



**ΠΑΝΕΠΙΣΤΗΜΙΟ ΑΙΓΑΙΟΥ
ΠΟΛΥΤΕΧΝΙΚΗ ΣΧΟΛΗ**

ΤΜΗΜΑ ΜΗΧΑΝΙΚΩΝ ΟΙΚΟΝΟΜΙΑΣ ΚΑΙ ΔΙΟΙΚΗΣΗΣ

ΠΡΟΓΡΑΜΜΑ ΜΕΤΑΠΤΥΧΙΑΚΩΝ ΣΠΟΥΔΩΝ
ΟΙΚΟΝΟΜΙΚΗ ΚΑΙ ΔΙΟΙΚΗΣΗ ΓΙΑ ΜΗΧΑΝΙΚΟΥΣ

**Τεχνολογίες Industry 4.0 σε λειτουργίες εφοδιαστικής
διοίκησης: Μια συστηματική βιβλιογραφική επισκόπηση για
την κατηγοριοποίηση των τεχνολογιών**

ΜΕΤΑΠΤΥΧΙΑΚΗ ΕΡΓΑΣΙΑ

του

Μάριου Βασιλείου

Επιβλέπων: Επίκουρος Καθηγητής Ζεϊμπέκης Βασίλειος

Μέλη εξεταστικής επιτροπής:

Καθηγητής Δούνιας Γεώργιος

Αναπληρώτρια Καθηγήτρια Κωνσταντέλου Αναστασία

Χίος, Σεπτέμβριος 2022



UNIVERSITY OF THE AEGEAN
SCHOOL OF ENGINEERING

DEPARTMENT OF FINANCIAL AND MANAGEMENT ENGINEERING

POSTGRADUATE PROGRAM
FINANCIAL AND MANAGEMENT ENGINEERING

**Industry 4.0 Technologies in Supply Chain Management: A
Systematic Literature Review and Classification of
Technologies**

Master Thesis

by

Marios Vasileiou

Supervisor: Assistant Professor Zeimpekis Vasilis

Committee Members:

Professor George Dounias

Associate Professor Constantelou Anastasia

Chios, Greece, September 2022

Η σελίδα αυτή είναι σκόπιμα λευκή.

Πρόλογος και ευχαριστίες

Η παρούσα Μεταπτυχιακή εργασία εκπονήθηκε στα πλαίσια του προγράμματος μεταπτυχιακών σπουδών «Οικονομική και Διοίκηση για Μηχανικούς» του τμήματος Μηχανικών Οικονομίας και Διοίκησης της Πολυτεχνικής σχολής του Πανεπιστημίου Αιγαίου.

Αρχικά, θα ήθελα να ευχαριστήσω τον επιβλέποντα καθηγητή, Δρ. Βασίλειο Ζεϊμπέκη, για την ευκαιρία που μου έδωσε να γνωρίσω αυτό το αντικείμενο και τη διαρκή καθοδήγησή του σε όλα τα στάδια εκπόνησης της εργασίας. Χωρίς την υποστήριξή του δεν θα ήταν δυνατή η ολοκλήρωση της παρούσας εργασίας.

Ακόμα, οφείλω να ευχαριστήσω τους γονείς μου για την οικονομική και ψυχολογική υποστήριξη, καθ' όλη τη διάρκεια των σπουδών μου στο ΠΜΣ.

Είμαι συγγραφέας αυτής της Μεταπτυχιακής Διπλωματικής Εργασίας και κάθε βοήθεια την οποία είχα για την προετοιμασία της είναι πλήρως αναγνωρισμένη και αναφέρεται στην εργασία. Επίσης, έχω αναφέρει τις όποιες πηγές από τις οποίες έκανα χρήση δεδομένων ή ιδεών, είτε αυτές αναφέρονται ακριβώς είτε παραφρασμένες. Επίσης, βεβαιώνω ότι αυτή η εργασία προετοιμάστηκε από εμένα προσωπικά, ειδικά για τη συγκεκριμένη μεταπτυχιακή διπλωματική εργασία.

© [2022]

του

Μάριου Βασιλείου

Τμήμα Μηχανικών Οικονομίας και Διοίκησης

ΠΑΝΕΠΙΣΤΗΜΙΟ ΑΙΓΑΙΟΥ

Η σελίδα αυτή είναι σκόπιμα λευκή.

Περιεχόμενα

Πρόλογος και ευχαριστίες	iv
Περιεχόμενα	vi
Λίστα Σχημάτων	x
Λίστα Εικόνων.....	xi
Λίστα Πινάκων.....	xii
Ακρωνύμια.....	xiv
Περίληψη	xv
Abstract.....	xvi
1 Εισαγωγή	1
1.1 Η σημασία των αλυσίδων εφοδιασμού.....	1
1.2 Προκλήσεις στην λειτουργία της εφοδιαστικής αλυσίδας	2
1.3 Αναδυόμενες Τεχνολογίες	3
1.4 Σκοπός και στόχοι της εργασίας.....	3
1.5 Μεθοδολογία εκπόνησης εργασίας.....	4
1.6 Δομή εργασίας	5
2 Λειτουργίες εφοδιαστικής αλυσίδας	7
2.1 Βασικοί όροι	7
2.2 Εξυπηρέτηση πελατών.....	7
2.3 Πρόβλεψη ζήτησης.....	10
2.4 Διαχείριση αποθεμάτων.....	12
2.5 Διαχείριση προμηθειών	14
2.6 Αποθήκευση	15
2.7 Μεταφορές.....	18
2.8 Διανομές	20
2.9 Αντίστροφη εφοδιαστική (Επιστροφές)	21
3 Χαρακτηριστικά και είδη τεχνολογιών Industry 4.0.....	23
3.1 Industry 4.0	23
3.1.1 Εισαγωγή στο Industry 4.0	23
3.1.2 Ιστορική εξέλιξη: Από το 1.0 στο 4.0.....	24
3.2 Τεχνολογίες Industry 4.0	25
3.3 Ανάλυση των δημοσιεύσεων που διερευνήθηκαν	32
3.4 Προσθετική Κατασκευή	34

3.4.1	Ο ρόλος της προσθετικής κατασκευής στην βιομηχανία	34
3.4.2	Ανάλυση των δημοσιεύσεων που διερευνήθηκαν	35
3.4.3	Τεχνολογίες προσθετικής κατασκευής.....	38
3.4.4	Κατηγοριοποίηση των δημοσιεύσεων της προσθετικής κατασκευής που διερευνήθηκαν με βάση τον τύπο χρήσης.....	38
3.4.5	Εφαρμογές στην προσθετική κατασκευή	40
3.5	Τεχνητή Νοημοσύνη.....	41
3.5.1	Ο ρόλος της τεχνητής νοημοσύνης στην βιομηχανία.....	41
3.5.2	Ανάλυση των δημοσιεύσεων που διερευνήθηκαν	42
3.5.3	Τομείς της τεχνητής νοημοσύνης στην βιομηχανία	44
3.5.4	Εφαρμογές της τεχνητής νοημοσύνης στην βιομηχανία	46
3.6	Επαυξημένη Πραγματικότητα	48
3.6.1	Ο ρόλος της επαυξημένης πραγματικότητας στην βιομηχανία	48
3.6.2	Ανάλυση των δημοσιεύσεων που διερευνήθηκαν	49
3.6.3	Τεχνολογίες και είδη επαυξημένης πραγματικότητας	51
3.6.4	Εφαρμογές επαυξημένης πραγματικότητας	54
3.7	Μεγάλα Δεδομένα και αναλυτικά στοιχεία	55
3.7.1	Ο ρόλος των μεγάλων δεδομένων και της ανάλυσής τους στην βιομηχανία	55
3.7.2	Ανάλυση των δημοσιεύσεων που διερευνήθηκαν	57
3.7.3	Βασικοί τομείς της ανάλυσης των μεγάλων δεδομένων	60
3.7.4	Εφαρμογές της ανάλυσης των μεγάλων δεδομένων	63
3.8	Blockchain	65
3.8.1	Ο ρόλος του Blockchain στη Βιομηχανία	65
3.8.2	Ανάλυση των δημοσιεύσεων που διερευνήθηκαν	66
3.8.3	Κατηγορίες Blockchain.....	68
3.8.4	Εφαρμογές του Blockchain.....	70
3.9	Κυβερνο-φυσικά Συστήματα.....	71
3.9.1	Ο ρόλος των Κυβερνο-Φυσικών συστημάτων στην βιομηχανία	71
3.9.2	Ανάλυση των δημοσιεύσεων που διερευνήθηκαν	72
3.9.3	Εφαρμογές Κυβερνο-φυσικών συστημάτων	74
3.10	Διαδίκτυο των Πραγμάτων.....	76
3.10.1	Ο ρόλος του Διαδικτύου των πραγμάτων στην βιομηχανία.....	76
3.10.2	Ανάλυση των δημοσιεύσεων που διερευνήθηκαν	77
3.10.3	Κατηγοριοποίηση του Διαδικτύου των Πραγμάτων	79
3.10.4	Εφαρμογές του ΔτΠ	81
3.11	Ρομποτική και Αυτοματισμός	82
3.11.1	Ο ρόλος της Ρομποτικής στην βιομηχανία.....	82

3.11.2	Ανάλυση των δημοσιεύσεων που διερευνήθηκαν	83
3.11.3	Κατηγοριοποίηση με βάση τον τύπο του ρομπότ	86
3.11.4	Εφαρμογές της Ρομποτικής	89
3.12	Προσομοίωση	90
3.12.1	Ο ρόλος της προσομοίωσης στην βιομηχανία	90
3.12.2	Ανάλυση των δημοσιεύσεων που διερευνήθηκαν	91
3.12.3	Είδη προσομοίωσης	93
3.12.4	Εφαρμογές στην προσομοίωση	96
3.13	Λειτουργίες της επιχείρησης και κατηγοριοποίηση των τεχνολογιών	97
4	Τεχνολογίες Industry 4.0 στον σχεδιασμό της αλυσίδας εφοδιασμού	99
4.1	Βασικοί όροι	99
4.2	Τεχνολογίες I4.0 στην εξυπηρέτηση πελατών	100
4.2.1	Μεγάλα δεδομένα και προηγμένη αναλυτική	102
4.2.2	Διαδίκτυο των πραγμάτων	104
4.2.3	Blockchain	105
4.2.4	Τεχνητή νοημοσύνη	107
4.2.5	Επαυξημένη και Εικονική Πραγματικότητα	108
4.3	Τεχνολογίες I4.0 στην πρόβλεψη ζήτησης	109
4.3.1	Μεγάλα δεδομένα και προηγμένη αναλυτική	111
4.3.2	Τεχνητή νοημοσύνη	112
4.3.3	Προσομοίωση	113
4.4	Τεχνολογίες I4.0 στη διαχείριση των αποθεμάτων	115
4.5	Τεχνολογίες I4.0 στην διαχείριση των προμηθειών	117
4.5.1	Μεγάλα δεδομένα και προηγμένη αναλυτική	118
4.5.2	Blockchain	118
5	Τεχνολογίες Industry 4.0 στο εκτελεστικό σκέλος της αλυσίδας εφοδιασμού	122
5.1	Βασικοί όροι	122
5.2	Επαυξημένη Πραγματικότητα	122
5.2.1	Επαυξημένη πραγματικότητα στην αποθήκευση	123
5.2.2	Επαυξημένη πραγματικότητα στις μεταφορές και τις διανομές	125
5.2.3	Επαυξημένη πραγματικότητα στην αντίστροφη εφοδιαστική	125
5.3	Διαδίκτυο των Πραγμάτων	125
5.3.1	Διαδίκτυο των Πραγμάτων στην αποθήκευση	126
5.3.2	Διαδίκτυο των Πραγμάτων στις μεταφορές	128
5.3.3	Διαδίκτυο των Πραγμάτων στις διανομές	129
5.3.4	Διαδίκτυο των Πραγμάτων στην αντίστροφη εφοδιαστική	130

5.4	Ρομποτική και Αυτοματισμός.....	131
5.4.1	Ρομποτική και αυτοματισμός στην αποθήκευση	131
5.4.2	Ρομποτική και αυτοματισμός στις Μεταφορές	134
5.4.3	Ρομποτική και αυτοματισμός στις διανομές.....	136
5.5	Προσομοίωση	138
5.6	Τεχνητή Νοημοσύνη.....	142
5.7	Μεγάλα Δεδομένα και προηγμένη αναλυτική.....	144
6	Σύνοψη και Συμπεράσματα	147
	Βιβλιογραφία	150

Λίστα Σχημάτων

Σχήμα 2.1 Μοτίβα ζήτησης (Scott, Lundgren and Thompson, 2018)	11
Σχήμα 2.2 Πως να μειωθεί το απόθεμα αυξάνοντας την εξυπηρέτηση πελατών (Frazelle, 2020)..	12
Σχήμα 2.3 Διαδικασία ροής εργασιών προμήθειας (https://www.slideteam.net/)	15
Σχήμα 2.4 Τρόποι μεταφοράς (Scott, Lundgren and Thompson, 2018).....	19
Σχήμα 3.1 Οι τέσσερις βιομηχανικές επαναστάσεις (DFK 2011)	24
Σχήμα 3.2 Κατηγοριοποίηση των δημοσιεύσεων που διερευνήθηκαν ως προς τις τεχνολογίες....	32
Σχήμα 3.3 Αριθμός δημοσιεύσεων ανά έτος και ανά τύπο.....	33
Σχήμα 3.4 Γεωγραφική κατανομή των δημοσιεύσεων	34
Σχήμα 3.5 Γεωγραφική κατανομή των δημοσιεύσεων	35
Σχήμα 3.6 Αριθμός δημοσιεύσεων ανά έτος	36
Σχήμα 3.7 Γεωγραφική κατανομή των δημοσιεύσεων	42
Σχήμα 3.8 Αριθμός δημοσιεύσεων ανά έτος	43
Σχήμα 3.9 Γεωγραφική κατανομή των δημοσιεύσεων	49
Σχήμα 3.10 Αριθμός δημοσιεύσεων ανά έτος	50
Σχήμα 3.11 Γεωγραφική κατανομή των δημοσιεύσεων	58
Σχήμα 3.12 Αριθμός δημοσιεύσεων ανά έτος	58
Σχήμα 3.13 Γεωγραφική κατανομή των δημοσιεύσεων	66
Σχήμα 3.14 Αριθμός δημοσιεύσεων ανά έτος	67
Σχήμα 3.15 Γεωγραφική κατανομή των δημοσιεύσεων	73
Σχήμα 3.16 Αριθμός δημοσιεύσεων ανά έτος	73
Σχήμα 3.17 Γεωγραφική κατανομή των δημοσιεύσεων	77
Σχήμα 3.18 Αριθμός δημοσιεύσεων ανά έτος	78
Σχήμα 3.19 Γεωγραφική κατανομή των δημοσιεύσεων	83
Σχήμα 3.20 Αριθμός δημοσιεύσεων ανά έτος	84
Σχήμα 3.21 Γεωγραφική κατανομή των δημοσιεύσεων	91
Σχήμα 3.22 Αριθμός δημοσιεύσεων ανά έτος	92
Σχήμα 3.23 Κατηγοριοποίηση των δημοσιεύσεων με βάση των λειτουργιών μιας επιχείρησης....	97
Σχήμα 3.24 Κατηγοριοποίηση των λειτουργιών μιας επιχείρησης με βάση τις τεχνολογίες.....	98
Σχήμα 4.1 Τεχνολογίες Industry 4.0 στις λειτουργίες σχεδιασμού της εφοδιαστικής αλυσίδας...100	
Σχήμα 4.2 Πέντε τεχνολογίες οι οποίες αναμένεται να αποκτήσουν μεγαλύτερη αξία στο προσεχές διάστημα σύμφωνα με την Gartner (Gupta, 2021)	101
Σχήμα 4.3 Τεχνολογίες που θα έχουν θετικό αντίκτυπο στη βελτίωση της πρόβλεψης ζήτησης μέχρι το 2025 (Wilson, 2018).....	110

Λίστα Εικόνων

Εικόνα 3.1 AM Processes (Dilberoglu et. al, 2017)	38
Εικόνα 5.1 Smart Glasses (dhl.com).....	123
Εικόνα 5.2 Συλλογή με χρήση έξυπνων γυαλιών (dpdhl.com).....	124
Εικόνα 5.3 DHL Paketkasten για παράδοση δεμάτων (Macaulay, Buckalew and Chung, 2015).130	
Εικόνα 5.4 Κύρια υποσυστήματα των AGVs (Κοναζιέ et al., 2019)	132
Εικόνα 5.5 Χρήση των ρομπότ σε αποθήκη στα ΕΛΤΑ (Elta-courier, 2021).....	133
Εικόνα 5.6 UAV κατά τον προσδιορισμό της θέσης των εμπορευμάτων (Hardesty, 2017)	134
Εικόνα 5.7 Platooning (Duan, 2017)	135
Εικόνα 5.8 UAV Parcelcopter (Heutger and Kückelhaus, 2014)	136
Εικόνα 5.9 Αυτόνομα ρομπότ της Starship (Marr, 2021).....	137
Εικόνα 5.10 Αυτόνομο ρομπότ Nuro R2 για παράδοση παραγγελιών. (Buss, 2021).....	138
Εικόνα 5.11 Πρόγραμμα προσομοίωσης (Spiegel, 2019).....	139
Εικόνα 5.12 Προσομοίωση διασύνδεσης αλυσίδας εφοδιασμού (productive40.eu)	141
Εικόνα 5.13 Αποτελέσματα χρήσης του προγράμματος εύρεσης βέλτιστης διαδρομής (Bujel, 2018)	146

Λίστα Πινάκων

Πίνακας 1.1 Διαδικασία συστηματικής βιβλιογραφικής επισκόπησης (Xiao and Watson, 2019)....	4
Πίνακας 2.1 Βασικά συστατικά εξυπηρέτησης πελατών.....	9
Πίνακας 3.1 Περιγραφή των τεχνολογιών Industry 4.0.....	26
Πίνακας 3.2 Το αντίκτυπο των τεχνολογιών στο Industry 4.0	29
Πίνακας 3.3 Κατηγοριοποίηση με βάση του είδος του περιεχομένου.....	36
Πίνακας 3.4 Κατηγοριοποίηση των δημοσιεύσεων της προσθετικής κατασκευής με βάση τον τύπο χρήσης.....	39
Πίνακας 3.5 Ενδεικτικές εφαρμογές της προσθετική κατασκευής.....	40
Πίνακας 3.6 Κατηγοριοποίηση με βάση του είδος του περιεχομένου.....	43
Πίνακας 3.7 Τομείς της τεχνητής νοημοσύνης στην βιομηχανία (Peres et al., 2020)	44
Πίνακας 3.8 Κατηγοριοποίηση με βάση τους τομείς.....	46
Πίνακας 3.9 Ενδεικτικές εφαρμογές της τεχνητής νοημοσύνης.....	47
Πίνακας 3.10 Κατηγοριοποίηση με βάση του είδος του περιεχομένου.....	50
Πίνακας 3.11 Είδη επαυξημένης πραγματικότητας (Lavingia and Tanwar, 2020).....	52
Πίνακας 3.12 Κατηγοριοποίηση των δημοσιεύσεων με βάση το είδος της επαυξημένης πραγματικότητας.....	53
Πίνακας 3.13 Ενδεικτικές εφαρμογές επαυξημένης πραγματικότητας	54
Πίνακας 3.14 Κατηγοριοποίηση με βάση του είδος του περιεχομένου.....	59
Πίνακας 3.15 Βασικοί τομείς των μεγάλων δεδομένων	61
Πίνακας 3.16 Κατηγοριοποίηση των δημοσιεύσεων που διερευνήθηκαν με βάση το είδος της τεχνολογίας	62
Πίνακας 3.17 Κατηγοριοποίηση με βάση του είδος του περιεχομένου.....	67
Πίνακας 3.18 Είδη Blockchain	69
Πίνακας 3.19 Κατηγοριοποίηση δημοσιεύσεων με βάση το είδος του Blockchain.....	69
Πίνακας 3.20 Ενδεικτικές εφαρμογές του Blockchain στην βιομηχανία	70
Πίνακας 3.21 Κατηγοριοποίηση με βάση του είδος του περιεχομένου.....	74
Πίνακας 3.22 Εφαρμογές Κυβερνο-φυσικών συστημάτων	75
Πίνακας 3.23 Κατηγοριοποίηση με βάση του είδος του περιεχομένου.....	78
Πίνακας 3.24 Κατηγοριοποίηση του IoT.....	80
Πίνακας 3.25 Κατηγοριοποίηση των δημοσιεύσεων.....	81
Πίνακας 3.26 Εφαρμογές του ΔτΠ	81
Πίνακας 3.27 Κατηγοριοποίηση με βάση του είδος του περιεχομένου.....	84
Πίνακας 3.28 Κατηγοριοποίηση των ρομπότ	86
Πίνακας 3.29 Κατηγοριοποίηση δημοσιεύσεων με βάση τον τύπο του ρομπότ	88
Πίνακας 3.30 Ενδεικτικές εφαρμογές της ρομποτικής στο Industry 4.0	89
Πίνακας 3.31 Κατηγοριοποίηση με βάση του είδος του περιεχομένου.....	92
Πίνακας 3.32 Είδος προσομοίωσης (Ferreira, Armellini and Santa-Eulalia, 2020).....	93
Πίνακας 3.33 Κατηγοριοποίηση των δημοσιεύσεων με βάση το είδος της προσομοίωσης.....	95
Πίνακας 3.34 Ενδεικτικές εφαρμογές στην προσομοίωση.....	96

Πίνακας 4.1 Δημοσιεύσεις σχετικές με την εξυπηρέτηση των πελατών ανάλογα με τις τεχνολογίες που χρησιμοποιούν.....	102
Πίνακας 4.2 Δημοσιεύσεις σχετικές με την πρόβλεψη ζήτησης ανάλογα με τις τεχνολογίες που χρησιμοποιούν.....	110
Πίνακας 4.3 Δημοσιεύσεις σχετικές με τη διαχείριση των αποθεμάτων ανάλογα με τις τεχνολογίες που χρησιμοποιούν.....	115
Πίνακας 4.4 Δημοσιεύσεις σχετικές με τη διαχείριση των προμηθειών ανάλογα με τις τεχνολογίες που χρησιμοποιούν.....	117
Πίνακας 5.1 Δημοσιεύσεις που διερευνήθηκαν σχετικά με το εκτελεστικό σκέλος της αλυσίδας εφοδιασμού με χρήση επαυξημένης πραγματικότητας.....	123
Πίνακας 5.2 Δημοσιεύσεις που διερευνήθηκαν σχετικά με το εκτελεστικό σκέλος της αλυσίδας εφοδιασμού με χρήση IoT.....	125
Πίνακας 5.3 Δημοσιεύσεις που διερευνήθηκαν σχετικά με το εκτελεστικό σκέλος της αλυσίδας εφοδιασμού με χρήση ρομποτικής.....	131
Πίνακας 5.4 Δημοσιεύσεις που διερευνήθηκαν σχετικά με το εκτελεστικό σκέλος της αλυσίδας εφοδιασμού με χρήση προσομοίωσης.....	138
Πίνακας 5.5 Δημοσιεύσεις που διερευνήθηκαν σχετικά με το εκτελεστικό σκέλος της αλυσίδας εφοδιασμού με χρήση τεχνητής νοημοσύνης	142
Πίνακας 5.6 Δημοσιεύσεις που διερευνήθηκαν σχετικά με το εκτελεστικό σκέλος της αλυσίδας εφοδιασμού με χρήση των μεγάλων δεδομένων και την ανάλυσή τους.....	144

Ακρωνύμια

AGV	Automated Guided Vehicles
AI	Artificial Intelligence
AMR	Autonomous Mobile Robots
AR	Augmented Reality
B2B	Business to Business
CNC	Computer Numerical Control
CPPS	Cyber Physical Production Systems
CPS	Cyber Physical Systems
I4.0	Industry 4.0
IAR	Industrial Augmented Reality
IIoT	Industrial Internet of Things
IoT	Internet of Things
S.L.A.M.	Simultaneous Confinement And Mapping
SLR	Systematic Literature Review
VR	Virtual Reality
ΔτΠ	Διαδίκτυο των Πραγμάτων
TN	Τεχνητή Νοημοσύνη
ΤΠΕ	Τεχνολογίες Πληροφοριών και Επικοινωνιών

Περίληψη

Το Industry 4.0 αντιπροσωπεύει τη σύγχρονη τάση των τεχνολογιών αυτοματισμού και ψηφιοποίησης στη βιομηχανία και χαρακτηρίζεται από τις υπηρεσίες πληροφορικής και την κατασκευή με την χρήση εξελιγμένων ηλεκτρονικών εξαρτημάτων. Οι ερευνητές επικεντρώνονται στην κατανόηση και τον ορισμό αυτής της ιδέας και προσπαθούν να αναπτύξουν συστήματα, επιχειρηματικά μοντέλα, και αντίστοιχες μεθοδολογίες, ενώ η βιομηχανία ασχολείται με την ανάπτυξη βιομηχανικού υλικού και ευφών συστημάτων μαζί με μελλοντικούς πελάτες. Η αυτοματοποίηση και η ψηφιοποίηση των λειτουργιών πρέπει να υλοποιούνται σε όλη την εφοδιαστική αλυσίδα όσον αφορά τη βελτιστοποίηση των λειτουργιών της. Ο στόχος αυτής της εργασίας είναι να διερευνήσει τον αντίκτυπο των τεχνολογιών Industry 4.0 στις λειτουργίες της εφοδιαστικής διοίκησης κατηγοριοποιώντας τις ανάλογα με τη χρήση τους. Για να επιτευχθεί αυτό, χρησιμοποιήθηκε η προσέγγιση της συστηματικής βιβλιογραφικής επισκόπησης η οποία χαρακτηρίζεται από μια επισκόπηση τριών φάσεων με πολλές δημοσιεύσεις και πολλαπλά κριτήρια για τον προσδιορισμό της σχετικής έρευνας. Σε αυτήν την επισκόπηση έχουμε διακρίνει εννέα τεχνολογίες που συμβάλλουν στην μετάβαση της αλυσίδας εφοδιασμού στην τέταρτη βιομηχανική επανάσταση. Αυτές οι τεχνολογίες είναι η Προσθετική Κατασκευή, η Τεχνητή Νοημοσύνη, η Επαυξημένη Πραγματικότητα, τα Μεγάλα Δεδομένα & Αναλύσεις, το Blockchain, τα Κυβερνοφυσικά Συστήματα, το Διαδίκτυο των Πραγμάτων, η Ρομποτική και ο Αυτοματισμός και η Προσομοίωση. Για κάθε μια από τις τεχνολογίες αυτές, αναλύεται ο ρόλος τους στο Industry 4.0, οι δημοσιεύσεις που διερευνήθηκαν, οι εφαρμογές τους, και γίνεται κατηγοριοποίηση των δημοσιεύσεων με βάση τα χαρακτηριστικά και τα είδη των τεχνολογιών αυτών. Ακόμα, αναλύεται ο τρόπος με τον οποίο οι τεχνολογίες Industry 4.0 χρησιμοποιούνται στον σχεδιασμό και στο εκτελεστικό σκέλος της αλυσίδας εφοδιασμού με την παράθεση εφαρμογών και μελετών περίπτωσης.

Λέξεις Κλειδιά: *Industry 4.0, Logistics 4.0, Εφοδιαστική Αλυσίδα 4.0, Διοίκηση της Εφοδιαστικής Αλυσίδας, Λειτουργίες Εφοδιαστικής Αλυσίδας, Κατηγοριοποίηση τεχνολογιών, Συστηματική Βιβλιογραφική Επισκόπηση*

Abstract

Industry 4.0 stands for the contemporary trend of automation and digitalization technologies in industry and it is typified on services and manufacturing by highly sophisticated electronics and IT. Academic researchers focalize on the comprehension and definition of this idea and endeavor to develop contiguous systems, business models and respective methodologies, while industry diverts its attention on the development of the industrial hardware and intelligent systems along with future clients. The automation and digitalization of the operations must be implemented throughout the supply chain regarding optimization of its functions. The aim of this thesis is to probe the impact of Industry 4.0 technologies on the Supply Chain Functions (SCF) classifying them depending on their utilization. To attain that, the Systematic Literature Review (SLR) approach was used which has a three-phase step review with multiple publications and manifold criteria to identify the related research. In this overview we have distinguished nine trending technologies that are transforming the SCF enabling the industry 4.0 to redefine businesses to the new era. These technologies are Additive Manufacturing, Artificial Intelligence, Augmented Reality, Big Data & Analytics, Blockchain, Cyber-Physical Systems, Internet of Things, Robotics and Automation, and Simulation. For each of these technologies, their role in Industry 4.0 is analyzed, along with the reviewed publications, their applications, and the classification of publications based on the characteristics and types of these technologies. Furthermore, this thesis quotes how Industry 4.0 technologies are used in the supply chain planning and execution by listing applications and case studies.

Keywords: *Industry 4.0, Supply Chain 4.0, Logistics 4.0, Supply Chain Management (SCM), Supply Chain Functions (SCF), Technology classification, Systematic Literature Review (SLR)*

1

Εισαγωγή

1.1 Η σημασία των αλυσίδων εφοδιασμού

Η διαχείριση της εφοδιαστικής αλυσίδας αποτελεί αναπόσπαστο μέρος των περισσότερων επιχειρήσεων και είναι απαραίτητη για την επιτυχία της εταιρείας και την ικανοποίηση των πελατών. Οι πελάτες αναμένουν ότι τα προϊόντα θα είναι διαθέσιμα άμεσα, και η παράδοση της παραγγελίας θα γίνει στην υποσχόμενη ώρα. Ακόμα, περιμένουν από την επιχείρηση άμεση και αποτελεσματική υποστήριξη μετά την αγορά (π.χ. επισκευές). Ως εκ τούτου, η σωστή διαχείριση της αλυσίδας εφοδιασμού και η ικανοποίηση των πελατών μπορεί να δώσει το ανταγωνιστικό πλεονέκτημα στην εταιρεία.

Επίσης, οι πωλητές λιανικής εξαρτώνται από τις αλυσίδες εφοδιασμού για να παραδίδουν γρήγορα τα προϊόντα με σκοπό να αποφύγουν τη διατήρηση δαπανηρών αποθεμάτων στα καταστήματα τους, ειδικά όταν αυτά έχουν μεγάλο όγκο. Παράλληλα, οι κατασκευαστές εξαρτώνται από τις αλυσίδες εφοδιασμού για να αποφύγουν ελλείψεις υλικών, που θα μπορούσαν να διακόψουν την παραγωγή σε περίπτωση καθυστερημένων παραδόσεων. Συνεπώς, οι αποτελεσματικές αλυσίδες εφοδιασμού επιτρέπουν σε μια επιχείρηση να είναι πιο ανταγωνιστική στην αγορά μειώνοντας το κόστος στο ελάχιστο δυνατό.

Επιπλέον, η αποδοτική διαχείριση της εφοδιαστικής αλυσίδας μπορεί να μειώσει τα κόστη και τα περιουσιακά στοιχεία αυξάνοντας την ταμειακή ρευστότητα της επιχείρησης. Για

παράδειγμα, η βέλτιστη διαχείριση του στόλου των οχημάτων κατά τις μεταφορές μπορεί να μειώσει την ανάγκη ύπαρξης κάποιων οχημάτων. Αντίστοιχα, προβλέποντας τη ζήτηση στην αγορά και μειώνοντας την ανάγκη των αποθηκών (π.χ. με διατήρηση χαμηλού αποθέματος) μπορεί να μειώσει την ανάγκη ύπαρξης κάποιων αποθηκών.

1.2 Προκλήσεις στην λειτουργία της εφοδιαστικής αλυσίδας

Η διαχείριση της εφοδιαστικής αλυσίδας είναι ένας τομέας που αλλάζει γρήγορα. Πρόσφατα, η πανδημία του Covid-19 οδήγησε τις εταιρείες σε όλο τον κόσμο να αλλάξουν τη δομή και τον τρόπο που σκέφτονται και να λειτουργούν σε ένα όλο και πιο ασταθές και αβέβαιο παγκόσμιο περιβάλλον. Οι ανάγκες των πελατών συνεχώς αλλάζουν, όπως και οι προτιμήσεις τους, με αποτέλεσμα να είναι δύσκολη η πρόβλεψη της συμπεριφοράς τους.

Παράλληλα καθώς αυξάνονται οι παραγγελίες στο ηλεκτρονικό εμπόριο και οι πελάτες γίνονται όλο και πιο απαιτητικοί, ζητώντας παραδόσεις την επόμενη μέρα (ή ακόμα και την ίδια μέρα) οι εταιρείες καλούνται να βρουν τρόπους για να κρατήσουν ευχαριστημένους τους πελάτες τους. Καθώς οι καταναλωτές ζητούν προϊόντα υψηλής ποιότητας με χαμηλότερο κόστος, η διαχείριση της εφοδιαστικής αλυσίδας έχει γίνει τόσο κρίσιμη όσο οι πωλήσεις, το μάρκετινγκ, και η χρηματοδότηση. Οι βασικές προκλήσεις που πρέπει να αντιμετωπίσουν οι επιχειρήσεις είναι οι εξής:

- Πρέπει να μπορούν να προβλέψουν την συμπεριφορά των καταναλωτών.
- Πρέπει να μειώσουν τα κόστη μεταφοράς έτσι ώστε να μπορούν να διατηρήσουν ανταγωνίστηκες τιμές.
- Πρέπει να μπορούν να ανταπεξέλθουν στις απαιτήσεις των πελατών/βιομηχανίας, οι οποίες αλλάζουν συνεχώς.
- Πρέπει να έχουν αξιόπιστους συνεργάτες οι οποίοι να τους προμηθεύουν με συνέπεια είτε αυτά είναι αγαθά, είτε υπηρεσίες.
- Πρέπει να παραδίδουν στον πελάτη το αγαθά σε έγκαιρο χρόνο.

Ο στόχος των αλυσίδων εφοδιασμού είναι να υπερτερούν από τον ανταγωνισμό παρέχοντας καλύτερες υπηρεσίες, με χαμηλότερο κόστος, διατηρώντας τη βιωσιμότητα. Για να το καταφέρουν αυτό θα πρέπει να ανταπεξέλθουν στο ασταθές και αβέβαιο περιβάλλον και να γίνουν πιο ανθεκτικές και ευέλικτες. Η υλοποίηση μιας ανθεκτικής εφοδιαστικής αλυσίδας συνεπάγεται με τη δημιουργία ενός δικτύου προμηθευτών που να μπορεί να αντέξει ξαφνικές αλλαγές και να προσαρμοστεί στο νέο περιβάλλον. Μια ανθεκτική εφοδιαστική αλυσίδα είναι

αυτή που μπορεί να προσαρμοστεί σε περιόδους κρίσης και να βρει νέους τρόπους για να δημιουργήσει αξία.

1.3 Αναδύομενες Τεχνολογίες

Στα πλαίσια της εργασίας, έχουμε διακρίνει εννέα τεχνολογίες που επιτρέπουν την μετάβαση στο Industry 4.0. Αυτές οι τεχνολογίες είναι η Προσθετική Κατασκευή (Additive Manufacturing), η Τεχνητή Νοημοσύνη (Artificial Intelligence), η Επαυξημένη Πραγματικότητα (Augmented Reality), τα Μεγάλα Δεδομένα και η ανάλυσή τους (Big Data & Analytics), το Blockchain, τα Κυβερνοφυσικά συστήματα (Cyber-Physical Systems), το Διαδίκτυο των Πραγμάτων (Internet of Things), η Ρομποτική και ο Αυτοματισμός (Robotics & Automation), και η Προσομοίωση (Simulation). Η χρήση αυτών των τεχνολογιών στο πλαίσιο της τέταρτης βιομηχανικής επανάστασης αναμένεται να βελτιώσει τις υπάρχουσες πρακτικές στην εφοδιαστική αλυσίδα, τόσο στο εκτελεστικό σκέλος της όσο και στον σχεδιασμό της.

1.4 Σκοπός και στόχοι της εργασίας

Η παρούσα μεταπτυχιακή εργασία εστιάζει στην διερεύνηση του αντίκτυπου των τεχνολογιών Industry 4.0 στις λειτουργίες εφοδιαστικής διοίκησης κατηγοριοποιώντας τις ανάλογα με τη χρήση ή το είδος τους. Για να επιτευχθεί αυτό, χρησιμοποιήθηκε η προσέγγιση της συστηματικής βιβλιογραφικής επισκόπησης. Οι επιμέρους στόχοι της εν λόγω εργασίας είναι οι εξής:

- Καταγραφή των βασικών λειτουργιών της εφοδιαστικής αλυσίδας.
- Βιβλιογραφική επισκόπηση των τεχνολογιών Industry 4.0
- Αποτύπωση των βασικών εννοιών και χαρακτηριστικών του Industry 4.0 και των υποκείμενων τεχνολογιών.
- Κατηγοριοποίηση των Τεχνολογιών με βάση το είδος ή την χρήση τους.
- Διασύνδεση των τεχνολογιών Industry 4.0 με τις λειτουργίες της αλυσίδας εφοδιασμού
- Παρουσίαση εφαρμογών και μελετών περίπτωσης της χρήσης των τεχνολογιών Industry 4.0 στις λειτουργίες της αλυσίδας εφοδιασμού

1.5 Μεθοδολογία εκπόνησης εργασίας

Η μεθοδολογία που ακολουθήθηκε για την εκπόνηση της παρούσας μεταπτυχιακής εργασίας βασίζεται στην συστηματική βιβλιογραφική επισκόπηση (Systematic Literature Review – SLR) η οποία περιλαμβάνει τρεις φάσεις και 8 βήματα:

Πίνακας 1.1 Διαδικασία συστηματικής βιβλιογραφικής επισκόπησης (Xiao and Watson, 2019)

Σχεδιασμός της έρευνας	1. Διατύπωση του προβλήματος
	2. Ανάπτυξη πρωτοκόλλου έρευνας
Διεξαγωγή της έρευνας	3. Αναζήτηση στην βιβλιογραφία (με βάση τον τίτλο)
	4. Έλεγχος για ένταξη στην έρευνα (με βάση την περίληψη)
	5. Αξιολόγηση της ποιότητας (με βάση το περιεχόμενο)
	6. Εξαγωγή δεδομένων
	7. Ανάλυση και σύνθεση δεδομένων
Αναφορά της έρευνας	8. Αναφορά των ευρημάτων

Η ακριβής μεθοδολογία που ακολουθήθηκε περιγράφεται παρακάτω:

Αρχικά, πραγματοποιήθηκε αναζήτηση άρθρων σε διεθνή συνέδρια και περιοδικά, αναφορών από επιχειρήσεις, και βιβλίων σχετικά με την τέταρτη βιομηχανική επανάσταση και των τεχνολογιών που χρησιμοποιούνται από το 2019 μέχρι σήμερα. Ενδεικτικά για την αναζήτηση χρησιμοποιήθηκαν όροι όπως *Industry 4.0*, *Supply Chain 4.0*, *Logistics 4.0*. Τα βασικά ερωτήματα που έπρεπε να απαντήσει η αναζήτηση ήταν:

- Ποιες τεχνολογίες επιτρέπουν την μετάβαση στο *Industry 4.0*;
- Σε ποιες λειτουργίες της επιχείρησης εφαρμόζονται αυτές οι τεχνολογίες;
- Πως μπορούν να κατηγοριοποιηθούν αυτές οι τεχνολογίες;

Για το κάθε άρθρο καταγράφηκαν κάποια στοιχεία του, όπως ο τίτλος, ο εκδότης, οι συγγραφείς, το έτος, και η χώρα εργασίας των συγγραφέων. Σε αυτή την πρώτη αναζήτηση συγκεντρώθηκαν περισσότερα από 400 άρθρα.

Στην συνέχεια, αυτά τα άρθρα μελετήθηκαν με σκοπό την εξαγωγή των κατηγοριών και των τεχνολογιών με τις οποίες έπρεπε να κατηγοριοποιηθούν. Σε αυτό το στάδιο τα άρθρα τα οποία δεν ήταν σχετικά απορρίφθηκαν.

Στο επόμενο στάδιο, τα άρθρα κατηγοριοποιήθηκαν με βάση των λειτουργιών μιας επιχείρησης (π.χ. εξυπηρέτηση πελατών, παραγωγή, πωλήσεις κ.τ.λ.) και των τεχνολογιών που

επικεντρώνονται (τεχνητή νοημοσύνη, διαδίκτυο των πραγμάτων κ.α.). Ακόμα, η κάθε τεχνολογία χωρίστηκε σε περαιτέρω υποκατηγορίες. Έτσι, σε ένα αρχείο υπήρχαν συγκεντρωμένα όλα τα στοιχεία για κάθε άρθρο και υπήρχε γνώση για την πληθώρα των άρθρων σε κάθε κατηγορία.

Με αυτό τον τρόπο μπορούσε να διακριθεί σε ποιες κατηγορίες δεν είχαν συγκεντρωθεί αρκετές δημοσιεύσεις και έπρεπε να γίνει περαιτέρω αναζήτηση άρθρων. Ως εκ τούτου, έγινε διερεύνηση περισσότερων δημοσιεύσεων στοχευμένα στις κατηγορίες με ανεπαρκή αριθμό δημοσιεύσεων.

Τέλος, αφού συγκεντρώθηκε επαρκής αριθμός δημοσιεύσεων έγινε επικαιροποίηση των κατηγοριών και κατηγοριοποίηση όλων των άρθρων με βάση αυτές. Αφού ολοκληρώθηκε αυτή η διαδικασία ξεκίνησε η συγγραφή της εργασίας στην οποία παρατίθενται οι πίνακες με τις πληροφορίες των δημοσιεύσεων.

1.6 Δομή εργασίας

Η παρούσα μεταπτυχιακή εργασία αποτελείται από 6 κεφάλαια. Πιο συγκεκριμένα, στο Κεφάλαιο 1 έγινε η εισαγωγή στην εργασία στην οποία αναφέρθηκαν η σημασία των αλυσίδων εφοδιασμού, οι προκλήσεις στην λειτουργία της εφοδιαστικής αλυσίδας, οι αναδυόμενες τεχνολογίες, ο σκοπός και οι στόχοι της εργασίας, και η μεθοδολογία η οποία ακολουθήθηκε.

Στο Κεφάλαιο 2 παρουσιάζονται οι λειτουργίες της εφοδιαστικής αλυσίδας και ειδικότερα η εξυπηρέτηση πελατών, η πρόβλεψη ζήτησης, η διαχείριση των αποθεμάτων, η διαχείριση των προμηθειών, η αποθήκευση, οι μεταφορές, οι διανομές, και η αντίστροφη εφοδιαστική/επιστροφές.

Στο Κεφάλαιο 3 γίνεται μια εισαγωγή στον όρο «Industry 4.0» και παρουσιάζονται εννέα τεχνολογίες που επιτρέπουν την μετάβαση σε αυτόν. Ακόμα, για κάθε μια από τις τεχνολογίες αυτές αναλύεται ο ρόλος τους στο Industry 4.0, οι δημοσιεύσεις που διερευνήθηκαν, οι εφαρμογές τους, και γίνεται κατηγοριοποίηση των δημοσιεύσεων με βάση τα χαρακτηριστικά και τα είδη των τεχνολογιών αυτών.

Στο Κεφάλαιο 4 αναλύεται ο τρόπος με τον οποίο οι τεχνολογίες Industry 4.0 χρησιμοποιούνται στον σχεδιασμό της αλυσίδας εφοδιασμού. Πιο συγκεκριμένα, παρατίθενται εφαρμογές και μελέτες περίπτωσης στους τομείς της εξυπηρέτησης πελατών, της πρόβλεψης ζήτησης, της διαχείρισης των αποθεμάτων, και της διαχείρισης των προμηθειών.

Στο πέμπτο κεφάλαιο παρουσιάζεται πως χρησιμοποιούνται οι τεχνολογίες Industry 4.0 στο εκτελεστικό σκέλος της αλυσίδας εφοδιασμού. Αναλυτικότερα, αναφέρονται εφαρμογές

και μελέτες περίπτωσης στην αποθήκευση, στις μεταφορές, στις διανομές, και στην αντίστροφη εφοδιαστική.

Τέλος, στο Κεφάλαιο 6 βρίσκεται η σύνοψη της εργασίας και αποτυπώνονται τα συμπεράσματά της.

2

Λειτουργίες εφοδιαστικής αλυσίδας

2.1 Βασικοί όροι

Η εφοδιαστική αλυσίδα είναι το δίκτυο των οργανισμών που εμπλέκονται, μέσω συνδέσεων, στις διάφορες διαδικασίες και δραστηριότητες που παράγουν αξία, με τη μορφή προϊόντων και υπηρεσιών στα χέρια του τελικού καταναλωτή (Frazelle, 2020). Η διαχείριση της εφοδιαστικής αλυσίδας είναι το μέσο με το οποίο ικανοποιούνται οι ανάγκες των πελατών μέσω του συντονισμού των ροών υλικών και πληροφοριών που εκτείνονται από την αγορά μέχρι τους προμηθευτές (Tripathi and Gupta, 2020). Αυτή η ροή των υλικών και πληροφοριών εκτείνεται από την προμήθεια των πρώτων υλών μέχρι την παράδοση των τελικών προϊόντων στον τελικό πελάτη αλλά και οι πιθανές επιστροφές. Σε αυτή την διαδικασία εμπλέκονται διάφορες διεργασίες για την σωστή εξυπηρέτηση του πελάτη. Πιο συγκεκριμένα οι λειτουργίες της εφοδιαστικής αλυσίδας που θα αναλυθούν στο παρών κεφάλαιο είναι: η εξυπηρέτηση πελατών (customer service), η πρόβλεψη ζήτησης (demand forecasting), η διαχείριση των αποθεμάτων (inventory management), η διαχείριση των προμηθειών (procurement), η αποθήκευση (warehousing), οι μεταφορές (transportation), οι διανομές (deliveries) και η αντίστροφη εφοδιαστική/ επιστροφές (reverse logistics).

2.2 Εξυπηρέτηση πελατών

Η επιτυχία ή αποτυχία μιας επιχείρησης μπορεί να καθοριστεί από το επίπεδο της αξίας των πελατών της και η αξία του πελάτη μπορεί να οριστεί ως η διαφορά μεταξύ των αντιληπτών οφελών που απορρέουν από μια αγορά ή μια σχέση με το συνολικό κόστος που προκύπτει (Christopher, 2016).

Οι πελάτες διαδραματίζουν σημαντικό ρόλο στην εφοδιαστική αλυσίδα διότι η κερδοφορία της επιχείρησης εξαρτάται από αυτούς. Οι αγοραστές θα βρουν τους πιο αποδοτικούς προμηθευτές για να προσφέρουν στους πελάτες την καλύτερη αξία και θα αναζητήσουν καινοτόμους συνεργάτες για να προσφέρουν στους καταναλωτές τα καλύτερα προϊόντα και υπηρεσίες, προσπαθώντας να δημιουργήσουν μια αλυσίδα εφοδιασμού που να είναι ανθεκτική σε διαταραχές και να είναι ηθικά ορθή για να διασφαλίσει την ποιότητα των υπηρεσιών (Lee and Lee, 2020).

Η εξυπηρέτηση πελατών είναι ένα από τα πιο κρίσιμα στοιχεία της διαχείρισης της εφοδιαστικής αλυσίδας διότι μέσω αυτής οι πελάτες αποκτούν μια αίσθηση του προϊόντος και της επιχείρησης που το πουλά. Επιπλέον, η εξυπηρέτηση πελατών γνωρίζει όλα τα δύσκολα σημεία και τις απαιτήσεις των πελατών, και αυτά τα δεδομένα μπορούν να βοηθήσουν στη βελτίωση της εφοδιαστικής αλυσίδας. Ακόμα, η εφοδιαστική αλυσίδα ολοκληρώνεται όταν το προϊόν φτάσει στον πελάτη και ως εκ τούτου, η εταιρεία μπορεί να λάβει γνώση από τον πελάτη μέσω της εξυπηρέτησης πελατών. Αυτό σημαίνει ότι δεν υπάρχει αξία στο προϊόν ή την υπηρεσία μέχρι να είναι στα χέρια του πελάτη ή του καταναλωτή και το να γίνει το προϊόν ή η υπηρεσία «διαθέσιμα» είναι το ζητούμενο στην ουσία της λειτουργίας της διανομής της επιχείρησης (Kuo et al., 2020). Βέβαια, η διαθεσιμότητα των προϊόντων ή υπηρεσιών εξαρτάται από διάφορους παράγοντες, οι οποίοι μπορεί να περιλαμβάνουν: τη συχνότητα παράδοσης και την αξιοπιστία, τα επίπεδα αποθεμάτων, και τον χρόνο κύκλου παραγγελίας. Συνεπώς, η εξυπηρέτηση πελατών εξαρτάται από την αλληλεπίδραση όλων εκείνων των παραγόντων που επηρεάζουν τη διαδικασία διάθεσης προϊόντων και υπηρεσιών στον αγοραστή.

Επιπλέον, η εξυπηρέτηση των πελατών για κάποιο προϊόν ή υπηρεσία αυξάνει την αξία του. Παραδείγματος χάριν, μπορεί να υπάρχει μικρή διαφορά μεταξύ δύο ανταγωνιστικών προϊόντων όσον αφορά την τεχνική απόδοση και το κόστος, αλλά το ένα μπορεί να είναι ανώτερο από το άλλο όσον αφορά την υποστήριξη πελατών που παρέχεται. Κατά συνέπεια, η εξυπηρέτηση πελατών μπορεί να δώσει ένα «ανταγωνιστικό πλεονέκτημα» προσφέροντας μεγαλύτερη αξία στους πελάτες από τους ανταγωνιστές τους (Frazelle, 2020).

Κάθε επιχείρηση έχει διαφορετική σκοπιά για την εξυπηρέτηση πελατών. Σύμφωνα με τον Christopher (2016) η εξυπηρέτηση πελατών θα μπορούσε να κατηγοριοποιηθεί σε 3 βασικές ενότητες με τα βασικά συστατικά της:

Πίνακας 2.1 Βασικά συστατικά εξυπηρέτησης πελατών

Κατηγορία	Παραδείγματα ανά κατηγορία
Εξυπηρέτηση πριν από την συναλλαγή	<ul style="list-style-type: none">• Γραπτή πολιτική εξυπηρέτησης πελατών (Ανακοινώνεται εσωτερικά και εξωτερικά; Γίνεται κατανοητό; Είναι συγκεκριμένο και ποσοτικοποιημένο όπου είναι δυνατόν;)• Προσβασιμότητα (Είναι εύκολο να επικοινωνήσουμε;)• Οργανωτική δομή (Υπάρχει μια δομή διαχείρισης εξυπηρέτησης πελατών; Τι επίπεδο ελέγχου έχουν στη διαδικασία εξυπηρέτησης;)• Ευελιξία συστήματος (Μπορούμε να προσαρμόσουμε τα συστήματα παροχής υπηρεσιών μας ώστε να ανταποκρίνονται σε συγκεκριμένες ανάγκες των πελατών;)
Εξυπηρέτηση κατά την συναλλαγή	<ul style="list-style-type: none">• Χρόνος κύκλου παραγγελίας (Ποιος είναι ο χρόνος που έχει περάσει από την παραγγελία έως την παράδοση;)• Διαθεσιμότητα αποθέματος (Τι ποσοστό ζήτησης για κάθε είδος μπορεί να καλυφθεί από το απόθεμα;)• Ποσοστό πλήρωσης παραγγελίας (Ποιο ποσοστό παραγγελιών έχει ολοκληρωθεί εντός του αναφερόμενου χρόνου παράδοσης;)• Πληροφορίες κατάστασης παραγγελίας (Πόσο καιρό μας παίρνει για να απαντήσουμε σε ένα ερώτημα με τις απαιτούμενες πληροφορίες;)
Εξυπηρέτηση μετά την συναλλαγή	<ul style="list-style-type: none">• Διαθεσιμότητα ανταλλακτικών (Ποια είναι τα επίπεδα ανταλλακτικών σε απόθεμα;)• Χρόνος κλήσης (Πόση ώρα χρειάζεται για να φτάσει ο μηχανικός;)• Ανίχνευση προϊόντος/εγγύηση (Μπορούμε να προσδιορίσουμε την τοποθεσία των μεμονωμένων προϊόντων μετά την αγορά; Μπορούμε να διατηρήσουμε την εγγύηση στο επίπεδο απαιτήσεων των πελατών;)• Παράπονα πελατών, αξιώσεις κ.λπ. (Πόσο έγκαιρα αντιμετωπίζουμε τα παράπονα και τις επιστροφές; Μετράμε την ικανοποίηση των πελατών με την απάντησή μας;)

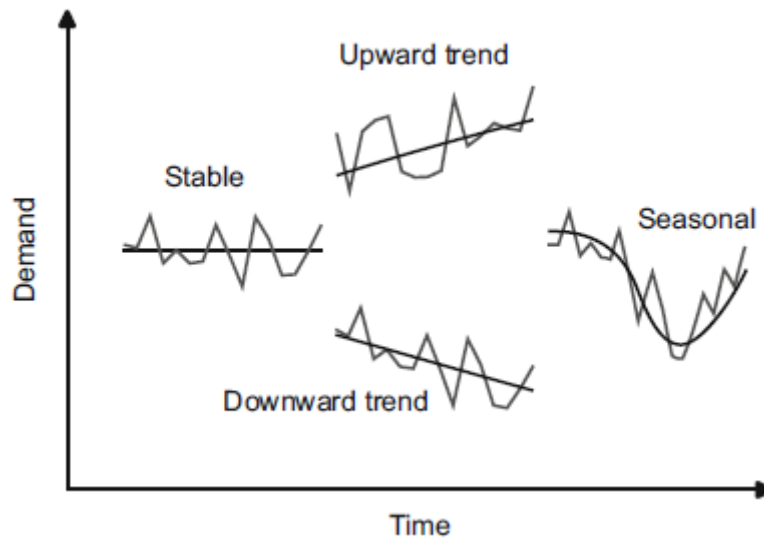
2.3 Πρόβλεψη ζήτησης

Η πρόβλεψη ζήτησης είναι μια μέθοδος για την πρόβλεψη της μελλοντικής ζήτησης για ένα προϊόν. Η ακρίβεια της πρόβλεψης εξαρτάται σε μεγάλο βαθμό από την ποιότητα και τον όγκο των δεδομένων, τις μεθόδους υπολογισμού της πρόβλεψης, και την εμπειρία που χρησιμοποιείται. Για να δημιουργήσουν μια πιο ακριβή πρόβλεψη ζήτησης, οι διαχειριστές της εφοδιαστικής αλυσίδας βασίζονται συχνά σε περισσότερους από έναν τύπους προβλέψεων πωλήσεων και ο καθένας χρησιμοποιεί διαφορετικές μεθόδους πρόβλεψης ζήτησης. (Schiele and Torn, 2020)

Η πρόβλεψη ζήτησης είναι απαραίτητη κατά τον σχεδιασμό της εφοδιαστικής αλυσίδας διότι μπορεί να δώσει μια εικόνα για τον όγκο των προϊόντων που θα διακινηθούν και να βοηθήσει στη διαχείριση των αποθεμάτων. Όσο πιο ακριβής είναι η πρόβλεψη τόσο πιο αποδοτικές μπορεί να γίνουν οι λειτουργίες μια επιχείρησης, από την παραγωγή των προϊόντων μέχρι την διανομή τους (Martinez et al., 2019). Αν δεν γίνει σωστή πρόβλεψη τότε η επιχείρηση θα έχει απώλεια κερδών. Για παράδειγμα, αν για κάποιο λόγο υπάρξει μη προβλεπόμενη αύξηση της ζήτησης κάποιου προϊόντος τότε η επιχείρηση είναι πολύ πιθανόν να μην μπορεί να το προμηθεύσει στον πελάτη είτε λόγω έλλειψης του προϊόντος είτε λόγω αδυναμίας διανομής του. Αντίστοιχα, σε περίπτωση μη προβλεπόμενης μείωσης της ζήτησης κάποιου προϊόντος τότε η επιχείρηση καλείται να αποθηκεύσει αυτό το προϊόν για περισσότερο διάστημα (κόστος αποθήκευσης) και ενδεχόμενος να χρειαστεί να το αποσύρει (π.χ. αν είναι τρόφιμα που λήγουν άμεσα). Σε κάθε περίπτωση, η μη ικανοποίηση του πελάτη θα τον οδηγήσει στην εύρεση καινούριου προμηθευτή και μπορεί να αποφέρει ζημιές στο άμεσο και έμμεσο μέλλον.

Η ζήτηση διαφέρει αναλόγως την υπηρεσία ή το προϊόν. Υπάρχουν τέσσερα βασικά μοτίβα ζήτησης σύμφωνα με τους Scott, Lundgren and Thompson (2018) τα οποία φαίνονται και στο σχήμα 2.1:

- Η ανοδική τάση (upward trend) που είναι η αυξανόμενη ζήτηση για κάποιο χρονικό διάστημα.
- Η πτωτική τάση (downward trend) που είναι η μειωμένη ζήτηση για κάποιο χρονικό διάστημα.
- Η εποχιακή ζήτηση (seasonal) που είναι η ζήτηση κάποιου προϊόντος για κάποιο χρονικό διάστημα κάθε χρόνο (π.χ. το παγωτό το καλοκαίρι).
- Η σταθερή ζήτηση (stable) που είναι η σταθερή ζήτηση κάποιου προϊόντος.



Σχήμα 2.1 Μοτίβα ζήτησης (Scott, Lundgren and Thompson, 2018)

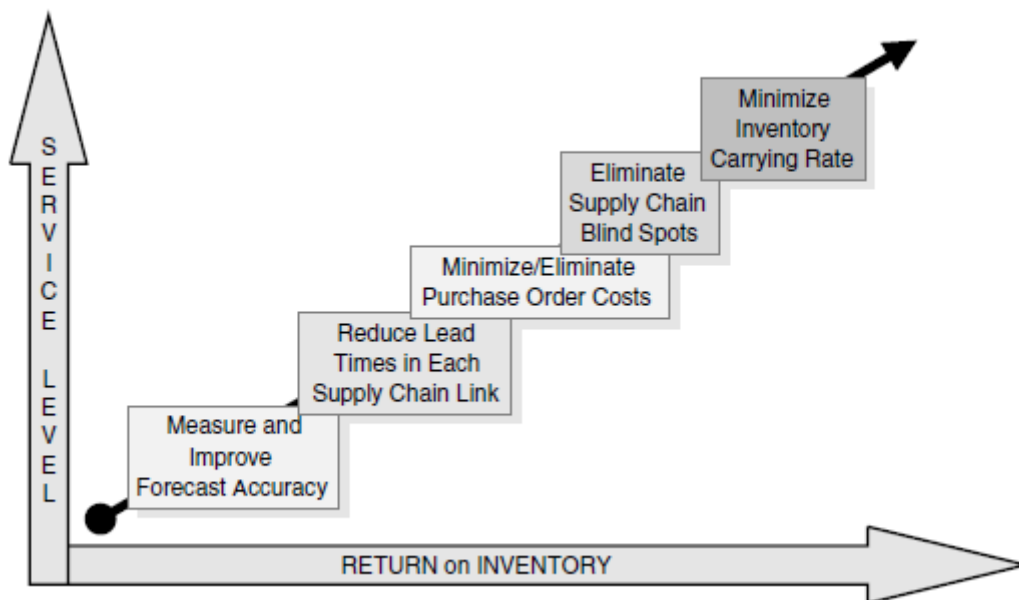
Υπάρχουν πολλές διαφορετικές προσεγγίσεις για την πρόβλεψη της μελλοντικής ζήτησης κάποιου προϊόντος. Ο χαμηλότερος κοινός παρονομαστής με τον οποίο διακρίνεται ένα προϊόν από ένα άλλο ονομάζεται SKU. Ο αποτελεσματικός σχεδιασμός των αποθεμάτων θα πρέπει να γίνεται μέσω προβλέψεων για κάθε SKU. Σύμφωνα με τους Scott, Lundgren and Thompson (2018) υπάρχουν δύο κατηγορίες τεχνικών προβλέψεων:

- *Ποιοτικές τεχνικές*: οι οποίες περιλαμβάνουν την διαδικασία εικασίας της μελλοντικής ζήτησης με βάση τη διαίσθηση και χρησιμοποιώντας την εμπειρία. Αυτό περιλαμβάνει την κρίση και την κοινή λογική κατά τον καθορισμό της μελλοντικής ζήτησης. Ενώ αυτό το σύνολο ποιοτικών τεχνικών χαρακτηρίζεται συχνά ως «μη επιστημονική» και κακή επιχειρηματική πρακτική, οι περισσότερες εταιρείες έχουν συνειδητοποιήσει τη σημασία και την αξία της χρήσης ανθρώπινης λογικής και κρίσης στη διαδικασία σχεδιασμού και πρόβλεψης των αποθεμάτων.
- *Ποσοτικές τεχνικές*: περιλαμβάνουν στατιστικά μοντέλα που μπορεί να έχουν αιτιακή φύση (για παράδειγμα, περισσότερες πωλήσεις παγωτού με ζεστό καιρό) ή που μπορούν να βασίζονται σε μια χρονολογική σειρά ιστορικών δεδομένων. Η μέθοδος χρονοσειρών είναι η πιο κοινή μορφή στατιστικής πρόβλεψης.

Επιπλέον, κατά τον σχεδιασμό του συστήματος προβλέψεων θα πρέπει να γίνει προσδιορισμός του προϊόντος ή της ομάδας προϊόντων για την οποία θα γίνει η πρόβλεψη και της μονάδας μέτρησης στην οποία μετρούνται (π.χ. κιλά, τεμάχια κτλ.). Ακόμα, θα πρέπει να καθοριστεί το λογισμικό που θα χρησιμοποιηθεί. Αυτό μπορεί να είναι ένα χειρωνακτικό σύστημα, χρησιμοποιούμενο από έναν χρήστη, ημιαυτόματο ή αμιγώς αυτόματο.

2.4 Διαχείριση αποθεμάτων

Ο σχεδιασμός, η αποθήκευση και η μετακίνηση των αποθεμάτων είναι η βάση για όλα τα logistics. Η διαθεσιμότητα του αποθέματος είναι η πιο σημαντική πτυχή της εξυπηρέτησης πελατών και το κόστος μεταφοράς αποθεμάτων είναι συνήθως ένα από τα πιο ακριβά κόστη στην εφοδιαστική αλυσίδα. Επιπλέον, είναι πολύ δύσκολο να μετατραπεί το φυσικό απόθεμα σε ρευστό περιουσιακό στοιχείο, επομένως το απόθεμα είναι μια πολύ επικίνδυνη επένδυση. Ο στόχος της διαχείρισης αποθεμάτων είναι να αυξήσει την οικονομική απόδοση του αποθέματος ενώ ταυτόχρονα αυξάνει τα επίπεδα εξυπηρέτησης πελατών (Frazelle, 2020). Το παρακάτω σχήμα απεικονίζει πέντε λειτουργίες που οδηγούν σε αυξημένη απόδοση του αποθέματος ενώ ταυτόχρονα έχουν αυξημένη διαθεσιμότητα αποθέματος.



Σχήμα 2.2 Πως να μειωθεί το απόθεμα αυξάνοντας την εξυπηρέτηση πελατών (Frazelle, 2020)

Τα αποθέματα αυξάνονται όταν η παραγωγή είναι μεγαλύτερη από την ζήτηση και η αποθήκευση αυτών των προϊόντων κοστίζει σε μια επιχείρηση. Συνεπώς, θα πρέπει να υπάρχει σωστός σχεδιασμός και πρόβλεψη για την διατήρηση των αποθεμάτων σε ένα ικανοποιητικό επίπεδο, έτσι ώστε να υπάρχει διαθεσιμότητα ακόμα και σε κάποια μη αναμενόμενη αύξηση ζήτησης. Θα πρέπει, δηλαδή, η επιχείρηση να βρει «ισορροπία» ανάμεσα στο επίπεδο των αποθεμάτων και στην εξυπηρέτηση πελατών. Τα αποθέματα αντιπροσωπεύουν μια επένδυση της επιχείρησης η οποία έχει κάποιο κόστος αποθήκευσης και έχει κάποιο ρίσκο. Το κόστος της διατήρησης αποθεμάτων περιλαμβάνει το κόστος αποθήκευσης, ενδεχομένως κάποια ασφάλιση ή μείωση των αποθεμάτων λόγω κλοπής ή παλαίωσης, και το κόστος διαχείρισης τους (Niesen et al., 2016).

Γιατί όμως η επιχείρηση καλείται να διατηρεί αποθέματα αφού κοστίζουν πολύ; Αρχικά, η ύπαρξη αποθεμάτων επιταχύνει την έγκαιρη παράδοση των προϊόντων στους πελάτες και μειώνει την πιθανότητα ακύρωση της παραγγελίας λόγω καθυστερημένης παράδοσης. Ακόμα, κάθε παραγγελία στους προμηθευτές της επιχείρησης δημιουργεί κάποιο κόστος μεταφοράς και διαχείρισης, ενώ αγοράζοντας μεγαλύτερες ποσότητες ενός είδους της δίνει την δυνατότητα διαπραγμάτευσης της τιμής των προϊόντων. Επιπλέον, η διατήρηση χαμηλού επιπέδου αποθεμάτων συνεπάγεται σε αυξημένο αριθμό παραγγελιών από τον προμηθευτή και περισσότερα κόστη μεταφορών. Οι Mentzer, Myers and Stank (2006) κατηγοριοποίησαν τα αποθέματα με βάση τα κίνητρα διατήρησής τους:

- *Κυκλικό απόθεμα (cycle stock)*: το κυκλικό απόθεμα διατηρείται για να καλύψει τη μέση (αναμενόμενη) ζήτηση μεταξύ των περιόδων προμήθειας. Στον καθορισμό των αποθεμάτων, το κόστος παίζει σημαντικό ρόλο, όπου τα μεγέθη της παρτίδας παραγωγής, οι ποσότητες αποστολής, οι περιορισμοί χώρου αποθήκευσης, και οι χρόνοι παράδοσης είναι σημαντικοί παράγοντες που πρέπει να ληφθούν υπόψη. Για να μειώσουν τα επίπεδα των κυκλικών αποθεμάτων, οι επιχειρήσεις πρέπει να βρουν τρόπους για να μειώσουν το μέγεθος της παρτίδας ή την ποσότητα προμήθειας. Ωστόσο, η μείωση των μεγεθών προμήθειας απαιτεί πιο συχνές παραγγελίες με επιπλέον κόστος παραγγελίας.
- *Απόθεμα ασφαλείας (safety stock)*: Το απόθεμα ασφαλείας διατηρείται ως απόθεμα ασφαλείας για προστασία από ελλείψεις που μπορεί να προκύψουν λόγω αβεβαιοτήτων στη ζήτηση, στο χρόνο παράδοσης και στην προσφορά. Η βελτίωση της ακρίβειας των προβλέψεων για τη μείωση των αβεβαιοτήτων στη ζήτηση, η μείωση του χρόνου προμήθειας και η συνεργασία με πιο αξιόπιστους προμηθευτές είναι μερικές από τις προσεγγίσεις για τη μείωση των επιπέδων αποθεμάτων ασφαλείας.
- *Απόθεμα σε κίνηση (pipeline inventory)*: Είναι τα αποθέματα τα οποία μετακινούνται. Όσο μεγαλύτερος είναι ο χρόνος παράδοσης, τόσο υψηλότερα είναι τα αποθέματα αυτά. Π.χ. στο πλαίσιο μιας βιομηχανίας τα αποθέματά της είναι κυρίως τύπου «pipeline».
- *Απόθεμα αναμονής (anticipation inventory)*: Είναι τα αποθέματα τα οποία δημιουργούνται από την πρόβλεψη κάποιας συνθήκης. Χαρακτηριστικά παραδείγματα είναι: η πρόβλεψη αύξησης της ζήτησης, πρόβλεψη κάποιου κολλήματος προμηθευτή, προμήθεια εν αναμονή αυξήσεων των τιμών σε πρώτες ύλες.

2.5 Διαχείριση προμηθειών

Η προμήθεια είναι η προσπάθεια που καταβάλλεται για την έρευνα και την απόκτηση των προμηθειών που χρειάζεται μια επιχείρηση για να λειτουργήσει αποτελεσματικά. Αυτό περιλαμβάνει την προμήθεια, τη σύναψη συμβάσεων, τη διαχείριση προμηθευτών και τη διευθέτηση τιμολογίων προμηθευτών (Bag et al., 2020). Συνεπώς, η προμήθεια υπερβαίνει κατά πολύ την απλή αγορά προμηθειών που απαιτούνται για την εκτέλεση των καθημερινών λειτουργιών της επιχείρησης. Ασχολείται με το τι συμβαίνει από τη στιγμή που μια επιχείρηση κρίνει ότι χρειάζεται μια προμήθεια μέχρι να διατεθεί η απαιτούμενη υποδομή για την παράδοση και τη συνέχιση της παράδοσης. Πιο συγκεκριμένα, σύμφωνα με τον Nicoletti, (2017) η προμήθεια περιλαμβάνει:

- *Αναζήτηση προμηθευτών:* Η αναζήτηση των προμηθευτών είναι μια κρίσιμη εργασία που αντιμετωπίζουν το τμήμα προμηθειών. Ο κύριος στόχος είναι να βρεθούν οι σωστοί προμηθευτές στον κατάλληλο χρόνο και τόπο. Υπάρχουν αρκετοί βασικοί παράγοντες που καθορίζουν την επιλογή των προμηθευτών. Μερικοί από αυτούς είναι η προσιτή τιμή, η τοποθεσία, και η αξιοπιστία.
- *Εκτίμηση της ζήτησης:* Η εκτίμηση ζήτησης παρέχει πληροφορίες σχετικά με τις τιμές και τις αντίστοιχες ποσότητες του είδους το οποίο χρήζει προμήθειας. Εάν η ζήτηση είναι μεγάλη τότε έχουμε μικρότερη αγοραστική δύναμη μειώνοντας έτσι τα περιθώρια διαπραγμάτευσης.
- *Καθορισμός προτύπων ποιότητας και τεχνικών προδιαγραφών:* Τα πρότυπα ποιότητας και οι τεχνικές προδιαγραφές ορίζονται ως τα έγγραφα που παρέχουν προδιαγραφές και κατευθυντήριες γραμμές (ή αλλιώς χαρακτηριστικά) που μπορούν να χρησιμοποιηθούν με συνέπεια για να διασφαλιστεί ότι τα υλικά, τα προϊόντα, οι διαδικασίες και οι υπηρεσίες είναι κατάλληλα για τον σκοπό τους.
- *Διαπραγμάτευση τιμών:* Σε αυτό το στάδιο γίνεται διαπραγμάτευση της τιμής του είδους/υπηρεσίας. Κατά την διαπραγμάτευση παίζει μεγάλο ρόλο η ζήτηση που υπάρχει στην αγορά για αυτό το είδος ή υπηρεσία αλλά και το μέγεθος της προμήθειας που επιθυμεί η επιχείρηση.
- *Διαχείριση συμβολαίου:* Η διαχείριση συμβολαίων είναι η διαδικασία διαχείρισης των συμβάσεων, από τη δημιουργία έως την εκτέλεση, και τελικά τον τερματισμό ή την ανανέωση της σύμβασης.

- *Απόκτηση αγαθών και υπηρεσιών:* Κατά την απόκτηση αγαθών γίνεται έλεγχος των προϊόντων, αν δηλαδή είναι τα σωστά προϊόντα με τις κατάλληλες τεχνικές προδιαγραφές.

Στο παρακάτω σχήμα φαίνεται η διαδικασία κατά την προμήθεια κάποιου είδους, από την αναγνώριση της ανάγκης, την εύρεση του προμηθευτή, την προμήθεια, μέχρι την αξιολόγηση του προμηθευτή.



Σχήμα 2.3 Διαδικασία ροής εργασιών προμήθειας (<https://www.slideteam.net/>)

Το τμήμα προμηθειών έχει άμεση συνεργασία με το τμήμα παραγωγής διότι η προμήθεια των πρώτων υλών (με συγκεκριμένες τεχνικές προδιαγραφές) εξαρτάται από την παραγωγή των προϊόντων της επιχείρησης. Ακόμα, το τμήμα πωλήσεων-μάρκετινγκ είναι υπεύθυνο για την πρόβλεψη των πωλήσεων που θα καθορίσει την παραγωγή και κατά συνέπεια την προμήθεια. Επιπλέον, το τμήμα προμηθειών συνεργάζεται με το τμήμα οικονομικών για τον καθορισμό του περιθωρίου κόστους της προμήθειας αλλά και τον χρόνο της αγοράς.

2.6 Αποθήκευση

Η αποθήκευση είναι η διαδικασία αποθήκευσης φυσικού αποθέματος προς πώληση ή διανομή. Οι αποθήκες χρησιμοποιούνται από όλους τους διαφορετικούς τύπους επιχειρήσεων που πρέπει να αποθηκεύουν προσωρινά προϊόντα προτού τα στείλουν σε άλλες τοποθεσίες ή

μεμονωμένα στους τελικούς καταναλωτές (Karunarathna, Vidanagamachchi and Wickramarachchi, 2020).

Η αποθήκευση αποτελεί ουσιαστικό μέρος της εφοδιαστικής αλυσίδας για τους περισσότερους τύπους επιχειρήσεων που ασχολούνται με φυσικά αγαθά. Αυτό θα μπορούσε να είναι καταναλωτικές επιχειρήσεις που κατέχουν ένα προϊόν που τελικά φτάνει σε έναν τελικό πελάτη λιανικής ή μπορεί να είναι εταιρείες Business to Business (B2B) που αποθηκεύουν προϊόντα που τελικά φτάσουν σε επιχειρηματικούς πελάτες. Αν και η αποθήκευση μπορεί να φαίνεται απλή, καθώς περιλαμβάνει κυρίως την αποθήκευσή τους, υπάρχουν διάφορες διαδικασίες που εμπλέκονται για να διασφαλιστεί ότι γίνεται αποτελεσματικά και ότι το απόθεμα μπορεί να μετακινηθεί γρήγορα, όπως (Mentzer, Myers and Stank , 2006):

- *Σχεδιασμός χωρητικότητας*: Όταν αναμένεται μια αποστολή προϊόντων, το προσωπικό πρέπει να σχεδιάσει πού θα αποθηκευτούν τα προϊόντα για να κάνει την πιο αποτελεσματική χρήση του χώρου.
- *Παραλαβή εισερχόμενων αποστολών*: Όταν τα προϊόντα φθάνουν στην αποθήκη, το προσωπικό θα πρέπει να παραλάβει τα είδη και να τα μεταφέρει προσεκτικά σε χώρο τοποθέτησης για επεξεργασία.
- *Παρακολούθηση αποθέματος*: Τα είδη πρέπει να καταγραφούν στο σύστημα διαχείρισης αποθέματος αποθήκης για να διασφαλιστεί ότι οι διαχειριστές μπορούν να παρακολουθούν τι υπάρχει αυτήν τη στιγμή στο απόθεμα και να σχεδιάζουν για μελλοντικές αλλαγές.
- *Αποθήκευση προϊόντων*: Μετά την παραλαβή και την επεξεργασία των προϊόντων, πρέπει να αποθηκευτούν. Αυτό μπορεί να περιλαμβάνει την τοποθέτηση των προϊόντων σε κάδους και παλέτες και στη συνέχεια τη χρήση εξοπλισμού για τη μεταφορά τους στον κατάλληλο χώρο αποθήκευσης.
- *Ελεγχόμενο κλίμα*: Ανάλογα με τη φύση των προϊόντων, παράγοντες όπως η θερμοκρασία, η υγρασία ή η πίεση μπορεί να χρειάζεται να διατηρούνται σταθεροί. Για παράδειγμα, τα κατεψυγμένα προϊόντα θα πρέπει να αποθηκεύονται σε περιοχές όπου η θερμοκρασία είναι κάτω από το μηδέν. Αυτές οι απαιτήσεις θα επηρεάσουν τον τρόπο και τον τόπο αποθήκευσης των προϊόντων στις εγκαταστάσεις για να διασφαλιστεί η σωστή ποιότητα.

- *Ανάκτηση και εξερχόμενη αποστολή:* Όταν τα προϊόντα πρέπει να βγουν από την αποθήκη για αποστολή, το προσωπικό πρέπει να τα ανακτήσει, να τα επεξεργαστεί, να τα συσκευάσει, να τα φορτώσει και στη συνέχεια να τα απελευθερώσει από το απόθεμα για να αφήσει χώρο για νέα εισερχόμενα προϊόντα.

Η αποθήκευση αποτελεί αναπόσπαστο κομμάτι της ευρύτερης αλυσίδας εφοδιασμού για φυσικά προϊόντα. Οι αποθήκες δεν χρησιμεύουν μόνο ως ενδιάμεσες εγκαταστάσεις αποθήκευσης, αλλά παρέχουν τη δυνατότητα στους διαχειριστές της εφοδιαστικής αλυσίδας να μειώσουν το κόστος βελτιστοποιώντας τις αγορές αποθεμάτων, μειώνοντας το κόστος αποστολής και επιταχύνοντας τους χρόνους παράδοσης. Σε ένα δίκτυο διανομής, μια αποθήκη μπορεί να παίξει έναν ή περισσότερους από τους ακόλουθους ρόλους σύμφωνα με τον Frazelle (2020):

- *Αποθήκες πρώτων υλών και εξαρτημάτων:* Διατηρεί τις πρώτες ύλες στο σημείο ή κοντά στο σημείο εισαγωγής σε μια διαδικασία κατασκευής ή συναρμολόγησης.
- *Αποθήκες εργασίας κατά τη διαδικασία:* Διατηρούν μερικώς ολοκληρωμένες συναρμολογήσεις και προϊόντα σε διάφορα σημεία κατά μήκος μιας γραμμής συναρμολόγησης ή παραγωγής.
- *Αποθήκες ετοιμών προϊόντων:* Διατηρούν το απόθεμα που χρησιμοποιείται για την εξισορρόπηση και την αποθήκευση της διακύμανσης μεταξύ του προγραμματισμού παραγωγής και της ζήτησης. Για το σκοπό αυτό, η αποθήκη βρίσκεται συνήθως κοντά στο σημείο κατασκευής και μπορεί να έχει απαιτήσεις που κυμαίνονται από μηνιαία έως τριμηνιαία αναπλήρωση του αποθέματος μέχρι το επόμενο επίπεδο διανομής.
- *Αποθήκες διανομής και κέντρα διανομής:* Συσσωρεύουν προϊόντα από διάφορα σημεία παραγωγής εντός μιας μόνο επιχείρησης ή από πολλές εταιρείες για συνδυασμένη αποστολή σε κοινούς πελάτες. Μια τέτοια αποθήκη μπορεί να βρίσκεται στο κέντρο είτε των τοποθεσιών παραγωγής είτε της πελατειακής βάσης.
- *Αποθήκες εκπλήρωσης και κέντρα εκπλήρωσης:* Εκεί γίνεται η λήψη, η επιλογή και η αποστολή μικρών παραγγελιών για μεμονωμένους καταναλωτές.
- *Τοπικές αποθήκες:* Είναι κατανεμημένες σε κομβικά σημεία για να συντομεύσει τις αποστάσεις μεταφοράς αυξάνοντας την ανταπόκριση στη ζήτηση των πελατών. Συχνά, επιλέγονται μεμονωμένα είδη και το ίδιο αντικείμενο μπορεί να αποστέλλεται στον πελάτη κάθε μέρα.

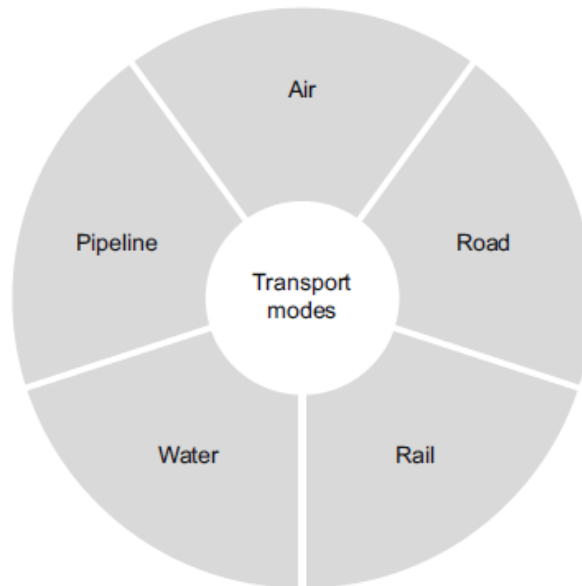
2.7 Μεταφορές

Οι μεταφορές είναι ένας από τους σημαντικότερους τομείς στην εφοδιαστική αλυσίδα και η διαχείριση μεταφορών πρέπει να είναι ένα γρήγορα εξελισσόμενο τμήμα μιας επιχείρησης. Ο ρόλος της μεταφοράς είναι να διασφαλίζει ότι τα προϊόντα που παράγονται ή βρίσκονται σε ένα μέρος του κόσμου φτάνουν στη σωστή ποσότητα και έγκαιρα σε ένα άλλο μέρος του κόσμου, χωρίς να θυσιάζεται η ποιότητα και να αυξάνει υπερβολικά το κόστος. Σύμφωνα με τους Scott, Lundgren and Thompson (2018) οι βασικές μεταβλητές για την διαχείριση των μεταφορών είναι:

- *Ταχύτητα*: Ο χρόνος μεταφοράς των αγαθών παίζει πολύ σημαντικό ρόλο κατά την διαχείριση της μεταφοράς και είναι ένας σημαντικός παράγοντας κατά την επιλογή προμηθευτών και μέσου μεταφοράς.
- *Αξιοπιστία*: Η αξιοπιστία του μεταφορέα παίζει σημαντικό ρόλο κατά την μετακίνηση αγαθών. Θα πρέπει να μπορεί να τηρήσει το χρονοδιάγραμμά του χωρίς φθορές στα αγαθά.
- *Ασφάλεια*: Η ασφάλεια ποικίλλει ανάλογα με την τοποθεσία και τη φύση του προϊόντος που πρόκειται να παραδοθεί.
- *Ποιότητα*: Η διατήρηση της ποιότητας των προϊόντων είναι πολύ σημαντική. Κατά την μεταφορά μπορεί να υπάρξουν φθορές ή κακές συνθήκες για τα αγαθά με συνέπεια την μείωση της ποιότητάς τους.
- *Περιβάλλον*: Πλέον οι επιχειρήσεις ενδιαφέρονται και για το αντίκτυπο που αφήνουν οι μεταφορές των προϊόντων τους στο περιβάλλον και προσπαθούν να χρησιμοποιούν πιο «πράσινους» τρόπους μεταφοράς.
- *Κόστος*: το κόστος μεταφοράς περιλαμβάνει τα έξοδα μεταφοράς, χρεώσεις σε τερματικούς σταθμούς, πιθανή ασφάλιση και συμβάλλει σημαντικά στο συνολικό κόστος των αγαθών.

Η διαχείριση μεταφορών μπορεί να προσθέσει αξία στις λειτουργίες της εφοδιαστικής αλυσίδας, προσφέροντας διαφορετικές επιλογές μεταφοράς που αποδίδουν διαφορετικά στις έξι μεταβλητές διαχείρισης μεταφορών. Σύμφωνα με τους Scott, Lundgren and Thompson (2018) υπάρχουν πέντε διαφορετικοί τρόποι μεταφοράς που μπορούν να επιλέξουν οι εταιρείες: αεροπορικός, οδικός, σιδηρόδρομος, νερό και με αγωγούς οι οποίοι αναλύονται παρακάτω (Σχήμα 2.4). Ο κάθε τρόπος μεταφοράς έχει μοναδικά χαρακτηριστικά που ικανοποιούν διαφορετικές απαιτήσεις της εφοδιαστικής αλυσίδας. Η επιλογή του τρόπου

μεταφοράς εξαρτάται από τη φύση του προϊόντος και τις συγκεκριμένες απαιτήσεις της παραγγελίας του πελάτη.



Σχήμα 2.4 Τρόποι μεταφοράς (Scott, Lundgren and Thompson, 2018)

Αεροπορική μεταφορά: Το κύριο πλεονέκτημα των αεροπορικών μεταφορών είναι η ταχύτητα. Μπορεί να γίνει άμεση μεταφορά αγαθών σε πολύ μεγάλες αποστάσεις και χρησιμοποιούνται κυρίως για μεταφορές υψηλής χρονικής προτεραιότητας (π.χ. φρέσκα τρόφιμα) και ακριβών προϊόντων. Το κύριο μειονέκτημα τους είναι το πολύ υψηλό κόστος μεταφοράς με συνέπεια να είναι ασύμφορη η μεταφορά μεγάλου όγκου προϊόντων.

Οδική μεταφορά: Είναι το κυρίαρχο μέσω μεταφοράς μικρών αποστάσεων και προσφέρουν ευελιξία μεταφοράς «από πόρτα σε πόρτα» μέσω των επιλογών Full Truck Loads (FTL) και Less than Truck Load (LTL). Οι οδικές μεταφορές μπορούν να χωριστούν σε δύο κατηγορίες: (i) Την κύρια μεταφορά όπου τα οχήματα μεταφοράς είναι μεγάλα και χρησιμοποιούνται για μεγάλες αποστάσεις. Πιο συγκεκριμένα, μεταφέρει πρώτες ύλες ή τελικά προϊόντα από λιμάνια, αεροδρόμια, σιδηροδρομικούς τερματικούς σταθμούς, εργοστάσια ή αποθήκες σε ένα κέντρο διανομής. (ii) Την δευτερεύουσα μεταφορά στην οποία παραλαμβάνονται παραγγελίες πελατών από το κέντρο διανομής και παραδίδονται στον πελάτη. Τα οχήματα δευτερεύουσας μεταφοράς είναι γενικά μικρότερα φορτηγά, προκειμένου να παραδίδονται αποτελεσματικά οι παραγγελίες των πελατών σε αστικές περιοχές.

Σιδηροδρομική μεταφορά: είναι κατάλληλο για μεταφορά μεγάλου όγκου προϊόντων σε μεγάλες αποστάσεις και για παραδόσεις χαμηλής αξίας, μη ευαίσθητες στο χρόνο. Το μειονέκτημα των σιδηροδρομικών μεταφορών είναι ότι οι διαδρομές μεταφοράς περιορίζονται σε σταθερές και τερματικές εγκαταστάσεις.

Θαλάσσια μεταφορά: Οι θαλάσσιες μεταφορές χρησιμοποιούνται κυρίως για μεγάλο όγκο φορτίου και για μεταφορές χαμηλού κόστους οι οποίες δεν είναι ευαίσθητες στο χρόνο. Μπορεί να γίνει μεταφορά τεράστιων ποσοτήτων, αλλά υπάρχει περιορισμός όσον αφορά την φόρτωση εκφόρτωση καθώς είναι απαραίτητη η ύπαρξη λιμένα και κατάλληλου εξοπλισμού. Οι θαλάσσιες μεταφορές περιλαμβάνουν κυρίως μεταφορές προϊόντων όπως πετρέλαιο και υγρό φυσικό αέριο με την χρήση δεξαμενόπλοιων, μεταφορά τυποποιημένων και ψυχόμενων εμπορευματοκιβωτίων (Containers) με την χρήση πλοίων εμπορευματοκιβωτίων, και βάρκες και φορτηγίδες που χρησιμοποιούν κανάλια και δίκτυα ποταμών.

Μεταφορά μέσω αγωγού: Η μεταφορά μέσω αγωγού συχνά ξεχνιέται όταν πρόκειται για επιλογές μεταφοράς ενώ εκατοντάδες χιλιάδες χιλιόμετρα αγωγού μεταφέρουν πετρέλαιο και φυσικό αέριο κάθε μέρα για την κατανάλωση ενέργειας. Ο αγωγός είναι ιδανικός για μεταφορά νερού, απευθείας στα σπίτια μεμονωμένων πελατών. Βέβαια, μόνο προϊόντα με συγκεκριμένες προδιαγραφές (υγρό, αέριο ή σκόνη) μπορούν να ωθηθούν υπό πίεση και σε μεγάλους όγκους μέσω αγωγών. Η αρχική επένδυση σε υποδομές σε αγωγούς είναι πολύ υψηλή και μπορεί να έχει σημαντικές κοινωνικές και πολιτικές συνέπειες.

2.8 Διανομές

Καθώς οι καταναλωτές ολοένα και περισσότερο συνηθίζουν να λαμβάνουν τις παραγγελίες τους την επόμενη μέρα (ή ακόμα και την ίδια μέρα) οι αλυσίδες εφοδιασμού εστιάζουν όλο και περισσότερο στο τμήμα διανομής είτε αυτό είναι κομμάτι της επιχείρησης είτε υπεργολάβος. Ως επιτυχημένη διανομή μπορεί να οριστεί η παράδοση στους πελάτες αυτό που χρειάζονται, στην σωστή ποσότητα, στο κατάλληλο χρόνο, με συνέπεια (Ayamga, Akaba and Nyaaba, 2021). Η σωστή παράδοση είναι η πιο θεμελιώδης απαίτηση οποιασδήποτε επιχείρησης παραγωγής ή διανομής. Βέβαια αυτό είναι μια δύσκολη διεργασία και τα προβλήματα κατά την παράδοση μπορεί να προέρχονται από πολλές πηγές. Μπορεί να υπάρξουν μεγάλοι χρόνοι παράδοσης, κακή πρόβλεψη ή αναποτελεσματική διαχείριση προϊόντων. Και ενώ μια κακή απόδοση παράδοσης προφανώς είναι ζημιογόνα για την επιχείρηση, η καλή παράδοση με υψηλό κόστος δεν βοηθά την εταιρεία μακροπρόθεσμα (Bruzzi, Genco and Balbi, 2019).

Υπάρχουν πολλές προκλήσεις μεταφοράς στον κλάδο διανομής και πολλοί παράγοντες μπορούν να προκαλέσουν καθυστερήσεις, με αποτέλεσμα κακή εξυπηρέτηση και παράπονα πελατών. Προκειμένου να εξακριβωθεί η βέλτιστη διαδρομή για πολλαπλές παραδόσεις, πολλές εταιρείες logistics χρησιμοποιούν κάποιο λογισμικό σχεδιασμού διαδρομής έτσι ώστε

να διαχειριστούν τον στόλο των οχημάτων καθώς και των πληρωμάτων τους. Σύμφωνα με τους Scott, Lundgren and Thompson (2018) υπάρχουν τρία κύρια στοιχεία της διανομής στη διαχείριση της εφοδιαστικής αλυσίδας:

- *Διαχείριση μεταφορών*: μετακίνηση προϊόντων σε φορτηγά, πλοία, αεροπλάνα, σωλήνες και τρένα.
- *Διαχείριση αποθήκης*: διατήρηση και μετακίνηση αποθεμάτων σε αποθήκες και κέντρα διανομής.
- *Διαχείριση παραγγελιών*: διαχείριση και παρακολούθησης της παραγγελίας του πελάτη μέχρι την επιστροφή της απόδειξης παραλαβής και την τιμολόγηση.

2.9 Αντίστροφη εφοδιαστική (Επιστροφές)

Ο όρος «αντιστροφή εφοδιαστική» περιγράφει τη διαδικασία επιστροφής για αγαθά, υλικά, και συσκευασίες. Αυτό περιλαμβάνει πελάτες, λιανοπωλητές, κατασκευαστές και προμηθευτές. Στα προηγούμενα υποκεφάλαια της ενότητας, η εστίαση ήταν στη μετακίνηση αγαθών για την κάλυψη της ζήτησης των πελατών. Στην αντιστροφή εφοδιαστική, το προϊόν ταξιδεύει αντίθετα, ουσιαστικά στέλνοντας τα προϊόντα πίσω από όπου προήλθαν. Επιπλέον, λόγω των ολοένα και πιο αυστηρών κανονισμών, ιδιαίτερα σχετικά με τις απαιτήσεις απόρριψης προϊόντων και επαναχρησιμοποίησης/ανακύκλωσης, η διαχείριση των επιστροφών είναι ένα σημαντικό κομμάτι σε μια επιχείρηση.

Σύμφωνα με την Reverse Logistics Association υπάρχουν κάποια βήματα κατά την επιστροφή των προϊόντων:

1. Η διαδικασία επιστροφών ξεκινά με την υποστήριξη πελατών. Η διαχείριση της εγγύησης και η υποστήριξη προϊόντων συχνά ανατίθενται σε εξωτερικούς συνεργάτες. Κατά τη διάρκεια του κύκλου της αντιστροφής εφοδιαστικής, ένα περιουσιακό στοιχείο μπορεί να μετακινηθεί περισσότερες από επτά φορές.
2. Η διαδικασία της αξιολόγησης ξεκινά με τη διαλογή. Συνήθως εκτελείται στο σημείο επιστροφής και οι επιλογές διαλογής μπορεί να περιλαμβάνουν: (i) επισκευή και επιστροφή στον χρήστη, (ii) επιστροφή στο απόθεμα, (iii) επισκευή ή αποστολή για απόσυρση. Κάθε μία από αυτές τις επιλογές μπορεί να περιλαμβάνει διαφορετικούς παρόχους υπηρεσιών και πρακτικές.

3. Κατά την διαδικασία επισκευής, ανάλογα με την κατηγορία προϊόντος, ενδέχεται να απαιτούνται πιστοποιήσεις, εξοπλισμός για δοκιμές και εκπαιδευμένο προσωπικό. Σε ορισμένες περιπτώσεις, τα προϊόντα ενδέχεται να οδηγηθούν σε ανακατασκευή.
4. Η διαδικασία της ανασυσκευασίας μπορεί να εκτελεστεί είτε από το κέντρο επισκευής είτε από τον μεταπωλητή σύμφωνα με τη σύμβαση. Μπορεί να απαιτεί ειδικό εξοπλισμό, συμπεριλαμβανομένων των διαδικασιών σήμανσης.
5. Κατά την μεταπώληση υπάρχουν διαφορετικά κανάλια και καταστήματα ηλεκτρονικού εμπορίου. Ορισμένοι κύριοι πωλητές μεταπωλούν επίσης ανακαινισμένα (refurbished) προϊόντα. Το δευτερεύον κανάλι μπορεί να είναι υπεύθυνο για την υποστήριξη προϊόντων και την εγγύηση για τα ανακαινισμένα προϊόντα.
6. Στο τέλος του κύκλου ζωής του, ένα περιουσιακό στοιχείο μπορεί να επαναχρησιμοποιηθεί. Η αξία περίσωσης των εξαρτημάτων του μπορεί να είναι σημαντική. Για ορισμένα προϊόντα, υπάρχει αγορά επιστρεφόμενων αγαθών, π.χ. κινητά τηλέφωνα, ενώ άλλα μπορεί να ανακυκλωθούν για επαναχρησιμοποίηση.
7. Στο τελευταίο στάδιο βρίσκεται η ανακύκλωση. Η ανακύκλωση απαιτεί συχνά τεμαχισμό ή άλλες διαδικασίες για την πιστοποίηση της καταστροφής ή/και τη δημιουργία πρώτων υλών.

3

Χαρακτηριστικά και είδη τεχνολογιών Industry 4.0

3.1 Industry 4.0

3.1.1 Εισαγωγή στο Industry 4.0

Παρά το γεγονός ότι η έννοια δεν ανακαλύφθηκε πρόσφατα και αναπτυσσόταν από τους ερευνητές για αρκετά χρόνια με διαφορετικές αντιλήψεις, ο όρος «Industrie 4.0» ή «Industry 4.0» αναγνωρίστηκε τόσο στην ακαδημαϊκή όσο και στην βιομηχανική κοινότητα (Oztemel και Gursev , 2020).

Το Industry 4.0 (I4.0) παρουσιάστηκε για πρώτη φορά στην Έκθεση του Αννόβερου το 2011, όπου ακαδημαϊκοί ερευνητές, εκπρόσωποι της πολιτικής και των επιχειρήσεων υποστήριξαν αυτήν την ιδέα για την προώθηση της βιομηχανίας στη Γερμανία. Ως εκ τούτου, ανακοινώθηκε το 2013 στη Γερμανία ως στρατηγική εφευρετικότητα συμβολίζοντας την έναρξη της Τέταρτης Βιομηχανικής Επανάστασης (L. Xu, E. Xu and Li, 2018, Hermann, Pentek και Otto, 2016). Οι ακαδημαϊκοί ερευνητές επικεντρώνονται στην κατανόηση και τον ορισμό αυτής της ιδέας και προσπαθούν να αναπτύξουν συνεχόμενα συστήματα, επιχειρηματικά μοντέλα και αντίστοιχες μεθοδολογίες, ενώ η βιομηχανία αποσπά την προσοχή της στην ανάπτυξη του βιομηχανικού υλικού και των ευφυών συστημάτων μαζί με μελλοντικούς πελάτες (Oztemel and Gursev, 2020).

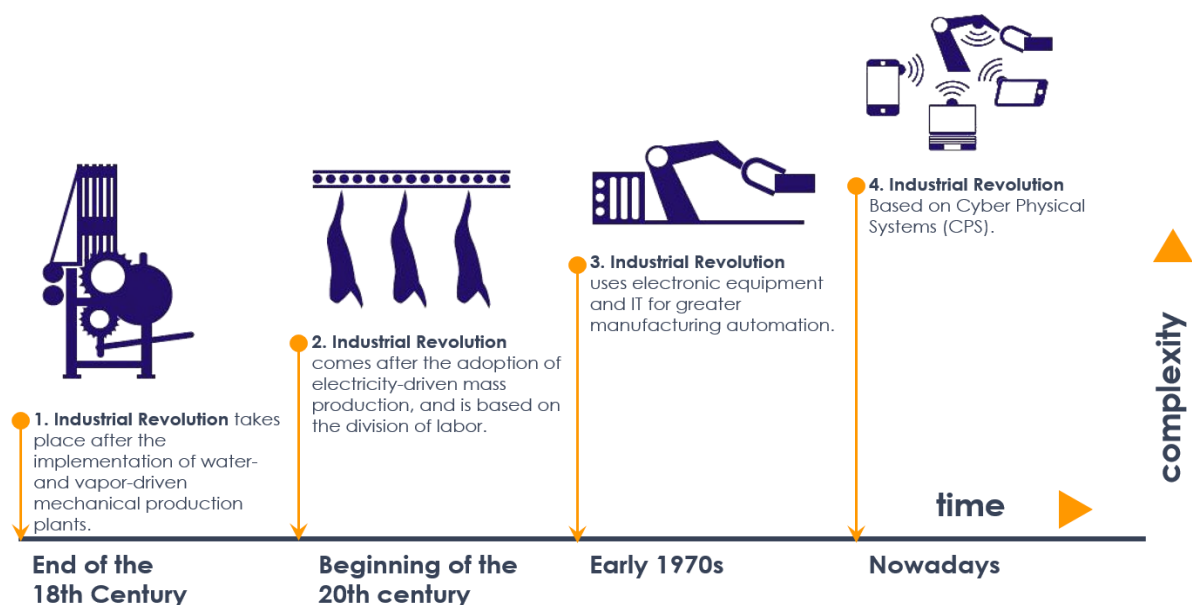
Το Industry 4.0 έρχεται για να μετατρέψει τα συνηθισμένα συστήματα σε «μηχανές με αυτογνωσία και αυτό-μάθηση» προκειμένου να βελτιωθεί η διαχείριση της λειτουργίας και της συντήρησής τους ενώ αλληλεπιδρούν με το άμεσο περιβάλλον (Vaidya, Ambad and Bhosle, 2018). Σύμφωνα με τους Bahrin et al., (2016) και Vaidya, Ambad and Bhosle, (2018), ο κύριος στόχος του Industry 4.0 είναι να κατασκευάσει μια έξυπνη βιομηχανική πλατφόρμα χρησιμοποιώντας δικτυωμένες εφαρμογές πληροφοριών όπου η παρακολούθηση και η

ανίχνευση του προϊόντος, η παρακολούθηση σε πραγματικό χρόνο και ο έλεγχος των διαδικασιών παραγωγής είναι οι κύριοι πυλώνες (Almada-Lobo, 2015). Επιπλέον, στοχεύει στην αύξηση της αποδοτικότητας καθώς και της παραγωγικότητας των επιχειρηματικών λειτουργιών, ενώ εφαρμόζει υψηλή αυτοματοποίηση (Lu, 2017). Σύμφωνα με τους Roblek, Meško and Krapež (2016) και Posada et al. (2015) τα πέντε βασικά χαρακτηριστικά του I4.0 είναι (i) η ψηφιοποίηση, (ii) η προσαρμογή και η βελτιστοποίηση της κατασκευής, (iii) η προσαρμογή και ο αυτοματισμός, (iv) η αλληλεπίδραση ανθρώπου-μηχανής (HMI), (v) οι υπηρεσίες προστιθέμενης αξίας και η αυτοματοποιημένη επικοινωνία και ανταλλαγή δεδομένων. Επίσης, αυτά τα χαρακτηριστικά σχετίζονται με διάφορες τεχνολογίες που βασίζονται στο διαδίκτυο και προηγμένους αλγόριθμους (Lu, 2017).

3.1.2 Ιστορική εξέλιξη: Από το 1.0 στο 4.0

Πριν από την Τέταρτη Βιομηχανική Επανάσταση, οι τρεις επαναστάσεις που προηγήθηκαν συνέβαλαν στην βιομηχανία με την ανάπτυξη συστημάτων που τροφοδοτούνται με νερό και ατμό, με συστήματα μαζικής παραγωγής με χρήση ηλεκτρικής ενέργειας, και με αυτόματα συστήματα παραγωγής εργασίας που χρησιμοποιούν το διαδίκτυο και ηλεκτρονικά κυκλώματα (Lu, 2017, Qina, Liua and Grosvenor, 2016). Αυτή η εξέλιξη είχε ως αποτέλεσμα την αύξηση της αποδοτικότητας στην παραγωγή επειδή πλέον οι εργαζόμενοι χειρίζονται μηχανές για να εκτελέσουν μια εργασία (Vaidya, Ambad and Bhosle, 2018).

Προκειμένου να κατανοηθεί η πρόοδος της βιομηχανίας, το Σχήμα 3.1 παρουσιάζει την εξέλιξη από το Industry 1.0 στο 4.0 μαζί με τις εφαρμογές των ΤΠΕ όπως το Διαδίκτυο των Πραγμάτων (ΔτΠ) και τα Κυβερνοφυσικά Συστήματα (CPS) στην βιομηχανία.



Σχήμα 3.1 Οι τέσσερις βιομηχανικές επαναστάσεις (DFK 2011)

Σύμφωνα με τους L. Xu, E. Xu and Li (2018), Hermann, Pentek and Otto (2016) και Lu (2017), η πρώτη βιομηχανική επανάσταση ξεκίνησε στα τέλη του δέκατου όγδοου αιώνα μέχρι τον δέκατο ένατο αιώνα δημιουργώντας εγκαταστάσεις μηχανικής παραγωγής που εξαρτώνται από την ενέργεια με την χρήση νερού και ατμού. Η δεύτερη βιομηχανική επανάσταση εμφανίστηκε στα τέλη του δέκατου ένατου αιώνα που σηματοδοτήθηκε από τη μαζική παραγωγή εκμεταλλευόμενη την ηλεκτρική ενέργεια. Η τρίτη βιομηχανική επανάσταση έλαβε χώρα περίπου τη δεκαετία του 1970 ενισχύοντας την αυτόματη παραγωγή χρησιμοποιώντας προηγμένες μικροηλεκτρονικές, τεχνολογίες πληροφορικής και επικοινωνιών (ΤΠΕ) και αυτοματισμούς. Για παράδειγμα, η ευρεία εφαρμογή της πρωταρχικής βιομηχανικής ρομποτικής και των συστημάτων CNC επέτρεψε τα ευέλικτα συστήματα παραγωγής (L. Xu, E. Xu and Li, 2018). Προς το παρόν, η τέταρτη βιομηχανική επανάσταση βασίζεται στα κυβερνοφυσικά συστήματα, στο Διαδίκτυο των Πραγμάτων (ΔτΠ) και στο cloud computing χρησιμοποιώντας ετερογενή δεδομένα και ενοποίηση γνώσης (L. Xu, E. Xu and Li, 2018, Lu, 2017, Hermann, Pentek and Otto, 2016, Moeuf et al., 2017). Επιπλέον, άλλες τεχνολογίες αιχμής είναι ζωτικής σημασίας για το Industry 4.0, όπως η τεχνητή νοημοσύνη, η επαυξημένη πραγματικότητα, το Blockchain.

3.2 Τεχνολογίες Industry 4.0

Το Industry 4.0 αντιπροσωπεύει τη σύγχρονη τάση των τεχνολογιών αυτοματισμού και ψηφιοποίησης στη βιομηχανία και χαρακτηρίζεται από τις υπηρεσίες πληροφορικής και την κατασκευή με την χρήση εξαιρετικά εξελιγμένων ηλεκτρονικών εξαρτημάτων (Lu, 2017). Συνολικά, θεωρείται ως ένα νέο «κοινωνικοτεχνικό παράδειγμα» που βασίζεται στην ανάπτυξη και την ολοκλήρωση των ΤΠΕ ακολουθούμενη από τεχνολογίες αυτοματισμού για την προώθηση της προόδου της ολοκλήρωσης από άκρο σε άκρο συστημάτων σε όλη την αλυσίδα αξίας (Ferreira, Armellini and Santa-Eulalia, 2020).

Σύμφωνα με τους Hermann, Pentek και Otto (2016), Lu (2017), και L. Xu, E. Xu and Li (2018), οι τρεις κύριες τεχνολογίες είναι το ΔτΠ, το Cloud Computing και τα κυβερνοφυσικά συστήματα. Το Industry 4.0 δίνει έμφαση στην ανάπτυξη ευφών συστημάτων με ικανότητα επικοινωνίας, συγκεκριμένα, την αλληλεπίδραση ανθρώπου-μηχανής και μηχανής με μηχανή, όσον αφορά τη ροή δεδομένων (Alcácer και Cruz-Machado 2019). Τέτοια συστήματα, μαζί με τις τεχνολογίες CPS και IoT ενσωματώνουν το εικονικό με το φυσικό περιβάλλον δημιουργώντας τα λεγόμενα έξυπνα εργοστάσια (L. Xu, E. Xu and Li, 2018).

Μπορούν να χρησιμοποιηθούν διάφορες τεχνολογίες για την εφαρμογή του Industry 4.0 και οι συγγραφείς έχουν χαρακτηρίσει τις κύριες τεχνολογίες με διαφορετικά ονόματα, όπως «main pillars» ή «building blocks» (Vaidya, Ambad and Bhosle, 2018, Saucedo-Martínez et al., 2017, Oztemel και Gursev, 2020, Silvestri et al., 2020, Manavalan and Jayakrishna, 2019, Alcácer and Cruz-Machado 2019, Erboz, 2017, Posada et al., 2015). Στα πλαίσια της εργασίας, έχουμε διακρίνει εννέα τεχνολογίες που επιτρέπουν την μετάβαση στο Industry 4.0. Αυτές οι τεχνολογίες είναι η Προσθετική Κατασκευή, η Τεχνητή Νοημοσύνη, η Επαυξημένη Πραγματικότητα, τα Μεγάλα Δεδομένα και η ανάλυσή τους, το Blockchain, τα Κυβερνοφυσικά συστήματα, το Διαδίκτυο των Πραγμάτων, η Ρομποτική και ο Αυτοματισμός και η Προσομοίωση. Στον παρακάτω πίνακα, παρουσιάζονται αυτές οι τεχνολογίες και ο αντίκτυπός τους στο Industry 4.0. Ωστόσο, σε αυτή την ενότητα, η εξήγηση αυτών των τεχνολογικών τάσεων δεν θα είναι εκτενής.

Πίνακας 3.1 Περιγραφή των τεχνολογιών Industry 4.0

Τεχνολογίες	Περιγραφή
Προσθετική Κατασκευή	Η προσθετική κατασκευή είναι η τεχνολογία που ενσωματώνει το λογισμικό σχεδιασμού με τα συστήματα τρισδιάστατης εκτύπωσης για την κατασκευή ενός προϊόντος. Είναι μια ευέλικτη προσέγγιση της διαδικασίας ανάπτυξης προϊόντος και ένας σχεδιαστής μπορεί να εφαρμόσει ολόκληρη τη διαδικασία κατασκευής του προϊόντος χωρίς την ανάγκη πολλών τεχνικών. Αυτή η λειτουργία μειώνει την ανθρώπινη προσπάθεια αφού η κατασκευή εκτελείται αυτόματα με εντολές στο λογισμικό. (Haleem and Javaid, 2018, Jiménez et al., 2019)
Τεχνητή Νοημοσύνη	Η τεχνητή νοημοσύνη στην βιομηχανία (Industrial Artificial Intelligence) μπορεί να οριστεί ως μια τεχνολογία που εστιάζει στην ανάπτυξη, επικύρωση και συντήρηση λύσεων για βιομηχανικές εφαρμογές με βιώσιμη απόδοση. Επιπλέον, ως τομέας έρευνας περιλαμβάνει διάφορα πεδία όπως τη μηχανική μάθηση, την υπολογιστική όραση, την ανάλυση δεδομένων και πρόβλεψη, την λήψη αποφάσεων και τη ρομποτική. Η ανάπτυξη λύσεων με την χρήση τεχνητής νοημοσύνης δίνει στο σύστημα την ικανότητα προσαρμογής και επίλυσης προβλημάτων εντός προκαθορισμένων ορίων μέσω ενός ορισμένου βαθμού αυτόνομης δράσης. (Lee, 2020, Peres et al., 2020)

Τεχνολογίες	Περιγραφή
Επαυξημένη Πραγματικότητα	<p>Η επαυξημένη πραγματικότητα (AR) μπορεί να οριστεί ως μια τεχνική γραφικών υπολογιστή όπου εικονικά σύμβολα/ αντικείμενα προστίθενται σε μια πραγματική εικόνα του εξωτερικού κόσμου (Ceruti et al., 2019). Αυτή η τεχνολογία δίνει τη δυνατότητα στους ανθρώπους να έχουν πρόσβαση στον ψηφιακό κόσμο μέσω ενός στρώματος πληροφοριών επεκτείνοντας τον φυσικό κόσμο. Η επαυξημένη πραγματικότητα τοποθετείται ανάμεσα στη φυσική και την εικονική πραγματικότητα (VR). Συνεπώς, η επαυξημένη πραγματικότητα ενισχύει τον πραγματικό κόσμο χωρίς να τον αντικαθιστά. (Masood and Egger, 2019)</p>
Μεγάλα Δεδομένα	<p>Ο όρος μεγάλα δεδομένα (Big Data) χρησιμοποιείται για να περιγράψει σύνολα δεδομένων τα οποία έχουν πολύ μεγάλο όγκο και πολύπλοκότητα με αποτέλεσμα να μην μπορεί να ανταπεξέλθει ένα τυπικό λογισμικό στατιστικής ανάλυσης. Η ανάλυση τέτοιων δεδομένων είναι η πολύπλοκη διαδικασία εξέτασης τους για την αποκάλυψη πληροφοριών, όπως κρυφά μοτίβα, συσχετίσεις, τάσεις αγοράς και προτιμήσεις πελατών κ.α. που μπορούν να βοηθήσουν τους οργανισμούς να λαμβάνουν τεκμηριωμένες επιχειρηματικές αποφάσεις. Ο όρος βιομηχανικά μεγάλα δεδομένα (Industrial Big Data) περιλαμβάνει δεδομένα που παράγονται μέσα σε βιομηχανίες από μηχανές, κινητά, κάμερες παρακολούθησης ή συσκευές Διαδικτύου των Πραγμάτων (IoT) που είναι εγκατεστημένες μέσα στο εργοστάσιο, δεδομένα στο cloud, δεδομένα έξυπνων αισθητήρων, δεδομένα βασισμένα στον κυβερνοχώρο κ.λπ. (Sharma and Pandey, 2020)</p>
Blockchain	<p>Το Blockchain είναι μια κατακεντρωμένη δομή δεδομένων στην οποία τα δεδομένα μοιράζονται σε ένα δίκτυο «peer-to-peer». Οι κόμβοι δικτύου επικοινωνούν και επικυρώνουν τα δεδομένα ακολουθώντας ένα προκαθορισμένο πρωτόκολλο χωρίς κεντρική αρχή. Το Blockchain είναι, από τη φύση του, μια κατακεντρωμένη δομή δεδομένων, δεδομένου ότι κάθε κόμβος του δικτύου έχει ένα αντίγραφο του μητρώου (ledger). Ανάλογα με τα δικαιώματα των χρηστών, το Blockchain μπορεί να σχεδιαστεί ως κεντρικό ή αποκεντρωμένο. Εάν το Blockchain έχει</p>

Τεχνολογίες	Περιγραφή
	σχεδιαστεί έτσι ώστε η λήψη αποφάσεων να μοιράζεται μεταξύ πολλών χρηστών, τότε είναι αποκεντρωμένο, ενώ εάν μια κεντρική οντότητα είναι ο κύριος υπεύθυνος λήψης αποφάσεων, τότε είναι συγκεντρωτικό. (Esmailian et al., 2020)
Κυβερνοφυσικά συστήματα	Τα κυβερνοφυσικά συστήματα (Cyber-physical Systems) είναι αυτοματοποιημένα κατακεντρωμένα συστήματα που ενσωματώνουν τη φυσική πραγματικότητα με δίκτυα επικοινωνίας και υπολογιστικές υποδομές. Αποτελείται από μια μονάδα ελέγχου ικανή να χειρίζεται αισθητήρες και ενεργοποιητές, οι οποίοι αλληλεπιδρούν με τον φυσικό κόσμο, επεξεργάζονται δεδομένα που λαμβάνονται και ανταλλάσσονται με άλλα συστήματα και υπηρεσίες στο διαδίκτυο. (Pivoto et al., 2021)
Διαδίκτυο των Πραγμάτων	Το Διαδίκτυο των πραγμάτων στην βιομηχανία (Industrial Internet of Things - IIoT) επεκτείνει την έννοια του ΔτΠ σε έναν βιομηχανικό τομέα και αναφέρεται σε μια αλληλεπίδραση μηχανής με μηχανή χωρίς ανθρώπινη παρέμβαση. Πιο συγκεκριμένα, επιτρέπει τις διασυνδέσεις φυσικών αντικειμένων μέσω αισθητήρων χρησιμοποιώντας τυπικά πρωτόκολλα διαδικτύου και το δίκτυο περιλαμβάνει συστήματα που αποτελούν μέρος της εφοδιαστικής αλυσίδας. (Silvestri et al., 2020)
Ρομποτική και Αυτοματισμός	Τα Αυτόνομα Ρομπότ παρέχουν πολλές υπηρεσίες και είναι ολοένα πιο αυτόνομα, συνεργάσιμα και χρησιμοποιούνται σε πολλές εφαρμογές. Τα αυτόνομα ρομπότ μπορούν να αλληλεπιδράσουν μεταξύ τους ή να βοηθήσουν άμεσα τους χειριστές να εκτελέσουν τα καθήκοντά τους (Silvestri et al., 2020). Τα ρομπότ, σήμερα, έχουν την ικανότητα να αισθάνονται το περιβάλλον τους, να το κατανοούν, να ενεργούν και να μαθαίνουν. Επιπλέον, η συνεργατική ρομποτική (Cobots) ανήκει σε μια νέα γενιά ρομποτικής που λειτουργεί με συνεργατικό τρόπο με τους ανθρώπους χωρίς να απαιτεί περιορισμούς ασφαλείας. Αυτά είναι προγραμματισμένα για καλύτερη ευελιξία προσβασιμότητας και ευκολία χρήσης. (Kumar and Nayyar, 2020)
Προσομοίωση	Η προσομοίωση είναι μια τεχνολογία ζωτικής σημασίας για τις επιχειρήσεις προκειμένου να διαμορφώσουν σχεδιαστικά και

Τεχνολογίες	Περιγραφή
	διερευνητικά μοντέλα με σκοπό τη βελτιστοποίηση της λήψης αποφάσεων και τη βελτίωση των λειτουργιών έξυπνων ή περίπλοκων συστημάτων παραγωγής. Επιπλέον, υποστηρίζει τις εταιρείες αξιολογώντας τους κινδύνους, το κόστος, τον αντίκτυπο στην απόδοση, τα εμπόδια υλοποίησης και την πρόοδο στο Industry 4.0. (Ferreira, Armellini and Santa-Eulalia, 2020)

Πίνακας 3.2 Το αντίκτυπο των τεχνολογιών στο Industry 4.0

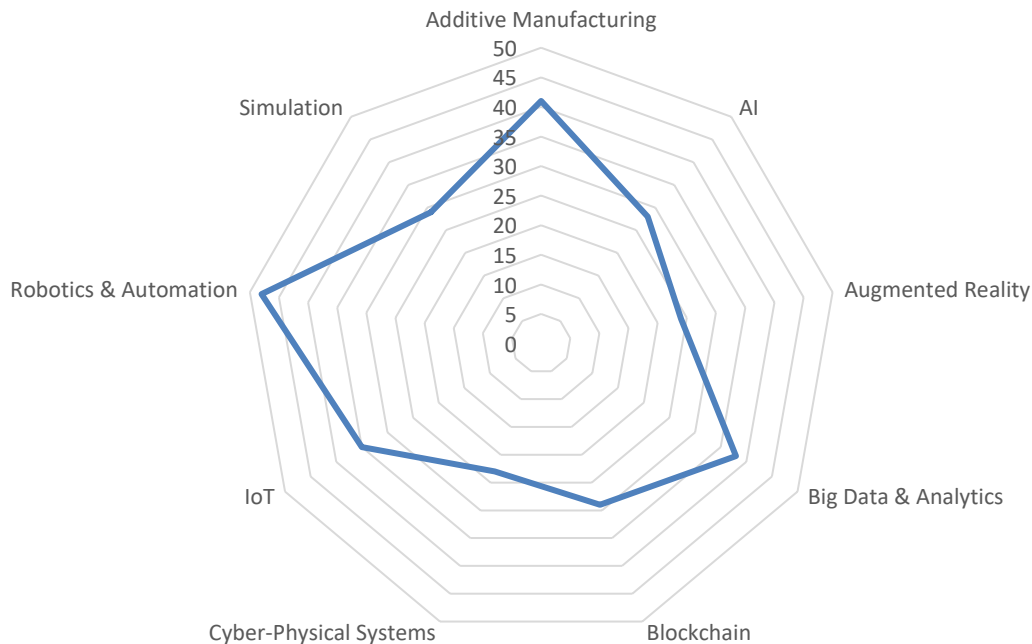
Τεχνολογίες	Αντίκτυπο στο Industry 4.0
Προσθετική Κατασκευή	Το Industry 4.0 μπορεί να μειώσει τα εμπόδια (π.χ. δυσκολίες στις συναλλαγές μεταξύ χωρών) επιτρέποντας στις εταιρείες να μεταφέρουν ιδέες και αντίστοιχα συστήματα. Αντίστοιχα, οι τεχνολογίες προσθετικής κατασκευής, όπως η τρισδιάστατη εκτύπωση, επιτρέπει απεριόριστους σχεδιασμούς βιομηχανικού εξοπλισμού και ανταλλακτικών για συστήματα. Επίσης, αυτές οι τεχνολογίες είναι απαραίτητες για την ανάπτυξη εξατομικευμένων προϊόντων με προηγμένα χαρακτηριστικά. (Rosin et al., 2020, Dilberoglu et al., 2017)
Τεχνητή Νοημοσύνη	Στα πλαίσια του Industry 4.0 γίνεται χρήση της τεχνητής νοημοσύνης (TN) από μηχανές για την ολοκλήρωση πολύπλοκων εργασιών, τη μείωση του κόστους, και τη βελτίωση της ποιότητας των αγαθών και υπηρεσιών. Επίσης, η TN βοηθάει τα κυβερνοφυσικά συστήματα (cyber-physical systems) στην ενσωμάτωση του φυσικού και του πραγματικού κόσμου και στην αντιμετώπιση των σύγχρονων προκλήσεων, όπως προσαρμόσιμες απαιτήσεις, μειωμένο χρόνο πρόσβασης στην αγορά, και αυξανόμενο αριθμό αισθητήρων που χρησιμοποιούνται στον εξοπλισμό. Ακόμα, διάφοροι μέθοδοι τεχνητής νοημοσύνης (όπως η εξόρυξη δεδομένων) είναι ικανές να αναλύουν μεγάλους όγκους δεδομένων σε πραγματικό χρόνο που συλλέγονται κάνοντας πιο εύκολη την μετάβαση στο Industry 4.0. (Ribeiro et al., 2021, Zheng et al., 2018)

Τεχνολογίες	Αντίκτυπο στο Industry 4.0
Επαυξημένη Πραγματικότητα	<p>Η επαυξημένη πραγματικότητα (AR) και συγκεκριμένα η βιομηχανική επαυξημένη πραγματικότητα (IAR), είναι μια από τις τεχνολογίες που παρέχουν ισχυρά εργαλεία στους χειριστές που αναλαμβάνουν εργασίες, βοηθώντας τους σε εργασίες συναρμολόγησης, βοήθεια με επίγνωση του περιβάλλοντος, οπτικοποίηση δεδομένων και αλληλεπίδραση με αυτά, εντοπισμός εσωτερικού χώρου, εφαρμογές συντήρησης, ποιοτικός έλεγχος, και διαχείριση υλικού. Έτσι, η επαυξημένη πραγματικότητα στο πλαίσιο του Industry 4.0 προωθεί ένα ανθρωποκεντρικό βιομηχανικό περιβάλλον με σκοπό την ενίσχυση του εργαζομένου. (Fraga-Lamas et al., 2018)</p>
Μεγάλα Δεδομένα	<p>Η βιομηχανία επηρεάζεται περισσότερο από τις τάσεις και τις δυνατότητες των μεγάλων δεδομένων λόγω της φύσης και του όγκου των δεδομένων που παράγονται από αυτήν. Η ανάπτυξη εργαλείων και στρατηγικών διαχείρισης αυτών των δεδομένων ενισχύει τον μετασχηματισμό των επιχειρήσεων φέρνοντας τες ένα βήμα πιο κοντά στο Industry 4.0. Αυτό επιτυγχάνεται με ποικίλους τρόπους όπως την διαχείριση του ρίσκου κατά την εφαρμογή κάποιας νέας στρατηγικής, την αξιολόγηση των διεργασιών της επιχείρησης, την πρόβλεψη ζήτησης, πωλήσεων αλλά και συντηρήσεων των μηχανημάτων. (Sharma and Pandey, 2020)</p>
Blockchain	<p>Η ασφάλεια του Blockchain και η αδυναμία τροποποίησης κάποιου περιεχομένου έως ότου πιστοποιηθεί και υποβληθεί σε επεξεργασία σε ένα μπλοκ δίνει πολλές δυνατότητες στις επιχειρήσεις κατά τις συναλλαγές σε μια αλυσίδα αξίας, από την προμήθεια, την παραγωγή μέχρι και την διανομή του παραγόμενου προϊόντος. Επιπλέον, τα έξυπνα συμβόλαια εισάγονται παράλληλα με το μητρώο (ledger) στο δίκτυο Blockchain. Τα έξυπνα συμβόλαια έχουν πολλά πλεονεκτήματα καθώς επιτρέπουν στις επιχειρηματικές διαδικασίες να ξεκινούν αυτόματα και μειώνουν το κόστος συναλλαγών. (Javaid et al., 2021)</p>
Κυβερνοφυσικά συστήματα	<p>Σε αντίθεση με τα παραδοσιακά ενσωματωμένα συστήματα, η κύρια εστίασή των κυβερνοφυσικών συστημάτων είναι στη δικτύωση διαφόρων συσκευών στο πλαίσιο του Industry 4.0. Σε αυτό το πλαίσιο</p>

Τεχνολογίες	Αντίκτυπο στο Industry 4.0
	<p>αυτά τα συστήματα δεν καλύπτουν μόνο μηχανήματα και προϊόντα, αλλά και πελάτες, παρόχους υπηρεσιών και αποθέματα, διασφαλίζοντας την κατάλληλη αλληλεπίδραση σε όλους τους τομείς που εκτελούνται αυτόνομα. Ακόμα, ένας από τους στόχους του I4.0 είναι να παρέχει υψηλού επιπέδου υποστήριξη ασφαλείας στα κυβερνοφυσικά συστήματα, προστατεύοντας τις εμπιστευτικές πληροφορίες, και παρέχοντας ανωνυμία δεδομένων. (Pivoto et al., 2021)</p>
Διαδίκτυο των Πραγμάτων	<p>Το ΔτΠ έχει την ικανότητά να παρακολουθεί και να λαμβάνει δεδομένα από τις συνδεδεμένες συσκευές. Στο πλαίσιο του Industry 4.0 αυτό σημαίνει ότι η επιχείρηση μπορεί να συλλέξει πολύ περισσότερα δεδομένα και να τα αναλύσει καταλήγοντας σε κάποιο αποτέλεσμα, μια γνώση. Έχοντας γνώση για την λειτουργία των διεργασιών, οι συσκευές μπορούν να προγραμματιστούν ώστε να λειτουργούν από κοινού για να παράγουν συγκεκριμένα αποτελέσματα πολύ πιο αποδοτικά. (Manavalan and Jayakrishna, 2019)</p>
Ρομποτική και Αυτοματισμός	<p>Ο κύριος στόχος της ρομποτικής και του Industry 4.0 είναι η βελτίωση της παραγωγικότητας, η παραγωγή προϊόντων υψηλής ποιότητας σε χαμηλή τιμή, και η ικανοποίηση των προσδοκιών των πελατών. Ακόμα, τα ρομπότ χρησιμοποιούνται και στην εφοδιαστική αλυσίδα αυξάνοντας την παραγωγικότητα και την ασφάλεια. (Goel and Gupta, 2020)</p>
Προσομοίωση	<p>Η εφαρμογή λύσεων I4.0 απαιτεί υψηλό επίπεδο επενδύσεων και η ενσωμάτωση ενός τέτοιου συστήματος χωρίς σωστό σχεδιασμό μπορεί να προκαλέσει μεγάλη ζημιά σε μια εταιρεία. Η προσομοίωση παρέχει κατάλληλα εργαλεία για την αξιολόγηση τεχνολογιών, λειτουργιών και μοντέλων. Επίσης, μπορεί να χρησιμοποιηθεί για την οπτικοποίηση διαδικασιών και εργασιών.</p>

Στο Σχήμα 3.2 φαίνεται η κατηγοριοποίηση των δημοσιεύσεων που χρησιμοποιήθηκαν κατά την ανάλυση στις 9 βασικές τεχνολογίες του Industry 4.0. Όπως φαίνεται σε αυτό το σχήμα, τα άρθρα που διερευνήθηκαν εστιάζουν κυρίως στην αυτοματοποίηση των διεργασιών

με βάση την ρομποτική και την αξιοποίηση των μεγάλων δεδομένων, ακολουθούμενες από την προσθετική κατασκευή και το διαδίκτυο των πραγμάτων.

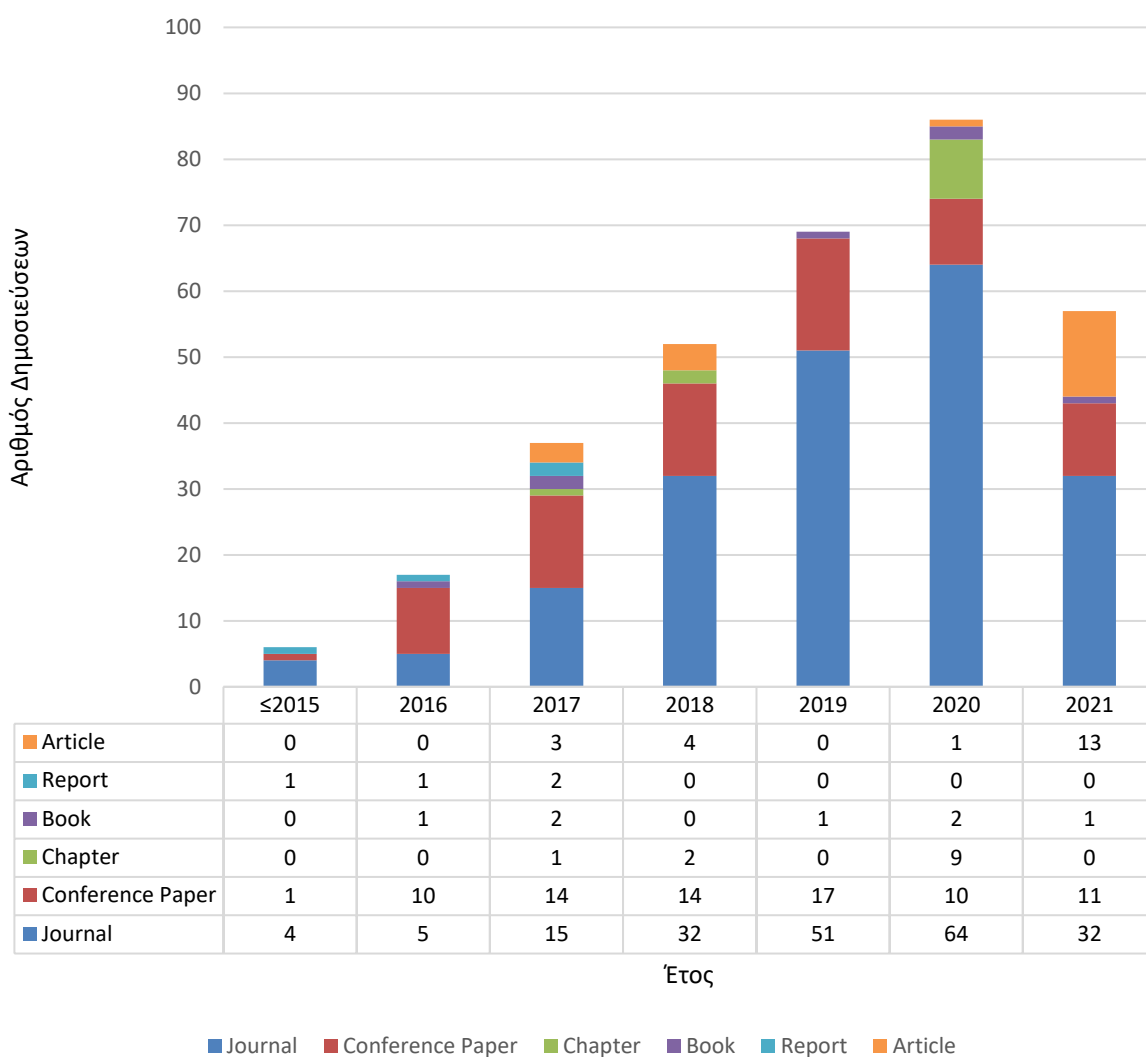


Σχήμα 3.2 Κατηγοριοποίηση των δημοσιεύσεων που διερευνήθηκαν ως προς τις τεχνολογίες

3.3 Ανάλυση των δημοσιεύσεων που διερευνήθηκαν

Κατά την συστηματική βιβλιογραφική επισκόπηση για την κατηγοριοποίηση των τεχνολογιών από τις 616 δημοσιεύσεις σχετικές με το Industry 4.0 διερευνήθηκαν οι 324 πιο σχετικές δημοσιεύσεις σε επιστημονικά περιοδικά, άρθρα, βιβλία, αναφορές επιχειρήσεων και άρθρα σε ιστοσελίδες. Περίπου το 10% των δημοσιεύσεων που διερευνήθηκαν βρέθηκαν με την μέθοδο snowballing και συγκεκριμένα την backward snowballing (Wohlin, 2014).

Στο παρακάτω σχήμα φαίνονται οι δημοσιεύσεις που διερευνήθηκαν ανά έτος. Για κάθε έτος φαίνονται πόσες από αυτές είναι άρθρο σε επιστημονικό περιοδικό (Journal paper), σε συνέδριο (Conference Paper), κεφάλαιο από βιβλίο (Chapter), βιβλίο (Book), αναφορά επιχείρησης (Report), ή άρθρο σε κάποια ιστοσελίδα (Article).

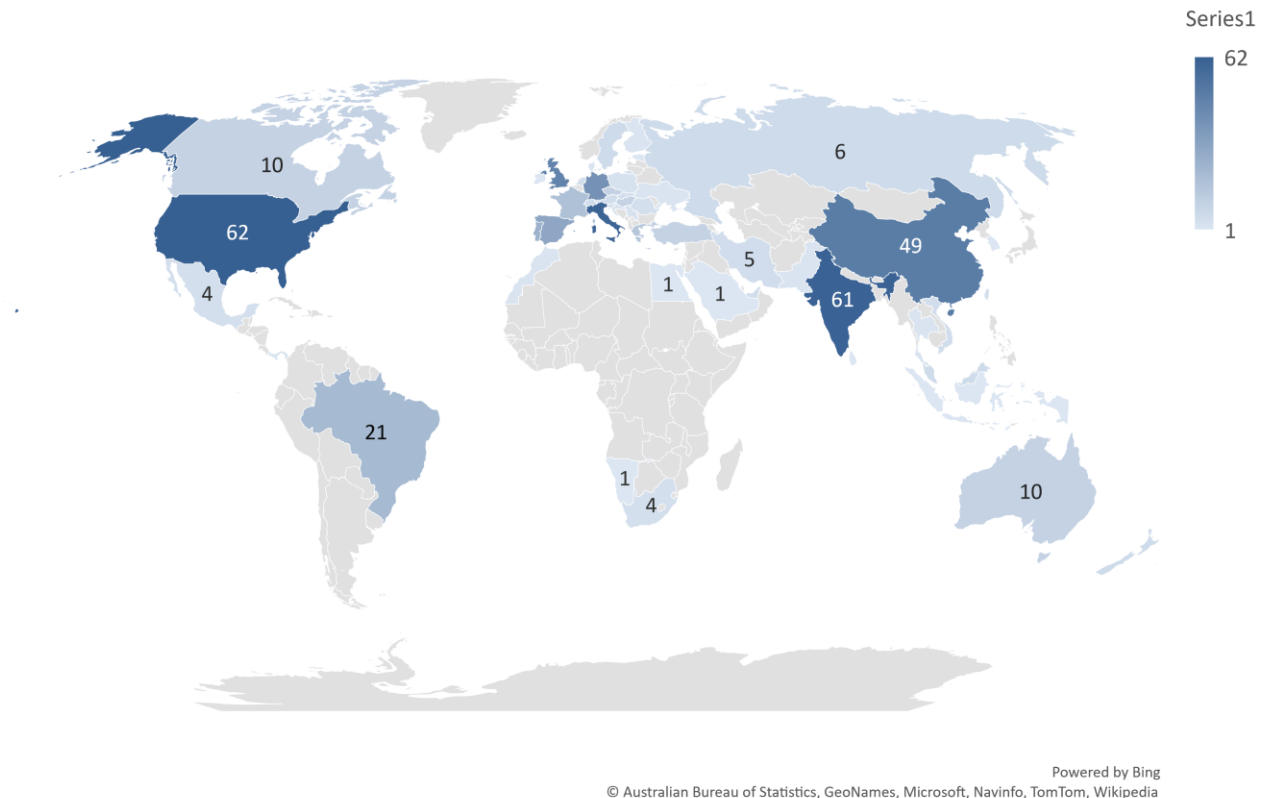


Σχήμα 3.3 Αριθμός δημοσιεύσεων ανά έτος και ανά τύπο

Από τις συνολικά 324 δημοσιεύσεις οι 57 δημοσιεύτηκαν το 2021, οι 86 το 2020, οι 69 το 2019, οι 52 το 2018, οι 37 το 2017, οι 17 το 2016 και οι 6 μέχρι το 2015. Ακόμα, συνολικά οι 203 δημοσιεύσεις είναι σε επιστημονικά περιοδικά, οι 77 σε επιστημονικά συνέδρια, οι 12 είναι κεφάλαια βιβλίων, οι 7 είναι βιβλία, οι 4 είναι αναφορές εταιριών, ενώ οι 21 είναι άρθρα σε ιστοσελίδες.

Στο παρακάτω σχήμα φαίνονται οι δημοσιεύσεις ανά χώρα. Πιο συγκεκριμένα, για κάθε δημοσίευση καταγράφηκαν τα ιδρύματα των συγγραφέων και κάθε χώρα παίρνει ένα βαθμό για κάθε ερευνητικό ίδρυμα (μοναδικό). Π.χ. Αν ένα άρθρο έχει 5 συγγραφείς οι οποίοι εργάζονται σε 3 διαφορετικά ιδρύματα, κάθε ίδρυμα θα δώσει από 1 πόντο στην χώρα που έχει ως έδρα.

Σε αυτή την ανάλυση συμπεριλαμβάνονται οι 302 από τις 324 δημοσιεύσεις διότι δεν συμπεριλήφθηκαν τα άρθρα σε ιστοσελίδες και οι αναφορές των επιχειρήσεων. Αυτές οι δημοσιεύσεις έδωσαν συνολικά 586 πόντους σε 51 χώρες. Οι 5 χώρες με τα μεγαλύτερα ποσοστά βαθμών είναι: οι Ηνωμένες Πολιτείες με περίπου 11%, η Ινδία με περίπου 10%, ακολουθεί η Ιταλία με 10%, η Κίνα με 8% και το Ηνωμένο Βασίλειο με 8%.



Σχήμα 3.4 Γεωγραφική κατανομή των δημοσιεύσεων

3.4 Προσθετική Κατασκευή

3.4.1 Ο ρόλος της προσθετικής κατασκευής στην βιομηχανία

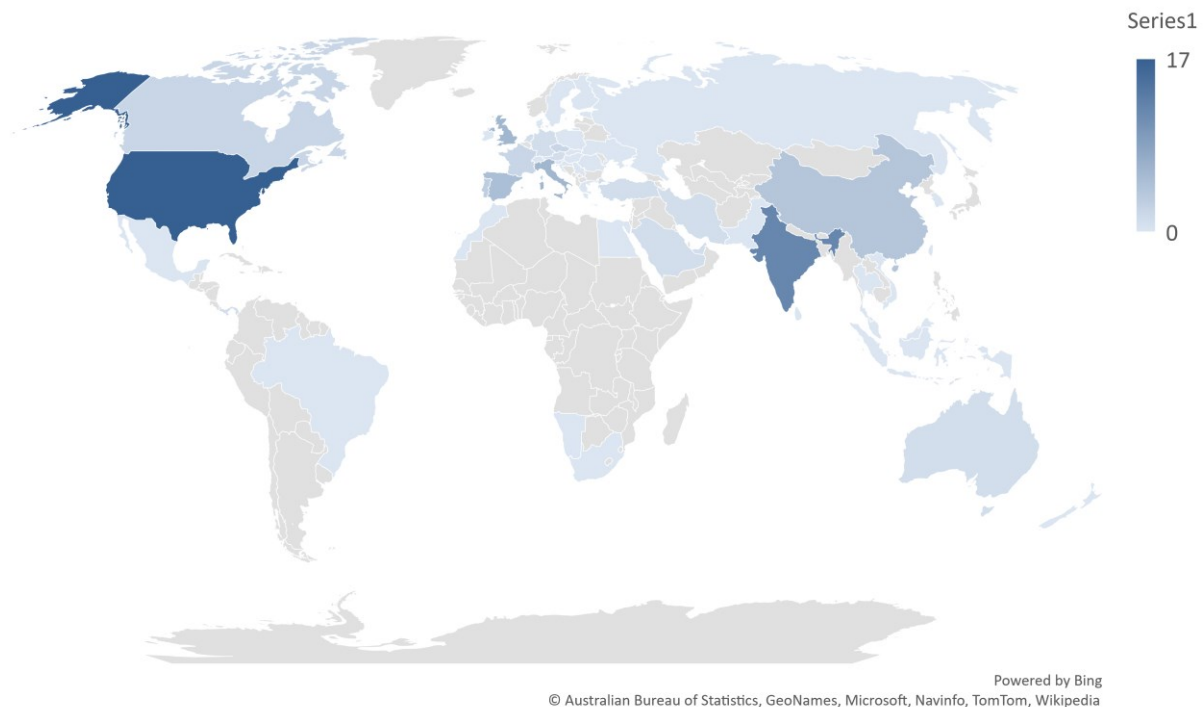
Οι συνήθεις μέθοδοι κατασκευής περιορίζονται από την επέκταση του κύκλου παραγωγής και τη γεωμετρική πολυπλοκότητα του εξαρτήματος. Έτσι, εργαλεία και διαδικασίες που αυξάνουν το συνολικό κόστος παραγωγής χρησιμοποιούνται σποραδικά για την επίτευξη του αποτελέσματος (Jiménez et al., 2019). Η προσθετική κατασκευή και οι τεχνολογίες που υπόκεινται σε αυτή μπορούν να παρέχουν την ευελιξία που απαιτείται για την κατασκευή ενός προσαρμοσμένου προϊόντος ή εξαρτήματος και να βελτιώσουν τα χαρακτηριστικά του ανάλογα με το πεδίο εφαρμογής όσον αφορά το βάρος, τα υλικά, και την απόδοση του προϊόντος (Jiménez et al., 2019). Η ικανότητα προσαρμογής στις αντίστοιχες ανάγκες καθιστά

την προσθετική κατασκευή ως μία από τις βασικές τεχνολογίες του Industry 4.0 λόγω της ανάγκης για μεγάλης κλίμακας προσαρμογή (Dilberoglu et. al, 2017).

Η προσθετική κατασκευή χρησιμοποιεί λογισμικό σχεδίασης με τη βοήθεια υπολογιστή (CAD) και σαρωτές 3D για να κατευθύνει τις μηχανές ώστε να χειρίζονται υλικά σε ακριβή γεωμετρικά σχήματα (Haleem and Javaid, 2018). Ο όρος «προσθετική κατασκευή» αναφέρεται σε τεχνολογίες που μπορούν να κατασκευάσουν τρισδιάστατα αντικείμενα δημιουργώντας ένα στρώμα τη φορά και κάθε επόμενο στρώμα συνδέεται με το προηγούμενο. Σήμερα, οι σύγχρονες βιομηχανίες τείνουν να αλλάζουν από τη μαζική παραγωγή στην εξατομικευμένη παραγωγή για να κατασκευάζουν προϊόντα που ανταποκρίνονται στις ανάγκες του πελάτη, πιο γρήγορα, πιο αποτελεσματικά και με την ικανότητα να κατασκευάζουν πιο σύνθετα μοντέλα.

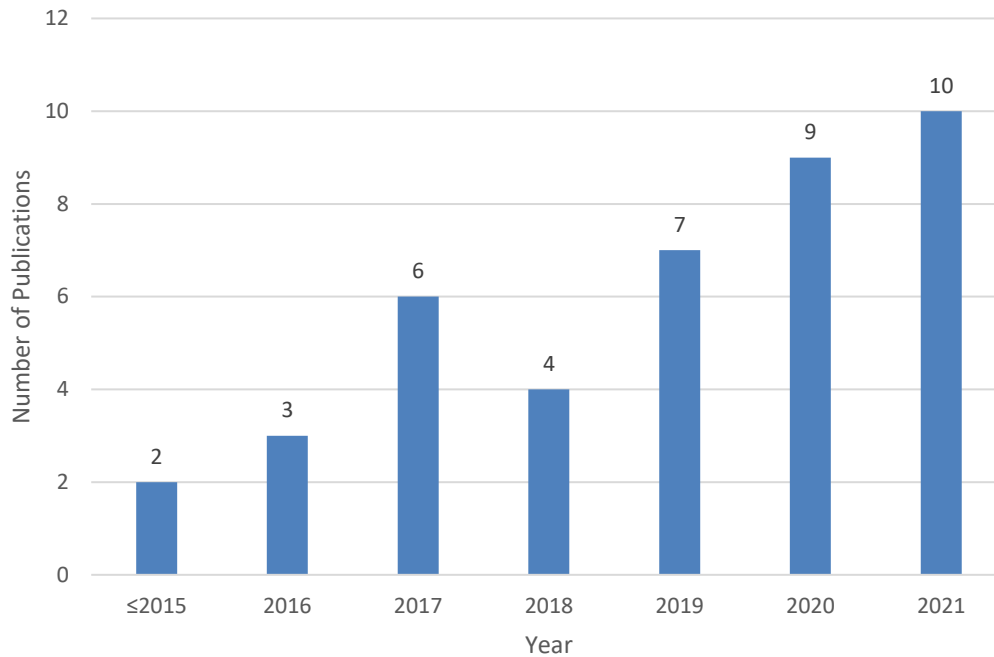
3.4.2 Ανάλυση των δημοσιεύσεων που διερευνήθηκαν

Στο παρακάτω σχήμα φαίνονται οι δημοσιεύσεις ανά χώρα. Σε αυτή την ανάλυση συμπεριλαμβάνονται οι 41 δημοσιεύσεις σχετικές με την προσθετική κατασκευή. Αυτές οι δημοσιεύσεις έδωσαν συνολικά 68 πόντους σε 19 χώρες. Οι 2 χώρες με τα μεγαλύτερα ποσοστά βαθμών είναι οι Ηνωμένες Πολιτείες με 25%, η Ινδία με περίπου 18%.



Σχήμα 3.5 Γεωγραφική κατανομή των δημοσιεύσεων

Στο παρακάτω σχήμα φαίνονται οι δημοσιεύσεις σχετικές με την προσθετική κατασκευή που διερευνήθηκαν ανά έτος. Από τις συνολικά 41 δημοσιεύσεις οι 10 δημοσιεύτηκαν το 2021, οι 9 το 2020, οι 7 το 2019, οι 4 το 2018, οι 6 το 2017, οι 3 το 2016 και οι 2 μέχρι το 2015. Ακόμα, συνολικά οι 22 δημοσιεύσεις είναι σε επιστημονικά περιοδικά, οι 7 σε επιστημονικά συνέδρια, οι 2 είναι κεφάλαια βιβλίων, οι 3 είναι βιβλία, ενώ οι 6 είναι άρθρα σε ιστοσελίδες.



Σχήμα 3.6 Αριθμός δημοσιεύσεων ανά έτος

Στον παρακάτω πίνακα φαίνονται οι δημοσιεύσεις σχετικές με την προσθετική κατασκευή οι οποίες έχουν κατηγοριοποιηθεί ως προς τον είδος του περιεχομένου του άρθρου. Από τις 39 δημοσιεύσεις οι 16 είναι βιβλιογραφική επισκόπηση (Literature Review), οι 12 είναι σχετικές με την σύλληψη κάποιας ιδέας ή μεθόδου (Conceptual), οι 4 αναλύουν κάποιο πλαίσιο εφαρμογής (Framework), οι 6 είναι μελέτες περίπτωσης (Case study), ενώ στην 1 περιγράφεται ένας αλγόριθμος (Algorithm):

Πίνακας 3.3 Κατηγοριοποίηση με βάση του είδος του περιεχομένου





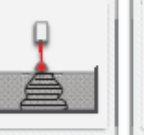
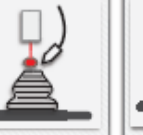

Publication	Type					
	Literature Review	Conceptual	Framework	Case Study	Algorithm	Publication
Arbabian and Wagner, 2020		•				Journal
Ashima et al., 2021		•				Conference
Bhatt et al., 2019			•			Journal
Bjorlin, 2017				•		Article
Buntz, 2018a				•		Article

Publication	Type					Publication
	Literature Review	Conceptual	Framework	Case Study	Algorithm	
Calignano et al., 2017	•					Journal
Ceruti et al., 2019		•				Journal
Chen and Zhao, 2016		•				Journal
Dallasega, Rauch and Linder, 2018	•					Journal
Dilberoglu et. al, 2017		•				Conference
Elhoone et al., 2020		•				Journal
GE Additive, 2021a				•		Article
GE Additive, 2021b				•		Article
GE Additive, 2021c				•		Article
Gibson at al., 2021	•					Book
Godina et al., 2020		•				Journal
Guo et al., 2020			•			Conference
Haleem and Javaid, 2018	•					Journal
Javaid Butt, 2020	•					Journal
Jiménez et al., 2019	•					Journal
Julien Gardan, 2016	•					Journal
Khan et al., 2020					•	Conference
Khanpara and Tanwar, 2020	•					Chapter
Korner et al., 2020	•					Journal
Kubáč and Kodym, 2017		•				Conference Paper
Kumar, Pandey and Wimpenny, 2019	•					Book
Lam et al., 2019			•			Journal
Merklein et al., 2016		•				Conference
Najmon, Raeisi and Tovar, 2019	•					Journal
Niaki, Torabi and Nonino, 2019		•				Journal
Parmar et al., 2021			•			Journal
Ryan et al., 2017	•					Journal
Spahiu et al., 2021				•		Conference
Suresh, Udendhran and Yamini, 2020		•				Chapter
Wenceslao et al., 2021	•					Journal
Wimpenny, Pandey and Kumar, 2017	•					Book
Wong and Hernandez, 2012	•					Journal
Xu, Rodgers and Guo, 2021		•				Journal
Yakout, Elbestawi and Veldhuis, 2018	•					Journal

3.4.3 Τεχνολογίες προσθετικής κατασκευής

Η προσθετική κατασκευή χρησιμοποιείται κυρίως για πολύπλοκα αντικείμενα και προσαρμοσμένα προϊόντα και υπάρχουν αμφιβολίες για τη χρήση του στη μαζική παραγωγή. Διάφορες τεχνολογίες χρησιμοποιούνται στο πλαίσιο της προσθετικής κατασκευής για την παραγωγή και η καθεμία διαφέρει ως προς τη λειτουργικότητα, την υλοποίηση και τη λύση. Ωστόσο, ένα κοινό χαρακτηριστικό είναι αυτό της ταχείας παραγωγής με λίγες φάσεις που χρησιμοποιούν χαμηλούς ανθρώπινους πόρους (Jiménez et al., 2019). Επιπλέον, ο σχεδιαστής μπορεί να εφαρμόσει ολόκληρη τη διαδικασία κατασκευής του προϊόντος χωρίς την ανάγκη πολλαπλών τεχνικών. Αυτή η λειτουργία μειώνει την ανθρώπινη προσπάθεια αφού η κατασκευή εκτελείται αυτόματα με εντολές στο λογισμικό (Haleem and Javaid, 2018, Jiménez et al., 2019).

Σύμφωνα με τους Ashima et al. (2021), Javaid Butt (2020), Dilberoglu et. al (2017), Calignano et al. (2017), Gibson at al. (2021), Jiménez et al. (2019), Haleem and Javaid (2018), Julien Gardan (2016), Najmon, Raeisi and Tovar (2019), και Astm classifications (2012) υπάρχουν 7 βασικές διεργασίες της προσθετικής κατασκευής οι οποίες φαίνονται και στην παρακάτω εικόνα: Binder Jetting, Directed Energy Deposition, Material Extrusion, Material Jetting, Powder Bed Fusion, Sheet Lamination, και Vat Polymerization.

	Material Extrusion	Vat Photo-polymerization	Material Jetting	Binder Jetting	Powder Bed Fusion	Direct Energy Deposition	Sheet Lamination
Scheme							
Process	Layer by layer deposition of molten material	Selective curing of photo-curable material in a liquid container	Material deposition and subsequent curing	Selective dispense of binder for joining powder in a bed	Fusing of powder in a bed by melting the selected region	Direct fusion of the material	Bonding of individual sheets of material
Name	FDM RC MJS SFF	SLA DLP LAMP 2PP	DOD MJ NPJ	BJ	SLS SLM DMLS EBM MJF	LENS EBAM DMT	LOM UC

Εικόνα 3.1 AM Processes (Dilberoglu et. al, 2017)

3.4.4 Κατηγοριοποίηση των δημοσιεύσεων της προσθετικής κατασκευής που διερευνήθηκαν με βάση τον τύπο χρήσης

Η βιβλιογραφία υποδεικνύει διάφορους τρόπους κατηγοριοποίησης της προσθετικής κατασκευής σε διαδικασίες ή υποτεχνολογίες (π.χ. Ashima et al., 2021, Javaid Butt, 2020,

Dilberoglu et al., 2017, Calignano et al., 2017, Gibson et al., 2021, Jiménez et al., 2019, Haleem and Javaid, 2018, Julien Gardan, 2016, Najmon, Raeisi and Tovar, 2019) αλλά επικεντρωθήκαμε στην κατηγοριοποίηση με βάση τον τύπο χρήσης. Συγκεκριμένα, η προσθετική κατασκευή χρησιμοποιείται για γρήγορη δημιουργία πρωτοτύπων (Rapid Prototyping), παραγωγή χαμηλού όγκου (Low Volume Production) και παραγωγή μεγάλου όγκου (High Volume Production), ενώ η συνεχής αυτοματοποιημένη παραγωγή (Continuous Automated Production) είναι αμφιλεγόμενη.

Πίνακας 3.4 Κατηγοριοποίηση των δημοσιεύσεων της προσθετικής κατασκευής με βάση τον τύπο χρήσης

Publication	Type			
	Rapid Prototyping	Low Volume Production	High Volume Production	Continuous Automated Production
Arbabian and Wagner, 2020	•	•		
Ashima et al., 2021	•	•	•	•
Bhatt et al., 2019		•		
Calignano et al., 2017	•	•		
Ceruti et al., 2019		•	•	
Chen and Zhao, 2016	•	•		
Dallasega, Rauch and Linder, 2018		•	•	
Dilberoglu et al., 2017	•	•	•	•
Elhoone et al., 2020	•	•		
Gibson et al., 2021	•	•	•	•
Godina et al., 2020	•	•		
Guo et al., 2020	•	•		
Haleem and Javaid, 2018	•	•		•
Javaid Butt, 2020	•	•	•	•
Jiménez et al., 2019	•	•	•	
Julien Gardan, 2016	•	•	•	•
Khan et al., 2020	•	•		
Khanpara and Tanwar, 2020	•	•	•	•
Korner et al., 2020	•	•	•	•
Kubáč and Kodym, 2017		•	•	
Kumar, Pandey and Wimpenny, 2019	•	•	•	•
Lam et al., 2019	•	•		
Merklein et al., 2016	•	•		
Najmon, Raeisi and Tovar, 2019		•	•	
Niaki, Torabi and Nonino, 2019		•	•	
Parmar et al., 2021	•	•		

Publication	Type			
	Rapid Prototyping	Low Volume Production	High Volume Production	Continuous Automated Production
Ryan et al., 2017	•	•		
Spahiu et al., 2021	•			
Suresh, Udendhran and Yamini, 2020	•	•	•	•
Wenceslao et al., 2021		•	•	
Wimpenny, Pandey and Kumar, 2017	•	•	•	•
Wong and Hernandez, 2012	•	•	•	•
Xu, Rodgers and Guo, 2021	•	•		
Yakout, Elbestawi and Veldhuis, 2018	•	•	•	•

3.4.5 Εφαρμογές στην προσθετική κατασκευή

Οι εφαρμογές της προσθετικής κατασκευής στα πλαίσια του Industry 4.0 ποικίλουν. Στον παρακάτω πίνακα αναφέρονται ενδεικτικά κάποιες εφαρμογές:

Πίνακας 3.5 Ενδεικτικές εφαρμογές της προσθετικής κατασκευής

Εφαρμογή	Περιγραφή
Συντήρηση στην αεροναυπηγική (Maintenance in Aeronautics)	Η προσθετική κατασκευή μπορεί να χρησιμοποιηθεί για την παραγωγή ανταλλακτικών όταν είναι διαθέσιμο ένα ψηφιακό μοντέλο. Κατά την συντήρηση την αεροναυπηγική μπορεί να χρειαστούν ανταλλακτικά τα οποία δεν είναι άμεσα διαθέσιμα και μπορεί να έχουν κάποια σύνθετη γεωμετρία. Αυτό σημαίνει ότι θα υπάρξει μεγάλη καθυστέρηση. Με την χρήση της προσθετικής κατασκευής μπορούν να παραχθούν πολύπλοκα ανταλλακτικά άμεσα. (Ceruti et al., 2019)
Τομέας Υγείας (Healthcare)	Στον τομέα της υγείας η προσθετική κατασκευή χρησιμοποιείται για την παραγωγή διάφορων προσθετικών μερών που προορίζονται για ασθενείς. Από μεταλλικά κομμάτια, όπως ειδικές βίδες και μπάρες, μέχρι και πλαστικά κομμάτια που χρησιμοποιούνται ως προσθετικά μέρη. Το κύριο πλεονέκτημα είναι η δημιουργία μερών που προορίζονται για τον κάθε ασθενή και είναι προσωποποιημένα στις ανάγκες του.

Εφαρμογή	Περιγραφή
Ανάπτυξη προϊόντων (Product Development)	Με την χρήση της προσθετικής κατασκευής μπορεί να αναπτυχθούν εύκολα και γρήγορα αντικείμενα-προϊόντα είτε για δοκιμαστικές χρήσεις στα πλαίσια της ανάπτυξης ενός προϊόντος, είτε για ανάπτυξη προσωποποιημένων προϊόντων. Ένα κοινό χαρακτηριστικό των διαφορετικών τεχνικών παραγωγής τέτοιων προϊόντων είναι η ανάγκη για έναν ελάχιστο αριθμό φάσεων στη διαδικασία παραγωγής, ξεκινώντας από την ανάπτυξη της ιδέας από τον σχεδιαστή μέχρι την απόκτηση του τελικού προϊόντος. (Jiménez et al., 2019)

3.5 Τεχνητή Νοημοσύνη

3.5.1 Ο ρόλος της τεχνητής νοημοσύνης στην βιομηχανία

Με την εξέλιξη των τεχνολογιών πληροφορικής και επικοινωνιών (ΤΠΕ), ιδιαίτερα όσον αφορά το Διαδίκτυο των Πραγμάτων, τα μεγάλα δεδομένα και τα κυβερνοφυσικά συστήματα, είναι πλέον εφικτό να εφαρμοστεί η απαραίτητη ευελιξία και ευφυΐα για την αντιμετώπιση των προκλήσεων του industry 4.0. Σε αυτό το πλαίσιο, η τεχνητή νοημοσύνη θεωρείται ως μία από τις βασικές τεχνολογίες για την αντιμετώπιση των προκλήσεων και για τον επαναπροσδιορισμό του τρόπου με τον οποίο δομούνται οι διαδικασίες παραγωγής και τα επιχειρηματικά μοντέλα (Peres et al., 2020).

Η τεχνητή νοημοσύνη μπορεί γενικά να οριστεί ως επιμέρους κλάδος της επιστήμης των υπολογιστών που ασχολείται με την ανάπτυξη συστημάτων επεξεργασίας δεδομένων που εκτελούν λειτουργίες που συνήθως συνδέονται με την ανθρώπινη νοημοσύνη, όπως η συλλογιστική, η μάθηση και η αυτοβελτίωση (ISO/IEC/IEEE 24765, 2017). Λόγω της έμφασης στη μάθηση, η μηχανική μάθηση (machine learning) θεωρείται ένας από τους βασικούς τομείς της τεχνητής νοημοσύνης με τους όρους συχνά να συγχέονται.

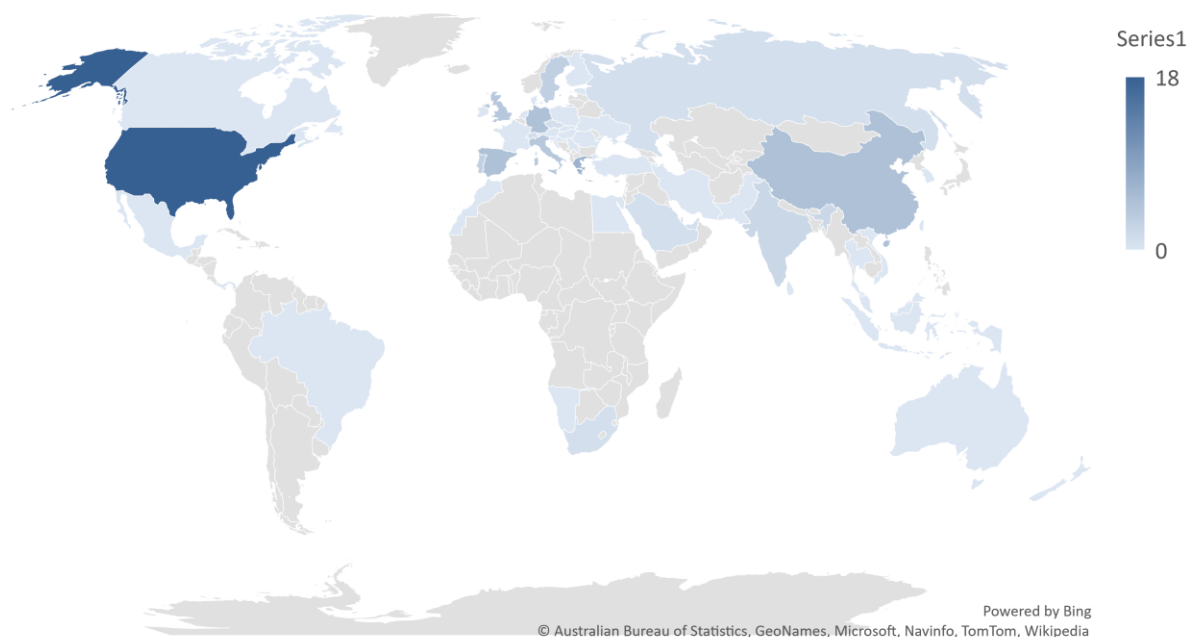
Από βιομηχανική άποψη, οι τεχνολογίες ΑΙ μπορούν να θεωρηθούν ως βοηθοί για τα συστήματα να αντιλαμβάνονται το περιβάλλον τους, να επεξεργάζονται τα δεδομένα που αποκτούν και να επιλύουν σύνθετα προβλήματα, καθώς και να μαθαίνουν από την εμπειρία προκειμένου να βελτιώσουν την ικανότητά τους να επιλύουν συγκεκριμένες εργασίες (Peres et al., 2020). Ακόμα, οι προσδοκίες της τεχνητής νοημοσύνης στην βιομηχανία είναι τεράστιες και αλλάζουν συνεχώς. Η εκπλήρωση αυτών των προσδοκιών συνεπάγονται με προκλήσεις

για την εφαρμογή της τεχνητής νοημοσύνης σε βιομηχανίες. Σύμφωνα με τους Lee et al. (2018), μεταξύ των υφιστάμενων προκλήσεων, οι ακόλουθες έχουν μεγαλύτερη σημασία και προτεραιότητα:

- *Αλληλεπιδράσεις μηχανής-με-μηχανή*: Ενώ οι αλγόριθμοι τεχνητής νοημοσύνης μπορούν να χαρτογραφήσουν με ακρίβεια ένα σύνολο εισόδων σε ένα σύνολο εξόδων, είναι επίσης ευαίσθητοι σε μικρές διακυμάνσεις στις εισόδους που προκαλούνται από διακυμάνσεις από μηχανή σε μηχανή. Πρέπει να διασφαλίσει ότι μεμονωμένες λύσεις τεχνητής νοημοσύνης δεν παρεμβαίνουν/συγκρούονται με τη λειτουργία άλλων συστημάτων.
- *Ποιότητα Δεδομένων*: Οι αλγόριθμοι τεχνητής νοημοσύνης απαιτούν τεράστια και καθαρά σύνολα δεδομένων με ελάχιστες προκαταλήψεις. Μαθαίνοντας από ανακριβή ή ανεπαρκή σύνολα δεδομένων, τα αποτελέσματα μπορεί να είναι λανθασμένα.
- *Κυβερνοασφάλεια*: Η αυξανόμενη χρήση συνδεδεμένων τεχνολογιών καθιστά το έξυπνο σύστημα παραγωγής ευάλωτο σε κινδύνους στον κυβερνοχώρο. Επί του παρόντος, η κλίμακα αυτής της ευπάθειας υποτιμάται και η βιομηχανία δεν είναι προετοιμασμένη για τις απειλές ασφαλείας που υπάρχουν.

3.5.2 Ανάλυση των δημοσιεύσεων που διερευνήθηκαν

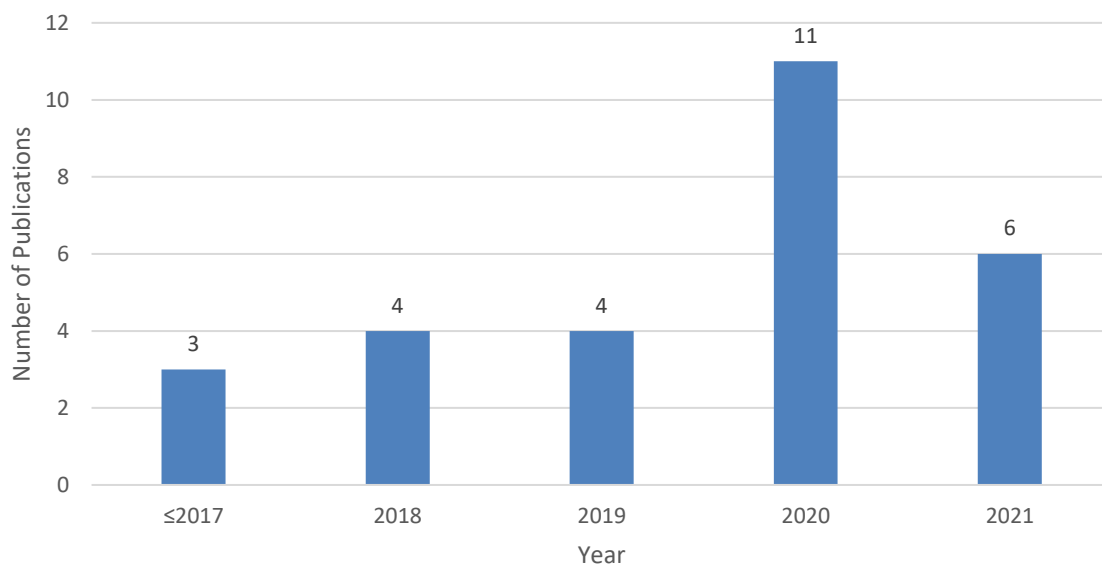
Στο παρακάτω σχήμα φαίνονται οι δημοσιεύσεις ανά χώρα. Σε αυτή την ανάλυση συμπεριλαμβάνονται οι 28 δημοσιεύσεις σχετικές με την τεχνητή νοημοσύνη. Αυτές οι



Σχήμα 3.7 Γεωγραφική κατανομή των δημοσιεύσεων

δημοσιεύσεις έδωσαν συνολικά 62 πόντους σε 16 χώρες. Οι 2 χώρες με τα μεγαλύτερα ποσοστά βαθμών είναι οι Ηνωμένες Πολιτείες με περίπου 29%, η Ελλάδα με περίπου 11%.

Στο παρακάτω σχήμα φαίνονται οι δημοσιεύσεις σχετικές με την τεχνητή νοημοσύνη που διερευνήθηκαν ανά έτος. Από τις συνολικά 28 δημοσιεύσεις οι 6 δημοσιεύτηκαν το 2021, οι 11 το 2020, οι 4 το 2019, οι 4 το 2018, και οι 3 μέχρι το 2017. Ακόμα, συνολικά οι 19 δημοσιεύσεις είναι σε επιστημονικά περιοδικά, οι 7 σε επιστημονικά συνέδρια, η 1 είναι βιβλίο, ενώ η 1 είναι άρθρο σε ιστοσελίδα.



Σχήμα 3.8 Αριθμός δημοσιεύσεων ανά έτος

Στον παρακάτω πίνακα φαίνονται οι δημοσιεύσεις σχετικές με την τεχνητή νοημοσύνη οι οποίες έχουν κατηγοριοποιηθεί ως προς τον είδος του περιεχομένου του άρθρου. Από τις 41 δημοσιεύσεις οι 4 είναι βιβλιογραφική επισκόπηση (Literature Review), οι 9 είναι σχετικές με την σύλληψη κάποιας ιδέας ή μεθόδου (Conceptual), οι 11 αναλύουν κάποιο πλαίσιο εφαρμογής (Framework), οι 1 είναι μελέτη περίπτωσης (Case study), ενώ στις 3 περιγράφεται ένας αλγόριθμος (Algorithm).

Πίνακας 3.6 Κατηγοριοποίηση με βάση του είδος του περιεχομένου

Publication	Type					Publication
	Literature Review	Conceptual	Framework	Case Study	Algorithm	
Aliev and Antonelli, 2021					•	Journal
Angelopoulos et al., 2020	•					Journal
Bousdekis, Apostolou and Mentzas, 2020			•			Journal
Bousdekis, Apostolou and Mentzas, 2020			•			Journal

Publication	Type					Publication
	Literature Review	Conceptual	Framework	Case Study	Algorithm	
Dhanabalan and Sathish, 2018			•			Journal
Dopico et al., 2016		•				Conference
Elhoone et al., 2020		•				Journal
Khan et al., 2020					•	Conference
Lee et al., 2018a			•			Journal
Lee, 2020	•					Book
Machado et al., 2019		•				Conference
Merayo, Rodríguez-Prieto and Camacho, 2019					•	Conference
Mhlanga 2020		•				Journal
Peres et al., 2020	•					Journal
Polak et al., 2019			•			Journal
Popkova and Sergi, 2020		•				Journal
Radanliev et al., 2021		•				Journal
Ribeiro et al., 2021	•					Conference
Robinson, 2021				•		Article
Saldivar et al., 2016			•			Conference
Schluse et al., 2018			•			Journal
Singh et al., 2019		•				Journal
Song , Li and Yu, 2021			•			Journal
Syama and Sharma, 2018			•			Journal
Tannous at al., 2020			•			Journal
Villalba-Díez et al., 2020		•				Journal
Yang et al., 2021			•			Journal
Yao et al., 2017		•				Conference

3.5.3 Τομείς της τεχνητής νοημοσύνης στην βιομηχανία

Στον παρακάτω πίνακα γίνεται αναφορά στους βασικούς τομείς της τεχνητής νοημοσύνης στην βιομηχανία (Peres et al., 2020):

Πίνακας 3.7 Τομείς της τεχνητής νοημοσύνης στην βιομηχανία (Peres et al., 2020)

Τομέας TN	Περιγραφή
Αλγόριθμοι (Algorithms)	Απαιτεί την ενσωμάτωση φυσικής, ψηφιακής και ευρετικής γνώσης. Η υψηλή πολυπλοκότητα προκύπτει από τη διαχείριση, την ανάπτυξη, και τον έλεγχο του μοντέλου. Παραδείγματα αλγορίθμων τεχνητής νοημοσύνης είναι αλγόριθμοι ταξινόμησης (classification), παλινδρόμησης (regression) ή ομαδοποίησης (clustering). Βέβαια, για να λειτουργήσει σωστά ένας αλγόριθμος χρειάζεται και η

Τομέας TN	Περιγραφή
	τροφοδότησή του με αξιόπιστα δεδομένα. Χρησιμοποιώντας έναν αλγόριθμο με ανακριβή ή ανεπαρκή σύνολα δεδομένων, τα αποτελέσματα μπορεί να μην είναι τα αναμενόμενα.
Δεδομένα (Data)	Η βιομηχανική τεχνητή νοημοσύνη απαιτεί δεδομένα που χαρακτηρίζονται από τον μεγάλο όγκο, την ποικιλία υψηλής ταχύτητας, που προέρχονται από διάφορες μονάδες, προϊόντα, καθεστώτα κ.λπ. Τα μοντέλα TN βασίζονται σε μεγάλο βαθμό σε ακριβή, καθαρά και συχνά κατάλληλα επισημασμένα δεδομένα εκπαίδευσης για να παράγουν χρήσιμα αποτελέσματα, καθιστώντας την ποιότητα των δεδομένων κρίσιμο παράγοντα για τη βιομηχανική επιτυχία αυτών των λύσεων. Ακόμα, υπάρχει η περίπτωση δημιουργίας συνθετικών δεδομένων που μοιάζουν πολύ με δεδομένα από πραγματικά λειτουργικά περιβάλλοντα και έτσι επιτρέπει τη γενίκευση των λύσεων βιομηχανικής τεχνητής νοημοσύνης που βασίζονται σε αυτό σε πραγματικά σενάρια.
Λήψη Αποφάσεων (Decision-making)	Δεδομένου του βιομηχανικού περιβάλλοντος, η ανοχή για σφάλματα είναι γενικά πολύ χαμηλή και η αποδοτικότητα έχει ιδιαίτερη σημασία για προβλήματα βελτιστοποίησης. Ακόμα, το επίπεδο αυτονομίας των εφαρμογών εξακολουθεί να είναι γενικά αρκετά χαμηλό με συνέπεια οι εφαρμογές συνήθως περιορίζονται σε πολύ συγκεκριμένα και αυστηρά όρια παρέχοντας υποστήριξη λήψης αποφάσεων στους επόπτες.
Υποδομές (Infrastructures)	Όσον αφορά το υλικό και το λογισμικό, δίνεται μεγάλη έμφαση στις δυνατότητες επεξεργασίας σε πραγματικό χρόνο, διασφαλίζοντας αξιοπιστία βιομηχανικού επιπέδου με υψηλές απαιτήσεις ασφάλειας και διασυνδεσιμότητας. Οι κατάλληλες υποδομές είναι ζωτικής σημασίας για τη διασφάλιση του επιπέδου ποιότητας, ασφάλειας, και αξιοπιστίας που απαιτείται για τη βελτίωση της βιομηχανικής υιοθέτησης των λύσεων τεχνητής νοημοσύνης. Ενδεικτικά αυτές οι υποδομές μπορεί να περιλαμβάνουν απομακρυσμένες λειτουργίες, ασφάλεια στον κυβερνοχώρο, μηχανισμούς διατήρησης της ιδιωτικής ζωής, και συλλογικά προγνωστικά.

Με βάση τους προαναφερθέντες τομείς της τεχνητής νοημοσύνης έγινε κατηγοριοποίηση των δημοσιεύσεων όπως φαίνεται στον παρακάτω πίνακα:

Πίνακας 3.8 Κατηγοριοποίηση με βάση τους τομείς

Publication	Fields			Publication
	Infrastructures	Data	Algorithms	
Aliev and Antonelli, 2021		•	•	Journal
Angelopoulos et al., 2020		•	•	Journal
Bousdekis, Apostolou and Mentzas, 2020		•	•	Journal
Bousdekis, Apostolou and Mentzas, 2020			•	Journal
Dhanabalan and Sathish, 2018	•			Journal
Dopico et al., 2016	•	•		Conference
Elhoone et al., 2020			•	Journal
Khan et al., 2020		•	•	Conference
Lee et al., 2018a		•		Journal
Lee, 2020		•	•	Journal
Machado et al., 2019	•	•		Conference
Merayo, Rodríguez-Prieto and Camacho, 2019		•	•	Conference
Mhlanga 2020		•	•	Journal
Peres et al., 2020	•	•	•	Journal
Polak et al., 2019			•	Journal
Popkova and Sergi, 2020		•	•	Journal
Radanliev et al., 2021	•	•	•	Journal
Ribeiro et al., 2021			•	Conference
Robinson, 2021	•	•	•	Article
Saldivar et al., 2016			•	Conference
Schluse et al., 2018				Journal
Singh et al., 2019		•		Journal
Song, Li and Yu, 2021		•		Journal
Syama and Sharma, 2018	•		•	Journal
Tannous et al., 2020			•	Journal
Villalba-Díez et al., 2020		•	•	Journal
Yang et al., 2021	•	•	•	Journal
Yao et al., 2017	•	•		Conference

3.5.4 Εφαρμογές της τεχνητής νοημοσύνης στην βιομηχανία

Η τεχνητή νοημοσύνη είναι μια τεχνολογία η οποία χρησιμοποιείται σχεδόν σε όλες τις εφαρμογές σε μια επιχείρηση στα πλαίσια του Industry 4.0. Στον παρακάτω πίνακα αναφέρονται κάποιες ενδεικτικές εφαρμογές:

Πίνακας 3.9 Ενδεικτικές εφαρμογές της τεχνητής νοημοσύνης

Εφαρμογή	Περιγραφή
Αυτόνομα ρομπότ (Autonomous Robots)	<p>Το Industry 4.0 αφορά τον αυτοματισμό των διεργασιών, συνεπώς, σε αυτό το πλαίσιο τα ρομπότ που εκτελούσαν μόνο συγκεκριμένες κινήσεις είναι πλέον αυτόνομα, έχοντας την δυνατότητα να κατανοήσουν το περιβάλλον και λάβουν αποφάσεις που αφορούν την περάτωση μίας εργασίας. Αυτό γίνεται εφικτό με τη χρήση της τεχνητής νοημοσύνης. Χρησιμοποιώντας μεθόδους μηχανικής μάθησης τα ρομπότ αποκτούν τις προαναφερθείσες ιδιότητες. Ακόμα, η βιομηχανική τεχνητή νοημοσύνη παρουσιάζει μια τεράστια ευκαιρία για την ενίσχυση της συνεργασίας ανθρώπου-ρομπότ και την παροχή υποστήριξης σε τρέχουσες ανθρωποκεντρικές εργασίες, είτε βελτιώνοντας την ασφάλεια των χειριστών είτε κάνοντας τα καθήκοντά τους ευκολότερα και πιο αποτελεσματικά. (Galim and Meshcheryakov, 2019)</p>
Pattern Recognition – Quality control	<p>Η πολυπλοκότητα των διαδικασιών παραγωγής πολλαπλών σταδίων όπως η συναρμολόγηση και η μηχανική κατεργασία, μαζί με τις απρόβλεπτες διαταραχές και αβεβαιότητες τους, καθιστούν δύσκολη την εγγύηση της επιθυμητής ποιότητας ενός προϊόντος. Έτσι, αποτελεσματικές μέθοδοι για την αυτοματοποιημένη και έγκαιρη ανίχνευση πιθανών ελαττωμάτων κατά την παραγωγή με χρήση δεδομένων σε πραγματικό χρόνο είναι ιδιαίτερα επιθυμητές στους κατασκευαστές. Υπάρχουν εφαρμογές οι οποίες περιλαμβάνουν αυτοματοποιημένη οπτική επιθεώρηση με χρήση μεθόδων υπολογιστικής όρασης, οι οποίες προβλέπουν ελαττώματα στο προϊόν και ανατροφοδοτούν τα μηχανήματα για να τα διορθώσουν. (Peres et al., 2020)</p>
Πρόβλεψη συντήρησης (Predictive Maintenance)	<p>Δεδομένου του υψηλού κόστους που σχετίζεται με τον προγραμματισμένο χρόνο διακοπής λειτουργίας στη βιομηχανία λόγω βλάβης κάποιου μηχανήματος, έχουν αναπτυχθεί τρόποι για την πρόβλεψη της συντήρησης με χρήση τεχνητής νοημοσύνης και επικεντρώνονται στην αύξηση της λειτουργικότητας και του</p>

Εφαρμογή	Περιγραφή
	χρόνου λειτουργίας του μηχανήματος, εντοπίζοντας πιθανά προβλήματα πριν εμφανιστούν. Αυτό μπορεί να γίνει για έναν συγκεκριμένο τύπο μηχανής ή χρησιμοποιώντας τις πληροφορίες μιας ομάδας μηχανών με βάση την ομοιότητα. Στη συνέχεια, μέσω της αξιολόγησης της αποτελεσματικότητας της συντήρησης των διαφορετικών πολιτικών συντήρησης, των σχετικών δαπανών, των πόρων και του συγκεκριμένου πλαισίου, μπορεί να καθοριστεί η βέλτιστη ημερομηνία συντήρησης. (Silvestri et al., 2020)

3.6 Επαυξημένη Πραγματικότητα

3.6.1 Ο ρόλος της επαυξημένης πραγματικότητας στην βιομηχανία

Η επαυξημένη πραγματικότητα (Augmented Reality) είναι μια βασική τεχνολογία που αυξάνει τις δυνατότητες του Industry 4.0 και είναι μία από τις κύριες τεχνολογίες που οδηγούν στην ανάπτυξη ιδεών στον κλάδο σύμφωνα με την Ευρωπαϊκή Ένωση (Masood and Egger, 2019). Αυτή η τεχνολογία δίνει τη δυνατότητα στους εργαζόμενους να γεφυρώσουν το χάσμα μεταξύ του φυσικού κόσμου και του ψηφιακού περιβάλλοντος (Masood and Egger, 2019).

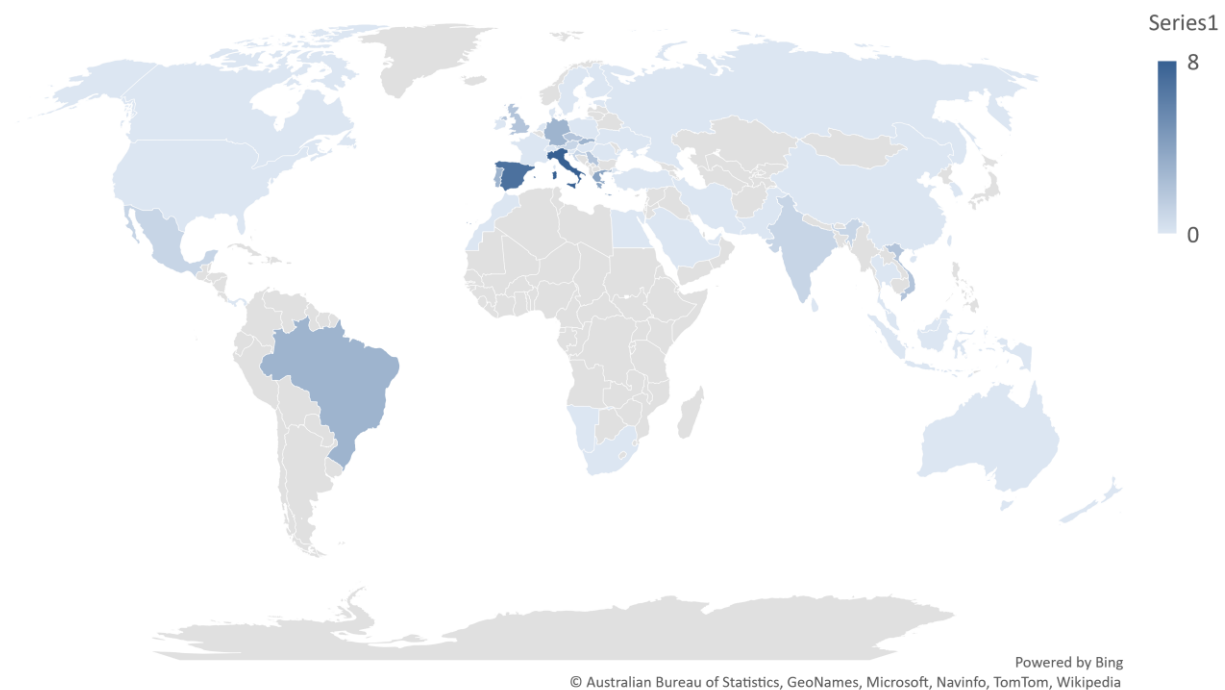
Η επαυξημένη πραγματικότητα επεκτείνει τον φυσικό κόσμο, συμπεριλαμβανομένων στρωμάτων ψηφιακών πληροφοριών σε αυτόν (Nayyar et al., 2018). Η τεχνολογική πρόοδος τέτοιων τεχνολογιών δίνει στους πελάτες την ευκαιρία να βιώσουν έναν επαυξημένο κόσμο βλέποντας εικονικές πληροφορίες στην πραγματικότητα. Αυτός είναι ο τρόπος με τον οποίο ο πελάτης μπορεί να έρθει σε επαφή τόσο με τον πραγματικό όσο και με τον εικονικό κόσμο και να λάβει προοδευτικά δεδομένα ή εκτιμήσεις. Σε αντίθεση με την εικονική πραγματικότητα, η επαυξημένη πραγματικότητα δεν δημιουργεί ψεύτικες συνθήκες. Ακόμα, ενσωματώνει ήχους, χρονικά ή παραστάσεις σε αυτήν (Lavingia and Tanwar, 2020).

Για το Industry 4.0, αυτή η τεχνολογία έχει μερικά σημεία που πρέπει να εστιάσει. Μπορεί να είναι η ιδανική στρατηγική για την αξιοποίηση πληροφοριών από τους ειδικούς και τους εργαζόμενους, δίνοντάς τους τη δυνατότητα να παρακολουθούν τις πληροφορίες από την εργασία που εκτελούν. Ακόμα, η απομακρυσμένη βοήθεια είναι επίσης σημαντική όταν οι εταιρείες έχουν εγκατεστημένα μηχανήματα σε απομακρυσμένες τοποθεσίες. Τέτοια μηχανήματα πρέπει να παρακολουθούνται, να λειτουργούν και να επισκευάζονται με τον ελάχιστο αριθμό ατόμων επί τόπου. Επιπρόσθετα, η βιομηχανική επαυξημένη πραγματικότητα

μπορεί να βοηθήσει διευκολύνοντας την εξ αποστάσεως συνεργασία μεταξύ των εργαζομένων (Fraga-Lamas et al., 2018). Με την παροχή ευέλικτων πληροφοριών σε πραγματικό χρόνο και τη δυνατότητα απόκτησης αυτών των πληροφοριών, η επαυξημένη πραγματικότητα μπορεί να προσφέρει ένα σημαντικό όφελος απόδοσης για βιομηχανικές εφαρμογές. Επιπλέον, μπορεί να μειώσει τον αριθμό των σφαλμάτων που γίνονται, όπως τα σφάλματα επιλογής ή συναρμολόγησης και παρέχει έναν εύκολο τρόπο επικοινωνίας με ειδικούς σε διάφορες εργασίες, όπως εργασίες συντήρησης (Masood and Egger, 2019).

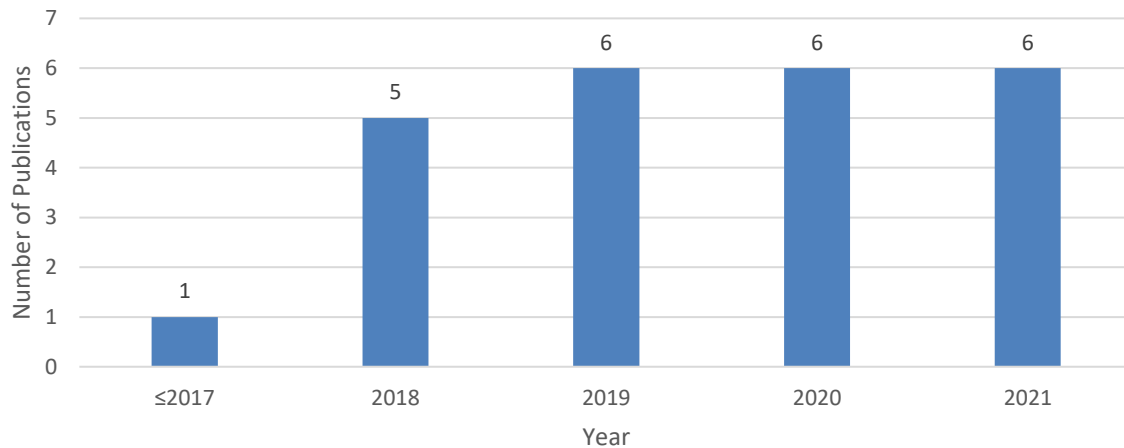
3.6.2 Ανάλυση των δημοσιεύσεων που διερευνήθηκαν

Στο παρακάτω σχήμα φαίνονται οι δημοσιεύσεις ανά χώρα. Σε αυτή την ανάλυση συμπεριλαμβάνονται οι 24 δημοσιεύσεις σχετικές με την επαυξημένη πραγματικότητα. Αυτές οι δημοσιεύσεις έδωσαν συνολικά 43 πόντους σε 15 χώρες. Οι 2 χώρες με τα μεγαλύτερα ποσοστά βαθμών είναι η Ιταλία με περίπου 19%, η Ισπανία με περίπου 16%.



Σχήμα 3.9 Γεωγραφική κατανομή των δημοσιεύσεων

Στο παρακάτω σχήμα φαίνονται οι δημοσιεύσεις σχετικές με την επαυξημένη πραγματικότητα που διερευνήθηκαν ανά έτος. Από τις συνολικά 24 δημοσιεύσεις οι 6 δημοσιεύτηκαν το 2021, οι 6 το 2020, οι 6 το 2019, οι 5 το 2018, και 1 μέχρι το 2017. Ακόμα, συνολικά οι 12 δημοσιεύσεις είναι σε επιστημονικά περιοδικά, οι 10 σε επιστημονικά συνέδρια, η 1 είναι κεφάλαιο βιβλίου, οι 3 είναι βιβλία, ενώ η 1 είναι άρθρο σε ιστοσελίδα.



Σχήμα 3.10 Αριθμός δημοσιεύσεων ανά έτος

Στον παρακάτω πίνακα φαινόνται οι δημοσιεύσεις σχετικές με την επαυξημένη πραγματικότητα οι οποίες έχουν κατηγοριοποιηθεί ως προς τον είδος του περιεχομένου του άρθρου. Από τις 24 δημοσιεύσεις οι 2 είναι βιβλιογραφική επισκόπηση (Literature Review), οι 5 είναι σχετικές με την σύλληψη κάποιας ιδέας ή μεθόδου (Conceptual), οι 9 αναλύουν κάποιο πλαίσιο εφαρμογής (Framework), οι 7 είναι μελέτες περίπτωσης (Case study), ενώ στην 1 περιγράφεται ένας αλγόριθμος (Algorithm):

Πίνακας 3.10 Κατηγοριοποίηση με βάση του είδος του περιεχομένου

Publication	Type					Publication
	Literature Review	Conceptual	Framework	Case Study	Algorithm	
Bonavolontá et al., 2020				•		Conference
Ceruti et al., 2019		•				Journal
Damiani et al., 2018		•				Conference
Fernández-Caramés et al., 2018			•			Journal
Fraga-Lamas et al., 2018	•					Journal
Konstantinidis et al., 2020			•			Journal
Lavingia and Tanwar, 2020	•					Chapter
Limeira et al., 2019			•			Conference
Malý, Sedláček and Leitão, 2016			•			Conference
Marino et al., 2021			•			Journal
Masood and Egger, 2019		•				Journal
Mourtzis et al., 2019				•		Conference
Nayyar et al., 2018			•			Journal
Ojer et al., 2020			•			Journal
Papcun et al., 2019			•			Conference
Periša et al., 2018				•		Conference
Piardi et al., 2019			•			Journal
Plakas et al., 2020				•		Conference

Publication	Type					Publication
	Literature Review	Conceptual	Framework	Case Study	Algorithm	
Reljic et al., 2021		•				Journal
Röltgen and Dumitrescu, 2020				•		Conference
Santi et al., 2021		•				Journal
Satkowski and Dachsel, 2021				•		Conference
Wodecki, 2021				•		Article
Židek et al., 2021					•	Journal

3.6.3 Τεχνολογίες και είδη επαυξημένης πραγματικότητας

Σύμφωνα με τους (Fraga-Lamas et al., 2018) η επαυξημένη πραγματικότητα περιλαμβάνει ένα σύνολο τεχνολογιών που χρησιμοποιούν μια ηλεκτρονική συσκευή για την προβολή (άμεσα ή έμμεσα) ενός πραγματικού φυσικού περιβάλλοντος που συνδυάζεται με εικονικά στοιχεία και τα στοιχεία που συνθέτουν ένα τέτοιο σύστημα είναι:

- Μια συσκευή λήψης εικόνων (κάμερες κ.λ.π.)
- Μια οθόνη για την προβολή των εικονικών πληροφοριών στις εικόνες που αποκτήθηκαν από το στοιχείο λήψης. (Οθόνες χειρός – Tablet, χωρικές οθόνες – Projectors, οθόνες που τοποθετούνται στο κεφάλι – έξυπνα γυαλιά).
- Μια μονάδα επεξεργασίας που εξάγει τις εικονικές πληροφορίες που πρόκειται να προβληθούν.
- Ενεργοποιητές (triggers) που ενεργοποιούν την εμφάνιση εικονικών πληροφοριών.

Εκτός από υλικά στοιχεία τα οποία είναι απαραίτητα για την εφαρμογή τεχνολογιών επαυξημένης πραγματικότητας είναι σημαντικό και το λογισμικό. Πλέον, υπάρχουν πολλά πακέτα λογισμικού και εργαλεία που επιτρέπουν τη δημιουργία εφαρμογών επαυξημένης πραγματικότητας και εικονικής πραγματικότητας. Σύμφωνα με τους Santi et al. (2021) υπάρχουν τρία πιθανά είδη συνδυασμών πραγματικότητας:

- *Επαυξημένη Πραγματικότητα (Augmented Reality)*: είναι η ενσωμάτωση εικονικών αντικειμένων στην πραγματική ζωή χάρη σε διαφανείς συσκευές που τοποθετούνται στο κεφάλι. Αυτή η τεχνολογία επιτρέπει την αλληλεπίδραση μεταξύ δύο κόσμων συνδυάζοντας τι είναι πραγματικό και τι δεν είναι, δίνοντας έτσι μια πιο λεπτομερή αντίληψη της πραγματικότητας.

- *Επαυξημένη Εικονικότητα (Augmented Virtuality)*: βασίζεται στη συγχώνευση πραγματικών αντικειμένων σε ένα εικονικό περιβάλλον.
- *Εικονική Πραγματικότητα (Virtual Reality)*: είναι ένας πλήρως ψηφιοποιημένος κόσμος, όπου ο παρατηρητής στέκεται σε πρώτο πρόσωπο σε ένα εντελώς εικονικό περιβάλλον γεμάτο ψηφιακά αντικείμενα και σκηνές.

Η επαυξημένη πραγματικότητα μπορεί να εμφανιστεί σε διάφορα υλικά, όπως οθόνες, γυαλιά, συσκευές χειρός, κινητά τηλέφωνα, εκθέματα που τοποθετούνται στο κεφάλι και ενσωματώνει διάφορες μεθόδους υπολογισμού στο λογισμικό όπως το S.L.A.M. (simultaneous confinement and mapping). Παρακάτω οι Lavingia and Tanwar (2020) έχουν κατηγοριοποιήσει την επαυξημένη πραγματικότητα σε τέσσερις τύπους:

Πίνακας 3.11 Είδη επαυξημένης πραγματικότητας (Lavingia and Tanwar, 2020)

Είδος	Περιγραφή
Βασισμένη σε δείκτη (Marker-based)	Λειτουργεί με σάρωση ενός δείκτη που ενεργοποιεί μια επαυξημένη προβολή (αυτό μπορεί να είναι ένα αντικείμενο, κείμενο, QR code) για να εμφανιστεί στη συσκευή. Συνήθως απαιτεί λογισμικό με τη μορφή εφαρμογής, η οποία επιτρέπει στους χρήστες να σαρώνουν δείκτες από τη συσκευή τους χρησιμοποιώντας τη ροή της κάμερας. Η συσκευή που χρησιμοποιείται εξακριβώνει επίσης τη θέση και την εισαγωγή ενός δείκτη. Με αυτόν τον τρόπο, ένας δείκτης ξεκινά προηγμένες δραστηριότητες για να τις δουν οι πελάτες.
Χωρίς δείκτη (Marker-less)	Βασίζεται στην θέση, χρησιμοποιεί GPS, πυξίδα, περιστροφικό όργανο και επιταχυνσιόμετρο για να δώσει πληροφορίες της περιοχής του πελάτη. Αυτές οι χρήσεις βασίζονται σε μεγάλο βαθμό σε χαρακτηριστικά έξυπνων τηλεφώνων, όπως αισθητήρες, κάμερα και επεξεργαστές. Οι εφαρμογές αυτές συνήθως ενσωματώνουν δεδομένα και ενίσχυση διαδρομής.
Βασισμένη σε προβολή (Projection-based)	Είναι μια μέθοδος παροχής ψηφιακών πληροφοριών μέσα σε ένα σταθερό πλαίσιο και επικεντρώνεται στην απόδοση εικονικών αντικειμένων εντός ή στον φυσικό χώρο ενός χρήστη. Είναι μια από τις απλούστερες μορφές επαυξημένης πραγματικότητας όπου το φως προβάλλεται σε μια επιφάνεια

Είδος	Περιγραφή
	από έναν οι περισσότερους προβολείς (projectors) και η αλληλεπίδραση πραγματοποιείται αγγίζοντας φυσικά την προβαλλόμενη επιφάνεια. Επιπλέον, οι χρήστες δεν περιορίζεται σε καμία συσκευή καθώς τα εικονικά αντικείμενα ενσωματώνονται απευθείας στο περιβάλλον. Οι χρήστες και τα αντικείμενα-στόχοι μπορούν επίσης να μετακινούνται στο περιβάλλον μέσα σε μια καθορισμένη ζώνη, στην οποία τοποθετούνται τόσο ο σταθερός προβολέας όσο και η κάμερα υποστήριξης για παρακολούθηση.
Με υπέρθεση (Superimposition-based)	Η υπέρθεση AR περιλαμβάνει είτε μερική είτε πλήρη αντικατάσταση μιας αρχικής προβολής ενός αντικειμένου με μια επαυξημένη προβολή του ίδιου αντικειμένου. Σε αυτόν τον τύπο AR, η αναγνώριση αντικειμένων παίζει ζωτικό ρόλο, επειδή μια εφαρμογή δεν μπορεί να αντικαταστήσει ένα αρχικό αντικείμενο με ένα επαυξημένο, εάν δεν μπορεί να αναγνωρίσει το αρχικό αντικείμενο. Αυτός ο τύπος επαυξημένης πραγματικότητας έχει διαδοθεί από κοινωνικές πλατφόρμες χρησιμοποιώντας φίλτρα στις κάμερες.

Στον παρακάτω πίνακα κατηγοριοποιούνται οι δημοσιεύσεις με βάση τον τύπο της επαυξημένης πραγματικότητας που επεξηγείται μέσα στο άρθρο. Παρατηρήθηκε ότι αρκετά άρθρα αναλύουν περισσότερους από ένα τύπο και κάποιες φορές αναλόγως την εργασία χρησιμοποιούνται συνδυαστικά.

Πίνακας 3.12 Κατηγοριοποίηση των δημοσιεύσεων με βάση το είδος της επαυξημένης πραγματικότητας

Publication	Type			
	Marker-based	Marker-less	Projection-based	Superimposition-based
Bonavolontá et al., 2020	•			
Ceruti et al., 2019	•		•	•
Damiani et al., 2018	•			•
Fernández-Caramés et al., 2018	•	•		•
Fraga-Lamas et al., 2018	•		•	•
Konstantinidis et al., 2020	•			
Lavingia and Tanwar, 2020	•	•	•	•

Publication	Type			
	Marker-based	Marker-less	Projection-based	Superimposition-based
Limeira et al., 2019				•
Malý, Sedláček and Leitão, 2016	•			•
Marino et al., 2021	•			
Masood and Egger, 2019	•	•	•	
Mourtzis et al., 2019	•			•
Nayyar et al., 2018		•	•	•
Ojer et al., 2020			•	
Papcun et al., 2019	•			•
Periša et al., 2018		•		
Piardi et al., 2019	•			•
Plakas et al., 2020				•
Reljic et al., 2021	•		•	
Röltgen and Dumitrescu, 2020	•			•
Santi et al., 2021	•			•
Satkowski and Dachselt, 2021	•			•
Wodecki, 2021	•			
Židek et al., 2021	•			

3.6.4 Εφαρμογές επαυξημένης πραγματικότητας

Παρακάτω παρατίθενται κάποια παραδείγματα χρήσης της επαυξημένης πραγματικότητας σε κάποιους τομείς. Αυτή η χρήση αυξάνει την παραγωγικότητα και υποστηρίζει την εργασία των υπαλλήλων. Ακόμα, αυτά τα παραδείγματα χρησιμοποιούν επαυξημένη πραγματικότητα βασισμένη σε τεχνολογίες που αναφέρθηκαν στην προηγούμενη υποενότητα.

Πίνακας 3.13 Ενδεικτικές εφαρμογές επαυξημένης πραγματικότητας

Εφαρμογή	Περιγραφή
Υποστήριξη στην κατασκευή πλοίων	Στο (Fraga-Lamas et al., 2018) οι ναυπηγικές εταιρείες αναβαθμίζουν την εσωτερική τους λειτουργία προκειμένου να δημιουργήσουν ψηφιοποιημένες και βελτιστοποιημένες διαδικασίες.
Υποστήριξη στην Συντήρηση στην αεροναυτική	Στο (Ceruti et al., 2019) αναλύεται η χρήση επαυξημένης πραγματικότητας η οποία μπορεί να υποστηρίξει εργασίες συντήρησης στην αεροναυτική.
Υποστήριξη στον τουρισμό	Το (Nayyar et al., 2018) αναφέρεται στην χρήση της επαυξημένης πραγματικότητας στον τομέα του τουρισμού. Οι

Εφαρμογή	Περιγραφή
	τουρίστες με την χρήση του κινητού τους ή άλλων συσκευών βλέπουν προτάσεις για μέρη ή ξεναγούνται σε αξιοθέατα.
Υποστήριξη στην συναρμολόγηση ηλεκτρονικών μερών	Στο (Ojer et al., 2020) χρησιμοποιείται ένα σύστημα καθοδήγησης και βοήθειας χειριστών κατά τη διαδικασία συναρμολόγησης ηλεκτρονικών εξαρτημάτων. Αυτό το σύστημα βασίζεται στην χρήση προβολέα.
Υποστήριξη εργατών	Στο (Marino et al., 2021) παρουσιάζεται ένα εργαλείο επιτήρησης για να βοηθά εργάτες σε βιομηχανίες. Χρησιμοποιεί επαυξημένη πραγματικότητα βασισμένη σε δείκτη και επιβλέπει με την χρήση ενός tablet με την βοήθεια της κάμεράς του.
Υποστήριξη στην αποθήκη	Στα (Piardi et al., 2019, Mourtzis et al., 2019) αναλύεται η χρήση της επαυξημένης πραγματικότητας στην αποθήκη στο πλαίσιο έξυπνων εργοστασίων.
Υποστήριξη εργαζομένων που συνεργάζονται με ρομπότ	Στο (Parcun et al., 2019) αναφέρεται ότι είναι σημαντικό να δημιουργηθεί ένα περιβάλλον όπου τα αυτόνομα οχήματα έχουν σχεδιάσει τη διαδρομή τους και οι αποθηκάριοι μπορούν να δουν τα μονοπάτια τους και να επισημάνουν απαγορευμένες περιοχές με εικονικά μέσα, ώστε αυτά τα κινητά ρομπότ και οι άνθρωποι να κινούνται με ασφάλεια σε μια έξυπνη αποθήκη.

3.7 Μεγάλα Δεδομένα και αναλυτικά στοιχεία

3.7.1 Ο ρόλος των μεγάλων δεδομένων και της ανάλυσής τους στην βιομηχανία

Η εξέλιξη των ΤΠΕ έχει επιφέρει πολλές αλλαγές στο βιομηχανικό περιβάλλον. Η ανθρώπινη παρέμβαση έχει μειωθεί σημαντικά, παρέχοντας μόνο εντολές ως είσοδο στον υπολογιστή ο οποίος χειρίζεται τις μηχανές. Αυτό το τελευταίο επίπεδο παρεμβολής του ανθρώπου θα μειωθεί στο ελάχιστο δυνατό στα πλαίσια του Industry 4.0. Πιο συγκεκριμένα, θα παρέχονται στους υπολογιστές αρκετά δεδομένα που θα τους δίνουν τη δυνατότητα να αποφασίζουν μόνοι τους ποιο θα είναι το επόμενο βήμα τους και θα υπάρχει μια δικλείδα ασφαλείας που θα ειδοποιεί τους αντίστοιχους υπεύθυνους σε περίπτωση που κάτι δεν γίνει σωστά (Sharma and Pandey, 2020).

Σήμερα, οι εταιρείες αντιμετωπίζουν προκλήσεις όσον αφορά τη χρήση μεγάλων δεδομένων στο μέγιστο των δυνατοτήτων τους. Πολλές βιομηχανίες δεν είναι έτοιμες να αντιμετωπίσουν τέτοια τεράστια δεδομένα λόγω έλλειψης αξιόπιστων αναλυτικών εργαλείων. Οι εταιρείες πρέπει να επαναπροσδιορίσουν την στρατηγική τους έτσι ώστε να μπορέσουν να αντιμετωπίσουν τέτοια μεγάλα δεδομένα και να πάρουν κάποιες πληροφορίες από αυτά. Σύμφωνα με τους Sharma and Pandey (2020) και Wollschlaeger, Sauter and Jasperneite (2017) υπάρχουν διάφοροι περιορισμοί που δυσκολεύουν τις επιχειρήσεις:

- συλλογή και φιλτράρισμα δεδομένων υψηλής ταχύτητας που δημιουργούνται από συσκευές IoT,
- εφαρμογή του κατάλληλου μοντέλου ανάλυσης,
- εγκατάσταση έξυπνων συσκευών IoT,
- ρύθμιση υπολογιστικού νέφους και αποθήκες δεδομένων,
- εξειδικευμένο εργατικό δυναμικό που να μπορεί να κατανοεί και να λειτουργεί αυτές τις διεργασίες,
- ταχύτερη συνδεσιμότητα,
- συντήρηση και επίβλεψη ολόκληρου του διασυνδεδεμένου αυτοματοποιημένου συστήματος.

Όπως αναφέρουν οι Khan et al. (2017), η απόκτηση δεδομένων είναι μια απαιτητική διεργασία στο πλαίσιο του Industry 4.0 λόγω διαφορετικών τεχνολογιών, μηχανημάτων, αισθητήρων, συσκευών IoT αλλά και του δικτύου επικοινωνίας. Η συλλογή αυτών των δεδομένων, η προεπεξεργασία και η μετάδοση τους στον αυτοματοποιημένο σύστημα της βιομηχανίας χρειάζονται μια βαθιά κατανόηση των εργαλείων μεγάλων δεδομένων. Ακόμα, ένας βασικός στόχος των επιχειρήσεων είναι η ανάλυση αυτών των μεγάλων δεδομένων. Η εξαγωγή πληροφοριών από τα βιομηχανικά μεγάλα δεδομένα ανάγκασε τους επιχειρηματίες να εξετάσουν διάφορα εργαλεία για μελλοντικό σχεδιασμό και λήψη αποφάσεων. Κάποιοι βασικοί τομείς που σχετίζονται με την ανάλυση βιομηχανικών μεγάλων δεδομένων είναι: η ανάλυση απάτης, τα συστήματα συστάσεων, ο εντοπισμός βιομηχανικών σφαλμάτων, η εξόρυξη διεργασιών, η διοίκηση, τα δεδομένα μηχανών, οι μεταφορές, η ανάλυση αγοράς, η ανάλυση παραγωγής και οι προτάσεις νέων προϊόντων (Khan et al., 2017).

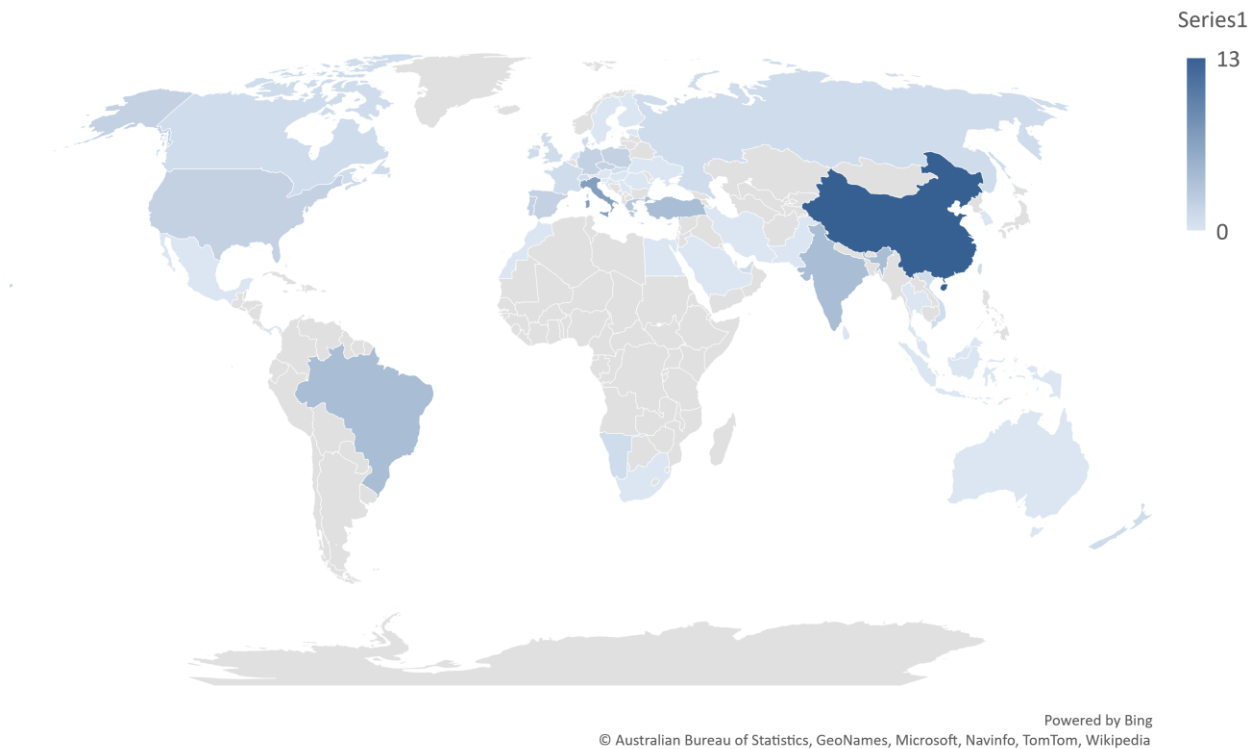
Δεν υπάρχει αμφιβολία ότι αυτά τα δεδομένα παίζουν και θα συνεχίσουν να διαδραματίζουν ολοένα και πιο σημαντικό ρόλο στη σύγχρονη και μελλοντική βιομηχανία, καθώς η ποσότητα και το είδος των βιομηχανικών δεδομένων αυξάνεται συνεχώς αλλά και οι

τομείς χρήσης αυτών των δεδομένων διευρύνονται. Σύμφωνα με τους Yan et al. (2017) τα βιομηχανικά μεγάλα δεδομένα συγκεντρώνονται κυρίως από τις ακόλουθες πηγές:

- Δεδομένα σχεδιασμού, όπως δεδομένα από το σχεδιασμό του προϊόντος και του μηχανήματος.
- Δεδομένα λειτουργίας μηχανήματος, όπως δεδομένα από το σύστημα ελέγχου, λειτουργία εξοπλισμού.
- Δεδομένα συμπεριφοράς προσωπικού, όπως καταγραφή από χειροκίνητες λειτουργίες, βίντεο διαδικασίας εργασίας του προσωπικού.
- Πληροφορίες κόστους, όπως κόστος διαδικασίας παραγωγής, λειτουργίες.
- Πληροφορίες Εφοδιαστικής αλυσίδας.
- Περιβαλλοντικές συνθήκες, όπως πληροφορίες για τον καιρό, εσωτερική θερμοκρασία, υγρασία, θόρυβοι.
- Ανίχνευση σφαλμάτων και δεδομένα παρακολούθησης της κατάστασης του συστήματος.
- Δεδομένα ποιότητας προϊόντων, όπως το ποσοστό ελαττωματικών κάθε εγκατάστασης.
- Δεδομένα χρήσης προϊόντων, όπως διαθεσιμότητα, ποσοστό επισκευής.
- Πληροφορίες πελατών, όπως χαρακτηριστικά πελατών, δεδομένα σχολίων, προτάσεις.

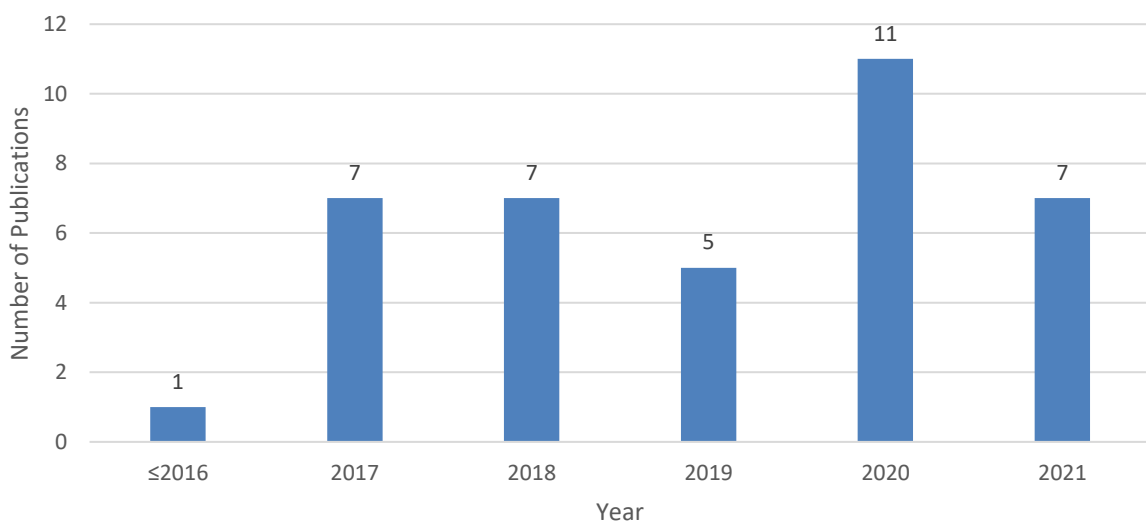
3.7.2 Ανάλυση των δημοσιεύσεων που διερευνήθηκαν

Στο παρακάτω σχήμα φαίνονται οι δημοσιεύσεις ανά χώρα. Σε αυτή την ανάλυση συμπεριλαμβάνονται οι 38 δημοσιεύσεις σχετικές με τα μεγάλα δεδομένα και την ανάλυσή τους. Αυτές οι δημοσιεύσεις έδωσαν συνολικά 60 πόντους σε 25 χώρες. Οι 2 χώρες με τα μεγαλύτερα ποσοστά βαθμών είναι η Κίνα με περίπου 22%, η Ιταλία με περίπου 12%.



Σχήμα 3.11 Γεωγραφική κατανομή των δημοσιεύσεων

Στο παρακάτω σχήμα φαίνονται οι δημοσιεύσεις σχετικές με τα μεγάλα δεδομένα και την ανάλυσή τους που διερευνήθηκαν ανά έτος. Από τις συνολικά 38 δημοσιεύσεις οι 7 δημοσιεύτηκαν το 2021, οι 11 το 2020, οι 5 το 2019, οι 7 το 2018, οι 7 το 2017, και η 1 μέχρι το 2016. Ακόμα, συνολικά οι 23 δημοσιεύσεις είναι σε επιστημονικά περιοδικά, οι 9 σε επιστημονικά συνέδρια, οι 2 είναι κεφάλαια βιβλίων, η 1 είναι αναφορά εταιρίας, ενώ οι 3 είναι άρθρα σε ιστοσελίδες.



Σχήμα 3.12 Αριθμός δημοσιεύσεων ανά έτος

Στον παρακάτω πίνακα φαίνονται οι δημοσιεύσεις σχετικές με τα μεγάλα δεδομένα και την ανάλυσή τους οι οποίες έχουν κατηγοριοποιηθεί ως προς τον είδος του περιεχομένου του άρθρου. Από τις 38 δημοσιεύσεις οι 5 είναι βιβλιογραφική επισκόπηση (Literature Review), οι 13 είναι σχετικές με την σύλληψη κάποιας ιδέας ή μεθόδου (Conceptual), οι 14 αναλύουν κάποιο πλαίσιο εφαρμογής (Framework), ενώ οι 5 είναι μελέτες περίπτωσης (Case study):

Πίνακας 3.14 Κατηγοριοποίηση με βάση του είδος του περιεχομένου

Publication	Type				Publication
	Literature Review	Conceptual	Framework	Case Study	
Arromba et al., 2020		•			Journal
Bettiol, Capestro and Di Maria, 2017		•			Report
Caliskan, Özen and Ozturkoglu, 2021			•		Journal
Cheng et al., 2018			•		Journal
Chiarello et., al 2018		•			Journal
Consoli 2018				•	Article
Dalenogare et al., 2018		•			Journal
Demertzis et al., 2021			•		Conference
Emer, Unterhofer and Rauch, 2021			•		Journal
Galletta et al., 2017		•			Journal
Gökalp, Şener and Eren, 2017			•		Conference
Guo et al., 2018		•			Journal
Guyen, 2020		•			Chapter
Hasan, Popp and Oláh, 2020			•		Journal
Hofmann et al., 2019		•			Journal
Hoi, 2020		•			Conference
Horwitz, 2020				•	Article
Khan et al., 2017	•				Conference
Kuo et al., 2020		•			Journal
Li et al., 2017			•		Journal
Lingam, 2019				•	Conference
Ma, 2018			•		Conference
Muñoz-Garcia and Vila, 2019				•	Journal
Niesen et al., 2016			•		Conference
Nosalska and Mazurek, 2019			•		Journal
Parente et al., 2016	•				Journal
Popkova and Sergi, 2020		•			Journal
Sahal, Breslin and Ali, 2020			•		Journal
Sharma and Pandey, 2020	•				Chapter
Singh, 2021			•		Conference
Song , Li and Yu, 2021			•		Journal
Sony and Naik, 2020	•				Journal
Ungerma and Dedková, 2019		•			Journal
Ungerma, Dedkova and Gurinova, 2018		•			Journal
Vachálek et al., 2017				•	Conference

Publication	Type				Publication
	Literature Review	Conceptual	Framework	Case Study	
Vopson, 2021				•	Article
Yan et al., 2017	•				Journal
ZHENG et al., 2018			•		Journal

3.7.3 Βασικοί τομείς της ανάλυσης των μεγάλων δεδομένων

Η αυτοματοποίηση του κλάδου γίνεται σταδιακά πολύπλοκη και τα δεδομένα που παράγονται στην βιομηχανία μετατρέπονται σε μεγάλα δεδομένα. Τα ρομπότ, οι αισθητήρες, οι ενεργοποιητές, οι διακόπτες, οι υπολογιστές, οι ασύρματες συσκευές, και τα βιομηχανικά δίκτυα επικοινωνίας είναι κάποιες από τις πηγές των μεγάλων δεδομένων στο Industry 4.0. Τα μεγάλα δεδομένα είναι η έννοια των δεδομένων όπου είναι δύσκολο να συλλεχθούν, να αποθηκευτούν, να διαχειριστούν και να επεξεργαστούν με κλασικά εργαλεία και τεχνολογίες (Sharma and Pandey, 2020). Η ψηφιακή πληροφορία έχει εδραιωθεί τόσο πολύ σε όλες τις πτυχές της ζωής και της κοινωνίας μας, που η πρόσφατη ανάπτυξη στην παραγωγή πληροφοριών φαίνεται ασταμάτητη. Σύμφωνα με τον Vopson (2021) το 2018, ο συνολικός όγκος δεδομένων που δημιουργήθηκαν, καταγράφηκαν, αντιγράφηκαν και καταναλώθηκαν στον κόσμο ήταν 33 zettabytes (ZB). Αυτός αυξήθηκε στα 59 ZB το 2020 και προβλέπεται να φτάσει τα 175 ZB μέχρι το 2025. Που αποθηκεύεται όμως όλος αυτός ο τεράστιος όγκος δεδομένων; Οι περισσότερες ψηφιακές πληροφορίες αποθηκεύονται σε τρεις τύπους τοποθεσίας. Πρώτα είναι η παγκόσμια συλλογή αυτών που ονομάζονται τελικά σημεία (endpoints), τα οποία περιλαμβάνουν όλες τις συσκευές Διαδικτύου των Πραγμάτων, υπολογιστές, smartphone και όλες τις άλλες συσκευές αποθήκευσης πληροφοριών. Η δεύτερη τοποθεσία αποθήκευσης περιλαμβάνει υποδομές όπως πύργους κινητής τηλεφωνίας, θεσμικούς διακομιστές και γραφεία, όπως πανεπιστήμια, κυβερνητικά γραφεία, τράπεζες και εργοστάσια. Τέλος, τα περισσότερα από τα δεδομένα αποθηκεύονται σε διακομιστές δεδομένων και κέντρα δεδομένων cloud (Khan et al., 2017).

Έχοντας μια εικόνα όσον αφορά την δυσκολία διαχείρισης, αποθήκευσης αλλά και εξαγωγής πληροφοριών από αυτά τα δεδομένα, παρακάτω βρίσκεται ένας πίνακας με τους κυριότερους τομείς της διαχείρισης και ανάλυσης αυτών των δεδομένων στο πλαίσιο του Industry 4.0:

Πίνακας 3.15 Βασικοί τομείς των μεγάλων δεδομένων

Είδος	Περιγραφή
Αποθήκευση Δεδομένων (Data Storage)	Όσο αυξάνονται τα δεδομένα οι βιομηχανίες βρίσκουν λύσεις για την αποθήκευση τους. Αυτά τα δεδομένα συλλέγονται από διαφορετικές πηγές και αποθηκεύονται σε μία βάση δεδομένων για εύκολη πρόσβαση. Υπάρχουν βάσεις δεδομένων στις οποίες αποθηκεύονται δομημένα δεδομένα (π.χ. Data warehouses) αλλά και άλλες βάσεις στις οποίες είναι καλύτερο να αποθηκεύονται μη δομημένα δεδομένα και να τα επεξεργάζονται ανάλογα με την περίπτωση χρήσης (π.χ. Data lakes). (Sharma and Pandey, 2020)
Επεξεργασία Δεδομένων (Data Processing)	Η Επεξεργασία Δεδομένων περιλαμβάνει συνήθως τον καθαρισμό δεδομένων, την τυποποίηση, τον μετασχηματισμό και τη συγκέντρωση. Προκειμένου να καθαριστούν, να τυποποιηθούν και να μετατραπούν τα δεδομένα από διαφορετικές πηγές, η επεξεργασία δεδομένων πρέπει να προσπελάσει κάθε εγγραφή στα επόμενα δεδομένα. Όταν ο όγκος των δεδομένων είναι μικρός, η ταχύτητα επεξεργασίας δεδομένων είναι μικρή και συνήθως συμβαίνει μέσα στην ίδια βάση δεδομένων όπου βρίσκονται τα δεδομένα. Καθώς ο όγκος των δεδομένων αυξάνεται, η επεξεργασία δεδομένων γίνεται εκτός βάσεων δεδομένων, προκειμένου να παρακάμπτονται όλες οι επιβαρύνσεις και οι περιορισμοί που προκαλούνται από το σύστημα βάσης δεδομένων. (Khan et al., 2017)
Προγνωστική Ανάλυση (Predictive Analytics)	Περιλαμβάνει την πρόβλεψη των πιθανοτήτων ενός γεγονότος στο μέλλον. Για παράδειγμα, οι τράπεζες πρέπει να ελέγξουν το ιστορικό ενός ατόμου που υποβάλλει αίτηση για το δάνειο για να βεβαιωθούν ότι πρόκειται να πάρουν τα χρήματα πίσω. (Sharma and Pandey, 2020)
Περιγραφική ανάλυση Prescriptive Analytics	Είναι ένας τομέας επιχειρηματικής ανάλυσης που στοχεύει στην εύρεση της καλύτερης πορείας ενεργειών για μια δεδομένη λύση. Είναι μια συνεργασία περιγραφικής και προγνωστικής ανάλυσης. Περιγραφική ανάλυση σημαίνει απόκτηση βαθύτερων γνώσεων σχετικά με μια κατάσταση με βάση τα προηγούμενα διαθέσιμα

Είδος	Περιγραφή
	δεδομένα, ενώ η προγνωστική ανάλυση αναφέρεται στην πρόβλεψη γεγονότων στο μέλλον με την εύρεση προτύπων σε γεγονότα που έχουν ήδη συμβεί και τον προσδιορισμό των πιθανοτήτων γεγονότων που μπορούν να συμβούν. (Sharma and Pandey, 2020)
Ανάλυση Ροής (Streaming Analytics)	Είναι η ανάλυση μεγάλων δεδομένων τα οποία μεταδίδονται σε πραγματικό χρόνο και παράγονται ως ενέργεια ή σύνολο ενεργειών, όπως οικονομικές συναλλαγές, αστοχία εξοπλισμού ή κάποιο άλλο έναυσμα. Αυτό το έναυσμα είναι αλλαγές κατάστασης που σχετίζονται με ένα σύστημα σε μια χρονική στιγμή όπως ένα κλικ, ανάγνωση αισθητήρα ή κάποια μετρήσιμη δραστηριότητα. Οι αύξηση των συσκευών IoT θα αυξήσουν πάρα πολύ τον όγκο των δεδομένων που θα δημιουργηθούν. Ως εκ τούτου, η διαχείριση των δεδομένων σε πραγματικό χρόνο, ο καθαρισμός τους, οι προηγμένες αναλύσεις και ο εντοπισμός μοτίβων ενδιαφέροντος θα μείωναν πάρα πολύ τον συνολικό χρόνο και το κόστος επεξεργασίας και θα αύξαναν τις δυνατότητες της βιομηχανίας. (Sharma and Pandey, 2020)

Πίνακας 3.16 Κατηγοριοποίηση των δημοσιεύσεων που διερευνήθηκαν με βάση το είδος της τεχνολογίας

Publication	Main Sectors				
	Data Storage technologies	Data Processing	Predictive Analytics	Prescriptive Analytics	Streaming Analytics
Caliskan, Özen and Ozturkoglu, 2021		•		•	•
Cheng et al., 2018		•	•		
Chiarello et., al 2018		•		•	
Consoli 2018		•	•		
Demertzis et al., 2021	•	•			•
Galletta et al., 2017	•				
Guyen, 2020		•	•	•	
Hasan, Popp and Oláh, 2020	•	•	•	•	•
Khan et al., 2017	•	•	•	•	•
Kuo et al., 2020	•	•		•	
Li et al., 2017		•			•
Muñoz-Garcia and Vila, 2019		•		•	

Publication	Main Sectors				
	Data Storage technologies	Data Processing	Predictive Analytics	Prescriptive Analytics	Streaming Analytics
Niesen et al., 2016	•	•	•		
Nosalska and Mazurek, 2019				•	•
Parente et al., 2016		•	•		
Sahal, Breslin and Ali, 2020	•	•	•		•
Sharma and Pandey, 2020	•	•	•	•	•
Singh, 2021		•	•		
Song , Li and Yu, 2021		•		•	
Ungerma n and Dedková, 2019				•	•
Ungerma n, Dedkova and Gurinova, 2018				•	•
Yan et al., 2017	•	•	•		

3.7.4 Εφαρμογές της ανάλυσης των μεγάλων δεδομένων

Τα μεγάλα δεδομένα και η ανάλυση τους είναι ένας βασικός παράγοντας που επιτρέπει την μετάβαση στο Industry 4.0. Στον πίνακα που ακολουθεί αναφέρονται ενδεικτικά κάποιες εφαρμογές:

Πίνακας 1 Εφαρμογές της ανάλυσης των μεγάλων δεδομένων

Εφαρμογή	Περιγραφή
Διαχείριση Κινδύνου (Risk Management)	<p>Η ενσωμάτωση των ΤΠΕ σε παραγωγικά στοιχεία έχει ως αποτέλεσμα τεράστιες ποσότητες διαφόρων δεδομένων. Για να αντιμετωπιστούν οι προκλήσεις που προκύπτουν από μια ολοένα και πιο ανταγωνιστική αγορά και τις πιο απαιτητικές απαιτήσεις των πελατών, πρέπει να αξιοποιηθούν οι νέες τεχνολογίες για την αποτελεσματική επεξεργασία των δεδομένων. Μια σημαντική πτυχή από αυτή την άποψη είναι η αποτελεσματική διαχείριση των επιχειρηματικών διαδικασιών και των κινδύνων της διαδικασίας. Αυτοί οι κίνδυνοι μπορεί να είναι πιθανές αποκλίσεις από μια προγραμματισμένη κατάσταση οι οποίες υπάρχουν σε κάθε επιχειρηματική δραστηριότητα και, επομένως, είναι ένας σημαντικός παράγοντας στις διαδικασίες λήψης αποφάσεων που σχετίζονται με τις επιχειρήσεις. Η επίγνωση των διαφορετικών τύπων κινδύνων, καθώς και οι μετρήσεις για την εκτίμηση κινδύνου και οι τεχνικές ελέγχου του κινδύνου είναι κρίσιμες για την επιτυχία μιας επιχείρησης και συνήθως θεωρούνται ως διαχείριση κινδύνου (Risk Management). (Niesen et al., 2016)</p>

Εφαρμογή	Περιγραφή
<p>Βελτίωση των διαδικασιών παραγωγής και των αλυσίδων εφοδιασμού (Improve Production Processes and Supply Chains)</p>	<p>Στα πλαίσια του Industry 4.0 οι διαδικασίες παραγωγής και οι αλυσίδες εφοδιασμού είναι μεγάλες και πολύπλοκες. Οι προσπάθειες για τον βελτίωση των διαδικασιών και τη βελτιστοποίηση των αλυσίδων εφοδιασμού πρέπει να υποστηρίζονται από την ικανότητα εξέτασης κάθε στοιχείου διεργασίας και κρίκου της αλυσίδας εφοδιασμού με λεπτομερή λεπτομέρεια. Η ανάλυση μεγάλων δεδομένων δίνει στους κατασκευαστές αυτή τη δυνατότητα. Με τα σωστά αναλυτικά στοιχεία, οι κατασκευαστές μπορούν να ελέγξουν κάθε τμήμα της παραγωγικής διαδικασίας και να εξετάσουν τις αλυσίδες εφοδιασμού με ελάχιστη λεπτομέρεια, λαμβάνοντας υπόψη μεμονωμένες δραστηριότητες και εργασίες. Αυτή η ικανότητα επιτρέπει στους κατασκευαστές να εντοπίζουν τα σημεία συμφόρησης και να αποκαλύπτουν διεργασίες και εξαρτήματα που υπολειπόμενα. Η ανάλυση των μεγάλων δεδομένων αποκαλύπτουν επίσης εξαρτήσεις, επιτρέποντας στους κατασκευαστές να βελτιώσουν τις διαδικασίες παραγωγής και να δημιουργήσουν εναλλακτικά σχέδια για την αντιμετώπιση πιθανών κινδύνων. (Consoli 2018)</p>
<p>Πρόγνωση Συντήρησης (Predictive Maintenance)</p>	<p>Οι διαδικασίες κατασκευής ακολουθούν μια παραγωγή γραμμής συναρμολόγησης, επομένως, οποιαδήποτε αστοχία στη γραμμή συναρμολόγησης οδηγεί σε φαινόμενο ντόμινο, καθιστώντας ζωτικής σημασίας την αποφυγή οποιοδήποτε σημείου αστοχίας εντός της γραμμής συναρμολόγησης. Με την ανάπτυξη προγνωστικών λύσεων συντήρησης, αυτές οι αστοχίες μπορούν να αποφευχθούν ή τουλάχιστον να μειωθούν. Ωστόσο, για την πιο ακριβή και βέλτιστη πρόβλεψη, είναι υψίστης ανάγκης να συλλέγονται και να αναλύονται μεγάλες ποσότητες σχετικών δεδομένων εντός εύλογου χρονικού πλαισίου. Κατά συνέπεια, η ανάλυση μεγάλων δεδομένων και οι τεχνολογίες επεξεργασίας ροής αποτελούν βασική απαίτηση για λύσεις πρόβλεψης συντήρησης. (Sahal, Breslin and Ali, 2020, Yan et al., 2017)</p>
<p>Διαχείριση της γνώσης για την βελτίωση της παραγωγής (Knowledge Management to improve production)</p>	<p>Η διεύθυνση παραγωγής πρέπει να έχει ακριβή πρόβλεψη της ποιότητας, του χρόνου παραγωγής, και επεξεργασίας των προϊόντων. Αυτό μπορεί να το επιτύχει χρησιμοποιώντας αποτελεσματικές τεχνικές, με όσο το δυνατόν πιο μικρό χρόνο υπολογισμού για τον έλεγχο των συστημάτων παραγωγής σε πραγματικό χρόνο, και για τον εντοπισμό βλαβών, ελαττωμάτων και ορισμένων άλλων μη φυσιολογικών καταστάσεων. Με την χρήση διαφόρων ειδών πληροφοριακών</p>

Εφαρμογή	Περιγραφή
	συστημάτων που αναπτύσσονται στις επιχειρήσεις, όπως, προγραμματισμός πόρων επιχειρήσεων (ERP), σύστημα εκτέλεσης παραγωγής (MES), προγραμματισμός διαδικασιών με τη βοήθεια υπολογιστή (CAPP) κ.α., συγκεντρώνονται πολυπληθή δεδομένα που σχετίζονται με τη διαχείριση παραγωγής. Συνεπώς, πρέπει να εξαχθούν κάποιες χρήσιμες πληροφορίες από αυτά τα δεδομένα για τη βελτίωση της αποτελεσματικότητας και της αποδοτικότητας της λήψης αποφάσεων στην διαχείριση της παραγωγής. (Cheng et al., 2018)

3.8 Blockchain

3.8.1 Ο ρόλος του Blockchain στη Βιομηχανία

Η τεχνολογία Blockchain ξεκίνησε από εφαρμογές στα οικονομικά όπως το ψηφιακό νόμισμα (Bitcoin). Καθώς οι τεχνολογίες αναπτύσσονται μέρα με τη μέρα, η εφαρμογή του Blockchain επεκτάθηκε σε διάφορους τομείς και άλλαξε διάφορες επιχειρηματικές εφαρμογές λόγω των χαρακτηριστικών του, όπως η αποκέντρωση, η αξιοπιστία, η μηδενική χρέωση συναλλαγών, και η ασφάλεια κατά την αποθήκευση δεδομένων. Δηλαδή, το Blockchain είναι ένα κατακευματισμένο δίκτυο μητρώων (ledger) στο οποίο οι κόμβοι επικοινωνούν μεταξύ τους κατά την διάρκεια συναλλαγών. Σύμφωνα με τους Akram et al. (2020) τα χαρακτηριστικά του Blockchain είναι η αποκέντρωση, η αμεταβλητότητα και η διαφάνεια:

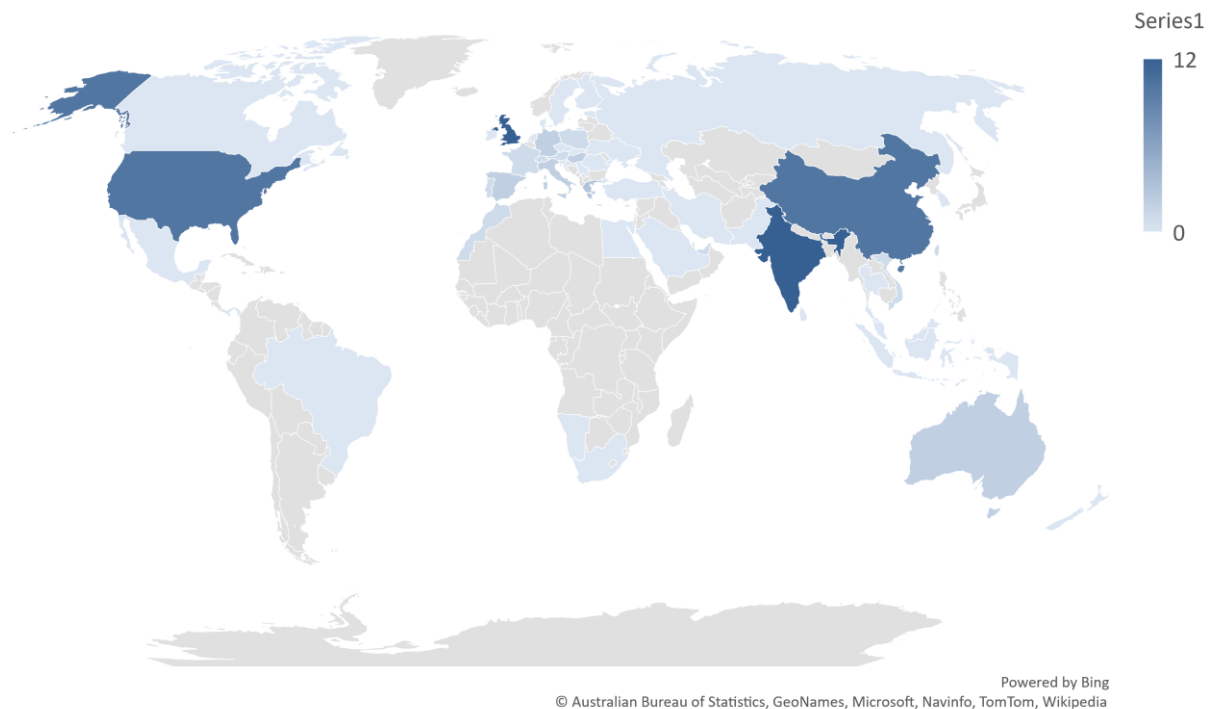
- *Αποκέντρωση*: Συνήθως, τα συστήματα συναλλαγών επεξεργάζονται με κεντρικό τρόπο, όπου μια κεντρική οντότητα (π.χ. η κεντρική τράπεζα) επιτρέπει την εκτέλεση συναλλαγών και η κεντρική μονάδα χρεώνει ένα επιπλέον ποσό συναλλαγής για την εκτέλεση των συναλλαγών. Στην περίπτωση του Blockchain, η κεντρική μονάδα δεν απαιτείται πλέον για την απόδοση των συναλλαγών, καθώς οι αλγόριθμοι στο Blockchain διατηρούν την αξιοπιστία των δεδομένων στο κατακευματισμένο δίκτυο (Vora et al., 2018).
- *Αμεταβλητότητα*: Όταν δύο χρήστες αλληλεπιδρούν μεταξύ τους, η προστασία της ταυτότητας του χρήστη είναι πρωταρχικό μέλημα. Σε ένα Blockchain, η ταυτότητα του χρήστη προστατεύεται με τη βοήθεια κρυπτογραφίας δημόσιου κλειδιού. Κάθε ταυτότητα χρήστη ταυτοποιείται μέσω της διεύθυνσης, η οποία δημιουργείται κατά την αλληλεπίδραση μεταξύ τους (Zheng et al., 2017).

- **Διαφάνεια:** Προς το παρόν, σε οποιοδήποτε δίκτυο μπορεί να υπάρξει παραποίηση πληροφοριών. Στην περίπτωση του δικτύου Blockchain, κάθε μπλοκ αποτελείται από πληροφορίες και παρέχεται με τη διεύθυνση κατακερματισμού, έτσι ώστε ακόμη και μια αλλαγή στο μπλοκ να αντικατοπτρίζει όλους στο κατανεμημένο δίκτυο.

Για να αξιοποιηθούν πλήρως οι δυνατότητες του Blockchain χρειάζεται οι επιχειρήσεις να υιοθετήσουν μια ευέλικτη στρατηγική έτσι ώστε να διορθώσουν πεδία που προηγουμένως αποτελούσαν εμπόδια στην ανάπτυξη, κυρίως από τεχνικής πλευράς. Αυτή εμπεριέχει την ασφάλεια του Blockchain και την αδυναμία τροποποίησης κάποιου περιεχομένου έως ότου πιστοποιηθεί και υποβληθεί σε επεξεργασία σε ένα μπλοκ. Επιπλέον, τα έξυπνα συμβόλαια εισάγονται παράλληλα με το μητρώο (ledger) στο δίκτυο Blockchain. Τα έξυπνα συμβόλαια έχουν πολλά πλεονεκτήματα καθώς επιτρέπουν στις επιχειρηματικές διαδικασίες να ξεκινούν αυτόματα και μειώνουν το κόστος συναλλαγών. Ακόμα, διατίθενται βάσεις δεδομένων και εφαρμογές, οι οποίες μπορούν να καλύψουν τις περισσότερες απαιτήσεις χρησιμοποιώντας το Blockchain και η εφαρμογή του μπορεί να είναι ιδιαίτερα χρήσιμη, όταν συνδέονται πολλές συναλλαγές (Javaid et al., 2021).

3.8.2 Ανάλυση των δημοσιεύσεων που διερευνήθηκαν

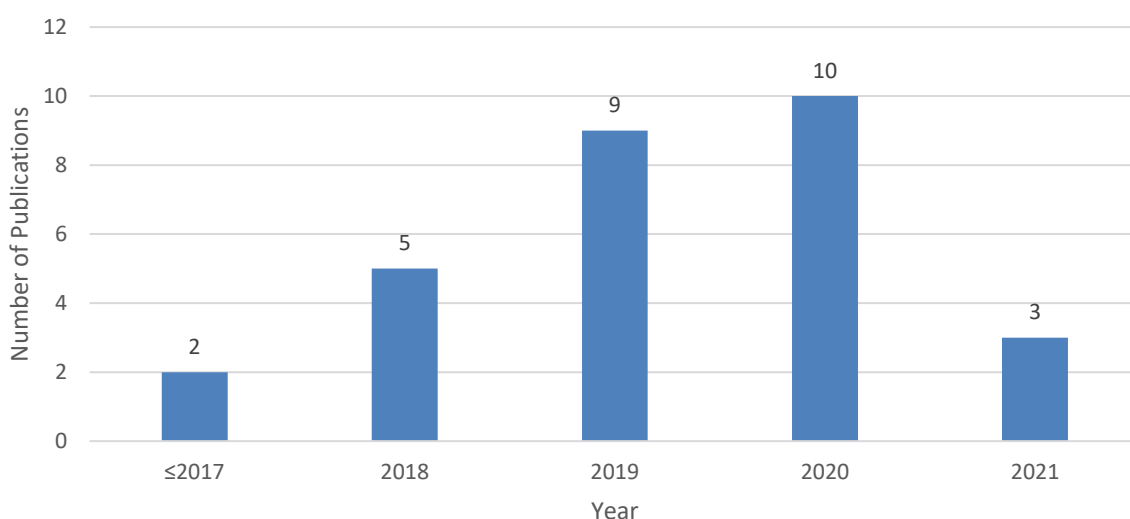
Στο παρακάτω σχήμα φαίνονται οι δημοσιεύσεις ανά χώρα. Σε αυτή την ανάλυση συμπεριλαμβάνονται οι 29 δημοσιεύσεις σχετικές με την τεχνολογία Blockchain. Αυτές οι



Σχήμα 3.13 Γεωγραφική κατανομή των δημοσιεύσεων

δημοσιεύσεις έδωσαν συνολικά 66 πόντους σε 19 χώρες. Οι 4 χώρες με τα μεγαλύτερα ποσοστά βαθμών είναι το Ηνωμένο Βασίλειο και η Ινδία με 18%, και η Κίνα με τις Ηνωμένες Πολιτείες με 15%.

Στο παρακάτω σχήμα φαίνονται οι δημοσιεύσεις σχετικές με την τεχνολογία Blockchain που διερευνήθηκαν ανά έτος. Από τις συνολικά 29 δημοσιεύσεις οι 3 δημοσιεύτηκαν το 2021, οι 10 το 2020, οι 9 το 2019, οι 5 το 2018, και οι 2 μέχρι το 2017. Ακόμα, συνολικά οι 20 δημοσιεύσεις είναι σε επιστημονικά περιοδικά, οι 6 σε επιστημονικά συνέδρια, ενώ οι 3 είναι άρθρα σε ιστοσελίδες.



Σχήμα 3.14 Αριθμός δημοσιεύσεων ανά έτος

Στον παρακάτω πίνακα φαίνονται οι δημοσιεύσεις σχετικές με την τεχνολογία Blockchain οι οποίες έχουν κατηγοριοποιηθεί ως προς τον είδος του περιεχομένου του άρθρου. Από τις 29 δημοσιεύσεις οι 9 είναι βιβλιογραφική επισκόπηση (Literature Review), οι 11 είναι σχετικές με την σύλληψη κάποιας ιδέας ή μεθόδου (Conceptual), οι 6 αναλύουν κάποιο πλαίσιο εφαρμογής (Framework), οι 2 είναι μελέτες περίπτωσης (Case study), ενώ στην 1 περιγράφεται ένας αλγόριθμος (Algorithm):

Πίνακας 3.17 Κατηγοριοποίηση με βάση του είδος του περιεχομένου

Publication	Type					Publication
	Literature Review	Conceptual	Frame work	Case Study	Algor ithm	
Akram et al., 2020	•					Journal
Alladi et al., 2019		•				Journal
Bodkhe et al., 2020	•					Journal
Buntz, 2018b				•		Article
Chang et al., 2020		•				Journal

Publication	Type					Publication
	Literature Review	Conceptual	Frame work	Case Study	Algor ithm	
Cole, Stevenson and Aitken, 2019		•				Journal
Demertzis et al., 2020					•	Journal
Demertzis et al., 2021			•			Conference
Esmacilian et al., 2020		•				Journal
Esposito et al., 2018	•					Journal
Fernández-Caramés and FRAGA-LAMAS, 2019		•				Journal
Fraga-Lamas and Fernández-Caramés, 2019	•					Journal
Guo et al., 2020			•			Conference
Horwitz, 2020				•		Article
Javaid et al., 2021	•					Journal
Koh, Orzes and Jia, 2019		•				Journal
Machkour and Abriane, 2020		•				Conference
Martinez et al., 2019			•			Journal
Mengelkamp et al., 2018		•				Journal
Mohamed and Al-Jaroodi, 2019		•				Conference
Rahman et al., 2021			•			Journal
Rane and Thakker, 2020			•			Journal
Rejeb, Keogh and Treiblmaier, 2019		•				Journal
Tasca and Tessone, 2017	•					Article
Vora et al., 2018			•			Conference
Wang et al., 2019	•					Journal
Zhang et al., 2020		•				Journal
Zheng et al., 2017	•					Conference
Zheng et al., 2018	•					Journal

3.8.3 Κατηγορίες Blockchain

Οι εφαρμογές Blockchain δεν είναι μόνο μία τεχνική, αλλά περιλαμβάνουν κρυπτογραφία, μαθηματικά, αλγόριθμους, οικονομικά μοντέλα, ενσωματώνουν δίκτυα peer-to-peer, και χρησιμοποιούν καταναμημένους αλγόριθμους συναίνεσης για την επίλυση συμβατικών προβλημάτων συγχρονισμού καταναμημένων βάσεων δεδομένων. Το Blockchain είναι χρήσιμο για την ψηφιακή υπογραφή και οι επιχειρήσεις συνειδητοποιούν ότι μπορούν να χρησιμοποιήσουν την έννοια του Blockchain ως μια καταναμημένη τεχνολογία για τη δημιουργία μιας αλυσίδας μπλοκ, η οποία μπορεί να εκτελεί ασφαλείς συναλλαγές (Akram et al., 2020). Σύμφωνα με τους Rahman et al. (2021), Akram et al. (2020), Wang et al. (2019), Zheng et al. (2018) το Blockchain χωρίζεται σε τρεις κατηγορίες, το δημόσιο (public), το

ιδιωτικό (private) και το Blockchain κοινοπραξίας (consortium) όπως φαίνονται στον παρακάτω πίνακα:

Πίνακας 3.18 Είδη Blockchain

Είδη	Περιγραφή
Δημόσιο (Public)	Ένα δημόσιο blockchain είναι ανοιχτό στο κοινό και οποιοσδήποτε μπορεί να εγγραφεί χωρίς συγκεκριμένη άδεια. Όλα τα άτομα που συμμετέχουν στο δίκτυο μπορούν να διαβάζουν, να γράφουν και να συμμετέχουν σε αυτό το δίκτυο. Τα δημόσια blockchain είναι αμετάβλητα και αποκεντρωμένα. Κανείς δεν μπορεί να αλλάξει μια καταχώριση αφού έχει επικυρωθεί, και οι χρήστες μπορούν να είναι σίγουροι ότι οι συναλλαγές τους δεν τροποποιούνται ή διαγράφονται.
Ιδιωτικό (Private)	Το ιδιωτικό Blockchain λειτουργεί μόνο με πρόσκληση, και όποιος επιθυμεί να έχει πρόσβαση σε αυτό πρέπει να ζητήσει άδεια από τον διαχειριστή του Blockchain. Επιτρέπει διαφορετικά επίπεδα πρόσβασης που καθορίζει ποιοι χρήστες μπορούν να γράψουν, να διαβάσουν και να ελέγξουν το Blockchain. Σε αυτήν την περίπτωση, οι οργανισμοί χρησιμοποιούν την τεχνολογία κατανεμημένων μητρώων (ledgers) αλλά δεν δημοσιοποιούν τα δεδομένα τους. Τα ιδιωτικά Blockchain δεν προσφέρουν το ίδιο επίπεδο ασφάλειας με τα δημόσια, το οποίο σημαίνει σημαίνει ότι οι καταχωρίσεις μπορούν να τροποποιηθούν από τον κάτοχό τους.
Κοινοπραξίας (Consortium)	Το Blockchain κοινοπραξίας είναι μια τεχνολογία blockchain όπου αντί για έναν μόνο οργανισμό, πολλαπλοί οργανισμοί διαχειρίζονται την πλατφόρμα. Δεν είναι μια δημόσια πλατφόρμα, αλλά μια εξουσιοδοτημένη πλατφόρμα. Επιπλέον, είναι αρκετά παρόμοιο με τα ιδιωτικά blockchain.

Πίνακας 3.19 Κατηγοριοποίηση δημοσιεύσεων με βάση το είδος του Blockchain

Publication	Type		
	Public	Private	Consortium
Akram et al., 2020	•	•	•
Alladi et al., 2019	•	•	
Bodkhe et al., 2020	•	•	•
Chang et al., 2020		•	
Cole, Stevenson and Aitken, 2019	•	•	
Demertzis et al., 2020	•	•	
Demertzis et al., 2021	•	•	
Esmacilian et al., 2020	•	•	
Esposito et al., 2018		•	
Fernández-Caramés and FRAGA-LAMAS, 2019	•	•	•

Publication	Type		
	Public	Private	Consortium
Fraga-Lamas and Fernández-Caramés, 2019	•	•	•
Javaid et al., 2021	•	•	•
Martinez et al., 2019	•	•	
Mengelkamp et al., 2018	•	•	
Mohamed and Al-Jaroodi, 2019		•	
Rahman et al., 2021		•	•
Rane and Thakker, 2020		•	
Rejeb, Keogh and Treiblmaier, 2019	•		•
Tasca and Tessone, 2017	•	•	•
Vora et al., 2018		•	
Wang et al., 2019	•	•	•
Zhang et al., 2020	•	•	
Zheng et al., 2017	•	•	•
Zheng et al., 2018	•	•	•

3.8.4 Εφαρμογές του Blockchain

Στον πίνακα που ακολουθεί βρίσκονται κάποιες ενδεικτικές εφαρμογές για το Blockchain στην βιομηχανία:

Πίνακας 3.20 Ενδεικτικές εφαρμογές του Blockchain στην βιομηχανία

Εφαρμογή	Περιγραφή
Τομέας της Ενέργειας (Power Industry)	Οι συσκευές με δυνατότητα IoT (smartphone, έξυπνοι μετρητές, ηλεκτρικά οχήματα) ολοένα και αυξάνονται και έχουν απαιτήσεις ισχύος. Παράλληλα, η ανάπτυξη πολλών τύπων σχημάτων παραγωγής ενέργειας και τα δίκτυα ενέργειας γίνονται πολύ περίπλοκα στον χειρισμό. Το Blockchain ως εργαλείο μπορεί να επιταχύνει αυτόν τον παγκόσμιο ενεργειακό μετασχηματισμό μειώνοντας το κόστος συναλλαγής και λειτουργώντας του δικτύου με πιο αποτελεσματικό τρόπο. Πιο συγκεκριμένα, επιτρέποντας έξυπνες συμβάσεις μεταξύ των διαφορετικών στοιχείων και συσκευών του έξυπνου δικτύου, επιτρέπουν βελτιστοποιημένες λειτουργίες δικτύου. (Mengelkamp et al., 2018)
Τομέας υγείας (Healthcare Industry)	Στον τομέα της υγειονομικής περίθαλψης, τα κρίσιμα δεδομένα ασθενών μπορούν να κοινοποιηθούν με αποτελεσματικό τρόπο χρησιμοποιώντας το Blockchain, το οποίο μπορεί ενδεχομένως να

Εφαρμογή	Περιγραφή
	<p>βελτιώσει την παροχή υπηρεσιών υγειονομικής περίθαλψης. Για παράδειγμα, μειώνοντας την πιθανότητα αταίριαστων ασθενών και μειώνοντας τα σφάλματα στη φροντίδα ασθενών (Esposito et al., 2018). Επίσης, έχει εφαρμοστεί IoT με δυνατότητα Blockchain για τη διευκόλυνση της παρακολούθησης και διαχείρισης ασθενειών. Για παράδειγμα, φορητές συσκευές (για την παρακολούθηση ζωτικών σημείων και την παροχή ανατροφοδότησης), έξυπνα χάπια, και βελτιωμένος έλεγχος ποιότητας. Ακόμα, επιτρέπουν την παρακολούθηση κλινικών φαρμάκων κατά τη διάρκεια της έρευνάς τους, ελέγχοντας την αποτελεσματικότητά τους καθώς και τις παρενέργειές τους, χωρίς τον κίνδυνο τροποποιημένων αποτελεσμάτων. (Alladi et al., 2019)</p>
Εφοδιαστική Αλυσίδα (Supply chain)	<p>Οι συναλλαγές με την χρήση του Blockchain παρέχουν διαφάνεια και ασφάλεια. Αυτό μπορεί να μειώσει τις χρονικές καθυστερήσεις και να βοηθήσει στον έλεγχο της γνησιότητας των αντικειμένων ανιχνεύοντας την προέλευσή τους. Πλεονεκτήματα του Blockchain, όπως η προσβασιμότητα και η αμετάβλητη δεδομένα, αυξάνουν σημαντικά τη διαφάνεια, την αξιοπιστία, και την αποτελεσματικότητα της εφοδιαστικής αλυσίδας (Alladi et al., 2019). Επιπλέον, χρησιμοποιούνται τα έξυπνα συμβόλαια τα οποία επιτρέπουν στις επιχειρηματικές διαδικασίες να ξεκινούν αυτόματα, και μειώνουν το κόστος συναλλαγών προσφέροντας αυξημένη διαφάνεια και αξιοπιστία (Javaid et al., 2021).</p>

3.9 Κυβερνο-φυσικά Συστήματα

3.9.1 Ο ρόλος των Κυβερνο-Φυσικών συστημάτων στην βιομηχανία

Τα κυβερνο-φυσικά συστήματα (Cyber-physical Systems – CPS) είναι ένα βασικό κομμάτι του Industry 4.0 που υποστηρίχθηκε από τη γερμανική κυβέρνηση για την κατασκευή έξυπνων εργοστασίων στα πλαίσια της τέταρτης βιομηχανικής επανάστασης. Ο όρος κυβερνο-φυσικά συστήματα εισήχθη για πρώτη φορά το 2006, σε ένα εργαστήριο (workshop) του Εθνικού Ιδρύματος Επιστημών (NSF) που πραγματοποιήθηκε στο Ώστιν του Τέξας των ΗΠΑ (Jiang

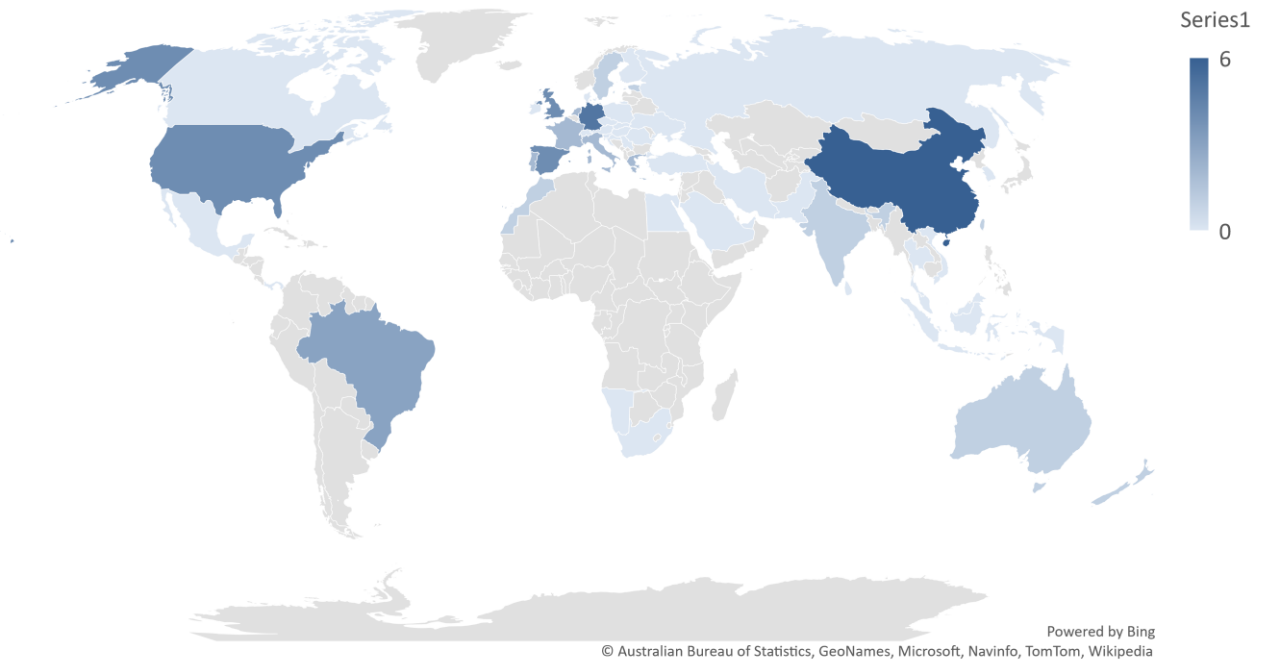
2018). Ορίστηκε ως «ένα σύστημα που αποτελείται από συνεργατικές οντότητες, εξοπλισμένες με δυνατότητες υπολογισμού και σύνδεσης με τον περιβάλλοντα φυσικό κόσμο, χρησιμοποιώντας και παρέχοντας υπηρεσίες επεξεργασίας και επικοινωνίας των δεδομένων που είναι διαθέσιμα στο δίκτυο» (Quintanilla et al., 2016).

Τα κυβερνο-φυσικά συστήματα συνδέουν τον ψηφιακό και τον φυσικό κόσμο και βοηθούν στη λήψη αποφάσεων. Η σύνδεση ανθρώπου, εξαρτημάτων και συστημάτων δημιουργεί αυτόνομες, δυναμικές, διασυνδέσεις σε πραγματικό χρόνο σε όλη την αλυσίδα αξίας (Hermann, Pentek and Otto, 2016). Ακόμα, η συνεργασία της πλατφόρμας πληροφοριών με τις κινητές συσκευές είναι βασικός παράγοντας για την επιτυχία των κυβερνο-φυσικών συστημάτων κατά την υλοποίηση έξυπνων συστημάτων. Επιπλέον, στα κυβερνο-φυσικά συστήματα, το ψηφιακό και το φυσικό αντικείμενο αλληλοσυνδέονται, αλληλεπιδρούν μεταξύ τους και λαμβάνουν αποφάσεις. Το CPS απαιτεί τρία επίπεδα, τις συνδεδεμένες συσκευές, τα δεδομένα αποθηκευμένα στο νέφος σε μια δικτυακή υποδομή, και το πληροφοριακό σύστημα (Manavalan and Jayakrishna, 2019). Οι φυσικές μηχανές συνδέονται ψηφιακά και μοιράζονται τις πληροφορίες σε πραγματικό χρόνο και τα δεδομένα που παράγονται αποθηκεύονται στο cloud και μεταδίδονται μέσω του διαδικτύου. Το πληροφοριακό σύστημα είναι το έξυπνο σύστημα που επιτρέπει στους χρήστες να έχουν αλληλεπιδράσεις σε πραγματικό χρόνο μεταξύ προϊόντων, υπηρεσιών και συνδεδεμένων συσκευών (Manavalan and Jayakrishna, 2019).

Η εφαρμογή των κυβερνο-φυσικών συστημάτων στον τομέα της διαχείρισης παραγωγής αναφέρονται ως κυβερνο-φυσικά συστήματα παραγωγής (Cyber-Physical Production Systems – CPPS). Αυτά τα συστήματα ορίστηκαν ως «συστήματα αυτόνομων και συνεργατικών στοιχείων που συνδέονται μεταξύ τους σε όλα τα επίπεδα παραγωγής, από διαδικασίες μέσω μηχανών έως δίκτυα παραγωγής και logistics» (Quintanilla et al., 2016). Στην επόμενη ενότητα αναφέρονται εφαρμογές των κυβερνο-φυσικών συστημάτων σε διάφορους τομείς.

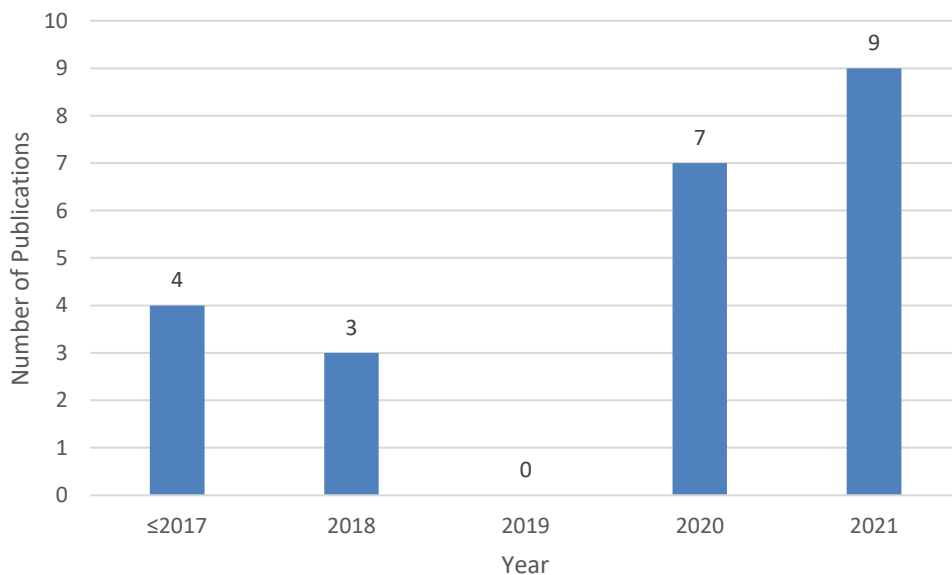
3.9.2 Ανάλυση των δημοσιεύσεων που διερευνήθηκαν

Στο παρακάτω σχήμα φαίνονται οι δημοσιεύσεις ανά χώρα. Σε αυτή την ανάλυση συμπεριλαμβάνονται οι 23 δημοσιεύσεις σχετικές με τα κυβερνοφυσικά συστήματα. Αυτές οι δημοσιεύσεις έδωσαν συνολικά 43 πόντους σε 18 χώρες. Οι 2 χώρες με τα μεγαλύτερα ποσοστά βαθμών είναι η Κίνα με περίπου 14%, η Γερμανία με περίπου 12%.



Σχήμα 3.15 Γεωγραφική κατανομή των δημοσιεύσεων

Στο παρακάτω σχήμα φαίνονται οι δημοσιεύσεις σχετικές με τα κυβερνοφυσικά συστήματα που διερευνήθηκαν ανά έτος. Από τις συνολικά 23 δημοσιεύσεις οι 9 δημοσιεύτηκαν το 2021, οι 7 το 2020, οι 3 το 2018, και οι 4 μέχρι το 2017. Ακόμα, συνολικά οι 16 δημοσιεύσεις είναι σε επιστημονικά περιοδικά, οι 6 σε επιστημονικά συνέδρια, ενώ η 1 είναι κεφάλαιο σε βιβλίο.



Σχήμα 3.16 Αριθμός δημοσιεύσεων ανά έτος

Στον παρακάτω πίνακα φαίνονται οι δημοσιεύσεις σχετικές με τα κυβερνο-φυσικά συστήματα οι οποίες έχουν κατηγοριοποιηθεί ως προς τον είδος του περιεχομένου του άρθρου. Από τις 23

δημοσιεύσεις οι 4 είναι βιβλιογραφική επισκόπηση (Literature Review), οι 9 είναι σχετικές με την σύλληψη κάποιας ιδέας ή μεθόδου (Conceptual), οι 8 αναλύουν κάποιο πλαίσιο εφαρμογής (Framework), και οι 2 είναι μελέτες περίπτωσης (Case study).

Πίνακας 3.21 Κατηγοριοποίηση με βάση του είδος του περιεχομένου

Publication	Type				Publication
	Literature Review	Conceptual	Framework	Case Study	
Aheleroff et al., 2021			•		Journal
Bousdekis, Apostolou and Mentzas, 2020			•		Journal
Cheng et al., 2016		•			Conference
Corallo, Lazoi and Lezzi, 2020	•				Journal
Guerra-Zubiaga et al., 2021				•	Journal
Guo et al., 2018		•			Journal
Jiang 2018			•		Journal
Karnouskos et al., 2020			•		Journal
Liu et al., 2018	•				Journal
Liu et al., 2018		•			Conference
Moufaddal, Benghabrit and Bouhaddou, 2020		•			Conference
Mullet, Sondi and Ramat, 2021		•			Journal
Neal et al., 2021				•	Journal
Negri, Fumagalli and Macchi, 2017		•			Conference
Perales, Valero and García, 2017	•				Chapter
Pivoto et al., 2021	•				Journal
Quintanilla et al., 2016		•			Conference
Radanliev et al., 2021		•			Journal
Rahman et al., 2021			•		Journal
Schiele and Torn, 2020		•			Journal
Singh, 2021			•		Conference
Villalba-Díez et al., 2020		•			Journal
Villalonga et al., 2020		•			Journal

3.9.3 Εφαρμογές Κυβερνο-φυσικών συστημάτων

Τα CPS μπορούν να θεωρηθούν ως συστήματα ικανά να στέλνουν και να λαμβάνουν δεδομένα από συσκευές μέσω ενός δικτύου. Ένα σημαντικό χαρακτηριστικό ενός κυβερνο-φυσικού συστήματος είναι η ικανότητά του να αποκτά πληροφορίες και υπηρεσίες σε πραγματικό χρόνο, ανεξάρτητα από την τοποθεσία του, εφαρμόζοντας πρόσβαση στο Διαδίκτυο στις μηχανές παραγωγής. Στο πλαίσιο του Industry 4.0, τα κυβερνο-φυσικά συστήματα καλύπτουν όχι μόνο μηχανήματα και προϊόντα, αλλά και πελάτες, παρόχους υπηρεσιών και αποθέματα, διασφαλίζοντας την αλληλεπίδραση σε όλους τους τομείς που εκτελούνται αυτόνομα. Τα

κυβερνο-φυσικά συστήματα εφαρμόζονται σε πολλούς τομείς. Μεταξύ αυτών, οι παρακάτω εφαρμογές:

Πίνακας 3.22 Εφαρμογές Κυβερνο-φυσικών συστημάτων

Εφαρμογή	Περιγραφή
Έξυπνα συστήματα παραγωγής στην αυτοκινητοβιομηχανία	<p>Η παραγωγή αυτοκινήτων είναι μια προσχεδιασμένη διαδικασία σε γραμμή παραγωγής, με αποτέλεσμα η διαφοροποίηση μεταξύ των αυτοκινήτων λόγω εξατομίκευσης να είναι δύσκολο να επιτευχθεί. Σε ένα έξυπνο σύστημα παραγωγής στο πλαίσιο του Industry 4.0, δεν είναι πλέον σταθερή η γραμμή παραγωγής, αλλά συνδυάζει δυναμικά τα μηχανήματα. Η μονάδα παραγωγής μπορεί να θεωρηθεί ως κυβερνο-φυσικό σύστημα υπό την προϋπόθεση ότι κατά τη συναρμολόγηση του αυτοκινήτου μπορεί να μετακινηθεί αυτόνομα μεταξύ των μονάδων παραγωγής και να λάβει τις απαραίτητες λειτουργίες συναρμολόγησης. Εάν σε κάποιο σημείο υπάρχει συμφόρηση της παραγωγής ή προμήθειας ανταλλακτικών, η μονάδα παραγωγής μπορεί να προγραμματιστεί σε άλλα μοντέλα ή τμήματα παραγωγικών πόρων για να συνεχίσει την παραγωγή. (Cheng et al., 2016)</p>
Έξυπνη αποθήκη με βάση τα κυβερνο-φυσικά συστήματα	<p>Σε μια έξυπνη αποθήκη που βασίζεται σε κυβερνο-φυσικά συστήματα, κάθε είδος έχει μία ή περισσότερες συσκευές χαμηλού κόστους, όπως ετικέτες RFID και ετικέτες NFC. Ακόμα, διάφορες συσκευές, όπως σημεία πρόσβασης Wi-Fi, Bluetooth, και κάμερες βρίσκονται στο περιβάλλον τα οποία συνεργάζονται με ρομπότ που κινούνται στο περιβάλλον για συγκεκριμένους σκοπούς. Μια έξυπνη αποθήκη που βασίζεται σε κυβερνο-φυσικά συστήματα περιλαμβάνει τέσσερα κύρια στοιχεία: συσκευές, αποθέματα, ρομπότ και ανθρώπους. Μπορεί να υπάρχουν χιλιάδες συσκευές που συνεργάζονται και η επικοινωνία μεταξύ των συσκευών πρέπει να είναι αποτελεσματική. Όσον αφορά τα αποθέματα, η εταιρεία πρέπει να γνωρίζει έγκαιρα την κατάσταση και την τοποθεσία τους σύμφωνα με τα δεδομένα που αναφέρονται από τις συνδεδεμένες συσκευές. Επιπλέον, τα ρομπότ, απαιτείται να εκτελούν ορισμένες εργασίες, ενώ οι</p>

Εφαρμογή	Περιγραφή
	άνθρωποι, πρέπει να αναγνωρίζουν τις διεργασίες των ρομπότ σε πραγματικό χρόνο οι οποίες μπορούν να εξαχθούν χρησιμοποιώντας τα κυβερνο-φυσικά συστήματα. (Liu et al., 2018)

3.10 Διαδίκτυο των Πραγμάτων

3.10.1 Ο ρόλος του Διαδικτύου των πραγμάτων στην βιομηχανία

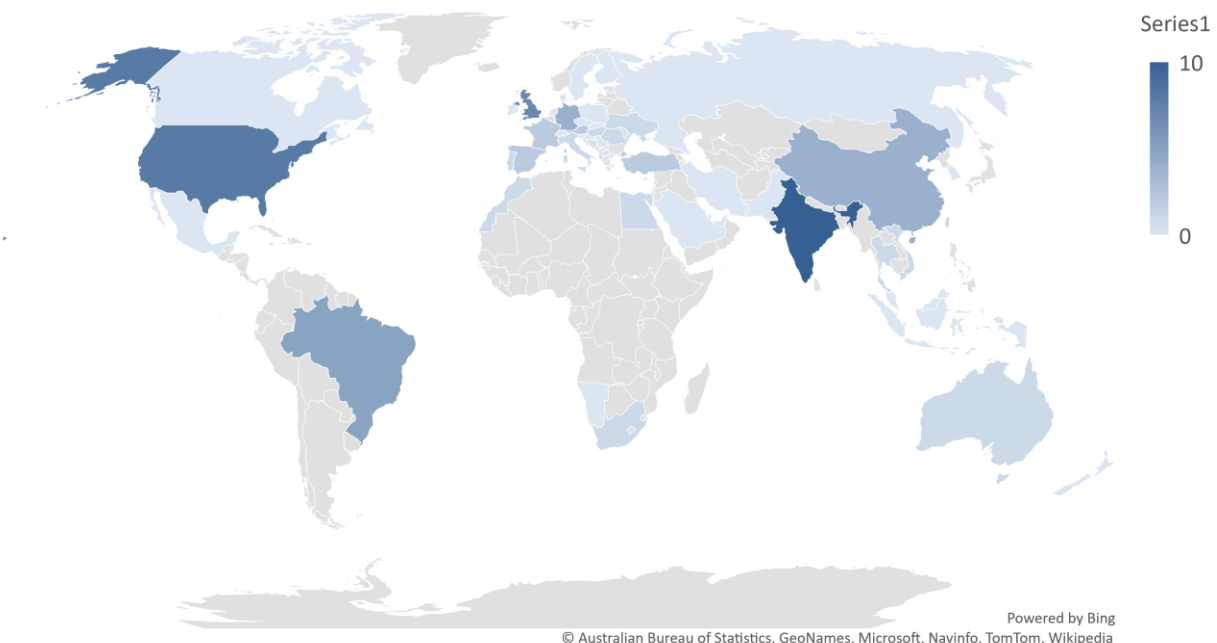
Ο όρος Διαδίκτυο των Πραγμάτων (ΔτΠ – IoT) αναφέρεται στην επικοινωνία μεταξύ ψηφιακού και φυσικού κόσμου. Το ΔτΠ στην βιομηχανία εστιάζει στον βιομηχανικό αυτοματισμό, την επικοινωνία συσκευών, τη ροή δεδομένων, τη διαχείριση συσκευών, την ενοποίηση συσκευών και την προγνωστική ανάλυση (Gilchrist, 2016). Περιλαμβάνει σαρωτές, συστήματα εντοπισμού θέσης, αισθητήρες κ.λπ. Ακόμα, μπορεί να βοηθήσει στη μείωση της πολυπλοκότητας των επικοινωνιών μηχανής με μηχανή και να επιτρέψει τη συλλογή και ανάλυση δεδομένων χρησιμοποιώντας αισθητήρες (Kumar and Nayyar, 2020). Επιπλέον, επιτρέπει στις επιχειρήσεις να έχουν καλύτερη εικόνα για τις λειτουργίες και τα περιουσιακά στοιχεία τους μέσω των αισθητήρων, του λογισμικού, των επεξεργαστών και της αποθήκευσης των δεδομένων στο cloud. Ως εκ τούτου, παρέχει τα μέσα για τον μετασχηματισμό επιχειρησιακών διαδικασιών χρησιμοποιώντας ως ανατροφοδότηση τα αποτελέσματα που απορρέουν από την ανάλυση των δεδομένων που προκύπτουν μέσω προηγμένων αναλυτικών εργαλείων (Gilchrist, 2016).

Ο όρος IoT χρησιμοποιήθηκε αρχικά για να περιγράψει τις διαλειτουργικές συνδεδεμένες συσκευές με τεχνολογία RFID και χρησιμοποιήθηκε για τη διαχείριση της αποθήκης, συγκεκριμένα, για την αναγνώριση των εμπορευμάτων και την παρακολούθηση των αποθεμάτων. Στη δεκαετία του 1990, άρχισαν να εμφανίζονται ασύρματες συσκευές που χρησιμοποιήθηκαν σε διάφορους τομείς όπως την αυτοκινητοβιομηχανία, την παραγωγή, και την υγειονομική περίθαλψη. Στη δεκαετία του 2000, χρησιμοποιήθηκε το διαδίκτυο για την επικοινωνία και παρείχε χρήσιμες πληροφορίες σχετικά με τα συστήματα της επιχείρησης. Από το 2009, το ΔτΠ άλλαξε δραστικά τις εφαρμογές στην βιομηχανία επειδή βασίζεται στην ανταλλαγή πληροφοριών σε πραγματικό χρόνο από μια απομακρυσμένη τοποθεσία σε μία άλλη (Manavalan and Jayakrishna, 2019).

Πλέον το IoT εφαρμόζεται σε διάφορους κλάδους της βιομηχανίας, συμπεριλαμβανομένης της αυτοκινητοβιομηχανίας, της υγειονομικής περίθαλψης, των κατασκευών, των οικιακών και ηλεκτρονικών ειδών, για να κάνει τα προϊόντα, τις υπηρεσίες και τις λειτουργίες πιο έξυπνα.

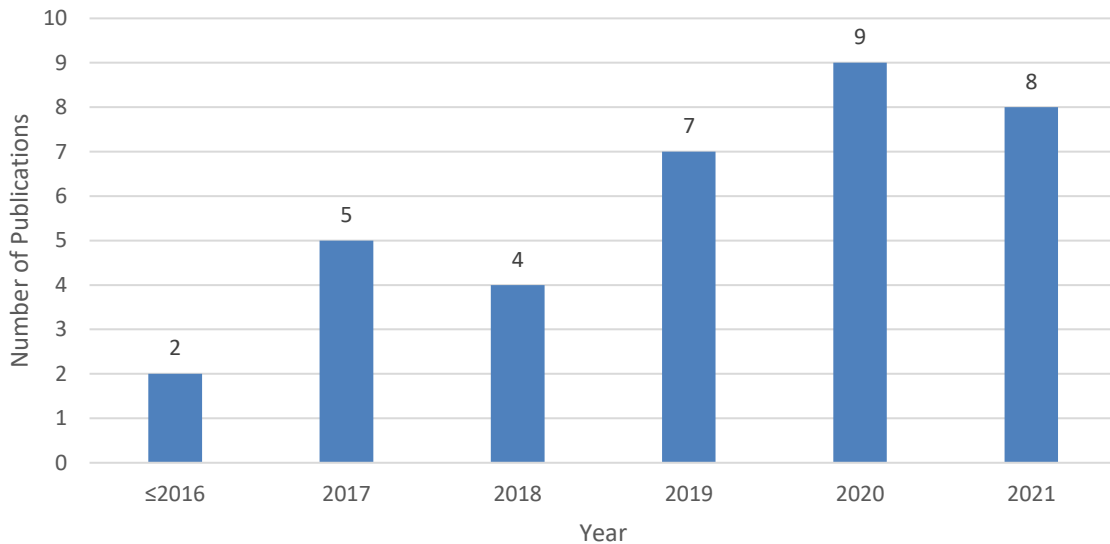
3.10.2 Ανάλυση των δημοσιεύσεων που διερευνήθηκαν

Στο παρακάτω σχήμα φαίνονται οι δημοσιεύσεις ανά χώρα. Σε αυτή την ανάλυση συμπεριλαμβάνονται οι 35 δημοσιεύσεις σχετικές με το Διαδίκτυο των Πραγμάτων. Αυτές οι δημοσιεύσεις έδωσαν συνολικά 58 πόντους σε 22 χώρες. Οι 2 χώρες με τα μεγαλύτερα ποσοστά βαθμών είναι η Ινδία με περίπου 17% και οι Ηνωμένες Πολιτείες με περίπου 14%.



Σχήμα 3.17 Γεωγραφική κατανομή των δημοσιεύσεων

Στο παρακάτω σχήμα φαίνονται οι δημοσιεύσεις σχετικές με το Διαδίκτυο των Πραγμάτων που διερευνήθηκαν ανά έτος. Από τις συνολικά 35 δημοσιεύσεις οι 8 δημοσιεύτηκαν το 2021, οι 9 το 2020, οι 7 το 2019, οι 4 το 2018, οι 5 το 2017, και οι 2 μέχρι το 2016. Ακόμα, συνολικά οι 17 δημοσιεύσεις είναι σε επιστημονικά περιοδικά, οι 6 σε επιστημονικά συνέδρια, οι 4 είναι κεφάλαια βιβλίων, η 1 είναι βιβλίο, ενώ οι 7 είναι άρθρα σε ιστοσελίδες.



Σχήμα 3.18 Αριθμός δημοσιεύσεων ανά έτος

Στον παρακάτω πίνακα φαίνονται οι δημοσιεύσεις σχετικές με το Διαδίκτυο των Πραγμάτων οι οποίες έχουν κατηγοριοποιηθεί ως προς τον είδος του περιεχομένου του άρθρου. Από τις 35 δημοσιεύσεις οι 8 είναι βιβλιογραφική επισκόπηση (Literature Review), οι 12 είναι σχετικές με την σύλληψη κάποιας ιδέας ή μεθόδου (Conceptual), οι 7 αναλύουν κάποιο πλαίσιο εφαρμογής (Framework), και οι 8 είναι μελέτες περίπτωσης (Case study).

Πίνακας 3.23 Κατηγοριοποίηση με βάση του είδος του περιεχομένου

Publication	Type				Publication
	Literature Review	Conceptual	Framework	Case Study	
Alladi et al., 2019		•			Journal
Ashima et al., 2021		•			Conference
Bjorlin, 2017				•	Article
Bodkhe et al., 2020	•				Journal
Buntz, 2017				•	Article
Buntz, 2018b				•	Article
Doinea et al., 2015			•		Journal
Esmacilian et al., 2020		•			Journal
Frank, Dalenogare and Ayala, 2019			•		Journal
Gilchrist, 2016	•				Book
Javaid Butt, 2020	•				Journal
Kumar and Nayyar, 2020	•				Chapter
Lee et al., 2018b		•			Conference
Lezzi, Lazoi and Corallo, 2018			•		Journal
Manavalan and Jayakrishna, 2019	•				Journal
Merdin and Ersöz, 2019		•			Conference
Mostafa, Hamdy and Alawady, 2019			•		Journal

Publication	Type				Publication
	Literature Review	Conceptual	Framework	Case Study	
Moufaddal, Benghabrit and Bouhaddou, 2020		•			Conference
Mullet, Sondi and Ramat, 2021		•			Journal
Peng et al., 2017			•		Conference
Perales, Valero and García, 2017	•				Chapter
Pivoto et al., 2021	•				Journal
Radanliev et al., 2020	•				Journal
Radanliev et al., 2021		•			Journal
Rejeb, Keogh and Treiblmaier, 2019		•			Journal
Rosencrance, 2021a				•	Article
Rosencrance, 2021b				•	Article
Shacklett, 2021a				•	Article
Shacklett, 2021b				•	Article
Sishi and Telukdarie, 2020				•	Journal
Sklyar and Kharchenko, 2019			•		Conference
Suresh, Udendhran and Yamini, 2020		•			Chapter
Uygun and Ilie, 2018			•		Chapter
Villalonga et al., 2020		•			Journal
Wollschlaeger, Sauter and Jasperneite, 2017		•			Journal

3.10.3 Κατηγοριοποίηση του Διαδικτύου των Πραγμάτων

Οι τεχνολογίες και οι τεχνικές που χρησιμοποιούνται για την επικοινωνία μηχανής με μηχανή (M2M) στην βιομηχανία ποικίλουν. Για παράδειγμα, με την χρήση των μεγάλων δεδομένων σε συστήματα IoT, μπορούν να αναλυθούν τεράστιες ροές δεδομένων στο διαδίκτυο χρησιμοποιώντας προηγμένα αναλυτικά στοιχεία που φιλοξενούνται στο cloud. Επιπλέον, μεγάλες ποσότητες δεδομένων μπορούν να αποθηκευτούν σε κατακευματισμένα συστήματα αποθήκευσης για μελλοντικές αναλύσεις που μπορεί να χρειαστεί να εκτελεστούν. Αυτές οι αναλύσεις μπορούν να συλλέξουν πληροφορίες και στατιστικά στοιχεία από δεδομένα, και οι μηχανικοί των διεργασιών μπορούν να χρησιμοποιήσουν τα αποτελέσματα των αναλυτικών στοιχείων για να βελτιστοποιήσουν τις λειτουργίες της επιχείρησης και να παρέχουν τις πληροφορίες που τα στελέχη μπορούν να μετατρέψουν σε γνώση, προκειμένου να ενισχύσουν την παραγωγικότητα και την αποδοτικότητα μειώνοντας το λειτουργικό κόστος. Έχοντας υπόψη τα παραπάνω έγινε διαχωρισμός του ΔτΠ σε 5 βασικές κατηγορίες οι οποίες παρατίθενται στον παρακάτω πίνακα:

Πίνακας 3.24 Κατηγοριοποίηση του IoT

Κατηγορία	Περιγραφή
Αισθητήρες (Sensors)	Οι αισθητήρες είναι ένας από τους βασικότερους παράγοντες που υφίσταται το ΔτΠ παρέχοντας πληροφορίες ανίχνευσης γεγονότων ή αλλαγών στο περιβάλλον. Οι αισθητήρες τα τελευταία χρόνια έχουν μειωθεί δραματικά σε κόστος και μέγεθος το οποίο κατέστησε οικονομικά και τεχνικά εφικτά την χρήση τους παντού σε μια επιχείρηση, από την γραμμή παραγωγής διεξάγοντας έλεγχο ποιότητας, μέχρι στα γραφεία μετρώντας την ποιότητα του αέρα.
Επικοινωνία (Communications)	Χωρίς τα κανάλια επικοινωνίας μεταξύ των μηχανών, αισθητήρων και άλλων μηχανημάτων δεν θα υπήρχε η έννοια του Διαδικτύου των πραγμάτων. Αυτά τα κανάλια με την χρήση διάφορων πρωτοκόλλων επιτρέπουν την μεταφορά μεγάλου όγκου δεδομένων μεταξύ των εμπλεκόμενων στοιχείων στα πλαίσια του ΔτΠ (αισθητήρες, μηχανές κ.α.).
Πλατφόρμες (Platforms)	Η πλατφόρμα ΔτΠ είναι ένα λογισμικό που παρακολουθεί και διαχειρίζεται διάφορους τύπους τελικών σημείων, όπως ή διαχείριση των συσκευών. Η πλατφόρμα συνήθως παρέχει δυνατότητες υποδομής για την υποστήριξη βασικών και προηγμένων διεργασιών και ψηφιακών επιχειρηματικών λειτουργιών.
Συσκευές (Devices)	Οι συσκευές του ΔτΠ είναι συστήματα που συνδέονται σε ένα δίκτυο και έχουν τη δυνατότητα να παράγουν και να μεταδίδουν δεδομένα μέσω ενός καναλιού επικοινωνίας σε κάποια πλατφόρμα. Αυτές οι συσκευές μπορεί να έχουν ενσωματωμένους αισθητήρες, επεξεργαστές, κεραιές αλλά και λογισμικό.
Σύννεφο (Cloud)	Ένα σύννεφο ΔτΠ (IoT cloud) είναι ένα δίκτυο που υποστηρίζει συσκευές και εφαρμογές. Αυτό περιλαμβάνει την υποδομή, τους διακομιστές και την αποθήκευση που απαιτούνται για την επεξεργασία σε πραγματικό χρόνο. Ένα cloud περιλαμβάνει επίσης τις υπηρεσίες και τα πρότυπα που είναι απαραίτητα για τη σύνδεση, τη διαχείριση, και την ασφάλεια διαφορετικών συσκευών και εφαρμογών ΔτΠ.

Πίνακας 3.25 Κατηγοριοποίηση των δημοσιεύσεων

Publication	Feature				
	Sensors	Communications	Platform	Devices	Cloud
Alladi et al., 2019	•	•	•	•	•
Ashima et al., 2021	•				
Frank, Dalenogare and Ayala, 2019			•	•	•
Gilchrist, 2016	•	•	•	•	•
Kumar and Nayyar, 2020	•	•	•	•	•
Lee et al., 2018b	•	•			
Lezzi, Lazoi and Corallo, 2018			•		•
Manavalan and Jayakrishna, 2019	•	•	•	•	•
Mostafa, Hamdy and Alawady, 2019	•				•
Moufaddal, Benghabrit and Bouhaddou, 2020	•		•	•	•
Peng et al., 2017	•			•	
Pivoto et al., 2021	•	•	•	•	•
Radanliev et al., 2020		•			•
Radanliev et al., 2021	•			•	
Rejeb, Keogh and Treiblmaier, 2019	•	•	•	•	•
Sklyar and Kharchenko, 2019		•	•		•
Suresh, Udendhran and Yamini, 2020	•		•		
Villalonga et al., 2020		•	•		•
Wollschlaeger, Sauter and Jasperneite, 2017		•			•

3.10.4 Εφαρμογές του ΔτΠ

Το ΔτΠ είναι η σύνδεση φυσικών και ψηφιακών αντικειμένων με τη βοήθεια του διαδικτύου και των πληροφοριακών συστημάτων. Το ΔτΠ χρησιμοποιείται πλέον σε διάφορους τομείς λαμβάνοντας υπόψη την ικανότητά του να παρακολουθεί και να λαμβάνει σωστές αποφάσεις (Manavalan and Jayakrishna, 2019). Παρακάτω βρίσκεται ένας πίνακας με ενδεικτικές εφαρμογές του ΔτΠ στις επιχειρήσεις:

Πίνακας 3.26 Εφαρμογές του ΔτΠ

Εφαρμογή	Περιγραφή
Πρόβλεψη συντήρησης ρομπότ	Χρησιμοποιώντας συνδεδεμένους αισθητήρες για την παρακολούθηση των αναγκών συντήρησης των ρομπότ ενεργοποιείται αυτόματα η επισκευή των ρομπότ πριν σπάσουν τα ανταλλακτικά. Χαρακτηριστικό παράδειγμα είναι η ABB. (Buntz, 2017)

Εφαρμογή	Περιγραφή
Διασύνδεση ρομπότ και παρακολούθηση σε πραγματικό χρόνο	Η Komatsu έχει συνδέσει όλα τα ρομπότ της στις κεντρικές εγκαταστάσεις παραγωγής της με το Διαδίκτυο, επιτρέποντας στους διαχειριστές να παρακολουθούν τις διεθνείς δραστηριότητες σε πραγματικό χρόνο. Ακόμα, προβλέπουν τις επικίνδυνες καταστάσεις στο ορυχείο και στέλνουν προειδοποίηση στους εργαζόμενους πριν συμβεί μια απρόβλεπτη κατάσταση. (Buntz, 2017)
Εφοδιασμός Νοσοκομείου	Η διαχείριση του εξοπλισμού υγειονομικής περίθαλψης είναι ένα σημαντικό έργο του τμήματος διοίκησης. Το ΔτΠ είναι μια εφικτή και οικονομική λύση για τη διαχείριση της αλυσίδας εφοδιασμού των νοσοκομείων, καθώς βοηθά στην πρόβλεψη του χρόνου συντήρησης του εξοπλισμού και ενημερώνει αυτόματα τους τεχνικούς να αναλάβουν την συντήρηση. (Peng et al., 2017)
Εφοδιαστική αλυσίδα στην βιομηχανία των τροφίμων	Η βιομηχανία τροφίμων είναι χρονικά περιορισμένη καθώς ασχολείται με ευπαθή είδη. Η ποιότητα του προϊόντος πρέπει να παρακολουθείται από τη γεωργική γη έως ότου το καταναλώσει ο πελάτης. Υπάρχουν πολλές διαδικασίες που συμβαίνουν και προστίθεται αξία σε κάθε διαδικασία. Το ΔτΠ αντιμετωπίζει τις προκλήσεις που αντιμετωπίζει η βιομηχανία επεξεργασίας τροφίμων, παρακολουθεί και προβλέπει τη διάρκεια ζωής των αντικειμένων και εκτιμά τη λήξη του αντικειμένου σε πραγματικό χρόνο. (Doinea et al., 2015)

3.11 Ρομποτική και Αυτοματισμός

3.11.1 Ο ρόλος της Ρομποτικής στην βιομηχανία

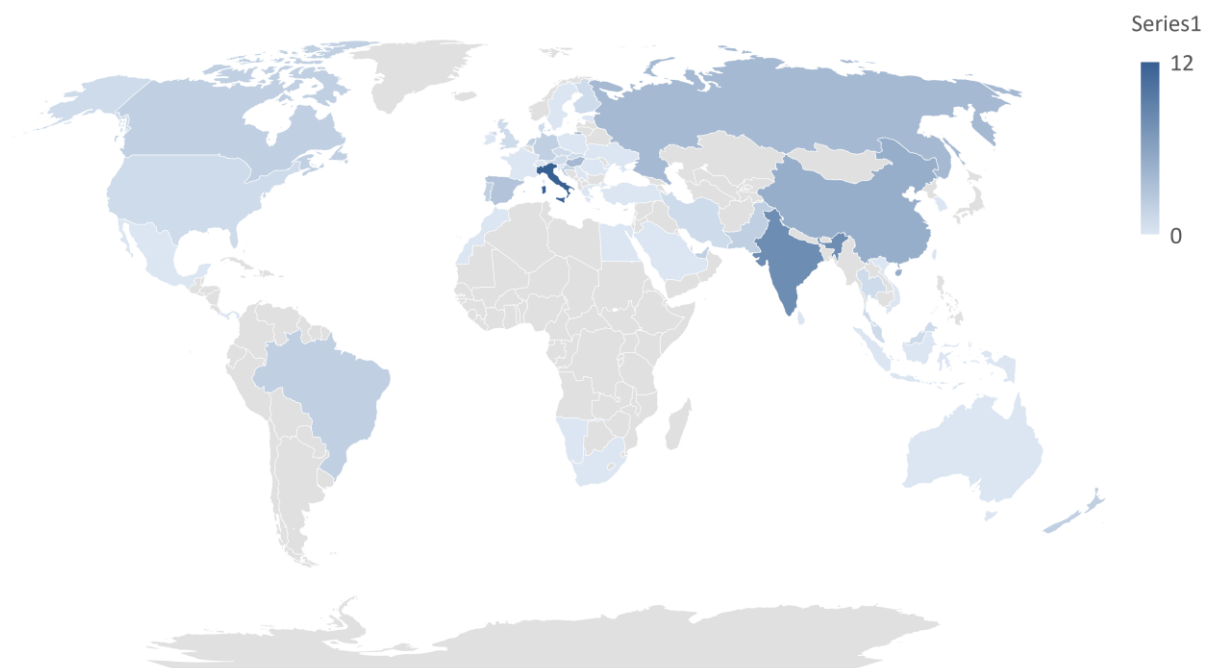
Τα ρομπότ εδώ και δεκαετίες χρησιμοποιούνται για την εκτέλεση εργασιών στις παραγωγικές διαδικασίες, και οι άνθρωποι σε συνεργασία με αυτά εκτελούν προκαθορισμένες εργασίες, όπως η συναρμολόγηση προϊόντων και η μετακίνηση τους. Βέβαια χρόνο με τον χρόνο αυτοματοποιούνται ολοένα και περισσότερες διεργασίες που εκτελούνταν από τους ανθρώπους δημιουργώντας μια αυτόνομη αλυσίδα (Kumar and Nayyar, 2020). Τα ρομπότ

διαδραματίζουν σημαντικό ρόλο στη σύγχρονη βιομηχανία και μπορούν να ολοκληρώσουν τα καθήκοντά τους έξυπνα, με έμφαση στην ασφάλεια, την ευελιξία και τη συνεργασία. Η ρομποτική και ο βιομηχανικός αυτοματισμός έχουν αλλάξει εντελώς τη φάση παραγωγής με αποτέλεσμα την αύξηση και βελτίωση της παραγωγής αποφέροντας περισσότερα κέρδη στις επιχειρήσεις (Bahrin et al., 2016).

Με την πρόοδο της τεχνητής νοημοσύνης και συγκεκριμένα της μηχανικής μάθησης, η βιομηχανική ρομποτική έχει αναπτυχθεί, δίνοντας την ικανότητα στα ρομπότ να αισθάνονται το περιβάλλον τους, να το κατανοούν, να ενεργούν και να μαθαίνουν. Αυτό άλλαξε επίσης το εργασιακό περιβάλλον όπου πολλές από τις διαδικασίες έχουν αυτοματοποιηθεί και τα ρομπότ συνεχώς μαθαίνουν από το περιβάλλον. Παράλληλα, οι εξελίξεις στην τεχνολογία πληροφοριών, όπως τα μεγάλα δεδομένα και το cloud αλλάζουν τη χρήση και το σχεδιασμό των ρομπότ στη βιομηχανία και η πρόοδος σε αυτούς τους τομείς έχει φέρει αλλαγές όχι μόνο στον τομέα της βιομηχανίας αλλά και στον τομέα των πωλήσεων και του Μάρκετινγκ (Goel and Gupta, 2020).

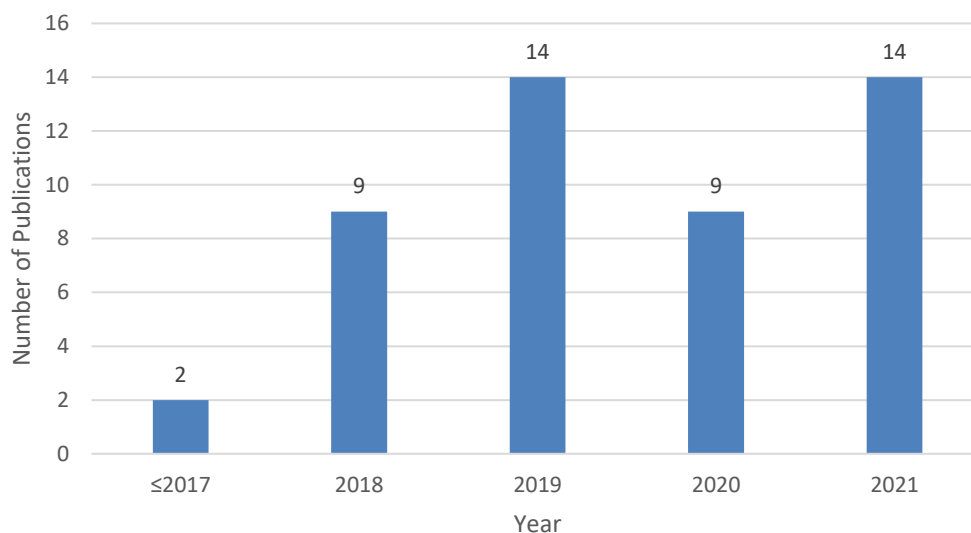
3.11.2 Ανάλυση των δημοσιεύσεων που διερευνήθηκαν

Στο παρακάτω σχήμα φαίνονται οι δημοσιεύσεις ανά χώρα. Σε αυτή την ανάλυση συμπεριλαμβάνονται οι 48 δημοσιεύσεις σχετικές με την Ρομποτική. Αυτές οι δημοσιεύσεις έδωσαν συνολικά 64 πόντους σε 25 χώρες. Οι 2 χώρες με τα μεγαλύτερα ποσοστά βαθμών είναι η Ιταλία με περίπου 19% και η Ινδία με περίπου 13%.



Σχήμα 3.19 Γεωγραφική κατανομή των δημοσιεύσεων

Στο παρακάτω σχήμα φαίνονται οι δημοσιεύσεις σχετικές με την Ρομποτική που διερευνήθηκαν ανά έτος. Από τις συνολικά 48 δημοσιεύσεις οι 14 δημοσιεύτηκαν το 2021, οι 9 το 2020, οι 14 το 2019, οι 9 το 2018, και οι 2 μέχρι το 2017. Ακόμα, συνολικά οι 25 δημοσιεύσεις είναι σε επιστημονικά περιοδικά, οι 17 σε επιστημονικά συνέδρια, η 1 είναι κεφάλαιο βιβλίου, οι 3 είναι βιβλία, ενώ οι 5 είναι άρθρα σε ιστοσελίδες.



Σχήμα 3.20 Αριθμός δημοσιεύσεων ανά έτος

Στον παρακάτω πίνακα φαίνονται οι δημοσιεύσεις σχετικές με την Ρομποτική οι οποίες έχουν κατηγοριοποιηθεί ως προς τον είδος του περιεχομένου του άρθρου. Από τις 48 δημοσιεύσεις οι 6 είναι βιβλιογραφική επισκόπηση (Literature Review), οι 12 είναι σχετικές με την σύλληψη κάποιας ιδέας ή μεθόδου (Conceptual), οι 13 αναλύουν κάποιο πλαίσιο εφαρμογής (Framework), οι 6 είναι μελέτες περίπτωσης (Case study), ενώ στις 11 περιγράφεται ένας αλγόριθμος (Algorithm).

Πίνακας 3.27 Κατηγοριοποίηση με βάση του είδος του περιεχομένου

Publication	Type					Publication
	Literature Review	Conceptual	Framework	Case Study	Algorithm	
Alatise and Hancke, 2020	•					Journal
Aliev and Antonelli, 2021					•	Journal
Ayamga, Akaba and Nyaaba, 2021	•					Journal
Bahrin et al., 2016	•					Journal
Beke et al., 2018		•				Conference
Casalino et al., 2019					•	Conference
Chiriatti et al., 2021					•	Journal
Duc, Huu and Nananukul, 2020					•	Journal
Fernández-Caramés et al., 2019			•			Journal
Fragapane et al., 2020			•			Journal

Publication	Type					Publication
	Literature Review	Conceptual	Framework	Case Study	Algorithm	
Galın and Meshcheryakov, 2019		•				Conference
Gao et al., 2019			•			Conference
García-Esteban et al., 2021			•			Conference
Gjeldum et al., 2021			•			Journal
Goel and Gupta, 2020	•					Chapter
Gonzalez et al., 2017					•	Journal
Guptaa, 2020	•					Journal
Karli Petrovic, 2021				•		Article
Kattepur and Balamuralidhar, 2019					•	Conference
Kattepur et al., 2018		•				Conference
Kattepur et al., 2018			•			Journal
Kattepur et al., 2019			•			Journal
Kattepur, Dey and Balamuralidhar, 2018		•				Conference
Knudsen and Kaivo-Oja, 2020		•				Journal
Kovačić et al., 2019		•				Journal
Lamon, Peternel and Ajoudani, 2018			•			Conference
Lee et al., 2018b		•				Conference
Lima et al., 2019		•				Journal
Lototsky et al., 2019					•	Conference
Malik and Brem, 2021				•		Journal
Mariyam Hasham, 2018				•		Article
Mehami, Nawi and Zhong, 2018	•					Conference
Najafi and Ansari, 2019			•			Conference
Nuzzi et al., 2019					•	Journal
Parmar et al., 2021			•			Journal
Poór, Broum and Basl, 2019		•				Conference
Rejeb et al., 2021	•					Journal
Rojas et al., 2021					•	Conference
Rosencrance, 2021a				•		Article
Rosencrance, 2021b				•		Article
Shacklett, 2021a				•		Article
Sherwani, Asad and Ibrahim, 2020		•				Conference
Simões, Soares and Barros, 2020		•				Journal
Tannous at al., 2020			•			Journal
Theunissen et al., 2018			•			Conference
Zhang et al., 2019					•	Journal
Židek et al., 2021					•	Journal

3.11.3 Κατηγοριοποίηση με βάση τον τύπο του ρομπότ

Ο αυτοματισμός και η ρομποτική επηρεάζουν την επαγγελματική ζωή των ανθρώπων και αλλάζουν ριζικά τον χώρο εργασίας. Τα ρομπότ γίνονται ολοένα πιο ανεξάρτητα, συνεργάσιμα και ευέλικτα. Σήμερα, εργάζονται με τους ανθρώπους, αλληλεπιδρούν μεταξύ τους και μάθουν από αυτούς. Παρακάτω βρίσκεται ένας πίνακας με μια κατηγοριοποίηση των ρομπότ με βάση τον τύπο και η περιγραφή τους:

Πίνακας 3.28 Κατηγοριοποίηση των ρομπότ

Τύπος ρομπότ	Περιγραφή
Βιομηχανικά Ρομπότ (Industrial robots)	Ένα βιομηχανικό ρομπότ μπορεί να οριστεί ως μια προγραμματιζόμενη, αυτοελεγχόμενη συσκευή που αποτελείται από ηλεκτρονικές και μηχανικές μονάδες που μπορούν να εκτελέσουν μια σύνθετη σειρά ενεργειών. Τα βιομηχανικά ρομπότ είναι μεγάλα και βαριά μηχανήματα που εγκαθίστανται για να εκτελούν εργασίες που για τον άνθρωπο θα ήταν πολύ δύσκολες και επικίνδυνες, όπως η μεταφορά τεράστιων φορτίων στα εργοστάσια. Συνήθως, τα βιομηχανικά ρομπότ χρησιμοποιούνται για συγκεκριμένες εφαρμογές, απομονωμένα από το ανθρώπινο δυναμικό και διαθέτουν δικό τους χώρο εργασίας. (Sherwani, Asad and Ibrahim, 2020)
Αυτόνομα Κινητά Ρομπότ (Autonomous Mobile Robots – AMR)	Ένα αυτόνομο κινητό ρομπότ είναι ένα σύστημα που λειτουργεί σε ένα απρόβλεπτο και εν μέρει άγνωστο περιβάλλον. Αυτό σημαίνει ότι το ρομπότ πρέπει να έχει την ικανότητα να πλοηγείται αποφεύγοντας οποιοδήποτε εμπόδιο. Τα αυτόνομα κινητά ρομπότ έχουν ελάχιστη (ή καθόλου) ανθρώπινη παρέμβαση για την κίνησή τους και είναι σχεδιασμένα με τέτοιο τρόπο ώστε να ακολουθούν μια προκαθορισμένη διαδρομή είτε σε εσωτερικό είτε σε εξωτερικό περιβάλλον. Για πλοήγηση σε εσωτερικούς χώρους, τα κινητά ρομπότ μπορεί να βασιστούν σε κάποια κάτοψη, στην ανίχνευση σόναρ ή και σε κάποια μονάδα ελέγχου της θέσης (IMU). (Alatise and Hancke, 2020)
Συνεργατικά Ρομπότ (Collaborative Robots – Cobots)	Τα συνεργατικά ρομπότ είναι ρομπότ που έχουν σχεδιαστεί για να λειτουργούν μαζί με τους ανθρώπους και να μοιράζονται τον ίδιο

Τύπος ρομπότ	Περιγραφή
	<p>χώρο εργασίας μαζί τους. Αυτά τα ρομπότ είναι συνήθως πολύ ελαφρύτερα σε βάρος σε σύγκριση με τα βιομηχανικά ρομπότ, και ως εκ τούτου, προσφέρουν μεγάλη κινητικότητα που διευκολύνει τη μετακίνησή τους στο εργοστάσιο ή τη βιομηχανία, στην οποία είναι εγκατεστημένα. Ένα άλλο πλεονέκτημα που έχουν να προσφέρουν σε σχέση με τα βιομηχανικά ρομπότ, είναι η ευελιξία τους. Αυτά τα ρομπότ είναι εξαιρετικά ευέλικτα και ένα μόνο ρομπότ μπορεί να χρησιμοποιηθεί για να εκτελέσει μια ποικιλία εργασιών. Ακόμα, είναι εύκολο να προγραμματιστούν και προσφέρουν εξαιρετικές υπολογιστικές δυνατότητες που τους επιτρέπουν να εργάζονται με ασφάλεια και αποτελεσματικότητα μαζί με τον άνθρωπο. (Sherwani, Asad and Ibrahim, 2020)</p>
Μη επανδρωμένα εναέρια οχήματα (UAV)	<p>Ένα UAV είναι ένα ιπτάμενο ρομπότ και μπορεί να ενσωματωθεί σε μια ροή εργασιών. Τα UAV μπορούν να ενσωματωθούν σε διαδικασίες συναρμολόγησης, κατασκευής, επισκευής, συντήρησης, παράδοσης, επιτήρησης κ.λπ. Αυτά τα μη επανδρωμένα εναέρια οχήματα θεωρούνται επίσης βασική τεχνολογία για έξυπνα εργοστάσια, καθώς επιτρέπουν την εκτέλεση επαναλαμβανόμενων και επικίνδυνων εργασιών χωρίς σχεδόν καμία ανθρώπινη παρέμβαση ή επίβλεψη. Επιπλέον, εκτελούν εργασίες που αποτελούν ένα από τα θεμέλια του Industry 4.0: να συλλέγουν όσο το δυνατόν περισσότερα δεδομένα από πολλές τοποθεσίες δυναμικά. (Fernández-Caramés et al., 2019)</p>
Αυτοματοποιημένα καθοδηγούμενα οχήματα (Automated Guided Vehicles – AGVs)	<p>Τα αυτοματοποιημένα καθοδηγούμενα οχήματα χρησιμοποιούνται για την επεξεργασία και τη μεταφορά αγαθών μέσα σε ένα εργοστασιακό περιβάλλον. Είναι μη επανδρωμένα και πλοηγούνται χρησιμοποιώντας μεθόδους καθοδήγησης και ελέγχου. Το σχήμα, το μέγεθος, και η λειτουργία τους εξαρτώνται από τη χρήση τους σε ένα εργοστάσιο. Τα AGVs είναι έξυπνες συσκευές που μπορούν να λαμβάνουν αποφάσεις, όπως ο σχεδιασμός διαδρομής και η αποφυγή σύγκρουσης. (Mehami, Nawi and Zhong, 2018)</p>

Πίνακας 3.29 Κατηγοριοποίηση δημοσιεύσεων με βάση τον τύπο του ρομπότ

Publication	Type				
	Industrial Robots	Autonomous Mobile Robots	Collaborative robots	UAVs	Automated Guided Vehicles
Alatise and Hancke, 2020		•			
Aliev and Antonelli, 2021			•		
Ayamga, Akaba and Nyaaba, 2021				•	
Bahrin et al., 2016	•	•	•	•	•
Beke et al., 2018				•	
Casalino et al., 2019			•		
Chiriatti et al., 2021			•		
Duc, Huu and Nananukul, 2020		•			
Fernández-Caramés et al., 2019				•	
Fragapane et al., 2020		•	•		•
Galín and Meshcheryakov, 2019			•		
Gao et al., 2019			•		
García-Esteban et al., 2021			•		
Gjeldum et al., 2021			•		
Goel and Gupta, 2020	•	•	•	•	•
Gonzalez et al., 2017		•			•
Guptaa, 2020		•	•		•
Karli Petrovic, 2021				•	•
Kattepur and Balamuralidhar, 2019		•			•
Kattepur et al., 2018	•	•	•		
Kattepur et al., 2018		•			
Kattepur et al., 2019	•	•			
Kattepur, Dey and Balamuralidhar, 2018		•			
Knudsen and Kaivo-Oja, 2020			•		
Kovačić et al., 2019		•	•		•
Lamon, Peternel and Ajoudani, 2018		•			
Lee et al., 2018b		•			•
Lima et al., 2019			•		
Lototsky et al., 2019	•				
Malik and Brem, 2021			•		
Mariyam Hasham, 2018		•	•		
Mehami, Nawi and Zhong, 2018					•
Najafi and Ansari, 2019	•				
Nuzzi et al., 2019			•		
Parmar et al., 2021	•				
Poór, Broum and Basl, 2019			•		
Rejeb et al., 2021				•	

Publication	Type				
	Industrial Robots	Autonomous Mobile Robots	Collaborative robots	UAVs	Automated Guided Vehicles
Rojas et al., 2021	•		•		
Shacklett, 2021a				•	
Sherwani, Asad and Ibrahim, 2020	•		•		
Simões, Soares and Barros, 2020			•		
Tannous at al., 2020			•		
Theunissen et al., 2018		•			•
Zhang et al., 2019				•	
Židek et al., 2021			•		

3.11.4 Εφαρμογές της Ρομποτικής

Η 4^η Βιομηχανική Επανάσταση έχει ως απώτερο σκοπό να αυξήσει την οικονομική ανάπτυξη των επιχειρήσεων. Στο πλαίσιο του Industry 4.0, τα ρομπότ και οι άνθρωποι συνεργάζονται χρησιμοποιώντας έξυπνες διεπαφές ανθρώπου-μηχανής σε διάφορες εργασίες. Στον παρακάτω πίνακα παρατίθενται κάποιες εφαρμογές των ρομπότ:

Πίνακας 3.30 Ενδεικτικές εφαρμογές της ρομποτικής στο Industry 4.0

Εφαρμογή	Περιγραφή
Γεωργία (Agriculture)	Η Γεωργία είναι ένα απαιτητικός τομέας όσον αφορά την εργασία και την λήψη αξιόπιστων δεδομένων για την κατάσταση της χλωρίδας και του χώματος. Με την χρήση των ρομπότ μπορεί να αυτοματοποιηθούν κάποιες διαδικασίες βελτιστοποιώντας την παραγωγή. Για παράδειγμα υπάρχουν αυτόνομα τρακτέρ τα οποία προσθέτουν λίπασμα αναλόγως την ποιότητα του εδάφους χρησιμοποιώντας δεδομένα από αισθητήρες πάνω στο ρομπότ. Ακόμα, με την χρήση UAV μπορεί να γίνει επίβλεψη του χώρου αλλά και του φυλλώματος των φυτών από σημεία που δεν μπορεί να τα ελέγξει κάποιος άνθρωπος. (Karli Petrovic, 2021)
Υγεία (Health Care)	Οι επαγγελματίες υγείας μπορούν να χρησιμοποιήσουν ρομπότ για πολλά είδη χειρουργικών επεμβάσεων και αποκατάστασης. Η χειρουργική με τη βοήθεια ρομπότ έχει χρησιμοποιηθεί σε διάφορους τομείς, όπως ορθοπεδικές και νευροχειρουργικές επεμβάσεις. Τα ρομπότ χρησιμοποιούνται για τη βελτίωση της

Εφαρμογή	Περιγραφή
	χειρουργικής ακρίβειας σε μια σειρά διαδικασιών και χρησιμοποιούνται συχνά σε μεγάλα νοσοκομεία. (Mariyam Hasham, 2018)
Κατασκευή (Manufacturing)	Υπάρχουν πολλές προκλήσεις που σχετίζονται με την εργασία. Τα κύρια είναι το λειτουργικό κόστος, και η έλλειψη δεξιοτήτων. Μια λύση σε αυτό το πρόβλημα είναι να αυτοματοποιηθούν οι κάποιες διεργασίες. Για παράδειγμα, ορισμένες εργασίες σε ένα εργοστάσιο απαιτούν μετακίνηση βαρέων προϊόντων, σε αυτήν την περίπτωση, μια ρομποτική συσκευή μπορεί να χρησιμοποιηθεί για να απαλλάξει έναν εργαζόμενο από απαιτητικές εργασίες. Ακόμα, υπάρχουν συστήματα επιθεώρησης που χρησιμοποιούν ρομπότ τα οποία διαθέτουν συστήματα υπολογιστικής όρασης και επιτρέπουν τον εντοπισμό ελαττωμάτων και τα διορθώνουν. (Goel and Gupta, 2020)

3.12 Προσομοίωση

3.12.1 Ο ρόλος της προσομοίωσης στην βιομηχανία

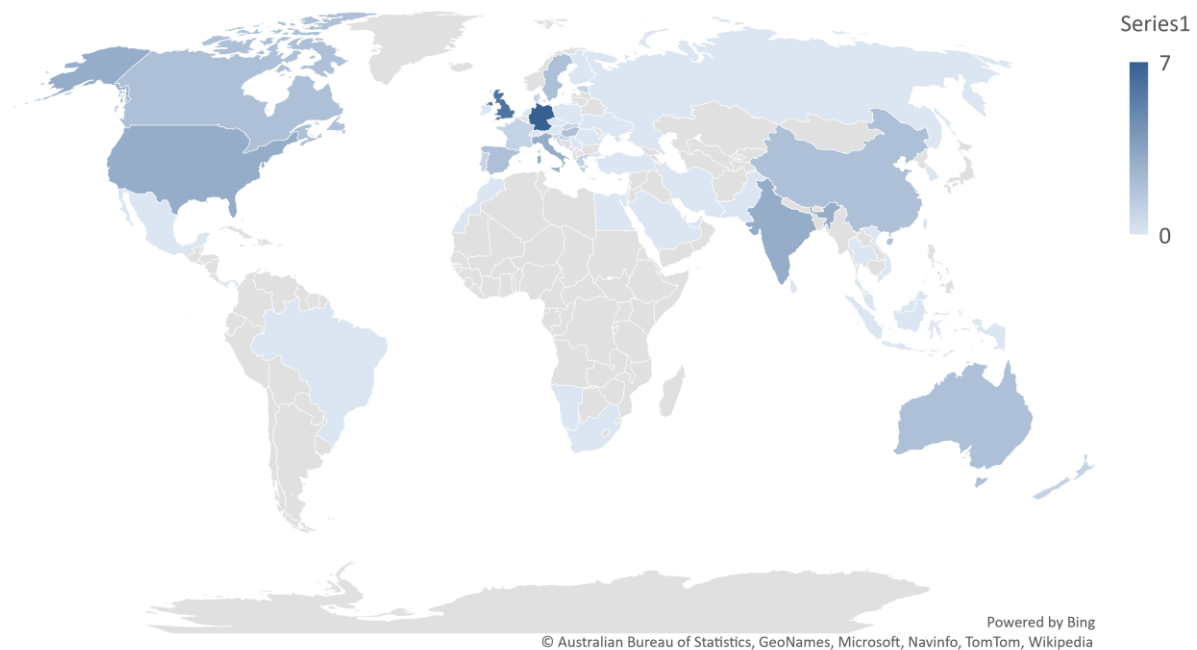
Η προσομοίωση ορίζεται ως η διαδικασία σχεδιασμού ενός μοντέλου ενός πραγματικού ή υποθετικού συστήματος για την περιγραφή και ανάλυση των συμπεριφορών του συστήματος (Scheidegger et al., 2018). Είναι μια βασική μεθοδολογία για την ανάλυση πολύπλοκων συστημάτων παραγωγής και μια ουσιαστική μεθοδολογία επίλυσης προβλημάτων. Οι δύο κύριοι λόγοι για τη χρήση της προσομοίωσης είναι το υψηλό κόστος που σχετίζεται με την ανάπτυξη πειραμάτων στο πραγματικό σύστημα και η παρατήρηση της συμπεριφοράς των διαδικασιών σε αυτό (Scheidegger et al., 2018). Τα πλεονεκτήματα στη χρήση προσομοίωσης περιλαμβάνουν: τη διενέργεια δοκιμών γρήγορα και φθηνότερα χωρίς διακοπή του πραγματικού συστήματος (περιβάλλον χωρίς κίνδυνο), συμπίεση ή επέκταση του χρόνου για μια συγκεκριμένη παρατήρηση, και οπτικοποίηση δυναμικών συστημάτων για τη διευκόλυνση της επικοινωνίας και της επικύρωσης μοντέλων. Ενώ τα κύρια μειονεκτήματα είναι η έλλειψη επαγγελματιών, οι υψηλοί μισθοί των μηχανικών προσομοίωσης, το υψηλό κόστος των αδειών

χρήσης λογισμικού και ο χρόνος ανάπτυξης μοντέλων (Ferreira, Armellini and Santa-Eulalia, 2020).

Οι τεχνικές προσομοίωσης προσφέρουν τη δυνατότητα αξιολόγησης πολλαπλών σεναρίων στο πλαίσιο του Industry 4.0 μέσω της ανάπτυξης μοντέλων σχεδιασμού και διερεύνησης πολύπλοκων συστημάτων, τα οποία μπορούν να βοηθήσουν στην αντιμετώπιση των προβλημάτων που έχει μια επιχείρηση. Η μοντελοποίηση και η ευνοούν την μετάβαση στο I4.0, διότι επιτρέπουν τη διαχείριση πολύπλοκων συστημάτων. Στα συστήματα κατασκευής και στην εφοδιαστική αλυσίδα, η μοντελοποίηση και η προσομοίωση υποδηλώνουν ένα σύνολο μεθόδων και τεχνολογικών εργαλείων που επιτρέπουν τον πειραματισμό και την επικύρωση προϊόντων, διαδικασιών, σχεδιασμού συστημάτων, και την πρόβλεψη της απόδοσης του συστήματος (Krishnamurthi and Kumar, 2020). Υποστηρίζουν, επίσης, τη λήψη αποφάσεων, την εκπαίδευση και την κατάρτιση, βοηθώντας στη μείωση του κόστους και των κύκλων ανάπτυξης (Qi and Tao, 2018).

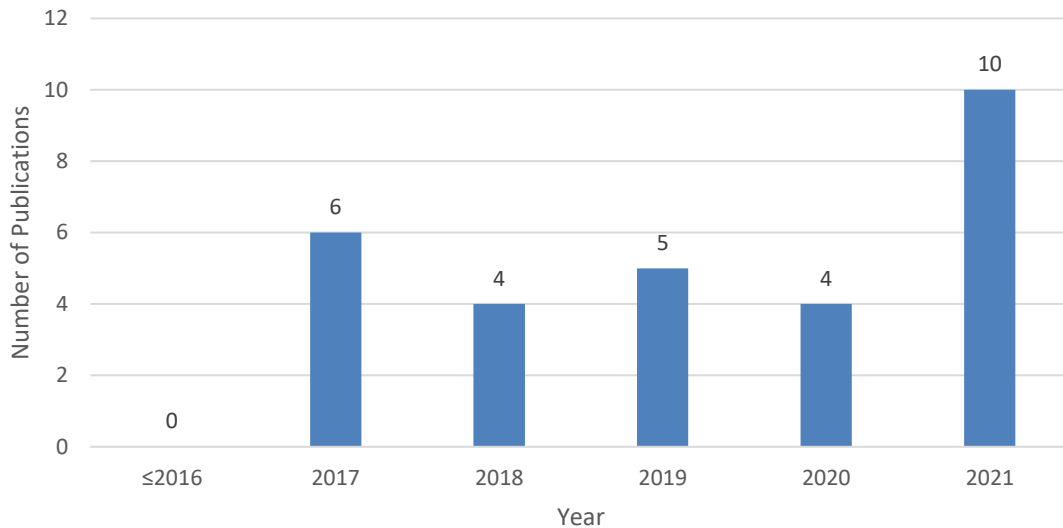
3.12.2 Ανάλυση των δημοσιεύσεων που διερευνήθηκαν

Στο παρακάτω σχήμα φαίνονται οι δημοσιεύσεις ανά χώρα. Σε αυτή την ανάλυση συμπεριλαμβάνονται οι 29 δημοσιεύσεις σχετικές με την προσομοίωση. Αυτές οι δημοσιεύσεις έδωσαν συνολικά 43 πόντους σε 20 χώρες. Οι 2 χώρες με τα μεγαλύτερα ποσοστά βαθμών είναι Γερμανία με περίπου 16% και το Ηνωμένο Βασίλειο με περίπου 14%.



Σχήμα 3.21 Γεωγραφική κατανομή των δημοσιεύσεων

Στο παρακάτω σχήμα φαίνονται οι δημοσιεύσεις σχετικές με την προσομοίωση που διερευνήθηκαν ανά έτος. Από τις συνολικά 29 δημοσιεύσεις οι 10 δημοσιεύτηκαν το 2021, οι 4 το 2020, οι 5 το 2019, οι 4 το 2018, και οι 6 το 2017. Ακόμα, συνολικά οι 19 δημοσιεύσεις είναι σε επιστημονικά περιοδικά, οι 7 σε επιστημονικά συνέδρια, η 1 είναι κεφάλαιο βιβλίου, ενώ οι 2 είναι άρθρα σε ιστοσελίδες.



Σχήμα 3.22 Αριθμός δημοσιεύσεων ανά έτος

Στον παρακάτω πίνακα φαίνονται οι δημοσιεύσεις σχετικές με την προσομοίωση οι οποίες έχουν κατηγοριοποιηθεί ως προς τον είδος του περιεχομένου του άρθρου. Από τις 29 δημοσιεύσεις οι 6 είναι βιβλιογραφική επισκόπηση (Literature Review), οι 5 είναι σχετικές με την σύλληψη κάποιας ιδέας ή μεθόδου (Conceptual), οι 9 αναλύουν κάποιο πλαίσιο εφαρμογής (Framework), οι 8 είναι μελέτες περίπτωσης (Case study), ενώ στην 1 περιγράφεται ένας αλγόριθμος (Algorithm).

Πίνακας 3.31 Κατηγοριοποίηση με βάση του είδος του περιεχομένου

Publication	Type					Publication
	Literature Review	Conceptual	Framework	Case Study	Algorithm	
Aheleroff et al., 2021			•			Journal
Benotsmame, Kovács and Dudás, 2019		•				Journal
Brailsforda et al., 2019	•					Journal
Buntz, 2018a				•		Article
Chiriatti et al., 2021					•	Journal
Cimino, Negri and Fumagalli, 2019	•					Journal
Davahli, Karwowski and Taiar, 2020	•					Journal
Ferreira, Armellini and Santa-Eulalia, 2020	•					Journal
Gjeldum et al., 2021			•			Journal

Publication	Type					Publication
	Literature Review	Conceptual	Framework	Case Study	Algorithm	
Glatt et al., 2021			•			Conference
Guerra-Zubiaga et al., 2021				•		Journal
Karnouskos et al., 2020			•			Journal
Krishnamurthi and Kumar, 2020	•					Chapter
Malik and Brem, 2021				•		Journal
Mourtzis et al., 2019				•		Conference
Negri, Fumagalli and Macchi, 2017		•				Conference
Ottogalli et al., 2019			•			Journal
Pang et al., 2021			•			Journal
Qi and Tao, 2018		•				Journal
Radanliev et al., 2021		•				Journal
RODIČ, 2017			•			Journal
Satkowski and Dachsel, 2021				•		Conference
Scheidegger et al., 2018	•					Journal
Schluse et al., 2018			•			Journal
Shacklett, 2021b				•		Article
Thilmany, 2017				•		Journal
Uhlemann, Lehmann and Steinhilper, 2017			•			Conference
Vachálek et al., 2017				•		Conference
Zúñiga, Moris and Syberfeldt, 2017		•				Conference

3.12.3 Είδη προσομοίωσης

Η προσομοίωση είναι ένα βασικό κομμάτι στο πλαίσιο του Industry 4.0 διότι επιτρέπει την δοκιμή ενός μοντέλου χωρίς τα έξοδα μιας φυσικής εγκατάστασης. Στον πίνακα που ακολουθεί γίνεται μια κατηγοριοποίηση με βάση το είδος της προσομοίωσης:

Πίνακας 3.32 Είδος προσομοίωσης (Ferreira, Armellini and Santa-Eulalia, 2020)

Είδος	Περιγραφή
Βασισμένη σε Πράκτορες (Agent Based)	Η μοντελοποίηση και προσομοίωση βασισμένη σε πράκτορες είναι μια προσέγγιση για τη μοντελοποίηση πολύπλοκων συστημάτων που αποτελούνται από αυτόνομους πράκτορες. Ένας πράκτορας ορίζεται ως μια σύνθετη μονάδα λογισμικού ικανή να λειτουργεί αυτόνομα, επιδιώκοντας ένα σύνολο συγκεκριμένων στόχων. Μπορεί να αντιπροσωπεύει διαφορετικά πράγματα, είτε υλικά είτε όχι, όπως αισθητήρες, μηχανές, προϊόντα ή ανθρώπους. (Davahli, Karwowski and Taiar, 2020)

Είδος	Περιγραφή
Ψηφιακό Δίδυμο (Digital twin)	<p>Το Ψηφιακό Δίδυμο (Digital twin) αναφέρεται στην ψηφιακή αναπαράσταση ενός φυσικού συστήματος και στην απρόσκοπτη ενοποίηση μεταξύ του φυσικού και του ψηφιακού χώρου. Το ψηφιακό δίδυμο έχει τέσσερα επίπεδα: τη γεωμετρία, τη φυσική, τη συμπεριφορά και τον κανόνα. Τα δύο πρώτα επίπεδα περιλαμβάνουν κυρίως κινηματική και γεωμετρική προσομοίωση, η οποία βασίζεται σε τεχνολογίες με τη βοήθεια υπολογιστή, όπως σχεδιασμός με τη βοήθεια υπολογιστή (CAD), μηχανική με τη βοήθεια υπολογιστή, και την ανάλυση πεπερασμένων στοιχείων. Το τρίτο και το τέταρτο περιλαμβάνουν κυρίως διαφορετικές τεχνικές μηχανικής μάθησης. (Cimino, Negri and Fumagalli, 2019)</p>
Υβριδική (Hybrid)	<p>Η Υβριδική προσομοίωση (Hybrid Simulation) χαρακτηρίζεται από τον συνδυασμό δύο ή περισσότερων μεθόδων προσομοίωσης. Υπάρχουν τέσσερις τύποι υβριδικής προσομοίωσης: η <i>διαδοχική</i> όπου η έξοδος ενός μοντέλου είναι η είσοδος σε ένα άλλο μοντέλο, η <i>εμπλουτισμένη</i> που είναι η χρήση άλλης μεθόδου από μια κυρίαρχη, η προσομοίωση με <i>αλληλεπίδραση</i> όπου τα μοντέλα αλληλεπιδρούν κυκλικά χωρίς να είναι κάποιο κυρίαρχο, και η προσομοίωση με <i>ενσωμάτωση</i> όπου δεν είναι εύκολο να διακρίνει κανείς την αρχή μιας μεθόδου και το τέλος μιας άλλης μεθόδου. (Brailsforda et al., 2019)</p>
Δυναμική Συστήματος (System Dynamics)	<p>Η Δυναμική Συστήματος (System Dynamics): είναι μια προσέγγιση συνεχούς προσομοίωσης για την ανάλυση δυναμικών συστημάτων με την πάροδο του χρόνου, χρησιμοποιώντας διαγράμματα ροών και βρόχων ανάδρασης για την αναπαράσταση των σχέσεων των συστημάτων (Scheidegger et al., 2018). Η Δυναμική Συστήματος έχει δύο προσεγγίσεις μοντελοποίησης, τη ποσοτική προσέγγιση, η οποία χρησιμοποιεί διαγράμματα ροής, και την ποιοτική προσέγγιση, η οποία περιλαμβάνει μόνο τη χρήση διαγραμμάτων βρόχου ανάδρασης. (Ferreira, Armellini and Santa-Eulalia, 2020)</p>

Είδος	Περιγραφή
Εικονική Πραγματικότητα (Virtual Reality)	Η Εικονική Πραγματικότητα (Virtual Reality): είναι μια εικονική εμπειρία στην οποία ένας χρήστης βρίσκεται σε ένα ανταποκρινόμενο εικονικό περιβάλλον και του επιτρέπει να βιώσει ένα εικονικό περιβάλλον σε μια πειραματική προσομοίωση. Πιο συγκεκριμένα, επιτρέπει σε ένα άτομο να αλληλεπιδρά με ένα τεχνητό τρισδιάστατο περιβάλλον χρησιμοποιώντας κυρίως εικονικά και ακουστικά μέσα. (Nayyar et al., 2018)

Πίνακας 3.33 Κατηγοριοποίηση των δημοσιεύσεων με βάση το είδος της προσομοίωσης

Publication	Simulation Approaches				
	Agent Based	Digital twin	Hybrid	System Dynamics	Virtual Reality
Aheleroff et al., 2021		•			
Benotsmane, Kovács and Dudás, 2019			•		•
Brailsforda et al., 2019			•		
Buntz, 2018a		•			
Cimino, Negri and Fumagalli, 2019		•			
Davahli, Karwowski and Taiar, 2020				•	
Ferreira, Armellini and Santa-Eulalia, 2020	•	•	•	•	•
Gjeldum et al., 2021	•			•	
Glatt et al., 2021		•			
Guerra-Zubiaga et al., 2021		•			
Karnouskos et al., 2020	•				
Krishnamurthi and Kumar, 2020	•	•	•	•	•
Malik and Brem, 2021		•			
Mourtzis et al., 2019		•			•
Negri, Fumagalli and Macchi, 2017		•			
Ottogalli et al., 2019					•
Pang et al., 2021		•			
Qi and Tao, 2018		•			
Radanliev et al., 2021		•			
RODIČ, 2017	•	•	•	•	•
Satkowski and Dachsel, 2021		•	•		•
Scheidegger et al., 2018	•			•	
Schluse et al., 2018		•			
Thilmany, 2017		•			
Uhlemann, Lehmann and Steinhilper, 2017		•			
Vachálek et al., 2017		•			
Zúñiga, Moris and Syberfeldt, 2017	•		•	•	

3.12.4 Εφαρμογές στην προσομοίωση

Η εφαρμογή τεχνολογιών προσομοίωσης είναι μέρος της στρατηγικής της επιχείρησης που ενισχύει την μετάβαση στο Industry 4.0. Στον παρακάτω πίνακα φαίνονται κάποιες ενδεικτικές εφαρμογές:

Πίνακας 3.34 Ενδεικτικές εφαρμογές στην προσομοίωση

Τομέας Εφαρμογής	Περιγραφή
Διαχείριση Συντηρήσεων (Maintenance management)	Η προσομοίωση μπορεί να χρησιμοποιηθεί για την πρόβλεψη της συμπεριφοράς των πραγματικών συστημάτων κατασκευής και συντήρησης. Πιο συγκεκριμένα, με την χρήση προσομοίωσης που προσαρμόζεται εύκολα στις αλλαγές στο επίπεδο δεδομένων και πληροφοριών μπορεί να μειώσει το χρόνο και το κόστος συντήρησης. Ακόμα, χρησιμοποιούνται προσομοιώσεις για να προβλέψουν τον κίνδυνο, συγκρίνοντας τους «παράγοντες υγείας» των συστημάτων με συγκεκριμένα όρια συντήρησης από δεδομένα που προέρχονται από ιστορικά στοιχεία. (Silvestri et al., 2020)
Μηχανική διαδικασιών στην κατασκευή (Process Engineering Manufacturing)	Το ψηφιακό δίδυμο χρησιμοποιείται στα εργοστάσια για την προσομοίωση και παρακολούθηση των διεργασιών στην παραγωγή. Το ψηφιακό δίδυμο ενός εργοστασίου πρέπει να είναι αρκετά εύρωστο έτσι ώστε να καταγράφει την οποιαδήποτε αλλαγή, καθώς και όλα τα σχετικά δεδομένα από κάθε λειτουργία. Αυτό απαιτεί μεγάλη επεξεργαστική ισχύ και η εξέλιξη των ΤΠΕ έχουν βοηθήσει σε αυτή την ανάπτυξη. Ένα χαρακτηριστικό παράδειγμα είναι το «Brilliant Factory» της General Electric (GE) το οποίο βασίζεται στο ψηφιακό δίδυμο. Χρησιμοποιεί τα δεδομένα από το ΔτΠ και τις αναλύσεις στο σύννεφο (cloud) που απαιτούνται για την τροφοδοσία των μοντέλων προσομοίωσης. (Thilmany, 2017)
Τομέας Υγείας (Healthcare)	Τα προβλήματα υγειονομικής περίθαλψης έχουν πολλαπλές πτυχές και σπάνια είναι δυνατόν να αποτυπωθούν όλα σε ένα μοντέλο χρησιμοποιώντας μόνο μία μέθοδο. Αυτός είναι ένας λόγος για τη χρήση της υβριδικής προσομοίωσης, δηλαδή, το

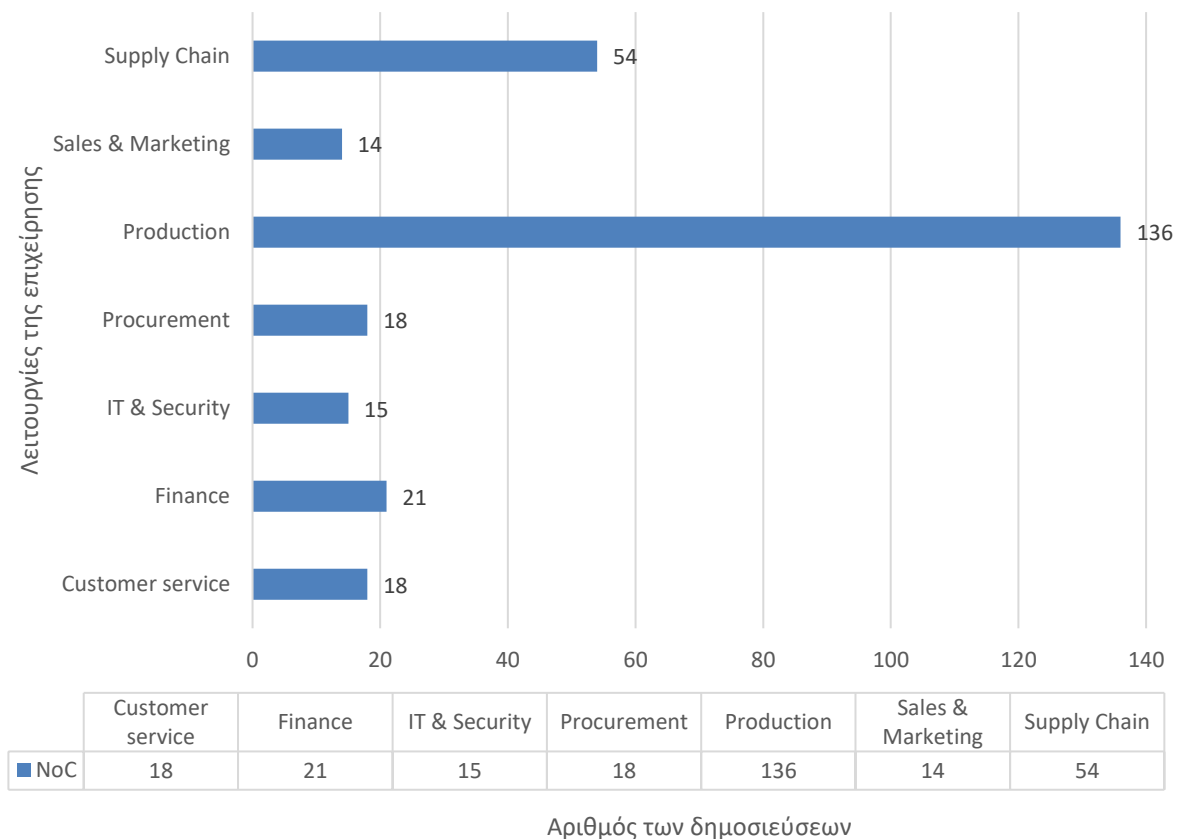
Τομέας Εφαρμογής

Περιγραφή

επίπεδο πολυπλοκότητας. Για παράδειγμα, η επιπτώσεις μιας νόσου, μοντελοποιούνται καλύτερα με χρήση προσομοίωσης λαμβάνοντας υπόψη τα αποτελέσματα ανατροφοδότησης και τις ροές των ασθενών με την πάροδο του χρόνου. Αυτό έχει ως αποτέλεσμα την βελτίωσης της διαχείρισης αυτών των ασθενών με την βοήθεια των συστημάτων παροχής υγειονομικής περίθαλψης. (Brailsforda et al., 2019)

3.13 Λειτουργίες της επιχείρησης και κατηγοριοποίηση των τεχνολογιών

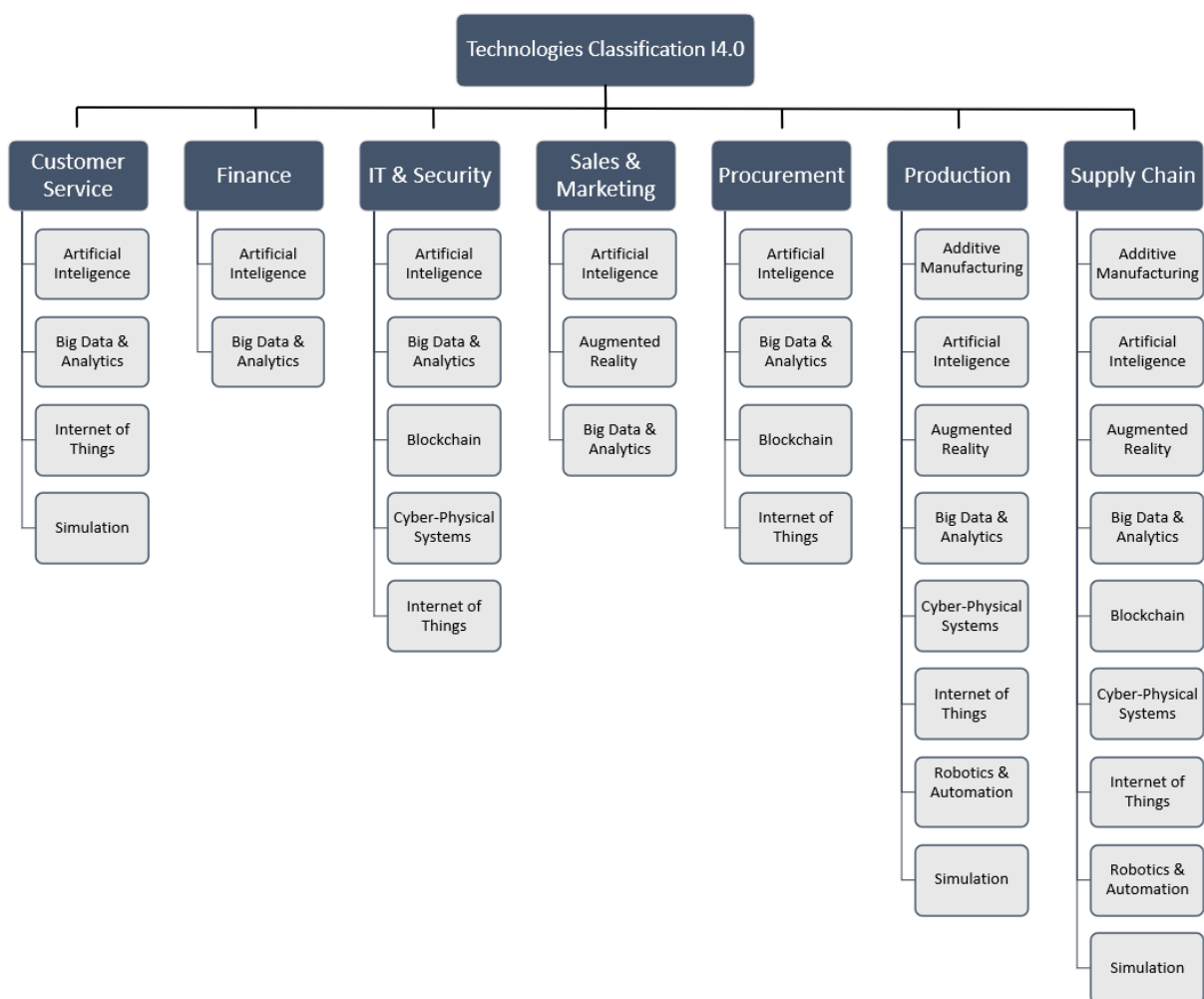
Οι λειτουργίες μιας επιχείρησης (business functions) είναι οι δραστηριότητες που εκτελούνται από μια επιχείρηση με σκοπό την επίτευξη των στόχων της. Στο παρακάτω σχήματα γίνεται κατηγοριοποίηση των δημοσιεύσεων που διερευνήθηκαν σχετικά με το Industry 4.0 με βάση των λειτουργιών μιας επιχείρησης.



Σχήμα 3.23 Κατηγοριοποίηση των δημοσιεύσεων με βάση των λειτουργιών μιας επιχείρησης

Πιο συγκεκριμένα, για την εξυπηρέτηση πελατών (Customer service) βρέθηκαν 18 σχετικές δημοσιεύσεις, για τα οικονομικά (Finance) 21, για την πληροφορική και την ασφάλεια (IT & Security) 15, για την προμήθεια (Procurement) 18, για την παραγωγή (Production) 136, για τις πωλήσεις και marketing (Sales & Marketing) 14, ενώ για την εφοδιαστική αλυσίδα (Supply Chain) βρέθηκαν 54 σχετικές δημοσιεύσεις.

Σε κάθε λειτουργία της επιχείρησης γίνεται χρήση κάποιων τεχνολογιών. Στον παρακάτω πίνακα γίνεται κατηγοριοποίηση των τεχνολογιών που αναφέρθηκαν σε αυτό το κεφάλαιο σε σχέση με τις λειτουργίες μιας επιχείρησης στις οποίες μπορεί να γίνει μετάβαση στο Industry 4.0.



Σχήμα 3.24 Κατηγοριοποίηση των λειτουργιών μιας επιχείρησης με βάση τις τεχνολογίες

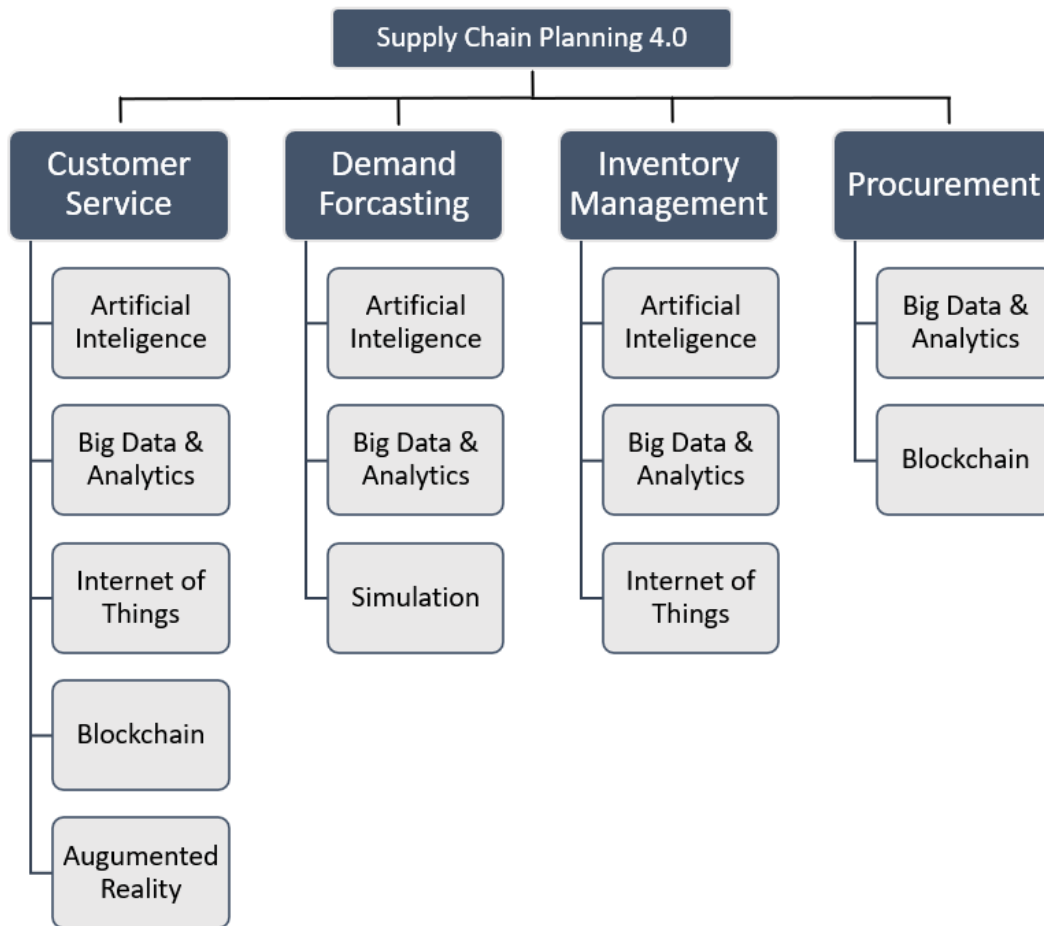
Στα επόμενα κεφάλαια θα γίνει ανάλυση των τεχνολογιών σχετικά την εφοδιαστική αλυσίδα και θα γίνει διαχωρισμός των τεχνολογιών σχετικά με τον σχεδιασμό και την εκτέλεση στην αλυσίδα εφοδιασμού.

4

Τεχνολογίες Industry 4.0 στον σχεδιασμό της αλυσίδας εφοδιασμού

4.1 Βασικοί όροι

Σύμφωνα με την Lewis (2019) ο σχεδιασμός της αλυσίδας εφοδιασμού (SCP) είναι η διαδικασία πρόβλεψης της ζήτησης για προϊόντα και ο προγραμματισμός των υλικών και των εξαρτημάτων τους, της παραγωγής, της εμπορίας, της διανομής, και της πώλησης. Ο στόχος του είναι να εξισορροπήσει την προσφορά και τη ζήτηση, ώστε οι ευκαιρίες εσόδων από πωλήσεις να αξιοποιούνται έγκαιρα και με το χαμηλότερο δυνατό κόστος. Ένας σωστός σχεδιασμός της εφοδιαστικής αλυσίδας μπορεί να βοηθήσει την επιχείρηση όσον αφορά την διαχείριση των υλικών, την εξάλειψη αποβλήτων και την βελτιστοποίηση του κεφαλαίου κίνησης (Tiwari, 2020). Αυτό το τμήμα της εφοδιαστικής αλυσίδας περιλαμβάνει τέσσερις λειτουργίες της: την εξυπηρέτηση πελατών, την πρόβλεψη ζήτησης, τη διαχείριση των αποθεμάτων, και τη διαχείριση των προμηθειών. Στα πλαίσια της τέταρτης βιομηχανικής επανάστασης αυτές οι λειτουργίες μπορεί να βελτιώσουν κάποιες διεργασίες τους με την χρήση τεχνολογιών Industry 4.0. Αυτές οι τεχνολογίες παρατίθενται στο Σχήμα 4.1 κατηγοριοποιημένες με βάση τις λειτουργίες της εφοδιαστικής αλυσίδας. Πιο συγκεκριμένα, τα μεγάλα δεδομένα και η αναλυτική τους χρησιμοποιούνται σε όλες τις λειτουργίες του σχεδιασμού της εφοδιαστικής λόγω της γνώσης που μπορεί να προσφέρουν, ενώ η επαυξημένη πραγματικότητα χρησιμοποιείται μόνο στην εξυπηρέτηση πελατών ως τεχνολογία προβολής δεδομένων που ενισχύει την επικοινωνία και την αλληλεπίδραση μεταξύ ανθρώπων αλλά και ανθρώπου–υπολογιστή. Στις ενότητες που ακολουθούν θα αναλυθούν οι τεχνολογίες που αναγράφονται στο παρακάτω σχήμα σε σχέση με την χρήση τους στον σχεδιασμό της εφοδιαστικής αλυσίδας με εφαρμογές και μελέτες περίπτωσης επιχειρήσεων.



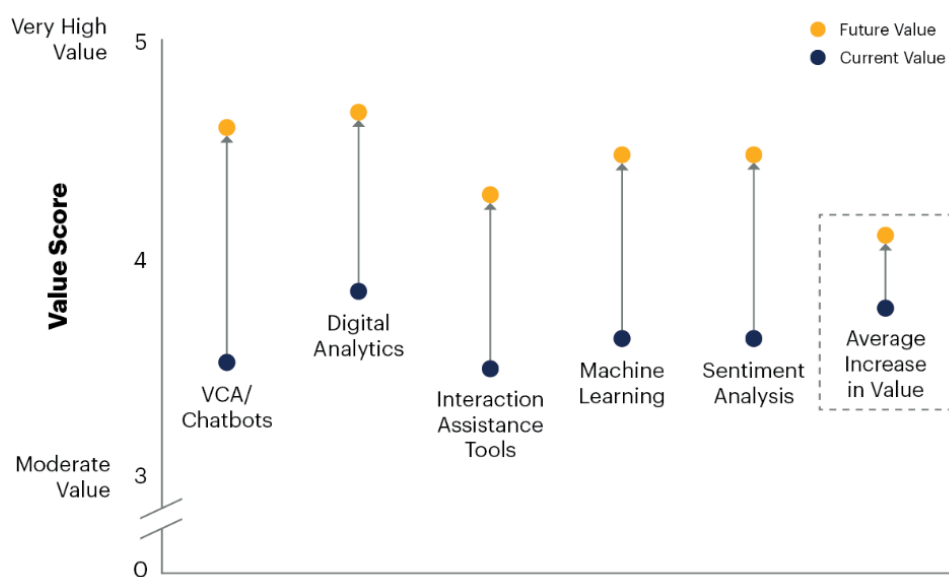
Σχήμα 4.1 Τεχνολογίες Industry 4.0 στις λειτουργίες σχεδιασμού της εφοδιαστικής αλυσίδας

4.2 Τεχνολογίες I4.0 στην εξυπηρέτηση πελατών

Τα τελευταία χρόνια, ο τομέας εξυπηρέτησης πελατών έχει αρχίσει να αναπτύσσεται ραγδαία λόγω της συνειδητοποίησης των πλεονεκτημάτων της παροχής μιας καλής εμπειρίας πελάτη. Παράλληλα, οι προσδοκίες των σημερινών πελατών αλλάζουν συνεχώς και η σύγχρονη εμπειρία πελατών πρέπει να υπερβαίνει τις παραδοσιακές μεθόδους εξυπηρέτησης πελατών ενσωματώνοντας τις προτιμήσεις των πελατών καθώς και τις προσδοκίες τους σε κάθε σημείο επαφής καταναλωτή-μάρκας (Churchill, 2021). Σύμφωνα με έρευνα της PWC ένας στους τρεις καταναλωτές (32%) απάντησε ότι θα αποχωρήσει από μια μάρκα που αγαπά μετά από μία μόνο κακή εμπειρία, ενώ το ποσοστό αυτό είναι ακόμη υψηλότερο στη Λατινική Αμερική, με 49% (Puthiyamadham and Reyes, 2018). Ταυτόχρονα, η πανδημία της COVID-19 οδήγησε σε αύξηση της ζήτησης για υπηρεσίες, μια έρευνα του Ιανουαρίου 2021 από την TechSee δείχνει ότι το 65% των καταναλωτών στις ΗΠΑ χρειάζονταν βοήθεια κατά τη διάρκεια της πανδημίας ενώ το ποσοστό αυτό κυμαινόταν στο 37%. Συνεπώς, οι επιχειρήσεις πρέπει να προσαρμοστούν στις ανάγκες των καταναλωτών αυξάνοντας την ποιότητα της εξυπηρέτησης πελατών και αυτό μπορούν να το πετύχουν εφαρμόζοντας νέες τεχνολογίες και μεθόδους.

Συνεχώς αναδύονται νέες τεχνολογίες για τη βελτίωση της εξυπηρέτησης πελατών, που βοηθούν τις επιχειρήσεις να ενισχύσουν τα επίπεδα εξυπηρέτησης τους, ενώ παράλληλα παρακολουθούν σταθερά το τελικό αποτέλεσμα για να διασφαλίσουν την ανάπτυξη της επιχείρησης. Σύμφωνα με την Gartner η εστίαση των επιχειρήσεων δεν θα είναι μόνο στην ανάλυση δεδομένων πελατών με χρήση ψηφιακών αναλυτικών στοιχείων, ανάλυση συναισθήματος, και μηχανικής μάθησης, αλλά και στη χρήση αυτών των δεδομένων για τη λήψη τεκμηριωμένων αποφάσεων χρησιμοποιώντας τις χρήσιμες πληροφορίες. Για παράδειγμα, οι εικονικοί βοηθοί πελατών και τα chatbot μπορούν να κάνουν χρήση των πληροφοριών που παρέχονται από την ανάλυση ομιλίας και κειμένου για να κατανοήσουν καλύτερα τη γλώσσα και την πρόθεση του πελάτη πίσω από τα ερωτήματα. Αυτές οι πληροφορίες επιτρέπουν στους εικονικούς βοηθούς να διαβάζουν μεταξύ των γραμμών και να προτείνουν μια βέλτιστη πορεία δράσης για τους πελάτες (Gupta, 2021).

Στο παρακάτω σχήμα φαίνονται οι πέντε τεχνολογίες οι οποίες αναμένεται να αποκτήσουν μεγαλύτερη αξία στο προσεχές διάστημα σύμφωνα με την Gartner. Ανάμεσα σε αυτές τις τεχνολογίες είναι η ψηφιακή ανάλυση, η οποία είναι η διαδικασία ανάλυσης ψηφιακών δεδομένων από διάφορες πηγές όπως ιστότοποι ή εφαρμογές για κινητές συσκευές, και σε αυτό το πλαίσιο θα παίξουν μεγάλο ρόλο τα μεγάλα δεδομένα και το Διαδίκτυο των Πραγμάτων. Ακόμα, σε αυτές τις τεχνολογίες βρίσκονται η χρήση μηχανική μάθηση και τεχνητή νοημοσύνη (π.χ. με χρήση chatbot, εικονικών πρακτόρων, αναγνώριση ομιλίας). Επιπλέον, όσον αφορά τα εργαλεία που βοηθούν στην αλληλεπίδρασης μπορεί να καταλέγουν τεχνολογίες όπως η εικονική και επαυξημένη πραγματικότητα.



Σχήμα 4.2 Πέντε τεχνολογίες οι οποίες αναμένεται να αποκτήσουν μεγαλύτερη αξία στο προσεχές διάστημα σύμφωνα με την Gartner (Gupta, 2021)

Σε αυτή την ενότητα θα αναφερθούν τρόποι με τους οποίους μπορεί να ενισχυθεί η εξυπηρέτηση των πελατών με την χρήση τεχνολογιών Industry 4.0. Πιο συγκεκριμένα, σε αυτές τις τεχνολογίες εντάσσονται τα μεγάλα δεδομένα και η προηγμένη αναλυτική, το Διαδίκτυο των πραγμάτων, το Blockchain, η τεχνητή νοημοσύνη, και η εικονική και επαυξημένη πραγματικότητα. Ακόμα στον παρακάτω πίνακα κατηγοριοποιούνται οι δημοσιεύσεις σχετικές με την εξυπηρέτηση των πελατών ανάλογα με τις τεχνολογίες που χρησιμοποιούν.

Πίνακας 4.1 Δημοσιεύσεις σχετικές με την εξυπηρέτηση των πελατών ανάλογα με τις τεχνολογίες που χρησιμοποιούν.

Άρθρο	Τεχνολογίες					Τύπος
	Μ. Δεδομένα	ΔτΠ	Blockchain	TN	Επ. Πραγμ.	
B2X, 2021				•		Report
carear.com, 2021					•	Article
Churchill, 2021				•	•	Article
Dong et al., 2017			•			Journal
Gauvrit, 2017		•				Article
Gottge, Menzel and Forslund, 2020	•	•	•	•		Journal
Gupta, 2021				•		Article
Kim and Laskowski, 2018			•			Journal
Kumar, Steven and Paraskevas, 2020	•					Journal
Kuo et al., 2020	•	•				Journal
Lee and Lee, 2020	•	•		•		Journal
Marsden et al., 2022			•			Report
Martinez et al., 2019			•			Journal
Mendling et al., 2018			•			Journal
Nayyar et al., 2018				•	•	Journal
Patel, 2021	•			•		Article
projectpro.io, 2022	•					Article
Puthiyamadam and Reyes, 2018	•		•	•		Report
Rennung, Luminosu and Draghici, 2016	•					Conference
Saldivar et al., 2016	•			•		Conference
Schiele and Torn, 2020	•			•		Journal
Veile et al., 2020		•	•			Journal

4.2.1 Μεγάλα δεδομένα και προηγμένη αναλυτική

Η αποτελεσματική και επιτυχημένη παράδοση της εμπειρίας των πελατών βασίζεται σε δεδομένα. Αυτά τα δεδομένα συλλέγονται συνήθως από εταιρείες για να κατανοήσουν τη συμπεριφορά των πελατών τους και να προσφέρουν εξατομικευμένες προσφορές κατά παραγγελία για να κάνουν τους καταναλωτές πιο ευχαριστημένους. Αυτή η συλλογή

δεδομένων πελατών βοηθά τις επιχειρήσεις με την ανταγωνιστικότητα της αγοράς, την παραγωγικότητα των χρηστών, τα έσοδα από τις πωλήσεις και τελικά την εμπειρία του πελάτη. Οι εταιρείες ενοποιούν τα δεδομένα των πελατών τους από τις πλατφόρμες και οι πληροφορίες που απορρέουν τους βοηθούν να προσφέρουν βελτιωμένη ικανοποίηση πελατών, επικοινωνώντας μαζί τους σε διαφορετικά κανάλια. Η ανάλυση των μεγάλων δεδομένων μπορεί να βοηθήσει στη βελτίωση της εμπειρίας του πελάτη με διάφορους τρόπους:

- Σύμφωνα με την Patel (2021) η προγνωστική ανάλυση των δεδομένων των πελατών βοηθά τις επιχειρήσεις να λαμβάνουν πιο ενημερωμένες αποφάσεις και μπορεί να βοηθήσει τις εταιρείες να προβλέψουν το μέλλον τους με βάση τις προηγούμενες επιδόσεις. Περιλαμβάνει τη μελέτη μη δομημένων κειμένων όπως κριτικές πελατών, σχόλια και φόρμες παραπόνων. Συνεπώς, αυτές οι πληροφορίες βοηθούν να ληφθούν βελτιωμένες αποφάσεις και σχέδια.
- Τα αναλυτικά στοιχεία μεγάλων δεδομένων μπορούν να ανακαλύψουν κρυφά μοτίβα που υπάρχουν στα δεδομένα. Επιτρέπει στις επιχειρήσεις να γνωρίσουν τους πελάτες τους και να διευκολύνουν και να μεταμορφώσουν αποτελεσματικά τις σχέσεις πελάτη-εταιρείας. Ακόμα, η ανάλυση μεγάλων δεδομένων είναι σημαντική για τον εντοπισμό του τι κρύβεται πίσω από τις συμπεριφορές των πελατών. Επιτρέπει στις εταιρείες να αποκτήσουν προσωπική επαφή με τους πελάτες τους και να οδηγήσουν στην βελτίωση της εμπειρίας των πελατών (Analytics Insight, 2021).
- Σήμερα, κάθε αναζήτηση, φωνητική εντολή και μεγάλη αγορά μπορεί να καταγραφεί όσον αφορά την επαγγελματική και ιδιωτική τους ζωή. Στην εποχή του ψηφιακού μάρκετινγκ, πολλές εταιρείες διατηρούν πλέον προφίλ με χιλιάδες σημεία δεδομένων για κάθε άτομο. Τα δεδομένα έχουν μέγιστες δυνατότητες που βοηθούν τις επιχειρήσεις να προγραμματίσουν μελλοντικά με βάση τα ενδιαφέροντα συγκεκριμένων χρηστών. Η εμπειρία πελατών με γνώμονα τα δεδομένα είναι επιτακτική για τη βελτίωση της διατήρησης, της αφοσίωσης και της ανάπτυξης των πελατών (Kuo et al., 2020).

Ένα παράδειγμα είναι αυτό της Walmart η οποία είναι ο μεγαλύτερος λιανοπωλητής στον κόσμο και η μεγαλύτερη εταιρεία στον κόσμο σε έσοδα, με περισσότερους από 2 εκατομμύρια υπαλλήλους και 20.000 καταστήματα σε 28 χώρες. Άρχισε να χρησιμοποιεί αναλυτικά στοιχεία μεγάλων δεδομένων πολύ πριν εμφανιστεί ο όρος Big Data. Η Walmart χρησιμοποιεί την εξόρυξη δεδομένων για να ανακαλύψει μοτίβα που μπορούν να χρησιμοποιηθούν για την παροχή προτάσεων προϊόντων στον χρήστη, βάσει των οποίων συγκεντρώθηκαν τα προϊόντα. Πιο συγκεκριμένα, εφαρμόζοντας εξόρυξη δεδομένων έχει αυξήσει το ποσοστό μετατροπών

(conversion rate) των πελατών της, όπου είναι ο αριθμός των μετατροπών διαιρεμένος με τον συνολικό αριθμό των επισκεπτών. Για παράδειγμα, εάν ένας ιστότοπος ενός ηλεκτρονικού καταστήματος δέχεται 200 επισκέπτες σε ένα μήνα και έχει 50 πωλήσεις, το ποσοστό μετατροπής θα ήταν 50 διαιρούμενο με το 200 ή 25% (optimizely.com). Ο κύριος στόχος της διατήρησης μεγάλων δεδομένων στη Walmart είναι η βελτιστοποίηση της εμπειρίας αγορών των πελατών όταν βρίσκονται σε ένα κατάστημα της. Επιπλέον, τέτοιες λύσεις αναπτύσσονται με σκοπό τη δημιουργία καινοτόμων εφαρμογών για την προσαρμογή της εμπειρίας αγορών για τους πελάτες, αυξάνοντας παράλληλα την αποτελεσματικότητα της εφοδιαστικής. Τέλος, οι τεχνολογίες Hadoop και NoSQL χρησιμοποιούνται για να παρέχουν στους εσωτερικούς πελάτες πρόσβαση σε δεδομένα σε πραγματικό χρόνο που συλλέγονται από διαφορετικές πηγές. Η Hadoop είναι μια συλλογή από βοηθητικά προγράμματα λογισμικού ανοιχτού κώδικα για κατανομημένη αποθήκευση και επεξεργασία μεγάλων δεδομένων, ενώ η NoSQL παρέχει έναν μηχανισμό αποθήκευσης και ανάκτησης δεδομένων (Μελέτη περίπτωσης από: projectpro.io, 2022)

4.2.2 Διαδίκτυο των πραγμάτων

Η συλλογή και η μετάδοση δεδομένων σε πραγματικό χρόνο στα πλαίσια του ΔτΠ έχει μεγάλες επιπτώσεις στην εμπειρία των πελατών. Με την προσθήκη αισθητήρων σε συσκευές όπως τα αυτοκίνητα ή τις οικιακές συσκευές και τη σύνδεσή τους στο διαδίκτυο, οι κατασκευαστές και οι οργανισμοί υπηρεσιών μπορούν να παρακολουθούν εξ αποστάσεως τις λειτουργίες και τα επίπεδα εξυπηρέτησης - παρακάμπτοντας αποτελεσματικά την ανάγκη των καταναλωτών να ζητούν επισκευές. Ένα πλυντήριο, για παράδειγμα, θα μπορούσε να δει ότι αναπτύσσεται ένα πρόβλημα και να το αναφέρει αυτόματα, είτε με ενημέρωση λογισμικού είτε αποστέλλοντας τεχνικό. Ήδη η αυτοκινητοβιομηχανία Tesla ενημερώνει εξ αποστάσεως το λογισμικό στα αυτοκίνητά της, με τον ίδιο τρόπο που μια εφαρμογή smartphone ή λειτουργικό σύστημα κατεβάζει αυτόματα την πιο πρόσφατη έκδοση (Gauvrit, 2017).

Οι επιχειρήσεις έχουν ήδη πρόσβαση σε μεγάλο όγκο δεδομένων πελατών, αλλά το IoT το επεκτείνει ανοίγοντας νέες ευκαιρίες για πιο εξατομικευμένα προϊόντα. Οι επιχειρήσεις κοινής ωφέλειας μπορούν να αναλύσουν τη χρήση ενέργειας και να παρέχουν συμβουλές σε πραγματικό χρόνο για το πώς να εξοικονομούν χρήματα οι πελάτες, ενώ οι ασφαλιστές μπορούν να υπολογίσουν τον κίνδυνο ατυχήματος μεμονωμένων ιδιοκτητών αυτοκινήτων παρακολουθώντας τη συμπεριφορά τους πίσω από το τιμόνι και επιβραβεύοντας καλούς οδηγούς. Η πρόσβαση σε όλα αυτά τα δεδομένα έρχεται τροφοδοτήσει την εμπειρία των πελατών που προσφέρουν οι εταιρείες (Gauvrit, 2017).

Μειώνοντας την πολυπλοκότητα, το Διαδίκτυο των Πραγμάτων μπορεί να βοηθήσει τους οργανισμούς να προσφέρουν μια ενισχυμένη εμπειρία στους πελάτες τους. Είτε είναι η παρακολούθηση της άσκησης μέσω φορητών αισθητήρων που συνδέονται με κινητά τηλέφωνα, είτε η δυνατότητα αυτόματης ενεργοποίησης του κλιματισμού όταν ένας μετακινούμενος απέχει πέντε λεπτά από το σπίτι, όλα αυτά διευκολύνουν τη ζωή των καταναλωτών και ως εκ τούτου ενισχύουν την αφοσίωση (loyalty) (Kuo et al., 2020).

Μια πρώιμη εφαρμογή του IoT στην εμπειρία των πελατών είναι το Amazon Dash Button το οποίο σχεδιάστηκε αρχικά για να επιτρέπει την παραγγελία τα αγαπημένων προϊόντων των πελατών εύκολα με ένα απλό κλικ. Έκτοτε, η Amazon βασίστηκε στην ιδέα εισάγοντας μια υπηρεσία αναπλήρωσης παύλας που επιτρέπει στους κατασκευαστές συνδεδεμένων συσκευών να ενσωματώνουν την ίδια λειτουργικότητα στα μηχανήματα τους, εξαλείφοντας την ανάγκη για ένα φυσικό, αυτόνομο κουμπί. Πιο συγκεκριμένα, το σύστημα δίνει τη δυνατότητα να εμφανίζει γρήγορα πολλά αντικείμενα στην οθόνη (π.χ. για το πλυντήριο μπορεί να είναι διαφορετικές μάρκες απορρυπαντικού και μαλακτικού) και τα παραγγέλνει με λίγα αγγίγματα (Mogg, 2018). Ως εξέλιξη η Amazon το εξέλιξε έτσι ώστε ακόμα και η παραγγελία να γίνεται αυτόματα. Στο ίδιο παράδειγμα με το πλυντήριο θα μπορεί να υπολογίζει τότε τελειώνει το απορρυπαντικό και αυτόματα θα παραγγέλνει καινούριο χωρίς να χρειάζεται ο χρήστης να αγχώνεται μην ξεμείνει από τα αγαθά που χρειάζεται (Mogg, 2016). Ως αποτέλεσμα, βελτιώνεται η εμπειρία των πελατών και αυξάνεται η αφοσίωσή τους.

4.2.3 Blockchain

Η ανακρίβεια των προδιαγραφών, η μεταβλητότητα όγκου, τα συχνά αιτήματα αλλαγής, η έλλειψη σαφήνειας και οι διαφορετικές προδιαγραφές ασφαλείας είναι από τα πιο κοινά προβλήματα διαχείρισης παραγγελιών πελατών στις αλυσίδες εφοδιασμού (Martinez et al., 2019). Αυτά τα προβλήματα εντείνονται γενικά από άλλα προβλήματα που βασίζονται σε πόρους, όπως πολλαπλά συστήματα πληροφοριών, χειροκίνητη εισαγωγή, πολυάριθμα κανάλια επικοινωνίας πελατών και ποικίλες πολιτισμικές και ανθρώπινες πρακτικές και συμπεριφορές. Ο συνδυασμός προβλημάτων οδηγεί κατά συνέπεια σε έλλειψη ιχνηλασιμότητας των παραγγελιών, έλλειψη ορατότητας για τους πελάτες και τους συμμετέχοντες στην εφοδιαστική αλυσίδα μαζί με την έλλειψη αξιοπιστίας, και συνεπάγονται σε ελλείψεις εμπιστοσύνης και αναποτελεσματικές λειτουργίες και συναλλαγές (Carter and Koh, 2018). Ένα άλλο ζήτημα είναι η ασφάλεια των δεδομένων. Η πλειονότητα των αλυσίδων εφοδιασμού βασίζεται σε κεντρικά συστήματα πληροφοριών, όπως ο σχεδιασμός των πόρων

της επιχείρησης. Τα κεντρικά συστήματα πληροφοριών όπως αυτά αφήνουν ολόκληρο το σύστημα εκτεθειμένο σε σφάλματα ή επίθεση (Dong et al., 2017).

Το Blockchain μπορεί να διασφαλίσει την ιχνηλασιμότητα, τη διαφάνεια και την ασφάλεια και δείχνει κάποιες πιθανές εφαρμογές στην εφοδιαστική αλυσίδα (Mendling et al., 2018). Καθώς οι περισσότερες εταιρείες κατασκευάζουν και διατηρούν το δικό τους λογισμικό διαχείρισης εφοδιαστικής αλυσίδας, είναι δύσκολο να υπάρχει μια συνολική εικόνα της κατάστασης των αγαθών. Αυτή φαίνεται να είναι μια πολλά υποσχόμενη εφαρμογή για το Blockchain, ως μια κατανεμημένη βάση δεδομένων, για την αύξηση της διαφάνειας και της ακεραιότητας των πληροφοριών (Martinez et al., 2019). Σε αυτόν τον τομέα, το Blockchain θα μπορούσε να χρησιμοποιηθεί για τη διευκόλυνση της καταγραφής παραγγελιών και παραλαβών αγαθών, και την παρακολούθηση των αγαθών στις μεταφορές υποστηρίζοντας τους πελάτες. Σε συνδυασμό με αισθητήρες του Διαδικτύου των Πραγμάτων, το Blockchain μπορεί να βελτιώσει την παρακολούθηση αγαθών από την προέλευση στον πελάτη. Σύμφωνα με τους Kim and Laskowski (2018) οι εφαρμογές του στην αλυσίδα εφοδιασμού επικεντρώνονται στην ιχνηλασιμότητα και την παρακολούθηση της πηγής.

Αυτή η ιχνηλασιμότητα που προσφέρει το Blockchain μπορεί να χρησιμοποιηθεί ως παροχή υπηρεσιών προς τους πελάτες, επιτρέποντας τους να παρακολουθούν την παραγγελία τους ή ακόμα και να δουν την διαδρομή και την προέλευση του προϊόντος που θέλουν να αγοράσουν. Τέτοιες υπηρεσίες είναι πιο σημαντικές για τους πελάτες κατά την αγορά τροφίμων, όπως φρούτα, λαχανικά, ψάρια κ.ο.κ. Όπως αναφέρει η Rosencrance (2020) η τεχνολογία Blockchain της SAP επιτρέπει στους καταναλωτές να έχουν πρόσβαση στην προέλευση και την ιστορία του κιτρινόπτερου τόνου Natural Blue της Bumble Bee Seafoods, χρησιμοποιώντας τα smartphone τους για να σαρώσουν κωδικούς QR σε σακούλες.

Ένα άλλο παράδειγμα είναι η συνεργασία των εταιριών IBM, Walmart και Nasdaq JD.com με το Εθνικό Εργαστήριο Μηχανικής του Πανεπιστημίου Tsinghua όπου εφάρμοσαν το Blockchain σε ολόκληρη την αλυσίδα εφοδιασμού, από την καλλιέργεια, την παραγωγή, την επεξεργασία και τη διανομή, έως την αποθήκευση και τη λιανική πώληση. Κατά τη διάρκεια ενός πιλοτικού προγράμματος που διεξήχθη με τη Walmart, οι δοκιμές διαπίστωσαν ότι με την εφαρμογή blockchain για τον εντοπισμό τροφίμων μείωσε τον χρόνο που χρειαζόταν για τον εντοπισμό ενός πακέτου μάνγκο από το αγρόκτημα στο κατάστημα σε μόλις δύο δευτερόλεπτα - από ημέρες ή εβδομάδες. Δημιούργησαν μια μέθοδο για τη συλλογή δεδομένων σχετικά με την προέλευση, την ασφάλεια και την αυθεντικότητα των τροφίμων, χρησιμοποιώντας τεχνολογία blockchain για την παροχή ιχνηλασιμότητας σε πραγματικό χρόνο σε όλη την

αλυσίδα εφοδιασμού. Ως αποτέλεσμα ήταν η ιχνηλασιμότητα των αγαθών, και η διάθεση των καταγεγραμμένων στο Blockchain σημαντικών πληροφοριών όπως η ημερομηνία λήξης του προϊόντος, τα στοιχεία αποστολής, το αγρόκτημα προέλευσης σε μόλις 2 δευτερόλεπτα. (μελέτη περίπτωσης από: Aitken, 2017)

4.2.4 Τεχνητή νοημοσύνη

Με την μηχανική μάθηση και την τεχνητή νοημοσύνη μπορεί να αναπτυχθεί μια νέα γενιά εργαλείων αυτοεξυπηρέτησης που θα διαφέρουν από την υπάρχουσα εμπειρία εξυπηρέτησης πελατών. Ένα παράδειγμα είναι η εξέλιξη των «FAQ chatbot» σε εικονικούς πράκτορες που με την χρήση της τεχνητής νοημοσύνης θα έχουν την δυνατότητα να αναγνωρίζουν τη φυσική ομιλία, να συνομιλούν με τους πελάτες και να δίνουν λύσεις στα προβλήματά τους (Marsden et al., 2022).

Οι βασικοί τρόποι με τους οποίους η τεχνητή νοημοσύνη θα επηρεάσει την εμπειρία αυτοεξυπηρέτησης σύμφωνα με την Patel (2021) είναι:

- Οι πελάτες θα έχουν πολύ περισσότερο έλεγχο της εμπειρίας. Αντί να διαβάζουν συχνές ερωτήσεις, άρθρα υποστήριξης ή απαντήσεις της κοινότητας, οι πελάτες μπορούν να ζητούν βοήθεια με τα δικά τους λόγια. Επιπλέον, αντί να παγιδεύονται σε ένα σύνθετο δέντρο αποφάσεων, θα μπορούν να μετακινούνται γρήγορα μεταξύ των θεμάτων.
- Η εμπειρία θα αλλάξει από στατική σε δυναμική. Λαμβάνοντας δεδομένα από τα εργαλεία αυτοεξυπηρέτησης, ειδοποιείται η ομάδα της επιχείρησης για το που και πότε πρέπει να εστιάσει το χρόνο της. Τα εργαλεία μαθαίνουν από τη δραστηριότητα των πελατών και ενδυναμώνουν την ομάδα δίνοντας τις κατάλληλες πληροφορίες για να κάνει πιο στρατηγική δουλειά.

Επιπρόσθετα, η εμπειρία αυτοεξυπηρέτησης μπορεί να αυξήσει σημαντικά το ποσοστό της πελατείας. Σε μια πρόσφατη έρευνα των καταναλωτών Millennials και Gen Z, το 82% είπε ότι στην πραγματικότητα προτιμούσε να διαγνώσει και να διορθώσει προβλήματα που σχετίζονται με το λογισμικό με τη βοήθεια ενός Virtual Assistant ή υποστήριξης AR/VR αντί να καλέσει και να μιλήσει σε έναν ζωντανό πράκτορα (B2X, 2021). Ακόμα, με βάση τις γνώσεις που συλλέγονται από τα εργαλεία υποστήριξης αυτοεξυπηρέτησης μπορούν να λαμβάνονται βελτιωμένες στρατηγικές αποφάσεις που θα βασίζονται στις ανάγκες των πελατών.

Ένα παράδειγμα είναι αυτό της Finnair που τον Μάρτιο του 2020 αντιμετώπισε αύξηση των ερωτημάτων των πελατών κατά 600 με 900% και έπρεπε να ανταποκριθεί άμεσα σε μια εισροή πελατών που ζητούσαν ακυρώσεις και επιστροφές χρημάτων. Η Finnair, η οποία είναι η μεγαλύτερη αεροπορική εταιρεία της Φινλανδίας, γνωστή για τα εξαιρετικά υψηλά της πρότυπα όσον αφορά την υποστήριξη πελατών, συνεργάστηκε με την Ultimate για βρει μια αυτοματοποιημένη λύση έτσι ώστε να μπορέσει να ανταπεξέλθει σε έναν τόσο μεγάλο όγκο ερωτημάτων. Πιο συγκεκριμένα, με την χρήση εικονικών πρακτόρων και chatbot, τις πρώτες εβδομάδες, το ποσοστό αυτοματισμού των ερωτημάτων έφτασε το 50% κατά την κορύφωση των ερωτημάτων στην διάρκεια την πανδημίας. (μελέτη περίπτωσης από: Marsden et al., 2022)

4.2.5 Επαυξημένη και Εικονική Πραγματικότητα

Η επαυξημένη πραγματικότητα και η εικονική πραγματικότητα αλλάζουν τον τρόπο με τον οποίο οι άνθρωποι επικοινωνούν και αλληλεπιδρούν. Ο αντίκτυπός τους σε μια σειρά διαφορετικών πεδίων είναι πιθανό να επεκταθεί καθώς η τεχνολογία ωριμάζει και αναπτύσσεται, ειδικά στον τομέα της εμπειρίας πελατών. Πιο συγκεκριμένα, όσον αφορά την εξυπηρέτηση πελατών B2B, αυτές οι τεχνολογίες επιτρέπουν στους πελάτες να εκπαιδεύονται για την εταιρεία και να λύνουν τα προβλήματά τους καλύτερα από ποτέ. Επιπλέον, αυτές οι τεχνολογίες μπορεί να επαναπροσδιορίσει τον τρόπο με τον οποίο οι εκπρόσωποι πωλήσεων κατανοούν τους πελάτες, παρέχοντάς τους καλύτερη κατανόηση του τι περνάει ο πελάτης, αυξάνοντας την ενσυναίσθησή τους, και δίνοντάς τους τη δυνατότητα να προτείνουν καλύτερες λύσεις στα προβλήματά τους (ITA Group, 2020)

Επιπρόσθετα, εφαρμογές όπως το Google Lens επιτρέπουν στους πελάτες να κάνουν αναζήτηση κοιτάζοντας ένα αντικείμενο και περιμένουν ένα οπτικό (και βελτιστοποιημένο για κινητά) «ταξίδι». Η επαυξημένη πραγματικότητα δημιουργεί μια νέα ψηφιακή εμπειρία που μετατρέπει το ταξίδι του πελάτη σε μια συνδεδεμένη και καθηλωτική οπτική διαδραστική εμπειρία, παρέχοντας αξία που υπερβαίνει την απλή καινοτομία (Nayyar et al., 2018). Για παράδειγμα, χρησιμοποιώντας ένα smartphone, οι πελάτες μπορούν να έχουν πρόσβαση στη βάση γνώσεων του προϊόντος με συχνές ερωτήσεις, εγχειρίδια οδηγιών και εκπαιδευτικό υλικό που εμφανίζονται σε μια επικάλυψη επαυξημένης πραγματικότητας. Αυτή η τεχνολογία είναι ιδιαίτερα ωφέλιμη στον τομέα της τεχνικής υποστήριξης, εξαλείφοντας τις τόσο συνηθισμένες αλληλεπιδράσεις αντιπροσώπου-πελάτη κατά τη διάρκεια κλήσεων τεχνικής υποστήριξης (Churchill, 2021).

Ένα παράδειγμα χρήσης της επαυξημένης πραγματικότητας είναι αυτό της Service IT Direct, μιας εταιρείας που προσφέρει υπηρεσίες πληροφορικής, η οποία χρησιμοποιεί το «CareAR» και έχει εξοικονομήσει περίπου το 85% του κόστους υποστήριξης των πελατών της. Στον κλάδο της εξυπηρέτησης πελατών, οι καθυστερήσεις στις συντηρήσεων των οχημάτων προκαλούν απογοήτευση, ειδικά όταν οι τεχνικοί έχουν κενά δεξιοτήτων, στερούνται των απαραίτητων εργαλείων, ή αντιμετωπίζουν απρόβλεπτες καταστάσεις που τους εμποδίζουν να επιλύσουν προβλήματα σε έγκαιρα. Ταυτόχρονα, η πανδημία της νόσου Covid-19 έχει αλλάξει τη νοοτροπία των ανθρώπων σχετικά με τις διαπροσωπικές επαφές και έχει αυξήσει τη χρήση των ψηφιακών μέσων επικοινωνίας. Το σύστημα «Smart Handz» της Service IT Direct παρέχει βοήθεια με χρήση επαυξημένης πραγματικότητας σε πραγματικό χρόνο. Πιο συγκεκριμένα, ένας ειδικός βρίσκεται στα γραφεία της Service IT Direct και μπορεί να δει τι βλέπουν οι πελάτες και να τους καθοδηγήσει. Οι ειδικοί μπορούν εξ' αποστάσεως να αξιολογήσουν την κατάσταση και να καθοδηγήσουν οπτικά τους πελάτες ή τους τεχνικούς χρησιμοποιώντας εργαλεία επαυξημένης πραγματικότητας, όπως κινητές συσκευές ή έξυπνα γυαλιά. Αυτή η λύση είχε ως αποτέλεσμα την βελτίωση της εξυπηρέτησης των πελατών, εξοικονομώντας έως και 85% του κόστους υποστήριξης. (Μελέτη περίπτωσης από: carear.com, 2021).

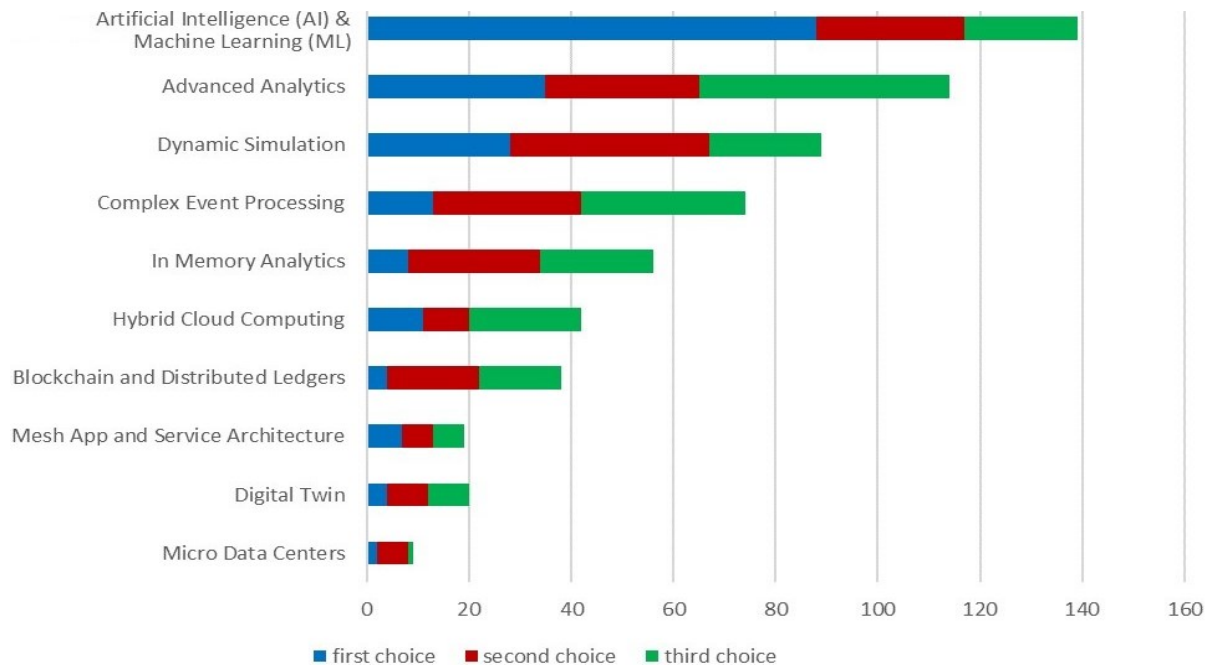
4.3 Τεχνολογίες I4.0 στην πρόβλεψη ζήτησης

Η πρόβλεψη και ο προγραμματισμός της ζήτησης αναφέρονται στην πρόβλεψη των ποσοτήτων και του χρόνου των αιτημάτων των πελατών. Η ακριβής πρόβλεψη ζήτησης θα μπορούσε να βελτιώσει την αποτελεσματικότητα των διαδικασιών παραγωγής και των σχετικών αλυσίδων εφοδιασμού, καθώς οι πόροι θα «ευθυγραμμιστούν» με τις απαιτήσεις και μπορεί να οδηγήσουν σε μείωση των αποθεμάτων και αύξηση της διαθεσιμότητας.

Οι συμβατικές μέθοδοι έχουν αντιμετωπίσει ορισμένους περιορισμούς για την πρόβλεψη της ζήτησης στο πλαίσιο της εφοδιαστικής αλυσίδας, κυρίως επειδή υπάρχουν πολλές παράμετροι που επηρεάζουν τη ζήτηση. Οι συμβατικές προσεγγίσεις παρέχουν μικρότερους χρόνους επεξεργασίας με αντάλλαγμα έναν συμβιβασμό σχετικά με την ακρίβεια των προβλέψεων και γίνονται ως επί το πλείστον με μη αυτόματο τρόπο με μεγάλη εξάρτηση από τις δεξιότητες του σχεδιαστή και τις γνώσεις του τομέα (Seyedan and Mafakheri, 2020).

Το 2018 το Ινστιτούτο Επιχειρηματικής Πρόβλεψης (Institute of Business Forecasting – IBF) διεξήγαγε μια έρευνα και ρώτησε τους επαγγελματίες σχεδιασμού και προβλέψεων ζήτησης πώς βλέπουν τους ρόλους στο προσεχές μέλλον και με ποιες τεχνολογίες. Το παρακάτω διάγραμμα δείχνει τις τεχνολογίες που θα έχουν θετικό αντίκτυπο στη βελτίωση της

πρόβλεψης ζήτησης μέχρι το 2025 (Σχήμα 4.3). Πιο συγκεκριμένα το 70% των ερωτηθέντων θεώρησε ότι η τεχνητή νοημοσύνη και η μηχανική μάθηση θα είναι η πιο σημαντική τεχνολογική πρόοδος μέχρι το 2025. Ακολουθούν οι προηγμένη αναλυτική και η δυναμική προσομοίωση. (Wilson, 2018)



Σχήμα 4.3 Τεχνολογίες που θα έχουν θετικό αντίκτυπο στη βελτίωση της πρόβλεψης ζήτησης μέχρι το 2025 (Wilson, 2018)

Σε αυτή την ενότητα θα αναλυθούν οι τρόποι με τους οποίους μπορεί να γίνει βελτίωση της πρόβλεψης ζήτησης στο πλαίσιο του Industry 4.0 με την χρήση των μεγάλων δεδομένων, της τεχνητής νοημοσύνης και της προσομοίωσης. Ακόμα στον παρακάτω πίνακα κατηγοριοποιούνται οι δημοσιεύσεις σχετικές με την πρόβλεψη ζήτησης ανάλογα με τις τεχνολογίες που χρησιμοποιούν

Πίνακας 4.2 Δημοσιεύσεις σχετικές με την πρόβλεψη ζήτησης ανάλογα με τις τεχνολογίες που χρησιμοποιούν.

Άρθρο	Τεχνολογίες			Τύπος
	Μ. Δεδομένα	TN	Προσομοίωση	
Alexsoft, 2022		•		Article
Dalmarco and Barros, 2018	•	•		Chapter
Dilmegani, 2022		•		Article
Ferreira, Armellini and Santa-Eulalia, 2020			•	Journal
Li et al., 2017	•			Journal
Lototsky et al., 2019		•		Conference
Pasinski, 2018			•	Article
Pipp and Varela, 2021			•	Article
Ramanathan, Subramanian and Parrott, 2017	•			Journal
Saldivar et al., 2016	•	•		Conference

Άρθρο	Τεχνολογίες			Τύπος
	Μ. Δεδομένα	TN	Προσομοίωση	
Schiele and Torn, 2020	•	•		Journal
Scott, Lundgren and Thompson, 2018	•	•	•	Book
Seyedan and Mafakheri, 2020	•	•		Journal
Wilson, 2018	•			Article

4.3.1 Μεγάλα δεδομένα και προηγμένη αναλυτική

Η ανάπτυξη των μεγάλων δεδομένων και των υπολογιστών με υψηλές δυνατότητες επεξεργασίας, έχει επιτρέψει την επεξεργασία δεδομένων σε μεγάλη κλίμακα που είναι αποτελεσματική, γρήγορη, και εύκολη σχετικά με την αποθήκευση και τη συλλογή δεδομένων λόγω των υπηρεσιών cloud. Η εμφάνιση νέων τεχνολογιών στην αποθήκευση και ανάλυση δεδομένων και η αφθονία ποιοτικών δεδομένων έχουν δημιουργήσει νέες ευκαιρίες για την πρόβλεψη και τον προγραμματισμό της ζήτησης βάσει δεδομένων. Η ακρίβεια της πρόβλεψης ζήτησης μπορεί να βελτιωθεί σημαντικά με αλγόριθμους και εργαλεία εξόρυξης δεδομένων, που μπορούν να κατηγοριοποιούν τα δεδομένα, να αναλύσουν τα αποτελέσματα, και να μάθουν για τις σχετικές σχέσεις (Seyedan and Mafakheri, 2020). Αυτό θα μπορούσε να οδηγήσει σε μοντέλα πρόβλεψης ζήτησης υψηλής ακρίβειας που μαθαίνουν από δεδομένα και μπορούν να κλιμακωθούν για εφαρμογή στην διαχείριση της εφοδιαστικής αλυσίδας.

Για την εξαγωγή πολύτιμης γνώσης από έναν τεράστιο όγκο δεδομένων, τα μεγάλα δεδομένα και η ανάλυσή τους χρησιμοποιείται ως μια προηγμένη τεχνική ανάλυσης για τη λήψη των δεδομένων που απαιτούνται, και συνεπώς, τη λήψη αποφάσεων. Το μειωμένο λειτουργικό κόστος, η βελτιωμένη ευελιξία της εφοδιαστικής αλυσίδας και η αυξημένη ικανοποίηση των πελατών αναφέρονται μεταξύ των πλεονεκτημάτων της εφαρμογής των μεγάλων δεδομένων στην διοίκηση της εφοδιαστικής αλυσίδας από τους Ramanathan, Subramanian and Parrott (2017).

Ένα παράδειγμα είναι ο αμερικανικός πολυεθνικός κολοσσός λιανικής Walmart ο οποίος συλλέγει 2,5 petabyte μη δομημένων δεδομένων από 1 εκατομμύριο πελάτες κάθε ώρα. Με τα τεράστια μη δομημένα δεδομένα να παράγονται κάθε ώρα, η Walmart βελτιώνει τη λειτουργική της αποτελεσματικότητα αξιοποιώντας τα αναλυτικά στοιχεία αυτών των δεδομένων. Η Walmart έχει δημιουργήσει αξία με μεγάλα δεδομένα και είναι ένας από τους λόγους που έγινε επιτυχημένη. Όμως, η μεγαλύτερη πρόκληση για τους λιανοπωλητές όπως η Walmart είναι να κάνουν προβλέψεις με περιορισμένα ιστορικά δεδομένα. Εάν η ημέρα των ευχαριστιών ή η Πρωτοχρονιά έρχεται μία φορά το χρόνο, οι λιανοπωλητές όπως η Walmart

πρέπει να λάβουν στρατηγικές αποφάσεις σχετικά με τον τρόπο με τον οποίο οι πωλήσεις θα επηρεάσουν το τελικό αποτέλεσμα κατά τη διάρκεια της εορταστικής περιόδου. Γι' αυτό το λόγο η Walmart δημιούργησε έναν διαγωνισμό προσλήψεων, στον οποίο τα άτομα που αναζητούσαν εργασία έλαβαν ιστορικά στοιχεία πωλήσεων 45 καταστημάτων Walmart από διαφορετικές περιοχές. Κάθε κατάστημα έχει πολλά τμήματα και οι υποψήφιοι που συμμετείχαν στον διαγωνισμό crowdsourcing έπρεπε να προβλέψουν τις πωλήσεις για κάθε τμήμα του καταστήματος. Ακόμα, διαθέτει εκδηλώσεις προώθησης για εξέχουσες γιορτές όπως Χριστούγεννα, Super Bowl, Ημέρα Εργασίας, Πρωτοχρονιά, ThanksGiving κ.λπ. τα οποία συμπεριλήφθηκαν στο σύνολο δεδομένων που παρείχε η Walmart, καθώς οι πωλήσεις για τις περιόδους διακοπών αξιολογήθηκαν 5 φορές υψηλότερες από τις πωλήσεις για εβδομάδες εκτός διακοπών. Το πιο δύσκολο μέρος του διαγωνισμού ήταν να προβλεφθεί ποια τμήματα επηρεάστηκαν σε μεγάλο βαθμό από τα γεγονότα σημείωσης των εορτών και ποιο ήταν το επίπεδο επίδρασης που είχαν στις πωλήσεις. Σε αυτό το πλαίσιο, η Walmart έλαβε διάφορες λύσεις για την πρόβλεψη με βάση αυτά τα μεγάλα δεδομένα και αυτό το παράδειγμα δείχνει πόσο σημαντικά είναι αυτά τα δεδομένα για τις προβλέψεις της ζήτησης. (μελέτη περίπτωσης από: projectpro.io, 2022)

4.3.2 Τεχνητή νοημοσύνη

Μία από τις μεγαλύτερες προκλήσεις για τα στελέχη επιχειρήσεων σήμερα είναι η αστάθεια της ζήτησης σε σχέση με την πρόβλεψη της ζήτησης. Ενώ η διαθεσιμότητα δεδομένων συνεχίζει να αυξάνεται, τα μοτίβα αγορών πελατών γίνονται ολοένα και πιο περίπλοκα και επομένως πιο δύσκολο να εντοπιστούν ή να προβλεφθούν. Υπάρχουν πάρα πολλοί παράγοντες που επηρεάζουν τη ζήτηση, που κυμαίνονται από τις διακυμάνσεις του καιρού έως τις αναρτήσεις από άτομα που επηρεάζουν τα μέσα κοινωνικής δικτύωσης, με αποτέλεσμα οι πελάτες να αλλάζουν συχνά γνώμη (Alexsoft, 2022).

Μια λύση για την αστάθεια της ζήτησης είναι η πρόβλεψη ζήτησης με χρήση τεχνητής νοημοσύνης. Με την χρήση συμβατικών μεθόδων, η πρόβλεψη ζήτησης είναι μια μορφή προγνωστικής ανάλυσης, όπου η διαδικασία εκτίμησης της ζήτησης των πελατών αναλύεται χρησιμοποιώντας ιστορικά δεδομένα (Dilmegani, 2022). Χρησιμοποιώντας την τεχνητή νοημοσύνη, οι οργανισμοί μπορούν να κάνουν χρήση αλγορίθμων Μηχανικής Μάθησης για να προβλέψουν τις αλλαγές στη ζήτηση των καταναλωτών όσο το δυνατόν ακριβέστερα. Αυτοί οι αλγόριθμοι μπορούν να αναγνωρίζουν αυτόματα μοτίβα, περίπλοκες σχέσεις σε μεγάλα σύνολα δεδομένων και να αντιλαμβάνονται τις διακυμάνσεις της ζήτησης. Συνήθως, οι οργανισμοί χρησιμοποιούν αυτή τη μορφή τεχνητής νοημοσύνης για να αποφύγουν την

αναποτελεσματικότητα που προκαλείται από κακή «ευθυγράμμιση» της ζήτησης και της προσφοράς καθ' όλη τη διάρκεια της επιχειρησιακής διαδικασίας. Σύμφωνα με την Alexsoft (2022), αυτό δεν θα είναι ποτέ 100% ακριβές. Ωστόσο, μπορεί να προσφέρει στις εταιρείες την ευκαιρία να μειώσουν σημαντικά το κόστος της εφοδιαστικής αλυσίδας και να βελτιώσουν τον οικονομικό προγραμματισμό, τον προγραμματισμό εργατικού δυναμικού, τα περιθώρια κέρδους και τις αποφάσεις αξιολόγησης κινδύνου (Dilmegani, 2022).

Ένα παράδειγμα είναι αυτό της εταιρίας Danone, έναν γαλλικό κατασκευαστή προϊόντων διατροφής. Η Danone εφάρμοσε ένα σύστημα μηχανικής μάθησης για να κάνει καλύτερες προβλέψεις ζήτησης. Η εταιρεία απαιτούσε πιο ακριβείς και ασφαλείς προβλέψεις ζήτησης, λόγω της μικρής διάρκειας ζωής των νωπών προϊόντων της και της ασταθούς ζήτησης. Η Danone χρησιμοποιεί πολλές προσφορές και εκδηλώσεις μέσω ενημέρωσης και πάνω από το 30% του συνολικού όγκου πωλείται μέσω προωθητικών προσφορών, όπως εκπτώσεις και φυλλάδια, επομένως οι προβλέψεις ζήτησης ήταν κάπως εξαρτιόνταν σε μεγάλο βαθμό από αυτό. Το εφαρμοσμένο σύστημα μηχανικής μάθησης δεν βελτίωσε μόνο τις προβλέψεις, αλλά βελτίωσε και τον προγραμματισμό μεταξύ διαφορετικών τμημάτων, όπως πωλήσεις, αλυσίδα εφοδιασμού, χρηματοοικονομικά και μάρκετινγκ. Αυτό το σύστημα βελτίωσε την αποτελεσματικότητα και την ισορροπία αποθέματος, επιτρέποντας στη Danone να επιτύχει τα στοχευμένα επίπεδα εξυπηρέτησης για αποθέματα σε επίπεδο καναλιού ή καταστήματος. (μελέτη περίπτωσης από: Tradecloud1, 2021a)

4.3.3 Προσομοίωση

Με την προσομοίωση μπορεί να γίνει αναπαράσταση των μοντέλων πρόβλεψης και να δοκιμαστούν διαφορετικές προσεγγίσεις στρατηγικής μοντελοποίησης, βελτιστοποιώντας τη λήψη των αποφάσεων. Η προσομοίωση επιτρέπει την εκχώρηση μια σειράς πιθανών τιμών ως είσοδο, οι οποίες μπορεί να είναι αβέβαιες, για την αξιολόγηση των αποτελεσμάτων (Ferreira, Armellini and Santa-Eulalia, 2020). Πιο συγκεκριμένα μπορεί:

- να υπολογιστούν και να ελεγχθούν γρήγορα εκατοντάδες πιθανά σενάρια και την πιθανότητα να συμβούν,
- να αναλυθούν τα καλύτερα και τα χειρότερα σενάρια,
- να υπολογιστεί η πιθανότητα (μη) επίτευξης των στόχων,
- να αξιολογηθεί η επιρροή των αβέβαιων στοιχείων.

Ένα από τα πλεονεκτήματα της χρήσης λογισμικού προσομοίωσης αντί για ανάλυση με χρήση συμβατικών μεθόδων είναι ότι δεν περιορίζεται από τα σταθερά σημεία δεδομένων που

για κάθε είσοδο για την δημιουργία μιας πρόβλεψης που μπορεί να χρησιμοποιηθεί για τη λήψη αποφάσεων βάσει δεδομένων. Ακόμα, επιτρέπει την χρήση ποιοτικής και ποσοτικής νοημοσύνης για την προσομοίωση και την πρόβλεψη, χρησιμοποιώντας την ανθρώπινη νοημοσύνη κάνοντας υποθέσεις, οι οποίες αργότερα επικυρώνονται για ακρίβεια με αποτελέσματα όπως αποτελέσματα πωλήσεων και μετρήσεις επωνυμίας (Pasinski, 2018). Η κατασκευή μιας προσομοίωσης είναι μια επαναληπτική διαδικασία και συνήθως χρησιμοποιείται όταν δεν υπάρχουν επαρκή δεδομένα. (Pasinski, 2018).

Ένα παράδειγμα είναι αυτό της Accenture όπου η ομάδα της «Applied Intelligence HSA» δημιούργησε ένα σύστημα πρόβλεψης παραγγελιών και χρόνου παράδοσης για μια εταιρεία προμήθειας εξοπλισμού γυμναστικής με έδρα τις ΗΠΑ που επηρεάστηκε από διακοπές της αλυσίδας εφοδιασμού που σχετίζονται με τον COVID-19. Το σύστημα πρόβλεψης, που βασίζεται σε μια ψηφιακή δίδυμη αλυσίδα εφοδιασμού (supply chain digital twin), αύξησε την ακρίβεια πρόβλεψης κατά 57% και μείωσε το κόστος κατά 20%. Ο πελάτης ήθελε να προβλέψει τη συμπεριφορά της εφοδιαστικής αλυσίδας και να βελτιώσει την αλυσίδα εφοδιασμού ποδηλάτων γυμναστικής στις ΗΠΑ. Κατά τη διάρκεια της πανδημίας του COVID-19, η ζήτηση για ποδήλατα γυμναστικής αυξήθηκε σημαντικά και προκάλεσε αύξηση των χρόνων παράδοσης από πέντε ημέρες σε εξήντα ημέρες. Η πρόκληση ήταν να μειωθεί αυτός ο χρόνος και να βελτιωθεί ο προγραμματισμός. Δημιουργώντας ένα ψηφιακό δίδυμο ως λύση, ο πελάτης μπορεί να κατανοήσει γιατί συμβαίνει κάτι και αρχίζει να ρωτά «τι θα γινόταν αν». Ένα ψηφιακό δίδυμο είναι ένα δυναμικό μοντέλο ενός συστήματος που βασίζεται σε δεδομένα πραγματικού κόσμου που μπορούν να επιθεωρηθούν και να παρατηρηθούν κατά τη λειτουργία. Η ομάδα επέλεξε να χρησιμοποιήσει το λογισμικό μοντελοποίησης προσομοίωσης AnyLogic για την κατασκευή του ψηφιακού δίδυμου και αναπαρήγαγε ολόκληρη την αλυσίδα εφοδιασμού από προμηθευτές, μέσω κέντρων διανομής, σε τοποθεσίες τελικού μιλίου χρησιμοποιώντας διακριτή μοντελοποίηση συμβάντων. Το ψηφιακό δίδυμο της αλυσίδας εφοδιασμού είχε εύρος πρόβλεψης από μία ημέρα έως ένα έτος και η εκτέλεση προσομοιώσεων Monte Carlo στο μοντέλο παρείχε εύρη πρόβλεψης για χρόνους παράδοσης. Τα οφέλη από την χρήση τέτοιου λογισμικού ήταν αισθητά, με αύξηση της ακρίβειας κατά 57% για την πρόβλεψη παραγγελιών, και μείωση του κόστους κατά 20% για τα κόστη logistics. Επιπλέον, η αναμενόμενη ακρίβεια του εκτιμώμενου χρόνου άφιξης για δυνητικούς πελάτες αυξήθηκε από 40% σε 76%. Τέλος, αυτά τα αποτελέσματα προήλθαν από μια προσομοίωση τριάντα λεπτών που χρειάζεται να εκτελείται μόνο μία φορά την εβδομάδα. (μελέτη περίπτωσης από: Pipp and Varela, 2021)

4.4 Τεχνολογίες I4.0 στη διαχείριση των αποθεμάτων

Τα αποθέματα παίζουν πολύ σημαντικό ρόλο σε μια επιχείρηση διότι συνδέονται άμεσα με τις ταμειακές ροές της. Οι προμηθευτές διαθέτουν αποθέματα πρώτων υλών, οι κατασκευαστές έχουν αποθέματα πρώτων υλών, επεξεργασίας, και τελικών προϊόντων, οι διανομείς έχουν αποθέματα ημιπροϊόντων και τελικών προϊόντων, ενώ οι λιανοπωλητές έχουν αποθέματα τελικών προϊόντων (Yuan, 2020). Τα αποθέματα υπάρχουν έτσι ώστε να βελτιώνεται το επίπεδο ικανοποίησης των πελατών, να μειώνονται ορισμένα κόστη μεταφορών ή αγοράς και να διασφαλίζονται οι αποτελεσματικές λειτουργίες της αλυσίδας εφοδιασμού (Fatorachian and Kazemi, 2021). Για την διατήρηση των αποθεμάτων θα πρέπει να συνυπολογιστούν το λογιστικό κόστος, η ρευστότητα, και η απόσβεση των προϊόντων. Έχοντας υπόψη τους λόγους ύπαρξης των αποθεμάτων και τα κόστη διατήρησής τους η εκάστοτε επιχείρηση καλείται να διατηρήσει το βέλτιστο απόθεμα ισορροπώντας την προσφορά και την ζήτηση προκυμμένου να καλύψει τις ανάγκες της σε λογικό κόστος. Ακόμα, στον παρακάτω πίνακα κατηγοριοποιούνται οι δημοσιεύσεις σχετικές με τη διαχείριση των αποθεμάτων ανάλογα με τις τεχνολογίες που χρησιμοποιούν.

Πίνακας 4.3 Δημοσιεύσεις σχετικές με τη διαχείριση των αποθεμάτων ανάλογα με τις τεχνολογίες που χρησιμοποιούν.

Άρθρο	Τεχνολογίες			Τύπος
	Μ. Δεδομένα	ΔτΠ	TN	
Bhatt, 2020		•		Article
Fatorachian and Kazemi, 2021	•			Journal
Fernández-Caramés et al., 2019	•	•	•	Journal
Frazelle, 2020	•	•	•	Book
Hardesty, 2017		•		Article
Niesen et al., 2016	•			Conference
Tradecloud1, 2021b			•	Article
Yuan, 2020	•	•	•	Chapter

Σύμφωνα με τον Yuan (2020) ο αντίκτυπος του Industry 4.0 στην διαχείριση των αποθεμάτων συνοψίζεται στους παρακάτω τομείς:

- *Διαδικασία απόκτησης αποθέματος*: το Industry 4.0 επιτρέπει την ψηφιοποίηση και την αυτοματοποίηση της διαδικασίας αγοράς με χρήση τεχνολογιών Blockchain όπως τα έξυπνα συμβόλαια (smart contracts). Ακόμα, με βάση τις πληροφορίες σε πραγματικό χρόνο από συστήματα IoT, τα συστήματα διαχείρισης αποθεμάτων είναι σε θέση να εκτελούν αυτόματα τις παραγγελίες με τη σωστή ποσότητα τη κατάλληλη στιγμή. Παράλληλα, με τη χρήση τεχνολογιών ανάλυσης μεγάλων δεδομένων ή και τεχνητής

νοημοσύνης, τα συστήματα διαχείρισης αποθεμάτων είναι σε θέση να προβλέψουν τη ζήτηση των πελατών εκτελώντας αντίστοιχα αυτόματα παραγγελίες.

- *Ταξινόμηση αποθεμάτων*: Μια συνήθης κατηγοριοποίηση των αποθεμάτων είναι αυτή με τη χρήση της ABC μεθόδου η οποία χωρίζει τα αποθέματα σε κατηγορίες με βάση το κόστος ανά μονάδα και την ποσότητα του αποθέματος. Στα πλαίσια του Industry 4.0 τα προϊόντα είναι έξυπνα προϊόντα που μεταφέρουν πληροφορίες σχετικά με την τοποθεσία και την αξία τους, και αυτή η διαδικασία της κατηγοριοποίησης τους γίνεται αυτόματα με την χρήση έξυπνων αλγορίθμων. Αναλόγως με τη ζήτηση και την αλλαγή της αξίας των προϊόντων το προφίλ ταξινόμησης αποθεμάτων ενημερώνεται δυναμικά και αυτόματα σε πραγματικό χρόνο.
- *Παραμετροποίηση συστήματος διαχείρισης αποθεμάτων*: Για ένα σύστημα διαχείρισης αποθεμάτων, οι βασικές παράμετροι του συστήματος περιλαμβάνουν τον χρόνο παράδοσης, την τιμή αγοράς, το κόστος μεταφοράς, το κόστος παραγγελίας, τη ζήτηση πελατών και την τιμή πώλησης προϊόντων, τα οποία καθορίζουν συλλογικά τη δυναμική του συστήματος διαχείρισης αποθεμάτων και την απόδοσή του. Είναι δύσκολο να εκτιμηθούν ορισμένες από αυτές τις παραμέτρους του συστήματος, όπως ο χρόνος παράδοσης, η ζήτηση πελατών κ.λπ., οπότε συνήθως γίνεται μια πρόχειρη εκτίμηση λόγω της έλλειψης πληροφοριών. Στα πλαίσια του Industry 4.0 όλες οι οντότητες είναι σε θέση να μοιράζονται τις πληροφορίες σε πραγματικό χρόνο. Για παράδειγμα, με τη χρήση αισθητήρων IoT το σύστημα μπορεί να ενημερώνει σε πραγματικό χρόνο τον αναμενόμενο χρόνο παράδοσης, ενώ με την χρήση μηχανικής μάθησης μπορεί να προβλέπει αλλαγές στην ζήτηση των πελατών λόγω κάποιων συμβάντων και να ενημερώνει τις παραμέτρους στο σύστημα.
- *Βελτιστοποίηση του αποθέματος*: Η βέλτιστη πολιτική αποθέματος καθορίζεται με την επίλυση ενός προβλήματος βελτιστοποίησης που αποτελείται από συνάρτηση και ένα σύνολο περιορισμών. Ο στόχος είναι είτε η ελαχιστοποίηση του κόστους είτε η μεγιστοποίηση του επιπέδου εξυπηρέτησης πελατών. Στα πλαίσια του Industry 4.0, ένα σύστημα διαχείρισης αποθεμάτων αλλάζει αυτόματα τις τιμές των παραμέτρων του συστήματος χρησιμοποιώντας τεχνητή νοημοσύνη με σκοπό την βελτιστοποίηση των αποθεμάτων σε σχέση με την πολιτική της επιχείρησης που έχει οριστεί.

Ένα παράδειγμα είναι αυτό της Coca Cola η οποία χρησιμοποίησε τεχνητή νοημοσύνη για τη διαχείριση αποθεμάτων των ψυγείων της σε καταστήματα λιανικής. Ο καθορισμός της σωστής ποσότητας προϊόντων, στον κατάλληλο χρόνο, στην οικονομικότερη τιμή είναι ο

σκοπός του συστήματος διαχείρισης αποθεμάτων. Αυτό γίνεται εφικτό με το συνδυασμό συνόλων δεδομένων, την ανάπτυξη ενός μοντέλου μηχανικής μάθησης, και τη συνεχή εκπαίδευση του μοντέλου για την επίτευξη μεγαλύτερη ακρίβεια με την πάροδο του χρόνου. Τα αποτελέσματα του μοντέλου αντικατοπτρίζουν τις βέλτιστες αποφάσεις που μπορούν να ληφθούν. Πιο συγκεκριμένα, το σύστημα τεχνητής νοημοσύνης έχει εκπαιδευτεί να αναγνωρίζει και να μετράει τα διάφορα προϊόντα της Coca Cola στους ψύκτες. Το σύστημα μπορεί να συνδυάσει αυτά τα δεδομένα με πληροφορίες που ελήφθησαν από την πρόβλεψη ζήτησης και να υπολογίσει αυτόματα μια παραγγελία για εκ νέου απόθεμα. Το σύστημα διατηρεί όλο το ιστορικό της πραγματικής ζήτησης, της πρόβλεψης ζήτησης, του αποθέματος και των παραγγελιών με σκοπό την ανατροφοδότησή-εκπαίδευσή του. Αυτή η λύση της Coca Cola για τα ψυγεία της οδήγησε σε αυξημένη απόδοση και μείωση της ανθρώπινης εργασίας ικανοποιώντας τις ανάγκες των πελατών. (Μελέτη περίπτωσης από: Tradecloud1, 2021b)

4.5 Τεχνολογίες I4.0 στην διαχείριση των προμηθειών

Οι τεχνολογικές εξελίξεις διαμορφώνουν τον τρόπο με τον οποίο οι ομάδες προμηθειών αλληλεπιδρούν με τους ενδιαφερόμενους και παρέχουν αποτελέσματα για έναν οργανισμό. Σε αυτές έρχεται να προστεθούν και οι τεχνολογίες Industry 4.0. Σε αυτή την ενότητα θα αναλυθούν τα μεγάλα δεδομένα και η ανάλυσή τους και το Blockchain ως κυρίαρχες τεχνολογίες που μπορούν να βελτιώσουν την διαχείριση των προμηθειών. Ακόμα, στον παρακάτω πίνακα κατηγοριοποιούνται οι δημοσιεύσεις σχετικές με τη διαχείριση των προμηθειών ανάλογα με τις τεχνολογίες που χρησιμοποιούν

Πίνακας 4.4 Δημοσιεύσεις σχετικές με τη διαχείριση των προμηθειών ανάλογα με τις τεχνολογίες που χρησιμοποιούν.

Άρθρο	Τεχνολογίες		Τύπος
	M. Δεδομένα	Blockchain	
Bag et al., 2020	●	●	Journal
Cole, Stevenson and Aitken, 2019		●	Journal
Demertzis et al., 2020		●	Journal
Diaz, 2020	●	●	Article
Handfield, 2018	●		Article
Hofmann et al., 2019	●		Journal
Kückelhaus and Chun, 2018		●	Report
Muñoz-García and Vila, 2019	●		Journal
Nicoletti, 2017	●	●	Book
Rane and Thakker, 2020	●	●	Journal
Rejeb, Sule and Keogh, 2018	●	●	Journal
Rosencrance, 2020		●	Article
Wang et al., 2019		●	Journal

4.5.1 Μεγάλα δεδομένα και προηγμένη αναλυτική

Η διασυνδεσιμότητα σε ολόκληρη την αλυσίδα εφοδιασμού σημαίνει ότι όλες οι πτυχές, από την παραγωγή έως την πληρωμή, παρέχουν πλέον μια πλούσια πηγή δεδομένων. Με μια προηγμένη ανάλυση, αυτές οι πληροφορίες μπορούν να οδηγήσουν στη δημιουργία αξίας και στη μείωση του κόστους. Τα μεγάλα δεδομένα και η ανάλυσή τους μπορεί να ανανεώσει ολόκληρη τη διαδικασία προμήθειας, να υποστηρίξει τη συλλογή δεδομένων από διάφορες εξωτερικές και εσωτερικές πηγές, και να δώσει τη δυνατότητα μιας διαφανούς και ακριβούς ανάλυσης δεδομένων (Diaz, 2020). Σύμφωνα με τους Rejeb, Sule and Keogh (2018) τα αποτελέσματα των αναλύσεων των ιστορικών συμβολαίων συναλλαγών αγορών, των πληροφοριών τιμολόγησης και των χαρακτηριστικών απόδοσης προμηθευτή μπορεί να βοηθήσουν κατά την λήψη αποφάσεων στις προμήθειες. Πιο συγκεκριμένα, η γνώση βασίζεται στην έξυπνη χρήση των δεδομένων. Όλα τα συστήματα πληροφοριών, οι αισθητήρες και τα συστήματα διαχείρισης (όλα συνδεδεμένα, χάρη στα εργαλεία σύνδεσης) δημιουργούν μεγάλα δεδομένα. Αυτά τα δεδομένα πρέπει να αναλυθούν και η ανάλυση μεγάλων δεδομένων είναι απαραίτητη στα πλαίσια του Industry 4.0 (Nicoletti, 2017).

Ως παράδειγμα είναι ένας οργανισμός υπηρεσιών τροφίμων ο οποίος αξιοποίησε υπάρχοντα δεδομένα για να τροφοδοτήσει ένα εργαλείο βελτιστοποίησης προμήθειας για το επεξεργασμένο βόειο κρέας, δημιουργώντας μια κοινή μεθοδολογία για τη σύγκριση του κόστους προμήθειας. Για να επιτευχθεί αυτό κάθε προμηθευτής έπρεπε να παρέχει μια ανάλυση κόστους. Ακόμα, κατασκεύασε μια πύλη όπου οι προμηθευτές μπορούσαν να ενημερώνουν τις πληροφορίες και να ανεβάζουν το πραγματικό κόστος κατασκευής τους σε εβδομαδιαία ή μηνιαία βάση για να επιτρέψουν μια συγκριτική αναλυτική μελέτη με βάση τον κάθε προμηθευτή. Οι προμηθευτές που έχουν χαμηλότερο κόστος λαμβάνουν περισσότερο όγκο, γεγονός που αυξάνει την αποδοτικότητα κόστους σε όλο το σύστημα. Το σύστημα συγκαλύπτει την ταυτότητα των προμηθευτών, αλλά μπορούν να δουν την απόδοση των άλλων προμηθευτών, δημιουργώντας έτσι μια βάση για ανταγωνισμό. Από την πλευρά του αγοραστή, τα περιθώρια μπορούν επίσης να καθοριστούν, μειώνοντας τον κίνδυνο για τους προμηθευτές, διασφαλίζοντας παράλληλα τον ανταγωνισμό. (Μελέτη περίπτωσης Handfield, 2018)

4.5.2 Blockchain

Το Blockchain ως ένα ανοιχτό μητρώο (ledger) στο οποίο κάθε συναλλαγή στο δίκτυο καταγράφεται και είναι διαθέσιμη για να δουν και να επαληθεύσουν όλοι οι συμμετέχοντες, είναι ένα είδος ασφαλούς συνόλου δεδομένων. Βρίσκεται στο cloud, μπορεί να προσπελαστεί

από πολλά εμπλεκόμενα μέρη και να θεωρηθεί ως «ψηφιακή εμπιστοσύνη», με την έννοια ότι είναι ένα αξιόπιστο σύνολο δεδομένων επειδή βασίζεται στη ομοφωνία (consensus).

Από τεχνική άποψη, ένα Blockchain είναι μια βάση δεδομένων που εκτείνεται σε ένα παγκόσμιο δίκτυο ανεξάρτητων υπολογιστών παρέχοντας μια κοινή προβολή, ένα Blockchain εξαλείφει την ανάγκη μεταφοράς πληροφοριών μεταξύ οργανισμών μέσω αντικειμένων όπως αρχεία, μηνύματα, email, υπολογιστικά φύλλα, άμεσες συνδέσεις δικτύου και τηλεφωνικές κλήσεις. Ακόμα, βοηθά στην εξάλειψη οποιασδήποτε διαφοράς στα δεδομένα μεταξύ προμηθευτών και πελατών. Για παράδειγμα, οι αλυσίδες μπλοκ θα μπορούσαν να χρησιμοποιηθούν για να χειριστούν πράγματα όπως πιστοποιητικά ποιότητας προμηθευτών, απόδειξη ιδιοκτησίας, προσφορές προμηθευτών, συμβόλαια και παραγγελίες αγοράς. Επιπλέον, θα μπορούσε να βοηθήσει τους οργανισμούς να επιλύσουν γρήγορα τις ασυμφωνίες παράδοσης, ανακτώντας δεδομένα που συλλέγονται από άκρη σε άκρη κατά τη διάρκεια της διαδικασίας, και να παρέχει απόδειξη στους ελεγκτές ότι τα υλικά προέρχονται από πιστοποιημένες περιβαλλοντικά και κοινωνικά υπεύθυνες περιοχές. Σύμφωνα με τον Nicoletti (2017) το Blockchain μπορεί να φανεί χρήσιμο σε όλη τη διαδικασία της προμήθειας:

- Το Blockchain μπορεί να χρησιμοποιηθεί κατά τη στιγμή της συμμετοχής του προμηθευτή σε μια προσφορά ή κατά την πιστοποίησή του, για την επαλήθευση της ταυτότητάς του ή τον περιορισμό οποιουδήποτε κινδύνου που σχετίζεται με την απόκτηση από αυτόν τον προμηθευτή.
- Το Blockchain θα μπορούσε να βοηθήσει στην ανταλλαγή εγγράφων προμήθειας, εγγυήσεων και προδιαγραφών επειδή είναι πιστοποιημένα και προσβάσιμα και από τις δύο πλευρές.
- Οι προσφορές προμηθευτών, με τις αρχικές πληροφορίες που συλλέγονται από τους προμηθευτές, μπορούν να αποθηκευτούν σε ένα Blockchain για να παραμείνουν αμετάκλητες και αμετάβλητες για να αποφευχθούν μελλοντικά παράπονα από προμηθευτές που απορρίφθηκαν.
- Το Blockchain μπορεί να υποστηρίξει τη διαχείριση αποστολών αποθέματος τελικών προϊόντων. Η αποθήκη τελικών προϊόντων παραλαμβάνει το προϊόν από το εργοστάσιο, το αναγνωρίζει και το αποθηκεύει. Είναι σημαντικό να διασφαλιστεί η ακρίβεια του αποθέματος και η διαθεσιμότητα των προϊόντων. Στη συνέχεια, συμφωνεί με έναν μεταφορέα για την αποστολή, τη μεταφορά και την παράδοση στον πελάτη των εμπορευμάτων. Ταυτόχρονα, υπάρχει η ανάγκη επεξεργασίας και επαλήθευσης των εγγράφων μεταφοράς του μεταφορέα, παροχή νομικής τεκμηρίωσης και εκτέλεση του

εκτελωνισμού, εγγραφή ασφάλισης φορτίου και επεξεργασία τιμολογίων για τις παρεχόμενες υπηρεσίες. Σε όλες αυτές τις σειρές εργασιών εμπλέκονται πολλοί συνεργάτες και εταιρείες. Με το Blockchain, όλα τα μέρη μπορούν να αναφέρονται στο ίδιο ψηφιακό μητρώο και θα ήταν δυνατό να εξασφαλιστεί ο έλεγχος της ύπαρξης και η επαλήθευση της πληρότητας των εγγράφων αποστολής. Επιπλέον, θα υπήρχε γρήγορη επίλυση απaráμιλλων παραδόσεων με την ανάκτηση δεδομένων που συλλέγονται κατά τη διάρκεια των διαδικασιών παραλαβής παραγγελιών.

- Το Blockchain μπορεί επίσης να βοηθήσει με τις ταμειακές ροές που σχετίζονται με τις προμήθειες: τη λεγόμενη χρηματοδότηση του εμπορίου (trade finance). Το Blockchain θα μπορούσε να καταγράφει τις διαφορετικές κινήσεις μεταξύ των μερών και να επιτρέπει στους εξουσιοδοτημένους πελάτες να παρακολουθούν και να βελτιώνουν τις συναλλαγές τους με ασφάλεια και ταχύτητα. Ακόμα, το Blockchain επιτρέπει μια απρόσκοπτη σύνδεση μεταξύ των μερών που εμπλέκονται σε μια συναλλαγή, απλοποιώντας τη διαχείριση, την παρακολούθηση και τον διακανονισμό των εγχώριων και διεθνών συναλλαγών. Τελικά, οι οικονομικές συναλλαγές θα καταγράφονται στο Blockchain, επιταχύνοντας τις διαδικασίες με πλήρη διαφάνεια και ασφάλεια.

Επιπρόσθετα, το Blockchain μπορεί να χρησιμοποιηθεί για τα λεγόμενα έξυπνα συμβόλαια (smart contracts), τα οποία επιτρέπουν τις συναλλαγές να γίνονται αυτόματα και χωρίς να χρειάζεται να βασίζεται σε κεντρικό μέρος για να κρίνεται η εφαρμογή των όρων της σύμβασης. Το Blockchain προσφέρει ευκαιρίες σε αυτόν τον τομέα, επειδή ο έξυπνος κώδικας συμβολαίου μπορεί να γραφτεί απευθείας σε ένα μπλοκ και μπορεί να εξεταστεί εκ των προτέρων από τα συμβαλλόμενα μέρη, όπως ακριβώς και μια παραδοσιακή νομική σύμβαση. Ακόμα, εάν συμφωνηθεί, τότε το έξυπνο συμβόλαιο θα εκτελέσει αυτόματα τους δικούς του όρους. Αυτό θα μπορούσε να σημαίνει την αποδέσμευση μιας πληρωμής μετά από ένα συγκεκριμένο έναυσμα, τη λειτουργία ενός δεσμευμένου λογαριασμού λογισμικού ή την πραγματοποίηση μιας επένδυσης. Σε τελικό στάδιο η προμήθεια θα γίνεται αυτόματη με έξυπνα συμβόλαια χωρίς την παρέμβαση ανθρώπινου δυναμικού κατά την διαχείριση των προμηθειών.

Ένα παράδειγμα είναι αυτό της Bumble Bee Seafoods η οποία χρησιμοποιεί την υπηρεσία Cloud Platform Blockchain της SAP για να εντοπίσει το ταξίδι του κιτρινόπτερου τόνου από τον ωκεανό που περιβάλλει τα απομακρυσμένα νησιά της Ινδονησίας σε τοπικούς λιανοπωλητές. Η Bumble Bee πιστεύει ότι το Blockchain είναι ο ασφαλέστερος τρόπος κοινής χρήσης δεδομένων μεταξύ των μερών λόγω της φήμης της τεχνολογίας ότι είναι άφθαρτη και

επαληθεύσιμη. Η τεχνολογία Blockchain της SAP επιτρέπει στους καταναλωτές να έχουν πρόσβαση στην προέλευση και την ιστορία του κιτρινόπτερου τόνου Natural Blue της Bumble Bee Seafoods με πιστοποίηση δίκαιου εμπορίου από την Ανονα, χρησιμοποιώντας τα smartphone τους για να σαρώνουν κωδικούς QR σε σακούλες 12 τόνου. Εκτός από τη χρήση Blockchain για να προσφέρει στους καταναλωτές τη δυνατότητα να παρακολουθούν και να ανιχνεύουν τον κιτρινόπτερο τόνο, η Bumble Bee βρίσκεται στη διαδικασία λήψης δεδομένων για να παρέχει το ίδιο επίπεδο ορατότητας στους ψαράδες και τους αγοραστές. Τα δεδομένα βοηθούν τους ψαράδες να μετρήσουν τα αλιεύματά τους σε σύγκριση με άλλους ψαράδες. Η εφαρμογή Blockchain συμβάλλει στην ενίσχυση των προσπαθειών βιωσιμότητας και ιχνηλασιμότητας της Bumble Bee. (Μελέτη περίπτωσης από Rosencrance, 2020)

Ένα άλλο παράδειγμα χρήσης του Blockchain στην εφοδιαστική αλυσίδα είναι αυτό της ShipChain, η οποία δημιούργησε εφαρμογές έξυπνων συμβολαίων (smart contracts) στον κλάδο των logistics. Πιο συγκεκριμένα, έχει σχεδιάσει ένα σύστημα που βασίζεται σε Blockchain για την παρακολούθηση και τον εντοπισμό ενός προϊόντος από τη στιγμή που φεύγει από το εργοστάσιο μέχρι την τελική παράδοση στον πελάτη. Το σύστημα έχει σχεδιαστεί για να περιλαμβάνει όλες τις μεθόδους μεταφοράς εμπορευμάτων και οι σχετικές πληροφορίες της εφοδιαστικής αλυσίδας καταγράφονται σε μια αμετάβλητη βάση δεδομένων που βασίζεται σε Blockchain, η οποία μπορεί να εκτελέσει αυτόματα έξυπνα συμβόλαια αν πληρούνται οι προϋποθέσεις (για παράδειγμα, μόλις ο οδηγός επιβεβαιώσει την επιτυχή παράδοση). Η αυτοματοποίηση της διαδικασίας ενισχύεται με την χρήση του ψηφιακού νομίσματος της ShipChain που ονομάζεται "SHIP tokens". Οι συμμετέχοντες στην πλατφόρμα του ShipChain αγοράζουν αυτά τα νομίσματα προκειμένου να πληρώσουν τις συναλλαγές στην πλατφόρμα. (Μελέτη περίπτωσης από Kückelhaus and Chun, 2018)

5

Τεχνολογίες Industry 4.0 στο εκτελεστικό σκέλος της αλυσίδας εφοδιασμού

5.1 Βασικοί όροι

Σύμφωνα με την Gartner το εκτελεστικό σκέλος της αλυσίδας εφοδιασμού (SCE) επικεντρώνεται σε εφαρμογές που αφορούν την εκτέλεση κατά την μεταφορά των αγαθών, συμπεριλαμβανομένων συστημάτων διαχείρισης αποθήκης και συστημάτων διαχείρισης μεταφορών. Ακόμα, περιλαμβάνει και υποστηρικτικές εφαρμογές εκτέλεσης, όπως συστήματα υποστήριξης αποφάσεων σε πραγματικό χρόνο (π.χ. συστήματα δυναμικής δρομολόγησης) και συστήματα προβολής της αλυσίδας εφοδιασμού εντός της επιχείρησης. Οι χρήση βέλτιστων πρακτικών στο εκτελεστικό σκέλος της αλυσίδας εφοδιασμού μπορεί να αποφέρουν μειωμένους χρόνους μεταφορών, μείωση του κόστους και αύξηση της ικανοποίησης των πελατών (Tiwari, 2020). Αυτό το τμήμα της εφοδιαστικής αλυσίδας περιλαμβάνει τέσσερις λειτουργίες της: την αποθήκευση, τις μεταφορές, τις διανομές, και την αντίστροφη εφοδιαστική. Στα πλαίσια της τέταρτης βιομηχανικής επανάστασης αυτές οι λειτουργίες μπορεί να βελτιώσουν κάποιες διεργασίες τους με την χρήση τεχνολογιών Industry 4.0. Αυτές οι τεχνολογίες είναι η τεχνητή νοημοσύνη, η επαυξημένη πραγματικότητα, η ανάλυση των μεγάλων δεδομένων, το ΔτΠ, η ρομποτική, και η προσομοίωση.

5.2 Επαυξημένη Πραγματικότητα

Η επαυξημένη πραγματικότητα (AR) στο εκτελεστικό σκέλος της αλυσίδας εφοδιασμού δίνει πολλές δυνατότητες οι οποίες μπορούν να βελτιώσουν σημαντικά την παραγωγικότητα. Στον παρακάτω πίνακα κατηγοριοποιούνται οι δημοσιεύσεις σχετικές με την επαυξημένη

πραγματικότητα σε σχέση με τις λειτουργίες του εκτελεστικού σκέλους της αλυσίδας εφοδιασμού οι οποίες χρησιμοποιήθηκαν στην παρούσα εργασία.

Πίνακας 5.1 Δημοσιεύσεις που διερευνήθηκαν σχετικά με το εκτελεστικό σκέλος της αλυσίδας εφοδιασμού με χρήση επαυξημένης πραγματικότητας

Άρθρο	Λειτουργίες				Τύπος
	Αποθήκευση	Μεταφορές	Διανομές	Επιστροφές	
Byrd, 2020	•	•	•	•	Article
Gialos and Zeimpekis, 2020	•				Journal
Lavingia and Tanwar, 2020	•				Chapter
Limeira et al., 2019	•				Conference
Mahmood, Butler and Jennings, 2018		•	•		Conference
Mourtzis et al., 2019	•				Conference
Papcun et al., 2019	•				Conference
Pearce, 2017	•				Article
Periša et al., 2018	•				Conference
Piardi et al., 2019	•				Journal

5.2.1 Επαυξημένη πραγματικότητα στην αποθήκευση

Με τη χρήση συσκευών AR, μπορεί να επιτευχθεί βελτιστοποίηση των λειτουργιών της αποθήκης, όπως η συλλογή, η παραλαβή, και η φόρτωση των εμπορευμάτων. Η συλλογή παραγγελιών με χρήση όρασης περιλαμβάνει τη συλλογή προϊόντων με χρήση φορητής συσκευής (όπως smart glasses – Εικόνα 5.1) και συνδυάζει την βέλτιστη συλλογή προϊόντων στην αποθήκη καθοδηγούμενη από την συσκευή, έτσι ώστε να αυξηθεί η ταχύτητα δίνοντας μια hands-free λύση για βιομηχανικά περιβάλλοντα (Gialos and Zeimpekis, 2020). Πιο συγκεκριμένα, με την χρήση έξυπνων γυαλιών ο εργαζόμενος μπορεί να δει την ακριβή τοποθεσία των προϊόντων, με την βέλτιστη σειρά. Στην συνέχεια, τα γυαλιά σαρώνουν το barcode του προϊόντος και το καταγράφουν στο σύστημα.



Εικόνα 5.1 Smart Glasses (dhl.com)

Ένα παράδειγμα χρήσης είναι αυτό της DHL, όπου το 2017 ξεκίνησε ένα πιλοτικό έργο, το Vision Picking, που επιτρέπει την συλλογή με χρήση έξυπνων γυαλιών AR στις λειτουργίες της αποθήκης (Εικόνα 5.2). Αυτές οι έξυπνες συσκευές παρέχουν στους υπαλλήλους μια ψηφιακή λίστα των προϊόντων και τους δείχνουν τις καλύτερες διαδρομές, ώστε να μειώσουν τον χρόνο ταξιδιού τους με ακριβή σχεδιασμό διαδρομής. Με σάρωση barcode, τα έξυπνα γυαλιά επιτρέπουν στους εργαζόμενους να καταλάβουν εάν βρίσκονται στην απαραίτητη τοποθεσία και τους βοηθούν να εντοπίζουν αποτελεσματικά τα απαραίτητα αντικείμενα στα ράφια. Το πείραμα με την εφαρμογή της επαυξημένης πραγματικότητας είχε ως αποτέλεσμα την αύξηση κατά 25% της συνολικής απόδοσης συλλογής με παράλληλη μείωση του ποσοστού σφαλμάτων. (Μελέτη περίπτωσης από Pearce, 2017)



Εικόνα 5.2 Συλλογή με χρήση έξυπνων γυαλιών (dpdhl.com)

Επιπλέον, η επαυξημένη πραγματικότητα μπορεί να χρησιμοποιηθεί για τη βελτίωση της διαδικασίας παραλαβών. Συνήθως αυτή η διαδικασία γίνεται με χρήση κάποιου σαρωτή barcode από τον υπάλληλο. Με την χρήση φορητής συσκευής, με δυνατότητες AR, μπορεί να ελεγχθεί γρήγορα εάν το φορτίο είναι πλήρες σαρώνοντας τα barcode του. Ακόμα, αυτές οι συσκευές επιτρέπουν τον προσδιορισμό του όγκου των εμπορευμάτων χρησιμοποιώντας ειδικούς σαρωτές και αισθητήρες. Τέλος, τέτοια συστήματα μπορούν να χρησιμοποιηθούν για τον εντοπισμό ζημιών σαρώνοντας το φορτίο. (Limeira et al., 2019)

Μια άλλη χρήση της επαυξημένης πραγματικότητας είναι η βελτίωση της διαδικασίας φόρτωσης των φορητών στην αποθήκη. Αυτό μπορεί να επιτευχθεί αντικαθιστώντας τις έντυπες λίστες με τα φορτία και τις οδηγίες φόρτωσης. Για παράδειγμα, η συσκευή AR μπορεί να υποδεικνύει που πρέπει να τοποθετηθούν οι παλέτες καταγράφοντας τες αυτόματα. Με αυτό

τον τρόπο η επαυξημένη πραγματικότητα μπορεί να ενισχύσει την αντίληψη του εργαζομένου (Lavingia and Tanwar, 2020).

5.2.2 Επαυξημένη πραγματικότητα στις μεταφορές και τις διανομές

Η κυκλοφοριακή συμφόρηση είναι ένα από τα προβλήματα που πρέπει να αντιμετωπίσουν οι εταιρείες logistics. Υπολογίζεται ότι το 1% της ετήσιας απώλειας του ακαθάριστου εγχώριου προϊόντος της Ευρώπης προκαλείται από καθυστέρηση λόγω κίνησης (Byrd, 2020). Έχουν αναπτυχθεί συστήματα επαυξημένης πραγματικότητας τα οποία υποστηρίζουν τον οδηγό σε πραγματικό χρόνο παρουσιάζοντάς του πληροφορίες σχετικά με την κυκλοφορία και δίνοντας του οδηγίες με προτεινόμενες λύσεις.

5.2.3 Επαυξημένη πραγματικότητα στην αντίστροφη εφοδιαστική

Εκτός από τη μεταφορά, ορισμένες εταιρείες logistics παρέχουν πρόσθετες υπηρεσίες όπως συναρμολόγηση και επισκευή ανταλλακτικών. Αυτή η υπηρεσία απαιτεί εκπαίδευση του προσωπικού και το παραμικρό σφάλμα κατά τη συναρμολόγηση τέτοιων εξαρτημάτων μπορεί να είναι δαπανηρό. Η τεχνολογία AR μπορεί να βοηθήσει τους τεχνικούς να εντοπίσουν ζημιές και σφάλματα χρησιμοποιώντας εργαλεία αναγνώρισης εικόνας και να τους παρέχει λεπτομερείς οδηγίες σχετικά με τον τρόπο διάγνωσης και επίλυσης αυτών των σφαλμάτων χρησιμοποιώντας έξυπνα γυαλιά AR. Με αυτό τον τρόπο μπορεί να μειωθεί ο χρόνος επισκευής και να ελαχιστοποιηθούν τα ποσοστά σφαλμάτων. (Byrd, 2020)

5.3 Διαδίκτυο των Πραγμάτων

Στον παρακάτω πίνακα κατηγοριοποιούνται οι δημοσιεύσεις σχετικές με το Διαδίκτυο των Πραγμάτων σε σχέση με τις λειτουργίες του εκτελεστικού σκέλους της αλυσίδας εφοδιασμού οι οποίες χρησιμοποιήθηκαν στην παρούσα εργασία.

Πίνακας 5.2 Δημοσιεύσεις που διερευνήθηκαν σχετικά με το εκτελεστικό σκέλος της αλυσίδας εφοδιασμού με χρήση IoT

Άρθρο	Λειτουργίες				Τύπος
	Αποθήκευση	Μεταφορές	Διανομές	Επιστροφές	
Bhatt, 2020	•				Article
Caterpillar, 2020		•			Report
Hofmann et al., 2019		•	•		Journal
Koh, Orzes and Jia, 2019	•		•		Journal
Lee et al., 2018b	•				Conference
Macaulay, Buckalew and Chung, 2015	•	•	•	•	Report

Άρθρο	Λειτουργίες				Τύπος
	Αποθήκευση	Μεταφορές	Διανομές	Επιστροφές	
Manavalan and Jayakrishna, 2019	•	•	•	•	Journal
Mostafa, Hamdy and Alawady, 2019	•				Journal
Moufaddal, Benghabrit and Bouhaddou, 2020	•				Conference
Silvestri et al., 2020		•	•		Journal
Tiwari, 2020	•	•	•	•	Journal
Turská and Madleňáková, 2019			•		Conference

5.3.1 Διαδίκτυο των Πραγμάτων στην αποθήκευση

Τις τελευταίες δεκαετίες, οι ΤΠΕ έχουν χρησιμοποιηθεί για την βελτίωση της αποθήκευσης και το IoT είναι μία από αυτές, επιτρέποντας τη σύνδεση πολλών συστημάτων μέσω της συλλογής δεδομένων σε πραγματικό χρόνο. Με την χρήση του IoT μπορεί να βελτιστοποιηθεί η ποσότητα και η ποιότητα των αποθεμάτων, αυξάνοντας παράλληλα την ικανότητα παρακολούθησης τους (Mostafa, Hamdy and Alawady, 2019). Οι ετικέτες RFID, για παράδειγμα, περιέχουν πληροφορίες για το προϊόν (ημερομηνίες λήξης, απόθεμα, τοποθεσία προϊόντος κ.α.) και μπορούν εύκολα να τις μεταφέρουν στο σύστημα διαχείρισης της αποθήκης. Επίσης, μπορούν να σταλούν πληροφορίες σχετικά με το προϊόν όπως η θερμοκρασία, η υγρασία, ή τυχόν ζημιές στο προϊόν, δίνοντας έτσι την δυνατότητα βελτίωσης της ποιότητάς του αξιοποιώντας αυτές τις πληροφορίες. Ακόμα, με την ενσωμάτωση GPS, η εταιρία μπορεί να γνωρίζει ακριβώς πού βρίσκεται κάθε αντικείμενο – έχοντας το δικό του μοναδικό αναγνωριστικό – και αυτή η παρακολούθηση σε πραγματικό χρόνο μπορεί μειώσει τις αποθήκες, τα υπερβολικά αποθέματα και να εξοικονομήσει χρόνο σύμφωνα με τους Koh, Orzes and Jia (2019). Γενικά, το IoT μπορεί να βελτιώσει την ικανότητα παρακολούθησης αποθέματος και να μειώσει τυχόν απώλειες (Moufaddal, Benghabrit and Bouhaddou, 2020).

Σύμφωνα με τον Bhatt (2020) η διαχείριση των αποθεμάτων με την χρήση IoT τεχνολογιών μπορεί να αποφέρει τα παρακάτω προνόμια:

- *Παρακολούθηση σε πραγματικό χρόνο:* Με τη χρήση IoT μπορεί να βελτιστοποιηθούν τα αποθέματα διότι υπάρχει η γνώση της τοποθεσία του αποθέματος. Συνήθως γίνεται με την χρήση ετικετών RFID οι οποίοι μπορούν να μεταδώσουν τα δεδομένα.
- *Συλλογή δεδομένων:* Η ανθρώπινη παρέμβαση μπορεί να οδηγήσει σε ανακρίβεια ή λάθη στη συλλογή δεδομένων. Με την χρήση IoT μπορεί να παρακολουθείται το αντικείμενο στην αποθήκη και να καταγράφεται στο σύστημα αυτόματα.

- *Διαχείριση αποθήκης:* Η διαχείριση της αποθήκης περιλαμβάνει τη συστηματική αποθήκευση των ειδών και μπορεί να βοηθήσει στην τακτοποίηση των προϊόντων ανάλογα με τη ζήτηση. Ακόμα, περιλαμβάνει τη χρήση έξυπνων ραφιών και καταστημάτων τα οποία μπορούν να προσδιορίσουν πόσο καιρό βρίσκεται το προϊόν στο ράφι.
- *Εντοπισμός σημείων συμφόρησης:* Οι κατασκευαστές μπορούν να παρακολουθούν τα δεδομένα αποθέματος σε πραγματικό χρόνο. Αυτό βοηθά στον εντοπισμό των σημείων συμφόρησης και στον εντοπισμό της λειτουργίας του μηχανήματος. Για παράδειγμα, εάν ένα απόθεμα βρίσκεται ακριβώς μπροστά από ένα μηχάνημα, αυτό σημαίνει ότι το μηχάνημα δεν λειτουργεί στο έπακρο.
- *Ενοποίηση με τη ρομποτικά συστήματα:* Τα μηχανήματα βοηθούν στην αυτοματοποίηση όλων των επίπονων εργασιών παραλαβής της παραγγελίας, παράδοσης πελατών και συσκευασίας. Με την ενσωμάτωση IoT σε ρομποτικά συστήματα, όλες οι εργασίες που σχετίζονται με τον άνθρωπο μπορούν να αυτοματοποιηθούν.

Ένα παράδειγμα χρήσης του IoT στις αποθήκες είναι αυτό της DHL, μιας εταιρείας Logistics που παρέχει υπηρεσίες ταχυμεταφοράς και παραδίδει πάνω από 1,6 δισεκατομμύρια δέματα ετησίως. Στις αποθήκες της, τα αγαθά πρέπει να αποθηκεύονται με τέτοιο τρόπο ώστε να μπορούν να ανακτηθούν, να υποβληθούν σε επεξεργασία και να παραδοθούν όσο το δυνατόν γρηγορότερα. Συνεπώς, η διαχείριση ενός τόσο μεγάλου όγκου αγαθών απαιτεί τεχνολογίες IoT για την αυτοματοποίηση κάποιων διεργασιών. Από παλέτες και ανυψωτικά μηχανήματα, έως την ίδια την κτιριακή υποδομή, οι σύγχρονες αποθήκες περιέχουν πολλά στοιχεία που μπορούν να συνδεθούν και να βελτιστοποιηθούν μέσω του IoT. Στην αποθήκη, η χρήση χαμηλού κόστους συσκευές αναγνώρισης, όπως το RFID, σε επίπεδο παλέτας ή αντικειμένου είναι απαραίτητη για την διαχείριση των αποθεμάτων. Για παράδειγμα, κατά την είσοδο των αγαθών σε μια αποθήκη, οι ασύρματοι αναγνώστες καταγράφουν δεδομένα που μεταδίδονται από κάθε παλέτα καθώς φτάνουν μέσω εισερχόμενων πυλών. Αυτά τα δεδομένα περιλαμβάνουν πληροφορίες για τα προϊόντα, όπως όγκο και διαστάσεις, οι οποίες στη συνέχεια στέλνονται στο σύστημα διαχείρισης για επεξεργασία. Αυτή η δυνατότητα εξαλείφει τη χρονοβόρα εργασία της χειροκίνητης καταμέτρησης και της σάρωσης όγκου των παλετών. Ακόμα, με την χρήση καμερών προσαρτημένες στις πύλες μπορεί να γίνει εντοπισμός ζημιών, σαρώνοντας τις παλέτες για ατέλειες. Μόλις οι παλέτες μετακινηθούν στη σωστή θέση, οι ετικέτες μεταδίδουν σήματα στο σύστημα διαχείρισης και αν κάποιο είδος έχει τοποθετηθεί σε λάθος θέση, οι αισθητήρες μπορούν να ειδοποιήσουν τον διαχειριστή της αποθήκης και να

προβεί σε διορθωτικές ενέργειες. Παράλληλα, όσον αφορά τη διαχείριση ποιότητας, οι αισθητήρες παρακολουθούν την κατάσταση ενός αντικειμένου και ειδοποιούν τους διαχειριστές της αποθήκης όταν πρόκειται να περάσουν τα όρια θερμοκρασίας ή υγρασίας. Αυτό επιτρέπει στο προσωπικό της αποθήκης να λάβει διορθωτικά μέτρα, διασφαλίζοντας την ποιότητα των υπηρεσιών και τη μεγαλύτερη εμπιστοσύνη των πελατών. (Macaulay, Buckalew and Chung, 2015)

5.3.2 Διαδίκτυο των Πραγμάτων στις μεταφορές

Το IoT στις εμπορευματικές μεταφορές παρουσιάζει μεγάλες δυνατότητες λόγω των πληθώραν μέσων που υπάρχουν (θαλάσσια, αεροπορικά και οδικά) και μπορεί να κινηθεί πέρα από τον εντοπισμό και την ανίχνευση (track and trace). Συνήθως, είναι δυνατός ο εντοπισμός και η παρακολούθηση εμπορευμάτων σε όλα τα μέσα ανεξαρτήτως της τοποθεσίας τους (είτε αυτά βρίσκονται σε ένα φορτηγό πλοίο στη μέση του ωκεανού είτε σε ένα αεροπλάνο κατά τη διάρκεια της πτήσης). Με την χρήση του IoT αναμένεται να βελτιωθεί ο εντοπισμός των μεταφερόμενων αγαθών αυξάνοντας την ταχύτητα και την ακρίβεια της ανίχνευσης, αλλά και την ασφάλεια κατά την μεταφορά δεδομένων (Macaulay, Buckalew and Chung, 2015). Ένας από τους στόχους της χρήσης του IoT στις μεταφορές είναι οι εταιρείες logistics να έχουν σωστά και σαφή δεδομένα όσον αφορά την κίνηση των εμπορευμάτων, καθώς και την παρακολούθηση της κατάστασης σε επίπεδο προϊόντος για να διασφαλιστεί ότι τα εμπορεύματα φτάνουν έγκαιρα, στο σωστό μέρος, και άθικτα (Tiwari, 2020). Όσον αφορά την διατήρηση της ποιότητας των εμπορευμάτων μπορεί να χρησιμοποιηθούν αισθητήρες περιβάλλοντος, όπως αισθητήρες θερμοκρασίας και υγρασίας, με σκοπό την παρακολούθηση του περιβάλλοντος των εμπορευμάτων. Για παράδειγμα, αν γίνεται μεταφορά ευαίσθητων στην θερμοκρασία αγαθών, όπως φρούτα, λαχανικά, γαλακτοκομικά προϊόντα, θα πρέπει να παρακολουθείται η θερμοκρασία τους και να υπάρχει η κατάλληλη ειδοποίηση σε περίπτωση που τα αγαθά φτάσουν στα προκαθορισμένα όρια θερμοκρασιών.

Μια άλλη χρήση της τεχνολογίας IoT είναι αυτή της διαχείρισης των περιουσιακών στοιχείων μιας εταιρείας. Για παράδειγμα, οι αισθητήρες μπορούν να παρακολουθούν πόσο συχνά ένα φορτηγό ή ένα κοντέινερ χρησιμοποιείται ή είναι σε αδράνεια και να διαβιβάζουν αυτά τα δεδομένα για ανάλυση σχετικά με τη βέλτιστη χρήση. Ακόμα, με την χρήση αισθητήρων που μετρούν την χωρητικότητα κάθε φορτίου μπορούν να παρέχουν πρόσθετες πληροφορίες σχετικά με την πλεονάζουσα χωρητικότητα σε οχήματα σε ορισμένες διαδρομές. Στη συνέχεια, αυτά τα δεδομένα με την χρήση κατάλληλων αλγορίθμων μπορεί να αξιοποιηθούν για ενοποίηση μεταφορών και βελτιστοποίηση διαδρομής (Hofmann et al.,

2019). Επιπλέον, με την χρήση κατάλληλων αισθητήρων σε οχήματα μπορεί να γίνει συλλογή δεδομένων σε πραγματικό χρόνο με σκοπό την πρόβλεψη συντήρησης των οχημάτων. Πιο συγκεκριμένα, αυτή η λύση αξιοποιεί αυτά τα δεδομένα και με την χρήση προηγμένων αλγορίθμων προβλέπει προβλήματα σε οχήματα και προγραμματίζει αυτόματα ελέγχους συντήρησης (Silvestri et al., 2020).

Επιπρόσθετα το IoT μπορεί να βοηθήσει όσον αφορά την υγεία και την ασφάλεια των οδηγών, αποτρέποντας πιθανές συγκρούσεις και ειδοποιώντας τους οδηγούς όταν χρειάζεται να κάνουν ένα διάλειμμα. Οι οδηγοί φορτηγών μεγάλων αποστάσεων βρίσκονται συχνά στο δρόμο για μέρες σε επικίνδυνες συνθήκες και με χρήση καμερών στο όχημα μπορεί να παρακολουθείται η κόπωση του οδηγού παρακολουθώντας βασικούς δείκτες όπως το μέγεθος της κόρης και η συχνότητα που ο οδηγός ανοιγοκλείνει τα μάτια του. Αυτό εφαρμόζεται ήδη από την Caterpillar, τον μεγαλύτερο κατασκευαστή εξοπλισμού κατασκευών και εξόρυξης στον κόσμο, η οποία χρησιμοποιεί αυτήν την τεχνολογία για να αποτρέψει τους οδηγούς φορτηγών από ατυχήματα λόγω κόπωσης και υπνηλίας. Πιο συγκεκριμένα, όταν ο αισθητήρας καταλάβει ότι ο οδηγός χάνει την προσοχή στο δρόμο, ενεργοποιεί ηχητικούς συναγερμούς και δονήσεις στο κάθισμα. Αυτό επιτυγχάνεται με μια υπέρυθρη κάμερα η οποία είναι ικανή να αναλύει τα μάτια του οδηγού μέσα από γυαλιά και στο σκοτάδι. (Caterpillar, 2020)

5.3.3 Διαδίκτυο των Πραγμάτων στις διανομές

Το τελευταίο μέρος της μεταφοράς των εμπορευμάτων είναι η διανομή, η οποία περιλαμβάνει την παράδοση των δεμάτων στον χώρο που έχουν επιλέξει οι πελάτες. Ο ρόλος του IoT στις διανομές μπορεί να βοηθήσει στην παροχή υπηρεσιών «σύνδεσης» της εταιρείας logistics με τον πελάτη. Για παράδειγμα, η χρήση IoT μπορεί να αυτοματοποιήσει τις ειδοποιήσεις παράδοσης και μπορεί να δώσει τη δυνατότητα παρακολούθησης της εξέλιξης της παράδοσης σε πραγματικό χρόνο. Αυτό σημαίνει ότι οι διαχειριστές μπορούν γρήγορα να αντιληφθούν τις καθυστερήσεις και τις τοποθεσίες των οδηγών επιτρέποντας να παρακολουθούν εύκολα τους οδηγούς τους. Παράλληλα, επιτρέπει στους πελάτες να παρακολουθούν τις παραγγελίες τους σε πραγματικό χρόνο αυξάνοντας την ικανοποίηση των πελατών. (Manavalan and Jayakrishna, 2019)

Μια άλλη περίπτωση χρήσης του IoT στις διανομές είναι αυτή του «έξυπνου γραμματοκιβωτίου» το οποίο χρησιμοποιεί αισθητήρες που τοποθετούνται μέσα στο κουτί ανιχνεύοντας αν είναι άδειο και μεταδίδουν ένα σήμα προς το σύστημα. Στην συνέχεια, ο διανομέας μπορεί να παραλείψει αυτό το κουτί για παραλαβή, βελτιστοποιώντας έτσι τις

καθημερινές διαδρομές συλλογής γραμμάτων (Turská and Madleňáková, 2019). Μια παρόμοια λύση χρησιμοποιείται από την DHL για να αντιμετωπίσει την αύξηση του όγκου των ηλεκτρονικών παραγγελιών. Πιο συγκεκριμένα, οι πελάτες μπορούν να εγκαταστήσουν ένα προσωπικό ντουλάπι δεμάτων στην εξώπορτά τους και μόλις περάσει ο διανομέας αφήνει το δέμα μέσα στο ντουλάπι αν ο πελάτης λείπει από τον χώρο παράδοσης. Αυτό το «έξυπνο» ντουλάπι θα ξεκλειδώνει για να αφήσει ο διανομέας μέσα το δέμα ή για να το παραλάβει ο χρήστης (Εικόνα 5.3). Ως εξέλιξη υπάρχουν ντουλάπια με ελεγχόμενη θερμοκρασία και μπορούν να υποστηρίξουν παράδοση αγαθών ευαίσθητα ως προς την θερμοκρασία (π.χ. γαλακτοκομικά προϊόντα) (Macaulay, Buckalew and Chung, 2015).



Εικόνα 5.3 DHL Paketkasten για παράδοση δεμάτων (Macaulay, Buckalew and Chung, 2015)

5.3.4 Διαδίκτυο των Πραγμάτων στην αντίστροφη εφοδιαστική

Η βελτιστοποίηση του ταξιδιού επιστροφής είναι δυνατή με την χρήση του IoT. Η startup Shyp43 αναπτύσσει νέους τρόπους παραλαβής των προϊόντων όπου οι καταναλωτές απλώς τραβούν μια φωτογραφία του αντικειμένου που χρειάζεται να επιστραφεί και εισάγουν όλες τις πληροφορίες παράδοσης σε μια εφαρμογή και ένας υπάλληλος της Shyp συλλέγει το αντικείμενο για συσκευασία και παράδοση. Μέσω του IoT, οι εταιρείες logistics μπορούν να επικοινωνήσουν με άτομα ή επιχειρήσεις στη διαδρομή παράδοσης που θα ήθελαν να στείλουν πράγματα αλλά δεν έχουν το χρόνο ή τα μέσα να πάνε σε ένα ταχυδρομείο ή να προετοιμάσουν και να συσκευάσουν σωστά ένα αντικείμενο για παραλαβή. Αυτά τα είδη θα μπορούσαν να συλλεχθούν με δυναμικά μοντέλα τιμολόγησης και να προσφέρουν μεγαλύτερη αξία στο ταξίδι επιστροφής και στον καταναλωτή. (Macaulay, Buckalew and Chung, 2015)

5.4 Ρομποτική και Αυτοματισμός

Στον παρακάτω πίνακα κατηγοριοποιούνται οι δημοσιεύσεις σχετικές με την ρομποτική σε σχέση με τις λειτουργίες του εκτελεστικού σκέλους της αλυσίδας εφοδιασμού οι οποίες χρησιμοποιήθηκαν στην παρούσα εργασία.

Πίνακας 5.3 Δημοσιεύσεις που διερευνήθηκαν σχετικά με το εκτελεστικό σκέλος της αλυσίδας εφοδιασμού με χρήση ρομποτικής

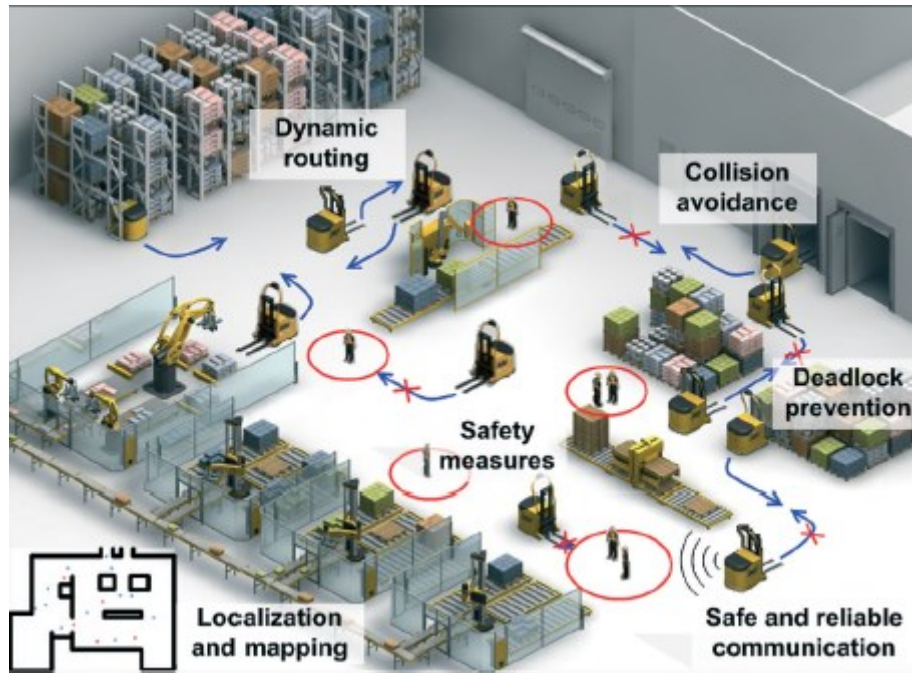
Άρθρο	Λειτουργίες			Τύπος
	Αποθήκευση	Μεταφορές	Διανομές	
Buss, 2021			•	Article
capital.gr 2021	•			Article
Elta-courier, 2021	•			Article
European Automobile Manufacturers Association, 2017		•		Report
Fernández-Caramés et al., 2019	•			Journal
Fritschy and Spinler, 2019		•		Journal
Goel and Gupta, 2020	•			Chapter
Hardesty, 2017	•			Article
Heutger and Kückelhaus, 2014			•	Report
Hobbs, 2018			•	Article
Kovačić et al., 2019	•			Journal
Kückelhaus et al., 2020	•	•	•	Report
Lee et al., 2018b	•			Conference
Marr, 2021			•	Article
Rejeb et al., 2021	•		•	Journal
Swisslog, 2020	•			Article

5.4.1 Ρομποτική και αυτοματισμός στην αποθήκευση

Η ρομποτική στην αποθήκευση μπορεί να αυτοματοποιήσει κουραστικές για τον άνθρωπο εργασίες αυξάνοντας την ασφάλεια και την ταχύτητα ολοκλήρωσης των διεργασιών στην αποθήκη, διευκολύνοντας τους εργαζόμενους. Τα Αυτοματοποιημένα καθοδηγούμενα οχήματα (AGVs) και τα Αυτόνομα Κινητά Ρομπότ (AMRs) υπόκεινται στον τομέα της ρομποτικής. Σε αυτό το πλαίσιο χρησιμοποιούνται αισθητήρες RFID, σαρωτές LiDAR, κάμερες, αισθητήρες πλοήγησης, και αυτά τα ρομπότ μπορούν να αναγνωρίσουν τις πληροφορίες των εμπορευμάτων και να κινηθούν αυτόνομα στον χώρο της αποθήκης (Lee et al., 2018b). Αυτή η αυτονομία των ρομπότ επιτυγχάνεται με την βοήθεια του διαδικτύου των πραγμάτων και της τεχνητής νοημοσύνης.

Τα αυτοματοποιημένα καθοδηγούμενα οχήματα (AGV) αποτελούν την βάση για τον χειρισμό εμπορευμάτων εντός της αποθήκης και αποτελούνται από μικρότερα υποσυστήματα

τα οποία είναι υπεύθυνα για την ομαλή και ασφαλή κίνηση στην αποθήκη (Κοναϊέ et al., 2019). Αυτά τα υποσυστήματα είναι: ο εντοπισμός και η χαρτογράφηση του περιβάλλοντος της αποθήκης, η ασφαλή και αξιόπιστη επικοινωνία, η αποφυγή εμποδίων, η δυναμική δρομολόγηση της κίνησης, η πρόληψη για αποφυγή δημιουργίας αδιεξόδων, και τα μέτρα ασφαλείας (Εικόνα XX).



Εικόνα 5.4 Κύρια υποσυστήματα των AGVs (Κοναϊέ et al., 2019)

Ένα παράδειγμα χρήσης των AGVs στις αποθήκες είναι αυτό της Freudenberg Italy, η οποία προσφέρει προϊόντα και υπηρεσίες σε διάφορους κλάδους της βιομηχανίας. Στο ιταλικό κέντρο διανομής αποθηκεύονται εξαρτήματα αυτοκινήτων που εξυπηρετούν τους πελάτες τους σε όλη την Ιταλία και την Ευρώπη. Η εταιρεία αποφάσισε να αναθέσει ένα κομμάτι της συλλογής στο ρομπότ CarryPick της εταιρείας Swisslog, το οποίο επιτρέπει την αυτόματη αποθήκευση και συλλογή. Τα οχήματα αυτά επιτρέπουν τη μεταφορά των ραφιών από τις θέσεις αποθήκευσης στους σταθμούς εργασίας και αντίστροφα, μειώνοντας τη διαδρομή των χειριστών στην αποθήκη και μεγιστοποιώντας τους χρόνους παραλαβής παραγγελιών. (Μελέτη περίπτωσης από Swisslog, 2020)

Μια μεγάλη αποθήκη μπορεί να επωφεληθεί από τη χρήση αυτόνομων κινητών ρομπότ (AMR) και να αυτοματοποιήσει σχεδόν πλήρως την αποθήκη. Χρησιμοποιώντας αισθητήρες πλοήγησης και κάμερες, τα AMR μπορούν να εντοπίσουν εμπόδια και να τα αποφύγουν. Επιπλέον, μπορούν να αναλύσουν το περιβάλλον της αποθήκης και να εκτελέσουν την κίνηση μόνο όταν είναι εξασφαλισμένη η επιτυχία στην κίνησή τους. Ακόμα, μπορούν να μεταφέρουν

αγαθά εντός της αποθήκης χωρίς ανθρώπινη συμμετοχή μειώνοντας έτσι τον ανθρώπινο παράγοντα στην αποθήκη (Goel and Gurta, 2020).

Ένα παράδειγμα χρήσης των AMRs στις αποθήκες είναι αυτό των ΕΛΤΑ, έναν Όμιλο Επιχειρήσεων που παρέχει ταχυδρομικές υπηρεσίες στην Ελλάδα. Το καλοκαίρι του 2021 ξεκίνησαν να χρησιμοποιούν ρομπότ για την διαλογή των δεμάτων στην αποθήκη τους στο Κρυονέρι Αττικής με σκοπό την μείωση των σφαλμάτων και την αύξηση της ταχύτητας. Πιο αναλυτικά, το νέο ρομποτικό σύστημα διαλογής επιτυγχάνει αύξηση ταχύτητας διαλογής κατά 250%, μπορεί να διασφαλίσει την παράδοση την επόμενη ημέρα, διαχειρίζεται το 80% των δεμάτων, παρέχει αυτόματο υπολογισμό βάρους και τιμολόγηση των αντικειμένων, μειώνει τα σφάλματα, και αυξάνει την προστασία των αντικειμένων, ενώ παράλληλα μειώνει τον ανθρώπινο παράγοντα μέσα στις αποθήκες. (Μελέτη περίπτωσης από: Elta-courier, 2021 και capital.gr, 2021)

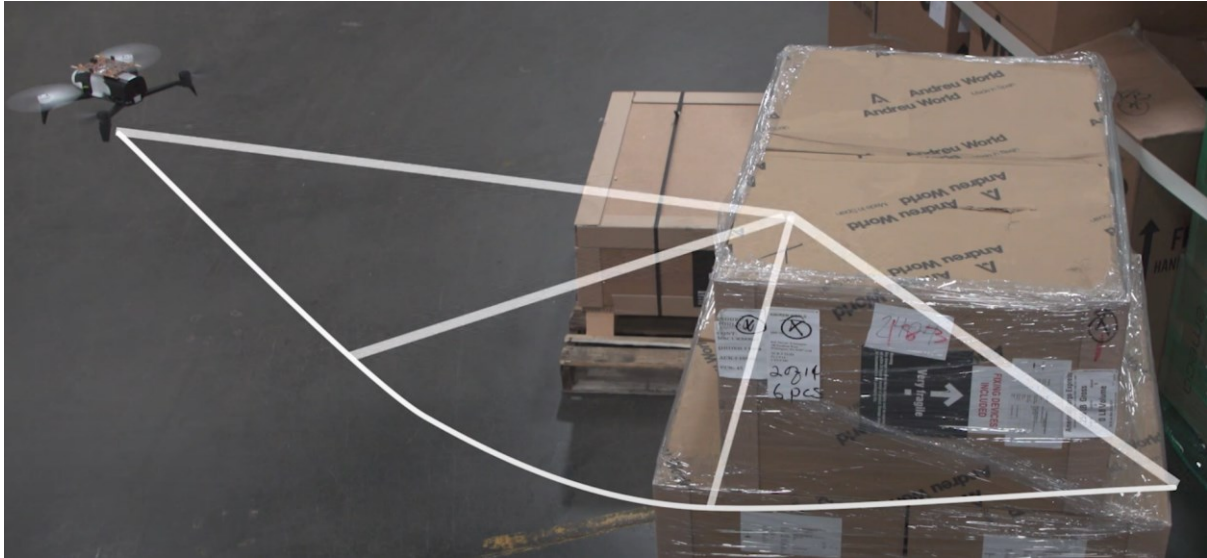


Εικόνα 5.5 Χρήση των ρομπότ σε αποθήκη στα ΕΛΤΑ (Elta-courier, 2021)

Μία άλλη τεχνολογία που χρησιμοποιείται στην αποθήκη είναι αυτή των μη επανδρωμένων εναέριων οχημάτων (UAVs), τα οποία έχουν εξελιχθεί πολύ τα τελευταία χρόνια από άποψη τεχνολογίας (π.χ. επεξεργαστές, αισθητήρες, πλαίσια UAV) και έχουν μειώσει σημαντικά το κόστος τους. Τα UAV μπορούν να βοηθήσουν στις αποθήκες σε εργασίες που εκτελούνται σε τακτική βάση, όπως ο προσδιορισμός του αποθέματος και η διατήρηση της ιχνηλασιμότητας των αντικειμένων (Fernández-Caramés et al., 2019).

Στο MIT ανέπτυξαν ένα σύστημα που επιτρέπει σε μικρά UAVs να διαβάζουν ετικέτες RFID από δεκάδες μέτρα μακριά και να εντοπίζουν τις θέσεις των ετικετών με μέσο σφάλμα περίπου 19 εκατοστών. Αυτό το σύστημα μπορεί να χρησιμοποιηθεί σε μεγάλες αποθήκες για συνεχή παρακολούθηση για αποφυγή λανθασμένης τοποθέτησης αποθεμάτων, έτσι ώστε οι

εργαζόμενοι να μπορούν να ανταποκρίνονται πιο γρήγορα κατά την συλλογή των εμπορευμάτων. (Hardesty, 2017)



Εικόνα 5.6 UAV κατά τον προσδιορισμό της θέσης των εμπορευμάτων (Hardesty, 2017)

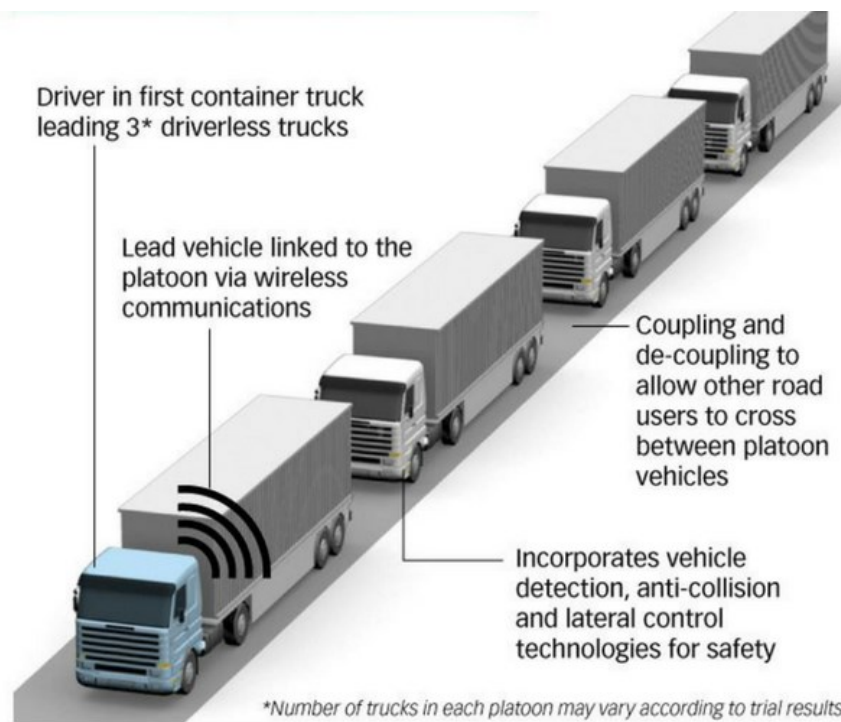
Μια άλλη χρήση των UAV μπορεί να είναι η επιτήρηση της αποθήκης η οποία περιλαμβάνει την παρακολούθηση των εγκαταστάσεων και περιουσιακών στοιχείων, και μπορεί να διασφαλίσει ότι οι αποθήκες χρησιμοποιούνται σε πλήρη χωρητικότητα και προστατεύονται. Πιο συγκεκριμένα, το UAV μπορεί να κάνει τακτικούς ελέγχους στην αποθήκη ελέγχοντας για τυχών ζημιές στον χώρο της αποθήκης ή να εκτελεί ελέγχους για κλοπές. Ακόμα, μπορεί να προσδιορίζει τον όγκο των εμπορευμάτων με σκοπό την βέλτιστη διαχείρισή τους. (Kückelhaus et al., 2020)

5.4.2 Ρομποτική και αυτοματισμός στις Μεταφορές

Στις μεταφορές έχουν αναπτυχθεί αυτόνομα φορτηγά τα οποία χρησιμοποιούνται σε αυτοκινητόδρομους, και χρειάζονται έναν οδηγό πίσω από το τιμόνι. Υπάρχουν συστήματα που παίρνουν το έλεγχο μόνο πάνω από κάποιο όριο αλλά και συστήματα που λειτουργούν σε όλες τις ταχύτητες. Σε κάθε περίπτωση χρησιμοποιούνται τεχνολογίες υπολογιστικής όρασης σε συνδυασμό με αλγορίθμους μηχανικής μάθησης για την λήψη αποφάσεων. Τα πλεονεκτήματα τέτοιων οχημάτων είναι η ασφάλεια, διότι τα φορτηγά δεν βασίζονται πια στα αντανακλαστικά του οδηγού αλλά σε αξιόπιστους αισθητήρες, η εξοικονόμηση καυσίμων, η μείωση της φθοράς των οχημάτων, και η αξιοποίηση των οδηγών για περισσότερες δουλειές, όπως εργασίες γραφείου, διότι όσο το φορτηγό κινείται μόνο του ο οδηγός μπορεί να αξιοποιήσει τον χρόνο αυτό (Fritschy and Spinler, 2019).

Τα αυτόνομα φορτηγά βρίσκονται σε δοκιμαστικό στάδιο με την Daimler Trucks και την Torc Robotics αναπτύσσοντας και δοκιμάζοντας αυτοματοποιημένα φορτηγά σε δημόσιους δρόμους. Τα αρχικά δρομολόγια ήταν σε αυτοκινητόδρομους στη νοτιοδυτική Βιρτζίνια, όπου έχει την έδρα της η Torc Robotics και όλες οι αυτοματοποιημένες διαδρομές απαιτούν έναν μηχανικό που επιβλέπει το σύστημα και έναν άρτια εκπαιδευμένο οδηγό ασφαλείας. Η χρήση τους σε δημόσιους δρόμους πραγματοποιείται μετά από μήνες εκτεταμένων δοκιμών. (daimlertruck.com)

Ένα άλλο παράδειγμα είναι αυτό του «Platooning» που σύμφωνα με την Ευρωπαϊκή Ένωση Κατασκευαστών Αυτοκινήτων είναι η σύνδεση δύο ή περισσότερων φορτηγών σε συνοδεία, χρησιμοποιώντας τεχνολογίες συνδεσιμότητας και αυτοματοποιημένα συστήματα υποστήριξης οδήγησης (Εικόνα 5.7). Αυτά τα οχήματα διατηρούν αυτόματα μια καθορισμένη, κοντινή απόσταση μεταξύ τους όταν συνδέονται για ορισμένα μέρη ενός ταξιδιού, όπως οι αυτοκινητόδρομοι. Το πρώτο φορτηγό της διμοιρίας λειτουργεί ως ηγέτης, με τα οχήματα πίσω να αντιδρούν και να προσαρμόζονται στις αλλαγές στην κίνησή του - απαιτώντας ελάχιστη έως καθόλου δράση από τους οδηγούς. Ακόμα, τα φορτηγά μειώνουν την κατανάλωση καυσίμου και τις εκπομπές CO² διότι τα φορτηγά μπορούν να κινηθούν πιο κοντά μεταξύ τους με αποτέλεσμα η τριβή του αέρα να μειώνεται σημαντικά. Τέλος, το platooning βοηθά στην βελτίωση της ασφάλειας διότι το φρενάρισμα είναι αυτόματο και άμεσο. (European Automobile Manufacturers Association, 2017)



Εικόνα 5.7 Platooning (Duan, 2017)

5.4.3 Ρομποτική και αυτοματισμός στις διανομές

Καθώς αυξάνονται οι παραγγελίες στο ηλεκτρονικό εμπόριο και οι πελάτες γίνονται όλο και πιο απαιτητικοί, ζητώντας παραδόσεις την επόμενη μέρα (ή ακόμα και την ίδια μέρα) οι εταιρείες ψάχνουν τρόπους να αυτοματοποιήσουν κάποιες διαδικασίες μειώνοντας παράλληλα τα κόστη. Τα UAV θα μπορούσαν να προσφέρουν μεγάλη μείωση της κυκλοφορίας στο κέντρο των πόλεων. Μπορεί, τα ωφέλιμα φορτία να είναι περιορισμένα, αλλά η χρήση των UAV θα μπορούσε να υποστηρίξει αρκετά τις διανομές μέσα στις πόλεις (Heutger and Kückelhaus, 2014).

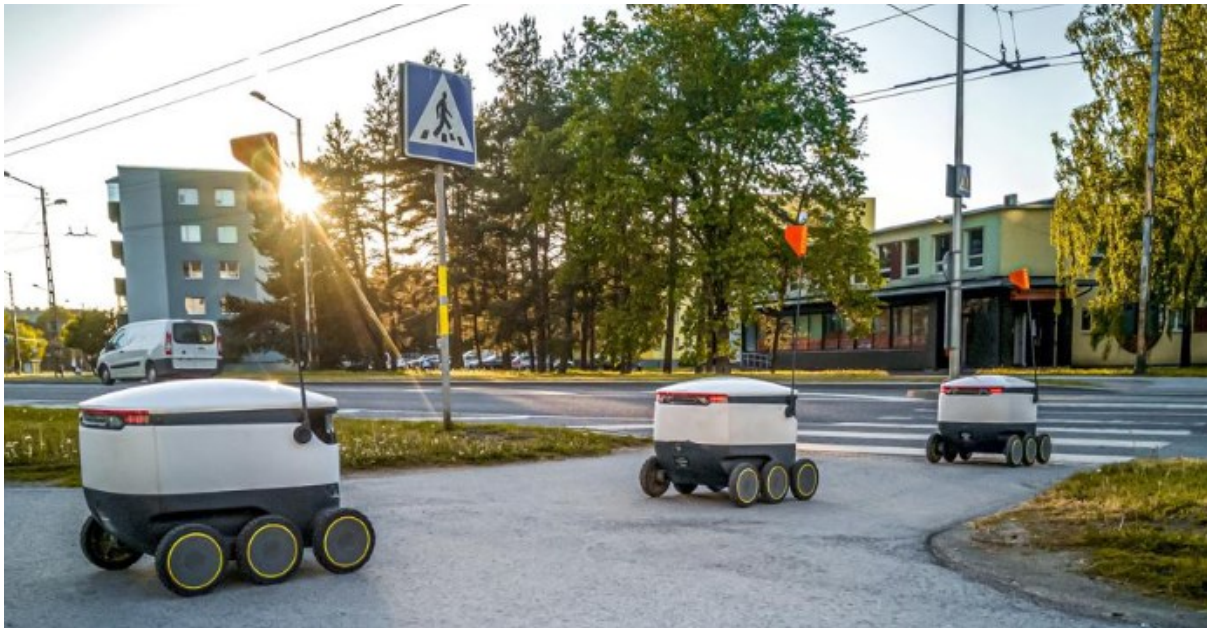
Ένα παράδειγμα χρήσης των UAV στις μεταφορές είναι αυτό της DHL με το ρομπότ Parcelcopter. Το σύστημα σχεδιάστηκε για να είναι εντελώς αυτόματο, με ελάχιστη ανθρώπινη παρέμβαση. Το Parcelcopter μπορεί να παραδώσει το πακέτο με ασφάλεια παρά τις αντίξοες καιρικές συνθήκες, σε μικρό χρονικό διάστημα. Τον Οκτώβριο του 2018, η εταιρεία ολοκλήρωσε δοκιμές παράδοσης drone στην Τανζανία, παραδίδοντας φάρμακα σε ένα νησί στη λίμνη Βικτώρια. Ως αποτέλεσμα, το UAV ολοκλήρωσε μια πτήση 60 χιλιομέτρων σε μόλις 40 λεπτά. Το ίδιο ταξίδι στην ξηρά θα διαρκούσε περίπου έξι ώρες, χωρίς να υπολογίζονται οι καθυστερήσεις που συνήθως συμβαίνουν λόγω του δύσκολου εδάφους. (Hobbs, 2018)



Εικόνα 5.8 UAV Parcelcopter (Heutger and Kückelhaus, 2014)

Παράλληλα, κινητά ρομπότ χρησιμοποιούνται για παραδόσεις κατοίκων. Ένα παράδειγμα χρήσης των αυτόνομων κινητών ρομπότ στις διανομές είναι αυτό της Starship, μια εταιρεία που αναπτύσσει ρομπότ για αυτόνομη παράδοση, ιδρύθηκε το 2014, και αυτή τη στιγμή κατέχει περισσότερα από χίλια ρομπότ και έχει ολοκληρώσει περισσότερες από τρία εκατομμύρια αυτόνομες μεταφορές σε διάφορες τοποθεσίες στο Ηνωμένο Βασίλειο και τις ΗΠΑ. Αυτά τα οχήματα χρησιμοποιούν αλγορίθμους μηχανικής μάθησης και συνεχώς

μαθαίνουν από το περιβάλλον καθιστώντας τα πιο αποτελεσματικά και ασφαλή. Ακόμα, η πλειοψηφία των διανομών γίνονται πλήρως αυτόνομες, ενώ υπάρχουν χειριστές οι οποίοι παρεμβαίνουν στην περίπτωση που τα ρομπότ συναντήσουν κάτι πρωτόγνωρο. Τα ρομπότ διαθέτουν διάφορους αισθητήρες, συμπεριλαμβανομένων καμερών με υπολογιστική όραση, ραντάρ και αισθητήρες υπερήχων που ανιχνεύουν στερεά αντικείμενα όπως κράσπεδα και τοίχους. (Marr, 2021)



Εικόνα 5.9 Αυτόνομα ρομπότ της Starship (Marr, 2021)

Ένα άλλο παράδειγμα χρήσης της ρομποτικής στις διανομές είναι αυτό της Domino's Pizza, μιας αμερικανικής πολυεθνικής αλυσίδας πιτσαριών που ιδρύθηκε το 1960, η οποία σε συνεργασία με Nuro, μιας αμερικανικής εταιρείας ρομποτικής που ιδρύθηκε το 2016, δημιούργησαν ένα αυτόνομο αυτοκίνητο για την διανομή πίτσας (Εικόνα 5.10). Πιο συγκεκριμένα, οι πελάτες μπορούν να υποβάλουν μια παραγγελία στον ιστότοπο της εταιρείας και να ζητήσουν από ρομπότ να κάνει την παράδοση. Αυτό το ρομπότ είναι το πρώτο αυτόνομο όχημα παράδοσης χωρίς επιβάτες, με έγκριση από το Υπουργείο Μεταφορών των ΗΠΑ όπως αναφέρεται από τον Buss (2021). Ακόμα, οι πελάτες που παραγγέλνουν με επιλογή παράδοσης το ρομπότ έχουν την δυνατότητα παρακολούθησης του ρομπότ μέσω GPS και λαμβάνουν ειδοποιήσεις οι οποίες τους ενημερώνουν για την τοποθεσία του. Επιπλέον, το ρομπότ διαθέτει 360° και θερμικές κάμερες, lidar και ραντάρ για την κατανόηση του περιβάλλοντος. (Buss, 2021)



Εικόνα 5.10 Αυτόνομο ρομπότ Nuro R2 για παράδοση παραγγελιών. (Buss, 2021)

5.5 Προσομοίωση

Στον παρακάτω πίνακα κατηγοριοποιούνται οι δημοσιεύσεις σχετικές με την προσομοίωση σε σχέση με τις λειτουργίες του εκτελεστικού σκέλους της αλυσίδας εφοδιασμού οι οποίες χρησιμοποιήθηκαν στην παρούσα εργασία.

Πίνακας 5.4 Δημοσιεύσεις που διερευνήθηκαν σχετικά με το εκτελεστικό σκέλος της αλυσίδας εφοδιασμού με χρήση προσομοίωσης

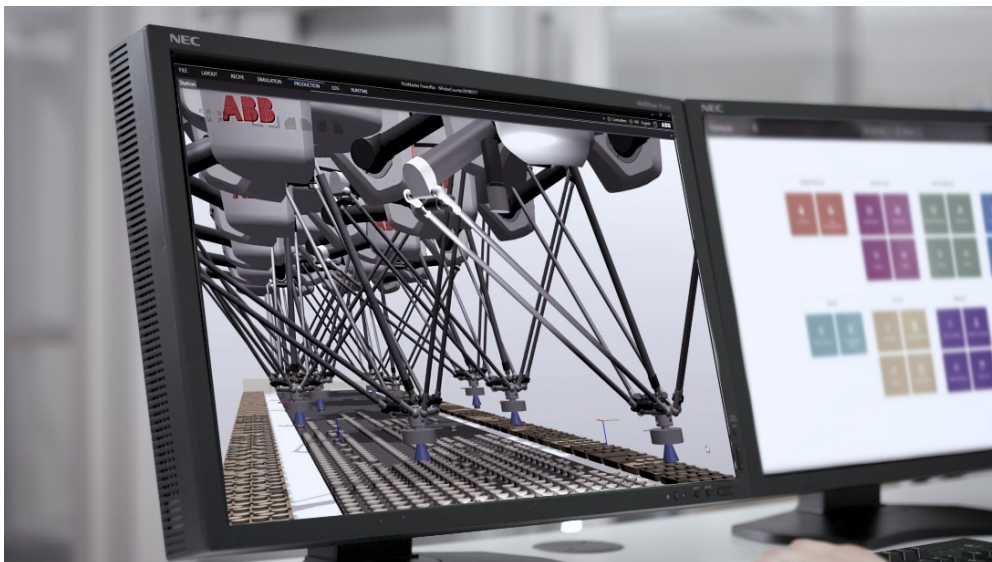
Άρθρο	Λειτουργίες				Τύπος
	Αποθήκευση	Μεταφορές	Διανομές	Επιστροφές	
Charpentier et al., 2021	•				Journal
Dohrman, Gesing and Ward, 2019	•	•	•	•	Report
Galea-Pace, 2020	•				Article
Hartmann, 2020	•	•	•		Report
Krishnamurthi and Kumar, 2020	•				Chapter
Radanliev et al., 2021		•			Journal
Spiegel, 2019	•				Article
Stuijt, 2021				•	Thesis

Η προσομοίωση στο εκτελεστικό σκέλος της αλυσίδας εφοδιασμού βοηθά στην διαχείριση των προκλήσεων της εφοδιαστικής αλυσίδας παρέχοντας σαφή εικόνα για τα πολύπλοκα δίκτυα των συνεργατών δοκιμάζοντας διάφορα σενάρια. Πιο συγκεκριμένα, μπορεί να γίνει προσομοίωση της αλυσίδας εφοδιασμού εξερευνώντας αλληλένδετα, δυναμικά

και τυχαία γεγονότα που επηρεάζουν την επιχείρηση με σκοπό την λήψη σωστών αποφάσεων (Krishnamurthi and Kumar, 2020).

Σήμερα, η εξέλιξη των αισθητήρων και των ΤΠΕ επιτρέπει την διασύνδεση φυσικών στοιχείων, που μέχρι σήμερα ήταν εκτός σύνδεσης, με ψηφιακά μοντέλα. Με αυτόν τον τρόπο, οι αλλαγές που υφίσταται το φυσικό αντικείμενο αντικατοπτρίζονται στο ψηφιακό μοντέλο και οι γνώσεις που προέρχονται από το μοντέλο επιτρέπουν τη λήψη αποφάσεων σχετικά με το φυσικό αντικείμενο (Radanliev et al., 2021). Ένα είδος της προσομοίωσης που χρησιμοποιείται ολοένα και περισσότερο στην εφοδιαστική αλυσίδα είναι το Ψηφιακό Δίδυμο (Digital Twin). Σε αυτό το πλαίσιο μπορεί να επεκτείνει τα οφέλη του IoT που ήδη εφαρμόζονται σήμερα και να δώσει μια καλύτερη εικόνα όσον αφορά το σχεδιασμό και την λειτουργία των αλυσίδων εφοδιασμού, από μεμονωμένα περιουσιακά στοιχεία και αποστολές μέχρι ολόκληρα παγκόσμια δίκτυα εφοδιασμού (Dohrman, Gesing and Ward, 2019).

Ένα παράδειγμα είναι αυτό της ABB Robotics, ενός κατασκευαστή και προμηθευτή ρομποτικών συστημάτων, που ανέπτυξε ένα ψηφιακό δίδυμο που επιτρέπει στους χρήστες να δοκιμάσουν ρομποτικές διαμορφώσεις σε εικονικές γραμμές παραγωγής και συλλογής σε μια αποθήκη. Επιπλέον, μπορεί να συνδεθεί απευθείας με τις διαδικασίες συλλογής, επιτρέποντας τη βελτιστοποίηση της διαδικασίας, ενώ παράλληλα δίνει την δυνατότητα προσομοίωσης διαφορετικών τρόπων συλλογής. (Spiegel, 2019)



Εικόνα 5.11 Πρόγραμμα προσομοίωσης (Spiegel, 2019)

Ένα παράδειγμα της προσομοίωσης στην αποθήκη είναι αυτό της DHL όπου χρησιμοποίησε το ψηφιακό δίδυμο σε αποθήκες στην Ασία για την Tetra Pak, μια πολυεθνική εταιρεία συσκευασίας και επεξεργασίας τροφίμων. Η αλυσίδα εφοδιασμού της DHL εστιάζει

σε τεχνολογίες και διαδικασίες, όπως φορτηγά εξοπλισμένα με τεχνολογία IoT όπου τα εισερχόμενα και εξερχόμενα αγαθά παρακολουθούνται για να διασφαλιστεί ότι όλα τα προϊόντα αποθηκεύονται με τον σωστό τρόπο. Παράλληλα, η Tetra Pak ανέπτυξε μια έξυπνη λύση αποθήκευσης που παρακολουθεί και προσομοιώνει τη φυσική κατάσταση και τα επίπεδα αποθεμάτων σε πραγματικό χρόνο, επιτρέποντας τον συνεχή συντονισμό των λειτουργιών βρίσκοντας τα σφάλματα, και βελτιώνοντας την ασφάλεια και την παραγωγικότητα στην αποθήκη. Αυτή η κοινή εφαρμογή του ψηφιακού διδύμου βελτιώνει τις δραστηριότητες αποθήκευσης και μεταφορών της Tetra Pak μειώνοντας τα κόστη. (Galea-Pace, 2020)

Μια άλλη χρήση της προσομοίωσης είναι στην τοποθέτηση των εμπορευμάτων σε παλέτες και σε containers. Η αύξηση της ποικιλίας των προϊόντων και η ανάπτυξη του ηλεκτρονικού εμπορίου έχει οδηγήσει σε αύξηση των παραγγελιών και μεταφορών δεμάτων με διάφορα μεγέθη. Συνεπώς, οι εταιρείες logistics πρέπει να βρουν αποτελεσματικούς τρόπους για να βελτιώσουν τον τρόπο που τοποθετούνται αυτά τα δέματα σε παλέτες και containers έτσι ώστε να μην υφίστανται ζημιές. Οι Charpentier et al. (2021) έχουν φτιάξει ένα μοντέλο προσομοίωσης με βάση το ψηφιακό δίδυμο που μπορεί να χρησιμοποιηθεί σε όλη την εφοδιαστική αλυσίδα κατά τις φάσεις φόρτωσης/εκφόρτωσης, για τον έλεγχο της πληρότητας ενός φορτίου, και για την εύρεση της συγκεκριμένης θέσης ενός εμπορευματοκιβωτίου. Επίσης, αυτό το μοντέλο χρησιμοποιεί δεδομένα από αισθητήρες που είναι τοποθετημένοι στα container.

Ένα άλλο παράδειγμα χρήσης της προσομοίωσης στην εφοδιαστική αλυσίδα είναι αυτό της Bosch που χρησιμοποιεί ψηφιακό δίδυμο στην πραγματική αλυσίδα εφοδιασμού, βελτιώνοντας τις διαδικασίες. Λόγω των απρόσμενων αλλαγών των απαιτήσεων της αγοράς η βελτιστοποίηση και ο σχεδιασμός των αλλαγών συχνά καταλήγουν σε σφάλματα και μπορούν να επηρεάσουν σοβαρά τη συνεχόμενη παραγωγή οδηγώντας σε ελλείψεις εφοδιασμού και σοβαρές απώλειες χρημάτων. Η δημιουργία ενός μοντέλου προσομοίωσης της πραγματικής αλυσίδας εφοδιασμού καθιστά δυνατή τη βελτιστοποίηση των διαδικασιών χωρίς την εκτέλεση πραγματικών δοκιμών στο φυσικό σύστημα. Αυτό μπορεί να περιλαμβάνει απρόσμενες αλλαγές στην ζήτηση ή σε εμπόδια που επηρεάζουν την μεταφορά των προϊόντων. Αυτή η βελτιστοποίηση, πραγματοποιείται στο σύστημα και μόνο η καλύτερη λύση του σεναρίου εφαρμόζεται. (Μελέτη περίπτωσης: Hartmann, 2020)



Εικόνα 5.12 Προσομοίωση διασύνδεσης αλυσίδας εφοδιασμού (productive40.eu)

Επιπρόσθετα, η προσομοίωση μπορεί να χρησιμοποιηθεί στην αντίστροφη αλυσίδα εφοδιασμού και ως παράδειγμα είναι η Heineken, μια πολυεθνική εταιρεία ζυθοποιίας, που η βασική διεργασία της αντίστροφης αλυσίδας εφοδιασμού της είναι οι επιστροφές των συσκευασιών – μπουκαλιών. Οι συσκευασίες προωθούνται από το σημείο που τις επιστρέφει ο πελάτης στο ζυθοποιείο, και κάθε πράκτορας επιστρέφει τις συσκευασίες όταν αυτός το επιθυμεί αναλόγως με τις προτεραιότητές του. Συνεπώς, αυτό μπορεί να οδηγήσει σε περιττό κόστος αποθέματος. Με την χρήση ψηφιακών διδύμων μπορεί να προβλεφθεί πιο αποδοτικά η συμπεριφορά της αντίστροφης αλυσίδας εφοδιασμού και η συνάρτηση πρόβλεψης περιλαμβάνει ανάλυση της συμπεριφοράς της εφοδιαστικής αλυσίδας πριν από τον πραγματικό χρόνο εκτέλεσης. Η προγραμματισμένη ροή των κιβωτίων προσομοιώνεται πριν από την μεταφορά τους με σκοπό να ελεγχθούν οι παράμετροι της εφοδιαστικής αλυσίδας και να αξιολογηθούν οι πιθανές επιπτώσεις στην απόδοση της. Ακόμα, η λειτουργία της παρακολούθησης των κιβωτίων βελτιώνεται όταν τα μοντέλα δέχονται δεδομένα σε πραγματικό χρόνο από φυσικές πηγές, όπως τα RFID. Τα δεδομένα από τα RFID, συμπεριλαμβανομένων των δεδομένων θέσης σε πραγματικό χρόνο από τα κιβώτια, μπορούν να χρησιμοποιηθούν από το ψηφιακό δίδυμο και αν η τρέχουσα κατάσταση αποκλίνει από την προτιμώμενη κατάσταση, τότε μπορεί να αλλάξουν οι προτάσεις όσον αφορά τον τρόπο μεταφοράς. (Μελέτη περίπτωσης από Stuijt, 2021)

5.6 Τεχνητή Νοημοσύνη

Στον παρακάτω πίνακα κατηγοριοποιούνται οι δημοσιεύσεις σχετικές με την τεχνητή νοημοσύνη σε σχέση με τις λειτουργίες του εκτελεστικού σκέλους της αλυσίδας εφοδιασμού οι οποίες χρησιμοποιήθηκαν στην παρούσα εργασία.

Πίνακας 5.5 Δημοσιεύσεις που διερευνήθηκαν σχετικά με το εκτελεστικό σκέλος της αλυσίδας εφοδιασμού με χρήση τεχνητής νοημοσύνης

Άρθρο	Λειτουργίες				Τύπος
	Αποθήκευση	Μεταφορές	Διανομές	Επιστροφές	
Caterpillar, 2020		•			Report
Fernández-Caramés et al., 2019	•				Journal
Fritschy and Spinler, 2019		•			Journal
Gesing, Peterson and Michelsen, 2018	•	•	•	•	Report
Goel and Gupta, 2020	•				Chapter
Marr, 2021			•		Article
Owczarek, 2022			•		Article
Seyedan and Mafakheri, 2020	•	•	•	•	Journal
Stuijt, 2021				•	Thesis

Η Τεχνητή Νοημοσύνη στο εκτελεστικό σκέλος της εφοδιαστικής αλυσίδας παρέχει δυνατότητες βελτιστοποίησης της παραγωγικότητας, της αποτελεσματικότητας, και της ποιότητας, ενισχύοντας την ασφάλεια των εργαζομένων (Seyedan and Mafakheri, 2020). Η τεχνητή νοημοσύνη ενισχύει τις υπόλοιπες τεχνολογίες που αναφέρθηκαν σε αυτό το κεφάλαιο στα πλαίσια του Industry 4.0. Πιο συγκεκριμένα, τα έξυπνα γυαλιά AR χρησιμοποιούν αλγορίθμους μηχανικής μάθησης και υπολογιστικής όρασης προκειμένου να αναγνωρίζουν το περιβάλλον και να εμφανίζουν τις κατάλληλες σημάνσεις. Επίσης, τα ρομποτικά συστήματα, έχουν γνώση του περιβάλλοντος τους και λαμβάνουν αποφάσεις με σκοπό την εκτέλεση της εργασίας τους. Με την χρήση αλγορίθμων μηχανικής μάθησης, βαθιάς μάθησης (deep learning), και ενισχυτικής μάθησης (reinforcement learning) μαθαίνουν από το περιβάλλον τους και προσαρμόζονται σε αυτό. Για παράδειγμα, τα AGVs και AMRs που αναλύθηκαν σε προηγούμενη ενότητα χρησιμοποιούν τέτοιους αλγορίθμους έτσι ώστε τα ρομπότ να μπορούν να αναγνωρίσουν εμπόδια, να εντοπίσουν το προϊόν και να λάβουν αποφάσεις σχετικά με την επόμενη τους κίνηση.

Ακόμα, η τεχνητή νοημοσύνη χρησιμοποιείται στην διαχείριση των αποθεμάτων με την χρήση υπολογιστικής όρασης. Η γαλλική startup Qorpius ανέπτυξε μια εφαρμογή τεχνητής

νοημοσύνης βασισμένη σε υπολογιστική όραση για τη μέτρηση της απόδοσης των ραφιών και την παρακολούθηση προϊόντων με σκοπό την βελτίωση των διεργασιών. Χρησιμοποιώντας μεθόδους deep learning αναγνώριση εικόνας, είναι σε θέση να εξάγει τα χαρακτηριστικά των ειδών και την κατάσταση των ραφιών. Με αυτό τον τρόπο δίνεται η δυνατότητα για διαχείριση των αποθεμάτων σε πραγματικό χρόνο σε επίπεδο μεμονωμένου τεμαχίου και SKU. (Gesing, Peterson and Michelsen, 2018)

Επιπλέον, στο παράδειγμα που αναλύθηκε στην προηγούμενη ενότητα σχετικά με τους οδηγούς οχημάτων της Caterpillar, η οποία έχει αναπτύξει σύστημα έτσι ώστε να αποτρέψει ατυχήματα λόγω κόπωσης και υπνηλίας των οδηγών φορτηγών, χρησιμοποιείται μέθοδος υπολογιστικής όρασης που είναι ικανή να αναλύει τα μάτια του οδηγού μέσα από γυαλιά και στο σκοτάδι και να κρίνει πότε είναι κουρασμένος, παρακολουθώντας βασικούς δείκτες όπως το μέγεθος της κόρης και η συχνότητα που ο οδηγός ανοιγοκλείνει τα μάτια του. (Caterpillar, 2020)

Μια εφαρμογή που χρησιμοποιείται στην αποθήκη κατά την διαδικασία της συλλογής είναι αυτή της συλλογής υποβοηθούμενη από εικονικό πράκτορα. Με την χρήση ακουστικών μέσων ο εικονικός πράκτορας δίνει οδηγίες στον υπάλληλο και αντίστοιχα ο υπάλληλος με φωνητικές εντολές ζητά διευκρινήσεις. Μια αμερικανική εταιρεία, η AVRIL, δίνει την δυνατότητα συνομιλίας με τον υπάλληλο με σκοπό την αύξηση της παραγωγικότητας. Πιο συγκεκριμένα, το σύστημα μπορεί να ερμηνεύσει το σημασιολογικό νόημα και την πρόθεση μιας φράσης και στη συνέχεια να δώσει πληροφορίες σχετικά με τα προϊόντα που περιέχονται στο σύστημα της αποθήκης. Αυτή η διαδικασία γίνεται με χρήση τεχνητής νοημοσύνης. (Gesing, Peterson and Michelsen, 2018)

Επιπρόσθετα, η τεχνητή νοημοσύνη εφαρμόζεται και στα αυτόνομα οχήματα που χρησιμοποιούνται στις μεταφορές και στις διανομές. Ομοίως με τα ρομποτικά συστήματα που αναφέρθηκαν σε αυτή την ενότητα, τα αυτόνομα οχήματα είναι σε θέση να αναλύουν ακαριαία χιλιάδες δεδομένα και να παίρνουν την σωστή απόφαση. Αυτή η διαδικασία είναι πολύ σημαντική διότι κινούνται σε ένα περιβάλλον με ανθρώπους και η ασφάλειά τους είναι η κύρια προτεραιότητα.

Όσον αφορά τις διανομές, μια από τις πιο κρίσιμες λειτουργίες είναι η βελτιστοποίηση διαδρομής. Η καθυστέρηση κατά την παράδοση είναι συχνό φαινόμενο για τις εταιρείες logistics διότι υπάρχει μη αναμενόμενη συμφόρηση σε συγκεκριμένους δρόμους. Μια καλά βελτιστοποιημένη διαδρομή μπορεί να εξοικονομήσει χρόνο και χρήμα και υπάρχουν διάφοροι παράγοντες που πρέπει να ληφθούν υπόψη κατά τον σχεδιασμό μιας διαδρομής παράδοσης,

όπως η κυκλοφοριακή συμφόρηση, οι προτιμήσεις των πελατών, και η διαθεσιμότητα πόρων (Owczarek, 2022). Σε αυτό το πλαίσιο οι αλγόριθμοι μηχανικής εκμάθησης μπορούν να χρησιμοποιηθούν για τη βελτιστοποίηση των διαδρομών παράδοσης. Για παράδειγμα, ένα μοντέλο εκμάθησης σχεδιασμού διαδρομής θα μπορούσε να εκπαιδευτεί με ιστορικά δεδομένα από το σύστημα διαχείρισης παραγγελιών μιας εταιρείας για να προτείνει την πιο αποτελεσματική διαδρομή για ένα σύνολο παραδόσεων (Owczarek, 2022). Διαφορετικά, με την χρήση δεδομένων συμφόρησης των δρόμων σε πραγματικό χρόνο το σύστημα μπορεί να επιλέξει την βέλτιστη διαδρομή εξοικονομώντας χρόνο και καύσιμα. Για να επιτευχθεί αυτό γίνεται χρήση της τεχνολογίας IoT αλλά και της προηγμένης αναλυτικής που θα αναλυθεί στην επόμενη ενότητα.

5.7 Μεγάλα Δεδομένα και προηγμένη αναλυτική

Στον παρακάτω πίνακα κατηγοριοποιούνται οι δημοσιεύσεις σχετικές με τα μεγάλα δεδομένα και την ανάλυσή τους σε σχέση με τις λειτουργίες του εκτελεστικού σκέλους της αλυσίδας εφοδιασμού οι οποίες χρησιμοποιήθηκαν στην παρούσα εργασία.

Πίνακας 5.6 Δημοσιεύσεις που διερευνήθηκαν σχετικά με το εκτελεστικό σκέλος της αλυσίδας εφοδιασμού με χρήση των μεγάλων δεδομένων και την ανάλυσή τους

Άρθρο	Λειτουργίες				Τύπος
	Αποθήκευση	Μεταφορές	Διανομές	Επιστροφές	
Bujel, 2018		•	•		Article
Buntz, 2017	•	•	•		Article
Goel and Gupta, 2020	•				Chapter
Horwitz, 2020			•		Article
Khan et al., 2017	•	•			Conference
Lavingia and Tanwar, 2020	•				Chapter
Ma, 2018	•				Conference
Papcun et al., 2019	•				Conference
Seyedan and Mafakheri, 2020	•	•	•	•	Journal
Stuijt, 2021				•	Thesis

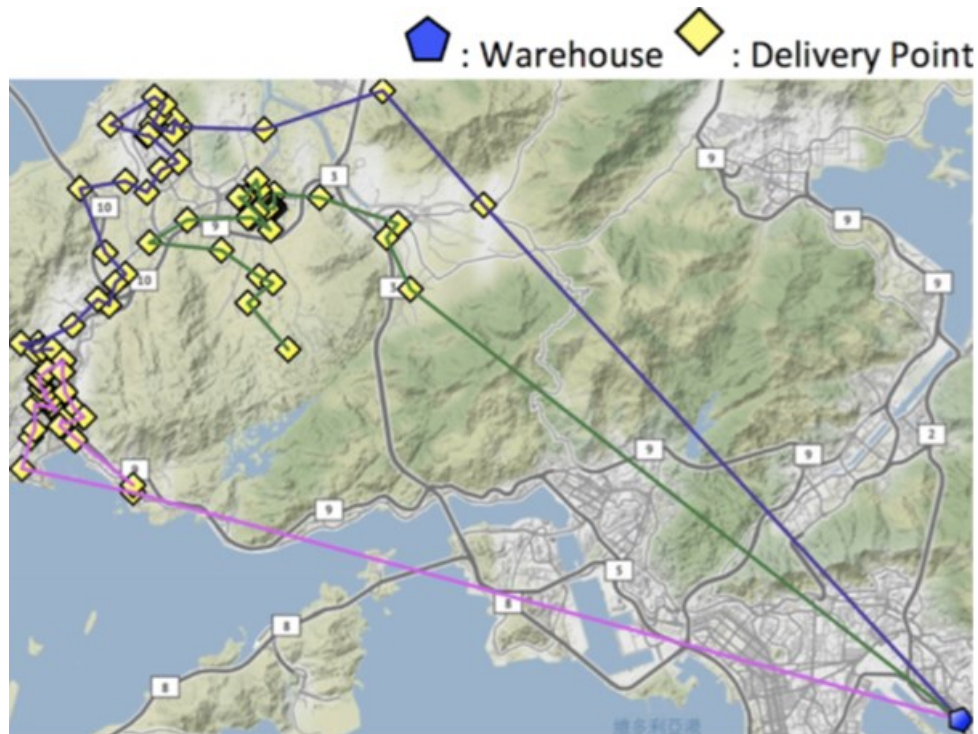
Οι επιχειρήσεις που προσπαθούν να αυξήσουν την αποτελεσματικότητα και την κερδοφορία στο εκτελεστικό σκέλος της αλυσίδας εφοδιασμού θα πρέπει να λαμβάνουν υπόψη τα μεγάλα δεδομένα και να αντλούν πληροφορίες με χρήση προηγμένων αναλυτικών εργαλείων (Seyedan and Mafakheri, 2020). Τα μεγάλα δεδομένα και η αναλυτική τους μπορούν να υποστηρίξουν τις λειτουργίες της αλυσίδας εφοδιασμού παράγοντας γνώση και δίνοντας χρήσιμες πληροφορίες που βοηθούν στην λήψη αποφάσεων. Πιο συγκεκριμένα, αυτά

τα δεδομένα μπορεί να χρησιμοποιηθούν για την βελτίωση των διεργασιών στην αποθήκη, στις μεταφορές και τις διανομές υποστηρίζοντας άλλες τεχνολογίες που αναφέρθηκαν, όπως την ρομποτική, την τεχνητή νοημοσύνη, την επαυξημένη πραγματικότητα και την προσομοίωση.

Για παράδειγμα, η χρήση των έξυπνων γυαλιών AR που προβάλλει δεδομένα στο χρήστη συλλέγει δεδομένα σχετικά με την λειτουργικότητά τους σε συνεργασία με αυτόν. Αυτά τα δεδομένα στην συνέχεια είναι μια πολύ καλή ανατροφοδότηση όσον αφορά την αποτελεσματικότητά τους και μπορεί να χρησιμοποιηθούν για την βελτίωση της συσκευής και κατ' επέκταση των διεργασιών (Parcun et al., 2019).

Οι συσκευές IoT που βρίσκονται στην αποθήκη, σε οχήματα ή σε ρομποτικά συστήματα παράγουν μεγάλο όγκο δεδομένων. Αυτά τα δεδομένα μπορούν να χρησιμοποιηθούν για την βελτίωση των υπαρχόντων συστημάτων και διεργασιών. Ένα παράδειγμα αξιοποίησης των δεδομένων με προηγμένη αναλυτική είναι αυτό της ABB Robotics που κάνει πρόβλεψη συντήρησης στα συστήματα ρομποτικής της χρησιμοποιώντας συνδεδεμένους αισθητήρες για να παρακολουθεί τις ανάγκες συντήρησης των ρομπότ της και ενεργοποιεί την διαδικασία επισκευής πριν σπάσουν τα ανταλλακτικά (Buntz, 2017).

Ένα άλλο παράδειγμα χρήσης των μεγάλων δεδομένων και της προηγμένης αναλυτικής τους είναι αυτό της βελτίωσης των διαδρομών των οχημάτων της GOGOVAN, μιας εταιρείας που επικεντρώνεται στη μεταφορά εμπορευμάτων σε αστικές περιοχές. Καθημερινά, οι οδηγοί της GOGOVAN κάνουν μεγάλες διαδρομές σε αποθήκες σε όλη την Ασία παραλαμβάνοντας χιλιάδες παραγγελίες για παράδοση σε πελάτες και η ομάδα σχεδιασμού των διαδρομών έπρεπε να βρει την βέλτιστη διαδρομή για την παράδοση των δεμάτων. Αν αυτή η διαδικασία γίνει από ένα άτομο, χρειάζεται περίπου μία ώρα για να υπολογίσει μια διαδρομή 100 σημείων ενός οχήματος, ενώ για μεγαλύτερης πολυπλοκότητας προβλήματα αυτός ο χρόνος αυξάνεται εκθετικά. Για να επιλύσουν αυτό το πρόβλημα αποφάσισαν να δημιουργήσουν έναν αλγόριθμο εσωτερικά στην εταιρεία, διότι δεν τους κάλυπταν οι έτοιμες λύσεις των εταιρειών στον χώρο. Συνεπώς, χρησιμοποιώντας μια μέθοδο αναδρομής κατάφεραν να μειώσουν σημαντικά τους χρόνους εκτέλεσης και τη χρήση μνήμης, διατηρώντας παράλληλα παρόμοια ποιότητα αποτελεσμάτων σε σχέση με άλλες μεθόδους, όπως τα εργαλεία βελτιστοποίησης της Google. Αυτός ο αλγόριθμος αύξησε την αποτελεσματικότητα αυτής της διαδικασίας, μειώνοντας την καθημερινή χειρωνακτική εργασία των υπαλλήλων από ώρες σε λίγα λεπτά με χρήση του προγράμματος. (Bujel, 2018)



Εικόνα 5.13 Αποτελέσματα χρήσης του προγράμματος εύρεσης βέλτιστης διαδρομής (Bujel, 2018)

Τα δεδομένα που παράγονται από την χρήση των ρομπότ και των αλγορίθμων μηχανικής μάθησης μπορεί να αξιοποιηθούν. Για κάθε δευτερόλεπτο χρήσης του ρομπότ απορρέουν πολλά δεδομένα και αν αθροιστούν στο σύνολο τους για όλα τα ρομπότ της επιχείρησης τότε μπορεί να θεωρηθούν ως μεγάλα δεδομένα (Khan et al., 2017). Στην συνέχεια, θα πρέπει να γίνει επεξεργασία αυτών των δεδομένων με την χρήση προηγμένων αναλυτικών μεθόδων προκειμένου να χρησιμοποιηθούν για την βελτίωση των υπαρχόντων συστημάτων και για την εκπαίδευση αλγορίθμων μηχανικής μάθησης.

Εν κατακλείδι, τα μεγάλα δεδομένα και η προηγμένη αναλυτική τους μπορούν να υποστηρίξουν τις υπόλοιπες τεχνολογίες στα πλαίσια της τέταρτης βιομηχανικής επανάστασης και να βελτιώσουν της υπάρχουσες μεθόδους παρέχοντας σαφή δεδομένα και γνώση.

6

Σύνοψη και Συμπεράσματα

Οι στόχοι της παρούσας μεταπτυχιακής εργασίας, εστίαζαν στην καταγραφή των βασικών λειτουργιών της εφοδιαστικής αλυσίδας, στην βιβλιογραφική επισκόπηση των τεχνολογιών Industry 4.0, στην αποτύπωση των βασικών εννοιών και χαρακτηριστικών του Industry 4.0 και των υποκείμενων τεχνολογιών, την κατηγοριοποίησή τους, και την διασύνδεση των τεχνολογιών Industry 4.0 με τις λειτουργίες της αλυσίδας εφοδιασμού.

Στην εργασία πραγματοποιήθηκε μια συστηματική βιβλιογραφική επισκόπηση των τεχνολογιών που σχετίζονται με το Industry 4.0 στις βασικές λειτουργίες της εφοδιαστικής διοίκησης, με σκοπό την κατηγοριοποίησή τους. Για κάθε μια από τις τεχνολογίες αυτές, αναλύθηκε ο ρόλος τους στο Industry 4.0, οι δημοσιεύσεις που διερευνήθηκαν, οι εφαρμογές τους, και έγινε κατηγοριοποίηση των δημοσιεύσεων με βάση τα χαρακτηριστικά και τα είδη των τεχνολογιών αυτών. Ακόμα, αναλύθηκε ο τρόπος με τον οποίο οι τεχνολογίες Industry 4.0 χρησιμοποιούνται στον σχεδιασμό και στο εκτελεστικό σκέλος της αλυσίδας εφοδιασμού με την παράθεση εφαρμογών και μελετών περίπτωσης.

Κατά την συστηματική βιβλιογραφική επισκόπηση για την κατηγοριοποίηση των τεχνολογιών από τις 616 δημοσιεύσεις σχετικές με το Industry 4.0 διερευνήθηκαν οι 324 πιο σχετικές δημοσιεύσεις σε επιστημονικά περιοδικά, άρθρα, βιβλία αλλά και αναφορές και άρθρα για επιχειρήσεις.

Από τις συνολικά 324 δημοσιεύσεις οι 57 δημοσιεύτηκαν το 2021, οι 86 το 2020, οι 69 το 2019, οι 52 το 2018, οι 37 το 2017, οι 17 το 2016 και οι 6 μέχρι το 2015. Ακόμα, συνολικά οι 203 δημοσιεύσεις είναι σε επιστημονικά περιοδικά, οι 77 σε επιστημονικά συνέδρια, οι 12 είναι κεφάλαια βιβλίων, οι 7 είναι βιβλία, οι 4 είναι αναφορές εταιριών, ενώ οι 21 είναι άρθρα σε ιστοσελίδες. Γενικά οι δημοσιεύσεις που διερευνήθηκαν ήταν πρόσφατες, με το 65% να είναι δημοσιευμένες μετά το 2019, και αποτελούν ολοκληρωμένες έρευνες, με το 69% να είναι

δημοσιεύσεις σε επιστημονικά περιοδικά, βιβλία, και αναφορές εταιρειών. Ακόμα, έγινε διερεύνηση των δημοσιεύσεων ως προς την χώρα προέλευσης των ιδρυμάτων που εργάζονται οι συγγραφείς τους με πρώτη χώρα τις Ηνωμένες Πολιτείες όπου η συνεισφορά των αμερικανικών ιδρυμάτων σε αυτή την έρευνα ανέρχεται περίπου στο 11%.

Σε αυτή την έρευνα αναδεικνύεται ο ρόλος των τεχνολογιών Industry 4.0 της εφοδιαστικής αλυσίδας στην μετάβαση στην τέταρτη βιομηχανική επανάσταση. Πιο συγκεκριμένα, κατά τον σχεδιασμό της εφοδιαστικής αλυσίδας το Blockchain μπορεί να παίζει σημαντικό ρόλο ενισχύοντας την ασφάλεια, την διαφάνεια και την ιχνηλασιμότητα βοηθώντας στην αυτοματοποίηση κάποιων διεργασιών (π.χ. smart contracts). Τη χρήση του Blockchain έρχεται να ενισχύσει το IoT αυξάνοντας την ιχνηλασιμότητα. Παράλληλα, με την χρήση του IoT οι εταιρείες Logistics μπορούν να έχουν σωστά και σαφή δεδομένα των εμπορευμάτων και να παρακολουθούν την κατάσταση τους σε επίπεδο προϊόντος τόσο κατά την μεταφορά όσο κατά την αποθήκευση. Αυτό επιτυγχάνεται με την χρήση αισθητήρων οι οποίοι παράγουν έναν τεράστιο όγκο δεδομένων κάθε μέρα. Αυτός ο όγκος δεδομένων πρέπει να επεξεργαστεί για να αποθηκευτεί με σκοπό τη εξαγωγή κάποιας γνώσης και για αυτό έχουν αναπτυχθεί εργαλεία διαχείρισης και ανάλυσης των μεγάλων δεδομένων. Αυτά τα δεδομένα χρησιμοποιούνται είτε από προηγμένα εργαλεία ανάλυσης είτε από συστήματα τεχνητής νοημοσύνης. Σε αυτό το πλαίσιο, η τεχνητή νοημοσύνη θεωρείται ως μία από τις βασικές τεχνολογίες για την αντιμετώπιση των προκλήσεων της εφοδιαστικής αλυσίδας στην τέταρτη βιομηχανική επανάσταση και χρησιμοποιείται σχεδόν σε όλες τις εφαρμογές σε μια επιχείρηση. Επιπλέον, η ακρίβεια της πρόβλεψης ζήτησης μπορεί να βελτιωθεί σημαντικά με αλγόριθμους μηχανικής μάθησης και εργαλεία εξόρυξης δεδομένων, που μπορούν να κατηγοριοποιούν τα δεδομένα, να αναλύσουν τα αποτελέσματα, και να μάθουν για τις σχετικές σχέσεις. Όσο πιο ακριβής είναι η πρόβλεψη τόσο πιο αποδοτικές μπορεί να γίνουν οι λειτουργίες μια επιχείρησης, από την παραγωγή των προϊόντων μέχρι την διανομή τους. Ακόμα, η επαυξημένη πραγματικότητα, η οποία αξιοποιεί τις δυνατότητες των προαναφερθέντων τεχνολογιών μπορεί να δημιουργήσει μια νέα ψηφιακή εμπειρία για τον πελάτη, να κάνει πιο αποδοτική τη διαδικασία συλλογής παραγγελιών η οποία περιλαμβάνει τη συλλογή προϊόντων με χρήση φορητής συσκευής, και να βελτιώσει τις διαδικασίες μεταφορών. Επιπρόσθετα, η της χρήση ρομποτικής μπορεί να αυτοματοποιήσει κουραστικές για τον άνθρωπο εργασίες αυξάνοντας την ασφάλεια και την ταχύτητα ολοκλήρωσης των διεργασιών τόσο στην αποθήκη όσο στις διανομές και μεταφορές, διευκολύνοντας τους εργαζόμενους. Η ρομποτική ενισχύεται με την χρήση της τεχνητής

νοημοσύνης δημιουργώντας συστήματα τα οποία λειτουργούν αυτόνομα και λαμβάνουν αποφάσεις.

Για την χρήση τέτοιων τεχνολογιών οι εταιρείες καλούνται να επενδύσουν ένα μεγάλο ποσό για την έρευνα και την ανάπτυξη αντίστοιχων συστημάτων τα οποία μπορεί να φανεί στο τέλος ότι δεν αποφέρουν το επιθυμητό αποτέλεσμα. Με τη χρήση μεθόδων προσομοίωσης η εκάστοτε εταιρεία μπορεί να προσομοιώσει το σύστημα που θέλει να αναπτύξει πριν την επένδυση για αυτό και να καταλήξει αν τελικά την συμφέρει. Ακόμα, η χρήση της προσομοίωσης γίνεται και για την βελτίωση υφιστάμενων συστημάτων.

Τέλος, η μελλοντική έρευνα μπορεί να περιλαμβάνει την διερεύνηση του αντίκτυπου που έχουν κάποιες παγκόσμιες καταστάσεις στην υιοθέτηση αυτών των τεχνολογιών από τις επιχειρήσεις. Για παράδειγμα, η πανδημία του Covid-19 οδήγησε τις εταιρείες σε όλο τον κόσμο να αλλάξουν τη δομή και τον τρόπο που σκέφτονται.

- Αυξήθηκε όμως ο ρυθμός μετάβασης προς την τέταρτη βιομηχανική επανάσταση;
- Αναπτύχθηκαν περαιτέρω οι τεχνολογίες οι οποίες βοηθούν στην μείωση της μετάδοσης του ιού; (π.χ. ανάπτυξη ρομποτικών συστημάτων για τις διανομές κ.ο.κ.)
- Άλλαξε η συμπεριφορά των καταναλωτών απέναντι σε εταιρείες που χρησιμοποιούν τέτοιες τεχνολογίες;

Παράλληλα, ο πρόσφατος πόλεμος στην Ουκρανία, έχει αναγκάσει πολλές επιχειρήσεις να κάνουν τροποποιήσεις στην αλυσίδα εφοδιασμού τους αλλάζοντας προμηθευτές και τρόπους μεταφοράς των προϊόντων τους. Η χρήση τεχνολογιών Industry 4.0 μπορεί να βοηθήσει κατά τον σχεδιασμό της αλυσίδας εφοδιασμού, αλλά σε ποιο βαθμό στρέφονται οι επιχειρήσεις σε αυτές;

Αυτές οι ερωτήσεις μπορεί να είναι η αρχή μιας νέας έρευνας μετά το τέλος της πανδημίας και του πολέμου επεκτείνοντας την υπάρχουσα.

Βιβλιογραφία

- Aheleroff, S., Xu, X., Zhong, R.Y. and Lu, Y., 2021. Digital twin as a service (DTaaS) in industry 4.0: an architecture reference model. *Advanced Engineering Informatics*, 47, p.101225.
- Aitken R., 2017, IBM & Walmart Launching Blockchain Food Safety Alliance In China With Fortune 500's JD.com, <https://www.forbes.com/sites/rogeraitken/2017/12/14/ibm-walmart-launching-blockchain-food-safety-alliance-in-china-with-fortune-500s-jd-com/> [Πρόσβαση: 15/06/2022]
- Akram, S.V., Malik, P.K., Singh, R., Anita, G. and Tanwar, S., 2020. Adoption of blockchain technology in various realms: Opportunities and challenges. *Security and Privacy*, 3(5), p.e109.
- Alatise, M.B. and Hancke, G.P., 2020. A review on challenges of autonomous mobile robot and sensor fusion methods. *IEEE Access*, 8, pp.39830-39846.
- Alcácer, V. and Cruz-Machado, V., 2019. Scanning the industry 4.0: A literature review on technologies for manufacturing systems. *Engineering science and technology, an international journal*, 22(3), pp.899-919.
- Alexsoft, 2022, Demand Forecasting Methods: Using Machine Learning and Predictive Analytics to See the Future of Sales, <https://www.altexsoft.com/blog/demand-forecasting-methods-using-machine-learning/> [Πρόσβαση: 15/06/2022]
- Aliev, K. and Antonelli, D., 2021. Proposal of a Monitoring System for Collaborative Robots to Predict Outages and to Assess Reliability Factors Exploiting Machine Learning. *Applied Sciences*, 11(4), p.1621.
- Alladi, T., Chamola, V., Parizi, R.M. and Choo, K.K.R., 2019. Blockchain applications for industry 4.0 and industrial IoT: A review. *IEEE Access*, 7, pp.176935-176951.
- Almada-Lobo, F., 2015. The Industry 4.0 revolution and the future of Manufacturing Execution Systems (MES). *Journal of innovation management*, 3(4), pp.16-21.
- Analytics Insight, 2021, How big data analytics can be used to improve customer experience?, <https://www.analyticsinsight.net/how-big-data-analytics-can-be-used-to-improve-customer-experience/> [Πρόσβαση: 15/06/2022]
- Angelopoulos, A., Michailidis, E.T., Nomikos, N., Trakadas, P., Hatziefremidis, A., Voliotis, S. and Zahariadis, T., 2020. Tackling faults in the industry 4.0 era—a survey of machine-learning solutions and key aspects. *Sensors*, 20(1), p.109.
- Arbabian, M.E. and Wagner, M.R., 2020. The impact of 3D printing on manufacturer–retailer supply chains. *European Journal of Operational Research*, 285(2), pp.538-552.

- Ardito, L., Petruzzelli, A.M., Panniello, U. and Garavelli, A.C., 2019. Towards Industry 4.0: Mapping digital technologies for supply chain management-marketing integration. *Business Process Management Journal*.
- Arromba, I.F., Martin, P.S., Ordoñez, R.C., Anholon, R., Rampasso, I.S., Santa-Eulalia, L.A., Martins, V.W.B. and Quelhas, O.L.G., 2020. Industry 4.0 in the product development process: benefits, difficulties and its impact in marketing strategies and operations. *Journal of Business & Industrial Marketing*.
- Ashima, R., Haleem, A., Bahl, S., Javaid, M., Mahla, S.K. and Singh, S., 2021. Automation and manufacturing of smart materials in Additive Manufacturing technologies using Internet of Things towards the adoption of Industry 4.0. *Materials Today: Proceedings*, 45, pp.5081-5088.
- ASTM F2792-12a, “Standard Terminology for Additive Manufacturing Technologies,” (Withdrawn 2015) ASTM International, pp. 1–3, West Conshohocken, PA, 2012.
- Ayamga, M., Akaba, S. and Nyaaba, A.A., 2021. Multifaceted applicability of drones: A review. *Technological Forecasting and Social Change*, 167, p.120677.
- B2X, 2021, CUSTOMER CARE 2025 All Digital and DIY: How Millennials and Generation Z Push the Boundaries of the Customer Experience As We Know It
- Bag, S., Wood, L.C., Mangla, S.K. and Luthra, S., 2020. Procurement 4.0 and its implications on business process performance in a circular economy. *Resources, conservation and recycling*, 152, p.104502.
- Bahrin, M.A.K., Othman, M.F., Azli, N.H.N. and Talib, M.F., 2016. Industry 4.0: A review on industrial automation and robotic. *Jurnal Teknologi*, 78(6-13).
- Bai, C., Dallasega, P., Orzes, G. and Sarkis, J., 2020. Industry 4.0 technologies assessment: A sustainability perspective. *International journal of production economics*, 229, p.107776.
- Beke, É., Bódi, A., Katalin, T.G., Kovács, T., Maros, D. and Gáspár, L., 2018, November. The role of drones in linking industry 4.0 and ITS Ecosystems. In 2018 IEEE 18th International Symposium on Computational Intelligence and Informatics (CINTI) (pp. 000191-000198). IEEE.
- Benotsmane, R., Kovács, G. and Dudás, L., 2019. Economic, social impacts and operation of smart factories in Industry 4.0 focusing on simulation and artificial intelligence of collaborating robots. *Social Sciences*, 8(5), p.143.
- Bettioli, M., Capestro, M. and Di Maria, E., 2017. Industry 4.0: the strategic role of marketing. *Proceedings of the XIV Convegno Annuale SIM*, Bergamo, Italy, pp.26-27.
- Bhatt Y., 2020, A Comprehensive Guide to IoT Inventory Management, <https://www.biztechcs.com/blog/iot-inventory-management/> [Πρόσβαση: 15/06/2022]
- Bhatt, P.M., Kabir, A.M., Peralta, M., Bruck, H.A. and Gupta, S.K., 2019. A robotic cell for performing sheet lamination-based additive manufacturing. *Additive Manufacturing*, 27, pp.278-289.
- Bienhaus, F. and Haddud, A., 2018. Procurement 4.0: factors influencing the digitisation of procurement and supply chains. *Business Process Management Journal*.

- Bilan, Y., Rubanov, P., Vasylieva, T.A. and Lyeonov, S., 2019. The influence of industry 4.0 on financial services: Determinants of alternative finance development. *Polish Journal of Management Studies*.
- Bjorlin B., 2017, SAP aims to speed IoT prototypes with new IoT services, <https://www.iiotworldtoday.com/2017/07/12/sap-aims-speed-iiot-prototypes-new-iiot-services/> [Πρόσβαση: 15/06/2022]
- Bodkhe, U., Tanwar, S., Parekh, K., Khanpara, P., Tyagi, S., Kumar, N. and Alazab, M., 2020. Blockchain for industry 4.0: A comprehensive review. *IEEE Access*, 8, pp.79764-79800.
- Bonavolontá, F., Dallet, D., Erra, E., Grassi, A., Popolo, V., Tedesco, A. and Vespoli, S., 2020, May. Measuring Worker's Performance in Augmented Reality-assisted Industry 4.0 Procedures. In *2020 IEEE International Instrumentation and Measurement Technology Conference (I2MTC)* (pp. 1-6). IEEE.
- Bousdekis, A., Apostolou, D. and Mentzas, G., 2020. A human cyber physical system framework for operator 4.0–artificial intelligence symbiosis. *Manufacturing letters*, 25, pp.10-15.
- Bousdekis, A., Apostolou, D. and Mentzas, G., 2020. A human cyber physical system framework for operator 4.0–artificial intelligence symbiosis. *Manufacturing letters*, 25, pp.10-15.
- Brailsford, S.C., Eldabi, T., Kunc, M., Mustafee, N. and Osorio, A.F., 2019. Hybrid simulation modelling in operational research: A state-of-the-art review. *European Journal of Operational Research*, 278(3), pp.721-737.
- Brozzi, R., Forti, D., Rauch, E. and Matt, D.T., 2020. The advantages of industry 4.0 applications for sustainability: results from a sample of manufacturing companies. *Sustainability*, 12(9), p.3647.
- Bruzzi, S., Genco, V. and Balbi, N., 2019. The new frontiers of procurement in the digital age. Results of an empirical survey on procurement 4.0 in Italy. *Sinergie Italian Journal of Management*, 37(2), pp.93-118.
- Bujel K., 2018, Improving Operations with Route Optimization, <https://towardsdatascience.com/improving-operations-with-route-optimization-4b8a3701ca39> [Πρόσβαση: 15/06/2022]
- Buntz B., 2017, The Top 20 Industrial IoT Applications, <https://www.iiotworldtoday.com/2017/09/20/top-20-industrial-iiot-applications/> [Πρόσβαση: 15/06/2022]
- Buntz B., 2018a, Of Custom Shoes and Bottles: Digital Twin Technology Grows Up, <https://www.iiotworldtoday.com/2018/05/01/custom-shoes-and-bottles-digital-twin-technology-grows/> [Πρόσβαση: 15/06/2022]
- Buntz B., 2018b, IoT Lessons Based on Dell's Cold Chain Logistics Experience, <https://www.iiotworldtoday.com/2018/06/13/iiot-lessons-based-dell-s-cold-chain-logistics-experience/> [Πρόσβαση: 15/06/2022]

- Buss D., 2021, Domino's AV Test With Nuro Is A Picture Of Future Pizza Delivery, <https://www.forbes.com/sites/dalebuss/2021/04/29/dominos-av-test-with-nuro-is-a-picture-of-future-pizza-delivery/> [Πρόσβαση: 15/06/2022]
- Butt, J., 2020. Exploring the interrelationship between additive manufacturing and Industry 4.0. *Designs*, 4(2), p.13.
- Byrd M., 2020, How to Use Augmented Reality in Logistics, <https://www.globaltranz.com/augmented-reality-in-logistics-2> [Πρόσβαση: 15/06/2022]
- Cagliano, R., Canterino, F., Longoni, A. and Bartezzaghi, E., 2019. The interplay between smart manufacturing technologies and work organization: the role of technological complexity. *International Journal of Operations & Production Management*.
- Calignano, F., Manfredi, D., Ambrosio, E.P., Biamino, S., Lombardi, M., Atzeni, E., Salmi, A., Minetola, P., Iuliano, L. and Fino, P., 2017. Overview on additive manufacturing technologies. *Proceedings of the IEEE*, 105(4), pp.593-612.
- Caliskan, A., Özen, Y.D.Ö. and Ozturkoglu, Y., 2020. Digital transformation of traditional marketing business model in new industry era. *Journal of Enterprise Information Management*.
- capital.gr, 2021, Ρομπότ αναλαμβάνουν τις διαδικασίες διαλογής στα ΕΛΤΑ, <https://www.capital.gr/epixeiriseis/3579174/rompot-analambanoun-tis-diadikasies-dialogis-sta-elta> [Πρόσβαση: 15/06/2022]
- carear.com, 2021, Service IT Direct utilizes CareAR to power Smart Handz saving customers up to 85% of their support costs, <https://carear.com/case-study/service-it-direct/> [Πρόσβαση: 15/06/2022]
- Carter, C. and Koh, L., 2018. Blockchain disruption in transport: are you decentralised yet?.
- Casalino, A., Bazzi, D., Zanchettin, A.M. and Rocco, P., 2019, May. Optimal proactive path planning for collaborative robots in industrial contexts. In 2019 International Conference on Robotics and Automation (ICRA) (pp. 6540-6546). IEEE.
- Caterpillar, 2020, SEE, MANAGE AND MITIGATE OPERATOR FATIGUE & DISTRACTION WITH THE CAT DRIVER SAFETY SYSTEM, https://www.cat.com/en_US/by-industry/mining/surface-mining/surface-technology/detect1/fatigue.html [Πρόσβαση: 15/06/2022]
- Ceruti, A., Marzocca, P., Liverani, A. and Bil, C., 2019. Maintenance in aeronautics in an Industry 4.0 context: The role of augmented reality and additive manufacturing. *Journal of Computational Design and Engineering*, 6(4), pp.516-526.
- Chang, V., Baudier, P., Zhang, H., Xu, Q., Zhang, J. and Arami, M., 2020. How Blockchain can impact financial services—The overview, challenges and recommendations from expert interviewees. *Technological forecasting and social change*, 158, p.120166.
- Charpentier, P., Chaxel, F., Krommenacker, N., Bombardier, V. and Seguel, F., 2021. Pervasive Digital Twin for PI-Containers: A New Packing Problem. *Sensors*, 21(23), p.7999.
- Chen, B., Wan, J., Shu, L., Li, P., Mukherjee, M. and Yin, B., 2017. Smart factory of industry 4.0: Key technologies, application case, and challenges. *Ieee Access*, 6, pp.6505-6519.

- Chen, H. and Zhao, Y.F., 2016. Process parameters optimization for improving surface quality and manufacturing accuracy of binder jetting additive manufacturing process. *Rapid Prototyping Journal*.
- Chen, H.L., 2021. Impact of Industry 4.0 on Corporate Financial Performance: A Moderated Mediation Model. *Sustainability*, 13(11), p.6069.
- Cheng, G.J., Liu, L.T., Qiang, X.J. and Liu, Y., 2016, June. Industry 4.0 development and application of intelligent manufacturing. In 2016 international conference on information system and artificial intelligence (ISAI) (pp. 407-410). IEEE.
- Cheng, Y., Chen, K., Sun, H., Zhang, Y. and Tao, F., 2018. Data and knowledge mining with big data towards smart production. *Journal of Industrial Information Integration*, 9, pp.1-13.
- Chiarello, F., Trivelli, L., Bonaccorsi, A. and Fantoni, G., 2018. Extracting and mapping industry 4.0 technologies using wikipedia. *Computers in Industry*, 100, pp.244-257.
- Chiriatti, G., Palmieri, G., Scoccia, C., Palpacelli, M.C. and Callegari, M., 2021. Adaptive Obstacle Avoidance for a Class of Collaborative Robots. *Machines*, 9(6), p.113.
- Christopher, M., 2016. *Logistics & supply chain management*. Pearson Uk.
- Churchill L., 2021, 7 New Technologies to Improve Customer Service in 2021, <https://customerthink.com/7-new-technologies-to-improve-customer-service-in-2021/> [Πρόσβαση: 15/06/2022]
- Cimini, C., Pezzotta, G., Pinto, R. and Cavalieri, S., 2018, June. Industry 4.0 technologies impacts in the manufacturing and supply chain landscape: an overview. In *International Workshop on Service Orientation in Holonic and Multi-Agent Manufacturing* (pp. 109-120). Springer, Cham.
- Cimino, C., Negri, E. and Fumagalli, L., 2019. Review of digital twin applications in manufacturing. *Computers in Industry*, 113, p.103130.
- Cole, R., Stevenson, M. and Aitken, J., 2019. Blockchain technology: implications for operations and supply chain management. *Supply Chain Management: An International Journal*.
- Consoli R., 2018, Using Big Data Analytics To Improve Production, <https://www.manufacturing.net/operations/article/13228439/using-big-data-analytics-to-improve-production> [Πρόσβαση: 15/06/2022]
- Corallo, A., Lazoi, M. and Lezzi, M., 2020. Cybersecurity in the context of industry 4.0: A structured classification of critical assets and business impacts. *Computers in industry*, 114, p.103165.
- Culot, G., Fattori, F., Podrecca, M. and Sartor, M., 2019. Addressing industry 4.0 cybersecurity challenges. *IEEE Engineering Management Review*, 47(3), pp.79-86.
- Daimlertruck, Automated Driving at Daimler Trucks, <https://www.daimlertruck.com/innovation/safe-automated/autonomous-driving-daimler-trucks.html> [Πρόσβαση: 15/06/2022]

- Dalenogare, L.S., Benitez, G.B., Ayala, N.F. and Frank, A.G., 2018. The expected contribution of Industry 4.0 technologies for industrial performance. *International Journal of Production Economics*, 204, pp.383-394.
- Dallasega, P., Rauch, E. and Linder, C., 2018. Industry 4.0 as an enabler of proximity for construction supply chains: A systematic literature review. *Computers in industry*, 99, pp.205-225.
- Dalmarco, G. and Barros, A.C., 2018. Adoption of Industry 4.0 technologies in supply chains. In *Innovation and Supply Chain Management* (pp. 303-319). Springer, Cham.
- Damiani, L., Demartini, M., Guizzi, G., Revetria, R. and Tonelli, F., 2018. Augmented and virtual reality applications in industrial systems: A qualitative review towards the industry 4.0 era. *IFAC-PapersOnLine*, 51(11), pp.624-630.
- Davahli, M.R., Karwowski, W. and Taiar, R., 2020. A system dynamics simulation applied to healthcare: A systematic review. *International journal of environmental research and public health*, 17(16), p.5741.
- de Paula Ferreira, W., Armellini, F. and De Santa-Eulalia, L.A., 2020. Simulation in industry 4.0: A state-of-the-art review. *Computers & Industrial Engineering*, p.106868.
- Deloitte, 2017, "Digital Procurement New Capabilities form Disruptive", Deloitte Report
- Demertzis, K., Iliadis, L., Pimenidis, E., Tziritas, N., Koziri, M. and Kikiras, P., 2021, June. Blockchained Adaptive Federated Auto MetaLearning BigData and DevOps CyberSecurity Architecture in Industry 4.0. In *International Conference on Engineering Applications of Neural Networks* (pp. 345-363). Springer, Cham.
- Demertzis, K., Iliadis, L., Tziritas, N. and Kikiras, P., 2020. Anomaly detection via blockchained deep learning smart contracts in industry 4.0. *Neural Computing and Applications*, 32(23), pp.17361-17378.
- Dhanabalan, T. and Sathish, A., 2018. Transforming Indian industries through artificial intelligence and robotics in industry 4.0. *International Journal of Mechanical Engineering and Technology*, 9(10), pp.835-845.
- Diaz J., 2020, Emerging Trends in the World of Procurement, <https://medium.com/procurement-and-sourcing-hub/emerging-trends-in-the-world-of-procurement-e7b69c1b220b> [Πρόσβαση: 15/06/2022]
- Dilberoglu, U.M., Gharehpapagh, B., Yaman, U. and Dolen, M., 2017. The role of additive manufacturing in the era of industry 4.0. *Procedia Manufacturing*, 11, pp.545-554.
- Dilmegani C, 2022, Demand Forecasting in the Age of AI & Machine Learning, <https://research.aimultiple.com/demand-forecasting/> [Πρόσβαση: 15/06/2022]
- Dobrovnik, M., Herold, D.M., Fürst, E. and Kummer, S., 2018. Blockchain for and in Logistics: What to Adopt and Where to Start. *Logistics*, 2(3), p.18.
- Dohrmann, K., B. Gesing, and J. Ward. "Digital Twins in Logistics." *Trend Report, Deutsche Post DHL Group, Germany* (2019): 8.
- Doinea, M., Boja, C., Batagan, L., Toma, C. and Popa, M., 2015. Internet of things based systems for food safety management. *Informatica Economica*, 19(1), p.87.

- Dolgui, A., Ivanov, D., Sethi, S.P. and Sokolov, B., 2019. Scheduling in production, supply chain and Industry 4.0 systems by optimal control: fundamentals, state-of-the-art and applications. *International Journal of Production Research*, 57(2), pp.411-432.
- Dong, F., Zhou, P., Liu, Z., Shen, D., Xu, Z. and Luo, J., 2017. Towards a fast and secure design for enterprise-oriented cloud storage systems. *Concurrency and Computation: Practice and Experience*, 29(19), p.e4177.
- Dopico, M., Gómez, A., De la Fuente, D., García, N., Rosillo, R. and Puche, J., 2016. A vision of industry 4.0 from an artificial intelligence point of view. In *Proceedings on the international conference on artificial intelligence (ICAI)* (p. 407). The Steering Committee of The World Congress in Computer Science, Computer Engineering and Applied Computing (WorldComp).
- Duan D., 2017, Truck Platooning: The Band of Semi-Trailers, <https://www.labroots.com/trending/chemistry-and-physics/7405/band-semi-trailers-truck-platooning> [Πρόσβαση: 15/06/2022]
- Efthymiou, O.K. and Ponis, S.T., 2019. Current status of Industry 4.0 in material handling automation and in-house logistics. *International Journal of Industrial and Manufacturing Engineering*, 13(10), pp.1370-1374.
- Elhoone, H., Zhang, T., Anwar, M. and Desai, S., 2020. Cyber-based design for additive manufacturing using artificial neural networks for Industry 4.0. *International Journal of Production Research*, 58(9), pp.2841-2861.
- Elta-courier, 2021, Η ΕΛΤΑ Courier σας καλωσορίζει στη νέα ψηφιακή εποχή!, <https://www.elta-courier.gr/robot-system> [Πρόσβαση: 15/06/2022]
- Emer, A., Unterhofer, M. and Rauch, E., 2021. A Cybersecurity Assessment Model for Small and Medium-Sized Enterprises. *IEEE Engineering Management Review*.
- Erboz, G., 2017. How to define industry 4.0: main pillars of industry 4.0. *Managerial trends in the development of enterprises in globalization era*, pp.761-767.
- Esmailian, B., Sarkis, J., Lewis, K. and Behdad, S., 2020. Blockchain for the future of sustainable supply chain management in Industry 4.0. *Resources, Conservation and Recycling*, 163, p.105064.
- Esposito, C., De Santis, A., Tortora, G., Chang, H. and Choo, K.K.R., 2018. Blockchain: A panacea for healthcare cloud-based data security and privacy?. *IEEE Cloud Computing*, 5(1), pp.31-37.
- European Automobile Manufacturers Association, 2017, WHAT IS TRUCK PLATOONING?
- Fatorachian, H. and Kazemi, H., 2021. Impact of Industry 4.0 on supply chain performance. *Production Planning & Control*, 32(1), pp.63-81.
- Fernandez-Carames, T.M. and Fraga-Lamas, P., 2019. A review on the application of blockchain to the next generation of cybersecure industry 4.0 smart factories. *Ieee Access*, 7, pp.45201-45218.
- Fernández-Caramés, T.M., Blanco-Novoa, O., Froiz-Míguez, I. and Fraga-Lamas, P., 2019. Towards an autonomous industry 4.0 warehouse: A UAV and blockchain-based system

- for inventory and traceability applications in big data-driven supply chain management. *Sensors*, 19(10), p.2394.
- Fernández-Caramés, T.M., Blanco-Novoa, O., Froiz-Míguez, I. and Fraga-Lamas, P., 2019. Towards an autonomous industry 4.0 warehouse: A UAV and blockchain-based system for inventory and traceability applications in big data-driven supply chain management. *Sensors*, 19(10), p.2394.
- Fernández-Caramés, T.M., Fraga-Lamas, P., Suárez-Albela, M. and Vilar-Montesinos, M., 2018. A fog computing and cloudlet based augmented reality system for the industry 4.0 shipyard. *Sensors*, 18(6), p.1798.
- Finance, A.T.C.C., 2015. Industry 4.0 Challenges and solutions for the digital transformation and use of exponential technologies. Finance, Audit Tax Consulting Corporate: Zurich, Swiss, pp.1-12.
- Fraga-Lamas, P. and Fernández-Caramés, T.M., 2019. A review on blockchain technologies for an advanced and cyber-resilient automotive industry. *IEEE access*, 7, pp.17578-17598.
- Fraga-Lamas, P., Fernandez-Carames, T.M., Blanco-Novoa, O. and Vilar-Montesinos, M.A., 2018. A review on industrial augmented reality systems for the industry 4.0 shipyard. *Ieee Access*, 6, pp.13358-13375.
- Fragapane, G., Ivanov, D., Peron, M., Sgarbossa, F. and 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*, pp.1-19.
- Frank, A.G., Dalenogare, L.S. and Ayala, N.F., 2019. Industry 4.0 technologies: Implementation patterns in manufacturing companies. *International Journal of Production Economics*, 210, pp.15-26.
- Frank, A.G., Dalenogare, L.S. and Ayala, N.F., 2019. Industry 4.0 technologies: Implementation patterns in manufacturing companies. *International Journal of Production Economics*, 210, pp.15-26.
- Frank, A.G., Mendes, G.H., Ayala, N.F. and Ghezzi, A., 2019. Servitization and Industry 4.0 convergence in the digital transformation of product firms: A business model innovation perspective. *Technological Forecasting and Social Change*, 141, pp.341-351.
- Frazelle, E., 2020. *Supply chain strategy: the logistics of supply chain management*. McGraw-Hill
- Fritschy, C. and Spinler, S., 2019. The impact of autonomous trucks on business models in the automotive and logistics industry—a Delphi-based scenario study. *Technological Forecasting and Social Change*, 148, p.119736.
- Galea-Pace S., 2020, DHL Supply Chain introduces first digital twin of warehouse in Asia for Tetra Pak, <https://supplychaindigital.com/logistics/dhl-supply-chain-introduces-first-digital-twin-warehouse-asia-tetra-pak> [Πρόσβαση: 15/06/2022]
- Galin, R. and Meshcheryakov, R., 2019, May. Automation and robotics in the context of Industry 4.0: the shift to collaborative robots. In *IOP Conference Series: Materials Science and Engineering* (Vol. 537, No. 3, p. 032073). IOP Publishing.

- Galletta, A., Carnevale, L., Celesti, A., Fazio, M. and Villari, M., 2017. A cloud-based system for improving retention marketing loyalty programs in industry 4.0: a study on big data storage implications. *IEEE Access*, 6, pp.5485-5492.
- Gao, Z., Wanyama, T., Singh, I., Gadhri, A. and Schmidt, R., 2020. From industry 4.0 to robotics 4.0-a conceptual framework for collaborative and intelligent robotic systems. *Procedia Manufacturing*, 46, pp.591-599.
- García-Esteban, J.A., Piardi, L., Leitão, P., Curto, B. and Moreno, V., 2021, May. An Interaction Strategy for Safe Human Co-Working with Industrial Collaborative Robots. In *2021 4th IEEE International Conference on Industrial Cyber-Physical Systems (ICPS)* (pp. 585-590). IEEE.
- Gardan, J., 2016. Additive manufacturing technologies: state of the art and trends. *International Journal of Production Research*, 54(10), pp.3118-3132.
- Gauvrit T., 2017, The impact of the Internet of Things on customer service, <https://eptica.com/blog/impact-internet-things-customer-service> [Πρόσβαση: 15/06/2022]
- GE Additive, 2021, What is Additive Manufacturing?, <https://www.ge.com/additive/additive-manufacturing> [Πρόσβαση: 15/06/2022]
- GE Additive, 2021a, The continuous wave of innovation at Tsunami Medical, <https://www.ge.com/additive/blog/continuous-wave-innovation-tsunami-medical> [Πρόσβαση: 15/06/2022]
- GE Additive, 2021b, GE receives Air Force airworthiness qualification in under a year for first metal 3D-printed, critical jet engine part, <https://www.ge.com/additive/blog/ge-receives-air-force-airworthiness-qualification-under-year-first-metal-3d-printed-critical> [Πρόσβαση: 15/06/2022]
- GE Additive, 2021c, EROFIO Group prints first part on Concept Laser M Line system, <https://www.ge.com/additive/blog/erofio-group-prints-first-part-concept-laser-m-line-system> [Πρόσβαση: 15/06/2022]
- Gesing B., Peterson S.J. and Michelsen D., 2018, ARTIFICIAL INTELLIGENCE IN LOGISTICS: A collaborative report by DHL and IBM on implications and use cases for the logistics industry
- Ghadge, A., Kara, M.E., Moradlou, H. and Goswami, M., 2020. The impact of Industry 4.0 implementation on supply chains. *Journal of Manufacturing Technology Management*.
- Ghobakhloo, M., 2020. Industry 4.0, digitization, and opportunities for sustainability. *Journal of Cleaner Production*, 252, p.119869.
- Gialos, A. and Zeimpekis, V. (2020) 'Vision picking technology: defining design parameters via a systematic literature review', *Int. J. Logistics Systems and Management*, Vol. 37, No. 1, pp.106–139.
- Gibson, I., Rosen, D.W., Stucker, B. and Khorasani, M., 2021. *Additive manufacturing technologies* (Vol. 17). Cham, Switzerland: Springer.
- Gilchrist, A., 2016. Middleware industrial internet of things platforms. In *Industry 4.0* (pp. 153-160). Apress, Berkeley, CA.

- Gjeldum, N., Aljinovic, A., Crnjac Zizic, M. and Mladineo, M., 2021. Collaborative robot task allocation on an assembly line using the decision support system. *International Journal of Computer Integrated Manufacturing*, pp.1-17.
- Glas, A.H. and Kleemann, F.C., 2016. The impact of industry 4.0 on procurement and supply management: A conceptual and qualitative analysis. *International Journal of Business and Management Invention*, 5(6), pp.55-66.
- Glatt, M., Kölsch, P., Siedler, C., Langlotz, P., Ehmsen, S. and Aurich, J.C., 2021. Edge-based Digital Twin to trace and ensure sustainability in cross-company production networks. *Procedia CIRP*, 98, pp.276-281.
- Godina, R., Ribeiro, I., Matos, F., T Ferreira, B., Carvalho, H. and Peças, P., 2020. Impact assessment of additive manufacturing on sustainable business models in industry 4.0 context. *Sustainability*, 12(17), p.7066.
- Goel, R. and Gupta, P., 2020. Robotics and industry 4.0. In *A Roadmap to Industry 4.0: Smart Production, Sharp Business and Sustainable Development* (pp. 157-169). Springer, Cham.
- Gökalp, E., Şener, U. and Eren, P.E., 2017, October. Development of an assessment model for industry 4.0: industry 4.0-MM. In *International Conference on Software Process Improvement and Capability Determination* (pp. 128-142). Springer, Cham.
- Gonzalez, A.G., Alves, M.V., Viana, G.S., Carvalho, L.K. and Basilio, J.C., 2017. Supervisory control-based navigation architecture: a new framework for autonomous robots in industry 4.0 environments. *IEEE Transactions on Industrial Informatics*, 14(4), pp.1732-1743.
- Gottge, S., Menzel, T. and Forslund, H., 2020. Industry 4.0 technologies in the purchasing process. *Industrial Management & Data Systems*.
- Guerra-Zubiaga, D., Kuts, V., Mahmood, K., Bondar, A., Nasajpour-Esfahani, N. and Otto, T., 2021. An approach to develop a digital twin for industry 4.0 systems: manufacturing automation case studies. *International Journal of Computer Integrated Manufacturing*, pp.1-17.
- Guo, D., Li, M., Lyu, Z., Kang, K., Wu, W., Zhong, R.Y. and Huang, G.Q., 2021. Synchronoperation in industry 4.0 manufacturing. *International Journal of Production Economics*, p.108171.
- Guo, D., Ling, S., Li, H., Ao, D., Zhang, T., Rong, Y. and Huang, G.Q., 2020, August. A framework for personalized production based on digital twin, blockchain and additive manufacturing in the context of Industry 4.0. In *2020 IEEE 16th International Conference on Automation Science and Engineering (CASE)* (pp. 1181-1186). IEEE.
- Gupta A., 2021, 4 Key Tech Trends in Customer Service to Watch, <https://www.gartner.com/smarterwithgartner/4-key-tech-trends-in-customer-service-to-watch> [Πρόσβαση: 15/06/2022]
- Güven, H., 2020. Industry 4.0 and Marketing 4.0: In Perspective of Digitalization and E-Commerce. In *Agile Business Leadership Methods for Industry 4.0*. Emerald Publishing Limited.
- Handfield R., 2018, Eight Case Studies In Procurement Analytics, <https://www.publicspendforum.net/wp-content/uploads/2018/11/Eight-More-Case->

- Studies-In-Procurement-Analytics-from-Professor-Rob-Handfield.pdf [Πρόσβαση: 15/06/2022]
- Hardesty L., 2017, Drones relay RFID signals for inventory control, <https://news.mit.edu/2017/drones-relay-rfid-signals-inventory-control-0825>
- Hartmann R., 2020, Supply Chain – Digital Twin and Generic Data Model, <https://productive40.eu/2020/10/12/2008/> Hartmann, 2020 [Πρόσβαση: 15/06/2022]
- Hasan, M.M., Popp, J. and Oláh, J., 2020. Current landscape and influence of big data on finance. *Journal of Big Data*, 7(1), pp.1-17.
- Hasham M., 2018, Robotics in Healthcare, <https://compliancenaavigator.bsigroup.com/en/medicaldeviceblog/robotics-in-healthcare/> [Πρόσβαση: 15/06/2022]
- Hermann, M., Pentek, T. and Otto, B., 2016, January. Design principles for industrie 4.0 scenarios. In 2016 49th Hawaii international conference on system sciences (HICSS) (pp. 3928-3937). IEEE.
- Hernandez Korner, M.E., Lambán, M.P., Albajez, J.A., Santolaria, J., Ng Corrales, L.D.C. and Royo, J., 2020. Systematic literature review: integration of additive manufacturing and industry 4.0. *Metals*, 10(8), p.1061.
- Heutger, M. and Kückelhaus, M., 2014. Unmanned aerial vehicles in logistics a dhl perspective on implications and use cases for the logistics industry. DHL Customer Solutions & Innovation, Troisdorf, Germany.
- Hizam-Hanafiah, M., Soomro, M.A. and Abdullah, N.L., 2020. Industry 4.0 readiness models: a systematic literature review of model dimensions. *Information*, 11(7), p.364.
- Hobbs G., 2018, Case Study: Top 5 Companies That Are Using Drones, <https://www.commercialuavnews.com/construction/case-study-top-5-companies-that-are-using-drones> [Πρόσβαση: 15/06/2022]
- Hofmann, E., Sternberg, H., Chen, H., Pflaum, A. and Prockl, G., 2019. Supply chain management and Industry 4.0: conducting research in the digital age. *International Journal of Physical Distribution & Logistics Management*.
- Hoi, H.T., 2020, February. Attractiveness of Online Marketing in the Age of Industry 4.0. In Proceedings of the 2020 The 6th International Conference on E-Business and Applications (pp. 1-4).
- Hood, J., Brady, A. and Dhanasri, R., 2016. Industry 4.0 engages customers: The digital manufacturing enterprise powers the customer life cycle. *Deloitte Insights*.
- Horst, D.J., Duvoisin, C.A. and de Almeida Vieira, R., 2018. Additive manufacturing at Industry 4.0: a review. *International journal of engineering and technical research*, 8(8).
- Horwitz L., 2020, Supply Chain Data Visibility Paramount as Industry Lurches into Next Chapter, <https://www.iotworldtoday.com/2020/05/21/supply-chain-data-visibility-paramount-as-industry-lurches-into-next-chapter/> [Πρόσβαση: 15/06/2022]
- Huber, A. and Weiss, A., 2017, March. Developing human-robot interaction for an industry 4.0 robot: How industry workers helped to improve remote-HRI to physical-HRI. In

- Proceedings of the Companion of the 2017 ACM/IEEE International Conference on Human-Robot Interaction (pp. 137-138).
- ITA Group, 2020, 5 Technologies to Improve the Customer Experience, <https://www.itagroup.com/insights/technologies-improve-customer-experience> [Πρόσβαση: 15/06/2022]
- Jahani, N., Sepehri, A., Vandchali, H.R. and Tirkolaei, E.B., 2021. Application of Industry 4.0 in the Procurement Processes of Supply Chains: A Systematic Literature Review. *Sustainability*, 13(14), p.7520.
- Javaid, M., Haleem, A., Singh, R.P., Khan, S. and Suman, R., 2021. Blockchain technology applications for Industry 4.0: A literature-based review. *Blockchain: Research and Applications*, p.100027.
- Javaid, M., Haleem, A., Vaishya, R., Bahl, S., Suman, R. and Vaish, A., 2020. Industry 4.0 technologies and their applications in fighting COVID-19 pandemic. *Diabetes & Metabolic Syndrome: Clinical Research & Reviews*, 14(4), pp.419-422.
- Jiang, J.R., 2018. An improved cyber-physical systems architecture for Industry 4.0 smart factories. *Advances in Mechanical Engineering*, 10(6), p.1687814018784192.
- Jiménez, M., Romero, L., Domínguez, I.A., Espinosa, M.D.M. and Domínguez, M., 2019. Additive manufacturing technologies: an overview about 3D printing methods and future prospects. *Complexity*, 2019.
- Kamble, S.S., Gunasekaran, A. and Gawankar, S.A., 2018. Sustainable Industry 4.0 framework: A systematic literature review identifying the current trends and future perspectives. *Process Safety and Environmental Protection*, 117, pp.408-425.
- Karnouskos, S., Leitao, P., Ribeiro, L. and Colombo, A.W., 2020. Industrial agents as a key enabler for realizing industrial cyber-physical systems: multiagent systems entering industry 4.0. *IEEE Industrial Electronics Magazine*, 14(3), pp.18-32.
- Karunarathna, N., Vidanagamachchi, K. and Wickramarachchi, R., A Calibrated Model of Critical Success Factors for Industry 4.0 Warehousing Performance Improvement: Insights from Multiple Case Studies.
- Kattepur, A., 2019, April. RoboPlanner: autonomous robotic action planning via knowledge graph queries. In *Proceedings of the 34th ACM/SIGAPP Symposium on Applied Computing* (pp. 953-956).
- Kattepur, A., 2019. Workflow composition and analysis in Industry 4.0 warehouse automation. *IET Collaborative Intelligent Manufacturing*, 1(3), pp.78-89.
- Kattepur, A., Dey, S. and Balamuralidhar, P., 2018, October. Knowledge based hierarchical decomposition of Industry 4.0 robotic automation tasks. In *IECON 2018-44th Annual Conference of the IEEE Industrial Electronics Society* (pp. 3665-3672). IEEE.
- Kattepur, A., Rath, H., Mukherjee, A. and Simha, A., 2018. Distributed optimization framework for industry 4.0 automated warehouses. *EAI Endorsed Transactions on Industrial Networks and Intelligent Systems*, 5(15).

- Kattepur, A., Rath, H.K., Simha, A. and Mukherjee, A., 2018, April. Distributed optimization in multi-agent robotics for industry 4.0 warehouses. In Proceedings of the 33rd Annual ACM Symposium on Applied Computing (pp. 808-815).
- Kerin, M. and Pham, D.T., 2019. A review of emerging industry 4.0 technologies in remanufacturing. *Journal of cleaner production*, 237, p.117805.
- Khan, M., Wu, X., Xu, X. and Dou, W., 2017, May. Big data challenges and opportunities in the hype of Industry 4.0. In 2017 IEEE International Conference on Communications (ICC) (pp. 1-6). IEEE.
- Khan, M.F., Alam, A., Siddiqui, M.A., Alam, M.S., Rafat, Y., Salik, N. and Al-Saidan, I., 2021. Real-time defect detection in 3D printing using machine learning. *Materials Today: Proceedings*, 42, pp.521-528.
- Khanpara, P. and Tanwar, S., 2020. Additive manufacturing: concepts and technologies. In *A Roadmap to Industry 4.0: Smart Production, Sharp Business and Sustainable Development* (pp. 171-185). Springer, Cham.
- Kim, H.M. and Laskowski, M., 2018. Toward an ontology-driven blockchain design for supply-chain provenance. *Intelligent Systems in Accounting, Finance and Management*, 25(1), pp.18-27.
- Klünder, T., Dörsehn, J.N. and Steven, M., 2019. Procurement 4.0: How the digital disruption supports cost-reduction in Procurement. *Production*, 29.
- Koh, L., Orzes, G. and Jia, F.J., 2019. The fourth industrial revolution (Industry 4.0): technologies disruption on operations and supply chain management. *International Journal of Operations & Production Management*.
- Konstantinidis, F.K., Kansizoglou, I., Santavas, N., Mouroutsos, S.G. and Gasteratos, A., 2020. MARMA: A Mobile Augmented Reality Maintenance Assistant for Fast-Track Repair Procedures in the Context of Industry 4.0. *Machines*, 8(4), p.88.
- Kovačić, Z., Vasiljević, G., Draganjac, I., Petrović, T., Oršulić, J., Bogdan, S., Miklić, D. and Kokot, M., 2019. Autonomous Vehicles and Automated Warehousing Systems for Industry 4.0. *Engineering Power: Bulletin of the Croatian Academy of Engineering*, 14(2), pp.17-23.
- Krishnamurthi, R. and Kumar, A., 2020. Modeling and Simulation for Industry 4.0. In *A Roadmap to Industry 4.0: Smart Production, Sharp Business and Sustainable Development* (pp. 127-141). Springer, Cham.
- Kubáč, L. and Kodym, O., 2017. The impact of 3D printing technology on supply chain. In *MATEC web of conferences* (Vol. 134, p. 00027). EDP Sciences.
- Kückelhaus et al., 2020, LOGISTICS TREND RADAR 5th Edition, DHL Report
- Kückelhaus, M. and Chung, G., 2018. BLOCKCHAIN IN LOGISTICS Perspectives on the upcoming impact of blockchain technology and use cases for the logistics industry. Troisdorf: DHL Customer Solutions & Innovation.
- Kumar, A. and Nayyar, A., 2020. si 3-Industry: A sustainable, intelligent, innovative, internet-of-things industry. In *A roadmap to Industry 4.0: Smart production, sharp business and sustainable development* (pp. 1-21). Springer, Cham.

- Kumar, A., Steven, A. and Paraskevas, J.P., 2020. Impact of buyer-supplier TMT misalignment on environmental performance. *International Journal of Operations & Production Management*.
- Kumar, L.J., Pandey, P.M. and Wimpenny, D.I. eds., 2019. 3D printing and additive manufacturing technologies (Vol. 311). Berlin, Germany:: Springer.
- Kuo, C.M., Chen, W.Y., Tseng, C.Y. and Kao, C.T., 2020. Developing a smart system with Industry 4.0 for customer dissatisfaction. *Industrial Management & Data Systems*.
- Lam, H.K., Ding, L., Cheng, T.C.E. and Zhou, H., 2019. The impact of 3D printing implementation on stock returns: A contingent dynamic capabilities perspective. *International Journal of Operations & Production Management*.
- Lamon, E., Peternel, L. and Ajoudani, A., 2018, November. Towards a prolonged productivity in industry 4.0: A framework for fatigue minimisation in robot-robot co-manipulation. In *2018 IEEE-RAS 18th International Conference on Humanoid Robots (Humanoids)* (pp. 1-6). IEEE.
- Lavingia, K. and Tanwar, S., 2020. Augmented reality and industry 4.0. In *A Roadmap to Industry 4.0: Smart Production, Sharp Business and Sustainable Development* (pp. 143-155). Springer, Cham.
- Lee, C.K.M., 2018. Development of an industrial Internet of Things (IIoT) based smart robotic warehouse management system. In *International Conference on Information Resources Management (CONF-IRM)*. Association For Information Systems.
- Lee, J., 2020. *Industrial AI: Applications with Sustainable Performance*. Singapore: Springer.
- Lee, J., Davari, H., Singh, J. and Pandhare, V., 2018. Industrial Artificial Intelligence for industry 4.0-based manufacturing systems. *Manufacturing letters*, 18, pp.20-23.
- Lee, S.M. and Lee, D., 2020. "Untact": a new customer service strategy in the digital age. *Service Business*, 14(1), pp.1-22.
- Lewis J., 2019, Supply Chain Planning (SCP), <https://www.techtarget.com/searcherp/definition/supply-chain-planning-SCP> [Πρόσβαση: 15/06/2022]
- Lezzi, M., Lazoi, M. and Corallo, A., 2018. Cybersecurity for Industry 4.0 in the current literature: A reference framework. *Computers in Industry*, 103, pp.97-110.
- Li, D., Tang, H., Wang, S. and Liu, C., 2017. A big data enabled load-balancing control for smart manufacturing of Industry 4.0. *Cluster Computing*, 20(2), pp.1855-1864.
- Liao, Y., Deschamps, F., Loures, E.D.F.R. and Ramos, L.F.P., 2017. Past, present and future of Industry 4.0-a systematic literature review and research agenda proposal. *International journal of production research*, 55(12), pp.3609-3629.
- Lima, F., De Carvalho, C.N., Acardi, M.B., Dos Santos, E.G., De Miranda, G.B., Maia, R.F. and Massote, A.A., 2019. Digital manufacturing tools in the simulation of collaborative robots: towards Industry 4.0. *Brazilian Journal of Operations & Production Management*, 16(2), pp.261-280.

- Limeira, M., Piardi, L., Kalempa, V.C., Schneider, A. and Leitão, P., 2019, November. Augmented Reality System for Multi-robot Experimentation in Warehouse Logistics. In Iberian Robotics conference (pp. 319-330). Springer, Cham.
- Lingam, D., 2019, December. The Impact of Industry 4.0 on The Marketing Competitiveness of Enterprises, The Scope For Millennial's and Gen Z: A Study on Dubai (UAE). In 2019 International Conference on Computational Intelligence and Knowledge Economy (ICCIKE) (pp. 724-730). IEEE.
- Liu, X., Cao, J., Yang, Y. and Jiang, S., 2018. CPS-based smart warehouse for industry 4.0: A survey of the underlying technologies. *Computers*, 7(1), p.13.
- Liu, Z., Wang, Z., Ren, Y., Feng, Q., Fan, D. and Zuo, Z., 2018, August. A City Medical Resources Distribution Optimization Platform Based on Cyber Physical Systems (CPS). In 2018 international conference on sensing, diagnostics, prognostics, and control (SDPC) (pp. 269-273). IEEE.
- Lorenz, R., Lorentzen, K., Stricker, N. and Lanza, G., 2018. Applying user stories for a customer-driven Industry 4.0 transformation. *IFAC-PapersOnLine*, 51(11), pp.1335-1340.
- Lototsky, V., Sabitov, R., Smirnova, G., Sirazetdinov, B., Elizarova, N. and Sabitov, S., 2019. Model of the automated warehouse management and forecasting system in the conditions of transition to industry 4.0. *IFAC-PapersOnLine*, 52(13), pp.78-82.
- Lu, Y., 2017. Industry 4.0: A survey on technologies, applications and open research issues. *Journal of industrial information integration*, 6, pp.1-10.
- Ma, H., 2018, September. An Industry 4.0 Technologies-Driven Warehouse Resource Management System. In International Workshop of Advanced Manufacturing and Automation (pp. 27-33). Springer, Singapore.
- Macaulay, J., Buckalew, L. and Chung, G., 2015. Internet of things in logistics: A collaborative report by DHL and Cisco on implications and use cases for the logistics industry. DHL Trend Research and Cisco Consulting Services, pp.439-449.
- Machado, C.G., Winroth, M., Carlsson, D., Almström, P., Centerholt, V. and Hallin, M., 2019. Industry 4.0 readiness in manufacturing companies: challenges and enablers towards increased digitalization. *Procedia Cirp*, 81, pp.1113-1118.
- Machkour, B. and Abriane, A., 2020. Industry 4.0 and its Implications for the Financial Sector. *Procedia Computer Science*, 177, pp.496-502.
- Mahmood, A., Butler, B. and Jennings, B., 2018. Potential of augmented reality for intelligent transportation systems. *arXiv preprint arXiv:1806.04724*.
- Malik, A.A. and Brem, A., 2021. Digital twins for collaborative robots: A case study in human-robot interaction. *Robotics and Computer-Integrated Manufacturing*, 68, p.102092.
- Manavalan, E. and Jayakrishna, K., 2019. A review of Internet of Things (IoT) embedded sustainable supply chain for industry 4.0 requirements. *Computers & Industrial Engineering*, 127, pp.925-953.
- Marino, E., Barbieri, L., Colacino, B., Fleri, A.K. and Bruno, F., 2021. An Augmented Reality inspection tool to support workers in Industry 4.0 environments. *Computers in Industry*, 127, p.103412.

- Marr B., 2021, The Future Of Delivery Robots, <https://www.forbes.com/sites/bernardmarr/2021/11/05/the-future-of-delivery-robots/> [Πρόσβαση: 15/06/2022]
- Marsden et al., 2022, Customer Service Trends 2022: The Pivot to Personalization and the Adoption of AI
- Martinez, V., Zhao, M., Blujdea, C., Han, X., Neely, A. and Albores, P., 2019. Blockchain-driven customer order management. *International Journal of Operations & Production Management*.
- Maskuriy, R., Selamat, A., Maresova, P., Krejcar, O. and David, O.O., 2019. Industry 4.0 for the construction industry: Review of management perspective. *Economies*, 7(3), p.68.
- Masood, T. and Egger, J., 2019. Augmented reality in support of Industry 4.0—Implementation challenges and success factors. *Robotics and Computer-Integrated Manufacturing*, 58, pp.181-195.
- Mehami, J., Nawawi, M. and Zhong, R.Y., 2018. Smart automated guided vehicles for manufacturing in the context of Industry 4.0. *Procedia manufacturing*, 26, pp.1077-1086.
- Mendling, J., Weber, I., Aalst, W.V.D., Brocke, J.V., Cabanillas, C., Daniel, F., Debois, S., Ciccio, C.D., Dumas, M., Dustdar, S. and Gal, A., 2018. Blockchains for business process management-challenges and opportunities. *ACM Transactions on Management Information Systems (TMIS)*, 9(1), pp.1-16.
- Mengelkamp, E., Notheisen, B., Beer, C., Dauer, D. and Weinhardt, C., 2018. A blockchain-based smart grid: towards sustainable local energy markets. *Computer Science-Research and Development*, 33(1), pp.207-214.
- Mentzer, J.T., Myers, M.B. and Stank, T.P., 2006. *Handbook of global supply chain management*. Sage Publications.
- Merayo, D., Rodriguez-Prieto, A. and Camacho, A.M., 2019. Comparative analysis of artificial intelligence techniques for material selection applied to manufacturing in Industry 4.0. *Procedia Manufacturing*, 41, pp.42-49.
- Merdin, D. and Ersöz, F., 2019, October. Evaluation of the applicability of Industry 4.0 processes in businesses and supply chain applications. In *2019 3rd International Symposium on Multidisciplinary Studies and Innovative Technologies (ISMSIT)* (pp. 1-10). IEEE.
- Merklein, M., Junker, D., Schaub, A. and Neubauer, F., 2016. Hybrid additive manufacturing technologies—an analysis regarding potentials and applications. *Physics procedia*, 83, pp.549-559.
- Mhlanga, D., 2020. Industry 4.0 in finance: the impact of artificial intelligence (ai) on digital financial inclusion. *International Journal of Financial Studies*, 8(3), p.45.
- Mihardjo, L., Sasmoko, S., Alamsjah, F. and Elidjen, E., 2019. Digital leadership role in developing business model innovation and customer experience orientation in industry 4.0. *Management Science Letters*, 9(11), pp.1749-1762.

- Mittal, S., Khan, M.A., Romero, D. and Wuest, T., 2018. A critical review of smart manufacturing & Industry 4.0 maturity models: Implications for small and medium-sized enterprises (SMEs). *Journal of manufacturing systems*, 49, pp.194-214.
- Moeuf, A., Pellerin, R., Lamouri, S., Tamayo-Giraldo, S. and Barbaray, R., 2018. The industrial management of SMEs in the era of Industry 4.0. *International Journal of Production Research*, 56(3), pp.1118-1136.
- Mogg T., 2016, Amazon begins selling devices and appliances that order their own supplies, <https://www.digitaltrends.com/home/amazon-activates-first-dash-enabled-devices-that-order-their-own-supplies/> [Πρόσβαση: 15/06/2022]
- Mogg T., 2018, Amazon ramps up Dash Button integration for super-quick ordering, <https://www.digitaltrends.com/home/amazon-ramps-up-dash-button-integration/> [Πρόσβαση: 15/06/2022]
- Mohamed, N. and Al-Jaroodi, J., 2019, January. Applying blockchain in industry 4.0 applications. In 2019 IEEE 9th annual computing and communication workshop and conference (CCWC) (pp. 0852-0858). IEEE.
- Mohelska, H. and Sokolova, M., 2018. Management approaches for Industry 4.0—the organizational culture perspective. *Technological and Economic Development of Economy*, 24(6), pp.2225-2240.
- Mostafa, N., Hamdy, W. and Alawady, H., 2019. Impacts of internet of things on supply chains: a framework for warehousing. *Social sciences*, 8(3), p.84.
- Moufaddal, M., Benghabrit, A. and Bouhaddou, I., 2020, March. A Cyber-Physical Warehouse Management System Architecture in an Industry 4.0 Context. In *International Conference on Artificial Intelligence & Industrial Applications* (pp. 125-148). Springer, Cham.
- Mourtzis, D., Samothrakis, V., Zogopoulos, V. and Vlachou, E., 2019. Warehouse design and operation using augmented reality technology: A papermaking industry case study. *Procedia Cirp*, 79, pp.574-579.
- Müller, J.M. and Däschle, S., 2018. Business model innovation of industry 4.0 solution providers towards customer process innovation. *Processes*, 6(12), p.260.
- Mullet, V., Sondi, P. and Ramat, E., 2021. A Review of Cybersecurity Guidelines for Manufacturing Factories in Industry 4.0. *IEEE Access*, 9, pp.23235-23263.
- Muñoz-Garcia, C. and Vila, J., 2019. Value creation in the international public procurement market: In search of springbok firms. *Journal of Business Research*, 101, pp.516-521.
- Najafi, E. and Ansari, M., 2019, October. Model-based design approach for an industry 4.0 case study: a pick and place robot. In 2019 23rd International Conference on Mechatronics Technology (ICMT) (pp. 1-6). IEEE.
- Najmon, J.C., Raeisi, S. and Tovar, A., 2019. Review of additive manufacturing technologies and applications in the aerospace industry. *Additive manufacturing for the aerospace industry*, pp.7-31.
- Nayyar, A., Mahapatra, B., Le, D. and Suseendran, G., 2018. Virtual Reality (VR) & Augmented Reality (AR) technologies for tourism and hospitality industry. *International journal of engineering & technology*, 7(2.21), pp.156-160.

- Neal, A.D., Sharpe, R.G., van Lopik, K., Tribe, J., Goodall, P., Lugo, H., Segura-Velandia, D., Conway, P., Jackson, L.M., Jackson, T.W. and West, A.A., 2021. The potential of industry 4.0 Cyber Physical System to improve quality assurance: An automotive case study for wash monitoring of returnable transit items. *CIRP Journal of Manufacturing Science and Technology*, 32, pp.461-475.
- Negri, E., Fumagalli, L. and Macchi, M., 2017. A review of the roles of digital twin in CPS-based production systems. *Procedia Manufacturing*, 11, pp.939-948.
- Nguyen Duc, D., Tran Huu, T. and Nananukul, N., 2020. A dynamic route-planning system based on industry 4.0 technology. *Algorithms*, 13(12), p.308.
- Niaki, M.K., Torabi, S.A. and Nonino, F., 2019. Why manufacturers adopt additive manufacturing technologies: The role of sustainability. *Journal of cleaner production*, 222, pp.381-392.
- Nicoletti, B., 2018. Agile procurement. In *Agile procurement* (pp. 15-42). Palgrave Macmillan, Cham.
- Niesen, T., Houy, C., Fettke, P. and Loos, P., 2016, January. Towards an integrative big data analysis framework for data-driven risk management in industry 4.0. In *2016 49th Hawaii international conference on system sciences (HICSS)* (pp. 5065-5074). IEEE.
- Nosalska, K. and Mazurek, G., 2019. Marketing principles for Industry 4.0—a conceptual framework. *Engineering Management in Production and Services*, 11(3).
- Nuzzi, C., Pasinetti, S., Lancini, M., Docchio, F. and Sansoni, G., 2019. Deep learning-based hand gesture recognition for collaborative robots. *IEEE Instrumentation & Measurement Magazine*, 22(2), pp.44-51.
- Ojer, M., Alvarez, H., Serrano, I., Saiz, F.A., Barandiaran, I., Aguinaga, D., Querejeta, L. and Alejandro, D., 2020. Projection-based augmented reality assistance for manual electronic component assembly processes. *Applied Sciences*, 10(3), p.796.
- optimizely.com, Conversion rate: What is a conversion rate?, <https://www.optimizely.com/optimization-glossary/conversion-rate> [Πρόσβαση: 15/06/2022]
- Ottogalli, K., Rosquete, D., Amundarain, A., Aguinaga, I. and Borro, D., 2019. Flexible framework to model Industry 4.0 processes for virtual simulators. *Applied sciences*, 9(23), p.4983.
- Owczarek D., 2022, How to Solve Vehicle Routing Problem: Last-Mile Delivery Optimization with AI, <https://nexocode.com/blog/posts/ai-in-last-mile-delivery-optimization-vehicle-routing-problem/> [Πρόσβαση: 15/06/2022]
- Oztemel, E. and Gursev, S., 2020. Literature review of Industry 4.0 and related technologies. *Journal of Intelligent Manufacturing*, 31(1), pp.127-182.
- Pacchini, A.P.T., Lucato, W.C., Facchini, F. and Mummolo, G., 2019. The degree of readiness for the implementation of Industry 4.0. *Computers in Industry*, 113, p.103125.
- Pang, T.Y., Pelaez Restrepo, J.D., Cheng, C.T., Yasin, A., Lim, H. and Miletic, M., 2021. Developing a digital twin and digital thread framework for an ‘Industry 4.0’ Shipyard. *Applied Sciences*, 11(3), p.1097.

- Papcun, P., Cabadaj, J., Kajati, E., Romero, D., Landryova, L., Vascak, J. and Zolotova, I., 2019, September. Augmented Reality for Humans-Robots Interaction in Dynamic Slotting “Chaotic Storage” Smart Warehouses. In IFIP International Conference on Advances in Production Management Systems (pp. 633-641). Springer, Cham.
- Parente, M., Figueira, G., Amorim, P. and Marques, A., 2020. Production scheduling in the context of Industry 4.0: review and trends. *International Journal of Production Research*, 58(17), pp.5401-5431.
- Parmar, H., Khan, T., Tucci, F., Umer, R. and Carlone, P., 2021. Advanced robotics and additive manufacturing of composites: towards a new era in Industry 4.0. *Materials and Manufacturing Processes*, pp.1-35.
- Pasinski J., 2018, The 4 Types of Data You Need for Simulation Forecasting, <https://www.concentricmarket.com/blog/the-4-types-of-data-you-need-for-simulation-forecasting> [Πρόσβαση: 15/06/2022]
- Patel S., 2021, 10 Ways Technology Will Impact The Future of Customer Service, <https://www.revechat.com/blog/future-of-customer-service/> [Πρόσβαση: 15/06/2022]
- Pearce R., 2017, DHL Supply Chain launches Australian augmented reality trial, <https://www.computerworld.com/article/3462048/dhl-supply-chain-launches-australian-augmented-reality-trial.html> [Πρόσβαση: 15/06/2022]
- Peng, S., Su, G., Chen, J. and Du, P., 2017, April. Design of an IoT-BIM-GIS based risk management system for hospital basic operation. In 2017 IEEE Symposium on Service-Oriented System Engineering (SOSE) (pp. 69-74). IEEE.
- Perales, D.P., Valero, F.A. and García, A.B., 2018. Industry 4.0: a classification scheme. Closing the gap between practice and research in industrial engineering, pp.343-350.
- Pereira, A.C. and Romero, F., 2017. A review of the meanings and the implications of the Industry 4.0 concept. *Procedia Manufacturing*, 13, pp.1206-1214.
- Pereira, T., Barreto, L. and Amaral, A., 2017. Network and information security challenges within Industry 4.0 paradigm. *Procedia manufacturing*, 13, pp.1253-1260.
- Peres, R.S., Jia, X., Lee, J., Sun, K., Colombo, A.W. and Barata, J., 2020. Industrial artificial intelligence in industry 4.0-systematic review, challenges and outlook. *IEEE Access*, 8, pp.220121-220139.
- Periša, M., Sente, R.E., Cvitić, I. and Kolarovszki, P., 2018. Application of innovative smart wearable device in Industry 4.0. In 3rd EAI International Conference on Management of Manufacturing Systems. European Alliance for Innovation (EAI).
- Petrovic K., 2021, Ag Robotics Manufacturers Work to Increase Farmer Profitability, <https://www.agricultural-robotics.com/news/ag-robotics-manufacturers-work-to-increase-farmer-profitability> [Πρόσβαση: 15/06/2022]
- Piardi, L., Kalempa, V.C., Limeira, M., de Oliveira, A.S. and Leitão, P., 2019. ARENA—augmented reality to enhanced experimentation in smart warehouses. *Sensors*, 19(19), p.4308.
- Piedra-Cascón, W., Krishnamurthy, V.R., Att, W. and Revilla-León, M., 2021. 3D printing parameters, supporting structures, slicing, and post-processing procedures of vat-

- polymerization additive manufacturing technologies: A narrative review. *Journal of Dentistry*, p.103630.
- Pipp P. I. and Varela R., 2021, Order to Delivery Forecasting with a Smart Digital Twin, <https://www.anylogic.com/resources/case-studies/order-to-delivery-forecasting-with-a-smart-digital-twin/> [Πρόσβαση: 15/06/2022]
- Piscitelli, G., Ferazzoli, A., Petrillo, A., Cioffi, R., Parmentola, A. and Travaglioni, M., 2020. Circular economy models in the industry 4.0 era: a review of the last decade. *Procedia Manufacturing*, 42, pp.227-234.
- Pivoto, D.G., de Almeida, L.F., da Rosa Righi, R., Rodrigues, J.J., Lugli, A.B. and Alberti, A.M., 2021. Cyber-physical systems architectures for industrial internet of things applications in Industry 4.0: A literature review. *Journal of Manufacturing Systems*, 58, pp.176-192.
- Plakas, G., Ponis, S.T., Agalinos, K., Aretoulaki, E. and Gayalis, S.P., 2020. Augmented Reality in Manufacturing and Logistics: Lessons Learnt from a Real-Life Industrial Application. *Procedia Manufacturing*, 51, pp.1629-1635.
- Polak, P., Nelischer, C., Guo, H. and Robertson, D.C., 2019. “Intelligent” finance and treasury management: what we can expect. *AI & SOCIETY*, pp.1-12.
- Poór, P., Broum, T. and Basl, J., 2019, September. Role of collaborative robots in industry 4.0 with target on education in industrial engineering. In 2019 4th International Conference on Control, Robotics and Cybernetics (CRC) (pp. 42-46). IEEE.
- Popkova, E.G. and Sergi, B.S., 2020. Human capital and AI in industry 4.0. Convergence and divergence in social entrepreneurship in Russia. *Journal of Intellectual Capital*.
- Posada, J., Toro, C., Barandiaran, I., Oyarzun, D., Stricker, D., De Amicis, R., Pinto, E.B., Eisert, P., Döllner, J. and Vallarino, I., 2015. Visual computing as a key enabling technology for industrie 4.0 and industrial internet. *IEEE computer graphics and applications*, 35(2), pp.26-40.
- projectpro.io, 2022, How Big Data Analysis helped increase Walmarts Sales turnover?, <https://www.projectpro.io/article/how-big-data-analysis-helped-increase-walmarts-sales-turnover/109> [Πρόσβαση: 15/06/2022]
- Puthiyamadam T. and Reyes J., 2018, Experience is everything: Here’s how to get it right, PWC Report
- Qi, Q. and Tao, F., 2018. Digital twin and big data towards smart manufacturing and industry 4.0: 360 degree comparison. *Ieee Access*, 6, pp.3585-3593.
- Qin, J., Liu, Y. and Grosvenor, R., 2016. A categorical framework of manufacturing for industry 4.0 and beyond. *Procedia cirp*, 52, pp.173-178.
- Quintanilla, F.G., Cardin, O., L'Anton, A. and Castagna, P., 2016, July. Implementation framework for cloud-based holonic control of cyber-physical production systems. In 2016 IEEE 14th International Conference on Industrial Informatics (INDIN) (pp. 316-321). IEEE.

- Radanliev, P., De Roure, D., Nicolescu, R., Huth, M. and Santos, O., 2021. Digital twins: artificial intelligence and the IoT cyber-physical systems in Industry 4.0. *International Journal of Intelligent Robotics and Applications*, pp.1-15.
- Radanliev, P., De Roure, D., Nicolescu, R., Huth, M. and Santos, O., 2021. Artificial Intelligence and the Internet of Things in Industry 4.0. *CCF Transactions on Pervasive Computing and Interaction*, pp.1-10.
- Radanliev, P., De Roure, D., Page, K., Nurse, J.R., Mantilla Montalvo, R., Santos, O., Maddox, L.T. and Burnap, P., 2020. Cyber risk at the edge: current and future trends on cyber risk analytics and artificial intelligence in the industrial internet of things and industry 4.0 supply chains. *Cybersecurity*, 3, pp.1-21.
- Rahman, Z., Khalil, I., Yi, X. and Atiquzzaman, M., 2021. Blockchain-Based Security Framework for a Critical Industry 4.0 Cyber-Physical System. *IEEE Communications Magazine*, 59(5), pp.128-134.
- Raj, A., Dwivedi, G., Sharma, A., de Sousa Jabbour, A.B.L. and Rajak, S., 2020. Barriers to the adoption of industry 4.0 technologies in the manufacturing sector: An inter-country comparative perspective. *International Journal of Production Economics*, 224, p.107546.
- Ramanathan, U., Subramanian, N. and Parrott, G., 2017. Role of social media in retail network operations and marketing to enhance customer satisfaction. *International Journal of Operations & Production Management*.
- Rane, S.B. and Thakker, S.V., 2019. Green procurement process model based on blockchain–IoT integrated architecture for a sustainable business. *Management of Environmental Quality: An International Journal*.
- Rejeb, A., Keogh, J.G. and Treiblmaier, H., 2019. Leveraging the internet of things and blockchain technology in supply chain management. *Future Internet*, 11(7), p.161.
- Rejeb, A., Rejeb, K., Simske, S.J. and Treiblmaier, H., 2021. Drones for supply chain management and logistics: a review and research agenda. *International Journal of Logistics Research and Applications*, pp.1-24.
- Rejeb, A., Süle, E. and G Keogh, J., 2018. Exploring new technologies in procurement.
- Reljić, V., Milenković, I., Dudić, S., Šulc, J. and Bajči, B., 2021. Augmented Reality Applications in Industry 4.0 Environment. *Applied Sciences*, 11(12), p.5592.
- Rennung, F., Luminosu, C.T. and Draghici, A., 2016. Service provision in the framework of Industry 4.0. *Procedia-Social and Behavioral Sciences*, 221, pp.372-377.
- Reverse Logistics Association, What is Reverse Logistics? Components of the Reverse Logistics Ecosystem, <https://www.rla.org/site/about> [Πρόσβαση: 15/06/2022]
- Ribeiro, J., Lima, R., Eckhardt, T. and Paiva, S., 2021. Robotic Process Automation and Artificial Intelligence in Industry 4.0—A Literature review. *Procedia Computer Science*, 181, pp.51-58.
- Robinson S., 2021, Using AI in Cybersecurity, <https://www.iiotworldtoday.com/2021/03/22/using-ai-in-cybersecurity/> [Πρόσβαση: 15/06/2022]

- Roblek, V., Meško, M. and Krapež, A., 2016. A complex view of industry 4.0. Sage Open, 6(2), p.2158244016653987.
- Rodič, B., 2017. Industry 4.0 and the new simulation modelling paradigm. Organizacija, 50(3).
- Rojas, R.A., Garcia, M.A.R., Gualtieri, L. and Rauch, E., 2021. Combining safety and speed in collaborative assembly systems—An approach to time optimal trajectories for collaborative robots. Procedia CIRP, 97, pp.308-312.
- Röltgen, D. and Dumitrescu, R., 2020. Classification of industrial Augmented Reality use cases. Procedia CIRP, 91, pp.93-100.
- Rosencrance L., 2020, 7 real-life blockchain in the supply chain use cases and examples, <https://www.techtarget.com/searcherp/feature/4-key-blockchain-in-supply-chain-use-cases-and-examples> [Πρόσβαση: 15/06/2022]
- Rosencrance L., 2021a, At Microsoft Ignite: How IoT and Robotics Are Driving Industry 4.0, <https://www.iiotworldtoday.com/2021/03/03/at-microsoft-ignite-how-iiot-and-robotics-are-driving-industry-4-0/> [Πρόσβαση: 15/06/2022]
- Rosencrance L., 2021b, Securing the Industrial Internet of Things, <https://www.iiotworldtoday.com/2021/02/26/securing-the-industrial-internet-of-things/> [Πρόσβαση: 15/06/2022]
- Rosin, F., Forget, P., Lamouri, S. and Pellerin, R., 2020. Impacts of Industry 4.0 technologies on Lean principles. International Journal of Production Research, 58(6), pp.1644-1661.
- Ryan, M.J., Eyers, D.R., Potter, A.T., Purvis, L. and Gosling, J., 2017. 3D printing the future: scenarios for supply chains reviewed. International Journal of Physical Distribution & Logistics Management.
- Sahal, R., Breslin, J.G. and Ali, M.I., 2020. Big data and stream processing platforms for Industry 4.0 requirements mapping for a predictive maintenance use case. Journal of Manufacturing Systems, 54, pp.138-151.
- Saldivar, A.A.F., Goh, C., Chen, W.N. and Li, Y., 2016, July. Self-organizing tool for smart design with predictive customer needs and wants to realize Industry 4.0. In 2016 IEEE congress on evolutionary computation (CEC) (pp. 5317-5324). IEEE.
- Santi, G.M., Ceruti, A., Liverani, A. and Osti, F., 2021. Augmented Reality in Industry 4.0 and Future Innovation Programs. Technologies, 9(2), p.33.
- Satkowski, M. and Dachselt, R., 2021, May. Investigating the Impact of Real-World Environments on the Perception of 2D Visualizations in Augmented Reality. In Proceedings of the 2021 CHI Conference on Human Factors in Computing Systems (pp. 1-15).
- Saucedo-Martínez, J.A., Pérez-Lara, M., Marmolejo-Saucedo, J.A., Salais-Fierro, T.E. and Vasant, P., 2018. Industry 4.0 framework for management and operations: a review. Journal of ambient intelligence and humanized computing, 9(3), pp.789-801.
- Scheidegger, A.P.G., Pereira, T.F., de Oliveira, M.L.M., Banerjee, A. and Montevechi, J.A.B., 2018. An introductory guide for hybrid simulation modelers on the primary simulation methods in industrial engineering identified through a systematic review of the literature. Computers & Industrial Engineering, 124, pp.474-492.

- Schiele, H. and Torn, R.J., 2020. Cyber-physical systems with autonomous machine-to-machine communication: Industry 4.0 and its particular potential for purchasing and supply management. *International journal of procurement management*, 13(4), pp.507-530.
- Schluse, M., Priggemeyer, M., Atorf, L. and Rossmann, J., 2018. Experimentable digital twins—Streamlining simulation-based systems engineering for industry 4.0. *IEEE Transactions on industrial informatics*, 14(4), pp.1722-1731.
- Scott, C., Lundgren, H. and Thompson, P., 2018. *Guide to supply chain management*. Berlin: Springer
- Seretny, M. and Gaur, D., 2020. The Model of Sustainable Marketing as a Responsible Approach to Marketing in the Era of Industry 4.0. In *Sustainable Development and Social Responsibility—Volume 1* (pp. 283-289). Springer, Cham.
- Seyedan, M. and Mafakheri, F., 2020. Predictive big data analytics for supply chain demand forecasting: methods, applications, and research opportunities. *Journal of Big Data*, 7(1), pp.1-22.
- Seyedghorban, Z., Samson, D. and Tahernejad, H., 2020. Digitalization opportunities for the procurement function: pathways to maturity. *International Journal of Operations & Production Management*.
- Shacklett M., 2021a, IoT and Drones Automate Field Operations, <https://www.iotworldtoday.com/2021/06/23/iot-and-drones-automate-field-operations/> [Πρόσβαση: 15/06/2022]
- Shacklett M., 2021b, How IIoT Is Transforming Product Design and Manufacture, <https://www.iotworldtoday.com/2021/06/07/how-iiot-is-transforming-product-design-and-manufacture/> [Πρόσβαση: 15/06/2022]
- Sharma, A. and Pandey, H., 2020. Big data and analytics in industry 4.0. In *A Roadmap to Industry 4.0: Smart Production, Sharp Business and Sustainable Development* (pp. 57-72). Springer, Cham.
- Sherwani, F., Asad, M.M. and Ibrahim, B.S.K.K., 2020, March. Collaborative robots and industrial revolution 4.0 (ir 4.0). In *2020 International Conference on Emerging Trends in Smart Technologies (ICETST)* (pp. 1-5). IEEE.
- Silvestri, L., Forcina, A., Introna, V., Santolamazza, A. and Cesarotti, V., 2020. Maintenance transformation through Industry 4.0 technologies: a systematic literature review. *Computers in Industry*, 123, p.103335.
- Sima, V., Gheorghe, I.G., Subić, J. and Nancu, D., 2020. Influences of the industry 4.0 revolution on the human capital development and consumer behavior: A systematic review. *Sustainability*, 12(10), p.4035.
- Simões, A.C., Soares, A.L. and Barros, A.C., 2020. Factors influencing the intention of managers to adopt collaborative robots (cobots) in manufacturing organizations. *Journal of Engineering and Technology Management*, 57, p.101574.
- Singh, H., 2021. Big data, industry 4.0 and cyber-physical systems integration: A smart industry context. *Materials Today: Proceedings*, 46, pp.157-162.

- Singh, J., Flaherty, K., Sohi, R.S., Deeter-Schmelz, D., Habel, J., Le Meunier-FitzHugh, K., Malshe, A., Mullins, R. and Onyemah, V., 2019. Sales profession and professionals in the age of digitization and artificial intelligence technologies: concepts, priorities, and questions. *Journal of Personal Selling & Sales Management*, 39(1), pp.2-22.
- Sishi, M. and Telukdarie, A., 2020. Implementation of Industry 4.0 technologies in the mining industry-a case study. *International Journal of Mining and Mineral Engineering*, 11(1), pp.1-22.
- Sklyar, V. and Kharchenko, V., 2019, September. ENISA documents in cybersecurity assurance for industry 4.0: IIoT threats and attacks scenarios. In 2019 10th IEEE International Conference on Intelligent Data Acquisition and Advanced Computing Systems: Technology and Applications (IDAACS) (Vol. 2, pp. 1046-1049). IEEE.
- Song, H., Li, M. and Yu, K., 2021. Big data analytics in digital platforms: how do financial service providers customise supply chain finance?. *International Journal of Operations & Production Management*.
- Sony, M. and Naik, S., 2020. Industry 4.0 integration with socio-technical systems theory: A systematic review and proposed theoretical model. *Technology in Society*, 61, p.101248.
- Spahiu, T., Manavis, A., Kazlacheva, Z., Almeida, H. and Kyratsis, P., 2021. Industry 4.0 for fashion products—Case studies using 3D technology. In *IOP Conference Series: Materials Science and Engineering* (Vol. 1031, No. 1, p. 012039). IOP Publishing.
- Spaltini, M., Poletti, A., Acerbi, F. and Taisch, M., 2021. A quantitative framework for Industry 4.0 enabled Circular Economy. *Procedia CIRP*, 98, pp.115-120.
- Spiegel R., 2019, Digital Twin Technology Comes to Packaging, <https://www.designnews.com/automation-motion-control/digital-twin-technology-comes-packaging> [Πρόσβαση: 15/06/2022]
- STEÏN, M.K. and Kaivo-Oja, J., 2020. Collaborative robots: Frontiers of current literature. *Journal of Intelligent Systems: Theory and Applications*, 3(2), pp.13-20.
- Stuijt, L., 2021. Towards Digital Twins for Real-time Control in Reversed Supply Chain Operations.
- Suresh, A., Udendhran, R. and Yamini, G., 2020. Internet of Things and additive manufacturing: Toward intelligent production systems in industry 4.0. In *Internet of Things for Industry 4.0* (pp. 73-89). Springer, Cham.
- Swisslog, 2020, Freudenberg Italy: On-time delivery for spare parts, https://www.swisslog.com/en-us/case-studies-and-resources/case-studies/2020/05/freudenberg_italy [Πρόσβαση: 15/06/2022]
- Syam, N. and Sharma, A., 2018. Waiting for a sales renaissance in the fourth industrial revolution: Machine learning and artificial intelligence in sales research and practice. *Industrial marketing management*, 69, pp.135-146.
- Systems and Software Engineering Vocabulary, Standard 24765:2017, International Organization for Standardization, Geneva, Switzerland, Sep. 2017.

- Tannous, M., Miraglia, M., Inglese, F., Giorgini, L., Ricciardi, F., Pelliccia, R., Milazzo, M. and Stefanini, C., 2020. Haptic-based touch detection for collaborative robots in welding applications. *Robotics and Computer-Integrated Manufacturing*, 64, p.101952.
- Tasca, P. and Tessone, C.J., 2017. Taxonomy of blockchain technologies. Principles of identification and classification. arXiv preprint arXiv:1708.04872.
- Technologies,””
- Techsee, 2021, JANUARY EDITION SURVEY: CUSTOMER EXPECTATIONS OF SERVICE DELIVERY DURING COVID-19, <https://techsee.me/resources/surveys/january-edition-survey-customer-expectations-of-service-delivery-during-covid-19/> [Πρόσβαση: 15/06/2022]
- Theunissen, J., Xu, H., Zhong, R.Y. and Xu, X., 2018, November. Smart AGV system for manufacturing shopfloor in the context of industry 4.0. In 2018 25th International Conference on Mechatronics and Machine Vision in Practice (M2VIP) (pp. 1-6). IEEE.
- Thilmany, J., 2017. Digital world spawns identical twins. *Mechanical Engineering*, 139(10), pp.32-37.
- Tiwari, S., 2020. Supply chain integration and Industry 4.0: a systematic literature review. *Benchmarking: An International Journal*.
- Tortora, A.M., Maria, A., Iannone, R. and Pianese, C., 2021. A survey study on Industry 4.0 readiness level of Italian small and medium enterprises. *Procedia Computer Science*, 180, pp.744-753.
- tradecloud1, 2021a, AI case study 1: Demand Forecasting using Artificial Intelligence, <https://www.tradecloud1.com/en/ai-case-study-1-demand-forecasting-using-artificial-intelligence/> [Πρόσβαση: 15/06/2022]
- Tradecloud1, 2021b, AI case study 2: Efficient inventory management using Artificial Intelligence, <https://www.tradecloud1.com/en/ai-case-study-2-efficient-inventory-management-using-artificial-intelligence/> [Πρόσβαση: 15/06/2022]
- Tripathi, S. and Gupta, M., 2020. A framework for procurement process re-engineering in Industry 4.0. *Business Process Management Journal*.
- Turská, S. and Madleňáková, L., 2019. Concept of smart postal mailbox. *Transportation Research Procedia*, 40, pp.1199-1207.
- Uhlemann, T.H.J., Lehmann, C. and Steinhilper, R., 2017. The digital twin: Realizing the cyber-physical production system for industry 4.0. *Procedia Cirp*, 61, pp.335-340.
- Ungerma, O. and Dědková, J., 2019. Marketing innovations in industry 4.0 and their impacts on current enterprises. *Applied Sciences*, 9(18), p.3685.
- Ungerma, O., Dedkova, J. and Gurinova, K., 2018. The impact of marketing innovation on the competitiveness of enterprises in the context of industry 4.0. *Journal of Competitiveness*, 10(2), p.132.
- Uygun, Y. and Ilie, M., 2018. Autonomous manufacturing-related procurement in the era of industry 4.0. In *Digitalisierung im Einkauf* (pp. 81-97). Springer Gabler, Wiesbaden.

- Vachálek, J., Bartalský, L., Rovný, O., Šišmišová, D., Morháč, M. and Lokšík, M., 2017, June. The digital twin of an industrial production line within the industry 4.0 concept. In 2017 21st international conference on process control (PC) (pp. 258-262). IEEE.
- Vaidya, S., Ambad, P. and Bhosle, S., 2018. Industry 4.0—a glimpse. *Procedia manufacturing*, 20, pp.233-238.
- van Hoek, R., 2019. Exploring blockchain implementation in the supply chain: Learning from pioneers and RFID research. *International Journal of Operations & Production Management*.
- Veile, J.W., Schmidt, M.C., Müller, J.M. and Voigt, K.I., 2020. Relationship follows technology! How Industry 4.0 reshapes future buyer-supplier relationships. *Journal of Manufacturing Technology Management*.
- Villalba-Díez, J., Molina, M., Ordieres-Meré, J., Sun, S., Schmidt, D. and Wellbrock, W., 2020. Geometric Deep Lean Learning: Deep Learning in Industry 4.0 Cyber–Physical Complex Networks. *Sensors*, 20(3), p.763.
- Villalonga, A., Beruvides, G., Castaño, F. and Haber, R.E., 2020. Cloud-based industrial cyber–physical system for data-driven reasoning: A review and use case on an industry 4.0 pilot line. *IEEE Transactions on Industrial Informatics*, 16(9), pp.5975-5984.
- Vopson, M.M., 2021, May. The world’s data explained: How much we’re producing and where it’s all stored. In *World Economic Forum*, May.
- Vora, J., Nayyar, A., Tanwar, S., Tyagi, S., Kumar, N., Obaidat, M.S. and Rodrigues, J.J., 2018, December. BHEEM: A blockchain-based framework for securing electronic health records. In 2018 IEEE Globecom Workshops (GC Wkshps) (pp. 1-6). IEEE.
- Vuong, Q.H., 2020. *Entrepreneurial Finance at the Dawn of Industry 4.0*.
- Wang, Y., Han, J.H. and Beynon-Davies, P., 2019. Understanding blockchain technology for future supply chains: a systematic literature review and research agenda. *Supply Chain Management: An International Journal*.
- Wichmann, R.L., Eisenbart, B. and Gericke, K., 2019, July. The direction of industry: a literature review on Industry 4.0. In *Proceedings of the Design Society: International Conference on Engineering Design (Vol. 1, No. 1, pp. 2129-2138)*. Cambridge University Press.
- Wilson E., 2018, IBF SURVEY: 70% OF YOU SAY AI IS FUTURE OF DEMAND PLANNING, <https://demand-planning.com/ibf-survey-results-ai-demand-planning/> [Πρόσβαση: 15/06/2022]
- Wimpenny, D.I., Pandey, P.M. and Kumar, L.J. eds., 2017. *Advances in 3D printing & additive manufacturing technologies* (pp. 9-28). Singapore: Springer.
- Wodecki B., 2021, Smart Factory Technology Upgrades: 5G, Cybersecurity Dominate, <https://www.iiotworldtoday.com/2021/03/14/smart-factory-technology-upgrades-5g-cybersecurity-dominate/> [Πρόσβαση: 15/06/2022]
- Wohlin, C., 2014, May. Guidelines for snowballing in systematic literature studies and a replication in software engineering. In *Proceedings of the 18th international conference on evaluation and assessment in software engineering* (pp. 1-10).

- Wollschlaeger, M., Sauter, T. and 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), pp.17-27.
- Wong, K.V. and Hernandez, A., 2012. A review of additive manufacturing. *International scholarly research notices*, 2012.
- Xiao, Y. and Watson, M., 2019. Guidance on conducting a systematic literature review. *Journal of planning education and research*, 39(1), pp.93-112.
- Xu, L.D., Xu, E.L. and Li, L., 2018. Industry 4.0: state of the art and future trends. *International Journal of Production Research*, 56(8), pp.2941-2962.
- Xu, X., Rodgers, M.D. and Guo, W.G., 2021. Hybrid simulation models for spare parts supply chain considering 3D printing capabilities. *Journal of Manufacturing Systems*, 59, pp.272-282.
- Yadav, G., Luthra, S., Jakhar, S.K., Mangla, S.K. and Rai, D.P., 2020. A framework to overcome sustainable supply chain challenges through solution measures of industry 4.0 and circular economy: An automotive case. *Journal of Cleaner Production*, 254, p.120112.
- Yakout, M., Elbestawi, M.A. and Veldhuis, S.C., 2018. A review of metal additive manufacturing technologies. In *Solid State Phenomena (Vol. 278, pp. 1-14)*. Trans Tech Publications Ltd.
- Yan, J., Meng, Y., Lu, L. and Li, L., 2017. Industrial big data in an industry 4.0 environment: Challenges, schemes, and applications for predictive maintenance. *IEEE Access*, 5, pp.23484-23491.
- Yang, T., Yi, X., Lu, S., Johansson, K.H. and Chai, T., 2021. *Intelligent Manufacturing for the Process Industry Driven by Industrial Artificial Intelligence*. Engineering.
- Yao, X., Zhou, J., Zhang, J. and Boër, C.R., 2017, September. From intelligent manufacturing to smart manufacturing for industry 4.0 driven by next generation artificial intelligence and further on. In *2017 5th international conference on enterprise systems (ES)* (pp. 311-318). IEEE.
- Yuan, X.M., 2020. Impact of Industry 4.0 on inventory systems and optimization. In *Industry 4.0-Impact on Intelligent Logistics and Manufacturing*. IntechOpen.
- Zhang, L., Xie, Y., Zheng, Y., Xue, W., Zheng, X. and Xu, X., 2020. The challenges and countermeasures of blockchain in finance and economics. *Systems Research and Behavioral Science*, 37(4), pp.691-698.
- Zhang, P., Wang, C., Qin, Z. and Cao, H., 2020. A multidomain virtual network embedding algorithm based on multiobjective optimization for Internet of Drones architecture in Industry 4.0. *Software: Practice and Experience*.
- Zheng, P., Wang, H., Sang, Z., Zhong, R.Y., Liu, Y., Liu, C., Mubarak, K., Yu, S. and Xu, X., 2018. Smart manufacturing systems for Industry 4.0: Conceptual framework, scenarios, and future perspectives. *Frontiers of Mechanical Engineering*, 13(2), pp.137-150.
- Zheng, T., Ardolino, M., Bacchetti, A. and Perona, M., 2021. The applications of Industry 4.0 technologies in manufacturing context: a systematic literature review. *International Journal of Production Research*, 59(6), pp.1922-1954.

- Zheng, Z., Xie, S., Dai, H., Chen, X. and Wang, H., 2017, June. An overview of blockchain technology: Architecture, consensus, and future trends. In 2017 IEEE international congress on big data (BigData congress) (pp. 557-564). IEEE.
- Zheng, Z., Xie, S., Dai, H.N., Chen, X. and Wang, H., 2018. Blockchain challenges and opportunities: A survey. *International Journal of Web and Grid Services*, 14(4), pp.352-375.
- Zhong, R.Y., Xu, X., Klotz, E. and Newman, S.T., 2017. Intelligent manufacturing in the context of industry 4.0: a review. *Engineering*, 3(5), pp.616-630.
- Zhou, K., Liu, T. and Zhou, L., 2015, August. Industry 4.0: Towards future industrial opportunities and challenges. In 2015 12th International conference on fuzzy systems and knowledge discovery (FSKD) (pp. 2147-2152). IEEE.
- Zhou, X., Song, M. and Cui, L., 2020. Driving force for China's economic development under Industry 4.0 and circular economy: Technological innovation or structural change?. *Journal of Cleaner Production*, 271, p.122680.
- Židek, K., Pitel, J., Balog, M., Hošovský, A., Hladký, V., Lazorík, P., Iakovets, A. and Demčák, J., 2021. CNN Training Using 3D Virtual Models for Assisted Assembly with Mixed Reality and Collaborative Robots. *Applied Sciences*, 11(9), p.4269.
- Zúñiga, E.R., Moris, M.U. and Syberfeldt, A., 2017, December. Integrating simulation-based optimization, lean, and the concepts of industry 4.0. In 2017 Winter Simulation Conference (WSC) (pp. 3828-3839). IEEE.