



**ΕΛΛΗΝΙΚΟ ΑΝΟΙΚΤΟ ΠΑΝΕΠΙΣΤΗΜΙΟ**  
**ΣΧΟΛΗ ΘΕΤΙΚΩΝ ΕΠΙΣΤΗΜΩΝ ΚΑΙ ΤΕΧΝΟΛΟΓΙΑΣ**

**ΔΙΑΧΕΙΡΙΣΗ ΚΑΙ ΤΕΧΝΟΛΟΓΙΑ ΠΟΙΟΤΗΤΑΣ**

**ΔΙΠΛΩΜΑΤΙΚΗ ΕΡΓΑΣΙΑ**

**Η λιτή διοίκηση και ο ψηφιακός μετασχηματισμός στην  
κουλτούρα των εργαζομένων. Επίδραση στην χρήση των  
ψηφιακών τεχνολογιών**

**ΞΑΝΘΟΥ ΖΑΧΑΡΟΥΛΑ ΜΑΡΙΑ**

**ΨΩΜΑΣ ΕΥΑΓΓΕΛΟΣ**

**ΠΑΤΡΑ**  
**ΙΟΥΛΙΟΣ, 2024**

Η παρούσα εργασία αποτελεί πνευματική ιδιοκτησία της φοιτήτριας («συγγραφέας») που την εκπόνησε. Στο πλαίσιο της πολιτικής ανοικτής πρόσβασης η συγγραφέας εκχωρεί στο ΕΑΠ, μη αποκλειστική άδεια χρήσης του δικαιώματος αναπαραγωγής, προσαρμογής, δημόσιου δανεισμού, παρουσίασης 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 της συγγραφέα 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 της συγγραφέα. Η συγγραφέας διατηρεί το σύνολο των ηθικών και περιουσιακών του δικαιωμάτων.



**ΕΛΛΗΝΙΚΟ ΑΝΟΙΚΤΟ ΠΑΝΕΠΙΣΤΗΜΙΟ**  
**ΣΧΟΛΗ ΘΕΤΙΚΩΝ ΕΠΙΣΤΗΜΩΝ ΚΑΙ ΤΕΧΝΟΛΟΓΙΑΣ**

Η λιτή διοίκηση και ο ψηφιακός μετασχηματισμός στην κουλτούρα των εργαζομένων. Επίδραση στην χρήση των ψηφιακών τεχνολογιών

**ΞΑΝΘΟΥ ΖΑΧΑΡΟΥΛΑ ΜΑΡΙΑ**

Επιτροπή Κρίσης

*Επιβλέπων:*

Ευάγγελος Ψωμάς

Αναπληρωτής Καθηγητής Πανεπιστημίου  
Πατρών & Μέλος ΣΕΠ ΔΙΠ/ΣΘΕΤ ΕΑΠ

*Συνεπιβλέπων:*

Μουρτζής Δημήτριος

Καθηγητής Πανεπιστημίου Πατρών & Μέλος  
ΣΕΠ ΔΙΠ/ΣΘΕΤ ΕΑΠ

Πάτρα, Ελλάδα, Ιούλιος, 2024

## ΕΥΧΑΡΙΣΤΙΕΣ

Ευχαριστώ θερμά όλους όσους συνέβαλαν στην ολοκλήρωση αυτής της έρευνας. Θέλω να εκφράσω τις ειλικρινείς μου ευχαριστίες πρώτα απ' όλα στους εργαζόμενους των επιχειρήσεων που συμμετείχαν στη μελέτη και παρείχαν τις απαντήσεις τους. Επίσης, θέλω να ευχαριστήσω τους επιβλέποντες καθηγητές, κύριο Ψωμά και κύριο Μουρτζή για τη στήριξή τους και την εποικοδομητική τους συνεισφορά. Τέλος, εκφράζω τις ευχαριστίες μου στην ακαδημαϊκή κοινότητα και σε όλους όσους παρακολούθησαν την πορεία αυτής της έρευνας και στάθηκαν στο πλευρό μου.

## ΠΕΡΙΛΗΨΗ

Οι βιομηχανίες αντιμετωπίζουν προκλήσεις όπως οι μεταβαλλόμενες προσδοκίες πελατών, ο έντονος ανταγωνισμός, η παγκοσμιοποίηση και οι οικονομικές κρίσεις. Η πανδημία Covid-19 και η ενεργειακή κρίση λόγω του πολέμου Ουκρανίας-Ρωσίας επηρεάζουν επίσης σημαντικά τις βιομηχανίες. Για να παραμείνουν ανταγωνιστικές, οι επιχειρήσεις αναζητούν τρόπους απλοποίησης διαδικασιών και μείωσης αποβλήτων μέσω της μεθοδολογίας Lean Manufacturing (LM) και των τεχνολογιών Industry 4.0 (I4.0). Η συνδυασμένη προσέγγιση "Lean 4.0" βελτιώνει την παραγωγικότητα και ενισχύει τις αυτόνομες λειτουργίες, προωθώντας την ανθρώπινη-μηχανική συνεργασία. Αυτή η εργασία στοχεύει να εξετάσει την υιοθέτηση και αλληλεπίδραση LM και I4.0 στις επιχειρήσεις και να συμβάλει στην έρευνα και βελτιώσεις στις βιομηχανίες.

Για τον σκοπό αυτό σχεδιάστηκε δομημένο ερωτηματολόγιο για τη διερεύνηση της μεθοδολογίας Lean Manufacturing (LM) και των τεχνολογιών Industry 4.0 (I4.0). Το ερωτηματολόγιο είχε δύο ενότητες: μία για τις πρακτικές LM και μία για τις τεχνολογίες I4.0, με τους ερωτηθέντες να βαθμολογούν την εφαρμογή τους σε κλίμακα Likert επτά βαθμών. Τα ερωτηματολόγια στάλθηκαν σε 9 τυχαία επιλεγμένες επιχειρήσεις τροφίμων και φαρμακοβιομηχανίας. Συλλέχθηκαν 30 έγκυρες απαντήσεις μετά από επαναληπτική αποστολή. Σε συνέχεια χρησιμοποιήθηκαν περιγραφικές στατιστικές και ανάλυση συσχέτισης με τον συντελεστή Pearson για την αξιολόγηση του βαθμού εφαρμογής των πρακτικών LM και των τεχνολογιών I4.0. Η επεξεργασία των δεδομένων έγινε με το λογισμικό MINITAB έκδοση 22.

Από την ανάλυση των δεδομένων παρατηρήθηκε υψηλό επίπεδο εφαρμογής των πρακτικών LM στις ελληνικές βιομηχανίες, υποδεικνύοντας έντονη προσήλωση στη βελτίωση της ποιότητας και τη μείωση των σπαταλών. Οι επιχειρήσεις προσπαθούν να προσαρμοστούν στις απαιτήσεις του περιβάλλοντος, μειώνοντας δραστηριότητες και κόστος για να διατηρήσουν την ανταγωνιστικότητά τους και τη βιωσιμότητα. Οι τεχνολογίες I4.0 χρησιμοποιούνται σε μέτριο βαθμό, με προσανατολισμό στο cloud computing, τα ρομποτικά συστήματα, το Internet of Things και το Big Data analytics, επηρεαζόμενες από οικονομικούς περιορισμούς και την πανδημία COVID-19. Επιπλέον, η μελέτη επιβεβαίωσε ότι οι τεχνολογίες I4.0 αποτελούν σημαντικό παράγοντα για την εφαρμογή των πρακτικών LM, με συντελεστή συσχέτισης 0.914. Τα ευρήματα δείχνουν ότι οι πρακτικές LM βελτιώνονται σημαντικά από τις τεχνολογίες I4.0.

**Λέξεις-κλειδιά:** Lean Manufacturing, Industry 4.0, Λιτή παραγωγή. Ψηφιακή αναβάθμιση, Ελληνικές βιομηχανίες

## ABSTRACT

Industries face challenges such as changing customer expectations, intense competition, globalization, and economic crises. The Covid-19 pandemic and the energy crisis due to the Ukraine-Russia war also significantly impact industries. To remain competitive, businesses seek ways to simplify processes and reduce waste through Lean Manufacturing (LM) methodologies and Industry 4.0 (I4.0) technologies. The combined "Lean 4.0" approach improves productivity and enhances autonomous operations, promoting human-machine collaboration. This study aims to examine the adoption and interaction of LM and I4.0 in businesses and contribute to research and improvements in industries.

To this end, a structured questionnaire was designed to investigate Lean Manufacturing (LM) methodologies and Industry 4.0 (I4.0) technologies. The questionnaire had two sections: one for LM practices and one for I4.0 technologies, with respondents rating their implementation on a seven-point Likert scale. Questionnaires were sent to nine randomly selected food and pharmaceutical companies. Thirty valid responses were collected after a follow-up. Descriptive statistics and Pearson correlation analysis were used to assess the degree of implementation of LM practices and I4.0 technologies. Data processing was performed using MINITAB version 22 software.

Data analysis revealed a high level of LM practice implementation in Greek industries, indicating a strong commitment to quality improvement and waste reduction. Businesses strive to adapt to environmental demands by reducing activities and costs to maintain competitiveness and sustainability. I4.0 technologies are used to a moderate extent, focusing on cloud computing, robotic systems, the Internet of Things, and Big Data analytics, influenced by economic constraints and the COVID-19 pandemic. Additionally, the study confirmed that I4.0 technologies are a significant factor for implementing LM practices, with a correlation coefficient of 0.914. The findings indicate that LM practices are significantly enhanced by I4.0 technologies.

**Keywords:** Lean Manufacturing, Industry 4.0, Technology adoption, Greek industries

## Περιεχόμενα

Λίστα Σχημάτων .....	VIII
Λίστα Πινάκων .....	IX
Εισαγωγή .....	1
1. Lean Manufacturing (Λιτή Παραγωγή) .....	4
1.1 Εισαγωγή στη μεθοδολογία Lean Manufacturing .....	4
1.2 Αρχές της μεθοδολογίας Lean Manufacturing .....	13
1.3 Βασικές Έννοιες .....	17
1.4 Εργαλεία και τεχνικές Lean Manufacturing .....	20
2. Τεχνολογίες Industry 4.0 (I4.0) .....	28
2.1 Εισαγωγή στις τεχνολογίες Industry 4.0 .....	28
2.2 Βασικές τεχνολογίες Industry 4.0 .....	34
2.3 Τα οφέλη χρήσης των τεχνολογιών Industry 4.0 .....	45
2.4 Δυσκολίες και εμπόδια στην εφαρμογή των τεχνολογιών Industry 4.0 .....	47
2.5 Παράγοντες που επηρεάζουν την ενσωμάτωση των τεχνολογιών Industry 4.0 στις βιομηχανίες .....	48
3. Lean Manufacturing και Industry 4.0 .....	50
3.1 Εισαγωγή .....	50
3.2 Ανεξερεύνητες πτυχές της σχέσης μεταξύ Lean Manufacturing και Industry 4.0 .....	50
3.3 Συσχέτιση της μεθοδολογίας LM και των τεχνολογιών I4.0. Μια ανασκόπηση της βιβλιογραφίας .....	51
3.4 Αλληλεπιδράσεις πρακτικών Lean και τεχνολογιών I4.0 .....	53
4. Έρευνα .....	60
4.1 Μεθοδολογία .....	60
4.2 Αποτελέσματα .....	62
4.3 Συζήτηση αποτελεσμάτων .....	69
4.4 Συμπεράσματα .....	72
4.5 Πρακτικές εφαρμογές .....	72
4.6 Περιορισμοί έρευνας και Προτάσεις για περαιτέρω έρευνα .....	73
Βιβλιογραφία .....	75

## Λίστα Σχημάτων

Σχήμα 1.1 Κατανόηση και ανάπτυξη κοινής γλώσσας.....	4
Σχήμα 1.2 Σπατάλες που πρέπει να εξαλειφθούν.....	14
Σχήμα 1.3 Αλληλεπίδραση μεταξύ των διαφορετικών βημάτων της μεθοδολογίας «5S».....	25
Σχήμα 2.1 Βιομηχανική εξέλιξη.....	30
Σχήμα 4.1 Επίπεδο εκπαίδευσης.....	62
Σχήμα 4.2 Έτη εργασιακής εκπαίδευσης.....	62
Σχήμα 4.3 Μέγεθος επιχειρήσεων.....	63
Σχήμα 4.4 Πρότυπα ISO.....	63



## Λίστα Πινάκων

Πίνακας 2.1 Ορολογία Industry 4.0 – Εφαρμογές.....	31
Πίνακας 2.2 Σύγκριση των βιομηχανικών επαναστάσεων με βάση διαφορετικές παραμέτρους.....	33
Πίνακας 2.3 Οφέλη της χρήσης των τεχνολογιών Industry 4.0.....	46
Πίνακας 2.4 Δυσκολίες εφαρμογής τεχνολογιών Industry 4.0.....	47
Πίνακας 4.1 Πρακτικές LM στις βιομηχανίες.....	64
Πίνακας 4.2 Τεχνολογίες I4.0 στις βιομηχανίες.....	68
Πίνακας 4.3 Ανάλυση συσχέτισης μεταξύ πρακτικών LM και τεχνολογιών I4.0.....	69

## Εισαγωγή

Οι βιομηχανίες αντιμετωπίζουν ποικίλες προκλήσεις, όπως η αλλαγή των προσδοκιών των πελατών, ο έντονος ανταγωνισμός, η παγκοσμιοποίηση, οι χρηματοπιστωτικές κρίσεις και η οικονομική ύφεση (Kapoor et al., 2021; Saad et al., 2023; Afonso et al., 2021; Sartal et al., 2022; Chavez et al., 2022; Antony et al., 2022). Επιπλέον, παράγοντες όπως, η πανδημία Covid-19 (Afonso et al., 2021; Nejad, 2023) και η συνεχιζόμενη ενεργειακή κρίση που επιδεινώθηκε από τον πόλεμο Ουκρανίας-Ρωσίας (Freser, 2022) επηρεάζουν σημαντικά τις βιομηχανίες. Κατά συνέπεια, το επιχειρηματικό περιβάλλον έχει γίνει πολύπλοκο, δυναμικό, ασταθές (Cadavid et al., 2020) και αβέβαιο (Kapoor et al., 2021; Jena and Patel, 2022), παρουσιάζοντας πολυάριθμες προκλήσεις στις οποίες πρέπει οι βιομηχανίες να ανταποκριθούν για να παραμείνουν ανταγωνιστικές και βιώσιμες (Bevilacqua et al., 2017; Chavez et al., 2022).

Κατά συνέπεια, οι επιχειρήσεις για να αντιμετωπίσουν αυτές τις προκλήσεις, αναζητούν προσεγγίσεις που απλοποιούν τις βιομηχανικές διαδικασίες, ενώ παράλληλα ενισχύουν την αξία και ελαχιστοποιούν τα διάφορα είδη σπαταλών. Δύο ευρέως υιοθετημένες στρατηγικές για την επίτευξη αυτών των στόχων είναι η μεθοδολογία Lean Manufacturing (LM) και οι τεχνολογίες Industry 4.0 (I4.0 ή I4) (Saad et al., 2023).

Η μεθοδολογία Lean Manufacturing (LM) εμφανίστηκε κατά τη διάρκεια της Τρίτης Βιομηχανικής Επανάστασης ως μια φιλοσοφία διαχείρισης που στοχεύει στην ενίσχυση της οργανωτικής αποτελεσματικότητας και έχει υιοθετηθεί σε διάφορους κλάδους της βιομηχανίας (Tayaksi et al., 2020). Ο πρωταρχικός στόχος της μεθοδολογίας LM είναι η εξάλειψη όλων των μορφών σπαταλών και επικεντρώνεται σε δραστηριότητες που προσθέτουν αξία για τον πελάτη (Womack and Jones, 2003). Η μεθοδολογία LM μπορεί να οριστεί ως: [...] ένα καινοτόμο παράδειγμα που εξαλείφει τις σπατάλες σε οποιαδήποτε μορφή, οπουδήποτε και ανά πάσα στιγμή, προσπαθεί ακατάπαυστα να διατηρήσει την αρμονία στη ροή των υλικών και των πληροφοριών και προσπαθεί συνεχώς να επιτύχει την τελειότητα (Mohanty et al., 2007). Η μεθοδολογία LM συνδέεται επίσης με την ανάπτυξη των ανθρώπων και την εγκαθίδρυση μιας κουλτούρας επίλυσης προβλημάτων, εμπλέκοντας τους πάντες στην αντιμετώπιση προβλημάτων μέσω βιωματικής μάθησης και πρακτικών λύσεων (Balle et al., 2019). Περιλαμβάνει ένα σύνολο πρακτικών και αρχών που βοηθούν τους οργανισμούς να συντονίζουν και να υποστηρίζουν την παραγωγή. Αυτή η μεθοδολογία μπορεί να βελτιώσει σημαντικά την ποιότητα, να μειώσει το κόστος, να συντομεύσει τους χρόνους παράδοσης και να ενισχύσει την παραγωγικότητα (Saad et al., 2023)

Επιπλέον, πολυάριθμες μελέτες υποστηρίζουν τη χρήση των τεχνολογιών Industry 4.0 (I4.0) για την πλοήγηση στο τρέχον δύσκολο επιχειρηματικό περιβάλλον (Shahin et al., 2020; Kapoor et al., 2021; Chavez et al., 2022; Gadekar et al., 2022, Sartal et al., 2022). Με την έναρξη της Τέταρτης Βιομηχανικής Επανάστασης, η εστίαση έχει σταδιακά μετατοπιστεί προς την ενσωμάτωση της μεθοδολογίας LM σε περιβάλλοντα τεχνολογιών I4.0, προσελκύοντας την αυξανόμενη προσοχή των ερευνητών. Τόσο η μεθοδολογία LM όσο και οι τεχνολογίες I4.0 μοιράζονται στόχους, όπως υψηλότερη παραγωγικότητα, μειωμένο κόστος και βελτιωμένη ποιότητα, αλλά διαφέρουν σημαντικά στις προσεγγίσεις τους (Buer et al., 2018; Pagliosa et al., 2019). Η μεθοδολογία LM είναι απλή και βασίζεται σε παραδοσιακές μεθόδους και είναι πιο

ανθρωποκεντρική, δίνοντας έμφαση στην ενδυνάμωση των εργαζομένων (Pagliosa et al., 2019). Αντίθετα, οι τεχνολογίες I4.0 αξιοποιούν τις πιο πρόσφατες τεχνολογίες, στοχεύοντας σε υψηλότερο αυτοματισμό με ελάχιστη ανθρώπινη παρέμβαση. Από τις αρχές της δεκαετίας του 1990, οι προσπάθειες για την ενσωμάτωση των τεχνολογιών αυτοματισμού σε περιβάλλοντα Lean εμφανίστηκαν με την έννοια του λιτού αυτοματισμού. Η λιτή αυτοματοποίηση αναμένεται να καλύψει τις μελλοντικές απαιτήσεις της αγοράς ενισχύοντας την ευελιξία και επιταχύνοντας τις ροές πληροφοριών (Tortorella et al., 2020a). Ωστόσο, η εφαρμογή του έχει περιοριστεί κυρίως λόγω τεχνολογικών περιορισμών (Kolberg and Zühlke, 2015). Με τις εξελίξεις στις τεχνολογίες I4.0, εμφανίζονται νέες ευκαιρίες για λιτή αυτοματοποίηση και βελτίωση της απόδοσης (Tortorella et al., 2020a).

Ωστόσο, η χρήση αποκλειστικά της μεθοδολογίας LM ή των τεχνολογιών I4.0 συχνά θεωρείται ανεπαρκές (Kolberg et al., 2017; Hines et al., 2023). Καθώς η παραγωγή εξελίσσεται σε ένα πιο ψηφιοποιημένο περιβάλλον, η μεθοδολογία LM ενισχύεται όλο και περισσότερο από τις τεχνολογίες I4.0 (Calabrese et al., 2022; Peças et al., 2022). Κατά συνέπεια, η συνδυασμένη προσέγγιση της μεθοδολογίας LM και των τεχνολογιών I4.0, γνωστή ως «Lean Industry 4.0» (Hines et al., 2023) ή «Lean 4.0» (Tortorella et al., 2021a; Nedjwa et al., 2022; Narula et al., 2023; Skalli et al., 2023), γίνεται πιο διαδεδομένη λόγω των πλεονεκτημάτων που προσφέρει στις βιομηχανίες (Rafique et al., 2019; Sartal et al., 2022). Η ενσωμάτωση τεχνολογιών I4.0 με πρακτικές LM επιταχύνει την παραγωγικότητα, διευκολύνει τις αυτόνομες λειτουργίες (Narula et al., 2023) και εξασφαλίζει βιώσιμη απόδοση (Kamble et al., 2020).

Αυτή η ενσωμάτωση φέρνει επίσης οφέλη που σχετίζονται με τον άνθρωπο, όπως η μείωση της ανθρώπινης προσπάθειας, η ενίσχυση των συστημάτων επικοινωνίας ανθρώπου-μηχανής (Bittencourt et al., 2021) και επιτρέπει την επικοινωνία των εργαζομένων σε πραγματικό χρόνο στους σταθμούς εργασίας και προώθηση της ανθρωποκεντρικής επίλυσης προβλημάτων εντός του παραγωγικού περιβάλλοντος (Souza et al., 2022). Αυτή η προσέγγιση τοποθετεί τους εργαζόμενους των βιομηχανιών ως βασικούς παράγοντες στην προώθηση των βελτιώσεων, διευκολύνοντας ενδεχομένως τη μετάβαση από τις τεχνολογίες I4.0 στις τεχνολογίες I5.0 (Souza et al., 2022). Η συνέργεια μεταξύ μεθοδολογίας LM και τεχνολογιών I4.0 έχει προσελκύσει σημαντικό ερευνητικό ενδιαφέρον (Shahin et al., 2020; Nedjwa et al., 2022; Souza et al., 2022), με τις τεχνολογίες I4.0 να θεωρούνται ως βάση για προγράμματα συνεχούς βελτίωσης, όπως η μεθοδολογία LM (Sartal et al., 2022) και για τη βελτίωση των προσεγγίσεων διαχείρισης ποιότητας (Saihi et al., 2023). Οι τεχνολογίες I4.0 υποστηρίζουν επίσης την επίτευξη στόχων LM εντός της εφοδιαστικής αλυσίδας (El Jaouhari et al., 2023). Ως εκ τούτου, οι τεχνολογίες I4.0 συχνά χαρακτηρίζονται ως ενεργοποιητές της μεθοδολογίας LM (Satoglu et al., 2018; Narula et al., 2023). Από αυτό, είναι σαφές ότι η βιβλιογραφία αναφέρει την άμεση επίδραση των τεχνολογιών I4.0 στη μεθοδολογία LM (Sartal et al., 2022; Peças et al., 2022; Nedjwa et al., 2022; Ozbiltekin-Pala et al., 2022).

Από την εμφάνιση των τεχνολογιών I4.0 και έπειτα, πολλές έρευνες εξέτασαν τη σχέση μεταξύ της μεθοδολογίας LM και των τεχνολογιών I4.0, αλλά ορισμένες πτυχές της σχέσης δεν έχουν εξεταστεί σε επαρκή βαθμό ή και καθόλου (Saad et al., 2023).

Ο λόγος εκπόνησης της παρούσας ΜΔΕ είναι να καλύψει το εκτεταμένο βιβλιογραφικό κενό που υπάρχει σχετικά με την ενσωμάτωση των πρακτικών LM και των τεχνολογιών I4.0 (Psomas & Deliou, 2023), την επιρροή των τεχνολογιών I4.0 στη μεθοδολογία LM (Narula et al., 2023) καθώς και η υιοθέτηση των τεχνολογιών I4.0 ως λύση για τις μικρομεσαίες επιχειρήσεις να εφαρμόσουν τις πρακτικές LM (Kamble et al., 2020).

Επιπλέον υπάρχουν προτάσεις πολλών συγγραφέων για περαιτέρω έρευνα, όπως η ανάπτυξη ενός πλαισίου που ενσωματώνει τη μεθοδολογία LM και τις τεχνολογίες I4.0 (Núñez-Merino et al., 2020), η διερεύνηση των συνδυασμών εργαλείων της μεθοδολογίας LM και τεχνολογιών I4.0 (Pagliosa et al., 2021) και η έρευνα της επιρροής που έχουν οι ψηφιακές τεχνολογίες στη λιτή διοίκηση (Núñez-Merino et al., 2020).

Το αντικείμενο και στόχος της παρούσας ΜΔΕ είναι η διερεύνηση του βαθμού υιοθέτησης από τις επιχειρήσεις των πρακτικών LM και των τεχνολογιών Industry 4.0. Επιπλέον, στην εργασία αυτή διερευνάται εάν υπάρχει αλληλεπίδραση μεταξύ των πρακτικών LM και των τεχνολογιών I4.0 στις επιχειρήσεις.

Οι ακαδημαϊκοί, καθώς και οι βιομηχανίες, μέσω των αποτελεσμάτων της ΜΔΕ μπορούν να ενημερωθούν για τον τρέχοντα βαθμό εφαρμογής των πρακτικών LM και των τεχνολογιών I4.0 και πώς επιδρά η χρήση της μεθοδολογίας LM στη χρήση των τεχνολογιών αυτών στις διάφορες βιομηχανίες. Οι ακαδημαϊκοί μπορούν να χρησιμοποιήσουν τα αποτελέσματα για περαιτέρω μελλοντικές έρευνες και οι βιομηχανίες για βελτίωση του βαθμού εφαρμογής των πρακτικών LM και των τεχνολογιών I4.0 σε αυτές.

Η παρούσα ΜΔΕ είναι οργανωμένη ως εξής:

**Κεφάλαιο 1 (Εισαγωγή):** Σε αυτό το κεφάλαιο γίνεται η παρουσίαση του θέματος και της σημασίας του, οι στόχοι και η δομή της εργασίας

**Κεφάλαια 2-4 (Ανασκόπηση της Βιβλιογραφίας):** Περιλαμβάνει μια συνοπτική παρουσίαση της υπάρχουσας έρευνας, τα θεωρητικά πλαίσια και τα κενά στη βιβλιογραφία, καθώς και μια κριτική ανάλυση των σημαντικών έργων που αφορούν τη μεθοδολογία LM, τις τεχνολογίες I4.0 και την αλληλεπίδρασή τους.

**Κεφάλαιο 5 (Μεθοδολογία, Αποτελέσματα, Συζήτηση, Συμπεράσματα, Περιορισμοί):** Περιγράφεται η ερευνητική προσέγγιση, οι μέθοδοι συλλογής και ανάλυσης δεδομένων, και γίνεται αναφορά στην αξιοπιστία και εγκυρότητα της έρευνας. Έπειτα, παρουσιάζονται τα κύρια ευρήματα της έρευνας, γίνεται ανάλυση των δεδομένων και εξετάζεται η σχέση των ευρημάτων με τα ερευνητικά ερωτήματα. Ακόμα, περιλαμβάνει την ερμηνεία των αποτελεσμάτων, συζήτηση σχετικά με τη θεωρητική και πρακτική σημασία τους, τους περιορισμούς της έρευνας και προτάσεις για μελλοντική έρευνα. Τέλος, ανακεφαλαιώνονται τα κύρια ευρήματα της έρευνας, διατυπώνονται οι τελικές σκέψεις και συμπεράσματα, οι περιορισμοί που υπήρξαν στην παρούσα έρευνα, καθώς και προτάσεις για μελλοντικές έρευνες.

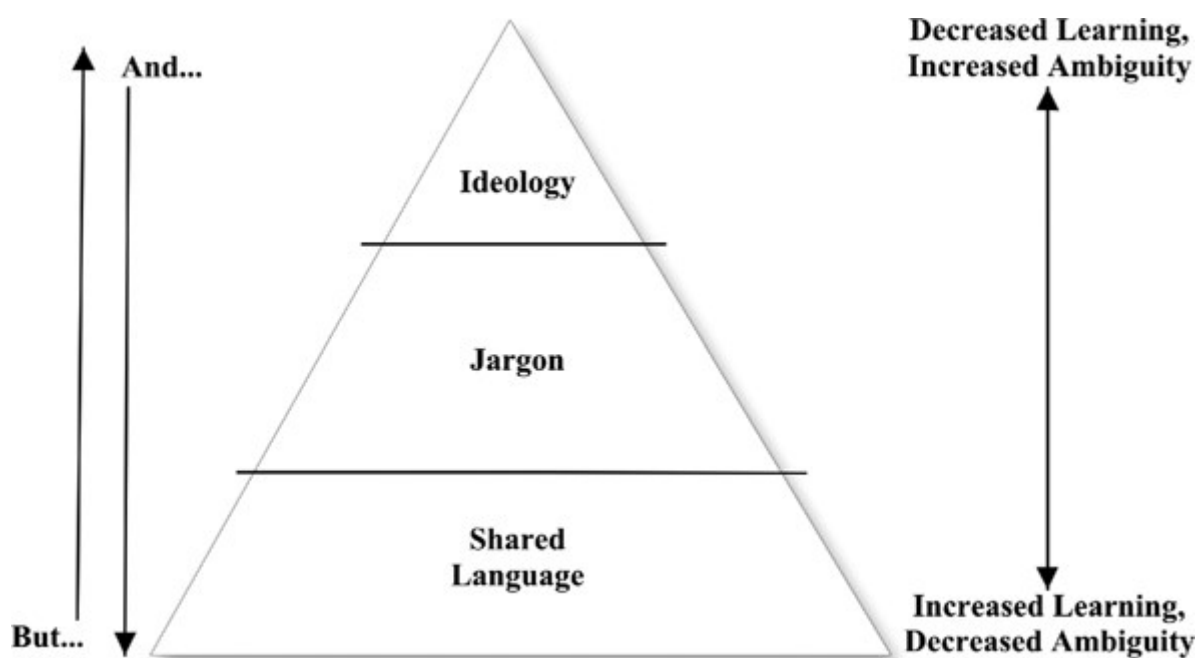
**Βιβλιογραφία:** Παρέχεται μια λίστα όλων των πηγών που χρησιμοποιήθηκαν στην εργασία.

## 1. Lean Manufacturing (Λιτή Παραγωγή)

### 1.1 Εισαγωγή στη μεθοδολογία Lean Manufacturing

#### 1.1.1 Ορισμός της μεθοδολογίας Lean Manufacturing και η σημασία της στη σύγχρονη παραγωγική διαδικασία

Κατά την περιγραφή ιδεών και εννοιών, η ανάπτυξη μιας κοινής γλώσσας θα πρέπει να είναι το πρώτο βήμα στη διάδοση αυτών. Δυστυχώς, κατά την επικοινωνία ιδεολογιών, η τάση είναι να χρησιμοποιείται χαλαρά καθορισμένη ορολογία με αποτέλεσμα συχνά να δημιουργείται σύγχυση για όσους βρίσκονται εκτός του συγκεκριμένου πλαισίου. Η ανάπτυξη μιας κοινής γλώσσας μπορεί να μειώσει την ασάφεια και να συμβάλλει στην αύξηση της μάθησης από όσους είναι λιγότερο εξοικειωμένοι με τη συγκεκριμένη ιδεολογία, όπως περιγράφεται στο Σχήμα 1.1 (Stone., 2012).



Σχήμα 1.1 Κατανόηση και ανάπτυξη κοινής γλώσσας (Lynham and Stone, 2009)

Ένα παράδειγμα κακώς καθορισμένης ορολογίας είναι ο όρος *lean*, που πιθανώς στα αγγλικά συνδέεται για τους περισσότερους ανθρώπους με μια εικόνα κόκκινου κρέατος με πολύ λίγο λίπος ή πιθανώς με την εικόνα της σωματικής διάπλασης ενός αθλητή. Όταν γίνεται η δήλωση

«είναι λιτός (lean)» σε ένα οργανωτικό πλαίσιο, η αρχική σκέψη συνδέεται συχνά με το «κάνω περισσότερα με λιγότερα» (Hampson, 1999; Ziskovsky and Ziskovsky, 2007; Radnor and Boaden, 2004). Ο Merriam-Webster (Lean, 2009) όρισε το lean ως «έλλειψη ή έλλειψη σάρκας, που περιέχει λίγο ή καθόλου λίπος, έλλειψη πλούτου, επάρκειας ή παραγωγικότητας, ελλιπής σε μια βασική ή σημαντική ποιότητα ή συστατικό».

Ακόμα, ο όρος «λιτή παραγωγή» έχει γίνει κάπως περίπλοκος από τότε που περιγράφηκε αρχικά από τους Womack et al. (1990) στο *The Machine that Changed the World*, το οποίο συνόψισε τα αποτελέσματα μιας πενταετούς ερευνητικής πρωτοβουλίας που φιλοξενήθηκε από το Ινστιτούτο Τεχνολογίας της Μασαχουσέτης (MIT) που ονομάζεται Διεθνές Πρόγραμμα Μηχανοκίνητων Οχημάτων (IMVP) που ξεκίνησε το 1985. Ο όρος «λιτή παραγωγή» ορίστηκε το 1990 για να περιγράψει τις τεχνικές παραγωγής που αναπτύχθηκαν τα τελευταία 100 χρόνια από την Toyota Motor Company (Baines et al., 2006; Emiliani, 2006; Holweg, 2007). Στο εσωτερικό της Toyota, οι ίδιες αρχές και φιλοσοφίες είναι γνωστές ως το σύστημα παραγωγής της Toyota (TPS) και πρόσφατα επαναδιατυπώθηκαν σε ένα εσωτερικό έγγραφο της Toyota που ονομάζεται «The Toyota Way» (Liker, 2004; Lander and Liker, 2007). Ο Hallam (2003) σημείωσε: «[...] ο ίδιος όρος έχει χρησιμοποιηθεί για να αναφέρεται σε τέσσερις πτυχές της βιομηχανίας, δηλαδή τη φιλοσοφία λειτουργίας, τα εργαλεία, τις δραστηριότητες και την κατάσταση του παραγωγού». Άλλοι όροι που συνήθως συνδέονται με τη λιτή παραγωγή είναι: Just-in-time (JIT), συνεχής βελτίωση (Continuous Improvement - CI), διοίκηση ολικής ποιότητας (Total Quality Management - TQM), παραγωγή παγκόσμιας κλάσης, θεωρία των περιορισμών (Theory of Constraints - TOC) και Six Sigma, για να αναφέρουμε μερικούς (Bendell, 2006; Cua et al., 2001; Dahlgaard and Dahlgaard-Park, 2006). Ο Hallam (2003) πρότεινε: [...] η σωστή οριοθέτηση της ορολογίας θα πρέπει στην πραγματικότητα να περιέχει τρεις όρους, έναν για την περιγραφή της τελικής κατάστασης, έναν για την περιγραφή της διαδικασίας που επιτυγχάνει την τελική κατάσταση και έναν για την περιγραφή των εργαλείων που χρησιμοποιούνται για την εκτέλεση της διαδικασίας. Ο όρος λιτή σκέψη αναφέρεται στη «λειτουργική φιλοσοφία» της βιομηχανίας και οι λιτές αρχές συνδέονται με τα «εργαλεία που χρησιμοποιούνται για την εκτέλεση» στρατηγικών λιτής σκέψης (Stone, 2012). Με απλά λόγια, το παράδειγμα λιτής σκέψης διαφοροποιεί μεταξύ σπατάλης και αξίας σε μία βιομηχανία. Οι Womack και Jones (1996b) όρισαν τις σπατάλες «ως κάθε ανθρώπινη



δραστηριότητα που απορροφά πόρους αλλά δεν δημιουργεί αξία». Η αξία ορίζεται ως «μια δυνατότητα που παρέχεται σε έναν πελάτη την κατάλληλη στιγμή στην κατάλληλη τιμή, όπως ορίζεται σε κάθε περίπτωση από τον πελάτη».

Η λιτή σκέψη σε δράση είναι ο συνεχής εντοπισμός και η εξάλειψη των σπαταλών από την παραγωγή μιας βιομηχανίας, αφήνοντας μόνο δραστηριότητες προστιθέμενης αξίας στη ροή αξίας (Rother and Shook, 1999). Εν ολίγοις, η πράξη του εντοπισμού και της εξάλειψης των σπαταλών είναι τα χαρακτηριστικά γνωρίσματα της λιτής σκέψης.

### **1.1.2 Ιστορία και προέλευση της μεθοδολογίας Lean Manufacturing**

Η μεθοδολογία Lean Manufacturing (LM) αν και δεν είναι μια νέα ιδέα, αντιπροσωπεύει τη συγχώνευση δύο καθιερωμένων και αποδεδειγμένων μεθοδολογιών. Σκοπός του είναι η βελτίωση της ποιότητας και η επίτευξη ανταγωνιστικού πλεονεκτήματος. Οι μελλοντικοί οργανισμοί αναζητούν συνεχώς τρόπους βελτιστοποίησης της αξίας και ενίσχυσης της κερδοφορίας. Ήταν αναπόφευκτο ότι τελικά θα συνδύαζαν τα δυνατά σημεία του Lean Thinking, που έχει τις ρίζες του στις πρακτικές της Toyota, με τη συστηματική αυστηρότητα του Six Sigma, που αρχικά αναπτύχθηκε από τη Motorola. Το αποτέλεσμα είναι μια προσέγγιση που επικεντρώνεται στην κατανόηση των αναγκών του πελάτη και στην παροχή εξαιρετικής αξίας (Anthony & Antony, 2022).

Ένα σημαντικό μέρος αυτού που τώρα αποκαλούμε μεθοδολογία LM έχει τις ρίζες του στο Σύστημα Παραγωγής Toyota (TPS). Αυτό το σύστημα ανάγεται στις καινοτομίες του Henry Ford στη γραμμή συναρμολόγησης στο Highland Park, Michigan, το 1913. Η Ford ενσωμάτωσε εναλλάξιμα εξαρτήματα, τυπικές διαδικασίες εργασίας και κινούμενους μεταφορείς για να πρωτοστατήσει σε αυτό που ονόμασε «παραγωγή ροής (flow production)», όπου αργότερα αναγνωρίστηκε ως κινητή γραμμή συναρμολόγησης. Επίσης, οργάνωσε τα βήματα παραγωγής σε μια διαδοχική διαδικασία, χρησιμοποιώντας εξειδικευμένα μηχανήματα και μετρητές ακριβείας για την γρήγορη κατασκευή και συναρμολόγηση εξαρτημάτων του οχήματος, με αποτέλεσμα τα εξαρτήματα που εφαρμόζουν τέλεια να παραδίδονται απευθείας στις γραμμές συναρμολόγησης. Αυτό σηματοδότησε την πραγματική επαναστατική ανακάλυψη της Ford (Anthony & Antony, 2022).

Τα παραδοσιακά αμερικανικά συστήματα παραγωγής βασίζονταν σε μηχανές γενικής χρήσης διατεταγμένες ανά διαδικασία. Το σύστημα της Ford διέπρεψε σε ροή, με τα αποθέματα ολόκληρης της εταιρείας να αλλάζουν κάθε λίγες μέρες. Ωστόσο, ο περιορισμός του έγκειται στην παροχή ποικιλίας. Το Model T, ενώ διατίθεται σε πολλαπλά στυλ αμαξώματος που προέρχονται από εξωτερικούς προμηθευτές, δεν είχε ποικιλία στις προδιαγραφές, με κάθε πλαίσιο να είναι ουσιαστικά πανομοιότυπο. Πριν από την τελική συναρμολόγηση, τα μηχανήματα της Ford δούλευαν κυρίως σε έναν μόνο αριθμό ανταλλακτικού, με ελάχιστες αλλαγές, περιορίζοντας την προσαρμογή (Anthony and Antony, 2022).

Η προσέγγιση της Toyota στην κατασκευή αυτοκινήτων εμφανίστηκε τη δεκαετία του 1930, εστιάζοντας στην εξάλειψη των σπαταλών, συμπεριλαμβανομένης της ανθρώπινης κίνησης χωρίς προστιθέμενη αξία. Οι Hall (1983) και Krafcik (1988) είναι αυτοί που επινόησαν τον όρο "Λιτή Παραγωγή" για να περιγράψει το σύστημα παραγωγής της Toyota.

Η μεθοδολογία LM εφαρμόζεται παραδοσιακά μέσω καθιερωμένων αρχών που στοχεύουν στην ελαχιστοποίηση των σπαταλών και στη βελτίωση της παραγωγικότητας. Αυτές οι αρχές περιλαμβάνουν τη μείωση των αποθεμάτων, την υιοθέτηση συστημάτων παραγωγής έλξης έναντι συστημάτων ώθησης και την προτίμηση συνεχών διεργασιών έναντι διεργασιών ανά παρτίδες, μεταξύ άλλων. Οι Womack και Jones (2003), διαχώρισαν περαιτέρω τις αρχές της μεθοδολογίας LM σε πέντε βασικές αρχές:

- Καθορισμός της αξίας που αναμένεται από τον πελάτη.
- Προσδιορισμός της ροής αξίας για κάθε προϊόν και έλεγχος όλων των περιττών βημάτων που εμπλέκονται επί του παρόντος στην παροχή του.
- Καθορισμός μιας συνεχής ροής του προϊόντος στα υπόλοιπα στάδια προστιθέμενης αξίας.
- Εφαρμογή ενός συστήματος έλξης μεταξύ όλων των σταδίων όπου η συνεχής ροή δεν είναι εφικτή.
- Προσπάθεια για την τελειότητα μειώνοντας συνεχώς τον αριθμό των βημάτων, του χρόνου και των πληροφοριών που απαιτούνται για την ικανοποίηση του πελάτη.

Στον πυρήνα της φιλοσοφίας της Lean βρίσκεται ο στόχος της εξάλειψης των σπαταλών εντός των διαδικασιών, ανακατευθύνοντας τις προσπάθειες προς την παροχή αξίας στον πελάτη. Οι



πρώτοι υποστηρικτές του Lean εντόπισαν επτά τύπους σπαταλών που επικρατούν στις διαδικασίες παραγωγής (Anthony & Antony, 2022):

- **Υπερπαραγωγή:** Δημιουργεί περισσότερα από όσα απαιτεί η πραγματική ζήτηση.
- **Υπερεπεξεργασία:** Συμμετοχή σε περιττή επανεπεξεργασία εξαρτημάτων ή υπερβολική επιθεώρηση.
- **Κίνηση:** Εμφάνιση υπερβολικής κίνησης εντός του εργασιακού περιβάλλοντος λόγω κακού εργονομικού σχεδιασμού.
- **Μεταφορές:** Η άσκοπη διακίνηση αγαθών σε όλη την αλυσίδα αξίας.
- **Απόθεμα:** Διατήρηση πλεονάζοντος αποθέματος, συχνά συγκαλύπτοντας τις ανεπάρκειες εντός και μεταξύ των βημάτων της διαδικασίας.
- **Αναμονή:** Παρεμπόδιση της ροής και της μεταφοράς υλικών και δεδομένων.
- **Ελαττώματα:** Αποτυχία ανταπόκρισης στις προσδοκίες των πελατών και μη επίτευξη «σωστής ποιότητας».

### *Η εμφάνιση του Lean Six Sigma*

Το Six Sigma εμφανίστηκε ως μια μεθοδολογία βελτίωσης διαδικασιών που πρωτοστάτησε στη Motorola κατά τη δεκαετία του 1980 με πρωταρχικό στόχο την ελαχιστοποίηση των ελαττωμάτων στις διαδικασίες της. Σκοπός της ήταν να επιτύχει ένα επίπεδο απόδοσης ισοδύναμο με ένα ποσοστό ελαττωμάτων 3,4 ελαττωμάτων ανά εκατομμύριο ευκαιρίες, αντιπροσωπεύοντας ένα σχεδόν άψογο λειτουργικό περιβάλλον για πολλές βιομηχανίες. Αυτό το σημείο αναφοράς σχετίζεται στατιστικά με την επίτευξη έξι τυπικών αποκλίσεων από τον μέσο όρο. Ο όρος "Six Sigma" προέρχεται από το μαθηματικό σύμβολο για την τυπική απόκλιση, που συμβολίζεται ως σίγμα (Anthony & Antony, 2022).

Παρόμοια με την εξελικτική ανάπτυξη των πρακτικών Lean, οι ρίζες της μεθοδολογίας Six Sigma μπορούν να εντοπιστούν στους ειδικούς ποιότητας της εποχής μετά τον Δεύτερο Παγκόσμιο Πόλεμο. Έμμεσα, η προέλευσή της μπορεί ακόμη και να συνδεθεί με τον Carl Frederick Gauss (1777–1855), ο οποίος εισήγαγε την έννοια της καμπύλης κανονικής κατανομής. Συγκεκριμένα, το Six Sigma ως πρότυπο μέτρησης της μεταβλητότητας του προϊόντος βρίσκει τις ρίζες του στη δεκαετία του 1920, όταν ο Walter Shewhart έδειξε ότι τρεις

τυπικές αποκλίσεις από τον μέσο όρο σημαίνουν το σημείο στο οποίο μια διαδικασία απαιτεί διόρθωση και δεν υπόκειται πλέον αποκλειστικά σε φυσική διακύμανση, μια έννοια γνωστή, σήμερα ως στατιστικός έλεγχος διεργασιών (SPC) (Anthony and Antony, 2022).

Πολλά από τα εργαλεία και τα πρότυπα που χρησιμοποιούνται στο Six Sigma σήμερα, όπως η ικανότητα διεργασίας και τα ελαττώματα ανά εκατομμύριο ευκαιρίες (DPMO), προέκυψαν από τις μεθοδολογίες ποιότητας που εισήγαγε ο Shewart. Ωστόσο, τα εύσημα για τη διάδοση του όρου "Six Sigma" αποδίδονται στον Bill Smith, μηχανικό της Motorola. Ενόψει του έντονου ανταγωνισμού, ιδιαίτερα από την Ιαπωνία, η Motorola ξεκίνησε έργα βελτίωσης γύρω στο 1987, με επικεφαλής τον Smith και άλλους. Στη συνέχεια, ο Mikel Harry και η ομάδα του συνεργάστηκαν με τον Smith για να αναπτύξουν αυτήν την προσέγγιση σε μια ολοκληρωμένη επιχειρηματική στρατηγική που στοχεύει στη διαφύλαξη της επιχείρησης τηλεειδοποίησης της Motorola. Επινόησαν τον όρο "Six Sigma" για να υποδηλώσουν τον στόχο της ελαχιστοποίησης της διακύμανσης στο βαθμό που τα όρια προδιαγραφών για βασικές μετρήσεις διεργασιών τοποθετήθηκαν έξι τυπικές αποκλίσεις μακριά από τον στόχο (Anthony & Antony, 2022).

Στον πυρήνα του, το Six Sigma παρείχε στη Motorola ένα δομημένο πλαίσιο επίλυσης προβλημάτων, το οποίο χρησιμεύει ως οδικός χάρτης καθοδήγησης για τη βιομηχανία. Σε εκείνο το σημείο, επινόησαν το πλαίσιο MAIC, που τα αρχικά του σημαίνουν μέτρηση (Measure), ανάλυση (Analyse), βελτίωση (Improve) και έλεγχος (Control). Αυτό το πλαίσιο συγκέντρωσε αποτελεσματικά διάφορα εργαλεία από το κίνημα ποιότητας μετά τον Β' Παγκόσμιο Πόλεμο σε ένα μοντέλο. Κατά συνέπεια, οι εργαζόμενοι θα μπορούσαν να εκπαιδευτούν σε αυτή τη μοναδική προσέγγιση, που εφαρμόζεται σε ένα ευρύ φάσμα προβλημάτων, αποφεύγοντας την ανάγκη για επανεφεύρεση του τροχού με κάθε νέο έργο. Η Motorola είδε σημαντικά αποτελέσματα, ωθώντας παρόμοιες βιομηχανίες να αναγνωρίσουν την υστέρησή τους και, μέχρι τη δεκαετία του 1990, οντότητες όπως η Honeywell και η AlliedSignal ξεκίνησαν τις δικές τους προσπάθειες Six Sigma. Ωστόσο, μόλις ο Διευθύνων Σύμβουλος της General Electric, Jack Welch, δήλωσε την υιοθέτηση του Six Sigma από τη GE το 1995, έγινε η μετάβαση από μια τοπική πρωτοβουλία σε ένα παγκόσμιο φαινόμενο. Η GE όχι μόνο ενέκρινε το Six Sigma αλλά έπαιξε επίσης καίριο ρόλο στη μεθοδολογική του εξέλιξη. Αντιμετωπίζοντας αρχικά προβλήματα, η GE ενσωμάτωσε μια φάση Ορισμός (Define) στην

αρχή της διαδικασίας MAIC, γεννώντας τη διαδικασία DMAIC — ακρογωνιαίο λίθο για τους επαγγελματίες του Six Sigma παγκοσμίως, διαμορφώνοντας τη διαχείριση έργων και τις προσπάθειες συνεχούς βελτίωσης (Anthony & Antony, 2022).

Η GE πρωτοστάτησε στην επέκταση των μεθοδολογιών βελτίωσης της παραγωγής, όπως η μεθοδολογία Lean και Six Sigma και σε μη παραγωγικά τμήματα. Με ένα σημαντικό οικονομικό σκέλος, την GE Capital, και σημαντική συμμετοχή στην υγειονομική περίθαλψη, η GE διεύρυνε την εφαρμογή της Six Sigma μέσω της πρωτοβουλίας «Εμπορική Ποιότητα». Κατά τη διάρκεια της ηγεσίας του Jack Welch, η Six Sigma επεκτάθηκε σε όλους τους τομείς της GE. Στα τέλη της δεκαετίας του 1990 και στις αρχές της δεκαετίας του 2000, η Six Sigma διείσδυσε σε διάφορους τομείς της αμερικανικής οικονομίας, με εταιρείες όπως η DuPont, η Dow Chemical, η 3M, η Ford και η American Express να υιοθετούν όλες τη μεθοδολογία Six Sigma για να προσφέρουν βελτιώσεις. Στο εξωτερικό, εταιρείες στην Ευρώπη και την Ασία αγκάλιασαν το Six Sigma, δημιουργώντας ένα νέο αντίπαλο για το Lean Thinking (Anthony and Antony, 2022).

Στις αρχές του 21ου αιώνα, και οι δύο μεθοδολογίες Six Sigma και Lean είχαν μεταμορφώσει το τοπίο στις βιομηχανίες, ωστόσο η καθεμία είχε το δικό της σύνολο περιορισμών, που φυσικά οδηγούσε σε μια αναπόφευκτη ενοποίηση των δύο προσεγγίσεων. Η Lean Thinking, για παράδειγμα, δεν είναι αρκετά ικανή για την επίλυση περίπλοκων ζητημάτων που απαιτούσαν εκτεταμένη ανάλυση δεδομένων και προηγμένες στατιστικές τεχνικές. Αντίθετα, οι επαγγελματίες της Six Sigma κατανόησαν ότι δεν είναι αναγκαίο κάθε πρόβλημα να απαιτεί μακροχρόνιες διαδικασίες συλλογής δεδομένων για την επίλυσή του. Κατά συνέπεια, οι υιοθέτες της Six Sigma άρχισαν να εμφυσούν τις αρχές της μεθοδολογίας Lean για να επισπεύσουν την αλλαγή, ενώ οι επαγγελματίες της μεθοδολογίας Lean άρχισαν να ενσωματώνουν δεδομένα με πιο εξελιγμένους τρόπους. Έγινε προφανές στους λάτρεις της οργανωσιακής βελτίωσης ότι μια μικτή προσέγγιση ήταν πιο αποτελεσματική από την αυστηρή τήρηση μιας μεμονωμένης μεθόδου. Τόσο η μεθοδολογία Lean όσο και η Six Sigma αντλούν από εργαλεία και τεχνικές με μακροχρόνιες ιστορίες, συχνά με σημαντική επικάλυψη. Ενώ ορισμένα εργαλεία κλίνουν περισσότερο προς τους παραδοσιακούς ρόλους Lean ή Six Sigma, η φύση του προβλήματος μπορεί να απαιτεί μια λύση Lean-centric ή Six Sigma-centric. Οι υποστηρικτές των μεθοδολογιών βελτίωσης υποστηρίζουν ότι αυτή η μικτή προσέγγιση θα

πρέπει επίσης να περιλαμβάνει άλλες στρατηγικές, όπως η συστημική σκέψη, η συνεργατική επίλυση προβλημάτων, το Triz ή ειδικές για τον κλάδο προσεγγίσεις, όπως το μοντέλο βελτίωσης του Διεθνούς Ινστιτούτου Υγείας, που θυμίζει τον κύκλο Plan Do Check Act (Anthony & Antony, 2022).

Το βασικό μάθημα που αντλήθηκε από την Toyota και την GE είναι η σημασία που έχει για τις βιομηχανίες να αποφύγουν την υιοθέτηση μιας προσωρινής μεθόδου που αλλάζει κάθε μήνα για την επίλυση όλων των προβλημάτων τους. Αντίθετα, θα πρέπει να υιοθετήσουν μια ολοκληρωμένη, μικτή προσέγγιση που καθοδηγείται από τη φύση του προβλήματος και όχι από φιλοσοφικές κλίσεις (Anthony and Antony, 2022).

### **1.1.3 Η σημασία των αρχών της μεθοδολογίας Lean για τη βελτίωση της αποδοτικότητας, τη μείωση της σπατάλης και την ενίσχυση της παραγωγικότητας**

Η μεθοδολογία Lean Six Sigma δεν διαθέτει ένα παγκοσμίως αναγνωρισμένο πρότυπο πιστοποίησης. Ενώ υπάρχουν προηγμένες πιστοποιήσεις για τη μεθοδολογία Lean, οργανισμοί, όπως το Institute of Six Sigma Professionals και το British Standards Institute προσφέρουν πρότυπα και πιστοποιήσεις για επαγγελματίες Six Sigma. Ωστόσο, η απουσία ενός παγκοσμίως αποδεκτού πλαισίου για τη μεθοδολογία Lean, Six Sigma έχει οδηγήσει σε διαφορετικά κριτήρια αξιολόγησης μεταξύ αυτών των οργανισμών, προκαλώντας σκεπτικισμό μεταξύ των υπαλλήλων προσλήψεων σχετικά με τη συνάφεια των εξωτερικών προσόντων και πιστοποιήσεων. Αυτός ο σκεπτικισμός έχει ωθήσει ορισμένους μεγαλύτερους οργανισμούς να επινοήσουν τις δικές τους εσωτερικές διαδικασίες πιστοποίησης. Παρά την απουσία ενός παγκοσμίως αναγνωρισμένου προτύπου, η μεθοδολογία Lean και Six Sigma έχουν κάνει σημαντικά βήματα από την έναρξή τους. Αυτές οι μεθοδολογίες βελτίωσαν την ποιότητα, μείωσαν τους χρόνους παράδοσης, ελαχιστοποίησαν τις σπατάλες, μετρίασαν τις περιβαλλοντικές επιπτώσεις και ενίσχυσαν την ικανοποίηση των πελατών σε διάφορους τομείς πέραν της παραγωγής, συμπεριλαμβανομένων των υπηρεσιών, της υγειονομικής περίθαλψης, της κυβέρνησης, μη κερδοσκοπικών οργανισμών και ιδρυμάτων τριτοβάθμιας εκπαίδευσης. Η συνεχιζόμενη επέκταση και εξέλιξη της μεθοδολογίας Lean Six Sigma όσον αφορά τη μεθοδολογία, τα εργαλεία και την εφαρμογή σε διάφορους τομείς και τύπους προβλημάτων δεν δείχνει σημάδια υποχώρησης. Ωστόσο, η μελλοντική πορεία των μεθοδολογιών επιχειρηματικής βελτίωσης, όπως η μεθοδολογία Lean Six Sigma, εξαρτάται από τις

συγκεκριμένες ανάγκες βελτίωσης των εμπλεκόμενων οργανισμών (Anthony & Antony, 2022).

Οι επίμονες και πρωτοεμφανιζόμενες τάσεις που δημιουργούν αυτές τις ανάγκες περιλαμβάνουν (Anthony & Antony, 2022):

- Την αέναη παγκοσμιοποίηση των αλυσίδων εφοδιασμού
- Τις περιβαλλοντικές και ενεργειακές προκλήσεις που επηρεάζουν τόσο τις αναπτυγμένες όσο και τις αναπτυσσόμενες χώρες
- Τους όλο και πιο απαιτητικούς και ενημερωμένους πελάτες
- Τον γρήγορο ρυθμό της τεχνολογικής προόδου και των δυνατοτήτων
- Την εμφάνιση των Big Data (Μεγάλα Δεδομένα) και η επίδρασή τους στη συμβατική στατιστική ανάλυση

Όπως πάντα, η μεθοδολογία Lean Six Sigma πρέπει να εξελιχθεί και να προσαρμοστεί για να αντιμετωπίσει αυτές και άλλες σύγχρονες παγκόσμιες αλλαγές.

Η συνέργεια μεταξύ μεθοδολογίας Lean και Six Sigma είναι ζωτικής σημασίας: Η μεθοδολογία Lean εστιάζει στην εξάλειψη των σπαταλών εντός και μεταξύ των βημάτων της διαδικασίας, ενώ η μεθοδολογία Six Sigma στοχεύει στη μείωση της διακύμανσης της διαδικασίας και στη βελτίωση της ποιότητας των εισροών. Ο βέλτιστος συνδυασμός της μεθοδολογίας Lean και Six Sigma, μαζί με τα αντίστοιχα εργαλεία τους, θα πρέπει να καθοδηγείται από το συγκεκριμένο πρόβλημα, αντί να καθοδηγείται από παροδικές ιδεολογίες ή τάσεις (Anthony & Antony, 2022).

Οι μελλοντικές προοπτικές για τη μεθοδολογία Lean Six Sigma είναι ελπιδοφόρες. Καθώς οι οργανωτικές ανάγκες εξελίσσονται, η μεθοδολογία Lean Six Sigma έχει αποδείξει την προσαρμοστικότητά της ώστε να ανταποκρίνεται στις απαιτήσεις των μελλοντικών γενεών. Στον πυρήνα της, η μεθοδολογία Lean Six Sigma υποστηρίζει τη συνεχή βελτίωση έναντι της διατήρησης του status quo, διασφαλίζοντας μακροπρόθεσμη βιωσιμότητα και συνάφεια (Anthony and Antony, 2022).

## 1.2 Αρχές της μεθοδολογίας Lean Manufacturing

### 1.2.1 Επεξήγηση των πέντε βασικών αρχών της μεθοδολογίας Lean Manufacturing: αξία, ροή αξίας, συνεχής ροή, έλξη και τελειότητα (5S)

Οι θεμελιώδεις αρχές της μεθοδολογίας LM περιστρέφονται γύρω από δύο βασικές έννοιες: την εξάλειψη των σπαταλών και τη δημιουργία αξίας. Όπως διατυπώθηκε από τους Womack and Jones (1996), Emiliani (1998), Spear (2004), Gershenfeld et al. (2002) και Hopp and Spearman (2004), η μεθοδολογία LM βασίζεται σε πέντε βασικές αρχές.

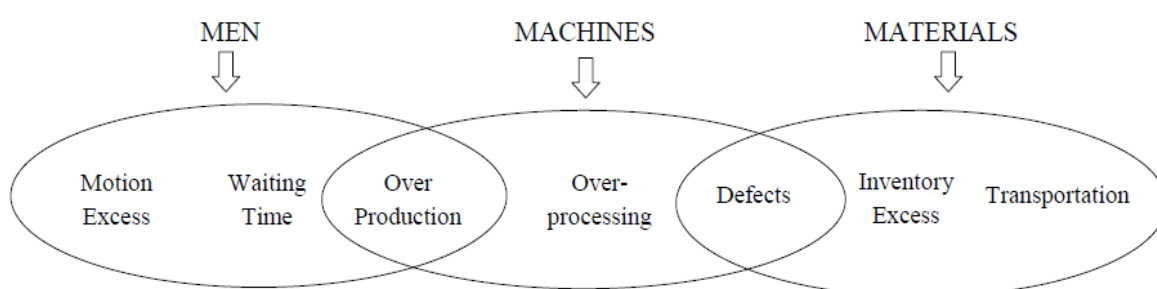
**1.Αναγνώριση των πελατών και ορισμός της αξίας:** Το αρχικό βήμα συνεπάγεται την αναγνώριση ότι μόνο ένα μικρό μέρος των προσπαθειών ενός οργανισμού συνεισφέρει πραγματικά αξία στον τελικό πελάτη. Καθορίζοντας με σαφήνεια τι συνιστά αξία για ένα συγκεκριμένο προϊόν ή υπηρεσία από τη σκοπιά του πελάτη, όλες οι δραστηριότητες που δεν έχουν αξία ή οι σπατάλες, μπορούν να στοχευθούν προς εξάλειψη. Η αξία καθορίζεται από την κατανόηση του τι επιθυμούν οι πελάτες, τότε και πώς το επιθυμούν και τον προτιμώμενο συνδυασμό χαρακτηριστικών, δυνατοτήτων, διαθεσιμότητας και τιμής.

**2.Χαρτογράφηση της ροής αξίας:** Οι εταιρείες σχεδιάζουν τις διαδικασίες παραγωγής τους για να διασφαλίσουν ότι κάθε βήμα προσθέτει αξία. Η Value Stream περιλαμβάνει τη σειρά διαδικασιών και δραστηριοτήτων σε ολόκληρο τον οργανισμό που εμπλέκονται στη συλλογική παράδοση του προϊόντος ή της υπηρεσίας. Αντιπροσωπεύει την ολιστική διαδικασία από την αρχή μέχρι το τέλος που προσφέρει αξία στον πελάτη. Αφού γίνουν κατανοητές οι απαιτήσεις των πελατών, το επόμενο βήμα είναι να αξιολογηθεί πώς αυτές εκπληρώνονται ή όχι. Η Value Stream εκτείνεται πέρα από τα όρια της εταιρείας, υπογραμμίζοντας τη σημασία της ενσωμάτωσης προμηθευτών, παραγωγών, διανομέων και λιανοπωλητών για τον εντοπισμό και την ανάλυση της ροής αξίας. Επιπλέον, οι δραστηριότητες κατηγοριοποιούνται σε εκείνες που προσθέτουν αξία, σε εκείνες που είναι αναπόφευκτες αλλά δεν προσθέτουν αξία και σε εκείνες που δεν προσθέτουν αξία και πρέπει να εξαλειφθούν.

**3.Επίτευξη ροής με εξάλειψη σπαταλών:** Η ροή συνεπάγεται εξορθολογισμό των διαδικασιών για την απρόσκοπτη εξέλιξη των προϊόντων μέσω βημάτων που προσθέτουν αξία. Αρχικά, κατά τη χαρτογράφηση της ροής αξίας, συχνά διαπιστώνεται ότι μόνο ένα μικρό ποσοστό δραστηριοτήτων προσθέτει αξία. Η εξάλειψη των σπαταλών διασφαλίζει την αδιάλειπτη ροή προϊόντων ή υπηρεσιών προς τον πελάτη, χωρίς καθυστερήσεις, παρακάμψεις



ή αναμονή. Στη μεθοδολογία LM, οι σπατάλες δεν είναι τα απορριπτόμενα υλικά, αλλά ορίζονται από αυτά που ο πελάτης αντιλαμβάνεται ως πολύτιμα ή όχι. Οι διαδικασίες που αποτυγχάνουν να προσθέσουν αξία, όπως ορίζει ο πελάτης, πρέπει να εξαλείφονται. Μπορούν να εξεταστούν διάφοροι τομείς για τον εντοπισμό ευκαιριών για μείωση των σπαταλών ή περίσσεια προϊόντος, όπως τονίζεται από τους Rawabdeh (2005) και Carter (2011) (Σχήμα 1.2).



**Σχήμα 1.2. Σπατάλες που πρέπει να εξαιρεθούν (Čiarniene & Vienazindiene., 2012)**

Η παραγωγή περισσότερων από ό,τι χρειάζεται έχει ως αποτέλεσμα τη σπατάλη ή την ανάγκη πώλησης προϊόντων σε μειωμένη τιμή. Η αποθήκευση αποθεμάτων είναι αναποτελεσματική και δεσμεύει το κεφάλαιο που θα μπορούσε να χρησιμοποιηθεί αλλού. Ενώ η διακίνηση αγαθών είναι τυπική στην παραγωγή, ο έλεγχος του εάν μέρος αυτής της κίνησης είναι περιττή μπορεί να εξοικονομήσει χρόνο και χρήμα. Η επανεπεξεργασία ελαττωματικών εξαρτημάτων συνεπάγεται σημαντικό πρόσθετο κόστος, ενώ ο επανασχεδιασμός των διαδικασιών παραγωγής για τον εξορθολογισμό της παραγωγής ανταλλακτικών είναι μια λιτή προσέγγιση που εξοικονομεί πόρους. Η εισαγωγή περιττών διαδικασιών που δεν προσθέτουν αξία στον πελάτη αυξάνει το κόστος και μειώνει την αποτελεσματικότητα της παραγωγής.

**4.Ανταπόκριση στη ζήτηση πελατών:** Αυτό περιλαμβάνει την κατανόηση των απαιτήσεων των πελατών και την ανάλογη ευθυγράμμιση των διαδικασιών, διασφαλίζοντας ότι η παραγωγή καθοδηγείται από τη ζήτηση των πελατών. Αυτό συνεπάγεται τη σύνδεση όλων των παραγωγικών δραστηριοτήτων, συμπεριλαμβανομένων των προμηθευτών, έτσι ώστε τα υλικά να απελευθερώνονται και οι δραστηριότητες να πραγματοποιούνται μόνο όταν είναι απαραίτητο. Αυτή η πειθαρχία καθιερώνεται και διατηρείται μέσω της χρήσης Kanban, τα

οποία είναι φυσικοί ή ηλεκτρονικοί μηχανισμοί για τη σηματοδότηση της ανάγκης για εξαρτήματα και υποσυστήματα από ένα στάδιο της διαδικασίας στο προηγούμενο.

**5.Επιδίωξη της τελειότητας:** Η τελειότητα συνεπάγεται συνεχείς προσπάθειες για την κάλυψη των αναγκών των πελατών και τη βελτίωση των διαδικασιών με μηδενικά ελαττώματα. Ενώ η δημιουργία ροής και έλξης περιλαμβάνει την αναδιοργάνωση μεμονωμένων βημάτων διαδικασίας, τα μεγαλύτερα κέρδη επιτυγχάνονται όταν αυτά τα βήματα αλληλοσυνδέονται. Καθώς αυτή η ενοποίηση προχωρά, τα στρώματα σπαταλών γίνονται όλο και πιο εμφανή, οδηγώντας τη διαδικασία προς το θεωρητικό ιδανικό της τελειότητας, όπου κάθε πλεονέκτημα και δράση προσθέτει αξία για τον τελικό πελάτη. Αυτή η νοοτροπία αναγνωρίζει ότι οι προσπάθειες βελτίωσης είναι συνεχείς και απαιτεί σταθερή δέσμευση στην πειθαρχία της συνεχούς βελτίωσης (kaizen).

Με την τήρηση αυτών των πέντε αρχών Lean, οι οργανισμοί καθιερώνουν μια φιλοσοφία που εδραιώνεται στις λειτουργίες τους. Αυτό διασφαλίζει την ευθυγράμμιση με τη συνολική στρατηγική του οργανισμού μέσω της τακτικής αναθεώρησης των διαδικασιών για τη σταθερή παροχή αξίας στους πελάτες. Μια τέτοια προσέγγιση επιτρέπει στους οργανισμούς να διατηρούν υψηλά πρότυπα υπηρεσιών, παραμένοντας προσαρμόσιμοι σε μεταβαλλόμενα περιβάλλοντα, που επιτυγχάνονται μέσω της εφαρμογής βιώσιμων αλλαγών (Čiarniene & Vienazindiene., 2012).

### **1.2.2 Πώς αυτές οι αρχές οδηγούν στη συνεχή βελτίωση και τη μείωση των σπαταλών**

Οι αρχές της μεθοδολογίας Lean έχουν αναλυθεί σε απλές έννοιες και εργαλεία. Ωστόσο, η εφαρμογή και η διατήρηση αυτών των αρχών δεν είναι καθόλου απλή. Η επιτυχία στο Lean Transformation εξαρτάται από τη διατήρηση των εφαρμοζόμενων αρχών, την απαίτηση δέσμευσης από τα ενδιαφερόμενα μέρη, με διαρκή εστίαση στη συνεχή βελτίωση (Guedes, 2017).

Αυτή η φιλοσοφία έχει βρει εφαρμογή σε διάφορους τομείς όπως η Εκπαίδευση, η Υγεία, οι Κατασκευές και οι Υπηρεσίες, αποφέροντας σταθερά αποδοτικότητα, αποτελεσματικότητα, μείωση κόστους και ελαττωμάτων. Η ενσωμάτωση της μεθοδολογίας Lean στις τεχνολογίες της πληροφορίας τονίζει την περαιτέρω καθολική εφαρμογή της (Guedes, 2017).



Όπως προαναφέρθηκε οι ρίζες της μεθοδολογίας Lean μπορούν να εντοπιστούν στην επιχειρησιακή αριστεία της Toyota μετά τον Β' Παγκόσμιο Πόλεμο, που ενσωματώθηκε στο Σύστημα Παραγωγής της Toyota (TPS). Απορρίπτοντας τη μαζική παραγωγή, η TPS δίνει προτεραιότητα στην ευελιξία, την παραγωγικότητα και μια στρατηγική μικρού όγκου που καθοδηγείται από συστήματα έλξης. Ωστόσο, η ενσωμάτωση της μεθοδολογίας Lean σε έναν συνοπτικό ορισμό αποδεικνύεται πρόκληση. Μπορεί να θεωρηθεί ως μια φιλοσοφία που δίνει έμφαση στην προσθήκη αξίας για τον πελάτη και στην επιδίωξη της τελειότητας. Εκδηλώνεται ως στυλ διοίκησης που προτρέπει την έρευνα, την ταχεία δράση και τη δέσμευση του εργατικού δυναμικού στο "Gemba" (π.χ. μέσω των "Κύκλων Ποιότητας"). Επιπλέον, η μεθοδολογία Lean ενθαρρύνει τον επανασχεδιασμό των διαδικασιών, προωθεί την αλλαγή και υποστηρίζει τη συνεχή βελτίωση. Ουσιαστικά, η μεθοδολογία LM ενσωματώνει μια φιλοσοφία που στοχεύει στον εξορθολογισμό της διαδικασίας από την παραγγελία έως την παράδοση στον πελάτη, περιορίζοντας έτσι την αναποτελεσματικότητα στην παραγωγή, όπως υποστήριξε ο Liker (1996). Με την εξάλειψη των σπαταλών, οι επιχειρήσεις μπορούν να ενισχύσουν σημαντικά την ανταγωνιστικότητα, όπως σημειώνει ο Kleiner (2005), ο οποίος τόνισε ότι οι ομαλότερες και πιο αποτελεσματικές λειτουργίες μπορούν να οδηγήσουν σε σημαντική αύξηση του μεριδίου αγοράς σε σύγκριση με τους ανταγωνιστές. Η ουσία της μεθοδολογίας Lean βρίσκεται στον συνεχή εντοπισμό και την εξάλειψη των σπαταλών. Ενώ υπάρχουν διάφορες ερμηνείες των σπαταλών. Συγγραφείς, όπως οι Bhasin και Burcher (2006) τις έχουν διακρίνει σε επτά τύπους, που αναφέρονται επίσης ως 7 "MUDA".

Οι επτά τύποι σπαταλών είναι: Υπερπαραγωγή, Αναμονή, Μεταφορά, Υπερβολική επεξεργασία, Υπέρβαση αποθέματος, Επανεπεξεργασία και Ελαττώματα. Ο σωστός εντοπισμός, η διόρθωση και η εξάλειψη των σπαταλών στο πλαίσιο της φιλοσοφίας Lean μπορεί να αποφέρει πολλά οφέλη. Ωστόσο, είναι σημαντικό να αναγνωρίσουμε ότι η πραγματική αξία της μεθοδολογίας Lean δεν έγκειται μόνο στη μείωση των σπαταλών αλλά μάλλον στη συνολική ενίσχυση του συστήματος (Guedes, 2017).

Ο αντίκτυπος των lean πρακτικών μπορεί να είναι αξιοσημείωτος (Guedes, 2017). Οι παραδοσιακές μέθοδοι παραγωγής θα μπορούσαν να δουν 90% μείωση του χρόνου παράδοσης, του αποθέματος και του κόστους ποιότητας, μαζί με μια αύξηση 50% στην εργασιακή παραγωγικότητα. Εν τω μεταξύ, η μεθοδολογία LM έχει αποδειχθεί ότι μειώνει τα

απόβλητα κατά 40%, μειώνει το κόστος κατά 15-70%, μειώνει τις απαιτήσεις χώρου και αποθέματος κατά 60%, ενισχύει την παραγωγικότητα κατά 15-40% και μειώνει τις αλλαγές διαδικασιών κατά 60%, όπως σημειώνεται από Ferch and Claudius Consulting (Bhasin and Burcher, 2006).

Επιπλέον, τα οφέλη της εφαρμογής της μεθοδολογίας Lean επεκτείνονται σε διάφορους τομείς, όπως η εμπορική αλυσίδα. Ο Bell (2006) παρατήρησε ότι η εφαρμογή της σε ένα αλιευτικό σκάφος είχε ως αποτέλεσμα μειωμένο φόρτο εργασίας, βελτιωμένη ποιότητα εργασίας για τους ψαράδες, μείωση 25% του χρόνου παραμονής στη θάλασσα για τους ίδιους στόχους, αύξηση 75% στους μισθούς του πληρώματος και ετήσια αύξηση εσόδων άνω των 2 εκατομμυρίων δολαρίων ανά σκάφος.

### 1.3 Βασικές Έννοιες

#### 1.3.1 Muda

Τα συστήματα Lean προσφέρουν βέλτιστες λύσεις για την κάλυψη των αναγκών όλων των ενδιαφερόμενων μερών της εταιρείας, συμπεριλαμβανομένων των επενδυτών, των πελατών, των προμηθευτών, των εργαζομένων και της κοινότητας (Emiliani et al., 2003). Ο πρωταρχικός στόχος είναι η δημιουργία αξίας για τον τελικό πελάτη εξαλείφοντας ή ελαχιστοποιώντας τις σπατάλες. Οι σπατάλες, που αναφέρονται ως "Muda" στα Ιαπωνικά, περιλαμβάνουν οποιαδήποτε δραστηριότητα που κλιμακώνει το κόστος χωρίς να προσθέτει αξία από την οπτική γωνία του πελάτη (Ohno, 1988· Womack and Jones, 1996). Στη βιβλιογραφία εντοπίζονται επτά τύποι σπαταλών που επικρατούν σε διάφορες διαδικασίες: ελαττώματα, σπατάλη κίνησης, υπερβολική επεξεργασία, υπέρβαση αποθέματος, υπερπαραγωγή, μεταφορά και αναμονή (Ohno, 1988; Womack et al., 1990; Womack and Jones, 1996; Agrawal, 2010).

Ο Ohno (1988) κατηγοριοποίησε τις σπατάλες (Muda) στους ακόλουθους επτά τύπους:

**Υπερπαραγωγή:** Παραγωγή σε υπερβολική ζήτηση, που ονομάστηκε περίφημα «ο δολοφόνος» από τους Ιάπωνες.

**Απόθεμα:** Συμπεριλαμβανομένων όλων των ανταλλακτικών, των εργασιών σε εξέλιξη και των τελικών προϊόντων που δεν υποβάλλονται σε ενεργή επεξεργασία.

**Αναμονή ή καθυστέρηση:** Αναφέρεται σε οποιαδήποτε παύση στη ροή της εργασίας λόγω καθυστερήσεων στην προηγούμενη διαδικασία.

**Υπερβολική επεξεργασία:** Συμμετοχή σε δραστηριότητες που δεν προσθέτουν αξία για τον πελάτη.

**Ελαττώματα:** Περιλαμβάνει όλες τις προσπάθειες που σχετίζονται με τον εντοπισμό και την επιδιόρθωση ελαττωμάτων, που τελικά καταλήγουν σε προϊόντα που δεν μπορούν να πωληθούν ή απαιτούν εκ νέου επεξεργασία.

**Μεταφορά:** Περιλαμβάνει την περιττή μετακίνηση υλικών που δεν είναι απαραίτητα για την επεξεργασία.

**Σπατάλη κίνησης:** Σχετίζεται με άτομα ή εξοπλισμό που κινούνται περισσότερο από ό,τι απαιτείται για την αποτελεσματική ολοκλήρωση της διαδικασίας.

Πρόσφατες έρευνες έχουν αρχίσει να διερευνούν τις Muda από διάφορες ακαδημαϊκές οπτικές τόσο στην παραγωγή όσο και στις υπηρεσίες. Αυτές οι μελέτες έχουν επικεντρωθεί στη χρήση διαφορετικών εργαλείων για την παρατήρηση, τον εντοπισμό και τη μέτρηση των σπαταλών. Για παράδειγμα, οι Salhie et al. (2019) διαπίστωσε μέσω ανάλυσης παλινδρόμησης ότι οι «επτά θανατηφόρες» σπατάλης ή οι Muda επηρεάζουν σημαντικά τη λειτουργική απόδοση της αποθήκης. Η μελέτη περιγράφει επίσης έναν οδικό χάρτη για την εφαρμογή πρακτικών μείωσης των σπαταλών στις αποθήκες. Ομοίως, οι Dinis-Carvalho et al. (2018) υποστήριξαν ότι τα αποτελέσματά τους απέδειξαν την αποτελεσματικότητα του διαγράμματος αναγνώρισης σπαταλών (WID) σε σύγκριση με τη χαρτογράφηση ροής αξίας. Οι συμμετέχοντες αναγνώρισαν τη συνάφεια των περισσότερων στοιχείων του WID. Τέλος, οι Suárez-Barraza et al. (2016) επιβεβαίωσαν την ταξινόμηση των Muda από τον Ohno, ενώ εντόπισαν επίσης νέα κοινά πρότυπα σπαταλών σε οργανισμούς του 21ου αιώνα.

### 1.3.2 Ιαπωνική φιλοσοφία Kaizen

Η ιαπωνική φιλοσοφία του kaizen, μαζί με τις σχετικές δραστηριότητές του, προσφέρει πολύτιμες γνώσεις για την ιαπωνική βιομηχανική κουλτούρα και τη νοοτροπία των εργαζομένων. Οι Macpherson et al. (2018) αναγνώρισαν δύο κοινές ερμηνείες της φιλοσοφίας kaizen στον ιαπωνικό πολιτισμό. Σε καθημερινά πλαίσια, υποδηλώνει συνεχή βελτίωση και επινοητικότητα. Ωστόσο, στη σφαίρα της βιομηχανίας και των επιχειρήσεων, υποδηλώνει το

αποτέλεσμα της δέσμευσης της διοίκησης για την προώθηση της επιχειρησιακής αριστείας μέσω της δυναμικής αλληλεπίδρασης μεταξύ των στόχων της διοίκησης που βασίζονται στο κέρδος και τον ανταγωνισμό, αλλά και στις δεξιότητες, τη δημιουργικότητα, την εμπιστοσύνη και την υπερηφάνεια των εργαζομένων.

Αυτή η συμβιωτική σχέση μεταξύ διοίκησης και εργαζομένων διευκολύνεται από την αξιοποίηση και τελειοποίηση διαφόρων εργαλείων και μεθοδολογιών, που χρησιμεύουν ως απτές εκδηλώσεις της συνεργασίας τους. Αυτά τα εργαλεία δημιουργούν δυναμική σε ολόκληρο τον οργανισμό, εμπνέοντας τους υπαλλήλους να επιδιώξουν ενεργά αλλαγές και καινοτόμες λύσεις Macpherson et al. (2018).

### **1.3.3 Μέθοδος Kanban**

Σε ένα σύστημα έλξης, η παραγωγή υπαγορεύεται από ένα προκαθορισμένο χρονοδιάγραμμα. Αυτό περιλαμβάνει τη δημιουργία ενός κύριου χρονοδιαγράμματος παραγωγής με βάση τις αναμενόμενες μελλοντικές απαιτήσεις, το οποίο στη συνέχεια αναλύεται σε λεπτομερή χρονοδιαγράμματα για την παραγωγή ή την προμήθεια πρώτων υλών. Αυτή η μέθοδος, γνωστή ως Σχεδιασμός Απαιτήσεων Υλικών (MRP), είναι επιρρεπής σε ανακρίβειες, επειδή βασίζεται στην πρόβλεψη της ζήτησης των πελατών, που συχνά οδηγεί σε υπερβολικό απόθεμα ορισμένων πρώτων υλών.

Αντίθετα, το σύστημα Kanban λειτουργεί με βάση την αρχή του συστήματος pull (έλξης). Κάθε στάδιο παραγωγής διατηρεί ένα συγκεκριμένο επίπεδο αποθέματος και το επόμενο στάδιο παραγγέλνει και αποσύρει μόνο πρώτες ύλες από το προηγούμενο στάδιο, όπως χρειάζεται, ταιριάζοντας ακριβώς με τα ποσοστά κατανάλωσης. Αυτό εξαλείφει την ανάγκη για προβλέψεις, αποτρέποντας έτσι το υπερβολικό απόθεμα (Raut et al., 2015).

### **1.3.4 Just In Time παραγωγή**

Κατά την εφαρμογή του συστήματος Just-in-Time (JIT), που βασίζεται σε αρχές που αναπτύχθηκαν από τον Taiichi Ohno, πρέπει να τονιστούν δύο βασικοί πόροι: πρώτον, μόνο τα απαραίτητα προϊόντα κατασκευάζονται στον απαραίτητο χρόνο και στην απαραίτητη ποσότητα, ελαχιστοποιώντας τα επίπεδα αποθεμάτων. Δεύτερον, το σύστημα δίνει έμφαση στον σεβασμό για τον άνθρωπο, επιτρέποντας στους εργαζόμενους να αξιοποιήσουν πλήρως

τις δυνατότητές τους μέσω της ενεργού συμμετοχής στα καθήκοντά τους και τις βελτιώσεις τους (Produção et al., 2022).

Οι πρακτικές JIT εκτείνονται από τη διαχείριση αποθεμάτων έως τα συστήματα λογισμικού με τεχνικές συλλογής JIT, παρέχοντας ένα ευρύ φάσμα εφαρμογών για τις επιχειρήσεις. Οι οργανισμοί βλέπουν τα συστήματα JIT, τη διαχείριση ολικής ποιότητας και τη διαχείριση της εφοδιαστικής αλυσίδας ως βασικά στοιχεία της επιχειρησιακής τους στρατηγικής. Αυτές οι πρακτικές βοηθούν τους οργανισμούς να επιτύχουν τους στόχους τους, να ενισχύσουν την ανταγωνιστικότητα και να αυξήσουν το μερίδιο αγοράς (Iqbal et al., 2018).

Πρόσφατες μελέτες επικεντρώνονται στον περιβαλλοντικό αντίκτυπο των συστημάτων JIT, αποκαλύπτοντας συγκρούσεις μεταξύ περιβαλλοντικών και οικονομικών επιδόσεων (Kong et al., 2018). Πρακτικές, όπως η διαχείριση της πράσινης αλυσίδας εφοδιασμού, ο συνολικός ποιοτικός έλεγχος και το σύστημα JIT επηρεάζουν θετικά τόσο τη λειτουργική όσο και την επιχειρηματική απόδοση (Agyabeng-Mensah et al., 2021).

## **1.4 Εργαλεία και τεχνικές Lean Manufacturing**

### **1.4.1 Χαρτογράφηση ροής αξίας**

Βάσει των αρχών της μεθοδολογίας LM, η χαρτογράφηση ροής αξίας (VSM) επιτρέπει τον προσδιορισμό των διαδικασιών που προσθέτουν αξία. Ουσιαστικά, η VSM είναι αφιερωμένη στην ελαχιστοποίηση της σπατάλης προκειμένου να ενισχύσει την αξία. Μέσω της εφαρμογής της VSM, οι οργανισμοί μπορούν να εντοπίσουν τις λειτουργικές ανεπάρκειες και στη συνέχεια να τις εξαλείψουν, ενισχύοντας έτσι τη δημιουργία αξίας για τους πελάτες (Dadashnejad & Valmohammadi, 2018).

Πολλές εταιρείες ξεκινούν έργα βελτίωσης χωρίς πρώτα να αναπτύξουν ένα ολοκληρωμένο σχέδιο, με αποτέλεσμα ημιτελείς δραστηριότητες που δεν έχουν τα επιθυμητά αποτελέσματα. Η χαρτογράφηση ροής αξίας (VSM) προτείνεται ως μέθοδος για την έναρξη βελτιωτικών αλλαγών και την υποστήριξη των αρχών της μεθοδολογίας LM (Rader and Shok, 2006). Μια ροή αξίας περιλαμβάνει δραστηριότητες προστιθέμενης και μη προστιθέμενης αξίας που είναι απαραίτητες για την παράδοση προϊόντων στους πελάτες, χρησιμοποιώντας τους ίδιους πόρους σε όλη την κύρια διαδικασία. Από την απόκτηση πρώτων υλών έως την παράδοση προϊόντων, περιλαμβάνει όλες τις εμπλεκόμενες δραστηριότητες. Η VSM παρέχει μια

ολιστική άποψη της παραγωγικής διαδικασίας και χρησιμοποιείται ως εργαλείο για τη βελτίωση της επιχείρησης. Στόχος της είναι να αποκαλύψει όλες τις ανεπάρκειες της τρέχουσας ροής αξίας και να εφαρμόσει μέτρα για την εξάλειψή τους. Η VSM διαφημίζεται ως ένα ανεκτίμητο εργαλείο για στρατηγικό σχεδιασμό, διευκολύνοντας τον εντοπισμό των δυνατών και αδυναμιών της ροής παραγωγής και της διαδικασίας. Σε κάθε στάδιο αυτής της μεθόδου, τίθεται ένα κρίσιμο ερώτημα: Ενισχύει αυτό το βήμα την αξία του τελικού προϊόντος από την οπτική του πελάτη; Αυτό υπογραμμίζει τη σημασία κάθε βήματος που συμβάλλει στη βελτίωση της αποτελεσματικότητας της απόδοσης ή της ποιότητας του προϊόντος. Η VSM ξεχωρίζει ως μία από τις πιο αποτελεσματικές μεθόδους για τη λήψη αποφάσεων και τον καθορισμό ενός σταθερού σημείου εκκίνησης για την εφαρμογή λιτών πρακτικών. Χρησιμοποιώντας λιτές μεθόδους και τεχνικές, αυτό το εργαλείο χαρτογράφησης εντοπίζει τα εμπόδια που εμποδίζουν τη συνεχή ροή των υλικών και εντοπίζει ευκαιρίες για μείωση των απωλειών (Rader and Shok, 2006).

Για την τυποποίηση και την εναρμόνιση του λειτουργικού σταδίου και την απεικόνιση των ροών υλικών και των ροών δεδομένων εντός της χαρτογράφησης ροής αξίας (VSM), απαιτούνται συγκεκριμένα σύμβολα (Dadashnejad & Valmohammadi, 2018).

Ο χάρτης περιλαμβάνει δύο κύριες ροές: υλικό και πληροφορίες. Οι ροές πληροφοριών εμφανίζονται στα ανώτερα τμήματα της VSM, απεικονίζοντας τον τρόπο ανταλλαγής πληροφοριών μεταξύ παραγωγών, προμηθευτών και πελατών. Στο κατώτερο τμήμα, οι ροές υλικών περιγράφονται με βάση τα στάδια της διαδικασίας (Dadashnejad, 2018).

#### **1.4.2 Επιχειρησιακό μοντέλο 5s**

Το επιχειρησιακό μοντέλο 5S χρησιμεύει ως βασικό εργαλείο στο πλαίσιο της φιλοσοφίας Lean. Ευρέως αναγνωρισμένη ως ακρογωνιαίος λίθος της μεθοδολογίας LM, η φιλοσοφία 5S επιτρέπει στις επιχειρήσεις να δημιουργήσουν το απαραίτητο σύστημα και λειτουργική σταθερότητα για την αποτελεσματική εφαρμογή διαφόρων πρωτοβουλιών συνεχούς βελτίωσης (Brady Worldwide Inc., 2008). Η βιώσιμη παραγωγή, που περιλαμβάνει έννοιες όπως η οικολογική απόδοση, η ανακατασκευή, η πράσινη τεχνολογία και η καθαρότερη παραγωγή, έχει τονίσει τη σημασία των πρακτικών της 5S (Vimal and Vinodh, 2013).



Οι αρχές της μεθοδολογίας 5S στοχεύουν στην ενίσχυση της τάξης, της καθαριότητας και της ασφάλειας στο χώρο εργασίας, δημιουργώντας τελικά ένα παραγωγικό και ασφαλές περιβάλλον για τους εργαζόμενους. Ο πρωταρχικός στόχος είναι να ενισχυθεί η παραγωγικότητα της εργασίας, εξαλείφοντας παράλληλα δραστηριότητες που δεν προσθέτουν αξία, όπως ο χρόνος που αφιερώνεται στην αναζήτηση. Η 5S δίνει προτεραιότητα στην παράδοση του «σωστού προϊόντος» στον πελάτη —τόσο εσωτερικά όσο και εξωτερικά— τη σωστή στιγμή και στις κατάλληλες ποσότητες. Εκλαμβάνεται ως μια φιλοσοφία για την επίτευξη συνεχών βελτιώσεων στην παραγωγικότητα, την ποιότητα, την απόδοση και την ασφάλεια στο χώρο εργασίας (Kumar and Kumar, 2012). Ο Ho (2006) έχει τοποθετήσει τις πρακτικές 5S ως το θεμελιώδες βήμα προς την επίτευξη των προτύπων Διαχείρισης Ολικής Ποιότητας (TQM), ISO 9000, ISO 14001 και OHSAS18001. Επιπλέον, η μεθοδολογία 5S έχει αναγνωριστεί ως μέρος των τεχνικών πράσινης παραγωγικότητας (Johansson, 2006).

Οι αρχές της 5S έχουν σχεδιαστεί για να οδηγούν σε συνεχή βελτίωση του χώρου εργασίας μέσω του συνεχούς εντοπισμού και εξάλειψης των σπαταλών στα συστήματα παραγωγής. Προέρχονται από πέντε ιαπωνικές λέξεις που ξεκινούν με τους ήχους «se» ή «shi» και έχουν μεταφραστεί στα αγγλικά για λόγους σαφήνειας. Το ακρωνύμιο '5S' αντιπροσωπεύει τους ακόλουθους ιαπωνικούς όρους: Seiri (Ταξινόμηση), Seiton (Διάταξη), Seiso (Καθαριότητα), Seiketsu (Συστηματοποίηση) και Shitsuke (Πειθαρχία). Αυτή η μεθοδολογία είναι εξαιρετικά αποτελεσματική στα πλαίσια της Διοίκησης Ολικής Ποιότητας (TQM), προσφέροντας αποτελεσματικά μέσα για τη βελτίωση της συνολικής οργανωτικής απόδοσης (Singh & Ahuja, 2015).

Η μεθοδολογία 5S, που έχει τις ρίζες της στην Ιαπωνία, έχει αποδειχθεί εξαιρετικά αποτελεσματική σε διάφορους κλάδους, τόσο στον τομέα της μεταποίησης όσο και στις υπηρεσίες. Τα αποτελέσματά της, που συχνά συνοψίζονται ως πρόληψη περιστατικών, μειωμένες καθυστερήσεις και αυξημένη παραγωγικότητα, στοχεύουν ουσιαστικά στην πρόληψη των ζημιών. Παρά τη φαινομενικά απλή φύση της, πολλές επιχειρήσεις δυσκολεύονται με την εφαρμογή της μεθοδολογίας αυτής λόγω έλλειψης κατανόησης μεταξύ των διευθυντών και των στελεχών σχετικά με τους βασικούς στόχους της. Επομένως, χωρίς την πλήρη κατανόηση των αρχών της, η δημιουργία ενός ευνοϊκού περιβάλλοντος για την εφαρμογή της 5S παραμένει πρόκληση. Προερχόμενη από πέντε ιαπωνικές λέξεις που

ξεκινούν με «S», η μεθοδολογία 5S χρησιμεύει ως θεμελιώδες εργαλείο για τη μεθοδολογία LM, βοηθώντας στη μείωση των σπαταλών και στη βελτίωση του κέρδους. Στο Σύστημα Παραγωγής Toyota (TPS), η 5S λειτουργεί ως μέσο οπτικοποίησης προβλημάτων και συμβάλλει στον οπτικό έλεγχο ενός καλά σχεδιασμένου lean συστήματος, που στοχεύει στη βελτίωση των ροών προστιθέμενης αξίας. Ο πρωταρχικός στόχος της 5s είναι να οργανώσει τον χώρο εργασίας για να βελτιώσει την ασφάλεια και την αποτελεσματικότητα, μειώνοντας παράλληλα τα ποσοστά ελαττωμάτων του προϊόντος. Τα αντιληπτά οφέλη από την επιτυχημένη εφαρμογή της 5S περιλαμβάνουν διάφορες πτυχές, όπως μειωμένους χρόνους αναζήτησης, βελτιωμένη καθαριότητα, βελτιωμένη αναγνώριση ελαττωμάτων, ελαχιστοποίηση της περιττής κίνησης, μειωμένο χρόνο αναμονής, λιγότερους κινδύνους, βελτιωμένη ροή, μειωμένα σφάλματα, βελτιωμένη οπτική διαχείριση και βελτιστοποιημένη χρήση χώρου. Αυτά τα συλλογικά πλεονεκτήματα μεταφράζονται σε βελτιώσεις όσον αφορά την παραγωγικότητα, την ποιότητα, το κόστος, την παράδοση, την ασφάλεια και το ηθικό των εργαζομένων (Singh & Ahuja, 2015).

Στο σημερινό έντονα ανταγωνιστικό τοπίο, οι βιομηχανίες αντιμετωπίζουν την πρόκληση να ανταποκριθούν στην αυξημένη ζήτηση χωρίς να αυξήσουν την τιμή πώλησης των προϊόντων τους. Αυτή η πίεση ανάγκασε τις βιομηχανίες και τους οργανισμούς παροχής υπηρεσιών να βελτιώσουν την αποτελεσματικότητα της παραγωγής και των συναφών λειτουργιών τους, με στόχο να ενισχύσουν το τελικό αποτέλεσμα μειώνοντας το κόστος. Κατά συνέπεια, υπάρχει μια αυξανόμενη επιτακτική ανάγκη στους κλάδους αυτούς για την ολική υιοθέτηση των αρχών 5S. Η 5S έχει αναδειχθεί ως ένα ισχυρό θεμέλιο για διάφορες προσπάθειες βελτίωσης της μεθοδολογίας LM, που επικεντρώνονται στην εξάλειψη των σπαταλών από τις παραγωγικές διαδικασίες και στην προώθηση συνεχών βελτιώσεων σε όλες τις οργανωτικές λειτουργίες για την ενίσχυση της οικονομικής απόδοσης (Singh & Ahuja, 2015).

Η εφαρμογή της 5S εξοπλίζει τους οργανισμούς με τη δομή και την πειθαρχία που είναι απαραίτητη για την επιτυχή εκτέλεση διαφόρων πρωτοβουλιών συνεχούς βελτίωσης στο πλαίσιο της μεθοδολογίας LM (Singh & Ahuja, 2015).

Οι βασικοί στόχοι ενός προγράμματος ανάπτυξης 5S περιστρέφονται γύρω από την καλλιέργεια μιας κουλτούρας συνεχούς βελτίωσης, την προώθηση της ομαδικής εργασίας μέσω ενεργού συμμετοχής από όλα τα επίπεδα του εργατικού δυναμικού, την καλλιέργεια



πρακτικών ηγετικών δεξιοτήτων μεταξύ των διευθυντών και των εποπτών και τη βελτίωση της υποδομής για την υποστήριξη της υιοθέτησης προηγμένων τεχνολογιών βελτίωσης (Singh & Ahuja, 2015).

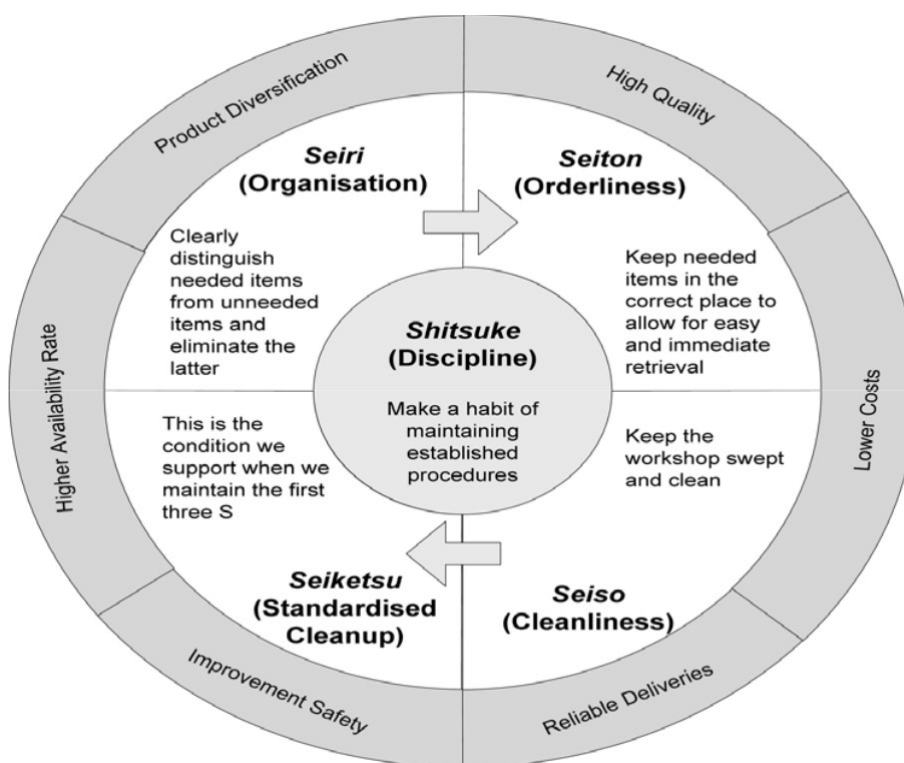
Ο Tsuchiya (1999) υπογραμμίζει τα σημαντικά οφέλη της 5S, που ενσωματώνονται στο ακρωνύμιο PQCDMS: Παραγωγικότητα (Production) – ενισχυμένη ανταγωνιστικότητα, Ποιότητα (Quality) – εξάλειψη ελαττωμάτων, Κόστος (Cost) – μείωση σπαταλών, Παράδοση (Delivery) – διασφάλιση 100% εκπλήρωσης της παραγγελίας του πελάτη, Ασφάλεια (Safety) – πρόληψη ατυχημάτων και Ηθική (Morality) – προώθηση της ομαδικής εργασίας και της θετικότητας στο χώρο εργασίας.

Η χρήση της 5S ως στρατηγικής για την επίτευξη επιχειρηματικής αριστείας ήταν εμφανής στην Ιαπωνία από τον Δεύτερο Παγκόσμιο Πόλεμο (De Mente, 1994). Ο Osada (1989) εισήγαγε τη 5S στις αρχές της δεκαετίας του 1980 με στόχο τη σημαντική βελτίωση των περιβαλλοντικών επιδόσεων στην παραγωγή και τις υπηρεσίες. Μετά την εισαγωγή του και την ευρεία αποδοχή του από τις ιαπωνικές εταιρείες, οι πρακτικές 5S έχουν υιοθετηθεί με επιτυχία σε πολλές δυτικές χώρες, συμπεριλαμβανομένων των ΗΠΑ (Singh & Ahuja, 2015).

Αρχικά, η 5S ενσωματώθηκε στο σύστημα παραγωγής της Toyota Motor Corporation ως μέρος του συστήματος παραγωγής της Toyota (TPS). Επιπλέον, η 5S έχει χρησιμοποιηθεί εκτενώς στα συστήματα Διαχείρισης Ολικής Ποιότητας (TQM) (Yusof and Aspinwall, 2001; Ahmed and Hassan, 2003). Στον σημερινό γρήγορο και τεχνολογικά προηγμένο κόσμο, η προσέγγιση 5S θεωρείται απαραίτητη για την επιβίωση κάθε εταιρείας στα αντίστοιχα προϊόντα και υπηρεσίες της (Singh & Ahuja, 2015).

Τα πέντε βασικά στοιχεία της μεθοδολογίας 5S, γνωστά ως Seiri, Seiton, Seiso, Seiketsu και Shitsuke, έχουν αναγνωριστεί ως οι πυλώνες ενός ολοκληρωμένου περιβάλλοντος ποιότητας (Abdul Aziz et al., 2014). Μεταφρασμένοι, αυτοί οι όροι σημαίνουν ταξινόμηση, διάταξη, καθαριότητα, συστηματοποίηση και πειθαρχία, αντίστοιχα. Η 5S θέτει τη βάση για μια υγιή, άνετη και παραγωγική επαγγελματική ζωή για όλα τα άτομα που εμπλέκονται (Osada, 1991). Συνεπάγεται την οργάνωση του χώρου εργασίας, τη διατήρηση της καθαριότητας, τη δημιουργία τυποποιημένων συνθηκών και την ενίσχυση της πειθαρχίας που απαιτείται για τη βέλτιστη απόδοση.

Οι αρχές της 5S ισχύουν καθολικά σε όλους τους κλάδους, συμπεριλαμβανομένων των τομέων της μεταποίησης, του εμπορίου και των υπηρεσιών. Οι βασικοί παράγοντες για την επιτυχή εφαρμογή της 5S περιλαμβάνουν τη συνεχή δέσμευση και υποστήριξη από την ανώτατη διοίκηση, την ολοκληρωμένη εκπαίδευση και κατάρτιση, τη δέσμευση ολόκληρου του εργατικού δυναμικού και την τυποποίηση για διαρκή μακροπρόθεσμη εκτέλεση (Tsuchiya, 1999; Sidhu et al., 2013). Η 5S χρησιμεύει ως το θεμέλιο για την επίτευξη ενός περιβάλλοντος συνολικής ποιότητας (Osada, 1991), με την αλληλεπίδραση μεταξύ των διαφόρων βημάτων της που απεικονίζονται στο Σχήμα 1.3.



**Σχήμα 1.3. Αλληλεπίδραση μεταξύ των διαφορετικών βημάτων της μεθοδολογίας «5S» (Singh & Ahuja, 2015)**

Αναλύοντας τη σημασία κάθε «S»:

Το Seiri (οργάνωση) σημαίνει «βάζω τα πράγματα στη θέση τους – τα οργανώνω - σύμφωνα με συγκεκριμένους κανόνες ή αρχές», ξεκινώντας με τη διάκριση μεταξύ απαραίτητων και περιττών αντικειμένων για τη βελτιστοποίηση της χρήσης του χώρου εργασίας και τη μείωση των κινδύνων (Singh & Ahuja, 2015).

Το Seiton (τακτοποίηση) εστιάζει στην τοποθέτηση των αντικειμένων στις σωστές θέσεις για γρήγορη πρόσβαση, δίνοντας προτεραιότητα στην αναγκαιότητα και τη σημασία τους για τον εξορθολογισμό των λειτουργιών και τη διευκόλυνση του προγραμματισμού (Singh & Ahuja, 2015).

Το Seiso (καθαριότητα) δίνει έμφαση στον αυτοέλεγχο, την καθαριότητα και τα προληπτικά μέτρα για τη διατήρηση ενός άψογου χώρου εργασίας, συμπεριλαμβανομένων δραστηριοτήτων, όπως ο ενδεδειγμένος καθαρισμός, η συντήρηση και η χρήση οπτικών ενδείξεων για την οριοθέτηση των χώρων δραστηριότητας (Brady Worldwide Inc., 2008).

Το Seiketsu (τυποποίηση) συνεπάγεται τη διατήρηση της παραγωγικότητας και της άνεσης στο χώρο εργασίας μέσω της επαναλαμβανόμενης εφαρμογής του Seiri-Seiton-Seiso, που περιλαμβάνει την ανάπτυξη τυπικών διαδικασιών λειτουργίας και την ανάπτυξη οπτικών ελέγχων για τη διασφάλιση της σωστής προσέγγισης σε επίπεδο οργάνωσης (Singh & Ahuja, 2015).

Το Shitsuke (διατήρηση) είναι ζωτικής σημασίας για τη διατήρηση των κερδών που επιτυγχάνονται μέσω επιτυχημένων πρωτοβουλιών 5S, που απαιτούν συνεχή έλεγχο για τη διατήρηση της βελτίωσης της απόδοσης (Patel and Thakkar, 2014).

Τα αξιοσημείωτα, μετρήσιμα οφέλη που προκύπτουν από το πρόγραμμα 5S περιλαμβάνουν (Singh & Ahuja, 2015):

- Αυξημένη παραγωγικότητα και ποιότητα λειτουργιών
- Μείωση των εργασιών σε εξέλιξη και του χρόνου παράδοσης
- Βελτιωμένη ασφάλεια, με αποτέλεσμα λιγότερα ατυχήματα και επικίνδυνες καταστάσεις
- Δημιουργία περισσότερων και καλύτερων ιδεών μέσα από απτά αποτελέσματα
- Μείωση των χρόνων αναζήτησης και του σχετικού κόστους
- Βελτιωμένη αξιοπιστία και δυνατότητα συντήρησης του εξοπλισμού, που οδηγεί σε αυξημένη ποιότητα και παραγωγικότητα
- Βέλτιστη αξιοποίηση του εξοπλισμού και των πόρων διαχείρισης καθ' όλη τη διάρκεια του κύκλου ζωής τους

•Ανάπτυξη τεχνογνωσίας και δεξιοτήτων σχετικά με τον εξοπλισμό μεταξύ των χειριστών

Εκτός από αυτά τα απτά οφέλη, υπάρχουν αρκετά άυλα πλεονεκτήματα που πραγματοποιούνται μέσω του προγράμματος 5S, όπως περιγράφονται παρακάτω (Singh & Ahuja, 2015):

•Βελτίωση της εικόνας της εταιρείας

•Δημιουργία ενθουσιώδους και ενθαρρυντικού περιβάλλοντος εργασίας

•Μείωση δραστηριοτήτων που δεν προσθέτουν αξία

•Βελτίωση των συνθηκών εργασίας και αυξημένη άνεση

•Μείωση της περιττής ανθρώπινης κίνησης και μεταφοράς εμπορευμάτων

•Βελτιωμένη ασφάλεια στο χώρο εργασίας

•Προώθηση του συντονισμού και της ομαδικής εργασίας μεταξύ των εργαζομένων

•Βελτιωμένη αξιοποίηση του χώρου

•Διευκόλυνση της προσαρμογής σε μια κουλτούρα συνεχούς βελτίωσης (kaizen) εντός του οργανισμού

•Ενθάρρυνση της μεγαλύτερης συμμετοχής των εργαζομένων

•Μετριασμός της κουλτούρας ευθυνών για ελαττώματα

•Προώθηση της αυξημένης αποδοτικότητας και του ρυθμού εργασίας μεταξύ των εργαζομένων (Dossenbach, 2000).

Με βάση την παραπάνω θεωρία διατυπώνεται η εξής ερευνητική ερώτηση:

*EPI. Σε ποιο βαθμό οι Ελληνικές επιχειρήσεις εφαρμόζουν πρακτικές Lean Manufacturing?*

## 2.Τεχνολογίες Industry 4.0 (I4.0)

### 2.1 Εισαγωγή στις τεχνολογίες Industry 4.0

#### 2.1.1 Ορισμός και η σημασία των τεχνολογιών Industry 4.0

Η Τέταρτη Βιομηχανική Επανάσταση, γνωστή και ως Industry 4.0, έχει συγκεντρώσει ευρεία προσοχή παγκοσμίως για τις δυνατότητές της να προοδεύσει οικονομίες και κοινωνίες (Akpınar, 2022).

Ιστορικά, τρεις προηγούμενες βιομηχανικές επαναστάσεις έχουν διαμορφώσει την τροχιά της βιομηχανικής ανάπτυξης. Η πρώτη, που εμφανίστηκε τον δέκατο όγδοο αιώνα, σηματοδότησε τη μετάβαση από τα βιοτεχνικά εργαστήρια στα μηχανοποιημένα εργοστάσια και τη μαζική παραγωγή, προωθούμενη από καινοτομίες, όπως τα μηχανήματα που κινούνται με ατμό. Αυτή η εποχή, που ονομάζεται Industry 1.0, ώθησε την Ευρώπη σε οικονομική κυριαρχία (Akpınar, 2022).

Η δεύτερη Βιομηχανική Επανάσταση, γνωστή και ως Τεχνολογική Επανάσταση, που πρωτοστάτησαν προσωπικότητες, όπως ο Henry Ford, έδωσε έμφαση στη μαζική παραγωγή και στα τυποποιημένα προϊόντα. Αυτή η εποχή, γνωστή ως Industry 2.0, παρέμεινε μέχρι τα μέσα του δέκατου ένατου αιώνα (Akpınar, 2022).

Η τρίτη Βιομηχανική Επανάσταση, που εμφανίστηκε στις αρχές της δεκαετίας του 1970, είδε την ενσωμάτωση των τεχνολογιών της πληροφορίας και του αυτοματισμού στις παραγωγικές διαδικασίες, εγκαινιάζοντας μια εποχή που ορίζεται από μικροεπεξεργαστές και ψηφιακές τεχνολογίες. Το Industry 3.0 μεταμόρφωσε τις βιομηχανίες και έθεσε τις βάσεις για τις μετέπειτα εξελίξεις (Akpınar, 2022).

Η έννοια του Industry 4.0 προέκυψε από μια πρωτοβουλία υψηλής τεχνολογίας που ξεκίνησε η γερμανική κυβέρνηση, με στόχο την ψηφιοποίηση των διαδικασιών παραγωγής. Με βάση τις εξελίξεις που προέκυψαν από τις προηγούμενες βιομηχανικές επαναστάσεις, το Industry 4.0 οραματίζεται μια νέα εποχή διασυνδεδεμένης, έξυπνης (smart) παραγωγής. Ο όρος εισήχθη για πρώτη φορά στη Διεθνή Έκθεση του Ανόβερου το 2011 με δημοσιεύσεις, όπως "Industry 4.0: On the Way to the 4th Industrial Revolution with the Internet of Things" των Kagerman et al. (2011).

Για την αντιμετώπιση των ολοένα και πιο εξατομικευμένων απαιτήσεων των πελατών, η Industry 4.0 περιλαμβάνει ολόκληρο τον κύκλο ζωής ενός προϊόντος, ξεκινώντας από τη φάση του εννοιολογικού σχεδιασμού μέχρι την παραγωγή, την παράδοση και ακόμη και την ανάπτυξη μετά την πώληση με βάση τα σχόλια των πελατών και τα πρόσθετα χαρακτηριστικά (The Industry 4.0 Platform, 2015). Αυτή η διαδικασία βελτιστοποιεί ολόκληρη την αλυσίδα αξίας, καθιστώντας την πιο αποτελεσματική (Gilchrist, 2016). Ο Schwab (2016, σ. 156) αναφέρει ότι η Industry 4.0 βασίζεται σε γνώσεις και εμπειρίες από προηγούμενες βιομηχανικές επαναστάσεις, ιδιαίτερα την Τρίτη Βιομηχανική Επανάσταση. Ενώ ορισμένοι θεωρούν την Industry 4.0 ως επέκταση της Τρίτης Επανάστασης, άλλοι τονίζουν τις ιδιαιτερότητές της (Verl, 2017). Αυτή η διάκριση υπογραμμίζεται από τρία βασικά χαρακτηριστικά της επανάστασης Industry 4.0 (Akpinar, 2022):

•**Ταχύτητα:** Σε αντίθεση με τους προκατόχους, η Industry 4.0 προχωρά με εκθετικό ρυθμό και όχι με γραμμικό ρυθμό. Στο σήμερα, οι νέες τεχνολογίες αναδύονται συνεχώς και εξελίσσονται γρήγορα.

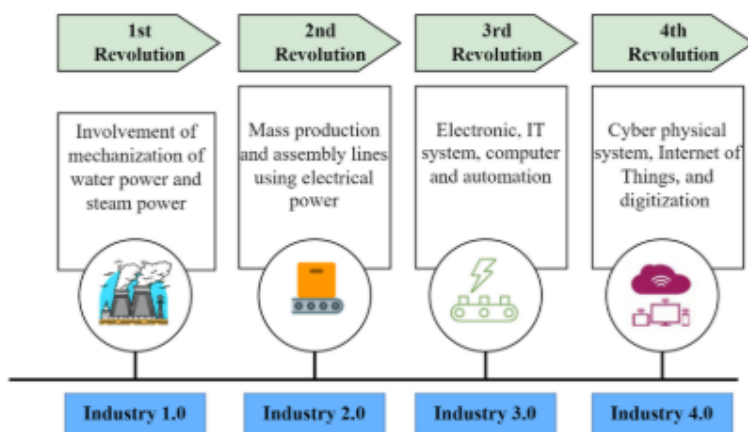
•**Εύρος και βάθος:** Η Industry 4.0 βασίζεται σε ψηφιακές τεχνολογίες και εισάγει πρωτόγνωρα παραδείγματα σε επιχειρηματικούς, κοινωνικούς και ατομικούς τομείς. Οι ραγδαίες τεχνολογικές εξελίξεις συμβαίνουν παράλληλα με τη διεύρυνση του χάσματος των γενεών, διαμορφώνοντας διάφορες πτυχές της κοινωνίας.

•**Παγκόσμια διασύνδεση συστημάτων:** Η Industry 4.0 λειτουργεί μέσα σε ένα δικτυωμένο σύστημα, όπου η συνδεσιμότητα εκτείνεται πέρα από τα παραδοσιακά όρια. Περιλαμβάνει τον ολοκληρωμένο μετασχηματισμό τεράστιων παγκόσμιων συστημάτων, που περιλαμβάνουν όχι μόνο συστήματα διαχείρισης πληροφοριών, αλλά και διάφορα συστήματα διασυνδεδεμένα παγκοσμίως.

### 2.1.2 Εξέλιξη των βιομηχανικών επαναστάσεων

Η πρώτη βιομηχανική επανάσταση, που ξεκίνησε γύρω στο 1760, σηματοδότησε την έναρξη μιας σειράς τεσσάρων επαναστάσεων στην ανθρώπινη ιστορία, όπου η καθημία έφερε τις δικές της προόδους και βελτιώσεις. Κατά τη διάρκεια της πρώτης βιομηχανικής επανάστασης, η εφεύρεση των ατμομηχανών έφερε επανάσταση στον τρόπο ζωής του ανθρώπου μειώνοντας την ανάγκη για χειρωνακτική εργασία και ενισχύοντας την αποδοτικότητα της. Επιπλέον, η

έλευση των ατμόπλοιων επέτρεψε την ταχεία μεταφορά σε μεγάλες αποστάσεις (Χριστίδης και Δεβετσικιώτης, 2016). Αυτός ο βιομηχανικός μετασχηματισμός απεικονίζεται στο Σχήμα 2.1.



**Σχήμα 2.1. Βιομηχανική εξέλιξη (Singh, 2024)**

Η δεύτερη επανάσταση, γνωστή ως Industry 2.0, εμφανίστηκε τον 19ο αιώνα με την εισαγωγή της ηλεκτρικής ενέργειας και της μαζικής παραγωγής. Αυτή η επανάσταση επηρέασε ιδιαίτερα την αυτοκινητοβιομηχανία, αλλάζοντας ριζικά τη διαδικασία παραγωγής. Προηγουμένως, ολόκληρα οχήματα κατασκευάζονταν σε μία μόνο εγκατάσταση, αλλά οι σύγχρονες πρακτικές περιλαμβάνουν την παραγωγή εξαρτημάτων οχημάτων σε διαφορετικές μονάδες, τα οποία στη συνέχεια συναρμολογούνται για να δημιουργήσουν γρήγορα πλήρη οχήματα (Wu et al., 2013).

Η τρίτη επανάσταση (Industry 3.0), εμφανίστηκε τη δεκαετία του 1970 με την εισαγωγή ηλεκτρονικών συστημάτων και συστημάτων πληροφορικής, μαζί με τον αυτοματισμό υπολογιστών, με στόχο την αυτοματοποίηση ολόκληρων διαδικασιών παραγωγής. Αυτές οι διεργασίες σχεδιάστηκαν να λειτουργούν χωρίς ανθρώπινη παρέμβαση, αλλά από προγραμματισμένα ρομπότ (Alcacer and Cruz-Machado, 2019).

Επί του παρόντος, παρακολουθούμε την τέταρτη βιομηχανική επανάσταση, την Industry 4.0, η οποία χαρακτηρίζεται ως έξυπνη μεταποίηση. Σε αυτή την επανάσταση, οι διαδικασίες παραγωγής ενισχύονται από ψηφιακούς υπολογιστές και συσκευές ανίχνευσης ικανές για επικοινωνία και συλλογή δεδομένων. Αυτή η επανάσταση δίνει έμφαση στα κυβερνοφυσικά συστήματα, ενισχύοντας πιο αξιόπιστες και έξυπνες μονάδες παραγωγής, όπου οι διαδικασίες, οι μηχανές και οι άνθρωποι αλληλεπιδρούν σχεδόν ανεξάρτητα. Η Industry 4.0 διευκολύνει



διαδικασίες, όπως η αυτόματη επισκευή, η αυτοοργανωμένη εφοδιαστική αλυσίδα και η αυτόματη μείωση ελαττωμάτων. Διάφορες εφαρμογές που σχετίζονται με την Industry 4.0 συνοψίζονται στον Πίνακα 2.1.

**Πίνακας 2.1. Ορολογία Industry 4.0 – Εφαρμογές (Singh, 2024)**

Ορολογία	Περιγραφή
Προηγμένη παραγωγή, Smart παραγωγή	Αυτό είναι το βασικό χαρακτηριστικό της ίδρυσης των τεχνολογιών Industry 4.0 που εξασφαλίζει υψηλού επιπέδου παραγωγή στις βιομηχανίες. Η smart παραγωγή βασίζεται εξ ολοκλήρου στην ευφυΐα και είναι υπεύθυνη για την αυτόματη απόφαση δεδομένων και την αυτόματη μαζική παραγωγή προϊόντων.
Αυτοοργάνωση	Σε αυτή τη διαδικασία, όλος ο εξοπλισμός διανέμεται μεταξύ όλων των μερών με σκοπό την αποκέντρωση, ώστε να επιτευχθεί υψηλότερος βαθμός ελευθερίας στην εφοδιαστική αλυσίδα και για να αυξηθεί η αποτελεσματικότητα
Έξυπνος εξοπλισμός	Για τη μεγιστοποίηση της παραγωγής, όλοι οι εξοπλισμοί μπορούν να επικοινωνούν και να συνδέονται μέσω του δικτύου χρησιμοποιώντας σύνδεση στο Διαδίκτυο
Έξυπνες πόλεις	Το κύριο κίνητρο των τεχνολογιών Industry 4.0 είναι η δημιουργία έξυπνων πόλεων για βελτιστοποίηση και αυτοματοποίηση, όπου οι πόροι κατανέμονται δυναμικά με βάση τις ανάγκες. Η αλληλεπίδραση και η συνεργασία μεταξύ συσκευών εξασφαλίζει την καλύτερη ποιότητα και ευκολία ζωής των ανθρώπων.
Τεχνητή Νοημοσύνη	Η μηχανή ή τα συστήματα σκέφτονται, μαθαίνουν και ενεργούν σαν ανθρώπινο ον για να λάβουν έξυπνες αποφάσεις



**Πίνακας 2.1. Ορολογία Industry 4.0 – Εφαρμογές (Singh, 2024) (Συνέχεια)**

<b>Ορολογία</b>	<b>Περιγραφή</b>
Blockchain	Είναι ένα αποκεντρωμένο σύστημα στο οποίο όλοι οι κόμβοι μπορούν να μοιράζονται τις πληροφορίες τους σε όλο το δίκτυο και να διατηρούν ένα κατακευματισμένο καθολικό
Κυκλική οικονομία	Είναι μια διαδικασία αναγέννησης που επιτρέπει στις επιχειρήσεις και την κοινότητα να εξαλείψουν τις σπατάλες και να επαναχρησιμοποιήσουν τους πόρους
Συνδεδεμένο σύστημα	Σε αυτήν την προσέγγιση, όλος ο οργανισμός μοιράζεται όλα τα δεδομένα και τις πληροφορίες για σκοπούς βελτιστοποίησης
Data Learning	Η ικανότητα ανάγνωσης, κατανόησης, σύνδεσης και καινοτομίας δεδομένων ως πνευματικών πληροφοριών
Ψηφιακή εκμάθηση	Η δυνατότητα αναζήτησης, ανάλυσης και εξαγωγής χρήσιμων πληροφοριών
Lean manufacturing	Η διαδικασία για τη μείωση της σπατάλης και τη μεγιστοποίηση της παραγωγής
Machine learning	Η ικανότητα της μηχανής να κατανοεί αυτόματα τη διαδικασία μέσω της δικής της γνώσης και εμπειρίας
Επιχειρησιακή τεχνολογία	Είναι μια διαδικασία ανίχνευσης ελαφρών αλλαγών μέσω της παρακολούθησης και του ελέγχου για την επίτευξη ποιότητας και ασφάλειας λειτουργίας

Μια σύγκριση των βιομηχανικών επαναστάσεων όσον αφορά την τεχνολογία και το χρονοδιάγραμμα παρουσιάζεται στον Πίνακα 2.2

**Πίνακας 2.2 Σύγκριση των βιομηχανικών επαναστάσεων με βάση διαφορετικές παραμέτρους (Singh, 2024)**

	<b>Industry 1.0</b>	<b>Industry 2.0</b>	<b>Industry 3.0</b>	<b>Industry 4.0</b>
Χρονολογία	18 <sup>ος</sup> αιώνας	19 <sup>ος</sup> αιώνας	20 <sup>ος</sup> αιώνας	21 <sup>ος</sup> αιώνας
Συστήματα παραγωγής	Πρώτος μηχανικός αργαλειός	Πρώτη γραμμή παραγωγής σφαγείου στο Cincinnati Συναρμολόγηση αυτοκινήτων	Πρώτη χρήση του προγραμματιζόμενου λογικού ελεγκτή (PLC) Modicon084	Κυβερνοφυσικά συστήματα (CPS) και έξυπνη παραγωγή
Τεχνολογία	Μηχανολογικός εξοπλισμός με νερό και ατμό	Μαζική παραγωγή με βάση συστήματα ηλεκτρικής ενέργειας	Ηλεκτρονικά, αυτοματισμοί ηλεκτρονικών υπολογιστών, IT και OT για αυτόματη παραγωγή	Συσκευές και συστήματα που βασίζονται σε CPS
Εξέλιξη ανταγωνιστικών προτεραιοτήτων	Έμφαση στην ποιότητα και το κόστος	Έμφαση στην ποιότητα, το κόστος και το χρόνο	Έμφαση στην ποιότητα, το κόστος, το χρόνο και την ευελιξία	Έμφαση στην ποιότητα, το κόστος, το χρόνο, την ευελιξία και την προσαρμοστικότητα στην καινοτομία

## 2.2 Βασικές τεχνολογίες Industry 4.0

### 2.2.1 Internet of Things (IoT) – Διαδίκτυο των Πραγμάτων

Το Internet of Things, γνωστό και ως Διαδίκτυο των Πραγμάτων, χρησιμεύει ως το θεμέλιο για έξυπνα εργοστάσια και υπηρεσίες. Περιλαμβάνει τη δυνατότητα συλλογής, αναπαραγωγής και οργάνωσης δεδομένων από διάφορες πηγές σε χώρο εργασίας ή εργοστασιακό περιβάλλον. Το Internet of Things περιλαμβάνει ένα σύστημα που επιτρέπει σε αντικείμενα του φυσικού κόσμου να συνδέονται στο διαδίκτυο μέσω ενσωματωμένων αισθητήρων, χρησιμοποιώντας ασύρματες ή ενσύρματες συνδέσεις. Αυτοί οι αισθητήρες χρησιμεύουν ως συσκευές συλλογής δεδομένων εντός του δικτύου Internet of Things (Hofmann & Rusch, 2017). Μέσα σε αυτό το πλαίσιο, τα αντικείμενα μπορούν να επικοινωνούν μεταξύ τους και να διαχειρίζονται αυτόνομα εργασίες. Για παράδειγμα, η Mitsubishi έχει αναπτύξει μια πλατφόρμα από μηχανή σε μηχανή (M2M) που διευκολύνει τη σύνδεση μεταξύ διαφορετικών μηχανών και του Internet of Things. Αυτή η πλατφόρμα επιτρέπει την ενσωμάτωση τεχνολογιών αριθμητικού ελέγχου (CNC) και ρομπότ, οδηγώντας στη δημιουργία προηγμένων έξυπνων προϊόντων (Witowski, 2017).

### 2.2.2 Artificial Intelligence (AI) – Τεχνητή Νοημοσύνη

Τα έξυπνα συστήματα παραγωγής απαιτούν καινοτόμες λύσεις για τη βελτίωση της ποιότητας και της βιωσιμότητας των διαδικασιών παραγωγής με ταυτόχρονη μείωση του κόστους. Σε αυτό το πλαίσιο, τεχνολογίες που καθοδηγούνται από την τεχνητή νοημοσύνη (AI), όπως το Internet of Things, το cloud computing, τα Big Data, την εικονική και την επαυξημένη πραγματικότητα, είναι έτοιμες να προσφέρουν νέα βιομηχανικά πρότυπα. Συγκεκριμένα, ο John McCarthy, που θεωρείται ευρέως ως ο πατέρας της τεχνητής νοημοσύνης, όρισε την τεχνητή νοημοσύνη στη δεκαετία του 1990 ως «την επιστήμη και τη μηχανική κατασκευής ευφυών μηχανών, ιδιαίτερα ευφυών προγραμμάτων υπολογιστών». Γενικά, η τεχνητή νοημοσύνη αναφέρεται σε μηχανές που προσομοιώνουν λειτουργίες που σχετίζονται με το ανθρώπινο μυαλό, όπως η μάθηση και η επίλυση προβλημάτων (Cioffi et al., 2020).

Η τεχνητή νοημοσύνη περιλαμβάνει ένα ευρύ φάσμα εφαρμογών, που συχνά ταξινομούνται σε 16 κατηγορίες, όπως συλλογισμός, προγραμματισμός, τεχνητή ζωή, αναθεώρηση πεποιθήσεων, εξόρυξη δεδομένων, εξειδικευμένα συστήματα, γενετικοί αλγόριθμοι, συστήματα, αναπαράσταση γνώσης, μηχανική μάθηση, κατανόηση φυσικής γλώσσας, νευρωνικά δίκτυα, απόδειξη θεωρημάτων, ικανοποίηση περιορισμών και θεωρία

υπολογισμού. Κατά τη διάρκεια του 21ου αιώνα, η τεχνητή νοημοσύνη αναδείχθηκε ως ένας κρίσιμο θέμα έρευνας σε διάφορους τομείς, όπως η μηχανική, η επιστήμη, η εκπαίδευση, η ιατρική, οι επιχειρήσεις, τα οικονομικά, το μάρκετινγκ, τα οικονομικά, το χρηματιστήριο και το δίκαιο, μεταξύ άλλων (Cioffi et al., 2020).

Ο πολλαπλασιασμός των μηχανών με δυνατότητα μηχανικής μάθησης έχει επηρεάσει σημαντικά τις επιχειρήσεις, τις κυβερνήσεις και την κοινωνία γενικότερα, επηρεάζοντας τις παγκόσμιες τάσεις βιωσιμότητας. Η τεχνητή νοημοσύνη, ιδιαίτερα η μηχανική εκμάθηση, η επεξεργασία φυσικής γλώσσας, η επεξεργασία εικόνας και η εξόρυξη δεδομένων, έχει γίνει αναπόσπαστο μέρος των στρατηγικών των τεχνολογικών κολοσσών. Η συνεχής εξέλιξή τους προκαλεί ουσιαστικό ενδιαφέρον στην επιστημονική κοινότητα (Cioffi et al., 2020).

Υπάρχει μια αυξανόμενη τάση ενσωμάτωσης της τεχνητής νοημοσύνης στις διαδικασίες πράσινης παραγωγής προκειμένου να τηρούνται οι αυστηροί περιβαλλοντικοί κανονισμοί. Ο Hendrik Fink, επικεφαλής των Υπηρεσιών Αειφορίας στην Pricewaterhouse Coopers, τόνισε τη δυνατότητα της τεχνητής νοημοσύνης να φέρει επανάσταση στις προσπάθειες βιωσιμότητας, υποστηρίζοντας ότι η τεχνητή νοημοσύνη θα οδηγήσει την τέταρτη βιομηχανική επανάσταση (Petrillo et al., 2019).

### **2.2.3 Big Data Analytics**

Ο όρος "Big Data" αναφέρεται σε μια τεράστια ποσότητα πληροφοριών που συλλέγονται στην ακατέργαστη μορφή τους από διάφορες πηγές χωρίς καμία τροποποίηση. Οι χρήστες χρειάζονται ένα ισχυρό υπολογιστικό σύστημα για να οργανώνουν και να χειρίζονται αυτά τα δεδομένα ώστε να ταιριάζουν στις ανάγκες τους. Παραδείγματα αυτών των πηγών περιλαμβάνουν κινητές συσκευές, το διαδίκτυο και τα μέσα κοινωνικής δικτύωσης. Αυτά τα ακατέργαστα δεδομένα μπορούν αργότερα να υποβληθούν σε επεξεργασία για τη λήψη στρατηγικών αποφάσεων. Τα Big Data και τα αναλυτικά τους εργαλεία παρέχουν πληροφορίες για μελλοντική λήψη αποφάσεων και βοηθούν στην ανάλυση ιστορικών δεδομένων για την εξεύρεση λύσεων. Τα προβλήματα που σχετίζονται με τα δεδομένα συνήθως επιλύονται με την κατανόηση του εύρους και των επιπτώσεών τους (Kalaiselvi & Thirumurthi Raja, 2020).

Τα Big Data μπορούν να κατηγοριοποιηθούν σε τρεις τύπους: Όγκος, Ταχύτητα και Ποικιλία. Ο όγκος αναφέρεται στις μεγάλες ποσότητες δεδομένων που συλλέγονται από διάφορα

κανάλια, συμπεριλαμβανομένων ιστοτόπων που διευκολύνουν τη μαζική επικοινωνία και τις αλληλεπιδράσεις μηχανής με μηχανή. Αρχικά, η αποθήκευση ήταν μια σημαντική πρόκληση, αλλά οι εξελίξεις στην τεχνολογία έχουν μετριάσει αυτό το βάρος. Η ταχύτητα σχετίζεται με την ταχύτητα με την οποία συλλέγονται τα δεδομένα. Η ποικιλία περιλαμβάνει τις διαφορετικές μορφές δεδομένων, όπως δομημένες αριθμητικές πληροφορίες και οικονομικές συναλλαγές (Kalaiselvi & Thirumurthi Raja, 2020).

Η κύρια διαφορά μεταξύ Big Data και ανάλυσης δεδομένων είναι ότι τα μεγάλα δεδομένα περιλαμβάνουν τη συλλογή τεράστιων ποσοτήτων ακατέργαστων πληροφοριών που πρέπει να υποβληθούν σε επεξεργασία, ενώ η ανάλυση δεδομένων εστιάζει στην ανάλυση αυτών των πληροφοριών για συγκεκριμένες εργασίες. Τα εργαλεία που χρησιμοποιούνται για την ανάλυση ονομάζονται αναλυτικά εργαλεία. Τα Big Data χρησιμοποιούνται σε διάφορους τομείς (Kalaiselvi & Thirumurthi Raja, 2020):

**Αεροπορία:** Τα δεδομένα από τα μαύρα κουτιά σε αεροσκάφη περιέχουν επικοινωνίες και τεχνικές πληροφορίες, αποθηκευμένες στην αρχική τους μορφή.

**Μέσα κοινωνικής δικτύωσης:** Πλατφόρμες, όπως το Facebook και το Twitter διαθέτουν τεράστιες ποσότητες κειμένου, φωτογραφιών, ήχου και εγγράφων από χρήστες σε όλο τον κόσμο.

**Χρηματιστήριο:** Τα δεδομένα από τα χρηματιστήρια αποθηκεύονται σε διακομιστές, βοηθώντας τους οργανισμούς να κατανοήσουν τις συνθήκες της αγοράς και παρέχοντας πληροφορίες σχετικά με τις τιμές των δημοσίων μετοχών και τις χρηματοοικονομικές συναλλαγές.

**Δίκτυο ισχύος:** Τα δεδομένα από τα δίκτυα ισχύος αποθηκεύονται σε σταθμούς βάσης, λειτουργώντας ως βάσεις δεδομένων.

**Μηχανές Αναζήτησης:** Τα δεδομένα μηχανών αναζήτησης χρησιμοποιούνται εκτενώς από ερευνητές για την επίλυση διαφόρων προβλημάτων.

Η ανάλυση Big Data βοηθά στη μετατροπή αυτών των ακατέργαστων δεδομένων σε ουσιαστικές πληροφορίες, επιτρέποντας καλύτερη λήψη αποφάσεων και στρατηγικό σχεδιασμό.

#### 2.2.4 Additive Manufacturing

Το Additive Manufacturing (AM), που συνήθως αναφέρεται ως τρισδιάστατη εκτύπωση, είναι μια ελεγχόμενη από υπολογιστή διαδικασία κατασκευής που κατασκευάζει τρισδιάστατα αντικείμενα με την εναπόθεση υλικών στρώμα προς στρώμα μέσω διαφόρων τεχνικών. Αναδυόμενη ως πρωτοποριακή τεχνολογία, η AM έχει βρει εφαρμογές σε διάφορους κλάδους, υποσχόμενη σημαντικούς μετασχηματισμούς στον τρόπο παραγωγής των προϊόντων (Gebhardt, 2012). Η διαδικασία περιλαμβάνει τη μετατροπή ενός τρισδιάστατου (3D) μοντέλου σε μια τυπική μορφή αρχείου AM, όπως το αρχείο "STL", το οποίο στη συνέχεια μεταφέρεται σε έναν τρισδιάστατο εκτυπωτή για κατασκευή (Srivatsan and Sudarshan, 2015).

Επί του παρόντος, χρησιμοποιείται εκτενώς στην αεροδιαστημική, την αυτοκινητοβιομηχανία, την ιατρική, τις κατασκευές, το κόσμημα, τη μόδα, τα τρόφιμα και άλλους τομείς (Nichols, 2019; Yap and Yeong, 2014; Sun et al., 2015; Bos et al., 2016; Giordano, 2019). Ως ολοκληρωμένη τεχνική κατασκευής που συνδέει το σχεδιασμό με την παραγωγή, επιτρέπει τη δημιουργία περίπλοκων γεωμετριών και προσφέρει πολλά πλεονεκτήματα, όπως εξορθολογισμένες αλυσίδες εφοδιασμού, αποδοτικότητα υλικού, προσαρμοσμένη παραγωγή, ευελιξία διαδικασίας παραγωγής και παραγωγή κατ' απαίτηση (Delic and Eysers, 2020). Ενισχύοντας την ευελιξία των παραγωγών να εισέλθουν σε νέες αγορές, αυτή η ανατρεπτική τεχνολογία υιοθετείται όλο και περισσότερο από βιομηχανίες, όπως η αυτοκινητοβιομηχανία, η αεροδιαστημική και οι ιατρικοί τομείς. Επί του παρόντος, οι εταιρείες έχουν ενσωματώσει την τεχνολογία AM στον παγκόσμιο κύκλο παραγωγής. Σύμφωνα με την έκθεση Wohlers 2020, 1,40 δισεκατομμύρια δολάρια επενδύθηκαν για την παραγωγή τρισδιάστατων εξαρτημάτων σε όλο τον κόσμο το 2019 (Έκθεση Wohlers, 2020).

Με την πάροδο του χρόνου, έχουν χρησιμοποιηθεί διάφοροι όροι για να περιγράψουν αυτήν την τεχνολογία, συμπεριλαμβανομένης της ταχείας πρωτοτυποποίησης, της τρισδιάστατης εκτύπωσης και της ψηφιακής κατασκευής, αλλά ο τρέχων ορισμός της παρέχεται από το πρότυπο "ASTM 52900-15" στο Additive Manufacturing (AM) (52900 ASTM, 2021). Ως αποτέλεσμα της ευρείας αναγνώρισης και των επιτευγμάτων της, η AM έχει προσελκύσει αυξημένη προσοχή από τους επιστήμονες και τους υπεύθυνους λήψης αποφάσεων, οδηγώντας σε πολυάριθμες ερευνητικές μελέτες σε διάφορους τομείς. Ορισμένες μελέτες έχουν εμβαθύνει στις οικονομικές και κοινωνικές της επιπτώσεις, ιδιαίτερα όσον αφορά τη διαχείριση των

αλυσίδων εφοδιασμού που περιλαμβάνουν ψηφιακούς πόρους (Holmström and Partanen, 2014· Baumers et al., 2016). Αυτές οι μελέτες καταλήγουν στο συμπέρασμα ότι η υιοθέτηση της AM είναι οικονομικά αποδοτική για παραγωγή μικρής κλίμακας, όπου το κόστος υλικών οδηγεί κατά κύριο λόγο τις δαπάνες του προϊόντος. Άλλοι έχουν διερευνήσει τις πιθανές εφαρμογές της σε διάφορους βιομηχανικούς τομείς, όπως η κατασκευή ηλεκτρονικών εξαρτημάτων, η μηχανική των ιστών και τα ορθοπεδικά εμφυτεύματα (Almeida et al., 2019; Sun et al., 2013). Έχουν εντοπίσει πολλές προκλήσεις που πρέπει να αντιμετωπιστούν για να ενισχυθεί η ευρεία υιοθέτηση αυτής της τεχνολογίας, συμπεριλαμβανομένης της επέκτασης του φάσματος εκτυπώσιμων υλικών και αντιμετώπισης ζητημάτων πιστοποίησης.

Η AM θεωρείται ως μια ευέλικτη μέθοδος παραγωγής που ενσωματώνεται σε πολλές παραγωγικές διαδικασίες (Frazier, 2014). Για παράδειγμα, στην οδοντιατρική, τρισδιάστατες τυπωμένες κεραμικές οδοντικές στεφάνες έχουν παραχθεί με παρόμοια ακρίβεια με τις συμβατικά κατασκευασμένες (Seelbach et al., 2013). Η βιομηχανία τροφίμων έχει επίσης εξερευνήσει τη δυνατότητα αξιοποίησης της AM, με τρισδιάστατα εκτυπωμένα τρόφιμα σχεδιασμένα με προσαρμοσμένο θρεπτικό περιεχόμενο, αν και εξακολουθούν να υπάρχουν προκλήσεις, όπως η ανάπτυξη κατάλληλων υλικών που καλύπτουν τις ανθρώπινες διατροφικές ανάγκες (Godoi et al., 2016).

### **2.2.5 Ρομποτική και Αυτοματισμός**

Η ρομποτική και η αυτοματοποίηση διαδικασιών έχουν εφαρμοστεί ευρέως σε διάφορους κλάδους, όπως η αυτοκινητοβιομηχανία, οι κατασκευές και οι μεταφορές, συμπεριλαμβανομένης της χρήσης αυτοοδηγούμενων φορτηγών. Ένα ρομπότ, που ορίζεται ως ένα προγραμματιζόμενο μηχάνημα σχεδιασμένο για να εκτελεί συγκεκριμένες εργασίες, μπορεί να είναι είτε σταθερό είτε κινητό, ιδιαίτερα σε βιομηχανικές συνθήκες. Διάφοροι τύποι ρομπότ, συμπεριλαμβανομένων των gateway robots (ρομπότ πύλης), των modular robots (αρθρωτών ρομπότ), των ρομπότ Delta και των ρομπότ SCARA, χρησιμοποιούνται συνήθως στη βιομηχανία τροφίμων (Ahmad, 2015). Τα ελαφριά ρομπότ (collaborative robots ή cobots) επιδεικνύουν την ικανότητα να λειτουργούν αποτελεσματικά σε δυναμικά περιβάλλοντα, διαθέτοντας φιλικές προς τον χρήστη διεπαφές και βελτιωμένες δομές, ενισχύοντας την πρακτικότητά τους (Mor et al., 2022).



Ο αυτοματισμός, από την άλλη πλευρά, περιλαμβάνει τη ρύθμιση των λειτουργιών ενός συστήματος ή μιας διαδικασίας χρησιμοποιώντας μηχανικές ή ηλεκτρονικές συσκευές για την αντικατάσταση της ανθρώπινης εργασίας. Υπάρχουν δύο κύριοι τύποι αυτοματισμού: ο ρομποτικός αυτοματισμός διεργασιών (RPA) και ο έξυπνος αυτοματισμός διεργασιών (IPA). Το RPA είναι έμπειρο στην αυτοματοποίηση εργασιών που βασίζονται σε κανόνες ψηφιακών δεδομένων και επιτρέπει στα ρομπότ προγραμματισμού να αλληλεπιδρούν με το χρήστη για να μιμούνται ανθρώπινες ενέργειες χωρίς να αλλάζουν συστήματα (Dadi et al., 2021). Αντίθετα, ο IPA χρησιμοποιεί δομημένες και μη προηγμένες πηγές δεδομένων για την αυτοματοποίηση των βιομηχανικών διεργασιών χρησιμοποιώντας έναν συνδυασμό RPA, αναλυτικών στοιχείων και τεχνητής νοημοσύνης (Mor et al., 2022).

Ο παγκόσμιος ανταγωνισμός και οι εξελίξεις στην τεχνολογία έχουν διευκολύνει την ενσωμάτωση της ρομποτικής και του αυτοματισμού στον τομέα των τροφίμων, με στόχο τη βελτιστοποίηση της παρακολούθησης και του ελέγχου της διαδικασίας για τη βελτίωση της ασφάλειας, της ποιότητας και της κερδοφορίας. Επιπλέον, η ενσωμάτωση ρομπότ έχει τη δυνατότητα να αυξήσει την αποτελεσματικότητα των εργαζομένων υψηλής εξειδίκευσης, ενώ παράλληλα μειώνει τους κινδύνους για την υγεία που συνδέονται με την εργασία (Mor et al., 2022).

## **2.2.6 Επαυξημένη πραγματικότητα (AR) και Εικονική πραγματικότητα (VR)**

Η επαυξημένη πραγματικότητα (AR) ορίζεται ως η βελτίωση σε πραγματικό χρόνο ενός φυσικού περιβάλλοντος με την προσθήκη εικονικών πληροφοριών που δημιουργούνται από υπολογιστή. Το AR είναι διαδραστικό, σε μορφή 3D και ενσωματώνει τόσο πραγματικά όσο και εικονικά αντικείμενα (Palmarini et al., 2018).

Ο πρωταρχικός στόχος της Επαυξημένης Πραγματικότητας είναι να απλοποιήσει την εμπειρία του χρήστη εισάγοντας εικονικές πληροφορίες όχι μόνο στο άμεσο περιβάλλον τους, αλλά και σε οποιαδήποτε έμμεση προβολή του πραγματικού περιβάλλοντος, όπως μια ζωντανή ροή βίντεο. Το AR ενισχύει την αντίληψη και την αλληλεπίδραση του χρήστη με τον πραγματικό κόσμο. Σε αντίθεση με την Εικονική Πραγματικότητα (VR), η οποία βυθίζει τους χρήστες εξ ολοκλήρου σε έναν εικονικό κόσμο, η τεχνολογία AR ενισχύει την αίσθηση της

πραγματικότητας προσθέτοντας εικονικά αντικείμενα στον πραγματικό κόσμο σε πραγματικό χρόνο (Palmarini et al., 2018).

Είναι σημαντικό να σημειωθεί, όπως οι Azuma et al. (2001) έχουν επισημάνει ότι το AR δεν περιορίζεται σε συγκεκριμένες τεχνολογίες οθόνης, όπως οι οθόνες που προσαρμόζονται στο κεφάλι (Head Mounted Display - HMD), ούτε περιορίζεται στην αίσθηση της όρασης. Το AR έχει τη δυνατότητα να αυξήσει όλες τις αισθήσεις, συμπεριλαμβανομένης της όσφρησης, της αφής και της ακοής. Μπορεί επίσης να χρησιμοποιηθεί για να ενισχύσει ή να υποκαταστήσει τις χαμένες αισθήσεις των χρηστών μέσω αισθητηριακής υποκατάστασης, όπως η παροχή ακουστικών ενδείξεων για τυφλούς χρήστες ή χρήστες με κακή όραση ή οπτικές ενδείξεις για κωφούς χρήστες (Palmarini et al., 2018).

Οι Azuma et al. (2001) αναφέρουν επίσης εφαρμογές AR που περιλαμβάνουν την αφαίρεση πραγματικών αντικειμένων από το περιβάλλον, που συνήθως αναφέρονται ως διαμεσολαβούμενη ή μειωμένη πραγματικότητα, εκτός από την προσθήκη εικονικών αντικειμένων. Η αφαίρεση αντικειμένων από τον πραγματικό κόσμο περιλαμβάνει την κάλυψη τους με εικονικές πληροφορίες που ταιριάζουν με το φόντο, δημιουργώντας την ψευδαίσθηση ότι το αντικείμενο δεν βρίσκεται εκεί. Τα εικονικά αντικείμενα που προστίθενται στο πραγματικό περιβάλλον παρέχουν στους χρήστες πληροφορίες που δεν μπορούν να αντιληφθούν άμεσα με τις αισθήσεις τους. Αυτές οι πληροφορίες μπορούν να βοηθήσουν τους χρήστες σε διάφορες εργασίες, όπως η παροχή ψυχαγωγίας μέσω εφαρμογών AR για κινητές συσκευές, όπως το Wikitude (Palmarini et al., 2018).

Το AR βρίσκει εφαρμογές σε πολλούς τομείς, όπως η ιατρική απεικόνιση, η ψυχαγωγία, η διαφήμιση, η συντήρηση και επισκευή και πολλά άλλα. Η Επαυξημένη Πραγματικότητα (AR) εμφανίζεται στη δεκαετία του 1950, όταν ο Morton Heilig, διευθυντής φωτογραφίας, οραματίστηκε τον κινηματογράφο ως μια συναρπαστική εμπειρία που εμπλέκει όλες τις αισθήσεις. Δημιούργησε ένα πρωτότυπο αυτής της ιδέας το 1962, με το όνομα Sensorama, που περιγράφεται λεπτομερώς στη δημοσίευσή του το 1955 "The Cinema of the Future". Ταυτόχρονα, ο Ivan Sutherland πρωτοστάτησε στην οθόνη HMD το 1966 και ανέπτυξε ένα σύστημα AR που χρησιμοποιεί οπτικά διαφανή ακουστικά το 1968. Το 1975, ο Myron Krueger παρουσίασε το Videoplace, επιτρέποντας στους χρήστες να αλληλεπιδρούν με εικονικά αντικείμενα. Ο όρος "Augmented Reality" επινοήθηκε το 1990 από τους Tom Caudell και

David Mizell της Boeing κατά τη διάρκεια συζητήσεων για τη συναρμολόγηση αεροσκαφών. Τα Virtual Fixtures του Rosenberg εμφανίστηκαν την ίδια περίοδο, μαζί με το πρωτότυπο σύστημα AR KARMA από τους Steven Feiner, Blair MacIntyre και Doree Seligmann. Η έρευνα του Ronald Azuma το 1997 όρισε το AR ως συνδυασμό πραγματικών και εικονικών περιβάλλοντων, διαδραστικά σε 3D και σε πραγματικό χρόνο. Το ARQuake του Bruce Thomas το 2000 σηματοδότησε το πρώτο παιχνίδι AR για κινητά σε εξωτερικούς χώρους. Η έκθεση Horizon του 2005 προέβλεψε την επικείμενη ανάπτυξη του AR, που συμπίπτει με την ανάπτυξη συστημάτων κάμερας για ανάλυση περιβάλλοντος σε πραγματικό χρόνο και τοποθέτηση αντικειμένων. Τα επόμενα χρόνια παρατηρήθηκε άνοδος των εφαρμογών AR, ιδίως του Wikitude AR Travel Guide το 2008 και των ιατρικών εφαρμογών το 2007 (Carmigniani et al., 2010; Palmarini et al., 2018).

### 2.2.7 Cloud Computing

Η εξέλιξη του Cloud Computing έχει μεταμορφώσει θεμελιωδώς το τοπίο της πληροφορικής σήμερα. Επιτρέπει την εξερεύνηση ανώτερων υπηρεσιών πληροφορικής με μειωμένο κόστος και ελάχιστη αρχική επένδυση. Η αύξηση της δημοτικότητας του Λογισμικού ως Υπηρεσία (Software as a Service - SaaS) μπορεί να αποδοθεί στην επιρροή του cloud computing στην ανάπτυξη και την προμήθεια υλικού πληροφορικής. Ουσιαστικά, το Cloud Computing διευκολύνει την πρόσβαση μέσω Διαδικτύου σε δεδομένα που είναι αποθηκευμένα σε διακομιστή ως υπηρεσία, διαθέσιμη κατ' απαίτηση. Οι χρήστες πληρώνουν μόνο για τις υπηρεσίες που χρησιμοποιούν, χάρη στο Pay-as-you-go μοντέλο του (Uzoma & Okhuoya, 2022).

Το Cloud Computing αξιοποιεί την τεχνολογία των υπολογιστών που βασίζεται στο Διαδίκτυο για να παρέχει διάφορες υπηρεσίες, όπως χωρητικότητα αποθήκευσης, επεξεργαστική ισχύ, και επιχειρηματικές εφαρμογές. Περιγραφόμενο ως ένα σύνολο υπηρεσιών με δυνατότητα δικτύου, το Cloud Computing εξασφαλίζει επεκτασιμότητα, αξιοπιστία, προσαρμογή και προστιτή τιμή με φιλικό προς τον χρήστη τρόπο (Uzoma & Okhuoya, 2022).

Το Cloud Computing ταξινομείται σε τέσσερις τύπους: private cloud, public cloud, community cloud και υβριδικό σύννεφο. Μεταξύ των τριών διαδεδομένων μοντέλων υπηρεσιών στο Cloud Computing είναι η πλατφόρμα ως υπηρεσία (Platform as a Service - PaaS), η υποδομή ως

υπηρεσία (Infrastructure as a Service - IaaS) και το λογισμικό ως υπηρεσία (SaaS) (Uzoma & Okhuoya, 2022).

Παρά τις προκλήσεις που παρουσιάζει, το Cloud Computing προσφέρει σημαντικές ευκαιρίες με αξιοσημείωτες ανταμοιβές (Uzoma & Okhuoya, 2022).

### **2.2.8 Τεχνολογία Blockchain**

Ένα Blockchain αντιπροσωπεύει μόνο μια παραλλαγή κατανεμημένων λογιστικών βιβλίων, όπου δεν υιοθετούν απαραίτητα μπλοκ ή αλυσιδωτές συναλλαγές. Ένα blockchain χρησιμεύει ως ένα αδιάφθορο ψηφιακό βιβλίο που έχει σχεδιαστεί για την καταγραφή οικονομικών συναλλαγών και μπορεί να διαμορφωθεί για να διαχειρίζεται όχι μόνο οικονομικές συναλλαγές, αλλά ουσιαστικά οποιοδήποτε πολύτιμο περιουσιακό στοιχείο (Aruna sri & Bhaskari, 2018).

Αρχικά διατυπώθηκε ως δύο λέξεις, "Block Chain". Ένα blockchain συνεπάγεται μια συνεχώς διευρυνόμενη συλλογή ψηφιακών εγγράφων που συλλέγονται και διατηρούνται σε μπλοκ και συνδέονται μεταξύ τους, ασφαλισμένα μέσω κρυπτογραφίας. Αυτά τα ψηφιακά τεκμηριωμένα «μπλοκ» δεδομένων είναι οργανωμένα σε μια γραμμική αλυσίδα. Κάθε μπλοκ εντός της αλυσίδας περιλαμβάνει δεδομένα, όπως μια συναλλαγή bitcoin. Είναι σημαντικό ότι κάθε μπλοκ αναφέρεται στο προηγούμενο στην αλυσίδα, διασφαλίζοντας την ακεραιότητα και το αμετάβλητο του συνολικού blockchain (Aruna sri & Bhaskari, 2018).

Λειτουργώντας ως μια ακολουθία χρονολογικών μπλοκ, κάθε μπλοκ συγκεντρώνει και επεξεργάζεται δεδομένα μέσω της εξόρυξης, που δημιουργούνται μέσω κρυπτογραφικού κατακερματισμού. Κατά συνέπεια, τα νέα μπλοκ ενσωματώνουν τον κατακερματισμό του προηγούμενου μπλοκ, σχηματίζοντας μια χρονολογική αλυσίδα από το αρχικό μπλοκ, γνωστό ως Genesis Block, μέχρι την τελευταία προσθήκη. Αυτό το αποκεντρωμένο ψηφιακό καθολικό λειτουργεί ανεξάρτητα από τα χρηματοπιστωτικά ιδρύματα ή τον κυβερνητικό έλεγχο και είναι προσβάσιμο σε οποιονδήποτε που έχει αξιόπιστη σύνδεση στο Διαδίκτυο (Aruna sri & Bhaskari, 2018).

Πέρα από τα εικονικά νομίσματα (crypto), πολλές βιομηχανίες, συμπεριλαμβανομένων των εφαρμογών ανταλλαγής μηνυμάτων, της ασφάλειας κρίσιμων υποδομών, της κοινής χρήσης και της αποθήκευσης cloud, αξιοποιούν την τεχνολογία blockchain. Οι δυνατότητές του

εκτείνονται σε διάφορους τομείς, ιδιαίτερα σε τομείς όπου η μεταφορά αξίας ή περιουσιακών στοιχείων μεταξύ των μερών είναι επί του παρόντος δυσκίνητη (Aruna sri & Bhaskari, 2018).

Πιθανός αντίκτυπος της τεχνολογίας Blockchain στις βιομηχανίες (Aruna sri & Bhaskari, 2018):

**α) Χρηματοοικονομικές υπηρεσίες:** Διάφορα χρηματιστήρια παγκοσμίως δοκιμάζουν πλατφόρμες blockchain για να διευκολύνουν την έκδοση και τη μεταφορά ιδιωτικών τίτλων. Επιπλέον, οι τράπεζες διερευνούν διάφορους τρόπους χρήσης για τη χρηματοδότηση του εμπορίου και τις διασυνοριακές πληρωμές.

**β) Καταναλωτικά και Βιομηχανικά Προϊόντα:** Οι εταιρείες σε αυτούς τους τομείς εξερευνούν την αλυσίδα μπλοκ για την ψηφιοποίηση και τον εντοπισμό της προέλευσης και της ιστορίας των συναλλαγών σε εμπορεύματα.

**γ) Επιστήμες Υγείας:** Οι οργανισμοί υγειονομικής περίθαλψης ερευνούν το blockchain για να διασφαλίσουν την ακεραιότητα των ηλεκτρονικών ιατρικών αρχείων.

**δ) Δημόσιος Τομέας:** Οι κυβερνήσεις εξετάζουν το ενδεχόμενο blockchain για να υποστηρίξουν μητρώα περιουσιακών στοιχείων, όπως γη και εταιρικές μετοχές.

**ε) Ενέργεια και Πόροι:** Το Ethereum χρησιμοποιείται για την καθιέρωση τεχνολογίας έξυπνου δικτύου, επιτρέποντας την εμπορία της πλεονάζουσας ενέργειας ως ψηφιακά περιουσιακά στοιχεία μεταξύ των καταναλωτών (Aruna sri & Bhaskari, 2018).

### 2.2.9 Κυβερνοφυσικά συστήματα (CPS – Cyber-Physical Systems)

Ο όρος CPS (Cyber-Physical Systems) εισήχθη από τον Lee το 2006. Έκτοτε, έχει αναλυθεί και αναπτυχθεί εκτενώς σε πολλούς επιστημονικούς και πρακτικούς κλάδους (Geisberger & Brooy, 2015). Ουσιαστικά, τα CPS είναι συστήματα που ενσωματώνουν τόσο τον κυβερνοχώρο όσο και τα φυσικά στοιχεία, διευκολύνοντας τη συνεχή και επαναληπτική ανταλλαγή πληροφοριών μεταξύ αυτών των δύο σφαιρών (Alur, 2015). Στη φυσική σφαίρα, οι αισθητήρες καταγράφουν περιβαλλοντικά δεδομένα, τα οποία υποβάλλονται σε επεξεργασία στην σφαίρα του κυβερνοχώρου χρησιμοποιώντας τοπική υπολογιστική ισχύ. Οι παρεχόμενες πληροφορίες μπορούν να μοιραστούν με άλλες οντότητες μέσω διεπαφών επικοινωνίας ή να χρησιμοποιηθούν για να επηρεάσουν το φυσικό περιβάλλον μέσω ενεργοποιητών, ακολουθώντας προκαθορισμένους κανόνες συμπεριφοράς (Lu et al., 2016). Επομένως, τα CPS

μπορούν να χρησιμοποιηθούν για την παρακολούθηση και τον έλεγχο ψηφιακών, φυσικών και υβριδικών διεργασιών (Jiang et al., 2018).

Τα CPS μπορούν να λειτουργούν αυτόνομα ή σε συνεργασία με τον άνθρωπο (Gil et al., 2019). Τρεις βασικές διαστάσεις πρέπει να λαμβάνονται υπόψη κατά το σχεδιασμό, την ανάπτυξη και τη λειτουργία τους: τεχνική, ανθρώπινη/κοινωνική και οργανωτική (Oks et al., 2017).

Η τεχνική διάσταση περιλαμβάνει την ενορχήστρωση υλικού και λογισμικού για συγκεκριμένες εφαρμογές μέσα σε μια κατάλληλη αρχιτεκτονική. Απαιτεί επίσης την ενσωμάτωση των CPS σε υπάρχουσες φυσικές και ψηφιακές υποδομές και τη διασφάλιση της διαλειτουργικότητας με άλλα συστήματα μέσω προτύπων και κανόνων (Hehenberger et al., 2016; Gürdür et al., 2016). Η ανθρώπινη/κοινωνική διάσταση εστιάζει στην ενσωμάτωση ή την αλληλεπίδραση με τους ανθρώπους, δίνοντας έμφαση στην αλληλεπίδραση ανθρώπου-υπολογιστή (HCI), στην ασφάλεια και στα ηθικά ζητήματα στο σχεδιασμό του συστήματος (Calinescu et al., 2019). Η οργανωτική διάσταση αφορά την ενσωμάτωση των CPS στο επιδιωκόμενο πλαίσιο εφαρμογής και σε διάφορες θεσμικές δομές και πλαίσια (Oks et al., 2018).

Επιπλέον, τα CPS μπορούν να κατηγοριοποιηθούν σε τρία επίπεδα με βάση το μέγεθος του συστήματος και το εύρος εφαρμογής τους. Σε μικροεπίπεδο, τα CPS χρησιμοποιούνται σε προσωπικά περιβάλλοντα ή περιβάλλοντα μικρών ομάδων, που συνήθως περιορίζονται σε μια τοπική περιοχή. Σε μέσο επίπεδο, τα CPS καλύπτουν ολόκληρους οργανισμούς και μπορεί να έχουν διαπεριφερειακές διαστάσεις. Σε μακροοικονομικό επίπεδο, τα CPS εφαρμόζονται σε μεγάλη κλίμακα, συχνά ως μέρος σύνθετων, διασυνδεδεμένων συστημάτων (Trunzer et al., 2020), που περιλαμβάνουν εθνικές οικονομίες ή ακόμη πιο εκτεταμένες περιοχές, σχεδιασμένα να λειτουργούν διαπεριφερειακά ή παγκοσμίως (Oks et al., 2017).

Μέσα σε αυτά τα επίπεδα, τα CPS εφαρμόζονται σε διάφορους τομείς που σχετίζονται με τον ψηφιακό μετασχηματισμό. Αυτοί οι τομείς περιλαμβάνουν την αστική ανάπτυξη (Smart City), την υγειονομική περίθαλψη (Smart Health), την κινητικότητα (Smart Mobility), τη διαχείριση κτιρίων (Smart Home) και, κυρίως, τη δημιουργία βιομηχανικής αξίας (Smart Manufacturing) (Geisberger & Broy, 2015). Όπως αναφέρθηκε προηγουμένως, τα CPS πληρούν τις προϋποθέσεις ως τεχνολογία γενικής χρήσης λόγω της ευρείας εφαρμογής τους σε διαφορετικά



επίπεδα και τομείς (Bresnahan, 2010). Τέτοιες τεχνολογίες χαρακτηρίζονται από την ευρεία και διαλειτουργική χρήση τους. Παρόμοια με προηγούμενες τεχνολογίες γενικής χρήσης, όπως η ατμομηχανή ή οι υπολογιστές, τα CPS, σε συνδυασμό με άλλες τεχνολογίες της ψηφιακής εποχής, έχουν τη δυνατότητα να πυροδοτήσουν ένα κύμα παραγωγικότητας ικανό να ξεκινήσει μια βιομηχανική επανάσταση (Liao et al., 2016; Rosenberg & Trajtenberg, 2009).

Τα CPS που χρησιμοποιούνται στον βιομηχανικό τομέα είναι γνωστά ως industrial CPS (Colombo et al., 2017). Αυτός ο όρος περιλαμβάνει όχι μόνο CPS που χρησιμοποιούνται στην παραγωγή, αλλά και περιφερειακά συστήματα, όπως έξυπνα προϊόντα που παρέχουν ζωτικής σημασίας δεδομένα για τη δημιουργία αξίας (Oks et al., 2017). Έτσι, τα βιομηχανικά CPS έχουν ευρύτερο πεδίο εφαρμογής από τα CPS παραγωγής (CPPS) (Monostori, 2014).

### **2.3 Τα οφέλη χρήσης των τεχνολογιών Industry 4.0**

Οι οργανισμοί έχουν αναφέρει αυξημένη ικανοποίηση πελατών μετά την υιοθέτηση του Industry 4.0 (I 4.0), όπως σημειώνεται στους Schmidt et al. (2015). Επιπλέον, υπάρχουν στοιχεία που υποδηλώνουν ότι η εφαρμογή του I 4.0 δίνει τη δυνατότητα στους οργανισμούς να αναπτύσσουν έξυπνα προϊόντα και υπηρεσίες πιο αποτελεσματικά. Τα πλεονεκτήματα επεκτείνονται στη μεγιστοποίηση της αποτελεσματικότητας, στη μείωση του λειτουργικού κόστους και στη διατήρηση της ανταγωνιστικότητας στην αγορά, όπως τονίζεται σε μελέτες των Kiel et al. (2017), Peukert et al. (2015) και οι Sony et al. (2021). Αυτά τα οφέλη, που συνοψίζονται στον Πίνακα 2.3, υπογραμμίζουν τη σημασία της υιοθέτησης του I 4.0. Ωστόσο, η επιτυχημένη εφαρμογή του I 4.0 αντιμετωπίζει κοινωνικοοικονομικές προκλήσεις, ιδιαίτερα όσον αφορά την τοποθεσία του οργανισμού, όπως συζητήθηκε από τους Tortorella et al. (2021). Οι ανεπτυγμένες οικονομίες συνήθως παρουσιάζουν ταχύτερους ρυθμούς υιοθέτησης του Industry 4.0 σε σύγκριση με τις αναπτυσσόμενες, με αποτέλεσμα να υπάρχουν διαφορές στα οφέλη που προκύπτουν από τέτοιες εξελίξεις, όπως σημειώνει ο Castellacci (2008). Επιπλέον, παράγοντες όπως οι υποδομές τεχνολογίας πληροφοριών και επικοινωνιών, τα πολιτιστικά πρότυπα, το μορφωτικό επίπεδο και η οικονομική και πολιτική σταθερότητα μπορούν να επηρεάσουν την αντίληψη της αξίας και τις επακόλουθες επενδύσεις σε προηγμένες τεχνολογίες, όπως περιγράφεται στην έρευνα των Frank et al. (2016). Συνεπώς, είναι λογικό να αναμένουμε διακυμάνσεις στα οφέλη από την εφαρμογή του I4.0 σε διαφορετικές οικονομίες και ηπείρους λόγω διαφορετικών κοινωνικοοικονομικών πλαισίων.



**Πίνακας 2.3. Οφέλη χρήσης των τεχνολογιών Industry 4.0 (Antony et al., 2023)**

Οφέλη	Πηγές
<p>Βελτίωση της ικανοποίησης των πελατών</p> <p>Μεγιστοποίηση της αποτελεσματικότητας, μείωση του λειτουργικού κόστους και ανταγωνιστικότητα</p> <p>Οργανωτικές αποφάσεις βασισμένες σε Big Data</p> <p>Ικανοποίηση της αυξανόμενης ανάγκης για έξυπνα προϊόντα</p> <p>Επίτευξη οργανωτικής αποτελεσματικότητας και ευελιξίας</p> <p>Ανάπτυξη έξυπνων υπηρεσιών</p> <p>Βελτίωση της εξυπηρέτησης πελατών</p> <p>Βέλτιστη χρήση μηχανημάτων</p> <p>Πρόβλεψη μελλοντικής χρήσης για την παραγωγή</p> <p>Τυποποίηση της παραγωγικής διαδικασίας</p> <p>Μείωση αποβλήτων και του αντίκτυπου στο περιβάλλον</p>	<p>Schmidt et al. (2015), Kiel et al. (2017), Peukert et al. (2015), Sony et al. (2021), Kiel et al. (2020), Masood and Sonntag (2020)</p>

## 2.4 Δυσκολίες και εμπόδια στην εφαρμογή των τεχνολογιών Industry 4.0

Η ενσωμάτωση των Industry 4.0 (I 4.0) περιλαμβάνει μια πολύπλοκη ενοποίηση τεχνικών και κοινωνικών συστημάτων, όπως σημειώθηκε από τους Avis (2018) και Sony και Naik (2020). Οι βασικές προκλήσεις για την εφαρμογή των I 4.0 περιλαμβάνουν το κόστος υλοποίησης, την απαιτούμενη τεχνογνωσία και τους χρονικούς περιορισμούς, όπως τονίστηκε από τους Masood και Sonntag (2020). Επιπλέον, η υποδομή διαδραματίζει κεντρικό ρόλο στην επιτυχή ενσωμάτωση τους. Αυτές οι προκλήσεις, μαζί με τις αντίστοιχες πηγές τους, τεκμηριώνονται στον Πίνακα 2.4.

Επιπλέον, οι προκλήσεις που σχετίζονται με τις I 4.0 ενδέχεται να διαφέρουν ανάλογα με την τοποθεσία του οργανισμού. Για παράδειγμα, το θέμα της μείωσης των ευκαιριών απασχόλησης λόγω της υιοθέτησης των I 4.0 μπορεί να αποτελεί πιο σημαντική απειλή στις αναπτυσσόμενες χώρες σε σύγκριση με τις ανεπτυγμένες, λόγω των υψηλότερων ποσοστών ανεργίας στις πρώτες, όπως παρατηρείται από τους Momen et al. (2022). Ομοίως, το σημαντικό κόστος που σχετίζεται με την εφαρμογή των I 4.0 αντιπροσωπεύει μεγαλύτερο βάρος στις αναπτυσσόμενες χώρες σε σύγκριση με τις ανεπτυγμένες χώρες. Ως εκ τούτου, μπορεί να υποστηριχθεί ότι οι προκλήσεις της εφαρμογής των I 4.0 παρουσιάζουν παραλλαγές μεταξύ διαφορετικών οικονομιών και ηπείρων, αντανακλώντας τα διαφορετικά κοινωνικοοικονομικά πλαίσια που επικρατούν σε αυτές τις περιοχές.

**Πίνακας 2.4. Δυσκολίες εφαρμογής τεχνολογιών Industry 4.0 (Antony et al., 2023)**

Προκλήσεις	Πηγές
Μεγάλο κόστος σφάλεια δεδομένων Έλλειψη τεχνογνωσίας πάνω στις τεχνολογίες I4.0 Μη αξιόπιστη σύνδεση στο διαδίκτυο Αντίσταση εργαζομένων στην αλλαγή Μη διαθέσιμες υποδομές	Avis, (2018), Sony and Naik (2020), Masood and Sonntag (2020), Zielinski et al. (2019), Sony and Aithal (2020), Sony et al. (2021)

**Πίνακας 2.4. Δυσκολίες εφαρμογής τεχνολογιών Industry 4.0 (Antony et al., 2023) (Συνέχεια)**

<b>Προκλήσεις</b>	<b>Πηγές</b>
Μελλοντική βιωσιμότητα Ελάχιστη τυποποίηση Νομικά ζητήματα/έλλειψη κυβερνητικής υποστήριξης και πολιτικών Έλλειψη παγκόσμιων προτύπων και πρωτοκόλλων διαμοιρασμού δεδομένων Δυσκολία ενσωμάτωσης Μείωση θέσεων εργασίας	Avis, (2018), Sony and Naik (2020), Masood and Sonntag (2020), Zielinski et al. (2019), Sony and Aithal (2020), Sony et al. (2021)

## **2.5 Παράγοντες που επηρεάζουν την ενσωμάτωση των τεχνολογιών Industry 4.0 στις βιομηχανίες**

Το μέγεθος μιας εταιρείας μπορεί να επηρεάσει σημαντικά την υιοθέτηση των τεχνολογιών Industry 4.0. Οι περιορισμένοι πόροι, όπως οι οικονομικοί περιορισμοί και οι οργανωτικές δομές, μπορούν να δημιουργήσουν προκλήσεις για τις μικρές και μεσαίες επιχειρήσεις (MME) κατά την εφαρμογή μετασχηματισμών του Industry 4.0. Έρευνα των Lin et al. (2019) και Szasz et al. (2021) δείχνει μια θετική συσχέτιση μεταξύ του μεγέθους της επιχείρησης και της εφαρμογής του Industry 4.0, με τις μεγαλύτερες εταιρείες να είναι πιο πιθανό να υιοθετήσουν αυτές τις τεχνολογίες. Αντίθετα, οι μικρότερες εταιρείες μπορεί να αποκομίσουν μεγαλύτερα οφέλη από τέτοιες υλοποιήσεις, όπως αναφέρουν οι Buchi et al. (2020).

Ένας βασικός παράγοντας που επηρεάζει την ετοιμότητα για υιοθέτηση του Industry 4.0 σε μεγάλες εταιρείες είναι το υψηλό επίπεδο συνειδητοποίησής τους σε αυτές τις τεχνολογίες. Αυτή η ευαισθητοποίηση, σε συνδυασμό με μεγαλύτερους πόρους και εμπειρία στη διαχείριση νέων τεχνολογιών, συμβάλλει στην υψηλότερη ετοιμότητά τους σε σύγκριση με τις MME, όπως τονίζεται από τους Lin et al. (2019) και οι Stentoft et al. (2017, 2019). Ωστόσο, ορισμένες

μελέτες, όπως αυτές των Horvath and Szabo (2019) και Yu and Schweisfurth (2020), υποδηλώνουν ότι το μέγεθος της εταιρείας μπορεί να μην σχετίζεται σημαντικά με την εφαρμογή του Industry 4.0. Οι Horvath και Szabo (2019) υποστηρίζουν ότι οι ΜΜΕ, με λιγότερο περίπλοκες οργανωτικές δομές και λιγότερες τεχνολογικές εξαρτήσεις, μπορεί να είναι πιο εύκολο να εφαρμόσουν τις τεχνολογίες Industry 4.0.

Επιπλέον, η εφαρμογή πρακτικών LM έχει προταθεί ως πρόδρομος για την επιτυχημένη υιοθέτηση της ψηφιακής τεχνολογίας. Ενώ η εφαρμογή της μεθοδολογίας LM είναι ανεξάρτητη από την υιοθέτηση του Industry 4.0, τα δύο συνδέονται σημαντικά, όπως σημειώνεται από τους Rossini et al. (2019a, b) και Buer et al. (2020). Επιπλέον, η οργανωτική ευελιξία και η προσαρμοστικότητα είναι ζωτικής σημασίας για την υιοθέτηση του Industry 4.0, με τις επίπεδες ιεραρχίες, τις ευέλικτες δομές και τις αποκεντρωμένες ρυθμίσεις να αποτελούν βασικά χαρακτηριστικά, όπως αναφέρθηκαν από τους Morisse and Prigge (2017) και Veile et al. (2020). Σε ταχέως μεταβαλλόμενα περιβάλλοντα, ο σωστός σχεδιασμός των οργανωτικών δομών και διαδικασιών καθίσταται επιτακτική ανάγκη για τη διασφάλιση της λειτουργικότητας του οργανισμού, όπως τονίζεται από τους Horvath και Szabo (2019).

Με βάση την παραπάνω θεωρία διατυπώνεται η εξής ερευνητική ερώτηση:

*EP2. Σε ποιο βαθμό οι Ελληνικές επιχειρήσεις εφαρμόζουν τις τεχνολογίες I4.0;*

### **3. Lean Manufacturing και Industry 4.0**

#### **3.1 Εισαγωγή**

Στο σημερινό ταχέως εξελισσόμενο τοπίο των βιομηχανιών, οι πρακτικές της μεθοδολογίας LM και οι τεχνολογίες του Industry 4.0 αντιπροσωπεύουν δύο ισχυρές δυνάμεις που οδηγούν στην επιχειρησιακή αριστεία και την καινοτομία. Ενώ η μεθοδολογία LM δίνει έμφαση στην αποτελεσματικότητα, τη μείωση των σπαταλών και τη συνεχή βελτίωση, οι τεχνολογίες Industry 4.0 εισάγουν μια νέα εποχή διασύνδεσης, αυτοματισμού και λήψης αποφάσεων βάσει δεδομένων. Αυτό το κεφάλαιο στοχεύει στη διερεύνηση της περίπλοκης σχέσης μεταξύ των πρακτικών LM και της υιοθέτησης των τεχνολογιών Industry 4.0, εξετάζοντας πώς οι πρακτικές Lean επηρεάζουν την εφαρμογή και την επιτυχία των τεχνολογιών Industry 4.0 σε σύγχρονα περιβάλλοντα παραγωγής (Alfutaih & Demirkol, 2020).

#### **3.2 Ανεξερεύνητες πτυχές της σχέσης μεταξύ Lean Manufacturing και Industry 4.0**

Η ανασκόπηση της βιβλιογραφίας αποκαλύπτει ένα αξιοσημείωτο κενό όσον αφορά την εφαρμογή της μεθοδολογίας LM και των τεχνολογιών Industry 4.0. Πολλοί συγγραφείς σημειώνουν ότι υπάρχουν περιορισμένες μελέτες που αφορούν την ενσωμάτωση της μεθοδολογίας LM και των τεχνολογιών I4.0 (Nunez-Merino et al., 2020; Tortorella et al., 2021b, 2021c; Ozbiltekin-Pala et al., 2022). Συγκεκριμένα, υπάρχει ανάγκη για ένα πλαίσιο υλοποίησης που θα εξετάζει τις συνέργειες μεταξύ των πρακτικών LM και των τεχνολογιών I4.0 (Tortorella et al., 2021b), και για τον προσδιορισμό ποιες συγκεκριμένες τεχνολογίες I4.0 και πρακτικές LM συμπληρώνουν καλύτερα η μία την άλλη (Kamble et al., 2020). Η υιοθέτηση των τεχνολογιών I4.0 ως μια εξαιρετικά πιθανή λύση για τις μικρομεσαίες επιχειρήσεις (MME) που επιθυμούν να εφαρμόσουν στρατηγικές LM είναι ένας άλλος τομέας που απαιτεί περαιτέρω διερεύνηση (Joshi et al., 2022). Επιπλέον, υπάρχει έλλειψη έρευνας που να προσδιορίζει τις ανεξάρτητες και εξαρτημένες μεταβλητές στη σχέση μεταξύ LM και I4.0 (Shahin et al., 2020; Bittencourt et al., 2021; Sartal et al., 2022; Nedjwa et al., 2022), την άμεση επιρροή των τεχνολογιών I4.0 στις πρακτικές LM (Sartal et al., 2022; Narula et al., 2023) και την εφαρμογή των πρακτικών LM και των τεχνολογιών I4.0 σε συγκεκριμένους

μεταποιητικούς τομείς, όπως η βιομηχανία τροφίμων (Psomas, 2021), σε διάφορες χώρες (Tortorella et al., 2021c; Psomas, 2022).

Δεδομένων αυτών των κενών, πολλοί συγγραφείς προτείνουν να γίνουν έρευνες σχετικά με LM και I4.0. Προτείνουν την ανάπτυξη ενός πλαισίου που ενσωματώνει τη μεθοδολογία LM και τις τεχνολογίες I4.0 (Nunez-Merino et al., 2020; Rosin et al., 2020; Vinodh et al., 2021; Ciccarelli et al., 2022), προσδιορίζοντας βέλτιστους συνδυασμούς πρακτικών LM και τεχνολογιών I4.0 (Pagliosa et al., 2021), προσδιορίζοντας τις σχέσεις μεταξύ αυτών των πρακτικών και τεχνολογιών (Tortorella et al., 2021b; Nadjwa et al., 2022) και εξετάζοντας τον αντίκτυπο των τεχνολογιών I4.0 στις πρακτικές LM (Nunez-Merino et al., 2020, Rosin et al., 2020). Τονίζουν επίσης την ανάγκη για έρευνα με τη χρήση μεγάλων δειγμάτων εταιρειών (Narula et al., 2023).

### **3.3 Συσχέτιση της μεθοδολογίας LM και των τεχνολογιών I4.0. Μια ανασκόπηση της βιβλιογραφίας**

Πρόσφατες μελέτες έχουν κεντρίσει το ενδιαφέρον για τη διερεύνηση της σχέσης μεταξύ της μεθοδολογίας LM και των τεχνολογιών Industry 4.0. Σύμφωνα με τους Fettermann και Tortorella (2018), υπάρχει θετική συσχέτιση μεταξύ των τεχνολογιών Industry 4.0 και των πρακτικών LM, σε εταιρείες υψηλών επιδόσεων σε αναδυόμενες οικονομίες που είναι πιθανό να υιοθετήσουν τεχνολογίες Industry 4.0. Αντιθέτως, οι Rosin et al. (2019) υποστηρίζουν ότι ενώ οι τεχνολογίες Industry 4.0 επηρεάζουν τις πρακτικές LM, μόνο το IoT και η προσομοίωση είναι αποτελεσματικές μέθοδοι για τη βελτίωση της απόδοσης της μεθοδολογίας LM. Ωστόσο, οι Kolberg et al. (2016) και Wagner et al. (2017) αναφέρουν ότι οι τεχνολογίες Industry 4.0, είναι λύσεις για την κάλυψη των απαιτήσεων των εξαιρετικά προσαρμοσμένων προϊόντων.

Ενώ ορισμένοι συγγραφείς υποστηρίζουν ότι οι τεχνολογίες I4.0 μπορεί να έρχονται σε σύγκρουση με τις αρχές της μεθοδολογίας LM, άλλοι υποστηρίζουν ότι μπορεί να σχετίζονται θετικά (Rossini et al., 2019). Σύμφωνα με τους Alfutaih & Demirkol (2020), οι περισσότερες επιχειρήσεις χρησιμοποιούν τη μεθοδολογία LM για περισσότερα από πέντε χρόνια. Αυτές οι επιχειρήσεις λειτουργούν ένα επιχειρηματικό μοντέλο B2B και απασχολούν λιγότερα από 500 άτομα. Τα αποτελέσματα τους αποκαλύπτουν σημαντικές διαφορές μεταξύ των τεχνολογιών Industry 4.0 και διαφόρων μεταβλητών καθώς η ανάλυση συσχέτισης δείχνει μια σημαντική θετική συσχέτιση μεταξύ των τεχνολογιών Industry 4.0 και των μεταβλητών

συμπεριλαμβανομένου του συστήματος έλξης, του εξοπλισμού της παραγωγής, των στατιστικών μεθόδων, της συντήρησης του εξοπλισμού, των ομοιοτήτων των παραγόμενων προϊόντων και της επικοινωνίας με τους προμηθευτές. Ωστόσο, δεν βρέθηκε σημαντική συσχέτιση μεταξύ του προσδιορισμού προβλημάτων και των τεχνολογιών Industry 4.0.

Για να αντιμετωπιστεί αυτό, οι εταιρείες που χρησιμοποιούν λιτά συστήματα παραγωγής θα πρέπει να προσαρμοστούν στις μεταβαλλόμενες τεχνολογίες ενσωματώνοντας τεχνολογίες Industry 4.0, δίνοντάς τους τη δυνατότητα να ανταποκρίνονται γρήγορα στις εξελισσόμενες απαιτήσεις των πελατών. Παρόμοια αποτελέσματα με την παραπάνω μελέτη βρέθηκαν και από τους Kafuku (2019), De Oliveira et al. (2019) και Tortorella et al. (2015).

Η σχέση μεταξύ LM και I4.0 τονίζεται όλο και περισσότερο στην έρευνα διαχείρισης λειτουργιών (Mourtzis et al., 2017· Sartal and Vazquez, 2017), ειδικά σε πρόσφατες μελέτες που υπογραμμίζουν τις συνέργειες μεταξύ των πρακτικών LM και των τεχνολογιών I4.0 (Shahin et al. ., 2020, Nedjwa et al., 2022, Cicarelli et al., 2022).

Πολλοί συγγραφείς στη βιβλιογραφία προσδιορίζουν την κατεύθυνση της σχέσης μεταξύ LM και I4.0, υποστηρίζοντας συχνά την άποψη ότι οι τεχνολογίες I4.0 επηρεάζουν τις πρακτικές LM. Σύμφωνα με τους Sartal et al. (2022), οι πρακτικές LM θα πρέπει να σχεδιάζονται έχοντας κατά νου τις τεχνολογίες, καθώς μπορούν να βελτιώσουν σημαντικά τις πρακτικές Lean ως απάντηση στις νέες απαιτήσεις της αγοράς. Αυτή η άποψη ευθυγραμμίζεται με τον ισχυρισμό του Ohno (1988) ότι τα παραδοσιακά συστήματα LM δεν αποκλείουν την αυτοματοποίηση. Έρευνα των Buer et al. (2018), Sordan et al. (2021a), και Sartal et al. (2018) υποστηρίζει την ιδέα ότι οι τεχνολογίες I4.0 παρέχουν πολύτιμες λύσεις για τις πρακτικές LM, αντιμετωπίζοντας τις τρέχουσες προκλήσεις της αγοράς.

Μια πιο εις βάθος ανασκόπηση της υπάρχουσας βιβλιογραφίας αποκαλύπτει ότι τα περισσότερα προηγούμενα έργα έχουν ασχοληθεί όχι μόνο με τη συνολική επιρροή των τεχνολογιών Industry 4.0 (I4.0) στη μεθοδολογία LM (Tortorella and Fettermann, 2018; Sony and Naik, 2019; Kamble et al., 2020), αλλά και τις επιπτώσεις συγκεκριμένων τεχνολογιών I4.0 στη μεθοδολογία LM (Nedjwa et al., 2022). Για παράδειγμα, μελέτες έχουν δείξει πώς η ανάλυση Big Data υποστηρίζει τις πρακτικές LM (Kumar et al., 2021; Skalli et al., 2023), τον αντίκτυπο του Cloud Computing, της προσομοίωσης, του βιομηχανικού Internet of Things και



της οριζόντιας και κάθετης ολοκλήρωσης σε διάφορες πρακτικές LM, η επιρροή της ασφάλειας στον κυβερνοχώρο και η επίδραση της προηγμένης ρομποτικής στην πλειονότητα των πρακτικών LM (Narula et al., 2023).

### **3.4 Αλληλεπιδράσεις πρακτικών Lean και τεχνολογιών I4.0**

#### **3.4.1 Ενίσχυση των πρακτικών Lean από Cyber-Physical Systems**

Οι Davies et al. (2017) υποστηρίζουν ότι οι τεχνολογίες Industry 4.0 (I4.0) και ιδιαίτερα τα Cyber-Physical Systems (CPS), μπορούν να βελτιώσουν σημαντικά τις δυνατότητες της μεθοδολογίας Lean παρέχοντας πρόσβαση σε λειτουργικά δεδομένα σε πραγματικό χρόνο. Αυτά τα δεδομένα σε πραγματικό χρόνο που υποστηρίζονται από το CPS μπορούν να βελτιώσουν πολλές πρακτικές Lean, όπως η αυτοματοποίηση της επεξεργασίας παραγγελιών και ο έλεγχος των επιπέδων αποθέματος μέσω e-kanbans. Επιπλέον, η παρακολούθηση της παραγωγής διευκολύνεται μέσω έξυπνων συσκευών που καταγράφουν αυτόματα τους βασικούς δείκτες απόδοσης (KPI) και συλλέγουν σχετικά δεδομένα για την πρόβλεψη προβλημάτων στην παραγωγή. Για τη Διαχείριση Συνολικής Συντήρησης (TPM), η CPS μπορεί να συλλέγει δεδομένα για τις ανάγκες συντήρησης και να ενημερώνει αυτόματα το προσωπικό συντήρησης. Τα δεδομένα σε πραγματικό χρόνο που συλλέγονται μπορούν να αποθηκευτούν και να χρησιμοποιηθούν για συνεχή βελτίωση.

Οι Hofmann et al. (2017) προσδιόρισαν τις επιπτώσεις των τεχνολογιών I4.0 στη διαχείριση logistics, ιδιαίτερα για συστήματα JIT και Kanban. Οι λύσεις που βασίζονται στα CPS προσφέρουν ευκαιρίες για αποκέντρωση, αυτορρύθμιση και αποτελεσματικότητα. Για τα συστήματα JIT, η ενοποίηση I4.0 μπορεί να μειώσει το φαινόμενο bullwhip, να βελτιώσει τον προγραμματισμό παραγωγής και να δημιουργήσει μια πιο ολοκληρωμένη αλυσίδα εφοδιασμού. Για τα Kanbans, οι λύσεις CPS μπορούν να μειώσουν τους χρόνους κύκλου παραγωγής, παρέχοντας ροή πληροφοριών σε πραγματικό χρόνο, ευελιξία και βελτιστοποιημένη δημιουργία αξίας.

### **3.4.2 Internet of Things και Industrial Internet of Things σε περιβάλλοντα Lean**

Ο Jayaram (2016) εισήγαγε ένα παγκόσμιο μοντέλο logistics για τις μεταφορές που βασίζεται στη μεθοδολογία Lean Six Sigma. Η ενσωμάτωση αυτής της προσέγγισης με την τεχνολογία Industrial Internet of Things (IIoT) και το Industry 4.0 (I4.0) επιτρέπει τη δημιουργία μιας πλήρως αυτόνομης παγκόσμιας αλυσίδας εφοδιασμού, που χαρακτηρίζεται από βελτιστοποιημένες ροές διαδικασιών, ενισχυμένη συνολική απόδοση και απαλλαγμένη από ελαττώματα. Αυτό το μοντέλο διευκολύνει την επικοινωνία δικτύου που υποστηρίζεται από το IoT μεταξύ της παραγωγής και της αλυσίδας εφοδιασμού, παρέχοντας δεδομένα λειτουργίας και μηχανημάτων σε πραγματικό χρόνο. Αξιοποιώντας αυτά τα δεδομένα, οι διαδικασίες μπορούν να βελτιστοποιηθούν, να αυξηθούν τα κέρδη, να μειωθεί το κόστος και η κατανάλωση πόρων, ενώ το μοντέλο παρακολουθεί την επιχείρηση, προβλέπει αλλαγές και αναλαμβάνει αυτόνομα δράση. Επιπλέον, η εισαγωγή της τεχνολογίας IoT έχει τεράστιες δυνατότητες στην παροχή δεδομένων σε πραγματικό χρόνο για ανάλυση, μειώνοντας έτσι την ανάγκη για ανθρώπινη παρέμβαση (Arcidiacono & Pieroni, 2018).

Οι Xu και Chen (2017) παρουσίασαν ένα πλαίσιο για την ενίσχυση του δυναμικού σχεδιασμού και προγραμματισμού παραγωγής σε ένα σύστημα παραγωγής Just-In-Time (JIT). Αυτό το πλαίσιο επιτρέπει την ανταπόκριση σε δυναμικές αλλαγές στις παραγγελίες, την παραγωγή και τους διαθέσιμους πόρους, δίνοντας τη δυνατότητα στους χρήστες να προσαρμόζουν τα χρονοδιαγράμματα κατά την παραγωγή για να μεγιστοποιήσουν την παραγωγικότητα.

### **3.4.3 Ο ρόλος των Big Data Analytics για τη βελτίωση των πρακτικών Lean**

Οι Meudt et al. (2016) εισήγαγαν μια καινοτόμο προσέγγιση γνωστή ως Value Stream Mapping (VSM) 4.0, η οποία επιτρέπει στις εταιρείες να αξιοποιήσουν τις ευκαιρίες που δημιουργούνται από την ψηφιοποίηση και τις τεχνολογίες Industry 4.0 (I4.0). Αυτή η μέθοδος εστιάζει στη συλλογή, διαχείριση, αποθήκευση και χρήση δεδομένων, καθώς και στη δημιουργία βασικών δεικτών απόδοσης (KPI). Εστιάζοντας στη μείωση των σπαταλών και αποκτώντας μια ολοκληρωμένη κατανόηση των ροών πληροφοριών και υλικών στις διαδικασίες των logistics, το VSM 4.0 διευκολύνει τη βελτίωση των διαδικασιών και την ψηφιοποίηση της παραγωγής. Οι Lugert et al. (2018) και Wagner et al. (2018) υποστήριξαν ομοίως τη χρήση της τεχνολογίας Big Data για τη βελτίωση των διαδικασιών VSM. Πρότειναν μια δυναμική προσέγγιση VSM,

χρησιμοποιώντας ανάλυση δεδομένων, προσομοίωση και τεχνολογία RFID για απεικόνιση των αποτελεσμάτων σε πραγματικό χρόνο, ενισχύοντας έτσι τις βελτιώσεις της διαδικασίας.

Οι Rauch et al. (2016) τόνισαν τα οφέλη του συνδυασμού ανάλυσης δεδομένων και τεχνολογιών cloud στις διαδικασίες ανάπτυξης προϊόντων για την παροχή KPI σε πραγματικό χρόνο, τη μείωση του χρόνου αναμονής και λειτουργίας και την προώθηση της συμμετοχής ολόκληρης της ομάδας ανάπτυξης. Οι Arcidiacono και Pieroni (2018) εισήγαγαν το Six Sigma 4.0, μια μεθοδολογία που αξιοποιεί τη συλλογή δεδομένων σε πραγματικό χρόνο στο πλαίσιο της υγειονομικής περίθαλψης για τη βελτιστοποίηση των υπηρεσιών, τη βέλτιστη χρήση πόρων, τη βελτίωση της εμπειρίας των ασθενών και τη μείωση του κόστους.

Οι Astola et al. (2017) ανέπτυξαν ένα εξατομικευμένο σύστημα διαχείρισης που υποστηρίζεται από την τεχνολογία Big Data για να μοιράζεται πληροφορίες σε πραγματικό χρόνο απευθείας με τους πελάτες, μειώνοντας έτσι τους χρόνους και το κόστος επικοινωνίας, ενώ αυξάνουν την αποτελεσματικότητα και τις υπηρεσίες προστιθέμενης αξίας. Οι Neuböck και Schrefl (2015) τόνισαν τον ρόλο των μεθόδων επιχειρηματικής ευφυΐας και της ανάλυσης δεδομένων στη βελτίωση των διαδικασιών και των τεχνικών επίλυσης προβλημάτων σε περιβάλλοντα I4.0, ενώ ο Karlovits (2017) πρότεινε την εφαρμογή λύσεων δικτύου που βασίζονται σε Big Data, εξόρυξη δεδομένων και τεχνικές ανάλυσης για την αποδοτικότητα της παραγωγής.

#### **3.4.4 Cloud Computing για τη μείωση των σπαταλών**

Οι Silva et al. (2018) έχουν αναπτύξει μια εφαρμογή που βασίζεται σε υπολογιστικό νέφος με στόχο την επεξεργασία των εισροών για τη δημιουργία ηλεκτρονικών οδηγιών εργασίας και την αποτελεσματική παραγωγή εργασίας. Χτισμένη στις αρχές της εποχής των τεχνολογιών Industry 4.0, αυτή η εφαρμογή διευκολύνει την πρόσβαση σε πραγματικό χρόνο σε πληροφορίες και την απρόσκοπτη ενσωμάτωση με άλλα υπολογιστικά συστήματα εντός της εταιρείας. Αυτοματοποιεί τη δημιουργία οδηγιών εργασίας και βελτιστοποιεί την τυπική εργασία λαμβάνοντας υπόψη διάφορους παράγοντες.

Σε μια άλλη μελέτη, οι Ogu et al. (2018) διερεύνησαν τη δυνατότητα ενσωμάτωσης της γνωστικής πληροφορικής με πρακτικές Lean. Το Cognizant Computing αξιοποιεί βάσεις δεδομένων σε πραγματικό χρόνο που υποστηρίζονται κυρίως από τεχνολογίες cloud computing και IoT. Οι συγγραφείς υποστηρίζουν ότι αυτή η ενσωμάτωση μπορεί να ενισχύσει

τις πρακτικές Lean εξαλείφοντας τις σπατάλες, με αποτέλεσμα πολλά οφέλη σε ένα πλαίσιο λιτής παραγωγής. Αυτά τα οφέλη περιλαμβάνουν αυξημένα κέρδη και αποδόσεις, μειωμένους χρόνους παράδοσης και όγκους αποθεμάτων, ελαχιστοποίηση της σπατάλης διεργασιών και επανεπεξεργασίας και βαθύτερη κατανόηση των διαδικασιών παραγωγής και των αναγκών των πελατών. Οι πληροφορίες σε πραγματικό χρόνο που παρέχονται από τη γνωστική πληροφορική δίνουν τη δυνατότητα σε διευθυντές και στελέχη να λαμβάνουν τεκμηριωμένες αποφάσεις, να μετριάζουν τους επιχειρηματικούς κινδύνους και να βελτιώνουν την ικανοποίηση των πελατών.

Το Cloud Computing αναδεικνύεται ως πολύτιμο εργαλείο στις διαδικασίες ανάπτυξης προϊόντων, μειώνοντας σημαντικά τις σπατάλες που προκύπτουν από εσφαλμένη μετάδοση πληροφοριών (Rauch et al., 2016). Οι Mayr et al. (2018) εισήγαγαν την έννοια του Lean 4.0, που συνδυάζει Lean Management με Industry 4.0. Παρουσίασαν αυτήν την ιδέα μέσω μιας use case που δείχνει πώς το cloud computing και η παρακολούθηση συνθηκών που βασίζεται στη μηχανική μάθηση μπορούν να βελτιώσουν τη Διαχείριση Συνολικής Συντήρησης (TPM). Αυτές οι τεχνολογίες έχουν οδηγήσει στη βελτίωση της παραγωγής ελαχιστοποιώντας το χρόνο διακοπής λειτουργίας των μηχανημάτων, τα απόβλητα παραγωγής και την επανεπεξεργασία, ενώ βελτιώνουν την ποιότητα. Επιπλέον, παρέχονται δεδομένα συντήρησης στους εργαζόμενους και οι δραστηριότητες συντήρησης προγραμματίζονται δυναμικά για βελτιστοποιημένη απόδοση.

#### **3.4.5 Εικονική και Επαυξημένη Πραγματικότητα για την οπτικοποίηση των πρακτικών Lean**

Η ενοποίηση της τεχνολογίας Virtual Reality (VR) με δίκτυα CPS, τα οποία προσφέρουν δεδομένα σε πραγματικό χρόνο, επιτρέπει τη δημιουργία εικονικής χαρτογράφησης ροών αξίας (VSM), μια θεμελιώδη πρακτική Lean. Η εικονική VSM επιτρέπει στους ενδιαφερόμενους να βυθιστούν σε ένα εικονικό μοντέλο, διευκολύνοντας την παρατήρηση και τη χαρτογράφηση των τρέχουσων και μελλοντικών καταστάσεων της διαδικασίας χωρίς να απαιτείται η κατανόηση των συμβατικών συμβόλων VSM (Davies et al., 2017).

Οι Kolberg και Zühlke (2015), πρωτοπόροι της ιδέας Lean Automation, πρότειναν μια προσέγγιση που περιλαμβάνει τη χρήση φορητών συσκευών επαυξημένης πραγματικότητας (AR) και CPS για την υποστήριξη της παραγωγής Just-In-Time (JIT). Αυτές οι φορητές

συσκευές παρέχουν στους χειριστές πληροφορίες σχετικά με τον χρόνο κύκλου και τις εργασίες μέσω διεπαφών AR, βελτιώνοντας τη λειτουργική απόδοση. Επιπλέον, δίνουν τη δυνατότητα στους χειριστές να λαμβάνουν πληροφορίες αποτυχίας σε πραγματικό χρόνο, βοηθώντας στην άμεση λήψη αποφάσεων.

Οι τεχνολογίες VR και AR, ιδιαίτερα στις διαδικασίες επίλυσης προβλημάτων, μπορούν να αυξήσουν την αποτελεσματικότητα και την απόδοση παρέχοντας πρόσθετες πληροφορίες σε πραγματικό χρόνο (Pfeffer et al., 2015).

Επιπλέον, οι Auch et al. (2016) τόνισαν τις σημαντικές δυνατότητες των τεχνολογιών οπτικοποίησης για τη μείωση των αστοχιών και τον μετριασμό των επιπτώσεων τους κατά τις διαδικασίες ανάπτυξης προϊόντων. Αυτές οι τεχνολογίες οπτικοποίησης διευκολύνουν την εξέταση επικίνδυνων καταστάσεων, εργασιών συντήρησης και σεναρίων εκπαίδευσης, δίνοντας την ευκαιρία να φέρουν επανάσταση στον τρόπο εργασίας και επικοινωνίας των ανθρώπων (Pfeffer et al., 2015).

#### **3.4.6 Αυτόνομη και Συνεργατική Ρομποτική στην παραγωγή**

Οι Müller et al. (2017) παρουσίασαν ένα έργο που επικεντρώνεται στη σχέση συνεργασίας μεταξύ ανθρώπων και τεχνολογίας. Μελέτησαν την εμφάνιση υβριδικών χώρων εργασίας, όπου συνυπάρχουν άνθρωποι και μηχανές, όπως τα ρομπότ, θέτοντας νέες προκλήσεις. Ενώ υπάρχουν διάφορες τυποποιημένες μέθοδοι ανάλυσης εργασίας για περιβάλλοντα παραγωγής, αυτές οι μέθοδοι συχνά παραβλέπουν την αλληλεπίδραση και την επικοινωνία μεταξύ ανθρώπων και ρομπότ. Οι συγγραφείς υποστηρίζουν την προσαρμογή των συμβατικών μεθόδων ώστε να ταιριάζουν στην ανάλυση χώρων εργασίας υβριδικής παραγωγής στο πλαίσιο των τεχνολογιών I4.0. Αυτή η προσαρμογή θα πρέπει να περιλαμβάνει διάφορες πτυχές, όπως η επικοινωνία, ο έλεγχος ρομποτικού συστήματος, οι κοινωνικές δομές και ατομικές συνέπειες.

Ορισμένοι ερευνητές υποστηρίζουν ότι η ενσωμάτωση αυτόνομων ρομπότ ενισχύει την ευελιξία των συστημάτων παραγωγής. Οι Lutz et al. (2016) πρότειναν μια κατανομημένη προσέγγιση για έναν στόλο από αυτόνομα ρομπότ επιφορτισμένα με μεταφορικά καθήκοντα. Αυτό το σύστημα έχει σχεδιαστεί για να λειτουργεί σε ευέλικτες ροές παραγωγής και ταχέως μεταβαλλόμενα περιβάλλοντα, ανταποκρινόμενο αποτελεσματικά σε απρόβλεπτες αλλαγές και παρέχοντας αποτελεσματικές, αξιόπιστες και προβλέψιμες διαδρομές κίνησης. Επιπλέον,

τα ρομπότ είναι αρκετά ευέλικτα ώστε να αντιδρούν άμεσα σε εμπόδια και άτομα, αποφεύγοντας τις συγκρούσεις και αντιμετωπίζοντας τις προκλήσεις ασφαλείας που σχετίζονται με τους στόλους υπηρεσιακών ρομπότ.

Ο Durakbasa (2016) έδωσε έμφαση στην τεχνολογία αισθητήρων και τη ρομποτική ως κρίσιμα στοιχεία για την εφαρμογή εννοιών αυτονομίας στο πλαίσιο I4.0. Ο συγγραφέας υποστήριξε τη χρήση των Πολυχρηστικά Ρομπότ Μέτρησης, τα οποία επιτρέπουν την ευέλικτη εφαρμογή της αυτονομίας στον έλεγχο της διαδικασίας και τη διασφάλιση ποιότητας.

### **3.4.7 Εκτύπωση 3D**

Οι Chen και Lin (2017) αναφέρθηκαν στην τεχνολογία τρισδιάστατης εκτύπωσης, δίνοντας έμφαση τόσο στις τεχνικές προκλήσεις που πρέπει να αντιμετωπιστούν πριν από την εφαρμογή της όσο και στις βασικές διαχειριστικές εκτιμήσεις που επηρεάζουν τη σχέση κόστους-αποτελεσματικότητας των συστημάτων παραγωγής. Η ανάλυσή τους οδήγησε στο συμπέρασμα ότι η τεχνολογία τρισδιάστατης εκτύπωσης διευκολύνει σημαντικά την υλοποίηση των πρακτικών LM. Ένα από τα βασικά πλεονεκτήματά της είναι η δυνατότητα παραγωγής σε μικρές παρτίδες, καθώς επιτρέπει συστήματα εκτύπωσης κατά παραγγελία, εξαλείφοντας έτσι την ανάγκη για αποθέματα και προωθώντας συστήματα έλξης. Επιπλέον, η τρισδιάστατη εκτύπωση επιτρέπει την κατασκευή ακριβώς στη στιγμή (JIT), μειώνοντας τους χρόνους παράδοσης και ενισχύοντας την αποδοτικότητα της εφοδιαστικής αλυσίδας επιτρέποντας στους εκτυπωτές να βρίσκονται πιο κοντά στις τοποθεσίες πελατών, μειώνοντας έτσι την απόσταση και το κόστος παράδοσης.

Όσον αφορά τους ανθρώπινους παράγοντες, η υιοθέτηση της τεχνολογίας τρισδιάστατης εκτύπωσης έχει ως αποτέλεσμα την αυτοματοποίηση περισσότερων εργασιών, μειώνοντας τα ζητήματα που σχετίζονται με την ανισορροπία ή την υπέρβαση του φόρτου εργασίας, βελτιώνοντας έτσι την ευημερία των εργαζομένων και αφήνοντάς τους ελεύθερους να επικεντρωθούν σε διαδικασίες συνεχούς βελτίωσης. Οι Rauch et al. (2016) επιβεβαίωσαν ότι η αξιοποίηση τεχνολογιών κατασκευής προσθέτων, όπως η τρισδιάστατη εκτύπωση, ενισχύει τις διαδικασίες ανάπτυξης έξυπνων προϊόντων, βελτιώνοντας έτσι την αποτελεσματικότητα. Ομοίως, οι Wang et al. (2016) υποστήριξαν ότι η τεχνολογία τρισδιάστατης εκτύπωσης αποδεικνύεται ανεκτίμητη για την παραγωγή περίπλοκων εξαρτημάτων, μειώνοντας έτσι τους χρόνους εγκατάστασης και διευκολύνοντας την ροή της παραγωγής.

Με βάση την παραπάνω θεωρία διατυπώνεται η εξής ερευνητική ερώτηση:

*EP3. Υπάρχει αλληλεπίδραση μεταξύ των πρακτικών Lean και των τεχνολογιών I4.0;*



## 4. Έρευνα

### 4.1 Μεθοδολογία

#### 4.1.1 Ανάπτυξη ερωτηματολογίου

Στην παρούσα ΜΔΕ διεξήχθη έρευνα χρησιμοποιώντας ένα δομημένο ερωτηματολόγιο, την προτιμώμενη μέθοδο για την έρευνα της μεθοδολογίας (LM) (Jasti and Kodali, 2014). Τα στοιχεία του ερωτηματολογίου βασίστηκαν σε πρακτικές LM και τεχνολογίες I4.0 που προσδιορίστηκαν μέσω μιας εκτενούς βιβλιογραφικής ανασκόπησης. Συγκεκριμένα, τα ερωτήματα για τις πρακτικές LM προσαρμόστηκαν από τα έργα των Malmbrandt and Ahlstrom (2013), Bhamu and Sangwan (2014), Jasti and Kodali (2014, 2015), Narayanamurthy and Gurumurthy (2016), Rossini et al. (2019) και Garay-Rondero et al. (2019). Για τις τεχνολογίες I4.0 προσαρμόστηκαν από μελέτες των Bibby and Dehe (2018), Rossini et al. (2019), Cohen et al. (2019), Pagliosa et al. (2021), Nedjwa et al. (2022), Chavez et al. (2022), Gadekar et al. (2022), Kunju et al. (2022) και Raj and Jeyaraj (2023).

Το ερωτηματολόγιο χωρίστηκε σε δύο ενότητες: η πρώτη επικεντρώθηκε στις πρακτικές LM και η δεύτερη στις τεχνολογίες I4.0. Η ολοκληρωμένη βιβλιογραφική ανασκόπηση εξασφάλισε ότι τα ερωτήματα σχετικά με τις πρακτικές LM και τις τεχνολογίες I4.0 είχαν έγκυρο περιεχόμενο, πράγμα που σημαίνει ότι όλες οι σχετικές πτυχές αυτών των θεμάτων αντιπροσωπεύονταν από τα στοιχεία του ερωτηματολογίου (Psomas et al., 2018a, 2023; Keramida et al., 2023).

Οι ερωτηθέντες βαθμολόγησαν τον βαθμό εφαρμογής των πρακτικών LM και των τεχνολογιών I4.0 στις επιχειρήσεις τους σε κλίμακα Likert επτά βαθμών, με το 1 να δείχνει μηδενικό βαθμό υλοποίησης και το 7 να δείχνει έναν εξαιρετικά υψηλό βαθμό εφαρμογής.

#### 4.1.2 Δείγμα

Επιλέχθηκαν τυχαία 9 επιχειρήσεις στον τομέα των τροφίμων και της φαρμακοβιομηχανίας. και το ερωτηματολόγιο στάλθηκε με email σε εργαζομένους των επιχειρήσεων αυτών τον Δεκέμβριο του 2023. Αφού το αρχικό email έδωσε μόνο 16 πλήρως συμπληρωμένα ερωτηματολόγια, εστάλη επαναληπτικά ένα μήνα αργότερα. Συνολικά, συλλέχθηκαν 30 έγκυρες απαντήσεις.

Αρκετές επιχειρήσεις που δεν συμμετείχαν στη μελέτη ανέφεραν λόγους, όπως "έλλειψη χρόνου", "πολιτική της εταιρείας για μη αποκάλυψη πληροφοριών" και "έλλειψη ενδιαφέροντος", οι οποίοι συνάδουν με τους λόγους που σημειώθηκαν στη μελέτη από τους Psomas et al. (2018a).

#### **4.1.3 Ανάλυση δεδομένων**

Όλες οι πρακτικές LM και οι τεχνολογίες I4.0 που προσδιορίζονται στη βιβλιογραφία συμπεριλήφθηκαν στην ανάλυση δεδομένων για να παρέχουν μια ολοκληρωμένη λίστα αυτών των στοιχείων. Ακολουθώντας την προσέγγιση των Psomas et al. (2017), χρησιμοποιήθηκαν περιγραφικές στατιστικές για την αξιολόγηση του βαθμού εφαρμογής των πρακτικών LM και των τεχνολογιών I4.0. Οι μέσες τιμές για αυτές τις πρακτικές και τεχνολογίες υπολογίστηκαν με βάση τις απαντήσεις των εκπροσώπων των επιχειρήσεων.

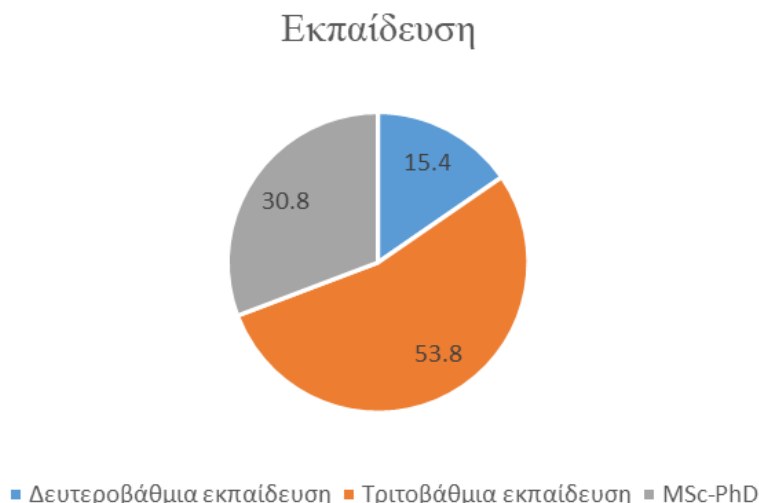
Τόσο οι πρακτικές LM όσο και οι τεχνολογίες I4.0 ενοποιήθηκαν σε ένα σύνθετο μέτρο, παρόμοια με τη μέθοδο που χρησιμοποιήθηκε από τους Rossini et al. (2019). Συγκεκριμένα, η συνολική μέση τιμή των πρακτικών LM υπολογίστηκε από τις μέσες τιμές των επιμέρους πρακτικών LM και η συνολική μέση τιμή των τεχνολογιών I4.0 υπολογίστηκε από τις μέσες τιμές των επιμέρους τεχνολογιών I4.0.

Για να προσδιοριστεί η επίδραση των τεχνολογιών I4.0 στη μεθοδολογία LM, πραγματοποιήθηκε ανάλυση συσχέτισης. Η ανάλυση συσχέτισης μεταξύ δύο μεταβλητών μας δείχνει τον βαθμό και την κατεύθυνση της σχέσης μεταξύ τους. Η συσχέτιση μπορεί να είναι θετική, αρνητική ή μηδενική, και μετριέται συνήθως με τον συντελεστή συσχέτισης, όπως ο συντελεστής Pearson ( $\rho$ ).

Η επεξεργασία των δεδομένων έγινε με χρήση του MINITAB έκδοση 22.

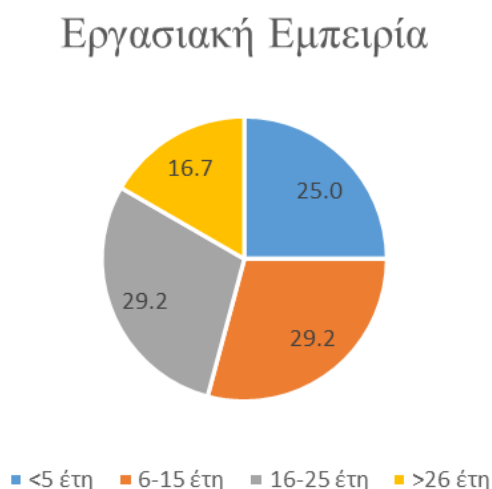
## 4.2 Αποτελέσματα

### 4.2.1 Αποτελέσματα σχετικά με το προφίλ των εργαζομένων και των επιχειρήσεων



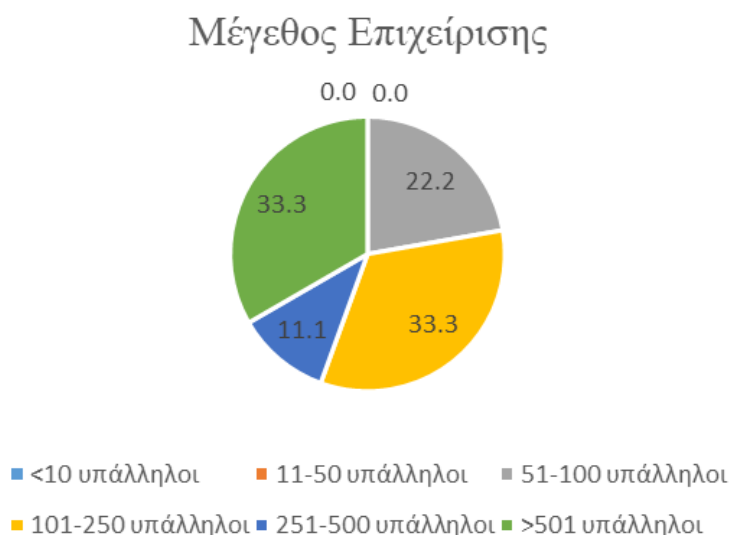
Σχήμα 4.1. Επίπεδο εκπαίδευσης

Όπως φαίνεται και στο Σχήμα 4.1, το 53.8% των εργαζομένων των επιχειρήσεων που συμμετείχαν στην έρευνα έχουν επίπεδο εκπαίδευσης τριτοβάθμια εκπαίδευση και μόνο το 15.4% έχουν επίπεδο εκπαίδευσης δευτεροβάθμια εκπαίδευση.

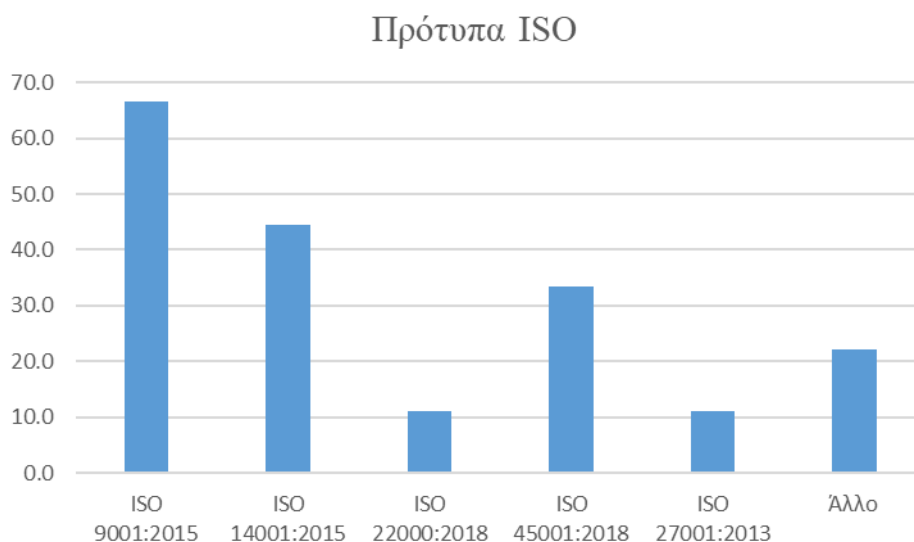


Σχήμα 4.2. Έτη εργασιακής εμπειρίας

Στο Σχήμα 4.2, παρατηρείτε ότι το μεγαλύτερο ποσοστό των εργαζομένων στις επιχειρήσεις που συμμετείχαν στην έρευνα είχαν από 6-15 και 16-25 έτη εργασιακή εμπειρία. Αντιθέτως, το μικρότερο ποσοστό ήταν εργαζόμενοι με πάνω από 26 έτη εργασιακή εμπειρία.



**Σχήμα 4.3. Μέγεθος επιχειρήσεων**



**Σχήμα 4.4. Πρότυπα ISO**

Σύμφωνα με το Σχήμα 4.3, το 33.3% των επιχειρήσεων που επιλέχθηκαν για την έρευνα απασχολεί 101-250 υπαλλήλους. Αντίστοιχα, το 33.3% είχε πάνω από 500 υπαλλήλους, το

22.2% έχει μεταξύ 50 και 100 υπαλλήλους και το 11.1% απασχολεί μεταξύ 251 και 500 υπαλλήλους. Στο δείγμα δεν υπήρξαν εταιρείες με λιγότερους από 50 υπαλλήλους.

Επιπλέον από το Σχήμα 4.4, παρατηρείτε ότι, το 66.7% των επιχειρήσεων είναι πιστοποιημένες σύμφωνα με το πρότυπο ISO 9001:2015. Το 44.4% των εταιρειών είναι πιστοποιημένες με το ISO 14001:2015, το 33.3% με το ISO 45001:2018 και μόνο το 11.1% έχουν πιστοποίηση με το ISO 27001:2013 και ακόμα ένα 11.1% έχουν πιστοποίηση με το ISO 22000:2018.

Αξιοσημείωτο είναι ότι όλες οι επιχειρήσεις που συμμετείχαν στην έρευνα είναι εξαγωγικές, αντανακλώντας την οργανωμένη προώθηση των ελληνικών προϊόντων στις διεθνείς αγορές (Konstantinidis et al., 2022).

#### **4.2.2 Αποτελέσματα σχετικά με τη σημαντικότητα των πρακτικών LM στις επιχειρήσεις**

Οι πρακτικές LM που εφαρμόζονται στο δείγμα των ελληνικών βιομηχανιών που επιλέχθηκε παρατίθενται στον Πίνακα 4.1, ταξινομημένες με φθίνουσα σειρά σύμφωνα με τις μέσες τιμές τους.

**Πίνακας 4.1. Πρακτικές LM στις βιομηχανίες**

<b>Πρακτικές LM</b>	<b>Μέση τιμή</b>	<b>Τυπική απόκλιση</b>
Διαχείριση Συνολικής Συντήρησης	6.000	1.107
Τυποποίηση εργασίας	5.750	0.778
Διαχείριση μείωσης χρόνου εγκατάστασης	5.708	1.369
Κατανόηση των αναγκών του πελάτη	5.625	0.988

**Πίνακας 4.1 Πρακτικές LM στις βιομηχανίες (συνέχεια)**

Πρακτικές LM	Μέση τιμή	Τυπική απόκλιση
Δέσμευση και συμμετοχή ανώτατης διοίκησης	5.583	1.037
Just-in-Time παραγωγή και παράδοση από την επιχείρηση	5.542	1.504
Συνεχής βελτίωση και τελειοποίηση της αξίας	5.500	1.123
Δημιουργία ροών εντός των ροών αξίας	5.417	1.530
Χρήση εργαλείων και τεχνικών ποιότητας	5.417	1.343
Cellular Manufacturing	5.333	1.063
Just-in-Time αγορά και παράδοση από τους προμηθευτές	5.333	1.685
Συνεργασία με προμηθευτές	5.333	0.982

**Πίνακας 4.1. Πρακτικές LM στις βιομηχανίες (Συνέχεια)**

<b>Πρακτικές LM</b>	<b>Μέση τιμή</b>	<b>Τυπική απόκλιση</b>
Ανταλλαγή πληροφοριών μεταξύ της επιχείρησης, των εμπορικών εταίρων και των προμηθευτών	5.292	1.356
Καθιέρωση ροών αξίας	5.167	1.687
Ποιότητα σχεδιασμένη στο προϊόν	5.125	1.669
Πολυλειτουργικότητα των υπαλλήλων και των ομάδων και cross-training	5.125	1.411
Παροχή feedback στους προμηθευτές	5.083	1.164
Εξέλιξη και εκπαίδευση	5.042	1.508
Συμμετοχή υπαλλήλων στη διοίκηση ποιότητας	5.042	1.745
Αποκέντρωση	4.833	1.557
Οπτική διαχείριση	4.458	1.275



**Πίνακας 4.1. Πρακτικές LM στις βιομηχανίες (Συνέχεια)**

<b>Πρακτικές LM</b>	<b>Μέση τιμή</b>	<b>Τυπική απόκλιση</b>
Συμμετοχή πελατών στο σύστημα διοίκησης	3.958	1.414
Προσέγγιση Pull μέσω Kanban cards	3.167	1.930
<b>LM (σύνθετο μέτρο)</b>	<b>5.167</b>	

Αυτός ο πίνακας περιλαμβάνει επίσης τη συνολική μέση τιμή των πρακτικών LM. Όπως φαίνεται στον Πίνακα 4.1, η εφαρμογή των πρακτικών LM σε αυτές τις βιομηχανίες είναι υψηλή, με τον συνολικό μέσο όρο των πρακτικών LM να είναι 5.167. Οι μέσες τιμές για μεμονωμένες πρακτικές LM κυμαίνονται από 3.167 έως 6.000 στην επταβάθμια κλίμακα Likert. Οι πιο ευρέως εφαρμοσμένες πρακτικές LM περιλαμβάνουν τη Διαχείριση Συνολικής Συντήρησης (TPM), την τυποποίηση εργασίας, τη διαχείριση μείωσης χρόνου εγκατάστασης, την κατανόηση των αναγκών του πελάτη, τη δέσμευση και συμμετοχή της ανώτατης διοίκησης, η Just-in-Time παραγωγή και παράδοση από την επιχείρηση, η συνεχής βελτίωση και τελειοποίηση της αξίας, η δημιουργία ροών εντός των ροών αξίας και η χρήση εργαλείων και τεχνικών ποιότητας. Αντίθετα, οι πρακτικές που εφαρμόζονται αισθητά λιγότερο είναι η συμμετοχή πελατών στο σύστημα διοίκησης και η προσέγγιση Pull μέσω Kanban cards.

#### **4.2.3 Αποτελέσματα σχετικά με τη σημαντικότητα των τεχνολογιών I4.0 στις επιχειρήσεις**

Ο Πίνακας 4.2 παρουσιάζει τις τεχνολογίες I4.0 που εφαρμόζονται στις ελληνικές βιομηχανίες που συμμετείχαν στην έρευνα, ταξινομημένες επίσης κατά φθίνουσα σειρά με βάση τις μέσες τιμές τους.

**Πίνακας 4.2. Τεχνολογίες I4.0 στις βιομηχανίες**

<b>Τεχνολογίες I4.0</b>	<b>Μέση τιμή</b>	<b>Τυπική απόκλιση</b>
Cloud computing	5.625	1.196
Ρομποτικά συστήματα	5.250	2.387
Internet of Things	4.875	2.309
Big data analytics	4.833	1.882
3D εκτύπωση	4.500	2.352
Blockchain	4.333	2.179
Κυβερνοφυσικά συστήματα	4.250	2.435
Επαυξημένη πραγματικότητα (AR)	3.917	2.181
Τεχνητή Νοημοσύνη (AI)	3.833	2.380
<b>I4.0 (σύνθετο μέτρο)</b>	<b>4.602</b>	

Στον παραπάνω πίνακα φαίνεται η συνολική μέση τιμή της εφαρμογής των τεχνολογιών I4.0 στις ελληνικές βιομηχανίες και είναι 4.602. Ο Πίνακας 4.2 δείχνει ότι ο βαθμός εφαρμογής των τεχνολογιών I4.0 στις ελληνικές βιομηχανίες είναι μέτριος. Οι μέσες τιμές για μεμονωμένες τεχνολογίες I4.0 κυμαίνονται από 3.833 έως 5.625 στην επταβάθμια κλίμακα Likert. Συγκεκριμένα, οι πιο εφαρμοσμένες τεχνολογίες I4.0 περιλαμβάνουν το cloud computing, τα ρομποτικά συστήματα, το Internet of Things και Big Data analytics. Οι λιγότερο εφαρμοσμένες τεχνολογίες I4.0 είναι τα η επαυξημένη πραγματικότητα και η τεχνητή νοημοσύνη.

#### 4.2.4 Αποτελέσματα σχετικά με τη συσχέτιση των πρακτικών LM και των τεχνολογιών I4.0 στις επιχειρήσεις

Στον Πίνακα 4.3 φαίνονται τα αποτελέσματα της ανάλυσης συσχέτισης μεταξύ των πρακτικών LM και των τεχνολογιών I4.0.

Πίνακας 4.3. Ανάλυση συσχέτισης μεταξύ πρακτικών LM και τεχνολογιών I4.0

Pairwise Pearson Correlations					
Μεταβλητή 1	Μεταβλητή 2	Δείγμα	Συντελεστής συσχέτισης, $\rho$	95% CI για το $\rho$	p-Value
I4.0	LM	24	0.914	(0.808,0.962)	0.000

Παρατηρείτε ότι ο συντελεστής συσχέτισης είναι 0.914, γεγονός που καθιστά ισχυρή και με θετική κατεύθυνση τη σχέση μεταξύ των πρακτικών LM και των τεχνολογιών I4.0.

### 4.3 Συζήτηση αποτελεσμάτων

#### 4.3.1 Συζήτηση σχετικά με την εφαρμογή των πρακτικών LM στις ελληνικές βιομηχανίες

Το υψηλό επίπεδο εφαρμογής των πρακτικών LM από τις ελληνικές βιομηχανίες στο δείγμα υποδηλώνει έντονη εστίαση στη βελτίωση της ποιότητας και στην εξάλειψη των σπαταλών. Αυτές οι επιχειρήσεις έχουν ενσωματώσει στις παραδοσιακές προσεγγίσεις διαχείρισης τη μεθοδολογία LM τόσο λόγω εξωτερικών όσο και εσωτερικών παραγόντων. Αυτοί οι παράγοντες απαιτούν τη μείωση των δραστηριοτήτων, των σπαταλών και του κόστους χωρίς προστιθέμενη αξία, ενώ παράλληλα βελτιώνεται η λειτουργική ποιότητα για να παραμείνει ανταγωνιστική και βιώσιμη η επιχείρηση (Psomas & Deliou, 2023).

Επιπλέον, η ανάγκη για εξαγωγές, η επέκταση της αγοράς και ο έντονος παγκόσμιος ανταγωνισμός έχουν οδηγήσει τις επιχειρήσεις να βελτιώσουν την ποιότητα, την ανταπόκριση στις ανάγκες των πελατών και τη συνολική αποτελεσματικότητα, όλα επιτεύξιμα μέσω της υιοθέτησης πρακτικών LM.

Όπως αναφέρθηκε και παραπάνω, οι πρακτικές LM που εφαρμόζονται σε μεγάλο βαθμό μεταξύ των βιομηχανιών του δείγματος περιλαμβάνουν τη Διαχείριση Συνολικής Συντήρησης

(TPM), την τυποποίηση εργασίας, τη διαχείριση μείωσης χρόνου εγκατάστασης, την κατανόηση των αναγκών του πελάτη, τη δέσμευση και συμμετοχή της ανώτατης διοίκησης, η Just-in-Time παραγωγή και παράδοση από την επιχείρηση, η συνεχής βελτίωση και τελειοποίηση της αξίας, η δημιουργία ροών εντός των ροών αξίας και η χρήση εργαλείων και τεχνικών ποιότητας. Σε αντίθεση με την έρευνα των Psomas & Deliou (2023), δεν παρατηρήθηκε στην παρούσα έρευνα ότι είχαν μεγαλύτερο βαθμό εφαρμογής οι ανθρωποκεντρικές πρακτικές LM. Γενικά, παρατηρήθηκε παρόμοιος βαθμός εφαρμογής για τις περισσότερες πρακτικές LM, εκτός από τη συμμετοχή πελατών στο σύστημα διοίκησης και την προσέγγιση Pull μέσω Kanban cards που εφαρμόζονται αισθητά λιγότερο.

Ομοίως, οι Psomas et al. (2018) ανέφερε υψηλή υιοθέτηση ανθρωποκεντρικών και προσανατολισμένων στη διαδικασία πρακτικών στις ελληνικές MME τροφοίμων κατά τη διάρκεια της οικονομικής κρίσης, αν και βρήκαν πιο διαδεδομένες πρακτικές που προσανατολίζονται στη διαδικασία, πιθανώς λόγω της πιστοποίησης ISO 9001 των εταιρειών.

#### **4.3.2 Συζήτηση σχετικά με την εφαρμογή των τεχνολογιών I4.0 στις ελληνικές βιομηχανίες**

Οι τεχνολογίες I4.0 φαίνεται να εφαρμόζονται σε μέτριο βαθμό στις ελληνικές βιομηχανίες που συμμετείχαν στην έρευνα. Αυτό αντανακλάται και στο χαμηλό ποσοστό αυτών των επιχειρήσεων που έχουν πιστοποιηθεί με το πρότυπο ISO 27001 (μόνο 10% των επιχειρήσεων). Φαίνεται ότι αυτές οι επιχειρήσεις δεν έχουν ακόμη αναγνωρίσει την έντονη ανάγκη να ενσωματώσουν εκτενώς τις ψηφιακές τεχνολογίες στις καθημερινές τους δραστηριότητες. Οι τεχνολογίες I4.0 ωστόσο που είχαν το μεγαλύτερο βαθμό εφαρμογής και άρα είναι πιο ευρέως διαδεδομένες είναι το cloud computing, τα ρομποτικά συστήματα, το Internet of Things και Big Data analytics. Οι λιγότερο εφαρμοσμένες τεχνολογίες I4.0 είναι τα η επαυξημένη πραγματικότητα και η τεχνητή νοημοσύνη.

Ο μέτριος βαθμός εφαρμογής των τεχνολογιών αυτών μπορεί να οφείλεται στην οικονομική κρίση που τη μείωση των κερδών των επιχειρήσεων στην Ελλάδα, οπότε δεν μπορούν να επενδύσουν χρήματα για ψηφιακή αναβάθμιση (Antony et al., 2023).

Από την άλλη πλευρά, η πανδημία COVID-19 έχει επίσης λειτουργήσει ως καταλύτης για τις εταιρείες να υιοθετήσουν ψηφιακές τεχνολογίες (Afonso et al., 2021; Kapoor et al., 2021; Gaddekar et al., 2022), καθοδηγούμενη από την ανάγκη για περισσότερες αυτοματοποιημένες

λειτουργίες για τη διασφάλιση ασφαλέστερων χώρων εργασίας (Afonso et al., 2021) και την ικανότητα διαχείρισης λειτουργιών εξ αποστάσεως (Gadekar et al., 2022; Kunju et al., 2022).

Η τρέχουσα ενεργειακή κρίση ενθαρρύνει επίσης την υιοθέτηση των τεχνολογιών I4.0. Καθώς το ενεργειακό κόστος αυξάνεται και οι πόροι γίνονται σπάνιοι, οι εταιρείες μπορούν να χρησιμοποιήσουν τις τεχνολογίες I4.0 για να βελτιστοποιήσουν τη χρήση των πόρων και να προσαρμοστούν στις διακυμάνσεις του ενεργειακού εφοδιασμού (Kamble et al., 2018; Navas et al., 2020).

Λαμβάνοντας υπόψη αυτούς τους θετικούς και αρνητικούς παράγοντες, είναι κατανοητή η μέτρια εφαρμογή των τεχνολογιών I4.0 στις βιομηχανίες. Τα αποτελέσματα αυτά συμφωνούν και με τους Psomas & Deliou (2023), όπου βρήκαν πως είναι χαμηλός έως μέτριος ο βαθμός εφαρμογής των τεχνολογιών I4.0 στις ελληνικές εταιρείες τροφίμων. Οι Jena και Patel (2022) από την άλλη παρατήρησαν χαμηλό επίπεδο της εφαρμογής των τεχνολογιών I4.0 στις ινδικές βιομηχανίες λόγω διαφόρων εμποδίων. Αντίθετα, οι Rossini et al. (2019) βρήκαν ότι είναι ευρεία η εφαρμογή των τεχνολογιών I4.0 στις Ευρωπαϊκές βιομηχανίες.

#### **4.3.3 Συζήτηση σχετικά με την αλληλεπίδραση των πρακτικών LM και των τεχνολογιών I4.0 στις ελληνικές βιομηχανίες**

Η παρούσα μελέτη όχι μόνο εξέτασε τον βαθμό στον οποίο εφαρμόζονται οι πρακτικές LM και οι τεχνολογίες I4.0 στις ελληνικές βιομηχανίες, αλλά διερεύνησε επίσης πώς η υιοθέτηση των τεχνολογιών I4.0 επηρεάζει την εφαρμογή των πρακτικών LM. Επιβεβαιώνει προηγούμενες έρευνες, όπως η μελέτη των Narula et al. (2023) και Psomas & Deliou (2023) και υποστηρίζει την άποψη ότι οι τεχνολογίες I4.0 είναι ένας σημαντικός παράγοντας που επηρεάζει την υιοθέτηση των πρακτικών LM στις βιομηχανίες (συντελεστής συσχέτισης 0.914).

Όπως έχουν αναφέρει και οι Psomas & Deliou (2023), λαμβάνοντας υπόψη όλες τις πρακτικές LM που εφαρμόζονται στις βιομηχανίες, είναι σαφές ότι κάθε πρακτική μπορεί να βελτιωθεί και να υποστηριχθεί από τις τεχνολογίες I4.0. Τόσο οι ανθρωποκεντρικές όσο και οι πρακτικές LM που προσανατολίζονται στις διαδικασίες μπορούν να εφαρμοστούν καλύτερα σε ένα ψηφιακό περιβάλλον, όχι μόνο στο χώρο της παραγωγής, αλλά και σε ολόκληρη τη βιομηχανία και την αλυσίδα εφοδιασμού.

Από αυτές τις παρατηρήσεις, δικαιολογείται η θετική και σημαντική επίδραση του I4.0 στο LM στις βιομηχανίες.

#### 4.4 Συμπεράσματα

Οι βιομηχανίες αντιμετωπίζουν ποικίλες προκλήσεις, όπως η αλλαγή των προσδοκιών των πελατών, ο έντονος ανταγωνισμός, η παγκοσμιοποίηση, οι χρηματοπιστωτικές κρίσεις και η οικονομική ύφεση. Για να παραμείνουν ανταγωνιστικές σε αυτές τις απαιτητικές συνθήκες, οι εταιρείες πρέπει να υιοθετούν συνεχώς τις πιο πρόσφατες τεχνολογίες και διαδικασίες για να διασφαλίζουν τη βιωσιμότητα των εργασιών τους. Οι τεχνολογίες I4.0 αντιπροσωπεύουν την τελευταία πρόοδο στις βιομηχανικές διαδικασίες, προσφέροντας μια πιθανή λύση για την επιτυχία του παραγωγικού τομέα στην ψηφιακή εποχή. Ωστόσο, η επιτυχής εφαρμογή τους απαιτεί ευθυγράμμιση με τις βελτιώσεις της οργανωτικής διαδικασίας για την επίτευξη βιωσιμότητας. Αυτό μελετήθηκε και στην παρούσα ΜΔΕ. Η παράλληλη εφαρμογή πρακτικών LM με τις τεχνολογίες I4.0 ως στρατηγική για την επίτευξη αυτής της ευθυγράμμισης. Παρά τις δυνατότητες, η ανάπτυξη σε αυτόν τον τομέα είναι ακόμη εκκολαπτόμενη, με τα περισσότερα σχετικά άρθρα να δημοσιεύονται τα τελευταία δύο χρόνια (Saad et al., 2023).

Στην παρούσα ΜΔΕ, παρατηρήθηκε ότι οι ελληνικές βιομηχανίες εφαρμόζουν σε έναν αρκετά καλό βαθμό τις πρακτικές LM, ενώ οι τεχνολογίες I4.0 υιοθετούνται σε μέτριο βαθμό με τις πιο ευρέως διαδεδομένες τεχνολογίες να είναι το cloud computing, τα ρομποτικά συστήματα, το Internet of Things και Big Data analytics.

Επιπλέον, παρατηρήθηκε και μεγάλη συσχέτιση μεταξύ των τεχνολογιών I4.0 και των πρακτικών LM, που συνεπάγεται την επίδραση στην υιοθέτηση των πρακτικών LM από τις τεχνολογίες I4.0

#### 4.5 Πρακτικές εφαρμογές

Τα ευρήματα αυτής της μελέτης παρουσιάζουν σημαντικό ενδιαφέρον τόσο για τους ακαδημαϊκούς όσο και για τους επαγγελματίες. Οι ακαδημαϊκοί μπορούν να χρησιμοποιήσουν τα παρατηρούμενα επίπεδα εφαρμογής των πρακτικών Lean Manufacturing (LM) και τεχνολογιών Industry 4.0 (I4.0) σε ελληνικές βιομηχανίες ως βάση για να κατανοήσουν την εφαρμογή αυτών των μεθοδολογιών σε αυτόν τον τομέα και να προβούν σε περαιτέρω έρευνες. Οι επαγγελματίες των βιομηχανιών μπορούν να επωφεληθούν από πληροφορίες σχετικά με τα

τρέχοντα επίπεδα εφαρμογής των πρακτικών LM και των τεχνολογιών I4.0, καθώς η γνώση αυτή μπορεί να τους καθοδηγήσει στην ενίσχυση των πρακτικών LM μέσω της υιοθέτησης των τεχνολογιών I4.0, το οποίο έχει αποδειχθεί ότι έχει θετικό αντίκτυπο. Επιπλέον, μπορούν να αναγνωρίσουν τις δυνατότητες περαιτέρω βελτίωσης στην εφαρμογή των πρακτικών LM και των τεχνολογιών I4.0 στις ελληνικές βιομηχανίες. Αυτό το δυναμικό μπορεί να θέσει τις βάσεις για τη δημιουργία ενός ισχυρού πλαισίου λειτουργικής αριστείας, ενισχύοντας έτσι αυτές τις εταιρείες έναντι των δύσκολων εξωτερικών και εσωτερικών επιχειρηματικών συνθηκών.

#### **4.6 Περιορισμοί έρευνας και Προτάσεις για περαιτέρω έρευνα**

Η έρευνα επικεντρώθηκε στην ενσωμάτωση πρακτικών LM και τεχνολογιών I4.0 σε βιομηχανίες, το οποίο μπορεί να περιορίσει τη γενίκευση των ευρημάτων σε άλλα πλαίσια. Ο βαθμός απόκρισης στην έρευνα δεν ήταν ο αναμενόμενος, με κυρίαρχο λόγο την έλλειψη χρόνου από τους εργαζομένους των επιχειρήσεων. Επιπλέον, η έρευνα περιορίστηκε σε φαρμακοβιομηχανίες και βιομηχανίες τροφίμων. Στον περιορισμό της έρευνας συνέβαλλε και το γεγονός του χρονικού περιορισμού καθώς διεξάγει στα πλαίσια μίας ΜΔΕ.

Με βάση την τρέχουσα βιβλιογραφία, το βιβλιογραφικό κενό είναι μεγάλο σχετικά με την ενσωμάτωση των πρακτικών λιτής διοίκησης και των τεχνολογιών I4.0 (Psomas & Deliou, 2023), την επιρροή των τεχνολογιών I4.0 στη λιτή διοίκηση, αλλά και την επιρροή των πρακτικών LM στην υιοθέτηση των τεχνολογιών I4.0 (Narula et al., 2023) καθώς και την υιοθέτηση των τεχνολογιών I4.0 ως λύση για τις μικρομεσαίες επιχειρήσεις να εφαρμόσουν τις πρακτικές λιτής διοίκησης (Kamble et al., 2020).

Η μελλοντική έρευνα θα πρέπει να αντιμετωπίσει τα ακόλουθα κενά (Saad et al., 2023; Núñez-Merino et al., 2020; Pagliosa et al., 2021):

- Διευθυντικές και οργανωτικές πτυχές της υιοθέτησης της μεθοδολογίας LM και των τεχνολογιών I4.0.
- Ο αντίκτυπος των κοινωνικο-πολιτιστικών και κοινωνικο-οικονομικών πλαισίων στην ενσωμάτωση της μεθοδολογίας LM και τεχνολογιών I4.0 τόσο στις ανεπτυγμένες όσο και στις αναπτυσσόμενες οικονομίες.



- Βασικές συστάσεις για τις ΜΜΕ σχετικά με την ενοποίηση της μεθοδολογίας LM και των τεχνολογιών I4.0.
- Η υιοθέτηση των τεχνολογιών Industry 4.0 σε ένα περιβάλλον Lean Six Sigma (LSS).
- Το επίπεδο της επίδρασης της εφαρμογής των πρακτικών Lean στην υιοθέτηση των τεχνολογιών I4.0.
- Ο αντίκτυπος των τεχνολογιών I4.0 στη Διαχείριση Συνολικής Συντήρησης (TPM).
- Η ανάπτυξη ενός πλαισίου που ενσωματώνει τη λιτή διοίκηση και τις τεχνολογίες I4.0 η διερεύνηση των συνδυασμών εργαλείων της λιτής διοίκησης και τεχνολογιών I4.0
- Η περαιτέρω έρευνα της επιρροής που έχουν οι ψηφιακές τεχνολογίες στη λιτή διοίκηση

## Βιβλιογραφία

- Abdul Aziz, A.R., Nishazini, M.B., Fareza and Azizan, N.A. (2014) ‘Survey to see the impact of 5S implementation among staff of KPJ Seremban Specialist Hospital, Malaysia’, *IOSR Journal of Business and Management*, Vol. 16, No. 3, pp.82–96.
- Afonso, T., Alves, A.C. and Carneiro, P. (2021), “Lean thinking, logistic and ergonomics: synergetic triad to prepare shop floor work systems to face pandemic situations”, *International Journal of Global Business and Competitiveness*, Vol. 16 No. S1, pp. 62-76.
- Agrawal, N. (2010), “Review on just in time techniques in manufacturing systems”, *Advances in Production Engineering and Management*, Vol. 5, pp. 101-110.
- Agyabeng-Mensah, Y., Afum, E., Agnikpe, C., Cai, J., Ahenkorah, E., & Dacosta, E. (2021). Exploring the mediating influences of total quality management and just in time between green supply chain practices and performance. *Journal of Manufacturing Technology Management*, 32(1), 156-175. <http://dx.doi.org/10.1108/JMTM-03-2020-0086>.
- Ahmad, N. G. (2015). Robotics and food technology: A mini review. *Journal of Nutrition & Food Sciences*, 5(4). doi:10.4172/2155-9600.1000384
- Ahmed, S. and Hassan, M. (2003) ‘Survey and case investigations on application of quality management tools and techniques in SMIs’, *International Journal of Quality & Reliability Management*, Vol. 20, No. 7, pp.795–826.
- Akpınar, M.E. (2022), "Industry 4.0 and Applications in Manufacturing Industry", Yakut, E. (Ed.) *Industry 4.0 and Global Businesses*, Emerald Publishing Limited, Leeds, pp. 111-124. <https://doi.org/10.1108/978-1-80117-326-120211008>
- Alcacer, V. and Cruz-Machado, V. (2019), “Scanning the industry 4.0: a literature review on technologies for manufacturing systems”, *Engineering Science and Technology, an International Journal*, Vol. 22 No. 3, pp. 899-919.
- Alfutaih, Abdulmalek & Demirkol, İsa. (2020). The Relationship Between Industry 4.0 and Lean Production: An Empirical Study on Bursa Manufacturing Industry. *Journal of Business Research - Turk*. 12. 1083-1097. 10.20491/isarder.2020.897.
- Almeida, H.A., Costa, A.F., Ramos, C., Torres, C., Minondo, M., Bartolo, P.J., Nunes, A., Kemmoku, D. and da Silva, J. V.L. (2019), “Additive manufacturing systems for medical applications: case studies”, *Additive Manufacturing – Developments in Training and Education*, in Pei, E., Monzon, M. and Bernard, A. (Eds), Springer International Publishing, Cham, pp. 187-209, doi: 10.1007/978-3-319-76084-1\_13.
- Alur, R. (2015). Principles of cyber-physical systems. *The MIT Press*

Anthony, S.G. and Antony, J. (2022), "The History of Lean Six Sigma", *Lean Six Sigma in Higher Education Institutions*, Emerald Publishing Limited, Leeds, pp. 15-21.  
<https://doi.org/10.1108/978-1-80382-601-120221004>

Antony, J., McDermott, O. and Son, M. (2022), "Quality 4.0 conceptualisation and theoretical understanding: a global exploratory qualitative study", *The TQM Journal*, Vol. 34 No. 5, pp. 1169-1188.

Antony, J., Sony, M., Garza-Reyes, J.A., McDermott, O., Tortorella, G., Jayaraman, R., Sucharitha, R.S., Salentijn, W. and Maalouf, M. (2023), "Industry 4.0 benefits, challenges and critical success factors: a comparative analysis through the lens of resource dependence theory across continents and economies", *Journal of Manufacturing Technology Management*, Vol. 34 No. 7, pp. 1073-1097.

Antony, J., Sony, M., McDermott, O., Jayaraman, R. and Flynn, D. (2023), "An exploration of organizational readiness factors for quality 4.0: an intercontinental study and future research directions", *International Journal of Quality and Reliability Management*, Vol. 40 No. 2, pp. 582-606.

Arcidiacono, G. & Pieroni, A. (2018) "The revolution Lean Six Sigma 4.0," *Int. J. Adv. Sci. Eng. Inf. Technol.*, vol. 8, no. 1, pp. 141–149

aruna sri, Satya & Bhaskari, Lalitha. (2018). A study on blockchain technology. *International Journal of Engineering & Technology*. 7. 418. 10.14419/ijet.v7i2.7.10757.

ASTM (2021), "Additive manufacturing – general principles – terminology".

Astola, P.J., Rodríguez, P., Botana, J. & Marcos, M. "A paperless based methodology for managing Quality Control. Application to a I+D+i Supplier Company," *Procedia Manuf.*, vol. 13, pp. 1066–1073, 2017.

Avis, J. (2018), "Socio-technical imaginary of the fourth industrial revolution and its implications for vocational education and training: a literature review", *Journal of Vocational Education & Training*, Vol. 70 No. 3, pp. 337-363, Taylor & Francis.

Azuma R, Baillot Y, Behringer R, Feiner S, Julier S, MacIntyre B (2001) Recent Advances in Augmented Reality. *IEEE*, November/December

B. Wang, J. Zhao, Z. Wan, J. Ma, H. Li, and J. Ma, "Lean Intelligent Production System and Value Stream Practice," in *3rd International Conference on Economics and Management (ICEM 2016)*, 2016, pp. 442–447.

Baines, T., Lightfoot, H., Williams, G.M. and Greenough, R. (2006), "State-of-the-art in lean design engineering: a literature review on white collar lean", *Proceedings of the Institution of Mechanical Engineers – Part B – Engineering Manufacture*, Vol. 220 No. 9, pp. 1539-47.

Bakshi, K. (2012) Considerations for Big Data: Architecture and Approaches. *Proceedings of the IEEE Aerospace Conference*, pp. 1–7

Balle, M., Chaize, J. and Jones, D. (2019), “Lean as a learning system: what do organisations need to do to get the transformational benefits from Toyota’s method?”, *Development and Learning in Organisations: An International Journal*.

Balle, M., Chaize, J. and Jones, D. (2019), “Lean as a learning system: what do organisations need to do to get the transformational benefits from Toyota’s method?”, *Development and Learning in Organisations: An International Journal*.

Baumers, M., Dickens, P., Tuck, C. and Hague, R. (2016), “The cost of additive manufacturing: machine productivity, economies of scale and technology-push”, *Technological Forecasting and Social Change*, Vol. 102, pp. 193-201, janv, doi: 10.1016/j.techfore.2015.02.015.

Bell, S. (2006). *Lean Enterprise Systems: Using IT for Continuous Improvements*, John Wiley & Sons, Inc., New Jersey.

Bendell, T. (2006), “A review and comparison of six sigma and the lean organisations”, *TQM Magazine*, Vol. 18 No. 3, pp. 255-62.

Bevilacqua, M., Ciarapica, F.E. and Sanctis, I. (2017), “Lean practices implementation and their relationships with operational responsiveness and company performance: an Italian study”, *International Journal of Production Research*, Vol. 55 No. 3, pp. 769-794.

Bhamu, J. and Sangwan, K.S. (2014), “Lean manufacturing: literature review and research issues”, *International Journal of Operations and Production Management*, Vol. 34 No. 7, pp. 876-940.

Bhasin, S. and Burcher, P. (2006) ‘Lean viewed as a philosophy’, *Journal of Manufacturing Technology Management*, Vol. 17, No.1, pp.56-72

Bibby, L. and Dehe, B. (2018), “Defining and assessing industry 4.0 maturity levels—case of the defence sector”, *Production Planning and Control*, Vol. 29 No. 12, pp. 1030-1043.

Bittencourt, V.L., Alves, A.C. and Leao, C.P. (2021), “Industry 4.0 triggered by lean thinking: insights from a systematic literature review”, *International Journal of Production Research*, Vol. 59 No. 5, pp. 1496-1510.

Bogue, R. (2009). The role of robots in the food industry: A review. *Industrial Robot*, 36(6), 531–536. doi:10.1108/01439910910994588

Bos, F., Wolfs, R., Ahmed, Z. and Salet, T. (2016), “Additive manufacturing of concrete in construction: potentials and challenges of 3D concrete printing”, *Virtual and Physical Prototyping*, Vol. 11 No. 3, pp. 209-225, juill, doi: 10.1080/17452759.2016.1209867.

Brady Worldwide Inc. (2008) *5S/Visual Workplace Handbook: Building the Foundation for Continuous Improvement* [online] [http://www.bradyid.com/bradyid/downloads/.do?file=5S\\_Visual\\_Workplace\\_Handbook.pdf](http://www.bradyid.com/bradyid/downloads/.do?file=5S_Visual_Workplace_Handbook.pdf) (accessed 10 June 2014).

- Bresnahan, T. (2010). General purpose technologies. In K. J. Arrow & M. D. Intriligator (Eds.), *Handbook of the economics of innovation*, Vol. 2, pp. 761–791 [https://doi.org/10.1016/S0169-7218\(10\)02002-2](https://doi.org/10.1016/S0169-7218(10)02002-2)
- Buchi, G., Cugno, M. and Castagnoli, R. (2020), “Smart factory performance and industry 4.0”, *Technological Forecasting and Social Change*, Vol. 150, doi: 10.1016/j.techfore.2019.119790.
- Buer, S., Strandhagen, J. and Chan, F. (2018), “The link between industry 4.0 and lean manufacturing: mapping current research and establishing a research agenda”, *International Journal of Production Research*, Vol. 56 No. 8, pp. 2924-2940.
- Buer, S., Strandhagen, J. and Chan, F. (2018), “The link between industry 4.0 and lean manufacturing: mapping current research and establishing a research agenda”, *International Journal of Production Research*, Vol. 56 No. 8, pp. 2924-2940.
- Cadavid, J.P.U., Lamouri, S., Grabot, B., Pellerin, R. and Fortin, A. (2020), “Machine learning applied in production planning and control: a state-of-the-art in the era of industry 4.0”, *Journal of Intelligent Manufacturing*, Vol. 31 No. 6, pp. 1531-1558.
- Calabrese, A., Dora, M., Ghiron, N.L. and Tiburzi, L. (2022), “Industry’s 4.0 transformation process: how to start, where to aim, what to be aware of”, *Production Planning and Control*, Vol. 33 No. 5, pp. 492-512.
- Calinescu, R., Camara, J., & Paterson, C. (2019). Socio-cyber-physical systems: Models, opportunities, open challenges. *5<sup>th</sup> IEEE/ACM International Workshop on Software Engineering for Smart Cyber-Physical Systems (SEsCPS)* (pp. 2–6). IEEE. <https://doi.org/10.1109/SEsCPS.2019.00008>
- Carmigniani, J., Furht, B., Anisetti, M., Ceravolo, P., Damiani, E. & Ivkovic, M. (2010). Augmented reality technologies, systems and applications. *Multimedia Tools and Applications*. 51. 341-377. 10.1007/s11042-010-0660-6.
- Carter, P. (2011). 7 wastes. Retrieved March 2, 2024, from <http://cisystemltd.blogspot.com/2011/03/7-wastes-transportation.html>
- Castellacci, F. (2008), “Technological paradigms, regimes and trajectories: manufacturing and service industries in a new taxonomy of sectoral patterns of innovation”, *Research Policy*, Vol. 37 Nos 6-7, pp. 978-994, Elsevier.
- Chavez, Z., Hauge, J.B. and Bellgran, M. (2022), “Industry 4.0, transition or addition in SMEs? A systematic literature review on digitalization for deviation management”, *The International Journal of Advanced Manufacturing Technology*, Vol. 119 Nos 1/2, pp. 57-76.
- Chen, T. and Lin, Y.-C. (2017), “Feasibility Evaluation and Optimization of a Smart Manufacturing System Based on 3D Printing: A Review”, *International Journal of Intelligent Systems*, Vol. 32 No. 4, pp. 394-413.

- Christidis, K. and Devetsikiotis, M. (2016), “Blockchains and smart contracts for the internet of things”, *IEEE Access*, Vol. 4 No. 1, pp. 2292-2303, doi: 10.1109/ACCESS.2016.2566339.
- Ciccarelli, M., Papetti, A., Cappelletti, F., Brunzini, A. and Germani, M. (2022), “Combining world class manufacturing system and industry 4.0 technologies to design ergonomic manufacturing equipment”, *International Journal on Interactive Design and Manufacturing (IJIDeM)*, Vol. 16 No. 1, pp. 263-279
- Cohen, J., Dolan, B., Dunlap, M., Hellerstein, J.M., Welton, C. (2009) MAD Skills: New Analysis Practices for Big Data. *Proceedings of the ACM VLDB Endowment*, 2(2), 1481–1492
- Cohen, Y., Faccio, M., Pilati, F. and Yao, X. (2019), “Design and management of digital manufacturing and assembly systems in the industry 4.0 era”, *The International Journal of Advanced Manufacturing Technology*, Vol. 105 No. 9, pp. 3565-3577.
- Colombo, A. W., Karnouskos, S., Kaynak, O., Shi, Y., & Yin, S. (2017). Industrial cyberphysical systems: A backbone of the fourth industrial revolution. *IEEE Industrial Electronics Magazine*, 11(1), 6–16. <https://doi.org/10.1109/MIE.2017.2648857>.
- Cua, K.O., Mckone, K.E. and Schroeder, R.G. (2001), “Relationships between implementation of TQM, JIT, and TPM and manufacturing performance”, *Journal of Operations Management*, Vol. 19 No. 6, pp. 675-94.
- Cutcher-Gershenfeld, J., Murman, E., Allen, T., Bozdogan, K., Mcmanus, H., Nightingale, D., Rebentisch, E., Shields, T., Stahl, F., Walton, M., Warmkessel, J., Weiss, S. & Widnall, S. (2002). *Lean Enterprise Value: Insights from MIT's Lean Aerospace Initiative*. 10.1057/9781403907509.
- Dadashnejad, A.-A. and Valmohammadi, C. (2018), "Investigating the effect of value stream mapping on operational losses: a case study", *Journal of Engineering, Design and Technology*, Vol. 16 No. 3, pp. 478-500.
- Dadi, V., Nikhil, S. R., Mor, R. S., Agarwal, T., & Arora, S. (2021). Agri-food 4.0 and innovations: Revamping the supply chain operations. *Production Engineering Archives*, 27(2), 75–89. doi:10.30657/pea.2021.27.10
- Dahlgaard, J. and Dahlgaard-Park, S.M. (2006), “Lean production, six sigma quality, TQM and company culture”, *TQM Magazine*, Vol. 18 No. 3, pp. 263-81.
- Davies, R., Coole, T. & Smith, A. (2017) “Review of Sociotechnical Considerations to Ensure Successful Implementation of Industry 4.0,” *Procedia Manuf.*, vol. 11, pp. 1288–1295
- De Mente, B. (1994) Japanese Etiquette & Ethics in Business, *NTC Business Books*, Lincolnwood, Illinois.
- De Oliveira, R.I., Sousa, S.O., & de Campos, F.C. (2019) Lean manufacturing implementation: Bibliometric analysis 2007–2018. *Int. J. Adv. Manuf. Technol.*, 101, 979–988.



- Delic, M. and Eyers, D.R. (2020), “The effect of additive manufacturing adoption on supply chain flexibility and performance: an empirical analysis from the automotive industry”, *International Journal of Production Economics*, Vol. 228, p. 107689, oct, doi: 10.1016/j.ijpe.2020.107689.
- Dinis-Carvalho, J., Guimaraes, L., Sousa, R.M. and Leao, C.P. (2018), “Waste identification diagram and value stream mapping: a comparative analysis”, *International Journal of Lean Six Sigma*, Vol. 10 No. 3, pp. 767-783, doi: 10.1108/IJLSS-04-2017-0030
- Dossenbach, T. (2000) ‘Using 5-step workplace management for continuous improvement’, *Wood & Wood Products*, June, Vol. 105, No. 6, pp.43–44.
- Durakbasa, M.N., Bauer, J.M., Kräuter, L. & Bas, G. (2016) “Novel developments in advanced manufacturing and Multi Functional Intelligent Factories (MFIF) towards production in the future - Challenges of automation in industry 4.0”
- El Jaouhari, A., Arif, J., Fellaki, S., Amejwal, M. and Azzouz, K. (2023), “Lean supply chain management and industry 4.0 interrelationships: the status quo and future perspectives”, *International Journal of Lean Six Sigma*, Vol. 14 No. 2, pp. 335-367.
- Elgendy, N. Big Data Analytics in Support of the Decision Making Process. MSc Thesis, German University in Cairo, p. 164 (2013)
- Emiliani, M.L. (1998), "Lean behaviors", *Management Decision*, Vol. 36 No. 9, pp. 615-631. <https://doi.org/10.1108/00251749810239504>
- Emiliani, M.L. (2006), “Origins of lean management in America”, *Journal of Management History*, Vol. 12 No. 2, pp. 167-84.
- Emiliani, M.L., Stec, D., Grasso, L. and Stodder, J. (2003), “Better thinking”, Better Results, Center for Lean and Business Management, Kensington, CT.
- Fettermann, D., & Tortorella, G.L. (2018), “Implementation of Industry 4.0 And Lean Production in Brazilian Manufacturing Companies”, *International Journal of Production Research*, 56(8): Pp. 2975-2987.
- Frank, A.G., Cortimiglia, M.N., Ribeiro, J.L.D. and de Oliveira, L.S. (2016), “The effect of innovation activities on innovation outputs in the Brazilian industry: market-orientation vs. technology acquisition strategies”, *Research Policy*, Vol. 45 No. 3, pp. 577-592, Elsevier.
- Frazier, W.E. (2014), “Metal additive manufacturing: a review”, *Journal of Materials Engineering and Performance*, Vol. 23 No. 6, pp. 1917-1928, juin, doi: 10.1007/s11665-014-0958-z.
- Freser, B. (2022), “Multidimensional model of high-growth companies: do Covid-19 and the Ukraine–Russia crisis lead to differences”, *Sustainability*, Vol. 14 No. 22, p. 15278.



- Gadekar, R., Sarkar, B. and Gadekar, A. (2022), “Key performance indicator based dynamic decisionmaking framework for sustainable industry 4.0 implementation risks evaluation: reference to the Indian manufacturing industries”, *Annals of Operations Research*, Vol. 318 No. 1, pp. 189-249.
- Garay-Rondero, C.L., Calvo, E.Z.R. and Salinas-Navarro, D.E. (2019), “Experiential learning at leanthinking-learning space”, *International Journal on Interactive Design and Manufacturing (IJIDeM)*, Vol. 13 No. 3, pp. 1129-1144.
- Gebhardt, A. (2012) *Understanding Additive Manufacturing: rapid Prototyping, Rapid Tooling, Rapid Manufacturing*, Hanser Publishers, Munich, Cincinnati
- Geisberger, E., & Broy, M. (2015). *Living in a networked world: Integrated research agenda, cyber-physical systems (AgendaCPS) (Acatech Study)*
- Gibson, I., Rosen, D. and Stucker, B. (2015), *Additive Manufacturing Technologies: 3D Printing, Rapid Prototyping and Direct Digital Manufacturing*, 2nd ed., Springer, New York, NY Heidelberg Dodrecht London.
- Gil, M., Albert, M., Fons, J., & Pelechano, V. (2019). Designing human-in-the-loop autonomous cyber-physical systems. *International Journal of Human-Computer Studies*, 130, 21–39. <https://doi.org/10.1016/j.ijhcs.2019.04.006>.
- Gilchrist, A. (2016). *Industry 4.0 the industrial internet of things*. New York, NY: Springer.
- Giordano, G. (2019), “3D printing the future of healthcare: additive manufacturing, or 3D printing, is fast-tracking developments in the medical device industry”, *Plastics Engineering*, Vol. 75 No. 6, pp. 14-17, juin, doi: 10.1002/peng.20143.
- Godoi, F.C., Prakash, S. and Bhandari, B.R. (2016), “3d printing technologies applied for food design: status and prospects”, *Journal of Food Engineering*, Vol. 179, pp. 44-54, juin, doi: 10.1016/j.jfoodeng.2016.01.025.
- Guedes, Jorge F.. (2017). *Continuous Improvement and Waste Reduction for Organizations – an Introduction to LEAN IT*.
- Gürdür, D., El-Khoury, J., Seceleanu, T., & Lednicki, L. (2016). Making interoperability visible: Data visualization of cyberphysical systems development tool chains. *Journal of Industrial Information Integration*, 4, 26–34. <https://doi.org/10.1016/j.jii.2016.09.002>.
- Hall, R. (1983) *Zero inventories* (1st ed.). Irwin/Apics Series in Production Management. McGraw-Hill. Hardcover. 250 pages.
- Hallam, C.R. (2003), “Lean enterprise self-assessment as a leading indicator for accelerating transformation in the aerospace industry”, *Doctoral dissertation*, Massachusetts Institute of Technology, Cambridge, MA.

- Hampson, I. (1999), "Lean production and the Toyota production system – or, the case of the forgotten production concepts", *Economic & Industrial Democracy*, Vol. 20 No. 3, pp. 369-91.
- Hehenberger, P., Vogel-Heuser, B., Bradley, D., Eynard, B., Tomiyama, T., & Achiche, S. (2016). Design, modelling, simulation, and integration of cyber physical systems: Methods and applications. *Computers in Industry*, 82, 273–289. <https://doi.org/10.1016/j.compind.2016.05.006>.
- Herodotou, H., Lim, H., Luo, G., Borisov, N., Dong, L., Cetin, F.B., Babu, S. (2011) Starfish: A Self-tuning System for Big Data Analytics. *Proceedings of the Conference on Innovative Data Systems Research*, pp. 261–272
- Hines, P., Tortorella, G.L., Antony, J. and Romero, D. (2023), "Lean industry 4.0: past, present, and future", *Quality Management Journal*, Vol. 30 No. 1, pp. 64-88.
- Ho, S.K.M. (2006) 'Management art and science: from 5-S to 6-σ', *International Journal of Management Science and Engineering Management*, Vol. 1, No. 1, pp.63–70.
- Hoden, P. (2011). Automation in the food industry. *New Food Magazine*.
- Hofmann, E. & Rüsch, M. (2017) "Industry 4.0 and the current status as well as future prospects on logistics," *Computers in Industry*, vol. 89, pp. 23–34
- Hofmann, E., & Rusch, M. (2017). Industry 4.0 and the current status as well as future "prospects on logistics. *Computers in Industry*, 89, 23–34. doi:10.1016/j.compind.2017.04.002
- Holmström, J. and Partanen, J. (2014), "Digital manufacturing-driven transformations of service supply chains for complex products, supply chain management", *Supply Chain Management: An International Journal*, Vol. 19 No. 4, pp. 421-430, juin, doi: 10.1108/SCM-10-2013-0387.
- Holweg, M. (2007), "The genealogy of lean production", *Journal of Operations Management*, Vol. 25 No. 2, pp. 420-37.
- Hopp, W.J. & Spearman, M.L. (2004). To Pull or not to Pull: What is the Question? *Manufacturing & Service Operations Management* 6(2), 133-148.
- Horvarth, D. and Szabo, R.Z. (2019), "Driving forces and barriers of industry 4.0: do multinational and small and medium-sized companies have equal opportunities?", *Technological Forecasting Social Change*, Vol. 146, pp. 119-132, doi: 10.1016/j.techfore.2019.05.021.
- Huang, Y. (2013). Automatic process control for the food industry: An introduction. In D. G. Caldwell (Ed.), *Robotics and automation in the food industry current and future technologies*. Woodhead publishing series in food science, technology and nutrition (pp. 3–20). Retrieved from <https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/B9781845698010500013>
- Imai, M. (1986) *Kaizen: The key to Japan's Competitive Success*, McGraw-Hill, New York.

- Iqbal, T., Huq, F., & Bhutta, M. K. S. (2018). Agile manufacturing relationship building with TQM, JIT, and firm performance: an exploratory study in apparel export industry of Pakistan. *International Journal of Production Economics*, 203, 24-37. <http://dx.doi.org/10.1016/j.ijpe.2018.05.033>.
- Jasti, N.V.K. and Kodali, R. (2015), "Lean production: literature review and trends", *International Journal of Production Research*, Vol. 53 No. 3, pp. 867-885.
- Jayaram, A. (2016) "Lean six sigma approach for global supply chain management using industry 4.0 and IIoT," in *Proceedings of the 2016 2nd International Conference on Contemporary Computing and Informatics*, IC3I 2016, pp. 89–94.
- Jena, A. and Patel, S.K. (2022), "Analysis and evaluation of Indian industrial system requirements and barriers affect during implementation of industry 4.0 technologies", *The International Journal of Advanced Manufacturing Technology*, Vol. 120 Nos 3/4, pp. 2109-2133.
- Jiang, Y., Yin, S., & Kaynak, O. (2018). Data-driven monitoring and safety control of industrial cyber-physical Systems: Basics and beyond. *IEEE Access*, 6, 47374–47384. <https://doi.org/10.1109/ACCESS.2018.2866403>.
- Johannson, L. (2006) Handbook on Green Productivity, Asian Productivity Organization, Tokyo, Japan.
- Joshi, S., Sharma, M., Bartwal, S., Joshi, T. and Prasad, M. (2022), "Critical challenges of integrating OPEX strategies with I4.0 technologies in manufacturing SMEs: a few pieces of evidence from developing economies", *The TQM Journal*, doi: 10.1108/TQM-08-2022-0245.
- Kafuku, M. J., (2019), Factors for Effective Implementation of Lean Manufacturing Practice in Selected Industries in Tanzania, *Procedia Manufacturing* Volume 33, Pages 351-358
- Kagermann, H., Lukas, W. D., & Wahlster, W. (2011). Industrie 4.0: Mit dem Internet der Dinge auf dem Weg zur 4. industriellen Revolution. *VDI Nachrichten*, 13(1), 2–3.
- Kalaiselvi, K. and Thirumurthi Raja, A. (2020), "Big Data Analytics and Intelligence: A Perspective for Health Care", Tanwar, P., Jain, V., Liu, C.-M. and Goyal, V. (Ed.) *Big Data Analytics and Intelligence: A Perspective for Health Care*, Emerald Publishing Limited, Leeds, pp. 1-16. <https://doi.org/10.1108/978-1-83909-099-820201005>
- Kamble, S., Gunasekaran, A. and Dhone, N. (2020), "Industry 4.0 and lean manufacturing practices for sustainable organisational performance in Indian manufacturing companies", *International Journal of Production Research*, Vol. 58 No. 5, pp. 1319-1337.
- Kamble, S.S., Gunasekaran, A. and Gawankar, S.A. (2018), "Sustainable industry 4.0 framework: a systematic literature review identifying the current trends and future perspectives", *Process Safety and Environmental Protection*, Vol. 117, pp. 408-425.

- Kapoor, K., Bigdeli, A.Z., Dwivedi, Y.K. and Raman, R. (2021), “How is covid-19 altering the manufacturing landscape? A literature review of imminent challenges and management interventions”, *Annals of Operations Research*, doi: 10.1007/s10479-021-04397-2.
- Kapoor, K., Bigdeli, A.Z., Dwivedi, Y.K. and Raman, R. (2021), “How is covid-19 altering the manufacturing landscape? A literature review of imminent challenges and management interventions”, *Annals of Operations Research*, doi: 10.1007/s10479-021-04397-2.
- Karlovits, I. (2017) “Technologies for using big data in the paper and printing industry,” *J. Print Media Technol. Res.*, vol. 6, no. 2, pp. 75–84
- Keramida, E., Psomas, E. and Gotzamani, K. (2023), “The impact of lean adoption on organizational performance in a public service: the case of the Greek citizen’s service centers”, *International Journal of Lean Six Sigma.*, Vol. 14 No. 7, doi: 10.1108/IJLSS-01-2023-0004.
- Kiel, D., Muller, J.M., Arnold, C. and Voigt, K.-I. (2017), “Sustainable industrial value creation: benefits and challenges of industry 4.0”, *International Journal of Innovation Management*, Vol. 21 No. 08, 1740015, World Scientific.
- Kleiner, A. (2005) Leaning toward utopia. <http://www.strategy-business.com>
- Kolberg, D., & Zühlke, D. (2015) “Lean Automation Enabled by Industry 4.0 Technologies,” *IFAC PapersOnLine*, vol. 48, no. 3, pp. 1870–1875
- Kong, L., Li, H., Luo, H., Ding, L., & Zhang, X. (2018). Sustainable performance of just-in-time (JIT) management in time-dependent batch delivery scheduling of precast construction. *Journal of Cleaner Production*, 193, 684-701.  
<http://dx.doi.org/10.1016/j.jclepro.2018.05.037>.
- Konstantinidis, C., Aggelopoulos, S., Tsiouni, M. and Rizopoulou, E. (2022), “Estimating competitiveness of Greek food and beverage industry: a comparison between Greek flour milling industry and Greek food and beverage industry”, *EuroMed Journal of Business*, Vol. 17 No. 4, pp. 477-487.
- Krafcik, J. F. (1988). Triumph of the lean production system. *Sloan Management Review*, 30, 41–52
- Kubick, W.R. (2012) Big Data, Information and Meaning. *Clinical Trial Insights*, pp. 26–28
- Kumar, K. and Kumar, S. (2012) ‘Steps for implementation of 5S’, *International Journal of Management, IT and Engineering*, Vol. 2, No. 6, pp.402–416.
- Kumar, N., Kumar, G. and Singh, R.K. (2021), “Big data analytics application for sustainable manufacturing operations: analysis of strategic factors”, *Clean Technologies and Environmental Policy*, Vol. 23 No. 3, pp. 965-989.

- Kunju, F., Naveed, N., Anwar, M.N. and Ul Haq, M.I. (2022), “Production and maintenance in industries: impact of industry 4.0”, *Industrial Robot: The International Journal of Robotics Research and Application*, Vol. 49 No. 3, pp. 461-475.
- Lander, E. and Liker, J.K. (2007), “The Toyota production system and art: making highly customized and creative products the Toyota Way”, *International Journal of Production Research*, Vol. 45 No. 16, pp. 3681-98.
- Lean (2009), available at: [www.merriam-webster.com/dictionary/lean](http://www.merriam-webster.com/dictionary/lean) (accessed October 15).
- Lee, E. A. (2006). Cyber-physical systems - are computing foundations adequate? In *NSF Workshop On Cyber-Physical Systems: Research Motivation, Techniques and Roadmap*, 1–9
- Liao, H., Wang, B., Li, B., & Weyman-Jones, T. (2016). ICT as a general-purpose technology: The productivity of ICT in the United States revisited. *Information Economics & Policy*, 36, 10–25. <https://doi.org/10.1016/j.infoecopol.2016.05.001>.
- Liker, J. (1996) *Becoming Lean: Inside Stories of US Manufacturers*. Productivity Press, New York.
- Liker, J.K. (2004), *The Toyota Way: 14 Management Principles from the World's Greatest Manufacturer*, McGraw-Hill, New York, NY.
- Lin, B., Wu, W. and Song, M. (2019), “Industry 4.0: driving factors and impacts on firm’s performance: an empirical study on China’s manufacturing industry”, *Annals of Operations Research*. doi: 10.1007/s10479-019-03433-6.
- Lu, C., Saifullah, A., Li, B., Sha, M., Gonzalez, H., Gunatilaka, D., & Chen, Y. (2016). Real-time wireless sensor-actuator networks for industrial cyber-physical systems. *Proceedings of the IEEE*, 104(5), 1013–1024. <https://doi.org/10.1109/JPROC.2015.2497161>
- Lugert, A., Völker, K. & Winkler, H. (2018), “Dynamization of Value Stream Management by technical and managerial approach,” in *Procedia CIRP*, Vol. 72, pp. 701-706.
- Lutz, M., Verbeek, C. & Schlegel, C. (2016) “Towards a robot fleet for intra-logistic tasks: Combining free robot navigation with multi-robot coordination at bottlenecks,” in *IEEE International Conference on Emerging Technologies and Factory Automation*, ETFA
- Lynham, S.A. and Stone, K.B. (2009), Personal communication, January 26.
- Macpherson, W.G., Lockhart, J.C., Kavan, H. and Iaquinto, A.L. (2018), "Kaizen in Japan: transferring knowledge in the workplace", *Journal of Business Strategy*, Vol. 39 No. 3, pp. 40-45. <https://doi.org/10.1108/JBS-04-2017-0048>
- Malmbrandt, M. and Ahlstrom, P. (2013), “An instrument for assessing lean service adoption”, *International Journal of Operations and Production Management*, Vol. 33 No. 9, pp. 1131-1165.



- Masood, T. and Sonntag, P. (2020), “Industry 4.0: adoption challenges and benefits for SMEs”, *Computers in Industry*, Vol. 121, 103261, Elsevier.
- Mayr, A. et al. (2018), “Lean 4.0-A conceptual conjunction of lean management and Industry 4.0,” in *Procedia CIRP*, Vol. 72, pp. 622-628.
- Meudt, T. et al. (2016), “Value stream mapping 4.0: Holistic examination of value stream and information logistics in production [Wertstromanalyse 4.0: Ganzheitliche Betrachtung von Wertstrom und Informationslogistik in der Produktion]”, *ZWF Zeitschrift fuer Wirtschaftlichen Fabrikbetr.*, Vol. 111 No. 6, pp. 319-323.
- Mohanty, R.P., Yadav, O.P. and Jain, R. (2007), “Implementation of lean manufacturing principles in auto industry”, *Vilakshan–XIMB Journal of Management*, Vol. 1 No. 1, pp. 1-32.
- Momen, M.A., Shahriar, S.H.B., Naher, N. and Nowrin, N. (2022), “Unemployment during the recent COVID-19 pandemic: exploring the perspective of fresh graduates from a developing nation”, *Economics and Business*, Vol. 36 No. 1, pp. 105-119.
- Monostori, L. (2014). Cyber-physical production systems: Roots, Expectations and R&D Challenges. *Procedia CIRP*, 17, 9–13. <https://doi.org/10.1016/j.procir.2014.03.115>.
- Morisse, M. and Prigge, C. (2017), “Design of a business resilience model for industry 4.0 manufacturers”, *AMCIS Proceedings, Boston*, pp. 1-10.
- Mourtzis, D., Fotia, S. and Vlachou, E. (2017), “Lean rules extraction methodology for lean PSS design via key performance indicators monitoring”, *Journal of Manufacturing Systems*, Vol. 42, pp. 223-233.
- Müller, S.L., Shehadeh, M.A., Schröder, S., Richert, A. & Jeschke, S. (2017) “An overview of work analysis instruments for hybrid production workplaces,” *AI Soc.*, pp. 1–8
- Narayanamurthy, G. and Gurumurthy, A. (2016), “Leanness assessment: a literature review”, *International Journal of Operations and Production Management*, Vol. 36 No. 10, pp. 1115-1160.
- Narula, S., Puppala, H., Kumar, A., Luthra, S., Dwivedy, M., Prakash, S. and Talwar, V. (2023), “Are industry 4.0 technologies enablers of lean? Evidence from manufacturing industries”, *International Journal of Lean Six Sigma*, Vol. 14 No. 1, pp. 115-138.
- Navas, M.A., Sancho, C. and Carpio, J. (2020), “Disruptive maintenance engineering 4.0”, *International Journal of Quality and Reliability Management*, Vol. 37 Nos 6/7, pp. 853-871.
- Nedjwa, E., Bertrand, R. and Boudemagh, S.S. (2022), “Impacts of industry 4.0 technologies on lean management tools: a bibliometric analysis”, *International Journal on Interactive Design and Manufacturing (IJIDeM)*, Vol. 16 No. 1, pp. 135-150.

- Nejad, A.A.F. (2023), “Leagile and sustainable supplier selection problem in the Industry 4.0 era: a case study of the medical devices using hybrid multi-criteria decision making tool”, *Environmental Science and Pollution Research*, Vol. 30, pp. 13418-13437.
- Neuböck, T. and Schrefl, M. (2015), “Modelling knowledge about data analysis processes in manufacturing”, *IFAC-PapersOnLine*, Vol. 28 No. 3, pp. 277-282.
- Nichols, M.R. (2019), “How does the automotive industry benefit from 3D metal printing?”, *Metal Powder Report*, Vol. 74 No. 5, pp. 257-258, sept, doi: 10.1016/j.mprp.2019.07.002.
- Nunez-Merino, M., Maqueira-Marin, J.M., Moyano-Fuentes, J. and Martinez-Jurado, P.J. (2020), “Information and digital technologies of industry 4.0 and lean supply chain management: a systematic literature review”, *International Journal of Production Research*, Vol. 58 No. 16, pp. 5034-5061.
- Ogu, E.C., Benita, A. & Uduakobong, E.E. (2018) “Cognisant computing and ‘lean’ practices: Interactions with 21st century businesses and implications,” *Int. J. Bus. Inf. Syst.*, vol. 27, no. 2, pp. 264–275
- Ohno, T. (1988), *The Toyota Production System*, Productivity Press, Portland, OR.
- Ohno, T. (1988), *Toyota Production System: Beyond Large-Scale Production*, CRC Press, Boca Raton
- Oks, S. J., Fritzsche, A., & Möslin, K. M. (2017). An application map for industrial cyber-physical systems. In S. Jeschke, C. Brecher, H. Song, & D. B. Rawat (Eds.), *Industrial Internet of Things: Cybermanufacturing Systems* (pp. 21–46). Springer International Publishing. [https://doi.org/10.1007/978-3-319-42559-7\\_2](https://doi.org/10.1007/978-3-319-42559-7_2)
- Oks, S. J., Fritzsche, A., & Möslin, K. M. (2018). Engineering industrial cyber-physical systems: An application map based method. *Procedia CIRP*, 72, 456–461. <https://doi.org/10.1016/j.procir.2018.03.126>.
- Osada, T. (1989) *5S – Tezukuri no manajimentshuho (5S – Handmade Management Technique)*, Japan Institute of Plant Maintenance, Tokyo, Japan.
- Osada, T. (1991) *The 5S: Five Keys to a Total Quality Environment*, Asian Productivity Organization, Tokyo.
- Ozbiltekin-Pala, M., Kazancoglu, Y., Kumar, A., Garza-Reyes, J.A. and Luthra, S. (2022), “Analyzing critical factors of strategic alignment between operational excellence and industry 4.0 technologies in smart manufacturing”, *The TQM Journal*, doi: 10.1108/TQM-07-2022-0232.
- Ozbiltekin-Pala, M., Kazancoglu, Y., Kumar, A., Garza-Reyes, J.A. and Luthra, S. (2022), “Analyzing critical factors of strategic alignment between operational excellence and industry 4.0 technologies in smart manufacturing”, *The TQM Journal*, doi: 10.1108/TQM-07-2022-0232.



- Pagliosa, M., Tortorella, G. and Ferreira, J. (2021), "Industry 4.0 and lean manufacturing: a systematic literature review and future research directions", *Journal of Manufacturing Technology Management*, Vol. 32 No. 3, pp. 543-569.
- Pagliosa, M., Tortorella, G. and Ferreira, J. (2021), "Industry 4.0 and lean manufacturing: a systematic literature review and future research directions", *Journal of Manufacturing Technology Management*, Vol. 32 No. 3, pp. 543-569.
- Pagliosa, M., Tortorella, G. and Ferreira, J.C.E. (2019), "Industry 4.0 and lean manufacturing: a systematic literature review and future research directions", *Journal of Manufacturing Technology Management*.
- Palmarini, R., Erkoyuncu, J., Roy, R. & Torabmostaedi, H. (2018). A systematic review of augmented reality applications in maintenance. *Robotics and Computer-Integrated Manufacturing*. 49. 215-228. 10.1016/j.rcim.2017.06.002.
- Patel, V.C. and Thakkar, H. (2014) 'Review on implementation of 5S in various organization', *International Journal of Engineering Research and Applications*, Vol. 4, No. 3, pp.774-779.
- Peças, P., Faustino, M., Lopes, J. and Amaral, A. (2022), "Lean methods digitization towards lean 4.0: a case study of e-VMB and e-SMED", *International Journal on Interactive Design and Manufacturing (IJIDeM)*, Vol. 16 No. 4, pp. 1397-1415.
- Petrillo, Antonella & Travaglioni, Marta & De Felice, Fabio & Cioffi, Raffaele & Piscitelli, Giuseppina. (2019). Artificial Intelligence and Machine Learning Applications, *Smart Production: Progress, Trends and Directions*. 10.20944/preprints201912.0016.v1.
- Peukert, B., Benecke, S., Clavell, J., Neugebauer, S., Nissen, N.F., Uhlmann, E., Lang, K.-D. and Finkbeiner, M. (2015), "Addressing sustainability and flexibility in manufacturing via smart modular machine tool frames to support sustainable value creation", *Procedia CIRP*, Vol. 29, pp. 514-519, ISSN 2212-8271, doi: 10.1016/j.procir.2015.02.181.
- Produção, G., Lara, A., Menegon, E.M., Sehnem, S. & Kuzma, E. (2022). Relationship between Just in Time, Lean Manufacturing, and Performance Practices: a meta-analysis. *Gestão & Produção*. 29. 10.1590/1806-9649-2022v29e9021.
- Psomas, E. (2021), "Future research methodologies of lean manufacturing: a systematic literature review", *International Journal of Lean Six Sigma*, Vol. 12 No. 6, pp. 1146-1183.
- Psomas, E. (2022), "Country-related future research agenda of lean manufacturing—A systematic literature review", *Benchmarking: An International Journal*, Vol. 29 No. 4, pp. 1185-1213.
- Psomas, E. and Deliou, C. (2023), "Lean manufacturing practices and industry 4.0 technologies in food manufacturing companies: the Greek case", *International Journal of Lean Six Sigma*, Vol. ahead-of-print No. ahead-of-print. <https://doi.org/10.1108/IJLSS-06-2023-0098>

- Psomas, E., Kafetzopoulos, D. and Gotzamani, K. (2018), “Determinants of company innovation and market performance”, *The TQM Journal*, Vol. 30 No. 1, pp. 54-73.
- Psomas, E., Keramida, E., Bouranta, N. and Kafetzopoulos, D. (2023), “The adoption of lean in the Greek public sector. An employee perspective”, *International Journal of Lean Six Sigma*, Vol. 14 No. 7, doi: 10.1108/IJLSS-02-2022-0022.
- Psomas, E., Vouzas, F., Bouranta, N. and Tasiou, M. (2017), “Effects of total quality management in local authorities”, *International Journal of Quality and Service Sciences*, Vol. 9 No. 1, pp. 41-66.
- Rader, M. and Shok, J. (2006) Training: VSM for Value Creating and Loss Reduction, Translation by Radnejad, A., Motabian K., Amozeh Press, Tehran.
- Radnor, Z.R. and Boaden, R. (2004), “Developing an understanding of corporate anorexia”, *International Journal of Operations & Production Management*, Vol. 24 No. 4.
- Rafique, M.Z., Rahman, M., Saibani, N. and Arsad, N. (2019), “A systematic review of lean implementation approaches: a proposed technology combined lean implementation framework”, *Total Quality Management and Business Excellence*, Vol. 30 Nos 3/4, pp. 386-421.
- Raj, A. and Jeyaraj, A. (2023), “Antecedents and consequents of industry 4.0 adoption using technology, organization and environment (TOE) framework: a meta-analysis”, *Annals of Operations Research*, Vol. 322 No. 1, pp. 101-124.
- Rauch, E., Dallasega, P. & Matt, D.T. (2016) “The Way from Lean Product Development (LPD) to Smart Product Development (SPD),” *Procedia {CIRP}*, vol. 50, pp. 26–31
- Raut, L., Wakode, R. & Talmale, P. (2015). Overview on Kanban Methodology and its Implementation. *International Journal for Scientific Research & Development*. 03. 2518-2521.
- Rawabdeh, I.A. (2005). A Model for the Assessment of Waste in Job Shop Environments. *International Journal of Operations & Production Management*, 25(8), 800-822.
- Rosenberg, N., & Trajtenberg, M. (2009). A general-purpose technology at work: The Corliss steam engine in the late-nineteenth century United States. In N. Rosenberg (Ed.), *Studies on Science and the Innovation Process* (pp. 97–135). WORLD SCIENTIFIC. [https://doi.org/10.1142/9789814273596\\_0006](https://doi.org/10.1142/9789814273596_0006)
- Rosin, F., Forget, P., Lamouri, S. and Pellerin, R. (2020), “Impacts of industry 4.0 technologies on lean principles”, *International Journal of Production Research*, Vol. 58 No. 6, pp. 1644-1661.
- Rossini, M., Costa, F., Staudacher, A.P. and Tortorella, G.L. (2019a), “Industry 4.0 and lean production: an empirical study”, *9th IFAC Conference on Manufacturing Modelling, Management and Control*, Berlin.

- Rossini, M., Costa, F., Tortorella, G.L. and Portioli-Staudacher, A. (2019), “The interrelation between industry 4.0 and lean production: an empirical study on European manufacturers”, *The International Journal of Advanced Manufacturing Technology*, Vol. 102 No. 9-12, pp. 3963-3976.
- Rossini, M., Costa, F., Tortorella, G.L. and Staudacher, A.P. (2019b), “The interrelation between industry 4.0 and lean production: an empirical study on European manufacturers”, *The International Journal of Advanced Manufacturing Technology*, Vol. 102, pp. 3963-3976, doi: 10.1007/s00170-019-03441-7.
- Rother, M. and Shook, J. (1999) *Learning to See: Value Stream Mapping to Create Value and Eliminate Muda*, Lean Enterprise Institute, Cambridge, MA.
- Russom, P. (2011) *Big Data Analytics. TDWI Best Practices Report*, pp. 1–40
- Saad, S.M., Bahadori, R., Bhovar, C. and Zhang, H. (2023), "Industry 4.0 and Lean Manufacturing – a systematic review of the state-of-the-art literature and key recommendations for future research", *International Journal of Lean Six Sigma*, Vol. ahead-of-print No. ahead-of-print. <https://doi.org/10.1108/IJLSS-02-2022-0021>
- Saihi, A., Awad, M. and Ben-Daya, M. (2023), “Quality 4.0: leveraging industry 4.0 technologies to improve quality management practices – a systematic review”, *International Journal of Quality and Reliability Management*, Vol. 40 No. 2, pp. 628-650.
- Salhieh, L., Altarazi, S. and Abushaikha, I. (2019) “Quantifying and ranking the ‘7-Deadly’ wastes in a warehouse environment”, *The TQM Journal*, Vol. 31 No. 1, pp. 94-115.
- Sartal, A. and Vazquez, X.H. (2017) “Implementing information technologies and operational excellence: planning, emergence and randomness in the survival of adaptive manufacturing systems”, *Journal of Manufacturing Systems*, Vol. 45, pp. 1-16.
- Sartal, A., Carou, D., Dorado, R. and Mandavo, L. (2018) “Facing the challenges of the food industry: might additive manufacturing be the answer?”, *Journal of Engineering Manufacture*, Vol. 233 No. 8, pp. 1902-1906.
- Sartal, A., Llach, J. and Leon-Mateos, F. (2022) “Do technologies really affect that much? Exploring the potential of several industry 4.0 technologies in today’s lean manufacturing shop floors”, *Operational Research*, Vol. 22 No. 5, pp. 6075-6106.
- Sartal, A., Llach, J. and Leon-Mateos, F. (2022) “Do technologies really affect that much? Exploring the potential of several industry 4.0 technologies in today’s lean manufacturing shop floors”, *Operational Research*, Vol. 22 No. 5, pp. 6075-6106.
- Satoglu, S., Ustundag, A., Cevikcan, E. and Durmusoglu, M.B. (2018) “Lean production systems for industry 4.0”, *Industry 4.0: Managing the Digital Transformation*, Springer, Cham.

Schmidt, R., Mohring, M., Harting, R.-C., Reichstein, C., Neumaier, P. and Jozinovic, P. (2015), "Industry 4.0-potentials for creating smart products: empirical research results", *International Conference on Business Information Systems*, Springer, pp. 16-27.

Schwab, K. (2016). *Dorduncu sanayi devrimi*. Istanbul: Optimist Yayın Grubu.

Seelbach, P., Brueckel, C. and Wöstmann, B. (2013), "Accuracy of digital and conventional impression techniques and workflow", *Clinical Oral Investigations*, Vol. 17 No. 7, pp. 1759-1764, sept, doi: 10.1007/s00784-012-0864-4.

Shahin, M., Chen, F.F., Bouzary, H. and Krishnaiyer, K. (2020), "Integration of lean practices and industry 4.0 technologies: smart manufacturing for next-generation enterprises", *The International Journal of Advanced Manufacturing Technology*, Vol. 107 Nos 5/6, pp. 2927-2936.

Sidhu, B.S., Kumar, V. and Bajaj, A. (2013), "The 5S strategy by using PDCA cycle for continuous improvement of the manufacturing processes in agriculture industry", *International Journal of Advanced Scientific and Technical Research*, Vol. 5, No. 3, pp. 181–197.

Singh, Arashdeep & Ahuja, I.S.. (2015). Review of 5S methodology and its contributions towards manufacturing performance. 5. 408-424. 10.1504/IJPMB.2015.072320.

Singh, M., Goyat, R. and Panwar, R. (2024), "Fundamental pillars for industry 4.0 development: implementation framework and challenges in manufacturing environment", *The TQM Journal*, Vol. 36 No. 1, pp. 288-309. <https://doi.org/10.1108/TQM-07-2022-0231>

Singh, N., Hung Shek, K. and Meloche, D. (1990), "The Development of a Kanban System: A Case Study", *International Journal of Operations & Production Management*, Vol. 10 No. 7, pp. 28-36. <https://doi.org/10.1108/01443579010140498>

Skalli, D., Charkaoui, A., Cherrafi, A., Garza-Reyes, J.A., Antony, J. and Shokri, A. (2023), "Industry 4.0 and lean six sigma integration in manufacturing: a literature review, an integrated framework and proposed research perspectives", *Quality Management Journal*, Vol. 30 No. 1, pp. 16-40.

Sony, M. and Aithal, P.S. (2020), "A resource-based view and institutional theory-based analysis of industry 4.0 implementation in the Indian engineering industry", *International Journal of Management, Technology, and Social Sciences*, Vol. 5 No. 2, pp. 154-166.

Sony, M. and Naik, S. (2019), "Key ingredients for evaluating industry 4.0 readiness for organizations: a literature review", *Benchmarking: An International Journal*, Vol. 27 No. 7, pp. 2213-2232.

Sony, M. and Naik, S. (2020), "Industry 4.0 integration with socio-technical systems theory: a systematic review and proposed theoretical model", *Technology in Society*, Vol. 61, doi: 10.1016/j.techsoc.2020.101248.

- Sony, M., Antony, J., Mc Dermott, O. and Garza-Reyes, J.A. (2021), “An empirical examination of benefits, challenges, and critical success factors of industry 4.0 in manufacturing and service sector”, *Technology in Society*, Vol. 67, 101754, Elsevier.
- Sordan, J.E., Oprime, P.C., Pimenta, M.L., da Silva, S.L. and Gonzalez, M.O.A. (2021), “Contact points between lean six sigma and industry 4.0: a systematic review and conceptual framework”, *International Journal of Quality and Reliability Management*, Vol. 39 No. 9, pp. 2155-2183.
- Souza, R., Ferenhof, H. and Forcellini, F. (2022), “Industry 4.0 and industry 5.0 from the lean perspective”, *International Journal of Management, Knowledge and Learning*, Vol. 11, doi:10.53615/2232-5697.11.145-155.
- Spear, S.J. (2004). Learning to Lead at Toyota. *Harvard Business Review*, 82(5), 78-86.
- Srivatsan, T.S. and Sudarshan, T.S. (Eds), (2015), *Additive Manufacturing: Innovations, Advances, and Applications*, 0 éd., CRC Press, doi: 10.1201/b19360.
- Stentoft, J., Rajkumar, C. and Madsen, E.S. (2017), *Industry 4.0 in Danish Industry: an Empirical Investigation of the Degree of Knowledge, Perceived Relevance and Current Practice*, Syddansk Universitet.
- Stentoft, J., Wickstrøm, K.A., Kristian, P. and Haug, A. (2019), “Drivers and barriers for industry 4.0 readiness and practice: a SME perspective with empirical evidence”, *Proceedings of the 52<sup>nd</sup> Hawaii International Conference on System Sciences*.
- Stone, K.B. (2012), “Lean transformation: organizational performance factors that influence firms' leanness”, *Journal of Enterprise Transformation*, Summer.
- Suárez-Barraza, M.F., Dahlgaard-Park, S.M., Rodríguez-González, F.G. and Durán-Arechiga, C. (2016), “In search of ‘muda’ through the TKJ diagram”, *International Journal of Quality and Service Sciences*, Vol. 8 No. 3, pp. 377-394.
- Sun, J., Zhou, W., Huang, D., Fuh, J.Y.H. and Hong, G.S. (2015), “An overview of 3D printing technologies for food fabrication”, *Food and Bioprocess Technology*, Vol. 8 No. 8, pp. 1605-1615, août, doi: 10.1007/s11947-015-1528-6.
- Sun, K., Wei, T.-S., Ahn, B.Y., Seo, J.Y., Dillon, S.J. and Lewis, J.A. (2013), “3D printing of interdigitated Li-Ion microbattery architectures”, *Advanced Materials*, Vol. 25 No. 33, pp. 4539-4543, sept, doi: 10.1002/adma.201301036.
- Tayaksi, C., Sagnak, M. and Kazancoglu, Y. (2020), “A new holistic conceptual framework for leanness assessment”, *International Journal of Mathematical, Engineering and Management Sciences*, Vol. 5 No. 4, pp. 567-590.
- TechAmerica (2012) *Demystifying Big Data: A Practical Guide to Transforming the Business of Government*. *TechAmerica Reports*, pp. 1–40.



The Industry 4.0 Platform. (2015). Implementation strategy industry 4.0 report on the results of the industry 4.0 platform, Germany

Tortorella, G., G. Marodin, R. Miorando, and A. Seidel. 2015. “The Impact of Contextual Variables on Learning Organization in Firms That Are Implementing Lean: A Study in Southern Brazil.” *The International Journal of Advanced Manufacturing Technology* 78 (9–12): 1879–1892.

Tortorella, G., Sawhney, R., Jurburg, D., de Paula, I.C., Tlapa, D. and Thurer, M. (2021b), “Towards the proposition of a lean automation framework: integrating industry 4.0 into lean production”, *Journal of Manufacturing Technology Management*, Vol. 32 No. 3, pp. 593-620.

Tortorella, G.L. and Fettermann, D. (2018), “Implementation of industry 4.0 and lean production in Brazilian manufacturing companies”, *International Journal of Production Research*, Vol. 56 No. 8, pp. 2975-2987.

Tortorella, G.L., Rossini, M., Costa, F., Portioli Staudacher, A. and Sawhney, R. (2021), “A comparison on Industry 4.0 and Lean Production between manufacturers from emerging and developed economies”, *Total Quality Management and Business Excellence*, Vol. 32 Nos 11-12, pp. 1249-1270, Taylor & Francis.

Tortorella, G.L., Saurin, T.A., Gaiardelli, P. and Jurburg, D. (2021a), “Relationships between competences and lean automation practices: an exploratory study”, *Production Planning and Control*, Vol. 34 No. 8, doi: 10.1080/09537287.2021.1953178.

Trunzer, E., Wullenweber, A., & Vogel-Heuser, B. (2020). Graphical modeling notation for data collection and analysis architectures in cyber-physical systems of systems. *Journal of Industrial Information Integration*, 19, 100155–100165. <https://doi.org/10.1016/j.jii.2020.100155>.

Tsuchiya, K. (1999) Super 5S is for everybody <http://www.myqalqilia.com/5SNOTES.pdf> (accessed 10 May 2024).

Veile, J.W., Kiel, D., Muller, J.M. and Voigt, K.I. (2020), € “Lessons learned from industry 4.0 implementation in the German manufacturing industry”, *Journal of Manufacturing Technology Management*, Vol. 31 No. 5, doi: 10.1108/JMTM-08-2018-0270.

Verl, A. (2017). Robotics & industrie 4.0. Stuttgart: ISW.

Vimal, K.E.K. and Vinodh, S. (2013) ‘Development of checklist for evaluating sustainability characteristics of manufacturing processes’, *International Journal of Process Management and Benchmarking*, Vol. 3, No. 2, pp.213–232.

Vinodh, S., Antony, J., Agrawal, R. and Douglas, J.A. (2021), “Integration of continuous improvement strategies with industry 4.0: a systematic review and agenda for further research”, *The TQM Journal*, Vol. 33 No. 2, pp. 441-472.

Wagner, T., Herrmann, C., & Thiede, S. (2017), Industry 4.0 Impacts On Lean Production Systems, *Procedia CIRP*, 63: 125 – 131.

Wagner, T., Herrmann, C., and Thiede, S. (2018), “Identifying target oriented Industrie 4.0 potentials in lean automotive electronics value streams,” *Procedia CIRP*, Vol. 72, pp. 1003-1008.

Wang, X., Xu, S., Zhou, S., Xu, W., Leary, M., Choong, P., Qian, M., Brandt, M. and Xie, Y.M. (2016), “Topological design and additive manufacturing of porous metals for bone scaffolds and orthopaedic implants: a review”, *Biomaterials*, Vol. 83, pp. 127-141, mars, doi: 10.1016/j.biomaterials.2016.01.012.

Witkowski, K. (2017). Innovative solutions in logistics and supply chains management. 7th international conference on engineering, project, and production management internet of things, big data, industry 4.0. *Procedia Engineering*, 182, 763–769. doi:10.1016/j.proeng.2017.03.197

Wohlers Report (2020), available at: <https://wohlersassociates.com/press82.html>

Womack, J. P., & Jones, D. T. (2003). Lean thinking: Banish waste and create wealth in your corporation. New York, NY: *Productivity Press*.

Womack, J.P. and Jones, D.T. (1996), Lean Thinking: Banish Waste and Create Wealth in your Corporation, *The Free Press*, New York, NY.

Womack, J.P. and Jones, D.T. (2003), Banish Waste and Create Wealth in Your Corporation, *Free Press*, New York, NY.

Womack, J.P., Jones, D.T. and Roos, D. (1990), The Machine that Changed the World: Based on the Massachusetts Institute of Technology 5-million Dollar 5-year Study on the Future of the Automobile, Rawson Associates, New York, NY.

Wu, D., Lane Thames, J., Rosen, D.W. and Schaefer, D. (2013), “Enhancing the product realization process with cloud-based design and manufacturing systems”, *Journal of Computing and Information Science in Engineering*, Vol. 13 No. 4, pp. 1-14, doi: 10.1115/1.4025257.

Xu, Y. and Chen, M. (2017), “An Internet of Things based framework to enhance just-in-time manufacturing,” *Proceedings of the Institution of Mechanical Engineers, Part B: Journal of Engineering Manufacture*.

Yap, Y.L. and Yeong, W.Y. (2014), “Additive manufacture of fashion and jewellery products: a mini review: this paper provides an insight into the future of 3D printing industries for fashion and jewellery products”, *Virtual and Physical Prototyping*, Vol. 9 No. 3, pp. 195-201, juill, doi: 10.1080/17452759.2014.938993.



Yu, F. and Schweisfurth, T. (2020), “Industry 4.0 technology implementation in SMEs A survey in the Danish-German border region”, *International Journal of Innovation Studies*, Vol. 4 No. 3, pp. 76-84, doi: 10.1016/j.ijis.2020.05.001.

Yusof, S.M. and Aspinwall, E. (2001) ‘Case studies on the implementation of TQM in the UK automotive SMEs’, *The International Journal of Quality & Reliability Management*, Vol. 18, No. 7, pp.722–743.

Zielinski, E., Schulz-Zander, J., Zimmermann, M., Schellenberger, C., Ramirez, A., Zeiger, F., Mormul, M., Hetzelt, F., Beierle, F., Klaus, H. and Ruckstuhl, H. (2019), “Secure real-time communication and computing infrastructure for industry 4.0—challenges and opportunities”, *International Conference on Networked Systems (NetSys)*, IEEE, pp. 1-6.

Ziskovsky, B. and Ziskovsky, J. (2007), “Doing more with less – going lean in education”, available at: [www.leaneducation.com/resources.html](http://www.leaneducation.com/resources.html) (accessed April 20, 2024).

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.