

Ανοιχτό Πανεπιστήμιο Κύπρου

Σχολή: Οικονομικών Επιστημών και Διοίκησης

Μεταπτυχιακό Πρόγραμμα Σπουδών: Διοίκηση, Τεχνολογία και Ποιότητα

Μεταπτυχιακή Διατριβή



Ποιοτικός Έλεγχος στην Έξυπνη Βιομηχανία και την Αλυσίδα Αξίας 4.0

Σπυρίδων Βούλγαρης

Επιβλέπων Καθηγητής

Πάρις Κλεάνθους

Δεκέμβριος, 2020

Ανοικτό Πανεπιστήμιο Κύπρου

Σχολή: Οικονομικών Επιστημών και Διοίκησης

Μεταπτυχιακό Πρόγραμμα Σπουδών: Διοίκηση, Τεχνολογία και Ποιότητα

Μεταπτυχιακή Διατριβή

Ποιοτικός Έλεγχος στην Έξυπνη Βιομηχανία και την Αλυσίδα Αξίας 4.0

Σπυρίδων Βούλγαρης

Επιβλέπων Καθηγητής

Πάρις Κλεάνθους

Η παρούσα μεταπτυχιακή διατριβή υποβλήθηκε προς μερική εκπλήρωση των απαιτήσεων για απόκτηση μεταπτυχιακού τίτλου σπουδών στη Διοίκηση, Τεχνολογία και Ποιότητα από τη Σχολή Οικονομικών Επιστημών και Διοίκησης του Ανοικτού Πανεπιστημίου Κύπρου.

Δεκέμβριος, 2020

Περίληψη

Η παρούσα μεταπτυχιακή διατριβή στοχεύει στο σχεδιασμό νέων λύσεων που βασίζονται σε τεχνολογίες όπως το Agent-based Digital Twin, το AI (τεχνητή νοημοσύνη) και το Blockchain για την βελτιστοποίηση της ποιότητας της παραγωγής καθώς και των προϊόντων των εμπλεκόμενων στην αλυσίδα εφοδιασμού, σύμφωνα με τις απαιτήσεις των πελατών σε όρους ποιότητας, ακρίβειας και ορθότητας δεδομένων.

Οι προτεινόμενες λύσεις θα ενσωματώσουν έξυπνα, γνωστικά, προσαρμοστικά και οικονομικά αποδοτικά εργαλεία/μέσα (σένσορες, ενεργοποιητικούς μηχανισμούς κ.α.) για την παρακολούθηση και τον έλεγχο των εγκαταστάσεων παραγωγής (shop floor/τοπικό επίπεδο) των εμπλεκόμενων στην αλυσίδα εφοδιασμού (καθολικό επίπεδο). Η σημασία της εισαγωγής της αλυσίδας εφοδιασμού ως ένα επιπλέον επίπεδο αναφοράς (βλ. παραπάνω τοπικό/καθολικό επίπεδο) έγκειται στη δυνατότητα αποφυγής ενός “domino effect” στη διάδοση φυσικών ελαττωμάτων, από την πρώτη ύλη έως το τελικό προϊόν καθώς επίσης και της διασφάλισης της ακεραιότητας των δεδομένων κατά τη πορεία του προϊόντος στην εφοδιαστική αλυσίδα. Επιπλέον, η τεράστια ποσότητα των δεδομένων που παράγεται στην αλυσίδα εφοδιασμού δεν μπορεί να υποβληθεί σε αποτελεσματική επεξεργασία χρησιμοποιώντας παραδοσιακές μεθόδους επεξεργασίας. Αυτό συνεπάγεται την ανάγκη για προσεγγίσεις Big Data και AI (τεχνητή νοημοσύνη) στον έλεγχο ποιότητας.

Στο πλαίσιο αυτό, η παρούσα διατριβή στοχεύει στην ανάπτυξη έξυπνων συστημάτων ελέγχου ποιότητας για τα προϊόντα και το data upstream της αλυσίδας εφοδιασμού μέσω ενός distributed ledger (blockchain). Ο πραγματικός χρόνος και η έγκαιρη αναγνώριση των αποκλίσεων και τάσεων, που εκτελούνται σε τοπικό επίπεδο (shop floor/εγκαταστάσεις), επιτρέπουν την πρόληψη και την αποτροπή δημιουργίας ελαττωμάτων σε ένα συγκεκριμένο στάδιο της αλυσίδας εφοδιασμού (καθολικό επίπεδο) και τη διάδοσή-μεταφορά τους σε μεταγενέστερες διαδικασίες επιτρέποντας έτσι στο σύστημα ελέγχου που θα αναπτυχθεί να είναι προγνωστικό και προληπτικό.

Λέξεις κλειδιά: Τεχνητή Νοημοσύνη, Τεχνολογία, Βιομηχανία 4.0, Αξιολόγηση Ποιότητας, Εξάλειψη Σπατάλης, Μηδενικά Ελαττώματα, Έξυπνη Επιθεώρηση, Εφοδιαστική Αλυσίδα, Αλυσίδα αξίας

Summary

This master dissertation aims at designing new solutions founded on Agent-based Digital Twin, AI and Blockchain in order to optimize the quality of manufacturing operations and the products of supply chain players, subject to customer requirements in terms of quality, data accuracy, and precision.

These solutions will integrate intelligent, cognitive, adaptive, and cost-effective instruments for monitoring and controlling the shop floor of different players of a supply chain. The importance of introducing this perspective lies in the possibility of avoiding a domino effect in propagation of physical defects, from raw material to finished product, and in data integrity. The amount of data generated in a supply chain system cannot be processed efficiently using traditional processing methods. This implies the need for Big data and AI approaches in quality control.

In this context, this master dissertation aims at developing smart quality control systems for products and data upstream of the supply chain through distributed ledger – blockchain. Real time and early identification of deviations and trends, performed at local level, allow preventing the generation of defects at single stage and their propagation to down-stream processes, enabling the global system to be predictive and proactive.

Key words: Agent-based Digital Twin, Artificial Intelligence, Blockchain, Industry 4.0, Quality Assessment, Optimisation, Zero-Defect Manufacturing, Smart online inspection, Supply Chain, Value Chain

Ευχαριστίες

Η παρούσα μεταπτυχιακή διατριβή εκπονήθηκε κατά το ακαδημαϊκό έτος 2019-2020 στο πλαίσιο του μεταπτυχιακού προγράμματος Διοίκηση, Τεχνολογία και Ποιότητα που προσφέρει το Ανοιχτό Πανεπιστήμιο Κύπρου.

Αισθάνομαι την ανάγκη να ευχαριστήσω όλους του καθηγητές από τους οποίους είχα την τιμή να διδαχτώ κατά την διάρκεια των σπουδών μου. Αναλυτικότερα θα ήθελα να ευχαριστήσω τον Δρ. Ρομπρετ Δουβαλ ο οποίος ως ακαδημαϊκός υπεύθυνος του προγράμματος ήταν πάντοτε διαθέσιμος για οποιαδήποτε απορία ή υποστήριξη χρειάστηκα καθώς και τους Δρ. Παρασκευή Καπετανοπούλου, Δρ. Στέφανο Γκρίτζαλη και Δρ. Άγγελο Παντουβάκη των οποίων τα μαθήματα έπαιξαν σημαντικό ρόλο για την ανάπτυξη της διπλωματικής μου εργασίας.

Τις θερμότερες ευχαριστίες θα ήθελα να εκφράσω στον επιβλέποντα καθηγητή μου Δρ. Πάρι Κλεάνθους για την εμπιστοσύνη που μου έδειξε εξ' αρχής κατά την επιλογή του θέματος της διατριβής καθώς και για την πολύτιμη βοήθεια, συμβουλές, υποστήριξη και γνώσεις που μοιράστηκε, τόσο κατά την διάρκεια των σπουδών μου όσο και κατά την ανάπτυξη της παρούσας διατριβής.

Περιεχόμενα

ΕΙΣΑΓΩΓΗ

Θεωρητικό Μέρος

Κεφάλαιο 1. Εισαγωγή στην ποιότητα	10
1.1 Ορισμός της ποιότητας	10
1.2 Μύθοι για την ποιότητα	10
1.3 Βασικές διαστάσεις της ποιότητας	11
1.4 Το κόστος ποιότητας	13
1.5 Εξέλιξη της ποιότητας στον βιομηχανικό τομέα	13
Κεφάλαιο 2. Εισαγωγή στα συστήματα ποιότητας	15
2.1 Τι είναι τα συστήματα ποιότητας και ο ρόλος του ISO	15
2.2 Η σημαντικότητα των συστημάτων ποιότητας στην λειτουργία της επιχείρησης και το ISO 9000	15
2.3 Ο ορισμός και η πολιτική ποιότητας 6 σίγμα	17
2.4 Η σημασία της διασφάλισης της ποιότητας	20
Κεφάλαιο 3. Εισαγωγή στην Διοίκηση Ολικής Ποιότητας	21
3.1 Ορισμός της Διοίκησης Ολικής Ποιότητας	21
3.2 Βαθύτερη ανάλυση στην Διοίκηση Ολικής Ποιότητας και η εφαρμογή της στην Βιομηχανία	21
3.3 Γενικές αρχές της Διοίκησης Ολικής Ποιότητας	23
3.4 Αντικειμενικοί σκοποί της Διοίκησης Ολικής Ποιότητας	25
Κεφάλαιο 4. Εισαγωγή στην αλυσίδα εφοδιασμού και την αλυσίδα αξίας	27
4.1 Αλυσίδα εφοδιασμού και διαχείριση εφοδιαστικής αλυσίδας	27
4.2 Η εξέλιξη της διαχείρισης εφοδιαστικής αλυσίδας	27
4.3 Προβλήματα στην αλυσίδα εφοδιασμού	28
4.4 Αλυσίδα αξίας	32
4.5 Τα οφέλη της ανάλυσης της αλυσίδας αξίας	33
Κεφάλαιο 5. Εισαγωγή στην τεχνολογία	35
5.1 Τι είναι η τεχνητή νοημοσύνη (AI) και το machine learning	35
5.2 Τι είναι το distributed digital ledger και το blockchain	36
5.3 Τι είναι το digital twin	38
5.4 Τι είναι τα big data και το big data analytics	40

Ερευνητικό Μέρος

Κεφάλαιο 1. Επισκόπηση του προβλήματος	42
1.1. Τα δεδομένα	42
1.2. Η σύνδεση του ποιοτικού ελέγχου και της Βιομηχανίας 4.0	44
1.3. Συμπέρασμα	46
Κεφάλαιο 2. Στόχος	47
Κεφάλαιο 3. Αναλυτικοί στόχοι	50
Κεφάλαιο 4. Ανάλυση της λύσης και μεθοδολογία υλοποίησης	56
4.1 Η λογική υλοποίησης πίσω από τους στόχους	56
4.2 Μεθοδολογία	61
4.3 Φιλοδοξίες	62
Κεφάλαιο 5. Αναμενόμενο αντίκτυπο από την εφαρμογή των λύσεων που προτάθηκαν	71
Κεφάλαιο 6. Συμπέρασμα	75
Βιβλιογραφία	76

ΕΙΣΑΓΩΓΗ

Η 4^η βιομηχανική επανάσταση μεταμόρφωσε τα παραδοσιακά εργοστάσια σε έξυπνα, τα οποία χαρακτηρίζονται από διαδικασίες που περιλαμβάνουν αλληλοσυνδεόμενες εργασίες, εργαλεία, καθώς και λειτουργίες logistics. Οι διαδικασίες αυτές, όπως είναι λογικό δημιουργούν μεγάλες ποσότητες δεδομένων που μπορούν να χρησιμοποιηθούν για περαιτέρω αναλύσεις και προβλέψεις, καθώς και για τη βελτιστοποίηση της ποιότητας των παραγωγικών εργασιών και των προϊόντων. Ωστόσο, μια σημαντική πρόκληση για την Βιομηχανία είναι η αξιοπιστία αλλά και η αξιοποίηση των δεδομένων και το πως αυτά μπορούν να χρησιμοποιηθούν για την βελτιστοποίηση της ποιότητας.

Η δομή του θεωρητικού μέρους (μέρος πρώτο) της εργασίας είναι σχεδιασμένη για να δίνει στον αναγνώστη όλες τις απαραίτητες γνώσεις με απώτερο σκοπό την κατανόηση της ερευνητικής μεθοδολογίας (μέρος δεύτερο) και της λύσης που προτείνεται στο Ερευνητικό μέρος της εργασίας. Αναλυτικότερα:

Το πρώτο κεφάλαιο είναι αφιερωμένο στην ποιότητα ως έννοια ξεκινώντας με τον ορισμό της και στην πορεία γίνεται αναφορά στους μύθους που επικρατούν σχετικά με αυτή, τις διαστάσεις της, την εξέλιξη της στον βιομηχανικό τομέα καθώς και το κόστος της. Στόχος του πρώτου κεφαλαίου είναι να εφοδιάσει τον αναγνώστη με όλες τις απαραίτητες πληροφορίες γύρω από την ποιότητα.

Το δεύτερο κεφάλαιο πραγματεύεται γύρω από τα συστήματα ποιότητας, την σημαντικότητα τους καθώς επίσης εκτενής αναφορά γίνεται στα συστήματα ISO και την τεχνική διασφάλισης της ποιότητας 6 σίγμα. Στόχος του δευτέρου κεφαλαίου είναι να αναδείξει το πόσο σημαντικός είναι ο έλεγχος ποιότητας και το πως μπορεί να επιτευχθεί.

Συνεχίζοντας στο τρίτο κεφάλαιο γίνεται αναφορά στην αλυσίδα εφοδιασμού και την αλυσίδα αξίας τόσο σε εννοιολογικό επίπεδο όσο και σε επίπεδο λειτουργίας και σημαντικότητας για κάθε βιομηχανία. Το τρίτο κεφάλαιο στοχεύει κατά κύριο λόγο στην κατανόηση της εφοδιαστικής αλυσίδας και των λειτουργιών της καθώς η λύση που προτείνεται στο ερευνητικό μέρος θεωρεί την αλυσίδα εφοδιασμού ως το βασικότερο σημείο αναφοράς.

Τέλος, το θεωρητικό μέρος κλείνει με το κεφάλαιο “Εισαγωγή στη τεχνολογία” το οποίο είναι εξαιρετικά σημαντικό για την κατανόηση των λύσεων που προτείνονται στο ερευνητικό μέρος καθώς στην πλειοψηφία τους προϋποθέτουν την χρήση τεχνολογικών μεθόδων και άλλων εργαλείων.

Το δεύτερο μέρος της εργασίας στοχεύει στο σχεδιασμό νέων λύσεων που βασίζονται σε τεχνολογίες όπως το Agent-based Digital Twin, το AI (τεχνητή νοημοσύνη) και το Blockchain για την βελτιστοποίηση της ποιότητας της παραγωγής καθώς και των προϊόντων των εμπλεκόμενων στην αλυσίδα εφοδιασμού, σύμφωνα με τις απαιτήσεις των πελατών σε όρους ποιότητας, ακρίβειας και ορθότητας δεδομένων.

Θεωρητικό Μέρος

Κεφάλαιο 1. Εισαγωγή στην ποιότητα

1.1 Ορισμός της Ποιότητας

Στην βιβλιογραφία εντοπίζονται δύο κύριες προσεγγίσεις που ορίζουν την ποιότητα και χωρίζονται στους γενικούς ορισμούς και στους αναλυτικούς. Οι γενικοί ορισμοί αποτελούνται κυρίως από σύντομες φράσεις ή λέξεις κλειδιά, όπως παραγωγή μηδενικών ελαττωμάτων (Mosadeghrad, 2014)¹, ικανοποίηση του πελάτη (Deming, 1986)² και καταλληλότητα για χρήση (Juran, 1988)³. Από την άλλη μεριά, οι αναλυτικοί ορισμοί είναι πιο ξεκάθαροι και σαφείς και σύμφωνα με τον Crosby “«Ποιότητα για ένα είδος (προϊόν / υπηρεσία) είναι η συμμόρφωση του με τις απαιτήσεις / προδιαγραφές του» (Δερβιτσιώτης, 2005:1). Αναλυτικότερα, η προσέγγιση αυτή, αφορά τον βαθμό στον οποίο ικανοποιούνται οι τεχνικές προδιαγραφές μιας υπηρεσίας ή ενός προϊόντος, για την αποφυγή πιθανών απωλειών στοχεύοντας στην επίτευξη της μέγιστης δυνατής ποιότητας κρατώντας το κόστος όσο το δυνατόν χαμηλότερα. Τέλος, οι Goetsch και Davis (2014), ως ποιότητα ορίζουν την αίσθηση της υπεροχής που προσδίδει ένα αγαθό όταν αποκτάται μαζί με τα χαρακτηριστικά που διαθέτει.

1.2 Μύθοι για την Ποιότητα

Σύμφωνα με τον Δερβιτσιώτη⁴ (2005), οι δυσκολίες που υπάρχουν στην διάδοση της ποιότητας είναι συνδεδεμένες με κάποιες ιδέες/μύθους που επηρεάζουν την πολιτική των επιχειρήσεων για την ποιότητα.

- Μύθος 1^{ος} : Στην έννοια της ποιότητας δεν μπορεί να εφαρμοστεί ένας σαφής προσδιορισμός διότι η ποιότητα είναι κάτι υποκειμενικό που δεν μπορεί να μετρηθεί.

Αυτός ο μύθος καταρρίπτεται καθώς αναλόγως την οπτική γωνία από την οποία αντιμετωπίζεται, η ποιότητα μπορεί να ορισθεί με σκοπό την αποτελεσματική διοίκηση των δραστηριοτήτων που την διαπλάθουν. Όσο αναφορά την μέτρηση της, αυτό μπορεί να γίνει με κριτήριο είτε το κόστος που δημιουργείται όταν αυτή δεν εφαρμόζεται κατάλληλα είτε συγκρίνοντας τις επιδόσεις του προϊόντος ή της υπηρεσίας με αυτή των ανταγωνιστών.

- Μύθος 2^{ος} : Η έννοια της ποιότητας σε προϊόντα και υπηρεσίες είναι συνυφασμένη με την πολυτέλεια και τη μη πραγματική ανάγκη απόκτησης τους.

Αυτός ο μύθος καταρρίπτεται αφού αν αντιμετωπιστεί και κατανοηθεί ευστοχά ο ορισμός και μέτρηση της ποιότητας, προκύπτει ότι ένα προϊόν ή υπηρεσία θεωρείται ότι έχει ή όχι ποιότητα ανάλογα με την ικανότητα του να καλύψει τις ανάγκες εκείνου που το αγοράζει.

- Μύθος 3^{ος} : Η παραγωγή και η διάθεση υπηρεσιών και προϊόντων υψηλής ποιότητας σημαίνει αυτομάτως αυξημένο κόστος για την επιχείρηση.

Αυτή η συμβατική αντίληψη βασίζεται στην παραδοχή ότι η δημιουργία ποιότητας σε ένα οποιοδήποτε αγαθό συνδέεται με την περιεκτικότητα κάποιου στοιχείου όπου από ένα σημείο και μετά έχει φθίνουσα απόδοση. Δηλαδή, για ένα επίπεδο ποιότητας και πάνω το κόστος για την βελτίωση της είναι απαγορευτικό για την επιχείρηση και θα πρέπει να δώσει προτεραιότητα σε άλλα κριτήρια όπως το κόστος παραγωγής-διανομής, για παράδειγμα. Η σωστή σύνδεση μεταξύ κόστους και ποιότητας εξαρτάται καθαρά από τα χαρακτηριστικά που έχουν επιλεγεί να αξιολογηθούν. Το κόστος της ποιότητας δεν μεγαλώνει όταν για κάποια δεδομένα χαρακτηριστικά ενός προϊόντος η παραγωγική διαδικασία είναι σχεδιασμένη να λειτουργεί στοχεύοντας να περιορίσει στο ελάχιστο το ποσοστό των ελαττωματικών.

1.3 Βασικές Διαστάσεις της Ποιότητας

Σύμφωνα με τον David Gavin⁵, η έννοια της ποιότητας βασίζεται σε οκτώ διαστάσεις οι οποίες θεωρούνται τόσο ανεξάρτητες όσο και αυτοδύναμες. Στο κρίσιμο στάδιο της σχεδίασης ενός προϊόντος, προσδιορίζεται περίπου το 80% με 90% του κόστους παραγωγής του. Συνεπώς είναι απαραίτητο και μείζονος σημασίας να εξεταστεί το τμήμα της αγοράς που απευθύνεται το προϊόν αλλά και να προσδιοριστούν οι ανάγκες εκείνων που το αγοράζουν. Με βάση τις ανάγκες αυτές, είναι σημαντικό να προσδιοριστεί από τους υπεύθυνους η βαρύτητα που θα έχει η κάθε μία από τις παρακάτω διαστάσεις της ποιότητας:

- i. Βασικά χαρακτηριστικά απόδοσης του προϊόντος

Τα βασικά χαρακτηριστικά απόδοσης ενός προϊόντος είναι οι λειτουργίες εκείνες και τα χαρακτηριστικά του προϊόντος που ικανοποιούν τις ανάγκες των εσωτερικών και εξωτερικών πελατών. Η σχεδίαση ενός προϊόντος είναι απαραίτητο να ξεκινάει με την ανάλυση των αναγκών του πελάτη. Ο J. M. Juran, τόνισε επίσης την σημαντικότητα της ανάλυσης των αναγκών του πελάτη συμπεριλαμβανομένων τόσο των εξωτερικών όσο και των εσωτερικών.

ii. Δευτερεύοντα χαρακτηριστικά του προϊόντος

Τα δευτερεύοντα χαρακτηριστικά ενός προϊόντος είναι στην ουσία συμπληρωματικά των βασικών χαρακτηριστικών καθώς διευκολύνουν την χρήση του προϊόντος και συνεισφέρουν στην ευνοϊκότερη αντίληψη της γενικότερης εικόνας του προϊόντος από τους πελάτες.

iii. Αξιοπιστία του προϊόντος

Η αξιοπιστία ενός προϊόντος έχει να κάνει με την πιθανότητα βλάβης του σε ένα συγκεκριμένο χρονικό διάστημα. Οι κύριοι δείκτες που αξιολογούν την αξιοπιστία ενός προϊόντος είναι ο μέσος χρόνος από την στιγμή της αγοράς μέχρι και την εμφάνιση της πρώτης βλάβης και ο μέσος χρόνος μεταξύ δύο ή παραπάνω διαδοχικών βλαβών.

iv. Ποιότητα παραγωγής

Η ποιότητα παραγωγής έχει να κάνει με την δυνατότητα της παραγωγικής διαδικασίας να συμβαδίζει με τις προδιαγραφές που έχει ορίσει η διοίκηση για ένα συγκεκριμένο προϊόν. Ως εκ τούτου, το επίπεδο της ποιότητας της παραγωγής είναι άρρηκτα συνδεδεμένο με το αποτελεσματικό ταίριασμα των ικανοτήτων της παραγωγικής διαδικασίας και των απαιτήσεων/προδιαγραφών του προϊόντος.

v. Αναμενόμενη διάρκεια ζωής του προϊόντος

Η αναμενόμενη διάρκεια ζωής του προϊόντος έχει να κάνει με την δυνατότητα επισκευής του ή όχι.

vi. Ποιότητα εξυπηρέτησης μετά την πώληση

Η Ποιότητα εξυπηρέτησης μετά την πώληση ενός προϊόντος χαρακτηρίζεται από την διαθεσιμότητα των πόρων μια εταιρείας (προσωπικό, ανταλλακτικά για συντήρηση ή επισκευή), την ταχύτητα με την οποία θα αποκατασταθεί μια βλάβη αλλά και με την συμπεριφορά/εξυπηρέτηση της εταιρείας προς τους πελάτες της.

vii. Αισθητικά χαρακτηριστικά

Τα αισθητικά χαρακτηριστικά ενός προϊόντος έχουν να κάνουν με το κατά πόσο επηρεάζουν τις αισθήσεις του πελάτη(πως δείχνει, πως ακούγεται κτλ) και συμβάλλουν σημαντικά στο πως αντιλαμβάνεται και διαμορφώνει ένας πελάτης την εικόνα του για την ποιότητα ενός προϊόντος.

viii. Υποκειμενική αντίληψη ποιότητας του προϊόντος

Η υποκειμενική αντίληψη της ποιότητας έχει να κάνει με τον συνδυασμό όλων των παραπάνω διαστάσεων και πως αυτές τις αντιλαμβάνεται ή τις αξιολογεί ο πελάτης.

1.4 Το κόστος ποιότητας

Σύμφωνα με τον Αυλωνίτη⁶(2003) με τον όρο κόστος ποιότητας εννοούμε το άθροισμα των δαπανών που έχουν σχέση με την ποιότητα του προϊόντος ή της υπηρεσίας που παράγεται. Τα British Standards (BS 6143-1:1992)⁷ διακρίνουν το κόστος ποιότητας στις εξής κατηγορίες:

- i. Κόστος πρόληψης: Το κόστος κάθε ενέργειας που λαμβάνεται για τη διερεύνηση, την πρόληψη ή τη μείωση του κινδύνου μη συμμόρφωσης ή ελαττώματος (κόστος συντήρησης, υλικών, εκπαίδευσης προσωπικού και άλλα)
- ii. Κόστος εκτίμησης: Το κόστος αξιολόγησης της επίτευξης των απαιτήσεων ποιότητας, όπως για παράδειγμα το κόστος επαλήθευσης και ελέγχου που εκτελείται σε οποιοδήποτε στάδιο της παραγωγικής διαδικασίας.
- iii. Κόστος εσωτερικής αστοχίας: Το κόστος που προκύπτει σε έναν οργανισμό λόγω μη συμμόρφωσης ή ελαττωμάτων σε οποιοδήποτε στάδιο του κύκλου ποιότητας, όπως για παράδειγμα το κόστος των σκάρτων, της επανεπεξεργασίας, επανεξέτασης, και επανασχεδιασμού
- iv. Κόστος εξωτερικής αστοχίας: Το κόστος που προκύπτει μετά την παράδοση στον πελάτη λόγω μη συμμόρφωσης ή ελαττωμάτων που μπορεί να περιλαμβάνουν το κόστος των αξιώσεων έναντι εγγύησης, αντικατάστασης και επακόλουθων απωλειών και αξιολόγησης των επιπτώσεων που προέκυψαν

1.5 Εξέλιξη της ποιότητας στον βιομηχανικό τομέα⁸

Για πολλά χρόνια ο μόνος στόχος των βιομηχανιών σε σχέση με την ποιότητα ήταν η αποδοχή ή η απόρριψη των κατασκευασμένων προϊόντων με βάση τις προδιαγραφές που είχαν θέσει χωρίς να έχει προηγηθεί κάποια ιδιαίτερη στρατηγική για την αποφυγή αυτών των ελαττωμάτων.

Στις αρχές της δεκαετίας του 1920, η στατιστική θεωρία άρχισε να εφαρμόζεται για την διασφάλιση-προστασία της ποιότητας των προϊόντων και το 1924, ο Δρ. Shewart έκανε την πρώτη προσπάθεια να κάνει ένα διάγραμμα ελέγχου ποιότητας. Το εν λόγω διάγραμμα εν τέλει αναπτύχθηκε από τον Δρ. Deming που τελειοποιήθηκε και αναγνωρίστηκε το 1940 ως στατιστικός έλεγχος διεργασιών. Στη δεκαετία του 1950, πρακτικές διαχείρισης ποιότητας αναπτύχθηκαν και εφαρμόστηκαν από τις βιομηχανίες της Ιαπωνίας και μέχρι την δεκαετία του 1960 ο ποιοτικός έλεγχος και η διαχείριση είχαν υιοθετηθεί σχεδόν από όλα τα έθνη.

Το 1969, ο Feigenbaum παρουσίασε ένα ακαδημαϊκό άρθρο σε ένα συνέδριο και ο όρος «συνολική ποιότητα» χρησιμοποιήθηκε για πρώτη φορά και αναφερόταν σε ευρύτερα ζητήματα όπως ο σχεδιασμός, η οργάνωση και η διοίκηση. Αργότερα ο Ishikawa παρουσίασε ένα άλλο ακαδημαϊκό άρθρο που εξηγούσε το πώς ο συνολικός ποιοτικός έλεγχος στην Ιαπωνία ήταν διαφορετικός από τον υπόλοιπο κόσμο. Πιο αναλυτικά, ο Ishikawa παρουσίασε τον ποιοτικό έλεγχο σε επίπεδο εταιρείας και περιέγραψε το πώς όλοι οι εργαζόμενοι, από την ανώτατη διοίκηση έως τους εργαζόμενους, πρέπει να μελετούν και να συμμετάσχουν στον ποιοτικό έλεγχο.

Το 1970, η εφαρμογή της διαχείρισης της ποιότητας έγινε υποχρεωτική στις περισσότερες ιαπωνικές εταιρείες. Το 1980, ο όρος σύστημα διαχείρισης ποιότητας δημιουργήθηκε και εφαρμόστηκε από τις δυτικές βιομηχανίες. Μέρος αυτού, είναι η συνολική διαχείριση της ποιότητας που αναδείχτηκε ως πολύ σημαντικό γεγονός στα περισσότερα συστήματα των βιομηχανιών προκειμένου να διορθωθούν και να εξαλειφθούν τα λάθη για την επίτευξη προϊόντων μηδενικών ελαττωμάτων.

Τον 21ο αιώνα, τα συστήματα διαχείρισης ποιότητας έγιναν υποχρεωτικά σε πολλές χώρες για να βοηθήσουν τις βιομηχανίες και όχι μόνο να έχουν άριστες επιδόσεις και να επιτύχουν την παράδοση προϊόντων μηδενικών ελαττωμάτων.

Κεφάλαιο 2. Εισαγωγή στα συστήματα ποιότητας

2.1 Τι είναι τα συστήματα ποιότητας και ο ρόλος του ISO

Ένα σύστημα ποιότητας ορίζεται ως η οργανωτική δομή, οι ευθύνες, οι διεργασίες, οι διαδικασίες και οι πόροι για την εφαρμογή της διαχείρισης ποιότητας. Η διαχείριση ποιότητας περιλαμβάνει εκείνες τις πτυχές της συνολικής λειτουργίας διαχείρισης που καθορίζουν και εφαρμόζουν την πολιτική ποιότητας και τους ποιοτικούς στόχους της εταιρείας. Τόσο ο ποιοτικός έλεγχος όσο και η διασφάλιση ποιότητας αποτελούν μέρη της διαχείρισης ποιότητας.

Σχετικά με τον Διεθνή Οργανισμό Τυποποίησης, είναι ένας ανεξάρτητος, μη κυβερνητικός οργανισμός, τα μέλη του οποίου είναι άλλοι οργανισμοί τυποποίησης από 164 χώρες⁹. Είναι ο μεγαλύτερος δημιουργός διεθνών προτύπων στον κόσμο και διευκολύνει το παγκόσμιο εμπόριο παρέχοντας κοινά πρότυπα μεταξύ των εθνών. Έχουν καθοριστεί περισσότερα από είκοσι χιλιάδες πρότυπα, που καλύπτουν τα πάντα, από τα κατασκευασμένα προϊόντα και την τεχνολογία έως την ασφάλεια των τροφίμων, τη γεωργία και την υγειονομική περίθαλψη. Η χρήση των προτύπων βοηθά στη δημιουργία προϊόντων και υπηρεσιών που είναι ασφαλή, αξιόπιστα και καλής ποιότητας. Τα πρότυπα βοηθούν τις επιχειρήσεις να αυξήσουν την παραγωγικότητα ελαχιστοποιώντας ταυτόχρονα τα λάθη και τα ελαττώματα. Επιτρέποντας την άμεση σύγκριση προϊόντων από διαφορετικές αγορές, διευκολύνουν τις εταιρείες να εισέλθουν σε νέες αγορές και να βοηθήσουν στην ανάπτυξη του παγκόσμιου εμπορίου σε δίκαιη βάση. Τα πρότυπα χρησιμεύουν επίσης στην προστασία των καταναλωτών και των τελικών χρηστών προϊόντων και υπηρεσιών, διασφαλίζοντας ότι τα πιστοποιημένα προϊόντα συμμορφώνονται με τα ελάχιστα πρότυπα που έχουν καθοριστεί διεθνώς.

2.2 Η σημαντικότητα των συστημάτων ποιότητας στην λειτουργία της επιχείρησης και το ISO 9000

Για να βελτιστοποιηθούν οι λειτουργίες της επιχείρησης καθώς και τα προϊόντα και οι υπηρεσίες της με σκοπό να γίνουν καλύτερα από αυτά των ανταγωνιστών, η ποιότητα θα πρέπει να εμφανίζεται σε κάθε όψη της επιχείρησης (Omachonu, Ross, 2004)¹⁰. Η ποιότητα θα πρέπει να γίνεται φανερή τόσο στις παραγωγικές διαδικασίες, πρώτες ύλες και εξοπλισμό όσο και στην ίδια την φιλοσοφία της επιχείρησης και των ανθρώπων που την απαρτίζουν. Πιο αναλυτικά, η κατασκευή ενός προϊόντος ή η παροχή μιας υπηρεσίας περιλαμβάνει μια σειρά δραστηριοτήτων που πρέπει να διεξάγονται με οργανωμένο τρόπο. Ωστόσο, πολλές εταιρείες δεν μπορούν να παρουσιάσουν κανένα έγγραφο που να περιγράφει αυτά τα βήματα. Ακόμα χειρότερα, εάν τους ζητηθεί να τα καταγράψουν, πιθανότατα

θα αντιμετωπίσουν πολλούς δισταγμούς και διαφωνίες όταν προσπαθήσουν να ενοποιήσουν τις απόψεις των διαφορετικών ανθρώπων που εμπλέκονται. Για παράδειγμα, μια διαδικασία μετά την πώληση της "επισκευής ενός ελαττωματικού προϊόντος", ενδέχεται να αποκαλύψει αρκετές ασυμφωνίες, από τη στιγμή της πρώτης επαφής με τον πελάτη (π.χ., στον βαθμό συλλογής διαγνωστικών πληροφοριών και τη μορφή του εγγράφου που χρησιμοποιείται για αυτό το αποτέλεσμα), μέχρι την επίλυση του προβλήματος (π.χ., κατά την κρίση της καταλληλότητας επικοινωνίας με τον πελάτη) και τέλος στο πόρισμα (π.χ., για να ενημερωθεί ο πελάτης).

Ένα σύστημα διαχείρισης ποιότητας διασφαλίζει ότι τα προϊόντα ή οι υπηρεσίες παρέχονται πάντα με συνέπεια, ικανοποιώντας τις απαιτήσεις των πελατών και επιδιώκουν να βελτιώσουν την ικανοποίηση τους. Αυτό, μπορεί να ρυθμιστεί ακολουθώντας οδηγίες που παρέχονται σε πρότυπα, όπως το ISO 9001¹¹. Πιο αναλυτικά, η δημιουργία ενός συστήματος διαχείρισης ποιότητας σχετίζεται με το να: 1)να καταγραφεί το πώς πρέπει να γίνουν οι διαδικασίες, 2)να γίνονται οι διαδικασίες όπως γράφτηκαν και 3) να μπορούν να αποδειχτούν τα προηγούμενα δύο. Πιο συγκεκριμένα, κατά την υιοθέτηση του προτύπου ISO 9001: 2008, πρέπει να υπάρχουν τα ακόλουθα έγγραφα:

- i. Μια ρητή δήλωση σχετικά με την Πολιτική Ποιότητας και τους Στόχους της εταιρείας, που χρησιμοποιείται για τον γενικό προσανατολισμό της προσπάθειας διαχείρισης ποιότητας. Αυτό συνήθως συνδέεται στενά με τον στρατηγικό ορισμό της αποστολής και των στόχων της εταιρείας (Ward και Griffiths, 1996).
- ii. Το Εγχειρίδιο Ποιότητας, ένα κεντρικό έγγραφο που αναφέρει ποιες διαδικασίες της εταιρείας θεωρούνται υπό διαχείριση ποιότητας (π.χ. «προμήθεια», «πωλήσεις», «εξυπηρέτηση μετά την πώληση»), τις αλληλεπιδράσεις μεταξύ αυτών των διαδικασιών και τις διαδικασίες που τις κάνουν (π.χ. «λήψη ελαττωματικού προϊόντος», «επισκευή ελαττωματικού προϊόντος», «παράδοση επισκευασμένου προϊόντος»). Για τη λεπτομερή περιγραφή κάθε διαδικασίας, χρησιμοποιείται ένα διάγραμμα ροής δραστηριοτήτων και μια περιγραφή κειμένου. Οι ευθύνες για τις διάφορες δραστηριότητες ανατίθενται σαφώς. Οι περιγραφές της διαδικασίας μπορούν να μετακινηθούν σε ξεχωριστά έγγραφα, αρκεί να διατηρείται αναφορά σε αυτά τα έγγραφα στο Εγχειρίδιο Ποιότητας.
- iii. Απαιτείται επίσης να συμμορφωθούν με τα πρότυπα τα μοντέλα όλων των εγγράφων που χρησιμοποιούνται από τις διαδικασίες, για να διασφαλιστεί ότι οι πληροφορίες που ρέουν στον οργανισμό χρησιμοποιούν συνεπή και συνεχή υποδείγματα για την μεταφορά της πληροφορίας.
- iv. Τέλος, το τελευταίο είδος εγγράφων που απαιτείται από το ISO 9000 είναι τα "αρχεία" που προκύπτουν από την κανονική λειτουργία των διαδικασιών, σύμφωνα με τις περιγραφές που έχουν καταγραφεί. Τα αρχεία έχουν καίρια σημασία, δεδομένου ότι αντιπροσωπεύουν τα αποδεικτικά στοιχεία, στους ελεγκτές, ότι δηλαδή οι διαδικασίες ακολουθούνται, στην πραγματικότητα.

Δεδομένου ότι το σύστημα διαχείρισης ποιότητας βασίζεται σε αυτά τα διάφορα έγγραφα, ασκείται αυστηρός έλεγχος σε αυτά καθ' όλη τη διάρκεια της ζωής τους. Απαιτούνται σαφείς διαδικασίες για έγκριση, έκδοση, αναθεώρηση, ενημέρωση, διανομή και απόσυρση ενός εγγράφου από το πρότυπο. Παρόλο που μια εταιρεία μπορεί να κρίνει εάν θα θέσει ορισμένους τομείς της επιχείρησής της υπό τον έλεγχο του συστήματος διαχείρισης ποιότητας, ορισμένοι άλλοι τομείς είναι υποχρεωτικοί και προκύπτουν από τη διεθνή συναίνεση σχετικά με τις καλές πρακτικές διαχείρισης ενσωματωμένες στο ISO 9000.

2.3 Ο ορισμός και η πολιτική ποιότητας 6 σίγμα

Τα έξι σίγμα μπορούν να οριστούν ως η μεθοδολογία της συνεχούς βελτίωσης που στοχεύει στη μείωση των ελαττωμάτων και μπορεί να χρησιμοποιηθεί μαζί με τις αρχές της λιτής διαχείρισης. Η αναγκαιότητα της λιτής διαχείρισης και των έξι βασικών αρχών του 6 σίγμα πρέπει να υπάρχει σε κάθε οργανισμό, εταιρεία ή βιομηχανία προκειμένου να μπορούν να παρέχουν ένα προϊόν μηδενικού ελαττώματος, ασφαλές και αποτελεσματικό, στον πελάτη. Σήμερα, πολλές εταιρείες σε διαφορετικές βιομηχανίες, τόσο μεγάλες όσο και μικρές, υιοθετούν τα έξι σίγμα για την βελτίωση της αποτελεσματικότητας του σχεδιασμού, της κατασκευής, των επιχειρηματικών διαδικασιών και της πνευματικής ιδιοκτησίας στοχεύοντας πάντα στη μείωση του κόστους. Από τους διάφορους ορισμούς που βρέθηκαν στην βιβλιογραφία, ήταν δυνατό να εντοπιστούν τουλάχιστον τέσσερις κύριες προσεγγίσεις του 6 σίγμα.

- i. Η πρώτη ερμηνεία ορίζει το 6 σίγμα ως ένα σύνολο στατιστικών εργαλείων που υιοθετήθηκαν στο πλαίσιο της διαχείρισης ποιότητας για την κατασκευή ενός πλαισίου για τη βελτίωση των διαδικασιών^{12 13}(Goh και Xie, 2004; McAdam και Evans, 2004). Ο στόχος είναι να ενισχυθεί το επίπεδο επιδόσεων 6 σίγμα που αναφέρεται και ως το "Κρίσιμο σημείο για την ποιότητα", που αντικατοπτρίζει τις απαιτήσεις των πελατών μέσω μιας ομάδας εργαλείων για την ανάλυση των δεδομένων. Τα στατιστικά εργαλεία προσδιορίζουν τον κύριο δείκτη ποιότητας που είναι τα μέρη ανά εκατομμύριο (Parts Per Million) των μη συμμορφούμενων προϊόντων (Mitra, 2004)¹⁴. Η επίτευξη ενός επιπέδου 6 σίγμα σημαίνει ότι έχουμε μια διαδικασία που παράγει αποτελέσματα με λιγότερα από 3,4 ελαττωματικά μέρη ανά εκατομμύριο¹⁵¹⁶ (Coleman, 2008; Anand, 2007).

Εδώ, το 6 σίγμα αναγνωρίζεται ως μέθοδος επίλυσης προβλημάτων που χρησιμοποιεί ποιοτικά και στατιστικά εργαλεία για βασικές βελτιώσεις της διαδικασίας αλλά όχι απαραίτητα ένα ολοκληρωμένο σύστημα διαχείρισης.

- ii. Η δεύτερη ερμηνεία ορίζει το 6 σίγμα ως μια “λειτουργική φιλοσοφία διαχείρισης” που μπορεί να μοιραστεί με μία σχέση νίκης-νίκης από πελάτες, μετόχους, υπαλλήλους και προμηθευτές¹⁷(Chakrabarty και Tan, 2007). Χάρη στην ευελιξία του, η εφαρμογή των 6 σίγμα δεν περιορίζεται μόνο στην κατασκευή-ανάπτυξη αλλά μπορεί να επεκταθεί σε ολόκληρη την αλυσίδα εφοδιασμού που περιλαμβάνει και την παροχή υπηρεσιών. Είναι, σύμφωνα με τον Yang¹⁸(2007), χρήσιμο να επιβληθεί μια πιο πειθαρχημένη προσέγγιση για τα έργα της αλυσίδας εφοδιασμού για τον καθορισμό και την εκτέλεση τους με πιο αυστηρό τρόπο. Το 6 σίγμα ορίζεται επίσης ως μια πολύπλευρη, προσανατολισμένη στον πελάτη, δομημένη, συστηματική, προληπτική και ποσοτική προσέγγιση για τη βελτίωση των επιχειρήσεων σε θέματα βελτίωσης της ποιότητας, την επιτάχυνση των παραδόσεων και τη μείωση του κόστους¹⁹ (Mahanti και Antony, 2005).
- iii. Η τρίτη ερμηνεία ορίζει το 6 σίγμα ως μια επιχειρηματική κουλτούρα. Αυτή η ερμηνεία υποστηρίζει ότι η επιτυχία του 6 σίγμα δεν βασίζεται μόνο σε στατιστικά εργαλεία και τεχνικές, αλλά και στη δέσμευση της ανώτερης διοίκησης να εγγυηθεί τη συμμετοχή των υπαλλήλων του οργανισμού προς αυτή την κουλτούρα. Ο Markarian²⁰ (2004) θεωρεί το 6 σίγμα ως μια αυστηρή μεθοδολογία από πάνω προς τα κάτω που απαιτεί λεπτομερή ανάλυση, αποφάσεις βάσει γεγονότων και σχέδιο ελέγχου για τη διασφάλιση του συνεχούς ποιοτικού ελέγχου μιας διαδικασίας. Αυτή η οργανωτική πτυχή φαίνεται επίσης στο έργο των Pheng και Hui²¹ (2004), οι οποίοι ορίζουν το 6 σίγμα ως ένα σύστημα «κουλτούρας και πεποιθήσεων» που καθοδηγεί τον οργανισμό να επανατοποθετηθεί στις επιχειρηματικές επιδόσεις της παγκόσμιας κλάσης ενισχύοντας τη λήψη αποφάσεων βασισμένη σε γεγονότα. Παρόμοιος ορισμός δίνεται και από τον Schroeder (2008)²² που θεωρεί το 6 σίγμα ως μια οργανωμένη δομή που χρησιμοποιεί ειδικούς για την βελτίωση διαδικασιών με σκοπό την επίτευξη των στρατηγικών στόχων της επιχείρησης.

- iv. Ο τέταρτος ορισμός αναφέρεται στο 6 σίγμα ως μεθοδολογία ανάλυσης που χρησιμοποιεί επιστημονικές μεθόδους. Οι Banuelas, Antony (2004)²³ και Thawani (2004)²⁴ το θεωρούν ως μια μεθοδολογία συνεχούς βελτίωσης σχεδιασμένη για τη μείωση της μεταβλητότητας των διαδικασιών και την εξάλειψη των ελαττωμάτων από τις επιχειρηματικές διαδικασίες. Οι Black και Revere (2006)²⁵ υποστηρίζουν επίσης, ότι το 6 σίγμα είναι μια δημοφιλής και ευρέως χρησιμοποιούμενη μεθοδολογία βελτίωσης της ποιότητας. Ο Kumar (2007)²⁶ υποστηρίζει ότι το 6 σίγμα αποτελεί μια επέκταση σε πρωτοβουλίες βελτίωσης της ποιότητας, όπως η Διαχείριση Ολικής Ποιότητας (Total Quality Management) λόγω των ομοιοτήτων μεταξύ της μεθόδου 6 σίγμα : Σχεδιασμός, Μέτρηση, Ανάλυση, Βελτίωση, Έλεγχος (Design, Measure, Analyse, Improve, Control - DMAIC) και του PDCA (Σχεδιάσμός-Εκτέλεση-Έλεγχος-Ενέργεια) του Deming . Η χρήση της μεθόδου DMAIC διαδοχικά μπορεί να βοηθήσει στην ενσωμάτωση των ανθρώπινων πτυχών (αλλαγή κουλτούρας, εκπαίδευση, εστίαση στους πελάτες) αλλά και των πτυχών των διαδικασιών (σταθερότητα και ικανότητα διαδικασιών, μείωση αποκλίσεων) εντός της εφαρμογής του 6 σίγμα(Antony, 2005)²⁷.
-

2.4 Η σημασία της διασφάλισης της ποιότητας

Η διασφάλιση της ποιότητας, αναφέρεται σε ένα ολοκληρωμένο σύστημα δραστηριοτήτων που περιλαμβάνει τον σχεδιασμό, τον ποιοτικό έλεγχο, την αξιολόγηση ποιότητας, αναφορές και βελτίωση της ποιότητας, ώστε να διασφαλιστεί ότι ένα προϊόν ή μια υπηρεσία πληροί καθορισμένα πρότυπα ποιότητας με ένα καθορισμένο επίπεδο εμπιστοσύνης²⁸. Η διασφάλιση ποιότητας βοηθά μια εταιρεία να ανταποκριθεί στις απαιτήσεις και τις προσδοκίες των πελατών της. Η υψηλή ποιότητα δημιουργεί εμπιστοσύνη με τους πελάτες, η οποία, με τη σειρά της, κάνει την εταιρεία πιο ανταγωνιστική στην αγορά. Επίσης, η διασφάλιση της ποιότητας εξοικονομεί κόστος και διορθώνει προβλήματα προτού γίνουν μεγαλύτερα και βοηθάει στον καθορισμό και τη διατήρηση ποιοτικών προτύπων αποτρέποντας τα προβλήματα στην αρχή. Η επένδυση στη διασφάλιση της ποιότητας είναι απαραίτητη σε πολλές βιομηχανίες σήμερα και είναι πιο αποτελεσματική όταν υλοποιείται από την αρχή. Όταν η διασφάλιση ποιότητας γίνεται σωστά, παρέχει εμπιστοσύνη, δοκιμάζει το προϊόν και επιτρέπει στις εταιρείες να εμπορεύονται τα προϊόντα τους με λιγότερες ανησυχίες και προβλήματα.

Κεφάλαιο 3. Εισαγωγή Διοίκηση Ολικής Ποιότητας

3.1 Ορισμός της Διοίκησης Ολικής Ποιότητας

Σύμφωνα με τον Κέφη (2014)²⁹ η Διοίκηση Ολικής Ποιότητας είναι μια φιλοσοφία η οποία δίνει βαρύτητα τόσο στην ικανοποίηση του πελάτη όσο και στην συνεχή βελτίωση και βασίζεται στην συνεργασία των ατόμων μιας επιχείρησης. Η Διοίκηση Ολικής Ποιότητας σχετίζεται με το σύνολο των ενεργειών που στοχεύουν στην άρτια χρήση των πόρων ενός οργανισμού έτσι ώστε να είναι ικανοποιημένα όλα τα εμπλεκόμενα μέρη³⁰. Αναλυτικότερα, η Διοίκηση Ολικής Ποιότητας είναι ένα ολοκληρωμένο σύστημα το οποίο στοχεύει στην επίτευξη της ποιότητας και στην συνεχή βελτίωση των επιχειρηματικών διαδικασιών. Σε αντίθεση με πολλές αντιλήψεις, η Διοίκηση Ολικής Ποιότητας δεν αποτελεί μια μέθοδο που στοχεύει στην βελτιστοποίηση της λειτουργικής διαδικασίας ενός οργανισμού αλλά ούτε και μια μέθοδο για τον προγραμματισμό εργασιών. Είναι μια μέθοδος που βοηθάει την προσαρμογή σε ένα μεταβαλλόμενο περιβάλλον και υποστηρίζει τις συνεχείς αλλαγές.

3.2 Βαθύτερη ανάλυση στην Διοίκηση Ολικής Ποιότητας και η εφαρμογή της στην Βιομηχανία

Τα βασικά χαρακτηριστικά της Διοίκησης Ολικής Ποιότητας περιλαμβάνουν την εστίαση προς τον πελάτη, την προτεραιότητα που δίνεται στους ανθρώπους, την ηγεσία της διοίκησης, τη μόνιμη βελτίωση, τη χρήση πληροφοριών και ανάλυσης, τον στρατηγικό και ποιοτικό σχεδιασμό, την κατάρτιση των εργαζομένων, την ενσωμάτωση των προμηθευτών καθώς και την πλήρη συμμετοχή και την ομαδική εργασία (Sureshchandar, 2001)³¹.

Η Διοίκηση Ολικής Ποιότητας είναι μια από τις πιο δημοφιλείς και ανθεκτικές στην πάροδο του χρόνου μορφές/ιδέες διοίκησης (Benavides-Velasco, 2014)³² και είναι στην ουσία μια συλλογή από αρχές και τεχνικές. Στις σημερινές επιχειρήσεις στον βιομηχανικό τομέα, υπάρχει μια αυξανόμενη αναγνώριση ότι οι μεμονωμένες βελτιώσεις σε συγκεκριμένες πτυχές της επιχείρησης δεν είναι πλέον επαρκείς και ότι απαιτείται μια ολιστική στρατηγική για να επιτευχθεί ανταγωνιστικό πλεονέκτημα. Αυτό μπορεί να επιτευχθεί μόνο με μια προσαρμογή της Διοίκησης Ολικής Ποιότητας που δεν σχετίζεται μόνο με τις υπηρεσίες και την ανάπτυξη διαδικασιών και την παράδοση παραγγελιών, αλλά σχετίζεται και με τη σχέση με τους προμηθευτές, τους πελάτες, τις εμπορικές και

διαχειριστικές διαδικασίες και τη συμβολή όλων των υπαλλήλων, ανεξάρτητα σε ποιες εργασίες της παραγωγής εμπλέκονται (Shan, 2013)³³.

Η Διοίκηση Ολικής Ποιότητας έχει εξελιχθεί σε τέσσερα στάδια: Επιθεώρηση Ποιότητας, Έλεγχος Ποιότητας, Διασφάλιση Ποιότητας και Διαχείριση Ολικής Ποιότητας. Η διαχείριση της ποιότητας υπήρξε μέρος των ανθρώπινων δραστηριοτήτων από πάντα. Ωστόσο, η πρώτη εμφανής επιθεώρηση ποιότητας που εφαρμόστηκε στην πράξη έγινε το 1910 στη Ford Motor Company κατά την παραγωγή του μοντέλου αυτοκινήτου "T". Η Ford Company απασχολούσε ομάδες επιθεωρητών για να δοκιμάσει ή να συγκρίνει το προϊόν σύμφωνα με τα πρότυπα του έργου που είχαν θέσει (Ali, 2008)³⁴. Οι επιθεωρητές συνέκριναν το προϊόν με τα καθορισμένα πρότυπα σε όλα τα στάδια που καλύπταν από την διαδικασία παραγωγής έως και την τελική παράδοση στον πελάτη (Ali, 2008). Ο στόχος της διενέργειας των επιθεωρήσεων ήταν να διαχωριστούν τα προϊόντα κακής ποιότητας από τα προϊόντα καλής ποιότητας με στόχο είτε να τα καταστρέψουν, είτε να επανεπεξεργαστούν είτε να τα πωλήσουν ως προϊόντα χαμηλότερης ποιότητας σε χαμηλότερες τιμές.

Το δεύτερο στάδιο Διοίκησης Ολικής Ποιότητας(έλεγχος ποιότητας) ήρθε ως αποτέλεσμα των βιομηχανικών εξελίξεων. Αυτό το στάδιο "ελέγχθηκε" μέσω των γραπτών προδιαγραφών, της επίβλεψης διαδικασιών, της τυποποίησης και της μέτρησης. Λίγο αργότερα κατά τον 2^ο παγκόσμιο πόλεμο, η επιθεώρηση στις βιομηχανικές μονάδες παραγωγής γινόταν με στατιστικό έλεγχο ποιότητας. Αυτές οι μέθοδοι αναπτύχθηκαν σε απάντηση προσπαθειών που αποσκοπούσαν στο διαχωρισμό των αποδεκτών προϊόντων από τα μη αποδεκτά προϊόντα χαμηλής ποιότητας (Mandalia, 2013)³⁵. Η αποδοχή των τεχνικών δειγματοληψίας και η ανάπτυξη διαγραμμάτων ελέγχου από τους Shewhart και Dodge-Roming το 1924-1931 βοήθησαν στην περαιτέρω προώθηση της Διοίκησης Ολικής Ποιότητας. Οι Shewhart και Dodge-Roming απέδειξαν ότι ο ποιοτικός έλεγχος θα μπορούσε να χρησιμοποιηθεί για το διαχωρισμό και τη διάκριση δύο τύπων αποκλίσεων στις διαδικασίες: αποκλίσεις λόγω τυχαίων αιτιών και αποκλίσεις λόγω ειδικών ή εκχωρημένων αιτιών. Ο Shewhart ανέφερε ότι ήταν δυνατόν η διαδικασία να μπορεί να λειτουργεί προβλέψιμα μέσω του διαχωρισμού των μεταβολών που συμβαίνουν λόγω των ειδικών αιτιών. Ο Shewhart σχεδίασε ένα διάγραμμα ελέγχου που στόχευε στη μείωση των στοιχείων μη συμμόρφωσης και στον έλεγχο της διαδικασίας παρακολούθησης της παραγωγής.

Το τρίτο στάδιο (διασφάλιση ποιότητας) ήταν το στάδιο στο οποίο η διασφάλιση ποιότητας αποτελούταν από όλα τα προηγούμενα στάδια. Αυτό παρείχε επαρκείς αποδείξεις ότι είτε μια

υπηρεσία είτε ένα προϊόν θα μπορούσε να ικανοποιήσει τις ανάγκες των πελατών. Άλλες δραστηριότητες, όπως η χρήση του κόστους ποιότητας, ο έλεγχος των συστημάτων ποιότητας, η ανάπτυξη του ελέγχου διεργασιών και τα εγχειρίδια ποιότητας αναπτύχθηκαν προκειμένου να βοηθήσουν στο να προχωρήσουμε περαιτέρω στην εποχή της διασφάλισης ποιότητας από την εποχή του ελέγχου ποιότητας. Η μεγάλη αλλαγή σε αυτό το στάδιο ήταν ο εντοπισμός δραστηριοτήτων και η πρόληψη κακής ποιότητας.

Το τελευταίο και τελευταίο στάδιο ήταν η Διοίκηση Ολικής Ποιότητας. Αυτό το στάδιο περιλάμβανε την κατανόηση των εννοιών και των αρχών διαχείρισης της ποιότητας και την εφαρμογή τους σε όλες τις πτυχές της επιχείρησης.

3.3 Γενικές αρχές της Διοίκησης Ολικής Ποιότητας

Σύμφωνα με τον Δερβιτσιώτη (2005)³⁶ για να εφαρμοστεί αποτελεσματικά η Διοίκηση Ολικής Ποιότητας πρέπει η επιχείρηση να αποδεχτεί και να εφαρμόσει ορισμένες αρχές στην διοίκηση κάποιων λειτουργιών της. Αυτές οι αρχές είναι:

i. Υποστήριξη και ενεργός συμμετοχή της διοίκησης

Οι περισσότερες επιχειρήσεις λειτουργούν με βάση την συμβατική διοίκηση η οποία δίνει προτεραιότητα στο κόστος και την διεκπεραίωση των παραγγελιών ενώ την ίδια στιγμή η ποιότητα έρχεται τελευταία. Αυτή η προσέγγιση βιάζεται στην ιδεολογία των επιχειρηματιών για βραχυπρόθεσμο κέρδος κάνοντας τους να εστιάζουν στην έγκαιρη παράδοση των παραγγελιών σε βάρος της ποιότητας επιτρέποντας έτσι ένα ποσοστό σκάρτων προϊόντων να φτάσει στους πελάτες. Αυτό οδηγεί στην μη ικανοποίηση των πελατών με αποτέλεσμα να μικρύνει το μερίδιο της αγοράς που κατέχει η επιχείρηση. Ακολουθώντας το μοντέλο της Διοίκησης Ολικής Ποιότητας η διοίκηση και ολόκληρος ο οργανισμός ενστερνίζεται το ότι η ποιότητα είναι η πρώτη προτεραιότητα. Έτσι ως αποτέλεσμα η επιχείρηση επιτυγχάνει μείωση του κόστους και τον περιορισμό άλλων προβλημάτων που οδηγεί σε μείωση του χρόνου ολοκλήρωσης των παραγγελιών.

ii. Εστίαση στις ανάγκες και τις προσδοκίες τόσο των πελατών όσο και των εργαζομένων

Ένα πολύ συχνό φαινόμενο κακής ποιότητας είναι η περιφρόνηση των αναγκών των πελατών κάποιας επιχείρησης. Για να είναι σε θέση η επιχείρηση να ικανοποιεί τις απαιτήσεις των πελατών της πρέπει να είναι σε θέση να γνωρίζει: 1) Ποιοι είναι οι πελάτες της, 2) Τις ανάγκες αυτών των πελατών, 3) Τις προσδοκίες τους από την αγορά κάποιου προϊόντος ή υπηρεσίας. Κατά την φάση του σχεδιασμού της ποιότητας, οι υπεύθυνοι, πρέπει να διεξάγουν τις απαραίτητες έρευνες πριν την

εισαγωγή του προϊόντος στην αγορά για να απαντήσουν στα παραπάνω ερωτήματα και σε τακτά χρονικά διαστήματα μετά την εισαγωγή του προϊόντος έτσι ώστε να γίνονται γνωστές οι πιθανές αλλαγές σ αυτά με σκοπό την καλύτερη ικανοποίηση των πελατών. Εφόσον γίνει κατανοητή η εστίαση στις ανάγκες και προσδοκίες τόσο των εξωτερικών όσο και των εσωτερικών πελατών τότε η Διοίκηση Ολικής Ποιότητας δίνει την δυνατότητα στην επιχείρηση να βελτιώσει την ποιότητα και των προϊόντων/υπηρεσιών αλλά και όλων των διαδικασιών παραγωγής τους.

iii. Έμφαση στην συνεχή βελτίωση

Η εστίαση στην πρόληψη αναγκάζει τις επιχειρήσεις στο να δίνουν μεγαλύτερη έμφαση στην σχεδίαση του προϊόντος ώστε τα χαρακτηριστικά του (λειτουργικά και αισθητικά) να καλύπτουν τις ανάγκες των πελατών της. Εκτός από τα λειτουργικά και αισθητικά χαρακτηριστικά εξίσου σημαντική είναι και η σωστή σχεδίαση και υλοποίηση της παραγωγικής διαδικασίας με σκοπό την αποφυγή ελαττωματικών. Όταν όμως η βελτίωση της ποιότητας εστιάζεται κατά κύρια βάση στον έλεγχο για ελαττωματικά αυτό συνεπάγεται με αυξημένο κόστος καθώς ο έλεγχος γίνεται σε μεταγενέστερα στάδια από εκείνα που γίνεται η επεξεργασία. Ο έλεγχος της ποιότητας αφού τελειώσει η παραγωγή δεν αυξάνει μόνο το κόστος από την συσσώρευση ελαττωματικών αλλά καθιστά δυσκολότερη την διαδικασία εντοπισμού των αιτιών. Έτσι με την εφαρμογή Διοίκησης Ολικής Ποιότητας καθ' όλη την σχεδίαση αλλά και την παραγωγική διαδικασία μπορεί έγκαιρα η επιχείρηση να προλάβει διαδικασίες και ενέργειες που αυξάνουν το κόστος επιτυγχάνοντας την ίδια στιγμή αύξηση της ποιότητας.

iv. Συμμετοχή των εργαζομένων

Ο παραδοσιακός τρόπος αντιμετώπισης της ποιότητας όπου οι εργαζόμενοι είχαν περιορισμένη ή καθόλου συμμετοχή έχει ως αποτέλεσμα την “μεταφορά” της ευθύνης σε ένα εξειδικευμένο τμήμα ελέγχου ποιότητας όπου τις περισσότερες εκτελεί τον ποιοτικό έλεγχο στο τέλος της παραγωγής. Αυτό γεννά δύο προβλήματα: 1) Εφησυχάζει τους εργαζόμενους ότι πιθανά προβλήματα ποιότητας θα γίνουν αντιληπτά και θα αντιμετωπιστούν από τους ειδικούς και 2) Η χρονική καθυστέρηση από την παραγωγή των ελαττωματικών έως και τον εντοπισμό τους από τους ειδικούς δυσκολεύει την διαδικασία διάγνωσης των αιτιών που προκάλεσαν το πρόβλημα. Με την εφαρμογή Διοίκησης Ολικής Ποιότητας οι εργαζόμενοι έχουν την δυνατότητα να παρεμβαίνουν στην παραγωγή με σκοπό να περιορίσουν τα ελαττωματικά αλλά και το δεύτερο πρόβλημα της χρονικής καθυστέρησης.

v. Λήψη αποφάσεων βασισμένη σε αντικειμενικά στοιχεία

Η σωστή συλλογή και ανάλυση δεδομένων είναι βασική προϋπόθεση για: 1) Τον προσδιορισμό του προβλήματος, 2) Την ανάλυση των αιτιών που το προκαλούν και 3) Την λήψη των αποφάσεων για την επίλυση του προβλήματος. Για να επιτευχθούν αποτελεσματικά και αποδοτικά τα παραπάνω η Διοίκηση Ολικής Ποιότητας απαιτεί συστηματική και συνεχή εκπαίδευση όπου:

-Πρέπει να ξεκινάει από την ανώτερη διοίκηση

-Να μην αντιδρά δραστικά σε μεμονωμένα συμβάντα αλλά να βασίζεται σε πιο γενικά χαρακτηριστικά και τάσεις

-Τα αρνητικά αποτελέσματα κάποιας ανάλυσης πρέπει να αντιμετωπίζονται ως ευκαιρίες για αντιμετώπιση προβλημάτων.

3.4 Αντικειμενικοί σκοποί της Διοίκησης Ολικής Ποιότητας

Σύμφωνα με τον Δερβιτσιώτη (2005)³⁶ η εφαρμογή των αρχών της Διοίκησης Ολικής Ποιότητας στηρίζεται στην πεποίθηση ότι η επιχείρηση θα γίνει πιο αποτελεσματική σε σχέση με την επίτευξη των στόχων της υλοποιώντας αυτόν τον νέο τρόπο διοίκησης. Οι αντικειμενικοί σκοποί που επιτυγχάνονται με την εφαρμογή της Διοίκησης Ολικής Ποιότητας είναι οι εξής:

➤ Αύξηση της ικανοποίησης του πελάτη

Στα σύγχρονα ανταγωνιστικά περιβάλλοντα, η επιβίωση και η ανάπτυξη των επιχειρήσεων είναι συνδεδεμένα με την ικανότητα της να αναπτύσσει και να διατηρεί ένα μερίδιο της αγοράς. Από την άλλη, η ικανότητα για προσέλκυση αλλά και διατήρηση πελατών είναι άρρηκτα συνδεδεμένη με την ποιότητα του συνολικού πακέτου προϊόν-εξυπηρέτηση. Για την μεγιστοποίηση της ικανοποίησης των πελατών η επιχείρησης πρέπει να επιδιώκουν συχνές βελτιώσεις τόσο στα λειτουργικά χαρακτηριστικά του προϊόντος όσο και στις υπηρεσίες μετρά την πώληση. Αυτό συνεπάγεται με την ανάγκη για συνεχείς βελτιώσεις όπου η Διοίκηση Ολικής Ποιότητας ακολουθεί, τόσο στην ποιότητα του ίδιου του προϊόντος όσο και της εξυπηρέτησης του.

➤ Διασφάλιση αποτελεσματικότητας σε σχέση με το κόστος λειτουργίας

Αυτό επιτυγχάνεται μέσα από την μείωση κάθε μορφής σπατάλης σε σχέση με το ποσοστό των σκάρτων, τον περιορισμό των περιττών εσωτερικών μεταφορών καθώς και με τον περιορισμό των αποθεμάτων των πρώτων υλών, ημικατεργασμένων και τελικών προϊόντων.

➤ Αυξημένη ικανότητα για ευελιξία, προσαρμοστικότητα και καινοτομία

Η αύξηση της ικανότητας τόσο για ευελιξία και προσαρμοστικότητα όσο και για καινοτομίες μέσα στην επιχείρηση μπορεί να υλοποιηθεί μέσα από τις αλλαγές των προϊόντων και των διαδικασιών αλλά και μέσα από τις αλλαγές των τάσεων της αγοράς και το πως όλα αυτά δεν επηρεάζουν την αποτελεσματικότητα και αποδοτικότητα του προϊόντος.

➤ Μείωση του χρόνου διεκπεραίωσης παραγγελιών

Όσο πιο άμεσα ικανοποιούνται οι παραγγελίες τόσο μεγαλύτερη αξία αποκτά η επιχείρηση. Οι μεγάλοι χρόνοι για την διεκπεραίωση παραγγελιών περιορίζουν την ευελιξία του πελάτη, δημιουργούν κόστος στην επιχείρηση χωρίς να δίνουν αξία στο προϊόν το οποίο συνεπάγεται με διάφορα προβλήματα ποιότητας.

➤ Το ανθρώπινο δυναμικό βελτιώνει την αποτελεσματικότητα του

Οι αντιλήψεις του συμβατικού μάνατζμεντ είχαν τους εργαζομένους να απασχολούνται με την εκτέλεση προβλεπόμενων διαδικασιών. Με αυτόν τον τρόπο έμενε αναξιοποίητη η κρίση, η δημιουργικότητα και η πείρα του ανθρώπινου δυναμικού πάνω στην αντιμετώπιση των επιχειρησιακών προβλημάτων που αντιμετώπιζε η εκάστοτε επιχείρηση. Με την Διοίκηση Ολικής Ποιότητας αναγνωρίζεται η πολυτιμότητα του ανθρώπινου δυναμικού ως ένας από τους σημαντικότερους συντελεστές της παραγωγικής διαδικασίας, όπου με την κατάλληλη και συνεχή εκπαίδευση συμβάλει στην ανάπτυξη του ανταγωνιστικού πλεονεκτήματος.

Κεφάλαιο 4. Εισαγωγή στην αλυσίδα εφοδιασμού και την αλυσίδα αξίας

4.1 Αλυσίδα εφοδιασμού και διαχείριση εφοδιαστικής αλυσίδας

Με τον όρο αλυσίδα εφοδιασμού εννοούμε την διαδικασία κατά τη οποία ένα προϊόν ή μία υπηρεσία μεταφέρεται από το σημείο παραγωγής στο σημείο παράδοσης. Ο όρος «Διαχείριση εφοδιαστικής αλυσίδας» είναι σχετικά νέος. Εμφανίστηκε για πρώτη φορά στη βιβλιογραφία των Logistics το 1982 ως προσέγγιση διαχείρισης αποθεμάτων με έμφαση στην προμήθεια πρώτων υλών (Oliver και Webber, 1982)³⁷. Γύρω στο 1990, οι ακαδημαϊκοί περιέγραψαν για πρώτη φορά την διαχείριση της εφοδιαστικής αλυσίδας από μια θεωρητική άποψη για να διευκρινίσουν το πώς διέφερε από τις πιο παραδοσιακές προσεγγίσεις σε θέματα όπως η διαχείριση της ροής των υλικών και η σχετική ροή των πληροφοριών (Cooper και Ellram, 1993). Η βιβλιογραφία για την διαχείριση της εφοδιαστικής αλυσίδας τονίζει την ανάγκη συνεργασίας μεταξύ πολλών διαδοχικών παραγόντων, από τον παραγωγό έως τους τελικούς καταναλωτές, με σκοπό την καλύτερη ικανοποίηση της ζήτησης της αγοράς, επιτυγχάνοντας χαμηλότερο κόστος (Lambert και Cooper, 2000). Κινητήρια δύναμη πίσω από τη διαχείριση της εφοδιαστικής αλυσίδας είναι η αναγνώριση ότι η βελτιστοποίηση προκύπτει εάν κάθε οργανισμός σε μια αλυσίδα εφοδιασμού προσπαθεί να βελτιστοποιεί τα δικά του αποτελέσματα αντί να ενσωματώνει τους στόχους και τις δραστηριότητές του για να βελτιστοποιήσει τα αποτελέσματα ολόκληρης της αλυσίδας (Cooper, 1997)³⁸. Η διαχείριση της εφοδιαστικής αλυσίδας επικεντρώνεται κατά κάποιο τρόπο στη διαχείριση των σχέσεων. Ορίζουμε την διαχείριση της εφοδιαστικής αλυσίδας ως τον ολοκληρωμένο σχεδιασμό, συντονισμό και έλεγχο όλων των επιχειρηματικών διαδικασιών και δραστηριοτήτων στην αλυσίδα εφοδιασμού με σκοπό την παροχή ανώτερης καταναλωτικής αξίας επιτυγχάνοντας μικρότερο κόστος στο σύνολό της αλυσίδας, ενώ ταυτόχρονα οι απαιτήσεις άλλων εμπλεκόμενων σε αυτήν ικανοποιούνται.

4.2 Η εξέλιξη της διαχείρισης εφοδιαστικής αλυσίδας

Στη δεκαετία του 1950 και του 1960, οι περισσότερες βιομηχανίες έδιναν έμφαση στη μαζική παραγωγή με σκοπό την ελαχιστοποίηση του κόστους παραγωγής ανά μονάδα προϊόντος, επιτρέποντας καθόλου ή ελάχιστη ευελιξία προϊόντος ή διαδικασίας. Στη δεκαετία του 1970, αναπτύχθηκε ο σχεδιασμός απαιτήσεων υλικών (MRP) και οι υπεύθυνοι συνειδητοποίησαν τον αντίκτυπο των τεράστιων αποθεμάτων στο κόστος παραγωγής, την ποιότητα, την ανάπτυξη προϊόντων και τον χρόνο παράδοσης. Ο έντονος παγκόσμιος ανταγωνισμός της δεκαετίας του 1980

ανάγκασε οργανισμούς παγκόσμιας κλάσης να προσφέρουν χαμηλού κόστους, υψηλής ποιότητας και αξιόπιστα προϊόντα με μεγαλύτερη ευελιξία στο σχεδιασμό. Οι κατασκευαστές χρησιμοποίησαν το Just-In-Time (JIT) και άλλα προγράμματα διαχείρισης για να βελτιώσουν την αποδοτικότητα και τους χρόνους παραγωγής. Η εξέλιξη της διαχείρισης της εφοδιαστικής αλυσίδας συνεχίστηκε στη δεκαετία του 1990 καθώς οι οργανισμοί επέκτειναν περαιτέρω τις βέλτιστες πρακτικές στη διαχείριση πόρων. Πολλοί κατασκευαστές και λιανοπωλητές υιοθετούν την έννοια της διαχείρισης της εφοδιαστικής αλυσίδας για τη βελτίωση της αποδοτικότητας και της αποτελεσματικότητας σε όλη την αλυσίδα εφοδιασμού.

4.3 Προβλήματα στην αλυσίδα εφοδιασμού

Όπως αναφέρθηκε παραπάνω η αλυσίδα εφοδιασμού περιλαμβάνει τον προγραμματισμό, σχεδιασμό και τη διαχείριση λειτουργιών που είναι απαραίτητες για τη μεταφορά ενός προϊόντος στην αγορά και αφορά από την προμήθεια υλικών έως την παράδοση του ολοκληρωμένου προϊόντος. Παρακάτω αναφέρονται πληροφορίες σχετικά με τις πτυχές και τα ζητήματα που προκύπτουν και πρέπει να αντιμετωπιστούν και να διαχειριστούν στην αλυσίδα εφοδιασμού.

➤ Προβλήματα με τις τεχνολογίες πληροφοριών και την διαχείριση πληροφοριών

Η έλευση του διαδικτύου και της ηλεκτρονικής επικοινωνίας επέτρεψε στις εταιρείες να ανταποκρίνονται και να επικοινωνούν με τους πελάτες τους πιο πολύ από ποτέ. (Sanchez και Perez, 2003). Ο Wieder (2006) εξέτασε τις λειτουργίες, τις τρέχουσες εξελίξεις και τη λογική πίσω από την ενσωμάτωση της πληροφορικής, αναλύοντας τα προβλήματα του επιχειρησιακού προγραμματισμού πόρων (ERP), της ηλεκτρονικής ανταλλαγής δεδομένων (EDI) και παρουσίασε τις λύσεις της διαχείρισης στην αλυσίδα εφοδιασμού. Η πλούσια εμπειρία των εταιρειών με συστήματα ERP τείνει να προσφέρει υψηλότερη συνολική απόδοση, παρ' όλα αυτά δεν βρέθηκαν στοιχεία για παρόμοια επίδραση στην απόδοση της αλυσίδας εφοδιασμού. Αντιθέτως, οι χρήστες του EDI αντιλήφθηκαν περισσότερα λειτουργικά οφέλη, αμοιβαία κατανόηση καθώς και λιγότερες τεχνικές και οργανωτικές δυσκολίες συγκριτικά με εκείνους που δεν το υιοθέτησαν (EDI). Οι πρακτικές ανταλλαγής πληροφοριών όπως το απόθεμα που διαχειρίζεται ο προμηθευτής (vendor managed inventory - VMI) παρέχουν στους κατασκευαστές πρόσβαση σε πιο ακριβείς πληροφορίες σχετικά με τη ζήτηση. Ο Smarog (2003)³⁹ χρησιμοποίησε προσομοίωση διακριτών συμβάντων για να εξετάσει το πώς ένας κατασκευαστής μπορεί να συνδυάσει παραδοσιακά δεδομένα παραγγελιών που διατίθενται από πελάτες εκτός VMI με δεδομένα πωλήσεων διαθέσιμα από πελάτες VMI στον έλεγχο παραγωγής και αποθέματος και τι αντίκτυπο θα έχει αυτό στην λειτουργική αποδοτικότητα του κατασκευαστή. Το βασικό εύρημα ήταν ότι ακόμη και για προϊόντα με σταθερή ζήτηση, η μερική

βελτίωση της ορατότητας της ζήτησης θα μπορούσε να βελτιώσει την απόδοση της παραγωγής και του ελέγχου των αποθεμάτων. Ένα άλλο εύρημα ήταν ότι η αξία της ορατότητας εξαρτάται σε μεγάλο βαθμό από τις συχνότητες αναπλήρωσης των προϊόντων-στόχων και τον κύκλο προγραμματισμού παραγωγής που χρησιμοποιεί ο κατασκευαστής.

➤ Προβλήματα διαχείρισης γνώσης

Η γνώση είναι κρίσιμη για τους οργανισμούς αφού σχετίζεται με την ικανοποίηση των αναγκών των πελατών, με την δημιουργία νέων προσαρμοσμένων προϊόντων και υπηρεσιών, καθώς και με την ταχύτερη και βελτιωμένη εξυπηρέτηση (Davenport και Klahr, 1998). Η γνώση υποδηλώνει το πνευματικό κεφάλαιο μιας εταιρείας: συμπεριλαμβανομένης της εργασιακής εμπειρίας, της τεχνογνωσίας και των βέλτιστων πρακτικών που μπορούν να αποκτηθούν και να μοιραστούν. Ο παγκόσμιος ανταγωνισμός και η επιτάχυνση των τεχνολογικών αλλαγών, ιδίως στην επικοινωνία των πληροφοριών και στις τεχνολογίες διαδικτύου καθιστούν τον ανταγωνισμό βασισμένο στην πληροφορία/γνώση επηρεάζοντας έτσι τη διαχείριση της αλυσίδας εφοδιασμού σε όλες τις επιχειρήσεις (Lang, 2001)⁴⁰. Ο Desouza⁴¹ (2003) συνέδεσε τον αντίκτυπο της οργανωτικής δομής στη μεταφορά γνώσης και την αξιοποίηση της μεταξύ των διαφορετικών λειτουργιών ενός οργανισμού. Η διαχείριση της γνώσης περιλαμβάνει άτομα και ομάδες, τόσο εντός όσο και μεταξύ των επιχειρήσεων, τη διαχείριση της “κρυφής” και φανεράς γνώσης για τη λήψη καλύτερων αποφάσεων καθώς και τη λήψη ενεργειών και την επίτευξη αποτελεσμάτων για την υποστήριξη της υποκείμενης επιχειρηματικής στρατηγικής (Horwitch και Armacost, 2002). Οι Alavi και Leidner, (1999) καθόρισαν τη διαχείριση γνώσης ως τη συστηματική και οργανωτικά καθορισμένη διαδικασία απόκτησης, οργάνωσης και επικοινωνίας πληροφοριών, έτσι ώστε οι εργαζόμενοι να μπορούν να τη χρησιμοποιήσουν για να γίνουν πιο αποτελεσματικοί και παραγωγικοί στην εργασία τους.

➤ Προβλήματα στην σχέση προμηθευτή - πελάτη

Η ικανοποίηση του πελάτη είναι αναγκαία και μπορεί να επιτευχθεί μόνο με την ταχεία ανταπόκριση των αναγκών τους. Η αποτελεσματική ανταπόκριση των καταναλωτών (ECR) είναι μια στρατηγική διαχείρισης της εφοδιαστικής αλυσίδας που επιχειρεί να αντιμετωπίσει τις ανεπάρκειες στην αλυσίδα (Hoffman και Mehra, 2000)⁴². Οι Sparks και Wagner⁴³ (2003) εξέτασαν την αποτελεσματική ανταπόκριση των καταναλωτών (ECR) ως στρατηγική της εφοδιαστικής αλυσίδας αναλύοντας την

υιοθέτηση της στρατηγικής αυτής (ECR) σε ορισμένες βιομηχανίες. Οι Jonsson και Zineldin⁴⁴ (2003) πρότειναν ένα εννοιολογικό μοντέλο που συμπεριλάμβανε και διαστάσεις συμπεριφοράς των σχέσεων προμηθευτή-εμπόρου και παρουσίασε υποθέσεις σχετικά με τον τρόπο επίτευξης ικανοποιητικών δια-οργανωτικών σχέσεων. Οι Lambert και Pohlen⁴⁵ (2001) παρείχαν ένα πλαίσιο για την ανάπτυξη μετρήσεων στην αλυσίδα εφοδιασμού που μετατρέπει την επιχειρησιακή απόδοση σε αξία μετόχου. Το πλαίσιο έδωσε έμφαση στη διαχείριση της αλληλεπίδρασης μεταξύ της διαχείρισης των σχέσεων πελατών και διαχείρισης σχέσεων προμηθευτή σε κάθε σύνδεσμο στην αλυσίδα εφοδιασμού. Συμπεραίνεται ότι οι μακροχρόνιες σχέσεις μεταξύ πελάτη και προμηθευτή μπορούν να οδηγήσουν σε μεγαλύτερη ικανοποίηση.

➤ Προβλήματα στη διαχείριση των logistics

Για πολλά χρόνια οι επαγγελματίες μπερδευόνταν μεταξύ των εννοιών «logistics» και «διαχείρισης αλυσίδας εφοδιασμού» και η χρήση κάθε όρου διέφερε ανάλογα με τον κλάδο. Ο Lummus⁴⁶ (2001) εξέτασε τους ιστορικούς ορισμούς και των δύο όρων και πρότεινε μια ιεραρχία για τη σχέση μεταξύ των logistics και της διαχείρισης της εφοδιαστικής αλυσίδας. Οι Meade και Sarkis⁴⁷ (2002) παρουσίασαν ένα πλαίσιο για τη διαχείριση των επιστροφών των προϊόντων σε αντίστροφα logistics, εστιάζοντας στα δεδομένα της ιδιοκτησίας των προϊόντων, τον μέσο κύκλο ζωής των προϊόντων, τις προηγούμενες πωλήσεις, την προβλεπόμενη ζήτηση και τον πιθανό αντίκτυπο των μέτρων περιβαλλοντικής πολιτικής. Παρατηρήθηκε ότι τα αντίστροφα logistics είναι μία από τις πιο δύσκολες προκλήσεις της αλυσίδας εφοδιασμού. Μόλις κατασκευαστεί το προϊόν, είναι πολύ σημαντικό να υπάρχει κατάλληλη δομή για τη διανομή του στους πελάτες. Ο Neves⁴⁸ (2001) και οι Ma - Davidrajuh⁴⁹ (2005) πρότειναν ένα μοντέλο σχεδιασμού καναλιών διανομής. Διερεύνησαν τη χρήση μιας επαναληπτικής προσέγγισης για το σχεδιασμό της αλυσίδας διανομής σε ένα ευέλικτο εικονικό περιβάλλον και απέδειξαν ότι η γρήγορη προσαρμογή στην μεταβαλλόμενη κατάσταση της αγοράς και η αυτοματοποίηση των διαδικασιών διαχείρισης της εφοδιαστικής αλυσίδας είναι απαραίτητες και συνεισφέρουν οικονομικά σε όλη την αλυσίδα.

➤ Περιβαλλοντικά προβλήματα

Η Power⁵⁰ (2005) παρουσίασε ένα εννοιολογικό πλαίσιο για τη διερεύνηση των σχέσεων προμηθευτή, της λιτής παραγωγής και των πρακτικών περιβαλλοντικής διαχείρισης καθώς και τη σχέση τους μεταξύ τους. Διαπιστώθηκε ότι οι προσπάθειες βελτίωσης της περιβαλλοντικής διαχείρισης ενός προμηθευτή εγείρουν κρίσιμα ζητήματα που αφορούν το κόστος συναλλαγής και της αποτελεσματικής προσέγγισης του αγοραστή. Συνιστάται να εισαχθεί μια περιβαλλοντική “κλίση” κατά την διαδικασία λήψης αποφάσεων που θα επιτρέπει πιο περιβαλλοντικά συνειδητές αποφάσεις να υλοποιούνται.

➤ Προβλήματα με την μέτρηση της απόδοσης στην εφοδιαστική αλυσίδα

Η μέτρηση της απόδοσης είναι πολύ σημαντική ως στρατηγικό εργαλείο και παρέχει μέσα για την επίτευξη των απαιτούμενων στόχων, εκπληρώνοντας την αποστολή / στρατηγική μιας εταιρείας. Πολλές εταιρείες έχει παρατηρηθεί ότι αξιολογούν την απόδοση, κυρίως με βάση το κόστος και την αποδοτικότητα (Skinner, 1971). Αυτό έχει ως αποτέλεσμα τα περισσότερα μέτρα να εστιάζονται σε οικονομικά δεδομένα, όπως η απόδοση της επένδυσης, η απόδοση των πωλήσεων, διακυμάνσεις τιμών, πωλήσεις ανά εργαζόμενο, παραγωγικότητα και κέρδος ανά μονάδα παραγωγής κ.λπ. Ως αποτέλεσμα της παγκοσμιοποίησης και του ανταγωνισμού, οι οργανισμοί άρχισαν να υιοθετούν καινοτόμες επιχειρηματικές πρακτικές και πρωτοβουλίες βελτίωσης της απόδοσης, όπως TQM, JIT και SCM.

➤ Προβλήματα που σχετίζονται με την εμπιστοσύνη και την αφοσίωση/δέσμευση

Οι δύο βασικές συνιστώσες για την βελτίωση μιας σχέσης είναι η εμπιστοσύνη και η αφοσίωση (De Ruyter, 2001). Η συνεργασία προκύπτει άμεσα και από την σχέση εμπιστοσύνης και δέσμευσης (Morgan και Hunt 1994). Σύμφωνα με προηγούμενες έρευνες, η εμπιστοσύνη έχει δύο διαστάσεις: «ειλικρίνεια» και «καλοσύνη» (Kumar et al. 1995). Υπάρχουν πολλές διαστάσεις εμπιστοσύνης στην απόδοση της αλυσίδας εφοδιασμού νέων προϊόντων όπως η εμπιστοσύνη στον προτιμώμενο εμπορικό εταίρο, πρέπει να τηρεί τις υποσχέσεις, να είναι ειλικρινείς, να έχει καλή φήμη, να υπάρχει ίσως στενή προσωπική φιλία ανάμεσα στον έμπορο και τον επιχειρηματία, κτλ (Batt 2003). Η εμπιστοσύνη είναι η πεποίθηση ότι οι συνεργάτες θα ενεργήσουν με τρόπους που θα φέρουν θετικά αποτελέσματα για την εταιρεία και δεν θέλουν να αναλάβουν απρόσμενες ενέργειες που μπορεί να φέρουν αρνητικό αποτέλεσμα (Anderson και Narus 1990). Η εμπιστοσύνη είναι ο βαθμός στον οποίο ο αγοραστής πιστεύει ότι ο

προμηθευτής διαθέτει την απαραίτητη τεχνογνωσία για να εκτελέσει τη δραστηριότητα αποτελεσματικά και αξιόπιστα (Ganeshan 1994)

4.4 Αλυσίδα αξίας

Μια γνωστή προσέγγιση για τη στρατηγική σκέψη και τη διαμόρφωση στρατηγικής, βασισμένη στην έννοια της αλυσίδας αξίας, εισήχθη πριν από περίπου 35 χρόνια από τον καθηγητή Michael Porter του Harvard Business School (Porter 1985)⁵¹. Η ιδέα της αλυσίδας αξίας βασίζεται στην παρακολούθηση των διαδικασιών των οργανισμών. Δηλαδή προσβλέπει στην αντιμετώπιση ενός οργανισμού ως ένα σύστημα, αποτελούμενο από μικρότερα υποσυστήματα - το καθένα από αυτά με εισόδους, διαδικασίες μετασχηματισμού και εξόδους. Οι εισοδοί, οι διαδικασίες μετασχηματισμού και οι έξοδοι περιλαμβάνουν την απόκτηση και κατανάλωση πόρων, όπως χρήμα, εργασία, υλικά, εξοπλισμός, κτίρια, διοίκηση και διαχείριση και άλλα. Ο τρόπος με τον οποίο πραγματοποιούνται οι δραστηριότητες της αλυσίδας αξίας καθορίζει το κόστος και επηρεάζει τα κέρδη. Οι περισσότεροι οργανισμοί συμμετέχουν σε εκατοντάδες, ακόμη και χιλιάδες, δραστηριότητες στη διαδικασία μετασχηματισμού των εισροών σε εκροές. Αυτές οι δραστηριότητες μπορούν να ταξινομηθούν σε κύριες και σε υποστηρικτικές δραστηριότητες. Σύμφωνα με τον Porter (1985), οι κύριες δραστηριότητες είναι:

- i. Εισερχόμενα Logistics: Περιλαμβάνει τις σχέσεις με τους προμηθευτές, τις δραστηριότητες που απαιτούνται πριν τον μετασχηματισμό των εισροών σε εκροές. Τέτοιες δραστηριότητες μπορεί να είναι η υποδοχή, η αποθήκευση και η εσωτερική διακίνηση των πρώτων υλών.
- ii. Παραγωγή: Περιλαμβάνει όλες τις δραστηριότητες που απαιτούνται για τη μετατροπή των εισροών σε εκροές (προϊόντα και υπηρεσίες). Τέτοιες δραστηριότητες είναι η κατεργασία, επεξεργασία, συναρμολόγηση, συσκευασία, συντήρηση εξοπλισμού και ο ποιοτικός έλεγχος.
- iii. Εξερχόμενα Logistics: Περιλαμβάνουν τις σχέσεις με πελάτες και όλες τις δραστηριότητες που απαιτούνται για τη συλλογή, αποθήκευση και διανομή του προϊόντος.
- iv. Μάρκετινγκ και Πωλήσεις: Αφορά τις δραστηριότητες ενημέρωσης του αγοραστικού κοινού για τα προσφερόμενα προϊόντα και υπηρεσίες, ωθούν τους καταναλωτές να τα αγοράσουν και διευκολύνουν την αγορά τους. Τέτοιες δραστηριότητες είναι η διαφήμιση, η διαχείριση πωλήσεων, η επιλογή του δικτύου πωλήσεων και η τιμολόγηση.
- v. Υπηρεσίες μετά την πώληση: Περιλαμβάνει όλες τις δραστηριότητες που απαιτούνται για να διατηρηθεί το προϊόν ή την υπηρεσία αποτελεσματική για τον αγοραστή μετά την πώληση και παράδοση. Τέτοιες δραστηριότητες είναι η τοποθέτηση, η επισκευή, η εκπαίδευση, η αναβάθμιση και άλλες αναλόγως το προϊόν ή την υπηρεσία.

Οι υποστηρικτικές λειτουργίες περιλαμβάνουν τις υποδομές (διοίκηση, νομικό τμήμα, το λογιστήριο και άλλα), την διοίκηση ανθρωπίνων πόρων (στελέχωση, προσέλκυση και εκπαίδευση), την

ανάπτυξη τεχνολογίας (νέα προϊόντα και διαδικασίες καθώς και έρευνα και ανάπτυξη) και τέλος τις προμήθειες (εξοπλισμός, πρώτες ύλες κτλ).

4.5 Τα οφέλη της ανάλυσης της αλυσίδας αξίας

Ο Porter⁵² (1985) εξηγεί ότι η ανάλυση της αξιακής αλυσίδας είναι ένα εργαλείο στρατηγικής ανάλυσης που χρησιμοποιείται για την καλύτερη κατανόηση του ανταγωνιστικού πλεονεκτήματος, για τον προσδιορισμό της αξίας των πελατών που αυξάνει ή μειώνει το κόστος και για την καλύτερη κατανόηση των σχέσεων της εταιρείας με προμηθευτές, πελάτες και άλλες εταιρείες στον κλάδο. Η αλυσίδα αξίας προσδιορίζει και συνδέει μια σειρά στρατηγικών δραστηριοτήτων της εταιρείας (Kaplinsky και Morris, 2001)⁵³. Ο Womack (1990) ορίζει την ανάλυση της αξιακής αλυσίδας ως «μια τεχνική που εφαρμόζεται ευρέως στους τομείς της διαχείρισης λειτουργιών, των τεχνικών διεργασιών και της διαχείρισης της εφοδιαστικής αλυσίδας, για την ανάλυση και την βελτίωση της χρήσης των πόρων και της ροής του προϊόντος στις διαδικασίες παραγωγής» Εναλλακτικά, οι Shank και Govindarajan (1992) ορίζουν την ανάλυση της αξιακής αλυσίδας ως εργαλείο για την κατανόηση των αλυσίδων αξίας που απαρτίζουν ένα προϊόν. Η αλυσίδα αξίας προέρχεται από δραστηριότητες όπως ο χειρισμός πρώτων υλών, η παράδοση του προϊόντος ή υπηρεσίας στους καταναλωτές και οι υπηρεσίες μετά την πώληση. Η φύση της αλυσίδας αξίας εξαρτάται από τη φύση της βιομηχανίας, επομένως η φύση της αλυσίδας αξίας για μια κατασκευαστική εταιρεία, μια εταιρεία παροχής υπηρεσιών και έναν μη κερδοσκοπικό οργανισμό θα είναι καθεμία διαφορετική. Η ανάλυση της αξιακής αλυσίδας βλέπει-αντιμετωπίζει μια εταιρεία ως μέρος της αλυσίδας αξίας ενός προϊόντος. Η αλυσίδα αξίας ενός προϊόντος είναι μια δραστηριότητα που ξεκινάει από τις πρώτες ύλες έως το χειρισμό της εξυπηρέτησης μετά την πώληση. Η αλυσίδα αξίας περιλαμβάνει τις δραστηριότητες που προκύπτουν λόγω της σχέσης με τους προμηθευτές και τις σχέσεις με τους καταναλωτές. Αυτές οι δραστηριότητες διαχωρίζονται αλλά εξαρτώνται πολύ μεταξύ τους (Porter, 1996)⁵⁴. Η ανάλυση της αξιακής αλυσίδας βοηθά τους μάνατζερ να κατανοήσουν τη θέση της εταιρείας στην αλυσίδα αξίας ενός προϊόντος και να ενισχύσουν το ανταγωνιστικό πλεονέκτημα του προϊόντος. Ο σκοπός της ανάλυσης της αξιακής αλυσίδας είναι να προσδιορίσει τα στάδια της αλυσίδας αξίας όπου η εταιρεία μπορεί να αυξήσει την αξία προς τον πελάτη ή να μειώσει το κόστος. Η μείωση των εξόδων ή η αύξηση της προστιθέμενης αξίας ενός προϊόντος θα καταστήσει την εταιρεία πιο ανταγωνιστική. Ο Fearne⁵⁵ (2012) δηλώνει ότι η προσέγγιση της ανάλυσης αλυσίδας αξίας είναι η βάση για την οικοδόμηση μιας βιώσιμης εταιρικής αξίας. Ένας οργανισμός πρέπει να παρέχει αξία για να

προσελκύσει και να διατηρήσει τους πελάτες του. Η αξία που παρέχεται στους πελάτες μέσω της μετατροπής πρώτων υλών και άλλων πόρων σε ορισμένα από τα προϊόντα ή τις υπηρεσίες είναι μέσα στις απαιτήσεις των πελατών. Η αξιολόγηση της αλυσίδας αξίας προσφέρει μια ολοκληρωμένη και προκλητική προσέγγιση για τον οργανισμό που εστιάζει στη δημιουργία και τη διατήρηση των πελατών και ως εκ τούτου δημιουργεί ένα πραγματικό ανταγωνιστικό πλεονέκτημα. Ο Keeney⁵⁶ (1992) πρότεινε έναν τρόπο σκέψης με επίκεντρο την αξία σε αντίθεση με την σκέψη εστιασμένοι στους στόχους σε μια κατάσταση λήψης αποφάσεων. Σύμφωνα με τον Keeney (1992) η προσοχή πρέπει να δίνεται σε ένα δίκτυο αξιών ως ένα σύνολο στόχων, προθέσεων, επιθυμητών αποτελεσμάτων και πλεονεκτημάτων από την λήψη των αποφάσεων.

Συνοψίζοντας η ανάλυση της αξιακής αλυσίδας βοηθά τις εταιρείες να κατανοήσουν την αλυσίδα αξίας που σχηματίζει ένα προϊόν. Οι εταιρείες πρέπει να είναι σε θέση να αναγνωρίζουν τη θέση της στο προϊόν ή τις υπηρεσίες που παρέχουν. Είναι πολύ σημαντικό για τον προσδιορισμό της ευκαιρίας από κάποια εταιρεία για τη βελτίωση της ανταγωνιστικότητας. Το πλαίσιο της αλυσίδας αξίας έχει υιοθετηθεί ως ένα ισχυρό εργαλείο ανάλυσης για τον στρατηγικό σχεδιασμό σε μεμονωμένες επιχειρηματικές μονάδες και επεκτάθηκε σε ολόκληρη την αλυσίδα εφοδιασμού. Οι Walters και Lancaster⁵⁷ (2000), για παράδειγμα, εφάρμοσαν μια στρατηγική αξίας αλυσίδας για να σχεδιάσουν σημαντικές δραστηριότητες που προσθέτουν αξία στη διαδικασία ανάπτυξης προϊόντων και παράδοσης σε διαφορετικούς ενδιαφερόμενους. Η στρατηγική απαιτεί μια σωστή δομή για τον συντονισμό των απαιτούμενων λειτουργιών για την εκτέλεση δραστηριοτήτων προστιθέμενης αξίας και μια σωστή επικοινωνιακή προσέγγιση για τον αποτελεσματικό συγχρονισμό των δραστηριοτήτων αυτών. Τέλος, ο Francis⁵⁸ (2008) εφάρμοσε τη μέθοδο ανάλυσης της αλυσίδας αξίας για να εξετάσει τον τομέα των υπηρεσιών βόειου κρέατος. Η αλυσίδα αξίας του βόειου κρέατος χαρακτηρίζεται από το υψηλό επίπεδο ρυθμιστικού ελέγχου, τις σχέσεις ισχύος και τα χαμηλά περιθώρια κέρδους. Η ανάλυση έδειξε ότι η συνεργασία μεταξύ παραγωγών και μεταποιητών θα μπορούσε να εξαλείψει την ανεπιθύμητη σπατάλη.

Κεφάλαιο 5. Εισαγωγή στην τεχνολογία

5.1 Τι είναι η τεχνητή νοημοσύνη (AI) και το machine learning

Η Τεχνητή Νοημοσύνη και το machine learning, είναι δύο λέξεις-κλειδιά που χρησιμοποιούνται συχνά ως το ένα έναντι του άλλου. Ωστόσο, αυτοί οι δύο όροι δεν έχουν την ίδια έννοια. Το AI μπορεί να οριστεί ως ένα έξυπνο σύστημα με δυνατότητα σκέψης και μάθησης⁵⁹. Είναι ένας όρος για ένα συνδυασμό υπολογισμών και μεθοδολογιών που επιτρέπουν στις μηχανές να εκτελούν ανθρώπινες ψυχολογικές ικανότητες όπως αυτή της σκέψης και της μάθησης όπως αναφέρθηκε παραπάνω. Το AI είναι το μείγμα του machine learning, της γνωστικής πληροφορικής (cognitive computing) και της επεξεργασίας φυσικών γλωσσών (Jiayinget, 2018)⁶⁰. Σήμερα, πολλές τεχνικές εμπίπτουν στην «ομπρέλα» του AI. Παραδείγματα αυτών είναι:

- νευρωνικά δίκτυα (neural networks) - η διαδικασία μέσω της οποίας οι μηχανές μαθαίνουν από δεδομένα μέσω της παρατήρησης, βρίσκοντας τις δικές τους λύσεις⁶¹
- βαθιά μάθηση (deep learning) - μια τεχνική που επιτρέπει στα υπολογιστικά μοντέλα πολλαπλών επιπέδων επεξεργασίας να μαθαίνουν και να αναπαριστούν δεδομένα με πολλαπλά επίπεδα αφαίρεσης που μιμούνται τον τρόπο με τον οποίο ο εγκέφαλος αντιλαμβάνεται και κατανοεί τις πολυτροπικές πληροφορίες⁶².

Σύμφωνα με τα παραπάνω, το machine learning θεωρείται καλύτερα ως ένα υποσύνολο του AI – η μηχανή μπορεί να προσαρμόσει τον δικό της αλγόριθμο στην εκάστοτε κατάσταση και να «μάθει», εξού και το σύστημα κυριολεκτικά επανα-κωδικοποιεί τον ίδιο του τον «εαυτό»⁶³. Σύμφωνα με την IBM⁶⁴ υπάρχουν τέσσερα βασικά βήματα για τη δημιουργία μιας εφαρμογής machine learning (ή ενός μοντέλου). Αυτά συνήθως εκτελούνται από επιστήμονες δεδομένων που συνεργάζονται στενά με τους επαγγελματίες των επιχειρήσεων για τους οποίους αναπτύσσεται το μοντέλο.

1. Επιλογή και προετοιμασία ενός συνόλου δεδομένων εκπαίδευσης: Τα δεδομένα εκπαίδευσης είναι ένα σύνολο δεδομένων αντιπροσωπευτικό των δεδομένων που το μοντέλο μηχανικής εκμάθησης θα απορροφήσει για να λύσει το πρόβλημα που έχει σχεδιαστεί για να λύσει.

2. Επιλογή ενός αλγορίθμου για να εκτελέσει (τρέξει) το σύνολο δεδομένων εκπαίδευσης: Ένας αλγόριθμος είναι ένα σύνολο βημάτων στατιστικής επεξεργασίας. Ο τύπος του αλγορίθμου εξαρτάται από τον τύπο και την ποσότητα δεδομένων εκπαίδευσης και από τον τύπο του προβλήματος που πρέπει να λυθεί.
3. Εκπαίδευση του αλγορίθμου για τη δημιουργία του μοντέλου: Η εκπαίδευση του αλγορίθμου είναι μια επαναληπτική διαδικασία - περιλαμβάνει την εκτέλεση μεταβλητών μέσω του αλγορίθμου, τη σύγκριση της εξόδου με τα αποτελέσματα που θα έπρεπε να είχε παράγει, τη ρύθμιση των προβλημάτων και των τάσεων εντός του αλγορίθμου που θα μπορούσαν να αποδώσουν ένα πιο ακριβές αποτέλεσμα, καθώς και την εκτέλεση των μεταβλητών ξανά μέχρι ο αλγόριθμος να επιστρέψει το σωστό αποτέλεσμα (τις περισσότερες φορές). Ο προκύπτων εκπαιδευμένος, ακριβής αλγόριθμος είναι το μοντέλο μηχανικής μάθησης - μια σημαντική διάκριση που πρέπει να σημειωθεί, επειδή ο «αλγόριθμος» και το «μοντέλο» χρησιμοποιούνται λανθασμένα το ένα έναντι του άλλου όπως αναφέρθηκε παραπάνω.
4. Χρήση και βελτίωση του μοντέλου: Το τελευταίο βήμα είναι να χρησιμοποιηθεί το μοντέλο με νέα δεδομένα και, στην καλύτερη περίπτωση, να βελτιωθεί η ακρίβεια και η αποτελεσματικότητα με την πάροδο του χρόνου. Από πού προέρχονται τα νέα δεδομένα θα εξαρτηθεί από το πρόβλημα που επιλύεται. Για παράδειγμα, ένα μοντέλο machine learning που έχει σχεδιαστεί για την αναγνώριση των ανεπιθύμητων μηνυμάτων θα λαμβάνει μηνύματα ηλεκτρονικού ταχυδρομείου, ενώ ένα μοντέλο machine learning που οδηγεί μια ηλεκτρική σκούπα ρομπότ θα απορροφά δεδομένα που προκύπτουν από την πραγματική αλληλεπίδραση με τα μετακινούμενα έπιπλα ή νέα αντικείμενα στο δωμάτιο.

5.2 Τι είναι το distributed digital ledger και το blockchain

Υπάρχουν πολλοί διαφορετικοί ορισμοί των συστημάτων distributed digital ledger στη βιβλιογραφία και πολλές δημοσιεύσεις για το θέμα εκθέτουν τον δικό τους μοναδικό ορισμό. Ορισμένοι ορισμοί είναι περιορισμένης έκτασης, άλλοι είναι πολύ εκτενείς ενώ μερικοί είναι αντιφατικοί με κάποιους άλλους. Κατά συνέπεια, δεν έχει ακόμη αναπτυχθεί ένας συνεκτικός ορισμός για το distributed digital ledger. Για παράδειγμα, η Παγκόσμια Τράπεζα (2017) περιγράφει τα συστήματα distributed digital ledgers ως «συγκεκριμένη εφαρμογή της ευρύτερης κατηγορίας των «κοινόχρηστων ledger», τα οποία ορίζονται ως κοινόχρηστα αρχεία δεδομένων σε διαφορετικά μέρη⁶⁵. Οι Pinna & Ruttenberg (2016) από την Ευρωπαϊκή Κεντρική Τράπεζα (ΕΚΤ) περιγράφουν το distributed digital ledger ως μια τεχνολογία που επιτρέπει στους χρήστες της να αποθηκεύουν και να έχουν πρόσβαση σε πληροφορίες σχετικά με ένα συγκεκριμένο σύνολο περιουσιακών στοιχείων και τους κατόχους τους σε μια κοινόχρηστη βάση δεδομένων. Αυτές οι πληροφορίες διανέμονται μεταξύ των χρηστών,

οι οποίοι στη συνέχεια μπορούν να τις χρησιμοποιήσουν για να διευθετήσουν τις μεταφορές τους, π.χ. μετρητά, χωρίς να χρειάζεται να βασίζονται σε ένα κεντρικό σύστημα επικύρωσης⁶⁶. Αντίθετα, η Τράπεζα της Αγγλίας (2017) παρέχει ένα σύνολο βασικών αρχιτεκτονικών χαρακτηριστικών που ορίζουν τα συστήματα distributed digital ledger: «Το distributed digital ledger είναι μια καταναμημένη βάση δεδομένων, με την έννοια ότι κάθε κόμβος έχει ένα συγχρονισμένο αντίγραφο των δεδομένων, αλλά διαφέρει από τις παραδοσιακές καταναμημένες βάσεις δεδομένων σε τρία σημαντικά πράγματα: (i) αποκέντρωση (ii) αξιοπιστία σε περιβάλλοντα χωρίς ασφάλεια (iii) κρυπτογράφηση». Η Τράπεζα της Αγγλίας συνοψίζει τον ορισμό της ως: «μια αρχιτεκτονική βάσης δεδομένων που επιτρέπει τη διατήρηση και κοινή χρήση αρχείων με καταναμημένο και αποκεντρωμένο τρόπο, διασφαλίζοντας ταυτόχρονα την ακεραιότητά της μέσω της χρήσης πρωτοκόλλων επικύρωσης βάσει συναίνεσης και κρυπτογραφικών υπογραφών»⁶⁷. Όλα τα αρχεία στο distributed digital ledger σφραγίζονται χρονικά και έχουν μια μοναδική κρυπτογραφική υπογραφή. Όλοι οι συμμετέχοντες στο distributed digital ledger μπορούν να δουν όλα τα εν λόγω αρχεία και τις κινήσεις τους. Η συγκεκριμένη τεχνολογία παρέχει ένα επαληθεύσιμο και ελεγχόμενο ιστορικό όλων των πληροφοριών και συναλλαγών που είναι αποθηκευμένες σε αυτό το συγκεκριμένο σύνολο δεδομένων.

Το Blockchain είναι από την άλλη είναι ένας τύπος distributed digital ledger, αλλά το distributed digital ledger δεν είναι ένας τύπος blockchain. Οι δύο αυτές τεχνολογίες είναι παρόμοιες, και συνδυάζονται, αλλά διαφέρουν. Το Blockchain είναι ένα decentralized public ledger που σκοπό έχει να διατηρεί ένα αρχείο όλων των δεδομένων των συναλλαγών που πραγματοποιούνται στο δίκτυό του. Κάθε διαφορετικός χρήστης αποτελεί κόμβο του δικτύου και διατηρεί ένα αντίγραφο ledger. Κάθε συναλλαγή στη βάση δεδομένων του blockchain επαληθεύεται από τους χρήστες που συμμετέχουν στο σύστημα, επομένως μια επαλήθευση τρίτων - εκτός συστήματος - δεν απαιτείται⁶⁸. Το 2008, ένας άγνωστος συγγραφέας, ο Nakamoto, έγραψε μια έκθεση για την επίτευξη μη αναστρέψιμης συναλλαγής χωρίς τη συμμετοχή τρίτων. Αυτό ήταν η πρώτη χρήση του blockchain, η τεχνολογία πίσω από την κρυπτογράφηση bitcoin⁶⁹. Ας υποθέσουμε ότι ο χρήστης Α θέλει να μεταφέρει χρήματα ή δεδομένα στον χρήστη Β. Όταν συμβαίνει αυτή η συναλλαγή, αντιπροσωπεύεται ως block/κομμάτι που μεταδίδεται σε όλους τους κόμβους/χρήστες του δικτύου. Στη συνέχεια, οι χρήστες πρέπει να επαληθεύσουν εάν αυτή η συναλλαγή είναι έγκυρη. Σε γενικές γραμμές το blockchain είναι μια λίστα block/κομματιών που περιλαμβάνει όλες τις συναλλαγές που

έχουν γίνει ποτέ⁷⁰. Τα blocks/κομμάτια είναι ορατά σε όλους τους χρήστες, αλλά δεν είναι δυνατή η επεξεργασία τους. Το blockchain είναι μια κατανεμημένη ρύθμιση που επιτρέπει την ψηφιακή καταγραφή συναλλαγών και την κοινή τους χρήση μεταξύ των κόμβων του δικτύου αντί να αποθηκευτεί σε ένα κεντρικό διακομιστή.

Τα τρέχοντα πλαίσια blockchain κατηγοριοποιούνται σε τρεις τύπους⁷¹⁷²:

- i. δημόσια ή με περιορισμένη άδεια blockchain όπου ο οποιοσδήποτε μπορεί να γράφει ή να διαβάζει δεδομένα μέσα στο blockchain. Υπάρχουν και περιπτώσεις όπου κάποια δημόσια blockchain έχουν περιορισμούς στην πρόσβαση είτε σε ανάγνωση είτε σε γραφή.
- ii. ιδιωτικά ή με άδεια blockchain όπου όλοι οι εμπλεκόμενοι είναι γνωρίζονται εκ των προτέρων και είναι αξιόπιστοι. Το δικαίωμα επεξεργασίας για γραφή διατηρείται κεντρικά από έναν οργανισμό. Το δικαίωμα για ανάγνωση μπορεί είτε να είναι ανοιχτό για δημόσια χρήση είτε να περιορίζεται σε μία συγκεκριμένη έκταση.
- iii. blockchain κοινοπραξίας όπου μέσα από ένα προ-επιλεγμένο σύνολο των κόμβων ελέγχεται η διαδικασία συναίνεσης. Αυτά τα blockchain μπορούν να θεωρηθούν και ως «μερικώς αποκεντρωμένα» καθώς το δικαίωμα ανάγνωσης του blockchain μπορεί να είναι είτε για δημόσια χρήση είτε για περιορισμένη χρήση στους συμμετέχοντες.

5.3 Τι είναι το digital twin

Η προέλευση του Digital Twin αποδίδεται στον Michael Grieves και τη δουλειά του με τον John Vickers της NASA, με τον Grieves να παρουσιάζει την ιδέα σε μια διάλεξη για τη διαχείριση του κύκλου ζωής του προϊόντος το 2003⁷³. Σε μια εποχή που ο Grieves περιγράφει τις εικονικές αναπαραστάσεις προϊόντων ως κάτι «... σχετικά νέο και αχαρτογράφητο» και τα δεδομένα που συλλέγονται σχετικά με φυσικά προϊόντα «... περιορισμένα, χειροκίνητα και κυρίως σε χαρτί», οι Grieves και Vickers είδαν έναν κόσμο όπου ένα εικονικό μοντέλο ενός προϊόντος θα παρέχει τις βάσεις για τη διαχείριση του κύκλου ζωής του. Η αρχική περιγραφή ορίζει το Digital Twin ως μια εικονική αναπαράσταση ενός φυσικού προϊόντος που περιέχει πληροφορίες για το εν λόγω προϊόν. Σε μια πρόσφατη έκθεση⁷⁵ Ο Grieves επεκτείνεται σε αυτόν τον ορισμό περιγράφοντας το Digital Twin ως αποτελούμενο από τρία συστατικά, ένα φυσικό προϊόν, μια εικονική αναπαράσταση αυτού

του προϊόντος και τις αμφίδρομες συνδέσεις δεδομένων (από τη φυσική στην εικονική αναπαράσταση καθώς και πληροφορίες και διαδικασίες από την εικονική αναπαράσταση στο φυσικό προϊόν). Οι εικονικοί χώροι αποτελούνται από διάφορους αριθμούς υπό-χώρων που επιτρέπουν συγκεκριμένες εικονικές λειτουργίες όπως: μοντελοποίηση, δοκιμή, βελτιστοποίηση κ.λπ. Σε μια μεταγενέστερη έκθεση⁷⁴, ο Grieves ευθυγράμμισε περαιτέρω το Digital Twin με τον κύκλο ζωής του προϊόντος μέσα από την επέκταση της έννοιας μέσω της εισαγωγής του Digital Twin Prototype, Digital Twin Instance, Digital Twin Aggregate και Digital Twin Environment. Στο πλαίσιο του κύκλου ζωής του, το Digital Twin ξεκινά τη ζωή ως Digital Twin Prototype (φάση σχεδίασης). Το Digital Twin Instance δημιουργείται για κάθε κατασκευασμένο προϊόν κατά τη φάση της υλοποίησης και η συσσώρευση των Instances αποτελεί το Digital Twin Aggregate. Τόσο τα Instances όσο και το Aggregate υπάρχουν μέσα στο Digital Twin Environment - την εικονική αναπαράσταση του περιβάλλοντος μέσα στο οποίο υπάρχει το φυσικό προϊόν - που επιτρέπει εικονικές τεχνικές όπως προσομοίωση, μοντελοποίηση και αξιολόγηση. Το Digital Twin Instances / Aggregates και το Environment παραμένουν πέραν της πραγματικής ζωής του φυσικού προϊόντος, το οποίο έχει ημερομηνία λήξης. Αυτή η βασική ιδέα του Digital Twin προβλεπόταν ως ένα σύστημα που συνδυάζει φυσικές οντότητες με εικονικά μέρη, αξιοποιώντας τα οφέλη τόσο του εικονικού όσο και του φυσικού περιβάλλοντος προς όφελος ολόκληρου του συστήματος. Το προϊόν σε δημιουργία, αποθηκεύεται, αξιολογείται και η γνώση που παράχθηκε εφαρμόζεται στο τρέχον προϊόν, καθώς και στα μελλοντικά προϊόντα. Με την επίβλεψη του Grieves, αυτή η διαδικασία στην ουσία επιτρέπει την διαχείριση και τη βελτίωση ενός προϊόντος καθ' όλη τη διάρκεια του κύκλου ζωής του.

Η ζωή ενός Digital Twin ξεκινά με εμπειρογνώμονες στα εφαρμοσμένα μαθηματικά ή την επιστήμη των δεδομένων που ερευνούν τη φυσική και τα λειτουργικά δεδομένα ενός φυσικού αντικειμένου ή συστήματος προκειμένου να αναπτύξουν ένα μαθηματικό μοντέλο που προσομοιώνει το πρωτότυπο. Οι προγραμματιστές που δημιουργούν τα Digital Twin διασφαλίζουν ότι το μοντέλο εικονικού υπολογιστή μπορεί να λάβει ανατροφοδότηση από τους αισθητήρες που συλλέγουν δεδομένα από το πραγματικό στοιχείο. Αυτό επιτρέπει στην ψηφιακή έκδοση να μιμείται και να προσομοιώνει ότι συμβαίνει με την αρχική έκδοση σε πραγματικό χρόνο, δημιουργώντας ευκαιρίες για τη συλλογή πληροφοριών σχετικά με την απόδοση και πιθανά προβλήματα. Ένα Digital Twin μπορεί να είναι όσο περίπλοκο ή όσο απλό χρειάζεται η εκάστοτε βιομηχανία, με διαφορετικές ποσότητες δεδομένων που καθορίζουν την ακρίβεια που θέλουν να προσομοιώνει τη φυσική έκδοση του πραγματικού στοιχείου. Το Digital Twin μπορεί να χρησιμοποιηθεί για να προσφέρει ανατροφοδότηση για το προϊόν καθώς έχει αναπτυχθεί ή μπορεί ακόμη και να λειτουργήσει ως πρωτότυπο από μόνο του για να μοντελοποιήσει τι θα μπορούσε να συμβεί με μια φυσική έκδοση όταν κατασκευαστεί.

5.4 Τι είναι τα Big Data και το Big Data analytics

Ο όρος "Big Data" εφαρμόστηκε πρόσφατα σε σύνολα δεδομένων που καθίστανται δύσκολο να δουλέψει και να αντλήσει κάποιος πληροφορίες από αυτά με τη χρήση παραδοσιακών συστημάτων διαχείρισης βάσεων δεδομένων. Πρόκειται για σύνολα δεδομένων των οποίων το μέγεθος είναι πέρα από την ικανότητα των κοινώς χρησιμοποιούμενων εργαλείων λογισμικού και συστημάτων αποθήκευσης να συλλάβουν, να αποθηκεύουν, να διαχειρίζονται, καθώς και να επεξεργάζονται⁷⁵. Τα μεγάλα μεγέθη δεδομένων αυξάνονται συνεχώς, κυμαίνονται από μερικές δεκάδες tera-bytes (TB) έως πολλά petabytes (PB) δεδομένων σε ένα μόνο σύνολο δεδομένων. Κατά συνέπεια, μερικές από τις δυσκολίες που σχετίζονται με τα μεγάλα δεδομένα περιλαμβάνουν τη λήψη, αποθήκευση, αναζήτηση, κοινή χρήση, ανάλυση και οπτικοποίηση. Σήμερα, οι επιχειρήσεις διερευνούν μεγάλο όγκο - πολύ λεπτομερών - δεδομένων, ώστε να ανακαλύψουν γεγονότα που δεν γνώριζαν πριν.⁷⁶ Τα τρία κύρια χαρακτηριστικά που χαρακτηρίζουν τα Big Data είναι: ο όγκος τους, η ποικιλία τους και ταχύτητα τους (3V - Volume, Variety, Velocity). Ο όγκος των δεδομένων αφορά το μέγεθός του και το πόσο μεγάλο είναι. Η ταχύτητα αναφέρεται στο ρυθμό με τον οποίο αλλάζουν τα δεδομένα ή στη συχνότητα δημιουργίας τους. Τέλος, η ποικιλία περιλαμβάνει τις διαφορετικές μορφές και τύπους δεδομένων, καθώς και τα διαφορετικά είδη χρήσεων και τρόπων ανάλυσης των δεδομένων⁷⁷.

Ως εκ τούτου, τα Big Data Analytics είναι εκεί όπου εφαρμόζονται προηγμένες αναλυτικές τεχνικές σε μεγάλα σύνολα δεδομένων. Τα Analytics που βασίζονται σε μεγάλα δείγματα δεδομένων, ωστόσο, όσο μεγαλύτερο είναι το σύνολο των δεδομένων, τόσο πιο δύσκολο είναι να το διαχειριστεί κανείς⁷⁸. Σύμφωνα με τους Labrinidis και Jagadish (2012)⁷⁸, το Big Data Analytics αναφέρεται σε μεθόδους που χρησιμοποιούνται για την εξέταση και την επίτευξη γνώσης από τα μεγάλα σύνολα δεδομένων (Big Data Sets). Έτσι, το Big Data Analytics μπορεί να θεωρηθεί ως μια υπο-διαδικασία σε ολόκληρη τη διαδικασία εξαγωγής πληροφοριών από τα Big Data. Είναι βέβαιο ότι για να μπορέσουν τα Big Data να πραγματοποιήσουν τους στόχους τους στο επιχειρηματικό περιβάλλον, απαιτούνται τα σωστά εργαλεία και οι σωστές προσεγγίσεις για να αναλυθούν και να ταξινομηθούν (Al Nuaimi, Al Neyadi, Mohamed, & Al-Jaroodi, 2015)⁷⁹. Με λίγα λόγια, Το Big Data analytics είναι η διαδικασία συλλογής, οργάνωσης και ανάλυσης μεγάλων συνόλων δεδομένων (Big Data Sets) με σκοπό την ανακάλυψη μοτίβων και άλλων χρήσιμων πληροφοριών. Τα Big Data analytics μπορούν να

βοηθήσουν τους οργανισμούς να κατανοήσουν καλύτερα τις πληροφορίες που περιέχονται στα δεδομένα και επίσης βοηθήσουν στον προσδιορισμό των δεδομένων που είναι πιο σημαντικά για την επιχείρηση και τις μελλοντικές επιχειρηματικές αποφάσεις. Οι αναλυτές που συνεργάζονται με τα Big Data συνήθως θέλουν τη γνώση που προέρχεται από την ανάλυση των δεδομένων.

Ερευνητικό Μέρος

Κεφάλαιο 1. Επισκόπηση του προβλήματος

1.1 Τα δεδομένα

Η αξιοπιστία ενός βιομηχανικού συστήματος (συνδυασμός ανθρώπων, μηχανών και εξοπλισμού) επηρεάζει μια σειρά από δείκτες απόδοσης όπως τα κόστη παραγωγής, κόστη συντήρησης, κόστη διαχείρισης ανταλλακτικών και άλλα, με αποτέλεσμα εν τέλη να επηρεάζεται η παραγωγικότητα και τα έσοδα της εκάστοτε βιομηχανίας. Αυτό συμβαίνει γιατί η χαμηλή αξιοπιστία ενός βιομηχανικού συστήματος υποδηλώνει μεταξύ άλλων ότι τα μηχανήματα θα έχουν συχνές βλάβες το οποίο συνεπάγεται με συχνές διακοπές κατά την παραγωγή το οποίο είναι καταστροφικό για οποιαδήποτε βιομηχανία.

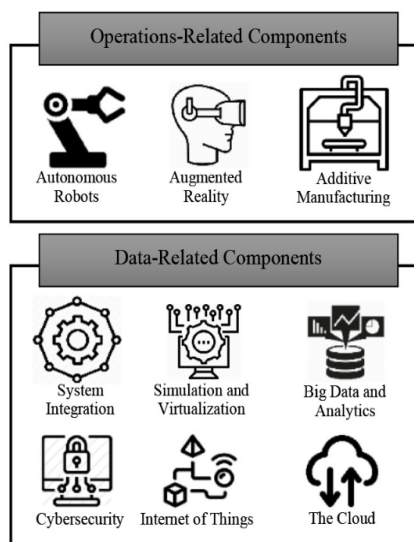
Με την εμφάνιση της 4^{ης} βιομηχανικής επανάστασης παρουσιάζονται συνεχώς νέες ευκαιρίες αυτοματοποίησης διεργασιών επιτρέποντας έτσι την συλλογή νέων τύπων δεδομένων⁸⁰ τα οποία μεταξύ άλλων σχετίζονται και με την αλληλεπίδραση ανθρώπου-μηχανής. Η 4^η βιομηχανική επανάσταση μεταμόρφωσε τα παραδοσιακά εργοστάσια σε έξυπνα, τα οποία χαρακτηρίζονται από διαδικασίες που περιλαμβάνουν αλληλοσυνδεδεμένες εργασίες, εργαλεία, καθώς και λειτουργίες logistics. Οι διαδικασίες αυτές, όπως είναι λογικό δημιουργούν μεγάλες ποσότητες δεδομένων που μπορούν να χρησιμοποιηθούν για περαιτέρω αναλύσεις και προβλέψεις, καθώς και για τη βελτιστοποίηση της ποιότητας των παραγωγικών εργασιών και των προϊόντων. Ωστόσο, μια σημαντική πρόκληση για την Βιομηχανία είναι η αξιοπιστία των δεδομένων⁸¹. Αυτό, μπορεί να διευκολυνθεί εξαιτίας της ανάπτυξης προηγμένων και αποτελεσματικών μεθόδων ανάλυσης δεδομένων και την μετατροπή αυτών σε αποφάσεις.

Όλες οι βιομηχανίες έχουν επηρεαστεί από αυτές τις τεχνολογίες και τις αξιοποιούν με σκοπό να βελτιώσουν την παραγωγή τους⁸² σε όρους κέρδους, μείωση κόστους, εμπειρίας πελάτη, ενεργειακής απόδοσης, ποιότητας και άλλα. Η εμφάνιση και η ανάπτυξη της 4^{ης} βιομηχανικής επανάστασης γέννησε σημαντική πίεση προς τις βιομηχανίες ως προς την συλλογή και ανάλυση των δεδομένων, προκειμένου να παραμείνουν ανταγωνιστικοί στην αγορά, η οποία αναμένεται να είναι αρκετά σκληρή για τις μικρομεσαίες επιχειρήσεις λόγω των περιορισμένων πόρων που διαθέτουν.

Εννέα κύριες συνιστώσες της 4^{ης} βιομηχανικής επανάστασης έχουν αναγνωριστεί ως οι κύριοι παράγοντες ανάπτυξης και «προσέγγισης» της⁸³: System Integration, Big Data and Analytics,

Simulation and Virtualization, Internet of Things (IoT), The Cloud, Cybersecurity, Autonomous Robots, Augmented Reality, and Additive Manufacturing. Η βάση αυτών των εννέα συνιστωσών είναι τα δεδομένα και η επεξεργασία τους με σκοπό να επιτυγχάνεται και να επιτρέπεται η αυτοματοποίηση και η βελτίωση των βιομηχανικών και άλλων σχετικών διαδικασιών.

Οι περισσότερες από αυτές τις συνιστώσες (6 στις 9) παρέχουν πολλή χρήσιμη υποστήριξη για τη συλλογή, αποθήκευση και επεξεργασία δεδομένων, όπως φαίνεται στο σχήμα 1, όπου βάσει των χαρακτηριστικών τους χωρίζονται στις συνιστώσες διαδικασιών και συνιστώσες δεδομένων.



Σχήμα 1 – Συνιστώσες 4^{ης} Βιομηχανικής Επανάστασης

Το «έξυπνο» εργοστάσιο⁸⁴ και γενικότερα ο ψηφιακός μετασχηματισμός της βιομηχανικής παραγωγής χαρακτηρίζονται από:

- Την οριζόντια ολοκλήρωση (Horizontal Integration) μέσω των δικτύων: Από τη στιγμή λήψης της παραγγελίας μέχρι και τον εξωτερικό εφοδιασμό, τα δίκτυα έχουν την δυνατότητα να αυτο-οργανώνονται σε πραγματικό χρόνο.
- Την ψηφιοποίηση σε ολόκληρη την αλυσίδα αξίας: Από τη διοίκηση ανθρωπίνων πόρων και την εσωτερική υποδομή της παραγωγής έως τη λειτουργία χειρισμού εξερχομένου εφοδιασμού, το μάρκετινγκ και τις πωλήσεις.
- Την κάθετη ολοκλήρωση (vertical integration) και τα δικτυωμένα συστήματα παραγωγής: Τα πληροφοριακά συστήματα συνεργάζονται μέσω αισθητήρων, ελέγχοντας την παραγωγή και την εκτέλεση των διαδικασιών. Τόσο οι παραγωγικές διαδικασίες όσο και ο αυτοματισμός σχεδιάζονται, αναπτύσσονται και λειτουργούν ψηφιακά σε μια ολοκληρωμένη διαδικασία.

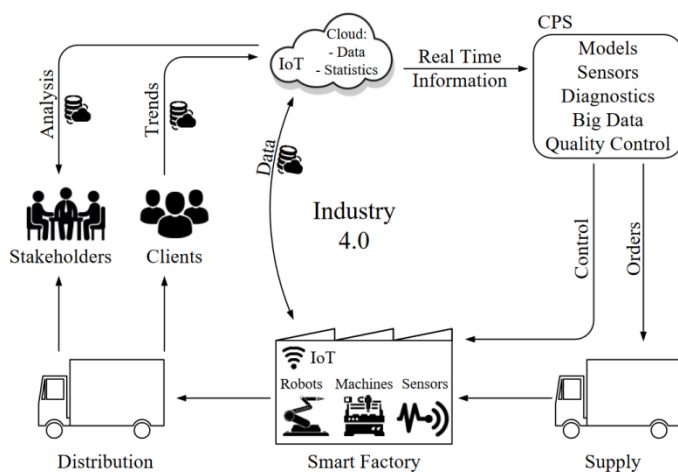
1.2 Η σύνδεση του ποιοτικού ελέγχου και της Βιομηχανίας 4.0

Η βιομηχανία 4.0 καλύπτει ένα ευρύ φάσμα τεχνολογιών που επιτρέπουν την ανάπτυξη και βελτίωση της αλυσίδας αξίας. Μέσω της χρήσης αυτών των τεχνολογιών είναι δυνατή η μείωση των χρόνων παραγωγής και η βελτίωση της ποιότητας τόσο της οργανωσιακής απόδοσης όσο και του τελικού προϊόντος.⁸⁵ Τα συνδυασμένα δεδομένα που προκύπτουν από τις διαφορετικές διαδικασίες της βιομηχανικής παραγωγής (και όχι μόνο) επιτρέπουν τον εντοπισμό οποιουδήποτε προϊόντος, εξοπλισμού καθώς και οποιεσδήποτε σχετικές πληροφορίες.⁸⁶ Η αξία των συνδυασμένων δεδομένων για την βιομηχανία είναι, όπως αναφέρει ο Gifford⁸⁷ για να διαβιβάσουν την αποτελεσματική λειτουργία μέσω ενός αυστηρότερου ελέγχου του εξοπλισμού, της ενεργειακής απόδοσης, της ποιότητας και της αξιοπιστίας και όλα αυτά σε πραγματικό χρόνο. Ο στόχος που πηγάζει από την αξιοποίηση των συνδυασμένων δεδομένων είναι το κέρδος μέσα από την μείωση του συνολικού κόστους του παραγόμενου προϊόντος.⁸⁸ Προκειμένου να επιτευχθεί ένας τέτοιος στόχος είναι απαραίτητο να βελτιωθεί η ευελιξία των βιομηχανικών συστημάτων παραγωγής.⁸⁹ Ένα τέτοιο μοντέλο παραγωγής αλλά με αυξημένη πολυπλοκότητα είναι η παραγωγή μικρότερων παρτίδων ενός προϊόντος σε μικρότερα χρονικά διαστήματα. Η αποκεντρωτικότητα όλων των δομών της παραγωγής είναι ένας από τους στόχους της βιομηχανίας 4.0 που μεταξύ άλλων συμβάλλει στην μείωση της πολυπλοκότητας.⁹⁰ Δεδομένου ότι πρέπει να επιτευχθεί ένα υψηλό επίπεδο παραγωγικότητας για να παραμείνει ανταγωνιστική οποιαδήποτε βιομηχανική μονάδα καθώς και για την παροχή όλο και πιο προσαρμοσμένων προϊόντων που συμβάλλουν στην επίτευξη του ανταγωνιστικού πλεονεκτήματος της, η 4^η βιομηχανική επανάσταση επικεντρώνεται στη βελτίωση της ανταγωνιστικότητας μέσω της μείωσης τους κόστους και την αύξηση της ευελιξίας του αποκεντρωμένου συστήματος παραγωγής.⁹¹

Ωστόσο η ποιότητα δέχεται πλήγμα όταν κατασκευάζονται προσαρμοσμένα-προϊόντα σε μικρές παρτίδες καθώς γίνεται ολοένα και πιο δύσκολο να χρησιμοποιηθούν κοινές μέθοδοι για τον έλεγχο της ποιότητας⁹² καθώς και για τον έλεγχο της διαδικασίας παραγωγής.⁹³ Αυτό σημαίνει ότι είναι πιθανό να ληφθούν λανθασμένες αξιολογήσεις ποιότητας και να υπάρχουν ψευδείς συναγερμοί λόγω έλλειψης δειγμάτων δεδομένων και εσφαλμένων μετρήσεων.

Γι' αυτόν τον λόγο είναι ιδιαίτερα σημαντικό να ενσωματωθούν και να εφαρμοστούν τα εργαλεία της βιομηχανίας 4.0 στον ποιοτικό έλεγχο με σκοπό να αυξηθεί η ακρίβεια των μετρήσεων. Η ενσωμάτωση ενός δικτύου από ασύρματους σένσορες και IoT αποτελεί σημαντική πρόκληση και αν

εφαρμοστεί σωστά θα οδηγήσει σε σωστότερες αποφάσεις από την διοίκηση και τους μηχανικούς κατά την βιομηχανική παραγωγή. Κατά συνέπεια με την χρήση του Machine Learning και των Smart Sensors τα σφάλματα/παρατυπίες θα μπορούσαν να αντιμετωπιστούν αυτόματα κατά την παραγωγική διαδικασία με σκοπό τη διασφάλιση της καλύτερης δυνατής ποιότητας του τελικού προϊόντος.⁹⁴ Όπως φαίνεται και από το σχήμα 2, ο ποιοτικός έλεγχος θα μπορούσε να παίξει ένα



Σχήμα 2 – Ποιοτικός έλεγχος καθόλα την αλυσίδα εφοδιασμού

πολύ σημαντικό ρόλο την βιομηχανία 4.0 μέσα από την ολοένα και πιο διαδεδομένη χρήση αισθητήρων (sensors) στους χώρους όπου γίνεται η παραγωγή (shop floors). Εκεί δηλαδή όπου οι υπεύθυνοι ποιότητας θα έχουν την δυνατότητα να συλλέγουν όσο το δυνατόν περισσότερα δεδομένα κάνοντας κατά συνέπεια πιο πιθανή τη δυνατότητα εντοπισμού ελαττωμάτων όπου σε άλλες συνθήκες δεν θα είχαν βρεθεί. Η δυνατότητα καταγραφής του 100% των δεδομένων των μετρήσεων που προφέρουν οι σένσορες σημαίνει ότι τα καταγεγραμμένα δεδομένα για τον ποιοτικό έλεγχο δεν θα χρειάζονται πλέον στατιστικά εργαλεία ανάλυσης δεδομένου ότι κάθε ελαττωματικό κομμάτι ή προϊόν θα μπορούσε να εντοπιστεί αμέσως και να διαχωριστεί.⁹⁵ Ωστόσο, η βελτίωση της ακρίβειας των μετρήσεων για την βελτίωση της ποιότητας του τελικού προϊόντος δεν αποτελεί την μόνη συμβολή της Βιομηχανίας 4.0. Άλλα εργαλεία της βιομηχανίας 4.0 συμβάλλουν σε άλλα στάδια της βιομηχανικής παραγωγής όπως η βελτίωση της ποιότητας των πληροφοριών για βελτιστοποίηση διαδικασιών, προγραμματισμό, ποιότητα προβλέψεων, προσομοιώσεις και άλλα.

1.3 Συμπέρασμα

Λαμβάνοντας υπόψη τα Α, Β της επισκόπησης του προβλήματος, οι λύσεις που προτείνει η παρούσα διατριβή επιτρέπουν την υλοποίηση μιας πλήρως λειτουργικής, αναπαραγωγίσιμης και εκμεταλλεύσιμης λύσης από πολλούς βιομηχανικούς κλάδους, μέσω της χρησιμοποίησης Digital Twins, έξυπνων αισθητήρων (Sensors), Τεχνητή Νοημοσύνη (AI), Data Analytics και Blockchain για την εφαρμογή ποιοτικού ελέγχου στην έξυπνη βιομηχανία. Η συνδυασμένη χρησιμοποίηση των παραπάνω τεχνολογιών καθώς και η εισαγωγή της αλυσίδας εφοδιασμού ως το βασικότερο σημείο αναφοράς για την βελτίωση της ποιότητας καθιστά την παρακάτω λύση καινοτόμα και πρωτότυπη καθώς μετά από βιβλιογραφική έρευνα δεν έχει ξανά παρουσιαστεί κάτι παρόμοιο.

Κεφάλαιο 2. Στόχος

Ο κύριος στόχος της παρούσας μεταπτυχιακής διατριβής είναι ο σχεδιασμός νέων λύσεων που βασίζονται σε τεχνολογίες όπως το Agent-based Digital Twin, το AI (τεχνητή νοημοσύνη) και το Blockchain με σκοπό την βελτιστοποίηση της ποιότητας κατά την παραγωγική διαδικασία καθώς και των προϊόντων των εμπλεκόμενων στην αλυσίδα εφοδιασμού, σύμφωνα με τις απαιτήσεις των πελατών σε όρους ποιότητας, ακρίβειας και ορθότητας δεδομένων. Η σημασία της εισαγωγής της αλυσίδας εφοδιασμού ως ένα επιπλέον επίπεδο αναφοράς έγκειται στη δυνατότητα αποφυγής ενός «domino effect» στη διάδοση φυσικών ελαττωμάτων, από την πρώτη ύλη έως τελικό προϊόν καθώς επίσης και της διασφάλισης της ακεραιότητας των δεδομένων κατά τη πορεία του προϊόντος στην αλυσίδα εφοδιασμού. Σε αντίθεση με τις προηγούμενες τρεις, η Τέταρτη Βιομηχανική Επανάσταση είναι θεμελιωδώς διαφορετική επειδή αξιοποιεί την συνδεσιμότητα και την επικοινωνία μεταξύ δισεκατομμυρίων συσκευών. Αυτές οι αναδυόμενες τεχνολογίες μαζί με τον τεράστιο όγκο δεδομένων που παράγεται και διανέμεται σε πραγματικό χρόνο μεταμορφώνουν την βιομηχανία και τις παραγωγικές διαδικασίες σε μια παγκόσμια αλυσίδα εφοδιασμού και αλλάζουν τον τρόπο αλληλεπίδρασης μεταξύ των ανθρώπων (καταναλωτών και συμμετεχόντων στην αλυσίδα εφοδιασμού) και των μηχανών. Αυτή η τεράστια ποσότητα των δεδομένων που παράγεται στην αλυσίδα εφοδιασμού δεν μπορεί να υποβληθεί σε αποτελεσματική επεξεργασία χρησιμοποιώντας παραδοσιακές μεθόδους επεξεργασίας. Αυτό συνεπάγεται με την ανάγκη για προσεγγίσεις τεχνολογιών επεξεργασίας Big Data αλλά και AI (τεχνητής νοημοσύνης) στον έλεγχο ποιότητας. Στο πλαίσιο αυτό, η παρούσα διπλωματική διατριβή στοχεύει στην ανάπτυξη έξυπνων συστημάτων ελέγχου ποιότητας για τα προϊόντα και το data upstream της αλυσίδας εφοδιασμού μέσω ενός distributed ledger (blockchain). Ο πραγματικός χρόνος και η έγκαιρη αναγνώριση των αποκλίσεων και τάσεων, που εκτελούνται σε τοπικό επίπεδο (shop floor/ εγκαταστάσεις), επιτρέπουν την πρόληψη και την αποτροπή δημιουργίας ελαττωμάτων σε ένα συγκεκριμένο στάδιο της αλυσίδας εφοδιασμού (καθολικό επίπεδο) και τη διάδοση/μεταφορά τους σε μεταγενέστερες διαδικασίες, επιτρέποντας έτσι στο σύστημα ελέγχου που θα αναπτυχθεί να είναι προγνωστικό και προληπτικό.

Το πλαίσιο που προτείνεται στην παρούσα διατριβή για έλεγχο ποιότητας στην έξυπνη βιομηχανία χρησιμοποιεί τις εξής τεχνολογίες:

➤ Ενσωμάτωση ελέγχου διαδικασιών και ποιότητας χρησιμοποιώντας μια Agent-based Digital Twin αρχιτεκτονική

Η επιλογή αυτής της λύσης βασίζεται στα εγγενή χαρακτηριστικά της. Αναλυτικότερα, τα Digital Twin ενός φυσικού αντικείμενου ή κάποιας διαδικασίας έχουν την δυνατότητα να παρέχουν παρακολούθηση και αξιολόγηση σε πραγματικό χρόνο. Αυτά τα χαρακτηριστικά της συγκεκριμένης τεχνολογίας είναι ιδιαίτερα κατάλληλα για την εφαρμογή ελέγχου τόσο σε βιομηχανικές

εγκαταστάσεις (τοπικό επίπεδο/shop floor) όσο και σε επίπεδο εφοδιαστικής αλυσίδας (καθολικό επίπεδο) με σκοπό την επίτευξη τμηματοποίησης (modular programming), προσαρμοστικότητας και επαναδιαμόρφωσης όταν και εφόσον χρειάζεται ενώ ταυτόχρονα θα απλοποιεί διαδικασίες.

Το Agent-based Digital Twin θα ενσωματώνει το ψηφιακό μοντέλο των φυσικών στοιχείων και διαδικασιών με πληροφορίες που θα παρέχονται με συστήματα ελέγχου ποιότητας. Οι λύσεις Digital Twin, θα βοηθήσουν τις εταιρείες στο να καθορίζουν τις βέλτιστες ενέργειες που θα συμβάλλουν στην μεγιστοποίηση των βασικών μετρήσεων απόδοσης τους, (παραγωγικότητα εξοπλισμού, χρόνος διάθεσης στην αγορά, ποιότητα των παραγόμενων προϊόντων, μείωση της σπατάλης κ.α.) καθώς επίσης και στην παροχή προβλέψεων για μακροπρόθεσμο προγραμματισμό και οργάνωση. Τα δεδομένα του παραγωγικού εξοπλισμού (μηχανήματα κ.α.) και της ποιότητας του προϊόντος θα φορτώνονται σε πραγματικό χρόνο στο Digital Twin έτσι ώστε να επιτρέπει την προσομοίωση και την δοκιμή αποτελεσματικών ενεργειών.

➤ Έξυπνα εργαλεία επιθεώρησης (σένσορες, ενεργοποιητικοί μηχανισμοί κ.α)

Τα έξυπνα εργαλεία επιθεώρησης θα είναι σχεδιασμένα να τοποθετούνται στις βιομηχανικές εγκαταστάσεις και θα σχετίζονται με τις διαδικασίες παραγωγής και τον ποιοτικό έλεγχο. Τα έξυπνα εργαλεία επιθεώρησης θα έχουν την δυνατότητα να προσαρμόζουν την «συμπεριφορά» τους σε πραγματικό χρόνο με σκοπό να ελέγχουν τα ποσοστά της αβεβαιότητας σε περιπτώσεις όπου υπάρχουν παρεκκλίσεις στις διαδικασίες ή στις παραμέτρους των προϊόντων. Επίσης, θα μπορούν να μετατρέπουν τα ανεπεξέργαστα δεδομένα σε κατανοητή μορφή και να εξάγουν συνθετικούς δείκτες ποιότητας. Τέλος, τα έξυπνα εργαλεία θα έχουν τη δυνατότητα να υλοποιούν αυτο-διάγνωση και αυτο-ρύθμιση με σκοπό να μεγιστοποιούν το επίπεδο ακεραιότητας των δεδομένων που εξάγουν.

➤ Big Data Analytics και προσεγγίσεις AI (Τεχνητής Νοημοσύνης)

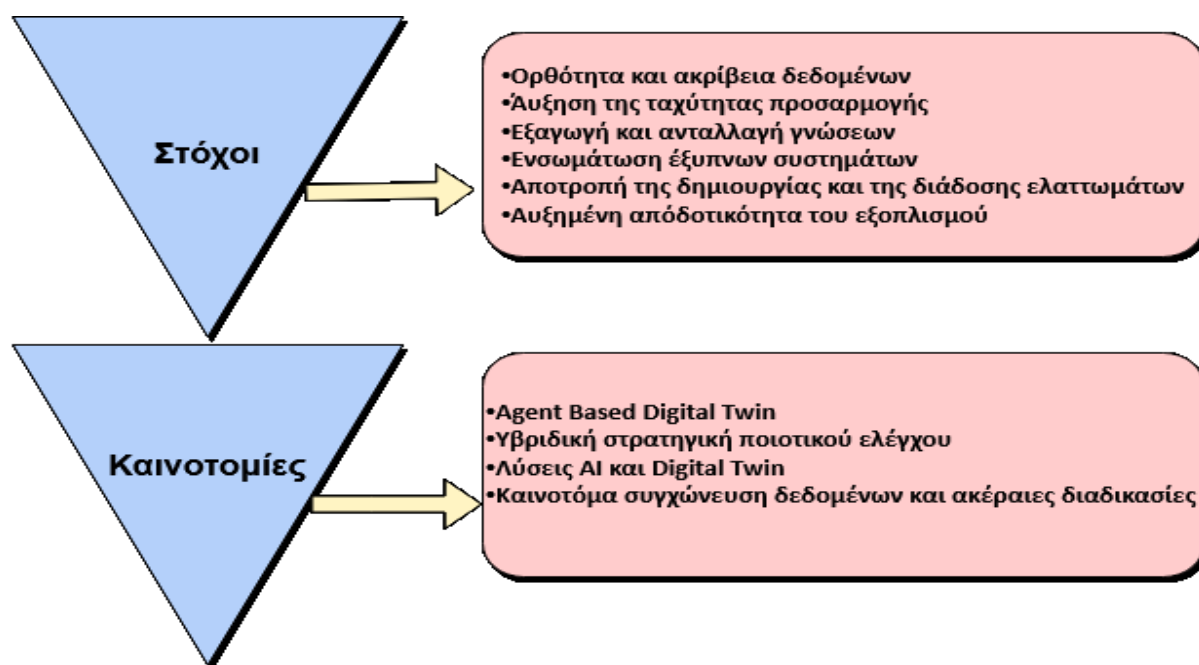
Οι αναλύσεις Big data αλλά και η χρησιμοποίηση προσεγγίσεων AI (τεχνητής νοημοσύνης) θα χρησιμεύσουν στην επεξεργασία της ποιότητας των δεδομένων αλλά και των προβλέψεων τόσο σε τοπικό επίπεδο (shop floor/βιομηχανικές εγκαταστάσεις) όσο και σε καθολικό (εφοδιαστική αλυσίδα). Τα χαρακτηριστικά των παραπάνω αναλύσεων και τεχνολογιών θα επιτρέπουν τον έγκαιρο και σε πραγματικό χρόνο εντοπισμό των τάσεων και παρεκκλίσεων των διαδικασιών. Επιπλέον, θα δημιουργούν συσχετίσεις μεταξύ των μεταβλητών του data upstream και downstream έτσι ώστε να επιτρέπεται η ενημέρωση των παραμέτρων των επόμενων διαδικασιών καθώς και τα όρια αποδοχής για ελέγχους ποιότητας.

➤ Επικύρωση δεδομένων, ακεραιότητα δεδομένων και ιχνηλασιμότητα ανταλλακτικών εξαρτημάτων, μηχανημάτων και προϊόντων μέσα από ένα distributed ledger (Blockchain)

Οι βασικές τεχνολογίες της 4^{ης} βιομηχανικής επανάστασης παρέχουν στις εταιρείες νέες δυνατότητες για ανάλυση και πρόβλεψη προβλημάτων ποιότητας, παράδοσης του προϊόντος, αλλά

και νέες προκλήσεις που συνδέονται με την αξιοπιστία, την ακεραιότητα, τη διατήρηση, τη διασφάλιση της ακρίβειας και της συνοχής των δεδομένων καθ' όλη τη διάρκεια του κύκλου ζωής τους. Τα προϊόντα και τα ανταλλακτικά μηχανημάτων είναι συχνά δύσκολο να εντοπιστούν πίσω στους προμηθευτές, καθιστώντας τα ελαττώματα δύσκολο να εξαλειφθούν. Σε αυτό το πλαίσιο, η τεχνολογία distributed ledger (Blockchain) θα εφαρμοστεί τόσο σε τοπικό όσο και σε καθολικό επίπεδο με σκοπό να δημιουργήσει αξιόπιστες συναλλαγές μέσω ενός έξυπνου κώδικα. Αυτό που προτείνεται, είναι μια αρχιτεκτονική υλοποίησης όπου ο κύριος στόχος είναι η χρήση της τεχνολογίας του Blockchain για τον έλεγχο εγκυρότητας των συμβολαίων, συμβάσεων των προϊόντων καθώς και η ιχνηλασιμότητα τους κατά μήκος της αλυσίδας εφοδιασμού.

Οι παραπάνω στόχοι επιτρέπουν την υλοποίηση μιας πλήρως λειτουργικής, αναπαραγωγίσιμης και εκμεταλλεύσιμης λύσης από πολλές βιομηχανίες, μέσω της χρησιμοποίησης Digital Twins, έξυπνων αισθητήρων (Sensors), Τεχνητής Νοημοσύνης (AI), Data Analytics και Blockchain για την εφαρμογή ποιοτικού ελέγχου στην έξυπνη βιομηχανία.



Σχήμα 3 – Στόχοι και Καινοτομίες

Κεφάλαιο 3. Αναλυτικοί στόχοι

Στόχος 1: Ανάπτυξη έξυπνων online εργαλείων (αισθητήρες, ενεργοποιητικοί μηχανισμοί) για Έλεγχο Ποιότητας στην έξυπνη βιομηχανία:

Μια στρατηγική ελέγχου ποιότητας απαιτεί αξιόπιστη πληροφόρηση για την υποστήριξη μιας οποιασδήποτε απόφασης. Η αξιόπιστη πληροφόρηση έχει ανάγκη τα μετρήσιμα δεδομένα της παραγωγικής διαδικασίας και του προϊόντος. Ωστόσο, σε ένα πραγματικό σενάριο παραγωγής, η διαθεσιμότητα των δεδομένων δεν εγγυάται από μόνη της την αποτελεσματική εξαγωγή της πληροφορίας. Συγκεκριμένα, η αβεβαιότητα των μετρήσεων πρέπει να γίνεται γνωστή, να τίθεται υπό έλεγχο και να διαχειρίζεται επαρκώς ώστε να διασφαλίζεται η εμπιστοσύνη των μετρήσιμων δεδομένων σε ένα συγκεκριμένο επίπεδο της παραγωγής.

Για τον σκοπό αυτό, η παρούσα διατριβή προτείνει την εφαρμογή συστημάτων διασφάλισης ποιότητας (αναφέρονται παρακάτω και ως «online εργαλεία ελέγχου» ή «συστήματα διασφάλισης ποιότητας») τα οποία θα έχουν την δυνατότητα να παρουσιάζουν «έξυπνες συμπεριφορές». Αυτές οι έξυπνες συμπεριφορές των online εργαλείων ελέγχου θα εμπεριέχουν συνεχή προσαρμογή των λειτουργιών ανίχνευσης τους στο μεταβλητό προϊόν κατά την παραγωγή του, συνεχή προσαρμογή στις παραμέτρους των διαδικασιών αλλά και στα χαρακτηριστικά του ίδιου του προϊόντος καθώς επίσης και στις περιβαλλοντολογικές αλλαγές που ίσως επηρεάζουν την παραγωγική διαδικασία και το ίδιο το προϊόν, όπως και αισθητήρες με δυνατότητα αυτοδιάγνωσης και αυτοπροσαρμογής.

Επιπρόσθετα, τα έγκυρα μετρήσιμα δεδομένα θα επεξεργάζονται σε τοπικό επίπεδο (shop floor/βιομηχανικές εγκαταστάσεις) ώστε να μπορεί να εξαχθεί ουσιαστική διαγνωστική πληροφορία, που θα υποστηρίζει την λήψη αποφάσεων. Τα δεδομένα που επεξεργάστηκαν σε τοπικό επίπεδο θα μοιράζονται στην αλυσίδα εφοδιασμού (καθολικό επίπεδο) με την απαραίτητη ποσότητα λεπτομέρειας η οποία θα μπορεί να αξιοποιηθεί διαφορετικά κατά μήκος της αλυσίδας.

Τέλος, η επεξεργασία πρωτογενών δεδομένων για τη διάγνωση σφαλμάτων θα γίνεται σε διαφορετικά επίπεδα, αναλόγως με το σενάριο παραγωγής που εφαρμόζεται, υλοποιώντας έτσι ένα τμ ηματοποιημένο και προσαρμοστικό έλεγχο ποιότητας, ικανό να συνδέει και να εφαρμόζει ανάλυση σε βάθος, όποτε αυτό χρειαστεί, μιας και πιθανές παρεκκλίσεις μπορούν να συμβούν αν μειωθούν οι έλεγχοι τη στιγμή που η παραγωγή είναι θεωρητικά υπό έλεγχο. Αυτό μπορεί να επιφέρει αναπροσαρμογή στον καθορισμό των κατώτατων και ανώτατων ορίων ελέγχου, στην επιλογή διαφορετικών διαγνωστικών αλγορίθμων, στην προσθήκη ή αφαίρεση συγκεκριμένων συναρτήσεων ελέγχου και μια σειρά άλλων επιθεωρήσεων. Τέτοιες προσαρμοστικές συμπεριφορές θα ενεργοποιούνται μοιράζοντας επεξεργασμένη πληροφορία (για παράδειγμα διάγνωση σφαλμάτων) με άλλες up-stream ή down-stream διαδικασίες. Η αρχιτεκτονική αυτού του εργαλείου μαζί με την ικανότητα της επεξεργασίας που διαθέτει θα αξιοποιηθεί για την εφαρμογή τέτοιων έξυπνων συμπεριφορών σε online εργαλεία ελέγχου.

Εξακρίβωση: παρουσίαση τουλάχιστον μιας έξυπνης συμπεριφοράς (όπως αυτοπροσαρμογή, αυτοδιάγνωση, αυτορρύθμιση) στην βιομηχανία που θα εφαρμοστεί.

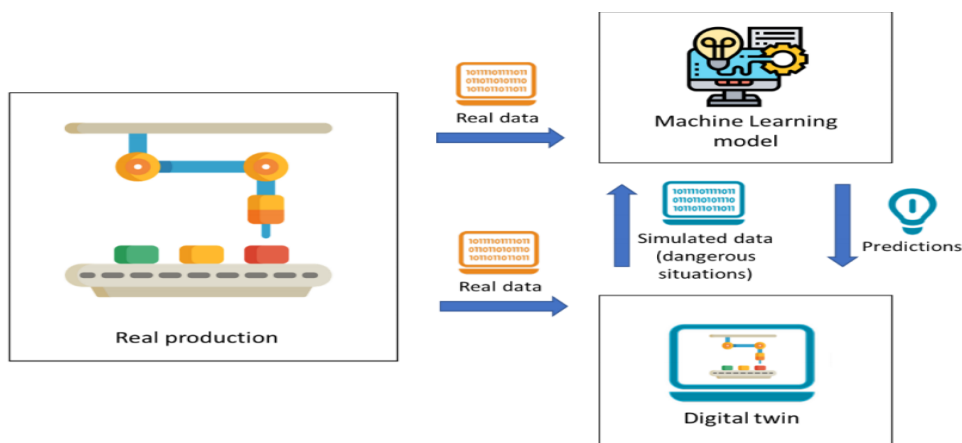
Κύρια αξιοποιήσιμα αποτελέσματα: Συσκευές έξυπνων αισθητήρων και ποιοτικοί έλεγχοι.

Στόχος 2: Data analytics και εργαλεία AI (τεχνητής νοημοσύνης) για τον Έλεγχο Ποιότητας:

Η παρούσα διατριβή στοχεύει στο να εισαγάγει μια λύση ελέγχου ποιότητας βασισμένη στα δεδομένα, ικανή να εξαγάγει, να αποθηκεύει σε μια βάση δεδομένων ή και στο cloud και να επεξεργάζεται σε πραγματικό χρόνο μια ροή τεράστιων ποσοτήτων δεδομένων.

Στις εγκαταστάσεις παραγωγής (shop floor), το Digital Twin θα είναι υπεύθυνο για την εξαγωγή και προεπεξεργασία των δεδομένων. Μετά από αυτήν την προεπεξεργασία, οι πληροφορίες θα μεταδίδονται για περαιτέρω επεξεργασία και αποθήκευση. Ως εκ τούτου, οι πληροφορίες θα μπορούν να χρησιμοποιηθούν για την εκτέλεση μιας μεθόδου αυτομάθησης, χρησιμοποιώντας αλγόριθμους Machine Learning, Big Data Analytics και εξόρυξης δεδομένων (Data Mining-επεξεργασία πρωτογενών δεδομένων με σκοπό την μετατροπή τους σε πληροφορίες). Με τις δυνατότητες αυτομάθησης, το σύστημα θα είναι σε θέση να αναλύει τις τάσεις και να προβλέπει μελλοντικές συμπεριφορές της βιομηχανικής μονάδας παραγωγής σε καθολικό επίπεδο (εφοδιαστική αλυσίδα), προτείνοντας και ενεργοποιώντας έτσι την αναδιαμόρφωση του συστήματος, χρησιμοποιώντας το Digital Twin για να το κάνει.

Η παρούσα διατριβή, μέσω της ισχυρής ενσωμάτωσης και ενοποίησης εργαλείων τεχνητής νοημοσύνης (AI) και του Digital Twin εγγυάται στους υπευθύνους ποιότητας, διευθυντικά στελέχη και σε όλους εκείνους σε θέσεις ευθύνης κατά τον ποιοτικό έλεγχο νέες λύσεις πρόβλεψης. Όπως φαίνεται στο Σχήμα 4, αρχικά, τα μοντέλα Machine Learning χρειάζονται πραγματικά δεδομένα για



Σχήμα 4 – ML & Digital Twin operations

να αποκτήσουν τις απαραίτητες γνώσεις, έπειτα θα εκπαιδευτούν και θα δοκιμαστούν με σκοπό να επιβεβαιώσουν την αποτελεσματικότητά τους. Στη συνέχεια, το Digital Twin θα λειτουργεί παράλληλα με την βιομηχανική μονάδα παραγωγής, χρησιμοποιώντας τα επικυρωμένα μοντέλα Machine Learning και θα προσομοιώνεται σε νέες καταστάσεις παραγωγής για τον εντοπισμό των βελτιώσεων (αν υπάρχουν). Το Digital Twin έχει καθοριστικό ρόλο, διότι επαληθεύει την ακρίβεια του μοντέλου Machine Learning σε διάφορες (ασυνήθιστες) καταστάσεις. Ειδικότερα, το Digital Twin είναι σημαντικό για την πρόβλεψη επικίνδυνων καταστάσεων στο εργοστάσιο, όταν δεν είναι δυνατή η δοκιμή του μοντέλου Machine Learning με πραγματικά δεδομένα. Σε αυτές τις περιπτώσεις, το Digital Twin επιτρέπει στους διαχειριστές να δοκιμάσουν το μοντέλο με προσομοιωμένα δεδομένα χωρίς την πραγματική εμφάνιση κινδύνων για τους εργαζόμενους και γενικότερα. Στη συνέχεια, τα επικυρωμένα μοντέλα Machine Learning θα παρέχουν προβλέψεις για καταστάσεις, χρήσιμες για το Digital Twin για την προσομοίωση μιας βιομηχανικής τροποποίησης. Έτσι, το Digital Twin θα είναι χρήσιμο για τη βελτίωση των δυνατοτήτων του μοντέλου Machine Learning και ομοίως, το μοντέλο Machine Learning θα αυτοματοποιεί το Digital Twin.

Εξακρίβωση: τουλάχιστον ένα πρωτότυπο σε τοπικό επίπεδο (εγκαταστάσεις παραγωγής) και τουλάχιστον ένα πρωτότυπο σε καθολικό επίπεδο (supply chain) στην βιομηχανία που θα εφαρμοστεί.

Κύρια αξιοποιήσιμα αποτελέσματα: Λύσεις που βασίζονται σε AI και Big Data και δικές τους παρεχόμενες αναλυτικές λύσεις δεδομένων (Data Analytics), οργανωμένα σε ένα ολιστικό περιβάλλον διαχείρισης δεδομένων.

Στόχος 3: Ανάπτυξη λύσεων Agent-based Digital Twin για Ποιοτικό Έλεγχο, Ταχεία Πιστοποίηση και Επαναδιαμόρφωση:

Με στόχο τη βελτίωση της απόδοσης της διαδικασίας και της ποιότητας του προϊόντος, και ιδιαίτερα τον μετριασμό του αντίκτυπου των απροσδόκητων επιπτώσεων και ατελειών, μια έξυπνη και ευέλικτη υποδομή είναι απαραίτητη για τη συλλογή, παρακολούθηση και επεξεργασία δεδομένων σύμφωνα με τις διάφορες βιομηχανικές απαιτήσεις, στην παρούσα διατριβή – επικεντρώνεται στον χρόνο απόκρισης και βελτιστοποίησης.

Για το σκοπό αυτό, ένα σύστημα Digital Twin είναι ιδανικό για μια αποτελεσματική χρήση δεδομένων στις εγκαταστάσεις παραγωγής (τοπικό επίπεδο) καθώς και στην εφοδιαστική αλυσίδα (καθολικό επίπεδο), χάρη στην εγγενή ικανότητά του να αναπτύσσει κατάλληλες προσεγγίσεις μοντελοποίησης και προσομοίωσης, καθώς και την ικανότητά του να γεννά μελλοντικά σενάρια και δοκιμές, καταφέροντας έτσι να αξιολογεί μέσα σε λίγο χρόνο βιομηχανικές διαδικασίες γλυτώνοντας τεράστιο χρόνο και χρήμα. Η χρήση αυτής της προσέγγισης θα επιτρέψει τη γρήγορη απόκτηση κατανεμημένων δεδομένων, ταχεία αναγνώριση αποκλίσεων και τάσεων επιτρέποντας έτσι την εφαρμογή προληπτικών ή διορθωτικών ενεργειών, καθώς και την πρόβλεψη σφαλμάτων

διαδικασιών επιτρέποντας το σχεδιασμό βέλτιστων στρατηγικών για τη μείωση του χρόνου και μια ταχεία γραμμή πιστοποίησης και επαναδιαμόρφωσης (αν χρειάζεται).

Ένα κρίσιμο ζήτημα είναι η σωστή εξισορρόπηση της ανάλυσης δεδομένων που αφορούν τις βιομηχανικές εγκαταστάσεις (τοπικό επίπεδο - αυτό θα παρέχει αυτόματη παρακολούθηση σε πραγματικό χρόνο και έγκαιρη ανίχνευση αποκλίσεων και τάσεων) καθώς και την, ανάλυση δεδομένων στην αλυσίδα εφοδιασμού (καθολικό επίπεδο - αυτό παρέχει συνεχή βελτίωση χρησιμοποιώντας επίσης υποδομές που βασίζονται στο cloud για την αποθήκευση δεδομένων και την επεξεργασία τους).

Το Digital Twin θα παίξει βασικό ρόλο για την υλοποίηση της “κατανεμημένης υποδομής” (distributed infrastructure) που θα είναι σε θέση να συλλέγει, να παρακολουθεί και να επεξεργάζεται δεδομένα, στις εγκαταστάσεις της εταιρείας ή στο cloud, υποστηρίζοντας την εκτέλεση διαφορετικών τύπων αλγορίθμων ανάλυσης δεδομένων που βασίζονται σε μεγάλα (προϋπάρχοντα) σύνολα δεδομένων και ανοιχτά πρωτόκολλα.

Εξακρίβωση: Digital Twin λύσεις Twin που εκτελούνται σε προσομοιωμένο περιβάλλον (με πραγματικά δεδομένα) στην βιομηχανία που θα εφαρμοστεί.

Κύρια αξιοποιήσιμα αποτελέσματα: δημιουργία μιας κατανεμημένης, τμηματοποιημένης και προσαρμοστικής υποδομής Digital Twin για την υποστήριξη της διαδικασίας του ποιοτικού ελέγχου τόσο σε τοπικό όσο και σε καθολικό επίπεδο.

Στόχος 4: Ανάπτυξη μιας καινοτόμας προσέγγισης ακεραιότητας δεδομένων που βασίζεται στο blockchain:

Οι κυβερνοεπιθέσεις και οι παραβιάσεις δεδομένων αναδύονται γρήγορα ως τεράστιες απειλές για τα σύγχρονα και βασισμένα σε δεδομένα συστήματα παραγωγής. Για να αντιμετωπιστεί αυτή η πρόκληση, μπορεί να χρησιμοποιηθεί η τεχνολογία Blockchain για την επίτευξη της ασφάλειας, εμπιστευτικότητας, ακεραιότητας και διαθεσιμότητας των δεδομένων. Με άλλα λόγια, η χρήση ενός ιδιωτικού Blockchain θα επιτρέψει την αποθήκευση και ανταλλαγή δεδομένων μεταξύ των διαφόρων φορέων κατά την αλυσίδα εφοδιασμού, ενώ θα προσφέρει:

- Προστασία ευαίσθητων δεδομένων: θα εφαρμοστεί ελεγχόμενη προσβασιμότητα για να διασφαλιστεί ότι προστατεύονται τα ευαίσθητα δεδομένα και ότι αυτά κοινοποιούνται μόνο σε εξουσιοδοτημένα μέρη του δικτύου.
- Υψηλή δυνατότητα κλιμάκωσης: τα ιδιωτικά chains τυπικά διαθέτουν πολύ υψηλότερες ταχύτητες συναλλαγών από τα αντίστοιχα δημόσια, τα οποία με τη σειρά τους επιτρέπουν τη διατήρηση και ανταλλαγή μεγάλου όγκου ποιοτικών δεδομένων που συλλέγονται από το Agent-Based Digital Twin σύστημα.

- Χαμηλότερο αντίκτυπο στο περιβάλλον: δεδομένου ότι οι μηχανισμοί επικύρωσης σε ιδιωτικά chains χρησιμοποιούν έναν αριθμό από κόμβους για την επικύρωση των συναλλαγών (σε αντίθεση με το Proof-of-Work σε public chains όπου οι χρήστες επαληθεύουν συνεχώς τις συναλλαγές καθιστώντας το δαπανηρό μεταξύ άλλων και σε όρους ενεργείας), η κατανάλωση ενέργειας που απαιτείται για την επεξεργασία συναλλαγών θα είναι χαμηλότερη, χωρίς να απαιτείται επιπλέον κόστος.

Επιπλέον, ένα ιδιωτικό chain μπορεί να εγκατασταθεί σε ένα ή περισσότερα δημόσια chains προκειμένου να διασφαλίσει την ακεραιότητα των δεδομένων στην κύρια αλυσίδα.

Εξακρίβωση: Πραγματικά δεδομένα να αποθηκευτούν στο ιδιωτικό blockchain το οποίο θα είναι εγκατεστημένο στο δημόσιο blockchain και να είναι έτοιμα για δοκιμή.

Κύρια αξιοποιήσιμα αποτελέσματα: Δημιουργία ενός ιδιωτικού blockchain που θα υποστηρίζει την αποθήκευση δεδομένων, ασφάλεια και ανταλλαγή πληροφοριών όλων των εμπλεκόμενων στην αλυσίδα εφοδιασμού.

Στόχος 5: Ενοποίηση και πρωτοτυποποίηση μιας Υβριδικής στρατηγικής Ποιοτικού Ελέγχου:

Προκειμένου να λειτουργήσει ένα σύστημα αλυσίδας εφοδιασμού που να αξιοποιεί την αρχιτεκτονική της κατανεμημένης υποδομής/μοντελοποίησης, βασιζόμενη στο Agent-Based Digital Twin (Στόχος 3), πρέπει να συσχετιστεί ένας agent με κάθε πηγή δεδομένων που υπάρχει στις εγκαταστάσεις παραγωγής (shop floor), δηλαδή σε κάθε διαδικασία και σε κάθε έξυπνο σύστημα ελέγχου ποιότητας (Στόχος 1), καθώς και σε κάθε στοιχείο/προϊόν της διαδικασίας αυτής. Το σύστημα πρέπει στη συνέχεια να ενσωματωθεί και να αναλυθεί με τα εργαλεία που βασίζονται στο AI και τα Data Analytics (Στόχος 2), τα οποία επιτρέπουν την υλοποίηση της στρατηγικής Υβριδικού Ποιοτικού Ελέγχου με την τεχνική του blockchain (Στόχος 4). Αυτό θα υλοποιηθεί σε δύο διαφορετικά επίπεδα, πρώτα στο τεχνικό και έπειτα στο εννοιολογικό επίπεδο.

Το τεχνικό επίπεδο ασχολείται με τους προαναφερθέντες agents που εκμεταλλεύονται τη θέση τους και δημιουργούν μια ροή αναφορών (reporting stream) σε μια βάση δεδομένων. Σε αυτή την βάση δεδομένων θα έχουν πρόσβαση οι «διαδικασίες των λειτουργιών» οι οποίες θα είναι συνδεδεμένες με αυτή τη βάση έτσι ώστε να ξεκινάει η διαδικασία του data mining, όπου θα χρησιμοποιούνται αλγόριθμοι για την διόρθωση και τον διαχωρισμό των συνόλων των δεδομένων. Οι προκλήσεις για την ανάπτυξη αυτού του στόχου είναι οι εξής:

1. Απόρρητο δεδομένων: Η ανταλλαγή δεδομένων παραγωγής είναι ένα από τα σημαντικότερα ζητήματα απορρήτου.

2. Ασφάλεια: Με τον υψηλό αριθμό πληροφοριών που συλλέγονται από την παραγωγή ή από τους εμπλεκόμενους στην αλυσίδα εφοδιασμού και αποστέλλονται στο Cloud για επεξεργασία από το Digital Twin, ο κίνδυνος ασφάλειας καθίσταται πιο σημαντικός.
3. Συνδεσιμότητα: Η ψηφιακή διαδικασία και το πραγματικό σύστημα πρόκειται να συνδεθούν μεταξύ τους σε μια λειτουργία που χαρακτηρίζεται ως σύνδεση πραγματικού χρόνου. Η παροχή σύνδεσης στα δεδομένα και τις διαδικασίες είναι ένα από τα κύρια στοιχεία για μια σωστή υλοποίηση.

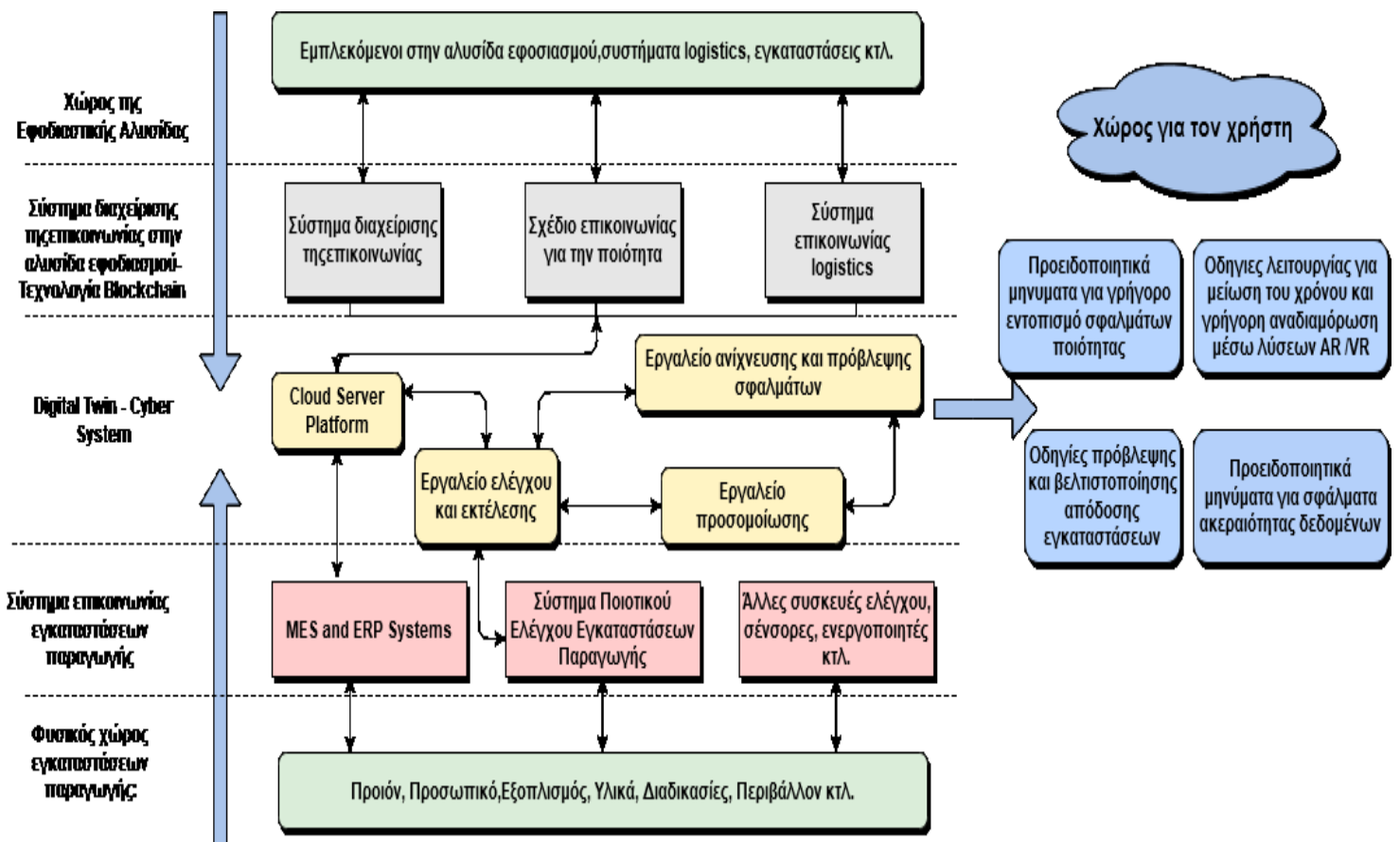
Το εννοιολογικό επίπεδο εισάγει τα απαραίτητα μεταδεδομένα σε ότι αφορά την βάση δεδομένων, το οποίο πρέπει να γίνεται κατανοητό από τους agents καθώς και από τους αλγόριθμους βελτιστοποίησης. Εδώ η εννοιολογική μοντελοποιημένη βάση δεδομένων χρησιμοποιείται για τη δημιουργία ενός φιλικού προς το χρήστη σχήματος μεταδεδομένων που μπορεί να ερμηνευτεί και να χρησιμοποιηθεί από τους agents καθώς και από τις διαδικασίες καθαυτές. Η τεχνική που ονομάζεται «semantic lifting» που αναπτύχθηκε στο Ευρωπαϊκό έργο eHealthMonitor⁹⁶ για τη σύνδεση συστημάτων πολλαπλών agents με άλλες τεχνολογίες, όπως η διαχείριση σημασιολογικής και ανθρώπινης γνώσης, θα εφαρμοστεί για να επιτρέψει όχι μόνο έναν κεντρικό κόμβο δεδομένων, αλλά και το αντίστοιχο σχήμα δεδομένων, τα μεταδεδομένα και την απαραίτητη σημασιολογική προδιαγραφή ότι όλες οι τεχνολογίες εφαρμοσμένης γνώσης κατανοούν η μία την άλλη. Υπό αυτή την έννοια, η αποθήκη του μετα-μοντέλου μπορεί να γίνει κατανοητή ως μια σημασιολογική βάση και μια βάση αναφοράς του σχήματος των δεδομένων. Η αρχιτεκτονική ενοποίησης βασίζεται σε ένα αποτελεσματικό και κατανεμημένο pub-sub middleware που επιτρέπει τη συγκέντρωση σε διαφορετικά επίπεδα (τοπικό-καθολικό) και την σύνδεση των υποσυστημάτων, επιτρέποντας την εύκολη επέκταση του συστήματος ποιοτικού ελέγχου με νέα στοιχεία παρακολούθησης διεργασίας, δημιουργώντας μια εφαρμόσιμη τεχνολογικά βάση για μια αποτελεσματική ανάπτυξη στρατηγικής υβριδικού μοντέλου ποιοτικού ελέγχου. Η ενσωμάτωση όλων των στοιχείων είναι η κύρια πρόκληση για αυτά τα πολύπλοκα συστήματα και είναι ο βασικός παράγοντας που θα επιτρέψει ή όχι την υιοθέτησή τους από τις βιομηχανίες.

Κεφάλαιο 4. Ανάλυση των σκοπών των στόχων και μεθοδολογία υλοποίησης

4.1 Η λογική υλοποίησης πίσω από τους στόχους

Η παρούσα διατριβή στοχεύει στην επίτευξη των συγκεκριμένων στόχων που ορίζονται στα παραπάνω κεφάλαια ακολουθώντας το μοντέλο αναφοράς που φαίνεται στο σχήμα 5. Αυτό το μοντέλο αναφοράς στοχεύει:

1. Στην δημιουργία μιας ψηφιακής διαδικασίας παράλληλη με τη πραγματική: αυτή η εικονική διαδικασία θα προσφέρει ένα εργαλείο τόσο για την στατική όσο και για την δυναμική ανάλυση της αλυσίδας εφοδιασμού (καθολικό επίπεδο) αλλά και των διαδικασιών στις εγκαταστάσεις παραγωγής (τοπικό επίπεδο).
2. Στην διάδοση αυτών των πληροφοριών σε άλλα συνδεδεμένα ψηφιακά αντικείμενα/εργαλεία, για να αυξηθεί η ποιότητα του προϊόντος και των δεδομένων.
3. Στην παρακολούθηση δυσλειτουργιών από τη γέννηση τους, ώστε να γίνεται άμεση παρέμβαση προκειμένου να μειωθεί η ζημιά από πιθανό σφάλμα ή στην υποστήριξη ενεργειών για πρόβλεψη πιθανών δυσλειτουργιών.



Σχήμα 5 - Μοντέλο αναφοράς

Το μοντέλο αναφοράς αποτελείται από έξι βασικά επίπεδα:

➤ **1^ο επίπεδο:** Ο χώρος της αλυσίδας εφοδιασμού.

Αυτό το επίπεδο περιλαμβάνει όλους ή μέρος των εμπλεκόμενων στην αλυσίδα εφοδιασμού, όπως προμηθευτές βαθμίδας 1, βαθμίδας 2, κατασκευαστές, διανομείς, κ.λπ. Αυτό είναι το κύριο περιβάλλον του μοντέλου αναφοράς που σκοπεύουμε η υλοποίηση της λύσης να ελέγξει (γενικότερα).

➤ **2^ο επίπεδο:** Σύστημα-Πλατφόρμα επικοινωνίας.

Σε αυτό το επίπεδο θα γίνεται η μεταφορά δεδομένων ή πληροφοριών μεταξύ των εμπλεκόμενων στην αλυσίδα εφοδιασμού και του Digital Twin. Για να επιτευχθεί η μέγιστη παραγωγικότητα και να μειωθεί ο απαιτούμενος χρόνος, είναι αναγκαία η επικοινωνία καθ' όλη την αλυσίδα εφοδιασμού – συμπεριλαμβανομένων των καταστημάτων, αποθηκών και κέντρων διανομής - ακόμη και του τελικού πελάτη. Για το σκοπό αυτό, αυτή η πλατφόρμα επικοινωνίας θα συλλέγει πληροφορίες από τρία κύρια συστήματα:

1. Σύστημα διαχείρισης της επικοινωνίας στην αλυσίδα εφοδιασμού: Αφορά τις πληροφορίες που συνδέονται με τη ζήτηση και τη ροή του προϊόντος, πληροφορίες για τους κόμβους/δεσμούς της αλυσίδας εφοδιασμού και τις ροές μεταξύ αυτών.
2. Σχέδιο επικοινωνίας για την ποιότητα στην αλυσίδα εφοδιασμού: Αυτό περιλαμβάνει ένα σχέδιο που ορίζει Α) την ποιότητα των πληροφοριών που ανταλλάσσονται εντός της αλυσίδας και Β) το σχέδιο ποιότητας συνεχούς βελτίωσης που επικεντρώνεται στη μείωση των σφαλμάτων και τον γρήγορο εντοπισμό τους στην αλυσίδα εφοδιασμού, αποφεύγοντας τυχών αλυσιδωτές αντιδράσεις (domino effect).
3. Σύστημα επικοινωνίας logistics: πληροφορίες σχετικά με παραγγελίες / προϊόντα / πρώτες ύλες και παρακολούθηση αποθήκευσης.

Όλες οι συναλλαγές θα πραγματοποιούνται μέσω του distributed digital ledger (blockchain). Στην ουσία, αυτό θα είναι ένα σύστημα βάσης δεδομένων που θα δημιουργηθεί και θα συντηρείται μέσω ενός αποκεντρωμένου δικτύου. Θα προσφέρει μια ασφαλή και αξιόπιστη λύση για τη μεταφορά πληροφοριών και συναλλαγών (π.χ. ανταλλαγή δεδομένων και άλλων στοιχείων μεταξύ των συμμετεχόντων στην αλυσίδα εφοδιασμού), οι οποίες θα μπορούν να καταγράφονται ψηφιακά. Καθώς το distributed digital ledger είναι αποκεντρωμένο, κάθε εμπλεκόμενος στην αλυσίδα εφοδιασμού θα μπορεί να διατηρεί ένα αντίγραφο, το οποίο θα αποτρέπει την απώλεια δεδομένων. Αυτό σημαίνει επίσης ότι τα blockchain είναι ιδιαίτερα ανθεκτικά σε αλλοιώσεις ή παραβιάσεις.

➤ **3^ο επίπεδο:** Digital Twin

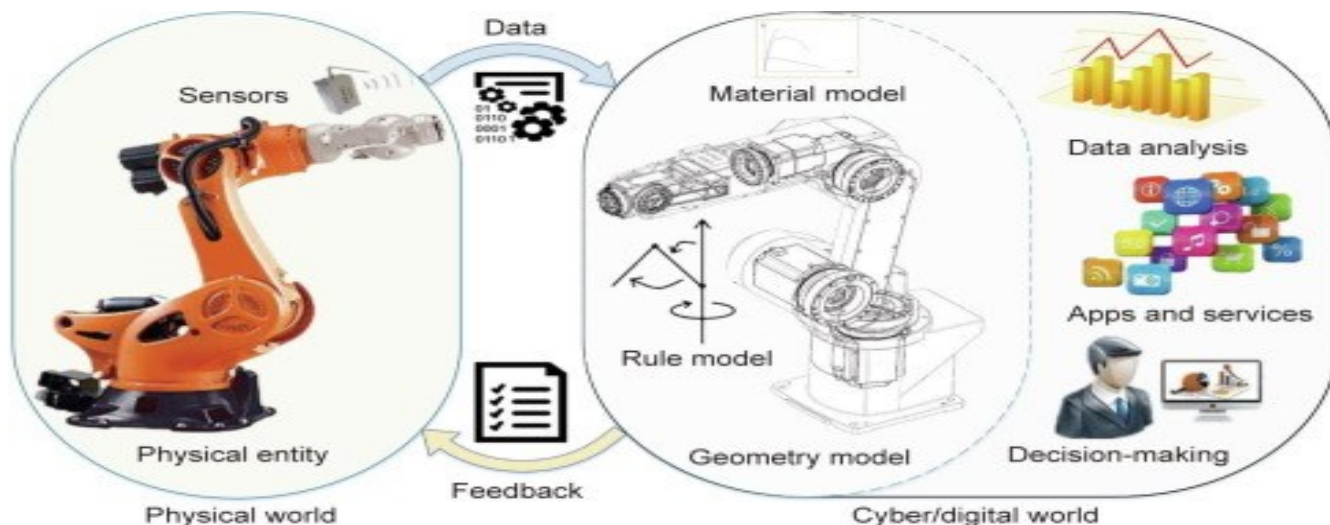
Από εννοιολογική άποψη, το Digital Twin πρέπει να είναι σε θέση να διαχειρίζεται τα ακόλουθα:

- I. απόκτηση δεδομένων που προέρχονται από την εφοδιαστική αλυσίδα και από τις εγκαταστάσεις παραγωγής
- II. οπτικοποίηση δεδομένων που προέρχονται από την βιομηχανική παραγωγική, αλυσίδα εφοδιασμού κτλ.
- III. ανάλυση δεδομένων για σκοπούς ανίχνευσης δυσλειτουργιών και σχετικές προβλέψεις
- IV. ενσωμάτωση δεδομένων αλγορίθμων ανίχνευσης σφαλμάτων για σύγκριση τάσεων, καταστάσεων, κτλ
- V. ανάπτυξη του Digital Twin που προσομοιώνει τη συμπεριφορά του εργοστασίου (δυνατότητα ανάπτυξης σεναρίων)

Το κυβερνοσύστημα θα αποτελείται από τέσσερα κύρια εργαλεία:

A. Εργαλείο ελέγχου και εκτέλεσης: Θα επιτρέπει στο πραγματικό σύστημα να επικοινωνεί κατά την έξοδο (δεδομένα/είσοδος->επεξεργασία->πληροφορίες/έξοδος) με το κυβερνοσύστημα μέσω αισθητήρων, κ.λπ. και κατά την είσοδο μέσω των συστημάτων ενεργοποίησης, διακοπών, κ.λπ.

Αυτό το εργαλείο θα εκτελεί ένα πρόγραμμα και θα επεξεργάζεται τα σήματα που προέρχονται από τους αισθητήρες και θα κατευθύνονται στα συστήματα ενεργοποίησης που θα υπάρχουν στην βιομηχανική εγκατάσταση.



Σχήμα 6 – Εργαλείο ελέγχου και εκτέλεσης

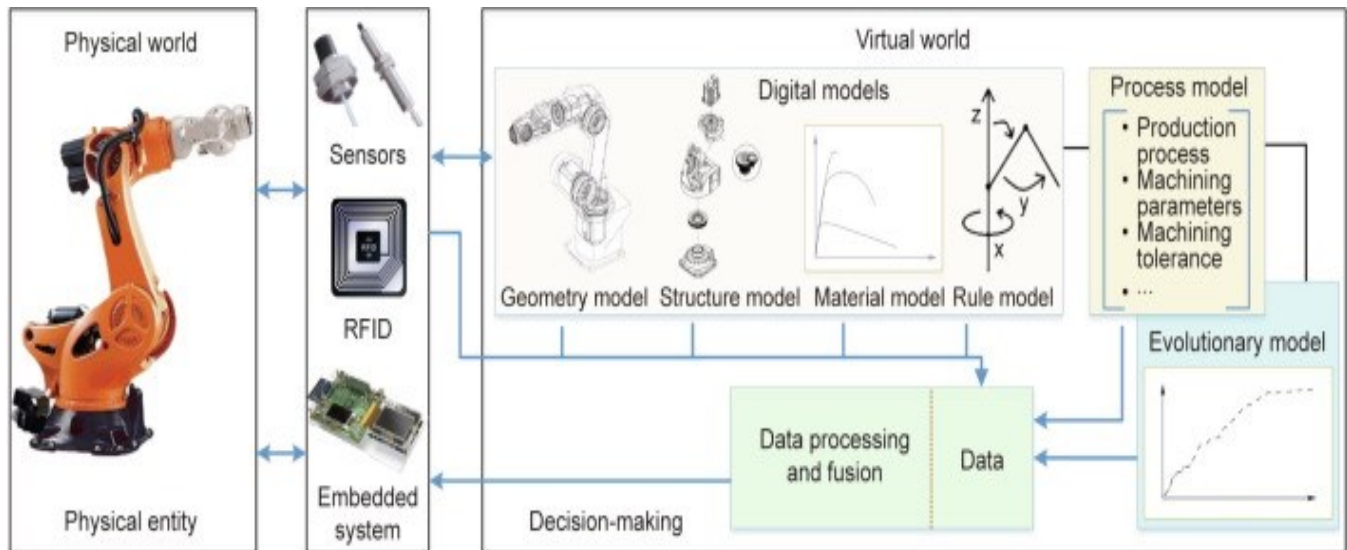
B. Εργαλείο προσομοίωσης: Θα επιτρέπει στην εκάστοτε εταιρεία να δημιουργήσει μια εικονική μοντελοποίηση των διαδικασιών. Αυτό είναι ένα προηγμένο όραμα του Digital Twin που περιλαμβάνει όχι μόνο ένα μοντέλο προσομοίωσης, το οποίο έχει συνοχή με το πραγματικό εργοστάσιο, αλλά και ένα συμπεριφορικό - λειτουργικό μοντέλο μέσω της δημιουργίας «Mock Units/ ψευδο-μονάδων». Το εργαλείο προσομοίωσης θα λειτουργεί online ή εκτός σύνδεσης, δηλαδή, οι είσοδοι μπορούν να προέρχονται από τους αισθητήρες ή μπορούν να εισάγονται χειροκίνητα. Στην λειτουργία εκτός σύνδεσης, μέσω μιας εικονικής

αναπαράστασης των φυσικών στοιχείων το εργαλείο θα επιτρέπει την ανάλυση «Τι θα γινόταν αν» σεναρίων. Στην online λειτουργία, το εργαλείο πρέπει να είναι σε θέση να λαμβάνει πληροφορίες από τους αισθητήρες και να τροποποιεί τις παραμέτρους του όταν κάποιο στοιχείο αλλάζει τις συνθήκες του. Η online εφαρμογή θα μπορεί να επιτρέπει σε μια εταιρεία να μειώσει τη σπατάλη σε οτιδήποτε δεν καθίσταται απαραίτητο, μέσω μιας σύγκρισης μεταξύ των online δεδομένων και των πληροφοριών που παρέχονται από το σύστημα προσομοίωσης. Τα δεδομένα θα πρέπει πρώτα να ανιχνεύονται από τους αισθητήρες για να ενεργοποιήσουν κάποια προειδοποίηση εάν υπάρχει απόκλιση μεταξύ δύο τιμών που υπερβαίνει τα καθορισμένα όρια.

- C. **Εργαλείο ανίχνευσης και πρόβλεψης σφαλμάτων:** Αυτό το εργαλείο θα μπορεί να προβλέπει σε πραγματικό χρόνο γιατί συμβαίνουν σφάλματα ποιότητας, ποιες είναι οι αιτίες και πόσο καιρό μπορεί να συνεχίσει το σύστημα να λειτουργεί έτσι προτού καταρρεύσει ή βγει εκτός από τις σωστές παραμέτρους. Το εργαλείο αυτό θα βασίζεται σε αλγόριθμους τεχνητής νοημοσύνης και Big Data Analytics για την ανάλυση της ανίχνευσης σφαλμάτων και την πρόβλεψη στην εκτέλεση διαδικασιών παραγωγής καθώς και συντήρησης μέσα στο περιβάλλον IoT.
- D. **Cloud Server Platform:** Το σημαντικότερο εδώ είναι η πλατφόρμα να αποκτά δεδομένα σε πραγματικό χρόνο. Επομένως, ένας τυπικός server δεν θα ήταν αρκετός επειδή, στο κανονικό περιβάλλον λειτουργίας, η τεράστια ποσότητα δεδομένων δεν θα καθιστούσε τη λειτουργία του σταθερή/ομαλή. Το ίδιο ισχύει και με τις κλασικές σχεσιακές βάσεις δεδομένων που δεν είναι σε θέση να αντέξουν υπερβολικό αριθμό αιτημάτων για ταυτόχρονη πρόσβαση. Αυτό σημαίνει ότι η πλατφόρμα πρέπει να σχεδιαστεί ειδικά για τον σκοπό αυτό, δηλαδή για την απόκτηση δεδομένων, την ταξινόμηση και την απεικόνιση τους μέσω μιας λύσης στο cloud.

➤ **4ο επίπεδο:** Σύστημα επικοινωνίας εγκαταστάσεων παραγωγής:

Αυτό το επίπεδο αφορά τη μεταφορά δεδομένων ή πληροφοριών μεταξύ του Digital Twin και των εγκαταστάσεων παραγωγής. Τα φυσικά στοιχεία και τα προϊόντα θα παρακολουθούνται και θα ανιχνεύονται από συσκευές ελέγχου ποιότητας και εργαλεία ελέγχου με σκοπό τη συλλογή δεδομένων και τον έλεγχο συσκευών με διάφορα εργαλεία όπως αισθητήρες, κάμερες, συστήματα ενεργοποίησης και άλλες συσκευές. Αυτό το σύστημα θα συνδέει τα στοιχεία των εγκαταστάσεων με τις ψηφιακές οντότητες και αντίστροφα, για τον συγχρονισμό τους. Για την ολοκλήρωση αυτού του επιπέδου, απαιτούνται πληροφορίες που θα παρέχονται από τα MES και τα ERP συστήματα των εταιρειών για τη ρύθμιση του συστήματος προσομοίωσης και του εργαλείου πρόβλεψης και ανίχνευσης σφαλμάτων. Το παρακάτω σχήμα 7 βοηθά στην κατανόηση του 3^{ου} και 4^{ου} επιπέδου.



Σχήμα 7 - Σύστημα επικοινωνίας εγκαταστάσεων παραγωγής

➤ **5^ο επίπεδο:** Φυσικός χώρος εγκαταστάσεων παραγωγής:

Αυτό το επίπεδο αποτελείται από όλους τους φυσικούς πόρους της βιομηχανίας κάθε εταιρείας που ανήκει στην αλυσίδα εφοδιασμού, όπως το προϊόν, το προσωπικό, ο εξοπλισμός, τα υλικά, οι διαδικασίες, το περιβάλλον, οι εγκαταστάσεις, κ.α. Αυτό είναι στην ουσία το δευτερεύον περιβάλλον του μοντέλου αναφοράς του Digital Twin που σκοπεύει να ελέγξει η εταιρεία. Με τον όρο «φυσικό χώρο», αναφερόμαστε σε όλα τα παρατηρήσιμα στοιχεία της παραγωγής που θα πρέπει να παρακολουθούνται και να ανιχνεύονται καθώς και να ελέγχονται.

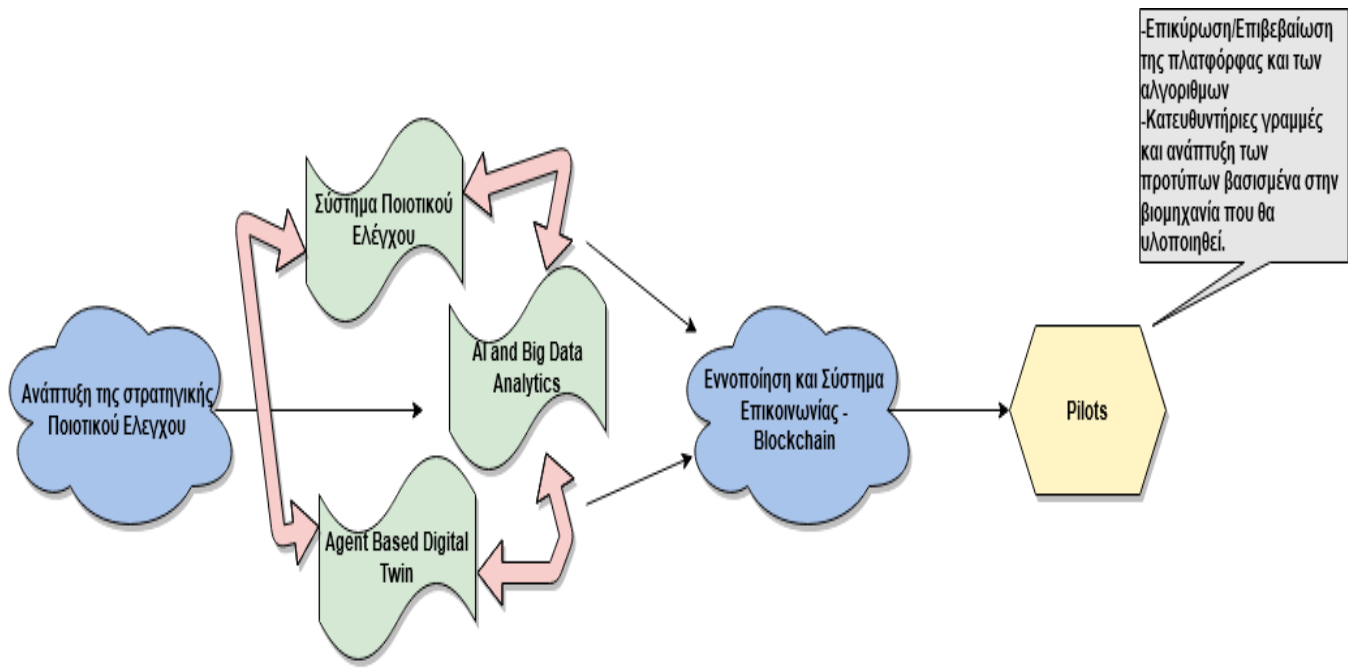
➤ **6^ο επίπεδο:** Χώρος για τον χρήστη:

Αυτό είναι το τελευταίο επίπεδο του οποίου η επικοινωνία με τους χρήστες προσφέρεται μέσω διάφορων λύσεων:

- Ενεργοποίηση οδηγιών λειτουργίας για μείωση του χρόνου και γρήγορη αναδιαμόρφωση μέσω λύσεων AR / VR.
- Ενεργοποίηση προειδοποιητικών μηνυμάτων για γρήγορο εντοπισμό σφαλμάτων ποιότητας μέσω φορητών συστημάτων (wearable system).
- Οδηγίες πρόβλεψης και βελτιστοποίησης απόδοσης εγκαταστάσεων
- Ενεργοποίηση προειδοποιητικών μηνυμάτων για σφάλματα ακεραιότητας δεδομένων. Σε αυτό το επίπεδο, ορίζονται οι κατηγορίες των υπηρεσιών. Για παράδειγμα, σε περίπτωση που το σύστημα τεχνητής νοημοσύνης (AI) προβλέπει κίνδυνο στην ποιότητα, οι χειριστές θα μπορούν να προειδοποιούνται για πιθανά σφάλματα μέσω φορητών συστημάτων. Εκτός από τα προειδοποιητικά σήματα, θα εμφανίζονται και μηνύματα που θα υποδεικνύουν διορθωτικά αντίμετρα.

4.2 Μεθοδολογία

Αυτή η μεθοδολογία υλοποίησης αποτελείται κυρίως από δραστηριότητες που στοχεύουν απευθείας στην παραγωγή και την ανάδειξη βελτιωμένων διαδικασιών παραγωγής. Για το σκοπό αυτό, η άρτια υλοποίηση της θα πρέπει να περιλαμβάνει πρωτότυπα, δοκιμές και επιδείξεις σε επιχειρησιακό περιβάλλον. Η συνολική μεθοδολογία είναι μια προσέγγιση σχεδιασμού από πάνω προς τα κάτω (top-down), προκειμένου να καταστεί δυνατή η άμεση πρόοδος του ερευνητικού μέρους της ιδέας, καθώς και η υλοποίηση της λύσης εφόσον η κάθε βιομηχανία όπου θα μπορούσε αυτή η λύση να εφαρμοστεί, έχει διαφορετικές απαιτήσεις. Η ανάπτυξη του έργου επισημαίνεται στο Σχήμα 5. Το πρώτο βήμα είναι ο σχεδιασμός και η προσαρμογή των στρατηγικών ποιοτικού ελέγχου. Δηλαδή, πρέπει να οριστούν οι απαιτήσεις, οι δείκτες απόδοσης, οι μεθοδολογίες και κανόνες βασισμένα στα σενάρια παραγωγής που πρόκειται να εφαρμοστεί, προκειμένου να προσδιοριστούν οι πιο σημαντικοί κίνδυνοι ποιότητας όσον αφορά την αξιοπιστία των δεδομένων. Παράλληλα με αυτή την δράση, στο εργοστάσιο που θα εφαρμοστεί αυτή η λύση, θα πρέπει τα έξυπνα εργαλεία που προτείνουν τα multi-agent systems να εφαρμοστούν στις γραμμές παραγωγής. Την ίδια στιγμή, τα εργαλεία διαχείρισης και ανάλυσης δεδομένων (AI, Machine Learning, κ.λπ.) θα πρέπει να σχεδιαστούν και να αναπτυχθούν γιατί στην ουσία αυτά θα επιτρέψουν την μετατροπή των «λανθασμένων» δεδομένων σε γνώση για την βελτίωση τόσο της παραγωγικής διαδικασίας όσο και της ποιότητας του προϊόντος. Τα ετερογενή δεδομένα θα αξιοποιηθούν τόσο σε τοπικό όσο και σε καθολικό επίπεδο για την βελτίωση της συνολικής ποιότητας των διαδικασιών παραγωγής συμβάλλοντας στην μείωση της διάδοσης των ελαττωμάτων και στην έγκαιρη αναγνώριση των αποκλινόντων παραμέτρων. Στην συνέχεια, το επόμενο βήμα είναι η ανάπτυξη του συστήματος Agent-based Digital Twin. Το Agent-based Digital Twin θα ενσωματώνει στην ουσία την παραγωγική διαδικασία και τον έλεγχο ποιότητας στις «διαστάσεις» της αλυσίδας εφοδιασμού με στόχο την βελτίωση της ποιότητας των προϊόντων και την αντιμετώπιση των απαιτήσεων μιας παραγωγής μηδενικών ελαττωμάτων η οποία θα έχει οριστεί από την κάθε βιομηχανία-εργοστάσιο όπου θα εφαρμοστεί η λύση. Έπειτα είναι πολύ σημαντική η ενσωμάτωση και η επικοινωνία των διαφορετικών block στο blockchain. Θα πρέπει να δημιουργηθούν τα απαραίτητα εργαλεία για την ενσωμάτωση της επικοινωνίας εντός της πλατφόρμας. Στην ουσία εδώ θα συγχρονίζονται οι διαδικασίες με σκοπό να αποφευχθούν αποκλίνοσες εφαρμογές του συστήματος. Στο παρακάτω σχήμα 8, βλέπουμε την μεθοδολογία υλοποίησης όπως αναφέρθηκε παραπάνω.



Σχήμα 8 - Μεθοδολογία ανάπτυξης και υλοποίησης

4.3 Φιλοδοξίες από την εφαρμογή των λύσεων

✓ Ποιοτικός έλεγχος στην έξυπνη βιομηχανία - Προηγούμενες δραστηριότητες και ανάπτυξη (Στόχος 1):

Οι βιομηχανίες αντιμετωπίζουν συνεχώς την πρόκληση του να εκτελούν τις παραγωγικές τους διαδικασίες και τα συστήματα παραγωγής τους προκειμένου να πετύχουν τα απαιτούμενα ποσοστά παραγωγής προϊόντων υψηλής ποιότητας, ελαχιστοποιώντας ταυτόχρονα τη χρήση των πόρων. Σήμερα η παραγωγή μηδενικών ελαττωμάτων είναι το κλειδί για τη διασφάλιση του ποιοτικού ελέγχου, ενώ στοχεύει να υπερβεί τις παραδοσιακές έξη σίγμα προσεγγίσεις. Οι παραδοσιακές τεχνικές έξη σίγμα εμφανίζουν ισχυρούς περιορισμούς σε μεταβαλλόμενα περιβάλλοντα παραγωγής καθώς επίσης η εφαρμογή τους ενδείκνυται για μικρές παρτίδες. Η καινοτόμα και ολοκληρωμένη ποιότητα, η παραγωγή, ο σχεδιασμός συντήρησης, τα logistics, οι μέθοδοι διαχείρισης και ελέγχου, καθώς και οι προηγμένοι τεχνολογικοί παράγοντες, διαδραματίζουν βασικό ρόλο στην επίτευξη του συνολικού στόχου ποιότητας παραγωγής.

Οι κύριοι στόχοι της προσέγγισης της παραγωγής μηδενικών ελαττωμάτων, και επομένως, ο έλεγχος της ποιότητας στην βιομηχανία, είναι να εκμηδενίζονται τα ελαττώματα σε ένα οποιοδήποτε περιβάλλον παραγωγής, να επιτυγχάνεται μείωση σφαλμάτων, χαμηλότερο κόστος παραγωγής, μικρότεροι χρόνοι παραγωγής, υψηλότερη παραγωγικότητα και ανταγωνιστικότητα, και τελευταίο αλλά εξίσου σημαντικό, υψηλότερη απόδοση πόρων και ενέργειας. Όλοι αυτοί οι στόχοι μπορούν

να επιφέρουν σημαντική αύξηση της ανταγωνιστικότητας και δημιουργία θέσεων εργασίας για τις βιομηχανίες. Λαμβάνοντας υπόψη τα επίπεδα παραγωγής μηδενικών ελαττωμάτων, μια βιομηχανική/εργοστασιακή προσέγγιση μπορεί να αποτελείται από διάφορα σχετικά πεδία και επίπεδα:

- Επίπεδο διεργασίας: Όπου βρίσκονται οι πηγές σφάλματος και πρέπει να εφαρμοστούν τα εργαλεία παραγωγής μηδενικών ελαττωμάτων.
- Επίπεδο συστήματος πολλαπλών σταδίων: Από την άλλη πλευρά, συνδεδεμένα τμήματα παραγωγής και εγκαταστάσεις παραγωγής, όπου είναι μείζονος σημασίας η απόκτηση, η επεξεργασία και η παρακολούθηση δεδομένων καθώς και η πρόβλεψη και η βελτιστοποίηση της διαδικασίας.

Όσον αφορά τη διαχείριση ποιότητας στις αλυσίδες παραγωγής, προτείνεται μια μεθοδολογία για τον διαχωρισμό των μη συμμορφώσεων των κατασκευασμένων μερών σε 1) συστηματικές μη συμμορφώσεις (που σχετίζονται με τη συμπεριφορά του μηχανήματος) και 2) τυχαίες μη συμμορφώσεις (που σχετίζονται με τη συμπεριφορά της διαδικασίας). Δηλαδή, να γίνει μια ανάλυση των μηχανών και των διεργασιών, προκειμένου να αποφευχθούν συστηματικά σφάλματα και εσφαλμένα συστήματα αυτομάθησης για πιθανές τυχαίες μη συμμορφώσεις. Σε σχέση με την κατασκευή εξατομικευμένων ανταλλακτικών, επισημαίνεται η σημασία των διαφόρων βημάτων από τον κύκλο ζωής του προϊόντος, ειδικά η φάση του σχεδιασμού. Με αυτόν τον τρόπο, ο τύπος των εξαρτημάτων, το υλικό που θα χρησιμοποιηθεί και τα προσαρμοσμένα χαρακτηριστικά γεωμετρίας θα πρέπει να ληφθούν υπόψη για τον ορισμό του σχεδιασμού του τελικού εξαρτήματος και του σχεδιασμού της διαδικασίας, ώστε να αποφευχθεί η δημιουργία ελαττωμάτων κατασκευής.

Καινοτομία

Η λύση που προτείνει η παρούσα διατριβή θα εξετάζει μια ολοκληρωμένη προσέγγιση της ποιότητας, της ασφάλειας, της συντήρησης, του χρόνου παράδοσης και της παραγωγικότητας. Θα πρέπει επίσης να υποστηρίζεται από προσεγγίσεις παραγωγής μηδενικών ελαττωμάτων σε επίπεδα διεργασίας (για τον εντοπισμό πηγών σφαλμάτων και για την αποφυγή μετάδοσης σφαλμάτων σε επόμενα στάδια) όπως:

- Ενσωμάτωση έξυπνων, αυτόνομων, αυτοπροσαρμοσμένων, αυτοδύναμων και οικονομικών αισθητήρων και συστημάτων ελέγχου για παρακολούθηση διαδικασιών, έλεγχο και διαχείριση ποιότητας.
- Προσαρμογή διαδικασιών με αυτομάθηση, ποιότητα και διεργασίες μοντελοποίησης δεδομένων συμπεριφοράς (AI, Machine Learning, Big Data Analytics).
- Ισχυρή αυτοματοποίηση διαδικασιών με αβεβαιότητα των δεδομένων εισόδου.

Απόκτηση ποιότητας, πριν, κατά τη διάρκεια και μετά τις διεργασίες, όπως:

- Νέες τεχνολογίες μέτρησης και επιθεώρησης καθώς και χαρακτηρισμός υλικών.
- Ανάπτυξη και ενσωμάτωση τεχνικών μέτρησης και επιθεώρησης, χρήση σύγχρονων αισθητήρων που μπορούν να εξαλείψουν την ανάγκη για επιθεώρηση στο τέλος της παραγωγής, η οποία αυξάνει το κόστος και δημιουργεί απώλειες χρόνου με αποτέλεσμα την μείωση της παραγωγικότητας.

Εξόρυξη δεδομένων (Data Mining) και ανάλυση δεδομένων μέσω προηγμένης ανίχνευσης και ολοκληρωμένης προσέγγισης από την βιομηχανική αλυσίδα, όπως:

- Στρατηγικές για τον καλύτερο συνδυασμό και εναρμόνιση ετερογενών δεδομένων, καθώς και αριθμητικά ανεπεξέργαστα δεδομένα, τα οποία καταγράφηκαν καθ' όλη τη διάρκεια του κύκλου ζωής του προϊόντος (από το σχεδιασμό έως την κατασκευή) για τη μετατροπή αυτών των δεδομένων σε πληροφορίες και γνώσεις.
- Συστήματα συλλογής δεδομένων και επιθεώρησης, βασισμένα σε αυτορυθμισμένα πρωτοκόλλα ανταλλαγής δεδομένων και λύσεων IoT.
- Στατιστική αξιολόγηση της διακύμανσης της ποιότητας κατασκευής, των γεωμετρικών αναλύσεων και των μεθόδων ταξινόμησης και πρακτικές για την εκτίμηση της επίδρασης της διακύμανσης της ποιότητας κατασκευής.

Big Data Analysis και Τεχνητή Νοημοσύνη για έλεγχο ποιότητας (Στόχος 2):

Ο ποιοτικός έλεγχος είναι γνωστό ότι είναι ένας από τους πιο κρίσιμους τομείς του Βιομηχανικού συστήματος δεδομένου ότι οι ποιοτικές αποκλίσεις και οι αστοχίες κατά την παραγωγή θα μπορούσαν να οδηγήσουν σε τεράστιες απώλειες πόρων, χρόνου και χρήματος⁹⁷. Επομένως, είναι απαραίτητο να μετρηθεί η ποιότητα παραγωγής προκειμένου να διατηρηθούν ή να βελτιωθούν: α) ορισμένες διαδικασίες παραγωγής και β) το επίπεδο «τελειότητας» ενός ορισμένου προϊόντος και, κατά συνέπεια, να ωφεληθούν οι πελάτες, λαμβάνοντας υπόψη ότι υπάρχει τεράστια ανησυχία για τις βασικές παγκόσμιες τάσεις που θα διασφαλίσουν τον ποιοτικό έλεγχο και τις βελτιώσεις των επόμενων δεκαετιών, βελτιώνοντας τα πρότυπα (standards) με έναν οικονομικό, κοινωνικό και περιβαλλοντικά βιώσιμο τρόπο.

Τα τελευταία χρόνια, λόγω των εξελίξεων που σημειώθηκαν στις τεχνολογίες IoT, ICT, Big Data και Cloud Computing, παράγεται μεγάλος όγκος δεδομένων κάθε μέρα. Για το λόγο αυτό, το Data Analytics λόγω των ραγδαίων εξελίξεων στον τομέα των δεδομένων, προσελκύει την προσοχή

διάφορων βιομηχανιών στην εποχή της 4^{ης} βιομηχανικής επανάστασης που διανύουμε. Το Data Analytics μπορεί να χωριστεί σε τρεις κύριες κατηγορίες⁹⁸:

- Την περιγραφική ανάλυση που χρησιμοποιεί τα δεδομένα για να απαντήσει στις ερωτήσεις «τι έχει συμβεί;» και/ή «τι συμβαίνει; ». Είναι δυνατόν να κατανοήσουμε τι συνέβη στο παρελθόν και να έχουμε μια ιδέα για τις τάσεις που πρέπει και μπορούμε να εξερευνήσουμε στο μέλλον. Το κύριο αποτέλεσμα είναι ο εντοπισμός επιχειρηματικών ευκαιριών και προβλημάτων.
 - Την προγνωστική ανάλυση που θεωρείται ως η φάση πρόβλεψης που απαντά στις ερωτήσεις «τι θα συμβεί;» και/ή «γιατί θα συμβεί; ». Χρησιμοποιεί δεδομένα και μαθηματικές τεχνικές για να ανακαλύψει επεξηγηματικά και προγνωστικά μοτίβα (τάσεις, συσχετίσεις κ.λπ.). Το κύριο αποτέλεσμα της προγνωστικής ανάλυσης είναι η δημιουργία μοντέλων ακρίβειας που προβλέπουν τα μελλοντικά συμβάντα.
 - Την προδιαγραφική αναλυτική που χρησιμοποιεί δεδομένα και μαθηματικούς αλγόριθμους για να παρέχει ένα σύνολο εναλλακτικών δράσεων ή αποφάσεων. Στοχεύει στο να βελτιωθεί η απόδοση των επιχειρήσεων. Το Data Analytics μέσω τεχνικών AI, ιδίως όσον αφορά την χρήση αλγορίθμων Machine Learning για προγνωστικά αναλυτικά στοιχεία, έχει εξεταστεί ευρέως στη βιβλιογραφία στα βιομηχανικά συστήματα. Όσον αφορά τον έλεγχο ποιότητας, η χρήση τέτοιων τεχνικών ανοίγει νέες δυνατότητες για τη δημιουργία μοντέλων που πραγματοποιούν αξιολογήσεις αποκλειστικά με βάση τα δεδομένα των κύριων αιτίων των αποκλίσεων⁹⁹. Η ιδέα στοχεύει στη βελτιστοποίηση της αποτελεσματικότητας και της ποιότητας των παραγωγικών διαδικασιών και των παραγόμενων προϊόντων, παρακολουθώντας συνεχώς την ποιότητα και/ή προβλέποντας μελλοντικά σφάλματα και ελαττώματα το συντομότερο δυνατό. Επιπλέον, στο πλαίσιο αυτής της ιδέας, λαμβάνονται υπόψη σχετικά παραδείγματα προγνωστικών αναλυτικών στοιχείων σχετικά με το θέμα του ποιοτικού ελέγχου στα συστήματα παραγωγής, όπως:
- ✓ ¹⁰⁰ παρουσίαση ενός πλαισίου για την πρόβλεψη της φυσικής ποιότητας των ενδιάμεσων προϊόντων σε δια-συνδεδεμένες διαδικασίες παραγωγής, χρησιμοποιώντας τεχνικές Machine Learning (με και χωρίς επίβλεψη) για τον προσδιορισμό των πιο εντυπωσιακών επιχειρησιακών μοτίβων για την πρόβλεψη της προκύπτουσας ποιότητας. Υποστηρίζεται ότι η εφαρμογή τέτοιων τεχνικών επηρεάζει τη βιωσιμότητα και την ενεργειακή απόδοση στις διαδικασίες παραγωγής.

- ✓ ¹⁰¹Χρησιμοποίηση τεχνικών Machine Learning για την πρόβλεψη της ποιότητας του προϊόντος στη διαδικασία παραγωγής, χρησιμοποιώντας τα δεδομένα του παραγωγικού εξοπλισμού και ενός συνόλου μετρήσεων ποιότητας.
- ✓ ¹⁰²Ανίχνευση σφαλμάτων στις παραγωγικές διαδικασίες, χρησιμοποιώντας τεχνικές Machine Learning.
- ✓ ¹⁰³Ανάπτυξη ενός data-driven μοντέλου για τον έλεγχο της ποιότητας των εξαρτημάτων

Καινοτομία

Η παρούσα διατριβή προτείνει την υιοθέτηση και την ανάπτυξη μιας προσέγγισης που βασίζεται στα δεδομένα και υποστηρίζεται από μοντέλα Data Analytics, AI, όπως για παράδειγμα, αλγόριθμους Machine Learning για τη διασφάλιση της ποιότητας στις παραγωγικές διαδικασίες και τις διαδικασίες ανάπτυξης προϊόντων. Αυτό οδηγεί σε μια μετάβαση από μια διαγνωστική σε μια προγνωστική προσέγγιση για τον έλεγχο των επιχειρησιακών παραμέτρων, διασφαλίζοντας την ποιότητα με βάση την αξιολόγηση των δεδομένων σε πραγματικό χρόνο και την έγκαιρη ανίχνευση των αποκλίσεων και τάσεων ποιότητας (προϊόντος ή διαδικασίας). Αυτή η ιδέα μπορεί να θεωρηθεί ως ένα κρίσιμο εργαλείο για την επίτευξη επιχειρηματικών στόχων, μέσω της βελτιστοποίησης της αποδοτικότητας καθώς και της ποιότητας των παραγωγικών διαδικασιών τόσο στις λειτουργίες όσο και στην δημιουργία των προϊόντων. Αφού συμβάλλει μεταξύ άλλων στη μείωση πιθανών προβλημάτων ποιότητας, σφαλμάτων και ελαττωμάτων, στον εντοπισμό των βασικών αιτιών, εξοικονομώντας ταυτόχρονα χρόνο και κόστος ενώ συμβάλλει στην μείωση των περιβαλλοντικών επιπτώσεων.

Προσομοίωση Agent-based Digital Twin (Στόχος 3):

Το Digital Twin είναι ένα ψηφιακό μοντέλο ενός συγκεκριμένου φυσικού στοιχείου ή μιας διαδικασίας με δεδομένα που επιτρέπουν τη σύγκλιση μεταξύ φυσικών και εικονικών καταστάσεων. Οι λύσεις Digital Twin ενσωματώνουν AI (τεχνητή νοημοσύνη), εργαλεία προσομοίωσης και ανάλυσης λογισμικού με δεδομένα που συλλέγονται στις εγκαταστάσεις παραγωγής με σκοπό τη δημιουργία μοντέλων ψηφιακής προσομοίωσης που ενημερώνονται όταν αλλάζουν οι παράμετροι της διαδικασίας παραγωγής ή οι συνθήκες εργασίας. Πρόκειται για ένα σύστημα αυτομάθησης που χρησιμοποιεί δεδομένα που συλλέγονται από διάφορες πηγές όπως: από αισθητήρες που μεταδίδουν συνθήκες λειτουργίας και διαδικασιών, από ειδικούς όπως μηχανικούς με βαθιά γνώση

του βιομηχανικού τομέα, από άλλες παρόμοιες μηχανές, και επίσης με ενσωμάτωση παλαιών δεδομένων που σχετίζονται με προηγούμενη χρήση. Σε σύγκριση με τα παραδοσιακά μοντέλα προσομοίωσης, το Digital Twin είναι «αντιδραστικό» γιατί: λαμβάνει πληροφορίες από τους αισθητήρες σχετικά με το φυσικό στοιχείο και αλλάζει όταν τροποποιείται το στοιχείο. Παρόλο που η χρήση της προσομοίωσης είναι γνωστή στον τομέα της μηχανικής για τη διερεύνηση καλά καθορισμένων προβλημάτων, είναι σημαντικό να κατανοηθεί ο κεντρικός της περιορισμός. Σύμφωνα με τους Schluse, M. Rossmann¹⁰⁴, οι περισσότερες εφαρμογές προσομοίωσης επιλύουν ακριβώς ένα συγκεκριμένο αίτημα, όπως για παράδειγμα σχεδιασμό και βελτιστοποίηση (εκτός σύνδεσης). Ωστόσο, δεδομένου ότι η διαδικασία προσομοίωσης μοντέλου μεταβάλλει μόνο μία πτυχή των αποτελεσμάτων, σε πολύπλοκες διαδικασίες ανταλλαγής δεδομένων, πολλές φορές απαιτούνται νέες ρυθμίσεις. Από την άλλη πλευρά, το Digital Twin χρησιμοποιείται για ολόκληρο τον κύκλο ζωής σε πραγματικό χρόνο, καθώς είναι μια ψηφιακή αναπαράσταση ενός υπάρχοντος φυσικού αντικειμένου.

Μέσω ενός μεγάλου αριθμού αισθητήρων που συνδέουν το φυσικό αντικείμενο με το ψηφιακό του αντίγραφο, ένα Digital Twin μπορεί να αναπαραστή, σε πραγματικό χρόνο, την κατάσταση του αντικειμένου που αλλάζει. Αυτός είναι ο λόγος για τον οποίο η συνδυασμένη χρήση τους είναι ένα κρίσιμο σημείο για ένα σωστό σύστημα ελέγχου και παρακολούθησης. Ένα πρόσφατο πρότυπο¹⁰⁵ πρότεινε ένα γενικό πλαίσιο και αρχές του Digital Twin ως ψηφιακό μοντέλο ενός συγκεκριμένου φυσικού στοιχείου ή μιας διαδικασίας με συνδέσεις δεδομένων που επιτρέπουν τη σύγκλιση μεταξύ των φυσικών και εικονικών καταστάσεων σε κατάλληλο ρυθμό συγχρονισμού. Επιπλέον, στο πλαίσιο της βιβλιογραφικής έρευνας για την παρουσίαση αυτής της λύσης, λαμβάνονται υπόψη σχετικά παραδείγματα του Digital Twin σχετικά με το θέμα του ποιοτικού ελέγχου, όπως:

- ¹⁰⁶Τα ήδη ανεπτυγμένα στοιχεία ενός Digital Twin για την ανάλυση των αιτιών ενός σφάλματος και την παρακολούθηση της ποιότητας του προϊόντος προτείνουν μια δομή δεδομένων που ενεργοποιεί την ανάλυση τους. Καθορίζουν ποια είναι τα σωστά δεδομένα για ανάλυση και την παρακολούθηση ποιότητας προϊόντος, αξιολογώντας όλα τα διαθέσιμα χαρακτηριστικά προϊόντος.
- ¹⁰⁷Καθορισμένα και επιλεγμένα μοντέλα λειτουργικότητας και δεδομένων, απαραίτητα για τη διασφάλιση της γεωμετρίας σε πραγματικό χρόνο, καθώς και το πώς αυτή η άποψη επιτρέπει τη μετάβαση από τη μαζική παραγωγή σε μια πιο εξατομικευμένη παραγωγή.

- ¹⁰⁸ Προτείνει ένα πλαίσιο έξυπνης παραγωγής και ελέγχου, βασισμένο στο digital twin για σύνθετες εγκαταστάσεις παραγωγής. Τέσσερις είναι οι βασικές τεχνικές που ενσωματώνονται στο πλαίσιο: (1) απόκτηση σε πραγματικό χρόνο, οργάνωση και διαχείριση των φυσικών δεδομένων των εγκαταστάσεων παραγωγής, (2) κατασκευή των εγκαταστάσεων παραγωγής στο Digital Twin, (3) Digital Twin και προβλέψεις βασισμένες σε Big Data και (4) υπηρεσία διαχείρισης και ελέγχου εγκαταστάσεων.

Καινοτομία

Στη βιβλιογραφία, οι λύσεις Digital Twin έχουν αναπτυχθεί για να δημιουργήσουν μια συνεπή βελτίωση στην αποδοτικότητα, να ελαχιστοποιήσουν τα ποσοστά αποτυχίας, να συντομεύσουν τους κύκλους ανάπτυξης και να ανοίξουν νέες επιχειρηματικές ευκαιρίες. Οι περισσότερες εφαρμογές αναφέρονται σε συγκεκριμένες εγκαταστάσεις παραγωγής ή σε ένα μόνο εταιρικό πλαίσιο. Λίγες είναι οι εφαρμογές των εργαλείων Digital Twin για τη βελτιστοποίηση της ποιότητας των παραγωγικών εργασιών και των προϊόντων στην αλυσίδα εφοδιασμού. Επί του παρόντος, δεν υπάρχει στη βιβλιογραφία κάποια αρχιτεκτονική που εξηγεί πώς να σχεδιαστεί, να αναπτυχθεί και να εφαρμοστεί ένα digital twin ειδικά στοχευμένο στην εφοδιαστική αλυσίδα. Σε αυτό θα μπορούσαν να βοηθήσουν, οι ερευνητές, τεχνικοί και διευθυντές επιχειρήσεων που πρόκειται να εφαρμοστεί αυτή η λύση. Η ανάπτυξη ενός μοντέλου αναφοράς Digital Twin στην εφοδιαστική αλυσίδα έχει καταστεί απαραίτητο αλλά και στρατηγικό προκειμένου να εντοπιστούν ελαττώματα νωρίς και να αποφευχθεί ένα domino effect στη διάδοση και των φυσικών ελαττωμάτων (από την πρώτη ύλη στο τελικό προϊόν) και των σφαλμάτων ακεραιότητας δεδομένων. Σήμερα, η ενσωμάτωση του ψηφιακού μοντέλου με IoT έχει γίνει ιδιαίτερα αποτελεσματική καθώς η εισαγωγή συγκεκριμένων πλατφορμών cloud προσφέρει τη δυνατότητα ενσωμάτωσης δεδομένων σε πραγματικό χρόνο από διαφορετικούς παίκτες μιας εφοδιαστικής αλυσίδας, διασφαλίζοντας την υλοποίηση ενός πραγματικού Digital Twin. Τα νέα εργαλεία που προτείνει η παρούσα διατριβή, ενσωματώνουν πληροφορίες από αισθητήρες, ενεργοποιητές και άλλα εργαλεία από διαφορετικούς εμπλεκόμενους σε μια εφοδιαστική αλυσίδα ακολουθώντας την τεχνολογία του distributed ledger (Blockchain) που θα συμβάλει στην αξιοπιστία των δεδομένων αλλά και των νομικών πτυχών που προκύπτουν.

Επικύρωση δεδομένων, ακεραιότητα δεδομένων και ιχνηλασιμότητα εξαρτημάτων και προϊόντων - Blockchain (Στόχος 4)

Πέρα από όλα τα οφέλη, η βιομηχανία 4.0 παρουσίασε στον βιομηχανικό τομέα και προκλήσεις που σχετίζονται με την ευελιξία, την ασφάλεια, το απόρρητο, τη διαφάνεια, την αποτελεσματικότητα,

την ακεραιότητα των δεδομένων, την ανθεκτικότητα, την αξιοπιστία των δεδομένων, κ.λπ. Στην πραγματικότητα, η παραβίαση δεδομένων είναι μια ταχέως αναδυόμενη απειλή, με μια πρόσφατη μελέτη από την Gartner¹⁰⁹ να προβλέπει ότι στο τέλος του 2020, πάνω από το 50% των οργανισμών θα έχουν υποστεί ζημιές που οφείλονται σε κακό trust management, όπου σε συνδυασμό με τα κακοπροαίρετα δεδομένα και λογισμικά θα έχουν ως αποτέλεσμα απώλειες εσόδων μεγαλύτερες του 15%. Ως εκ τούτου, η τεχνολογία Blockchain εισέρχεται γρήγορα στη βιομηχανία λόγω των βασικών δομικών στοιχείων της ασφάλειας, της αποκέντρωσης και της επεκτασιμότητας που την χαρακτηρίζουν. Το Blockchain είναι μια τεχνολογία distributed ledger όπου οι συναλλαγές είναι ασφαλείς, αμετάβλητες, με χρονικές σφραγίδες και μόνιμες. Το Blockchain, το IoT και το AI είναι από τις τεχνολογίες που θα διαχυθούν σε κλάδους όπως τα χρηματοοικονομικά, η βιομηχανία και η αυτοκίνηση¹¹⁰. Η εφαρμογή blockchain στο IoT θα βελτιώσει το συνολικό δίκτυο (IoT) και θα δημιουργήσει ένα ισχυρό προστατευμένο κατακευματισμένο δίκτυο ενσωματώνοντας τυπικές και ειδικευμένες λειτουργίες ασφαλείας για blockchain¹¹¹. Παρά τις δυνατότητες, η πραγματική υποκείμενη τεχνολογία τις περισσότερες φορές περιπλέκεται. Ένα «δημόσιο Blockchain» είναι αποκεντρωμένο, ρυθμίζεται τις περισσότερες φορές από το «Proof of Work» (πιο αποδεδειγμένος μηχανισμός) ο οποίος μπορεί να διευρυνθεί αλλά συνήθως είναι αργός και καταναλώνει ενέργεια, κανείς δεν το έχει υπό την ιδιοκτησία του, είναι εξαιρετικά δύσκολο να παραβιαστεί, εξαιρετικά διαλειτουργικό και μη περιοριστικό. Αν και είναι δημόσιο, μόνο τα άτομα που έχουν το κλειδί για αυτές τις συναλλαγές μπορούν να δουν τι υπάρχει μέσα σε μια δεδομένη συναλλαγή. Τα έγγραφα μπορούν να αποθηκευτούν εκτός αλυσίδας (φθηνότερα και ταχύτερα) και να επικυρωθούν στη δημόσια αλυσίδα όπου τα αρχεία είναι κρυπτογραφημένα και μόνο εκείνοι με το ιδιωτικό κλειδί έχουν πρόσβαση. Οι διευθύνσεις πορτοφολιού (Wallet addresses) του blockchain δεν είναι προσωπικές ή αναγνωρίσιμες από την εταιρεία και κανείς δεν ξέρει ποιος είναι ο ιδιοκτήτης. Ο προβληματισμός με το άνοιγμα ενός πραγματικά ανοιχτού και αποκεντρωμένου Blockchain, είναι ότι μια κοινοπραξία αναρωτιέται για παράδειγμα «τι γίνεται αν οι ανταγωνιστές μας θέλουν να μπουν στην αλυσίδα μας και να επωφεληθούν από την τεχνολογία και χρησιμοποιήσουν τα δεδομένα;». Μια εναλλακτική λύση είναι η δημιουργία ιδιωτικών δικτύων (μία εταιρεία ή οντότητα κατέχει την αλυσίδα) με συναίνεση που ρυθμίζεται από την «Proof of Authority» (αξιόπιστες πληροφορίες μίας πηγής) που επιτρέπουν πολύ γρήγορες συναλλαγές: -μία αρχή εγκρίνει τα blocks για μετάβαση στην αλυσίδα -μία εταιρεία ελέγχει το δίκτυο -και μια άλλη υπογράφει την ευθύνη για την μεταφορά σε αυτό το δίκτυο. Αυτό σημαίνει ότι οι ιδιωτικές αλυσίδες προσφέρουν υψηλότερες ταχύτητες συναλλαγών, χαμηλότερο κόστος και πρόσθετη προστασία ευαίσθητων δεδομένων μέσω αυτής της ιδιωτικής, αυτο-διακυβέρνησης του συστήματος. Τα πλεονεκτήματα των ιδιωτικών αλυσίδων

έρχονται με δύο βασικά μειονεκτήματα, δηλαδή το γεγονός ότι (i) είναι συνήθως αυτόνομες ή υπό τον έλεγχο μιας κοινοπραξίας, οι οποίες τις καθιστούν πιο ευάλωτες σε παραβιάσεις ή/και επιθέσεις (ii) υπάρχει έλλειψη διαφάνειας λόγω της μη δημόσιας/ανοιχτής προβολής.

Καινοτομία

Η εφαρμογή της τεχνολογίας blockchain που προτείνει η παρούσα διατριβή θα βασίζεται σε ένα distributed ledger, ικανό να παρέχει ένα ανοιχτό αλλά ασφαλές, διασυνδεδεμένο και αποκεντρωμένο περιβάλλον. Θα αποτελεί την βάση της επικύρωσης σε πραγματικό χρόνο για να διασφαλιστεί η ακεραιότητα των δεδομένων που σχετίζονται με την ποιότητα από την κοινή γραμμή παραγωγής μεταξύ των διαφόρων εμπλεκόμενων του συστήματος. Δεδομένης της ευαίσθητης φύσης των δεδομένων παραγωγής, κάποιες βιομηχανίες θα μπορούσαν να εφαρμόσουν ένα κύριο ιδιωτικό blockchain, έτσι ώστε τα δεδομένα να μπορούν να διατηρηθούν μέσω ελεγχόμενων μηχανισμών γρήγορης επικύρωσης (π.χ. Proof of Authority). Αυτό θα παρέχει δύο κύρια πλεονεκτήματα, 1) υψηλότερη απόδοση για τη διαχείριση των μεγάλων όγκων δεδομένων που παράγονται από τα σύγχρονα περιβάλλοντα παραγωγής (λόγω μεγαλύτερων ταχυτήτων συναλλαγών), καθώς και 2) χαμηλότερη κατανάλωση ενέργειας σε σύγκριση με εκείνη των τυπικών μηχανισμών συναίνεσης (Proof of Work) που σχετίζονται με δημόσιες αλυσίδες. Για την αντιμετώπιση των ελλείψεων που σχετίζονται με τη χρήση ενός ιδιωτικού blockchain, όπως το να διασφαλίζεται η εικονική σταθερότητα των δεδομένων και να διατηρείται μια δημόσια επαλήθευση, η ιδιωτική αλυσίδα της οποιασδήποτε βιομηχανίας που θα εφαρμόσει αυτή την λύση, θα εγκατασταθεί σε μια δημόσια αλυσίδα (π.χ. Ethereum), πράγμα που σημαίνει ότι τα block hashes της ιδιωτικής αλυσίδας θα δημοσιεύονται περιοδικά ως συναλλαγές στη δημόσια αλυσίδα μέσω έξυπνων συμβάσεων (π.χ. μία φορά την ημέρα ή κάθε 12 ώρες). Αυτά μπορούν να χρησιμοποιηθούν για τη δημιουργία Merkle proofs, με την οποία μπορεί κανείς να επιβεβαιώσει ότι μια συγκεκριμένη συναλλαγή ανήκει σε ένα συγκεκριμένο δίκτυο ή να αποδείξει την εγκυρότητα των δεδομένων που αποτελούν μέρος ενός συνόλου δεδομένων χωρίς την ανάγκη δημοσίευσης ολόκληρου του συνόλου δεδομένων, αυξάνοντας αποτελεσματικά την διαφάνεια και την επαλήθευση των δεδομένων χωρίς να διακυβεύεται το απόρρητό του. Συνοπτικά, η παρούσα διατριβή προτείνει την χρησιμοποίηση μιας υβριδικής προσέγγισης Blockchain δημόσιου-ιδιωτικού, όπου τα δεδομένα επικυρώνονται σχεδόν σε πραγματικό χρόνο στην επιτρεπόμενη αποκεντρωμένη ιδιωτική αλυσίδα. Αυτό το πιο ανοιχτό (πιο ασφαλές) περιβάλλον θα διασφαλίσει την ακεραιότητα της αλυσίδας (λόγω της εικονικής αμετάβλητης φύσης των δημόσιων αλυσίδων), ενώ παράλληλα θα επιτρέπει την αυτο-διαχείριση με ιδιωτικό έλεγχο ευαίσθητων δεδομένων και τεκμηρίωσης σύμφωνα με τις πολιτικές διατήρησης δεδομένων.

Κεφάλαιο 5. Αναμενόμενο αντίκτυπο από την εφαρμογή των λύσεων που προτάθηκαν

✓ **Αυξημένη παραγωγικότητα εξοπλισμού μέσω του γρήγορου εντοπισμού σφαλμάτων:**

Η ανάπτυξη έξυπνων συστημάτων ελέγχου, μαζί με τεχνικές Data analytics και ακεραιότητας δεδομένων (Blockchain), στοχεύει στη βελτιστοποίηση της αποτελεσματικότητας και της ποιότητας των λειτουργιών παραγωγής και προϊόντων, παρακολουθώντας συνεχώς τις διαδικασίες ή / και προβλέποντας μελλοντικά σφάλματα και ελαττώματα. Η παρούσα διατριβή, εισάγοντας μια προσέγγιση από την μεριά της εφοδιαστικής αλυσίδας, επιτρέπει τη δυνατότητα αποφυγής ενός domino effect στη διάδοση τόσο των φυσικών ελαττωμάτων (από την πρώτη ύλη στο τελικό προϊόν) όσο και της ακεραιότητας των δεδομένων κατά μήκος της αλυσίδας αξίας. Ο έγκαιρος εντοπισμός αποκλίσεων και τάσεων, που πραγματοποιούνται σε τοπικό επίπεδο (εγκαταστάσεις παραγωγής), επιτρέπουν την αποτροπή της δημιουργίας ελαττωμάτων σε ένα στάδιο και τη διάδοσή τους σε μεταγενέστερες διαδικασίες, επιτρέποντας στο καθολικό σύστημα (αλυσίδα εφοδιασμού) να είναι προβλέψιμο (έγκαιρος εντοπισμός σφαλμάτων διαδικασιών) και προληπτικό (αυτοπροσαρμογή σε διαφορετικές συνθήκες)

✓ **Με γνώμονα το AI η προσομοίωση διαδικασιών και η μετατροπή τους σε πιο έξυπνες και γρήγορες διαδικασίες οδηγεί στη μείωση του χρόνου για τη διάθεση του προϊόντος στην αγορά:**

Η Agent-based Digital Twin πλατφόρμα που προτείνεται, ενσωματώνει AI, εργαλεία προσομοίωσης και ανάλυσης λογισμικού με δεδομένα που συλλέγονται στις εγκαταστάσεις παραγωγής για τη δημιουργία μοντέλων ψηφιακής προσομοίωσης που ενημερώνονται όταν αλλάζουν οι παράμετροι της διαδικασίας παραγωγής ή οι συνθήκες εργασίας. Αυτό στην ουσία είναι ένα σύστημα αυτομάθησης, χρησιμοποιώντας δεδομένα που συλλέγονται από διάφορες πηγές όπως από αισθητήρες που μεταδίδουν συνθήκες λειτουργίας, συσκευές, από ενεργοποιητές και εικονικούς αισθητήρες. Σε σύγκριση με τα παραδοσιακά μοντέλα προσομοίωσης, το προτεινόμενο πλαίσιο είναι αντιδραστικό, δηλαδή λαμβάνει πληροφορίες από τους αισθητήρες σχετικά με το φυσικό στοιχείο και αλλάζει όταν το στοιχείο τροποποιείται. Επιπλέον, το «τμήμα» της βελτιστοποίησης θα βελτιστοποιήσει τις παραμέτρους των διαδικασιών καθώς και τη δομή (ροή μερών/εξαρτημάτων/κτλ) των διαδικασιών αλυσίδας αξίας με βάση τα σχόλια που προέρχονται από τα Digital Twin. Αυτό το εργαλείο θα παρέχει τη προσομοίωση σε πραγματικό χρόνο και τον έλεγχο της αντίστοιχης απόδοσης της φυσικής οντότητας (ή του συστήματος) που υποστηρίζει τις δραστηριότητες λήψης αποφάσεων σχετικά με τον προγραμματισμό παραγωγής. Η στρατηγική του προγραμματισμού θα συγχρονιστεί με τις εγκαταστάσεις παραγωγής για την προσομοίωση παρακολούθησης, προκειμένου να μειωθεί ο χρόνος του προϊόντος μέχρι να βγει στην αγορά.

✓ **Σημαντική αύξηση της ποιότητας των παραγόμενων προϊόντων που οδηγούν σε μία σημαντική μείωση της σπατάλης και παραγωγής επιζήμιων προϊόντων:**

Οι εικονικοί αισθητήρες, που στοχεύει η παρούσα εργασία να αναπτυχθούν, μαθαίνουν να ερμηνεύουν τις σχέσεις μεταξύ των διαφορετικών μεταβλητών και παρατηρούν τα σήματα από τα διάφορα όργανα. Ο συνδυασμός των δεδομένων που παρέχονται από τους αισθητήρες με το digital twin καθιστά τις προβλέψεις πολύ πιο σημαντικές και ακριβείς. Αυτό το επιτυγχάνει επεκτείνοντας το φάσμα των λεπτομερειών που προήλθαν από δοκιμές που είναι προσβάσιμες στην παρακολούθηση. Αυτό μπορεί να περιλαμβάνει οποιοδήποτε στοιχείο κατά τη διάρκεια του σχεδιασμού και μπορεί να είναι κρίσιμο κατά τη λειτουργία. Μια υβριδική προσέγγιση παρακολούθησης όπως περιγράφεται παραπάνω μπορεί επίσης να είναι χρήσιμη στον προσδιορισμό των βέλτιστων θέσεων των αισθητήρων. Η παρούσα διατριβή οραματίζεται τη βελτίωση της ποιότητας των βιομηχανικών εργασιών και προϊόντων, η οποία οδηγεί άμεσα στη μείωση της αναλογίας των ελαττωματικών προϊόντων, μέσω της ανάπτυξης του προτεινόμενου συστήματος ποιοτικού ελέγχου. Αυτή η ιδέα στοχεύει να βοηθήσει τους οργανισμούς να επιτύχουν στόχους κερδοφορίας, έτσι ώστε να μπορούν να παράγουν σωστά από την αρχή, με το χαμηλότερο δυνατό κόστος και εγκαίρως.

Η παρούσα λύση έχει αντίκτυπο και σε άλλους πυλώνες όπως:

✓ Κοινωνικό αντίκτυπο:

Η τέταρτη βιομηχανική επανάσταση συνεπάγεται με έναν αυθεντικό μετασχηματισμό σε όλους τους τομείς της κοινωνίας, με την βιομηχανία να είναι μία από αυτές που επηρεάζονται περισσότερο. Οποιοδήποτε μέρος μιας διαδικασίας παραγωγής μπορεί να ενισχυθεί με την εισαγωγή τεχνολογικών καινοτομιών του και ο ποιοτικός έλεγχος είναι μια από αυτές τις διαδικασίες. Ο ποιοτικός έλεγχος στη νέα βιομηχανική ιδέα είναι αξιοσημείωτος για τη μεγαλύτερη ασφάλεια, αξιοπιστία και εμπιστοσύνη που παρέχει για την παραγωγή, λόγω της αυτοματοποίησης των διαδικασιών παραγωγής και της ολοκληρωμένης διαχείρισης της εφοδιαστικής αλυσίδας. Οι επιπτώσεις που έχει αυτό το μέρος της αλυσίδας αξίας για οποιονδήποτε κλάδο έχει μεγάλη σχέση με το τελικό αποτέλεσμα. Πολλοί συμφωνούν ότι τα προϊόντα έχουν κοινωνικές επιπτώσεις σε όσους τα χρησιμοποιούν και τα παράγουν αφού είναι τα τελικά αποτελέσματα/παραδοτέα κάποιας βιομηχανίας. Έτσι, ο ποιοτικός έλεγχος στις νέες γενιές της βιομηχανίας επηρεάζει τρεις ομάδες: τους εργαζόμενους, τους καταναλωτές και τις τοπικές κοινότητες, ενώ η επίδρασή του είναι μεγάλη στην καθημερινή ποιότητα ζωής αυτών των ανθρώπων. Για παράδειγμα, η παραγωγικότητα επηρεάζεται από την κακή ποιότητα. Εάν η ποιότητα δεν είναι ένα δυναμικό/προληπτικό μέτρο, οι εργαζόμενοι θα αφιερώνουν το μεγαλύτερο μέρος του χρόνου τους αφαιρώντας και επεξεργάζοντας ελαττωματικά προϊόντα. Αυτό εμποδίζει την παραγωγικότητα και μειώνει την ποιότητα του προϊόντος. Η παρούσα διατριβή, σχεδιάζοντας και αναπτύσσοντας κατάλληλες προσεγγίσεις μοντελοποίησης και προσομοίωσης, καθώς και τεχνικές σύντηξης δεδομένων για την κατανόηση της συμπεριφοράς του συστήματος παραγωγής σε πραγματικό χρόνο, παρέχει μια γρήγορη και ακριβή πρόβλεψη περίπλοκων σφαλμάτων και βοηθά στην ανάλυση των αιτιών τους με σκοπό την

αποφυγή ή τη μείωση των επιπτώσεων. Αυτό μειώνει χρόνο από τους υπαλλήλους για την αφαίρεση και επανεπεξεργασία ελαττωματικών προϊόντων και συμβάλλει στην αύξηση της παραγωγικότητάς τους. Επιπλέον, με τη δημιουργία ενός αποτελεσματικού κλειστού κυκλώματος ελέγχου σε δυναμικά περιβάλλοντα παραγωγής, και με την υποστήριξη «ευέλικτης» παραγωγής που μπορεί να παρέχει ένα περιβάλλον εργασίας, επηρεάζοντας την ικανοποίηση, τα κίνητρα και την εξέλιξη των εργαζομένων. Επιπλέον, αναπτύσσοντας έξυπνα, γνωστικά, προσαρμοστικά και οικονομικά-αποδοτικά εργαλεία και συστήματα αισθητήρων για παρακολούθηση διεργασιών, η υλοποίηση αυτής της ιδέας θα αυξήσει την ενεργειακή απόδοση και θα μειώσει το κόστος παραγωγής που θα ελευθερώσει πόρους που μπορούν στη συνέχεια να επανεπενδυθούν, ενισχύοντας την οικονομική ανάπτυξη, την απασχόληση καθώς επίσης την ασφάλεια της εργασίας. Αυτά τα αποτελέσματα είναι σύμφωνα με τους στόχους της ανάπτυξης του ΟΗΕ (UN SDGs) (1, 2, 5, 6, 8, 9, 10, και 15). Αυτές οι επιπτώσεις (όπως η τόνωση της απασχόλησης) αυξάνουν το βιοτικό επίπεδο, τόσο σε ατομικό επίπεδο ενισχύοντας το εισόδημα αλλά και τον αυτοσεβασμό, όσο και για το ευρωπαϊκό κοινωνικό και φορολογικό σύστημα. Το αντίκτυπο της υλοποίησης αυτής της ιδέας στον τομέα της απασχόλησης θα είναι πολύ σημαντικός, καθώς θα αυξήσει άμεσα την ανταγωνιστικότητα και η βιωσιμότητα του ευρωπαϊκού βιομηχανικού τομέα, συμβάλλοντας στη δημιουργία θέσεων απασχόλησης στον κλάδο. Σε σχέση με τους καταναλωτές, η παρούσα διατριβή, με τη μείωση του κόστους παραγωγής και τη βελτίωση της ποιότητας των προϊόντων, μπορεί να θεωρηθεί ως ενίσχυση της ευημερίας των καταναλωτών. Σε μια άλλη προοπτική, μια πρόσφατη έρευνα από την Unilever¹¹² δείχνει ότι οι καταναλωτές δίνουν προσοχή στον τρόπο με τον οποίο οι εταιρείες προσεγγίζουν κοινωνικά και περιβαλλοντικά ζητήματα. Ανακάλυψαν ότι το 33% των καταναλωτών επιλέγουν να αγοράσουν από εταιρείες που πιστεύουν ότι συμβάλλουν θετικά είτε κοινωνικά είτε περιβαλλοντικά είτε και τα δύο. Περισσότεροι από ένας στους πέντε (21%) των ερωτηθέντων δήλωσαν ότι θα επέλεγαν μάρκες/προϊόντα αν καθιστούσαν τα πιστοποιητικά βιωσιμότητας σαφέστερα στη συσκευασία τους αλλά και στο μάρκετινγκ τους. Αυτό αντιπροσωπεύει μια πιθανή ανεκμετάλλευτη ευκαιρία 966 δισεκατομμυρίων ευρώ από μια συνολική αγορά 2,5 τρισεκατομμυρίων ευρώ για τα βιώσιμα αγαθά¹¹³, η οποία σχετίζεται με την παρούσα ιδέα που προτείνει η διατριβή για τη βελτίωση της εμπιστοσύνης, της διαφάνειας, της ακεραιότητας και της ιχνηλασιμότητας των βιομηχανικών δεδομένων. Επιπρόσθετα, η παρούσα διατριβή, αναπτύσσοντας ένα ολοκληρωμένο, κατανοητό, ασφαλές σύστημα για αυτοματοποιημένη συλλογή, αποθήκευση, ανάλυση και χρήση δεδομένων παραγωγής μπορεί να οδηγήσει σε μια ολοκληρωμένη προσέγγιση για την παραγωγή μηδενικών ελαττωμάτων (zero defect model) που αυξάνει την αποδοτικότητα και τη βιωσιμότητα στην κατανάλωση πρώτων υλών. Μειώνει επίσης την τάση αγοράς φθηνών πρώτων υλών στη μαύρη αγορά από τρομοκρατικές ομάδες και καθιστούν τον

κόσμο πολύ ασφαλέστερο μέρος για όλους. Αυτό το αποτέλεσμα είναι σύμφωνο με τον 16ο στόχο της βιώσιμης ανάπτυξης του ΟΗΕ.

✓ Περιβαλλοντικό αντίκτυπο:

Η παροχή προϊόντων καλής ποιότητας είναι ένας από τους σημαντικότερους στόχους της παραγωγικής διαδικασίας. Η καλή ποιότητα είναι ένας σχετικός όρος, αλλά μπορεί να νοηθεί ως προϊόν με ελάχιστα ελαττώματα. Με την αύξηση της ζήτησης, οι βιομηχανίες θέλουν να αυξήσουν την παραγωγή με ανώτερο επίπεδο ποιότητας ενώ ταυτόχρονα, οι αυξημένες παραγωγικές δραστηριότητες αποτελούν δυνητική απειλή για το περιβάλλον. Αυτή η κατάσταση θέτει δύο προκλήσεις για τις βιομηχανίες. 1) Πώς να πετύχουν καλή ποιότητα με μειωμένο οικολογικό αποτύπωμα και 2) πώς να διατηρήσουν τον υψηλό όγκο της παραγωγής. Η βιώσιμη βιομηχανική παραγωγή αφορά τις πολλά υποσχόμενες πρωτοβουλίες που αναλαμβάνουν οι βιομηχανίες για τη μείωση των οικολογικών τους επιβαρύνσεων¹¹⁴. Η βιώσιμη βιομηχανική παραγωγή είναι στην ουσία η κατασκευή προϊόντων με το ελάχιστο δυνατό αρνητικό αντίκτυπο στο περιβάλλον, η διατήρηση των φυσικών πόρων και της ασφάλειας των εργαζομένων καθώς και των καταναλωτών. Η βιώσιμη βιομηχανική παραγωγή διασφαλίζει ότι όλες οι επιχειρησιακές διαδικασίες που περιλαμβάνουν ποιοτικό έλεγχο, δεν έχουν αρνητικές επιπτώσεις στους φυσικούς πόρους καθ' όλη τη διάρκεια ζωής των προϊόντων. Τα αποτελέσματα της παρούσας διατριβής επιτρέπουν γρήγορη και ακριβή πρόβλεψη σύνθετων σφαλμάτων, την ανάλυση των βασικών αιτιών και τις ενέργειες για την αποφυγή ή τη μείωση των επιπτώσεών τους, βοηθώντας στη μείωση των ελαττωματικών προϊόντων. Η ελαχιστοποίηση της ποσότητας των ελαττωματικών προϊόντων και η μείωση της σπατάλης πρώτων υλών βοηθά τις επιχειρήσεις να ελευθερώσουν μέρος των οικονομικών τους πόρων (που υποστήριζε τη αποκομιδή των σκάρτων προϊόντων και την απαραίτητη παροχή πρώτων υλών), για την εφαρμογή καλύτερων μεθόδων διαχείρισης πόρων και "αποβλήτων" που επιβαρύνουν οικολογικά την βιομηχανία. Η παρούσα διατριβή, αναπτύσσοντας ένα ολοκληρωμένο, κατανοητό, ασφαλές σύστημα για αυτοματοποιημένη συλλογή, αποθήκευση, ανάλυση και χρήση δεδομένων παραγωγής μπορεί να οδηγήσει σε μια ολοκληρωμένη προσέγγιση του μοντέλου μηδενικών ελαττωμάτων που στοχεύει στην επίτευξη υψηλής ποιότητας παραγωγής που είναι επίσης οικολογική. Η οικολογική βιομηχανία αναφέρεται σε διαδικασίες παραγωγής που μολύνουν λιγότερο και δημιουργούν λιγότερα συνολικά απόβλητα παραγωγής¹¹⁵. Τα αποτελέσματα από την ανάπτυξη των λύσεων της παρούσας διατριβής, αναπτύσσοντας έξυπνα, γνωστικά, προσαρμοστικά και οικονομικά αποδοτικά εργαλεία και συστήματα αισθητήρων για την παρακολούθηση διεργασιών, θα μπορούσαν να προσφέρουν μεγάλη ενεργειακή απόδοση και να μειώσουν τις

εκπομπές αερίων του θερμοκηπίου. Αυτά τα αποτελέσματα είναι σύμφωνα με τους στόχους βιώσιμης ανάπτυξης του ΟΗΕ 7,11 και 15.

Κεφάλαιο 6. Συμπέρασμα

Συνοψίζοντας τα παραπάνω τα έξυπνα εργοστάσια χαρακτηρίζονται από διαδικασίες που περιλαμβάνουν αλληλοσυνδεόμενες εργασίες, εργαλεία, καθώς και λειτουργίες logistics. Αυτά δημιουργούν μεγάλες ποσότητες δεδομένων, τα οποία μπορούν να χρησιμοποιηθούν για ανάλυση και πρόβλεψη, καθώς και για τη βελτιστοποίηση της ποιότητας των βιομηχανικών εργασιών αλλά και των παραγόμενων προϊόντων. Ωστόσο, μια σημαντική πρόκληση για την παραγωγή είναι η αξιοπιστία των δεδομένων.

Οι παραπάνω λύσεις, δηλαδή, μέσω της ενσωμάτωσης ελέγχου διαδικασιών και ποιότητας χρησιμοποιώντας το Agent-based Digital Twin, μέσω των έξυπνων εργαλείων επιθεώρησης αλλά και μέσα από την αξιοποίηση τεχνολογιών όπως τα Big Data Analytics, το AI και το blockchain, μπορούν να προσφέρουν μεγαλύτερη ορθότητα και ακρίβεια δεδομένων, αποτροπή της δημιουργίας και διάδοσης ελαττωματικών καθώς επίσης και αυξημένη αποδοτικότητα του εξοπλισμού. Η αξιοποίηση όλων των παραπάνω οδηγεί τόσο στην βελτιστοποίηση των διαδικασιών όσο και στην βελτιστοποίηση του ίδιου το προϊόντος που φτάνει στον καταναλωτή.

Τέλος, με την υλοποίηση αυτών των λύσεων εκτός από το αντίκτυπο στις επιχειρήσεις και τους καταναλωτές θα επηρεαστεί θετικά και το περιβάλλον εξαιτίας της μείωσης της σπατάλης και των ελαττωμάτων που οδηγούν σε άσκοπη χρήση ενεργειακών και άλλων πόρων.

Βιβλιογραφία

Βιβλιογραφία θεωρητικού μέρους

1. Mosadeghrad, Mohammad A. (2014). Essentials of total quality management: a metaanalysis. *International journal of health care quality assurance*, 27(6), 544-558
2. W. E. Deming, *Out of the crisis*. Cambridge, Mass.: Massachusetts Institute of Technology, Center for Advanced Engineering Study, 1986.
3. Juran, J.M (1988) *Juran on leadership for quality* New York: Mc Graw-Hill
4. Διοίκηση ολικής ποιότητας Δερβιτσιώτης 2005 σελ. 22
5. David Gavin 1987 Harvard Business article, "Competing on the 8 Dimensions of Quality,"
6. Σταμάτης Α. Αυλωνίτης, Στοιχεία Ελέγχου & Διασφάλισης Ποιότητας, 2003, σελ. 18
7. *Guide to the economics of quality. Process cost model*, 1992, BS 6143-1:1992
8. *The History of Quality in Industry: Rachel R. Kolb and Marcey L. Hoover* 2012, Sandia National Laboratories
9. International Organization for Standardization, ISO, 2020, official website.
10. *Principles of Total Quality*, Vincent K. Omachonu, Joel E. Ross, 2004
11. ISO (International Organization for Standardization). (2008). *Selection and Use of the ISO 9000:2008 family of standards*.
12. Goh, T. N. and Xie, M. (2004), "Improving on the Six Sigma paradigm", *TQM magazine*, vol. 16, no. 4, pp. 235-240
13. McAdam, R. and Evans, A. (2004), "Challenges to Six Sigma in a high technology mass manufacturing environments", *Total Quality Management*, vol. 15, no. 5-6, pp. 699-706
14. Mitra, A. (2004), "Six Sigma Education: a critical role for academia," *TQM magazine*, vol. 16, no. 4, pp.293-302
15. Coleman, S. (2008), "Six Sigma: An opportunity for statistics and for statisticians," *Significance*, vol. 5, issue 2, pp. 94-96
16. Anand, R. B., Shukla, S. K., Ghorpade, A., Tiwari, M. K. and Shankar, R. (2007), "SixSigma-based approach to optimise deep drawing operation variables", *International Journal of Production Research*, vol.45, no. 10, pp. 2365-2385
17. Chakrabarty, A. and Tan, K. C. (2007), "The current state of Six Sigma application inservices", *Managing Service Quality*, vol. 17, no. 2, pp.194-208
18. Yang, H.M., Choi, B.S., Park, H.J., Suh, M.S. and Chae, B. (2007), "Supply chainmanagement Six Sigma: a management innovation methodology at the SamsungGroup", *Supply Chain Management: An International Journal*, vol. 12, no. 2, pp.88-95
19. Mahanti, R. and Antony, J. (2005), "Confluence of Six Sigma, Simulation and Softwaredevelopment", *Managerial Auditing Journal*, vol. 20, no.7, pp.739-762
20. Markarian, J. (2004), "What is Six Sigma?", *Reinforced Plastics* July-Aug 2004, pp. 46-49
21. Pheng, L. S. and Hui, M. S. (2004), "Implementing and Applying Six Sigma inConstruction", *Journal of Construction Engineering and Management*, vol. 130, no.4, pp. 482-489

22. Schroeder, R. G., Linderman, K., Liedtke, C. and Choo, A. S. (2008), "Six Sigma: Definition and Underlying theory", *Journal of operations management*, no. 26, pp.536-554
23. Banuelas, R. and Antony, J. (2004), "Six Sigma or Design for Six Sigma", *TQM Magazine*, vol. 16, no. 4, pp.250-263
24. Thawani, S. (2004), "Six Sigma – strategy for organizational excellence", *Total Quality Management*, vol. 15, no. 5-6, pp.655-664
25. Black, K. and Revere, L. (2006), "Six Sigma arises from the ashes of TQM with a twist", *International Journal of Health Care Quality Assurance*, vol. 19, no. 3, pp. 259-266
26. Kumar, U. D., Nowicki, D., Ramirez-Marquez, J. R. and Verma, D. (2007), "On the optimal selection of process alternatives in a Six Sigma implementation", *International Journal of Production Economics*, no. 111, pp. 456-467
27. Antony, J., Kumar, M. and Madu, C. N. (2005a), "Six Sigma in small and medium sized UK manufacturing enterprises", *International Journal of Quality and Reliability Management*, vol. 22, no. 8, pp. 860-87
28. GLOSSARY OF QUALITY ASSURANCE TERMS AND RELATED ACRONYMS, QUALITY ASSURANCE DIVISION , U. S. Environmental Protection Agency December 10, 1997
29. Βασιλῆς Ν. Κέφης, Διοίκηση Ολικῆς Ποιότητας, Θεωρία και πρότυπα -2η έκδοση, 2014 σελ 57
30. Αποστολάκη 1., Μαυροειδή Ο. (2004), «Τα πρότυπα ποιότητας στις μονάδες υγείας», Διοικητική Ενημέρωση, 30, Ιούλιος-Σεπτέμβριος
31. Sureshchandar, G., Rajendran, C., & Anantharaman, R. (2001). A Holistic Model for Total Quality Service. *International Journal of Service Industry Management*, 12, 378-412.
32. Benavides-Velasco, C., Quintana-García, C., & Marchante-Lara, M. (2014). Total Quality Management, Corporate Social Responsibility and Performance in the Hotel Industry. *International Journal of Hospitality Management*, 41, 77-87
33. Shan, S., Zhao, S., & Hua, F. (2013). Impact of Quality Management Practices on the Knowledge Creation Process: The Chinese Aviation Firm Perspective. *Comput. Ind. Eng.*, 64(1), 211-223.
34. Ali, A. (2008). *Business and Management Environment in Saudi Arabia: Challenges and Opportunities for Multinational Corporations*, Taylor and Francis.
35. Mandaliya, N. (2013). An Empirical Study a Study with Total Quality Management Approach to the Information System Development Processes. *International Journal of Business and Management Invention*, 2(5), 44-49.
36. Διοίκηση ολικῆς ποιότητας Δερβιτσιώτης 2005 σελ 44
37. Oliver, R. K., & Webber, M. D. (1982). Supply-chain management: Logistics catches up with strategy. In M. Christopher (Ed.), *Logistics: The strategic issue* (pp. 63-75): London, UK: Chapman & Hall.
38. Cooper, M.C., Lambert, D.M., Pagh, J.D., 1997. Supply chain management, more than a new name for logistics. *The International Journal of Logistics Management*
39. Småros, J., Lehtonen, J., Appelqvist, P., Holmström, J., 2003. The impact of increasing demand visibility on production and inventory control efficiency. *International Journal of Physical Distribution & Logistics Management*, 33 (4), pp. 336 – 354
40. Lang, J.C., 2001. Managing in knowledge-based competition. *Journal of Organizational Change Management*, 14 (6), pp.539- 553.
41. Desouza, K.C., Chattaraj, A., Kraft, G., 2003 .Supply chain perspectives to knowledge management: research propositions. *Journal*

42. Hoffman, J.M., Mehra, S., 2000. Efficient consumer response as a supply chain strategy for grocery businesses .International Journal of Service Industry Management, 11 (4), pp.365 – 373.
43. Sparks, L., Wagner,B.A., 2003. Retail exchanges: a research agenda. Supply Chain Management: An International Journal. 8 (3), pp17-25.
44. Johnson, P ZineldinM., 2003 .Achieving high satisfaction in supplier-dealer working relationships. Supply Chain Management: an International Journal, 8 (3), pp.224 – 240.
45. Lambert, D.M., Pohlen, T.L., 2001. Supply Chain Metrics. The International Journal of Logistics Management, 12 (1), pp.1-19.
46. Lummus, R.R., Krumwiede, D.W., Vokurka,R.J., 2001. The relationship of logistics to supply chain management: developing a common industry definition.Industrial Management & Data Systems, 101 (8), pp.426 – 432
47. Meade,L., Sarkis, J., 2002.A conceptual model for selecting and evaluating third- party reverse logistics providers .Supply Chain
48. Neves, M.F., Zuurbier, P., Campomar, M.C., 2001. A model for the distribution channels planning process.Journal of Business & Industrial Marketing; 16 (7)pp. 518-539.
49. Ma, H., Davidrajuh, R., 2005.An iterative approach for distribution chain design in agile virtual environment. Industrial Management & Data Systems , 105 (6), pp. 815 – 834
50. Power, D., 2005 .Supply chain management integration and implementation: a literature review .Supply Chain Management: An International Journal, 10 (4), pp. 252-263
51. Porter, M. E. (1985), Com-petitive Advantage: Creating and Sustaining Superior Performance’, New York: Free Press.
52. Porter, M.E. (1985) Competitive Advantage – Creating a Sustaining Superior Performance, The Free Press, New York.
53. Kaplinsky, R. and Morris, M. (2001) A Handbook for Value Chain Research, Brighton, United Kingdom, Institute of Development Studies, University of Sussex
54. Porter, M.E. (1996) ‘What is strategy?’, Harvard Business Review, Vol. 74, No. 6, pp.61–78
55. Fearne, A., Martinez, M.G. and Dent, B. (2012) ‘Dimensions of sustainable value chains: implications for value chain analysis’, Supply Chain Management: An International Journal, Vol. 17, No. 6, pp. 575-581.
56. Keeney, R.L. (1992) Value Focused Thinking, Harvard University Press, Cambridge, MA.
57. Walters, D. and Lancaster, G. (2000) ‘Implementing value strategy through the value chain’, Management Decision, Vol. 38, No. 3, pp.160–178.
58. Francis, M., Simons, D. and Bourlakis, M. (2008) ‘Value chain analysis in the UK beef foodservice sector’, Supply Chain Management: An International Journal, Vol. 13, No. 1, pp.83–91
59. S. Russell, P. Norvig, and A. Intelligence, “Artificial intelligence: A modern approach,” Englewood Cliffs, NJ: Prentice-Hall, 1995
60. Jiaying, K, Xiangjie, X, Feng, Bai, Xiaomei, Wang, Lei, Q,Qing, Lee. (2018), Artificial Intelligence in the 21st Century.
61. M. Nielsen, “Neural networks and deep learning”, vol. 25, USA: Determination press, 2015.
62. A. Voulodimos, N. Doula mis, A. Doulamis, and E. Protopapadakis, “Deep learning for computer vision: A brief review,” Computational Intelligence and Neuroscience, 2018.

63. S. Bini, “ Artificial intelligence, machine learning, deep learning, and cognitive computing: What do these terms mean and how will they impact health care?”, *The Journal of Arthroplasty*, 2018
64. https://www.ibm.com/cloud/learn/machine-learning#toc-how-machin-NoVMSZI_
65. World Bank Group (2017) Distributed Ledger Technology (DLT) and Blockchain. FinTech Note No. 1.
66. Pinna, A. & Ruttenberg, W. (2016) Distributed Ledger Technologies in Securities Post-Trading Revolution or Evolution? ECB Occasional Paper No. 172
67. Bank of England (2017) The economics of distributed ledger technology for securities settlement. Staff Working Paper n.670.
68. Crosby, M., Pattanayak, P., Verma, S., Kalyanaraman, V., 2016. Blockchain technology: beyond bitcoin. *Appl. Innovation* 2, 6–10
69. Nakamoto, S., 2008. Bitcoin: A peer-to-peer electronic cash system
70. V. Buterin, “A next-generation smart contract and decentralized application platform,” *Etherum*, no. January, pp. 1–36, 2014
71. Z. Zheng, S. Xie, H. Dai, X. Chen, and H. Wang, “An Overview of Blockchain Technology: Architecture, Consensus, and Future Trends,” *Proc. - 2017 IEEE 6th Int. Congr. Big Data, BigData Congr. 2017*, no. June, pp. 557–564, 2017.
72. M. Turkanović, M. Hölbl, K. Košič, M. Heričko, and A. Kamišalić, “EduCTX: A blockchain-based higher education credit platform,” *IEEE Access*, vol. 6, pp. 5112–5127, 2018
73. Grieves, M., 2014, Digital twin: manufacturing excellence through virtual factory replication (2014)
74. Grieves, M., Vickers, J., 2017, Digital twin: mitigating unpredictable, undesirable emergent behavior in complex systems. *Transdisciplinary perspectives on complex systems*, 85–113
75. Kubick, W.R.: Big Data, Information and Meaning. In: *Clinical Trial Insights*, pp. 26–28 (2012)
76. Russom, P.: Big Data Analytics. In: *TDWI Best Practices Report*, pp. 1–40 (2011)
77. EMC: Data Science and Big Data Analytics. In: *EMC Education Services*, pp. 1–508 (2012)
78. Labrinidis A., Jagadish H.V. Challenges and opportunities with big data *Proceedings of the VLDB Endowment*, 5 (12) (2012), pp. 2032-2033
79. Al Nuaimi E., Al Neyadi H., Mohamed N., Al-Jaroodi J. Applications of big data to smart cities *Journal of Internet Services and Applications*, 6 (1) (2015), pp. 1-15

Βιβλιογραφία ερευνητικού μέρους

80. H. Lasi, P. Fettke, H.-G. Kemper, T. Feld, M. Hoffmann *Industry 4.0, Business & Information Systems Engineering*, 6 (2014), pp. 239-242
81. K. Miriyala, N. Viswanadham Reliability analysis of flexible manufacturing systems *International Journal of Flexible Manufacturing Systems*, 2 (1989), pp. 145-162
82. M. Rüßmann, M. Lorenz, P. Gerbert, M. Waldner, J. Justus, P. Engel, M. Harnisch *Industry 4.0: The future of productivity and growth in manufacturing industries*, Boston Consulting Group (2015), p. 9
83. G.-J. Cheng, L.-T. Liu, X.-J. Qiang, Y. Liu, *Industry 4.0 development and application of intelligent manufacturing*, in: *Information System and Artificial Intelligence (ISAI)*, 2016 International Conference on, IEEE, 2016, pp. 407-410.
84. R. Burke, A. Mussomeli, S. Laaper, M. Hartigan, and B. Sniderman, *The smart factory: Responsive, adaptive, connected manufacturing*, Deloitte Insights 43(2017)

85. Kamble, S.S., Gunasekaran, A., Gawankar, S.A.: Sustainable Industry 4.0 framework: A systematic literature review identifying the current trends and future perspectives. *Process Saf. Environ. Prot.* 117, 408–425 (2018)
86. Telukdarie, A., Buhulaiga, E.A., Bag, S., Gupta, S., Luo, Z.: Industry 4.0 Implementation for Multinationals. *Process Saf. Environ. Prot.* (2018)
87. Gifford, C.: The MOM Chronicles ISA-95 Best Practice Book 3.0. International Society of Automation, Research Triangle Park, NC (2013)
88. Meissner, H., Ilse, R., Aurich, J.C.: Analysis of Control Architectures in the Context of Industry 4.0. *Procedia CIRP.* 62, 165–169 (2017)
89. Godina, R., Matias, J.C.O.: Improvement of the statistical process control through an enhanced test of normality. In: 2018 7th International Conference on Industrial Technology and Management (ICITM). pp. 17–21 (2018)
90. Kamble, S.S., Gunasekaran, A., Gawankar, S.A.: Sustainable Industry 4.0 framework: A systematic literature review identifying the current trends and future perspectives. *Process Saf. Environ. Prot.* 117, 408–425 (2018).
91. Meissner, H., Ilse, R., Aurich, J.C.: Analysis of Control Architectures in the Context of Industry 4.0. *Procedia CIRP.* 62, 165–169 (2017)
92. Li, P., Jiang, P.: Research on Quality-Oriented Outsourcing Decision Architecture for Small-Batch Parts of Multistage Machining Processes. In: *Proceedings of the 22nd International Conference on Industrial Engineering and Engineering Management 2015.* pp. 427–433. Atlantis Press, Paris (2016)
93. Liu, C., Wang, H., Fu, X., Xie, D.: Research on Quality Control under Small Batch Production Condition. In: 2010 International Conference on Measuring Technology and Mechatronics Automation. pp. 147–150 (2010)
94. Mayr, A., Weigelt, M., Kühl, A., Grimm, S., Erll, A., Potzel, M., Franke, J.: Lean 4.0- A conceptual conjunction of lean management and Industry 4.0. *Procedia CIRP.* 72, 622–628 (2018).
95. Foidl, H., Felderer, M.: Research Challenges of Industry 4.0 for Quality Management. In: *Innovations in Enterprise Information Systems Management and Engineering.* pp. 121–137. Springer, Cham (2015).
96. <http://www.ehealthmonitor.eu/index.php?content=publications>
97. A. Lokrantz, E. Gustavsson and M. Jirstrand, “Root cause analysis of failures and quality deviations in manufacturing using machine learning”, *Procedia CIRP*, vol. 72, pp. 1057-1062, 2018.
98. D. Delen and H. Demirkan, “Data, information and analytics as services,” *Decis. Support Syst.*, vol. 55, no. 359–363, 2013
99. A. Lokrantz, E. Gustavsson and M. Jirstrand, “Root cause analysis of failures and quality deviations in manufacturing using machine learning”, *Procedia CIRP*, vol. 72, pp. 1057-1062, 2018
100. D. Lieber, M. Stolpe, B. Konrad, J. Deuse and K. Morik, “Quality prediction in interlinked manufacturing processes based on supervised & unsupervised machine learning”, *Procedia CIRP*, vol. 7, pp. 193–198, 2013
101. M. Melhem, B. Ananou, M. Ouladsine and J. Pinaton “Regression methods for predicting the product’s quality in the semiconductor manufacturing process”, *IFAC-Papers OnLine*, vol. 49(12), pp. 83–88, 2016

102. Kabasakal, F. Demircan Keskin, A. Koçak and H. Soyuer “A Prediction Model for Fault Detection in Molding Process Based On Logistic Regression Technique”, Proceedings of the International Symposium for Production Research (ISPR) 2019
103. S. Zhang, R. Dubay and M. Charest, “A principal component analysis model-based predictive controller for controlling part warpage in plastic injection molding”, *Expert Systems with Applications*, vol. 42 (6), pp. 2919–2927, 2015
104. Schluse, M.; Rossmann, J. From simulation to experimentable digital twins: Simulation-based development and operation of complex technical systems. In Proceedings of the ISSE 2016 - 2016 International Symposium on Systems Engineering - Proceedings Papers; 2016.
105. ISO/TC184/SC4/WG15 ISO CD 23247-1: Digital Twin manufacturing framework - Part 1: Overview and general principles.
106. A. Detzner and M. Eigner A Digital Twin for Root Cause Analysis and Product Quality Monitoring. International Design Conference - DESIGN 2018 <https://doi.org/10.21278/idc.2018.0418>
107. Rikard Söderberg, Kristina Wärmefjord, Johan S. Carlson, Lars Lindkvist. Toward a Digital Twin for real-time geometry assurance in individualized production. *CIRP Annals*. Volume 66, Issue 1, 2017, Pages 137-14
108. Cunbo Zhuang & Jianhua Liu & Hui Xiong. Digital twin-based smart production management and control framework for the complex product assembly shop-floor. *The International Journal of Advanced Manufacturing Technology* (2018)
109. <https://www.gartner.com/en>
110. F. Tao, J. Cheng, Q. Qi, M. Zhang, H. Zhang, F. Sui, Digital twin-driven product design, manufacturing and service with big data, *Int. J. Adv. Manuf. Technol.*, 94 (2018), pp. 3563-3576
111. X.L. Liu, W.M. Wang, H. Guo, A. V. Barenji, Z. L., George, Q. Huang, Industrial blockchain based framework for product lifecycle management in industry 4.0, *Robotics and Computer-Integrated Manufacturing*, pp63 (2020)
112. <https://www.unilever.com/news/press-releases/2017/report-shows-a-third-of-consumers-prefer-sustainable-brands.html>
113. Unilever, “MAKING PURPOSE PAYINSPIRING SUSTAINABLE LIVING,” 2016.
114. S. H. Abdul-Rashid, N. Sakundarini, R. A. Raja Ghazilla, and R. Thurasamy, “The impact of sustainable manufacturing practices on sustainability performance: Empirical evidence from Malaysia,” *Int. J. Oper. Prod. Manag.*, 2017
115. The European Commission, “The 2020 climate and energy package,” The European Commission. 2014