑΜΜΑΤΙΖΟΜΕΝΟΙ ΛΟΓΙΚΟΙ ΕΛΕΓΚΤΕΣ (PLC)

Οι PLC είναι ψηφιακοί επεξεργαστές που ελέγχουν οποιονδήποτε αυτοματοποιημένο εξοπλισμό παρακολουθώντας συνεχώς τις γραμμές εισόδου από συσκευές αισθητήρων και παρέχοντας την εντολή δράσης για αντίδραση σε αυτά τα συγκεκριμένα σήματα εισόδου (Seborg, Edgar, & Melichamp, 1989).

Οι PLC μπορούν να χειριστούν πολλαπλές ρυθμίσεις εισόδου / εξόδου. Μπορούν να αντέξουν μια σειρά από θερμοκρασίες, ηλεκτρικούς θορύβους, κραδασμούς και κρούσεις. Η ενσωμάτωση ενός PLC σε οποιαδήποτε γραμμή παραγωγής ή μηχανική διαδικασία είναι εξαιρετικά επωφελής. Οι διαδικασίες λειτουργίας αλλάζουν ή αναπαράγονται εύκολα, ενώ συγκεντρώνονται και κοινοποιούνται σημαντικές πληροφορίες και στατιστικά στοιχεία της κατάστασης (Collins, 2014). Οι PLC αποτελούν βασικό συστατικό του ελέγχου μηχανών εδώ και πολλά χρόνια, αλλά το επίπεδο πολυπλοκότητας αυξάνεται χάρη στη Βιομηχανία 4.0 και το IIoT (Koos, 2022).

Οι PLC μπορούν να διασπαστούν στα θεμελιώδη στοιχεία τους για μια πιο λεπτομερή ανάλυση:

- ✓ Κεντρική Μονάδα Επεξεργασίας (αγγλ.: CPU / Central Processing Unit) ή Ενσωματωμένος Υπολογιστής: Ένας υπολογιστικός «εγκέφαλος» που βασίζεται σε μικροεπεξεργαστή, συχνά σε μία μόνο πλακέτα. Εκτελεί τα προγράμματα ελέγχου μετά την ανάγνωση και την επεξεργασία των σημάτων εισόδου και στη συνέχεια στέλνει τις ισχύουσες εντολές απόκρισης στα κανάλια εξόδου.
- ✓ Ενότητα εισόδου / εξόδου: Οι μονάδες εισόδου / εξόδου λειτουργούν ως η διεπαφή δεδομένων σε πραγματικό χρόνο μεταξύ των διεπαφών του μηχανήματος και της CPU. Είναι κυρίως ένα σύστημα μεταφοράς δεδομένων, αλλά μπορεί επίσης να μετατρέψει κάποια αρχικά δεδομένα σε σήματα

αναγνωρίσιμα από την CPU (για είσοδο) ή τις διεπαφές του μηχανήματος (για έξοδο) (Ali, 2021).

- ✓ Συσκευή προγραμματισμού: Αυτή είναι συχνά μια ξεχωριστή συσκευή, όπως ένας υπολογιστής ή παρόμοιο τερματικό, που χρησιμοποιεί λογισμικό διεπαφής ανθρώπου – μηχανής (αγγλ.: *HMI / human – machine interface*). Η CPU συνδέεται με αυτή τη συσκευή μέσω ενός συνδέσμου επικοινωνίας. Η δυνατότητα επαναπρογραμματισμού των PLC μέσω μιας διεπαφής τα καθιστά πολύ ευέλικτα και εξαλείφει την ανάγκη για εκ νέου καλωδίωση ή προσθήκη επιπλέον υλικού για κάθε νέα λογική διαμόρφωση. Οι συσκευές μπορούν επίσης να ελέγχουν πολλά σύνθετα συστήματα ταυτόχρονα, κάτι που τις καθιστά οικονομικά αποδοτικές (Singh, 2021).
- ✓ Διεπαφή πύλης: Επιτρέπει την επικοινωνία με άλλες συσκευές που βασίζονται σε επεξεργαστή ή για απομακρυσμένη αντιμετώπιση προβλημάτων. Η μεταφορά δεδομένων μπορεί να γίνει μέσω διαύλου πεδίου ή μέσω πρωτοκόλλων που βασίζονται σε πρωτόκολλα διαδικτύου (αγγλ.: *IP / internet protocols*), τα περισσότερα εκ των οποίων επινοήθηκαν και εφαρμόστηκαν από συγκεκριμένους κατασκευαστές, επομένως αυτό θα πρέπει να εξεταστεί κατά την εγκατάσταση.
- ✓ Τροφοδοτικό: Όλα τα στοιχεία ενός PLC απαιτούν παροχή ενέργειας για να λειτουργήσουν, ενώ επίσης απαιτούνται ξεχωριστά τροφοδοτικά για οποιαδήποτε απομακρυσμένη συσκευή. Ενδέχεται να απαιτούνται συσκευές αδιάλειπτης παροχής ενέργειας (αγγλ.: *UPS / uninterruptible power supply*) για συνεχή λειτουργία ή για περιοχές με κακή παροχή ηλεκτρικού ρεύματος (Koos, 2022).

#### 2.2.4. SCADA

Το σύστημα Ελέγχου Εποπτείας και Απόκτησης Δεδομένων (αγγλ.: *SCADA / Supervisory Control and Data Acquisition*) είναι ένα υπολογιστικό σύστημα για τη συλλογή και την ανάλυση δεδομένων σε πραγματικό χρόνο. Τα συστήματα SCADA χρησιμοποιούνται για την παρακολούθηση και τον έλεγχο μιας μονάδας ή εξοπλισμού σε βιομηχανίες όπως οι τηλεπικοινωνίες, ο έλεγχος νερού και αποβλήτων, η ενέργεια,

η διύλιση πετρελαίου και αερίου και οι μεταφορές (Dennison, 2004). Τα στοιχεία που χρησιμοποιούνται στο SCADA είναι τα εξής:

- ✓ **Απομακρυσμένη τερματική μονάδα (αγγλ.: RTU / remote terminal unit):** Η RTU είναι μια συσκευή εγκατεστημένη σε απομακρυσμένη τοποθεσία που συλλέγει δεδομένα, τα κωδικοποιεί σε μια μεταφέρσιμη μορφή και τα μεταδίδει πίσω σε έναν κεντρικό σταθμό. Μια RTU συλλέγει επίσης πληροφορίες από την κύρια συσκευή και υλοποιεί διαδικασίες που κατευθύνονται από την κύρια συσκευή (Madhanamohan, et al., 2013).
- ✓ **Κύρια τερματική μονάδα (αγγλ.: MTU / master terminal unit):** Αναφέρεται στους διακομιστές και το λογισμικό που είναι υπεύθυνοι για την επικοινωνία με τον εξοπλισμό πεδίου (RTU, PLC κλπ.) και στη συνέχεια στο λογισμικό HMI που εκτελείται σε σταθμούς εργασίας στην αίθουσα ελέγχου ή κάπου αλλού.
- ✓ **Όργανα πεδίου:** Ο όρος αυτός αναφέρεται στις συσκευές που συνδέονται με τον εξοπλισμό ή τις μηχανές που ελέγχονται και παρακολουθούνται από το σύστημα SCADA. Πρόκειται για αισθητήρες για την παρακολούθηση ορισμένων παραμέτρων και ενεργοποιητές για τον έλεγχο ορισμένων μονάδων του συστήματος (Hercegovac & Babovic, 2020).
- ✓ **Δίκτυο επικοινωνίας:** Το δίκτυο επικοινωνίας αναφέρεται στον εξοπλισμό επικοινωνίας που απαιτείται για τη μεταφορά των δεδομένων προς και από διαφορετικές τοποθεσίες στον κεντρικό σταθμό. Το μέσο που χρησιμοποιείται μπορεί να είναι είτε καλωδιακό είτε τηλεφωνικό, ενώ τα τηλεχειριστήρια συνήθως δεν είναι προσβάσιμα μέσω τηλεφωνικών γραμμών. Τα μόντεμ χρησιμοποιούνται για τη σύνδεση των απομακρυσμένων τοποθεσιών στον κεντρικό υπολογιστή (Baribaud, et al., 1997). Στο SCADA για τη λειτουργία ελέγχου υπάρχουν βασικά τρεις τύποι διαμόρφωσης που χρησιμοποιούνται για όλους τους τύπους μέτρησης ελέγχου:
  - Διαμόρφωση συστήματος ελέγχου από σημείο σε σημείο (αγγλ.: *point-to-point*).
  - Διαμόρφωση συστήματος ελέγχου από ένα σημείο σε πολλά (αγγλ.: *point-to-multipoint*).
  - Διαμόρφωση συστήματος ελέγχου από χρήστη σε χρήστη (αγγλ.: *peer-to-peer*) (Madhanamohan, et al., 2013).

### 2.2.5. ΚΑΤΑΝΕΜΗΜΕΝΟ ΣΥΣΤΗΜΑ ΕΛΕΓΧΟΥ

Ένα κατανεμημένο σύστημα ελέγχου (αγγλ.: *DCS / distributed control system*) αναφέρεται σε ένα σύστημα ελέγχου που ανήκει συνήθως σε ένα σύστημα παραγωγής, μια διαδικασία ή οποιουδήποτε είδους δυναμικό σύστημα, στο οποίο τα στοιχεία του ελεγκτή δεν είναι κεντρικά στην τοποθεσία (όπως ο εγκέφαλος), αλλά κατανέμονται σε όλο το σύστημα με κάθε στοιχείο του υποσυστήματος να ελέγχεται από έναν ή περισσότερους ελεγκτές (Tabisz, Jovanovic, & Lee, 1992).

Η αρχιτεκτονική αυτού του συστήματος αποτελείται από τα εξής:

- ✓ Σταθμός μηχανικών εργασιών (αγγλ.: *EWS / engineering workstation*): Προορίζεται για ανάπτυξη έργου, συμπεριλαμβανομένης της διαμόρφωσης γραφικών, λογικής, συναγερωμών, ασφάλειας κλπ.
- ✓ Ιστορικά αρχεία διαδικασιών (αγγλ.: *PHA / process historical archives*): Εκεί αποθηκεύονται και ανακτώνται ιστορικά δεδομένα που συλλέγονται από οποιαδήποτε άλλη έξυπνη συσκευή στο σύστημα. Ένα σύστημα PHA μπορεί να λειτουργήσει αυτόνομα ή να μοιραστεί έναν σταθμό εργασίας (Bretz, 2001).
- ✓ Ελεγκτές: Η μονάδα ελέγχου πεδίου (αγγλ.: *FCU / field control unit*) εκτελεί διαδοχική και ρυθμιστική λογική και σαρώνει απευθείας την είσοδο και την έξοδο. Ανάλογα με τη διαμόρφωση της FCU, μπορούν να σαρωθούν πολλές μάρκες εισόδου / εξόδου από μία μονάδα (Madhanamohan, et al., 2013).

Τα πλεονεκτήματα της χρήσης ενός κατανεμημένου συστήματος ελέγχου συνοψίζονται ως εξής:

1. Είναι αρθρωτό και κλιμακωτό.
2. Έχει εύκολη εφαρμογή.
3. Είναι πιο εύχρηστο.
4. Είναι πιο αξιόπιστο.
5. Έχει περιορισμένη κατανεμημένη νοημοσύνη.
6. Περιλαμβάνει λιγότερη καλωδίωση (Bretz, 2001).



## 2.3. ΕΠΙΠΕΔΑ ΒΙΟΜΗΧΑΝΙΚΟΥ ΑΥΤΟΜΑΤΙΣΜΟΥ

### 2.3.1. ΕΠΙΠΕΔΟ 0: ΑΙΣΘΗΣΗ ΚΑΙ ΕΝΕΡΓΟΠΟΙΗΣΗ

Το βιομηχανικό σύστημα αισθητήρων περιλαμβάνει δύο βασικά στοιχεία: το αισθητήριο στοιχείο (αγγλ.: *sensing element*) και τον ενεργοποιητή (αγγλ.: *actuator*). Το αισθητήριο στοιχείο είναι στην απλή του μορφή, είναι στην πραγματικότητα μια ρύθμιση και επεξεργασία σήματος. Γενικά, μια προετοιμασία και επεξεργασία σήματος περιλαμβάνει τα ακόλουθα στοιχεία:

- Έλεγχος αναλογικού ηλεκτρονικού σήματος.
- Ψηφιακή επεξεργασία.
- Διαγνωστικά / βαθμονόμηση / διαμόρφωση.
- Επικοινωνία.
- Προστασία και μετάδοση σήματος (Omer, 2014).

Το δεύτερο στοιχείο του συστήματος βιομηχανικών αισθητήρων είναι ο ενεργοποιητής που παίρνει τις λογικές πληροφορίες από τον ελεγκτή και στη συνέχεια τις μετατρέπει σε μια είσοδο φυσικής εγκατάστασης. Συνοπτικά, ο ενεργοποιητής εκτελεί δύο κύριες λειτουργίες: η μία είναι η μετατροπή των μεταβλητών και η δεύτερη είναι η ενίσχυση ισχύος. Επειδή απαιτείται ακριβής έλεγχος, χρειάζεται ανατροφοδότηση. Ο ενεργοποιητής είναι στην πραγματικότητα μια συσκευή ελέγχου ανάδρασης, καθώς έχει τον δικό του αισθητήρα, τον δικό του ελεγκτή και ενίοτε και αναλογική επεξεργασία σήματος και ενίσχυση ισχύος (Omer, 2014).

Τα συστήματα βιομηχανικών ενεργοποιητών περιέχουν τα ακόλουθα στοιχεία:

- Ηλεκτρονική επεξεργασία σήματος.
- Ενίσχυση ηλεκτρικής ισχύος.
- Ηλεκτρο-υδραυλικά / μηχανικά στοιχεία.
- Έλεγχος ανάδρασης για ακρίβεια.
- Βοηθητικά για λίπανση / ψύξη / φιλτράρισμα.
- Τηλεχειρισμός και ασφάλεια (λειτουργία διακόπτη κυκλώματος).
- Ενεργειακή βελτιστοποίηση (Kuo, 2010).

### 2.3.2. ΕΠΙΠΕΔΟ 1: ΑΥΤΟΜΑΤΟΣ ΕΛΕΓΧΟΣ

Επειδή το σημείο ρύθμισης μπορεί να αλλάξει λόγω διαταραχής, ο αυτόματος έλεγχος (αγγλ.: *automatic control*) διατηρεί το σημείο ρύθμισης. Ο αυτόματος έλεγχος μπορεί να είναι δύο τύπων: συνεχής μεταβλητός έλεγχος (η θερμοκρασία είναι μια συνεχής μεταβλητή με την πάροδο του χρόνου) και διακριτός έλεγχος συμβάντων. Επιπλέον, ο έλεγχος συνεχούς μεταβλητής περιλαμβάνει τα ακόλουθα:

- Αναλογικές μεταβλητές συνεχούς διεργασίας.
- Έλεγχος κλειστού βρόχου.
- Σημείο ρύθμισης παρακολούθησης / παραμονής.
- Απόρριψη ενόχλησης.
- Γενικός / ειδικός σκοπός.
- Συντονισιμότητα.
- Αφιερωμένο ψηφιακό σύστημα που βασίζεται σε μικροεπεξεργαστή.
- Σχετικά φθηνή τιμή (Omer, 2014).

Ο δεύτερος τύπος του αυτόματου ελέγχου είναι ο διακριτός έλεγχος συμβάντος, ο οποίος περιλαμβάνει τα εξής:

- Έλεγχος μεταβλητών διαδικασίας με διακριτή τιμή (Εντός / εκτός λειτουργίας ή υψηλή / μεσαία / χαμηλή).
- Διακριτή ανίχνευση: Οριακός διακόπτης / διακόπτης πίεσης / διακόπτης εγκατάστασης.
- Κλείδωμα, συναγερμός.
- PLC / βιομηχανικοί υπολογιστές με αποκλειστικό επεξεργαστή.
- Μη απαίτηση συντονισμού.
- Έλεγχος κατάστασης / αλληλουχίας / χρονισμού (Omer, 2014).

### 2.3.3. ΕΠΙΠΕΔΟ 2: ΕΠΟΠΤΙΚΟΣ ΕΛΕΓΧΟΣ

Ο αυτόματος έλεγχος διατηρεί ένα σύνολο θερμοκρασιών, καθώς δεν ξέρει ποια συγκεκριμένη θερμοκρασία πρέπει να διατηρήσει. Ο εποπτικός έλεγχος (αγγλ.: *supervisory control*) δίνει εντολές και ένα σημείο ρύθμισης, αν και δεν είναι

απαραίτητο να χρησιμοποιείται ο ίδιος ελεγκτής που μπορεί να χρησιμοποιηθεί κατά την εκκίνηση ή τη λήξη της εγκατάστασης χρόνου.

Επίσης, εάν χρησιμοποιείται κανονική λειτουργία, μπορεί να γίνει με άλλο ελεγκτή, αλλά σε αυτή την περίπτωση θα πρέπει να δοθεί μια εντολή σχετικά με το ποιος ελεγκτής θα χρησιμοποιηθεί και πότε. Με βάση τη διαδικασία εισόδου / εξόδου, ο εποπτικός ελεγκτής κάνει πολλούς υπολογισμούς για να ελέγχει πάντα εάν το σύστημα λειτουργεί καλά. Εάν εντοπίσει κάποια προβλήματα, δίνει αμέσως διάφορες εντολές για να διασφαλίσει ποιον ελεγκτή θα χρησιμοποιήσει και πότε. Ο εποπτικός ελεγκτής εκτελεί επίσης τις ακόλουθες εργασίες:

- Υπολογισμός καθορισμένου σημείου (Επίπτωση στην ενέργεια, ποιότητα, όγκος παραγωγής).
- Λειτουργίες εκκίνησης, διακοπής λειτουργίας, έκτακτης ανάγκης.
- Έλεγχος αναδιαμόρφωσης / συντονισμού.
- Παρακολούθηση/διάγνωση απόδοσης.
- Διεπαφή χειριστή.
- Εξάρτηση από τον τομέα (βασισμένο σε φυσικό μοντέλο).
- Ακριβής / κατά προσέγγιση πραγματικός χρόνος (Omer, 2014).

### **2.3.4. ΕΠΙΠΕΔΟ 3: ΕΛΕΓΧΟΣ ΠΑΡΑΓΩΓΗΣ**

Ο έλεγχος παραγωγής (αγγλ.: *production control*) έχει τις ακόλουθες εργασίες και χαρακτηριστικά:

- Προγραμματισμός διαδικασίας.
- Χειρισμός υλικών.
- Διαχείριση συντήρησης.
- Διαχείριση αποθεμάτων.
- Διαχείριση ποιότητας.
- Τεχνολογία βελτιστοποίησης πόρων.
- Ηλεκτρονικός μη πραγματικός χρόνος (Omer, 2014).

## 2.4. ΠΛΕΟΝΕΚΤΗΜΑΤΑ / ΜΕΙΟΝΕΚΤΗΜΑΤΑ

### 2.4.1. ΠΛΕΟΝΕΚΤΗΜΑΤΑ

Οι εταιρείες αναλαμβάνουν έργα στον αυτοματισμό παραγωγής και την ολοκληρωμένη κατασκευή υπολογιστών για διάφορους λόγους. Μερικοί από τους λόγους που χρησιμοποιούνται για να δικαιολογήσουν την αυτοματοποίηση είναι οι ακόλουθοι:

1. **Αύξηση της παραγωγικότητας της εργασίας.** Η αυτοματοποίηση μιας παραγωγικής λειτουργίας συνήθως αυξάνει τον ρυθμό παραγωγής και την παραγωγικότητα της εργασίας. Αυτό σημαίνει μεγαλύτερη απόδοση ανά ώρα εργασίας (Verma & Saluja, 2018).
2. **Μείωση του κόστους εργασίας.** Το διαρκώς αυξανόμενο κόστος εργασίας ήταν και συνεχίζει να είναι η τάση στις βιομηχανικές κοινωνίες του κόσμου, και κατά συνέπεια, η υψηλότερη επένδυση στον αυτοματισμό έχει καταστεί οικονομικά δικαιολογημένη για να αντικαταστήσει τις χειρωνακτικές λειτουργίες. Οι μηχανές αντικαθιστούν όλο και περισσότερο το ανθρώπινο δυναμικό για να μειωθεί το κόστος ανά μονάδα προϊόντος.
3. **Αμβλυνση των επιπτώσεων της έλλειψης εργατικού δυναμικού.** Υπάρχει γενική έλλειψη εργατικού δυναμικού σε πολλά προηγμένα έθνη και αυτό έχει τονώσει την ανάπτυξη αυτοματοποιημένων λειτουργιών ως υποκατάστατο της εργασίας (Omer, 2014).
4. **Μείωση ή εξάλειψη τυπικών χειρωνακτικών και γραφικών εργασιών.** Μπορεί να προβληθεί ένα επιχείρημα ότι υπάρχει κοινωνική αξία στην αυτοματοποίηση λειτουργιών που είναι χρονοβόρες και αποτελούν ρουτίνα. Η αυτοματοποίηση τέτοιων εργασιών εξυπηρετεί το σκοπό της βελτίωσης του γενικού επιπέδου των συνθηκών εργασίας.
5. **Βελτίωση της ασφάλειας των εργαζομένων.** Με την αυτοματοποίηση μιας δεδομένης λειτουργίας και τη μεταφορά του εργαζομένου από την ενεργό συμμετοχή στη διαδικασία σε έναν εποπτικό ρόλο, η εργασία γίνεται ασφαλέστερη. Η ασφάλεια και η σωματική ευεξία του εργαζομένου έχει γίνει εθνικός στόχος με τη θέσπιση του Νόμου για την Ασφάλεια και την Υγεία στην Εργασία (αγγλ.: *OSHA / Occupational Safety and Health Act*) στις Ηνωμένες Πολιτείες το 1970 (US Department of Labor, 2002).

6. **Βελτίωση της ποιότητας των προϊόντων.** Ο αυτοματισμός δεν οδηγεί μόνο σε υψηλότερους ρυθμούς παραγωγής από τις χειροκίνητες λειτουργίες, αλλά εκτελεί επίσης τη διαδικασία κατασκευής με μεγαλύτερη ομοιομορφία και συμμόρφωση με τις προδιαγραφές ποιότητας. Η μείωση του ποσοστού ελαττωματικών προϊόντων είναι ένα από τα κύρια οφέλη του αυτοματισμού.
7. **Μείωση των χρονικών ορίων της παραγωγής.** Ο αυτοματισμός συμβάλλει στη μείωση του χρόνου που μεσολαβεί μεταξύ της παραγγελίας του πελάτη και της παράδοσης του προϊόντος, παρέχοντας ανταγωνιστικό πλεονέκτημα στον κατασκευαστή για μελλοντικές παραγγελίες. Με τη μείωση του χρόνου παράδοσης της κατασκευής, ο κατασκευαστής μειώνει επίσης το απόθεμα εργασίας κατά τη διαδικασία (Llale, et al., 2020).
8. **Ολοκλήρωση διαδικασιών που δεν μπορούν να γίνουν χειροκίνητα.** Ορισμένες λειτουργίες δεν μπορούν να πραγματοποιηθούν χωρίς τη βοήθεια ενός μηχανήματος. Αυτές οι διαδικασίες έχουν απαιτήσεις για ακρίβεια, σμίκρυνση ή πολυπλοκότητα της γεωμετρίας που δεν μπορούν να επιτευχθούν με το χέρι. Παραδείγματα περιλαμβάνουν ορισμένες λειτουργίες κατασκευής ολοκληρωμένων κυκλωμάτων, γρήγορες διαδικασίες δημιουργίας πρωτοτύπων που βασίζονται σε μοντέλα γραφικών υπολογιστών και τη μηχανική κατεργασία σύνθετων, μαθηματικά καθορισμένων επιφανειών με χρήση αριθμητικού ελέγχου υπολογιστή. Αυτές οι διαδικασίες μπορούν να πραγματοποιηθούν μόνο από συστήματα ελεγχόμενα από υπολογιστή (Verma & Saluja, 2018).
9. **Αποφυγή του υψηλού κόστους της μη αυτοματοποίησης.** Υπάρχει ένα σημαντικό ανταγωνιστικό πλεονέκτημα που αποκτάται στην αυτοματοποίηση μιας μονάδας παραγωγής, το οποίο δεν μπορεί εύκολα να αποδειχθεί στο έντυπο εξουσιοδότησης έργου μιας εταιρείας. Τα οφέλη του αυτοματισμού εμφανίζονται συχνά με απροσδόκητους και άυλους τρόπους, όπως στη βελτιωμένη ποιότητα, τις υψηλότερες πωλήσεις, τις καλύτερες εργασιακές σχέσεις και την καλύτερη εικόνα της εταιρείας. Οι εταιρείες που δεν αυτοματοποιούνται είναι πιθανό να βρεθούν σε ανταγωνιστική μειονεκτική θέση με τους πελάτες τους, τους υπαλλήλους τους και το ευρύ κοινό (KPT, 2013).

## 2.4.2. ΜΕΙΟΝΕΚΤΗΜΑΤΑ

1. **Υψηλότερο κόστος εκκίνησης και λειτουργίας.** Ο αυτοματοποιημένος εξοπλισμός περιλαμβάνει τις υψηλές κεφαλαιουχικές δαπάνες που απαιτούνται για την επένδυση στον αυτοματισμό. Ένα αυτοματοποιημένο σύστημα μπορεί να κοστίσει εκατομμύρια δολάρια για το σχεδιασμό, την κατασκευή και την εγκατάσταση.
2. **Υψηλότερο κόστος συντήρησης.** Απαιτείται υψηλότερο επίπεδο συντήρησης σε σχέση με ένα μηχάνημα που λειτουργεί με το χέρι. Αυτές περιλαμβάνουν την αγορά ηλεκτρομηχανικών συσκευών όπως ηλεκτρομηχανική βαλβίδα, αισθητηριακές συσκευές και έξυπνες συσκευές. Το κόστος των ανταλλακτικών για το σύστημα αυτοματισμού μπορεί να θεωρηθεί υψηλότερο σε σύγκριση με τη χειροκίνητη λειτουργία (Llale, et al., 2020).
3. **Κόστος απαξίωσης / απόσβεσης.** Η απαξίωση και η απόσβεση είναι μια σταδιακή μείωση της αξίας των φυσικών περιουσιακών στοιχείων. Αυτό το φαινόμενο είναι χαρακτηριστικό όλων των φυσικών περιουσιακών στοιχείων με τη μορφή εξοπλισμού και μηχανημάτων, και κατέστη αναπόφευκτο λόγω της ανάπτυξης της τεχνολογίας. Η απαξίωση ή η απόσβεση μπορεί να ταξινομηθεί σε δύο μέρη και συγκεκριμένα:
  - i. Φυσική απόσβεση: Προκύπτει ως αποτέλεσμα φυσικής βλάβης εξοπλισμού ή ρομπότ και περιγράφει μια μορφή που μπορεί να φανεί καθαρά ως ζημιά, φθορά και διάβρωση.
  - ii. Απόσβεση των λειτουργιών: Προέκυψε από αλλαγές στη ζήτηση για τις παρεχόμενες υπηρεσίες, καθώς και από αλλαγές στην ανάγκη για υπηρεσία εξοπλισμού, από την ανακάλυψη νέου εξοπλισμού ή από την πιθανή αδυναμία κάποιου ρομποτικού συστήματος να καλύψει τη ζήτηση (Verma & Saluja, 2018).
4. **Ανεργία.** Ένα μειονέκτημα που συχνά συνδέεται με την αυτοματοποίηση, είναι η μετατόπιση εργαζομένων. Λόγω του γεγονότος ότι οι χειρωνακτικοί εργάτες αντικαθίστανται από ρομπότ ή άλλα αυτοματοποιημένα μηχανήματα, αυτό οδηγεί σε μαζικές απολύσεις. Πολλοί άνθρωποι χάνουν τις δουλειές τους, ειδικά εκείνοι που εργάζονται στη μεταποιητική βιομηχανία.
5. Δεν δικαιολογείται οικονομικά για παραγωγή μικρής κλίμακας (KPT, 2013).



## ΚΕΦΑΛΑΙΟ 3<sup>ο</sup>

### ΙοT ΣΤΑ ΒΙΟΜΗΧΑΝΙΚΑ ΣΥΣΤΗΜΑΤΑ (ΠοT)

Η έννοια του βιομηχανικού διαδικτύου των πραγμάτων (ΠοT) αναφέρεται στην ενοποίηση πολύπλοκων φυσικών μηχανημάτων με δικτυωμένους αισθητήρες και λογισμικό. Ενσωματώνει τη χρήση προγνωστικών αναλυτικών στοιχείων («μεγάλα δεδομένα» / “big data”) με το αυξημένο επίπεδο συνδεσιμότητας μεταξύ διαφορετικών συσκευών και διαδικασιών παραγωγής. Αυτό το υψηλό επίπεδο συνδεσιμότητας καθίσταται δυνατό μέσω της διάχυτης χρήσης μικροσκοπικών υπολογιστικών συσκευών και αισθητήρων, όπως π.χ. ταυτοποίηση μέσω ραδιοσυχνοτήτων. Το διαδίκτυο χρησιμεύει ως το κανάλι μέσω του οποίου ρέουν οι πληροφορίες και μέσω του οποίου συνδέονται τα αντικείμενα (Scholten, 2017).

Σύμφωνα με το WEF (2015), αυτή η τεχνολογία που αλλάζει το παιχνίδι «θα συνδυάσει την παγκόσμια εμβέλεια του διαδικτύου με μια νέα ικανότητα άμεσου ελέγχου του φυσικού κόσμου, συμπεριλαμβανομένων των μηχανών, των εργοστασίων και των υποδομών που καθορίζουν το σύγχρονο τοπίο». Αυτή η αλλαγή παραδείγματος αποκαλείται μερικές φορές «Βιομηχανία 4.0», «έξυπνα εργοστάσια» ή «εργοστάσια του μέλλοντος», όπου οι προηγμένες τεχνολογίες αυτοματισμού και ανίχνευσης, η ανταλλαγή πληροφοριών και οι νέες τεχνολογίες παραγωγής θέτουν τη βάση αυτού που είναι πιθανό να είναι η νέα βιομηχανική επανάσταση (Acatech & Forschungsunion, 2013).

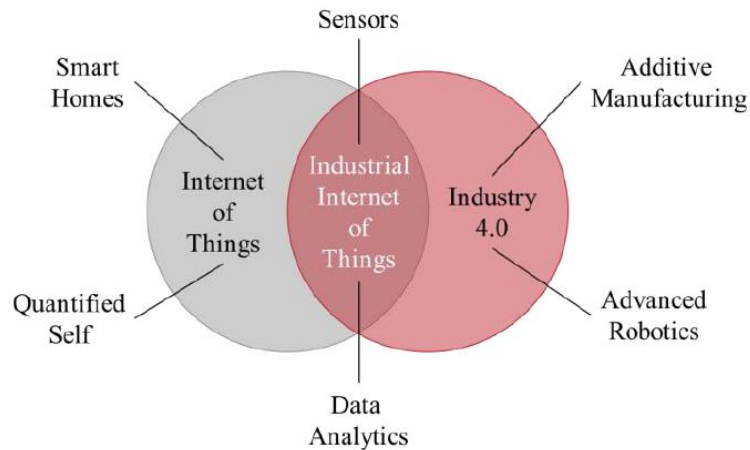
Το ΠοT μπορεί να θεωρηθεί ως υποενότητα των ευρύτερων εννοιών του Διαδικτύου των Πραγμάτων και της Βιομηχανίας 4.0. Ενώ η ιδέα της Βιομηχανίας 4.0 καλύπτει συγκεκριμένα τη βιομηχανία παραγωγής, καλύπτει πολύ περισσότερα από το διαδίκτυο των πραγμάτων μόνο: αφορά επίσης την προηγμένη ρομποτική και την κατασκευή πρόσθετων (Scholten, 2017).

Αν και το ΙοT και το ΠοT έχουν πολλές κοινές τεχνολογίες, συμπεριλαμβανομένων των πλατφορμών υπολογιστικού νέφους, των αισθητήρων, της συνδεσιμότητας, των επικοινωνιών μηχανής με μηχανή και της ανάλυσης δεδομένων, χρησιμοποιούνται για διαφορετικούς σκοπούς:



⇒ Οι εφαρμογές IoT συνδέουν συσκευές σε πολλαπλούς κλάδους, συμπεριλαμβανομένων της γεωργίας, της υγειονομικής περίθαλψης, των επιχειρήσεων, των καταναλωτών και των υπηρεσιών κοινής ωφέλειας, καθώς και της κυβέρνησης και των πόλεων. Οι συσκευές IoT περιλαμβάνουν έξυπνες συσκευές, ζώνες γυμναστικής και άλλες εφαρμογές που γενικά δεν δημιουργούν καταστάσεις έκτακτης ανάγκης εάν κάτι πάει στραβά.

⇒ Οι εφαρμογές ΠoT, από την άλλη πλευρά, συνδέουν μηχανές και συσκευές σε βιομηχανίες όπως το πετρέλαιο και το φυσικό αέριο, οι επιχειρήσεις κοινής ωφέλειας



*Εικόνα 2: Η θέση του ΠoT σε σχέση με το IoT και τη Βιομηχανία 4.0.  
Πηγή: Scholten, 2017*

και η κατασκευή. Οι αποτυχίες συστήματος και ο χρόνος διακοπής λειτουργίας σε αναπτύξεις ΠoT μπορεί να οδηγήσουν σε καταστάσεις υψηλού κινδύνου ή ακόμα και σε καταστάσεις απειλητικές για τη ζωή. Οι εφαρμογές ΠoT ενδιαφέρονται επίσης περισσότερο για τη βελτίωση της αποτελεσματικότητας και τη βελτίωση της υγείας ή της ασφάλειας, σε σύγκριση με τη πελατοκεντρική φύση των εφαρμογών IoT (SIST, 2020).

### 3.1. ΑΡΧΙΤΕΚΤΟΝΙΚΗ

Το ΠoT φέρνει την έννοια του διαδικτύου των πραγμάτων σε εταιρικό επίπεδο. Κάθε επιχείρηση έχει τις μοναδικές συστάδες συσκευών της με περιορισμένες διεπαφές, αλλά όσον αφορά τις προκλήσεις, δεν υπάρχει μια ενιαία λύση που να λύνει όλα τα προβλήματα (Karmakar, Dey, Baral, Chowdhury, & Rehan, 2019).

Τα βασικά στοιχεία της αρχιτεκτονικής του ΠoT είναι τα εξής:

- ❖ **Σύστημα βιομηχανικού ελέγχου:** Το σύστημα βιομηχανικού ελέγχου είναι ένας γενικός όρος που χρησιμοποιείται για να ορίσει την ενοποίηση λογισμικού και υλικού για τον έλεγχο της υποδομής ζωτικής σημασίας. Αναπτύσσονται γενικά χρησιμοποιώντας τα προαναφερθέντα συστήματα κατακευκμένου ελέγχου (DCS), προγραμματιζόμενου λογικού ελέγχου (PLC), εποπτικού ελέγχου και απόκτησης δεδομένων (SCADA), αλλά και απομακρυσμένες τερματικές μονάδες (RTU), διακομιστές ελέγχου, διεπαφές ανθρώπου - μηχανής (HMI), ευφυείς ηλεκτρονικές συσκευές (αγγλ.: IED / *intelligent electronic devices*) και πολλά άλλα συστήματα ειδικά για τη βιομηχανία (Shin & Hwang, 2008).
- ❖ **Συσκευές:** Οι αισθητήρες, οι διεργαστές και οι μεταφραστές είναι ορισμένες συσκευές που αφορούν τον κλάδο που διασυνδέονται με ICS, μεταβατικά δεδομένα αποθήκευσης, κανάλια και επεξεργαστές για την παροχή δεδομένων στον εκάστοτε χρήστη της εφαρμογής. Παρέχουν δυνατότητες αλληλεπίδρασης μηχανής με μηχανή, αλληλεπίδρασης ανθρώπου με μηχανή και αντίστροφα στο σύστημα βιομηχανικού ελέγχου (DeNatale, et al., 2003).
- ❖ **Μεταβατικά δεδομένα:** Πρόκειται για ένα υποτελές στοιχείο της κύριας αρχιτεκτονικής όπου αποθηκεύεται προσωρινά η μεταβατική αναπαράσταση των αντικειμένων δεδομένων διασφαλίζοντας την ανθεκτικότητα κατά την αποτυχία της λειτουργίας και την αστοχία του συστήματος, συμπεριλαμβανομένων των δικτύων (Karmakar, Dey, Baral, Chowdhury, & Rehan, 2019).
- ❖ **Τοπικοί επεξεργαστές:** Είναι συστήματα επεξεργασίας δεδομένων χαμηλής καθυστέρησης που παρέχουν γρήγορη επεξεργασία δεδομένων, τα οποία μπορούν να ενσωματωθούν στην ίδια τη συσκευή για να υποστούν την επεξεργασία. Αυτοί οι επεξεργαστές μπορούν να ταξινομηθούν σε φίλτρα δεδομένων, διαχειριστές συμβάντων, επεξεργαστές δεδομένων, μηχανές που βασίζονται σε κανόνες, ανιχνευτές σήματος, αλγόριθμους, δρομολογητές κλπ. (Zhou, Wu, Chen, & Dong, 2018).
- ❖ **Εφαρμογές:** Παρέχουν πληροφορίες για τις λειτουργίες πεδίου σε πραγματικό χρόνο, βοηθώντας το προσωπικό να διαχειρίζεται τις συσκευές, να αλληλεπιδρά με άλλα συστήματα και να χειρίζεται τα δεδομένα. Οι ειδοποιήσεις και οι οπτικοποιήσεις τις βοηθούν να λαμβάνουν αποτελεσματικές και υπολογισμένες αποφάσεις (Domova & Dagnino, 2017).

- ❖ **Κανάλια:** Είναι μέσα ανταλλαγής δεδομένων μεταξύ του συστήματος και της εφαρμογής. Περιλαμβάνουν το πρωτόκολλο δικτύων, τις δορυφορικές επικοινωνίες, τις διεπαφές προγραμματισμού εφαρμογών (αγγλ.: *API / application programming interfaces*), τους δρομολογητές κλπ.
- ❖ **Πύλες:** Οι πύλες παρέχουν μια σύνδεση σε διάφορα δίκτυα και πρωτόκολλα που επιτρέπει τη μεταφορά δεδομένων μεταξύ διαφορετικών συσκευών IIoT. Περιλαμβάνουν τους έξυπνους δρομολογητές σήματος, το πρωτόκολλο μεταφοράς πληροφοριών κλπ. (Karmakar, Dey, Baral, Chowdhury, & Rehan, 2019).
- ❖ **Συλλέκτες:** Οι συλλέκτες συλλέγουν δεδομένα από πύλες χρησιμοποιώντας τυπικά πρωτόκολλα. Μπορεί να είναι κατασκευασμένοι κατά παραγγελία, αλλά αυτά τα είδη συσκευών διαφέρουν από βιομηχανία σε βιομηχανία ανάλογα με τις ανάγκες.
- ❖ **Επεξεργαστές:** Οι επεξεργαστές είναι στον πυρήνα κάθε είδους λύσης IIoT. Οι κύριες λειτουργίες τους περιλαμβάνουν τους μετασχηματισμούς δεδομένων, την ανίχνευση σημάτων, τα αναλυτικά μοντέλα, την επεξεργασία σύνθετων συμβάντων κλπ.
- ❖ **Μόνιμη αποθήκευση δεδομένων:** Πρόκειται για σύστημα αποθήκευσης δεδομένων μακράς διάρκειας συνδεδεμένο με το σύστημα IIoT, το οποίο καταγράφει τις συσκευές μαζί με δεδομένα από διαφορετικές πηγές που τροφοδοτούν δεδομένα στους επεξεργαστές για προηγμένη αναλυτική επεξεργασία και προετοιμασία μοντέλων. Περιλαμβάνει έναν τεράστιο αριθμό δεδομένων παράλληλης επεξεργασίας, αποθήκευσης cloud, ανοιχτού κώδικα κλπ. (Brusakova, Borisov, Gusko, Nekrasov, & Malenkova, 2017).
- ❖ **Μοντέλα:** Υπάρχουν δύο τύποι μοντέλων σε οποιαδήποτε λύση IIoT: το αναλυτικό μοντέλο και το μοντέλο δεδομένων. Τα μοντέλα δεδομένων παρέχουν μια δομή στα δεδομένα, ενώ τα αναλυτικά μοντέλα είναι προσαρμοσμένες κατασκευές για την κάλυψη των ειδικών αναγκών του κλάδου. Τα μοντέλα διαδραματίζουν κρίσιμο ρόλο σε οποιεσδήποτε λύσεις IIoT, ενώ γενικά δημιουργούνται αξιοποιώντας τα δεδομένα σε μόνιμες αποθήκες δεδομένων, ανθρώπινες εμπειρίες και βιομηχανικά πρότυπα. Τα αναλυτικά μοντέλα αξιοποιούνται χρησιμοποιώντας ένα σύνολο δεδομένων ιστορικού ή χρησιμοποιώντας προηγμένη μηχανική εκμάθηση (π.χ. ομαδοποίηση, παλινδρόμηση, μαθηματικά, στατιστική κλπ.) (Jayaram, 2017).

- ❖ **Ασφάλεια:** Αυτή είναι μια σημαντική πτυχή του συστήματος που βασίζεται στο ΙοΤ που εκτείνεται από την πηγή έως την κατανάλωση. Περιλαμβάνει την εξουσιοδότηση δεδομένων, την κρυπτογράφηση, τον έλεγχο ταυτότητας, τη διαχείριση χρηστών, τα τείχη προστασίας, την κάλυψη κλπ. (Zhou & Guo, Anomaly Detection Methods for ΙοΤ Networks, 2018).
- ❖ **Υπολογιστικά περιβάλλοντα:** Το αναφερόμενο περιβάλλον ποικίλλει από βιομηχανία σε βιομηχανία ανάλογα με τις ανάγκες της επιχείρησης και το τοπίο της.
  - Υπολογισμός ομίχλης: Μεταφορά των αναλυτικών στοιχείων κοντά στην πηγή.
  - Υπολογιστικό νέφος: Κλιμάκωση των αναλυτικών στοιχείων παγκοσμίως σε ολόκληρο τον κλάδο.
  - Υβριδικός υπολογισμός: Συνδυασμός λειτουργιών βελτιστοποίησης υπολογιστικού νέφους και ομίχλης προσαρμοσμένων σε συγκεκριμένα πεδία (Karmakar, Dey, Baral, Chowdhury, & Rehan, 2019).

### 3.2. ΚΙΝΗΤΡΑ ΑΞΙΟΠΟΙΗΣΗΣ

Τα κίνητρα για την ενσωμάτωση του ΙοΤ είναι οικονομικά, κοινωνικά και περιβαλλοντικά, με τα πρώτα ωστόσο να είναι τα σημαντικότερα. Πιο συγκεκριμένα, το ΙοΤ θεωρείται σημαντική τεχνολογία για μελλοντική ανταγωνιστικότητα μέσω μαζικών προσαρμοσμένων προϊόντων (Foresight, 2013). Αναμένεται να εξοικονομήσει πόρους στη διαδικασία παραγωγής βελτιώνοντας την παραγωγικότητα και μειώνοντας το κόστος, αλλά και να δημιουργήσει περισσότερα έσοδα προσφέροντας μεγαλύτερη ποικιλία στα προϊόντα, αυξάνοντας έτσι τις πωλήσεις και βελτιώνοντας την ποιότητα του προϊόντος κατά τη διάρκεια της διαδικασίας παραγωγής (McKinsey Global Institute, 2015; WEF, 2015; Friedrich-Ebert-Stiftung, 2015), κάτι το οποίο επιτυγχάνεται μέσω της προγνωστικής συντήρησης, της τηλεργασίας και των βελτιστοποιημένων διαδικασιών παραγωγής. Η εξυπηρέτηση ως νέο επιχειρηματικό μοντέλο που ενεργοποιείται από το ΙοΤ οδηγεί επίσης τις εταιρείες να το ενστερνιστούν (Scholten, 2017).

Η ζήτηση της αγοράς για μεγάλες παρτίδες συρρικνώνεται επίσης: οι πελάτες παραγγέλνουν λιγότερο συχνά μεγάλες παρτίδες προϊόντων, αλλά θέλουν μικρότερες παρτίδες ή ακόμη και μοναδικά προϊόντα. Εταιρείες από έναν συγκεκριμένο κλάδο ανέφεραν ότι οι ευέλικτες γραμμές παραγωγής που χρειάζονται, ωστόσο, είναι 30 – 40% ακριβότερες, ενώ η τρέχουσα πριμοδότηση για εξατομικευμένα προϊόντα υψηλής ποιότητας είναι 10 – 20%, κάτι το οποίο έχει ως αποτέλεσμα την αντικατάσταση των γραμμών παραγωγής για μεγαλύτερο χρονικό διάστημα. Ο ανταγωνισμός είναι ένας άλλος μοχλός για την αξιοποίηση του ΠoT: ο χρόνος εδώ θεωρείται σημαντικός, αλλά είναι κυρίως οι μεγαλύτερες εταιρείες που εφαρμόζουν το ΠoT αυτή τη στιγμή (Scholten, 2017).

Εκτός από τους οικονομικούς παράγοντες, υπάρχουν και οι κοινωνικοί. Το ΠoT μπορεί να προσφέρει περισσότερη ασφάλεια και καλύτερες συνθήκες εργασίας για τους εργαζομένους, καθώς και βελτιωμένη εμπειρία πελατών μέσω της υψηλότερης ποικιλίας στα προϊόντα και έγκαιρης συμμετοχής στη διαδικασία παραγωγής, η οποία συνδέεται με το οικονομικό κίνητρο για τη δημιουργία και περισσότερου εισοδήματος. Ομοίως, υπάρχει ισχυρή σύνδεση μεταξύ των οικονομικών και περιβαλλοντικών παραγόντων: μέσω της μείωσης της χρήσης πόρων, όπως το νερό, η ενέργεια και τα υλικά, καθώς επίσης και μέσω της δημιουργίας λιγότερων αποβλήτων, οι επιχειρήσεις μπορούν επίσης να μειώσουν το κόστος (WEF, 2015).

Οι βασικοί ενεργοποιητές του ΠoT είναι οι εξελίξεις στις τεχνολογίες πληροφοριών και επικοινωνιών, τεχνολογιών αισθητήρων και ενεργοποιητών. Τεχνολογίες όπως τα μεγάλα δεδομένα, η ασφάλεια δεδομένων, το blockchain, το υπολογιστικό νέφος, τα κυβερνοφυσικά συστήματα, οι κατασκευές προσθέτων, τα προηγμένα υλικά, η αυτόνομη ρομποτική κλπ. αναφέρονται ως τεχνολογίες ενεργοποίησης για το IoT (Lee, Kao, & Yang, 2014; Roland Berger, 2015α; van Houten & Scholten, 2016). Η εξέλιξη του ΠoT είναι επομένως στενά συνδεδεμένη με τις γενικές εξελίξεις στις τεχνολογίες πληροφοριών και επικοινωνιών (αγγλ.: *ICT / information and communication technologies*), την επιστήμη των δεδομένων, τη νανοτεχνολογία, τη μικρογράφηση και την (προηγμένη) ρομποτική. Τάσεις όπως η μείωση της κατανάλωσης ενέργειας και η αυξανόμενη ταχύτητα της ασύρματης επικοινωνίας δεδομένων είναι επίσης καθοριστικές για το ΠoT (WEF, 2015; McKinsey Global Institute, 2013; Roland Berger, 2015β). Ένας βασικός παράγοντας για το ΠoT είναι η μείωση του κόστους των

αισθητήρων και άλλων στοιχείων ΤΠΕ, ο ολοένα πιο ψηφιακός και συνδεδεμένος κόσμος, καθώς επίσης και τα νέα πρωτόκολλα επικοινωνίας στο διαδίκτυο όπως το προαναφερθέν IPv6 (Zuehlke, 2010; McKinsey Global Institute, 2013; Foresight, 2013).

### **3.3. ΕΦΑΡΜΟΓΕΣ**

Σύμφωνα με το McKinsey Global Institute (2015) *«οι παλαιότερες εφαρμογές του Διαδικτύου των Πραγμάτων έγιναν σε βιομηχανίες εργοταξίων, όπου ο τομέας πετρελαίου και φυσικού αερίου ήταν ο πιο προηγμένος χρήστης του IoT»*. Επιπλέον, η αυτοκινητοβιομηχανία αναμένεται να μεταμορφωθεί λόγω των νέων μοντέλων αλυσίδας αξίας που επιτρέπει το IIoT (Germany Trade & Invest, 2014). Το McKinsey Global Institute (2015) εκτιμά ότι το 2025, η ανάπτυξη του IIoT στην αυτοκινητοβιομηχανία μπορεί να οδηγήσει σε παγκόσμια αξία 210 – 740 δισεκατομμυρίων δολαρίων.

Αυτού του είδους οι προβλέψεις μπορεί να τονώσουν την πλήρη εφαρμογή της τεχνολογίας στην κατασκευή, αλλά η πραγματικότητα είναι ότι το IoT απέχει πολύ από το να είναι κυρίαρχο ρεύμα στη βιομηχανία. Το υψηλό κόστος των απαραίτητων τεχνολογιών, σε συνδυασμό με το κόστος που προκύπτει για τις αλλαγές που απαιτούνται για την οργάνωση της εργασίας και το σύνολο των δεξιοτήτων των εργαζομένων, συγκρατούν τον κλάδο (Scholten, 2017). Το McKinsey Global Institute (2013) αναφέρει χαρακτηριστικά ότι το IIoT *«είναι ακόμη σε πρώιμα στάδια υιοθέτησης, αλλά έχει ήδη μεγάλη ποικιλία χρήσεων και το χαρτοφυλάκιο των εφαρμογών επεκτείνεται καθημερινά»*. Τα περισσότερα δεδομένα IIoT που συλλέγονται επί του παρόντος δεν χρησιμοποιούνται ακόμη πλήρως (ή ακόμη και καθόλου), συχνά λόγω του δύσκολου όγκου δεδομένων που πρέπει να αντιμετωπιστούν (McKinsey Global Institute, 2015). Εταιρείες όπως η Siemens και η General Electric έχουν πραγματοποιήσει σημαντικές επενδύσεις στην κατασκευή πλατφορμών λογισμικού για IIoT, όντας μεταξύ των πρωτοπόρων σε αυτό το κομμάτι (WEF, 2015).

Πολλές μεταποιητικές βιομηχανίες αναμένεται να μεταμορφωθούν από το IoT (WEF, 2015). Στην αναθεωρημένη βιβλιογραφία, παρατηρούνται πιο συχνά αναφορές στους ακόλουθους επιμέρους κλάδους:

- Χημικά προϊόντα (19%).
- Μηχανοκίνητα οχήματα, ρυμουλκούμενα και ημιρυμουλκούμενα (14%).
- Οπτάνθρακας και προϊόντα διύλισης πετρελαίου (14%).
- Επισκευή και εγκατάσταση μηχανημάτων και εξοπλισμού (14%).
- Άλλος εξοπλισμός μεταφοράς (10%).
- Προϊόντα διατροφής (5%) (Scholten, 2017).

### **3.4. ΠΛΕΟΝΕΚΤΗΜΑΤΑ / ΜΕΙΟΝΕΚΤΗΜΑΤΑ**

#### **3.4.1. ΠΛΕΟΝΕΚΤΗΜΑΤΑ**

Ένα από τα κορυφαία πλεονεκτήματα των συσκευών IIoT που χρησιμοποιούνται στη βιομηχανία κατασκευής είναι ότι επιτρέπουν την έξυπνη συντήρηση. Οι οργανισμοί μπορούν να χρησιμοποιήσουν δεδομένα σε πραγματικό χρόνο που παράγονται από συστήματα IIoT για να προβλέψουν πότε θα χρειαστεί συντήρηση ενός μηχανήματος. Με αυτόν τον τρόπο, μπορεί να πραγματοποιηθεί η απαραίτητη συντήρηση πριν συμβεί μια αστοχία. Αυτό μπορεί να είναι ιδιαίτερα ωφέλιμο σε μια γραμμή παραγωγής, όπου η αστοχία ενός μηχανήματος μπορεί να οδηγήσει σε διακοπή εργασίας και τεράστιο κόστος. Αντιμετωπίζοντας προληπτικά ζητήματα συντήρησης, ένας οργανισμός μπορεί να επιτύχει καλύτερη λειτουργική αποτελεσματικότητα (SIST, 2020).

Ένα άλλο πλεονέκτημα είναι η πιο αποτελεσματική υπηρεσία πεδίου. Οι τεχνολογίες IIoT βοηθούν τους τεχνικούς εξυπηρέτησης πεδίου να εντοπίσουν πιθανά ζητήματα στον εξοπλισμό πελατών προτού γίνουν σημαντικά ζητήματα, επιτρέποντας στους τεχνικούς να διορθώσουν τα προβλήματα προτού ταλαιπωρήσουν τους πελάτες. Αυτές οι τεχνολογίες ενδέχεται επίσης να παρέχουν στους τεχνικούς επιτόπιας παροχής υπηρεσιών πληροφορίες σχετικά με τα εξαρτήματα που χρειάζονται για την επισκευή (Karmakar, Dey, Baral, Chowdhury, & Rehan, 2019).

Η παρακολούθηση των περιουσιακών στοιχείων είναι ένα άλλο προνόμιο του IIoT. Οι προμηθευτές, οι κατασκευαστές και οι πελάτες μπορούν να χρησιμοποιούν συστήματα

διαχείρισης περιουσιακών στοιχείων για να παρακολουθούν την τοποθεσία, την κατάσταση και την κατάσταση των προϊόντων σε όλη την αλυσίδα εφοδιασμού. Το σύστημα στέλνει άμεσες ειδοποιήσεις στους ενδιαφερόμενους εάν τα αγαθά έχουν υποστεί ζημιά ή κινδυνεύουν να υποστούν ζημιά, δίνοντάς τους την ευκαιρία να λάβουν άμεσα ή προληπτικά μέτρα για να διορθώσουν την κατάσταση (Karmakar, Dey, Baral, Chowdhury, & Rehan, 2019).

Το ΠoT επιτρέπει επίσης βελτιωμένη ικανοποίηση των πελατών. Όταν τα προϊόντα συνδέονται στο Διαδίκτυο των Πραγμάτων, ο κατασκευαστής μπορεί να απεικονίσει και να αναλύσει δεδομένα σχετικά με τον τρόπο με τον οποίο οι πελάτες χρησιμοποιούν τα προϊόντα τους, επιτρέποντας στους κατασκευαστές και τους σχεδιαστές προϊόντων να δημιουργήσουν πιο πελατοκεντρικούς χάρτες πορείας προϊόντων (SIST, 2020).

Το ΠoT βελτιώνει επίσης τη διαχείριση εγκαταστάσεων. Ο εξοπλισμός κατασκευής είναι ευαίσθητος στη φθορά, κάτι που μπορεί να επιδεινωθεί από ορισμένες συνθήκες σε ένα εργοστάσιο. Οι αισθητήρες μπορούν να παρακολουθούν τους κραδασμούς, τη θερμοκρασία και άλλους παράγοντες που μπορεί να οδηγήσουν σε μη βέλτιστες συνθήκες λειτουργίας (Karmakar, Dey, Baral, Chowdhury, & Rehan, 2019).

### **3.4.2. ΜΕΙΟΝΕΚΤΗΜΑΤΑ**

Οι μεγαλύτεροι κίνδυνοι που σχετίζονται με τη χρήση ΠoT αφορούν την ασφάλεια. Είναι σχετικά σύνηθες οι συσκευές ΠoT να συνεχίζουν να χρησιμοποιούν προεπιλεγμένους κωδικούς πρόσβασης, ακόμη και αφού έχουν τεθεί σε παραγωγή, ενώ επίσης πολλές συσκευές ΠoT μεταδίδουν δεδομένα ως καθαρό κείμενο, κάτι το οποίο μπορεί δυνητικά να δημιουργήσει συνθήκες που θα καθιστούσαν σχετικά εύκολο για έναν εισβολέα να υποκλέψει τα δεδομένα που προέρχονται από μια συσκευή ΠoT (SIST, 2020). Ομοίως, ένας εισβολέας θα μπορούσε να αναλάβει μια μη ασφαλή συσκευή ΠoT και να τη χρησιμοποιήσει ως πλατφόρμα για την εκτόξευση επίθεσης εναντίον άλλων πόρων δικτύου. Η ασφάλεια είναι μια μεγάλη πρόκληση για όσους είναι υπεύθυνοι για τις συσκευές ΠoT ενός οργανισμού, αλλά το ίδιο ισχύει και για τη διαχείριση συσκευών. Καθώς ένας οργανισμός υιοθετεί όλο και περισσότερες συσκευές ΠoT, θα γίνεται όλο και πιο σημαντική η υιοθέτηση μιας αποτελεσματικής στρατηγικής διαχείρισης συσκευών: πιο συγκεκριμένα, οι οργανισμοί πρέπει να είναι



σε θέση να αναγνωρίζουν τις συσκευές ΠoT για να αποτρέψουν τη χρήση προβληματικών συσκευών. Η δημιουργία ενός μέσου αναγνώρισης κάθε μεμονωμένης συσκευής είναι επίσης ζωτικής σημασίας για εργασίες όπως η αντικατάσταση μιας ελαττωματικής συσκευής ή της εκτέλεσης μιας ανανέωσης συσκευής (Karmakar, Dey, Baral, Chowdhury, & Rehan, 2019).

Η διαχείριση ενημερώσεων κώδικα παρουσιάζει μια άλλη μεγάλη πρόκληση σχετικά με τις συσκευές ΠoT. Συγκεκριμένα, γίνεται όλο και πιο συνηθισμένο για τους κατασκευαστές συσκευών να εκδίδουν περιοδικές ενημερώσεις υλικού και λογισμικού, κι έτσι οι οργανισμοί πρέπει να διαθέτουν αποτελεσματικά μέσα ελέγχου των συσκευών για να δουν αν έχουν εγκαταστήσει το πιο πρόσφατο υλικό και λογισμικό και να το αναπτύξουν εάν είναι απαραίτητο. Επιπλέον, ένα τέτοιο εργαλείο πρέπει να συμμορφώνεται με το καθιερωμένο χρονοδιάγραμμα συντήρησης του οργανισμού, ώστε να μην διαταράσσονται οι λειτουργίες (SIST, 2020).

### **3.5. ΠoT ΚΑΙ ΕΞΟΙΚΟΝΟΜΗΣΗ ΕΝΕΡΓΕΙΑΣ**

Πρακτικά, η ενέργεια μπορεί να συλλεχθεί από περιβαλλοντικές πηγές, δηλαδή, θερμικές, ηλιακές, δονήσεις και πηγές ενέργειας ασύρματων ραδιοσυχνοτήτων (αγγλ.: *RF / radiofrequencies*). Η συγκομιδή από τέτοιες περιβαλλοντικές πηγές εξαρτάται από την παρουσία της αντίστοιχης πηγής ενέργειας: πολλά ενεργειακά αποδοτικά σχήματα για ασύρματα δίκτυα αισθητήρων (αγγλ.: *WSN / wireless sensor networks*) έχουν προταθεί τα τελευταία χρόνια, αλλά αυτές οι προσεγγίσεις δεν είναι άμεσα εφαρμόσιμες στο ΠoT, οι εφαρμογές του οποίου συνήθως χρειάζονται μια πυκνή ανάπτυξη πολλών συσκευών. Τα ανιχνευόμενα δεδομένα μπορούν να αποσταλούν σε μορφή ερωτήματος ή σε συνεχή μορφή, η οποία σε πυκνή ανάπτυξη μπορεί να καταναλώσει σημαντική ποσότητα ενέργειας (El-Mawla, Badawy, & Arafat, 2019). Η πράσινη δικτύωση είναι επομένως ζωτικής σημασίας στο ΠoT για τη μείωση της κατανάλωσης ενέργειας και του λειτουργικού κόστους, καθώς αναμένεται να μειώσει τη ρύπανση και τις εκπομπές και να αξιοποιήσει στο έπακρο την επιτήρηση και τη διατήρηση του περιβάλλοντος (Saifullah, et al., 2018). Οι τεχνολογίες αυτές επιτυγχάνουν λειτουργία χαμηλής κατανάλωσης χρησιμοποιώντας διάφορες προσεγγίσεις σχεδιασμού με ενεργειακή απόδοση (Saifullah, et al., 2016).

- Μια τοπολογία αστεριών, η οποία εξαλείφει την ενέργεια που καταναλώνεται μέσω της δρομολόγησης πακέτων σε δίκτυα πολλαπλών βημάτων.
- Απλός σχεδιασμός μέσω εκφόρτωσης των πολυπλοκοτήτων στην πύλη.
- Χρήση καναλιών στενής ζώνης, μειώνοντας έτσι το επίπεδο θορύβου και επεκτείνοντας το εύρος μετάδοσης.
- Ελαφριά πρωτόκολλα επικοινωνίας.
- Υιοθέτηση ραδιοπομπών χαμηλής ισχύος (El-Mawla, Badawy, & Arafat, 2019).

Το κύριο όφελος των συσκευών και λύσεων ΠοΤ είναι η μεγιστοποίηση των δυνατοτήτων των δεδομένων και των καίριων δεικτών απόδοσης (αγγλ.: *KPI / key performance indicators*) που συλλέγονται από μηχανήματα και έξυπνα περιουσιακά στοιχεία. Αυτό γίνεται για τη δημιουργία και τη βελτίωση της αυτοματοποίησης, τη βελτίωση της λήψης αποφάσεων και την αύξηση της ενεργειακής απόδοσης. Μερικά από τα άλλα οφέλη περιλαμβάνουν:

- ⇒ Βελτιωμένη κανονιστική συμμόρφωση.
- ⇒ Μειωμένο κόστος συντήρησης και επιτόπιες επισκέψεις
- ⇒ Βελτιστοποίηση της χρήσης ανανεώσιμων πηγών ενέργειας.
- ⇒ Μείωση λειτουργικών και κεφαλαιουχικών δαπανών.
- ⇒ Βελτίωση της διαχείρισης της ζήτησης.
- ⇒ Μειωμένο αποτύπωμα εκπομπών άνθρακα.
- ⇒ Ελαχιστοποίηση του ενεργειακού κόστους και της αναποτελεσματικότητας.
- ⇒ Βελτίωση της βιωσιμότητας και της μακροζωίας των περιουσιακών στοιχείων.
- ⇒ Δημιουργία νέων ροών εσόδων για πελάτες και παρόχους (Malchman, 2021).

## ΚΕΦΑΛΑΙΟ 4<sup>ο</sup>

### ΜΕΛΕΤΗ ΠΕΡΙΠΤΩΣΗΣ: ΠΟΤ ΚΑΙ ΕΚΠΟΜΠΕΣ CO<sub>2</sub>

Ένα από τα μεγαλύτερα περιβαλλοντικά προβλήματα που αντιμετωπίζει ο κόσμος σήμερα είναι η υπερθέρμανση του πλανήτη που προκαλείται από την εκπομπή αερίων του θερμοκηπίου. Το διοξείδιο του άνθρακα (CO<sub>2</sub>), το οποίο είναι ένα σημαντικό συστατικό του περιβάλλοντος, προκαλεί θερμαντική επίδραση στην επιφάνεια της γης. Για να προστατευθεί το περιβάλλον, η παρακολούθηση και ο έλεγχος αυτών των αλλαγών αποτελεί μεγάλη πρόκληση. Από την άποψη του μακροπρόθεσμου ελέγχου των εκπομπών CO<sub>2</sub> στην πηγή τους είναι μια πιο επιθυμητή και αποτελεσματική μέθοδος μέσω τεχνολογιών πρόληψης και ελέγχου. Σε αυτό το στάδιο, ένα μεγάλο σημείο έμφασης είναι να εφαρμοστεί το ΠοΤ για τη μέτρηση των εκπομπών CO<sub>2</sub> από τις δημόσιες συγκοινωνίες, τις βιομηχανίες, τις δασικές πυρκαγιές κλπ. (Rajkumar, Sruthi, & Kumar, 2017).

#### 4.1. ΚΕΝΤΡΙΚΑ ΖΗΤΗΜΑΤΑ

##### 4.1.1. ΠΗΓΕΣ ΕΚΠΟΜΠΩΝ

- **Οχήματα:** Οι βασικές εκπομπές των μηχανοκίνητων οχημάτων είναι αέρια θερμοκηπίου (με κυριότερο το διοξείδιο του άνθρακα), τα οποία συμβάλλουν στην κλιματική αλλαγή. Το επίπεδο εκπομπών CO<sub>2</sub> του οχήματος συνδέεται με την ποσότητα καυσίμου που καταναλώνεται και τον τύπο του καυσίμου που χρησιμοποιείται, ενώ ο τομέας των οδικών μεταφορών εξαρτάται από καύσιμα με βάση το πετρέλαιο, τα οποία αυξάνουν το επίπεδο εκπομπών CO<sub>2</sub>. Στον οδηγό «πράσινων» οχημάτων (αγγλ.: *GVG / green vehicle guide*), ο υψηλός αριθμός CO<sub>2</sub> σημαίνει ότι το αυτοκίνητο παράγει υψηλότερο επίπεδο CO<sub>2</sub> από την εξάτμιση. Η επίδραση του ανθρωπογενούς CO<sub>2</sub> στην ατμόσφαιρα οδηγεί στη σταδιακή θέρμανση της επιφάνειας της γης (Yoro & Daramola, 2020).
- **Βιομηχανίες:** Οι εκπομπές CO<sub>2</sub> παράγονται από μια ποικιλία βιομηχανικών δραστηριοτήτων που δεν σχετίζονται με την ενέργεια. Οι κύριες πηγές εκπομπών είναι οι διαδικασίες εκβιομηχάνισης που μετασχηματίζουν χημικά ή

φυσικά υλικά. Κατά τη διάρκεια αυτών των διεργασιών, πολλά διαφορετικά αέρια θερμοκηπίου, συμπεριλαμβανομένων του CO<sub>2</sub>, του μεθανίου (CH<sub>4</sub>), του υποξειδίου του αζώτου (N<sub>2</sub>O) και των χλωροφθορανθράκων (CFC), μπορούν να απελευθερωθούν. Η παραγωγή τσιμέντου είναι ένα αξιοσημείωτο παράδειγμα βιομηχανικής διαδικασίας που εκπέμπει σημαντική ποσότητα CO<sub>2</sub>. Το CO<sub>2</sub> από τη χρήση βιολογικού άνθρακα ως πρώτης ύλης και διεργασίες ζύμωσης δεν θα πρέπει να αναφέρεται στη βιομηχανική παραγωγή εάν προέρχεται από πηγές άνθρακα που προέρχονται από κλειστό κύκλο (Rajkumar, Sruthi, & Kumar, 2017).

- **Δασικές πυρκαγιές:** Σε παγκόσμιο επίπεδο, οι πυρκαγιές έχουν παραβλεφθεί ως βασικός παράγοντας στον παγκόσμιο κύκλο του CO<sub>2</sub>. Ορισμένες μελέτες δείχνουν ότι οι εκπομπές CO<sub>2</sub> από τις πυρκαγιές μπορεί να είναι τόσο υψηλές όσο το ήμισυ των συνολικών εκπομπών από τη χρήση ανθρώπινων ορυκτών καυσίμων. Για παράδειγμα, οι εκπομπές άνθρακα από τις πυρκαγιές σε ολόκληρη την Ινδονησία το 1997 καταλάμβαναν μεταξύ 13% και 40% του μεγέθους της παγκόσμιας εκπομπής ανθρώπινων ορυκτών καυσίμων (Yoro & Daramola, 2020).

#### 4.1.2. ΖΗΤΗΜΑΤΑ ΣΧΕΔΙΑΣΜΟΥ

- **Συνδεσιμότητα:** Απαιτείται μια ποικιλία προτύπων ενσύρματης και ασύρματης συνδεσιμότητας για να καλυφθούν διαφορετικές ανάγκες εφαρμογών και επικοινωνίας σε αυτό το σύστημα.
- **Ισχύς:** Πολλές εφαρμογές IIoT πρέπει να λειτουργούν για πάνω από ένα χρόνο με δύο μπαταρίες και να ελαχιστοποιούν τη συνολική κατανάλωση ενέργειας. Η διακοπή ρεύματος μπορεί να προκαλέσει πολλά προβλήματα (Redchuk, Mateo, Pascal, & Tornillo, 2023).
- **Πολυπλοκότητα:** Η ανάπτυξη της εφαρμογής IIoT πρέπει να είναι εύκολη για όλους τους προγραμματιστές, όχι μόνο για τους ειδικούς, ενώ ένα άλλο ζήτημα είναι ότι εξαρτάται επίσης σε μεγάλο βαθμό από τα έσοδα και την οικονομία της εκάστοτε χώρας. Οποιαδήποτε αποτυχία ή σφάλματα στο λογισμικό ή το υλικό εγκυμονεί σοβαρά προβλήματα.

- **Περιβαλλοντικές επιπτώσεις:** Μια ανησυχία σχετικά με τις τεχνολογίες ΠοΤ έχει να κάνει με τις περιβαλλοντικές επιπτώσεις της κατασκευής, χρήσης και τελικής απόρριψης όλων αυτών των συσκευών που είναι πλούσιες σε ημιαγωγούς. Τα ηλεκτρονικά εξαρτήματα συχνά απλώς καίγονται ή απορρίπτονται σε κανονικούς χώρους υγειονομικής ταφής, μολύνοντας έτσι το έδαφος, τα ύδατα και τον αέρα (Rajkumar, Sruthi, & Kumar, 2017).

#### 4.1.3. ΜΕΘΟΔΟΣ ΕΦΑΡΜΟΓΗΣ

Το πλαίσιο του ΠοΤ χρησιμεύει ως μια διαδρομή μεταξύ του φυσικού και του κοινωνικού κόσμου για να σχηματιστεί ένα ευφύες σύστημα. Η διαδικασία του συστήματος όπου παρακολουθούνται οι εκπομπές CO<sub>2</sub> αποτελείται από τέσσερις κύριες ενότητες:

1. Μονάδα ελέγχου ανίχνευσης: Αυτό το στρώμα έχει συνδεθεί απευθείας με το φυσικό περιβάλλον, όπου ένας αισθητήρας ανιχνεύει το επίπεδο του αερίου CO<sub>2</sub>. Τα σήματα παράγονται, ειδοποιούν εάν τα επίπεδα CO<sub>2</sub> υπερβαίνουν τα αναμενόμενα επίπεδα και αποστέλλονται στο ανώτερο στρώμα (Yogo & Daramola, 2020).
2. Μονάδα σημασιολογικής αποθήκευσης δεδομένων: Εδώ τα δεδομένα από τη μονάδα ελέγχου αισθητήρα τοποθετούνται στη βάση δεδομένων και αναλύονται, αλλά πριν από αυτό, τα δεδομένα που ανιχνεύονται με τη μορφή αναλογικών σημάτων θα πρέπει να μετατραπούν σε ψηφιακή μορφή.
3. Ενότητα λήψης αποφάσεων: Χρησιμοποιούνται τα δεδομένα που αφαιρούνται από το κατώτερο σημασιολογικό επίπεδο για τη λήψη των αποφάσεων. Οι αποφάσεις στο σύστημα αποστέλλουν ειδοποιήσεις στον κεντρικό πίνακα ελέγχου όταν προκύψει ένα ζήτημα και, στη συνέχεια, η τελική απόφαση πραγματοποιείται με βάση εν μέρει τα αφηρημένα δεδομένα (Redchuk, Mateo, Pascal, & Tornillo, 2023).
4. Μονάδα διεπαφής χρήστη: Αυτή η ενότητα μοιράζεται σημαντικές διεπαφές με κοινωνικά δίκτυα, όπως εφαρμογές για κινητά και προβολή ιστότοπων, όπου η ανατροφοδότηση και το αποτέλεσμα της αξιολόγησης αποτελούν τη διαδικασία ελέγχου. Το μοντέλο χωρίζεται σε δύο υπομοντέλα: το πρώτο είναι η παρακολούθηση και ο έλεγχος της συγκέντρωσης διοξειδίου του άνθρακα που

προκαλείται από τις εκπομπές οχημάτων και την αστικοποίηση, ενώ το δεύτερο είναι η παρακολούθηση των δασικών περιβαλλοντικών συνθηκών σε μια προσπάθεια πρόβλεψης των πυρκαγιών για τη μείωση του ρυθμού εκπομπής CO<sub>2</sub> (Rajkumar, Sruthi, & Kumar, 2017).

## 4.2. ΠΑΡΑΔΕΙΓΜΑ: ΤΟ ΔΙΚΤΥΟ ESTAINIUM

Η ESTAINIUM είναι ένας μη κερδοσκοπικός, μη κυβερνητικός οργανισμός οντοτήτων που επικεντρώνονται στον κοινό στόχο της άμβλυνσης των επιπτώσεων της βιομηχανικής παραγωγής, οι οποίες προέρχονται κυρίως από το CO<sub>2</sub> (EPA, 2015). Ως εκ τούτου, σύμφωνα με τη Διακυβερνητική Επιτροπή για την Κλιματική Αλλαγή (αγγλ.: *IPCC / Intergovernmental Panel on Climate Change*), η μείωση ή η αντιστάθμιση της παραγωγής του άνθρακα είναι επιτακτική ανάγκη για την επίτευξη του στόχου της μείωσης των εκπομπών κατά περίπου 45% κάτω από τα επίπεδα του 2010 έως το 2030, και να περιοριστεί η αύξηση της θερμοκρασίας στους 1,5°C (IPCC, 2018).

Η ESTAINIUM προήλθε από την ανάγκη μείωσης των δυσμενών επιπτώσεων της βιομηχανικής παραγωγής στο περιβάλλον. Γεννήθηκε ως ένωση μελών που τους δίνει τη δυνατότητα να μοιράζονται το αντίστοιχο αποτύπωμα άνθρακα του προϊόντος (αγγλ.: *PCF / product carbon footprint*) κατά μήκος της αλυσίδας εφοδιασμού με τυποποιημένο και αξιόπιστο τρόπο.

Η ESTAINIUM εργάζεται σε επίπεδο διακυβέρνησης για τη μείωση των επιπτώσεων της βιομηχανικής παραγωγής στο περιβάλλον, καθώς η τελευταία αποτελεί την τρίτη μεγαλύτερη πηγή εκπομπών CO<sub>2</sub> μετά τους σταθμούς ηλεκτροπαραγωγής με καύση άνθρακα και την κυκλοφορία. Αυτό το σύνολο εργασιών άνοιξε το δρόμο για μια προσέγγιση που ονομάζεται αξιόπιστη ανταλλαγή αλυσίδας εφοδιασμού (αγγλ.: *TSX / Trustworthy Supply Chain Exchange*), η οποία βοηθά στην κατανόηση της διαδικασίας μέτρησης του αποτυπώματος άνθρακα του προϊόντος, θέτοντας τα θεμέλια για μια διαδικτυακή εφαρμογή που θα βοηθήσει τους κατασκευαστές να μοιράζονται τις τιμές PCF με τους πελάτες τους με επαληθεύσιμο τρόπο (Beitinger, Kind, Weinhold, Jaeger, & Shams, 2023). Για να το πετύχει αυτό, το TSX χρησιμοποιεί την τεχνολογία επαληθεύσιμων διαπιστευτηρίων (αγγλ.: *VC / verifiable credentials*), η οποία είναι ένα πρότυπο κοινοπραξίας του παγκόσμιου ιστού (αγγλ.: *W3C / World Wide Web*

*Consortium*). Η ESTAINIUM ανέπτυξε μια προσέγγιση IIoT για τη συλλογή άμεσων αξιών παραγωγής από βιομηχανικές εγκαταστάσεις παραγωγής και την αίτηση έμμεσων τιμών παραγωγής από προμηθευτές, η οποία αντιμετωπίζει την ανάγκη για κυριαρχία δεδομένων και προστασία της εμπιστευτικότητας των δεδομένων παραγωγής χρησιμοποιώντας ένα ανοιχτό οικοσύστημα (Beitinger, Kind, Weinhold, Jaeger, & Shams, 2023).

#### **4.2.1. ΣΚΟΠΟΣ**

Ο άνθρακας αποτελεί έως και το 81% των αερίων του θερμοκηπίου που απελευθερώνονται στο περιβάλλον (EPA, 2015). Το μεγαλύτερο μερίδιο προέρχεται από την παραγωγή CO<sub>2</sub>, η οποία είναι η κύρια αιτία της υπερθέρμανσης του πλανήτη. Ως εκ τούτου, είναι σημαντικό η παραγωγή άνθρακα να μειωθεί σημαντικά για να επιτευχθεί ο στόχος της παραγωγής μηδενικού καθαρού (αγγλ.: *net zero*) εκπεμπόμενου άνθρακα. Ακόμη και μετά από εκτεταμένες μελέτες στον σημερινό τεχνολογικά διάχυτο κόσμο, η απάντηση στα ερωτήματα σχετικά το αποτύπωμα άνθρακα ενός συγκεκριμένου προϊόντος όταν κατασκευάζεται παραμένει σκιώδης, καθώς εάν η ποσότητα του άνθρακα που παράγεται κατά την κατασκευή δεν μπορεί να μετρηθεί, είναι πολύ δύσκολο να μειωθεί (Beitinger, Kind, Weinhold, Jaeger, & Shams, 2023).

Για να καλύψει αυτό το χάσμα, το TSX επιτρέπει στους κατασκευαστές να μετρούν το PCF των προϊόντων τους μέσω τυποποιημένων μεθόδων υπολογισμού. Επιπλέον, τους δίνει τη δυνατότητα να επαληθεύσουν το PCF τους μέσω αξιόπιστων εκδοτών VC. Μόλις η διαδικασία υπολογισμού των εκπομπών άνθρακα είναι τυποποιημένη και διαφανής, η μείωση του άνθρακα μπορεί να επιτευχθεί με εμπειρικό τρόπο. Υπάρχουν διάφοροι τρόποι μείωσης των εκπομπών άνθρακα, για παράδειγμα μέσω της εφαρμογής πιο φιλικών προς το περιβάλλον διαδικασιών παραγωγής ή χρήσης ανανεώσιμων πηγών ενέργειας κλπ. Τέλος, οι κατασκευαστές μπορούν να αντισταθμίσουν τις εκπομπές άνθρακα που σχετίζονται με ένα συγκεκριμένο προϊόν μέσω καταβόθρων άνθρακα ισοδύναμης ποσότητας (Beitinger, Kind, Weinhold, Jaeger, & Shams, 2023).

#### 4.2.2. ΒΑΣΙΚΕΣ ΠΡΟΣΕΓΓΙΣΕΙΣ

Η προσέγγιση για τη δημιουργία ενός ψηφιακού τρόπου υπολογισμού και επικοινωνίας των τιμών PCF ονομάζεται TSX / PCF. Για αυτό, είναι επιτακτική ανάγκη όλα τα μέρη στην εφοδιαστική αλυσίδα να μπορούν να μοιραστούν τις συνεισφορές τους με ευκολία. Μόλις απλοποιηθεί η διαδικασία κοινής χρήσης των τιμών PCF, θα είναι πολύ πιο εύκολο για τις εταιρείες να επιτύχουν τον στόχο των καθαρών μηδενικών εκπομπών άνθρακα. Επιπλέον, το δίκτυο εστιάζει στη βασική προσέγγιση για το TSX για PCF που μπορούν να υιοθετήσουν άλλα μέρη για να εκπληρώσουν την ανάγκη μέτρησης, κοινής χρήσης και αντιστάθμισης των εκπομπών (Beitinger, Kind, Weinhold, Jaeger, & Shams, 2023).

Το μοντέλο VC είναι ένας ισχυρός τρόπος για να κοινοποιηθούν οι τιμές PCF μεταξύ των μερών σε μια αλυσίδα εφοδιασμού, ιδιαίτερα λόγω της φύσης τους να είναι κρυπτογραφικά επαληθεύσιμες, γεγονός το οποίο φέρνει μια σημαντική πτυχή εμπιστοσύνης στο σύστημα, η οποία είναι επίσης προαπαιτούμενη από επιχειρηματική σκοπιά. Για να χρησιμοποιηθεί η τεχνολογία VC, διαφορετικοί ενδιαφερόμενοι από το δίκτυο TSX πρέπει να αντιστοιχιστούν στους διαφορετικούς ρόλους σε αυτό το μοντέλο (Beitinger, Kind, Weinhold, Jaeger, & Shams, 2023).

Οι πιστοποιητές (αγγλ.: *certifiers*) μπορούν να επικυρώσουν τις τιμές PCF άλλων ενδιαφερομένων ως τρίτων φορέων πιστοποίησης, φέρνοντας έτσι την εμπιστοσύνη στο οικοσύστημα (αναλαμβάνοντας έτσι το ρόλο των εκδοτών VC), ενώ οι κατασκευαστές και οι προμηθευτές τους είναι κάτοχοι επαληθεύσιμων διαπιστευτηρίων. Κάθε φορά που οι κατασκευαστές θέλουν να υπολογίσουν το PCF ενός προϊόντος, επικοινωνούν με τους προμηθευτές τους για ένα διαπιστευτήριο με τις τιμές PCF και τα παρακείμενα δεδομένα, που είναι οι απαιτούμενες τιμές εισόδου για τον υπολογισμό του PCF. Ο προμηθευτής κοινοποιεί τις ζητούμενες πληροφορίες με τη μορφή επαληθεύσιμου διαπιστευτηρίου, ενώ ο κατασκευαστής προσθέτει την αντίστοιχη τιμή PCF στον υπολογισμό (Beitinger, Kind, Weinhold, Jaeger, & Shams, 2023). Επιπλέον, θεωρείται ότι οι τιμές PCF συνδέονται με το αντίστοιχο προϊόν του πραγματικού κόσμου και παρέχουν την ακριβή τιμή του, ενώ για το TSX / PCF, πραγματοποιείται επίσης η υπόθεση ότι το μητρώο επαληθεύσιμων δεδομένων είναι ενημερωμένο και προστατεύεται η ακεραιότητα, και μόνο εξουσιοδοτημένες οντότητες μπορούν να δημοσιεύουν στο μητρώο επαληθεύσιμων δεδομένων.



# ΑΝΑΣΚΟΠΗΣΗ

## ΕΡΕΥΝΗΤΙΚΟΙ ΣΤΟΧΟΙ

1. Διαπίστωση του εύρους των διεργασιών στο οποίο μπορεί να φανεί χρήσιμη η εφαρμογή του IoT.
2. Εύρεση των τρόπων με τους οποίους το IoT διευκολύνει την αυτοματοποίηση των δράσεων εντός της σχετικής βιομηχανίας.
3. Αποτίμηση της επίδρασης του IoT συγκριτικά με άλλες μεθόδους αυτοματοποίησης.
4. Αξιολόγηση του περιβαλλοντικού αντικτύπου των εφαρμογών IIoT.

## ΜΕΘΟΔΟΛΟΓΙΑ

Η μέθοδος που χρησιμοποιήθηκε είναι η έρευνα της σχετικής ελληνικής και διεθνούς βιβλιογραφίας σε σχετικές βάσεις δεδομένων (ScienceDirect, Academia, ResearchGate, Google Scholar, DeepDyve κλπ.), με τις λέξεις – κλειδιά που αναφέρονται στην περίληψη (διαδίκτυο των πραγμάτων, βιομηχανικός αυτοματισμός, βιομηχανικό διαδίκτυο των πραγμάτων, έξυπνοι αισθητήρες, εκπομπές CO<sub>2</sub>) τόσο στα αγγλικά όσο και στα ελληνικά, καθώς και συνώνυμες λέξεις και συνδυασμούς. Η αναζήτηση οδήγησε στην αρχική επιλογή 147 βιβλίων, άρθρων, μελετών και διατριβών, 55 από τα οποία απορρίφθηκαν μετά την ανάγνωση είτε της περίληψης είτε του κεφαλαίου που αρχικά θεωρήθηκε ότι περιέχει πληροφορίες χρήσιμες για αυτήν την έρευνα. Οι υπόλοιπες 92 εργασίες επιλέχθηκαν για περαιτέρω αξιολόγηση του πλήρους κειμένου της δημοσίευσης, μετά την οποία 29 από αυτές απορρίφθηκαν στη συνέχεια επειδή δεν πληρούσαν τα προκαθορισμένα κριτήρια εισόδου. Έπειτα, απέμειναν 63 μελέτες, άρθρα και διατριβές που πληρούσαν τα κριτήρια εισόδου, στο σύνολο των οποίων προστέθηκαν 35 μελέτες που προέκυψαν μετά τη μελέτη των βιβλιογραφικών παραπομπών των άρθρων που ανακτήθηκαν. Ως εκ τούτου, στην ερευνητική πρόταση συμπεριλήφθηκαν συνολικά 98 πηγές πληροφοριών.

## **ΑΝΑΜΕΝΟΜΕΝΑ ΑΠΟΤΕΛΕΣΜΑΤΑ**

1. Απλοποίηση υπερβολικά χρονοβόρων διαδικασιών.
2. Αξιοποίηση μεθόδων αυτοματοποίησης για την καλύτερη εκμετάλλευση του ανθρώπινου παράγοντα σε ένα ολοένα αυξανόμενο εύρος δραστηριοτήτων, λόγω της εξοικονόμησης επιπλέον χρόνου.
3. Εφαρμογή των μεθόδων στη βιομηχανική παραγωγή για την εξοικονόμηση ενέργειας.
4. Τροποποίηση και παρουσίαση των μεθόδων με τέτοιο τρόπο ώστε να καταστούν κατανοητές και αξιοποιήσιμες για τον μέσο άνθρωπο.

## **ΧΡΗΣΙΜΟΤΗΤΑ ΣΤΗΝ ΕΠΙΣΤΗΜΗ / ΚΟΙΝΩΝΙΑ**

Η παρούσα εργασία συμβάλλει στο ερευνητικό αντικείμενο του Διαδικτύου των Πραγμάτων μέσω της παρουσίασης της εφαρμογής της σε έναν συγκεκριμένο επιχειρηματικό κλάδο, ενισχύοντας έτσι την ήδη δημοσιευμένη βιβλιογραφία πάνω στο θέμα, και παράλληλα κατευθύνει την έρευνα σε μονοπάτια που ενισχύουν τον εντονότερα περιβαλλοντικό χαρακτήρα ορισμένων πιο σύγχρονων τεχνολογικών εφαρμογών.

## **ΠΕΡΙΟΡΙΣΜΟΙ ΕΡΕΥΝΑΣ**

Οι περιορισμοί που έπρεπε να τηρηθούν για να καλυφθεί το πεδίο της έρευνας ήταν οι ακόλουθοι:

- Ιδιαίτερη εστίαση στο ΠoT και όχι σε άλλες υποδιαιρέσεις του.
- Ιδιαίτερη εστίαση στον κλάδο του βιομηχανικού αυτοματισμού και όχι σε άλλους.
- Ιδιαίτερη εστίαση στη μείωση των εκπομπών CO<sub>2</sub> και όχι σε άλλα περιβαλλοντικά ζητήματα.
- Περιορισμός στις πληροφορίες για κάποια ζητήματα (π.χ. περιβαλλοντικές πρωτοβουλίες IoT) λόγω του απαιτούμενου μεγέθους της εργασίας.

## ΣΥΜΠΕΡΑΣΜΑΤΑ

Στον τομέα των ενσωματωμένων συστημάτων, το Διαδίκτυο των Πραγμάτων είναι ένα δημοφιλές πλεονέκτημα για την τέταρτη βιομηχανική επανάσταση, έχοντας καταστεί ένα σημαντικό θέμα για έρευνα. Η χρήση του IoT στο βιομηχανικό αυτοματισμό έχει τεράστια κλίμακα βελτίωσης τόσο σε υλικό όσο και σε λογισμικό, καθώς μειώνει την ανθρώπινη παρέμβαση και παρέχει δυνατότητες παρακολούθησης που μπορούν να παρακολουθούνται έξυπνα από οπουδήποτε στον κόσμο. Βέβαια, εξακολουθεί να περιλαμβάνει πολλές διαφορετικές προκλήσεις για βιομηχανικές χρήσεις όπως η ιδιωτικότητα, η ασφάλεια, η τυποποίηση, η τεχνολογία: σε αυτό το πλαίσιο απαιτούνται εντατικές προσπάθειες για την αντιμετώπιση όλων αυτών των διαφορετικών προκλήσεων και την εξέταση των διαφορετικών χαρακτηριστικών των βιομηχανιών για να διασφαλιστεί ότι οι συσκευές IoT είναι καλά προσαρμοσμένες σε βιομηχανικά περιβάλλοντα, και απαιτείται επίσης πλήρης κατανόηση αυτών των χαρακτηριστικών και των διαφορετικών απαιτήσεων όπως το απόρρητο, η ασφάλεια και το κόστος για να γίνει αποδεκτό και να αναπτυχθεί το IoT σε βιομηχανίες.

Το IoT είναι ένα ιδιαίτερα περίπλοκο δίκτυο, καθώς περιλαμβάνει συνδέσεις μέσω διαφόρων τεχνολογιών επικοινωνίας μεταξύ διαφορετικών τύπων δικτύων. Προς το παρόν, υπάρχει έλλειψη μιας ευρέως αποδεκτής κοινής πλατφόρμας, κάτι το οποίο μπορεί να προκαλέσει συχνές καθυστερήσεις και προβλήματα επικοινωνίας κατά την ταυτόχρονη επεξεργασία μεγάλων ποσοτήτων δεδομένων. Χρειάζεται πολλή δουλειά για τη σύνδεση του IoT με την υπάρχουσα υποδομή πληροφορικής, επειδή η ενοποίηση συσκευών IoT με υπάρχον λογισμικό και υπηρεσίες ιστού απαιτεί διαφορετικές λύσεις ενδιάμεσου λογισμικού, των οποίων η εξεύρεση μπορεί να αποτελέσει δύσκολο έργο για διάφορους κλάδους. Για να γίνουν αποδεκτές και ευρέως διαδεδομένες οι νέες τεχνολογίες IoT, η προστασία του απορρήτου των δεδομένων και η ασφάλεια των πληροφοριών είναι αναγκαία συστατικά, αλλά η επίτευξή τους παραμένει δύσκολη επειδή οι διάφορες διαθέσιμες υπάρχουσες τεχνολογίες δε διαθέτουν τις κατάλληλες απαιτήσεις ασφάλειας και ασφάλειας των βιομηχανιών.

Τα πλεονεκτήματα και οι εφαρμογές του IoT στον βιομηχανικό αυτοματισμό καθιστούν δυνατά πολλά πράγματα που πριν από μερικά χρόνια ήταν αδύνατα για τον άνθρωπο. Όλες οι επιχειρήσεις, από πολυεθνικές μέχρι start-up, έλκονται από τα

δουλευτικά πλεονεκτήματα του IoT στον βιομηχανικό αυτοματισμό, από τη στιγμή που αποτελεί ένα τεράστιο δίκτυο επικοινωνίας υλικού, λογισμικού και εφαρμογών. Εκτός από τεχνολογίες όπως οι αισθητήρες και περιβαλλοντικοί μετρητές, η παραπάνω έρευνα κατέδειξε ότι οποιοδήποτε καθημερινό αντικείμενο μπορεί να αποτελέσει μέρος του IoT, όντας εξοπλισμένο με αισθητήρες για τη συλλογή δεδομένων και τη δυνατότητα ανταλλαγής πληροφοριών στο διαδίκτυο. Αυτή η δυνατότητα είναι που κάνει τα αντικείμενα «έξυπνα».

Όσον αφορά το ΠoT, υπάρχει η άποψη ότι η κατασκευή των ίδιων των στοιχείων IoT απαιτεί πόρους που ενδέχεται να έχουν αρνητικές επιπτώσεις στον πλανήτη, καθώς υπάρχει ήδη πολλή έρευνα σχετικά με την εξοικονόμηση ενέργειας για συσκευές ΠoT για την πλήρη απαλλαγή από τις μπαταρίες ή την αντικατάστασή τους με βιοδιασπώμενα υλικά. Ωστόσο, υπάρχει επίσης ένα επιχείρημα που υποστηρίζει ότι η μεγαλύτερη αποτελεσματικότητα, που υποκινείται από αναδυόμενες τεχνολογίες όπως το ΠoT, μπορεί να οδηγήσει σε περισσότερη παραγωγή και επομένως περισσότερη κατανάλωση. Η ικανότητα περικοπής των απορριμμάτων, καλύτερης χρήσης των πόρων και μείωσης των εκπομπών CO<sub>2</sub> καθιστά την ανάπτυξη του IoT σε όλες τις βιομηχανίες ένα σε μεγάλο βαθμό θετικό βήμα προς την καταπολέμηση των περιβαλλοντικών ζητημάτων. Σε αυτό το πλαίσιο, πρέπει να ευθυγραμμιστεί με τις σωστές πολιτικές και δράσεις για να μεγιστοποιήσει τις δυνατότητές του και να τυγχάνει στενής διαχείρισης ώστε να διασφαλίζεται ότι τα οφέλη του δεν αντισταθμίζονται από άλλες επιδράσεις επιζήμιες για το περιβάλλον.

Η λήψη πληροφοριών για την κατανάλωση ενέργειας σε πραγματικό χρόνο και η εφαρμογή έξυπνων πρακτικών για την ενσωμάτωση του ΠoT στο βιομηχανικό αυτοματισμό και την εξοικονόμηση ενέργειας είναι απαραίτητη σήμερα. Καθώς η ανθρωπότητα προχωρά προς ένα μέλλον αυξημένης χρήσης ενέργειας, είναι ζωτικής σημασίας να δημιουργηθούν συστήματα που συμβάλλουν στη βελτιστοποίηση της χρήσης ενέργειας. Για τη λειτουργία ενός εργοστασίου στο Industry 4.0, η εφαρμογή λύσεων ΠoT καθίσταται ιδιαίτερα κρίσιμη από την άποψη της εξοικονόμησης ενέργειας και κόστους.

## BIBΛΙΟΓΡΑΦΙΑ

- Abazi, B. (2016). An approach to the impact of transformation from the traditional use of ICT to the Internet of Things: How smart solutions can transform SMEs. *IFAC-PapersOnLine*, 49(29), σσ. 148-151.
- ABB Group. (2021). *Enabling advanced analytics and maintenance planning for motors and general machinery*. Ανάκτηση Μάιος 28, 2023, από ABB Group: <https://new.abb.com/service/motion/data-and-advisory-services/condition-monitoring-for-rotating-equipment>
- Acatech & Forschungsunion. (2013). *Securing the future of German manufacturing industry Recommendations for implementing the strategic initiative INDUSTRIE 4.0*. Frankfurt am Main: Platform Industrie 4.0.
- Adolphs, P., Bedenbender, H., Dirzus, D., Ehlich, M., Epple, U., Hankel, M., . . . Wollschlaeger, M. (2015). *Reference architecture model industrie 4.0 (RAMI 4.0)*. Berlin: ZVEI/VDI.
- Ali, M. L. (2021). *Industrial Automation (PLC SCADA): A Training Report*. Pindwara: Madhav University.
- Baras, K., & Brito, L. M. (2018). Introduction to the Internet of Things. Στο Q. F. Hassan, A. R. Khan, & S. A. Madani, *Internet of Things: Challenges, Advances, and Applications* (σσ. 22-51). Boca Raton: CRC Press.
- Baribaud, G., Barillère, R., Bland, A., Brahy, D., Burckhart, H. J., Brun, R., . . . Van de Vyvre, P. (1997). Recommendations for the Use of Field buses at CERN in the LHC Era. *Proceedings of the 1997 International Conference on Accelerator and Large Experimental Physics Control Systems* (σσ. 285-289). Beijing: European Organization for Nuclear Research.
- Beitinger, G., Kind, A., Weinhold, M., Jaeger, F. A., & Shams, S. B. (2023). The Role of IIoT for Decarbonization shown in the ESTANIUM Network. *IIC Journal of Innovation*, σσ. 1-13.
- Brady, M., Saren, M., & Tzokas, N. (2002). Integrating information technology into marketing practice – the IT reality of contemporary marketing practice. *Journal of Marketing Management*, 18(5-6), σσ. 555-577.
- Bretz, E. A. (2001). By-Wire cars turn the corner. *IEEE Spectrum*, 38(4), σσ. 68-73.
- Brida, P., Krejcar, O., Selamat, A., & Kertesz, A. (2021). Smart Sensor Technologies for IoT. *Sensors*, 21(5890), σσ. 1-4.

- Brusakova, I. A., Borisov, A. D., Gusko, G. R., Nekrasov, D. Y., & Malenkova, K. E. (2017). Prospects for the development of IIoT technology in Russia. *IEEE Conference of Russian Young Researchers in Electrical and Electronic Engineering* (σσ. 1315-1317). St. Petersburg / Moscow: Institute of Electrical and Electronics Engineers.
- Collins, K. (2014). *PLC Programming for Industrial Automation*. Selangor: TRiPLC Berhad.
- DeNatale, J., Borwick, R., Stupar, P., Anderson, R., Garrett, K., & Morris, W. (2003). MEMS high resolution 4-20 mA current sensors for industrial I/O applications. *12th International Conference on Solid-State Sensors, Actuators and Microsystems* (σσ. 943-946). Boston : Institute of Electrical and Electronics Engineers.
- Dennison, R. (2004). *A Pre-SCADA System Assessment*. Maple Grove: EPG Companies.
- Domingo, M. C. (2012). An overview of the Internet of things for people with disabilities. *Journal of Network and Computer Applications*, 35(2), σσ. 584-596.
- Domova, V., & Dagnino, A. (2017). Towards intelligent alarm management in the Age of IIoT. *2017 Global Internet of Things Summit* (σσ. 1-5). Geneva: Institute of Electrical and Electronics Engineers.
- Doukas, C., & Maglogiannis, I. (2012). Bringing IoT and cloud computing towards pervasive healthcare. *2012 Sixth International Conference on Innovative Mobile and Internet Services in Ubiquitous Computing (IMIS)* (σσ. 922-926). Palermo: Institute of Electrical and Electronics Engineers.
- El Maraghy, H., Schuh, G., ElMaraghy, W., Piller, F., Schönsleben, P., Tseng, M., & Bernard, A. (2013). Product variety management. *Annals - Manufacturing Technology*, 62(2), σσ. 629-652.
- Elena-Lenz, C. (2015, Ιούλιος 16). *Internet of Things: Six Key Characteristics*. Ανάκτηση Μάιος 29, 2023, από LinkedIn: <https://www.linkedin.com/pulse/internet-things-six-key-characteristics-carlos-elena-lenz>
- Elksasy, M. S. (2023). Understanding the Internet of Things (IoT) Concepts, Applications and Standards: An Overview. *Delta University Scientific Journal*, 6(1), σσ. 205-210.

- El-Mawla, N. A., Badawy, M., & Arafat, H. (2019). IoT for the Failure of Climate-Change Mitigation and Adaptation and IIoT as a Future Solution. *World Journal of Environmental Engineering*, 6(1), σσ. 7-16.
- EPA. (2015, Δεκέμβριος 23). *Overview of Greenhouse Gases: Greenhouse Gas Emissions*. Ανάκτηση Ιούλιος 1, 2023, από United States Environmental Protection Agency: <https://www.epa.gov/ghgemissions/overview-greenhouse-gases>
- Falkenreck, C., & Wagner, R. (2017). The Internet of Things – Chance and challenge in industrial business relationships. *Industrial Marketing Management*, 66, σσ. 181-195.
- Ferrari, P., Flammini, A., Sisinni, E., Rinaldi, S., Brandao, D., & Rocha, M. S. (2018). Delay Estimation of Industrial IoT Applications Based on Messaging Protocols. *IEEE Transactions on Instrumentation and Measurement*, 67(9), σσ. 2188-2199.
- Foresight. (2013). *The future of manufacturing: A new era of opportunity and challenge for the UK*. London: The Government Office for Science.
- Friedrich-Ebert-Stiftung. (2015). *Social Innovation Policy for Industry 4.0*. Bonn: Division for Social and Economic Policies.
- Germany Trade & Invest. (2014). *Industrie 4.0 Smart manufacturing for the future*. Berlin: Germany Trade & Invest.
- Gubbi, J., Buyya, R., Marusic, S., & Palaniswami, M. (2013). Internet of Things (IoT): A vision, architectural elements, and future directions. *Future Generation Computer Systems*, 29(7), σσ. 1645-1660.
- He, Y., Guo, J., & Zheng, X. (2018). From Surveillance to Digital Twin: Challenges and Recent Advances of Signal Processing for Industrial Internet of Things. *IEEE Signal Processing Magazine*, 35(5), σσ. 120-129.
- Hercegovac, A., & Babovic, E. (2020). Further decrease of PC-to-PC SCADA implementation costs using credit-card sized computers. *19th International Symposium INFOTEH-JAHORINA* (σσ. 141-145). New Jersey: Institute of Electrical and Electronics Engineers.
- IPCC. (2018). *Global Warming of 1.5°C*. Geneva: Intergovernmental Panel on Climate Change.
- ITU. (2015). *Internet of Things Global Standards Initiative*. Geneva: International Telecommunication Union.

- Jakovljevic, Z., Majstorovic, V., Stojadinovic, S., Zivkovic, S., Gligorijevic, N., & Pajic, M. (2017). Cyber-Physical Manufacturing Systems (CPMS). *Proceedings of 5th International Conference on Advanced Manufacturing Engineering and Technologies* (σσ. 199-214). New York: Springer International.
- Jayaram, A. (2017). An IIOT quality global enterprise inventory management model for automation and demand forecasting based on cloud. *International Conference on Computing, Communication and Automation* (σσ. 1258-1263). Greater Noida: Institute of Electrical and Electronics Engineers.
- Ji, S., Teng, H. Y., & Su, J. F. (2014). The application and development of the Internet of things in intelligent buildings. *Advanced Materials Research*, 834, σσ. 1854-1857.
- Kagermann, H., Helbig, J., Hellinger, A., & Wahlster, W. (2013). *Recommendations for implementing the strategic initiative INDUSTRIE 4.0*. Berlin: Forschungsunion.
- Karmakar, A., Dey, N., Baral, T., Chowdhury, M., & Rehan, M. (2019). Industrial Internet of Things: A Review. *2019 International Conference on Opto-Electronics and Applied Optics (Optronix)* (σσ. 1-6). Kolkata: Institute of Electrical and Electronics Engineers.
- Koos, G. (2022). *The 4 Fundamentals of Industrial Automation*. Portsmouth: HARWiN.
- Koren, Y., Gu, X., & Guo, W. (2018). Reconfigurable manufacturing systems: Principles, design, and future trends. *Frontiers of Mechanical Engineering*, 13(2), σσ. 121-136.
- KPT. (2013). *Industrial Automation: An Engineering Approach*. Negeri Sembilan: Politeknik Port Dickson.
- Kuo, B. C. (2010). *Automatic Control Systems* (2η εκδ.). New York: John Wiley & Sons.
- Lee, J., Kao, H.-A., & Yang, S. (2014). Service innovation and smart analytics for Industry 4.0 and big data environment. *Procedia CIRP*, 16, σσ. 3-8.
- Lesi, V., Jakovljevic, Z., & Pajic, M. (2019). Reliable Industrial IoT-Based Distributed Automation. *IoTDI '19: Proceedings of the International Conference on Internet of Things Design and Implementation* (σσ. 1-12). Montreal: International Conference on Internet of Things Design and Implementation.



- Llale, J., Setati, M., Mavunda, S., Ndlovu, T., Root, D. S., & Wembe, P. T. (2020). A Review of the Advantages and Disadvantages of the Use of Automation and Robotics in the Construction Industry. Στο C. Aigbavboa, & W. Thwala, *The Construction Industry in the Fourth Industrial Revolution* (σσ. 197-204). Berlin: Springer.
- Lo, F.-Y., & Campos, N. (2018). Blending Internet-of-Things (IoT) solutions into relationship marketing strategies. *Technological Forecasting and Social Change*, σσ. 10-18.
- Lu, Y., Papagiannidis, S., & Alamanos, E. (2018). Internet of Things: A systematic review of the business literature from the user and organisational perspectives. *Technological Forecasting and Social Change*, 136, σσ. 285-297.
- Ly, P. T., Lai, W.-H., Hsu, C.-W., & Shih, F.-Y. (2018). Fuzzy AHP analysis of Internet of Things (IoT) in enterprises. *Technological Forecasting and Social Change*, 136, σσ. 1-13.
- Madhanamohan, K., Praveen, R. K., Nirmalraja, T. R., Goutham, H., Sabarinathan, R., & Logeesan, A. (2013). Industrial Automation System. *Advances in Electronic and Electric Engineering*, 3(6), σσ. 717-726.
- Malchman, J. (2021, Νοέμβριος 10). *Industrial IoT and Energy Optimization – A Perfect Synergy*. Ανάρτηση Μάιος 29, 2023, από Galooli: <https://galooli.com/blog/industrial-iot-and-energy-optimization-a-perfect-synergy/>
- Marr, B. (2017, Δεκέμβριος 4). *Technology Mega Trends That Will Change the World In 2018*. Ανάρτηση Μάιος 29, 2023, από Forbes: <https://www.forbes.com/sites/bernardmarr/2017/12/04/9-technology-mega-trends-that-will-change-the-world-in-2018/>
- McKinsey & Company. (2021). *The Internet of Things: Catching up to an accelerating opportunity*. New York: McKinsey Publishing.
- McKinsey Global Institute. (2013). *Disruptive technologies: Advances that will transform life, business, and the global economy*. Toronto: McKinsey Global Institute.
- McKinsey Global Institute. (2015). *The Internet of things: Mapping the value beyond the hype*. Toronto: McKinsey Global Institute.
- Minerva, R., Biru, A., & Rotondi, D. (2015). Towards a definition of the internet of things (IoT). *IEEE Internet Initiative*, 1(1), σσ. 1-86.

- Moreno, M. V., Zamora, M. A., & Skarmeta, A. F. (2014). User-centric smart buildings for energy sustainable smart cities. *Transactions on Emerging Telecommunications Technologies*, 25(1), σσ. 41-55.
- Murthy, D. N., & Kumar, B. V. (2015). Internet of Things (IoT): is IoT a disruptive technology or a disruptive business model? *Indian Journal of Marketing*, 45(8), σ. 18.
- Nagda, V. (2021, Ιούλιος 30). *Contactora – Basics, Wiring, Connection with PLC*. Ανάκτηση Μάιος 30, 2023, από Instrumentation Tools: <https://instrumentationtools.com/contactora-basics-wiring-connection-with-plc/>
- Niranjan, M., Madhukar, N., Ashwini, A., Muddsar, J., & Saish, M. (2017). IoT Based Industrial Automation. *IOSR Journal of Computer Engineering*, σσ. 36-40.
- Oliveira, P. J., & Gaspar, J. (2015). *Industrial Automation: Introduction to PLCs*. Lisbon: Institute for Systems and Robotics.
- Omer, A. I. (2014). Architecture of Industrial Automation Systems. *European Scientific Journal*, 10(3), σσ. 273-283.
- Patel, K. K., & Patel, S. M. (2016). Internet of Things-IOT: Definition, Characteristics, Architecture, Enabling Technologies, Application & Future Challenges. *International Journal of Engineering Science and Computing*, 6(5), σσ. 6122-6131.
- Perera, C., Zaslavsky, A., Christen, P., & Georgakopoulos, D. (2014). Context aware computing for the Internet of things: A survey. *IEEE Communications Surveys and Tutorials*, 16(1), σσ. 414-454.
- Prasanna, L. D., Mangalam, S., Yuce, M. R., Beisswenger, S. C., & Lukas, M. (2017). *Internet of things: The new government to business platform - A review of opportunities, practices, and challenges*. Washington: World Bank Group.
- Purwanto, H., Hurriyati, R., & Dirgantari, P. D. (2020). The Role of the Internet of Things (IoT) in Business and Marketing Areas: A Systematic Literature Review Using the Bibliometric Analysis Approach. *Advances in Economics, Business and Management Research*, 187, σσ. 338-342.
- Rajkumar, M. N., Sruthi, M. S., & Kumar, V. (2017). IOT Based Smart System for Controlling Co2 Emission. *International Journal of Scientific Research in Computer Science, Engineering and Information Technology*, 2(2), σσ. 284-288.
- Ramasamy, L. K., & Kadry, S. (2021). *Blockchain in the Industrial Internet of Things*. Bristol: IOP Publishing.

- Redchuk, A., Mateo, F. W., Pascal, G., & Tornillo, J. E. (2023). Adoption Case of IIoT and Machine Learning to Improve Energy Consumption at a Process Manufacturing Firm Under Industry 5.0 Model. *Big Data and Cognitive Computing*, 7, σσ. 1-10.
- Remondes, J., & Afonso, C. (2019). An overview of main IoT trends applied to business and marketing. Στο D. M. Simões, B. Barbosa, & S. Filipe, *Smart Marketing With the Internet of Things* (σσ. 245-264). Hershey: IGI Global.
- Roland Berger. (2015α). *Industry 4.0: The role of Switzerland within a European manufacturing revolution*. Zurich: Roland Berger Strategy Consultants GMBH.
- Roland Berger. (2015β). *The digital transformation of industry*. Munich: Roland Berger Strategy consultants GMBH.
- Ryu, C.-S. (2015). IoT-based intelligent for fire emergency response systems. *International Journal of Smart Home*, 9(3), σσ. 161-168.
- Saifullah, A., Rahman, M., Ismail, D., Lu, C., Chandra, R., & Liu, J. (2016). SNOW: Sensor network over white spaces. *The 14th ACM Conference on Embedded Network Sensor Systems (SenSys)* (σσ. 272-285). Stanford: Association for Computing Machinery.
- Saifullah, A., Rahman, M., Ismail, D., Lu, C., Liu, J., & Chandra, R. (2018). Low-Power Wide-Area Network Over White Spaces. *IEEE/ACM Transactions on Networking*. 26, σσ. 1893-1906. Institute of Electrical and Electronics Engineers.
- Salazar, J., & Silvestre, S. (2017). *Internet of Things*. Prague: Czech Technical University of Prague.
- Scholten, C. (2017). *Industrial internet of things: Digitisation, value networks and changes in work*. Dublin: European Foundation for the Improvement of Living and Working Conditions.
- Seborg, D. E., Edgar, T. F., & Melichamp, D. A. (1989). *Process dynamic and control*. New York: Wiley.
- Serrano, M., Barnaghi, P., Carrez, F., Cousin, P., Vermesan, O., & Friess, P. (2015). *Internet of Things Semantic Interoperability: Research Challenges, Best Practices, Recommendations and Next Steps*. Maastricht: European Communities.
- Shin, K. Y., & Hwang, H. W. (2008). AROMS: A Real-time Open Middleware System for controlling industrial plant systems. *International Conference on Control*,

- Automation and Systems* (σσ. 1961-1965). Seoul: Institute of Electrical and Electronics Engineers.
- Singh, K. (2021). *PLC and SCADA used for industrial automation*. Avadi: Vel Tech University.
- SIST. (2020). *Industrial Internet of Things*. Chennai: Sathyabama Institute of Science and Technology.
- Sultan, T. (2019). Internet of Things-IoT: Definition, architecture and applications. *Egyptian Journal of Applied Sciences*, 34(1), σσ. 81-95.
- Tabisz, W. A., Jovanovic, M. M., & Lee, F. C. (1992). Present and future of distributed power systems. *Annual IEEE Conference on Applied Power Electronics Conference and Exposition* (σσ. 11-18). Boston: Institute of Electrical and Electronics Engineers.
- US Department of Labor. (2002). *No. 738/2002: Occupational Safety and Health Act*. Washington: Ministry of Social Affairs and Health .
- van der Veer, H., & Wiles, A. (2008). *Achieving Technical Interoperability—The ETSI Approach*. Sophia Antipolis: European Telecommunications Standards Institute.
- van Houten, F., & Scholten, C. (2016). CPS for manufacturing. Στο STOA, *Ethical Aspects of Cyber-Physical Systems* (σσ. 33-40). Brussels: STOA.
- Verma, A., & Saluja, G. (2018). Merits and demerits of automation in manufacturing. *International Journal of Mechanical Engineering and Technology*, 9(10), σσ. 464-469.
- Vermesan, O., & Friess, P. (2013). *Internet of Things: Converging Technologies for Smart Environments and Integrated Ecosystems*. Aalborg: River Publishers.
- Vermesan, O., & Friess, P. (2014). *Internet of Things—From Research and Innovation to Market Deployment*. Aalborg: River Publishers.
- Wang, X., Dong, S. J., Chin, C., Hettiarachchi, S. R., & Zhang, D. (2004). Semantic space: An infrastructure for smart spaces. *IEEE Pervasive Computing*, 3(3), σσ. 32-39.
- WEF. (2015). *Industrial internet of things: Unleashing the potential of connected products and services*. Geneva: World Economic Forum.
- Yadav, S. K., & Sharma, K. K. (2017). Industrial Automation: Overview of the Internet of Things (IoT). *International Journal of Scientific & Engineering Research*, 8(4), σσ. 75-81.

- Yin, C. T., Xiong, Z., Chen, H., Wang, Y. J., . Cooper, D., & David, B. (2015). A literature survey on smart cities. *Science China Information Sciences*, 58(10), σσ. 1-18.
- Yoro, K. O., & Daramola, M. O. (2020). CO2 emission sources, greenhouse gases, and the global warming effect. Στο M. R. Rahimpour, M. Farsi, & M. A. Makarem, *Advances in Carbon Capture* (σσ. 3-28). Sawston: Woodhead Publishing.
- Zhou, L., & Guo, H. (2018). Anomaly Detection Methods for IIoT Networks. *IEEE International Conference on Service Operations and Logistics, and Informatics* (σσ. 214-219). Singapore: Institute of Electrical and Electronics Engineers.
- Zhou, L., Wu, D., Chen, J., & Dong, Z. (2018). When Computation Hugs Intelligence: Content-Aware Data Processing for Industrial IoT. *IEEE Internet of Things Journal*, 5(3), σσ. 1657-1666.
- Zhou, M., & Triss, E. (1998). Design of industrial automated systems via relay ladder logic programming and Petri nets. *IEEE Transactions on Systems Man and Cybernetics Part C (Applications and Reviews)*, 28(1), σσ. 137-150.
- Zuehlke, D. (2010). SmartFactory: Towards a factory-of-things. *Annual Reviews in Control*, σσ. 129-138.