



ΠΟΛΥΤΕΧΝΕΙΟ ΚΡΗΤΗΣ  
ΣΧΟΛΗ ΜΗΧΑΝΙΚΩΝ ΠΑΡΑΓΩΓΗΣ & ΔΙΟΙΚΗΣΗΣ  
ΕΡΓΑΣΤΗΡΙΟ ΜΙΚΡΟΚΟΠΗΣ & ΚΑΤΑΣΚΕΥΑΣΤΙΚΗΣ ΠΡΟΣΟΜΟΙΩΣΗΣ

## ΣΤΡΑΤΗΓΙΚΗ ΜΗΔΕΝΙΚΟΥ ΣΦΑΛΜΑΤΟΣ ΣΕ ΕΞΥΠΝΑ ΕΡΓΟΣΤΑΣΙΑ



ΤΣΙΚΑΛΑΚΗΣ ΧΡΗΣΤΟΣ

ΕΠΙΒΛΕΠΩΝ: ΑΡΙΣΤΟΜΕΝΗΣ ΑΝΤΩΝΙΑΔΗΣ  
ΚΑΘΗΓΗΤΗΣ

## ΠΕΡΙΕΧΟΜΕΝΑ

1. ΕΙΣΑΓΩΓΗ .....	2
2. ΔΙΑΧΕΙΡΙΣΗ ΠΟΙΟΤΗΤΑΣ.....	3
3. ΠΑΡΑΓΩΓΙΚΑ ΣΥΣΤΗΜΑΤΑ ΚΑΙ ΛΙΤΗ ΠΑΡΑΓΩΓΗ .....	7
3.1 ΕΙΔΗ ΠΑΡΑΓΩΓΙΚΩΝ ΣΥΣΤΗΜΑΤΩΝ .....	7
3.2 ΕΙΔΗ ΑΠΟΒΛΗΤΩΝ .....	14
3.3 ΕΙΣΑΓΩΓΗ ΣΤΗ ΛΙΤΗ ΠΑΡΑΓΩΓΗ .....	16
4. ΜΕΘΟΔΟΛΟΓΙΕΣ ΕΦΑΡΜΟΓΗΣ ΛΙΤΩΝ ΠΑΡΑΓΩΓΙΚΩΝ ΤΕΧΝΟΛΟΓΙΩΝ .....	20
4.1 Παραγωγικό σύστημα της Toyota (TPS).....	20
4.2 Μεθοδολογία 5S .....	24
4.3 Κυψελοειδής παραγωγή (Cellular Manufacturing) .....	27
4.4 Τυποποιημένη εργασία (Standardized Work).....	29
4.5 Συστήματα Kanban .....	31
4.6 Παραγωγή σε επίπεδα (Production Leveling) .....	35
4.7 Χαρτογράφηση ροής αξίας (Value Stream Mapping) .....	38
5. ΜΕΘΟΔΟΛΟΓΙΑ ΠΑΡΑΓΩΓΗΣ ΠΡΟΪΟΝΤΩΝ ΜΕ ΜΗΔΕΝΙΚΑ ΣΦΑΛΜΑΤΑ .....	51
5.1 Εισαγωγή .....	51
5.2 Στρατηγικές και προσεγγίσεις ZDM.....	52
5.3 Ορισμοί συστήματος ZDM.....	54
5.4 Τρόπος ενίσχυσης παραδοσιακών μεθόδων ελέγχου .....	56
5.5 Προηγμένη προσέγγιση συντήρησης .....	57
6. ΒΙΟΜΗΧΑΝΙΑ 4.0 .....	59
6.1 Εξέλιξη βιομηχανίας .....	59
6.2 Τεχνολογίες έξυπνου εργοστασίου .....	60
6.3 Αρχιτεκτονική ZDM σε έξυπνο εργοστάσιο.....	74
6.4 Εφαρμογή ZDM σε βιομηχανία .....	77
7. ΣΥΝΟΨΗ .....	81
8. ΒΙΒΛΙΟΓΡΑΦΙΑ .....	82

## 1. ΕΙΣΑΓΩΓΗ

Η ποιότητα αποτελεί βασικό κριτήριο για κάθε παραγωγική μονάδα, τόσο στην εξασφάλιση ενός ασφαλούς προϊόντος για τον καταναλωτή όσο και για να κερδίσει η ίδια μερίδιο της αγοράς. Προκειμένου μια κατασκευαστική μονάδα να αυξήσει την επιχειρησιακή της απόδοση είναι θεμιτό να θεσπίσει τη διαχείριση ποιότητας.

Με την ύπαρξη της ενεργειακής κρίσης, οι εταιρίες παραγωγής θέλουν να μειώσουν το περιβαλλοντικό τους αποτύπωμα, δίνοντας έμφαση στη βιώσιμη παραγωγή. Προκειμένου αυτό να επιτευχθεί, πρέπει να ισχύει η προϋπόθεση της παραγωγής προϊόντων υψηλότερης ποιότητας με χαμηλά κόστη, με ταυτόχρονο περιορισμό της χρήσης πόρων όσο και λιγότερων αποβλήτων μέσα στο βιομηχανικό οικοσύστημα.[1] Επιπλέον, προκειμένου να κατασκευασθούν υψηλότερης ποιότητας προϊόντα, με τη λιγότερη δυνατή μείωση της βιομηχανικής απόδοσης, οι κατασκευάστριες εταιρίες οφείλουν να ενσωματώσουν τουλάχιστον μία μέθοδο βελτίωσης ποιότητας.[2]

Πάνω από τρεις δεκαετίες, οι εταιρίες εφαρμόζουν ήδη σε μεγάλο βαθμό τις παραδοσιακές μεθόδους βελτίωσης της ποιότητας. Σύμφωνα με μια πρόσφατη δημοσίευση όπου παρουσιάζονται τα πλεονεκτήματα και τα μειονεκτήματα χρήσης αυτών των μεθόδων προκύπτει ότι χρειάζονται εναλλακτικές μέθοδοι. [3] Λόγω της τεχνολογικής προόδου, οι εταιρίες οφείλουν να αναβαθμίζουν συνεχώς τις παραγωγικές τους διαδικασίες προκειμένου να προσφέρουν πιο ανταγωνιστικά προϊόντα. [4] Οι προκλήσεις της προόδου της σύγχρονης βιομηχανίας, στο στάδιο της βελτίωσης της ποιότητας καθιστά αναποτελεσματικές τις υφιστάμενες παραδοσιακές μεθόδους.

Μια εναλλακτική μέθοδος, η οποία παρουσιάζεται στη συγκεκριμένη εργασία είναι η παραγωγή μηδενικών σφαλμάτων (Zero Defect Manufacturing - ZDM). Η ZDM αξιοποιεί εργαλεία από τις παραδοσιακές μεθόδους όπως της λιπής παραγωγής (lean manufacturing), προσθέτοντας όμως το στοιχείο της πρόβλεψης που βοηθάει σε αποτελεσματικές ενέργειες αποτροπής πρόκλησης σφαλμάτων.[5]

Η φιλοσοφία των μηδενικών σφαλμάτων (Zero Defects) αναπτύχθηκε ως πρόγραμμα στην αμυντική βιομηχανία της Αμερικής, στην εταιρία πυραυλικών συστημάτων Martin κατά τη περίοδο του 1960. Εκείνη τη περίοδο ο Philip B. Crosby ήταν διευθυντής ποιοτικού ελέγχου στο πρόγραμμα πυραύλων Pershing, από τον οποίο αναπτύχθηκε αυτή η φιλοσοφία. Η στρατηγική αυτή αφορούσε στο να γίνονται σωστά οι διαδικασίες παραγωγής από την πρώτη φορά χωρίς να υπάρχουν μετέπειτα διορθώσεις. Κατά την εφαρμογή αυτής της φιλοσοφίας, η εταιρία παρουσίασε μείωση κατά 25% στο συνολικό ποσοστό απόρριψης και μείωση κατά 30% στο κόστος σκραπ. [6] Πιο αναλυτικά ο Crosby παρουσίασε τη φιλοσοφία αυτή μέσω του βιβλίου του Quality is Free που εκδόθηκε το 1979 αναφέροντας ότι τα ελαττώματα οδηγούν σε μεγάλες απώλειες κερδών για τις επιχειρήσεις όμως έχοντας σωστή ποιότητα από τη πρώτη φορά, η εταιρία δύναται να εξοικονομήσει πολλά χρήματα. [7] Επιπλέον διατυπώνει τις τέσσερις αρχές αυτής της στρατηγικής οι οποίες είναι η ποιότητα να ορίζεται ως συμμόρφωση στις απαιτήσεις, να επιτυγχάνεται μέσω πρόληψης και όχι εκτίμησης, το πρότυπο της ποιοτικής απόδοσης να είναι τα μηδενικά ελαττώματα και όχι τα αποδεκτά επίπεδα ποιότητας, και τέλος η ποιότητα να μετρείται με τη τιμή της μη συμμόρφωσης και όχι με δείκτες. Το 1989 με το βιβλίο του Let's talk quality, αναφέρει ότι το να γίνονται σωστά οι διαδικασίες από την πρώτη φορά αποτελεί συμβολικό ορισμό των μηδενικών σφαλμάτων. Σύμφωνα με τον ίδιο η εκάστοτε κατασκευάστρια εταιρία θα πρέπει να προσδιορίζει με σαφήνεια τις απαιτήσεις της, να υπάρχει κατάλληλη εκπαίδευση και να εφαρμόζει ένα πλάνο δράσης.[8] Κατά την ίδια περίοδο εφαρμογής της στρατηγικής αυτής στην Αμερική, από την Ιαπωνία, και πιο συγκεκριμένα από την αυτοκινητοβιομηχανία

Toyota εφαρμόζεται εκστρατεία μηδενικών σφαλμάτων επηρεασμένη από τον ειδικό στη ποιότητα, Edward Deming. Τη περίοδο του 1980, η εταιρία Motorola, χρησιμοποιεί τη μέθοδο Six Sigma. Ενώ από τη περίοδο του 1990, η λιτή παραγωγή και η διοίκηση ολικής ποιότητας πρωταγωνιστούν.

Η διαφοροποίηση του ZDM με τις παραδοσιακές μεθόδους έγκειται στην εξαφάνιση των ελαττωμάτων όχι μόνο μέσω εντοπισμού των ελαττωματικών προϊόντων και των παραμέτρων των διαδικασιών αλλά και μέσω της πρόβλεψης ελαττωμάτων και της αποφυγής αυτών. [9]

## **2. ΔΙΑΧΕΙΡΙΣΗ ΠΟΙΟΤΗΤΑΣ**

### **2.1 Ορισμός ποιότητας**

Ο παράγοντας που επηρεάζει κυρίως την εμπορική επιτυχία των προϊόντων είναι η ποιότητα αυτών.[10] Οι κατασκευαστικές βιομηχανίες ήταν οι πρώτες που έλαβαν σοβαρά υπόψη τους την ποιότητα, με τη ποιότητα των προϊόντων να επηρεάζεται κυρίως από τις παραγωγικές διαδικασίες. Με τον όρο διαδικασίες ορίζονται οι μηχανισμοί, οι ενέργειες οι οποίες υποστηρίζουν τη δημιουργία αξίας η οποία είναι το τελικό προϊόν. Στο τομέα της παραγωγής, η μέτρηση της κατάστασης όπου δεν υπάρχουν ελαττώματα ονομάζεται ποιότητα. Τρεις ειδικοί στην ποιότητα, την ορίζουν με διαφορετικό τρόπο:

- Σύμφωνα με τον Dr. Joseph M. Juran, κατά το 1979, η ποιότητα είναι το μέτρο καταλληλότητας για χρήση, όπου η καταλληλότητα προσδιορίζεται μέσα από τις προτιμήσεις των καταναλωτών.
- Σύμφωνα με τον William Edwards Deming, ποιότητα ορίζεται ως η κάλυψη ή υπέρβαση των προσδοκιών των καταναλωτών. Σύμφωνα με τον ίδιο υψηλότερη παραγωγικότητα οδηγεί σε μακροπρόθεσμο ανταγωνισμό στην αγορά με αποτέλεσμα την ύπαρξη υψηλότερης ποιότητας σε όλες τις παραγωγικές διαδικασίες.
- Σύμφωνα με τον Philip B. Crosby, η ερμηνεία της ποιότητας στηρίζεται στη βάση των ελαττωμάτων, της αποτροπής, των απαιτήσεων της εταιρίας και το κόστος της μη συμμόρφωσης σε αυτές. [11]

### **2.2 Συστήματα διαχείρισης ποιότητας**

Το κύριο θέμα των περισσότερων εταιριών παραγωγής είναι να επιτύχουν μια κατάσταση συνύπαρξης διατηρήσεως, βελτίωσης και καινοτομίας σε όλα τα συστήματα και τις διαδικασίες για την επίτευξη των στόχων τους. Προκειμένου να επιτευχθούν, οι οργανισμοί υιοθετούν ένα σύστημα διαχείρισης ποιότητας το οποίο ορίζεται ως ένα σύνολο στοιχείων του οργανισμού που αλληλοεπιδρούν μεταξύ τους για την θέσπιση πολιτικών και διαδικασιών για την επίτευξη αυτών όσον αφορά τη ποιότητα. Σε επόμενο στάδιο καθορίζονται οι διαδικασίες και οι πόροι που απαιτούνται για την επίτευξη των επιθυμητών στόχων.[12]

Συνοπτικά τα πιο γνωστά συστήματα διαχείρισης ποιότητας (Quality Management Systems-QMS) είναι:

- Διοίκηση ολικής ποιότητας (TQM) όπου αφορά σύστημα προσανατολισμένο στις διαδικασίες με τη χρήση στατιστικού ελέγχου ποιότητας, συνολική παραγωγική

συντήρηση (TPM) που αφορά αυτόνομες και προγραμματισμένες ενέργειες με συμμετοχή του προσωπικού των εγκαταστάσεων παραγωγής.

- Λιτή παραγωγή (Lean Manufacturing) περιγράφει ένα παραγωγικό σύστημα έλξης (pull system) με κύριο παράγοντα τον εργαζόμενο στη παραγωγή.
- Το σύστημα Six Sigma που αφορά στη προσθήκη αξίας μέσω μιας δομής βελτίωσης που στο σύστημα αυτό αναφέρονται ως ζώνες με τη βοήθεια ειδικών στατιστικής για την επίτευξη κάποιας εργασίας βελτίωσης.
- Τέλος το σύστημα ISO 9001 αναφέρεται στην ανάπτυξη ενός συστήματος διακυβέρνησης από καθορισμένες επιχειρησιακές διαδικασίες, εσωτερικούς ελέγχους και διαχείρισης για την επίτευξη των αναγκών των καταναλωτών.[12]

Πλέον με την ωρίμανση των οργανισμών μέσω των διαφόρων συστημάτων διαχείρισης ποιότητας, οι ίδιες αρχίζουν να προσανατολίζονται, στη σύγχρονη εποχή, στην ανάπτυξη ενοποιημένων συστημάτων ποιοτικής διαχείρισης από τον συνδυασμό των ήδη γνωστών.[12]

### **2.3 Συνεχής βελτίωση**

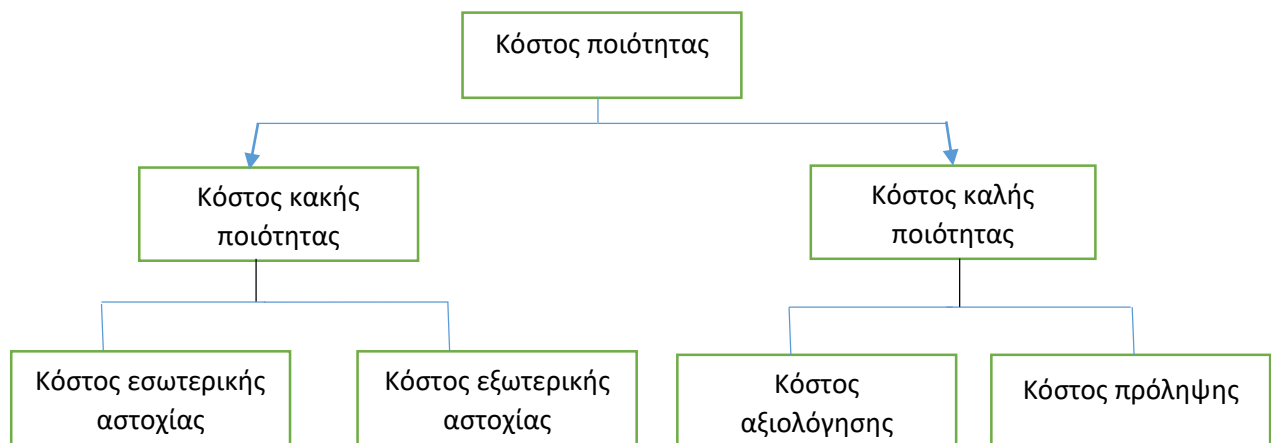
Η συνεχής βελτίωση των εταιριών επιτυγχάνεται μέσα από τα συστήματα διαχείρισης ποιότητας στηριγμένες στη φιλοσοφία της λιτής παραγωγής, του six sigma, της διοίκησης ολικής ποιότητας, κ.λπ. Αυτές οι φιλοσοφίες ενσωματώνονται στην κάθε επιχείρηση από την εφαρμογή ενός συνόλου από εργαλεία της κάθε μεθόδου. Πολλές συμβατικές μέθοδοι βασίζονται στην επίτευξη ενός καθορισμένου επιπέδου ποιότητας, θεωρώντας ότι αυτό είναι και ο βαθμός επιτυχίας του οργανισμού. Σε γενικότερο πλαίσιο είτε με τη μέτρηση του βαθμού ελάττωσης των ελαττωμάτων των προϊόντων που παράγονται είτε καλύπτοντας τις προδιαγραφές που θέτει η κάθε χώρα, καθορίζεται και η βελτίωση της συμπεριφοράς του οργανισμού.[11]

Στην Ιαπωνία δόθηκε αρκετή έμφαση σε αυτόν τον όρο, τον οποίο τον ονομάζουν kaizen και απαιτεί από έναν οργανισμό να καταβάλλει συνεχώς προσπάθεια να βελτιώσει τη συμπεριφορά του στην επίλυση προβλημάτων. Προφανώς και καμία επιχείρηση δεν δύναται να φθάσει στη τελειότητα, εκτιμώντας όμως την απόδοσή της και καταβάλλοντας συνεχώς ενέργειες βελτίωσής της, είναι σε θέση να αναθεωρεί την ποιότητα των προϊόντων και των διαδικασιών της, μπαίνοντας στο φάσμα της συνεχούς βελτίωσης προκειμένου να παραμείνει ανταγωνιστική. [13], [14]

### **2.4 Κόστος ποιότητας**

Αφορά μέθοδο υπολογισμού κόστους που εφαρμόζεται από εταιρίες και περιλαμβάνει το κόστος διασφάλισης ότι τα παραγόμενα προϊόντα πληρούν τα πρότυπα ποιότητας όπως επίσης και το κόστος παραγωγής αγαθών που δεν τα πληρούν. Πρόκειται για λογιστική μέθοδο που αφορά την ποσοτικοποίηση σε μορφή δαπάνης για κάθε επιχείρηση των εξόδων από την εφαρμογή ενός ποιοτικού προγράμματος. Αυτό το κόστος διακλαδίζεται σε κόστος συμμόρφωσης που αφορά το κόστος της αποφυγής κακής ποιότητας του προϊόντος, και σε κόστος αποτυχίας το οποίο έχει άμεση επίδραση στην απόδοση του οργανισμού.[11]

Στο παρακάτω σχήμα παρουσιάζονται οι διακλαδώσεις του κόστους ποιότητας.



Σχήμα 2.1: Διαμόρφωση κόστους ποιότητας [11]

- Το κόστος συμμόρφωσης ή κόστος καλής ποιότητας περιλαμβάνει κόστη που σχετίζονται με δραστηριότητες διασφάλισης ποιότητας, όπως εκπαιδευτικά προγράμματα, τυποποίηση διαδικασιών καθώς και με δραστηριότητες ελέγχου ποιότητας όπως έλεγχος και αξιολόγηση. Όπως φαίνεται και από το σχήμα 2.1 αυτό διακλαδίζεται σε κόστος πρόληψης και σε κόστος αξιολόγησης.
- Το κόστος πρόληψης οφείλεται στην ενίσχυση της ποιότητας παραγωγής μέσω μεθόδων καθοδήγησης του προσωπικού και εξοπλίζοντας το εργοστάσιο με αναβαθμισμένα μηχανήματα και τεχνολογίες. Ένας οικονομικός τρόπος μείωσης του κόστους ποιότητας είναι η αποφυγή ελαττωμάτων πριν από το πρώτο στάδιο της παραγωγής, καθώς είναι αρκετά πιο συμφέρουσα η αποφυγή από την εύρεσή του και τη διόρθωση αυτού.
- Το κόστος αξιολόγησης περιλαμβάνει κόστη τυποποίησης διαδικασιών και δραστηριότητες εξασφάλισης υψηλής ποιότητας στα παραγόμενα προϊόντα όπως έλεγχος δεδομένων, εγκαταστάσεων, δοκιμή των παραχθέντων προϊόντων. Αφορά δηλαδή κόστη που σχετίζονται με τη διασφάλιση ότι τα προϊόντα που θα διατεθούν στον καταναλωτή καλύπτουν τις προσδοκίες τους καθώς και τις οδηγίες του κράτους.
- Το κόστος αποτυχίας ή κόστος κακής ποιότητας έχει άμεσο αντίκτυπο στη συνολική απόδοση του οργανισμού καθώς όποτε προκαλείται κάποια βλάβη πάντα υπάρχει χαμένο όφελος. Συνήθως είναι πολύ μεγάλο κόστος και κατά τη διάρκεια εμφάνισης του υπάρχει διακοπή της παραγωγής με αποτέλεσμα τα σταθερά κόστη να αυξάνονται λόγω των διορθωτικών μέτρων και η παραγωγή να είναι στάσιμη. Όπως φαίνεται στο σχήμα 2.1, διακλαδίζεται σε κόστος εσωτερικής και εξωτερικής αποτυχίας.
- Το κόστος εσωτερικής αποτυχίας οφείλεται σε προϊόντα που δεν πληρούν τις απαιτήσεις της εταιρίας και περιλαμβάνει κόστη σχετικά με την απόρριψη ενός μη ανακυκλώσιμου υλικού, την επισκευή των μηχανημάτων, την αναδιαμόρφωση του εργασιακού περιβάλλοντος.
- Το κόστος εξωτερικής αποτυχίας οφείλεται σε προϊόντα αφότου έχουν διανεμηθεί στους καταναλωτές. Αυτό το κόστος περιλαμβάνει μια πληθώρα κοστών όπως κόστη επανασχεδίασης λόγω λαθών στο τομέα της σχεδίασης, κόστη ζημιάς στους καταναλωτές, πρόστιμα από το κρατικούς οργανισμούς, κ.α.

## 2.5 Συνολική παραγωγική συντήρηση

Η ποιότητα ενός προϊόντος αναπόφευκτα επηρεάζεται από την κατάσταση του συστήματος παραγωγής δηλαδή των μηχανημάτων που χρησιμοποιούνται στην κατασκευαστική διαδικασία [15]. Επομένως αναπόφευκτα συσχετίζεται η ποιότητα του προϊόντος με τη συντήρηση των μηχανών. Η ιδέα της προληπτικής συντήρησης ξεκίνησε από το 1951 από την Ιαπωνία και το 1960 εφαρμόζεται από την εταιρία Nippondenso, του ομίλου Toyota. Η εταιρία ήθελε να επιτύχει τη μείωση του αριθμού των υπαλλήλων στο τομέα συντήρησης, και τη συντήρηση θα αναλάμβαναν οι χειριστές των μηχανημάτων που ήταν υπεύθυνοι της χρήσης τους. Το σύστημα συντήρησης TPM ως αποδεκτό πλάνο βελτίωσης της απόδοσης συντήρησης προέρχεται από τον Siiechi Nakajima κατά το 1988. Επιπλέον ορίζεται ως ένα σύστημα συντήρησης το οποίο καλύπτει όλο το φάσμα ζωής του εξοπλισμού σε κάθε στάδιο τόσο της οργάνωσης όσο της παραγωγής και της συντήρησης.[11] Η χρήση αυτού του συστήματος συμβάλλει τόσο στην αλλαγή της κουλτούρας εργασίας των εργαζομένων στην παραγωγή όσο και στην αύξηση της αποτελεσματικότητας του εξοπλισμού. Τα κύρια συστατικά του συστήματος αυτού είναι η προληπτική και η διορθωτική συντήρηση.

Η διορθωτική συντήρηση είναι αυτή που δεν έχει προγραμματιστεί, καθώς προκύπτει σε τυχαία χρονική στιγμή, και λαμβάνει χώρα σε εξοπλισμό που χάλασε. Η βασική σκέψη σε αυτό το είδος συντήρησης που εμφανίστηκε το 1950 είναι να μη γίνει τίποτα μέχρι η μηχανή να χαλάσει.

Η προληπτική συντήρηση σαν ιδέα εμφανίστηκε εξίσου το 1951, και αποτελεί μια στρατηγική συντήρησης που αφορά τον καθημερινό καθαρισμό, έλεγχο και εργασίες συντήρησης στις μηχανές του παραγωγικού εξοπλισμού διατηρώντας τις σε καλή κατάσταση. Σε αυτού του είδους στρατηγική, γίνεται φυσικός έλεγχος των μηχανών για μείωση των επικείμενων βλαβών τους, διατηρώντας συνεχή ροή στην παραγωγή. Η συγκεκριμένη στρατηγική χωρίζεται σε δύο είδη συντήρησης, την περιοδική και την προγνωστική.[11]

- Η προγνωστική συντήρηση είναι τεχνική πρόβλεψης στηριζόμενη σε προηγούμενα δεδομένα που έχουν συλλεχθεί καθώς και από την εμπειρία των υπευθύνων σε διαφορετικά σήματα μη ομαλής συμπεριφοράς όπως πίεσης, θορύβου, διάβρωσης, κ.λπ. Το τμήμα συντήρησης καθορίζει το πλάνο συντήρησης της κάθε μηχανής του εξοπλισμού έχοντας προσωπικό με καλή γνώση και αρκετή εμπειρία στις μηχανές που χρησιμοποιούνται στην παραγωγή. Πρόκειται για συντήρηση με βάση την κατάσταση (condition-based maintenance –CBM)
- Από την άλλη πλευρά είναι η περιοδική συντήρηση η οποία συμβαίνει ανεξαρτήτως της κατάστασης του εξοπλισμού και συμβαίνει σε καθορισμένους χρόνους. Σε τέτοιους είδους συντήρηση, ένα μέρος του μηχανήματος που χρησιμοποιείται, αντικαθίσταται σε περίπτωση που χαλάσει είτε παρέλθει το χρονικό διάστημα χρήσης του. Πρόκειται για συντήρηση που βασίζεται στον χρόνο (time-based condition - TBM) [11]



### 3. ΠΑΡΑΓΩΓΙΚΑ ΣΥΣΤΗΜΑΤΑ ΚΑΙ ΛΙΤΕΣ ΚΑΤΑΣΚΕΥΑΣΤΙΚΕΣ ΤΕΧΝΟΛΟΓΙΕΣ

#### 3.1 Είδη παραγωγικών συστημάτων

Προτού γίνει ανάλυση των παραγωγικών συστημάτων είναι σημαντικό να οριστεί σε τι αφορά αυτό. Πρόκειται για λειτουργίες οι οποίες είναι καλά ορισμένες με την κάθε μια να έχει τον δικό της χρόνο κύκλου (cycle time) που αφορά τη χρονική διάρκεια ολοκλήρωσής της και το αποτέλεσμα αυτής αποτελεί το σύνολο των έτοιμων προϊόντων σε συγκεκριμένη χρονική περίοδο. Η λειτουργία στο παραγωγικό σύστημα αφορά μια διακριτή ενέργεια που πραγματοποιεί κάποιο μετασχηματισμό. Μέσω της διαδικασίας νοείται ένα σύνολο ενεργειών για την επίτευξη ενός αποτελέσματος ή τη συστηματική ακολουθία μηχανοποιημένων λειτουργιών για την παραγωγή κάποιου προϊόντος. Ως σύστημα αναφέρεται ένα σύνολο από διασυνδεδεμένα πράγματα που εργάζονται από κοινού για τον σχηματισμό ενός σύνθετου συνόλου. Τέτοιο παράδειγμα αποτελεί μια γραμμή συναρμολόγησης που αποτελείται από ένα σύνολο σταθμών στην από κοινού εργασία μέσω ενός διασυνδεδεμένου δικτύου. Η παραγωγή αποτελεί τη μετατροπή βήμα -βήμα μιας μορφής υλικού σε άλλη μέσω κάποιας μηχανικής διαδικασίας για τη δημιουργία χρησιμότητας του παραχθέντος προϊόντος για το τελικό χρήστη. Αφορά μια διαδικασία προστιθέμενης αξίας, καθώς το κάθε βήμα θα πρέπει να αποσκοπεί στη προσθήκη αξίας στο υπό επεξεργασία προϊόν μεγιστοποιώντας αυτήν κατά το τελικό στάδιο. Επομένως ένα παραγωγικό σύστημα ορίζεται ως ένα διασυνδεδεμένο δίκτυο διαδικασιών με την κάθε μια να αποτελεί μιά αλληλουχία λειτουργιών με απώτερο σκοπό τη μετατροπή των εισόδων που μπορεί να είναι πρώτες ύλες ή εξαρτήματα σε τελικά προϊόντα. Κάθε λειτουργία παρέχει μια ενέργεια μετασχηματισμού για ικανοποίηση της ζήτησης, όπου τα δύο αυτά στοιχεία αποτελούν τα κύρια μέρη κάθε παραγωγικού συστήματος.[16] Εν συνεχεία, ακολουθεί η διάκριση αυτών στις κατηγορίες που ακολουθούν.

##### 3.1.1 Σύστημα παραγωγής παρτίδων και αναμονής (Batch and queue)

Αφορά παραγωγικά συστήματα που χαρακτηρίζονται από διαμόρφωση του χώρου παραγωγής με βάση τις λειτουργίες, δηλαδή παρόμοιος εξοπλισμός τοποθετείται σε κοινό χώρο. Σε μια τέτοια διαμόρφωση χώρου χρησιμοποιούνται περνοφόρα οχήματα ή κλαρκ όπου τα προϊόντα μιας παρτίδας μεταφέρονται από το ένα τμήμα στο επόμενο. Αυτό το είδος παραγωγής αναπτύχθηκε από τη Δύση με τη λογική πίσω από αυτό να είναι η ελαχιστοποίηση του παραγωγικού κόστους αυξάνοντας την ποσότητα των παραγόμενων προϊόντων (οικονομίες κλίμακας), τη μείωση των αλλαγών από το ένα προϊόν στο άλλο με αύξηση του μεγέθους των παρτίδων όπου είναι απαραίτητο. Αυτές οι παρτίδες προωθούνται στον χώρο παραγωγής μέσω των διαφορετικών σταθμών εργασίας που διαχειρίζονται από τον προγραμματισμό που έχει υπολογισθεί από το σύστημα διαχείρισης επιχειρησιακών πόρων (Enterprise Resource Planning-ERP) ή από τον σχεδιασμό πόρων παραγωγής (Manufacturing Resource Planning-MRP II). Οι προωθούμενες παρτίδες βρίσκονται αναγκαστικά σε ουρά στους σταθμούς εργασίας αναμένοντας την επεξεργασία τους. Αποτελούν δηλαδή παράλληλα και υπό επεξεργασία προϊόντα, δημιουργώντας αστάθεια στη παραγωγή, αφού οι μηχανές λειτουργούν διαρκώς με την πρόκληση ξαφνικών βλαβών να διακόπτουν την παραγωγή. Πρόκειται για το σύστημα με το μεγαλύτερο σπαταλούμενο χρόνο με τεράστια αποθέματα, οδηγώντας σε υπερπαραγωγή και γενικότερα σε δραστηριότητες μη προστιθέμενης αξίας [17] όπου θα αποτυπωθούν σε επόμενη ενότητα.



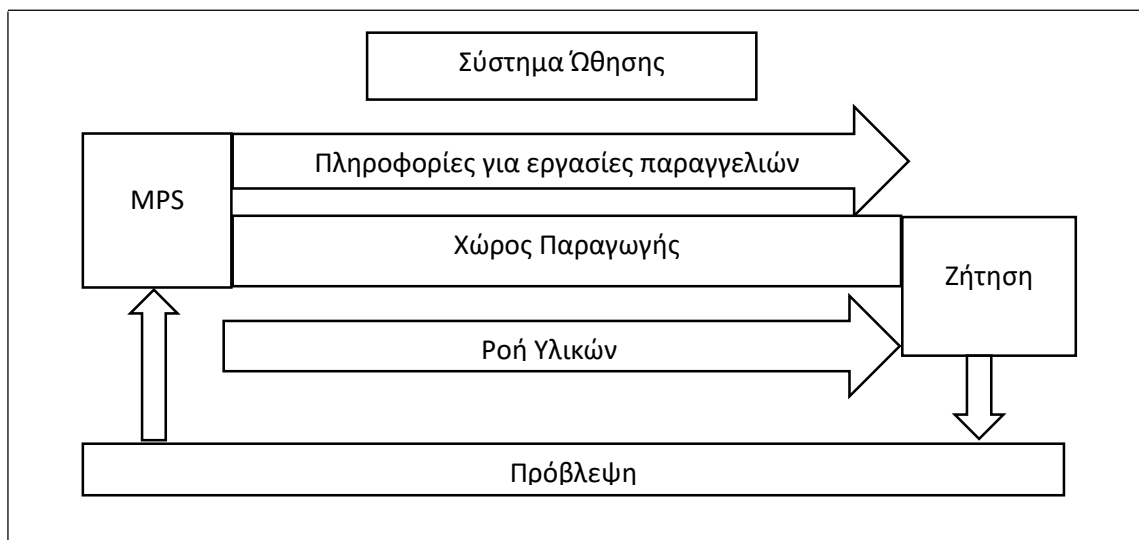
### 3.1.2 Σύστημα παραγωγής ώθησης (Push production)

Προκειμένου να αυξηθεί ο όγκος παραγωγής, ο Henry Ford εισήγαγε ένα νέο σύστημα παραγωγής το οποίο ονομάζεται παραγωγή ώθησης σύμφωνα με τις οικονομίες κλίμακας όπως αναφέρθηκε στο παραγωγικό σύστημα batch & queue. Η θεωρία εδώ στηρίζεται στην τοποθέτηση των απαραίτητων σταθμών εργασίας σε μια καθορισμένη αλληλουχία για την αποδοτική παραγωγή ενός προϊόντος. Οπότε για πρώτη φορά εισάγεται η παραγωγή ενός προϊόντος τη φορά διατηρώντας όμως αρκετά στοιχεία του προηγούμενου συστήματος. Η ροή ενός τεμαχίου τη φορά αποτελεί έως και σήμερα, αρχή των σύγχρονων παραγωγικών συστημάτων. Μέσω αυτής της αρχής, υπάρχει δραστική αύξηση στην παραγωγικότητα, όμως μειώνεται δραστικά η ευελιξία. Η πρώτη εφαρμογή αυτού του συστήματος, πραγματοποιήθηκε από την αυτοκινητοβιομηχανία Ford μέσω της παραγωγής του μοντέλου T. Η εφαρμογή του συστήματος οδηγεί στην επιτυχή παραγωγή ενός προϊόντος τη φορά σε μεγάλες ποσότητες με περιορισμένα changeover. Εκτός από την αυτοκινητοβιομηχανία, συνήθως αυτό το σύστημα συναντιέται σε γραμμές εμφιάλωσης μπουκαλιών.[17]

Η πορεία ενός συστήματος ώθησης είναι σχετικά απλή. Κάθε παραγγελία εισάγεται στο σύστημα σε ουρά στη πρώτη διαδικασία. Αν το σύνολο των κομματιών, που αναμένουν για επεξεργασία στην ουρά, φθάσουν στο μέγιστο μέγεθος αποθέματος, δε γίνεται να εισαχθούν στην ουρά κι άλλα υπό επεξεργασία προϊόντα. Αυτή η παραγωγική γραμμή θεωρείται ασύγχρονη καθώς, κάθε σταθμός εργασίας προωθεί προϊόντα εφόσον έχει ολοκληρωθεί η επεξεργασία των επόμενων και υπάρχει διαθέσιμος χώρος (buffer space). Ως αποτέλεσμα δημιουργείται αδράνεια στις μηχανές δηλαδή δεν λειτουργούν, είναι σε αναμονή (κατάσταση idle). Ένας πολύ μικρός χώρος αποθήκευσης σε έναν σταθμό παραγωγής προκαλεί στον προηγούμενο σταθμό να σταματάει να μεταφέρει υπό επεξεργασία προϊόντα, καθιστώντας τον σταθμό εργασίας ως σταθμό αποκλεισμού καθώς δημιουργεί κατάσταση idle στις προηγούμενες από αυτή, διαδικασίες.[17] Επιπλέον σε αυτό το σύστημα, δίνεται βάση στη χρήση πληροφοριών για τους πελάτες, τους προμηθευτές και την παραγωγή για τη διαχείριση της ροής των υλικών. Τα υλικά προωθούνται στο επόμενο στάδιο είτε ως εξαρτήματα είτε ως απόθεμα για την αξιοποίησή τους στο επόμενο παραγωγικό στάδιο βάση προγράμματος.[18] Η ώθηση εξαρτάται από την κάθε εταιρία καθώς η παραγωγή της κάθε εταιρίας τίθεται σε ένα συγκεκριμένο επίπεδο, λαμβάνοντας υπόψη τα ιστορικά δεδομένα παραγγελιών από τους πωλητές. Έτσι οι αποκτώμενες πληροφορίες αξιοποιούνται σε ένα κύριο πρόγραμμα παραγωγής (Master production schedule-MPS), προβλέποντας τη μελλοντική ζήτηση, καθορίζοντας με αυτό το τρόπο το ύψος της παραγωγής.[19]

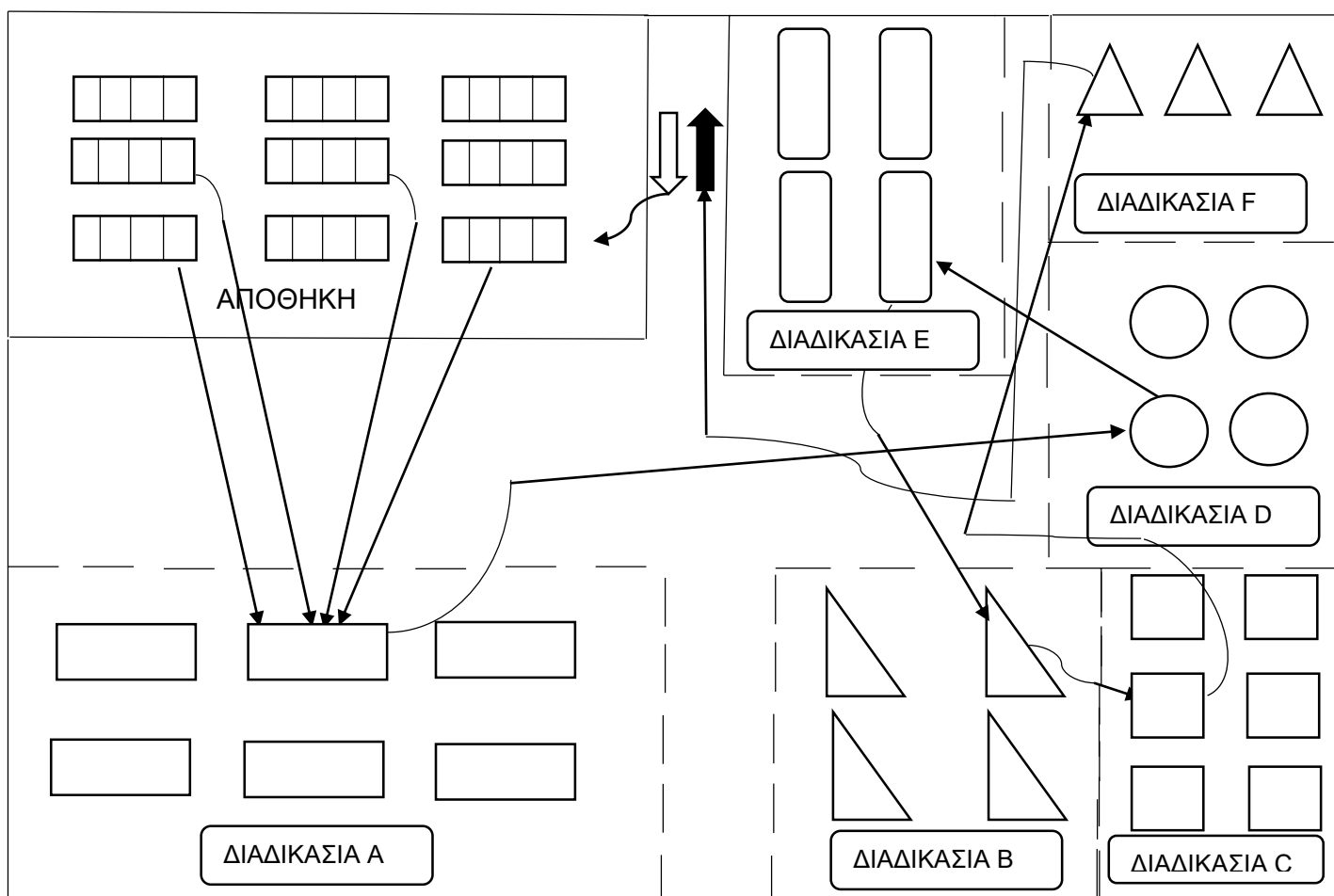
Σε αυτό το σύστημα είναι δύσκολη η άμεση ανταπόκριση σε αλλαγή της ζήτησης οδηγώντας σε προβλήματα υπερπλήρωσης στις αποθήκες, είτε κολλήματα και καθυστερήσεις με μη αποδεκτά επίπεδα εξυπηρέτησης. Όπως φαίνεται, παρόλο που μέσω αυτής της μεθόδου εισήχθη η ροή ενός προϊόντος τη φορά, όπως προαναφέρθηκε, δεν παύει να αφορά διαδικασία μαζικής παραγωγής αφού απαιτείται από την εταιρία η κατασκευή παρτίδων μεγάλου μεγέθους, καθώς και τη χρήση αποθηκών για τη μετέπειτα διανομή στους πωλητές. Μεγάλο πρόβλημα και σε αυτό το σύστημα αποτελεί η δημιουργία μεγάλου όγκου αποβλήτων. Επιπλέον σε αυτού του είδους συστήματα παραγωγής, οι εγκαταστάσεις είναι εξοπλισμένες με μηχανήματα μεγάλου βάρους.[19].

Η περιγραφή που αναλύθηκε για το σύστημα ώθησης περιγράφεται επιγραμματικά από το ακόλουθο σχήμα:

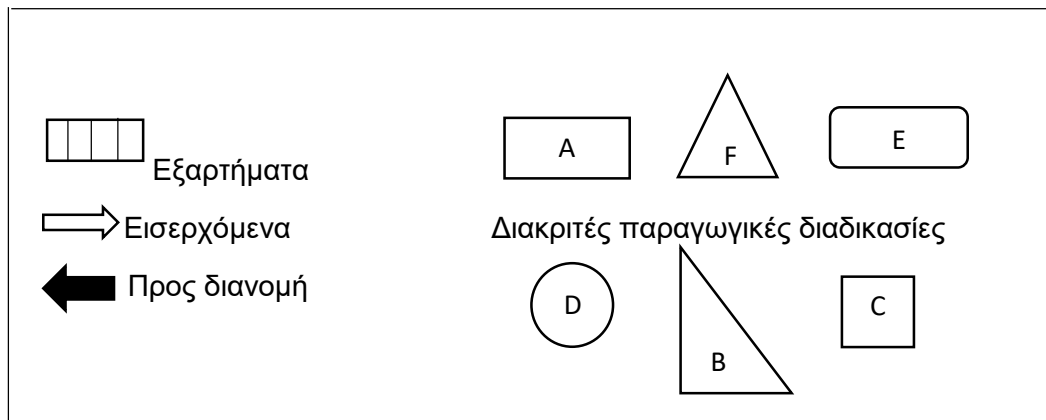


Σχήμα 3.1: Περιγραφή παραγωγικού συστήματος ώθησης (push systems) [20]

Ένα σημαντικό στοιχείο που θα παρουσιαστεί είναι η διαμόρφωση του χώρου παραγωγής, όπου μέσω της συμβολικής οπτικής αναπαράστασης συμβάλει μαζί με την άνω περιγραφή στη κατανόηση της ενσωμάτωσης του συστήματος Push. Στο ακόλουθο σχήμα απεικονίζεται ένα εργοστάσιο μαζικής παραγωγής που αφορά στο σύστημα ώθησης.



Σχήμα 3.2: Αναπαράσταση εργοστασίου οργανωμένο από διαδικασίες (απεικόνιση ροής διαδικασιών για ένα προϊόν) [21]



Σχήμα 3.3: Ερμηνεία συμβόλων των σχημάτων οργάνωσης εργοστασίου [21]

Στο σχήμα 3.2 παρατηρείται ένα εργοστάσιο με το σύστημα παραγωγής push, δηλαδή τη ροή ενός προϊόντος τη φορά στο πλαίσιο της μαζικής παραγωγής, όπου αποτυπώνεται η συμβολική ροή των διαδικασιών για την παραγωγή του προϊόντος. Αποτελείται λοιπόν από έξι διαδικασίες ή κέντρα αποτελούμενα από ίδιες μηχανές για την επεξεργασία του προϊόντος.

Επιπρόσθετα υπάρχει μια περιοχή η οποία χρησιμοποιείται ως αποθήκη για αποθήκευση των υλικών παραγωγής, των προϊόντων υπό επεξεργασία, που αναμένουν για την επεξεργασία τους από την επόμενη διεργασία και ενδεχομένως έτοιμα προϊόντα που είναι έτοιμα να αποσταλούν στην περίπτωση που προκύψουν νέες παραγγελίες. Υπάρχει και ένας ξεχωριστός χώρος όπως φαίνεται στη πάνω πλευρά του σχήματος 3.2 με τα δύο ανάποδα βέλη, όπου αποτελεί τον χώρο αποστολής των έτοιμων προϊόντων και παραλαβής των πρώτων υλών. Τα υλικά, παραλαμβάνονται, ελέγχονται και προωθούνται, σύμφωνα με το βέλος στο σχήμα, στην αποθήκη. Τα έτοιμα προϊόντα είτε θα παραληφθούν από την αποθήκη όπου έχουν καταλήξει από το τελευταίο στάδιο της παραγωγικής διαδικασίας που είναι η διαδικασία F στο σχήμα, που συνήθως αποτελεί το στάδιο συναρμολόγησης, είτε από την τελευταία διαδικασία (F) απευθείας.[21]

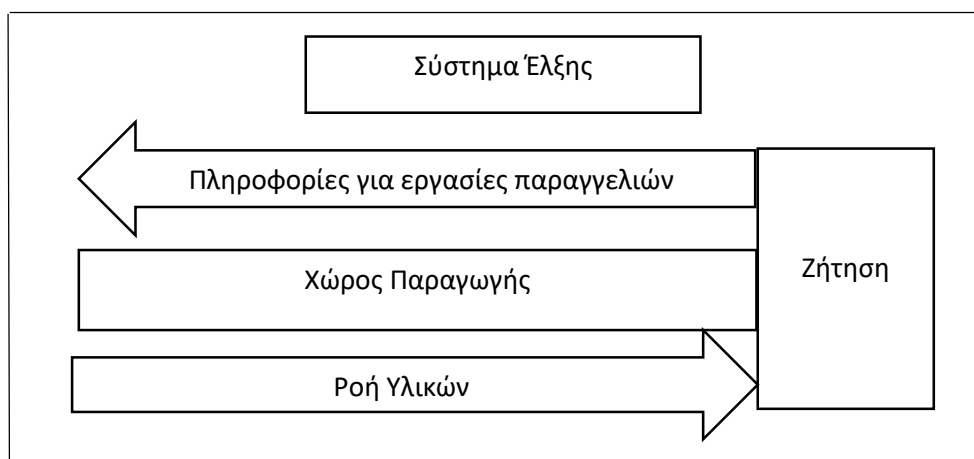
Υλικά και εξαρτήματα βρίσκονται στην αποθήκη, έχοντας ληφθεί υπόψη οι προβλέψεις της ζήτησης μέσω προγραμματισμού της παραγωγής από το MPS, ανασύρονται από τις διάφορες περιοχές της αποθήκης για την προώθησή τους στην πρώτη διαδικασία (A). Έπειτα, σύμφωνα με τις οδηγίες παραγωγής, ακολουθεί η διαδικασία (D). Ενδεχομένως, με την ολοκλήρωση της διαδικασίας (A), τα μηχανήματα της διαδικασίας (D) να είναι απασχολημένα και να μην γίνεται να επεξεργαστούν το υπό επεξεργασία προϊόν, όποτε σαν WIP, είτε φυλάσσεται στην αποθήκη είτε στοιβάζεται σε ουρά στη διαδικασία (D). Τελικά, κάποια στιγμή το προϊόν θα υποστεί επεξεργασία από αυτήν τη διαδικασία και κατά τον ίδιο τρόπο θα συνεχίσει στη διαδικασία (E), και στο τέλος, το ολοκληρωμένο προϊόν, έχοντας περάσει από όλες τις διαδικασίες αποστέλλεται μέσω των διανεμητών στους πωλητές.

Τέλος η διαδικασία (D) θα επεξεργαστεί το προϊόν, θα σταλεί στη διαδικασία (E), είτε περιμένοντας στην ουρά είτε στην αποθήκη, και στο τέλος το ολοκληρωμένο προϊόν έχοντας περάσει από όλες τις διαδικασίες αποστέλλεται μέσω των διανεμητών στους πωλητές.[21]

### 3.1.3 Σύστημα παραγωγής έλξης (Pull production)

Όπως φάνηκε στη παρουσίαση του παραγωγικού συστήματος ώθησης, η παραγωγή στηρίζεται στον προγραμματισμό παραγωγής όπου από το σχήμα 3.1 φαίνεται η ροή των πληροφοριών και των υλικών παραγωγής να κινούνται στην ίδια κατεύθυνση, προς την αγορά στο πλαίσιο προβλέψεων της ζήτησης της αγοράς. Το αποτέλεσμα είναι η συσσώρευση έτοιμων προϊόντων στην αποθήκη για την άμεση κάλυψη της ζήτησης, ενέχοντας προβλήματα όπως της υπερπαραγωγής.

Το παραγωγικό σύστημα ώθησης βρίσκει εφαρμογή σε περιβάλλον αβεβαιότητας με τη ζήτηση να μην είναι γνωστή αλλά να προσεγγίζεται μέσω προβλέψεων. Από την άλλη πλευρά υπάρχει ένα άλλο παραγωγικό σύστημα που ονομάζεται σύστημα έλξης. Αφορά ένα παραγωγικό σύστημα που στηρίζεται στην πραγματική καθημερινή ζήτηση, που φαίνεται από τις πωλήσεις, και η ροή των πληροφοριών σε σχέση με το σύστημα ώθησης κινούνται από την αγορά στη διοίκηση και εν τέλει στο χώρο παραγωγής.[22] Η περιγραφή του συστήματος έλξης φαίνεται από το ακόλουθο σχήμα:



Σχήμα 3.4: Περιγραφή παραγωγικού συστήματος έλξης (pull systems) [20]

Από το σχήμα 3.4 φαίνεται η λειτουργία του συστήματος έλξης. Στηρίζεται στο γεγονός ότι η παραγγελία μεταφέρεται άμεσα στον χώρο παραγωγής για την εκκίνηση της παραγωγής και της ροής των υλικών. Σ' αυτό το σύστημα θα πρέπει να υπάρχει περισσότερη υπομονή από τον καταναλωτή καθώς στο χρονικό διάστημα επεξεργασίας του προϊόντος θα πρέπει να περιμένει. Πιθανή αποτυχία αυτού του συστήματος οδηγεί σε παρατεταμένο χρόνο αναμονής του πελάτη. Συνήθως βρίσκει εφαρμογή σε περιβάλλον, όπου η ζήτηση των καταναλωτών είναι γνωστή.[22] Στον κλάδο της παραγωγής, η έννοια της έλξης αποτελεί κύριο στοιχείο της λιτής παραγωγής όπου μπορεί να θεωρηθεί ως ανάπτυξη της φιλοσοφίας Just in Time που πηγάζει από το παραγωγικό σύστημα της Toyota [23], όπου περισσότερη ανάλυση της λιτής παραγωγής θα υπάρξει σε επόμενη ενότητα του τρίτου κεφαλαίου. Σύμφωνα με ερευνητές της λιτής παραγωγής,[24] ως έλξη παρουσιάζεται η δυνατότητα σχεδιασμού και προγραμματισμού, κάνοντας ακριβώς αυτό που ζητά ο καταναλωτής όταν το θέλει.

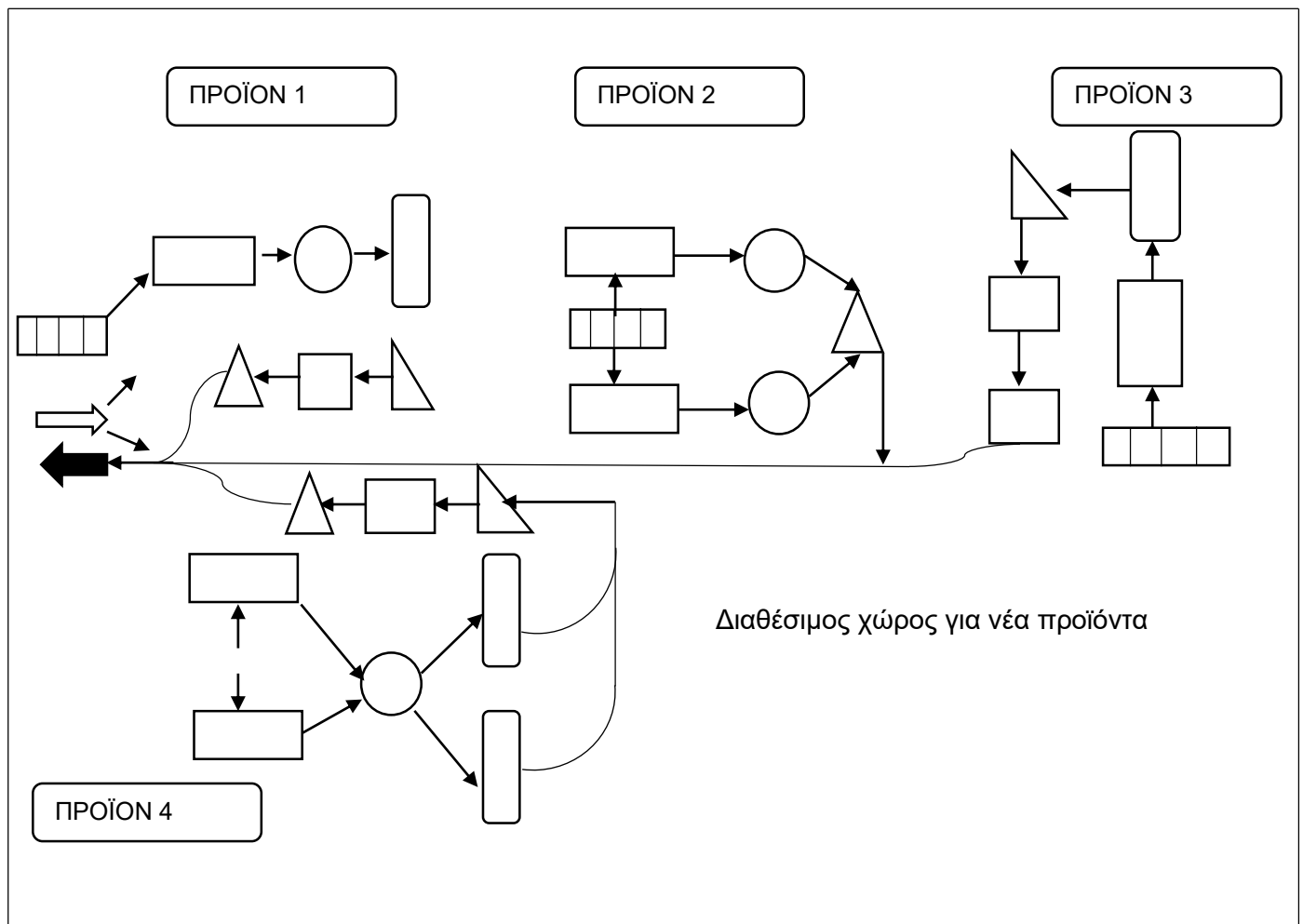
Σε μια παραγωγή έλξης, λαμβάνουν χώρα δραστηριότητες προστιθέμενης αξίας για την ανταπόκριση στην απόσυρση ενός περιορισμένου αποθέματος. Η ροή των πληροφοριών και της ροής των υλικών έχουν αντίθετη φορά όπως φαίνεται και στο σχήμα 3.4, με τη παραγωγή να λαμβάνει χώρα για την συμπλήρωση του ακριβούς αριθμού προϊόντων ή

εξαρτημάτων. Στη θεωρία της έλξης υπάρχουν δύο πηγές που προκαλούν κίνηση. Η μια αφορά στη ζήτηση των καταναλωτών που θεωρείται εξωτερική πηγή ενώ η εσωτερική είναι η έλξη παραγωγής δηλαδή η απόσυρση από κάθε στάδιο από τη τελική διαδικασία προς την αρχική της απαιτούμενης ποσότητας σε κάθε στάδιο.[23]

Όσον αφορά τη μέθοδο ώθησης, αυτή βρίσκει εφαρμογή σε βιομηχανικό περιβάλλον με σταθερότητα της αγοράς όπου είναι πιθανή μια ακριβής ανάλυση της ζήτησης και η θέσπιση μακροχρόνιου προγραμματισμού της παραγωγής. Από την άλλη μεριά, όταν δεν υπάρχει η σταθερότητα ζήτησης και δεν είναι εύκολη η πρόβλεψη αυτής ο ανταγωνισμός οδηγεί τις εταιρίες στην αναζήτηση ευελιξίας. Αυτή η ευελιξία επετεύχθη το 1970, μέσω και πάλι μιας αυτοκινητοβιομηχανίας, αυτή τη φορά από την Ιαπωνία και πιο συγκεκριμένα της Toyota, όπου ο συνδυασμός της αποδοτικότητας μιας μεγάλης κλίμακας βιομηχανίας με την ευελιξία του παραγωγικού της συστήματος έδειξε τη γρήγορη απόκριση στις απαιτήσεις της αγοράς ενσωματώνοντας τη στρατηγική έλξης. Σε αυτό το σύστημα, οι εγκαταστάσεις στηρίζονται σε καινοτόμες τεχνολογίες με μεγαλύτερο βαθμό ευελιξίας με την ευελιξία να αφορά για παράδειγμα τη δυνατότητα των γραμμών να διακόπτονται ευκολότερα κατά την εύρεση κάποιου ελαττωματικού σε υπό επεξεργασία προϊόν.[25] Η διαφοροποίηση της παραγωγής έλξης είναι στην χρήση, σε κάθε επόμενο στάδιο της παραγωγής, των απαραίτητων υλικών και εξαρτημάτων για τη προσθήκη αξίας στο τελικό προϊόν.[26] Με αυτό τον τρόπο, στην ιδανική περίπτωση, δεν απαιτείται η χρήση χώρου αποθήκευσης, τουλάχιστον στον ίδιο βαθμό με το σύστημα ώθησης. Επιπλέον σε αυτού του είδους παραγωγή, οι εγκαταστάσεις συνήθως δεν είναι εξοπλισμένες με μηχανήματα μεγάλου βάρους, είναι μετακινήσιμα, με εύκολη εγκατάσταση προσθέτοντας άλλον ένα βαθμό ευελιξίας σε σχέση με το σύστημα ώθησης.[19]

Τέλος πολύ σημαντικό ζήτημα αποτελούν οι εγκαταστάσεις οι οποίες περιλαμβάνουν το εργοστάσιο στο σύνολό του, τις μηχανές, τα εργαλεία, τον εξοπλισμό ελέγχου και τα υπολογιστικά συστήματα που ελέγχουν τις παραγωγικές λειτουργίες. Για τις εγκαταστάσεις, η διαμόρφωση του εργοστασίου αποτελεί μείζων θέμα για την απόδοση του παραγωγικού συστήματος. Η διαμόρφωση αυτή αφορά το τρόπο με τον οποίο είναι τοποθετημένος ο εξοπλισμός στο εργοστάσιο.[27]

Όπως στο σύστημα ώθησης, θα παρουσιασθεί η διαμόρφωση ενός εργοστασίου έλξης. Σημαντική διαφορά των δύο συστημάτων είναι ότι το σύστημα ώθησης αφορά ένα εργοστάσιο μαζικής παραγωγής το οποίο προσανατολίζεται αμιγώς γύρω από τις διαδικασίες. Ενώ, εδώ το εργοστάσιο στηρίζεται γύρω από το προϊόν. Στο σχήμα 3.5 που ακολουθεί φαίνεται με συμβολικό τρόπο η διαμόρφωση του λιτού εργοστασίου με κύριο στοιχείο την έλξη.



Σχήμα 3.5: Αναπαράσταση Just in Time (Λιτού εργοστασίου) οργανωμένο με βάση το προϊόν (απεικόνιση ροής διαδικασιών για τα τέσσερα προϊόντα) [21]

Η λιτή παραγωγή αφορά ένα εργοστάσιο οργανωμένο γύρω από το προϊόν. Εδώ όλες οι απαραίτητες διεργασίες πραγματοποιούνται με τα μηχανήματα τοποθετημένα σε κοντινή απόσταση καθώς εδώ όπως φαίνεται και από το σχήμα, δεν υπάρχει χώρος αποθήκευσης, το οποίο παρουσιάζει την ιδανική περίπτωση του JIT παραγωγικού χώρου με εξάλειψη των αποθεμάτων. Ο χώρος παραγωγής είναι χωρισμένος σε διακριτές περιοχές αφιερωμένες στα διαφορετικά προϊόντα.

Η ροή των διαδικασιών εδώ είναι ως εξής:

Τα εξαρτήματα προέρχονται απευθείας από τους κάδους που βρίσκονται στο χώρο εργασίας του κάθε προϊόντος και όχι από την αποθήκη. Παρατηρώντας το σχήμα φαίνεται η διαμόρφωση των μηχανών για κάθε προϊόν να σχηματίζει το αγγλικό γράμμα U που δείχνει μια συμπαγή μορφή, μικρές αποστάσεις για τους χειριστές εξαλείφοντας άσκοπες μετακινήσεις. Το WIP ρέει συνεχώς από διαδικασία σε διαδικασία κινήσεις και μέσω χρήσης ενός συστήματος σήμανσης που ονομάζεται Kanban, το οποίο θα αναλυθεί στο τέταρτο κεφάλαιο, εξαλείφεται ο χρόνος ουράς για τη κατασκευή μικρών παρτίδων προϊόντος. Το κύριο στοιχείο σε αυτό το σύστημα είναι ο προσδιορισμός του χρόνου διάρκειας κάθε διαδικασίας που υφίσταται το υπό επεξεργασία προϊόν (WIP), δηλαδή του χρόνου κύκλου με κύριο στοιχείο σε αυτού του είδους παραγωγή να είναι η μείωση αυτού του χρόνου στο μισό. Από τη διαμόρφωση αυτή φαίνεται ότι η εξάλειψη του χώρου αποθήκης δημιουργεί πρόσθετο χώρο για παραγωγή επιπλέον προϊόντων καθώς ελαχιστοποιούνται οι άσκοπες μετακινήσεις, ενώ είναι πιο εύκολος και ο εντοπισμός θεμάτων ποιότητας. [21]

### 3.1.4 Μαζική εξατομίκευση (Mass Customization)

Διανύουμε την εποχή της καθημερινής χρήσης ψηφιακών συσκευών και των κοινωνικών μέσων δικτύωσης. Οι καταναλωτές πλέον πέρα από τη τυπική αγορά του προϊόντος που προσφέρει η εταιρία και την αξιολόγηση αυτού, τείνουν να απαιτούν ένα προϊόν διαμορφωμένο για τους ίδιους και θέλουν να έχουν τη δυνατότητα να μπορούν να διαμορφώσουν το προϊόν που θα χρησιμοποιήσουν.

Η συμμετοχή του καταναλωτή, η οποία μπορεί να γίνει μέσω ανατροφοδότησης, δίνει τη δυνατότητα στον κατασκευαστή να εκμεταλλευτεί αυτές τις πληροφορίες στην ανάπτυξη ενός νέου προϊόντος, συμβάλλοντας στην ανάπτυξη της ευελιξίας του ίδιου όπως και της καινοτομίας του.[28]

Σε αυτό το πλαίσιο ένα νέο είδος αύξησης της ανταγωνιστικότητας λέγεται μαζική παραμετροποίηση και αφορά τη δυνατότητα της εταιρίας στη γρήγορη σχεδίαση, παραγωγή και παράδοση προϊόντων υπό τις ειδικές απαιτήσεις των καταναλωτών σε τιμές χαμηλές όπως της μαζικής παραγωγής.[29] Η αρχή της είναι ότι τα προϊόντα παράγονται έπειτα από το καθορισμό λεπτομερών οδηγιών όπως τί είναι απαραίτητο, πότε, καθώς και τί απαιτείται για την επίτευξη της ικανοποίησης του καταναλωτή.[30]

Οι παραγωγικές εταιρίες κινούνται στο πρίσμα των αναδιαμορφώσιμων παραγωγικών συστημάτων αν και πρώιμων καθώς ο εξοπλισμός, τα συστήματα εποπτείας και εν γένει ο παραγωγικός χώρος θα πρέπει να είναι ευέλικτος λόγω της ποικιλίας των προϊόντων, και της σύντομης χρηστικότητας τους. Έτσι η διαμόρφωση του εργοστασίου αλλάζει δραστικά λόγω των νέων τεχνολογιών όπως αντικατάσταση των γραμμών παραγωγής με ρομπότ και αυτόματα οδηγούμενα οχήματα δείχνοντας την αναβάθμιση της βιομηχανίας.[31]

Σύμφωνα με έρευνα της Deloitte (2015)[32], το 36% των καταναλωτών έχουν εκφράσει ενδιαφέρον στην αγορά ενός διαμορφωμένου προϊόντος με το 50% να δηλώνει ότι θα δεχόταν περισσότερο χρόνο αναμονής για την απόκτησή του. Επιπλέον στην ίδια μελέτη αναφέρεται ότι κατασκευαστικές λύσεις σε συνδυασμό με ψηφιακό εργαλείο σχεδίασης δίνει μεγάλη αύξηση στον βαθμό διαμόρφωσης του προϊόντος από τον καταναλωτή.

Λύσεις μαζικής διαμόρφωσης προϊόντων σε χαμηλό κόστος προσφέρουν οι τρισδιάστατοι εκτυπωτές αναδιαμορφώνοντάς ολόκληρη την εφοδιαστική αλυσίδα. Αυτή η μελέτη δείχνει ότι πλέον ο κατασκευαστικός τομέας οδεύει προς το σύστημα της μαζικής παραμετροποίησης [32], το οποίο υποστηρίζεται από τη λιτή παραγωγή καθώς προσφέρει μεγάλη ευελιξία στη κατασκευάστρια εταιρία προσφέροντας ένα προϊόν στα μέτρα του καταναλωτή υπό το πρίσμα των αρχών της λιτής παραγωγής[31] που θα παρουσιασθούν στη συνέχεια με αξιοποίηση των τεχνολογιών της βιομηχανίας 4.0 όπως θα αναλυθούν στο έκτο κεφάλαιο με την διαμόρφωση του έξυπνου εργοστασίου.

## 3.2 Είδη Αποβλήτων

Στη λιτή παραγωγή, οποιαδήποτε δραστηριότητα δε προσθέτει αξία στο προϊόν από τη πλευρά του καταναλωτή, θεωρείται απόβλητο.[33] Επιπλέον μπορεί να θεωρηθεί ως οτιδήποτε εκτός από τον ελάχιστο δυνατό εξοπλισμό, χώρο παραγωγής υλικών και χρόνου των εργαζομένων, που προσθέτουν αξία στο τελικό προϊόν.

Η κατηγοριοποίηση των δραστηριοτήτων διαχωρίζεται σε τρεις περιπτώσεις. Ο πρώτος τύπος αφορά δραστηριότητες μη προστιθέμενης αξίας, όπου θεωρούνται σπατάλη καθώς περιλαμβάνουν μη απαραίτητες ενέργειες που δε φαίνονται στο πελάτη όπως είναι ο χρόνος αναμονής. Ο επόμενος τύπος αφορά απαραίτητες αλλά μη προστιθέμενης αξίας



ενέργειες όπου αφορούν απαραίτητες για τις λειτουργίες, διαδικασίες. Η τελευταία κατηγορία είναι οι ενέργειες προστιθέμενης αξίας και αφορούν εκείνες που διαμορφώνουν το προϊόν είτε ως προς το σχήμα είτε ως προς τα χαρακτηριστικά του σύμφωνα με τις απαιτήσεις των καταναλωτών.[34]

Το λιτό παραγωγικό σύστημα έχει ως σκοπό την ελαχιστοποίηση των αποβλήτων τα οποία κατηγοριοποιούνται σε τρεις ενότητες.

- Η πρώτη λέγεται επιβάρυνση ή στα Ιαπωνικά Muri και αφορά την υπερβολική πίεση σε ανθρώπους, εγκαταστάσεις και εξοπλισμό επηρεάζοντας αρνητικά τους εργαζόμενους. Περιλαμβάνει κακές εργασιακές συνθήκες και ώθηση μηχανών είτε ανθρώπων πέρα από τα φυσικά όρια.
- Η επόμενη ενότητα λέγεται ασυνέπεια ή στα Ιαπωνικά Mura όπου αποτυπώνεται η μεταβολή στη ποιότητα και στη ποσότητα και προκαλείται από διακυμάνσεις της ζήτησης και σε μεταβαλλόμενα προβλήματα παραγωγής.
- Η τελευταία ενότητα ονομάζεται απώλεια, όρος στα Ιαπωνικά Muda, και αφορά ενέργειες μη προστιθέμενης αξίας από την οπτική του καταναλωτή. Πρόκειται για τη πιο χρησιμοποιούμενη ενότητα καθώς περιλαμβάνει απώλειες όπως χρόνου και πηγών.

Η παραπάνω θεωρία ονομάζεται 3M και προέρχεται από τα αρχικά των τριών όρων στα Ιαπωνικά που αφορά στην ανάπτυξη του παραγωγικού συστήματος της Toyota για τον αφανισμό των τριών αυτών εννοιών.[34]

Από την ενότητα των αποβλήτων (Muda) εντοπίζονται επτά είδη σπατάλης όπως αναγνωρίστηκαν από το Taiichi Ohno στο πλαίσιο του TPS με την ακόλουθη κατηγοριοποίηση:

1) Υπερπαραγωγή:

Πρόκειται για τη συνεχόμενη παραγωγή ενός προϊόντος που έχει ήδη καλυφθεί η ζήτησή του, με αποτέλεσμα την παραγωγή πλεονάσματος από αυτό το προϊόν. Η κατανάλωση πρώτων υλών για προϊόντα που δε χρειάζονται ενδεχομένως να προκαλέσει έλλειμα σε άλλα προϊόντα. Ακόμα προκαλείται ένα είδος αποβλήτου μέσω της δημιουργίας κόστους αποθήκευσης έως και μείωσης της ποιότητας των προϊόντων, καθώς ένας ποιοτικός έλεγχος σε μεγαλύτερο βαθμό από το σύνηθες δυσχαιρένει τη διαδικασία.

2) Αναμονή:

Η αναμονή ενός υλικού σε ουρά θεωρείται απόβλητο όπως και η αναμονή ενός χειριστή για την επεξεργασία του υλικού. Επομένως η αναμονή αφορά τη χρονική περίοδο όπου το προϊόν είτε δεν υφίσταται κάποια επεξεργασία είτε δεν μεταφέρεται κάπου. Συνήθως τα παραγόμενα προϊόντα σπαταλούν αρκετό χρόνο στη γραμμή συναρμολόγησης για τη περαιτέρω επεξεργασία τους. Ιδανική ροή επεξεργασίας υπάρχει όταν το κομμάτι προς επεξεργασία τροφοδοτείται ομαλώς και απευθείας από τη μία διαδικασία στην επόμενη.

3) Μεταφορά:

Μία αναποτελεσματική διάταξη του χώρου παραγωγής μπορεί να οδηγήσει στη μεταφορά υλικών σε μεγαλύτερες αποστάσεις. Πρόκειται για ένα πολυδάπανο στοιχείο που απαιτεί ένα σύνολο από επιμέρους στοιχεία όπως χρόνο, ενέργεια και χρήματα χωρίς να προσθέτει αξία στο προϊόν. Γι' αυτόν το λόγο, στοιχείο της λιτής παραγωγής είναι οι κατασκευαστικές διαδικασίες να είναι συμπαγείς με το υπό επεξεργασία προϊόν να μη χρειάζεται να κινηθεί σε μεγάλες αποστάσεις μέχρι τη μετατροπή του στην τελική μορφή. Η συχνή μετακίνησή του ως wip από την εναλλαγή του στα επιμέρους παραγωγικά στάδια οδηγεί πιο εύκολα στην εμφάνιση ελαττωμάτων στο τελικό προϊόν.

4) Ακατάλληλη επεξεργασία:

Αφορά την επεξεργασία προϊόντων από αναποτελεσματικά υφιστάμενα μέσα δηλαδή μηχανές και εργαλεία που ενώ προορίζονται για κάποια συγκεκριμένη εργασία, αξιοποιούνται μέσω μετατροπών κάνοντας περισσότερα από όσα ορίζονται στις προδιαγραφές τους, οδηγώντας σε αναποτελεσματικότητα σε χρόνο, κόπο όσο και σε πιθανό μη επιθυμητό αποτέλεσμα με περισσότερη πίεση στο μηχάνημα. Σε περιπτώσεις δύσκολων κατεργασιών είναι προτιμότερη η επένδυση σε ειδικό εξοπλισμό για τη σωστή εκτέλεσή τους.

5) Ανεκμετάλλευτο απόθεμα:

Πρόκειται για ένα είδους απόβλητο συνδυασμού των αποβλήτων της αναμονής και της υπερπαραγωγής. Αφορά το επιπλέον προϊόν που απαιτεί χώρο όπως και έξοδα διατήρησης του στο χώρο που καταλαμβάνει. Υψηλό απόθεμα σε προϊόν υπό παραγωγή, φανερώνει μη ισορροπημένο ρυθμό παραγωγής, ενώ υψηλό απόθεμα τελικού προϊόντος φανερώνει μη σωστό έλεγχο παραγωγής.

6) Εκτεταμένη κίνηση:

Αφορά μη απαραίτητες κινήσεις που απαιτούν ενέργεια και χρόνο συμβάλλοντας έτσι σε αναποτελεσματικότητα της παραγωγικής διαδικασίας. Μακροχρόνια ενδεχομένως προκύψουν θέματα υγείας ή ασφάλειας προκαλώντας πιθανό τραυματισμό. Παράδειγμα εκτεταμένης κίνησης είναι η κίνηση των χειριστών των μηχανών στον χώρο εργασίας.

7) Ελαττώματα:

Είναι μια άμεση μορφή αποβλήτου. Κάθε ελάττωμα ζημιώνει την εταιρία τόσο σαν μικρότερη παραγόμενη ποσότητα ειδικά αν το ελαττωματικό προϊόν παρόλο τους ποιοτικούς ελέγχους που υφίσταται, περάσει στην αγορά προκαλώντας ζημιά στην εταιρία. Είναι λογικό ο στόχος των εταιριών παραγωγής να είναι η ελάττωση της συχνότητας των ελαττωμάτων σε κάθε βήμα της παραγωγής.[34],[35]

### 3.3 Εισαγωγή στις Λιτές Παραγωγικές Τεχνολογίες

Η λιτή παραγωγή αφορά μία φιλοσοφία που στοχεύει στη διατήρηση ομαλής ροής παραγωγής μέσω του συνεχούς εντοπισμού και ελαχιστοποίησης των αποβλήτων με αποτέλεσμα την προσθήκη αξίας στις δραστηριότητες της παραγωγής.[33] Το υψηλά ανταγωνιστικό περιβάλλον μεταξύ των παραγωγικών εταιριών, τις ωθεί στη βελτίωση των παραγωγικών τους γραμμών. Σ' αυτή τους την προσπάθεια είναι λογικό να δημιουργηθούν κάποιου είδους απόβλητα τα οποία θα πρέπει να είναι τα ελάχιστα δυνατά. Η μείωση των αποβλήτων σε μία βιομηχανία είναι η συνεχής προσπάθεια των εταιριών στη διατήρηση της ανταγωνιστικότητας με την επίτευξη υψηλής απόδοσης της παραγωγικής διαδικασίας.[36]

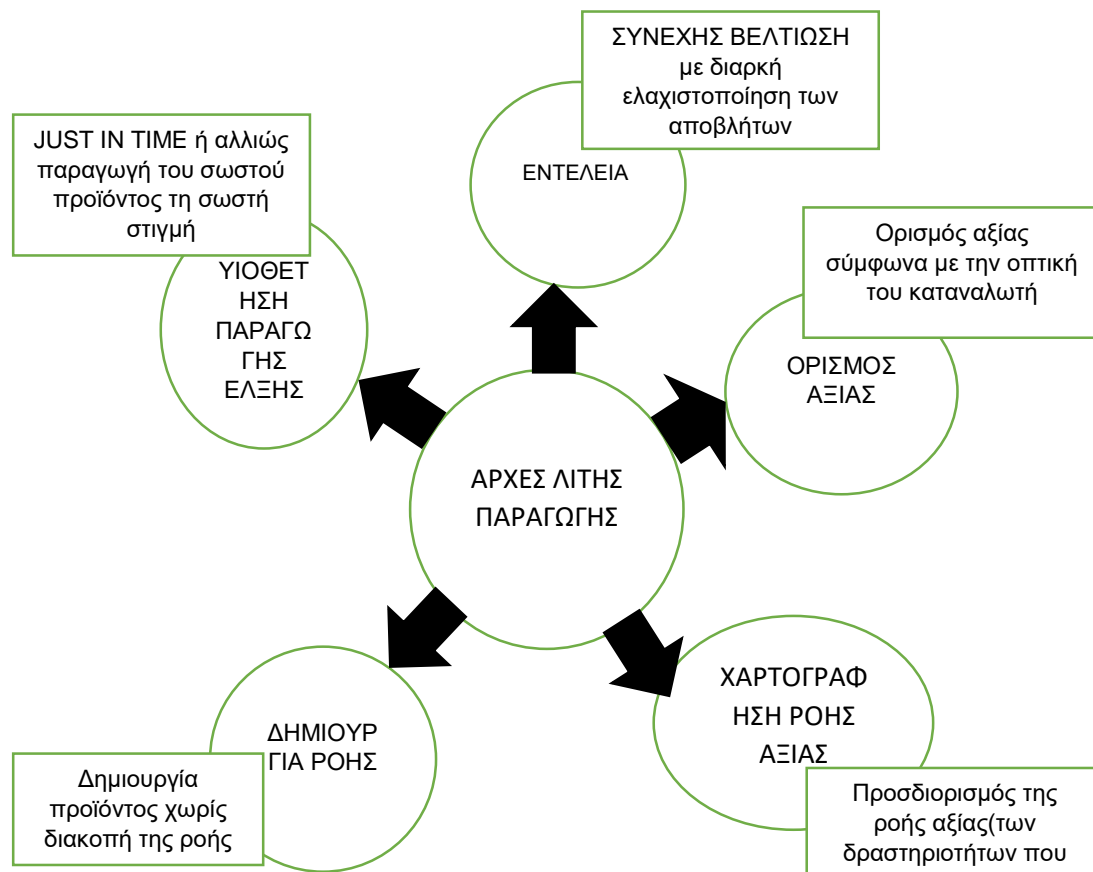
Η θεωρία της λιτής παραγωγής προέρχεται από την Ιαπωνία και πιο συγκεκριμένα από το παραγωγικό σύστημα της Toyota. Κατά το 1941, η Ιαπωνία μπήκε στον δεύτερο παγκόσμιο πόλεμο με αποτέλεσμα να δημιουργείται έλλειμα στις πηγές που χρειαζόντουσαν στη παραγωγή. Το γεγονός αυτό, ωθεί την εταιρία στην ανάπτυξη μιας φιλοσοφίας που προσανατολίζεται στην παροχή της παραγωγικής διαδικασίας, με τις ελάχιστες δυνατές απαιτούμενες πηγές.[37] Από την Αμερική, κατά τη χρονιά του 1908, η αυτοκινητοβιομηχανία Ford, με τον ιδρυτή της Henry Ford, παρουσιάζει το μοντέλο T, όπου αποτελεί την υλοποίηση της θεωρίας της μαζικής παραγωγής για πρώτη φορά εκείνη τη περίοδο. Αυτή η μέθοδος αποτελούσε για αρκετό καιρό τη κύρια τεχνική μείωσης των παραγωγικών κόστων για τη παροχή ποιοτικών προϊόντων, μία μέθοδο όπου υιοθετήθηκε

στην πορεία και από πολλές Ευρωπαϊκές εταιρίες.[38] Από την Ιαπωνία, τη χρονιά του 1950, ο γιος του Kiichiro Toyoda, ιδρυτή της Toyota, ο μηχανικός Eiji Toyoda επισκέπτεται το εργοστάσιο της Ford που βρίσκεται στο Michigan της Αμερικής. Κατά τη διάρκεια παραμονής του συνειδητοποιεί ότι ένα σύστημα μαζικής παραγωγής δεν είναι εφικτό προς υλοποίηση στη μικρότερη αγορά της Ιαπωνίας και ειδικά στη ζήτηση διαφοροποιημένων οχημάτων.[38]

Η ανάγκη υιοθέτησης ενός άλλου παραγωγικού συστήματος, οδηγεί εκείνη τη περίοδο τον επίσης μηχανικό Taichi Ohno στη συμβολή του στη θέσπιση του παραγωγικού συστήματος της Toyota (Toyota Production System-TPS). Μέσω αυτού υλοποιείται η αναδιοργάνωση του παραγωγικού συστήματος της Toyota ενσωματώνοντας τις αρχές Just in Time και αυτοματισμού, όρου που στα Ιαπωνικά λέγεται Jidoka.[38] Κατά τη περίοδο του 1970 υλοποιείται πλήρως στον χώρο παραγωγής καθώς βρίσκει εφαρμογή και σε άλλα τμήματα όπως της εφοδιαστικής αλυσίδας. Τη χρονιά του 1988 ο John Krafcick εισάγει τον όρο της λιτής παραγωγής στο πλαίσιο της ερευνητικής του εργασίας πάνω στο TPS. Τα αποτελέσματα της εργασίας του παρουσιάζονται το 1990 από τους Womack, Jones και Roos μέσω του βιβλίου "The machine that changed the world". Αυτό το βιβλίο παρέχει, στις δυτικές εταιρίες παραγωγής, στοιχεία επιτυχίας του Ιαπωνικού συστήματος καθώς και τους τρόπους για να επιτύχουν και εκείνες μία ανάλογη επιτυχία.[37]

Η λιτή παραγωγή πηγάζει από τη φιλοσοφία της επίτευξης βελτιώσεων μέσω οικονομικών τρόπων στοχεύοντας στον αφανισμό των αποβλήτων. Ο στόχος είναι στην ελάττωση της ανθρώπινης προσπάθειας στο μισό, όπως και της ελάττωσης του χώρου παραγωγής στο μισό, καθώς και της μείωσης στο μισό των ωρών που χρειάζονται για την ανάπτυξη ενός νέου προϊόντος.[39] Επιπλέον αναγνωρίζεται ως πολύ-επίπεδη διαδικασία όπου τα απόβλητα θεωρούνται ως δραστηριότητες μη προστιθέμενης αξίας και παρέχει προτάσεις μείωσης τους. Επιπλέον αποτελεί μέθοδο περιγραφής της ροής παραγωγής και εξασφαλίζει στο χώρο παραγωγής μία ομαλή και ανεμπόδιστη ροή υλικών, όπως και της επεξεργασίας τους χωρίς διακοπές.[34] Όπως ορίζεται από το βιβλίο [40] αφορά ένα σύνολο μεθόδων και εργαλείων με στόχο τον εντοπισμό και την εξαφάνιση της αναποτελεσματικότητας και των αποβλήτων σε επίπεδο παραγωγής χωρίς τη χρήση περισσότερων πόρων. Δείχνει την μετάβαση από τη συμβατική μαζική παραγωγή, που εφαρμοζόταν από πολλές εταιρίες, στη δημιουργία ενός προϊόντος τη φορά ή αλλιώς στην παραγωγή έλξης.

Η λιτή παραγωγή στηρίζεται σε πέντε αρχές μεγιστοποίησης της παραγωγής μέσω ελαχιστοποίησης της δημιουργίας των αποβλήτων οι οποίες είναι: ορισμός της αξίας, η χαρτογράφηση της ροής αξίας, η ομαλή ροή των διαδικασιών, η υιοθέτηση του συστήματος παραγωγής έλξης και η τελειότητα που σημαίνει την εξαφάνιση των αποβλήτων μέσω της συνεχούς βελτίωσης.[41] Οι αρχές αποτυπώνονται και από το ακόλουθο σχήμα. Η κατανόηση της μεθοδολογίας της λιτής παραγωγής γίνεται μέσω της παρουσίασης των κύριων εργαλείων που θα αναλυθούν στο επόμενο κεφάλαιο.



Σχήμα 3.6: Ανάλυση αρχών λιτής παραγωγής [41]

Με βάση το σχήμα 3.6 ακολουθεί ανάλυση των πέντε προαναφερθέντων αρχών για να γίνει πιο κατανοητό το πλαίσιο υλοποίησης της λιτής παραγωγής.

Αρχικά ο ορισμός της αξίας του προϊόντος από τη μεριά του καταναλωτή είναι η πρώτη αρχή. Η κατανόηση του τωρινού σταδίου κάποιου προϊόντος μέσα στον κύκλο ζωής του είναι απαραίτητο όπως και το σημείο φθοράς του. Ένα βήμα για τον καθορισμό της αξίας του, που εκλαμβάνεται από τους πελάτες, σχετίζεται με διαρκείς μελέτες και την αντίληψη στη διακύμανση της καταναλωτικής συμπεριφοράς που δείχνει ότι απαιτούνται ενέργειες βελτίωσης. Το επόμενο βήμα είναι ο καθορισμός του κόστους σύμφωνα με τις πηγές που χρησιμοποιήθηκαν και τις προσπάθειες που έγιναν για την παραγωγή του προϊόντος μέσω της ελαχιστοποίησης των αποβλήτων.

Η δεύτερη αρχή αφορά την αλυσίδα αξίας, η οποία περιλαμβάνει τις ενέργειες μετατροπής των πρώτων υλών σε έτοιμο προϊόν μέχρι και την αποστολή, ουσιαστικά όλες τις ενέργειες που περιλαμβάνονται στη δημιουργία και μεταφορά του έτοιμου προϊόντος. Η αρχή της αλυσίδας αξίας είναι ιδιαίτερα σημαντική καθώς αποτελεί το στοιχείο του εντοπισμού όλων των βημάτων που προσθέτουν αξία και όσων δεν προσθέτουν, με αποτέλεσμα να καθίσταται ορατή η ανάγκη δράσης για την εξαφάνιση των αποβλήτων. Ο εντοπισμός αυτός είναι εφικτός μέσω του εργαλείου Value Stream Mapping-VSM όπου αποτελεί εργαλείο οπτικής αναπαράστασης της ροής υλικών και πληροφοριών, αναπαριστώντας την τωρινή αξία και προβλέποντας τη μελλοντική κατάσταση μέσω προσδιορισμού των απαραίτητων βημάτων που θα πρέπει να λάβει η εταιρία για να φθάσει σ' αυτήν. Για τον προσδιορισμό

της απόδοσης των διαδικασιών, υπάρχουν ένα σύνολο δεικτών όπως ο χρόνος κύκλου, ο αριθμός χειριστών κ.α. Προκειμένου όμως να είναι εφικτός ο υπολογισμός αυτών των δεικτών, είναι απαραίτητη η τυποποίηση, όπου διασφαλίζεται η σταθερή διαδικασία παραγωγής για να μπορέσουν να εφαρμοσθούν σε αυτήν, ενέργειες βελτίωσης.[42] Τα δύο αυτά απαραίτητα εργαλεία, όπως και τα επόμενα που θα αναφερθούν στις υπόλοιπες αρχές θα αναλυθούν στο επόμενο κεφάλαιο.

Η τρίτη αρχή βασίζεται στη θέσπιση συνεχούς ροής όπου χαρακτηρίζει τον ρυθμό με τον οποίο οι απαραίτητες πηγές που χρειάζονται για τη μετατροπή τους στο τελικό προϊόν είναι τοποθετημένες. Αυτή η διαδικασία περιλαμβάνει την ανεμπόδιστη εργασία χωρίς διακοπές μεταξύ των βημάτων της κάθε διαδικασίας. Γι' αυτόν το λόγο είναι πολύ χρήσιμη η οργάνωση του χώρου εργασίας όπως σημειώθηκε και στην ενότητα 3.1. Αυτή η οργάνωση των πηγών στο χώρο εργασίας του κάθε σταθμού διασφαλίζει ένα λειτουργικό εργασιακό χώρο, όπου διαμορφώνεται μέσω του εργαλείου 5S. Προκειμένου να επιτευχθεί συνεχής ροή, υπάρχουν κι άλλα εργαλεία όπως η ομαλοποίηση της παραγωγής (production leveling) και η κυψελοειδής παραγωγή (cellular manufacturing). Το σύνολο αυτών των εργαλείων διασφαλίζουν την ιδανική ροή που είναι η συνεχής, όπου προϋπόθεση είναι η ροή εργασιών για ένα προϊόν τη φορά. Μέσω αυτού εξασφαλίζεται η αδιάκοπη ροή σε κάθε στάδιο για το κάθε ένα, οδηγώντας εν τέλει τόσο στη βελτίωση ποιότητας όσο και στη μείωση του κόστους.[42]

Η τέταρτη αρχή είναι η παραγωγή έλξης (αναλύθηκε στην ενότητα 3.1) , που σημαίνει ότι η κάθε διαδικασία θα πρέπει να παράγει αποκλειστικά και μόνο όταν η επόμενη της το απαιτεί.

Η πέμπτη αρχή είναι η τελειότητα που προκύπτει όταν η κάθε διαδικασία αποτελείται από ενέργειες που προσθέτουν αξία στο προϊόν σύμφωνα με τις απαιτήσεις του καταναλωτή, χωρίς την ύπαρξη αποβλήτων. Όπως παρουσιάστηκε και στην εισαγωγή η συνεχής βελτίωση είναι η απαραίτητη δράση για την επίτευξη του ιδανικού στόχου, της τελειότητας. Οι ενέργειες συνεχούς βελτίωσης ή kaizen αφορούν δραστική αλλαγή που επέρχεται από την ομαδική προσέγγιση σταδιακής βελτίωσης κάποιας δραστηριότητας με στόχο τη δημιουργία περισσότερης αξίας με τα ελάχιστα δυνατά απόβλητα. Άλλο ένα εργαλείο που είναι χρήσιμο στη δημιουργία αξίας λέγεται roka-yoke. Αποτελεί συσκευή εντοπισμού σφάλματος που αποτρέπει το ελαττωματικό προϊόν να προωθηθεί σε επόμενη διαδικασία. Τέτοιο παράδειγμα αποτελούν οι συναγερμοί όπου μπορούν να είναι είτε οπτικοί είτε ηχητικοί.[42] Περισσότερα στοιχεία, για αυτό όπως και για τα προηγούμενα εργαλεία, βρίσκονται στο τέταρτο κεφάλαιο.

## 4. ΜΕΘΟΔΟΛΟΓΙΕΣ ΕΦΑΡΜΟΓΗΣ ΛΙΤΩΝ ΠΑΡΑΓΩΓΙΚΩΝ ΤΕΧΝΟΛΟΓΙΩΝ

Η λιτή παραγωγή (Lean Manufacturing-LM) είναι μια φιλοσοφία που στοχεύει στη διατήρηση ομαλής ροής μέσω του συνεχούς εντοπισμού και ελάττωσης των αποβλήτων αποσκοπώντας σε ενέργειες προστιθέμενης αξίας στις διαδικασίες παραγωγής.[33] Η διαφορά σε σύγκριση με το μοντέλο της παραδοσιακής παραγωγής είναι ότι εκείνο στοχεύει στο ολοένα αυξανόμενο απόθεμα του συστήματος. Από την πλευρά της λιτής παραγωγής, το απόθεμα θεωρείται ως απόβλητο στον οργανισμό. Επομένως από την υιοθέτηση του μοντέλου της λιτής παραγωγής σε οποιοδήποτε είδος βιομηχανίας υπάρχει ενδιαφέρον, δημιουργείται μιά απευθείας επιρροή στις παραγωγικές της διαδικασίες και στη διαμόρφωση αυτών.[33]

Ο ύψιστος σκοπός ενός λιτού παραγωγικού συστήματος είναι η εξάλειψη όλων των αποβλήτων [43] όπως αυτά αποτυπώθηκαν στην ενότητα 3.2. Άρα η λιτή παραγωγή μπορεί να θεωρηθεί ως μια διαδικασία συνεχούς βελτίωσης για καλύτερα αποτελέσματα παραγωγής. [43] Μέσω του παραγωγικού συστήματος της Toyota (Toyota Production System -TPS), όπως αρχικά ορίστηκε στην ενότητα 3.3, κρίθηκε αναγκαία η παρατήρηση της ροής παραγωγής αντιστρόφως. Αυτό σημαίνει ότι οι χειριστές της υφιστάμενης διαδικασίας θα πρέπει να αποσύρουν από την προηγούμενη διαδικασία τις απαραίτητες μονάδες στην απαιτούμενη ποσότητα και στον σωστό χρόνο. Ως συνέπεια για την προηγούμενη διαδικασία, το γεγονός αυτό σημαίνει ότι θα πρέπει να παραχθεί η αντίστοιχη ποσότητα των μονάδων που αποσύρθηκαν. [33]

Τα εργαλεία που βοηθάνε σε αυτήν τη κατεύθυνση, θα αναλυθούν σε αυτό το κεφάλαιο. Αρχικώς, η λιτή παραγωγή διακλαδίζεται σε δύο κύρια συστήματα, το πρώτο αφορά το TPS και το άλλο είναι η μεθοδολογία 5S [35] όπως αναλύονται παρακάτω.

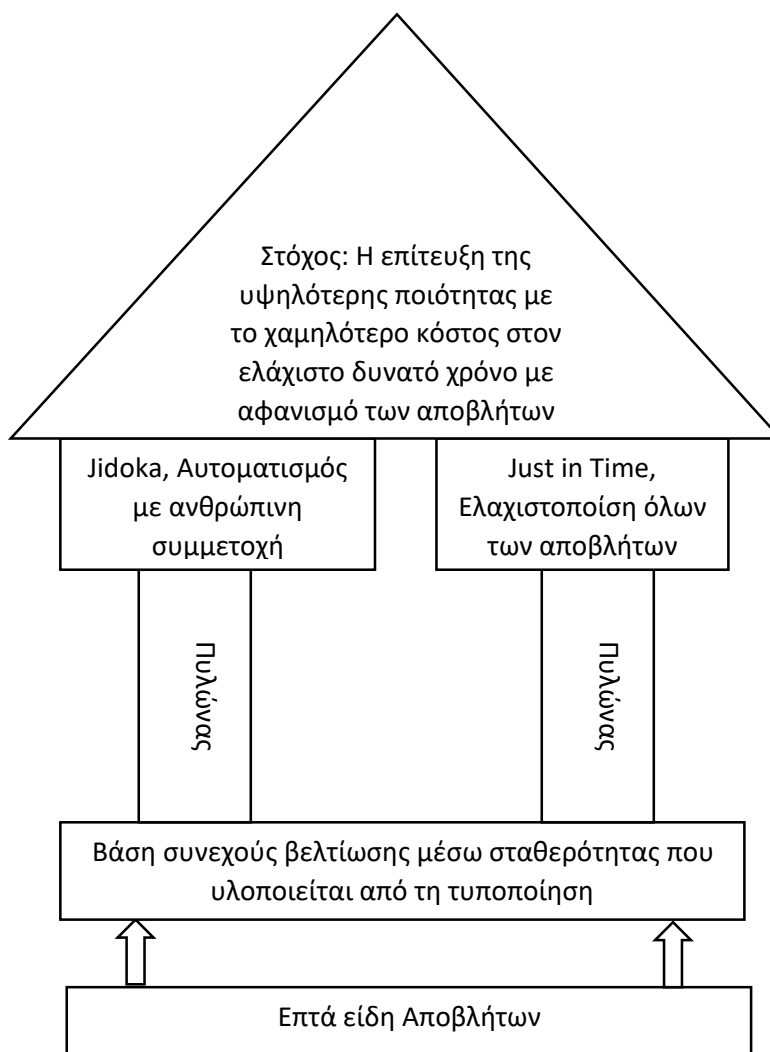
### 4.1 Παραγωγικό Σύστημα της Toyota (TPS)

Όπως αναφέρθηκε και στην ενότητα 3.3, στην εισαγωγή της λιτής παραγωγής, η ανάπτυξη της οφείλεται στην αυτοκινητοβιομηχανία Toyota μετά τον δεύτερο παγκόσμιο πόλεμο προκειμένου να αυξηθεί η αποδοτικότητά της. Ο πόλεμος ήταν η κύρια αιτία εκτεταμένης μείωσης των πρώτων υλών λόγω καταστροφής αυτών, με αποτέλεσμα τα προϊόντα που είχαν παραχθεί από τις υφιστάμενες παραγωγικές διαδικασίες να κοστίζουν αρκετά ακριβά. Για μια επιτυχή ενσωμάτωση του TPS θα πρέπει να υπάρχει μια σταθερότητα στη μεταβλητότητα των διαδικασιών.[44] Πρακτικά, αυτό σημαίνει ότι όλες οι δραστηριότητες θα πρέπει να είναι καθορισμένες και οι εργαζόμενοι να κάνουν τη δουλειά τους με τον ίδιο τρόπο. Έτσι διαμορφώνεται μια ομαλή παραγωγική διαδικασία κάλυψης της ζήτησης.

Πιο συγκεκριμένα, θα μπορούσε να τεθεί κι ως ένα σύστημα συνεργασίας μεταξύ ενός συνόλου τεχνικών ή εργαλείων γύρω από τη ροή ενός προϊόντος τη φορά, έννοια που όπως παρουσιάστηκε στην ενότητα 3.3, πρωτοεμφανίστηκε στην παραγωγή του μοντέλου T της αυτοκινητοβιομηχανίας Ford. Όπως παρουσιάζεται και στο ακρωνύμιο TPS, η έμφαση δίνεται στο παραγωγικό σύστημα. Αυτό όμως δεν περιορίζεται από την υιοθέτηση θεωριών της παραγωγής, αλλά από εκτεταμένη παρατήρηση και εκτίμηση στον τρόπο με τον οποίο είναι εφικτή η ελαχιστοποίηση των αποβλήτων, βελτιστοποιώντας ταυτόχρονα την απόδοση των διαδικασιών, ελαχιστοποιώντας την κατηγορία αποβλήτων Mura. Εκτός από τις τεχνικές που χρησιμοποιούνται όπως της παραγωγής σε επίπεδα (product leveling) που αξιοποιείται για την δημιουργία ενός ομαλού προγράμματος παραγωγής, όπως και της

τεχνικής ελέγχου ενεργοποίησης της παραγωγής (kanban), από το TPS προέρχεται και η έννοια της συνεχούς βελτίωσης [45] όπως παρουσιάστηκε στο δεύτερο κεφάλαιο.

Το TPS αφορά ένα ανεπτυγμένο σύστημα παραγωγής που θεωρείται πλέον ως φιλοσοφία παραγωγής.[45] Για τον τελικό στόχο, της σωστής χρονικά παραγωγής με την ελάχιστη δυνατή δημιουργία αποβλήτων, το σύστημα TPS υλοποιείται μέσω δύο συνιστωσών, τη γενική ιδέα Jidoka, που χαρακτηρίζεται και ως λιτός αυτοματισμός, καθώς και του τρόπου οργάνωσης της παραγωγής Just in Time (JIT).[35]



Σχήμα 4.1: Βασική υλοποίηση λιτής παραγωγής [44]

Στο σχήμα 4.1 παριστάνεται δομικά η υλοποίηση του TPS όπως αναλύθηκε παραπάνω. Στη συνέχεια ακολουθεί η περιγραφή των Jidoka και JIT.

- Λιτός Αυτοματισμός (Jidoka): αναπτύχθηκε σαν κύρια ιδέα από τον Taiichi Ohno, το 1988 και περιγράφει ένα σύνολο από συστήματα αυτοματισμού, σχεδιασμένων με τέτοιο τρόπο ώστε να επιτρέπουν στον εργαζόμενο χειριστή να χειρίζεται πολλαπλά μηχανήματα. [46] Η ενσωμάτωση σε αυτές, έξυπνων δυνατοτήτων, γίνεται μέσω αυτόματης διακοπής της διαδικασίας είτε από τον χειριστή ή από την ίδια τη μηχανή στην περίπτωση ενός αναπάντεχου προβλήματος είτε αν προκύψει κάποιο θέμα στην ποιότητα του προϊόντος προερχόμενο από το υφιστάμενο μηχανήμα [35].



Η πρώτη γενιά των συστημάτων Jidoka περιελάμβανε μηχανικές συσκευές γνωστές ως Poka-Yoke ικανών να εντοπίζουν μη ομαλή κατάσταση της κατασκευαστικής διαδικασίας, διακόπτοντας της παραγωγική διαδικασία για να μην συμβάλει στην ολοκλήρωση κατασκευής ενός ελαττωματικού προϊόντος.

Η επόμενη γενιά αναβαθμίζεται με τη προσθήκη ενός συστήματος που ονομάζεται Andon που αφορά σύστημα με οπτικά ή ηχητικά χαρακτηριστικά με σκοπό την αποτελεσματική ειδοποίηση των εργαζομένων χειριστών των μηχανών για κάποιο πρόβλημα είτε σε θέμα ποιότητας είτε στην κατασκευαστική διαδικασία. Αποτελεί δηλαδή μέσο οπτικής αναπαράστασης διακοπών που υφίστανται στην παραγωγή λόγω της παρουσίας κάποιου προβλήματος. Η υλοποίηση αυτού του συστήματος συνήθως βασίζεται στο πάτημα ενός κουμπιού όπου δίνεται σήμα μέσω κάποιας σειράς είτε φωτεινές ενδείξεις που συμβολίζουν τη διακοπή της παραγωγής όταν εντοπίζεται κάποιο ελάττωμα.[47]

Η τρίτη γενιά περιλαμβάνει νέο υλικό και δυνατότητες λογισμικού, που δεν εντοπίζουν μόνο προβλήματα αλλά βοηθούν τους χειριστές των μηχανών στη διάγνωση των σφαλμάτων μέσα από αναλογικά και ψηφιακά σήματα από τους εγκατεστημένους αισθητήρες όπως και τη παροχή λιστών από κωδικούς σφαλμάτων γνωστών και ως κανόνων Jidoka.

Οδεύοντας στη τέταρτη βιομηχανική επανάσταση οδηγούμαστε στην τέταρτη γενιά των συστημάτων Jidoka με αναβαθμισμένο υλικό από αισθητήρες, χειριστήρια και προηγμένες αναλυτικές δυνατότητες παρέχοντας τη δυνατότητα της έγκαιρης ανίχνευσης και διορθώνοντας το σφάλμα προτού αυτό εκδηλωθεί.[48] Εφαρμογές του Jidoka 4.0 περιλαμβάνουν συνήθως υπολογιστικά συστήματα που μπορούν να εφαρμοστούν στο χέρι του χειριστή, με τη μηχανή να μπορεί να ενημερώσει τον χειριστή σε πραγματικό χρόνο για αποτυχίες της μηχανής.[49] Σχετικά με τις τεχνολογίες που εφαρμόζονται στο έξυπνο εργοστάσιο θα παρουσιασθούν πιο αναλυτικά στην ενότητα 6.2.



Σχήμα 4.2: Απεικόνιση συστήματος Andon (πίνακας) σε εργοστάσιο της Toyota στην Ιαπωνία [50]

Στο σχήμα αποτυπώνεται το σύστημα Andon όπως υπάρχει στη πραγματικότητα σε εργοστάσιο της Toyota στην Ιαπωνία. Πρόκειται για έναν πίνακα όπου αποτελείται από τις γραμμές παραγωγής 23 έως 29. Με κίτρινο χρώμα απεικονίζεται η γραμμή στην οποία έχει τραβηχτεί το σχοινί που ενεργοποιεί το Andon. Με αυτό το τρόπο ενημερώνεται ο υπεύθυνος για θέμα που υπάρχει στη γραμμή 26. Αν καταφέρει να το επιλύσει άμεσα, ξανατραβάει το σχοινί απενεργοποιώντας το κίτρινο φως. Σε περίπτωση που το θέμα δεν μπορεί να επιλυθεί από τον υπεύθυνο, τότε όλη η γραμμή διακόπτεται, και το χρώμα γίνεται κόκκινο για τη διαδικασία αυτή. Όταν επιλυθεί το θέμα, απενεργοποιείται το κόκκινο φως

και η γραμμή ξαναλειτουργεί. Οποιοσδήποτε χειριστής έχει τη δυνατότητα να διακόψει τη γραμμή παραγωγής αν αντιληφθεί κάτι που θα έχει αρνητικό αντίκτυπο στη ποιότητα του αυτοκινήτου.[50]

- Just in Time: πρόκειται για τη μεθοδολογία που αποτελεί έναν από τους δύο πυλώνες του TPS για την επιτυχή διεκπεραίωση ενός συνόλου απαραίτητων εργασιών για τη παραγωγή του τελικού προϊόντος. Είναι η φιλοσοφία του λιτού παραγωγικού συστήματος, καθώς περιλαμβάνει την απόκτηση των αντικειμένων που χρειάζονται από τη διαδικασία στη προβλεπόμενη σωστή ποιότητα και στη σωστή ποσότητα. Αν η φιλοσοφία αυτή ενσωματωθεί από όλη την εταιρία, τότε φθάνει στην ιδανική περίπτωση στο να εξαλειφθούν τα αποθέματα που δεν είναι απαραίτητα, θεωρώντας τις αποθήκες αχρείαστες. Κάτι τέτοιο είναι ανέφικτο καθώς σε παραγωγικές διαδικασίες για προϊόντα όπως το αυτοκίνητο με πολλούς κωδικούς εξαρτημάτων είναι απαραίτητη η χρήση αποθήκης αλλά στην ελάχιστη δυνατή χρήση της μέσω της φιλοσοφίας JIT.[33]

Αφορά ένα τρόπο οργάνωσης της παραγωγής μέσω παράδοσης και παραλαβής των εξαρτημάτων ακριβώς όποτε χρειάζονται. [51] Στην αυτοκινητοβιομηχανία της Toyota που εφαρμόστηκε αρχικά, τα εξαρτήματα, απαγορευόταν να βρίσκονται στον χώρο παραγωγής, μέχρι να απαιτηθούν καθώς επίσης δεν ήταν διαθέσιμα έως ότου η διαδικασία συναρμολόγησης ήταν ενεργή.[51] Το αποτέλεσμα είναι το μειωμένο κόστος αποθήκευσης όπως και το μειωμένο απόθεμα. Επιπλέον επρόκειτο για μια διαδικασία με πολλά επίπεδα. Το πρώτο επίπεδο είναι να συγκεντρωθεί και να καταγραφεί το τωρινό απόθεμα. Το αποτέλεσμα από αυτή τη διαδικασία είναι οι υπεύθυνοι να καθορίσουν τη ποσότητα των υλικών που θα χρειαστούν στο άμεσο μέλλον.

Έτσι σε ένα εργασιακό περιβάλλον που εφαρμόζεται το Just in Time, το απόθεμα δημιουργείται με βάση τα απαραίτητα στοιχεία και αγοράζονται περισσότερα υλικά όταν κάποια παραγγελία του πελάτη το απαιτεί. Ουσιαστικά αφορά ένα σύστημα έλξης αυτός ο τρόπος παραγωγής. Επιπρόσθετα αυτό το σύστημα δημιουργεί ένα ευέλικτο απόθεμα δημιουργημένο από τις παραγγελίες των πελατών, βελτιώνοντας έτσι την ανταπόκριση της εταιρίας στις απαιτήσεις τους. Τα κύρια μειονεκτήματά του, είναι ότι οποιαδήποτε διακύμανση στις τιμές των προϊόντων επηρεάζει αυτό το σύστημα καθώς εξαρτώνται από το απόθεμα των άλλων εταιριών σε υλικά για προμήθεια, όπως επίσης και οι τυχόν καθυστερήσεις των προμηθευτών σε εξαρτήματα που χρειάζονται άμεσα.[35]

Στη φιλοσοφία JIT αξιοποιείται το σύστημα έλξης (pull) για τον συγχρονισμό των βημάτων στα παραγωγικά στάδια όπως αναλύθηκε στην ενότητα 3.1. Ένα από τα πιο κύρια στοιχεία της JIT μεθοδολογίας αποτελεί το εργαλείο σήμανσης kanban. Είναι σημαντική καθώς αποτελεί έναν αρκετά αποτελεσματικό τρόπο καθορισμού της χρονικής στιγμής εκκίνησης της κάθε παραγωγικής διαδικασίας.[37]

Σε αυτό το σημείο θα πρέπει να γίνει σαφές, ότι η φιλοσοφία JIT δεν αποτελεί μονάχα το εργαλείο kanban ή ο μικρός αριθμός παρτίδων. Για να επιτευχθεί ο στόχος του JIT είναι απαραίτητη η επίτευξη της διαρκούς ροής των υλικών μέσω της αποσυμφόρησης των αποθεμάτων. Επιπλέον αυτή η φιλοσοφία εφαρμόζεται καλύτερα σε περιβάλλον σταθερού παραγωγικού ρυθμού, μέσω της ομαλής και συγχρονισμένης ροής μικρών παρτίδων υλικών.

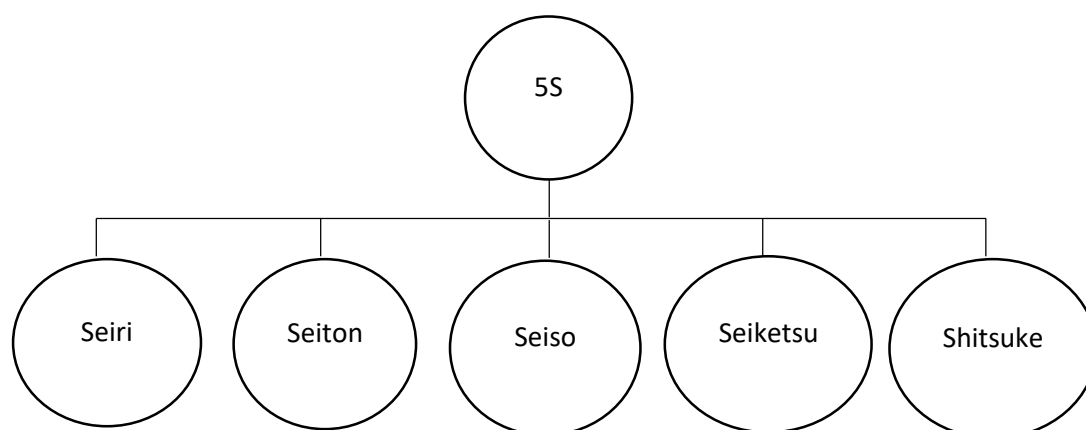
Δηλαδή για την απροβλημάτιστη εφαρμογή της μεθοδολογίας, απαιτείται η μετατροπή της ζήτησης που πολλές φορές δεν είναι σταθερή σε μια ζήτηση σε επίπεδα για τον καθορισμό ενός γενικού ρυθμού επαναλαμβανόμενης παραγωγής. Αυτή αφορά την μηχανική

κατεργασία, συναρμολόγηση και δοκιμή μονάδων που έχουν παραχθεί ή συναρμολογηθεί σε μεγάλο όγκο από τυποποιημένες διαδικασίες καθιστώντας εφικτή τη κατασκευή εξαρτημάτων με σταθερό ρυθμό. Τέτοιου είδους παραγωγή χαρακτηρίζεται από μεγάλες περιόδους παραγωγής και ροής υλικών.[52] Η προσέγγιση JIT μπορεί, μέσω της κατάλληλης χρήσης των τεχνικών που θα αναλυθούν στη συνέχεια, στη μετατροπή ενός τέτοιου είδους παραγωγής που συνήθως προσεγγιζόταν από το σύστημα μαζικής παραγωγής με μεγάλο απόθεμα και μη σταθερή ζήτηση στα μέτρα του λιτού.[52]

## 4.2 Μεθοδολογία 5S

Είναι η μέθοδος εντοπισμού των περιοχών αναποτελεσματικότητας του παραγωγικού συστήματος. Προσφέρει ένα σύνολο από οφέλη όπου περιλαμβάνονται η βελτιωμένη απόδοση, υγεία και ασφάλεια. Η δημιουργία τυποποιημένης εργασίας, αποτελεί βασικό σκοπό χρήσης της μεθόδου. Είναι βασικό εργαλείο της λιτής παραγωγής αφού αποτελεί ένα από τα δύο συστατικά της, και μια βιομηχανία μπορεί να ξεκινήσει την υλοποίηση του λιτού, εφαρμόζοντας αρχικά το 5S. Αποτελεί το πρώτο βήμα βελτίωσης της παραγωγής, διότι είναι γενική και προσαρμόζεται σε όλες τις συνθήκες παραγωγής. Στοχεύει στη δημιουργία ενός τακτοποιημένου και καλά οργανωμένου χώρου εργασίας. Η εφαρμογή αυτής της μεθόδου ωφελεί μέχρι και τη βελτίωση των προϊόντων και υπηρεσιών με αυξημένη παραγωγικότητα με αποτέλεσμα να επιτυγχάνεται το θεμιτό της λιτής παραγωγής που είναι η ευστάθεια των διαδικασιών παραγωγής με παράλληλη μείωση των λειτουργικών κοστών του οργανισμού. Ο στόχος της βιωσιμότητας, αποτελεί σημείο διαρκούς βελτίωσης για κάθε οργανισμό και μπορεί να υλοποιηθεί μέσω της μείωσης των πηγών με την υιοθέτηση της λιτής παραγωγής να αποτελεί μια από τις κύριες στρατηγικές σε αυτή τη κατεύθυνση.

Σε αυτήν την ενότητα θα αναλυθεί η χρησιμότητα της μεθοδολογίας 5S καθώς και στην πορεία υλοποίησής της μέσω των απαραίτητων βημάτων. Από την υλοποίησή της, επιτυγχάνεται η διατήρηση της ποιότητας του οργανισμού. Η σταδιακή εφαρμογή της μέσω του ελέγχου και αξιολόγησης ενός οργανωμένου περιβάλλοντος βελτιστοποιεί την ποιότητα και διατηρώντας τη σε ολοένα και υψηλότερο επίπεδο. Είναι μία ιδέα που ουσιαστικά αναθεωρεί την άποψη για τη διαμόρφωση του χώρου εργασίας και αποτελεί τη βάση για σημαντικές βελτιώσεις.[35],[37]



Σχήμα 4.3: Συστατικά μεθοδολογίας 5S με Ιαπωνικούς όρους [37]

Στο σχήμα 4.3 παρουσιάζονται τα στοιχεία από την οποία προέρχεται η μέθοδος και είναι τα αρχικά αυτών των πέντε. Αποτελούν τον Ιαπωνικό τρόπο οργάνωσης του χώρου εργασίας με καθαρό και ασφαλές τρόπο με στόχο την αύξηση της παραγωγικότητας.

Σε αυτό το σημείο είναι σημαντικό να τονιστεί η διαφορά μεταξύ παραγωγικότητας και παραγωγής. Η διαφορά αυτή έγκειται στο γεγονός ότι η παραγωγή σχετίζεται με την αύξηση των τελικών προϊόντων σε ένα δεδομένο χρονικό διάστημα. Ο ορισμός της παραγωγικότητας αποκλίνει από της παραγωγής καθώς αφορά την αναλογία παραγωγής σε σχέση με την εισροή. Μιά άλλη έννοια της παραγωγικότητας είναι ότι η βελτίωση της δείχνει την αποτελεσματικότητα του δυναμικού παραγωγής για τη κατασκευή ποιοτικών προϊόντων. Αυτή η αύξηση επιτυγχάνονται μέσω των συστατικών του σχήματος 4.3 τα οποία ερμηνεύονται ως:

- Seiri- ταξινόμηση,
- Seiton- οργάνωση σε σειρά,
- Seiso- καθαριότητα,
- Seiketsu- τυποποίηση και
- Shitsuke- διατήρηση. [37]

#### **4.2.1 Seiri- ταξινόμηση**

Είναι το πρώτο βήμα της μεθόδου 5S. Πρόκειται για τη διαλογή μεταξύ των απαραίτητων και των υλικών που δεν χρειάζονται στον χώρο παραγωγής, αποσύροντας όσα δεν αξιοποιούνται, και κρατώντας τα χρήσιμα σε κατάλληλους χώρους. Η εισαγωγή της αρχής αυτής είναι αποτέλεσμα τόσο της ενσωμάτωσής της από την εταιρία όσο και από την προσωπική πειθαρχία του κάθε εργαζόμενου. Το συστατικό αυτό πάει ενάντια σε παλιές ιδεολογίες όπου μεγάλες ποσότητες υλικών αποθηκεύονταν στους χώρους εργασίας χωρίς την άμεση αξιοποίησή τους. Είναι το στοιχείο της αποτελεσματικής αξιοποίησης του χώρου εργασίας, προωθώντας τον διαχωρισμό τους με βάση τη συχνότητα χρήσης τους με στόχο την αποτελεσματικότερη αξιοποίηση του χώρου εργασίας. Επομένως, αποφεύγεται ο σωρός άσχετων πραγμάτων και ελαττώνεται παράλληλα η παρεμπόδιση της ροής των εργασιών.

Το αποτέλεσμα του πρώτου στοιχείου 5S είναι η ασφάλεια και η καθαριότητα του χώρου εργασίας ενώ είναι εύκολος και ο εντοπισμός τυχόν ζημιών που έχουν προκύψει σε κάποιο στάδιο.[37]

#### **4.2.2 Seiton- οργάνωση σε σειρά**

Είναι το δεύτερο βήμα, το οποίο καθορίζει το χώρο όλων των αντικειμένων περιορίζοντάς τα σε συγκεκριμένα σημεία με σκοπό τη μεγιστοποίηση του εκάστοτε χώρου παραγωγής. Το επίκεντρο του συστατικού αυτού είναι τόσο στην περιοχή, όσο και στην ποσότητα υλικού, καθώς και του εξοπλισμού που θα τοποθετηθεί. Τα υλικά που χρησιμοποιούνται συχνότερα θα πρέπει να τοποθετούνται σε σημεία τα οποία θα είναι εύκολα προσβάσιμα από το προσωπικό και όσα αξιοποιούνται λιγότερο συχνά θα πρέπει να τοποθετούνται σε αρκετά πιο απομακρυσμένη περιοχή. Στην περίπτωση που υπάρχουν ράφια αποθήκευσης θα πρέπει να ληφθούν κι αυτά υπόψη. Στο επίπεδο των ώμων θα πρέπει να βρίσκονται τα συχνότερα χρησιμοποιούμενα υλικά και τα σπανίως να τοποθετούνται στο χαμηλότερο επίπεδο. Οι λόγοι της αποθήκευσης των υλικών στον χώρο εργασίας είναι ότι προσφέρεται πιο εύκολος εντοπισμός τόσο του εξοπλισμού όσο και των απαραίτητων υλικών σε σύντομο χρόνο και σε άνετη τοποθεσία, προωθώντας τη σταθερότητα μέσω της πρακτικής

τοποθέτησης εργαλείων και υλικών. Ο στόχος του δεύτερου συστατικού είναι η βελτίωση των συνθηκών εργασίας και κάνοντας το περιβάλλον εργασίας καλύτερο.[37]

#### **4.2.3 Seiso- καθαριότητα**

Είναι το τρίτο βήμα του 5S το οποίο μπορεί να εφαρμοσθεί σε συνδυασμό των προηγούμενων δύο. Ο στόχος αυτού του βήματος είναι στην εξασφάλιση του συχνού καθαρισμού τόσο του χώρου παραγωγής όσο και των μηχανών, εξασφαλίζοντας ότι αυτές βρίσκονται στις βέλτιστες συνθήκες λειτουργίας, καθιστώντας έτσι ευκολότερο και πιο γρήγορο τον εντοπισμό ασταθειών σε ένα καθαρό περιβάλλον. Τα τρία επιμέρους βήματα του στοιχείου της καθαριότητας είναι η καθαριότητα του χώρου, η διατήρηση της εμφάνισής του και τα μέτρα διατήρησης της καθαριότητας. Κάθε εργαζόμενος στην παραγωγή θα πρέπει να είναι εξοπλισμένος με επαρκείς καθαριστικές προμήθειες, τέτοιες ώστε να είναι ασφαλείς για τον καθαρισμό του εξοπλισμού και του χώρου δραστηριότητάς τους χωρίς να βλάπτουν τόσο τον χώρο όσο και τον εξοπλισμό ευθύνης τους. Η αντιμετώπιση της καθαριότητας σαν τη διαδικασία εντοπισμού βοηθάει στον μετέπειτα πιο εύκολο εντοπισμό καταστάσεων που προμηνύουν σφάλμα στον εξοπλισμό όπως διαρροών, δονήσεων, κ.α. Για την εξασφάλιση της συμμετοχής όλου του προσωπικού σε αυτήν τη διαδικασία μπορούν να εφαρμοσθούν προγράμματα καθαριότητας σε ομάδες σε καθημερινή βάση. Μέσω αυτού του τρόπου, εφόσον εξασφαλίζεται ότι ο εξοπλισμός είναι καθαρός κατά την αξιοποίησή του, θα διατηρηθεί έτσι. Επομένως μέσω αυτού του βήματος ο εξοπλισμός λειτουργεί πιο αποδοτικά, υπάρχει λιγότερος χρόνος μη προγραμματιζόμενων διακοπών στην παραγωγή, βελτιώνοντας τις συνθήκες τακτικής συντήρησης και καθιστώντας κανόνα την καθαριότητα.[37]

#### **4.2.4 Seiketsu- τυποποίηση**

Είναι το τέταρτο βήμα της διαδικασίας 5S. Έχοντας εφαρμόσει τα προηγούμενα βήματα, η εταιρία καταφέρει να βρεθεί σε μια ιδανική κατάσταση καθώς ο χώρος είναι καθαρός και οργανωμένος. Παρόλα αυτά το πιο δύσκολο στάδιο είναι στη διατήρηση αυτών των συνθηκών μακροπρόθεσμα. Για την επίτευξη μιας μακροχρόνιας εφαρμογής των προηγούμενων βημάτων, θα πρέπει να τυποποιηθεί ένα σύνολο κανόνων σε συνεργασία με τους εργαζομένους στη παραγωγή που γνωρίζουν καλύτερα τον χώρο και τον εξοπλισμό, και τα πιο συνήθη προβλήματα που προκύπτουν. Η τυποποίηση δηλαδή προσανατολίζεται στη διασφάλιση ότι οι κανόνες ακολουθούνται και η αποθήκευση με τον καθαρισμό τηρούνται καθημερινώς. Προϋπόθεση επιτυχίας της μεθόδου είναι η συμμετοχή όλου του προσωπικού καθώς μέσω της συνεργασίας και της δικής τους συμβολής μπορούν να κατανοήσουν τον ορισμό της ποιότητας και πως αυτή διαμορφώνεται από το κάθε στάδιο. Η ουσία αυτού του βήματος είναι στην εύκολη πρόσβαση του προσωπικού σε ένα σύνολο απαιτούμενων προτύπων για τη διατήρηση της ροής σε ένα λειτουργικό περιβάλλον.[37]

#### **4.2.5 Shitsuke- Διατήρηση**

Είναι το τελευταίο βήμα του 5S και αφορά τη θέσπιση της διατήρησης του καθαρού χώρου εργασίας σαν μια συνεχόμενη διαδικασία. Ο σκοπός είναι η αύξηση της συνειδητότητας των εργαζομένων κατά την εκτέλεση της εργασίας τους όσο της μείωσης και αποφυγής ελαττωματικών προϊόντων. Η διαδικασία της διατήρησης προάγει την εσωτερική επικοινωνία μεταξύ των εργαζομένων και τις ανθρώπινες σχέσεις εν τέλει. Οι προϊστάμενοι μέσω λιστών ελέγχου (check lists) επιθεωρούν τον χώρο. Είναι όμως και ζωτικής σημασίας

η εξήγηση της ανάγκης ελέγχων για την εφαρμογή του 5S, καθώς ο στόχος είναι η διατήρηση του χώρου εργασίας σε υψηλά πρότυπα. Τα οφέλη της εφαρμογής του 5S θα πρέπει μέσω εκπαιδεύσεων, να είναι πλήρως κατανοητά από όλους όσους εργάζονται στην παραγωγή και να υπάρχει διαρκής ενημέρωση αυτών σε όποιες αλλαγές προκύπτουν.[37]

### **4.3 Κυψελοειδής παραγωγή (Cellular Manufacturing)**

Η κυψελοειδής παραγωγή είναι μια προσέγγιση για την οργάνωση μηχανών και ανθρώπων σε ομάδες για την παραγωγή μιας ποικιλίας εξαρτημάτων σε οικογένειες εξαρτημάτων.[53] Ο εντοπισμός και η ομαδοποίηση μερικών εξαρτημάτων της παραγωγής σε ομάδες γίνεται προκειμένου να εκμεταλλευθούν κάποιες ομοιότητες που εντοπίζονται στην παραγωγή τους.[54] Η τεχνική παραγωγής αυτού του είδους λέγεται και τεχνολογία ομάδας. Επομένως η κυψελοειδής παραγωγή αποτελεί εφαρμογή αυτής και βοηθάει τις εταιρίες στη δημιουργία ενός κλειστού τύπου παραγωγής με τη λιγότερη δυνατή δημιουργία αποβλήτων. Ως κυψέλη θεωρείται μία μικρή ομάδα μηχανών[53].

#### **4.3.1 Βάση κυψελοειδούς παραγωγής**

Η διάταξη αυτών των μηχανών και των χειριστών τους γίνεται σε μία αλληλουχία που υποστηρίζει την ομαλή ροή υλικού και εξαρτημάτων με μικρές καθυστερήσεις.[3] Σε αυτήν την αλληλουχία ρέουν ομαδοποιημένα παρόμοια προϊόντα τα οποία πρόκειται να υποστούν επεξεργασία από τον ίδιο εξοπλισμό στην ίδια σειρά. Η αρχή πάνω στην οποία στηρίζεται το συγκεκριμένο εργαλείο είναι ότι παρόμοια πράγματα θα πρέπει να παράγονται ομοίως που σημαίνει ότι πράγματα τα οποία έχουν ίδια σχεδιαστικά χαρακτηριστικά όπως μέγεθος, σχήμα και κατασκευαστικά χαρακτηριστικά όπως μήκος, διάμετρο. Επιπλέον είναι προτιμότερη η εργασία σε διαφορετικές ομάδες προϊόντων από ότι εργασία με μεμονωμένα εξαρτήματα. Ομαδοποιούνται τα εξαρτήματα σε μία ομάδα όπως και το σύνολο του εξοπλισμού όπως μηχανές και εργαλεία που απαιτούν επεξεργασία. Με αυτόν τον τρόπο, ο εντοπισμός κάποιου προβλήματος παραγωγής είναι ευκολότερος από τον εντοπισμό εξαρτημάτων που παράγονται μεμονωμένα, άρα εξοικονομούνται χρόνος και προσπάθεια. Η κυψελοειδής παραγωγή απαιτεί από το κάθε ένα κελί να τηρεί τις προδιαγραφές ολόκληρης της παραγωγής και στο καθένα τίθεται κάποιος υπεύθυνος καθιστώντας το κάθε ένα κελί αυτοδιαχειρίσιμο.[53]

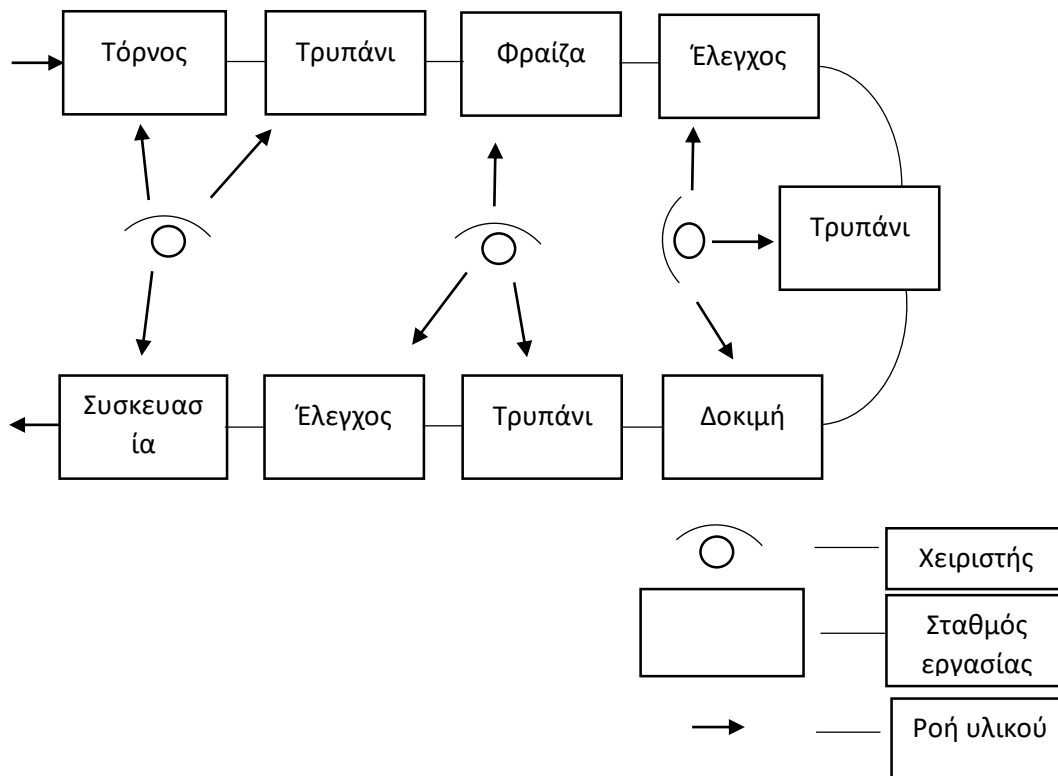
#### **4.3.2 Χαρακτηριστικά κυψελοειδούς παραγωγής**

Οι κυψελοειδείς μονάδες θα πρέπει να τηρούν ένα σύνολο χαρακτηριστικών τα οποία παρουσιάζονται παρακάτω. Κάθε μονάδα (κελί) περιλαμβάνει ένα σύνολο από οικογένειες προϊόντων. Επιπλέον είναι εξοπλισμένο με όλες εκείνες τις μηχανές που απαιτούνται για να ολοκληρωθεί η επεξεργασία τους, συνήθως ο αριθμός αυτών των μηχανών δεν ξεπερνά τις πέντε[53]. Οι στόχοι της κάθε μονάδας δίνονται από τη συνολική παραγωγή, όχι ξεχωριστά στα μέλη της μονάδας, σε συνεννόηση πάντα με τον υπεύθυνο του κελιού. Άρα μέσα στα κελιά υπάρχει ένα δίκτυο συνεργασίας με τον κατάλληλο βαθμό ευκαμψίας με μία ομάδα χειριστών να χειρίζονται την κάθε μονάδα υπό την εποπτεία ενός ηγέτη της μονάδας που έχει ευθύνη του κελιού και εργάζεται αποκλειστικά εκεί. Τέλος το κάθε κελί διεξάγει τη δική του επιθεώρηση με το δικό του πρόγραμμα εργασίας.

#### **4.3.3 Στοιχεία διαφοροποίησης της κυψελοειδούς παραγωγής**

Υπάρχει ένα πλήθος στοιχείων που κάνει την εγκατάσταση του λιτού κελιού προτιμότερο από την παραδοσιακή εγκατάσταση του χώρου παραγωγής. Όπως αναφέρθηκε στον τομέα

των χαρακτηριστικών, η ευελιξία είναι το κύριο στοιχείο διαφοροποίησης καθώς η κυψελοειδής παραγωγή σχεδιάστηκε για αυτόν το λόγο. Η μορφή που συναντάται συνήθως έχει το σχήμα του γράμματος U με σκοπό τη κίνηση των εργαζομένων από μηχανή σε μηχανή στη μικρότερη δυνατή απόσταση. Συνήθως οι μηχανές που είναι εγκατεστημένες σ' αυτό το κελί έχουν μηχανισμό αυτόματου τερματισμού όταν τελειώσουν την επεξεργασία των προϊόντων που τροφοδοτούνται σε αυτές. Επιπρόσθετα μπορεί να υπάρξει απαίτηση από κάποιον καταναλωτή για περισσότερα προϊόντα διαφοροποιημένα είτε στη σχεδίαση είτε σε ανάμιξη χρωμάτων, επομένως ένα τέτοιο κελί είναι σχεδιασμένο έτσι ώστε να μπορεί να ανταποκριθεί σε διαφορετικούς τύπους του προϊόντος με μικρούς χρόνους εγκατάστασης σε σχέση με τον παραδοσιακό τρόπο όπου θα απαιτούσε τη δημιουργία νέας παραγωγής σπαταλώντας πολύ περισσότερο χρόνο. Τέλος σε αυτού του είδους της παραγωγής σε κελιά, οι χειριστές που βρίσκονται σε αυτά θα πρέπει να είναι πολύ-λειτουργικοί. Αυτό σημαίνει ότι θα πρέπει να είναι σε θέση να εκτελέσουν εργασίες που σχετίζονται με την εγκατάσταση, τον ποιοτικό έλεγχο, την αποτρεπτική συντήρηση και τη συνεχή βελτίωση. Επιπλέον να είναι σε θέση κάθε φορά όσο γίνεται να μειώνεται ο χρόνος εγκατάστασης. Επομένως μέσα από τη κατάλληλη εκπαίδευση, ο χειριστής στο κελί αξιοποιείται καλύτερα και είναι πιο αποδοτικός.



Σχήμα 4.4 Αναπαράσταση κυψελοειδούς παραγωγής [55]

Στο σχήμα 4.4 φαίνεται η γραφική αναπαράσταση ενός κελιού που αποτελείται από εννέα διαδικασίες και ανά τρεις χειρίζονται από έναν χειριστή. Η ροή υλικού στο κελί από προηγούμενο ενδεχομένως κελί προκύπτει από το πρώτο βέλος, όπου υλικό αφορά το υπό επεξεργασία προϊόν (WIP). Η ροή είναι ένα WIP τη φορά σύμφωνα με την αρχή της παραγωγής έλξης, περνώντας σταδιακά από όλα τα στάδια που συναντάει στη γραμμή παραγωγής, έως ότου εξέλθει από το κελί στο τελευταίο βέλος και συνεχίσει είτε σε επόμενο κελί ή αν είναι το τελευταίο, στον τελικό έλεγχο και από εκεί για διανομή.



#### 4.4 Τυποποιημένη Εργασία (Standardized Work)

Όπως έχει επισημανθεί και προηγουμένως, οι βιομηχανίες βρίσκονται σε μιά συνεχή αναζήτηση βελτίωσης της συνολικής τους παραγωγικότητας, όπως ορίστηκε στην ενότητα 4.2, προκειμένου να επιβιώσουν. Η τυποποιημένη εργασία αποτελεί ένα τέτοιο εργαλείο και ορίζεται ως οι συγκεκριμένες οδηγίες που βοηθούν στη παραγωγή ενός προϊόντος με τον πιο εφικτό τρόπο. Βοηθάει στον εντοπισμό των περιοχών που χρίζουν βελτίωσης επισημαίνοντας τα απόβλητα σε μια διαδικασία και προσδιορίζει ακριβώς τον τρόπο εκτέλεσης της εργασίας και με αυτό το τρόπο επιτυγχάνει την απόκτηση πλεονεκτήματος σε σχέση με τον ανταγωνισμό. Επομένως είναι αρκετά χρήσιμο καθώς στοχεύει στην ενσωμάτωση των καλύτερων μεθόδων και της ακολουθίας των διαδικασιών όπως και το πλαίσιο κίνησης για την μείωση των αποβλήτων. Στο μοντέλο της λιπής παραγωγής, η τυποποίηση είναι βασικό εργαλείο. Για αυτόν το λόγο χωρίς τυποποίηση δε μπορεί να υπάρξει βελτίωση, καθώς δεν υπάρχει σαφώς ορισμένη οργάνωση της παραγωγής. [34]

Η τυποποιημένη εργασία είναι ένα σύνολο τριών επιμέρους στοιχείων, τα οποία στο σύνολό τους είναι απαραίτητα για την υλοποίηση του εργαλείου της τυποποίησης. Έτσι καθιερώνει ακριβείς διαδικασίες εργασίας για καθέναν από τους χειριστές σε μια παραγωγική διαδικασία που βασίζεται σε τρία στοιχεία:

- καθορισμένο χρόνο κύκλου (standard cycle time),
- τη τυπική σειρά εργασίας (standard work sequence), και
- τυποποιημένο απόθεμα προϊόντων σε διαδικασία (standard work in process inventory).[56]

Η τυποποιημένη εργασία είναι ένα σύνολο διαδικασιών ή αλλιώς μιά καθορισμένη ρουτίνα που στοχεύει στις καλύτερες μεθόδους και ακολουθίες στην κάθε διαδικασία, για κάθε εργαζόμενο.

Οι λειτουργίες ακολουθούνται σύμφωνα με τα καθορισμένα πρότυπα και συχνά αναφέρεται ως μη ευέλικτο πρότυπο εργασίας. Είναι μια μέθοδος όπου οι επιχειρησιακές λειτουργίες είναι σαφώς ορισμένες σε κάθε σταθμό εργασίας του παραγωγικού συστήματος, αποτρέποντας τους χειριστές να εκτελούν τυχάιες λειτουργίες. Μέσω ελάττωσης της τυχαιότητας κινήσεων των χειριστών, επιτυγχάνεται η μείωση μεταβλητότητας του χρόνου κύκλου καθώς η αλληλουχία των διαδικασιών καθορίζεται σύμφωνα με τον χρόνο τακτ προκειμένου να ανταποκριθεί στη ζήτηση. Επομένως αφού στόχος και αυτού του εργαλείου όπως και των υπολοίπων είναι η ελαχιστοποίηση των αποβλήτων η SW στοχεύει στην ελαχιστοποίηση των αποβλήτων Mura.[34]

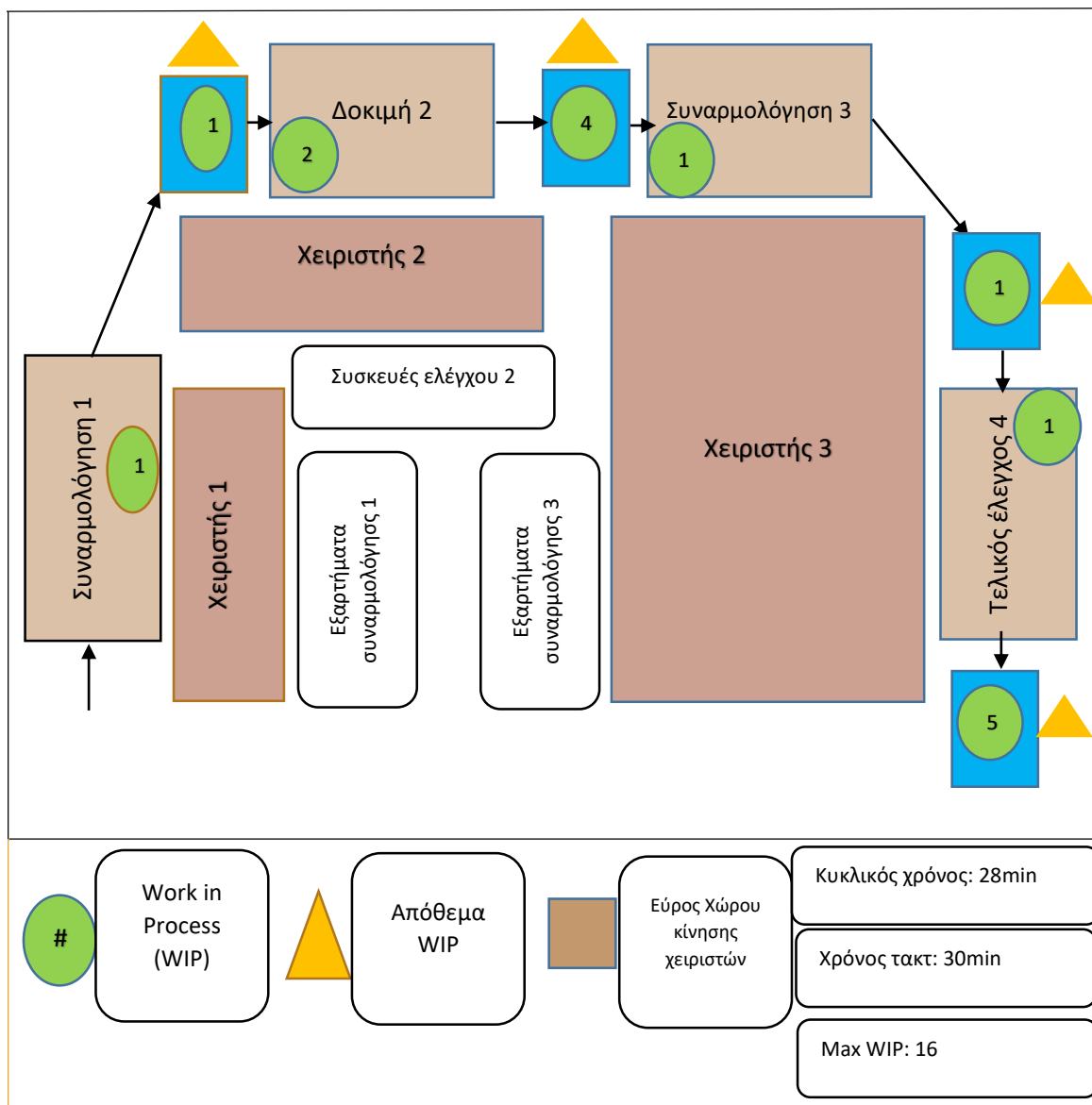
Από την άλλη πλευρά, δε σημαίνει ότι μέσω αυτής της τυποποίησης δε χρειάζονται περαιτέρω βελτιώσεις. Η κάθε τυποποίηση δηλώνει ότι την τωρινή χρονική στιγμή, αυτός είναι ο τρόπος της καλύτερης εκτέλεσης των εργασιών. Η βελτίωση ενός SW είναι μια διαδικασία που δε τελειώνει ποτέ και περιλαμβάνει τα τρία προαναφερθέντα στοιχεία με την ακόλουθη ροή.

Για τον χρόνο takt ισχύει ότι είναι ο ρυθμός κατά τον οποίο τα προϊόντα εξάγονται από μια διαδικασία για την κάλυψη της ζήτησης. Είναι η μέγιστη χρονική διάρκεια παραγωγής ενός προϊόντος σε σχέση με τις παραγγελίες των πελατών. Ο τυποποιημένος takt χρόνος είναι ένα μέτρο διασφάλισης της ομαλής ροής παραγωγής με εξαγωγή ποιοτικών προϊόντων. Τέλος υπολογίζεται ως η αναλογία του διαθέσιμου χρόνου παραγωγής σε μία περίοδο (συνήθως σε μιά βάρδια) προς τη ζήτηση του καταναλωτή την ίδια περίοδο. Κάθε απόκλιση

που τυχόν υπάρξει από τον χρόνο τακτ επιτρέπει τον εντοπισμό και την εφαρμογή διορθωτικών ενεργειών της διαδικασίας αυτής.[57]

Η τυποποιημένη σειρά εργασίας είναι ένα συστατικό της τυπικής εργασίας και θέτει ως στόχο τη τυποποίηση της σειράς διεύθυνσης των εργασιών σε μια συγκεκριμένη διαδικασία. Με αυτόν τον τρόπο καθορίζεται ο πιο σωστός και ασφαλές τρόπος οργάνωσης των εργασιών. Παράλληλα προκειμένου να επιτευχθεί η ομοιόμορφη κατανομή εργασίας, γίνεται εξισορρόπηση των γραμμών παραγωγής όπου καθορίζεται ο απαιτούμενος αριθμός υπαλλήλων σε κάθε γραμμή προκειμένου να ακολουθηθεί ο χρόνος τακτ ενώ συγχρόνως διαβεβαιώνεται ότι όλοι οι εργαζόμενοι επωμίζονται τον ίδιο φόρτο εργασίας αποφεύγοντας χρόνο διακοπής της παραγωγής για επισκευές σε μηχανές (downtime).[57]

Το τυποποιημένο απόθεμα προϊόντων αφορά τις μονάδες που βρίσκονται υπό επεξεργασία σε μηχανές και χρειάζονται για την εξασφάλιση ομαλής λειτουργίας της διαδικασίας.[34] Πρόκειται για την ελάχιστη δυνατή ποσότητα αποθέματος για τη διατήρηση του ρυθμού παραγωγής σε συνεχή ροή χωρίς να μείνουν αχρησιμοποίητες οι μηχανές και να υπάρξει μείωση της παραγωγικότητας. Για τη μείωση του αποθέματος στο ελάχιστο δυνατό χρησιμοποιείται συνήθως το σύστημα Kanban.[57]



Σχήμα 4.5: Παράδειγμα απεικόνισης τυποποιημένης εργασίας[58]

Το σχήμα 4.5 αποτελεί ένα χαρακτηριστικό παράδειγμα υλοποίησης της SW στον χώρο παραγωγής. Συνήθως είναι αναρτημένοι πίνακες στους αντίστοιχους χώρους. Η μορφή από το σχήμα είναι τύπου U άρα αφορά κυκλοειδή παραγωγή και αποτελείται από τέσσερις διαδικασίες. Ο σκοπός της ύπαρξής τους είναι για την ενημέρωση των χειριστών για τις συνθήκες παραγωγής.

Ο χώρος κίνησης των χειριστών είναι σαφώς ορισμένος όπως και η θέση τοποθέτησης των εξαρτημάτων που χρειάζεται ο κάθε σταθμός εργασίας. Στο σχήμα, το τρίγωνο συμβολίζει τις θέσεις προσωρινής αποθήκευσης των υπό επεξεργασία προϊόντων (WIP), και στο τέλος τη θέση προσωρινής αποθήκευσης του τελικού προϊόντος από αυτό το κελί. Στο κύκλο συμβολίζεται ο αριθμός των υπό επεξεργασία προϊόντων ώστε να λειτουργεί απρόσκοπτα το συγκεκριμένο κελί. Όπως φαίνεται στο σχήμα τα υπό επεξεργασία προϊόντα ανά σταθμό είναι ένα τηρώντας την αρχή της παραγωγής έλξης ενώ στο στάδιο της δοκιμής είναι εφικτή και ο ταυτόχρονος έλεγχος ενός παραπάνω τεμαχίου.

Το συνολικό άθροισμα από τους προσωρινούς χώρους αποθήκευσης καθώς και από τις διαδικασίες συμβολίζει το μέγιστο προϊόν υπό απόθεμα, στο σχήμα 4.5 είναι σύνολο 16 WIP.

#### **4.5 Συστήματα Kanban (Kanban Systems)**

Το σύστημα παραγωγής έλξης είναι ο αποτελεσματικός τρόπος εφαρμογής της παραγωγής JIT, ενισχύοντας το επίπεδο παραγωγής και τη διαχείριση των επιχειρησιακών λειτουργιών της βιομηχανίας. Το μοντέλο JIT ουσιαστικά είναι η προσέγγιση οργάνωσης της παραγωγής με σκοπό την αντικατάσταση των συστημάτων MRP για καλύτερη διαχείριση των υλικών, βασισμένο στην αρχή των μηδενικών αποθεμάτων.

Η μέθοδος Kanban, όπως αναφέρθηκε κατά την παρουσίαση της μεθόδου JIT, αναπτύχθηκε για την παραγωγή έλξης προκειμένου να είναι εφικτή η διαχείριση της JIT παραγωγής. Ο όρος kanban σημαίνει σήμα στα Ιαπωνικά και χρησιμοποιείται για τον οπτικό έλεγχο της παραγωγής και των ποσοτήτων του αποθέματος σε ένα παραγωγικό σύστημα, στοχεύοντας στη μείωση τόσο του αποθέματος των τελικών προϊόντων όσο και σε πρώτες ύλες. Η πραγματική ζήτηση είναι αυτή που οδηγεί στην αξιοποίηση αυτού του συστήματος. Αφορά την επικοινωνία των πληροφοριών μέσα στον κύκλο παραγωγής δηλαδή διασφαλίζει την ακριβή κατασκευή των απαραίτητων προϊόντων στο σωστό χρόνο.[33]

Το σύστημα Kanban χρησιμοποιείται για την ενημέρωση της ανάγκης αναπλήρωσης ή παραγωγής ενός προϊόντος. Αυτό το σύστημα εφαρμόζεται με βάση τις παραγγελίες των πελατών, πρόκειται δηλαδή για εφαρμογή του συστήματος JIT(pull system). Η κατάσταση παραγωγής και το απόθεμα αποτυπώνονται με απλές επικοινωνιακές μεθόδους. Τα αποθέματα ειδικά αποτελούν ένα διπλό κόστος αφού περιλαμβάνει το κόστος κατάληψης χώρου στην αποθήκη καθώς και του κόστους μεταφοράς αυτών. Η υλοποίηση αυτής της επικοινωνίας γίνεται μέσω των δύο βασικών τύπων kanban, της απόσυρσης και της παραγωγής. Ο σκοπός του συστήματος Kanban είναι η σωστή ροή των διαδικασιών μέσω του περιορισμού των αποθεμάτων. Οπότε ένα απόβλητο που αντιμετωπίζεται από το σύστημα Kanban είναι αυτό της υπερπαραγωγής. Ανεξαρτήτου τύπου Kanban, το σύστημα αυτό θα πρέπει να παρέχει πληροφορίες της πηγής, του προορισμού, του αριθμού εξαρτήματος ή πρώτης ύλης και την απαιτούμενη ποσότητα. Άρα μπορεί κανείς να συμπεράνει ότι το σύστημα Kanban λειτουργεί ως οδηγός του παραγωγικού συστήματος αφού πληροφορεί άμεσα τη κατανάλωση προϊόντων και τις ανάγκες αναπλήρωσης, παρακάμπτοντας τα υφιστάμενα συστήματα οργάνωσης καθώς προσφέρει άμεσα πληροφορία. Κάθε τέτοιο σύστημα, αναπαριστά, σε κάθε στιγμή το άνω όριο αποθέματος στοκ σε μία αποθήκη.[59]

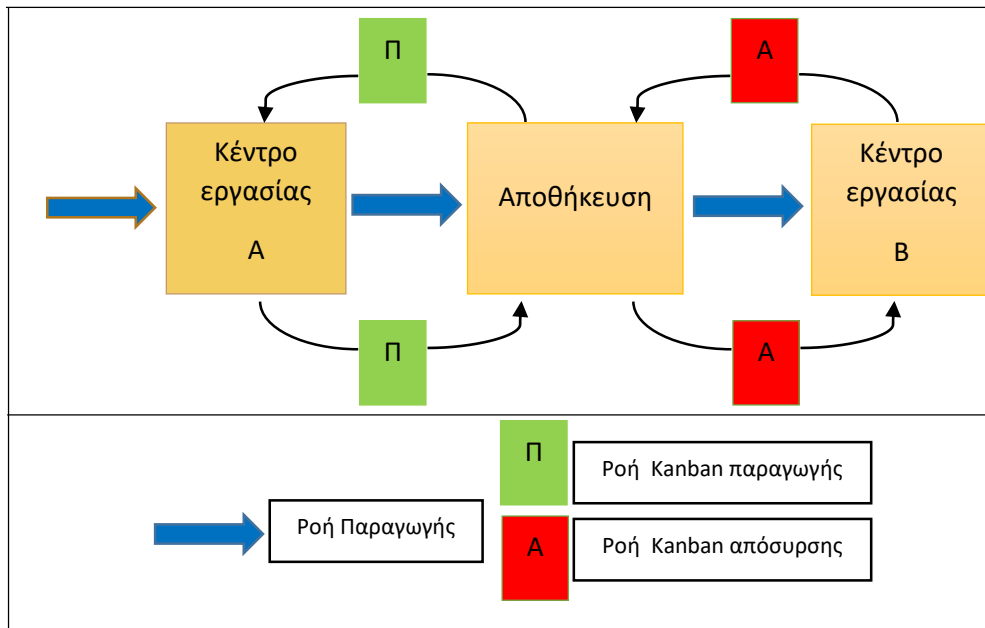
Στο σύστημα παραγωγής έλξης, οι ενέργειες στους σταθμούς επεξεργασίας ενεργοποιούνται από το εξαντλημένο απόθεμα kanban στο σταθμό επεξεργασίας.[60] Τα βασικά στοιχεία που υπολογίζονται κάθε φορά σε ένα σύστημα Kanban είναι η ποσότητα Kanban που ορίζεται ως το πηλίκο του σχεδιασμένου παραγωγικού ρυθμού επί τον χρόνο αναπλήρωσης προς τον διαθέσιμο χρόνο. Το επίπεδο αποθέματος ανάμεσα στα στάδια προσδιορίζεται από την αρχική κατανομή του συνόλου kanban. Έπειτα αφού έχει προσδιοριστεί αυτή η ποσότητα, ακολουθεί το σύνολο των σημάνσεων (συνήθως καρτών Kanban) και υπολογίζεται ως η ποσότητα Kanban προς το μέγεθος παρτίδας.[59]

Η παραγωγή έλξης παρακολουθεί τη παραγωγή από το τελευταίο της στάδιο, δηλαδή από το έτοιμο προϊόν. Αυτό σημαίνει ότι η διαχείριση της παραγωγής εξαρτάται από τη βάση ότι οι εντολές παραγωγής προέρχονται καθαρά από τις απαιτήσεις των πελατών. Ο έλεγχος λοιπόν ξεκινάει από το τελευταίο στάδιο που συνήθως είναι το στάδιο της τελικής συναρμολόγησης που διαθέτει το τελικό προϊόν. Αν υπάρχουν τα υλικά που χρειάζονται ολοκληρώνεται το προϊόν, διαφορετικά τα απαραίτητα στοιχεία αποσύρονται από το προηγούμενο κέντρο εργασίας, ακολουθώντας αυτή τη διαδικασία σε κάθε παραγωγικό στάδιο, φθάνοντας μέχρι τους προμηθευτές.[52]

Ένα τέλεια λιτό παραγωγικό σύστημα είναι εκείνο που λειτουργεί χωρίς απόθεμα στοκ. Αυτό σημαίνει ότι μεταξύ των σταδίων παραγωγής συνδέονται οι σταθμοί εργασίας με μηδενικό απόθεμα, δηλαδή υπάρχει η μέγιστη παραγωγική διαθεσιμότητα και σε πλήρη συγχρονισμό. Ένα τέτοιο λιτό σύστημα αν και ιδανικό, δε γίνεται να υπάρξει, λόγω της μεταβλητότητας που υπάρχει σε ένα εργοστασιακό περιβάλλον, τόσο από το ανθρώπινο δυναμικό έως τις μηχανές. Έτσι δημιουργείται το απόθεμα και ο στόχος του συστήματος Kanban είναι η μείωσή του στο ελάχιστο δυνατό απόθεμα μεταξύ των παραγωγικών διαδικασιών.[37] Τα είδη των συστημάτων kanban είναι τριών ειδών. Το πρώτο είναι το σύστημα καρτών. Τα συστήματα Kanban αποτελούν συνήθως κάρτες που αντιπροσωπεύουν ένα ευέλικτο σύστημα προγραμματισμού προωθώντας κλειστού τύπου συνεργασία μεταξύ δύο διαδικασιών.[52]

#### **4.5.1 Σύστημα δύο καρτών Kanban**

Είναι κάρτες ή φύλλα χαρτιού που συνοδεύουν μία παρτίδα υλικού. Αυτές οι κάρτες περιγράφουν λεπτομερώς το προϊόν που χρησιμοποιείται και τι ποσότητα χρειάζεται. Όταν ολοκληρώνεται η διαδικασία που χρησιμοποιεί υλικά της κάρτας kanban τότε αυτή επιστρέφεται στην προηγούμενη διαδικασία και λειτουργεί ως εντολή για την παρασκευή υλικών αναπλήρωσης. Σε ένα σύστημα πολλαπλών καρτών η διαδικασία συνήθως περιμένει για την επιστροφή ενός συνόλου καρτών πριν από την παρασκευή της επόμενης παρτίδας.[61]



Σχήμα 4.6: Αναπαράσταση συστήματος Kanban 2 καρτών [62]

Στο σχήμα 4.6 φαίνεται η λειτουργία ενός συστήματος kanban 2 καρτών. Κάθε σταθμός εργασίας διακόπτεται από τον επόμενο από την παρεμβολή ενός σημείου αποθήκευσης. Ένα σημείο αποθήκευσης υπάρχει πριν και ένα μετά τη δραστηριότητα παραγωγής. Η προηγούμενη αποθηκεύει τα υλικά εισόδου ενώ η επόμενη αποθηκεύει τη παραγωγή της. Οι δύο κάρτες λοιπόν σε αυτού του είδους συστήματα είναι το kanban απόσυρσης και το kanban παραγωγής. Μέσω του kanban απόσυρσης, ορίζεται η ποσότητα υλικού που θα πρέπει να αποσύρει η επόμενη διαδικασία (B) από το προηγούμενο στάδιο ενώ το kanban παραγωγής ορίζει ως εκείνη τη ποσότητα που θα πρέπει να παρασκευασθεί από το προηγούμενο στάδιο (A) για την αντικατάσταση των αφαιρεθέντων εξαρτημάτων.

Άρα κάθε κωδικός εξαρτήματος χαρακτηρίζεται από ένα kanban απόσυρσης και ένα παραγωγής, για τη κυκλοφορία σε κάθε ζευγάρι σταθμών.[63]

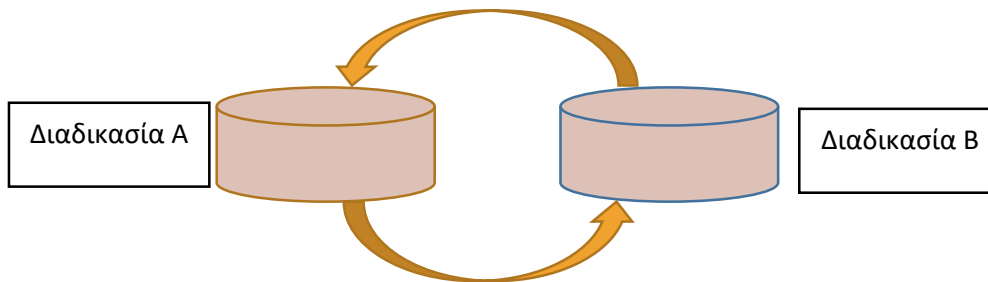
manufactus		Product Line 1		KANBAN			
Supply source / Quelle <b>PWH-MSTK</b>		Demand source / Senke <b>VERZ</b>		Control code / Registreurnummer <b>0906928 - C1</b>			
Material <b>0906928</b>		Materialdescription / Materialkurztext <b>Bosch Polkern 1 263 104 811</b>					
		Size / Menge <b>320'000</b>				Base unit / Mengeneinheit <b>ST</b>	
		Shipping unit / Transporteinheit <b>1 x</b> <b>14 x</b>					
Printed / Gedruckt: 02/08/2008		Kanban ID: 0906928C110022					

Σχήμα 4.7: Αναπαράσταση μιας κάρτας Kanban [64]

Στο σχήμα 4.7 απεικονίζεται ένα πρότυπο μίας κάρτας Kanban. Αυτή θα πρέπει να περιλαμβάνει στοιχεία όπως το όνομα και τον αριθμό εξαρτήματος του προϊόντος, μία περιγραφή του αντικειμένου, την απαιτούμενη ποσότητα, το σταθμό εργασίας προορισμού και τις πληροφορίες της διαδικασίας τροφοδοτή.[62]

#### 4.5.2 Σύστημα Kanban δύο κάδων

Το επόμενο σύστημα είναι η χρήση κάδων. Η χρήση των κάδων γίνεται παρόμοια με τη χρήση των καρτών. Αντί όμως οι κάρτες να συνδέονται με τα υλικά, το δοχείο φύλαξης τους γίνεται το στοιχείο kanban. Αυτές θα έχουν ετικέτες με πληροφορίες ομοίως των καρτών για πληροφόρηση της προηγούμενης διαδικασίας ως σήμα έναρξης παραγωγής όταν αδειάσουν.[38] Η άφιξη ενός άδειου κάδου σε προηγούμενο σταθμό εργασίας είναι μια ξεκάθαρη ένδειξη ότι αυτή θα πρέπει να αναπληρώσει τα εξαρτήματα που έχουν χρησιμοποιηθεί από την τωρινή διαδικασία.[65]



Σχήμα 4.8: Αναπαράσταση συστήματος Kanban 2 κάδων [61]

Από το σχήμα 4.8 φαίνονται δύο πανομοιότυποι κάδοι οι οποίοι χρησιμοποιούνται με την ακόλουθη διάταξη.

Η διαδικασία Β χρησιμοποιεί εξαρτήματα τα οποία προέρχονται από την διαδικασία Α. Αφού αδειάσει ο κάδος της διαδικασίας Β, επιστρέφεται στη διαδικασία Α για ανεφοδιασμό. Τη στιγμή που γίνεται αυτό, υπάρχει ένας ήδη γεμάτος κάδος από τη διαδικασία Α, ο οποίος προωθείται στη διαδικασία Β προκειμένου να αντικαταστήσει τον άδειο κάδο έως ότου γεμίσει δείχνοντας μια συνεχή επαναλαμβανόμενη ροή.

#### 4.5.3 Διαρκές υπό επεξεργασία προϊόν

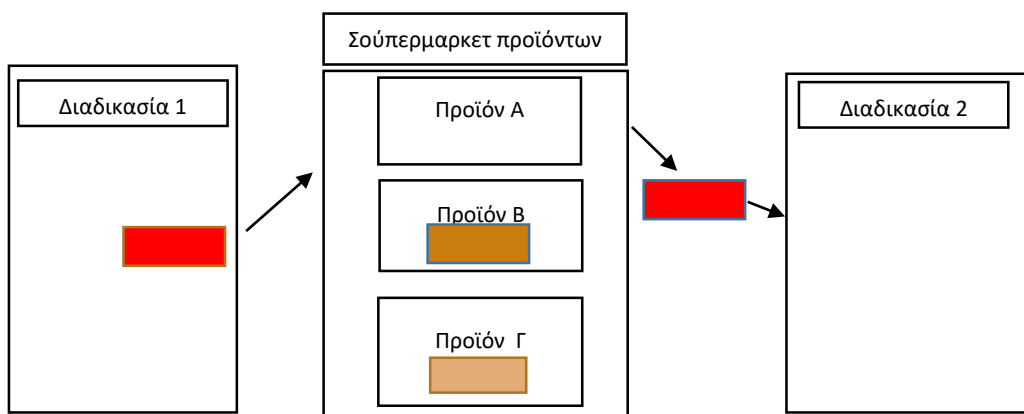
Το τελευταίο σύστημα που θα αναλυθεί είναι η διαρκής εργασία σε εξέλιξη. Αυτό το σύστημα είναι παρόμοιο με το σύστημα Kanban αλλά υπάρχει μια ειδοποιός διαφορά. Το Kanban λειτουργεί συνήθως μέσω καρτών όπου κάθε κάρτα αντιπροσωπεύει μια συγκεκριμένη ποσότητα ενός συγκεκριμένου εξαρτήματος, με το κάθε εξάρτημα να έχει και από μια κάρτα kanban. Όπως αναλύθηκε και παραπάνω, όταν ένα εξάρτημα επεξεργαστεί πλήρως και καταναλωθεί από την επόμενη διεργασία, τότε η κάρτα που είχε ενσωματωμένη επιστρέφει πίσω για να ξεκινήσει η επεξεργασία του άλλου εξαρτήματος.[66]

Το Kanban λειτουργεί με αποτελεσματικότητα στον προγραμματισμό παραγωγής, παρόλα αυτά υπάρχει θέμα στην ύπαρξη της διαφορετικής αναλογίας προϊόντων, κάνοντας δύσκολη τη διαδικασία ύπαρξης συγκεκριμένων καρτών για το κάθε προϊόν. Άλλο ένα θέμα είναι στην ύπαρξη μικρών παραγγελιών αφορώντας δηλαδή σε εργασίες με μικρή συχνότητα. Ενδεχομένως το υπό επεξεργασία προϊόν να είναι για αρκετή ώρα στην αναμονή αφού το σύστημα ανταποκρίνεται καθώς η αλληλουχία των καρτών kanban φθάσει μέχρι την αρχή για να ενεργοποιηθεί η διαδικασία παραγωγής.

Το σύστημα Conwip που αναλύεται σε αυτήν την υποενότητα παρουσιάζει αρκετά όμοια στοιχεία με το Kanban με τη κάρτα πλέον αντί να συσχετίζεται με έναν συγκεκριμένο τύπο προϊόντος, σχετίζεται με συγκεκριμένη ποσότητα. Όταν μια κάρτα Conwip απελευθερώνεται και πηγαίνει πίσω στην αρχή της παραγωγικής διαδικασίας ενημερώνει για το ποια

εξαρτήματα και σε ποια ποσότητα χρησιμοποιήθηκαν για το προϊόν που αποσύρθηκε. Ο στόχος του συστήματος Kanban είναι στη διατήρηση αποθέματος ενός συγκεκριμένου εξαρτήματος σε χαμηλά επίπεδα, ενώ το σύστημα Conwip στοχεύει στην αναπλήρωση της χωρητικότητας δηλαδή του προϊόντος σύμφωνα με τη ζήτηση της αγοράς διασφαλίζοντας έτσι τη διαρκή ύπαρξη WIP.[66]

Τέλος αναλύεται η καταλληλότητα χρησιμότητας των δύο συστημάτων. Όσον αφορά το σύστημα Kanban, σχετίζεται με τη παραγωγή σε μεγάλο βαθμό, μικρής παραλλαγής εξαρτημάτων. Το σύστημα Conwip είναι καταλληλότερο για εξαρτήματα παραγγελίας που είναι σε χαμηλότερο όγκο όμως με πολλές παραλλαγές. Ένα υβριδικό σύστημα που θα μπορούσε να ενσωματώνει και τα δύο είδους συστήματα θα ήταν ιδανικό με τις κάρτες Kanban να ενσωματώνονται στα εξαρτήματα μεγάλου όγκου παραγωγής και το Conwip στα τμήματα χαμηλού.[66]



Σχήμα 4.9: Αναπαράσταση συστήματος CONWIP [61]

Το σύστημα Conwip είναι ένα σύστημα που μοιάζει με τη χρήση ραφιών σουπερμάρκετ συνήθως σε τελικά στάδια παραγωγής ενώ το kanban βρίσκεται θέση στα ενδιάμεσα στάδια.[61] Από το σχήμα 4.9 φαίνεται η αναπαράσταση της υλοποίησης ενός συστήματος Conwip μεταξύ δύο διαδικασιών. Στο σουπερμάρκετ προϊόντων υπάρχουν τρία προϊόντα. Η διαδικασία 2 η οποία μπορεί να αποτελεί στάδιο αποστολής αποσύρει το προϊόν Α από το σουπερμάρκετ. Οπότε με την αφαίρεση του προϊόντος Α από τη διαδικασία 2, ο κενός χώρος θα πρέπει να καλυφθεί, δίνοντας σήμα στην προηγούμενη διαδικασία 1 για αναπλήρωση του προϊόντος.

#### 4.6 Παραγωγή σε Επίπεδα (Production Leveling)

Η εξομάλυνση της παραγωγής ή αλλιώς Heijunka στα Ιαπωνικά είναι η τεχνική μείωσης της αστάθειας άρα της μείωσης των αποβλήτων. Ο σκοπός αυτού του εργαλείου είναι η παραγωγή ενδιάμεσων αγαθών με συνεχή ρυθμό όπου η περαιτέρω επεξεργασία τους προς την ολοκλήρωσή τους διεξάγεται με έναν σταθερό και προβλεπόμενο ρυθμό. Σύμφωνα με τη θεωρία Heijunka η τελική γραμμή συναρμολόγησης δε θα πρέπει να προορίζεται για ενός είδους προϊόν – ένα μοντέλο αυτοκινήτου για παράδειγμα στην περίπτωση της αυτοκινητοβιομηχανίας. Για την επίτευξη της παραγωγής σε επίπεδα, θα πρέπει να συναρμολογούνται μια ποικιλία μοντέλων σε μια παρτίδα σε μικρότερες υπό-παρτίδες των παραγόμενων μοντέλων.[67]

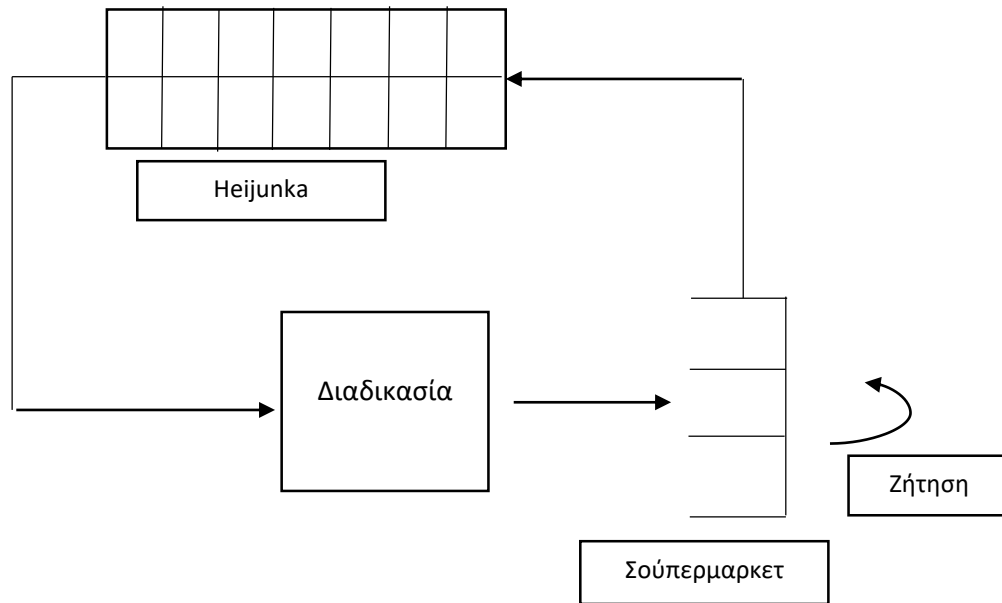


Η εφαρμογή της εξομάλυνσης παραγωγής σε συνθήκες σταθερής ζήτησης θεωρείται εύκολη διαδικασία. Όμως μακροχρόνια αυτή η συνθήκη, αν και ιδανική, είναι δύσκολα επιτεύξιμη. Επομένως θα πρέπει να υπάρξει τρόπος σταθερότητας της παραγωγής σε καταστάσεις διακύμανσης της ζήτησης. Αυτές οι διακυμάνσεις, μπορούν να απορροφηθούν με ένα αυξημένο επίπεδο αποθέματος ή μέσω της προσθήκης ευελιξίας χωρητικότητας. Επιπλέον μπορεί να προκαλέσουν καταστάσεις υπερωριών για την κάλυψη της ζήτησης είτε σε παραπάνω χρόνο κατάστασης αδράνειας των μηχανών (idle).

Η ύπαρξη υψηλού αποθέματος μπορεί να ικανοποιήσει συνήθως αυτές τις διακυμάνσεις σταθεροποιώντας την παραγωγή αλλά, σημαίνει αύξηση των χρόνων κύκλου και της δημιουργίας μεγάλου όγκου αποθεμάτων, όπου στη λιτή ορολογία αποτελεί δημιουργία αποβλήτου. Από την άλλη μεριά, οι διακυμάνσεις της ζήτησης μπορούν να περάσουν απευθείας στο παραγωγικό σύστημα όπου μέσω της ευελιξίας του θα πρέπει ανταποκριθεί στις απαιτήσεις των πελατών.[68]

Ως ευέλικτο παραγωγικό σύστημα ορίζεται εκείνο που μπορεί να αντιδράσει στις ξαφνικές μεταβολές της ζήτησης μέσω της απευθείας εισαγωγής των παραγγελιών στο παραγωγικό σύστημα.[69] Η οργάνωση ενός παραγωγικού συστήματος το οποίο θα είναι τέλεια ευέλικτο, με μηδενικό απόθεμα τελικών προϊόντων, είναι δύσκολη διαδικασία καθώς απαιτεί υπερωρίες, περισσότερο εξοπλισμό και προσωπικό δυναμικό. Η λύση από τη λιτή παραγωγή προσφέρεται μέσω του εργαλείου *heijunka* που αποτελεί την ισορροπία μεταξύ επιπέδων αποθέματος και ευελιξίας.[68] Η υιοθέτηση αυτού του εργαλείου έχει λάβει ενδιαφέρον καθώς το αποτέλεσμα είναι η εξομάλυνση της παραγωγής με καλύτερο έλεγχο του αποθέματος των τελικών προϊόντων. Στην περίπτωση ύπαρξης αβεβαιότητας της ζήτησης, υπάρχουν δύο προσεγγίσεις αντιμετώπισης. Η πρώτη αφορά την εξομάλυνση ζήτησης. Αυτή αφορά το τμήμα πωλήσεων και του μάρκετινγκ της εταιρίας, ενώ η δεύτερη που αφορά την εξομάλυνση παραγωγής αφορά το παραγωγικό της τμήμα. Εκεί η εφαρμογή του φέρνει σταθερότητα στη παραγωγή μετατρέποντας τις όποιες αστάθειες ζήτησης σε ομοιόμορφη και προβλεπόμενη παραγωγική διαδικασία.[68]

Ο τρόπος υλοποίησης είναι μέσω κυκλικού προγραμματισμού. Μέσω αυτού υπάρχουν πλεονεκτήματα τόσο στον εντοπισμό διαταραχών σε πιο σύντομο χρόνο όπως και στην ελάττωση του χρόνου συντονισμού των μηχανών. Προϋπόθεση για την υλοποίηση του εργαλείου αυτού είναι η χρήση και άλλων εργαλείων της λιτής παραγωγής πριν την ενσωμάτωση του συγκεκριμένου, όπως το σύστημα *kanban*. Τέλος είναι απαραίτητο να επισημανθεί σε αυτό το σημείο ότι στο *heijunka* είναι απαραίτητο ένα απόθεμα ασφαλείας έτοιμων προϊόντων το οποίο θα απορροφά τις διακυμάνσεις της ζήτησης. Επομένως προκαλείται αύξηση του αποθέματος καθώς είναι απαραίτητο για τη σταθερότητα στον χώρο παραγωγής. Με αυτόν τον τρόπο το ενδιαφέρον προσανατολίζεται στη μείωση του χρόνου συντονισμού των μηχανών για τη μετάβαση στην παραγωγή από την παραγωγή ενός προϊόντος σε ένα διαφορετικό, που στη συνέχεια θα οδηγήσει στη μείωση των αποθηκευμένων μονάδων προϊόντος άρα σε λιγότερο απόθεμα που είναι και το θεμιτό στη λιτή παραγωγή.[68]



Σχήμα 4.10: Απεικόνιση παραγωγικού συστήματος ελεγχόμενο από το εργαλείο Heijunka[68]

Στο σχήμα 4.10 φαίνεται ένα τυπικό παραγωγικό σύστημα ελεγχόμενο από το εργαλείο heijunka. Η ζήτηση καλύπτεται από το σουπερμάρκετ. Το σουπερμάρκετ είναι στοιχείο της λιτής παραγωγής (παρουσιάστηκε αρχικά στην υποενότητα 4.5 στο σύστημα Conwip). Είναι το απόθεμα με καθορισμένη φυσική θέση και ποσότητα για τον κάθε τύπο προϊόντος. Άρα η ζήτηση δεν καλύπτεται απευθείας από την παραγωγή. Παρεμβάλλεται το σουπερμάρκετ το οποίο τροφοδοτείται από την παραγωγή, συνήθως από το τελικό στάδιο αυτής, και αποσύρονται τα προϊόντα της παραγγελίας του πελάτη.

Οι πληροφορίες που σχετίζονται με τον τύπο προϊόντος και την ποσότητα απόσυρσης μεταφέρονται στο κουτί heijunka. Αυτό είναι ένα κυκλικό πλέγμα χωρισμένο σε ένα πλέγμα κουτιών. Οι σειρές αντιπροσωπεύουν τους τύπους των προϊόντων που παράγονται από τις διαδικασίες που προέρχονται από την τελική διαδικασία που αντιστοιχεί το σουπερμάρκετ και των προηγούμενων αυτής. Ενώ οι στήλες αντιστοιχούν σε συγκεκριμένες χρονικές περιόδους.

Η παραγωγή δεν είναι αποκομμένη από τη ζήτηση και οι παρτίδες παραγωγής δεν είναι ίσες ως προς τις παραγγελίες. Η τρέχουσα ζήτηση θα καλυφθεί κατευθείαν από το σουπερμάρκετ, όσο υπάρχει επαρκές επίπεδο αποθέματος. Στην περίπτωση που υπάρχει έλλειψη αποθέματος σε κάποιο τμήμα της ζήτησης τότε αυτό το τμήμα θα ξαναγίνει ως παραγγελία στο σύστημα και θα καλυφθεί στην αμέσως επόμενη περίοδο. Επομένως το σημαντικό στοιχείο εδώ είναι ότι υπάρχει πλήρης κατανόηση της ζήτησης και δε πρόκειται να υπάρξει κάτι που θα χαθεί λόγω τυχόν ελλείψεων που ενδεχομένως να προκύψουν.[68]

## 4.7 Χαρτογράφηση ροής αξίας (Value Stream Mapping)

### 4.7.1 Εισαγωγή

Ο παραγωγικός κλάδος αντιμετωπίζει την πρόκληση της γρήγορης ανταπόκρισης στις διαρκώς μεταβαλλόμενες ανάγκες των καταναλωτών. Το αποτέλεσμα είναι η αγορά να απαιτεί όλο και περισσότερα διαφοροποιημένα προϊόντα στη μικρότερη δυνατή τιμή. Η θεωρία των οικονομιών κλίμακας είναι παρωχημένη καθώς όπως προαναφέρθηκε προκαλεί πληθώρα αποβλήτων. Οι εταιρείες παραγωγής οφείλουν να εφαρμόσουν δράσεις όπου θα μειώσουν τα εσωτερικά τους κόστη και παράλληλα θα αυξηθεί η ποιότητα των προϊόντων τους. Επιπλέον, οι εταιρείες καλούνται να προσφέρουν ποικιλία προϊόντων στα μέτρα των καταναλωτών όπως φάνηκε και στην έρευνα στην ενότητα 3.1.

Οι δύο στρατηγικές που προσφέρουν στον καταναλωτή ποικιλία και χαμηλό κόστος είναι η λιτή παραγωγή και η μαζική παραμετροποίηση. Πρόκειται για συμπληρωματικές θεωρίες και οι λιτοί κατασκευαστές αναζητούν τρόπους μαζικής παραμετροποίησης των προϊόντων τους. Αυτές οι στρατηγικές αποτελούνται από ένα σύνολο τεχνικών όπου περιλαμβάνεται η δημιουργία οικογένειας προϊόντων με την ενσωμάτωση μηχανισμών ελέγχου υλικών όπως kanban και τυποποιημένων προϊόντων στα πρότυπα της θεωρίας της λιτής παραγωγής.[70]

Επιπλέον σύμφωνα με τους Gilmore και Pine [71] παρουσιάζονται τέσσερις προσεγγίσεις της μαζικής παραμετροποίησης που εφαρμόζονται στα λιτά παραγωγικά συστήματα.

Η πρώτη προσέγγιση είναι η συνεργατική προσαρμογή. Μέσω αυτής διεξάγεται ένας διάλογος με πελάτες για προσδιορισμό των αναγκών τους, για τον προσδιορισμό ακριβούς πρότασης για την ικανοποίηση των αναγκών τους και τη δημιουργία για αυτούς, προσαρμοσμένων προϊόντων. Αυτή η προσέγγιση ταυτίζεται με τη μαζική παραμετροποίηση αλλά και από τη λιτή παραγωγή για τη συνεχή αναζήτηση των αναγκών των καταναλωτών και στη μετατροπή σε τεχνικές προδιαγραφές μέσω τεχνικών όπως της QFD.

Η δεύτερη προσέγγιση λέγεται προσαρμοστική εξατομίκευση, όπου προσφέρεται ένα τυποποιημένο προϊόν, παραμετροποιήσιμο και σχεδιασμένο με τέτοιο τρόπο που να επιδέχεται αλλαγές από τους ίδιους τους καταναλωτές. Σε αυτήν τη στρατηγική δηλαδή χρησιμοποιείται αρθρωτός σχεδιασμός των προϊόντων προκειμένου να μπορούν να παραμετροποιηθούν μέσω της προσθήκης συγκεκριμένων τμημάτων τα οποία πιθανόν να πωλούνται ξεχωριστά από την εταιρία.

Στην τρίτη στρατηγική που λέγεται αισθητική εξατομίκευση παρουσιάζεται ένα τυποποιημένο προϊόν διαφορετικά σε διάφορους πελάτες. Αυτή η στρατηγική εμφανίζεται πολύ συχνά στην παραγωγή καθώς για το ίδιο προϊόν διαφορετικοί πελάτες θέλουν διαφορετική συσκευασία είτε αποστολή.

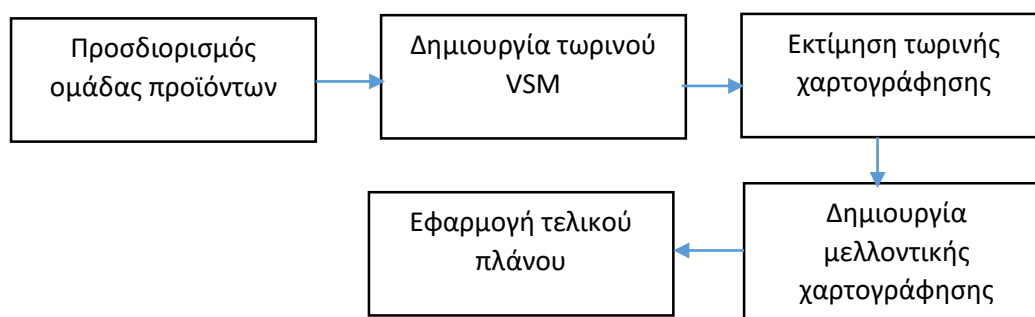
Η τέταρτη και τελευταία στρατηγική λέγεται φανερή εξατομίκευση. Αυτή παρέχει στον κάθε καταναλωτή μοναδικά προϊόντα χωρίς αυτοί να γνωρίζουν ότι αυτά τα προϊόντα έχουν εξατομικευθεί για αυτούς. Σ' αυτήν τη στρατηγική, η εταιρία παραγωγής θέλει να καλύψει αναμενόμενες ανάγκες των καταναλωτών καινοτομώντας με τη γρήγορη εισαγωγή στην αγορά νέων προϊόντων που θα ικανοποιούν τους πελάτες. Προς την επίτευξη του σκοπού στο να γίνει η εταιρία παραγωγής λιτή και μαζικά εξατομικευμένη είναι η παροχή στον καταναλωτή της προσφοράς καθαρής αξίας και στη γνώση για τον τρόπο αντιστοίχησης της ζήτησης των καταναλωτών με τις εσωτερικές διαδικασίες της παραγωγής και τις τεχνικές προδιαγραφές αυτής.[70]

Το εργαλείο χαρτογράφησης ροής αξίας είναι εκείνο που βοηθάει στην άμεση επισήμανση των περιοχών που χρίζουν βελτίωσης για την εκπλήρωση των τεχνικών προδιαγραφών της μαζικής εξατομίκευσης (mass customization).

#### 4.7.2 Μεθοδολογία VSM

Είναι η τεχνική που οπτικοποιεί τη διαδικασία μετατροπής των πρώτων υλών σε τελικά προϊόντα. Εφαρμόζεται από τους οργανισμούς που υιοθετούν τη λιτή φιλοσοφία και ο στόχος χρήσης του είναι η δημιουργία μιας τωρινής κατάστασης και μιας μελλοντικής χαρτογράφησης ροής αξίας προκειμένου να αντιληφθεί που η διαδικασία παραγωγής χρίζει βελτιώσεων μέσω κατηγοριοποίησης των δραστηριοτήτων σε ενέργειες προστιθέμενης και μη, αξίας. Το VSM περιλαμβάνει μερικές δραστηριότητες μη προστιθέμενης αξίας που δεν μπορούν να εξαφανιστούν καθώς είναι απαραίτητες στις διαδικασίες όπως οι ποιοτικοί ελέγχοι. Άρα η βοήθεια που προσφέρει η χρήση αυτής της τεχνικής είναι η διάκριση των ενεργειών, στη μείωση των χρόνων κύκλου και του χρόνου οδηγού μέσω της μείωσης των χρόνων επεξεργασίας από τις ενέργειες μη προστιθέμενης αξίας. Επομένως με βάση την αρχή της λιτής παραγωγής, επιτυγχάνεται η συνεχής βελτίωση στην τωρινή κατάσταση των διαδικασιών.[72] Το VSM δηλαδή αποτελεί το άθροισμα όλων των ενεργειών προστιθέμενης και μη αξίας που λαμβάνονται για την κατασκευή ενός μέρους μιας οικογένειας προϊόντων από πρώτες ύλες.[73]

Είναι μια γραφική τεχνική που περιλαμβάνει όσες πληροφορίες αφορούν την παραγωγική διαδικασία. Η οπτική αναπαράσταση απεικονίζεται από την χρονική ακολουθία χρήσης ανθρωπίνων πόρων μέχρι τη ροή υλικών και πληροφοριών.[73] Τα βήματα που απαιτούνται για τη δημιουργία του VSM παρουσιάζονται στο ακόλουθο σχήμα:



Σχήμα 4.11: Βήματα δημιουργίας χαρτογράφησης ροής αξίας [73]

Από το σχήμα 4.11 προκύπτει ένα σύνολο βημάτων που χρειάζονται για την υλοποίηση της διαδικασίας της χαρτογράφησης ροής αξίας. Θεωρείται μια μέθοδος που χρειάζεται η παρουσία στον χώρο παραγωγής για τη καταγραφή του συνόλου των χρονικών διαρκειών των παραγωγικών διαδικασιών. Τα βήματα που παρουσιάζονται παραπάνω αναλύονται με τη σειρά ως εξής.

Αρχικά επιλέγεται η οικογένεια προϊόντος. Αυτό σημαίνει ότι σε ένα VSM δεν γίνεται να καταγραφούν όλες οι διαδικασίες. Κάθε φορά επιλέγεται μια οικογένεια προϊόντων για

χαρτογράφηση. Με τον όρο οικογένεια προϊόντων νοείται μιά ομάδα προϊόντων που υφίστανται παρόμοια βήματα επεξεργασίας που εφαρμόζονται από το ίδιο σύνολο μηχανημάτων.

Έχοντας επιλεγεί η οικογένεια προϊόντων, σχεδιάζεται η τωρινή χαρτογράφηση ροής αξίας. Σε έναν χάρτη τωρινής κατάστασης εντοπίζονται ένα σύνολο κυρίως χρονικών στοιχείων τα οποία αναλύονται συνοπτικά ως εξής.

Αρχικά παρουσιάζεται ο χρόνος τακτ (takt time). Υπολογίζεται και περιγράφει το θεωρητικό βαθμό της ζήτησης του καταναλωτή. Ο διαθέσιμος παραγωγικός χρόνος εκφράζεται συνήθως σε δευτερόλεπτα και αφορά σε βάρδιες. Το γινόμενο των διαθέσιμων ωρών εργασίας σε μια βάρδια με τις ημέρες εργασίας ενός μήνα δίνει το τελικό αποτέλεσμα.

Αν για παράδειγμα η βάρδια αποτελείται από 8 ώρες/ημέρα, οι διαθέσιμες ημέρες εργασίας τον μήνα είναι 20 ημέρες τότε ο παραγωγικός χρόνος προκύπτει:

8 ώρες/ημέρα (x) 20 ημέρες/μήνα (x) 3600 sec/h = 576.000 δευτερόλεπτα.

Υποθέτοντας ότι η ζήτηση είναι 9600 μονάδες τότε προκειμένου να καλυφθεί η ζήτηση το προϊόν θα πρέπει να παράγεται κάθε  $576.000/9600 = 60$  sec. Άρα ο χρόνος τακτ είναι ο ρυθμός με τον οποίο τα προϊόντα πρέπει να παράγονται για να ικανοποιήσουν τη ζήτηση με τον υπολογισμό να προκύπτει από τον διαθέσιμο παραγωγικό χρόνο προς τη ζήτηση.

Στη συνέχεια ακολουθεί ο χρόνος κύκλου (cycle time). Όλες οι διαδικασίες για μια ομάδα προϊόντων θα πρέπει να λειτουργούν σε χρόνο μικρότερο του υπολογισμένου χρόνου τακτ. Είναι ο ρυθμός με τον οποίο μια μονάδα προϊόντος (από την ίδια οικογένεια προϊόντων) εξέρχεται από την υφιστάμενη διαδικασία, δηλαδή ο χρόνος από τη μια έξοδο στην επόμενη. [73] Η αξιοπιστία της διαδικασίας καθορίζεται από το πόσο τηρείται η συνέπεια ως προς τον χρόνο κύκλου ο οποίος θα είναι τυποποιημένος για κάθε διαδικασία. Οποιαδήποτε αύξηση του χρόνου αυτού σε σχέση με τον τυποποιημένο χρόνο, ειδικά όταν ξεπεραστεί και ο χρόνος τακτ σημαίνει ότι θα πρέπει να υπάρξει παρέμβαση και έλεγχος της εν λόγω διαδικασίας.

Ο χρόνος αλλαγής (changeover time) είναι ο χρόνος των ενεργειών που απαιτούνται για τη προετοιμασία μιας διαδικασίας για έναν άλλο τύπο προϊόντος και των όποιων τροποποιήσεων, που απαιτούνται για αυτό το προϊόν, της γραμμής παραγωγής. Ορίζεται αλλιώς και ως ο χρόνος εξυπηρέτησης διαφορετικής ομάδας προϊόντων.

Το απόθεμα (inventory) αφορά τα μερικώς έτοιμα προϊόντα της εταιρίας τα οποία αναμένονται να ολοκληρωθούν με σκοπό την ενδεχόμενη πώλησή τους. Το απόθεμα όπως αναλύθηκε και προηγουμένως είναι μια διφορούμενη έννοια. Στο τομέα της λιτής παραγωγής είναι επιθυμητό στον ελάχιστο δυνατό βαθμό.

Ως χρόνος προστιθέμενης αξίας (Value adding time), θεωρείται η χρονική διάρκεια κατά την οποία το υπό επεξεργασία προϊόν περνάει από όλα τα παραγωγικά στάδια. Ο υπολογισμός του γίνεται μέσω του αθροίσματος του χρόνου κύκλου των επί μέρους διαδικασιών.

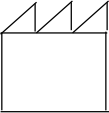

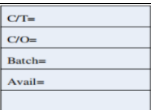




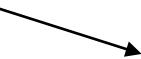


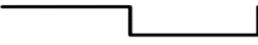
Ο χρόνος μη προστιθέμενης αξίας (Non Value adding time) είναι η ποσότητα του χρόνου σε δραστηριότητες που δεν προσθέτουν αξία στο τελικό προϊόν. Αυτές οι ενέργειες περιλαμβάνουν τις όποιες μεταφορές, το υπό επεξεργασία προϊόν ως απόθεμα, κ.λπ..

Τέλος ορίζεται ο χρόνος ολοκλήρωσης (lead time). Είναι η χρονική διάρκεια που απαιτείται για την ολοκλήρωση της παραγωγής από την αρχή έως το τέλος. Περιλαμβάνει τους χρόνους προστιθέμενης και μη αξίας όπως και το WIP. Αποτελεί το χρονικό διάστημα που θα πρέπει να περιμένει ο καταναλωτής για την ολοκλήρωση μιας μονάδας προϊόντος. Το

πιο συχνό θέμα που απασχολεί συνήθως είναι η παρατήρηση μικρού χρόνου προστιθέμενης αξίας αλλά μεγάλος χρόνος οδηγός. Αυτό μπορεί να ερμηνευτεί ως την ύπαρξη πολλών ενεργειών μη προστιθέμενης αξίας που οδηγεί σε πλεόνασμα στο απόθεμα και στη καθυστέρηση των επιμέρους διεργασιών.

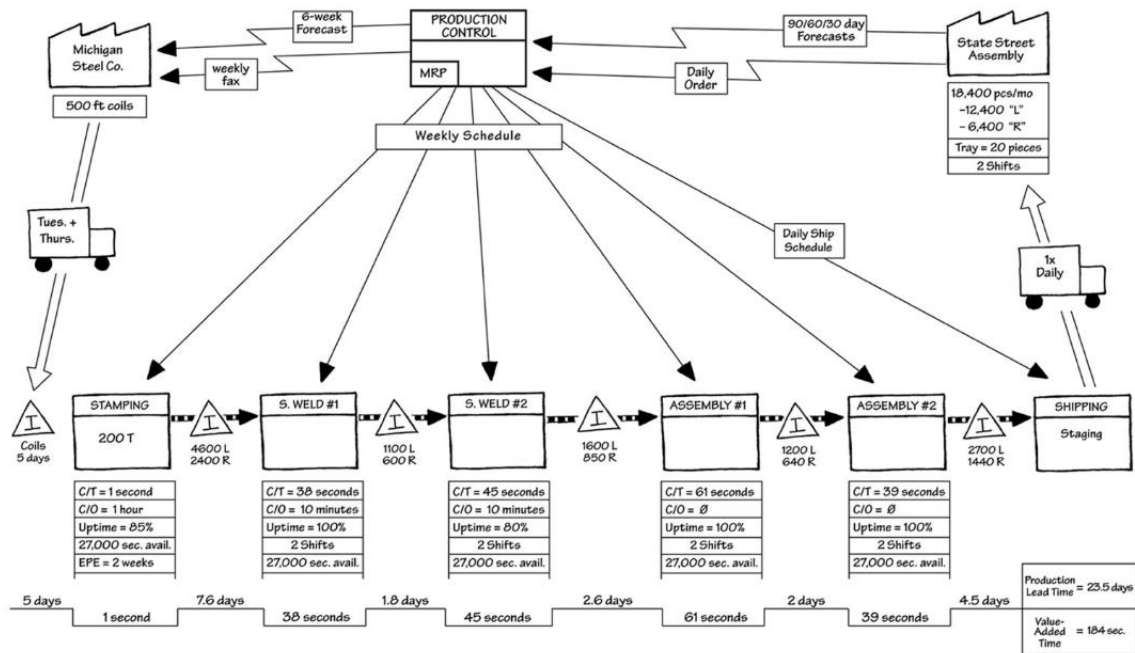
Στη συνέχεια θα παρουσιασθούν τα κύρια σύμβολα τα οποία εντοπίζονται συνήθως σε μία χαρτογράφηση ροής αξίας από τον παρακάτω πίνακα.

#### 4.7.3 Χαρτογράφηση τωρινής κατάστασης

Σύμβολο διαδικασίας		Αν το σύμβολο είναι τοποθετημένο επάνω αριστερά δηλώνει το αρχικό σημείο της ροής των υλικών δηλαδή το προμηθευτή. Αν είναι τοποθετημένο τέρμα δεξιά συμβολίζει το τελικό σημείο της ροής υλικών όπου είναι ο καταναλωτής
		Μιά μηχανική διαδικασία ή ένα τμήμα που το υλικό επεξεργάζεται
		Κουτί δεδομένων που περιλαμβάνει πρόσθετες πληροφορίες για τη διαδικασία που περνάει το υλικό.
		Το απόθεμα που βρίσκεται μεταξύ δύο διαδικασιών
Σύμβολο υλικού		Η μετακίνηση πρώτων υλών από τους προμηθευτές στο εργοστάσιο είτε η αποστολή έτοιμου προϊόντος από το εργοστάσιο στους καταναλωτές
		Η ώθηση υλικού από τη μία διαδικασία στην επόμενη
		Το κέντρο παραγωγής που ευθύνεται για το προγραμματισμό των τμημάτων, των εργαζομένων και των λειτουργιών
Σύμβολο πληροφοριών		Αυτό το σύμβολο δείχνει την απευθείας ροή πληροφοριών συνήθως ως αναφορά
		Αυτό το σύμβολο δείχνει τη μεταφορά πληροφοριών μέσω ηλεκτρονικών μέσων με την μορφή email, τηλεφώνου ή άλλων
		Αυτό το σύμβολο δηλώνει τον αριθμό των υπαλλήλων που εργάζονται σε ένα σταθμό εργασίας
		Αυτό το σύμβολο περιγράφει τη χρονική ροή δηλώνοντας τους χρόνους προστιθέμενης αξίας (κυκλικούς χρόνους) και τις τιμές της μη προστιθέμενης αξίας (αναμονή) Τέλος η λειτουργία του αποσκοπεί στο υπολογισμό του ολικού κυκλικού χρόνου και του χρόνου οδηγού

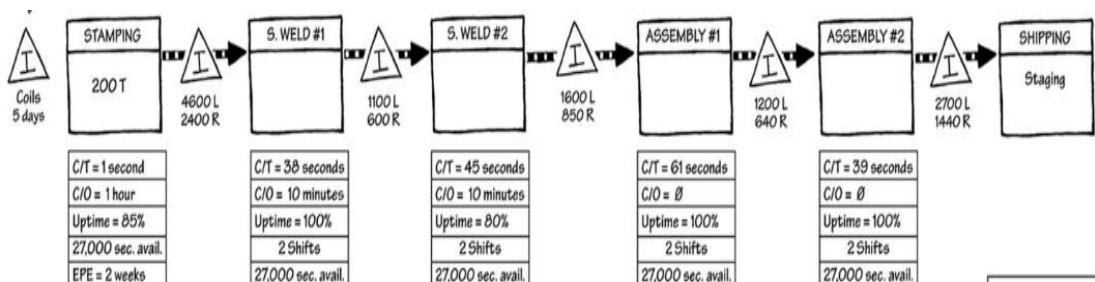
Πίνακας 4.1 Κοινά σύμβολα χαρτογράφησης ροής αξίας [74]

Στον πίνακα 4.1 παρουσιάστηκαν τα κοινά σύμβολα που συναντώνται σε μία χαρτογράφηση τωρινής κατάστασης. Όπως κατηγοριοποιήθηκαν τα σύμβολα σε τρεις ενότητες είναι διότι ο VSM χωρίζεται κατά αυτόν τον τρόπο. Αρχικά θα παρουσιαστεί ένας συγκεντρωτικός VSM τωρινής κατάστασης και στη συνέχεια θα αναλυθεί σε κάθε κατηγορία ξεχωριστά.



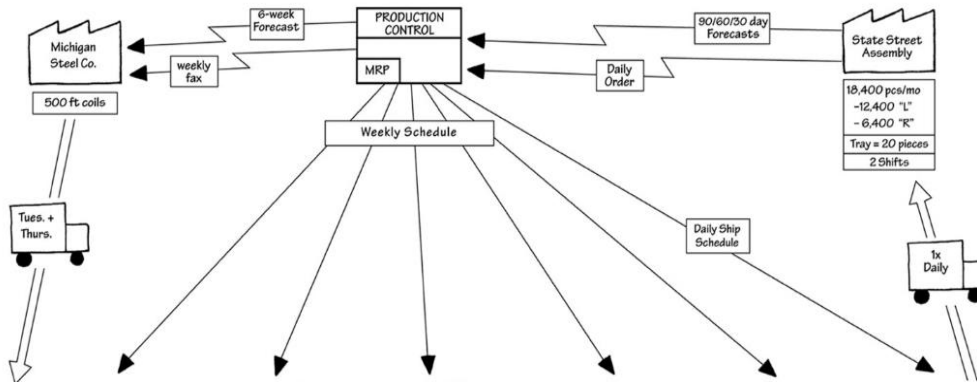
Σχήμα 4.12: Χαρτογράφηση τωρινής κατάστασης [70],[75]

Στο σχήμα 4.12 παρουσιάζεται ένα ολοκληρωμένο VSM το οποίο παρουσιάζει τη δομή ενός παραδοσιακού εργοστασίου. Η πρώτη κατηγορία διαχωρισμού είναι στο μεσαίο μέρος και αφορά τη ροή υλικού. Στο πάνω τμήμα του σχήματος παρουσιάζεται η ροή των πληροφοριών ενώ το τελευταίο αφορά τη χρονική ροή. Για να γίνει πιο κατανοητό, θα αναλυθεί το σχήμα 4.12 στις τρεις κατηγορίες σε επιμέρους σχήματα.



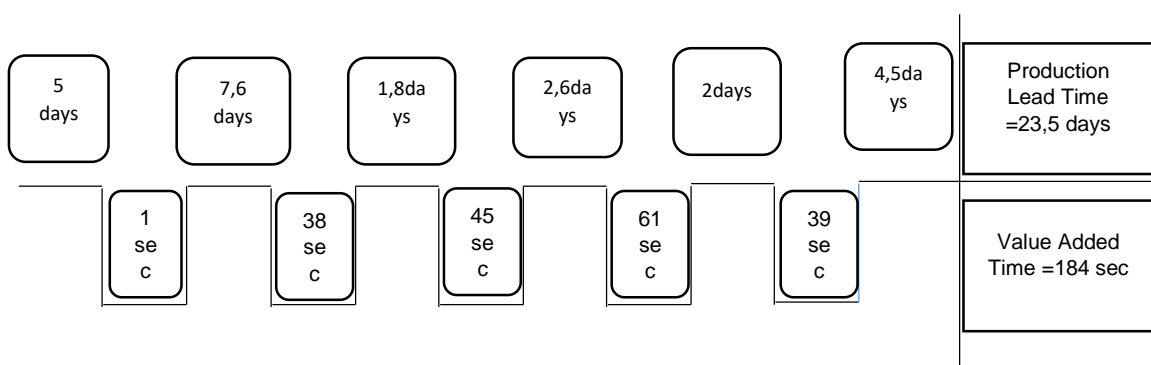
Σχήμα 4.13: Απεικόνιση ροής υλικού [70],[75]

Στο σχήμα 4.13 παρουσιάζεται η ροή υλικού παρουσιάζοντας το σύνολο των επιμέρους διαδικασιών που θα πρέπει να περάσει το υπό επεξεργασία προϊόν για να λάβει τη τελική του μορφή από το τελικό στάδιο. Μεταξύ των διαδικασιών υπάρχει το τρίγωνο που δηλώνει το απόθεμα ανάμεσα σε δύο διαδικασίες. Το σύμβολο της ώθησης ανάμεσα στις διαδικασίες και στο ενδιάμεσο απόθεμα δείχνει τη ώθηση του αποθέματος και τη σειρά ολοκλήρωσης των διαδικασιών.



Σχήμα 4.14: Απεικόνιση ροής πληροφοριών [70],[75]

Στο σχήμα 4.14 φαίνεται πως ρέουν οι πληροφορίες. Τα μεγάλα βέλη δείχνουν την αποστολή των προϊόντων καθώς και τη μετακίνησή τους η οποία γίνεται συνήθως με φορτηγά. Το μεγάλο βέλος στα αριστερά αφορά την μετακίνηση υλικών στην αρχή ως απόθεμα και μετά στην περαιτέρω επεξεργασία του υλικού όπως φαίνεται κι από το σχήμα 4.13. Τα λεπτά βέλη που εξέρχονται καθέτως από τον έλεγχο παραγωγής, που συνήθως πραγματοποιείται με το σύστημα MRP, ωθεί το πρόγραμμα παραγωγής σε κάθε στάδιο παραγωγής ξεχωριστά. Τέλος στο υψηλότερο σημείο του σχήματος 4.14 απεικονίζεται η ροή ηλεκτρονικών πληροφοριών. Από το κέντρο ελέγχου μέσω πρόβλεψης έξι εβδομάδων προκύπτει η παραγγελία για πρώτες ύλες που εδώ σύμφωνα με το σχήμα γίνεται εβδομαδιαία μέσω φαξ. Ενώ από τα δεξιά από το σημείο πώλησης στέλνονται οι καθημερινές παραγγελίες όπως και οι προβλέψεις σε βάθος 30/60/90 ημερών. Δε φαίνεται ο τρόπος επικοινωνίας αλλά και πάλι λόγω σχήματος βέλους γίνεται με κάποιο ηλεκτρονικό μέσο.



Σχήμα 4.15: Απεικόνιση χρονικής ροής [70],[75]



Στο σχήμα 4.15 απεικονίζεται το χρονοδιάγραμμα του τωρινού χάρτη, το οποίο αποτελείται από δύο στοιχεία. Το πρώτο στοιχείο αφορά τον οδηγό χρόνο από κάθε τρίγωνο που απεικονίζει το απόθεμα, όπου συμβολίζει τον χρόνο αναμονής της παραγωγής σε ημέρες και προκύπτει από το άθροισμα των επιμέρους τριγώνων αποθέματος που βρίσκονται πριν από κάθε διαδικασία. Το άθροισμα που προκύπτει είναι 23,5 ημέρες. Το δεύτερο στοιχείο της χρονικής ροής αφορά χρόνο επεξεργασίας ή αλλιώς το χρόνο προστιθέμενης αξίας ή αλλιώς το συνολικό κυκλικό χρόνο ο οποίος προκύπτει από τους επιμέρους κυκλικούς χρόνους των διαδικασιών. Από το άθροισμα των παραπάνω, ο συνολικός χρόνος προστιθέμενης αξίας ισούται με 188 δευτερόλεπτα.

#### 4.7.4 Εκτίμηση τωρινής κατάστασης και προϋποθέσεις VSM

Αφού σχεδιαστεί ο τωρινός VSM θα πρέπει να εκτιμηθεί η κατάστασή του όπως φαίνεται κι από το σχήμα 4.11. Πρακτικά αυτό σημαίνει ότι θα εντοπιστούν οι περιοχές που χρίζουν βελτίωσης. Για το παράδειγμα παρουσίασης του τωρινού VSM, η ανάλυση θα οδηγήσει στην εφαρμογή μεθόδων μετατροπής του σε λιτό καθώς με τη μορφή που φαίνεται από το σχήμα ανταποκρίνεται πιο κοντά σε σύστημα μαζικής παραγωγής. Το σύνολο των προβληματικών περιοχών που εντοπίζονται στηρίζονται στα ακόλουθα στοιχεία.

Αρχικά από το σχήμα 4.13, στη πρώτη παραγωγική διαδικασία, στο κουτί δεδομένων υπάρχει ο δείκτης EPE. Η τιμή του ισούται με 2 εβδομάδες και σημαίνει ότι το μέγεθος της παρτίδας παραγωγής είναι 2 εβδομάδων αξίας του υλικού. Όπου εμφανίζεται ένας τέτοιος δείκτης είναι μέτρο του μεγέθους παρτίδας. Ειδικά αυτός ο δείκτης με μεγάλη τιμή υποδεικνύει μεγαλύτερο μέγεθος αποθέματος, που είναι λογική ακριβώς αντίθετη με τις αρχές της λιτής παραγωγής και της μαζικής εξατομίκευσης. Άλλο ένα στοιχείο είναι το C/O (changeover time). Ο συγκεκριμένος δείκτης πρέπει να είναι μικρός καθώς δείχνει τον συντονισμό των μηχανών για διαφορετικό τύπο προϊόντων. Άρα ο χρόνος εγκατάστασης θα πρέπει να είναι ο ελάχιστος δυνατός για την άμεση ανταπόκριση στις μεταβαλλόμενες απαιτήσεις των καταναλωτών. Ένας επιπλέον δείκτης που φαίνεται στο κουτί δεδομένων λέγεται uptime που σημαίνει τη διαθεσιμότητα του εξοπλισμού. Αυτός ο δείκτης εκφράζεται συνήθως σε ποσοστό και δείχνει τη διαθεσιμότητα του εξοπλισμού. Μικρές τιμές του δείκτη δείχνουν διακοπές στη παραγωγή λόγω βλαβών στις μηχανές. Ο χρόνος οδηγός προς το χρόνο προστιθέμενης αξίας (Value Added Time-VAT) είναι το σημείο της πιο συχνής παρέμβασης για βελτιώσεις. Βρίσκεται στο τελευταίο σχήμα 4.15. Μεγάλη τιμή του οδηγού χρόνου σε σχέση με το VAT δείχνει αναποτελεσματικότητα της ροής, που σημαίνει με τη σειρά του υψηλή συσσώρευση αποθεμάτων στις επιμέρους διαδικασίες.

Με βάση την ανάλυση του τωρινού χάρτη σχηματίζεται ο χάρτης μελλοντικής κατάστασης ο οποίος αποτελεί το προσχέδιο για τις απαιτούμενες αλλαγές. Σ' αυτό φαίνεται η ενσωμάτωση λιτών εργαλείων και μεθόδων με στόχο την ελάττωση παρεμβολών που εμποδίζουν την εφαρμογή της λιτής παραγωγής.

Πριν από τον σχηματισμό του μελλοντικού χάρτη ροής αξίας είναι αρκετά σημαντικό να προσδιορισθεί ένα σύνολο απαιτήσεων που θα πρέπει να πληρούνται προκειμένου να καταστεί δυνατή η δημιουργία μιας αποτελεσματικής μελλοντικής χαρτογράφησης.

Η πρώτη προϋπόθεση που θα πρέπει να πληρείται είναι της ικανότητας. Ικανότητα στην παραγωγική διαδικασία θεωρείται όταν η διαδικασία μπορεί να διεξαχθεί κάθε φορά με το ίδιο αποτέλεσμα. Για την επίτευξη πλήρους ικανότητας, στη λιτή παραγωγή απαιτείται ένας συνδυασμός τόσο ελέγχων των πηγών όπως των μηχανών για τον εντοπισμό σφαλμάτων προτού εκδηλωθούν ως ελαττώματα όπως και συσκευών απόδειξης λάθους (mistake-proofing) των συσκευών poka yoke με σκοπό την απομάκρυνση ελαττωματικών στοιχείων από τη γραμμή παραγωγής οδηγώντας έτσι στην μη χρήση στατιστικού ελέγχου ποιότητας.

Παράδειγμα αποφυγής λάθους θα μπορούσε να είναι ο σχεδιασμός του προϊόντος με φυσικά σχήματα όπου θα είναι εφικτή η εγκατάσταση των τμημάτων που αποτελούν το τελικό προϊόν με σωστό προσανατολισμό.[70]

Η δεύτερη προϋπόθεση είναι της διαθεσιμότητας. Διαθεσιμότητα μιας διαδικασίας ή μηχανής ονομάζεται το ποσοστό του χρόνου όπου μπορεί να λειτουργήσει όταν χρειάζεται. Όταν όμως η διαδικασία υπόκειται σε βλάβες και διακόπτεται συχνά η λειτουργία της σημαίνει ότι η διαθεσιμότητα είναι χαμηλή. Είναι κάτι που θέλει να αποφύγει η εταιρία παραγωγής καθώς θέλει να ανταποκριθεί άμεσα στις απαιτήσεις των πελατών της. Η αύξηση της διαθεσιμότητας των εσωτερικών διαδικασιών επιτυγχάνεται μέσω του TPM, όπως παρουσιάστηκε στο δεύτερο κεφάλαιο, εξασφαλίζοντας ότι η διαδικασία είναι πάντα ικανή να εκτελέσει τις απαιτούμενες εργασίες.

Η τρίτη προϋπόθεση είναι της επάρκειας που σημαίνει ότι η κάθε εταιρία παραγωγής θα πρέπει να εξασφαλίσει αρκετή χωρητικότητα παραγωγής αγαθών με μικρό απαιτούμενο χρόνο για την ολοκλήρωσή τους. Πλέον υπάρχουν μεγάλες αυτόματες μηχανές που επιτρέπουν μεγάλη χωρητικότητα επιτρέποντας γρήγορη ανταπόκριση η οποία όμως είναι πολύ ακριβή. Στη λιτή παραγωγή, όπως φάνηκε και στην ενότητα 3.1, με βάση την αρχή της έλξης δεν είναι προτιμητέα η χρήση μεγάλων αυτοματοποιημένων μηχανών καθώς δεν καθίσταται εύκολα εφικτή η τροποποίησή τους για την παρασκευή διαφορετικών προϊόντων. [70]

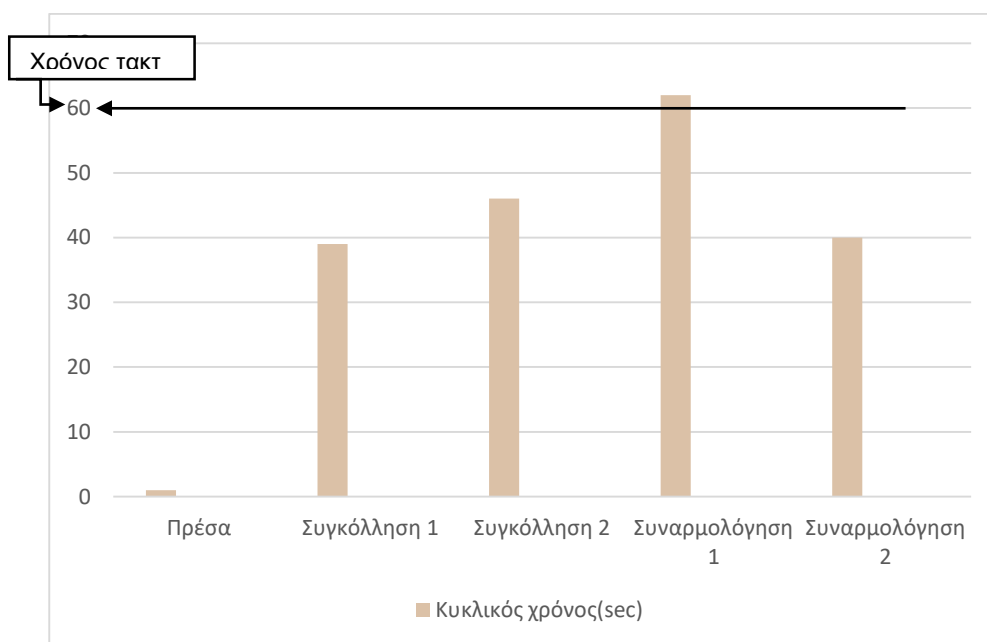
Η τέταρτη προϋπόθεση είναι της ευελιξίας που αποτελεί και το πιο επιθυμητό χαρακτηριστικό των παραγωγικών συστημάτων, το οποίο είναι άμεσα συνδεδεμένο με τον χρόνο από τη στιγμή της παραγγελίας μέχρι την παράδοση του τελικού προϊόντος. Γενικώς ο οδηγός χρόνος αποτελεί το σύνολο των χρονικών διαρκειών δηλαδή του χρόνου εγκατάστασης, του χρόνου επεξεργασίας, του χρόνου μεταφοράς όπως και του χρόνου ουράς. Ο στόχος της λιτής παραγωγής είναι ιδανικά ο μηδενισμός του lead time που πρακτικά σημαίνει την ελαχιστοποίηση των παραπάνω χρονικών διαρκειών μέσω ενός συνόλου εργαλείων της λιτής παραγωγής. Χαρακτηριστικά τα πιο κοινά όπως παρουσιάστηκαν σε προηγούμενες ενότητες είναι η ροή ενός κομματιού τη φορά, βασικής αρχής της παραγωγής έλξης, ελαχιστοποιώντας τον χρόνο επεξεργασίας όπως και τον χρόνο ουράς. Όπως επίσης η κυκλωοειδής διαμόρφωση μειώνει τις αποστάσεις συνεπώς και τον χρόνο μεταφοράς. Επιπλέον η έννοια της ευελιξίας περνάει στο προσωπικό καθώς και στις μηχανές. Ως προς το προσωπικό σημαίνει την εκπαίδευση για τον χειρισμό κάποιων μηχανών για να μπορούν να τοποθετηθούν και σε άλλες διαδικασίες όπου κριθεί απαραίτητο όταν δηλαδή υπάρξει μεταβολή της ζήτησης για κάποιο συγκεκριμένο προϊόν. Από την άλλη μεριά η ευελιξία των μηχανών αφορά τη σχεδίαση απλών μηχανών που μπορούν να ρυθμιστούν για την παραγωγή διαφορετικών προϊόντων. Ειδικά διαμορφωμένες μηχανές που εμφανίζονται σε εργοστάσια μαζικής παραγωγής, δεν θεωρούνται κατάλληλες για τη μαζική εξατομίκευση καθώς δεν υποστηρίζουν τη παραγωγή ποικιλίας προϊόντων.

Η πέμπτη και τελευταία προϋπόθεση αποτελεί την ελαχιστοποίηση της διακύμανσης, που αποτελεί ένα δύσκολο τομέα καθώς εντοπίζεται τόσο στις διαδικασίες όπως σε βλάβες, σκραπ, κομμάτια επανεπεξεργασίας, όπως και στην ροή που αφορά τον ρυθμό άφιξης του υπό επεξεργασία προϊόντος στις διαδικασίες. Στα λιτά και στα μαζικής εξατομίκευσης συστήματα αποτελούν πρόβλημα αυτές οι συνθήκες καθώς η χρήση λιγότερου αποθέματος, χωρητικότητας και χρόνου δείχνει λιγότερη δυνατότητα μείωσης αυτών. Επομένως ο σκοπός των λιτά μαζικών εξατομικευμένων παραγωγών είναι η μείωση αυτής της μεταβλητότητας όποτε είναι εφικτό. Εντοπίζονται τρία στοιχεία μεταβλητότητας όπως αναλύονται παρακάτω. Πρώτα εντοπίζεται η μεταβλητότητα της ζήτησης η οποία μπορεί να περιοριστεί από τον αριθμό των επιλογών των παραγόμενων προϊόντων. Μικρή διακύμανση στη ζήτηση μειώνεται μέσω του συστήματος έλξης σουπερμάρκετ όπως θα

αναλυθεί παρακάτω. Έπειτα εντοπίζεται η μεταβλητότητα παραγωγής. Η εστίαση σε πρακτικές τυποποίησης εργασίας, στη διόρθωση σφαλμάτων (roka yoke), στη μέθοδο TPM, και σε άλλες τεχνικές της λιτής παραγωγής χρησιμεύουν στη μείωση της μεταβλητότητας και της εξομάλυνσης της ροής παραγωγής στο εργοστάσιο.

Οι πέντε προϋποθέσεις για τη μετάβαση σε μια μελλοντική κατάσταση παρουσιάστηκαν παραπάνω. Ένα αρκετά σημαντικό σημείο που αξίζει ανάλυση για τη δημιουργία του μελλοντικού χάρτη πέρα των προϋποθέσεων είναι ο χρόνος τακτ, αν και πολλές εταιρίες δεν το λαμβάνουν υπόψιν, παρόλα αυτά αποτελεί καίριο σημείο. Αυτό που χρειάζεται ένα λιτό εργοστάσιο είναι οι δύο βασικοί πυλώνες του TPS δηλαδή το JIT και το Jidoka. Το εργαλείο υλοποίησης είναι ο χρόνος τακτ, καθώς εκφράζει τις απαιτήσεις των πελατών σε κανονικοποιημένο επίπεδο για τη παραγωγή σε ομαλό ρυθμό.[70]

Με βάση τον υπολογισμό του όπως ορίστηκε στο 4.3.2 θα αναλυθεί τώρα η χρησιμότητά του. Πιο συγκεκριμένα στο παράδειγμα προκύπτει ο χρόνος τακτ 60 δευτερόλεπτα. Με βάση τα στοιχεία που αποτυπώθηκαν στο τωρινό VSM και ειδικά του χρόνου κύκλου της κάθε διαδικασίας θα σχεδιαστεί το διάγραμμα ισορροπίας χειριστή (operator balance chart). Σε αυτό το διάγραμμα απεικονίζεται στην οριζόντια γραμμή (άξονας x) η κάθε διαδικασία ενώ στον κατακόρυφο άξονα (άξονας y) αντιστοιχεί ο χρόνος κύκλου της κάθε μιας. Τέλος πιο πάνω σε οριζόντια γραμμή με το βέλος αντιστοιχεί ο χρόνος τακτ που στο συγκεκριμένο παράδειγμα ισούται με 60 δευτερόλεπτα.



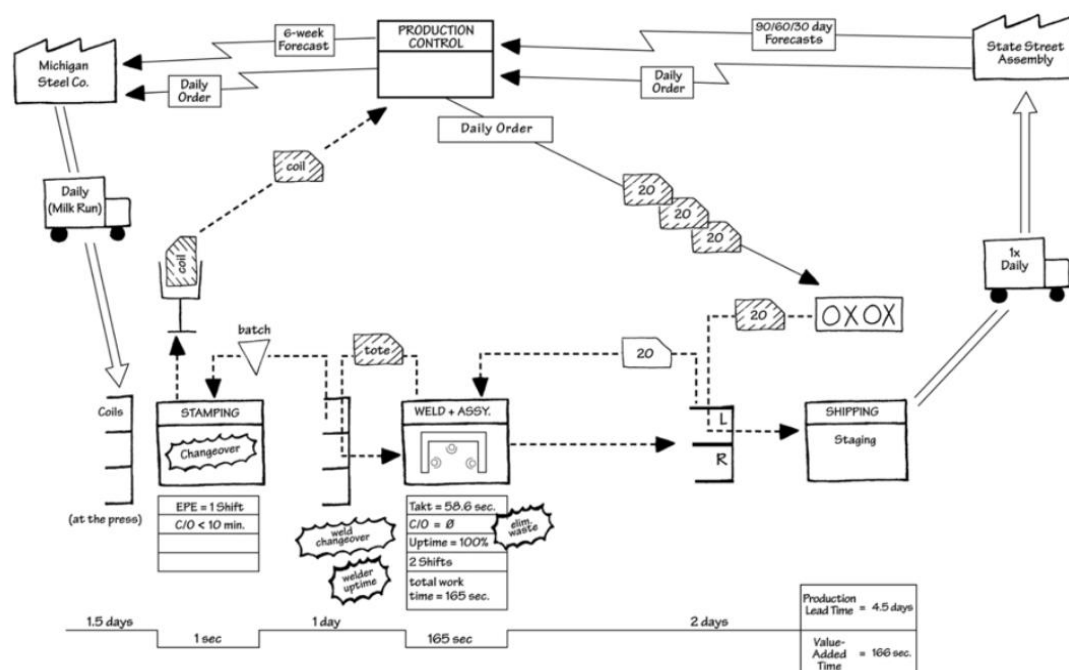
Σχήμα 4.16: Διάγραμμα ισορροπίας χειριστή(operator balance chart)[75]

Από το σχήμα 4.16 παρατηρείται ότι η διαδικασία: συναρμολόγηση 1 είναι κατά δύο δευτερόλεπτα μεγαλύτερος ο χρόνος κύκλου της σε σχέση με τον χρόνο τακτ άρα προκαλεί μπουτιλιάρισμα της παραγωγής (bottleneck) δηλαδή καθυστέρηση οπότε από τα πρώτα σημεία βελτίωσης (kaizen) είναι σε αυτό το στάδιο για τη μείωση του χρόνου κύκλου κάτω από τον τακτ. Στη συνέχεια, εφόσον υπάρχει διαρκής ζήτηση θα καθοριστεί η διανομή των προϊόντων ανά ένα προϊόν τη φορά στο πέρας κάθε σταδίου. Για τον σκοπό αυτό θα πρέπει να καθοριστεί και ο αριθμός των ατόμων που θα πρέπει να απασχοληθούν στα στάδια για

την ομαλή ροή ενός τεμαχίου τη φορά. Αυτός ο ρυθμός είναι και αυτός υπολογίσιμος (όπως ο χρόνος τακτ) και προκύπτει από το πηλίκο του ολικού χρόνου κύκλου δηλαδή το άθροισμα των χρόνων κύκλου των διαδικασιών προς τον χρόνο τακτ. Ο χρόνος VAT είναι ο ολικός χρόνος κύκλου όπως φαίνεται και από το σχήμα 4.15. Άρα το μέγεθος των χειριστών είναι  $188 / 60 = 3.13$ . Άρα το βέλτιστο μέγεθος χειριστών είναι 3 άτομα ανά διαδικασία. Τέλος το παραγωγικό σύστημα, αφού θα είναι λιτό, χρειάζεται σήμανση για το πότε θα παράγει και πότε όχι. Σε αυτήν την περίπτωση θα χρησιμοποιηθούν τα σουπερμάρκετ, που αναφέρθηκε στο 4.6 ως σύστημα kanban. [75]

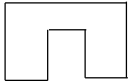




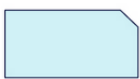

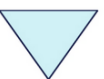



#### 4.7.5 Χαρτογράφηση μελλοντικής κατάστασης



Είναι το στάδιο που υλοποιείται ο μελλοντικός χάρτης, με τη διαμόρφωση του συνόλου της παραγωγικής διαδικασίας αποτυπωμένη με τα μελλοντικά στοιχεία που επιδιώκει να επιτύχει η εταιρία. Η κατανόηση της λιτής παραγωγής και των εργαλείων αυτής είναι μείζουσας σημασίας για την επιτυχή υλοποίησή της αφού είναι ριζική η αλλαγή και θα πρέπει να γίνει με μελετημένο τρόπο. Ο στόχος στο λιτό παραγωγικό σύστημα είναι η προώθηση της επεξεργασίας ενός προϊόντος τη φορά από το ένα στάδιο στο επόμενο χωρίς διακοπές. Πολλές φορές υπάρχουν σημεία στη ροή αξίας όπου δεν είναι εφικτό και είναι απαραίτητη η παραγωγή σε παρτίδες. Οι κύριοι λόγοι είναι ότι ορισμένες διαδικασίες είναι σχεδιασμένες για τη λειτουργία τους σε σύντομους χρόνους κύκλου και χρειάζονται αρκετή ώρα μετάβασης (changeover) για την εξυπηρέτηση πολλών ομάδων προϊόντων είτε λόγω απόστασης από το σημείο αποστολής καθιστώντας μη ρεαλιστική την προώθηση αποστολής ενός προϊόντος τη φορά κυρίως λόγω σπατάλης χρόνου. Η ύπαρξη ξεχωριστού προγράμματος σε κάθε διεργασία όπως αποστέλλεται από τον έλεγχο παραγωγής, από το τωρινό VSM (σχήμα 4.12) σκοπεύει στον καθορισμό των τεμαχίων που θα πρέπει να έχουν επεξεργαστεί. Είναι αρκετά βοηθητική διαδικασία για τους χειριστές της κάθε διεργασίας, όμως τέτοιου είδους προγραμματισμός προέρχεται από εκτίμηση της ζήτησης και τωρινών παραγγελιών με συνέπεια τη δημιουργία πιθανού πλεονάσματος στο απόθεμα, στα επόμενα παραγωγικά στάδια με συνέπεια τη δημιουργία υπερπαραγωγής. Αντ' αυτού προτείνεται ο έλεγχος παραγωγής μέσω σύνδεσης της επόμενης με τη προηγούμενη διεργασία μέσω συστήματος έλξης σουπερμάρκετ (supermarket pull based system). Εγκαθίσταται δηλαδή αυτό το σύστημα έλξης διακόπτοντας τη συνεχή ροή με την προηγούμενη διαδικασία να λειτουργεί σε λειτουργία παρτίδας (batch mode).



Σχήμα 4.17: Χαρτογράφηση μελλοντικής κατάστασης [70],[75]

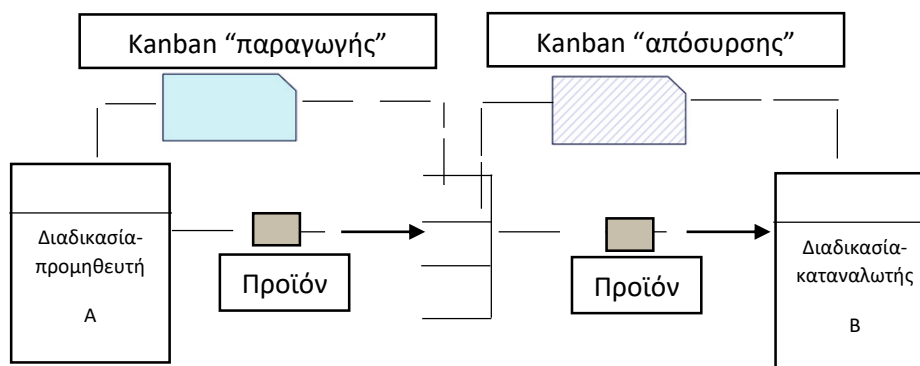
Στο σχήμα 4.17 φαίνεται το μελλοντικό VSM που δείχνει τη μελλοντική κατάσταση του VSM (σχήματος 4.12). Υπάρχει ένα σύνολο από σύμβολα τα οποία δεν εντοπίζονται στην τωρινή κατάσταση καθώς στο σχήμα 4.12 απεικονιζόταν το σύστημα μαζικής παραγωγής. Εδώ η εταιρία αλλάζει τη μορφή της σε λιτό σύστημα και τα σύμβολα που εντοπίζονται παραπάνω αναλύονται στον επόμενο πίνακα.

Σύμβολο διαδικασίας		Κελί εργασίας: δείχνει την ενοποίηση πολλών διεργασιών σε ένα κατασκευαστικό κελί εργασίας
Σύμβολο υλικού		Σουπερμάρκετ: δείχνει που θα αποσύρουν οι μεταγενέστεροι πελάτες-διαδικασίες το απόθεμα που χρειάζονται όσο παρέχει η διαδικασία προμηθευτής
		Έλξη υλικού: χρησιμοποιείται όταν τα σουπερμάρκετ συνδέονται με κάτωθι διαδικασίες
		FIFO: σύστημα αποθήκης όπου το μέγιστο όριο εισαγωγής από την διαδικασία προμηθευτή και ο μέγιστος αριθμός συμβολίζεται στη πάνω γραμμή
		Απόθεμα ασφαλείας: το οποίο συμβολίζει το απόθεμα σε περίπτωση ανάγκης το οποίο χρησιμοποιείται σε περίπτωση αποτυχίας του συστήματος πχ λόγω βλαβών στις μηχανές
Σύμβολο πληροφοριών		Kanban παραγωγής: συμβολίζει την ανάγκη παραγωγής για προμήθεια υλικών στη διεργασία καταναλωτή
		Kanban απόσυρσης: αντιπροσωπεύει τη κάρτα με οδηγίες στο χειριστή για την μετακίνηση εξαρτημάτων από το σουπερμάρκετ σε μία διαδικασία
		Το σύμβολο kanban σήμανσης δείχνει ότι τα αποθέματα σε ένα σουπερμάρκετ έχουν μειωθεί στο ελάχιστο
		Σημείο συλλογής Kanban: χρησιμοποιούνται παρόμοια με το σουπερμάρκετ, αποθηκεύει όμως τις σημάνσεις kanban.
		Έλξη σε σειρά: προσφέρει οδηγίες σε διαδικασίες για τη παραγωγή ενός απαιτούμενου προϊόντος. Μέσω αυτού δε χρειάζεται η χρήση σουπερμάρκετ.
		Εξισορρόπηση φορτίου: χρησιμοποιείται για την τοποθέτηση σε επίπεδα του όγκου παραγωγής

Γενικά σύμβολα		Σύμβολο Kaizen: δείχνει τις προβληματικές περιοχές. Είναι η κατεπείγουσα ενέργεια για τη λύση ενός έκτακτου εντοπισμένου προβλήματος
		Κάρτες Kanban που είτε φθάνουν είτε στέλνονται σε στοίβες

Πίνακας 4.2: Κοινά σύμβολα χαρτογράφησης μελλοντικής ροής αξίας [76]

Στο πίνακα 4.2 παρουσιάστηκαν τα κοινά σύμβολα σε ένα μελλοντικό VSM καθώς επίσης και τα σύμβολα που περιγράφουν το σύστημα έλξης σουπερμάρκετ. Πιο χαρακτηριστικά φαίνεται η περιγραφή του από το ακόλουθο σχήμα.



Σχήμα 4.18 Αναπαράσταση συστήματος έλξης σουπερμάρκετ [75]

Η διαδικασία καταναλωτής σημαίνει ότι ο χειριστής της διαδικασίας B πηγαίνει στο σουπερμάρκετ προκειμένου να αποσύρει το στοιχείο που θέλει. Το τεμάχιο που αποσύρθηκε δίνει σήμα στη διαδικασία προμηθευτή (άνω διαδικασία) να παράγει το στοιχείο που αποσύρθηκε. Το στοιχείο kanban παραγωγής ενεργοποιεί τη διαδικασία επεξεργασίας κομματιού ενώ από την άλλη, το στοιχείο απόσυρσης kanban είναι όπως μια λίστα αγοράς με τον χειριστή να αποσύρει τα τεμάχια που χρειάζεται η επόμενη διεργασία. Ο σκοπός της χρήσης ενός συστήματος έλξης σουπερμάρκετ μεταξύ δύο διαδικασιών είναι για τον καθορισμό ακριβούς παραγωγικής οδηγίας στην άνω διαδικασία (A). Το στοιχείο σουπερμάρκετ είναι ανοικτό από αριστερά όπου δείχνει τη διαδικασία A στον ρόλο του προμηθευτή. Τα στοιχεία kanban είναι συνήθως κάρτες.

Όσον αφορά τις παραλλαγές του συστήματος έλξης σουπερμάρκετ διακρίνονται σε τρεις. Μέσω του συμβόλου του αποθέματος ασφαλείας χρησιμοποιείται αντί του σουπερμάρκετ για περιπτώσεις αντιμετώπισης προβλημάτων που προκύπτουν όπως στην περίπτωση ύπαρξης χρόνου μη λειτουργίας των μηχανών με απώτερο σκοπό την προστασία στη διακύμανση της ζήτησης. Άλλη μια παραλλαγή σουπερμάρκετ είναι η χρήση του συστήματος FIFO. Αντικαθιστώντας το σημαίνει ότι όταν γεμίσει η διαδικασία προμήθειας, σταματάει να παράγει μέχρις ότου η διαδικασία κατανάλωσης να χρησιμοποιήσει κάποιο από το απόθεμα χωρίς να πηγαίνει επιπρόσθετο στοιχείο kanban στην άνω διαδικασία. Ενώ η τελευταία παραλλαγή παρουσιάζεται συνήθως στη διαδικασία που υπάρχει changeover. Όπως φαίνεται στο σχήμα 4.16, changeover υπάρχει στο στάδιο της πρέσας όπως φαίνεται και από το σύμβολο kaizen.

Ο σκοπός της λιτής παραγωγής είναι σε μια βάρδια να υπάρξουν συχνές μεταβάσεις από μια ομάδα προϊόντων σε επόμενη. Η μεγάλη διαφορά όμως στον χρόνο εγκατάστασης και στον χρόνο λειτουργίας δημιουργεί ένα πρόβλημα το οποίο αντιμετωπίζεται και πάλι μέσω του συστήματος kanban. Αυτή τη φορά όμως υπάρχει η κάρτα υπό μορφή τριγώνου μέσω της οποίας μεταφέρεται από το σουπερμάρκετ στην άνω διαδικασία καθώς το σουπερμάρκετ θα πέσει σε ένα ελάχιστο σημείο για να σηματοδοτήσει τη μετάβαση της παραγωγής προκαθορισμένου μεγέθους παρτίδας ενός συγκεκριμένου κομματιού. Συνήθως εντοπίζεται στις περιπτώσεις changeover [75], και αποτελεί την τρίτη παραλλαγή του συστήματος έλξης σουπερμάρκετ.

Το διάγραμμα 4.16 είναι καθοριστικής σημασίας για τη διαμόρφωση του μελλοντικού VSM. Από αυτό το διάγραμμα φάνηκε ότι το στάδιο συναρμολόγησης 1 ξεπερνάει κατά 2 δευτερόλεπτα τον χρόνο takit επομένως η εταιρία αποφασίζει να συνδυάσει σε έναν σταθμό εργασίας τη διαδικασία της συγκόλλησης και της συναρμολόγησης που αφορούν ο ίδιος προϊόν.

Για χώρους εργασίας που ανήκουν στην ίδια οικογένεια προϊόντων μπορεί να υπάρξει συνεχής ροή και να είναι πολύ κοντά η μία διαδικασία με την άλλη με επίτευξη χρόνου μικρότερου του takit. Επιπλέον ο στόχος είναι να τεθεί ο χρόνος κύκλου στα 55 δευτερόλεπτα για κάθε σταθμό εργασίας δηλαδή αθροιστικά στα 165 δευτερόλεπτα για τους τρεις σταθμούς εργασίας (πρέσα, συγκόλληση 1, συναρμολόγηση 1).

Ορίζεται σαν kaizen και δηλώνεται στο κουτί δεδομένων του τελευταίου σταθμού εργασίας όπου προκύπτει από συνδυασμό συγκόλλησης 1 και συναρμολόγησης 1. Η διαδικασία που έχει πολύ μικρό χρόνο κύκλου, αποτελεί και την ίδια που έχει τον μεγαλύτερο χρόνο μετάβασης. Μία τέτοια διαδικασία δεν μπορεί να μπει σε συνεχή ροή καθώς σημαίνει ότι θα μεγαλώσει ο χρόνος κύκλου της που συνεπάγεται με τον περιορισμό της διαδικασίας σε μια οικογένεια προϊόντων, οδηγώντας σε μη πλήρη χρήση της μηχανής της διεργασίας. Επομένως αυτή η διαδικασία αναγκαστικά θα λειτουργεί σε παρτίδες και ο έλεγχος παραγωγής πραγματοποιείται με το σύστημα έλξης σουπερμάρκετ μέσω σήμανσης (τρίγωνο).

Τέλος η διαδικασία που είναι αμέσως πριν την αποστολή του προϊόντος δηλαδή η ομαδοποιημένη σε ένα κελί όπως προαναφέρθηκε αποτελεί τη διεργασία βηματοδότη (pacemaker). Εγκαθίσταται ένα σύστημα έλξης σουπερμάρκετ όπου το στάδιο αποστολής αποσύρει τα προϊόντα που χρειάζεται τα όποια φθάνουν ως kanban με καθορισμό του μεγέθους αποθέματος σε καθορισμένο αριθμό και σε ένα σύνολο καρτών αλλά πάντα μιας κάρτας τη φορά μέσω της εξομάλυνσης παραγωγής heijunka. Έτσι η προηγούμενη διαδικασία παράγει ότι αποσύρει το στάδιο αποστολής μέσω του σουπερμάρκετ και το τελευταίο παραγωγικό στάδιο μεταβιβάζει μέσω του καθορισμένου τρόπου σύνδεσης των άνω διαδικασιών καθορίζοντας έτσι τον ρυθμό παραγωγής που διαβιβαστεί από το κέντρο ελέγχου παραγωγής μέσω heijunka στο τελευταίο εγκατεστημένο σύστημα έλξης σουπερμάρκετ.

Η εταιρία που ανακάλυψε πριν από αρκετά χρόνια έναν διαφορετικό τρόπο προγραμματισμού της παραγωγής πέρα από την πρόβλεψη της ζήτησης των καταναλωτών, ήταν η αυτοκινητοβιομηχανία Toyota. Η μείωση του χρόνου οδηγού εγκαθιστά συστήματα έλξης με χαμηλό απόθεμα μεταξύ των διαδικασιών επιτρέποντας στις άνω διαδικασίες να συμπληρώνουν τις ποσότητες απόσυρσης των επόμενων διαδικασιών. Έτσι οι πληροφορίες στέλνονται κατευθείαν στις άνωθεν παραγωγικές διαδικασίες από τη διαδικασία βηματοδότη που αποτελεί το τελευταίο παραγωγικό στάδιο πριν την εγκατάσταση του τελικού συστήματος έλξης σουπερμάρκετ.[75]

## 5. ΜΕΘΟΔΟΛΟΓΙΑ ΠΑΡΑΓΩΓΗΣ ΠΡΟΪΟΝΤΩΝ ΜΕ ΜΗΔΕΝΙΚΑ ΣΦΑΛΜΑΤΑ

### 5.1 Εισαγωγή

Η θεωρία των μηδενικών σφαλμάτων, όπως αναφέρθηκε αρχικώς δεν αποτελεί νέα έννοια, καθώς πρωτοεμφανίστηκε από τον Philip Crosby, ενώ δε παύει να αποτελεί σήμερα μια μεθοδολογία επανασχεδιασμού της βιομηχανίας αφού λαμβάνει υπόψη από τον τομέα της οργάνωσης παραγωγής, τη διαχείριση ποιότητας μέχρι και τους παράγοντες διαχείρισης συντηρήσεως. [77] Η κατασκευαστική μηδενικών σφαλμάτων (ZDM) υπερτερεί σε σύγκριση με τις παραδοσιακές ποιοτικές προσεγγίσεις όπως της λιτής παραγωγής καθώς στοχεύει στον πλήρη αφανισμό των ελαττωμάτων όχι απλώς μέσω του εντοπισμού και της διόρθωσης αυτών και των παραμέτρων των αντίστοιχων διαδικασιών αλλά και μέσω της πρόβλεψης και συντήρησης.[9] Πρόκειται για μια καινοτόμα μεθοδολογία καθώς εκμεταλλεύεται πλήρως τις νέες ψηφιακές τεχνολογίες και διαχείρισης δεδομένων που προσφέρει η τέταρτη βιομηχανική επανάσταση. [78]

Πλέον ο κατασκευαστικός τομέας βρίσκεται σε ένα μεταβατικό στάδιο λόγω των δυνατοτήτων που προσφέρουν οι νέες τεχνολογίες.[79] Επιπλέον, οι εταιρίες παραγωγής καλούνται να καλύψουν τις ανάγκες της αγοράς με πιο ευέλικτο τρόπο, μειώνοντας το περιβαλλοντικό τους αποτύπωμα, δηλαδή τείνουν να γίνουν πιο βιώσιμες.[80] Για να επιτευχθούν τα επιθυμητά επίπεδα βιωσιμότητας, οι εταιρίες χρειάζονται να ερευνήσουν τα αίτια δημιουργίας των αποβλήτων, όπως και τρόπους ελάττωσής τους. Αυτή η διαδικασία πραγματοποιείται μέσω των μεθόδων βελτίωσης ποιότητας όπως της λιτής παραγωγής που παρουσιάστηκε στο τρίτο και τέταρτο κεφάλαιο. Όμως για την επίτευξη υψηλότερης βιωσιμότητας, χρειάζεται να υπάρξει μία μέθοδος αντικατάστασης των ήδη υπαρχόντων μεθόδων.[77] Η ZDM αποτελεί μέθοδο αύξησης της βιωσιμότητας ενός παραγωγικού συστήματος αφού η ελάττωση των ελαττωμάτων και των διακοπών στην παραγωγή, μειώνουν την αρνητική περιβαλλοντική επίδραση.[81] Παράλληλα οι προηγμένες τεχνολογίες ανάλυσης δεδομένων συντελούν σε μια οικονομικότερη παραγωγική διαδικασία.[82]

Ένας πλήρης ορισμός για το ZDM είναι ο ακόλουθος: Η παραγωγή μηδενικών σφαλμάτων είναι μία ολιστική προσέγγιση για τη διασφάλιση ποιότητας τόσο των διαδικασιών όσο και του προϊόντος, ελαττώνοντας τα ελαττώματα μέσω διορθωτικών, αποτρεπτικών και τεχνικών πρόβλεψης, χρησιμοποιώντας τεχνολογίες ανάλυσης δεδομένων, διαβεβαιώνοντας ότι κανένα ελαττωματικό προϊόν δεν εξέρχεται από τον χώρο παραγωγής για να φθάσει στον καταναλωτή, στοχεύοντας σε υψηλότερη παραγωγική βιωσιμότητα.[81]

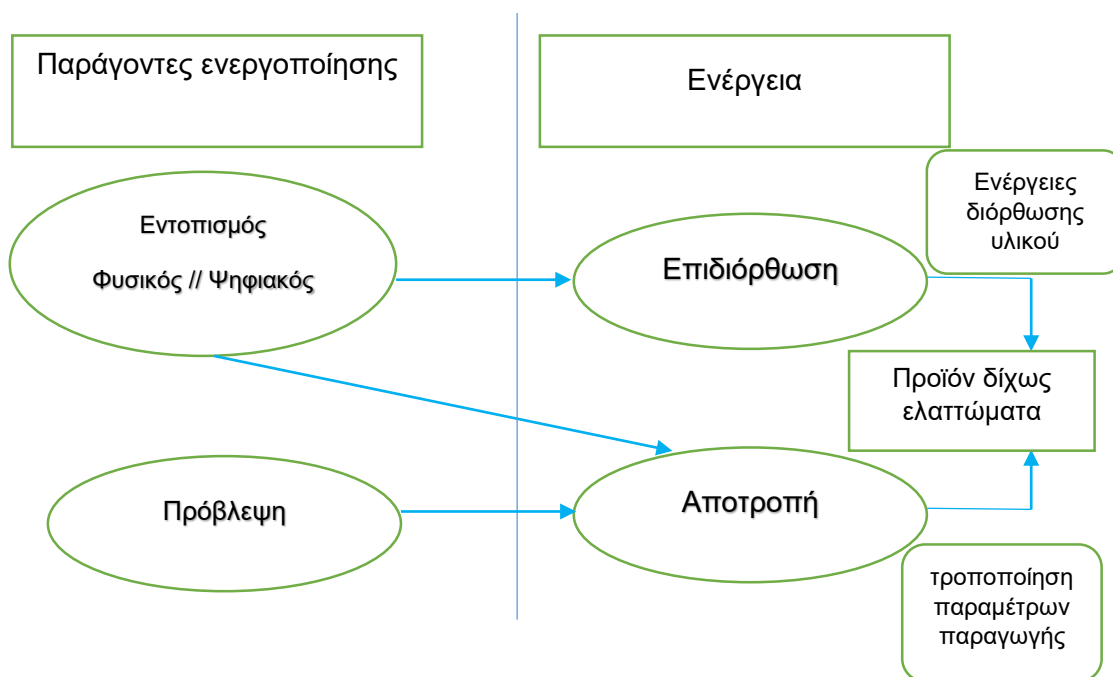


Σχήμα 5.1: Γραφική σχεδίαση έξυπνου εργοστασίου [83]



## 5.2 Στρατηγικές και προσεγγίσεις ZDM

Μέσω του όρου μηδενικών σφαλμάτων, γίνεται αναφορά στον αριθμό των ελαττωμάτων στο τέλος της παραγωγικής διαδικασίας του προϊόντος. Για να επιτευχθεί, θα πρέπει να υπάρξει μια στρατηγική ποιότητας που θα εφαρμοστεί σε όλα τα παραγόμενα προϊόντα χωρίς δειγματοληψία.[81] Μια στρατηγική ZDM ορίζεται ως ένα σύνολο εργαλείων, πηγών και κανόνων ελέγχου με στόχο την αποφυγή ελαττωμάτων σε σύνθετα παραγωγικά συστήματα. Συνολικά υπάρχουν τέσσερις στρατηγικές ποιότητας όπως αποτυπώνονται στο παρακάτω σχήμα.



Σχήμα 5.2: Σχεδιάγραμμα στρατηγικών ZDM [84]

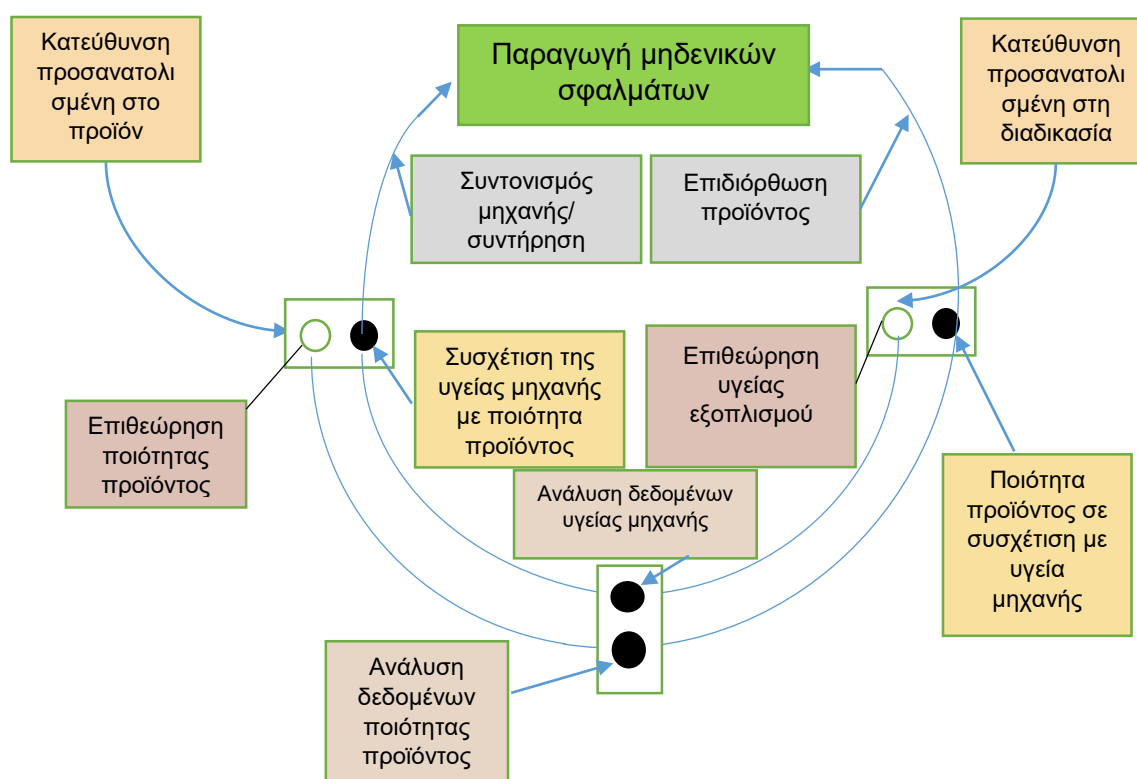
Σύμφωνα με το σχήμα, οι παραπάνω στρατηγικές διαχωρίζονται σε δύο κατηγορίες, στους παράγοντες πρόκλησης και στις ενέργειες. Οι στρατηγικές πρόκλησης αποτελούνται από τον εντοπισμό και την πρόβλεψη και ευθύνονται για τον εντοπισμό ενός θέματος ποιότητας. Αυτές οι στρατηγικές εφαρμόζονται σε κάθε παραχθέν προϊόν. Η στρατηγική του εντοπισμού διαχωρίζεται σε φυσικό και ψηφιακό εντοπισμό ενός ελαττώματος που έχει γίνει ενώ η στρατηγική της πρόβλεψης ευθύνεται για την πρόβλεψη της χρονικής στιγμής συμβάντος κάποιου ελαττώματος στο κοντινό μέλλον. Αυτές οι δύο στρατηγικές δεν είναι ικανές από μόνες τους να αυξήσουν την ποιότητα της παραγωγής.[81]

Αντ' αυτού υπάρχουν άλλες δύο στρατηγικές όπως παρουσιάζονται παραπάνω στο σχήμα, της επιδιόρθωσης και της αποτροπής, όπου αφορούν ενέργειες που μπορούν να εφαρμοστούν παίρνοντας σαν εισόδους γεγονότα από τις δύο προηγούμενες στρατηγικές. Σαν συμπέρασμα οι στρατηγικές ZDM πρέπει να χρησιμοποιούνται πάντα ως ζευγάρια με χρήση μιας στρατηγικής πρόκλησης με αντίστοιχη ενέργειας.[81]

Τα ζευγάρια στρατηγικών ZDM μπορεί να είναι εντοπισμού - επιδιόρθωσης, εντοπισμού - αποτροπής και πρόβλεψης - αποτροπής. Οι δύο πρώτοι συνδυασμοί εφαρμόζονται δεκαετίες τώρα στη βιομηχανία. Ο πρώτος έχει διορθωτικό σκοπό, αφού έχοντας εντοπιστεί κάτι ελαττωματικό, εφαρμόζονται ενέργειες διόρθωσης. Ο δεύτερος συνδυασμός έχει αποτρεπτικό σκοπό, αφού τα δεδομένα από την παραγωγή αξιοποιούνται για την

αποτροπή μελλοντικών ελαττωμάτων. Ο καινούριος συνδυασμός της πρόβλεψης - αποτροπής στηρίζεται σε προηγμένες τεχνολογίες ανάλυσης δεδομένων όπου προβλέπεται πότε θα προκληθεί κάποιο ελάττωμα στο μέλλον και ενσωματώνονται ενέργειες αποτροπής για να μην εμφανιστεί. Η διαφορά αυτού του συνδυασμού σε σχέση με τους άλλους δύο είναι ότι αυτή ακολουθεί τη φιλοσοφία των μηδενικών σφαλμάτων όπως αποτυπώθηκε από τον Philip Crosby, δηλαδή στο να γίνουν σωστά τα πράγματα από την πρώτη φορά ενώ οι άλλοι δύο συνδυασμοί εφαρμόζονται έπειτα του εντοπισμού σφάλματος.

Η αβεβαιότητα ότι θα υπάρξουν ελαττώματα σε ένα παραγωγικό σύστημα, κάνει ελκυστική την υιοθέτηση του ZDM καθώς χρησιμοποιεί προγνωστικές τεχνικές για την καλύτερη δυνατή λύση αξιοποιώντας παράλληλα διορθωτικές και απωθητικές ενέργειες στην περίπτωση ελαττώματος.[81] Στο ακόλουθο σχήμα παρουσιάζονται οι προσεγγίσεις του ZDM.



Σχήμα 5.3: Σχεδιάγραμμα προσεγγίσεων ZDM [81]

Οι δύο προσεγγίσεις όπως αποτυπώνονται στο σχήμα είναι παράλληλες, με τη μια να προσανατολίζεται στο προϊόν και την άλλη στη διαδικασία με κοινό σκοπό την ελαχιστοποίηση των ελαττωμάτων στο τέλος της παραγωγικής διαδικασίας. Οι παραδοσιακές μεθόδους βελτίωσης ποιότητας επικεντρώνονται μόνο σε επίπεδο διαδικασιών σε αντίθεση με τη ZDM. Από το σχήμα παραπάνω φαίνεται ότι και για τις δύο προσεγγίσεις υπάρχει ένα αρχικό σημείο ανάλυσης. Όσον αφορά την προσανατολισμένη στο προϊόν προσέγγιση, αρχικό σημείο αποτελεί η ποιότητα του προϊόντος με τη μέτρησή της σε σύγκριση με τις προδιαγραφές. Αν η ποιότητα του προϊόντος ικανοποιεί τα κριτήρια τότε η κατάσταση της συσχετιζόμενης μηχανής θεωρείται υγιής, αντιθέτως είτε χρειάζεται συντήρηση ή συντονισμό με βάση τα δεδομένα του σφάλματος. Από την άλλη μεριά, στην προσέγγιση προσανατολισμένη στη διαδικασία παρακολουθείται η κατάσταση υγείας της

μηχανής, αν είναι καλή, τότε και το προϊόν είναι καλής ποιότητας. Η επιλογή στο ποια προσέγγιση είναι καλύτερη δεν είναι εύκολη διαδικασία και αποτελεί σημείο περαιτέρω έρευνας. Μεταξύ σύγκρισης των δύο προσεγγίσεων αναπτύχθηκαν κάποιες παράμετροι με κύρια απόδοση το χαμηλότερο προστιθέμενο κόστος. Από την ανάλυση οκτώ παραμέτρων, διαπιστώθηκε ότι το κόστος ελέγχου και το κόστος ανάλυσης δεδομένων της μηχανής επηρεάζουν περισσότερο το αποτέλεσμα.[81]

### 5.3 Ορισμοί Συστήματος ZDM

Ένα σύστημα ZDM είναι ένα σύστημα που ενσωματώνει τα απαραίτητα στοιχεία για την επίτευξη παραγωγής μηδενικών σφαλμάτων. Αποτελείται από ένα σύνολο εργαλείων όπως λογισμικού και εξοπλισμού όπως είναι μιά ψηφιακή πλατφόρμα προκειμένου να αποφευχθεί η δημιουργία ελαττωμάτων και η ανάπτυξη τους μέσω ενός συνδυασμού από διαφορετικούς τύπους ελέγχου.[85] Αυτό περιλαμβάνει συναγερμούς και ειδοποιήσεις.

Ένας συναγερμός αποτελεί ένα επιχειρησιακό σήμα σχεδιασμένο για την ενημέρωση του προσωπικού όταν μια εντοπισμένη αστάθεια, ή ένας λογικός συνδυασμός τέτοιων, οδηγεί στη θέσπιση διορθωτικής ενέργειας.[86]

Από την άλλη, ειδοποίηση είναι ένα επιχειρησιακό σήμα σχεδιασμένο για ενημέρωση του προσωπικού όταν μια αστάθεια ή ένας λογικός συνδυασμός τους απαιτεί την αυξανόμενη προσοχή του προσωπικού για την θέσπιση διορθωτικής ενέργειας.[86]

Μια δομή παραγωγής μηδενικών σφαλμάτων είναι ένα σύνολο διαδικασιών και προδιαγραφών που υποστηρίζει την υλοποίηση του ZDM. Σε αυτό το σημείο είναι σκόπιμο να αναφερθούν δύο έννοιες που αφορούν την πηγή και τις συνέπειες των ελαττωμάτων σε ένα παραγωγικό σύστημα. Η δημιουργία ελαττώματος αφορά την εμφάνισή του σε ένα παραγόμενο κομμάτι. Ενώ η ανάπτυξη του ελαττώματος αφορά τη διάδοσή του στα κάτωθι παραγωγικά στάδια μέσα στην αλυσίδα αξίας. Όπως φάνηκε στο σχήμα των προσεγγίσεων, η εναλλαγή μεταξύ του σημείου αναφοράς του προϊόντος στη διαδικασία ή του μηχανήματος, αποτυχία αποτελεί η έλλειψη ικανότητας να αποδώσει όπως απαιτείται με συνέπεια την εμφάνιση ελαττώματος στο τεμάχιο.[85]

Το ελάττωμα στο προϊόν εντοπίζεται μέσω του ελέγχου και το σφάλμα του μηχανήματος βρίσκεται μέσω του εντοπισμού. Όπως φαίνεται και από το σχήμα των στρατηγικών ο εντοπισμός χωρίζεται σε φυσικό και ψηφιακό. Ο φυσικός εντοπισμός είναι εντοπισμός από τα δεδομένα από ένα φυσικό περιουσιακό στοιχείο. Τα δεδομένα μαζεύονται για την ταυτοποίηση της παρουσίας ενός ελαττώματος προϊόντος ή αποτυχίας μιας διαδικασίας. Ενώ ο ψηφιακός αφορά τον εντοπισμό όπου τα δεδομένα δεν προέρχονται από φυσικό περιουσιακό στοιχείο.[85]

Από τη στιγμή που παραπάνω αναφέρθηκε το στοιχείο της πρόβλεψης, αξίζει να σημειωθεί ότι διαχωρίζεται και εδώ στο χρονικό παράθυρο όπου μια μέθοδος μπορεί να προβλέψει στον χρόνο ένα γεγονός όπως ο χρόνος πρόβλεψης αποτυχίας που αποτελεί μέτρηση του χρόνου μέχρι το γεγονός αποτυχίας, όπου προβλέπεται μέσω μιας μαθηματικής μεθόδου. Το κομμάτι του ελέγχου αφορά την απόκλιση από τις καθορισμένες απαιτήσεις σύμφωνα με το πρότυπο ISO: 9000:2015.[87]

Ένα έξυπνο εργοστάσιο, στο οποίο βρίσκει εφαρμογή το ZDM, όλα τα εισερχόμενα υλικά ελέγχονται πριν την είσοδό τους στη γραμμή παραγωγής καθώς και κατά την επεξεργασία τους από τις διαδικασίες όπως και από το τελευταίο στάδιο της παραγωγικής διαδικασίας πριν από τον τελικό έλεγχο από τον τερματικό χρήστη-καταναλωτή. Ο έλεγχος στον χώρο παραγωγής μπορεί να πραγματοποιηθεί με δύο τρόπους. Ο πρώτος αφορά τη χρήση

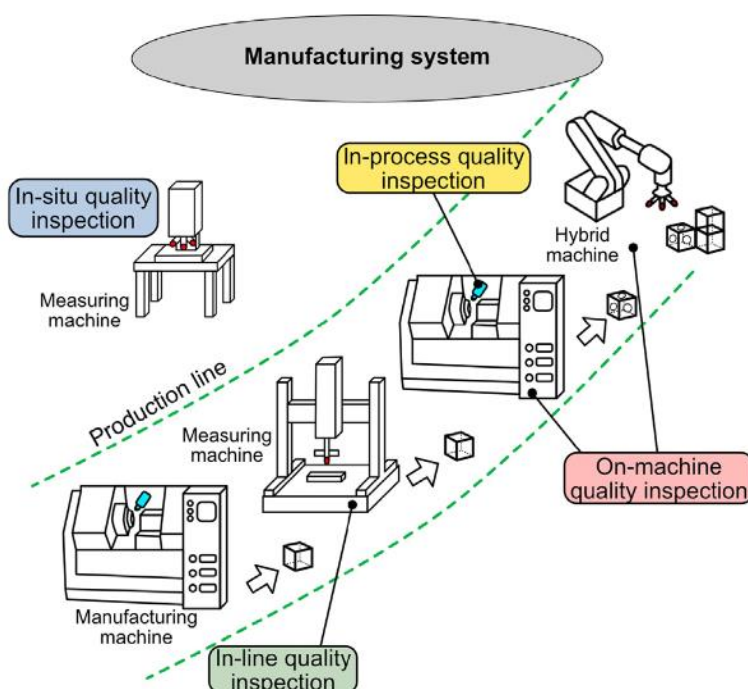
συσκευών μέτρησης που ενσωματώνει ο χειριστής δίπλα από τον παραγωγικό εξοπλισμό, ο οποίος ονομάζεται και επιτόπιος έλεγχος (in-line inspection). Από την άλλη, χρησιμοποιείται ένας εξειδικευμένος χώρος με ειδικές μετρητικές συσκευές, με τον έλεγχο να ονομάζεται επιθεώρηση εκτός σύνδεσης.[85] Πιο συγκεκριμένα ο όρος in-line χρησιμοποιείται στη βιομηχανία για να δηλώσει τον τόπο και τον χρόνο πραγματοποίησης μετρήσεων δηλαδή στη γραμμή παραγωγής ή κατά τη διάρκεια διεργασιών προστιθέμενης αξίας.[88] Σημαίνει τον άμεσο εντοπισμό των ελαττωμάτων και την αποφυγή της διάδοσής τους μέσω διορθωτικών ενεργειών. Στη συνέχεια προσδιορίζονται τα τέσσερα είδη επίβλεψης που εντοπίζονται σε ένα εργοστάσιο.

Τοπικός έλεγχος ποιότητας (in-situ quality inspection): αφορά τη μέτρηση της επιφάνειας του τεμαχίου εργασίας που γίνεται στον ίδιο χώρο εργασίας και στο ίδιο περιβάλλον παραγωγής χωρίς να απομονώνεται το τεμάχιο από το περιβάλλον κατασκευής του.

Ποιοτικός έλεγχος στη γραμμή (In line quality inspection): αφορά τη μέτρηση της επιφάνειας του τεμαχίου εργασίας που πραγματοποιείται πάνω στη γραμμή παραγωγής χωρίς να υπάρξει μετακίνηση του τεμαχίου εκτός αυτής.

Ποιοτικός έλεγχος στη μηχανή (on machine quality inspection): μέτρηση της επιφάνειας του τεμαχίου εργασίας που γίνεται στο τεμάχιο πάνω στη μηχανή που βρίσκεται εκείνη τη στιγμή.

Ποιοτικός έλεγχος διαδικασίας (in process quality inspection): αφορά τη μέτρηση που γίνεται καθώς η παραγωγική διαδικασία λαμβάνει χώρα. Η συγκεκριμένη κατηγορία μπορεί να είναι και υποκατηγορία του προηγούμενου ποιοτικού ελέγχου. Σε αυτήν την περίπτωση υπάρχει και η μέτρηση μακρινής απόστασης μέσω οπτικών καμερών.[88] Στο σχήμα 4.4 παρουσιάζονται οι παραπάνω ποιοτικοί έλεγχοι σε ένα βιομηχανικό σύστημα.



Σχήμα 5.4: Απεικόνιση κατάστασης ποιοτικού ελέγχου σε βιομηχανικό σύστημα[88]

Λόγω του κεντρικού ρόλου που κατέχει ο ποιοτικός έλεγχος καθώς αποτελεί αντικείμενο της ZDM, εφαρμόζεται 100% ποιοτικός έλεγχος. Με αυτόν το τρόπο διασφαλίζεται ότι έχουν τηρηθεί τα προβλεπόμενα επίπεδα ποιότητας και το τελικό προϊόν που θα παραδοθεί στον

πελάτη είναι σωστό. Προκειμένου να επιτευχθεί ο πρώιμος εντοπισμός ελαττώματος και αποτροπής είναι σημαντική η διάδοσή της In line quality inspection, καθώς ο πλήρης έλεγχος της παραγωγής είναι απαραίτητος για το έξυπνο εργοστάσιο[88] που θα αναλυθεί στο επόμενο κεφάλαιο.

Από το σχήμα των στρατηγικών στις ενέργειες παρουσιάζεται η προβλεπτική ενέργεια όπου αφορά το σύνολο των ενεργειών που απαιτούνται για την πρόβλεψη της δημιουργίας κάποιου ελαττώματος. Στοιχεία όπως επιθεώρηση διαδικασίας (in process inspection) που αφορά τον έλεγχο σε οποιαδήποτε στιγμή στο παραγωγικό κύκλο όπως και οι ενέργειες πρόβλεψης αποτελούν δύο από πολλές έννοιες που είναι νέες και δεν βρίσκονται ακόμα ως ορισμένες έννοιες σε υπάρχοντα τυποποιημένα πρότυπα όπως του ISO.[85]

#### **5.4 Τρόπος ενίσχυσης παραδοσιακών μεθόδων ποιοτικού ελέγχου**

Οι παραδοσιακές ποιοτικές μέθοδοι χρησιμοποιούν ιστορικά δεδομένα προκειμένου να βρεθούν σε βελτιωμένη μελλοντική κατάσταση χωρίς να λαμβάνουν υπόψη την τωρινή παραγωγική κατάσταση. Το γεγονός αυτό προκαλεί μία αδράνεια δηλαδή μια καθυστέρηση μεταξύ του χρόνου εντοπισμού του σφάλματος και της εφαρμογής διορθωτικής ενέργειας. Επιπλέον οι παραδοσιακές μέθοδοι λειτουργούν ως παράμετρος διόρθωσης που σημαίνει ότι για να εφαρμοσθούν θα πρέπει πρώτα να υπάρξει πρόβλημα που θα πρέπει να αντιμετωπιστεί. Η επίτευξη μιας παραγωγής χωρίς ελαττώματα είναι δύσκολο να υπάρξει, ακόμα κι αν γίνει, σημαίνει ότι οι διαδικασίες και τα προϊόντα είναι καθορισμένα πολλά χρόνια όπως και η παρατήρησή τους και οι διορθωτικές δράσεις από τους κατασκευαστές. Επιπλέον αυτές οι μέθοδοι δεν μαθαίνουν από τα ελαττώματα, η εφαρμογή τους στηρίζεται στην απομάκρυνσή τους αγνοώντας τις όποιες χρήσιμες πληροφορίες μπορούν να πάρουν από αυτά. Ένας κρίσιμος παράγοντας αποτυχίας αυτών των μεθόδων είναι η έλλειψη πλαισίου εφαρμογής. Πρόκειται για αρκετά σύνθετες μεθόδους και χρειάζεται κανείς να έχει εξειδικευτεί για να τις κατανοήσει και να τις χρησιμοποιήσει.[81]

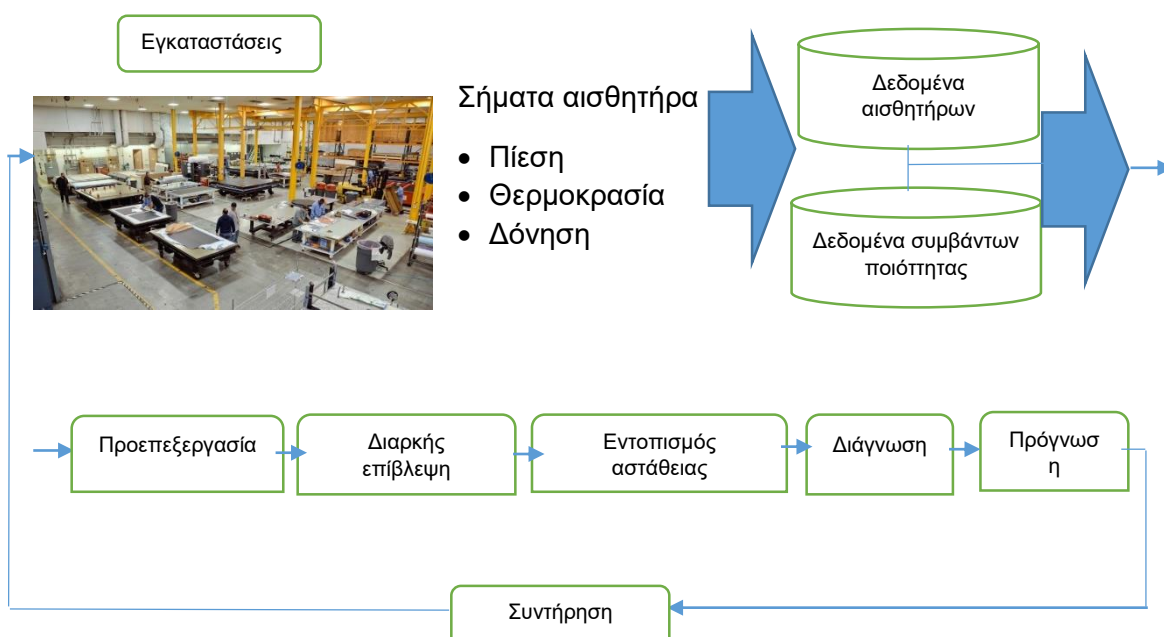
Από την άλλη μεριά, η παραγωγή μηδενικών σφαλμάτων είναι έννοια πιο μπροστά από τις παραδοσιακές ποιοτικές μεθόδους από την άποψη ότι αξιοποιεί την τεχνολογική πρόοδο και κυρίως τις δυνατότητες των νέων τεχνολογιών ανάλυσης δεδομένων που προσφέρει η τέταρτη βιομηχανική επανάσταση. Η ανάγκη εξέλιξης από τις υφιστάμενες μεθόδους εμπίπτει στην αλλαγή στο μέγεθος των παρτίδων καθώς και στον προσανατολισμό στη μαζική προσαρμοστικότητα. Μία όλο και πιο διαρκή πίεση στη μείωση του χρόνου κύκλου, μια πιο γρήγορη παράδοση των προϊόντων της παραγγελίας δημιουργεί καθυστέρηση στις ενέργειες ελέγχου της παραγωγής. Το γεγονός αυτό δημιουργεί την ανάγκη ολιστικής ενσωμάτωσης των παραγωγικών συστημάτων. Εκτός αυτού παρέχει ένα επιπλέον επίπεδο, αυτό της πρόβλεψης αναζητώντας πιο γρήγορες και αξιόπιστες μεθόδους διασφάλισης προϊόντων μηδενικών ελαττωμάτων αξιοποιώντας τα δεδομένα τόσο από τη σκοπιά των προϊόντων όσο και των διαδικασιών.

Μια ειδοποιός διαφορά των παραδοσιακών μεθόδων με τη ZDM είναι ότι αυτή αναζητάει την αιτία που προκάλεσε το ελάττωμα, αξιοποιώντας τόσο ιστορικά όσο και δεδομένα σε πραγματικό χρόνο. Παράλληλα, ενσωματώνεται στην παραγωγική διαδικασία από την αρχή και όχι όταν εντοπιστεί κάποιο πρόβλημα σε μεταγενέστερο στάδιο. Τέλος για όλα τα προϊόντα που παράγονται γίνεται πλήρης έλεγχος και δεν φεύγει από το εργοστάσιο κανένα ελαττωματικό προϊόν. Ο πλήρης έλεγχος της παραγωγής αποτελεί κύριο στοιχείο για την ενσωμάτωση του πρώιμου εντοπισμού σφαλμάτων. Το κύριο μειονέκτημα του πρώιμου ελέγχου είναι ότι κάποια ελαττώματα θα εξακολουθούν να εντοπίζονται κυρίως στον οπτικό έλεγχο που στηρίζεται στον έλεγχο από ανθρώπους. Λύση σε αυτό το θέμα προσφέρει και

πάλι οι νέες τεχνολογίες μέσω της αξιοποίησης ενός συστήματος ελέγχου λέιζερ και μηχανικής όρασης.[81]

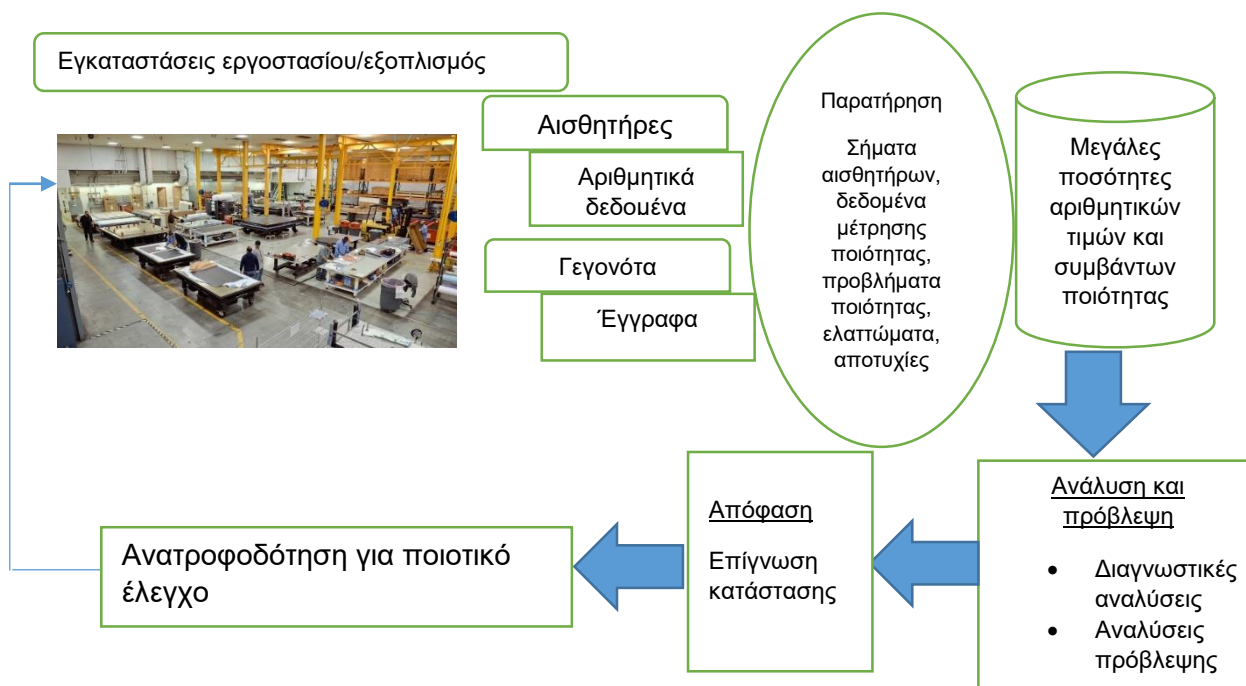
## 5.5 Προηγμένη προσέγγιση συντήρησης

Η προηγμένη προσέγγιση συντήρησης αφορά τον εξοπλισμό της κατασκευάστριας εταιρίας και είναι σημαντική καθώς υποστηρίζει τη φιλοσοφία των μηδενικών σφαλμάτων και την υψηλή απόδοση των παραγωγικών της συστημάτων. Υπάρχουν πολλοί παράγοντες που επηρεάζουν την ποιότητα των προϊόντων σε ένα σύστημα παραγωγής με ένα από τα πιο βασικά στοιχεία να αποτελεί η διαχείριση της υγείας του εξοπλισμού ή αλλιώς συντήρηση.[4] Ο σκοπός είναι η ελαχιστοποίηση της επιρροής του κατασκευαστικού εξοπλισμού στη δημιουργία ελαττωμάτων σε προϊόντα. Προκειμένου να επιτευχθεί, υπάρχει ενδιαφέρον στην πρόγνωση και διαχείριση υγείας του εξοπλισμού (Prognostics and Health Management-PHM) και αφορά τη συντήρησή του. Σύμφωνα με όσα αναφέρθηκαν στο κεφάλαιο της ποιότητας, στον τομέα της συντήρησης, το CBM και TBM έχουν ως στόχο την αποτροπή της αστάθειας του συστήματος πριν εμφανιστεί. Η προσέγγιση του CBM στοχεύει στην πρόβλεψη διαδικασίας αποδόμησης του συστήματος που βασίζεται στην κατανόηση ότι οι περισσότερες αστάθειες δεν συμβαίνουν αμέσως αλλά υπάρχουν κάποια στάδια αποδόμησης για τη μετάβαση από ένα κανονικό σε ένα ασταθές σύστημα απόδοσης. Πλέον το CBM έχει αναβαθμιστεί σε CBM+ ή PHM εστιάζοντας στη διάγνωση σφαλμάτων, τη πρόβλεψη υπολειπόμενης ζωής και διαχείρισης του κύκλου ζωής του εξοπλισμού. Με την ανάπτυξη των νέων τεχνολογιών είναι εφικτή η συγχώνευση της κατάστασης της μηχανής με δεδομένα χρήσης που αφορούν συνθήκες λειτουργίας, αποτυχίες, συντήρηση ή επισκευή. Μέσω ανάλυσης αυτών των δεδομένων προκύπτουν πληροφορίες όπως ο υπολειπόμενος χρόνος ζωής των μηχανών.[4] Το PHM αποτελείται δύο στοιχεία, τα προγνωστικά που αφορά σε μια διαδικασία πρόβλεψης μέσω μοντελοποίησης της εξέλιξης του σφάλματος στηριζόμενο σε αξιολόγηση της τωρινής κατάστασης και σε μελλοντικές καταστάσεις λειτουργίας. Η διαχείριση υγείας αφορά τη δυνατότητα απόφασης στην εφαρμογή συντήρησης μέσω των προγνωστικών και διαγνωστικών πληροφοριών. [89]



Σχήμα 5.5: Διάγραμμα ροής PHM [4]

Η διαδικασία του PHM περιληπτικά παρουσιάζεται στο σχήμα παραπάνω. Η διαδικασία ξεκινάει από τη συγκέντρωση δεδομένων της κατάστασης της μηχανής με γεγονότα αποτυχίας και ποιοτικών γεγονότων. Ακολουθείται η προ επεξεργασία και η διαρκή επίβλεψη, στη συνέχεια είναι ο εντοπισμός αστάθειας, ακολουθά η διάγνωση της κατάστασης της μηχανής όπου απαιτείται. Έπειτα της πρόβλεψης του χρόνου αστάθειας της μηχανής, η κατάληξη είναι στην εκτέλεση των απαραίτητων ενεργειών συντήρησης όπως η επισκευή που βασίζεται στην διαμόρφωση απόφασης έχοντας υπόψιν τα κόστη συντήρησης και ο βαθμός υποβάθμισης της μηχανής. Οι γενικές τυποποιημένες οδηγίες που αφορούν τη παρακολούθηση κατάστασης και τα διαγνωστικά των μηχανών ακολουθούν το πρότυπο ISO 17359:2018.



Σχήμα 5.6: Διάγραμμα ροής PHM υπό το πλαίσιο ZDM [4]



## 6. Βιομηχανία 4.0

### 6.1 Εξέλιξη Βιομηχανίας

Οι εταιρίες παραγωγής αρχίζουν να συνειδητοποιούν ότι πλέον είναι απαραίτητη η σύγκλιση φυσικού και ψηφιακού κόσμου. Η ανάπτυξη βιομηχανικών στρατηγικών όπως η βιομηχανία 4.0 όπου αναπτύχθηκε σαν όρος από τη γερμανική κυβέρνηση τη χρονιά του 2011 δείχνει τη διάθεση της γερμανικής κυβέρνησης να προετοιμάσει τη γερμανική βιομηχανία για τη νέα ψηφιακή εποχή.[90] Μέσω αυτού, εισάγονται νέες τεχνολογίες πληροφοριών στη βιομηχανία οδηγώντας στην ανάπτυξη του έξυπνου εργοστασίου.

Ο σκοπός ενός έξυπνου εργοστασίου στηρίζεται σε δεδομένα των οποίων η μετατροπή τους, από όλο το φάσμα ζωής του προϊόντος οδηγεί σε βιομηχανική ευφυία με σκοπό την αποκόμιση θετικής επιρροής σε όλο το φάσμα παραγωγής.[91] Μέσω της συστηματικής προσέγγισης από την υπολογιστική ανάλυση του μεγάλου όγκου των δεδομένων παραγωγής, η εκάστοτε παραγωγική μονάδα κατευθύνεται σε τεκμηριωμένες αποφάσεις ενισχύοντας με αυτόν τον τρόπο την αποτελεσματικότητα του έξυπνου εργοστασίου.[92] Η αξία της μεγάλης πληθώρας των δεδομένων της βιομηχανίας δημιουργείται καθώς κρύβει πολύτιμες πληροφορίες και η εμφάνιση νέων τεχνολογιών όπως το διαδίκτυο των πραγμάτων, η υπολογιστική νέφους και η τεχνητή νοημοσύνη, υποστηρίζει τη νέα βιομηχανία οδηγούμενη από τα δεδομένα. Η εξέλιξη της ιστορίας των βιομηχανικών δεδομένων προς τα μεγάλα δεδομένα αξίζει αναφορά και σε αυτό το σημείο θα γίνει μια συνοπτική παρουσίαση. Πριν από την πρώτη βιομηχανική επανάσταση, δηλαδή πριν το 1780, τα δεδομένα από την παραγωγική διαδικασία ήταν περιορισμένα καθώς η παραγωγή στηριζόταν κυρίως στην εμπειρία των ανθρώπων. Κύριες πληροφορίες ήταν εύκολο να χαθούν λόγω της χαμηλής ποιότητας όσο και της μη σωστής τους εκμετάλλευσης. [93]

Στη συνέχεια ακολουθεί η εποχή των μηχανών. Πρόκειται για μία εποχή αποτελούμενη από δύο φάσεις. Το αποτέλεσμα της πρώτης βιομηχανικής επανάστασης είναι η χρήση των μηχανών ως εργαλεία για την ανάπτυξη των πρώτων εργοστασίων. Σε αυτήν την περίοδο οι άνθρωποι έχουν μία συμπληρωματική σχέση με τις μηχανές. Τα δεδομένα της παραγωγής εδώ κατηγοριοποιούνται σε δεδομένα σχετικά με τον εργαζόμενο όπως παραγωγικότητα με σκοπό τη διαμόρφωση της απόφασης για το πρόγραμμα εργασίας του όπως και για μισθοδοσία, κ.λπ.. Δεδομένα που σχετίζονται με τις μηχανές χρησιμοποιούνται προκειμένου να υποστηρίξουν αποφάσεις σχετικών με τη συντήρηση όπως και για την επιδιόρθωση των μηχανών. Παρόλα αυτά δεν υπάρχει και μεγάλη απόκλιση στον τρόπο διαχείρισης αυτών των δεδομένων, καθώς η διαχείρισή τους γίνεται επίσης με εμπειρικό τρόπο.[93]

Μέσω της δεύτερης βιομηχανικής επανάστασης, εισάγονται οι εργαλειομηχανές αναδιαμορφώνοντας τις παραγωγικές διαδικασίες αυξάνοντας την αποδοτικότητα της βιομηχανίας με την εναρμόνιση στο μοντέλο μαζικής παραγωγής. Εδώ, η διαχείριση δεδομένων αποτυπώνεται γραπτώς με τους κατασκευαστές να αξιοποιούν αυτά τα δεδομένα για μείωση του κόστους όπως και για τον έλεγχο ποιότητας. Η διαχείριση των δεδομένων στηρίζεται σε στατιστικά μοντέλα για διαχείριση ενός συνόλου θεμάτων όπως το πλάνο παραγωγής.

Κατά την περίοδο των πληροφοριών, οι τεχνολογίες πληροφοριών εφαρμόζονται ευρέως στις παραγωγικές διαδικασίες. Το αποτέλεσμα είναι ο όγκος των δεδομένων της παραγωγής να έχει επεκταθεί σημαντικά. Ο λόγος είναι η ύπαρξη πληροφοριακών συστημάτων όπως CRM, MES και ERP, να χρησιμοποιούνται ευρέως για τη διαχείριση της



παραγωγής. Εκτός αυτού υπολογιστικά συστήματα όπως CAD, CAM χρησιμοποιούνται για τη δημιουργία, προσομοίωση και βελτιστοποίηση νέων προϊόντων όπως και παραγωγικών διαδικασιών. Παράλληλα βιομηχανικά ρομπότ χρησιμοποιούνται ευρέως στα σύγχρονα εργοστάσια. Οι ψηφιακοί υπολογιστές αξιοποιούνται για τον έλεγχο του εξοπλισμού της παραγωγής. Επομένως τα δεδομένα αποθηκεύονται στους υπολογιστές και διαχειρίζονται από πληροφοριακά συστήματα. Η αποτελεσματικότητα της ανάλυσης δεδομένων ενισχύεται από υπολογιστικά μοντέλα όπου η διαχείριση από τους χειριστές είναι απαραίτητη για τη διαμόρφωση απόφασης. Τέλος το πρόβλημα αυτής της εποχής στηρίζεται στην αδυναμία ανάλυσης αδόμητων επαναλαμβανόμενων και απομονωμένων δεδομένων.[93]

Σήμερα πλέον βρισκόμαστε στη τέταρτη βιομηχανική επανάσταση. Η άνθιση του διαδικτύου των πραγμάτων, της υπολογιστικής νέφους, της τεχνητής νοημοσύνης δείχνει την εποχή προς τη κατεύθυνση των μεγάλων δεδομένων. Στον παραγωγικό τομέα τα μεγάλα δεδομένα προέρχονται από διάφορες πηγές που δημιουργούν δεδομένα στο φάσμα ζωής του προϊόντος. Συνήθως τα δεδομένα αυτά προέρχονται από κάποιο σύστημα ERP για δεδομένα παραγγελιών, δεδομένα που συλλέγονται σε έξυπνα εργοστάσια που αφορούν την απόδοση σε πραγματικό χρόνο των μηχανών, συνθήκες λειτουργίας και της ιστορίας συντηρήσεως. Μέσω των μεγάλων δεδομένων πλέον οι κατασκευαστές είναι σε θέση να ενισχύσουν την ανταγωνιστικότητα στη παγκόσμια αγορά.[93]

## **6.2 Τεχνολογίες Έξυπνου Εργοστασίου**

### **6.2.1 Εισαγωγή**

Ο παραγωγικός κλάδος συνεχώς εξελίσσεται με το πέρασ των χρόνων. Αυτή η ανάπτυξη φαίνεται από την ύπαρξη της τέταρτης βιομηχανικής επανάστασης καθώς και της δυνατότητας ικανοποίησης των προσδοκιών των πελατών, στη διάθεση εξατομικευμένων προϊόντων με υψηλότερο ρυθμό παραγωγής.[94] Η προσπάθεια επίτευξης υψηλότερων κερδών, οδηγεί τις εταιρίες παραγωγής στην πιο γρήγορη κατασκευή νέων προϊόντων. Οι νέες απαιτήσεις που προκύπτουν είναι της μείωσης του χρόνου παραγωγής, των μικρότερων παρτίδων παραγωγής, καθώς και ο μειωμένος κύκλος ζωής του προϊόντος, οδηγώντας τις κατασκευάστριες εταιρίες στην αναδιαμόρφωση των παραγωγικών τους συστημάτων είτε στη δημιουργία νέων για την κάλυψη της ζήτησης.[95],[96]

Η αποτελεσματικότητα της σχεδίασης διασφάλισης ποιότητας μπορεί να οδηγήσει σε υψηλότερη ποιότητα του παραχθέντος προϊόντος με ελάχιστες απώλειες απόδοσης και με λιγότερα απόβλητα.[97] Μέσω της ενσωμάτωσης διασφάλισης ποιότητας εξασφαλίζεται σε ένα παραγωγικό σύστημα η αποφυγή ενδεχόμενων ελαττωμάτων όπως και η ύπαρξη ενός συστήματος ελέγχου ποιότητας όπου μπορεί να διακόψει τη λειτουργία μηχανής που είναι εκτός ελέγχου επηρεάζοντας τόσο τον προγραμματισμό όσο και την απόδοση του παραγωγικού συστήματος. Η προσέγγιση ποιοτικού ελέγχου και βελτίωσης, που παρουσιάστηκε στο πέμπτο κεφάλαιο, είναι η ZDM. Είναι προσαρμοσμένη πλήρως στη νέα εποχή καθώς αξιοποιεί τις τεχνολογίες της βιομηχανίας 4.0 και μέσω των πλεονεκτημάτων αυτής, εφαρμόζει το κανόνα ότι κατά τη διαδικασία παραγωγής, όποιο γεγονός κι αν προκύψει θα υπάρξει ενέργεια αντίδρασης προκειμένου να μετριαστεί.[97]

Η εξέλιξη των παραγωγικών συστημάτων παρουσιάστηκε στην ενότητα 3.1, ενώ η εξέλιξη της βιομηχανίας στην αμέσως προηγούμενη ενότητα. Είναι σημαντικό σε αυτό το σημείο να γίνει σαφής η διαφορά μεταξύ των όρων παραγωγής (production) και βιομηχανικής μεταποίησης (manufacturing). Παρόλο που είναι συναφείς έννοιες, η έννοια manufacturing είναι πιο ευρεία καθώς περιλαμβάνει τα παραγωγικά συστήματα. Η διαφορά μεταξύ της βιομηχανικής μεταποίησης και των συστημάτων αυτής υπόκειται στα νέα πρότυπα που

εισάγονται με τα κυβερνοφυσικά παραγωγικά συστήματα ή αλλιώς τα έξυπνα βιομηχανικά συστήματα. Στη γενική του μορφή, το βιομηχανικό σύστημα περιέχει τη φυσική και τη λογική πλευρά της παραγωγής.

Η φυσική διαμόρφωση περιλαμβάνει μηχανές, σταθμούς εργασίας και εξοπλισμό, διαμορφωμένα σε διάφορες διατάξεις, όπου είναι φυσικά συνδεδεμένα μέσω υλικών διαχείρισης του εξοπλισμού και λογικά μέσω της διαχείρισης από υπολογιστή και εφαρμογών λογισμικού. Το εσωτερικό στοιχείο αυτών των συστημάτων είναι ο ανθρώπινος παράγοντας καθώς η σημαντικότητα του ρόλου του έγκειται στο γεγονός ότι θα πρέπει να διαχειριστούν τη λειτουργία και τον έλεγχο αυτών των συστημάτων μέσα από εφαρμογές λογισμικού που περιλαμβάνουν τη κατασκευή μέσω βοήθειας υπολογιστή (CAD/CAM), τη διαχείριση του κύκλου ζωής των προϊόντων (PLM), την οργάνωση και διαχείριση της παραγωγής, τον έλεγχο ποιότητας, τη συντήρηση του εξοπλισμού, κ.α.[98] Η λογική υποστήριξη των βιομηχανικών συστημάτων εντοπίζεται φυσικά στον χώρο παραγωγής αλλά πλέον γίνεται και απομακρυσμένα όπως θα αναλυθεί στη συνέχεια.

Οι καινοτομίες που παρουσιάζονται στη πορεία της εξέλιξης, οι οποίες οδηγούν σε ριζική αλλαγή στη σχεδίαση, του ελέγχου και της λειτουργίας των βιομηχανικών συστημάτων, ονομάζεται αλλαγή υποδείγματος (paradigm shift).[98] Η θεωρία της αλλαγής υποδείγματος προέρχεται από τον φυσικό Thomas Kuhn και αποτελεί μία θεμελιώδη διαφορά στη βασική θεωρία και πρακτικών ενός επιστημονικού κλάδου.[99] Στα βιομηχανικά συστήματα αφορά τη θεμελιώδη διαφορά στο τρόπο παραγωγής των προϊόντων. Αυτή η ριζική αλλαγή προέρχεται από τη βιομηχανία 4.0 καθώς εφαρμόζει την ώθηση της βιομηχανίας στην προσαρμογή των απαιτήσεων των καταναλωτών σε μαζικά εξατομικευμένα προϊόντα.[100] Αυτές οι απαιτήσεις συσχετίζονται, από την πλευρά των εταιριών παραγωγής, στο πρότυπο της νέας βιομηχανικής επανάστασης ως αυξημένη μηχανοποίηση και αυτοματισμός καθώς και αυξημένη ψηφιοποίηση με τη χρήση συσκευών μικρού μεγέθους.[101] Το επίκεντρό της είναι η περισσότερη ανάλυση και ο δυναμικός έλεγχος προκειμένου η συλλογή δεδομένων μέσα από το σύνολο των διαδικασιών, της ανατροφοδότησης και του ελέγχου να αποκτούνται σε πραγματικό χρόνο.[100] Επιπλέον επιφέρει μια μεγάλη αλλαγή στην επαφή των χειριστών με τα μηχανήματα. Η επικοινωνία επιτυγχάνεται μέσω ενός υψηλά δικτυωμένου περιβάλλοντος το οποίο περιλαμβάνει τεχνολογίες αυτοματισμού όπως CPS, IoT, υπολογιστική νέφους που θα αναλυθούν στη συνέχεια.

Μιά άλλη τεχνολογία που πρόκειται να περιγραφεί αφορά τη διεπαφή χειριστή-μηχανήματος (human machine interface), η οποία θα μπορούσε να είναι μια ψηφιακή οθόνη, πινάκας είτε οθόνη αφής σε ένα σύγχρονο σύστημα ελέγχου. Αποτελεί το σύστημα μετάφρασης μεταξύ ανθρώπων και μηχανών, και η αποτελεσματικότητα αυτού στηρίζεται τόσο στο σχεδιασμό του όσο και από τους χειριστές του.[102] Οφείλει την ύπαρξη του στην εισαγωγή ρίσκων και αναποτελεσματικότητας που παρατηρείται στο σύστημα και στη μείωση αυτών μέσω διορατικών οθονών που παρέχουν το σύστημα υποστήριξης αποφάσεων. Η υλοποίηση αυτής στο πλαίσιο της βιομηχανίας 4.0 γίνεται μέσω των συσκευών επαυξημένης πραγματικότητας (AR) που μπορούν να φορεθούν[102] καθώς και σε ρομποτικά βοηθούμενη παραγωγή που αξιοποιούν την ανάλυση μεγάλων δεδομένων [98] όπως θα αναλυθεί στη συνέχεια.

### **6.2.2 Εξέλιξη υποδείγματος βιομηχανικού συστήματος**

Η πορεία προς το υπόδειγμα του έξυπνου μεταποιητικού συστήματος ή του έξυπνου εργοστασίου θα αναλυθεί μέσω της εξέλιξης των προτύπων των βιομηχανικών συστημάτων στη διάρκεια των βιομηχανικών επαναστάσεων.[98] Η πρώτη εφαρμογή σε επίπεδο στρατηγικής παρουσιάζεται με τη παραγωγή του μοντέλου T από τη Ford, εισάγοντας τη μαζική παραγωγή μέσω του προτύπου αποκλειστικών παραγωγικών συστημάτων

(Dedicated Manufacturing Systems-DMS). Η σχεδίαση τους στηρίζεται στη βελτιστοποίηση της παραγωγής ενός μόνο ή μιας μικρής ποικιλίας προϊόντων.

Κατά την τρίτη βιομηχανική επανάσταση παρουσιάζονται τα ευέλικτα βιομηχανικά συστήματα όπου αποτελούνται από μια ομάδα αριθμητικά ελεγχόμενες μηχανές (NC, CNC) και εξοπλισμό διαχείρισης υλικού υπό κεντρικό έλεγχο από υπολογιστή για την αυτόματη επεξεργασία παλετοποιημένων εξαρτημάτων σε ευέλικτη διαδρομή. Η θεωρία των ευέλικτων βιομηχανικών συστημάτων (Flexible Manufacturing System -FMS) προέρχεται από τον J. Lemelson (1923-1997), ο οποίος ήταν μηχανικός από την Αμερική και την ανέπτυξε στις αρχές του 1950 [98], ενώ το 1952 μια τεχνολογία που αναπτύχθηκε από τους Joe Woodland και Bernard Silver και επικρατεί τόσο στα σουπερμάρκετ όσο και στις βιομηχανίες ήταν η σάρωση κωδικού barcode. [98], [103] Το ευέλικτο σύστημα ανταποκρίνεται στο περιβάλλον διακριτής παραγωγής (τελικά προϊόντα εύκολα μετρήσιμα όπως κινητά, αυτοκίνητα κ.λπ.) και της μαζικής εξατομίκευσης ανταποκρινόμενο στη ζήτηση της αγοράς. Είναι κατάλληλα για μεσαίου βαθμού και μέτριας ποικιλίας οικογενειών προϊόντων με ομοιότητες τόσο στα χαρακτηριστικά σχεδιασμού όσο και στις παραγωγικές διαδικασίες. Οι συντελεστές του FMS είναι ο προγραμματισμός για γρήγορες εναλλαγές (changeovers), αναδιαμορφώσιμη εργαλειοθήκη στον χώρο ευθύνης των χειριστών για μείωση του χρονικού αποβλήτου και μείωσης του κυκλικού χρόνου, ευέλικτες διαδρομές για μεγιστοποίηση της χρήσης των μηχανών ενώ οι ενσωματωμένοι αισθητήρες βοηθάνε στην ελάττωση των σφαλμάτων. Επομένως το κύριο χαρακτηριστικό αυτού του υποδείγματος συστήματος είναι η λιτή παραγωγή.[98]

Στη συνέχεια ακολουθεί το αναδιατάξιμο βιομηχανικό σύστημα (reconfigurable manufacturing system - RMS), το οποίο παρουσιάστηκε αρχικά τη δεκαετία του 1990 με σκοπό της επίτευξης μεταβλητής λειτουργικότητας και κλιμακούμενης χωρητικότητας.[104] Αυτό επιτυγχάνεται μέσω αλλαγής των συστατικών που αποτελούνται από τα μηχανήματα του συστήματος είτε μηχανισμούς σε μεμονωμένα μηχανήματα καθώς και σε λογισμικό, με σκοπό τη προσαρμογή στη μεταβαλλόμενη ζήτηση και σε νέα οικογένεια προϊόντων.[102]

Συνοπτικά, η εξέλιξη αρχίζει από τη DML που αφορά τη σχεδίαση της παραγωγής ενός μόνο προϊόντος σε υψηλό παραγωγικό ρυθμό που αποτελείται από καθορισμένες διαδικασίες. Έπεται το ευέλικτο σύστημα το οποίο αφορά την παραγωγή μιας ποικιλίας προϊόντων σε διαφορετικό βαθμό και σε μίξη στο ίδιο σύστημα.[102] Το αποτέλεσμα είναι η επιχειρησιακή ευελιξία αλλά και η χαμηλότερη ταχύτητα εξόδου έτοιμων προϊόντων λόγω των ακολουθιακών λειτουργιών. Κλασσικό παράδειγμα αποτελεί το εργαλείο CNC όπου είναι ικανό για τη δυναμική κίνησης πολλαπλών αξόνων καθώς και της παραγωγής διαμορφωμένου εξαρτήματος, μέσω της προσθήκης φυσικών αναδιατάξιμων κοπτικών εργαλείων προσδίδεται και ένα επίπεδο αναδιαταξιμότητας στο σύστημα.[102] Το σύστημα RMS αποτελεί μίξη από αποκλειστικές, ευέλικτες και αναδιατάξιμες μηχανές.

Από την πλευρά της βιομηχανίας ένα τέτοιο σύστημα περιγράφεται ως πολύ επίπεδο βιομηχανικό σύστημα (multi-stage manufacturing system). Σε αυτό επιτρέπονται οι διαφορετικές επιχειρησιακές διαμορφώσεις, εξαρτάται από τον τρόπο κατανομής των μηχανών ενώ εξαρτάται παράλληλα και από τον τρόπο σύνδεσης των μηχανών με το σύστημα διαχείρισης υλικού. Το σημαντικό στοιχείο της λειτουργίας παράλληλων μηχανών του ίδιου τύπου και ασύγχρονου μηχανισμού μεταφοράς όπως ρομπότ οφείλεται στη διασφάλιση της αδιάκοπης παραγωγής αποφεύγοντας προβλήματα όπως bottleneck με την εξασφάλιση της ροής του προϊόντος μέσω του συστήματος μεταφοράς.[102]

Η ύπαρξη των σημερινών τεχνολογιών προσφέρουν στη βιομηχανία της μετάβασης σε ένα νέο πρότυπο του έξυπνου βιομηχανικού συστήματος το οποίο ενσωματώνει τα υπάρχοντα παραγωγικά στοιχεία σε συνδυασμό με τις τεχνολογίες της τέταρτης βιομηχανικής επανάστασης.[98]

### 6.2.3 Πρότυπο έξυπνου βιομηχανικού συστήματος

Η έξυπνη βιομηχανία ορίζεται ως η πλήρης ενσωμάτωση συνεργατικών παραγωγικών συστημάτων που ανταποκρίνονται σε πραγματικό χρόνο προκειμένου να καλυφθούν αλλαγές στη ζήτηση και στις συνθήκες σε ένα εργοστάσιο, στο δίκτυο της εφοδιαστικής αλυσίδας καθώς και στις ανάγκες των καταναλωτών.[105] Σε ένα πιο γενικό πλαίσιο τα φυσικά κυβερνοφυσικά συστήματα παραγωγής (cyber-physical production systems- CPPS) αποτελούν αυτόνομα στοιχεία που συνεργάζονται, με βάση τη σύνδεσή τους εντός όλων των επιπέδων παραγωγής από τις διαδικασίες, μέσω των μηχανών στην παραγωγή, μέχρι τα δίκτυα εφοδιαστικής αλυσίδας.[106] Τα χαρακτηριστικά των CPPS αποτελούνται αρχικά από την ευφυΐα που σημαίνει ότι τα στοιχεία του μπορούν να αντλούν πληροφορίες από τον περιβάλλοντα χώρο και να ενεργούν αυτόνομα. Το δεύτερο χαρακτηριστικό αποτελεί η συνδεσιμότητα η οποία αφορά τη δυνατότητα εγκατάστασης και χρήσης συνδέσεων με τα υπόλοιπα στοιχεία του συστήματος, όπου περιλαμβάνονται και οι άνθρωποι, για συνεργασία με τη γνώση και τις υπηρεσίες να διατίθενται μέσω διαδικτύου. Τελευταίο χαρακτηριστικό αποτελεί η ανταπόκριση σε σχέση με εσωτερικές και εξωτερικές αλλαγές.[98]

Η ψηφιοποίηση της βιομηχανίας αναπτύσσεται σε μεγάλο βαθμό, ανάλογα όμως επεκτείνεται και ο όγκος των δεδομένων που λαμβάνονται κυρίως λόγω των εγκατεστημένων αισθητήρων. Αυτή η πληθώρα των δεδομένων απαιτεί ειδικό χειρισμό και ανάλυση προκειμένου να εξαχθεί πληροφορία με πραγματική αξία. Η ανάλυση των μεγάλων δεδομένων υλοποιεί την ιδέα της ψηφιακής παραγωγής ενεργώντας ως συστατικό τεχνολογιών όπως της προσθετικής κατασκευής (additive manufacturing).[107] Τα δεδομένα που εξάγονται από ένα βιομηχανικό περιβάλλον χαρακτηρίζονται ως βιομηχανικά μεγάλα δεδομένα (Industrial Big Data). Σε ένα έξυπνο βιομηχανικό περιβάλλον η χρήση μιας τεχνολογικά οδηγούμενης προσέγγισης αξιοποιεί τη σύνδεση των μηχανημάτων μέσω του διαδικτύου για την παρακολούθηση και τον έλεγχο των διαδικασιών παραγωγής, με ταυτόχρονη ανακατεύθυνση των εργασιών των ανθρώπων στο εργοστάσιο.[108]

Όπως παρουσιάστηκε στην ενότητα 3.2, η λιτή παραγωγή αποτελεί ενέργεια συνεχούς προσπάθειας αφανισμού ενεργειών που δε προσδίδουν αξία στο τελικό προϊόν. Τα επτά είδη αποβλήτων αποσκοπούν στην ταυτοποίηση αυτών των ενεργειών και ο αφανισμός τους στηρίζεται στη χρήση των κατάλληλων εργαλείων. Στη μετάβαση προς το πρότυπο του έξυπνου εργοστασίου προκύπτει άλλο ένα είδους απόβλητο σύμφωνα με την εργασία [109]. Με βάση την εργασία, το ψηφιακό απόβλητο διακρίνεται σε παθητικό που αφορά χαμένες ψηφιακές ευκαιρίες και σε ενεργό που ορίζεται ως τη σωστή ποσότητα πληροφοριών να μην παρέχεται, τη σωστή χρονική στιγμή, στο σωστό άτομο, μηχανή ή σύστημα για τη διαμόρφωση απόφασης. Παλαιότερα, τα κόστη των δεδομένων θωρούταν ως μη προστιθέμενη αξία αλλά απαραίτητα για την εταιρία και ο στόχος ήταν η ελαχιστοποίηση τους. Πλέον μέσω της σωστής αξιοποίησης τους τη κατάλληλη χρονική στιγμή μέσω των τεχνολογιών που προσφέρονται, παρέχεται ανταγωνιστικό πλεονέκτημα λόγω της αξίας που προσδίδουν.[110]

Το έξυπνο εργοστάσιο προσφέρει βασικές αναδυόμενες τεχνολογίες ενεργοποίησης με λύσεις συγκομιδής δεδομένων, αποθήκευσης δεδομένων, προτύπων επικοινωνίας και εργαλείων ανάλυσης δεδομένων προσφέροντας δυνατότητες για τη στρατηγική μηδενικών σφαλμάτων. Αυτές οι τεχνολογίες γίνονται εσωτερικό κομμάτι των σύγχρονων παραγωγικών συστημάτων. Η ευφυΐα του παραγωγικού συστήματος στηρίζεται στη δυνατότητα ανάλυσης των μεγάλων δεδομένων.[108] Στη συνέχεια παρουσιάζονται ορισμένες από τις κυριότερες τεχνολογίες που βρίσκονται σε ένα έξυπνο εργοστάσιο.

#### 6.2.4 Βιομηχανικό διαδίκτυο των πραγμάτων (Industrial Internet of Things-IloT)

Η τεχνολογική πρόοδος έχει μετατρέψει τον τρόπο με τον οποίο τα άτομα έχουν πρόσβαση στις πληροφορίες. Πλέον τα δεδομένα συλλέγονται από μια ποικιλία πηγών. Συσκευές όπως κινητά τηλέφωνα, τεχνολογίες που μπορούν να φορεθούν όπως smart watch, καθώς και πλήθος άλλων συσκευών αποτελούν απαραίτητο μέρος της καθημερινότητας. Το αποτέλεσμα είναι τα δεδομένα να συλλέγονται πιο γρήγορα και να αποτελούν μιά σύνθετη δομή.[111] Επομένως η κύρια πρόκληση είναι στην ανάλυση του συνόλου πολλών δεδομένων τα οποία έχουν συλλεχθεί από διάφορα περιβάλλοντα και πηγές σε ένα εύλογο χρονικό διάστημα. Η αξιοποίησή τους γίνεται με τέτοιο τρόπο ώστε να διαμορφώνονται καλύτερες αποφάσεις σε σημαντικά θέματα όπως της διαχείρισης παραγωγικών διαδικασιών σε πραγματικό χρόνο, καθώς και της εκτίμησης των δεδομένων για εντοπισμό πιθανών κινδύνων και σφαλμάτων.[112]

Στο επίκεντρο της τέταρτης βιομηχανικής επανάστασης το IoT προσφέρει μεγαλύτερη παραγωγικότητα στη βιομηχανία καθώς ενσωματώνει τη σύνδεση και την ανταλλαγή δεδομένων μεταξύ των παραγωγικών συστημάτων.[113] Οι σύγχρονες παραγωγικές διαδικασίες αποτελούνται από σύνθετα αυτόνομα ρομποτικά μηχανήματα στα οποία ενσωματώνεται λογισμικό και περιβάλλονται από συσκευές IoT. Μέσω της εισαγωγής ρομποτικού και αυτόνομου εξοπλισμού, έχει αυξηθεί η αποτελεσματικότητα των παραγωγικών συστημάτων μέσα σε λίγα χρόνια.[114].

Στην τεχνολογία πληροφοριών, το IoT αποτελεί τη σύνδεση μεταξύ δύο λέξεων, του διαδικτύου και των πραγμάτων. Είναι ένα σύστημα που εξυπηρετεί χρήστες παγκοσμίως μέσω διασυνδεδεμένων δικτύων υπολογιστών χρησιμοποιώντας ένα καθορισμένο διαδικτυακό πρωτόκολλο (IP).[115] Τα πράγματα αποτελούν ευδιάκριτα στοιχεία τα οποία μπορεί είτε να είναι ένα αντικείμενο είτε κάποιο άτομο.[116] Σύμφωνα με την εργασία [117], το IoT ορίζεται ως πανταχού παρόν για έναν κοινό σκοπό των αντικειμένων που αλληλοεπιδρούν και συνεργάζονται μεταξύ τους ψηφιοποιώντας τα φυσικά συστήματα.

Οι ψηφιοποιημένες πληροφορίες μπορούν να χρησιμοποιηθούν για τη προσαρμογή σχεδίων στην παραγωγή μέσω της χρήσης ενός ψηφιακού αντιγράφου του φυσικού κόσμου με τη χρήση δεδομένων από τους αισθητήρες.[118] Όλα τα συστήματα τα οποία αποτελούν τη παραγωγική διαδικασία όπως οι μηχανές και οι σχετικές πηγές αυτών, μπορούν να θεωρηθούν ως τα αντικείμενα τα οποία διαχειρίζονται και εικονοποιούνται από το δίκτυο.[115]

Τα κοινά επίπεδα που παρατηρούνται στο IoT κατατάσσονται ως εξής:

- 1) Το επίπεδο ανίχνευσης: αφορά το αρχικό επίπεδο κατά το οποίο ανιχνεύεται η κατάσταση των αντικειμένων με μιά μοναδική ταυτότητα που θα ενσωματώνεται σ' αυτά όπως αισθητήρες είτε RFID ετικέτες.
- 2) Το επίπεδο δικτύου, από το οποίο υποστηρίζεται η μεταφορά πληροφοριών μέσω καλωδιωμένου ή ασύρματου δικτύου από το επίπεδο ανίχνευσης προς το επόμενο επίπεδο των υπηρεσιών, αποτελώντας ουσιαστικά μιά υποστηρικτική δομή. Σε αυτό το επίπεδο καθορίζονται και χαρτογραφούνται τα αντικείμενα αυτόματα στο δίκτυο ενσωματώνοντας τη σύνδεση όλων των πραγμάτων για ανταλλαγή δεδομένων.
- 3) Το επίπεδο υπηρεσιών: εδώ χρησιμοποιείται μια τεχνολογία ενδιάμεσου λογισμικού προκειμένου να υποστηριχθούν συσκευές όπως και εφαρμογές από τους χρήστες ή από άλλες εφαρμογές. Η διαλειτουργικότητα μεταξύ των διαφορετικών συσκευών εξασφαλίζεται από αυτό το επίπεδο, καθώς εκτελούνται χρήσιμες υπηρεσίες όπως της αποθήκευσης, της ανταλλαγής και διαχείρισης δεδομένων
- 4) Το στρώμα διεπαφής: εδώ υπάρχει διευκόλυνση στη διασύνδεση των πραγμάτων καθώς οι πληροφορίες που εμφανίζονται, επιτρέπουν μια κατανοητή αλληλεπίδραση χρήστη-συστήματος.[115]

Συνεπώς, το διαδίκτυο των πραγμάτων αποτελεί ένα νέο τεχνολογικό πεδίο όπου τα αντικείμενα που συνδέονται στο διαδίκτυο, παρέχουν δεδομένα ή λειτουργίες ως υπηρεσίες καλύπτοντας από μικρά έως μεγάλα δίκτυα τόσο σε τοπικό όσο και σε παγκόσμιο επίπεδο.[115] Αποτελεί ένα ευρύ πεδίο και η εφαρμογή που βρίσκεται στη βιομηχανία είναι σε βιομηχανικές αυτοματοποιημένες εφαρμογές παραγωγής και συνήθως αναφέρεται ως βιομηχανικό διαδίκτυο των πραγμάτων (Industrial Internet of Things-IloT).[119]

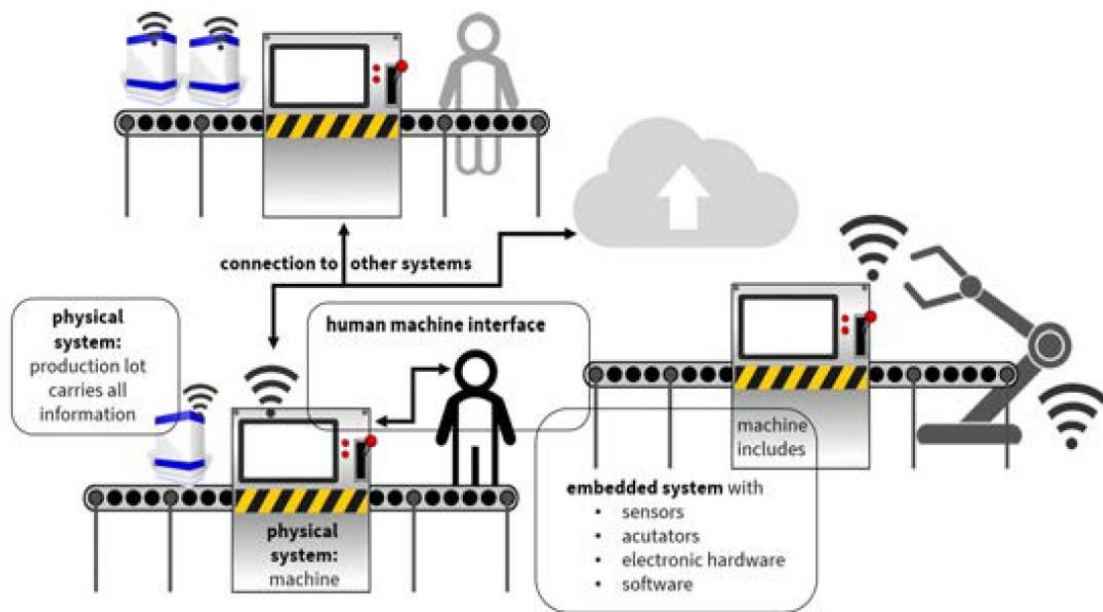
Στην νέα εποχή η παρακολούθηση των βιομηχανικών λειτουργιών γίνεται μέσω της ενσωμάτωσης αισθητήρων σε όλο το φάσμα της παραγωγικής διαδικασίας όπου παρεμβάλλεται ένα δίκτυο επικοινωνίας το οποίο επιτρέπει την οργάνωση των μηχανών και τον αποτελεσματικό έλεγχο τους. Πρόκειται για μία αρκετά χρήσιμη τεχνολογία καθώς βρίσκει εφαρμογή στην ιχνηλάτηση, στον αυτοματισμό της γραμμής παραγωγής κ.λπ.. [60],[61],[62] Μέσω του IoT ενσωματώνονται τα κυβερνοφυσικά συστήματα CPS μέσω της διασύνδεσης των διανεμημένων πηγών στο βιομηχανικό περιβάλλον για την απόκτηση πληθώρας δεδομένων προκειμένου να δημιουργηθεί βαθιά γνώση του περιβάλλοντος για την απόδοση χειριστών και μηχανών με σκοπό την ύπαρξη των λιγότερο δυνατών ελαττωμάτων. Από τα πιο συνήθη πρωτόκολλα επικοινωνίας που υποστηρίζονται από το IoT και τους αισθητήρες είναι το HTTP( Hypertext Transfer Protocol). [120],[121],[122]

### **6.2.5 Κυβερνοφυσικά συστήματα (Cyber physical systems- CPS)**

Τα κυβερνοφυσικά συστήματα αποτελούν τη συγχώνευση των ηλεκτρικών συστημάτων με φυσικά αντικείμενα. Το διαδικτυακό συστατικό επιτρέπει στο φυσικό αντικείμενο που συνήθως αποτελεί το μηχανικό σύστημα, να αλληλοεπιδράσει με τον φυσικό κόσμο μέσω της δημιουργίας ενός ψηφιακού αντίγραφου. Αυτό το ψηφιακό αντίγραφο θα περιλαμβάνει το φυσικό αντικείμενο του CPS (μια αναπαράστασή του) μέσω της ψηφιακής μορφής δεδομένων και πληροφοριών.[115]

Το CPS εμπεριέχει έξυπνα στοιχεία ή μηχανές τα οποία έχουν την επαυξημένη νοημοσύνη και δυνατότητα για τη μεταξύ τους επικοινωνία προκειμένου να αποτελέσουν μέρος οργάνωσης μοναδικών, μη επαναλαμβανόμενων εργασιών. Αυτό σημαίνει ότι τα έξυπνα στοιχεία μπορούν να διαχειριστούν τις ανάγκες των τεμαχίων εργασίας, της αλλαγής των βιομηχανικών στρατηγικών για τη βέλτιστη παραγωγή καθώς και για την εύρεση ή τη δημιουργία μιας νέας στρατηγικής.[115] Η βάση του CPS αποτελείται από ένα ενσωματωμένο σύστημα επεξεργασίας πληροφοριών για το φυσικό περιβάλλον. Διαφορετικά, το μοντέλο του CPS μπορεί να περιγραφεί ως μια μονάδα ελέγχου με έναν ή περισσότερους μικροελεγκτές, αισθητήρες ελέγχου και ενεργοποιητές που αντιδρούν με τον φυσικό κόσμο και την επεξεργασία των συλλεχθέντων δεδομένων. Μέσω κάποιας διεπαφής επικοινωνίας είναι εφικτή η ανταλλαγή δεδομένων μεταξύ του ενσωματωμένου συστήματος με άλλα τέτοια συστήματα ή με το νέφος (cloud).[123],[124]

Επιπρόσθετα αποτελείται από τρία συστατικά, της επικοινωνίας, του υπολογισμού και ελέγχου όπως και επίβλεψης. Αυτό σημαίνει ότι η επικοινωνία είναι εφικτή ενσύρματα ή ασύρματα συνδέοντας το CPS σε υψηλότερο επίπεδο σε συστήματα ελέγχου, ή σε χαμηλότερο επίπεδο σε συστατικά του φυσικού κόσμου. Η ευφυία ενσωματώνεται μέσω των υπολογισμών και του στοιχείου ελέγχου μέσω της ανταλλαγής εντολών ελέγχου και της λήψης μέτρων. Το CPS συνδέεται μέσω χρήσης ενεργοποιητών για το χειρισμό των φυσικών συστατικών και της χρήσης αισθητήρων για την επίβλεψη τους.[125]



Σχήμα 6.1 : Αναπαράσταση δομής ενός βιομηχανικού CPS[126]

Στο σχήμα 6.1 απεικονίζεται σχηματικά ένα CPS όπου αποτελεί ένα ολοκληρωμένο σύστημα το οποίο ενσωματώνεται σε φυσικά συστήματα όπως στις παρτίδες παραγωγής ή στις μηχανές. Οι αισθητήρες χρησιμεύουν στη συλλογή φυσικών δεδομένων και το ηλεκτρονικό υλικό (hardware) με το αντίστοιχο λογισμικό χρησιμεύει στην αποθήκευση και στην ανάλυση τους.[126]

Η αλληλεπίδραση μεταξύ της επεξεργασίας δεδομένων και άλλων φυσικών ή ψηφιακών συστημάτων αποτελούν τις βάσεις των CPS. Αρκετά συχνά εντοπίζεται και ένα HMI που αξιοποιείται στην επίβλεψη και στην ανταλλαγή πληροφοριών. Αρκετά CPS, τα οποία συνδέονται μέσω των ψηφιακών δικτύων δημιουργούν το CPPS, το οποίο βασίζεται σε υποσυστήματα. Αυτά είναι αυτόνομα και υπάρχει συνεργασία μεταξύ τους συνδεδεμένα σε όλα τα επίπεδα παραγωγής. Η αλληλεπίδραση του CPPS με τον ψηφιακό κόσμο, ενσωματώνει το IoT στη βιομηχανία. [115]

Οι αισθητήρες, το RFID, το IoT, IIoT, αποτελούν απαραίτητα στοιχεία της ψηφιοποίησης και της εξέλιξης των προηγμένων βιομηχανικών συστημάτων. Η ενσωμάτωση των αισθητήρων έχει καταλυτικό ρόλο καθώς αποτελεί την πηγή συλλογής ψηφιακών και αναλογικών δεδομένων τόσο από τις μηχανές όσο κι από το προϊόν που δημιουργείται σταδιακά. Τα δεδομένα αυτά θα χρησιμεύσουν ιδιαίτερα στην επίβλεψη της κατάστασης του εξοπλισμού.[98]

Εν κατακλείδι, ένα κυβερνοφυσικό σύστημα ενεργεί ως μία πηγή πρόσληψης δεδομένων σε ένα βιομηχανικό περιβάλλον. Πρόκειται για ενσωματωμένους υπολογιστές και δίκτυα που παρακολουθούν και ελέγχουν τις φυσικές διεργασίες συνήθως με βρόχους ανάδρασης όπου οι φυσικές διεργασίες επηρεάζουν τους υπολογισμούς.[120],[121],[122]

### 6.2.6 Υπολογιστική νέφος (Cloud Computing- CC)

Πρόκειται για μία εναλλακτική τεχνολογία και αφορά τις εταιρίες που θέλουν να επενδύσουν σε τεχνολογίες πληροφοριών με εξωτερικούς πόρους.[115] Αποτελείται από την κατά απαίτηση υπολογιστικές υπηρεσίες υψηλής αξιοπιστίας, επεκτασιμότητας και διαθεσιμότητας σε ένα κατακεντρωμένο και αποκεντρωμένο περιβάλλον.[102]

Η πρόσβαση που μπορεί να υπάρξει στο νέφος είναι τεσσάρων μορφών. Η πρώτη είναι δημόσια και συνήθως υπάρχει μία τοποθεσία κέντρου δεδομένων από το προμηθευτή και είναι διαθέσιμα για το κοινό. Δεύτερον υπάρχει η ιδιωτική όπου η τοποθεσία βρίσκεται στον ίδιο τον οργανισμό. Επιπλέον υπάρχει η υβριδική μορφή που αποτελεί έναν συνδυασμό νεφών δημόσιου και ιδιωτικού νέφους. Τέλος υπάρχει η κοινοτική πρόσβαση η οποία διαμοιράζεται από πολλούς οργανισμούς με κοινά συμφέροντα. Οτιδήποτε βρίσκεται στο νέφος αντιμετωπίζεται ως υπηρεσία.

Οι υπηρεσίες οι οποίες διαμορφώνουν ένα σύστημα τύπων που δομεί την υπολογιστική νέφος.[115] Οι τύποι αυτοί είναι τρεις στο σύνολο και είναι οι ακόλουθοι:

- Υποδομή ως υπηρεσία (Infrastructure as a Service-IaaS): είναι εκεί όπου οι προμηθευτές των υπηρεσιών νέφους προσφέρουν στους χρήστες βασικές πηγές υπολογισμού με ψηφιακές υποδομές. Τέτοιο παράδειγμα αποτελούν τα ψηφιακά δίκτυα ή αποθήκευση καθώς είναι και ο τύπος στον οποίο οι χρήστες μπορούν να λειτουργήσουν εφαρμογές λειτουργικού συστήματος.
- Πλατφόρμα ως υπηρεσία (Platform as a Service-PaaS): εκεί οι χρήστες μπορούν να αναπτύσσουν και να λειτουργούν εφαρμογές μέσω χρήσης προγραμματιστικών γλωσσών προκειμένου να αξιοποιηθεί η ταχύτητα και ο αποθηκευτικός χώρος του διακομιστή υπηρεσιών.
- Λογισμικό ως Υπηρεσία (Software as a Service-SaaS): εκεί υπάρχουν οι εφαρμογές οι οποίες λειτουργούν σε υποδομή νέφους. Αυτό σημαίνει ότι υπάρχει προσβασιμότητα στα προγράμματα από διαφορετικές συσκευές του χρήστη με κύριο στόχο να αποτελεί η ελαχιστοποίηση των εφαρμογών σε τοπικές συσκευές ενός ατομικού χρήστη. Μέσω αυτής της κατηγορίας ενσωματώνονται προγράμματα CAD και ERP που σημαίνει χαμηλότερο κόστος ιδιοκτησίας.

Στο βιομηχανικό περιβάλλον έχει προκύψει η θεωρία του βιομηχανικού νέφους (Cloud Manufacturing- CMfg) όπου αξιοποιεί την τεχνολογία CC προκειμένου να βελτιώσει τα τωρινά βιομηχανικά συστήματα. Η βιομηχανική έκδοση του CC χρησιμοποιεί απευθείας εφαρμογές του νέφους στη βιομηχανία. Αυτές οι εφαρμογές υλοποιούνται μέσω συνδυασμού των επιπέδων SaaS και PaaS.[115] Ο συνδυασμός των νέων τεχνολογιών ωθεί στη μορφή της κατασκευαστικής προσανατολισμένη στην υπηρεσία. Αυτό σημαίνει ότι οι χρήστες του CMfg αιτούνται για υπηρεσίες από όλο το φάσμα του κύκλου ζωής του προϊόντος από τη σχεδίαση μέχρι την παραγωγή και τη διαχείριση. Το CMfg είναι ένα αποκεντρωμένο και δικτυωμένο σύνολο πηγών παραγωγής όπου έχουν πρόσβαση οι παραγωγοί όποτε χρειαστεί με αξιοποίηση της τεχνολογίας CC.[115]

Επιπλέον θα πρέπει να επισημανθεί ότι το CMfg διαφέρει από το CPS διότι η σύνδεση μεταξύ φυσικών και ψηφιακών πεδίων πραγματοποιείται μέσω υπηρεσιών. Εν κατακλείδι, οι λύσεις που προσφέρονται μέσω νέφους κλιμακώνονται όσο αυξάνονται οι ανάγκες του οργανισμού ενώ είναι και δύσκολο να αποτύχουν κυρίως λόγω της αποκεντρωμένου υπολογισμού και αποθήκευσης.[98] Οι εφαρμογές του νέφους στη βιομηχανία συνήθως εντοπίζονται στην επίβλεψη της απόδοσης της παραγωγής, στην ανάλυση μεγάλων δεδομένων, στην επαυξημένη πραγματικότητα καθώς και στην απομακρυσμένη συντήρηση.[102]



### 6.2.7 Μεγάλα δεδομένα (Big Data -BD)

Το πλήθος των δεδομένων στον κόσμο, προσεγγιστικά διπλασιάζεται ανά δύο χρόνια το οποίο σαν αποτέλεσμα οδηγεί σε μια τεράστια ποσότητα δεδομένων η οποία καλείται και ως μεγάλα δεδομένα.[127],[128] Η διαρκής αλλαγή στον όγκο των μεγάλων δεδομένων έχει οδηγήσει από την ύπαρξη Terabyte το 2005, στα Petabyte το 2010 και τελικά στα Exabyte το 2017.[100] Όπως είναι λογικό, αυτό έχει άμεση συνέπεια στους υπολογισμούς και στην ανάλυση που χρειάζεται για τη διαχείριση τεράστιων μεγεθών δεδομένων. Η υιοθέτηση της εναλλαγής στη βιομηχανία 4.0 έχει ως συνέπεια τα κυβερνοφυσικά συστήματα να έχουν οδηγήσει στην αύξηση των δεδομένων που παράγονται, οδηγώντας έτσι αρκετά αναλυτικά συστήματα να αποθηκεύουν, να φιλτράρουν και να αναλύουν τα παραγόμενα δεδομένα. [129] Πλέον η διαρκής αλλαγή στα δεδομένα, οδηγεί παράλληλα στην εξέλιξη της ανάλυσης και κατανόησης αυτών.

Επομένως τα μεγάλα δεδομένα είναι εκείνα που ευθύνονται στη δημιουργία ευφυίας της επιχείρησης καθώς οι μέθοδοι ανάλυσης και επεξεργασίας οδηγούν σε συγκεκριμένες εφαρμογές.[100] Σύμφωνα με την εργασία [130], ο όρος που περιγράφει δεδομένα μεγάλου όγκου, σύνθετα και μεταβλητά που απαιτούν προηγμένες τεχνικές για την καταγραφή, αποθήκευση, διανομή διαχείριση και ανάλυση πληροφοριών. Για την επεξεργασία μεγάλης ποσότητας αδόμητων ετερογενών δεδομένων που συλλέγονται σε μορφές όπως ήχου, κειμένου, βίντεο, κ.λπ., υπάρχει ένα σύνολο διαστάσεων που θα πρέπει να πληρούνται όπως παρουσιάζονται στη βιβλιογραφία [115].

Όσον αφορά τον βιομηχανικό κλάδο της παραγωγής, προκειμένου να εξερευνηθούν τα δεδομένα απαιτείται πλέον η χρήση της ανάλυσης δεδομένων. Μέσω της υπολογιστικής νέφους που αποτελεί τεχνολογία που παρέχει την απαιτούμενη υπολογιστική ικανότητα, μέσω της ανεπτυγμένης ανάλυσης δεδομένων, των μεθόδων και των εργαλείων που παρέχονται, είναι εφικτή η ανάλυση ιστορικών και σε πραγματικό χρόνο, δεδομένων μέσω της μηχανικής μάθησης ή μοντέλων πρόβλεψης μεταξύ αυτών.[115] Το αποτέλεσμα είναι να παραχθεί γνώση η οποία εξάγεται από το τεράστιο πλήθος δεδομένων που ενσωματώνουν οι εταιρίες παραγωγής προκειμένου να κατανοηθούν τα διάφορα στάδια του κύκλου ζωής του προϊόντος. Επιπλέον οι προηγμένες αναλυτικές ικανότητες της BD είναι εξίσου χρήσιμες για τον εντοπισμό και την αντιμετώπιση κωλυμάτων που μπορεί να προκύψουν από την παραγωγή δεδομένων μέσω του IoT. Η ανάλυση των μεγάλων δεδομένων αποτελεί απαραίτητο στοιχείο στην ψηφιακή παραγωγή. Αποτελεί ενεργοποιητή των τεχνολογιών και για αυτόν το λόγο από τη μεριά της μαζικής παραμετροποίησης, η ανάλυση μεγάλων δεδομένων αποτελεί τη βάση για την ανάλυση συγκεκριμένων αγορών.

Σε αυτό το σημείο αξίζει να γίνει αναφορά στη σύνδεση των BD με τις προαναφερθείσες τεχνολογίες. Η συγκέντρωση δεδομένων από το IoT σε μεγάλα δεδομένα (BD) πραγματοποιείται με σκοπό την ανάλυση και τη διαμόρφωση συμπερασμάτων από συλλεχθείσες βάσεις δεδομένων. Άρα τα δεδομένα του IoT αποτελούν μέρος των BD ειδάλλως τα BD δε μπορούν να διαμορφωθούν για περαιτέρω ανάλυση. Όσον αφορά τη σχέση μεταξύ BD και CC, τα BD αποτελούν την απορροφητική εφαρμογή του CC, αφού το τελευταίο παρέχει την τεχνική υποδομή των BD.[115]

Η μαζική χρήση των κυβερνοφυσικών συστημάτων προκαλεί τεράστιο όγκο σύνθετων δεδομένων, τα οποία θα πρέπει να διαχειριστούν. Ο κύριος σκοπός της ανάλυσης των μεγάλων δεδομένων είναι ότι τα δεδομένα αυτά μπορούν να αποτελέσουν πηγή πρόβλεψης για μελλοντικές μη επιθυμητές καταστάσεις. Οπότε η ανάλυσή τους επικεντρώνεται περισσότερο στο τι θα συμβεί. Επιπλέον ο κλάδος των μεγάλων δεδομένων διαχωρίζεται σε τρία επίπεδα, στον τομέα της στατιστικής ανάλυσης, στην προσομοίωση και στη βελτιστοποίηση.

Η ευφυΐα ενός έξυπνου εργοστασίου στηρίζεται στην ανάλυση των μεγάλων δεδομένων αφού αποτελεί παράλληλα το στοιχείο ενίσχυσης της ποιότητας του προϊόντος. Ο όρος μεγάλα δεδομένα αναφέρεται σε ένα σύνολο δομημένων και μη, τόσο μεγάλων που οι συμβατικές βάσεις δεδομένων και οι τεχνικές των λογισμικών είναι δύσκολο να διαχειριστούν.

Το κύριο ζήτημα από την ανάλυση των μεγάλων δεδομένων είναι στα αποτελέσματα που προκύπτουν να συμβάλλουν στη διαμόρφωση σωστής απόφασης. Προηγμένα εργαλεία ανάλυσης δεδομένων όπως η τεχνητή νοημοσύνη μπορεί μέσω ανάλυσης των συλλεχθέντων δεδομένων να αποτρέψει μελλοντικά σφάλματα ενώ ταυτόχρονα να συμβάλλει στη δραστική μείωση του χρόνου downtime από μη προβλεπόμενα σφάλματα στη παραγωγή. Η τεχνητή νοημοσύνη μέσω της υπολογιστικής δυνατότητας και της μάθησης μέσω αναγνώρισης και επεξεργασίας δεδομένων μπορεί να συμβάλλει επιτυχώς στη βελτίωση της παραγωγικής αλυσίδας αξίας. [120],[121],[122]

## **6.2.8 Επαυξημένη πραγματικότητα (Augmented Reality -AR)**

Η επαυξημένη πραγματικότητα ή AR θεωρείται ως μια όψη που είναι σε θέση να εμπλουτίσει τον πραγματικό κόσμο μέσω οπτικών αντικειμένων που δημιουργούνται σε έναν υπολογιστή, τα οποία όμως παρουσιάζονται σαν να βρίσκονται σε μια παρόμοια τοποθεσία με τον πραγματικό κόσμο.[100] Ο σκοπός της χρήσης AR είναι για την ενίσχυση της αποδοτικότητας των χειριστών στην εργασία τους παρέχοντας τους τις απαραίτητες οδηγίες για την εκτέλεση μιας συγκεκριμένης εργασίας.[115] Αυτή η τεχνολογία μπορεί να δράσει και ως HMI.[131]

Η αξιοποίηση της στον χώρο παραγωγής κρίνεται σημαντική καθώς προσφέρει βοήθεια όπως και καθοδήγηση στην επίλυση τυχόν προβλημάτων. Ο τρόπος που το επιτυγχάνει είναι μέσω της αύξησης της αντίληψης του χειριστή από τη χρήση τεχνητών πληροφοριών σχετικών με το περιβάλλον εργασίας όπου ο πραγματικός κόσμος περιβάλλεται από αντικείμενα. Χρήσιμο στοιχείο του AR είναι η δυνατότητα επαναχρησιμοποίησης των ψηφιακών πληροφοριών και γνώσης για την υποστήριξη δραστηριοτήτων που λαμβάνουν χώρα σε λειτουργίες συναρμολόγησης.[115] Από έρευνα που έχει γίνει στην εργασία [132], προτείνεται η χρήση έξυπνων γυαλιών που ενσωματώνουν τεχνολογία AR για τη καθοδήγηση των νέων εργαζομένων στη διαδικασία συναρμολόγησης πλακετών τυπωμένων κυκλωμάτων (PCB).

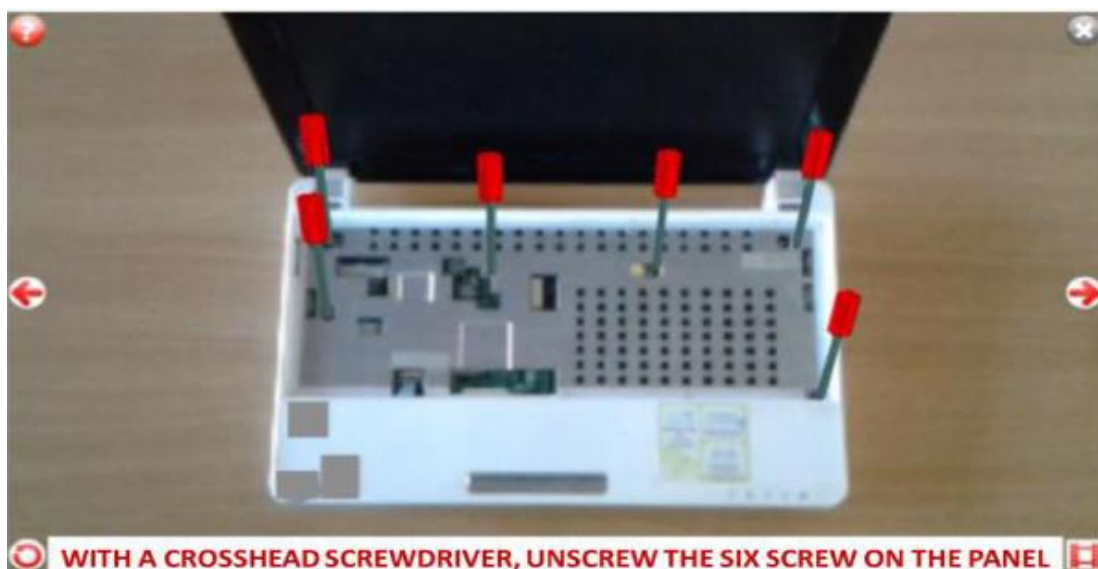
Σύμφωνα με τις εργασίες [133],[134], τα χαρακτηριστικά ενός συστήματος AR στηρίζονται στη δυνατότητα συνδυασμού πραγματικών με ψηφιακών αντικειμένων σε πραγματικό περιβάλλον καθώς και της ευθυγράμμισης αυτών όπως και της δυνατότητας λειτουργίας τόσο σε τρισδιάστατο όσο και σε πραγματικό χρόνο. Άλλο ένα πλεονέκτημα που παρουσιάζεται στην εργασία [135] είναι της δυνατότητας παροχής πληροφορίας από το AR δυναμικής και σε πραγματικό χρόνο, όπου μπορεί να συμβάλλει στην ελάττωση της γραφειοκρατίας. Τα κύρια στοιχεία που εντοπίζονται στο σύστημα AR είναι τα ακόλουθα.

Πρώτα απ' όλα χρειάζεται ένα στοιχείο λήψης εικόνας, όπου μια διαδικτυακή κάμερα είναι αρκετή. Επιπλέον χρειάζεται μιά οθόνη η οποία συμβάλλει στην απεικόνιση ψηφιακών πληροφοριών στις εικόνες που έχουν ληφθεί από τη διαδικτυακή κάμερα. Υπάρχουν τρεις τύποι συσκευών με οπτικές επιλογές όπου είναι φορητή τόσο για βίντεο όσο και για οπτική αναπαράσταση, όπως και η φορητή στο κεφάλι καθώς και στη χωρική που αποτελείται από έναν προτζέκτορα και το ολόγραμμα. Επιπρόσθετα χρειάζεται μια επεξεργαστική μονάδα η οποία συμβάλλει στη δημιουργία ψηφιακών πληροφοριών προς απεικόνιση.

Τέλος χρειάζονται στοιχεία ενεργοποίησης για τη προβολή των ψηφιακών πληροφοριών όπως αισθητήρες, θέσεις gps, κωδικοί QR.[115]

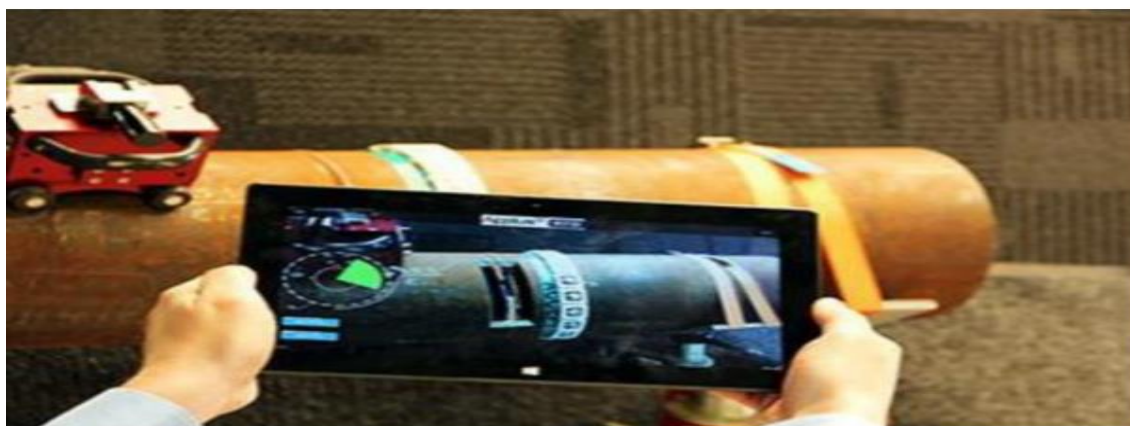
Προκειμένου να οπτικοποιηθούν οι πληροφορίες, τα οπτικά μέσα που χρησιμοποιούν οι συσκευές AR είναι οι ακόλουθες.

Αρχικά είναι το βίντεο όπου συνδυάζεται φυσικός και ψηφιακός κόσμος στην ίδια ψηφιακή προβολή. Μιά άλλη μορφή μπορεί να είναι η οπτική όπου ο πραγματικός κόσμος με εικονικά στοιχεία να επικαλύπτονται απευθείας στη προβολή. Επιπλέον η οπτική αναπαράσταση μπορεί να είναι ολόγραμμα που σημαίνει ότι γίνεται μιά ανάμειξη πραγματικού κόσμου με ψηφιακά αντικείμενα μέσω φωτομετρίας. Ενώ η τελευταία αναπαράσταση μπορεί να είναι μέσω προβολής ψηφιακών αντικειμένων απευθείας σε αντικείμενα του πραγματικού κόσμου με τη χρήση ψηφιακού προβολέα.[115]



Σχήμα 6.2: Διαδικασία συναρμολόγησης βήμα προς βήμα[115]

Στο σχήμα 6.2 παρουσιάζεται η διαδικασία συναρμολόγησης βήμα προς βήμα μίας συσκευής με χρήση φορητής οθόνης προκειμένου να διενεργηθούν εργασίες συντήρησης. Η εφαρμογή AR περιέχει γραπτή περιγραφή της εργασίας στο κάτω μέρος ενώ υπάρχουν δεξιά και αριστερά βέλη για την προώθηση στην επόμενη ή προηγούμενη διαδικασία αντίστοιχα.

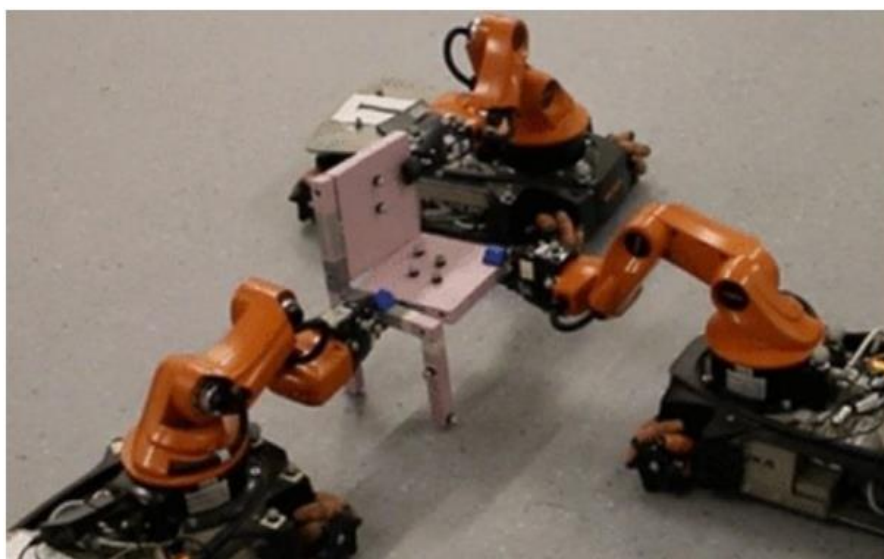


Σχήμα 6.3 Μη καταστροφικός έλεγχος αγωγού σε AR [115]

Η συντήρηση αποτελεί ένα από τα πιο υποσχόμενα πεδία του AR, καθώς ενισχύει την ανθρώπινη απόδοση σε εκτέλεση εργασιών συντήρησης, υποστηρίζοντας παράλληλα τη διαμόρφωση απόφασης για συντήρηση. Στο σχήμα 6.3 παρουσιάζεται ο διαγνωστικός τομέας. Και εδώ χρησιμοποιείται φορητή οθόνη όπου ο έλεγχος των ελαττωμάτων στον αγωγό και η χαρτογράφηση του αγωγού πραγματοποιείται μέσω τρισδιάστατης εικόνας. Με αυτόν τον τρόπο φαίνεται πιο καθαρή εικόνα της φύσης όπως και του βαθμού του ελαττώματος.[115]

### 6.2.9 Αυτόνομα ρομπότ (Autonomous robots)

Προκειμένου να καλυφθούν οι απαιτήσεις της έξυπνης και συνεργατικής παραγωγής, η τεχνολογία των ρομπότ έχει σημαντικό ρόλο στη συνεισφορά κατά τη διάδοση της βιομηχανίας 4.0 στους χώρους παραγωγής.[136] Η σημαντική άνοδος της ανάγκης αυτοματισμών καλύπτεται από πλήρως αυτοματοποιημένους σταθμούς εργασίας που χρησιμοποιούνται υψηλής απόδοσης βιομηχανικά ρομπότ.[137] Η ρομποτική 4.0 που υλοποιείται μετά το 2020, αφορά συστήματα που βασίζονται στο νέφος επιτρέποντας φυσικές αλληλεπιδράσεις, έχοντας ένα υβριδικό επίπεδο ευφυίας όσον αφορά την κίνηση, την αντίληψη και τους υπολογισμούς.[100] Όπως παρουσιάστηκε προηγουμένως, η βιομηχανία κινείται πλέον στην εξατομικευμένη παραγωγή, για αυτό και απαιτούνται ρομπότ ως αναδιατάξιμη τεχνολογία αυτοματισμού. Πλέον θεωρούνται ως απαραίτητο στοιχείο στις μεγάλες βιομηχανίες. Τα ρομπότ που ενσωματώνουν τεχνητή νοημοσύνη είναι προσαρμόσιμα και η ευελιξία τους διευκολύνει την κατασκευή διαφορετικών προϊόντων. Όταν είναι και πλήρως αυτόνομα, μπορούν να διαμορφώνουν αποφάσεις για την εκτέλεση εργασιών σε ένα διαρκώς μεταβαλλόμενο περιβάλλον χωρίς την επέμβαση του χειριστή.[115] Σύμφωνα με τη βιβλιογραφία [138], μέσω της ανάπτυξης πολλαπλών βιομηχανικών ρομπότ που λειτουργούν ως ομάδα, μπορεί να προκύπτει μεγαλύτερο εύρος παραγωγικής εφαρμογής. Η έρευνα που στηρίζεται στην ενσωμάτωση της ικανότητας των χειριστών στην επίλυση προβλημάτων καθώς και της ευελιξίας και αντοχής των ρομπότ έχει οδηγήσει το ενδιαφέρον στα συνεργατικά ρομπότ ή cobots (collaborative robots). Για παράδειγμα στη μελέτη [139] παρουσιάζεται ένα cobot διπλού βραχίονα με την ευελιξία του να του επιτρέπει την αποσυναρμολόγηση της μακέτας ενός κινητού τηλεφώνου. Ενώ στο σχήμα 6.4 παρουσιάζεται η αλληλουχία από cobots σε λειτουργίες συναρμολόγησης όπου πιάνουν εξαρτήματα και τα συναρμολογούν με σκοπό τη δημιουργία μιας σύνθετης δομής όπως της καρέκλας.[115]



Σχήμα 6.4: διαμόρφωση ρομπότ σε συναρμολόγηση[115]

Το μειονέκτημα από την αξιοποίηση των cobots είναι στην αδυναμία εργασίας με ανθρώπους στον ίδιο χώρο καθώς δεν υπάρχει σε απόλυτο βαθμό εγγύηση για την ασφάλεια του ανθρώπου.[100]

#### **6.2.10 Προσομοίωση – Ψηφιακά Δίδυμα (Simulation – Digital Twin)**

Η βιομηχανία 4.0 οδήγησε στην υλοποίηση του έξυπνου εργοστασίου ως βήμα ανάπτυξης στην παγκόσμια βιομηχανία. Οι προηγμένες κατασκευαστικές στρατηγικές έχουν ως αποτέλεσμα τη σχεδίαση νέων βιομηχανικών συστημάτων. Το νέο αυτό σύστημα είναι πολυεπίπεδο φυσικό σύστημα το οποίο αποτελείται από έξυπνες μηχανές, υλικά και προϊόντα καθώς και πολύπλοκες συνδέσεις μεταξύ διαφόρων στοιχείων.[140]

Στο νέο διαμορφωμένο περιβάλλον είναι σημαντικής σημασίας η βέλτιστη λήψη απόφασης. Για τον σκοπό αυτό υπάρχει μια σημαντική τεχνολογία που ονομάζεται προσομοίωση μέσω της οποίας δημιουργούνται μοντέλα για τη διαμόρφωση της βέλτιστης απόφασης. Μέσω της προσομοίωσης υπάρχει η δυνατότητα αξιολόγησης διαφόρων κινδύνων όπως και για την επίδραση στην απόδοση διαφορετικών διαδικασιών στον οργανισμό. Η προσομοίωση καθιστά ικανή την προγνωστική και οικονομικά αποτελεσματική παραγωγή μέσω της τεχνολογίας του ψηφιακού διδύμου.[100]

Το ψηφιακό δίδυμο αποτελείται από εικονικά μοντέλα υψηλής πιστότητας των φυσικών αντικειμένων σε ψηφιακό χώρο, με σκοπό τη προσομοίωση των συμπεριφορών των φυσικών διαδικασιών προσφέροντας ανατροφοδότηση σε πραγματικό χρόνο.[141]

Είναι μιά ολοκληρωμένη προσομοίωση πολλαπλών κλιμάκων ενός προϊόντος ή συστήματος όπου μπορεί να μοντελοποιήσει τις μηχανικές, και άλλες ιδιότητες του σε όλο το κλάδο ζωής του. Επιπλέον θεωρείται ότι μπορεί να βελτιστοποιήσει το φυσικό προϊόν ή το σύστημα με βάση των ανανεωμένων δεδομένων που λαμβάνονται από τους αισθητήρες μέσω του διαδικτύου των πραγμάτων.[140] Η εφαρμογή που μπορεί να βρει το ψηφιακό δίδυμο είναι στον προγραμματισμό παραγωγής στη στρατηγική μηδενικών σφαλμάτων.

Ο σκοπός της ενσωμάτωσης του ZDM είναι η βελτίωση της ποιότητας παραγωγής, συνεπώς και της μείωσης της ποσότητας των υλικών και της ενέργειας που απαιτείται για την παραγωγή μιας συγκεκριμένης ποσότητας προϊόντων, που οδηγεί σε πιο βιώσιμη παραγωγή. Για την επιτυχή υλοποίηση του ZDM απαιτείται συχνός επαναπρογραμματισμός στον χώρο παραγωγής για την εφαρμογή των ενεργειών μετριάσεως που απαιτούνται κατά την παρουσία κάποιου γεγονότος στην παραγωγή.[97] Μέσω του ψηφιακού διδύμου θα υπάρχει πρόβλεψη του ανεπτυγμένου εργαλείου προγραμματισμού χωρίς να χρησιμοποιείται στη πραγματικότητα.[97]

### 6.2.11 Κυβερνοασφάλεια (Cybersecurity)

Η κυβερνοασφάλεια ορίζεται ως έννοια σε υψηλό επίπεδο της ασφάλειας πληροφοριών και με το πρώτο συνθετικό της λέξης δείχνει την εφαρμογή τόσο σε βιομηχανικό περιβάλλον όσο και στο IoT. Η κύρια επίδραση ασθενούς κυβερνοασφάλειας σχετίζεται με το IoT, επομένως θα πρέπει να δημιουργείται σύμφωνα με την ασφάλεια των επικοινωνιών σε κάθε σημείο της παραγωγικής διαδικασίας. Αυτό συμβαίνει προκειμένου να διασφαλιστεί η ασφάλεια δια λειτουργικότητας των εγκαταστάσεων.[115] Η δημιουργία πολύτιμων πληροφοριών αποτελεί στοιχείο του έξυπνου εργοστασίου και αποτελεί ανάγκη η προστασία τους. Καθώς οι πληροφορίες και η ασφάλεια των δεδομένων είναι κρίσιμες για την επιτυχία της βιομηχανίας, τα δεδομένα θα πρέπει να διατίθενται αποκλειστικά στο εξουσιοδοτημένο προσωπικό. Η πηγή των κυβερνοεπιθέσεων συνήθως διακρίνεται σε εσωτερική και εξωτερική. Η εσωτερική αφορά κάποιον χρήστη ο οποίος έχει φυσική πρόσβαση σε κάποια θύρα δεδομένων ή από εξωτερική πηγή όπως κάποιο εξωτερικό κανάλι επικοινωνίας ή κάποια ασύρματη μετάδοση.[115]

Προκειμένου να διασφαλισθεί η κυβερνοασφάλεια προτείνεται ένα σύνολο έξι επιπέδων το οποίο θα πρέπει να πληρείται προκειμένου να εγγυηθεί η ασφάλεια των τεχνολογιών και των δεδομένων της εταιρίας.

- Η πρώτη γραμμή άμυνας είναι το τοίχος προστασίας του δικτύου που αντιστοιχεί σε τοίχο γύρω από την επιχείρηση για την αποτροπή ιών και κακόβουλου λογισμικού.
- Το δεύτερο επίπεδο αποτελεί η φυσική ασφάλεια και περιλαμβάνει τη χρήση συστημάτων επιτήρησης για τη επίβλεψη διάφορων τοποθεσιών όπως σημεία εξόδου για την ενίσχυση της οπτικής ασφάλειας.
- Το τρίτο επίπεδο αποτελεί η ελάττωση των κενών που προκύπτουν μέσω της σάρωσης του συστήματος για αδυναμίες από τους ειδικούς διασφαλίζοντας την ενημέρωση λογισμικού, antivirus και τείχη προστασίας με τα τελευταία βιομηχανικά πρότυπα.
- Το τέταρτο επίπεδο αφορά τη κρυπτογράφηση δεδομένων. Αφορά δηλαδή τη χρήση σύνθετων κωδικών με σκοπό τη καλύτερη κρυπτογράφηση και ασφάλεια του συστήματος.
- Το πέμπτο επίπεδο είναι η ανάπτυξη εξειδικευμένου προσωπικού σε μία κανονική βάση. Η επιχείρηση θα πρέπει να έχει συγκεκριμένα άτομα με τη κατάλληλη εκπαίδευση για τη αντιμετώπιση αυτών που έχουν παράνομη πρόσβαση σε δεδομένα.
- Το τελευταίο επίπεδο αποτελεί το τμήμα συνέχεια της επιχείρησης και ανάκαμψης από καταστροφές το οποίο χρειάζεται να εντοπίζει πιθανές απειλές όπως είναι η κυβερνοεπίθεση και να προετοιμάζει ένα σχέδιο δράσης. Για αυτό το λόγο είναι χρήσιμο σε αυτό το τμήμα να αποθηκεύει τα αρχεία και ως backup καθώς εμπεριέχουν πολύτιμα δεδομένα, κρυπτογραφημένα έγγραφα και ευαίσθητες πληροφορίες του οργανισμού.[100]

### 6.3 Αρχιτεκτονική ZDM στο Έξυπνο Εργοστάσιο

Το πλαίσιο της βιομηχανίας 4.0 δείχνει την ανάγκη για την ύπαρξη συνεργασίας ανάμεσα στα παραγωγικά συστήματα.

Μέσω του διαδικτύου των πραγμάτων επιτυγχάνεται η αποτελεσματική διασύνδεση των συστημάτων μέσω διάδρασης τους υπό το πρίσμα της μεταφοράς δεδομένων. Έτσι προκύπτει η ανάγκη ενός συστήματος υποστήριξης αποφάσεων το οποίο ενσωματώνει συστήματα εξόρυξης δεδομένων και οι αποφάσεις προέρχονται από τον υπολογιστή. Ένα τέτοιο σύστημα υποστήριξης αποφάσεων είναι οδηγούμενο από τη γνώση.

Από αυτό το σύστημα προκύπτουν δύο υποκατηγορίες:

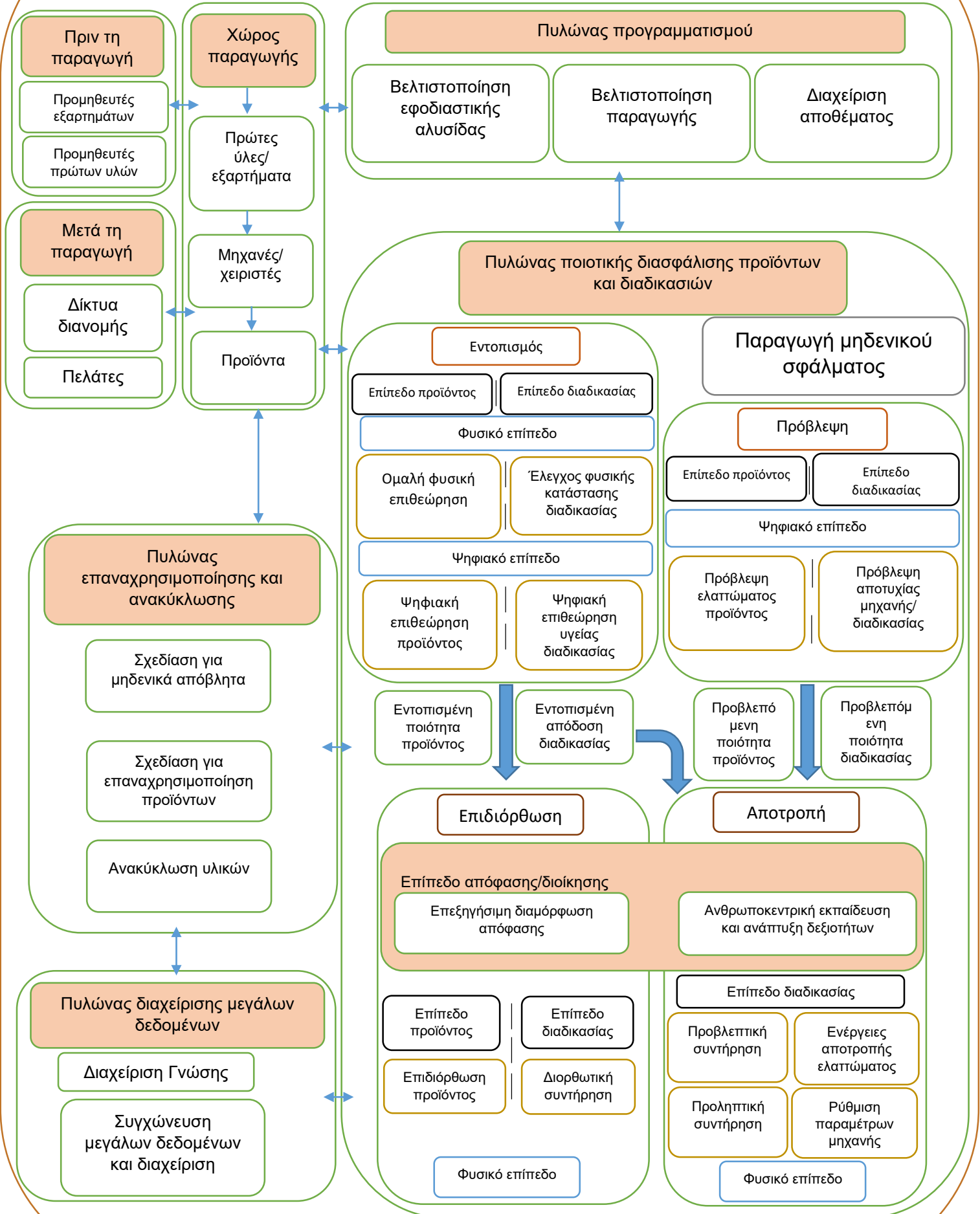
- Η πρώτη κατηγορία είναι συστήματα που στηρίζονται σε κανόνες δηλαδή δημιουργούνται με βάση τη γνώση των ειδικών και αναπαριστούν τη διαδικασία απόφασης τους.
- Η δεύτερη κατηγορία που είναι και αυτή η οποία χρησιμοποιείται περισσότερο είναι αυτή που ενσωματώνει αλγορίθμους μηχανικής μάθησης, νευρωνικά δίκτυα και τεχνολογίες τεχνητής νοημοσύνης.[142]

Ο σκοπός χρήσης ενός τέτοιου συστήματος οφείλεται στο γεγονός ότι στην περίπτωση κάποιου γεγονότος απόκλισης από τη ποιότητα πως θα γίνει επέμβαση στη παραγωγική διαδικασία χωρίς να διακόπτεται διαρκώς και να αποκλίνει από τον προγραμματισμό της.

Σύμφωνα με την εργασία [143], οι συγγραφείς ανακάλυψαν ένα σύστημα συνδυασμού διαρκούς ποιοτικού ελέγχου με προβλεπτική συντήρηση. Ο συνδυασμός αυτών των συστημάτων, οδηγεί όχι μόνο σε αξιολόγηση της πιθανότητας ελαττωμάτων αλλά και αξιολόγηση της κατάστασης φθοράς του εξοπλισμού για τον εντοπισμό της αιτίας των ελαττωμάτων και τη κατάταξη των ενεργειών συντήρησης. Ενώ σύμφωνα με την εργασία [144] ο συγγραφέας ενσωματώνει τον έλεγχο ποιότητας με αποτρεπτική συντήρηση και απόθεμα ασφαλείας.

Μέσω του ανεπτυγμένου μοντέλου, μελετήθηκε ότι μέσω ελέγχου ενός μέρους των παραχθέντων προϊόντων, εφαρμόζεται επανεπεξεργασία όταν εντοπιστούν ελαττώματα. Μέσω του αποθέματος ασφαλείας διασφαλίζεται η ζήτηση κατά την αποτρεπτική συντήρηση. Στη συνέχεια παρακάτω θα παρουσιαστεί πώς διαμορφώνεται πλέον η αρχιτεκτονική ZDM στο σύγχρονο εργοστάσιο.

# Ολιστική προσέγγιση βιώσιμης παραγωγής





Από το παραπάνω σχήμα φαίνεται η ολιστική αρχιτεκτονική ενός ZDM συστήματος. Οι στρατηγικές ενεργοποίησης ZDM εντοπισμού είτε πρόβλεψης χρησιμοποιούν κυρίως πραγματικά δεδομένα τα οποία προέρχονται από το χώρο παραγωγής όπως δεδομένα από τους αισθητήρες, ελεγκτές μηχανών με σκοπό τον εντοπισμό είτε την πρόβλεψη κάποιου ελαττώματος. Ο ψηφιακός εντοπισμός ή πρόβλεψη των ελαττωμάτων είναι βασικό στοιχείο στη προτεινόμενη αρχιτεκτονική. Από τη μεριά των στρατηγικών ενέργειας, της αποτροπής ή της επιδιόρθωσης, με τη χρήση δεδομένων ανωτέρου επιπέδου όπως δεδομένα προγραμματισμού και παλαιάς γνώσης τα οποία αξιοποιούνται για τη διαμόρφωση σωστής απόφασης στη περίπτωση ενός μελλοντικού θέματος ποιότητας.

Ένα πολύ βασικό σημείο εδώ αποτελεί η χρονική στιγμή που λαμβάνονται οι αποφάσεις, τη στιγμή που λειτουργεί η παραγωγή. Αυτό σημαίνει ότι απαιτούνται προηγμένα εργαλεία προγραμματισμού που θα μπορούν να χειριστούν ένα σύνολο από γεγονότα για επαναπρογραμματισμό της παραγωγής δημιουργώντας υψηλής ποιότητας προγράμματα. Οι ενέργειες όπως παρουσιάστηκε και στο κεφάλαιο 4 διαχωρίζονται σε επίπεδα προϊόντος και διαδικασιών.

Για τη στρατηγική επιδιόρθωσης, αν υπάρξει εντοπισμένο ένα ελάττωμα στο προϊόν, τότε θα πρέπει να επιδιορθωθεί αυτό. Αν το ελάττωμα εντοπίζεται στη διαδικασία, τότε θα πρέπει να υπάρξει διορθωτική συντήρηση. Επιπλέον στην περίπτωση εντοπισμού ελαττώματος, τότε θα πρέπει να γίνουν και κάποιες αποτρεπτικές ενέργειες όπως ο συντονισμός των μηχανών για την αποφυγή μελλοντικών ελαττωμάτων. Αν όμως υπάρξει πρόβλεψη για ένα ελάττωμα, τότε οι απαιτούμενες ενέργειες είναι η προβλεπτική συντήρηση των μηχανών μέσω ρύθμισης των παραμέτρων τους όπου θα πρέπει να εφαρμοσθούν στο πρόγραμμα πριν τον προβλεπόμενο χρόνο εμφάνισης του ελαττώματος. Όλες οι αποτρεπτικές ενέργειες αναφέρονται σε επίπεδο διαδικασιών καθώς είναι το επίπεδο που επηρεάζει τη ποιότητα του προϊόντος. Όπως παρουσιάστηκε προηγουμένως τεχνολογία τεχνητής νοημοσύνης είναι γνωσιακής βάσης θα εφαρμοσθεί για την αντιμετώπιση του ζητήματος ποιότητας σε επίπεδο διαμόρφωσης απόφασης.

Προκειμένου να επιτευχθεί βιώσιμη παραγωγή, θα πρέπει να υπάρχουν διαδικασίες επαναχρησιμοποίησης προϊόντων και ελαχιστοποίησης των αποβλήτων. Είναι λογικό να υπάρχουν απόβλητα σε ένα βιομηχανικό χώρο ωστόσο η παραγωγική εταιρία οφείλει να εφαρμόσει νέες σχεδιαστικές μεθόδους οι οποίες θα λαμβάνουν υπόψιν τη θεωρία της επαναχρησιμοποίησης των προϊόντων όπως και δεδομένα που λαμβάνονται από τον χώρο παραγωγής. Στον χώρο παραγωγής υπάρχει μια πληθώρα δεδομένων, που θα πρέπει να γίνει η διαχείρισή τους για τη σωστή εκμετάλλευση της προς όφελος της ίδιας, που σημαίνει ότι χρειάζονται συστήματα διαχείρισης γνώσης για την εξαγωγή γνώσης από παλαιότερες αποφάσεις για τη δόμηση των δεδομένων για τη δημιουργία γνώσης για την ορθή λειτουργία των μηχανών και εν τέλει της παραγωγής.[142]

## 6.4 Εφαρμογή ZDM σε Βιομηχανία

Σε αυτήν την ενότητα θα παρουσιαστεί μια ενδεικτική περίπτωση προτεινόμενης εφαρμογής της κατασκευαστικής μηδενικών σφαλμάτων στον τομέα τροφίμων και συγκεκριμένα σε εργοστάσιο παραγωγής ελαιολάδου. Σύμφωνα με την εργασία [3] οι βιομηχανικοί κλάδοι που βρίσκει κυρίως εφαρμογή η ZDM είναι ο κλάδος των ημιαγωγών, ακολουθεί η χαλυβουργία και οι βιομηχανίες αυτοκινήτων. Αν και δεν είναι τόσο διαδεδομένη η εφαρμογή ZDM στο κλάδο των τροφίμων, επιλέγεται η ακόλουθη εφαρμογή προς παρουσίαση καθώς είναι αρκετά επεξηγηματική ως προς τη διαδικασία υλοποίησης του ZDM.

### 6.4.1 Παραγωγική διαδικασία

Η παραγωγική διαδικασία, για παράδειγμα στην επεξεργασία ελιάς, αποτελείται από επτά στάδια επεξεργασίας.

- Το πρώτο στάδιο είναι η υποδοχή και αφορά την είσοδο των καρπών στο ελαιουργείο.
- Ακολουθεί το στάδιο της πλύσης όπου οι ελιές πλένονται για το καθαρισμό από φύλλα και ακαθαρσίες.
- Έπειτα αποθηκεύονται σε χοάνες και προωθούνται στο ελαιοτριβείο όπου θα συνθλιφθούν για τη δημιουργία της πάστας ελιάς.
- Σε επόμενο στάδιο η πάστα ελιάς που έχει προκύψει, τοποθετείται σε ένα θερμομίκτη όπου ζυμώνεται με αργή ανάδευση και θέρμανση προκειμένου να βελτιωθούν οι συνθήκες διαχωρισμού του λαδιού.
- Ο διαχωρισμός του λαμβάνει χώρα σε φυγόκεντρο για την απόδοση τόσο του ελαιόλαδου όσο και πυρήνας ως υποπροϊόν.
- Μετά από αυτό το στάδιο το λάδι εξακολουθεί να εμπεριέχει υγρασία και ακαθαρσίες σε υψηλό επίπεδο και απαιτείται ο περαιτέρω διαχωρισμός του μέσω κάθετης φυγοκέντρου.
- Στο τέλος αυτού του σταδίου το λάδι είτε φιλτράρεται είτε καταλήγει απευθείας σε μια δεξαμενή όπου πρόκειται να αποθηκευτεί.

Στο συγκεκριμένο είδος, η πρώτη ύλη, ο καρπός έχει μείζουσα σημασία στην τελική ποιότητα του προϊόντος, του ελαιόλαδου καθώς επηρεάζεται από παράγοντες όπως η ωριμότητα και η κατάσταση των καρπών. Επομένως οι ελιές που εισέρχονται στην παραγωγική διαδικασία αποτελούν και ένα άνω όριο της ποιότητας του ελαιόλαδου. Με τις μεταβλητές διεργασίας στα διάφορα παραγωγικά στάδια να έχουν περιορισμένη επιρροή με σωστή ρύθμισή τους, τότε η ποιότητα θα εξαρτάται καθαρά από τον καρπό.

Αρχικά κατά το πρώτο στάδιο της εισαγωγής των καρπών στο στάδιο της υποδοχής θα μπορούσε να τοποθετηθεί ένα σύστημα υπολογιστικής επίβλεψης (computer vision system) το οποίο θα αποτελείται από δύο συσκευές, η μια εγκατεστημένη πριν και η άλλη μετά το στάδιο πλύσης. Με αυτόν τον τρόπο επιτυγχάνεται ο διαχωρισμός για το ποιές ελιές μαζεύτηκαν από το έδαφος και ποιες από το δέντρο.[145] Από την εργασία [146] γίνεται ανάλυση των υπέρυθρων εικόνων για τη κατηγοριοποίηση των ελιών σύμφωνα με την ύπαρξη ελαττωμάτων υπό το πρίσμα ελεγχόμενων συνθηκών λήψης εικόνας. Επιπλέον σύμφωνα με το [147] κατά το στάδιο της ζύμωσης χρειάζονται κάμερες μέσα στον θερμομίκτη με την ύπαρξη σημαντικών δεικτών όπως το ιξώδες για την πρόταση καθορισμού τιμών μεταβλητών της διαδικασίας σύμφωνα με την κατάσταση επεξεργασίας της πάστας. Για την αξιολόγηση της ποιότητας του ελαιόλαδου, η Ευρωπαϊκή Ένωση έχει θεσπίσει νομοθεσία με βάση τα φυσικοχημικά χαρακτηριστικά του. Η αξιολόγηση του

τελικού προϊόντος πραγματοποιείται μέσω όσφρησης και γεύσης από εκπαιδευμένη ομάδα αξιολογητών. Ωστόσο σύμφωνα με την εργασία [148] έχουν εφευρεθεί ηλεκτρονικές μύτες για τη ποιοτική ταξινόμηση των βρώσιμων ελαίων. Ένας τέτοιος αισθητήρας χρησιμοποιήθηκε στην εργασία [149] για την εύρεση παρουσίας ελαττωμάτων σε παρθένα ελαιόλαδα.

#### **6.4.2 Ορολογία ZDM**

Κάθε περιβάλλον παραγωγής είναι διαφορετικό και για αυτόν το λόγο θα πρέπει να οριστεί με σαφήνεια τι σημαίνει ελάττωμα και πως ταξινομείται το προϊόν προκειμένου να μπορούν να αποκτήσουν όλοι μια κοινή αντίληψη. Ο σκοπός της εφαρμογής ZDM στη βιομηχανία είναι η διατήρηση του παραγωγικού συστήματος στο υψηλότερο δυνατό επίπεδο λειτουργίας του όπως και η βιωσιμότερη παραγωγή του καλύτερου δυνατού προϊόντος. Η επιτυχία εφαρμογής στηρίζεται στην υιοθέτηση ορθών στρατηγικών και προσεγγίσεων του ZDM. Όπως ορίζεται το ελάττωμα από τον Crosby, πρόκειται για τη μη συμμόρφωση με τις προδιαγραφές του προϊόντος. Σύμφωνα με τη στρατηγική μηδενικών σφαλμάτων, ουδέν ελαττωματικό προϊόν δε δύναται να φύγει από τον χώρο παραγωγής.

Στη βιομηχανία των ελαιόλαδων, το ελάττωμα αφορά οργανοληπτικό και γευστικό χαρακτηριστικό που παρήχθη από το ελαιόλαδο. Δηλαδή από το λάδι που είναι το τελικό προϊόν, το πιστοποιημένο πάνελ γευσιγνώστας το κατηγοριοποιεί σε δύο κατηγορίες βρώσιμου και ενός μη κατάλληλου για ανθρώπινη κατανάλωση. Υπό αυτό το πλαίσιο είναι δύσκολη η επίτευξη μηδενικών σφαλμάτων στο τελικό προϊόν αφού επιτρέπεται ένας αριθμός ελαττωμάτων σε σχέση με το τύπο λαδιού. Επομένως η προσέγγιση του ZDM εδώ είναι η παραγωγή του καλύτερου δυνατού προϊόντος σύμφωνα με καθορισμένες προδιαγραφές, και περιορίζεται αισθητά από τη ποιότητα των εισερχόμενων καρπών στη διαδικασία.

Άρα οι κύριες αιτίες δημιουργίας ελαττωμάτων είναι η κατάσταση των εισερχόμενων ελιών, η διαχείριση της παραγωγικής τους επεξεργασίας, και ο τρόπος αποθήκευσης του τελικού προϊόντος. Τα πιο κοινά ελαττώματα κατηγοριοποιούνται ως εξής: Αρχικά είναι το ελάττωμα της μούχλας το οποίο χαρακτηρίζει τη γεύση του λαδιού που έχει ληφθεί από ελιές οι οποίες έχουν αποθηκευτεί σε περιβάλλον υγρασίας ή ύπαρξη ακαθαρσιών όπως λάσπης που σημαίνει τη μη σωστή πλύση τους. Άλλο ένα ελάττωμα είναι το χαλασμένο που σημαίνει ότι οι ελιές που έχουν μαζευτεί είναι μη σωστά αποθηκευμένες και για μεγαλύτερο διάστημα από το επιτρεπτό. Επιπλέον υπάρχει η οξύτητα που δημιουργείται όταν οι ελιές που έχουν μαζευτεί αποθηκεύονται πολύ καιρό πριν τη ζύμωση. Άλλο ένα ελάττωμα είναι η μεταλλικότητα που υπάρχει λόγω του μη σωστού καθαρισμού κάποιου μέρους του εξοπλισμού. Τελικό ελάττωμα είναι το σάπιο που αφορά τη γεύση του λαδιού που έχει υποστεί έντονη διαδικασία οξείδωσης λόγω μη σωστής αποθήκευσης.

Αφού έχουν εντοπιστεί τα ελαττώματα, η συνέχεια είναι η κατηγοριοποίηση του λαδιού σε τρεις κατηγορίες. Η πρώτη αφορά το έξτρα παρθένο ελαιόλαδο το οποίο είναι και το υψηλότερα ποιοτικά προϊόν καθώς περιλαμβάνει μηδενικά ελαττώματα. Έπειτα ακολουθεί το παρθένο ελαιόλαδο το οποίο είναι ελαφρώς χαμηλότερα ποιοτικά σε σχέση με της πρώτης κατηγορίας. Περιλαμβάνει ελαττώματα από μηδέν έως 3,5 με ελευθερία οξύτητας κάτω από 2%. Η τελευταία κατηγορία ελαιόλαδου είναι απαγορευμένη για απευθείας πώληση καθώς περιλαμβάνει ελαττώματα πάνω από 3,5 και η ελευθερία οξύτητας ξεπερνά τη τάξη του 2%.

Ο στόχος του ZDM καθορίζεται εδώ ως η παραγωγή του καλύτερου δυνατού ελαιολάδου λαμβάνοντας υπόψη κυρίως τα χαρακτηριστικά του καρπού. Το θέμα τώρα είναι πως θα καθοριστεί το καλύτερο ελαιόλαδο, με την καλύτερη προσέγγιση να είναι η αντιμετώπιση

του θέματος ως ένα πρόβλημα βελτιστοποίησης. Υπάρχουν δύο αντικείμενα που θα πρέπει ταυτόχρονα να βελτιστοποιηθούν είναι η ποιότητα της παραγωγής και η απόδοσή της, δηλαδή της παραγωγής της μέγιστης δυνατής ποσότητας στην καλύτερη δυνατή ποιότητα. Πρόκειται βέβαια για αντικρουόμενες έννοιες καθώς όσο αυξάνεται η ποιότητα του ελαιολάδου, η απόδοση της παραγωγής μειώνεται. Αφού υπάρχουν δύο αντικειμενικές συναρτήσεις, το πρόβλημα θα αντιμετωπιστεί μέσω της βελτιστοποίησης πολλαπλών κριτηρίων όπου υπάρχει μια συνάρτηση κόστους και ακολουθείται η προσέγγιση προστιθέμενων βαρών για τον καθορισμό της σημαντικότητας του κάθε αντικειμένου στο πρόβλημα. Ο τρόπος καθορισμού φαίνεται από το [145]. Τώρα ως ελάττωμα ορίζεται η μη συμμόρφωση στη συνάρτηση που μοντελοποιεί το στόχο του ZDM. Δεν υπάρχει λοιπόν βέλτιστη λύση αλλά ένα εύρος λύσεων που ικανοποιούν τα δύο αντικρουόμενα αντικείμενα της συνάρτησης.

### 6.4.3 Προσεγγίσεις ZDM

Η προσανατολισμένη στο προϊόν προσέγγιση εκτιμά τα κύρια χαρακτηριστικά του παραγόμενου ελαιολάδου, με κύριο παράγοντα να είναι το κόστος ελέγχου του προϊόντος για την εφαρμογή της προσέγγισης. Όταν εντοπιστεί κάποια απόκλιση τότε τα δεδομένα της διαδικασίας αναλύονται για τον εντοπισμό των αιτιών και την αντιμετώπισή τους.

Όσον αφορά την προσέγγιση προσανατολισμένη στη διαδικασία αυτή αναλύει τα κύρια δεδομένα διαδικασίας για το παραγόμενο ελαιόλαδο. Αν τυχόν παρατηρηθούν αστάθειες στα δεδομένα κάποιας διαδικασίας τότε ο έλεγχος εφαρμόζεται στο παραγόμενο λάδι από το στάδιο εντοπισμού της αστάθειας. Το πρόβλημα στη συγκεκριμένη παραγωγική διαδικασία είναι ότι ο έλεγχος λαμβάνει χώρα στο τέλος των παραγωγικών διαδικασιών δηλαδή στο παραγόμενο προϊόν. Αυτό σημαίνει ότι οι παράμετροι των παραγωγικών διαδικασιών δε μπορούν να συντονιστούν γρήγορα. Αυτός ο περιορισμός ωθεί στην προσέγγιση προσανατολισμένη στη διαδικασία. Τα δεδομένα των εισερχόμενων καρπών και οι μεταβλητές της κύριας διαδικασίας αναλύονται και συσχετίζονται με την εκτίμηση της ποιότητας του προϊόντος. Μέσω αυτής της εκτίμησης επιτρέπεται ο καλύτερος συντονισμός των παραμέτρων των διαδικασιών για την απόκτηση ενός προϊόντος σύμφωνα με τις προδιαγραφές.

Όπως παρουσιάστηκε στο τέταρτο κεφάλαιο, υπάρχουν τέσσερις στρατηγικές με τους τρεις πιθανούς συνδυασμούς εντοπισμού - επιδιόρθωσης, εντοπισμού - αποτροπής που εντοπίζονται και παλαιότερα και της πρόβλεψης - αποτροπής, τον νέο συνδυασμό που εισάγει η μεθοδολογία ZDM, όπου στηρίζεται σε προηγμένες τεχνικές ανάλυσης δεδομένων που προσφέρουν τα μεγάλα δεδομένα για τη πρόβλεψη στο πότε θα υπάρξει κάποιο ελάττωμα και στις αποτρεπτικές ενέργειες που θα πρέπει να γίνουν πριν εμφανιστεί. Στη περίπτωση της παραγωγής ελαιολάδου προτείνονται δύο συνδυασμοί.

Ο συνδυασμός της πρόβλεψης - αποτροπής:

Μέσω πρόβλεψης της ποιότητας του λαδιού και εκτίμησης των λίτρων λαδιών που μπορούν να αποκτηθούν από μια προκαθορισμένη ποσότητα καρπών καθορίζεται η σημαντικότητα της ποιότητας σε σχέση με την απόδοση της παραγωγής. Άρα ο συνδυασμός αυτός καθορίζει τα βάρη της αντικειμενικής συνάρτησης. Οπότε το μελλοντικό κέρδος και η παραγωγικότητα σχετίζονται με τα χαρακτηριστικά των εισερχόμενων καρπών. Τους πρώτους μήνες οι καρποί χαρακτηρίζονται σχετικά από καλή υγεία, οπότε το βάρος που θα πρέπει να δοθεί στο αντικείμενο της ποιότητας θα πρέπει να είναι μεγαλύτερο σε σχέση με την απόδοση. Καθώς περνάει ο καιρός οι καρποί είναι πιο ώριμοι, γεγονός που μπορεί να χαλάσει την ποιότητά του λόγω και των διαφόρων μετεωρολογικών καταστάσεων. Σε αυτήν την περίπτωση η απόδοση αποκτά περισσότερο βάρος σε σχέση με την ποιότητα.

Ο συνδυασμός του εντοπισμού - αποτροπής:

Ο εντοπισμός των ελαιόλαδων όπου δε πληρούν την αναμενόμενη ποιοτική προδιαγραφή. Άρα η εκτίμηση της ποιότητας του λαδιού βασίζεται σε ιστορικά δεδομένα των τεστ και σε πληροφορίες κατά τον επιτόπιο έλεγχο στην παραγωγική διαδικασία. Η απόδοση επιπλέον μπορεί να εκτιμηθεί από την ανάλυση της ποσότητας του ελαιόλαδου στο στάδιο διαχωρισμού όπου απομένει στον πυρήνα. Με βάση αυτά τα δεδομένα, οι σχετιζόμενες παράμετροι των διαδικασιών ρυθμίζονται για την επίτευξη των κριτηρίων της συνάρτησης.

Ο συνδυασμός του εντοπισμού - επιδιόρθωσης δεν μπορεί να εφαρμοστεί καθώς αφού παραχθεί το ελαιόλαδο, κατηγοριοποιείται και σε αυτό το στάδιο είναι πολύ δύσκολο έως αδύνατο να βελτιωθεί είτε η απόδοση είτε η ποιότητα.[145]

#### **6.4.4 Αρχιτεκτονική ZDM**

Η κύρια πρόκληση για μια υλοποίηση ZDM είναι η συλλογή των δεδομένων που είναι διασκορπισμένα στις διαφορετικές πηγές που έχουν διανεμηθεί κατά μήκος της παραγωγικής γραμμής. Τα κύρια δεδομένα αφορούν την κατάσταση των καρπών, κύριες μεταβλητές διαδικασιών, εντυπώσεις των χειριστών, όπως και εκτίμησης της ποσότητας και της ποιότητας.

Στη συγκεκριμένη εφαρμογή, για την κατάσταση των εισερχόμενων φρούτων, η υπολογιστική όραση είναι μια σημαντική τεχνολογία καθώς κατηγοριοποιεί τους καρπούς σύμφωνα με την ωριμότητα και την καθαριότητα. Η εγκατάσταση των καμερών γίνεται πριν και μετά το στάδιο πλύσης. Πριν το στάδιο πλύσης οι λαμβανόμενες εικόνες βοηθούν στον διαχωρισμό των καρπών που αποκτήθηκαν από τα δέντρα και από το έδαφος. Οι εικόνες που λαμβάνονται από την εγκατάσταση υπερύθρων εικόνων αφορούν τη κατηγοριοποίηση των καρπών με βάση τη διάβρωση που έχουν μετά το στάδιο της πλύσης.

Οι παράμετροι διαδικασίας αφορούν ένα σύνολο από ελεγχόμενες μεταβλητές της διαδικασίας που επηρεάζουν είτε την ποιότητα του προϊόντος είτε την απόδοση της παραγωγής. Τέτοιες μεταβλητές θα μπορούσαν να είναι ο χρόνος αποθήκευσης όπως και η κατάσταση αποθήκευσης των καρπών πριν την επεξεργασία όπως η υγρασία. Ενώ άλλες παράμετροι μπορεί να αφορούν στο στάδιο της ζύμωσης τη θερμοκρασία της πάστας. Στο τελικό στάδιο ως παράμετροι θα μπορούσαν να είναι η θερμοκρασία, η έκθεση στο φως, κ.λπ.. Το σύνολο από τα δεδομένα των παραμέτρων των διαδικασιών υποστηρίζονται από ένα σύστημα διεπαφής μηχανών ανθρώπων (Human Machine Interface) επιτρέποντας στον χειριστή να συμμετέχει στη διαδικασία συλλέγοντας και ο ίδιος ένα σύνολο δεδομένων.

Όσον αφορά τη ποιότητα του προϊόντος η μη απευθείας συλλογή δεδομένων οδηγεί στη συλλογή ιστορικών δεδομένων για την εκτίμηση της ποιότητας του ελαιόλαδου. Αυτά τα ιστορικά δεδομένα προέρχονται από τις τεχνολογίες των αισθητήρων. Οι πληροφορίες που θα εξαχθούν από τα δεδομένα, που είναι εικόνες στη προκειμένη περίπτωση, βοηθάνε στην πρόβλεψη του μέγιστου δυνατού επιπέδου ποιότητας. Η σωστή επεξεργασία των καρπών θα βοηθήσει στην επίτευξη της προβλεπόμενης ποιότητας.

Η συνέχεια από τη συλλογή των διαφόρων δεδομένων από τους αισθητήρες και από το ανθρώπινο δυναμικό είναι να υπάρχει σωστή επεξεργασία αυτών και η μετατροπή τους σε χρήσιμες πληροφορίες. Το επίπεδο συλλογής δεδομένων από πολλαπλούς αισθητήρες και από την ανθρώπινη ανατροφοδότηση είναι το πρώτο στάδιο. Σε αυτό το στάδιο, συγκεντρώνονται όλα τα δεδομένα από το HMI, και από τους αισθητήρες. Η συλλογή όλων των δεδομένων διαμορφώνεται σε μια ενοποιημένη μορφή και προωθούνται στο στάδιο της διαχείρισης δεδομένων και συγχρονισμού. Σε αυτό το στάδιο όλα τα συλλεχθέντα δεδομένα ανανεώνονται σε μια δομημένη μορφή. Παράλληλα αυτό το στάδιο λαμβάνει δεδομένα

παραγωγής και από το σύστημα ERP και στόχο έχει να διαβιβάσει ένα συνδυασμό δεδομένων πραγματικού χρόνου και ιστορικών δεδομένων σε ένα επίπεδο επεξεργασίας. Σε αυτό το στάδιο συλλέγονται όλα τα δεδομένα σε μία δομημένη μορφή και αποτελούν πηγή γνώσης. Αυτή η πηγή γνώσης θα πρέπει να εξαχθεί για να αξιοποιηθεί μέσω της πλατφόρμας επεξεργασίας. Αυτή η πλατφόρμα αποτελείται από ένα σύνολο επεξεργαστικών μονάδων όπου βρίσκονται μοντέλα μηχανικής μάθησης για να μετατρέψουν τα δεδομένα σε πληροφορία. Στο στάδιο του σχεδιασμού του μοντέλου μηχανικής μάθησης, ιστορικά δεδομένα από τους αισθητήρες, από τη πλατφόρμα HMI και από το σύστημα ERP χρησιμοποιούνται ως βάση εκπαίδευσης για την εξαγωγή χαρακτηριστικών των μοντέλων. Έπειτα μέσω της χρήσης πραγματικών δεδομένων οριστικοποιείται το μοντέλο και εξάγονται πληροφορίες. Οι πληροφορίες αυτές με τη σειρά τους αποθηκεύονται στη πλατφόρμα διαχείρισης πληροφοριών και ελέγχου. Εκεί διανέμονται επίσης οι πληροφορίες που συλλέχθηκαν από τις μονάδες επεξεργασίας.

Πλέον ιστορικά και πραγματικά δεδομένα τροφοδοτούν το σύστημα ERP και με τη σειρά του καθορίζει τους παραγωγικούς στόχους μέσω της στρατηγικής ZDM: πρόβλεψης και αποτροπής.[145]

## 7. Σύνοψη

Στη συγκεκριμένη εργασία αναλύθηκε η πορεία της βιομηχανίας από τη λιτή παραγωγή προς τη παραγωγή μηδενικών σφαλμάτων και την ανάγκη υιοθέτησης της νέας στρατηγικής όπου αξιοποιεί πλήρως τις τεχνολογικές δυνατότητες που προσφέρει η βιομηχανία 4.0.

Όπως παρατηρήθηκε, οι παραδοσιακές μέθοδοι ποιοτικής βελτίωσης βρίσκουν εφαρμογή για την αντιμετώπιση ελαττωμάτων κατά τη διάρκεια της παραγωγικής διαδικασίας αξιοποιώντας κυρίως ιστορικά δεδομένα, δείχνοντας καθυστέρηση στην αντιμετώπιση άμεσων ζητημάτων ποιότητας. Η στρατηγική των μηδενικών σφαλμάτων πάει ένα βήμα παραπάνω καθώς υιοθετείται από την αρχή της παραγωγής και μέσω των τεχνολογιών εντοπισμού όπως των αισθητήρων παρέχεται διαρκής ροή πραγματικών δεδομένων μέσω του βιομηχανικού δικτύου για ανάλυση αρκετών δεδομένων όπου με τη βοήθεια και των ιστορικών δεδομένων συμβάλλει σε μία άμεση βέλτιστη λύση του προβλήματος που θα αντιμετωπιστεί με κύριο στόχο την ύπαρξη μηδενικών ελαττωμάτων στο τέλος της παραγωγικής διαδικασίας. Επομένως προϋπόθεση εφαρμογής της μεθοδολογίας είναι η μετατροπή του εργοστασίου σε έξυπνο δηλαδή με ενσωμάτωση των τεχνολογιών που αναλύθηκαν στο πέμπτο κεφάλαιο. Από την ενσωμάτωση των τεχνολογιών, τα δεδομένα που διατίθενται είναι μεγάλου όγκου. Επομένως από τα πρώτιστα θέματα που δημιουργούνται είναι η σωστή διαχείριση αυτών.

Ένα βιομηχανικό περιβάλλον χαρακτηρίζεται από θορύβους με συνέπεια, να μπορεί ένα σημαντικό ποσοστό δεδομένων να χαθεί από το αρχικό στάδιο της απόκτησής τους. Άρα ένα θέμα για μελλοντική έρευνα θα ήταν η σωστή χρήση των κυβερνοφυσικών συστημάτων στη διαμόρφωση ενός κατάλληλου χώρου, στον χώρο παραγωγής. Άλλο ένα καίριο ζήτημα που υπάρχει είναι στην ασφάλεια των δεδομένων.[122] Μέσω χρήσης πλατφόρμας εξόρυξης δεδομένων θα πρέπει να διασφαλιστεί στην εταιρία ότι τα δεδομένα της παραγωγής κυκλοφορούν αποκλειστικά στο εσωτερικό δίκτυο της εταιρίας. Άλλο ένα ζήτημα από τη βιβλιογραφία είναι ότι υπάρχει ένα εννοιολογικό πλαίσιο γύρω από τη διαχείριση των δεδομένων και η εφαρμογή προσαρμόζεται σε κάθε βιομηχανική περίπτωση χωρίς ένα γενικό βιομηχανικό πλαίσιο. Στο στάδιο της υλοποίησης του ZDM θα πρέπει να υπάρχουν μέθοδοι ελέγχου με την αποφυγή κατανάλωσης υλικών, ενώ θα πρέπει να γίνει

έρευνα πάνω σε διαγνωστικές και μεθόδους αποτροπής των ελαττωμάτων. Μια σημαντική πρόοδος θα μπορούσε να επιτευχθεί μέσω της ενσωμάτωσης του PHM όπως παρουσιάστηκε στο πέμπτο κεφάλαιο με την υλοποίηση των στρατηγικών του ZDM. Επιπλέον θα πρέπει να αναζητηθούν λύσεις επανασχεδιασμού και χρήσης προϊόντων που απορρίπτονται ως ελαττωματικά για τη μείωση του περιβαλλοντικού αποτυπώματος, στοχεύοντας στη κυκλική οικονομία. Σε αυτό το θέμα επικεντρώνεται και η ατζέντα της ευρωπαϊκής έρευνας για την υλοποίηση του ZDM στο πλαίσιο του προγράμματος Horizon Europe 2021 που αφορά το συνδυασμό ενεργειών ZDM με τη προσέγγιση της κυκλικής οικονομίας.[9]

Ένα σημαντικό ζήτημα από την υλοποίηση της μεθοδολογίας ZDM εμπίπτει στο γεγονός του προγραμματισμού παραγωγής. Καθώς η μεθοδολογία στοχεύει στην άμεση αντιμετώπιση του θέματος που θα προκύψει, επειδή πιθανώς να παρουσιαστούν μια σειρά από γεγονότα στη συνέχεια των διαδικασιών, σημαίνει τον προγραμματισμό των ενεργειών δράσης σε ένα συγκεκριμένο χρονικό σημείο. Οπότε θα πρέπει να δημιουργηθεί μία ευέλικτη μέθοδος ενσωμάτωσης τόσο των παραγγελιών όσο και των ενεργειών δράσης για να εφαρμοσθεί η επέμβαση στη παραγωγική διαδικασία σε κατάλληλη χρονική περίοδο.[81] Πριν την εφαρμογή όμως της εφαρμογής των ζευγαριών στρατηγικής του ZDM θα πρέπει να ληφθούν παράλληλα υπόψη οι κύριες παράμετροι ελέγχου που χαρακτηρίζουν κάθε μία στρατηγική ξεχωριστά όπως παρουσιάζονται στην εργασία [150, Table 2]. Εκτός αυτού επισημάνθηκε και η ανάγκη στο πλαίσιο των ορισμών που εισάγει η μεθοδολογία για υιοθέτηση εννοιών στα τυποποιημένα πρότυπα [85], όσο και η ανάγκη για τον ορισμό τυποποιημένων τεχνολογιών που σχετίζονται με το ZDM για να είναι ξεκάθαρο στο τί τεχνολογίες χρειάζεται να εφαρμόσει μια κατασκευάστρια εταιρία που ενδιαφέρεται για την υλοποίηση του ZDM.[81]

Τέλος ο ρόλος των εργαζομένων στο χώρο παραγωγής, με την εφαρμογή του ZDM αλλάζει και χρειάζεται η διαρκής εκπαίδευση αυτών στο πλαίσιο των νέων τεχνολογιών που χρησιμοποιεί η εταιρία, επομένως θα πρέπει να υπάρξει έρευνα στη συμμετοχή των εργαζομένων με στόχο τη συνεχή βελτίωση για τη μείωση των ελαττωμάτων στις παραγωγικές διαδικασίες υπό τη τεχνολογική πρόοδο.[151]

## 8. ΒΙΒΛΙΟΓΡΑΦΙΑ

1. Marcello Colledani, Tullio Tolio, Anath Fischer, Benoit lung, Gisela Lanza, Robert Schmitt, Jozsef Vancza (2014), "Design and manufacturing systems for production quality"
2. Ozcan Ali Mert, Akdogan Anil, Durakbasa M. Nuran, Gencyilmaz Gunes (2021) "Improvements in the Manufacturing Processes by Measurement and Evaluation Studies According to the Quality Management System Standard in Automotive Industry"
3. Foivos Psarommatis, Sylvain Prouvost, Gokan May, Dimitris Kiritsis (2020) "Product Quality Improvement Policies in Industry 4.0: Characteristics, Enabling Factors, Barriers, and Evolution Toward Zero Defect Manufacturing"
4. Hong-Bae Jun (2022) "A review on the Advanced Approach for Achieving the Zero-Defect Manufacturing System"
5. Foivos Psarommatis, Dimitris Kiritsis (2021) "Comparison Between Product and Process Oriented Zero-Defect Manufacturing (ZDM) Approaches"

6. Lockheed Martin, "Zero Defects", Άρθρο στην ιστοσελίδα της εταιρίας: <https://www.lockheedmartin.com/en-us/news/features/history/zero-defects.html>
7. Crosby Phillip B. (1980) "Quality is Free", Βιβλίο, Εκδόσεις: Signet
8. Crosby Phillip B. (1989) "Let's talk quality", Βιβλίο, Εκδόσεις: McGraw-Hill Inc
9. Daryl Powell, Maria Chiara Magnanini, Marcello Colledani, Odd Myklebust (2021) "Advancing zero defect manufacturing: A state of-the-art perspective and future research directions"
10. Emma K Macdonald, Michael Kleinaltenkamp, Hugh Wilson (2016) "How Business Customers Judge Solutions: Solution Quality and Value in Use"
11. Sunil Luthra, Dixit Garg, Ashish Agarwal, Sachin K. Mangla (2020) "Total Quality Management( TQM) Principles, Methods, and Applications" Βιβλίο, Εκδόσεις: CRC Press
12. Pankaj Kumar, J. Maiti, Angappa Gunasekaran (2017) "Impact of quality management systems on firm performance" Άρθρο από <https://www.emeraldgrouppublishing.com/journal/ijqrm>
13. Michael Sony (2018) "Industry 4.0 and lean management: a proposed integration model and research positions"
14. Ji-hye Jun, Tai-Woo Chang, Sungbum Jun (2020) "Quality Prediction and Yield Improvement in Process Manufacturing Based on Data Analytics"
15. Ke-Sheng Wang (2013) "Towards zero-defect manufacturing (ZDM)- a data mining approach"
16. Shenoy Ram, PPI POSITION PAPER, "Defining "Production System" from an Operations Science and Project Production Management Perspective"
17. Ruttimann G. Bruno, Stockli T. Martin, "From Batch & Queue to Industry 4.0 – Type Manufacturing Systems: A Taxonomy of Alternative Production Models"
18. Madis Kuuse (2022) "Push System vs. Pull System in Manufacturing Management", Άρθρο από ιστοσελίδα: <https://manufacturing-software-blog.mrpeasy.com/push-system-vs-pull-system/>
19. Mária Mičietová (2011) "Lean production, lean vs mass production, tpm as a tool of lean production", Άρθρο: <https://pernerscontacts.upce.cz/index.php/perner/article/view/918/752>
20. Pedro L Gonzalez-R, Jose M. Framinan (2011) "Token-based pull production control systems: an introductory overview"
21. Pearson, πλατφόρμα εκπαίδευσης, σημειώσεις "Just-In-Time/Lean Manufacturing(JIT/LEAN)" <https://www.pearsonhighered.com/assets/samplechapter/0/1/3/3/0133791858.pdf>
22. Sarbjit Singh, (2017), "Study on Push/Pull Strategy Decision Taken by Organizations for Their Products and Services"
23. Powell Daryl, Arica Emrah, (2015), "To Pull or Not to Pull: A Concept Lost in Translation?"
24. Womack, J. P., & Jones, D. T. (1996), Βιβλίο, Πρώτη έκδοση, "Lean Thinking : Banish Waste and Create Wealth in Your Corporation"
25. Corniani Margherita (2008), "Push and Pull Policy in Market-Driven Management"
26. Shiva Kumar G N, Varadarajan Y S, Basavaraju G (2015) "Implementation of pull-system using kanban"
27. Panicker V. Vinay, Course Note, "Production Management (ME 3105)"
28. Weiguo Zhong, Shige Makino (2015) "Customer Involvement and service firm internalization performance: An integrative framework"



29. Abdallah Bahjat Ayman, Matsui Yoshiki (2009) "The Impact of Lean Practices on Mass Customization and Competitive Performance of Mass-Customizing plants"
30. Minhas S. H., Lehmann C., Stadter J.P., Berger U., "Reconfigurable strategies for manufacturing setups to confront mass customization challenges"
31. Songi Kim, Keeheon Lee (2022) "The paradigm shift of mass customization research"
32. Nigel Wixcey (2015) "Made-to-order: The rise of mass personalization" Έρευνα της εταιρίας Deloitte: <https://www2.deloitte.com/ch/en/pages/consumer-business/articles/made-to-order-the-rise-of-mass-personalisation.html>
33. Arkar Htun, Thin Thin Maw, Cho Cho Khaing (2019) "Lean Manufacturing, Just in Time and Kanban of Toyota Production System (TPS)"
34. Rahul S. Mor, Arvind Bhardwaj, Sarbjit Singh, Anish Sachdeva (2019) "Productivity gains through standardization-of-work in a manufacturing company"
35. Morriel Kasher, Nisha Mani, Rohan Sharma, Lucy Zhang, Aiyana Delfin, Genesis Yulfo (2018) "Application of Lean Manufacturing Principles in Optimizing Factory Production"
36. Misda Yanti, Fitriani Surayya Lubis, Nazaruddin, Muhammad Rizki, Silvia, Sarbaini (2022) "Production Line Improvement Analysis With Lean Manufacturing Approach To Reduce Waste at CV. TMJ uses Value Stream Mapping (VSM) and Root Cause Analysis( RCA) methods"
37. Vivaan B. Mehta, Pranav Y. Dave (2020) "Impact of 5S and lean manufacturing techniques in various organizations to enhance the productivity"
38. P. Ribeiro, J.C. Sa, L. P. Ferreira, F. J. G. Silva, M. T. Pereira, G. Santos (2019) "The Impact of the Application of Lean Tools for Improvement of Process in a Plastic Company: a case study"
39. T. Melton (2005) "THE BENEFITS OF LEAN MANUFACTURING What Lean Thinking has to Offer the Process Industries"
40. James P. Womack, Daniel T. Jones, Daniel Roos 1<sup>η</sup> έκδοση(1990) Επανεκδόση(2007), "The machine that changed the world" Βιβλίο, Εκδόσεις: Free Press
41. Sisay Geremew, Muluken Abebe (2022) "Production lead time improvement through lean manufacturing"
42. Carolina Machado ,J. Paulo Davim(2021), Βιβλίο: "Advances in Intelligent, Flexible, and Lean Management and Engineering", Satolo Guilherme Eduardo, Estanislau Diniz Mansur dos Reis, Damasceno Calado Robisom Κεφάλαιο 4: "Pull Production Systems: Link Between Lean Manufacturing and PPC", σελίδες:80-112, Εκδόσεις: IGI Global
43. Gupta Shaman, Jain Kumar Sanjiv (2013) "A literature review of lean manufacturing"
44. Toyota Production System, Company Information, Vision and Philosophy, άρθρο στην ιστοσελίδα της Toyota: <https://global.toyota/en/company/vision-and-philosophy/production-system/>
45. Ruttimann G. Bruno, Stockli T. Martin (2016) "Going beyond Triviality: The Toyota Production System- Lean Manufacturing beyond Muda and Kazien"
46. Toyota Production System: Beyond Large-Scale Production (1988), Βιβλίο, Εκδόσεις: Productivity Press
47. Laila El Abbadi, Samah Elrhanimi, Said El Manti, (2020) "A literature review on the evolution of Lean Manufacturing"

48. David Romero, Paolo Gaiardelli, Daryl Powell, Thorsten Wuest, Matthias Thurer (2019) "Rethinking Jidoka Systems under Automation & Learning Perspectives in the Digital Lean Manufacturing World"
49. Dennis Kolberg, Detlef Zühlke (2015) "Lean Automation enabled by Industry 4.0 Technologies"
50. <https://safetyculture.com>, Άρθρο στην ιστοσελίδα (2022) "Andon: A Lean System in Manufacturing", Σύνδεσμος: <https://safetyculture.com/topics/andon/>
51. Norwich University Online (2017) "Understanding the Just-In-Time Inventory System", Άρθρο: <https://online.norwich.edu/academic-programs/resources/understanding-just-time-inventory-system>
52. Indira Gandhi National Open University (2017) Σημειώσεις "Block-3 materials Planning and Control" Ενότητα 9 "PULL VS. PUSH SYSTEM" <https://egyankosh.ac.in/handle/123456789/17561>
53. Hayder Kareem Sakran, Hasanein Majeed Mahbuba and Ali Saleh Jafer, (2017) "A Review of a Basic Concept of Cellular Manufacturing", International Journal of Design and Manufacturing Technology 8(1), pp. 30–37
54. J. T. Black, S.L. Hunter (2003) "Lean Manufacturing and cell design"
55. Ιστοσελίδα ανάκτησης σχήματος 4.4 <https://blog.gotopac.com/2012/04/24/cellular-manufacturing/> "Lean Cellular Manufacturing: Processing, Methods, Layouts, and Implementation"
56. Santos, D. M. C., Santos, B. K., & Santos, C. G. (2021) "Implementation of a standard work routine using Lean Manufacturing tools: A case study"
57. M Z M Ismail et al 2019 IOP Conf. Ser.: Mater. Sci Eng. 469 012086 "A mini review: Lean management tools in assembly line at automotive industry"
58. Ιστοσελίδα: [isixsigma.com](https://www.isixsigma.com), πηγή σχήματος 4.5 σύνδεσμος: <https://www.isixsigma.com/dictionary/standard-work/>
59. M. Apreutesei, I.R. Arvinte, E. Suci, D. Munteanu (2010) "Application of kanban system for managing inventory"
60. N. Chiadamrong, P. Kohly (2005) "A comparison of the push and pull production systems at their optimal designs under the economic consideration"
61. Ιστοσελίδα: [leanmanufacturingtools.org](https://leanmanufacturingtools.org), Άρθρο: "What is Kanban", Σύνδεσμος: <https://leanmanufacturingtools.org/kanban/>
62. Ιστοσελίδα: <https://www.creativesafetysupply.com/articles/kanban/> (2022) "Kanban Training and Research Page"
63. (2000). "TWO-CARD SYSTEM". In: Swamidass, P.M. (eds) Encyclopedia of Production and Manufacturing Management. Springer, Boston, MA. [https://doi.org/10.1007/1-4020-0612-8\\_1009](https://doi.org/10.1007/1-4020-0612-8_1009)
64. Ιστοσελίδα: <https://www.manufactus.com> "Kanban card examples" Σύνδεσμος: <https://www.manufactus.com/examples-for-kanban-cards/?lang=en>
65. Steve Krar "PULL (Kanban) SYSTEMS (Responding to the Pull or Order of the Customer)", Σύνδεσμος: <https://www.automationmag.com/images/stories/LWTech-files/73%20Pull%20Kanban.pdf>
66. Venugopal R (2020) "CONWIP & KANBAN", Άρθρο, Πηγή: LinkedIn
67. Akshay M. Ramekbar, Vivek D. Muneshwar, Ajinkya S. Kute, Ashish M. Choube (2017) "Concept of Heijunka"
68. Przemyslaw Korytkowski, Frederic Grimaud, Alexandre Dolgui (2014) "Exponential Smoothing for multi-product lot-sizing with heijunka and varying demand"
69. Rewers R. (2019) "Planning the inflow of products for production levelling"

70. Kornicki, Lucjan, and Tomasz Koch. "TECHNICAL ASPECTS OF MASS CUSTOMIZATION IN THE LEAN PRODUCTION SYSTEM."
71. Gilmore, James H., and B. Joseph Pine. (1997) "The four faces of mass customization." *Harvard business review* 75.1: 91-102.
72. Mistry, Dharmik, and Viraj Shah. (2020) "Application of Lean Manufacturing Tools and Techniques: A Case Study in a Manufacturing Industry." *International Journal for Research in Applied Science and Engineering Technology* 8.6: 1260-1267.
73. Deshkar, Adwait, et al. "Design and evaluation of a Lean Manufacturing framework using Value Stream Mapping (VSM) for a plastic bag manufacturing unit." *Materials Today: Proceedings* 5.2 (2018): 7668-7677.
74. Yanti, Misda, et al. "Production Line Improvement Analysis With Lean Manufacturing Approach To Reduce Waste At CV. TMJ uses Value Stream Mapping (VSM) and Root Cause Analysis (RCA) methods." (2022).
75. Mike Rother, John Shook, (1999) "Learning to See: Value Stream Mapping to Add Value and Eliminate MUDA", Βιβλίο, Εκδόσεις: Lean Enterprise Institute
76. Ιστοσελίδα: <https://www.edrawmax.com/article/value-stream-mapping-symbols.html>, Άρθρο: "A Complete List of Value Stream Mapping Symbols"
77. Foivos Psarommatis, Gokan May, Paul-Arthur Dreyfus, Dimitris Kiritsis (2020) "Zero defect manufacturing: state-of-the-art review, shortcomings and future directions in research"
78. Florian Eger, Daniel Coupek, Davide Caputo, Marcello Colledani, Mariluz Penalva, Jon Ander Ortiz, Hermann Freiburger, Gernot Kollegger (2018) "Zero defect manufacturing strategies for reduction of scrap and inspection effort in multi-stage production systems"
79. Christian Enyoghasi, Fazleena Badurdeen (2021) "Industry 4.0 for sustainable manufacturing: Opportunities at the product, process and system levels"
80. L. Silva Rama Krishna, P.J. Srikanth (2021) "Evaluation of environmental impact of additive and subtractive manufacturing processes for sustainable manufacturing"
81. Foivos Psarommatis, Joao Sousa, Joao Pedro Mendonca, Dimitris Kiritsis (2021) "Zero-defect Manufacturing the approach for higher manufacturing sustainability in the era of Industry 4.0: a position paper"
82. Arfan Majeed, Yingfeng Zhang, Shan Ren, Jingxiang Lv, Tao Peng, Saad Waqar, Enhuai Yin (2020) "A big data-driven framework for sustainable and smart additive manufacturing"
83. Ιστοσελίδα <https://supplychaingamechanger.com>, ανάκτησης εικόνας 5.1, σύνδεσμος: <https://supplychaingamechanger.com/industry-4-0-smart-manufacturing-of-the-future-infographic/>
84. Foivos Psarommatis, Dimitris Kiritsis (2019) "A scheduling Tool for Achieving Zero Defect Manufacturing(ZDM): A conceptual Framework"
85. Joao Sousa, Artem Nazarenko, Christian Grunewald, Foivos Psarommatis, Francisco Fraile, Olga Meyer, Joao Sarraipa (2022) "Zero-Defect Manufacturing terminology standardization: Definition, improvement, and harmonization"
86. ISO 13372:2012 "condition monitoring and diagnostics of machines-vocabulary"
87. ISO 9000:2015 "quality management systems-fundamentals and vocabulary"
88. Victor Azamfirei, Foivos Psarommatis, Yvonne Lagrosen (2023) "Application of automation for in-line quality inspection, a zero defect manufacturing approach"
89. Javed K(2014) "A robust and reliable data-driven prognostics approach based on extreme learning machine and fuzzy clustering"

90. Alasdair Gilchrist (2016) Industry 4.0 The Industrial Internet of Things, Βιβλίο, Εκδόσεις: Apress
91. P. O'Donovan, K. Leahy, K. Bruton, D. T. J. O'Sullivan (2015) "An industrial big data pipeline for data-driven analytics maintenance applications in large-scale smart manufacturing facilities
92. Guodong Shao, Sanjay Jain, Seung-Jun Shin (2014) "Data Analytics using simulation for smart manufacturing"
93. Fei Tao, Qinglin Qi, Ang Liu (2018) "Data-driven smart manufacturing" Άρθρο, Εκδόσεις: Elsevier Ltd
94. Zhou L, Gupta SM, Kinoshita Y, Yamada T.(2017) "Pricing decision models for remanufactured short-life cycle technology products with generation consideration"
95. James F. Halpin (1966) Βιβλίο "Zero Defects: a new dimension in quality assurance" Εκδόσεις: McGraw-Hill
96. Lu Y (2017) "Industry 4.0: a survey on technologies, applications and open research issues"
97. Foivos Psarommatis (2021) "A generic methodology and a digital twin for zero defect manufacturing (ZDM) performance mapping towards design for ZDM"
98. Hoda ElMaraghy, Laszlo Monostori, Guenther Schuh, Waguih ElMaraghy (2021) "Evolution and future of manufacturing systems"
99. Kuhn TS (2013) Βιβλίο:"The structure of Scientific Revolutions, 50th anniversary" Εκδόσεις: The University of Chicago Press
100. Niharika Karnik, Urvi Bora, Karan Bhadri, Prasanna Kadambi, Pankaj Dhatrak (2022) "A comprehensive study on current and future trends towards the characteristics and enablers of Industry 4.0"
101. J. Stentoft, K.W. Jensen, K. Philipsen, A. Haug (2019) "Drivers and barriers for industry 4.0 readiness and practice: a SME perspective with empirical evidence"
102. Morgan Jeff, Halton Mark, Yuansong Qiao, Breslin G. John (2021) "Industry 4.0 smart reconfigurable manufacturing machines"
103. Gavin Weightman (2015), Άρθρο: "The History of the Bar Code", Ιστοσελίδα: <https://www.smithsonianmag.com/innovation/history-bar-code-180956704/>
104. Koren Y, Heisel U, Jovane F, Moriwaki T, Pritschow G, Ulsoy G, Van Brussel H (1999) "Reconfigurable Manufacturing Systems"
105. National Institute of Standard and Technology (NIST) (2014) "Smart Manufacturing Operations Planning and Control"
106. Monostori L, Kadar B, Bauernhansl T, Kondoh S, Kumara S, Reinhart G, Sauer O, Schuh G, Sihn W, Ueda K (2016) "Cyber-Physical Systems in Manufacturing"
107. Xun Xu (2012) "From cloud computing to cloud manufacturing"
108. D. Mourtzis, E. Vlachou, N. Milas (2016) "Industrial Big Data as a result of IoT adoption in Manufacturing"
109. Romero D, Gaiardelli P, Powell D, Wuest T, Thurer M (2018) " Digital lean cyber-physical production systems: The emergence of digital lean manufacturing and the significance of digital waste"
110. Yarbrough C. Ashley, Harris A. Gregory, Purdy T. Gregory (2022) "Improving the flow of data and information in manufacturing"
111. Ayvaz Serkan, Alpay Koray (2021) "Predictive maintenance system for production lines in manufacturing: A machine learning approach using IoT data in real-time"
112. Shiyong Wang, Jiafu Wan, Di Li, and Chunhua Zhang (2016) "Implementing Smart Factory of Industrie 4.0: An Outlook"

113. Lu Y (2017) "Industry 4.0: A survey on technologies, applications and open research issues"
114. Stock T., Seliger G. (2016) "Opportunities of sustainable manufacturing in Industry 4.0"
115. Alcacer V., V. Cruz-Machado (2019) "Scanning the Industry 4.0: A literature review on Technologies for Manufacturing Systems"
116. Madakam S., Ramaswamy R., Tripathi S., (2015) "Internet of Things(IoT): A literature Review J. Comput Commun 3"
117. Bortolini M., Ferrari E., Gamberi M., Pilati F., Faccio M. (2017) "Assembly system design in the Industry 4.0 era: A general framework"
118. Peruzzini M., Grandi F., Pellicciari M. (2017) "Benchmarking of Tools for User Experience Analysis in Industry 4.0"
119. Sisinni E., Saifullah A., Han S., Jennehag U., Gidlund M. (2018) "Industrial Internet of Things: challenges, opportunities and directions"
120. Peter Onu, Charles Mbohwa (2021) "Industry 4.0 opportunities in manufacturing SMEs: Sustainability outlook"
121. K. Wang (2016) "Intelligent Predictive Maintenance(IPdM)"
122. Chunquan Li, Yaqiong Chen, Yuling Shang (2022) " A review of industrial big data for decision making in intelligent manufacturing"
123. Bocciarelli P., D'Ambrogio A., Giglio A., Paglia A. (2017) "A BPMP extension for modelling Cyber-Physical-Production-Systems in the context of Industry 4.0"
124. Jazdi N. (2014) "Cyber physical systems in the context of Industry 4.0"
125. Humayed A., J. Lin, F. Li, B. Luo (2017) "Cyber-Physical Systems Security- A survey"
126. S. Keil (2017) "Design of a Cyber-Physical Production System for a Semiconductor Manufacturing"
127. P. Dobos, P. Tamas, B. Illes, R. Balogh (2018) "Application possibilities of the Big Data concept in Industry 4.0"
128. M. Javaid, A. Haleem, R.P. Singh, R. Suman (2021) "Significant applications of big data in Industry 4.0"
129. D. Mourtzis, E. Vlachou, N. Milas (2016) "Industrial big data as a result of IoT adoption in manufacturing"
130. D. Cemernek, H. Gursch, R. Kern (2017) "Big Data as a promoter of Industry 4.0: Lessons of the semiconductor industry"
131. P. Fraga-Lamas, T.M. Fernandez-Carames, O. Blanco-Novoa, M.A. Vilar-Montesinos (2018) "A review on Industrial Augmented Reality Systems for the Industry 4.0 Shipyard"
132. J. Hahn, B. Ludwig, C. Wolff (2015) "Augmented reality based training of the PCB assembly process"
133. A. Syberfeldt, O. Danielsson, M. Holm, L. Wang (2015) "Visual Assembly guidance using augmented reality"
134. A. Syberfeldt, O. Danielsson, M. Holm, L. Wang, R.L Brewster (2016) "Support systems on the industrial shop floor of the future- operator's perspective on Augmented Reality"
135. O. Blanco-Novoa, T.M. Fernandez-Carames, P. Fraga-Lamas, M.A. Vilar-Montesinos "A practical evaluation of commercial industrial augmented reality systems in an Industry 4.0 Shipyard"
136. Z. Gao, T. Wanyama, I. Singh, A. Gadhri, R. Schmidt (2019) "From industry 4.0 to robotics 4.0 – A conceptual framework for collaborative and intelligent robotic systems"

137. C. Nuzzi (2021) "A gesture-based robot program builder for Meta-Collaborative workstations"
138. M. Hassan, D. Liu (2017) "Simultaneous area partitioning and allocation for complete coverage by multiple autonomous industrial robots"
139. J.F. Buhl (2019) "A dual-arm collaborative robot system for the smart factories of the future"
140. Jiewu Leng, Dewen Wang, Weiming Shen, Xinyu Li, Qiang Liu, Xin Chen (2021) "Digital twins-based smart manufacturing system design in Industry 4.0: A review"
141. Tao F, Qi Q, Wang L, Nee AYC (2019) "Digital Twins and Cyber-Physical Systems toward Smart Manufacturing and Industry 4.0: Correlation and Comparison"
142. Foivos Psarommatis, Dimitris Kiritsis (2022) "A hybrid decision support system for automating decision making in the event of defects in the era of Zero Defect Manufacturing"
143. John Lindström, Hans Larsson, Martin Jonsson, Erik Lejon (2017) "Towards intelligent and sustainable production: combining and integrating online predictive maintenance and continuous quality control"
144. Rodrigo Lopes (2018) "Integrated model of quality inspection, preventive maintenance and buffer stock in an imperfect production system"
145. Silvia Sattores Martinez, Sergio Illana Rico, Pablo Cano Marchal, Diego Manuel Martinez Gila, Juan Gomez Ortega (2022) "Zero Defect Manufacturing in the Food Industry: Virgin Olive Oil Production"
146. Aguilera Puerto D, Caseres Moreno O, Matinez Gila M.D, Gomez Ortega J, Gamez Garcia J (2019) "Online system for the identification and classification of olive fruits for the olive oil production process"
147. Martinez Gila D.M, Marchal P.C, Ortega J.G, Garcia J.G (2018) "Expert system for monitoring the malaxing state of the olive paste based on computer vision"
148. Tomasz Majchrzak, Wojciech Wojnowski, Tomasz Dymerski, Jacek Gebicki, Jacek Namiesnik (2018) "Electronic noses in classification and quality control of edible oils: A review"
149. Martinez Gila D.M, Sanmartin C, Navarro Soto J, Mencarelli F, Gomez Ortega J, Gamez Garcia J (2021) "Classification of olive fruits and oils based on their fatty acid ethyl esters content using electronic nose technology"
150. Psarommatis, Foivos, and Gökan May. "A practical guide for implementing Zero Defect Manufacturing in new or existing manufacturing systems." *Procedia Computer Science* 217 (2023): 82-90.
151. Eirin Lodgaard, Daryl Powell (2021) "The changing role of shop-floor operators in zero defect manufacturing"