



ΔΙΑΤΜΗΜΑΤΙΚΟ ΠΡΟΓΡΑΜΜΑ ΜΕΤΑΠΤΥΧΙΑΚΩΝ ΣΠΟΥΔΩΝ
ΣΤΗ ΔΙΚΟΙΚΗΣΗ ΕΠΙΧΕΙΡΗΣΕΩΝ

Διπλωματική Εργασία

**«ΠΡΟΣΔΙΟΡΙΣΤΙΚΟΙ ΠΑΡΑΓΟΝΤΕΣ ΤΗΣ INDUSTRY 4.0 ΚΑΙ ΤΑ
ΕΠΙΧΕΙΡΗΣΙΑΚΑ ΤΗΣ ΑΠΟΤΕΛΕΣΜΑΤΑ ΣΕ ΒΙΟΜΗΧΑΝΙΑ
ΣΥΣΤΗΜΑΤΩΝ ΑΛΟΥΜΙΝΙΟΥ»**

του

ΔΗΜΗΤΡΙΟΥ ΚΩΝ. ΛΑΜΠΡΟΥ

ΕΠΙΒΛΕΠΟΝΤΑΣ: ΑΙΚΑΤΕΡΙΝΗ ΓΚΟΤΖΑΜΑΝΗ, ΚΑΘΗΓΗΤΡΙΑ ΤΜΗΜΑΤΟΣ
ΟΡΓΑΝΩΣΗΣ ΚΑΙ ΔΙΟΙΚΗΣΗΣ ΕΠΙΧΕΙΡΗΣΕΩΝ

Υποβλήθηκε ως απαιτούμενο για την απόκτηση του μεταπτυχιακού διπλώματος στη
Διοίκηση Επιχειρήσεων

ΙΟΥΝΙΟΣ 2023

Αφιέρωση

«Στην οικογένεια μου και τους γονείς μου»

Ευχαριστίες

Θα ήθελα να ευχαριστήσω την κυρία Αικατερίνη Γκοτζαμάνη για την καθοδήγησή της και τη αμέριστη κατανόηση στην ολοκλήρωση της διπλωματικής μου εργασίας. Επιπλέον, ευχαριστώ θερμά όλους του συναδέλφους μου για την προθυμία τους να συμμετάσχουν στην έρευνα και την άμεση και καλοπροαίρετη ανταπόκριση τους, διότι χωρίς τη συμβολή τους θα ήταν αδύνατη η διενέργεια της μελέτης. Ιδιαίτερα όμως θα ήθελα να ευχαριστήσω από τα βάθη της καρδιάς μου την οικογένεια μου και τους γονείς μου για την ατελείωτη υπομονή και την τεράστια στήριξή τους σε όλο αυτό το εγχείρημα.

ΠΕΡΙΛΗΨΗ

Η τέταρτη βιομηχανική επανάσταση, που χαρακτηρίζεται κι ως Industry 4.0, αποτελεί την τρέχουσα τάση στη βιομηχανία κι αναφέρεται στον ψηφιακό μετασχηματισμό των διαδικασιών που αφορούν τη λειτουργία μίας επιχείρησης. Στόχος της παρούσας διπλωματικής εργασίας είναι να αναζητηθούν οι προσδιοριστικοί παράγοντες της Industry 4.0 και να μελετηθούν τα επιχειρησιακά της αποτελέσματα σε μία βιομηχανία συστημάτων αλουμινίου. Επειδή ο σκοπός της εργασίας είναι διερευνητικός, ακολουθείται η ποιοτική μέθοδος εφαρμόζοντας ως μεθοδολογία έρευνας τη μελέτη μίας μοναδικής περίπτωσης ελληνικής βιομηχανίας ανάπτυξης και παραγωγής συστημάτων αλουμινίου. Η συλλογή δεδομένων γίνεται με συνεντεύξεις εργαζομένων και συμπληρώνεται από την άμεση παρατήρηση και τη συλλογή εγγράφων. Εξετάζονται οι τεχνολογίες της Industry 4.0 που εφαρμόζονται, τα αποτελέσματα χρήσης, οι προκλήσεις που αντιμετωπίζουν αλλά και η αύξηση των εφαρμοζόμενων τεχνολογιών. Από τα αποτελέσματα προκύπτει ότι η Industry 4.0 συμβάλλει στη βελτίωση της αποδοτικότητας, στη μείωση του κόστους και του χρόνου, προσδίδει ευελιξία, ελαττώνονται τα σφάλματα και βελτιώνεται η ποιότητα των προϊόντων ενισχύοντας την ικανοποίηση των πελατών. Οι προκλήσεις αφορούν το υψηλό κόστος, τον μεγάλο χρόνο εφαρμογής, την αποτελεσματική σύνδεση παλιών μηχανών με τις νέες τεχνολογίες, την εκπαίδευση του προσωπικού και την κάμψη της αντίστασης στην αλλαγή. Η εργασία περιορίζεται από το γεγονός ότι μελετάται μία εταιρεία που δεν κάνει μόνο διέλαση αλλά αναπτύσσει και τα προϊόντα, επομένως θα μπορούσε να γίνει συγκριτική έρευνα με μία βιομηχανία αποκλειστικής διέλασης αλλά και να μελετηθούν οι κοινωνικές και περιβαλλοντικές επιπτώσεις.

Λέξεις – Κλειδιά

Τέταρτη Βιομηχανική Επανάσταση, προσδιοριστικοί παράγοντες, τεχνολογίες, αλουμίνιο

ABSTRACT

The fourth industrial revolution, also mentioned as Industry 4.0, is the current trend in industry and refers to the digital transformation of the processes related to the operation of an industry. The aim of this dissertation is to search for the determining factors of Industry 4.0 and to study its operational results in an aluminum industry. Since the purpose of the work is exploratory, the qualitative method is followed, applying as a research methodology the study of a unique case of a Greek industry that develops and produces aluminum systems. Data is collected by interviewing employees and is supplemented by direct observation and document collection. The Industry 4.0 technologies applied, the results of use, the challenges they face and the growth of applied technologies are examined. The results show that Industry 4.0 contributes to the improvement of the efficiency, reducing costs and time, providing flexibility, reducing errors and improving product quality, enhancing customer satisfaction. Challenges include high costs, long implementation time, effectively connection of the old machines with the new technologies, training staff and overcoming resistance to change. The research is limited by the fact that the company studied does not only extrude but also develops the products, therefore a comparative research with an extrusion industry could be done and study also the social and environmental effects.

Keywords

Industry 4.0, determining factors, technologies, aluminium

ΠΙΝΑΚΑΣ ΠΕΡΙΕΧΟΜΕΝΩΝ

Ευχαριστίες	iii
ΠΕΡΙΛΗΨΗ	iv
ΚΑΤΑΛΟΓΟΣ ΕΙΚΟΝΩΝ	viii
ΚΑΤΑΛΟΓΟΣ ΠΙΝΑΚΩΝ.....	ix
ΚΑΤΑΛΟΓΟΣ ΔΙΑΓΡΑΜΜΑΤΩΝ	x
ΣΥΝΤΜΗΣΕΙΣ.....	xi
1. ΕΙΣΑΓΩΓΗ	1
1.1 ΣΗΜΑΝΤΙΚΟΤΗΤΑ ΤΟΥ ΘΕΜΑΤΟΣ.....	1
1.2 ΣΚΟΠΟΣ ΤΗΣ ΔΙΠΛΩΜΑΤΙΚΗΣ ΕΡΓΑΣΙΑΣ.....	2
1.3 ΕΡΕΥΝΗΤΙΚΗ ΜΕΘΟΛΟΓΙΑ	2
1.4 ΔΟΜΗ ΔΙΠΛΩΜΑΤΙΚΗΣ ΕΡΓΑΣΙΑΣ	3
2. ΙΣΤΟΡΙΚΗ ΑΝΑΔΡΟΜΗ	4
2.1 Η ΑΡΧΗ ΤΗΣ ΒΙΟΜΗΧΑΝΙΑΣ	4
2.2 Η ΔΕΥΤΕΡΗ ΚΑΙ Η ΤΡΙΤΗ ΒΙΟΜΗΧΑΝΙΚΗ ΕΠΑΝΑΣΤΑΣΗ	5
2.3 Η ΤΕΤΑΡΤΗ ΒΙΟΜΗΧΑΝΙΚΗ ΕΠΑΝΑΣΤΑΣΗ (Industry 4.0)	7
3. ΒΙΒΛΙΟΓΡΑΦΙΚΗ ΕΠΙΣΚΟΠΗΣΗ ΤΗΣ INDUSTRY 4.0	9
3.1 ΕΝΝΟΙΟΛΟΓΙΚΟΣ ΟΡΙΣΜΟΣ.....	9
3.2 ΠΡΟΣΔΙΟΡΙΣΤΙΚΟΙ ΠΑΡΑΓΟΝΤΕΣ	10
3.2.1 Κύρια Χαρακτηριστικά	11
3.2.2 Τεχνολογίες κι εργαλεία της Industry 4.0	13
3.3 ΕΥΦΥΗΣ ΠΑΡΑΓΩΓΗ ΚΙ ΕΞΥΠΝΟ ΕΡΓΟΣΤΑΣΙΟ.....	18
4. ΕΡΕΥΝΗΤΙΚΟ ΠΕΔΙΟ	21
4.1 ΕΥΚΑΙΡΙΕΣ ΚΑΙ ΠΡΟΚΛΗΣΕΙΣ	21
4.2 ΨΗΦΙΑΚΗ ΩΡΙΜΟΤΗΤΑ ΣΤΗΝ ΕΛΛΑΔΑ.....	24
4.3 ΔΙΑΤΥΠΩΣΗ ΕΡΕΥΝΗΤΙΚΩΝ ΕΡΩΤΗΜΑΤΩΝ.....	26
5. ΜΕΘΟΔΟΛΟΓΙΑ ΕΡΕΥΝΑΣ.....	27

5.1 ΕΡΕΥΝΗΤΙΚΗ ΔΙΑΔΙΚΑΣΙΑ.....	27
5.2 ΣΥΛΛΟΓΗ ΔΕΔΟΜΕΝΩΝ.....	31
5.2.1 Συνεντεύξεις.....	31
5.2.2 Έγγραφα.....	31
5.2.3 Άμεση παρατήρηση.....	32
5.3 ΕΤΑΙΡΕΙΑ ΜΕΛΕΤΗΣ.....	32
5.4 ΔΙΑΔΙΚΑΣΙΑ ΑΝΑΠΤΥΞΗΣ ΚΑΙ ΠΑΡΑΓΩΓΗΣ ΠΡΟΪΟΝΤΩΝ.....	33
5.5 ΠΕΡΙΓΡΑΦΗ ΛΕΙΤΟΥΡΓΙΚΩΝ ΣΥΣΤΗΜΑΤΩΝ.....	38
5.5.1 Συστήματα για την ανάπτυξη προϊόντων.....	38
5.5.2 Συστήματα στην παραγωγή.....	40
5.5.3 Συστήματα σε Operations & Supply Chain.....	41
5.5.4 Συστήματα IT.....	43
6. ΑΠΟΤΕΛΕΣΜΑΤΑ ΜΕΛΕΤΗΣ.....	45
7. ΣΥΜΠΕΡΑΣΜΑΤΑ – ΠΡΟΤΑΣΕΙΣ.....	54
7.1 ΠΑΡΟΥΣΙΑΣΗ ΕΥΡΥΜΑΤΩΝ.....	54
7.2 ΠΕΡΙΟΡΙΣΜΟΙ ΣΤΗΝ ΕΡΕΥΝΑ.....	56
7.3 ΠΡΟΤΑΣΕΙΣ ΓΙΑ ΜΕΛΛΟΝΤΙΚΗ ΕΡΕΥΝΑ.....	56
ΚΑΤΑΛΟΓΟΣ ΑΝΑΦΟΡΩΝ.....	58
ΠΑΡΑΡΤΗΜΑ Ι: ΕΡΩΤΗΜΑΤΟΛΟΓΙΟ ΣΥΝΕΝΤΕΥΞΕΩΝ.....	67

ΚΑΤΑΛΟΓΟΣ ΕΙΚΟΝΩΝ

Εικόνα 1. Η εξέλιξη της Βιομηχανικής Επανάστασης.....	7
Εικόνα 2. Τομείς της Industry 4.0	9
Εικόνα 3. Μετατροπή της παραδοσιακής παραγωγής με την Industry 4.0.....	10
Εικόνα 4. Κάθετη δικτύωση	11
Εικόνα 5. Οριζόντια ολοκλήρωση.....	12
Εικόνα 6. Βιομηχανικό Διαδίκτυο των Πραγμάτων.....	16
Εικόνα 7. Είδη προσθετικής μηχανικής	17
Εικόνα 8. Ευφύης Παραγωγή	19
Εικόνα 9. Industry 4.0 έξυπνο εργοστάσιο.....	20
Εικόνα 10. SEV Digital Maturity Index - Κατάταξη χωρών ΕΕ-27	24
Εικόνα 11. Ψηφιακή ωριμότητα επιχειρήσεων	25
Εικόνα 12. Διαδικασίας θερμής διέλασης αλουμινίου	35
Εικόνα 13. Ολοκληρωμένη γραμμή διέλασης αλουμινίου.....	36
Εικόνα 14. Κάθετο βαφείο προφίλ αλουμινίου	37
Εικόνα 15. Τρισδιάστατη σχεδίαση συστήματος αλουμινίου	38
Εικόνα 16. Πρόγραμμα Teamwork	39
Εικόνα 17. Τρισδιάστατη εκτύπωση προφίλ κι εξαρτήματος	39
Εικόνα 18. Σύνδεση PLC με server μέσω OPC	40
Εικόνα 19. Λειτουργία AI καμερών επιφανειακού ελέγχου	41
Εικόνα 20. Οπτικοποίηση συστήματος APS.....	42
Εικόνα 21. Υπολογιστικό Νέφος.....	43

ΚΑΤΑΛΟΓΟΣ ΠΙΝΑΚΩΝ

Πίνακας 1. Εννέα κύριοι πυλώνες της Industry 4.0	14
Πίνακας 2. Ευκαιρίες και προκλήσεις της Industry 4.0	23

ΚΑΤΑΛΟΓΟΣ ΔΙΑΓΡΑΜΜΑΤΩΝ

Διάγραμμα 1. Παγκόσμια αύξηση πληθυσμού και παραγωγικότητας.....	5
Διάγραμμα 2. Βασικοί πυλώνες λειτουργίας της εταιρείας	34

ΣΥΝΤΜΗΣΕΙΣ

AI:	Artificial intelligence
APS:	Advanced Planning and Scheduling
AR:	Augmented Reality
B2B:	Business to Business
BI:	Business Intelligence
CPPS:	Cyber-physical Production Systems
CPS:	Cyber-physical Systems
CRM:	Customer Relationship Management
DT:	Digital Twin
EDR:	Endpoint Detection and Response
ERP:	Enterprise Resource Planning
HMI:	Human Machine Interface
IIoT:	Industrial Internet of Things
IoT:	Internet of Things
IT:	Information Technology
KPIs:	Key Performance Indicators
MES:	Manufacturing Execution System
MRP:	Material Requirements Planning
PLC:	Programmable Logic Controller
RPA:	Robotic Process Automation
SCADA:	Supervision Control And Data Acquisition
SIEM:	Security Information and Event Management
WEF:	World Economic Forum
WMS:	Warehouse Management System
ΣΕΒ:	Σύνδεσμος Επιχειρήσεων και Βιομηχανιών

1. ΕΙΣΑΓΩΓΗ

1.1 ΣΗΜΑΝΤΙΚΟΤΗΤΑ ΤΟΥ ΘΕΜΑΤΟΣ

Τα τελευταία χρόνια, η 4^η Βιομηχανική Επανάσταση, γνωστότερη ως Industry 4.0, έχει αναδειχθεί ως η μετασχηματιστική δύναμη στον κόσμο των επιχειρήσεων, παρουσιάζοντας τόσο προκλήσεις όσο και ευκαιρίες για τους οργανισμούς. Στον πυρήνα αυτής της επανάστασης βρίσκονται τεχνολογίες όπως η τεχνητή νοημοσύνη (Artificial Intelligence- AI), το Διαδίκτυο των πραγμάτων (Internet of Things-IoT) και η διασύνδεση μεταξύ μηχανών και ανθρώπων, οι οποίες αλλάζουν τον τρόπο λειτουργίας και βελτιώνουν την ποιότητα ζωής (Aoun et al, 2021). Μια βασική πτυχή της Industry 4.0 είναι η έννοια των καθοριστικών παραγόντων, οι οποίοι οδηγούν στην επιτυχία ή την αποτυχία των επιχειρήσεων που λειτουργούν σε αυτό το νέο πλαίσιο.

Οι παράγοντες που προσδιορίζουν την Industry 4.0 περιλαμβάνουν μεταξύ των άλλων την ικανότητα αποτελεσματικής διαχείρισης δεδομένων κι αξιοποίησης προηγμένων αναλύσεων για τη λήψη αποφάσεων και την επίλυση προβλημάτων σε πραγματικό χρόνο, καθώς και την εμπλοκή όλων των ενδιαφερόμενων μερών σε μία διαδικασία οριζόντιας και κάθετης ολοκλήρωσης (Aoun et al, 2021). Η κατανόηση αυτών των καθοριστικών παραγόντων είναι κρίσιμη για τους οργανισμούς που επιδιώκουν να επιτύχουν στην Industry 4.0, καθώς παρέχουν έναν οδικό χάρτη για την επίτευξη επιχειρηματικών αποτελεσμάτων και τη διατήρηση της ανταγωνιστικότητας σε ένα διαρκώς πιο περίπλοκο και δυναμικό περιβάλλον.

Η σημασία των καθοριστικών παραγόντων της Industry 4.0 έχει επισημανθεί σε πρόσφατες έρευνες, με μελέτες που δείχνουν ότι οι εταιρείες που υπερέχουν σε αυτούς τους τομείς τείνουν να ξεπερνούν τους ομολόγους τους. Για παράδειγμα, μια μελέτη της Deloitte (2016) διαπίστωσε ότι οι οργανισμοί που έχουν επενδύσει σε τεχνολογίες Industry 4.0 και έχουν ισχυρές δυνατότητες διαχείρισης δεδομένων είναι πιο πιθανό να επιτύχουν υψηλότερη αύξηση εσόδων και περιθωρίων κέρδους από εκείνους που δεν το κάνουν. Ομοίως, μια έκθεση της McKinsey & Company (2017) διαπίστωσε ότι οι εταιρείες με ισχυρές ψηφιακές δυνατότητες είναι πιο πιθανό να επιτύχουν υψηλότερες οικονομικές επιδόσεις από τους ομολόγους τους.

Συμπερασματικά, οι προσδιοριστικοί παράγοντες της Industry 4.0 διαδραματίζουν κρίσιμο ρόλο στην επίτευξη επιχειρηματικών αποτελεσμάτων και στη δημιουργία ανταγωνιστικού πλεονεκτήματος στον νέο κόσμο εργασίας. Κατανοώντας αυτούς τους παράγοντες και επενδύοντας στις απαραίτητες τεχνολογίες και δυνατότητες, οι οργανισμοί μπορούν να ανελιχθούν επιτυχώς στο ταχέως εξελισσόμενο τοπίο της Τέταρτης Βιομηχανικής Επανάστασης (Martinelli et al, 2019).

1.2 ΣΚΟΠΟΣ ΤΗΣ ΔΙΠΛΩΜΑΤΙΚΗΣ ΕΡΓΑΣΙΑΣ

Η παρούσα διπλωματική εργασία έχει ως στόχο να μελετήσει τους παράγοντες που προσδιορίζουν την Industry 4.0 και αποτελούν τα βασικά χαρακτηριστικά του εργοστασίου του μέλλοντος, στην εποχή της Τέταρτης Βιομηχανικής Επανάστασης. Επιπλέον, ο ερευνητής θα διερευνήσει ποια στοιχεία της Industry 4.0 εφαρμόζονται σε μία ελληνική επιχείρηση και πώς επηρεάζουν τη λειτουργία της εν γένει. Για τον σκοπό αυτό επιλέχθηκε μία βιομηχανία ανάπτυξης και παραγωγής συστημάτων αλουμινίου, καθώς πρόκειται για έναν διαρκώς αναπτυσσόμενο κλάδο όπου υπάρχουν πολλά πεδία εφαρμογής τεχνολογιών για το εκσυγχρονισμό των διαδικασιών του, από τη σχεδίαση ενός συστήματος μέχρι την παραγωγή και την τελική διάθεση. Τα ερευνητικά ερωτήματα που επιδιώκει να απαντήσει η εργασία είναι:

- i. Ποιοι είναι οι παράγοντες που προσδιορίζουν την Industry 4.0 σε μία ελληνική βιομηχανία;
- ii. Ποια είναι τα αποτελέσματα από την εφαρμογή τους σε μία βιομηχανία ανάπτυξης και παραγωγής συστημάτων αλουμινίου;
- iii. Ποιες οι προκλήσεις κατά την εφαρμογή τους και πώς μπορεί να αναβαθμιστεί περαιτέρω η εταιρεία ακολουθώντας τις τεχνολογικές εξελίξεις του μέλλοντος;

1.3 ΕΡΕΥΝΗΤΙΚΗ ΜΕΘΟΔΟΛΟΓΙΑ

Η παρούσα διπλωματική εργασία εκπονήθηκε στα πλαίσια του Μεταπτυχιακού Προγράμματος Σπουδών στη Διοίκηση Επιχειρήσεων του Πανεπιστημίου Μακεδονίας πραγματοποιώντας βιβλιογραφική ανασκόπηση σε συνδυασμό με τη μελέτη περίπτωσης μίας ελληνικής βιομηχανίας συστημάτων αλουμινίου, ακολουθώντας τη μέθοδο της ποιοτικής έρευνας με τη χρήση ερωτήσεων δομημένης συνέντευξης.

Η εταιρεία που επιλέχθηκε είναι μία από τις πιο προηγμένες εταιρείες αλουμινίου, που επικεντρώνεται στον σχεδιασμό και την παραγωγή αρχιτεκτονικών συστημάτων αλουμινίου. Τα τελευταία χρόνια έχει αρχίσει να εφαρμόζει προηγμένες τεχνολογίες που προάγουν σημαντικά τον τρόπο λειτουργίας των διαφόρων τμημάτων μέσα στην εταιρεία, από το τμήμα έρευνας κι ανάπτυξης μέχρι τα logistics και την τελική διάθεση των προϊόντων. Στο πλαίσιο αυτό, συλλέχθηκαν πρωτογενή δεδομένα με άμεση παρατήρηση, συλλογή εγγράφων και δομημένες συνεντεύξεις από τον χώρο εργασίας των συμμετεχόντων στην έρευνα (βλ. Παράρτημα), τα οποία παρουσιάζονται εκτενώς στο κεφάλαιο της ανάλυσης των αποτελεσμάτων.

1.4 ΔΟΜΗ ΔΙΠΛΩΜΑΤΙΚΗΣ ΕΡΓΑΣΙΑΣ

Η διπλωματική εργασία ξεκινάει με την σημασία και τον σκοπό του θέματος, αναφέρονται τα ερευνητικά ερωτήματα καθώς και η μεθοδολογία που θα ακολουθηθεί για να απαντηθούν. Στο δεύτερο κεφάλαιο γίνεται μία ιστορική αναδρομή όπου παρουσιάζεται η εξέλιξη της βιομηχανίας από την πρώτη μέχρι την τέταρτη επανάσταση. Στο τρίτο κεφάλαιο γίνεται βιβλιογραφική επισκόπηση της Industry 4.0 όπου παρουσιάζεται η έννοια, οι παράγοντες που το προσδιορίζουν, η ευφυής παραγωγή και το έξυπνο εργοστάσιο. Στο τέταρτο κεφάλαιο παρουσιάζονται οι ευκαιρίες και οι προκλήσεις που διέπουν την Industry 4.0, το επίπεδο ψηφιακής ωριμότητας στην Ελλάδα ενώ διατυπώνονται τα ερευνητικά ερωτήματα. Το πέμπτο κεφάλαιο αναφέρεται στη μεθοδολογία που ακολουθήθηκε για τη συλλογή δεδομένων, παρουσιάζεται η εταιρεία που μελετήθηκε και περιγράφονται οι διαδικασίες και οι λειτουργίες της. Στο έκτο κεφάλαιο παρουσιάζονται τα αποτελέσματα της μελέτης ενώ στο έβδομο και τελευταίο αποτυπώνονται τα συμπεράσματα, οι περιορισμοί και οι προτάσεις για μελλοντική έρευνα.

2. ΙΣΤΟΡΙΚΗ ΑΝΑΔΡΟΜΗ

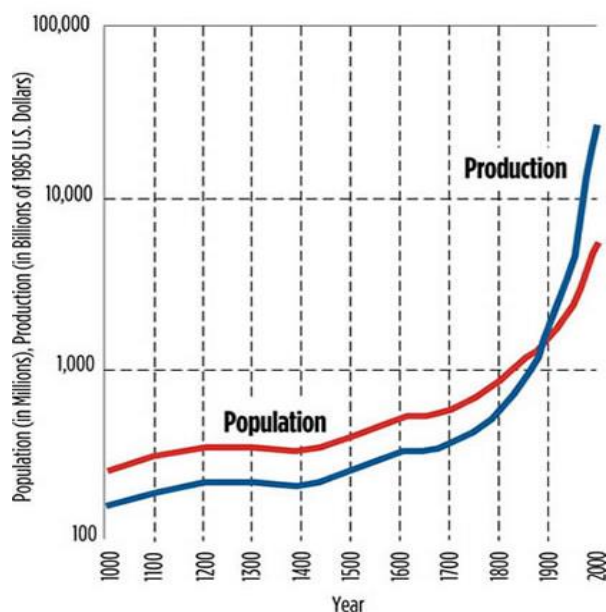
2.1 Η ΑΡΧΗ ΤΗΣ ΒΙΟΜΗΧΑΝΙΑΣ

Η έναρξη της Βιομηχανικής Επανάστασης στα μέσα του δέκατου όγδοου αιώνα στη Μεγάλη Βρετανία μπορεί να αναγνωριστεί ως μια κομβική καμπή στην ανθρώπινη ιστορία. Πριν από αυτό το χρονικό πλαίσιο, η οποιαδήποτε κατασκευή πραγματοποιούνταν κυρίως χειρωνακτικώς, ακολουθώντας συμβατικές μεθόδους που είχαν χρησιμοποιηθεί για αιώνες. Ο οικονομικός ιστορικός A. Toynebee χρησιμοποίησε πρώτος τον όρο βιομηχανική επανάσταση σε μία σειρά διαλέξεων που πραγματοποίησε στην Οξφόρδη (Hudson, 1992).

Η 1^η Βιομηχανική Επανάσταση προσδιορίζεται από την μετάβαση από τη χειρωνακτική εργασία στη χρήση μηχανών κι εξοπλισμού που διευκόλυναν την ταχεία και αποτελεσματική παραγωγή εμπορευμάτων (Groumpos, 2021). Η έλευση νέων τεχνολογιών, όπως η ατμομηχανή, επέτρεψε τη μηχανοποίηση πολλών διεργασιών και τη μαζική παραγωγή αγαθών αυξάνοντας τη δυναμικότητα των επιχειρήσεων και δημιουργώντας τις πρώιμες βιομηχανίες. Χαρακτηριστικό παράδειγμα αποτέλεσαν οι κλωστοϋφαντουργίες. Η χρήση του ατμού όμως δεν περιορίστηκε μόνο εκεί, αλλά επεκτάθηκε και στον τομέα των θαλάσσιων και χερσαίων μεταφορών. Η ανάπτυξη των ατμόπλοιων αλλά κυρίως των ατμοκίνητων τρένων και η δημιουργία εκτεταμένων σιδηροδρομικών δικτύων είχε ως αποτέλεσμα την σημαντική μείωση των αποστάσεων. Πλέον άνθρωποι και αγαθά μπορούσαν να μετακινηθούν μαζικά, διανύοντας σε μικρότερο χρόνο μεγαλύτερες αποστάσεις (Bruland and Smith, 2011).

Μάλιστα, θα πρέπει να σημειωθεί ότι η βιομηχανική επέκταση είχε έντονο αντίκτυπο στην κοινωνική ανάπτυξη και την αύξηση του πληθυσμού. Η εμφάνιση των αστικών περιοχών είχε ως αποτέλεσμα την αύξηση της βιομηχανίας και του εμπορίου, μετατρέποντάς τες σε κομβικά σημεία οικονομικής δραστηριότητας (Zhou et al, 2015). Η Βιομηχανική Επανάσταση υποκίνησε έναν αξιοσημείωτο πολλαπλασιασμό της μεσαίας τάξης. Το αποτέλεσμα που ακολούθησε ήταν η αύξηση της κοινωνικής κινητικότητας, επιτρέποντας έτσι στα άτομα να βελτιώσουν την οικονομική τους θέση και να ανέβουν στην κοινωνικοοικονομική ιεραρχία. Οι οικονομολόγοι θεωρούν ότι η συγκεκριμένη Επανάσταση αποτελεί το σημαντικότερο γεγονός της ανθρωπότητας από

την έναρξη της υπέρξεως της καθώς σηματοδότησε την αύξηση του βιοτικού επιπέδου στον δυτικό κόσμο (Groumpos, 2021).



Διάγραμμα 1. Παγκόσμια αύξηση πληθυσμού και παραγωγικότητας
Πηγή: (Lucas, 2004)

2.2 Η ΔΕΥΤΕΡΗ ΚΑΙ Η ΤΡΙΤΗ ΒΙΟΜΗΧΑΝΙΚΗ ΕΠΑΝΑΣΤΑΣΗ

Πολλοί ιστορικοί και οικονομολόγοι θεωρούν ότι το δεύτερο μισό του δέκατου ένατου αιώνα και οι πρώτες δεκαετίες του εικοστού αιώνα είναι μια χρυσή εποχή τεχνικής προόδου και οικονομικής επέκτασης (Caldarelli et al., 2016). Νέες επιχειρήσεις, νέα υλικά και εργαλεία και νέες μορφές μεταφορών κι επικοινωνίας αναπτύχθηκαν κατά τη διάρκεια αυτής της χρονικής περιόδου ενώ παράλληλα η ευρεία αποδοχή της ψηφιακής τεχνολογίας και του Διαδικτύου καθόρισε την Τρίτη Βιομηχανική Επανάσταση που ξεκίνησε στα τέλη του 20ου αιώνα (Dong-hyu et al., 2017).

Η περίοδος που αναγνωρίζεται ως η δεύτερη βιομηχανική επανάσταση είχε πολύ μεγάλο αντίκτυπο στην καθημερινή ζωή. Αν συγκρίνουμε τον κόσμο του 1800 με τον κόσμο του 1870 κι έπειτα, η διαφορά είναι πολύ σημαντική (Mokyr, 2010). Σχεδόν κάθε νέα τεχνολογία που αναπτύχθηκε μέχρι το πρώτο μισό του 20ου αιώνα είχε την αρχή της σε αυτήν την εποχή. Η δεύτερη βιομηχανική επανάσταση προσδιορίζεται από το 1870 έως το 1914 περίπου. Η μεγάλης κλίμακας ανάπτυξη κατασκευών, δρόμων κι άλλων υποδομών ήταν εφικτή χάρη στη διαθεσιμότητα νέων υλικών όπως ο χάλυβας και τα

υγρά καύσιμα αλλά και του ηλεκτρισμού. Η ατμομηχανή και η μηχανή εσωτερικής καύσης, η οποία εξόπλισε τα πρώτα αυτοκίνητα και αεροσκάφη, κατέστησαν και οι δύο δυνατές χάρη στις τεχνολογικές εξελίξεις (Groumpos, 2021).

Η ανάπτυξη μεθόδων μαζικής παραγωγής κατά τη διάρκεια της Δεύτερης Βιομηχανικής Επανάστασης ήταν ζωτικής σημασίας για τη μαζική παραγωγή προϊόντων σε μειωμένες τιμές. Ως αποτέλεσμα, περισσότεροι άνθρωποι μπόρεσαν να αγοράσουν περισσότερα προϊόντα και υπηρεσίες, γεγονός που δημιούργησε νέες αγορές πελατών. Οι οικονομίες πολλών χωρών μπόρεσαν να επεκταθούν λόγω της δημιουργίας νέων θέσεων εργασίας κι επιχειρήσεων από την ανάπτυξη τεχνολογιών αιχμής (Dong-hyu et al., 2017).

Ένα από τα βασικά χαρακτηριστικά της τρίτης βιομηχανικής επανάστασης είναι η ευρεία υιοθέτηση της ψηφιακής τεχνολογίας στις διαδικασίες παραγωγής. Η χρήση υπολογιστών και λογισμικών γίνεται ευρεία, τόσο για τον σχεδιασμό όσο και την κατασκευή των προϊόντων. Η ανάπτυξη του διαδικτύου διευκόλυνε την κοινή χρήση και τη συνεργασία (Troxler, 2013). Οι προηγμένες τεχνολογίες επικοινωνίας, όπως τα κινητά και η ασύρματη επικοινωνία, διευκολύνει την ανάπτυξη του ηλεκτρονικού εμπορίου, των διαδικτυακών πλατφορμών και των ψηφιακών υπηρεσιών, μεταμορφώνοντας διάφορους κλάδους και δίνοντας τη δυνατότητα παγκόσμιας συνδεσιμότητας (Rifkin, 2008).

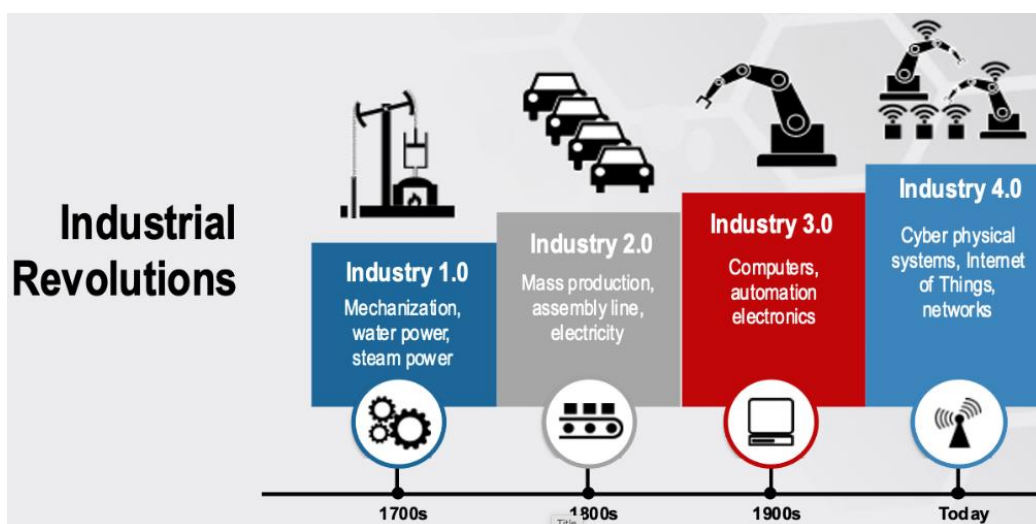
Η σημασία της Τρίτης βιομηχανικής επανάστασης όμως προσδιορίζεται κι από ορισμένες πολύ σημαντικές καινοτομίες καθώς και τον αντίκτυπο που είχε στο εργατικό δυναμικό. Αυτή την εποχή αναπτύσσεται η έννοια των ανανεώσιμων πηγών ενέργειας, η συνεργατική οικονομία, οι αυτοματισμοί στις παραγωγικές διαδικασίες και τα έξυπνα δίκτυα (Rifkin, 2008). Η υιοθέτηση νέων τεχνολογιών οδήγησε σε αλλαγές στους τύπους των διαθέσιμων θέσεων εργασίας και στις δεξιότητες που απαιτούνταν για την εκτέλεσή τους. Για παράδειγμα, η αυξημένη χρήση της αυτοματοποίησης και της ρομποτικής οδήγησε σε μείωση των θέσεων εργασίας ρουτίνας χαμηλής ειδίκευσης, δημιουργώντας παράλληλα νέες ευκαιρίες για όσους είχαν υψηλότερα επίπεδα εκπαίδευσης και τεχνικής γνώσης (Autor, 2015).

Συμπερασματικά, η Δεύτερη και η Τρίτη Βιομηχανική Επανάσταση χαρακτηρίζονται από την ταχεία ανάπτυξη νέων τεχνολογιών και την επέκταση των παγκόσμιων οικονομιών (Caldarelli et al., 2016). Νέοι τομείς και τεχνολογίες εμφανίστηκαν κατά τη διάρκεια της Δεύτερης Βιομηχανικής Επανάστασης, ενώ η γενική αποδοχή της ψηφιακής

τεχνολογίας και του Διαδικτύου καθόρισε την Τρίτη Βιομηχανική Επανάσταση (Donghyu et al., 2017). Ως κοινότητα, πρέπει να αναλογιστούμε και τις επιπτώσεις της τεχνολογικής αλλαγής και να διασφαλίσουμε ότι όλοι μπορούν να επωφεληθούν από τα πλεονεκτήματα που προσφέρει. Προκειμένου αυτές οι νέες τεχνολογίες να χρησιμοποιηθούν ώστε να οικοδομηθεί ένα πιο δίκαιο και βιώσιμο μέλλον για όλους, η ανθρωπότητα οφείλει να αναζητήσει μια μέση λύση μεταξύ της τεχνικής προόδου και της κοινωνικής λογοδοσίας καθώς μεταβαίνει στην ψηφιακή εποχή (Caldarelli et al., 2016).

2.3 Η ΤΕΤΑΡΤΗ ΒΙΟΜΗΧΑΝΙΚΗ ΕΠΑΝΑΣΤΑΣΗ (Industry 4.0)

Ο όρος Industry 4.0 αναφέρθηκε για πρώτη φορά σε Έκθεση του Ανόβερου το 2011 και ήταν η απάντηση των ηγετών της γερμανικής βιομηχανίας στην κυβέρνηση όταν τους ζήτησε να παρουσιάσουν τις ιδέες τους για το γερμανικό βιομηχανικό μέλλον και τις τεχνολογικές προόδους που θα το διαμορφώσουν. Έκθεση του 2013 που χρηματοδοτήθηκε από το Ομοσπονδιακό Υπουργείο Παιδείας και Έρευνας στη Γερμανία αναφέρει ότι το δυναμικό της Industry 4.0 είναι τεράστιο και χαρακτηρίζεται από πιο αποτελεσματικές διαδικασίες παραγωγής, βελτιστοποιημένη λήψη αποφάσεων, αποτελεσματική χρήση μειώνοντας έτσι τις ανάγκες σε πόρους κι ενέργεια και βελτιστοποιώντας την κατανομή του ανθρώπινου κεφαλαίου (Kagermann et al. 2013).



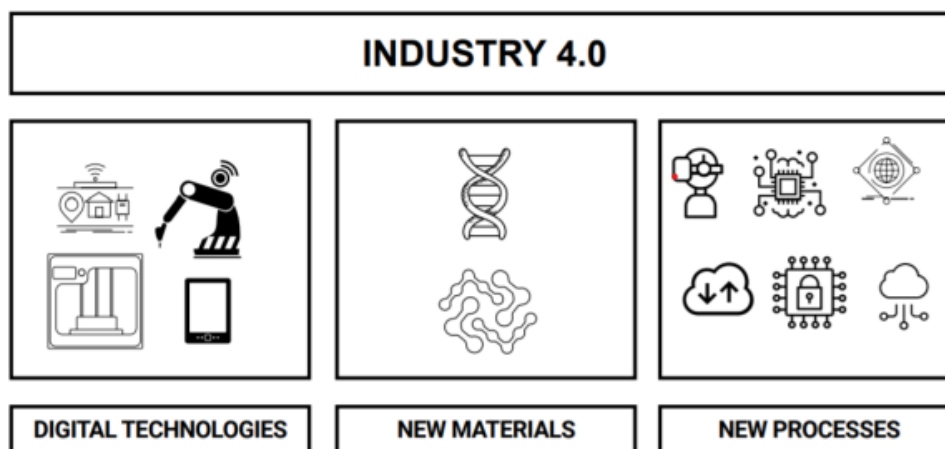
Εικόνα 1. Η εξέλιξη της Βιομηχανικής Επανάστασης
Πηγή: (www.nist.gov)

Η Τέταρτη Βιομηχανική Επανάσταση είναι ο συνεχιζόμενος τεχνολογικός μετασχηματισμός που έχει σημαντικές επιπτώσεις στον μεταποιητικό τομέα. Εννοιολογικά, ο όρος αυτός περιλαμβάνει την ενσωμάτωση ψηφιακών τεχνολογιών, όπως το Διαδίκτυο των Πραγμάτων (IoT), το οποίο δημιουργεί όλο και πιο εξελιγμένα ευφυή συστήματα που είναι ικανά να μεταδίδουν, να ερμηνεύουν και να αφομοιώνουν δεδομένα (Bresnahan, 2010). Στο επόμενο κεφάλαιο παρουσιάζονται κι αναλύονται οι προσδιοριστικοί παράγοντες της Industry 4.0, η βαθιά κατανόηση των οποίων αποτελεί προϋπόθεση για την χάραξη του στρατηγικού και τεχνολογικού χάρτη μίας επιχείρησης (Ghobakhloo, 2018).

3. ΒΙΒΛΙΟΓΡΑΦΙΚΗ ΕΠΙΣΚΟΠΗΣΗ ΤΗΣ INDUSTRY 4.0

3.1 ΕΝΝΟΙΟΛΟΓΙΚΟΣ ΟΡΙΣΜΟΣ

Η Τέταρτη Βιομηχανική Επανάσταση είναι ο όρος που χρησιμοποιείται για να περιγράψει τη σημερινή εποχή των τεχνολογικών εξελίξεων. Έχει σημαντικές επιπτώσεις για τα άτομα, τους οργανισμούς και την κοινωνία στο σύνολό της, με μια σειρά από οφέλη και προκλήσεις που πρέπει να αντιμετωπιστούν. Η αναφορά σε αυτή έγινε για πρώτη φορά σε έκθεση στο Αννόβερο το 2011 για να περιγράψει πώς η έννοια αυτή θα φέρει την επανάσταση στις παγκόσμιες αλυσίδες αξίας καθιερώνοντας διεθνώς αυτή την καινοτόμα ιδέα (Kagermann and Wahlster, 2022) . Ο Klaus Schwab, ιδρυτής και εκτελεστικός πρόεδρος του World Economic Forum (WEF), στο βιβλίο του "The Fourth Industrial Revolution" (Schwab, 2016) υποστηρίζει ότι η Industry 4.0 είναι θεμελιωδώς διαφορετική από τις προηγούμενες βιομηχανικές επαναστάσεις, καθώς καθοδηγείται από τεχνολογίες που δεν μεταμορφώνουν μόνο τον τρόπο που εργαζόμαστε, αλλά και τον τρόπο που αλληλοεπιδρούμε μεταξύ μας και με τον κόσμο γύρω μας.



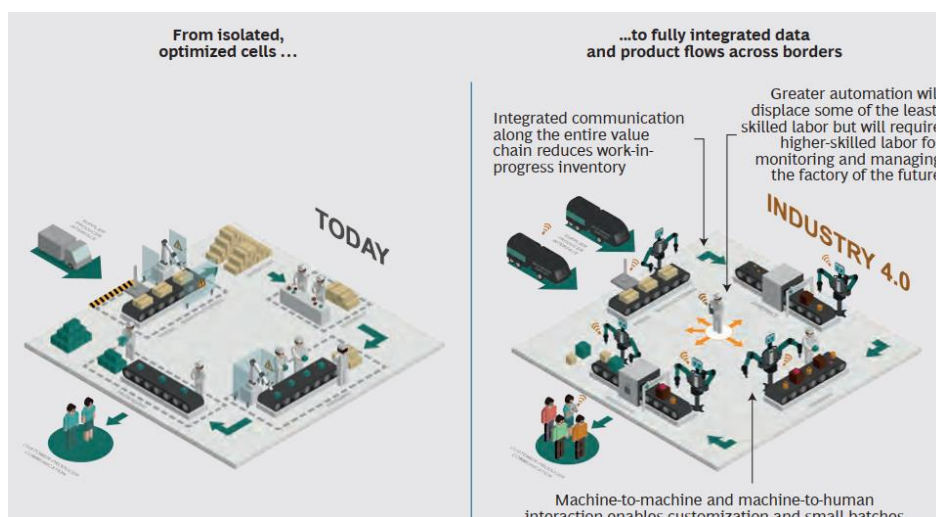
Εικόνα 2. Τομείς της Industry 4.0
Πηγή: (Morisson and Pattinson, 2019)

Ο όρος Industry 4.0 συμβολίζει την αρχή της Τέταρτης Βιομηχανικής Επανάστασης και προσδιορίζεται από σύγχρονες τεχνολογίες αυτοματισμών στην παραγωγική διαδικασία, όπως η υιοθέτηση των κυβερνο-φυσικών συστημάτων (CPS), το διαδίκτυο πραγμάτων (IoT) και το υπολογιστικό νέφος (Cloud Computing). Αντιπροσωπεύει την τεχνολογική εξέλιξη των υφιστάμενων συστημάτων σε ένα περιβάλλον όπου ο ψηφιακός χώρος ενσωματώνεται στον πραγματικό κόσμο. Σε αντιδιαστολή με την Τρίτη Βιομηχανική

Επανάσταση, το Industry 4.0 εστιάζει στη δημιουργία ενός ολοκληρωμένου ψηφιακού βιομηχανικού οικοσυστήματος - Smart Factory (Xu et al, 2018). Σύμφωνα με τον ΟΟΣΑ (OECD, 2017), πρόκειται για έναν συνδυασμό ψηφιακών τεχνολογιών, νέων υλικών (βίο ή νάνο-βασισόμενα) και νέων διαδικασιών όπως η παραγωγή στηριζόμενη στην ανάλυση δεδομένων, η ασφάλεια στον κυβερνοχώρο, η τεχνητή νοημοσύνη (AI) και η συνθετική βιολογία. Γίνεται λοιπόν αντιληπτό ότι η έννοια του Industry 4.0 είναι ευρεία, και είναι πολύ δύσκολο να περιοριστεί στο στενό πλαίσιο ενός ορισμού (Müller et al., 2018).

3.2 ΠΡΟΣΔΙΟΡΙΣΤΙΚΟΙ ΠΑΡΑΓΟΝΤΕΣ

Προκειμένου να γίνει περισσότερο κατανοητή η Industry 4.0, θα πρέπει να εξεταστούν οι θεμελιώδεις αρχές που την διέπουν, τα κύρια χαρακτηριστικά της και οι παράγοντες που την προσδιορίζουν. Όλα αυτά καταλήγουν στις τρεις βασικές έννοιες, το έξυπνο προϊόν, την έξυπνη μηχανή και τον επαυξημένο χειριστή. Η παραγωγή του έξυπνου προϊόντος βασίζεται σε συγκεκριμένες λειτουργικές απαιτήσεις ενός συστήματος που είναι σε θέση να ζητήσει τους κατάλληλους πόρους και να οργανώσει ανάλογα τις διαδικασίες. Η έξυπνη μηχανή είναι μία συσκευή συνδεδεμένη στο δίκτυο και αποτελεί μια κυβερνο-φυσική μονάδα που μπορεί να αυτοοργανωθεί. Τέλος, ο επαυξημένος χειριστής είναι μια νέα έννοια που αναβαθμίζει τον τρέχοντα χειριστή μηχανών σε χειριστή που αλληλεπιδρά με τις μηχανές και τα συστήματα παραγωγής γενικά (Turkes et al, 2019).



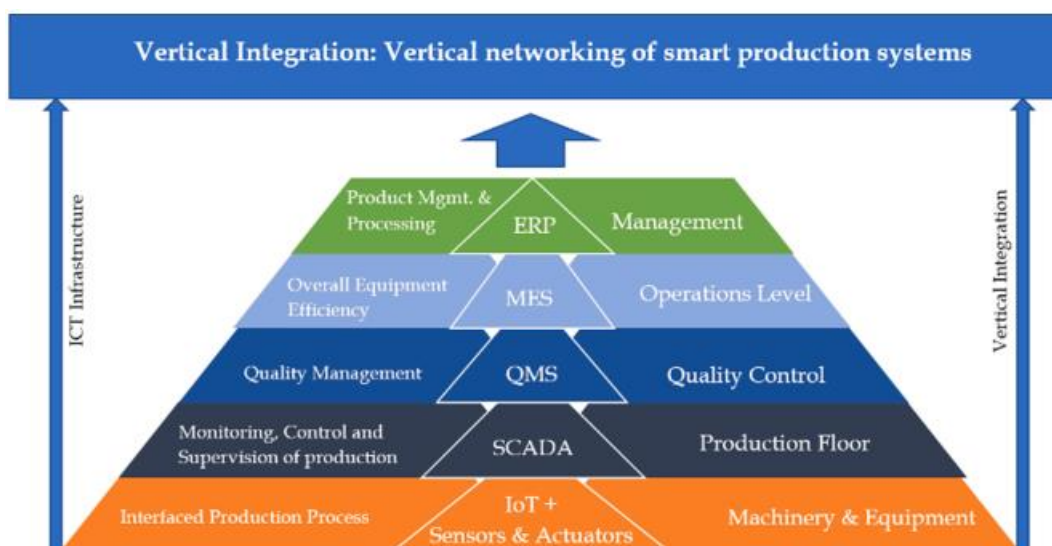
Εικόνα 3. Μετατροπή της παραδοσιακής παραγωγής με την Industry 4.0
Πηγή: (Rübmann et al. 2015)

3.2.1 Κύρια Χαρακτηριστικά

Η μετάβαση από την παραδοσιακή παραγωγή στο Industry 4.0 συνοψίζεται σε τέσσερα χαρακτηριστικά που δείχνουν τη δυναμική που υπάρχει στη βιομηχανία (Nagy et al., 2018):

i. Κάθετη δικτύωση έξυπνων συστημάτων παραγωγής

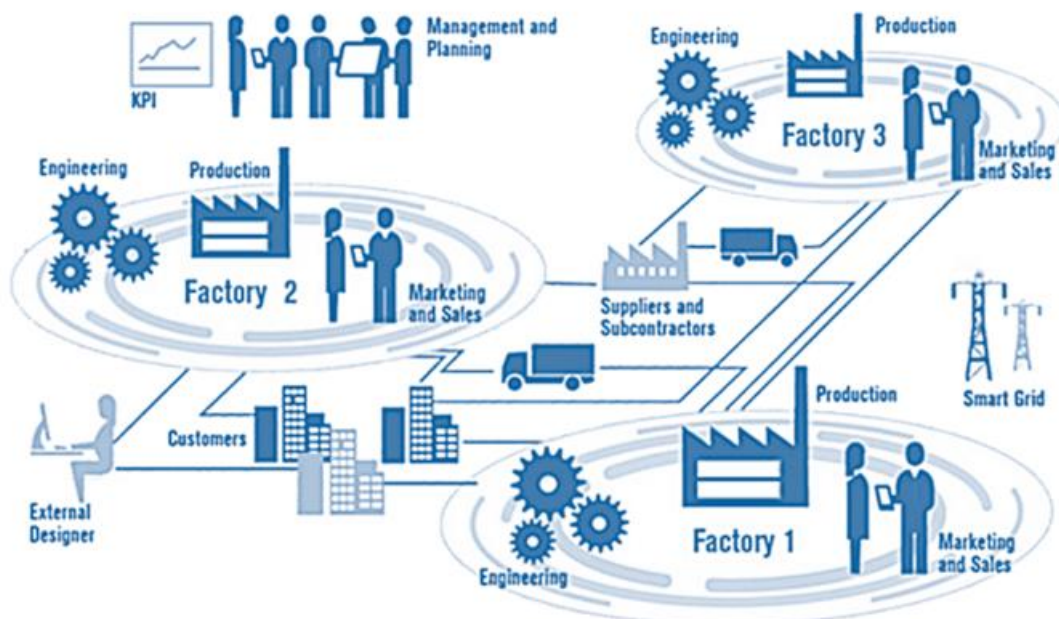
Η κάθετη δικτύωση χρησιμοποιεί κυβερνο-φυσικά συστήματα παραγωγής (CPPS), τα οποία ενσωματώνουν μονάδες προκειμένου να είναι πιο πελατοκεντρική και μοναδική. Το σύστημα σχεδιάζεται ώστε να γίνεται η μέγιστη δυνατή ενοποίηση των δεδομένων και ο συντονισμός όλων των επιπέδων της παραγωγής. Θα πρέπει να αναπτυχθούν μέθοδοι για την παρακολούθηση των αυτόνομων συστημάτων και της διάρκειας ζωής του προϊόντος, ενώ τα CPPS θα πρέπει να εστιάζουν σε ολόκληρο το σύστημα εφοδιασμού πέρα από την παραγωγή. Όλα αυτά συνεπάγονται ότι θα καταγράφονται τα στοιχεία, θα αρχειοθετούνται και θα είναι διαθέσιμα. Τα δεδομένα αυτά θα πρέπει να καλύπτουν όλα τα τμήματα της παραγωγικής διαδικασίας, δηλαδή την παραγωγή, το προϊόν, τους χειριστές, αλλαγές στην ποιότητα, το νεκρό χρόνο και τη διαχείριση των πόρων. Το τελευταίο είναι ιδιαίτερα σημαντικό διότι σε μία παραγωγή έχει μεγάλη σημασία η αποτελεσματική και πλήρης διαχείριση των υλικών, της ενέργειας και των ανθρώπινων πόρων (Nagy et al., 2018).



Εικόνα 4. Κάθετη δικτύωση
Πηγή: (Aoun et al., 2021)

ii. Οριζόντια ολοκλήρωση μέσω μιας νέας γενιάς παγκόσμιων δικτύων αλυσίδας αξίας

Το δεύτερο βασικό χαρακτηριστικό είναι η οριζόντια ολοκλήρωση. Τα νέα δίκτυα αξίας είναι βελτιστοποιημένα δίκτυα πραγματικού χρόνου που επιτρέπουν διαφάνεια και ευελιξία ώστε να ανταποκρίνονται ταχύτερα σε προβλήματα και αστοχίες. Στα δικτυωμένα συστήματα παραγωγής, το CPPS παρέχει τη σύνδεση από την προμήθεια, την αποθήκευση, την παραγωγή, το μάρκετινγκ και τη διανομή έως τις μετέπειτα υπηρεσίες. Κάθε αυτόνομη μονάδα παραγωγής συνδέεται με τις υπόλοιπες στην αλυσίδα αξίας του προϊόντος. Όλα τα δεδομένα για οποιοδήποτε προϊόν καταγράφονται και είναι διαθέσιμα ανά πάσα στιγμή διασφαλίζοντας την ιχνηλασιμότητα. Έτσι εξασφαλίζεται η διαφάνεια σε όλα τα στάδια. Η υιοθέτηση της πελατοκεντρικής προσέγγισης είναι δυνατή πλέον σε όλα τα επίπεδα, από την ανάπτυξη μέχρι τη διανομή του προϊόντος, επιτρέποντας τη δυναμική διαχείριση σε πραγματικό χρόνο παραγόντων όπως η ποιότητα, ο χρόνος και η περιβαλλοντική βιωσιμότητα, σε πραγματικό χρόνο (Nagy et al., 2018).



Εικόνα 5. Οριζόντια ολοκλήρωση
Πηγή: (Aoun et al., 2021)

iii. Επιτάχυνση μέσω εκθετικών τεχνολογιών

Οι τεχνολογικές εξελίξεις προχωρούν με εκθετικό ρυθμό, οδηγώντας σε σημαντικές και γρήγορες αλλαγές σε διάφορους τομείς. Συγκεκριμένα, ορισμένες τεχνολογίες τείνουν να βελτιώνονται και να εξελίσσονται εκθετικά με την πάροδο του χρόνου, αντί να προοδεύουν γραμμικά (Kurzweil, 2004). Πρόκειται, μεταξύ άλλων, για την τεχνητή νοημοσύνη (AI), τη ρομποτική, τη ναυτοτεχνολογία, τη βιοτεχνολογία, την τρισδιάστατη εκτύπωση και τις ανανεώσιμες πηγές ενέργειας.

iv. Συνεχής μηχανική σε ολόκληρη την αλυσίδα αξίας

Το τελευταίο χαρακτηριστικό αφορά την υιοθέτηση μιας προσέγγισης δια βίου μηχανικής που θα καλύπτει ολόκληρο τον κύκλο ζωής του προϊόντος από τον αρχικό σχεδιασμό και την ανάπτυξή του έως την απόσυρση και απόρριψή του (Salimbeni, 2020). Δίνεται έμφαση σε ολόκληρη την αλυσίδα αξίας, που περιλαμβάνει την κατασκευή, τη λειτουργία, τη συντήρηση και την απόρριψη, λαμβάνοντας υπόψη ότι οι αποφάσεις σε κάθε στάδιο έχουν αντίκτυπο σε θέματα όπως η απόδοση και το κόστος. Ο σχεδιασμός γίνεται ώστε να διασφαλίζεται ότι το προϊόν μπορεί να κατασκευαστεί αποτελεσματικά, να λειτουργήσει, να συντηρηθεί και τελικά να αποσυρθεί. Η παραγωγή βελτιστοποιείται ώστε να είναι αποδοτικότερη, να μειωθούν τα απορρίμματα και να διασφαλίζεται η ποιότητα. Η εφοδιαστική αλυσίδα θα πρέπει να διασφαλίζει τη διαθεσιμότητα ανταλλακτικών και την υποστήριξη καθ' όλη τη διάρκεια του κύκλου ζωής του προϊόντος. Η λειτουργική απόδοση θα πρέπει να είναι η μέγιστη δυνατή εξασφαλίζοντας την εφαρμογή προληπτικών συντηρήσεων. Επίσης θα πρέπει να περιλαμβάνεται η παροχή τεχνικής βοήθειας, εκπαίδευσης και υπηρεσιών εγγύησης προς τον πελάτη. Τέλος θα πρέπει να είναι εύκολη η αποσυναρμολόγηση και να χρησιμοποιούνται ανακυκλώσιμα υλικά ώστε να ελαχιστοποιούνται οι περιβαλλοντικές επιπτώσεις (Roy et al., 2013)

3.2.2 Τεχνολογίες κι εργαλεία της Industry 4.0

Οι τεχνολογίες που χαρακτηρίζονται ως πυλώνες της Industry 4.0 είναι πολλές και αποτελούν τη βάση για τον ψηφιακό μετασχηματισμό, συμβάλλοντας στην αλληλεπίδραση και την πλήρη διασύνδεση μεταξύ των υποσυνόλων τους (Olsen and Tomlin, 2020). Σύμφωνα με τη βιβλιογραφία (Rüßmann et al. (2015); Erboz (2017);

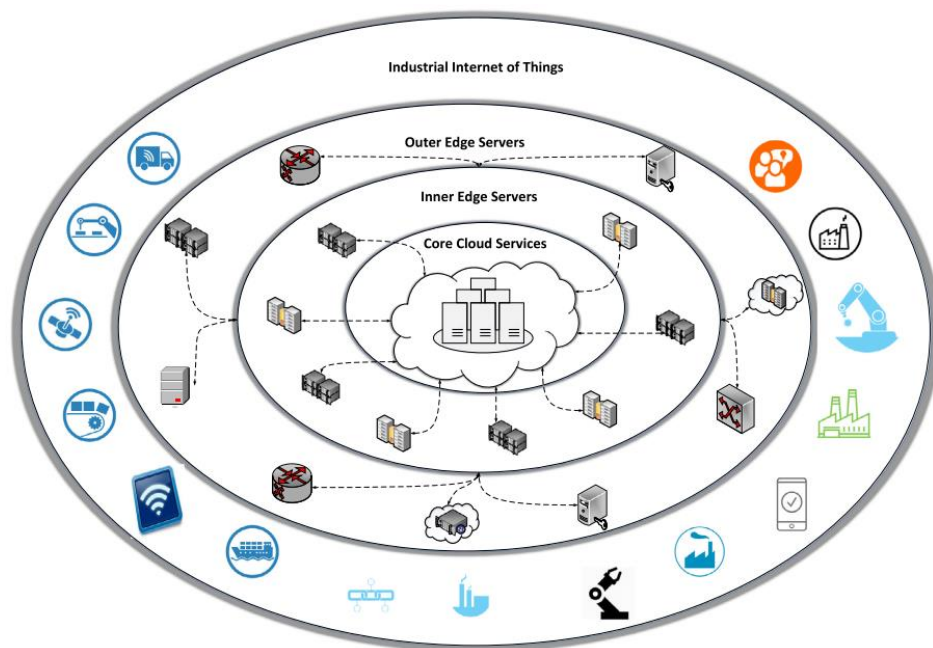
Vaidyaa et al. (2018)), εννέα είναι οι κυριότεροι πυλώνες της Industry 4.0 που μετασχηματίζουν την παραγωγή από ένα σύνολο μεμονωμένων μηχανών σε ένα πλήρως αυτοματοποιημένο και διασυνδεδεμένο εργοστάσιο:

THE CONCEPTS	THE DEFINITIONS OF THE CONCEPTS	THE EXAMPLES OF THE CONCEPTS
BIG DATA	Large, complex datasets that affect the decision making of companies	Big data analytics, algorithms, software programs
AUTONOMOUS ROBOTS	Solve complex tasks which cannot be solved by human	Kuka Iwaa has the learning ability to achieve some certain tasks
SIMULATION	Mathematical modelling, algorithms that optimize the process	Software programs
HORIZONTAL&VERTICAL SYSTEM INTEGRATION	Integration of inside of the factory and SCs	Smart factories, cloud systems
INTERNET OF THINGS	Connection of the physical objects and systems	Smart network
CLOUD COMPUTING	Shared platforms that serve to the multiple users	Google Drive, BlueCloud, Windows Azur
ADDITIVE MANUFACTURING	3D printing technology, producing in mass customization	3D printers to produce smart phones
AUGMENTED REALITY	Human-machine interaction on maintenance tasks	Google Glass
CYBER SECURITY	Cyber attacks to business environment	National defense systems in order to prevent attacks

Πίνακας 1. Εννέα κύριοι πυλώνες της Industry 4.0
Πηγή: (Erboz, 2017)

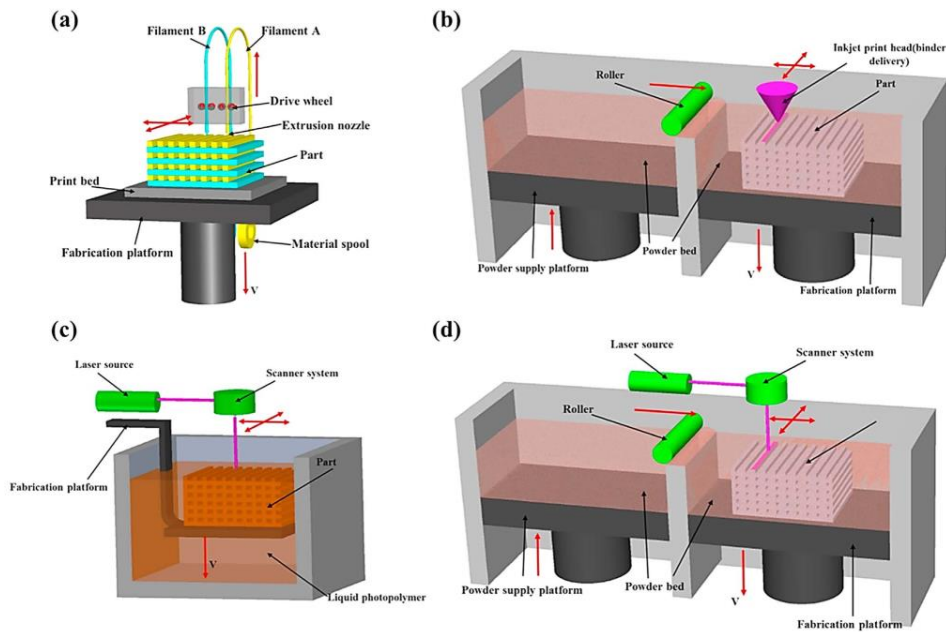
1) *Μεγάλα δεδομένα και Ανάλυση (Big Data and Analytics)*: Τα μεγάλα δεδομένα αναφέρονται σε πολύπλοκα σύνολα δεδομένων που επηρεάζουν στη λήψη αποφάσεων σε μία εταιρεία (Erboz, 2017). Σε μία «έξυπνη» παραγωγή, τα μηχανήματα διαθέτουν αισθητήρες και μικροεπεξεργαστές που συλλέγουν τεράστιο αριθμό δεδομένων με μεγάλη ταχύτητα. Οι πληροφορίες αυτές απαιτούν εξειδικευμένες μεθόδους κι εργαλεία (λογισμικά) ώστε να αναλυθούν κι εν τέλει να μετατραπούν σε αποτελεσματικές αποφάσεις που θα δημιουργήσουν αξία (Mauro et al., 2016).

- 2) *Αυτόνομα Ρομπότ (Autonomous Robots)*: Τα ρομπότ χρησιμοποιούνται εδώ κι αρκετά χρόνια σε επιχειρήσεις όπως οι αυτοκινητοβιομηχανίες. Η εξέλιξη της τεχνολογίας των αισθητήρων και η διασυνδεσιμότητα τους επιτρέπει να γίνουν περισσότερο αυτόνομα κι ευέλικτα καθώς συνεργάζονται με τους ανθρώπους κι εκπαιδεύονται από αυτούς (Enrique et al., 2021). Μπορούν να εκτελούν εργασίες με μεγαλύτερη ακρίβεια, λιγότερα λάθη από τους ανθρώπους και σε περιβαλλοντικές συνθήκες που θα ήταν επιβλαβείς για τους εργαζόμενους (Javaid et al., 2021).
- 3) *Προσομοίωση (Simulation)*: Η προσομοίωση είναι μία μέθοδος όπου δεδομένα επεξεργάζονται σε πραγματικό χρόνο αναπαράγοντάς τα σε ένα εικονικό μοντέλο που μιμείται το φυσικό περιβάλλον. Με αυτό τον τρόπο μπορούν να γίνουν δοκιμές και βελτιωτικές κινήσεις χωρίς να χρειάζονται παρεμβάσεις στην πραγματική διαδικασία (Ferreira et al, 2020).
- 4) *Οριζόντια και Κάθετη Ολοκλήρωση Συστήματος (Horizontal and Vertical System Integration)*: Κατά την οριζόντια ολοκλήρωση όλα τα ενδιαφερόμενα μέρη (προμηθευτές, πελάτες, συνεργάτες) συνδέονται σε ένα δίκτυο πληροφοριών με στόχο την ομαλή συνεργασία τους στην αλυσίδα αξίας (Zhou et al, 2015). Η κάθετη ολοκλήρωση αφορά την «έξυπνη» διασύνδεση όλων των επιπέδων και ιεραρχιών εντός μιας εταιρείας, από την παραγωγή έως το μάρκετινγκ και τις πωλήσεις για την επίτευξη ευελιξίας (Stock and Seliger, 2016).
- 5) *Το Βιομηχανικό Διαδίκτυο των Πραγμάτων (IIoT – Industrial Internet of Things)*: Η θεμελιώδης έννοια του IIoT αναφέρεται σε ένα παγκόσμιο δίκτυο διασυνδεδεμένων συσκευών που έχουν ενσωματωμένα λογισμικά κι αισθητήρες (Tjahjono et al., 2017). Οι συσκευές συλλέγουν κι ανταλλάσσουν δεδομένα στο διαδίκτυο για τη βελτιστοποίηση των διαδικασιών (LaCasse et al, 2019). Τα «έξυπνα» εξαρτήματα ενσωματώνονται στις συσκευές μετατρέποντάς τις σε συστατικά των κυβερνοφυσικών συστημάτων (CPS). Συγκεκριμένα, χρησιμοποιούνται τεχνολογίες σε βιομηχανικό περιβάλλον, όπως αισθητήρες, προκειμένου η συσκευή να επικοινωνεί μέσω δικτύου με το περιβάλλον και να παρέχει δεδομένα με ελάχιστη ανθρώπινη παρέμβαση (Boyes et al., 2018).



Εικόνα 6. Βιομηχανικό Διαδίκτυο των Πραγμάτων
 Πηγή: (Habib ur Rehman et al., 2019)

- 6) *Υπολογιστικό Νέφος (Cloud Computing)*: Ο όρος αναφέρεται στις υπηρεσίες διαδικτύου από κάποιον πάροχο. Πρόκειται για ένα σύστημα προηγμένης υποδομής που αντικαθιστά το φυσικό δίκτυο και τους διακομιστές, προσφέροντας τη δυνατότητα αποθήκευσης σε ένα εικονικό περιβάλλον, κοινής χρήσης πόρων κι εύκολης επεκτασιμότητας (Moosavi et al., 2021).
- 7) *Προσθετική Παραγωγή (Additive Manufacturing)*: Η τεχνολογία αυτή, που χαρακτηρίζεται κι ως τρισδιάστατη εκτύπωση, προσφέρει τη δυνατότητα παραγωγής εξειδικευμένων κι εξατομικευμένων προϊόντων σε μικρές ποσότητες, κάτι που είναι ακριβό κι αντιπαραγωγικό με τις συμβατικές τεχνικές (Ngo et al., 2018).



Εικόνα 7. Είδη προσθετικής μηχανικής
 Πηγή: (Ngo et al., 2018)

8) *Επαυξημένη Πραγματικότητα (Augmented Reality)*: Πρόκειται για την τεχνολογία όπου το φυσικό περιβάλλον επαυξάνεται από την ύπαρξη ψηφιακών αντικειμένων που έχουν δημιουργηθεί από υπολογιστή και απεικονίζονται στον πραγματικό κόσμο. Μπορεί να συμβάλει σε τομείς όπως η συντήρηση, υποστηρίζοντας τους εργαζόμενους σε πραγματικό χρόνο στα βήματα που πρέπει να ακολουθήσουν (Frank et al., 2019).

9) *Κυβερνοασφάλεια (Cybersecurity)*: Στο παρελθόν τα συστήματα παραγωγής λειτουργούσαν απομονωμένα. Πλέον, μέσα στο περιβάλλον της Industry 4.0, μετατρέπονται σε κυβερνο-φυσικά συστήματα που συνδέονται στο διαδίκτυο. Αυτό έχει ως αποτέλεσμα να είναι εκτεθειμένα σε κυβερνοεπιθέσεις, εγείροντας τη ανάγκη για χρήση συστημάτων ασφαλείας που θα αποτρέψουν δυσλειτουργίες και διαρροή πληροφοριών (Corallo et al., 2020).

Τα τελευταία χρόνια σε αυτή τη λίστα έχουν προστεθεί και νέες τεχνολογίες όπως το Blockchain, τα ψηφιακά δίδυμα (Digital twins) και η τεχνητή νοημοσύνη, διευρύνοντας έτσι το πεδίο του Industry 4.0 και τα εργαλεία που το αποτελούν. Το Blockchain αποτελεί την εικονική καρτέλα ενός προϊόντος, όπου μπορεί να αποθηκεύεται το ιστορικό του κατά μήκος της εφοδιαστικής αλυσίδας. Τα ψηφιακά δίδυμα πραγματοποιούν αμφίδρομη συσχέτιση μεταξύ ενός φυσικού αντικειμένου και του ψηφιακού αντίγραφου του.

Αντίστοιχα η τεχνητή νοημοσύνη σήμερα προσδιορίζεται ως η αυτόνομη λειτουργία ενός υπολογιστή για την αντιμετώπιση προβλημάτων (Olsen and Tomlin, 2022).

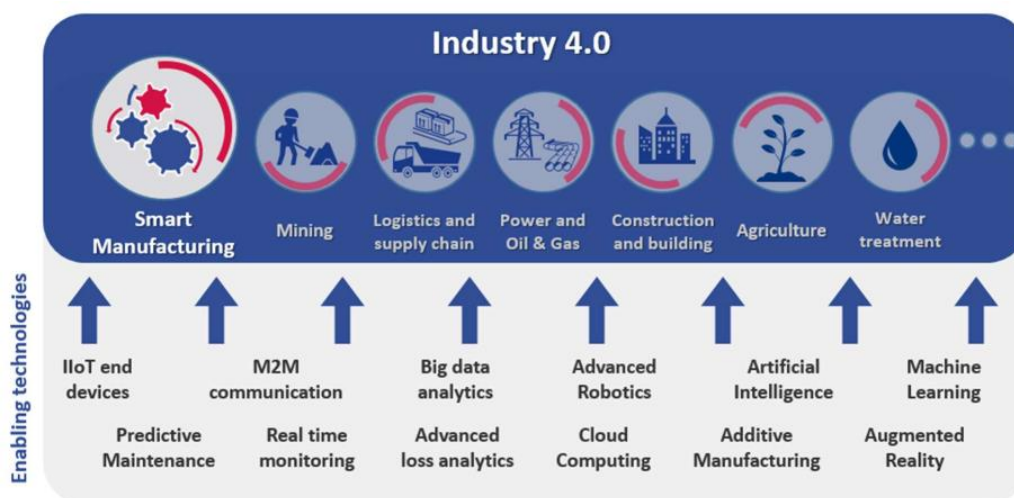
Προκειμένου οι εταιρείες να εντοπίσουν τις τεχνολογίες Industry 4.0 που μπορούν να εφαρμόσουν, υπάρχουν έξι αρχές σχεδιασμού οι οποίες συμβάλλουν σε αυτό το σκοπό και περιγράφονται συνοπτικά παρακάτω (Hermann et al. (2015); Morisson and Pattinson (2019)):

- Διαλειτουργικότητα: η διασύνδεση μεταξύ εργαζόμενων κι έξυπνων εργοστασίων μέσω κυβερνοφυσικών συστημάτων.
- Εικονοποίηση: δημιουργία εικονικού αντιγράφου του εργοστασίου μέσω σύνδεσης αισθητήρων σε μοντέλα προσομοίωσης.
- Αποκέντρωση: τα συστήματα λαμβάνουν αποφάσεις αυτόνομα και πραγματοποιούνται τοπικές παραγωγές με τη χρήση 3D εκτυπωτών.
- Ικανότητα σε πραγματικό χρόνο: η ικανότητα να συλλέγονται και να αναλύονται δεδομένα άμεσα, ώστε να εξάγονται συμπεράσματα σε πραγματικό χρόνο.
- Προσανατολισμός στην υπηρεσία: οι υπηρεσίες των ανθρώπων και των κυβερνοφυσικών συστημάτων είναι διαθέσιμες εντός κι εκτός της εταιρείας.
- Σπονδυλωτή Δομή (Modularity): η δυνατότητα των εργοστασίων να προσαρμόζονται ευέλικτα στις μεταβαλλόμενες απαιτήσεις, κάνοντας επέκταση ή αντικατάσταση μονάδων.

3.3 ΕΥΦΥΗΣ ΠΑΡΑΓΩΓΗ ΚΙ ΕΞΥΠΝΟ ΕΡΓΟΣΤΑΣΙΟ

Η ευφυής παραγωγή σχετίζεται με την εφαρμογή των προαναφερθέντων τεχνολογιών Industry 4.0 στα συστήματα παραγωγής, μετατρέποντάς τα σε εξυπνότερα και περισσότερο αυτόνομα κυβερνο-φυσικά συστήματα (Phuyal et al., 2020). Ουσιαστικά πρόκειται για ένα διασυνδεδεμένο σύστημα παραγωγής που μπορεί να ψηφιοποιεί τις παραμέτρους μιας παραγωγικής διαδικασίας σε πραγματικό χρόνο, μεταφέροντας μέσω πρωτοκόλλων επικοινωνίας δεδομένα από αισθητήρες, εκκινητές και PLC δίνοντας πληροφορίες για την παραγωγή των παραγγελιών, και λειτουργώντας αμφίδρομα να

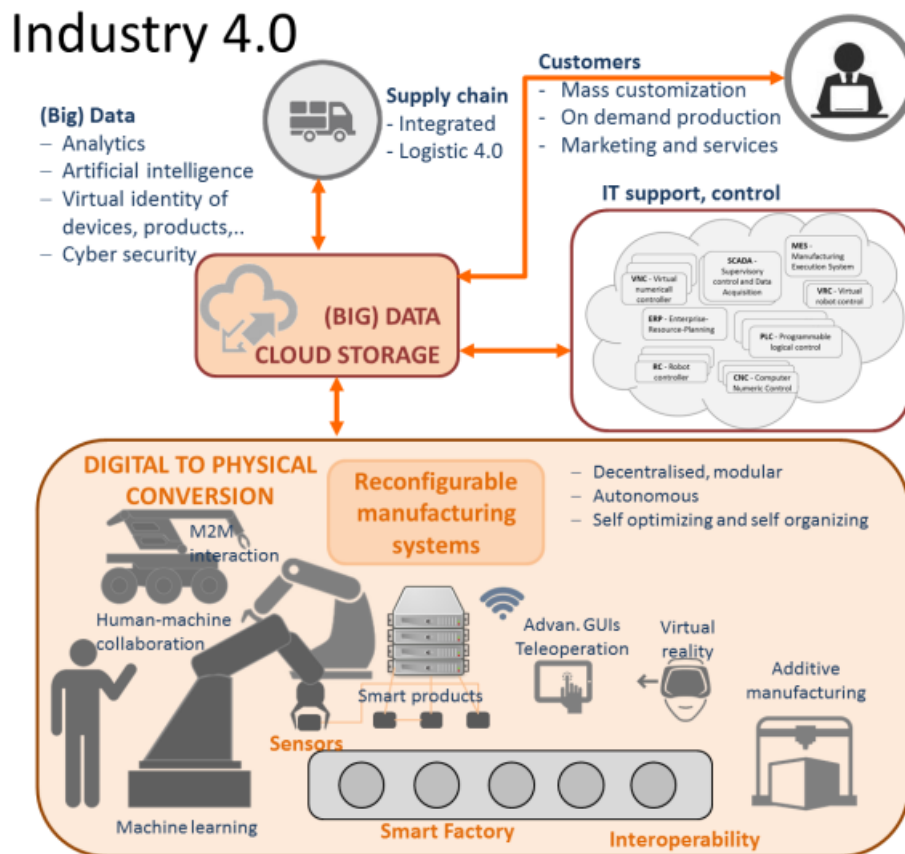
αξιοποιεί τους πόρους για τον προγραμματισμό παραγωγής νέων παραγγελιών (Frank et al., 2019). Η λειτουργία της στηρίζεται στη χρήση Κυβερνο-φυσικών συστημάτων (CPS), τα οποία είναι μηχανήματα εξοπλισμένα με αισθητήρες, εκκινητές και λογισμικά διεπαφής ανθρώπου-μηχανής που συνδέονται στο διαδίκτυο. Τα συστήματα αυτά μπορούν να καταγράφουν και να μεταδίδουν δεδομένα που αφορούν τη λειτουργία τους καθώς επίσης και να επικοινωνούν με άλλες μηχανές και δίκτυα. Στην ιδανική κατάσταση μπορεί να αυτορυθμίζεται και να λειτουργεί αυτόνομα. Αποτελούν την πραγμάτωση της Industry 4.0 συνδέοντας τον πραγματικό με τον ψηφιακό κόσμο (Lin et al., 2019).



Εικόνα 8. Ευφυής Παραγωγή

Πηγή: (ENISA, 2018)

Το έξυπνο εργοστάσιο βασίζει τη λειτουργία του στην ευφυή παραγωγή. Πρόκειται για μία πλήρως αυτοματοποιημένη και ψηφιοποιημένη μονάδα παραγωγής που χρησιμοποιεί προηγμένες τεχνολογίες σε όλα τα επίπεδα, για την επίτευξη υψηλών επιπέδων απόδοσης, ευελιξίας και ποιότητας. Εδώ όλες οι μηχανές είναι κυβερνο-φυσικά συστήματα, δηλαδή συστήματα στα οποία έχουν ενσωματωθεί τεχνολογίες πληροφοριών κι επικοινωνίας, που λειτουργούν αυτόνομα. Μπορούν να παίρνουν αποφάσεις βασισμένα σε αλγορίθμους μηχανικής μάθησης, στη συγκέντρωση δεδομένων σε πραγματικό χρόνο, σε αποτελέσματα αναλύσεων και παρελθοντικές καταγραφές (Rojko, 2017).



Εικόνα 9. Industry 4.0 έξυπνο εργοστάσιο
 Πηγή: (Rojko, 2017)

Όπως φαίνεται και στην παραπάνω εικόνα, η χρήση των τεχνολογιών Industry 4.0 είναι κεντρικής σημασίας για τη λειτουργία ενός έξυπνου εργοστασίου, καθώς αυτές οι τεχνολογίες επιτρέπουν τη συλλογή και ανάλυση δεδομένων σε πραγματικό χρόνο, την προληπτική συντήρηση του εξοπλισμού και την απομακρυσμένη παρακολούθηση (Chen et al., 2017).

4. ΕΡΕΥΝΗΤΙΚΟ ΠΕΔΙΟ

Στο προηγούμενο κεφάλαιο παρουσιάστηκαν οι παράγοντες που προσδιορίζουν την Industry 4.0 και αφορούν τα κύρια χαρακτηριστικά για τη μετάβαση μίας παραδοσιακής παραγωγής προς αυτή την κατεύθυνση, τις κύριες τεχνολογίες που χρησιμοποιούνται και τις αρχές για τον σχεδιασμό ώστε να οδηγηθούμε σε μία ευφυή παραγωγή, οικοδομώντας το έξυπνο εργοστάσιο του μέλλοντος. Ο ψηφιακός μετασχηματισμός εμπεριέχει ευκαιρίες αλλά και προκλήσεις που επηρεάζουν τη μετάβαση της επιχείρησης από την παραδοσιακή λειτουργία στο Industry 4.0.

4.1 ΕΥΚΑΙΡΙΕΣ ΚΑΙ ΠΡΟΚΛΗΣΕΙΣ

Στη βιβλιογραφία υπάρχει εκτενής αναφορά για τα οφέλη αλλά και τις προκλήσεις που μπορεί να συναντήσουν οι εταιρείες από την εφαρμογή των κυριότερων τεχνολογιών Industry 4.0 στη λειτουργία τους. Οι Hamzeh et al. (2018) διεξήγαγαν μία έρευνα σε μικρομεσαίες επιχειρήσεις στη Νέα Ζηλανδία και διαπίστωσαν ότι κατά πλειοψηφία το αναμενόμενο όφελος από την εφαρμογή τους είναι η μείωση του κόστους παραγωγής. Επιπλέον κίνητρα αποτελούν η ευελιξία στις γρήγορες μεταβολές, η υψηλότερη παραγωγικότητα μέσω αύξησης της αποδοτικότητας γνωρίζοντας ποιες είναι οι κατάλληλες ρυθμίσεις, η μείωση κόστους και η μεγαλύτερη ικανοποίηση πελατών (Büchi, et al., 2020).

Όπως προκύπτει από έρευνα σε αναπτυσσόμενες αλλά και αναπτυσσόμενες χώρες, η έλλειψη στρατηγικής ψηφιακού μετασχηματισμού αποτελεί τη σημαντικότερη πρόκληση. Η διοίκηση θα πρέπει να κάνει τον κατάλληλο σχεδιασμό και να δώσει τις απαραίτητες κατευθύνσεις στους επικεφαλής, παρέχοντας τα αναγκαία κεφάλαια, ώστε να υλοποιηθεί η μετάβαση στην Industry 4.0. Προς αυτή την κατεύθυνση θα πρέπει να συμβάλλει και ο κρατικός μηχανισμός ενισχύοντας την προσπάθεια των επιχειρήσεων (Raj et al., 2020). Κατά τους Horváth και Szabó (2019) που διενήργησαν έρευνα με 26 ημι-δομημένες συνεντεύξεις, μία επιπλέον σημαντική πρόκληση αφορά την αντίσταση στην αλλαγή. Η αντίσταση αυτή απέναντι στις νέες τεχνολογίες είναι αναμενόμενη αλλά αν δεν γίνει σωστή μεταχείριση, μπορεί να επηρεάσει σημαντικά την επιτυχία τους. Στο ίδιο συμπέρασμα καταλήγουν και οι Kumar et al. (2021), σημειώνοντας επιπλέον ότι η επιτυχημένη εφαρμογή της Industry 4.0 προϋποθέτει την επαρκή και κατάλληλη τεχνολογική υποδομή.

Στον παρακάτω πίνακα παρουσιάζονται συγκεντρωμένα τα σημαντικότερα οφέλη που αποτελούν τις κινητήριες δυνάμεις για την εφαρμογή των τεχνολογιών Industry 4.0 καθώς και οι προκλήσεις που θέτουν εμπόδια. Τα αποτελέσματα στηρίζονται στη βιβλιογραφική ανασκόπηση ποσοτικών και ποιοτικών ερευνών.

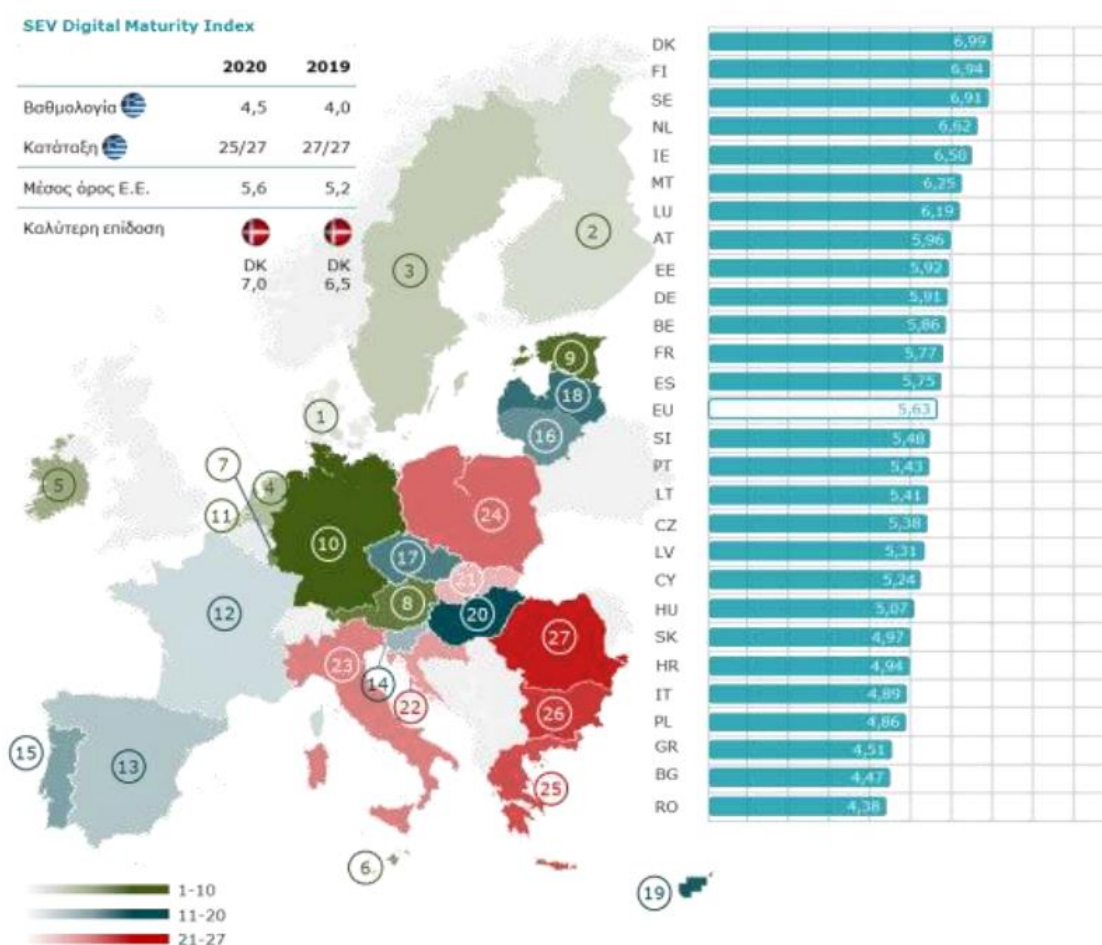
Προσέγγιση	Μεθοδολογία	Δείγμα	Ευκαιρίες	Προκλήσεις
Ποσοτική	Ανάλυση ομάδας	1000 Ιταλικές παραγωγικές εταιρείες	Βελτίωση παραγωγικότητας ανθρώπινου δυναμικού	-
Ποιοτική	Βιβλιογραφική επισκόπηση 14 συνεντεύξεων σε ειδικούς	Γερμανικές παραγωγικές εταιρείες	-	Οικονομικοί, περιβαλλοντικοί και κοινωνικοί κίνδυνοι
Ποσοτική	Έρευνα	231 παραγωγικές μονάδες στη Β.Ιταλία	Ευελιξία παραγωγής, ταχύτητα πρωτοτύπων, υψηλότερη παραγωγικότητα, χαμηλότερο κόστος σεταρίσματος, λιγότερα λάθη και νεκρός χρόνος, καλύτερη ποιότητα και λιγότερα ελαττωματικά προϊόντα, βελτιωμένη ικανοποίηση πελατών	-
Ποιοτική	39 συνεντεύξεις	Βιομηχανικό τομέα	Μείωση κόστους, μείωση χρόνου, ευελιξία, παραγωγικότητα, κέρδος, ανταγωνιστικότητα, ποιότητα	Αποδοχή από τους εργαζόμενους, Αναδιοργάνωση εργοστασίου, μέγεθος επενδύσεων, διαφορετικά πρωτόκολλα επικοινωνίας μεταξύ μηχανών διαφορετικών προμηθευτών, ευαισθησία σε κυβερνοεπιθέσεις, τοπικές υποδομές, ελλείψεις στο νομοθετικό πλαίσιο
Ποσοτική	Παρελθοντική ανάλυση	2225 Βραζιλιάνικες εταιρείες παραγωγής	Βελτιωμένη προσαρμοστικότητα παραγωγής και ποιότητα προϊόντος, μείωση λειτουργικού κόστους, αύξηση παραγωγικότητας, μείωση χρόνου λανσαρίσματος προϊόντος, καλύτερη βιωσιμότητα, αυξημένες διαδικασίες, οπτικοποίηση κι έλεγχος	-
Ποιοτική	Ημι-δομημένες συνεντεύξεις	26 Ουγγρικές παραγωγικές εταιρείες	Αύξηση ανταγωνισμού, παραγωγικότητας και ικανότητας καινοτομίας, προσδοκία πελατών, εξοικονόμηση ενέργειας και βελτίωση βιωσιμότητας, υποστήριξη στη διοίκηση, ευκαιρία καινοτόμου επιχειρηματικού πλάνου	Ανθρώπινοι πόροι, έλλειψη κεφαλαίου, προβλήματα στην τυποποίηση, αμφιβολία για την κυβερνοασφάλεια, αφομοίωση τεχνολογιών, συντονισμός τμημάτων, έλλειψη οργανωτικών δεξιοτήτων, αντίσταση του οργανισμού
Ποιοτική	Ημι-δομημένες συνεντεύξεις ειδικών	76 παραγωγικές εταιρείες	Αύξηση ευελιξίας, Βελτιστοποίηση λήψης αποφάσεων, κερδοφορία, ισορροπημένη επαγγελματική ζωή	-

Ποιοτική	Συνεντεύξεις ειδικών	Παραγωγικές εταιρείες	-	Έλλειψη ειδικευμένου εργατικού προσωπικού, εργασιακές διαμάχες λόγω αλλαγής εργασιακού περιβάλλοντος, έλλειψη κεφαλαίου, ασφάλεια δεδομένων, έλλειψη ικανών στελεχών, επιδείνωση ζήτησης εσωτερικών πόρων, έλλειψη προτύπων, αντίσταση του οργανισμού
Ποιοτική	Εις βάθος συνεντεύξεις	68 εταιρειών αυτοκίνησης, μηχανολόγων, ηλεκτρολόγων και πληροφορικής	Καλύτερη εξυπηρέτηση, βελτιωμένη εμπειρία πελάτη, καινοτόμα επιχειρηματικά μοντέλα	Υψηλό κόστος, ανάγκη για νέες δεξιότητες και οργανωσιακό μετασχηματισμό, έλλειψη ικανών στελεχών, επιδείνωση ζήτησης εσωτερικών πόρων, έλλειψη προτύπων
Ποιοτική	Μοντέλο δομικής εξίσωσης	221 Γερμανικές βιομηχανικές επιχειρήσεις	Βελτίωση αποδοτικότητας συναλλαγών, ανάπτυξη καινοτόμων επιχειρηματικών μοντέλων	-
Ποιοτική	Εκτενής βιβλιογραφική ανασκόπηση και συζήτηση με ειδικούς	Βιομηχανικός τομέας	-	Μεγάλη επένδυση, ασάφεια για τα οικονομικά οφέλη, προκλήσεις στην αλυσίδα αξίας, Κίνδυνοι ασφάλειας, χαμηλή ωριμότητα στις επιθυμητές τεχνολογίες, ανισότητα, διαταραχή υφιστάμενων θέσεων εργασίας, έλλειψη προτύπων και πιστοποιήσεων, έλλειψη υποδομών, έλλειψη δεξιοτήτων, διασφάλιση ποιοτικών δεδομένων, έλλειψη ψηφιακής κουλτούρας και κατάρτισης, αναποτελεσματική διαχείριση αλλαγής, έλλειψη ψηφιακής στρατηγικής, ανεπάρκεια πόρων
Ποσοτική	Μικτές μέθοδοι	190 μεσαίες Δανέζικες παραγωγικές εταιρείες	Μείωση κόστους, βελτίωση χρόνου, βελτιωμένη ανταπόκριση στις απαιτήσεις του πελάτη	Έλλειψη προτύπων και οικονομικών πόρων, μη κατανόηση στρατηγικής σημασίας, εστίαση στη τρέχουσα λειτουργία, κυβερνοασφάλεια, έλλειψη ειδίκευσης, έλλειψη γνώσης για το Industry 4.0, ανάγκη εκπαίδευσης, έλλειψη κατανόησης της αλληλεπίδρασης μεταξύ ανθρώπων και μηχανών

Πίνακας 2. Ευκαιρίες και προκλήσεις της Industry 4.0
Πηγή: (Cugno et al., 2021)

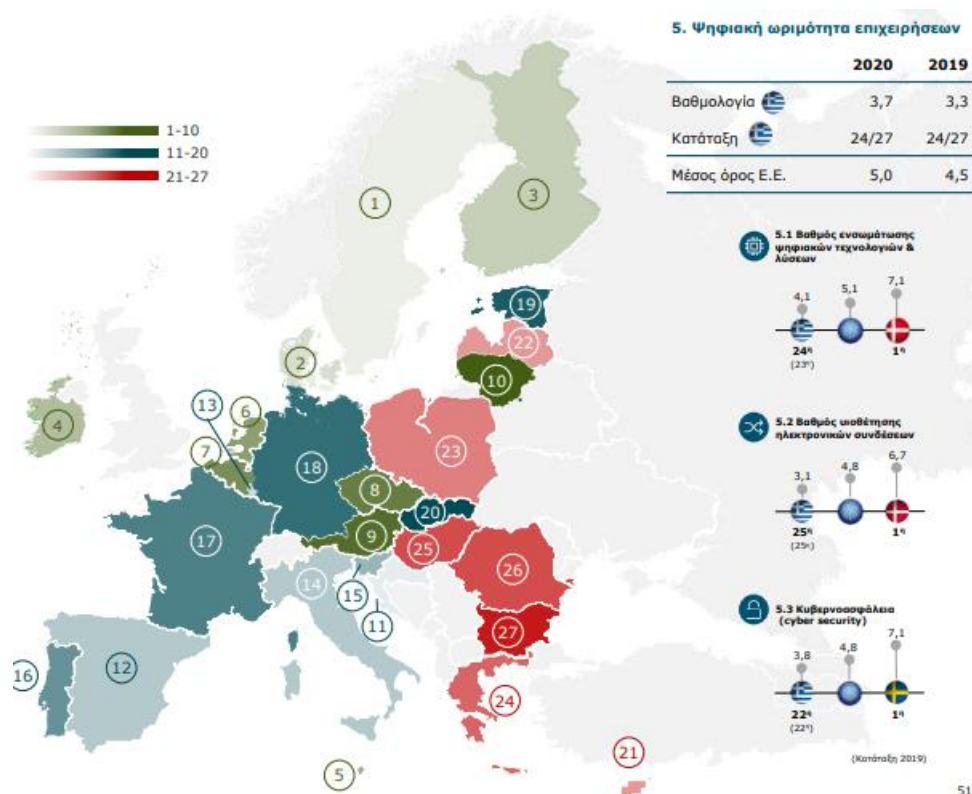
4.2 ΨΗΦΙΑΚΗ ΩΡΙΜΟΤΗΤΑ ΣΤΗΝ ΕΛΛΑΔΑ

Ο Σύνδεσμος Επιχειρήσεων και Βιομηχανιών (ΣΕΒ) ίδρυσε το Παρατηρητήριο Ψηφιακού Μετασχηματισμού προκειμένου να παρακολουθεί τον ψηφιακό μετασχηματισμό των επιχειρήσεων στην Ελλάδα. Για τον σκοπό αυτό εκδίδει σε συνεργασία με την Deloitte, ετήσια μελέτη που αφορά την ψηφιακή και τεχνολογική ωριμότητα της οικονομίας και των επιχειρήσεων. Η μελέτη του 2022 χρησιμοποιεί το δείκτη SEV Digital Maturity Index για την αξιολόγηση των 27 κρατών-μελών της ΕΕ. Ο δείκτης αποτελείται από 100 επιμέρους δείκτες που κατηγοριοποιούνται σε 26 υποδιαστάσεις κι 7 διαστάσεις. Σύμφωνα με τη μελέτη, πραγματοποιήθηκαν σημαντικές παρεμβάσεις τόσο στο δημόσιο όσο και στον ιδιωτικό τομέα κατά το 2020, υπό την επίδραση και της πανδημίας. Η Ελλάδα παρουσίασε άνοδο κατά δύο θέσεις στην Ευρωπαϊκή κατάταξη και κατέλαβε την 25^η θέση, παραμένοντας όμως πολύ χαμηλά συγκριτικά με τον μέσο όρο της ΕΕ (Παρατηρητήριο ΣΕΒ, 2022).



Εικόνα 10. SEV Digital Maturity Index - Κατάταξη χωρών ΕΕ-27
Πηγή: (Παρατηρητήριο ΣΕΒ, 2022)

Αναλύοντας τα αποτελέσματα της μελέτης, προκύπτει ότι η ενσωμάτωση ψηφιακών τεχνολογιών στην Ελλάδα είναι χαμηλότερη από τον ευρωπαϊκό μέσο όρο. Αιτίες είναι η έλλειψη σαφούς στρατηγικής προς την κατεύθυνση αυτή αλλά και εθνικού πλάνου για την μετάβαση στην Industry 4.0. Επιπλέον, η περιορισμένη σύνδεση μεταξύ εκπαίδευσης κι επιχειρήσεων, η μετανάστευση ταλέντων στο εξωτερικό και το χαμηλό ποσοστό δια βίου μάθησης υποβαθμίζουν το επίπεδο ψηφιακών δεξιοτήτων στις επιχειρήσεις. Ένα θετικό στοιχείο είναι η ταχεία υλοποίηση αναβαθμίσεων στις υποδομές του διαδικτύου, το οποίο αποτελεί θεμελιώδες συστατικό του Industry 4.0 (Παρατηρητήριο ΣΕΒ, 2022).



Εικόνα 11. Ψηφιακή ωριμότητα επιχειρήσεων
 Πηγή: (Παρατηρητήριο ΣΕΒ, 2022)

Ο COVID-19 είχε σημαντικές επιπτώσεις στην οικονομία και τον επιχειρηματικό κόσμο, αλλά δημιούργησε κι ευκαιρίες. Η ανάγκη άμεσης προσαρμογής στα νέα δεδομένα άλλαξε τον τρόπο λειτουργίας των επιχειρήσεων. Πολλές εταιρείες εφάρμοσαν το μοντέλο της τηλεργασίας κάνοντας επενδύσεις σε ψηφιακά συστήματα και δεξιότητες. Παράλληλα ενισχύθηκε το ηλεκτρονικό εμπόριο και βελτιώθηκαν σημαντικά οι ψηφιακές υπηρεσίες του δημόσιου τομέα. Η νέα κατάσταση αποτελεί ευκαιρία για την επιτάχυνση του ψηφιακού μετασχηματισμού, καθώς η χρήση τεχνολογιών Cloud, IoT, Big Data Analytics και AI, γίνεται πλέον επιτακτική (Παρατηρητήριο ΣΕΒ, 2022).

4.3 ΔΙΑΤΥΠΩΣΗ ΕΡΕΥΝΗΤΙΚΩΝ ΕΡΩΤΗΜΑΤΩΝ

Στις προηγούμενες ενότητες έγινε βιβλιογραφική ανασκόπηση της Industry 4.0, όπου παρουσιάστηκε η έννοια και οι παράγοντες που την προσδιορίζουν. Συγκριμένα αναφέρθηκαν τα κύρια χαρακτηριστικά του, η αρχές σχεδιασμού καθώς και οι σημαντικότερες τεχνολογίες που το διέπουν. Επιπλέον έγινε αναφορά στην ευφυή παραγωγή και το έξυπνο εργοστάσιο. Στη συνέχεια παρουσιάστηκαν τα οφέλη που προσδίδει η Industry 4.0 σε μία επιχείρηση αλλά και οι προκλήσεις που επιβραδύνουν την υιοθέτησή της. Συνδυάζοντας τα προηγούμενα με την ψηφιακή ωριμότητα της Ελλάδας, η παρούσα διπλωματική εργασία στοχεύει να μελετήσει τα αποτελέσματα της Industry 4.0 σε μία ελληνική βιομηχανία συστημάτων αλουμινίου. Για τον σκοπό αυτό επιδιώκεται να απαντηθούν τα ακόλουθα ερωτήματα:

- i. Ποιοι είναι οι παράγοντες που προσδιορίζουν την Industry 4.0 σε μία ελληνική βιομηχανία;
- ii. Ποια είναι τα αποτελέσματα από την εφαρμογή τους σε μία βιομηχανία ανάπτυξης και παραγωγής συστημάτων αλουμινίου;
- iii. Ποιες οι προκλήσεις κατά την εφαρμογή τους και πώς μπορεί να αναβαθμιστεί περαιτέρω η εταιρεία ακολουθώντας τις τεχνολογικές εξελίξεις του μέλλοντος;

5. ΜΕΘΟΔΟΛΟΓΙΑ ΕΡΕΥΝΑΣ

5.1 ΕΡΕΥΝΗΤΙΚΗ ΔΙΑΔΙΚΑΣΙΑ

Οι κυβερνήσεις των εκσυγχρονισμένων κρατών υιοθετούν πλέον πολιτικές ενίσχυσης του ψηφιακού εκσυγχρονισμού των εγχώριων βιομηχανιών τους για την εφαρμογή τεχνολογιών Industry 4.0 (Φωτάκης και Σελίμης, 2018). Ο λόγος είναι ότι οι τεχνολογίες της Industry 4.0 μπορούν να προσφέρουν σε μία επιχείρηση μία πληθώρα ευκαιριών που αφορούν την αύξηση της παραγωγικότητας, τη μείωση του λειτουργικού κόστους, τη βελτίωση της ποιότητας, την αύξηση της αποδοτικότητας των μηχανών και του ανθρώπινου δυναμικού καθώς επίσης και την γρήγορη προσαρμογή στις αλλαγές της αγοράς και τα εξατομικευμένα προϊόντα (Cugno et al, (2021); Gallab et al, (2021)). Επιπλέον μπορούν να βελτιώσουν τον προγραμματισμό της παραγωγής, αυξάνοντας την ενεργειακή αποδοτικότητα της επιχείρησης, ενώ παρέχουν πιο ολοκληρωμένη πληροφόρηση για την καλύτερη λήψη αποφάσεων (Horvath et al, 2019).

Όπως γίνεται αντιληπτό από τα παραπάνω, η εφαρμογή της Industry 4.0 διαδραματίζει καθοριστικό ρόλο στη σύγχρονη εποχή. Ο λόγος που επιλέχθηκε μία βιομηχανία αλουμινίου για να ερευνηθούν τα επιχειρησιακά αποτελέσματα είναι διότι το αλουμίνιο αποτελεί το δεύτερο σε παραγωγικότητα μέταλλο στον κόσμο με τον χάλυβα (Van den Eynde et al., 2022). Επίσης είναι το τρίτο σε αφθονία στοιχείο στο φλοιό της γης, σε ποσοστό 7,3% (Hajeeh, 2013). Η χρήση του βρίσκει εφαρμογή στις αυτοκινητοβιομηχανίες, τις κατασκευές, τον κτιριακό τομέα, την ενέργεια και πολλές άλλες (Medvedev et al., 2020). Ο κλάδος του αλουμινίου αποτελεί έναν από τους πιο δυναμικούς κλάδους και στην Ελλάδα, όπου σύμφωνα με μελέτη της ICAP CRIF το 2021 η Ελλάδα κατέλαβε την 7^η θέση μεταξύ των παραγωγών πρωτόχυτου αλουμινίου στην Ευρώπη. Για το ίδιο χρονικό διάστημα υπήρξε 19% αύξηση στις πωλήσεις των προϊόντων διέλασης συγκριτικά με το 2020 (ICAP CRIF, 2021). Το μεγαλύτερο μέρος αφορούσε συστήματα κουφωμάτων για χρήση στην οικοδομή. Η διαδικασία ανάπτυξης και παραγωγής ενός συστήματος (κούφωμα αλουμινίου) διέπεται από πολλές διαδικασίες, που σχετίζονται με την τήρηση προτύπων ποιότητας, τη λειτουργικότητα, την ορθή εφαρμογή και τους χρόνους παράδοσης. Για τον λόγο αυτό χρησιμοποιούνται συσκευές κι αισθητήρες, σύγχρονα λογισμικά και AI τεχνολογίες. Με τον ψηφιακό μετασχηματισμό της βιομηχανίας επιτυγχάνεται η λήψη κατάλληλων επιχειρησιακών αποφάσεων που θα ενισχύσουν την ανταγωνιστικότητά της.

Η παρούσα διπλωματική εργασία εστιάζει στους παράγοντες που προσδιορίζουν την Industry 4.0 κι εξετάζει τα επιχειρησιακά αποτελέσματα αυτής μελετώντας μία βιομηχανίας σχεδίασης και παραγωγής αρχιτεκτονικών συστημάτων αλουμινίου. Προκειμένου να διασφαλιστεί η εμπιστευτικότητα, το όνομα της εταιρείας δεν αποκαλύπτεται στην μελέτη και θα αναφέρεται ως «Εταιρεία Χ». Επειδή ο σκοπός της εργασίας έχει διερευνητικό χαρακτήρα, ακολουθείται μια ποιοτική μέθοδος, όπου μέσα από μία διαδικασία αξιολόγησης των πληροφοριών που έχουν συλλεχθεί, επιδιώκει να περιγράψει μία πραγματική κατάσταση, να απαντήσει σε ερωτήματα που θέτει και να προτείνει θέματα για περαιτέρω μελέτη. Ως μεθοδολογία έρευνας επιλέχθηκε η μελέτη μοναδικής περίπτωσης (single case study) με σκοπό να απαντήσει στα ακόλουθα ερευνητικά ερωτήματα που αναφέρθηκαν και νωρίτερα:

- iv. Ποιοι είναι οι παράγοντες που προσδιορίζουν το Industry 4.0 σε μία ελληνική βιομηχανία;
- v. Ποια είναι τα αποτελέσματα από την εφαρμογή τους σε μία βιομηχανία ανάπτυξης και παραγωγής συστημάτων αλουμινίου;
- vi. Ποιες οι προκλήσεις κατά την εφαρμογή τους και πώς μπορεί να αναβαθμιστεί περαιτέρω η εταιρεία ακολουθώντας τις τεχνολογικές εξελίξεις του μέλλοντος;

Εδώ έχει σημασία να αναφερθεί ότι αν και υπάρχει εκτενής βιβλιογραφία για την εφαρμογή τεχνολογιών Industry 4.0 στον τομέα της μεταποίησης, είναι αισθητά περιορισμένο το ερευνητικό υλικό που αφορά συγκεκριμένα τη βιομηχανία διέλασης και τις εταιρείες ανάπτυξης συστημάτων αλουμινίου.

Σύμφωνα με τον Yin (2009, σ. 18), ένας αναλυτικός ορισμός που περιγράφει εκτενώς την έννοια της μελέτης περίπτωσης είναι ότι πρόκειται για: *«μια εμπειρική έρευνα που διερευνά ένα σύγχρονο φαινόμενο εντός του πραγματικού του πλαισίου, ιδίως όταν τα όρια μεταξύ του αντικειμένου μελέτης και του πλαισίου δεν είναι αποσαφηνισμένα. Πραγματεύεται την τεχνικά μοναδική κατάσταση στην οποία υπάρχουν πολλές περισσότερες μεταβλητές απ' ότι δεδομένα, κι ένα αποτέλεσμα βασίζεται σε πολλαπλές πηγές αποδεικτικών στοιχείων, όπου τα δεδομένα πρέπει να καλύπτονται με τριγωνικό τρόπο, καθώς επίσης τα αποτελέσματα ωφελούνται από την προηγούμενη ανάπτυξη θεωρητικών προτάσεων για την καθοδήγηση της συλλογής και ανάλυσης δεδομένων»*. Η μέθοδος αυτή προτιμάται όταν θέλουμε να απαντήσουμε σε ερωτήματα του «πώς» και

«γιατί» χωρίς να απαιτείται ο έλεγχος συμπεριφορικών γεγονότων (Ebneyamini και Moghadam, 2018). Η μελέτη περίπτωσης αποτελεί μία μέθοδο ποιοτικής έρευνας που μπορεί να έχει δομημένο και καθορισμένο πλαίσιο ανάπτυξης, ξεκινώντας με το σχεδιασμό, την διεξαγωγή της έρευνας, την ανάλυση των αποδεικτικών στοιχείων και την ανάπτυξη συμπερασμάτων και προτάσεων (Yin, 1994). Η συλλογή των δεδομένων γίνεται μέσω της παρατήρησης, των συνεντεύξεων, εγγράφων ή οπτικο-ακουστικού υλικού (Creswell, 2013). Στις ποιοτικές έρευνες τα αποτελέσματα δεν είναι μετρήσιμα αλλά διευκολύνεται η διερεύνηση των διαφορετικές προοπτικών των συμμετεχόντων, αναδεικνύοντας έτσι τις ποικίλες απόψεις σχετικά με το υπό εξέταση θέμα. (Tesch, 1990).

Η συλλογή των πρωτογενών δεδομένων γίνεται μέσα από συνεντεύξεις χρησιμοποιώντας ένα ερωτηματολόγιο με δομημένες ερωτήσεις που έχουν συγκεκριμένη διατύπωση και διάταξη (Robson, 2007). Η εν λόγω ερευνητική προσέγγιση είναι δυνατόν να αποφέρει μια ολοκληρωμένη κατανόηση του ερευνητικού αντικειμένου. (Patton, 2015). Το εργαλείο έρευνας δομείται σύμφωνα με τους ερευνητικούς στόχους και περιλαμβάνει ερωτήσεις που αφορούν το θέμα της έρευνας. Η ανάλυση των δεδομένων που προκύπτουν από τις ερωτήσεις δομημένης συνέντευξης πραγματοποιείται μέσω θεματικής ανάλυσης των συνεντεύξεων των συμμετεχόντων (Bryman, 2016).

Η αξιοπιστία μίας μελέτης αφορά το βαθμό στον οποίο τα αποτελέσματα μιας μελέτης συμφωνούν με εκείνα που λαμβάνονται μέσω μιας συνεπούς εφαρμοσμένης και έγκυρης μεθοδολογίας (Lincoln, 2001). Ο τριγωνισμός αποτελεί μια ερευνητική τεχνική που ενσωματώνει πολλαπλές ερευνητικές προσεγγίσεις σε μια ενιαία μελέτη για την διασφάλιση της αξιοπιστίας (Patton, 2015). Η παρούσα μελέτη περίπτωσης χρησιμοποίησε τριγωνισμό ακολουθώντας τρεις μεθόδους συλλογής δεδομένων (συνεντεύξεις, άμεση παρατήρηση, έγγραφα). Η αξιοποίηση του τριγωνισμού ενισχύει την αξιοπιστία της έρευνας και εξασφαλίζει την παροχή επαρκών και αποδεκτών ερμηνειών. Η έννοια της εγκυρότητας στην έρευνα αφορά το βαθμό στον οποίο οι μέθοδοι που χρησιμοποιούνται μετρούν με ακρίβεια τις επιδιωκόμενες μεταβλητές, ενώ η έννοια της αξιοπιστίας αφορά την ακρίβεια των δεδομένων που συλλέγονται (Mulford, 2003). Η εφαρμογή μεθοδολογίας σκόπιμης δειγματοληψίας διευκολύνει τον ερευνητή στην επιλογή συμμετεχόντων που διαθέτουν εξειδικευμένες γνώσεις κι εμπειρία σχετικές με το αντικείμενο της έρευνας ώστε να εξασφαλίζεται η εγκυρότητά της (Patton, 2015). Επιπλέον, το ευρύ φάσμα προοπτικών που λαμβάνονται από συμμετέχοντες από διαφορετικά τμήματα της εταιρείας παρέχει μια ολιστική κατανόηση των καθοριστικών

παραγόντων της Industry 4.0 και των επιπτώσεών της στα επιχειρηματικά αποτελέσματα. (Bryman, 2016).

Κατά τη μελέτη περίπτωσης ιδιαίτερη έμφαση θα πρέπει να δίνεται σε θέματα δεοντολογίας. Οι συμμετέχοντες θα πρέπει να πληροφορούνται σχετικά με τους στόχους της μελέτης, τα δικαιώματά τους και την αναμενόμενη διάρκεια της συμμετοχής τους. Επιπλέον θα πρέπει να έχουν την ευκαιρία να ζητήσουν διευκρινίσεις και να λαμβάνεται η συγκατάθεσή τους πριν από τη συμμετοχή τους στην έρευνα. (Flick, 2018). Επιπρόσθετα, θα πρέπει να λαμβάνονται μέτρα για τη διασφάλιση της εμπιστευτικότητας των συμμετεχόντων. Θα πρέπει να διατηρείται η ανωνυμία τους προκειμένου να διασφαλίζεται η ιδιωτικότητα τους. Τα δεδομένα που συλλέγονται θα πρέπει να είναι προσβάσιμα μόνο στον ερευνητή. Τέλος οι συμμετέχοντες πρέπει να ενημερώνονται ότι η συμμετοχή τους είναι εθελοντική και να έχουν το δικαίωμα υπαναχώρησης (Bryman, 2016).

Η διεξαγωγή της παρούσας έρευνας έγινε με την συλλογή δεδομένων από συνεντεύξεις, που συνδυάστηκαν με άμεση παρατήρηση και τη χρήση εγγράφων, όπου αυτό ήταν απαραίτητο. Ο ερευνητής, αφού συγκέντρωσε όλες τις πληροφορίες αναφορικά με τις τεχνολογίες Industry 4.0 που εφαρμόζονται σε διάφορα τμήματα της επιχείρησης, παρατήρησε τη λειτουργία τους κι επικοινωνήσε με τους αρμόδιους των τμημάτων διενεργώντας προσωπικές συνεντεύξεις. Εκεί συζητήθηκαν τα επιχειρησιακά αποτελέσματα, οι προκλήσεις αλλά και τα μελλοντικά πλάνα για περαιτέρω ψηφιοποίηση της εταιρείας. Χρησιμοποιήθηκε ένα μέγεθος δείγματος 10 συμμετεχόντων, το οποίο θεωρείται επαρκές για έναν ποιοτικό ερευνητικό σχεδιασμό. (Guest et al., 2013). Τα έγγραφα που χρησιμοποιήθηκαν, παρείχαν συμπληρωματικές πληροφορίες για τις τεχνολογίες που εφαρμόζονται και συνέβαλαν στην εξαγωγή συμπερασμάτων. Επιπλέον, δόθηκε έμφαση στην εθελοντική συμμετοχή και το δικαίωμα υπαναχώρησης των συνεντευξιζόμενων, ενώ εφαρμόστηκαν μέτρα προστασίας δεδομένων προσωπικού χαρακτήρα. Οι συμμετέχοντες έλαβαν τον δέοντα σεβασμό και οι απαντήσεις τους αντιμετωπίστηκαν με μεγάλη εκτίμηση. Τα δεοντολογικά ζητήματα που αναφέρθηκαν ευθυγραμμίζονται με τις ηθικές αρχές που περιγράφονται από την Αμερικανική Ψυχολογική Εταιρεία, η οποία παρέχει οδηγίες για ηθική συμπεριφορά στην έρευνα που περιλαμβάνει ενημερωμένη συναίνεση, εμπιστευτικότητα και σεβασμό για τους συμμετέχοντες. (American Psychological Association, 2017).

5.2 ΣΥΛΛΟΓΗ ΔΕΔΟΜΕΝΩΝ

Η συλλογή δεδομένων σε μία μελέτη περίπτωσης θα πρέπει να γίνεται από έγγραφα, ιστορικό καταγραφών, συνεντεύξεις, άμεση παρατήρηση, συμμετοχική παρατήρηση και απτά αντικείμενα (Creswell, 2013). Στην παρούσα έρευνα η συλλογή δεδομένων έγινε με συνεντεύξεων υψηλόβαθμων στελεχών της εταιρείας, άμεση παρατήρηση στα εμπλεκόμενα τμήματα και χρήση εγγράφων.

5.2.1 Συνεντεύξεις

Η συνέντευξη αποτελεί μία μέθοδο όπου μέσα από τη διενέργεια ερωτήσεων και την καταγραφή των απαντήσεων, συλλέγονται σημαντικές πληροφορίες οι οποίες δε θα ήταν δυνατό να ληφθούν από την άμεση παρατήρηση. Η παρούσα μελέτη χρησιμοποίησε μια σκόπιμη τεχνική δειγματοληψίας για την επιλογή συμμετεχόντων από την εταιρεία X. Η σκόπιμη δειγματοληψία αποτελεί μια μέθοδος μη πιθανολογικής δειγματοληψίας που συνεπάγεται την επιλογή των συμμετεχόντων βάσει προκαθορισμένων κριτηρίων που σχετίζονται με τους ερευνητικούς στόχους (Guest et al., (2006); Mason, (2010)). Συγκεκριμένα, επιλέχθηκαν άνθρωποι που συμμετέχουν στη λήψη αποφάσεων, με τεχνογνωσία κι εξοικείωσή στις τεχνολογίες που ερευνώνται, από διάφορα τμήματα εντός του οργανισμού ώστε να διασφαλιστεί ένα ολοκληρωμένο και ποικίλο φάσμα απόψεων. Ο στόχος αυτών των συνεντεύξεων είναι να εμβαθύνουν στις εμπειρίες και τις προοπτικές των συμμετεχόντων σχετικά με το θέμα της έρευνας. Οι ερωτήσεις ήταν όλες ανοικτού τύπου, παρέχοντας στους ερωτηθέντες την ευκαιρία να δώσουν λεπτομερείς απαντήσεις (Patton, 2015).

5.2.2 Έγγραφα

Κατά την ποιοτική έρευνα, τα έγγραφα (πρακτικά συναντήσεων, σημειώσεις, εταιρικό υλικό) χρησιμοποιούνται ως ένα αξιόπιστο μέσο διότι είναι προσβάσιμα από τον ερευνητή ανά πάσα στιγμή, επιτρέπουν την κατανόηση και ορθή χρήση όρων και συνήθως είναι συνταγμένα με τη δέουσα προσοχή. Από την άλλη σε ορισμένες περιπτώσεις είναι δύσκολη η πρόσβαση σε αυτά, τίθεται θέμα εμπιστευτικότητας, ενδέχεται να είναι ατελή ενώ η γνησιότητά τους μπορεί να είναι υπό αμφισβήτηση (Creswell, 2013).

5.2.3 Άμεση παρατήρηση

Η διαδικασία της παρατήρησης περιλαμβάνει διάφορους τύπους, όπου ο ερευνητής μπορεί να συμμετέχει στην υπό διερεύνηση διαδικασία με ποικίλους τρόπους ή να αποτελεί εξωτερικός παρατηρητής χωρίς άμεση εμπλοκή. Τα πλεονεκτήματα αυτής της μεθόδου είναι ότι υπάρχει άμεση καταγραφή των πραγματικών γεγονότων, απευθείας επαφή με τους εμπλεκόμενους και τη διαδικασία καθώς και η δυνατότητα παρατήρησης πραγμάτων που μπορεί να μην ειπωθούν κατά τη διάρκεια των συνεντεύξεων. Φυσικά υπάρχουν και μειονεκτήματα που σχετίζονται με το αίσθημα της «εισβολής» στο χώρο, την ιδιωτικότητα αλλά και την παρατηρητικότητα του ερευνητή (Creswell, 2013).

5.3 ΕΤΑΙΡΕΙΑ ΜΕΛΕΤΗΣ

Η «Εταιρεία X» ιδρύθηκε το 1988, με την ανέγερση των βιομηχανικών της εγκαταστάσεων στη Βόρεια Ελλάδα κι έκτοτε αποτελεί πρωτοπόρο εταιρεία στην προμήθεια συστημάτων αλουμινίου τόσο για οικιακή όσο και για εμπορική χρήση σε όλον τον κόσμο. Την επόμενη κιόλας χρονιά παρουσίασε τα πρώτα συστήματα αλουμινίου και πολύ σύντομα ξεκίνησε τη λειτουργία της πρώτης γραμμής διέλασης. Στη συνέχεια προχώρησε στη δημιουργία βαφείου, τμήματος παραγωγής θερμομονωτικών προφίλ κι επιφανειακής προστασίας. Το 1994 ιδρύθηκε το τμήμα Έρευνας κι Ανάπτυξης, με στόχο την μετάβαση της εταιρείας σε ένα αναβαθμισμένο επίπεδο σχεδίασης συστημάτων αλουμινίου και παρεχόμενων υπηρεσιών, ενώ το ίδιο έτος εγκαινιάστηκε το τμήμα ποιοτικού ελέγχου.

Τα επόμενα χρόνια η εταιρεία αναπτύσσεται διαρκώς με την προσθήκη νέων γραμμών διέλασης για να καλύπτει τη διαρκώς αυξανόμενη ζήτηση των προϊόντων της, τοποθετεί γραμμή κάθετης ηλεκτροστατικής βαφής, ενώ ιδρύει και θυγατρική που δραστηριοποιείται στη χύτευση αλουμινίου προκειμένου να καθετοποιήσει την παραγωγή της. Η κάθετη ολοκλήρωση συνεχίζεται τα επόμενα χρόνια προσθέτοντας στο δυναμικό περαιτέρω διεργασίες. Σταδιακά αρχίζει να επεκτείνεται στα βαλκάνια με την ίδρυση θυγατρικών και την εγκατάσταση βιομηχανικών μονάδων και στη συνέχεια σε άλλες ηπείρους, με αποτέλεσμα σήμερα να απαριθμεί 32 θυγατρικές και να δραστηριοποιείται εμπορικά σε περισσότερες από 60 χώρες παγκοσμίως.

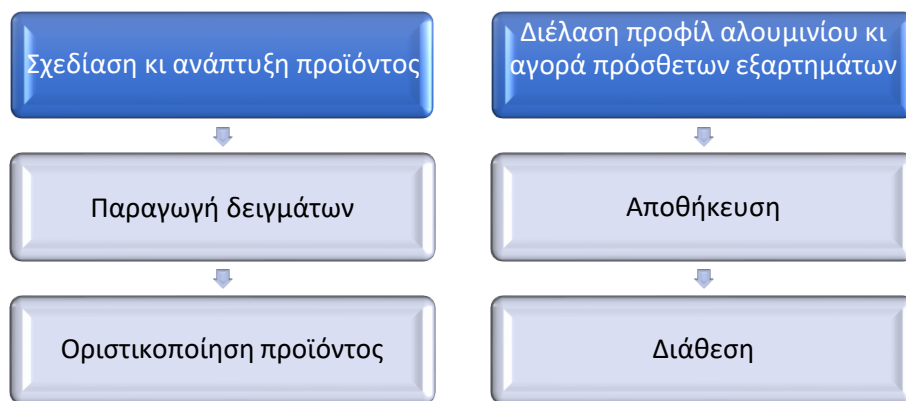
Η «Εταιρεία X» παρέχει ένα ευρύ φάσμα προϊόντων, που περιλαμβάνει περισσότερες από 60 διαφορετικές σειρές από παράθυρα, πόρτες, υαλοπετάσματα και συστήματα σκίασης, δίνοντας παράλληλα μεγάλη έμφαση στην έρευνα και την ανάπτυξη κατέχοντας ηγετική θέση στον τομέα της καινοτομίας αλλά και της ενεργειακής απόδοσης. Επιπλέον, διαθέτει σύγχρονο κέντρο δοκιμών, όπου σε συνεργασία με το Γερμανικό Ινστιτούτο IFT Rosenheim, πραγματοποιεί την πιστοποίηση επιδόσεων των προϊόντων της.

Πολύ σημαντική είναι η αφοσίωση που επιδεικνύει η εταιρεία στην περιβαλλοντική υπευθυνότητα και την βιωσιμότητα, επιδιώκοντας να μειώσει το περιβαλλοντικό της αποτύπωμα με την ενσωμάτωση ανανεώσιμων πηγών ενέργειας, την εκτεταμένη χρήση ανακυκλωμένου αλουμινίου (75% το 2021) και τη υιοθέτηση βιώσιμων μεθοδολογιών στις δραστηριότητές της. Η έκθεση ESG (Environmental, Social, Governance) αποτυπώνει την απόδοση της εταιρείας αναφορικά με τις δεσμεύσεις της σε θέματα εταιρικής υπευθυνότητας και βιώσιμης ανάπτυξης.

Περαιτέρω, η εταιρεία έχει κερδίσει πολλές διακρίσεις για τα προϊόντα και τις υπηρεσίες της, όπως στα Diamonds of the Greek Economy (2021), για τις καινοτόμες πρωτοβουλίες της και τον διοικητικό και ψηφιακό μετασχηματισμό της, το Red Dot Award for product design (2020) και το European Business Award for Environmental and Corporate Sustainability (2018).

5.4 ΔΙΑΔΙΚΑΣΙΑ ΑΝΑΠΤΥΞΗΣ ΚΑΙ ΠΑΡΑΓΩΓΗΣ ΠΡΟΪΟΝΤΩΝ

Ένα κούφωμα αλουμινίου αποτελεί ένα πολύπλοκο σύστημα που απαρτίζεται από πολλά και διαφορετικά στοιχεία. Η βιομηχανία αρχιτεκτονικών συστημάτων έχει να διαχειριστεί μία πολυσύνθετη διαδικασία, από την σχεδίαση κι ανάπτυξη μίας σειράς προϊόντων έως και την τελική παραγωγή και διάθεση μία ολοκληρωμένης λύσης, που θα κληθεί να συνθέσει ο εκάστοτε κατασκευαστής. Προκειμένου να γίνουν περισσότερο κατανοητά όλα τα τμήματα λειτουργίας της, θα πρέπει αρχικά να γίνει ένας κύριος διαχωρισμός μεταξύ του τομέα της σχεδίασης - ανάπτυξης κι αυτού της παραγωγής – διάθεσης. Οι τομείς αυτοί λειτουργούν συνδυαστικά (όταν πρόκειται για νέα προϊόντα) αλλά κι ανεξάρτητα, όταν αφορά υφιστάμενα προϊόντα.



Διάγραμμα 2. Βασικοί πυλώνες λειτουργίας της εταιρείας

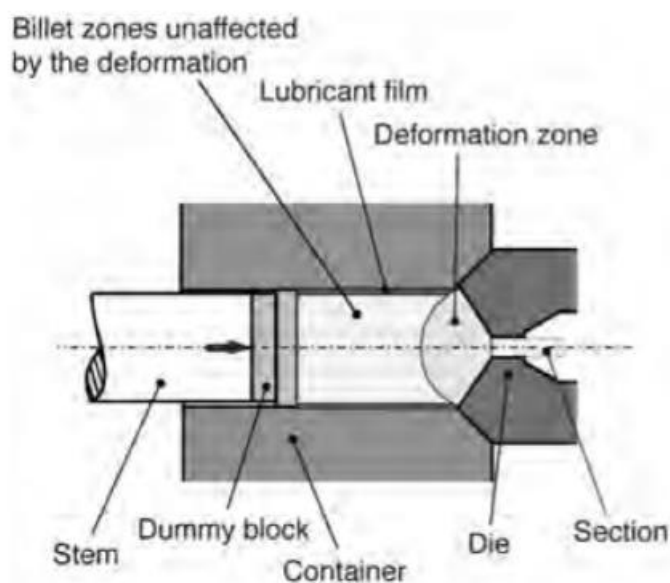
Το πρώτο στάδιο για την ανάπτυξη ενός προϊόντος (κούφωμα αλουμινίου) είναι η αρχική σύλληψη της ιδέας και η ψηφιακή σχεδίασή του, λαμβάνοντας υπόψη τη λειτουργικότητα, τις επιδόσεις, τις τάσεις της αγοράς, την παραγωγικότητά του αλλά και το περιβαλλοντικό του αποτύπωμα. Μέσω της τρισδιάστατης ψηφιακής απεικόνισης ελέγχεται η λειτουργικότητα όλων των εμπλεκόμενων στοιχείων προκειμένου να γίνουν οι απαραίτητες διορθώσεις αλλά και να προσομοιωθούν διαδικασίες όπως η συναρμολόγηση του.

Έπειτα από την ολοκλήρωση της σχεδίασης, ακολουθεί η δημιουργία δειγμάτων από όλα τα στοιχεία που το απαρτίζουν, προκειμένου να κατασκευαστεί ένα πραγματικό δείγμα και να δοκιμαστεί στην πράξη η λειτουργικότητά του. Πρόκειται για μία χρονοβόρα διαδικασία δοκιμών, διορθώσεων, εκ νέου παραγωγής μέχρι το τελικό αποτέλεσμα να είναι το επιθυμητό. Μεγάλο μέρος αυτής της διαδικασίας πλέον εκτελείται με την εκτεταμένη χρήση 3D εκτυπωτών, που αναπαράγουν όλα τα μέρη που θα δοκιμαστούν. Επειδή όπως αναφέρθηκε προηγουμένως, ένα κούφωμα αποτελείται από πολλά στοιχεία, αρκετές φορές σε αυτή τη διαδικασία εμπλέκονται πολλά μέρη, όπως διάφορα τμήματα της εταιρείας και εξωτερικοί προμηθευτές. Όταν το σύστημα έχει φτάσει πλέον το βέλτιστο επίπεδο, ξεκινάει η παραγωγή και κατασκευή ενός κανονικού κουφώματος που θα δοκιμαστεί σε περιβαλλοντικές συνθήκες που προσομοιάζουν τις πραγματικές. Αυτό είναι και το τελικό στάδιο πριν το λανσάρισμά του στην αγορά.

Αν το τμήμα έρευνας κι ανάπτυξης αποτελεί το μυαλό της εταιρείας, τότε η καρδιά βρίσκεται στο εργοστάσιο παραγωγής. Εκεί γίνεται η παραγωγή των προφίλ αλουμινίου που θα χρησιμοποιηθούν στη συνέχεια για την κατασκευή των κουφωμάτων. Το εργοστάσιο διαθέτει 4 πρέσες με συνολική δυναμικότητα διέλασης 160 τόνους την

ημέρα. Η πρώτη ύλη είναι κολώνες αλουμινίου (μπιγιέτες), οι οποίες είτε παράγονται από το χυτήριο της εταιρείας είτε αγοράζονται από τρίτους. Οι παραγόμενες είναι δευτερόχυτα κράματα που αποτελούνται από 70% ανακυκλωμένο και 30% πρωτόχυτο καθαρό αλουμίνιο.

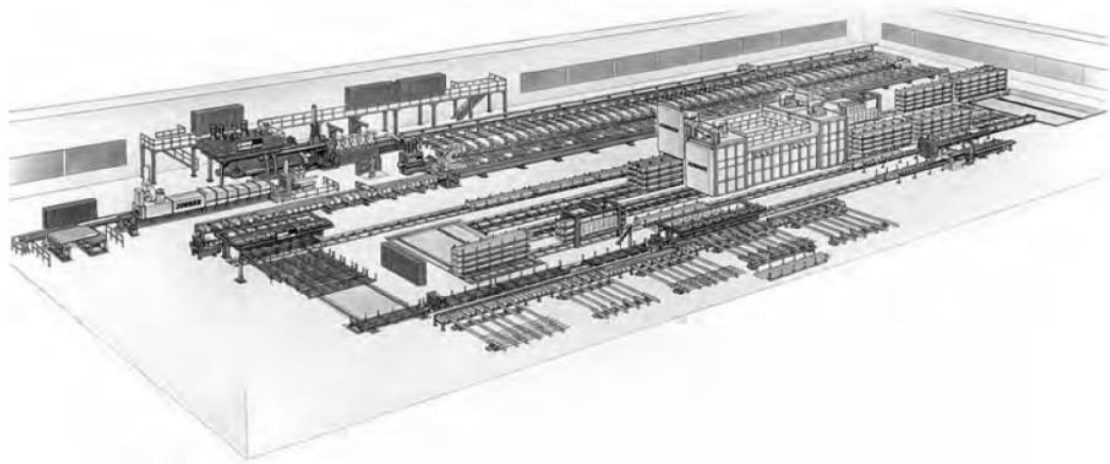
Αρχικά, οι κολώνες τοποθετούνται σε ειδικές συσκευές όπου προθερμαίνονται προκειμένου να αποκτήσουν την απαραίτητη ελαστικότητα και να μειωθεί το όριο διαρροής τους. Οι φούρνοι προθέρμανσης χωρίζονται σε ζώνες, που η κάθε μία έχει μειούμενη διαφορά θερμοκρασίας από την επόμενη. Η θερμοκρασία προθέρμανσης εξαρτάται από παραμέτρους που σχετίζονται με το κράμα, τη διατομή του προφίλ και την ταχύτητα διέλασης (Saha, 2000). Στη συνέχεια, οι κολώνες κόβονται σε μικρότερα κομμάτια προκειμένου να συμπιεστούν μέσω πρέσας και να περάσουν μέσα από τη μήτρα, ώστε να βγει το επιθυμητό προφίλ. Οι μήτρες αποτελούν τα καλούπια με οπές μέσα από τις οποίες θα διέλθει το προθερμασμένο αλουμίνιο ώστε να πάρει το τελικό σχήμα. Η εταιρεία διαθέτει περισσότερες από 13.000 μήτρες. Κατά τη διάρκεια της διέλασης, το προφίλ ελέγχεται ως προς την ευθύτητα καθώς και για επιφανειακά προβλήματα μέσω κάμερας ΑΙ. Αν υπάρχουν αποκλίσεις γίνονται άμεσα οι απαραίτητες διορθωτικές ενέργειες.



Εικόνα 12. Διαδικασία θερμής διέλασης αλουμινίου
Πηγή: (Bauser et al., 2006)

Τα κράματα αλουμινίου αποκτούν τις μηχανικές τους ιδιότητες έπειτα από μία διαδικασία θερμοκρασιακών διακυμάνσεων που υπόκεινται. Τα προφίλ μετά την έξοδό τους από τη μήτρα έχουν θερμοκρασία περίπου 500°C. Καθώς κινείται επάνω στον πάγκο (με τη βοήθεια συσκευής puller), ψύχεται ομοιόμορφα με εξαγωγείς αέρα σε τανυστικό μηχάνημα προκειμένου να αποκτήσει τις τελικές του διαστάσεις. Η τάνυση εξυπηρετεί επιπλέον και στο τελικό στάδιο που είναι η γήρανση, καθώς ανοίγουν οι πόροι του αλουμινίου. Κατά τη διαδικασία της διέλασης προκύπτει το μεγαλύτερο ποσοστό scrap, που αποτελεί σημαντικό κόστος της παραγωγικής διαδικασίας (Oberhausen et al., 2022).

Η γήρανση είναι μια θερμική κατεργασία που γίνεται σε ειδικούς φούρνους και δίνει στα προφίλ τις επιθυμητές ιδιότητες (σκληρότητα, αντοχή και ελαστικότητα). Η διάρκεια και οι θερμοκρασίες που χρησιμοποιούνται εξαρτάται από τις ιδιότητες που θέλουμε να πετύχουμε και το κράμα (Bauser et al., (2006). Η διάρκεια είναι 4-7 ώρες και οι θερμοκρασίες 180-200°C. Μετά την ολοκλήρωση της διαδικασίας, τα προφίλ τοποθετούνται σε τελάρα που φέρουν συνοδευτικό δελτίο με όλες τις απαραίτητες πληροφορίες, τον κωδικό προφίλ, το χρώμα που θα βαφτεί, τη διαδρομή του στο εργοστάσιο κλπ. Στη συνέχεια οδηγούνται είτε προς αποθήκευση, είτε για τη δημιουργία θερμομονωτικών προφίλ είτε για βαφή.



Εικόνα 13. Ολοκληρωμένη γραμμή διέλασης αλουμινίου
Πηγή: (Bauser et al., 2006)

Η βαφή γίνεται στο κάθετο ή το οριζόντιο βαφείο μέσω μία διαδικασία ηλεκτροστατικής φύσεως κι αφού έχει προηγηθεί μία χημική επεξεργασία για τον καθαρισμό της επιφάνειας των προφίλ. Μετά την αρχική βαφή ακολουθεί ο φούρνος πολυμερισμού και

στην έξοδο ελέγχεται η επιφάνειά τους για τυχόν αστοχίες. Ένας εναλλακτικός χρωματισμός των προφίλ είναι η ανοδίωση, μία ηλεκτροχημική κατεργασία που πραγματοποιείται από το σώμα του ίδιου του αλουμινίου χωρίς να προστίθεται κάποιο επιπλέον επίπεδο όπως στη βαφή. Η γραμμή της αποτελείται από 60 «μπάνια», είναι πλήρως αυτοματοποιημένη και ο έλεγχός της γίνεται από το control room.



Εικόνα 14. Κάθετο βαφείο προφίλ αλουμινίου
Πηγή: (Benedyk, 2006)

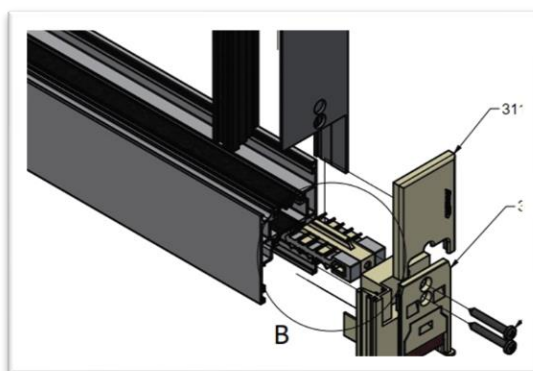
Το τελικό προϊόν είτε συσκευάζεται είτε αποθηκεύεται για μελλοντική χρήση. Το τμήμα Logistics έχει να διαχειριστεί καθημερινά την παραλαβή κι αποθήκευση προϊόντων (προφίλ που προέρχονται από την παραγωγή ή αγοραζόμενα εξαρτήματα), την προετοιμασία κι αποστολή παραγγελιών σε πελάτες και τον έλεγχο των αποθεμάτων.

Προκειμένου να υπάρχει μία πιο ολοκληρωμένη εικόνα της λειτουργίας της εταιρείας που αποτελεί τη μελέτη περίπτωσης, δε θα πρέπει να παραλείψουμε να αναφέρουμε τον τρόπο οργάνωσης και λειτουργίας της εμπορικής διεύθυνσης, που συνδέεται άρρηκτα με τη λειτουργία του εργοστασίου και τα επίπεδα αποθεμάτων. Αυτό διότι παρέχεται περιοδική πρόβλεψη ζήτησης προκειμένου να αναπροσαρμόζονται αναλόγως τα επίπεδα αποθεμάτων σε προφίλ κι εξαρτήματα. Επιπλέον, μέσω ψηφιακή πλατφόρμας B2B ο πελάτης έχει τη δυνατότητα να καταχωρεί μόνος του παραγγελίες επιλέγοντας προφίλ, χρώματα κι εξαρτήματα. Ταυτόχρονα μπορεί να βλέπει σε πραγματικό χρόνο τα διαθέσιμα αποθέματα των υλικών που παραγγέλλνει.

5.5 ΠΕΡΙΓΡΑΦΗ ΛΕΙΤΟΥΡΓΙΚΩΝ ΣΥΣΤΗΜΑΤΩΝ

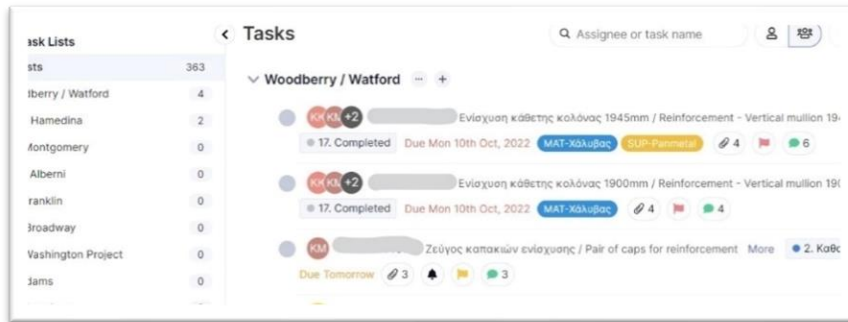
5.5.1 Συστήματα για την ανάπτυξη προϊόντων

Όπως αναφέρθηκε και νωρίτερα, ο ένας από τους δύο κύριους τομείς είναι η σχεδίαση και ανάπτυξη προϊόντων. Το τμήμα έρευνας και ανάπτυξης χρησιμοποιεί το περιβάλλον του INVENTOR για να δημιουργήσει τα δισδιάστατα και τρισδιάστατα σχέδια των συστημάτων. Το σημαντικότερο στοιχείο εδώ είναι ότι η σχεδίαση όλων των σειρών αποθηκεύεται σε περιβάλλον Cloud ώστε να υπάρχει η δυνατότητα πρόσβασης όλων των εργαζομένων από οποιοδήποτε σημείο ενώ ταυτόχρονα βλέπουν σε πραγματικό χρόνο οποιεσδήποτε αλλαγές ή τροποποιήσεις.



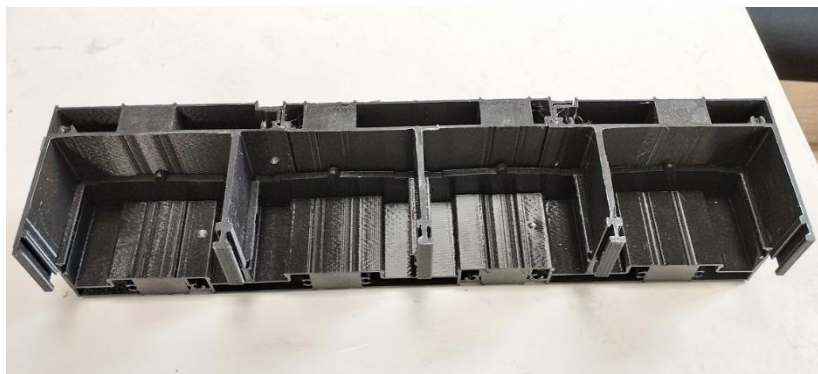
Εικόνα 15. Τρισδιάστατη σχεδίαση συστήματος αλουμινίου
Πηγή: Αρχείο συγγραφέα

Μία άλλη σημαντική λειτουργία είναι η διαδικασία διαχείρισης και παρακολούθησης των tasks. Αυτό γίνεται μέσω του προγράμματος Teamwork, ενός λογισμικού όπου καταχωρείται μία εργασία και παρακολουθούνται όλα τα στάδια από τους εμπλεκόμενους, με ανάθεση καθηκόντων, χρονοδιαγράμματα καταχώρηση πληροφοριών και αρχειοθέτηση της εργασίας μετά το πέρας της. Κι εδώ, η εφαρμογή της στηρίζεται σε περιβάλλον Cloud. Με αυτόν τον τρόπο μπορούν όλοι όσοι έχουν πρόσβαση να παρακολουθούν βήμα προς βήμα την πορεία ανάπτυξης μίας λύσης ή ενός προϊόντος, παρεμβαίνοντας όπου είναι απαραίτητο, με αποτέλεσμα οι υπόλοιποι εμπλεκόμενοι να ενημερώνονται άμεσα.



Εικόνα 16. Πρόγραμμα Teamwork
Πηγή: Αρχείο συγγραφέα

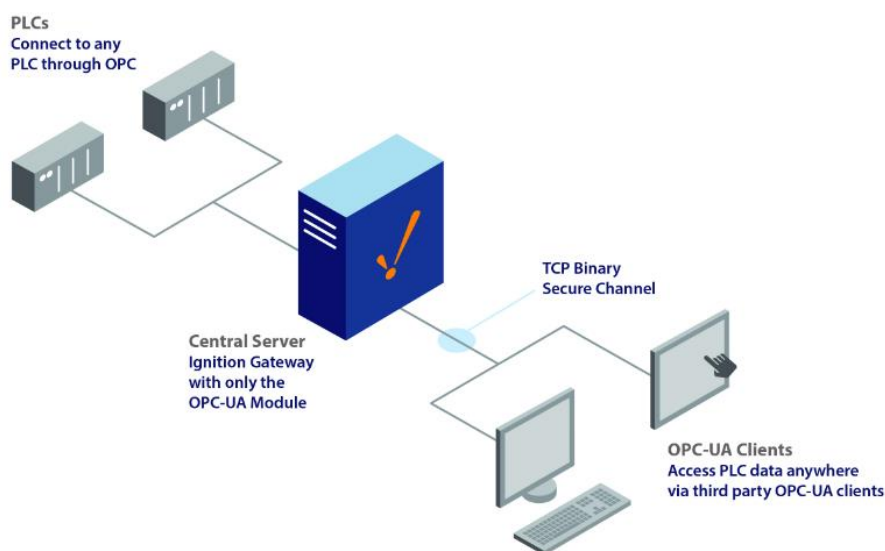
Η σημαντικότερη τεχνολογία που εισάχθηκε όμως στην εταιρεία ήταν η προσθήκη 3D εκτυπωτών (Additive manufacturing). Σήμερα απαριθμεί περισσότερους από 5 εκτυπωτές τριών διαφορετικών τεχνολογιών (ρητίνης, FDM και MJF), που χρησιμοποιούνται από το τμήμα Έρευνας κι Ανάπτυξης προκειμένου να δοκιμάζονται νέες λύσεις προτού δοθεί η τελική έγκριση για την παραγωγή τους. Συγκεκριμένα, εκτυπώνονται σχέδια από προφίλ μέχρι κι ολόκληρα κουφώματα, προκειμένου να ελεγχθεί η λειτουργικότητά τους, καθώς επίσης κι εξαρτήματα ώστε να δοκιμαστεί η εφαρμογή τους, η ορθότητα της σχεδίασης και να εξεταστεί αν απαιτείται κάποια τροποποίηση. Τα οφέλη από την προσθήκη αυτής της τεχνολογίας είναι τεράστια, καθώς πλέον δεν χρειάζεται να ακολουθηθεί ολόκληρη η παραγωγική διαδικασία κάποιου στοιχείου προκειμένου να ελεγχθεί, αλλά αρκεί η εκτύπωση κάποιων δειγμάτων. Επιπλέον μπορούν να γίνονται μικρές παραγωγές για ειδικές λύσεις που ζητάει ο πελάτης.



Εικόνα 17. Τρισδιάστατη εκτύπωση προφίλ κι εξαρτήματος
Πηγή: Αρχείο συγγραφέα

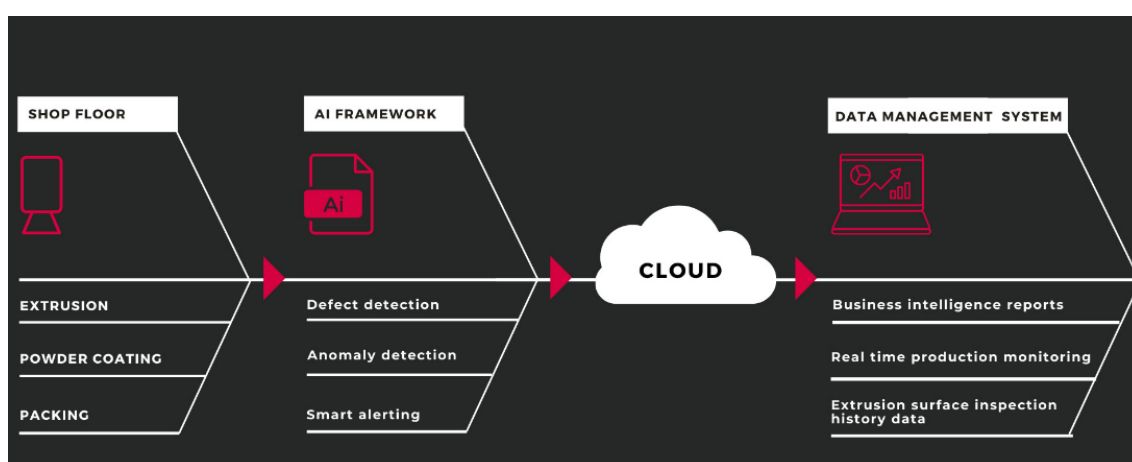
5.5.2 Συστήματα στην παραγωγή

Στο εργοστάσιο παραγωγής υπάρχουν εγκαταστημένοι Προγραμματιζόμενοι Λογικοί Ελεγκτές (Programmable Logic Controller - PLC) σε διάφορα τμήματα, όπως οι πρέσες, το βαφείο και η ανοδίωση. Μία μονάδα διέλασης αποτελείται από αρκετά μέρη, όπως τον φούρνο προετοιμασίας, την πρέσα, το puller κλπ. Σε όλα τα τμήματα υπάρχουν εγκαταστημένοι αισθητήρες πίεσης, θερμοκρασίας, θέσης, παλμών καθώς επίσης και συστήματα HMI (Human machine interface), με εξαίρεση την πρέσα όπου υπάρχει PLC. Οι αισθητήρες και τα HMI συλλέγουν δεδομένα και τα στέλνουν στο PLC όπου μέσω του συστήματος Εποπτικού Ελέγχου και Συλλογής Δεδομένων (Supervisory Control and Data Acquisition – SCADA) γίνεται τοπικά η παρακολούθηση της διέλασης, η ανάλυση δεδομένων σε πραγματικό χρόνο και οποιαδήποτε αναγκαία παραμετροποίηση για διορθωτικές ενέργειες από τους χειριστές. Επιπλέον, όλα τα δεδομένα που συλλέγονται από τα PLC και τους αισθητήρες μεταφέρονται μέσω του πρωτοκόλλου επικοινωνίας OPC σε περιβάλλον Cloud. Στο άμεσο μέλλον σχεδιάζεται η τοποθέτηση περισσότερων αισθητήρων στις γραμμές παραγωγής προκειμένου να συλλέγεται στον server ακόμη μεγαλύτερος αριθμός δεδομένων. Επιδίωξη της εταιρείας είναι η ανάλυση των δεδομένων (Data Analytics) μέσω τεχνολογιών ΑΙ ώστε το σύστημα να προτείνει από μόνο του τις κατάλληλες ρυθμίσεις για την βέλτιστη παραγωγή.



Εικόνα 18. Σύνδεση PLC με server μέσω OPC
Πηγή: (www. inductiveautomation.com)

Μία επιπλέον τεχνολογία που εφαρμόστηκε στην παραγωγή ήταν η εγκατάσταση καμερών υπερυψηλής ανάλυσης για τον επιφανειακό έλεγχο (object detection) των προφίλ κατά τη διέλαση και την βαφή τους. Οι κάμερες αυτές ελέγχουν διαρκώς την επιφάνεια των προφίλ που βγαίνουν είτε από την πρέσα είτε μετά το βαφείο, για ποιοτικά προβλήματα. Μέσω τεχνολογίας AI (optical AI) έχουν εκπαιδευτεί προκειμένου να αναγνωρίζουν πολύπλοκα επαναλαμβανόμενα μοτίβα επιφανειακών σφαλμάτων εντοπίζοντας την ακριβής θέση τους, να διακρίνουν ποια δεν είναι αποδεκτά και να ειδοποιούν σε πραγματικό χρόνο τους χειριστές για διορθωτικές ενέργειες. Τα σφάλματα χαρτογραφούνται ανά μέτρο διέλασης, καταγράφονται και αποθηκεύονται σε μία βάση δεδομένων περιβάλλοντος νέφους.



Εικόνα 19. Λειτουργία AI καμερών επιφανειακού ελέγχου
Πηγή: (www.d-cube.eu)

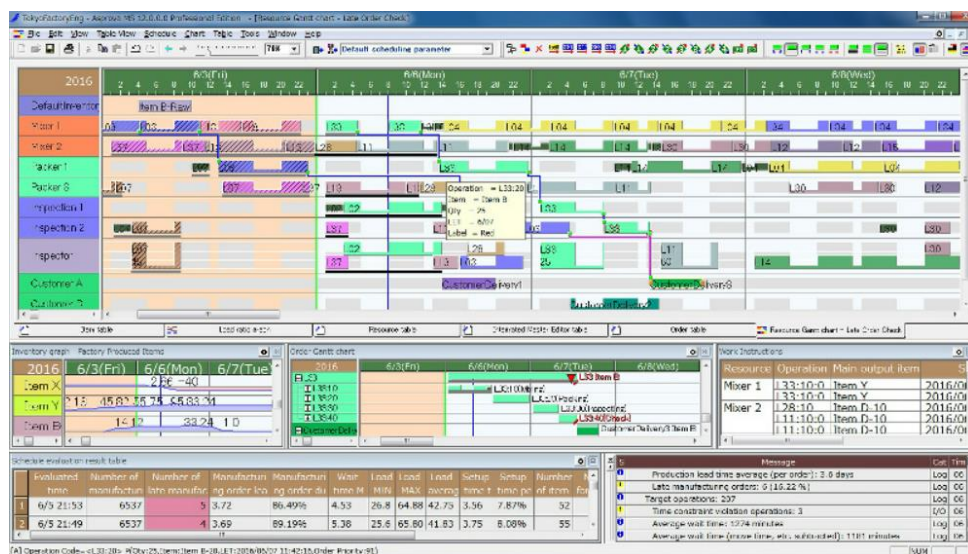
Ταυτόχρονα όλα τα δεδομένα συλλέγονται και στέλνονται σε υπολογιστή προκειμένου στο μέλλον να γίνεται ανάλυση δεδομένων για τη λήψη αποφάσεων, ενεργητική μάθηση των συστημάτων κι ανατροφοδότηση στις μηχανές νέων παραμετροποιημένων εντολών.

5.5.3 Συστήματα σε Operations & Supply Chain

Η εταιρεία, εκτός από τα συστήματα MRP και WMS, για την οργάνωση και τη λειτουργία της διαθέτει σύστημα MES (Manufacturing Execution System) που παρακολουθεί, κι ελέγχει τη διαδικασία παραγωγής των αγαθών από την πρώτη ύλη έως τα τελικά προϊόντα. Λειτουργεί είτε μέσω υπολογιστών στα τμήματα της παραγωγής είτε με tablets κι επικοινωνεί άμεσα με τον προγραμματισμό επιχειρηματικών πόρων (ERP) της εταιρείας. Με αυτό τον τρόπο παρέχεται ένα λειτουργικό επίπεδο μεταξύ του (ERP) και

των συστημάτων ελέγχου της διαδικασίας, προκειμένου να γίνουν οι κατάλληλες ενέργειες για την δέσμευση αποθεμάτων, την εκτέλεση παραγγελιών και την οργάνωση των φορτώσεων.

Παράλληλα υπάρχει διασύνδεση με σύστημα APS (Advanced Planning and Scheduling) για τον άμεσο προγραμματισμό της παραγωγής. Συγκεκριμένα, το σύστημα αυτό, που εγκαταστάθηκε το 2022, αναλαμβάνει την αυτοματοποιημένη εξαγωγή δεδομένων και τη δημιουργία όλων των εντολών παραγωγής σύμφωνα με τις παραγγελίες των πελατών, λαμβάνοντας υπόψη παραμέτρους. Υπολογίζοντας την κατανάλωση πρώτων υλών, τη διαδρομή, την επισκόπηση και ισοκατανομή φόρτου εργασίας μεταξύ των ενδιάμεσων σταδίων της παραγωγής, υποδεικνύει τον κατάλληλο προγραμματισμό ώστε να γίνεται η βέλτιστη διαχείριση χρόνου και κόστους. Με τον τρόπο αυτό επιτυγχάνεται η οπτικοποίηση όλου του προγραμματισμού της παραγωγής, η μείωση και καλύτερη διαχείριση των αποθεμάτων καθώς και η βελτίωση των χρόνων παράδοσης.



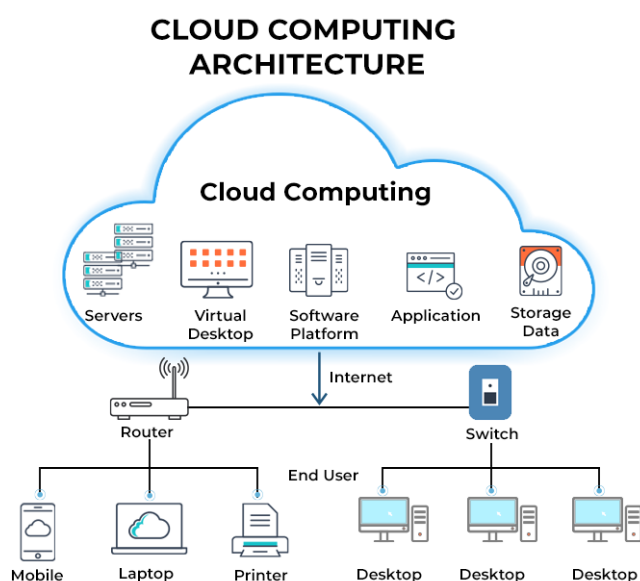
Εικόνα 20. Οπτικοποίηση συστήματος APS
Πηγή: (www.asprova.com)

Σε επίπεδο ομίλου, υπάρχουν εγκατεστημένα συστήματα ERP για την αυτοματοποίηση λειτουργιών της εφοδιαστικής αλυσίδας, των προμηθειών, της παραγωγής, του λογιστηρίου και των πωλήσεων. Όλος αυτός ο τεράστιος όγκος δεδομένων (Big Data) από τα ERP συγκεντρώνεται σε μία βάση όπου μέσω μιας διαδικασίας αναλύσεων και υπολογισμών, με τη χρήση λογισμικού QPR, γίνεται η εξαγωγή αποτελεσμάτων και η οπτικοποίηση τους με λογισμικό BI (Business Intelligence). Με την ενσωμάτωση

τεχνολογιών που βασίζονται σε Ρομποτική Αυτοματοποίηση Διαδικασιών (RPA-Robotic Process Automation) και τεχνητή νοημοσύνη (ChatGPT), μπορούν να εξάγονται χρήσιμα αποτελέσματα για το προφίλ των πελατών και την απόδοση τιμολογιακών πολιτικών. Επιπλέον, υπάρχει λογισμικό Σύστημα Διαχείρισης Πελατών (CRM-Customer Relationship Management) όπου καταχωρούνται διάφορα δεδομένα που αφορούν την αλληλεπίδραση της διεύθυνση πωλήσεων με τους πελάτες. Ο στόχος είναι στο άμεσο μέλλον η διασύνδεση όλων αυτών των πληροφοριών κάτω από τον εκάστοτε πωλητή, ώστε να υπάρχει συγκεντρωμένη μία ευρεία πληροφόρηση που θα αξιοποιείται για την παρακολούθηση της στοχοθεσίας και την απόδοσή του ανά πάσα στιγμή.

5.5.4 Συστήματα IT

Όπως αναφέρθηκε προηγουμένως, πολλά δεδομένα της εταιρείας δεν αποθηκεύονται τοπικά αλλά σε περιβάλλον νέφους. Για την ακρίβεια, όλες οι υποδομές της εταιρείας (δίκτυα, διακομιστές, αποθηκευτικός χώρος, εφαρμογές και υπηρεσίες) βρίσκονται εξ' ολοκλήρου σε περιβάλλον νέφους. Το Υπολογιστικό Νέφος (Cloud Computing) επιτρέπει την άμεση πρόσβαση από οπουδήποτε σε μία κοινόχρηστη βάση εφαρμογών, ώστε να έχει ανά πάσα στιγμή όλα τα δεδομένα που χρειάζεται. Αυτή η δυνατότητα αποκτάει μεγαλύτερη αξία την εποχή της απομακρυσμένης εργασίας, καθώς ο εργαζόμενος έχει πρόσβαση σε όλες τις πληροφορίες σε να βρίσκεται στο χώρο της εταιρείας.



Εικόνα 21. Υπολογιστικό Νέφος
Πηγή: (www.spiceworks.com)

Επακόλουθα, η ανάγκη για ασφάλεια των πληροφοριών από κυβερνο-επιθέσεις είναι δεδομένη κι αποτελεί βασικό ζητούμενο του οργανισμού. Για το λόγο αυτό γίνονται συνεχώς επενδύσεις σε εξοπλισμό και υπηρεσίες. Συγκεκριμένα, χρησιμοποιείται τείχος προστασίας (Firewalls) που ελέγχει κι επιτηρεί τις εισερχόμενες κι εξερχόμενες διαδικτυακές πληροφορίες σε συνδυασμό με σύστημα ανίχνευσης κι απόκρισης τελικού χρήστη (EDR-Endpoint Detection and Response) που ελέγχει διαρκώς και περιορίζει τις επιθέσεις στα τερματικά. Η διαχείριση πληροφοριών ασφαλείας και συμβάντων (SIEM-Security Information and Event Management), που έχει εξελιχθεί με την τεχνητή νοημοσύνη, βοηθά στην ανίχνευση, την ανάλυση και την γρήγορη ανταπόκριση της εταιρείας σε απειλές, προτού βλάψουν τις επιχειρηματικές της δραστηριότητες. Για τον σκοπό αυτό γίνονται κι εξουσιοδοτημένες προσομοιώσεις κυβερνο-επιθέσεων (Penetration Testing) καθώς και διαφόρων επιπέδων αξιολογήσεις ευαλωτότητας (Vulnerability Assessments) προκειμένου να ταυτοποιούνται, να ποσοτικοποιούνται και να προτεραιοποιούνται οι αδυναμίες όλων των υποδομών της εταιρείας.

6. ΑΠΟΤΕΛΕΣΜΑΤΑ ΜΕΛΕΤΗΣ

Στη παρούσα διπλωματική εργασία, όπως αναφέρθηκε και σε προηγούμενα κεφάλαια, επιλέχθηκε η μεθοδολογία των δομημένων συνεντεύξεων, της άμεσης παρατήρησης και της χρήσης εγγράφων για τη συλλογή των πρωτογενών δεδομένων. Για τον σκοπό αυτό επιλέχθηκαν δέκα διευθυντικά στελέχη της εταιρείας που εμπλέκονται στην εφαρμογή τεχνολογιών Industry 4.0 στην επιχείρηση και συμμετέχουν στη λήψη αποφάσεων για το σχεδιασμό και την εγκατάσταση νέων στο μέλλον. Το ερωτηματολόγιο συντάχθηκε λαμβάνοντας υπόψη προηγούμενες βιβλιογραφικές μελέτες, επιδιώκοντας να απαντηθούν τα ερευνητικά ερωτήματα που τέθηκαν στην παρούσα εργασία. Τα τμήματα από τα οποία προέρχονται οι συνεντευξιαζόμενοι είναι η διεύθυνση Έρευνας κι Ανάπτυξης, η διεύθυνση του εργοστασίου, η διεύθυνση της Παραγωγής και Ασφάλειας, το τμήμα Sales Operations, η διεύθυνση Εφοδιαστικής Αλυσίδας και η διεύθυνση IT. Η κάθε συνέντευξη είχε διάρκεια από 30 λεπτά έως μία ώρα και ο τρόπος διεξαγωγής τους ήταν είτε με κατ' ιδίαν συνάντηση στο χώρο εργασίας του κάθε στελέχους, είτε διαδικτυακά μέσω της εφαρμογής Teams. Προηγήθηκε η ηλεκτρονική αποστολή του ερωτηματολογίου για την καλύτερη προετοιμασία του συνεντευξιαζόμενου, τη συγκατάθεσή του στη συμμετοχή της έρευνας καθώς και να οριστεί η κατάλληλη μέρα κι ώρα διεξαγωγής της συνέντευξης. Οι συζητήσεις ηχογραφήθηκαν και στη συνέχεια απομαγνητοφωνήθηκαν αξιολογώντας προσεκτικά τα δεδομένα που συλλέχθηκαν, ώστε να χρησιμοποιηθούν οι κατάλληλες πληροφορίες από την εφαρμογή τεχνολογιών Industry 4.0 σε διάφορα τμήματα της εταιρείας και πώς αυτές συμβάλλουν στη βελτίωση της λειτουργία της. Παρακάτω παρατίθενται τα αποτελέσματα της έρευνας, τα οποία έχουν χωριστεί ανά τμήμα ανάλογα με τον ρόλο του συμμετέχοντα, διατηρώντας όμως την ανωνυμία του ώστε να τηρούνται οι κανόνες δεοντολογίας.

▪ Διεύθυνση Έρευνας κι Ανάπτυξης

Σύμφωνα με τον διευθυντή του τμήματος, οι τεχνολογίες που εφαρμόζονται σήμερα αφορούν τη δημιουργία τρισδιάστατων μοντέλων μέσω σχεδιαστικών προγραμμάτων, η αποθήκευση τους σε περιβάλλον cloud που δίνει τη δυνατότητα όλων των σχεδιαστών να έχουν άμεση πρόσβαση σε αρχεία που ενημερώνονται σε πραγματικό χρόνο, η παρακολούθηση όλων των εργασιών μέσω διαδικτυακής πλατφόρμας, που βρίσκεται επίσης σε περιβάλλον cloud, και οι 3D εκτυπώσεις. Ο λόγος που εισήχθησαν αυτές οι τεχνολογίες ήταν ο μεγάλος όγκος εργασιών, η ανάγκη για ταχύτερους ρυθμούς

ανάπτυξης των συστημάτων, η καλύτερη οργάνωση και λειτουργία του τμήματος, η μείωση του κόστους αλλά και οι αυξημένες απαιτήσεις της αγοράς.

Τα μεγαλύτερα οφέλη από την εφαρμογή αυτών των τεχνολογιών ήταν η πραγματοποίηση in-house δοκιμών, η σημαντική μείωση του χρόνου για την ολοκλήρωση και το λανσάρισμα μίας σειράς στην αγορά, καθώς και η μείωση του κόστους κατά τη διαδικασία ανάπτυξης της, δίνοντας ταυτόχρονα στον σχεδιαστή μεγαλύτερη ευελιξία δοκιμών. Δεν υπάρχουν ποσοτικοί δείκτες με τους οποίους μετρούνται τα αποτελέσματα. Ένα παράδειγμα όμως για να αντιληφθεί κανείς τη σημασία τους, είναι η δοκιμή μίας σχεδιαστικής λύσης κουφώματος το οποίο μπορεί να αποτελείται από τέσσερα διαφορετικά προφίλ (άρα και τέσσερις μήτρες) κι έξι διαφορετικά εξαρτήματα. Προκειμένου να κατασκευαστεί το δοκίμιο θα απαιτούνταν η δαπάνη περίπου €25.000, η εμπλοκή της παραγωγής και τουλάχιστον 2 προμηθευτών κι ένα χρονικό διάστημα δύο μηνών. Σήμερα, δαπανώντας συνολικά 200€ μπορεί να έχει σε δέκα ημέρες όλα τα αναγκαία μέρη για να κατασκευάσει το δοκίμιο. Αυτό συνεπάγεται μείωση κατά 99% του κόστους και 83% του χρόνου που απαιτείται για τον έλεγχο της σχεδιαστικής λύσης.

Υπήρξαν κάποιες προκλήσεις που έπρεπε να αντιμετωπιστούν, όπως η δαπάνη κεφαλαίων για τον σκοπό αυτό, η κατάλληλη εκπαίδευση του προσωπικού, αλλά και η δημιουργία κατάλληλων χώρων για την εγκατάσταση των μηχανημάτων. Επειδή όμως ο στρατηγικός στόχος της εταιρείας είναι ο ψηφιακός της μετασχηματισμός σε όλους τους τομείς, η αξιοποίηση καινοτόμων τεχνολογιών και η δημιουργία μίας βιομηχανίας του μέλλοντος, υπάρχει η πρόθεση να γίνεται διάθεση κεφαλαίων προς τον σκοπό. Επιπλέον το προσωπικό όχι μόνο είχε την πρόθεση να εκπαιδευτεί αλλά συμμετείχε ενεργά στην επιλογή κατάλληλων 3D εκτυπωτών ή σχεδιαστικών προγραμμάτων, αντιλαμβανόμενοι τις ανάγκες της εταιρείας.

Ο εκσυγχρονισμός όμως συνεχίζεται καθώς χρησιμοποιούνται ήδη πιλοτικά ή πρόκειται να χρησιμοποιούν στο άμεσο μέλλον επιπλέον τεχνολογίες Industry 4.0. Αρχικά έχει εγκατασταθεί 3D scanner ώστε να δημιουργούνται τρισδιάστατα σχέδια από φυσικά αντικείμενα, καθώς κι εκτυπωτής μετάλλου. Επιπλέον εξετάζεται η χρήση λογισμικών που θα μετατρέπουν τα τρισδιάστατα σχέδια του Inventor σε 3D βίντεο οδηγιών συναρμολόγησης. Ξεκίνησε η πιλοτική χρήση γυαλιών Hololens, συσκευών επαυξημένης πραγματικότητας (Augmented Reality) που δίνουν τη δυνατότητα

απομακρυσμένης υποστήριξης ενώ στα μελλοντικά πλάνα είναι η χρήση του blockchain στα προϊόντα, ώστε να καταχωρείται όλο το ιστορικό από την πρώτη ύλη μέχρι την τελική εγκατάστασή του στον πελάτη και τις ενδεχόμενες ενέργειες συντήρησης, δίνοντας τη δυνατότητα στους εμπλεκόμενους να καταχωρούν τις σχετικές πληροφορίες (digital envelope). Η επιδίωξη, σύμφωνα με τον διευθυντή, είναι:

1. Η περαιτέρω μείωση χρόνου και κόστους στη διαδικασία της ανάπτυξης και των δοκιμών
2. Η διεύρυνση της ευελιξίας του τμήματος στην ανάπτυξη καινοτόμων λύσεων
3. Η καλύτερη υποστήριξη των πελατών με τα πιο σύγχρονα μέσα
4. Η αμεσότητα στην εξυπηρέτηση των πελατών και τις ανάγκες τους, προσφέροντας εξατομικευμένες λύσεις

▪ Διεύθυνση Εργοστασίου, Παραγωγής κι Ασφάλειας

Με βάση τις απαντήσεις του διευθυντή του εργοστασίου αλλά και του διευθυντή παραγωγής και ασφάλειας, ο ψηφιακός μετασχηματισμός αποτελεί σημαντικό μέρος της στρατηγικής της εταιρείας. Σήμερα έχουν εγκατασταθεί ήδη τεχνολογίες όπως αισθητήρες και PLC που μεταφέρουν δεδομένα σε νέφος καθώς και κάμερες AI επιφανειακού ελέγχου, ενώ υπάρχουν προγράμματα που λειτουργούν πιλοτικά. Κινητήριες δυνάμεις είναι ο εκσυγχρονισμός του εργοστασίου, η αυτοματοποίηση συγκεκριμένων διεργασιών, η διασύνδεση των μηχανημάτων και η εξαγωγή χρήσιμων συμπερασμάτων από συλλογή δεδομένων που θα ενισχύσουν την παραγωγική διαδικασία. Επιπλέον, ο διευθυντής του εργοστασίου επεσήμανε το ανταγωνιστικό πλεονέκτημα που προσδίδει η εφαρμογή τεχνολογιών Industry 4.0, ενώ ο διευθυντής παραγωγής κι ασφάλειας σημείωσε ότι προσφέρουν:

1. Βελτίωση της παραγωγικότητας κι εξοικονόμηση υλικών
2. Μείωση του χρόνου εκτέλεσης παραγγελίας

3. Μείωση του scrap (φύρα και ελαττωματικά προφίλ) με τον γρήγορο εντοπισμό σφαλμάτων και προβλημάτων
4. Μείωση λαθών από τον ανθρώπινο παράγοντα
5. Βελτίωση της ασφάλειας με απεμπλοκή των εργαζομένων από επικίνδυνες εργασίες

Η αποτελεσματικότητα των τεχνολογιών μετριέται συγκρίνοντας διάφορους δείκτες που παρακολουθούν, πριν και μετά από την εφαρμογή τους. Αναφερόμενος στα οφέλη από την χρήση των καμερών ΑΙ στην παραγωγή, τα μέχρι τώρα αποτελέσματα δείχνουν:

- Μείωση των ελαττωματικών προφίλ έως και 8%
- Μείωση του κόστους παραγωγής έως και 1€, ανά παραγόμενο kg scrap αλουμινίου

Οι προκλήσεις που έχει να αντιμετωπίσει το εργοστάσιο είναι αρκετές και σημαντικές. Σύμφωνα με τον διευθυντή:

«Η μεγαλύτερη πρόκληση σε μία παραγωγική μονάδα πολλών ετών, είναι ότι θα πρέπει να βρεθεί τρόπος να παντρευτούν οι σύγχρονες τεχνολογίες με τις υφιστάμενες μηχανές παλιότερης τεχνολογίας χωρίς να υπάρχουν σοβαρές επιπτώσεις στην εύρυθμη λειτουργία του εργοστασίου. Αρκετές φορές αυτό είναι αδύνατο κι έχει αντίκτυπο σε όλες τις δομές της εταιρείας».

Επιπλέον αναφέρθηκε στο χρόνο υλοποίησης αλλά και το σημαντικό κόστος που έχει η εισαγωγή τεχνολογιών επισημαίνοντας ότι σε ορισμένες περιπτώσεις μπορεί να απαιτείται ακόμα και η αντικατάσταση των υφιστάμενων μηχανών. Για τον σκοπό αυτό γίνονται επενδυτικά πλάνα όπου αποτυπώνονται οι παράγοντες της επιτυχίας και του οικονομικού αντίκτυπου ενώ πραγματοποιούνται και πιλοτικές εφαρμογές.

Ο διευθυντής παραγωγής ευθυγραμμίζεται απόλυτα με τα παραπάνω κι επιπλέον εστιάζει στην ανάγκη συνεχούς παρακολούθησης και τροποποίησης των παραμέτρων κάθε συστήματος, το οποίο απαιτεί την κατάλληλη εκπαίδευση του προσωπικού ώστε να είναι εξοικειωμένο με τις νέες τεχνολογίες. Αυτό σημαίνει ότι οι εμπλεκόμενοι πρέπει να έχουν

αναβαθμισμένες γνώσεις ώστε να μπορούν να αφομοιώνουν τις νέες διαδικασίες. Επίσης είναι κρίσιμο ο καθένας να σεβαστεί και να αποδεχτεί τις στρατηγικές αποφάσεις της εταιρείας με όποιες αλλαγές αυτές επιφέρουν.

Τα μελλοντικά πλάνα της εταιρείας για περαιτέρω εκσυγχρονισμό της, είναι σημαντικά. Πρωταρχική επιδίωξη είναι η εκτενής ανάλυση όλων των δεδομένων που συλλέγονται αυτή τη στιγμή (Big Data Analytics), με σκοπό την εύρεση των βέλτιστων ρυθμίσεων για την παραγωγή προφίλ. Αυτό προϋποθέτει τη χρήση ενός συστήματος τεχνητής νοημοσύνης που θα εκπαιδεύεται διαρκώς και θα προτείνει τις κατάλληλες συνταγές διέλασης, ανάλογα με τη μήτρα που χρησιμοποιείται, ώστε να επιτυγχάνεται το βέλτιστο αποτέλεσμα. Ένα βήμα παραπέρα είναι η μηχανή παραγωγής να δέχεται αυτόματα την ενημέρωση των ρυθμίσεων, χωρίς να απαιτείται η ανθρώπινη παρέμβαση. Επιπλέον με την διασύνδεση των μηχανών (πρέσα διέλασης, συσκευές τάνυσης, σύστημα επιφανειακού ελέγχου κλπ) σε τοπικές υπολογιστικές μονάδες λήψης αποφάσεων, μόλις διαπιστώνεται κάποιο σφάλμα θα μπορεί το σύστημα μέσω της τεχνολογίας AI να δίνει άμεσα τις κατάλληλες εντολές για διορθωτικές ενέργειες, ενώ ταυτόχρονα θα εκπαιδεύεται. Με τον τρόπο αυτό θα διασφαλίζεται ότι η παραγωγή των προφίλ δε θα εξαρτάται από τις γνώσεις, την ικανότητα ή την ψυχολογική διάθεση του εκάστοτε χειριστή, καθώς ο ρόλος του θα είναι πλέον εποπτικός. Επιπλέον θα βελτιωθεί η αποδοτικότητα της παραγωγής και θα μειωθεί περαιτέρω το scrap.

Μία πιλοτική εφαρμογή που βρίσκεται σε στάδιο ανάπτυξης είναι το Predictive Maintenance. Αυτή τη στιγμή ορισμένα από τα δεδομένα που καταγράφονται από τους αισθητήρες και αποθηκεύονται στο νέφος, αφορούν πληροφορίες που σχετίζονται με τον τρόπο λειτουργίας των μηχανών. Αναλύοντας αυτά τα δεδομένα και συσχετίζοντάς τα με βλάβες ή λειτουργικές αστοχίες, αναπτύσσεται ένα σύστημα τεχνητής νοημοσύνης που θα μπορεί να προβλέπει και να προλαμβάνει μία βλάβη ειδοποιώντας για την ανάγκη ενεργειών συντήρησης της μηχανής. Το αποτέλεσμα θα είναι η έγκαιρη παρέμβαση ώστε να αποφεύγονται ζημιές υψηλού κόστους αλλά και χρονικά μεγάλα σταματήματα στην παραγωγή.

▪ Διεύθυνση Εταιρικής Λειτουργίας – Sales Operations

Για την εταιρική λειτουργία και τη διεύθυνση πωλήσεων, οι τεχνολογίες Industry 4.0 δεν έχουν μόνο άμεσα αλλά κι έμμεση σημασία, καθώς επηρεάζουν την εργασία τους

και τη σχέση με τους πελάτες. Επομένως η προσέγγιση μπορεί να είναι σε μεγάλο βαθμό γενικευμένη, αλλά στην παρούσα συνέντευξη συζητήθηκε η εφαρμογή τεχνολογιών που αφορούν αποκλειστικά τη λειτουργία της διεύθυνσης. Οι τεχνολογίες αυτές αφορούν προηγμένα λογισμικά που ενσωματώνουν τεχνητή νοημοσύνη με σκοπό να αναλύεται ένας τεράστιος όγκος δεδομένων που συλλέγεται από πολλά συστήματα ERP. Απώτερος στόχος είναι η παραμετροποιημένη πληροφόρηση όλης της διεύθυνσης, από τα ανώτερα στελέχη μέχρι τον εκάστοτε σύμβουλο πωλήσεων, παρέχοντας συγκεντρωτικά αλλά κι εξατομικευμένα στοιχεία που αφορούν την εταιρεία και τους πελάτες.

Εστιάζοντας στα οφέλη, ο συνεντευξιαζόμενος επεσήμανε ότι το σημαντικότερο είναι η ολοκληρωμένη πληροφόρηση για την εταιρεία που συμβάλλει στη λήψη στρατηγικών αποφάσεων. Επιπρόσθετα, παρέχονται αναφορές επιχειρηματικής ευφυΐας (Business Intelligence Reports) οι οποίες επηρεάζουν τον τρόπο που θα λειτουργήσουν άλλα τμήματα της εταιρείας, όπως η παραγωγή και η εφοδιαστική αλυσίδα. Τέλος, δίνει τη δυνατότητα πρόσβασης στην πληροφορία σε πραγματικό χρόνο.

Για τον διευθυντή του Sales Operations, η μεγαλύτερη πρόκληση δεν ήταν ο τρόπος οργάνωσης και λειτουργίας αυτών των τεχνολογιών. Σαφώς κι απαιτούν εξειδίκευση, χρόνο και βαθιά γνώση. Παρόλ' αυτά, η μεγαλύτερη δυσκολία έγκειται στη αντίσταση στην αλλαγή. Το «ξεβόλεμα» από παλιές πρακτικές και η μετάβαση σε νέες τεχνολογίες αποτελεί πάντα έναν ανασταλτικό παράγοντα που πρέπει να αντιμετωπίζεται σε κάθε αλλαγή. Για το μέλλον, το πλάνο είναι η εμβάθυνση τεχνολογιών ΑΙ στη δημιουργία ενός 360° Cockpit View, όπου όλα τα συστήματα θα επικοινωνούν και θα συνδέονται μεταξύ τους, προκειμένου να οπτικοποιούν οποιαδήποτε πληροφορία αφορά την διεύθυνση.

▪ Διεύθυνση Εφοδιαστικής Αλυσίδας

Σύμφωνα με τον διευθυντή του τμήματος Εφοδιαστικής Αλυσίδας του Ομίλου, τα τελευταία χρόνια έγινε η εγκατάσταση πολλών συστημάτων που αποτελούν βασικές υποδομές για την μετάβαση της εταιρείας στην ψηφιακή εποχή της Industry 4.0. Αρχικά με την εγκατάσταση ERP για όλες τις λειτουργίες logistics, finance, production και sales καθώς και MRP για τον προγραμματισμό των αγορών και των αναπληρώσεων. Επιπλέον, η εφαρμογή συστήματος MES ελέγχει όλη την παραγωγική διαδικασία εξασφαλίζοντας την ικανοποίηση των παραγγελιών και την κάλυψη των αναγκών του εργοστασίου. Η πρόσφατη ένταξη συστήματος APS σηματοδότησε την μετάβαση του προγραμματισμού

παραγωγής σε μία νέα εποχή προηγμένης ψηφιοποίησης της διαδικασίας. Κινητήρια δύναμη για όλα αυτά ήταν η δημιουργία των υποδομών για τον στρατηγικό στόχο του ψηφιακού μετασχηματισμού της εταιρείας, την ανάγκη αυτοματοποίησης, τον καλύτερο έλεγχο και διαχείριση αποθεμάτων αλλά και την αύξηση της παραγωγικότητας.

Στην ερώτηση για τα οφέλη από την εφαρμογή των τεχνολογιών, ο διευθυντής προσδιόρισε ότι:

«Τη δεδομένη στιγμή τα οφέλη δεν μπορούν να ποσοτικοποιηθούν καθώς δεν υπάρχουν τα κατάλληλα δεδομένα. Σε βάθος χρόνου αποτυπώνονται με τη μορφή KPIs που θα βοηθήσουν στην 'εξαγωγή συμπερασμάτων. Είναι δεδομένο όμως ότι έχει βελτιωθεί η διαχείριση του αποθέματος, έχουν μειωθεί τα λάθη στην εκτέλεση παραγγελιών και το κόστος λειτουργίας ενώ έχει αυξηθεί ο δείκτης εξυπηρέτησης πελατών».

Τα βασικότερα προβλήματα που συναντώνται κατά την υλοποίηση, αφορούν συνήθως την αποτύπωση των αναγκών και τον τρόπο που αυτές τελικά εκτελούνται. Επίσης υπάρχουν χρονικοί περιορισμοί για την εγκατάσταση συστημάτων, όπως για παράδειγμα η έναρξη της οικονομικής χρονιάς. Επιπλέον, επειδή δεν υπάρχουν ξεκάθαρα μετρήσιμα μεγέθη από την εφαρμογή τους απαιτείται ιδιαίτερη διαχείριση προκειμένου να γίνουν κατανοητά τα οφέλη από την διοίκηση.

Αναφορικά με τα μελλοντικά σχέδια του τμήματος, στα πλάνα είναι η δημιουργία ρομποτικής αποθήκης, αρχικά για το τμήμα αποθήκευσης των εξαρτημάτων κι αργότερα για τα προφίλ αλουμινίου. Η ρομποτική αποθήκη θα βελτιώσει την εκμετάλλευση χώρου και θα ενισχύσει την ταχύτητα και την ακρίβεια στην εξυπηρέτηση των παραγγελιών αυτοματοποιώντας τη διαδικασία διαλογής.

▪ Διεύθυνση IT

Το τμήμα του IT εμπλέκεται σε πάρα πολλές από τις εφαρμογές τεχνολογιών Industry 4.0 στην εταιρεία. Αυτό διότι, σύμφωνα με τον διευθυντή IT ομίλου, η έννοια του ψηφιακού μετασχηματισμού συνδέεται με υπηρεσίες διασύνδεσης και πληροφορικής εστιάζοντας στην δημιουργία κυβερνο-φυσικών συστημάτων. Αναφερόμενος στις τεχνολογίες που παρουσιάστηκαν παραπάνω, επεσήμανε τους κινδύνους από την έκθεση στο διαδίκτυο και την ανάγκη για ασφάλεια των πληροφοριών. Για τον σκοπό αυτό, όπως

αναφέρει ο διευθυντής του τμήματος Πληροφοριακών Συστημάτων, δίνεται μεγάλη έμφαση στην κυβερνοασφάλεια (Cybersecurity). Σύμφωνα με τον ίδιο:

«Όλες οι υποδομές της εταιρείας, server, storage, backups, βρίσκονται εξ' ολοκλήρου σε περιβάλλον νέφους. Αυτό συνεπάγεται ότι η ασφάλεια πληροφοριών αποτελεί βασικό ζητούμενο του οργανισμού και γίνονται συνεχώς επενδύσεις σε εξοπλισμό και υπηρεσίες».

Δεν υπάρχουν μετρήσιμα οφέλη από την εφαρμογή της κυβερνοασφάλειας, αλλά η χρήση της είναι αναγκαία κι επιτακτική. Όλες οι πληροφορίες αλλά και τα ψηφιακά συστήματα της εταιρείας θα πρέπει να είναι πλήρως προστατευμένα από επιτήδειους hackers, μειώνοντας το ρίσκο κυβερνοεπιθέσεων που θα βλάψουν τη λειτουργία της προκαλώντας σημαντική απώλεια κερδών. Ο διευθυντής πληροφοριακών συστημάτων όμως, παρουσίασε τα ποιοτικά οφέλη από την ευρεία χρήση του Cloud Computing:

- 1. Μείωση κόστους ανθρώπινου δυναμικού (Δεν χρειάζονται senior system/network engineers για τη διαχείριση εταιρικού data center)*
- 2. Βελτίωση cybersecurity καθώς τα data centers συμμορφώνονται με όλα τα διεθνή πρότυπα σχετικά με την ασφάλεια πληροφοριών κι έχουν πολυάριθμη εξειδικευμένη ανθρωποδύναμη*
- 3. Ευελιξία, καθώς όλες οι νέες τεχνολογίες είναι διαθέσιμες ως υπηρεσίες και η απόκτηση τους γίνεται σε λίγα μόνο λεπτά μέσα από ένα απλό διαχειριστικό περιβάλλον*
- 4. Επεκτασιμότητα, καθώς ανά πάσα στιγμή μπορούμε να αυξήσουμε ή να μειώσουμε τις υποδομές μας εξυπηρετώντας τις ανάγκες του οργανισμού*

Αναφερόμενοι στις προκλήσεις, κατέδειξαν ως σημαντικότερη στην πλειοψηφία των έργων την ανεύρεση του κατάλληλου συνεργάτη ο οποίος κατανοεί το όραμα της εταιρείας κι έχει τις κατάλληλες γνώσεις για να υλοποιήσει το ζητούμενο έργο. Πολλές φορές, για τον λόγο αυτό απευθύνονται σε εταιρείες του εξωτερικού με μεγάλη εξειδίκευση σε εφαρμογές τεχνολογιών στον κλάδο. Επιπλέον όλοι οι εργαζόμενοι θα πρέπει να είναι πλήρως ευθυγραμμισμένοι με τις ανάγκες της εταιρείας και να εκπαιδεύονται συστηματικά.

Για το μέλλον υπάρχουν αρκετά πεδία όπου θα εμπλακεί το τμήμα, όπως η ρομποτική αποθήκη, το remote maintenance (Augmented Reality), το Blockchain και τα DT. Θα δοθεί όμως ιδιαίτερη έμφαση στο κομμάτι της αναβάθμισης της κυβερνοασφάλειας, βάσει προτύπου ISA/IEC 62443-3-3. Αυτό ορίζει τις απαιτήσεις ασφάλειας του συστήματος και τα επίπεδα δυνατοτήτων ασφάλειας για τη δημιουργία ενός IACS (Intelligent Automation Control System) που να πληροί το επίπεδο ασφαλείας-στόχου. Μέσα από τη συνεργασία του τμήματος πληροφορικής και των operations οικοδομούνται οι υποδομές για την αποτελεσματική προστασία τόσο από κυβερνοαπειλές όσο και από περιστασιακά ή συμπτωματικά γεγονότα, οδηγώντας σε συνεχή βελτίωση (International Electrotechnical Commission, 2013).

Συμπληρωματικά θα πρέπει να αναφερθεί ότι έγινε άμεση παρατήρηση στα διάφορα τμήματα, όπου αυτό ήταν αναγκαίο, προκειμένου να γίνουν περισσότερο κατανοητές οι τεχνολογίες που χρησιμοποιούνται και ο τρόπος λειτουργίας τους. Τα έγγραφα αποτέλεσαν επιπρόσθετη ή εναλλακτική πηγή πληροφόρησης, προκειμένου να αποτυπωθούν με τον σωστό τρόπο όλα τα δεδομένα που συλλέχθηκαν από τη διαδικασία των συνεντεύξεων.

7. ΣΥΜΠΕΡΑΣΜΑΤΑ – ΠΡΟΤΑΣΕΙΣ

Στην παρούσα διπλωματική εργασία, όπως αναφέρθηκε και στην αρχή, διερευνήθηκαν οι παράγοντες που προσδιορίζουν την Industry 4.0 κι εξετάστηκαν τα επιχειρησιακά της αποτελέσματα εφαρμόζοντας μελέτη περίπτωσης σε μία εταιρεία ανάπτυξης και παραγωγής συστημάτων αλουμινίου. Τα δεδομένα συλλέχθηκαν μέσω συνεντεύξεων σε διευθυντικά στελέχη από πέντε διαφορετικά τμήματα της εταιρείας, προκειμένου να προκύψουν συμπεράσματα για τον τρόπο που επηρεάζουν συνολικά οι τεχνολογίες Industry 4.0 την επιχείρηση. Αρχικά έγινε η βιβλιογραφική ανασκόπηση που αφορά τους προσδιοριστικούς παράγοντες ώστε να παρουσιαστούν οι βασικές έννοιες. Στη συνέχεια παρουσιάστηκαν τα οφέλη και οι προκλήσεις από την εφαρμογή των τεχνολογιών Industry 4.0. Τέλος αναπτύχθηκε η μεθοδολογία έρευνας και τα ευρήματα από την μελέτη περίπτωσης. Στο παρόν κεφάλαιο γίνεται η ερμηνεία των ευρημάτων στην προσπάθεια να απαντηθούν τα ερευνητικά ερωτήματα. Τέλος καταγράφονται οι περιορισμοί και γίνονται προτάσεις για μελλοντική έρευνα.

7.1 ΠΑΡΟΥΣΙΑΣΗ ΕΥΡΥΜΑΤΩΝ

Όπως αναφέρθηκε και σε προηγούμενα κεφάλαια, η εργασία είναι διερευνητική και για τον λόγο αυτό έγινε ποιοτική προσέγγιση. Τα δεδομένα συλλέχθηκαν σύμφωνα με τις μεθόδους που αναφέρθηκαν προηγουμένως, αξιολογήθηκαν κι ομαδοποιήθηκαν βάσει των ερωτημάτων που τέθηκαν. Στόχος είναι η ανάδειξη των επιχειρησιακών αποτελεσμάτων από την εφαρμογή των προσδιοριστικών παραγόντων της Industry 4.0. Παρακάτω παραθέτονται οι απαντήσεις στα ερευνητικά ερωτήματα:

Ποιοι είναι οι παράγοντες που προσδιορίζουν την Industry 4.0 σε μία ελληνική βιομηχανία;

Σε μία ελληνική επιχείρηση, ο ψηφιακός μετασχηματισμός ξεκινάει από τον τομέα της πληροφορικής. Οι τεχνολογίες Cloud και Big Data and Analytics αποτελούν τον κεντρικό πυρήνα για τη μετάβαση στην Industry 4.0. Στην παραγωγική διαδικασία το IIoT συντελεί στη μεταφορά δεδομένων που προέρχονται από αισθητήρες και μονάδες PLC εγκατεστημένες σε όλες τις μηχανές. Επιπλέον, συστήματα που στηρίζουν τη λειτουργία τους σε τεχνολογίες AI ενισχύουν τον αριθμό δεδομένων προς επεξεργασία. Διαθέτοντας την κατάλληλη υποδομή, με συνδεδεμένα συστήματα ERP, MRP, MES και WMS, επιτυγχάνεται η κάθετη ολοκλήρωση της εταιρείας. Σημαντικό εφόδιο στον τομέα της

έρευνας κι ανάπτυξης αποτελούν οι τρισδιάστατοι εκτυπωτές αλλά και τα λογισμικά σε περιβάλλον cloud που επιτρέπουν την απομακρυσμένη διαχείριση σε πραγματικό χρόνο. Όλες αυτές οι τεχνολογίες λειτουργούν κάτω από την ομπρέλα του Cybersecurity, η διαρκής αναβάθμιση του οποίου είναι επιβεβλημένη για να εξασφαλίζεται η εύρυθμη λειτουργία ενός ψηφιακού εργοστασίου.

Ποια είναι τα αποτελέσματα από την εφαρμογή τους σε μία βιομηχανία παραγωγής συστημάτων αλουμινίου;

Η εφαρμογή τρισδιάστατων εκτυπώσεων (additive manufacturing) συνετέλεσε στη σημαντική μείωση του κόστους αλλά και του χρόνου για την ανάπτυξη ενός προϊόντος και τη διάθεσή του στην αγορά. Επίσης ενίσχυσε τη δυνατότητα για μικρές παραγωγές και εξατομικευμένες λύσεις ενώ παρείχε μεγάλη ευελιξία στην διερεύνηση καινοτομιών. Στον τομέα της παραγωγής οι τεχνολογίες συντελούν στη βελτίωση της αποδοτικότητας των μηχανών, μειώνεται το κόστος παραγωγής και τα ελαττωματικά προϊόντα και περιορίζονται τα ανθρώπινα λάθη. Επιπλέον γίνεται αποδοτικότερος προγραμματισμός, βελτιώνεται η διαχείριση των αποθεμάτων κι ενισχύεται η ικανοποίηση των πελατών, προσδίδοντας ανταγωνιστικό πλεονέκτημα στην επιχείρηση. Τέλος, με την συγκέντρωση κι ανάλυση δεδομένων επιτυγχάνεται η βέλτιστη εποπτεία όλης της επιχείρησης εξάγοντας χρήσιμα συμπεράσματα για την λήψη στρατηγικών αποφάσεων.

Ποιες οι προκλήσεις κατά την εφαρμογή τους και πώς μπορεί να αναβαθμιστεί περαιτέρω η εταιρεία ακολουθώντας τις τεχνολογικές εξελίξεις του μέλλοντος;

Οι προκλήσεις που διαπιστώνονται , συντάσσονται με τα ευρήματα της βιβλιογραφικής επισκόπησης. Η σημαντικότερη πρόκληση είναι το κόστος της δαπάνης που επιβραδύνει την εφαρμογή νέων τεχνολογιών και απαιτεί την εμπειριστατωμένη αιτιολόγηση της ανάγκης απέναντι στη διοίκηση. Επιπλέον του κόστους, και ο χρόνος που απαιτείται ορισμένες φορές για την υλοποίηση της εφαρμογής μπορεί να είναι πολύ μεγάλος. Επίσης ο συγχρονισμός των παραδοσιακών μηχανών με τις σύγχρονες λειτουργίες θα πρέπει να γίνεται χωρίς να διαταράσσεται η λειτουργία του εργοστασίου. Πολύ σημαντική είναι και η ανάγκη εκπαίδευσης του προσωπικού και η εξοικείωσή του με τις νέες τεχνολογίες. Αυτό συνεπάγεται ότι θα πρέπει οι εργαζόμενοι να συντάσσονται με τις αποφάσεις της διοίκησης υπερνικώντας την αντίσταση στην αλλαγή. Τα επόμενα βήματα είναι η χρήση της επαυξημένης πραγματικότητας, η λειτουργία των πρεσών με τεχνολογία AI, το predictive maintenance, η ρομποτική αποθήκη και η διασύνδεση όλων των συστημάτων.

7.2 ΠΕΡΙΟΡΙΣΜΟΙ ΣΤΗΝ ΕΡΕΥΝΑ

Παρόμοια με οποιαδήποτε ακαδημαϊκή έρευνα, αυτή η μελέτη διαθέτει ορισμένους περιορισμούς που απαιτούν εξέταση κατά την ερμηνεία των αποτελεσμάτων της. Αρχικά, η μελέτη επικεντρώνεται σε μια μοναδική μελέτη περίπτωσης εταιρείας ανάπτυξης και παραγωγής συστημάτων αλουμινίου. Σε αντίθεση με τις βιομηχανίες αποκλειστικής διέλασης αλουμινίου, η συγκεκριμένη εταιρεία σχεδιάζει κι αναπτύσσει η ίδια τα συστήματα αλουμινίου και στη συνέχεια προβαίνει στη διέλαση των προφίλ και την μερική παραγωγή των αναγκαίων εξαρτημάτων, έχοντας καθετοποιήσει τις γραμμές της. Κατά συνέπεια, τα αποτελέσματα της μελέτης μπορεί να στερούνται γενίκευσης σε άλλες εταιρείες του κλάδου διέλασης. Ο στόχος της έρευνας δεν είναι να καθιερώσει γενικεύσεις, αλλά να προσφέρει μια ολοκληρωμένη κατανόηση των παραγόντων που επηρεάζουν την Industry 4.0 και τα επιχειρησιακά της αποτελέσματα. Επιπλέον, η ερευνητική μεθοδολογία που χρησιμοποιήθηκε στη μελέτη ήταν ποιοτικού χαρακτήρα, η οποία αν και παρέχει ολοκληρωμένες και χρήσιμες πληροφορίες, ενδέχεται να μην έχει την ικανότητα να ενσωματώσει πλήρως τις επιπτώσεις των παραγόντων του Industry 4.0. Τρίτον, αν και το μέγεθος του δείγματος φαίνεται να είναι επαρκές και η επιλογή των ατόμων η κατάλληλη για τη μελέτη περίπτωσης, είναι πιθανό να μην είναι πλήρως αντιπροσωπευτικό ενώ τα ευρήματα βασίζονται σε αυτο-αναφορικά δεδομένα που παρέχονται από τα υποκείμενα της μελέτης. Τα αυτο-αναφορικά δεδομένα εμπεριέχουν υποκειμενικές και ποιοτικές εκτιμήσεις, με αποτέλεσμα να υπάρχει η πιθανότητα οι συμμετέχοντες να μην παρέχουν απολύτως ακριβείς πληροφορίες (Yin, 2009). Τέλος, το πεδίο εφαρμογής της μελέτης περιορίζεται από τους χρονικούς παράγοντες. Η έρευνα βασίζεται σε πληροφορίες που συλλέγονται κατά τη διάρκεια ενός συγκεκριμένου χρονικού πλαισίου κι ενδέχεται να μην απεικονίζει με ακρίβεια τη σύγχρονη κατάσταση του τομέα ή του οργανισμού (Creswell, 2013).

7.3 ΠΡΟΤΑΣΕΙΣ ΓΙΑ ΜΕΛΛΟΝΤΙΚΗ ΕΡΕΥΝΑ

Τα συμπεράσματα από την έρευνα που διενεργήθηκε, καταδεικνύουν την σημασία του ψηφιακού μετασχηματισμού σε μία βιομηχανική μονάδα. Λαμβάνοντας υπόψη τους περιορισμούς που αναφέρθηκαν στο προηγούμενο κεφάλαιο, θα είχε ενδιαφέρον να μελετηθούν τα επιχειρησιακά αποτελέσματα και σε μία βιομηχανία διέλασης προκειμένου να γίνει αναλυτική διάκριση και σύγκριση των αποτελεσμάτων με μία βιομηχανία ανάπτυξης και παραγωγής συστημάτων. Επιπλέον, ιδιαίτερο ενδιαφέρον έχει

η διερεύνηση της επίδρασης που έχουν οι παράγοντες της Industry 4.0 στη βιώσιμη ανάπτυξη μία βιομηχανίας του είδους και πώς επιδρούν στη εξοικονόμηση ενέργειας κι εν γένει το περιβαλλοντικό της αποτύπωμα. Τέλος θα μπορούσαν να εξεταστούν οι κοινωνικές επιπτώσεις από την εφαρμογή των τεχνολογιών, μελετώντας την άποψη των εργαζομένων για την αξία του ψηφιακού μετασχηματισμού, την χρησιμότητά του στην καθημερινότητά τους αλλά και τους κινδύνους που αισθάνονται από τη σταδιακή εφαρμογή προηγμένων τεχνολογιών τεχνητής νοημοσύνης.

ΚΑΤΑΛΟΓΟΣ ΑΝΑΦΟΡΩΝ

American Psychological Association, “Ethical principles of psychologists and code of conduct”, American Psychological Association, 2017.

Διαθέσιμο: <http://www.apa.org/ethics/code/index.aspx>. (15 Απριλίου 2023).

Aoun, A., Ilinca, A., Ghandour, M. and Ibrahim, H. (2021), “A review of Industry 4.0 characteristics and challenges, with potential improvements using blockchain technology”, *Journal Computers & Industrial Engineering*, Vol. 162, 107746.

Autor, D., H. (2015), “Why are there still so many jobs? The history and future of workplace automation”, *Journal of Economic Perspectives*, Vol. 29, No.3, 3-30.

Bausser, M., Sauer, G. and Siegert, K. (2006), *Extrusion (2nd ed.)*, United States: ASM International.

Benedyk, J., C. (2006), “First Successful Vertical Powder Coating Line Running Smoothly at Extruders, Inc.”, *Light Metal Age*, Vol. 64, No.3, 14.

Boyes, H., Hallaq, B., Cunningham, J. and Watson, T. (2018), “The industrial internet of things (IIoT): An analysis framework”, *Computers in Industry*, Vol. 101, 1-12.

Bresnahan, T. (2010), “General purpose technologies, in Hall, B.H. and Rosenberg, N. (eds.)”, *Handbook of the Economics of Innovation*, Vol. 2, 761-791.

Bruland, K. and Smith, K. (2013), “Assessing the role of steam power in the first industrial revolution: The early work of Nick von Tunzelmann”, *Research Policy*, Vol. 42, Issue 10, 1716-1723.

Bryman, A. (2016), *Social research methods*, Oxford: Oxford University Press.

Büchi, G., Cugno, M. and Castagnoli, R. (2020), Smart factory performance and Industry 4.0, *Technological Forecasting and Social Change*, Vol. 150, 119790.

Caldarelli, A., Ferri, L. and Maffei, M. (2016), “Expected benefits and perceived risks of cloud computing: an investigation within an Italian setting”, *Technology Analysis & Strategic Management* 29(2): 167-180.

Chen, B., Wan, J., Shu, L., Li, P., Mukherjee, M. and Yin, B. (2017), “Smart factory of industry 4.0: Key technologies, application case, and challenges”, *IEEE Access*, Vol. 6, 6505-6519.

Corallo, A., Lazoi, M. and Lezzi, M. (2020), “Cybersecurity in the context of industry 4.0: A structured classification of critical assets and business impacts”, *Computers in Industry*, Vol. 114, 103165.

Creswell, J. W. (2013). *Research design: qualitative, quantitative, and mixed methods approaches (3rd ed.)*, United States: Sage publications.

Cugno, M., Castagnoli, R. and Buchi, G. (2021), “Openness to Industry 4.0 and performance: The impact of barriers and incentives”, *Technological Forecasting & Social Change*, Vol. 168.

Deloitte (2016), Industry 4.0 and manufacturing ecosystems. Deloitte University Press. Διαθέσιμο: <https://www2.deloitte.com/content/dam/Deloitte/de/Documents/consumer-industrial-products/Deloitte-Industry-4-0-and-manufacturing-ecosystems.pdf>

Dong-hyu, K., Leeb, H. and Kwak, J. (2017), “Standards as a driving force that influences emerging technological trajectories in the converging world of the Internet and things: An investigation of the M2M/IoT patent network”, *Research Policy*, Vol. 46, No.7, 1234-1254.

Ebneyamini, S. and Moghadam, M., R., S. (2018), “Toward Developing a Framework for Conducting Case Study Research”, *International Journal of Qualitative Methods*, Vol. 17.

ENISA, “Good Practices for Security of Internet of Things in the context of Smart Manufacturing”, European Union Agency for Network and Information Security, Νοέμβριος 2018.

Διαθέσιμο: www.enisa.europa.eu/publications/good-practices-for-security-of-iot (15 Μαΐου 2023)

Enrique, D., V., Druczkoski, J., C., M., Lima, T., M., and Carrua-Santos, F. (2021), “Advantages and difficulties of implementing Industry 4.0 technologies for labor flexibility”, *Procedia Computer Science*, Vol. 181, 347-352.

Erboz, G. (2017), “How to define industry 4.0: main pillars of industry 4.0”, *Managerial trends in the development of enterprises in globalization era*, 761-767.

Ferreira, W., de P., Armiellini, F. and De Santa-Eulalia, L., A. (2020), “Simulation in industry 4.0: A state-of-the-art review”, *Computers & Industrial Engineering*, Vol. 149, 106868.

Flick, U. (2018), *The SAGE Handbook of Qualitative Data Collection*, UK: Sage Publications Ltd.

Frank, A., G., Dalenogare, L., S. and Ayala, N., F. (2019), “Industry 4.0 technologies: Implementation patterns in manufacturing companies”, *International Journal of Production Economics*, Vol. 210, 15-26.

Ghobakhloo, M. (2018), “The future of manufacturing industry: a strategic roadmap toward Industry 4.0”, *Journal of Manufacturing Technology Management*, Vol. 29, 6.

Groumpos, P. (2021), “A Critical Historical and Scientific Overview of all Industrial Revolutions”, *IFAC PapersOnLine* 54-13, 464-471.

Guest, G., Bunce, A. and Johnson, L. (2006), “How many interviews are enough? An experiment with data saturation and variability”, *Field Methods*, Vol. 18, No.1, 59-82.

Guest, G., Namey, E., E. and Mitchell, M., L. (2013), *Collecting qualitative data: A field manual for applied research*, United States: Library of Congress Cataloguing-in-Publication Data.

Habib ur Rehman, M., Yaqoob, I., Salah, K., Imran, M., Jayaraman, P., P. and Perera, C. (2019), “The role of big data analytics in industrial Internet of Things”, *Future Generation Computer Systems*, Vol. 99, 247-259.

Hajeer, M., A. (2013), “Optimizing an Aluminum Extrusion Process”, *Journal of Mathematics and Statistics*, Vol. 9, No.2, 77-83

Hamzeh, R., Zhong, R. and Xu, X., W. (2018), “A Survey Study on Industry 4.0 for New Zealand Manufacturing”, *Procedia Manufacturing*, Vol. 26, 49-57.

Hermann, M., Pentek, T. and Otto, B. (2015), “Design principles for Industrie 4.0 scenarios: a literature review”, *Technische Universität Dortmund*, Working Paper, No.1.

Horvath, D. and Szabo, R., Zs. (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, 119-132.

Hudson, P., (1992), *The Industrial Revolution*, Great Britain: Bloomsbury Publishing Plc.

International Electrotechnical Commission (2013), Industrial communication networks – Network and system security – Part 3-3: System security requirements and security levels, International Electrotechnical Commission.

Διαθέσιμο: https://webstore.iec.ch/preview/info_iec62443-3-3%7Bed1.0%7Den.pdf

Javaid, M., Haleem, A., Singh, R., P., and Suman, R. (2021), “Substantial capabilities of robotics in enhancing industry 4.0 implementation”, *Cognitive Robotics*, Vol. 1, 58-75.

Kagermann, H., Wahlster, W. and Helbig, J. (2013), Securing the future of German manufacturing industry: Recommendations for implementing the strategic initiative INDUSTRIE 4.0, *Final report of the Industrie 4.0 Working Group*, Acatech. Forschungsunion

Kagermann, H., Wahlster, W. (2022), “Ten Years of Industrie 4.0”, *Sci*, Vol. 4, 26.

Kumar, P., Bhamu, J. and Sangwan, K., S. (2021), “Analysis of Barriers to Industry 4.0 adoption in Manufacturing Organizations: an ISM Approach”, *Procedia CIRP*, Vol. 98, 85-90

Kurzweil, R. (2004), *The law of accelerating returns*, In: Teuscher, C. (eds) Alan Turing: Life and Legacy of a Great Thinker, Berlin: Springer.

LaCasse, P., M., Otieno, W. and Maturana, F., P. (2019), “A Survey of Feature Set Reduction Approaches for Predictive Analytics Models in the Connected Manufacturing Enterprise”, *Applied Sciences*, Vol. 9, No.5, 843.

Lin, Y.-J., Lan, C.-B. and Huang, C.-Y. (2019), “A Realization of Cyber-Physical Manufacturing Control System Through Industrial Internet of Things”, *Procedia Manufacturing*, Vol. 39, 287-293.

Lincon, Y. (2001). Varieties of Validity: Quality in a qualitative research., J. Smart & W. Tierney (Εκδ.) *Higher Education: Handbook of theory and research*. New York: Agathon Press.

Lucas, Jr., R., E. (2004). The Industrial Revolution: Past and Future, Federal Reserve Bank of Minneapolis, May 1, 2004. Διαθέσιμο:
<https://www.minneapolisfed.org/article/2004/the-industrial-revolution-past-and-future>
(21/4/2023)

Martinelli, A., Andrea, M. and Massimo, M. (2019), The enabling technologies of industry 4.0: Examining the seeds of the fourth industrial revolution, *LEM Working Paper Series, No. 2019/09, Scuola Superiore Sant'Anna, Laboratory of Economics and Management (LEM)*, Pisa.

Mauro, A., Greco, M. and Grimaldi, M. (2016) “A formal definition of Big Data based on its essential features”, *Library review*, Vol. 65, No.3.

McKinsey Quarterly Number 3 (2017), *Competing in a world of sectors without borders*, McKinsey & Company, New York.

Mason, M. (2010), "Sample size and saturation in PhD studies using qualitative interviews", *Forum Qualitative Sozialforschung / Forum: Qualitative Social Research*, Vol. 11(3).

Medvedev, A., Bevacqua, A., Molotnikov, A., Axe, R. and Lapovok, R. (2020), "Innovative aluminium extrusion: increased productivity through simulation", *Procedia Manufacturing*, Vol. 50, 469-474.

Mell, P., Grance, T. (2011), The NIST definition of cloud computing, *National Institute of Standards and Technology*, USA: U.S. Department of Commerce

Mokyr, J. (2010), "The contribution of economic history to the study of innovation and technical change: 1750-1914", *Handbook of the Economics of Innovation*, Vol. 1, 11-50.

Moosavi, J., Bakhshi, J. and Martek, I. (2021), "The application of industry 4.0 technologies in pandemic management: Literature review and case study", *Healthcare Analytics*, Vol. 1, 100008.

Morisson, A. and Pattinson, M. (2019), *Industry 4.0*, Lille: Interreg Europe Policy Learning Platform.

Mulford, B. (2003), *School Leaders: Changing Roles and Impact on Teacher and School Effectiveness*. University of Tasmania. A paper commissioned by the Education and Training Policy Division, OECD, for the Activity Attracting, Developing and Retaining Effective Teachers, Paris, April, 2003.

Müller, J., M., Buliga, O. and Voight, K., I. (2018), "Fortune favors the prepared: How SMEs approach business model innovations in Industry 4.0", *Technological Forecasting and Social Change*, Vol. 132, 2-17.

Nagy, G., Illes, B. and Banyai, A. (2018), "Impact of Industry 4.0 on production logistics", *IOP Conference Series: Materials Science and Engineering*, Vol. 448.

Ngo, T., D., Kashani, A., Imbalzano, G., T.Q. Nguyen, K., T.Q. and Hui, D. (2018), "Additive manufacturing (3D printing): A review of materials, methods, applications and challenges", *Composites Part B*, Vol. 143, 172-196.

Oberhausen, G., Zhu, Y. and Cooper, D., R. (2022), “Reducing the environmental impacts of aluminum extrusion”, *Resources, Conservation and Recycling*, Vol. 179, 106120.

OECD (2017), *The Next Production Revolution: Implications for Governments and Business*, Paris: OECD Publishing.

Olsen, T., L. and Tomlin, B. (2020), “Industry 4.0: Opportunities and Challenges for Operations Management”, *Manufacturing & Service Operations Management*, Vol. 22, No.1, 113-122.

Patton, M. Q. (2015). *Qualitative research & evaluation methods: integrating theory and practice* (4th ed.), United States: Library of Congress Cataloguing-in-Publication Data.

Phuyal, S., Bista, D. and Bista, R. (2020), “Challenges, Opportunities and Future Directions of Smart Manufacturing: A State of Art Review”, *Sustainable Futures*, Vol. 2, 100023.

Raj, A., Dwivedi, G., Sharma, A., Lopes de Sousa Jabbour, A., B. and Rajak, S. (2020), “Barriers to the adoption of industry 4.0 technologies in the manufacturing sector: An inter-country comparative perspective”, *International Journal of Production Economics*, Vol. 224, 107546

Roy, R., Shaw, A., Erkoyuncu, J. and Redding, L. (2013), “Through-Life Engineering Services”, *Measurement and Control*, Vol. 46, No.6, 172-175.

Rifkin, J. (2008), *Leading the Way to the Third Industrial Revolution and a New Distributed Social Vision for the World in the 21st Century*, Washington, DC: Foundation on Economic Trends.

Robson, C. (2007). *Η έρευνα του πραγματικού κόσμου: ένα μέσον για κοινωνικούς επιστήμονες κι επαγγελματίες ερευνητές*: Νταλάκου Β.Π. (μεταφρ.), Αθήνα: Gutenberg.

Rojko, A. (2017), “Industry 4.0 Concept: Background and Overview”, *Interactive Mobile Technologies*, Vol. 11, No.5.

Rüßmann, M., Lorenz, M., Gerbert, P., Waldner, M., Justus, J., Engel, P. and Harnisch, M. (2015), "Industry 4.0: The future of productivity and growth in manufacturing industries", *Boston consulting group*, Vol. 9, No.1, 54-89.

Saha, P. (2000), *Aluminum Extrusion technology*, United States: ASM International

Salimbeni, S. (2020), "Product Life Cycle Management in Industry 4.0", *Researchgate*.

Schwab, K. (2016), *The Fourth Industrial Revolution*, Geneva: World Economic Forum

Stock, T. and Seliger, G. (2016), "Opportunities of Sustainable Manufacturing in Industry 4.0", *Procedia CIRP*, Vol. 40, 536-541.

Tesch, R. (1990), *Qualitative research: Analysis types and software tools*. Bedford: LSL Press Ltd.

Tjahjono, B., Esplugues, C., Ares, E. and Pelaez, G. (2017), "What does Industry 4.0 mean to Supply Chain?", *Procedia Manufacturing*, Vol. 13, 1175-1182.

Troxler, P. 2013, *Making the 3rd industrial revolution, Fab Labs: Of Machines, Makers and Inventors*, Bielefeld: Transcript Publishers.

Turkes, M., C., Oncioiu, I., Aslam, H., D., Marin-Pantelescu, A., Topor, D., I. and Capusneanu, S. (2019), "Drivers and Barriers in using Industry 4.0: A perspective of SMEs in Romania", *Processes*, Vol. 7, 153.

Vaidyaa, S., Ambadb, P. and Bhosle, S. (2018), "Industry 4.0 – A Glimpse", *Procedia Manufacturing*, Vol. 20, 233-238.

Van den Eynde, S., Bracquené, E., Diaz-Romero, D., Zaplana, I., Engelen, B., Duflou, J., R. and Peeters, J., R. (2022), "Forecasting global aluminium flows to demonstrate the need for improved sorting and recycling methods", *Waste Management*, Vol. 137, 231-240.

Xu, L., D., Xu, E., L. and Li, L. (2018), "Industry 4.0: state of the art and future trends", *International Journal of Production Research*, Vol. 56, No.8, 2941-2962.

Yin, R. K. (1994). *Case study research: Design and methods*. Beverly Hills, CA: Sage

Yin, R. K. (2009). *Case study research: Design and methods (4th ed.)*, United States: Library of Congress Cataloguing-in-Publication Data

Zhou, K., Liu, T. and Zhou, L. (2015), “Industry 4.0: Towards Future Industrial Opportunities and Challenges”, *12th International Conference on Fuzzy Systems and Knowledge Discovery (FSKD)*, IEEE, 2147-2152.

Παντελαίου, Στ. και Φλώτσιου, Μ., «Κλαδική Μελέτη της ICAP CRIF για την Έλαση-Διέλαση Αλουμινίου», *ICAP GRIF*, 20 Ιουνίου 2022.

Διαθέσιμο: https://dir.icapcrif.com/mailimages/PublishingServer/PR_ICAP-CRIF/2022/PR_ICAP-CRIF_Elasi-Dielasi

Φωτάκης, Κ. και Σελίμης, Α., «Η Ελλάδα μπροστά στην 4^η Βιομηχανική Επανάσταση», *ΕΝΑ-Ινστιτούτο Εναλλακτικών Πολιτικών*, 9 Νοεμβρίου 2018.

Διαθέσιμο: <https://www.enainstitute.org/publication> (3 Μαρτίου 2023)

Παρατηρητήριο ΣΕΒ, (2022), «Ψηφιακή και τεχνολογική ωριμότητα οικονομίας και επιχειρήσεων», *Ψηφιακός Μετασχηματισμός*, Φεβρουάριος 2022.

Διαθέσιμο: <https://www.sev.org.gr/wp-content> (10 Μαΐου 2023)

ΠΑΡΑΡΤΗΜΑ Ι: ΕΡΩΤΗΜΑΤΟΛΟΓΙΟ ΣΥΝΕΝΤΕΥΞΕΩΝ

Η Industry 4.0 διέπεται από κάποιες τεχνολογίες, η εφαρμογή των οποίων σε διάφορα τμήματα μίας βιομηχανίας, προάγει τον τρόπο λειτουργίας της. Παρακάτω ακολουθεί συνοπτικό ερωτηματολόγιο που αφορά την εφαρμογή κάποιων στην επιχείρηση που μελετάται, καθώς και τα επιχειρησιακά τους αποτελέσματα.

1. Μπορείτε να περιγράψετε εν συντομία τη θέση εργασίας σας στην εταιρεία;
2. Ποιες τεχνολογίες της Industry 4.0 εφαρμόζονται σήμερα στην εταιρεία στον τομέα της παραγωγής; (PLCs, sensors, δικτύωση συστημάτων, MES- Manufacturing Execution System, CPS, digital twins, interconnectivity κλπ.)
 - Αντίστοιχα, πώς λειτουργούν τα τμήματα των πωλήσεων-προμηθειών-logistics; (ERP, SAP, Planning, CRM-Big Data analysis, 3D printing, AI, simulation, blockchain, αποθήκευση, έλεγχος αποθεμάτων, αναπλήρωση)
 - Τέλος, ποιες τεχνολογίες εφαρμόζονται από το IT; (cybersecurity, cloud κλπ)
3. Ποιες ήταν οι κύριες κινητήριες δυνάμεις για την εφαρμογή αυτών των τεχνολογιών;
4. Ποια οφέλη έχουν επιτευχθεί μέχρι στιγμής από την εφαρμογή αυτών των τεχνολογιών; Μπορείτε να παράσχετε ορισμένα ποσοτικά ή ποιοτικά οφέλη;
5. Αντιμετώπισατε προκλήσεις ή εμπόδια κατά τη διαδικασία υλοποίησης; Αν ναι, πώς αυτά ξεπεράστηκαν;
6. Υπάρχουν μελλοντικά σχέδια για την εφαρμογή πρόσθετων τεχνολογιών Industry 4.0; Αν ναι, ποια είναι αυτά;
7. Ποια είναι τα αναμενόμενα οφέλη από αυτές τις μελλοντικές πρακτικές;
8. Πώς διασφαλίζετε ότι η εφαρμογή των τεχνολογιών Industry 4.0 ευθυγραμμίζεται με τους στρατηγικούς σκοπούς και στόχους της εταιρείας;

9. Με ποιον τρόπο εμπλέκονται οι υπάλληλοι στην εφαρμογή και χρήση αυτών των τεχνολογιών;

10. Πώς μετράτε την επιτυχία και την αποτελεσματικότητα αυτών των τεχνολογιών μετά την εφαρμογή τους;

Σας ευχαριστώ πολύ για τη συμμετοχή σας σε αυτή την έρευνα.