



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

Μεταπτυχιακή Διπλωματική Εργασία

Ψηφιακό Δίδυμο στην Εφοδιαστική Αλυσίδα

Συγγραφέας: Βαρδαξής Ρωμανός- Ανδρέας

ΑΜ: 80697804

**Επιβλέπων:
Δρόσος Χρήστος**

Αθήνα, Ιούλιος 2023



**UNIVERSITY OF WEST ATTICA
SCHOOL OF ENGINEERING
DEPARTMENT OF INDUSTRIAL DESIGN AND PRODUCTION
ENGINEERING
M.Sc. IN INDUSTRIAL AUTOMATION**

Diploma Thesis

Digital Twin in the Supply Chain

**Student name and surname: Vardaxis Romanos- Andreas
Registration Number: 80697804**

**Supervisor name and surname:
Drosos Christos**

Athens, July 2023



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

Ψηφιακό Δίδυμο στην Εφοδιαστική Αλυσίδα

Μέλη Εξεταστικής Επιτροπής συμπεριλαμβανομένου και του Εισηγητή

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

A/a	ΟΝΟΜΑ ΕΠΩΝΥΜΟ	ΒΑΘΜΙΑΔΑ/ΙΔΙΟΤΗΤΑ	ΨΗΦΙΑΚΗ ΥΠΟΓΡΑΦΗ
	Παπουτσιδάκης Μιχαήλ		
	Γκανέτσος Θεόδωρος		
	Δρόσος Χρήστος		

Δήλωση Συγγραφέα Μεταπτυχιακής Εργασίας

Ο κάτωθι υπογεγραμμένος **Βαρδαξής Ρωμανός- Ανδρέας** του **Χρήστου**, με αριθμό μητρώου **80697804** φοιτητής του Προγράμματος Μεταπτυχιακών Σπουδών «**Αυτοματισμός Παραγωγής και Υπηρεσιών**» του Τμήματος **Μηχανικών Βιομηχανικής Σχεδίασης και Παραγωγής** της Σχολής **Μηχανικών** του Πανεπιστημίου Δυτικής Αττικής, δηλώνω ότι:

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

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

Ο Δηλών



Περίληψη

Η τέταρτη βιομηχανική επανάσταση (Βιομηχανία 4.0) χαρακτηρίζεται από μια αυξανόμενη τάση προς την, ολοένα και περισσότερο, εφαρμογή τεχνολογιών αιχμής για την ψηφιοποίηση και την αυτοματοποίηση των παραγωγικών διαδικασιών, οι οποίες εφαρμόζονται σε πολυάριθμες βιομηχανίες. Με την εφαρμογή του Construction 4.0, το Industry 4.0 δεν θα μπορούσε να μην έχει αντίκτυπο στον κατασκευαστικό κλάδο. Τα ψηφιακά δίδυμα είναι μια σημαντική ιδέα στο Construction 4.0. Χρησιμεύουν ως αναπαράσταση της φυσικής κατασκευής στην ψηφιακή σφαίρα, παρέχοντας υπηρεσίες παρακολούθησης, διάγνωσης και προσομοίωσης σεναρίων. Αν και υπάρχει μεγάλη έρευνα επί του θέματος, δεν υπάρχει τυποποιημένος ορισμός ή μοντέλο αναφοράς για τα κατασκευαστικά ψηφιακά δίδυμα.

Προκειμένου να αντιμετωπίσουν με επιτυχία τις νέες δυσκολίες της αγοράς, η κατασκευαστική βιομηχανία και τα σύγχρονα εργοστάσια απαιτείται συνεχώς να ευθυγραμμίζονται με τις νέες τεχνολογίες πληροφοριών. Επιβάλλονται νέες αναλυτικές τεχνικές για το σχεδιασμό και τη βελτιστοποίηση των διαδικασιών παραγωγής καθώς και για την επιλογή προϊόντων. Η πλειονότητα των τεχνικών που χρησιμοποιούνται σήμερα επικεντρώνεται στη φυσική ανάλυση, αλλά από τη νέα έρευνα συμπεραίνεται ότι οι διαδικασίες ψηφιοποίησης έχουν πολλές δυνατότητες για την αύξηση της παραγωγικότητας. Ένα καινοτόμο παράδειγμα της νέας επανάστασης της Βιομηχανίας 4.0 είναι η κάθετη ενσωμάτωση των σύγχρονων τεχνολογιών του Διαδικτύου των Πραγμάτων (IoT) και των κυβερνο-φυσικών συστημάτων (CPS), όπως τα ψηφιακά δίδυμα. Τα ψηφιακά δίδυμα είναι εικονικές αναπαραστάσεις πραγματικών φυσικών συστημάτων που είναι πλήρως συγχρονισμένα με τις πραγματικές λειτουργικές ρυθμίσεις και προσφέρουν πληροφορίες και μοντέλα ερμηνείας που βοηθούν στη λήψη βέλτιστων αποφάσεων.

Abstract

The fourth industrial revolution (Industry 4.0) is characterised by a growing trend towards the use of more and more innovative technologies for the digitalisation and automation of production processes, applicable to many different sectors. Industry 4.0 could not leave the construction sector unaffected by introducing the equivalent Construction 4.0. A key concept of Construction 4.0 is digital twins, whose main function is to represent physical construction in the digital world by offering monitoring, diagnostics and scenario simulation services. Although there is extensive literature on the concept of digital twins, a uniform definition and reference model of construction digital twins is lacking.

The manufacturing sector and modern factories face the constant need to align with new information technologies in order to successfully meet new market challenges. Innovative analytical methods are required to design and optimize production systems as well as product selection. At present, most of the known methods are aimed at physical analysis, although recent research shows that digitisation processes offer great potential for increasing efficiency. The vertical integration of modern Internet of Things (IoT) technologies, Internet of Things (IoT), and cyber-physical systems (CPS) such as digital twins are an innovative example in the new Industry 4.0 revolution. Digital twins are virtual replicas of real physical systems, fully synchronized with real operating scenarios that provide knowledge and interpretation models to support sound decision making.

Πίνακας Περιεχομένων

Δήλωση Συγγραφέα Μεταπτυχιακής Εργασίας.....	4
Περίληψη.....	5
Abstract.....	6
1. Εισαγωγή.....	8
2. Θεωρητικό Υπόβαθρο.....	10
2.1 Εφοδιαστική Αλυσίδα.....	10
2.2 Νέες Αναδυόμενες Τεχνολογίες.....	11
2.2.1 Internet of Things (IoT).....	15
2.2.2 Big Data.....	16
2.2.2 Cloud Computing.....	18
2.2.3 Blockchain.....	19
2.2.4 Robotics Technology.....	21
2.2.5 Artificial Intelligence.....	22
2.2.6 Digital Twins.....	23
2.2.7 Additive Manufacturing.....	24
2.3 Ενσωμάτωση τεχνολογιών Πληροφορικής στη βιώσιμη εφοδιαστική αλυσίδα.....	26
2.4 Ψηφιακό Δίδυμο: Δομή- Εφαρμογή - Ανάπτυξη.....	34
2.4.1 Δομή.....	37
2.4.2 Εφαρμογή.....	42
2.4.3 Ανάπτυξη.....	43
3. Ψηφιακή Διάσταση Βιομηχανίας.....	47
4. Τεχνολογίες 4.0.....	49
5. Κυβερνοασφάλεια.....	53
6. Οφέλη και Προκλήσεις Ψηφιακού Διδύμου.....	55
7. Τρόποι Σχεδιασμού Ψηφιακού Διδύμου σε Εφοδιαστική Αλυσίδα.....	59
8. Περιγραφή Μοντέλων προσομοίωσης & Παραδείγματα.....	63
9. Συμπεράσματα.....	70
Βιβλιογραφία.....	73

1. Εισαγωγή

Στον σύγχρονο κόσμο, οι εταιρείες, καθώς και η κοινωνία στο σύνολό της, ενδιαφέρονται για τη διατήρηση των φυσικών πόρων και την προστασία του περιβάλλοντος. Πράγματι, τα πληροφοριακά συστήματα έχουν επηρεάσει τον τρόπο ζωής μας. Η τέταρτη βιομηχανική επανάσταση, η τεχνητή νοημοσύνη και όλα τα ενδιάμεσα έχουν αντίκτυπο στον τρόπο με τον οποίο μιλάμε, εργαζόμαστε, ακόμα και διασκεδάζουμε. Οι επιχειρήσεις αλλάζουν τον τρόπο με τον οποίο διαχειρίζονται και αντιμετωπίζουν τις δραστηριότητές τους χάρη στην ανάπτυξη, τη χρήση και την υποστήριξη των νέων αναπτυσσόμενων τεχνολογιών (IoT, Cloud Computing). Οι επιχειρήσεις προσπαθούν να εφαρμόσουν κάποια μέτρα για τη βιωσιμότητά τους, καθώς και να μειώσουν τυχόν περιβαλλοντικές επιπτώσεις, επειδή οι ενέργειες αυτές έχουν αντίκτυπο σε ολόκληρη την κοινωνία. Περισσότερες "πράσινες πολιτικές" για τις επιχειρήσεις, όπως το να γίνουν τα logistics βιώσιμα και πράσινα, οδηγούνται από την καθημερινή πρόοδο, ενώ επηρεάζει και τον τρόπο λειτουργίας της αντίστροφης εφοδιαστικής αλυσίδας. Οι πελάτες έχουν πλέον υψηλές προσδοκίες για τη μεταφορά των αγαθών καθώς η ζήτησή τους να είναι σταθερά αυξανόμενη.

Οι επιχειρήσεις αναζητούν ολοένα και περισσότερο καινοτόμους τρόπους για να ικανοποιήσουν την πελατεία τους και να απευθυνθούν στην αγορά σε πελατειακές βάσεις που έχουν ήδη επίγνωση των βασικών κριτηρίων βιωσιμότητας, δηλαδή των οικονομικών, περιβαλλοντικών και κοινωνικών απαιτήσεων που τηρούν οι επιχειρήσεις. Λόγω της ζήτησης από τους πελάτες για βιώσιμη διαχείριση της αλυσίδας εφοδιασμού (Sustainable Supply Chain Management - SSCM), νέες περιοχές μελέτης έχουν ήδη αναδυθεί και αντιμετωπίζονται κυρίως σε δυναμικά εταιρικά περιβάλλοντα. Οι τεχνολογίες πληροφοριών και επικοινωνιών έχουν επίσης συμβάλει καθοριστικά στην επίτευξη των στόχων της κλιματικής αλλαγής, τόσο μέσω της βιομηχανίας τους όσο και, πιο σημαντικά, μέσω των προσαρμογών που απαιτούνται για τη μετάβαση προς μια βιώσιμη οικονομία και κοινωνία. Ωστόσο, ο βαθμός στον οποίο η περιβαλλοντική συνιστώσα μπορεί να συμπεριληφθεί στην βιώσιμη συμβίωση των νέων τεχνολογιών είναι ακόμα ασαφής.

Η παραγωγή του μέλλοντος θα περιλαμβάνει ευφυή εργοστάσια, εξοπλισμό, πρώτες ύλες και αγαθά που θα συνεργάζονται με την παραγωγή μέσω του "Διαδικτύου των πραγμάτων". Στόχος είναι η μαζική παραγωγή που θα είναι εξαιρετικά προσαρμόσιμη, εξατομικευμένη και φειδωλή με τους πόρους. Τα δίκτυα εφοδιαστικής αλυσίδας χρειάζονται νέες μεθόδους, προϊόντα και υπηρεσίες λόγω της εξαιρετικά δυναμικής, αβέβαιης και πολύπλοκης αγοράς στις αλυσίδες εφοδιασμού και τη συμπεριφορά των καταναλωτών, η οποία δημιουργεί νέα προβλήματα και ευκαιρίες με την εφαρμογή μεθόδων και τεχνολογίας που συχνά αναφέρονται ως "Βιομηχανία 4.0". Η Βιομηχανία 4.0, η οποία στοχεύει στην επιτυχή εφαρμογή της τεχνολογίας με ανθρώπινη (ημι)αυτοματοποίηση, συνδέεται με μια σειρά ευκαιριών και πλεονεκτημάτων, όπως η εξαιρετικά ευέλικτη μαζική παραγωγή, η μείωση του κόστους πολυπλοκότητας, η εμφάνιση εντελώς νέων υπηρεσιών και επιχειρηματικών μοντέλων, ο συντονισμός σε πραγματικό χρόνο και η ευφυής αυτοδιαχείριση, καθώς και η βελτιστοποίηση της αλυσίδας αξίας για τη διατήρηση ανταγωνιστικού πλεονεκτήματος.

Η παρούσα εργασία έχει ως στόχο να παράσχει μια επισκόπηση της Βιομηχανίας 4.0 σε αυτή την πολύπλοκη κατάσταση μέσω μιας διεξοδικής ανασκόπησης της βιβλιογραφίας, να καθορίσει αν οι εταιρείες σε διάφορους κλάδους χρησιμοποιούν αυτές τις ψηφιακές τεχνολογίες στη διαχείριση της εφοδιαστικής αλυσίδας τους και με ποιον τρόπο, ποια είναι τα πλεονεκτήματα, οι προκλήσεις και οι μελλοντικές προοπτικές, αν οι τεχνολογίες δεν έχουν ακόμη χρησιμοποιηθεί, ποιος είναι ο λόγος και να προτείνει μια μελλοντική στρατηγική ατζέντα για το πώς οι εταιρείες μπορούν να χρησιμοποιήσουν αυτές τις ψηφιακές τεχνολογίες. Ο όρος "Βιομηχανία 4.0" είναι δύσκολο να περιγραφεί επακριβώς διότι ορισμένες τεχνολογίες εμφανίζονται σταδιακά και είναι δύσκολο να προσδιοριστεί η πρωτοτυπία, ενώ άλλες τεχνολογίες υπάρχουν εδώ και δεκαετίες αλλά μόλις τώρα άρχισαν να χρησιμοποιούνται στη βιομηχανία. Έτσι, ένας δίκαιος κανόνας θα ήταν η επιλογή τεχνολογιών που εμφανίστηκαν για πρώτη φορά στον εμπορικό κόσμο κατά τη διάρκεια των τελευταίων δέκα ετών.

2. Θεωρητικό Υπόβαθρο

2.1 Εφοδιαστική Αλυσίδα

Γενικά, πολλοί ερευνητές έχουν ενδιαφερθεί για τη θεωρία της αλυσίδας εφοδιασμού και έχουν προσπαθήσει να την περιγράψουν με διάφορους τρόπους στο παρελθόν. "Η εφοδιαστική είναι μια ολοκληρωμένη διαδικασία σχεδιασμού, υλοποίησης και ελέγχου βασικών διαδικασιών και μετατροπής των εισροών των προμηθευτών σε προϊόντα και υπηρεσίες προστιθέμενης αξίας για τους καταναλωτές", σύμφωνα με το Παγκόσμιο Φόρουμ Εφοδιαστικής Αλυσίδας του Πανεπιστημίου του Οχάιο (Lambert, 2004). Ο όρος "εφοδιαστική αλυσίδα" αναφέρεται σε ένα ολοκληρωμένο δίκτυο ή σύστημα στο οποίο δημιουργείται αξία μέσω στενής συνεργασίας μεταξύ επιχειρήσεων, παραγωγών, εμπόρων, λιανοπωλητών και πελατών. Η ροή και ο μετασχηματισμός αγαθών και υπηρεσιών από τους προμηθευτές πρώτων υλών ή τους κατασκευαστές τελικών προϊόντων στους τελικούς καταναλωτές καλύπτονται συγκεκριμένα από την αλυσίδα εφοδιασμού. Αυτό καθίσταται δυνατό με τη ροή πληροφοριών μεταξύ των συμμετεχόντων στην αλυσίδα. Ο σχεδιασμός και η παρακολούθηση του συστήματος εφαρμογής, ο συντονισμός και ο έλεγχος του κόστους, της ποιότητας και της ταχύτητας ικανοποίησης των πελατών είναι παράγοντες που συμβάλλουν στην ιδέα της βιώσιμης διαχείρισης της αλυσίδας εφοδιασμού (Russell & Taylor, 2011). Ο ορισμός της διαχείρισης της αλυσίδας εφοδιασμού είναι εξίσου σημαντικός με τον ορισμό της αλυσίδας εφοδιασμού. Ένας από τους σημαντικότερους ορισμούς είναι ότι η διαχείριση της αλυσίδας εφοδιασμού καθορίζει τον προγραμματισμό και την εποπτεία όλων των λειτουργιών κατά μήκος της αλυσίδας εφοδιασμού. Η συνεργασία μεταξύ των προμηθευτών του συνεταιρισμού, των μεσαζόντων και των πελατών αποτελεί προϋπόθεση για τη διαχείριση. Στην ουσία, η διαχείριση της εφοδιαστικής αλυσίδας τέθηκε ώστε να ικανοποιεί πλήρως όλες τις ανάγκες του τελικού χρήστη. Ο κύριος στόχος της διαχείρισης της εφοδιαστικής αλυσίδας είναι ο έλεγχος της ροής των προϊόντων και των υπηρεσιών με παράλληλη μείωση του συνολικού κόστους, προκειμένου να ικανοποιηθούν οι απαιτήσεις των πελατών. Κάθε κρίκος της αλυσίδας εφοδιασμού εργάζεται για την επίτευξη των δικών του στόχων (Russell & Taylor, 2011).

Η συνεργασία και η αξιοπιστία που αναπτύσσεται μεταξύ πελατών και προμηθευτών έχει επίσης επισημανθεί ως κρίσιμο στοιχείο της διαχείρισης της

εφοδιαστικής αλυσίδας (Christopher, 2011). Εν συντομία, ο βασικός στόχος της διαχείρισης της εφοδιαστικής αλυσίδας είναι να δώσει στις επιχειρήσεις τα εργαλεία που χρειάζονται για να δημιουργήσουν και να παραδώσουν τα αγαθά και τις υπηρεσίες τους, σπαταλώντας όσο το δυνατόν λιγότερα χρήματα και πόρους, αλλά εξακολουθώντας να ικανοποιούν τις απαιτήσεις των πελατών. Η επιχείρηση μπορεί να εξάγει το κατάλληλο προϊόν, τη σωστή ποσότητα και αξιόπιστους χρόνους παράδοσης με το χαμηλότερο κόστος με αποτελεσματική διαχείριση (Russell & Taylor, 2011).

2.2 Νέες Αναδυόμενες Τεχνολογίες

Οι οργανισμοί αναγκάζονται να επανεξετάσουν τον τρόπο με τον οποίο θα μπορούσαν να χρησιμοποιήσουν την τεχνολογία πληροφοριών (IT) προς όφελός τους για την καλύτερη διαχείριση των αλυσίδων εφοδιασμού τους, ως αποτέλεσμα της νέας τεχνολογίας, των αυξανόμενων απαιτήσεων των πελατών και του παγκόσμιου ανταγωνισμού. Η διαχείριση της εφοδιαστικής αλυσίδας (SCM) θεωρείται συνήθως ως μια διαδικασία αγοράς και αποστολής αγαθών και υπηρεσιών. Η σύγχρονη SCM επικεντρώνεται στη στρατηγική SCM, όπου οι αλυσίδες εφοδιασμού χρησιμοποιούνται για την ενίσχυση της επιχειρηματικής απόδοσης και την απόκτηση ανταγωνιστικού πλεονεκτήματος (Ketchen et al., 2008).

Η ανταλλαγή πληροφοριών μεταξύ των εταίρων της αλυσίδας εφοδιασμού καθίσταται δυνατή με την εφαρμογή διαδικασιών και μεθοδολογιών IT, ενσωματώνοντας τόσο τις εσωτερικές όσο και τις εξωτερικές επιχειρηματικές λειτουργίες. Επιπλέον, ο συντονισμός των σκοπών και των στόχων της IT με τη στρατηγική SCM συμβάλλει στην ενίσχυση της παραγωγικότητας, της αποδοτικότητας και της κερδοφορίας (Marinagi et al., 2014). Προκειμένου να μετατραπούν οι πρώτες ύλες σε ολοκληρωμένα αγαθά, ένα δίκτυο προμηθευτών, κατασκευαστών, αποθηκών, διανομέων και λιανοπωλητών συντονίζει τα σχέδια και τις ενέργειές του (Marinagi et al., 2014). Οι πελάτες πρέπει να λαμβάνουν τα απαραίτητα αγαθά και υλικά στις κατάλληλες ποσότητες, στην καλύτερη ποιότητα, στον κατάλληλο χρόνο και τόπο και στη χαμηλότερη τιμή. Η δημιουργία προϊόντων, η προμήθεια, η παραγωγή, η φυσική διανομή, η διαχείριση των σχέσεων με τους πελάτες και η αξιολόγηση των επιδόσεων είναι οι βασικές διαδικασίες της εφοδιαστικής αλυσίδας (Olson, 2012).

Βρίσκοντας έναν τρόπο επικοινωνίας μεταξύ των ανθρώπων και της τεχνολογίας και προσπαθώντας να γίνει συνδυασμός αυτής της τεχνολογίας με τις δυνατότητες ενός οργανισμού και των εμπορικών του εταίρων, η διαχείριση της εφοδιαστικής αλυσίδας προσπαθεί να βοηθήσει αυτόν τον οργανισμό (Shaik & AbdulKader, 2013). Προκειμένου να διευκολυνθούν οι αλληλεπιδράσεις προμηθευτών-πελατών και να μειωθεί το κόστος συναλλαγών, η διαχείριση της εφοδιαστικής αλυσίδας επιτρέπει επίσης στους εμπορικούς εταίρους να συντονίζουν τις διαδικασίες τους μέσω της ανταλλαγής πληροφοριών. Κάνοντας κρίσιμες επιλογές διαχείρισης που διαφοροποιούν μια επιχείρηση από τους ανταγωνιστές της, μια επιχείρηση μπορεί να αναπτύξει μια θέση που μπορεί να υπερασπιστεί έναντι των ανταγωνιστών της, η οποία αναφέρεται ως κατοχή ανταγωνιστικού πλεονεκτήματος.

Παρά το γεγονός ότι το κόστος, η ποιότητα, η παράδοση και η ευελιξία έχουν αναγνωριστεί στην εμπειρική έρευνα ως σημαντικές ανταγωνιστικές ικανότητες (Ketchen et al., 2008), ο χρόνος και η καινοτομία έχουν πρόσφατα αναγνωριστεί ως οι επόμενοι παράγοντες ανταγωνιστικού πλεονεκτήματος. Ο Nelson (2001) υπογραμμίζει τη σημασία της χρήσης της IT για τη δημιουργία διαρκούς ανταγωνιστικού πλεονεκτήματος. Τα πληροφοριακά συστήματα της αλυσίδας εφοδιασμού είναι ένας άλλος κρίσιμος τομέας όπου η βέλτιστη αλυσίδα εφοδιασμού διαφέρει από τα συμβατικά δίκτυα εφοδιασμού, σύμφωνα με τους Ketchen et al. (2008). Κατά συνέπεια, η δημιουργία λύσεων IT για το SCM που διευκολύνουν και επιταχύνουν όλες τις επιχειρηματικές διαδικασίες, ενώ παράλληλα ενισχύουν την παραγωγικότητα και τη λήψη αποφάσεων, μπορεί να δώσει στις επιχειρήσεις ανταγωνιστικό πλεονέκτημα σε όλη την εφοδιαστική αλυσίδα. Αυτό επιτυγχάνεται με τη χρήση της IT για την ολοκλήρωση των επιχειρηματικών διαδικασιών στο εσωτερικό και στο εξωτερικό. Προκειμένου να διευκολυνθεί η ολοκλήρωση των εσωτερικών επιχειρηματικών λειτουργιών τους, οι επιχειρήσεις χρειάζονται πρώτα τεχνικές και διαδικασίες IT. Αυτό μπορεί να βοηθήσει τις επιχειρήσεις να γίνουν πιο παραγωγικές, αποδοτικές και γρήγορες στην ανταπόκριση στις ανάγκες των πελατών.

Τα πληροφοριακά συστήματα για την εφοδιαστική αλυσίδα, τις μεταφορές, τον στρατηγικό σχεδιασμό, την αποθήκευση, την απογραφή, την παραγωγή, τη διαχείριση των προμηθευτών και τη διαχείριση των πελατών αναφέρονται ως συστήματα SCM (Marinagi et al., 2014). Τα συστήματα προγραμματισμού επιχειρησιακών πόρων (ERP) αποτελούν μέρος του ευρύτερου λογισμικού SCM. Τα συστήματα ERP οργανώνουν,

κωδικοποιούν και τυποποιούν τις επιχειρηματικές διαδικασίες και τα δεδομένα προκειμένου να ενοποιήσουν τις διαδικασίες της εταιρείας (Marinagi et al., 2014). Παρέχουν τη δυνατότητα στα μέλη του προσωπικού να διατηρούν και να έχουν πρόσβαση στην κοινή βάση δεδομένων. Η επανάληψη και ο πλεονασμός των δεδομένων αποφεύγονται μέσω της ενοποίησης των δεδομένων, η οποία εγγυάται επίσης την ακρίβεια των δεδομένων. Επιπλέον, η λήψη αποφάσεων και η πρόβλεψη της παραγωγής μπορούν να γίνουν με τη χρήση αναφορών του ERP.

Η διαχείριση πελατειακών σχέσεων (CRM), η οποία είναι η διαχείριση των σχέσεων μεταξύ της επιχείρησης και των πελατών της, είναι μια άλλη κρίσιμη λειτουργία της αλυσίδας εφοδιασμού. Η ενσωμάτωση του ERP με το CRM αποτελεί κρίσιμο ζήτημα για την εσωτερική ολοκλήρωση των εταιρικών δραστηριοτήτων. Πολλές επιχειρήσεις έχουν πρόσφατα εκδηλώσει ενδιαφέρον για τη σύνδεση ενός νέου συστήματος CRM με το υπάρχον σύστημα ERP, με αποτέλεσμα πολλοί προμηθευτές ERP να προσφέρουν πλέον ένα πακέτο σύνδεσης ERP-CRM. Μια επιχείρηση που ενδιαφέρεται να ξεκινήσει το ηλεκτρονικό εμπόριο, θα πρέπει επίσης να δώσει προτεραιότητα στην καθιέρωση λύσεων ERP και CRM (Yanjing, 2009). Στη συνέχεια, οι επιχειρήσεις μπορούν να ενσωματώσουν τις εξωτερικές διαδικασίες της εταιρείας τους αξιοποιώντας τις εξελίξεις στις στρατηγικές και τις μεθοδολογίες της πληροφορικής. Με τη διευκόλυνση της επικοινωνίας με τους πελάτες, τους προμηθευτές και τους συνεργάτες, οι επιχειρήσεις μπορούν να "αναβαθμιστούν".

Σύμφωνα με τους Norris και συν. (2000, σ. 6, όπ. αναφ. στο Marinagi et al., 2014), "Οι εταιρείες θα συνεργάζονται στο μέλλον σε διευρυμένες αλυσίδες αξίας. Εκείνοι που μπορούν να συνδέσουν τα εσωτερικά πληροφοριακά τους συστήματα με την αλυσίδα πληροφοριών που είναι παρόμοια με την αλυσίδα εφοδιασμού φυσικών αντικειμένων θα επιτύχουν ". Οι επιχειρήσεις πρέπει να μεταδίδουν αποτελεσματικά κρίσιμα δεδομένα, συμπεριλαμβανομένων των προβλέψεων ζήτησης, των πραγματικών παραγγελιών και των επιπέδων αποθεμάτων, διασφαλίζοντας παράλληλα τις εμπιστευτικές πληροφορίες κάθε εταιρείας (Marinagi et al., 2014). Για τη διευκόλυνση της εξωτερικής ολοκλήρωσης, έχει προταθεί η εισαγωγή συστημάτων δια-οργανωσιακών πληροφοριών (IOS) για τη διαχείριση της αλυσίδας εφοδιασμού. Τα Extranets, τα στρατηγικά συστήματα προσανατολισμένα στον πελάτη, το ηλεκτρονικό εμπόριο (e-commerce) και οι ηλεκτρονικές αγορές περιλαμβάνονται στα IOS.

Εφαρμογές, πλατφόρμες και υπηρεσίες, όπως υπηρεσίες Διαδικτύου, διεπαφές προγραμματισμού εφαρμογών (API), πλατφόρμες ανάπτυξης λογισμικού ως υπηρεσία (SaaS) και κιτ ανάπτυξης λογισμικού (SDK) προσφέρονται από επιχειρήσεις λογισμικού για την υλοποίηση των IOS (Turek, 2013). Οι οργανισμοί πρέπει επίσης να κατανοήσουν ότι ο σχεδιασμός και η εφαρμογή των δικών τους τεχνικών και διαδικασιών IT πρέπει να είναι συνεπείς με εκείνες των εταίρων τους στην αλυσίδα εφοδιασμού και ότι ο βαθμός αυτοματοποίησης μεταξύ των εταίρων πρέπει να συγχρονιστεί προκειμένου να επωφεληθούν από την εφαρμογή της IT για την SCM. Διαφορετικά, η εταιρεία θα αντιμετωπίσει "κενά" στην ορατότητα της εφοδιαστικής αλυσίδας ή θα είναι "απομονωμένη" (Jeyaraj & Seth, 2010).

Κατά συνέπεια, οι οργανισμοί πρέπει να συμμορφώνονται με τις κανονιστικές απαιτήσεις και τα νομικά πλαίσια όταν υιοθετούν την IT στην SCM (Gunasekaran & Ngai, 2004- Jeyaraj & Seth, 2010). Προκειμένου να μεγιστοποιήσουν τις επενδύσεις IT και να δημιουργήσουν αρμονία με τις επιχειρηματικές στρατηγικές και τα σχέδιά τους, οι επιχειρήσεις πρέπει επίσης να επικεντρωθούν στη στρατηγική ευθυγράμμιση των επιχειρηματικών τους στόχων με τους στόχους της IT. Μια επιχείρηση πρέπει να είναι ευθυγραμμισμένη προκειμένου να επιβιώσει στην εποχή της ψηφιακής οικονομίας και του σκληρού παγκόσμιου ανταγωνισμού. Η δημιουργία αξίας είναι το στρατηγικό σημείο της ευθυγράμμισης, δεδομένου ότι επιτρέπει σε μια επιχείρηση να αποκτήσει σημαντικό ανταγωνιστικό πλεονέκτημα και να περάσει από την απλή ύπαρξη στην κυριαρχία της στην αγορά (Marinagi et al., 2011).

Λόγω των τεχνολογιών αιχμής, όπως η τεχνητή νοημοσύνη, τα νευρωνικά δίκτυα και η μηχανική μάθηση, καθώς και άλλων νεοεμφανιζόμενων τεχνολογιών που έχουν εμφανιστεί, τα logistics έχουν γνωρίσει σημαντική αλλαγή τα προηγούμενα δέκα χρόνια. Αυτή η κίνηση στην αγορά είναι αποτέλεσμα των απαιτήσεων των καταναλωτών για ταχύτερη παράδοση προϊόντων, χαμηλότερες τιμές και καλύτερες εταιρικές περιβαλλοντικές πρακτικές. Σήμερα βιώνουμε μια σημαντική άνοδο των νέων τεχνολογιών που βασίζονται στην ψηφιακή συνδεσιμότητα. Με τη βοήθεια αισθητήρων παρακολούθησης και πλήρους ιχνηλασιμότητας, οι τεχνολογίες αυτές θα δημιουργήσουν μια διαφανή, ολοκληρωμένη από άκρη σε άκρη ψηφιακή αλυσίδα εφοδιασμού. Γίνεται σύνδεση με πολλά, ταυτόχρονα δίκτυα προμηθευτών και μεταφορέων με τη χρήση υπολογιστών που βασίζονται στο υπολογιστικό νέφος με πρωταρχικούς στόχους την ενίσχυση της παραγωγής, τη μείωση των δαπανών και την παροχή πληροφοριών σε πραγματικό χρόνο.

2.2.1 Internet of Things (IoT)

Οι εταιρείες προσπαθούν να μειώσουν το λειτουργικό τους κόστος σε ένα περιβάλλον που αλλάζει συνεχώς, προκειμένου να αυξήσουν την ανταγωνιστικότητά τους και να συμμετέχουν σημαντικά στην αγορά. Για να το πετύχουν αυτό, εργάζονται τα τελευταία χρόνια όχι μόνο για την αυτοματοποίηση αλλά και για την ψηφιοποίηση των επιχειρηματικών τους διαδικασιών. Το IoT είναι, πιο συγκεκριμένα, η αλληλεπίδραση του φυσικού και του ψηφιακού κόσμου. Προκειμένου να παραχθεί μια ολιστική εικόνα της συμπεριφοράς ενός οργανισμού, ενός συστήματος, μιας εμπορικής λειτουργίας ή ενός φαινομένου, περιλαμβάνει πλατφόρμες που συνδέουν διάφορους αισθητήρες και συσκευές δεδομένων. Η υιοθέτηση κάθετων εφαρμογών που βασίζονται σε κοινά στοιχεία σχετίζεται άμεσα με το IoT. Το IoT έχει σημαντική επίδραση στους πελάτες, τις εταιρείες και την κοινωνία. Οι φορείς εκμετάλλευσης κινητής τηλεφωνίας και οι συνεργάτες τους δοκιμάζουν νέες υπηρεσίες σε διάφορους κλάδους, όπως η υγειονομική περίθαλψη και η αυτοκινητοβιομηχανία (GSMA, 2014).

Ο συνδυασμός φυσικών και ψηφιακών στοιχείων για την παραγωγή νέων αγαθών και την ενεργοποίηση νέων επιχειρηματικών μοντέλων βρίσκεται στην καρδιά του Διαδικτύου των πραγμάτων (IoT). Η τεχνολογία IoT μπορεί να έχει επιρροή που υπερβαίνει την αξία που προσθέτει κάθε συνδεδεμένο προϊόν στην κοινωνία. Ως αποτέλεσμα, ένα λογισμικό εφαρμογών IoT εννοχηστρώνει τον τρόπο με τον οποίο αλληλεπιδρούν οι άνθρωποι, τα συστήματα και τα αντικείμενα για έναν συγκεκριμένο στόχο (Porter & Heppelmann, 2014). Οι εφαρμογές IoT περιλαμβάνουν την αλληλεπίδραση του χρήστη με το λογισμικό μέσω κινητών συσκευών, διακομιστών cloud, φυσικών αντικειμένων και gadgets με αισθητήρες που μπορούν να μεταδίδουν, να λαμβάνουν και να επεξεργάζονται σήματα (EY Assurance, 2016).

Πιο συγκεκριμένα, τα logistics, το λιανικό εμπόριο, η μεταποίηση, η υγειονομική περίθαλψη, οι οικιακές συσκευές και οι αερομεταφορές είναι οι βασικοί κλάδοι στους οποίους χρησιμοποιείται αυτή η τεχνολογία. Για το δικό της φυσικό κατάστημα Amazon Go στις ΗΠΑ, η Amazon χρησιμοποιεί μια πιο εξελιγμένη μέθοδο: το σύστημά της αναγνωρίζει αντικείμενα που έχουν μετακινηθεί, τα προσθέτει σε ένα εικονικό καλάθι και ανιχνεύει τότε οι καταναλωτές εγκαταλείπουν τον χώρο (Hobbs, 2018). Το πλήρως ολοκληρωμένο σύστημα εφοδιαστικής αλυσίδας υποστηρίζει ταχύτατο σχεδιασμό της αλυσίδας εφοδιασμού σε πραγματικό χρόνο και

αποκεντρωμένο έλεγχο (Lee et al., 2017). Χρησιμοποιώντας έξυπνες συσκευές, η τεχνολογία αυτή διευκολύνει την επικοινωνία ανά πάσα στιγμή. Υιοθετώντας μια εντελώς νέα στρατηγική, οι έξυπνες συσκευές επιτρέπουν στους οργανισμούς της εφοδιαστικής αλυσίδας να μειώσουν τα λειτουργικά τους έξοδα. Η εφοδιαστική αλυσίδα θα είναι πιο αποτελεσματική εάν εφαρμοστεί το IoT και τα σχετικά gadgets (Basset et al., 2018).

Οι συσκευές που χρησιμοποιούνται για την εφαρμογή του IoT απαιτούν επίσης σωστή εγκατάσταση, επομένως μόνο εξειδικευμένο προσωπικό θα πρέπει να τις διαχειρίζεται. Επίσης, είναι ζωτικής σημασίας η χρήση του κατάλληλου εργαλείου για την εργασία, διότι η ακατάλληλη χρήση ενός εργαλείου μπορεί εύκολα να οδηγήσει σε βλάβη.

2.2.2 Big Data

Τα μεγάλα δεδομένα (Big Data) είναι μια περαιτέρω εξέλιξη που προκλήθηκε από την ψηφιοποίηση. Τα μεγάλα δεδομένα έχουν σημαντικό αντίκτυπο στην κοινωνία, την έρευνα και την οικονομία. Τα μεγάλα δεδομένα είναι το επερχόμενο σημαντικό βήμα προς τον ανταγωνισμό, την παραγωγικότητα και την καινοτομία, σύμφωνα με τους Manyika et al. (2011). Τα μεγάλα δεδομένα χρησιμοποιούνται επίσης για να αναφερθούν σε σύνολα δεδομένων που το συμβατικό λογισμικό βάσεων δεδομένων δεν μπορεί να χρησιμοποιηθεί για τη συλλογή, την αποθήκευση, τη διαχείριση ή την ανάλυση. Τα μεγάλα δεδομένα έχουν εξελιχθεί σε μια ουσιαστική οικονομική συνεισφορά που χρησιμοποιείται για τη δημιουργία ενός νέου είδους οικονομικής αξίας για τις επιχειρήσεις (Mayer-Schonberger & Kenneth, 2013).

Οι πρόσφατες τεχνολογικές εξελίξεις έχουν οδηγήσει στην κατασκευή τεράστιων πληροφοριακών βάσεων δεδομένων. Τα μεγάλα δεδομένα έχουν οριστεί με μεγαλύτερη ακρίβεια ως δεδομένα μεγάλου όγκου, υψηλής ταχύτητας και ποικιλίας που απαιτούν ανάλυση σε βάθος προκειμένου να ληφθούν αποφάσεις. Παρά το γεγονός ότι τα μεγάλα δεδομένα φαίνεται να ανοίγουν νέους δρόμους για μελέτη, πολλές εταιρείες διστάζουν να κάνουν τη στροφή, επειδή η πραγματοποίηση ολοκληρωμένης ανάλυσης δεδομένων απαιτεί μεγάλη επένδυση. Πολλές από αυτές προχωρούν στη συλλογή δεδομένων, αλλά αποτυγχάνουν να τα αναλύσουν και να τα μεταφράσουν επαρκώς. Από την άλλη πλευρά, οι επιχειρήσεις που αξιοποιούν τα μεγάλα δεδομένα

και επενδύουν σε αυτή τη νέα τεχνολογία είναι σε θέση να κάνουν αυτοματοποιημένες κρίσεις αμέσως για πολύπλοκα προβλήματα που συχνά θα χρειάζονταν πολύ περισσότερο χρόνο για να επιλυθούν με υψηλότερο κόστος και χαμηλότερη κερδοφορία. Όταν τα μεγάλα δεδομένα αναλύονται σωστά, υπάρχει βέλτιστη ροή χρημάτων, υλικών και πληροφοριών και η αλυσίδα εφοδιασμού μπορεί να παράγει εξαιρετικά αποτελέσματα (Niranjan et al., 2017).

Επιπλέον, αξιοποιώντας τα μεγάλα δεδομένα, οι επιχειρήσεις μπορούν να ξεπεράσουν το φαινόμενο bullwhip, ένα από τα κύρια προβλήματα με τις αλυσίδες εφοδιασμού τους, επιτυγχάνοντας μια πραγματική εκτίμηση της ζήτησης μέσω της ροής πληροφοριών σε πραγματικό χρόνο. Το φαινόμενο bullwhip περιγράφει πώς οι μικρές αλλαγές στη ζήτηση σε επίπεδο λιανικής μπορούν σταδιακά να προκαλέσουν μεγαλύτερες μεταβολές της ζήτησης σε όλη την αλυσίδα: χονδρέμπορους, διανομείς και κατασκευαστές. Το τελικό αποτέλεσμα αυτού του φαινομένου θα μπορούσε να περιλαμβάνει λανθασμένες εκτιμήσεις για τη διαμόρφωση της ζήτησης και ανεκπλήρωτες παραγγελίες.

Η ενσωμάτωση των μεγάλων δεδομένων είναι απαραίτητη για τον πλήρη ψηφιακό μετασχηματισμό της αλυσίδας εφοδιασμού. Η μεγάλη επιχείρηση Netflix χρησιμοποιεί την ανάλυση μεγάλων δεδομένων για στοχευμένη διαφήμιση. Η επιχείρηση συγκεντρώνει μεγάλο όγκο δεδομένων χάρη στους περισσότερους από 100 εκατομμύρια χρήστες της, τα οποία είναι απαραίτητα για την πραγματοποίησή της. Χρησιμοποιώντας πληροφορίες αναζήτησης και παρακολούθησης συνδρομητών του παρελθόντος, οι οποίες παρέχουν πληροφορίες για τους τομείς που ενδιαφέρουν περισσότερο τον συνδρομητή.

Big Data Analytics

Η πρακτική της ανάλυσης μεγάλου όγκου δεδομένων για την εύρεση κρυφών μοτίβων, ανεξερεύνητων συσχετίσεων, τάσεων της αγοράς, προτιμήσεων πελατών και άλλων σχετικών επιχειρηματικών πληροφοριών που μπορούν να χρησιμοποιηθούν για τη λήψη καλύτερων επιχειρηματικών αποφάσεων. Ο ορισμός του Institute for Business Research and Management για την ανάλυση ως "η επιστημονική διαδικασία μετατροπής τεράστιων δεδομένων σε πληροφορίες για τη λήψη καλύτερων αποφάσεων" (Informs.org, 2014) είναι ένας εναλλακτικός ορισμός σε σχέση με αυτόν που χρησιμοποιείται συνήθως. Τα τέσσερα "V" (volume, velocity, variety και accuracy) πρέπει να

λαμβάνονται υπόψη κατά την ανάλυση μεγάλου όγκου δεδομένων (Li and Liu, 2019). Αυτές οι τρεις κατηγορίες μπορούν να χρησιμοποιηθούν για την κατηγοριοποίηση της ανάλυσης μεγάλων δεδομένων:

- Περιγραφική ανάλυση: Χρησιμοποιείται συχνά σε πολλούς κλάδους, αυτός ο τύπος ανάλυσης χρησιμοποιεί μεθόδους εξόρυξης δεδομένων από ιστορικά δεδομένα για να παρέχει πληροφορίες και κατανόηση για γεγονότα του παρελθόντος.

- Προγνωστική ανάλυση: Η προγνωστική ανάλυση κάνει καλύτερες προβλέψεις σχετικά με το πότε θα συμβεί ένα γεγονός, χρησιμοποιώντας δεδομένα, στατιστικούς αλγόριθμους και προσεγγίσεις μηχανικής μάθησης για τον προσδιορισμό της πιθανότητας μελλοντικών γεγονότων από ιστορικά δεδομένα. Αυτό το είδος ανάλυσης χρησιμοποιείται στην παραγωγή για την πρόβλεψη αποτυχιών και την προληπτική εξάλειψή τους.

- Κανονιστική ανάλυση: Το τελευταίο στάδιο της ανάλυσης, το οποίο προσφέρει γνώσεις που βοηθούν στη βελτίωση της λήψης αποφάσεων. Για την περιγραφή της χρησιμοποιούνται τεχνικές όπως η ανάλυση γραφημάτων, η προσομοίωση, η περίπλοκη επεξεργασία γεγονότων, τα νευρωνικά δίκτυα και η μηχανική μάθηση.

2.2.2 Cloud Computing

Η τεχνολογία του υπολογιστικού νέφους, η οποία αποτελεί χρήσιμο εργαλείο για υψηλό επίπεδο ολοκλήρωσης της εφοδιαστικής αλυσίδας, αποτελεί σημαντικό πεδίο ενδιαφέροντος και είναι επίσης ζωτικής σημασίας για την επιτυχία της εφοδιαστικής αλυσίδας (Novais et al., 2019). Η τεχνολογία αυτή είναι μια τεχνολογία που εξελίσσεται γρήγορα και επηρεάζει πολλούς διαφορετικούς κλάδους. Ένας από αυτούς τους τομείς είναι η διαχείριση της εφοδιαστικής αλυσίδας, η οποία δημιουργεί νέες δυνατότητες στον κλάδο. Βελτιώνει σημαντικά τη ροή πληροφοριών/δεδομένων από τους προμηθευτές στους πελάτες κατά μήκος ολόκληρης της αλυσίδας εφοδιασμού. Επιτρέπει στους χρήστες να έχουν πρόσβαση σε προηγμένες εφαρμογές, μοντέλα και υπηρεσίες που βασίζονται στο υπολογιστικό νέφος. Οι υπηρεσίες που προσφέρει η τεχνολογία αυτή είναι προσβάσιμες από οπουδήποτε στον κόσμο και είναι

διαθέσιμες όλο το εικοσιτετράωρο. Πιο συγκεκριμένα, η τεχνική αυτή προσφέρει πολλά πλεονεκτήματα όπως:

- Αυξημένη ορατότητα: Συνθήκες του πραγματικού κόσμου και σημερινές ανάγκες. Μια επιχείρηση μπορεί να προβλέψει τη ζήτηση αξιοποιώντας την τεχνολογία υπολογιστικού νέφους και συγκεντρώνοντας τα διαθέσιμα δεδομένα.

- Προμήθειες: Με τις τεχνολογίες υπολογιστικού νέφους, είναι δυνατή η σημαντική μείωση των δαπανών πρόβλεψης. Μια βάση δεδομένων διατηρείται ενημερωμένη και οι αναφορές παράγονται με τη χρήση τεχνολογιών υπολογιστικού νέφους για να εξασφαλιστεί η έγκαιρη παράδοση των πρώτων υλών. Το cloud computing διευκολύνει τη χρήση μεθόδων όπως το Just in Time, μια μεθοδολογία που στοχεύει κυρίως στη μείωση των χρόνων ροής στο σύστημα παραγωγής καθώς και στους χρόνους απόκρισης από τους προμηθευτές και τους πελάτες μιας επιχείρησης (Goddard, 2001).

- Προγραμματισμός και πρόβλεψη: Η χρήση στατιστικών εργαλείων από την τεχνολογία cloud μπορεί να μειώσει την ποσότητα των αποθεμάτων που απαιτούνται και να δώσει στις μονάδες παραγωγής τη γνώση που χρειάζονται για να ικανοποιήσουν τη ζήτηση.

- Διαχείριση μετά την πώληση: Με τη χρήση τεχνολογιών υπολογιστικού νέφους, δημιουργείται ένα αποτελεσματικό και αποδοτικό σύστημα για τη διατήρηση της ικανοποίησης των πελατών (Sinha, 2013)

Ως εκ τούτου, είναι ζωτικής σημασίας για τους διαχειριστές της εφοδιαστικής αλυσίδας να συμβαδίζουν με τις τεχνολογικές εξελίξεις στην εποχή της πληροφορίας, προκειμένου να μεγιστοποιήσουν τα logistics. Η ποιότητα της αλυσίδας εφοδιασμού γίνεται όλο και πιο κρίσιμη για τη θέση της επιχείρησης στην αγορά. Οι επιχειρήσεις που κατανοούν και προσαρμόζονται στις πληροφορίες και τα δεδομένα της εφοδιαστικής αλυσίδας εξελίσσονται όλο και περισσότερο σε ρυθμιστές του κλάδου. Η ροή πληροφοριών θα μπορούσε να ενοποιηθεί πλήρως χάρη στις πλατφόρμες υπολογιστικού νέφους (Dubey & Rawat, 2014).

2.2.3 Blockchain

Ο Satoshi Nakamoto εισήγαγε την τεχνολογία Blockchain το 2008. Η πιο γνωστή χρήση της τεχνολογίας Blockchain είναι το νομισματικό σύστημα που είναι

γνωστό ως Bitcoin, το οποίο έχει αποκτήσει ευρεία αποδοχή. Ψηφιακά δεδομένα ή εγγραφές γεγονότων μπορούν να αποθηκευτούν σε μια καταναμημένη βάση δεδομένων που ονομάζεται blockchain, η οποία μπορεί να τα προστατεύσει από τη διακινδύνευσή τους. Τα δεδομένα μπορούν να προσπελαστούν, να επιθεωρηθούν ή να προστεθούν από πολλούς χρήστες, αλλά δεν μπορούν να τροποποιηθούν ή να αφαιρεθούν. Τα αρχικά δεδομένα εξακολουθούν να υπάρχουν, δημιουργώντας ένα μόνιμο και ορατό "μονοπάτι" πληροφοριών ή μια ακολουθία συναλλαγών. Η αλυσίδα μπλοκ είναι ένα τεχνολογικό θεμέλιο αιχμής για οικονομικές έννοιες όπως η κρυπτογραφία. Η εστίαση των διευθυντών και των ακαδημαϊκών έχει, ωστόσο, αλλάξει τα τελευταία πέντε χρόνια στη χρήση της τεχνολογίας Blockchain σε άλλους τομείς. Η τεχνολογία Blockchain αποτελεί πλέον το θεμέλιο της ψηφιακής αλυσίδας εφοδιασμού αιχμής στην τέταρτη βιομηχανική επανάσταση που έχει γίνει πλήρως ψηφιακή, ή Βιομηχανία 4.0. Πρόκειται για ένα δημόσιο δίκτυο που αποτελείται από μπλοκ που έχουν κάτι κοινό. Ένα ολοκληρωμένο δίκτυο δημιουργείται από μια σειρά προειδοποιήσεων. Το δίκτυο αυτό είναι ισόποσα καταναμημένο και είναι αποκεντρωμένο. Αυτό σημαίνει ότι δεν υπάρχει προτεραιότητα και ότι κανείς στο διαδίκτυο δεν είναι η πρώτη επιλογή κανενός άλλου. Ένα κοινόχρηστο αρχείο είναι διαθέσιμο σε κάθε συμμετέχοντα ταυτόχρονα στο δικό του αντίγραφο. Αυτό το αρχείο είναι δυναμικό και αυξάνεται συνεχώς καθώς προστίθενται νέα δεδομένα.

Η βασική διαφορά μεταξύ αυτής της τεχνολογίας και άλλων είναι ότι τα δεδομένα στα αρχεία δεν μπορούν να διαγραφούν. Αποτελούνται από μια αλυσίδα συναφών εγγραφών που έχουν ομαδοποιηθεί και τους έχει δοθεί το όνομα μπλοκ δεδομένων. Τα μπλοκ αυτά συνδέονται μεταξύ τους και μοιάζουν με τους κρίκους μιας αλυσίδας. Ακριβώς όπως οι κρίκοι μιας αλυσίδας, αυτά τα μπλοκ συγκεντρωμένων δεδομένων σχηματίζουν ένα δίκτυο κοινών διαδρομών που το ευρύ κοινό αποκαλεί αλυσίδες επικοινωνίας. Επιπλέον, οι κίνδυνοι και οι ανησυχίες των κεντρικών μοντέλων, όπως οι ανακριβείς πληροφορίες και τα δεδομένα αλλά και τα ζητήματα εμπιστοσύνης, αποφεύγονται από τις καταναμημένες υποδομές και τα αποκεντρωμένα μοντέλα. Η κεντρική αρχή πιστοποίησης είναι πιθανό να αποτύχει σε σύγκριση με την αποκεντρωμένη στρατηγική, καθώς ένα μόνο σημείο αποτυχίας μπορεί να οδηγήσει στην ολική καταστροφή του συστήματος (Figorilli et al., 2018). Η blockchain μπορεί να μειώσει τους κινδύνους ασφαλείας που σχετίζονται με τις χρηματοοικονομικές συναλλαγές, καθώς και να βελτιώσει την εμπιστοσύνη, την αντίχρεωση απάτης, την ιχνηλασιμότητα και την ευρωστία.

2.2.4 Robotics Technology

Τα αυτοματοποιημένα συστήματα με τη μορφή μηχανών χρησιμοποιούνται για την εκτέλεση εργασιών που σχετίζονται με την παραγωγή με ελάχιστη ή καθόλου ανθρώπινη παρέμβαση από την πρώτη βιομηχανική επανάσταση. Τα σημερινά εξαιρετικά προηγμένα ρομπότ, τα οποία καθοδηγούνται από λογισμικό τεχνητής νοημοσύνης, αρχίζουν να αντικαθιστούν τους εργαζόμενους σε διάφορους τομείς, όπως ο στρατός, η υγειονομική περίθαλψη και οι χειρουργικές επεμβάσεις, οι διαδικασίες παραγωγής όπως η συγκόλληση και η συναρμολόγηση, ο εξοπλισμός χειρισμού υλικών κ.λπ. Οι αποθήκες της "Amazon", οι οποίες βασίζονται κυρίως στο σύστημα ρομπότ "Kiva", που σήμερα είναι γνωστό ως Amazon Robotics, αποτελούν ένα καλό παράδειγμα. Τα τελευταία χρόνια, ο κλάδος των logistics έχει αρχίσει να χρησιμοποιεί την αυτοματοποίηση. Παρά το γεγονός ότι τα αυτοματοποιημένα οχήματα καθοδήγησης (AGV) δεν αποτελούν ευρέως χρησιμοποιούμενη λύση, πολλές επιχειρήσεις, ιδίως μεγάλες, διερευνούν τέτοιες στρατηγικές. Τα αυτόνομα οχήματα χρησιμοποιούνται για τη μετακίνηση υλικών, εξαρτημάτων ή προϊόντων από τις εγκαταστάσεις παραγωγής στην αποθήκη ή και εντός της αποθήκης. Τα μη επανδρωμένα οχήματα χρησιμοποιούνται στη συμβατική στρατηγική, αλλά αυτό το νέο μοντέλο προτείνει τη χρήση τους για τη διαχείριση της αποθήκης (Sabattini et al., 2017).

Το νέο τεχνολογικό οικοσύστημα έχει δημιουργήσει ένα περιβάλλον όπου τα αυτοματοποιημένα αυτοκίνητα όχι μόνο κινούνται σε μια μικρή περιοχή αλλά και συνυπάρχουν με άλλες οντότητες όπως τα μη επανδρωμένα αυτοκίνητα. Η τεχνολογία έξυπνων αισθητήρων στα οχήματα μπορεί να βοηθήσει σε αυτό. Κάθε διαδρομή έχει εμπόδια τα οποία εντοπίζονται και αποφεύγονται με τη χρήση της προαναφερθείσας τεχνολογίας (Weisbach et al., 2014). Είναι προφανές ότι ο τομέας της "Ρομποτικής" διαδραματίζει βασικό ρόλο στην αλυσίδα εφοδιασμού και οι επιχειρήσεις πρέπει να υιοθετήσουν αυτή τη στρατηγική για να ανταγωνιστούν στην παγκόσμια οικονομική αγορά. Οι ρυθμοί είναι τέτοιοι που είναι πιθανό στο εγγύς μέλλον να υπάρχει ένα πλήρως αυτοματοποιημένο σύστημα αποθήκευσης και μια σχεδόν μη επανδρωμένη αλυσίδα εφοδιασμού.

2.2.5 Artificial Intelligence

Η τεχνητή νοημοσύνη έχει σημαντικό αντίκτυπο στον τρόπο με τον οποίο εξελίσσονται οι επιχειρήσεις. Στην αλυσίδα εφοδιασμού, οι αυτοματοποιημένες μέθοδοι χρησιμοποιούνται ολοένα και περισσότερο. Από τις αρχές της δεκαετίας του 1980, όπου και πρωτοεμφανίστηκε, όταν επέδειξε ικανότητες που μοιάζουν με την ανθρώπινη νοημοσύνη όσον αφορά τον εντοπισμό κοινών επιχειρηματικών διαδικασιών, την εκμάθηση επιχειρηματικών δραστηριοτήτων και την ανάκτηση και ανάλυση δεδομένων, η ΑΙ είναι μια τεχνολογία που αποσκοπεί στην ενίσχυση των διαδικασιών λήψης αποφάσεων και στην αύξηση της παραγωγικότητας (Hassabis, 2017). Οι ανάγκες για την αποτελεσματική λειτουργία μιας επιχείρησης και η πολυπλοκότητα των λειτουργιών σε ένα παγκόσμιο, χωρίς σύνορα, οικονομικό περιβάλλον, υποχρεώνουν τις επιχειρήσεις να προβούν σε συστήματα και μεθόδους που εμπεριέχουν τεχνολογίες ΑΙ. Σε ορισμένες περιπτώσεις, τα αυτοματοποιημένα συστήματα και η τεχνητή νοημοσύνη έχουν ξεπεράσει την ανθρώπινη αλληλεπίδραση (Hojjati-Emami et al., 2012).

Επιπλέον, οι εργαζόμενοι αδυνατούν να λάβουν έγκαιρη εκπαίδευση, επειδή οι απαιτήσεις γίνονται όλο και πιο πολύπλοκες. Η τεχνητή νοημοσύνη καλύπτει αυτό το κενό προς το παρόν. Οι διαδικτυακοί λιανοπωλητές όπως η Amazon και η Alibaba, οι οποίοι προτείνουν πράγματα στους καταναλωτές τους με βάση πληροφορίες που συλλέγονται και αξιολογούνται από μηχανές συστάσεων, αποτελούν εξαιρετικά παραδείγματα πρόβλεψης των απαιτήσεων των πελατών. Σύμφωνα με ένα δίπλωμα ευρεσιτεχνίας για τη ναυτιλία, η Amazon είναι σε θέση να αποστέλλει αγαθά ακόμη και πριν οι πελάτες κάνουν παραγγελίες. Επιπλέον, αρκετοί διαδικτυακοί λιανοπωλητές ενδυμάτων παρακολουθούν τις μετρήσεις των πελατών τους, καθιστώντας δυνατό για τους νέους πελάτες να εκτιμήσουν τις διαστάσεις τους παρέχοντας απλώς το βάρος, το ύψος και τον σωματότυπό τους. Οι οργανισμοί στον κλάδο της εφοδιαστικής αγκαλιάζουν με ταχείς ρυθμούς την κάθετη και οριζόντια συνεργασία, την τεχνητή νοημοσύνη βάσει υπηρεσιών και την τεχνητή νοημοσύνη βάσει δεδομένων (Pan et al., 2019).

Η μηχανική μάθηση (ML) είναι μια μέθοδος για την ανάπτυξη της τεχνητής νοημοσύνης, δεδομένου ότι το αποτέλεσμα που παράγει μπορεί να αξιοποιηθεί για να γίνουν προτάσεις, κρίσεις και συστήματα ανατροφοδότησης. Δεδομένου ότι οι τεχνικές

τεχνητής νοημοσύνης που βασίζονται στην ML είναι σήμερα περιζήτητες, οι δύο αυτές μεθοδολογίες χρησιμοποιούνται συχνά εναλλακτικά σε εταιρικά περιβάλλοντα. Στην πραγματικότητα, πριν από δύο δεκαετίες, όταν η μεγαλύτερη ψηφιοποίηση και η πιο προσιτή υπολογιστική ισχύς κατέστησαν δυνατή τη διδασκαλία υπολογιστών με σκοπό τη δημιουργία προτύπων, η δημοτικότητα της ML άρχισε να εκτοξεύεται στα ύψη. Η έλευση των μεγάλων δεδομένων και η ανάπτυξη της ML είναι άρρηκτα συνδεδεμένες και η σχέση τους είναι πάντα αμοιβαία. Η χρήση της τεχνολογίας ML παράγει τον μεγαλύτερο όγκο δεδομένων και ταυτόχρονα, όσο περισσότερα δεδομένα είναι διαθέσιμα, τόσο πιο αποτελεσματικές γίνονται οι τεχνικές ML (Lehtisalo, 2018). Χωρίς τη βοήθεια του χρήστη ή τους ορισμούς κατηγοριοποίησης για την καθοδήγηση της έρευνας, οι αλγόριθμοι μηχανικής μάθησης μπορούν να ανακαλύψουν νέα μοτίβα στα δεδομένα της εφοδιαστικής αλυσίδας. Στη συνέχεια, οι αλγόριθμοι αυτοί χρησιμοποιούν μοντέλα περιορισμών για τον εντοπισμό της συλλογής κρίσιμων στοιχείων με την υψηλότερη ακρίβεια πρόβλεψης.

2.2.6 Digital Twins

Σύμφωνα με την περιγραφή του Michael Grieves το 2002 για ένα ψηφιακό σύστημα πληροφοριών που λειτουργεί ως ανεξάρτητο και συνδεδεμένο φυσικό σύστημα, τα ψηφιακά δίδυμα υπάρχουν εδώ και καιρό. Το ιδανικό ψηφιακό παράδειγμα θα πρέπει να διαθέτει όλες τις λεπτομέρειες για τα συστατικά του συστήματος που θα μπορούσαν να ανακαλυφθούν με μια προσεκτική εξέταση του συστήματος στον πραγματικό κόσμο (Grieves V., et al. 2017).

Το θεμέλιο του DT είναι οι γνήσιες, μαζικές, συγκεντρωτικές μετρήσεις δεδομένων σε πραγματικό χρόνο από κάθε πτυχή του φυσικού στοιχείου. Αυτές οι μετρήσεις μπορούν να οδηγήσουν σε ένα εξελισσόμενο προφίλ του πράγματος ή της διαδικασίας στον ψηφιακό κόσμο, το οποίο μπορεί να δώσει κρίσιμες πληροφορίες για το πόσο καλά λειτουργεί το σύστημα και να εμπνεύσει ενέργειες στον πραγματικό κόσμο, όπως ο επανασχεδιασμός του προϊόντος (Holdowsky J., et al. 2015).

Στην πραγματικότητα, η πραγματική δύναμη ενός DT και ο λόγος που μπορεί να είναι τόσο κρίσιμος είναι η ικανότητά του να προσφέρει μια ολοκληρωμένη, σχεδόν σε πραγματικό χρόνο συνδεσιμότητα μεταξύ του φυσικού και του ψηφιακού κόσμου. Τα DT είναι σε θέση να προσφέρουν μοντέλα που παράγουν πιο ακριβείς και

ολοκληρωμένες μετρήσεις ως αποτέλεσμα αυτής της αλληλεπίδρασης μεταξύ του φυσικού και του ψηφιακού κόσμου του προϊόντος ή της διαδικασίας. Επιπλέον, αυτά τα αλληλεπιδραστικά μέτρα μπορούν να μελετηθούν χρησιμοποιώντας αρχιτεκτονικές μαζικής επεξεργασίας αιχμής και εξελιγμένους αλγορίθμους για προγνωστικά ευρήματα και ανάλυση σε πραγματικό χρόνο σε ένα περιβάλλον εκτός σύνδεσης. Αυτό καθίσταται εφικτό χάρη στις φθηνότερες και ισχυρότερες υπολογιστικές δυνατότητες. Μπορούν να καταστήσουν νοητές σημαντικές τροποποιήσεις σχεδιασμού και διεργασιών που είναι πρακτικά πιθανό να μην είναι δυνατές με τις τρέχουσες τεχνικές.

2.2.7 Additive Manufacturing

Στο Ινστιτούτο Battelle Memorial, η τεχνολογία της προσθετικής κατασκευής πρωτοεμφανίστηκε στα τέλη της δεκαετίας του 1960. Το υλικό σε μια δεξαμενή ρητίνης πολυμερίστηκε από τους ερευνητές με τη χρήση δύο ακτίνων λέιζερ. Στη συνέχεια, δημιουργήθηκαν περαιτέρω τεχνικές σε παγκόσμιο επίπεδο και εκδόθηκαν πολλαπλές πατέντες τη δεκαετία του 1980. Το 1984 υποβλήθηκε από τον Charles Hull αίτηση για δίπλωμα ευρεσιτεχνίας στις ΗΠΑ με τίτλο "Συσκευή για τη δημιουργία τρισδιάστατων αντικειμένων μέσω στερεολιθογραφίας". Αυτή ήταν η πρώτη εφεύρεση που επέτρεψε την ανάπτυξη της στερεολιθογραφίας και, τελικά, των τρισδιάστατων εκτυπωτών. Ο Charles Hull συνίδρυσε την 3D Systems Inc., μια διάσημη σήμερα επιχείρηση, μετά τη χορήγηση του διπλώματος ευρεσιτεχνίας το 1986. Ο SLA-1, η πρώτη προσθετική συσκευή που πωλήθηκε εμπορικά, παρουσιάστηκε στην αγορά το 1987 (Wohlers και Gornet 2014).

Ο Scott Crump συνίδρυσε τη Stratasys Ltd. και υπέβαλε αίτηση για δίπλωμα ευρεσιτεχνίας για τη μοντελοποίηση με τη μέθοδο της συντηγμένης εναπόθεσης (FDM) τρία χρόνια αργότερα. Το 1992, η Stratasys παρουσίασε τον πρώτο τρισδιάστατο εκτυπωτή FDM. Τρεις εταιρείες έλαβαν άδειες χρήσης της τεχνολογίας εκτύπωσης με ακτίνες μελάνης (3DP), η οποία κατοχυρώθηκε με δίπλωμα ευρεσιτεχνίας από μια ομάδα του MIT το 1989. Παρά το γεγονός ότι έχουν δημιουργηθεί και βελτιωθεί πολλές ακόμη, αυτές οι τεχνικές προσθετικής κατασκευής είναι οι σημαντικότερες. Οι εταιρείες που κατείχαν τις πατέντες συνέχισαν να εξελίσσουν τις τεχνικές κατασκευής προσθετικών προϊόντων κατά τις επόμενες δεκαετίες. Κάθε χρόνο, το κόστος των προσθετικών μηχανημάτων και των υλικών μειωνόταν, ενώ οι χρόνοι παραγωγής και η ανάλυση βελτιώνονταν και η διαθεσιμότητα

των υλικών αυξανόταν. Ωστόσο, ο Dr. Adrian Bowyer, ανώτερος λέκτορας μηχανολογίας στο Πανεπιστήμιο του Bath στην Αγγλία, παρουσίασε τον τρισδιάστατο εκτυπωτή RepRap το 2005. (Replicating Rapid-prototyper - ταχεία αντιγραφή πρωτοτύπων). Η ονομασία που δόθηκε στην τεχνολογία RepRap ήταν Fused-Filament Fabrication (FFF) και όχι FDM, προκειμένου να αποφευχθεί η παραβίαση εμπορικών σημάτων. Περίπου το 50% των εξαρτημάτων του RepRap μπορεί να είναι αυτοπαραγόμενα, καθιστώντας τον έναν φθηνό, απλό στην επισκευή και αναβαθμίσσιμο τρισδιάστατο εκτυπωτή (Laplume, Petersen and Pearce, 2016). Η Shapeways, η πρώτη αγορά και υπηρεσία τρισδιάστατης εκτύπωσης, ξεκίνησε το 2009. Το Shapeways εκτυπώνει τα προϊόντα για τους χρήστες ή για άλλους, αφού οι χρήστες δημιουργήσουν και ανεβάσουν αρχεία 3D εκτύπωσης. Το πρώτο λεξικό όρων προσθετικής κατασκευής κυκλοφόρησε την ίδια χρονιά που δημιουργήθηκε η επιτροπή ASTM F42 για τις τεχνολογίες προσθετικής κατασκευής.

Ένα σημαντικό δίπλωμα ευρεσιτεχνίας FDM έληξε επίσης το 2009 και οι συσκευές RepRap ανοιχτού κώδικα γνώρισαν εκρηκτική εξάπλωση (Laplume, Petersen and Pearce, 2016). Η ASTM έχει υιοθετήσει τη φράση "τεχνολογία προσθετικής κατασκευής (AM)" τα τελευταία χρόνια, αλλά το ευρύ κοινό δεν είναι εξοικειωμένο με αυτήν. Από την άλλη πλευρά, αν και πρόκειται για μια συγκεκριμένη μέθοδο που εμπίπτει στην κατηγορία της προσθετικής κατασκευής, η "τρειςδιάστατη εκτύπωση" είναι η πιο ευρέως χρησιμοποιούμενη λέξη συνολικά. Ωστόσο, αυτοί οι όροι δεν ήταν οι μοναδικοί καθ' όλη τη διάρκεια των τελευταίων δεκαετιών. Καθώς η κατασκευή πρωτοτύπων ήταν η πρώτη εφαρμογή αυτής της τεχνολογίας, η "ταχεία πρωτοτυποποίηση" ήταν η πρώτη. Μετά από αυτό, ήταν γνωστή ως "ταχεία κατασκευή", επειδή η λέξη "προσθετική κατασκευή" χρησιμοποιήθηκε μόνο για την κατασκευή εργαλείων παραγωγής, ενώ τα τελικά προϊόντα παράγονταν με τη χρήση καλουπιών. Επιπλέον, η "προσθετική κατασκευή" και η "άμεση ψηφιακή κατασκευή" είναι εναλλακτική ορολογία για την προσθετική κατασκευή.

Αρκετές τεχνολογίες χρησιμοποιούνται στον τομέα της προσθετικής κατασκευής και κάθε μία έχει μοναδικά οφέλη, μειονεκτήματα και τομείς εφαρμογής. Υπάρχουν επτά (7) διαφορετικές τεχνολογίες προσθετικής κατασκευής (AM), σύμφωνα με την ASTM (American Society for Testing and Materials): (i) VAT Φωτοπολυμερισμός, (ii) εκτόξευση υλικού, (iii) εξώθηση υλικού, (iv) σύντηξη κλίνης σκόνης, (v) εκτόξευση συνδετικού υλικού, (vi) πλαστικοποίηση φύλλων και (vii) κατευθυνόμενη ενέργεια (ASTM International 2012) και για καθεμία από αυτές έχει

δημιουργηθεί ένας αριθμός διαδικασιών. Παρά την ποικιλομορφία των τεχνολογιών και των διαδικασιών προσθετικής κατασκευής, όλες μοιράζονται τα ίδια βήματα στην παραγωγή αγαθών. Τρεις φάσεις συνθέτουν τη διαδικασία κατασκευής, σύμφωνα με τους Savastano και συν. (2016): η φάση του σχεδιασμού, η φάση της εκτύπωσης και η φάση μετά την παραγωγή.

Ο κύκλος hype της Gartner για την τρισδιάστατη εκτύπωση αντικατοπτρίζει πλέον τις δυνατότητες ανάπτυξης της προσθετικής κατασκευής. Ο κύκλος Hype Cycle της Gartner προσφέρει μια γραφική απεικόνιση του επιπέδου ανάπτυξης και αποδοχής των τεχνολογιών και των εφαρμογών, καθώς και του τρόπου με τον οποίο μπορούν να είναι χρήσιμες για την αντιμετώπιση των τρεχόντων επιχειρηματικών ζητημάτων και την αξιοποίηση των ανεκμετάλλετων ευκαιριών της αγοράς. Σύμφωνα με τον κ. Basiliere, διευθυντή ερευνών της Gartner, η κατασκευή πρωτοτύπων αποτελούσε επί μακρόν τη μόνη πρωταρχική εφαρμογή της προσθετικής κατασκευής, αλλά πρόσφατα ο τομέας της υγείας άρχισε να χρησιμοποιεί την τεχνολογία. Σε λιγότερο από δύο χρόνια, όλοι οι κύριοι παραγωγοί ακουστικών βαρηκοΐας έφεραν επανάσταση στον κλάδο προσφέροντας προϊόντα που διαμορφώνονται σύμφωνα με το αυτί του ασθενούς. Επιπλέον, προστίθεται η ταχεία ανάπτυξη της τεχνολογίας, όπως η τρισδιάστατη σάρωση, το λογισμικό δημιουργίας για τρισδιάστατη εκτύπωση και οι πάροχοι υπηρεσιών τρισδιάστατης εκτύπωσης θα μπορούσαν να αποτελέσουν καταλύτη για την ευρεία υιοθέτηση της προσθετικής κατασκευής (Gartner, 2015).

2.3 Ενσωμάτωση τεχνολογιών Πληροφορικής στη βιώσιμη εφοδιαστική αλυσίδα

Οι έννοιες 4IR (4^η Βιομηχανική Επανάσταση) και SMAC (Social, Mobile, Analytics και Cloud) της σύγκλισης τεσσάρων τεχνολογιών που οδηγούν στην επιχειρηματική καινοτομία και επιτρέπουν την ανάπτυξη νέων επιχειρηματικών μοντέλων αποτελούν τα θεμέλια της έννοιας της Εφοδιαστικής Αλυσίδας 4.0. Σύμφωνα με τους Dewan και Jena (2014), οι έννοιες αυτές είναι οι πιο σημαντικές και πολλά υποσχόμενες:

- συνεργατικές πλατφόρμες που βασίζονται σε Cloud,
- τεχνολογίες αυτοματισμού, bots & cobots
- ψηφιακή αδελφοποίηση (Digital twinning).

Πρόκειται για μια επιλογή που αφορά εξελιγμένες τεχνολογικές λύσεις που βασίζονται στα βασικά στοιχεία της Βιομηχανίας 4.0. Οι προαναφερθείσες τεχνολογίες συζητούνται, λαμβάνοντας υπόψη τις δυνατότητές και τον αντίκτυπό που μπορεί να έχουν στις λειτουργίες και τη διαχείριση της εφοδιαστικής αλυσίδας με τη μορφή νέων δυνατοτήτων.

Συνεργατικές πλατφόρμες που βασίζονται σε Cloud

Για την ορθή λειτουργία των αλυσίδων εφοδιασμού, η συνεργασία αποτελεί κρίσιμο ζήτημα. Ο βαθμός συνεργασίας των φορέων της αλυσίδας εφοδιασμού εξαρτάται από την ποσότητα και το μέγεθος των διαδικασιών και των έργων που υλοποιούνται από κοινού. Υπάρχουν διάφορες τεχνικές επιλογές που χρησιμοποιούνται εδώ και χρόνια για τη βελτίωση της συνεργασίας και της επικοινωνίας στην αλυσίδα εφοδιασμού. Η νέα ψηφιακή οικονομία επικεντρώνεται σε πλατφόρμες και συνεργατικά δίκτυα, ενώ το 60-70% της νέας αξίας που θα δημιουργηθεί τα επόμενα δέκα χρόνια αναμένεται να βασίζεται σε τέτοια δίκτυα και πλατφόρμες που είναι ψηφιακά ενεργοποιημένες και καθοδηγούνται από δεδομένα (WEF, 2018). Σε αυτές τις πλατφόρμες, συμπεριλαμβάνονται και αυτές που υποστηρίζουν τις αλυσίδες εφοδιασμού και τις βιομηχανίες.

Η σπουδαιότερη μέθοδος για την ολοκλήρωση της αλυσίδας εφοδιασμού είναι μέσω της τεχνολογίας νέφους. Περιλαμβάνει επίσης την ανταλλαγή δεδομένων, την ενσωμάτωση πολλών συσκευών που παρέχουν αυτά τα δεδομένα και την ανάπτυξη μιας ενιαίας διαδρομής για την ανάκτηση δεδομένων. Η ίδια η επικοινωνία μπορεί να διασφαλιστεί με αυτόν τον τρόπο μεταξύ των συνεργαζόμενων φορέων και των μονάδων τους. Εφόσον υπάρχει η δυνατότητα πρόσβασης σε υπηρεσίες νέφους από εξωτερική υποδομή, καμία από όλες αυτές δεν συνοδεύεται από σημαντικό κόστος. Δεν απαιτείται η κατασκευή ξεχωριστής ατομικής υποδομής. Το νέφος μπορεί να χρησιμοποιηθεί από πολλές συσκευές ταυτόχρονα τόσο για τη λήψη δεδομένων (upload) όσο και για την ανάκτηση δεδομένων (download). Αυτό συνεπάγεται τη συγχώνευση διαφόρων πλατφορμών υλικού, λειτουργικών συστημάτων και εφαρμογών χρήστη, όπως συστήματα ERP. Το νέφος συμβάλλει σημαντικά στην ανάπτυξη μιας ενιαίας πλατφόρμας ICT για την εφοδιαστική αλυσίδα, μιας πλατφόρμας που επιτρέπει τη διαχείριση της εφοδιαστικής αλυσίδας σε πραγματικό χρόνο (με online ορατότητα), την ανάπτυξη κυβερνο-φυσικών συστημάτων και την πραγματική και ενεργή ενσωμάτωση διαδικασιών επιτόπιας εξυπηρέτησης στην εφοδιαστική αλυσίδα. Οι λύσεις CaaS (Communication as a Service) και IPaaS

(Integration Platform as a Service), οι οποίες συμπληρώνουν τις καθιερωμένες και γνωστές υπηρεσίες νέφους όπως IaaS, PaaS και SaaS, αποδεικνύουν την αξία της επικοινωνίας και της ολοκλήρωσης των λύσεων νέφους (Baun, Kunze, Nimis, & Tai, 2011).

Η δημοτικότητα των κινητών συσκευών που μπορούν να χρησιμοποιηθούν άμεσα στη διαχείριση της εφοδιαστικής αλυσίδας έχει επηρεαστεί σε μεγάλο βαθμό από την τεχνολογία νέφους. Η κινητή διαχείριση της αλυσίδας εφοδιασμού (mSCM) και η ενσωμάτωση διαφόρων πόρων, όπως η υλοποίηση της ιδέας του διαμοιρασμού πόρων στην αλυσίδα εφοδιασμού ή - από την οπτική του πελάτη - η εφαρμογή νέων μοντέλων παροχής υπηρεσιών και δημιουργίας αξίας, όπως τα μοντέλα που βασίζονται σε συνδρομές, έχουν καταστεί δυνατά ως αποτέλεσμα αυτών των τεχνολογιών (Baun, Kunze, Nimis, & Tai, 2011).

Υπάρχουν πολυάριθμες περιπτώσεις εφαρμογών της εφοδιαστικής αλυσίδας για συνεργατικές πλατφόρμες που βασίζονται στο υπολογιστικό νέφος. Θα μπορούσαν να υπάρξουν αρκετά παρακινητικά παραδείγματα σε κάθε βιομηχανικό τομέα, όπως αναλύεται λεπτομερώς σε επιστημονικές δημοσιεύσεις. Σήμερα, οι πλατφόρμες με βάση το υπολογιστικό νέφος είναι απαραίτητες για την αποτελεσματική λειτουργία των αλυσίδων εφοδιασμού και την ομαλή εκτέλεση των διεπιχειρησιακών διαδικασιών. Οι κορυφαίες αλυσίδες εφοδιασμού χρησιμοποιούν πλέον συστηματικά εργαλεία βασισμένα στο υπολογιστικό νέφος για τον συντονισμό του σχεδιασμού και της εκτέλεσης των λειτουργιών της αλυσίδας εφοδιασμού. Οι παρατηρήσεις της αγοράς λογισμικού διαχείρισης της εφοδιαστικής αλυσίδας το υποστηρίζουν περαιτέρω. Στους μακροχρόνιους ηγέτες της εφοδιαστικής αλυσίδας περιλαμβάνονται οι SAP SE, Oracle Corporation, Epicor Software Corporation, Infor και Manhattan Associate. Αυτοί οι προμηθευτές έχουν ενσωματώσει λύσεις cloud στα προϊόντα τους. Κατά κάποιο τρόπο, η διαχείριση της εφοδιαστικής αλυσίδας είναι μια φυσική διαδικασία που έχει μεταφερθεί στο cloud. Αποδεικνύεται ότι δεν υπάρχει καλύτερος τρόπος για τον συγχρονισμό διαφορετικών λειτουργιών σε χρόνο και χώρο. Η χρήση λύσεων που βασίζονται στο cloud στις αλυσίδες εφοδιασμού είναι ουσιαστικά απεριόριστη. Είναι ζωτικής σημασίας να χρησιμοποιηθεί ως παράδειγμα η πλατφόρμα ενορχήστρωσης διαδικασιών της Oracle. Αρχικά εστιάζει στη σύζευξη των λειτουργιών του οργανισμού με μια προσαρμόσιμη υποδομή ενορχήστρωσης που επιτρέπει στον συγκεκριμένο οργανισμό να τροποποιεί τους επιχειρηματικούς του κανόνες και να παρακολουθεί τον τρόπο με τον οποίο εκτελούνται οι διαδικασίες του. Οι καθορισμένες

περιοχές για συνεργασία στις προμήθειες, τη συμβατική παραγωγή και τη σύνδεση ζήτησης-αποθέματος που διαχειρίζεται ο προμηθευτής αυξάνουν την εμβέλεια των δραστηριοτήτων της αλυσίδας εφοδιασμού σε ολόκληρο το δίκτυο εμπορικών εταιρών.

Επίσης, η στρατηγική προμηθειών γίνεται πιο άμεση, επιτρέποντας την ανταλλαγή προβλέψεων παραγγελιών με τους προμηθευτές και τη δυνατότητα εξασφάλισης μιας υπόσχεσης από την επιχείρηση σχετικά με την έγκαιρη παράδοση βασικών εξαρτημάτων και υλικών. Η συνεργασία για την αποτελεσματική πρόβλεψη παραγγελιών μπορεί επίσης να αναδειξει τομείς για εξοικονόμηση κόστους και βελτίωση της ποιότητας. Οι προμηθευτές μπορούν να εισάγουν δεσμευμένα προϊόντα online, να τα ανεβάζουν ως λογιστικά φύλλα ή να τα αποστέλλουν χρησιμοποιώντας μηνύματα B2B ή υπηρεσίες διαδικτύου. Όταν οι δεσμεύσεις των προμηθευτών καθυστερούν, το Oracle Fusion Cloud Supply Chain Collaboration παρακολουθεί τις απαντήσεις και αποστέλλει αυτόματες ειδοποιήσεις. Κατά τη συνεργασία με τους καταναλωτές για την πρόβλεψη των απαιτήσεών τους, ώστε οι δραστηριότητες της αλυσίδας εφοδιασμού να λειτουργούν αποτελεσματικά, υπάρχει σύνδεση με τη ζήτηση προϊόντων. Το Oracle Fusion Cloud Supply Chain Collaboration επιτρέπει στους πελάτες, όπως λιανοπωλητές, διανομείς και συνεργάτες καναλιών, να μοιράζονται δεδομένα κατανάλωσης ή προβλέψεις παραγγελιών. Το σύστημα μπορεί να χρησιμοποιήσει την πρόβλεψη παραγγελίας του πελάτη ως δείκτη ζήτησης για τη δημιουργία μιας αμοιβαία συμφωνημένης πρόβλεψης προσφοράς.

Τεχνολογίες αυτοματισμού, bots & cobots

Μπορούν να αξιοποιηθούν για ποικίλες εργασίες που σχετίζονται με την εφοδιαστική αλυσίδα χάρη σε μια συλλογή ποικίλων τεχνολογιών αυτοματισμού. Ωστόσο, με τον κορεσμό της εφοδιαστικής αλυσίδας με αυτές τις τεχνολογίες, είναι εφικτό να επιτευχθεί ένα νέο επίπεδο λειτουργίας με πρωτόγνωρα αποτελέσματα. Η σωστή χρήση της προσφέρει σημαντικά λειτουργικά οφέλη. Για τους αγοραστές του διαδικτυακού καναλιού, τα bots αποτελούν μεγάλη ευκολία. Τα ρομπότ (chatbots) μπορούν να συνομιλούν με τους πελάτες με τον ίδιο τρόπο που συνομιλούν οι άνθρωποι, για παράδειγμα, μέσω του Facebook Messenger. Επειδή ένα τέτοιο bot είναι προσβάσιμο κάθε μέρα της εβδομάδας, επιτρέπουν με αυτόν τον τρόπο έναν υψηλότερο βαθμό εξυπηρέτησης των πελατών. Κατά τις αγορές, τα ρομπότ μπορούν να δώσουν συμβουλές στους πελάτες. Επίσης, έχουν τη δυνατότητα να έρθουν σε επαφή με τον πελάτη για να τον ενημερώσουν σχετικά με την κατάσταση της παραγγελίας ή/και την τοποθεσία του φορτίου την ακριβή ώρα που έχει καθοριστεί.

Εάν είναι απαραίτητο, αυτό μπορεί να γίνει και με τη χρήση φωνητικών βοηθών. Από τη σκοπιά του πωλητή, τα bots παρέχουν ταχεία συλλογή δεδομένων που δεν είναι δυνατή με τις φόρμες ιστού. Μπορούν να χρησιμοποιηθούν για την ανάπτυξη εντελώς νέων υπηρεσιών για τους πελάτες. Αποδεικνύεται ότι η πλειονότητα των πελατών χρησιμοποιεί bots για να αγοράσει καλλυντικά, προϊόντα περιποίησης σώματος και περιποίησης προσώπου. Αλλά δεν είναι όλα τα bots εξίσου δημοφιλή (Kostro, 2019).

Ωστόσο, τα bots σχετίζονται συχνότερα με μηχανήματα παραγωγής και αποθήκευσης παρά με προγράμματα λογισμικού. Αλλά και σε αυτόν τον τομέα έχει γίνει μεγάλη ανάπτυξη. Τέτοια βιομηχανικά ρομπότ μπορούν πλέον να λειτουργούν μαζί με ανθρώπους όπως οι ομότεχοί τους αντί να στεγάζονται σε κλουβιά απομονωμένα. Είναι αυτό που αναφέρουμε ως cobots ή συνεργατικά ρομπότ. Σε σύγκριση με τα συμβατικά βιομηχανικά ρομπότ, είναι λίγο ελαφρύτερα και μικρότερα. Μπορούν να προγραμματιστούν και διαθέτουν αρκετούς αισθητήρες, συστήματα εντοπισμού θέσης και συστήματα όρασης. Υπάρχουν από το 1996 και έχουν ευρύ φάσμα χρήσεων. Τα Cobots χρησιμοποιήθηκαν από τη Nalipak Healthcare Packaging για να βοηθήσουν στη φόρτωση των δίσκων και του καπακιού στον θερμικό σφραγιστή δίσκων (Little, 2018).

Χρησιμοποιώντας τα Cobots LocusBots της Locus Robotics, ο πάροχος συμβολαιακής εφοδιαστικής DHL Supply Chain ξεκίνησε ένα πιλοτικό πρόγραμμα σε μια τοποθεσία στο Tennessee το 2017. Τα cobots έπρεπε να αλληλεπιδρούν με τους pickers και τα συστήματα διαχείρισης αποθήκης (i-scoop, 2017). Ενώ ένα cobot ολοκληρώνει το υπόλοιπο μιας εργασίας, ένας άνθρωπος μπορεί να χειριστεί τα αρχικά στάδια. Στις σημερινές αποθήκες, κατά τη φόρτωση, την εκφόρτωση, τη συλλογή ή τη μετακίνηση ογκωδών προϊόντων, ένας άνθρωπος μπορεί να αναγκάσει τα cobots να κάνουν όλο το χειρισμό για λογαριασμό του. Στην εφοδιαστική αλυσίδα, τα συνεργατικά ρομπότ επιτρέπουν τη συνεργασία ανθρώπου και ρομπότ, ενσωματώνοντας τη μηχανική και την ανθρώπινη εργασία, καθώς και την αυστηρά ανθρώπινη και την προγραμματισμένη και διαχειριζόμενη από τον άνθρωπο εργασία.

Οι γνωστικοί εκπρόσωποι, γνωστοί και ως εκπρόσωποι λογισμικού, αποτελούν μια πολύ πιο εξελιγμένη απάντηση στον τομέα της τεχνολογίας αυτοματισμού. Αυτές οι μηχανές, οι οποίες δημιουργούνται και διαχειρίζονται από ανθρώπους, συμπεριφέρονται όπως οι άνθρωποι και εμφανίζουν πεποιθήσεις, γνώσεις, στόχους και προθέσεις στις ενέργειές τους. Κατασκευάζονται χρησιμοποιώντας ένα μοντέλο του περιβάλλοντός τους. Ως αποτέλεσμα, έχουν την ικανότητα να σκέφτονται και να

σχεδιάζουν τις ενέργειές τους. Καθώς υπάρχουν εδώ και αρκετό καιρό, οι εκπρόσωποι λογισμικού γίνονται όλο και πιο γνωστοί. Η πιο εξελιγμένη ποικιλία τους, οι γνωστικοί εκπρόσωποι, λαμβάνεται σήμερα υπόψη σε διάφορες ερευνητικές πρωτοβουλίες στον τομέα της εφοδιαστικής και της διαχείρισης της εφοδιαστικής αλυσίδας. Ένα έργο που περιλαμβάνει τη δημιουργία ενός αυτόνομου συστήματος λήψης αποφάσεων με σκοπό την ανάπτυξη ενός συστήματος ελεγχόμενης παράδοσης για μικρομεσαίες επιχειρήσεις στον κλάδο της εφοδιαστικής εκδηλώσεων μπορεί να χρησιμεύσει ως παράδειγμα (Harjes & Scholz-Reiter, 2013).

Στη στρατιωτική βιομηχανία, οι προηγμένες λύσεις αιχμής εμφανίζονται συχνά ταχύτατα. Μια αρχιτεκτονική πλαισίου γνωστικών εκπροσώπων στον τομέα της εφοδιαστικής αίσθησης και απόκρισης (SRL) μπορεί να χρησιμεύσει ως χρήσιμη απεικόνιση από αυτή την άποψη. Η συνοχή της διοίκησης και του ελέγχου σε όλο το φάσμα των στρατιωτικών και πολεμικών επιχειρήσεων, συμπεριλαμβανομένης της επιμέλειας, υποστηρίζεται από την SRL. Ανταποκρινόμενη σε ένα μεταβαλλόμενο περιβάλλον σε συστήματα με εκπροσώπους που δεν προσαρμόζονται, η ιδέα αυτή δείχνει την πολύ αυξημένη αποτελεσματικότητά της στην παρακολούθηση κινούμενων στόχων.

Ψηφιακή αδελφοποίηση (Digital twinning)

Τα ψηφιακά δίδυμα είναι αντίγραφα απτών αντικειμένων, ζωντανών και μη, του πραγματικού κόσμου που υπάρχουν στον ψηφιακό κόσμο και επιτρέπουν τη μετάδοση δεδομένων μεταξύ των δύο κόσμων (El Saddik, 2018). Με τη χρήση του στοιχείου του ψηφιακού διδύμου, συνδέουν τον φυσικό και τον εικονικό κόσμο, επιτρέποντας την απρόσκοπτη μετάδοση δεδομένων και την προσαρμογή από απόσταση. Με τη χρήση επαναπρογραμματιζόμενων αισθητήρων και ψηφιακών διδύμων, τα πραγματικά αντικείμενα μπορούν να λειτουργούν ως έξυπνες συσκευές. Θα μπορούσε κανείς να πει ότι η τεχνολογία πίσω από τα ψηφιακά δίδυμα αναμειγνύει τη μοντελοποίηση και το IoT. Η AspenTech παρέχει μια μελέτη περίπτωσης σχετικά με το πώς τα ψηφιακά δίδυμα μπορούν να υποστηρίξουν το σχεδιασμό της εφοδιαστικής αλυσίδας του χημικού τομέα. Όταν πρόκειται για τον προγραμματισμό της αλυσίδας εφοδιασμού, το κύριο τμήμα στο οποίο μια αποτυχία περιουσιακού στοιχείου έχει ως αποτέλεσμα υψηλότερο κόστος παραγωγής και κακή εμπειρία πελάτη είναι τα μηχανήματα του εργοστασίου. Η AspenTech προσφέρει ένα σύστημα μηχανικής μάθησης χαμηλής επαφής με ψηφιακή αδελφοποίηση. Με περισσότερες από 25 ημέρες προειδοποίησης, ένα σύστημα γνωστό ως Aspen Mtell μπορεί να προβλέψει

με ακρίβεια τη βλάβη ενός στροβιλοσυμπιεστή σε μια διεργασία πολυαιθυλενίου χαμηλής πυκνότητας (LDPE) (Banker, 2018).

Η επανεκκίνηση μιας διεργασίας μετά τη διακοπή της είναι πολύ δαπανηρή και έχει πολλές αρνητικές επιπτώσεις στη χημική βιομηχανία, μεταξύ άλλων στο περιβάλλον, την ανθρώπινη υγεία και την ασφάλεια. Η ψηφιακή αδελφοποίηση μπορεί να καταστήσει τον προγραμματισμό της αλυσίδας εφοδιασμού πιο εύκολο και λιγότερο δαπανηρό. Η συντήρηση κατά τη διάρκεια της διακοπής λειτουργίας είναι σημαντικά λιγότερο δαπανηρή από την ανταπόκριση σε μια απρόβλεπτη διακοπή λειτουργίας σε όλες τις βιομηχανίες, όχι μόνο στη χημική. Η ηλεκτρική ενέργεια, οι επιχειρήσεις κοινής ωφέλειας, οι σιδηροδρομικές και οδικές μεταφορές και τα ορυχεία είναι μερικές ακόμη βιομηχανίες έντασης περιουσιακών στοιχείων ή επιχειρήσεις που βασίζονται σε μεγάλο βαθμό σε περιουσιακά στοιχεία που θα μπορούσαν ομοίως να επωφεληθούν σημαντικά από τη βελτιστοποίηση της συντήρησης της αλυσίδας εφοδιασμού.

Η ψηφιακή αδελφοποίηση μπορεί να είναι πολύ χρήσιμη κατά την αντιμετώπιση σύνθετων ζητημάτων βελτιστοποίησης που λαμβάνουν υπόψη τα οικονομικά της κατασκευής, τους περιορισμούς της σειράς εργασιών και τις προτεραιότητες της ζήτησης. Όμως, υπάρχουν ακόμη περισσότερες επιλογές. Ο φαρμακευτικός τομέας μπορεί να χρησιμοποιήσει την ψηφιακή αδελφοποίηση για να επιταχύνει τον χρόνο από τη δοκιμή στην αγορά και να βελτιώσει το επίπεδο υπηρεσιών, το οποίο είναι ζωτικής σημασίας σε αυτόν τον κλάδο, δοκιμάζοντας τον τρόπο με τον οποίο διαφορετικές εκδόσεις φαρμάκων παρέχονται σε πραγματικό χρόνο μέσα στο σώμα ενός συγκεκριμένου ασθενούς (Newman, 2019), ανοίγοντας έτσι τον δρόμο για την εξατομικευμένη φροντίδα, όπου πολύπλοκα μαθηματικά μοντέλα ατόμων που υποστηρίζονται από τεράστιες ποσότητες βιολογικών δεδομένων θα παράγουν ακριβέστερες ιατρικές διαγνώσεις.

Από την άλλη πλευρά, οι φαρμακευτικές επιχειρήσεις μπορούν να χρησιμοποιούν την τεχνολογία για τη συλλογή δεδομένων σχετικά με τις τάσεις συνταγογράφησης και διανομής, επιτρέποντας στις αλυσίδες εφοδιασμού τους να προσαρμόζονται γρήγορα στις απαιτήσεις της αγοράς. Η υψηλότερη υπευθυνότητα της αλυσίδας εφοδιασμού στον τομέα της υγειονομικής περίθαλψης οδηγεί σε μια ενσωματωμένη ικανότητα αντιμετώπισης ταχέως αναδυόμενων προβλημάτων υγείας και μεγάλων επιδημιών (Newman, 2019). Σε αυτόν τον τομέα της οικονομίας, τα δίκτυα εφοδιασμού θα πρέπει να έχουν αυτή την ποιότητα. Κάνοντας ένα βήμα παραπέρα, θα είχε ως αποτέλεσμα την εφαρμογή της ιδέας της έξυπνης ευκολίας, η

οποία είναι γνωστή από τις αλυσίδες εφοδιασμού FMCG, στον κλάδο της υγειονομικής περίθαλψης. Τα πειράματα που διεξάγονται τώρα δείχνουν ότι η τεχνολογία blockchain είναι ένας απλός και αποτελεσματικός τρόπος για την υποβοήθηση της ψηφιακής αδελφοποίησης. Οι φαρμακευτικές επιχειρήσεις μπορούν να παρακολουθούν τις αποστολές φαρμάκων με την ενσωμάτωση των δύο τεχνολογιών, προκειμένου να διασφαλίζουν τις αποστολές καθώς και τις συνθήκες ταξιδιού και αποθήκευσης κατά μήκος της αλυσίδας εφοδιασμού. Με τη χρήση blockchain, μπορούν να εγγυηθούν την ποιότητα των εξαρτημάτων που χρησιμοποιούνται στα αυτοκίνητά τους, λιγότερες ανακλήσεις προϊόντων παγκοσμίως και, το σημαντικότερο, τη διάσωση ζώων (Newman, 2019).

Η ψηφιακή αδελφοποίηση των αγροτών βελτιώνει την ανάπτυξη των καλλιεργειών. Τα δεδομένα μπορούν να χρησιμοποιηθούν για την παρακολούθηση δεδομένων όπως η ποιότητα του εδάφους, ο ρυθμός συγκομιδής, ο ρυθμός απορριμμάτων, ο ρυθμός ανάπτυξης, τα καιρικά φαινόμενα κ.λπ. χρησιμοποιώντας ένα ψηφιακό δίδυμο του γεωργικού χαρτοφυλακίου ενός αγρότη (Newman, 2019). Αυτό είναι εμφανές στο πόσο καλά λειτουργεί η αλυσίδα εφοδιασμού, επιτρέποντάς της να διαθέσει επαρκείς πόρους και ικανότητες για την εκτέλεση εργασιών που συνδέονται με τη μεταποίηση αυτών των προϊόντων και την επακόλουθη διανομή των τελικών προϊόντων.

Η δημιουργία πλήρως διασυνδεδεμένων διαδικασιών (ψηφιακός κόσμος) διευρύνει το φάσμα των προσβάσιμων επιλογών και διορθώσεων σε ολόκληρη την αλυσίδα εφοδιασμού, όχι μόνο σε επίπεδο παραγωγής και εφοδιασμού, αλλά και σε κάθε πιθανό κλάδο. Για τη βελτιστοποίηση της παράδοσης και της προώθησης οποιουδήποτε προϊόντος ή υπηρεσίας, μπορεί να ληφθεί υπόψη κάθε μελλοντική επένδυση σε νέα τεχνολογία ή συνδυασμός πολλών, που έχει αντίκτυπο σε όλους τους εμπλεκόμενους φορείς του περιβάλλοντος της αλυσίδας. Σύμφωνα με τον Hoberg (2015), οι ψηφιακές αλυσίδες εφοδιασμού έχουν τη δυνατότητα να επεξεργάζονται μεγάλο όγκο πληροφοριών και να βοηθούν κάθε συνεργαζόμενο μέρος τους στην επικοινωνία και τη συνεργασία χρησιμοποιώντας πλατφόρμες και συστήματα αιχμής.

Στόχος του μετασχηματισμού μιας ψηφιακής αλυσίδας είναι η ενσωμάτωση της ανατρεπτικής τεχνολογίας με τέτοιο τρόπο ώστε να επικαιροποιούνται οι παλιοί τρόποι εκτέλεσης καθημερινών εργασιών και να εξάγεται νέα αξία με τη χρήση ενός νέου επιχειρηματικού μοντέλου. Βέβαια, προκειμένου να διασφαλιστεί ότι η διαδικασία προσαρμογής στην αλλαγή πραγματοποιείται με απρόσκοπτο, συνεπή και

συντονισμένο τρόπο, η διοίκηση πρέπει να συνεργάζεται και να λαμβάνει αποφάσεις. Ακολουθούν οι επτά βασικές διαστάσεις που προσδιόρισαν οι Farhani, Meier και Wilke (2017) για την αξιολόγηση και την αναδιαμόρφωση της αλυσίδας εφοδιασμού στη νέα ψηφιακή βιομηχανική εποχή:

1. Ψηφιακή Μέτρηση Απόδοσης
2. Ψηφιακές Τεχνολογίες
3. Ψηφιακή Διαχείριση Ανθρώπινου Δυναμικού
4. Ψηφιακοί Προμηθευτές
5. Ψηφιακό Σύστημα Παραγωγής
6. Ψηφιακό Απόθεμα και Σύστημα Μεταφορών
7. Ψηφιακοί Πελάτες

Δεδομένου ότι το υπόλοιπο της μελέτης επικεντρώνεται στις νέες τεχνολογικές καινοτομίες της Βιομηχανίας 4.0, μπορούν να προσδιοριστούν δύο κύριες στρατηγικές ενσωμάτωσης. Το πρώτο βήμα είναι η πλήρης προσαρμογή και προσαρμογή των νέων τεχνολογιών στις απαιτήσεις της αλυσίδας σε ήδη υπάρχοντα ψηφιακά συστήματα και μηχανήματα. Η εξασφάλιση και η δέσμευση των απαραίτητων τμημάτων μπορεί να είναι πιο δύσκολη όσο μεγαλύτερη είναι η εταιρεία. Η δεύτερη επιλογή είναι η συνεργασία με έναν εξωτερικό συνεργάτη λογισμικού και τεχνολογίας για την αντιμετώπιση των τεχνολογικών απαιτήσεων της αλυσίδας. Δεδομένου ότι είναι αδύνατο να κατανοηθούν πλήρως οι απαραίτητες παράμετροι, υπάρχει πάντα η πιθανότητα το επιθυμητό αποτέλεσμα να διαφέρει από το πραγματικό αποτέλεσμα.

2.4 Ψηφιακό Δίδυμο: Δομή- Εφαρμογή - Ανάπτυξη

Με το διαστημόπλοιο Apollo 13 και τον Απρίλιο του 1970, το πλήρωμα του Apollo ξεκίνησε το ταξίδι του. Δυστυχώς, η επιχείρηση δεν στέφθηκε με επιτυχία, καθώς μία από τις δεξαμενές οξυγόνου στη μονάδα επεξεργασίας που έφερε το νούμερο δύο έπαθε βλάβη. Στο Χιούστον, ο Jim Lovell, ο John Swigert και ο Fred Haise είχαν εμπλακεί σε έναν αγώνα ζωής ή θανάτου και ο Swigert ακουγόταν να ουρλιάζει (Ferguson et al., 2020). Ένα επείγον αίτημα για τη διατήρηση των διαστημικών αστροναυτών της αποστολής και την ασφαλή επιστροφή τους στη Γη

ήρθε από απόσταση 200.000 χιλιομέτρων. Η ομάδα ελέγχου του διαστημικού λεωφορείου στη NASA στο Χιούστον άρχισε αμέσως να εργάζεται πάνω σε αυτό το σημαντικό έργο, επειδή ήταν τόσο σημαντικό να επιστρέψουν οι επιβάτες στη Γη με ασφάλεια. Το πλαίσιο του Apollo 13 διατηρήθηκε στις εγκαταστάσεις ως λειτουργικό αντίγραφο του διαστημικού λεωφορείου και του εξοπλισμού του ως μέρος της αντίδρασης της NASA στη δυσλειτουργία του διαστημικού λεωφορείου. Αυτό βοήθησε τους επίγειους μηχανικούς στο Χιούστον στην αναδημιουργία των ρυθμίσεων μαζί με το Apollo 13, επιδεικνύοντας και εξετάζοντας πιθανές τροποποιήσεις. Οι μηχανικοί της NASA χρησιμοποίησαν όλα τα περιέργα και παράξενα μέρη, όπως ένα κάλυμμα εγχειριδίου, κομμάτια της διαστημικής στολής, ακόμη και κάλτσες, για να δημιουργήσουν έναν προσαρμογέα με ρυθμίσεις καλύτερης ποιότητας όταν η συσσώρευση διοξειδίου του άνθρακα στη σεληνιακή μονάδα του διαστημοπλοίου Apollo 13 έφτασε σε επικίνδυνα επίπεδα. Έδειξαν στους αστροναύτες πώς να τον κατασκευάσουν χρησιμοποιώντας υλικά που βρέθηκαν στο διαστημόπλοιο. Ταυτόχρονα, οι μηχανικοί στη βάση εδάφους δοκίμασαν τις διαδικασίες στο Χιούστον και στο Διαστημικό Κέντρο Κένεντι για να επιστρέψει το πλήρωμα του Apollo 13 στη Γη με επιτυχία και ασφάλεια τέσσερις ημέρες μετά το περιστατικό (Ferguson et al., 2020). Ίσως το 1970 να σηματοδότησε την έναρξη της σημερινής εποχής της καινοτομίας. Με την ηλεκτρονικοποίηση αυτών των απλών μοντέλων στην περίπτωση της αποστολής Apollo 13, η NASA βρήκε έναν πολύ πιο απλό τρόπο να διαχειρίζεται και να τροποποιεί τα πλαίσια σε πραγματικό χρόνο με αυξανόμενη ακρίβεια. Ωστόσο, η βασική ιδέα εξακολουθεί να ισχύει και σήμερα. Πρόκειται για την απεικόνιση ενός πραγματικού πράγματος που ονομάζεται "δίδυμο" και παρέχει τη δυνατότητα να γίνεται έλεγχος της κατάστασής του, να εξετάζονται προβλήματα και να γίνονται εξ αποστάσεως αλλαγές τις ρυθμίσεις. Ένα "ψηφιακό δίδυμο" (DT) είναι μια ψηφιακή αναπαράσταση ενός πραγματικού αντικειμένου που επιτρέπει την εξ αποστάσεως παρακολούθηση της κατάστασης, την ανάλυση προβλημάτων και την προσαρμογή ρυθμίσεων. Η πρώτη και πιο γνωστή περιγραφή των ψηφιακών διδύμων δόθηκε το 2002 από τον Michael Grieves στο πλαίσιο μιας επιχειρηματικής παρουσίασης για τη διαχείριση του κύκλου ζωής των προϊόντων. Ορίζει ένα ψηφιακό δίδυμο (DT) ως ένα ψηφιακό σύστημα πληροφοριών που αναπαράγει ένα φυσικό σύστημα, λειτουργεί ανεξάρτητα από αυτό και είναι διασυνδεδεμένο με αυτό. Η ιδανική ψηφιακή αναπαράσταση θα πρέπει να περιέχει όλες τις λεπτομέρειες για τα μέρη του

συστήματος που μπορούν να ανακαλυφθούν από μια προσεκτική εξέταση του συστήματος στον πραγματικό κόσμο (Grieves et al., 2017).

Οι Glaessgen και Stargel (2012) παρέχουν έναν πιο εμπειριστωμένο και γενικά αποδεκτό ορισμό του όρου "ψηφιακό δίδυμο" στην ακαδημαϊκή κοινότητα: "Ένα ψηφιακό δίδυμο είναι μια ολοκληρωμένη φυσική πιθανολογική προσομοίωση της λειτουργίας ενός σύνθετου προϊόντος πολλαπλής κλίμακας και πολλαπλών λειτουργιών, η οποία χρησιμοποιεί τα καλύτερα φυσικά μοντέλα, την τεχνολογία αισθητήρων κ.λπ. για να αντικατοπτρίζει τη λειτουργία του φυσικού προϊόντος καθ' όλη τη διάρκεια της ζωής του" (Tao et al., 2017). Με την πιο πρόσφατη τεχνολογία, οι διεργασίες (όπως η μεταποίηση, η παραγωγή ενέργειας κ.λπ.) μπορούν επίσης να υποβληθούν σε αναπαραγωγή εικονικού χώρου (γνωστή και ως "αδελφοποίηση"), προκειμένου να αποκομίσουν τα ίδια οφέλη. Η φράση "ψηφιακό δίδυμο" περιέγραφε αρχικά τον αντικατοπτρισμό ενός προϊόντος. Το σύστημα τεχνολογικών οδικών χαρτών της NASA είδε την πρώτη χρήση στην αεροδιαστημική βιομηχανία (Shafto et al., 2010). Η ικανότητα παροχής διαφόρων πληροφοριών σε προκαθορισμένη μορφή αποτελεί βασικό συστατικό του DT. Τα DT είναι κάτι περισσότερο από καθαρά δεδομένα- περιέχουν επίσης αλγόριθμους που χαρακτηρίζουν τα αντίστοιχα του πραγματικού κόσμου και, χρησιμοποιώντας αυτά τα επεξεργασμένα δεδομένα, καθορίζουν τι πρέπει να γίνει στο σύστημα παραγωγής. Ο ακόλουθος ορισμός χρησιμοποιείται συχνά σε σχέση με την παραγωγή: Με τη χρήση αισθητηριακών δεδομένων και συνδεδεμένων έξυπνων συσκευών, μαθηματικών μοντέλων και επεξεργασίας δεδομένων σε πραγματικό χρόνο, το DT περιλαμβάνει μια εικονική αναπαράσταση ενός συστήματος παραγωγής που μπορεί να περιέχει διάφορες λειτουργίες προσομοίωσης. Η λειτουργία του στα συστήματα παραγωγής της Βιομηχανίας 4.0 είναι να αξιοποιεί αυτά τα χαρακτηριστικά προκειμένου να προβλέπει και να βελτιστοποιεί τη συμπεριφορά του συστήματος παραγωγής σε κάθε στάδιο του κύκλου ζωής σε πραγματικό χρόνο (Negri et al., 2017). Δεν υπάρχει μία αναγνωρισμένη εφαρμογή της ιδέας λόγω των πολυάριθμων υφιστάμενων λύσεων και χρήσεων της τεχνικής DT σε διάφορες βιομηχανίες.

Λόγω του τεράστιου όγκου δεδομένων που απαιτούνται για τη λειτουργία ενός DT, οι επιχειρήσεις δεν ήταν προηγουμένως σε θέση να χρησιμοποιήσουν αυτή την τεχνολογία λόγω τόσο των περιορισμών της ψηφιακής τεχνολογίας όσο και των υψηλών δαπανών επεξεργασίας, αποθήκευσης και υποδομής δικτύου (εύρος ζώνης). Ωστόσο, τα εμπόδια αυτά έχουν μειωθεί σημαντικά τα τελευταία χρόνια (Economist

2015). Υπήρξαν εκθετικές εξελίξεις που κατέστησαν δυνατό τον συνδυασμό της τεχνολογίας πληροφοριών (IT) χάρη στη μείωση του κόστους και την αύξηση της ισχύος και των δυνατοτήτων. Με τη χρήση αυτής της τεχνολογίας, οι επιχειρήσεις θα μπορούσαν να έχουν ένα πλήρες ψηφιακό αρχείο όλων των προϊόντων τους, από τη σύλληψη έως την τελική διάθεση. Θα είναι τότε σε θέση να κατανοήσουν όχι μόνο το προϊόν όπως προοριζόταν, αλλά και το σύστημα που το παρήγαγε καθώς επίσης και την προβλεπόμενη εφαρμογή του. Λέγεται ότι οι επιχειρήσεις θα μπορούν να αυξήσουν τον ρυθμό με τον οποίο νέα προϊόντα εισέρχονται στην αγορά, να βελτιώσουν τις βασικές λειτουργίες, να μειώσουν τον αριθμό των σφαλμάτων και να ενσωματώσουν τα αναδυόμενα νέα επιχειρηματικά μοντέλα για την αύξηση των εσόδων με την εφαρμογή της DT (Mussomeli et al., 2016). Η μεθοδολογία DT μπορεί να βοηθήσει τις επιχειρήσεις να αναπτύσσουν και να παράγουν καλύτερα αγαθά, να αποκαλύπτουν έγκαιρα τα φυσικά σφάλματα, να προβλέπουν τα αποτελέσματα των αποφάσεων με πολύ μεγαλύτερη ακρίβεια και, τελικά, να εξυπηρετούν καλύτερα τους καταναλωτές τους. Οι εταιρείες μπορούν πλέον να επιτύχουν αξία και οφέλη πιο γρήγορα από ποτέ με τη βοήθεια αυτού του είδους ευφυούς αρχιτεκτονικής σχεδιασμού.

2.4.1 Δομή

Το ψηφιακό δίδυμο ορίζεται με πολλούς διαφορετικούς τρόπους τόσο από τις επιχειρήσεις όσο και από τον ακαδημαϊκό χώρο, όπως έχει ήδη διαπιστωθεί. Αλλά είναι πιθανό ότι καμία ομάδα δεν μπορεί να αποτυπώσει πλήρως το DT. Για παράδειγμα, ορισμένοι ισχυρίζονται ότι ένα DT είναι ένα ολοκληρωμένο μοντέλο ενός ενσωματωμένου προϊόντος που προορίζεται να αντικατοπτρίζει όλες τις κατασκευαστικές ατέλειες και να ενημερώνεται συνεχώς για να αποτρέπει τη φθορά που σχετίζεται με τη χρήση (Reid et al, 2016). Ένα ψηφιακό δίδυμο, σύμφωνα με ορισμένους γνωστούς ορισμούς, είναι ένα ευαίσθητο ψηφιακό αντίγραφο ενός φυσικού αντικείμενου που λειτουργεί σε προσομοίωση σε πραγματικό χρόνο (Grieves, 2014). Ένα DT μπορεί να οριστεί ως ένα διαρκώς εξελισσόμενο ψηφιακό προφίλ των προηγούμενων και τωρινών ενεργειών ενός φυσικού πράγματος ή μιας διαδικασίας που συμβάλλει στη βελτίωση της απόδοσης της εταιρείας. Το DT βασίζεται σε πραγματικές, μεγάλης κλίμακας, συγκεντρωτικές μετρήσεις δεδομένων σε πραγματικό χρόνο από κάθε συστατικό στοιχείο του φυσικού πράγματος. Με τη χρήση αυτών των μετρήσεων, μπορεί να δημιουργηθεί ένα μεταβαλλόμενο προφίλ του πράγματος ή της

διαδικασίας στον ψηφιακό κόσμο. Αυτό το προφίλ μπορεί να προσφέρει κρίσιμες πληροφορίες σχετικά με την απόδοση του συστήματος και να εμπνεύσει αλλαγές στον τρόπο κατασκευής ή σχεδιασμού των πραγμάτων στον φυσικό κόσμο. Ένα DT διαφέρει από το συμβατικό παράδειγμα CAD και δεν είναι απλώς άλλη μια λύση αισθητήρων IoT (Holdowsky et al., 2015).

Το μοντέλο CAD έχει δείξει κάποια επιτυχία στην προσομοίωση περίπλοκων καταστάσεων και είναι πλήρως ενσωματωμένο σε ένα περιβάλλον προσομοίωσης σε υπολογιστή (West et al., 2015). Παρόμοια με αυτό, τα απλούστερα συστήματα IoT καταγράφουν μόνο πληροφορίες σχετικά με τη θέση και τις διαγνωστικές δυνατότητες ενός εξαρτήματος και όχι σχετικά με τον τρόπο με τον οποίο το εν λόγω εξάρτημα αλληλεπιδρά με άλλα εξαρτήματα και διαδικασίες κατά τη διάρκεια της ζωής του (Holdowsky et al., 2015). Στην πραγματικότητα, η πραγματική δύναμη ενός DT και ο λόγος που μπορεί να είναι τόσο κρίσιμος είναι η ικανότητά του να προσφέρει μια ολοκληρωμένη, σχεδόν σε πραγματικό χρόνο συνδεσιμότητα μεταξύ του φυσικού και του ψηφιακού κόσμου. Τα DT είναι σε θέση να προσφέρουν μοντέλα που παράγουν πιο ακριβείς και ολοκληρωμένες μετρήσεις ως αποτέλεσμα αυτής της αλληλεπίδρασης μεταξύ του φυσικού και του ψηφιακού κόσμου του προϊόντος ή της διαδικασίας. Επιπλέον, αυτά τα αλληλεπιδραστικά μέτρα μπορούν να μελετηθούν χρησιμοποιώντας αρχιτεκτονικές μαζικής επεξεργασίας αιχμής και εξελεγμένους αλγόριθμους για προγνωστικά ευρήματα και ανάλυση σε πραγματικό χρόνο σε ένα περιβάλλον εκτός σύνδεσης. Αυτό καθίσταται εφικτό χάρη στις φθηνότερες και ισχυρότερες υπολογιστικές δυνατότητες. Αυτές έχουν τη δυνατότητα να διευκολύνουν θεμελιώδεις τροποποιήσεις σχεδιασμού και διαδικασιών που είναι πρακτικά πιθανό να μην είναι εφικτές με τη χρήση των υφιστάμενων τεχνικών.

Τα DT προορίζονται για την προσομοίωση πολύπλοκων στοιχείων ή διαδικασιών που αλληλεπιδρούν με το περιβάλλον τους και για τα οποία είναι δύσκολο να προβλεφθούν αποτελέσματα καθ' όλη τη διάρκεια της ζωής τους. Τα DT μπορούν να κατασκευαστούν για την επίτευξη ποικίλων στόχων και έχουν πολυάριθμες εφαρμογές. Για παράδειγμα, τα DT έχουν χρησιμοποιηθεί για την αναπαραγωγή περίπλοκων στοιχείων όπως μεγάλα οχήματα εξόρυξης και κινητήρες αεροσκαφών, προκειμένου να παρακολουθούνται και να αξιολογούνται οι ιδιαίτερες μορφές φορτίων αλλά και η φθορά κατά τη χρήση. Αυτό το είδος DT μπορεί να παράγει κρίσιμα δεδομένα που μπορεί να επηρεάσουν τον μελλοντικό σχεδιασμό προϊόντων. Το DT ενός αιολικού πάρκου μπορεί επίσης να παρέχει πληροφορίες σχετικά με

δυσλειτουργίες και θέματα απόδοσης (Grieves, 2014). Μια ιδιαίτερα ισχυρή και ενδιαφέρουσα χρήση των DT φαίνεται να είναι η διαδικασία κατασκευής.

Η χρήση των DT γίνεται όλο και πιο διαδεδομένη. Το DT ενός πρωτότυπου αυτοκινήτου, για παράδειγμα, είναι μια ψηφιακή και τρισδιάστατη απεικόνιση κάθε εξαρτήματος του αυτοκινήτου. Με απλά λόγια, αυτό αντιγράφει με ακρίβεια το φυσικό όχημα έτσι ώστε ένα άτομο να μπορεί να το οδηγήσει όπως θα έκανε στον πραγματικό κόσμο και να λάβει μια ψηφιακά αναπαραγόμενη απόκριση σε αντάλλαγμα. Υπάρχουν ψηφιακά αντίγραφα τόσο των διαδικασιών όσο και των συστημάτων. Η ψηφιακή αναπαράσταση συνεχίζει να βρίσκει τυχόν κενά και να τα συμπληρώνει προληπτικά καθώς οι διαδικασίες γίνονται πιο περίπλοκες. Για παράδειγμα, μια μονάδα παραγωγής μπορεί να μοντελοποιηθεί ώστε να καταστεί δυνατή η δημιουργία ενός ψηφιακού ισοδύναμου για κάθε κομμάτι μηχανήματος, διαδικασίας κ.λπ. Η ενέργεια αυτή βοηθά στον εξορθολογισμό της διαδικασίας για την παραγωγή των επιθυμητών αποτελεσμάτων. Τα έξυπνα συστήματα και υπηρεσίες των πόλεων γίνονται δυνατά από τα DT, επιτρέποντας στους κατοίκους να επωφελούνται καθημερινά από μια ποικιλία εξελιγμένων γνωστικών υπηρεσιών. Η ψηφιακή ένταξη είναι έτοιμη για τη ζωή στην πόλη. Χρησιμοποιώντας δυναμικές και ψηφιακά εξουσιοδοτημένες αναπαραστάσεις λήψης αποφάσεων, οι υπηρεσίες μπορούν να γίνουν ευέλικτες, ισχυρές και ανθεκτικές. Φυσικά υπάρχουν και άλλα σενάρια εφαρμογής, αλλά δεν θα εξεταστούν. Για την ενσωμάτωση ενός νέου συνόλου λειτουργιών, οι φυσικές μηχανές γεμίζουν με μια σειρά από αισθητήρες αιχμής (για παράδειγμα, ο κινητήρας ενός εμπορικού αεροπλάνου μπορεί να περιέχει περισσότερους από 800 αισθητήρες). Όταν συλλέγονται και συγκεντρώνονται με χρήσιμο τρόπο, τα δεδομένα των αισθητήρων μπορούν να προσφέρουν αξιόπιστες και συγκεντρωτικές πληροφορίες σχετικά με την τρέχουσα κατάσταση της φυσικής μηχανής. Προκειμένου να διευκολυνθεί η προγνωστική ανάλυση τόσο των λειτουργικών όσο και των μη λειτουργικών πτυχών του εξοπλισμού, τα δεδομένα αισθητήρων και κατάστασης μπορούν να συνδυαστούν με ιστορικά δεδομένα. Με άλλα λόγια, οι άνθρωποι χειριστές διαθέτουν την απαραίτητη γνώση για να εγγυηθούν τη μακροχρόνια διάρκεια ζωής και την απόδοση της μηχανής (Grieves, 2014).

Για παράδειγμα, ένας απομακρυσμένος μηχανικός μπορεί να χρησιμοποιήσει DT για να εντοπίσει αμέσως ένα πρόβλημα κινητήρα και να συμβουλευτεί είτε να οδηγήσει ο ίδιος το όχημα είτε να μεταβεί στην πλησιέστερη εγκατάσταση επισκευής. Με τον τρόπο αυτό είναι εύκολο να αποφευχθούν πρόσθετες ζημιές και κάθε είδους

αναβλητικότητα. Το DT καθιστά δυνατή τη συλλογή μιας σειράς δεδομένων κατά τη διάρκεια του κύκλου ζωής ενός φυσικού περιουσιακού στοιχείου, μεγιστοποιώντας τα επιχειρηματικά αποτελέσματα, εξορθολογίζοντας τις λειτουργίες και βελτιώνοντας την απόδοση της επένδυσης (RoI). Η εικονική αναπαράσταση ενός φυσικού αντικειμένου είναι ένα τέλειο ψηφιακό αντίγραφο του εν λόγω αντικειμένου (ABB, et al. 2020).

Πεδία αξιοποίησης των Digital Twins:

- Σχεδιασμός: Κατά τη διάρκεια της διαδικασίας σχεδιασμού, η προσομοίωση και η οπτικοποίηση μπορούν να χρησιμοποιηθούν για να ελεγχθεί και να επικυρωθεί ο συνολικός τρισδιάστατος σχεδιασμός του προϊόντος και να διασφαλιστεί ότι όλα τα στοιχεία είναι συμβατά. Μεταξύ αυτών περιλαμβάνονται μηχανικά, θερμικά και ηλεκτρικά μοντέλα, καθώς και οι αλληλεπιδράσεις μεταξύ τους.

- Ολοκλήρωση συστήματος: Οι τρισδιάστατες απεικονίσεις σε επίπεδο συστήματος μπορούν να επικυρώσουν περιορισμούς όπως οι φυσικές συνδέσεις και το αποτύπωμα στο χώρο. Όλα τα είδη πιθανών αλληλεπιδράσεων μπορούν να προσομοιωθούν και να επιβεβαιωθούν με τη σύνδεση του DT και άλλων στοιχείων. Η μεταφορά δεδομένων και οι λειτουργίες ελέγχου, η μηχανική και ηλεκτρική συμπεριφορά και τα σενάρια "τι θα γίνει αν" είναι όλα παραδείγματα αλληλεπιδράσεων. Υπάρχουν διάφορα οφέλη. Ο συνοδευτικός χρόνος διακοπής λειτουργίας του πελάτη μειώνεται σημαντικά.

- Διαγνωστικά: Η τρισδιάστατη παρατήρηση οπτικοποίησης του DT μπορεί να βοηθήσει στην αντιμετώπιση προβλημάτων. Οι τεχνικοί πεδίου μπορούν να βλέπουν τις παραμέτρους του πραγματικού εξοπλισμού χρησιμοποιώντας γυαλιά εικονικής πραγματικότητας (VR). Μπορούν επίσης να αναλυθούν δυσπρόσιτα δεδομένα με τη χρήση προσομοιώσεων, όπως οι πιέσεις σε διάφορα υλικά ή οι θερμοκρασίες δυσπρόσιτων περιοχών.

- Πρόβλεψη: Σχεδόν κάθε κλάδος της βιομηχανίας χρησιμοποιεί την προγνωστική συντήρηση. Τα δεδομένα πρόβλεψης ανακτώνται γρήγορα και χρησιμοποιούνται για τη διάρκεια ζωής του εξοπλισμού, ως αποτέλεσμα της αυξανόμενης ωριμότητας και σταθερότητας των αλγορίθμων μηχανικής και βαθιάς μάθησης, όπως για παράδειγμα εάν ο εξοπλισμός πρέπει να επισκευαστεί ή να ξεκουραστεί, ποια είναι η κατάσταση της υγείας, το επίπεδο απόδοσής του κ.λπ. Όλες αυτές οι πληροφορίες είναι προσβάσιμες στις λειτουργίες σε πραγματικό χρόνο και βοηθούν στη δημιουργία λογικών προγραμμάτων συντήρησης και στη μείωση του απρογραμματίστου χρόνου διακοπής λειτουργίας (ABB, et al. 2020).

- Προηγμένες υπηρεσίες: Το DT μπορεί να αποδώσει πληροφορίες που μπορούν να χρησιμοποιηθούν για τη δημιουργία καινοτόμων υπηρεσιών υψηλής αξίας, όταν συνδυάζεται με την ανάλυση δεδομένων και τους αλγορίθμους τεχνητής νοημοσύνης. Οι συσκευές έχουν την ικανότητα να αυτοδιαχειρίζονται, να διαγιγνώσκουν, να θεραπεύονται και να μαθαίνουν.

- Προσαρμοσμένη υπηρεσία πεδίου: Επιτρέπει την παροχή οδηγιών εργασίας βάσει δεδομένων μέσω εμπειριών επαυξημένης πραγματικότητας (AR) ή συνδεδεμένων εφαρμογών για βελτιωμένη απόδοση των τεχνικών. Η λύση αυτή συνδυάζει δεδομένα σε πραγματικό χρόνο και ιστορικά στοιχεία οποιουδήποτε φυσικού περιουσιακού στοιχείου.

- Υπηρεσία προληπτικής παρακολούθησης: Το DT μπορεί να παρακολουθεί προσεκτικά τα συνδεδεμένα προϊόντα για τυχόν προβλήματα. Για να περάσει από την πρόγνωση στη συντήρηση βάσει κατάστασης, το DT μπορεί να προσφέρει ειδοποιήσεις σε πραγματικό χρόνο χάρη στη δυνατότητα προγνωστικής ανάλυσης.

- Συντήρηση: Ένα DT είναι σε θέση να εξετάζει τις πληροφορίες απόδοσης που συλλέγονται με την πάροδο του χρόνου και υπό διάφορες συνθήκες. Η απόκτηση αυτών των πληροφοριών μπορεί να βοηθήσει στη συντήρηση οποιουδήποτε προϊόντος. Η διοίκηση ή ο χειριστής μπορεί να καθορίσει ποια μέρη ενός συστήματος πρέπει να επισκευαστούν ή να ξεκουραστούν χρησιμοποιώντας συνδυασμένες αξιολογήσεις ιστορικών δεδομένων και δεδομένων πραγματικού χρόνου. Ως αποτέλεσμα, η συγκέντρωση και η σε βάθος ανάλυση των δεδομένων βοηθά τελικά τους ανθρώπους να κάνουν την καλύτερη επιλογή όσον αφορά τη συντήρηση (ABB, et al. 2020).

Υπάρχουν πολλές ευκαιρίες να χρησιμοποιηθούν οι νέες δυνατότητες του DT σε διάφορες επιχειρηματικές διαδικασίες. Η εφαρμογή ανάλογων συστημάτων μπορεί να αποτελέσει πρόκληση και η επίτευξη του σχετικού ψηφιακού μετασχηματισμού απαιτεί ενοποιητικά πλαίσια και μεθόδους που συνδυάζουν πολλές πηγές δεδομένων για μεγαλύτερη αποτελεσματικότητα και για να ξεκλειδώσουν πρόσθετα δεδομένα. Η χρήση της τεχνολογίας DT μπορεί επίσης να βοηθήσει στην καλύτερη κατανομή των πόρων ενός ατόμου σύμφωνα με τους οργανωτικούς στόχους. Αλλά για να γίνει αυτό, οι επιχειρήσεις πρέπει πρώτα να καθορίσουν το επιχειρηματικό τους ανώτατο όριο, στη συνέχεια να συγκεντρώσουν τις ανάγκες και τις απόψεις πολυάριθμων ενδιαφερομένων και, τέλος, να καθορίσουν τον ψηφιακό σκοπό για το ζεύγος. Οι οργανισμοί χρειάζονται επίσης αξιόπιστους συνεργάτες που κατανοούν τις δυσκολίες, όπως η υπέρβαση των πολιτισμικών εμποδίων στην υιοθέτηση ή η δημιουργία της

ομοιογένειας των δεδομένων που είναι απαραίτητη για τη λειτουργία ενός δίδυμου. Προκειμένου να αξιοποιηθούν πλήρως τα συστήματα DT, χρειάζονται επίσης εργαλεία και τεχνολογίες που επιταχύνουν τους χρόνους επεξεργασίας και προσφέρουν τις απαιτούμενες δυνατότητες προσομοίωσης και ανάλυσης (ABB, et al. 2020).

2.4.2 Εφαρμογή

Μέσω της τεχνολογίας που συνδέει τον φυσικό και τον ψηφιακό κόσμο (συμπεριλαμβανομένων των επικοινωνιακών διεπαφών και της ασφάλειας), οι αισθητήρες μεταφέρουν δεδομένα από τον πρώτο στον δεύτερο.

Ανάλυση:

Μέσω αλγοριθμικών προσομοιώσεων και διαδικασιών οπτικοποίησης, οι οποίες χρησιμοποιούνται από το DT ως τεχνολογία για "έξυπνες" λειτουργίες, χρησιμοποιούνται προσεγγίσεις ανάλυσης για την ανάλυση δεδομένων.

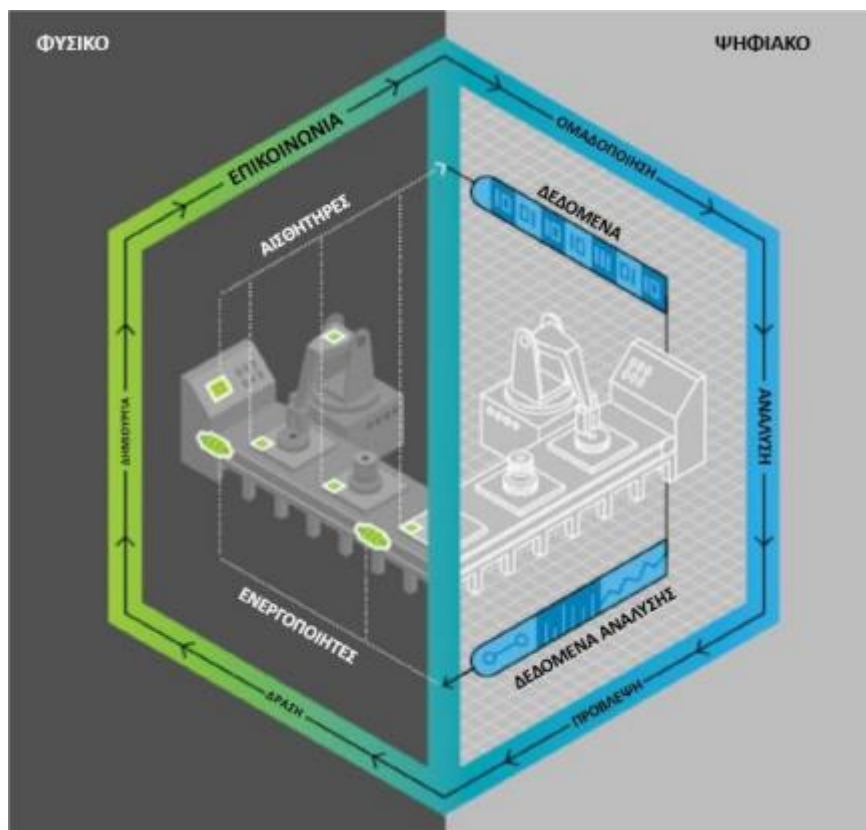
Το ψηφιακό δίδυμο της οντότητας:

Το DT, ή η εφαρμογή που συνδυάζει τα προαναφερθέντα στοιχεία σε ένα ψηφιακό μοντέλο του φυσικού κόσμου και της διαδικασίας σχεδόν σε πραγματικό χρόνο, αντιπροσωπεύεται από την "ψηφιακή" πλευρά του Σχήματος 1. Όταν εντοπίζεται μια απόκλιση, θα έχει βρεθεί ένας στόχος βελτιστοποίησης που έχει ένα λογικό ελάττωμα στο δίδυμο ή μια ευκαιρία να μειωθεί το κόστος, να βελτιωθεί η ποιότητα ή να αυξηθεί η αποδοτικότητα (Holdowsky et al., 2015). Η ευκαιρία που ακολουθεί μπορεί να οδηγήσει σε μια απόφαση που επηρεάζει τον πραγματικό κόσμο.

Ενεργοποιητές:

Όταν μια ενέργεια πρέπει να πραγματοποιηθεί στον πραγματικό κόσμο, το DT την παράγει χρησιμοποιώντας ενεργοποιητές που απαιτούν ανθρώπινη συμβολή και ξεκινούν τη φυσική διαδικασία (Holdowsky et al., 2015). Είναι σαφές ότι ένα μοντέλο ή ένα πλαίσιο δεν μπορεί να συλλάβει την πολυπλοκότητα του πραγματικού κόσμου, είτε πρόκειται για τον πραγματικό κόσμο μιας φυσικής διαδικασίας ή ενός αντικειμένου είτε για τον ψηφιακό κόσμο του DT. Φυσικά, το μοντέλο του Σχήματος 1 είναι απλώς μια ψηφιακή απεικόνιση δύο μονάδων που δίνει έμφαση στη φάση της

κατασκευής του κύκλου ζωής ενός προϊόντος (Cotteleer et al., 2016). Αλλά η πλήρης, περιεκτική και δυναμική πτυχή της φυσικής και ψηφιακής σχέσης αποτυπώνεται από αυτό το παράδειγμα. Μέσα από αυτό το πρίσμα μπορεί κανείς να ξεκινήσει την πραγματική διαδικασία κατασκευής ενός DT.



Εικόνα 1: Παραγωγική διαδικασία Digital Twin μοντέλου. Πηγή: Deloitte, 2017.

2.4.3 Ανάπτυξη

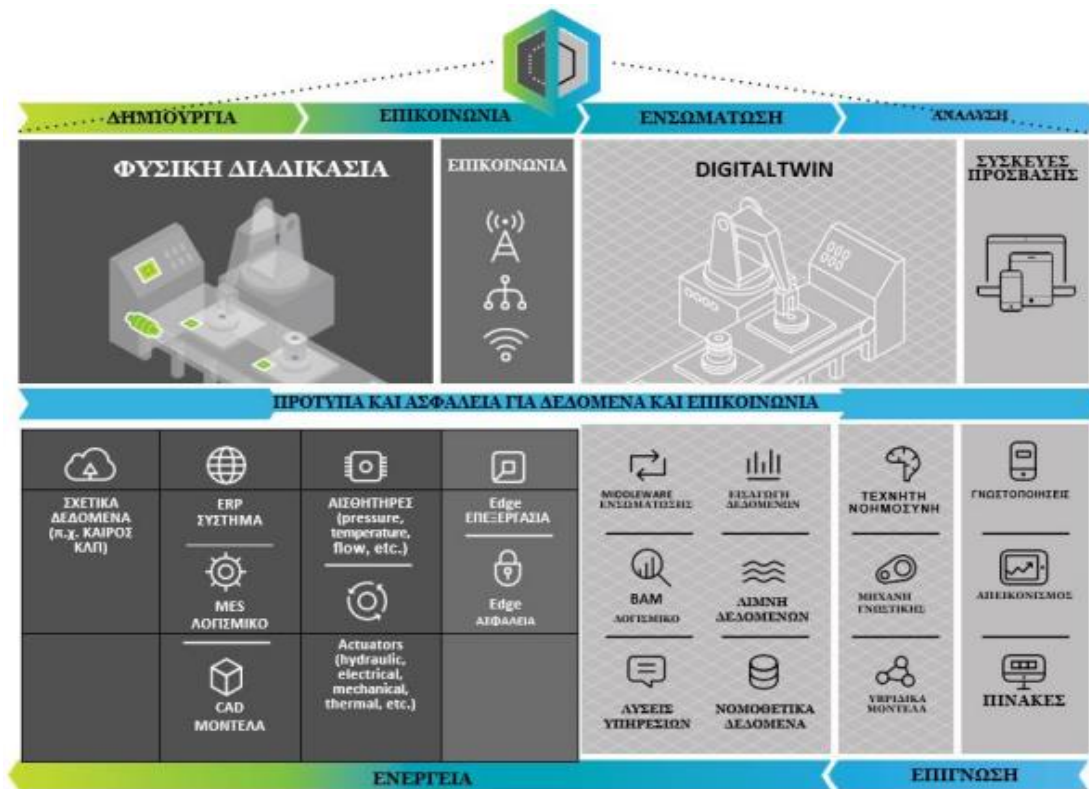
Γενικά, η ανάπτυξη ενός DT περιλαμβάνει δύο κύριους τομείς:

1. Δημιουργία διαδικασιών και αναγκών πληροφόρησης για ψηφιακά δίδυμα που καλύπτουν ολόκληρο τον κύκλο ζωής ενός φυσικού περιουσιακού στοιχείου, από τη σύλληψη μέχρι τη χρήση και τη συντήρηση.

2. Η ανάπτυξη τεχνολογίας για τη σύνδεση του φυσικού στοιχείου και του ψηφιακού ισοδύναμου, επιτρέποντας τη ροή δεδομένων από αισθητήρες σε πραγματικό χρόνο και την επεξεργασία επιχειρησιακών και επιχειρηματικών δεδομένων από τα βασικά συστήματα του οργανισμού, όπως συνήθως επιτυγχάνεται σε μια εννοιολογική αρχιτεκτονική του πλαισίου σύνδεσης.

Ο σχεδιασμός της διαδικασίας είναι το πρώτο βήμα στην οικοδόμηση ενός DT. Το ερώτημα που δημιουργείται αφορά τις διαδικασίες και τα σημεία ολοκλήρωσης που χρειάζονται διαμόρφωση. Η αλληλεπίδραση μεταξύ των επιχειρηματικών διαδικασιών, των ατόμων που εκτελούν τις διαδικασίες, των επιχειρηματικών εφαρμογών, των πληροφοριών και των φυσικών στοιχείων θα πρέπει να καταδεικνύεται με τη χρήση τυπικών διαδικασιών. Δημιουργούνται διαγράμματα που συνδέουν τη ροή των διεργασιών με τις εφαρμογές, τα δεδομένα και τις πληροφορίες που απαιτούνται για τη δημιουργία του DT (Holdowsky et al., 2015).

Ο σχεδιασμός της διαδικασίας ενσωματώνεται για τη βελτιστοποίηση μιας σειράς μεταβλητών της διαδικασίας, συμπεριλαμβανομένου του κόστους, του χρόνου και της αποδοτικότητας των στοιχείων. Αυτά χρησιμεύουν ως οι θεμελιώδεις προϋποθέσεις για το επίπεδο λειτουργίας από το οποίο πρέπει να ξεκινήσει η διαδικασία συνεχούς βελτίωσης με τη βοήθεια του DT. Αν και οι θεμελιώδεις έννοιες μπορεί να είναι οι ίδιες και στα δύο επίπεδα, η εννοιολογική αρχιτεκτονική ενός DT (Σχήμα 2) μπορεί να θεωρηθεί ως μια πιο εμπειριστατωμένη προοπτική των στοιχείων που συνθέτουν το DT του Σχήματος 1.



Εικόνα 2: Αρχιτεκτονική του Digital Twin. Πηγή: Deloitte, 2017.

Η εννοιολογική αρχιτεκτονική μπορεί να κατανοηθεί καλύτερα ως μια ακολουθία έξι φάσεων:

1. Δημιουργία: Το στάδιο της δημιουργίας περιλαμβάνει την τοποθέτηση πολυάριθμων αισθητήρων στη φυσική διαδικασία, οι οποίοι μετρούν τα βασικά συστατικά της. Σε γενικές γραμμές, υπάρχουν δύο τύποι μετρήσεων από τους αισθητήρες: (1) λειτουργικές μετρήσεις που σχετίζονται με τα κριτήρια φυσικής απόδοσης του παραγωγικού στοιχείου (συμπεριλαμβανομένων πολλών σταδίων της διαδικασίας), (2) περιβαλλοντικές ή εξωτερικές πληροφορίες που επηρεάζουν τη λειτουργία ενός φυσικού στοιχείου, όπως η θερμοκρασία του περιβάλλοντος, η βαρομετρική πίεση και το επίπεδο υγρασίας. Οι κωδικοποιητές μπορούν να μετατρέψουν τις μετρήσεις σε ασφαλή ψηφιακά μηνύματα πριν από τη μετάδοσή τους στο DT. Οι πληροφορίες που παράγονται από άλλα λειτουργικά συστήματα, όπως συστήματα παρακολούθησης της παραγωγής και σχεδιασμού πόρων, συστήματα CAD και συστήματα διαχείρισης της εφοδιαστικής αλυσίδας, μπορούν να συγχωνευθούν με τα σήματα από τους αισθητήρες. Για να χρησιμοποιηθούν ως δεδομένα εισόδου για τις αναλυτικές διαδικασίες, θα πρέπει να δοθεί στο DT πρόσβαση σε ένα μεγάλο εύρος συνεχώς ενημερωμένων δεδομένων.

2. Επικοινωνία: Η φάση της επικοινωνίας συνεπάγεται απρόσκοπτη, σε πραγματικό χρόνο, αμφίδρομη ολοκλήρωση/συνδεσιμότητα μεταξύ της φυσικής διαδικασίας και της ψηφιακής πλατφόρμας. Μία από τις πρωταρχικές τεχνολογίες στις οποίες βασίζεται ένα DT είναι η δικτυακή επικοινωνία, η οποία έχει τρία βασικά συστατικά:

a. Επεξεργασία στο άκρο-Edge computing: Η εφαρμογή διασύνδεσης του φυσικού στοιχείου στην άκρη συνδέει αισθητήρες και ιστορικό διεργασιών, επεξεργάζεται σήματα και δεδομένα και στη συνέχεια επικοινωνεί τα δεδομένα στην πλατφόρμα. Με τη μετατροπή των πρωτοκόλλων σε πιο απλά επεξεργασμένες μορφές δεδομένων, γίνεται μείωση στη χρήση του δικτύου. Πολλά ζητήματα που στο παρελθόν εμπόδιζαν τη βιωσιμότητα ενός DT έχουν επιλυθεί ως αποτέλεσμα των σημαντικών εξελίξεων σε αυτόν τον τομέα.

b. Διεπαφές επικοινωνίας: Αυτές βοηθούν στη ροή πληροφοριών από τον αισθητήρα στη λειτουργία ολοκλήρωσης. Δεδομένου ότι ο αισθητήρας που παράγει τις πληροφορίες μπορεί, θεωρητικά, να εγκατασταθεί πρακτικά οπουδήποτε, ανάλογα με τη διαμόρφωση του DT που εξετάζεται, απαιτούνται πολλές δυνατότητες σε αυτόν τον τομέα: εντός ενός εργοστασίου, σε ένα σπίτι, σε μια επιχείρηση εξόρυξης ή σε ένα χώρο στάθμευσης, μεταξύ χιλιάδων άλλων χώρων.

c. Ασφάλεια: Οι νέες τεχνολογίες επικοινωνιών και αισθητήρων έχουν δημιουργήσει μια σειρά από συνεχώς εξελισσόμενες προκλήσεις ασφάλειας. Τα πιο συχνά χρησιμοποιούμενα μέτρα ασφαλείας περιλαμβάνουν τείχη προστασίας, κλειδιά εφαρμογών, κρυπτογράφηση και πιστοποιήσεις συσκευών. Καθώς όλο και περισσότερα εξαρτήματα γίνονται IP-enabled, θα υπάρξει σίγουρα μεγαλύτερη ζήτηση για νέες μεθόδους προστασίας των συστημάτων DT.

3. Συγκεντρωτικό (Aggregate): Τα δεδομένα κατατίθενται σε ένα κεντρικό αποθετήριο σε αυτή τη φάση, όπου θα υποβληθούν σε επεξεργασία και θα είναι έτοιμα για εξαγωγή αναλύσεων. Η επεξεργασία των συγκεντρωτικών δεδομένων μπορεί να πραγματοποιείται στις εγκαταστάσεις ή στο νέφος. Οι πρόσφατες εξελίξεις στην τεχνολογία συλλογής και επεξεργασίας δεδομένων επιτρέπουν στους σχεδιαστές να κατασκευάζουν εξαιρετικά κλιμακούμενες αρχιτεκτονικές με μεγαλύτερη ευελιξία και μικρότερο κόστος από ό,τι στο παρελθόν.

4. Ανάλυση: Οι προηγμένες πλατφόρμες και τεχνολογίες ανάλυσης μπορούν να χρησιμοποιηθούν από επιστήμονες δεδομένων και αναλυτές για τη δημιουργία επαναληπτικών μοντέλων που παράγουν ιδέες και προτάσεις και βοηθούν στη λήψη αποφάσεων.

5. Διόραση/προβλεψιμότητα: Κατά τη φάση της διορατικότητας, τα δεδομένα από τις αναλύσεις παρουσιάζονται μέσω καταλόγων ελέγχου με οπτικοποιήσεις, επισημαίνοντας μη αποδεκτές αποκλίσεις στις επιδόσεις του DT και του αντίστοιχου φυσικού στοιχείου σε μία ή περισσότερες διαστάσεις, υποδεικνύοντας πιθανές περιοχές που χρειάζονται περαιτέρω έρευνα και τροποποίηση.

6. Παρέμβαση: Κατά τη φάση της παρέμβασης, στο φυσικό στοιχείο ενδέχεται να δοθούν ενεργές πληροφορίες από τα προηγούμενα στάδια. Τα δεδομένα μεταδίδονται μέσω αποκωδικοποιητών και τροφοδοτούνται σε ενεργοποιητές διεργασιών στο φυσικό στοιχείο, οι οποίοι είναι υπεύθυνοι για μηχανισμούς κίνησης ή ελέγχου, ή σε back-end συστήματα, τα οποία διαχειρίζονται την εφοδιαστική αλυσίδα και την εκτέλεση των εντολών των χειριστών. Η σύνδεση κλειστού βρόχου μεταξύ του φυσικού κόσμου και του DT ολοκληρώνεται με αυτή την αλληλεπίδραση.

Η βασική γλώσσα του συστήματος της επιχείρησης, η οποία βασίζεται στις προαναφερθείσες διαδικασίες για την αναπαράσταση του φυσικού στοιχείου και των λειτουργιών, χρησιμοποιείται συνήθως για τη συγγραφή της ψηφιακής εφαρμογής. Για τους στόχους της διαχείρισης των δεδομένων και της διαλειτουργικής συνδεσιμότητας, μπορούν επίσης να εφαρμοστούν πρότυπα και μέτρα ασφαλείας καθ' όλη τη διάρκεια της διαδικασίας. Η δυνατότητα μοντελοποίησης ενός πολύ πιο πλούσιου σε δεδομένα και λιγότερο τμηματοποιημένου κόσμου από ποτέ άλλοτε καθίσταται δυνατή χάρη στην επεξεργαστική ισχύ των μηχανών Bid Data, την ευελιξία των τεχνολογιών ανάλυσης, τις τεράστιες και ευέλικτες δυνατότητες αποθήκευσης και την ενσωμάτωση με τα Κανονικά Μοντέλα. Αυτές οι εξελίξεις μπορούν στη συνέχεια να οδηγήσουν σε ένα μοντέλο που είναι πιο πολύπλοκο και ρεαλιστικό, ενώ παράλληλα έχουν φτηνά έξοδα λογισμικού και υλικού. Η βασική αρχιτεκτονική που αναφέρθηκε παραπάνω πρέπει να είναι ευέλικτη και επεκτάσιμη όσον αφορά την ανάλυση, την επεξεργασία, την ποσότητα των αισθητήρων, των μηνυμάτων κ.λπ. Ως αποτέλεσμα, ο σχεδιασμός μπορεί να είναι σε θέση να προσαρμόζεται γρήγορα στις συνεχείς αλλαγές της αγοράς.

3. Ψηφιακή Διάσταση Βιομηχανίας

Στα μέσα του 17ου αιώνα εμφανίστηκαν οι βιομηχανίες και οι πρώτες μηχανές που τελικά θα αντικαθιστούσαν την ανθρώπινη εργασία σε όλες τις βιομηχανικές

διαδικασίες. Το ανθρώπινο μυαλό δημιούργησε αρκετές εφευρέσεις για τη βελτιστοποίηση των μηχανημάτων και της χρήσης πηγών ενέργειας, όπως τα ορυκτά καύσιμα και το νερό, καθώς η παραγωγική ικανότητα αυξανόταν σταδιακά. Το κύριο κίνητρο της καινοτομίας ήταν η γρήγορη και εύκολη διεκπεραίωση βασικών εργασιών παραγωγής και μεταφοράς, προκειμένου να ικανοποιούνται περισσότεροι άνθρωποι στο συντομότερο δυνατό χρονικό διάστημα. Οι επιχειρήσεις που ακολουθούσαν τις αλλαγές αυξάνονταν ταυτόχρονα σε αξία και ανθρώπινο κεφάλαιο, οδηγώντας σε ασφαλέστερους χώρους εργασίας για τους εργαζόμενους και σε πιο ικανοποιητικά τελικά αγαθά για τους πελάτες. Εκατό χρόνια αργότερα, η "Τεχνολογική Επανάσταση" -γνωστή και ως εξέλιξη των διαδικασιών και των μεθόδων εφαρμογής τους στην πράξη- εξακολουθεί να παρατηρείται στα προηγμένα (βιομηχανικά) κράτη (Agalianos et al., 2020).

Οι βιομηχανίες συγκέντρωσαν τις προσπάθειές τους στην καλύτερη δυνατή αξιοποίηση της ηλεκτρικής ενέργειας, προκειμένου να παράγουν όσο το δυνατόν περισσότερο με τα λιγότερα χρήματα. Η πρωτόγνωρη ταχύτητα υλοποίησης της μηχανής επιτρέπει στα εργοστάσια να ασχοληθούν με τη μαζική παραγωγή αγαθών, βελτιώνοντας παράλληλα την ποιότητα του τελικού προϊόντος. Αυτό οδήγησε στη δημιουργία ανώτερων τεχνικών συνολικής διαχείρισης διαδικασιών που έθεταν ως προτεραιότητα την ταχύτητα, την αποτελεσματικότητα και τη μείωση του κόστους. Ο Henry Ford, ένας από τους προδρόμους αυτών των τεχνικών, εισήγαγε τις βασικές αρχές της λεγόμενης λιτής παραγωγής το 1911, δίνοντας έμφαση σε μοντέλα υψηλής παραγωγικής ικανότητας, με υψηλή αμοιβή, ταχεία ταχύτητα και ρητά βήματα για την αριστεία του προϊόντος (Agalianos et al., 2020).

Καθώς οι βιομηχανίες φτάνουν στο τέλος της δεκαετίας του 1970, αρχίζουν να επικεντρώνονται στις εξελισσόμενες προσδοκίες των καταναλωτών καθώς και στην αναγκαιότητα της αυτονομίας και της ευελιξίας των διαδικασιών και της καινοτομίας. Η πρώτη στρατηγική περιλάμβανε την προσθήκη εξαρτημάτων και κυκλωμάτων που συνδέονταν με έναν κεντρικό πίνακα ελέγχου (PLC) προκειμένου να υποστηριχθεί ο εξοπλισμός παραγωγής και να διατηρηθεί μια ημιαυτόματη ροή. Στη συνέχεια δημιουργήθηκε η απαίτηση για τη χρήση υπολογιστών και των κατάλληλων συστημάτων λογισμικού για τον έλεγχο του πίνακα PLC. Η "ψηφιακή επανάσταση" ήταν πλέον πραγματικότητα και οι επιχειρήσεις αναζητούσαν τα κατάλληλα τεχνολογικά εργαλεία και λογισμικά για να βρουν την καλύτερη δυνατή ισορροπία μεταξύ ανθρώπων και ηλεκτρονικών συστημάτων (Alanya et al., 2018).

Οι στρατηγικές διαχείρισης της αλυσίδας άλλαξαν γρήγορα ως αποτέλεσμα της ψηφιοποίησης της βιομηχανίας. Η προσοχή των αλυσίδων στράφηκε σε άλλες κρίσιμες διαδικασίες, όπως η πρόβλεψη της ζήτησης, ο προγραμματισμός και η μεταφορά, και όχι μόνο στην αποδοτικότητα της παραγωγής. Οι νεοδημιουργηθείσες τεχνολογίες βοηθούν τις επιχειρήσεις να βελτιστοποιήσουν τη μαζική παραγωγή τους και ο αντίκτυπος του Διαδικτύου στη συνδεσιμότητα των μηχανών και των συσκευών είναι μόνο η αρχή των πολυάριθμων αυτοκατευθυνόμενων διαδικασιών που είναι απαραίτητες για την ευημερία των αλυσίδων (Alanya et al., 2018).

4. Τεχνολογίες 4.0

Η αποδοτική και συνεχής ροή των διαδικασιών και των λειτουργιών, ώστε το τελικό προϊόν να ανταποκρίνεται ή/και να υπερβαίνει τις προσδοκίες του τελικού καταναλωτή, αποτελεί εδώ και αρκετές δεκαετίες την πρωταρχική εστίαση των επιχειρησιακών και υλικών πόρων στις αλυσίδες εφοδιασμού. Επιπλέον, προκειμένου να μεγιστοποιηθεί η χρήση των πόρων και να καθιερωθεί η συνάφεια στη λήψη αποφάσεων, η διοίκηση κρίσιμων δραστηριοτήτων και λειτουργιών της αλυσίδας Erhod, όπως η παραγωγή, ήταν στενά συνδεδεμένη με τους στόχους και τις προβλέψεις του τμήματος. Οι αλυσίδες καλούνται να επανεξετάσουν τις επιχειρηματικές τους προτεραιότητες και τον τρόπο με τον οποίο αντιμετωπίζουν τις φράσεις "αυτοματοποίηση" και "ψηφιοποίηση" των ροών και των διαδικασιών, διότι ο ρυθμός ανάπτυξης των εξατομικευμένων απαιτήσεων και της τεχνολογίας αιχμής είναι πλέον ξέφρενος (Anjana & Heena, 2015).

Οι σύγχρονες αλυσίδες χρησιμεύουν ως στρατηγικά σημεία αναφοράς και "κινητήρες" για την εισαγωγή καινοτομίας σε κάθε κλάδο. Δεν είναι πλέον ευθυγραμμισμένες ροές συναλλαγών και δραστηριοτήτων. Η προώθηση της ευφυούς δικτύωσης προϊόντων και διαδικασιών κατά μήκος της αλυσίδας αξίας είναι ένας από τους κύριους στόχους προκειμένου να αξιοποιηθούν καλύτερα οι οργανωτικές διαδικασίες και να παρέχονται στους πελάτες νέα, βελτιωμένα αγαθά και υπηρεσίες. Η 4η Βιομηχανική Επανάσταση, γνωστή και ως Βιομηχανία 4.0, επικεντρώνεται στην τεχνολογική πρόοδο των ψηφιακών τεχνολογιών και στην ενσωμάτωσή τους στις μοναδικές ρυθμίσεις των επιχειρήσεων καθώς και στις αλυσίδες αξίας τους. Τόσο τα επιχειρηματικά μοντέλα όσο και οι αλυσίδες παραγωγής που τα υποστηρίζουν

υφίστανται μια σειρά από γρήγορες αλλαγές ως αποτέλεσμα της τέταρτης βιομηχανικής επανάστασης. Προκειμένου να διαχειριστεί και να αναπτύξει μια άκρως αυτοματοποιημένη και δικτυωμένη αλυσίδα, ο ανθρώπινος παράγοντας περιορίζεται πλέον στη λήψη αποφάσεων και στη διαμόρφωση των δεδομένων και των πληροφοριών που λαμβάνει (Anjana & Heena, 2015).

Προκειμένου να συνεχίσει να υπάρχει η εφευρετικότητα και ο ανταγωνισμός, θα επιχειρηθεί στο παρόν μέρος να εξηγηθεί ο αντίκτυπος της Βιομηχανίας 4.0 στις σύγχρονες αλυσίδες. Για να εκτιμηθεί πόσο αλλάζει η ισορροπία στις ενδοκλαδικές λειτουργίες των βιομηχανιών λόγω της πλήρους ψηφιακής πραγματικότητας, θα γίνει ανάλυση σε κάθε βασική διαδικασία της αλυσίδας εφοδιασμού (Ashrafian et al., 2019).

Όσον αφορά την παραγωγή και τη διανομή αγαθών, οι Εφοδιαστικές Αλυσίδες έχουν, αν μη τι άλλο, εξελιχθεί σε εξαιρετικά συντονισμένες "μηχανές" με πρωταρχικό στόχο την πιο εκτεταμένη και ολοκληρωμένη εξυπηρέτηση των πελατών. Για να επιτύχουν το ιδανικό μείγμα αποδοτικότητας, αποτελεσματικότητας και βέλτιστης χρήσης των διαθέσιμων πόρων, οι επιχειρήσεις πρέπει να διαθέτουν τις πιο σύγχρονες μονάδες παραγωγής και μηχανήματα, μαζί με τις πιο αποτελεσματικές μεθόδους μεταφοράς και συστήματα πληροφοριών αιχμής. Από την πρόβλεψη της μελλοντικής ζήτησης των πελατών μέχρι την άφιξη του τελικού προϊόντος, κάθε βήμα της αλυσίδας έχει καθοριστεί και ρυθμιστεί ώστε να ανταποκρίνεται στους στόχους των τμημάτων πωλήσεων και μάρκετινγκ και να μειώνεται το χάσμα μεταξύ προσφοράς και ζήτησης.

Ωστόσο, υπήρχαν και συνεχίζουν να υπάρχουν πολυάριθμα στοιχεία της διαδικασίας, όπως η προβλεψιμότητα σε αβέβαιες και μη μετρήσιμες πτυχές ή η ανταπόκριση στις επιθυμίες του καταναλωτή που διαρκώς μεταβάλλονται. Προκειμένου να παρέχονται οι υπηρεσίες που ανταποκρίνονται καλύτερα στις ανάγκες των πελατών, μεγιστοποιώντας την ανθεκτικότητα και την ανταπόκριση στις αλλαγές, η PwC αναφέρεται στην αναγκαιότητα ενός "ψηφιακού δικτύου διανομής". Με οργανωμένα εναλλακτικά σενάρια και κατάλληλο προγραμματισμό του δικτύου καναλιών, μια αλυσίδα που ανταποκρίνεται στις αλλαγές και τις ανάγκες θα είναι σε θέση όχι μόνο να προβλέπει ξαφνικές αλλαγές και δυσκολίες, αλλά και να προετοιμάζεται και να ενεργεί προληπτικά για τέτοιες περιπτώσεις. Φυσικά, για να γίνει πραγματικότητα μια τέτοια αλλαγή στην αλυσίδα χρειάζεται κάτι περισσότερο από την επικέντρωση στις νεότερες τεχνολογίες και την επέκταση της χωρητικότητας. Για την επίτευξη του "ιδανικού" ή "πλήρως ευθυγραμμισμένου" ψηφιακού συστήματος, ένα τέτοιο ουσιαστικό έργο προϋποθέτει την πρόσληψη και την

εκπαίδευση των πιο εξειδικευμένων ανθρώπινων πόρων και των πιο ευπροσάρμοστων ηγετών (όσον αφορά τις στρατηγικές και τις κουλτούρες) (Boysen et al., 2019).

Με άλλα λόγια, ο στόχος είναι να μετατραπεί ολόκληρη η εταιρεία σε μια ψηφιακή αλυσίδα εφοδιασμού. Η σημασία της ύπαρξης του καλύτερου δυνατού συντονισμού και σχεδιασμού των επιχειρηματικών λειτουργιών έχει υπογραμμιστεί σε όλη την ιστορία των βιομηχανιών. Μια "καλά συντονισμένη" αλυσίδα δεν επαρκεί σήμερα λόγω της αβεβαιότητας και της αυξημένης πολυπλοκότητας. Προκειμένου να μεγιστοποιήσουν την αυτοματοποίηση, τον έλεγχο και τον χρόνο απόκρισης, οι επιχειρήσεις αναζητούν όλο και περισσότερο εξελιγμένες λύσεις για τη διαχείριση και την παρακολούθηση των επιμέρους στοιχείων και πόρων των αλυσίδων εφοδιασμού τους. Αυτό σχετίζεται με την ενσωμάτωση των λεγόμενων "έξυπνων" τεχνολογιών στις λειτουργίες των εταιρειών, προκειμένου να ενισχυθεί η παραγωγικότητα και να μεγιστοποιηθεί η εξοικονόμηση πόρων και αποβλήτων. Τα πλεονεκτήματα των έξυπνων τεχνολογιών παρατίθενται παρακάτω σε κάθε επίπεδο ενδιαφερομένων από την DHL (DHL Website, 2022):

Καταναλωτές: Η τεχνολογία πρόβλεψης και συλλογής δεδομένων αιχμής βοηθά τις επιχειρήσεις να κατανοήσουν καλύτερα τις απαιτήσεις των πελατών τους.

Ανθρώπινο δυναμικό: Σε κάθε διαδικασία, οι πιο έξυπνες λύσεις αυξάνουν την ασφάλεια, ενώ παράλληλα μειώνουν την πίεση, το εργασιακό στρες και τη σωματική εξάντληση.

Επιχειρήσεις: Κάθε καινοτομία και υπηρεσία προστιθέμενης αξίας που προσφέρει η εταιρεία αυξάνει την ανταγωνιστικότητά της τόσο στον τομέα στον οποίο δραστηριοποιείται όσο και στην αγορά γενικότερα.

Η πλήρης αφομοίωση και η διείσδυση των νέων λύσεων, είτε τεχνολογικών, είτε εργασιακών, είτε διοικητικών, είναι απαραίτητη όταν γίνεται η αναζήτηση των κριτηρίων και τις προδιαγραφών που θα οδηγήσουν μια αλυσίδα στην εποχή της Βιομηχανίας 4.0. Για τις επιχειρήσεις, η μόνη σταθερά είναι ότι κάθε σύστημα βιομηχανικής και παραγωγικής διαδικασίας πρέπει να εξεταστεί ολιστικά προκειμένου να αναπτυχθεί μια ανεξάρτητη ψηφιακή αλυσίδα αξίας. Για τη βαθύτερη κατανόηση, έγινε έρευνα σχετικά με την ετοιμότητα των γερμανικών αλυσίδων στις απαιτήσεις της Βιομηχανίας 4.0 (Ένωση Μηχανικών Μηχανών και Εγκαταστάσεων Γερμανίας, 2015) (Boysen et al., 2019). Για μια πιο επιτυχημένη μετάβαση στη νέα βιομηχανική περίοδο,

θα πρέπει να αποσαφηνιστούν και να ληφθούν υπόψη οι ακόλουθες σημαντικές παράμετροι κατά την ανάλυση των βασικών διαστάσεων της έρευνας:

- Διοικητική και οργανωτική στρατηγική που δίνει προτεραιότητα στην καινοτομία.
- Ρύθμιση ενός "έξυπνου" εργοστασίου με τη βοήθεια μηχανημάτων, τεχνολογίας αιχμής, χρήσης και ανακάλυψης δεδομένων και ψηφιακού σχεδιασμού.
- Ακόμη πιο "έξυπνη" διαχείριση διαδικασιών που επιτυγχάνεται με την ολοκλήρωση της αλυσίδας αξίας.
- Παραγωγή και εμπορία "έξυπνων" αγαθών και υπηρεσιών που φέρουν την ψηφιακή "υπογραφή" της τεχνολογίας αιχμής.
- Ολοκλήρωση των συστημάτων διαχείρισης δεδομένων για τη βελτίωση των λειτουργιών, των επιλογών και των προβλέψεων.
- Αύξηση και πρόσληψη του κατάλληλου ανθρώπινου δυναμικού.

Περισσότεροι από τους μισούς ερωτηθέντες δεν πληρούν τις προϋποθέσεις για την υιοθέτηση των πρόσφατων ψηφιακών καινοτομιών στη βιομηχανία, σύμφωνα με τις προαναφερθείσες μεταβλητές της δημοσκόπησης. Στην πραγματικότητα, αρκετές επιχειρήσεις συνέχισαν να δαπανούν και να λαμβάνουν αποφάσεις σε πιλοτικό/διερευνητικό στάδιο, σε μια προσπάθεια να βρουν τα καλύτερα εργαλεία για την ψηφιοποίηση και την αυτοματοποίηση των διαδικασιών τους. Αντίθετα, η SEW Eurodrive (2020) είναι μία από τις λίγες επιχειρήσεις που πληρούσαν και τις 6 σημαντικές διαστάσεις της έρευνας. Προκειμένου να επιταχύνει τη διαδικασία και να επικεντρώσει την ανθρώπινη παρέμβαση αποκλειστικά στην ολοκλήρωση κάθε συγκεκριμένης ενέργειας, η εταιρεία δημιούργησε τα τελευταία χρόνια έναν εξελιγμένο βαθμό αυτοματοποιημένης παραγωγής και εσωτερικής μεταφοράς προϊόντων μέσω "αυτόνομων" αυτοκινήτων. Για τη σωστή διαχείριση των οχημάτων και τον συνεχή έλεγχο της διαδρομής και του φορτίου που μεταφέρουν ανά θέση παραγωγής, κάθε θέση εργασίας περιέχει συσκευές που είναι τόσο συνδεδεμένες με το κύριο σύστημα λογισμικού όσο και εξοπλισμένες με τεχνολογία RDIF (Boysen et al., 2019).

Το κύριο κέρδος αυτής της πρωτοβουλίας είναι η μείωση των λαθών στην παραγωγή και στη διαχείριση των αποθεμάτων, καθώς και η αύξηση της καθημερινής παραγωγικότητας. Η κυβέρνηση της Γερμανίας, ένα από τα κορυφαία έθνη που στοχεύει στην πλήρη ενσωμάτωση της Βιομηχανίας 4.0, οργανώνει και

προγραμματίζει την ψηφιοποίηση και την ανάπτυξη του βιομηχανικού τομέα. Ήδη διατηρεί παγκόσμια ανταγωνιστικότητα και συχνά ξεπερνά άλλους παγκόσμιους ηγέτες στην κατασκευή και διανομή εξοπλισμού, ενισχύοντας την κυρίαρχη θέση της τόσο στη βιομηχανία μηχανών όσο και στην αυτοκινητοβιομηχανία. Γενικεύοντας από το παράδειγμα της Γερμανίας, η Ευρώπη έχει μια πιο απτή αντίληψη για τη Βιομηχανία 4.0 που εστιάζει στο υλικό (Coelho et al., 2021).

Αντίθετα, οι ΗΠΑ εστιάζουν και διερευνούν τα ψηφιακά ή και άυλα στοιχεία της σύγχρονης βιομηχανικής επανάστασης. Ένα σημαντικό σημείο σύγκρισης είναι η διεύρυνση των ψηφιακών οριζόντων των οργανισμών μέσω της πληρέστερης δυνατής χρήσης των δυνατοτήτων του Διαδικτύου και της σχετικής δημιουργίας εργαλείων και λογισμικού. Κατά την εξέταση της Βιομηχανίας 4.0 στο σύνολό της, υποστηρίζεται σε μεγάλο βαθμό η ιδέα ότι η ανάπτυξη της τεχνολογίας θα οδηγήσει στα λεγόμενα ψηφιακά δίκτυα εφοδιασμού, τα οποία θα δημιουργήσουν ένα (ψηφιακό) οικοσύστημα (Furmann et al., 2017).

5. Κυβερνοασφάλεια

Τα μεγάλα δεδομένα είναι το καύσιμο της σημερινής τεχνολογίας χάρη στις βιομηχανικές επαναστάσεις που πυροδότησαν την ανάπτυξη των ΤΠΕ και άλλων τύπων ψηφιακής τεχνολογίας (Deloitte, 2019). Ένας από τους βασικούς λόγους για τους οποίους οι επιχειρήσεις διαθέτουν ένα σημαντικό ποσό των δαπανών τους για την προστασία της ιδιωτικής ζωής και την ασφάλεια στον κυβερνοχώρο είναι η σημασία και η επιρροή των μεγάλων δεδομένων. Για παράδειγμα, καθώς καταγράφονται και αποθηκεύονται μαζικά δεδομένα, απαιτούνται πιο εξελιγμένοι μηχανισμοί ελέγχου πρόσβασης για να διασφαλιστεί ότι οι πληροφορίες παραμένουν ιδιωτικές και χρησιμοποιούνται μόνο για επιχειρηματικούς σκοπούς. Η κυβερνοασφάλεια θα συνεχίσει να αποτελεί βασικό μέλημα στο μέλλον λόγω της διασύνδεσης των ψηφιακών δικτύων που καθοδηγούν τις δραστηριότητες και δίνουν το ρυθμό για την ψηφιακή ανάπτυξη και πρόοδο. Αυτό οφείλεται στην πιθανότητα ότι, σε περίπτωση κυβερνοεπίθεσης, ο αντίκτυπος θα μπορούσε να προκαλέσει την κατάρρευση της αλυσίδας αξίας, ιδίως εάν δεν έχουν γίνει προβλέψεις για τέτοιους κινδύνους (Gregor et al., 2018).

Συνεπώς, είναι ζωτικής σημασίας η καταπολέμηση των κινδύνων στον κυβερνοχώρο με καλά αναπτυγμένα μέτρα ασφάλειας στον κυβερνοχώρο, τα οποία πρέπει να είναι προσεκτικά, ασφαλή και ισχυρά. Μια ποικιλία κυβερνοεπιθέσεων, όπως όταν ένας χάκερ εγκαθιστά κακόβουλο λογισμικό με στόχο να σαμποτάρει όλες τις διαδικασίες παραγωγής της εφοδιαστικής, είναι μια από τις πιο συχνές καταστάσεις κινδύνου σε ένα βιομηχανικό περιβάλλον. Η χειρότερη περίπτωση θα αφορούσε την εσφαλμένη κατεύθυνση ενός μηχανήματος, η οποία θα μπορούσε να οδηγήσει σε υλικές ζημιές στην περιοχή, επειδή η παραγωγή συνήθως παρακολουθείται. Ένα άλλο σενάριο είναι μια επίθεση στο σύστημα ελέγχου των βιομηχανικών ρομπότ. Σε ένα τέτοιο σενάριο, ο επιτιθέμενος θα μπορούσε να αναπτύξει πακέτα δεδομένων με τη δυνατότητα υποκλοπής δεδομένων του συστήματος και των εφαρμογών, καθώς και τη δυνατότητα να βλάψει τη γραμμή παραγωγής ή ολόκληρη την υποδομή πληροφορικής ενός οργανισμού (Harish et al., 2021).

Ένα τρίτο σενάριο περιλαμβάνει την πρακτική της κοινωνικής μηχανικής, κατά την οποία οι επιτιθέμενοι θα εκμεταλλευτούν ανθρώπινα χαρακτηριστικά όπως η εμπιστοσύνη, η χρησιμότητα, ο φόβος και η περιέργεια για να ξεγελάσουν τους εργαζόμενους και να κλέψουν τα δεδομένα της εταιρείας παρακάμπτοντας τα διάφορα μέτρα ασφαλείας ή κατεβάζοντας κακόβουλο λογισμικό στις συσκευές τους. Κατά συνέπεια, αναμένεται ότι η κυβερνοασφάλεια θα αποτελέσει σημαντικό παράγοντα για τις βιομηχανικές επιχειρήσεις, ιδίως όσο συνεχίζει να συνδέεται με την παραδοσιακή αντίληψη της ασφάλειας δικτύων και υπολογιστών. Οι επιπτώσεις στην ασφάλεια μιας παραβιασμένης συσκευής μπορεί να οδηγήσουν σε διακοπή της παραγωγής, καταστροφική βλάβη του εξοπλισμού, ακόμη και απώλεια ζωής σε ακραίες περιπτώσεις, δεδομένου ότι ορισμένες συσκευές IoT ενέχουν σημαντικούς κινδύνους στον κυβερνοχώρο. Ως εκ τούτου, είναι σημαντικό για τις επιχειρήσεις να διαθέτουν σχέδια ασφαλείας, καθώς και να περιέχουν κρίσιμες τεχνικές που συμβάλλουν στην προστασία του εξοπλισμού τους. Είναι ζωτικής σημασίας να ληφθεί υπ' όψη ότι η γενική φύση των απειλών στον κυβερνοχώρο εντός των τομέων εξαρτάται συνήθως από ένα συγκεκριμένο χαρτοφυλάκιο στο εσωτερικό της εταιρείας, γεγονός που καθιστά αναγκαία την ανάληψη κατάλληλης δράσης από τα σχετικά αυτοματοποιημένα στοιχεία λήψης αποφάσεων. Ωστόσο, επειδή υπάρχουν πολλοί νόμοι και κανονισμοί που διέπουν τη βιομηχανική παραγωγή, οι κίνδυνοι στον κυβερνοχώρο θα πρέπει επίσης να παραμείνουν κορυφαίο μέλημα των αρχών (Harish et al., 2021).

6. Οφέλη και Προκλήσεις Ψηφιακού Διδύμου

Για να μεγιστοποιήσουν τις δυνατότητές τους, τα ολοκληρωμένα, πολύπλοκα συστήματα πρέπει να έχουν τα δικά τους DT. Ένας μεγαλύτερος βαθμός απλούστευσης εφαρμόζεται στη λειτουργικότητα του προϊόντος καθώς και στο σχεδιασμό και την ανάπτυξη του προϊόντος. Κάθε προϊόν στο οποίο εφαρμόζεται το DT έχει όλα τα χαρακτηριστικά και τις λειτουργίες του ολοκληρωμένα. Προκειμένου οι επιχειρήσεις να επιτύχουν την καλύτερη δυνατή επικοινωνία μεταξύ πολλών ομάδων και τμημάτων σε οποιοδήποτε επίπεδο, το DT χρησιμεύει ως η κύρια πηγή ακριβούς απεικόνισης. Εξυπηρετεί επίσης τους πελάτες και τους επιχειρηματικούς συνεργάτες εκτός της επιχείρησης (Huang et al., 2021). Σύμφωνα με τις προβλέψεις που γίνονται από παρατηρητές του κλάδου, η τεχνολογία DT μπορεί να μειώσει σημαντικά το χρόνο και το κόστος ανάπτυξης ενός προϊόντος (έως και 50%) (Huang et al., 2021).

Οι επιχειρήσεις μπορούν να αλλάξουν με επιτυχία το σχεδιασμό, την κατασκευή, τις πωλήσεις και τη συντήρηση πολύπλοκων προϊόντων μέσω συνεχών κύκλων ανάπτυξης και ενισχυμένης και έξυπνης συνεργασίας μεταξύ εξωτερικών και εσωτερικών συνεργατών. Μέσω των DT τους, οι οργανισμοί μπορούν να έχουν γρήγορη πρόσβαση σε επικυρωμένη γνώση των δεδομένων. Αυτή η καλά συγκεντρωμένη γνώση βοηθά στον πραγματικό μετασχηματισμό της εταιρείας. Με τη βοήθεια των DT, η επιχειρηματική στρατηγική, ο σχεδιασμός και η εκτέλεση γίνονται πιο έξυπνα και γρήγορα. Μαζί με τις λύσεις DT, η αγορά συσκευών IoT αναμένεται να αναπτυχθεί ταχύτερα. Η γενική γνώμη είναι ότι κάθε εφαρμογή με δυνατότητες DT και θεμέλια στην ανάλυση θα επαινέθει και θα αναγνωριστεί περισσότερο (Masaea et al., 2020).

Μια εκπληκτική ποικιλία μοναδικών υπηρεσιών θα μπορούσε να δημιουργηθεί και να καταστεί άμεσα διαθέσιμη με τη συνεχή ανάπτυξη. Ο πελατοκεντρισμός είναι αναμφισβήτητα σημαντικός για την επιτυχία μιας εταιρείας. Απώτερος στόχος κάθε παρόχου υπηρεσιών ή λύσεων είναι η ικανοποίηση των πελατών του. Η τεχνική DT υποστηρίζει την εστίαση μιας εταιρείας στους πελάτες της και βοηθά στην επιλογή της καλύτερης πορείας δράσης για την ενίσχυση ορισμένων από τους βασικούς δείκτες απόδοσης. Το κύριο πλεονέκτημα του DT είναι ότι οι πόροι δεν χρειάζεται να είναι συνδεδεμένοι προκειμένου να μεταφέρουν συνεχώς πληροφορίες. Σε ένα ασφαλές

περιβάλλον νέφους όπου συνυπάρχουν με DT σε ένα πλαίσιο IoT, μπορούν να γίνουν εύκολα εφαρμογές πάνω σε αυτούς τους φυσικούς πόρους (Masaea et al., 2020).

Λόγω του γεγονότος ότι τα δεδομένα δεν αποστέλλονται όταν τα DTs δεν τα χρειάζονται, αυτή η μέθοδος sandbox μειώνει τα τρωτά σημεία ασφαλείας. Έχει διαπιστωθεί ότι τέτοιες εφαρμογές έχουν φθινό κόστος ανάπτυξης (Augustine P., 2019). Ως αποτέλεσμα, το DT στο νέφος μπορεί να προσφέρει ποικίλες ευκαιρίες και να υλοποιηθεί πιο γρήγορα και εύκολα. Τα DT μπορούν να βοηθήσουν με τους ακόλουθους τρόπους:

α) Μελλοντική πρόβλεψη :

Αφορά στοιχεία όπως η εκτίμηση της διάρκειας ζωής των συσκευών, των συνθηκών λειτουργίας τους και των αλλαγών στη λειτουργία τους λόγω των δεδομένων και από το περιβάλλον, επειδή οι μεγάλες πληροφορίες πραγματικού χρόνου που συλλέγονται από τους αισθητήρες μπορούν να τροφοδοτηθούν απευθείας στο DT (Aditi, 2019).

β) Έμφαση στην ακρίβεια

Δεδομένου ότι τα μεγάλα δεδομένα παράγονται πλέον από πολυάριθμες συνδεδεμένες συσκευές και εφαρμογές, οι επιχειρήσεις μπορούν να επεξεργάζονται τεράστιο όγκο δεδομένων για να κατανοήσουν καλύτερα τη συνολική κατάσταση των βιομηχανικών συστημάτων. Τα DT μπορούν να κατανοήσουν ορθότερα τον τρόπο με τον οποίο μια συσκευή μπορεί να συμπεριφέρεται σε ένα δεδομένο περιβάλλον συνδυάζοντας αλγόριθμους μηχανικής μάθησης με αυτά τα συνδεδεμένα δεδομένα των μοντέλων συμπεριφοράς των συσκευών, τα οποία μπορούν στη συνέχεια να χρησιμοποιηθούν για την πρόβλεψη πιθανών βλαβών των συσκευών πριν αυτές συμβούν (Aditi, 2019).

γ) Σύνθετο DT

Στην πραγματικότητα, τα DT παρέχουν απλές συνδέσεις σε πραγματικό χρόνο με απομακρυσμένες συσκευές, ώστε οι χρήστες να μπορούν να λαμβάνουν δεδομένα από αυτές ή να δίνουν εντολή στη συσκευή να κάνει μια συγκεκριμένη ενέργεια. Τα δεδομένα σε πραγματικό χρόνο μπορεί να μην είναι επαρκή για την πλήρη διαχείριση των συσκευών, αλλά οι προβλέψεις για το μέλλον και η συμπεριφορά του παρελθόντος βοηθούν. Το μυστικό της επιτυχίας είναι αναμφισβήτητα ο συνδυασμός επιχειρησιακών συμπεριφορών με DTs σε πραγματικό χρόνο (Dujak & Sajter, 2019).

δ) Μείωση των λειτουργικών δαπανών

Στις επιχειρήσεις, η ιδέα της μείωσης των δαπανών με παράλληλη αύξηση των κερδών είναι σταθερή. Προκειμένου να μειώσουν τα έξοδα και να αυξήσουν έτσι τα περιθώρια κέρδους, οι επιχειρήσεις αξιολογούν επίσης τη διαδικασία ανάπτυξης συσκευών και δοκιμάζουν νέες, λογικές εναλλακτικές λύσεις. Το DT επιτρέπει στις επιχειρήσεις να δοκιμάζουν προϊόντα χωρίς να προσθέτουν επιπλέον κόστος σε πραγματικό χρόνο. Τα καταστήματα λιανικής πώλησης μπορούν να χρησιμοποιήσουν την τεχνολογία DT για να προσομοιώσουν το δικό τους κατάστημα και, χρησιμοποιώντας αισθητήρες, να μετρήσουν τη δραστηριότητα των πελατών σε σχέση με τις αγορές σε γενικότερο επίπεδο εταιρείας. Στην πραγματικότητα, το DT προάγει την επιτυχία διατηρώντας μια στρατηγική ασφαλούς απόστασης από τα λάθη (Dujak & Sajter, 2019).

ε) Αποφυγή της αποτυχίας

Στον πραγματικό κόσμο, η αποφυγή της αποτυχίας θα μπορούσε να φανεί ως μια δύσκολη κατάσταση, ωστόσο οι επιχειρήσεις πρέπει να επενδύουν σημαντικά για να αποτρέψουν δαπανηρές αποτυχίες ή λάθη. Οι μηχανικοί μπορούν να βρουν διάφορες δυνατότητες χάρη στα DTs, γεγονός που αυξάνει την ακρίβεια των εκτιμήσεών τους για την αντοχή ή την ανθεκτικότητα ενός στοιχείου. Η αξιοποίηση των DTs θα επιτρέψει στις βιομηχανίες που επιθυμούν να εξασφαλίσουν κανονικούς χρόνους παράδοσης των μηχανημάτων τους και ενισχυμένη παραγωγή να το κάνουν πολύ πιο γρήγορα. Οι βιομηχανίες μπορούν να διευρύνουν τους ορίζοντές τους και να κάνουν νέες ανακαλύψεις μεταβαίνοντας από τη διαχείριση ενός πόρου στη διαχείριση όλων των πόρων ταυτόχρονα. Για να δοθεί μια πιο εμπειριστατωμένη ανάλυση, ένα σύστημα κινητήρα, μετάδοσης και πέδησης, για παράδειγμα, μπορεί να έχει διάφορα DTs που πρέπει να συνδέονται μεταξύ τους όπως ο πραγματικός φυσικός μηχανισμός κινητήρα, μετάδοσης και πέδησης (Takyar, 2022).

Γίνεται φανερό ότι η επόμενη γενιά τεχνικών κατασκευής θα εξαρτηθεί σε μεγάλο βαθμό από τον τρόπο με τον οποίο τα δεδομένα παράγονται, μεταφέρονται, αποθηκεύονται και χρησιμοποιούνται. Για να αποκομίσει οφέλη ο κατασκευαστικός κλάδος, θα πρέπει επίσης να συνδυαστούν και να συνδεθούν όλα τα στοιχεία που απαιτούνται για τη δημιουργία ενός "συνδεδεμένου" εργοταξίου. Η εξομάλυνση των αποκλίσεων στη σημασιολογία και τη σύνταξη των δεδομένων που λαμβάνονται και ο καθορισμός του πότε πρέπει να συγχρονιστούν αντίγραφα των δεδομένων προκειμένου να προσφέρονται τρέχοντα δεδομένα έχουν σημειωθεί και τα δύο ως σημαντικά ζητήματα με τα ψηφιακά δίδυμα. Λόγω του συμβιβασμού μεταξύ του κόστους

συγχρονισμού και της ποιότητας των δεδομένων, το ζήτημα δεν είναι απλό (Lu et al., 2020). Το κόστος των πόρων που χρησιμοποιούνται, όπως το προσωπικό πληροφορικής, οι υπολογιστικοί πόροι κ.λπ. περιλαμβάνονται στο κόστος του συγχρονισμού. Επιπλέον, οι οργανισμοί συχνά στρέφονται στον ομαδικό συγχρονισμό δεδομένων, ο οποίος επιχειρείται μετά το πέρας των ωρών εργασίας, για να αποφύγουν τις διακοπές του συστήματος κατά τη διάρκεια των εργασιμών ωρών (Takyar, 2022). Ωστόσο, για τα ψηφιακά δίδυμα με απαίτηση παρακολούθησης των μηχανικών περιουσιακών στοιχείων σε πραγματικό χρόνο, θα χρειαστεί συνεχής ροή δεδομένων, γεγονός που μετατοπίζει το ισοζύγιο προς το υψηλό κόστος συγχρονισμού. Κατά τη δημιουργία και την κατασκευή νέων αγωγών ανάλυσης δεδομένων για την εξαγωγή και παρουσίαση αποτελεσμάτων, μπορεί να είναι απαραίτητο να ληφθεί υπόψη ο τύπος των δεδομένων που παρέχονται από τις συσκευές IoT. Μια άλλη σημαντική ανησυχία καθώς αυξάνεται ο αριθμός των συσκευών IoT στον χώρο είναι η χωρητικότητα επικοινωνίας. Επί του παρόντος, η επιλογή του πρωτοκόλλου επικοινωνίας εξαρτάται από την εφαρμογή. Ο μελλοντικός εξοπλισμός από τον κατασκευαστή της εγκατάστασης ενδέχεται να απαιτεί συνδυασμό τεχνολογιών επικοινωνίας και ένα κοινό βασικό πρωτόκολλο ανταλλαγής δεδομένων, προκειμένου να συνεργάζονται χωρίς δυσλειτουργίες. Η ενεργοποίηση της διαλειτουργικότητας των διαφόρων τεχνολογιών επικοινωνίας με ταυτόχρονη αντιμετώπιση των εγγενών πλεονεκτημάτων και ελλείψεών τους θα ήταν ένα ζήτημα για μια τέτοια υποδομή. Η δημιουργία ψηφιακών διδύμων μέσω συνδέσεων δεδομένων σε ρομποτικές (κυβερνο-φυσικές) εγκαταστάσεις, μικροσυσκευές IoT, έξυπνα υφάσματα και ευφυή εξαρτήματα ή αγαθά θα υποστηριζόταν από αυτή τη ρευστή διαδικασία (Takyar, 2022).

Η αξιοποίηση των "έξυπνων" κτιρίων θα μπορούσε να παράγει αρκετά δεδομένα που θα επέτρεπαν τον ευφυή επανασχεδιασμό των επιτόπιων κατασκευών με τις κατάλληλες τεχνικές εξόρυξης και ανάλυσης δεδομένων. Η ευθυγράμμιση της βιωσιμότητας με τους στόχους του σχεδιασμού είναι ένα άλλο πλεονέκτημα του ψηφιακού διδύμου. Τα κτίρια μπορούν να ανεγερθούν γρήγορα, αλλά και να αποσυναρμολογηθούν και να επαναχρησιμοποιηθούν για την προώθηση μιας κυκλικής οικονομίας, εάν τα επιμέρους στοιχεία δημιουργηθούν σε ένα εργοστάσιο εκτός του εργοταξίου και συναρμολογηθούν στο χώρο. Οι εργαζόμενοι μπορούν να λαμβάνουν άμεσες ειδοποιήσεις κινδύνου από αισθητήρες, ιδίως όταν αυτοί ενσωματώνονται σε φορητές συσκευές. Η διερεύνηση έξυπνων υφασμάτων που, όταν φοριούνται, μπορούν να αξιοποιηθούν για την ανίχνευση της παρουσίας τοξινών και την παρακολούθηση

της υγείας είναι ένας πολλά υποσχόμενος νέος τομέας μελέτης. Για τους εργαζόμενους στην κατασκευή αυτοκινητοδρόμων, οι οποίοι αντιμετωπίζουν πρόσθετους κινδύνους από την κινούμενη κυκλοφορία και τα σχετικά καυσαέρια, η χρήση φορητής τεχνολογίας είναι ιδιαίτερα κατάλληλη. Επιπλέον, αισθητήρες μπορούν να προστεθούν σε παθητικό εξοπλισμό που σχετίζεται με την κατασκευή, όπως οι κώνοι, για να προσφέρουν στους εργαζόμενους και τους οδηγούς ασφάλεια και έγκαιρη προειδοποίηση (Tapscott & Tapscott, 2016).

Τα μοντέλα CAD είναι πλέον πιο διαδεδομένα σε ολόκληρη τη διαδικασία κατασκευής, καθώς και σε όλες τις φάσεις σχεδιασμού και ανάπτυξης. Τα συνδεδεμένα σε πραγματικό χρόνο μοντέλα εργοταξίου θα μπορούσαν δυνητικά να παρέχουν υποστήριξη αποφάσεων για τον πλήρη κύκλο ζωής και, στο μέλλον, να χρησιμεύσουν ως πίνακας ελέγχου για ημιαυτόματες ή πλήρως αυτοματοποιημένες διαδικασίες κατασκευής χάρη στις εξελίξεις τόσο στο υλικό ασύρματης επικοινωνίας όσο και στα σχετικά πρωτόκολλα επικοινωνίας (Tapscott & Tapscott, 2016).

Συμπερασματικά, η ανάπτυξη των ψηφιακών διδύμων έχει πολλά οφέλη, καθώς βελτιώνουν τη συμπεριφορά των προϊόντων και των διαδικασιών, γεγονός που με τη σειρά του ενισχύει την αποδοτικότητά τους. Τα ψηφιακά δίδυμα παρέχονται για:

- Πρόβλεψη πιθανών προβλημάτων που μπορεί να αναπτυχθούν στο μέλλον. Μαζί με άλλα οφέλη, αυτό μειώνει τον χρόνο κατασκευής και τα ελαττώματα των προϊόντων.

- Την ενίσχυση και βελτίωση των βιομηχανικών διαδικασιών με τη χρήση ακριβών δεδομένων.

- Μείωση του χρόνου διακοπής λειτουργίας που προκαλείται από πιθανά ελαττώματα.

- Πρόληψη ατυχημάτων, τα οποία επιτρέπουν την προσομοίωση ποικίλων σεναρίων και περιπτώσεων.

- Μείωση των δαπανών συντήρησης με τη διενέργεια διαδικασιών προληπτικής συντήρησης.

- Δυνατότητα συνεχούς ανάπτυξης μέσω προσομοίωσης, ανίχνευσης αστοχιών και εντοπισμού αναποτελεσματικών πρακτικών (Adat et al., 2018).

7. Τρόποι Σχεδιασμού Ψηφιακού Διδύμου σε Εφοδιαστική Αλυσίδα

Αντιγράφοντας κάθε περιουσιακό στοιχείο σε μια περίπλοκη αλυσίδα εφοδιασμού, τα ψηφιακά δίδυμα βοηθούν τις επιχειρήσεις να ξεπεράσουν αρκετά προβλήματα που αντιμετωπίζουν. Η μελέτη της BCG με τίτλο "Using Digital Twins to overcome complexity in supply chains" εξηγεί πώς οι επιχειρήσεις χρησιμοποιούν τις πληροφορίες για να βελτιώσουν τη λήψη αποφάσεων σε διάφορους ορίζοντες σχεδιασμού:

- Τον βραχυπρόθεσμο σχεδιασμό και την εκτέλεση: Επειδή τα ψηφιακά δίδυμα μπορούν να εντοπίζουν τους κινδύνους εκτέλεσης πριν εξελιχθούν σε κρίσεις, οι επιχειρήσεις μπορούν να μειώσουν τους κινδύνους αντί να τους αντιμετωπίσουν. Επιτρέπει στις επιχειρήσεις να μειώσουν τον χρόνο αδράνειας των περιουσιακών στοιχείων που παρουσιάζουν συμφόρηση και να βελτιώσουν τις συνθήκες αποθεμάτων (Adat et al., 2018).

- Σχεδιασμός πωλήσεων και λειτουργιών: Με τη μοντελοποίηση της υλοποίησης συγκεκριμένων σχεδίων, την επισήμανση των κινδύνων και των δυνατοτήτων και την προσφορά πληροφοριών σχετικά με τη διαδικασία σχεδιασμού, το ψηφιακό ζεύγος μπορεί να βελτιστοποιήσει τον προγραμματισμό πωλήσεων και λειτουργιών. Αυτό δίνει τη δυνατότητα στις επιχειρήσεις να μειώσουν τις απώλειες που προκαλούνται από κακές στρατηγικές, περιορισμούς του συστήματος και πιθανά σημεία συμφόρησης. Ο οργανισμός μπορεί να χρησιμοποιήσει αυτά τα δεδομένα για να προσαρμόσει καλύτερα τα επίπεδα αποθεμάτων και τα χρονοδιαγράμματα συντήρησης στη ζήτηση της αγοράς (Bao et al., 2020).

- Μακροπρόθεσμος προγραμματισμός: Με τον εντοπισμό των σημαντικότερων διαρθρωτικών σημείων συμφόρησης και του ποσού της απαιτούμενης πρόσθετης δυναμικότητας, οι επιχειρήσεις μπορούν να μεγιστοποιήσουν τη διαμόρφωση ολόκληρου του συστήματος της αλυσίδας εφοδιασμού και να αυξήσουν την αποτελεσματικότητα των κεφαλαιακών δαπανών (Bao et al., 2020).

Καθώς οι επιχειρήσεις χρησιμοποιούν τα ψηφιακά δίδυμα για τη βελτιστοποίηση διαφόρων δραστηριοτήτων της αλυσίδας εφοδιασμού, οι τεράστιες δυνατότητες της τεχνολογίας έρχονται όλο και περισσότερο στο φως. Παρόλο που η τεχνολογία των ψηφιακών διδύμων χρησιμοποιείται ευρέως από τις αρχές της δεκαετίας του 2000 και είναι φθηνότερη και ευκολότερη στην εφαρμογή της, η διαχείριση της εφοδιαστικής αλυσίδας εξακολουθεί να μην την αξιοποιεί πλήρως. Αυτό είναι αποτέλεσμα παρανοήσεων σχετικά με τη χρήση, τις δυνατότητες και την προοπτική αξία της τεχνολογίας, καθώς και της πολυπλοκότητας της ίδιας της

εφοδιαστικής αλυσίδας. Ωστόσο, τα ψηφιακά δίδυμα μπορούν να βελτιώσουν σημαντικά μια ποικιλία εφοδιαστικών αλυσίδων με τις κατάλληλες τεχνικές υιοθέτησης και εφαρμογής (Bao et al., 2020).

Πολλοί άνθρωποι πιστεύουν λανθασμένα ότι τα ψηφιακά δίδυμα είναι οι ίδιοι αισθητήρες, τα τρισδιάστατα μοντέλα, οι προσομοιωτές ή η τεχνολογία τεχνητής νοημοσύνης που εφαρμόζεται σε διαφορετική εφαρμογή. Άλλοι πιστεύουν λανθασμένα ότι η διαχείριση της εφοδιαστικής αλυσίδας έχει ελάχιστη σχέση με τα ψηφιακά δίδυμα, τα οποία είναι ως επί το πλείστον θεωρητικά, ή ότι τα ψηφιακά δίδυμα μπορούν να αναπτυχθούν μόνο μετά την κατασκευή φυσικών διδύμων. Οι αισθητήρες, η υπολογιστική νέφος, η τεχνητή νοημοσύνη, οι εξελιγμένες αναλύσεις, η προσομοίωση, η οπτικοποίηση και η επαυξημένη και εικονική πραγματικότητα είναι μερικές μόνο από τις τεχνολογίες που επιτρέπουν τη δημιουργία ενός ψηφιακού διδύμου. Ανάλογα με τις απαιτήσεις και τις προσδοκίες τους, οι επιχειρήσεις ενδέχεται να αναπτύξουν έναν προσαρμοσμένο συνδυασμό τεχνολογιών. Η ικανότητα των ψηφιακών διδύμων να μιμούνται τις ανθρώπινες ικανότητες, να βοηθούν σε σημαντικές κρίσεις και ακόμη και να λαμβάνουν αποφάσεις για λογαριασμό των ανθρώπων είναι αυτό που τους διακρίνει από άλλες τεχνολογίες και τους δίνει τέτοια δύναμη (Boje et al., 2020). Ένα ψηφιακό δίδυμο παρακολουθεί το φυσικό του περιβάλλον χρησιμοποιώντας ένα δίκτυο αισθητήρων που συλλέγουν δεδομένα σε πραγματικό χρόνο. Καθώς αλληλεπιδρά με ανθρώπους, αντικείμενα και άλλα δικτυωμένα ψηφιακά δίδυμα, μαθαίνει από αυτές τις πληροφορίες και το πλαίσιο. Λόγω της ικανότητάς τους να συνεργάζονται και να επικοινωνούν συνεχώς με συνδεδεμένα φυσικά και ψηφιακά αντικείμενα και ανθρώπους, τα ψηφιακά δίδυμα αποτελούν πλέον ενεργά κοινωνικά μέσα. Οι ειδικοί της εφοδιαστικής αλυσίδας μπορούν πλέον να βρουν μοτίβα σε εξαιρετικά πολύπλοκες και δυναμικές συμπεριφορές χάρη στην από άκρη σε άκρη ορατότητα και ιχνηλασιμότητα των ψηφιακών διδύμων. Μια από άκρο σε άκρο αλυσίδα εφοδιασμού μπορεί να έχει πολλά εσωτερικά και εξωτερικά κινούμενα κομμάτια και τα ψηφιακά δίδυμα μπορούν να δημιουργήσουν μη γραμμικά μοντέλα αλυσίδας εφοδιασμού. Αυτό επιτρέπει στους διαχειριστές να λαμβάνουν αποφάσεις που είναι ταχύτερες, ακριβέστερες και καλύτερα ενημερωμένες (Boje et al., 2020).

Ένα ψηφιακό δίδυμο μπορεί να βοηθήσει τις επιχειρήσεις στην κατανόηση των τάσεων και στη μοντελοποίηση των επιπτώσεων των αλλαγών σε διάφορες διαδικασίες σε:

Βελτίωση του σχεδιασμού της αλυσίδας εφοδιασμού.

Προβλέποντας τα αποτελέσματα, το μοντέλο DT στην αλυσίδα εφοδιασμού μειώνει εκ των προτέρων τους επιχειρηματικούς κινδύνους μετασχηματισμού. Πριν από έναν μετασχηματισμό διαδικασίας, το μοντέλο εκτιμά τα κέρδη, τις εξοικονομήσεις και την πιθανή απόδοση της επένδυσης (ROI). Για παράδειγμα, για να βοηθηθεί μια εταιρεία στην αναδιάρθρωση των παγκόσμιων λειτουργιών της, μπορεί να αναπτυχθεί ένα μοντέλο DT με την προσομοίωση διαφόρων σεναρίων χρησιμοποιώντας δεδομένα παραγωγής, αποθεμάτων και διανομής (Boje et al., 2020).

Παρακολούθηση κινδύνων και πιθανοτήτων δοκιμής

Το DT επιτρέπει στους οργανισμούς της αλυσίδας εφοδιασμού να δοκιμάζουν διάφορα σενάρια σε ένα εικονικό περιβάλλον και να καθορίζουν τη βέλτιστη πορεία δράσης σε μια κρίση έκτακτης ανάγκης, γεγονός που ενισχύει σημαντικά την οργανωτική σταθερότητα. Μέσω της συνεχούς, από άκρη σε άκρη θεώρησης των διαδικασιών και των σημείων συμφόρησης της αλυσίδας εφοδιασμού, τα DTs παρέχουν ευέλικτες λύσεις προβλημάτων χωρίς χειροκίνητη παρέμβαση. Μπορούν να συνδράμουν στον εντοπισμό πιθανών ελλείψεων σε οποιοδήποτε τμήμα της παράδοσης με τη συλλογή δεδομένων. Προκειμένου να εκτιμηθούν οι επιδόσεις και τα σημεία συμφόρησης κατά τη μεταφορά και την παράδοση, η παράδοση με ψηφιακά δίδυμα, για παράδειγμα, βασίζεται σε δεδομένα που αποκτώνται από αισθητήρες που επικοινωνούν επικαιροποιημένα δεδομένα καθ' όλη τη διάρκεια της διαμετακόμισης (Damjanovic-Behrendt & Behrendt, 2019).

Σχεδιασμός των εγκαταστάσεων και της μεταφοράς.

Κατά την παροχή αγαθών και υπηρεσιών στους τελικούς χρήστες, τα ψηφιακά δίδυμα μπορούν να αξιολογήσουν τον τρόπο με τον οποίο οι αλλαγές στην προσφορά και τη ζήτηση επηρεάζουν τις φυσικές εγκαταστάσεις και τα συστήματα υποστήριξης της αλυσίδας εφοδιασμού. Τα ψηφιακά δίδυμα μπορούν να βοηθήσουν τη διαχείριση της εφοδιαστικής αλυσίδας στην καλύτερη κατανομή των πόρων μεταφοράς με τη χρήση δεδομένων σε πραγματικό χρόνο (Damjanovic-Behrendt & Behrendt, 2019).

Διαχείριση αποθεμάτων

Με την ενσωμάτωση δεδομένων από τη διαδικασία πρόβλεψης της ζήτησης, η αλυσίδα εφοδιασμού με ψηφιακά δίδυμα μπορεί να εξαλείψει τα αποθέματα και να μειώσει το συνολικό κόστος παραγωγής και αποθήκευσης.

Πρόβλεψη του τρόπου με τον οποίο θα αποδώσουν τα υλικά συσκευασίας

Τα ψηφιακά δίδυμα μπορούν να χρησιμοποιηθούν για την αναπαραγωγή του σχεδιασμού και του κατασκευαστικού υλικού μιας συσκευασίας καθώς και την επιθεώρησή της για ελαττώματα πριν από τη χρήση της, μειώνοντας τόσο το οικονομικό όσο και το περιβαλλοντικό κόστος (Damjanovic-Behrendt & Behrendt, 2019).

8. Περιγραφή Μοντέλων προσομοίωσης & Παραδείγματα

Συχνά προκύπτουν ζητήματα τα οποία δεν μπορούν να επιλυθούν πλήρως. Τα ζητήματα αυτά μπορεί να περιλαμβάνουν ανάλυση εφοδιαστικής αλυσίδας, μελέτες μικροοικονομικής και μακροοικονομικής στρατηγικής, σχεδιασμό και λειτουργία συστημάτων μεταφορών, συμπεριλαμβανομένων λιμένων, αυτοκινητοδρόμων και αεροδρομίων, και πολλά άλλα. Αυτά τα ζητήματα απαιτούν μια μοναδική προσέγγιση για την επίλυσή τους, καθώς, προκειμένου να αντιμετωπιστούν πειραματικά, πρέπει να ληφθούν πολλές ολοκληρωμένες αποφάσεις προκειμένου να αποτυπωθούν σωστά τα αποτελέσματα. Είναι ζωτικής σημασίας να λαμβάνεται υπόψη μια ποικιλία παραγόντων μέχρι να βρεθεί η σωστή απάντηση. Σε αυτές τις περιπτώσεις, χρησιμοποιείται ένα εργαλείο για την προσέγγιση της πειραματικής τους απάντησης. Η προσομοίωση είναι ένα τέτοιο εργαλείο. Μια από τις πιο κρίσιμες μεθόδους για την προσομοίωση του πραγματικού κόσμου μέσω μιας σειράς επακόλουθων δοκιμών είναι η προσομοίωση (Huang et al., 2021).

Το παρόν κεφάλαιο παρέχει μια επισκόπηση των θεμελιωδών ιδεών πίσω από την τεχνολογία προσομοίωσης. Ακολουθεί ο ορισμός του όρου "σύστημα" και ένας κατάλογος των κατηγοριών συστημάτων, ενώ στη συνέχεια γίνεται λόγος για τα οφέλη της προσομοίωσης. Η προσέγγιση της προσομοίωσης διακριτών συμβάντων, η οποία χρησιμοποιείται και από το πρόγραμμα Flexsim, επισημαίνεται με ιδιαίτερη έμφαση στις ενότητες που ακολουθούν. Τα μοντέλα που θα παρουσιαστούν στα επόμενα κεφάλαια της παρούσας διατριβής κατασκευάστηκαν με τη χρήση του προγράμματος Flexsim. Επιπλέον, εξετάζεται η δυναμική του μοντέλου Digital Twin, καθώς και η σημασία της προσομοίωσης στις λειτουργίες της εφοδιαστικής αλυσίδας. Ιδιαίτερη προσοχή δίνεται στα μοντέλα Digital Twin στον τρόπο με τον οποίο μπορούν να εφαρμοστούν σε διαδικασίες εφοδιαστικής. Το κεφάλαιο ολοκληρώνεται με μια σύνοψη όλων όσων έχουν ειπωθεί προηγουμένως. Τέλος, αναλύονται τα βασικά

συστατικά και χαρακτηριστικά του λογισμικού Flexsim, έκδοση 19.2.4, που χρησιμοποιήθηκε για την ανάπτυξη των μοντέλων (Desogus et al., 2021).

Όπως έχει ήδη ειπωθεί, η προσομοίωση χρησιμεύει ως εργαλείο για τη σύνδεση του φυσικού και του ψηφιακού κόσμου (Huang et al., 2021). Η προσομοίωση είναι ένα εργαλείο πειραματικών μεθόδων που επιχειρεί συγκεκριμένα να εξετάσει τη λειτουργία ενός συστήματος, να αναλύσει την ευαισθησία του και να το βελτιστοποιήσει. Η ανάλυση και ο σχεδιασμός της παραγωγής, η ανάλυση του τρόπου λειτουργίας των συστημάτων υπηρεσιών (όπως οι τράπεζες, τα ταχυδρομεία κ.λπ.), η έρευνα σε σύνθετα συστήματα (όπως τα μετεωρολογικά συστήματα), καθώς και η ανάλυση λογισμικού ψηφιακών συστημάτων (όπως τα δίκτυα υπολογιστών), είναι μερικά παραδείγματα προβλημάτων σύνθετης ανάλυσης που θα μπορούσαν να επωφεληθούν από τη χρήση της. Συνιστάται επίσης να μελετώνται τα συστήματα πριν από την εφαρμογή τους, ενδεχομένως όταν βρίσκονται ακόμη στη φάση του σχεδιασμού. Ως εκ τούτου, τα μοντέλα προσομοίωσης μπορούν να χρησιμοποιηθούν ως εργαλεία σχεδιασμού για την πρόβλεψη της απόδοσης νέων συστημάτων υπό διάφορες συνθήκες, καθώς και ως αναλυτικά εργαλεία για την αξιολόγηση των επιπτώσεων των τροποποιήσεων σε υπάρχοντα συστήματα. Στο μοντέλο προσομοίωσης εξετάζεται η ανάπτυξη ενός συστήματος σε βάθος χρόνου. Το μοντέλο αυτό εμφανίζεται συνήθως ως ένας κατάλογος υποθέσεων. Οι αμφισβητούμενες παραδοχές μπορεί να διατυπώνονται σε συμβολικές, λογικές και μαθηματικές σχέσεις μεταξύ οντοτήτων ή άλλων σημαντικών στοιχείων του συστήματος. Η μελέτη της περιγραφής και των συστατικών στοιχείων ενός συστήματος, καθώς και η εξέταση των κατηγοριών στις οποίες ανήκει, αποτελούν κρίσιμα βήματα για τη δημιουργία και την επικύρωση ενός μοντέλου (Enzer et al., 2019).

Κατά καιρούς έχουν διατυπωθεί διαφορετικοί ορισμοί της προσομοίωσης. Διαβάζοντας τη βιβλιογραφία, μπορούμε να συμπεράνουμε ότι προσομοίωση είναι η χρήση ενός υπολογιστή για την προσομοίωση της λειτουργίας μιας πραγματικής διαδικασίας ή ενός προσωρινού συστήματος. Θεωρητικά, ένα σύστημα περιγράφεται ως μια συλλογή συστατικών στοιχείων ή πραγμάτων (όπως άνθρωποι ή μηχανές) που αναπτύσσονται και αλληλεπιδρούν μεταξύ τους προκειμένου να εξυπηρετήσουν έναν συγκεκριμένο στόχο. Η πρακτική εφαρμογή της έννοιας του συστήματος εξαρτάται από τους εκάστοτε στόχους της μελέτης. Οι συνιστώσες ενός συστήματος μπορεί να αποτελούν μόνο ένα τμήμα ενός άλλου συστήματος. Για παράδειγμα, ένα σύστημα περιγράφεται ως η αναλογία του προσωπικού της τράπεζας (όπως οι ταμίες) και των

καταναλωτών που περιμένουν στην ουρά για εξυπηρέτηση, αν κάποιος θέλει να αναλύσει ένα τραπεζικό σύστημα ως προς τον αριθμό του προσωπικού (ταμίες) που απαιτείται για την παροχή υπηρεσιών στους πελάτες, όπως η εξαργύρωση μιας επιταγής ή η κατάθεση ενός ποσού ταμειυτηρίου. Ωστόσο, όλα τα συστήματα πρέπει να τηρούν τα ακόλουθα (Geismann & Bodden, 2020):

- Κάθε σύστημα έχει μια δομή που καθορίζεται από τα συστατικά του μέρη και τον τρόπο με τον οποίο αλληλεπιδρούν.
 - Κάθε σύστημα είναι ευαίσθητο σε εξωτερικά ερεθίσματα.
 - Κάθε σύστημα αντιπροσωπεύει ένα υποσύνολο της πραγματικότητας.
 - Και μαθηματικές, λογικές ή συμβολικές φράσεις χρησιμοποιούνται για να εξηγήσουν τις συνδέσεις μεταξύ των συστημάτων. Ανάλογα με τον στόχο της μελέτης, ορίζουμε την κατάσταση ενός συστήματος ώστε να είναι εφικτή η συγκέντρωση του κατάλληλου συνόλου μεταβλητών για μια λειτουργική περιγραφή του συστήματος.
-
- Παρέχοντας τις μεταβλητές με συγκεκριμένο τρόπο στην είσοδο του συστήματος, θα οριστεί η κατάσταση. Αφού εξεταστούν όλες οι μεταβλητές εισόδου και τα δεδομένα, μόνο τότε εξετάζονται περαιτέρω.

Ένα σύστημα πρέπει να έχει ορισμένους όρους που πρέπει να μελετηθούν για να γίνει κατανοητό και να επιλυθεί. Οι οντότητες, τα χαρακτηριστικά και οι δραστηριότητες συνθέτουν ένα σύστημα. Το αντικείμενο του υπό εξέταση συστήματος αναφέρεται ως οντότητα. Για το αναφερόμενο μοντέλο, τα χαρακτηριστικά είναι οι ιδιότητες των οντοτήτων και η δραστηριότητα είναι μια χρονική περίοδος με συγκεκριμένη διάρκεια (Banks et al., 2010). Τα συστατικά στοιχεία ενός συστήματος μπορούν να θεωρηθούν υποσύνολο του συστήματος για τους σκοπούς μιας άλλης έρευνας. Χρησιμοποιώντας την προαναφερθείσα τράπεζα ως παράδειγμα, το σύστημα μπορεί να περιγραφεί ως ο χώρος της τράπεζας όπου οι πελάτες σχηματίζουν ουρά για να περιμένουν τους ταμίες και καθορίζεται πόσοι ταμίες απαιτούνται για την εξυπηρέτηση των πελατών. Η έρευνα θα πρέπει να επεκταθεί εάν, από την άλλη πλευρά, ο στόχος της μελέτης είναι να προσδιοριστεί ο αριθμός των ειδικών υπαλλήλων που απαιτούνται, όπως ένας υπάλληλος για τη διενέργεια εμπορικών συναλλαγών (Josifovska et al., 2019).

Οι δραστηριότητες που λαμβάνουν χώρα τόσο εντός όσο και εκτός ενός συστήματος επηρεάζουν την κατάσταση του συστήματος. Εξαιτίας αυτού, χωρίζεται σε δύο ομάδες: τις εσωτερικές και τις εξωτερικές. Οι δραστηριότητες που παράγονται ή λαμβάνουν χώρα στο εσωτερικό ενός συστήματος ονομάζονται ενδογενείς, ενώ οι δραστηριότητες που λαμβάνουν χώρα στο περιβάλλον του συστήματος, αλλά επηρεάζουν και αυτό, ονομάζονται εξωγενείς. Το σύνολο των μεταβλητών που απαιτούνται για τον χαρακτηρισμό του συστήματος σε κάθε δεδομένη στιγμή σε σχέση με τους στόχους της μελέτης ορίζει την κατάσταση του συστήματος. Ο αριθμός του προσωπικού, ο αριθμός των πελατών που εξυπηρετούνται ή στέκονται στην ουρά και η άφιξη των εισερχόμενων πελατών είναι όλες πιθανές μεταβλητές κατάστασης στο παράδειγμα της τράπεζας. Επιπλέον, σύμφωνα με τους Banks και συν. (2010), ένα γεγονός είναι ένα σύντομο συμβάν που έχει τη δυνατότητα να αλλάξει την κατάσταση του συστήματος.

Τα συστήματα μπορούν να χωριστούν σε διάφορες κατηγορίες με βάση το πόσο μπορεί να προβλεφθεί η συμπεριφορά τους, πώς αλλάζει η κατάστασή τους με την πάροδο του χρόνου και το περιβάλλον στο οποίο λειτουργούν (Madni et al., 2019). Υπάρχουν δύο τύποι κατηγοριοποίησης: η συνεχής και η διακριτή κατηγοριοποίηση. Οι μεταβλητές κατάστασης στον πρώτο τύπο συστημάτων, γνωστά ως συνεχή συστήματα, μεταβάλλονται συνεχώς κατά τη διάρκεια του χρόνου. Παραδείγματα τέτοιων συστημάτων είναι το ηλιακό σύστημα, στο οποίο όλα τα σώματα βρίσκονται πάντα σε κίνηση, ή ακόμη και ένα αεροπλάνο, του οποίου η θέση και η ταχύτητα μεταβάλλονται συνεχώς σε σχέση με το χρόνο (Banks, et al., 2010). Οι αλλαγές που λαμβάνουν χώρα στη δεύτερη κατηγορία διακριτών συστημάτων, ωστόσο, είναι ασυνεχείς, πράγμα που σημαίνει ότι συμβαίνουν μόνο μετά την ολοκλήρωση μιας ενέργειας (Banks, et al., 2010). Μια τράπεζα ή ένα ταχυδρομείο είναι δύο παραδείγματα διακριτών συστημάτων όπου η είσοδος ή η αποχώρηση ενός πελάτη μεταβάλλει την κατάσταση. Ένα σύστημα πρέπει να μελετηθεί προκειμένου να κατανοηθούν πλήρως οι αλληλεπιδράσεις μεταξύ των μερών του και να προβλεφθεί πώς θα συμπεριφερθεί όταν εφαρμοστούν νέες πολιτικές. Ως αποτέλεσμα, οι εξετάσεις ενός συστήματος πραγματοποιούνται συχνά με τη χρήση ενός μοντέλου. Τα μοντέλα διακρίνονται σε δύο κατηγορίες: μαθηματικά και φυσικά. Ένα μαθηματικό μοντέλο περιγράφει τα φυσικά χαρακτηριστικά του συστήματος, τις λειτουργίες του και τις αλληλεπιδράσεις μεταξύ των συστατικών μερών του συστήματος χρησιμοποιώντας σύμβολα, αριθμούς και μαθηματικές εξισώσεις. Ένα μοντέλο προσομοίωσης είναι ένα

ιδιαίτερο είδος μαθηματικού μοντέλου συστήματος που μπορεί να είναι στατικό ή δυναμικό. Οι δύο προηγούμενες κατηγορίες διαχωρίζονται περαιτέρω σε αριθμητικές και αναλυτικές υποκατηγορίες. Σε αντίθεση με τα αναλυτικά μοντέλα, τα οποία χαρακτηρίζονται από μια ποικιλία εξισώσεων, τα αριθμητικά μοντέλα κατασκευάζονται από εμπειρικά συλλεγμένα δεδομένα. Το υπό ανάπτυξη μοντέλο αναπαρίσταται εικονικά από το φυσικό (ή εικονικό) μοντέλο. Σύμφωνα με τους Janet και συν. (2019), τα φυσικά συστήματα μπορούν να ταξινομηθούν είτε ως στατικά, είτε ως Monte Carlo (γεννήτρια τυχαίων αριθμών), είτε ως δυναμικά.

Τα στατικά μοντέλα απεικονίζουν το σύστημα όπως ήταν σε μια συγκεκριμένη περίοδο. Τα δυναμικά μοντέλα, από την άλλη πλευρά, απεικονίζουν το σύστημα καθ' όλη τη διάρκεια του χρόνου. Τα μοντέλα μπορούν επίσης να ταξινομηθούν με βάση τις μεταβλητές εισόδου. Διαχωρίζονται έτσι σε ντετερμινιστικές και στοχαστικές ομάδες. Τα μοντέλα προσομοίωσης που στερούνται τυχαίων μεταβλητών στην είσοδο λέγονται ντετερμινιστικά. Έχουν προκαθορισμένους παράγοντες εισόδου που θα παράγουν ένα συγκεκριμένο σύνολο αποτελεσμάτων. Ένα ντετερμινιστικό μοντέλο μπορεί να περιγραφεί ως ένα μοντέλο όπου οι ασθενείς προσέρχονται στα ραντεβού τους στις καθορισμένες ώρες. Τα στοχαστικά μοντέλα, από την άλλη πλευρά, λαμβάνουν ως είσοδο μία ή περισσότερες τυχαίες μεταβλητές. Οι τυχαίες μεταβλητές εισόδου οδηγούν σε τυχαίες μεταβλητές εξόδου. Οι μεταβλητές εξόδου μπορούν να θεωρηθούν ως εκτιμήσεις των πραγματικών ιδιοτήτων ενός μοντέλου επειδή είναι τυχαίες. Για παράδειγμα, η προσομοίωση μιας τράπεζας έχει ως αποτέλεσμα απρόβλεπτες ώρες εξυπηρέτησης και τυχαίους αριθμούς αφίξεων.

Οι καινοτόμες προσεγγίσεις προτείνονται συχνά στη σύγχρονη βιομηχανική πρακτική για τη βελτίωση των διαδικασιών ή ακόμη και των συστημάτων logistics στις αποθήκες (Khan & Javaid, 2021). Μια εταιρεία έχει ένα ευρύ φάσμα επιλογών για να επιλέξει, αλλά η πρόκληση έγκειται στην επιβεβαίωση της ακρίβειας των επιλογών και των αποτελεσμάτων. Δεν υπάρχει αμφιβολία ότι οι προβλέψεις και ο πειραματισμός με τις αποφάσεις είναι δυνατοί, ωστόσο οι Agalianos και συν. (2020) υποστηρίζουν ότι υπάρχει μια πιο αποδεκτή τεχνική επαλήθευσης χωρίς να έχει σημαντικό οικονομικό αντίκτυπο στην επιχείρηση, αξιοποιώντας ένα εργαλείο προσομοίωσης. Δεδομένου ότι είναι ένα χρήσιμο εργαλείο για τον εντοπισμό της δυναμικής των logistics και της παραγωγής και για την εξάλειψη των ατελειών και των σφαλμάτων στο σχεδιασμό της λύσης, η παρούσα ενότητα επικεντρώνεται στην προσομοίωση των διαδικασιών logistics.

Πολλές βιομηχανίες εξαρτώνται από τα logistics για να επιτύχουν (Madni et al., 2019). Οι σημερινές επιχειρήσεις δίνουν ιδιαίτερη έμφαση στα logistics αυξάνοντας τη ροή των διαδικασιών που πρέπει να διαχειρίζονται αποτελεσματικά σε επιχειρησιακό επίπεδο στο πλαίσιο της παγκοσμιοποίησης, της ανάπτυξης ολοκληρωμένων προσφορών και της εξέλιξης της τεχνολογίας ως αποτέλεσμα της αυξημένης ζήτησης και προσφοράς (Tchana et al., 2019). Κατά συνέπεια, αλλάζει διαρκώς. Οι προαναφερθείσες απαιτήσεις καθιστούν το σύστημα πιο πολύπλοκο και θέτουν περισσότερες απαιτήσεις στην προσαρμοστικότητά του. Η διαχείριση των αποθεμάτων, η διαχείριση των εμπορευμάτων, ακόμη και η αναδιάρθρωση των αποθηκών είναι μερικά μόνο παραδείγματα των διαφόρων τρόπων με τους οποίους μπορούν να οργανωθούν και να διαχειριστούν οι διαδικασίες logistics. Διαβάζοντας τη βιβλιογραφία, ανακαλύφθηκε ότι ένα εργαλείο προσομοίωσης έχει χρησιμοποιηθεί σε αρκετές μελέτες τόσο για απλά όσο και για σύνθετα ζητήματα logistics. Όπως ήδη ειπώθηκε, το εργαλείο αυτό είναι ζωτικής σημασίας για τη σωστή λήψη διοικητικών αποφάσεων που πρέπει να λάβουν υπόψη οι επιχειρήσεις για να διαπιστώσουν αν αξίζει ή όχι μια επένδυση. Ακολουθούν ορισμένες πιθανές εξηγήσεις για τους λόγους για τους οποίους η προσομοίωση χρησιμοποιείται σε διαδικασίες logistics:

- Εάν μια μελέτη έργου δεν μπορεί να ολοκληρωθεί επειδή δεν υπάρχει το σύστημα,
- Μελέτες για καταλληλότερα μέσα αποθήκευσης, όπως back-to-back racks, live storage, κινητά racks κ.λπ., η υιοθέτηση των οποίων θα απαιτούσε σημαντική προκαταρκτική επένδυση
- Η υλοποίηση του έργου είναι εξαιρετικά επικίνδυνη.
- Πρόβλεψη μελλοντικών περιστατικών, όπως αναχωροταξία, εκτενής σχεδιασμός αποθηκευτικού χώρου κ.λπ.
- Θα πρέπει να εξεταστεί το ενδεχόμενο χρήσης τεχνολογίας αιχμής για τη συλλογή παραγγελιών (όπως η χρήση ρομποτικών βραχιόνων).
- Θα πρέπει να ληφθεί υπόψη η εφαρμογή τεχνολογίας αιχμής για την αναδιάρθρωση του συστήματος (Tchana et al., 2019).

Τα συστήματα των Logistics, βασίζονται σε λογισμικά. Η σημασία του λογισμικού έχει διευρυνθεί σημαντικά τον 21ο αιώνα λόγω της ψηφιοποίησης (Furmann et al., 2017). Λόγω της δυναμικής της ψηφιοποίησης, της εκθετικής αύξησης της υπολογιστικής ισχύος, της δημιουργίας υπηρεσιών λογισμικού και ό,τι άλλο συνδέεται με την εφαρμογή της τεχνολογικής νοημοσύνης, το IoT κατέστησε δυνατή

την εφαρμογή εργαλείων με έξυπνο τρόπο και άμεσα σε εργασίες που σχετίζονται με τα logistics. Κάθε επιχείρηση χρειάζεται εσωτερικές δραστηριότητες logistics, όπως η διαχείριση αποθεμάτων, η αποθήκευση, η συλλογή κ.λπ. επειδή αυξάνουν την παραγωγικότητα και τη λειτουργική αποδοτικότητα (Coelho et al., 2021). Στο πλαίσιο αυτό κρίνεται ζωτικής σημασίας η ανάπτυξη σχεδιασμού για το σύνολο των διαδικασιών προκειμένου να τις διέπει σωστά. Προκειμένου να αναλυθούν σωστά οι λειτουργίες της εφοδιαστικής αλυσίδας που λαμβάνουν χώρα τόσο στις εγκαταστάσεις διανομής όσο και στις εγκαταστάσεις παραγωγής, πρέπει να δημιουργηθεί ένα εργαλείο υποστήριξης αποφάσεων που βασίζεται στην προσομοίωση (Coelho et al., 2021).

Με τη δημιουργία μοντέλων λογισμικού προσομοίωσης διακριτών γεγονότων (DES) ικανοποιείται αυτή η ανάγκη. Μια εταιρεία μπορεί να αποκτήσει σημαντικό ανταγωνιστικό πλεονέκτημα κατά τον σχεδιασμό, την εφαρμογή και την εκτέλεση των σχεδίων και των στρατηγικών της, χρησιμοποιώντας την DES (Coelho, et al., 2021). Η μοντελοποίηση μέσω υπολογιστή είναι ένας τύπος διακριτής προσομοίωσης. Η ικανότητά της να επιτρέπει τη δοκιμή δεδομένου οποιουδήποτε στοιχείου του συστήματος αποτελεί σημαντικό πλεονέκτημα έναντι άλλων επιχειρηματικών διαδικασιών (Coelho et al., 2021). Μέσω της εικονικής διαμόρφωσης των υπό εξέταση διαδικασιών, της εφαρμογής και της αξιολόγησης εικονικών μοντέλων στην πραγματική εφαρμογή, επιτυγχάνονται προσομοιώσεις (Banks, et al., 2010). Αυτό με τη σειρά του προσφέρει τα εξής:

- Πρόβλεψη της απόδοσης (π.χ. λανθασμένοι χρόνοι, σημεία συμφόρησης κ.λπ.)
- Ανάλυση του τρόπου με τον οποίο διάφορα συστήματα αλληλεπιδρούν μεταξύ τους.
- Σχεδιασμός πειραμάτων και ανάλυση των πιθανών αποτελεσμάτων
- Σωστά διαμορφωμένο σύστημα
- Κατάλληλη καθοδήγηση για τη λήψη αποφάσεων

Σε γενικές γραμμές, η αποτελεσματικότητα και η προσαρμοστικότητα των μοντέλων DES που προκύπτουν από τον στοχαστικό χαρακτήρα τους τα καθιστούν κατάλληλα για να αξιοποιηθούν σε ένα ευρύ φάσμα εφαρμογών, όπως οι λειτουργίες αποθηκών, ως μέσο επικύρωσης της απόδοσης (για παράδειγμα, συστήματα υλικών ή τεχνικές συλλογής παραγγελιών). Η εξέλιξη του DES σε ένα νέο θεμελιώδες συστατικό αυτού που είναι γνωστό ως ψηφιακό δίδυμο (DT) προκλήθηκε από την άνοδο της

τεχνητής νοημοσύνης, την επέκταση του IoT στις σύγχρονες αποθήκες και τις αυξανόμενες απαιτήσεις για λήψη αποφάσεων σε πραγματικό χρόνο (Agalinos, et al., 2020).

Ένας "ψηφιακό δίδυμο" είναι μια ολοκληρωμένη πολυφασική, πολύπλευρη ψηφιακή αναπαράσταση ενός σύνθετου αγαθού, υπηρεσίας, μηχανήματος κ.λπ. που χρησιμοποιεί τα καλύτερα φυσικά μοντέλα, ενημερώσεις αισθητήρων κ.λπ. για να αντικατοπτρίζει τη συμπεριφορά του αντίστοιχου "διδύμου" (πραγματικός κόσμος) μέσω μοντέλων πληροφοριών και δεδομένων (Glaessgen & Stargel, 2012- Ashrafian et al., 2019). Με τη μεταφορά σημαντικών παραμέτρων του φυσικού συστήματος στο ψηφιακό σύστημα, καθίσταται δυνατή η δημιουργία του ψηφιακού διδύμου (DT) (Agalinos et al., 2020). Ως αποτέλεσμα, τόσο ο χειριστής όσο και το φυσικό περιβάλλον αναπαρίστανται στο ψηφιακό μοντέλο ως ψηφιακά αντίγραφα. Το DT είναι μια προσομοίωση ενός πραγματικού συστήματος που λαμβάνει δεδομένα υψηλής ποιότητας σε πραγματικό χρόνο. Προκειμένου να δημιουργηθεί ένας αντικατοπτρισμός των λειτουργιών που ενοποιεί όλες τις σχετικές πληροφορίες εντός του συστήματος αποθήκης, τα DT χρησιμοποιούνται σε ευφυή συστήματα αποθήκης (Ashrafian, et al., 2019).

Μπορεί να χρησιμοποιηθεί για τη συνεχή βελτίωση κάθε δραστηριότητας της αποθήκης προκειμένου να βελτιωθεί η ροή με την παρακολούθηση των διαδικασιών σε πραγματικό χρόνο. Η τεχνολογική ιδέα περιγράφει το DT ως ένα λειτουργικό σύστημα για τη συνεχή βελτίωση των λειτουργιών εφοδιαστικής αλυσίδας και δημιουργείται με τη σύζευξη της πραγματικής εφοδιαστικής με ένα ψηφιακό αντίγραφο που χρησιμεύει ως "καθρέφτης" του πραγματικού συστήματος (Ashrafian, et al., 2019). Τα δεδομένα που προκύπτουν κατά την διάρκεια αυτής της περιόδου, τα οποία συλλέγονται και αξιολογούνται συνεχώς από το DT, αποτελούν μια ολοκληρωμένη εικόνα του συστήματος (Furmann, et al., 2017).

9. Συμπεράσματα

Από τα προαναφερθέντα κεφάλαια είναι σαφές ότι ο ψηφιακός μετασχηματισμός αποτελεί μια αυξανόμενη τάση σε όλους τους τομείς της μεταποίησης, συμπεριλαμβανομένης της αλυσίδας εφοδιασμού. Με βάση την ανάπτυξη της τεχνολογίας κατά τα προηγούμενα 70 χρόνια, πρόκειται για τη φυσική

εξέλιξη των πραγμάτων. Παρόλο που υπάρχουν κίνδυνοι που συνδέονται με τη μετάβαση στην ψηφιακή εποχή, οι επιχειρήσεις και οι οργανισμοί μπορούν να ελαχιστοποιήσουν αυτούς τους κινδύνους και να αποκτήσουν ανταγωνιστικά πλεονεκτήματα με την κατάλληλη τοποθέτησή τους. Το πρώτο βήμα που πρέπει να γίνει δεν είναι άλλο από την αρχική επένδυση σε εξοπλισμό και ικανούς χειριστές, προκειμένου να διασφαλιστεί ότι δεν υπάρχουν εμπόδια στην πορεία, πριν συμβεί οτιδήποτε ή οποιαδήποτε προσπάθεια αρχίσει να αποδίδει καρπούς. Τα στοιχεία δείχνουν ότι όσοι δεν ακολουθούν τον εκσυγχρονισμό στην παραγωγή και τη λειτουργία τους, αργά ή γρήγορα θα βρεθούν να κυνηγούν τους στόχους και τους ανταγωνιστές τους, αντί να είναι αυτοί που καινοτομούν και δημιουργούν νέες συνθήκες στην αγορά (Tchana et al., 2019). Ο κίνδυνος είναι υπαρκτός και η επιτυχία δεν είναι σε καμία περίπτωση εγγυημένη.

Η ικανοποίηση των πελατών είναι ο αρχικός και πρωταρχικός στόχος, μαζί με την εξυπηρέτηση και την ικανοποίηση της ζήτησης. Οι τεχνολογίες που αναφέρθηκαν παραπάνω -Blockchain, Διαδίκτυο των πραγμάτων, Τεχνητή νοημοσύνη, μεγάλα δεδομένα και RPA- είναι οι πιο σημαντικές που θα βοηθήσουν τους φορείς τεχνολογίας να διερευνήσουν και να ικανοποιήσουν τις ανάγκες της αγοράς, να προβλέψουν τις μελλοντικές ανάγκες και τους κινδύνους που θα αντιμετωπίσουν, να διευκολύνουν τις παραδοσιακές λειτουργίες, όπως οι πληρωμές, και να αλλάξουν εντελώς το μέλλον των διαδικασιών, όπως η καθαριότητα και η αναμονή, με νέες τεχνικές αιχμής. Επιπλέον, τεχνολογίες όπως η προσθετική κατασκευή, η εικονική και επαυξημένη πραγματικότητα και τα ψηφιακά δίδυμα θα βοηθήσουν στην περαιτέρω βελτίωση λειτουργιών και διαδικασιών που έχουν ήδη αρχίσει να δημιουργούνται. Επιπροσθέτως, ένας από τους κλάδους που πρόκειται να κερδίσει τα μέγιστα από τη σύνδεσή του με τον ψηφιακό μετασχηματισμό είναι η διαχείριση της εφοδιαστικής αλυσίδας. Η ανάπτυξη του κλάδου των super market, όπου ορισμένες από αυτές τις τεχνολογίες εφαρμόζονται σε καταστήματα, αποθήκες ή ακόμη και στις μεταφορές και τα logistics, μπορεί να θεωρηθεί ως η πρώτη ένδειξη αυτού του δυνητικού μέλλοντος για τον κλάδο (Boje et al., 2020).

Η ηθική της εφαρμογής των τεχνολογιών σε σχέση με τον αντίκτυπο που αναμένεται να έχει στο περιβάλλον, την οικονομία και τα ανθρώπινα δικαιώματα είναι το πιο αμφιλεγόμενο θέμα της τεχνολογικής ανάπτυξης και του ψηφιακού μετασχηματισμού. Λόγω του ευρέος φάσματος δραστηριοτήτων που λαμβάνουν χώρα στην αλυσίδα εφοδιασμού, η ηθική λαμβάνεται υπόψη σε πολλά επίπεδα. Αυτό

οφείλεται στο γεγονός ότι πριν επικυρώσουν τη συνεργασία τους, όλες οι επιχειρήσεις και οι προμηθευτές θέλουν πλέον να γνωρίζουν ακριβώς με ποιον συνεργάζονται και κάθε σχετική πληροφορία για το ιστορικό τους. Κατά συνέπεια, ακόμη και με αυτό το σκεπτικό, η ίδια η τεχνολογία μετατρέπεται σε εργαλείο ανάλυσης, παρακολούθησης, αμφίδρομου ελέγχου και αξιολόγησης των συνεργαζόμενων μερών, προκειμένου να διασφαλίζεται σε κάθε περίπτωση η σωστή λειτουργία της αλυσίδας, η οποία προφανώς γίνεται πλέον όλο και πιο πολύπλοκη με το πέρασμα του χρόνου. Οι αλυσίδες εφοδιασμού έχουν πλέον μεγαλύτερο στρατηγικό αντίκτυπο στις επιχειρήσεις από ποτέ. Επομένως, παρά τις εκκλήσεις για πιο ηθικές αλυσίδες εφοδιασμού από όλο τον κόσμο, μόνο η υιοθέτηση και η εφαρμογή τεχνολογίας αιχμής μπορεί να προσφέρει αδιαμφισβήτητη διαφάνεια. Οι δυνατότητες ανάπτυξης της τεχνολογίας και οι επερχόμενες φάσεις είναι επίσης άξια αναφοράς για τον ψηφιακό μετασχηματισμό στις αλυσίδες εφοδιασμού. Ο κύριος στόχος τόσο των υφιστάμενων όσο και των επερχόμενων τεχνολογιών, οι οποίες αναπτύσσονται από τεχνολογικές μεταβάσεις, είναι η αύξηση της παραγωγής με γρήγορο και αποτελεσματικό τρόπο. Η τέταρτη βιομηχανική επανάσταση κατέστησε δυνατή την παραγωγή αγαθών με πιο βιώσιμο τρόπο, αλλά αυτό δεν σημαίνει ότι θα πρέπει να παραβλέπονται οι επιπτώσεις της τεχνολογίας στο περιβάλλον. Οι τεχνολογικές παρεμβάσεις βοηθούν όλο και περισσότερο στη δημιουργία αλληλεπιδράσεων σε πραγματικό χρόνο μεταξύ ανθρώπων και λειτουργιών σε δίκτυα που περιλαμβάνουν όλους τους συμμετέχοντες στην αλυσίδα εφοδιασμού, συμπεριλαμβανομένων των προμηθευτών, των καταναλωτών και των ενδιάμεσων φορέων, όπως οι εμπορικές και εταιρικές λειτουργίες, προκειμένου να αυξηθεί η παραγωγικότητα και η ανταγωνιστικότητα. Θα μπορέσουν να προσφέρουν τα καλύτερα αποτελέσματα εάν όλοι οι εργαζόμενοι είναι πρόθυμοι να βελτιώνονται συνεχώς, τόσο ατομικά όσο και συλλογικά.

Βιβλιογραφία

- ABB, (2020) Digital Twin applications <https://new.abb.com/control-systems/features/digital-twin-applications>
- Acungil, S. E. (2019). *Blockchain Enhanced Supply Chain*. Department of Industrial Engineering, Faculty of Management, Istanbul Technical University.
- Adat, V., Dahiya, A., Gupta, B. B. (2018). Economic incentive based solution against distributed denial of service attacks for IoT customers. *IEEE International conference on Consumer Electronics (IEEE ICCE 2018)*, Las Vegas, NV, 2158-4001. doi: 10.1109/ICCE.2018.8326280
- Aditi, September 6, (2019), 'Benefits of AI in Supply Chain Management', <https://erpsolutions.oodles.io/blog/ai-in-supply-chain/>
- Agalianos, K. και συν., (2020). Discrete Event Simulation and Digital Twins: Review and Challenges for Logistics. *30th International Conference on Flexible Automation and Intelligent Manufacturing (FAIM2021)*, p. 1636–1641.
- Alanya-Rosebaum, S., Bergman, R. & Gething, B., 2018. Developing procedures and guidance for performing an environmental assessment of US wooden pallets. *WIT Transactions on Ecology and the Environment*, Τόμος 215, pp. 1743-3541.
- Anjana, G. & Heenaa, 2015. Literature Review of Data model Quality metrics of Data Warehouse. *International Conference on Intelligent Computing (ICCC-2015), Communication & Convergence, Conference Organized by Interscience Institute of Management and Technology, Bhubaneswar, Odisha, India*, Τόμος 48, pp. 236-243.
- Anon., 2001. Routing order pickers in a warehouse with a middle aisle. *Theory and Methodology*, pp. 32-43.
- Applications*, 21 (6), pp. 579-596
- Ashrafian, A. και συν., (2019). Full-Scale Discrete Event Simulation of an Automated Modular Conveyor System for Warehouse Logistics. *IFIP International Federation for Information Processing*, p. 35–42.
- Banks, J., II, J. S. C., Nelson, B. L. & Nicol, D. M., (2010). *Discrete-event system simulation*. fifth edition επιμ. Upper Saddle River, New Jersey : s.n.
- Bao, H., Dong, L., Wei, F., Wang, W., Yang, N., Liu, X., Wang, Y., Gao, J., Piao, S., Zhou, M., Wuen Hon, H. (2020). UniLMv2: Pseudo-Masked Language Models for

Unified Language Model Pre-Training. *Proceedings of the 37th International Conference on Machine Learning, PMLR 119*, 642-652.

Basset, M., Manogaran, G. & Mohamed, M. (2018). 'Internet of Things (IoT) and its impact on supply chain: A framework for building smart, secure and efficient systems', *Future Generation Computer Systems*, 86

Baun, Christian & Kunze, Marcel & Nimis, Jens & Tai, Stefan. (2011). *Cloud Computing: Web-basierte dynamische IT-Services*.

Becker, Till & Stern, Hendrik. (2016). *Impact of Resource Sharing in Manufacturing on Logistical Key Figures*. *Procedia CIRP*. 41. 579-584. 10.1016/j.procir.2015.12.037.16

big data on supply chain management', *International Journal of Logistics Research and Boje, C., Guerriero, A., Kubicki, S., Rezgui, Y. (2020). Towards a semantic construction digital twin: directions for future research. Automation in Construction 114. 103179. doi:https://doi.org/10.1016/j.autcon.2020.103179*

Boysen, N., Briskorn, D., Fedtke, S. & Schmickerath, M., (2019). Automated sortation conveyors: A survey from an operational research perspective. *European Journal of Operational Research*, 276(3), pp. 796-815.

Boysen, N., Koster, R. d. & Füßler, D., (2021). The forgotten sons: Warehousing systems for brick-and-mortar retail chains. *European Journal of Operational Research*, 288(2), pp. 361-381.

Bruynseels, Santoni de Sio, & van den Hoven, (2018).

Christopfer M., (2017), «Logistics και Διαχείριση Εφοδιαστικής Αλυσίδας», Εκδόσεις Κριτική, Αθήνα.

Coelho, F., Relvas, S. & Barbosa-Póvoa, A., (2021). *Simulation-based decision support tool for in-house logistics: the basis for a digital twin. Computers & Industrial Engineering*, Τόμος 153.

Cotteleer, M. J., & Wan, X. (2016). Does the Starting Point Matter? The Literature-Driven and the Phenomenon-Driven Approaches of Using Corporate Archival Data in Academic Research. *Journal of Business Logistics*, 37(1), 26-33.

Damjanovic-Behrendt, V. & Behrendt, W. (2019). An open source approach to the design and implementation of Digital Twins for Smart Manufacturing. *International Journal of Computer Integrated Manufacturing*, 32, 366-384. doi: <https://doi.org/10.1080/0951192X.2019.1599436>

Deloitte Analysis (2019) “Challenges and solutions for the digital transformation and use of exponential technologies” <https://www2.deloitte.com/cn/en/pages/consumer-industrialproducts/articles/industry-4-0-challenges-and-solutions.html>

Desogus G.; Quaquero, E.; Rubiu, G.; Gatto, G.; Perra, C. (2021) BIM and IoT Sensors Integration: A Framework for Consumption and Indoor Conditions Data Monitoring of Existing Buildings. *Sustainability* 2021, 13, 4496. doi: <https://doi.org/10.3390/su13084496>

Dewan, B., & Jena, S. R. (2014, December). The state-of-the-art of Social, Mobility, Analytics and Cloud Computing an empirical analysis. In *2014 International Conference on High Performance Computing and Applications (ICHPCA)* (pp. 1-6). IEEE.

Dubey, R., & Gunasekaran, A. (2015). Shortage of sustainable supply chain talent: an industrial training framework. *Industrial and Commercial Training*, Vol. 47, I. 2, pp. 86– 94.

Dujak, D., Sajter, D., (2019), ‘*Blockchain Application in Supply Chain*’, Springer International Publishing CROATIA

Enzer, M., Bolton, A., Boulton, C., Byles, D., Cook, A., Dobbs, L., EL Hajj P.A., Keanez, E., Makri, C., Mistry, S., Mortier, R., Rock, S., Schooling, J., Scott, S., Sharp, M., West, M., Winfield, M. (2019). Roadmap for Delivering the Information Management Framework for the Built Environment. *Cambridge University*. doi: <https://doi.org/10.17863/CAM.38227>

Farahani, P., Meier, C., & Wilke, J. (2017). Digital supply chain management agenda for the automotive supplier industry. *Shaping the digital enterprise: Trends and use cases in digital innovation and transformation*, 157-172.

Ferguson S., (2020) Apollo 13: The First Digital Twin. Siemens ® <https://blogs.sw.siemens.com/simcenter/apollo-13-the-first-digital-twin/>

Figorilli, S., Antonucci, F., Costa, C., Pallottino, F., Raso, L., Castioglione, M., Pinci, E., Del Vecchio, D., Colle, G., Proto, A.R., Sperandio, G. & Menessati, P. (2018). ‘A Blockchain Implementation Prototype for the Electronic Open-Source Traceability of Wood along the Whole Supply Chain’, *Sensors*, 18 (9), pp. 12

Furmann, R., Furmannová, B. & Więcek, D., (2017). *Interactive design of reconfigurable logistics systems. Procedia Engineering*, Τόμος 192, pp. 207-212.

Gartner. 2015. “Gartner Says Medical Applications Are Leading Advancement in 3D Printing.” <http://www.gartner.com/newsroom/id/3117917>.

- Geismann, J., & Bodden, E., (2020). *Journal of System and Software*, 169, 110697. doi: 10.1016/j.jss.2020.110697
- Gregor, M. και συν., (2018). DESIGN OF SIMULATION-EMULATION LOGISTICS SYSTEM. APVV-16-0488: *Innovative system for testing logistic processes by using simulation and emulation.*
- Grieves M. (2015) *Digital Twin: Manufacturing Excellence Through Virtual Factory Replication.*
- Grieves M., Vickers J., (2017). Digital Twin: Mitigating Unpredictable, Undesirable Emergent Behavior in Complex Systems. © Springer International https://doi.org/10.1007/978-3-319-38756-7_4
- Harish, A. R., X.L.Liu, Y.Zhong, R. & Q.Huang, G., January (2021). Log-flock: A blockchain-enabled platform for digital asset valuation and risk assessment in Ecommerce logistics financing. *Computers & Industrial Engineering*, Τόμος 151.
- Hassabis, D. Artificial Intelligence: Chess match of the century. *Nature* 544, 413–414 (2017). <https://doi.org/10.1038/544413a>
- Hoberg, P., Krcmar, H., Oswald, G., & Welz, B. (2015). Research Report: skills for digital transformation. *SAP SE and Technical University of Munich, Germany.*
- Hojjati-Emami, K., Dhillon, B., Jenab, K., 2012. Reliability prediction for the vehicles equipped with advanced driver assistance systems (ADAS) and passive safety systems (PSS). *International Journal of Industrial Engineering Computations* 3. <https://doi.org/10.5267/j.ijiec.2012.08.004>
- Holdowsky J., Mahto M., Raynor E. M., Cotteleer M. (2015) Inside the Internet of Things (IoT): A Primer on the Technologies Building the IoT. Deloitte University Press, https://www2.deloitte.com/content/dam/insights/us/articles/iot-primer-iottechnologies-applications/DUP_1102_InsideTheInternetOfThings.pdf
- Huang, S., Potter, A. & Eyers, D., (2021). Using simulation to explore the influence of online reviews on supply chain dynamics. *Computers & Industrial Engineering*, Τόμος 151.
- Janet B., Kumar RJA, Titus S., (2019) A novel and efficient classifier using spiking neural network, *Supercomput.* <https://doi.org/10.1007/s11227-019-02881-y>
- Jeyaraj, A., and Seth, B. (2010). Implementation of Information Systems Infrastructures for supply chain visibility. *Proceedings of the Southern Association for Information Systems Conference*, Atlanta, GA, USA, March 26-27.

- Josifovska, K., Yigitbas, E., Engels, G. (2019). A Digital Twin-Based Multi-modal UI Adaption Framework for Assistance Systems in Industry 4.0. *International Conference on Human-Computer Interaction*, 11568, 398-409. doi: 10.1007/978-3-030-22636-7_30
- Ketchen, D.J. Rebarick W., Hult, G.T.M., Meyer, D. (2008). Best value supply chains: A key competitive weapon for the 21st century. *Business Horizons*, 51, 235–243.
- Khan I. H., Javaid M. (2021) "Role of Internet of Things (IoT) in Adoption of Industry 4.0"
- Lambert, D. M., Knemeyer, A. M., & Gardner, J. T. (2004). Supply chain partnerships: model validation and implementation. *Journal of business Logistics*, 25(2), 21-42.
- Laplume, Andre, Bent Petersen, and Joshua M Pearce. 2016. "Global Value Chains from a 3D Printing Perspective." *Journal of International Business Studies* 47 (5): 595–609. doi:10.1057/jibs.2015.47.
- Lehtisalo, O. (2018). *The application of digital technologies in supply chain management*. Master's thesis, Degree in Business Administration, School of Business and Management, Lappeenranta University of Technology.
- Li, Q. and Liu, A. (2019) 'Big Data Driven Supply Chain Management', *Procedia CIRP*, vol. 81, pp. 1089–1094
- Madni, A.M., Madni, C.C., Lucero, S. D. (2019). Leveraging Digital Twin Technology in Model-Based Systems Engineering. *Systems* 2019. 7(1), 7. doi: <https://doi.org/10.3390/systems7010007>
- Marinagi, C., Trivellas, P., & Sakas, D. P. (2014). The Impact of Information Technology on the Development of Supply Chain Competitive Advantage. *Procedia - Social and Behavioral Sciences*, 147, 586–591. doi:10.1016/j.sbspro.2014.07.161
- Marinagi, C.C., and Akrivos, C.K. (2011). Strategic Alignment of ERP, CRM and e-business: A value creation. Proceedings of the International Conference on Integrated Information (ICININFO 2011). In *Advances on Information Processing and Management (AIPM)*, 1, 347-350.
- Masaea, M., H.Glock, C. & H.Grosse, E., (2020). Order picker routing in warehouses: A systematic literature review. *International Journal of Production Economics* , Τόμος 224.
- Mayer, V. & Kenneth, C. (2013). 'Big Data- A revolution that will transform how we live, work and think', New York: Houghton Mifflin Harcourt.

- Mussomeli A, Gish D, Laaper S. (2016). *The Rise of the Digital Supply Network*, 2016: 2016, Deloitte University Press
https://www2.deloitte.com/content/dam/insights/us/articles/3465_Digital-supplynetwork/DUP_Digital-supply-network.pdf
- Negri E., Fumagalli L., Macchi M. (2017). A Review of the Roles of Digital Twin in CPS-based Production Systems. © 2017 The Author(s). pp. 939–948.
<https://doi.org/10.1016/j.promfg.2017.07.198>
- Niranjan, I., Raman, S., Patwa, N., Ranjan, U., Moorthy, K. & Mehta, A. (2018). ‘Impact of
- Olson, L.D. (2012). Supply Chain Information Technology. In: *S. Nahmias (Ed.) The Supply and Operations Management Collection*. New York: Business Expert Press.
- Pan, S., Zhong, R. Y. and Qu, T. (2019) ‘Smart product-service systems in interoperable logistics: Design and implementation prospects’, *Advanced Engineering Informatics*, vol. 42, pp. 1–9.
- Porter, M. E., & Heppelmann, J. E. (2017). Why every organization needs an augmented reality strategy. *Harvard Business Review*, 95(6), 46-57.
- Reid J, Rhodes D (2016) Digital system models: an investigation of the non-technical challenges and research needs. Massachusetts Institute of Technology.
http://seari.mit.edu/documents/preprints/REID_CSER16.pdf
- Russell, R. S., & Taylor-Iii, B. W. (2011). *Operations management along the supply chain*. John Wiley & Sons.
- Sabattini, L., Aikio, M., Beinshob, P., Boehning, M., Cardarelli, E., Digani, V., Kregel, A., Magnani, M., Mandici, S., Oleari, F., Reinke, C., Ronzoni, D., Stimming, C., Varga, R., Vatavu, A., Castells Lopez, S., Fantuzzi, C., Mayra, A., Nedevschi, S., Secchi, C. & Fuerstenberg K. (2018). ‘The PAN-Robots Project: Advanced Automated Guided Vehicle Systems for Industrial Logistics’, *IEEE Robotics & Automation Magazine*, 25 (1), pp. 55-64.
- Shafto M., Conroy M., Doyle R., Glaessgen E., Kemp C., LeMoigne J., Wang L. (2010). *NASA Modeling, Simulation, Information Technology & Processing*.
- Shaik, M.N., and Abdul-Kader W. (2013). Interorganizational Information Systems Adoption in Supply Chains: A Context Specific Framework. *International Journal of Information Systems and Supply Chain Management*, 6(1), 24-40.
- Sinha, A.K. (2013). ‘Opportunities of Cloud Computing in Supply Chain Management’, *Anusandhanika*, 5 (1-2), pp. 124-126

Sorescu, A., Frambach, R. T., Singh, J., Rangaswamy, A., & Bridges, C. (2011). Innovations in retail business models. *Journal of retailing*, 87, S3-S16.

Takyar, (2022), 'How to Determine the cost of Blockchain Implementation', <https://www.leewayhertz.com/cost-of-blockchain-implementation/>

Tao F. Cheng J., Qi, Q., Zhang M., Zhang, He; Sui, Fangyuan (2017). Digital twindriven product design, manufacturing and service with big data <https://doi.org/10.1007/s00170-017-0233-1>

Tapscott, D. & Tapscott, A. (2016), 'Blockchain Revolution', Great Britain: Clays Ltd, St Ives plc

Tchana, Y., Ducellier, G., & Remy, S. (2019). Designing a unique Digital Twin for linear infrastructures lifecycle management. *Procedia CIRP*, 84, 545-549. <https://doi.org/10.1016/j.procir.2019.04.176>

Weisbach, T., Hurzig, A., Keutel, A., Nendel, K., Muller, E. & Kanoun, O. (2014). 'Requirements for wireless sensors networks in production and logistic', Piscataway: The Institute of Electrical and Electronics Engineers, Inc. (*IEEE*).

West T, Pyster A., (2015) *Untangling the digital thread: the challenge and promise of modelbased engineering in defense acquisition* <https://doi.org/10.1002/inst.12022>

Wohlers, Terry, and Tim Gornet. 2014. "History of Additive Manufacturing." In *Wohlers Report 2014 - 3D Printing and Additive Manufacturing State of the Industry*, 1–34.

Yanjing, J. (2009). Integration of ERP and CRM in E-commerce environment. *Proceedings of the International Conference on Management and Service Science*, 1-9