



ΔΙΑΤΜΗΜΑΤΙΚΟ ΠΡΟΓΡΑΜΜΑ ΜΕΤΑΠΤΥΧΙΑΚΩΝ ΣΠΟΥΔΩΝ
ΣΤΗ ΔΙΟΙΚΗΣΗ ΕΠΙΧΕΙΡΗΣΕΩΝ

Διπλωματική Εργασία

**ΕΦΑΡΜΟΓΗ ΤΗΣ INDUSTRY 4.0 ΣΕ ΒΙΟΜΗΧΑΝΙΑ ΓΑΛΑΚΤΟΚΟΜΙΚΩΝ
ΕΥΚΑΙΡΙΕΣ, ΠΡΟΚΛΗΣΕΙΣ ΚΑΙ ΠΡΟΤΑΣΕΙΣ**

**IMPLEMENTATION OF INDUSTRY 4.0 IN THE DAIRY INDUSTRY
OPPORTUNITIES, CHALLENGES AND PROPOSALS**

της

ΚΛΕΟΠΑΤΡΑΣ ΡΟΥΣΟΥΛΗ

ΕΠΙΒΛΕΠΟΥΣΑ: ΑΙΚΑΤΕΡΙΝΗ ΓΚΟΤΖΑΜΑΝΗ
ΚΑΘΗΓΗΤΡΙΑ ΤΜΗΜΑΤΟΣ ΟΡΓΑΝΩΣΗΣ ΚΑΙ ΔΙΟΙΚΗΣΗΣ ΕΠΙΧΕΙΡΗΣΕΩΝ

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

ΣΕΠΤΕΜΒΡΙΟΣ 2022

ΕΥΧΑΡΙΣΤΙΕΣ

Με την ολοκλήρωση της διπλωματικής μου εργασίας εκφράζω τις ευχαριστίες μου στην επιβλέπουσα καθηγήτριά μου κυρία Αικατερίνη Γκοτζαμάνη για την αρωγή και την ουσιαστική καθοδήγηση σε όλη την πορεία συγγραφής της. Οφείλω να ευχαριστήσω θερμά τους συναδέλφους μου για την άμεση προθυμία συμμετοχής τους στην έρευνα διαθέτοντας τον πολύτιμο χρόνο τους, χωρίς τη συνεισφορά τους δεν θα ήταν εφικτό να επιτευχθεί ο σκοπός της εργασίας. Ευχαριστώ ιδιαίτερα την οικογένεια μου για την ατελείωτη στήριξη και τον Παναγιώτη για την υπομονή και τη συμπαράστασή του κατά τη διάρκεια των σπουδών μου.

ΠΕΡΙΛΗΨΗ

Η Industry 4.0 αποτέλεσε το έναυσμα για αλλαγή των δεδομένων στον βιομηχανικό τομέα, εισάγοντας το διαδίκτυο ενεργά μέσα στις διαδικασίες που εμπλέκονται κατά την παραγωγή ενός προϊόντος. Τα τελευταία χρόνια όλο και περισσότερες εταιρείες στρέφουν το ενδιαφέρον τους προς τον ψηφιακό μετασχηματισμό. Σκοπός της παρούσας διπλωματικής εργασίας είναι η μελέτη της Industry 4.0 ως σύγχρονη πρόκληση για τη βιομηχανία γαλακτοκομικών. Χρησιμοποιείται η ποιοτική μέθοδος επειδή ο σκοπός της εργασίας είναι διερευνητικός και η μεθοδολογία έρευνας που επιλέχθηκε είναι η μελέτη μοναδικής περίπτωσης. Η κύρια μέθοδος συλλογής δεδομένων είναι οι συνεντεύξεις και συμπληρώθηκαν από την άμεση παρατήρηση και τα έγγραφα. Διερευνώνται οι αντιλήψεις στελεχών και εργαζομένων γαλακτοβιομηχανίας για την Industry 4.0 με βάση την εμπειρία τους από τη χρήση συστημάτων που εφαρμόζουν τεχνολογίες της Industry 4.0 εντός του εργοστασίου. Σύμφωνα με τα αποτελέσματα, η Industry 4.0 βοηθάει τις γαλακτοβιομηχανίες να ανταποκριθούν στις αυξημένες απαιτήσεις της αγοράς καθώς παρέχει σημαντικά οφέλη που σχετίζονται με την παροχή ανταγωνιστικού πλεονεκτήματος, την αύξηση της κερδοφορίας και την μείωση του κόστους. Αποτελεί πρόκληση για τον κλάδο η στελέχωση με το κατάλληλο προσωπικό, η αποδοχή από τους εργαζομένους και η παροχή οικονομικών πόρων. Επειδή η παρούσα εργασία περιορίζεται στον χώρο εργοστασίου γαλακτοβιομηχανίας, θα μπορούσε να επεκταθεί μελλοντικά και σε άλλα τμήματα όπως τα τμήματα marketing και πωλήσεων. Οι ερευνητές μπορούν να αξιοποιήσουν τα ευρήματα και να μελετήσουν ποσοτικά την επίδραση της Industry 4.0 στην μείωση του κόστους και την αύξηση της κερδοφορίας.

Λέξεις - Κλειδιά

Βιομηχανία 4.0, ψηφιακός μετασχηματισμός, γαλακτοβιομηχανία

ABSTRACT

Industry 4.0 has been the trigger for major changes in the industrial sector, introducing the internet actively into the processes involved in the production of a product. In recent years, more and more companies are turning their attention to digital transformation. The purpose of this thesis is to study Industry 4.0 as a modern challenge for the dairy industry. The qualitative method is used because the purpose of the paper is exploratory and the research methodology chosen is the single case study. The main method of data collection are interviews supplemented by direct observation and documents. Dairy executives and workers' perceptions of Industry 4.0 are explored based on their experience of using systems that implement Industry 4.0 technologies within the factory. According to the results, Industry 4.0 helps dairy industries to respond to increased market demands as it provides significant benefits related to providing a competitive advantage, increasing profitability and reducing costs. Staffing with the right executives, employee acceptance and financial resources are the main challenges for the industry. The present diploma thesis is limited to the dairy factory area, it could be extended to other departments such as marketing and sales in the future. Researchers can leverage the findings and quantitatively study the impact of Industry 4.0 on cost reduction and profitability growth.

Keywords

Industry 4.0, digital transformation, dairy industry

ΠΕΡΙΕΧΟΜΕΝΑ

ΕΥΧΑΡΙΣΤΙΕΣ	II
ΠΕΡΙΛΗΨΗ	III
ABSTRACT	IV
ΣΥΝΤΜΗΣΕΙΣ	VII
ΚΑΤΑΛΟΓΟΣ ΔΙΑΓΡΑΜΜΑΤΩΝ	VIII
ΚΑΤΑΛΟΓΟΣ ΕΙΚΟΝΩΝ	IX
ΚΑΤΑΛΟΓΟΣ ΠΙΝΑΚΩΝ	X
1.ΕΙΣΑΓΩΓΗ	1
1.1 ΣΗΜΑΝΤΙΚΟΤΗΤΑ ΤΟΥ ΘΕΜΑΤΟΣ.....	1
1.2 ΣΚΟΠΟΣ ΚΑΙ ΕΡΕΥΝΗΤΙΚΑ ΕΡΩΤΗΜΑΤΑ	1
1.3 ΜΕΘΟΔΟΛΟΓΙΑ	2
1.4 ΚΑΤΑΝΟΜΗ.....	3
2.ΑΝΑΣΚΟΠΗΣΗ ΤΗΣ ΒΙΒΛΙΟΓΡΑΦΙΑΣ	4
2.1 Η ΕΜΦΑΝΙΣΗ ΤΗΣ 4 ^{ΗΣ} ΒΙΟΜΗΧΑΝΙΚΗΣ ΕΠΑΝΑΣΤΑΣΗΣ.....	4
2.2 ΤΑ ΒΑΣΙΚΑ ΧΑΡΑΚΤΗΡΙΣΤΙΚΑ ΚΑΙ ΟΙ ΘΕΜΕΛΙΩΔΕΙΣ ΑΡΧΕΣ.....	6
2.3 ΟΙ ΕΝΝΕΑ ΤΕΧΝΟΛΟΓΙΚΕΣ ΤΑΣΕΙΣ ΤΗΣ INDUSTRY 4.0.....	10
2.4 ΕΜΠΟΔΙΑ ΚΑΙ ΚΙΝΗΤΗΡΙΕΣ ΔΥΝΑΜΕΙΣ	13
2.5 ΤΟ ΕΞΥΠΝΟ ΕΡΓΟΣΤΑΣΙΟ (SMART FACTORY)	16
2.6 ΕΥΦΥΗΣ ΠΑΡΑΓΩΓΗ (SMART MANUFACTURING).....	20
3. ΕΡΕΥΝΗΤΙΚΟ ΠΕΔΙΟ	27
3.1 Η INDUSTRY 4.0 ΣΤΗ ΒΙΟΜΗΧΑΝΙΑ ΤΡΟΦΙΜΩΝ.....	27
3.2 ΨΗΦΙΑΚΗ ΩΡΙΜΟΤΗΤΑ ΚΑΙ ΕΤΟΙΜΟΤΗΤΑ.....	30
3.3 ΕΦΑΡΜΟΓΕΣ ΤΗΣ INDUSTRY 4.0 ΣΤΗ ΓΑΛΑΚΤΟΒΙΟΜΗΧΑΝΙΑ.....	33
3.4 ΔΙΑΤΥΠΩΣΗ ΕΡΕΥΝΗΤΙΚΩΝ ΕΡΩΤΗΜΑΤΩΝ.....	36
4. ΜΕΘΟΔΟΛΟΓΙΑ	37
4.1 ΕΡΕΥΝΗΤΙΚΗ ΔΙΑΔΙΚΑΣΙΑ – ΜΕΛΕΤΗ ΠΕΡΙΠΤΩΣΗΣ.....	37
4.2 ΜΕΘΟΔΟΙ ΣΥΛΛΟΓΗΣ ΔΕΔΟΜΕΝΩΝ.....	40
4.2.1 Άμεση παρατήρηση.....	40
4.2.2 Συνεντεύξεις.....	41
4.2.3 Έγγραφα.....	41

4.3 ΕΤΑΙΡΕΙΑ ΜΕΛΕΤΗΣ ΠΕΡΙΠΤΩΣΗΣ.....	42
4.4 ΠΕΡΙΓΡΑΦΗ ΔΙΑΔΙΚΑΣΙΩΝ.....	43
4.5 ΠΕΡΙΓΡΑΦΗ ΣΥΣΤΗΜΑΤΩΝ ΕΛΕΓΧΟΥ.....	47
4.5.1 Εποπτικό Σύστημα Ελέγχου και Συλλογής Δεδομένων (SCADA).....	47
4.5.2 Λογισμικό Παρακολούθησης Συνολικής Απόδοσης Εξοπλισμού (EVOCON)..	54
4.6 ΣΥΛΛΟΓΗ ΔΕΔΟΜΕΝΩΝ	59
5. ΑΠΟΤΕΛΕΣΜΑΤΑ	60
6. ΣΥΜΠΕΡΑΣΜΑΤΑ ΚΑΙ ΠΡΟΤΑΣΕΙΣ	76
6.1 ΒΑΣΙΚΑ ΕΥΡΗΜΑΤΑ.....	76
6.2 ΠΕΡΙΟΡΙΣΜΟΙ ΤΗΣ ΕΡΕΥΝΑΣ.....	79
6.3 ΜΕΛΛΟΝΤΙΚΗ ΕΡΕΥΝΑ.....	79
ΑΝΑΦΟΡΕΣ.....	82
ΠΑΡΑΡΤΗΜΑ: ΕΡΩΤΗΣΕΙΣ ΣΥΝΕΝΤΕΥΞΕΩΝ	95

ΣΥΝΤΜΗΣΕΙΣ

AI:	Artificial intelligence
AR:	Augmented Reality
AGV:	Automatic Guided Vehicle
CBM:	Condition-Based Maintenance
CNC:	Computerized Numerical Control
CIP:	Cleaning In Place
CPS:	Cyber-physical Systems
DL:	Deep Learning
DT:	Digital Twin
ERP:	Enterprise Resource Planning
HMI:	Human Machine Interface
ICT:	Information and Communications Technology
IIoT:	Industrial Internet of Things
IoT:	Internet of Things
IWSN:	Industrial Wireless Sensor Networks
KPIs:	Key Performance Indicators
MES:	Manufacturing Execution System
ML:	Machine Learning
MTU:	Master Terminal Unit
NIST:	National Institute of Standards and Technology
OEE:	Overall Equipment Efficiency
PLCs:	Programmable Logic Controllers
RFID:	Radio Frequency Identification
RTUs:	Remote Telemetry Units
SCADA:	Supervision Control And Data Acquisition
UHT:	Ultra High Temperature
VR:	Virtual Reality
WMS:	Warehouse Management System

ΚΑΤΑΛΟΓΟΣ ΔΙΑΓΡΑΜΜΑΤΩΝ

Διάγραμμα 1. Κατάταξη χωρών ΕΕ-28 βάσει SEV Digital Maturity Index.....	31
Διάγραμμα 2. Διάγραμμα ροής παστερίωσης γάλακτος.....	46

ΚΑΤΑΛΟΓΟΣ ΕΙΚΟΝΩΝ

Εικόνα 1. Η εξέλιξη των βιομηχανικών επαναστάσεων.....	4
Εικόνα 2. Πυραμίδα αυτοματισμού σε μοντέρνα συστήματα παραγωγής.....	7
Εικόνα 3. Οριζόντια ενσωμάτωση.....	8
Εικόνα 4. Οι εννέα τεχνολογίες της Industry 4.0.....	11
Εικόνα 5. Απεικόνιση παραδοσιακής γραμμής παραγωγής και συστήματος παραγωγής έξυπνου εργοστασίου	18
Εικόνα 6. Η ιεραρχική δομή του έξυπνου εργοστασίου.....	19
Εικόνα 7. CPS-5C Δομή.....	23
Εικόνα 8. Εννοιολογικό μοντέλο Ψηφιακού Μετασχηματισμού και οι τέσσερις παράμετροι ευφυΐας της Industry 4.0.....	24
Εικόνα 9. DTDL – CPS δομή για συστήματα ευφυούς παραγωγής.....	25
Εικόνα 10. Η τεχνολογία blockchain στον κλάδο των γαλακτοκομικών.....	29
Εικόνα 11. Ψυκτική εφοδιαστική αλυσίδα τροφίμων ωθούμενη από τεχνολογία Blockchain.....	30
Εικόνα 12. Ρομποτική παλετοποίηση.....	34
Εικόνα 13. Μονάδα παστερίωσης γάλακτος.....	45
Εικόνα 14. Απεικόνιση εγκατάστασης παραγωγής γιαουρτιού στο SCADA.....	49
Εικόνα 15. Τα κύρια στοιχεία του SCADA.....	51
Εικόνα 16. Η γενική αρχιτεκτονική του SCADA.....	52
Εικόνα 17. CIP διαδικασία σε γαλακτοβιομηχανία.....	53
Εικόνα 18. Απεικόνιση ροής της παραγωγής.....	56
Εικόνα 19. Απεικόνιση δεικτών απόδοσης.....	57

ΚΑΤΑΛΟΓΟΣ ΠΙΝΑΚΩΝ

Πίνακας 1. Οι αρχές της Industry 4.0.....	9
Πίνακας 2. Κινητήριες δυνάμεις και εμπόδια της Industry 4.0.....	15

1 ΕΙΣΑΓΩΓΗ

1.1 ΣΗΜΑΝΤΙΚΟΤΗΤΑ ΤΟΥ ΘΕΜΑΤΟΣ

Η απαίτηση για ταχύτερους χρόνους παράδοσης, πιο αποτελεσματικές και αυτοματοποιημένες διαδικασίες και προϊόντα υψηλής ποιότητας που προσαρμόζονται στις ανάγκες των πελατών, ωθούν τις εταιρείες να στραφούν προς την 4η βιομηχανική επανάσταση, γνωστή ως Industry 4.0 (Zheng et al., 2021). Ο Kagermann (2017) αναφέρει ότι χρειάζονται ορισμένες δεκαετίες και όχι μερικά χρόνια για να είναι ορατές οι επιδράσεις από την εφαρμογή της Industry 4.0, όπως και με τις προηγούμενες βιομηχανικές επαναστάσεις. Θεμέλιο λίθο της 4ης βιομηχανικής επανάστασης αποτελεί το διαδίκτυο των πραγμάτων (Internet of Things), των δεδομένων και των υπηρεσιών, ένα διαδίκτυο των Πάντων στο οποίο άνθρωποι και αντικείμενα επικοινωνούν σε πραγματικό χρόνο και σε συνδυασμό με διάφορες τεχνολογίες καθορίζουν την ταχύτητα εξέλιξης. Η 4η βιομηχανική επανάσταση θα επιτυγχάνεται μέσω του διαδικτύου και της συγχώνευσης του φυσικού με τον εικονικό κόσμο στα επικαλούμενα ως Κυβερνο-φυσικά Συστήματα (Cyber-physical Systems - CPS), όπου ο εικονικός χώρος επεκτείνεται στον πραγματικό κόσμο.

Οι τεχνολογίες της Industry 4.0 έχουν συμβάλει σημαντικά στην αλλαγή δεδομένων στη βιομηχανία τροφίμων και οδήγησαν σε σημαντικές επιδράσεις για το περιβάλλον, την οικονομία και την ανθρώπινη υγεία (Hassoun et al., 2022). Σύμφωνα με τους Burke et. al (2018), η ανταπόκριση των γαλακτοβιομηχανιών στην Industry 4.0 εντοπίζεται κυρίως στην προγνωστική συντήρηση και τη βελτιστοποίηση αλυσίδων παραγωγής και logistics, όπως οι ρομποτικές μηχανές άμελης και η αυτοματοποίηση γραμμών επεξεργασίας - συσκευασίας που ενισχύονται από αισθητήρες για γρήγορη χημική και μικροβιολογική ανάλυση με βελτιωμένη διαχείριση δεδομένων σε πραγματικό χρόνο.

1.2 ΣΚΟΠΟΣ ΚΑΙ ΕΡΕΥΝΗΤΙΚΑ ΕΡΩΤΗΜΑΤΑ

Ο σκοπός της παρούσας διπλωματικής εργασίας είναι η μελέτη της 4^{ης} βιομηχανικής επανάστασης ως σύγχρονη πρόκληση για τη βιομηχανία γαλακτοκομικών. Το θέμα αυτό

επιλέχθηκε με αφορμή το συνεχώς αυξανόμενο ενδιαφέρον των επιχειρήσεων για ψηφιακό μετασχηματισμό. Στόχος της έρευνας είναι η διερεύνηση της συμβολής της εφαρμογής της Industry 4.0 στον τομέα των τροφίμων και συγκεκριμένα στη βιομηχανία των γαλακτοκομικών. Οι επιμέρους στόχοι είναι α) να διερευνηθεί η ετοιμότητα των κρατών για αποδοχή και εφαρμογή της Industry 4.0 από ισχύουσες μελέτες και β) να διερευνηθούν τα οφέλη που μπορεί να προσδώσει η εφαρμογή της Industry 4.0 στη βιομηχανία γαλακτοκομικών. Συγκεκριμένα, τα ερευνητικά ερωτήματα στα οποία η παρούσα εργασία εστιάζει να απαντηθούν είναι:

1. Γιατί επιδιώκουν οι επιχειρήσεις την εφαρμογή της Industry 4.0 στη γαλακτοβιομηχανία;
2. Με ποιους δείκτες μετράνε οι επιχειρήσεις τα οφέλη που έχουν από την εφαρμογή των τεχνολογιών της Industry 4.0;
3. Ποιες είναι οι βασικότερες προκλήσεις που παρουσιάζει η εφαρμογή της Industry 4.0 στη βιομηχανία γαλακτοκομικών προϊόντων και πώς μπορούν να αντιμετωπιστούν;

1.3 ΜΕΘΟΔΟΛΟΓΙΑ

Η ερευνητική μεθοδολογία που χρησιμοποιείται για την εκπόνηση της συγκεκριμένης διπλωματικής εργασίας είναι η ανασκόπηση της βιβλιογραφίας σε συνδυασμό με τη μελέτη περίπτωσης σε βιομηχανία γαλακτοκομικών. Αξιολογούνται τόσο δευτερογενή στοιχεία από την βιβλιογραφία όσο και πρωτογενή στοιχεία που στηρίζονται στο εργασιακό περιβάλλον του συγγραφέα. Η συλλογή πρωτογενών δεδομένων πραγματοποιείται εντός βιομηχανίας γαλακτοκομικών, η οποία γίνεται κατόπιν συνεννόησης με τους συμμετέχοντες όπου θα οριστεί ο τόπος, η ημέρα και η ώρα διεξαγωγής της έρευνας. Ως ερευνητικό εργαλείο θα χρησιμοποιηθεί η συνέντευξη και συμπληρωματικά η άμεση παρατήρηση και τα έγγραφα. Η εταιρεία γαλακτοκομικών της μελέτης περίπτωσης (η οποία όμως για λόγους εμπιστευτικότητας δεν θα αναφερθεί) εφαρμόζει συστήματα βιομηχανικού αυτόματου ελέγχου όπως: το Σύστημα Διαχείρισης Αποθήκης (Aberon WMS), το SCADA (Supervision Control And Data Acquisition) και την τελευταία διετία χρησιμοποιεί το λογισμικό EVOCON για αυτόματη συλλογή δεδομένων σε πραγματικό χρόνο σχετικά με την απόδοση της παραγωγής.

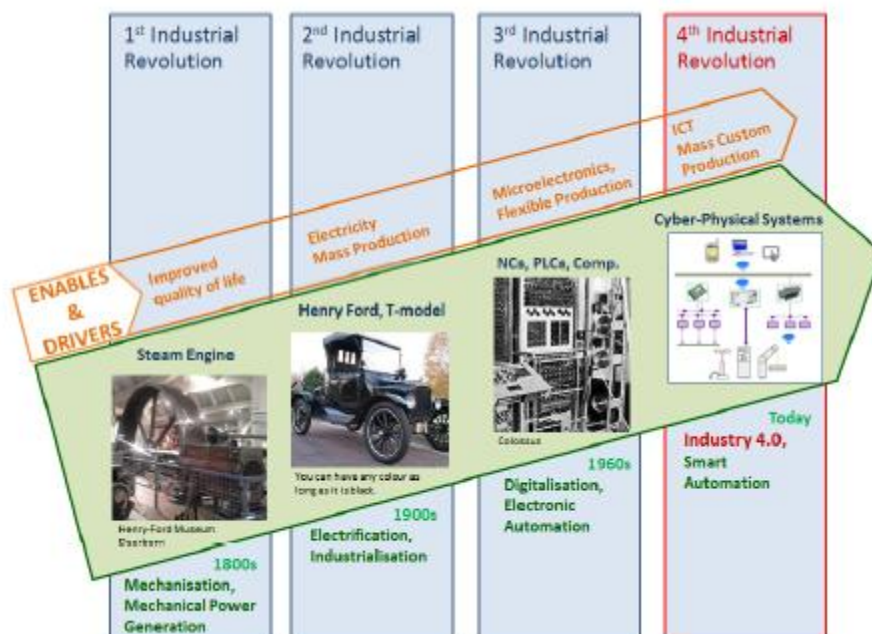
1.4 ΚΑΤΑΝΟΜΗ

Η δομή της εργασίας είναι η ακόλουθη: το πρώτο κεφάλαιο αποτελεί την εισαγωγή της διπλωματικής εργασίας όπου αναφέρεται ο σκοπός και τα ερευνητικά ερωτήματα, η μεθοδολογία της έρευνας καθώς και πληροφορίες σχετικές με το θέμα της εργασίας. Στο δεύτερο κεφάλαιο παρατίθενται τα ευρήματα που προέκυψαν από την λεπτομερή βιβλιογραφική ανασκόπηση, ξεκινώντας από τη δημιουργία της Industry 4.0, τα βασικά χαρακτηριστικά και τις τεχνολογικές τάσεις που την ορίζουν, τους παράγοντες που εμποδίζουν και ενισχύουν την εφαρμογή της και γίνεται εκτενής αναφορά στην έννοια του έξυπνου εργοστασίου και της ευφυούς παραγωγής. Το τρίτο κεφάλαιο αποτελεί το ερευνητικό πεδίο όπου αναφέρεται στην εφαρμογή της Industry 4.0 στον τομέα τροφίμων και πιο συγκεκριμένα στη γαλακτοβιομηχανία και σε μελέτες που έχουν γίνει σχετικά με την ψηφιακή ωριμότητα και την ετοιμότητα των κρατών να την εφαρμόσουν. Το τέταρτο κεφάλαιο είναι η μεθοδολογία που εφαρμόστηκε για την συλλογή δεδομένων και γίνεται παρουσίαση της εταιρείας που αποτελεί την μελέτη περίπτωσης. Στο πέμπτο κεφάλαιο παρουσιάζονται τα αποτελέσματα και στο έκτο τελευταίο κεφάλαιο αναφέρονται τα συμπεράσματα, οι περιορισμοί της έρευνας καθώς και οι προτάσεις για μελλοντική έρευνα.

2 ΑΝΑΣΚΟΠΗΣΗ ΤΗΣ ΒΙΒΛΙΟΓΡΑΦΙΑΣ

2.1 Η ΕΜΦΑΝΙΣΗ ΤΗΣ 4^{ΗΣ} ΒΙΟΜΗΧΑΝΙΚΗΣ ΕΠΑΝΑΣΤΑΣΗΣ

Η εξέλιξη των συστημάτων βιομηχανικής παραγωγής από την χειρωνακτική εργασία μέχρι την 4^η βιομηχανική επανάσταση απεικονίζεται στο παρακάτω σχήμα (Rojko, 2017). Η αρχή έγινε στα τέλη του 18^{ου} αιώνα με την 1^η βιομηχανική επανάσταση που σηματοδοτήθηκε από την πρώτη μηχανοποίηση και τη χρήση ατμού, με κυριότερη εφαρμογή στα εργοστάσια κλωστοϋφαντουργίας. Η βελτιωμένη ποιότητα ζωής ήταν ο παράγοντας ώθησής της. Η 2^η βιομηχανική επανάσταση εμφανίστηκε στα τέλη του 19^{ου} αιώνα με την εμφάνιση του ηλεκτρικού ρεύματος που επέτρεψε την μαζική παραγωγή. Στα τέλη του 20^{ου} αιώνα εμφανίζεται η 3^η βιομηχανική επανάσταση που χαρακτηρίζεται από την ψηφιοποίηση με την εισαγωγή του αυτοματισμού και την ικανότητα ευέλικτης παραγωγής με ποικιλία προϊόντων σε ευέλικτες γραμμές παραγωγής και με την χρήση προγραμματιζόμενων μηχανών. Η 4^η βιομηχανική επανάσταση ξεκίνησε στις αρχές του 21^{ου} αιώνα όπου χάρη στην ανάπτυξη των τεχνολογιών της πληροφορικής, επιτυγχάνεται ο έξυπνος αυτοματισμός Κυβερνο-φυσικών Συστημάτων με αποκεντρωμένο έλεγχο και προηγμένη συνδεσιμότητα.



Εικόνα 1. Η εξέλιξη των βιομηχανικών επαναστάσεων

Πηγή: (Rojko, 2017)

Η 4^η βιομηχανική επανάσταση έκανε την εμφάνισή της το 2011 στο Αννόβερο με τον τίτλο “Industrie 4.0” ως μία νέα πρωτοβουλία από τρεις εκπροσώπους των επιχειρήσεων, της πολιτικής και των επιστημών, τους Henning Kagermann, Wolf-Dieter Lukas και Wolfgang Wahlster αντίστοιχα, οι οποίοι δημιούργησαν την νέα διαρθρωτική αλλαγή στα δεδομένα της μέχρι τότε βιομηχανίας. Όπως υποστηρίχθηκε από τους πρωτοπόρους αυτής της πρωτοβουλίας, η ικανότητα της Γερμανίας να διατηρήσει σταθερό τον αριθμό των εργαζομένων που απασχολούνται στη βιομηχανία παρά την οικονομική κρίση καθώς και η ενσωμάτωση νέων τεχνολογιών και διαδικασιών, την καθιστούν ικανή να αποτελέσει τον πρωτοπόρο μίας τέτοιας πρωτοβουλίας. Με βάση την νέα επανάσταση τα επιχειρηματικά μοντέλα θα βασίζονται σε Κυβερνο-φυσικά Συστήματα και θα επιτυγχάνεται τόσο η βελτιστοποίηση των λειτουργικών διαδικασιών όσο και η παροχή υπηρεσιών σε διάφορους τομείς (Kagermann et al., 2011).

Σύμφωνα με τον Kagermann (2015), τα Κυβερνο-φυσικά Συστήματα συγκεντρώνουν αυτόματα μεγάλη ποσότητα πληροφορίας που αφορούν στον πραγματικό κόσμο και στις ψηφιακές διαδικασίες, σε αντίθεση με το παρελθόν όπου όλα τα δεδομένα καταγράφονταν στο χέρι και στη συνέχεια αποθηκεύονταν. Χάρη στην ανάπτυξη των αισθητήρων, τα δεδομένα αναλύονται σε υψηλό βαθμό παρέχοντας αναλυτική παρακολούθηση του περιβάλλοντος. Το Υπολογιστικό Νέφος (Cloud Computing) διευκολύνει την αποθήκευση όλο και περισσότερων δεδομένων, των "Μεγάλων Δεδομένων" (Big Data) τα οποία μπορούν να αξιοποιηθούν με τη χρήση αλγορίθμων, να αναλυθούν και με αυτόν τον τρόπο να εξαχθούν πληροφορίες που θα παρέχουν ενημέρωση. Συνεπώς, το Υπολογιστικό Νέφος βοηθά στην ανάπτυξη νέων υπηρεσιών. Στο διαδίκτυο των Πραγμάτων, των Δεδομένων και των Υπηρεσιών, κάθε συσκευή ανταλλάσσει πληροφορίες με υψηλή ταχύτητα είτε με συσκευές είτε με ανθρώπους, οι οποίες μπορούν να ανακτηθούν οποιαδήποτε στιγμή. Μέσω της δικτύωσης επιτυγχάνεται ταυτόχρονος έλεγχος και βέλτιστος συντονισμός πολύπλοκων τεχνολογικών διαδικασιών. Ωστόσο, είναι γεγονός ότι δεν υπάρχει μία ενιαία περιγραφή που να ορίζει την έννοια της Industry 4.0. Οι Rupp et al. (2021, σ. 12) πραγματοποίησαν βιβλιομετρική ανάλυση 338 δημοσιεύσεων από το 2015 καταλήγοντας στον ορισμό ότι *«Industry 4.0 είναι η εφαρμογή Κυβερνο-φυσικών Συστημάτων για τη δημιουργία Έξυπνων Εργοστασίων με τη χρήση του Διαδικτύου των Πραγμάτων, των Μεγάλων Δεδομένων, του Υπολογιστικού Νέφους, της Τεχνητής Νοῦμοσύνης και των Τεχνολογιών Επικοινωνίας για την Πληροφόρηση και Επικοινωνία σε πραγματικό χρόνο κατά την αλυσίδα αξίας.»*. Με αυτόν τον

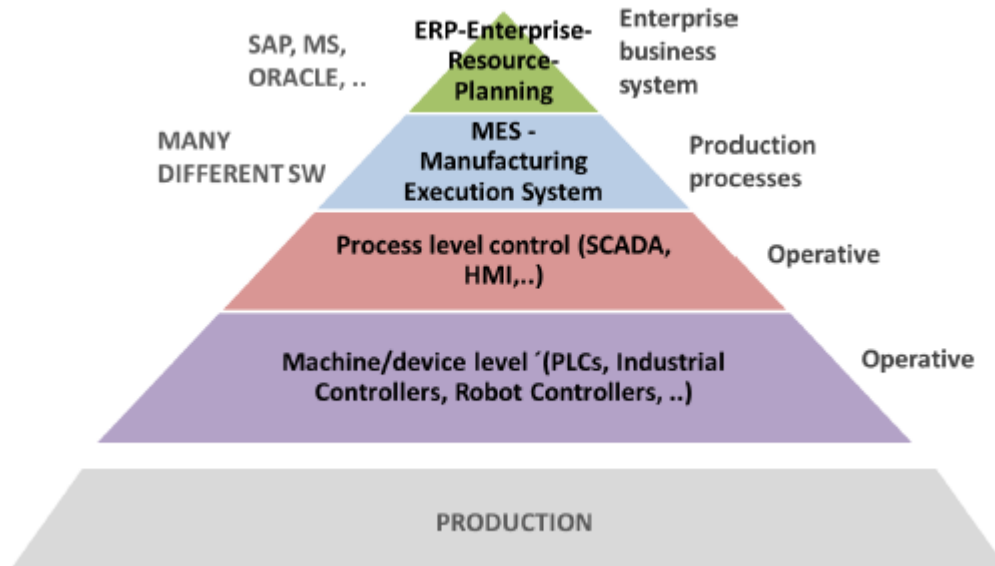
ορισμό απαντώνται τί είναι η Industry 4.0 (εφαρμογή των Κυβερνο-φυσικών Συστημάτων), γιατί είναι σημαντική (για τη δημιουργία Έξυπνων Εργοστασίων καθώς και για την Πληροφόρηση και Επικοινωνία σε πραγματικό χρόνο κατά την αλυσίδα αξίας) και πώς γίνεται (με τη χρήση του Διαδικτύου των Πραγμάτων, των Μεγάλων Δεδομένων, του Υπολογιστικού Νέφους, της Τεχνητής Νοῦμοσύνης και των Τεχνολογιών Επικοινωνίας), καλύπτοντας όλες τις πτυχές που αφορούν στην πληροφόρηση (δημιουργία, κοινή χρήση, μεταφορά και αποθήκευση). Ως αλυσίδα αξίας, ορίζεται όλο το σύνολο των δραστηριοτήτων που εκτελεί μία επιχείρηση με σκοπό να δημιουργήσει αξία από τον προμηθευτή των πρώτων υλών μέχρι το τελικό προϊόν που θα πάει στον καταναλωτή (Porter, 1985). Το Ομοσπονδιακό Υπουργείο Οικονομίας και Προστασίας του Κλίματος της Γερμανίας, μέσω του δικτύου της Plattform Industrie 4.0 στην επίσημη ιστοσελίδα, δίνει τον ακόλουθο πιο γενικό ορισμό: «*Η Industry 4.0 αναφέρεται στην έξυπνη δικτύωση μηχανών και διαδικασιών για τη βιομηχανία με τη βοήθεια της Τεχνολογίας των Πληροφοριών και την Επικοινωνίας.*».

2.2 ΤΑ ΒΑΣΙΚΑ ΧΑΡΑΚΤΗΡΙΣΤΙΚΑ ΚΑΙ ΟΙ ΘΕΜΕΛΙΩΔΕΙΣ ΑΡΧΕΣ

Οι Aoun et al. (2021) αναφέρουν ότι η 4^η βιομηχανική επανάσταση καθορίζεται από την ικανότητα αυτοματοποίησης των διαδικασιών λήψης απόφασης και επίλυσης προβλημάτων χωρίς ανθρώπινη παρέμβαση, μέσω έξυπνων και αυτόνομων συστημάτων χάρη στη συνδεσιμότητα και επικοινωνία ηλεκτρονικών υπολογιστών και μηχανών. Επιτρέπεται η διοίκηση των λειτουργιών και η διαχείριση της απόδοσης σε πραγματικό χρόνο καθώς δεσμεύει όλους τους άμεσα εμπλεκόμενους. Η εξέλιξη στην 4^η βιομηχανική επανάσταση συνοψίζεται στα ακόλουθα τέσσερα χαρακτηριστικά:

1)Κάθετη δικτύωση έξυπνων συστημάτων παραγωγής. Με αυτόν τον τρόπο επιτυγχάνεται η διασύνδεση και ο συντονισμός μεταξύ διαφορετικών επιπέδων από την παραγωγή, την παρακολούθηση, τον έλεγχο και την επίβλεψη μέχρι τα ανώτερα τμήματα έρευνας και ανάπτυξης, ποιότητας, διοίκησης λειτουργιών. Η κάθετη δικτύωση βοηθά τις επιχειρήσεις να ανταποκριθούν στις απαιτήσεις της αγοράς και να προσαρμοστούν σε νέες ευκαιρίες (Aoun et al, 2021). Οι ρυθμίσεις για την κάθετη ολοκλήρωση είναι όλο το εργοστάσιο, συνεπώς σημαίνει εφαρμογή του έξυπνου εργοστασίου που είναι εξαιρετικά ευέλικτο και αναδιαμορφώσιμο (Wang et al., 2016). Σε επόμενη ενότητα θα αναλυθεί η έννοια του έξυπνου εργοστασίου. Στην παρακάτω εικόνα (Rojko, 2017) απεικονίζεται η

γνωστή πυραμίδα αυτοματισμού και τα λογισμικά που υποστηρίζουν τα μοντέρνα συστήματα παραγωγής σε όλα τα επίπεδα.



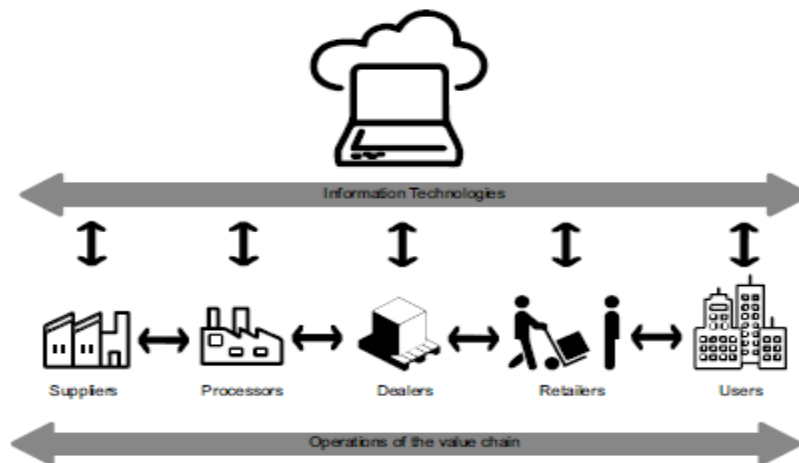
Εικόνα 2. Πυραμίδα αυτοματισμού σε μοντέρνα συστήματα παραγωγής

Πηγή: (Rojko, 2017)

Στη βάση της πυραμίδας βρίσκονται στοιχεία όπως ρομπότ, αισθητήρες, εξαρτήματα συστημάτων μεταφοράς που επιτρέπουν τη διακίνηση δεδομένων. Στο δεύτερο επίπεδο υπάρχουν προγραμματιζόμενοι λογικοί ελεγκτές (Programmable Logic Controllers – PLCs) που εφαρμόζουν αλγόριθμους, οι οποίοι στηρίζουν τις βασικές λειτουργίες και την ασφάλεια του συστήματος. Στο τρίτο επίπεδο πραγματοποιείται περισσότερο βελτιωμένος συντονισμός και έλεγχος της παραγωγής μέσω SCADA (Supervisory Control And Data Acquisition). Στα δύο ανώτερα επίπεδα εφαρμόζονται συστήματα εκτελέσεων της παραγωγής (MES – Manufacturing Execution System) και προγραμματισμού των πόρων των επιχειρήσεων (ERP – Enterprise Resource Planning), τα οποία σε αντίθεση με τα κατώτερα επίπεδα που είναι αυστηρά προσαρμοσμένα για προκαθορισμένες και προγραμματισμένες διαδικασίες παραγωγής, αυτά είναι πιο ευέλικτα να τροποποιήσουν τις διεργασίες της παραγωγής (Novak et al., 2022).

2) Οριζόντια ενσωμάτωση μέσω νέας γενιάς παγκοσμίων δικτύων αλυσίδας αξίας, η οποία αφορά στην ενοποίηση όλων των διαδικασιών παραγωγής όπου κάθε παραγωγική

μονάδα γίνεται ένας κόμβος στο δίκτυο της παραγωγής. Αυτοί οι κόμβοι επικοινωνούν συνέχεια σχετικά με την κατάστασή τους για να ανταποκρίνονται αυτόνομα και αποδοτικά μειώνοντας τις διακοπές του συστήματος παραγωγής χάρη στην προγνωστική συντήρηση. Όταν μία εταιρεία διαθέτει πολλές διαφορετικές εγκαταστάσεις παραγωγής, καταφέρνει με την οριζόντια ενσωμάτωση να κάνει κοινή χρήση αποθεμάτων και να ανταποκριθεί στις απαιτήσεις της αγοράς. Η οριζόντια ενσωμάτωση επιτρέπει αυτόματη και διαφανή συνεργασία κατά μήκος της αλυσίδας αξίας που είναι συνεχώς ενημερωμένη σε πραγματικό χρόνο από τη συναρμολόγηση, τη συσκευασία, την αποθήκευση, τον ποιοτικό έλεγχο, το μάρκετινγκ, τις πωλήσεις, τη διανομή, τα logistics και τις υπηρεσίες λιανικής (Aoun et al., 2021). Με αυτόν τον τρόπο επιτυγχάνεται το δι-εταιρικό δίκτυο αξίας (Wang et al., 2016).



Εικόνα 3. Οριζόντια ενσωμάτωση

Πηγή: (Saucedo et al., 2018)

3) **Διά βίου μηχανική κατά μήκος ολόκληρης της αλυσίδας αξίας**, κατά την οποία ο βιομηχανικός σχεδιασμός επεκτείνεται από την παραγωγή για να καλύψει όλη την αλυσίδα αξίας θεωρώντας τον κύκλο ζωής προϊόντος ως μέρος όλης της παραγωγικής διαδικασίας. Πρόκειται για τη συνεργασία της παραγωγικής διαδικασίας με όλες τις διαδικασίες που εμπλέκονται στην αλυσίδα αξίας του προϊόντος όπως η προμήθεια πρώτων υλών, η παράδοση προϊόντων και οι υπηρεσίες λιανικής. Η υιοθέτηση της δια βίου μηχανικής οδηγεί στη διαθεσιμότητα δεδομένων σε όλη τη διάρκεια ζωής του προϊόντος που δημιουργούν αποδοτικά και ευέλικτα συστήματα παραγωγής (Aoun et al., 2021).

4) Η επίδραση των εκθετικών τεχνολογιών, όπως η τεχνητή νοημοσύνη (Artificial intelligence - AI), η 3D - εκτύπωση, η blockchain τεχνολογία, το Διαδίκτυο των Πραγμάτων, που αυξάνουν την αυτονομία και την ευελιξία και μειώνουν τη σπατάλη, εξοικονομώντας κόστος. Η ενσωμάτωση τέτοιων τεχνολογιών είναι απαραίτητη για την υπερπήδηση εμποδίων και τη μετάβαση προς τον ψηφιακό μετασχηματισμό (Aoun et al., 2021).

Υπάρχουν οι ακόλουθες έξι θεμελιώδεις αρχές οι οποίες εντοπίζονται σε στοιχεία της Industry 4.0 και αναφέρονται στη βιβλιογραφία:

	Cyber-Physical Systems	Internet of Things	Internet of Services	Smart Factory
Interoperability	X	X	X	X
Virtualization	X	-	-	X
Decentralization	X	-	-	X
Real-Time Capability	-	-	-	X
Service Orientation	-	-	X	-
Modularity	-	-	X	-

Πίνακας 1. Οι αρχές της Industry 4.0

Πηγή: (Hermann et al., 2015)

- Διαλειτουργικότητα (Interoperability): είναι η ικανότητα δύο ετερογενών υπολογιστικών συστημάτων να παρέχουν από κοινού αμοιβαία πρόσβαση στους πόρους τους. Στα πλαίσια του δικτύου των εταιρειών, αναφέρεται στην ικανότητα αλληλεπίδρασης (ανταλλαγή δεδομένων και υπηρεσιών) μεταξύ των εταιρικών συστημάτων (Canas et al., 2021).
- Εικονικοποίηση (Virtualization): σημαίνει ότι τα Κυβερνο-φυσικά Συστήματα είναι σε θέση να παρακολουθούν τις φυσικές διεργασίες, τα δεδομένα από τους αισθητήρες, να συνδέονται με εικονικά μοντέλα εγκαταστάσεων και μοντέλα προσομοίωσης. Με αυτόν τον τρόπο δημιουργείται ένα εικονικό αντίγραφο του φυσικού κόσμου (Hermann et al., 2015).
- Αποκεντροποίηση (Decentralization): είναι η αυτόνομη λήψη αποφάσεων σε πραγματικό χρόνο από τα στοιχεία του συστήματος. Οι εργαζόμενοι είναι αυτοί που αποφασίζουν για συνηθισμένα θέματα εγκαίρως και αλλάζουν στρατηγική και

κατεύθυνση σύμφωνα με τις αλλαγές στο περιβάλλον της εταιρείας (Mabkhot et al., 2018).

- Δυνατότητα σε πραγματικό χρόνο (Real time capability): είναι η ικανότητα του συστήματος να ανταποκρίνεται εγκαίρως στις αλλαγές, όπως είναι οι αλλαγές στις απαιτήσεις των πελατών ή στην κατάσταση του συστήματος παραγωγής, η πληροφορία θα πρέπει να επεξεργάζεται και να αναλύεται σε πραγματικό χρόνο (Hofmann et al., 2017).
- Προσανατολισμός στην υπηρεσία (service orientation): οι υπηρεσίες που παρέχουν οι εταιρείες, τα Κυβερνο-φυσικά Συστήματα και οι άνθρωποι, είναι διαθέσιμες μέσω του Διαδικτύου των Υπηρεσιών και μπορούν να προσφερθούν είτε εντός την εταιρείας είτε εκτός εταιρείας (Hermann et al., 2015).
- Δομοστοιχειοθέτηση (modularity): αφορά στο σχεδιασμό των στοιχείων του συστήματος. Είναι η ικανότητά τους να διαχωρίζονται και να συνδυάζονται εύκολα και γρήγορα. Η δομοστοιχειοθέτηση επιτρέπει το σύστημα σε πραγματικό χρόνο να ανταποκρίνεται στις μεταβαλλόμενες απαιτήσεις των πελατών και να ξεπερνούνται οποιεσδήποτε εσωτερικές δυσλειτουργίες του συστήματος (Mabkhot et al., 2018).

2.3 ΟΙ ΕΝΝΕΑ ΤΕΧΝΟΛΟΓΙΚΕΣ ΤΑΣΕΙΣ ΤΗΣ INDUSTRY 4.0

Σύμφωνα με τους Rüßmann et al. (2015) από την Boston Consulting Group, υπάρχουν εννέα τεχνολογίες που ενισχύουν την εισαγωγή στην Industry 4.0 και απεικονίζονται στο παρακάτω σχήμα. Στη συνέχεια αναλύεται η κάθε μία ξεχωριστά.



Εικόνα 4. Οι εννέα τεχνολογίες της Industry 4.0

Πηγή: (Rüßmann et al., 2015)

1. Μεγάλα Δεδομένα και Ανάλυση Δεδομένων (Big Data and Analytics), αφορούν στα δεδομένα που δεν μπορούν να αποθηκευτούν, διαχειριστούν και επεξεργαστούν με την εφαρμογή των παραδοσιακών τεχνολογιών πληροφορικής. Εντοπίζονται από τις Τεχνολογίες Πληροφοριών και Επικοινωνίας και βοηθούν στα συστήματα παραγωγής, την επεξεργασία του εξοπλισμού, τους αισθητήρες, τους ελεγκτές, τους χειριστές (Singh, 2021).
2. Αυτόνομα Ρομπότ (Autonomous Robots), τα οποία είναι ευέλικτα και συνεργάσιμα. Αλληλεπιδρούν μεταξύ τους και εκτελούν εργασίες με ασφάλεια δίπλα στους ανθρώπους και μαθαίνουν από αυτούς. Αυτό το είδος ρομπότ θα κοστίζει λιγότερο και θα έχει μεγάλες δυνατότητες σε σχέση με αυτά που χρησιμοποιούνται στη βιομηχανία σήμερα (Rüßmann et al., 2015).
3. Προσομοίωση (Simulation), είναι η αναπαραγωγή του φυσικού κόσμου σε εικονικά μοντέλα που επιτρέπουν τους χειριστές να δοκιμάσουν και να βελτιστοποιήσουν τις ρυθμίσεις για την απόκτηση υλικών, παραγωγικών διαδικασιών και προϊόντων (Guzman et al., 2012)

4. Οριζόντια και Κάθετη Ολοκλήρωση Συστήματος (Horizontal and Vertical System Integration), αφορά στην ανταλλαγή πληροφοριών μεταξύ διαφορετικών επιπέδων της εταιρείας (οριζόντια ολοκλήρωση) και τις σχέσεις της εταιρείας με τους προμηθευτές και τους πελάτες (κάθετη ολοκλήρωση) (Xu et al., 2018).
5. Το Διαδίκτυο των Πραγμάτων (Internet of Things – IoT), συλλέγει και μοιράζει πληροφορίες με τη βοήθεια μηχανών και συσκευών συνδεδεμένων στο διαδίκτυο. Χρησιμοποιεί μοναδικούς αριθμούς αναγνώρισης ή κωδικούς που μπορούν να ελεγχθούν μέσω συσκευών, όπως τα smartphones. Τα κύρια στοιχεία της συγκεκριμένης τεχνολογίας είναι το λογισμικό, η συνδεσιμότητα στο διαδίκτυο και η συλλογή δεδομένων. (Khan et al., 2021). Θεωρείται ένα δυναμικό, παγκόσμιο δίκτυο που βασίζεται σε πρωτόκολλα επικοινωνίας με δυνατότητες αυτο-διαμόρφωσης (Lampropoulos et al., 2019).
6. Ασφάλεια στον Κυβερνοχώρο (Cybersecurity), η οποία είναι απαραίτητη με την αυξημένη συνδεσιμότητα και χρήση πρωτοκόλλων επικοινωνίας, για την προστασία κρίσιμων βιομηχανικών συστημάτων (Rüßmann et al., 2015).
7. Υπολογιστικό Νέφος (Cloud Computing), διευκολύνει την αρχειοθέτηση και την επεξεργασία μεγάλων ποσοτήτων δεδομένων με υψηλή απόδοση όσον αφορά στην ταχύτητα, την ευελιξία και την αποδοτικότητα (Büchi et al., 2020).
8. Προσθετική Κατασκευή (Additive Manufacturing), χρησιμοποιείται για να προτυποποιήσει και να παράγει ξεχωριστά προϊόντα σε μικρές παρτίδες και προσαρμοσμένα στις ανάγκες του πελάτη που προσφέρουν κατασκευαστικά πλεονεκτήματα, όπως είναι ο πολύπλοκος σχεδιασμός και το μικρό βάρος. Ήδη χρησιμοποιείται από εταιρείες κατασκευής αεροσκαφών για τη μείωση του βάρους τους, μειώνοντας με αυτόν τον τρόπο το κόστος των πρώτων υλών (Rüßmann et al., 2015).
9. Επαυξημένη Πραγματικότητα (Augmented Reality), χρησιμοποιεί ευφυείς συσκευές στις οποίες συνδυάζεται η πραγματικότητα με εικονικά στοιχεία και επιτρέπει να γνωρίζουμε τις συμπεριφορές του αντικειμένου μελέτης σε ένα δεδομένο περιβάλλον (Saucedo et al., 2018).

2.4 ΕΜΠΟΔΙΑ ΚΑΙ ΚΙΝΗΤΗΡΙΕΣ ΔΥΝΑΜΕΙΣ

Οι εταιρείες που στοχεύουν στην υιοθέτηση της Industry 4.0, θα πρέπει να μελετήσουν σοβαρά όλες τις παραμέτρους που την εμποδίζουν καθώς και τους παράγοντες που ενισχύουν την εφαρμογή της. Οι Vuksanovic et al. (2020) μελέτησαν τα επίπεδα ψηφιακού μετασχηματισμού σε εταιρεία στη Σερβία καταγράφοντας την άποψη 122 υψηλόβαθμων στελεχών τους σχετικά με τα εμπόδια και τις κινητήριες δυνάμεις εφαρμογής της Industry 4.0. Από τα ευρήματά τους προέκυψε ότι η έλλειψη απαραίτητων ικανοτήτων και δεξιοτήτων από το ανθρώπινο δυναμικό, η έλλειψη ηγετικών ικανοτήτων, η απουσία οικονομικών πόρων και συνειδητού προγραμματισμού αποτελούν εμπόδια, ενώ αξιοσημείωτο είναι το γεγονός ότι η αντίσταση για αλλαγή δεν θεωρείται σημαντικό εμπόδιο όταν οι διευθυντές διαθέτουν τις απαραίτητες ικανότητες και δεξιότητες. Η άποψη αυτή τεκμηριώνεται και από τους Nimawat και Gidwani (2021), οι οποίοι με βάση τα ευρήματά τους προτείνουν ότι οι διευθυντές οφείλουν να λάβουν σοβαρά υπόψη την ενίσχυση των εσωτερικών ικανοτήτων του οργανισμού ώστε να εντοπιστούν τα εμπόδια λόγω υψηλού κόστους εφαρμογής της Industry 4.0. Ως πρόσθετα εμπόδια αναγνωρίζουν το κόστος εκπαίδευσης των στελεχών, την έλλειψη οράματος και στρατηγικής, την έλλειψη συνδεσιμότητας στο διαδίκτυο, τις ανησυχίες εφαρμογής του νομικού πλαισίου και της ασφάλειας καθώς και την έλλειψη γνώσης σχετικά με το τι πρεσβεύει η Industry 4.0. Τα παραπάνω ευρήματα επιβεβαιώνονται και από την μελέτη των Yu και Schweisfurth (2020) σε μικρομεσαίες επιχειρήσεις (Μμε) σε Δανία και Γερμανία, τα οποία υποδεικνύουν ότι η γνώση και τα αναμενόμενα οφέλη της τεχνολογίας είναι οι οδηγοί για την εφαρμογή των τεχνολογιών της Industry 4.0. Δείχνουν επίσης ότι οι εταιρείες με υψηλά επίπεδα αυτοματισμού των διαδικασιών τους και μεγάλη ποικιλία προϊόντων είναι πιο πιθανό να την εφαρμόσουν.

Οι Stendoft et al. (2021) μελέτησαν τα εμπόδια και τις κινητήριες δυνάμεις της Industry 4.0 ως προς την ετοιμότητα Μμε της Δανίας. Συνέλεξαν δεδομένα από ερωτηματολόγια μεταξύ 190 στελεχών σε τέσσερις εταιρείες. Τα ευρήματά τους ενισχύουν το γεγονός ότι είναι η έλλειψη αναγνώρισης των παραγόντων που ενισχύουν την Industry 4.0 και όχι η αναγνώριση των εμποδίων από τα ανώτερα στελέχη που εμποδίζει την ετοιμότητα των Μμε για ψηφιακό μετασχηματισμό. Στα σημαντικότερα εμπόδια που αναφέρθηκαν και από τις τέσσερις εταιρείες συγκαταλέγονται η έλλειψη κατανόησης της στρατηγικής σημασίας για ψηφιακό μετασχηματισμό από τα ηγετικά στελέχη, η έλλειψη γνώσεων για την Industry 4.0 από τους

εργαζόμενους και η προσήλωση στην εκτέλεση των λειτουργιών εις βάρος της ανάπτυξης. Στοιχεία που συνηγορούν υπέρ της εφαρμογής της Industry 4.0, αποτελούν η βελτίωση της ανταγωνιστικότητας των επιχειρήσεων, η μείωση του κόστους, η βελτίωση της απόδοσης και η ανταπόκριση στις επιθυμίες των πελατών (Vuksanovic et al., 2020). Αξιόλογο είναι το εύρημα των Stendoft et al., (2021) ότι και στις τέσσερις ερωτηθείσες εταιρείες ως σημαντικό πλεονέκτημα από την εφαρμογή της Industry 4.0 αναγνωρίζεται η μείωση του λειτουργικού κόστους. Οι εταιρείες που εντοπίζουν περισσότερα πλεονεκτήματα αντί για εμπόδια, εμφανίζουν και την μεγαλύτερη ετοιμότητα και στηρίζουν σε όλα τα επίπεδα της επιχείρησης την εφαρμογή της.

Η ποιοτική έρευνα (μελέτη περίπτωσης) των Horvath και Szabo (2019) με 26 ημι-δομημένες συνεντεύξεις υψηλόβαθμων στελεχών, αναγνώρισε πολλαπλούς παράγοντες που μπορούν να ενισχύσουν αλλά και να εμποδίσουν την εφαρμογή της Industry 4.0. Αυτοί είναι: το ανθρώπινο δυναμικό, οι οικονομικοί πόροι και η κερδοφορία, οι συνθήκες αγοράς και ο ανταγωνισμός, οι προσδοκίες της διοίκησης, οι ικανότητες των διευθυντών, η παραγωγικότητα και η αποδοτικότητα, οι οργανωσιακοί παράγοντες, η ενσωμάτωση τεχνολογιών και διαδικασιών και η συνεργασία. Τα αποτελέσματα συνοψίζονται στον παρακάτω πίνακα (Πίνακας 2). Αξιοσημείωτο είναι ότι οι ερευνητές στη συγκεκριμένη έρευνα διαπίστωσαν διαφοροποίηση στα επίπεδα επίδρασης τόσο των κινητήριων δυνάμεων όσο και των εμποδίων μεταξύ Μμε και πολυεθνικών επιχειρήσεων. Όπως παρουσιάζεται στη συγκεκριμένη έρευνα, είναι μεγαλύτερη η επίδραση που ασκούν οι αρνητικοί παράγοντες που έχουν να κάνουν με το προσωπικό, τους οικονομικούς πόρους και τη διοίκηση στις Μμε ενώ μεγαλύτερη θετική επίδραση ασκούν η οργανωσιακή δομή, η ενσωμάτωση τεχνολογιών και διαδικασιών στις πολυεθνικές εταιρείες. Στους παράγοντες που ωθούν την εφαρμογή της Industry 4.0, η επίδραση του ανθρώπινου δυναμικού και της ικανοποίησης του πελάτη είναι μεγαλύτερη στις Μμε, ενώ οι συνθήκες αγοράς και ο ανταγωνισμός καθώς και οι προσδοκίες της διοίκησης επηρεάζουν περισσότερο τις πολυεθνικές εταιρείες. Τέλος, οι οικονομικοί πόροι, η παραγωγικότητα και η αποδοτικότητα επηρεάζουν το ίδιο θετικά την εφαρμογή της Industry 4.0, τόσο σε Μμε όσο και σε πολυεθνικές εταιρείες. Η έρευνα ολοκληρώνεται καταλήγοντας στο συμπέρασμα ότι οι πολυεθνικές εταιρείες πλεονεκτούν έναντι των Μμε καθώς διαθέτουν περισσότερες κινητήριες δυνάμεις και λιγότερα εμπόδια για την εφαρμογή της Industry 4.0 (Horvath και Szabo, 2019).

Κινητήρια δύναμη	Παράγοντας		Εμπόδιο
Μείωση ανθρώπινης εργασίας Κατανομή εργατικού δυναμικού σε άλλους τομείς	Ανθρώπινο δυναμικό		Έλλειψη κατάλληλων δεξιοτήτων και ειδικευμένου εργατικού δυναμικού Μεγάλος χρόνος εκπαίδευσης προσωπικού
Μείωση εξόδων, π.χ. έξοδα προσωπικού, διαχείριση αποθεμάτων και λειτουργικά έξοδα	Οικονομικοί πόροι και κερδοφορία		Έλλειψη οικονομικών πόρων Απόδοση και κερδοφορία Ελλείψεις σε συστήματα διαγωνισμών Μακρά περίοδος αξιολόγησης διαγωνισμών
Ανταγωνισμός στην αγορά Ακολουθία των τάσεων της αγοράς Αύξηση της πίεσης από τους ανταγωνιστές Καινοτόμα επιχειρηματικά μοντέλα	Συνθήκες αγοράς και ανταγωνισμός	Ικανότητες των διευθυντών	Έλλειψη ηγέτη με κατάλληλες δεξιότητες, ικανότητες και εμπειρία Έλλειψη συνειδητού σχεδιασμού, καθορισμού στόχων και αναγκαίων πόρων
Απαίτηση για μεγαλύτερο έλεγχο (από την ανώτατη διοίκηση) Συνεχής παρακολούθηση της απόδοσης της εταιρείας	Προσδοκίες της διοίκησης		
Μείωση του ποσοστού σφάλματος Βελτίωση των χρόνων παράδοσης (συμμόρφωση με τις συνθήκες αγοράς) Βελτίωση της αποδοτικότητας Διασφάλιση αξιόπιστης λειτουργίας (π.χ. λιγότερος χρόνος διακοπής λειτουργίας)	Παραγωγικότητα και αποδοτικότητα	Οργανωσιακοί παράγοντες	Ανεπαρκής οργανωτική δομή και οργάνωση των διαδικασιών Συγκρουόμενα συμφέροντα σε διαφορετικές οργανωτικές μονάδες Αντίσταση από τους εργαζόμενους και τη μεσαία βαθμίδα διοίκησης
		Ενσωμάτωση τεχνολογιών και διαδικασιών, Συνεργασία	Έλλειψη ενιαίου πρωτοκόλλου επικοινωνίας Έλλειψη συστημάτων υποστήριξης για ενσωμάτωση Έλλειψη διάθεσης για συνεργασία (σε επίπεδο εφοδιαστικής αλυσίδας) Έλλειψη προτύπων Έλλειψη κοινής σκέψης Μη ασφαλή συστήματα αποθήκευσης δεδομένων Ανάγκη για μεγάλη χωρητικότητα αποθήκευσης

Πίνακας 2. Κινητήριες δυνάμεις και εμπόδια της Industry 4.0

Πηγή: (Horvath και Szabo, 2019)

2.5 ΤΟ ΕΞΥΠΝΟ ΕΡΓΟΣΤΑΣΙΟ (SMART FACTORY)

Με την εισαγωγή της Industry 4.0 και την εμφάνιση των έξυπνων εργοστασίων αλλάζει ο παραδοσιακός τρόπος παραγωγής. Το έξυπνο εργοστάσιο ενσωματώνει τις νέες τεχνολογίες βελτιώνοντας την απόδοση, την ποιότητα, τον έλεγχο και τη διαφάνεια των διαδικασιών στην παραγωγή. Το σύστημα έχει πλέον επίγνωση του περιεχομένου και βοηθάει ανθρώπους και μηχανές στην εκτέλεση των εργασιών τους, αξιοποιώντας πληροφορίες που βασίζονται στον φυσικό και εικονικό κόσμο (Liu et al., 2017). Υπάρχουν σημαντικά οφέλη από τον μετασχηματισμό των εργοστασίων σε έξυπνα εργοστάσια. Αυτά είναι: βελτιωμένη απόδοση των διαδικασιών, μειωμένα λειτουργικά έξοδα, βελτιωμένη ποιότητα των προϊόντων, βελτιωμένη ασφάλεια και αυξημένο κέρδος (Okeme et al, 2021). Ο Kagermann (2015) αναφέρει ότι στο έξυπνο εργοστάσιο, άνθρωποι, μηχανές και πόροι επικοινωνούν μεταξύ τους όπως σε ένα κοινωνικό δίκτυο. Τα προϊόντα είναι μοναδικά αναγνωρίσιμα και μπορεί να εντοπίζεται η πορεία τους ανά πάσα στιγμή. Αυτόνομα μηχανήματα, ρομπότ, συστήματα μεταφοράς και αποθήκευσης ελέγχουν και διαμορφώνονται σύμφωνα με τις ανάγκες της τρέχουσας κατάστασης. Τα έξυπνα εργοστάσια είναι κάθετα συνδεδεμένα στις λειτουργικές διαδικασίες και επεκτείνονται οριζοντίως σε δίκτυα που καλύπτουν τα πάντα, από την παραγγελία μέχρι την παράδοση.

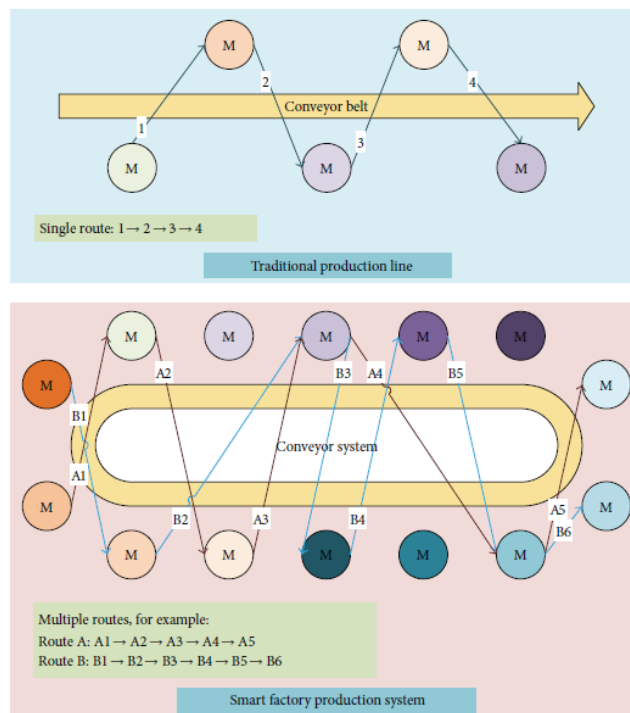
Οι Radziwon et al. (2014) ορίζουν ως έξυπνο εργοστάσιο «μια κατασκευαστική λύση που παρέχει ευέλικτες διαδικασίες παραγωγής, οι οποίες προσαρμόζονται και επιλύουν τα προβλήματα που προκύπτουν στις εγκαταστάσεις παραγωγής με δυναμικές και ταχέως μεταβαλλόμενες συνθήκες σε έναν κόσμο αυξανόμενης πολυπλοκότητας. Αυτή η ειδική λύση θα μπορούσε από την μία πλευρά να σχετίζεται με την αυτοματοποίηση ως ένας συνδυασμός λογισμικού και μηχανών που θα πρέπει να οδηγήσει στη βελτιστοποίηση της παραγωγής με αποτέλεσμα τη μείωση περιττής εργασίας και σπατάλης πόρων. Από την άλλη πλευρά μπορεί να θεωρηθεί ως μια προοπτική συνεργασίας μεταξύ βιομηχανικών και μη βιομηχανικών συνδυασμών όπου η εξυπνάδα προέρχεται από τη δημιουργία ενός δυναμικού οργανισμού.».

Το έξυπνο εργοστάσιο είναι ένα εργοστάσιο όπου τα Κυβερνο-φυσικά Συστήματα επικοινωνούν μέσω του Διαδικτύου των Πραγμάτων και βοηθούν ανθρώπους και μηχανήματα στην εκτέλεση των εργασιών τους (Hermann, 2015). Τα μηχανήματα είναι αυτόνομα Κυβερνο-φυσικά Συστήματα, δηλαδή συστήματα ολοκληρωμένα με στοιχεία

Τεχνολογιών Πληροφορίας και Επικοινωνίας (ICT – Information and Communications Technology), που μπορούν να πάρουν τις δικές τους αποφάσεις στηριζόμενα σε αλγόριθμους, δεδομένα που λαμβάνονται σε πραγματικό χρόνο, αναλυτικά αποτελέσματα και καταγεγραμμένες καλές πρακτικές του παρελθόντος. Χρησιμοποιούνται μηχανήματα τα οποία προγραμματίζονται διαθέτοντας κινητά εξαρτήματα και ρομπότ ικανά να αυτοοργανωθούν και να αυτοβελτιστοποιηθούν. Τα στοιχεία της παραγωγής εκτός από τη φυσική τους αναπαράσταση έχουν και εικονική ταυτότητα, ένα αντικείμενο δεδομένων που αποθηκεύεται στο Υπολογιστικό Νέφος. Η εικονική ταυτότητα μπορεί να περιλαμβάνει μια ποικιλία δεδομένων και πληροφοριών για το προϊόν από έγγραφα, 3D μοντέλα, δεδομένα τρέχουσας κατάστασης, ιστορικά δεδομένα και μετρήσεις δοκιμών (Rojko, 2017). Τα μεγάλα δεδομένα θα χρησιμοποιηθούν σε μεγάλο βαθμό καθώς μεγάλη ποσότητα πληροφοριών θα πρέπει να εισάγεται στις μηχανές οι οποίες συνεχώς θα πρέπει να μαθαίνουν και να βελτιστοποιούν τη λειτουργία τους, συνεπώς θα είναι απαραίτητη η επεξεργασία μεγάλων δεδομένων και η Μηχανική Μάθηση (Machine Learning), η οποία αποτελεί την κινητήρια δύναμη της Τεχνητής Νοημοσύνης (Shi et al., 2020). Επιπλέον, με την ταυτοποίηση μέσω ραδιοσυχνοτήτων (RFID - Radio Frequency Identification) πραγματοποιείται η αναγνώριση ασύρματα, μέσω ραδιοκυμάτων και καταργούνται οι περιορισμοί των barcodes, όπως η ανάγκη για άμεση ορατότητα του κώδικα από τον αναγνώστη, η μικρή απόσταση στην οποία μπορεί να διαβαστεί, τα προβλήματα με κατεστραμμένες ετικέτες και με γραμμωτούς κωδικούς καθώς και η βραδύτητα λόγω ανάγνωσης περισσότερης ποσότητας προϊόντων (Hozdić, 2015).

Οι Wang et al. (2016) κατέληξαν στο συμπέρασμα ότι το έξυπνο εργοστάσιο είναι εφικτό να επιτευχθεί με την εκτεταμένη εφαρμογή των υφιστάμενων τεχνολογιών καθώς αντιμετωπίζει τις νέες προκλήσεις. Το έξυπνο εργοστάσιο πιστεύεται ότι μπορεί να παράγει μικρές παρτίδες προϊόντων που είναι προσαρμοσμένες στις απαιτήσεις του κάθε πελάτη με αποδοτικό και κερδοφόρο τρόπο. Τα έξυπνα κατασκευάσματα μπορούν να επικοινωνούν και να διαπραγματεύονται μεταξύ τους μέσω του ασύρματου δικτύου για την εφαρμογή αυτοοργάνωσης και τα Μεγάλα Δεδομένα μπορούν να μεταφορτώνονται και να επεξεργάζονται στο Υπολογιστικό Νέφος που έχει επεκτάσιμο αποθηκευτικό χώρο και ισχυρή υπολογιστική ικανότητα που συντονίζει όλο το σύστημα. Στο παρακάτω σχήμα απεικονίζεται η διαφορά μεταξύ μίας παραδοσιακής γραμμής παραγωγής και του έξυπνου εργοστασίου. Στην παραδοσιακή γραμμή παράγεται μόνο ένας τύπος προϊόντων, υπάρχουν πολλά μηχανήματα

(M=Machines) και ένας μεταφορικός ιμάντας. Ο μεταφορικός ιμάντας δεν διακόπτεται, δηλαδή έχει συνεχώς εισερχόμενα και εξερχόμενα στοιχεία (Inputs – Outputs) τα οποία εισέρχονται από το ένα άκρο και βγαίνουν από το άλλο ενώ οι μηχανές βρίσκονται κατά μήκος της γραμμής. Καθώς τα ημι-έτοιμα προϊόντα ρέουν στην γραμμή κάθε μηχανή εκτελεί προκαθορισμένο μέρος της εργασίας. Δεν υπάρχουν περιττές μηχανές και ο ιμάντας είναι προσεκτικά προσαρμοσμένος. Κάθε μηχανή έχει το δικό της ανεξάρτητο ελεγκτή και η επικοινωνία μεταξύ τους είναι σπάνια. Αντιθέτως, στο έξυπνο εργοστάσιο παράγονται πολλοί τύποι προϊόντων, με αποτέλεσμα για κάποια προϊόντα, ορισμένες μηχανές να είναι περιττές. Οι μηχανές προσαρμόζονται στην ποικιλία διαφορετικών τύπων προϊόντων και ο μεταφορικός ιμάντας είναι κλειστός, προκειμένου να υποστηρίξει διαφορετικές παραγωγικές γραμμές και να μην υπάρχει συγκεκριμένη είσοδος και έξοδος.

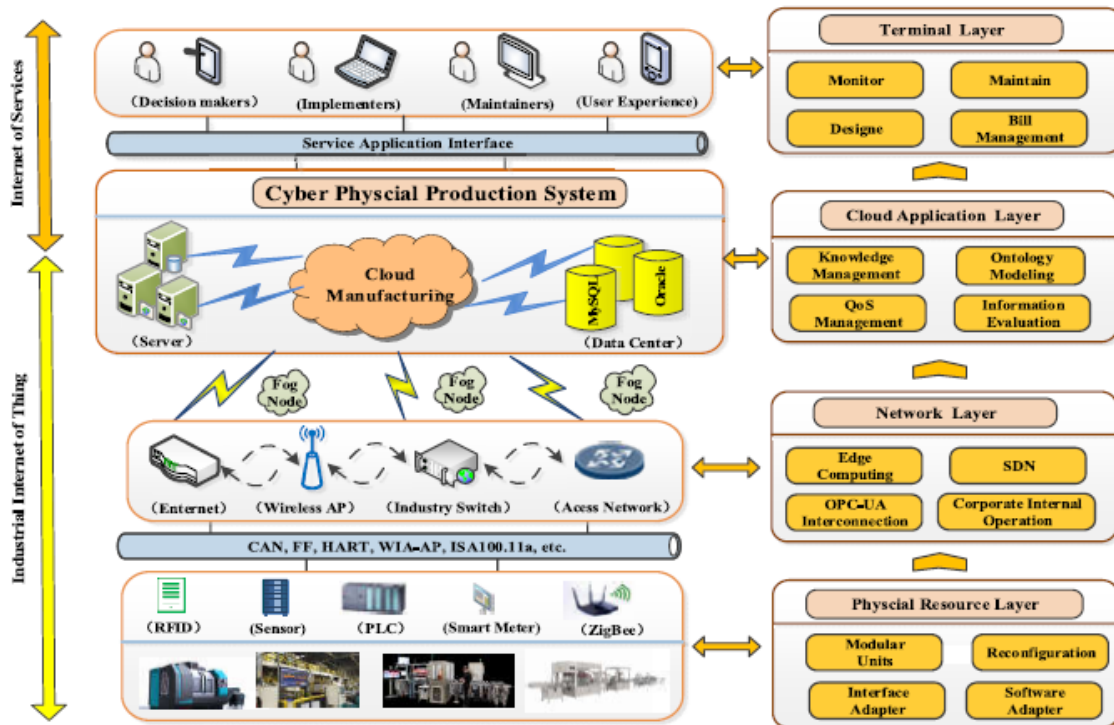


Εικόνα 5. Απεικόνιση παραδοσιακής γραμμής παραγωγής και συστήματος παραγωγής έξυπνου εργοστασίου

Πηγή: (Wang et al., 2016)

Οι Wang et al. (2016) και Chen et al (2017) προσέγγισαν την έννοια του έξυπνου εργοστασίου προτείνοντας μία ιεραρχική δομή τεσσάρων επιπέδων: το επίπεδο των φυσικών

πόρων, το επίπεδο του διαδικτύου, το επίπεδο των δεδομένων και το επίπεδο ελέγχου, όπου κάθε επίπεδο περιλαμβάνει τις δικές του τεχνολογίες. Όπως απεικονίζεται και στο παρακάτω σχήμα (Chen, 2017), το πρώτο επίπεδο περιλαμβάνει τις μηχανές και όλες τις δραστηριότητες που συμβαίνουν σε πραγματικό χρόνο. Στο επόμενο επίπεδο το Διαδίκτυο των Πραγμάτων, θα πρέπει να υποστηρίζει νέα πρωτόκολλα και νέα μορφή δεδομένων με υψηλή ευελιξία και επεκτασιμότητα, ενώ τα ασύρματα δίκτυα αισθητήρων (IWSN – Industrial Wireless Sensor Networks) φέρνουν νέες ευκαιρίες για την ανάπτυξη βιομηχανικού δικτύου. Στο επίπεδο των δεδομένων ενσωματώνεται η διαδικασία μεταφοράς δεδομένων από τις μηχανές (αισθητήρες) στο Υπολογιστικό Νέφος και αντιστρόφως ενώ το λογισμικό ελέγχει ποια δεδομένα αποστέλλονται/λαμβάνονται. Τα δεδομένα στη συνέχεια αποθηκεύονται στο νέφος και επεξεργάζονται από εξελιγμένα αναλυτικά στοιχεία. Στο τελευταίο επίπεδο που βρίσκεται στην κορυφή πραγματοποιείται η επίβλεψη (Chen et al., 2017 και Osterrieder et al., 2020).



Εικόνα 6. Η ιεραρχική δομή του έξυπνου εργοστασίου

Πηγή: (Chen et al., 2017)

Σύμφωνα με τους Enjemo et al. (2020), τα κύρια επιτεύγματα που θα παρουσιάζουν στο μέλλον τα έξυπνα εργοστάσια είναι:

- Ένας ανοιχτός χώρος εργασίας όπου άνθρωποι και ρομπότ θα χαρακτηρίζονται από αυτονομία και θα συνεργάζονται για τη λήψη αποφάσεων και ενεργειών που απαιτούνται για να βελτιστοποιήσουν την εργασία τους κατά την ολοκλήρωσή της
- Κοινή αυτονομία με έναν συνεργατικό χώρο εργασίας όπου οι ενέργειες προγραμματίζονται για ανθρώπους και ρομπότ
- Βελτιωμένη ευελιξία, παραγωγικότητα και ασφάλεια για το ανθρώπινο εργατικό
- Ρομπότ με ικανότητα εκμάθησης μέσω εύκολης και φυσικής επικοινωνίας με τον άνθρωπο
- Έναν χώρο εργασίας χωρίς περιορισμούς που θα επιτρέπει την αυτόματη μετάβαση μεταξύ ορίων ασφαλείας, προλαμβάνοντας το ρίσκο για τους ανθρώπους κατά τις φυσικές αλληλεπιδράσεις μεταξύ ανθρώπων και ρομπότ.

Οι Cheng et al. (2021) πραγματοποίησαν ανάλυση διακινδύνευσης σχετικά με την μηχανολογική ασφάλεια του έξυπνου εργοστασίου όσον αφορά στα βιομηχανικά ρομπότ, στα οχήματα με αυτόματη καθοδήγηση (AGV - Automatic Guided Vehicle), στις CNC (Computerized Numerical Control) μηχανές και άλλες κινητές συσκευές και κατέληξαν στο συμπέρασμα ότι νέα πεδία διακινδύνευσης εντοπίζονται στα έξυπνα εργοστάσια, τα οποία όμως με προσεκτική διαχείριση ρίσκων μπορούν να μετριαστούν και να αυξήσουν την ασφάλεια.

2.6 ΕΥΦΥΗΣ ΠΑΡΑΓΩΓΗ (SMART MANUFACTURING)

Η ραγδαία ανάπτυξη της Τεχνολογίας των Πληροφοριών και Επικοινωνιών έχει εμφανίσει πολλές νέες τεχνολογίες όπως το Υπολογιστικό Νέφος, το Διαδίκτυο των Πραγμάτων και τα Μεγάλα Δεδομένα, οι οποίες στις μέρες μας διεισδύουν σε διάφορους κλάδους της βιομηχανίας. Η συγχώνευση αυτών των τεχνολογιών με τη βιομηχανία ενώνει τον φυσικό με τον εικονικό κόσμο μέσω των Κυβερνο-φυσικών Συστημάτων που καθιστούν τα συστήματα παραγωγής πιο έξυπνα και αυτόνομα, για παράδειγμα η χρήση αισθητήρων

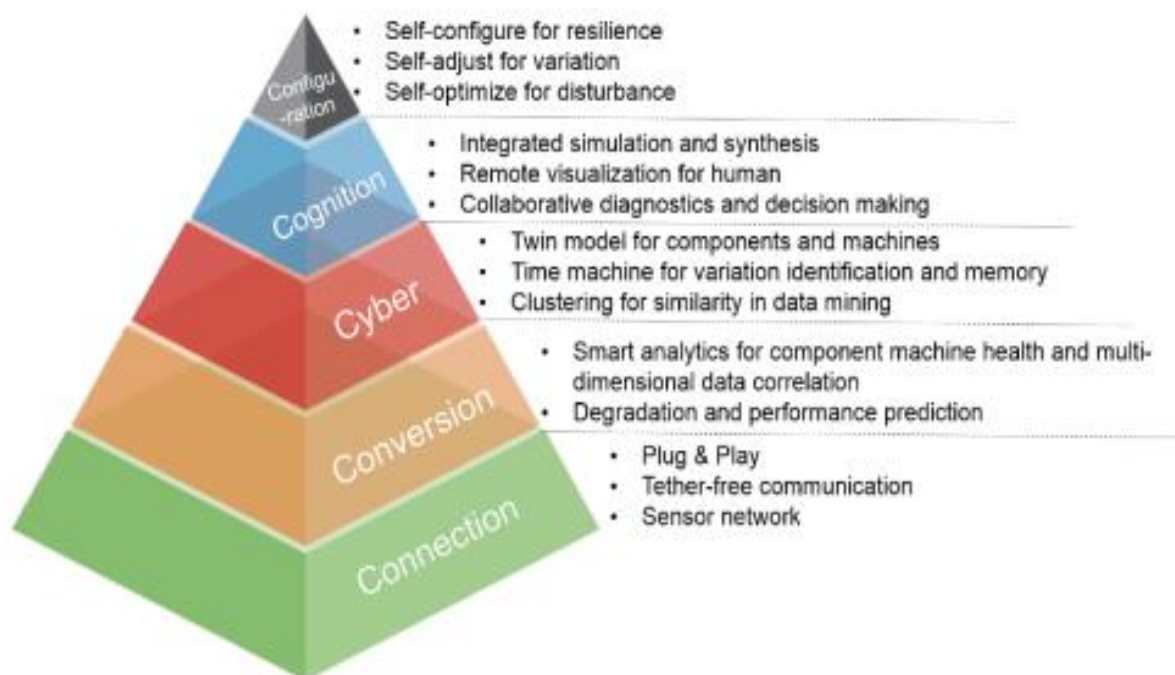
βοηθά στην επικοινωνία των διαφόρων μηχανημάτων μεταξύ τους, στο διαμοίρασμα δεδομένων που αφορούν στην παραγωγή και συμβάλλουν στη γρήγορη λήψη αποφάσεων. Τα συστήματα ευφυούς παραγωγής καλύπτουν ένα μεγάλο φάσμα θεμάτων όπως ο έξυπνος σχεδιασμός, η έξυπνη μηχανική, ο έξυπνος έλεγχος, η έξυπνη παρακολούθηση, ο έξυπνος προγραμματισμός και η βιομηχανική εφαρμογή (Zheng et al., 2018).

Δεν υπάρχει γενικά αποδεκτός ορισμός της ευφυούς παραγωγής. Σύμφωνα με το Εθνικό Ινστιτούτο Προτύπων και Τεχνολογίας (NIST - National Institute of Standards and Technology) είναι ένα πλήρως ενσωματωμένο, συνεργατικό σύστημα παραγωγής που ανταποκρίνεται σε πραγματικό χρόνο για την κάλυψη των μεταβαλλόμενων απαιτήσεων και συνθηκών στο εργοστάσιο, στο δίκτυο προμήθειας και στις ανάγκες των πελατών. Η ευφυής παραγωγή είναι μια αναδυόμενη μορφή παραγωγής με αισθητήρες, υπολογιστικές πλατφόρμες, τεχνολογία επικοινωνίας, έλεγχο, προσομοίωση, μοντελοποίηση εντατικής χρήσης δεδομένων και προγνωστική μηχανική. Χρησιμοποιεί Κυβερνο-φυσικά Συστήματα, Διαδίκτυο των Πραγμάτων, Υπολογιστικό Νέφος, Τεχνητή Νοημοσύνη και Επιστήμη Δεδομένων. Η ουσία της ευφυούς παραγωγής αποτυπώνεται σε έξι πυλώνες: την τεχνολογία παραγωγής με τις διαδικασίες, τα υλικά, τα δεδομένα, την προγνωστική μηχανική, τη βιωσιμότητα με την κοινή χρήση πόρων και τη δικτύωση. Ωστόσο, η ευφυής παραγωγή δεν αφορά τον βαθμό αυτοματοποίησης, πρόκειται για αυτονομία, εξέλιξη, προσομοίωση και βελτιστοποίηση της επιχείρησης. Το εύρος και ο χρονικός ορίζοντας της προσομοίωσης και της βελτιστοποίησης θα εξαρτηθούν από τη διαθεσιμότητα των δεδομένων και των εργαλείων. Το επίπεδο «ευφυΐας» μιας επιχείρησης θα καθορίζεται από τον βαθμό στον οποίο η φυσική επιχείρηση έχει αντικατοπτριστεί στον κυβερνοχώρο (Kusiak, 2018).

Τα Κυβερνο-φυσικά συστήματα περιλαμβάνουν τεχνικές έξυπνου σχεδιασμού, έξυπνης μηχανικής, έξυπνης παρακολούθησης, έξυπνου ελέγχου και έξυπνου προγραμματισμού. Κατά τον έξυπνο σχεδιασμό εφαρμόζονται τεχνικές εικονικής (VR – Virtual Reality) και επαυξημένης πραγματικότητας (AR – Augmented Reality) για την αναδημιουργία τρισδιάστατων μοντέλων. Τα έξυπνα εργοστάσια είναι εξοπλισμένα με αισθητήρες και συστήματα ταυτοποίησης μέσω ραδιοσυχνοτήτων (RFID - Radio Frequency Identification) για τη συλλογή δεδομένων, τα οποία επεξεργάζονται και ελέγχονται σύμφωνα με τις ανάγκες του εργοστασίου. Η έξυπνη μηχανική κατεργασία χρησιμοποιεί ρομπότ και αισθητήρες για την κατασκευή προϊόντων και τη μεταφορά δεδομένων σε πραγματικό χρόνο στο Υπολογιστικό Νέφος, με σκοπό να βοηθήσει τα ρομπότ να βελτιστοποιήσουν τα παραγόμενα

προϊόντα. Δεν υπάρχει ανάγκη για έλεγχο ποιότητας καθώς το λογισμικό ανακτά συνεχώς δεδομένα και τα αναλύει για αποστολή ειδοποιήσεων πριν συμβούν. Τα έξυπνα εργοστάσια μπορούν να διαχειρίζονται και να ελέγχουν όλα τα συστήματά τους χρησιμοποιώντας δεδομένα που λαμβάνονται από τους αισθητήρες. Όλο το σύστημα του εργοστασίου συγχρονίζεται με τη βοήθεια του Διαδικτύου των Πραγμάτων. Η έξυπνη παρακολούθηση χειρίζεται τη λειτουργία και τη συντήρηση ρομπότ, αισθητήρων και προϊόντων προετοιμάζοντας ένα ιδανικό πρόγραμμα και χρησιμοποιώντας αισθητήρες για να διασφαλίσει ότι όλα λειτουργούν σωστά. Αξίζει να τονιστεί ότι καθώς οι έξυπνες τεχνολογίες παραγωγής εξελίσσονται, οι βιομηχανίες στρέφονται από τη συντήρηση των μηχανών λόγω βλάβης στη συντήρηση με βάση την κατάσταση (σε έλεγχο ρουτίνας) (CBM – Condition-Based Maintenance). Αυτά τα συστήματα ανιχνεύουν βλάβες στην πρώιμη μορφή τους και στέλνουν ειδοποιήσεις συμβάλλοντας στην προγνωστική συντήρηση. Ο έξυπνος έλεγχος κάνει χρήση ασύρματων συνδέσεων παρέχοντας τη δυνατότητα ελέγχου όλου του εργοστασίου από απόσταση ενώ ο έξυπνος προγραμματισμός χρησιμοποιεί δεδομένα για τη δημιουργία αξιόπιστου προγράμματος (Namjoshi et al.,2022).

Τα Κυβερνο-φυσικά συστήματα χαρακτηρίζονται από την δομή πέντε επιπέδων 5C (Connection – Conversion – Cyber – Cognition – Configuration). Κάθε επίπεδο συμμετέχει στη ροή της πληροφορίας. Το πρώτο επίπεδο είναι η επικοινωνία και η απόκτηση δεδομένων από τον εξοπλισμό, το δεύτερο επίπεδο είναι η μετατροπή των δεδομένων σε πληροφορία, το τρίτο επίπεδο του κυβερνοχώρου είναι η αξιολόγηση ιστορικών δεδομένων και η χρήση αλγορίθμων, στο τέταρτο επίπεδο εφαρμόζονται μέθοδοι λήψης απόφασης για να προταθούν ενέργειες που θα βελτιστοποιήσουν την παραγωγή, στο πέμπτο επίπεδο παρέχονται όλα τα δεδομένα που θα βοηθήσουν το προσωπικό στη λήψη αποφάσεων και τα μηχανήματα να προσαρμοστούν για μείωση απώλειας (Jin et al., 2017).



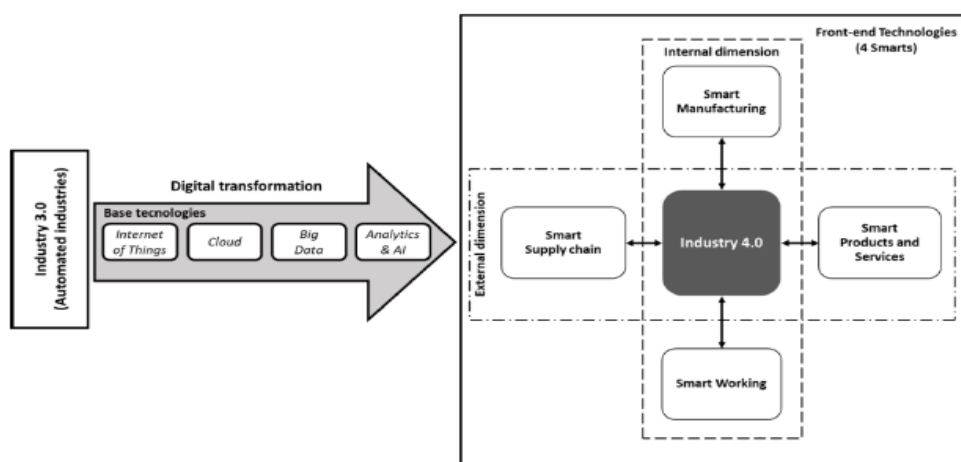
Εικόνα 7. CPS-5C Δομή

Πηγή: (Jin, 2017)

Ο αυτόνομος μηχανισμός εξέλιξης των συστημάτων ευφυούς παραγωγής υλοποιείται με την εφαρμογή μηχανικής μάθησης, μαθηματικών αλγορίθμων, μηχανικής παραγωγής, λιτής διαχείρισης και άλλων τεχνολογιών που στοχεύουν στη βελτίωση της απόδοσης. Ο μηχανισμός αυτός εστιάζει σε δομοστοιχειοθέτηση, προοδευτική κατασκευή και προσαρμογή σε πραγματικό χρόνο (Qu et al., 2019). Ο αυτοματισμός παραγωγής (Lu et al., 2020) πρέπει να είναι ευέλικτος και παραγωγικός για τη μαζική παραγωγή εξατομικευμένων προϊόντων με λογικό κόστος. Ως εκ τούτου, θα πρέπει να γίνει ευφυής σε δύο τομείς:

- Αυτοματισμός διαδικασίας παραγωγής εξατομικευμένων προϊόντων – οι διαδικασίες παραγωγής θα ενσωματωθούν και θα αυτοματοποιηθούν από το σχεδιασμό έως τον έλεγχο για κάθε μοναδικό προϊόν αντί για ομάδες προϊόντων.
- Δικτυωμένα αυτο-οργανωτικά συστήματα παραγωγής – η παραδοσιακή ιεραρχική πυραμίδα παραγωγής θα εξελιχθεί σε ολοκληρωμένα δίκτυα αυτόνομων κατασκευαστικών αντικειμένων με δυνατότητες αυτοδιαμόρφωσης, αυτοβελτιστοποίησης και αυτοθεραπείας.

Οι Frank et al. (2019) ανέπτυξαν ένα εννοιολογικό μοντέλο ψηφιακού μετασχηματισμού στο οποίο απεικονίζονται οι τέσσερις παράμετροι ευφυΐας της Industry 4.0 (Εικόνα 8). Το μοντέλο επικεντρώνεται στις βιομηχανικές δραστηριότητες της εταιρείας διακρίνοντας σε εσωτερικές: διεργασίες παραγωγής (Smart Manufacturing) και εργαζόμενοι (Smart Working), και σε εξωτερικές: εφοδιαστική αλυσίδα (Smart Supply Chain) και πελάτες (Smart Products and Services) (Meindl et al., 2021).



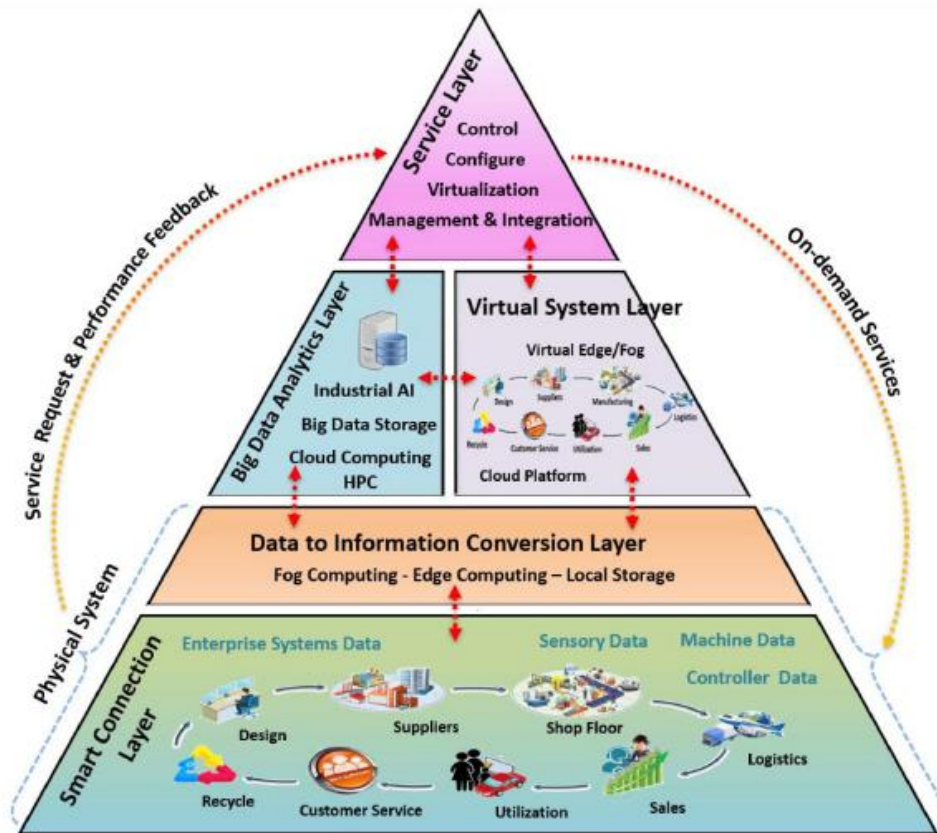
Εικόνα 8. Εννοιολογικό μοντέλο Ψηφιακού Μετασχηματισμού και οι τέσσερις παράμετροι ευφυΐας της Industry 4.0

Πηγή: (Frank et al., 2019)

Σημαντικό ρόλο στην προώθηση της ευφυούς παραγωγής παίζουν τόσο το Digital Twin (DT) όσο και τα Μεγάλα Δεδομένα. Το Digital Twin επιτρέπει στις βιομηχανίες να διαχειρίζονται σε πραγματικό χρόνο και με αμφίδρομες αντιστοιχίσεις (two-way mappings) μεταξύ φυσικού αντικειμένου και ψηφιακής αναπαράστασης, γεγονός που ανοίγει το δρόμο για την κυβερνοφυσική ενοποίηση. Σε συνδυασμό με τις δυνατότητες υψηλής ανάλυσης και πρόβλεψης των μεγάλων δεδομένων, η ευφυής παραγωγή θα ανταποκρίνεται, θα γίνει πιο προγνωστική και θα είναι επωφελής (Qi και Tao, 2018). Το DT επιτρέπει την απλή απόκτηση και ανταλλαγή δεδομένων και την πρόσβαση σε μια μεγάλη ποικιλία πληροφοριών (Malakuti et al., 2018).

Η ενσωμάτωση των DT στα Κυβερνο-φυσικά συστήματα έχει πέντα χαρακτηριστικά – απαιτήσεις: συνεχή συνδεσιμότητα και έξυπνα αντικείμενα (αισθητήρες που ανταλλάσσουν σε πραγματικό χρόνο δεδομένα μέσα στο δίκτυο), βελτιωμένη ανάλυση δεδομένων

(αυτοματοποιημένη επεξεργασία δεδομένων χωρίς ανθρώπινη παρέμβαση), συνεργατική λήψη αποφάσεων από δεδομένα που λαμβάνονται σε πραγματικό χρόνο και από διάφορα σημεία, αυτόνομη και γρήγορη κατασκευή μοντέλων καθώς και ενημερώσεις, αυτόνομος χειρισμός διαταραχών και έλεγχος ανθεκτικότητας. Η βαθιά μάθηση (DL – Deep Learning) αποτελεί μέρος της μηχανικής μάθησης (ML – Machine Learning) και μπορεί χρησιμοποιώντας δεδομένα να παρέχει αναπαραστάσεις που απαιτούνται για διάφορες εφαρμογές όπως ταξινόμηση, παλινδρόμηση, ομαδοποίηση και αναγνώριση μοτίβου. Έχει επικυρωθεί σε διαφορετικούς τομείς όπως αναγνώριση ομιλίας, επεξεργασία εικόνας, διαχείριση αποθέματος και εντοπισμός - διάγνωση σφαλμάτων. Οι Lee et al. (2020), πρότειναν την ακόλουθη δομή με βάση τον συνδυασμό DTDL και CPS στην οποία απεικονίζεται η ροή των δεδομένων/πληροφορίας σε όλα τα επίπεδα: το επίπεδο έξυπνης διασύνδεσης, το επίπεδο μετατροπής των δεδομένων σε πληροφορία, το επίπεδο ανάλυσης Μεγάλων Δεδομένων και Εικονικών Συστημάτων και στην κορυφή της πυραμίδας το επίπεδο των υπηρεσιών.



Εικόνα 9. DTDL – CPS δομή για συστήματα ευφυούς παραγωγής

Πηγή: (Lee et al., 2020)

Τα συστήματα ευφυούς παραγωγής λειτουργούν με δύο τρόπους: ημι-αυτόνομα και πλήρως αυτόνομα. Στον ημι-αυτόνομο τρόπο, ο μηχανικός παραγωγής ορίζει τους στόχους και θέτει τις παραμέτρους στο σύστημα παραγωγής. Σε ένα πλήρως αυτόνομο σύστημα, το ίδιο το σύστημα ορίζει τις βέλτιστες παραμέτρους λειτουργίας και εφαρμόζεται αυτόματα σε όλες τις διασυνδεδεμένες μονάδες παραγωγής (Phuyal et al., 2020 και Alavian et al., 2020). Οι Mittal et al. (2017) αναγνώρισαν έξι καθοριστικούς παράγοντες υπέρ της ευφυούς παραγωγής. Αυτοί είναι: η νομοθεσία, οι κανονισμοί, η εκπαίδευση, η κατάρτιση του προσωπικού, τα συστήματα διαμοιρασμού δεδομένων και τα πρότυπα, τα οποία σε αντίθεση με τη διαλειτουργικότητα παρέχουν την άδεια στα συστήματα να διαμοιραστούν δεδομένα.

3 ΕΡΕΥΝΗΤΙΚΟ ΠΕΛΙΟ

3.1 Η INDUSTRY 4.0 ΣΤΗ ΒΙΟΜΗΧΑΝΙΑ ΤΡΟΦΙΜΩΝ

Η επίδραση της Industry 4.0 είναι εμφανής στη βιομηχανία τροφίμων μέσω της εφαρμογής των νέων τεχνολογιών που την προσδιορίζουν, επιτυγχάνοντας πιο καινοτόμες και αποδοτικές διαδικασίες, με παραγωγή προϊόντων και υπηρεσιών υψηλής ποιότητας σε σύντομο χρόνο και με χαμηλό κόστος. Απαραίτητη προϋπόθεση για την επιτυχή εφαρμογή της Industry 4.0 είναι το ανθρώπινο δυναμικό να εστιάσει περισσότερο στην απόκτηση γνώσεων σχετικά με τις νέες τεχνολογίες και όχι τόσο στην απόκτηση διοικητικών και τεχνικών γνώσεων, γεγονός που θα πρέπει να λάβει σοβαρά η βιομηχανία τροφίμων καθώς η ετοιμότητα του προσωπικού, η εκπαίδευση και η κατάρτιση του αποτελούν τις μεγαλύτερες προκλήσεις για τη βιομηχανία τροφίμων (Akyazi et al., 2020). Τα οφέλη που φέρει η υιοθέτηση της Industry 4.0 είναι η δυνατότητα εξοικονόμησης ενέργειας κατά την επεξεργασία τροφίμων, η βελτιστοποιημένη συνολική περιβαλλοντική απόδοση, το χαμηλότερο κόστος παραγωγής, η ανάπτυξη προϊόντων φιλικών προς το περιβάλλον, το υψηλότερο επίπεδο ασφάλειας και υγείας στο προσωπικό κατά την επεξεργασία τροφίμων και οι καλύτερες συνθήκες εργασίας για τους εργαζόμενους (Rezek et al., 2021).

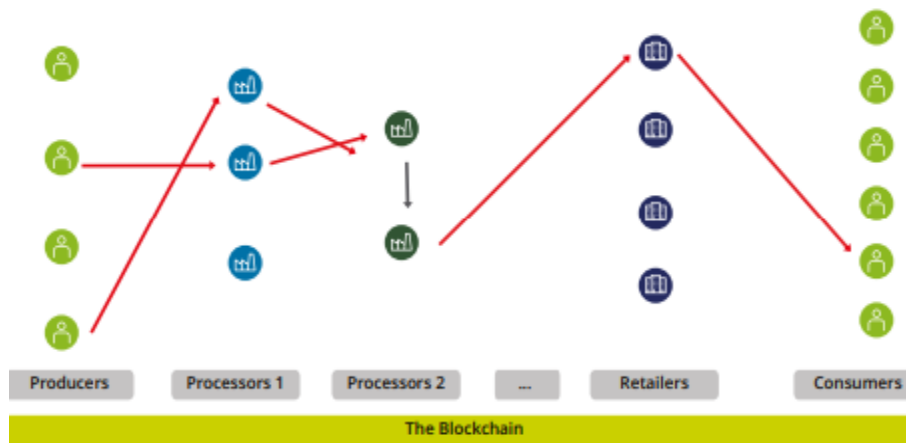
Οι Zhao et al. (2015) προτείνουν με την μελέτη τους, τη χρήση του Διαδικτύου των Πραγμάτων για να ενισχυθεί η ασφάλεια των τροφίμων καθώς επιτρέπεται η αναγνώριση των προϊόντων και ο εντοπισμός τους, παρέχοντας πλήρη ιχνηλασιμότητα από την καλλιέργεια μέχρι την επεξεργασία και όλη την εφοδιαστική αλυσίδα. Η εφαρμογή της Industry 4.0 στην εφοδιαστική αλυσίδα των τροφίμων θα μπορούσε να συμβάλει σημαντικά στη βιώσιμη ανάπτυξη (Oio et al., 2018). Παράλληλα, σε συνδυασμό με τη χρήση μηχανημάτων τελευταίας τεχνολογίας προάγεται η παραγωγή προϊόντων με μικρό κόστος παραγωγής, η αυξημένη λειτουργική απόδοση (χαμηλότερη κατανάλωση ενέργειας και νερού) και η πλήρη εναρμόνιση με τις περιβαλλοντικές απαιτήσεις (μειωμένη εκπομπή διοξειδίου του άνθρακα, παραγωγή ενέργειας μηδενικών εκπομπών) (Borowski, 2021).

Όπως προέκυψε από την έρευνα των Demartini et al. (2018) οι εταιρείες τροφίμων μπορούν να ανταποκριθούν στις διεθνείς προκλήσεις με τη βοήθεια των τεχνολογιών της πληροφορικής. Ωστόσο, η έρευνα έχει στρέψει το ενδιαφέρον της στη μελέτη της ψηφιοποίησης του κλάδου των τροφίμων μόλις τα τελευταία χρόνια. Ο Ian Hughes,

διευθυντής λειτουργιών στην TetraPak, υποστηρίζει ότι αυτή η καθυστέρηση οφείλεται στο γεγονός ότι η βιομηχανία τροφίμων, σε αντίθεση με άλλες βιομηχανίες π.χ. αυτοκινητοβιομηχανίες, δεν μπορεί να παράγει ασταμάτητα καθώς απαιτείται χρόνος διακοπής των λειτουργιών τους για τον καθαρισμό και την εναλλαγή στην παραγωγή των προϊόντων. Επιπλέον, η σημαντικότητα της ασφάλειας των τροφίμων και της διανομής εμποδίζει τους παραγωγούς να αφήσουν τις δοκιμασμένες μεθόδους παραγωγής και να στραφούν προς κάτι νέο (Tetra Pak, 2018).

Οι Goller et al. (2021) διεξήγαγαν ποιοτική μελέτη λαμβάνοντας συνεντεύξεις από 10 παραγωγούς ψηφιοποιημένων γαλακτοκομικών αγροκτημάτων στη Γερμανία. Τα ευρήματα τους ενισχύουν το γεγονός ότι η εργασία γίνεται πιο ευέλικτη ευνοώντας την ισορροπία μεταξύ επαγγελματικής και προσωπικής ζωής καθώς υπάρχει μετατόπιση από την χειρωνακτική εργασία προς την εργασία που περιλαμβάνει ερμηνεία και χειρισμό δεδομένων. Ωστόσο, απαιτείται συνεχής διαθεσιμότητα και συνδεσιμότητα στο Διαδίκτυο, για παράδειγμα όταν μία αγελάδα λαμβάνει αντιβιοτικά και τα γάλα της δεν είναι κατάλληλο προς επεξεργασία, θα πρέπει ο παραγωγός να ενημερώσει άμεσα τα Κυβερνο-φυσικά Συστήματα, διαφορετικά το επιμολυσμένο γάλα θα εισαχθεί σε δεξαμενές καταστρέφοντας την απόδοση της παραγωγής, οδηγώντας σε οικονομικές απώλειες τους παραγωγούς και σε κινδύνους για την υγεία των καταναλωτών.

Η σύνδεση της Industry 4.0 με τη Γεωργία Ακριβείας (Precision Agriculture) είναι αποδεδειγμένη και συμβάλλει στη βελτιστοποίηση τεχνικών καλλιέργειας και εκτροφής με στόχευση την παραγωγή υψηλής ποιότητας προϊόντων (Trivelli και Apicella, 2019). Η ταυτοποίηση μέσω ραδιοσυχνοτήτων (RFID) συμβάλλει στην ακριβή αναγνώριση και ιχνηλασιμότητα με γρήγορο και αξιόπιστο τρόπο, κατά μήκος όλης της εφοδιαστικής αλυσίδας. Μία από τις μεγαλύτερες προκλήσεις είναι η παρακολούθηση της πορείας του γάλακτος καθώς συχνά προέρχεται από πολλούς διαφορετικούς παραγωγούς και αλλάζει προορισμούς, όπως παρουσιάζεται στην παρακάτω εικόνα με τη χρήση της blockchain τεχνολογίας (Εικόνα 10) (Deloitte, 2017).



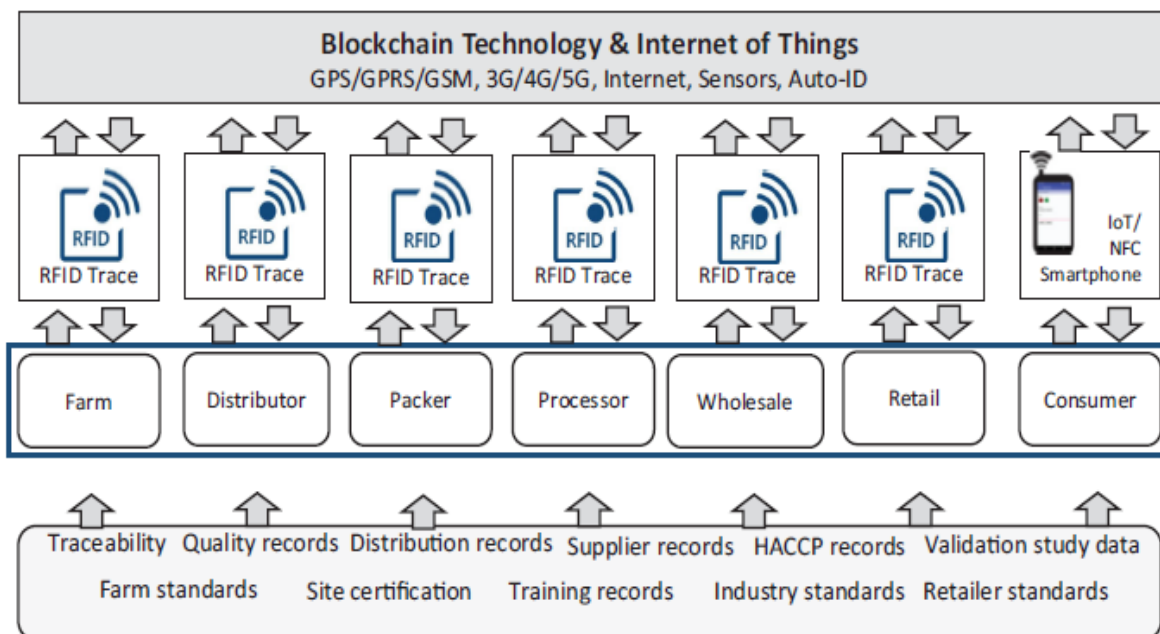
Εικόνα 10. Η τεχνολογία blockchain στον κλάδο των γαλακτοκομικών

Πηγή: (Deloitte, 2017)

Η blockchain τεχνολογία είναι μία πολλά υποσχόμενη τεχνολογία που παρέχει διαφάνεια στην εφοδιαστική αλυσίδα, η οποία εκτιμάται ότι το κόστος λειτουργίας της αποτελεί τα δύο τρίτα του τελικού κόστους των αγαθών. Η συμβολή της είναι καθοριστική στην παρακολούθηση όλων των σταδίων της εφοδιαστικής αλυσίδας (παραγωγούς, μεταποιητές και διανομείς) παρέχοντας ιχνηλασιμότητα για κάθε προϊόν (τοποθεσία, κανάλια διανομής) (Kamilaris et al., 2019). Η Deloitte Ιρλανδίας ανέπτυξε το πρωτότυπο “Foodchain”, ικανό να ανιχνεύει όλα τα συστατικά ενός συγκεκριμένου προϊόντος κατά μήκος της εφοδιαστικής αλυσίδας. Με αυτόν τον τρόπο ένας καταναλωτής στην Κίνα θα μπορεί να σκανάρει μία ετικέτα RFID στο κινητό του και να δει από που προέρχεται το κάθε συστατικό παρέχοντας διαφάνεια από το αγρόκτημα στο πιάτο (from farm to fork) (Deloitte, 2017).

Για μία επιτυχημένη ιχνηλασιμότητα από το αγρόκτημα στο πιάτο, πρέπει όλα τα στοιχεία να συνδέονται μέσω blockchain τεχνολογίας και να διαμοιράζονται δεδομένα του συστήματος HACCP όπως δελτία ποιότητας, καταγραφικά θερμοκρασίας – υγρασίας κατά τη διακίνηση, αρχεία διακρίβωσης, πληροφορίες καταγραφής τροφίμων. Κάθε στάδιο καταγράφεται στη blockchain με στόχο να μειωθεί ο ενδεχόμενος κίνδυνος αλλοίωσης (θερμοκρασία, υγρασία, λήξη), επιμόλυνσης (τοξίνες, έντομα, μικρόβια, ιοί) και ενδεχόμενη παραποίηση ή υποκατάσταση. Τα εμπλεκόμενα μέλη (παραγωγοί, μεταποιητές, συσκευαστές, διανομείς, χονδρέμποροι, λιανοπωλητές, επεξεργαστές και καταναλωτές) στην εφοδιαστική αλυσίδα τροφίμων, ενεργούν από κοινού και μοιράζονται δεδομένα μέσω

της τεχνολογίας blockchain. Όμως η χρήση της blockchain τεχνολογίας από μόνη της δεν είναι αρκετή, αλλά πρέπει να χρησιμοποιηθεί με συσκευές που εφαρμόζουν τεχνολογία Διαδικτύου των Πραγμάτων, τεχνολογίες αυτόματης αναγνώρισης και σύλληψης δεδομένων Auto-ID (RFID/NFC τεχνολογίες), GPS, GPRS, 5G, ασύρματα δίκτυα αισθητήρων και άλλες ψηφιακές εφαρμογές. Στην παρακάτω εικόνα (Εικόνα 11) απεικονίζεται η blockchain τεχνολογία σε συνδυασμό με το Διαδίκτυο των Πραγμάτων και άλλες τεχνολογίες στη βιομηχανία τροφίμων (Kayikci et al., 2022).

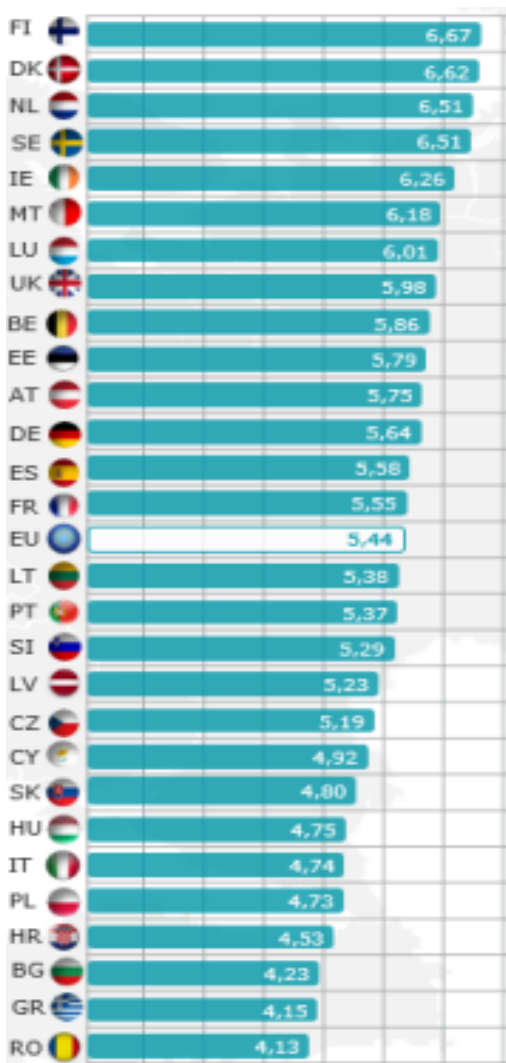


Εικόνα 11. Ψυκτική εφοδιαστική αλυσίδα τροφίμων ωθούμενη από τεχνολογία blockchain
 Πηγή: (Kayikci et al., 2022)

3.2 ΨΗΦΙΑΚΗ ΩΡΙΜΟΤΗΤΑ ΚΑΙ ΕΤΟΙΜΟΤΗΤΑ

Το Παρατηρητήριο Ψηφιακού Μετασχηματισμού συστάθηκε με πρωτοβουλία του ΣΕΒ (Σύνδεσμος Επιχειρήσεων και Βιομηχανιών) με σκοπό την παρακολούθηση του ψηφιακού και τεχνολογικού μετασχηματισμού της οικονομίας και των επιχειρήσεων. Παρακολουθεί την ψηφιακή ωριμότητα και την πορεία του ψηφιακού μετασχηματισμού στην Ελλάδα και λειτουργεί με την υποστήριξη της Deloitte. Στα πλαίσια των δράσεων του Παρατηρητηρίου, το 2019 πραγματοποιήθηκε για δεύτερη φορά αξιολόγηση της ψηφιακής ωριμότητας των

επιχειρήσεων μέσω του σύνθετου δείκτη SEV Digital Maturity Index που αποτελείται από 100 επιμέρους δείκτες (indicators) κατηγοριοποιημένους σε 27 υποδιαστάσεις και 7 διαστάσεις (4 καταλύτες και 3 αποτελέσματα). Οι δείκτες δημοσιεύονται από έγκριτους διεθνείς οργανισμούς όπως η Eurostat, η Παγκόσμια Τράπεζα και το Παγκόσμιο Οικονομικό Φόρουμ. Όπως παρουσιάζεται στο παρακάτω διάγραμμα, με βάση τον δείκτη κατάταξης SEV Digital Maturity Index των 28 κρατών-μελών της Ευρωπαϊκής Ένωσης, η Ελλάδα κατέχει χαμηλή ψηφιακή και τεχνολογική ωριμότητα, καταλαμβάνοντας την 27^η θέση και η Κύπρος την 20^η θέση, κατατάξεις χαμηλότερες από τον ευρωπαϊκό μέσο όρο (5,44). Την υψηλότερη κατάταξη κατέχει η Φινλανδία και ακολουθεί η Δανία καταλαμβάνοντας τη 2^η θέση, ενώ η Γαλλία και η Λιθουανία βρίσκονται κοντά στον μέσο όρο (Deloitte, 2020).



Διάγραμμα 1. Κατάταξη χωρών ΕΕ-28 βάσει SEV Digital Maturity Index

Πηγή: (Deloitte, 2020)

Η Κύπρος αξιοποιώντας τη θέση της μεταξύ τριών ηπείρων, Ευρώπης, Ασίας και Αφρικής, στηρίχτηκε στο εμπόριο για την ανάπτυξη της οικονομίας της. Υπάρχουν 5.300 παραγωγικές εταιρείες εκ των οποίων η πλειοψηφία είναι μικρομεσαίες οικογενειακές επιχειρήσεις και μόλις 7 εταιρείες απασχολούν πάνω από 249 εργαζόμενους. Το Κέντρο Καινοτομίας και Επιχειρηματικότητας της Deloitte πραγματοποίησε έρευνα σε εθνικό επίπεδο σε μεσαίες και μεγάλες επιχειρήσεις της Κύπρου τον Σεπτέμβριο του 2017 για να εκτιμήσει την ετοιμότητα των επιχειρήσεων να υιοθετήσουν πρακτικές της Industry 4.0. Από τα ευρήματα κατέληξε ότι υπάρχει συνεχής βελτίωση των ψηφιακών ικανοτήτων τους και αναζητούν τρόπους να μετασχηματίσουν ψηφιακά τις διαδικασίες τους με την ενσωμάτωσή τους στη γραμμή παραγωγής. Οι συμμετέχοντες της έρευνας κατανοούν τα οφέλη και εστιάζουν στις ψηφιακές δεξιότητες των υπαλλήλων. Επιπλέον, στοχεύουν να χρησιμοποιούν την ανάλυση δεδομένων με σκοπό να προβλέπουν τη συμπεριφορά των πελατών τους (Deloitte, 2019). Σύμφωνα με τον ΣΕΒ (2019) από τα 28 κράτη-μέλη της Ευρωπαϊκής Ένωσης, ήδη οι 19 χώρες υλοποιούν ολοκληρωμένες στρατηγικές αναπτύσσοντας εθνικά προγράμματα με τη σύμπραξη του δημοσίου τομέα, της βιομηχανίας και της έρευνας για την μετάβαση στην ψηφιακή εποχή (π.χ. Γαλλία – "Industrie du Futur", Ιρλανδία – "Factory 4.0", Σουηδία, Ολλανδία – "Smart Industry", Δανία – "MADE:Manufacturing Academy", Ηνωμένο Βασίλειο – "CATAPULT: High value manufacturing").

Τα παραπάνω αποτελέσματα έρχονται σε συμφωνία με τα ευρήματα της μελέτης των Castelo-Branco et al. (2019), οι οποίοι λαμβάνοντας υπόψη την ύπαρξη της "Υποδομής" (λογισμικό και δίκτυο επικοινωνιών) για Industry 4.0 ως προς την "Ωριμότητα Διαχείρισης Μεγάλων Δεδομένων" στο πλαίσιο επεξεργασίας της πληροφορίας μέσω της υποδομής, ξεχώρισαν τη Φινλανδία και την Ολλανδία σε αντίθεση με την Ουγγαρία, την Πολωνία και τη Βουλγαρία που υστερούν και ως προς τις δύο παραμέτρους. Ο Sommer (2015) αναφέρει ότι το μέγεθος της επιχείρησης παίζει σημαντικό ρόλο στην επιτυχημένη εφαρμογή της Industry 4.0. Όσο μικρότερες, τόσο μεγαλύτερος ο κίνδυνος για την εφαρμογή της και πιο δύσκολα να ανταπεξέλθουν στις οικονομικές, τεχνολογικές και τις προκλήσεις του ανθρωπίνου δυναμικού αφού πρέπει να ενισχυθούν για να ανταπεξέλθουν. Γι' αυτόν τον λόγο κρίνεται απαραίτητη η διαμόρφωση συγκεκριμένων στρατηγικών και η ύπαρξη κατάλληλου εξειδικευμένου προσωπικού. Οι μικρομεσαίες επιχειρήσεις πρέπει να είναι ευέλικτες και ανοιχτές στην καινοτομία και να γίνουν δημόσιες επενδύσεις στην Industry 4.0 καθώς η ετοιμότητά τους είναι ακόμη χαμηλή (Grufman et al., 2020).

3.3 ΕΦΑΡΜΟΓΕΣ ΤΗΣ INDUSTRY 4.0 ΣΤΗ ΓΑΛΑΚΤΟΒΙΟΜΗΧΑΝΙΑ

Η εφαρμογή της Industry 4.0 είναι ευρέως αναγνωρισμένη ως επιτακτική ανάγκη στη βιομηχανία. Καθώς η υιοθέτησή της απαιτεί σημαντικές επενδύσεις, οι οικονομικές διευθύνσεις των εταιρειών ζητάνε μετρήσιμα αποτελέσματα που θα ενισχύσουν τη στροφή προς τον ψηφιακό μετασχηματισμό και γι' αυτόν τον σκοπό έχουν αναπτυχθεί οικονομικά εργαλεία (Finance 4.0) που θα μελετούν αυτή την μετάβαση. Η εφαρμογή της Industry 4.0 περιλαμβάνει την εγκατάσταση αισθητήρων στο φυσικό περιβάλλον και την ικανότητα ταχείας ενίσχυσης των οικονομικών της παραγωγής μέσω ανάλυσης δεδομένων απόδοσης σε πραγματικό χρόνο. Η ικανότητα παραγωγής ίδιου όγκου προϊόντων με μικρότερο κόστος ή περισσότερων προϊόντων με χαμηλή ή μηδαμινή αύξηση του κόστους παραγωγής, αποτελούν ισχυρό κίνητρο. Τα καταγεγραμμένα δεδομένα της παραγωγής ενσωματώνονται σε ιστορικά δεδομένα που δείχνουν την τάση για την πρόβλεψη των απαιτήσεων, την οργάνωση των αποθεμάτων και με την ανάλυση τους επιτυγχάνεται βελτιστοποίηση ώστε να εξασφαλίζονται οι καλύτερες τιμές από τους προμηθευτές. Το αποτέλεσμα είναι η μείωση των απορριμμάτων, η βελτιωμένη εξυπηρέτηση πελατών και η δυνατότητα ανταπόκρισης στις απαιτήσεις. Η διαχείριση αποβλήτων (Waste Management) αποτελεί βασική παράμετρο οικονομικού ελέγχου στα εργοστάσια τροφίμων. Έρευνα που διεξήγαγαν οι οικονομικές υπηρεσίες της Siemens έδειξαν ότι το πιο αξιόπιστο μετρήσιμο αποτέλεσμα είναι οι βελτιώσεις στην παραγωγικότητα. Για την μέτρησή της στη Γαλακτοβιομηχανία του Ηνωμένου Βασιλείου, έγινε χρήση του όρου Digitalization Productivity Bonus και βρέθηκε ότι τα κέρδη από την παραγωγικότητα ισοδυναμούν με ποσοστό 6,3% - 9,8% ως προς τα συνολικά ετήσια έσοδα (Siemens, 2017).

Υπάρχουν πολλά οφέλη από την εφαρμογή της Industry 4.0 στον κλάδο της γαλακτοβιομηχανίας για τη βελτίωση ενός μεγάλου φάσματος λειτουργιών, όπως η αυτοματοποιημένη ανανέωση των υλικών, ο αυτοματοποιημένος ποιοτικός έλεγχος, η απομακρυσμένη υποστήριξη μέσω επαυξημένης πραγματικότητας και η προγνωστική συντήρηση (Food Engineering, 2018). Στη Γαλακτοβιομηχανία χρησιμοποιείται σύνθετος εξοπλισμός για να διασφαλίζει την ασφάλεια των τροφίμων και την ποιότητα. Η απόδοση των μηχανημάτων μπορεί να παρακολουθείται εξ αποστάσεως μέσω επαυξημένης/εικονικής πραγματικότητας και να προβλεφθεί πιθανή βλάβη. Μέσω της προγνωστικής ανάλυσης

συντηρείται ο εξοπλισμός πριν οποιαδήποτε βλάβη, βελτιώνοντας τον χρόνο λειτουργίας και ελαχιστοποιώντας το κόστος και τις βλάβες (Techcrunch, 2017).

Υπάρχουν πολλά παραδείγματα εφαρμογής της Industry 4.0 στη γαλακτοβιομηχανία σε Ελλάδα και Κύπρο, τα οποία δημοσιεύονται στον έντυπο τύπο και τις αντίστοιχες ιστοσελίδες εταιρειών αυτοματισμού (Dairy News 2022, www.ashellas.com, www.depia.gr, www.sabo.gr, www.sylco.gr, www.tft.gr, www.zenon.gr, www.zoomichaniki.gr). Παρακάτω γίνεται αναφορά σε ορισμένα από αυτά και τις αντίστοιχες εταιρείες που τα εφαρμόζουν:

- Ρομποτικά συστήματα εναέριας διακίνησης, παλετοποίησης, stretch wrapping, τοποθέτησης ετικετών. Τα κιβώτια φτάνουν στο ρομποτικό σύστημα, το οποίο τα διαχωρίζει, τα ομαδοποιεί και τα παλετοποιεί με συγκεκριμένη διάταξη (Vivartia ΑΕ, Friesland Campina, ΦΑΓΕ, Unilever, ΔΕΛΤΑ).



Εικόνα 12. Ρομποτική παλετοποίηση

Πηγή: www.kuka.com

- Συστήματα ελέγχου με οθόνη αφής για τον χειρισμό αυτοματοποιημένων διαδικασιών μέσω σχεδιασμένου συστήματος SCADA και δυνατότητα απομακρυσμένης υποστήριξης της εγκατάστασης από εξειδικευμένο προσωπικό. Καταγραφή και αποθήκευση πληροφοριών με πλήρη ιχνηλασιμότητα (Nestle Hellas, ΝΕΟΓΑΛ).

- Αυτόματη διαμόρφωση χαρτοκιβωτίων, εγκιβωτισμός, κλείσιμο, σφράγιση και σήμανση με ετικέτα (Δωδώνη ΑΕ).
- Ρομποτικό τάισμα σε γαλακτοπαραγωγική μονάδα μειώνοντας το κόστος διατροφής και αυξάνοντας την παραγωγή καθώς τα ζώα μπορούν να ταϊστούν μέχρι και πέντε φορές την ημέρα (Γαλακτοπαραγωγική μονάδα Τιμίου Σταυρού στην Κορινθία).
- Ρομποτικές φάρμες για την άλμεξη των ζώων με ηλεκτρονική γαλακτομέτρηση και μείωση του χρόνου αρμεγής (Φάρμα Μούζουρη στην Κύπρο, Φάρμα Αφοι Κεφαλά στον Λαγκαδά Θεσσαλονίκης).
- Αυτοματοποιημένο εργοστάσιο παραγωγής φέτας με πλήρως εκσυγχρονισμένα τμήματα συλλογής και αποθήκευσης νωπού γάλακτος, παστερίωσης, τυποποίησης, αυτοματοποιημένες διαδικασίες παραγωγής και διαχείρισης φέτας, συσκευασίας και χημικός καθαρισμός του εργοστασίου (Κτηνοτροφική Μαγνησίας – Greek Family Farm).
- Αυτοματοποιημένη γραμμή παραγωγής (μορφοποίησης) προϊόντων παγωτού μεγάλης δυναμικότητας σε διαφορετικούς όγκους/μεγέθη και τύπων επικάλυψης (μονής και διπλής επίστρωσης) (KPI KPI ΑΕ, DS MILKA ΑΒΕΕ).
- Αυτοματοποιημένη γραμμή παραγωγής γιαουρτιού και αναβάθμιση παραγωγικών συστημάτων, αυτοματισμός του εργοστασίου με συστήματα CIP – Cleaning In Place για τον αποτελεσματικό καθαρισμό των γραμμών με χαμηλή κατανάλωση νερού και ελαχιστοποίηση απωλειών ενέργειας και απορρυπαντικών (ΝΕΟΓΑΛ, ΣΤΑΜΟΥ Γαλακτοκομικά, Φάρμα Κουκάκη).
- Νέα τεχνολογία στράγγισης στο γιαούρτι, ανασχεδιασμός και βελτιστοποίηση των διαδικασιών συσκευασίας και προσθήκη ευέλικτης γραμμής εμφιάλωσης και επισυσκευασίας γιαουρτιού με πρωτοποριακή τεχνολογία αποστείρωσης. Ανάπτυξη λογισμικού επαυξημένης πραγματικότητας για άμεση διάγνωση, ανέπαφη συντήρηση και εκπαίδευση στο ψυχροστάσιο των εγκαταστάσεων της ΜΕΒΓΑΛ στα Κουφάλια. Τα συγκεκριμένα έργα έγιναν με τη συμβολή της Depia Automations που εδρεύει στη Θεσσαλονίκη (Dairy News, 2021).

Όλα τα παραπάνω έργα παρείχαν σημαντικά οφέλη στις γαλακτοβιομηχανίες δίνοντάς τους την ικανότητα να ανταποκριθούν στις απαιτήσεις και να συμβαδίζουν με τις νέες τεχνολογικές εξελίξεις. Χαρακτηριστικά οφέλη είναι: η βέλτιστη αξιοποίηση του

υφιστάμενου χώρου που παρέχει δυνατότητα επεκτασιμότητας σε περίπτωση μελλοντικής αναβάθμισης και τροποποίησης των εγκαταστάσεων, η ευελιξία και η εργονομία, η βελτιωμένη ποιότητα τελικών προϊόντων, η παροχή ιχνηλασιμότητας, η υψηλή παραγωγικότητα, η μείωση λειτουργικού κόστους, οι μειωμένες ανάγκες συντήρησης, οι γρήγορες εναλλαγές (changeover) προϊόντων, η συνδεσιμότητα με συστήματα IT της εταιρείας, η αξιοποίηση πόρων (χώρου, ανθρώπινου δυναμικού, εξοπλισμού), η βελτίωση στην εξατομίκευση των προϊόντων, οι ελάχιστες απαιτήσεις χειρισμού και η ελαχιστοποίηση λαθών (Danelogare et al, 2018).

3.4 ΔΙΑΤΥΠΩΣΗ ΕΡΕΥΝΗΤΙΚΩΝ ΕΡΩΤΗΜΑΤΩΝ

Κατά την βιβλιογραφική ανασκόπηση, παρουσιάστηκε αρχικά η πρωτοεμφάνιση της Industry 4.0, τα χαρακτηριστικά και οι θεμελιώδεις αρχές της καθώς και οι τεχνολογίες που την υποστηρίζουν. Αναφέρθηκαν οι παράγοντες που εμποδίζουν την ένταξη της και οι κινητήριες δυνάμεις που την ενισχύουν και έγινε αναφορά στις έννοιες του έξυπνου εργοστασίου και της ευφυούς παραγωγής. Ακολούθως συζητήθηκαν τα ευρήματα από την εφαρμογή της Industry 4.0 στη βιομηχανία των τροφίμων και στην ψηφιακή ωριμότητα των κρατών. Παρουσιάστηκαν οι εφαρμογές της Industry 4.0 στον κλάδο της γαλακτοβιομηχανίας σε Ελλάδα και Κύπρο καθώς και τα οφέλη που προσδίδουν στη λειτουργία των επιχειρήσεων όπως αναφέρονται στη βιβλιογραφία. Η παρούσα εργασία στοχεύει να διερευνήσει τη συμβολή της Industry 4.0 στη γαλακτοβιομηχανία. Για να επιτευχθεί αυτός ο σκοπός πρέπει να διερευνηθούν τα ακόλουθα ερωτήματα:

1. Γιατί επιδιώκουν οι επιχειρήσεις την εφαρμογή της Industry 4.0 στη γαλακτοβιομηχανία;
2. Με ποιους δείκτες μετράνε οι επιχειρήσεις τα οφέλη που έχουν από την εφαρμογή των τεχνολογιών της Industry 4.0;
3. Ποιες είναι οι βασικότερες προκλήσεις που παρουσιάζει η εφαρμογή της Industry 4.0 στη βιομηχανία γαλακτοκομικών προϊόντων και πώς μπορούν να αντιμετωπιστούν;

4 ΜΕΘΟΔΟΛΟΓΙΑ

4.1 ΕΡΕΥΝΗΤΙΚΗ ΔΙΑΔΙΚΑΣΙΑ – ΜΕΛΕΤΗ ΠΕΡΙΠΤΩΣΗΣ

Η λήψη επιχειρησιακών αποφάσεων στον κλάδο της γαλακτοβιομηχανίας χαρακτηρίζεται από ιδιαίτερη δυσκολία καθώς έχει να αντιμετωπίσει πολλές προκλήσεις, όπως το γεγονός ότι το γάλα είναι ένα ιδιαίτερα ευαλλοίωτο τρόφιμο με μικρή διάρκεια ζωής που απαιτεί άμεση επεξεργασία, υπάρχει μεγάλη διακύμανση στους χρόνους υλοποίησης, απαιτούνται σύντομοι χρόνοι παράδοσης και παρατηρείται εποχικότητα και μεταβολές στη διαθεσιμότητα και τη ζήτηση των πρώτων υλών. Για όλους τους παραπάνω λόγους, η βιομηχανία τροφίμων διαθέτει πληθώρα συσκευών, αισθητήρων και οργάνων που συνεχώς αναλύουν, παρακολουθούν και ελέγχουν παραμέτρους όπως η θερμοκρασία, το μικροβιακό φορτίο, το pH και τα επίπεδα επιμόλυνσης, προκειμένου να διασφαλιστεί η ποιότητα και η ασφάλεια των προϊόντων (Hoyer et al., 2019). Οι εφαρμογές της Industry 4.0 μπορούν να βοηθήσουν σημαντικά, προσφέροντας πλεονεκτήματα όπως: αυτοματοποίηση διαδικασιών, μείωση κόστους, συμμόρφωση με πρότυπα, βελτιωμένη απόδοση των πόρων, πλήρη ιχνηλασιμότητα, ποιοτικό έλεγχο και αυξημένη ανταγωνιστικότητα (Hasnan και Yusoff, 2018).

Οι Romanello και Veglio (2022) μελέτησαν τους παράγοντες που ενισχύουν την εφαρμογή τεχνολογιών της Industry 4.0 και τις προκλήσεις που καλείται να αντιμετωπίσει μία βιομηχανία επεξεργασίας τροφίμων εφαρμόζοντας περιπτωσιολογική μελέτη μέσω της οποίας συγκέντρωσαν δεδομένα από συνεντεύξεις. Τα αποτελέσματά τους κατέληξαν ότι για έναν επιτυχημένο ψηφιακό μετασχηματισμό, απαιτείται πρώτα η δέσμευση της διοίκησης, η οποία θα πρέπει να αναπτύξει στρατηγικές που θα τη βοηθήσουν να ξεπεράσει τις προκλήσεις που θα προκύψουν κατά το στάδιο εφαρμογής του ψηφιακού μετασχηματισμού. Η συγκεκριμένη ενέργεια αποτελεί καθοριστικό στοιχείο επιτυχίας, καθώς μεσολαβεί αρκετό χρονικό διάστημα από τη στιγμή που θα υιοθετηθούν οι τεχνολογίες μέχρι τη στιγμή που θα εμφανιστούν τα πρώτα θετικά αποτελέσματα και δεν θα πρέπει να εγκαταλείπεται η προσπάθεια πριν την εμφάνισή τους. Εξίσου σημαντική είναι η επικοινωνία μεταξύ των διευθυντών και των εργαζομένων και οι στρατηγικές που εφαρμόζει το τμήμα διαχείρισης ανθρώπινου δυναμικού για να ξεπεραστεί η αντίσταση που προβάλλει το προσωπικό στις αλλαγές ενώ παράλληλα θα πρέπει να ενισχυθούν οι δεξιότητες του που είναι απαραίτητες

σε αυτή τη διαδικασία. Ωστόσο η συγκεκριμένη μελέτη περιορίζεται σε μία συγκεκριμένη βιομηχανία επεξεργασίας φρούτων στην Ιταλία και κατά την ολοκλήρωσή της προτείνεται η μελέτη και άλλων βιομηχανιών του κλάδου των τροφίμων που εφαρμόζουν διαφορετικές μεθόδους παραγωγής και παράγουν άλλα είδη προϊόντων.

Παρά το γεγονός ότι η Industry 4.0 εφαρμόζεται πλέον εκτεταμένα στη βιομηχανία, ο κλάδος των τροφίμων έχει στραφεί μόλις τα τελευταία χρόνια. Στη βιβλιογραφία γίνεται ιδιαίτερη αναφορά στην εφαρμογή της Industry 4.0 στα ψηφιακά εφοδιαστικά δίκτυα και σε μελέτες εφαρμογής διαφόρων τεχνολογιών, όπως η χρήση του blockchain για παροχή ιχνηλασιμότητας (Casino et al, 2021), η μελέτη χρήσης των digital twins για αποδοτικό ψηφιακό μετασχηματισμό στη βιομηχανία (Bamunuarachchi et al., 2021), η χρήση Διαδικτύου του Πραγμάτων για έλεγχο της ποιότητας του γάλακτος πριν τη συλλογή τους από τη φάρμα (Yavari et al., 2020) και η χρήση έξυπνων αισθητήρων για αυτοματοποιημένες γραμμές παραγωγής γιαουρτιού (Salah, 2021). Επιπλέον πολύ συχνά συναντώνται έννοιες όπως: Agriculture 4.0 (Liu et al., 2020), Agri-Food 4.0 (Lezoche et al., 2020), Food Logistics 4.0 (Jagtap et al., 2020), Supply-chain 4.0 (Ali et al, 2021), η ανάλυση των οποίων δεν θα πραγματοποιηθεί καθώς ξεφεύγει από τον σκοπό της παρούσας εργασίας.

Η παρούσα εργασία εστιάζει στη συμβολή της Industry 4.0 στον κλάδο της γαλακτοβιομηχανίας μελετώντας το παράδειγμα μίας βιομηχανίας παραγωγής ενός μεγάλου φάσματος γαλακτοκομικών προϊόντων: παστεριωμένα γάλατα, γιαούρτια, τυροκομικά προϊόντα και προϊόντα υψηλής θερμικής επεξεργασίας όπως γάλα και κρέμες μακράς διάρκειας. Για λόγους εμπιστευτικότητας, το όνομα της εταιρείας δεν θα αποκαλυφθεί στην παρούσα διατριβή και θα αποκαλείται ως «Εταιρεία Α». Χρησιμοποιείται η ποιοτική μέθοδος επειδή ο σκοπός της παρούσας εργασίας είναι διερευνητικός, καθώς θέτει ερωτήματα, αξιολογεί δεδομένα, αναζητά να αποκαλύψει τι συμβαίνει και παράγει ιδέες και υποθέσεις για μελλοντική έρευνα. Η μεθοδολογία έρευνας που επιλέχθηκε είναι η μελέτη μοναδικής περίπτωσης (single case study) και προσπαθεί να απαντήσει στα ερευνητικά ερωτήματα τα οποία προέκυψαν από μελέτη της βιβλιογραφίας και τέθηκαν σε προηγούμενο κεφάλαιο από τον συγγραφέα:

1. Γιατί επιδιώκουν οι επιχειρήσεις την εφαρμογή της Industry 4.0 στη γαλακτοβιομηχανία;

2. Με ποιους δείκτες μετράνε οι επιχειρήσεις τα οφέλη που έχουν από την εφαρμογή των τεχνολογιών της Industry 4.0;
3. Ποιες είναι οι βασικότερες προκλήσεις που παρουσιάζει η εφαρμογή της Industry 4.0 στη βιομηχανία γαλακτοκομικών προϊόντων και πώς μπορούν να αντιμετωπιστούν;

Για τη συλλογή πρωτογενών δεδομένων, πραγματοποιούνται πλήρως δομημένες συνεντεύξεις με προκαθορισμένες ερωτήσεις τις οποίες διαθέτει ο ερευνητής με προκαθορισμένη διατύπωση και σε καθορισμένη διάταξη (Robson, 2007). Με τον όρο μελέτη περίπτωσης ο Yin (1994), ο οποίος έχει ασχοληθεί με την εφαρμογή της κατά τη διεξαγωγή της κοινωνικής έρευνας, ορίζει: *«Η μελέτη της περίπτωσης είναι μια στρατηγική διεξαγωγής έρευνας που περιλαμβάνει μια εμπειρική διερεύνηση ενός συγκεκριμένου σύγχρονου φαινομένου μέσα στο πραγματικό πλαίσιο της ζωής του χρησιμοποιώντας πολλαπλές πηγές απόδειξης.»*. Κατά την περιπτώσιολογική μελέτη ο ερευνητής διερευνά σε βάθος ένα οριοθετημένο σύστημα (π.χ. δραστηριότητα, γεγονός, διαδικασία ή άτομα) με βάση τη συγκέντρωση εκτεταμένων δεδομένων. Για τη συλλογή δεδομένων χρησιμοποιεί πολλαπλές πηγές όπως είναι τα τεκμήρια, τα αρχεία, οι συνεντεύξεις και οι παρατηρήσεις (Creswell, 2011). Η μελέτη περίπτωσης ανήκει στην ποιοτική έρευνα. Σε αντίθεση με την ποσοτική, η ποιοτική έρευνα καταφέρνει να αναδείξει διαφορετικές απόψεις παρέχοντας περιγραφή γεγονότων και όχι μετρήσιμα αποτελέσματα, επιπλέον εστιάζει περισσότερο στην ικανότητα των συμμετεχόντων να παρέχουν στον ερευνητή την πληροφορία που χρειάζεται παρά στον αριθμό των συμμετεχόντων (Lanka et al., 2020).

Ο τριγωνισμός, η χρήση πολλαπλών πηγών για να αυξηθεί η αυστηρότητα της έρευνας, αποτελεί μία από τις στρατηγικές για την αντιμετώπιση των απειλών στην εγκυρότητα. Στην παρούσα εργασία εφαρμόζεται τριγωνισμός δεδομένων καθώς χρησιμοποιούνται τρεις μέθοδοι συλλογής δεδομένων (άμεση παρατήρηση, συνεντεύξεις, έγγραφα) (Robson, 2007). Δύο βασικές έννοιες στις οποίες πρέπει να δοθεί προσοχή είναι η εγκυρότητα και η αξιοπιστία. Η εγκυρότητα αναφέρεται στο βαθμό που ένα εμπειρικό μέτρο αντικατοπτρίζει επαρκώς το πραγματικό νόημα της υπό εξέταση έννοιας, σημαίνει ότι μετράμε αυτό που λέμε ότι μετράμε (Babbie, 2011). Για να εξασφαλιστεί η εγκυρότητα, στην παρούσα εργασία τέθηκαν ερωτήματα με ουδέτερη διατύπωση και διερευνητικό χαρακτήρα για να αποφευχθεί ο κίνδυνος οι συνεντευξιαζόμενοι να κατευθυνθούν προς συγκεκριμένη απάντηση και για να

μειωθεί η μεροληψία του ερευνητή για την ανάκτηση απαντήσεων που ικανοποιούν τις δικές του απόψεις (Cohen, 2007). Η αξιοπιστία δεν πρέπει να συγχέεται με την εγκυρότητα. Με την αξιοπιστία δεν εξασφαλίζεται η πιστότητα των αποτελεσμάτων αλλά η ποιότητα των μεθόδων μέτρησης που υποδεικνύει την άντληση ίδιων δεδομένων όποτε πραγματοποιούνται επαναλαμβανόμενες παρατηρήσεις του ίδιου φαινομένου (Babbie, 2011). Γι' αυτό το σκοπό δόθηκε ιδιαίτερη προσοχή ώστε οι συνεντευξιαζόμενοι να καταλάβουν τις ερωτήσεις με τον ίδιο τρόπο και χωρίς αλλαγές στη διατύπωση και την έκφραση (Cohen, 2007).

Η έρευνα ξεκινά με τη συλλογή των δεδομένων. Ως κύρια πηγή συλλογής δεδομένων χρησιμοποιήθηκαν οι συνεντεύξεις που συμπληρώθηκαν από την άμεση παρατήρηση και τα έγγραφα. Στην παρούσα εργασία ο ερευνητής παρατηρεί τη λειτουργία δύο λογισμικών που εφαρμόζουν τεχνολογίες της Industry 4.0 και χρησιμοποιούνται ήδη στην εταιρεία της μελέτης περίπτωσης, συγκεκριμένα τα προγράμματα SCADA (supervisory control and data acquisition) και EVOCON (λογισμικό ελέγχου της συνολικής απόδοσης του εξοπλισμού), τα οποία θα αναλυθούν στη συνέχεια του κεφαλαίου. Οι συνεντεύξεις παρέχουν πληροφορίες που αφορούν στην εφαρμογή τους, τις δυσκολίες, τα οφέλη και τις μελλοντικές προκλήσεις που καλείται να αντιμετωπίσει η γαλακτοβιομηχανία. Τα έγγραφα χρησιμοποιούνται συμπληρωματικά στην εξαγωγή συμπερασμάτων σχετικά με την παροχή χρήσιμων πληροφοριών που αφορούν στην παρακολούθηση των λειτουργιών της επιχείρησης και τη συμβολή των παραπάνω προγραμμάτων στη βελτίωση της απόδοσης του εργοστασίου.

4.2 ΜΕΘΟΔΟΙ ΣΥΛΛΟΓΗΣ ΔΕΔΟΜΕΝΩΝ

Οι μέθοδοι συλλογής των πρωτογενών δεδομένων είναι η άμεση παρατήρηση, οι συνεντεύξεις και τα έγγραφα.

4.2.1 Άμεση παρατήρηση

Η παρατήρηση αφορά στη συγκέντρωση πληροφοριών παρατηρώντας ανθρώπους και χώρους στον τόπο της έρευνας. Στα πλεονεκτήματά της συγκαταλέγεται η καταγραφή

πληροφοριών ακριβώς όπως εμφανίζονται, η μελέτη της πραγματικής συμπεριφοράς και η μελέτη των ατόμων που δυσκολεύονται να εκφραστούν λεκτικά. Στα μειονεκτήματα ανήκουν ο περιορισμός στον χώρο της έρευνας, η απαίτηση για ανεπτυγμένες δεξιότητες ακρόασης και η προσοχή στις οπτικές λεπτομέρειες (Creswell, 2011). Βασικά στοιχεία για επιτυχημένη παρατήρηση αποτελούν η ακρόαση και η όραση καθώς απαιτούνται για την καταγραφή δεδομένων που σχετίζονται με τη συμπεριφορά και τις δραστηριότητες χωρίς να χρειάζεται η ανταπόκριση σε ερωτήσεις. Ο ερευνητής θα πρέπει να προσέχει στην καταγραφή λεπτομερειών, να ερμηνεύει όσα ακούει και βλέπει και να επικυρώνει τις παρατηρήσεις του ακόμη κι αν χρειάζεται να επαναλάβει την διαδικασία (Taylor-Powell και Steele, 1996).

4.2.2 Συνεντεύξεις

Οι συνεντεύξεις είναι μία εναλλακτική μέθοδος συλλογής δεδομένων, πραγματοποιούνται με την υποβολή ερωτήσεων σε έναν ή περισσότερους συμμετέχοντες και την καταγραφή των απαντήσεών τους. Στα πλεονεκτήματα της μεθόδου ανήκει η παροχή πληροφοριών που δεν μπορούν να ληφθούν με την άμεση παρατήρηση των συμμετεχόντων. Επιπλέον ο ερευνητής μπορεί να ελέγχει τις πληροφορίες που συλλέγει κάνοντας συγκεκριμένες ερωτήσεις για να τις συλλέξει. Στα μειονεκτήματα ανήκουν οι «φιλτραρισμένες» πληροφορίες μέσα από τις απόψεις του ερευνητή, η επίδραση που μπορεί να ασκεί η παρουσία του ερευνητή στο πώς απαντά ο συνεντευξιαζόμενος και το γεγονός ότι ο συνεντευξιαζόμενος μπορεί να δίνει την άποψη που θέλει να ακούσει ο ερευνητής (Creswell, 2011). Όπως αναφέρει ο Robson (2007), οι καλύτερες αποκρίσεις δίνονται όταν υπάρχουν συγκεκριμένες ερωτήσεις για σημαντικά ζητήματα. Οι συνεντεύξεις πρόσωπο με πρόσωπο βοηθούν να διερευνηθούν υποκείμενα κίνητρα τα οποία δεν είναι εφικτό να εντοπιστούν με ερωτηματολόγια. Ακόμη και μη λεκτικές ενδείξεις περνούν μηνύματα που συμβάλλουν στην καλύτερη κατανόηση των προφορικών αποκρίσεων.

4.2.3 Έγγραφα

Τα έγγραφα αποτελούν σημαντική πηγή πληροφοριών στην ποιοτική έρευνα. Αφορούν δημόσια και ιδιωτικά αρχεία τα οποία συγκεντρώνει ο ερευνητής και μπορεί να είναι

πρακτικά συναντήσεων, επίσημα υπομνήματα, σημειώσεις και αρχειακό υλικό. Εμφανίζουν το πλεονέκτημα της ίδιας γλώσσας με αυτή των συμμετεχόντων και μπορούν να αναλυθούν χωρίς να χρειάζονται την επεξεργασία που απαιτούν οι παρατηρήσεις και οι συνεντεύξεις. Στα μειονεκτήματα ανήκει η δυσκολία στον εντοπισμό, την απόκτηση και τη διαθεσιμότητά τους. Μπορεί να είναι ατελή, να μη διαβάζονται εύκολα και να αμφισβητείται η γνησιότητά τους (Creswell, 2011).

4.3 ΕΤΑΙΡΕΙΑ ΜΕΛΕΤΗΣ ΠΕΡΙΠΤΩΣΗΣ

Η «Εταιρεία Α» παράγει και διανέμει γαλακτοκομικά προϊόντα για οχτώ δεκαετίες. Δραστηριοποιείται στην παραγωγή τεσσάρων διαφορετικών κατηγοριών προϊόντων: παστεριωμένα γάλατα, γιαούρτι, τυροκομικά και προϊόντα υψηλής θερμικής επεξεργασίας (UHT – Ultra High Temperature) όπως το γάλα και η κρέμα μακράς διαρκείας. Παράγει προϊόντα υψηλής διατροφικής αξίας τα οποία προορίζονται τόσο για την εγχώρια αγορά όσο και για το εξωτερικό, καθώς δραστηριοποιείται εξαγωγικά σε περισσότερες από 32 χώρες. Παράλληλα διαθέτει προς πώληση στην εγχώρια αγορά εισαγόμενα προϊόντα άλλων εταιρειών όπως κατεψυγμένα λαχανικά, κατεψυγμένα προϊόντα ζύμης και χυμούς. Τα τελευταία χρόνια έχει επενδύσει σχεδόν 32 εκατομμύρια ευρώ για ανανέωση και εκσυγχρονισμό του μηχανολογικού της εξοπλισμού, των αποθηκευτικών της εγκαταστάσεων και την επέκταση του δικτύου διανομής της.

Σκοπός της εταιρείας είναι να αποτελεί πρωτοπόρο στον τομέα της και να παράγει προϊόντα με τεχνογνωσία, διατηρώντας πάντα αναλλοίωτες τις αξίες της. Το προσωπικό της εταιρείας ανέρχεται σε 700 εργαζόμενους, εκ των οποίων οι 400 απασχολούνται στην παραγωγή, οι 240 στις πωλήσεις και στη διανομή και οι 60 στη διοίκηση. Για το 2020, οι πωλήσεις της εταιρείας ανήλθαν στα 125εκατ.ευρώ με το ένα τρίτο των εσόδων να προέρχεται από τις εξαγωγές. Η «Εταιρεία Α» εφαρμόζει διεθνή πρότυπα ποιότητας και διαθέτει σημαντικές πιστοποιήσεις όπως: BRC (British Retail Consortium), IFS (International Food Standard), ISO 22000 και HALAL. Στα πλαίσια της Εταιρικής Κοινωνικής Ευθύνης προσφέρει έμπρακτη βοήθεια και στήριξη σε ευάλωτες ομάδες που έχουν ανάγκη.

Η παρούσα εργασία εστιάζει στην εφαρμογή δύο συστημάτων ελέγχου λειτουργιών στο εργοστάσιο, διερευνώντας τα οφέλη που προσδίδουν στη συγκεκριμένη γαλακτοβιομηχανία

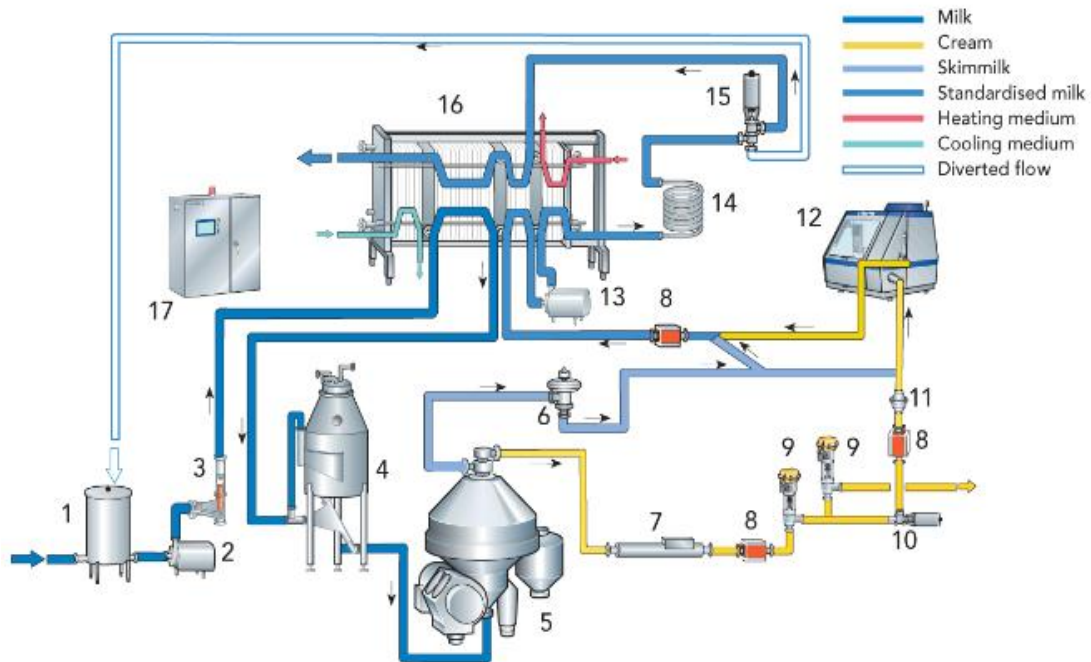
και τον τρόπο που συμβάλλουν στη βελτίωση της απόδοσής της. Παράλληλα μελετώνται οι κρίσιμοι δείκτες που παρακολουθούνται μέσω των συγκεκριμένων συστημάτων, οι οποίοι αφορούν στην απόδοση του εξοπλισμού μέσω του δείκτη Συνολικής Αποδοτικότητας Εξοπλισμού (OEE – Overall Equipment Efficiency), στην ορθή εκτέλεση λειτουργιών όπως ο καθαρισμός του εξοπλισμού (CIP – Cleaning In Place) και στην τήρηση σωστών συνθηκών εντός εργοστασίου. Η εργασία μελετά τις προκλήσεις που αναδύονται από την εφαρμογή της Industry 4.0 στη γαλακτοβιομηχανία και ολοκληρώνεται προτείνοντας τρόπους αντιμετώπισής τους.

4.4 ΠΕΡΙΓΡΑΦΗ ΔΙΑΔΙΚΑΣΙΩΝ

Η «Εταιρεία Α» επεξεργάζεται πέραν των 75εκατ.λίτρων νωπού γάλακτος σε ετήσια βάση εκ των οποίων τα 60εκατ.λίτρα είναι αγελαδινό γάλα και τα 15εκατ.λίτρα είναι αιγοπρόβειο γάλα. Το 70% του αγελαδινού γάλακτος προορίζεται για γάλα και γιαούρτι και το 30% για τυροκόμηση. Καθημερινά επεξεργάζονται περίπου 120 τόνοι αγελαδινού γάλακτος προς παστερίωση. Ανάλογα με τις ανάγκες του τμήματος πωλήσεων γίνεται καθημερινά προγραμματισμός της κατανομής του νωπού γάλακτος για τα διάφορα είδη προϊόντων που παράγει η εταιρεία. Απαραίτητη προϋπόθεση πριν προωθηθεί το νωπό γάλα για επεξεργασία, είναι να περάσει όλους τους ελέγχους που εκτελούνται από το τμήμα Ποιοτικού Ελέγχου, όπως έλεγχος αντιβιοτικών, αφλατοξίνης, νοθείας, οργανοληπτική και φυσικοχημική αξιολόγηση.

Οι γαλακτοβιομηχανίες διαθέτουν ειδικό τμήμα παραλαβής για τη διαχείριση του νωπού γάλακτος από τις φάρμες. Δίνεται ιδιαίτερη προσοχή ώστε οι θερμοκρασίες να παραμένουν χαμηλές για να μην προκληθεί η αλλοίωση του γάλακτος σε όλη την πορεία που ακολουθεί το γάλα. Μετά την έγκριση από το τμήμα Ποιοτικού Ελέγχου, το γάλα αποθηκεύεται και ακολούθως προωθείται στο αντίστοιχο τμήμα για επεξεργασία. Κατά την παστερίωσή του, το γάλα διέρχεται από φίλτρα για την απομάκρυνση ξένων σωμάτων, προθερμαίνεται, αποκορυφώνεται με φυγοκέντρηση για την απομάκρυνση του λίπους που θα χρησιμοποιηθεί για την παραγωγή κρέμας, τυποποιείται για να φτάσει στην επιθυμητή λιποπεριεκτικότητα με την ανάμιξη γάλακτος και κρέμας και ομογενοποιείται για να αποκτήσει ομομοιόμορφη κατανομή του λίπους στο εσωτερικό του. Οι παραπάνω διαδικασίες είναι χαρακτηριστικές

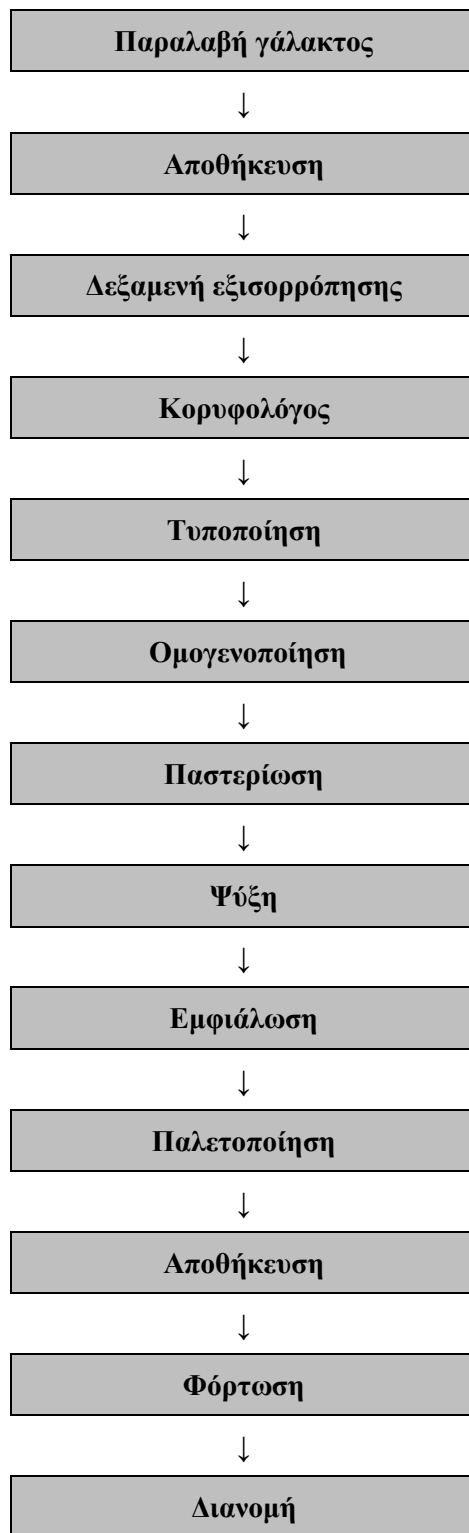
σε κάθε γαλακτοβιομηχανία. Με την παστερίωση επιτυγχάνεται η μείωση του μικροβιακού φορτίου και η επιμήκυνση της διάρκειας ζωής του (Εικόνα 13). Πραγματοποιείται στους 72°C για 15 δευτερόλεπτα και ακολούθως το γάλα ψύχεται άμεσα. Το παστεριωμένο γάλα εμφιαλώνεται, παλετοποιείται, αποθηκεύεται στις ψυκτικές αποθήκες της εταιρείας, μέχρι την έγκριση για αποδέσμευση από το τμήμα Ποιοτικού Ελέγχου. Στη συνέχεια ακολουθεί η φόρτωση και η διανομή στους πελάτες, όπως παρουσιάζεται στο ενδεικτικό διάγραμμα ροής με τα κυριότερα στάδια κατά την παραγωγή παστεριωμένου γάλακτος (Διάγραμμα 2). Σε αντίθεση με το παστεριωμένο γάλα, κατά την παραγωγή προϊόντων υψηλής θερμικής επεξεργασίας πραγματοποιείται αποστείρωση σε μεγαλύτερη θερμοκρασία που επιτυγχάνει την καταστροφή όλων των μικροοργανισμών και των ενζύμων του γάλακτος, προσδίδοντας στο τελικό προϊόν μεγαλύτερη διάρκεια ζωής. Κατά την τυροκόμηση απαιτείται η προσθήκη πυτιάς, ειδικών ενζύμων που προκαλούν την πήξη του γάλακτος για την εξαγωγή τυροπήγατος ενώ κατά την παραγωγή γιαουρτιού είναι απαραίτητη η χρήση καλλιιεργειών, μικροοργανισμών που ζυμώνουν τα συστατικά του γάλακτος. Περαιτέρω αναφορά στις συγκεκριμένες διαδικασίες παραγωγής δεν θα γίνει, διότι ξεφεύγει από τους σκοπούς της παρούσας διατριβής (Dairy Processing Handbook, Tetrapak, 2015).



1. Δεξαμενή εξισορρόπησης
2. Αντλία γάλακτος
3. Ρυθμιστής ροής
4. Απαερωτής
5. Διαχωριστήρας
6. Βαλβίδα σταθερής πίεσης
7. Μετασχηματιστής πυκνότητας
8. Μετασχηματιστής ροής
9. Ρυθμιστική βαλβίδα
10. Βαλβίδα διακοπής
11. Βαλβίδα ελέγχου
12. Ομογενοποιητής
13. Αντλία ενισχύσεως
14. Τμήμα σταθερής θερμοκρασίας
15. Βαλβίδα αντίστροφης ροής
16. Πλακοειδής εναλλάκτης θερμότητας
17. Πίνακας ελέγχου

Εικόνα 13. Μονάδα παστερίωσης γάλακτος

Πηγή: (Dairy Processing Handbook, Tetrapak, 2015)



Διάγραμμα 2. Διάγραμμα ροής παστερίωσης γάλακτος

Πηγή: Αρχείο συγγραφέα

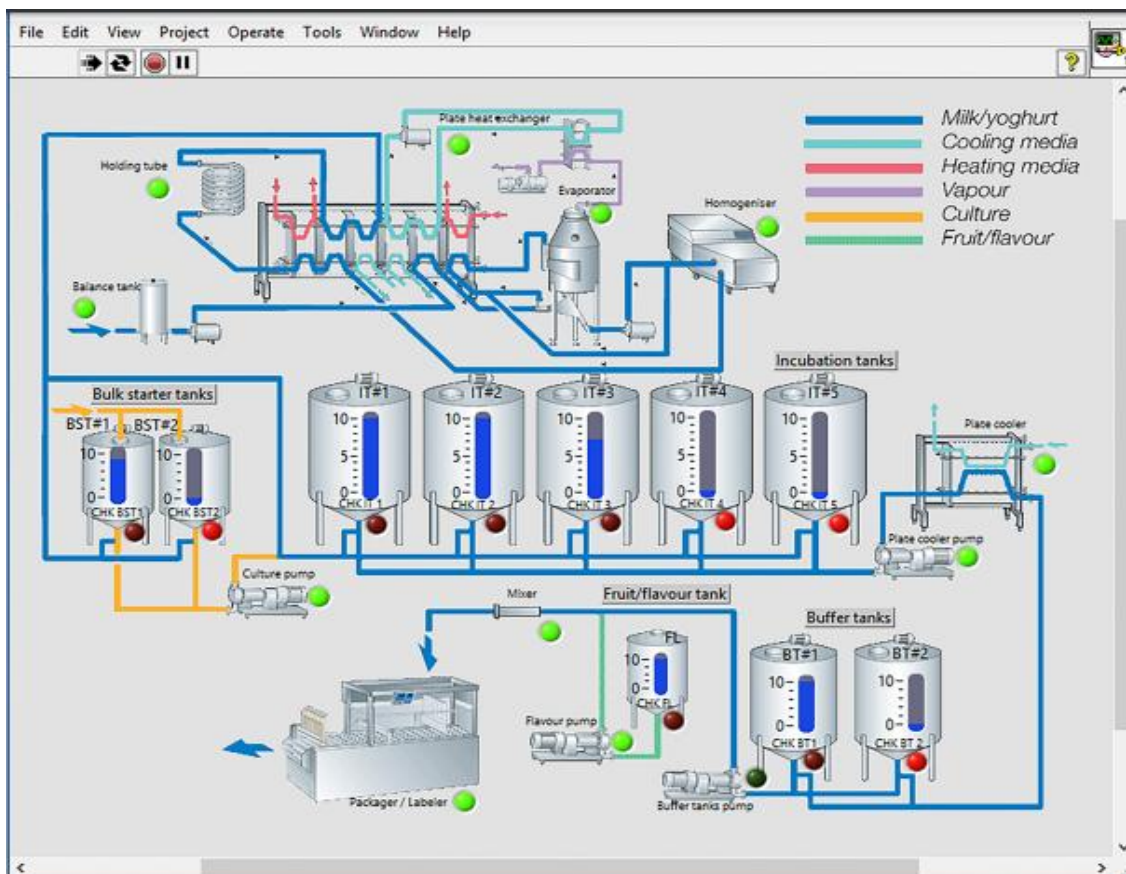
4.5 ΠΕΡΙΓΡΑΦΗ ΣΥΣΤΗΜΑΤΩΝ ΕΛΕΓΧΟΥ

4.5.1 Εποπτικό Σύστημα Ελέγχου και Συλλογής Δεδομένων (SCADA)

Η τεχνολογία SCADA (Supervisory Control and Data Acquisition) αποτελεί μία μέθοδο παρακολούθησης και ελέγχου διαδικασιών που καλύπτουν περιοχές μεγάλων εκτάσεων και περιλαμβάνει λογισμικά πακέτα που μπορούν να ενσωματωθούν σε ένα μεγαλύτερο σύστημα (Boyer, 1999). Όπως δηλώνει και το όνομα, πρόκειται για ένα Εποπτικό Σύστημα Ελέγχου και Συλλογής Δεδομένων που δεν αποτελεί ένα πλήρες σύστημα ελέγχου αλλά επικεντρώνεται σε επίπεδο εποπτείας. Γι' αυτόν τον σκοπό, βρίσκεται τοποθετημένο πάνω στο σύστημα με το οποίο διασυνδέεται μέσω Προγραμματισμένων Λογικών Ελεγκτών (Programmable Logic Controllers - PLCs) ή άλλων μονάδων υλικού (Daneels and Salter, 1999). Οι Προγραμματισμένοι Λογικοί Ελεγκτές και η Ladder Logic (LAD) που αποτελεί τη γλώσσα προγραμματισμού τους, βρίσκονται στην πρώτη γραμμή αυτοματισμού της παραγωγής. Γλώσσες ανωτέρου επιπέδου όπως η Sequential Function Chart και η Function Blocks διευκολύνουν το έργο προγραμματισμού σε μεγάλα συστήματα. Χρησιμοποιούνται από τα εργοστάσια για μείωση του κόστους παραγωγής και βελτίωση της ποιότητας (Erickson, 1996). Αποτελούν την καλύτερη επιλογή για τον αυτοματισμό στη βιομηχανία και οι αναβαθμίσεις τους θα ικανοποιούν τις απαιτήσεις των μελλοντικών εργοστασίων για τη νέα εποχή στη βιομηχανία (Chen et al., 2017).

Τα συστήματα SCADA βοηθούν στη συλλογή πληροφοριών από όλο το εργοστάσιο σε ένα κεντρικό σημείο καθώς παρέχεται η ικανότητα να ελέγχεται όλο το εργοστάσιο από ένα μέρος. Αυτό επιτυγχάνεται με τη βοήθεια των PLCs, οι οποίοι επικοινωνούν με τον εξοπλισμό και στη συνέχεια παρέχουν στο SCADA τα δεδομένα προκειμένου να απεικονιστεί η κατάσταση της εγκατάστασης. Από την πλευρά τους οι χειριστές μπορούν να ελέγχουν την κεντρική μονάδα χρησιμοποιώντας το SCADA και θέτοντας τιμές αναφοράς στους PLCs. Οι διάφορες μεταβλητές αποθηκεύονται στη βάση δεδομένων και μπορούν να απεικονιστούν μέσω πινάκων που δείχνουν τις γραμμές τάσης. Ακολούθως μπορούν να εκτυπωθούν σε μορφή εντύπων για να κοινοποιηθούν σε κάθε ενδιαφερόμενο. Σε κρίσιμες καταστάσεις μπορούν να τεθούν μηνύματα συναγερμού τα οποία θα ειδοποιήσουν για αποκλίσεις και θα αρχειοθετηθούν στη βάση δεδομένων. Οι χρωματικές απεικονίσεις που χρησιμοποιούνται συνήθως για τις μηχανές είναι: πράσινο όταν η μηχανή βρίσκεται σε

λειτουργία, γκρίζο όταν σταματάει ενώ όταν υπάρχει πρόβλημα αναβοσβήνει κόκκινο χρώμα. Εκτός από την γενική εικόνα, οι χειριστές του συστήματος μπορούν να παρακολουθούν: απεικονίσεις με τις γραμμές τάσεων, πίνακα που εμφανίζει όλα τα μηνύματα συναγερμού, ξεχωριστή απεικόνιση για παρακολούθηση των ωρών εργασίας των μηχανημάτων και εικόνα που απεικονίζει κατανάλωση ενέργειας. Συνήθως σε μία κεντρική οθόνη απεικονίζεται όλη η εγκατάσταση με τις κυριότερες παραμέτρους. Αν η εγκατάσταση είναι μεγάλη υπάρχουν περισσότερες ξεχωριστές απεικονίσεις. Ο έλεγχος των μηχανών (ενεργοποίηση και απενεργοποίηση, άνοιγμα και κλείσιμο βαλβίδων) είναι διαθέσιμος με μία απλή κίνηση του ποντικιού πάνω στην αντίστοιχη εικόνα. Για λόγους ασφαλείας μπορούν να δοθούν κωδικοί προκειμένου να υπάρχει πρόσβαση μόνο στους χειριστές (Bugarski et al., 2011). Η ανάκτηση δεδομένων στη βιομηχανία τροφίμων, για την παρακολούθηση των διαδικασιών της παραγωγής είναι ζωτικής σημασίας καθώς πρέπει να παρακολουθούνται όλες οι μεταβλητές που εμπλέκονται στις διαδικασίες ώστε να διαπιστώνονται προβλήματα που μπορεί να θέσουν σε κίνδυνο την ασφάλεια των τροφίμων (Lima et al., 2015).



Εικόνα 14. Απεικόνιση εγκατάστασης παραγωγής γιαουρτιού στο SCADA

Πηγή: (Simon et al., 2018)

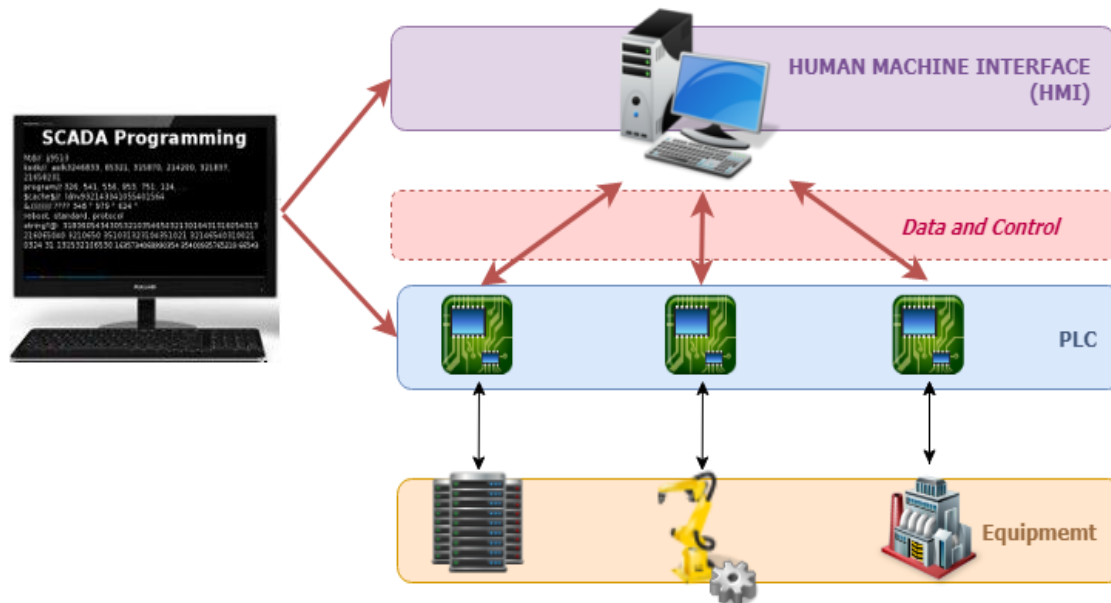
Τα κυριότερα πλεονεκτήματα που παρέχει το SCADA είναι: η αποθήκευση μεγάλων ποσοτήτων δεδομένων, η προσαρμογή των εμφανιζόμενων δεδομένων, η ικανότητα ενσωμάτωσης χιλιάδων αισθητήρων προηγμένων αλγορίθμων ελέγχου, η παρακολούθηση πολλών τύπων δεδομένων, η απομακρυσμένη προβολή δεδομένων, η αυτόματη καταγραφή δεδομένων χωρίς να απαιτείται να καταγράφονται από τους εργαζόμενους και τα αυτοματοποιημένα συστήματα προειδοποίησης. Ωστόσο υπάρχουν μειονεκτήματα που πρέπει να ληφθούν υπόψιν όπως η ανάγκη συγκεκριμένων δεξιοτήτων από το προσωπικό, οι απειλές που μπορεί να θέσουν σε κίνδυνο την ασφάλεια των διαδικασιών και την πρόσβαση των δεδομένων, το συνολικό κόστος υλοποίησης και η πολυπλοκότητα του συστήματος (Bailey και Wright, 2003).

Στη βιομηχανία τροφίμων τα σημαντικότερα οφέλη είναι η μείωση του εργατικού κόστους και η βελτίωση της ποιότητας. Χάρη στη μείωση κόστους αυξάνεται το ανταγωνιστικό

πλεονέκτημα αλλά αυτό δεν θα πρέπει να μειώνει την ποιότητα. Είναι εφικτό η ποιότητα και συνεπώς η ασφάλεια των τροφίμων να βελτιωθούν δραστικά ενώ παράλληλα μειώνονται τα λειτουργικά έξοδα. Ασφαλώς πριν από οποιαδήποτε εγκατάσταση ενός συστήματος SCADA θα πρέπει να ληφθεί υπόψη το κόστος για την τοποθέτηση και τη συντήρησή του. Η εξοικονόμηση κόστους που σχετίζεται με τον εξαιρισμό και τον κλιματισμό θα μπορούσαν από μόνα τους να δικαιολογήσουν την εγκατάσταση ενός συστήματος SCADA (Holmes et al., 2013). Για να είναι εφικτό, απαιτείται το ιστορικό καταγραφής αναλύσεων τάσης και δεδομένων σε πραγματικό χρόνο που είναι διαθέσιμα στους απομακρυσμένους PLCs. Πολλές φορές απαιτούνται εκατοντάδες PLCs και ένα σύστημα SCADA που διαβάζει τα δεδομένα στο δίκτυο Ethernet του εργοστασίου (Linko S. και Linko P., 1998).

Τα τέσσερα κύρια στοιχεία που απαρτίζουν το SCADA είναι:

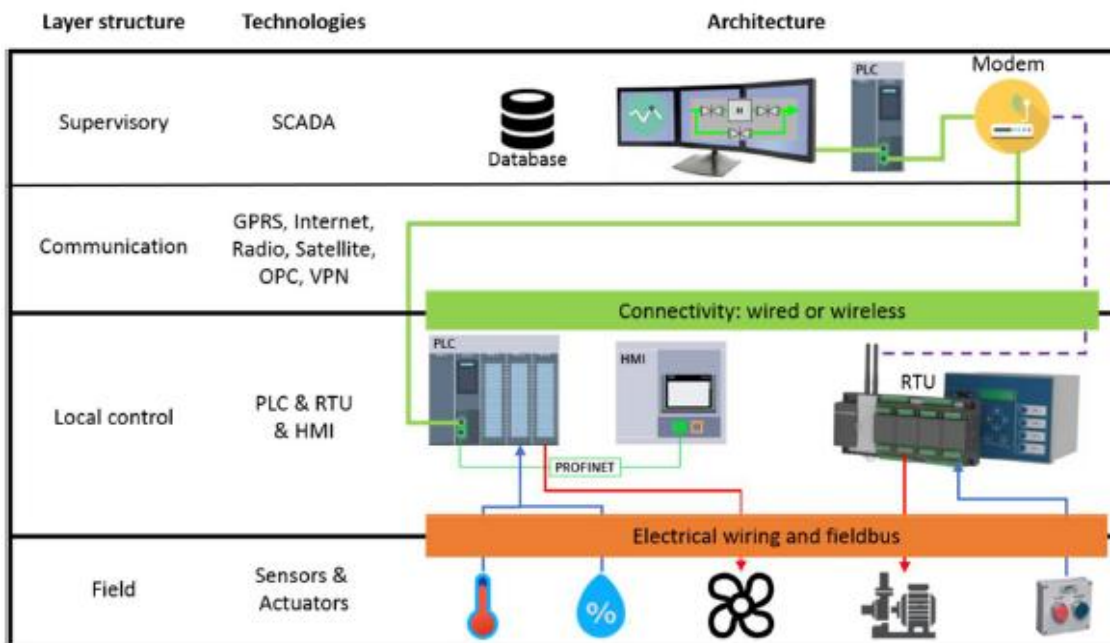
- 1) Οι εισροές (ψηφιακές ή αναλογικές) και τα ηλεκτρικά σήματα που διασυνδέονται άμεσα με απομακρυσμένους ιστότοπους. Είναι το σημείο που ξεκινούν οι λειτουργίες του SCADA. Εκτελούν την ανάκτηση δεδομένων αλλά δεν μπορούν να ερμηνεύσουν πρωτόκολλα επικοινωνίας. Γι' αυτόν τον σκοπό χρησιμοποιούνται οι απομακρυσμένες μονάδες τηλεμετρίας.
- 2) Οι Απομακρυσμένες Μονάδες Τηλεμετρίας (RTUs – Remote Telemetry Units), αποτελούν μικρές ηλεκτρονικές μονάδες σε συγκεκριμένες τοποθεσίες που εξυπηρετούν ως τοπικά σημεία συλλογής για τη συλλογή αναφορών από αισθητήρες και την παροχή εντολών.
- 3) Η Αλληλεπίδραση Ανθρώπου Μηχανής (HMI - Human Machine Interface), είναι λογισμικό που αποτελεί το κύριο σύστημα που επεξεργάζεται δεδομένα και επιτρέπει στον χειριστή να διαχειρίζεται δεδομένα. Το HMI παρέχει πληροφορίες που συλλέγονται από πολλές RTUs.
- 4) Δίκτυο Επικοινωνιών, το οποίο συνδέει τις RTUs και το SCADA στις απομακρυσμένες περιοχές. Το πιο συνηθισμένο είναι το Ethernet (<https://www.dpstele.com/scada/how-systems-work.php>).



Εικόνα 15. Τα κύρια στοιχεία του SCADA

Πηγή: (<https://www.dpstele.com/scada/how-systems-work.php>)

Το επίπεδο ελέγχου εποπτείας υλοποιείται από την κύρια τερματική μονάδα (MTU – Master Terminal Unit), συνήθως έναν υπολογιστή που περιοδικά συλλέγει δεδομένα από το επίπεδο ελέγχου διαδικασίας (τα RTUs, συνήθως τις PLCs). Το MTU εξασφαλίζει τις απαραίτητες λειτουργίες όπως η διαχείριση συναγερμών, η καταγραφή δεδομένων, η επεξεργασία των τάσεων και η εξαγωγή αναφορών (Lima et al., 2015). Όπως απεικονίζεται στην παρακάτω εικόνα, στον βασικό εξοπλισμό περιλαμβάνονται διάφορα στοιχεία όπως αισθητήρες, βαλβίδες, αντλίες και διακόπτες, τα οποία συνδέονται στους PLCs ή τα RTUs σε τοπικό δίκτυο, όπου συλλέγονται και επεξεργάζονται τα δεδομένα. Αυτά προ-επεξεργάζονται σε μία κύρια μονάδα και ετοιμάζονται για οπτικοποίηση στο HMI (Brad et al., 2021).



Εικόνα 16. Η γενική αρχιτεκτονική του SCADA

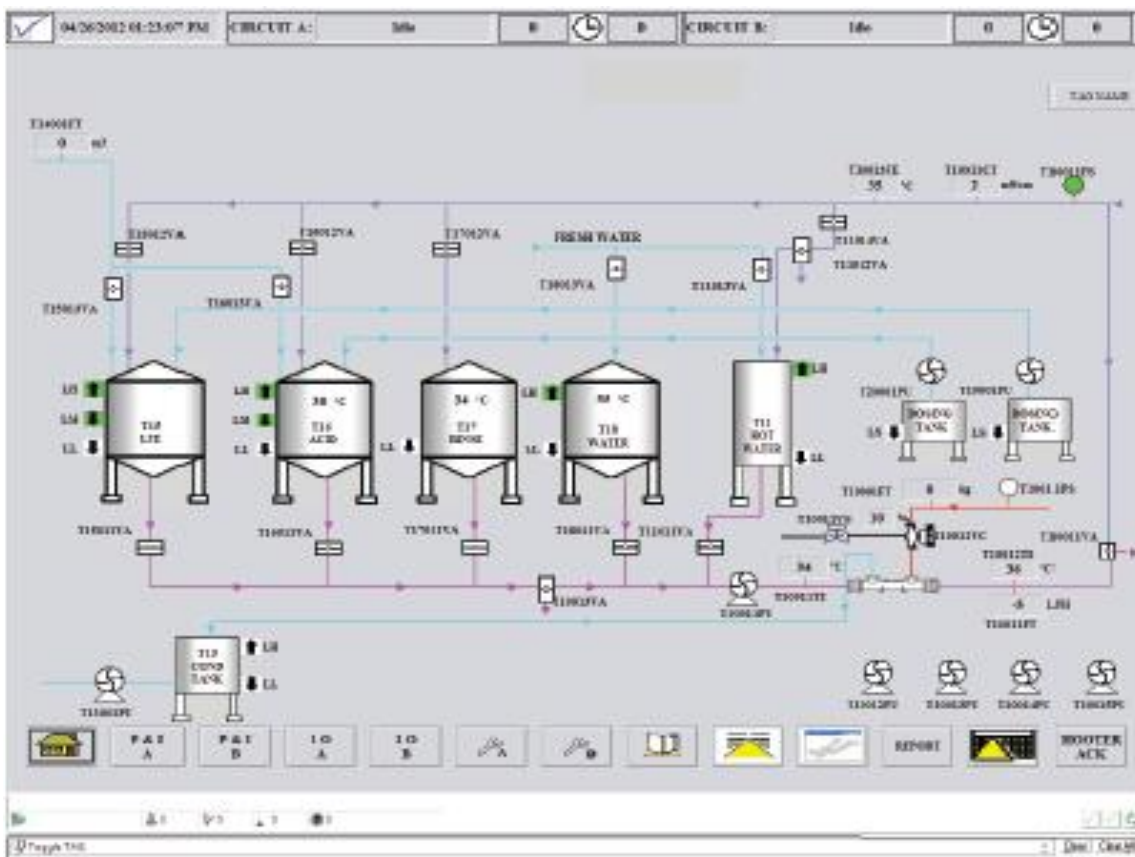
Πηγή: (Brad et al., 2021)

Στην «Εταιρεία Α» χρησιμοποιούνται συστήματα SCADA για την παρακολούθηση λειτουργιών όπως: απεικόνιση σε πραγματικό χρόνο των εγκαταστάσεων του εργοστασίου, της πληρότητας των σιλό, της λειτουργίας των παστεριωτήρων, των μηχανών της παραγωγής, παρακολούθηση του συστήματος CIP και των συνθηκών λειτουργίας (θερμοκρασίες, αγωγιμότητες), της χρονικής διάρκειας των διαδικασιών και των συνθηκών του ψυχοστάσιου.

Η μεθοδολογία μίας CIP διαδικασίας στη γαλακτοβιομηχανία περιλαμβάνει τη συλλογή δεδομένων από όλο τον εξοπλισμό όπως είναι οι αντλίες και οι βαλβίδες, την απεικόνιση των διατάξεων και τα αντίστοιχα διαγράμματα των κυκλωμάτων, τους σταθμούς του CIP και τη βελτιστοποίηση της διαδικασίας με την παρακολούθηση της κατανάλωσης ενέργειας, χημικών και νερού. Για μία επιτυχημένη εφαρμογή ενός συστήματος CIP είναι απαραίτητος ο υγειονομικός σχεδιασμός, οι κατάλληλες εγκαταστάσεις του συστήματος και η βελτιστοποίηση του βήματος έκπλυσης (Dhage B. και Dhage A., 2016).

Μία χαρακτηριστική απεικόνιση μίας διαδικασίας CIP παρουσιάζεται στην παρακάτω εικόνα. Κάθε δεξαμενή απεικονίζει το σιλό φύλαξης των χημικών διαλυμάτων που χρησιμοποιούνται κατά τον καθαρισμό. Το πρώτο σιλό περιέχει το αλκαλικό διάλυμα που

χρησιμοποιείται για απομάκρυνση του οργανικού ρύπου (λίπος, πρωτεΐνες, λακτόζη), το δεύτερο περιέχει το όξινο που χρησιμοποιείται για την απομάκρυνση των αλάτων που αποτίθενται στις επιφάνειες του εξοπλισμού, το τρίτο το νερό ξεπλύματος για την απομάκρυνση του γάλακτος, το τέταρτο το νερό του τελικού ξεπλύματος και το πέμπτο το ζεστό νερό της αποστείρωσης. Επιπλέον απεικονίζονται οι συνθήκες θερμοκρασίας και αγωγιμότητας και η συνολική διάταξη του εξοπλισμού με τις βαλβίδες και τις σωληνώσεις. Εκτός από την απεικόνιση της διάταξης του σταθμού CIP μπορούν να ανακτηθούν ιστορικά δεδομένα καταγραφής των συνθηκών καθαρισμού, της χρονικής διάρκειας που εφαρμόστηκε σε κάθε διαδικασία και της συχνότητας των καθαρισμών.



Εικόνα 17. CIP διαδικασία σε γαλακτοβιομηχανία

Πηγή: (Dhage B. και Dhage A., 2016)

4.5.2 Λογισμικό Παρακολούθησης Συνολικής Απόδοσης Εξοπλισμού (EVOCON)

Το Enocon είναι μία cloud εφαρμογή κατά την οποία η αποθήκευση των δεδομένων γίνεται διαδικτυακά και όχι τοπικά, παρέχοντας τη δυνατότητα απομακρυσμένης παρακολούθησης της απόδοσης σε πραγματικό χρόνο οποιαδήποτε χρονική στιγμή και από οποιοδήποτε σημείο. Οι πληροφορίες απεικονίζονται κατανοητά και είναι διαθέσιμες για κάθε βάρδια από κάθε γραμμή παραγωγής. Οι χειριστές ενημερώνονται σχετικά με τα τεμάχια που παράγονται, την απόδοση, τι θα έπρεπε να είχε παραχθεί, τις καθυστερήσεις και πως επηρεάζεται ο OEE (Overall Equipment Effectiveness).

Σύμφωνα με τους Muchiri και Pintelon (2008) η έννοια του δείκτη Συνολικής Απόδοσης Εξοπλισμού (OEE) πρωτοεμφανίστηκε τη δεκαετία του 1980 για τη μέτρηση της παραγωγικότητας ξεχωριστά σε κάθε εξοπλισμό ενός εργοστασίου. Αναγνωρίζει και καταγράφει απώλειες σχετικά με την απόδοση, τη διαθεσιμότητα και την ποιότητα. Η καταγραφή του συμβάλλει στη βελτίωση της αποτελεσματικότητας του εξοπλισμού, συνεπώς και στην παραγωγικότητα. Οι κυριότερες απώλειες στην παραγωγή είναι σχετικά με την διακοπή της λειτουργίας του εξοπλισμού, την μειωμένη ταχύτητα και τα ελαττωματικά προϊόντα. Διαχωρίζονται σε συνολικά έξι παραμέτρους: 1) τη βλάβη του εξοπλισμού, 2) τις ρυθμίσεις και την προσαρμογή του εξοπλισμού, 3) τις μικρές διακοπές, 4) τη μειωμένη ταχύτητα, 5) τις ατέλειες κατά τη διαδικασία και 6) τη μειωμένη απόδοση. Αυτές οι απώλειες καταμετρούνται με τον δείκτη OEE, σχετικά με το ρυθμό της διαθεσιμότητας (A = Availability), της απόδοσης (P = Performance) και της ποιότητας (Q = Quality):

$$\text{OEE} = \text{A} \times \text{P} \times \text{Q}$$

Η δυναμική του συγκεκριμένου δείκτη εντοπίζεται στο γεγονός ότι ενσωματώνει διαφορετικές πτυχές της παραγωγής σε ένα εργαλείο καταμέτρησης. Οι παράμετροι που ενσωματώνονται στον OEE είναι η αποτελεσματικότητα της συντήρησης, η αποδοτικότητα της παραγωγής και η ποιοτική απόδοση (Muchiri και Pintelon, 2008).

Στο συγκεκριμένο λογισμικό οι χειριστές μπορούν να καταγράφουν τις αιτίες κατά τα σταματήματα των μηχανών συμβάλλοντας στην αποτελεσματική διάγνωση προβλημάτων και εστιάζοντας στην προγνωστική συντήρηση. Παρέχεται η δυνατότητα να συγκρίνουν τις επιδόσεις των μηχανημάτων με τη χρήση πολλαπλών αισθητήρων, να εστιάσουν σε

συγκεκριμένες ενέργειες συντήρησης που θα αξιοποιήσουν τους πόρους με τον καλύτερο δυνατό τρόπο και να ελέγξουν τις φύρες. Με τη χρήση του συγκεκριμένου λογισμικού δεν χρειάζεται η χειρωνακτική καταγραφή ή η μεταφορά δεδομένων σε λογισμικά φύλλα, εξοικονομώντας σημαντικό χρόνο. Παράλληλα ενισχύεται η συμμετοχή των εργαζομένων, ενδυναμώνεται ο ρόλος των χειριστών για αναφορά προβλημάτων στην παραγωγή και προάγεται η συμβολή τους στη λήψη αποφάσεων, αναπτύσσοντας με αυτόν τον τρόπο μία κουλτούρα συνεχούς βελτίωσης. Η προβολή κάθε βάρδιας βοηθά στην ανάλυση όλων των δεδομένων και στην αναλυτική επισκόπηση σχετικά με την ταχύτητα, την ποιότητα και τους χρόνους διακοπής (downtimes), οι οποίοι απεικονίζονται με κόκκινο χρώμα. Με κίτρινο χρώμα απεικονίζονται οι αργοί κύκλοι λειτουργίας (slow cycles), κατά τους οποίους ο εξοπλισμός λειτουργεί πιο αργά από τη μέγιστη ταχύτητα λειτουργίας του. Με προτοκαλί κουκίδες απεικονίζονται οι απώλειες στην ποιότητα και η κάθε αλλαγή (changeover) οπτικοποιείται με ξεχωριστό εικονίδιο. Με αυτόν τον τρόπο μπορεί να αξιολογηθεί η αποτελεσματικότητα κάθε βάρδιας και να εξαχθούν συμπεράσματα σχετικά με την απόδοση των μηχανών, την αναγκαιότητα συντήρησής τους αλλά και την απόδοση του προσωπικού (Εικόνα 18) (www.evocon.com).



Εικόνα 18. Απεικόνιση ροής της παραγωγής

Πηγή: (www.evocon.com)

Υπάρχει η δυνατότητα δημιουργίας πινάκων, γραμμών τάσεων και checklists τους οποίους μπορεί να διαμορφώσει ο καθένας που αξιολογεί τα δεδομένα με βάση τις προτιμήσεις του. Ο κάθε χειριστής του λογισμικού μπορεί να έχει εικόνα εξέλιξης των παραγγελιών, απεικόνιση των ταχυτήτων των μηχανών και γρήγορη ανάλυση των δεδομένων (Εικόνα 19).



Εικόνα 19. Απεικόνιση δεικτών απόδοσης

Πηγή: (www.evocon.com)

Υπάρχουν τρία βασικά στάδια που προηγούνται για την έναρξη λειτουργίας του συγκεκριμένου λογισμικού:

1. Εγκατάσταση αισθητήρων για την ανίχνευση προϊόντων στη γραμμή παραγωγής και σύνδεση στη IIoT (Industrial Internet of Things) συσκευή του Evocon καταγράφοντας είτε προϊόντα, είτε τεμάχια, είτε κιβώτια. Επιπλέον υπάρχει η δυνατότητα μέτρησης βάρους, μήκους, όγκου και παρακολούθησης του χρόνου λειτουργίας των μηχανών.
2. Συνδεσιμότητα της συσκευής στο διαδίκτυο που στέλνει τα δεδομένα στο λογισμικό του Evocon για περαιτέρω επεξεργασία.
3. Οπτικοποίηση των συγκεντρωμένων δεδομένων όπου οι χειριστές μπορούν να τα αξιοποιήσουν για να βελτιώσουν την απόδοση (www.evocon.com).

Η χρήση του λογισμικού βοηθά τις εταιρείες να βελτιώσουν την απόδοση των μηχανών τους χωρίς να χρειάζεται να επενδύσουν στην απόκτηση νέων μηχανών. Με αυτό τον τρόπο εξοικονομούν χρήματα για άλλες επενδύσεις. Το κόστος χρήσης δεν είναι ιδιαίτερα υψηλό και χάρη στη χρήση του εταιρείες τροφίμων με παλιό εξοπλισμό κατάφεραν να βελτιώσουν την απόδοσή τους απλά και μόνο αποκτώντας την IIoT συσκευή του Enocon για αυτοματοποιημένη συλλογή δεδομένων από τη μηχανή, το λογισμικό παρακολούθησης του OEE με τη χρήση της τεχνολογίας Cloud που μετατρέπει τα συγκεντρωμένα δεδομένα σε χρήσιμες πληροφορίες και ένα tablet για οπτικοποίηση των δεδομένων σε χειριστές και διευθυντές. Η υιοθέτηση της συγκεκριμένης τεχνολογίας αποτελεί χαρακτηριστικό παράδειγμα στροφής επιχείρησης προς τον ψηφιακό μετασχηματισμό (allpack Hellas, 2022).

Στην εταιρεία της μελέτης περίπτωσης η εφαρμογή Enocon χρησιμοποιείται την τελευταία τριετία στο συσκευαστήριο των τυροκομικών προϊόντων. Οι χειριστές κάθε βάρδιας έχουν εκπαιδευτεί για την ορθή χρήση του λογισμικού, την καταγραφή όλων των προβλημάτων και των αιτιών που ευθύνονται για το σταμάτημα των μηχανών και την παρακολούθηση των δεικτών απόδοσης (OEE, downtime, total quantity). Εκτός από τους χειριστές πρόσβαση έχουν οι προϊστάμενοι και οι διευθυντές παραγωγής, το τεχνικό τμήμα για άμεση ανταπόκριση σε περίπτωση βλαβών και το τμήμα ελέγχου παραγωγής που είναι υπεύθυνο για την παρακολούθηση δεδομένων της παραγωγής. Παράλληλα σε περίπτωση καθυστέρησης των γραμμών, ενημερώνεται άμεσα το τμήμα ποιοτικού ελέγχου για δειγματοληψία και αξιολόγηση των προϊόντων.

Η καταγραφή όλων των δεδομένων είναι καθοριστικής σημασίας ώστε να εξαχθούν ασφαλή συμπεράσματα από την ιχνηλασιμότητα στοιχείων της παραγωγής σε περίπτωση που διαπιστωθούν λάθη στο στάδιο συσκευασίας των προϊόντων. Τα ελαττωματικά προϊόντα μπορούν να σχετίζονται με μία πληθώρα προβλημάτων, ικανά να οδηγήσουν σε απορρίψεις - καταστροφές παρτίδων και σε παράπονα πελατών. Τέτοια λάθη είναι η λανθασμένη κωδικοποίηση – καταγραφή στοιχείων παρτίδας, η μη αποτελεσματική συσκευασία (ανεπαρκής συγκόλληση συσκευαστικού υλικού) και η ανεπαρκής απόδοση των συσκευαστικών μηχανών.

4.6 ΣΥΛΛΟΓΗ ΔΕΔΟΜΕΝΩΝ

Όπως αναφέρθηκε στην αρχή του κεφαλαίου, οι μέθοδοι συλλογής δεδομένων στην παρούσα εργασία είναι η άμεση παρατήρηση, οι συνεντεύξεις και τα έγγραφα. Η συλλογή δεδομένων από τη χρήση διαφορετικών μεθόδων αυξάνει την εγκυρότητα και την αξιοπιστία της μελέτης.

Η κύρια μέθοδος συλλογής δεδομένων είναι οι συνεντεύξεις που συμπληρώθηκαν από την άμεση παρατήρηση και τα έγγραφα. Οι συνεντεύξεις πραγματοποιήθηκαν στο εργασιακό περιβάλλον του συγγραφέα κατόπιν συνεννόησης με τους συμμετέχοντες για τον καθορισμό της ημέρας και της ώρας διεξαγωγής της συνέντευξης. Στις συνεντεύξεις συμμετείχαν στελέχη και εργαζόμενοι από όλες τις βαθμίδες της εταιρείας. Οι συνεντεύξεις χρησιμοποιήθηκαν ως το βασικό ερευνητικό εργαλείο καθώς δίνουν στον ερευνητή την ικανότητα να συλλέξει ποιοτικό υλικό και να αντιληφθεί τη στάση και τις αντιλήψεις των συνεντευξιζόμενων. Επιλέχθηκε ποιοτική μέθοδος για να διερευνηθούν οι εμπειρίες που έχουν οι συμμετέχοντες και για να κατανοήσουμε το φαινόμενο μέσα από τις αντιλήψεις τους (Ιωσηφίδης, 2008). Παρά το γεγονός ότι πρόκειται για μία διαδικασία που απαιτεί χρόνο, συγκεντρώνεται πλούσιο υλικό και επιτυγχάνεται η συλλογή πολλών πληροφοριών (Robson, 2007). Η παρακολούθηση των εγγράφων πραγματοποιήθηκε σε συγκεκριμένες περιπτώσεις, όπως κατά την αξιολόγηση περιπτώσεων όπου χρειάστηκε άμεση κινητοποίηση για τη διερεύνηση παραπόνων και σε περιπτώσεις απορρίψεων ελαττωματικών προϊόντων.

5 ΑΠΟΤΕΛΕΣΜΑΤΑ

Στην παρούσα εργασία επιλέξαμε τη συλλογή πρωτογενών δεδομένων μέσω συνεντεύξεων σε δώδεκα στελέχη και εργαζόμενους της εταιρείας λόγω της διερευνητικής φύσεως της μελέτης. Οι ερωτήσεις των συνεντεύξεων αναπτύχθηκαν με βάση προϋπάρχουσες βιβλιογραφικές μελέτες και έρευνες, οι οποίες ασχολήθηκαν με το φαινόμενο του ψηφιακού μετασχηματισμού, τις δυσκολίες και τις κινητήριες δυνάμεις που ενισχύουν την εφαρμογή του, με σκοπό να απαντηθούν τα ερευνητικά ερωτήματα της παρούσας εργασίας. Το πρωτόκολλο της συνέντευξης είναι δομημένο ανάλογα με το τμήμα στο οποίο ανήκει ο κάθε συνεντευξιαζόμενος, συνεπώς χωρίζεται σε πέντε διαφορετικές ομάδες ερωτήσεων που απευθύνθηκαν στα ανώτερα διευθυντικά στελέχη, στη διεύθυνση του ανθρώπινου δυναμικού, στη διεύθυνση του τεχνικού τμήματος, στους διευθυντές και τους προϊστάμενους της παραγωγής και στους χειριστές της παραγωγής. Η διάρκεια κάθε συνέντευξης ήταν από 30 λεπτά μέχρι μία ώρα και έγινε κατόπιν συνεννόησης με τους συμμετέχοντες, όπου ορίστηκε ο τόπος, η ημέρα και η ώρα διεξαγωγής της έρευνας. Πραγματοποιήθηκε ηχογράφηση και ακολούθως έγινε καταγραφή με σκοπό να αξιολογηθεί το περιεχόμενό τους. Μελετήθηκαν προσεκτικά τα δεδομένα και εντοπίστηκαν τα αποσπάσματα που δίνουν πληροφορίες, οι οποίες απαντούν στα ερευνητικά μας ερωτήματα. Μέσω της ποιοτικής μελέτης που εφαρμόστηκε στην παρούσα εργασία, έγινε προσπάθεια να κατανοήσουμε το φαινόμενο του ψηφιακού μετασχηματισμού και την εφαρμογή του στο κλάδο της γαλακτοβιομηχανίας, εστιάζοντας κυρίως στο εργοστάσιο.

Όπως αναφέρθηκε παραπάνω, το ποιοτικό υλικό είναι χωρισμένο ανά τμήμα. Στα τμήματα που συμμετέχουν παραπάνω από ένα άτομο, οι απόψεις κάθε συνεντευξιαζόμενου παρατίθενται με κωδικοποίηση η οποία έχει τα αρχικά του τμήματος και τον αντίστοιχο αριθμό του ατόμου που συμμετείχε στη συνέντευξη ανά τμήμα, με σκοπό να τηρηθεί η ανωνυμία. Ακολουθεί η έκθεση των ευρημάτων με την παράθεση των κυριότερων αποσπασμάτων των γραπτών κειμένων των συνεντεύξεων που θα βοηθήσουν στην απάντηση των ερευνητικών ερωτημάτων της παρούσας εργασίας.

- **Ανώτερα Διευθυντικά Στελέχη (ΑΔΣ)**

Με βάση τις απαντήσεις των δύο ανώτερων διευθυντικών στελεχών (ΑΔΣ) προέκυψε ότι ο ψηφιακός μετασχηματισμός αποτελεί μέρος της στρατηγικής της εταιρείας και υπάρχει στα μελλοντικά της πλάνα. Παρά το γεγονός ότι η εταιρεία βρίσκεται ακόμη σε αρχικό στάδιο, έχουν γίνει ενέργειες οι οποίες μπορούν να επεκταθούν και σε άλλα σημεία της εταιρείας:

«Έχουμε συμπεριλάβει στη στρατηγική της εταιρείας τον ψηφιακό μετασχηματισμό, έχουμε ορίσει δηλαδή κάποια πεδία τα οποία θα πρέπει να ακολουθήσουμε, η αλήθεια είναι όμως ότι είμαστε σε πρώιμο στάδιο.» (ΑΔΣ1)

«Προφανώς και αποτελεί ο ψηφιακός μετασχηματισμός μέρος της στρατηγικής ανάπτυξης της εταιρείας αλλά υπάρχουν αρκετές δυσκολίες και καθυστερήσεις που οφείλονται στο γεγονός ότι υπάρχουν πολλά θέματα σε μία εταιρεία που είναι υψηλής προτεραιότητας, με αποτέλεσμα ο ψηφιακός μετασχηματισμός να μην έχει αναπτυχθεί όσο πρέπει ή όσο θα θέλαμε. Όταν υπάρχουν πολλά θέματα στην εταιρεία, πιθανόν ο ψηφιακός μετασχηματισμός να μην πάρει την προτεραιότητα που του αρμόζει. Πλάνο μελλοντικό υπάρχει και έχουμε κάνει κάποια βήματα όπως π.χ. στο refrigeration plant του εργοστασίου που έχει αυτοματοποιηθεί σε σημαντικό βαθμό, μπορούμε και ελέγχουμε την κατάσταση και παρεμβαίνουμε στη διαδικασία και από απόσταση. Αυτό μπορεί να γίνει σε διάφορα σημεία της παραγωγής και του εργοστασίου.» (ΑΔΣ2)

Σχετικά με τα οφέλη που επιδιώκει να κερδίσει η εταιρεία, οι απόψεις των δύο συνεντευξιαζόμενων συγκλίνουν όσον αφορά στην αύξηση της απόδοσης και τη μείωση του κόστους:

«Βελτιστοποίηση της απόδοσης, μείωση στα κόστη μας σε μεσοπρόθεσμο και μακροπρόθεσμο ορίζοντα και να γίνει η ζωή των εργαζομένων πιο εύκολη και πιο λειτουργική. Να βελτιωθεί η απόδοση και η κερδοφορία της εταιρείας. Εφόσον γίνει με τον σωστό τρόπο και εφόσον επιλεχθούν οι σωστές προτεραιότητες.» (ΑΔΣ1)

«Εξοικονόμηση χρόνου, εργατοωρών και συνεπώς χρήματος, περιορισμός λαθών, σταθερότητα της παραγωγής, αποτελεσματικότητα στη δουλειά και αυξημένη αποδοτικότητα. Παρέχει ανταγωνιστικό πλεονέκτημα καθώς εξοικονομείς χρόνο και γίνεσαι πιο αποτελεσματικός. Η σχέση με τους πελάτες και τους προμηθευτές γίνεται πιο

άμεση και αποτελεσματική, οι διαδικασίες ψηφιοποιούνται και μειώνεται ο χρόνος εργασίας που απαιτείται.» (ΑΔΣ2)

Όπως επισημαίνει το ΑΔΣ1 καθοριστικό ρόλο για την εφαρμογή της Industry 4.0 έχει να κάνει η στήριξη της διοίκησης και οι επενδύσεις που υπάρχουν διαθέσιμες για αυτόν τον σκοπό:

«Το μεγάλο πρόβλημα που έχει να κάνει με τον ψηφιακό μετασχηματισμό είναι οι επενδύσεις που χρειάζονται, είναι να δημιουργηθεί η σωστή ατζέντα για να μπου οι σωστές προτεραιότητες και μετά να πείσεις τους shareholders της εταιρείας για να επενδύσουν πίσω από αυτό. Μία άλλη κρίσιμη παράμετρος είναι η παλαιότητα του εξοπλισμού, καθώς απαιτούνται ενέργειες προκειμένου να είναι συμβατός με τη νέα τεχνολογία.» (ΑΔΣ1)

Εξίσου σημαντική είναι και η ομαλή συνεργασία μεταξύ των διαφόρων τμημάτων αλλά και η κατανόηση από όλους τους εργαζόμενους της σημασίας που έχει η Industry 4.0 για την εταιρεία:

«Πρέπει να γίνει με συνεργασία πολλών και διαφορετικών ειδικοτήτων, πχ. ένας IT manager μπορεί να μην αντιλαμβάνεται με την ίδια ευκολία τις ανάγκες της παραγωγής και του εργοστασίου με αποτέλεσμα να υπάρχουν καθυστερήσεις στην εκτέλεση ορισμένων ενεργειών» (ΑΔΣ2)

Το ΑΔΣ1 αναφέρει ότι ασφαλώς και θα επηρεαστούν τα έξοδα της εταιρείας στην αρχή, στην πορεία όμως αναμένεται μείωση.

«Τα έξοδα της εταιρείας σε αρχικό στάδιο εννοείται ότι θα αυξηθούν γιατί πρέπει να γίνουν επενδύσεις αλλά μεσοπρόθεσμα ή μακροπρόθεσμα θα μειωθούν γιατί θα μπορείς να γίνεις πιο αποδοτικός και πιο λειτουργικός.» (ΑΔΣ1)

Όσον αφορά στην απασχόληση το ΑΔΣ1 δηλωσε ότι θα επηρεαστεί και ενδεχομένως να υπάρξει μείωση του προσωπικού:

«Σίγουρα θα μειωθεί το εργατικό προσωπικό, τα άτομα που κάνουν χειρωνακτική εργασία όπως για παράδειγμα συμπλήρωση εντύπων, αν αυτοματοποιηθεί η δουλειά τους αυτό θα σημαίνει λιγότεροι υπάλληλοι.» (ΑΔΣ1)

Από την άλλη πλευρά, το ΑΔΣ2 υποστηρίζει ότι αυτό που θα επηρεαστεί κυρίως είναι ο χρόνος και ο τρόπος της εργασίας:

«Δεν είμαι σίγουρος αν θα καταργηθούν πολλές θέσεις εργασίας, σίγουρα η εργασία έχει αλλάξει μορφή και θα αλλάξει ακόμη περισσότερο όχι μόνο ο τρόπος της εργασίας αλλά και ο χρόνος της εργασίας διότι όταν είσαι μακριά χάρη στην τεχνολογία μπορείς να δουλεύεις εξίσου αποτελεσματικά και μερικές φορές ακόμη και πιο άμεσα. Άρα αλλάζει την απασχόληση και σε θέσεις εργασίας και σε χρόνο εργασίας και σε άλλες τακτικές.»
(ΑΔΣ2)

Στη συγκεκριμένη εταιρεία το επίπεδο των ψηφιακών γνώσεων και δεξιοτήτων κρίνεται πολύ καλό, ιδιαίτερα από το νεότερο προσωπικό σε αντίθεση με άτομα μεγαλύτερης ηλικίας που αντιμετωπίζουν ορισμένες δυσκολίες. Η εταιρεία είναι διατεθειμένη να βοηθήσει και να παρέχει εκπαίδευση:

«Υπάρχουν στελέχη τα οποία είναι πολύ καλά καταρτισμένα είτε γιατί το επιδιώξαν από μόνοι τους είτε γιατί τους αρέσει η τεχνολογία και υπάρχουν στελέχη που έμειναν πίσω. Η εταιρεία είναι πρόθυμη να επενδύσει στην εκπαίδευσή τους.» (ΑΔΣ1)

«Θεωρώ ότι είναι σε ικανοποιητικά επίπεδα και ειδικά σε νεότερους εργαζόμενους, φαίνεται ότι δυσκολεύονται οι μεγαλύτερες ηλικίες.» (ΑΔΣ2)

Ωστόσο φαίνεται να υπάρχει κενό όσον αφορά στην στήριξη της πολιτείας σε μεγάλες εταιρείες, τόσο το ΑΔΣ1 όσο και το ΑΔΣ2 αναφέρουν ότι οι επιχορηγήσεις αφορούσαν μέχρι πρόσφατα μόνο μικρές και Μμε:

«Παρέχει σε μικρές και μικρομεσαίες εταιρείες, επειδή εμείς είμαστε μεγάλη εταιρεία είναι πολύ δύσκολο να πάρουμε κάποια επιχορήγηση για να κάνουμε κάτι εμείς. Θα μπορούσε το κράτος να υποστηρίξει με ειδικά προγράμματα που αφορούν μεγάλες επιχειρήσεις.» (ΑΔΣ1)

«Θα πρέπει η πολιτεία είτε με προγράμματα επιμόρφωσης ή χορηγιών να έρθει πολύ κοντά στην αγορά. Οι επιχορηγήσεις αφορούσαν μέχρι πριν δύο χρόνια μόνο μικρές και μικρομεσαίες επιχειρήσεις, στα τελευταία δύο χρόνια μπήκαν και οι μεγάλες εταιρείες.»
(ΑΔΣ2)

Αναγνωρίζεται ότι υπάρχουν στελέχη ικανά να στηρίζουν την μετάβαση στην ψηφιακή εποχή και το επίπεδο των υποδομών της εταιρείας θεωρείται καλό:

«Θεωρώ ότι η εταιρεία έχει τα στελέχη, υπάρχει τμήμα IT καλά στελεχωμένο, είναι θέμα να μπου σωστές προτεραιότητες και να εγκριθεί ο προϋπολογισμός για να εγκριθούν κάποια από τα έργα που έχουμε σκεφτεί». (ΑΔΣ1)

«Διαθέτει στελέχη, προφανώς θα πρέπει να καταλάβουν τη σοβαρότητα για να του δώσουν προτεραιότητα.» (ΑΔΣ2)

Από την πλευρά των εξωτερικών συνεργατών, έχουν πραγματοποιηθεί ήδη συνεργασίες με θετικά αποτελέσματα:

«Υπάρχουν συνεργάτες, με κάποιους έχουμε κάνει μικρές προσπάθειες οι οποίες έχουν επιτύχει, λίγοι είναι εξειδικευμένοι με το αντικείμενο, συνήθως πρέπει να έρθουν να δουν τον τρόπο που είναι στημένο το εργοστάσιο και τη φιλοσοφία λειτουργίας ώστε να προτείνουν τη λύση τους. Υπάρχουν συνεργάτες στην Ελλάδα και πολλοί περισσότεροι στο εξωτερικό, έχουμε προτάσεις συνεργασίας από Καναδά, Ινδία, σίγουρα από Ελλάδα είναι πιο απλό και άμεσο.» (ΑΔΣ2)

Σχετικά με τις προκλήσεις που καλείται να αντιμετωπίσει η γαλακτοβιομηχανία, τονίστηκε ακόμη μία φορά ότι το σημαντικότερο ρόλο έχουν οι επενδύσεις:

«Η μεγαλύτερη πρόκληση είναι η επένδυση και έπειτα λύσεις υπάρχουν καθώς όταν βρεθούν τα χρήματα θα παρθούν και οι κατάλληλες αποφάσεις.» (ΑΔΣ1)

- **Διεύθυνση Ανθρώπινου Δυναμικού**

Διεξάχθηκε συνέντευξη στο διευθυντή ανθρώπινου δυναμικού, σύμφωνα με τον οποίο το επίπεδο των ψηφιακών γνώσεων και δεξιοτήτων του προσωπικού της εταιρείας που εφαρμόζει τεχνολογίες της Industry 4.0 βρίσκεται σε πολύ ικανοποιητικά επίπεδα καθώς μπορεί να ανταπεξέλθει στις απαιτήσεις χωρίς προβλήματα. Ωστόσο αυτό δεν ισχύει για την ολότητα των εργαζομένων που δεν απαιτείται η χρήση ψηφιακών τεχνολογιών από τη θέση εργασίας τους, όπως είναι τα άτομα που εργάζονται στα τμήματα της παραγωγής:

«Το επίπεδο αξιολογείται ως αρκετά καλό από τα άτομα που προσλαμβάνονται και προορίζονται να χρησιμοποιούν τις συγκεκριμένες τεχνολογίες και όχι από την ολότητα του κόσμου μας.»

Το τμήμα ανθρώπινου δυναμικού υποστηρίζει τη μετάβαση στην ψηφιακή εποχή, αναγνωρίζοντας την ανάγκη για εκπαίδευση:

«Καλή εκπαίδευση και στήριξη στον κόσμο μέχρι να προσαρμοστεί στα νέα δεδομένα. Το εκπαιδευτικό πλάνο πρέπει να προσαρμοστεί στα νέα δεδομένα, κάθε φορά που κάτι καινούριο εμφανίζεται το εκπαιδευτικό πλάνο είναι διαφορετικό, έτσι και τώρα θα πρέπει να προσαρμοστεί στα νέα δεδομένα.»

Σχετικά με το κόστος που απαιτείται για την εύρεση και την απασχόληση του κατάλληλου προσωπικού, η διεύθυνση ανθρώπινου δυναμικού δεν θεωρεί ότι θα επηρεαστεί και δεν το κρίνει ως εμπόδιο:

«Το κόστος δεν θεωρώ ότι θα επηρεαστεί τουλάχιστον σε αυτή την φάση, θεωρώ ότι ο ψηφιακός μετασχηματισμός δημιουργεί νέες απαιτήσεις, νέες θέσεις εργασίας και όχι κατά ανάγκη αύξηση του εργατικού κόστους.»

Σχετικά με τις αντιδράσεις του προσωπικού, δεν θεωρεί ότι θα υπάρξουν ιδιαίτερες αντιστάσεις αν και αναμένεται αντίδραση και δυσπιστία από το υφιστάμενο προσωπικό, όμως δεν θεωρούνται εμπόδιο εφόσον γίνει η σωστή εκπαίδευση που θα προετοιμάσει τον κόσμο για την αλλαγή:

«Δεν θεωρώ ότι θα υπάρξουν αντιστάσεις, σίγουρα κάποια αντίσταση και κάποια αντίδραση στην αλλαγή πάντα υπάρχει από υφιστάμενο προσωπικό σε οποιαδήποτε αλλαγή αλλά οργανωμένη αντίσταση δεν νομίζω να υπάρχει σε καμία περίπτωση. Δυσπιστία πάντα θα υπάρχει σε οποιαδήποτε μεγάλη αλλαγή, είναι στο χέρι της εταιρείας να γίνει η σωστή εκπαίδευση για να στηριχθεί ο κόσμος ώστε να πιστέψει στην αλλαγή και να την εφαρμόσει.»

Στον τομέα της απασχόλησης και της διαχείρισης του προσωπικού που δεν κατέχει τις κατάλληλες ψηφιακές γνώσεις, η εταιρεία με κατάλληλο καταμερισμό της εργασίας και εκπαίδευση θα ανταπεξέλθει στις προκλήσεις:

«Ο οργανισμός είναι μια βιομηχανία αρκετά μεγάλη, οι νέες τεχνολογίες μπαίνουν σταδιακά και όχι παντού, θα προσπαθήσουμε να αξιοποιήσουμε το προσωπικό όπου υπάρχουν θέσεις και ανάγκες που δεν απαιτούν μεγάλες τεχνικές δεξιότητες, από την άλλη όμως την ίδια ώρα θα πρέπει να εκπαιδεύουμε όλο τον κόσμο και να τους εντάσσουμε σιγά σιγά στην νέα ψηφιακή εποχή.»

Μεγαλύτερη πρόκληση για το τμήμα αποτελούν η κουλτούρα, οι άνθρωποι και η επιλογή των κατάλληλων συστημάτων και τεχνολογιών. Καθοριστικό ρόλο διαδραματίζει η κουλτούρα και οι άνθρωποι της εταιρείας οι οποίοι θα πρέπει να είναι δεκτικοί και ανοιχτοί για μάθηση:

«Η κουλτούρα και οι άνθρωποι πρέπει να είναι δεκτικοί, πρέπει να μαθαίνουν την αλλαγή, οι εταιρείες όλες εκσυγχρονίζονται, ανανεώνονται, μπαίνει νέο αίμα, νέο εργατικό δυναμικό με νέες ιδέες, νέα κουλτούρα και θεωρώ ότι με αυτόν τον τρόπο θα πάμε κι εμείς μπροστά σε αυτήν την αλλαγή.»

«Το σημαντικό εμπόδιο όχι μόνο για την εταιρεία μας αλλά για όλους, είναι σε αυτήν την εποχή και με τον ψηφιακό μετασχηματισμό να γίνουν οι σωστές επιλογές σε συστήματα και τεχνολογίες, και αφού γίνουν οι σωστές επιλογές να γίνει σωστή εκπαίδευση και σωστή εφαρμογή για επιτυχή αποτελέσματα.»

Αποτελεί πρόκληση για το τμήμα η στελέχωση με κατάλληλο προσωπικό που θα διαθέτει ψηφιακές γνώσεις και δεξιότητες σε συνδυασμό με πρόσθετες ικανότητες:

«Φυσικά και απαιτούνται νέες δεξιότητες, όλες οι μεγάλες αλλαγές απαιτούν νέες δεξιότητες, και οι δεξιότητες αυτές έχουν να κάνουν κυρίως με τα analytical skills και το decision making.»

- **Διεύθυνση Τεχνικού Τμήματος**

Η διεύθυνση του τεχνικού τμήματος εντοπίζει σημαντικά οφέλη από την εφαρμογή της Industry 4.0 στο εργοστάσιο:

«Γίναμε πιο αποδοτικοί, πιο οργανωμένοι, καταφέραμε να έχουμε ανατροφοδότηση για το τί πετύχαμε, πώς το πετύχαμε. Συμβάλει η χρήση αυτών των εργαλείων πάρα πολύ

στον τομέα συντήρησης γιατί καταγράφονται δεδομένα για κάθε μηχανήμα, υπάρχει ιστορικό στο πρόγραμμα συντήρησης του τμήματος για κάθε μηχανήμα άρα αν κάποιος μηχανήμα παρουσιάζει συχνές βλάβες αμέσως πας στοχευμένα. Βοηθά πάρα πολύ στην αύξηση της παραγωγικότητας του τμήματος γιατί έχουμε την πληροφορία και η πληροφορία είναι η μισή επίλυση του προβλήματος. Είναι μεγάλο πλεονέκτημα να πας στοχευμένα για μία ενέργεια και άλλο να πας ψάχνοντας.»

Τα εμπόδια που είχε να αντιμετωπίσει το τμήμα, αφορούσαν κυρίως στο πρώτο στάδιο της εγκατάστασης των συστημάτων καθώς και στην αντίσταση που είχαν από το προσωπικό. Ωστόσο όλοι οι άμεσα εμπλεκόμενοι, είτε στο τεχνικό τμήμα, είτε στο προσωπικό, έλαβαν την αντίστοιχη εκπαίδευση:

«Ήταν δύσκολο το στήσιμο του hardware, χρειάστηκε τρέξιμο λόγω των εγκαταστάσεων του εργοστασίου, να εγκατασταθούν γραμμές ίντερνετ και να επιτευχθεί δικτύωση. Στο κομμάτι του προσωπικού, οι χειριστές ήταν και είναι λίγο διστακτικοί με την εισαγωγή καινούριων συστημάτων ωστόσο με την παράδοση του εξοπλισμού έγινε και η αντίστοιχη εκπαίδευση. Το αρνητικό είναι ότι χρειάζεται επιπρόσθετος χρόνος με το που τελειώνει η συντήρηση να έρθουν να καταγράψουν δεδομένα, πρέπει να μάθουν τον χειρισμό των προγραμμάτων, απαιτεί λίγο παραπάνω κόπο στην αρχή μέχρι να στηθεί.»

Καθοριστικής σημασίας είναι η συμβολή από εξωτερικούς συνεργάτες:

«Στο scada η τοποθέτηση και η υποστήριξη γίνεται από εξωτερικούς συνεργάτες, οπότε το τεχνικό τμήμα χρειάστηκε κυρίως να αναλάβει την οργάνωση και τον συντονισμό.»

Σχετικά με τους ελέγχους που πραγματοποιεί το τμήμα, αυτοί είναι οι ακόλουθοι:

«Στο scada μετράμε τις ροές, τις θερμοκρασίες σε πραγματικό χρόνο, την πληρότητα των δεξαμενών και με το enocop μετράμε τις παραγωγικότητες, τα downtimes, πόσο νεκρό χρόνο έχουν οι μηχανές, επιπλέον λαμβάνουμε δεδομένα για τη συντήρηση, γενικά καταγράφεται πολλή πληροφορία όπως αν σταμάτησε μία μηχανή, γιατί σταμάτησε, μας κάνει πολύ πιο άμεσους, κύριο χαρακτηριστικό είναι η αμεσότητα στην επίλυση των προβλημάτων και εφόσον υπάρχει κάποιος ιστορικό πάμε πολύ πιο στοχευμένα για διορθωτική ενέργεια.»

Οι κρίσιμοι δείκτες απόδοσης που παρακολουθεί το τμήμα αφορούν στην απόδοση του εξοπλισμού:

«Τα KPIs που βλέπουμε είναι τα downtimes, τα οποία όταν πέσουν κάτω από κάποιο όριο μετριέται η αμεσότητα του τμήματος, δηλαδή σε πόση ώρα αποκαθίσταται η βλάβη (ποσοτικός δείκτης) και βγαίνει ένα ποσοστό επιτυχίας για το τμήμα.»

Το τεχνικό τμήμα θέτει συνεχώς στόχους για τη βελτίωση της δουλειάς του, σε επόμενο στάδιο θέλει να επικεντρωθεί στο τομέα ελέγχου των ανταλλακτικών:

«Στα επόμενα βήματα θέλουμε να έχουμε ετοιμότητα στα ανταλλακτικά, να ελέγχουμε τα stock, πρέπει όμως να εξελιχθούμε για να φτάσουμε στο σημείο που στοχεύουμε. Θέλουμε να συνδεθούμε με την αποθήκη ανταλλακτικών, να κοστολογείται το έργο μας, να έχουμε οικονομικές ενδείξεις και να έχουμε άμεση πρόσβαση στα ανταλλακτικά, θέλουμε να εξελιχθούμε ως προς αυτό το κομμάτι.»

Σχετικά με το επίπεδο των ψηφιακών γνώσεων και δεξιοτήτων, ισχύει αυτό που αναφέρθηκε από όλες τους διευθυντές των τμημάτων. Οι νεότεροι υπερτερούν, σε αντίθεση με τους μεγαλύτερους που αντιμετωπίζουν δυσκολίες:

«Οι πιο νεαροί είναι πιο ικανοί, ενώ οι μεγαλύτεροι δυσκολεύονται, θα δούμε πως θα ανταπεξέλθουμε. Χρειάζεται άνεση με τους υπολογιστές που σε άτομα μεγαλύτερης ηλικίας δεν υπάρχει, απαιτείται πιο στοχευμένη επικοινωνία, συνηθίζουμε να λέμε πολλά πράγματα ενώ η ψηφιακή καταγραφή δεν απαιτεί κάτι τέτοιο.»

Σε επίπεδο υποδομών και υποστήριξης από εξωτερικούς συνεργάτες, ο διευθυντής του τεχνικού τμήματος υποστηρίζει ότι βρίσκονται σε συνεχή ανάπτυξη και υπάρχει η επιλογή κατάλληλων συνεργατών κυρίως από Ελλάδα:

«Οι υποδομές δεν βρίσκονται στο σημείο που θέλουμε όμως χτίζονται και πάμε προς τη σωστή κατεύθυνση. Εξωτερικοί συνεργάτες υπάρχουν, κυρίως εταιρείες στην Ελλάδα.»

Η διεύθυνση του τεχνικού τμήματος εντοπίζει ως μεγαλύτερη πρόκληση που έχει να αντιμετωπίσει, την κουλτούρα που επικρατεί στην εταιρεία:

«Ο ψηφιακός μετασχηματισμός προϋποθέτει αλλαγή νοοτροπίας, θεωρώ ότι είμαστε σε καλό δρόμο, όμως πρέπει να εμπεδωθεί στην κουλτούρα του κόσμου μας.»

- **Διευθυντές και Προϊστάμενοι Παραγωγής (ΔΠ, ΠΠ)**

Από το τμήμα παραγωγής καταγράφηκαν οι απόψεις των διευθυντών παραγωγής (ΔΠ) και των προϊστάμενων παραγωγής (ΠΠ). Συνολικά πραγματοποιήθηκαν τέσσερις συνεντεύξεις, στις δύο συμμετείχαν οι διευθυντές της παραγωγής (ΔΠ1, ΔΠ2) και στις άλλες δύο οι προϊστάμενοι της παραγωγής (ΠΠ1, ΠΠ2).

Σχετικά με τα οφέλη που έχουν λάβει από την χρήση των λογισμικών που εφαρμόζουν τεχνολογίες της Industry 4.0 αναγνώρισαν την άμεση πληροφόρηση και την ικανότητα να μπορούν να εξάγουν πληροφορίες σχετικά με το ιστορικό των διεργασιών που πραγματοποιήθηκαν στην παραγωγή και τη χρονική διάρκειά τους, γεγονός που συμβάλλει στην καλύτερη κατανόηση των ωρών που απαιτούνται να απασχοληθεί το προσωπικό:

«Το enocron σου παρέχει άμεση πληροφόρηση, την ίδια μέρα, την ίδια ώρα, το ίδιο λεπτό που είναι ενεργοποιημένες οι μηχανές, σου παρέχει πληροφορίες σχετικά με το τί έχει συσκευάσει, πόση ποιότητα έχεις δώσει στο προϊόν σου, πώς ήταν η αποδοτικότητα και τα τεχνικά προβλήματα που εμφανίστηκαν. Την επόμενη μέρα έχουμε μια ολοκληρωμένη πληροφόρηση με εξαγωγή reports.» ΠΠ1

«Στο scada γίνεται monitoring, που σημαίνει ότι οποιαδήποτε διεργασία γίνει υπάρχει μία καταγραφή, οπότε μπορούμε να τρέξουμε ιστορικά πίσω να δούμε αν έχουν εκτελεστεί όλες οι ενέργειες σε περίπτωση προβλημάτων, δηλ έχουμε feedback σε περίπτωση ιχνηλασιμότητας να δούμε αν πλυθήκαν οι γραμμές και γενικότερα όλες οι διεργασίες καταγράφονται μέσα στο scada. Υπάρχει καθημερινή καταγραφή όλων των λειτουργιών και ο έλεγχος αυτών που πρέπει να γίνουν ουσιαστικά μας βοηθά να δούμε τα χρονικά περιθώρια, να οργανώσουμε καλύτερα τις βάρδιες, να φέρουμε τα άτομα πιο σωστά, γιατί ξέρουμε πλέον την διάρκεια των πλυσιμάτων, αν υπάρχουν καθυστερήσεις στο CIP, οπότε έχουμε ένα ιστορικό βάσει του οποίου μπορούμε να οργανώσουμε καλύτερα τις βάρδιες του προσωπικού.» ΠΠ2

«Αύξηση της παραγωγικότητας, μείωση των ελαττωματικών προϊόντων, μείωση των downtimes, βελτίωση της ποιότητας του προϊόντος, μείωση της ανάλωσης του χρόνου του προσωπικού σε συλλογή δεδομένων.» ΔΠ1

«Το πρόγραμμα (enocson) μας λέει ακριβώς πόσες ώρες λειτουργίας έχουμε στη μηχανή, επίσης αν υπάρχει κάποιο πρόβλημα θα το εντοπίσει και θα δούμε ότι η μηχανή είναι σταματημένη για να έχουμε καλή παραγωγικότητα όσον αφορά στο κομμάτι της συσκευασίας. Μας βοηθά να εντοπίσουμε προβλήματα στις μηχανές συσκευασίας.» ΔΠ2.

Ως κυριότερο εμπόδιο στην παραγωγή, αναφέρθηκε η αντίσταση που προβάλλει το προσωπικό με την εισαγωγή νέων τεχνολογιών που προστάζει ο ψηφιακός μετασχηματισμός:

«Το ανθρώπινο δυναμικό που δυσκολεύεται να δεχτεί την αλλαγή, ειδικά όταν είναι άνθρωποι που βρίσκονται σε μία θέση εργασίας για μεγάλο χρονικό διάστημα τους φοβίζει η αλλαγή, η τεχνολογία σε άτομα μεγαλύτερης ηλικίας είναι κάτι καινούριο και υπάρχει αντίσταση και γι' αυτό θα πρέπει με τη σειρά μας να επεξηγήσουμε και να μεταφέρουμε τα οφέλη από τη χρήση τους. Παρατηρήσαμε αντιστάσεις στην αλλαγή, η τεχνολογία για τους μεγαλύτερους σε ηλικία που δεν έχουν τη δεξιότητα να τη χειριστούν σωστά, τους φοβίζει και αντιδρούν.» ΔΠ1

Η αυτόματη καταγραφή των δεδομένων και η παρουσίαση τους στο dashboard λειτουργεί θετικά και παρέχει την ικανότητα να έχουν εικόνα της κατάστασης που επικρατεί στην παραγωγή καθώς και να ενημερωθούν τα αρμόδια τμήματα σε περίπτωση τεχνικών βλαβών:

«Η αυτόματη καταγραφή (enocson) παρέχει άμεση τεχνική υποστήριξη σε περίπτωση προβλήματος, μου δίνει τη δυνατότητα από το σπίτι να δω ότι κάτι πάει λάθος, γιατί έχουμε συνέχεια απορρίψεις, τότε αυτομάτως μιλάω με τον υπεύθυνο βάρδιας και μπορούμε να επέμβουμε άμεσα για να μην διογκωθεί το πρόβλημα. Είναι μεγάλη βοήθεια προς το τεχνικό τμήμα για να επιλυθούν άμεσα τα όποια προβλήματα.» ΠΠ1

«Λόγω ότι υπάρχει αυτόματη καταγραφή (scada) πλέον μπορούμε να δούμε σε ποιες περιπτώσεις ξεφεύγει η θερμοκρασία από τα setpoints, μας βοηθάει να καταλάβουμε αν κάποιο sensor έχει βγει εκτός λειτουργίας και ανεβαίνουν οι θερμοκρασίες, άρα επεμβαίνουμε τεχνικά στο σύστημα για να αλλάζουμε sensors. Είμαστε πιο γρήγοροι στις επεμβάσεις και δεν περιμένουμε να δημιουργηθεί κάποιο άλλο πρόβλημα για να τρέξουμε να το διορθώσουμε.» ΠΠ2

«Η αυτόματη καταγραφή συνέβαλλε καθοριστικά στη διοίκηση των λειτουργιών μας, είναι καθοριστική στο να έχουμε μια άμεση εικόνα της πραγματικότητας καθώς μέσα από αυτά τα δύο εργαλεία (enocron και scada) μπορούμε να δούμε σε ζωντανό χρόνο τις διεργασίες και να τις παρακολουθήσουμε αλλά και να έχουμε δημιουργία αρχείου και να μπορούμε να ανατρέξουμε σε προηγούμενες παραγωγικές εργασίες και να δούμε αν κάτι πήγε στραβά και να έχουμε κάποια ανάλυση αναφορικά με την παραγωγικότητα του τμήματος. Επηρεάζει γιατί μπορείς εύκολα να αναγνωρίσεις τάσεις και να πάρεις τις ανάλογες αποφάσεις γρήγορα και σωστά, ενώ αν ήταν μόνο πίνακες με νούμερα δεν θα μπορούσαμε να εξάγουμε τόσο γρήγορα συμπεράσματα και να κάνουμε άμεσα διορθωτικές ενέργειες. Μας βοήθησε σε μεγάλο βαθμό να έχουμε αμεσότητα, να παίρνουμε ενέργειες και να βλέπουμε ανάλυση του παρελθόντος.» ΔΠ1

Οι κρίσιμοι δείκτες απόδοσης (KPIs) που παρακολουθούνται αφορούν στην απόδοση των μηχανών:

«Performance, quality, availability, OEE, με ενδιαφέρει η αποδοτικότητα των μηχανών για να είναι συνάμα αυξημένη και η παραγωγικότητα του τμήματος που είμαι υπεύθυνος (enocron).» ΠΠ1

«Παρακολουθούνται δείκτες που έχουν να κάνουν με την παραγωγικότητα, την ανάλωση των υλικών, τους πόρους που χρησιμοποιούμε στο τμήμα, συμπεριλαμβανομένου και του ανθρώπινου δυναμικού, δηλαδή πόσες εργατοώρες αναλώνονται για την παραγωγή των προϊόντων (enocron).» ΔΠ1

«Βγάζουμε τον μέσο όρο λειτουργίας της μηχανής γιατί θέλουμε μία υψηλή παραγωγικότητα. Σίγουρα θα υπάρχει χαμένος χρόνος λόγω σταματημάτων, αλλαγής συσκευαστικού υλικού, λήψης δειγμάτων για έλεγχο, αλλά μας ανησυχεί όταν πέσει η αποδοτικότητα και παραγωγικότητα της μηχανής και μας βοηθά να εντοπιστούν και τα προβλήματα (enocron).» ΔΠ2

Ωστόσο στο scada δεν παρακολουθούνται κάποιοι συγκεκριμένοι δείκτες, χρησιμεύει όμως κυρίως να κατανοήσουν που οφείλονται τα έξοδα του τμήματος που σχετίζονται με την κατανάλωση των χημικών, του χρόνου και της ενέργειας (CIP):

«Μας έχει βοηθήσει να κατανοήσουμε καλύτερα που υπάρχουν ουσιαστικά τα έξοδα στην ανάλωση των χημικών λόγω της καταγραφής που υπάρχει, μπορούμε να κάνουμε καλύτερη διαχείριση χημικών όπως και στις ενέργειες.» ΠΠ2

Όλοι οι συνεντευξιαζόμενοι πιστεύουν ότι η εκπαίδευση που δέχτηκαν τα άτομα στην παραγωγή τους βοήθησε να ανταπεξέλθουν στην χρήση των συγκεκριμένων λογισμικών, χωρίς να υπάρχουν ιδιαίτερα προβλήματα, ωστόσο η παροχή εκπαίδευσης θα πρέπει να είναι συνεχής:

«Το δουλεύουν (scada) άτομα και στην παραγωγή, μπορεί να μην είναι τόσο εξειδικευμένα αλλά λόγω εκπαίδευσης ανταπεξέρχονται ικανοποιητικά.» ΠΠ2

«Υπάρχουν άτομα που βρίσκονται σε αρκετά καλό επίπεδο και χρησιμοποιούν τα εργαλεία ουσιαστικά, υπάρχουν σε άλλα σημεία άτομα που έχουν αδυναμία και υπάρχει ανάγκη για περαιτέρω εκπαίδευση προς βελτίωση του τρόπου που χειρίζονται αυτά τα μέσα. Το θετικό είναι ότι δεν απαιτούνται άτομα για την καταγραφή δεδομένων διότι καταγράφονται αυτόματα.» ΔΠ1

«Στην αρχή χρειάστηκε χρόνος μέχρι να το μάθει ο κόσμος όμως εκπαιδεύτηκε και δεν είχαμε προβλήματα. Έχουμε νεαρό προσωπικό που ξέρει, που αντιλαμβάνεται αλλά πιστεύω ότι πρέπει να το αξιοποιήσουμε ακόμη περισσότερο, θέλει δουλειά πάνω σε αυτό το κομμάτι.» ΔΠ2

Σχετικά με τα σχέδια που υπάρχουν στα μελλοντικά πλάνα της παραγωγής, αυτά έχουν να κάνουν με εξέλιξη των υφιστάμενων συστημάτων, για παρακολούθηση περισσότερων παραμέτρων όπως η κατανάλωση ενέργειας:

«Θα μπορούσε να επεκταθεί το συγκεκριμένο πρόγραμμα (scada) και σε άλλα κομμάτια, να ενωθούν και άλλες λειτουργίες, να γίνεται ολική καταγραφή για πιο ξεκάθαρη εικόνα, όχι μόνο στο CIP» ΠΠ2

«Σε όλα τα γοργοκίνητα τμήματα του εργοστασίου θα πρέπει να επικεντρωθούν ενέργειες επειδή είναι τα τμήματα που πρέπει να παίρνουμε γρήγορες αποφάσεις για να έχουμε ανάλογο αποτέλεσμα. Παρόλο που σαν εταιρεία δεν έχουμε συνδιάσει τα δύο μεταξύ τους, θεωρώ πως η κατανάλωση ενέργειας μειώθηκε καθώς αν οι γραμμές δουλεύουν με μεγαλύτερη efficiency που σημαίνει ότι για τον ίδιο χρόνο παράγεις περισσότερο προϊόν

άρα επειδή είναι σχετική η κατανάλωση με το προϊόν που παράγεται, υπάρχει λιγότερη κατανάλωση ενέργειας, ανά συσκευασία, ανά προϊόν.» ΔΠ1

Όσον αφορά στις προκλήσεις που έχει να αντιμετωπίσει το τμήμα αυτές αφορούν κυρίως την αποδοχή από το προσωπικό αλλά και τις επενδύσεις που θα πρέπει να γίνουν προκειμένου να είναι εφικτός ο ψηφιακός μετασχηματισμός:

«Αποτελεί πρόκληση για εμάς ο κόσμος να αναγνωρίσει την αξία στροφής προς τον ψηφιακό μετασχηματισμό και να τον αποδεχτεί. Επιπλέον, πρέπει να επενδύσει η εταιρεία γιατί είναι θέμα κεφαλαίου ώστε να εφαρμοστούν οι νέες τεχνολογίες και να υπάρχει μετάδοση της τεχνογνωσίας.» ΔΠ1

- **Χειριστές στην παραγωγή (ΧΠ)**

Η χρήση τεχνολογιών της Industry 4.0 βελτίωσε αισθητά την εργασία των ατόμων της παραγωγής. Οι απόψεις και των τεσσάρων συνεντευξιαζόμενων (ΧΠ1, ΧΠ2, ΧΠ3, ΧΠ4) συγκλίνουν ως προς το γεγονός ότι δεν αντιμετώπισαν ιδιαίτερα προβλήματα κατά την εκμάθηση του λογισμικού παρά το μέτριο προς χαμηλό επίπεδο των ψηφιακών γνώσεων τους. Εκπαιδεύτηκαν πριν ξεκινήσουν τη χρήση των συγκεκριμένων προγραμμάτων και όποτε αντιμετώπιζαν πρόβλημα μπορούσαν να απευθυνθούν στους προϊστάμενούς τους:

«Είμαι πολύ ικανοποιημένη, δεν αντιμετώπισα κάποια ιδιαίτερη δυσκολία.» ΧΠ1

«Εκπαιδεύτηκα από τους υπεύθυνους μου και μπορώ να πω ότι ήταν αρκετά εύκολο.» ΧΠ2

Οι μεγαλύτερες δυσκολίες που αντιμετώπισαν ήταν στο αρχικό στάδιο μέχρι να αποκτήσουν εξοικείωση.

«Δυσκολίες υπήρξαν στην αρχή που έπρεπε να καταχωρηθούν διαφορετικές αιτίες σταματήματος των μηχανών στο enocon, μέχρι να δημιουργηθεί μία λίστα αιτιών.» ΧΠ3

«Αρχικά με δυσκόλεψαν τα θέματα καταγραφής, όταν έπρεπε να περαστούν οι αιτίες σταματήματος των μηχανών στο enocon, όμως βοήθησε το γεγονός ότι το

παρακολουθούν ταυτόχρονα οι τεχνικοί και η διεύθυνση και υπάρχει γρηγορότερη ανταπόκριση.» ΧΠ4

Όλοι οι εργαζόμενοι της παραγωγής που συμμετείχαν στη συνέντευξη ανέφεραν μία πληθώρα οφελγημάτων που αναγνώρισαν από τη χρήση των λογισμικών προγραμμάτων στην παραγωγή:

«Βελτιώθηκε πάρα πολύ καθημερινά η παρακολούθηση της εργασίας μας, μας βοήθησε να γνωρίζουμε κάθε φορά τί προβλήματα έχουν οι μηχανές μας.» ΧΠ1

«Εξοικονομήθηκε πολύς χρόνος και βοήθησε ο χρόνος αυτός να αξιοποιηθεί και να χρησιμοποιηθεί για την επίβλεψη των εργαζομένων στις μηχανές του συσκευαστικού τμήματος.» ΧΠ2

«Πριν καταγράφαμε πολύ περισσότερο σε έντυπα, τώρα δεν χρειάζεται. Επιπλέον μας βοήθησε στην αύξηση της ποιότητας των τελικών προϊόντων γιατί υπάρχει καταγραφή των προβλημάτων που συμβάλει στην πρόληψη και συνεπώς σε λιγότερα ελαττωματικά προϊόντα.» ΧΠ3

«Είχε θετική επίδραση η εφαρμογή του προγράμματος (evocap) γιατί το προσωπικό προσπαθεί πιο ενεργά να μην υπάρχουν σταματήματα χωρίς αιτία.» ΧΠ4

Για να αποφευχθούν προκατειλημμένες απόψεις και η επίδραση που τυχόν ασκεί η παρουσία του ερευνητή, χρησιμοποιήθηκαν συμπληρωματικά ως ερευνητικά εργαλεία, η άμεση παρατήρηση και η αξιολόγηση των εγγράφων. Παρατηρήθηκε ότι το προσωπικό που χειρίζεται τις συγκεκριμένες εφαρμογές, ήταν ιδιαίτερα άνετο και εξοικειωμένο με τη χρήση τους. Διέθεταν την ικανότητα να αντιλαμβάνονται τα δεδομένα που παρουσιάζονταν στην οθόνη και να κινούνται άμεσα σε περίπτωση που εντοπιζόταν κάποια βλάβη, καλώντας το τεχνικό τμήμα και ενημερώνοντας τους προϊστάμενούς τους. Η εκπαίδευση που έλαβαν πριν τη χρήση τους, τους βοήθησε να αντιληφθούν βασικές αρχές λειτουργίας, τις οποίες στη συνέχεια με την καθημερινή απασχόλησή τους κατάφεραν να τις εξελίξουν μέχρι να ανεξαρτητοποιηθούν πλήρως. Ασφαλώς το γεγονός ότι υπάρχουν άτομα μεγάλης ηλικίας στην παραγωγή τα οποία με διστακτικότητα αποδέχονται τις νέες τεχνολογίες, είναι ένα σημείο που θα πρέπει να ληφθεί σοβαρά υπόψη από την εταιρεία. Επιπλέον, η αυτόματη καταγραφή και παρουσίαση των δεδομένων στην οθόνη του υπολογιστή (ακόμη και στα

κινητά των διευθυντών που έχουν πρόσβαση) φάνηκε να παίζει καθοριστικό ρόλο στη βελτίωση της απόδοσης και την ταχύτατη ανταπόκριση. Η εμφάνιση των KPIs στο dashboard (enocron) και των συνθηκών που επικρατούν στον εξοπλισμό (scada) συμβάλλουν καθοριστικά στην επίτευξη παρακολούθησης, ταχείας ανταπόκρισης και αποτελεσματικότητας.

Τα δύο εργαλεία που χρησιμοποιούνται στην παραγωγή εξασφάλισαν την πλήρη απαλλαγή από την καταγραφή εγγράφων, ωστόσο κάποια δεδομένα εξακολουθούν να καταγράφονται. Στην περίπτωση του enocron υπάρχουν έντυπα που καταγράφονται δεδομένα της παραγωγής, όπως αριθμός τεμαχίων, κωδικοί παρτίδων, στοιχεία συσκευαστικών υλικών. Τα δεδομένα αυτά χρησιμεύουν ιδιαίτερος σε περιπτώσεις ιχνηλασιμότητας αλλά και για σκοπούς επαλήθευσης των στοιχείων που καταγράφονται στο σύστημα, ώστε σε περίπτωση που κάποιος χειριστής δεν κάνει σωστή αποθήκευση των στοιχείων στο πρόγραμμα, να μπορούν να ανατρέξουν στα έντυπα ή το αντίθετο. Από την παρατήρηση των εγγράφων διαπιστώθηκε ότι εξοικονομείται σημαντικός παραγωγικός χρόνος, το προσωπικό μπορεί να απασχοληθεί σε άλλες διεργασίες και να δώσει περισσότερη προσοχή σε σημεία που δεν τυγχάνουν ψηφιακής καταγραφής, όπως είναι η χειρωνακτική καταγραφή των συνθηκών που επικρατούν στους χώρους παραγωγής και στην επίβλεψη του προσωπικού. Σχετικά με την εφαρμογή του προγράμματος scada παρατηρήθηκε ότι υπάρχουν ακόμη έγγραφα στα οποία καταγράφονται τα πλυσίματα του CIP, η διάρκεια τους και ο αρμόδιος χειριστής. Ωστόσο στα scada γίνεται πιο λεπτομερής καταγραφή. Το γεγονός ότι τα δεδομένα μπορούν να εντοπιστούν και στο λογισμικό οποιαδήποτε ώρα και στιγμή, βελτίωσε σημαντικά την παραγωγή ώστε να εξάγει συμπεράσματα σχετικά με τον τρόπο λειτουργίας του συγκεκριμένου τμήματος, την απόδοση του προσωπικού αλλά και την παροχή αξιόπιστων πληροφοριών σε περίπτωση εμφάνισης προβλημάτων.

6 ΣΥΜΠΕΡΑΣΜΑΤΑ ΚΑΙ ΠΡΟΤΑΣΕΙΣ

Στην παρούσα εργασία διερευνήθηκε η εφαρμογή της Industry 4.0 στον κλάδο της γαλακτοβιομηχανίας εφαρμόζοντας μελέτη περίπτωσης σε εταιρεία που παράγει διάφορα είδη γαλακτοκομικών προϊόντων και αξιοποιώντας δεδομένα που λήφθηκαν μέσω συνεντεύξεων από στελέχη και εργαζόμενους όλων των βαθμίδων της εταιρείας. Συμπληρωματικά αξιολογήθηκαν πληροφορίες που λήφθηκαν μέσω άμεσης παρατήρησης και εγγράφων. Η εργασία ξεκινά με την παρουσίαση της βιβλιογραφίας σχετικά με την έννοια της Industry 4.0 και τις αρχές της, δίνοντας στον αναγνώστη την ικανότητα να κατανοήσει βασικές έννοιες. Ακολούθως παρουσιάζονται μελέτες από τον κλάδο των τροφίμων και παραδείγματα εφαρμογής της Industry 4.0 σε βιομηχανίες γαλακτοκομικών σε Ελλάδα και Κύπρο. Μέσω περιπτωσιολογικής μελέτης διερευνήθηκε εταιρεία γαλακτοκομικών προϊόντων στοχεύοντας να μελετήσει και να κατανοήσει τη σημασία και τη συμβολή της Industry 4.0 για τη γαλακτοβιομηχανία, τα οφέλη που παρέχει, τα εμπόδια που έχει να αντιμετωπίσει και τις προκλήσεις για το μέλλον. Στο παρόν κεφάλαιο ερμηνεύονται τα ευρήματα της έρευνας απαντώντας στα ερευνητικά ερωτήματα της εργασίας. Κατόπιν γίνεται σύγκριση με τη βιβλιογραφία και αντίστοιχα ευρήματα συναφών ερευνών. Το παρόν κεφάλαιο ολοκληρώνεται με την καταγραφή των περιορισμών της έρευνας και την παρουσίαση προτάσεων για μελλοντική έρευνα.

6.1 ΒΑΣΙΚΑ ΕΥΡΗΜΑΤΑ

Η μελέτη που εφαρμόστηκε είναι ποιοτική διότι ο σκοπός της παρούσας εργασίας είναι διερευνητικός. Στόχος της είναι η μελέτη της Industry 4.0 ως σύγχρονη πρόκληση για τη βιομηχανία γαλακτοκομικών. Αξιολογήθηκαν τα δεδομένα που συλλέχθηκαν από τις μεθόδους συλλογής δεδομένων που εφαρμόστηκαν, ακολούθησε η ομαδοποίησή τους σύμφωνα με τα ερευνητικά ερωτήματα που τέθηκαν στην παρούσα εργασία και μελετήθηκαν οι προκλήσεις που αναδύονται από την εφαρμογή συστημάτων της Industry 4.0 στη γαλακτοβιομηχανία της μελέτης περίπτωσης. Συνεπώς, θεωρείται ότι το αντικείμενο και ο σκοπός της μελέτης έχουν επιτευχθεί. Οι απαντήσεις των ερευνητικών ερωτημάτων είναι οι ακόλουθες:

Γιατί επιδιώκουν οι επιχειρήσεις την εφαρμογή της Industry 4.0 στη γαλακτοβιομηχανία;

Η Industry 4.0 παρέχει σημαντικά οφέλη στον κλάδο της γαλακτοβιομηχανίας. Με την εφαρμογή της επιτυγχάνεται μείωση του λειτουργικού κόστους, βελτίωση της απόδοσης του εξοπλισμού και καλύτερη επίβλεψη της αποδοτικότητας του προσωπικού. Με την αυτοματοποίηση και την ψηφιοποίηση των διεργασιών επιτυγχάνεται εξοικονόμηση εργατοωρών λόγω αυτόματης καταγραφής δεδομένων και συνεπώς μείωση χρόνου. Γίνεται πλήρης καταγραφή στο ιστορικό των λογισμικών που βοηθά σημαντικά στην ιχνηλασιμότητα. Οι λειτουργίες γίνονται πιο αποδοτικές και άμεσες με αποτέλεσμα να παρέχεται ανταγωνιστικό πλεονέκτημα στην εταιρεία. Η συμβολή της Industry 4.0 είναι σημαντική και στον τομέα της συντήρησης του εξοπλισμού, καθώς υπάρχει ψηφιακά καταγεγραμμένο πλήρες ιστορικό για κάθε μηχανή και με αυτόν τον τρόπο επιτυγχάνεται άμεση ανταπόκριση και επιδιόρθωση των βλαβών όποτε προκύψουν προβλήματα.

Με ποιους δείκτες μετράνε οι επιχειρήσεις τα οφέλη που έχουν από την εφαρμογή των τεχνολογιών της Industry 4.0;

Οι κυριότεροι δείκτες απόδοσης (KPIs) που παρακολουθούνται από τους διευθυντές του τμήματος παραγωγής είναι η απόδοση (performance) μέσω του συνολικού δείκτη αποδοτικότητας του εξοπλισμού (OEE – overall equipment efficiency), η ποιότητα (quality), η διαθεσιμότητα (availability) και οι νεκροί χρόνοι των μηχανών (downtimes). Επιπλέον το τεχνικό τμήμα με βάση τα downtimes και την ταχύτητα αποκατάστασης των βλαβών των μηχανών, αξιολογεί την απόδοση του από την αμεσότητα που επιδεικνύει. Βγαίνει ένας ποσοτικός δείκτης ο οποίος εκφράζει το ποσοστό επιτυχίας του τεχνικού τμήματος στην ανταπόκριση κατά την επιδιόρθωση της βλάβης.

Ποιες είναι οι βασικότερες προκλήσεις που παρουσιάζει η εφαρμογή της Industry 4.0 στη βιομηχανία γαλακτοκομικών προϊόντων και πώς μπορούν να αντιμετωπιστούν;

Οι κυριότερες προκλήσεις που έχει να αντιμετωπίσει η γαλακτοβιομηχανία αφορούν στην εξασφάλιση χρηματοδότησης με σκοπό την επένδυση πάνω σε νέες τεχνολογίες. Σημαντική βοήθεια από την πολιτεία μέσω προγραμμάτων επιχορηγήσεων θα βοηθήσει να ξεπεραστεί το εμπόδιο της χρηματοδότησης. Επιπλέον σημαντική πρόκληση απαιτεί η αντίσταση του ανθρώπινου δυναμικού στην αλλαγή κυρίως από άτομα μεγάλης ηλικίας που δεν είναι εξοικειωμένα με τις τεχνολογίες της πληροφορικής ή από άτομα που δεν είναι ανοιχτά στις

αλλαγές. Καθοριστικό ρόλο για την επίλυση αυτής της πρόκλησης διαδραματίζουν το τμήμα του ανθρώπινου δυναμικού μέσω επιλογής κατάλληλου εξειδικευμένου προσωπικού και παροχής εκπαιδύσεων στο υπάρχον προσωπικό αλλά και οι διευθυντές των τμημάτων, οι οποίοι θα πρέπει να καλλιεργήσουν στην κουλτούρα της εταιρείας την ανάγκη για εκσυγχρονισμό και για στροφή προς την ψηφιακή εποχή.

Παρακάτω παρατίθεται σύγκριση με τα ευρήματα παρόμοιων ερευνών. Ο βασικός ρόλος του τμήματος ανθρώπινου δυναμικού εντοπίστηκε και από τους Romanello και Veglio (2022), οι οποίοι διατύπωσαν στην μελέτη τους ότι καθοριστικής σημασίας είναι οι στρατηγικές που εφαρμόζει το τμήμα του ανθρώπινου δυναμικού προκειμένου να ξεπεραστούν οι αντιστάσεις που προβάλλει το προσωπικό στην αλλαγή αλλά και η ενίσχυση των ψηφιακών τους δεξιοτήτων μέσω κατάλληλων εκπαιδύσεων, ωστόσο η συγκεκριμένη μελέτη περιορίζεται σε βιομηχανία επεξεργασίας φρούτων και όχι σε γαλακτοβιομηχανία. Για την εταιρεία της μελέτης περίπτωσης, το κόστος της εκπαίδευσης δεν είναι ανησυχητικό και δεν αποτελεί εμπόδιο, σε αντίθεση με τα ευρήματα των Nimawat και Gidwani (2021), που υποστηρίζουν ότι το κόστος εκπαίδευσης αποτελεί εμπόδιο για τις εταιρείες. Η ανάγκη για εξεύρεση οικονομικών πόρων αναφέρεται και στην μελέτη των Vuksanovic et al. (2020), οι οποίοι μελέτησαν τα επίπεδα ψηφιακού μετασχηματισμού στη Σερβία και εντόπισαν ότι η απώλεια οικονομικών πόρων αποτελεί το σημαντικότερο εμπόδιο. Κατά τη διάρκεια των συνεντεύξεων επισημάνθηκε ότι ο ψηφιακός μετασχηματισμός προσδίδει ανταγωνιστικό πλεονέκτημα στην εταιρεία, συμβάλει στη μείωση του κόστους, τη μείωση των σφαλμάτων, τη βελτίωση της απόδοσης και την άμεση ανταπόκριση στις επιθυμίες των πελατών. Όλα αυτά τα ευρήματα βρίσκονται σε πλήρη συμφωνία με τα ευρήματα των Stendoft et al. (2021), Vuksanovic et al. (2020) και Horvath και Szabo (2019) και επιβεβαιώνονται στην παρούσα εργασία. Την ανάγκη για αλλαγή στη νοοτροπία του προσωπικού και της προσπάθειας που πρέπει να γίνει από τα ανώτερα στελέχη προκειμένου να κατανοήσει το προσωπικό τη σημασία της Industry 4.0 εντόπισαν στην έρευνά τους και οι Stendoft et al. (2021) οι οποίοι διεξήγαγαν έρευνα σε τέσσερις εταιρείες. Ωστόσο η έρευνα τους στηρίχτηκε σε Μμε και όχι σε μεγάλες όπως η επιχείρηση της μελέτης περίπτωσης. Τέλος, το γεγονός ότι ο ψηφιακός μετασχηματισμός βρίσκεται σε αρχικό στάδιο στην εταιρεία της μελέτης περίπτωσης, απεικονίζει την γενική εικόνα που επικρατεί στις βιομηχανίες τροφίμων της Ελλάδας, όπως έδειξαν και τα ευρήματα πρόσφατης μελέτης (Ioannidis et al., 2022).

6.2 ΠΕΡΙΟΡΙΣΜΟΙ ΤΗΣ ΕΡΕΥΝΑΣ

Υπάρχουν ορισμένοι περιορισμοί που αφορούν στην παρούσα εργασία. Πρώτον, η έρευνα επικεντρώθηκε κυρίως στο τμήμα του εργοστασίου και την εφαρμογή της Industry 4.0 σε καθημερινές διεργασίες που αφορούν το παραγωγικό τμήμα της εταιρείας. Δεν λήφθηκαν υπόψη όλα τα τμήματα της εταιρείας που εφαρμόζονται ήδη ψηφιακές τεχνολογίες, όπως είναι το τμήμα marketing, το τμήμα πωλήσεων, η διαχείριση των αποθηκών και το τμήμα παραγγελιών. Στην εταιρεία της μελέτης περίπτωσης εφαρμόζονται και άλλα λογισμικά τα οποία χρησιμοποιούν τεχνολογίες της Industry 4.0, όπως το WMS (Warehouse Management System) που αποτελεί σύστημα διαχείρισης της αποθήκης και λογισμικό παρακολούθησης αποθεμάτων (πρώτες ύλες και συσκευαστικά υλικά). Δεύτερον, λόγω της διερευνητικής φύσεως της μελέτης, τα ευρήματα φέρουν εγγενείς περιορισμούς καθώς στηρίζονται σε ανθρώπινες αντιλήψεις. Τρίτον, τα συμπεράσματα της παρούσας μελέτης δεν μπορούν να θεωρηθούν γενικευμένα για όλο τον κλάδο των τροφίμων διότι η γαλακτοβιομηχανία παρουσιάζει διαφορετικά χαρακτηριστικά και ιδιαιτερότητες σε σχέση με άλλες βιομηχανίες τροφίμων. Τέλος, θα πρέπει να ληφθεί σοβαρά υπόψη ότι τα ευρήματα αφορούν μία μεγάλη και όχι μία Μμε, συνεπώς τα εμπόδια και οι προκλήσεις που αντιμετωπίζουν μπορεί να διαφέρουν.

6.3 ΜΕΛΛΟΝΤΙΚΗ ΕΡΕΥΝΑ

Τα ευρήματα της παρούσας εργασίας αποδεικνύουν ότι ο ψηφιακός μετασχηματισμός έχει μπει στις στρατηγικές ανάπτυξης των επιχειρήσεων και βρίσκεται στα μελλοντικά τους πλάνα. Ωστόσο βρίσκεται σε αρχικό στάδιο, γεγονός που τεκμηριώνεται και από τα ευρήματα του ψηφιακού δείκτη οικονομίας και κοινωνίας για το 2022 (DESI – Digital Economy and Society Index) (<https://digital-strategy.ec.europa.eu/en/policies/desi>). Έχοντας υπόψη τον περιορισμό που λήφθηκε παραπάνω για την μελέτη εφαρμογής της Industry 4.0 μόνο στο εργοστάσιο, θα μπορούσε η έρευνα μελλοντικά να επεκταθεί και σε άλλα τμήματα των γαλακτοβιομηχανιών με τη συλλογή δεδομένων από περισσότερα άτομα διαφορετικών ειδικοτήτων όπως του marketing, των πωλήσεων και της εφοδιαστικής αλυσίδας. Θα ήταν ενδιαφέρον να ερευνηθεί η αντίληψη των ατόμων σχετικά με το τι πρεσβεύει ο ψηφιακός μετασχηματισμός και την αναγκαιότητα εφαρμογής του. Η παρούσα έρευνα θα μπορούσε να

επεκταθεί σε ποσοτική μελέτη, με την διερεύνηση ποσοτικών στοιχείων που τεκμηριώνουν την θετική επιρροή της Industry 4.0 στη γαλακτοβιομηχανία σχετικά με την μείωση κόστους και την αύξηση της κερδοφορίας. Τα δεδομένα της παρούσας διπλωματικής εργασίας μπορούν να παρέχουν πληροφόρηση και να βοηθήσουν στελέχη γαλακτοβιομηχανιών να κατανοήσουν την σπουδαιότητα στροφής προς τον ψηφιακό μετασχηματισμό.

Είναι αναγκαία η λήψη ενεργειών από τις εταιρείες που επιθυμούν επιτυχή μετάβαση στην ψηφιακή εποχή. Η δέσμευση της διοίκησης, η παροχή οικονομικών πόρων, η συνεχής εκπαίδευση και η αλλαγή της κουλτούρας του προσωπικού αποτελούν καθοριστικούς παράγοντες. Καταλυτική είναι η συμβολή της πολιτείας με την παροχή επιχορηγήσεων στις επιχειρήσεις που θα διευκολύνουν την απόφαση τους να στραφούν πιο ενεργά στις τεχνολογίες πληροφορικής και επικοινωνιών, εγκαταλείποντας τις δοκιμασμένες διαδικασίες. Όπως φανερώνουν τα αποτελέσματα από τη μελέτη περίπτωσης σε γαλακτοβιομηχανία, η χρήση συστήματος βιομηχανικού αυτόματου ελέγχου - εποπτείας (SCADA) και cloud-based λογισμικού που ψηφιοποιεί τα δεδομένα στο στάδιο της συσκευασίας (Enocon), παρέχει σημαντικά οφέλη. Σε αυτά συγκαταλλέγονται η παροχή πληροφοριών για την κατανάλωση νερού και ηλεκτρικής ενέργειας, η απεικόνιση των τάσεων μέσω γραφικών παραστάσεων, η ενημέρωση για ενεργοβόρες διαδικασίες που επιβαρύνουν χρονικά και οικονομικά το εργοστάσιο, η συνεχή πληροφόρηση σχετικά με την απόδοση των μηχανών και του προσωπικού, η μείωση των βλαβών – downtimes, η μείωση σε φύρες, η μείωση του κόστους συντήρησης, η ρύθμιση στις βάρδιες του προσωπικού. ο σωστός προγραμματισμός της αποθήκης για τα αποθέματα των ανταλλακτικών και η πλήρης απαλλαγή από χρονοβόρα καταγραφή σε έντυπα και ηλεκτρονικά αρχεία excel.

Η Industry 4.0 βοηθάει τις γαλακτοβιομηχανίες να ανταποκριθούν στις αυξημένες απαιτήσεις της αγοράς. Μέσω της αποθήκευσης δεδομένων στο cloud, την ανάλυση των μεγάλων δεδομένων και τις εφαρμογές της τεχνητής νοημοσύνης, η Industry 4.0 ανοίγει τον δρόμο στον τομέα της προγνωστικής συντήρησης και τον ποιοτικό έλεγχο μέσω εντοπισμού των ελαττωμάτων. Από τα ευρήματα της μελέτης συμπεραίνουμε ότι θα πρέπει να δοθεί προσοχή στην ύπαρξη των κατάλληλων υποδομών και στην παλαιότητα του εξοπλισμού για να είναι πιο ομαλή η μετάβαση στην εισαγωγή νέων τεχνολογιών. Θα πρέπει να υπάρχει κατάλληλα στελεχωμένο προσωπικό που θα υποστηρίζει την μετάβαση και θα παρέχει βοήθεια στις επιχειρήσεις. Η ανάγκη αυτή έχει γίνει ευρέως κατανοητή, γεγονός που τεκμηριώνεται με την υπογραφή μνημονίου συνεργασίας μεταξύ Ελλάδας – Κύπρου τον

Απρίλιο του 2022 για την ανταλλαγή καλών τεχνικών και τεχνογνωσίας με σκοπό την επιτάχυνση της ψηφιακής μετάβασης για την ανάπτυξη, την ευημερία και τη βιωσιμότητα των δύο χωρών.

Εν κατακλείδι, το ζήτημα του ψηφιακού μετασχηματισμού προβάλλει πιο επίκαιρο από όσο ποτέ. Ο ψηφιακός μετασχηματισμός αλλάζει τα δεδομένα στη βιομηχανία και αποτελεί επιτακτική ανάγκη για τις επιχειρήσεις που θέλουν να παραμείνουν ανταγωνιστικές και να ανταπεξέλθουν στις προκλήσεις της σύγχρονης εποχής.

ΑΝΑΦΟΡΕΣ

Akyazi, T., Goti, A., Oyarbide, A., Alberdi, E., & Bayon, F. (2020). A guide for the food industry to meet the future skills requirements emerging with industry 4.0. *Foods*, 9(4), 492.

Alavian, P., Eun, Y., Meerkov, S. M., & Zhang, L. (2020). Smart production systems: automating decision-making in manufacturing environment. *International Journal of Production Research*, 58(3), 828-845.

Ali, I., & Aboelmaged, M. G. S. (2021). Implementation of supply chain 4.0 in the food and beverage industry: perceived drivers and barriers. *International Journal of Productivity and Performance Management*.

allpack Hellas. Το περιοδικό της συσκευασίας. Τεύχος 109, Μάρτιος – Απρίλιος 2022

Automation Timeline: The Drive Toward 4.0 Connectivity in Packaging and Processing. Available at: www.pmmi.org

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

Babbie, E. (2011). Εισαγωγή στην κοινωνική έρευνα. *Αθήνα: κριτική*.

Bailey, D., & Wright, E. (2003). *Practical SCADA for industry*. Newnes.

Bamunuarachchi, D., Georgakopoulos, D., Banerjee, A., & Jayaraman, P. P. (2021). Digital twins supporting efficient digital industrial transformation. *Sensors*, 21(20), 6829.

Borowski, P. F. (2021). Innovative processes in managing an enterprise from the energy and food sector in the era of industry 4.0. *Processes*, 9(2), 381.

Boyer, S. A. (1999). *Supervisory control and data acquisition*. Isa.

Brad, S., Murar, M., Vlad, G., Brad, E., & Popanton, M. (2021). Lifecycle Design of Disruptive SCADA Systems for Waste-Water Treatment Installations. *Sustainability*, *13*(9), 4950.

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

Bugarski, V., Nikolić, P., Matić, D., & Kamenko, I. (2011). Benefits of SCADA systems with examples in agriculture. *Journal on Processing and Energy in Agriculture*, *15*(2), 98-102.

Burke, N., Zacharski, K. A., Southern, M., Hogan, P., Ryan, M. P., & Adley, C. C. (2018). The dairy industry: process, monitoring, standards, and quality. *Descriptive Food Science*, *162*.

Cañas, H., Mula, J., Díaz-Madroñero, M., & Campuzano-Bolarín, F. (2021). Implementing Industry 4.0 principles. *Computers & industrial engineering*, *158*, 107379.

Casino, F., Kanakaris, V., Dasaklis, T. K., Moschuris, S., Stachtiaris, S., Pagoni, M., & Rachaniotis, N. P. (2021). Blockchain-based food supply chain traceability: a case study in the dairy sector. *International Journal of Production Research*, *59*(19), 5758-5770.

Castelo-Branco, I., Cruz-Jesus, F., & Oliveira, T. (2019). Assessing Industry 4.0 readiness in manufacturing: Evidence for the European Union. *Computers in Industry*, *107*, 22-32.

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

Chen, J. Y., Tai, K. C., & Chen, G. C. (2017). Application of programmable logic controller to build-up an intelligent industry 4.0 platform. *Procedia Cirp*, *63*, 150-155.

Cheng, Z., Likai, J., Min, C., & Xiangyan, Z. (2021, April). Mechanical Safety Risk Analysis of Smart Factory. In *Journal of Physics: Conference Series* (Vol. 1884, No. 1, p. 012037). IOP Publishing.

Cohen, L., Manion, L., & Morrison, K. (2008). Μεθοδολογία εκπαιδευτικής έρευνας. Αθήνα: Μεταίχμιο

Creswell, J. W. (2011). Η έρευνα στην εκπαίδευση: Σχεδιασμός, διεξαγωγή και αξιολόγηση της ποσοτικής και ποιοτικής έρευνας. *Αθήνα: Ελλην.*

Dairy News, Γαλακτοκομία – Τυροκομία – Κτηνοτροφία, Τεύχος 27, Νοέμβριος – Δεκέμβριος 2021

Dairy News, Γαλακτοκομία – Τυροκομία – Κτηνοτροφία, Τεύχος 30, Μάιος – Ιούνιος 2022
Dairy Processing Handbook, Tetrapak, 2015

Dalenogare, L. S., Benitez, G. B., Ayala, N. F., & Frank, A. G. (2018). The expected contribution of Industry 4.0 technologies for industrial performance. *International Journal of production economics*, 204, 383-394.

Daneels, A., & Salter, W. (1999). What is SCADA?. International Conference on Accelerator and Large Experimental Physics Control Systems, 1999, Trieste, Italy

Deloitte. (2017). Global Dairy Sector: Trends and Opportunities. White Paper, Deloitte. Availableat:https://www2.deloitte.com/content/dam/Deloitte/ie/Documents/ConsumerBusiness/ie_Dairy_Industry_Trends_and_Opportunities.pdf.

Deloitte. (2019). Industry 4.0 readiness report. An assessment of the Cyprus manufacturing industry. Availableat:<https://www2.deloitte.com/content/dam/Deloitte/cy/Documents/innovation-and-entrepreneurship/%20centre/Industry%204.0%20readiness%20report%202019.pdf>

Deloitte, (2020). Ψηφιακή και τεχνολογική ωριμότητα οικονομίας και επιχειρήσεων Παρατηρητήριο Ψηφιακού Μετασχηματισμού 2η ετήσια έκδοση Διαθέσιμο: https://www2.deloitte.com/content/dam/Deloitte/gr/Documents/technology/gr_SEV_Deloitte_Digital_Maturity_Report_2020_noexp.pdf

Demartini, M., Pinna, C., Tonelli, F., Terzi, S., Sansone, C., & Testa, C. (2018). Food industry digitalization: from challenges and trends to opportunities and solutions. *IFAC-PapersOnLine*, 51(11), 1371-1378.

Dhage, B., & Dhage, A. (2016, September). Automation of CIP Process in dairy industries using programmable controllers and SCADA. In *2016 International Conference on Automatic Control and Dynamic Optimization Techniques (ICACDOT)* (pp. 318-323). IEEE.

Erickson, K. T. (1996). Programmable logic controllers. *IEEE potentials*, 15(1), 14-17.

Evjemo, L. D., Gjerstad, T., Grøtli, E. I., & Sziebig, G. (2020). Trends in smart manufacturing: Role of humans and industrial robots in smart factories. *Current Robotics Reports*, 1(2), 35-41.

Food Engineering, Industry 4.0's impact on the food & beverage industry. (2018) Available at: <https://www.foodengineeringmag.com/articles/97490-industry-40s-impact-on-the-food-and-beverage-industry>

Frank, Dalenogare, L.S., Ayala, N.F, 2019a. Industry 4.0 technologies: Implementation patterns in manufacturing companies. *Int. J. Prod. Econ.* 210, 15–26. <https://doi.org/10.1016/j.ijpe.2019.01.004>.

Goller, M., Caruso, C., & Harteis, C. (2021). Digitalisation in agriculture: Knowledge and learning requirements of German dairy farmers. *International journal for research in vocational education and training*, 8(2), 208-223.

Grufman, N., Lyons, S., & Sneiders, E. (2020). Exploring Readiness of SMEs for Industry 4.0. *Complex Systems Informatics and Modeling Quarterly*, (25), 54-86.

Guzmán, C. F., Gu, J., Duflou, J., Vanhove, H., Flores, P., & Habraken, A. M. (2012). Study of the geometrical inaccuracy on a SPIF two-slope pyramid by finite element simulations. *International Journal of Solids and Structures*, 49(25), 3594-3604.

Handbook, D. P. (2015). Lausanne. *Switzerland, Tetrapak*.

Hasnan, N. Z. N., & Yusoff, Y. M. (2018, November). Short review: Application areas of industry 4.0 technologies in food processing sector. In *2018 IEEE Student Conference on Research and Development (SCORED)* (pp. 1-6). IEEE.

Hassoun, A., Aït-Kaddour, A., Abu-Mahfouz, A. M., Rathod, N. B., Bader, F., Barba, F. J., & Regenstein, J. (2022). The fourth industrial revolution in the food industry—Part I: Industry 4.0 technologies. *Critical Reviews in Food Science and Nutrition*, 1-17.

Hermann, M., Pentek, T., & Otto, B. (2015). Design principles for Industrie 4.0 scenarios: a literature review. Technische Universität Dortmund, Dortmund, 45.

Hofmann, E., & Rüsich, M. (2017). Industry 4.0 and the current status as well as future prospects on logistics. *Computers in industry*, 89, 23-34.

Holmes, J. F., Russell, G., & Allen, J. K. (2013). Supervisory Control and Data Acquisition (SCADA) and related systems for automated process control in the food industry: an introduction. In *Robotics and Automation in the Food Industry* (pp. 130-142). Woodhead Publishing.

Horváth, D., & Szabó, R. Z. (2019). Driving forces and barriers of Industry 4.0: Do multinational and small and medium-sized companies have equal opportunities?. *Technological forecasting and social change*, 146, 119-132.

Høyer, M. R., Oluyisola, O. E., Strandhagen, J. O., & Semini, M. G. (2019). Exploring the challenges with applying tracking and tracing technology in the dairy industry. *Ifac-Papersonline*, 52(13), 1727-1732.

Hozdić, E. (2015). Smart factory for industry 4.0: A review. *International Journal of Modern Manufacturing Technologies*, 7(1), 28-35.

Ioannidis, S., Karelakis, C., Papanikolaou, Z., & Theodossiou, G. (2022). Exploring Digitalisation Adaptation of Agro-food Firms: Evidence from Greece. *International Journal of Business and Economic Sciences Applied Research (IJBESAR)*, 15(1), 94-104.

Jagtap, S., Bader, F., Garcia-Garcia, G., Trollman, H., Fadiji, T., & Salonitis, K. (2020). Food logistics 4.0: Opportunities and challenges. *Logistics*, 5(1), 2.

Jin, W., Liu, Z., Shi, Z., Jin, C., & Lee, J. (2017, July). CPS-enabled worry-free industrial applications. In *2017 Prognostics and System Health Management Conference (PHM-Harbin)* (pp. 1-7). IEEE.

Kagermann, H. (2017). Chancen von Industrie 4.0 nutzen. In *Handbuch Industrie 4.0 Bd. 4* (pp. 237-248). Springer Vieweg, Berlin, Heidelberg.

Kagermann, H. (2015). Change through digitization—Value creation in the age of Industry 4.0. In *Management of permanent change* (pp. 23-45). Springer Gabler, Wiesbaden.

Kagermann, H., Lukas, W. D., & Wahlster, W. (2011). Industrie 4.0: Mit dem Internet der Dinge auf dem Weg zur 4. industriellen Revolution. *VDI nachrichten*, 13(1).

Kamilaris, A., Fonts, A., & Prenafeta-Boldú, F. X. (2019). The rise of blockchain technology in agriculture and food supply chains. *Trends in Food Science & Technology*, 91, 640-652.

Kayikci, Y., Subramanian, N., Dora, M., & Bhatia, M. S. (2022). Food supply chain in the era of Industry 4.0: Blockchain technology implementation opportunities and impediments

from the perspective of people, process, performance, and technology. *Production Planning & Control*, 33(2-3), 301-321.

Khan, I. H., & Javaid, M. (2021). Role of Internet of Things (IoT) in adoption of Industry 4.0. *Journal of Industrial Integration and Management*, 2150006.

Kusiak, A. (2018). Smart manufacturing. *International Journal of Production Research*, 56(1-2), 508-517.

Lampropoulos, G., Siakas, K., & Anastasiadis, T. (2019). INTERNET OF THINGS IN THE CONTEXT OF INDUSTRY 4.0: AN OVERVIEW: Lampropoulos, G., Siakas, K., Anastasiadis, T.(2019). Internet of Things in the Context of Industry 4.0: An Overview. *International Journal of Entrepreneurial Knowledge*, 7 (1), 4-19. *International Journal of Entrepreneurial Knowledge*, 7(1).

Lanka, E., Lanka, S., Rostron, A., & Singh, P. (2020). Why we need qualitative research in management studies. *Revista de Administração Contemporânea*, 25.

Lee, J., Azamfar, M., Singh, J., & Siahpour, S. (2020). Integration of digital twin and deep learning in cyber-physical systems: towards smart manufacturing. *IET Collaborative Intelligent Manufacturing*, 2(1), 34-36.

Lezoche, M., Hernandez, J. E., Díaz, M. D. M. E. A., Panetto, H., & Kacprzyk, J. (2020). Agri-food 4.0: A survey of the supply chains and technologies for the future agriculture. *Computers in industry*, 117, 103187.

Lima, J., Moreira, J. F. P., & Sousa, R. M. (2015, December). Remote supervision of production processes in the food industry. In *2015 IEEE International Conference on Industrial Engineering and Engineering Management (IEEM)* (pp. 1123-1127). IEEE.

Linko, S., & Linko, P. (1998). Developments in monitoring and control of food processes. *Food and bioproducts processing*, 76(3), 127-137.

Liu, Y., Ma, X., Shu, L., Hancke, G. P., & Abu-Mahfouz, A. M. (2020). From Industry 4.0 to Agriculture 4.0: Current status, enabling technologies, and research challenges. *IEEE Transactions on Industrial Informatics*, *17*(6), 4322-4334.

Liu, X.F.; Shahriar, M.R.; Al Sunny, S.M.N.; Leu, M.C.; Hu, L. Cyber-physical manufacturing cloud: Architecture, virtualization, communication, and testbed. *J. Manuf. Syst.* 2017, *43*, 352–364.

Lu, Y., Xu, X., & Wang, L. (2020). Smart manufacturing process and system automation—a critical review of the standards and envisioned scenarios. *Journal of Manufacturing Systems*, *56*, 312-325.

Mabkhot, M. M., Al-Ahmari, A. M., Salah, B., & Alkhalefah, H. (2018). Requirements of the smart factory system: A survey and perspective. *Machines*, *6*(2), 23.

Malakuti, S., Schlake, J., Grüner, S., Schulz, D., Gitzel, R., Schmitt, J., & Garrels, K. (2018). Digital twin—a key software component of Industry 4.0. *ABB Review*, *4*, 2018.

Meindl, B., Ayala, N. F., Mendonça, J., & Frank, A. G. (2021). The four smarts of Industry 4.0: Evolution of ten years of research and future perspectives. *Technological Forecasting and Social Change*, *168*, 120784.

Mittal, S., Khan, M. A., Romero, D., & Wuest, T. (2019). Smart manufacturing: Characteristics, technologies and enabling factors. *Proceedings of the Institution of Mechanical Engineers, Part B: Journal of Engineering Manufacture*, *233*(5), 1342-1361.

Muchiri, P., & Pintelon, L. (2008). Performance measurement using overall equipment effectiveness (OEE): literature review and practical application discussion. *International journal of production research*, *46*(13), 3517-3535.

Namjoshi, J., & Rawat, M. (2022). Role of smart manufacturing in industry 4.0. *Materials Today: Proceedings*.

Nimawat, D., & Gidwani, B. D. (2021). Identification of cause and effect relationships among barriers of Industry 4.0 using decision-making trial and evaluation laboratory method. *Benchmarking: An International Journal*.

Novák, P., & Vyskočil, J. (2022). Digitalized Automation Engineering of Industry 4.0 Production Systems and Their Tight Cooperation with Digital Twins. *Processes*, 10(2), 404.

Ojo, O. O., Shah, S., Coutroubis, A., Jiménez, M. T., & Ocana, Y. M. (2018, November). Potential impact of industry 4.0 in sustainable food supply chain environment. In *2018 IEEE International Conference on Technology Management, Operations and Decisions (ICTMOD)* (pp. 172-177). IEEE.

Okeme, P. A., Skakun, A. D., & Muzalevskii, A. R. (2021, January). Transformation of factory to smart factory. In *2021 IEEE Conference of Russian Young Researchers in Electrical and Electronic Engineering (ElConRus)* (pp. 1499-1503). IEEE.

Osterrieder, P., Budde, L., & Friedli, T. (2020). The smart factory as a key construct of industry 4.0: A systematic literature review. *International Journal of Production Economics*, 221, 107476.

Phuyal, S., Bista, D., & Bista, R. (2020). Challenges, opportunities and future directions of smart manufacturing: a state of art review. *Sustainable Futures*, 2, 100023.

Porter, M. E., & Millar, V. E. (1985). How information gives you competitive advantage.

Qi, Q., & Tao, F. (2018). Digital twin and big data towards smart manufacturing and industry 4.0: 360 degree comparison. *Ieee Access*, 6, 3585-3593.

Qu, Y. J., Ming, X. G., Liu, Z. W., Zhang, X. Y., & Hou, Z. T. (2019). Smart manufacturing systems: state of the art and future trends. *The International Journal of Advanced Manufacturing Technology*, 103(9), 3751-3768.

Radziwon, A.; Bilberg, A.; Bogers, M.; Skov, E. The Smart Factory: Exploring Adaptive and Flexible Manufacturing Solutions. *Procedia Eng.* 2014, 69, 1184–1190.

Režek Jambrak, A., Nutrizio, M., Djekić, I., Pleslić, S., & Chemat, F. (2021). Internet of nonthermal food processing technologies (IoNTP): Food industry 4.0 and sustainability. *Applied Sciences*, *11*(2), 686.

Robson, C. (2007). Η έρευνα του πραγματικού κόσμου. *Αθήνα: Gutenberg*.

Rojko, A. (2017). Industry 4.0 concept: Background and overview. *International journal of interactive mobile technologies*, *11*(5).

Romanello, R., & Veglio, V. (2022). Industry 4.0 in food processing: drivers, challenges and outcomes. *British Food Journal*, *124*(13), 375-390.

Rupp, M., Schneckenburger, M., Merkel, M., Börret, R., & Harrison, D. K. (2021). Industry 4.0: A technological-oriented definition based on bibliometric analysis and literature review. *Journal of Open Innovation: Technology, Market, and Complexity*, *7*(1), 68.

Rüßmann, M., Lorenz, M., Gerbert, P., Waldner, M., Justus, J., Engel, P., & Harnisch, M. (2015). Industry 4.0: The future of productivity and growth in manufacturing industries. *Boston consulting group*, *9*(1), 54-89.

Salah, B. (2021, November). Real-Time Implementation of a Fully Automated Industrial System Based on IR 4.0 Concept. In *Actuators* (Vol. 10, No. 12, p. 318). MDPI.

Saucedo-Martínez, J. A., Pérez-Lara, M., Marmolejo-Saucedo, J. A., Salais-Fierro, T. E., & Vasant, P. (2018). Industry 4.0 framework for management and operations: a review. *Journal of ambient intelligence and humanized computing*, *9*(3), 789-801.

Shi, Z., Xie, Y., Xue, W., Chen, Y., Fu, L., & Xu, X. (2020). Smart factory in Industry 4.0. *Systems Research and Behavioral Science*, *37*(4), 607-617.

Siemens. The Digitalization Productivity Bonus in Dairy Products Manufacturing. What value does digitalization offer the Dairy Products industry? (2017) Available at: www.siemens.co.uk/food-beverage-industry

Simon, J., Trojanova, M., Zbihlej, J., & Sarosi, J. (2018). Mass customization model in food industry using industry 4.0 standard with fuzzy-based multi-criteria decision making methodology. *Advances in Mechanical Engineering*, 10(3), 1687814018766776.

Singh, H. (2021). Big data, industry 4.0 and cyber-physical systems integration: A smart industry context. *Materials Today: Proceedings*, 46, 157-162.

Sommer, L. (2015). Industrial revolution-industry 4.0: Are German manufacturing SMEs the first victims of this revolution?. *Journal of Industrial Engineering and Management*, 8(5), 1512-1532.

Stentoft, J., Aadsbøll Wickstrøm, K., Philipsen, K., & Haug, A. (2021). Drivers and barriers for Industry 4.0 readiness and practice: empirical evidence from small and medium-sized manufacturers. *Production Planning & Control*, 32(10), 811-828.

Taylor-Powell, E., & Steele, S. (1996). Collecting evaluation data: Direct observation. *Program Development and Evaluation. Wisconsin: University of Wisconsin-Extension*, 1-7.

Techcrunch, How augmented and virtual reality will reshape the food industry. (2017) Available at: <https://techcrunch.com>

Tetra Pak aims for Industry 4.0. (2018) Dairy Industries International. Available at: www.dairyindustries.com

Trivelli, L., Apicella, A., Chiarello, F., Rana, R., Fantoni, G., & Tarabella, A. (2019). From precision agriculture to Industry 4.0: Unveiling technological connections in the agrifood sector. *British Food Journal*, 121(8), 1730-1743.

Vuksanović Herceg, I., Kuč, V., Mijušković, V. M., & Herceg, T. (2020). Challenges and driving forces for industry 4.0 implementation. *Sustainability*, 12(10), 4208.

Wang, S., Wan, J., Li, D., & Zhang, C. (2016). Implementing smart factory of industrie 4.0: an outlook. *International journal of distributed sensor networks*, 12(1), 3159805.

Xu, L. D., Xu, E. L., & Li, L. (2018). Industry 4.0: state of the art and future trends. *International journal of production research*, 56(8), 2941-2962.

Yavari, A., Georgakopoulos, D., Agrawal, H., Korala, H., Jayaraman, P. P., & Milovac, J. K. (2020, January). Internet of Things milk spectrum profiling for industry 4.0 dairy and milk manufacturing. In *2020 International Conference on Information Networking (ICOIN)* (pp. 342-347). IEEE.

Yin, RK. (1994). *Case study research: Design and methods*. Thousand Oaks, CA: Sage

Yu, F., & Schweisfurth, T. (2020). Industry 4.0 technology implementation in SMEs—A survey in the Danish-German border region. *International Journal of Innovation Studies*, 4(3), 76-84.

Zhao, X., Fan, H., Zhu, H., Fu, Z., & Fu, H. (2015, April). The design of the internet of things solution for food supply chain. In *2015 International Conference on Education, Management, Information and Medicine* (pp. 314-318). Atlantis Press.

Zheng, T., Ardolino, M., Bacchetti, A., & Perona, M. (2021). The applications of Industry 4.0 technologies in manufacturing context: a systematic literature review. *International Journal of Production Research*, 59(6), 1922-1954.

Zheng, P., Sang, Z., Zhong, R. Y., Liu, Y., Liu, C., Mubarak, K. & Xu, X. (2018). Smart manufacturing systems for Industry 4.0: Conceptual framework, scenarios, and future perspectives. *Frontiers of Mechanical Engineering*, 13(2), 137-150.

Ιωσηφίδης, Θ. (2008). Ποιοτικές μέθοδοι έρευνας στις κοινωνικές επιστήμες.

ΣΕΒ. (2019) Βιομηχανία 4.0: Οι συμπράξεις και μια ολοκληρωμένη στρατηγική είναι τα κλειδιά της επιτυχίας. Special Report. Τεύχος 47 , Οικονομία & Επιχειρήσεις. Διαθέσιμο: https://www.sev.org.gr/Uploads/Documents/52475/2SR2_Industry40_V18.pdf

Ψηφιακός μετασχηματισμός: Υπεγράφη Μνημόνιο Συνεργασίας Ελλάδας – Κύπρου, Ναυτεμπορική, 13 Απριλίου 2022. Διαθέσιμο: <https://m.naftemporiki.gr/story/1853315/psifiakos-metasximatismos-ypegrafi-mnimonio-sunergasias-elladas-kyprou>

The Digital Economy and Society Index (DESI). 2 September 2022. Available at: <https://digital-strategy.ec.europa.eu/en/policies/desi>

What is Industrie 4.0? Available at: <https://www.dpstele.com/scada/how-systems-work.php>

What is Industrie 4.0? Available at: <https://www.plattform40.de/IP/Navigation/EN/Industrie40/WhatIsIndustrie40/what-is-industrie40.html>

ΠΑΡΑΡΤΗΜΑ: ΕΡΩΤΗΣΕΙΣ ΣΥΝΕΝΤΕΥΞΕΩΝ

1. Ανώτερα Διευθυντικά Στελέχη

- Πώς ορίζετε τον ψηφιακό μετασχηματισμό στην εταιρεία;
- Αποτελεί ο ψηφιακός μετασχηματισμός μέρος της στρατηγικής ανάπτυξης της εταιρείας;
- Υπάρχει μελλοντικό πλάνο για την μετάβαση στον ψηφιακό μετασχηματισμό της εταιρείας;
- Ποια οφέλη επιδιώκετε από την εφαρμογή της Industry 4.0;
- Ποια εμπόδια/απειλές εντοπίζετε που εμποδίζουν την μετάβαση στην ψηφιακή εποχή;
- Θεωρείτε ότι η υιοθέτηση τεχνολογιών της Industry 4.0 θα βελτιώσει την απόδοση και την κερδοφορία της εταιρείας;
- Πώς αναμένετε να επηρεαστούν τα έξοδα την εταιρείας λόγω ψηφιακού μετασχηματισμού;
- Σε ποιο τμήμα της επιχείρησης κρίνετε ότι θα πρέπει να δοθεί έμφαση για επιτυχή μετάβαση στον ψηφιακό μετασχηματισμό; Ποιο κομμάτι της εταιρείας χρήζει άμεσα να μετασχηματιστεί ψηφιακά;
- Θεωρείτε ότι θα κερδίσει η εταιρεία ανταγωνιστικό πλεονέκτημα με τη στροφή στον ψηφιακό μετασχηματισμό; Με ποιον τρόπο;
- Πώς θα χαρακτηρίζατε το επίπεδο της ψηφιακής ωριμότητας της εταιρείας;
- Διαθέτει η εταιρεία στελέχη που θα συμβάλλουν στην ψηφιακή ωριμότητα της εταιρείας;
- Υπάρχουν οι κατάλληλες υποδομές στην εταιρεία για να ακολουθήσει τη νέα ψηφιακή εποχή;
- Πώς επηρεάζουν τα θέματα κυβερνοασφάλειας την απόφαση να στραφείτε στον ψηφιακό μετασχηματισμό;
- Πώς επηρεάζει τη σχέση σας με τους πελάτες και τους προμηθευτές η υιοθέτηση της Industry 4.0;

- Υπάρχουν κατάλληλοι εξωτερικοί συνεργάτες για να στηρίξουν την εφαρμογή τεχνολογιών της Industry 4.0;
- Πώς οργανώνετε την ανάλυση των δεδομένων και την επεξεργασία τους στην εταιρεία;
- Πώς επηρέασε η περίπτωση του Covid-19 τη στροφή προς τις ψηφιακές τεχνολογίες; Μπορείτε να αναφέρετε περιπτώσεις;
- Θεωρείτε ότι η πολιτεία παρέχει όλα τα απαραίτητα εργαλεία και την στήριξη που χρειάζεστε για ενίσχυση των εταιρειών και την μετάβαση στην ψηφιακή εποχή; Πώς μπορεί το κράτος να υποστηρίξει αυτή την μετάβαση;
- Πώς πιστεύετε ότι θα επηρεάσει ο ψηφιακός μετασχηματισμός την απασχόληση;
- Είναι πρόθυμη η εταιρεία να επενδύσει στην εκπαίδευση και την κατάρτιση του προσωπικού για να μπορεί να εφαρμόσει τεχνολογίες της Industry 4.0;
- Πώς κρίνετε την εξοικείωση των ανώτερων διοικητικών στελεχών με την ψηφιακή τεχνολογία;
- Πώς γίνεται μέτρηση της επιτυχίας της ψηφιακής στρατηγικής; Παρακολουθείτε συγκεκριμένους δείκτες;
- Πώς θα καλλιεργήσετε την αίσθηση ευθύνης σε όλη την εταιρεία για την επίτευξη του ψηφιακού μετασχηματισμού;
- Ποιες είναι οι μεγαλύτερες προκλήσεις που έχει να αντιμετωπίσει η εταιρεία όσον αφορά στον ψηφιακό μετασχηματισμό;

2. Διεύθυνση Ανθρώπινου Δυναμικού

- Πώς ορίζετε τον ψηφιακό μετασχηματισμό στην εταιρεία;
- Ποια οφέλη επιδιώκετε από την εφαρμογή της Industry 4.0;
- Ποια εμπόδια/απειλές εντοπίζετε που εμποδίζουν την μετάβαση στην ψηφιακή εποχή;
- Πώς χαρακτηρίζετε το επίπεδο των ψηφιακών γνώσεων και δεξιοτήτων των εργαζομένων της εταιρείας;
- Με ποιους τρόπους υποστηρίζει το τμήμα σας τον ψηφιακό μετασχηματισμό;
- Πώς επηρεάζει τη μέθοδο πρόσληψης η Industry 4.0;

- Τί νέες δεξιότητες απαιτούνται;
- Πώς θα επηρεαστεί το κόστος για εργατικό δυναμικό;
- Πώς αναμένετε να επηρεαστεί μελλοντικά το εκπαιδευτικό πλάνο της εταιρείας;
- Είναι πρόθυμη η εταιρεία να επενδύσει στην εκπαίδευση και την κατάρτιση του προσωπικού για να μπορεί να εφαρμόσει τεχνολογίες της Industry 4.0;
- Θεωρείτε ότι υπάρχουν/θα υπάρξουν αντιστάσεις από το προσωπικό και τα εργατικά σωματεία σχετικά με την εφαρμογή τεχνολογιών της Industry 4.0;
- Υπάρχει δυσπιστία από το προσωπικό;
- Πώς αντιμετωπίζετε την αντίσταση του προσωπικού στην αλλαγή;
- Πώς θα διαχειριστείτε το ανθρώπινο δυναμικό που δεν κατέχει ψηφιακές γνώσεις και ικανότητες;
- Πώς οι άνθρωποι και η κουλτούρα της εταιρείας θα συμβάλλουν στο ψηφιακό μετασχηματισμό;
- Ποιες προκλήσεις αντιμετωπίζει το τμήμα σχετικά με τη στροφή προς τον ψηφιακό μετασχηματισμό;

3. Διεύθυνση Τεχνικού Τμήματος

- Πώς ορίζετε τον ψηφιακό μετασχηματισμό στην εταιρεία;
- Ποια οφέλη επιδιώκετε από την εφαρμογή της Industry 4.0;
- Ποιες ήταν οι μεγαλύτερες δυσκολίες που αντιμετωπίσατε πριν ξεκινήσετε τη χρήση τεχνολογιών της Industry 4.0;
- Συμμετείχατε σε πρόγραμμα εκπαίδευσης πριν τη χρήση τους;
- Ποιες πληροφορίες λαμβάνονται σχετικά με τον εξοπλισμό μέσω των ψηφιακών εργαλείων που χρησιμοποιούνται στο εργοστάσιο;
- Πώς συμβάλλει η χρήση τεχνολογιών της Industry 4.0 στην παρακολούθηση και στη βελτίωση της απόδοσης του τμήματός σας;
- Ποιοι κρίσιμοι δείκτες απόδοσης (KPIs – Key Performance Indicators) παρακολουθούνται;
- Πώς συμβάλλει η χρήση των τεχνολογιών της Industry 4.0 στον τομέα της συντήρησης;

- Βοηθάει η χρήση τεχνολογιών στην αύξηση παραγωγικότητας του τμήματός σας; Αν ναι, πως;
- Πώς επηρεάζει η νέα ψηφιακή εποχή τα άτομα του τμήματός σας;
- Πώς χαρακτηρίζετε το επίπεδο ψηφιακών γνώσεων του τμήματος; Διαθέτουν τις κατάλληλες ικανότητες για να ανταπεξέλθουν;
- Τί νέες δεξιότητες απαιτούνται στο προσωπικό για να ανταπεξέλθει;
- Υπάρχουν οι κατάλληλες υποδομές στην εταιρεία για να ακολουθήσει τη νέα ψηφιακή εποχή;
- Υπάρχουν κατάλληλοι εξωτερικοί συνεργάτες για να στηρίξουν την εφαρμογή τεχνολογιών της Industry 4.0;
- Επιθυμείτε την εφαρμογή αντίστοιχων προγραμμάτων σε άλλες λειτουργίες? Και αν, που;
- Ποιες προκλήσεις αντιμετωπίζει το τμήμα σχετικά με τη στροφή προς τον ψηφιακό μετασχηματισμό;

4. Διευθυντές και Προϊστάμενοι Παραγωγής

- Πώς ορίζετε τον ψηφιακό μετασχηματισμό στην εταιρεία;
- Πώς συμβάλλει η χρήση τεχνολογιών της Industry 4.0 στην παρακολούθηση και στη βελτίωση της απόδοσης των τμημάτων σας;
- Ποια οφέλη επιδιώκετε από την εφαρμογή της Industry 4.0;
- Ποια εμπόδια αντιμετωπίσατε κατά τη χρήση των συγκεκριμένων συστημάτων;
- Ποιοι κρίσιμοι δείκτες απόδοσης (KPIs – Key Performance Indicators) παρακολουθούνται;
- Πώς χαρακτηρίζετε το επίπεδο ψηφιακών γνώσεων του προσωπικού; Διαθέτουν τις κατάλληλες ικανότητες για να ανταπεξέλθουν;
- Πώς η οπτικοποίηση των διεργασιών επηρεάζει την καθημερινή σας εργασία;
- Πώς συνέβαλλαν οι αυτόματες καταγραφές δεδομένων στην διοίκηση των λειτουργιών;
- Πώς βελτιώθηκε η κατανάλωση ενέργειας μέσω της χρήσης τεχνολογιών της Industry 4.0;

- Σε ποιο τμήμα της παραγωγής κρίνετε ότι θα πρέπει να δοθεί έμφαση για επιτυχή μετάβαση στον ψηφιακό μετασχηματισμό;
- Πώς επηρεάστηκε ο καταμερισμός της εργασίας στην παραγωγή;
- Παρατηρήσατε αντιστάσεις από το προσωπικό σχετικά με την εφαρμογή ψηφιακών τεχνολογιών στην παραγωγή;
- Πώς μπορούν να ενσωματωθούν οι νέες τεχνολογίες στη γραμμή παραγωγής;
- Πώς βοηθά η Industry 4.0 στην αύξηση παραγωγικότητας;
- Πώς η ανάλυση δεδομένων που παρουσιάζετε με τη χρήση των συγκεκριμένων συστημάτων βοηθά στην εκτέλεση των λειτουργιών;
- Υπάρχουν οι κατάλληλες υποδομές στην εταιρεία για να ακολουθήσει τη νέα ψηφιακή εποχή;
- Υπάρχουν κατάλληλοι εξωτερικοί συνεργάτες για να στηρίξουν την εφαρμογή τεχνολογιών της Industry 4.0;
- Ποιες προκλήσεις αντιμετωπίζει το τμήμα σχετικά με τη στροφή προς τον ψηφιακό μετασχηματισμό;

5. Χειριστές Παραγωγής

- Πώς σας φάνηκε η εκμάθηση των συστημάτων που χρησιμοποιείτε;
- Ποιες ήταν οι μεγαλύτερες δυσκολίες που αντιμετωπίσατε;
- Τί δεδομένα καταγράφετε στο σύστημα;
- Πώς επηρεάστηκε η καθημερινή εκτέλεση των αρμοδιοτήτων σας;
- Πώς επηρεάστηκε ο χρόνος που απαιτείται για την καταγραφή των δεδομένων;
- Πώς επηρεάστηκε η κατανομή των αρμοδιοτήτων του προσωπικού;
- Τί επίδραση είχε η χρήση των συστημάτων στην ποιότητα;
- Πώς χαρακτηρίζετε το επίπεδο των ψηφιακών γνώσεων και δεξιοτήτων σας;
- Συμμετείχατε σε πρόγραμμα εκπαίδευσης πριν τη χρήση των συστημάτων;
- Τί δεδομένα παρακολουθείτε στο dashboard;
- Είστε ικανοποιημένοι από τη χρήση των συγκεκριμένων συστημάτων;
- Επιθυμείτε την εφαρμογή αντίστοιχων συστημάτων σε άλλα τμήματα; Και αν ναι, σε ποια;