



ΕΛΛΗΝΙΚΟ ΑΝΟΙΚΤΟ ΠΑΝΕΠΙΣΤΗΜΙΟ
ΣΧΟΛΗ ΘΕΤΙΚΩΝ ΕΠΙΣΤΗΜΩΝ ΚΑΙ ΤΕΧΝΟΛΟΓΙΑΣ

ΔΙΑΧΕΙΡΙΣΗ ΚΑΙ ΤΕΧΝΟΛΟΓΙΑ ΠΟΙΟΤΗΤΑΣ (ΔΙΠ)

ΔΙΠΛΩΜΑΤΙΚΗ ΕΡΓΑΣΙΑ

**Στρατηγικές Σχεδιασμού και Ενσωμάτωσης του Quality 4.0 στα
Συστήματα Διοίκησης Ολικής Ποιότητας**

ΚΩΝΣΤΑΝΤΙΝΟΣ ΣΚΡΑΠΑΣ

ΔΗΜΗΤΡΙΟΣ ΜΟΥΡΤΖΗΣ

ΠΑΤΡΑ
ΙΟΥΛΙΟΣ, 2024

Η παρούσα εργασία αποτελεί πνευματική ιδιοκτησία του φοιτητή Κωνσταντίνου Σκράπα που την εκπόνησε. Στο πλαίσιο της πολιτικής ανοικτής πρόσβασης ο/η συγγραφέας/δημιουργός εκχωρεί στο ΕΑΠ, μη αποκλειστική άδεια χρήσης του δικαιώματος αναπαραγωγής, προσαρμογής, δημόσιου δανεισμού, παρουσίας στο κοινό και ψηφιακής διάχυσής τους διεθνώς, σε ηλεκτρονική μορφή και σε οποιοδήποτε μέσο, για διδακτικούς και ερευνητικούς σκοπούς, άνευ ανταλλάγματος και για όλο το χρόνο διάρκειας των δικαιωμάτων πνευματικής ιδιοκτησίας. Η ανοικτή πρόσβαση στο πλήρες κείμενο για μελέτη και ανάγνωση δεν σημαίνει καθ' οιονδήποτε τρόπο παραχώρηση δικαιωμάτων διανοητικής ιδιοκτησίας του/της συγγραφέα/δημιουργού ούτε επιτρέπει την αναπαραγωγή, αναδημοσίευση, αντιγραφή, αποθήκευση, πώληση, εμπορική χρήση, μετάδοση, διανομή, έκδοση, εκτέλεση, «μεταφόρτωση» (downloading), «ανάρτηση» (uploading), μετάφραση, τροποποίηση με οποιονδήποτε τρόπο, τμηματικά ή περιληπτικά της εργασίας, χωρίς τη ρητή προηγούμενη έγγραφη συναίνεση του/της συγγραφέα/δημιουργού. Ο/Η συγγραφέας/δημιουργός διατηρεί το σύνολο των ηθικών και περιουσιακών του δικαιωμάτων.



ΕΛΛΗΝΙΚΟ ΑΝΟΙΚΤΟ ΠΑΝΕΠΙΣΤΗΜΙΟ
ΣΧΟΛΗ ΘΕΤΙΚΩΝ ΕΠΙΣΤΗΜΩΝ ΚΑΙ ΤΕΧΝΟΛΟΓΙΑΣ

ΔΙΑΧΕΙΡΙΣΗ ΚΑΙ ΤΕΧΝΟΛΟΓΙΑ ΠΟΙΟΤΗΤΑΣ (ΔΙΠ)

ΔΙΠΛΩΜΑΤΙΚΗ ΕΡΓΑΣΙΑ

**Στρατηγικές Σχεδιασμού και Ενσωμάτωσης του Quality 4.0 στα
Συστήματα Διοίκησης Ολικής Ποιότητας**

ΚΩΝΣΤΑΝΤΙΝΟΣ ΣΚΡΑΠΑΣ

Επιβλέπων Καθηγητής
ΔΗΜΗΤΡΙΟΣ ΜΟΥΡΤΖΗΣ

Συν-επιβλέπων Καθηγητής
ΕΥΑΓΓΕΛΟΣ ΨΩΜΑΣ

ΠΑΤΡΑ
ΙΟΥΛΙΟΣ, 2024

Ευχαριστίες

Θα ήθελα να ευχαριστώ ιδιαίτερα τον επιβλέποντα καθηγητή μου κ. Δημήτριο Μούρτζη που με ενέπνευσε να επιλέξω το συγκεκριμένο σύγχρονο θέμα και ο οποίος, παρά τις δυσκολίες που εμφανίστηκαν κατά την διάρκεια εκπόνησης της διπλωματικής εργασίας λόγω της απομακρυσμένης επικοινωνίας, ήταν σημαντικός αρωγός στην προσπάθειά μου προσφέροντάς μου χρήσιμες συμβουλές και τις κατάλληλες κατευθύνσεις προκειμένου να παρουσιάσω μία ολοκληρωμένη εργασία.

Επίσης, θα ήθελα να ευχαριστήσω την οικογένειά μου που ήταν δίπλα μου και με στήριξαν σε όλη αυτή την προσπάθεια παρότι τα τελευταία δύο έτη κατά τα οποία παρακολούθησα το συγκεκριμένο μεταπτυχιακό πρόγραμμα, τους αφιέρωσα λιγότερο χρόνο από όσο αφιερώνω συνήθως.

Περίληψη

Στις μέρες μας, η ταχύτατη εξέλιξη της τεχνολογίας και η διάδοση της ψηφιοποίησης επηρεάζουν βαθιά τον τρόπο λειτουργίας των επιχειρήσεων. Οι νέες τεχνολογίες, όπως η τεχνητή νοημοσύνη, η μηχανική μάθηση, το Διαδίκτυο των Πραγμάτων (IoT) και τα μεγάλα δεδομένα (big data), έχουν τη δυνατότητα να βελτιώσουν την ποιότητα και την αποδοτικότητα των βιομηχανικών διαδικασιών. Το Quality 4.0 αποτελεί την εξέλιξη των παραδοσιακών συστημάτων διαχείρισης ποιότητας, ενσωματώνοντας αυτές τις τεχνολογίες για να δημιουργήσει ένα πιο ευέλικτο και αποδοτικό σύστημα ποιότητας.

Η παρούσα διπλωματική εργασία εξετάζει την επίδραση των τεχνολογικών εξελίξεων της Τέταρτης Βιομηχανικής Επανάστασης στις διαδικασίες διαχείρισης ποιότητας. Σκοπός της εργασίας είναι να διερευνήσει τις στρατηγικές που πρέπει να υιοθετήσουν οι οργανισμοί για να ενσωματώσουν τις αρχές του Quality 4.0 στα υπάρχοντα Συστήματα Διοίκησης Ολικής Ποιότητας.

Συγκεκριμένα πραγματοποιείται ανάλυση των στρατηγικών που πρέπει να υιοθετήσουν οι οργανισμοί για να ενσωματώσουν το Quality 4.0 στα συστήματα διοίκησης ποιότητας. Στη συνέχεια καθορίζονται τα βήματα και οι διαδικασίες που απαιτούνται για την επιτυχή ενσωμάτωση των τεχνολογιών του Quality 4.0. Από την ανάλυση προκύπτει η σπουδαιότητα των πλεονεκτημάτων που προσφέρει η εφαρμογή του Quality 4.0 στις επιχειρήσεις, μέσω μελετών περίπτωσης από μεγάλες διεθνείς επιχειρήσεις που έχουν ήδη εφαρμόσει αυτές τις τεχνολογίες.

Επίσης αναδεικνύεται η σημασία της στρατηγικής ενσωμάτωσης του Quality 4.0 στα συστήματα Διοίκησης Ολικής Ποιότητας, παρουσιάζοντας πρακτικές εφαρμογές που μπορούν να οδηγήσουν σε βελτιώσεις της ποιότητας και της αποδοτικότητας. Η κατανόηση των στρατηγικών σχεδιασμού και των διαδικασιών ενσωμάτωσης μπορεί να βοηθήσει τις επιχειρήσεις να προσαρμοστούν στις απαιτήσεις της σύγχρονης ψηφιακής εποχής και να παραμείνουν ανταγωνιστικές.

Λέξεις Κλειδιά: Quality 4.0, 4^η Βιομηχανική Επανάσταση, Τεχνητή Νοημοσύνη, Διαδίκτυο Πραγμάτων, Διοίκηση Ολικής Ποιότητας

Abstract

In today's world, the rapid advancement of technology and the spread of digitalization profoundly affect the way businesses operate. New technologies such as artificial intelligence, machine learning, the Internet of Things (IoT), and big data have the potential to improve the quality and efficiency of industrial processes. Quality 4.0 represents the evolution of traditional quality management systems by integrating these technologies to create a more flexible and efficient quality system.

This thesis examines the impact of technological advancements of the Fourth Industrial Revolution on quality management processes. The purpose of the study is to investigate the strategies that organizations must adopt to incorporate the principles of Quality 4.0 into existing Total Quality Management (TQM) systems.

Specifically, the study analyzes the strategies that organizations need to adopt to integrate Quality 4.0 into quality management systems. It then identifies the steps and processes required for the successful integration of Quality 4.0 technologies. The analysis highlights the significance of the benefits offered by the implementation of Quality 4.0 in businesses, illustrated through case studies from large international companies that have already adopted these technologies.

Additionally, the thesis underscores the importance of strategically integrating Quality 4.0 into TQM systems, presenting practical applications that can lead to improvements in quality and efficiency. Understanding the design strategies and integration processes can help businesses adapt to the demands of the modern digital era and remain competitive.

Keywords: Quality 4.0, Fourth Industrial Revolution, Artificial Intelligence, Internet of Things, Total Quality Management

Περιεχόμενα

Ευχαριστίες.....	i
Περίληψη	ii
Abstract.....	iii
Πίνακας Εικόνων	v
1. Εισαγωγή	1
1.1 Αντικείμενο της Εργασίας	1
1.2 Δομή της Εργασίας	2
2. Βιβλιογραφική Ανασκόπηση.....	3
2.1 Συστήματα Παραγωγής και Βιομηχανικές Επαναστάσεις	3
2.2 Εξέλιξη των Συστημάτων Διοίκησης Ποιότητας.....	8
2.3 Ορισμός του Quality 4.0	14
2.4 Σχέση του Quality 4.0 με την Ολική Ποιότητα	17
2.5 Σύγκριση Quality 4.0 και παραδοσιακών συστημάτων Διοίκησης Ποιότητας	21
2.6 Στρατηγικές σχεδιασμού και ο ρόλος τους στα συστήματα διοίκησης ποιότητας.....	26
3. Στρατηγικές Σχεδιασμού και Ενσωμάτωση στα Συστήματα Διοίκησης Ολικής Ποιότητας	30
3.1 Ανάλυση Διάφορων Στρατηγικών Σχεδιασμού	30
3.2 Σύνδεση των Στρατηγικών με το Quality 4.0 και Ενσωμάτωσή τους.....	35
3.2.1 Ανάπτυξη Ψηφιακής Υποδομής	35
3.2.2 Καλλιέργεια Συνεργατικού Περιβάλλοντος	38
3.2.3 Εκπαίδευση και Ανάπτυξη Ανθρώπινου Δυναμικού.....	39
3.2.4 Συνεχής Βελτίωση και Δημιουργία Κουλτούρας Καινοτομίας.....	41
3.3 Προκλήσεις και Πλεονεκτήματα της Ενσωμάτωσης.....	42
3.3.1 Προκλήσεις της Ενσωμάτωσης	43
3.3.2 Πλεονεκτήματα της Ενσωμάτωσης	44
4. Πρακτικές Εφαρμογές και Μελέτες Περίπτωσης.....	48
4.1 Ανάλυση Πρακτικών Περιπτώσεων Επιχειρήσεων με Quality 4.0	48
4.1.1 Η Περίπτωση της General Electric	48
4.1.2 Η Περίπτωση της Siemens.....	54
4.1.3 Η Περίπτωση της Bosch	60
4.2 Αξιολόγηση των Αποτελεσμάτων	66
5. Συμπεράσματα – Προτάσεις για Μελλοντική Έρευνα	76
5.1 Συμπεράσματα	76
5.2 Προτάσεις για Μελλοντική Έρευνα	79
Βιβλιογραφία	81

Πίνακας Εικόνων

Εικόνα 1.1 – Στάδια της Βιομηχανικής Επανάστασης	3
Εικόνα 1.2 – Στάδια Εξέλιξης της Ποιότητας	9
Εικόνα 4.1 – Πλατφόρμα Predix.....	50
Εικόνα 4.2 – Αισθητήρες σε Αεροκινητήρα.....	52
Εικόνα 4.3 – Αρχιτεκτονική Πλατφόρμας Mindsphere.....	55
Εικόνα 4.4 – Η Τεχνολογία των Ψηφιακών Διδύμων στην Siemens	60
Εικόνα 4.4 – Η Εφαρμογή Τεχνητής Νοημοσύνης στην Bosch.....	61
Εικόνα 4.5 – Πλατφόρμα Bosch IoT Suite	63
Εικόνα 4.7 – Επίδραση Quality 4.0 σε General Electric	69
Εικόνα 4.8 – Επίδραση Quality 4.0 σε Siemens	72
Εικόνα 4.8 – Επίδραση Quality 4.0 σε Bosch	74

1. Εισαγωγή

1.1 Αντικείμενο της Εργασίας

Η σύγχρονη εποχή θα μπορούσε να χαρακτηριστεί ως η εποχή εισβολής της τεχνολογίας σε πολλούς τομείς της καθημερινότητας. Πληθώρα τεχνολογικών επιτευγμάτων έχει αλλάξει ριζικά την καθημερινότητα των ανθρώπων καθώς η πλειοψηφία των περισσοτέρων είναι πλέον εύκολα προσβάσιμη και αξιοποιήσιμη από το ευρύ κοινό (Coccia and Watts 2020).

Είναι αξιοσημείωτη η εξέλιξη της τεχνολογίας και ο τρόπος που επηρεάζει τον τρόπο λειτουργίας των επιχειρήσεων. Είναι ιδιαίτερα χαρακτηριστικό ότι η εξέλιξη των εφαρμογών και η εύρεση νέων τρόπων λειτουργίας μίας εταιρείας χαρακτηρίζεται ως «Βιομηχανική Επανάσταση» θέλοντας να αποδώσει με αυτόν τον τρόπο την σημαντικότητα και τον βαθμό επηρεασμού τόσο της καθημερινότητας όσο και της δομής μιας επιχείρησης (Lim, et al. 2021).

Στις μέρες μας, στην εποχή της 4^{ης} Βιομηχανικής Επανάστασης, η πλειοψηφία των ανθρώπων έρχονται σε επαφή με σύγχρονους τεχνολογικούς όρους, όπως η Τεχνητή Νοημοσύνη, η Μηχανική Μάθηση, το Διαδίκτυο Πραγμάτων, τα ψηφιακά δίδυμα και τόσο ακόμα (Hassoun, et al. 2023). Είναι σημαντικό ότι αυτοί οι όροι δεν αποτελούν πλέον ένα σενάριο μίας ταινίας του μέλλοντος αλλά την υπάρχουσα πραγματικότητα (Lim, et al. 2021).

Η εξέλιξη της τεχνολογίας, οι Βιομηχανικές Επαναστάσεις, δεν άφησε ανεπηρέαστη και τον τρόπο που ένας οργανισμός εφαρμόζει και χρησιμοποιεί το Σύστημα Διαχείρισης Ποιότητας. Από τις πολύ απλές αλλά θεμελιώδεις αρχές του ποιοτικού ελέγχου έχει πραγματοποιηθεί το βήμα και η μετεξέλιξη σε ένα σύγχρονο τρόπο εφαρμογής της ποιότητας, το Quality 4.0 (Sader, Husti and Daroczi 2022). Το Quality 4.0 αποτελεί και το βασικό αντικείμενο της παρούσας διπλωματικής εργασίας.

Σκοπός της εργασίας είναι να εξετασθούν οι στρατηγικές σχεδιασμού που πρέπει να εφαρμόσει ένας οργανισμός προκειμένου να ενσωματώσει τις αρχές του Quality 4.0 στην λειτουργία του. Η μετάβαση από τις παραδοσιακές αρχές ποιότητας στο Quality 4.0 δεν είναι μία εύκολη διαδικασία και είναι πολύ σημαντικό η μελέτη της ομαλής μετάβασης.

Προκειμένου να επιτευχθεί ο σκοπός της εργασίας κρίνεται απαραίτητη η ικανοποίηση ορισμένων αντικειμενικών στόχων που θα επιτρέψει την εξαγωγή ασφαλών συμπερασμάτων. Υπό αυτό το πρίσμα, στην παρούσα εργασία έγινε προσπάθεια για:

- Καθορισμός των στρατηγικών σχεδιασμού που οφείλει να υιοθετήσει ένας οργανισμός
- Καθορισμός της διαδικασίας ενσωμάτωσης του Quality 4.0 προκειμένου αυτή να συνοδεύει με τα προσδοκώμενα αποτελέσματα
- Μελέτη των πλεονεκτημάτων που επιφέρει η εφαρμογή του Quality 4.0 σε μία επιχείρηση, μέσω της μελέτης τριών επιχειρήσεων που πρωταγωνιστούν στον στίβο της αγοράς έχοντας εφαρμόσει σύγχρονες τεχνολογίες στην παραγωγική τους διαδικασία και εγκαθιδρύοντας ένας Σύστημα Διαχείρισης Ποιότητας στηριζόμενο στις αρχές του Quality 4.0.

1.2 Δομή της Εργασίας

Για την ικανοποίηση του σκοπού της εργασίας καθώς και των αντικειμενικών στόχων αυτής, ακολουθήθηκε η ακόλουθη δομή:

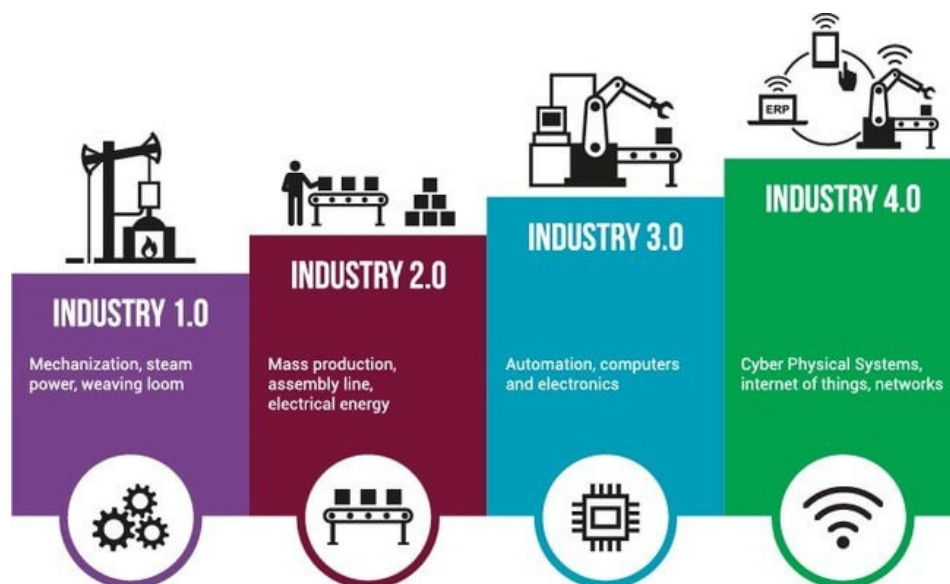
- Αρχικά, στο πρώτο κεφάλαιο, καθορίστηκε επακριβώς το αντικείμενο και η δομή της εργασίας.
- Στη συνέχεια, στο επόμενο κεφάλαιο, πραγματοποιήθηκε μία βιβλιογραφική ανασκόπηση προκειμένου να γίνει αντιληπτή τόσο η εξέλιξη της τεχνολογίας όσο και η αντίστοιχη των συστημάτων διαχείρισης ποιότητας.
- Στο τρίτο κεφάλαιο αναλύθηκαν οι στρατηγικές σχεδιασμού και ενσωμάτωσης του Quality 4.0 στην λειτουργία ενός οργανισμού ενώ έγινε και μελέτη τόσο των προκλήσεων όσο και των πλεονεκτημάτων της ενσωμάτωσης.
- Στο τέταρτο κεφάλαιο πραγματοποιήθηκε μελέτη, μέσω δεδομένων από την βιβλιογραφία όσο και από τις επίσημες ιστοσελίδες τριών μεγάλων οργανισμών, της επίδρασης που επέφερε η ενσωμάτωση του Quality 4.0 στην λειτουργία τους εστιάζοντας στις βελτιώσεις του τρόπου λειτουργίας τους.
- Στο πέμπτο και τελευταίο κεφάλαιο της εργασίας παρουσιάστηκαν συγκεντρωτικά τα συμπεράσματα της μελέτης και έγινε αναφορά σε προτάσεις για μελλοντική έρευνα.

2. Βιβλιογραφική Ανασκόπηση

2.1 Συστήματα Παραγωγής και Βιομηχανικές Επαναστάσεις

Η σημερινή μορφή των επιχειρήσεων έχει προκύψει ως το αποτέλεσμα των εξελίξεων και των εφευρέσεων που έχουν πραγματοποιηθεί στο πέρασμα των χρόνων. Η εξέλιξη των συστημάτων παραγωγής μέσω των Βιομηχανικών Επαναστάσεων αποτελεί μια από τις σημαντικότερες ιστορικές αλλαγές που έχουν επηρεάσει τόσο την ανθρώπινη κοινωνία όσο και την οικονομία και την τεχνολογία (Lim, et al. 2021). Με μία ιστορική αναδρομή στον τρόπο λειτουργίας των συστημάτων παραγωγής είναι περισσότερο από εμφανής η μετάβαση από τις χειροκίνητες μεθόδους παραγωγής σε μηχανοκίνητες και ψηφιακές διαδικασίες παραγωγής (The Certified Manager of Quality/Organizational Excellence Handbook 2020).

Η όλη αυτή εξέλιξη σηματοδότησε την έναρξη μιας νέας εποχής βιομηχανικής ανάπτυξης. Η εξέλιξη αυτή ή αλλιώς «επανάσταση» διαδραματίστηκε σε τέσσερα στάδια που αναφέρονται ως οι αντίστοιχες Βιομηχανικές Επαναστάσεις. Παρακάτω αναφέρονται τα κύρια χαρακτηριστικά κάθε μίας από τις τέσσερις Βιομηχανικές Επαναστάσεις και εστιάζεται κυρίως στην αντίστοιχη εξέλιξη των συστημάτων παραγωγής που χρησιμοποιούνται (Xu, David and Kim 2018).



Εικόνα 1.1 – Στάδια της Βιομηχανικής Επανάστασης

α. Πρώτη Βιομηχανική Επανάσταση – Industry 1.0

Η Πρώτη Βιομηχανική Επανάσταση, που ξεκίνησε στα τέλη του 18ου αιώνα και συνεχίστηκε στις αρχές του 19ου αιώνα, σηματοδότησε μια θεμελιώδη αλλαγή στον τρόπο παραγωγής

αγαθών. Αυτή η περίοδος χαρακτηρίζεται από την υιοθέτηση νέων τεχνολογιών και την αναδιοργάνωση της εργασίας. Ουσιαστικά αποτέλεσε την πρώτη προσπάθεια περιορισμού της παραδοσιακής χειροκίνητης εργασίας οδηγώντας στη δημιουργία των πρώτων εργοστασίων και την άνθηση της βιομηχανικής παραγωγής (Mathur, Dabas and Sharma 2022).

Τα σημαντικότερα επιτεύγματα της περιόδου αυτής που αποτελούν και σημεία ορόσημα θα μπορούσαν να κατηγοριοποιηθούν ως παρακάτω, αποτελώντας τα πρώτα συστήματα παραγωγής ανά τεχνολογικό τομέα:

- **Μηχανοποίηση και Ατμοκίνηση:** Η βελτίωση της ατμομηχανής από τον James Watt το 1769 ήταν μια από τις πιο σημαντικές εφευρέσεις της Πρώτης Βιομηχανικής Επανάστασης. Η ατμομηχανή επέτρεψε την αξιοποίηση μηχανικής ενέργειας ανεξάρτητα από τις υδάτινες πηγές, διευκολύνοντας την κατασκευή εργοστασίων σε διάφορες τοποθεσίες. (Varshney, et al. 2024) Σημειώνεται ότι τα σύγχρονα, για την εποχή, ατμοκίνητα μηχανήματα χρησιμοποιήθηκαν σε διάφορες βιομηχανίες, όπως η κλωστοϋφαντουργία, η μεταλλουργία και οι μεταφορές. Τα εργοστάσια εξοπλισμένα με ατμομηχανές μπορούσαν να παράγουν προϊόντα πιο γρήγορα και σε μεγαλύτερες ποσότητες (Mathur, Dabas and Sharma 2022).

- **Ανάπτυξη της Κλωστοϋφαντουργίας:** Η βιομηχανία κλωστοϋφαντουργίας ήταν από τις πρώτες που εκβιομηχανίστηκαν. Νέες μηχανές, όπως η πλέκτρα (spinning jenny) του James Hargreaves και ο μηχανικός αργαλειός του Edmund Cartwright, επέτρεψαν την ταχεία παραγωγή υφασμάτων (Varshney, et al. 2024). Συγκεκριμένα η πλέκτρα μπορούσε να περιστρέφει πολλαπλές κλωστές ταυτόχρονα, αυξάνοντας σημαντικά την παραγωγή νήματος και ο μηχανικός αργαλειός αυτοματοποίησε τη διαδικασία ύφανσης, μειώνοντας τον χρόνο και την εργασία που απαιτείτο για την παραγωγή υφασμάτων (Al-Sayed and Yang 2018).

- **Εργοστάσια και Συγκεντρωμένη Παραγωγή:** Η δημιουργία μεγάλων εργοστασίων ήταν ένα από τα πιο χαρακτηριστικά στοιχεία της Πρώτης Βιομηχανικής Επανάστασης. Τα εργοστάσια συγκεντρωναν μεγάλο αριθμό εργαζομένων και μηχανημάτων κάτω από μια στέγη, επιτρέποντας την κεντρική διαχείριση της παραγωγής (Mathur, Dabas and Sharma 2022).

Με την συγκεντρωμένη παραγωγή και τη μετάβαση από τις μικρές οικοτεχνίες στα μεγάλα εργοστάσια, η παραγωγή μπορούσε να ελέγχεται και να βελτιστοποιείται καλύτερα. Επίσης βελτιστοποιήθηκε και η οργάνωση εργασίας η οποία πλέον έγινε πιο εξειδικευμένη, με τους

εργαζομένους να αναλαμβάνουν συγκεκριμένα καθήκοντα στη γραμμή παραγωγής (Varshney, et al. 2024).

- **Μεταλλουργία και Παραγωγή Σιδήρου:** Σημαντική ήταν και η επίδραση της «επανάστασης» στην μεταλλουργία καθώς η χρήση νέων υλικών αντί του παραδοσιακού ξυλοκάρβουνου στο λιώσιμο του σιδήρου, μια μέθοδος που αναπτύχθηκε από τον Abraham Darby, επέτρεψε την παραγωγή ισχυρότερου και φθηνότερου σιδήρου (Vinitha, et al. 2020).

Παράλληλα οι βελτιώσεις στους φούρνους υψηλής θερμοκρασίας κατέστησαν δυνατή την παραγωγή μεγάλων ποσοτήτων σιδήρου, απαραίτητου για την κατασκευή μηχανημάτων και σιδηροδρομικών γραμμών ενώ ο σίδηρος χρησιμοποιήθηκε ευρέως και στην κατασκευή υποδομών, όπως οι σιδηροδρομικές γραμμές, που διευκόλυναν τη μεταφορά πρώτων υλών και προϊόντων (Vinitha, et al. 2020; Varshney, et al. 2024).

Συμπερασματικά λοιπόν, η Πρώτη Βιομηχανική Επανάσταση έφερε σημαντικές αλλαγές στα συστήματα παραγωγής, με κύρια χαρακτηριστικά τη μηχανοποίηση, τη συγκέντρωση της παραγωγής σε εργοστάσια, και τη χρήση νέων τεχνολογιών στη μεταλλουργία και την κλωστοϋφαντουργία. Αυτές οι αλλαγές οδήγησαν σε μια σημαντική αύξηση της παραγωγικότητας και της αποδοτικότητας, αλλά και σε σημαντικές κοινωνικές και οικονομικές αλλαγές, όπως η αστικοποίηση και η ανάπτυξη νέων κοινωνικών τάξεων. Οι καινοτομίες της Πρώτης Βιομηχανικής Επανάστασης έθεσαν τις βάσεις για τις μετέπειτα βιομηχανικές επαναστάσεις και την συνεχή εξέλιξη των συστημάτων παραγωγής μέχρι σήμερα.

β. Δεύτερη Βιομηχανική Επανάσταση – Industry 2.0

Η Δεύτερη Βιομηχανική Επανάσταση, η οποία εκτυλίχθηκε από τα τέλη του 19ου αιώνα έως τις αρχές του 20ού αιώνα, σηματοδότησε μια νέα φάση εκβιομηχάνισης και εισήγαγε σημαντικές τεχνολογικές καινοτομίες που επηρέασαν βαθιά τα συστήματα παραγωγής. Αυτή η περίοδος χαρακτηρίστηκε από την ανάπτυξη του ηλεκτρισμού, των χημικών βιομηχανιών, των μηχανοκίνητων συστημάτων και των νέων μεθόδων διοίκησης και οργάνωσης της παραγωγής (Vinitha, et al. 2020).

Παρακάτω αναφέρονται ενδεικτικά τα σημαντικότερα χαρακτηριστικά των συστημάτων παραγωγής κατά τη διάρκεια της συγκεκριμένης Βιομηχανικής Επανάστασης

- **Ηλεκτρισμός και Μηχανοποίηση:** Ο ηλεκτρισμός αποτελεί πλέον την βασική πηγή ενέργειας για τα εργοστάσια, αντικαθιστώντας τις ατμομηχανές και παρέχοντας μεγαλύτερη

ευελιξία και αποδοτικότητα στις διαδικασίες παραγωγής. Η εισαγωγή ηλεκτρικών κινητήρων επέτρεψε τη δημιουργία πιο ευέλικτων γραμμών παραγωγής, αφού πλέον δεν ήταν απαραίτητη η ύπαρξη μίας δύσχρηστης ατμομηχανής. Παράλληλα ο ηλεκτρικός φωτισμός βελτίωσε την ασφάλεια και την παραγωγικότητα στα εργοστάσια, επιτρέποντας την εργασία και κατά τις νυχτερινές ώρες (Yin, Stecke and Li 2018).

- **Χημική Βιομηχανία:** Η χημική βιομηχανία σημείωσε ραγδαία εξέλιξη, παρέχοντας νέα υλικά και προϊόντα που χρησιμοποιήθηκαν στη βιομηχανική παραγωγή. Τα συνθετικά υλικά αποτέλεσαν τα σημαντικότερα εξ αυτών καθώς η παραγωγή τους δημιούργησε νέους ορίζοντες στη βιομηχανία, επιτρέποντας την κατασκευή ελαφρύτερων και πιο ανθεκτικών προϊόντων (Iyer 2018). Επιπρόσθετα πραγματοποιήθηκαν βελτιώσεις στις χημικές διαδικασίες που επέτρεψαν την παραγωγή προϊόντων σε μεγαλύτερη κλίμακα και με υψηλότερη καθαρότητα και ποιότητα (Yin, Stecke and Li 2018).

- **Γραμμή Συναρμολόγησης:** Η εισαγωγή της γραμμής συναρμολόγησης από τον Henry Ford το 1913 αποτέλεσε σημαντική καινοτομία στην παραγωγή. Η συγκεκριμένη μέθοδος επέτρεψε τη μαζική παραγωγή αυτοκινήτων και άλλων προϊόντων σε μεγάλης κλίμακας, μειώνοντας το κόστος παραγωγής και τον χρόνο συναρμολόγησης. Κάθε εργαζόμενος ήταν υπεύθυνος για μια συγκεκριμένη εργασία, η οποία επαναλαμβανόταν σε κάθε μονάδα που περνούσε από μπροστά του (Vinitha, et al. 2020).

- **Καθετοποιημένη Ενσωμάτωση:** Στη δεύτερη Βιομηχανική Επανάσταση εμφανίζεται και ο όρος καθετοποιημένη ενσωμάτωση. Οι μεγάλες βιομηχανίες της εποχής άρχισαν να ελέγχουν όλα τα στάδια παραγωγής, από την προμήθεια πρώτων υλών έως την κατασκευή και διανομή των τελικών προϊόντων (Yin, Stecke and Li 2018). Συγκεκριμένα, οργανισμοί όπως η Standard Oil ανέπτυξαν καθετοποιημένες δομές, διαχειριζόμενες την εξόρυξη, την επεξεργασία και τη διανομή των προϊόντων τους, επιτυγχάνοντας μεγαλύτερο έλεγχο στο κόστος και την ποιότητα. (Lu , et al. 2019)

Συμπερασματικά λοιπόν θα μπορούσε να αναφερθεί ότι η Δεύτερη Βιομηχανική Επανάσταση συνοδεύτηκε από σημαντικές αλλαγές στα συστήματα παραγωγής μέσω της εισαγωγής του ηλεκτρισμού, της ανάπτυξης της χημικής βιομηχανίας, και της εφαρμογής επιστημονικών μεθόδων διοίκησης και γραμμών συναρμολόγησης. Αυτές οι καινοτομίες επέτρεψαν τη μαζική παραγωγή προϊόντων, βελτίωσαν την αποδοτικότητα και την παραγωγικότητα, και δημιούργησαν νέα οικονομικά μοντέλα και κοινωνικές δομές. Η οργάνωση της εργασίας και

η χρήση νέων τεχνολογιών στα εργοστάσια έθεσαν τις βάσεις για την σύγχρονη βιομηχανική παραγωγή, που συνεχίζει να εξελίσσεται μέχρι σήμερα (Mathur, Dabas and Sharma 2022).

γ. Τρίτη Βιομηχανική Επανάσταση – Industry 3.0

Η τρίτη Βιομηχανική Επανάσταση, γνωστή και ως Ψηφιακή Επανάσταση, εμφανίστηκε ως νέα περίοδος ενδιαφέροντος το δεύτερο μισό του 20ού αιώνα. Αυτή η επανάσταση χαρακτηρίζεται από την εισαγωγή των ψηφιακών τεχνολογιών, των υπολογιστών, της αυτοματοποίησης και των επικοινωνιών στην παραγωγική διαδικασία. Οι αλλαγές επέφεραν σημαντικές αλλαγές στα συστήματα παραγωγής, καθιστώντας τα πιο ευέλικτα, αποδοτικά και προσαρμοστικά στις ανάγκες της αγοράς (Jiang, et al. 2022). Συγκεκριμένα, οι καινοτομίες που χαρακτηρίζουν την τρίτη Βιομηχανική Επανάσταση θα μπορούσαμε να πούμε ότι είναι, ενδεικτικά, τα ακόλουθα:

- **Πληροφορική και Υπολογιστές:** Το βασικό χαρακτηριστικό της περιόδου είναι η ανάπτυξη των υπολογιστών και των πληροφοριακών συστημάτων εν γένει, που άλλαξαν ριζικά την παραγωγική διαδικασία. Η χρήση των υπολογιστών για τον έλεγχο και τη διαχείριση της παραγωγής επέτρεψε την ακριβή παρακολούθηση και βελτιστοποίηση των διαδικασιών ενώ ήταν πλέον δυνατή η διαχείριση πόρων και διαδικασιών σε πραγματικό χρόνο (Melnyk, et al. 2023).

Αξίζει να σημειωθεί ξεχωριστά η δημιουργία των συστημάτων σχεδιασμού και κατασκευής με τη βοήθεια υπολογιστή, τύπου CAD, τα οποία βελτίωσαν σε σημαντικό βαθμό την ακρίβεια και την ταχύτητα στον σχεδιασμό και την παραγωγή προϊόντων (Jiang, et al. 2022).

- **Αυτοματισμός και Ρομποτική:** Σε συνέχεια των πληροφοριακών συστημάτων, η εισαγωγή των αυτοματοποιημένων συστημάτων και των ρομπότ στη γραμμή παραγωγής ενίσχυσε την αποδοτικότητα και τη συνεχή λειτουργία των εργοστασίων.

Οι μηχανές, που συχνά αναφέρονταν ως ρομπότ, εμφανίστηκαν στην λειτουργία των επιχειρήσεων και άρχισαν να χρησιμοποιούνται για επαναλαμβανόμενες και ακριβείς εργασίες, όπως η συναρμολόγηση, η συγκόλληση και η βαφή. Τα ρομπότ με προγραμματιζόμενη λογική επέτρεψαν την ευελιξία στην παραγωγή και τη μείωση του κόστους εργασίας (Zakoldaev, et al. 2019).

Επιπρόσθετα οι CNC μηχανές, οι εργαλειομηχανές με αριθμητικό έλεγχο, επέτρεψαν την ακριβή κατασκευή εξαρτημάτων με υψηλή ακρίβεια και ταχύτητα.

- **Διαδίκτυο και Δίκτυα Επικοινωνίας:** Το Διαδίκτυο και τα δίκτυα επικοινωνίας συνέδεσαν τις επιχειρήσεις παγκοσμίως, επιτρέποντας την ταχύτατη ανταλλαγή πληροφοριών και την απομακρυσμένη διαχείριση της παραγωγής καθιστώντας ιδιαίτερα την ανταλλαγή δεδομένων μεταξύ διαφορετικών γεωγραφικών περιοχών (Jiang, et al. 2022).

- **Ευέλικτη Παραγωγή και Lean Manufacturing:** Η έμφαση στην αποδοτικότητα και τη μείωση των αποβλήτων οδήγησε στην ανάπτυξη μεθόδων ευέλικτης παραγωγής και lean manufacturing. Με αυτές τις διαδικασίες επιτράπη η ταχεία προσαρμογή των γραμμών παραγωγής σε νέες απαιτήσεις της αγοράς παρέχοντας τη δυνατότητα κατασκευής μικρών παρτίδων εξατομικευμένων προϊόντων ενώ παράλληλα έγιναν τα πρώτα βήματα για την μείωση των αποβλήτων (Varshney, et al. 2024).

Η τρίτη Βιομηχανική Επανάσταση εισήγαγε σημαντικές καινοτομίες στα συστήματα παραγωγής μέσω της χρήσης των ψηφιακών τεχνολογιών, της αυτοματοποίησης και των δικτύων επικοινωνίας. Η ανάπτυξη των υπολογιστών και των πληροφοριακών συστημάτων επέτρεψε την ακριβή παρακολούθηση και βελτιστοποίηση των διαδικασιών παραγωγής (Vinitha, et al. 2020; Yin, Stecke and Li 2018).

Συνολικά, η Τρίτη Βιομηχανική Επανάσταση οδήγησε σε μια πιο συνδεδεμένη, ευέλικτη και αποδοτική παραγωγική διαδικασία, θέτοντας τα θεμέλια για την τέταρτη βιομηχανική επανάσταση που ακολουθεί.

δ. Τέταρτη Βιομηχανική Επανάσταση – Industry 4.0

Η τέταρτη Βιομηχανική Επανάσταση, γνωστή και ως Βιομηχανία 4.0, ξεκίνησε στις αρχές του 21ου αιώνα και συνεχίζεται μέχρι σήμερα. Αυτή η επανάσταση χαρακτηρίζεται από την ενσωμάτωση ψηφιακών τεχνολογιών, έξυπνων συστημάτων και αυτοματισμών στη βιομηχανική παραγωγή (Bai, et al. 2020).

Η χρήση τεχνολογιών όπως το Διαδίκτυο των Πραγμάτων (IoT), η Τεχνητή Νοημοσύνη (AI), η ρομποτική, η τρισδιάστατη εκτύπωση και η επανυξημένη πραγματικότητα (AR) έχουν φέρει ριζικές αλλαγές στον τρόπο παραγωγής προϊόντων και υπηρεσιών (Zheng, et al. 2021).

2.2 Εξέλιξη των Συστημάτων Διοίκησης Ποιότητας

Ανατρέχοντας κανείς στην βιβλιογραφία, θα εντοπίζει μία αντίστοιχη εξέλιξη των συστημάτων Διοίκησης Ποιότητας με αυτήν των τεσσάρων Βιομηχανικών Επαναστάσεων. Ο

όρος «Quality 4.0» εμφανίζεται χρονικά παράλληλά με την αντίστοιχη βιομηχανική επανάσταση. Αξίζει εδώ να σημειωθεί ότι η προσέγγιση εξέλιξης των συστημάτων διοίκησης ποιότητας, ή της ποιότητας εν γένει, εστιάζει αποκλειστικά στην εξέλιξη των διαδικασιών που χρησιμοποιεί μία επιχείρηση όσον αφορά στον τομέα της ποιότητας και δεν εστιάζει στην υιοθέτηση καινοτόμων τεχνολογιών (Kumar, Sahithi and Revanth 2020).



Εικόνα 1.2 – Στάδια Εξέλιξης της Ποιότητας

Επιγραμματικά, η μετάβαση από το Quality 1.0 στο Quality 4.0, όπως φαίνεται σε [Εικόνα 1.2](#), θα μπορούσε να περιγραφεί:

α. Quality 1.0: Έλεγχος Ποιότητας (Quality Inspection)

Η πρώτη βιομηχανική επανάσταση έφερε σημαντικές αλλαγές στην παραγωγική διαδικασία, με την εισαγωγή των μηχανών και της μαζικής παραγωγής. Υπό αητό το πρίσμα, η έννοια της ποιότητας ήταν κυρίως συνδεδεμένη με την τέχνη και την επιδεξιότητα των εργατών. Τα προϊόντα κατασκευάζονταν σε μεγάλο βαθμό χειροκίνητα, και η ποιότητα ήταν αποτέλεσμα της δεξιοτεχνίας και της εμπειρίας του ατόμου που τα κατασκεύαζε. Ο έλεγχος της ποιότητας γινόταν από τους ίδιους τους τεχνίτες ή από επιθεωρητές που επιθεωρούσαν τα προϊόντα στο τέλος της παραγωγικής γραμμής (Kumar, Sahithi and Revanth 2020).

Αν προσπαθούσε κανείς να εντοπίσει ορισμένα βασικά χαρακτηριστικά του πρώτου συστήματος διοίκησης ποιότητας, σε μία αδόκιμη μετάφραση του όρου quality 1.0, θα κατέληγε συνοπτικά στα ακόλουθα (Mathur, Dabas and Sharma 2022; Varshney, et al. 2024; Agarwal, Mathur and Walia 2023):

- **Τεχνική Επιδεξιότητα:** Η ποιότητα των προϊόντων εξαρτιόταν σε μεγάλο βαθμό από τις δεξιότητες και την εμπειρία των εργατών. Οι εξειδικευμένοι τεχνίτες ήταν υπεύθυνοι για την παραγωγή και τον έλεγχο των προϊόντων, χρησιμοποιώντας τις γνώσεις και την κρίση τους για να εξασφαλίσουν ότι τα προϊόντα πληρούσαν τα πρότυπα ποιότητας.

- **Χειροκίνητος Έλεγχος Ποιότητας:** Ο έλεγχος της ποιότητας γινόταν κυρίως με χειροκίνητες μεθόδους. Επιθεωρητές ή οι ίδιοι οι εργαζόμενοι επιθεωρούσαν τα τελικά προϊόντα για να εντοπίσουν και να απομακρύνουν τα ελαττωματικά προϊόντα πριν από την αποστολή στους πελάτες.

- **Απουσία ή περιορισμένη Τυποποίηση:** Οι πρώιμες διαδικασίες παραγωγής δεν είχαν υιοθετήσει την ύπαρξη τυποποίησης, η οποία δεν ήταν ακόμα γνωστή και ίσως απαραίτητη. Οι μέθοδοι παραγωγής ποικίλλαν σημαντικά από έναν εργάτη σε άλλον, κάτι που οδήγησε σε ασυνέπεια στην ποιότητα των προϊόντων.

- **Εμπειρικές Προσεγγίσεις:** Η διοίκηση της ποιότητας στηριζόταν σε μεγάλο βαθμό στην εμπειρία και την πρακτική γνώση των εργατών. Δεν υπήρχε συστηματική ή επιστημονική προσέγγιση για τον έλεγχο και τη βελτίωση της ποιότητας.

- **Προτεραιότητα η παραγωγή:** Οι επιχειρήσεις εκείνης της περιόδου εστίαζαν κυρίως στην διαδικασία παραγωγής. Προτεραιότητα κάθε οργανισμού ήταν το κέρδος το οποίο ήταν συνώνυμο με τον μεγάλο όγκο παραγωγής, με άμεση συνέπεια η ποιότητα να έχει δεύτερο ρόλο στην όλη διαδικασία.

Τα παραπάνω χαρακτηριστικά οδηγούσαν ανεμπόδιστα σε προβλήματα ή γενικότερα προκλήσεις της τότε περιόδου. Συγκεκριμένα, η απουσία ισχυρού συστήματος διοίκησης ποιότητας είχε ως αποτέλεσμα (Varshney, et al. 2024):

- **Ασυνέπεια στην Ποιότητα:** Η έλλειψη τυποποιημένων διαδικασιών οδήγησε σε ασυνέπεια στην ποιότητα των παραγόμενων προϊόντων.

- **Εξάρτηση από Ανθρώπινη Επιδεξιότητα:** Η ποιότητα εξαρτιόταν από την επιδεξιότητα των ατόμων, κάτι που σήμαινε ότι οποιαδήποτε μείωση στην απόδοση ή την προσοχή του εργάτη μπορούσε να επηρεάσει αρνητικά την ποιότητα.

- **Περιορισμένη Ανάλυση Δεδομένων:** Οι μέθοδοι ελέγχου ποιότητας βασίζονταν σε εμπειρικές προσεγγίσεις χωρίς τη χρήση στατιστικών εργαλείων ή ανάλυσης δεδομένων για την ανίχνευση προβλημάτων και την προληπτική λήψη μέτρων.

Συνοψίζοντας, το Quality 1.0 αποτέλεσε το πρώτο βήμα στην πορεία προς τη συστηματική διοίκηση της ποιότητας. Οι εμπειρικές προσεγγίσεις και η εξάρτηση από την ανθρώπινη επιδεξιότητα έθεσαν τα θεμέλια για τις μετέπειτα εξελίξεις και την ανάπτυξη πιο δομημένων και επιστημονικών μεθόδων διαχείρισης της ποιότητας που εμφανίστηκαν στις επόμενες βιομηχανικές επαναστάσεις (Agarwal, Mathur and Walia 2023).

Quality 2.0: Ποιοτικός Έλεγχος (Quality Control)

Κατά τη δεύτερη βιομηχανική επανάσταση, η ανάπτυξη του ηλεκτρισμού, η εισαγωγή της γραμμής συναρμολόγησης και η εκτεταμένη χρήση νέων υλικών όπως ο χάλυβας και το πετρέλαιο, έθεσαν τις βάσεις για μαζική παραγωγή σε πρωτοφανείς κλίμακες. Αυτές οι τεχνολογικές πρόοδοι είχαν αντίκτυπο και στην προσέγγιση των βιομηχανιών έναντι της ποιότητας, καθιστώντας αναγκαία την ανάπτυξη πιο συστηματικών και τυποποιημένων μεθόδων συγκριτικά με την υφιστάμενη αντιμετώπιση (Varshney, et al. 2024).

Μελετώντας το Quality 2.0, θα εντοπίσουμε την εμφάνιση των πρώτων διαδικασιών που παρουσιάζει την τάση να αναβαθμιστεί η ποιότητα και να μην έχει πλέον απλά τυπικό χαρακτήρα ύπαρξης. Συγκεκριμένα, τα στοιχεία που χαρακτήριζαν τα συστήματα διοίκησης ποιότητας της εποχής είναι (Agarwal, Mathur and Walia 2023):

- **Στατιστικός Έλεγχος Ποιότητας (SQC):** Ο στατιστικός έλεγχος ποιότητας αποτέλεσε μια από τις σημαντικότερες καινοτομίες αυτής της περιόδου. Οι στατιστικές μέθοδοι χρησιμοποιήθηκαν για την ανάλυση της ποιότητας των προϊόντων και τη λήψη αποφάσεων βάσει δεδομένων. Αυτές οι μέθοδοι περιλάμβαναν τη χρήση δειγματοληψίας και στατιστικών εργαλείων για τον εντοπισμό σφαλμάτων και αποκλίσεων στην παραγωγή, επιτρέποντας τη βελτίωση της ποιότητας μέσω τεκμηριωμένων διαδικασιών (Westgard, Bayat and Westgard 2018).

- **Επιστημονική Διοίκηση:** Η επιστημονική διοίκηση, όπως αυτή αναπτύχθηκε από τον Frederick Taylor και άλλους, έπαιξε καθοριστικό ρόλο στην εξέλιξη της διοίκησης ποιότητας. Αυτή η προσέγγιση έδινε έμφαση στη βελτιστοποίηση της αποδοτικότητας και στη μείωση των αποβλήτων μέσω της τυποποίησης των διαδικασιών και της ανάλυσης της εργασίας. Οι αρχές της επιστημονικής διοίκησης προωθούσαν την ιδέα ότι η ποιότητα μπορούσε να επιτευχθεί μέσω της συστηματικής ανάλυσης και της βελτίωσης των παραγωγικών διαδικασιών (Varshney, et al. 2024).

- **Τυποποίηση και Τυποποιημένα Μέρη:** Η τυποποίηση των εξαρτημάτων και των διαδικασιών παραγωγής υπήρξε κεντρικό στοιχείο της δεύτερης βιομηχανικής επανάστασης. Η χρήση τυποποιημένων μερών και διαδικασιών μείωσε την ανάγκη για ειδικευμένους τεχνίτες και επέτρεψε την παραγωγή σε μεγαλύτερη κλίμακα με σταθερά επίπεδα ποιότητας. Οι γραμμές συναρμολόγησης, όπως αυτές που ανέπτυξε ο Henry Ford, απλοποίησαν τη διαδικασία παραγωγής και βελτίωσαν την ποιότητα μέσω της επανάληψης και της συνέπειας (Varshney, et al. 2024; Mathur, Dabas and Sharma 2022).

- **Διοίκηση Ανθρώπινου Δυναμικού:** Οι προσεγγίσεις στη διοίκηση ποιότητας κατά τη δεύτερη βιομηχανική επανάσταση περιλάμβαναν επίσης τη βελτίωση της διοίκησης του ανθρώπινου δυναμικού. Οι εργαζόμενοι εκπαιδεύονταν σε συγκεκριμένες διαδικασίες και τεχνικές, και δινόταν έμφαση στη συνεχή εκπαίδευση και βελτίωση των δεξιοτήτων τους για την επίτευξη υψηλότερων επιπέδων ποιότητας (Jiang, et al. 2022).

Συνοψίζοντας, καταλήγουμε στο συμπέρασμα ότι το Quality 2.0, με τη συστηματική και επιστημονική προσέγγισή του, έθεσε τις βάσεις για τις μετέπειτα εξελίξεις στη διοίκηση ποιότητας. Η χρήση στατιστικών μεθόδων, η τυποποίηση των διαδικασιών και η έμφαση στη συνεχή βελτίωση ήταν τα βασικά χαρακτηριστικά αυτής της περιόδου που συνέβαλαν στην ανάπτυξη των σύγχρονων συστημάτων διοίκησης ποιότητας (Varshney, et al. 2024).

Quality 3.0: Διασφάλιση Ποιότητας (Quality Assurance)

Αυτή η εποχή χαρακτηρίζεται από την εκτεταμένη χρήση των υπολογιστών, την αυτοματοποίηση της παραγωγής, και την ανάπτυξη της ηλεκτρονικής και της πληροφορικής.

Κατά τη διάρκεια της Τρίτης Βιομηχανικής Επανάστασης, η Ολική Διοίκηση Ποιότητας (Total Quality Management - TQM) έγινε η κυρίαρχη φιλοσοφία στη διοίκηση ποιότητας. Το TQM εισήγαγε μια ολοκληρωμένη προσέγγιση που περιλάμβανε όλους τους εργαζόμενους σε μια συνεχή διαδικασία βελτίωσης της ποιότητας. Βασικός στόχος του TQM ήταν η ικανοποίηση του πελάτη μέσω της άριστης ποιότητας σε όλα τα επίπεδα της παραγωγής και των υπηρεσιών (Kumar, Sahithi and Revanth 2020; Vinitha, et al. 2020).

Η τρίτη φάση λοιπόν, Quality 3.0, εστιάζει στη διασφάλιση ποιότητας και την καθιέρωση τυποποιημένων διαδικασιών για τη διασφάλιση της ποιότητας καθ' όλη τη διάρκεια της παραγωγής. Αυτή η προσέγγιση αναγνωρίζει τη σημασία της πρόληψης ελαττωμάτων μέσω της διαχείρισης των διαδικασιών και της συνεχιζόμενης βελτίωσης.

Η φιλοσοφία της Ολικής Διοίκησης Ποιότητας επικεντρώθηκε σε τέσσερις βασικές αρχές, οι οποίες θα αναλυθούν εκτενέστερα στη συνέχεια (Varshney, et al. 2024; Vinittha, et al. 2020):

- **Εστίαση στον πελάτη:** Η ποιότητα καθορίζεται από τον πελάτη. Όλες οι δραστηριότητες και οι διαδικασίες πρέπει να στοχεύουν στην ικανοποίηση των αναγκών και των προσδοκιών των πελατών.
- **Συμμετοχή όλων των εργαζομένων:** Όλοι οι εργαζόμενοι, ανεξαρτήτως θέσης, συμμετέχουν ενεργά στη διαδικασία βελτίωσης της ποιότητας. Η συνεργασία και η ομαδική εργασία είναι κρίσιμες για την επίτευξη των στόχων του TQM.
- **Συνεχής βελτίωση:** Η διαδικασία βελτίωσης της ποιότητας δεν σταματά ποτέ. Η διαρκής προσπάθεια για βελτίωση είναι ουσιώδης για την επίτευξη και τη διατήρηση υψηλών προτύπων ποιότητας.
- **Συστηματική προσέγγιση στη διοίκηση:** Η ποιότητα πρέπει να ενσωματώνεται σε όλες τις διαδικασίες και να διοικείται με συστηματικό τρόπο. Οι διαδικασίες πρέπει να είναι καλά ορισμένες, τεκμηριωμένες και ελεγχόμενες για την επίτευξη σταθερής ποιότητας.

Επιπλέον, κατά τη διάρκεια αυτής της περιόδου, εισήχθησαν διεθνή πρότυπα για τα συστήματα διοίκησης ποιότητας. Τα πρότυπα ISO 9000, που αναπτύχθηκαν από τον Διεθνή Οργανισμό Τυποποίησης (ISO), καθόρισαν τις απαιτήσεις για την εφαρμογή ενός συστήματος διοίκησης ποιότητας που διασφαλίζει την ικανότητα ενός οργανισμού να παρέχει σταθερά προϊόντα και υπηρεσίες που πληρούν τις απαιτήσεις των πελατών και τις κανονιστικές απαιτήσεις (ISO 2024).

Η τρίτη βιομηχανική επανάσταση έφερε επίσης σημαντικές εξελίξεις στη στατιστική ανάλυση της ποιότητας. Η στατιστική διεργασία ελέγχου (Statistical Process Control - SPC) και άλλες στατιστικές μέθοδοι άρχισαν να χρησιμοποιούνται ευρέως για την παρακολούθηση και τον έλεγχο των διαδικασιών παραγωγής. Οι μέθοδοι αυτές επέτρεψαν την ανάλυση των δεδομένων παραγωγής σε πραγματικό χρόνο, βοηθώντας τους οργανισμούς να εντοπίζουν και να διορθώνουν τα προβλήματα πριν επηρεάσουν την ποιότητα των προϊόντων (Kumar, Sahithi and Revanth 2020).

Συνοψίζοντας, το Quality 3.0 αντιπροσωπεύει μια περίοδο σημαντικής προόδου και εξέλιξης στα συστήματα διοίκησης ποιότητας, με έμφαση στη συνεχή βελτίωση, τη συμμετοχή όλων των εργαζομένων, και τη χρήση προηγμένων στατιστικών μεθόδων και διεθνών προτύπων για την εξασφάλιση υψηλών προτύπων ποιότητας (Yin, Stecke and Li 2018).

Quality 4.0: Έξυπνη Διαχείριση Ποιότητας (Smart Quality Management)

Η τέταρτη φάση, Quality 4.0, αντιπροσωπεύει την **έξυπνη διαχείριση ποιότητας**, για την παραγωγή υψηλότερης ποιότητας προϊόντων με χαμηλότερο κόστος, βελτιώνοντας την ανταπόκριση και την ανταγωνιστικότητα. Βασικό χαρακτηριστικό του Quality 4.0 είναι η ύπαρξη εξειδικευμένου προσωπικού ποιότητας.

Η τέταρτη βιομηχανική επανάσταση, γνωστή και ως Industry 4.0, φέρνει μαζί της ριζικές αλλαγές στην παραγωγή, την τεχνολογία και τις επιχειρηματικές διαδικασίες. Στο πλαίσιο αυτών των αλλαγών, αναδύεται το Quality 4.0, μια σύγχρονη προσέγγιση στη διοίκηση ποιότητας που εκμεταλλεύεται πλήρως τις δυνατότητες της ψηφιακής εποχής (Sader, Husti and Daroczi 2022).

Το Quality 4.0 ενσωματώνει τεχνολογίες όπως η τεχνητή νοημοσύνη, το Διαδίκτυο των Πραγμάτων (IoT), τα μεγάλα δεδομένα (big data), και η ρομποτική, προσφέροντας νέες δυνατότητες και προοπτικές στη διαχείριση και βελτίωση της ποιότητας.

Η μετάβαση από το Quality 1.0 στο Quality 4.0 δείχνει την εξέλιξη από απλές επιθεωρήσεις και ελέγχους σε μια πιο ολιστική και τεχνολογικά ενισχυμένη προσέγγιση της διαχείρισης ποιότητας. Αυτή η εξέλιξη όχι μόνο βελτιώνει την ποιότητα των προϊόντων αλλά και ενισχύει την αποδοτικότητα και την ανταγωνιστικότητα των επιχειρήσεων στη σύγχρονη αγορά (Kumar, Ganesh and Rajendran 2022).

2.3 Ορισμός του Quality 4.0

Η διαχείριση ποιότητας αποτελεί ένα κρίσιμο στοιχείο για την επιτυχία και την ανταγωνιστικότητα των επιχειρήσεων σε όλες τις βιομηχανίες. Οποιαδήποτε επιχείρηση που επιθυμεί να είναι ανταγωνιστική έχει υιοθετήσει καινοτόμα συστήματα διαχείρισης ποιότητας εκμεταλλευόμενη τις δυνατότητες που τις παρέχει η σύγχρονη εποχή (Kumar, Ganesh and Rajendran 2022).

Με την εξέλιξη της τεχνολογίας και την εμφάνιση της τέταρτης βιομηχανικής επανάστασης, έχει αναδειχθεί μια νέα προσέγγιση στη διαχείριση ποιότητας, γνωστή ως Quality 4.0. Αυτή η προσέγγιση ενσωματώνει τις τελευταίες τεχνολογικές εξελίξεις και καινοτομίες για να βελτιώσει τις παραδοσιακές μεθόδους διαχείρισης ποιότητας, προσφέροντας νέες δυνατότητες και πλεονεκτήματα (Varshney, et al. 2024).

Στην υπάρχουσα βιβλιογραφία εντοπίζονται διάφορες προσεγγίσεις του όρου “Quality 4.0” που προσπαθούν αφενός να εξηγήσουν τον όρο και αφετέρου να αποδώσουν, όσο το δυνατό πιο κατανοητά, τον ορισμό του. Η πιο κυρίαρχη εξ αυτών συνδυάζει το “Quality 4.0” με την αντίστοιχη βιομηχανική επανάσταση – “Industry 4.0” (Zheng, et al. 2021).

Σύμφωνα με αυτήν, το Quality 4.0 αποτελεί την τρέχουσα εξέλιξη της διαχείρισης ποιότητας, η οποία ενσωματώνει τις τεχνολογίες και τις αρχές της τέταρτης βιομηχανικής επανάστασης για τη βελτίωση των διαδικασιών ποιότητας. Το Quality 4.0, ουσιαστικά, χρησιμοποιεί και αξιοποιεί όλες τις σύγχρονες δυνατότητες που παρέχονται στο χρήστη μέσω της τεχνολογικής εξέλιξης όπως το Διαδίκτυο των Πραγμάτων (IoT), η τεχνητή νοημοσύνη (AI), η ανάλυση μεγάλων δεδομένων (Big Data), η μηχανική μάθηση και τα κυβερνοφυσικά συστήματα για την επίτευξη αυξημένης αποδοτικότητας, ακρίβειας και ευελιξίας στις διαδικασίες παραγωγής και διαχείρισης ποιότητας (SAS Institute 2023).

Το Quality 4.0 συνδυάζει παραδοσιακές αρχές διαχείρισης ποιότητας με τις δυνατότητες των νέων ψηφιακών τεχνολογιών, δημιουργώντας ένα πιο ευέλικτο και διασυνδεδεμένο σύστημα ποιότητας. Η ανάλυση του όρου περιλαμβάνει την κατανόηση των κύριων στοιχείων και τεχνολογιών που το απαρτίζουν. Συνοπτικά αναφέρονται τα ακόλουθα (Zheng, et al. 2021):

α. Διαδίκτυο των Πραγμάτων (IoT)

Το Διαδίκτυο των Πραγμάτων χαρακτηρίζεται κυρίως από τη δυνατότητα που παρέχει στον χρήστη να επιτυγχάνει τη σύνδεση και την επικοινωνία διαφόρων συσκευών και συστημάτων μέσω του διαδικτύου. Η εφαρμογή του Διαδικτύου Πραγμάτων στα συστήματα διαχείρισης ποιότητας με Quality 4.0, εντοπίζεται στη συλλογή δεδομένων από αισθητήρες σε πραγματικό χρόνο, επιτρέποντας την παρακολούθηση των διαδικασιών παραγωγής και την ανίχνευση προβλημάτων σε πρώιμο στάδιο. Αυτό μειώνει τον χρόνο αντίδρασης σε προβλήματα και επιτρέπει τη λήψη προληπτικών μέτρων (SAS Institute 2023; Carvalho, et al. 2021).

β. Τεχνητή Νοημοσύνη (AI) και Μηχανική Μάθηση

Η τεχνητή νοημοσύνη και η μηχανική μάθηση αποτελούν τεχνολογίες που έχουν «εισβάλει» στο σύγχρονο τρόπο ζωής και πλέον αποτελούν μέρος της καθημερινότητας. Υπό αυτό το πρίσμα δεν θα μπορούσε να απουσιάζει από την λειτουργία των επιχειρήσεων. Εφαρμογές τεχνητής νοημοσύνης δεν εντοπίζονται μόνο στις παραγωγικές διαδικασίες αλλά και στα συστήματα ποιότητας. Τόσο η τεχνητή νοημοσύνη όσο και η μηχανική μάθηση επιτρέπουν την ανάλυση μεγάλων ποσοτήτων δεδομένων για την εξαγωγή συμπερασμάτων και την πρόβλεψη τάσεων. Αυτές οι τεχνολογίες χρησιμοποιούνται για την αυτοματοποίηση της λήψης

αποφάσεων και την πρόβλεψη των αναγκών συντήρησης. Η εφαρμογή τους μπορεί να βελτιώσει την αποδοτικότητα και την ακρίβεια των διαδικασιών παραγωγής, μειώνοντας τον χρόνο και τα κόστη που σχετίζονται με την αντιμετώπιση προβλημάτων (Varshney, et al. 2024).

γ. Ανάλυση Μεγάλων Δεδομένων (Big Data)

Η ανάλυση μεγάλων δεδομένων επιτρέπει την επεξεργασία και την αξιοποίηση τεράστιων ποσοτήτων δεδομένων από διάφορες πηγές. Στο Quality 4.0, τα μεγάλα δεδομένα χρησιμοποιούνται για την παρακολούθηση των διαδικασιών παραγωγής, την ανάλυση των τάσεων και την ενίσχυση της ικανότητας πρόβλεψης προβλημάτων. Η αποτελεσματική χρήση των δεδομένων μπορεί να οδηγήσει σε πιο ενημερωμένες αποφάσεις και καλύτερη διαχείριση των πόρων (SAS Institute 2023).

δ. Κυβερνοφυσικά Συστήματα (CPS)

Τα κυβερνοφυσικά συστήματα είναι συστήματα που συνδυάζουν τον φυσικό κόσμο με τον ψηφιακό, επιτρέποντας την αλληλεπίδραση και την ενσωμάτωση διαδικασιών. Αυτά τα συστήματα επιτρέπουν την πραγματική παρακολούθηση και τον έλεγχο των διαδικασιών παραγωγής, βελτιώνοντας την ακρίβεια και την αποδοτικότητα. Η διασύνδεση αυτών των συστημάτων μπορεί να βοηθήσει στην πρόληψη προβλημάτων και στην άμεση ανταπόκριση σε αλλαγές της παραγωγικής διαδικασίας (SAS Institute 2023; Kumar, Sahithi and Revanth 2020).

ε. Αυτοματοποίηση και Ρομποτική

Η αυτοματοποίηση και η ρομποτική διαδραματίζουν κεντρικό ρόλο στο Quality 4.0, επιτρέποντας την αυτοματοποίηση επαναλαμβανόμενων και επικίνδυνων εργασιών. Η χρήση ρομπότ και αυτοματοποιημένων συστημάτων μπορεί να μειώσει τα λάθη, να αυξήσει την ταχύτητα παραγωγής και να βελτιώσει την παραγωγικότητα. Επιπλέον, η αυτοματοποίηση μπορεί να βοηθήσει στη διατήρηση της συνέπειας στην ποιότητα των προϊόντων (Zheng, et al. 2021).

Υιοθετώντας λοιπόν το Quality 4.0 ένας οργανισμός, δημιουργεί τις κατάλληλες συνθήκες ώστε να αποκτήσει την ικανότητα να κατευθύνει τη διαδικασία παραγωγής για την παραγωγή υψηλότερης ποιότητας προϊόντων με χαμηλότερο κόστος, βελτιώνοντας την ανταπόκριση και την ανταγωνιστικότητα. Βασικό χαρακτηριστικό του Quality 4.0 είναι η ύπαρξη εξειδικευμένου προσωπικού ποιότητας, ενώ η Βιομηχανία 4.0 επικεντρώνεται περισσότερο στην σύγχρονη τεχνολογία (SAS Institute 2023).

Συνοψίζοντας, θα μπορούσαμε να πούμε ότι το Quality 4.0 είναι η εξέλιξη των διαδικασιών ποιότητας που υιοθετεί ένας οργανισμός μέσω της χρησιμοποίησης εξειδικευμένου προσωπικού που παράλληλα εκμεταλλεύεται και τις καινοτόμες τεχνολογίες που τους παρέχει η σύγχρονη εποχή.

2.4 Σχέση του Quality 4.0 με την Ολική Ποιότητα

Η Διοίκηση Ολικής Ποιότητας (Total Quality Management, TQM) αποτελεί την εξέλιξη της ποιότητας στο πέρασμα των χρόνων. Είναι δύσκολο να βρεθεί ένας απόλυτος ορισμός αλλά ως κοινή συνισταμένη όλων των προσεγγίσεων θα λέγαμε ότι πρόκειται για έναν ολιστικό διοικητικό προσανατολισμό που αποσκοπεί στη συνεχή βελτίωση της ποιότητας των προϊόντων, των υπηρεσιών και των διαδικασιών ενός οργανισμού (Chiarini 2020). Ωστόσο, ως βασικό της χαρακτηριστικό θεωρείται το γεγονός ότι επικεντρώνεται στην ικανοποίηση των αναγκών και των προσδοκιών των πελατών μέσω της ενεργής συμμετοχής όλων των μελών του οργανισμού και της χρήσης ποσοτικών μεθόδων για την αξιολόγηση και τη βελτίωση της απόδοσης. Ως πελάτες θεωρούνται τόσο οι εσωτερικοί όσο και οι εξωτερικοί.

Κάποιες βασικές αρχές, οι οποίες είναι γενικά αποδεκτές στη βιβλιογραφία, και χαρακτηρίζουν την Διοίκηση Ολικής Ποιότητας είναι οι ακόλουθες (Chiarini 2020; Gunasekaran, Subramanian and Ngai 2019):

Εστίαση στον Πελάτη

Οποιοσδήποτε ασχοληθεί με την Διοίκηση Ολικής Ποιότητας είναι αναμφισβήτητο ότι ο πρώτος όρος που θα συναντήσει είναι ο πελάτης. Ο πελάτης είναι το κεντρικό στοιχείο της φιλοσοφίας της TQM. Όλες οι δραστηριότητες και οι διαδικασίες έχουν ως στόχο την ικανοποίηση των αναγκών και των προσδοκιών των πελατών. Η κατανόηση των απαιτήσεων των πελατών και η παροχή προϊόντων και υπηρεσιών που ανταποκρίνονται σε αυτές είναι κρίσιμη για την επιτυχία της TQM (Chiarini 2020).

Συμμετοχή Όλων των Εργαζομένων

Στην TQM δεν περισσεύει κανένας. Βασικό χαρακτηριστικό που πρέπει να ικανοποιείται προκειμένου να εφαρμόζεται σωστά αποτελεί η καθολική συμμετοχή του προσωπικού. Όλοι οι εργαζόμενοι, από τη διοίκηση μέχρι τους εργαζόμενους στην παραγωγή, συμμετέχουν ενεργά στη διαδικασία βελτίωσης της ποιότητας. Η ενδυνάμωση των εργαζομένων και η προώθηση της ομαδικής εργασίας είναι κεντρικά στοιχεία της TQM. Κάθε εργαζόμενος πρέπει όχι μόνο να αισθάνεται ότι μπορεί αλλά να προσπαθεί συνεχώς στο να συμβάλει στη βελτίωση

της ποιότητας. Με την TQM όλο το προσωπικό αποκτά αξία και δύναμη και αποτελεί ένα σημαντικό κρίκο στην αλυσίδα της ομαλής λειτουργίας ενός οργανισμού (Gunasekaran, Subramanian and Ngai 2019).

Συνεχής Βελτίωση (Kaizen)

Ένα άλλο χαρακτηριστικό που αποτελεί αναπόσπαστο κομμάτι της Διοίκησης Ολικής Ποιότητας είναι η συνεχής βελτίωση των διαδικασιών, των προϊόντων και των υπηρεσιών. Αποτελεί μια διαρκή προσπάθεια από το σύνολο του οργανισμού. Η TQM ενθαρρύνει την εφαρμογή μικρών, σταδιακών αλλαγών που οδηγούν σε σημαντικές βελτιώσεις μακροπρόθεσμα. Η φιλοσοφία της συνεχούς βελτίωσης γνωστή και ως Kaizen, προωθεί τη διαρκή αναζήτηση για βελτιώσεις σε όλες τις πτυχές της επιχείρησης (Vinitha, et al. 2020).

Συστηματική Προσέγγιση στη Διαχείριση

Η Διοίκηση Ολικής Ποιότητας αντιμετωπίζει έναν οργανισμό βλέπει την ως ένα ολοκληρωμένο σύστημα όπου όλες οι διαδικασίες και οι δραστηριότητες είναι αλληλοσυνδεδεμένες. Οποιαδήποτε βελτίωση μιας διαδικασίας, ακόμα και αν δεν είναι προφανές σε πρώτη ανάγνωση, είναι πολύ πιθανό να επιφέρει αλλαγές και επιπτώσεις σε άλλες, και αυτό πρέπει να λαμβάνεται υπόψη στον σχεδιασμό. Η χρήση κατάλληλων προτύπων διαχείρισης ποιότητας, όπως το ISO 9001 ή αντίστοιχα, βοηθά στην οργάνωση και τεκμηρίωση των διαδικασιών (Ali and Johl 2022).

Στρατηγική Προσέγγιση στη Διαχείριση

Η Διοίκηση Ολικής Ποιότητας δεν αποσκοπεί μόνο στην υιοθέτηση συγκεκριμένων διαδικασιών. Βασικός της σκοπός είναι να γίνει κτήμα και νοοτροπία του οργανισμού και όλου του προσωπικού που τον απαρτίζει. Στοχεύει να ενσωματώνεται στη στρατηγική και την κουλτούρα μία επιχειρήσης, ενός οργανισμού.. Η ανώτατη διοίκηση πρέπει να δεσμεύεται και να υποστηρίζει τις αρχές της TQM (Chiarini 2020). Η εφαρμογή της TQM πρέπει να είναι στρατηγική, με σαφή οράματα και στόχους που οδηγούν στην υλοποίηση των πρακτικών ποιότητας σε όλα τα επίπεδα της επιχείρησης. Η TQM επιφέρει τα αναμενόμενα αποτελέσματα μόνο όταν γίνεται κατανοητή και αποδεκτή από έναν οργανισμό (Gunasekaran, Subramanian and Ngai 2019).

Προσέγγιση που Βασίζεται σε Δεδομένα και Αποδείξεις

Οι αποφάσεις στην TQM πρέπει να λαμβάνονται με βάση αντικειμενικά δεδομένα και αναλύσεις. Η εμπειρία είναι πάντα αποδεκτή και χρήσιμη ωστόσο πρέπει να συνοδεύεται και

από τη χρήση κατάλληλων και συνεχώς ενημερωμένων στατιστικών εργαλείων και τεχνικών για τη μέτρηση και την ανάλυση της απόδοσης. Οι ποσοτικές μέθοδοι που χρησιμοποιούνται αποτελούν σημαντικό εργαλείο για τον εντοπισμό τυχόν προβλημάτων, την αξιολόγηση των αιτίων και την παρακολούθηση της προόδου (Varshney, et al. 2024).

Όπως αναλύθηκε και παραπάνω, το Quality 4.0 συσχετίζεται με την υιοθέτηση και την ενσωμάτωση των τεχνολογιών της Industry 4.0 στη Διοίκηση Ποιότητας, με στόχο τη βελτίωση της αποδοτικότητας, της ακρίβειας και της απόδοσης των διαδικασιών ποιότητας. Χρησιμοποιεί προηγμένες τεχνολογίες όπως τεχνητή νοημοσύνη (AI), το Διαδίκτυο των Πραγμάτων (IoT), και ανάλυση μεγάλων δεδομένων (big data) για να δημιουργήσει έξυπνα και προσαρμοστικά συστήματα διαχείρισης ποιότητας. Αυτά τα συστήματα είναι ικανά να συλλέγουν και να αναλύουν δεδομένα σε πραγματικό χρόνο, προβλέποντας πιθανά προβλήματα και βελτιστοποιώντας τις διαδικασίες σε κάθε στάδιο της παραγωγής (SAS Institute 2023).

Η πρόκληση του συνδυασμού Quality 4.0 και TQM θεωρείται η εφαρμογή όλων των σύγχρονων τεχνολογιών, από έναν οργανισμό, στο σύστημα διασφάλισης ποιότητας που διαθέτει χωρίς όμως να τροποποιείται η φιλοσοφία και οι αρχές της Διοίκησης Ολικής Ποιότητας. Αυτή ακριβώς η πρόκληση αποτελεί και τον συνδετικό κρίκο ανάμεσα σε Quality 4.0 και TQM. Το Quality 4.0 όχι μόνο ενσωματώνει όλες αυτές τις αρχές αλλά κάνει και ένα βήμα παραπέρα επεκτείνοντάς τις με τη χρήση ψηφιακών τεχνολογιών. Συγκεκριμένα, το Quality 4.0 βελτιώνει τις πρακτικές του TQM με τους εξής τρόπους (Chiarini 2020):

Ψηφιοποίηση της Διαχείρισης Ποιότητας

Η ψηφιοποίηση επιτρέπει τη συλλογή και ανάλυση μεγάλου όγκου δεδομένων, διευκολύνοντας τη λήψη αποφάσεων βασισμένων σε πραγματικά δεδομένα και βελτιώνοντας την αποδοτικότητα των διαδικασιών ποιότητας. Στο παραδοσιακό TQM, η συλλογή δεδομένων συχνά γίνεται χειροκίνητα και αναλύεται σε περιοδικά διαστήματα. Με το Quality 4.0, οι αισθητήρες και οι συσκευές IoT συλλέγουν δεδομένα σε πραγματικό χρόνο, επιτρέποντας την άμεση ανάλυση και ανταπόκριση σε προβλήματα. Η γρήγορη ανάλυση μεγάλων δεδομένων επιτρέπει την αναγνώριση τάσεων και ανωμαλιών που δεν θα ήταν ορατές με παραδοσιακές μεθόδους (Florencio de Souza, et al. 2022).

Προγνωστική Διαχείριση Ποιότητας

Χρησιμοποιώντας αναλύσεις δεδομένων και εφαρμογές Τεχνητής Νοημοσύνης, το Quality 4.0 επιτρέπει την προληπτική ανίχνευση και αντιμετώπιση προβλημάτων πριν αυτά συμβούν,

μειώνοντας έτσι τα κόστη και βελτιώνοντας την ποιότητα των προϊόντων. Οι αυτοματοποιημένες διαδικασίες αποσκοπούν στη μείωση την πιθανότητα ανθρώπινων λαθών ενώ παράλληλα αυξάνουν την αποδοτικότητα. Ένα αυτοματοποιημένο σύστημα έχει τη δυνατότητα να εκτελεί επαναλαμβανόμενες εργασίες με υψηλή ακρίβεια και συνέπεια. Η αυτοματοποίηση επιτρέπει επίσης την ταχύτερη και πιο αξιόπιστη εφαρμογή των αλλαγών στις διαδικασίες, βελτιώνοντας τη συνολική ποιότητα των προϊόντων (Chiarini 2020; Florencio de Souza, et al. 2022).

Μαζική Εξατομίκευση

Οι τεχνολογίες της Industry 4.0 επιτρέπουν την προσαρμογή προϊόντων σύμφωνα με τις ατομικές προτιμήσεις των πελατών, κάτι που ενισχύει την ικανοποίηση του πελάτη και την ευελιξία της παραγωγής. Με την σωστή αξιοποίηση των δυνατοτήτων που παρέχει η σύγχρονη τεχνολογία είναι πιο εύκολο να αποκρυπτογραφηθούν οι προτιμήσεις του πελάτη και επομένως να δημιουργηθεί ένα ποιοτικό και επιθυμητό προϊόν ή υπηρεσία για τον πελάτη (Chiarini 2020).

Έξυπνη Διαχείριση Ποιότητας

Το Quality 4.0 χρησιμοποιεί έξυπνους αισθητήρες και συστήματα αυτοματισμού για τη συνεχή παρακολούθηση και βελτίωση της ποιότητας σε κάθε στάδιο της παραγωγής, από την προμήθεια πρώτων υλών μέχρι την παράδοση του τελικού προϊόντος. Η δυνατότητα συνεχούς παρακολούθησης του συνόλου των διαδικασιών και η ανάλυση δεδομένων σε πραγματικό χρόνο επιτρέπουν την άμεση ανίχνευση και διόρθωση προβλημάτων. Αυτό βελτιώνει την απόδοση και την ποιότητα των προϊόντων και υπηρεσιών (SAS Institute 2023; Varshney, et al. 2024).

Από τα παραπάνω γίνεται αντιληπτό ότι το Quality 4.0 αποτελεί μια φυσική εξέλιξη του TQM, παντρεύοντας τις αρχές της ολικής ποιότητας με τις σύγχρονες τεχνολογικές δυνατότητες για τη δημιουργία ενός πιο αποδοτικού και ευέλικτου συστήματος διαχείρισης ποιότητας. Ωστόσο απαιτείται προσοχή προκειμένου η τεχνολογία, με τις δυνατότητες που παρέχει, να μην υπερκεράσει τις βασικές αρχές της Διοίκησης Ολικής Ποιότητας που αποτελεί ένα σημαντικό και επιτυχημένο εργαλείο για κάθε οργανισμό.

2.5 Σύγκριση Quality 4.0 και παραδοσιακών συστημάτων Διοίκησης Ποιότητας

Η μετάβαση από τα καθιερωμένα συστήματα Διοίκησης Ολικής Ποιότητας (TQM) στο Quality 4.0 αποτελεί ένα φυσικό εξελικτικό βήμα στη διαχείριση της ποιότητας. Παρά τις διαφορές τους, οι δύο προσεγγίσεις μοιράζονται σημαντικές συγκλίσεις που αποτελούν τη βάση για τη συνεχή βελτίωση και την επιτυχία των οργανισμών. Αυτές οι συγκλίσεις υπογραμμίζουν τη σημασία των θεμελιωδών αρχών της ποιότητας και πώς αυτές προσαρμόζονται και ενισχύονται στην ψηφιακή εποχή (Chiarini 2020).

- Έμφαση στην Ποιότητα

Τόσο το TQM όσο και το Quality 4.0 αναγνωρίζουν ότι η ποιότητα είναι κεντρική για την επιτυχία μιας επιχείρησης. Η ποιότητα δεν περιορίζεται μόνο στα τελικά προϊόντα ή υπηρεσίες αλλά περιλαμβάνει όλες τις διαδικασίες και τις δραστηριότητες του οργανισμού. Στο TQM, η ποιότητα θεωρείται ως μια στρατηγική πρωτοβουλία που ενσωματώνεται σε κάθε επίπεδο και λειτουργία της οργάνωσης. Αντίστοιχα, το Quality 4.0 διατηρεί αυτή την προσέγγιση, ενισχύοντας την έμφαση στην ποιότητα μέσω της χρήσης ψηφιακών εργαλείων και τεχνολογιών που επιτρέπουν την ακριβή παρακολούθηση και τη συνεχή βελτίωση (Ali and Johl 2022).

- Συνεχής Βελτίωση

Η συνεχής βελτίωση είναι ένας θεμελιώδης πυλώνας και των δύο προσεγγίσεων. Στο TQM, η συνεχής βελτίωση ενσωματώνεται μέσω της μεθοδολογίας PDCA (Plan-Do-Check-Act) και άλλων εργαλείων όπως η Ανάλυση Ριζικών Αιτίων (Root Cause Analysis) και η Στατιστική Διαχείριση Διεργασιών (Statistical Process Control). Αυτές οι μέθοδοι στοχεύουν στη συνεχή αναγνώριση και επίλυση προβλημάτων, επιδιώκοντας την αύξηση της αποδοτικότητας και της ποιότητας (Ali and Johl 2022).

Στο Quality 4.0, η αρχή της συνεχούς βελτίωσης παραμένει αναλλοίωτη, αλλά ενισχύεται μέσω της χρήσης προηγμένων αναλυτικών τεχνικών και τεχνητής νοημοσύνης. Οι τεχνολογίες αυτές επιτρέπουν την προγνωστική ανάλυση και την άμεση λήψη αποφάσεων, επιτρέποντας την ταχύτερη και πιο ακριβή αντιμετώπιση των προβλημάτων. Η δυνατότητα ανάλυσης μεγάλων δεδομένων σε πραγματικό χρόνο παρέχει βαθύτερη ενόραση στις διαδικασίες, επιτρέποντας τον εντοπισμό τάσεων και προτύπων που μπορούν να βελτιωθούν (Chiarini 2020).

- Συμμετοχή και Δέσμευση

Η συμμετοχή και η δέσμευση όλων των εργαζομένων είναι καθοριστικής σημασίας για την επιτυχία τόσο του TQM όσο και του Quality 4.0. Στο πλαίσιο του TQM, η συμμετοχή των εργαζομένων σε όλες τις διαδικασίες ποιότητας είναι ουσιαστική. Οι εργαζόμενοι ενθαρρύνονται να συμμετέχουν ενεργά στη βελτίωση των διαδικασιών και στην επίλυση προβλημάτων, δημιουργώντας μια κουλτούρα ποιότητας σε όλη την οργάνωση (Florencio de Souza, et al. 2022).

Το Quality 4.0 επεκτείνει αυτήν την αρχή, αξιοποιώντας τις δυνατότητες της ψηφιακής συνεργασίας και των διασυνδεδεμένων συστημάτων. Τα σύγχρονα ψηφιακά εργαλεία επιτρέπουν τη διαρκή ανταλλαγή γνώσεων και πληροφοριών μεταξύ των εργαζομένων και των τμημάτων, διευκολύνοντας τη συνεργασία και την καινοτομία. Η συμμετοχή των εργαζομένων ενισχύεται περαιτέρω μέσω της χρήσης διαδραστικών πλατφορμών και εργαλείων, που επιτρέπουν την άμεση επικοινωνία και την από κοινού επίλυση προβλημάτων (Akhmatova, et al. 2022).

- Πελατοκεντρική Προσέγγιση

Τόσο το TQM όσο και το Quality 4.0 έχουν στο κέντρο τους την ικανοποίηση του πελάτη. Στο TQM, η ικανοποίηση του πελάτη είναι ο βασικός στόχος και οι οργανισμοί προσπαθούν να κατανοήσουν και να ικανοποιήσουν τις ανάγκες και τις προσδοκίες των πελατών. Αυτό επιτυγχάνεται μέσω της συλλογής ανατροφοδότησης από τους πελάτες και της ενσωμάτωσης αυτής στις διαδικασίες βελτίωσης (Chiarini 2020; Carvalho, et al. 2021).

Το Quality 4.0 διατηρεί αυτήν την πελατοκεντρική προσέγγιση αλλά την ενισχύει μέσω της χρήσης τεχνολογιών που επιτρέπουν την πιο ακριβή και ταχεία κατανόηση των αναγκών των πελατών. Μέσω της ανάλυσης δεδομένων και της παρακολούθησης της συμπεριφοράς των πελατών σε πραγματικό χρόνο, οι οργανισμοί μπορούν να ανταποκριθούν πιο γρήγορα και αποτελεσματικά στις απαιτήσεις τους, προσφέροντας προσαρμοσμένες λύσεις και βελτιώνοντας την εμπειρία των πελατών (Vinitha, et al. 2020).

- Ενσωμάτωση της Ποιότητας στη Στρατηγική

Και οι δύο προσεγγίσεις αναγνωρίζουν ότι η ποιότητα δεν είναι απλώς μια επιχειρησιακή διαδικασία, αλλά ένας στρατηγικός στόχος που πρέπει να ενσωματωθεί στη στρατηγική του οργανισμού. Στο TQM, η ποιότητα ενσωματώνεται στη στρατηγική μέσω της δέσμευσης της

διοίκησης και της δημιουργίας μιας κουλτούρας ποιότητας σε όλο τον οργανισμό (SAS Institute 2023).

Στο Quality 4.0, η ποιότητα παραμένει ένας στρατηγικός στόχος, αλλά η ενσωμάτωσή της στη στρατηγική γίνεται με τη βοήθεια των νέων τεχνολογιών. Η δυνατότητα παρακολούθησης και ανάλυσης δεδομένων σε πραγματικό χρόνο επιτρέπει την άμεση προσαρμογή της στρατηγικής για την αντιμετώπιση των αναδυόμενων προκλήσεων και την εκμετάλλευση νέων ευκαιριών. Επιπλέον, οι τεχνολογίες του Quality 4.0 επιτρέπουν τη διασύνδεση των στρατηγικών στόχων με τις επιχειρησιακές διαδικασίες, διασφαλίζοντας ότι η ποιότητα αποτελεί αναπόσπαστο μέρος της στρατηγικής κατεύθυνσης του οργανισμού (Kumar, Sahithi and Revanth 2020).

Παρά τις σημαντικές συγκλίσεις που μοιράζονται τα συστήματα Διοίκησης Ολικής Ποιότητας (TQM) και Quality 4.0, υπάρχουν επίσης κρίσιμες αποκλίσεις που τα διακρίνουν και αναδεικνύουν τις μοναδικές προσεγγίσεις και δυνατότητες που φέρει το Quality 4.0. Αυτές οι αποκλίσεις οφείλονται κυρίως στις τεχνολογικές εξελίξεις και στις νέες μεθοδολογίες που χρησιμοποιούνται για τη διαχείριση και τη βελτίωση της ποιότητας στην ψηφιακή εποχή (SAS Institute 2023).

- Τεχνολογίες και Εργαλεία

Η Διοίκηση Ολικής Ποιότητας βασίζεται σε παραδοσιακές μεθόδους και εργαλεία που έχουν αποδειχθεί αποτελεσματικά στο χρόνο. Αυτά περιλαμβάνουν διαγράμματα ροής, στατιστικό έλεγχο ποιότητας (SPC), ποιοτικούς κύκλους και μεθόδους όπως η ανάλυση ριζικών αιτιών (Root Cause Analysis). Οι πρακτικές αυτές απαιτούν συχνά χειροκίνητες διαδικασίες και εξειδικευμένη γνώση από τους εργαζόμενους (Florencio de Souza, et al. 2022).

Αντίθετα το Quality 4.0 εκμεταλλεύεται τις τελευταίες τεχνολογικές εξελίξεις, ενσωματώνοντας προηγμένες τεχνολογίες όπως η τεχνητή νοημοσύνη (AI), το Διαδίκτυο των Πραγμάτων (IoT), τα μεγάλα δεδομένα (big data), και τα ψηφιακά δίδυμα (digital twins). Αυτές οι τεχνολογίες επιτρέπουν πιο ακριβή και άμεση ανάλυση και βελτιώσεις, μειώνοντας την ανάγκη για χειροκίνητες διαδικασίες και επιτρέποντας την αυτοματοποίηση πολλών λειτουργιών ποιότητας. Οι σύγχρονες τεχνολογίες παρέχουν εργαλεία για συνεχή παρακολούθηση και προγνωστική συντήρηση, καθιστώντας δυνατή την αντιμετώπιση των προβλημάτων πριν αυτά εμφανιστούν (Gunasekaran, Subramanian and Ngai 2019).

- Δεδομένα και Αναλύσεις

Στη επικρατούσα Διοίκηση Ολικής Ποιότητας, η ανάλυση δεδομένων γίνεται κυρίως μέσω παραδοσιακών στατιστικών εργαλείων και μεθόδων. Οι εργαζόμενοι συλλέγουν δεδομένα από τις παραγωγικές διαδικασίες και τα αναλύουν με στόχο τη βελτίωση. Η διαδικασία αυτή είναι συχνά χρονοβόρα και απαιτεί εξειδικευμένη γνώση στη στατιστική ανάλυση (Kumar, Sahithi and Revanth 2020).

Το Quality 4.0, αντίστοιχα, χρησιμοποιεί μεγάλα δεδομένα και προηγμένες αναλυτικές τεχνικές για την εξαγωγή ενόρασης σε πραγματικό χρόνο. Η τεχνητή νοημοσύνη και οι μηχανισμοί μηχανικής μάθησης επιτρέπουν την προγνωστική ανάλυση και την άμεση λήψη αποφάσεων. Αυτό σημαίνει ότι οι οργανισμοί μπορούν να αναγνωρίζουν τάσεις και ανωμαλίες πολύ πιο γρήγορα και με μεγαλύτερη ακρίβεια, επιτρέποντας την ταχύτερη και πιο αποτελεσματική αντιμετώπιση των προβλημάτων. Η ανάλυση δεδομένων σε πραγματικό χρόνο επιτρέπει επίσης τη συνεχή προσαρμογή των διαδικασιών για την επίτευξη βέλτιστων αποτελεσμάτων (Chiarini 2020).

- Αυτοματοποίηση και Ευελιξία

Η TQM εστιάζει στην τυποποίηση και τη μεθοδική βελτίωση των διαδικασιών. Αν και είναι αποτελεσματική, η προσέγγιση αυτή μπορεί να είναι σχετικά άκαμπτη και συχνά απαιτεί σημαντική χειροκίνητη παρέμβαση. Η προσαρμογή των διαδικασιών σε νέες συνθήκες ή απαιτήσεις μπορεί να είναι χρονοβόρα και δαπανηρή (Carvalho, et al. 2021).

Το Quality 4.0, ωστόσο, προωθεί την αυτοματοποίηση και την ευελιξία των διαδικασιών μέσω της χρήσης ρομποτικής και ευέλικτων συστημάτων παραγωγής. Τα σύγχρονα ψηφιακά εργαλεία επιτρέπουν τη γρήγορη προσαρμογή στις αλλαγές της αγοράς και στις απαιτήσεις των πελατών. Οι διασυνδεδεμένες και δυναμικές διαδικασίες μπορούν να προσαρμόζονται σε πραγματικό χρόνο, επιτρέποντας την άμεση απόκριση στις νέες προκλήσεις και την αξιοποίηση των ευκαιριών. Αυτό καθιστά τις επιχειρήσεις πιο ευέλικτες και ανταγωνιστικές στην ταχέως μεταβαλλόμενη αγορά (Schiavone, et al. 2022).

- Προσέγγιση και Εμβέλεια

Η TQM έχει μια ολιστική προσέγγιση που ενσωματώνει τη διαχείριση ποιότητας σε όλες τις λειτουργίες της οργάνωσης. Ωστόσο, η προσέγγισή της είναι πιο στατική και παραδοσιακή, με έμφαση στη συνεχή βελτίωση μέσω ανθρώπινων διαδικασιών. Η ανάπτυξη και η εφαρμογή

στρατηγικών ποιότητας είναι συχνά χρονοβόρα και απαιτούν συντονισμό πολλών τμημάτων (Chiarini 2020).

Το Quality 4.0 επεκτείνει την ολιστική προσέγγιση της TQM με ψηφιακές καινοτομίες. Η διασυνδεδεμένη και δυναμική φύση των συστημάτων Quality 4.0 επιτρέπει την άμεση προσαρμογή στις αλλαγές της αγοράς και των τεχνολογιών, διασφαλίζοντας ότι η ποιότητα αποτελεί αναπόσπαστο μέρος της στρατηγικής κατεύθυνσης του οργανισμού. Οι τεχνολογίες του Quality 4.0 επιτρέπουν τη διασύνδεση των στρατηγικών στόχων με τις επιχειρησιακές διαδικασίες, καθιστώντας τις διαδικασίες πιο ευέλικτες και προσαρμόσιμες στις νέες συνθήκες (Ali and Johl 2022).

Συμπερασματικά, οι συγκλίσεις μεταξύ του TQM και του Quality 4.0 δείχνουν ότι οι θεμελιώδεις αρχές της ποιότητας παραμένουν ισχυρές και σημαντικές, ανεξάρτητα από τις τεχνολογικές εξελίξεις. Και οι δύο προσεγγίσεις υπογραμμίζουν την έμφαση στην ποιότητα, τη συνεχή βελτίωση, τη συμμετοχή των εργαζομένων, την πελατοκεντρική προσέγγιση και την ενσωμάτωση της ποιότητας στη στρατηγική του οργανισμού. Ωστόσο, το Quality 4.0 ενισχύει αυτές τις αρχές μέσω της χρήσης προηγμένων τεχνολογιών, προσφέροντας νέες δυνατότητες και βελτιώσεις που μπορούν να βοηθήσουν τους οργανισμούς να επιτύχουν υψηλότερα επίπεδα ποιότητας και αποδοτικότητας στη σύγχρονη, ψηφιακή εποχή (Ali and Johl 2022).

Οι αποκλίσεις μεταξύ του TQM και του Quality 4.0 αναδεικνύουν την εξέλιξη στη διαχείριση της ποιότητας που προσφέρουν οι νέες τεχνολογίες. Ενώ η TQM βασίζεται σε παραδοσιακές μεθόδους και εργαλεία, το Quality 4.0 ενσωματώνει τις τελευταίες τεχνολογικές εξελίξεις, προσφέροντας αυξημένη ακρίβεια, ταχύτητα και αποτελεσματικότητα στις διαδικασίες ποιότητας (Chiarini 2020). Η χρήση προηγμένων αναλυτικών τεχνικών, αυτοματοποίησης και ευέλικτων συστημάτων παραγωγής καθιστά το Quality 4.0 πιο προσαρμόσιμο και ανταγωνιστικό στην ψηφιακή εποχή, ενώ διατηρεί τις θεμελιώδεις αρχές της ποιότητας που ενσωματώνει η TQM. Αυτές οι αποκλίσεις καταδεικνύουν τον τρόπο με τον οποίο οι οργανισμοί μπορούν να αξιοποιήσουν τις νέες τεχνολογίες για να επιτύχουν υψηλότερα επίπεδα ποιότητας και αποδοτικότητας, προσαρμοζόμενοι στις σύγχρονες απαιτήσεις και προκλήσεις της αγοράς (Florencio de Souza, et al. 2022).

2.6 Στρατηγικές σχεδιασμού και ο ρόλος τους στα συστήματα διοίκησης ποιότητας

Η 4^η Βιομηχανική Επανάσταση έχει επιφέρει σημαντικές αλλαγές τόσο στην καθημερινότητα του ανθρώπου όσο και στον τρόπο λειτουργίας ενός οργανισμού. Ωστόσο η μετάβαση στην νέα κατάσταση δεν είναι μία εύκολη υπόθεση αλλά απαιτεί κατάλληλο σχεδιασμό από μία επιχείρηση προκειμένου να επιτύχει τα επιθυμητά αποτελέσματα. Η εφαρμογή του Quality 4.0 απαιτεί κατάλληλη προσέγγιση έτσι ώστε η μετάβαση να γίνει με ομαλό τρόπο, δίχως να διαταράξει την λειτουργία του οργανισμού, οδηγώντας σε βελτίωση όλων των διαδικασιών (SAS Institute 2023).

Το βασικό χαρακτηριστικό του Quality 4.0 είναι η εναρμόνιση των διαδικασιών ποιότητας με την σύγχρονη τεχνολογία. Οπότε ένας οργανισμός που επιθυμεί να το επιτύχει αυτό θα πρέπει αφενός να εστιάσει στην προμήθεια της τεχνολογίας δημιουργώντας παράλληλα ένα περιβάλλον υποδοχής που θα του επιτρέψει να επιτύχει τους στόχους που επιθυμεί (Florencio de Souza, et al. 2022).

Για να επιτύχει ένας οργανισμός την ενσωμάτωση του Quality 4.0, πρέπει να υιοθετήσει μια σειρά από στρατηγικές σχεδιασμού που θα επιτρέψουν την αξιοποίηση των σύγχρονων τεχνολογιών και την αναβάθμιση των συστημάτων διαχείρισης ποιότητας. Ακολουθούν οι βασικές στρατηγικές που πρέπει να ακολουθήσει ένας οργανισμός (Frankiewicz and Chamorro-Premuzic 2020):

α. Ανάπτυξη Ψηφιακής Υποδομής

Όπως έχει αναφερθεί το Quality 4.0 είναι άρρηκτα συνδεδεμένο με την τεχνολογική εξέλιξη. Επομένως είναι απαραίτητο για έναν οργανισμό να οργανώσει μία στρατηγική σχεδιασμού που θα έχει ως σκοπό την απόκτηση των τεχνολογικών εφαρμογών αλλά και την δημιουργία κατάλληλου περιβάλλοντος για την υποδοχή της τεχνολογίας (Saihi, Awad and Ben-Daya 2023).

Η συγκεκριμένη προσέγγιση θα πρέπει να περιλαμβάνει (Escobar, McGovern and Morales-Menendez 2021; Fonseca, Amaral and Oliveira 2021):

- **Επένδυση σε Τεχνολογίες Διαδικτύου των Πραγμάτων:** Οι οργανισμοί πρέπει να επενδύσουν σε αισθητήρες IoT για τη συλλογή δεδομένων σε πραγματικό χρόνο από τις διαδικασίες παραγωγής και τα προϊόντα.

- Υιοθέτηση τεχνολογιών Μεγάλων Δεδομένων και Ανάλυσης: Η ανάπτυξη πλατφορμών μεγάλων δεδομένων που μπορούν να αποθηκεύουν, να διαχειρίζονται και να αναλύουν μεγάλα ποσά δεδομένων είναι απαραίτητη για την εξαγωγή χρήσιμων συμπερασμάτων.
- Ανάπτυξη Αλγορίθμων Μηχανικής Μάθησης: Η χρήση αλγορίθμων μηχανικής μάθησης μπορεί να βελτιώσει τις προβλέψεις και την ανάλυση δεδομένων, επιτρέποντας την προληπτική συντήρηση και τη βελτίωση της ποιότητας.
- Δημιουργία προϋποθέσεων για την απόκτηση τεχνολογιών που συνδέονται με το Quality 4.0 και κρίνονται ως απαραίτητοι για την λειτουργία και εξέλιξη του οργανισμού.
- Δημιουργία κατάλληλων χώρων εντός των εγκαταστάσεων του οργανισμού. Η χρήση της τεχνολογίας εκτός από τα πολλαπλά οφέλη συνοδεύεται και από περιορισμούς και απαιτήσεις που πρέπει να ικανοποιηθούν προκειμένου η τεχνολογία να αποδώσει τα μέγιστα.

β. Καλλιέργεια Συνεργατικού Περιβάλλοντος

Η καλλιέργεια συνεργατικού πνεύματος σε μία επιχείρηση που έχει αποκτήσει Quality 4.0 είναι ζωτικής σημασίας για την πλήρη αξιοποίηση των σύγχρονων τεχνολογιών και τη διασφάλιση της βέλτιστης απόδοσης. Σε ένα περιβάλλον όπου οι διαδικασίες είναι ψηφιακά διασυνδεδεμένες και η ανάλυση δεδομένων γίνεται σε πραγματικό χρόνο, η συνεργασία μεταξύ των τμημάτων και των εργαζομένων είναι απαραίτητη για την ανταλλαγή πληροφοριών και τη λήψη αποφάσεων με βάση ακριβή και ενημερωμένα δεδομένα (Chiarini 2020).

Ένα συνεργατικό πνεύμα ενισχύει τη συνοχή και τον συντονισμό των προσπαθειών, προωθώντας την καινοτομία και επιτρέποντας την άμεση αντιμετώπιση προβλημάτων και την υλοποίηση βελτιώσεων. Επιπλέον, διευκολύνει την εκπαίδευση και την ανάπτυξη δεξιοτήτων του ανθρώπινου δυναμικού, καθιστώντας την επιχείρηση πιο ευέλικτη και ικανή να ανταποκριθεί στις συνεχώς μεταβαλλόμενες απαιτήσεις της αγοράς, εξασφαλίζοντας έτσι την μακροπρόθεσμη επιτυχία και ανταγωνιστικότητά της (Escobar, McGovern and Morales-Menendez 2021).

γ. Εκπαίδευση και Ανάπτυξη Ανθρώπινου Δυναμικού

Με την υιοθέτηση του Quality 4.0 αναβαθμίζεται τεχνολογικά ένας οργανισμός και δημιουργεί το κατάλληλο περιβάλλον για την εξέλιξή του και την εναρμόνισή του με τις τρέχουσες απαιτήσεις. Ωστόσο η απόκτηση της τεχνολογίας από μόνη της δεν είναι αρκετή για να

οδηγήσει στα προσδοκόμενα αποτελέσματα. Υπάρχει πληθώρα παραδειγμάτων που η προσπάθεια αυτή απέτυχε επειδή το προσωπικό που κλήθηκε να την υποστηρίξει δεν ήταν κατάλληλα εκπαιδευμένο (Sader, Husti and Daroczi 2022).

Η εκπαίδευση του προσωπικού σε μια επιχείρηση που έχει υιοθετήσει το Quality 4.0 είναι απαραίτητη για την πλήρη αξιοποίηση των νέων τεχνολογιών και την επίτευξη υψηλής ποιότητας και αποδοτικότητας. Καθώς το Quality 4.0 ενσωματώνει προηγμένες τεχνολογίες όπως το Διαδίκτυο των Πραγμάτων (IoT), η Τεχνητή Νοημοσύνη (AI) και τα Μεγάλα Δεδομένα, απαιτείται εξειδικευμένη γνώση και δεξιότητες για τη διαχείριση και την ανάλυση των δεδομένων που προκύπτουν (SAS Institute 2023). Η εκπαίδευση εξασφαλίζει ότι οι εργαζόμενοι κατανοούν πλήρως πώς να χρησιμοποιούν αυτές τις τεχνολογίες αποτελεσματικά, ενισχύοντας την ικανότητά τους να προβλέπουν και να επιλύουν προβλήματα, να βελτιώνουν τις διαδικασίες και να λαμβάνουν τεκμηριωμένες αποφάσεις (Armani, et al. 2020).

δ. Συνεχής Βελτίωση και Δημιουργία Κουλτούρας Καινοτομίας

Όπως σε μία οικογένεια έτσι και σε έναν οργανισμό είναι πολύ σημαντικό οι οποιεσδήποτε αλλαγές να γίνονται ομαλά και να μην επιβάλλονται. Αυτό βέβαια προϋποθέτει πολλή δουλειά προκειμένου το σύνολο του προσωπικού να αποκτήσει αυτήν την κουλτούρα. Την κουλτούρα να είναι θετικός σε αλλαγές που, βάσει στατιστικών και μελετών, πραγματοποιούνται προκειμένου να βελτιωθεί ο τρόπος λειτουργίας του οργανισμού και να παραμείνει ανταγωνιστικός (Florencio de Souza, et al. 2022; Antony, McDermott and Sony 2022).

Σε μια επιχείρηση που έχει ενσωματώσει το Quality 4.0, η συνεχής βελτίωση αποτελεί θεμελιώδη στρατηγική για τη διατήρηση και την ενίσχυση της ποιότητας των προϊόντων και των διαδικασιών. Χρησιμοποιώντας ενέργειες που στηρίζονται στις εφαρμογές τις τεχνολογικής εξέλιξης, η επιχείρηση διασφαλίζει ότι οι διαδικασίες της παραμένουν αποδοτικές και βελτιστοποιημένες, οδηγώντας σε συνεχή βελτίωση και προσαρμογή στις αλλαγές των απαιτήσεων της αγοράς (Antony, Sony, et al. 2023).

Βέβαια είναι απαραίτητο να συνδυάζεται με τη δημιουργία μιας κουλτούρας καινοτομίας η οποία είναι ιδιαίτερα κρίσιμη σε μια επιχείρηση που επιδιώκει να εκμεταλλευτεί πλήρως τις δυνατότητες του Quality 4.0. Η ενθάρρυνση των εργαζομένων να πειραματίζονται με νέες ιδέες και τεχνολογίες, καθώς και η υποστήριξη από την ηγεσία, προάγουν την ανάπτυξη καινοτόμων λύσεων. Μέσω πλατφορμών συνεργασίας και ανταλλαγής γνώσεων, οι εργαζόμενοι μπορούν να μοιράζονται πληροφορίες και βέλτιστες πρακτικές, ενισχύοντας τη συλλογική δημιουργικότητα (SAS Institute 2023).

Ο ρόλος των στρατηγικών αυτών είναι ιδιαίτερα κρίσιμος για τα συστήματα Διοίκησης Ποιότητας μία επιχείρησης και ενός οργανισμού. Μέσω αυτών των στρατηγικών δημιουργούνται οι κατάλληλες συνθήκες προκειμένου ο οργανισμός να εκσυγχρονιστεί, να εκμεταλλευτεί όλες τις δυνατότητες που του παρέχει απλόχερα η τεχνολογική ανάπτυξη δημιουργώντας ένα νέο σύστημα Διοίκησης Ποιότητας που να χαρακτηρίζεται από βελτιωμένες διαδικασίες που σχετίζονται με την ποιότητα, την αύξηση της αποδοτικότητας και την διατήρηση και επαύξηση της ανταγωνιστικότητά της στην αγορά (Kumar, Sahithi and Revanth 2020).

3. Στρατηγικές Σχεδιασμού και Ενσωμάτωση στα Συστήματα Διοίκησης Ολικής Ποιότητας

3.1 Ανάλυση Διάφορων Στρατηγικών Σχεδιασμού

Με βάση όσα αναφέρθηκαν παραπάνω, ένας οργανισμός οφείλει να σχεδιάσει προσεκτικά και να δημιουργήσει τις κατάλληλες συνθήκες προκειμένου να εξασφαλίσει ότι θα υλοποιηθεί η εγκαθίδρυση ενός συστήματος ποιότητας που να υποστηρίζει τις αρχές του Quality 4.0. Οι στρατηγικές σχεδιασμού που δύνανται να ακολουθηθούν έχουν αναφερθεί στο προηγούμενο κεφάλαιο.

Στη συνέχεια γίνεται μία προσπάθεια περιγραφής των στρατηγικών σχεδιασμού και πως αυτές θα πρέπει να υλοποιηθούν.

α. Ανάπτυξη Ψηφιακής Υποδομής

Το Quality 4.0 έφερε την μεγάλη αλλαγή στα συστήματα διοίκησης ποιότητας μέσω της εισαγωγής της τεχνολογίας στις παραδοσιακές μεθόδους που χρησιμοποιούνταν έως σήμερα. Βασική προϋπόθεση επίτευξης ενός στόχου είναι ο καθορισμός του και η σωστή περιγραφή. Μία επιχείρηση, λοιπόν, οφείλει να γνωρίζει τι ακριβώς επιδιώκει να επιτύχει μέσω της υιοθέτησης της τεχνολογίας και των διαδικασιών που αποτελούν το Quality 4.0 (Chiarini 2020).

Τα βήματα που περιλαμβάνει η υπόψη διαδικασία θα μπορούσαν να συμπεριληφθούν σε ένα τρίπτυχο που θα περιλαμβάνει αρχικώς την αξιολόγηση της υφιστάμενης κατάστασης, τον καθορισμό των αναγκών και πως θα μπορούσαν να καλυφθούν και τέλος την επιλογή των κατάλληλων τεχνολογικών, και όχι μόνο, λύσεων που θα μπορούσαν να αποδώσουν το επιθυμητό αποτέλεσμα (Modrak and Soltysova 2020).

Οι τεχνολογίες που θα μπορούσαν να βρουν εφαρμογή από έναν οργανισμό που καλύπτει το Quality 4.0 είναι ποικίλες και μπορούν να χρησιμοποιηθούν είτε μεμονωμένα είτε συνδυαστικά προκειμένου να επιτύχουν το στόχο με τον ιδανικότερο τρόπο. Ενδεικτικά αναφέρονται ορισμένες από αυτές εστιάζοντας στον τρόπο εφαρμογής και στα αποτελέσματα που υπόσχονται:

- ***Διαδίκτυο των Πραγμάτων***

Το IoT αναφέρεται στο δίκτυο των φυσικών αντικειμένων ή "πραγμάτων" που είναι ενσωματωμένα με αισθητήρες, λογισμικό και άλλες τεχνολογίες με στόχο τη σύνδεση και την

ανταλλαγή δεδομένων με άλλες συσκευές και συστήματα μέσω του διαδικτύου. Αυτές οι συσκευές μπορούν να είναι οτιδήποτε, από οικιακές συσκευές και αυτοκίνητα μέχρι βιομηχανικά μηχανήματα και αισθητήρες περιβάλλοντος (SAS Institute 2023).

Το διαδίκτυο των πραγμάτων θεωρείται πλέον μία από τις πιο χαρακτηριστικές τεχνολογικές εξελίξεις που χρησιμοποιούνται σε μεγάλο αριθμό επιχειρήσεων. Χαρακτηριστικό της ανόδου του Διαδικτύου των Πραγμάτων είναι ότι σύμφωνα με μελέτες εκτιμάται ότι έως το τέλος του 2025 ο αριθμός των συνδεδεμένων συσκευών παγκοσμίως θα ανέρχεται σε 30 δισεκατομμύρια μονάδες, μία κατακόρυφη άνοδο συγκριτικά με τις 11 δισεκατομμύρια που υπήρχαν το 2020. Παραδείγματα συσκευών συνδεδεμένων στο διαδίκτυο των πραγμάτων είναι τα αυτοκίνητα, οι οικιακές συσκευές ενώ μπορεί να περιλαμβάνεται και βιομηχανικός εξοπλισμός. Η ανάπτυξη αξιόπιστων και ταχύτερων δικτύων, ειδικά με την εκτεταμένη διάδοση του 5G, συμβάλει στην επιτάχυνση του ρυθμού ανάπτυξης των συνδεδεμένων συσκευών (Javaid, et al. 2021; Christou, et al. 2022).

- **Μεγάλα Δεδομένα**

Υπάρχει μία έκφραση σύμφωνα με την οποία «Η γνώση είναι δύναμη». Αυτό το ρητό περιγράφει επακριβώς τη σημασία των μεγάλων δεδομένων ή αλλιώς των Big Data. Ο όρος Μεγάλα Δεδομένα προέκυψε από το γεγονός ότι στη σύγχρονη εποχή συλλέγονται σχετικά εύκολα και με ακρίβεια πληθώρα δεδομένων, τα οποία με κατάλληλη επεξεργασία μπορούν να αποδώσουν σημαντικά αποτελέσματα (SAS Institute 2023).

Η ραγδαία ανάπτυξη της τεχνολογίας σε συνδυασμό με την σχεδόν καθολική χρήση του διαδικτύου έχει ως αποτέλεσμα την ύπαρξη μεγάλου όγκου δεδομένων. Τα δεδομένα αυτά δύνανται να συλλεχθούν από κατάλληλες υπολογιστικές μηχανές. Αν θελήσουμε να αποδώσουμε έναν ορισμό για τον όρο θα μπορούσε κάποιος, σύμφωνα με την υπάρχουσα βιβλιογραφία, να τα ορίσει ως το σύνολο των δεδομένων που συλλέγονται και χαρακτηρίζονται από τον μεγάλο όγκο και την πολυπλοκότητά τους που καθιστά αδύνατη την επεξεργασία τους με τις παραδοσιακές διαδικασίες (Zonnenshain and Kenett 2020). Η πρόκληση των μεγάλων δεδομένων είναι η εύρεση του κατάλληλου τρόπου επεξεργασίας, κάτι που είναι εφικτό να πραγματοποιηθεί με τις σύγχρονες τεχνολογικές εφαρμογές (Escobar, McGovern and Morales-Menendez 2021).

- **Τεχνητή Νοημοσύνη και Μηχανική Μάθηση**

Η τεχνητή νοημοσύνη είναι ένας όρος που έχει εισέλθει στην καθημερινότητα μας ενώ η ραγδαία εξάπλωσή της σε πολλούς τομείς έχει αρχίσει να τον μετατρέπει σε έναν όρο οικείο σε όλο και μεγαλύτερο αριθμό ανθρώπων (Escobar, McGovern and Morales-Menendez 2021). Εφαρμογές της τεχνητής νοημοσύνης είναι δυνατό να εντοπιστούν σε απλές καθημερινές διαδικασίες αλλά και σε πολύπλοκες διαδικασίες των βιομηχανιών. Χρησιμοποιώντας τον ορισμό που υιοθέτησε το Ευρωπαϊκό Κοινοβούλιο θα λέγαμε ότι η τεχνητή νοημοσύνη αναφέρεται στην ικανότητα μιας μηχανής να αναπαράγει τις γνωστικές λειτουργίες ενός ανθρώπου, όπως είναι η μάθηση, ο σχεδιασμός και η δημιουργικότητα (European Commission 2024).

Με την τεχνητή νοημοσύνη οι «μηχανές» αποκτούν την ικανότητα να αλληλοεπιδρούν και να ανταλλάσσουν το εξωτερικό περιβάλλον βοηθώντας για την επίτευξη συγκεκριμένων στόχων. Ανάλογα με το σκοπό που εξυπηρετεί διακρίνεται σε τρεις μεγάλες κατηγορίες: Τη στενή, τη γενική και την υπερνοημοσύνη (Sader, Husti and Daroczi 2022).

Η μηχανική μάθηση είναι ένας υποτομέας της τεχνητής νοημοσύνης που επικεντρώνεται στην ανάπτυξη αλγορίθμων και στατιστικών μοντέλων που επιτρέπουν στις μηχανές να βελτιώνουν την απόδοσή τους σε συγκεκριμένες εργασίες μέσω της εμπειρίας και της εκμάθησης από δεδομένα. Αποτελεί ουσιαστικά το μέσο που αναλαμβάνει την εκπαίδευση μίας μηχανής (Antony, Sony, et al. 2023).

- **Υπόλοιπες Μορφές Τεχνολογίας**

Στο ίδιο πλαίσιο εντοπίζονται και οι υπόλοιπες τεχνολογίες που χρησιμοποιούνται από το Quality 4.0, όπως η υπολογιστική νέφος (clouding computing), η ρομποτική, η επαυξημένη ή εικονική πραγματικότητα. Στόχος όλων αυτών είναι η δημιουργία ενός κατάλληλου περιβάλλοντος μέσω του οποίου ο άνθρωπος θα εκτελεί τις διαδικασίες που εκτελούσε έως σήμερα αλλά με μεγαλύτερη αποδοτικότητα και σε μικρότερο χρονικό διάστημα (SAS Institute 2023).

β. Καλλιέργεια Συνεργατικού Περιβάλλοντος

Ένα συνεργατικό περιβάλλον σε μία επιχείρηση αναφέρεται στη δημιουργία ενός πλαισίου όπου οι εργαζόμενοι συνεργάζονται αποτελεσματικά για την επίτευξη κοινών στόχων και την επίλυση προβλημάτων. Αυτό το περιβάλλον χαρακτηρίζεται από ανοιχτή επικοινωνία, κοινή

χρήση πληροφοριών, συνεργασία και υποστήριξη μεταξύ των μελών της ομάδας ή των τμημάτων (Fonseca, Amaral and Oliveira 2021).

Είναι αποδεδειγμένο ότι ένα καλά οργανωμένο σύστημα – ομάδα δύναται να αποδώσει καλύτερα όταν οι εργαζόμενοι συνεργάζονται με αποτέλεσμα να μπορούν να ολοκληρώσουν εργασίες πιο γρήγορα και αποτελεσματικά, μοιράζοντας το φόρτο εργασίας και αξιοποιώντας τις μοναδικές τους δεξιότητες. Είναι πολύ σημαντικό για έναν οργανισμό να το επιτύχει γιατί με αυτό τον τρόπο αξιοποιούνται όλοι οι εργαζόμενοι σε μεγάλο βαθμό ενώ επιπλέον αισθάνονται ότι συμβάλλουν ουσιαστικά στους στόχους της επιχείρησης, αυξάνοντας την αφοσίωσή τους και την εργασιακή τους ικανοποίηση (Antony, McDermott and Sony 2022).

Πέραν των ανωτέρω είναι σημαντικό για έναν οργανισμό να επιτύχει κλίμα συνεργασίας γιατί αφενός επιτρέπει την καλύτερη κατανομή και χρήση των πόρων της επιχείρησης, μειώνοντας τα κόστη και αυξάνοντας την αποδοτικότητα και αφετέρου επιτρέπεται η αντιμετώπιση πολύπλοκων προβλημάτων που απαιτούν πολυδιάστατη προσέγγιση.

γ. Εκπαίδευση και Ανάπτυξη Ανθρώπινου Δυναμικού

Όπως αναφέρθηκε και στο προηγούμενο κεφάλαιο, απαραίτητη προϋπόθεση για την ομαλή ένταξη της τεχνολογίας στα συστήματα διοίκησης ποιότητας ενός οργανισμού είναι η χρησιμοποίησή της από κατάλληλα εξειδικευμένο και εκπαιδευμένο προσωπικό.

Η εκπαίδευση του προσωπικού αποτελεί στρατηγική κλειδί για την ανάπτυξη και την επιτυχία ενός οργανισμού. Αρχικά, η διαδικασία ξεκινά με την αναγνώριση των αναγκών εκπαίδευσης μέσω μιας αναλυτικής αξιολόγησης των δεξιοτήτων και των γνώσεων που απαιτούνται για την επίτευξη των στρατηγικών στόχων του οργανισμού. Αυτή η αξιολόγηση περιλαμβάνει τη συγκέντρωση πληροφοριών από τις ομάδες διοίκησης και το προσωπικό, καθώς και την ανάλυση των τρεχουσών και μελλοντικών απαιτήσεων της αγοράς. Με βάση τα αποτελέσματα αυτής της ανάλυσης, καθορίζονται τα εκπαιδευτικά προγράμματα που χρειάζεται να αναπτυχθούν και οι πόροι που θα διατεθούν (Nuraeni and Suwadi 2020).

Στη συνέχεια, η ανάπτυξη του εκπαιδευτικού προγράμματος περιλαμβάνει τον σχεδιασμό των εκπαιδευτικών υλικών και των μεθόδων διδασκαλίας. Οι οργανισμοί συχνά χρησιμοποιούν έναν συνδυασμό μεθόδων, όπως δια ζώσης σεμινάρια, διαδικτυακά μαθήματα (e-learning), εργαστήρια και πρακτική εκπαίδευση στον χώρο εργασίας. Επιπλέον για ορισμένους εργαζόμενους είναι δυνατόν να πραγματοποιηθούν και ορισμένες μεταπτυχιακές εκπαιδεύσεις αναβαθμίζοντας ακόμα περισσότερο το εκπαιδευτικό υπόβαθρο.

Οι εκπαιδευτές μπορεί να είναι εσωτερικοί ή εξωτερικοί ειδικοί, ανάλογα με τις απαιτήσεις και το περιεχόμενο της εκπαίδευσης. Ιδιαίτερη έμφαση δίνεται στην ανάπτυξη διαδραστικών και συμμετοχικών μεθόδων που προάγουν την ενεργή συμμετοχή και την ενδυνάμωση των εργαζομένων (Aprianayah, Fransinatra and Ririen 2020).

Τέλος, η εφαρμογή και η αξιολόγηση του εκπαιδευτικού προγράμματος είναι κρίσιμες φάσεις για τη διασφάλιση της αποτελεσματικότητας της εκπαίδευσης. Κατά την εφαρμογή, είναι σημαντικό να υπάρχει συνεχής υποστήριξη και καθοδήγηση των συμμετεχόντων, καθώς και ευελιξία για την προσαρμογή του προγράμματος στις ανάγκες τους. Μετά την ολοκλήρωση της εκπαίδευσης, η αξιολόγηση γίνεται μέσω της συλλογής ανατροφοδότησης από τους συμμετέχοντες, της παρακολούθησης της απόδοσης των εργαζομένων και της μέτρησης των επιπτώσεων στην απόδοση του οργανισμού. Αυτή η αξιολόγηση βοηθά στον εντοπισμό των τομέων που χρειάζονται βελτίωση και στην προσαρμογή των μελλοντικών εκπαιδευτικών πρωτοβουλιών (Zonnenshain and Kenett 2020).

- **Συνεχής Βελτίωση και Δημιουργία Κουλτούρας Καινοτομίας**

Η πιο δύσκολα ενδεχομένως στρατηγική, όσον αφορά τον τρόπο υλοποίησης, είναι η δημιουργία κατάλληλης κουλτούρας εντός του οργανισμού τέτοιας ώστε το προσωπικό να είναι θετικό απέναντι στη διαδικασία αλλαγών και εφαρμογής καινοτόμων ιδεών (Saihi, Awad and Ben-Daya 2023).

Η δημιουργία κουλτούρας αλλαγών και καινοτομίας σε έναν οργανισμό ξεκινά με την ανάπτυξη μιας διαδικασίας που να δίνει τη δυνατότητα να ενθαρρύνει την ανοιχτή επικοινωνία, την αποδοχή της αλλαγής και την υποστήριξη της δημιουργικότητας. Σημαντικό ρόλο στην χάραξη αυτής της στρατηγικής έχει η ηγεσία του οργανισμού η οποία πρέπει να αναλάβει τον ρόλο του πρωτοπόρου, δείχνοντας εμπράκτως την δέσμευσή της προς την καινοτομία και την προσαρμοστικότητα. Αυτό μπορεί να επιτευχθεί μέσω της υιοθέτησης ανοιχτών διαδικασιών λήψης αποφάσεων, της προώθησης της συμμετοχής όλων των εργαζομένων στη διαδικασία καινοτομίας και της παροχής των απαραίτητων πόρων για την ανάπτυξη νέων ιδεών. Η διαφάνεια και η ειλικρίνεια στις επικοινωνίες, καθώς και η επιβράβευση των εργαζομένων που προτείνουν καινοτόμες λύσεις, ενισχύουν την αίσθηση εμπιστοσύνης και την προθυμία για πειραματισμό. (Chiarini 2020; Vinodh, et al. 2021)

Παράλληλα, είναι απαραίτητο να διαμορφωθούν δομές και διαδικασίες που υποστηρίζουν την καινοτομία και τη συνεχή βελτίωση. Αυτό περιλαμβάνει τη δημιουργία ομάδων εργασίας με

διεπιστημονική σύνθεση, την εφαρμογή συστημάτων διαχείρισης ιδεών και την προώθηση της συνεργασίας μέσω σύγχρονων εργαλείων και τεχνολογιών. Επιπλέον, η συνεχής εκπαίδευση και η ανάπτυξη δεξιοτήτων στους εργαζόμενους είναι κρίσιμα στοιχεία για την προσαρμογή στις νέες τεχνολογίες και τις μεταβαλλόμενες συνθήκες της αγοράς. Η ενθάρρυνση της συνεχούς μάθησης και της επαγγελματικής ανάπτυξης δημιουργεί ένα δυναμικό και ευέλικτο εργατικό δυναμικό, ικανό να ανταποκριθεί στις προκλήσεις της αλλαγής και να καινοτομήσει αποτελεσματικά (Vinodh, et al. 2021).

3.2 Σύνδεση των Στρατηγικών με το Quality 4.0 και Ενσωμάτωσή τους

Βασικό στοιχείο κάθε στρατηγικής προκειμένου να θεωρηθεί επιτυχής και να εκπληρώσει τον σκοπό για τον οποίο δημιουργήθηκε είναι η δυνατότητα σύνδεσής της και ενσωμάτωσης στις τρέχουσες διαδικασίες του οργανισμού. Η σύνδεση επιτυγχάνεται εφόσον ο οργανισμός απορροφήσει τα οφέλη και τις δυνατότητες που προκύπτουν από την κάθε στρατηγική (Chiarini 2020).

3.2.1 Ανάπτυξη Ψηφιακής Υποδομής

Όσον αφορά στην ανάπτυξη της ψηφιακής υποδομής, ο βασικός σκοπός είναι η ενσωμάτωση των τεχνολογιών της Quality 4.0 στις υπάρχουσες διαδικασίες του οργανισμού. Κάθε διαφορετική τεχνολογική εφαρμογή δημιουργεί και διαφορές προοπτικές με κοινό στόχο όμως, την βελτίωση των διαδικασιών ποιότητας και την αναβάθμιση – εξέλιξη του οργανισμού (Chiarini 2020).

Η ανάπτυξη ψηφιακής υποδομής είναι η θεμελιώδης στρατηγική για την ενσωμάτωση του Quality 4.0 στα συστήματα Διοίκησης Ολικής Ποιότητας (Total Quality Management - TQM). Η ψηφιακή υποδομή επιτρέπει την εφαρμογή των τεχνολογιών της Τέταρτης Βιομηχανικής Επανάστασης, όπως το Διαδίκτυο των Πραγμάτων (IoT), η τεχνητή νοημοσύνη (AI), τα μεγάλα δεδομένα (Big Data) και το υπολογιστικό νέφος (cloud computing), που αναφέρθηκαν και παραπάνω και οι οποίες είναι κρίσιμες για τη βελτίωση της ποιότητας και της αποδοτικότητας των επιχειρηματικών διαδικασιών (SAS Institute 2023; Modrak and Soltysova 2020).

Η ανάπτυξη της ψηφιακής υποδομής, προκειμένου να εφαρμοσθεί σε διαδικασίες των συστημάτων Διοίκησης της Ποιότητας, θα μπορούσαν να εφαρμοσθούν σε διάφορες φάσεις. Σημειώνεται ότι ο συνδυασμός περισσότερων τεχνολογικών εφαρμογών, εφόσον

πραγματοποιηθεί με κατάλληλο τρόπο, επιφέρει σημαντικά αποτελέσματα (Zonnenshain and Kenett 2020).

Η πρώτη φάση της ανάπτυξης ψηφιακής υποδομής περιλαμβάνει την εγκατάσταση και ενσωμάτωση τεχνολογικών συστημάτων που υποστηρίζονται από Διαδίκτυο των Πραγμάτων. Η συγκεκριμένη μορφή τεχνολογίας δίνει τη δυνατότητα σε έναν οργανισμό για τη συλλογή δεδομένων σε πραγματικό χρόνο από διάφορα σημεία της παραγωγικής διαδικασίας, όπως αισθητήρες σε μηχανήματα και γραμμές παραγωγής (Christou, et al. 2022). Οι αισθητήρες αυτοί παρέχουν κρίσιμες πληροφορίες για τη λειτουργία των μηχανημάτων, την ποιότητα των προϊόντων και την αποδοτικότητα των διαδικασιών, επιτρέποντας με αυτόν τον τρόπο την άμεση ανίχνευση και αντιμετώπιση προβλημάτων (Saihi, Awad and Ben-Daya 2023).

Η επόμενη φάση περιλαμβάνει την αποθήκευση και την επεξεργασία των δεδομένων αυτών μέσω υπολογιστικού νέφους. Το cloud computing προσφέρει ευελιξία και κλιμάκωση, επιτρέποντας την αποθήκευση μεγάλων όγκων δεδομένων και την επεξεργασία τους από οπουδήποτε και οποτεδήποτε. Αυτό διευκολύνει την πρόσβαση στα δεδομένα, την κοινή χρήση πληροφοριών μεταξύ διαφορετικών τμημάτων και τοποθεσιών, και μειώνει το κόστος που συνδέεται με τις φυσικές υποδομές (SAS Institute 2023).

Σημαντικό βήμα είναι η ανάλυση των δεδομένων που έχουν συλλεχθεί. Η ανάλυση μπορεί να πραγματοποιηθεί χρησιμοποιώντας τεχνολογίες που υποστηρίζονται από Τεχνητή Νοημοσύνη και εφαρμογές επεξεργασίας μεγάλου όγκου δεδομένων. Η τεχνητή νοημοσύνη και οι αλγόριθμοι μηχανικής μάθησης επιτρέπουν την ανάλυση μεγάλων όγκων δεδομένων, την αναγνώριση προτύπων και την πρόβλεψη μελλοντικών προβλημάτων. Αυτό παρέχει στους οργανισμούς τη δυνατότητα να βελτιστοποιήσουν τις διαδικασίες τους, να μειώσουν τα σφάλματα και να αυξήσουν την αποδοτικότητα και την ποιότητα των προϊόντων τους (Sader, Husti and Daroczi 2022).

Η ανάπτυξη ψηφιακής υποδομής περιλαμβάνει επίσης την υιοθέτηση λογισμικών και εργαλείων που διευκολύνουν τη διαχείριση και την ανάλυση των δεδομένων. Αυτά τα εργαλεία πρέπει να είναι φιλικά προς τον χρήστη και να προσφέρουν διαλειτουργικότητα με τα υπάρχοντα συστήματα του οργανισμού. Η ενσωμάτωση αυτών των εργαλείων βοηθά στη δημιουργία μιας ενιαίας πλατφόρμας για τη συλλογή, την ανάλυση και τη χρήση δεδομένων σε όλο τον οργανισμό (Zonnenshain and Kenett 2020).

Ιδιαίτερη προσοχή απαιτείται να δοθεί στην ασφάλεια των δεδομένων και της ιδιωτικότητας κατά την ανάπτυξη ψηφιακής υποδομής. Η σύγχρονη τεχνολογία μπορεί και προσφέρει στον χρήστη πολλές δυνατότητες ωστόσο δεν είναι άτρωτη και εγκυμονεί κινδύνους, κυρίως στον τομέα της ασφάλειας των δεδομένων (Zonnenshain and Kenett 2020). Η συλλογή και η αποθήκευση μεγάλων όγκων δεδομένων αυξάνει τους κινδύνους για κυβερνοεπιθέσεις και παραβιάσεις της ιδιωτικότητας. Οι οργανισμοί πρέπει να επενδύσουν σε ισχυρά συστήματα ασφάλειας και να αναπτύξουν πολιτικές και διαδικασίες για την προστασία των δεδομένων τους, διασφαλίζοντας την ακεραιότητα και την εμπιστευτικότητα των πληροφοριών (Singh, et al. 2023).

Η αξιολόγηση της αποτελεσματικότητας της ψηφιακής υποδομής είναι επίσης σημαντική. Οι οργανισμοί πρέπει να παρακολουθούν την απόδοση των νέων συστημάτων και να μετρούν τις επιπτώσεις τους στην ποιότητα και την αποδοτικότητα των διαδικασιών. Η συνεχής αξιολόγηση και ανατροφοδότηση επιτρέπει την προσαρμογή και τη βελτίωση των ψηφιακών υποδομών, εξασφαλίζοντας ότι οι ανάγκες του οργανισμού καλύπτονται πλήρως (Chiarini 2020).

Παράλληλα, προκειμένου τα συστήματα διοίκησης της Ποιότητας να ενσωματώσουν και να χρησιμοποιήσουν τις παραπάνω δυνατότητες θα πρέπει να εξασφαλίσουν και την δημιουργία κατάλληλων εγκαταστάσεων εντός του οργανισμού, είτε με την δημιουργία καινούργιων κατάλληλων χώρων είτε με τροποποίηση των ήδη υπάρχοντων έτσι ώστε να ικανοποιούνται οι συνθήκες λειτουργίας του νέου εξοπλισμού και των νέων εφαρμογών (Fonseca, Amaral and Oliveira 2021).

Τέλος, η συνεχής επένδυση σε νέες τεχνολογίες και η παρακολούθηση των τεχνολογικών εξελίξεων είναι απαραίτητες για τη διατήρηση της ανταγωνιστικότητας και της καινοτομίας. Οι οργανισμοί πρέπει να είναι πρόθυμοι να προσαρμόζονται στις αλλαγές και να υιοθετούν νέες τεχνολογίες που μπορούν να βελτιώσουν τις διαδικασίες τους και να ενισχύσουν την ποιότητα των προϊόντων και υπηρεσιών τους. Η δέσμευση προς την κατεύθυνση της καινοτομίας και της ψηφιακής μεταμόρφωσης δημιουργεί ένα δυναμικό και ευέλικτο περιβάλλον που μπορεί να ανταποκριθεί στις προκλήσεις του μέλλοντος (Zonnenshain and Kenett 2020).

3.2.2 Καλλιέργεια Συνεργατικού Περιβάλλοντος

Η καλλιέργεια ενός συνεργατικού περιβάλλοντος είναι ζωτικής σημασίας για την επιτυχή ενσωμάτωση του Quality 4.0 σε έναν οργανισμό. Η συνεργασία μεταξύ των εργαζομένων και των τμημάτων ενισχύει την ανταλλαγή γνώσεων, τη δημιουργικότητα και την καινοτομία, οδηγώντας σε βελτιωμένες διαδικασίες και προϊόντα. Η δημιουργία ενός τέτοιου περιβάλλοντος ξεκινά με την προώθηση μιας κουλτούρας ανοιχτής επικοινωνίας και αμοιβαίας εμπιστοσύνης, όπου οι εργαζόμενοι αισθάνονται ελεύθεροι να μοιράζονται τις ιδέες και τις ανησυχίες τους χωρίς τον φόβο της κριτικής (Fonseca, Amaral and Oliveira 2021).

Οι τεχνολογικές πλατφόρμες διαδραματίζουν κρίσιμο ρόλο στη διευκόλυνση της συνεργασίας. Στην αγορά υπάρχουν διάφορα εργαλεία επικοινωνίας και διαχείρισης έργων που επιτρέπουν στους εργαζόμενους να συνεργάζονται σε πραγματικό χρόνο, ανεξάρτητα από την τοποθεσία τους. Η χρήση αυτών των εργαλείων μειώνει τα εμπόδια επικοινωνίας, διευκολύνει τη συνεργασία και ενισχύει την αποτελεσματικότητα των ομάδων, καθώς οι εργαζόμενοι μπορούν να ανταλλάσσουν ιδέες και να συντονίζουν τις ενέργειές τους εύκολα και γρήγορα (Singh, et al. 2023).

Η δημιουργία εσωτερικών διατμηματικών ομάδων εργασίας είναι μια ακόμη προσέγγιση για την προώθηση της συνεργασίας. Αυτές οι ομάδες συγκεντρώνουν εργαζόμενους από διαφορετικά τμήματα και ειδικότητες, επιτρέποντας την ανάπτυξη πολυδιάστατων λύσεων στα προβλήματα και την καλύτερη κατανόηση των αναγκών και των προκλήσεων που αντιμετωπίζει ο οργανισμός (Escobar, McGovern and Morales-Menendez 2021). Οι διατμηματικές ομάδες ενισχύουν την αίσθηση του κοινού σκοπού και της συλλογικής ευθύνης, προάγοντας την ομαδική εργασία και την επίτευξη των κοινών στόχων του οργανισμού (Singh, et al. 2023).

Η αναγνώριση και η επιβράβευση της συνεργατικής συμπεριφοράς είναι κρίσιμες για την προώθηση ενός συνεργατικού περιβάλλοντος. Οι οργανισμοί πρέπει να αναπτύξουν συστήματα αναγνώρισης που επιβραβεύουν τις ομαδικές επιτυχίες και ενθαρρύνουν τη συνεργασία. Η ύπαρξη κινήτρων αποτελεί πάντα ένα σημαντικό εργαλείο του οργανισμού προκειμένου να δραστηριοποιήσει τους εργαζομένους. Αυτό μπορεί να περιλαμβάνει τόσο οικονομικά κίνητρα όσο και μη οικονομικές αναγνωρίσεις, όπως βραβεία, δημόσιες αναγνωρίσεις και ευκαιρίες για επαγγελματική ανάπτυξη. Η επιβράβευση της συνεργασίας ενισχύει την εμπιστοσύνη και τη δέσμευση των εργαζομένων προς τον οργανισμό (Fonseca, Amaral and Oliveira 2021).

Η ενσωμάτωση της τεχνολογίας για την υποστήριξη της συνεργασίας είναι επίσης σημαντική. Πλατφόρμες συνεργασίας, εργαλεία διαχείρισης έργων και κοινές βάσεις δεδομένων επιτρέπουν στους εργαζόμενους να συνεργάζονται και να μοιράζονται πληροφορίες εύκολα και αποτελεσματικά. Η χρήση αυτών των εργαλείων διευκολύνει την πρόσβαση στις πληροφορίες και την ανταλλαγή γνώσεων, βελτιώνοντας την επικοινωνία και την αποτελεσματικότητα των ομάδων εργασίας (Florencio de Souza, et al. 2022).

Τέλος, η δέσμευση της ηγεσίας είναι απαραίτητη για τη δημιουργία και τη διατήρηση ενός συνεργατικού περιβάλλοντος. Η ηγεσία πρέπει να προωθεί ενεργά την κουλτούρα συνεργασίας, δείχνοντας με το παράδειγμά της τη σημασία της ομαδικής εργασίας και της ανοιχτής επικοινωνίας (Antony, Sony, et al. 2023). Η ηγεσία πρέπει να παρέχει τους απαραίτητους πόρους και την υποστήριξη για την ανάπτυξη ενός συνεργατικού περιβάλλοντος, ενθαρρύνοντας τη συμμετοχή όλων των εργαζομένων και τη συνεχή βελτίωση των διαδικασιών συνεργασίας. Με αυτόν τον τρόπο, ο οργανισμός μπορεί να επιτύχει βιώσιμη ανάπτυξη και καινοτομία, ανταποκρινόμενος αποτελεσματικά στις προκλήσεις του Quality 4.0 (Modrak and Soltysova 2020).

3.2.3 Εκπαίδευση και Ανάπτυξη Ανθρώπινου Δυναμικού

Η εκπαίδευση και ανάπτυξη του ανθρώπινου δυναμικού αποτελεί κεντρικό πυλώνα για την επιτυχή ενσωμάτωση του Quality 4.0 στα συστήματα Διοίκησης Ολικής Ποιότητας. Οι ταχύτατες τεχνολογικές εξελίξεις απαιτούν από τους εργαζόμενους να αποκτήσουν νέες δεξιότητες και γνώσεις ώστε να μπορούν να ανταποκριθούν στις απαιτήσεις της ψηφιακής εποχής. Η συνεχής εκπαίδευση εξασφαλίζει ότι το προσωπικό είναι καταρτισμένο και ικανό να χρησιμοποιεί αποτελεσματικά τις νέες τεχνολογίες, διασφαλίζοντας έτσι την επιτυχία της στρατηγικής Quality 4.0 (Nuraeni and Suwadji 2020).

Η διαδικασία ξεκινά με την αξιολόγηση των εκπαιδευτικών αναγκών του οργανισμού. Αυτό περιλαμβάνει την ανάλυση των τρεχουσών δεξιοτήτων των εργαζομένων και την ταυτοποίηση των κενών που πρέπει να καλυφθούν για την επίτευξη των στρατηγικών στόχων. Με βάση τα αποτελέσματα αυτής της ανάλυσης, οι οργανισμοί μπορούν να σχεδιάσουν και να αναπτύξουν εκπαιδευτικά προγράμματα που επικεντρώνονται στις απαραίτητες τεχνικές και μη τεχνικές δεξιότητες. Η εξατομικευμένη προσέγγιση στην εκπαίδευση βοηθά στο να καλύπτονται οι συγκεκριμένες ανάγκες κάθε εργαζόμενου (Aprianyah, Fransinatra and Ririen 2020).

Η εκπαίδευση πρέπει να περιλαμβάνει τόσο θεωρητική γνώση όσο και πρακτική εφαρμογή. Οι οργανισμοί μπορούν να χρησιμοποιούν μια ποικιλία εκπαιδευτικών μεθόδων, όπως διαδικτυακά μαθήματα, εργαστήρια, σεμινάρια και πρακτική εκπαίδευση στον χώρο εργασίας. Οι διαδραστικές και συμμετοχικές μέθοδοι διδασκαλίας είναι ιδιαίτερα αποτελεσματικές, καθώς ενισχύουν την ενεργή συμμετοχή και την κατανόηση των εκπαιδευομένων. Η πρακτική εκπαίδευση επιτρέπει στους εργαζόμενους να εφαρμόζουν τις γνώσεις τους σε πραγματικά σενάρια, βελτιώνοντας έτσι την ικανότητά τους να αντιμετωπίζουν προκλήσεις (Aprianayah, Fransinatra and Ririen 2020; Antony, McDermott and Sony 2022).

Η ανάπτυξη του ανθρώπινου δυναμικού δεν περιορίζεται μόνο στην εκπαίδευση, αλλά περιλαμβάνει και την υποστήριξη της επαγγελματικής ανάπτυξης των εργαζομένων. Οι οργανισμοί πρέπει να δημιουργούν ευκαιρίες για την επαγγελματική ανέλιξη και την ανάπτυξη δεξιοτήτων μέσω της ανάθεσης προκλητικών έργων, της συμμετοχής σε διατμηματικά έργα και της παροχής καθοδήγησης και υποστήριξης από ανώτερα στελέχη. Αυτές οι ευκαιρίες βοηθούν τους εργαζόμενους να αναπτύξουν νέες δεξιότητες και να προχωρήσουν στην καριέρα τους, διατηρώντας υψηλό το επίπεδο δέσμευσης και ικανοποίησης (Javaid, et al. 2021).

Η δημιουργία μιας κουλτούρας συνεχούς μάθησης είναι επίσης σημαντική. Οι οργανισμοί πρέπει να ενθαρρύνουν τους εργαζόμενους να αναζητούν συνεχώς νέες γνώσεις και να βελτιώνουν τις δεξιότητές τους. Αυτό μπορεί να επιτευχθεί μέσω της παροχής πρόσβασης σε εκπαιδευτικούς πόρους, της υποστήριξης της συμμετοχής σε εξωτερικά σεμινάρια και συνέδρια και της ενίσχυσης της συνεργασίας και της ανταλλαγής γνώσεων μεταξύ των εργαζομένων. Η κουλτούρα συνεχούς μάθησης διασφαλίζει ότι ο οργανισμός μπορεί να προσαρμόζεται γρήγορα στις αλλαγές και να καινοτομεί (Kumar, Sahithi and Revanth 2020).

Η αξιολόγηση της αποτελεσματικότητας των προγραμμάτων εκπαίδευσης και ανάπτυξης είναι κρίσιμη για την εξασφάλιση της επιτυχίας τους. Οι οργανισμοί πρέπει να παρακολουθούν την πρόοδο των εργαζομένων και να μετρούν τις επιπτώσεις της εκπαίδευσης στην απόδοση και την παραγωγικότητα. Η συλλογή ανατροφοδότησης από τους συμμετέχοντες και η ανάλυση των αποτελεσμάτων της εκπαίδευσης επιτρέπουν την προσαρμογή και τη βελτίωση των προγραμμάτων, εξασφαλίζοντας ότι οι ανάγκες του οργανισμού και του προσωπικού καλύπτονται πλήρως (Zonnenshain and Kenett 2020).

Τέλος, η δέσμευση της ηγεσίας είναι απαραίτητη για την επιτυχή υλοποίηση των προγραμμάτων εκπαίδευσης και ανάπτυξης. Η ηγεσία πρέπει να δείχνει με το παράδειγμά της τη σημασία της συνεχούς μάθησης και της επαγγελματικής ανάπτυξης, παρέχοντας καθοδήγηση, πόρους και υποστήριξη. Μια ισχυρή ηγεσία που προάγει και υποστηρίζει την εκπαίδευση και την ανάπτυξη του ανθρώπινου δυναμικού δημιουργεί ένα δυναμικό και ευέλικτο εργασιακό περιβάλλον, ικανό να ανταποκριθεί στις προκλήσεις του Quality 4.0 και να επιτύχει βιώσιμη ανάπτυξη και επιτυχία (Modrak and Soltysova 2020).

3.2.4 Συνεχής Βελτίωση και Δημιουργία Κουλτούρας Καινοτομίας

Η συνεχής βελτίωση και η δημιουργία κουλτούρας καινοτομίας αποτελούν βασικά στοιχεία για την επιτυχή ενσωμάτωση του Quality 4.0 σε έναν οργανισμό. Η συνεχής βελτίωση επικεντρώνεται κυρίως στην αέναη προσπάθεια για βελτίωση των διαδικασιών, των προϊόντων και των υπηρεσιών. Αυτό επιτυγχάνεται μέσω της εφαρμογής μεθοδολογιών όπως το Kaizen, το Six Sigma και το Lean, που στοχεύουν στη μείωση των σφαλμάτων, την αύξηση της αποδοτικότητας και τη βελτίωση της ποιότητας. Η καινοτομία, από την άλλη, επικεντρώνεται στην ανάπτυξη νέων ιδεών και λύσεων που προσφέρουν προστιθέμενη αξία (Saihi, Awad and Ben-Daya 2023).

Η δημιουργία μιας κουλτούρας συνεχούς βελτίωσης οφείλει να ξεκινά με τη δέσμευση της ηγεσίας. Η ηγεσία πρέπει να προάγει τη φιλοσοφία της συνεχούς βελτίωσης, ενθαρρύνοντας όλους τους εργαζόμενους να αναζητούν συνεχώς τρόπους για να βελτιώσουν τις διαδικασίες και τα προϊόντα τους. Αυτό απαιτεί την ανάπτυξη μιας κουλτούρας που αποδέχεται την αλλαγή και την προσαρμογή ως αναπόσπαστα στοιχεία της επιχειρησιακής στρατηγικής. Η ηγεσία πρέπει να δείχνει το παράδειγμα, συμμετέχοντας ενεργά στις προσπάθειες βελτίωσης και αναγνωρίζοντας τις προσπάθειες των εργαζομένων (Modrak and Soltysova 2020).

Οι εργαζόμενοι πρέπει να ενθαρρύνονται να συμμετέχουν ενεργά στις διαδικασίες συνεχούς βελτίωσης. Αυτό μπορεί να επιτευχθεί μέσω της δημιουργίας κοινών ομάδων εργασίας, οι οποίες συγκεντρώνουν εργαζόμενους από διαφορετικά τμήματα και ειδικότητες για να αναλύσουν τα προβλήματα και να αναπτύξουν λύσεις. Οι ομάδες αυτές προάγουν την συνεργασία, την ανταλλαγή γνώσεων και την καινοτομία, δημιουργώντας ένα δυναμικό περιβάλλον που ευνοεί τη συνεχή βελτίωση (Chiarini 2020).

Η καινοτομία είναι εξίσου σημαντική με τη συνεχή βελτίωση για την ενσωμάτωση του Quality 4.0. Οι οργανισμοί πρέπει να προωθούν ένα περιβάλλον που ενθαρρύνει την δημιουργικότητα

και την καινοτομία, δίνοντας στους εργαζόμενους τον χώρο και την ελευθερία να πειραματιστούν και να αναπτύξουν νέες ιδέες. Αυτό μπορεί να επιτευχθεί μέσω της υποστήριξης της εκπαίδευσης και της επαγγελματικής ανάπτυξης, της παροχής κινήτρων για την καινοτομία και της αναγνώρισης των καινοτόμων προσπαθειών (Vinodh, et al. 2021).

Η εφαρμογή τεχνολογιών Quality 4.0, όπως η τεχνητή νοημοσύνη, τα μεγάλα δεδομένα και το IoT, μπορεί να διευκολύνει τόσο τη συνεχή βελτίωση όσο και την καινοτομία. Αυτές οι τεχνολογίες επιτρέπουν την ανάλυση μεγάλων όγκων δεδομένων και την εξαγωγή χρήσιμων πληροφοριών που μπορούν να χρησιμοποιηθούν για τη βελτιστοποίηση των διαδικασιών και την ανάπτυξη νέων λύσεων. Η ενσωμάτωση αυτών των τεχνολογιών στις καθημερινές διαδικασίες βοηθά τους οργανισμούς να παραμένουν ανταγωνιστικοί και να καινοτομούν συνεχώς (Christou, et al. 2022).

Η δημιουργία μιας κουλτούρας καινοτομίας απαιτεί επίσης την ανάπτυξη συστημάτων και διαδικασιών που υποστηρίζουν την καινοτομία. Αυτό περιλαμβάνει την παροχή των απαραίτητων πόρων και εργαλείων για την ανάπτυξη και την εφαρμογή νέων ιδεών, καθώς και την ανάπτυξη μηχανισμών για την αξιολόγηση και την ανατροφοδότηση των καινοτόμων προσπαθειών. Οι οργανισμοί πρέπει να είναι έτοιμοι να αναλάβουν ρίσκα και να αποδέχονται την αποτυχία ως μέρος της διαδικασίας καινοτομίας, μαθαίνοντας από τα λάθη και προσαρμόζοντας τις στρατηγικές τους (Escobar, McGovern and Morales-Menendez 2021).

Τέλος, η συνεχής βελτίωση και η καινοτομία πρέπει να ενσωματωθούν στην επιχειρησιακή στρατηγική του οργανισμού. Οι στόχοι και οι μετρήσεις απόδοσης πρέπει να αντικατοπτρίζουν τη δέσμευση για βελτίωση και καινοτομία, εξασφαλίζοντας ότι όλοι οι εργαζόμενοι εργάζονται προς την επίτευξη αυτών των στόχων. Η συνεχής αξιολόγηση της προόδου και η προσαρμογή των στρατηγικών βάσει των αποτελεσμάτων βοηθούν τον οργανισμό να παραμένει ευέλικτος και να προσαρμόζεται στις αλλαγές της αγοράς και τις νέες τεχνολογικές εξελίξεις (Fonseca, Amaral and Oliveira 2021; Florencio de Souza, et al. 2022).

3.3 Προκλήσεις και Πλεονεκτήματα της Ενσωμάτωσης

Παρατηρούμε ότι ένας οργανισμός που επιθυμεί να ενσωματώσει το Quality 4.0 στα συστήματα Διοίκησης Ποιότητας οφείλει να ακολουθήσει συγκεκριμένες στρατηγικές που ξεκινούν από την προμήθεια του εξοπλισμού και καταλήγουν στην υιοθέτηση νέας κουλτούρας εντός του οργανισμού. Χαρακτηριστικό είναι ότι η κάθε στρατηγική δεν είναι ανεξάρτητη από την άλλη αλλά υπάρχει μία έντονη συσχέτιση μεταξύ τους (Chiarini 2020).

Για την επίτευξη της ενσωμάτωσης του Quality 4.0 σε έναν οργανισμό απαιτείται, όπως εύκολα μπορεί να προκύψει από τα παραπάνω, κόπος, χρόνος και χρήμα εκ μέρους της επιχείρησης. Το μεγάλο ερώτημα σε αυτήν την περίπτωση είναι αν αξίζει ο οργανισμός να διαθέσει όλους αυτούς τους πόρους προκειμένου να ενσωματώσει το Quality 4.0 στις διεργασίες του. Και το πιο σημαντικό είναι αν πρέπει να μπει σε τέτοια διαδικασία όταν είναι ήδη επιτυχημένος (Zonnenshain and Kenett 2020).

Είναι σίγουρο ότι η ενσωμάτωση του Quality 4.0 στα συστήματα Διοίκησης Ολικής Ποιότητας φέρει μαζί της τόσο προκλήσεις όσο και πλεονεκτήματα. Η επιτυχής ενσωμάτωση εξαρτάται από την ικανότητα του οργανισμού να αντιμετωπίσει αυτές τις προκλήσεις και να αξιοποιήσει πλήρως τα πλεονεκτήματα που προσφέρει το Quality 4.0. Σε αυτό το πλαίσιο, είναι σημαντικό να εξετάσουμε τόσο τις δυσκολίες που μπορεί να προκύψουν όσο και τα οφέλη που μπορούν να αποκομισθούν (Modrak and Soltysova 2020).

3.3.1 Προκλήσεις της Ενσωμάτωσης

Τεχνολογική Εξέλιξη και Επενδύσεις

Η ραγδαία εξέλιξη της τεχνολογίας απαιτεί από τους οργανισμούς να παρακολουθούν συνεχώς τις νέες τάσεις και να επενδύουν σε νέες τεχνολογίες για να παραμείνουν ανταγωνιστικοί. Αυτή η ανάγκη για συνεχή αναβάθμιση του εξοπλισμού, του λογισμικού και των υποδομών μπορεί να οδηγήσει σε σημαντικές οικονομικές επενδύσεις (Sader, Husti and Daroczi 2022). Οι οργανισμοί πρέπει να αναπτύξουν στρατηγικά σχέδια επενδύσεων και να εξασφαλίσουν τους απαραίτητους πόρους για να καλύψουν αυτά τα κόστη. Επιπλέον, η ανασφάλεια σχετικά με την απόδοση της επένδυσης μπορεί να καθυστερήσει τη λήψη αποφάσεων και την υιοθέτηση νέων τεχνολογιών (Zonnenshain and Kenett 2020).

Αντίσταση στην Αλλαγή

Η αντίσταση στην αλλαγή είναι μια φυσική ανθρώπινη αντίδραση που μπορεί να επηρεάσει αρνητικά την επιτυχή ενσωμάτωση του Quality 4.0. Οι εργαζόμενοι μπορεί να φοβούνται ότι οι νέες τεχνολογίες θα αντικαταστήσουν τις θέσεις εργασίας τους ή θα απαιτήσουν νέες δεξιότητες που δεν διαθέτουν (Chiarini 2020). Αυτή η αντίσταση μπορεί να μειώσει την αποδοτικότητα και την αποτελεσματικότητα της υιοθέτησης νέων διαδικασιών. Οι οργανισμοί πρέπει να εφαρμόσουν στρατηγικές διαχείρισης αλλαγών, όπως η παροχή επαρκούς εκπαίδευσης, η διαφάνεια στην επικοινωνία και η εμπλοκή των εργαζομένων στη διαδικασία λήψης αποφάσεων για να μειώσουν την αντίσταση και να προωθήσουν τη θετική αποδοχή των αλλαγών (Fonseca, Amaral and Oliveira 2021).

Ασφάλεια Δεδομένων και Ιδιωτικότητα

Η συλλογή και η αποθήκευση μεγάλων όγκων δεδομένων συνεπάγεται κινδύνους για την ασφάλεια και την ιδιωτικότητα. Οι οργανισμοί πρέπει να προστατεύουν τα δεδομένα από κυβερνοεπιθέσεις, κακόβουλο λογισμικό και παραβιάσεις ασφάλειας, κάτι που απαιτεί ισχυρά συστήματα ασφαλείας και συνεχής παρακολούθηση (Singh, et al. 2023). Η συμμόρφωση με κανονισμούς όπως ο Γενικός Κανονισμός για την Προστασία Δεδομένων (GDPR) είναι απαραίτητη για την προστασία των προσωπικών δεδομένων και την αποφυγή νομικών κυρώσεων. Η ανάπτυξη πολιτικών και διαδικασιών για τη διαχείριση και την προστασία των δεδομένων είναι κρίσιμη για την ασφάλεια και την εμπιστοσύνη των πελατών και των συνεργατών (Zonnenshain and Kenett 2020).

Πολυπλοκότητα Διαχείρισης Δεδομένων

Η διαχείριση και η ανάλυση των δεδομένων που συλλέγονται μέσω των συστημάτων Quality 4.0 μπορεί να είναι πολυπλοκή και απαιτεί προηγμένες τεχνικές δεξιότητες. Οι οργανισμοί χρειάζονται εργαλεία και τεχνολογίες που επιτρέπουν την αποθήκευση, την ανάλυση και τη χρήση των δεδομένων με τρόπο που να προσφέρει αξία (Mourtzis, Papakostas and Makris, Complexity in Industry 4.0 Systems and Networks 2019). Η έλλειψη εξειδικευμένου προσωπικού για τη διαχείριση και την ανάλυση δεδομένων μπορεί να αποτελέσει σημαντική πρόκληση, καθιστώντας απαραίτητη την εκπαίδευση και την πρόσληψη ειδικών. Η οργάνωση των δεδομένων με τέτοιο τρόπο που να επιτρέπει την εύκολη πρόσβαση και την αποδοτική χρήση τους είναι επίσης κρίσιμη για την επιτυχία του Quality 4.0 (Zakoldaev, et al. 2019; Mourtzis, Fotia, et al. 2019).

3.3.2 Πλεονεκτήματα της Ενσωμάτωσης

Βελτιωμένη Ποιότητα και Απόδοση

Η χρήση τεχνολογιών Quality 4.0, όπως το Διαδίκτυο των Πραγμάτων (IoT) και η τεχνητή νοημοσύνη (AI), επιτρέπει την παρακολούθηση της παραγωγικής διαδικασίας σε πραγματικό χρόνο. Αισθητήρες τοποθετημένοι σε μηχανές και εξοπλισμό μπορούν να συλλέγουν δεδομένα συνεχώς, επιτρέποντας την άμεση ανίχνευση και αντιμετώπιση προβλημάτων πριν αυτά εξελιχθούν σε σοβαρά ζητήματα. Αυτό μειώνει σημαντικά τις αποκλίσεις και τα σφάλματα, διασφαλίζοντας ότι τα τελικά προϊόντα πληρούν τα πρότυπα ποιότητας. Επιπλέον, οι αλγόριθμοι AI μπορούν να αναλύουν τα δεδομένα για να εντοπίσουν τάσεις και προληπτικά να εντοπίσουν πιθανά προβλήματα, βελτιώνοντας την αξιοπιστία και τη συνολική ποιότητα των προϊόντων (Chiarini 2020; SAS Institute 2023).

Επιπλέον, η προληπτική συντήρηση, που βασίζεται σε αναλύσεις δεδομένων και προβλέψεις, μπορεί να βελτιώσει σημαντικά την απόδοση των παραγωγικών συστημάτων. Με τη συνεχή παρακολούθηση της κατάστασης του εξοπλισμού, οι οργανισμοί μπορούν να προβλέπουν και να προλαμβάνουν βλάβες, μειώνοντας τον χρόνο διακοπής λειτουργίας και το κόστος επισκευών (Zonnenshain and Kenett 2020). Αυτό όχι μόνο διασφαλίζει την αδιάλειπτη λειτουργία των συστημάτων αλλά και βελτιώνει την απόδοση και την αποδοτικότητα, καθώς οι μηχανές λειτουργούν με βέλτιστη απόδοση. Συνολικά, η βελτιωμένη ποιότητα και απόδοση οδηγούν σε αυξημένη ικανοποίηση των πελατών και ενισχύουν την ανταγωνιστικότητα του οργανισμού στην αγορά (Saihi, Awad and Ben-Daya 2023).

Αυξημένη Αποδοτικότητα και Μείωση Κόστους

Η ενσωμάτωση του Quality 4.0 μπορεί να οδηγήσει σε σημαντική αύξηση της αποδοτικότητας μέσω της αυτοματοποίησης των διαδικασιών. Οι αυτοματοποιημένες διαδικασίες μειώνουν τον χρόνο και την ανάγκη για ανθρώπινη παρέμβαση, εξαλείφοντας έτσι τα περιττά κόστη και τις καθυστερήσεις (Chiarini 2020). Η χρήση ρομποτικής και αυτοματοποιημένων συστημάτων διαχείρισης παραγωγής μπορεί να αυξήσει την παραγωγικότητα και να μειώσει τις απώλειες, εξασφαλίζοντας την βέλτιστη χρήση των πόρων. Επιπλέον, η ψηφιακή παρακολούθηση των αποθεμάτων και των προμηθειών βοηθά στη μείωση των αποθεμάτων ασφαλείας και στη βελτιστοποίηση της εφοδιαστικής αλυσίδας (Javaid, et al. 2021).

Επιπλέον, η προληπτική συντήρηση συμβάλλει στη μείωση του κόστους επισκευών και των διακοπών λειτουργίας. Με την παρακολούθηση της κατάστασης του εξοπλισμού και την ανίχνευση προειδοποιητικών σημάτων για πιθανές βλάβες, οι οργανισμοί μπορούν να προγραμματίζουν συντηρήσεις πριν εμφανιστούν σοβαρά προβλήματα. Αυτό όχι μόνο μειώνει τα κόστη συντήρησης αλλά και αυξάνει την αξιοπιστία του εξοπλισμού, διασφαλίζοντας την συνεχή λειτουργία των γραμμών παραγωγής. Η συνολική μείωση των λειτουργικών εξόδων και η βελτιστοποίηση των διαδικασιών συμβάλλουν στην ενίσχυση της οικονομικής απόδοσης του οργανισμού (Chiarini 2020).

Καλύτερη Λήψη Αποφάσεων

Η χρήση τεχνολογιών AI και Big Data επιτρέπει στους οργανισμούς να λαμβάνουν αποφάσεις βάσει δεδομένων και όχι υποθέσεων. Η συλλογή και η ανάλυση μεγάλων ποσοτήτων δεδομένων παρέχουν βαθιές γνώσεις και ενόραση για τις τάσεις της αγοράς, τις προτιμήσεις των πελατών και την απόδοση των διαδικασιών. Οι αναλύσεις αυτές βοηθούν τους οργανισμούς να κατανοήσουν καλύτερα τις επιχειρηματικές τους δραστηριότητες και να

προβλέψουν μελλοντικές τάσεις, επιτρέποντας την προσαρμογή των στρατηγικών τους με μεγαλύτερη ακρίβεια και ευελιξία (Zonnenshain and Kenett 2020).

Επιπλέον, η δυνατότητα ανάλυσης σε πραγματικό χρόνο επιτρέπει τη γρήγορη αντίδραση σε αλλαγές της αγοράς και σε εσωτερικά προβλήματα. Οι οργανισμοί μπορούν να λαμβάνουν άμεσες αποφάσεις για τη βελτίωση των διαδικασιών, τη διαχείριση κινδύνων και την εκμετάλλευση νέων ευκαιριών (Sader, Husti and Daroczi 2022). Η βελτιωμένη λήψη αποφάσεων ενισχύει την ικανότητα του οργανισμού να ανταποκρίνεται γρήγορα και αποτελεσματικά στις προκλήσεις, αυξάνοντας την ανταγωνιστικότητά του. Με την ενσωμάτωση του Quality 4.0, οι αποφάσεις βασίζονται σε αξιόπιστα δεδομένα, μειώνοντας την αβεβαιότητα και βελτιώνοντας την απόδοση του οργανισμού σε όλα τα επίπεδα (Antony, Sony, et al. 2023).

Καινοτομία και Ανταγωνιστικό Πλεονέκτημα

Η ενσωμάτωση του Quality 4.0 προάγει την καινοτομία, δίνοντας στους οργανισμούς τα εργαλεία και τις τεχνολογίες για την ανάπτυξη νέων προϊόντων και υπηρεσιών. Η πρόσβαση σε προηγμένες τεχνολογίες, όπως η τεχνητή νοημοσύνη, η μηχανική μάθηση και το IoT, επιτρέπει την πειραματική ανάπτυξη και την καινοτομία. Οι οργανισμοί μπορούν να χρησιμοποιούν τα δεδομένα για να αναλύουν τις τάσεις της αγοράς και τις προτιμήσεις των πελατών, αναπτύσσοντας προϊόντα που ανταποκρίνονται καλύτερα στις ανάγκες τους. Αυτό ενισχύει την ικανότητα του οργανισμού να διαφοροποιείται από τον ανταγωνισμό και να προσφέρει μοναδικές αξίες στους πελάτες του (Kumar, Ganesh and Rajendran 2022).

Επιπλέον, η συνεχής βελτίωση που ενσωματώνεται στο Quality 4.0 εξασφαλίζει ότι οι οργανισμοί δεν επαναπαύονται στις δάφνες τους αλλά συνεχίζουν να εξελίσσονται. Η ενθάρρυνση μιας κουλτούρας καινοτομίας και η παροχή κινήτρων για την ανάπτυξη νέων ιδεών διασφαλίζουν ότι ο οργανισμός παραμένει στην αιχμή της τεχνολογίας και της επιχειρηματικής πρακτικής (Chiarini 2020). Η καινοτομία όχι μόνο βελτιώνει την ποιότητα και την αποδοτικότητα αλλά δημιουργεί και νέες ευκαιρίες για ανάπτυξη και επέκταση. Οι οργανισμοί που υιοθετούν το Quality 4.0 αποκτούν ένα σημαντικό ανταγωνιστικό πλεονέκτημα, καθιστώντας τους πρωτοπόρους στην αγορά τους και διασφαλίζοντας τη βιώσιμη ανάπτυξή τους στο μέλλον (Zonnenshain and Kenett 2020).

Με την αντιμετώπιση των προκλήσεων και την πλήρη αξιοποίηση των πλεονεκτημάτων του Quality 4.0, οι οργανισμοί μπορούν να βελτιώσουν την ποιότητα, την αποδοτικότητα, την ικανότητα λήψης αποφάσεων και την καινοτομία τους, οδηγώντας σε μακροπρόθεσμη επιτυχία και βιώσιμη ανάπτυξη.

4. Πρακτικές Εφαρμογές και Μελέτες Περίπτωσης

4.1 Ανάλυση Πρακτικών Περιπτώσεων Επιχειρήσεων με Quality 4.0

Στη συνέχεια αναλύεται η εφαρμογή συγκεκριμένων παραδειγμάτων εφαρμογής διαδικασιών του Quality 4.0 σε μεγάλους διεθνείς οργανισμούς – επιχειρήσεις. Συγκεκριμένα περιγράφεται ο τρόπος εφαρμογής του Quality 4.0, μέσω των δυνατοτήτων που προσφέρει η 4^η Βιομηχανική Επανάσταση, καταγράφονται τα αποτελέσματα της εφαρμογής και γίνονται οι συγκρίσεις με τα παραδοσιακά συστήματα Διοίκησης Ποιότητας.

Για την εύρεση των δεδομένων χρησιμοποιήθηκαν τόσο βιβλιογραφικές πηγές από επιστημονικά περιοδικά όσο και στοιχεία από οικονομικές – τεχνολογικές ανασκοπήσεις μεγάλων επιχειρήσεων.

Για τους σκοπούς της εργασίας επιλέχθηκαν, ως μελέτες περίπτωσης, τρεις από τις μεγαλύτερες βιομηχανίες σε παγκόσμια κλίμακα, η General Electric, η Siemens και η Bosch, οι οποίες χαρακτηρίζονται ως πρωτοπόροι στην υιοθέτηση και εφαρμογή τεχνολογιών που προήλθαν από την 4^η Βιομηχανική Επανάσταση και των αντίστοιχων διαδικασιών που προστάζει το Quality 4.0.

4.1.1 Η Περίπτωση της General Electric

Η General Electric (GE) είναι μια από τις μεγαλύτερες και πιο εμβληματικές εταιρείες στον κόσμο, με ιστορία που εκτείνεται σε περισσότερους από 125 χρόνια. Η GE έχει επηρεάσει σημαντικά την τεχνολογική πρόοδο και την ανάπτυξη σε διάφορους τομείς, όπως η ενέργεια, οι αεροπορικές μεταφορές, η ιατρική τεχνολογία και η βιομηχανική αυτοματοποίηση. Σε αυτή τη νέα εποχή της τέταρτης βιομηχανικής επανάστασης, η GE έχει αγκαλιάσει τις ψηφιακές τεχνολογίες μέσω του Quality 4.0, προσπαθώντας να βελτιώσει την ποιότητα των προϊόντων και των υπηρεσιών της με τη χρήση προηγμένων αναλυτικών δεδομένων και Internet of Things (IoT) (GE 2024).

Εφαρμογές που να αξιοποιούν πολλές από τις δυνατότητες που προσφέρει η τεχνολογική εξέλιξη είναι δυνατόν να βρεθούν σε πολλές πτυχές των δραστηριοτήτων της εταιρείας. Σε συνδυασμό με τις παροχές της 4ης Βιομηχανικής Επανάστασης εντοπίζονται και αντίστοιχες εφαρμογές που έχουν ως έρεισμα τις δυνατότητες του Quality 4.0 (Azeem, et al. 2022).

Κεντρικό στοιχείο της στρατηγικής της GE για το Quality 4.0 είναι η πλατφόρμα Predix, ένα ισχυρό βιομηχανικό λειτουργικό σύστημα που συνδέει αισθητήρες και συσκευές, συλλέγοντας

τεράστια ποσά δεδομένων από τις βιομηχανικές εγκαταστάσεις και τον εξοπλισμό της εταιρείας. Η Predix επιτρέπει στη GE να αναλύει αυτά τα δεδομένα σε πραγματικό χρόνο, παρέχοντας βαθιά και ακριβή εικόνα για την κατάσταση και την απόδοση των μηχανών της (De Vasconcelos and Parli 2017; GE 2024).

Συγκεκριμένα, *απαρτίζεται από τέσσερα κύρια μέρη, τα οποία περιγράφονται επιγραμματικά παρακάτω (GE 2024):*

- **Predix Machine:** Το Predix Machine είναι το λογισμικό που εγκαθίσταται στις συσκευές και τους αισθητήρες για τη συλλογή δεδομένων. Το λογισμικό αυτό επιτρέπει τη σύνδεση των συσκευών στην πλατφόρμα Predix, διασφαλίζοντας ότι τα δεδομένα μεταφέρονται με ασφάλεια και αξιοπιστία στους servers για επεξεργασία (Kumar, Zindani and Davim 2019).
- **Predix Edge:** Το Predix Edge είναι η τεχνολογία που επιτρέπει την ανάλυση των δεδομένων στο σημείο συλλογής τους (edge computing). Αυτό σημαίνει ότι κάποια από τα δεδομένα επεξεργάζονται τοπικά, στις συσκευές και τους αισθητήρες, προτού αποσταλούν στην κεντρική πλατφόρμα. Η τεχνολογία αυτή μειώνει την καθυστέρηση και επιτρέπει την ταχύτερη αντίδραση σε κρίσιμα δεδομένα (GE 2024).
- **Predix Cloud:** Το Predix Cloud είναι η κεντρική πλατφόρμα για την αποθήκευση και την ανάλυση των δεδομένων. Παρέχει την υπολογιστική ισχύ και τις δυνατότητες ανάλυσης για την επεξεργασία των μεγάλων ποσοτήτων δεδομένων που συλλέγονται από τις βιομηχανικές εγκαταστάσεις. Το Predix Cloud χρησιμοποιεί τεχνολογίες cloud computing για να διασφαλίσει την κλιμακωσιμότητα και την αξιοπιστία της πλατφόρμας (Lee, Lee and Kim 2019).
- **Predix Analytics:** Το Predix Analytics είναι το σύνολο των εργαλείων και των αλγορίθμων που χρησιμοποιούνται για την ανάλυση των δεδομένων. Περιλαμβάνει εργαλεία για την επεξεργασία μεγάλων δεδομένων, τη μηχανική μάθηση και την τεχνητή νοημοσύνη. Τα εργαλεία αυτά επιτρέπουν την ανίχνευση τάσεων, την πρόβλεψη προβλημάτων και τη βελτιστοποίηση των διαδικασιών παραγωγής (GE 2024).

Το πρώτο βήμα στην εφαρμογή του Quality 4.0 είναι η συλλογή δεδομένων μέσω του Internet of Things (IoT) η οποία πραγματοποιείται με την βοήθεια κατάλληλων αισθητήρων. Οι αισθητήρες παίζουν κρίσιμο ρόλο στην υποδομή του IoT. Στη GE, αισθητήρες τοποθετούνται

σε ποικίλες βιομηχανικές μηχανές και εξοπλισμό. Αυτοί οι αισθητήρες συλλέγουν συνεχώς δεδομένα από τις εξής παραμέτρους (Azeem, et al. 2022):

Θερμοκρασία: Παρέχει πληροφορίες για τη θερμική κατάσταση των μηχανών.

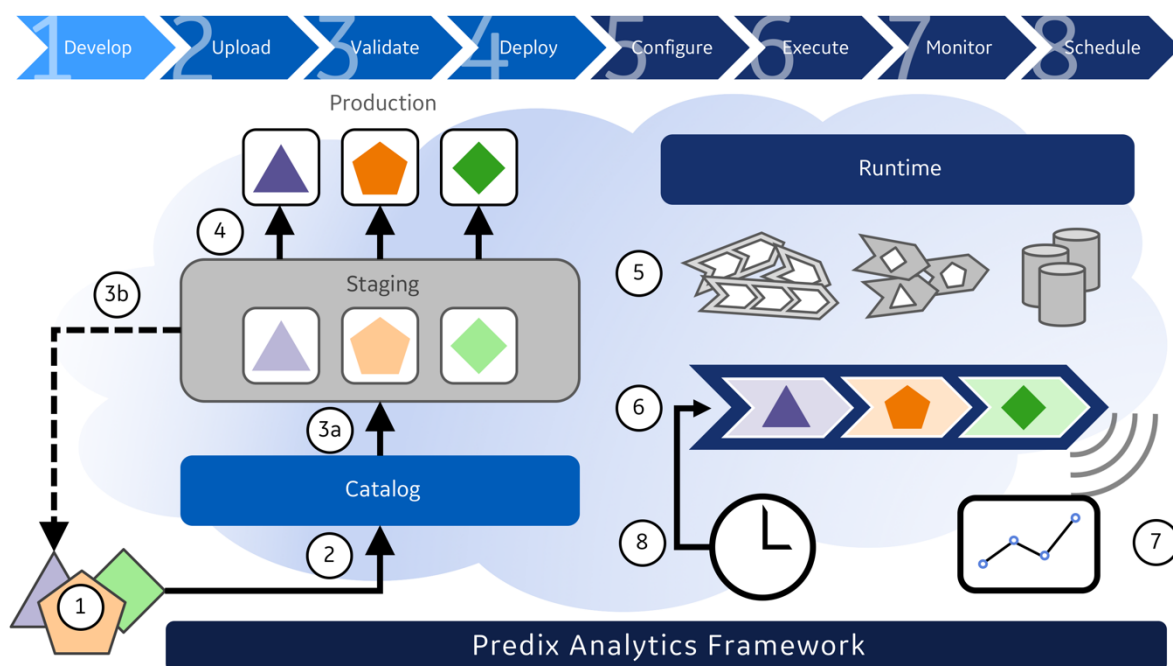
Πίεση: Μετρά την πίεση σε συστήματα και αγωγούς, κρίσιμη για την καλή λειτουργία των μηχανών.

Κραδασμοί: Εντοπίζει ανωμαλίες και προειδοποιεί για μηχανικά προβλήματα.

Κατανάλωση ενέργειας: Παρακολουθεί την ενεργειακή αποδοτικότητα των συστημάτων.

Ταχύτητα και επιτάχυνση: Αξιολογεί την απόδοση και τη σταθερότητα των μηχανών.

Οι αισθητήρες συνδέονται μέσω ασφαλών δικτύων της τεχνολογίας του Διαδικτύου Πραγμάτων (IoT). Αυτή η σύνδεση επιτρέπει τη συνεχή μεταφορά δεδομένων από τους αισθητήρες στην κεντρική πλατφόρμα Predix.



Εικόνα 4.1 – Πλατφόρμα Predix

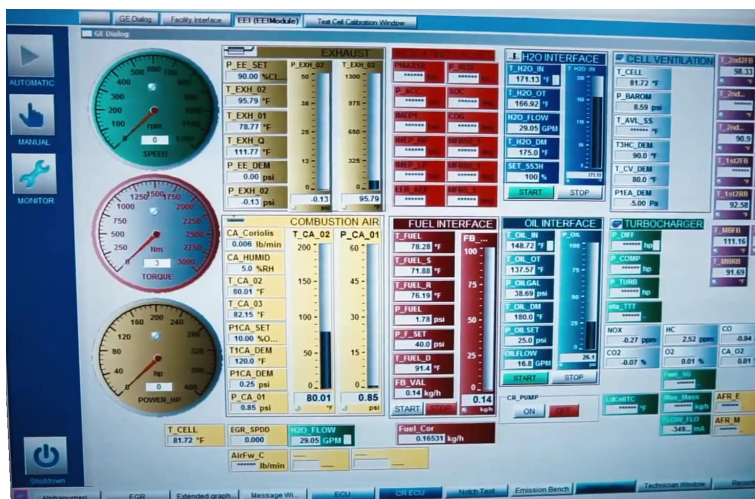
Στη συνέχεια υλοποιείται η ανάλυση και η επεξεργασία των δεδομένων. Η ανάλυση των δεδομένων είναι ιδιαίτερα κρίσιμη για την εξαγωγή χρήσιμων πληροφοριών και την πρόβλεψη προβλημάτων και επιτρέπει την εξαγωγή γνώσεων από τα δεδομένα που συλλέγονται.

Για την ανάλυση των δεδομένων χρησιμοποιούνται σύγχρονα εργαλεία που αξιοποιούν τις τεχνολογικές δυνατότητες της 4^{ης} Βιομηχανικής Επανάστασης. Η GE χρησιμοποιεί εφαρμογές που δημιουργήθηκαν στηριζόμενες στην τεχνητή νοημοσύνη και την μηχανική μάθηση με σκοπό τη δημιουργία προγνωστικών μοντέλων τα οποία προβλέπουν πότε είναι πιθανό να παρουσιαστούν προβλήματα στις μηχανές και τον εξοπλισμό, βασισμένα σε ιστορικά δεδομένα και τάσεις. Η συγκεκριμένη εταιρεία δραστηριοποιείται σε πολλούς διαφορετικούς τομείς και μέσω του quality 4.0 έχει παρατηρηθεί σημαντική βελτίωση στον τρόπο λειτουργίας της, που αποτυπώνεται και από συγκεκριμένες διαφοροποιήσεις στα καταγεγραμμένα αποτελέσματα. Σύμφωνα με τα δεδομένα από πηγές της εταιρείας όσο και από βιβλιογραφικές αναφορές (Kumar, Zindani and Davim 2019). Παρακάτω ακολουθεί μία ανάλυση των αποτελεσμάτων του quality 4.0 στις βασικές πτυχές δραστηριότητας του οργανισμού:

Αεροδιαστημική Βιομηχανία

Οι κινητήρες αεροσκαφών της GE είναι εξοπλισμένοι με αισθητήρες που συλλέγουν δεδομένα κατά τη διάρκεια των πτήσεων. Αυτοί οι αισθητήρες παρακολουθούν μια σειρά από παραμέτρους, όπως (GE 2024; De Vasconcelos and Parli 2017):

- **Θερμοκρασία και Πίεση:** Παρέχουν πληροφορίες για τη θερμική και μηχανική κατάσταση του κινητήρα.
- **Ροή Καυσίμου:** Παρακολουθεί την κατανάλωση καυσίμου και την αποδοτικότητα καύσης.
- **Κραδασμοί και Θόρυβος:** Εντοπίζουν μηχανικές ανωμαλίες που μπορεί να υποδεικνύουν φθορές ή προβλήματα.
- **Περιβαλλοντικές Συνθήκες:** Δεδομένα όπως η εξωτερική θερμοκρασία και η υγρασία βοηθούν στην κατανόηση των συνθηκών λειτουργίας του κινητήρα.



Εικόνα 4.2 – Αισθητήρες σε Αεροκινητήρα

Τα δεδομένα μεταδίδονται σε πραγματικό χρόνο μέσω ασφαλών δικτύων στο Predix Cloud, όπου αποθηκεύονται και επεξεργάζονται.

Η ανάλυση των δεδομένων γίνεται με τη χρήση τεχνητής νοημοσύνης και μηχανικής μάθησης για την ανίχνευση ανωμαλιών και την πρόβλεψη προβλημάτων.

Με βάση τα αποτελέσματα της ανάλυσης, η GE προγραμματίζει προληπτικές συντηρήσεις για να επιλύσει προβλήματα πριν αυτά προκαλέσουν σημαντικές βλάβες. Συγκεκριμένα, με τα προγνωστικά μοντέλα, απόρροια της χρήσης του quality 4.0, είναι δυνατός ο προσδιορισμός του βέλτιστου χρόνου συντήρησης με ταυτόχρονη μείωση του χρόνου που ο εξοπλισμός είναι εκτός λειτουργίας (Kumar, Zindani and Davim 2019).

Αυτή η διαδικασία παρέχει τη δυνατότητα αντικατάστασης των εξαρτημάτων πριν αυτά παρουσιάσουν φθορά, εξασφαλίζοντας την ασφαλή λειτουργία του κινητήρα.

Βιομηχανία Ενέργειας

Οι τουρμπίνες στις μονάδες παραγωγής ενέργειας της GE είναι εξοπλισμένες με αισθητήρες που παρακολουθούν διάφορες λειτουργικές παραμέτρους, όπως (GE 2024):

- **Θερμοκρασία και Πίεση:** Μετράνε τις συνθήκες λειτουργίας στις καύσεις και στους θαλάμους αερίων.
- **Ροή Αέρα και Καυσίμου:** Ελέγχουν την αποδοτικότητα της καύσης και την ενεργειακή απόδοση.
- **Κραδασμοί και Φθορά:** Εντοπίζουν μηχανικές ανωμαλίες που υποδεικνύουν φθορά ή επικείμενες βλάβες.

Η συλλογή των δεδομένων πραγματοποιείται σε πραγματικό χρόνο και μεταδίδονται απευθείας στην πλατφόρμα του Predix Cloud. Για την μετάδοση χρησιμοποιούνται σύγχρονα και ασφαλή πρωτόκολλα όπως το MQTT και το HTTP/HTTPS.

Η ανάλυση των δεδομένων γίνεται με τη χρήση τεχνητής νοημοσύνης και μηχανικής μάθησης για την ανίχνευση ανωμαλιών και την πρόβλεψη προβλημάτων. Μέσω κατάλληλων αλγορίθμων ανιχνεύονται μοτίβα ή καταστάσεις που αποκλίνουν από τη φυσιολογική λειτουργία, υποδεικνύοντας πιθανά προβλήματα.

Ταυτόχρονα, αξιόπιστα μοντέλα μηχανικής μάθησης, συλλέγοντας και αναλύοντας το ιστορικό των δεδομένων, έχουν την δυνατότητα να προβλέπουν τη διάρκεια ζωής των εξαρτημάτων και την πιθανότητα εμφάνισης βλαβών. Η ανάλυση δεδομένων βοηθά, επιπρόσθετα, στη βελτιστοποίηση της απόδοσης των τουρμπινών, αυξάνοντας την παραγωγικότητα και μειώνοντας τα κόστη (Lee, Lee and Kim 2019).

Συγκεκριμένα εφαρμόζεται κατάλληλη ανάλυση δεδομένων για την παρακολούθηση της απόδοσης και την αναγνώριση περιοχών για βελτίωση ενώ παράλληλα, μέσω ειδικών διαδικασιών που υποστηρίζονται από συστήματα τεχνητής νοημοσύνης, επιτυγχάνεται των παραμέτρων λειτουργίας αυξάνει την ενεργειακή αποδοτικότητα και μειώνει την κατανάλωση καυσίμου (Azeem, et al. 2022).

Βιομηχανική Παραγωγή

Οι βιομηχανικές εγκαταστάσεις της GE είναι εξοπλισμένες με αισθητήρες που παρακολουθούν διάφορες παραμέτρους παραγωγής, όπως (GE 2024):

- **Θερμοκρασία και Υγρασία:** Μετράνε τις συνθήκες του περιβάλλοντος παραγωγής, επηρεάζοντας την ποιότητα των προϊόντων.
- **Ταχύτητα Παραγωγής:** Παρακολουθείται η ταχύτητα των γραμμών παραγωγής για τη διασφάλιση της αποδοτικότητας.
- **Ποιότητα Υλικών:** Οι αισθητήρες ελέγχουν την ποιότητα των πρώτων υλών και των τελικών προϊόντων.

Τα δεδομένα συλλέγονται και μεταδίδονται στο Predix Cloud για ανάλυση. Σημειώνεται ότι χρησιμοποιούνται ασφαλή πρωτόκολλα για τη μετάδοση των δεδομένων στο cloud. Επιπρόσθετα, τα δεδομένα αποθηκεύονται στο Predix Cloud, όπου είναι διαθέσιμα για ανάλυση σε πραγματικό χρόνο (De Vasconcelos and Parli 2017).

Η ανάλυση των δεδομένων επιτρέπει την ανίχνευση ανωμαλιών και τη βελτιστοποίηση των διαδικασιών παραγωγής. Για την ανίχνευση ανωμαλιών και την αξιολόγηση της αποδοτικότητας της παραγωγής χρησιμοποιούνται κατάλληλα εργαλεία ανάλυσης δεδομένων. Παράλληλα, η συνεχής ανάλυση των δεδομένων βοηθά στην εύρεση και εφαρμογή βελτιώσεων στις διαδικασίες παραγωγής (Kumar, Zindani and Davim 2019).

Χαρακτηριστικά, η ανάλυση των δεδομένων βοηθά στη βελτίωση της ποιότητας των προϊόντων και στη μείωση των αποβλήτων. Αυτό επιτυγχάνεται με την χρήση των αισθητήρων οι οποίοι ανιχνεύουν ελαττώματα στα προϊόντα σε πραγματικό χρόνο, επιτρέποντας την άμεση διόρθωση. Επιπλέον, η αέναη ανάλυση των δεδομένων και η άμεση ανατροφοδότηση επιτρέπουν τη συνεχή βελτίωση των διαδικασιών παραγωγής (Azeem, et al. 2022).

Με βάση τα παραπάνω, διαφαίνεται εύκολα ότι η εφαρμογή του Quality 4.0 στην General Electric έχει αποφέρει σημαντικά οφέλη σε διάφορους βιομηχανικούς τομείς. Μέσω της συλλογής και της ανάλυσης δεδομένων σε πραγματικό χρόνο, της χρήσης προγνωστικών μοντέλων και της προληπτικής συντήρησης, η GE έχει βελτιώσει την ποιότητα των προϊόντων, την αποδοτικότητα των διαδικασιών παραγωγής και τη βιωσιμότητα των βιομηχανικών της δραστηριοτήτων. Οι συγκεκριμένες εφαρμογές στις τουρμπίνες ενέργειας, τους κινητήρες αεροσκαφών και τη βιομηχανική παραγωγή αποδεικνύουν τη δύναμη του Quality 4.0 στην επίτευξη υψηλών επιδόσεων και ανταγωνιστικού πλεονεκτήματος.

4.1.2 Η Περίπτωση της Siemens

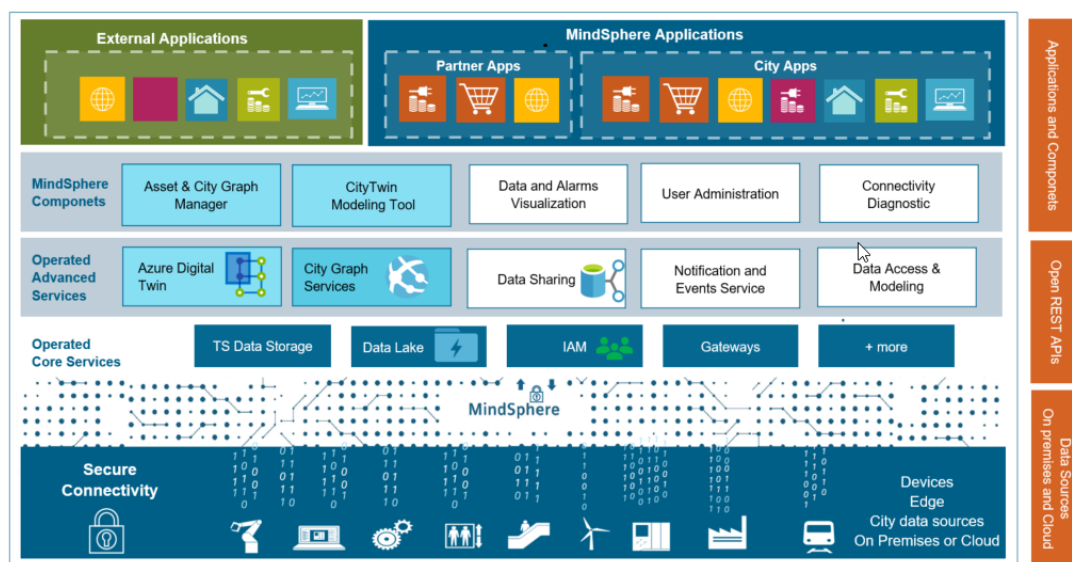
Η Siemens AG είναι μία από τις μεγαλύτερες και πιο καινοτόμες βιομηχανικές εταιρείες παγκοσμίως, δραστηριοποιούμενη σε τομείς όπως η ενέργεια, η βιομηχανική αυτοματοποίηση, οι μεταφορές και η υγειονομική περίθαλψη. Στην εποχή της Τέταρτης Βιομηχανικής επανάστασης, η Siemens έχει υιοθετήσει διαδικασίες που χαρακτηρίζουν το Quality 4.0. Η χάραξη μιας στρατηγικής που ενσωματώνει ψηφιακές τεχνολογίες για τη βελτίωση της ποιότητας και της αποδοτικότητας των διαδικασιών παραγωγής, αποτελεί πρωταρχικής σημασίας απαίτηση για τον υπόψη οργανισμό (Siemens 2024).

Το Quality 4.0 χρησιμοποιεί τεχνολογίες όπως το Internet of Things (IoT), η τεχνητή νοημοσύνη (AI), τα ψηφιακά δίδυμα και τα μεγάλα δεδομένα (Big Data) για να δημιουργήσει ένα έξυπνο, συνδεδεμένο και αποδοτικό περιβάλλον παραγωγής (SAS Institute 2023).

Το πρώτο βήμα στην εφαρμογή του Quality 4.0 είναι η συλλογή δεδομένων από βιομηχανικές εγκαταστάσεις και εξοπλισμό μέσω του IoT. Η Siemens έχει προβεί στην εγκατάσταση κατάλληλων αισθητήρων σε διάφορες βιομηχανικές μηχανές και εξοπλισμό για να παρακολουθεί και να συλλέγει δεδομένα σε πραγματικό χρόνο. Αυτοί οι αισθητήρες μετρούν διάφορες παραμέτρους όπως (Annanth, Abinash and Rao 2021):

- Θερμοκρασία και Υγρασία: Παρακολουθούν τις περιβαλλοντικές συνθήκες που επηρεάζουν την ποιότητα παραγωγής.
- Πίεση και Ροή: Μετρούν την απόδοση των υδραυλικών και πνευματικών συστημάτων.
- Κραδασμοί και Θόρυβος: Εντοπίζουν μηχανικές ανωμαλίες που υποδηλώνουν φθορές ή επικείμενες βλάβες.
- Κατανάλωση Ενέργειας: Παρακολουθούν την ενεργειακή αποδοτικότητα των συστημάτων και των μηχανών.

Οι αισθητήρες συνδέονται μέσω ασφαλών δικτύων, που λειτουργούν σε βάση τεχνολογιών της Τέταρτης Βιομηχανικής Επανάστασης, επιτρέποντας τη συνεχή μεταφορά δεδομένων στην κεντρική πλατφόρμα MindSphere της Siemens (Stepanek, et al. 2022).



Εικόνα 4.3 – Αρχιτεκτονική Πλατφόρμας MindSphere

Η MindSphere είναι η ανοιχτή πλατφόρμα IoT της Siemens που παρέχει τις υποδομές για την αποθήκευση και την επεξεργασία των δεδομένων. Για να επιτύχει το έργο της χρησιμοποιεί τεχνολογίες νέφους – «cloud computing» – για την αποθήκευση μεγάλων ποσοτήτων

δεδομένων και τον αυτόματο έλεγχο κλιμάκωσης της χρήσης των υπολογιστικών πόρων. Είναι ιδιαίτερα σημαντικό για την πλατφόρμα ότι δύναται να επεκταθεί δυναμικά για να καλύψει τις αυξημένες ανάγκες σε αποθήκευση και επεξεργασία δεδομένων (Siemens 2024).

Η διαχείριση των δεδομένων από τον οργανισμό ικανοποιεί όλες τις απαιτήσεις του Quality 4.0 και περιλαμβάνει τη δομή, την αποθήκευση και την πρόσβαση σε αυτά, η οποία είναι εφικτή σε πραγματικό χρόνο (Stepanek, et al. 2022).

Αυτά τα δεδομένα αποστέλλονται στην πλατφόρμα MindSphere, όπου αποθηκεύονται και αναλύονται σε πραγματικό χρόνο (Annanth, Abinash and Rao 2021). Χρησιμοποιώντας αλγόριθμους μηχανικής μάθησης, η Siemens δημιουργεί προγνωστικά μοντέλα που μπορούν να προβλέψουν πότε είναι πιθανό να παρουσιαστούν προβλήματα στις μηχανές. Τα μοντέλα αυτά εκπαιδεύονται με βάση ιστορικά δεδομένα και μπορούν να ανιχνεύουν μοτίβα που υποδεικνύουν επικείμενες βλάβες (Siemens 2024).

Με βάση τις προβλέψεις των προγνωστικών μοντέλων, η Siemens προγραμματίζει προληπτικές συντηρήσεις, εξασφαλίζοντας ότι οι μηχανές και ο εξοπλισμός διατηρούνται σε καλή κατάσταση λειτουργίας. Αυτό μειώνει τον χρόνο εκτός λειτουργίας, καθώς τα προβλήματα επιλύονται πριν εξελιχθούν σε σοβαρές βλάβες, και μειώνει τα κόστη συντήρησης (Kulawiak 2021).

Η παραπάνω διαδικασία που αποτελεί μία μορφή εφαρμογής της προληπτικής συντήρησης έχει αποφέρει σημαντικά οφέλη στον τρόπο λειτουργίας του οργανισμού με τα αποτελέσματα να είναι εμφανή στην βελτιστοποίηση των διαδικασιών, στην βελτίωση της απόδοσης και τον εύκολο και αξιόπιστο εντοπισμό ανωμαλιών (Chiarini 2020).

- **Βελτιστοποίηση Διαδικασιών:** Η βελτιστοποίηση των διαδικασιών παραγωγής είναι ένα άλλο βασικό στοιχείο του Quality 4.0. Χρησιμοποιώντας την ανάλυση δεδομένων, η Siemens μπορεί να εντοπίσει περιοχές όπου οι διαδικασίες μπορούν να βελτιωθούν για να αυξηθεί η αποδοτικότητα και να μειωθούν τα κόστη (Stepanek, et al. 2022).

- **Βελτίωση Απόδοσης και Ανίχνευση Βλαβών:** Τα δεδομένα που συλλέγονται από τους αισθητήρες χρησιμοποιούνται για την ανάλυση της απόδοσης των μηχανών και των διαδικασιών παραγωγής. Η ανάλυση αυτή βοηθά στον εντοπισμό ανωμαλιών και αποκλίσεων από την κανονική λειτουργία, καθώς και στην αξιολόγηση της αποδοτικότητας των διαδικασιών. Με βάση τα ευρήματα της ανάλυσης, η Siemens εφαρμόζει βελτιώσεις στις διαδικασίες παραγωγής για να αυξήσει την απόδοση των μηχανών και να μειώσει την

κατανάλωση ενέργειας (Annanth, Abinash and Rao 2021). Αυτό μπορεί να περιλαμβάνει την προσαρμογή των παραμέτρων λειτουργίας, την αναβάθμιση του εξοπλισμού ή την αλλαγή των διαδικασιών παραγωγής. Η συνεχής παρακολούθηση των δεδομένων επιτρέπει την έγκαιρη ανίχνευση ανωμαλιών στις διαδικασίες παραγωγής. Αυτό σημαίνει ότι τα προβλήματα μπορούν να εντοπιστούν και να επιλυθούν γρήγορα, πριν επηρεάσουν την ποιότητα των προϊόντων ή την αποδοτικότητα των διαδικασιών (Stepanek, et al. 2022).

Στη συνέχεια αναφέρονται μερικοί τομείς λειτουργίας του οργανισμού και περιγράφεται ο τρόπος εφαρμογής των διαδικασιών του Quality 4.0.

Βιομηχανία Ενέργειας

Η Siemens εφαρμόζει το Quality 4.0 σε σταθμούς παραγωγής ενέργειας, όπου οι τουρμπίνες παίζουν καθοριστικό ρόλο. Η βελτιστοποίηση της λειτουργίας των τουρμπινών συμβάλλει άμεσα στην αποδοτικότητα και την οικονομικότητα της παραγωγής ενέργειας. Με αυτό ως στόχο, ο οργανισμός έχει εφαρμόσει τεχνολογίες της 4^{ης} Βιομηχανικής Επανάστασης έτσι ώστε οι τουρμπίνες να είναι εξοπλισμένες με μια σειρά από προηγμένους αισθητήρες που παρακολουθούν διάφορες λειτουργικές παραμέτρους σε πραγματικό χρόνο. Για παράδειγμα (Siemens 2024):

- **Θερμοκρασία:** Οι αισθητήρες θερμοκρασίας μετρούν τις θερμοκρασίες σε διάφορα κρίσιμα σημεία της τουρμπίνας, όπως στους θαλάμους καύσης και στις εξόδους των καυσαερίων.
- **Πίεση:** Οι αισθητήρες πίεσης παρακολουθούν τις πιέσεις των αερίων και των υγρών, εξασφαλίζοντας βέλτιστες συνθήκες λειτουργίας.
- **Ροή Αέρα και Καυσίμου:** Οι αισθητήρες παρακολουθούν τη ροή του αέρα και του καυσίμου, εξασφαλίζοντας αποδοτική καύση και παραγωγή ενέργειας.
- **Κραδασμοί:** Οι αισθητήρες κραδασμών εντοπίζουν μηχανικές ανωμαλίες και φθορές, προειδοποιώντας για πιθανά προβλήματα.

Τα δεδομένα από αυτούς τους αισθητήρες, όπως αναφέρθηκε και παραπάνω, αποστέλλονται στην πλατφόρμα MindSphere, όπου αποθηκεύονται και αναλύονται. Η ανάλυση των δεδομένων αυτών σε πραγματικό χρόνο επιτρέπει την ανίχνευση ανωμαλιών και την πρόβλεψη πιθανών προβλημάτων. Οι αλγόριθμοι μηχανικής μάθησης χρησιμοποιούνται για τη

δημιουργία προγνωστικών μοντέλων, τα οποία μπορούν να ανιχνεύσουν μοτίβα που υποδεικνύουν επικείμενες βλάβες ή ανάγκη για συντήρηση (Kulawiak 2021).

Η Siemens χρησιμοποιεί προγνωστικά μοντέλα για να προγραμματίσει προληπτικές συντηρήσεις. Με βάση τις προβλέψεις των μοντέλων αυτών, οι συντηρήσεις προγραμματίζονται ώστε να επιλύονται προβλήματα πριν αυτά εξελιχθούν σε σοβαρές βλάβες. Αυτό μειώνει τον χρόνο εκτός λειτουργίας και τα κόστη συντήρησης, ενώ εξασφαλίζει τη συνεχή και αποδοτική λειτουργία των τουρμπινών (Siemens 2024).

Βιομηχανική Παραγωγή

Η Siemens εφαρμόζει το Quality 4.0 για την παρακολούθηση και τη βελτιστοποίηση των διαδικασιών παραγωγής σε διάφορες βιομηχανικές εγκαταστάσεις. Στόχος είναι η βελτίωση της ποιότητας των προϊόντων, η αύξηση της αποδοτικότητας και η μείωση του κόστους παραγωγής. Οι βιομηχανικές εγκαταστάσεις της Siemens είναι εξοπλισμένες με αισθητήρες που παρακολουθούν διάφορες παραμέτρους παραγωγής (Stepanek, et al. 2022):

- **Θερμοκρασία και Υγρασία:** Οι αισθητήρες παρακολουθούν τις περιβαλλοντικές συνθήκες του χώρου παραγωγής, οι οποίες μπορούν να επηρεάσουν την ποιότητα των προϊόντων.
- **Ταχύτητα Παραγωγής:** Οι αισθητήρες παρακολουθούν την ταχύτητα των γραμμών παραγωγής, εξασφαλίζοντας την αποδοτική λειτουργία των μηχανών.
- **Ποιότητα Υλικών:** Οι αισθητήρες ελέγχουν την ποιότητα των πρώτων υλών και των τελικών προϊόντων, εντοπίζοντας ελαττώματα και ανωμαλίες.

Με βάση τα ευρήματα της ανάλυσης, η Siemens μπορεί να εφαρμόσει βελτιώσεις στις διαδικασίες παραγωγής. Αυτές οι βελτιώσεις μπορεί να περιλαμβάνουν την προσαρμογή των παραμέτρων λειτουργίας, την αναβάθμιση του εξοπλισμού ή την αλλαγή των διαδικασιών παραγωγής. Η συνεχής παρακολούθηση των δεδομένων επιτρέπει την έγκαιρη ανίχνευση ανωμαλιών, ώστε τα προβλήματα να εντοπίζονται και να επιλύονται γρήγορα, πριν επηρεάσουν την ποιότητα των προϊόντων ή την αποδοτικότητα των διαδικασιών παραγωγής (Bratianu, et al. 2021).

Αεροδιαστημική Βιομηχανία

Η αεροδιαστημική βιομηχανία είναι ένας από τους πλέον απαιτητικούς τομείς, όπου η ακρίβεια, η αξιοπιστία και η ασφάλεια είναι κρίσιμες. Η Siemens, μέσω της υιοθέτησης του

Quality 4.0, έχει ενσωματώσει προηγμένες ψηφιακές τεχνολογίες στις διαδικασίες παραγωγής και συντήρησης αεροσκαφών, με στόχο τη βελτίωση της ποιότητας, της αποδοτικότητας και της ασφάλειας. Οι τεχνολογίες αυτές περιλαμβάνουν το Internet of Things (IoT), την τεχνητή νοημοσύνη (AI), τα ψηφιακά δίδυμα και τα μεγάλα δεδομένα (Big Data) (Siemens 2024).

Η ανάλυση των δεδομένων που συλλέγονται από τους αισθητήρες επιτρέπει την εξαγωγή πολύτιμων πληροφοριών για την κατάσταση των κινητήρων και των άλλων κρίσιμων συστημάτων. Χρησιμοποιούνται τεχνικές όπως η στατιστική ανάλυση, η εξόρυξη δεδομένων και οι αλγόριθμοι μηχανικής μάθησης για την ανίχνευση ανωμαλιών και την πρόβλεψη προβλημάτων (Stepanek, et al. 2022).

Οι αλγόριθμοι μηχανικής μάθησης εκπαιδεύονται με βάση τα ιστορικά δεδομένα και τα δεδομένα σε πραγματικό χρόνο για να δημιουργήσουν προγνωστικά μοντέλα. Αυτά τα μοντέλα μπορούν να προβλέψουν πότε είναι πιθανό να παρουσιαστούν προβλήματα στους κινητήρες και τα κρίσιμα συστήματα (Stepanek, et al. 2022).

Στηριζόμενη στις προβλέψεις των προγνωστικών μοντέλων, η Siemens προγραμματίζει προληπτικές συντηρήσεις για τους κινητήρες και τα άλλα κρίσιμα συστήματα των αεροσκαφών. Αυτή η προσέγγιση μειώνει τον χρόνο εκτός λειτουργίας και τα κόστη συντήρησης, καθώς τα προβλήματα επιλύονται πριν εξελιχθούν σε σοβαρές βλάβες (Kulawiak 2021).

Η ανάλυση δεδομένων χρησιμοποιείται για τη βελτιστοποίηση των διαδικασιών παραγωγής και συντήρησης, εξασφαλίζοντας ότι οι διαδικασίες αυτές είναι όσο το δυνατόν πιο αποδοτικές και οικονομικές. Συγκεκριμένα εντοπίζονται προσαρμογές στις παραμέτρους λειτουργίας των κινητήρων για βελτιωμένη αποδοτικότητα καυσίμου και απόδοση ενώ είναι συνεχής η παρακολούθηση για την έγκαιρη ανίχνευση ανωμαλιών, επιτρέποντας γρήγορη αντιμετώπιση (Annanth, Abinash and Rao 2021).

Παράλληλα ο οργανισμός, στον τομέα της αεροδιαστημικής, κάνει χρήση και των ψηφιακών διδύμων, ακριβή ψηφιακών αντιγράφων των φυσικών συστημάτων και επιτρέπουν την προσομοίωση και την ανάλυση σε ένα ψηφιακό περιβάλλον. Τα ψηφιακά δίδυμα δημιουργούνται τόσο για τους κινητήρες όσο και για τα άλλα κρίσιμα συστήματα των αεροσκαφών, αξιοποιώντας τη συλλογή των μεγάλων δεδομένων και την γρήγορη επεξεργασία τους με την βοήθεια τεχνικών της τεχνητής νοημοσύνης (Siemens 2024).



Εικόνα 4.4 – Η Τεχνολογία των Ψηφιακών Διδύμων στην Siemens

Με την συγκεκριμένη τεχνολογία επιτρέπεται η προσομοίωση διαφόρων σεναρίων λειτουργίας και συντήρησης, βοηθώντας στη βελτίωση των διαδικασιών πριν αυτές εφαρμοστούν στον πραγματικό κόσμο (Vachálek, et al. 2017).

Η εφαρμογή του Quality 4.0 στη Siemens έχει αποφέρει σημαντικά οφέλη σε διάφορους βιομηχανικούς τομείς. Μέσω της συλλογής και της ανάλυσης δεδομένων σε πραγματικό χρόνο, της χρήσης προγνωστικών μοντέλων και της προληπτικής συντήρησης, η Siemens έχει βελτιώσει την ποιότητα των προϊόντων, την αποδοτικότητα των διαδικασιών παραγωγής και τη βιωσιμότητα των βιομηχανικών της δραστηριοτήτων. Οι συγκεκριμένες εφαρμογές στις τουρμπίνες ενέργειας και στη βιομηχανική παραγωγή αποδεικνύουν τη δύναμη του Quality 4.0 στην επίτευξη υψηλών επιδόσεων και ανταγωνιστικού πλεονεκτήματος (Siemens 2024; Stepanek, et al. 2022).

4.1.3 Η Περίπτωση της Bosch

Η Bosch είναι μία από τις κορυφαίες εταιρείες τεχνολογίας και υπηρεσιών παγκοσμίως, με παρουσία σε διάφορους τομείς όπως η αυτοκινητοβιομηχανία, η βιομηχανική τεχνολογία, η καταναλωτική τεχνολογία και η ενεργειακή τεχνολογία. Στο πλαίσιο της τέταρτης βιομηχανικής επανάστασης, η Bosch έχει υιοθετήσει το Quality 4.0 για να ενσωματώσει προηγμένες ψηφιακές τεχνολογίες στις διαδικασίες παραγωγής και διαχείρισης ποιότητας. Αυτές οι τεχνολογίες περιλαμβάνουν το Internet of Things (IoT), την τεχνητή νοημοσύνη (AI), τα ψηφιακά δίδυμα και τα μεγάλα δεδομένα (Big Data), με στόχο την αύξηση της αποδοτικότητας, τη βελτίωση της ποιότητας και τη μείωση των κόστους (Bosch 2024).



Εικόνα 4.4 – Η Εφαρμογή Τεχνητής Νοημοσύνης στην Bosch

Σημαντικό βήμα για την ορθή εφαρμογή του Quality 4.0 αποτελεί η συλλογή πληροφοριών για το σύνολο των διαδικασιών που επιθυμούσε ο οργανισμός να βελτιώσει. Έτσι, μέσω δυνατοτήτων που παρέχει η σύγχρονη τεχνολογία, η Bosch καταφέρνει να συγκεντρώσει δεδομένα για διάφορες παραμέτρους όπως (Lee, Lee and Kim 2019):

- Θερμοκρασία και Υγρασία: Παρακολουθούν τις περιβαλλοντικές συνθήκες που μπορεί να επηρεάσουν την ποιότητα παραγωγής.
- Πίεση και Ροή: Μετρούν την απόδοση των υδραυλικών και πνευματικών συστημάτων.
- Κραδασμοί και Θόρυβος: Εντοπίζουν μηχανικές ανωμαλίες και φθορές.
- Κατανάλωση Ενέργειας: Παρακολουθούν την ενεργειακή αποδοτικότητα των συστημάτων και των μηχανών.

Τα δεδομένα που συλλέγονται αποστέλλονται μέσω ασφαλών δικτύων IoT σε κεντρικές πλατφόρμες, όπου αποθηκεύονται και είναι διαθέσιμα για ανάλυση. Η ανάλυση των δεδομένων που συλλέγονται είναι κρίσιμη για την εξαγωγή χρήσιμων πληροφοριών και την πρόβλεψη προβλημάτων. Η Bosch χρησιμοποιεί προηγμένες τεχνικές ανάλυσης μεγάλων δεδομένων και αλγόριθμους μηχανικής μάθησης για να ανιχνεύει μοτίβα και τάσεις που υποδεικνύουν πιθανές βλάβες ή ανάγκη για συντήρηση (Bosch 2024; Galvão, et al. 2022).

Όπως και στις περιπτώσεις των προηγούμενων εταιρειών, έτσι και στην Bosch χρησιμοποιούνται κατάλληλα εργαλεία και πλατφόρμες, με πιο χαρακτηριστικά το Apache

Hadoop και το Apache Spark, για την επεξεργασία και την ανάλυση μεγάλων ποσοτήτων δεδομένων σε πραγματικό χρόνο (Kalayci, et al. 2020).

Οι αλγόριθμοι μηχανικής μάθησης εκπαιδεύονται με βάση ιστορικά δεδομένα και δεδομένα σε πραγματικό χρόνο για να δημιουργήσουν μοντέλα που μπορούν να προβλέψουν πότε είναι πιθανό να παρουσιαστούν προβλήματα στις μηχανές και τον εξοπλισμό (Bosch 2024).

Η προληπτική συντήρηση είναι ένας από τους βασικούς πυλώνες του Quality 4.0 στη Bosch. Βασίζεται στις προβλέψεις των προγνωστικών μοντέλων για την προγραμματισμένη συντήρηση των μηχανών και του εξοπλισμού πριν από την εμφάνιση σοβαρών προβλημάτων (Rebelo, et al. 2020):

- Προγραμματισμός Συντήρησης: Η προληπτική συντήρηση προγραμματίζεται με βάση τις προβλέψεις για τη φθορά και τη διάρκεια ζωής των εξαρτημάτων. Αυτό βοηθά στη μείωση των απρογραμμάτιστων διακοπών λειτουργίας και στη βελτιστοποίηση της διαθεσιμότητας του εξοπλισμού.
- Εξάλειψη Βλαβών: Μέσω της προληπτικής αντικατάστασης εξαρτημάτων που εμφανίζουν φθορά, μειώνεται ο κίνδυνος σημαντικών βλαβών και εξασφαλίζεται η συνεχής και αποδοτική λειτουργία των μηχανών.

Η εφαρμογή του Quality 4.0 μέσω της σωστής αξιοποίησης των δυνατοτήτων της 4^{ης} Βιομηχανικής Επανάστασης μπορεί να εντοπισθεί σε πολλές δραστηριότητες του οργανισμού. Παρακάτω αναφέρονται ορισμένες από αυτές:

Εφοδιαστική Αλυσίδα

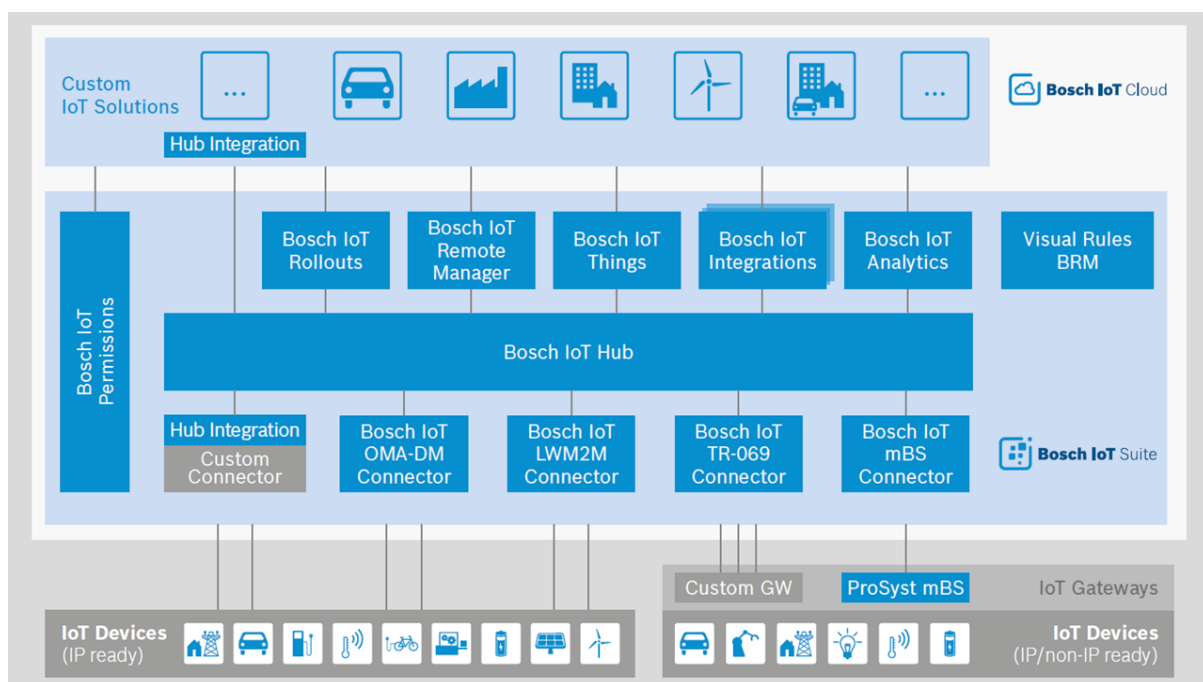
Η Bosch, ως μία από τις κορυφαίες εταιρείες τεχνολογίας και υπηρεσιών, δίνει ιδιαίτερη έμφαση στην εφοδιαστική αλυσίδα, η οποία αποτελεί την ραχοκοκαλιά της παραγωγικής της διαδικασίας. Η εφαρμογή του Quality 4.0 στην εφοδιαστική αλυσίδα επιτρέπει την ψηφιοποίηση και την αυτοματοποίηση των διαδικασιών, βελτιώνοντας την αποδοτικότητα, την ακρίβεια και τη διαφάνεια σε όλα τα στάδια της αλυσίδας. Αυτό επιτυγχάνεται με τη χρήση τεχνολογιών όπως το Internet of Things (IoT), η τεχνητή νοημοσύνη (AI), τα μεγάλα δεδομένα (Big Data) και τα ψηφιακά δίδυμα (Bosch 2024).

Η Bosch έχει εγκαταστήσει αισθητήρες σε κρίσιμα σημεία της εφοδιαστικής αλυσίδας για την παρακολούθηση της κατάστασης των προϊόντων και των υλικών σε πραγματικό χρόνο. Αυτοί οι αισθητήρες μετρούν διάφορες παραμέτρους όπως (Carvalho, et al. 2021):

- **Θερμοκρασία και Υγρασία:** Παρακολουθούν τις περιβαλλοντικές συνθήκες κατά την αποθήκευση και τη μεταφορά των προϊόντων.
- **Θέση και Κίνηση:** Μετράνε την τοποθεσία και την κίνηση των φορτίων κατά τη μεταφορά τους, εξασφαλίζοντας την ακρίβεια στον εντοπισμό και την παράδοση.
- **Κραδασμοί και Πρόσκρουση:** Εντοπίζουν τυχόν ζημιές που μπορεί να προκληθούν κατά τη διάρκεια της μεταφοράς.

Κατόπιν και μέσω της ασφαλούς σύνδεσης με σύγχρονων δικτύων IoT, καθίσταται εφικτή η συνεχής μεταφορά δεδομένων στην κεντρική πλατφόρμα Bosch IoT Suite. Τα δεδομένα που συλλέγονται αποστέλλονται σε πραγματικό χρόνο και αποθηκεύονται σε ασφαλείς βάσεις δεδομένων για περαιτέρω ανάλυση (Bosch 2024).

Η ανάλυση των δεδομένων που συλλέγονται από τους αισθητήρες είναι κρίσιμη για τη βελτίωση της εφοδιαστικής αλυσίδας. Η Bosch χρησιμοποιεί προηγμένα εργαλεία ανάλυσης δεδομένων και αλγόριθμους μηχανικής μάθησης για να επιτύχει αυτόν τον στόχο. Μέσω της ανάλυσης των δεδομένων επιτρέπεται η εξαγωγή γνώσεων για την διαδικασία της εφοδιαστικής αλυσίδας. Συνήθως χρησιμοποιούνται τεχνικές όπως η στατιστική ανάλυση, η εξόρυξη δεδομένων και οι αλγόριθμοι μηχανικής μάθησης για την ανίχνευση ανωμαλιών και την πρόβλεψη προβλημάτων (Jung, et al. 2021).



Εικόνα 4.5 – Πλατφόρμα Bosch IoT Suite

Με βάση τις προβλέψεις των προγνωστικών μοντέλων, η Bosch μπορεί να λάβει προληπτικά μέτρα για να διασφαλίσει την ομαλή λειτουργία της εφοδιαστικής αλυσίδας. Αυτό περιλαμβάνει την προγραμματισμένη συντήρηση των μεταφορικών μέσων, την προσαρμογή των διαδρομών μεταφοράς και την προληπτική διαχείριση των αποθεμάτων. Συγκεκριμένα (Bosch 2024):

- Προγραμματισμός Συντήρησης: Ο προγραμματισμός γίνεται με βάση τις προβλέψεις για τη φθορά και τη διάρκεια ζωής των εξαρτημάτων των μεταφορικών μέσων.
- Διαχείριση Διαδρομών: Η προσαρμογή των διαδρομών μεταφοράς εξασφαλίζει τη βέλτιστη διαδρομή με βάση τις τρέχουσες συνθήκες και τις προβλέψεις για καθυστερήσεις.
- Διαχείριση Αποθεμάτων: Η προληπτική διαχείριση των αποθεμάτων μειώνει τον κίνδυνο ελλείψεων και καθυστερήσεων στην παράδοση.

Αποτέλεσμα όλων αυτών είναι η βελτίωση των διαδικασιών στην εφοδιαστική αλυσίδα, εξασφαλίζοντας ότι οι διαδικασίες αυτές είναι όσο το δυνατόν πιο αποδοτικές και οικονομικές. Παράλληλα δίνεται πλέον η δυνατότητα προσαρμογής στις παραμέτρους λειτουργίας των μεταφορικών μέσων και των διαδικασιών αποθήκευσης για βελτιωμένη αποδοτικότητα και απόδοση. Επιπρόσθετα, η ανάλυση των δεδομένων βοηθά στην ανίχνευση και την αντιμετώπιση προβλημάτων στην εφοδιαστική αλυσίδα, βελτιώνοντας την ποιότητα των υπηρεσιών και μειώνοντας τα κόστη (Galvão, et al. 2022).

Αυτοκινητοβιομηχανία

Η αυτοκινητοβιομηχανία αποτελεί έναν από τους κύριους τομείς δραστηριότητας της Bosch, όπου η εταιρεία εφαρμόζει προηγμένες τεχνολογίες Quality 4.0 για τη βελτίωση της ποιότητας και της αποδοτικότητας. Η ψηφιοποίηση των διαδικασιών παραγωγής, η χρήση του IoT, η ανάλυση μεγάλων δεδομένων και η τεχνητή νοημοσύνη συμβάλλουν καθοριστικά στην αναβάθμιση της βιομηχανικής παραγωγής.

Στη λογική συγκέντρωσης μεγάλων ποσοτήτων δεδομένων τα οποία θα αναλυθούν και θα δώσουν χρήσιμα αποτελέσματα, η εταιρεία παρακολουθεί συγκεκριμένα σημεία της παραγωγικής διαδικασίας προκειμένου να αντληθούν τα απαραίτητα στοιχεία για την βελτίωση της απόδοσης της διαδικασίας. Έτσι, μεταξύ άλλων, συλλέγονται δεδομένα από (Rebelo, et al. 2020):

- **Θερμοκρασία και Υγρασία:** Μέσω κατάλληλων αισθητήρων παρακολουθούνται οι περιβαλλοντικές συνθήκες στο εργοστάσιο, οι οποίες μπορεί να επηρεάσουν την ποιότητα των παραγόμενων εξαρτημάτων.
- **Πίεση και Ροή:** Μετρούν την πίεση και τη ροή υγρών και αερίων στα συστήματα παραγωγής, εξασφαλίζοντας την ομαλή λειτουργία των μηχανών.
- **Κραδασμοί και Θόρυβος:** Ανιχνεύουν μηχανικές ανωμαλίες και φθορές στις μηχανές, επιτρέποντας την έγκαιρη παρέμβαση για την αποφυγή βλαβών.
- **Κατανάλωση Ενέργειας:** Παρακολουθούν την κατανάλωση ενέργειας των μηχανών, βοηθώντας στη βελτιστοποίηση της ενεργειακής αποδοτικότητας.

Από την επεξεργασία των δεδομένων, μέσω των συστημάτων τεχνητής νοημοσύνης και μηχανικής μάθησης που διαθέτει, δημιουργεί μοντέλα προληπτικής συντήρησης και καθορίζει συγκεκριμένες στρατηγικές παραγωγής (Galvão, et al. 2022).

Επιπλέον, η Bosch με τη βοήθεια των ψηφιακών διδύμων δημιουργεί μοντέλα προσομοίωσης των διαδικασιών που βοηθούν στην παρακολούθηση και την ανάλυση της κατάστασης των συστημάτων σε πραγματικό χρόνο. Τα ψηφιακά δίδυμα επιτρέπουν την προσομοίωση διαφόρων σεναρίων λειτουργίας και συντήρησης, βοηθώντας στη βελτίωση των διαδικασιών πριν αυτές εφαρμοστούν στον πραγματικό κόσμο (Bosch 2024).

Διαχείριση Ενέργειας

Εκτός από τις καθαρά παραγωγικές διαδικασίες, το Quality 4.0 βρίσκει εφαρμογή και στις εσωτερικές διαδικασίες της εταιρείας. Χρησιμοποιώντας αντίστοιχη λογική με παραπάνω και εκμεταλλευόμενη το σύνολο των δεδομένων που έχει συλλέξει έχει δημιουργήσει μοντέλα για την παρακολούθηση και την βελτιστοποίηση της καταναλωθείσας ενέργειας στις εγκαταστάσεις της, κατά τη διάρκεια υλοποίησης του συνόλου των παραγωγικών και όχι μόνο δραστηριοτήτων (Bosch 2024).

Η εφαρμογή του Quality 4.0 στην Bosch έχει επιφέρει ουσιαστικές βελτιώσεις σε πολλούς τομείς της παραγωγικής και εφοδιαστικής της διαδικασίας. Μέσω της χρήσης προηγμένων τεχνολογιών όπως το IoT, η τεχνητή νοημοσύνη, τα μεγάλα δεδομένα και τα ψηφιακά δίδυμα, η Bosch έχει καταφέρει να βελτιώσει την ποιότητα των προϊόντων, να αυξήσει την αποδοτικότητα των διαδικασιών και να μειώσει τα κόστη. Οι συγκεκριμένες εφαρμογές στις γραμμές παραγωγής αυτοκινήτων, την εφοδιαστική αλυσίδα, τη βιομηχανική παραγωγή και

τη διαχείριση ενέργειας αποδεικνύουν τη δύναμη του Quality 4.0 στην επίτευξη υψηλών επιδόσεων και ανταγωνιστικού πλεονεκτήματος (Jung, et al. 2021).

4.2 Αξιολόγηση των Αποτελεσμάτων

Από τα παραπάνω, εύκολα συμπεραίνεται ότι η υιοθέτηση, από την πλευρά μίας εταιρείας ή ενός οικονομικού οργανισμού, σύγχρονων τεχνολογιών και η αξιοποίησή τους μέσω των διαδικασιών που συνοδεύουν το Quality 4.0 έχει άμεσο αντίκτυπο στην λειτουργία μέσω του εκσυγχρονισμού των διαδικασιών και γενικότερα την βελτιστοποίηση των παραγωγικών διαδικασιών.

Πολλές εταιρείες που χαρακτηρίζονται ως κορυφαίες στην κατηγορία τους, έχουν υιοθετήσει τέτοιου είδους πρακτικές και συνεχίζουν να παραμένουν πρωτοπόροι. Η επίδραση που έχει στην λειτουργία του οργανισμού, όπως αποτυπώθηκε και μέσω συγκεκριμένων εφαρμογών, είναι σημαντική. Παρακάτω, από στοιχεία που έχουν συλλεχθεί τόσο από επιστημονική βιβλιογραφία και μελέτες όσο και από τους ιστότοπους των εταιρειών γίνεται μία προσπάθεια να αποτυπωθεί και μαθηματικά η επίδραση.

Συγκεκριμένα, εξετάζεται η κατάσταση των συγκεκριμένων οργανισμών σήμερα και συγκρίνεται με την αντίστοιχη κατάσταση πριν την υιοθέτηση του Quality 4.0.

Για την εξαγωγή συμπερασμάτων, η σύγκριση γίνεται ποσοστιαία. Αρχικά θεωρούμε ότι το επίπεδο παρατήρησης ήταν στο 100, και στη συνέχεια το συγκρίνουμε με την αλλαγή που επέφερε η εφαρμογή του Quality 4.0. Σημειώνεται ότι λόγω του τύπου των δεδομένων και την περιορισμένη πρόσβαση σε συγκεκριμένα δεδομένα δεν ήταν εφικτή η χρήση συγκεκριμένων τιμών και για αυτό τον περιορισμό προτιμήθηκε η σύγκριση δύο χρονικών περιόδων. Σημειώνεται ότι τα στοιχεία που έχουν χρησιμοποιηθεί παρακάτω έχουν επαληθευτεί με βάση τις ετήσιες αναφορές (annual reports) των συγκεκριμένων επιχειρήσεων.

Περίπτωση της General Electric

Για την περίπτωση της General Electric, συγκεντρώθηκαν στοιχεία σχετικά με την επίδραση του Quality 4.0 στην παραγωγικότητα, στο κόστος καυσίμων, στις αέριες εκπομπές από καύσεις, στην εύρεση και πρόληψη ελαττωμάτων και στην αποδοτικότητα (De Vasconcelos and Parli 2017). Συγκεκριμένα, και σύμφωνα με την ετήσια αναφορά του 2022 (General Electric 2022) έχουμε τα ακόλουθα:

- Αύξηση Παραγωγικότητας

Με βάση τα δεδομένα από την βιβλιογραφία, παρατηρήθηκε αύξηση της παραγωγικότητας εντός του οργανισμού, σε επίπεδα που προσεγγίζουν το 20%.

Η αύξηση της παραγωγικότητας επιτεύχθηκε μέσω της βελτιστοποίησης των διαδικασιών παραγωγής. Συγκεκριμένα, όπως αναφέρθηκε και παραπάνω, η General Electric εφάρμοσε προηγμένες τεχνολογίες όπως τα ψηφιακά δίδυμα και την ανάλυση μεγάλων δεδομένων (Big Data) για να παρακολουθεί και να βελτιώνει τις παραγωγικές διαδικασίες σε πραγματικό χρόνο (GE 2024; General Electric 2022).

Δημιουργώντας ψηφιακά αντίγραφα των φυσικών μηχανών και συστημάτων, η GE μπορούσε να προσομοιώνει διάφορα σενάρια παραγωγής και να εντοπίζει τις βέλτιστες πρακτικές πριν τις εφαρμόσει στην πραγματική παραγωγή. Αυτό μείωσε τις καθυστερήσεις και βελτίωσε τη ροή εργασίας (Kumar, Zindani and Davim 2019).

Η συνεχής συλλογή και ανάλυση δεδομένων από αισθητήρες σε μηχανές και γραμμές παραγωγής επέτρεψε την έγκαιρη ανίχνευση ανωμαλιών και την άμεση αντιμετώπισή τους. Αυτό μείωσε τους χρόνους διακοπής και αύξησε την αποδοτικότητα των διαδικασιών.

- Μείωση Κόστους Καυσίμων

Όσον αφορά το κόστος καυσίμων εκτιμάται ότι μετά την εφαρμογή των διαδικασιών του Quality 4.0, μειώθηκε κατά ένα ποσοστό της τάξεως του 15%.

Η βελτιστοποίηση της καύσης και της ενεργειακής απόδοσης ήταν κεντρικό στοιχείο για τη μείωση του κόστους καυσίμων. Η GE εφάρμοσε τεχνολογίες IoT και ανάλυση δεδομένων για την παρακολούθηση και τη βελτίωση της ενεργειακής απόδοσης των τουρμπινών και άλλων ενεργοβόρων συστημάτων (Azeem, et al. 2022).

Οι αισθητήρες που χρησιμοποιήθηκαν παρακολουθούσαν τη ροή αέρα και καυσίμου, καθώς και τις θερμοκρασίες και την πίεση στις τουρμπίνες. Τα δεδομένα αυτά χρησιμοποιήθηκαν για τη ρύθμιση των παραμέτρων καύσης, εξασφαλίζοντας βέλτιστη κατανάλωση καυσίμου (General Electric 2022).

Τα δεδομένα κατανάλωσης καυσίμου αναλύθηκαν για τον εντοπισμό περιοχών με υψηλή κατανάλωση και την εφαρμογή στρατηγικών μείωσης της κατανάλωσης. Αυτό περιλάμβανε τη ρύθμιση των παραμέτρων λειτουργίας και την αναβάθμιση εξοπλισμού για μεγαλύτερη αποδοτικότητα.

- Μείωση Εκπομπών

Από την μελέτη της λειτουργίας του συγκεκριμένου οργανισμού προκύπτει ότι οι αέριες εκπομπές, προερχόμενες από καύσεις, μειώθηκαν κατά 10%.

Η μείωση των εκπομπών ρύπων ήταν αποτέλεσμα της βελτιστοποίησης της καύσης και της χρήσης αποδοτικότερων τεχνολογιών. Η GE εφάρμοσε τεχνολογίες για την παρακολούθηση και τη ρύθμιση των παραμέτρων καύσης, καθώς και για τη βελτίωση της ενεργειακής απόδοσης των συστημάτων (Lee, Lee and Kim 2019).

Οι αισθητήρες που χρησιμοποιήθηκαν παρακολούθησαν τις συνθήκες καύσης σε πραγματικό χρόνο και παρείχαν δεδομένα για τη βελτίωση της διαδικασίας καύσης. Αυτό περιλάμβανε τη ρύθμιση της αναλογίας αέρα-καυσίμου και τη βελτιστοποίηση της θερμοκρασίας καύσης.

Η χρήση αποδοτικότερων τεχνολογιών και εξοπλισμού μείωσε τις εκπομπές ρύπων. Αυτό περιλάμβανε την εγκατάσταση καταλυτικών συστημάτων και άλλων τεχνολογιών καθαρισμού καυσαερίων (General Electric 2022).

- Μείωση Ελαττωμάτων

Σημαντική ήταν η βελτίωση στον αριθμό των ελαττωματικών προϊόντων. Βασικό χαρακτηριστικό του Quality 4.0 είναι η αξιοποίηση της σύγχρονης τεχνολογίας προκειμένου να δημιουργηθούν προγράμματα προληπτικής συντήρησης και να καθοριστεί συγκεκριμένη στρατηγική που θα έχει ως στόχο την μείωση των ελαττωματικών προϊόντων. Εκτιμάται ότι το ποσοστό των ελαττωματικών προϊόντων μειώθηκε κατά ποσοστό της τάξεως του 30% αποφέροντας σημαντικά οφέλη στον οργανισμό, τόσο κύρους και αξιοπιστίας όσο και οικονομικά (General Electric 2022).

Η βελτίωση της ποιότητας των προϊόντων επιτεύχθηκε μέσω της έγκαιρης ανίχνευσης και διόρθωσης προβλημάτων στην παραγωγή. Η GE χρησιμοποίησε αισθητήρες και ανάλυση δεδομένων για την παρακολούθηση των διαδικασιών παραγωγής και την ανίχνευση ανωμαλιών (GE 2024).

Οι αισθητήρες που εγκαταστάθηκαν σε διάφορα σημεία της παραγωγικής διαδικασίας παρακολούθησαν την ποιότητα των παραγόμενων εξαρτημάτων. Αυτό περιλάμβανε τη μέτρηση διαστάσεων, θερμοκρασίας, πίεσης και άλλων παραμέτρων που επηρεάζουν την ποιότητα (GE 2024).

Τα δεδομένα που συλλέγονταν αναλύθηκαν για την ανίχνευση αποκλίσεων από τις προδιαγραφές ποιότητας. Η έγκαιρη ανίχνευση των προβλημάτων επέτρεψε την άμεση διόρθωσή τους, μειώνοντας τα ελαττωματικά προϊόντα (De Vasconcelos and Parli 2017).

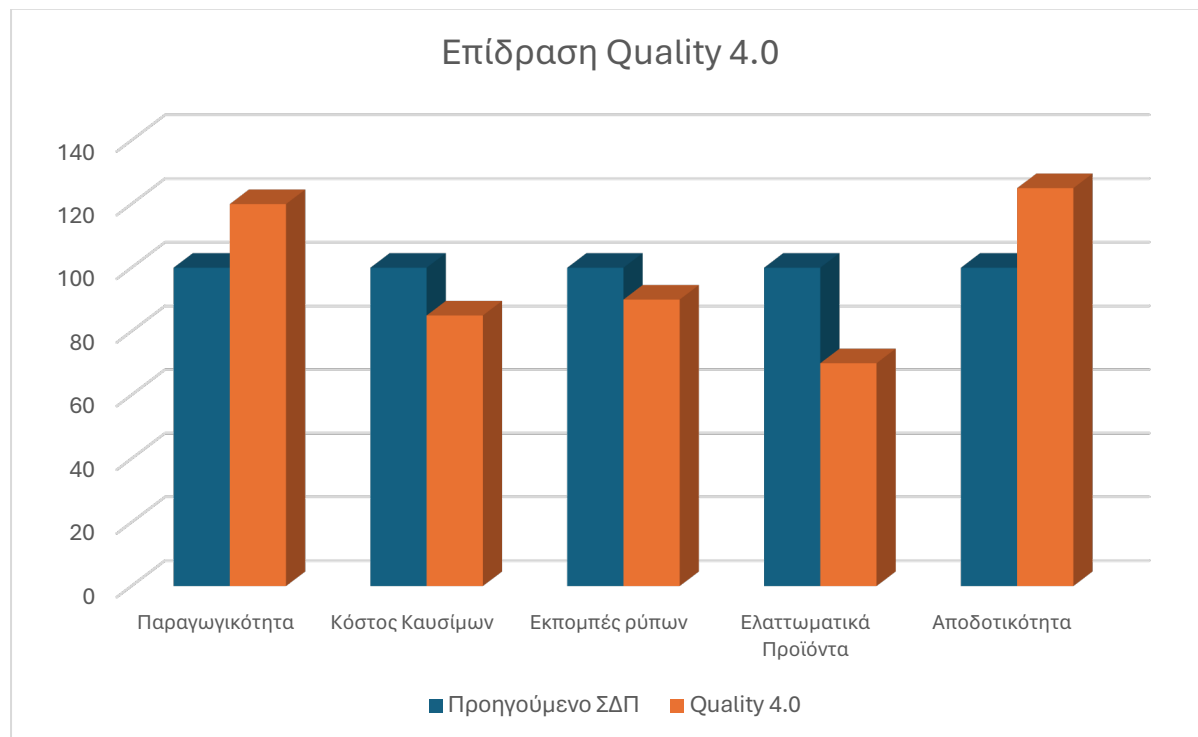
- Αύξηση Αποδοτικότητας

Σημαντική χαρακτηρίζεται και επίδραση του Quality 4.0 στην αποδοτικότητα του οργανισμού της οποίας η βελτίωση εκτιμάται στο 25%.

Η αύξηση της αποδοτικότητας επιτεύχθηκε μέσω της συνεχούς ανάλυσης δεδομένων και της βελτίωσης των διαδικασιών παραγωγής. Η GE χρησιμοποίησε προγνωστικά μοντέλα και ψηφιακά δίδυμα για την παρακολούθηση και τη βελτιστοποίηση των διαδικασιών.

Τα δεδομένα που συλλέγονταν από τους αισθητήρες αναλύονταν συνεχώς για τον εντοπισμό περιοχών με περιθώριο βελτίωσης. Η ανάλυση αυτή επέτρεψε την ταυτοποίηση των σημείων που απαιτούσαν παρέμβαση και τη λήψη στοχευμένων μέτρων (Azeem, et al. 2022).

Η GE χρησιμοποίησε ψηφιακά δίδυμα για την προσομοίωση και την ανάλυση των διαδικασιών παραγωγής. Αυτό επέτρεψε τη δοκιμή και την εφαρμογή βέλτιστων πρακτικών, οδηγώντας σε βελτιώσεις στην αποδοτικότητα και τη μείωση των αποβλήτων (Kumar, Zindani and Davim 2019).



Εικόνα 4.7 – Επίδραση Quality 4.0 σε General Electric

Τα παραπάνω αποτυπώνονται και οπτικά στο διάγραμμα (Εικόνα 4.7), που καταδεικνύει τα οφέλη που δύναται να έχει ένας οργανισμός από την υιοθέτηση πρακτικών του Quality 4.0 και την αξιοποίηση των δυνατοτήτων που προσφέρει η 4^η Βιομηχανική Επανάσταση.

Περίπτωση της Siemens

Η εφαρμογή του Quality 4.0 στη Siemens έχει οδηγήσει σε ουσιαστικές βελτιώσεις σε διάφορες κρίσιμες κατηγορίες. Μέσω της χρήσης προηγμένων τεχνολογιών και της ανάλυσης δεδομένων, η Siemens έχει επιτύχει αύξηση της παραγωγικότητας μέσω της βελτιστοποίησης των διαδικασιών παραγωγής, μείωση του κόστους καυσίμων μέσω της αποδοτικότερης χρήσης των καυσίμων, μείωση των εκπομπών ρύπων μέσω της βελτίωσης της καύσης και της χρήσης αποδοτικότερων τεχνολογιών, μείωση των ελαττωματικών προϊόντων μέσω της έγκαιρης ανίχνευσης και διόρθωσης προβλημάτων στην παραγωγή και αύξηση της αποδοτικότητας μέσω της συνεχούς ανάλυσης και βελτίωσης των διαδικασιών παραγωγής (Annanth, Abinash and Rao 2021).

Αυτές οι βελτιώσεις υπογραμμίζουν τη δύναμη και την αποτελεσματικότητα του Quality 4.0 στην ενίσχυση της παραγωγικότητας, της αποδοτικότητας και της ποιότητας στη Siemens . Συγκεκριμένα και σύμφωνα με την ετήσια αναφορά της εταιρείας για το 2022 θα έχουμε (Siemens 2022):

- Αύξηση Παραγωγικότητας

Η αύξηση της παραγωγικότητας στη Siemens επιτεύχθηκε μέσω της αξιοποίησης των τεχνολογιών που προσφέρει πλέον η 4^η Βιομηχανική Επανάσταση καθώς και της υιοθέτησης καινοτόμων διαδικασιών στη βιομηχανική παραγωγή. Οι τεχνολογίες ψηφιακών διδύμων και η ανάλυση μεγάλων δεδομένων (Big Data) συνέβαλαν σημαντικά στην αποτελεσματική βελτίωση των διαδικασιών. Αν θελήσουμε να το ποσοτικοποιήσουμε θα λέγαμε ότι είναι αντίστοιχο με την GE και αγγίζει το 20%.

Με τη δημιουργία ψηφιακών αντιγράφων των φυσικών συστημάτων, η Siemens μπόρεσε να πραγματοποιήσει μοντέλα προσομοίωσης και να εκτελέσει δοκιμές προκειμένου να επιτύχει το ιδανικό αποτέλεσμα (Stepanek, et al. 2022).

Εξίσου σημαντική ήταν και η συλλογή και επεξεργασία του μεγάλου όγκου δεδομένων σε πραγματικό χρόνο. Αυτό είχε ως αποτέλεσμα τον άμεσο εντοπισμό δυσλειτουργιών και την μείωση του χρόνου επισκευής στο ελάχιστο δυνατό.

- Μείωση Κόστους Καυσίμων

Το κόστος καυσίμων μειώθηκε επίσης εξοικονομώντας ποσά της τάξεως του 10% στον οργανισμό.

Η Siemens κατάφερε να μειώσει το κόστος καυσίμων κάνοντας χρήση των τεχνολογιών όπως του Διαδικτύου Πραγμάτων επιτυγχάνοντας τις ιδανικότερες συνθήκες για την εκτέλεση των παραγωγικών δραστηριοτήτων που οδήγησαν σε μείωση της κατανάλωσης και επομένως και του κόστους (Siemens 2022).

Πολύ χρήσιμη ήταν η ανάλυση των δεδομένων που συλλέχθηκαν καθώς εντοπίστηκαν έγκαιρα οι προβληματικές περιοχές και εφαρμόστηκαν στρατηγικές προκειμένου να μειωθεί στο ελάχιστο η όποια δυσλειτουργία (Siemens 2024).

- Μείωση Εκπομπών

Η μείωση των εκπομπών ρύπων επιτεύχθηκε μέσω της βελτιστοποίησης της καύσης και της χρήσης αποδοτικότερων τεχνολογιών και πλησίασε το ποσοστό του 15% Η παρακολούθηση και ρύθμιση των παραμέτρων καύσης, καθώς και η βελτίωση της ενεργειακής απόδοσης των συστημάτων, συνέβαλαν στη μείωση των εκπομπών.

- Μείωση Ελαττωμάτων

Εξίσου σημαντική ήταν και μείωση των ελαττωματικών προϊόντων και στην Siemens. Η δημιουργία προγνωστικών μοντέλων και καθορισμού προληπτικής συντήρησης είχε άμεσο αντίκτυπο στην μείωση των ελαττωμάτων. Ο οργανισμός εντόπισε βελτίωση άνω του 25%, ποσοστό που εμφανίστηκε και στην οικονομική αποτίμηση της εταιρείας.

- Αύξηση Αποδοτικότητας

Από την εφαρμογή του Quality 4.0, την υιοθέτηση σύγχρονων τεχνικών και τεχνολογιών της 4^{ης} Βιομηχανικής Επανάστασης επηρεάστηκε άμεσα και η αποδοτικότητα του οργανισμού. Εκτιμάται ότι η εταιρεία σημείωσε βελτίωση της συνολικής της απόδοσης κατά 25% που οφείλεται σε μεγάλο βαθμό στην αλλαγή του τρόπου λειτουργίας της και στην υιοθέτηση ενός καινούργιου συστήματος Διαχείρισης της Ποιότητας.

- Εφοδιαστική Αλυσίδα

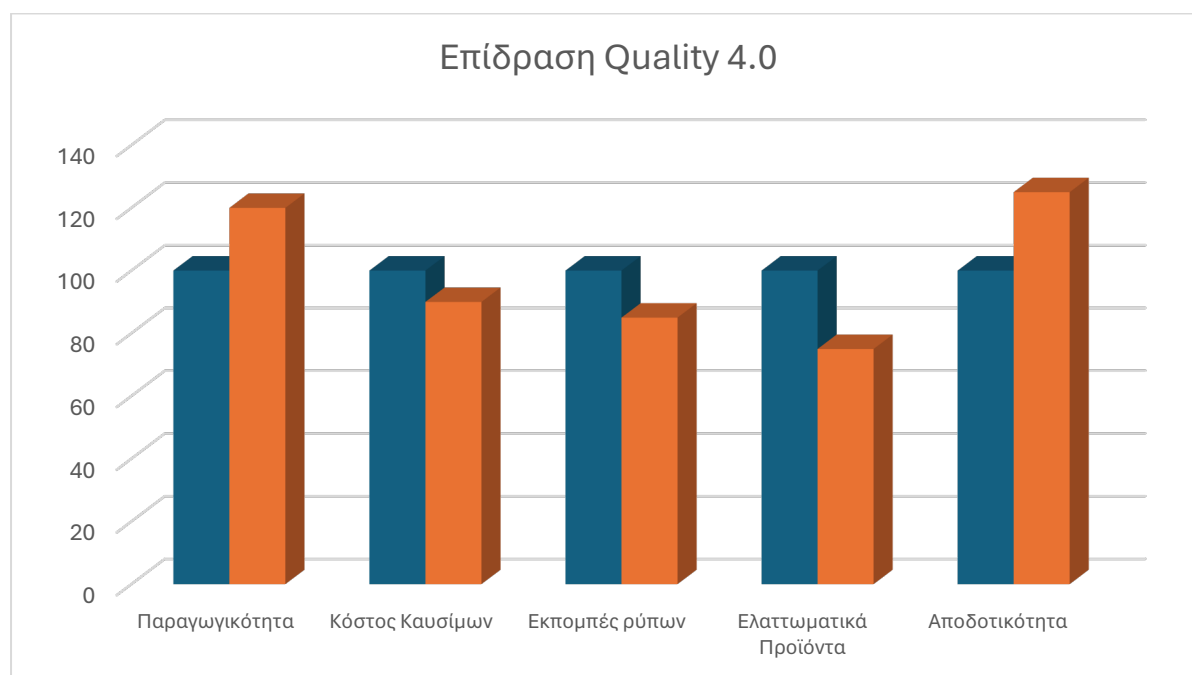
Η διαφάνεια και η αποδοτικότητα της εφοδιαστικής αλυσίδας βελτιώθηκαν επίσης σημαντικά, αν και δεν κατέστη δυνατό να ποσοτικοποιηθούν.

Η Siemens βελτίωσε την εφοδιαστική αλυσίδα μέσω της εφαρμογής του Quality 4.0, εξασφαλίζοντας τη διαφάνεια και την αποδοτικότητα από την παραλαβή των πρώτων υλών μέχρι την παράδοση των τελικών προϊόντων.

Οι αισθητήρες παρακολούθησαν τις περιβαλλοντικές συνθήκες, την τοποθεσία και την κατάσταση των προϊόντων σε πραγματικό χρόνο. Τα δεδομένα αναλύθηκαν για την ανίχνευση ανωμαλιών και την πρόβλεψη καθυστερήσεων (Stepanek, et al. 2022).

Επιπλέον, χρησιμοποιήθηκαν προγνωστικά μοντέλα για την πρόβλεψη της ζήτησης και τη βελτιστοποίηση των αποθεμάτων, μειώνοντας τις ελλείψεις και τις καθυστερήσεις (Annanth, Abinash and Rao 2021).

Όλα τα παραπάνω αποτυπώνονται και γραφικά στο επόμενο διάγραμμα:



Εικόνα 4.8 – Επίδραση Quality 4.0 σε Siemens

Περίπτωση της Bosch

Η εφαρμογή του Quality 4.0 στη Bosch έχει οδηγήσει σε ουσιαστικές βελτιώσεις σε διάφορες κρίσιμες κατηγορίες. Μέσω της χρήσης προηγμένων τεχνολογιών και της ανάλυσης δεδομένων, η Bosch, σύμφωνα με τις ετήσιες αναφορές του 2022 και 2023, έχει επιτύχει (Bosch 2022; Bosch 2023):

- Αύξηση της παραγωγικότητας κατά 30%. Ιδιαίτερα σημαντική είναι η αύξηση στην παραγωγικότητα μέσω της ενσωμάτωσης των ψηφιακών διδύμων και της ανάλυσης μεγάλων δεδομένων. Αυτές οι τεχνολογίες επέτρεψαν τη συνεχή βελτίωση των παραγωγικών διαδικασιών μέσω της δημιουργίας μοντέλων προληπτικής συντήρησης και εύρεση δραστηριοτήτων που εμφάνιζαν δυσλειτουργία και καθυστερήσεις και υπήρχε η δυνατότητα βελτίωσής τους.

- Μείωση του κόστους κατά 20%, μέσω της αποδοτικότερης χρήσης των πόρων και της βελτιστοποίησης των διαδικασιών. Η επεξεργασία και η ανάλυση των δεδομένων μέσω συστημάτων τεχνητής νοημοσύνης και μηχανικής μάθησης οδήγησε στην δημιουργία ιδανικών συνθηκών και καθορισμού συγκεκριμένων διαδικασιών για την βέλτιστη χρήση των διατιθέμενων πόρων.

Σημειώνεται ότι με τη χρήση κατάλληλων αισθητήρων και τεχνολογιών που στηρίζονται στο Διαδίκτυο των Πραγμάτων επιτεύχθηκε η συλλογή δεδομένων για τη ροή υλικών και την κατανάλωση πόρων στις γραμμές παραγωγής. Με αυτά τα δεδομένα, η Bosch μπορούσε να ρυθμίσει τις διαδικασίες για βέλτιστη χρήση των πόρων (Galvão, et al. 2022).

Η ανάλυση των δεδομένων κατανάλωσης και απόδοσης βοήθησε στον εντοπισμό δραστηριοτήτων με υψηλό κόστος και στην εφαρμογή στρατηγικών για τη μείωσή του. Αυτό περιλάμβανε τη βελτιστοποίηση των παραμέτρων λειτουργίας και την αναβάθμιση εξοπλισμού για υψηλότερη αποδοτικότητα (Rebelo, et al. 2020).

- Μείωση των ελαττωματικών προϊόντων κατά 30%, μέσω της έγκαιρης ανίχνευσης και διόρθωσης προβλημάτων στην παραγωγή (Bosch 2023). Τα δεδομένα που συλλέγονταν μέσω των παρατηρήσεων από τεχνολογικές εφαρμογές, αναλύθηκαν για την ανίχνευση αποκλίσεων από τις προδιαγραφές ποιότητας. Η έγκαιρη ανίχνευση των προβλημάτων επέτρεψε την άμεση διόρθωσή τους, μειώνοντας σε μεγάλο βαθμό τα ελαττωματικά προϊόντα (Kalayci, et al. 2020).

- Βελτίωση της ποιότητας κατά 25%, μέσω της συνεχούς παρακολούθησης και βελτίωσης των διαδικασιών παραγωγής. Η βελτίωση της ποιότητας των προϊόντων επιτεύχθηκε μέσω της συνεχούς παρακολούθησης και ανάλυσης των διαδικασιών παραγωγής. Η Bosch χρησιμοποίησε προηγμένα εργαλεία ανάλυσης δεδομένων για να εξασφαλίσει την υψηλή ποιότητα των παραγόμενων προϊόντων (Bosch 2022; Bosch 2023).

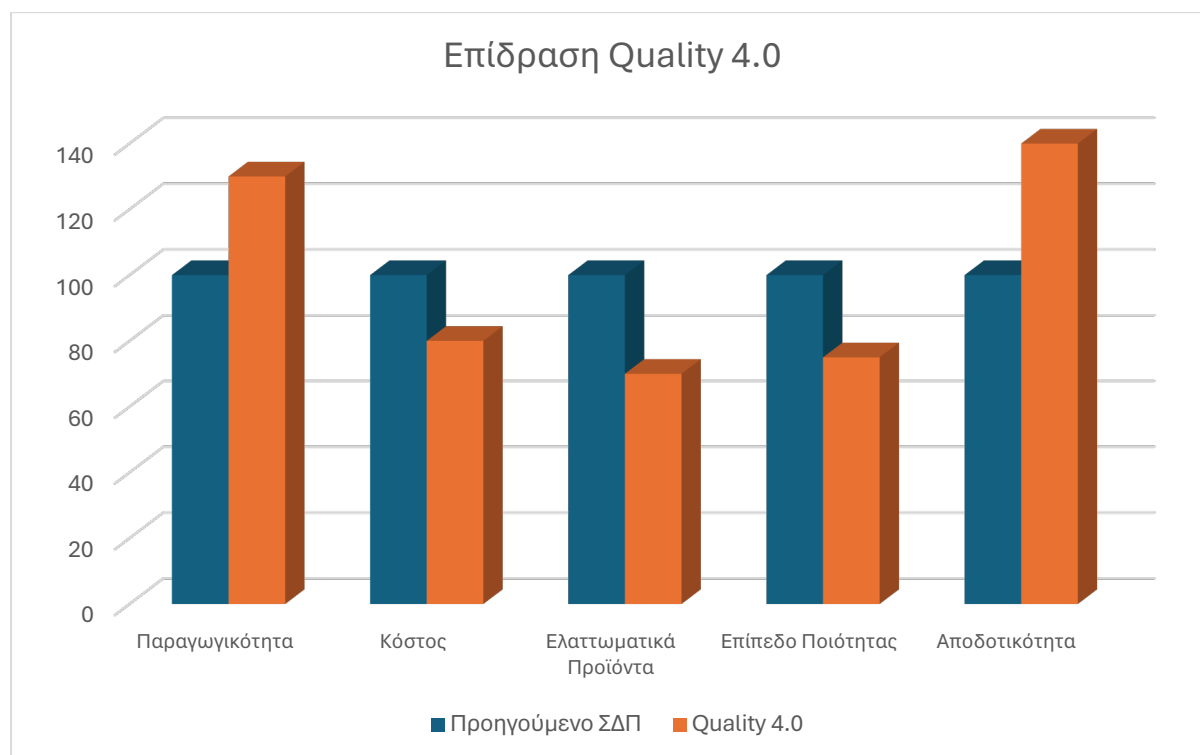
Η ανάλυση των δεδομένων ποιότητας επέτρεψε την ταυτοποίηση των αιτιών των προβλημάτων ποιότητας και την εφαρμογή διορθωτικών μέτρων. Αυτό βοήθησε στη μείωση των ελαττωμάτων και στην αύξηση της συνολικής ποιότητας των προϊόντων.

Η συνεχής βελτίωση των διαδικασιών παραγωγής, με βάση τα δεδομένα που συλλέγονταν, βοήθησε στην επίτευξη υψηλότερων προδιαγραφών ποιότητας.

- Αύξηση της αποδοτικότητας κατά 40%, μέσω της συνεχούς ανάλυσης και βελτίωσης των διαδικασιών παραγωγής. Ο καθορισμός στρατηγικής από εφαρμογές τεχνητής νοημοσύνης που προήλθε μετά από άμεση επεξεργασία των συλλεχθέντων δεδομένων οδήγησε σε αυτήν την κατεύθυνση.

Αυτές οι βελτιώσεις υπογραμμίζουν τη δύναμη και την αποτελεσματικότητα του Quality 4.0 στην ενίσχυση της παραγωγικότητας, της αποδοτικότητας και της ποιότητας στη Bosch.

Η επίδραση του Quality 4.0 αποτυπώνεται και γραφικά στο ακόλουθο διάγραμμα:



Εικόνα 4.8 – Επίδραση Quality 4.0 σε Bosch

Από τα παραπάνω συμπεραίνεται ότι η υιοθέτηση σύγχρονων τεχνολογιών στην παραγωγική και όχι μόνο δραστηριότητα σε συνδυασμό με την αντίστοιχη εφαρμογή ενός συστήματος Διαχείρισης Ποιότητας που στηρίζεται στις αρχές του Quality 4.0 μπορεί να αποδώσει σημαντικά οφέλη σε έναν οργανισμό.

Η επιγραμματική αναφορά σε τρεις εταιρείες, ως μελέτες περίπτωσης, παρά τον μικρό αριθμό δεδομένων καταδεικνύει ότι ένας οργανισμός οφείλει να ακολουθεί τις εξελίξεις, να προσαρμόζεται σε αυτές προκειμένου να μείνει ισχυρός ανταγωνιστής σε έναν τεχνολογικό στίβο όπου οι εξελίξεις διαδραματίζονται με έναν ιδιαίτερα ταχύ ρυθμό.

5. Συμπεράσματα – Προτάσεις για Μελλοντική Έρευνα

5.1 Συμπεράσματα

Στην παρούσα διπλωματική εργασία με θέμα «Στρατηγικές Σχεδιασμού και Ενσωμάτωσης του Quality 4.0 στα Συστήματα Διοίκησης Ολικής Ποιότητας» εξετάστηκε η εφαρμογή και τα πλεονεκτήματα του Quality 4.0 στην ενίσχυση των παραδοσιακών συστημάτων διοίκησης ποιότητας. Δόθηκε ιδιαίτερη έμφαση στις στρατηγικές τις οποίες πρέπει να σχεδιάσει και να υιοθετήσει ένας οργανισμός προκειμένου να πραγματοποιηθεί ομαλή μετάβαση στις νέες αρχές του καινούργιου συστήματος διαχείρισης ποιότητας.

Παράλληλα, και με σκοπό να εκτιμηθεί η επίδραση του Quality 4.0 σε συνδυασμό με την εφαρμογή των τεχνολογιών της 4^{ης} Βιομηχανικής Επανάστασης, εξετάστηκαν, ως μελέτες περίπτωσης, τα αποτελέσματα της εφαρμογής της σε τρεις μεγάλες εταιρείες που πρωταγωνιστούν στο μερίδιο της αγοράς. Για την εύρεση στοιχείων χρησιμοποιήθηκαν δεδομένα από τους επίσημους ιστότοπους των εταιρειών και από δημοσιευμένες μελέτες σε επιστημονικά περιοδικά και συνέδρια.

Αρχικά, η εργασία εστίασε στην λειτουργία των οργανισμών αναδεικνύοντας την ανάγκη για μια ολοκληρωμένη προσέγγιση στην ανάπτυξη στρατηγικών σχεδιασμού που να υποστηρίζουν την ενσωμάτωση των τεχνολογιών του Quality 4.0. Οι κύριοι τομείς που αναδείχθηκαν περιλαμβάνουν την ανάπτυξη ψηφιακής υποδομής, την καλλιέργεια συνεργατικού περιβάλλοντος, την εκπαίδευση και ανάπτυξη του ανθρώπινου δυναμικού και τη συνεχή βελτίωση και δημιουργία κουλτούρας καινοτομίας. Μέσω της εργασίας προέκυψαν τα ακόλουθα συμπεράσματα:

- **Ανάπτυξη Ψηφιακής Υποδομής:** Η ψηφιακή υποδομή αποτελεί τη βάση για την επιτυχή ενσωμάτωση του Quality 4.0. Η ψηφιοποίηση των διαδικασιών παραγωγής και διοίκησης επιτρέπει τη συλλογή, ανάλυση και αξιοποίηση μεγάλων ποσοτήτων δεδομένων σε πραγματικό χρόνο. Η χρήση τεχνολογιών όπως το Διαδίκτυο των Πραγμάτων (IoT), η Τεχνητή Νοημοσύνη (AI), και τα μεγάλα δεδομένα (big data) διευκολύνει τη λήψη αποφάσεων με βάση ακριβή και επικαιροποιημένα δεδομένα. Η πλατφόρμα Predix της General Electric, η οποία χρησιμοποιείται για την παρακολούθηση της κατάστασης των αεροκινητήρων σε πραγματικό

χρόνο, αποτελεί ένα χαρακτηριστικό παράδειγμα της αποτελεσματικότητας αυτής της προσέγγισης.

- **Καλλιέργεια Συνεργατικού Περιβάλλοντος:** Η επιτυχία του Quality 4.0 εξαρτάται από τη δημιουργία ενός συνεργατικού περιβάλλοντος που προάγει την ανταλλαγή γνώσεων και την ανοιχτή επικοινωνία μεταξύ των εργαζομένων και των τμημάτων. Η ενίσχυση της συνεργασίας και της ομαδικότητας επιτρέπει την ανάπτυξη καινοτόμων λύσεων και τη γρήγορη αντιμετώπιση προβλημάτων. Η Siemens για παράδειγμα, με την πλατφόρμα Mindsphere και την τεχνολογία των ψηφιακών διδύμων, προάγει τη συνεργασία και την καινοτομία, διευκολύνοντας τη βελτιστοποίηση των παραγωγικών διαδικασιών μέσω προσομοιώσεων και αναλύσεων.

- **Εκπαίδευση και Εξέλιξη του Ανθρώπινου Δυναμικού:** Η εκπαίδευση και η συνεχής ανάπτυξη του ανθρώπινου δυναμικού είναι ζωτικής σημασίας για την επιτυχία του Quality 4.0. Οι εργαζόμενοι πρέπει να είναι ενημερωμένοι και εξοπλισμένοι με τις απαραίτητες δεξιότητες για να προσαρμοστούν στις νέες τεχνολογίες και διαδικασίες. Η συνεχής εκπαίδευση και κατάρτιση διασφαλίζει ότι οι εργαζόμενοι μπορούν να ανταποκριθούν στις απαιτήσεις της ψηφιακής εποχής και να συμβάλλουν αποτελεσματικά στη βελτίωση της ποιότητας. Πολλές εταιρείες, όπως η Bosch που μελετήθηκε, με την πλατφόρμα Bosch IoT Suite και την εφαρμογή της τεχνητής νοημοσύνης, υποστηρίζει την εκπαίδευση και ανάπτυξη του προσωπικού της για την αποτελεσματική χρήση των νέων τεχνολογιών.

- **Συνεχής Βελτίωση και Δημιουργία Κουλτούρας Καινοτομίας:** Η συνεχής βελτίωση και η δημιουργία μιας κουλτούρας καινοτομίας είναι βασικά στοιχεία της ενσωμάτωσης του Quality 4.0. Οι επιχειρήσεις πρέπει να ενθαρρύνουν την καινοτομία και την αναζήτηση νέων και βελτιωμένων τρόπων εργασίας. Η διαρκής αναζήτηση για βελτιώσεις σε όλες τις πτυχές της επιχείρησης οδηγεί σε υψηλότερη ποιότητα προϊόντων και υπηρεσιών και συμβάλλει στην ανταγωνιστικότητα της επιχείρησης.

Στη συνέχεια μελετήθηκε η εφαρμογή του Quality 4.0 τρεις μεγάλες εταιρείες παρουσιάζοντάς τις ως πρακτικές εφαρμογές και μελέτες περίπτωσης που δείχνουν, με ρεαλιστικό τρόπο, πως έχει εφαρμοστεί το Quality 4.0 για να βελτιώσει την ποιότητα και την αποδοτικότητα των διαδικασιών τους. Συγκεκριμένα:

- Η General Electric (GE) χρησιμοποιεί την πλατφόρμα Predix για την παρακολούθηση της κατάστασης των αεροκινητήρων σε πραγματικό χρόνο, μέσω αισθητήρων που συλλέγουν

δεδομένα. Αυτή η προσέγγιση επιτρέπει την πρόβλεψη αναγκών συντήρησης, τη μείωση του χρόνου διακοπής λειτουργίας και τη μείωση των κόστους συντήρησης. Η πλατφόρμα Predix αποτελεί ένα παράδειγμα της αποτελεσματικής χρήσης των τεχνολογιών του Quality 4.0 για τη βελτίωση της ποιότητας και της αποδοτικότητας.

- Η Siemens αξιοποιεί την πλατφόρμα Mindsphere και την τεχνολογία των ψηφιακών διδύμων για την προσομοίωση και βελτιστοποίηση των παραγωγικών διαδικασιών. Η χρήση των ψηφιακών διδύμων επιτρέπει την πρόβλεψη προβλημάτων και την άμεση λήψη μέτρων βελτίωσης. Αυτή η τεχνολογία βοηθά στη μείωση του χρόνου παραγωγής, στη βελτίωση της ποιότητας των προϊόντων και στην αύξηση της αποδοτικότητας.

- Η Bosch ενσωματώνει την τεχνητή νοημοσύνη και την πλατφόρμα Bosch IoT Suite για την αυτοματοποίηση και παρακολούθηση των διαδικασιών παραγωγής. Η χρήση τεχνητής νοημοσύνης επιτρέπει την ανάλυση μεγάλων δεδομένων και την πρόβλεψη αναγκών συντήρησης, βελτιώνοντας την αποδοτικότητα και την ποιότητα των προϊόντων. Η αυτοματοποίηση των διαδικασιών παραγωγής μειώνει τα λάθη και αυξάνει την ταχύτητα παραγωγής.

Από την μελέτη των παραπάνω οργανισμών οδηγηθήκαμε στο συμπέρασμα ότι η ενσωμάτωση των διαδικασιών του Quality 4.0 συνοδεύεται από σημαντικό αντίκτυπο στην λειτουργία τους. Η βελτίωση των διαδικασιών, η αύξηση της αποδοτικότητας με ταυτόχρονη μείωση του κόστους, η ποιοτική παραγωγή με την ελαχιστοποίηση των ελλειψών προϊόντων και η ορατή βελτίωση της εφοδιαστικής αλυσίδας αποτελούν ένα μέρος από τα ορατά αποτελέσματα που επιφέρει η σύγχρονη τεχνολογία και η εφαρμογή του Quality 4.0 σε έναν οργανισμό. Ουσιαστικά, αποτελεί πλέον μία «υποχρεωτική» στρατηγική που οφείλει να ακολουθήσει ένας οργανισμός προκειμένου να μην μετατραπεί σε ουραγό των εξελίξεων.

Ωστόσο, η μετάβαση στο Quality 4.0 από τις παραδοσιακές αρχές ενός συστήματος διαχείρισης ποιότητας δεν είναι μία απλή και ακούραστη διαδικασία. Αντίθετα, η ενσωμάτωση του Quality 4.0 στα συστήματα διοίκησης ολικής ποιότητας συνοδεύεται από σημαντικές προκλήσεις αλλά οδηγεί σε αξιοσημείωτα πλεονεκτήματα.

Οι κύριες προκλήσεις περιλαμβάνουν την αντίσταση στην αλλαγή από το προσωπικό, την ανάγκη για σημαντικές επενδύσεις σε ψηφιακή υποδομή και την εκπαίδευση του ανθρώπινου δυναμικού. Η αντιμετώπιση της αντίστασης στην αλλαγή απαιτεί την εμπλοκή και τη δέσμευση της διοίκησης, καθώς και την κατάλληλη επικοινωνία των οφελών από την

ενσωμάτωση του Quality 4.0. Οι επενδύσεις σε ψηφιακή υποδομή και εκπαίδευση μπορεί να είναι υψηλές, αλλά είναι απαραίτητες για την επιτυχή υλοποίηση των νέων τεχνολογιών και διαδικασιών.

Τα πλεονεκτήματα της ενσωμάτωσης, όπως αναφέρθηκε και παραπάνω, περιλαμβάνουν τη βελτίωση της αποδοτικότητας, την αύξηση της ποιότητας των προϊόντων, τη μείωση του κόστους και την αύξηση της ανταγωνιστικότητας. Οι εταιρείες που υιοθετούν το Quality 4.0 έχουν τη δυνατότητα να προσαρμοστούν γρήγορα στις αλλαγές της αγοράς και να ανταποκριθούν στις απαιτήσεις των πελατών. Η χρήση των τεχνολογιών του Quality 4.0 επιτρέπει την πρόβλεψη προβλημάτων και την προληπτική λήψη μέτρων, μειώνοντας τον χρόνο διακοπής λειτουργίας και τα κόστη συντήρησης.

5.2 Προτάσεις για Μελλοντική Έρευνα

Με βάση την παρούσα διπλωματική εργασία και λαμβάνοντας υπόψη τα αποτελέσματα που παρουσιάστηκαν από την εφαρμογή του Quality 4.0 δημιουργούνται και ερωτήματα τα οποία θα μπορούσαν να αποτελέσουν αντικείμενο μελλοντικής έρευνας. Συγκεκριμένα, ως προτάσεις θα μπορούσαν να διατυπωθούν τα ακόλουθα:

- Διερεύνηση των Παραγόντων Επιτυχίας: Μια σημαντική κατεύθυνση για μελλοντική έρευνα είναι η διερεύνηση των παραγόντων που συμβάλλουν στην επιτυχημένη ενσωμάτωση του Quality 4.0 σε διάφορους βιομηχανικούς τομείς. Η κατανόηση των κρίσιμων παραγόντων επιτυχίας μπορεί να βοηθήσει τις επιχειρήσεις να υιοθετήσουν πιο αποτελεσματικά τις στρατηγικές και τις τεχνολογίες του Quality 4.0. Η έρευνα μπορεί να εστιάσει σε διάφορες βιομηχανίες και να αναλύσει τις διαφορές και τις ομοιότητες στις προσεγγίσεις και τα αποτελέσματα.
- Ανάλυση Κόστους – Οφέλους: Η ανάλυση του κόστους και των οφελών από την ενσωμάτωση του Quality 4.0 μπορεί να προσφέρει πολύτιμες πληροφορίες στις επιχειρήσεις. Η εκτίμηση του κόστους των επενδύσεων σε ψηφιακή υποδομή και εκπαίδευση, καθώς και η ανάλυση των οικονομικών οφελών από τη βελτίωση της ποιότητας και της αποδοτικότητας, μπορεί να βοηθήσει στη λήψη ενημερωμένων αποφάσεων. Η έρευνα μπορεί επίσης να εξετάσει τη σχέση μεταξύ του κόστους ενσωμάτωσης και του χρόνου απόσβεσης των επενδύσεων.

- Εφαρμογές του Quality 4.0 σε Μικρομεσαίες Επιχειρήσεις: Η έρευνα για την εφαρμογή του Quality 4.0 σε μικρομεσαίες επιχειρήσεις (ΜΜΕ) μπορεί να προσφέρει πολύτιμες πληροφορίες για την προσαρμογή των στρατηγικών και των τεχνολογιών στις ανάγκες και τους περιορισμούς των ΜΜΕ. Οι ΜΜΕ αντιμετωπίζουν συχνά διαφορετικές προκλήσεις σε σχέση με τις μεγάλες εταιρείες, και η έρευνα μπορεί να βοηθήσει στην ανάπτυξη κατάλληλων λύσεων. Η μελέτη μπορεί να εστιάσει σε παραδείγματα επιτυχημένων εφαρμογών του Quality 4.0 σε ΜΜΕ και να αναλύσει τους παράγοντες που συνέβαλαν στην επιτυχία τους.

- Επιπτώσεις στην Εργασιακή Κουλτούρα Η μελέτη των επιπτώσεων του Quality 4.0 στην εργασιακή κουλτούρα και τη δέσμευση των εργαζομένων είναι μια ενδιαφέρουσα κατεύθυνση για μελλοντική έρευνα. Η κατανόηση του τρόπου με τον οποίο οι νέες τεχνολογίες επηρεάζουν την εργασιακή κουλτούρα μπορεί να βοηθήσει στη δημιουργία στρατηγικών που ενισχύουν τη συνεργασία και την καινοτομία. Η έρευνα μπορεί να εξετάσει τις αλλαγές στην εργασιακή κουλτούρα που προκύπτουν από την ενσωμάτωση του Quality 4.0 και να προτείνει μέτρα για την ενίσχυση της δέσμευσης και της ικανοποίησης των εργαζομένων.

Συνοψίζοντας, η εργασία αυτή ανέδειξε τη σημασία της στρατηγικής ενσωμάτωσης του Quality 4.0 στα συστήματα διοίκησης ολικής ποιότητας και τις πρακτικές εφαρμογές που μπορούν να οδηγήσουν σε βελτιώσεις της ποιότητας και της αποδοτικότητας. Οι προτάσεις για μελλοντική έρευνα μπορούν να συμβάλλουν στην περαιτέρω κατανόηση και ανάπτυξη του πεδίου, προσφέροντας νέες προοπτικές και λύσεις για τις επιχειρήσεις που επιδιώκουν να παραμείνουν ανταγωνιστικές στη σύγχρονη ψηφιακή εποχή.

Βιβλιογραφία

- Agarwal, Alpana, Poornima Mathur, και Sandeep Walia. 2023. «Journey of HR From Industry 1.0 to 5.0 and the Road Ahead.» *Opportunities and Challenges of Business 5.0 in Emerging Markets*, 172-184.
- Akhmatova, Malika-Sofi, Antonina Deniskina, Dzhennet-Mari Akhmatova, και Larisa Prykina. 2022. «Integrating quality management systems (TQM) in the digital age of intelligent transportation systems industry 4.0.» *Transportation Research Procedia*, 1512-1520.
- Ali, Kashif, και Satirenjit Kaur Johl. 2022. «Soft and hard TQM practices: future research agenda for industry 4.0.» *Total Quality Management & Business Excellence*, 1625-1655.
- Al-Sayed, R, και J Yang. 2018. «Towards Chinese smart manufacturing ecosystem in the context of the One Belt One Road initiative.» *Journal of Science and Technology Policy Management*.
- Annanth, V Kishorre, M Abinash, και Lokavarapu Bhaskara Rao. 2021. «Intelligent manufacturing in the context of industry 4.0: A case study of siemens industry .» *Journal of Physics: Conference Series*, July: 012019.
- Antony, Jiju, Michael Sony, Olivia McDermott, Raja Jayaraman, και David Flynn. 2023. «Anexploration of organizational readiness factors for Quality 4.0: an intercontinental study and future research directions.» *International Journal of Quality & Reliability Management*, 582-606.
- Antony, Jiju, Olivia McDermott, και Michael Sony. 2022. «Quality 4.0 conceptualisation and theoretical understanding: a global exploratory qualitative study.» *The TQM Journal*, 24 November: 1169-1188.
- Aprianyah, Roky, Ziko Fransinatra, και Deci Ririen. 2020. «The Influence of Instructors Competency and Facilities on The Quality of Education and Training Center (ETC) Graduates in Facing The Industrial Revolution 4.0.» *Jurnal Manajemen Dan Bisnis*, 73-85.
- Armani, C.G., K.F de Oliveira, I.P. Munhoz, και A.C.S Akkari. 2020. «Proposal and application of a framework to measure the degree of maturity in Quality 4.0: a multiple case study.» *Advances in Mathematics for Industry 4.0*, 131-163.

- Azeem, Mohd, Abid Haleem, Shashi Bahl, Mohd Javaid, Rajiv Suman, και Devaki Nandan. 2022. «Big data applications to take up major challenges across manufacturing industries: A brief review.» *Materials Today: Proceedings*, 339-348.
- Bai, Chunguang, Patrick Dallasega, Guido Orzes, και Joseph Sarkis. 2020. «Industry 4.0 technologies assessment: A sustainability perspective.» *International Journal of Production Economics*, November: 107776.
- Bosch. 2022. *Annual Report*. Report, Bosch.
- Bosch. 2023. *Annual Report*. Annual Report, Bosch.
- . 2024. *Bosch*. Πρόσβαση May 10, 2024. <https://www.bosch.com/>.
- Bratianu, C, A Zbucea, F Anghel, και B Hrib. 2021. «Digital Transformation beyond Industry 4.0 Maturity Stages.» *Strategica*, 21-22 October: 210.
- Carvalho, Adriana Ventura , Daisy Valle Enrique, Amal Chouchene, και Fernando Charrua-Santos. 2021. «Quality 4.0: An Overview.» *ScienceDirect*, 341-346.
- Chiarini , Andrea. 2020. «Industry 4.0, quality management and TQM world. A systematic literature review and a proposed agenda for further research.» *The TQM Journal*, 21 July: 603-616.
- Christou, I, N\ Kefalakis, J Soldatos,, και AM Despotopoulou. 2022. «End-to-end industrial IoT platform for Quality 4.0 applications.» *Computers in Industry*,, 103591.
- Coccia, Mario, και Joshua Watts. 2020. «A theory of the evolution of technology: Technological parasitism and the implications for innovation magement.» *Journal of Engineering and Technology Management*, January - March: 101552.
- Coussins, A. 2020. «Managing the cultural impact of Industry 4.0.» *Logistics & Transport Focus, June*, 54-55.
- De Vasconcelos, Batalha, και A Parli. 2017. «Industry 4.0 with a Lean perspective- Investigating IIoT platforms' possible influences on data driven Lean.»
- Escobar, Carlos, Megan McGovern , και Ruben Morales-Menendez . 2021. «Quality 4.0: a review of big data challenges in manufacturing.» *Journal of Intelligent Manufacturing*, 11 April: 2319-2334.
- European Commission. 2024. *European Commission*. Πρόσβαση May 11, 2024. <https://digital-strategy.ec.europa.eu/en/policies/european-approach-artificial-intelligence>.

- Florencio de Souza, Fabiane, Alana Corsi, Regina Negri Pagani, Giles Balbinotti, και João Luiz Kovaleski . 2022. « Total quality management 4.0: adapting quality management to Industry 4.0.» *The TQM Journal*, 10 June: 749-769.
- Fonseca, L, A Amaral, και J. Oliveira. 2021. «Quality 4.0: the EFQM 2020 model and industry 4.0 relationships and implications.» *Sustainability*, 3107.
- Frankiewicz, B, και T Chamorro-Premuzic. 2020. «Digital transformation is about talent, not technology.» *Harvard Business Review*, 3.
- Galvão, João, Diogo Ribeiro, Inês Machado, Filipa Ferreira, Júlio Gonçalves, Rui Faria, Carlos Costa, Paulo Cortez, και Maribel Yasmina Santos. 2022. «Bosch’s Industry 4.0 Advanced Data Analytics: Historical and Predictive Data Integration for Decision Support.» *Research Challenges in Information Science.*, 14 May.
- GE. 2024. *GE*. Πρόσβαση April 19, 2024. <https://www.ge.com/digital/blog/industry-40-here-has-your-company-adopted-it>.
- General Electric. 2022. *Annual Report*. Report, GE.
- Gunasekaran, A, N Subramanian, και WTE Ngai. 2019. «Quality management in the 21st century enterprises: research pathway towards industry 4.0.» *International Journal of Production Economics*, 125-129.
- Hassoun, Abdo, Abderrahmane Aït-Kaddour, Adnan Abu-Mahfouz, Nikheel Bhojraj Bhojraj Rathod, Francisco Barba, και Charis Galanakis. 2023. « Views 35 CrossRef citations to date 89 Altmetric Review Articles The fourth industrial revolution in the food industry—Part I: Industry 4.0 technologies.» *Critical Reviews in Food Science and Nutrition*, 6547-6563 .
- ISO. 2024. *ISO*. Πρόσβαση April 17, 2024. <https://www.iso.org/home.html>.
- Iyer, Anandi. 2018. «Moving from Industry 2.0 to Industry 4.0: A case study from India on leapfrogging in smart manufacturing.» *Procedia Manufacturing*, 663-670.
- Javaid, Mohd, Abid Haleem, Ravi Pratap Singh, και Rajiv Suman. 2021. «Significance of Quality 4.0 towards comprehensive enhancement in manufacturing sector.» *Sensors International*, 1-13.
- Jiang, Zengqiang, Shuai Yuan, Jing Ma, και Qiang Wang. 2022. «The evolution of production scheduling from Industry 3.0 through Industry 4.0.» *International Journal of Production Research*, 3534-3554.

- Jung, Sven, Stefan Ferber, Irene Cramer, Wolfgang Bronner, και Felix Wortmann. 2021. «Bosch IoT Suite: Exploiting the Potential of Smart Connected Products.» *Connected Business*, 12 August: 267-282.
- Kalaycı, Elem Güzel, Irlan Grangel González, Felix Lösch, Guohui Xiao, Anees ul-Mehdi, Evgeny Kharlamov, και Diego Calvanese . 2020. «Semantic Integration of Bosch Manufacturing Data Using Virtual Knowledge Graphs.» *The Semantic Web – ISWC 2020*, 1 November: 464-481.
- Kulawiak , Karolina Emilia. 2021. *An exploratory case study of MindSphere, the industrial digital platform from Siemens*. University of Oslo , University of Oslo .
- Kumar, K, D Zindani, και JP Davim. 2019. «Intelligent Manufacturing.» *Industry 4.0: Developments towards the Fourth Industrial Revolution*, May.
- Kumar, M Pradeep, P Sahithi, και S Sai Revanth . 2020. «Industry of quality (IoQ) – An industry 4.0 perspective .» *International Journal of Applied Research*, 109-114.
- Kumar, Rajan Ranjith, L.S. Ganesh, και Chandrasekharan Rajendran. 2022. «Quality 4.0 – a review of and framework for quality management in the digital era.» *International Journal of Quality & Reliability Management*, May: 385-1411.
- Lee, Sang M, DonHee Lee, και Youn Sung Kim . 2019. «The quality management ecosystem for predictive maintenance in the Industry 4.0 era.» *International Journal of Quality Innovation*, 27 March: 4.
- Lim, Chun Hsion, Steven Lim, Bing Shen How, Wendy Pei Qin Ng, Sue Lin Ngan, Wei Dong Leong, και Hon Loong Lam. 2021. «A review of industry 4.0 revolution potential in a sustainable and renewable palm oil industry: HAZOP approach .» *Renewable and Sustainable Energy Reviews* , 110223.
- Lu , Hongfang, Lijun Guo, Mohammadamin Azimi, και Kun Huang. 2019. «Oil and Gas 4.0 era: A systematic review and outlook.» *Computers in Industry*, October: 68-90.
- Mathur, A, A Dabas, και N Sharma. 2022. «Evolution From Industry 1.0 to Industry 5.0.» *2022 4th International Conference on Advances in Computing, Communication Control and Networking (ICAC3N)*, 16-17 December.
- Melnyk, Leonid Hryhorovych, Oleksandr Mykhailovych Matsenko, LL Kalinichenko, Artem Valeriiovych Holub, και Iryna Mykolaivna Sotnyk. 2023. «Instruments for ensuring the phase transition of economic systems to management based on industries 3.0, 4.0, 5.0.» *Mechanism of an Economic Regulation*, 34-40.

- Modrak, V, και Z Soltysova. 2020. «Development of an organizational maturity model in terms of mass customization.» *Industry 4.0 for SMEs*, 215-250.
- Mourtzis, Dimitris, Nikolaos Papakostas, και Sotiris Makris. 2019. «Complexity in Industry 4.0 Systems and Networks.» *Complexity*.
- Mourtzis, Dimitris, Sophia Fotia, Nikoleta Boli, και Ekaterini Vlachou. 2019. «Modelling and quantification of industry 4.0 manufacturing complexity based on information theory: a robotics case study.» *International Journal of Production Research* , 31 January: 6908-6921.
- Nuraeni, Yeni, και Yuniarti Tri Suwadi. 2020. «Strategy for Enhancing Quality of Labor through Technical Vocational Education & Training Faces Industry 4.0 Challenges .» *The 2nd International Conference on Elementary Education*, 1255-1271.
- Rebelo, João, Carina Andrade, Carlos Costa, και Maribel Santos . 2020. «An Immersive Web Visualization Platform for a Big Data Context in Bosch’s Industry 4.0 Movement.» *Information Systems*, 18 April: 71-84.
- Sader, Sami, Istvan Husti, και Miklos Daroczi. 2022. «A review of quality 4.0: definitions, features, technologies, applications, and challenges.» *Total Quality Management & Business Excellence*, 1164-1182.
- Saihi, Afef, Mahmoud Awad, και Mohamed Ben-Daya. 2023. «Quality4.0:leveragingIndustry4.0 technologies to improve quality management practicesa systematic review.» *International Journal of Quality & Reliability Management*, 628-650.
- SAS Institute. 2023. *Getting Digitally Connected to Transform Quality Management*. Quality 4.0 - Impact and Stragety Handbook, LNS.
- Schiavone, F, Daniele Leone, Andrea Caporuscio, και Sai Lan. 2022. «Digital servitization and new sustainable configurations of manufacturing systems.» *Technological Forecasting and Social Change*, 121441.
- Siemens. 2024. *Siemens*. Πρόσβαση May 18, 2024.
<https://www.siemens.com/global/en/products/financing/siemens-financial-insight-center/benefits-of-industry-40-predictive-quality.html>.
- Siemens. 2022. *Siemens Report*. Annual Report, Siemens.

- Singh, Jagmeet, Inderpreet Singh Ahuja , Harwinder Singh , και Amandeep Singh Singh. 2023. «Application of Quality 4.0 (Q4.0) and Industrial Internet of Things (IIoT) in Agricultural Manufacturing Industry.» *AgriEngineering*, 7 March: 537-565.
- Stepanek, Vojtech, Jakub Brazina, Michal Holub, Jan Vetiska, Jiri Kovar, Jiri Kroupa, και Adam Jelinek. 2022. «Implementation of Industry 4.0 Elements in Industrial Metrology–Case Study.» *Digitizing Production Systems: Selected Papers from ISPR2021*, 7-9 October: 296-308.
- The Certified Manager of Quality/Organizational Excellence Handbook. 2020. *asq.org*. Πρόσβαση April 22, 2024. <https://asq.org/quality-resources/total-quality-management/tqm-history>.
- Vachálek, Ján, Lukás Bartalský, Oliver Rovný, Dana Šišmišová, Martin Morháč, και Milan Lokšík. 2017. «The digital twin of an industrial production line within the industry 4.0 concept.» *2017 21st International Conference on Process Control (PC)*, 258-262.
- Varshney, Ajay Kumar, Ankit Garg, TR Pandey, Ritesh Kumar Singhal, Rahul Singhal, και Himanshu Sharma. 2024. «The Development of Manufacturing Industry Revolutions from 1.0 to 5.0.» *Journal of Informatics Education and Research*, 1230-1242.
- Vinitha, K, R. Ambrose Prabhu, Radhika Bhaskar, και R. Hariharan. 2020. «Review on industrial mathematics and materials at Industry 1.0 to Industry 4.0.» *Review on industrial mathematics and materials at Industry 1.0 to Industry 4.0*, 3956-3960.
- Vinodh, S., Jiju Antony, Rohit Agrawal, και Jacqueline Ann Douglas. 2021. «Integration of continuous improvement strategies with Industry 4.0: a systematic review and agenda for further research.» *The TQM Journal*, 9 February: 441-472.
- Westgard, James, Hassan Bayat, και Sten Westgard. 2018. «Planning Risk-Based SQC Schedules for Bracketed Operation of Continuous Production Analyzers.» *Clinical Chemistry*, 1 February: 289-296.
- Xu, Min, Jeanne David, και Suk Kim. 2018. «The Fourth Industrial Revolution: Opportunities and Challenges .» *International Journal of Financial Research* , 6 March: 90-95.
- Yin, Yong, Kathryn Stecke, και Dongni Li. 2018. «The evolution of production systems from Industry 2.0 through Industry 4.0.» *International Journal of Production Research*, 848-861.

- Zakoldaev, D A , A V Shukalov, I O Zharinov, και O O Zharinov. 2019. « Purpose-led Publishing, find out more. PAPER • THE FOLLOWING ARTICLE IS OPEN ACCESS Modernization stages of the Industry 3.0 company and projection route for the Industry 4.0 virtual factory.» *IOP Conference Series: Materials Science and Engineering*, 032005.
- Zheng, Ting, Marco Ardolino, Andrea Bacchetti, και Marco Perona. 2021. «The applications of Industry 4.0 technologies in manufacturing context: a systematic literature review.» *International Journal of Production Research* , 1922-1954.
- Zonnenshain, Avigdor, και Ron Kenett. 2020. «Quality 4.0—the challenging future of quality engineering.» *Quality Engineering* , 616-626.

Υπεύθυνη Δήλωση Συγγραφέα: Δηλώνω ρητά ότι, σύμφωνα με το άρθρο 8 του Ν.1599/1986, η παρούσα εργασία αποτελεί αποκλειστικά προϊόν προσωπικής μου εργασίας, δεν προσβάλλει κάθε μορφής δικαιώματα διανοητικής ιδιοκτησίας, προσωπικότητας και προσωπικών δεδομένων τρίτων, δεν περιέχει έργα/εισφορές τρίτων για τα οποία απαιτείται άδεια των δημιουργών/δικαιούχων και δεν είναι προϊόν μερικής ή ολικής αντιγραφής, οι πηγές δε που χρησιμοποιήθηκαν περιορίζονται στις βιβλιογραφικές αναφορές και μόνον και πληρούν τους κανόνες της επιστημονικής παράθεσης.