



**ΠΑΝΕΠΙΣΤΗΜΙΟ ΔΥΤΙΚΗΣ ΑΤΤΙΚΗΣ**  
**ΣΧΟΛΗ ΜΗΧΑΝΙΚΩΝ**  
**ΤΜΗΜΑ ΜΗΧΑΝΙΚΩΝ ΒΙΟΜΗΧΑΝΙΚΗΣ ΣΧΕΔΙΑΣΗΣ ΚΑΙ ΠΑΡΑΓΩΓΗΣ**

**Διπλωματική Εργασία**

**Τίτλος εργασίας**

**Θεωρία και πρακτική εφαρμογής μιας επιτυχημένης επιχειρηματικής  
στρατηγικής του Διαδικτύου των Πραγμάτων (IoT) στην εποχή της  
Βιομηχανίας 4.0"**

**Συγγραφέας**

**ΚΑΡΑΠΑΝΟΥ ΠΕΛΑΓΙΑ**

**ΑΜ: 18389065**

**Επιβλέποντες:**

**Μιχαήλ Παπουτσιδάκης ,Ελένη Συμεωνάκη**

**Αθήνα, Μάρτιος 2024**



**UNIVERSITY OF WEST ATTICA**  
**SCHOOL OF ENGINEERING**  
**DEPARTMENT OF INDUSTRIAL DESIGN AND PRODUCTION ENGINEERING**

## **Diploma Thesis**

**Theory and practice of a successful Internet of Things (IoT) business strategy  
in the era of Industry 4.0**

**KARAPANOU PELAGIA**

**Registration Number:18389065**

**Supervisors:**

**Michail Papoutsidakis, Eleni Symeonaki**

**Athens, March 2024**



**ΠΑΝΕΠΙΣΤΗΜΙΟ ΔΥΤΙΚΗΣ ΑΤΤΙΚΗΣ**  
**ΣΧΟΛΗ ΜΗΧΑΝΙΚΩΝ**  
**ΤΜΗΜΑ ΜΗΧΑΝΙΚΩΝ ΒΙΟΜΗΧΑΝΙΚΗΣ ΣΧΕΔΙΑΣΗΣ ΚΑΙ ΠΑΡΑΓΩΓΗΣ**

**Τίτλος εργασίας**

**Θεωρία και πρακτική εφαρμογής μιας επιτυχημένης επιχειρηματικής  
στρατηγικής του Διαδικτύου των Πραγμάτων (IoT) στην εποχή της  
Βιομηχανίας 4.0"**

**Μέλη Εξεταστικής Επιτροπής συμπεριλαμβανομένου και του Εισηγητή**

Η πτυχιακή/διπλωματική εργασία εξετάστηκε επιτυχώς από την κάτωθι Εξεταστική Επιτροπή:

<b>Α/α</b>	<b>ΟΝΟΜΑ ΕΠΩΝΥΜΟ</b>	<b>ΒΑΘΜΙΔΑ/ΙΔΙΟΤΗΤΑ</b>	<b>ΨΗΦΙΑΚΗ ΥΠΟΓΡΑΦΗ</b>
1	ΜΙΧΑΗΛ ΠΑΠΟΥΤΣΙΔΑΚΗΣ	ΚΑΘΗΓΗΤΗΣ	
2	ΧΡΗΣΤΟΣ ΔΡΟΣΟΣ	ΕΔΙΠ Α΄	
3	ΕΛΕΝΗ ΣΥΜΕΩΝΑΚΗ	ΕΔΙΠ Α΄	

## ΔΗΛΩΣΗ ΣΥΓΓΡΑΦΕΑ ΠΤΥΧΙΑΚΗΣ/ΔΙΠΛΩΜΑΤΙΚΗΣ ΕΡΓΑΣΙΑΣ

Η κάτωθι υπογεγραμμένη Καραπάνου Πέλαγια Του Βασιλείου, με αριθμό μητρώου 18389065 φοιτητής/τρια του Πανεπιστημίου Δυτικής Αττικής της Σχολής Μηχανικών του Τμήματος Μηχανικών Βιομηχανικής Σχεδίασης και Παραγωγής, δηλώνω υπεύθυνα ότι:

«Είμαι συγγραφέας αυτής της πτυχιακής/διπλωματικής 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».

Η Δηλούσα



ΠΕΛΑΓΙΑ ΚΑΡΑΠΑΝΟΥ

## ΕΥΧΑΡΙΣΤΙΕΣ

Η παρούσα διπλωματική εργασία πραγματοποιήθηκε στο Πανεπιστήμιο Δυτικής Αττικής, στο τμήμα Μηχανικών Βιομηχανικής Σχεδίασης και Παραγωγής. Αρχικά θα ήθελα να ευχαριστήσω θερμά τους καθηγητές του τμήματος μου για την όλη στήριξη που μου πρόσφεραν όλα αυτά τα έτη σπουδών μου.

Πάνω από όλα όμως θα ήθελα να ευχαριστήσω τους επιβλέποντες της διπλωματικής εργασίας μου, τον καθηγητή κ. Μιχάηλ Παπουτσιδάκη και την κ. Ελένη Συμεωνάκη Ε.ΔΙ.Π. Α' Βαθμίδας που ήταν δίπλα μου κατά την διάρκεια της διπλωματικής μου εργασίας δίνοντας μου την σωστή καθοδήγηση για όλα τα στάδια της, και με τις οδηγίες τους να κατανοήσω και να συλλέξω τα κατάλληλα εφόδια για την διεκπεραίωση της διπλωματικής μου εργασίας.

Τέλος θα ήθελα με όλη μου την καρδιά να ευχαριστήσω την οικογένεια μου που με στηρίζουν όλα αυτά τα χρόνια και πιστεύουν σε εμένα και στην δυνατότητες μου.

## Περίληψη

Στη σημερινή εποχή της ψηφιακής μετάβασης, οι επιχειρήσεις υφίστανται ολοένα και περισσότερο μετασχηματισμούς που οδηγούν στην ψηφιοποίησή τους. Η παραδοσιακή βιομηχανία κατασκευής υπόκειται σε ψηφιακό μετασχηματισμό που επιταχύνεται από τις εξελισσόμενες τεχνολογίες (π.χ. έξυπνα ρομπότ, Διαδίκτυο των πραγμάτων, αισθητήρες, τρισδιάστατη εκτύπωση). Παγκοσμίως, οι επιχειρήσεις επιδιώκουν να εφαρμόσουν λύσεις βασισμένες στο IoT για να βελτιώσουν την παραγωγικότητά τους, την καινοτομία τους και να μειώσουν το κόστος και να βελτιώσουν τις αγορές τους στη διεθνή σκηνή. Λαμβάνοντας υπόψη τις τεράστιες δυνατότητες μετασχηματισμού που έχουν να προσφέρουν το IoT και τα μεγάλα δεδομένα στον βιομηχανικό τομέα, η υιοθέτηση του IoT σε όλα τα βιομηχανικά συστήματα είναι μια πρόκληση για να παραμείνουν ανταγωνιστικά και έτσι να μετατρέψουμε τη βιομηχανία σε ένα έξυπνο εργοστάσιο. Αυτή η εργασία παρουσιάζει την περιγραφή της διαδικασίας καινοτομίας και ψηφιοποίησης, ακολουθώντας το στρατηγικό σχέδιο της Βιομηχανίας 4.0 για την εφαρμογή μιας επιτυχημένης επιχειρηματικής στρατηγικής IoT.

## Λέξεις κλειδιά

Διαδίκτυο των πραγμάτων (IoT), Βιομηχανία 4.0, Βιομηχανικό Διαδίκτυο των πραγμάτων (IIoT), Ψηφιακός μετασχηματισμός.

## Abstract

In today's era of digital transition, businesses are increasingly undergoing transformations leading to their digitalisation. The traditional manufacturing industry is undergoing a digital transformation accelerated by evolving technologies (e.g. smart robots, Internet of Things, sensors, 3D printing). Globally, businesses are seeking to implement IoT-based solutions to improve their productivity, innovation, and reduce costs and improve their markets on the global stage. Considering the immense transformational potential that IoT and big data have to offer to the industrial sector, adopting IoT across industrial systems is a challenge to remain competitive and thus transform industry into a smart factory. This paper presents the description of the innovation and digitization process, following the strategic plan of Industry 4.0 to implement a successful IoT business strategy.

## Keywords

Internet of Things (IoT), Industry 4.0, Industrial Internet of Things (IIoT), Digital transformation.

## ΠΕΡΙΕΧΟΜΕΝΑ

Περίληψη.....	6
Λέξεις κλειδιά .....	6
Abstract.....	7
Keywords.....	7
Πίνακας εικόνων .....	11
Εισαγωγή .....	12
1. Διαδίκτυο των πραγμάτων (IoT).....	14
1.1. Ορισμός .....	14
1.2. Λειτουργία του IoT.....	17
1.3. Αρχιτεκτονική του IoT .....	18
1.3.1. 4 στάδια της αρχιτεκτονικής του IoT .....	20
1.4. Συσκευές IoT .....	24
1.5. Πεδία εφαρμογής IoT .....	25
1.6. Χαρακτηριστικά και απαιτήσεις .....	33
2. IoT στις επιχειρήσεις .....	38
2.1. Κατηγορίες εφαρμογών IoT στις επιχειρήσεις .....	40
2.1.1. Διαχείριση και ανάλυση πληροφοριών.....	41
2.1.2. Έλεγχος και αυτοματισμός.....	43
2.2. Πλεονεκτήματα IoT.....	46
2.2.1. Πλεονεκτήματα στην παραγωγή .....	48
2.2.2. Πλεονεκτήματα μάρκετινγκ .....	49
2.2.3. Βελτιώσεις στη διαχείριση των έργων.....	51
2.2.4. Βελτιώσεις στη διαδικασία εφοδιαστικής.....	51
2.2.5. Διαχείριση περιουσιακών στοιχείων .....	52
3. Βιομηχανία 4.0 .....	55
3.1. Ορισμός Βιομηχανίας 4.0 .....	55



3.2.	Βασικές αρχές βιομηχανίας 4.0 .....	57
3.3.	Βασικά στοιχεία του Industry 4.0.....	59
3.3.1.	Οι εννέα πυλώνες.....	59
3.3.2.	Μεγάλα δεδομένα.....	61
3.3.3.	Αυτόνομα ρομπότ .....	63
3.3.4.	Προσομοίωση .....	66
3.3.5.	Υπολογιστικό νέφος .....	67
3.4.	Προκλήσεις σχετικά με την εφαρμογή της βιομηχανίας 4.0.....	68
4.	Βιομηχανικό Διαδίκτυο των Πραγμάτων (IIoT) .....	71
4.1.	Στοιχεία του IIoT.....	72
4.1.1.	Αισθητήρες.....	72
4.1.2.	RFID.....	73
4.1.3.	Big Data .....	74
4.1.4.	Ασφάλεια.....	74
4.2.	Σύγκριση IIoT-IoT.....	75
4.3.	Ο ρόλος του IIoT και της ευφυούς παραγωγής.....	77
4.4.	Προκλήσεις σχετικά με την εφαρμογή του διαδικτύου των πραγμάτων .....	79
5.	Επιχειρηματική στρατηγική του IoT σε έξυπνα εργοστάσια.....	81
5.1.	Προβλεπτική συντήρηση.....	82
5.2.	Εντοπισμός περιουσιακών στοιχείων .....	84
5.3.	Διαχείριση αποθεμάτων .....	86
5.4.	Ποιοτικός έλεγχος .....	87
5.5.	Παρακολούθηση της διαδικασίας παραγωγής .....	89
5.6.	Ενεργειακή απόδοση .....	90
5.7.	Παρακολούθηση της ασφάλειας .....	93
5.8.	Βελτιστοποίηση της αλυσίδας εφοδιασμού .....	94
5.9.	Διαδικασία καινοτομίας και ψηφιοποίησης.....	95

5.10. Μελλοντικές κατευθύνσεις ενός έξυπνου εργοστασίου .....	97
Συμπέρασμα .....	100
Βιβλιογραφία .....	102

## Πίνακας εικόνων

Εικόνα 1 Λειτουργικά μπλοκ IoT Πηγή: <a href="https://iotbyhvm.ooo/logical-design-of-iot/">https://iotbyhvm.ooo/logical-design-of-iot/</a> ..	18
Εικόνα 2 4 στάδια της αρχιτεκτονικής του IoT .....	21
Εικόνα 3 Μερίδιο της παγκόσμιας αγοράς IoT, ανά βιομηχανία τελικής χρήσης, 2021 .....	40
Εικόνα 4 βιομηχανία 4.0 .....	59
Εικόνα 5 IoT σε έξυπνο εργοστάσιο με βάση το 6G του συστήματος βιομηχανία 4.0 .....	83
Εικόνα 6 Πλαίσιο διαχείρισης ολικής ποιότητας στη βιομηχανία 4.0 .....	88
Εικόνα 7 Τεχνικές εξοικονόμησης ενέργειας σε ασύρματα δίκτυα αισθητήρων για έξυπνα εργοστάσια στη βιομηχανία 4.0 .....	92

## Εισαγωγή

Κατά την τελευταία δεκαετία, έχει σημειωθεί σημαντική πρόοδος στην ενοποίηση φυσικών, ψηφιακών και βιολογικών συστημάτων μέσω τεχνολογιών όπως το Διαδίκτυο των Πραγμάτων (IoT), το υπολογιστικό νέφος, η τεχνητή νοημοσύνη, η ρομποτική και η αυτοματοποίηση. Η βιομηχανία 4.0 αντιπροσωπεύει την ολοκλήρωση της τρίτης βιομηχανικής επανάστασης, η οποία επέφερε την ενσωμάτωση της τεχνολογίας των υπολογιστών. Η παραγωγική διαδικασία ρυθμίζεται από ψηφιακά συστήματα μέσω των αλληλεπιδράσεών τους μεταξύ τους και με τους ανθρώπους (Manavalan & Jayakrishna, 2019). Η αξιοποίηση του υπολογιστικού νέφους για την αποθήκευση επιτρέπει την ανάπτυξη εικονικών μοντέλων και την επεξεργασία δεδομένων. Μια αξιοσημείωτη διαφορά από την προηγούμενη βιομηχανική επανάσταση είναι η μετατόπιση από την αντικατάσταση της ανθρώπινης εργασίας από τις μηχανές στην εστίαση στην αντικατάσταση της γνωστικής εργασίας. Μπορεί να υποστηριχθεί ότι βιώνουμε την αυγή σημαντικών μετασχηματισμών και τεχνολογικών εξελίξεων (Ghobakhloo, 2020).

Εξεταζόμενο ως ένα εκτεταμένο όραμα, το Διαδίκτυο των πραγμάτων (IoT) φέρει σημαντικές τεχνολογικές και κοινωνικές συνέπειες. Κατά την εξέταση της τεχνικής τυποποίησης, το IoT θεωρείται ως μια παγκόσμια υποδομή της κοινωνίας της πληροφορίας που διευκολύνει την παροχή προηγμένων υπηρεσιών συνδέοντας φυσικά και εικονικά στοιχεία χρησιμοποιώντας καθιερωμένες και εξελισσόμενες τεχνολογίες πληροφοριών και επικοινωνιών (Madakam et al., 2015). Μέσω της αξιοποίησης των δυνατοτήτων αναγνώρισης, εισαγωγής δεδομένων, επεξεργασίας και επικοινωνίας, το IoT χρησιμοποιεί φυσικά αντικείμενα για την παροχή υπηρεσιών σε διάφορες εφαρμογές, διατηρώντας παράλληλα τα πρότυπα ασφάλειας και προστασίας της ιδιωτικής ζωής. Το Διαδίκτυο των πραγμάτων (IoT) προσφέρει τη δυνατότητα ενσωμάτωσης διαφόρων προηγμένων τεχνολογιών, όπως η επικοινωνία μεταξύ μηχανών, τα αυτόνομα δίκτυα, η εξόρυξη δεδομένων, η λήψη αποφάσεων, η

προστασία της ιδιωτικής ζωής, η υπολογιστική νέφους και οι προηγμένες τεχνικές ανίχνευσης και ενεργοποίησης. Το φαινόμενο αυτό συμβάλλει στην ανάπτυξη ενός νέου τύπου παραγωγικής εγκατάστασης που συνδέει το διαδικτυακό πεδίο με την παραδοσιακή βιομηχανική παραγωγή, ανοίγοντας το δρόμο για την επόμενη βιομηχανική επανάσταση (Lampropoulos et al., 2019).

# 1. Διαδίκτυο των πραγμάτων (IoT)

## 1.1. Ορισμός

Δεν υπάρχει καθολικά αποδεκτός ορισμός για το IoT. Η έννοια του IoT είναι πολυδιάστατη και μπορεί να ενσωματωθεί σε διάφορα τεχνολογικά και μη τεχνολογικά κοινωνικά πεδία. Το Διαδίκτυο των πραγμάτων αντιπροσωπεύει κάτι περισσότερο από μια απλή τεχνολογική πρόοδο. Το IoT προσφέρει ενδιαφέρουσες ιδέες από το πεδίο των κοινωνικών επιστημών, καλύπτοντας ηθικές ανησυχίες, νομικά πλαίσια και οικονομικές πτυχές. Η ειδική έκθεση για το Διαδίκτυο των Πραγμάτων που εκδόθηκε τον Μάρτιο του 2014 από το IEEE όρισε τον όρο "Διαδίκτυο των Πραγμάτων" ως εξής: "Ένα δίκτυο αντικειμένων, καθένα από τα οποία είναι εξοπλισμένο με αισθητήρες που συνδέονται στο διαδίκτυο". Η αναφορά γίνεται από το IEEE για το θέμα του "Διαδικτύου των πραγμάτων" το 2014. Έτσι, η παραπάνω πρόταση απεικονίζει με βασικό τρόπο τη φυσική πτυχή του IoT (Hammoudi et al., 2017).

- Ομοίως, μια συναρπαστική προσέγγιση παρουσιάστηκε στο άρθρο "Πώς και τι να μελετήσουμε για το IoT: Ερευνητικές τάσεις και μελλοντικές κατευθύνσεις από τη σκοπιά των κοινωνικών επιστημών". Οι συγγραφείς κατηγοριοποίησαν τους ορισμούς που προτάθηκαν σε διάφορα πεδία σε τέσσερις διακριτές κατηγορίες με βάση την έμφαση που έδιναν. Οι κατηγορίες είναι οι εξής (Lee et al., 2017):
  - Ευφυή αντικείμενα
  - Επέκταση του Διαδικτύου
  - Μια παγκόσμια δικτυακή υποδομή
  - Η αλληλεπίδραση των πληροφοριών (Lee et al., 2017).

Μια κατηγορία είναι τα "Ευφυή αντικείμενα". Αυτά τα αντικείμενα χρησιμοποιούνται συνήθως στην καθημερινή ζωή για να συνδεθούν με άλλες συσκευές, όπως αισθητήρες, διακομιστές και βάσεις δεδομένων, ώστε να εκτελούν

εργασίες ή να μοιράζονται πληροφορίες. Για παράδειγμα, θα διευκρινίσουμε το σενάριο που αφορά μια έξυπνη κάμερα. Όταν ανιχνεύεται κίνηση στην καθορισμένη περιοχή της, η έξυπνη κάμερα μπορεί να ενεργοποιήσει το σύστημα συναγερμού, να ανάψει τα έξυπνα φώτα του σπιτιού ή να στείλει μια ειδοποίηση μαζί με μια φωτογραφία ή ένα βίντεο του συμβάντος στο smartphone μας μέσω σύνδεσης στο διαδίκτυο. Η ικανότητα της έξυπνης κάμερας να εκτελεί αυτές τις εργασίες κατά την ενεργοποίηση του αισθητήρα κίνησης καταδεικνύει ένα επίπεδο ευφυΐας, όπως συζητήθηκε σε προηγούμενη μελέτη (Hammoudi et al., 2017). Η σύνδεση μεταξύ της έξυπνης κάμερας και των έξυπνων φώτων ή του έξυπνου τηλεφώνου μέσω διαδικτύου είναι συνέπεια της διακριτής ταυτότητας των αντικειμένων. Αυτή η ταυτότητα αντιπροσωπεύει μια ξεχωριστή διεύθυνση IP ή DNS που χρησιμοποιούν τα αντικείμενα για να επικοινωνούν μεταξύ τους μέσω πρωτοκόλλων Ethernet, τονίζοντας την έννοια των αντικειμένων που έχουν μοναδικές ταυτότητες. Οι ηλεκτρονικές συσκευές, όπως τα smartphones, τα έξυπνα φώτα και οι έξυπνες κάμερες, είναι σε θέση να αλληλεπιδρούν και να επικοινωνούν μεταξύ τους λόγω των διακριτών ταυτοτήτων τους (Al-Sarawi et al., 2017).

Η δεύτερη κατηγορία αφορά μια επέκταση του διαδικτύου. Η έννοια του IoT θεωρείται ως εξέλιξη της τεχνολογίας του διαδικτύου. Το μεγαλύτερο ποσοστό χρήσης του διαδικτύου μέχρι σήμερα απαιτούσε ανθρώπινη αλληλεπίδραση, με έναν τελικό χρήστη να είναι απαραίτητος για τις εφαρμογές. Για παράδειγμα, τα μέσα κοινωνικής δικτύωσης, οι ειδήσεις, οι ηλεκτρονικές πληρωμές, τα διαδικτυακά παιχνίδια και η ροή βίντεο. Προβλέπεται ότι με την αυξανόμενη συνδεσιμότητα όλων των αντικειμένων στο διαδίκτυο (IEEE., 2014), ένα σημαντικό μέρος των πόρων του διαδικτύου θα χρησιμοποιείται από εφαρμογές που έχουν σχεδιαστεί για μη ανθρώπινη αλληλεπίδραση. Το διαδίκτυο πρέπει να παρέχει ένα ασφαλές και αξιόπιστο δίκτυο για τις συσκευές, καθώς αποτελεί κρίσιμο παράγοντα για το IoT (Madakam et al., 2015).

Η τρίτη κατηγορία αφορά μια παγκόσμια δικτυακή υποδομή. Το IoT περιλαμβάνει την ενσωμάτωση φυσικών αντικειμένων, εικονικών δικτύων και πρωτοκόλλων σε ένα παγκόσμιο οικοσύστημα. Αυτό το οικοσύστημα χαρακτηρίζεται από μια παγκόσμια υποδομή δικτύου που συνδυάζει φυσικά και εικονικά αντικείμενα αξιοποιώντας τις δυνατότητες συλλογής δεδομένων και επικοινωνίας. Η υποδομή έχει σχεδιαστεί για να συλλέγει δεδομένα από αισθητήρες, να τα αναλύει χρησιμοποιώντας αλγόριθμους λήψης αποφάσεων και στη συνέχεια να αλληλεπιδρά με αντικείμενα για την εκτέλεση συγκεκριμένων ενεργειών (Kim, 2015).

Τέλος, έχουμε την κατηγορία "Αλληλεπίδραση πληροφοριών". Το IoT σε αυτή την περίπτωση επικεντρώνεται στην ανταλλαγή πληροφοριών και στην εφαρμογή της γνώσης (Kang, M., 2015). Η επικοινωνία μεταξύ μηχανών (M2M) και η ανάλυση δεδομένων είναι θεμελιώδεις λειτουργίες εντός αυτής της κατηγορίας. Η επικοινωνία και η αλληλεπίδραση μεταξύ δύο ή περισσότερων αντικειμένων διευκολύνει την αναφορά δεδομένων και την εκτέλεση δράσεων χωρίς ανθρώπινη παρέμβαση (Iraji et al., 2017). Η μελέτη της ανάλυσης δεδομένων περιλαμβάνει την εξέταση δεδομένων για τη λήψη τεκμηριωμένων αποφάσεων σχετικά με συγκεκριμένες καταστάσεις. Η λήψη αποφάσεων σε αυτό το σενάριο δεν απαιτεί ανθρώπινη αλληλεπίδραση. Τελικά, η έμφαση δίνεται στο εικονικό πεδίο, συγκεκριμένα στα δεδομένα και τις πληροφορίες που προσφέρουν τα αντικείμενα και όχι στη φυσική τους παρουσία στο δίκτυο. Με βάση την ανάλυση που παρασχέθηκε, μπορεί να συναχθεί το συμπέρασμα ότι το Διαδίκτυο των πραγμάτων (IoT) είναι μια σύνθετη έννοια που περιλαμβάνει όλες τις κατηγορίες που συζητήθηκαν προηγουμένως. Το Διαδίκτυο των πραγμάτων είναι ουσιαστικά ένα σύνθετο σύστημα που περιλαμβάνει αισθητήρες, συσκευές, δίκτυα επικοινωνίας και ελεγκτές για την ανάλυση δεδομένων και τη λήψη αποφάσεων, που συχνά λειτουργούν αυτόνομα χωρίς να απαιτείται ανθρώπινη παρέμβαση (Ali et. al., 2015).

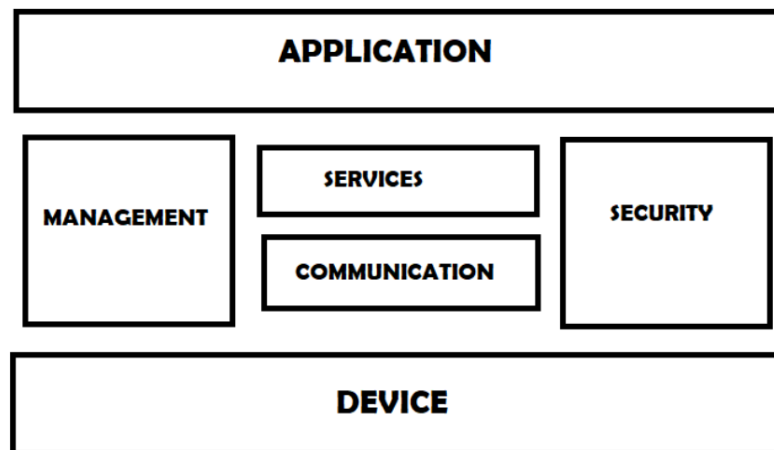


## 1.2. Λειτουργία του IoT

Ένα οικοσύστημα IoT περιλαμβάνει έξυπνες συσκευές με δυνατότητα σύνδεσης στο διαδίκτυο, εξοπλισμένες με ενσωματωμένα συστήματα όπως επεξεργαστές, αισθητήρες και υλικό επικοινωνίας για τη συλλογή, μετάδοση και απόκριση σε δεδομένα που λαμβάνονται από το περιβάλλον τους. Οι συσκευές IoT μεταδίδουν τα δεδομένα αισθητήρων που συλλέγουν μέσω σύνδεσης με μια πύλη IoT ή μια άλλη προηγμένη συσκευή. Τα δεδομένα στη συνέχεια είτε αποστέλλονται στο σύννεφο για ανάλυση είτε αναλύονται τοπικά. Κατά καιρούς, οι συσκευές αυτές αλληλεπιδρούν με άλλες συναφείς συσκευές και ανταποκρίνονται στις πληροφορίες που ανταλλάσσουν. Οι συσκευές εκτελούν την πλειονότητα των εργασιών αυτόνομα, με δυνατότητα αλληλεπίδρασης με τον άνθρωπο για τη διαμόρφωση, την παροχή οδηγιών ή την πρόσβαση σε δεδομένα (Mobasshir Mahbub, 2022).

Τα δεδομένα από τις συσκευές που διαθέτουν αισθητήρες μεταδίδονται σε μια ασφαλή πλατφόρμα IoT, όπου συλλέγονται, αναλύονται και εξάγονται με βάση συγκεκριμένες ανάγκες (Madakam et al., 2015). Αφού μοιραστούν τα αποτελέσματα με άλλες συσκευές, αυτές γίνονται πιο φιλικές προς τον χρήστη, αυτοματοποιώντας τις διαδικασίες και βελτιώνοντας τη λειτουργικότητα. Μέσω της βελτιωμένης επικοινωνίας με την τεχνολογία, το IoT έχει αναζωογονήσει τις καθημερινές μας ρουτίνες. Οι δυνατότητες της βιομηχανίας IOT δεν γνωρίζουν όρια. Το Διαδίκτυο των πραγμάτων φέρνει επανάσταση στον τρόπο με τον οποίο τα άτομα ζουν και εργάζονται, παρέχοντάς τους ενισχυμένο έλεγχο των καθημερινών τους δραστηριοτήτων. Εκτός από την παροχή έξυπνων συσκευών για τον οικιακό αυτοματισμό, το IoT παίζει καθοριστικό ρόλο στις επιχειρήσεις. Το IoT προσφέρει στις επιχειρήσεις μια τρέχουσα προοπτική για την απόδοση του συστήματός τους, παρέχοντας πολύτιμες πληροφορίες για διάφορες πτυχές, όπως η απόδοση των μηχανών και οι λειτουργίες της αλυσίδας εφοδιασμού και της εφοδιαστικής (Mobasshir Mahbub, 2022).

Το Διαδίκτυο των πραγμάτων επιτρέπει στις επιχειρήσεις να εξορθολογίζουν τις λειτουργίες τους και να μειώνουν τις δαπάνες που σχετίζονται με το ανθρώπινο δυναμικό. Επιπλέον, μειώνει τη σπατάλη και βελτιώνει την παροχή υπηρεσιών, με αποτέλεσμα τη μείωση των εξόδων παραγωγής και παράδοσης, ενώ παράλληλα διασφαλίζει τη διαφάνεια στις συναλλαγές με τους πελάτες. Το IoT αποτελεί μια κρίσιμη τεχνολογία στην καθημερινή μας ζωή, έτοιμη για περαιτέρω ανάπτυξη, καθώς οι επιχειρήσεις αντιλαμβάνονται τα πλεονεκτήματα των διασυνδεδεμένων συσκευών για τη διατήρηση της ανταγωνιστικότητας (Pinon et al., 2018).



Εικόνα 1 Λειτουργικά μπλοκ IoT Πηγή: <https://iotbyhvm.ooo/logical-design-of-iot/>

### 1.3. Αρχιτεκτονική του IoT

- Επίπεδο συσκευής IoT

Το επίπεδο συσκευών IoT αποτελείται από όλες τις έξυπνες συσκευές που είναι συνδεδεμένες στο σύστημα. Οι έξυπνες συσκευές είναι προϊόντα ή εξαρτήματα που ενσωματώνουν αισθητήρες, επεξεργαστές, ενεργοποιητές και τη δυνατότητα μετάδοσης δεδομένων μέσω του Διαδικτύου. Μπορούν να συλλέγουν δεδομένα από το περιβάλλον τους και να τα μοιράζονται με τους χειριστές, τους χρήστες και άλλες

έξυπνες συσκευές και εφαρμογές που είναι συνδεδεμένες στο σύστημα (Swamy & Kota, 2020).

Οι έξυπνες συσκευές μπορούν να συλλέγουν δεδομένα από το περιβάλλον χρησιμοποιώντας διάφορους τύπους αισθητήρων. Οι συσκευές IoT που χρησιμοποιούνται στη γεωργία μπορεί να περιλαμβάνουν αισθητήρες υγρασίας εδάφους για τη μέτρηση της υγρασίας του εδάφους, αισθητήρες υγρασίας για τη μέτρηση της υγρασίας του αέρα και αισθητήρες θερμοκρασίας για τη μέτρηση της θερμοκρασίας του αέρα (Jabraeil Jamali et al., 2019). Οι έξυπνες οικιακές εγκαταστάσεις μπορεί να περιλαμβάνουν ανιχνευτές καπνού για την ανίχνευση πυρκαγιάς, αισθητήρες αφής και κίνησης για την ασφάλεια και οπτικούς αισθητήρες για τον αυτοματισμό του οικιακού φωτισμού. Η απλούστερη εφαρμογή IoT συλλέγει δεδομένα από μία μόνο συσκευή, όπως μια οικιακή κάμερα ασφαλείας. Άλλες εφαρμογές μπορεί να περιλαμβάνουν εκατοντάδες ή και χιλιάδες συσκευές και απαιτούν μια πιο ισχυρή υποδομή υποστήριξης για τη διαχείριση του όγκου και της λειτουργίας των δεδομένων (Gurta & Quamara, 2018).

- Στρώμα πύλης IoT

Το στρώμα πύλης IoT βρίσκεται μεταξύ του στρώματος συσκευής IoT και του στρώματος πλατφόρμας IoT. Το στρώμα αυτό αποτελείται από φυσικές συσκευές ή προγράμματα λογισμικού που συλλέγουν δεδομένα από έξυπνες συσκευές και τα αποστέλλουν στο σύννεφο. Το στρώμα πύλης προσφέρει δύο πρακτικά οφέλη στην αρχιτεκτονική του IoT. Διαχείριση φορτίου με προεπεξεργασία δεδομένων και ασφάλεια (Jabraeil Jamali et al., 2019).

Ορισμένες έξυπνες συσκευές είναι εξοπλισμένες με αισθητήρες που παράγουν χιλιάδες ή δεκάδες χιλιάδες σημεία δεδομένων ανά δευτερόλεπτο. Σκεφτείτε ένα σύνολο από 12 κάμερες ασφαλείας δικτύου υψηλής ανάλυσης, καθεμία από τις οποίες

καταγράφει βίντεο παρακολούθησης 4K. Εάν όλα αυτά τα δεδομένα μεταφορτώνονταν απευθείας στο σύννεφο, θα υπήρχαν προβλήματα με το εύρος ζώνης, τον χρόνο απόκρισης και το κόστος μετάδοσης του δικτύου και το συνολικό πρόβλημα θα μπορούσε να είναι η εξοικονόμηση κόστους. Το επίπεδο πύλης μπορεί να αποτελείται από το δικό σας πρόγραμμα λογισμικού που επεξεργάζεται εκ των προτέρων τα δεδομένα πριν από την αποστολή τους στο cloud. Η πύλη προστατεύει επίσης τη μετάδοση δεδομένων από έξυπνες συσκευές. Χαρακτηριστικά όπως η ανίχνευση εισβολής, η κρυπτογράφηση και οι γεννήτριες τυχαίου υλικού μπορούν να χρησιμοποιηθούν για την αποτροπή κακόβουλων επιθέσεων σε συσκευές IoT και την προστασία των δεδομένων που μεταφέρονται στο σύννεφο (Swamy & Kota, 2020).

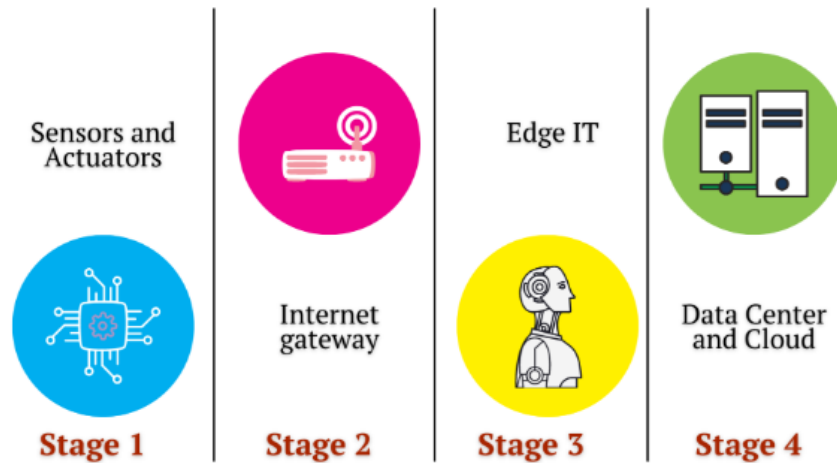
- Επίπεδο πλατφόρμας IoT

Τα δεδομένα IoT, αφού μεταφορτωθούν στο σύννεφο, μπορούν να υποβληθούν σε επεξεργασία σε εργαλεία και εφαρμογές επιπέδου πλατφόρμας IoT. Το επίπεδο πλατφόρμας αποτελείται από κέντρα δεδομένων αιχμής ΤΠ και υπολογιστικού νέφους ή φυσικά κέντρα δεδομένων που παίζουν ρόλο στην ανάλυση, τη διαχείριση και την αρχειοθέτηση των δεδομένων. Στο επίπεδο πλατφόρμας IoT υπάρχουν εφαρμογές που παρέχουν λειτουργίες και υπηρεσίες όπως η μετατροπή δεδομένων, η ανάλυση και η παρακολούθηση. Το στρώμα πλατφόρμας IoT περιλαμβάνει επίσης εργαλεία για την οπτικοποίηση επεξεργασμένων δεδομένων αισθητήρων σε συσκευές που απευθύνονται στον χρήστη (Jabraeil Jamali et al., 2019).

### 1.3.1. 4 στάδια της αρχιτεκτονικής του IoT

Το μοντέλο αρχιτεκτονικής τεσσάρων σταδίων του IoT αποτελεί ένα κοινό πλαίσιο για την υλοποίηση ενός δικτύου έξυπνων συσκευών που συλλέγουν δεδομένα

από το περιβάλλον, μεταδίδουν τα δεδομένα αυτά στο νέφος μέσω δικτυακών πυλών και χρησιμοποιούν περιφερειακές συσκευές. ΤΠ για βασική ανάλυση και προεπεξεργασία και τελικά αποθήκευση δεδομένων σε κέντρα δεδομένων ή στο νέφος (Houtam, 2021).



Εικόνα 2 4 στάδια της αρχιτεκτονικής του ΙοΤΠηγή: <https://www.linkedin.com/pulse/four-stage-architecture-iot-system-yafoor-hussain/>

➤ Αισθητήρες / ενεργοποιητές

Οι έξυπνες συσκευές χρησιμοποιούν αισθητήρες και ενεργοποιητές για να αλληλεπιδρούν με το περιβάλλον. Οι αισθητήρες συλλαμβάνουν δεδομένα από το περιβάλλον και τα αναμεταδίδουν στο κέντρο δεδομένων και στο cloud μέσω πυλών και τεχνολογίας αιχμής. Οι ενεργοποιητές είναι ένας τύπος κινητήρα που μπορεί να ελέγχει ή να κινεί ένα μηχανικό σύστημα. Οι ενεργοποιητές μπορούν να ενεργοποιηθούν από τους χειριστές χρησιμοποιώντας εντολές από το σύννεφο και να σταλούν σε έξυπνες συσκευές μέσω διαδικτυακών πυλών και προηγμένης τεχνολογίας υπολογιστών (Houtam, 2021).

Υπάρχουν πολλοί τύποι αισθητήρων, όπως (Lee et al., 2016):

- Επιταχυνσιόμετρα
- Αισθητήρες χρώματος

- Αισθητήρες ροής
- Αισθητήρες στάθμης
- Αισθητήρες φωτός
- Αισθητήρες GPS
- Αισθητήρες υγρασίας
- Αισθητήρες εγγύτητας
- Αισθητήρας βροχής
- Αισθητήρες υγρασίας εδάφους
- Αισθητήρες θερμοκρασίας
- Αισθητήρες κλίσης

➤ Πύλες Διαδικτύου

Τα δεδομένα που συλλέγονται από τους αισθητήρες ξεκινούν τον κύκλο ζωής τους σε σχετική μορφή. Τα δεδομένα των αισθητήρων πρέπει να ενσωματωθούν, να ψηφιοποιηθούν και να μετατραπούν σε κοινές μορφές, ώστε να καταστεί δυνατή η αποτελεσματική επεξεργασία των αισθητήρων. Τα συστήματα διαδικτυακών πυλών βρίσκονται συνήθως κοντά στους αισθητήρες και τους ενεργοποιητές που παράγουν δεδομένα. Για παράδειγμα, τα έξυπνα οικιακά συστήματα μπορεί να περιλαμβάνουν έξι κάμερες HD και κάθε κάμερα στέλνει δεδομένα σε ένα σύστημα συλλογής δεδομένων (DAS) μέσω ενός φυσικού καλωδίου. Το DAS συλλέγει δεδομένα από το δίκτυο αισθητήρων, ψηφιακά δεδομένα, εκτελεί κάποια προκαταρκτική επεξεργασία και μπορεί να τα συμπίεσει πριν τα στείλει στον αγωγό για να μειώσει το μέγεθός τους (Zachariah et al., 2015).

➤ Τεχνολογία πληροφορικής άκρων

Το Edge computing έχει σκοπό να διευκολύνει την πληροφορική πιο κοντά στην πηγή για να μειώσει την καθυστέρηση και να διαχειριστεί τα φορτία του κέντρου δεδομένων. Τα συστήματα πληροφορικής άκρων είναι η πρώτη στάση για τη λήψη δεδομένων από αισθητήρες στο σύννεφο. Εδώ, εξειδικευμένες εφαρμογές μπορούν να χρησιμοποιηθούν για την εκτέλεση αναλύσεων, την ανάλυση μεγάλου όγκου δεδομένων για την ανεύρεση ανωμαλιών ή παραβιάσεων KPI και τη δημιουργία ουσιαστικών πληροφοριών πριν από τη διαβίβασή τους στο κέντρο δεδομένων (Hamdan et al., 2020).

➤ Κέντρο δεδομένων/νέφος

Τα δεδομένα που χρήζουν πιο εμπειριστατωμένης επεξεργασίας ή ανάλυσης μπορούν τελικά να μεταφερθούν σε ένα φυσικό κέντρο δεδομένων ή σε έναν διακομιστή αποθήκευσης δεδομένων που βασίζεται στο νέφος. Εδώ, οι χειριστές μπορούν να εφαρμόσουν προηγμένες τεχνικές ανάλυσης δεδομένων, συνδυάζοντάς τα με πληροφορίες από άλλες πηγές για να αποκτήσουν βαθύτερη κατανόηση του τρόπου με τον οποίο συμπεριφέρεται το σύστημα (Houtam, 2021). Η ανάλυση δεδομένων μπορεί να αξιοποιηθεί για την κατανόηση του τρόπου με τον οποίο τα δεδομένα των αισθητήρων μεταβάλλονται με την πάροδο του χρόνου και σε σύγκριση με άλλες μεταβλητές. Οι τεχνικές μηχανικής μάθησης μπορούν να χρησιμοποιηθούν για την αυτοματοποίηση και τη βελτιστοποίηση των ενεργοποιητών σε απόκριση των αισθητηριακών δεδομένων ή με βάση τα κριτήρια του χρήστη. Κάποιο είδος τεχνικής όρασης δεδομένων μπορεί να αξιοποιηθεί για την εφαρμογή της επιχειρησιακής λογικής του χρήστη στα δεδομένα και την παροχή στον χρήστη πληροφοριών (γραφήματα, διαγράμματα, διαγράμματα κ.λπ.) σε εύκολα κατανοητή μορφή (Gupta & Quamara, 2018).

## 1.4. Συσσκευές IoT

Κάθε πράγμα έχει τη δική του συσκευή, η οποία είναι το στοιχείο που συνδέει αυτό το πράγμα με το δίκτυο.

- Συσσκευή μεταφοράς δεδομένων: είναι η απλούστερη μορφή συσκευής που χρησιμοποιείται από το φυσικό αντικείμενο για την πρόσβαση στο δίκτυο και τη μεταφορά δεδομένων από και προς αυτό (Meneghello et al., 2019).
- Συσσκευή σύλληψης δεδομένων: Πρόκειται για συσκευές με δυνατότητα ανάγνωσης και εγγραφής δεδομένων και αλληλεπίδρασης με φυσικά αντικείμενα (Meneghello et al., 2019).
- Συσσκευή ανίχνευσης και ενεργοποίησης: Ανίχνευση και μέτρηση πληροφοριών σχετικών με το εγγύς περιβάλλον και μετατροπή τους σε ψηφιακά σήματα. Μπορούν επίσης να μεταφράζουν τα σήματα που λαμβάνονται από το δίκτυο σε πραγματικές ενέργειες και λειτουργίες, για παράδειγμα για την ενεργοποίηση μιας μηχανής (Meneghello et al., 2019).
- Γενική συσκευή: Μια γενική συσκευή έχει δυνατότητες επικοινωνίας και επεξεργασίας πληροφοριών και μπορεί να επικοινωνεί με δίκτυα μέσω ενσύρματων ή ασύρματων τεχνολογιών. Περιλαμβάνουν εξοπλισμό και εφαρμογές για διάφορους τομείς εφαρμογών πληροφορικής, όπως η υγεία, η βιομηχανία και η εκπαίδευση (Meneghello et al., 2019).

Έχουμε δει τις κατηγορίες των συσκευών. Μερικά τυπικά παραδείγματα συσκευών που αναφέρονται σε είναι :

- Αισθητήρες : Ίσως οι πιο σημαντικές συσκευές για ένα ευρύ φάσμα εφαρμογών είναι οι αισθητήρες. Εκτός από τους μετρητές κάποιου μεγέθους (π.χ. υγρασία, θόρυβος) αποτελούνται από ενεργειακές μονάδες, διαχείριση ισχύος και κεραίες ραδιοκυμάτων. Ορισμένα παραδείγματα αισθητήρων είναι (Sehrawat & Gill, 2019):
  - i. Ταχύμετρα/αξελερόμετρα
  - ii. Ακουστικοί αισθητήρες



- iii. Αισθητήρες υγρασίας
- iv. Αισθητήρες πίεσης: μέτρηση πίεσης
- v. Αισθητήρες θερμοκρασίας
- vi. Αισθητήρες φωτός
- Wearables: Μια άλλη κατηγορία συσκευών είναι οι φορητές συσκευές που προορίζονται κυρίως για χρήση σε ανθρώπους και ζώα. Αποτελούν μικρές ηλεκτρονικές συσκευές που είναι τοποθετημένες στο κεφάλι, στο χέρι, στο λαιμό ή σε οποιοδήποτε άλλο σημείο του σώματος που μπορεί να παρέχει τις ζητούμενες πληροφορίες. Για παράδειγμα, τα έξυπνα ρολόγια που μπορούν να χρησιμοποιηθούν για να μετρήσουν τον καρδιακό ρυθμό και να υπολογίσουν πόσες θερμίδες καίμε εκείνη τη στιγμή, να μας βοηθήσουν να αποτρέψουμε την ταχυκαρδία και ακόμη να υπολογίσουν πόσες ώρες έχουμε κοιμηθεί βαθιά και πόσες όχι. Ένα άλλο παράδειγμα είναι τα έξυπνα γυαλιά που μας βοηθούν να απολαμβάνουμε περισσότερο μια υπηρεσία. Άλλες συσκευές μπορεί να είναι ειδικά περιλαίμια για τα κατοικίδια ζώα, κατάλληλα φτιαγμένες κάλτσες και παπούτσια κ.λπ. (John Dian et al., 2020).
- Κλασικές συσκευές: επιτραπέζιοι υπολογιστές, κινητά τηλέφωνα, ταμπλέτες, δρομολογητές, διακόπτες κ.λπ. (John Dian et al., 2020).

### 1.5. Πεδία εφαρμογής IoT

Υπάρχουν διάφορες πραγματικές εφαρμογές του Διαδικτύου των Πραγμάτων, που εκτείνονται από το καταναλωτικό IoT και το επιχειρηματικό IoT έως το κατασκευαστικό και το βιομηχανικό IoT (IIoT). Εφαρμογές του IoT υπάρχουν σε διάφορες βιομηχανίες, όπως η αυτοκινητοβιομηχανία, οι τηλεπικοινωνίες και η ενέργεια. Στον καταναλωτικό τομέα, τα έξυπνα σπίτια είναι πλέον εξοπλισμένα με προηγμένη τεχνολογία, όπως έξυπνοι θερμοστάτες, συσκευές και διασυνδεδεμένες συσκευές θέρμανσης, φωτισμού και ηλεκτρονικές συσκευές. Αυτά μπορούν να

ελέγχονται άνετα από απόσταση με τη χρήση υπολογιστών και έξυπνων κινητών τηλεφώνων (Lampropoulos et al., 2019).

Οι κινητές συσκευές που είναι εξοπλισμένες με αισθητήρες και λογισμικό έχουν τη δυνατότητα να συγκεντρώνουν και να αναλύουν δεδομένα χρηστών. Αυτές οι πληροφορίες μπορούν στη συνέχεια να μοιραστούν με άλλες τεχνολογίες για να βελτιώσουν την εμπειρία και την ευκολία των χρηστών. Οι φορητές συσκευές διαδραματίζουν κρίσιμο ρόλο στην ενίσχυση της δημόσιας ασφάλειας. Μπορούν να συμβάλουν στη βελτίωση των χρόνων ανταπόκρισης για τους πρώτους ανταποκριτές κατά τη διάρκεια έκτακτων περιστατικών, προσφέροντας βελτιστοποιημένες διαδρομές σε μια τοποθεσία και παρακολουθώντας τα ζωτικά σημεία των εργαζομένων ή των πυροσβεστών σε επικίνδυνα περιβάλλοντα (Hassija et al., 2019).

Στον τομέα της υγειονομικής περίθαλψης, το Διαδίκτυο των πραγμάτων παρέχει πολυάριθμα πλεονεκτήματα, όπως η δυνατότητα στενής παρακολούθησης των ασθενών μέσω της ανάλυσης δεδομένων. Οι εγκαταστάσεις υγειονομικής περίθαλψης χρησιμοποιούν συχνά συστήματα IoT για τον εξορθολογισμό διαδικασιών, όπως η διαχείριση αποθεμάτων για φάρμακα και ιατρικό εξοπλισμό. Τα ευφυή κτίρια μπορούν να μειώσουν τις ενεργειακές δαπάνες, χρησιμοποιώντας αισθητήρες για την παρακολούθηση του αριθμού των ατόμων σε ένα δωμάτιο. Η θερμοκρασία μπορεί να ρυθμιστεί αυτόματα. Για παράδειγμα, το κλιματιστικό μπορεί να ενεργοποιηθεί εάν οι αισθητήρες ανιχνεύσουν ότι μια αίθουσα συσκέψεων είναι κατειλημμένη ή η θερμοκρασία μπορεί να μειωθεί όταν το γραφείο είναι άδειο. Στον τομέα της γεωργίας, τα συστήματα έξυπνης γεωργίας που χρησιμοποιούν την τεχνολογία IoT μπορούν να χρησιμοποιηθούν για την παρακολούθηση διαφόρων περιβαλλοντικών παραγόντων, όπως το φως, η θερμοκρασία, η υγρασία και η υγρασία του εδάφους, μέσω διασυνδεδεμένων αισθητήρων. Το IoT διαδραματίζει ζωτικό ρόλο στην αυτοματοποίηση των συστημάτων άρδευσης. Στο πλαίσιο μιας έξυπνης πόλης, οι αισθητήρες και οι εφαρμογές του IoT, όπως τα έξυπνα φώτα του

δρόμου και τα έξυπνα μέτρα, διαδραματίζουν καθοριστικό ρόλο στην αντιμετώπιση της κυκλοφοριακής συμφόρησης, τη διατήρηση της ενέργειας, την περιβαλλοντική παρακολούθηση και τη δημόσια υγεία (Hassija et al., 2019).

➤ Έξυπνη γεωργία

Τα προσδοκώμενα οφέλη της ψηφιοποίησης για την έξυπνη γεωργία μπορούν να συνοψιστούν ως εξής: Η φυσική εργασία που γίνεται στη γεωργία έχει μειωθεί, για παράδειγμα. Μείωση της τεκμηρίωσης και του προγραμματισμού των εργασιών, βελτιστοποίηση των λιστών εργασιών και αυτοματοποίηση των διαδικασιών. Βελτιωμένη λήψη αποφάσεων μέσω μεγαλύτερης διαφάνειας χάρη στη συνεχή παρακολούθηση, τις ειδοποιήσεις και τις συμβουλές σε πραγματικό χρόνο. Με την ανταλλαγή δεδομένων και πληροφοριών με τρίτους, είναι επίσης δυνατή η απλή επεξεργασία παραγγελιών, η πιστοποίηση και η παρακολούθηση, η ειδοποίηση και η επικοινωνία με τους καταναλωτές (μέσω smartphone) (Kassim, 2020). Σε γενικές γραμμές, μπορεί να αναμένεται ότι η διαδικασία. Οι σημερινοί αγρότες ήδη χρησιμοποιούν δοκιμασμένες λύσεις έξυπνης γεωργίας, όπως διάφορα ρομπότ σίτισης και άρμεξης που λειτουργούν χωρίς ανθρώπινη παρέμβαση και καταγράφουν και μεταδίδουν τα δεδομένα της διαδικασίας τους. Το ρομπότ συλλέγει δεδομένα, όπως ο όγκος της τροφής ή η υγεία των ζώων, τα οποία οι αγρότες μπορούν να βλέπουν μέσω υπολογιστή ή smartphone. Στο μέλλον, η τεχνολογία GPS μπορεί να χρησιμοποιηθεί για τη μέτρηση του μεγέθους του αγροτεμαχίου και της σποράς. Επί του παρόντος, αυτή η τεχνολογία έχει χρησιμοποιηθεί από ορισμένους αγρότες για τη λίπανση μεγάλων αγροτεμαχίων. Το σύστημα ανιχνεύει τη θέση του τρακτέρ στο χωράφι, αποτρέποντας έτσι τη λίπανση στο χωράφι. Αποφεύγεται η διπλή λίπανση με την ακριβή καταγραφή της ακτίνας του κύκλου (Hassija et al., 2019).

➤ Κατανάλωση ενέργειας IoT

Η εμφάνιση του Διαδικτύου των Πραγμάτων (IoT), των έξυπνων μετρητών και των έξυπνων συσκευών επέτρεψε στους καταναλωτές ηλεκτρικής ενέργειας να

παρακολουθούν στενά την ενέργεια που χρησιμοποιούν και να καθορίζουν την κατανάλωσή τους (Lamprou et al., 2019). Αυτές οι τεχνολογικές εξελίξεις αποδίδονται στη σύνδεση αισθητήρων και εξοπλισμού. Αυτό είναι εφικτό επειδή η τιμή του IoT δημιουργεί την αλληλεπίδραση μεταξύ της συλλογής δεδομένων και της χρήσης. Η υποδομή IoT καθιστά δυνατή τη συλλογή και ανάλυση δεδομένων αισθητήρων σε πραγματικό χρόνο. Το προτεινόμενο σύστημα χρησιμοποιεί την υποδομή IoT για την παρακολούθηση, την έξυπνη μέτρηση και την αποστολή της κατανάλωσης ενέργειας σε πραγματικό χρόνο. Οι αισθητήρες IoT, οι πόρτες και οι μετρητές ηλεκτρικής ενέργειας εκτελούν έναν αλγόριθμο που χρησιμοποιείται για τον προγραμματισμό των συσκευών στο σπίτι και τον προσδιορισμό των συσκευών που μπορούν να χρησιμοποιηθούν με βάση την παρουσία και τις προτιμήσεις (Hassija et al., 2019).

#### ➤ Έξυπνες πόλεις

Από τότε που πρωτοεμφανίστηκε η ιδέα των έξυπνων πόλεων, η τεχνολογία του Διαδικτύου των πραγμάτων αποτελεί βασικό πυλώνα της ανάπτυξης των έξυπνων πόλεων. Καθώς η τεχνολογία εξελίσσεται και όλο και περισσότερες χώρες αποδέχονται συνδέσεις επόμενης γενιάς, η τεχνολογία IoT θα εξακολουθήσει να αναπτύσσεται και να έχει μεγαλύτερο αντίκτυπο στον τρόπο ζωής μας (Razmjoo et al., 2022).

Σύμφωνα με στοιχεία από έρευνα σχετικά με τη χρήση των δικτύων που καθορίζονται από λογισμικό (SDN) για τη βελτίωση της ασφάλειας του Διαδικτύου των Πραγμάτων (IoT), μέχρι το 2025 θα είναι συνδεδεμένες περισσότερες από 75,44 δισεκατομμύρια συσκευές IoT. Εκτιμάται ότι μέχρι το 2023 θα υπάρχουν περισσότεροι από 7,33 δισεκατομμύρια χρήστες κινητών τηλεφώνων και περισσότεροι από 1.105 εκατομμύρια συνδεδεμένοι χρήστες κινητών τηλεφώνων μέχρι το 2022 (Saxena et al., 2024). Το Διαδίκτυο των πραγμάτων προβλέπεται να γίνει ένα από τα πιο ευφυή συνεργατικά συστήματα στην ιστορία. Οι πόλεις κατανοούν τα οφέλη και τις ευκαιρίες

του Διαδικτύου των πραγμάτων για τις έξυπνες πόλεις, καθώς υπάρχουν τόσες πολλές δυνατότητες και ευκαιρίες σε ένα ευρύ φάσμα τομέων, όπως η αστική κινητικότητα, η ασφάλεια, η προστασία, η βιωσιμότητα, η συντήρηση, η υγειονομική περίθαλψη και η διαχείριση. Ο υψηλός βαθμός διαλειτουργικότητας είναι ένα από τα βασικά στοιχεία της επόμενης γενιάς έξυπνων πόλεων. Οι πολίτες και οι κυβερνήσεις συνδέονται με πρωτοφανείς τρόπους. Ενώ το IoT παρέχει μεγάλες ευκαιρίες και οφέλη στις έξυπνες πόλεις, αυτό το επίπεδο συνδεσιμότητας συνοδεύεται και από τις δικές του προκλήσεις (Al-Hayajneh et al., 2020).

➤ Υγειονομική περίθαλψη

Η ιατρική καθοδηγείται εδώ και καιρό από τα δεδομένα, από τη διάγνωση έως τη συνταγογράφηση της θεραπείας. Σήμερα, χάρη στη δύναμη της τεχνητής νοημοσύνης (AI) και του Διαδικτύου των πραγμάτων (IoT), η υγειονομική περίθαλψη κάνει μεγάλα βήματα στη συλλογή και ανάλυση δεδομένων υψηλής ποιότητας. Σε μεγάλη κλίμακα, το IoT θα αποτελείται από δισεκατομμύρια συσκευές και αισθητήρες που θα στέλνουν μια συνεχή ροή δεδομένων, όπως ακριβώς και η αλυσίδα εφοδιασμού. Για τους ηγέτες των επιχειρήσεων σε όλους τους κλάδους, η καλύτερη και ακριβέστερη πρόσβαση σε δεδομένα σε πραγματικό χρόνο ενισχύει τη λήψη αποφάσεων (Lampropoulos et al., 2019).

Η πανδημία Covid-19 έχει επιταχύνει ραγδαία την καινοτομία στην παροχή προϊόντων, υπηρεσιών και λύσεων. Με τον τηλεγράφο που προέκυψε από την πανδημία, η καινοτομία αυξήθηκε και στην υγειονομική περίθαλψη. Η μετάβαση αυτή υποστηρίχθηκε περαιτέρω από τις ασφαλιστικές εταιρείες, συμπεριλαμβανομένου του Κέντρου Υπηρεσιών Medicare & Medicaid (CMS). Το CMS έχει εκδώσει μια εξαίρεση που σας επιτρέπει να πληρώνετε τιμές ανταλλαγής για προσωπική ή κατ' οίκον περίθαλψη (Ahmadi et al., 2018). Στον απόηχο της πανδημίας, η εικονική περίθαλψη εξακολουθεί να διαδραματίζει σημαντικό ρόλο. Η αυξημένη αποδοχή τόσο από τους γιατρούς όσο και από τους ασθενείς εξαλείφει την ανάγκη πολλαπλών επισκέψεων σε

γιατρούς για τακτική παρακολούθηση και ανατροφοδότηση. Καθώς η τηλεϊατρική επεκτείνεται, τα νοσοκομεία, οι γιατροί και άλλοι κλινικοί γιατροί πιθανότατα θα στραφούν σε εφαρμογές υγειονομικής περίθαλψης IoT για την παρακολούθηση, συλλογή και ανάλυση δεδομένων ασθενών σε πραγματικό χρόνο (Lampropoulos et al., 2019). Καθώς η τηλεπάθεια διευρύνεται, τα νοσοκομεία, οι γιατροί και άλλοι κλινικοί γιατροί είναι πιθανό να χρησιμοποιούν εφαρμογές υγειονομικής περίθαλψης IoT για την παρακολούθηση, τον έλεγχο και την ανάλυση των δεδομένων των ασθενών σε πραγματικό χρόνο. Η παρακολούθηση περιουσιακών στοιχείων IoT παρέχει πολλαπλά οφέλη στον κλάδο της υγειονομικής περίθαλψης (Ahmadi et al., 2018).

Οι γιατροί, οι νοσηλευτές και οι παραγγελιοδότες πρέπει συχνά να γνωρίζουν την ακριβή θέση των περιουσιακών στοιχείων που παρέχουν βοήθεια στους ασθενείς, όπως τα αναπηρικά αμαξίδια. Όταν τα αναπηρικά αμαξίδια ενός νοσοκομείου είναι εξοπλισμένα με αισθητήρες IoT, μπορούν να παρακολουθούνται από την εφαρμογή παρακολούθησης περιουσιακών στοιχείων IoT, ώστε όποιος ψάχνει να μπορεί να βρει γρήγορα το πλησιέστερο διαθέσιμο αναπηρικό αμαξίδιο. Πολλά περιουσιακά στοιχεία του νοσοκομείου μπορούν να παρακολουθούνται με αυτόν τον τρόπο για να διασφαλιστεί η σωστή χρήση καθώς και η οικονομική λογιστική για τα φυσικά περιουσιακά στοιχεία σε κάθε τμήμα (Pranati Rakshit et al., 2019).

➤ Γενική ασφάλεια σε όλα τα τμήματα

Εκτός από την παρακολούθηση των φυσικών περιουσιακών στοιχείων, το IoT μπορεί να αξιοποιηθεί για τη βελτίωση της ασφάλειας των εργαζομένων. Οι εργαζόμενοι σε επικίνδυνα περιβάλλοντα, όπως ορυχεία, κοιτάσματα πετρελαίου και φυσικού αερίου και εργοστάσια παραγωγής χημικών και ηλεκτρικής ενέργειας, για παράδειγμα, πρέπει να γνωρίζουν την εμφάνιση ενός επικίνδунου συμβάντος που θα μπορούσε να τους επηρεάσει. Όταν είναι συνδεδεμένοι με εφαρμογές που στηρίζονται σε αισθητήρες IoT, μπορούν να ειδοποιηθούν ή να διασωθούν από ατυχήματα το

συντομότερο δυνατό. Οι εφαρμογές IoT χρησιμοποιούνται επίσης για φορητές συσκευές που μπορούν να παρακολουθούν την ανθρώπινη υγεία και τις περιβαλλοντικές συνθήκες. Αυτού του είδους οι εφαρμογές όχι μόνο βοηθά τους ανθρώπους να κατανοήσουν καλύτερα την υγεία τους, αλλά επιτρέπουν επίσης στους γιατρούς να παρακολουθούν τους ασθενείς εξ αποστάσεως (Lampropoulos et al., 2019).

➤ Λιανική πώληση

Οι εφαρμογές IoT επιτρέπουν στους λιανοπωλητές να διαχειρίζονται τα αποθέματα, να βελτιώνουν την εμπειρία των πελατών, να βελτιστοποιούν την αλυσίδα εφοδιασμού και να μειώνουν το λειτουργικό κόστος. Για παράδειγμα, τα έξυπνα ράφια που είναι εξοπλισμένα με αισθητήρες βάρους μπορούν να συλλέγουν πληροφορίες βάσει RFID και να στέλνουν τα δεδομένα στην πλατφόρμα IoT για την αυτόματη παρακολούθηση των αποθεμάτων και την ενεργοποίηση ειδοποιήσεων εάν τα είδη εξαντληθούν. Τα beacons μπορούν να προωθήσουν στοχευμένες προσφορές και προωθητικές ενέργειες στους πελάτες για να παρέχουν μια καθηλωτική εμπειρία (Ahmadi et al., 2018).

➤ Βιομηχανία

Οι κατασκευαστές έχουν τη δυνατότητα να αποκτήσουν ανταγωνιστικό πλεονέκτημα με τη χρήση της παρακολούθησης της γραμμής παραγωγής, ώστε να επιτρέπουν την προληπτική συντήρηση του εξοπλισμού όταν οι αισθητήρες ανιχνεύουν μια επικείμενη βλάβη. Οι αισθητήρες μπορούν πραγματικά να μετρήσουν πότε η παραγωγή τίθεται σε κίνδυνο. Με τη βοήθεια των ειδοποιήσεων των αισθητήρων, οι κατασκευαστές μπορούν να ελέγχουν γρήγορα τον εξοπλισμό για την ακρίβεια ή να τον απομακρύνουν από την παραγωγή μέχρι να επισκευαστεί. Αυτό παρέχει στις εταιρείες τη δυνατότητα να μειώσουν το λειτουργικό κόστος, να έχουν καλύτερο χρόνο διαθεσιμότητας και να βελτιώσουν τη διαχείριση της απόδοσης των περιουσιακών στοιχείων (Madakam et al., 2015).

### ➤ Μεταφορές και εφοδιαστική

Τα συστήματα μεταφορών και εφοδιαστικής επωφελούνται από μια ποικιλία εφαρμογών του IoT. Στόλοι αυτοκινήτων, φορτηγών, πλοίων και τρένων που μεταφέρουν αποθέματα μπορούν να δρομολογούνται με βάση τις καιρικές συνθήκες, τη διαθεσιμότητα των οχημάτων ή τη διαθεσιμότητα των οδηγών, χάρη στα δεδομένα αισθητήρων IoT. Το ίδιο το απόθεμα θα μπορούσε επίσης να είναι εξοπλισμένο με αισθητήρες για την παρακολούθηση και τον έλεγχο της θερμοκρασίας. Οι βιομηχανίες τροφίμων και ποτών, ανθοκομικών και φαρμακευτικών προϊόντων διαθέτουν συχνά αποθέματα ευαίσθητα στη θερμοκρασία, τα οποία θα επωφελούνταν σε μεγάλο βαθμό από εφαρμογές παρακολούθησης IoT που στέλνουν ειδοποιήσεις όταν οι θερμοκρασίες αυξάνονται ή μειώνονται σε επίπεδο που απειλεί το προϊόν (Song et al., 2020).

### ➤ Αυτοκίνητο

Η αυτοκινητοβιομηχανία είναι έτοιμη να συνειδητοποιήσει σημαντικά οφέλη από τη χρήση εφαρμογών IoT. Εκτός από τα οφέλη από την εφαρμογή του IoT στις γραμμές παραγωγής, οι αισθητήρες μπορούν να ανιχνεύσουν επικείμενη βλάβη εξοπλισμού σε οχήματα που βρίσκονται ήδη στο δρόμο και να ειδοποιήσουν τον οδηγό με λεπτομέρειες και συστάσεις. Χάρη στις συγκεντρωτικές πληροφορίες που συλλέγονται από εφαρμογές που βασίζονται στο IoT, οι αυτοκινητοβιομηχανίες και οι προμηθευτές αυτοκινήτων μπορούν να μάθουν περισσότερα για το πώς να διατηρούν τα αυτοκίνητα σε λειτουργία και τους ιδιοκτήτες αυτοκινήτων ενημερωμένους (Song et al., 2020).



## 1.6. Χαρακτηριστικά και απαιτήσεις

Το Διαδίκτυο των πραγμάτων δεν αποτελεί μια ενιαία τεχνολογία, αλλά ένα μείγμα διαφορετικών τεχνολογιών που παρέχει λύσεις βασισμένες στην τεχνολογία πληροφοριών και στις τηλεπικοινωνίες (τεχνολογία πληροφοριών και τεχνολογία επικοινωνιών). Η τεχνολογία πληροφοριών παρέχει τα συστατικά στοιχεία του IoT, δηλαδή τις συσκευές και το σύνολο των προγραμμάτων λογισμικού (υλικό και λογισμικό) που προορίζονται για την αποθήκευση, τη λήψη και την επεξεργασία δεδομένων, ενώ οι τηλεπικοινωνίες φροντίζουν για την αποτελεσματική επικοινωνία μεταξύ αυτών των στοιχείων (Patel et al., 2016). Ορισμένα από τα βασικά και θεμελιώδη χαρακτηριστικά του IoT είναι τα εξής:

- Διασυνδεσιμότητα: στο IoT τα πάντα μπορούν να συνδεθούν σε ένα παγκόσμιο σύστημα πληροφοριών και επικοινωνιών (Pal et al., 2020).
- Υπηρεσίες που σχετίζονται με τα πράγματα: το IoT είναι ικανό να παρέχει υπηρεσίες που σχετίζονται με τα πράγματα εντός των περιορισμών που μπορούν να διακρίνουν τα πράγματα αυτά, όπως η ιδιωτικότητα και η σημασιολογική συνοχή μεταξύ φυσικών και σχετικών εικονικών πραγμάτων (Patel & Patel, 2016).
- Ετερογένεια: το IoT διακρίνεται από ετερογένεια, καθώς οι συσκευές διακρίνονται από ποικιλομορφία στο υλικό, την πλατφόρμα και το δίκτυο. Ωστόσο, μέσω του IoT, όλες αυτές οι συσκευές μπορούν να επικοινωνούν και να αλληλεπιδρούν μεταξύ τους και να χρησιμοποιούν υπηρεσίες μέσω διαφορετικών δικτύων (Patel & Patel, 2016).
- Δυναμικές αλλαγές: η λειτουργική κατάσταση των συσκευών μπορεί να αλλάξει δυναμικά, για παράδειγμα από "ενεργή" σε "απενεργοποιημένη" ή "αναμονή", από "συνδεδεμένη" σε "αποσυνδεδεμένη" κ.λπ. Επίσης, ο αριθμός των διασυνδεδεμένων συσκευών μπορεί να αλλάξει δυναμικά (Pal et al., 2020).
- Τεράστια κλίμακα: ο συνολικός αριθμός των συνδεδεμένων συσκευών αναμένεται να είναι πολύ μεγαλύτερος από τον αριθμό των συσκευών που είναι σήμερα

συνδεδεμένες στο Διαδίκτυο. Ο αριθμός των επικοινωνιών που ενεργοποιούνται από αντικείμενα θα είναι αξιοσημείωτα μεγαλύτερος από τις επικοινωνίες που ενεργοποιούνται από τον άνθρωπο (Patel & Patel, 2016).

- Ασφάλεια: το IoT θα πρέπει να οικοδομηθεί με τέτοιο τρόπο ώστε να επιτυγχάνεται κατά το δυνατόν η ασφάλεια των προσωπικών δεδομένων, η ακεραιότητα των ανταλλασσόμενων δεδομένων και η ορθή λειτουργία των δικτύων (Patel & Patel, 2016).

Ορισμένες από τις γενικότερες απαιτήσεις για το IoT είναι οι εξής:

- συνδεσιμότητα με βάση την αναγνώριση: το IoT οφείλει να υποστηρίζει τη διασύνδεση μεταξύ ενός αντικειμένου και του δικτύου με βάση το αναγνωριστικό του αντικειμένου. Επίσης, αυτό πιθανόν να περιλαμβάνει ότι τα διαφορετικά αναγνωριστικά διαφορετικών αντικειμένων επεξεργάζονται με ενιαίο τρόπο (ITU-T-Y.2060, 2016).
- Διαλειτουργικότητα: η διαλειτουργικότητα μεταξύ ετερογενών και κατανεμημένων συστημάτων πρέπει να διασφαλίζεται για το σχεδιασμό και τη χρήση μιας μεγάλης ποικιλίας πληροφοριών και υπηρεσιών (ITU-T-Y.2060, 2016)
- Αυτόνομη δικτύωση: πρέπει να υποστηρίζεται η αυτονομία, η αυτοδιαχείριση, η αυτοθεραπεία, η αυτοπροστασία και η αυτοβελτιστοποίηση του δικτύου, ώστε να προσαρμόζεται σε διαφορετικούς τομείς εφαρμογών, διαφορετικά συστήματα επικοινωνίας και μεγάλο αριθμό συσκευών (ITU-T-Y.2060, 2016).
- Αυτόνομη παροχή υπηρεσιών: οι υπηρεσίες πρέπει να είναι σε θέση να παρέχονται αυτόματα μετά τη λήψη και την επεξεργασία δεδομένων βάσει προκαθορισμένων κανόνων από τον διαχειριστή του δικτύου ή τους συνδρομητές (ITU-T-Y.2060, 2016).
- Δυνατότητες που βασίζονται στην τοποθεσία: Οι παρεχόμενες υπηρεσίες πρέπει να βασίζονται στα ακόλουθα κριτήρια (ITU-T-Y.2060, 2016).
- Οι παρεχόμενες υπηρεσίες θα πρέπει να μπορούν να επιλέγονται με βάση τις πληροφορίες θέσης του χρήστη ή του αντικειμένου. Για να επιτευχθεί αυτό, το

δίκτυο πρέπει να είναι σε θέση να ανιχνεύει και να παρακολουθεί τη θέση της συσκευής, ενώ οι επικοινωνίες και οι παρεχόμενες υπηρεσίες μπορεί να περιορίζονται από τοπικές πολιτικές, συμφωνίες και νόμους (ITU-T-Y.2060, 2016).

- Ασφάλεια και προστασία της ιδιωτικής ζωής: η δυνατότητα όλων των πραγμάτων να συνδέονται στο ίδιο δίκτυο εγκυμονεί κινδύνους για την ακεραιότητα, την εμπιστευτικότητα και την αυθεντικότητα των δεδομένων που ανταλλάσσονται. Ως εκ τούτου, τα χαρακτηριστικά αυτά πρέπει να διασφαλίζονται με τη χρήση διαφόρων τεχνικών ασφαλείας ανάλογα με τις παρεχόμενες υπηρεσίες. Επίσης, πολλά πράγματα έχουν αυστηρά συγκεκριμένους χρήστες και ιδιοκτήτες και πολλά από τα δεδομένα που ανταλλάσσονται μπορεί να είναι ευαίσθητα. Πρέπει να εξασφαλίζεται η προστασία των ιδιωτικών δεδομένων κατά τη μετάδοση, τη συγχώνευση και την επεξεργασία. Τέλος, ιδιαίτερη προσοχή πρέπει να δοθεί στην προστασία των δεδομένων που σχετίζονται με το ανθρώπινο σώμα, την κίνηση και τη συμπεριφορά (ITU-T-Y.2060, 2016).
- Plug and play: το IoT πρέπει να υποστηρίζει την άμεση και αδιάλειπτη ενεργοποίηση, συνεργασία και διασύνδεση διαφορετικών πραγμάτων με εφαρμογές (ITU-T-Y.2060, 2016).
- Διαχειρισιμότητα: αν και συνήθως οι εφαρμογές του IoT ενεργοποιούνται αυτόματα και χωρίς ανθρώπινη παρέμβαση, η όλη διαδικασία λειτουργίας πρέπει να πραγματοποιείται από τους ενδιαφερόμενους φορείς, προκειμένου να διασφαλίζεται η ομαλή λειτουργία του δικτύου (ITU-T-Y.2060, 2016).
- Συσκευές χαμηλού κόστους: συσκευές χαμηλού κόστους θα πρέπει να συνδέονται με την πλειονότητα των καθημερινών αντικειμένων. Για την εκπλήρωση αυτού του στόχου, είναι απαραίτητο να μειωθεί η πολυπλοκότητα στην κατασκευή των συστημάτων (LTE and 5G Technologies enabling Internet of Things, 2016).

- Ενεργειακά αποδοτικό σύστημα: ένα ενεργειακά αποδοτικό σύστημα επιτρέπει στις συσκευές να εκτελούν μεγάλο αριθμό αυτόνομων λειτουργιών χρησιμοποιώντας μικρότερες μπαταρίες, οι οποίες θα διαρκούν περισσότερο. Ο στόχος που έχει τεθεί από το 3GPP (3rd Generation Partnership) είναι η μπαταρία να διαρκεί έως και 10 χρόνια.
- Πανταχού παρούσα κάλυψη: οι αρχιτεκτονικές δικτύων μπορούν να εγγυηθούν υψηλό ποσοστό κάλυψης σε ανοικτούς και κλειστούς χώρους. (LTE and 5G Technologies enabling Internet of Things, 2016).
- Επεκτασιμότητα: δεδομένου του τεράστιου αριθμού συσκευών και της εκθετικής τους ανάπτυξης, το IoT πρέπει να είναι σε θέση να φιλοξενήσει απαιτητικά σενάρια τηλεπικοινωνιακής κίνησης (LTE and 5G Technologies enabling Internet of Things, 2016).

Οι απαιτήσεις αυτές είναι τυποποιημένες και ισχύουν για ολόκληρο το σύστημα και όλες τις εφαρμογές. Υπάρχουν πρόσθετες απαιτήσεις με βάση τον τομέα εφαρμογής, το αντικείμενο και την υπηρεσία, όπως περιγράφονται από τους Oh & Kim (2017). Η 5G-Americas παρείχε έναν κατάλογο με ορισμένα τυπικά παραδείγματα. Για παράδειγμα, σε μια βιομηχανία με εγκαταστάσεις και εξοπλισμό μεγάλου όγκου, όπως η εξόρυξη μεταλλευμάτων, οι πρωταρχικές ανάγκες περιλαμβάνουν κάλυψη υψηλού εύρους ζώνης, αποδοτικότητα και αξιοπιστία. Όταν πρόκειται για δυναμικές καταστάσεις στη γεωργική βιομηχανία, όπως η συνεχής παρακολούθηση ζώων, είναι ζωτικής σημασίας να ληφθεί υπόψη η διάρκεια ζωής της μπαταρίας των συσκευών και η κινητικότητά τους. Για τα οχήματα που χρησιμοποιούν την τεχνολογία IoT για βασική παρακολούθηση και διαχείριση της κυκλοφορίας, οι πρωταρχικές εκτιμήσεις περιλαμβάνουν την απλή εγκατάσταση, την εκτεταμένη κάλυψη και την αποδοτικότητα. Για εφαρμογές IoT που έχουν σχεδιαστεί για λειτουργίες εντός κτιρίων, είναι απαραίτητες οι δυνατότητες ενισχυμένης ασφάλειας και κάλυψης εσωτερικών χώρων (Pal et al., 2020).



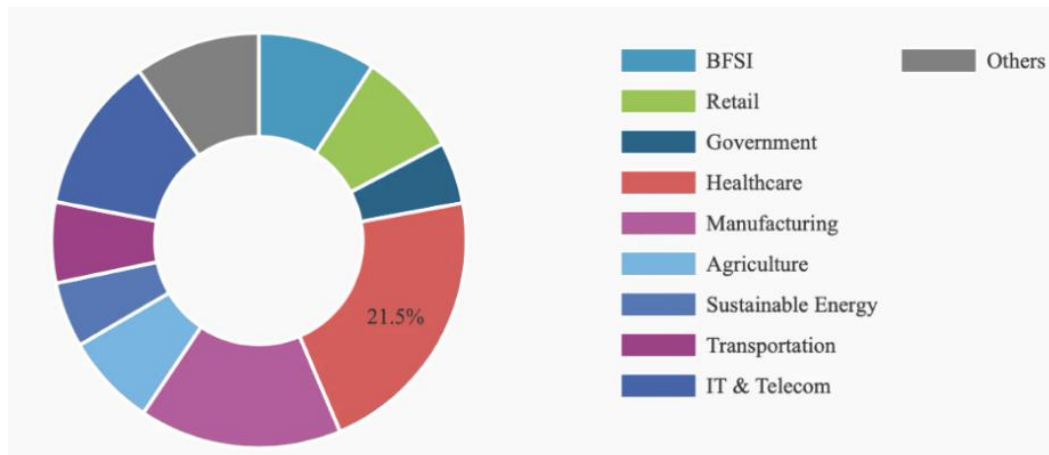
## 2. IoT στις επιχειρήσεις

Είναι ευρέως αποδεκτό ότι το εξωτερικό περιβάλλον των επιχειρήσεων εξελίσσεται γρήγορα. Ο αντίκτυπος της τεχνολογίας και της επιστήμης στο δυναμικό επιχειρηματικό περιβάλλον δεν μπορεί να αγνοηθεί. Κάθε σημαντική τεχνολογική πρόοδος που χρησιμοποιούν οι επιχειρήσεις οδηγεί σε αλλαγές στην ισορροπία της αγοράς, με αποτέλεσμα την εμφάνιση νέων επιχειρήσεων, μεταβολές στη δυναμική μεταξύ των υφιστάμενων επιχειρήσεων και μερικές φορές την πτώση άλλων. Το Διαδίκτυο των πραγμάτων επεκτείνει το Διαδίκτυο ώστε να συμπεριλάβει ένα ευρύ φάσμα αντικειμένων, κοινών και ασυνήθιστων, καθώς και ατόμων. Λαμβάνοντας υπόψη τον σημαντικό μετασχηματισμό που επέφερε το Διαδίκτυο στις επιχειρησιακές λειτουργίες μέσω της διαχείρισης και της αξιοποίησης των πληροφοριών, είναι λογικό να αναμένουμε έναν εξίσου σημαντικό αντίκτυπο από το IoT στο επιχειρηματικό τοπίο (Lee, 2019).

Σύμφωνα με τον M. Porter, το ανταγωνιστικό πλεονέκτημα επιτυγχάνεται είτε παρέχοντας αξία στους πελάτες πιο αποτελεσματικά από τους ανταγωνιστές (χαμηλό κόστος) είτε εκτελώντας δραστηριότητες με μοναδικό τρόπο που προσθέτει μεγαλύτερη αξία στους πελάτες, επιτρέποντας υψηλότερες τιμές (διαφοροποίηση) (Zhang & Wen, 2016). Για να επιτύχει μια επιχείρηση, πρέπει είτε να είναι πιο αποδοτική ως προς το κόστος είτε να προσφέρει μοναδικά χαρακτηριστικά σε σύγκριση με τους ανταγωνιστές της. Επιπλέον, το άρθρο εξηγεί ότι μια εταιρεία μπορεί να θεωρηθεί ως ένα σύνολο διασυνδεδεμένων δραστηριοτήτων που σχηματίζουν μια αλυσίδα αξίας, με κάθε κρίκο να συνεισφέρει αξία στο τελικό προϊόν. Το Διαδίκτυο των πραγμάτων είναι μια τεχνολογία που θα βοηθήσει τις επιχειρήσεις σε διάφορους κλάδους να δημιουργήσουν προϊόντα και υπηρεσίες με ποιοτικό και αποτελεσματικό τρόπο. Αυτό μπορεί να βοηθήσει τις επιχειρήσεις στην ενίσχυση της παραγωγικότητας, στη μείωση του κόστους και στην ανάπτυξη νέων προϊόντων και

υπηρεσιών. Μπορεί να οδηγήσει στην ανάπτυξη νέων επιχειρηματικών μοντέλων, ενισχύοντας τελικά το ανταγωνιστικό πλεονέκτημα ενός οργανισμού. Το IoT δημιουργεί ένα νέο μοντέλο διαχείρισης, στο οποίο τα προϊόντα μετατρέπονται σε ευφυή συστήματα με την ενσωμάτωση λογισμικού, υλικού, αισθητήρων, αποθήκευσης δεδομένων και συνδεσιμότητας δικτύου. Η ολοκλήρωση αυτή διευκολύνει την ανταλλαγή πληροφοριών μεταξύ των επιχειρήσεων, οδηγώντας σε μείωση του κόστους και ενίσχυση της παραγωγικότητας.

Συνολικά, το Διαδίκτυο των πραγμάτων αναμένεται να επηρεάσει σε μεγάλο βαθμό το εσωτερικό περιβάλλον των επιχειρήσεων. Με την εξέλιξη του Διαδικτύου, ο αυξανόμενος αριθμός έξυπνων διασυνδεδεμένων συσκευών (smart devices) που υποστηρίζονται από δίκτυα κινητής τηλεφωνίας θα παρέχει συνεχή συνδεσιμότητα και θα ανοίξει νέες ευκαιρίες για την ενίσχυση της παραγωγικότητας των επιχειρήσεων. Ο διασυνδεδεμένος χαρακτήρας διαφόρων στοιχείων, από μικρές συσκευές έως ολόκληρα κτίρια και άτομα μέσω ενός παγκόσμιου δικτύου, ανοίγει ένα βασίλειο δυνατοτήτων πληροφορικής για τις εν λόγω βιομηχανίες. Επιπλέον, μαζί με το ευρύ φάσμα πιθανών αντικειμένων προς σύνδεση, το Διαδίκτυο των πραγμάτων προβλέπεται να ενισχύσει τον μέγιστο αριθμό ταυτόχρονων συνδέσεων που υποστηρίζονται (Zhang & Wen, 2016).



Εικόνα 3 Μερίδιο της παγκόσμιας αγοράς IoT, ανά βιομηχανία τελικής χρήσης, 2021. Πηγή: <https://webbylab.com/blog/top-iot-business-ideas/>

## 2.1. Κατηγορίες εφαρμογών IoT στις επιχειρήσεις

Υπάρχουν αμέτρητες εφαρμογές του IoT που απαιτούν κατηγοριοποίηση σε διάφορους τομείς. Ουσιαστικά, σχεδόν σε κάθε πτυχή της αλληλεπίδρασης ανθρώπου-αντικειμένου και ανθρώπου-ανθρώπου, υπάρχουν πολυάριθμες εφαρμογές IoT που μπορούν να δημιουργηθούν ή έχουν ήδη δημιουργηθεί για να διευκολύνουν την αποτελεσματικότερη και αυτοματοποιημένη επικοινωνία (Heinis et al., 2018). Οι συνήθεις τομείς που αναφέρονται συχνά ως παραδείγματα εφαρμογών IoT σε άρθρα για την τεχνολογία και τις επιχειρήσεις περιλαμβάνουν την υγεία, το περιβάλλον, το σπίτι, την αυτοκινητοβιομηχανία, τη διαχείριση ενέργειας και την εκπαίδευση. Είναι σύνηθες να αναφέρονται ξεχωριστά οι περιπτώσεις χρήσης στον επιχειρηματικό τομέα, παρόλο που οι τομείς που αναφέρθηκαν προηγουμένως ισχύουν και γι' αυτούς. Για παράδειγμα, η ύπαρξη έξυπνων αυτοκινήτων και αυτοκινήτων μπορεί να αλλάξει ριζικά τον τρόπο λειτουργίας των τμημάτων logistics αυξάνοντας δραματικά την επιχειρησιακή αποδοτικότητα. Μπορεί κανείς να οραματιστεί συγκρίσιμα πλεονεκτήματα για εφαρμογές που σχετίζονται με την ευφυή διαχείριση της ενέργειας. Οι ηγέτες και τα στελέχη ενός οργανισμού ενδιαφέρονται για τον τρόπο με τον οποίο το Διαδίκτυο των πραγμάτων ενισχύει τη διαχείριση και την



ανάλυση πληροφοριών, καθώς και επιτρέπει την ανάπτυξη έξυπνων και ποικίλων αυτοματισμών (Vurralapati, 2019).

### 2.1.1. Διαχείριση και ανάλυση πληροφοριών

Όσον αφορά τη διαχείριση και την ανάλυση πληροφοριών, η αρχική κατηγορία εφαρμογών επικεντρώνεται στην παρακολούθηση των κινήσεων ατόμων και αντικειμένων στο χώρο και στο χρόνο. Με την ενσωμάτωση αισθητήρων στα προϊόντα μιας εταιρείας, καθίσταται εφικτή η παρακολούθηση της απόδοσής τους στην αγορά και η δυνατότητα επικοινωνίας μεταξύ τους. Επιπλέον, είναι εφικτή η παρακολούθηση της χρήσης που κάνουν οι πελάτες από αυτά. Αυτή η δυνατότητα ανοίγει ευκαιρίες για την ανάπτυξη νέων επιχειρηματικών μοντέλων αξιοποιώντας την κατανόηση αυτών των κινήσεων και συμπεριφορών (Kit et al., 2018). Ενδεικτικά, οι ασφαλιστικές εταιρείες έχουν τη δυνατότητα να παρακολουθούν τα οχήματα των πελατών τους και, βάσει των οδηγικών τους συνηθειών, να παρέχουν το κατάλληλο ασφαλιστήριο συμβόλαιο. Σε αυτό το σενάριο, η τιμολόγηση θα καθορίζεται από τους συγκεκριμένους παράγοντες που επηρεάζουν το αποτέλεσμα (όπως η οδηγική συμπεριφορά, η υπερβολική ταχύτητα κ.λπ.) και όχι από γενικούς παράγοντες όπως η ηλικία, το φύλο και η τοποθεσία. Στον τομέα του λιανικού εμπορίου, οι αισθητήρες χρησιμοποιούνται για τη συλλογή και μετάδοση δεδομένων σχετικά με το προφίλ των αγοραστών, τα οποία στη συνέχεια αποθηκεύονται στις κάρτες μέλους τους. Τα δεδομένα αυτά μπορούν να αξιοποιηθούν για τη διευκόλυνση των αγορών με την παροχή πρόσθετων πληροφοριών ή την παρουσίαση εκπτώσεων στο σημείο πώλησης (Vurralapati, 2019).

Το IoT μπορεί να αποδειχθεί ένα επικερδές εγχείρημα για όλα τα μέρη που εμπλέκονται σε συνεργασίες B2B. Οι πελάτες μπορούν να παρακολουθούν την κατάσταση των αγορών τους, ενώ οι προμηθευτές μπορούν να προβλέπουν με ακρίβεια τις μελλοντικές απαιτήσεις των πελατών τους. Και τα δύο έγγραφα θα

περιέχουν ακριβείς πληροφορίες που μπορούν να βοηθήσουν στη διαχείριση των αποθεμάτων. Όταν μια τρίτη εταιρεία χειρίζεται τη μεταφορά προμηθειών, αποκτά επίσης πλεονεκτήματα από αυτού του είδους την εφαρμογή IoT, καθώς της επιτρέπει να έχει καλύτερο έλεγχο του στόλου της (Soltani, 2021).

Ένας τύπος εφαρμογών IoT που αξιοποιεί το στοιχείο της πληροφορίας περιλαμβάνει την ενίσχυση της επίγνωσης της κατάστασης σε μια συγκεκριμένη τοποθεσία. Οι πληροφορίες που συλλέγονται από πολυάριθμους αισθητήρες που είναι εγκατεστημένοι σε υποδομές όπως δρόμοι και κτίρια, καθώς και από αισθητήρες που παρακολουθούν περιβαλλοντικούς παράγοντες όπως η υγρασία του εδάφους, η υγρασία των ωκεανών ή οι καιρικές συνθήκες, μπορούν να παρέχουν στους υπεύθυνους λήψης αποφάσεων αυξημένη κατανόηση των τρεχόντων γεγονότων. Η ενίσχυση της ασφάλειας μιας τοποθεσίας μπορεί να περιλαμβάνει τη χρήση εφαρμογών για τον εντοπισμό μη εξουσιοδοτημένων ατόμων, την ανίχνευση εκρηκτικών μηχανισμών και την πρόληψη επικίνδυνων καταστάσεων (Heinis et al., 2018). Ας σκεφτούμε τις αεροπορικές εταιρείες που χρησιμοποιούν το IoT για να βελτιώσουν τις προβλέψεις καιρού και να καθορίσουν τις καλύτερες εναλλακτικές διαδρομές. Η αυτόματη δημιουργία έγκυρων εναλλακτικών σχεδίων πτήσης μπορεί να συμβάλει στη μείωση των καθυστερήσεων και του κόστους, όπως συζητείται στη μελέτη των Kit και συν. από το 2018.

Μία από τις κατηγορίες εφαρμογών του IoT εστιάζει στην αξιοποίηση πληροφοριών για τη λήψη αποφάσεων. Το Διαδίκτυο των πραγμάτων έχει τη δυνατότητα να βελτιώσει τη λήψη αποφάσεων και τον μακροπρόθεσμο σχεδιασμό αξιοποιώντας τις τεράστιες δυνατότητες αποθήκευσης και επεξεργασίας δεδομένων των υπολογιστών, υποστηριζόμενες από καλά σχεδιασμένο λογισμικό για την οπτικοποίηση δεδομένων σε διάφορες μορφές (Uslu et al., 2019). Ας αναλογιστούμε, για παράδειγμα, την πετρελαϊκή βιομηχανία, η οποία χρησιμοποιεί ειδικά σχεδιασμένους επίγειους αισθητήρες για τη συλλογή δεδομένων και την ανάπτυξη

ακριβέστερης κατανόησης της διαθεσιμότητας αποθεμάτων σε μια συγκεκριμένη περιοχή, ελαχιστοποιώντας τελικά τις πιθανότητες ανεπιτυχών γεωτρήσεων. Όταν αναλύονται δεδομένα από πολυάριθμους πελάτες σε καταστήματα όπως τα σούπερ μάρκετ, οι διευθυντές μπορούν να χρησιμοποιήσουν αυτές τις πληροφορίες για να βελτιστοποιήσουν τη διάταξη για αυξημένες πωλήσεις και βελτιωμένη εμπειρία αγορών (Parra & Guerrero, 2020).

### 2.1.2. Έλεγχος και αυτοματισμός

Στον τομέα της αυτοματοποίησης, η αρχική κατηγορία εφαρμογών IoT αφορά τη βελτιστοποίηση των διαδικασιών. Καλά σχεδιασμένες λειτουργίες, μαζί με τον κατάλληλο ηλεκτρονικό εξοπλισμό, μπορούν να μεταδώσουν πληροφορίες μέσω του δικτύου σε μηχανές. Αυτά τα μηχανήματα μπορούν στη συνέχεια να ξεκινήσουν αυτόνομα επισκευές στέλνοντας εντολές και ειδοποιώντας τους διαχειριστές ανάλογα με τις ανάγκες (Vurralapati, 2019). Αυτή η πλήρης αυτοματοποίηση αναμένεται να βελτιώσει την παραγωγικότητα και να μειώσει τα έξοδα, επιτρέποντας στα συστήματα να αντιμετωπίζουν αυτόνομα τα προβλήματα και να προσαρμόζονται σε περίπλοκα σενάρια. Είναι αξιοσημείωτο ότι στη φαρμακευτική βιομηχανία, πολλές εταιρείες ενσωματώνουν σταδιακά αισθητήρες για την εποπτεία των εργαστηρίων τους και τη συλλογή δεδομένων για παράγοντες όπως η υγρασία, η θερμότητα και η πίεση που μπορεί να επηρεάσουν το τελικό αποτέλεσμα (Lee & Lee, 2015). Τα δεδομένα διαβιβάζονται σε συγκεκριμένα αυτοματοποιημένα μηχανήματα που δρομολογούν τα απαραίτητα διορθωτικά μέτρα. Επιπλέον, οι διάφοροι αισθητήρες μπορούν να βοηθήσουν στη διατήρηση της αποτελεσματικότητας της παραγωγικής διαδικασίας. Ορισμένες μηχανές απαιτούν ακριβή τοποθέτηση του προς επεξεργασία αντικειμένου, με ανοχή μόλις μερικών εκατοστών. Για παράδειγμα, εάν ένα μπουκάλι υγρού φαρμάκου δεν είναι τοποθετημένο ακριβώς κάτω από τη μηχανή πλήρωσης, μπορεί να πωληθεί με μικρότερη ποσότητα φαρμάκου. Οι κατάλληλα σχεδιασμένοι

αισθητήρες είναι σε θέση να παρακολουθούν τη ροή και να δρομολογούν διορθωτικές ενέργειες εάν ένα αντικείμενο δεν έχει τοποθετηθεί σωστά. Η μείωση της μεταβλητότητας των τελικών προϊόντων είναι μια κρίσιμη πτυχή για τη διασφάλιση της ποιότητας, όπως υπογραμμίζει ο Vurralapati (2019).

Παραμένοντας στη σφαίρα του αυτοματισμού, το Διαδίκτυο των πραγμάτων επιτρέπει τη βελτιστοποίηση της χρήσης των πόρων. Οι δικτυωμένοι αισθητήρες και οι αυτοματοποιημένοι μηχανισμοί ανατροφοδότησης έχουν τη δυνατότητα να μεταβάλλουν τα πρότυπα χρήσης πόρων όπως η ενέργεια και το νερό, οδηγώντας συχνά στην εφαρμογή πιο δυναμικής τιμολόγησης (Vurralapati, 2019). Η δυναμική τιμολόγηση αναφέρεται στη διακύμανση της τιμής ανά KWh με βάση το κόστος παραγωγής κάθε ενεργειακής μονάδας, το οποίο υπόκειται σε σημαντική μεταβλητότητα. Συνήθως, η κατανάλωση ενέργειας αντιπροσωπεύει σημαντικό μέρος των συνολικών λειτουργικών δαπανών, ιδίως σε εκτεταμένες εγκαταστάσεις. Η χρήση ενός συστήματος που παρακολουθεί το κόστος παραγωγής και αγοράς μιας μονάδας παραγωγής ηλεκτρικής ενέργειας επιτρέπει στους οικιακούς πελάτες να βελτιστοποιούν τη χρήση του κλιματισμού τους και στις εταιρείες να προγραμματίζουν ενεργοβόρες λειτουργίες σε περιόδους με το χαμηλότερο κόστος παραγωγής ενέργειας. Επιπλέον, η χρήση κατάλληλων αισθητήρων επιτρέπει την άμεση ανίχνευση δυσλειτουργιών του εξοπλισμού και τον εντοπισμό διαρροών ενέργειας. Ας σκεφτούμε το εξής σενάριο: ένα όχημα με χαμηλή πίεση ελαστικών καταναλώνει περισσότερο καύσιμο σε σύγκριση με ένα όχημα με σωστή πίεση ελαστικών. Οι κατασκευαστές αυτοκινήτων έχουν από καιρό συμπεριλάβει μετρητές στο ταμπλό για να δείχνουν την κατανάλωση ενέργειας. Ωστόσο, οι λόγοι πίσω από την αυξημένη κατανάλωση παραμένουν ανεξιχνίαστοι (Delsing, 2017).

Οι συσκευές IoT επιτρέπουν τον εντοπισμό προβλημάτων μέσω αυτόματων διαγνωστικών ελέγχων, παρέχοντας στους χρήστες συγκεκριμένες πληροφορίες σχετικά με το ελαττωματικό μέρος ή σύστημα. Επεκτείνοντας αυτό το παράδειγμα,

μπορεί κανείς εύκολα να αναλογιστεί τον σημαντικό αντίκτυπο που μπορεί να έχει το IoT σε ένα εργοστάσιο με μεγάλο αριθμό μηχανημάτων. Βελτιώσεις στη χρήση των πόρων μπορούν να επιτευχθούν με τη διαχείριση της ροής της γραμμής παραγωγής σε περιόδους υπερφόρτωσης. Με την εφαρμογή ενδεδειγμένης παρακολούθησης της γραμμής, τα μηχανήματα και οι διαδικασίες κοντά στην έναρξη της παραγωγής μπορούν να προσδιορίσουν την κατάσταση του επόμενου σταθμού, αν είναι πλήρως κατειλημμένος ή αν έχει διαθέσιμη χωρητικότητα. Όταν εντοπίζεται υπερφόρτωση, οι μηχανές που προηγούνται μπορούν να μειώσουν την ταχύτητα παραγωγής τους ή να μεταβούν σε κατάσταση αναμονής (Vurpalapati, 2019).

Είναι πλέον εφικτή η κατασκευή περίπλοκων αυτόνομων συστημάτων με την τεχνολογία IoT. Μια από τις βασικές εκτιμήσεις για το Διαδίκτυο των πραγμάτων περιλαμβάνει τη διασφάλιση ότι οι εφαρμογές του μπορούν να αντιδρούν αποτελεσματικά σε ξαφνικές και απρόβλεπτες περιστάσεις. Στο πλαίσιο αυτής της κατηγορίας εφαρμογών, η τεχνητή νοημοσύνη διαδραματίζει προηγμένο ρόλο, όπως τονίζεται από τους Dhana Raj και συν. (2020). Οι κατασκευαστές αυτοκινήτων ενσωματώνουν αυτοματισμούς στα οχήματα για να προβλέπουν ατυχήματα και να ενεργοποιούν αμυντικούς μηχανισμούς όπως το αυτόματο φρενάρισμα. Ορισμένες εταιρείες και ερευνητικά ιδρύματα διερευνούν ένα είδος αυτόματου πιλότου αυτοκινήτων για δικτυωμένα οχήματα που κινούνται σε συγχρονισμένα μοτίβα ταχύτητας σε αυτοκινητόδρομους. Η τεχνολογία αυτή έχει τη δυνατότητα να μειώσει την εμφάνιση "φανταστικών μπουλιαρισμάτων" που προκαλούνται από μικρές διαταραχές που οδηγούν σε κυκλοφοριακή συμφόρηση. Σε διάφορες βιομηχανίες, όπως η άμυνα, αναπτύσσονται συστήματα ομαδικού ελέγχου κίνησης από μη επανδρωμένα αεροσκάφη, που οδηγούν σε μείωση του κόστους, μείωση των κινδύνων και βελτίωση της ασφάλειας (Ahmad & Kim, 2020).

## 2.2. Πλεονεκτήματα IoT

Το IoT και το Mobile Internet θα τροποποιήσουν τους τύπους των συσκευών που συνδέονται στα συστήματα μιας εταιρείας. Αυτές οι νέες συνδεδεμένες συσκευές θα παράγουν νέους τύπους δεδομένων. Το IoT θα βοηθήσει στην απόκτηση κέρδους από τις επιχειρήσεις, θα προσθέσει νοημοσύνη από ένα ευρύ φάσμα εξοπλισμού, θα βελτιώσει τις λειτουργίες και θα αυξήσει την ικανοποίηση των πελατών. Τα οφέλη από τη χρήση του Διαδικτύου των Πραγμάτων στις επιχειρήσεις είναι πολλά, αλλά μπορούν να κατηγοριοποιηθούν σε 2 γενικές κατηγορίες, τις επικοινωνίες και την αυτοματοποίηση/τον έλεγχο (Lampropoulos et al., 2019).

### ➤ Επικοινωνία, μετάδοση πληροφοριών και μεγάλα δεδομένα

Η απόκτηση ανταγωνιστικού πλεονεκτήματος εξαρτάται σε μεγάλο βαθμό από την αποτελεσματικότητα της διαχείρισης των πληροφοριών, ιδίως στην εποχή μας. Το IoT μεταδίδει σημαντικές πληροφορίες σε συστήματα και ανθρώπους, όπως για παράδειγμα τη λειτουργική κατάσταση (on/off) των μηχανημάτων ή τη λειτουργική ακεραιότητα ενός μηχανήματος (χαλασμένο/υγιές), ακόμη και δεδομένα από αισθητήρες που αφορούν ανθρώπινες ενέργειες. Για παράδειγμα, ένα μεταφορικό όχημα IoT μπορεί να στέλνει αναφορές (reports) σχετικά με το αν το μηχανήμα του λειτουργεί στο επιθυμητό επίπεδο ή αν χρειάζεται επισκευή. Επιπλέον, με τις δυνατότητες μετάδοσης πληροφοριών που προσφέρει το IoT, είναι δυνατή η παρακολούθηση της θέσης και η παρακολούθηση διαφόρων κινούμενων περιουσιακών στοιχείων (Tavana et al., 2020). Τέτοια περιουσιακά στοιχεία μπορεί να είναι τα μεταφορικά μέσα ενός οργανισμού ή διάφορα εργαλεία. Για παράδειγμα, μια εταιρεία μεταφορών μπορεί να γνωρίζει την ακριβή θέση όλων των οχημάτων του στόλου της ανά πάσα στιγμή και να επιτυγχάνει πραγματικές παραδόσεις just-in-time. Από την άλλη πλευρά, σε ένα πανεπιστήμιο είναι δυνατόν να βρεθεί άμεσα ένας βιντεοπρωβολέας όταν τον χρειάζεται ένας καθηγητής, ενώ σε ένα νοσοκομείο είναι

δυνατόν να εντοπιστούν όλα τα εργαλεία που απαιτούνται για την εκτέλεση μιας επέμβασης (Lampropoulos et al., 2019).

Ένα μεγάλο μέρος του IoT είναι η ανάλυση μεγάλων δεδομένων, γνωστή και ως Big Data Analytics. Τα μεγάλα δεδομένα υπόσχονται να μετατρέψουν τον κόσμο των επιχειρήσεων. Οι επιχειρήσεις μπορούν να αποκτήσουν ακόμη περισσότερα πλεονεκτήματα αξιοποιώντας τις δυνατότητες για μαζικότερη και ορθότερη διαχείριση των πληροφοριών. Όταν οι πληροφορίες Big Data συνδυάζονται και αναλύονται αποτελεσματικά, τότε θα είναι δυνατός ο εντοπισμός τάσεων με αποτέλεσμα την πιο τεκμηριωμένη λήψη αποφάσεων. Αυτό θα έχει ως συνέπεια τη μείωση της σπατάλης, την αύξηση της παραγωγικότητας και τη βελτίωση της ποιότητας των παραγόμενων προϊόντων και υπηρεσιών (Tavana et al., 2020).

Πριν από το IoT, η συλλογή και η επεξεργασία όλων αυτών των πληροφοριών ήταν είτε αδύνατη είτε δύσκολη και σπάνια καθώς γινόταν χειροκίνητα. Οι δυνατότητες του IoT στην επεξεργαστική ισχύ, τη χωρητικότητα του δικτύου και τη διαθεσιμότητα του κατάλληλου λογισμικού ξεπερνούν τα εμπόδια, μετατρέπουν τη σημερινή παθητική συλλογή δεδομένων σε δυναμική και γενικά βοηθούν στην αξιοποίηση των προαναφερθέντων πλεονεκτημάτων (Mwenemeu & Nzuki 2015).

#### ➤ Αυτοματοποίηση και έλεγχος

Η εισαγωγή της αυτοματοποίησης υπήρξε ανέκαθεν μια μέθοδος εξοικονόμησης χρημάτων και αύξησης της αποδοτικότητας για τους οργανισμούς, τουλάχιστον μακροπρόθεσμα. Ένα από τα πιο ευρέως αναγνωρισμένα πλεονεκτήματα που προσφέρει το IoT είναι οι δυνατότητες ελέγχου και αυτοματισμού. Σε έναν πλήρως διασυνδεδεμένο κόσμο, οι επιχειρήσεις θα γνωρίζουν την κατάσταση όλων των συσκευών και του προσωπικού της επιχείρησης. Σε ορισμένες περιστάσεις χρήσης, ακόμη και ο πελάτης θα έχει τη δυνατότητα να ελέγχει εξ αποστάσεως αυτές

τις συσκευές (Mwenemeru & Nzuki 2015). Για παράδειγμα, μια επιχείρηση θα μπορεί να ενεργοποιεί εξ αποστάσεως ένα μηχάνημα, να το διακόπτει ή ενδεχομένως να αλλάζει το πρόγραμμα λειτουργίας μέσω ειδικών χειριστηρίων ή κινητών τηλεφώνων. Επιπλέον, μια διαδικασία μπορεί να στέλνει ειδοποιήσεις για δυσλειτουργίες και σφάλματα και ενδεχομένως να ενεργοποιεί μια αυτοματοποιημένη αντίδραση για την επιδιόρθωση των σφαλμάτων και την επιστροφή σε κανονικά πρότυπα λειτουργίας ή για τη λήψη μέτρων για τον μετριασμό των συνεπειών του προβλήματος. Για παράδειγμα, ένα αυτοκίνητο IoT μπορεί να αρχίσει αυτόματα να μειώνει αργά και σταθερά την ταχύτητα σε περίπτωση διάγνωσης μηχανικής βλάβης. Επίσης, σε περίπτωση δυσλειτουργίας του συστήματος bluetooth, μπορεί να κάνει αυτόματη επανεκκίνηση του συστήματος (Lamprououlos et al., 2019).

Αυτές ήταν οι γενικές κατηγορίες πλεονεκτημάτων που προσφέρει το IoT στις επιχειρήσεις. Συνδυάζοντας αυτά τα δύο πλεονεκτήματα, οι επιχειρήσεις μπορούν να εξοικονομήσουν χρήματα από την αποδοτικότερη χρήση των πόρων και την αποτελεσματικότερη διάγνωση ή πρόληψη βλαβών. Πολλά από τα άλλα πλεονεκτήματα που βρέθηκαν στη βιβλιογραφία είναι ουσιαστικά πιο ειδικές εφαρμογές αυτών των δύο κατηγοριών. Συγκεκριμένα πλεονεκτήματα μπορούν να εντοπιστούν στις διάφορες επιμέρους λειτουργίες και τμήματα των οργανισμών, καθώς και στη διαχείριση των περιουσιακών στοιχείων της επιχείρησης (Mwenemeru & Nzuki 2015).

### 2.2.1. Πλεονεκτήματα στην παραγωγή

Ο αυξημένος βαθμός αυτοματοποίησης που παρέχει το IoT αναμένεται να έχει θετικές επιπτώσεις στη διαχείριση της παραγωγής. Ορισμένες από αυτές είναι (Zhuming Bi et al., 2014):

- Πρόληψη αποτυχιών και κρίσιμων καταστάσεων
- Άμεση ανταπόκριση σε κρίσιμες καταστάσεις



- Βελτίωση της ποιότητας των προϊόντων και μείωση της μεταβλητότητας
- Αυτόματος προγραμματισμός αλλαγών προϊόντων όταν αλλάζουν τα πρότυπα και οι συμφωνίες. Η παρέμβαση των μηχανικών θα απαιτείται μόνο για την έγκριση νέων σχεδίων.
- Αποτελεσματικότερη λειτουργία της αλυσίδας παραγωγής. Η ανταλλαγή πληροφοριών συμβάλλει στη διασφάλιση μιας ομαλής και συνεχούς ροής από τον ένα σταθμό παραγωγής στον άλλο.
- Αυξημένη ασφάλεια και μείωση των εργατικών ατυχημάτων
- Βελτίωση της διαχείρισης των αποθεμάτων.
- Μείωση του κόστους λόγω της χρήσης αυτοματοποιημένων εργαλείων.
- Ευελιξία στη χρήση των πόρων.
- Ευελιξία στην παραγωγή προϊόντων και μεγαλύτερος βαθμός προσαρμογής. Τα προϊόντα μπορούν να παράγονται ακόμη και όταν οι εισροές αλλάζουν.
- Βελτίωση των δυνατοτήτων του εργατικού δυναμικού με νέα εργαλεία.

### 2.2.2. Πλεονεκτήματα μάρκετινγκ

Όσον αφορά την αλληλεπίδραση με τους πελάτες, το IoT παρουσιάζει μεγάλες ευκαιρίες μέσω του πληροφοριακού του στοιχείου. Πολλές εταιρείες εστιάζουν πλέον στη βελτίωση της εμπειρίας των πελατών σε όλη τη διάρκεια των αλληλεπιδράσεών τους για να προωθήσουν την κερδοφόρα ανάπτυξη του οργανισμού (Mwenemeu & Nzuki 2015). Οι πρόσφατες εξελίξεις στην τεχνολογία ΤΠΕ αναδιαμορφώνουν τον τρόπο με τον οποίο οι οργανισμοί προσεγγίζουν τη δημιουργία και την παροχή αξίας στους πελάτες, επιτρέποντας πιο άμεσες απαντήσεις στις ανάγκες τους. Η εστίαση στον καταναλωτή στο πεδίο του Διαδικτύου, με την ανάδειξη πτυχών όπως η ταχύτητα, η ατομικότητα και η διαθεσιμότητα, έχει ενισχύσει σημαντικά τον ρόλο που μπορούν να διαδραματίσουν οι πελάτες σε κάθε βήμα της αλυσίδας αξίας στη δημιουργία ενός προϊόντος. Είναι σημαντικό για όλες τις επιχειρήσεις να αξιοποιήσουν

τις ευκαιρίες που παρουσιάζει το ψηφιακό βασίλειο του IoT για να ενισχύσουν την αξία που παρέχουν στους πελάτες και τελικά να εξασφαλίσουν ανταγωνιστικό πλεονέκτημα (Lampropoulos et al., 2019).

Επιπλέον, λόγω της αξιοποίησης των μεγάλων δεδομένων, οι επικοινωνίες με τους πελάτες γίνονται όλο και πιο προσαρμοσμένες και εξατομικευμένες, επιτρέποντας στους οργανισμούς να ενισχύσουν την επιρροή τους σε κάθε μεμονωμένο πελάτη. Λαμβάνοντας υπόψη τον τεράστιο όγκο των διαθέσιμων πληροφοριών, η ανάλυση των Μεγάλων Δεδομένων μπορεί να ενισχύσει την ανάπτυξη μελλοντικών προϊόντων (Mwenemeu & Nzuki 2015). Στο σημερινό τεχνολογικό τοπίο, οι εταιρείες έχουν πλέον τη δυνατότητα να συλλέγουν δεδομένα σχετικά με τη συμπεριφορά των καταναλωτών. Παρ' όλα αυτά, στις μέρες μας, οι τεχνολογίες αυτές συνεχίζουν να αγωνίζονται με χαμηλή ακρίβεια και απόδοση. Η διερεύνηση των εφαρμογών του IoT στα διαφημιστικά μέσα περιλαμβάνει την ανάλυση και την ανταπόκριση στις μοναδικές ανάγκες κάθε πελάτη. τα χαρακτηριστικά που εξετάζονται περιλαμβάνουν τη γενική συμπεριφορά των καταναλωτών, τις αγοραστικές συνήθειες, τις προτιμήσεις κ.ο.κ. Έτσι, τα τμήματα μάρκετινγκ μπορούν (Lampropoulos et al., 2019):

- Να συλλέγουν πιο λεπτομερή δεδομένα και να δημιουργούν πιο αξιόπιστους δείκτες και KPIs.
- Να αναλύουν και, κατ' επέκταση, να ανταποκρίνονται καλύτερα στις ανάγκες των καταναλωτών.
- Να βελτιώσουν την αξία που προσφέρουν στον πελάτη, παρέχοντας μόνο τα αγαθά που θέλει, στοχεύοντας ακριβώς σε αυτό που θέλει
- Να πραγματοποιούν πιο στοχευμένη διαφήμιση. Το IoT μετατρέπει το θόρυβο των διαφημίσεων σε ουσιαστικό μέρος της ζωής τους, αφού μπορούν να αλληλεπιδρούν με αυτές και όχι απλώς να τις λαμβάνουν.
- Να αυξάνουν τις πωλήσεις από την καλύτερη χρήση του Διαδικτύου χάρη στη δυνατότητα περισσότερων συσκευών να συνδέονται σε αυτό.

- Να μεγιστοποιήσουν τις πωλήσεις από τον καλύτερο συντονισμό με άλλα προϊόντα ή υπηρεσίες.

### 2.2.3. Βελτιώσεις στη διαχείριση των έργων

Ο υψηλός βαθμός αυτοματοποίησης, εντοπισμού θέσης και εκρηκτικής ανταλλαγής πληροφοριών που προσφέρει το IoT αναμένεται να επηρεάσει θετικά τη διαχείριση έργων. Ορισμένα από τα πλεονεκτήματα που προσφέρει σε αυτόν τον τομέα περιλαμβάνουν τα εξής (Tran-Dang et al., 2020):

- Βελτίωση των συνεργασιών των ομάδων. Η μόνιμη και ταχύτερη συνδεσιμότητα αντικειμένων και ανθρώπων σημαίνει μόνιμη διαθεσιμότητα. Το Διαδίκτυο έχει καταστήσει δυνατή τη συνεργασία διαφορετικών ομάδων που συμμετέχουν σε ένα έργο, ακόμη και όταν βρίσκονται σε διαφορετικές τοποθεσίες. Οι συσκευές IoT βελτιώνουν περαιτέρω την αποδοτικότητα και την αποτελεσματικότητα των επικοινωνιών μεταξύ των εμπλεκόμενων ομάδων (Tran-Dang et al., 2020).
- Αυξημένη αποδοτικότητα. Η αυτόματη μετάδοση τεράστιων ποσοτήτων δεδομένων καθιστά όλα τα πράγματα αυτόματα μετρήσιμα και έτοιμα για ανάλυση. Αυτό συμβάλλει στη λήψη πιο άμεσων και σωστών αποφάσεων από τους διαχειριστές, αυξάνοντας τις πιθανότητες ολοκλήρωσης του έργου εντός του τριγώνου ποιότητας-χρόνου-κόστους (Tran-Dang et al., 2020).

### 2.2.4. Βελτιώσεις στη διαδικασία εφοδιαστικής

Η IoT υπόσχεται μεγάλα πλεονεκτήματα στη διαχείριση της εφοδιαστικής των οργανισμών, των εταιρικών συνεργατών και των τελικών καταναλωτών. Τα πλεονεκτήματα αυτά εξαπλώνονται σε όλη την αλυσίδα αξίας των logistics, συμπεριλαμβανομένων λειτουργιών όπως η αποθήκευση, η μεταφορά αγαθών και

η τελική παράδοση. Ορισμένα από αυτά τα πλεονεκτήματα περιλαμβάνουν τα ακόλουθα (Alsudani et al., 2023):

- Παρακολούθηση σε πραγματικό χρόνο της κατάστασης των περιουσιακών στοιχείων, του στόλου της εταιρείας, των ανθρώπων και των δεμάτων σε όλη την αλυσίδα εφοδιασμού.
- Δυνατότητα μέτρησης της απόδοσης των παραπάνω με δυνατότητες παρέμβασης α απαιτείται.
- Αυτοματοποίηση διαδικασιών για τη μείωση της ανθρώπινης συμμετοχής, τη βελτίωση της ποιότητας, τη μείωση του κόστους και την αύξηση της προβλεψιμότητας.
- Βελτιστοποίηση των αλληλεπιδράσεων μεταξύ ανθρώπων και μηχανών και βέλτιστος συντονισμός των δραστηριοτήτων τους.
- Εισαγωγή νέων μετρικών συστημάτων για τον εντοπισμό νέων ευκαιριών βελτίωσης.
- Αυξημένη ασφάλεια σε όλα τα στάδια της αλυσίδας.
- Αυξημένη ευαισθητοποίηση των πελατών σχετικά με την κατάσταση των παραγγελιών τους.

#### 2.2.5. Διαχείριση περιουσιακών στοιχείων

Το IoT είναι έτοιμο να βελτιώσει τον φυσικό κόσμο με πέντε διαφορετικούς τρόπους. Το κείμενο δίνει έμφαση στη βελτιστοποίηση της χρήσης του χώρου και στην αποτελεσματική διαχείριση του μεγάλου εξοπλισμού (Brody & Pureswaran, 2015):

- Αξιοποίηση της πλεονάζουσας χωρητικότητας των περιουσιακών στοιχείων. Η έγκαιρη και αποτελεσματική αξιοποίηση των χώρων και η έγκαιρη πραγματοποίηση πληρωμών θα μεγιστοποιήσει τη χρήση τους. Η έγκαιρη απόκτηση και αξιοποίηση των χώρων μπορεί να συμβάλει στη μεγιστοποίηση της

αποδοτικότητάς τους. Οι πόρτες μπορούν να ασφαλιζονται και να ελέγχονται από απόσταση με ένα τηλεχειριστήριο, τα δωμάτια και τα αυτοκίνητα μπορούν να ειδοποιούν τους ενδιαφερόμενους για τη διαθεσιμότητά τους όλο το εικοσιτετράωρο, καθιστώντας την παρακολούθηση μια απλή εργασία. Ο εξοπλισμός και οι χώροι μπορούν να παρακολουθούν συνεχώς τη σχέση προσφοράς-ζήτησης και να τα προτείνουν σε πιθανούς αγοραστές, ενισχύοντας την αποτελεσματικότητα της διαχείρισης (Brody & Pureswaran, 2015).

- Ενίσχυση της επιχειρησιακής αποδοτικότητας. Οι βιομηχανίες που αντιμετωπίζουν περιορισμούς στην αξιοποίηση των σύγχρονων τεχνολογιών πληροφορικής μπορούν να αξιοποιήσουν σε μεγάλο βαθμό τις εξελίξεις του IoT. Με την αυξανόμενη σύνδεση όλων των αντικειμένων στο δίκτυο IoT, υπάρχουν μεγαλύτερες δυνατότητες για συνεχή παρακολούθηση και ανάπτυξη αυτοματισμών. Για παράδειγμα, στον τομέα της γεωργίας, τα μη επανδρωμένα αεροσκάφη έχουν τη δυνατότητα να καλύπτουν μεγάλες αποστάσεις για την παρακολούθηση των καλλιεργειών. Επιπλέον, εξειδικευμένοι αισθητήρες μπορούν να παρέχουν στους αγρότες δεδομένα σχετικά με τα επίπεδα υγρασίας και θερμότητας, ώστε να ενημερώνονται για τα καιρικά φαινόμενα (Brody & Pureswaran, 2015).
- Ψηφιακή σύνδεση των αλυσίδων αξίας. Η διευκόλυνση της μετάδοσης δεδομένων και πληροφοριών σε πραγματικό χρόνο μπορεί να ενισχύσει τη συνεργασία μεταξύ των ενδιαφερομένων μερών, με αποτέλεσμα την εξοικονόμηση χρόνου και κόστους. Ενδεικτικά, τα αεροπλάνα έχουν τη δυνατότητα να εντοπίζουν διάφορα ζητήματα ενώ βρίσκονται στον αέρα και να ειδοποιούν τα τμήματα συντήρησης ή τις συνεργαζόμενες εταιρείες για τα ζητήματα αυτά πολύ πριν προσγειωθούν. Αυτή η προσέγγιση ελαχιστοποιεί τον χρόνο διακοπής λειτουργίας του αεροσκάφους, οδηγώντας σε βελτιωμένη αποδοτικότητα, επιτρέποντάς του

να εξυπηρετεί περισσότερες πτήσεις σε ένα δεδομένο χρονικό διάστημα (Murray et al., 2016).

Είναι προφανές ότι το Διαδίκτυο των πραγμάτων μπορεί να προσφέρει ανταγωνιστικό πλεονέκτημα στις επιχειρήσεις τόσο από εσωτερική όσο και από εξωτερική άποψη. Βεβαίως, δεν έχουμε διερευνήσει όλες τις πτυχές ενός οργανισμού που θα μπορούσαν να αξιοποιήσουν το Διαδίκτυο των πραγμάτων. Κάθε πτυχή και διαδικασία που ενισχύει την κερδοφορία της επιχείρησης μπορεί να αξιοποιήσει τις δυνατότητες αυτής της τεχνολογίας. Για παράδειγμα, λαμβάνοντας υπόψη την ταχεία μετάδοση πληροφοριών, υπάρχει δυνατότητα ελαχιστοποίησης του οικονομικού κινδύνου στις τραπεζικές συναλλαγές και στις συνεργασίες. Η διαχείριση των ανθρώπινων πόρων επιτρέπει τη συνεχή μέτρηση της απόδοσης των εργαζομένων και ενισχύει τις ευκαιρίες για συνεχή κατάρτιση. Επιπλέον, μια μελέτη που διεξήχθη στη Cisco, μια διακεκριμένη εταιρεία λύσεων πληροφορικής, αποκάλυψε ότι η υλοποίηση έργων που χρησιμοποιούν την τεχνολογία IoT ενίσχυσε το διανοητικό κεφάλαιο. Αυτή η τεχνολογική και επιχειρηματική καινοτομία αναμένεται να παράσχει ανταγωνιστικό πλεονέκτημα με την αντιμετώπιση των προκλήσεων που θέτει η τρέχουσα κρίση (Murray et al., 2016). Κατά τη στρατηγική ανάλυση του δυναμικού εξωτερικού επιχειρηματικού περιβάλλοντος, αξιοποιούνται δείκτες και πληροφορίες από διάφορες πηγές, χάρη στις προηγμένες τεχνικές ανάλυσης δεδομένων (Brody & Pureswaran, 2015).

## 3. Βιομηχανία 4.0

### 3.1. Ορισμός Βιομηχανίας 4.0

Το βιομηχανικό διαδίκτυο των πραγμάτων είναι έτοιμο να φέρει επανάσταση σε διάφορους τομείς, όπως η βιομηχανική παραγωγή, το πετρέλαιο και το φυσικό αέριο, η γεωργία, η εξόρυξη, η εξόρυξη μεταλλευμάτων, οι μεταφορές και η υγειονομική περίθαλψη. Η έκθεση αναλύει την έρευνα του Παγκόσμιου Οικονομικού Φόρουμ για το βιομηχανικό Διαδίκτυο των πραγμάτων, τονίζοντας τα δυνητικά οφέλη που μπορεί να προσφέρει σε διάφορες βιομηχανίες. Το Βιομηχανικό Διαδίκτυο των Πραγμάτων αποτελεί συστατικό στοιχείο της ευρύτερης έννοιας του Διαδικτύου των Πραγμάτων. Το Διαδίκτυο των πραγμάτων περιλαμβάνει βιομηχανικές εφαρμογές μαζί με φορητές συσκευές, έξυπνους φούρνους και άλλα καταναλωτικά προϊόντα με προηγμένα χαρακτηριστικά (Lampropoulos et al., 2019). Το IoT που εφαρμόζεται στη βιομηχανική παραγωγή αναφέρεται ως βιομηχανικό διαδίκτυο. Η ονομασία επινοήθηκε από την General Electric, ενώ η Cisco το ανέφερε ως Internet of Everything ή Internet 4.0. Πρέπει να γίνουν κάθετες διακρίσεις μεταξύ των διαφόρων σκοπών εφαρμογής του IoT, όπως τονίζεται από τους Dalenogare και συν. (2018).

Λόγω της ενσωμάτωσης έξυπνων σπιτιών και ενός ευρέος φάσματος συσκευών (όπως κινητά τηλέφωνα, συστήματα παρακολούθησης της φυσικής κατάστασης, συστήματα ψυχαγωγίας κ.λπ. Η εμπορική αγορά χαίρει μεγάλης εκτίμησης για το ευρύ φάσμα χρηματοοικονομικών και επενδυτικών προϊόντων, τραπεζικών και ασφαλιστικών υπηρεσιών και υπηρεσιών ηλεκτρονικού εμπορίου που είναι προσαρμοσμένες στο ιστορικό των καταναλωτών, στις επιδόσεις και στην αξία των προϊόντων (Lampropoulos et al., 2019).

Η τέταρτη βιομηχανική επανάσταση είναι γνωστή ως Βιομηχανία 4.0. Παρόλο που η Τεχνολογία της Πληροφορίας εμφανίστηκε τη δεκαετία του 1970, οι υπαινιγμοί για τη Βιομηχανία 4.0 ως έννοια γίνονταν ήδη από το 1970. Ουσιαστικά, η έννοια

περιλαμβάνει την ενσωμάτωση της αυτοματοποίησης και της ανταλλαγής δεδομένων στις τεχνολογίες παραγωγής. Το κείμενο πραγματεύεται τα κυβερνο-φυσικά συστήματα (CPS) και το ρόλο τους στην ευφυή λειτουργία των εργοστασίων. Τα συστήματα αυτά επιτρέπουν την παρακολούθηση των φυσικών διεργασιών, τη δημιουργία εικονικών αντιγράφων του φυσικού κόσμου και τη λήψη αποφάσεων εξ αποστάσεως (Ghobakhloo, 2020). Το Διαδίκτυο των πραγμάτων επιτρέπει στα Κυβερνο-φυσικά συστήματα να αλληλεπιδρούν και να συνεργάζονται μεταξύ τους και με τους ανθρώπους μέσω εφαρμογών νέφους, όπου αποθηκεύουν και μπορούν αργότερα να ανακτήσουν αποφάσεις ανάλογα με τις ανάγκες. Ως εκ τούτου, η έννοια της Βιομηχανίας 4.0 μπορεί να κατανοηθεί ως μια τακτική για τη βελτίωση της ανταγωνιστικότητας τα επόμενα χρόνια. Το παρόν κείμενο εμβαθύνει στην ενίσχυση της αλυσίδας αξίας των προϊόντων μέσω της χρήσης του αυτόνομου ελέγχου και της δυναμικής παραγωγής. Το κείμενο αυτό εμβαθύνει στον σχεδιασμό και την υλοποίηση ανταγωνιστικών προϊόντων και υπηρεσιών, μαζί με τη διαχείριση ισχυρών και ευέλικτων συστημάτων εφοδιασμού και παραγωγής (Dalenogare et al., 2018).

Ωστόσο, ο ακριβής ορισμός της Βιομηχανίας 4.0 παραμένει άπιαστος, αν και μπορεί να χαρακτηριστεί ως μια νέα οργανωτική και διαχειριστική βαθμίδα εντός της αλυσίδας αξίας καθ' όλη τη διάρκεια ζωής του προϊόντος. Παίζει επίσης ρόλο στη διαμόρφωση της στρατηγικής και στη βελτίωση της ανταγωνιστικότητας. Μια ουσιαστική πτυχή αυτής της βιομηχανίας περιλαμβάνει τη βελτιστοποίηση της αλυσίδας αξίας του προϊόντος, η οποία επιτρέπει την εφαρμογή του αυτοελέγχου και της δυναμικής παραγωγής. Ο πρωταρχικός στόχος είναι να δοθεί η δυνατότητα στις συσκευές να λειτουργούν ανεξάρτητα και να αλληλεπιδρούν με το περιβάλλον παραγωγής τους μέσω ελεγκτών, αισθητήρων και διεπαφών επικοινωνίας (Kowalikova et al., 2020).



### 3.2. Βασικές αρχές βιομηχανίας 4.0

Η Βιομηχανία 4.0 περιστρέφεται γύρω από τις έννοιες του Διαδικτύου των Πραγμάτων (CPS) και των υπηρεσιών Διαδικτύου των Πραγμάτων (IoT). Το Διαδίκτυο των πραγμάτων (IoT). Ένα εξάρτημα ενσωματωμένο σε ένα σύστημα μικροσίπ Το σύστημα είναι περίπλοκα συνδεδεμένο με έξυπνες συσκευές, συνήθως τεράστιες βάσεις δεδομένων, και αλληλεπιδρά με αυτές μέσω του Διαδικτύου. Ένα CPS είναι ένα σύστημα που γεφυρώνει τον φυσικό και τον εικονικό κόσμο. Με απλά λόγια, συνδυάζει τον υπολογισμό με φυσικές διαδικασίες. Μια αξιοσημείωτη πτυχή της ανάπτυξης CPS είναι η προηγμένη τεχνολογία αναγνώρισης, μαζί με αισθητήρες που μπορούν να ενσωματωθούν απρόσκοπτα στο δίκτυο, παρέχοντας ένα περιορισμένο φάσμα δυνατοτήτων για την αποθήκευση και την ανάλυση δεδομένων. Όταν αξιοποιούνται σε περιβάλλον παραγωγής, επικεντρώνονται στα φυσικά υπολογιστικά συστήματα παραγωγής (CPPS) (Ghobakhloo, 2020).

Η εφαρμογή των έξυπνων εργοστασίων απαιτεί κατάλληλη τεχνολογία για τη διευκόλυνση της επιτυχούς ενσωμάτωσης των βιομηχανικών συστημάτων. Διευκολύνει την ανταλλαγή και τη βελτιστοποίηση των πληροφοριών μεταξύ εργοστασίων, δικτύων παραγωγής ή ολόκληρου του συστήματος (Culot et al., 2020).

Η πρόσβαση σε δεδομένα και ευαίσθητες πληροφορίες σε πραγματικό χρόνο διευκολύνεται από τη συνεχή ανταλλαγή πληροφοριών και δραστηριοτήτων μεταξύ του φυσικού και του ψηφιακού πεδίου. Η διαδικασία πραγματοποιείται μέσω μιας επαναληπτικής ακολουθίας τριών βημάτων, γνωστής ως βρόχος από το φυσικό στο ψηφιακό στο φυσικό (PDP). Η διαδικασία αυτή ολοκληρώνεται από τη Βιομηχανία 4.0 μέσω της ενσωμάτωσης φυσικών και ψηφιακών τεχνολογιών, όπως η ανάλυση δεδομένων, η προσθετική κατασκευή, η ρομποτική, οι υπολογιστές υψηλών επιδόσεων, η επεξεργασία φυσικής γλώσσας, η τεχνητή νοημοσύνη και οι γνωστικές τεχνολογίες, τα προηγμένα υλικά και η επαυξημένη πραγματικότητα (Kowalikova et al., 2020).

➤ Από το φυσικό στο ψηφιακό:

Στο IIoT, τα δεδομένα παράγονται μέσω της συνεχούς ροής από διάφορες συσκευές στους διακομιστές μιας ιδιωτικής εταιρείας. Το IIoT μετατρέπει τη φυσική ενέργεια των μηχανών σε ψηφιακά σήματα που χρησιμοποιούνται σε αισθητήρες (π.χ. αισθητήρες θερμοκρασίας, δόνησης). Επιπλέον, είναι δυνατή η μεταφορά δεδομένων μέσω άλλων πηγών, όπως ελεγκτές PLC (προγραμματιζόμενος λογικός ελεγκτής), τερματικά MES (manufacturing execution system) ή συστήματα ERP (enterprise resource planning). Αφού οι φυσικές ενέργειες μετατραπούν σε ψηφιακά σήματα μέσω αισθητήρων, αυτά υποβάλλονται σε επεξεργασία, συλλέγονται και αναλύονται. Χάρη στη δυνατότητα αποθήκευσης μεγάλου όγκου δεδομένων, μπορείτε να αποκτήσετε μια πλήρη εικόνα του εργοστασίου και της συνολικής παραγωγής. Το IIoT είναι το πρώτο βήμα στον κύκλο που φαίνεται στην παραπάνω εικόνα (Culot et al., 2020).

➤ Από το ψηφιακό στο φυσικό:

Το τελικό βήμα στην PDP αποτελεί η μετατροπή των αποτελεσμάτων της επεξεργασίας και της ανάλυσης δεδομένων σε φυσική συμπεριφορά. Τα συμπεράσματα που εξάγονται μπορούν να ενεργοποιηθούν εάν το μηχάνημα αλλάξει λειτουργία ή ο τεχνικός αναλάβει δράση. Για παράδειγμα, στις περιπτώσεις που ο αλγόριθμος υποδεικνύει ότι θα ξεκινήσουν εργασίες συντήρησης στο σύστημα της εταιρείας, θα ελέγξει για τα απαιτούμενα εξαρτήματα και θα ζητήσει αυτόματα την αγορά των απαιτούμενων πρόσθετων εξαρτημάτων. Στη συνέχεια, ο διαχειριστής συντήρησης πρέπει να εγκρίνει τα δεδομένα της ροής εργασιών και να στείλει τον κατάλληλο τεχνικό, όλα αυτοματοποιημένα και πριν από την απρογραμμάτιστη διακοπή λειτουργίας (Telukdarie & Sishi, 2018).



Εικόνα 4 βιομηχανία 4.0 Πηγή:

[https://www.researchgate.net/publication/319944621\\_Proposal\\_of\\_an\\_automation\\_solutions\\_architecture\\_for\\_Industry\\_40/figures?lo=1](https://www.researchgate.net/publication/319944621_Proposal_of_an_automation_solutions_architecture_for_Industry_40/figures?lo=1)

### 3.3. Βασικά στοιχεία του Industry 4.0

#### 3.3.1. Οι εννέα πυλώνες

Αρκετές από τις εννέα τεχνολογικές εξελίξεις που στηρίζουν τη βιομηχανία 4.0 χρησιμοποιούνται σήμερα στη μεταποίηση. Ωστόσο, με την εφαρμογή της Βιομηχανίας 4.0, οι εξελίξεις αυτές θα φέρουν επανάσταση στην παραγωγή. Αντί να λειτουργούν ως ξεχωριστές και βελτιστοποιημένες μονάδες, αυτές οι εξελίξεις θα συγχωνευθούν για να δημιουργήσουν μια πλήρως ολοκληρωμένη, αυτοματοποιημένη και βελτιστοποιημένη παραγωγική διαδικασία. Αυτό θα έχει ως αποτέλεσμα τη βελτίωση της αποδοτικότητας και θα αλλάξει επίσης την παραδοσιακή δυναμική μεταξύ προμηθευτών, παραγωγών και πελατών, καθώς και μεταξύ ανθρώπων και μηχανών. Η επιτυχής ενσωμάτωση των βιομηχανικών συστημάτων στα έξυπνα εργοστάσια απαιτεί την κατάλληλη τεχνολογία. Αυτή διευκολύνει τη μεταφορά και τη βελτίωση των πληροφοριών μεταξύ των εργοστασίων, των δικτύων παραγωγής ή ολόκληρου του συστήματος (Hernández-Muñoz et al., 2018).

Η δυνατότητα πρόσβασης σε δεδομένα και ευαίσθητες πληροφορίες σε πραγματικό χρόνο διευκολύνεται από τη συνεχή και επαναλαμβανόμενη ανταλλαγή πληροφοριών και ενεργειών μεταξύ του φυσικού και του ψηφιακού πεδίου. Η διαδικασία αυτή λαμβάνει χώρα μέσω μιας επαναλαμβανόμενης ακολουθίας τριών βημάτων, γνωστής ως βρόχος από το φυσικό στο ψηφιακό στο φυσικό (PDP). Η Βιομηχανία 4.0 ενσωματώνει διάφορες φυσικές και ψηφιακές τεχνολογίες, όπως ανάλυση δεδομένων, προσθετική κατασκευή, ρομποτική, υπολογιστές υψηλής απόδοσης, επεξεργασία φυσικής γλώσσας, τεχνητή νοημοσύνη και γνωστικές τεχνολογίες, προηγμένα υλικά και επαυξημένη πραγματικότητα, προκειμένου να πραγματοποιηθεί με επιτυχία αυτή η διαδικασία (Hernández-Muñoz et al., 2018).

➤ Από το φυσικό στο ψηφιακό

Στο IIoT, τα δεδομένα παράγονται μέσω της συνεχούς ροής από διάφορες συσκευές στους διακομιστές μιας ιδιωτικής εταιρείας. Το IIoT μετατρέπει τη φυσική ενέργεια των μηχανών σε ψηφιακά σήματα που αξιοποιούνται σε αισθητήρες (π.χ. αισθητήρες θερμοκρασίας, δόνησης). Επιπλέον, είναι δυνατή η μεταφορά δεδομένων μέσω άλλων πηγών, όπως ελεγκτές PLC (προγραμματιζόμενος λογικός ελεγκτής), τερματικά MES (σύστημα εκτέλεσης παραγωγής) ή συστήματα ERP (προγραμματισμός επιχειρησιακών πόρων). Αφού οι φυσικές ενέργειες μετατραπούν σε ψηφιακά σήματα μέσω αισθητήρων, αυτά υποβάλλονται σε επεξεργασία, συλλέγονται και αναλύονται. Χάρη στη δυνατότητα αποθήκευσης μεγάλου όγκου δεδομένων, μπορείτε να αποκτήσετε μια πλήρη εικόνα του εργοστασίου και της συνολικής παραγωγής. Το IIoT είναι το πρώτο βήμα στον κύκλο που φαίνεται στην παραπάνω εικόνα (Hernández-Muñoz et al., 2018).

➤ Από ψηφιακό σε φυσικό

Το τελικό βήμα στην PDP είναι η μετατροπή των αποτελεσμάτων της επεξεργασίας και της ανάλυσης δεδομένων σε φυσική συμπεριφορά. Τα συμπεράσματα που εξάγονται δύνανται να ενεργοποιηθούν εάν το μηχάνημα αλλάξει λειτουργία ή ο τεχνικός αναλάβει δράση. Για παράδειγμα, στις περιπτώσεις που ο αλγόριθμος υποδεικνύει ότι θα ξεκινήσουν εργασίες συντήρησης στο σύστημα της

εταιρείας, θα ελέγξει για τα απαιτούμενα ανταλλακτικά και θα ζητήσει αυτόματα την αγορά των απαιτούμενων πρόσθετων ανταλλακτικών. Στη συνέχεια, ο διαχειριστής συντήρησης πρέπει να εγκρίνει τα δεδομένα της ροής εργασιών και να στείλει τον κατάλληλο τεχνικό, όλα αυτοματοποιημένα και πριν από την απρογραμματίστη διακοπή λειτουργίας (Hernández-Muñoz et al., 2018).

### 3.3.2. Μεγάλα δεδομένα

Οι αναλύσεις που χρησιμοποιούν σύνολα δεδομένων μεγάλης κλίμακας έχουν επικρατήσει τελευταία στη βιομηχανία παραγωγής, παρέχοντας βελτιστοποίηση της ποιότητας παραγωγής, εξοικονόμηση ενέργειας και βελτιωμένη συντήρηση του εξοπλισμού. Στο πλαίσιο της Βιομηχανίας 4.0, θα αποτελεί κοινή πρακτική η συλλογή και ανάλυση δεδομένων από πολλές πηγές, όπως ο εξοπλισμός, τα συστήματα παραγωγής και τα συστήματα διαχείρισης επιχειρήσεων και πελατών. Αυτό θα γίνεται για τη διευκόλυνση των άμεσων διαδικασιών λήψης αποφάσεων (Thames & Schaefer, 2017). Η αξιοποίηση τόσο των τεχνολογιών πληροφορικής που βασίζονται στο IoT όσο και των τεχνολογιών υπολογιστικού νέφους έχει ως αποτέλεσμα την αύξηση της παραγωγής και της προσβασιμότητας των δεδομένων σε περιβάλλοντα παραγωγής. Μέχρι το 2020, προβλέπεται ότι ο συνολικός όγκος των παραγόμενων δεδομένων θα αυξάνεται κατά 40% ετησίως, φθάνοντας συνολικά τα 35 zettabytes. Η αύξηση αυτή θα οφείλεται στη σύνδεση 25-50 δισεκατομμυρίων συσκευών, οι οποίες θα παράγουν τρισεκατομμύρια gigabytes δεδομένων (Sony & Naik, 2019).

Η αφθονία ενός τόσο σημαντικού όγκου δεδομένων διευρύνει τις δυνατότητες ανάλυσης και οπτικοποίησης. Οι αλγόριθμοι μπορούν να αξιοποιηθούν για τη δημιουργία αυτοματοποιημένων αποφάσεων που επηρεάζουν τη λειτουργία του κτιρίου και βελτιστοποιούν το σύστημα παραγωγής. Εκτός από τα συνδυασμένα στατιστικά στοιχεία για τη βιομηχανική παραγωγή, τα κρίσιμα δεδομένα για ανάλυση περιλαμβάνουν τις τρέχουσες συνθήκες σε διεπαγγελματικό επίπεδο. Προκειμένου να προκύψουν ουσιαστικές γνώσεις από τη μελέτη εκτεταμένων συνόλων δεδομένων, είναι επιτακτική ανάγκη να εξεταστούν δεδομένα του παρελθόντος για συγκεκριμένα πρότυπα. Ως εκ τούτου, είναι απαραίτητο να υπάρχει μια υποδομή ικανή να φιλοξενήσει ένα εκτεταμένο σύνολο δεδομένων και να εφαρμόσει αλγορίθμους μηχανικής μάθησης στα δεδομένα. Το ζητούμενο είναι η επιλεκτική διατήρηση των

απαραίτητων πληροφοριών, συγκεκριμένα των σχετικών δεδομένων, ενώ δεν λαμβάνεται υπόψη το σύνολο των δεδομένων που παράγονται από τη συσκευή ή τη συσκευή (Sony & Naik, 2019).

Οι προδιαγραφές που δημιουργούνται μπορούν στη συνέχεια να αξιοποιηθούν για την ανάκτηση δεδομένων σχετικά με τις τρέχουσες και τις επερχόμενες λειτουργίες. Τα μοντέλα που δημιουργούνται μπορούν να ενσωματωθούν απρόσκοπτα στη ροή εργασιών της λειτουργίας για τη δημιουργία προβλέψεων και προτάσεων, ενώ παράλληλα συλλέγονται δεδομένα για τη βελτίωση της υφιστάμενης λειτουργίας. Η Infineon Technologies, ένας κατασκευαστής ημιαγωγών, μείωσε τις αστοχίες προϊόντων αναλύοντας δεδομένα από ένα τσιπ που καταγράφηκαν κατά τη φάση δοκιμής στο τέλος της παραγωγικής διαδικασίας και συγκρίνοντάς τα με δεδομένα διαδικασίας που συλλέχθηκαν κατά την προηγούμενη φάση της κατάστασης του πλακιδίου. Με τη χρήση αυτής της προσέγγισης, η Infineon είναι σε θέση να εντοπίζει επαναλαμβανόμενα μοτίβα που διευκολύνουν τον έγκαιρο εντοπισμό και την απομάκρυνση ελαττωματικών τσιπ καθ' όλη τη διάρκεια της παραγωγικής διαδικασίας, βελτιώνοντας έτσι την ποιότητα της παραγωγής (Mendes et al., 2018).

Η πρόκληση έγκειται στον προσδιορισμό του υποσυστήματος, το οποίο περιέχει τα κατάλληλα δεδομένα και πρέπει να είναι προσβάσιμο, προκειμένου να βελτιωθούν και να βελτιστοποιηθούν οι επιχειρηματικές διαδικασίες. Επί του παρόντος, η ανάλυση των δεδομένων του IoT μπορεί να πραγματοποιηθεί με μεγάλο βάθος και εύρος, αλλά δεν μπορεί να γίνει ταχέως ταυτόχρονα. Δεδομένων των σημερινών τεχνολογικών περιορισμών, δεν είναι εφικτή η βελτιστοποίηση και των πέντε διαστάσεων που απεικονίζονται στο διάγραμμα αράχνης που απεικονίζεται παρακάτω: Το ESP αναφέρεται στην επεξεργασία ροής συμβάντων, ενώ το CEP αντιπροσωπεύει την επεξεργασία σύνθετων συμβάντων. Τα δεδομένα IoT συχνά αναφέρονται σε ένα συμβάν που λαμβάνει χώρα σε ένα κατασκευαστικό ή λειτουργικό περιβάλλον. Περιστατικά όπως η διακοπή της λειτουργίας του μηχανήματος, η μεταβολή της θερμοκρασίας και η μετατόπιση ενός εξαρτήματος από τη μία πλευρά στην άλλη θεωρούνται συμβάντα (Thames & Schaefer, 2017).

Αρκετά από αυτά τα συμβάντα μπορούν να συνδεθούν μεταξύ τους και να αποδώσουν πληροφορίες σχετικά με τη διαδικασία παραγωγής. Για παράδειγμα, όταν η θερμοκρασία φτάσει σε ένα συγκεκριμένο όριο, η μηχανή διακόπτει αυτόματα τη

λειτουργία της. Το ESP διευκολύνει την κίνηση, τον χειρισμό, την επιλογή και την ενοποίηση όλων των δεδομένων και των συμβάντων που συλλέγονται από το Διαδίκτυο των Πραγμάτων (IoT). Οι επιχειρησιακοί κανόνες ESP παρέχουν σημαντικά συμβάντα, δεδομένα που πρέπει να ελεγχθούν, δεδομένα που πρέπει να διατηρηθούν και τη συσχέτιση συμβάντων ή μοτίβων που ενεργοποιούν ένα πιο εκτεταμένο επιχειρησιακό συμβάν, μια ειδοποίηση ή μια απόφαση. Ακόμα δεν έχουν δημιουργηθεί. Η επεξεργασία σύνθετων συμβάντων (CEP) είναι μια προηγμένη λειτουργία που αναλύει μια διατεταγμένη ακολουθία συμβάντων για τον εντοπισμό περίπλοκων μοτίβων (Mendes et al., 2018).

Για να αξιοποιηθούν αποτελεσματικά οι γνώσεις που αποκτώνται από την ανάλυση δεδομένων, είναι απαραίτητο να αναπτυχθούν διαδικασίες λήψης αποφάσεων που επιτρέπουν στο Διαδίκτυο των Πραγμάτων (IoT) να προωθή αυτόνομα τους εταιρικούς στόχους. Για να επιτευχθεί αυτό, είναι απαραίτητο να αξιολογηθούν διάφορες εναλλακτικές λύσεις και να επιλεγεί η καταλληλότερη λύση ανάλογα με τους παρόντες επιχειρηματικούς στόχους. Οι πιθανές δυνατότητες μπορούν να προσδιοριστούν με τη συλλογή δεδομένων του Διαδικτύου των Πραγμάτων (IoT) και την ανάλυση τόσο των δεδομένων όσο και των προσομοιωμένων διαδρομών. Η αλληλουχία των επιμέρους επιχειρηματικών στόχων μπορεί να τροποποιηθεί δυναμικά κατά τη διάρκεια της εκτέλεσης, ανταποκρινόμενη στις εξελισσόμενες συνθήκες στο περιβάλλον παραγωγής (Mendes et al., 2018). Μια ολοκληρωμένη αρχιτεκτονική και διεπαφή IoT είναι απαραίτητες λόγω του τεράστιου όγκου δεδομένων IoT που είναι προσβάσιμα σε άτομα, αντικείμενα και μηχανές, καθώς και της περίπλοκης φύσης της επεξεργασίας συμβάντων και της λήψης αποφάσεων. Αυτές οι υποδομές χρησιμοποιούνται για την υποστήριξη βιομηχανικών εφαρμογών που επιτρέπουν στους οργανισμούς να έχουν πρόσβαση σε πληροφορίες σχετικά με τις προτιμήσεις των πελατών, τις αλλαγές στην αγορά, την ανάπτυξη και την κατανάλωση προϊόντων και υπηρεσιών, καθώς και την προγνωστική ανάλυση (Kumar et al., 2018).

### 3.3.3. Αυτόνομα ρομπότ

Μια ολοκληρωμένη αρχιτεκτονική και διεπαφή IoT είναι απαραίτητες λόγω του τεράστιου όγκου δεδομένων IoT που είναι προσβάσιμα σε άτομα, αντικείμενα και

μηχανές, καθώς και της περίπλοκης φύσης της διαχείρισης συμβάντων και των διαδικασιών λήψης αποφάσεων. Αυτές οι υποδομές χρησιμοποιούνται για την υποστήριξη βιομηχανικών εφαρμογών που παρέχουν στους οργανισμούς πρόσβαση σε πληροφορίες σχετικά με τις προτιμήσεις των πελατών, τις αλλαγές στην αγορά, την ανάπτυξη και την κατανάλωση προϊόντων και υπηρεσιών, καθώς και την προγνωστική ανάλυση (Goel & Gupta, 2019).

Τα ρομπότ χρησιμοποιούνται από τους κατασκευαστές σε πολλές βιομηχανίες για σημαντικό χρονικό διάστημα για να διεκπεραιώνουν περίπλοκα καθήκοντα. Ωστόσο, τα ρομπότ εξελίσσονται τώρα ώστε να προσφέρουν ακόμη πιο εκτεταμένες λειτουργίες. Παρουσιάζουν ολοένα και περισσότερο αυτονομία, προσαρμοστικότητα και τάση για συνεργασία. Εν ευθέτω χρόνω, θα εμπλέκονται σε αμοιβαία αλληλεπίδραση και θα λειτουργούν σε κοντινή απόσταση από τον άνθρωπο, διασφαλίζοντας την ασφάλεια, ενώ παράλληλα θα αποκτούν γνώσεις από αυτόν. Τα επόμενα ρομπότ θα είναι πιο προσιτά και θα διαθέτουν ευρύτερο φάσμα λειτουργιών σε σύγκριση με τα υπάρχοντα που απασχολούνται στη βιομηχανία (Fragarane et al., 2020).

Για παράδειγμα, η Kuka, ένας ευρωπαϊκός κατασκευαστής ρομποτικού εξοπλισμού, παρέχει αυτόνομα ρομπότ που συμμετέχουν σε αλληλεπιδράσεις μεταξύ τους. Αυτά τα ρομπότ διασυνδέονται μεταξύ τους προκειμένου να συνεργάζονται και να προσαρμόζουν αυτόνομα τις ενέργειές τους ώστε να ευθυγραμμίζονται με το επόμενο ημιτελές προϊόν στη γραμμή συναρμολόγησης. Οι προηγμένοι αισθητήρες και οι μονάδες ελέγχου παρέχουν απρόσκοπτη συνεργασία με τους ανθρώπους. Η ABB, προμηθευτής βιομηχανικών ρομπότ, παρουσιάζει ένα νέο ρομπότ με την ονομασία YuMi. Αυτό το ρομπότ διαθέτει δύο βραχίονες και είναι ρητά κατασκευασμένο για να συνεργάζεται με τον άνθρωπο στη συναρμολόγηση προϊόντων, ιδίως καταναλωτικών ηλεκτρονικών ειδών. Η παρουσία δύο μαλακών εξαρτημάτων και η προηγμένη οπτική αντίληψη επιτρέπουν την ασφαλή εμπλοκή και την ακριβή αναγνώριση των εξαρτημάτων (Goel & Gupta, 2019).

Μια ολοκληρωμένη αρχιτεκτονική και διεπαφή του IoT είναι απαραίτητες λόγω του τεράστιου όγκου δεδομένων IoT που είναι προσβάσιμα σε άτομα, αντικείμενα και μηχανές, καθώς και της περίπλοκης φύσης της διαχείρισης συμβάντων και των διαδικασιών λήψης αποφάσεων. Αυτές οι υποδομές χρησιμοποιούνται για την



υποστήριξη βιομηχανικών εφαρμογών που παρέχουν στις εταιρείες πρόσβαση σε πληροφορίες σχετικά με τις προτιμήσεις των πελατών, τις αλλαγές στην αγορά, την ανάπτυξη και τη χρήση προϊόντων και υπηρεσιών, καθώς και την προγνωστική ανάλυση (Fragarane et al., 2020). Παρ' όλα αυτά, η συνεργασία μεταξύ ανθρώπων και μηχανών μπορεί να προκαλέσει ανησυχίες για την ασφάλεια, καθώς η δυσλειτουργία ή η βλάβη των ενεργών ρομπότ θα μπορούσε ενδεχομένως να προκαλέσει βλάβη στο ανθρώπινο εργατικό δυναμικό. Επιπλέον, η απουσία βιομηχανικών προτύπων και κανονισμών ασφαλείας για τη συνεργασία ανθρώπου-μηχανής καθιστά αναγκαία τόσο την ενσωμάτωση τεχνολογιών ολοκλήρωσης συστημάτων όσο και την ανάπτυξη νέων προτύπων και κανονισμών ασφαλείας (Goel & Gupta, 2019).

Η ενσωμάτωση προηγμένων αισθητήρων και τεχνητής νοημοσύνης (AI) επιτρέπει την εφαρμογή της μηχανικής όρασης, της περιβαλλοντικής επίγνωσης και της μηχανικής νοημοσύνης. Αυτό έχει ως αποτέλεσμα την ανάπτυξη ενός συνεργάσιμου ρομπότ που όχι μόνο συνεργάζεται με τους ανθρώπους για την αποτελεσματική ολοκλήρωση ορισμένων εργασιών, αλλά έχει επίσης την ικανότητα να προβλέπει και να ανταποκρίνεται στις απαιτήσεις τους. Αυτό επιτρέπει την αξιοποίηση της ρομποτικής που προηγουμένως ήταν απρόσιτη, με αποτέλεσμα την αύξηση της παραγωγικότητας (Pfeiffer, 2016).

Η συνεργατική ευελιξία μπορεί να επιτευχθεί όχι μόνο στις αλληλεπιδράσεις μεταξύ ανθρώπων και ρομπότ, αλλά και στις συνεργασίες μεταξύ ρομποτικών συστημάτων. Τα προηγμένα ρομπότ μπορούν να βελτιώσουν την αντίληψη, την επιδεξιότητα, την κινητικότητα και τη νοημοσύνη τους σε πραγματικό χρόνο με τη χρήση τεχνολογιών όπως η επικοινωνία μεταξύ μηχανών, η μηχανική όραση και οι αισθητήρες (Fragarane et al., 2020). Αυτό διευκολύνει την απρόσκοπτη επικοινωνία και αλληλεπίδραση μεταξύ των ρομπότ. Τα προηγμένα ρομπότ έχουν την ικανότητα να δημιουργούν σύνδεση με το περιβάλλον τους και να αναγνωρίζουν τα ισχύοντα συστήματα παραγωγής. Αυτό τους επιτρέπει να προσαρμόζονται αβίαστα σε νέες ή τροποποιημένες εργασίες παραγωγής, συμπεριλαμβανομένων δραστηριοτήτων που περιλαμβάνουν εργασία δίπλα σε ανθρώπους. Οι ανοικτές πλατφόρμες ρομπότ ενισχύουν την ευελιξία των ρομποτικών συστημάτων, επιτρέποντας σε τρίτους να ενισχύουν τα ρομπότ με εξειδικευμένο υλικό και λογισμικό για εξειδικευμένους σκοπούς. Οι απεικονίσεις αποτελούνται από λαβές σχεδιασμένες για ειδικούς

σκοπούς και το αντίστοιχο λογισμικό ελέγχου. Η αυξανόμενη ευελιξία της ρομποτικής οδηγεί στην αύξηση της χρήσης τους σε οργανισμούς παραγωγής, καθώς μπορούν πλέον να εφαρμοστούν σε ένα ευρύτερο φάσμα εργασιών. Τα προηγούμενα εμπόδια, όπως τα υπέρογκα έξοδα, έχουν μειωθεί σημαντικά (Goel & Gupta, 2019).

#### 3.3.4. Προσομοίωση

Οι ανοικτές πλατφόρμες ρομπότ ενισχύουν την ευελιξία των ρομποτικών συστημάτων, επιτρέποντας σε τρίτους να ενισχύσουν τα ρομπότ με εξειδικευμένο υλικό και λογισμικό για εξειδικευμένους σκοπούς. Οι απεικονίσεις περιλαμβάνουν λαβές σχεδιασμένες για συγκεκριμένους σκοπούς και το αντίστοιχο λογισμικό ελέγχου. Η αυξανόμενη ευελιξία της ρομποτικής οδηγεί στην αύξηση της χρήσης τους σε παραγωγικούς οργανισμούς, καθώς μπορούν πλέον να χρησιμοποιηθούν για ένα ευρύτερο φάσμα εργασιών. Τα προηγούμενα εμπόδια, όπως τα υπέρογκα έξοδα, έχουν μειωθεί σημαντικά (Goel & Gupta, 2019).

Επί του παρόντος, οι τρισδιάστατες προσομοιώσεις χρησιμοποιούνται στη φάση της μηχανικής για τη μοντελοποίηση αγαθών, υλικών και διαδικασιών κατασκευής. Ωστόσο, στο μέλλον, οι προσομοιώσεις θα αξιοποιούνται όλο και περισσότερο στις λειτουργίες του εργοστασίου. Αυτές οι προσομοιώσεις θα χρησιμοποιούν δεδομένα σε πραγματικό χρόνο για την ακριβή αναπαράσταση του φυσικού κόσμου σε ένα εικονικό μοντέλο, που θα περιλαμβάνει μηχανές, προϊόντα και άτομα. Οι χειριστές μπορούν να χρησιμοποιούν τον εικονικό κόσμο για να αξιολογούν και να βελτιώνουν τις διαμορφώσεις των μηχανών για το επόμενο προϊόν στη γραμμή παραγωγής πριν από την πραγματική μετάβαση, με αποτέλεσμα τη μείωση της διάρκειας ρύθμισης των μηχανών και τη βελτίωση της ποιότητας (de Paula Ferreira et al., 2020).

Η Siemens και ένας Γερμανός προμηθευτής εργαλειομηχανών συνεργάστηκαν για τη δημιουργία μιας εικονικής μηχανής ικανής να προσομοιώνει την κοπή τεμαχίων χρησιμοποιώντας δεδομένα από τη φυσική μηχανή. Σύμφωνα με τους Florescu και Barabas (2020), αυτό μειώνει το χρόνο που απαιτείται για την προετοιμασία της πραγματικής κατεργασίας έως και κατά 80 %. Τα εργαλεία προσομοίωσης της παραγωγής και της κατασκευαστικής διαδικασίας δίνουν προτεραιότητα στην ανάλυση συγκεκριμένων πτυχών, όπως η ροή υλικών, τα προσωρινά μεγέθη αποθεμάτων, η

συναρμολόγηση υλικών και οι θερμικές ιδιότητες. Στο πλαίσιο ολοκληρωμένων προγραμμάτων προσομοίωσης, αυτά τα συγκεκριμένα μοντέλα μοιράζονται και ενσωματώνονται προκειμένου να ανταλλάσσονται γνώσεις και να εναρμονίζεται ο προγραμματισμός σε συγκεκριμένα στάδια παραγωγής. Για παράδειγμα, ο σχεδιασμός της θέσης και της τροχιάς των ρομπότ μπορεί να υπολογιστεί με την άμεση χρήση ενός τρισδιάστατου μοντέλου σχεδιασμού με τη βοήθεια υπολογιστή (CAD) του παραγόμενου αντικειμένου. Αξιοποιώντας τα αποτελέσματα αυτών των υπολογισμών, είναι δυνατή η αυτόματη ανάπτυξη προγραμμάτων PLC για την παραγωγή (de Paula Ferreira et al., 2020).

### 3.3.5. Υπολογιστικό νέφος

Πολλές εταιρείες χρησιμοποιούν σήμερα λογισμικό που βασίζεται στο νέφος για ορισμένες επιχειρηματικές και αναλυτικές εφαρμογές. Ωστόσο, με την έλευση της Βιομηχανίας 4.0, ένας μεγαλύτερος αριθμός επιχειρήσεων που σχετίζονται με τη μεταποίηση θα πρέπει να συμμετάσχουν σε εκτενέστερη ανταλλαγή δεδομένων σε διαφορετικές τοποθεσίες και εταιρικά όρια. Ταυτόχρονα, η αποτελεσματικότητα των τεχνολογιών νέφους θα ενισχυθεί, επιτυγχάνοντας χρόνους απόκρισης μόλις χιλιοστών του δευτερολέπτου. Κατά συνέπεια, θα υπάρξει μια αυξανόμενη τάση χρήσης της τεχνολογίας νέφους για τη φιλοξενία δεδομένων και λειτουργιών μηχανών, η οποία θα διευκολύνει την ανάπτυξη υπηρεσιών που εστιάζουν στα δεδομένα για συστήματα παραγωγής. Η αρχιτεκτονική που βασίζεται στο νέφος μπορεί να αξιοποιηθεί για την παρακολούθηση και τον έλεγχο διαδικασιών, συμπεριλαμβανομένων των συστημάτων. Οι λύσεις που βασίζονται στο νέφος παρέχονται πλέον από τους προμηθευτές συστημάτων παραγωγής-εκτέλεσης (Liu & Xu, 2016).

Τα δεδομένα που αποκτώνται πρέπει να μεταφέρονται στα συστήματα επεξεργασίας χρησιμοποιώντας είτε υπολογιστικό νέφος είτε εσωτερική πυρηνική υποδομή. Προκειμένου να διεκπεραιώσουν αποτελεσματικά το έργο αυτό, είναι απαραίτητο να διαθέτουν τη δυνατότητα αποθήκευσης και ανάλυσης σημαντικών όγκων δεδομένων, συμπεριλαμβανομένων των παρελθοντικών αρχείων τους, ενώ παράλληλα πρέπει να είναι σε θέση να ανταποκρίνονται άμεσα σε ροές δεδομένων σε πραγματικό χρόνο. Το υπολογιστικό νέφος είναι η βέλτιστη λύση για το IoT. Οι Sony

και Naik (2019) ανέπτυξαν καινοτόμες τεχνολογίες Διαδικτύου των πραγμάτων (IoT) που φιλοξενούνται σε πλατφόρμες υπολογιστικού νέφους. Η πληροφορική διευκολύνει την ενσωμάτωση όχι μόνο εφαρμογών και διαδικασιών, αλλά και σημείων και αισθητήρων. Επιπλέον, οι λύσεις που βασίζονται στο υπολογιστικό νέφος επιτρέπουν στους οργανισμούς να ελαχιστοποιήσουν τον απαιτούμενο βασικό υπολογιστικό εξοπλισμό και να προσαρμόζονται εύκολα στις εξελισσόμενες απαιτήσεις υποδομής, οι οποίες επηρεάζονται από τις μεταβαλλόμενες απαιτήσεις του περιβάλλοντος παραγωγής (Kumar et al., 2018).

### 3.4. Προκλήσεις σχετικά με την εφαρμογή της βιομηχανίας 4.0

Έχουν διεξαχθεί πολλές εμπειριστατωμένες μελέτες σχετικά με τις ζωτικές προκλήσεις, τα προβλήματα ενσωμάτωσης και εφαρμογής και τα ανοικτά ερευνητικά ζητήματα της Βιομηχανίας 4.0. Οι Wang και συν. (2016) και Vaidya και συν. (2018) καθόρισαν διάφορες προκλήσεις και θεμελιώδη ζητήματα σε διάφορα τμήματα που εμφανίζονται καθ' όλη τη διάρκεια της εφαρμογής της Βιομηχανίας 4.0. Οι ενότητες που προσδιορίστηκαν στις μελέτες τους ήταν οι εξής:

- 1) ευφυής μηχανισμός λήψης αποφάσεων και διαπραγμάτευσης
- 2) πρωτόκολλα βιομηχανικού ασύρματου δικτύου (IWN) υψηλής ταχύτητας
- 3) τα ειδικά για τη μεταποίηση μεγάλα δεδομένα και η ανάλυσή τους
- 4) μοντελοποίηση και ανάλυση του συστήματος
- 5) ασφάλεια στον κυβερνοχώρο και στην ιδιοκτησία
- 6) σπονδυλωτά και ευέλικτα φυσικά τεχνουργήματα
- 7) επενδυτικά ζητήματα (Wang et al., 2016; Vaidya et al., 2018).

Σύμφωνα με τους Zhou και συν. (2015), η υιοθέτηση της Βιομηχανίας 4.0 παρουσιάζει εμπόδια στους τομείς της ανάπτυξης έξυπνων συσκευών, της δημιουργίας δικτυακών περιβαλλόντων, της ανάλυσης και επεξεργασίας μεγάλων δεδομένων και της ψηφιακής παραγωγής.

Ο Schröder (2016) προσδιόρισε την απουσία ψηφιακής στρατηγικής ευθυγραμμισμένης με περιορισμένους πόρους, καθώς και την απουσία προτύπων και

την ανεπαρκή προστασία των δεδομένων, ως τις κύριες προκλήσεις που εμποδίζουν την τεχνολογική υιοθέτηση της Βιομηχανίας 4.0 (Schröder, 2016). Οι Küsters και συν. (2017) υποστήριξαν ότι διάφορες ανησυχίες και περιορισμοί εμποδίζουν ορισμένους κατασκευαστές και επιχειρήσεις να υιοθετήσουν τη Βιομηχανία 4.0. Οι αβεβαιότητες σχετικά με τα οικονομικά οφέλη, η απουσία στρατηγικών για τον συντονισμό μεταξύ διαφορετικών οργανωτικών μονάδων, η έλλειψη ταλέντων, δεξιοτήτων και ικανοτήτων, η απροθυμία να υποβληθούν σε ριζικό μετασχηματισμό και οι ανησυχίες σχετικά με την ασφάλεια τρίτων παρόχων είναι παράγοντες που πρέπει να ληφθούν υπόψη (Küsters et al., 2017).

Οι Kagermann και συν. (2013) εντόπισαν τρία βασικά εμπόδια που σχετίζονται με την εφαρμογή της Βιομηχανίας 4.0: τυποποίηση, οργάνωση της εργασίας και διαθεσιμότητα των προϊόντων. Σύμφωνα με τους Chen και συν. (2017), υπάρχουν ακόμη ανεπίλυτες ανησυχίες και εμπόδια που σχετίζονται με τις απαιτήσεις ευφυΐας εξοπλισμού, τα δίκτυα βαθιάς ολοκλήρωσης και την παραγωγή με γνώμονα τη γνώση.

Σύμφωνα με τον Lu (2017), η διαλειτουργικότητα θεωρείται το πρωταρχικό άλυτο πρόβλημα της Βιομηχανίας 4.0. Ο Lu ανέλυσε τις βασικές αρχές που εγγυώνται την αποτελεσματικότητα και την αποδοτικότητα των διαδικασιών, δηλαδή την προσβασιμότητα, την πολυγλωσσία, την ασφάλεια, την ιδιωτικότητα, την επικουρικότητα, τη χρήση ανοικτών προτύπων, λογισμικού ανοικτού κώδικα και πολυμερών λύσεων (Lu, 2017). Το 2016, οι Bauer και συν. διεξήγαγαν μια παγκόσμια έρευνα εμπειρογνομώνων με 300 εταιρείες εμπειρογνομώνων, καθεμία από τις οποίες απασχολούσε τουλάχιστον 50 υπαλλήλους. Οι εταιρείες ήταν ομοιόμορφα κατανομημένες στις Ηνωμένες Πολιτείες της Αμερικής, τη Γερμανία και την Ιαπωνία και περιλάμβαναν τόσο προμηθευτές τεχνολογίας Industry 4.0 όσο και κατασκευαστές. Οι προσδοκίες και οι στάσεις χαρακτηρίζονται από θετικότητα και αισιοδοξία. Συνολικά, το 90% των συμμετεχόντων είναι της γνώμης ότι η ανταγωνιστικότητά τους είτε θα αυξηθεί είτε θα παραμείνει η ίδια με την εφαρμογή της Βιομηχανίας 4.0. Ομοίως, το 89% αναμένει ότι η Βιομηχανία 4.0 θα επηρεάσει τη λειτουργική τους αποτελεσματικότητα, ενώ το 80% πιστεύει ότι θα έχει αντίκτυπο στο επιχειρηματικό τους μοντέλο. Επιπλέον, σύμφωνα με την εκτίμησή τους, τα κύρια εμπόδια της Βιομηχανίας 4.0 περιλαμβάνουν (Bauer et al., 2016):

- Έλλειψη θάρρους για την προώθηση των ριζικών αλλαγών που απαιτούνται για την εισαγωγή της Βιομηχανίας 4.0,
- Έλλειψη των απαραίτητων ταλέντων για την υλοποίηση της Βιομηχανίας 4.0,
- Έλλειψη σαφούς επιχειρησιακής υπόθεσης που να δικαιολογεί τις επενδύσεις στην αρχιτεκτονική ΤΠ της Βιομηχανίας 4.0. Δυσκολία συντονισμού των δράσεων μεταξύ διαφορετικών οργανωτικών μονάδων, όπως τα τμήματα έρευνας και ανάπτυξης (E&A), ΤΠ, παραγωγής, πωλήσεων και οικονομικών, λόγω της κακής αλληλεπίδρασης μεταξύ τους,
- αβεβαιότητα σχετικά με την εσωτερική ανάθεση έναντι της εξωτερικής ανάθεσης και έλλειψη γνώσης σχετικά με τους παρόχους υπηρεσιών- □ Ανησυχίες σχετικά με την ασφάλεια στον κυβερνοχώρο κατά τη συμμετοχή τρίτων παρόχων τεχνολογίας/λογισμικού και υλοποίησης,
- Ανησυχίες σχετικά με την κυριότητα των δεδομένων κατά τη συνεργασία με τρίτους παρόχους,
- Προκλήσεις με την ενσωμάτωση δεδομένων από διαφορετικές πηγές για την ενεργοποίηση εφαρμογών Βιομηχανίας 4.0 (Bauer et al., 2016).

## 4. Βιομηχανικό Διαδίκτυο των Πραγμάτων (IIoT)

Το Βιομηχανικό Διαδίκτυο των Πραγμάτων (IIoT) είναι μια συνιστώσα της ευρύτερης έννοιας που είναι γνωστή ως Διαδίκτυο των Πραγμάτων. Το Διαδίκτυο των Πραγμάτων (IoT) περιλαμβάνει το βιομηχανικό IoT και διάφορα άλλα στοιχεία, συμπεριλαμβανομένων των κινητών συσκευών και των έξυπνων καταναλωτικών προϊόντων, όπως οι έξυπνοι φούρνοι. Η αξιοποίηση του IoT στο πλαίσιο της βιομηχανικής παραγωγής είναι ευρέως γνωστή ως βιομηχανικό διαδίκτυο. Η General Electric επινόησε αυτόν τον όρο, αλλά άλλες επιχειρήσεις όπως η Cisco τον αναφέρουν ως Internet of Everything ή Internet 4.0. Είναι ζωτικής σημασίας η κατηγοριοποίηση των εφαρμογών του IoT σε κάθετα τμήματα με βάση τους επιδιωκόμενους σκοπούς τους, όπως οι καταναλωτικές, εμπορικές και βιομηχανικές μορφές του Διαδικτύου. Αυτός ο κάθετος διαχωρισμός είναι απαραίτητος επειδή αυτά τα διαφορετικά τμήματα έχουν ξεχωριστό κοινό-στόχο, τεχνικές απαιτήσεις και στρατηγικές (Boyes et al., 2018).

Η καταναλωτική αγορά έχει γίνει όλο και πιο σημαντική λόγω της διάδοσης των "έξυπνων" σπιτιών και ενός ευρέος φάσματος προϊόντων, όπως κινητά τηλέφωνα, μηχανήματα γυμναστικής με συστήματα καταγραφής επιδόσεων και συστήματα ψυχαγωγίας. Η εμπορική αγορά έχει ευρύ πεδίο εφαρμογής, περιλαμβάνοντας χρηματοοικονομικές και επενδυτικές υπηρεσίες, τραπεζικές και ασφαλιστικές υπηρεσίες και ηλεκτρονικό εμπόριο που βασίζεται στο ιστορικό των πελατών, στις επιδόσεις και στην αξία των καταναλωτικών αγαθών (Abuhasel & Khan, 2020). Το βιομηχανικό διαδίκτυο περιλαμβάνει ένα ευρύ φάσμα τομέων, όπως η παραγωγή ενέργειας, η βιομηχανική παραγωγή, η γεωργία, η υγεία, το λιανικό εμπόριο, οι μεταφορές, η αεροπορία, τα διαστημικά ταξίδια, η διαχείριση και πολλά άλλα. Προσφέρει το μεγαλύτερο κάθετο εύρος μεταξύ αυτών των τομέων. Το Βιομηχανικό Διαδίκτυο επιτρέπει την ολοκληρωμένη κατανόηση, αντίληψη και αξιοποίηση των λειτουργιών και των περιουσιακών στοιχείων μιας εταιρείας (όπως οι πρώτες ύλες και τα προϊόντα) συνδυάζοντας αισθητήρες, ενδιάμεσο λογισμικό, λογισμικό και συστήματα υπολογιστικού νέφους και αποθήκευσης υποστηρικτικού περιβάλλοντος. Έτσι, προσφέρει ένα μέσο για την επανάσταση των επιχειρηματικών λειτουργιών με την αξιοποίηση της ανατροφοδότησης που προκύπτει από την εξελιγμένη ανάλυση

εκτεταμένων συνόλων δεδομένων. Η ενίσχυση της επιχειρησιακής αποδοτικότητας οδηγεί σε επιχειρηματικά οφέλη με τη μείωση των απρογραμματίστων διακοπών στις λειτουργίες, επιταχύνοντας έτσι την παραγωγή. Αυτό επιτυγχάνεται μέσω της βελτιστοποίησης της αποδοτικότητας (Boyes et al., 2018).

Η τεχνολογία και οι διαδικασίες που χρησιμοποιούνται σήμερα στην τεχνολογία Machine to Machine (M2M) είναι ως επί το πλείστον παρόμοιες με εκείνες που απαιτούνται για την εφαρμογή του IIoT, ενώ υπάρχουν διαφοροποιήσεις στην έκταση και τον τρόπο λειτουργίας. Τα μεγάλα δεδομένα επιτρέπουν την ανάλυση σε πραγματικό χρόνο μεγάλων ροών δεδομένων σε υψηλούς ρυθμούς με ισχυρές αναλύσεις που φιλοξενούνται στο υπολογιστικό νέφος. Επιπλέον, τα συστήματα διανομής νέφους έχουν τη δυνατότητα αποθήκευσης σημαντικών ποσοτήτων δεδομένων για μελλοντική αξιοποίηση. Με την αξιοποίηση αυτών των υπολογιστικών δεδομένων, καθίσταται εφικτή η εξαγωγή πληροφοριών, στατιστικών στοιχείων και γνώσεων που προηγουμένως ήταν ανέφικτες λόγω της εφαρμογής εξελιγμένων αλγορίθμων ή περιορισμένων μεγεθών δείγματος. Οι μηχανικοί παραγωγής μπορούν να αξιοποιήσουν αυτά τα ευρήματα για να βελτιώσουν τις λειτουργίες, να αυξήσουν την παραγωγικότητα και την αποδοτικότητα και τελικά να ελαχιστοποιήσουν τα έξοδα (Munirathinam, 2020).

## 4.1. Στοιχεία του IIoT

### 4.1.1. Αισθητήρες

Το Βιομηχανικό Διαδίκτυο των Πραγμάτων (IIoT) είναι ένα αμάλγαμα πολλών τεχνολογιών που, όταν συνδυάζονται, δημιουργούν ένα πιο εκτεταμένο και διασυνδεδεμένο σύστημα. Η εξέλιξη των αισθητήρων παρέχει ευκαιρίες που ήταν προηγουμένως ανέφικτες. Για παράδειγμα, ένας εξαιρετικά ακριβής αισθητήρας θερμοκρασίας διαθέτει πλέον τη δυνατότητα να αξιολογεί και να παρέχει πληροφορίες σχετικά με τη διάρκεια της ωφέλιμης ζωής του. Ως αποτέλεσμα, ένας αισθητήρας έχει τη δυνατότητα όχι μόνο να παράγει αξιόπιστα δεδομένα, αλλά και να κάνει προβλέψεις. Οι αισθητήρες μηχανών έχουν την ικανότητα να προβλέπουν, να εκτιμούν και να συγκρίνουν αυτόνομα χωρίς εξωτερική εισροή (Bernd Valeske et al., 2020). Μπορούν να συγκρίνουν με ακρίβεια τις τρέχουσες ρυθμίσεις των παραμέτρων



τους και το περιβάλλον με τα βέλτιστα προκαθορισμένα πρότυπα διαμόρφωσης ή τα ανώτερα-κατώτερα όρια και να κάνουν ανάλογες προσαρμογές. Αυτή η διαδικασία αναφέρεται ως αυτοδιάγνωση. Τα τελευταία χρόνια έχει σημειωθεί σημαντική μείωση τόσο του κόστους όσο και του μεγέθους της τεχνολογίας. Κατά συνέπεια, οι αισθητήρες χρησιμοποιούνται πλέον σε μηχανήματα, βιομηχανικές διαδικασίες, ακόμη και σε ανθρώπους (Munirathinam, 2020).

#### 4.1.2. RFID

Το ακρωνύμιο "RFID" αναφέρεται στην αναγνώριση ραδιοσυχνοτήτων, η οποία είναι η διαδικασία αναγνώρισης αντικειμένων με τη χρήση σημάτων ραδιοσυχνοτήτων. Στα ελληνικά, ορίζεται ως "αναγνώριση μέσω ραδιοσυχνότητας". Τα συστήματα RFID αποτελούν συστατικό στοιχείο των συστημάτων αυτόματης αναγνώρισης (AIS) (Munirathinam, 2020). Συγκεκριμένα, χρησιμεύει ως ευρύς όρος για συσκευές που χρησιμοποιούν ραδιοκύματα για την αυτόματη αναγνώριση ατόμων ή αντικειμένων. Ο αριθμός 27. RFID χρησιμοποιούν ηλεκτρομαγνητικά πεδία για την αυτόματη ανίχνευση και παρακολούθηση υπογραφών (ετικέτες) που είναι τοποθετημένες σε αντικείμενα. Οι ετικέτες αποθηκεύουν ψηφιακές πληροφορίες. Οι παθητικές ετικέτες εκμεταλλεύονται την ενέργεια από τα κοντινά ασύρματα ραδιοκύματα που βρίσκονται σε κοντινή απόσταση από το μπλοκ ανάγνωσης RFID. Οι ενεργές ετικέτες είναι εξοπλισμένες με μια αυτόνομη πηγή ενέργειας, όπως μια μπαταρία, και έχουν τη δυνατότητα να λειτουργούν σε απόσταση εκατοντάδων μέτρων από το αναγνωριστικό RFID. Η ετικέτα δεν απαιτεί άμεση ορατότητα της αναγνώρισης, επιτρέποντας την ενσωμάτωσή της στο αντικείμενο που παρακολουθείται. Η RFID είναι μια τεχνική που χρησιμοποιείται για την αυτόματη ταυτοποίηση και συλλογή δεδομένων, συχνά γνωστή ως AIDC. Οι ετικέτες RFID χρησιμοποιούνται ευρέως σε διάφορες βιομηχανίες. Για παράδειγμα, στον τομέα της αυτοκινητοβιομηχανίας, μια ετικέτα RFID μπορεί να τοποθετηθεί σε ένα όχημα καθ' όλη τη διάρκεια της διαδικασίας κατασκευής του για να διευκολύνει την παρακολούθηση της εξέλιξής του κατά μήκος της γραμμής συναρμολόγησης. Η χρήση της τεχνολογίας RFID επιτρέπει την παρακολούθηση των φαρμακευτικών προϊόντων στις αποθήκες, ενώ η εμφύτευση μικροσίπ RFID σε ζώα και κατοικίδια διευκολύνει την ακριβή αναγνώρισή τους (Filho et al., 2018).

Η τεχνολογία RFID γνωρίζει ραγδαία ανάπτυξη και αξιοποιείται σε διάφορες βιομηχανίες, όπως εργοστάσια, αποθήκες και καταστήματα λιανικής πώλησης. Ο τομέας της παραγωγής και της εφοδιαστικής ενσωματώνει τεχνολογίες αισθητήρων για την παρακολούθηση και τη ρύθμιση των λειτουργιών και τη διασφάλιση της ποιότητας των ειδών. Στις συμβατικές εφαρμογές RFID, όπως ο έλεγχος πρόσβασης και η αυτοματοποίηση εργοστασίων, οι ετικέτες χρησιμοποιούνταν σε διαδικασίες κλειστού βρόχου και τα δεδομένα RFID χρησιμοποιούνταν αποκλειστικά από ένα σύστημα-πελάτη. Κατά συνέπεια, υπήρχε ελάχιστη ανάγκη για τη μεταφορά δεδομένων εκτός των ορίων του οργανισμού. Παρόμοια με τον τρόπο με τον οποίο τα παραδοσιακά επιχειρησιακά συστήματα πληροφοριών έχουν μετατραπεί σε ιδιαίτερα διασυνδεδεμένα συστήματα που βασίζονται σε μεγάλο βαθμό στο Διαδίκτυο, οι εφαρμογές RFID ανοικτού βρόχου έχουν επίσης προσαρμοστεί σε δικτυακά περιβάλλοντα (Filho et al., 2018).

#### 4.1.3. Big Data

Τα μεγάλα δεδομένα, σε συνδυασμό με τα προαναφερθέντα εξελιγμένα αναλυτικά εργαλεία, διαδραματίζουν κρίσιμο ρόλο στο βιομηχανικό διαδίκτυο των πραγμάτων (IIoT), προβλέποντας αποτελεσματικά και παρέχοντας μια πιο ολοκληρωμένη κατανόηση των λειτουργιών μιας μηχανής ή μιας διαδικασίας. Αξιοποιώντας τις δυνατότητες αυτοπρόβλεψης και αυτοαντίληψης των αναλυτικών μεθόδων, μπορούν να δημιουργηθούν ακριβή προγράμματα προληπτικής συντήρησης για μηχανές και άλλα όργανα. Αυτό διασφαλίζει ότι παραμένουν σε αποδοτική λειτουργία, ελαχιστοποιώντας την αναποτελεσματικότητα και το περιττό κόστος συντήρησης. Ένας άλλος παράγοντας είναι η άνοδος του υπολογιστικού νέφους τα τελευταία χρόνια, το οποίο προσφέρει τη δυνατότητα για οικονομικά αποδοτική εφαρμογή των μεγάλων δεδομένων, παρέχοντας πολυάριθμες δυνατότητες επεξεργασίας, αποθήκευσης και δικτύωσης (Atharvan et al., 2021).

#### 4.1.4. Ασφάλεια

Η επέκταση του IIoT δημιουργεί νέα προβλήματα ασφάλειας. Κάθε νεοπροστιθέμενη συσκευή ή εξάρτημα που συνδέεται στο Βιομηχανικό Διαδίκτυο των Πραγμάτων (IIoT) έχει τη δυνατότητα να αποτελέσει πρόβλημα. Σύμφωνα με την

Gartner, προβλέπεται ότι μέχρι το 2020, πάνω από το 25% των επιθέσεων σε επιχειρήσεις θα στοχεύουν συστήματα που συνδέονται στο Διαδίκτυο των πραγμάτων (IoT), παρόλο που τα συστήματα αυτά λαμβάνουν λιγότερο από το 10% των συνολικών χρημάτων που διατίθενται για την ασφάλεια της πληροφορικής. Οι διασφαλίσεις προστασίας που εφαρμόζονται σήμερα για τις συσκευές που συνδέονται στο IoT είναι πολύ λιγότερο αποτελεσματικές σε σύγκριση με εκείνες που χρησιμοποιούνται για τον παραδοσιακό εξοπλισμό υπολογιστών. Αυτό καθιστά τις συσκευές IoT ευάλωτες στην πειρατεία από botnets όπως το Mirai, τα οποία μπορούν στη συνέχεια να χρησιμοποιηθούν για την εξαπόλυση επιθέσεων DDoS.

Ένα άλλο πιθανό σενάριο περιλαμβάνει τη μόλυνση βιομηχανικών συστημάτων ελέγχου που είναι συνδεδεμένα στο διαδίκτυο, παρόμοια με την περίπτωση του Stuxnet, χωρίς να απαιτείται φυσική επαφή με τη συσκευή για τη διάδοση του ιού που μοιάζει με σκουλήκι. Επιπλέον, οι συσκευές με δυνατότητα IIoT έχουν τη δυνατότητα να διευκολύνουν τα συμβατικά εγκλήματα στον κυβερνοχώρο, όπως φάνηκε από την παραβίαση των δεδομένων της Target το 2013. Σε αυτό το περιστατικό, οι χάκερ κατάφεραν να διεισδύσουν στα δίκτυα της Target χρησιμοποιώντας διαπιστευτήρια που απέκτησαν από τρίτο πάροχο HVAC, με αποτέλεσμα την κλοπή ευαίσθητων πληροφοριών. Οι φαρμακευτικές επιχειρήσεις δίστασαν να αγκαλιάσουν τις εξελίξεις του IIoT λόγω τέτοιου είδους ζητημάτων ασφαλείας. Ένα εμπόδιο στην παροχή λύσεων ασφαλείας για εφαρμογές IIoT έγκειται στην κατακερματισμένη σύνθεση του υλικού. Ως αποτέλεσμα, οι αρχιτεκτονικές ασφαλείας υιοθετούν όλο και περισσότερο προσεγγίσεις που βασίζονται στο λογισμικό ή σε συσκευές που δεν έχουν σχέση με τις συσκευές (Yu & Guo, 2019).

## 4.2. Σύγκριση IIoT-IoT

Το βιομηχανικό διαδίκτυο μπορεί να θεωρηθεί ως η διασύνδεση εξοπλισμού και συσκευών σε βιομηχανίες όπως το πετρέλαιο και το φυσικό αέριο, η παραγωγή ενέργειας και η υγειονομική περίθαλψη. Αυτό είναι ιδιαίτερα σημαντικό σε τομείς όπου υπάρχει υψηλότερο επίπεδο κινδύνου ή όταν οι αστοχίες συστημάτων και οι μη προγραμματισμένες διακοπές μπορούν να έχουν απειλητικές ή επικίνδυνες συνέπειες για τη ζωή. Αντίθετα, το Διαδίκτυο των πραγμάτων περιλαμβάνει συνήθως προϊόντα με καταναλωτικό προσανατολισμό, όπως συσκευές παρακολούθησης της φυσικής

κατάστασης για την παρακολούθηση της καρδιάς ή έξυπνες οικιακές συσκευές. Ενώ προσφέρουν πρακτικότητα και ευκολία, συνήθως δεν δημιουργούν καταστάσεις έκτακτης ανάγκης σε περίπτωση διακοπής ρεύματος (Jaidka et al., 2020).

Για παράδειγμα, η έννοια του Ψηφιακού Δίδυμου (Digital Twin) αποτελεί παράδειγμα για το πώς το Βιομηχανικό Διαδίκτυο δίνει τη δυνατότητα στις μηχανές να παρέχουν στους χειριστές οδηγίες για το πώς να αυξήσουν την αποδοτικότητα ή να εντοπίσουν μια επικείμενη βλάβη, με αποτέλεσμα να οδηγούν ενδεχομένως σε ετήσια εξοικονόμηση δισεκατομμυρίων δολαρίων για τους οργανισμούς. Αντίθετα, το Διαδίκτυο των πραγμάτων περιλαμβάνει ψυγεία που είναι συνδεδεμένα και ικανά να αγοράζουν επιπλέον γάλα και αυγά μέσω διαδικτύου πριν από την εξάντλησή τους. Το βιομηχανικό διαδίκτυο έχει τη δυνατότητα να συνδέει σημαντικά μηχανήματα, οδηγώντας σε σημαντικά οικονομικά και λειτουργικά αποτελέσματα. Ενδεικτικά, ένας από τους πελάτες μας, μια επιχείρηση παροχής ηλεκτρικής ενέργειας, επιτυγχάνει ετήσια εξοικονόμηση κόστους ύψους 0,5 εκατομμυρίων δολαρίων με τη χρήση της λύσης APM για προγνωστική ανάλυση για την ενίσχυση της αξιοπιστίας των περιουσιακών στοιχείων, των εγκαταστάσεων και του στόλου τους. Αξιοποιώντας τα συστήματα MES μας, ένας πελάτης μεταποιητικής βιομηχανίας κατάφερε να βελτιώσει την ιχνηλασιμότητα, να αυξήσει τη δυναμικότητα κατά 20% και να μειώσει το χρόνο παράδοσης στον πελάτη (Jaidka et al., 2020).

Η εκθετική αύξηση των δεδομένων που παράγονται από διασυνδεδεμένο εξοπλισμό, συστήματα και συσκευές έχει απεριόριστες δυνατότητες για την εξαγωγή και εφαρμογή σημαντικών πληροφοριών. Το IoT και το IIoT λειτουργούν με βάση τις ίδιες θεμελιώδεις αρχές. Και οι δύο διευκολύνουν τη σύνδεση των συσκευών στο διαδίκτυο και ενισχύουν τη νοημοσύνη τους. Η διάκριση έγκειται στο γεγονός ότι το IoT στοχεύει στην ενίσχυση της άνεσης και της ευκολίας των πελατών, ενώ το IIoT επικεντρώνεται στην ενίσχυση της ασφάλειας και της αποδοτικότητας στις εγκαταστάσεις παραγωγής (Kim et al., 2019). Το Διαδίκτυο των Πραγμάτων (IoT) επικεντρώνεται κυρίως στη σύνδεση καταναλωτικών συσκευών και υπηρεσιών, ενώ το Βιομηχανικό Διαδίκτυο των Πραγμάτων (IIoT) ασχολείται κυρίως με τη σύνδεση συστημάτων και εφαρμογών μεταξύ επιχειρήσεων. Η εφαρμογή λύσεων IIoT, όπως το API PRO EAM και το AXIOS OEE, μπορεί να αποφέρει σημαντικά πλεονεκτήματα σε επιχειρήσεις με διάφορες εγκαταστάσεις και βιομηχανικές μονάδες. Η ενσωμάτωση της παρακολούθησης και ανάλυσης δεδομένων, της προληπτικής συντήρησης και της

διαχείρισης του προσωπικού σε ένα ενιαίο σύστημα μπορεί να βελτιώσει σημαντικά την αποδοτικότητα της παραγωγής και να ελαχιστοποιήσει την ανάγκη για υπερβολική γραφειοκρατία. Με την εφαρμογή αυτού του συστήματος, εσείς και η ομάδα σας θα έχετε βελτιωμένη πρόσβαση στους βασικούς δείκτες απόδοσης (KPI), αυξημένη ευελιξία και θα ελαχιστοποιήσετε τις δαπανηρές περιόδους αδράνειας (Kumar & Agrawal, 2023).

Το βιομηχανικό διαδίκτυο των πραγμάτων (IIoT) δημιουργεί συνδέσεις μεταξύ ζωτικών μηχανημάτων και αισθητήρων σε βιομηχανίες με υψηλά επίπεδα κινδύνου, όπως η αεροδιαστημική, η άμυνα, η υγειονομική περίθαλψη και η ενέργεια. Πρόκειται για συστήματα στα οποία η αποτυχία οδηγεί συχνά σε απειλητικές για τη ζωή ή άλλες κρίσιμες καταστάσεις. Αντίθετα, οι συσκευές IoT απευθύνονται συνήθως σε καταναλωτές και έχουν λίγες συνέπειες σε περίπτωση βλάβης. Ενώ διαθέτουν σημασία και προσφέρουν ευκολία, οι αστοχίες δεν προκαλούν άμεσα καταστάσεις έκτακτης ανάγκης. Η εφαρμογή της τεχνολογίας IoT είναι σήμερα διαθέσιμη και σε χρήση. Η απόκτηση μιας σαφούς κατανόησης της διάκρισης μεταξύ IoT και βιομηχανικού IoT (IIoT) μπορεί να ενισχύσει την αντίληψη του πώς το ανερχόμενο βιομηχανικό διαδίκτυο θα παρουσιάσει στις επιχειρήσεις μια νέα λεωφόρο επέκτασης και θα ενισχύσει την απόδοση σε μεγαλύτερο βαθμό (Kim et al., 2019).

### 4.3. Ο ρόλος του IIoT και της ευφυής παραγωγής

Η μεταποίηση είναι μια θεμελιώδης πτυχή της βιομηχανίας που επηρεάζει σημαντικά την ευημερία των ανθρώπων και την οικονομία μιας χώρας. Επιπλέον, είναι μία από τις μεγαλύτερες και περίπλοκα συνδεδεμένες αγορές του Διαδικτύου των Πραγμάτων (IoT), που περιλαμβάνει ένα ευρύ φάσμα δραστηριοτήτων, διαδικασιών, υπηρεσιών και αγαθών. Το Διαδίκτυο των πραγμάτων (IoT) παρέχει εφαρμογές και υπηρεσίες που αποσκοπούν στη βελτίωση της παραγωγής, της παραγωγικότητας και της διαχείρισης της ποιότητας των προϊόντων (PQM) σε όλα τα στάδια του κύκλου ζωής ενός προϊόντος. Αυτές περιλαμβάνουν προηγμένη παρακολούθηση και εντοπισμό, βελτιστοποίηση των επιδόσεων και της συντηρησιμότητας και αλληλεπίδραση μεταξύ ανθρώπων και μηχανών. Ως εκ τούτου, είναι λογικό να συμπεράνουμε ότι το IoT έχει τη δυνατότητα να προσφέρει αρκετές λύσεις στη μεταποιητική βιομηχανία, η οποία είναι γνωστή για τις περίπλοκες και ευρείες

εφαρμογές της, τα διαφοροποιημένα κυβερνο-φυσικά συστήματα (CPS) και τις διάφορες μεθοδολογίες για τη διαχείριση των λειτουργιών παραγωγής (MOM) (Zhong et al., 2017).

Η ευφυής μεταποίηση, που αναφέρεται επίσης ως έξυπνη μεταποίηση, είναι ένα νέο μοντέλο μεταποίησης στο πλαίσιο της Βιομηχανίας 4.0. Χρησιμοποιεί αρχιτεκτονική προσανατολισμένη στις υπηρεσίες (SOA) και αξιοποιεί αποτελεσματικά μια σειρά προηγμένων πληροφοριών, τεχνικών, μεθοδολογιών και τεχνολογιών παραγωγής (Zhong et al., 2017). Ο στόχος είναι η ριζική μετατροπή των συμβατικών επιχειρήσεων σε ευφυείς, προκειμένου να προσαρμοστούν αποτελεσματικά στην οικονομία με γνώμονα τη ζήτηση που επικεντρώνεται "στους πελάτες, τους συνεργάτες και το κοινό, στη διαχείριση των επιδόσεων και της μεταβλητότητας της επιχείρησης, στην ολοκληρωμένη υπολογιστική μηχανική υλικών σε πραγματικό χρόνο και στην ταχεία εξειδίκευση, στις υπηρεσίες της αλυσίδας εφοδιασμού με γνώμονα τη ζήτηση και στην ευρεία συμμετοχή του εργατικού δυναμικού" (Yang et al., 2019).

Η ευφυής κατασκευή αξιοποιεί τη συλλογική νοημοσύνη των ατόμων, των διαδικασιών και των μηχανών για τη βελτίωση της παραγωγής, της ποιότητας των προϊόντων και της αποδοτικότητας της παραγωγικότητας. Παρέχει ευφυείς λύσεις για τον εντοπισμό και την παρακολούθηση πιθανών βλαβών, δυσλειτουργιών και αστοχιών. Επιπλέον, αυξάνει τον έλεγχο και τη διαχείριση, προάγει τη συντηρησιμότητα και τη διαθεσιμότητα και βελτιστοποιεί τη διαχείριση και τον διαμοιρασμό των πόρων. Επιπλέον, χρησιμοποιεί τεχνολογίες αιχμής για να βελτιώσει διάφορα συμβατικά συστήματα, υπηρεσίες και προϊόντα (Zhong et al., 2017).

Η ευφυής κατασκευή έχει σημαντικό αντίκτυπο στη συνολική λειτουργία και την οικονομική κατάσταση των επιχειρήσεων, οδηγώντας στην πρόοδο των σύγχρονων βιομηχανιών. Η ευφυής κατασκευή επιδιώκει να δημιουργήσει ευφυή συστήματα λήψης αποφάσεων που είναι σε πραγματικό χρόνο, αυτόνομα και μοιάζουν με τον άνθρωπο, ελαχιστοποιώντας έτσι την απαίτηση για ανθρώπινη συμμετοχή και παρέμβαση. Για να γίνει αυτό, χρησιμοποιούνται η τεχνητή νοημοσύνη, η μηχανική μάθηση, οι γενετικοί αλγόριθμοι και άλλες εξελιγμένες τεχνολογίες, προσεγγίσεις και διαδικασίες. Το γεγονός αυτό αποτελεί σημαντική διαφοροποίηση μεταξύ της ευφυούς

παραγωγής και της παραδοσιακής παραγωγής. Ωστόσο, ο στόχος και των δύο βιομηχανικών τομέων παραμένει αμετάβλητος: η ικανοποίηση των απαιτήσεων των πελατών και των αναγκών της αγοράς με ταυτόχρονη μεγιστοποίηση των κερδών και ελαχιστοποίηση του κόστους και της σπατάλης (Abuhasel & Khan, 2020).

#### 4.4. Προκλήσεις σχετικά με την εφαρμογή του διαδικτύου των πραγμάτων

Έχουν εκπονηθεί πολυάριθμες ολοκληρωμένες μελέτες που αναλύουν τα κρίσιμα εμπόδια στον τομέα του IoT, συμπεριλαμβανομένων των προβλημάτων ενσωμάτωσης και εφαρμογής, καθώς και των ανοικτών ερευνητικών ερωτημάτων. Οι Ara και συν. (2016) αξιολόγησαν ανοικτά ερευνητικά ζητήματα που σχετίζονται με τις δραστηριότητες τυποποίησης, την αντιμετώπιση και τη δικτύωση, καθώς και την ασφάλεια και την προστασία της ιδιωτικής ζωής. Οι Ara και συν. (2016) συζήτησαν τις κύριες δυσκολίες που αντιμετωπίζει το IoT, συμπεριλαμβανομένης της διαλειτουργικότητας και της τυποποίησης, της εμπιστευτικότητας των δεδομένων και των πληροφοριών, της κρυπτογράφησης και της ιδιωτικότητας, της διαχείρισης ονομάτων και ταυτοτήτων, του πρασίνου του IoT και της ασφάλειας των αντικειμένων και των δικτύων. Οι Lin και συν. (2017) επικεντρώθηκαν στην έρευνα των τεχνολογιών επικοινωνίας και τυποποίησης, των τεχνολογιών καταναμημένων συστημάτων και της νοημοσύνης, με έμφαση σε θέματα ασφάλειας, όπως η εμπιστευτικότητα των δεδομένων, η ιδιωτικότητα και η εμπιστοσύνη. Οι Gubbi και συν. (2013) διεξήγαγαν μια μελέτη όπου διερεύνησαν και αξιολόγησαν διάφορες προκλήσεις που σχετίζονται με ασφαλή επαναπρογραμματιζόμενα δίκτυα, ιδιωτικότητα, QoS, ενεργειακά αποδοτική ανίχνευση, αρχιτεκτονική και πρωτόκολλα, απεικόνιση με βάση το Σύστημα Γεωγραφικών Πληροφοριών (GIS), εξόρυξη δεδομένων και υπολογιστικό νέφος.

Ο Borgia (2014) συζήτησε διάφορα εμπόδια και ζητήματα, όπως η κινητικότητα αντικειμένων, οι επικοινωνίες M2M, η διαχείριση συσκευών και δεδομένων, η αρχιτεκτονική δικτύου και ο σχεδιασμός συστημάτων, η διευθυνσιοδότηση, η ονομασία και ο χαρακτηρισμός της κίνησης και η ασφάλεια. Οι Perera και συν. (2014) προσδιόρισαν την προστασία της ιδιωτικής ζωής και την ανάλυση δεδομένων, τη διαλειτουργικότητα προϊόντων και υπηρεσιών και τη διαχείριση πόρων και ενέργειας ως σημαντικές προκλήσεις.

Οι Al-Fuqaha και συν. (2015) ανέλυσαν τα κύρια προβλήματα και τις απαιτήσεις ποιότητας υπηρεσιών (QoS) στον τομέα του Διαδικτύου των Πραγμάτων (IoT), συμπεριλαμβανομένων της διαθεσιμότητας και της αξιοπιστίας, της κινητικότητας, της απόδοσης και της διαχείρισης, της επεκτασιμότητας και της διαλειτουργικότητας, καθώς και της ασφάλειας και της ιδιωτικότητας. Ο Breivold (2017) προσδιόρισε την ανοχή σε σφάλματα, τη λειτουργική ασφάλεια, την καθυστέρηση και την επεκτασιμότητα των δεδομένων, τη μικτή κρισιμότητα και την ασφαλή συνεργασία σε πραγματικό χρόνο ως τα κύρια ζητήματα στη διαχείριση του βιομηχανικού διαδικτύου των πραγμάτων (IIoT) (Breivold, 2017). Οι Lee & Lee (2015) προσδιόρισαν τη διαχείριση και εξόρυξη δεδομένων, την ασφάλεια και την ιδιωτικότητα ως τα κύρια ζητήματα που αντιμετωπίζουν οι οργανισμοί στην ανάπτυξη του IoT. Οι Sadeghi και συν. (2015) εξέτασαν τις προκλήσεις για την ασφάλεια και την προστασία της ιδιωτικής ζωής στο βιομηχανικό διαδίκτυο των πραγμάτων (IIoT) και την ευαισθησία του σε διάφορες κυβερνοεπιθέσεις (Sadeghi et al., 2015).



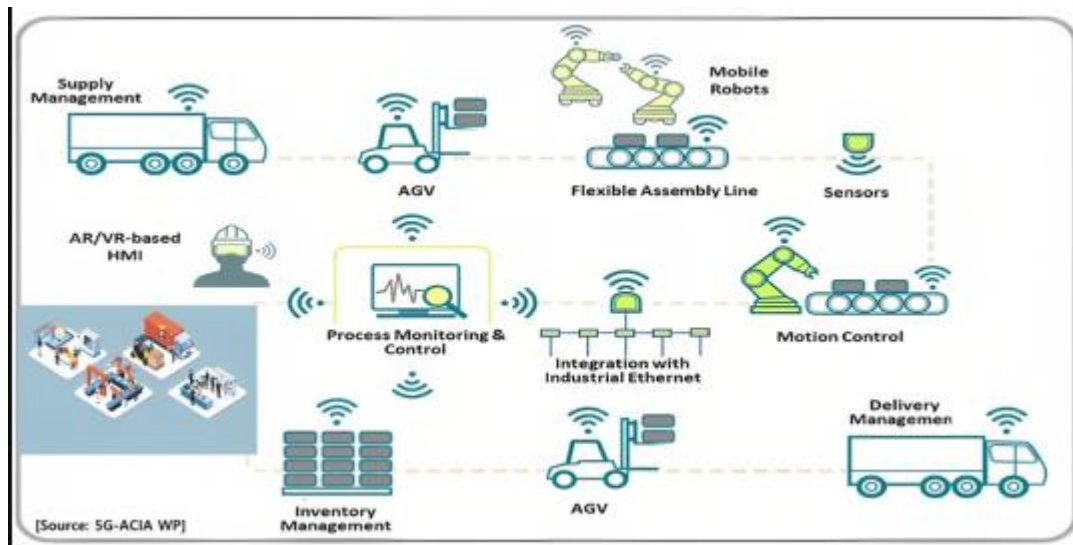
## 5. Επιχειρηματική στρατηγική του IoT σε έξυπνα εργοστάσια

Η βιομηχανία 4.0, που μερικές φορές αναφέρεται ως τέταρτη βιομηχανική επανάσταση, ενσωματώνει τα έξυπνα εργοστάσια ως κρίσιμο στοιχείο για τη βελτίωση της αποδοτικότητας στην κατασκευή εξαρτημάτων. Η βιομηχανία 4.0 ορίζεται από την ενσωμάτωση προηγμένων τεχνολογιών, όπως το Διαδίκτυο των πραγμάτων (IoT), η τεχνητή νοημοσύνη (AI) και η ρομποτική, στις βιομηχανικές διαδικασίες. Η ενσωμάτωση αυτή αποσκοπεί στη βελτίωση της παραγωγικότητας και της ευελιξίας. Ένα έξυπνο εργοστάσιο είναι μια εκτεταμένα αυτοματοποιημένη μονάδα παραγωγής στο πλαίσιο της βιομηχανίας 4.0 που χρησιμοποιεί τεχνολογίες αιχμής, συμπεριλαμβανομένης της τεχνητής νοημοσύνης (AI), του Διαδικτύου των πραγμάτων (IoT) και της ρομποτικής, για να βελτιώσει τις λειτουργίες του και να αυξήσει την αποδοτικότητα, την παραγωγικότητα και την ποιότητα. Τα έξυπνα εργοστάσια είναι βιομηχανικές εγκαταστάσεις που αξιοποιούν τις ψηφιακές τεχνολογίες για την ενίσχυση της λειτουργικής αποδοτικότητας και της παραγωγικότητας. Τα έξυπνα εργοστάσια είναι τεχνολογικά προηγμένες και διασυνδεδεμένες βιομηχανικές εγκαταστάσεις που αξιοποιούν το IoT, την τεχνητή νοημοσύνη και τη ρομποτική για τον εξορθολογισμό των διαδικασιών παραγωγής και τη βελτίωση της λειτουργικής αποδοτικότητας. Σε ένα έξυπνο εργοστάσιο Βιομηχανίας 4.0, τα μηχανήματα και ο εξοπλισμός είναι διασυνδεδεμένα και αλληλεπιδρούν μεταξύ τους και με ένα κεντρικό σύστημα ελέγχου. Αυτό επιτρέπει την παρακολούθηση, την ανάλυση και τη λήψη αποφάσεων σε πραγματικό χρόνο (Chen et al., 2018).

Οι κατασκευαστές μπορούν να το αξιοποιήσουν αυτό για να βελτιστοποιήσουν τις διαδικασίες τους, να μειώσουν τη ρύπανση του περιβάλλοντος και να ενισχύσουν την ικανότητά τους να προσαρμόζονται άμεσα στις μεταβαλλόμενες ανάγκες της αγοράς. Το IoT χρησιμοποιείται στα έξυπνα εργοστάσια για να διευκολύνει τον ψηφιακό μετασχηματισμό της μεταποίησης, επιτρέποντας στους οργανισμούς να λειτουργούν με μεγαλύτερη αποτελεσματικότητα, αποδοτικότητα και βιωσιμότητα. Τα έξυπνα εργοστάσια αποκτούν ολοένα και μεγαλύτερη δημοτικότητα και το Διαδίκτυο των Πραγμάτων (IoT) είναι μια κρίσιμη τεχνολογία που επιτρέπει την ύπαρξη αυτών των εργοστασίων (Wang et al., 2016).

## 5.1. Προβλεπτική συντήρηση

Η προληπτική συντήρηση είναι μια κρίσιμη εφαρμογή του IoT στα έξυπνα εργοστάσια της Βιομηχανίας 4.0. Διαδραματίζει σημαντικό ρόλο στη μείωση του μη προγραμματισμένου χρόνου διακοπής λειτουργίας κατά τη διαδικασία παραγωγής εξαρτημάτων. Η προγνωστική συντήρηση βελτιστοποιεί τον χρόνο λειτουργίας του εξοπλισμού και ενισχύει την παραγωγικότητα στην κατασκευή εξαρτημάτων, αξιοποιώντας δεδομένα και αναλύσεις για την εκτίμηση της διάρκειας επισκευής μηχανών και εξοπλισμού παραγωγής. Η διαδικασία αυτή μπορεί να αξιοποιηθεί για τον μετριασμό του χρόνου διακοπής λειτουργίας, την ελαχιστοποίηση των δαπανών συντήρησης και την παράταση της λειτουργικής διάρκειας του εξοπλισμού κατεργασίας και παραγωγής. Το Διαδίκτυο των Πραγμάτων (IoT) επιτρέπει την προληπτική συντήρηση, παρακολουθώντας συνεχώς την κατάσταση των μηχανημάτων και του εξοπλισμού, ανιχνεύοντας εκ των προτέρων πιθανές δυσλειτουργίες και προσφέροντας προγράμματα συντήρησης μέσω της τεχνολογίας IoT σε έξυπνες εγκαταστάσεις παραγωγής. Οι αισθητήρες του IoT έχουν τη δυνατότητα να συλλέγουν και να μεταδίδουν δεδομένα σχετικά με τα μηχανήματα και τον εξοπλισμό, όπως η θερμοκρασία, οι δονήσεις και η κατανάλωση ενέργειας κατά τη διάρκεια της διαδικασίας σχηματισμού τσιπ. Επιπλέον, η προσέγγιση αυτή μπορεί να αξιοποιηθεί για τη βελτιστοποίηση των προγραμμάτων συντήρησης και τη μείωση του χρόνου διακοπής λειτουργίας όσον αφορά την ενίσχυση της συντήρησης στη βιομηχανία 4.0 (Hawkins, 2021).



Εικόνα 5 IoT σε έξυπνο εργοστάσιο με βάση το 6G του συστήματος βιομηχανία 4.0 Πηγή: <https://link.springer.com/article/10.1007/s00521-022-07065-z>

Η βελτίωση της παραγωγικότητας στην κατασκευή εξαρτημάτων μπορεί να επιτευχθεί με την παρακολούθηση της απόδοσης και της υγείας του εξοπλισμού σε πραγματικό χρόνο με τη χρήση συσκευών IoT. Οι αισθητήρες του Διαδικτύου των Πραγμάτων (IoT) έχουν τη δυνατότητα να παρακολουθούν συνεχώς την κατάσταση των μηχανών σε πραγματικό χρόνο, επιτρέποντάς τους να κάνουν προβλέψεις για πιθανές βλάβες. Τα συστήματα αυτά αξιοποιούν δεδομένα από αισθητήρες και πολλές πηγές για να προβλέψουν την πιθανή εμφάνιση βλαβών μηχανών και εξοπλισμού, επιτρέποντας την προληπτική συντήρηση (Pech et al., 2021). Η προσέγγιση αυτή επιτρέπει στους κατασκευαστές να προγραμματίζουν προληπτικά τη συντήρηση πριν από μια βλάβη, με αποτέλεσμα τη μείωση του χρόνου διακοπής λειτουργίας και του κόστους παραγωγής εξαρτημάτων. Στη συνέχεια, τα δεδομένα εξετάζονται διεξοδικά για να διακριθούν επαναλαμβανόμενες τάσεις και αποκλίσεις, οι οποίες μπορούν στη συνέχεια να αξιοποιηθούν για την πρόβλεψη και τη διοργάνωση της συντήρησης, όπως απαιτείται. Επιπλέον, οι συσκευές του Διαδικτύου των Πραγμάτων (IoT) έχουν τη δυνατότητα να εξορθολογίζουν τις λειτουργίες με την αυτοματοποίηση εργασιών όπως ο χειρισμός υλικών και η συναρμολόγηση προϊόντων (Namjoshi & Rawat, 2022). Η διαδικασία αυτή έχει τη δυνατότητα να ελαχιστοποιήσει την απαίτηση για ανθρώπινη συμμετοχή και να ενισχύσει την αποδοτικότητα, μειώνοντας την πιθανότητα ανθρώπινων λαθών στη συναρμολόγηση προϊόντων και το χειρισμό υλικών. Συνοψίζοντας, η εφαρμογή του IoT στα έξυπνα εργοστάσια φέρνει επανάσταση στον

τομέα της μεταποίησης διευκολύνοντας την προληπτική συντήρηση και παρέχοντας παρακολούθηση της παραγωγικής διαδικασίας σε πραγματικό χρόνο. Κατά συνέπεια, αυτό έχει ως αποτέλεσμα την αυξημένη αποτελεσματικότητα, την ελαχιστοποίηση των περιόδων αδράνειας και τη βελτίωση του επιπέδου των αγαθών, προωθώντας τελικά την επέκταση και το οικονομικό κέρδος (Namjoshi & Rawat, 2022).

## 5.2. Εντοπισμός περιουσιακών στοιχείων

Το Διαδίκτυο των Πραγμάτων (IoT) μπορεί να χρησιμοποιηθεί στα έξυπνα εργοστάσια της Βιομηχανίας 4.0 για την παρακολούθηση των περιουσιακών στοιχείων. Αυτό περιλαμβάνει τη χρήση αισθητήρων και άλλων συσκευών IoT για την παρακολούθηση της θέσης και της κατάστασης των περιουσιακών στοιχείων, όπως μηχανήματα, εργαλεία και πρώτες ύλες, σε πραγματικό χρόνο κατά τη διάρκεια της κατασκευής εξαρτημάτων (Shan et al., 2020). Η παρακολούθηση των περιουσιακών στοιχείων στα έξυπνα εργοστάσια μπορεί να επιτευχθεί μέσω της χρήσης συσκευών IoT, με αποτέλεσμα τη βελτιστοποίηση των ροών εργασίας παραγωγής, τη μείωση του χρόνου διακοπής λειτουργίας και την επέκταση της διάρκειας ζωής των περιουσιακών στοιχείων. Η παρακολούθηση των περιουσιακών στοιχείων μπορεί να αξιοποιηθεί για τη βελτιστοποίηση των λειτουργιών της αλυσίδας εφοδιασμού και της παραγωγής στα έξυπνα εργοστάσια, προσφέροντας ακριβή, επικαιροποιημένα δεδομένα σχετικά με την τοποθεσία και την κατάσταση των περιουσιακών στοιχείων. Οι κατασκευαστές μπορούν να χρησιμοποιούν αισθητήρες και συσκευές IoT για την ενεργή παρακολούθηση και παρακολούθηση περιουσιακών στοιχείων, όπως μηχανές, εξοπλισμός και εργαλεία, σε πραγματικό χρόνο (Elahi & Tokaldany, 2021).

Η τεχνική αυτή τους επιτρέπει να βελτιώσουν την κατανόηση των λειτουργιών τους και να ενισχύσουν την αποτελεσματικότητα και την κερδοφορία των κατασκευαστικών τμημάτων. Η παρακολούθηση περιουσιακών στοιχείων με τη χρήση του IoT χρησιμοποιεί συνήθως ασύρματους αισθητήρες που μπορούν να τοποθετηθούν σε περιουσιακά στοιχεία και να μεταδώσουν δεδομένα σχετικά με τη θέση, την κατάσταση και την κατάστασή τους σε ένα κεντρικό αποθετήριο δεδομένων [83]. Τα συστήματα εντοπισμού περιουσιακών στοιχείων με δυνατότητα IoT χρησιμοποιούν αισθητήρες και ετικέτες RFID για τη συλλογή δεδομένων σχετικά με την τοποθεσία, την κατάσταση και την κινητικότητα των περιουσιακών στοιχείων. Τα

δεδομένα αποστέλλονται σε ένα κεντρικό σύστημα για ανάλυση και αξιολόγηση με τη χρήση τεχνολογιών τεχνητής νοημοσύνης. Στη συνέχεια, τα εξεταζόμενα δεδομένα μπορούν να χρησιμοποιηθούν για να προσφέρουν βαθιά κατανόηση της απόδοσης και της χρήσης των περιουσιακών στοιχείων, ακριβή δεδομένα σχετικά με την αποτελεσματικότητα των διαδικασιών παραγωγής και να εντοπίσουν τυχόν απαιτήσεις για συντήρηση ή επισκευή των μηχανημάτων (Diez-Olivan et al., 2019).

Οι κατασκευαστές μπορούν να βελτιώσουν τις παραγωγικές τους διαδικασίες και να αποτρέψουν τις διακοπές λειτουργίας, εντοπίζοντας άμεσα τα σημεία συμφόρησης και βελτιστοποιώντας τις λειτουργίες με τη χρήση δεδομένων σε πραγματικό χρόνο, βελτιώνοντας έτσι τη συνολική αποδοτικότητα. Οι κατασκευαστές μπορούν να χρησιμοποιούν αισθητήρες IoT για να παρακολουθούν την αποτελεσματικότητα των μηχανημάτων και του εξοπλισμού τους και να εντοπίζουν περιοχές που απαιτούν αντικατάσταση κατά τη διάρκεια της διαδικασίας παραγωγής εξαρτημάτων. Η παρακολούθηση των περιουσιακών στοιχείων μπορεί να αξιοποιηθεί για να διασφαλιστεί η διαθεσιμότητα των εργαλείων και του εξοπλισμού, ελαχιστοποιώντας έτσι τις καθυστερήσεις και βελτιώνοντας την αποτελεσματικότητα στην κατασκευή εξαρτημάτων (Matthyssens, 2019).

Ένα άλλο σημαντικό πλεονέκτημα της παρακολούθησης περιουσιακών στοιχείων με χρήση IoT είναι η ικανότητά της να προσφέρει ακριβείς κατευθυντήριες γραμμές για τους κατασκευαστές, ώστε να διασφαλίζεται η συμμόρφωση με κανόνες και πρότυπα κατά τη διαδικασία παραγωγής εξαρτημάτων. Σε βιομηχανίες που απαιτούν υψηλό επίπεδο φροντίδας, όπως τα τρόφιμα και τα φαρμακευτικά προϊόντα, είναι ζωτικής σημασίας η παρακολούθηση της θέσης και της κατάστασης των αντικειμένων και των προμηθειών, ώστε να διασφαλίζεται η ασφάλεια και η ποιότητά τους. Οι συσκευές Internet of Things (IoT) έχουν τη δυνατότητα να παρακολουθούν και να αναφέρουν σε πραγματικό χρόνο τη θέση και την κατάσταση του εξοπλισμού και των προμηθειών. Οι διαχειριστές μπορούν να αξιοποιήσουν αυτό το χαρακτηριστικό για να μεγιστοποιήσουν τη χρήση του εξοπλισμού, να ελαχιστοποιήσουν τις περιόδους αδράνειας και να βελτιώσουν τα χρονοδιαγράμματα συντήρησης. Η εφαρμογή συστημάτων εντοπισμού περιουσιακών στοιχείων σε έξυπνα εργοστάσια μπορεί να βοηθήσει τους κατασκευαστές στην αποτελεσματική διαχείριση των αποθεμάτων και στη βελτίωση της περιβαλλοντικής βιωσιμότητας της παραγωγής εξαρτημάτων (Shahin et al., 2020). Οι κατασκευαστές μπορούν να

βελτιώσουν την αποδοτικότητα της παραγωγής τους και να μειώσουν τη ρύπανση του περιβάλλοντος παρακολουθώντας στενά τη μεταφορά των πρώτων υλών και των τελικών εξαρτημάτων. Αυτό τους επιτρέπει να εντοπίσουν συγκεκριμένες περιοχές όπου η ρύπανση μπορεί να ελαχιστοποιηθεί και να βελτιστοποιήσουν τα συστήματα διαχείρισης αποθεμάτων τους. Η τεχνική αυτή όχι μόνο μειώνει τα έξοδα που σχετίζονται με την παραγωγή εξαρτημάτων, αλλά ενισχύει επίσης τη βιωσιμότητα των κατασκευαστικών δραστηριοτήτων [89]. Ο εντοπισμός περιουσιακών στοιχείων με δυνατότητα IoT είναι μια κρίσιμη εφαρμογή του IoT στα έξυπνα εργοστάσια για τη βελτιστοποίηση της διαδικασίας της εφοδιαστικής αλυσίδας (Biard & Nour, 2021).

### 5.3. Διαχείριση αποθεμάτων

Οι αισθητήρες με δυνατότητα IoT μπορούν να παρακολουθούν τα επίπεδα αποθεμάτων σε πραγματικό χρόνο, ώστε να παρέχουν στους κατασκευαστές ακριβή δεδομένα σχετικά με τα επίπεδα αποθεμάτων και να τους επιτρέπουν να βελτιστοποιούν τις διαδικασίες παραγωγής τους και να μειώνουν τη ρύπανση του περιβάλλοντος από την παραγωγή εξαρτημάτων στη βιομηχανία 4.0. Τα έξυπνα εργοστάσια χρησιμοποιούν συσκευές IoT για να αυτοματοποιήσουν και να βελτιστοποιήσουν τις διαδικασίες διαχείρισης αποθεμάτων, μειώνοντας το κόστος παραγωγής, αυξάνοντας την αποδοτικότητα και βελτιώνοντας την ακρίβεια των παραγόμενων εξαρτημάτων (Mashayekhy et al., 2022). Αυτοί είναι ορισμένοι τρόποι με τους οποίους το IoT χρησιμοποιείται στη διαχείριση αποθεμάτων των έξυπνων εργοστασίων:

- Παρακολούθηση σε πραγματικό χρόνο: Η παρακολούθηση αποθεμάτων σε πραγματικό χρόνο είναι δυνατή με τη χρήση αισθητήρων IoT και ετικετών RFID, οι οποίες μπορούν να παρέχουν ακριβή και τρέχοντα δεδομένα σχετικά με τα επίπεδα αποθεμάτων, τις θέσεις και τις κινήσεις.
- Αυτοματοποιημένη αναπλήρωση: Οι συσκευές IoT μπορούν να χρησιμοποιηθούν για την αυτόματη αναπαραγγελία αποθεμάτων όταν τα επίπεδα αποθεμάτων πέφτουν κάτω από ένα ορισμένο όριο, μειώνοντας την ανάγκη για χειροκίνητη παρέμβαση και εξασφαλίζοντας ότι τα επίπεδα αποθεμάτων είναι πάντα βέλτιστα.

- Πρόβλεψη ζήτησης: Οι αισθητήρες IoT και η ανάλυση δεδομένων μπορούν να χρησιμοποιηθούν για την ανάλυση ιστορικών δεδομένων και την πρόβλεψη της μελλοντικής ζήτησης, βοηθώντας τα εργοστάσια να βελτιστοποιήσουν τα επίπεδα αποθεμάτων τους και να μειώσουν τη σπατάλη (Mostafa et al., 2020).

Συνολικά, η τεχνολογία IoT βοηθά τα έξυπνα εργοστάσια στο πλαίσιο της Βιομηχανίας 4.0 να βελτιστοποιήσουν τις διαδικασίες διαχείρισης αποθεμάτων τους και να βελτιώσουν την αποτελεσματικότητα, την ακρίβεια και τη σχέση κόστους-αποτελεσματικότητας (Mostafa et al., 2020).

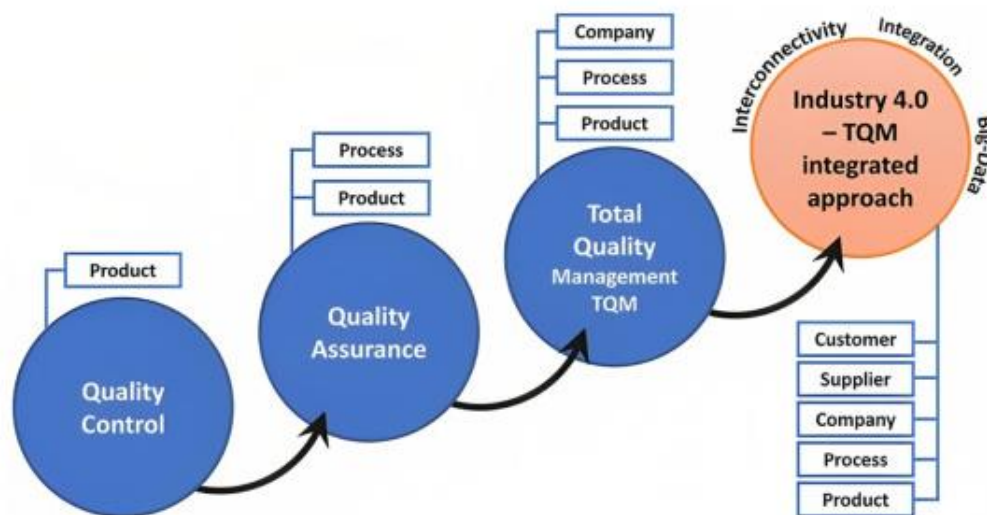
#### 5.4. Ποιοτικός έλεγχος

Το IoT στα έξυπνα εργοστάσια παρέχει ένα ισχυρό εργαλείο για τον ποιοτικό έλεγχο των παραγόμενων εξαρτημάτων στη βιομηχανία 4.0. Οι αισθητήρες IoT μπορούν να ανιχνεύουν τα ελαττώματα σε πραγματικό χρόνο, ώστε να παρέχουν ακριβή ημερομηνία για τον γρήγορο εντοπισμό και τη διόρθωση τυχόν προβλημάτων και τη μείωση του κινδύνου εισόδου ελαττωματικών προϊόντων στην αγορά. Οι αισθητήρες IoT είναι σε θέση να παρακολουθούν τα προϊόντα καθώς κινούνται κατά τη διάρκεια της παραγωγικής διαδικασίας, εντοπίζοντας τυχόν ελαττώματα ή διαφοροποιήσεις στην ποιότητα (Zaidin et al., 2018). Η διαδικασία μπορεί να εφαρμοστεί προκειμένου να διασφαλιστεί ότι κάθε προϊόν πληροί τα απαιτούμενα πρότυπα παραγωγής εξαρτημάτων. Με την ενσωμάτωση αισθητήρων, συσκευών και μηχανών σε ένα δίκτυο, το IoT μπορεί να συλλέγει και να αναλύει δεδομένα σε πραγματικό χρόνο, προκειμένου να παρέχει πληροφορίες σχετικά με τη διαδικασία παραγωγής και να εντοπίζει πιθανά ζητήματα ποιότητας των παραγόμενων εξαρτημάτων όσον αφορά τα πρότυπα παραγωγής εξαρτημάτων. Ακολουθούν ορισμένοι τρόποι με τους οποίους το IoT μπορεί να χρησιμοποιηθεί για τον έλεγχο της ποιότητας στα έξυπνα εργοστάσια (Lee et al., 2019) :

- Προληπτική συντήρηση: Οι αισθητήρες IoT μπορούν να χρησιμοποιηθούν για την παρακολούθηση της υγείας των μηχανών και του εξοπλισμού σε πραγματικό χρόνο. Τα δεδομένα αυτά μπορούν να αναλυθούν για να προβλεφθεί πότε απαιτείται συντήρηση, γεγονός που μπορεί να βοηθήσει στην

πρόληψη των διακοπών λειτουργίας και στη βελτίωση της ποιότητας των προϊόντων.

- Παρακολούθηση σε πραγματικό χρόνο: Οι αισθητήρες IoT μπορούν να παρακολουθούν διάφορους παράγοντες, όπως η θερμοκρασία, η υγρασία, η πίεση και οι δονήσεις, ώστε να εντοπίζουν τυχόν ανωμαλίες ή αποκλίσεις από το κανονικό εύρος. Οποιοσδήποτε αλλαγές μπορούν να επισημανθούν αμέσως και να ληφθούν διορθωτικά μέτρα για την πρόληψη ελαττωμάτων ή ζητημάτων ποιότητας.
- Δοκιμές ποιότητας: Οι συσκευές IoT μπορούν να αξιοποιηθούν για την εκτέλεση δοκιμών ποιότητας σε πραγματικό χρόνο. Για παράδειγμα, οι αισθητήρες μπορούν να χρησιμοποιηθούν για τον έλεγχο του βάρους ή των διαστάσεων των προϊόντων ή για τον εντοπισμό τυχόν ελαττωμάτων ή ανωμαλιών.
- Ιχνηλασιμότητα: Το IoT μπορεί να χρησιμεύσει για την παρακολούθηση των προϊόντων καθ' όλη τη διάρκεια της παραγωγικής διαδικασίας, παρέχοντας ένα λεπτομερές ιστορικό για κάθε αντικείμενο. Οι πληροφορίες αυτές μπορούν να χρησιμοποιηθούν για τον εντοπισμό τυχόν προβλημάτων ποιότητας και την ανίχνευσή τους στην πηγή τους (Lee et al., 2019).



Εικόνα 6 Πλαίσιο διαχείρισης ολικής ποιότητας στη βιομηχανία 4.0 Πηγή:  
<https://pp.bme.hu/so/article/view/12675>

Συνολικά, η εφαρμογή του IoT στα έξυπνα εργοστάσια βελτιώνει την ποιότητα των προϊόντων, καθώς παρέχει πληροφορίες σε πραγματικό χρόνο για τη διαδικασία



παραγωγής, ώστε οι διευθυντές των εργοστασίων να μπορούν να αναλύουν και να εξετάζουν διορθωτικές ενέργειες για την αξιολόγηση της ποιότητας και την τροποποίηση των παραγόμενων εξαρτημάτων (Lee et al., 2019).

### 5.5. Παρακολούθηση της διαδικασίας παραγωγής

Η παρακολούθηση της παραγωγικής διαδικασίας με τη χρήση της τεχνολογίας IoT αποτελεί βασική πτυχή της λειτουργίας ενός έξυπνου εργοστασίου. Βελτιώνει σημαντικά την ποιότητα των παραγόμενων εξαρτημάτων. Τα εργοστάσια μπορούν να βελτιώσουν την αποδοτικότητα και την κερδοφορία της κατασκευής εξαρτημάτων χρησιμοποιώντας δεδομένα από συνδεδεμένες συσκευές και αισθητήρες για τη βελτιστοποίηση των διαδικασιών παραγωγής, την ελαχιστοποίηση του χρόνου διακοπής λειτουργίας και τη βελτίωση της ποιότητας των προϊόντων. Η παρακολούθηση της διαδικασίας παραγωγής στα έξυπνα εργοστάσια συνεπάγεται τη συλλογή δεδομένων από αισθητήρες και συσκευές του Διαδικτύου των Πραγμάτων (IoT) που τοποθετούνται σε γραμμές παραγωγής και εξοπλισμό (Wollschlaeger et al., 2017). Τα παρεχόμενα δεδομένα μπορούν να αξιοποιηθούν για την παρακολούθηση και τη μέτρηση σημαντικών μετρικών επιδόσεων, γνωστών ως βασικών δεικτών επιδόσεων (KPI), συμπεριλαμβανομένων της παραγωγής, της χρήσης των μηχανών και της ποιότητας των προϊόντων. Μέσω της παρακολούθησης σε πραγματικό χρόνο αυτών των βασικών δεικτών επιδόσεων (KPI), οι διευθυντές των εργοστασίων μπορούν να εντοπίζουν αμέσως τις συμφορήσεις, τις ανεπάρκειες και άλλα προβλήματα που θα μπορούσαν να επηρεάσουν τη διαδικασία παραγωγής. Η παραγωγική διαδικασία μπορεί να παρακολουθείται και να ελέγχεται με τη χρήση συσκευών και αισθητήρων με δυνατότητα IoT, οι οποίοι μπορούν να επιβλέπουν τις γραμμές παραγωγής, τα μηχανήματα, τον εξοπλισμό και τα αποθέματα. Για παράδειγμα, οι αισθητήρες μπορούν να χρησιμοποιηθούν για την παρακολούθηση της θερμοκρασίας, της υγρασίας και άλλων περιβαλλοντικών παραμέτρων εντός του εργοστασίου, διασφαλίζοντας ότι τα αντικείμενα κατασκευάζονται υπό ιδανικές συνθήκες (Molano et al., 2017).

Μπορούν επίσης να αξιοποιηθούν για την παρακολούθηση της αποδοτικότητας των μηχανημάτων και του εξοπλισμού μέσω της επιγραμμικής παρακολούθησης της κατάστασης της διαδικασίας παραγωγής εξαρτημάτων. Μέσω

της δημιουργίας συνδέσεων μεταξύ συσκευών, αισθητήρων και μηχανημάτων, μπορούν να συλλέγονται δεδομένα σε πραγματικό χρόνο, οδηγώντας σε μια πιο αποτελεσματική και αποδοτική διαδικασία παραγωγής (Molano et al., 2017). Μια άλλη περίπτωση παρακολούθησης της παραγωγικής διαδικασίας αφορά τη βελτιστοποίηση της αλυσίδας εφοδιασμού κατά την κατασκευή εξαρτημάτων. Οι αισθητήρες IoT μπορούν να αξιοποιηθούν για την παρακολούθηση των αποθεμάτων και την παρακολούθηση της αλυσίδας εφοδιασμού, ειδικά για τη βελτιστοποίηση της διαδικασίας παραγωγής εξαρτημάτων. Επιπλέον, οι αισθητήρες του Διαδικτύου των Πραγμάτων (IoT) μπορούν να αξιοποιηθούν για την παρακολούθηση και τον εντοπισμό της ροής των πρώτων υλών και των τελικών προϊόντων στο σύνολο της αλυσίδας παραγωγής και εφοδιασμού. Αυτό επιτρέπει την άμεση πρόσβαση σε πληροφορίες σχετικά με τα επίπεδα αποθεμάτων, τα χρονοδιαγράμματα αποστολών και άλλα ζωτικής σημασίας δεδομένα. Η προσέγγιση αυτή μπορεί να χρησιμοποιηθεί για τη βελτιστοποίηση της αλυσίδας εφοδιασμού και τη μείωση των δαπανών απογραφής με τη βελτίωση της παραγωγικότητας της κατασκευής εξαρτημάτων. Γενικά, το Διαδίκτυο των πραγμάτων (IoT) μπορεί να βοηθήσει τους κατασκευαστές στη συνεχή παρακολούθηση και βελτίωση της παραγωγικής διαδικασίας σε πραγματικό χρόνο, με αποτέλεσμα την αύξηση της αποδοτικότητας, τον βελτιωμένο ποιοτικό έλεγχο και τη μείωση του κόστους (Bersani et al., 2022)

## 5.6. Ενεργειακή απόδοση

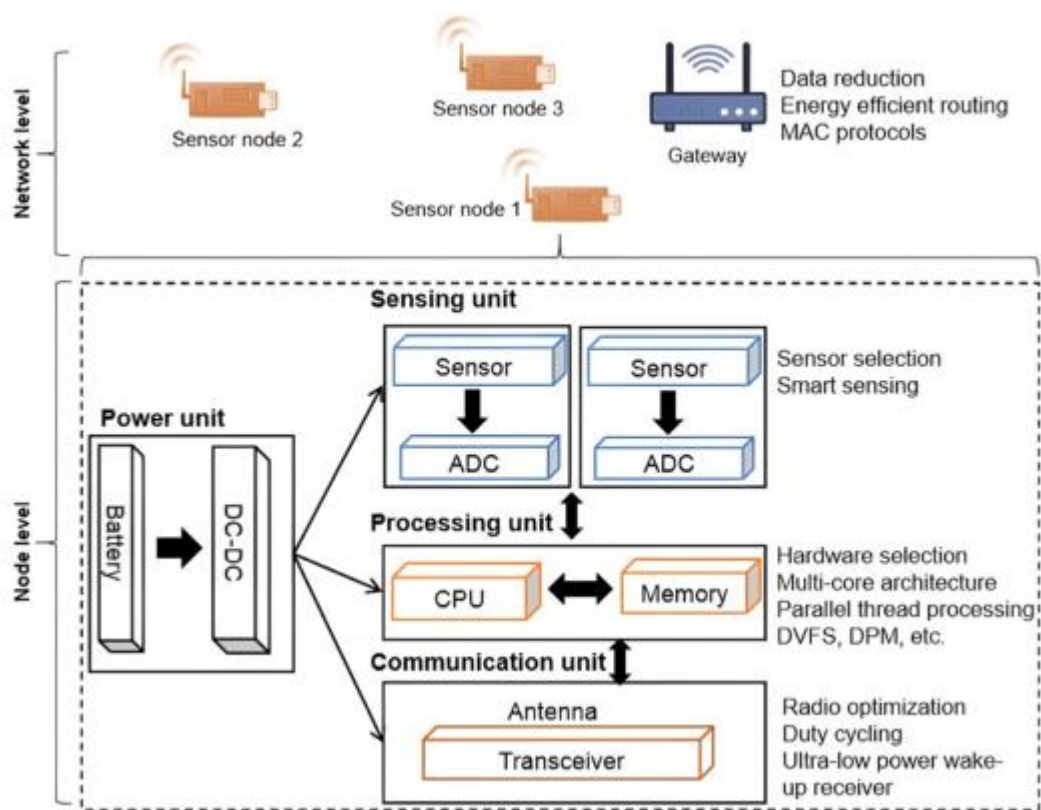
Οι συσκευές IoT είναι σε θέση να παρακολουθούν τη χρήση ενέργειας σε όλο το εργοστάσιο και να εντοπίζουν περιοχές στις οποίες μπορεί να βελτιωθεί η ενεργειακή απόδοση. Αυτό μπορεί να συμβάλει στη μείωση του κόστους και στη μείωση του αποτυπώματος άνθρακα του εργοστασίου. Οι συσκευές IoT μπορούν να ελέγχουν την κατανάλωση ενέργειας σε πραγματικό χρόνο και να εντοπίζουν περιοχές όπου μπορεί να βελτιστοποιηθεί η χρήση ενέργειας στην κατασκευή εξαρτημάτων. Η διαδικασία μπορεί να εφαρμοστεί για τη μείωση του ενεργειακού κόστους και τη βελτίωση της βιωσιμότητας στην παραγωγή εξαρτημάτων. Με τη χρήση της τεχνολογίας IoT, τα έξυπνα εργοστάσια μπορούν να παρακολουθούν και να βελτιστοποιούν την κατανάλωση ενέργειας σε πραγματικό χρόνο, με αποτέλεσμα σημαντική εξοικονόμηση ενέργειας και μείωση του κόστους (Kumar et al., 2018). Ακολουθούν

μερικοί τρόποι με τους οποίους το IoT μπορεί να συμβάλει στη βελτίωση της ενεργειακής απόδοσης στα έξυπνα εργοστάσια:

- Παρακολούθηση της ενέργειας: Οι αισθητήρες IoT μπορούν να αξιοποιηθούν για την παρακολούθηση της χρήσης ενέργειας σε πραγματικό χρόνο σε διάφορους τομείς του εργοστασίου, από τις γραμμές παραγωγής έως τα συστήματα φωτισμού και θέρμανσης. Τα δεδομένα αυτά μπορούν στη συνέχεια να αναλυθούν για τον εντοπισμό περιοχών αναποτελεσματικότητας και ευκαιριών βελτιστοποίησης.
- Αυτοματοποιημένα συστήματα ελέγχου: Οι συσκευές IoT μπορούν να χρησιμεύσουν για την αυτοματοποίηση της χρήσης ενέργειας σε διάφορα συστήματα του εργοστασίου. Για παράδειγμα, τα συστήματα φωτισμού και θέρμανσης μπορούν να ρυθμίζονται αυτόματα με βάση τα επίπεδα πληρότητας ή τη θερμοκρασία περιβάλλοντος
- Ενσωμάτωση ανανεώσιμων πηγών ενέργειας: Η τεχνολογία IoT μπορεί να βοηθήσει τα έξυπνα εργοστάσια να ενσωματώσουν ανανεώσιμες πηγές ενέργειας, όπως ηλιακή ή αιολική ενέργεια, προκειμένου να παρέχουν βιώσιμη παραγωγική διαδικασία. Επίσης, Η διαδικασία μπορεί να βοηθήσει στη μείωση της εξάρτησης από τα ορυκτά καύσιμα και στη μείωση του ενεργειακού κόστους όσον αφορά τη διαχείριση της κατανάλωσης ενέργειας της παραγωγικής διαδικασίας.
- Έξυπνος φωτισμός: Οι συσκευές IoT μπορούν να χρησιμεύσουν για τον έλεγχο του φωτισμού στα εργοστάσια. Αυτό μπορεί να συμπεριλάβει την αυτόματη απενεργοποίηση των φώτων σε μη κατειλημμένους χώρους, τη μείωση της φωτεινότητας με βάση την ποσότητα του φυσικού φωτός σε ένα δωμάτιο ή την προσαρμογή του φωτισμού ώστε να ταιριάζει με τις εργασίες που εκτελούνται σε μια συγκεκριμένη περιοχή.
- Ενεργειακά αποδοτικό HVAC: Οι συσκευές IoT μπορούν να αξιοποιηθούν για την παρακολούθηση και τη βελτιστοποίηση των συστημάτων θέρμανσης, εξαερισμού και κλιματισμού (HVAC). Αυτό μπορεί να περιλαμβάνει την προσαρμογή της θερμοκρασίας με βάση την πληρότητα ή τις εξωτερικές καιρικές συνθήκες ή τη χρήση αισθητήρων για την ανίχνευση του πότε ένας χώρος δεν είναι κατειλημμένος και την ανάλογη μείωση της χρήσης HVAC.

- Αποθήκευση ενέργειας: Οι συσκευές IoT μπορούν να χρησιμοποιηθούν για τη διαχείριση συστημάτων αποθήκευσης ενέργειας. Αυτό μπορεί να περιλαμβάνει τη φόρτιση των μπαταριών κατά τις ώρες εκτός αιχμής, όταν η ενέργεια είναι φθηνότερη, και τη χρήση της αποθηκευμένης ενέργειας κατά τις ώρες αιχμής, όταν η ενέργεια είναι ακριβότερη (Kumar et al., 2018).

Συνολικά, η τεχνολογία IoT έχει τη δυνατότητα να μετασχηματίσει την ενεργειακή απόδοση στα έξυπνα εργοστάσια, με αποτέλεσμα σημαντική εξοικονόμηση ενέργειας, μείωση του κόστους και περιβαλλοντικά οφέλη. Αξιοποιώντας την τεχνολογία IoT στα έξυπνα εργοστάσια, οι κατασκευαστές μπορούν να βελτιστοποιήσουν τη χρήση ενέργειας, να μειώσουν το κόστος και να ελαχιστοποιήσουν τις περιβαλλοντικές επιπτώσεις τους (M et al., 2021).



Εικόνα 7 Τεχνικές εξοικονόμησης ενέργειας σε ασύρματα δίκτυα αισθητήρων για έξυπνα εργοστάσια στη βιομηχανία 4.0 Πηγή: <https://www.mdpi.com/2079-9292/10/23/2929>

## 5.7. Παρακολούθηση της ασφάλειας

Η χρήση των συσκευών IoT επιτρέπει την παρακολούθηση της ασφάλειας του προσωπικού, εγγυάται την τήρηση των κανονισμών ασφαλείας και τον άμεσο εντοπισμό και την επίλυση κάθε πιθανής απειλής. Ένα παράδειγμα παρακολούθησης της παραγωγικής διαδικασίας που αξιοποιεί το Διαδίκτυο των Πραγμάτων (IoT) είναι η εφαρμογή της προληπτικής συντήρησης για τα μηχανήματα και τον εξοπλισμό παραγωγής. Η συλλογή δεδομένων από αισθητήρες σε μηχανήματα και εξοπλισμό επιτρέπει τον εντοπισμό δεικτών φθοράς ή άλλων προβλημάτων που μπορεί να υποδηλώνουν επικείμενη βλάβη στη διαδικασία παραγωγής εξαρτημάτων (Ahmadi et al., 2023). Η εφαρμογή μιας μεθόδου παρακολούθησης της ασφάλειας μπορεί να βοηθήσει τους διευθυντές των εργοστασίων να καταρτίσουν ακριβή χρονοδιαγράμματα συντήρησης, ελαχιστοποιώντας έτσι τον χρόνο διακοπής λειτουργίας και αποτρέποντας δαπανηρές καθυστερήσεις στην παραγωγή. Παρακάτω παρουσιάζονται πολλές μέθοδοι με τις οποίες το Διαδίκτυο των πραγμάτων (IoT) μπορεί να βελτιώσει την παρακολούθηση της ασφάλειας στην ευφυή παραγωγή, όπως περιγράφεται από τους Ahmadi και συν. (2023):

- Παρακολούθηση σε πραγματικό χρόνο: Οι αισθητήρες του Διαδικτύου των Πραγμάτων (IoT) έχουν τη δυνατότητα να παρακολουθούν και να παρακολουθούν συνεχώς διάφορες μεταβλητές της παραγωγής, όπως η θερμοκρασία, η υγρασία και τα επίπεδα αερίων. Τα δεδομένα μπορούν να αναλυθούν άμεσα για τον εντοπισμό πιθανών κινδύνων και την ειδοποίηση του προσωπικού πριν από ένα συμβάν.
- Προληπτική συντήρηση: Το Διαδίκτυο των πραγμάτων (IoT) μπορεί να αξιοποιηθεί για την πρόβλεψη της εμφάνισης βλάβης του εξοπλισμού, επιτρέποντας τη λήψη προληπτικών μέτρων συντήρησης προκειμένου να αποφευχθούν ατυχήματα που προκύπτουν από ελαττωματικά μηχανήματα.
- Αυτοματοποιημένες ειδοποιήσεις: Το IoT έχει τη δυνατότητα να παράγει αυτοματοποιημένες ειδοποιήσεις όταν ανιχνεύει επιβλαβείς συνθήκες, όπως αυξημένες ποσότητες δηλητηριωδών αερίων ή υπερβολικές θερμοκρασιακές εξάρσεις.
- Φορητές συσκευές: Οι φορητές συσκευές με δυνατότητα IoT μπορούν να παρακολουθούν τα ζωτικά σημεία των εργαζομένων και να ειδοποιούν τους

διευθυντές όταν ένας εργαζόμενος βρίσκεται υπό πίεση ή εξάντληση. Αυτό συμβάλλει στην ελαχιστοποίηση της εμφάνισης ατυχημάτων που οφείλονται σε ανθρώπινα λάθη.

- Αναλυτικά στοιχεία ασφάλειας: Τα δεδομένα που παράγονται από το IoT μπορούν να αναλυθούν για την αποκάλυψη μοτίβων και τάσεων που θα μπορούσαν να βοηθήσουν τους διευθυντές των εργοστασίων να βελτιώσουν τα μέτρα ασφαλείας και να αποτρέψουν μελλοντικά ατυχήματα.

Συνοψίζοντας, η τεχνολογία IoT έχει τη δυνατότητα να βελτιώσει την παρακολούθηση της ασφάλειας στα έξυπνα εργοστάσια μέσω της παροχής δεδομένων σε πραγματικό χρόνο και προγνωστικών αναλύσεων. Αυτό επιτρέπει την προληπτική συντήρηση και προειδοποιεί τους εργαζόμενους για πιθανούς κινδύνους. (Ahmadi et al., 2023).

## 5.8. Βελτιστοποίηση της αλυσίδας εφοδιασμού

Το Διαδίκτυο των πραγμάτων (IoT) έχει τη δυνατότητα να μεταμορφώσει τη διαχείριση της αλυσίδας εφοδιασμού και τη βελτιστοποίηση σε έξυπνα εργοστάσια, οδηγώντας σε αυξημένη παραγωγικότητα στην κατασκευή εξαρτημάτων. Το Διαδίκτυο των πραγμάτων (IoT) μπορεί να αξιοποιηθεί σε έξυπνα συστήματα με την εφαρμογή ετικετών αναγνώρισης ραδιοσυχνότητας (RFID) για τη συλλογή ακριβών δεδομένων από διάφορα εξαρτήματα και προϊόντα. Αυτές οι ετικέτες μπορούν να τοποθετηθούν σε αντικείμενα ή υλικά και η κίνησή τους μπορεί να παρακολουθείται σε πραγματικό χρόνο. Η προσέγγιση αυτή επιτρέπει στους διαχειριστές της αλυσίδας εφοδιασμού να παρακολουθούν την τοποθεσία και την κατάσταση των εμπορευμάτων τους, επιτρέποντάς τους να βελτιστοποιούν τα επίπεδα αποθεμάτων και να εγγυώνται την άμεση παράδοση των προϊόντων. Μια πρόσθετη απεικόνιση αφορά τη χρήση της προληπτικής συντήρησης (Barari et al., 2021).

Το Διαδίκτυο των Πραγμάτων (IoT) μπορεί επίσης να χρησιμοποιηθεί για τη βελτίωση της αποτελεσματικότητας της μεταφοράς αντικειμένων στην αλυσίδα εφοδιασμού. Έχει τη δυνατότητα παρακολούθησης των αποστολών σε πραγματικό χρόνο, προσφέροντας στους κατασκευαστές ακριβή δεδομένα σχετικά με την τοποθεσία και την κατάσταση των αντικειμένων τους. Χρησιμοποιώντας την

παρακολούθηση GPS και την ανάλυση δεδομένων σε πραγματικό χρόνο, οι διαχειριστές logistics μπορούν να βελτιώσουν την αποτελεσματικότητα των διαδρομών παράδοσης, να μειώσουν τα έξοδα μεταφοράς και να βελτιώσουν την έγκαιρη παράδοση. Η εφαρμογή μιας διαδικασίας μπορεί να βοηθήσει τους κατασκευαστές να βελτιστοποιήσουν την αλυσίδα εφοδιασμού τους και να ελαχιστοποιήσουν τις καθυστερήσεις, ενισχύοντας έτσι την παραγωγικότητα και την ικανοποίηση των πελατών στην παραγωγή εξαρτημάτων. Οι συσκευές του Διαδικτύου των Πραγμάτων (IoT) έχουν τη δυνατότητα να παρακολουθούν και να παρακολουθούν τη ροή των υλικών και των προϊόντων σε κάθε στάδιο της εφοδιαστικής αλυσίδας. Οι διαχειριστές μπορούν να βελτιώσουν την αποτελεσματικότητα των logistics, να ελαχιστοποιήσουν τα έξοδα αποθεμάτων και να ενισχύσουν την ταχύτητα παράδοσης (Barari et al., 2021). Οι συσκευές του Διαδικτύου των Πραγμάτων (IoT) μπορούν να προσφέρουν ενημερωμένες πληροφορίες σχετικά με την τοποθεσία και την κατάσταση των πρώτων υλών και των τελικών προϊόντων. Αυτό επιτρέπει στους κατασκευαστές να εξορθολογίζουν τις διαδικασίες της αλυσίδας εφοδιασμού τους και να ενισχύουν τη συνολική αποτελεσματικότητα της παραγωγής. Συνοπτικά, το Διαδίκτυο των πραγμάτων (IoT) παρέχει πολυάριθμα πλεονεκτήματα για τη βελτιστοποίηση των αλυσίδων εφοδιασμού σε έξυπνα εργοστάσια. Τα οφέλη αυτά περιλαμβάνουν αυξημένη επιχειρησιακή αποτελεσματικότητα, μειωμένες δαπάνες, αυξημένη παραγωγικότητα και ενισχυμένη διαφάνεια στην αλυσίδα εφοδιασμού. Με τη συνεχή πρόοδο της τεχνολογίας, τα έξυπνα εργοστάσια αναμένεται να παρέχουν όλο και πιο ευρηματικές μεθόδους για τη χρήση του Διαδικτύου των πραγμάτων (IoT) για τη βελτίωση της διαχείρισης της εφοδιαστικής αλυσίδας (Oh & Jeong, 2019).

## 5.9. Διαδικασία καινοτομίας και ψηφιοποίησης

Η διαδικασία εκτέλεσης μιας επιτυχημένης επιχειρηματικής στρατηγικής IoT που ευθυγραμμίζεται με τις έννοιες της Βιομηχανίας 4.0 ξεκινά με ένα εμπειριστατωμένο στρατηγικό σχέδιο που ενσωματώνει την καινοτομία και την ψηφιοποίηση. Το σχέδιο αυτό συνεπάγεται τον εντοπισμό κρίσιμων τομέων στο εσωτερικό του οργανισμού όπου η τεχνολογία IoT μπορεί να δημιουργήσει αξία, όπως ο εξορθολογισμός των λειτουργιών, η βελτίωση της ποιότητας των προϊόντων ή η βελτίωση της εμπειρίας των πελατών. Μετά τον καθορισμό των στρατηγικών στόχων, το επόμενο βήμα περιλαμβάνει την αξιολόγηση της υφιστάμενης κατάστασης της

υποδομής, των συστημάτων και των διαδικασιών του οργανισμού. Αυτό συνεπάγεται την αξιολόγηση των υφιστάμενων τεχνολογικών δυνατοτήτων, των στρατηγικών διαχείρισης δεδομένων και της οργανωτικής ετοιμότητας για την εισαγωγή του Διαδικτύου των πραγμάτων (IoT). Με βάση αυτή την αξιολόγηση, ο οργανισμός μπορεί να δημιουργήσει ένα σχέδιο για την εφαρμογή της ψηφιοποίησης και την ενσωμάτωση της τεχνολογίας του Διαδικτύου των Πραγμάτων (IoT). Αυτός ο οδικός χάρτης περιγράφει τη χρονολογική σειρά των προσπαθειών, των τεχνολογικών επενδύσεων και των οργανωτικών τροποποιήσεων που απαιτούνται για την επίτευξη των στρατηγικών στόχων. Το έγγραφο ενσωματώνει σημαντικά γεγονότα, χρονοδιαγράμματα και μέτρα επίτευξης για την παρακολούθηση της προόδου και τη διασφάλιση της συνέπειας με τους οργανωτικούς στόχους (Nagy et al., 2018).

Ένα ουσιαστικό στοιχείο της διαδικασίας καινοτομίας και ψηφιοποίησης περιλαμβάνει την επιλογή και την εφαρμογή τεχνολογιών του Διαδικτύου των Πραγμάτων (IoT). Αυτό συνεπάγεται τη διαδικασία προσδιορισμού του κατάλληλου υλικού, των αισθητήρων, των πρωτοκόλλων επικοινωνίας και των πλατφορμών ανάλυσης δεδομένων που συνάδουν με τις συγκεκριμένες ανάγκες και τους στόχους του οργανισμού. Επιπλέον, μπορεί να συνεπάγεται τη δημιουργία συμμαχιών με προμηθευτές τεχνολογίας, παρόχους λύσεων ή ερευνητικά ινστιτούτα προκειμένου να αποκτήσουν πρόσβαση σε εξειδικευμένες γνώσεις και πόρους (Ghobakhloo et al., 2021). Καθώς ο οργανισμός αναπτύσσει συσκευές και αισθητήρες IoT σε όλη την υποδομή του, οι συσκευές αυτές αρχίζουν να παράγουν τεράστιους όγκους δεδομένων σε πραγματικό χρόνο. Τα δεδομένα αυτά αποτελούν τη βάση για τη δημιουργία γνώσεων, τη βελτίωση της αποδοτικότητας και την εφαρμογή αυτοματισμών. Τα δεδομένα αναλύονται με τη χρήση προηγμένων προσεγγίσεων ανάλυσης, όπως η μηχανική μάθηση και η προγνωστική μοντελοποίηση, για την αποκάλυψη πολύτιμων πληροφοριών, τον εντοπισμό μοτίβων και την πραγματοποίηση προβλέψεων για μελλοντικά αποτελέσματα (Nagy et al., 2018).

Η ενσωμάτωση αποτελεί κρίσιμο στοιχείο της διαδικασίας ψηφιοποίησης, που εγγυάται την ομαλή ενσωμάτωση των δεδομένων και των πληροφοριών του IoT στις τρέχουσες επιχειρηματικές διαδικασίες και συστήματα. Αυτή η ολοκλήρωση μπορεί να συνεπάγεται τη σύνδεση πλατφορμών IoT με συστήματα προγραμματισμού εταιρικών πόρων (ERP), συστήματα εκτέλεσης παραγωγής (MES) ή λογισμικό διαχείρισης πελατειακών σχέσεων (CRM). Με την ενσωμάτωση των δεδομένων του Διαδικτύου



των Πραγμάτων (IoT) στις θεμελιώδεις επιχειρηματικές λειτουργίες, ο οργανισμός μπορεί να τα αξιοποιήσει για τη βελτίωση της λήψης αποφάσεων, τη βελτιστοποίηση της παραγωγικότητας και την τόνωση της καινοτομίας (Ghobakhloo, 2018). Κατά τη διαδικασία της καινοτομίας και της ψηφιοποίησης, οι οργανισμοί πρέπει να αποδίδουν μεγάλη σημασία στην ασφάλεια στον κυβερνοχώρο και στην προστασία της ιδιωτικής ζωής των δεδομένων. Όταν οι συσκευές και τα συστήματα IoT συνδέονται στο διαδίκτυο, καθίστανται ευάλωτα σε κυβερνοεπιθέσεις και παραβιάσεις δεδομένων. Για να διασφαλιστεί η προστασία των ευαίσθητων δεδομένων και να μετριαστούν οι πιθανές απειλές, είναι επιτακτική ανάγκη να θεσπιστούν ισχυρά μέτρα ασφαλείας, όπως κρυπτογράφηση, πιστοποίηση ταυτότητας και έλεγχοι πρόσβασης. Σε τελική ανάλυση, η διαδικασία της καινοτομίας και της ψηφιοποίησης χαρακτηρίζεται από το ότι είναι επαναληπτική και συνεχής. Ανταποκρινόμενοι στην εμφάνιση νέων τεχνολογιών, στην εξέλιξη της δυναμικής της αγοράς και στις μεταβαλλόμενες επιχειρηματικές ανάγκες, οι οργανισμοί πρέπει να προσαρμόζουν και να βελτιώνουν τη στρατηγική τους για το IoT. Απαιτείται ένα περιβάλλον καινοτομίας, προσαρμοστικότητας και συνεχούς ανάπτυξης, όπου ο πειραματισμός, η μάθηση και η προσαρμογή ενθαρρύνονται και υποστηρίζονται ενεργά σε όλα τα επίπεδα του οργανισμού (Ghobakhloo, 2018).

## 5.10. Μελλοντικές κατευθύνσεις ενός έξυπνου εργοστασίου

Για να μπορέσουν τα παραδοσιακά εργοστάσια να υιοθετήσουν το μοντέλο του έξυπνου εργοστασίου και να αξιοποιήσουν πλήρως τα πλεονεκτήματα που προσφέρουν το Διαδίκτυο των πραγμάτων και η Βιομηχανία 4.0, πρέπει να υποστούν ολοκληρωμένους και βαθύτατους μετασχηματισμούς σε όλες τις πτυχές των λειτουργιών τους. Πρώτον, οι επιχειρηματίες πρέπει να αξιολογήσουν την παρούσα κατάσταση των εγκαταστάσεων και του εξοπλισμού τους, καθώς και να αξιολογήσουν τις μεθόδους παραγωγής, τις στρατηγικές και τις τεχνολογίες που χρησιμοποιούν σήμερα. Επιπλέον, θα πρέπει να αναλογιστούν το επιθυμητό επίπεδο επιτυχίας που στοχεύουν να επιτύχουν για τον οργανισμό τους. Ο κύριος στόχος ενός συμβατικού εργοστασίου κατά την εφαρμογή μιας στρατηγικής IoT, προκειμένου να θεωρηθεί "έξυπνο", θα πρέπει να είναι η δημιουργία ενός ψηφιακού διδύμου. Η ψηφιοποίηση του εξοπλισμού και των διαδικασιών παραγωγής του εργοστασίου θα πρέπει να λειτουργεί ομαλά και χωρίς διακοπές (Hawkins, 2021).

Προκειμένου να δημιουργηθεί ο ψηφιακός δίδυμος, είναι επιτακτική ανάγκη η στενή ενσωμάτωση και η αρμονική συνεργασία των επιχειρήσεων και της τεχνολογίας πληροφοριών (ΤΠ). Η συνέργεια μεταξύ επιχειρήσεων και ΤΠ είναι καθοριστικής σημασίας για την επίτευξη του στόχου και τη δημιουργία του ευφυούς εργοστασίου. Ωστόσο, η διαδικασία της ψηφιοποίησης ενέχει εγγενείς κινδύνους λόγω της διαρκώς μεταβαλλόμενης φύσης της τεχνολογίας και της πληροφορικής. Είναι ζωτικής σημασίας για την υποδομή ΤΠ κάθε επιχείρησης να βρίσκεται πάντα σε συγχρονισμό με το συνολικό επιχειρηματικό της σχέδιο. Ως εκ τούτου, είναι ζωτικής σημασίας η ενεργός συμμετοχή της τεχνολογίας πληροφοριών (ΤΠ) στο έργο για την αποφυγή πιθανών διαταραχών και αποκλίσεων. Η διαχείριση ενός έργου ψηφιακού μετασχηματισμού είναι ένα ιδιαίτερα απαιτητικό έργο που απαιτεί χρόνο. Ωστόσο, είναι ζωτικής σημασίας να σημειωθεί ότι οι πελάτες, οι συνεργάτες και οι ανταγωνιστές δεν θα περιμένουν να συμβεί η αλλαγή (Gilchrist, 2016).

"Ο ψηφιακός μετασχηματισμός έχει τη δυνατότητα να αλλάξει εντελώς κάθε πτυχή της σύγχρονης επιχείρησης και μπορεί να αναλυθεί σε τέσσερα βασικά συστατικά στοιχεία".

- Καθιέρωση αποτελεσματικής επικοινωνίας και αλληλεπίδρασης με τους πελάτες και τους συνεργάτες.
- Ανάπτυξη νέων αγαθών, επιχειρηματικών μοντέλων και διαδικασιών.
- Η αυτοματοποίηση περιλαμβάνει την αντικατάσταση της ανθρώπινης εργασίας με τεχνολογικές λύσεις.
- Αξιοποίηση των μεγάλων δεδομένων και των προηγμένων αναλύσεων για τη λήψη αποφάσεων.

Η αξιοποίηση της τεχνολογίας αιχμής για τη δημιουργία νέων επιχειρηματικών μοντέλων είναι ζωτικής σημασίας για τη μετάβαση προς ένα έξυπνο εργοστάσιο. Για να μπορέσουν τα παραδοσιακά εργοστάσια να αξιοποιήσουν σωστά τα οφέλη που θα λάβουν, θα πρέπει να αποκτήσουν τρία βασικά συστατικά. Αξιοποίηση τερματικών ελέγχου με αισθητήρες, βιομηχανική ανάλυση και εφαρμογές έξυπνων μηχανών. Τα τερματικά ελέγχου που βασίζονται σε αισθητήρες είναι θεμελιώδους σημασίας για το βιομηχανικό διαδίκτυο, καθώς εγκαθιδρύουν τη σύνδεση μεταξύ της ψηφιακής και της φυσικής σφαίρας. Οι αισθητήρες είναι φυσικές συσκευές που έχουν την ικανότητα να

ανιχνεύουν και να κατανοούν την κατάσταση και το περιβάλλον τους. Συλλέγουν και μεταδίδουν δεδομένα σε άλλα μέρη ενός συστήματος, τα οποία στη συνέχεια χρησιμοποιούν αυτές τις πληροφορίες για να αποκτήσουν γνώσεις σχετικά με τις διαδικασίες παραγωγής και να λάβουν αυτόματα αποφάσεις (Gilchrist, 2016).

Τα ακατέργαστα δεδομένα από τους αισθητήρες υποβάλλονται σε βιομηχανικές μελέτες για τη μετατροπή τους σε κατανοητή γνώση για τον άνθρωπο. Μέχρι πρόσφατα, οι αξιολογήσεις βασίζονταν κυρίως σε ιστορικά δεδομένα, όπως οι μηνιαίες πωλήσεις προϊόντων, λόγω των ορίων της τεχνολογίας. Ωστόσο, λόγω της εμφάνισης προηγμένων τεχνολογιών, όπως η υπολογιστική νέφος και η αποθήκευση τεράστιων δεδομένων, η ανάλυση δεδομένων έχει γίνει εμπορικά προσβάσιμη. Αυτές οι αναλύσεις προσφέρουν ολοκληρωμένες αναφορές για όλα τα γεγονότα της παραγωγής, συμπεριλαμβανομένης της εμφάνισης τυχόν ανεπιθύμητων γεγονότων και των κατάλληλων μέτρων για την αντιμετώπισή τους (Sisinni et al., 2018).

Οι έξυπνες μηχανές με τεχνητή νοημοσύνη είναι απαραίτητες για τη λειτουργία ενός έξυπνου εργοστασίου, παράλληλα με την ανάλυση δεδομένων. Οι αναλύσεις δεδομένων διαδραματίζουν κρίσιμο ρόλο παρέχοντας πρακτικές γνώσεις που επιτρέπουν τον ευφυή έλεγχο της διαδικασίας και την προληπτική λήψη αποφάσεων. Αυτές οι μηχανές διαθέτουν αυτογνωσία και ολοκληρωμένη κατανόηση της κατάστασής τους, επιτρέποντάς τους να προβλέπουν πιθανές βλάβες στα εξαρτήματα και τον εξοπλισμό τους. Αυτή η ικανότητα τους δίνει τη δυνατότητα να διορθώνουν τα προβλήματα προληπτικά, παρέχοντας έτσι στον κλάδο οικονομικά πλεονεκτήματα (Chen et al., 2018). Το κύριο πλεονέκτημα των ευφυών μηχανών έγκειται στην ικανότητά τους να συνεργάζονται σε διάφορους τομείς. Για την πλήρη μεγιστοποίηση των πλεονεκτημάτων των έξυπνων συνδεδεμένων τεχνολογιών, είναι απαραίτητη η στρατηγική επανεκτίμηση της παραγωγικής διαδικασίας. Παρ' όλα αυτά, είναι επιτακτική ανάγκη όλη αυτή η καινοτόμος σκέψη να στηρίζεται σε ένα ανθεκτικό τεχνικό πλαίσιο και υποδομή, γεγονός που καθιστά αναγκαία την εφαρμογή μιας πλατφόρμας Διαδικτύου των πραγμάτων (IoT). Το εργοστάσιο του μέλλοντος πρέπει να διακρίνεται από την ικανότητά του να συνδέεται και να αλληλεπιδρά απρόσκοπτα (Gilchrist, 2016).

## Συμπέρασμα

Στην εποχή της Βιομηχανίας 4.0, η συγχώνευση του Διαδικτύου των Πραγμάτων (IoT) με τις βιομηχανικές διαδικασίες έχει δημιουργήσει εξαιρετικές προοπτικές για τις επιχειρήσεις να επιτύχουν σε ένα ιδιαίτερα δικτυωμένο και επικεντρωμένο στα δεδομένα περιβάλλον. Για την αποτελεσματική ενσωμάτωση του IoT στις επιχειρήσεις, είναι ζωτικής σημασίας να κατανοήσετε σε βάθος το θεωρητικό υπόβαθρό του καθώς και τις πρακτικές χρήσεις του. Η παρούσα μελέτη εξετάζει τα θεμελιώδη στοιχεία του Διαδικτύου των Πραγμάτων (IoT), τον αντίκτυπό του στον μετασχηματισμό των διαδικασιών των επιχειρήσεων και την ευθυγράμμισή του με τις ιδέες της Βιομηχανίας 4.0. Το καθιερωμένο θεωρητικό πλαίσιο αποσαφηνίζει τις βασικές αρχές του IoT, που περιλαμβάνουν τον ορισμό, την αρχιτεκτονική, τις λειτουργικότητες των συσκευών και τους τομείς εφαρμογής του. Επιπλέον, αναλύθηκε η ενσωμάτωση του IoT στις λειτουργίες των εταιρειών, δίνοντας έμφαση στην ταξινόμηση, τα οφέλη και τα εμπόδια. Παράλληλα, η άνοδος της Βιομηχανίας 4.0 έχει επιφέρει μια θεμελιώδη αλλαγή στον τρόπο λειτουργίας των βιομηχανιών, με έμφαση στην ενσωμάτωση της ψηφιακής τεχνολογίας για τη βελτίωση της αποδοτικότητας και της παραγωγής.

Το επίκεντρο της συζήτησης αυτής είναι η έννοια του βιομηχανικού διαδικτύου των πραγμάτων (Industrial Internet of Things - IIoT), η οποία προσαρμόζει τις τεχνολογίες του διαδικτύου των πραγμάτων ειδικά για βιομηχανικά περιβάλλοντα. Το έγγραφο περιγράφει τα θεμελιώδη συστατικά του IIoT, υπογραμμίζοντας τη σημασία του για την προώθηση ευφυών διαδικασιών παραγωγής. Επιπλέον, η σύγκριση μεταξύ του Βιομηχανικού Διαδικτύου των Πραγμάτων (IIoT) και του Διαδικτύου των Πραγμάτων (IoT) αναδεικνύει τις ιδιαίτερες ανάγκες και δυνατότητες κάθε τομέα, παρέχοντας έτσι πολύτιμες πληροφορίες για τη λήψη στρατηγικών επιλογών στις επιχειρήσεις. Κατά την ανάπτυξη ενός αποτελεσματικού επιχειρηματικού σχεδίου IoT στο πλαίσιο της Βιομηχανίας 4.0, είναι ζωτικής σημασίας η αξιοποίηση των επαναστατικών δυνατοτήτων του IIoT σε διάφορες πτυχές των λειτουργιών. Οι λύσεις που υποστηρίζονται από το IoT παρέχουν εξαιρετικές γνώσεις και δυνατότητες για τη βελτιστοποίηση των διαδικασιών παραγωγής και τη βελτίωση της συνολικής ανταγωνιστικότητας. Οι λύσεις αυτές περιλαμβάνουν την προγνωστική συντήρηση, την παρακολούθηση περιουσιακών στοιχείων, τη διαχείριση αποθεμάτων και τον έλεγχο ποιότητας. Επιπλέον, η σκόπιμη ενσωμάτωση του IoT επιτρέπει την ανάπτυξη

νέων ιδεών και τη μετατροπή αναλογικών διαδικασιών σε ψηφιακές, δημιουργώντας ευκαιρίες για ευέλικτα και ευέλικτα επιχειρηματικά πλαίσια.

Ωστόσο, παρά τα δυνητικά πλεονεκτήματα που προσφέρει το Διαδίκτυο των Πραγμάτων (IoT) στο πλαίσιο της Βιομηχανίας 4.0, υπάρχουν ακόμη εμπόδια που πρέπει να ξεπεραστούν, συμπεριλαμβανομένων των κινδύνων ασφαλείας και των προβλημάτων διαλειτουργικότητας. Η αντιμετώπιση αυτών των δυσκολιών απαιτεί μια ολοκληρωμένη προσέγγιση που περιλαμβάνει ισχυρά μέτρα κυβερνοασφάλειας, πρωτοβουλίες τυποποίησης και συντονισμό μεταξύ των ενδιαφερομένων μερών. Στο μέλλον, η ανάπτυξη και η πρόοδος του IoT στον επιχειρηματικό τομέα θα συνεχίσει να εξελίσσεται και να εισάγει νέες ιδέες. Προκειμένου να επιτύχουν βιώσιμη ανάπτυξη και να αποκτήσουν ανταγωνιστικό πλεονέκτημα, οι οργανισμοί πρέπει να προσαρμοστούν και να αξιοποιήσουν πλήρως τις δυνατότητες του IoT, ανταποκρινόμενοι ευέλικτα και προληπτικά στις τεχνολογικές εξελίξεις και τις αλλαγές στην αγορά.

## Βιβλιογραφία

- Abuhasel, K. A., & Khan, M. A. (2020). A Secure Industrial Internet of Things (IIoT) Framework for Resource Management in Smart Manufacturing. *IEEE Access*, 8, 117354–117364. <https://doi.org/10.1109/access.2020.3004711>
- Ahmad, S., & Kim, D. (2020). A multi-device multi-tasks management and orchestration architecture for the design of enterprise IoT applications. *Future Generation Computer Systems*, 106, 482–500. <https://doi.org/10.1016/j.future.2019.11.030>
- Ahmadi, H., Arji, G., Shahmoradi, L., Safdari, R., Nilashi, M., & Alizadeh, M. (2018). The application of internet of things in healthcare: a systematic literature review and classification. *Universal Access in the Information Society*, 18. <https://doi.org/10.1007/s10209-018-0618-4>
- Ahmadi, M., Pahlavani, M., Karimi, A., Moradi, M., & Lawrence, J. (2023). The Impact of the Fourth Industrial Revolution on the Transitory Stage of the Automotive Industry. *Sustainable Manufacturing in Industry 4.0*, 79–96. [https://doi.org/10.1007/978-981-19-7218-8\\_5](https://doi.org/10.1007/978-981-19-7218-8_5)
- Al-Fuqaha, A., Guizani, M., Mohammadi, M., Aledhari, M., & Ayyash, M. (2015). Internet of Things: A Survey on Enabling Technologies, Protocols, and Applications. *IEEE Communications Surveys & Tutorials*, 17(4), 2347–2376. <https://doi.org/10.1109/comst.2015.2444095>
- Al-Hayajneh, Bhuiyan, & McAndrew. (2020). Improving Internet of Things (IoT) Security with Software-Defined Networking (SDN). *Computers*, 9(1), 8. <https://doi.org/10.3390/computers9010008>
- Ali, Z., Ali, H., & Badawy, M. (2015). Internet of Things (IoT): Definitions. Challenges and Recent Research Directions, 128.
- Al-Sarawi, S., Anbar, M., Alieyan, K., & Alzubaidi, M. (2017, May 1). *Internet of Things (IoT) communication protocols: Review*. IEEE Xplore. <https://doi.org/10.1109/ICITECH.2017.8079928>
- Alsudani, M. Q., Jaber, M. M., Ali, M. H., Abd, S. K., Alkhayyat, A., Kareem, Z. H., & Mohhan, A. R. (2023). Smart logistics with IoT-based enterprise management

system using global manufacturing. *Journal of Combinatorial Optimization*, 45(2).  
<https://doi.org/10.1007/s10878-022-00977-5>

Ara, T., Shah, P. G., & Prabhakar, M. (2016). Internet of Things Architecture and Applications: A Survey. *Indian Journal of Science and Technology*.  
<https://doi.org/10.17485/ijst/2016/v9i45/128531>

Atharvan, G., Koolikkara Madom Krishnamoorthy, S., Dua, A., & Gupta, S. (2021). A way forward towards a technology-driven development of industry 4.0 using big data analytics in 5G-enabled IIoT. *International Journal of Communication Systems*.  
<https://doi.org/10.1002/dac.5014>

Barari, A., de Sales Guerra Tsuzuki, M., Cohen, Y., & Macchi, M. (2021). Editorial: intelligent manufacturing systems towards industry 4.0 era. *Journal of Intelligent Manufacturing*, 32(7), 1793–1796. <https://doi.org/10.1007/s10845-021-01769-0>

Bauer, H., Baur, C., Mohr, D., Tschiesner, A., Weskamp, T., Alicke, K., & Wee, D. (2016). Industry 4.0 after the initial hype—Where manufacturers are finding value and how they can best capture it. McKinsey Digital.

Bernd Valeske, Osman, A., Romer, F., & Ralf Tschuncky. (2020). Next Generation NDE Sensor Systems as IIoT Elements of Industry 4.0. 31(5-6), 340–369.  
<https://doi.org/10.1080/09349847.2020.1841862>

Bersani, C., Ruggiero, C., Sacile, R., Soussi, A., & Zero, E. (2022). Internet of Things Approaches for Monitoring and Control of Smart Greenhouses in Industry 4.0. *Energies*, 15(10), 3834. <https://doi.org/10.3390/en15103834>

Biard, G., & Nour, G. A. (2021). Industry 4.0 Contribution to Asset Management in the Electrical Industry. *Sustainability*, 13(18), 10369.  
<https://doi.org/10.3390/su131810369>

Borgia, E. (2014). The Internet of Things vision: Key features, applications and open issues. *Computer Communications*, 54(0140-3664), 1–31.  
<https://doi.org/10.1016/j.comcom.2014.09.008>

Boyes, H., Hallaq, B., Cunningham, J., & Watson, T. (2018). The industrial internet of things (IIoT): An analysis framework. *Computers in Industry*, 101(1), 1–12.  
<https://doi.org/10.1016/j.compind.2018.04.015>

Breivold, H. P. (2017). *Internet-of-Things and Cloud Computing for Smart Industry: A Systematic Mapping Study*. <https://doi.org/10.1109/es.2017.56>

Brody, P., & Pureswaran, V. (2015). The next digital gold rush: how the internet of things will create liquid, transparent markets. *Strategy & Leadership*, 43(1), 36–41. <https://doi.org/10.1108/sl-11-2014-0094>

Chen, B., Wan, J., Shu, L., Li, P., Mukherjee, M., & Yin, B. (2018). Smart Factory of Industry 4.0: Key Technologies, Application Case, and Challenges. *IEEE Access*, 6, 6505–6519. <https://doi.org/10.1109/ACCESS.2017.2783682>

Culot, G., Nassimbeni, G., Orzes, G., & Sartor, M. (2020). Behind the definition of Industry 4.0: Analysis and open questions. *International Journal of Production Economics*, 226, 107617. <https://doi.org/10.1016/j.ijpe.2020.107617>

Dalenogare, L. S., Benitez, G. B., Ayala, N. F., & Frank, A. G. (2018). The expected contribution of Industry 4.0 technologies for industrial performance. *International Journal of Production Economics*, 204(1), 383–394. <https://doi.org/10.1016/j.ijpe.2018.08.019>

de Paula Ferreira, W., Armellini, F., & De Santa-Eulalia, L. A. (2020). Simulation in industry 4.0: A state-of-the-art review. *Computers & Industrial Engineering*, 149, 106868. <https://doi.org/10.1016/j.cie.2020.106868>

Del Giudice, M. (2016). Discovering the Internet of Things (IoT) within the business process management. *Business Process Management Journal*, 22(2), 263–270. <https://doi.org/10.1108/bpmj-12-2015-0173>

Delsing, J. (2017). Local Cloud Internet of Things Automation: Technology and Business Model Features of Distributed Internet of Things Automation Solutions. *IEEE Industrial Electronics Magazine*, 11(4), 8–21. <https://doi.org/10.1109/mie.2017.2759342>

Dhanaraj, R. K., Rajkumar, K., & Hariharan, U. (2020). Enterprise IoT Modeling: Supervised, Unsupervised, and Reinforcement Learning. *Business Intelligence for Enterprise Internet of Things*, 55–79. [https://doi.org/10.1007/978-3-030-44407-5\\_3](https://doi.org/10.1007/978-3-030-44407-5_3)

Diez-Olivan, A., Del Ser, J., Galar, D., & Sierra, B. (2019). Data fusion and machine learning for industrial prognosis: Trends and perspectives towards Industry 4.0. *Information Fusion*, 50, 92–111. <https://doi.org/10.1016/j.inffus.2018.10.005>

Elahi, B., & Tokaldany, S. A. (2021, January 1). *Chapter 15 - Application of Internet of Things-aided simulation and digital twin technology in smart manufacturing* (M. Ram, Ed.). ScienceDirect; Academic Press. <https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/B9780128189061000152>



Filho, I., Silva, I., & Viegas, C. (2018). An Effective Extension of Anti-Collision Protocol for RFID in the Industrial Internet of Things (IIoT). *Sensors*, 18(12), 4426. <https://doi.org/10.3390/s18124426>

Florescu, A., & Barabas, S. A. (2020). Modeling and Simulation of a Flexible Manufacturing System—A Basic Component of Industry 4.0. *Applied Sciences*, 10(22), 8300. <https://doi.org/10.3390/app10228300>

Fragapane, G., Ivanov, D., Peron, M., Sgarbossa, F., & Strandhagen, J. O. (2020). Increasing flexibility and productivity in Industry 4.0 production networks with autonomous mobile robots and smart intralogistics. *Annals of Operations Research*, 308. <https://doi.org/10.1007/s10479-020-03526-7>

Ghobakhloo, M. (2018). The future of manufacturing industry: a strategic roadmap toward Industry 4.0. *Journal of Manufacturing Technology Management*, 29(6), 910–936. <https://doi.org/10.1108/jmtm-02-2018-0057>

Ghobakhloo, M. (2020). Industry 4.0, digitization, and opportunities for sustainability. *Journal of Cleaner Production*, 252(119869), 119869. <https://doi.org/10.1016/j.jclepro.2019.119869>

Ghobakhloo, M., Iranmanesh, M., Grybauskas, A., Vilkas, M., & Petraitė, M. (2021). Industry 4.0, innovation, and sustainable development: A systematic review and a roadmap to sustainable innovation. *Business Strategy and the Environment*, 30(8). <https://doi.org/10.1002/bse.2867>

Gilchrist, A. (2016). *Industry 4.0: the industrial internet of things*. Apress.

Goel, R., & Gupta, P. (2019). Robotics and Industry 4.0. *A Roadmap to Industry 4.0: Smart Production, Sharp Business and Sustainable Development*, 157–169. [https://doi.org/10.1007/978-3-030-14544-6\\_9](https://doi.org/10.1007/978-3-030-14544-6_9)

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), 1645–1660. <https://doi.org/10.1016/j.future.2013.01.010>

Gupta, B. B., & Quamara, M. (2018). An overview of Internet of Things (IoT): Architectural aspects, challenges, and protocols. *Concurrency and Computation: Practice and Experience*, e4946. <https://doi.org/10.1002/cpe.4946>

*h*, 3(11), 20–24. <https://doi.org/10.24018/ejeng.2018.3.11.967>

Hamdan, S., Ayyash, M., & Almajali, S. (2020). Edge-Computing Architectures for Internet of Things Applications: A Survey. *Sensors*, 20(22), 6441.

<https://doi.org/10.3390/s20226441>

Hammoudi, S., Aliouat, Z., & Harous, S. (2017). Challenges and research directions for Internet of Things. *Telecommunication Systems*, 67(2), 367–385.

<https://doi.org/10.1007/s11235-017-0343-y>

Hassija, V., Chamola, V., Saxena, V., Jain, D., Goyal, P., & Sikdar, B. (2019). A Survey on IoT Security: Application Areas, Security Threats, and Solution Architectures. *IEEE Access*, 7, 82721–82743.

<https://doi.org/10.1109/access.2019.2924045>

Hawkins, M. (2021). Cyber-Physical Production Networks, Internet of Things-enabled Sustainability, and Smart Factory Performance in Industry 4.0-based Manufacturing Systems. *Economics, Management, and Financial Markets*, 16(2), 73–83. <https://www.ceeol.com/search/article-detail?id=963243>

Heinis, T. B., Hilario, J., & Meboldt, M. (2018). Empirical study on innovation motivators and inhibitors of Internet of Things applications for industrial manufacturing enterprises. *Journal of Innovation and Entrepreneurship*, 7(1).

<https://doi.org/10.1186/s13731-018-0090-7>

Hernández-Muñoz, G. M., Habib-Mireles, L., García-Castillo, F. A., & Montemayor-Ibarra, F. (2018). Industry 4.0 and Engineering Education: An Analysis of Nine Technological Pillars Inclusion in Higher Educational Curriculum. *Best Practices in Manufacturing Processes*, 525–543. [https://doi.org/10.1007/978-3-319-99190-0\\_24](https://doi.org/10.1007/978-3-319-99190-0_24)

Houtam, V. T. (2021). An Overview on the Reference Model and Stages of IoT Architecture. *International Journal of Information Technology and Computer Engineering*, 11, 7–14. <https://doi.org/10.55529/ijitc.11.7.14>

IEEE. (2014). Special report: The Internet of Things [Online] Available at:

<http://theinstitute.ieee.org/static/special-report-the-internet-of-things>

Iraji, S., Mogensen, P., & Ratasuk, R. (2017). Recent Advances in M2M Communications and Internet of Things (IoT). *International Journal of Wireless Information Networks*, 24(3), 240–242. <https://doi.org/10.1007/s10776-017-0362-3>

ITU-T-Y.2060 (2016). "Overview of the Internet of things". SERIES Y: GLOBAL INFORMATION INFRASTRUCTURE, INTERNET PROTOCOL ASPECTS AND NEXT-GENERATION NETWORKS". [online] ITU-T. Available at: <https://www.itu.int/rec/T-REC-Y.2060-201206-I>

Jabraeil Jamali, M. A., Bahrami, B., Heidari, A., Allahverdizadeh, P., & Norouzi, F. (2019). IoT Architecture. *Towards the Internet of Things*, 9–31.

[https://doi.org/10.1007/978-3-030-18468-1\\_2](https://doi.org/10.1007/978-3-030-18468-1_2)

Jaidka, H., Sharma, N., & Singh, R. (2020, May 18). *Evolution of IoT to IIoT: Applications & Challenges*. Papers.ssrn.com.

[https://papers.ssrn.com/sol3/papers.cfm?abstract\\_id=3603739](https://papers.ssrn.com/sol3/papers.cfm?abstract_id=3603739)

John Dian, F., Vahidnia, R., & Rahmati, A. (2020). Wearables and the Internet of Things (IoT), Applications, Opportunities, and Challenges: A Survey. *IEEE Access*, 8(2169-3536), 69200–69211. <https://doi.org/10.1109/access.2020.2986329>

Kagermann, H., Helbig, J., Hellinger, A., & Wahlster, W. (2013). Recommendations for implementing the strategic initiative INDUSTRIE 4.0: Securing the future of German manufacturing industry; final report of the Industrie 4.0 Working Group. Forschungsunion.

Kang, M. (2015). Smart logis 2015. IoT & Logistics: Internet of Things and logistics convergence. *Maritime Korea*, 500, 76-81.

Kassim, M. R. M. (2020, November 1). *IoT Applications in Smart Agriculture: Issues and Challenges*. IEEE Xplore. <https://doi.org/10.1109/ICOS50156.2020.9293672>

Kim, J. (2015). A review on recent Geo-IoT technologies and services. *Telco Journal*, 3, 121-143.

Kim, M., Lee, J., & Jeong, J. (2019). Open Source Based Industrial IoT Platforms for Smart Factory: Concept, Comparison and Challenges. *Lecture Notes in Computer Science*, 105–120. [https://doi.org/10.1007/978-3-030-24311-1\\_8](https://doi.org/10.1007/978-3-030-24311-1_8)

Kit, C. K., Wu, C. H., Yung, K. L., Ip, W. H., & Cheung, T. (2018). A semantic similarity analysis of Internet of Things. *Enterprise Information Systems*, 12(7), 820–855. <https://doi.org/10.1080/17517575.2018.1464666>

- Kowalikova, P., Polak, P., & Rakowski, R. (2020). The Challenges of Defining the Term “Industry 4.0.” *Society*, 57(6), 631–636. <https://doi.org/10.1007/s12115-020-00555-7>
- Kumar, R., & Agrawal, N. (2023). Analysis of multi-dimensional Industrial IoT (IIoT) data in Edge–Fog–Cloud based architectural frameworks : A survey on current state and research challenges. *Journal of Industrial Information Integration*, 35, 100504. <https://doi.org/10.1016/j.jii.2023.100504>
- Kumar, R., Singh, S. P., & Lamba, K. (2018). Sustainable robust layout using Big Data approach: A key towards industry 4.0. *Journal of Cleaner Production*, 204, 643–659. <https://doi.org/10.1016/j.jclepro.2018.08.327>
- Küsters, D., Praß, N., & Gloy, Y.-S. (2017). Textile Learning Factory 4.0 – Preparing Germany’s Textile Industry for the Digital Future. *Procedia Manufacturing*, 9, 214–221. <https://doi.org/10.1016/j.promfg.2017.04.035>
- Lampropoulos, G., Siakas, K., & Anastasiadis, T. (2019). Internet of Things in the Context of Industry 4.0:An Overview. *International Journal of Entrepreneurial Knowledge*, 4–19. <https://doi.org/10.15759/ijek/2019/v7i1/183964>
- Lee, I. (2019). The Internet of Things for enterprises: An ecosystem, architecture, and IoT service business model. *Internet of Things*, 7, 100078. <https://doi.org/10.1016/j.iot.2019.100078>
- Lee, I., & Lee, K. (2015). The Internet of Things (IoT): Applications, investments, and challenges for enterprises. *Business Horizons*, 58(4), 431–440. <https://doi.org/10.1016/j.bushor.2015.03.008>
- Lee, I., & Lee, K. (2015). The Internet of Things (IoT): Applications, investments, and challenges for enterprises. *Business Horizons*, 58(4), 431–440. <https://doi.org/10.1016/j.bushor.2015.03.008>
- Lee, S. M., Lee, D., & Kim, Y. S. (2019). The quality management ecosystem for predictive maintenance in the Industry 4.0 era. *International Journal of Quality Innovation*, 5(1). <https://doi.org/10.1186/s40887-019-0029-5>
- Lee, S.-E., Choi, M., & Kim, S. (2017). How and what to study about IoT: Research trends and future directions from the perspective of social science. *Telecommunications Policy*, 41(10), 1056–1067. <https://doi.org/10.1016/j.telpol.2017.09.007>
- Lee, W., Nam, K.-D., Roh, H.-G., & Kim, S.-H. (2016). A gateway based fog computing architecture for wireless sensors and actuator networks. *2016 18th*

- International Conference on Advanced Communication Technology (ICACT)*.  
<https://doi.org/10.1109/icact.2016.7423332>
- Lin, J., Yu, W., Zhang, N., Yang, X., Zhang, H., & Zhao, W. (2017). A Survey on Internet of Things: Architecture, Enabling Technologies, Security and Privacy, and Applications. *IEEE Internet of Things Journal*, 4(5), 1125–1142.  
<https://doi.org/10.1109/jiot.2017.2683200>
- Liu, Y., & Xu, X. (2016). Industry 4.0 and Cloud Manufacturing: A Comparative Analysis. *Journal of Manufacturing Science and Engineering*, 139(3), 034701.  
<https://doi.org/10.1115/1.4034667>
- Lohachab, A., & Karambir, B. (2018). Critical Analysis of DDoS—An Emerging Security Threat over IoT Networks. *Journal of Communications and Information Networks*, 3(3), 57–78. <https://doi.org/10.1007/s41650-018-0022-5>
- Lu, Y. (2017). Industry 4.0: A survey on technologies, applications and open research issues. *Journal of Industrial Information Integration*, 6, 1–10.  
<https://doi.org/10.1016/j.jii.2017.04.005>
- M, P., M, S. P. R., Pham, Q.-V., Dev, K., Maddikunta, P. K. R., Gadekallu, T. R., & Huynh-The, T. (2021, January 4). *Fusion of Federated Learning and Industrial Internet of Things: A Survey*. ArXiv.org. <https://doi.org/10.48550/arXiv.2101.00798>
- Madakam, S., Ramaswamy, R., & Tripathi, S. (2015). Internet of Things (IoT): A Literature Review. *Journal of Computer and Communications*, 03(05), 164–173.  
<https://doi.org/10.4236/jcc.2015.35021>
- Manavalan, E., & Jayakrishna, K. (2019). A review of Internet of Things (IoT) embedded sustainable supply chain for industry 4.0 requirements. *Computers & Industrial Engineering*, 127(1), 925–953. <https://doi.org/10.1016/j.cie.2018.11.030>
- Mashayekhy, Y., Babaei, A., Yuan, X.-M., & Xue, A. (2022). Impact of Internet of Things (IoT) on Inventory Management: A Literature Survey. *Logistics*, 6(2), 33. Mdpi. <https://doi.org/10.3390/logistics6020033>
- Matthyssens, P. (2019). Reconceptualizing value innovation for Industry 4.0 and the Industrial Internet of Things. *Journal of Business & Industrial Marketing*, 34(6), 1203–1209. <https://doi.org/10.1108/jbim-11-2018-0348>
- Mendes, C. R., Osaki, R. Y., & Da Costa, C. (2018). Application of Big Data and the Internet of Things in Industry 4.0. *European Journal of Engineering and Technology Research* 022.03.620

- Meneghello, F., Calore, M., Zucchetto, D., Polese, M., & Zanella, A. (2019). IoT: Internet of Threats? A survey of practical security vulnerabilities in real IoT devices. *IEEE Internet of Things Journal*, 6(5), 1–1. <https://doi.org/10.1109/jiot.2019.2935189>
- Mobasshir Mahbub. (2022). IoT Ecosystem: Functioning Framework, Hierarchy of Knowledge, and Intelligence. *Internet of Things*, 47–76. [https://doi.org/10.1007/978-3-030-87059-1\\_2](https://doi.org/10.1007/978-3-030-87059-1_2)
- Molano, J. I. R., Lovelle, J. M. C., Montenegro, C. E., Granados, J. J. R., & Crespo, R. G. (2017). Metamodel for integration of Internet of Things, Social Networks, the Cloud and Industry 4.0. *Journal of Ambient Intelligence and Humanized Computing*, 9(3), 709–723. <https://doi.org/10.1007/s12652-017-0469-5>
- Mostafa, N., Hamdy, W., & Elawady, H. (2020). An Intelligent Warehouse Management System Using the Internet of Things. *Egyptian Journal for Engineering Sciences and Technology*, 32(1), 59–65. <https://doi.org/10.21608/eijest.2020.42338.1009>
- Munirathinam, S. (2020, January 1). *Chapter Six - Industry 4.0: Industrial Internet of Things (IIOT)* (P. Raj & P. Evangeline, Eds.). ScienceDirect; Elsevier. <https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S0065245819300634>
- Murray, A., Papa, A., Cuozzo, B., & Russo, G. (2016). Evaluating the innovation of the Internet of Things. *Business Process Management Journal*, 22(2), 341–356. <https://doi.org/10.1108/bpmj-05-2015-0077>
- Mwenemeru, H. K., & Nzuki, D. (2015). Internet of things and competitive advantage. *International Journal of Science and Research*.
- Nagy, J., Oláh, J., Erdei, E., Máté, D., & Popp, J. (2018). The Role and Impact of Industry 4.0 and the Internet of Things on the Business Strategy of the Value Chain—The Case of Hungary. *Sustainability*, 10(10), 3491. <https://doi.org/10.3390/su10103491>
- Namjoshi, J., & Rawat, M. (2022). Role of smart manufacturing in industry 4.0. *Materials Today: Proceedings*. <https://doi.org/10.1016/j.matpr.2>
- Oh, J., & Jeong, B. (2019). Tactical supply planning in smart manufacturing supply chain. *Robotics and Computer-Integrated Manufacturing*, 55, 217–233. <https://doi.org/10.1016/j.rcim.2018.04.003>

Oh, S.-R., & Kim, Y.-G. (2017, February 1). *Security Requirements Analysis for the IoT*. IEEE Xplore. <https://doi.org/10.1109/PlatCon.2017.7883727>

Pal, S., Hitchens, M., Rabehaja, T., & Mukhopadhyay, S. (2020). Security Requirements for the Internet of Things: A Systematic Approach. *Sensors*, 20(20), 5897. <https://doi.org/10.3390/s20205897>

Parra, D. T., & Guerrero, C. D. (2020). Technological Variables for Decision-making IoT Adoption in Small and Medium Enterprises. *Journal of Information Systems Engineering and Management*, 5(4), em0124. <https://doi.org/10.29333/jisem/8484>

Patel, K., & Patel, S. (2016). Internet of Things-IOT: Definition, Characteristics, Architecture, Enabling Technologies, Application & Future Challenges. In *International Journal of Engineering Science and Computing* (p. 6122). <http://www.opjstamnar.com/download/Worksheet/Day-110/IP-XI.pdf>

Pech, M., Vrchota, J., & Bednář, J. (2021). Predictive Maintenance and Intelligent Sensors in Smart Factory: Review. *Sensors*, 21(4), 1470. <https://doi.org/10.3390/s21041470>

Perera, C., Liu, C. H., Jayawardena, S., & Min Chen. (2014). A Survey on Internet of Things From Industrial Market Perspective. *IEEE Access*, 2, 1660–1679. <https://doi.org/10.1109/access.2015.2389854>

Pfeiffer, S. (2016). Robots, Industry 4.0 and Humans, or Why Assembly Work Is More than Routine Work. *Societies*, 6(2), 16. <https://doi.org/10.3390/soc6020016>

Pinon, M. M. B., Nascimento, M. H. R., B. Junior, J. de A., Tavares, T. F. D., & Silva, V. L. de S. (2018). Applications and Advantages of the Internet of Things (IoT) at Industry 4.0. *ITEGAM- Journal of Engineering and Technology for Industrial Applications (ITEGAM-JETIA)*, 4(15). <https://doi.org/10.5935/2447-0228.20180066>

Pranati Rakshit, Nath, I., & Pal, S. (2019). Application of IoT in Healthcare. *Intelligent Systems Reference Library*, 263–277. [https://doi.org/10.1007/978-3-030-33596-0\\_10](https://doi.org/10.1007/978-3-030-33596-0_10)

Razmjoo, A., Gandomi, A., Mahlooji, M., Astiaso Garcia, D., Mirjalili, S., Rezvani, A., Ahmadzadeh, S., & Memon, S. (2022). An Investigation of the Policies and Crucial Sectors of Smart Cities Based on IoT Application. *Applied Sciences*, 12(5), 2672. <https://doi.org/10.3390/app12052672>

Sadeghi, A.-R., Wachsmann, C., & Waidner, M. (2015). Security and privacy challenges in industrial internet of things. *Proceedings of the 52nd Annual Design Automation Conference on - DAC '15*. <https://doi.org/10.1145/2744769.2747942>

Saxena, S., Chandan, R. R., Krishnamoorthy, R., Kumar, U., Singh, P., Pandey, A. K., & Gupta, S. K. (2024). Open Journal Systems. *Jai.front-Sci.com*.  
<https://doi.org/10.32629/jai.v7i4.1219>

Schröder, C. (2016). The challenges of industry 4.0 for small and medium-sized enterprises. Friedrich-Ebert-Stiftung: Bonn, Germany, 7, 1-28.

Sehrawat, D., & Gill, N. S. (2019, April 1). *Smart Sensors: Analysis of Different Types of IoT Sensors*. IEEE Xplore. <https://doi.org/10.1109/ICOEI.2019.8862778>

Shahin, M., Chen, F. F., Bouzary, H., & Krishnaiyer, K. (2020). Integration of Lean practices and Industry 4.0 technologies: smart manufacturing for next-generation enterprises. *The International Journal of Advanced Manufacturing Technology*, 107(5-6), 2927–2936. <https://doi.org/10.1007/s00170-020-05124-0>

Shan, S., Wen, X., Wei, Y., Wang, Z., & Chen, Y. (2020). Intelligent manufacturing in industry 4.0: A case study of Sany heavy industry. *Systems Research and Behavioral Science*, 37(4), 679–690. <https://doi.org/10.1002/sres.2709>

Sisinni, E., Saifullah, A., Han, S., Jennehag, U., & Gidlund, M. (2018). Industrial Internet of Things: Challenges, Opportunities, and Directions. *IEEE Transactions on Industrial Informatics*, 14(11), 4724–4734. <https://doi.org/10.1109/tii.2018.2852491>

Soltani, S. (2021). B2B engagement within an internet of things ecosystem. *Journal of Business & Industrial Marketing*, 37(1), 146–159. <https://doi.org/10.1108/jbim-05-2020-0224>

Song, Y., Yu, F. R., Zhou, L., Yang, X., & He, Z. (2020). Applications of the Internet of Things (IoT) in Smart Logistics: a Comprehensive Survey. *IEEE Internet of Things Journal*, 8(6), 1–1. <https://doi.org/10.1109/jiot.2020.3034385>

Sony, M., & Naik, S. (2019). Key ingredients for evaluating Industry 4.0 readiness for organizations: a literature review. *Benchmarking: An International Journal*, 27(7).  
<https://doi.org/10.1108/bij-09-2018-0284>

Swamy, S. N., & Kota, S. R. (2020). An Empirical Study on System Level Aspects of Internet of Things (IoT). *IEEE Access*, 8, 188082–188134.  
<https://doi.org/10.1109/access.2020.3029847>

Tavana, M., Hajipour, V., & Oveisi, S. (2020). IoT-based Enterprise Resource Planning: Challenges, Open Issues, Applications, Architecture, and Future Research Directions. *Internet of Things*, 11(1), 100262.  
<https://doi.org/10.1016/j.iot.2020.100262>



Telukdarie, A., & Sishi, M. N. (2018, December 1). *Enterprise Definition for Industry 4.0*. IEEE Xplore. <https://doi.org/10.1109/IEEM.2018.8607642>

Thames, L., & Schaefer, D. (2017). Industry 4.0: An Overview of Key Benefits, Technologies, and Challenges. *Springer Series in Advanced Manufacturing*, 1–33. [https://doi.org/10.1007/978-3-319-50660-9\\_1](https://doi.org/10.1007/978-3-319-50660-9_1)

Tran-Dang, H., Krommenacker, N., Charpentier, P., & Kim, D.-S. (2020). Towards the Internet of Things for Physical Internet: Perspectives and Challenges. *IEEE Internet of Things Journal*, 1–1. <https://doi.org/10.1109/jiot.2020.2971736>

Uslu, B., Eren, T., Gür, Ş., & Özcan, E. (2019). Evaluation of the Difficulties in the Internet of Things (IoT) with Multi-Criteria Decision-Making. *Processes*, 7(3), 164. <https://doi.org/10.3390/pr7030164>

Vaidya, S., Ambad, P., & Bhosle, S. (2018). Industry 4.0 – A Glimpse. *Procedia Manufacturing*, 20(20), 233–238. sciencedirect. <https://doi.org/10.1016/j.promfg.2018.02.034>

Vijayaraghavan, V., & Leevinson, J. R. (2019). *Internet of Things Applications and Use Cases in the Era of Industry 4.0*. [https://doi.org/10.1007/978-3-030-24892-5\\_12](https://doi.org/10.1007/978-3-030-24892-5_12)

Vuppalapati, C. (2019). Building Enterprise IoT Applications. In *Google Books*. CRC Press. [https://books.google.com/books?hl=en&lr=&id=6zT3DwAAQBAJ&oi=fnd&pg=PP1&dq=Categories+of+IoT+applications+in+enterprises&ots=NchnufOvkb&sig=1UdIWJQIpdNgLKSMrQo\\_4VsmZ5g](https://books.google.com/books?hl=en&lr=&id=6zT3DwAAQBAJ&oi=fnd&pg=PP1&dq=Categories+of+IoT+applications+in+enterprises&ots=NchnufOvkb&sig=1UdIWJQIpdNgLKSMrQo_4VsmZ5g)

Wang, S., Wan, J., Li, D., & Zhang, C. (2016). Implementing Smart Factory of Industrie 4.0: An Outlook. *International Journal of Distributed Sensor Networks*, 12(1), 3159805. <https://doi.org/10.1155/2016/3159805>

Wollschlaeger, M., Sauter, T., & Jasperneite, J. (2017). The Future of Industrial Communication: Automation Networks in the Era of the Internet of Things and Industry 4.0. *IEEE Industrial Electronics Magazine*, 11(1), 17–27. <https://doi.org/10.1109/mie.2017.2649104>

Yang, H., Kumara, S., Bukkapatnam, S. T. S., & Tsung, F. (2019). The internet of things for smart manufacturing: A review. *IIEE Transactions*, 51(11), 1190–1216. <https://doi.org/10.1080/24725854.2018.1555383>

Yu, X., & Guo, H. (2019). A Survey on IIoT Security. *2019 IEEE VTS Asia Pacific Wireless Communications Symposium (APWCS)*. <https://doi.org/10.1109/vts-apwcs.2019.8851679>

- Zachariah, T., Klugman, N., Campbell, B., Adkins, J., Jackson, N., & Dutta, P. (2015). The Internet of Things Has a Gateway Problem. *Proceedings of the 16th International Workshop on Mobile Computing Systems and Applications - HotMobile '15*. <https://doi.org/10.1145/2699343.2699344>
- Zaidin, N. H. M., Diah, M. N. M., & Sorooshian, S. (2018). Quality management in industry 4.0 era. *Journal of Management and Science*, 1(2), 182–191. <https://doi.org/10.26524/jms.2018.17>
- Zhang, Y., & Wen, J. (2016). The IoT electric business model: Using blockchain technology for the internet of things. *Peer-To-Peer Networking and Applications*, 10(4), 983–994. <https://doi.org/10.1007/s12083-016-0456-1>
- Zhong, R. Y., Xu, X., Klotz, E., & Newman, S. T. (2019). Intelligent Manufacturing in the Context of Industry 4.0: A Review. *Engineering*, 3(5), 616–630. <https://doi.org/10.1016/j.eng.2017.05.015>
- Zhou, K., Liu, T., & Zhou, L. (2015). Industry 4.0: Towards future industrial opportunities and challenges. *2015 12th International Conference on Fuzzy Systems and Knowledge Discovery (FSKD)*. <https://doi.org/10.1109/fskd.2015.7382284>
- Zhuming Bi, Li Da Xu, & Chengen Wang. (2014). Internet of Things for Enterprise Systems of Modern Manufacturing. *IEEE Transactions on Industrial Informatics*, 10(2), 1537–1546. <https://doi.org/10.1109/tii.2014.2300338>