



Πολυτεχνείο Κρήτης

Σχολή Μηχανικών Παραγωγής και Διοίκησης

**Βιομηχανία 5.0: Προκλήσεις και εφαρμογές στη
διαχείριση εφοδιαστικών αλυσίδων και στη μαζική
εξατομίκευση**

**Industry 5.0: Challenges and applications in supply chain
management and mass customisation**

Διπλωματική Εργασία

Ανδρέας Χατζηδάκης

Επιβλέπων

Γεώργιος Αραμπατζής, Αναπληρωτής Καθηγητής

Χανιά, Ιούλιος 2023



Πολυτεχνείο Κρήτης

Σχολή Μηχανικών Παραγωγής και Διοίκησης

**Βιομηχανία 5.0: Προκλήσεις και εφαρμογές στη
διαχείριση εφοδιαστικών αλυσίδων και στη μαζική
εξατομίκευση**

**Industry 5.0: Challenges and applications in supply chain
management and mass customisation**

Διπλωματική Εργασία

Ανδρέας Χατζηδάκης

Εγκρίθηκε από την εξεταστική επιτροπή:

Γεώργιος Αραμπατζής

Αναπληρωτής Καθηγητής

Πολυτεχνείο Κρήτης

Σχολή Μηχανικών Παραγωγής και Διοίκησης

Ευστράτιος Ιωαννίδης

Αναπληρωτής Καθηγητής

Πολυτεχνείο Κρήτης

Σχολή Μηχανικών Παραγωγής και Διοίκησης

Ελευθέριος Δοϊτσίδης

Επίκουρος Καθηγητής

Πολυτεχνείο Κρήτης

Σχολή Μηχανικών Παραγωγής και Διοίκησης

Χανιά, Ιούλιος 2023

Αφιερώνεται στην οικογένειά μου και στους φίλους που έκανα κατά τη διάρκεια των ακαδημαϊκών σπουδών μου.

Ευχαριστίες

Θα ήθελα, καταρχάς να ευχαριστήσω τον καθηγητή κ. Αραμπατζή για την επίβλεψη και για την καθοδήγησή του στην εκπόνηση της συγκεκριμένης διπλωματικής εργασίας. Επίσης, θα ήθελα να ευχαριστήσω τον Κωνσταντίνο Καλαμπούκα για τη συνεργασία του στην εκπόνηση της συγκεκριμένης εργασίας. Τέλος, θα ήθελα να ευχαριστήσω την οικογένειά μου, τους φίλους μου και τους συμφοιτητές μου για την υποστήριξή τους κατά τη διάρκεια των ακαδημαϊκών μου σπουδών.

Περίληψη

Η ψηφιακή μετάβαση της βιομηχανίας με στόχο την ικανοποίηση της μαζικής παραγωγής είναι ένας από τους βασικούς στόχους της Βιομηχανίας 4.0 (Industry 4.0). Η ανάπτυξη καινοτόμων ψηφιακών τεχνολογιών έχει οδηγήσει σε περισσότερο συνδεδεμένα συστήματα παραγωγής με αποτέλεσμα τη συνεχόμενα αυξανόμενη απόδοση τους. Από την άλλη, η Βιομηχανίας 5.0 (Industry 5.0) στοχεύει στη δημιουργία συστημάτων παραγωγής που θα είναι πιο ανθρωποκεντρικά και ανθεκτικά σε διαταραχές, και θα συμβάλλουν στη βιωσιμότητα του πλανήτη. Ταυτόχρονα, αποσκοπεί στην ανάπτυξη της συνεργασίας των τεχνολογικών λύσεων με τους ανθρώπους για την διευκόλυνση τους στις εργασίες τους και όχι στην αντικατάστασή τους από αυτές. Στην παρούσα εργασία παρουσιάζονται οι στόχοι της Βιομηχανίας 5.0 και τα οφέλη που παρέχει. Γίνεται ανάλυση των βασικών τεχνολογικών καινοτομιών στις οποίες στηρίζεται καθώς και των προκλήσεων για την επιτυχή εφαρμογή τους. Έμφαση δίνεται στις λύσεις που προσφέρει η Βιομηχανία 5.0 τόσο στη διαχείριση εφοδιαστικών αλυσίδων όσο και στη μαζική εξατομικευμένη παραγωγή, μέσα από την παρουσίαση και ανάλυση συγκεκριμένων παραδειγμάτων εφαρμογής.

Abstract

The digital transition of industry towards supporting mass production is one of the main goals of Industry 4.0. The development of enabling digital technologies has led to more connected production systems with ever-increasing efficiency. Industry 5.0, on the other hand, aims to create production systems that are more human-centric and resilient, contributing to the sustainability of the planet. At the same time, it aims to improve the collaboration of technological solutions with the human element to facilitate and not to replace it. This thesis analyses the main the objectives of Industry 5.0 and the benefits it provides. The main technological innovations on which it is based are presented as well as the challenges for their successful implementation. Emphasis is given to the solutions offered by Industry 5.0 both in supply chain management and in mass-customisation, through the presentation and analysis of specific use cases.

Πίνακας Περιεχομένων

Ευχαριστίες.....	4
Περίληψη.....	5
Πίνακας Περιεχομένων.....	6
Κεφάλαιο 1 Εισαγωγή.....	8
1.1. Διάρθρωση της διπλωματικής εργασίας	8
1.2. Ιστορική Εξέλιξη της Βιομηχανίας.....	8
1.2.1. Βιομηχανία 1.0.....	8
1.2.2. Βιομηχανία 2.0.....	11
1.2.3. Βιομηχανία 3.0.....	13
1.2.4. Βιομηχανία 4.0.....	14
1.2.5. Συμπέρασμα	17
Κεφάλαιο 2 Η Βιομηχανία 5.0	18
2.1. Ορισμός της Βιομηχανίας 5.0.....	18
2.2. Το επόμενο βιομηχανικό παράδειγμα.....	20
2.3. Οι πυλώνες της Βιομηχανίας 5.0	20
2.3.1. Πρώτος πυλώνας: Ανθρωποκεντρισμός	21
2.3.2. Δεύτερος πυλώνας: Βιωσιμότητα.....	23
2.3.3. Τρίτος πυλώνας: Ανθεκτικότητα	26
2.4. Οφέλη της Βιομηχανίας 5.0.....	29
2.4.1. Οφέλη για το εργατικό δυναμικό	29
2.4.2. Οφέλη για τη βιομηχανία.....	30
2.5. Προκλήσεις της Βιομηχανίας 5.0.....	31
2.5.1. Ασφάλεια.....	31
2.5.2. Απόρρητο και προστασία προσωπικών δεδομένων.....	32
2.5.3. Επεκτασιμότητα.....	33
2.5.4. Εξειδικευμένο εργατικό δυναμικό	34
2.5.5. Νομοθετική συμμόρφωση.....	34
2.5.6. Ζητήματα συνεργασίας ανθρώπου - ρομπότ	35
Κεφάλαιο 3 ΜΕΘΟΔΟΛΟΓΙΑ.....	37

3.1.	Μαζική προσαρμογή και μαζική εξατομίκευση στη Βιομηχανία 5.0	37
3.1.1.	Μαζική Προσαρμογή (Mass Customization) και Υπερ-προσαρμογή (Hyper Customization)	38
3.1.2.	Μαζική Εξατομίκευση (Mass Personalization)	39
3.2.	Η Εφοδιαστική Αλυσίδα στη Βιομηχανία 5.0	41
3.2.1.	Εφοδιαστική Αλυσίδα 4.0	41
3.2.2.	Εφοδιαστική Αλυσίδα 5.0	42
3.3.	Τεχνολογίες και καινοτομίες της Βιομηχανίας 5.0	43
3.3.1.	Τεχνολογικά πλαίσια της Βιομηχανίας 5.0	44
3.3.2.	Συνεργατικά Ρομπότ (Collaborative Robots - Cobots)	46
3.3.3.	Τεχνητή Νοημοσύνη και Μηχανική Γνώση (Artificial Intelligence and Machine Cognition)	48
3.3.4.	Ψηφιακά Δίδυμα (Digital Twins)	48
3.3.5.	Διαδίκτυο των Πραγμάτων (Internet of Things)	49
3.3.6.	Μεγάλα Δεδομένα (Big Data)	50
3.3.7.	Blockchain	50
3.3.8.	Υπολογιστική Άκρων (Edge Computing)	51
3.3.9.	Δίκτυα 6G	52
3.3.10.	Άλλες τεχνολογίες ενεργοποίησης της Βιομηχανίας 5.0	52
Κεφάλαιο 4 ΜΕΛΕΤΗ ΠΕΡΙΠΤΩΣΗΣ		55
4.1.	Διάγραμμα Ροής	55
4.2.	Δεδομένα συστήματος	56
4.3.	Ερωτήσεις και δέντρα αποφάσεων	57
4.3.1.	Γενικές ερωτήσεις	57
4.3.2.	Δέντρα Αποφάσεων κατηγορίας Γενικές Ερωτήσεις	59
4.3.3.	Συμπληρωματικές ερωτήσεις κατηγορίας Καθημερινής Χρήσης	61
4.3.4.	Δέντρα Αποφάσεων κατηγορίας Καθημερινής Χρήσης	63
4.3.5.	Ερωτήσεις κατηγορίας Αθλητισμού	66
4.3.6.	Δέντρα Αποφάσεων κατηγορίας Αθλητισμού	66
4.4.	Παράδειγμα	67
Κεφάλαιο 5 ΣΥΜΠΕΡΑΣΜΑΤΑ - ΠΡΟΤΑΣΕΙΣ		76
ΒΙΒΛΙΟΓΡΑΦΙΑ		79

Κεφάλαιο 1 Εισαγωγή

1.1. Διάρθρωση της διπλωματικής εργασίας

Η παρούσα διπλωματική εργασία οργανώνεται σε πέντε κεφάλαια. Στο Κεφάλαιο 1 παρουσιάζεται η διάρθρωση του κειμένου και η ιστορική εξέλιξη της Βιομηχανίας. Στο Κεφάλαιο 2 αναλύεται το νέο βιομηχανικό πρότυπο της Βιομηχανίας 5.0, βασισμένο στην υπάρχουσα βιβλιογραφία. Στο Κεφάλαιο 3 παρουσιάζονται τα κατασκευαστικά πρότυπα της μαζικής προσαρμογής και της μαζικής εξατομίκευσης που θα αποτελέσουν βασικές εφαρμογές της Βιομηχανίας 5.0. Στο ίδιο κεφάλαιο, παρουσιάζονται η επίδραση της Βιομηχανίας 5.0 στην εφοδιαστική αλυσίδα και ορισμένες βασικές τεχνολογίες που θα αξιοποιήσει και θα αναπτύξει στο πρότυπό της. Στο Κεφάλαιο 4 περιγράφεται μία μελέτη περίπτωσης σχετικά με τη δημιουργία ενός συστήματος παραγωγής εξατομικευμένων αναπηρικών αμαξιδίων. Στο Κεφάλαιο 5 καταλήγουμε σε συμπεράσματα και προτείνουμε μελλοντικές επεκτάσεις πάνω στο αντικείμενο της εργασίας.

1.2. Ιστορική Εξέλιξη της Βιομηχανίας

Πριν την εφεύρεση των μηχανών, η ανθρωπότητα βασιζόταν εξολοκλήρου στην χειρωνακτική εργασία και στην αξιοποίηση ζώων για την παραγωγή αγαθών και προϊόντων. Η χρήση απλών χειροκίνητων εργαλείων περιόριζε την ποσότητα της παραγωγής, αύξανε σημαντικά το κόστος της, καθώς επίσης επηρέαζε τα είδη των προϊόντων που μπορούσαν να παραχθούν και να διανεμηθούν στο εμπόριο. Η άνοδος της εκβιομηχάνισης οδήγησε στη μεταποίηση των αγροτικών και χειρωνακτικών οικονομιών σε μία βιομηχανική οικονομία, επιτρέποντας την παραγωγή μεγάλου όγκου αγαθών και την ανάπτυξη νέων τεχνολογιών. Αυτός ο οικονομικός μετασχηματισμός άλλαξε ριζικά όχι μόνο τις διαδικασίες παραγωγής αλλά και την σύσταση της κοινωνία, αφού αναμορφώθηκε ο τρόπος εργασίας, εγκατάστασης και της ποιότητας ζωής των ανθρώπων [1, 2, 3, 4, 5].

1.2.1. Βιομηχανία 1.0

Η Βιομηχανία 1.0 αποτέλεσε την έναρξη της μετάβασης σε καινούργιες διαδικασίες παραγωγής. Ξεκίνησε κατά το δεύτερο μισό του 18^{ου} αιώνα στην Μεγάλη Βρετανία και καλύπτει την περίοδο από το 1760 έως το 1840. Προς το τέλος του 18^{ου} αιώνα είχε ήδη εξαπλωθεί στις Ηνωμένες Πολιτείες της Αμερικής και στην ηπειρωτική Ευρώπη [4, 6, 7]. Μέσω της Βιομηχανίας 1.0 σημειώθηκε μία στροφή της οικονομίας από αγροτική και βιοτεχνική σε μία που κυριαρχείται από

μηχανήματα. Συνεπώς, επηρέασε σημαντικά διάφορους βιομηχανικούς κλάδους όπως της εξόρυξης, της κλωστοϋφαντουργίας, του γυαλιού και της γεωργίας. Εισήγαγε νέες διαδικασίες χημικών κατασκευών και παραγωγής σιδήρου, αύξησε την χρήση του ατμού και του νερού για την παραγωγή ενέργειας, ανέπτυξε πλήθος εργαλειομηχανών και επέφερε την άνοδο του μηχανοποιημένου εργοστασιακού συστήματος [2, 6, 8]. Με όλες αυτές τις αλλαγές στις μεθόδους κατασκευών, παραγωγής και διανομής η οικονομική και κοινωνική ζωή των ανθρώπων επηρεάστηκε δραστικά. Η Βιομηχανία 1.0 κατάφερε να μετατρέψει τις κοινωνίες που στη συντριπτική πλειοψηφία τους ήταν αγροτικές σε κοινωνίες βιομηχανικές [7].

Με βάση το [6] έξι είναι παράγοντες που διευκόλυναν τον δρόμο προς την εκβιομηχάνιση. Η υψηλή αγροτική παραγωγή που παρείχε πλεονάζοντα αριθμό ανθρώπινου δυναμικού και τροφής και η ύπαρξη διοικητικών και επιχειρηματικών δεξιοτήτων. Η διαθεσιμότητα λιμανιών, ποταμών, καναλιών και δρόμων που επέτρεπαν την φθηνή μετακίνηση των πρώτων υλών και των προϊόντων και η ύπαρξη πληθώρας φυσικών πόρων όπως ο άνθρακας και ο σίδηρος. Τέλος, η πολιτική σταθερότητα και το κατάλληλο νομικό πλαίσιο για την υποστήριξη του επιχειρηματικού και οικονομικού κεφαλαίου προς επένδυση.

Χαρακτηριστικό της Βιομηχανίας 1.0 αποτέλεσε η χρήση ατμομηχανών και μηχανών που δουλεύουν με νερό, εφευρέσεις που επέτρεψαν την μετάβαση στις νέες διαδικασίες παραγωγής. Αυτές οι νέες μηχανές έδιναν την δυνατότητα στους εργαζομένους να παράγουν αγαθά σε μεγάλες ποσότητες, το οποίο βελτίωσε το βιοτικό επίπεδο για ορισμένους πληθυσμούς και έδωσαν το βήμα για την ανάπτυξη νέων καινοτομιών και τεχνολογιών [4, 9, 10]. Ταυτόχρονα, αύξησαν την αποτελεσματικότητα των διαδικασιών παραγωγής και τις έκαναν πιο οικονομικά αποδοτικές. Αυτό είχε ως αποτέλεσμα, πολλές μικρές επιχειρήσεις να μετατραπούν σε μεγάλους οργανισμούς που είχαν την δυνατότητα να εξυπηρετήσουν μεγαλύτερο αριθμό καταναλωτών. Επομένως, η Βιομηχανία 1.0 μπορεί να θεωρηθεί ως η έναρξη της βιομηχανικής κουλτούρας, η οποία εστιάζει ισότιμα στην ποιότητα, στην αποτελεσματικότητα και στην κλίμακα μεγάλης παραγωγής [1, 4]. Ένα παράδειγμα τέτοιων μηχανών αποτελεί ο υφαντικός αργαλειός που αναπτύχθηκε το 1784. Άλλα παραδείγματα μηχανών που εφευρέθηκαν αυτή την περίοδο περιλαμβάνουν τον τροχό νερού, σύνθετους περιστρεφόμενους τροχούς και η ατμομηχανή που άλλαξε δραστικά τις μεθόδους κατασκευής [2, 4].

Παρόλου που η ισχύς ατμού ήταν ήδη γνωστή, δεν είχε προηγουμένως αξιοποιηθεί στον βιομηχανικό κλάδο. Επομένως, αποτέλεσε τη μεγαλύτερη ανακάλυψη της εποχής όταν έγινε η εισαγωγή της στην βιομηχανία. Μέσω της ισχύς ατμού αυξήθηκε σημαντικά η ανθρώπινη παραγωγικότητα και επιτράπηκε η παραγωγή υψηλότερου όγκου αγαθών. Για παράδειγμα, οι ατμομηχανές μπορούσαν να

τροφοδοτούν με την απαραίτητη ισχύ τους αργαλειούς ύφανσης, αντί να χρησιμοποιείται ανθρώπινο δυναμικό για αυτόν τον σκοπό [3, 4].

Σημαντική αλλαγή στις συνθήκες εργασίας έφερε η περαιτέρω ανάπτυξη της ατμομηχανής από τον Τζιμς Βατ, ο οποίος βελτίωσε την ατμομηχανή του Νιούκαμν και εφευρέ έναν νέο κινητήρα ονομαζόμενο Beelzebub. Η ατμομηχανή με την χρήση του άνθρακα ως πηγή ενέργειας, αποδέσμευσε τα εργοστάσια από τις φυσικές πηγές ενέργειας όπως ο άνεμος και οι νερόμυλοι. Το γεγονός αυτό, σήμανε ότι η παραγωγή προϊόντων ήταν δυνατή ανεξαρτήτως τοποθεσίας ή εποχής. Αυτό έδωσε στην ατμομηχανή σαφές πλεονέκτημα έναντι των μηχανών που παρήγαγαν ενέργεια μέσω του νερού. Η ατμομηχανή έφερε την επανάσταση στους κλάδους της βιομηχανίας, των μεταφορών και της εξόρυξης [7, 9].

Οι σημαντικότερες εξελίξεις που έφερε η Βιομηχανία 1.0 περιορίστηκαν στους βιομηχανικούς κλάδους παραγωγής βαμβακιού, της εξόρυξης και των μεταφορών [7]. Στον τομέα των μεταφορών, οι εφευρέσεις όπως το ατμόπλοιο και το ατμοκίνητο τρένο επέφεραν ριζικές αλλαγές, καθώς έδωσαν την δυνατότητα μεταφοράς ανθρώπων και αγαθών σε μεγάλες αποστάσεις στο συντομότερο δυνατό χρονικό διάστημα και με χαμηλό κόστος [3, 9, 11]. Ωστόσο, σύντομα έγινε αντιληπτό ότι η ατμομηχανή έφτασε τα όρια της εξαιτίας του περιορισμένου αριθμού στροφών. Για την επίτευξη μεγαλύτερης απόδοσης εφευρέθηκε ο ατμοστρόβιλος [9].

Προτού αναπτυχθεί η Βιομηχανία 1.0 η παραγωγή νημάτων και υφασμάτων γινόταν σε οικείες που χρησιμοποιούσαν απλούς περιστρεφόμενους τροχούς, με τους έμπορους να παρέχουν τα βασικά εργαλεία και τις πρώτες ύλες για την κατασκευή των υφασμάτων. Αυτός ο τρόπος παραγωγής καθιστούσε δύσκολη την διαχείριση της παραγωγής και την παραγωγή μεγάλης ποσότητας αγαθών. Ωστόσο, με την άνοδο της Βιομηχανίας 1.0, η μηχανοποίηση εισήχθη στην παραγωγική διαδικασία, κάνοντας ταχύτερες τις διαδικασίες παραγωγής και αύξησε τον όγκο των παραγόμενων προϊόντων. Η μηχανοποίηση οδήγησε στην αύξηση της παραγωγής νήματος κατά οχτώ φορές σε σχέση με τον προηγούμενο τρόπο παραγωγής του [2, 4]. Τέλος, παρουσιάστηκε αύξηση στην παραγωγικότητα της κλώσης και της ύφανσης του μαλλιού και του λινού, αλλά όχι στον ίδιο βαθμό όπως του βαμβακιού [6].

Στους τομείς της εξόρυξης και της μεταλλουργίας, ήταν συνηθισμένη η χρήση του ξύλου για την τήξη του σιδήρου. Όμως, διαπιστώθηκε ότι ο άνθρακας αποτελούσε καλύτερη επιλογή από το ξύλο. Ο άνθρακας είχε το πλεονέκτημα ότι υπήρχε σε αφθονία, αλλά αποτελούσε πρόβλημα η εξόρυξή του, καθώς τα ορυχεία πλημμύριζαν με νερό [7]. Η αντλία ατμού του Τόμας Σάβερν και η ατμομηχανή του Νιούκαμν διευκόλυναν την απομάκρυνση του νερού και επέτρεψαν την δημιουργία βαθύτερων ορυχείων με αποτέλεσμα την εξαγωγή μεγαλύτερης ποσότητας άνθρακα. Οι βελτιωμένες και πιο αποδοτικές ατμομηχανές του Τζιμς

Βατ μείωσαν το κόστος του καυσίμου, καθιστώντας τα ορυχεία πιο κερδοφόρα [6, 7].

Από τα τέλη του 18^{ου} αιώνα, λόγω της ανάπτυξης της σύγχρονης βιομηχανίας υπήρξε μαζική αστικοποίηση και η δημιουργία νέων μεγάλων πόλεων, καθώς όλο και περισσότερα εργοστάσια κατασκευάζονταν, παρέχοντας νέες θέσεις εργασίας. Οι νέες ευκαιρίες που παρείχαν τα αστικά κέντρα σήμαινε ότι μεγάλο μέρος ανθρώπων που ζούσαν σε γεωργικές κοινότητες μετανάστευσε προς τις αστικές περιοχές. Το φαινόμενο αυτό άρχισε στην Ευρώπη και στη συνέχεια εξαπλώθηκε σε άλλες περιοχές [3, 6].

Το βασικότερο μειονέκτημα της Βιομηχανίας 1.0 ήταν ότι η ζήτηση των νέων τεχνολογιών ήταν μεγαλύτερη από την προσφορά, αφού τα περισσότερα από αυτά μόλις είχαν εφευρεθεί. Το γεγονός αυτός, άσκησε ακόμα μεγαλύτερη πίεση στο εργατικό δυναμικό, που θεωρούταν η κατώτερη κοινωνική τάξη. Οι εργαζόμενοι ήταν εξαναγκασμένοι να εργάζονται πολλές ώρες κάτω από ανθυγιεινές συνθήκες εργασίας. Το φαινόμενο αυτό οδήγησε την Μεγάλη Βρετανία να εφαρμόσει το Factory Act το 1833, ώστε να διασφαλιστεί η ασφάλεια και η προστασία των εργαζόμενων [2, 4].

1.2.2. Βιομηχανία 2.0

Η επιτυχία της Βιομηχανίας 1.0 είχε ως αποτέλεσμα τη δραματική αύξηση του πληθυσμού των πόλεων. Ως εκ τούτου, υπήρχε η διαθεσιμότητα πληθώρας εργατικού δυναμικού να απασχοληθεί στην αναπτυσσόμενη βιομηχανία [9]. Συνεπώς, η Βιομηχανία 2.0 ξεκίνησε στα τέλη του 19^{ου} αιώνα και διήρκησε μέχρι τον Πρώτο Παγκόσμιο Πόλεμο και καλύπτει την περίοδο από το 1870 έως το 1914 [2, 4, 12]. Κατά βάση εμφανίστηκε στο Ηνωμένο Βασίλειο, στις Ηνωμένες Πολιτείες και στη Γερμανία αλλά επεκτάθηκε και στη Γαλλία, στην Ιταλία, στις Κάτω Χώρες και στην Ιαπωνία [4, 13].

Ο βασικός λόγος ύπαρξης αυτής της βιομηχανίας ήταν η επέκταση της ηλεκτρικής τεχνολογίας. Μέσω της ηλεκτρικής ενέργειας δόθηκε η δυνατότητα ανάπτυξης πιο αποτελεσματικών μεθόδων μαζικής παραγωγής και της γέννησης των τηλεπικοινωνιακών συστημάτων [12]. Ταυτόχρονα, η πρόοδος στις τεχνολογίες κατασκευής και παραγωγής έκανε επιτρεπτή την υιοθέτηση συστημάτων όπως το τηλέγραφο και τα σιδηροδρομικά δίκτυα [13]. Η επέκταση αυτών των τεχνολογιών διευκόλυνε ακόμα περισσότερο την μετακίνηση των ανθρώπων και την μετάδοση ιδεών, με αποτέλεσμα την ύπαρξη ενός νέου κύματος παγκοσμιοποίησης [2, 13].

Ο ηλεκτρισμός αποτελούσε ήδη κύρια πηγή ενέργειας. Παρόλα αυτά, ήταν κατά την περίοδο της Βιομηχανίας 2.0 όπου εφευρέθηκαν οι ηλεκτρικές μηχανές. Οι ηλεκτρικές μηχανές πλεονεκτούσαν έναντι των ατμομηχανών και των μηχανών

που λειτουργούσαν με νερό, αφού ήταν πιο αποτελεσματικές στην λειτουργία και την συντήρηση τόσο από άποψη κόστους όσο και από άποψη κόπου. Επίσης, απαιτούσαν λιγότερους πόρους για την λειτουργίας τους σε αντίθεση με τις προηγούμενες μηχανές [1, 4]. Ένα από τα θετικά της ηλεκτρικής ενέργειας ήταν ότι οι επιχειρήσεις μπορούσαν να εστιάσουν την παροχή ρεύματος σε συγκεκριμένα μηχανήματα και τμήματα της παραγωγής [3]. Επομένως, ήταν αναπόφευκτο οι ατμομηχανές να αντικατασταθούν από τις ηλεκτρικές μηχανές [9]. Η περαιτέρω ανάπτυξη των ηλεκτρικών μηχανών οδήγησε σε μηχανές που είχαν ενσωματωμένες τις δικές τους πηγές ενέργειας, διευκολύνοντας την μεταφορά τους [3]. Η ευρέως διαδεδομένη χρήση του ηλεκτρισμού οδήγησε επίσης στην εφεύρεση νέων τηλεπικοινωνιακών συσκευών, όπως το τηλέφωνο και το ραδιόφωνο [12].

Η ηλεκτροδότηση των γραμμών συναρμολόγησης οδήγησε στη βελτίωση της διαδικασίας για μαζική παραγωγή. Η δημιουργία της πρώτης γραμμής συναρμολόγησης διευκόλυνε την παραγωγή μεγαλύτερου και καλύτερης ποιότητας όγκου αγαθών, με αποτέλεσμα η μαζική παραγωγή αγαθών να αποτελέσει τυπική πρακτική κατά την διάρκεια της Βιομηχανίας 2.0 [1, 4]. Ο δημιουργός της πρώτης γραμμής συναρμολόγησης ήταν ο Ράνσομ Ε. Ολντς το 1901, με την εφεύρεση του να βοηθάει την εταιρεία Oldsmobile cars να αυξήσει την παραγωγή της κατά 500% μέσα σε έναν χρόνο. Η εισαγωγή της γραμμής παραγωγής από τον Χένρι Φορντ το 1913 στην αυτοκινητοβιομηχανία είχε ιδιαίτερη επιρροή. Κάθε υπάλληλος είχε το δικό του πόστο εργασίας κατά μήκος της γραμμής συναρμολόγησης, με αποτέλεσμα η παραγωγή μεμονωμένων κομματιών να γίνει γρηγορότερη. Τα αυτοκίνητα παράγονταν σταδιακά στη γραμμή συναρμολόγησης και όχι εξολοκλήρου σε έναν σταθμό, κάτι που αποδείχθηκε πιο γρήγορο και φθηνότερο. Αυτή η εξέλιξη αποτέλεσε επαναστατική για την αγορά εργασίας [2, 4, 9]. Το μειονέκτημα της ήταν ότι πλέον υπήρχε η ανάγκη εύρεσης εξειδικευμένου προσωπικού, κάτι που αποτελεί ζήτημα ακόμα και στην σημερινή εποχή [9].

Ένα ακόμα αξιοσημείωτο επίτευγμα αυτής της εποχής ήταν η ανάπτυξη προγραμμάτων διαχείρισης, τα οποία βελτίωσαν την επίδοση και αποδοτικότητα των παραγωγικών εγκαταστάσεων. Τα διάφορα ήδη προγραμμάτων διαχείρισης όπως οι αρχές λιτής παραγωγής, η κατανομή πόρων, οι στρατηγικές άμεσης παραγωγής και ο καλύτερος καταμερισμός εργασιών βελτίωσαν τις διαδικασίες παραγωγής αναβαθμίζοντας την ποιότητα και την απόδοση. Ο Αμερικάνος μηχανολόγος μηχανικός Φρέντερικ Τέιλορ ήταν ένα από τα πολλά εφευρετικά άτομα που έφεραν αυτές τις αποτελεσματικές στρατηγικές και τεχνικές. Πρωτοστάτησε στις μεθόδους μελέτης θέσεων εργασίας με στόχο την περαιτέρω βελτιστοποίηση των εργαζομένων, στις τεχνικές βελτίωσης του χώρου εργασίας και στη βέλτιστη κατανομή των πόρων [1, 3, 4].

Μια αξιοσημείωτη πτυχή της Βιομηχανίας 2.0 ήταν η αναβάθμιση της βιομηχανικής κουλτούρας. Κατά την περίοδο, της υπήρξε η άνοδος των εργατικών συνδικάτων και των προγραμμάτων κοινωνικής πρόνοιας, εφόσον υπήρχε η απαίτηση καλύτερων συνθηκών εργασίας και αμοιβών από τους εργαζόμενους [12]. Στην περίοδο της Βιομηχανίας 2.0 υπήρξε επίσης ραγδαία οικονομική ανάπτυξη, λόγω της αυξημένης παραγωγικότητας. Ωστόσο, υπήρξε και έξαρση της ανεργίας εξαιτίας της αντικατάστασης πολλών εργαζομένων από τις μηχανές [2]. Συγχρόνως, αναπτύχθηκαν μεγάλες επιχειρήσεις και εταιρικοί όμιλοι, οι οποίοι άλλαξαν το τοπίο της βιομηχανικής οικονομίας και είχαν βαθύ αντίκτυπο στο κοινωνικό σύνολο. Τέλος, οι καινοτομίες της Βιομηχανίας 2.0 οδήγησαν σε αποικιακές επεκτάσεις καθώς τα έθνη στόχευαν να εξασφαλίσουν νέες αγορές και την παροχή πρώτων υλών [12].

1.2.3. Βιομηχανία 3.0

Η Βιομηχανία 3.0 ξεκίνησε στα μέσα του 20^{ου} αιώνα και συγκεκριμένα την δεκαετία του 1970, με την επίτευξη του μερικού αυτοματισμού μέσω της χρήσης υπολογιστών και προγραμματιζόμενων λογικών ελεγκτών [2, 4, 11]. Η εφεύρεση και η κατασκευή μιας ποικιλίας ηλεκτρονικών συσκευών συμπεριλαμβανομένων των τρανζίστορ και των ολοκληρωμένων κυκλωμάτων, αυτοματοποίησε τις μηχανές, με αποτέλεσμα να μειωθεί ο κόπος των εργαζόμενων, να αυξηθεί η ταχύτητα και η ακρίβεια της παραγωγής και να αντικατασταθεί σε ορισμένες περιπτώσεις πλήρως ο ανθρώπινος παράγοντας [1, 4]. Η Βιομηχανία 3.0 εστίασε στην επίτευξη της αυτοματοποίησης μέσω της ηλεκτρικής μηχανικής και της τεχνολογίας πληροφοριών [4, 9]. Η περαιτέρω αναβάθμιση των διαδικασιών αυτοματισμού σημειώθηκε μέσω της αξιοποίησης των ανανεώσιμων πηγών ενέργειας σε συνδυασμό με την συνδεσιμότητα και την πρόσβαση στο Διαδίκτυο [4, 10].

Μία από τις εφευρέσεις ορόσημο της εποχής ήταν ο Προγραμματιζόμενος Λογικός Ελεγκτής (PLC), που πρωτοκατασκευάστηκε την δεκαετία του 1960 και σήμαινε την αυτοματοποίηση με χρήση ηλεκτρονικών. Με την ενσωμάτωση του ηλεκτρονικού υλικού στα συστήματα κατασκευής υπήρξε η ανάγκη ανάπτυξης συστημάτων λογισμικού για την λειτουργία αυτών των ηλεκτρονικών συσκευών. Συνεπώς, αυτή η περίοδος αντίκρισε την άνθιση της αγοράς ανάπτυξης συστημάτων λογισμικού. Τα συστήματα λογισμικού, πέρα από την ενεργοποίηση των ηλεκτρονικών συσκευών, έκαναν επιτρεπτή και τη διεξαγωγή διάφορων διαδικασιών διαχείρισης. Για παράδειγμα, τα συστήματα λογισμικού επέτρεψαν την εκτέλεση δραστηριοτήτων όπως τη διαχείριση αποθεμάτων, την παρακολούθηση προϊόντων, την διαχείριση των πόρων, τον προγραμματισμός των ροών προϊόντων και την εφοδιαστική αλυσίδα. Η ανάπτυξη και αυτοματοποίηση των συστημάτων συνεχίζεται αδιάκοπτα από εκείνη την περίοδο αξιοποιώντας την τεχνολογία πληροφοριών και τα ηλεκτρονικά [1, 4].

Κατά τη διάρκεια της Βιομηχανίας 3.0 εφευρέθηκαν κι άλλες σημαντικές ηλεκτρονικές συσκευές, όπως τα τσιπ ολοκληρωμένων κυκλωμάτων, τα ψηφιακά λογικά συστήματα και οι τρανζίστορ MOS. Παράλληλα, αναπτύχθηκαν οι αντίστοιχες παράγωγες τεχνολογίες τους, όπως το Διαδίκτυο, οι υπολογιστές, τα ψηφιακά κινητά τηλέφωνα και οι μικροεπεξεργαστές. Μέσω της Βιομηχανίας 3.0 ο αναλογικός κόσμος μετατράπηκε σε ψηφιακό [2, 4]. Η Βιομηχανία 3.0 θεωρείται η πρώτη εποχή των υπολογιστών και παρόλο που, οι πρώτοι υπολογιστές ήταν απλοϊκοί, ογκώδεις και με μικρή υπολογιστική ισχύ κατάφεραν και έθεσαν τις βάσεις για την ανάπτυξη της τεχνολογίας υπολογιστών και πλέον αποτελούν αναπόσπαστο μέρος του σημερινού κόσμου [4, 10].

Η έννοια της Διαχείρισης Εφοδιαστικής Αλυσίδας διαμορφώθηκε επίσης αυτή την περίοδο. Η πίεση για την ελαχιστοποίηση του κόστους οδήγησε πολλούς κατασκευαστές να αναζητήσουν χώρες με χαμηλότερο κόστος παραγωγής. Αυτό είχε ως συνέπεια, τη διασπορά της τοποθεσίας της παραγωγής που οδήγησε στην έξαρση της παγκοσμιοποίησης και της εξωτερικής ανάθεσης της παραγωγής, λόγω της διαθεσιμότητας ειδικευμένου εργατικού δυναμικού και του χαμηλότερου κόστους [8].

Σημαντική σημείωση αποτελεί το γεγονός ότι η Βιομηχανία 3.0 είναι παρόν και στη σημερινή εποχή, καθώς πολλά εργοστάσια και βιομηχανίες παραγωγής βρίσκονται επί του παρόντος σε αυτό το επίπεδο εξέλιξης. Οι εφευρέσεις των τεχνολογιών της Βιομηχανίας 3.0 έδωσαν τη δυνατότητα αυτοματοποίησης ολόκληρων διαδικασιών παραγωγής με χαρακτηριστικό παράδειγμα να αποτελούν τα ρομπότ, που μπορούν να προγραμματίζονται για να εκτελούν συγκεκριμένες δραστηριότητες, χωρίς την ανθρώπινη παρέμβαση [2, 4].

1.2.4. Βιομηχανία 4.0

Οι εξελίξεις στον κλάδο των τηλεπικοινωνιών και του Διαδικτύου στα τέλη του 20^{ου} αιώνα ήταν κομβικές για την ανάπτυξη της Βιομηχανίας 4.0, καθώς έφεραν επανάσταση στον τρόπο σύνδεσης και ανταλλαγής πληροφοριών [1, 4, 9]. Οι πρόοδοι που έγιναν στη Βιομηχανία 3.0 έθεσαν τις βάσεις για την εξέλιξη της Βιομηχανίας 4.0, της οποίας κυρίαρχο χαρακτηριστικό είναι η εφαρμογή της τεχνολογίας πληροφοριών και επικοινωνιών στη βιομηχανία [3, 9, 11]. Ο όρος της Βιομηχανίας 4.0 πήγαζε από ένα ερευνητικό σχέδιο της γερμανικής κυβέρνησης και αποτελούσε τμήμα της στρατηγικής υψηλής τεχνολογίας της. Η δημοσίευση του όρου έγινε κατά τη διάρκεια της Έκθεσης του Ανόβερου το 2011 και αποτελούσε ένα έργο που στόχευε στην προώθηση της ψηφιοποίησης και του αυτοματισμού στη βιομηχανία [2, 4, 14].

Η Βιομηχανία 4.0 απαρτίζεται από πολυάριθμους τεχνολογικούς κλάδους, που την καθιστούν δυνατή. Παρόλα αυτά, τέσσερις αρχές σχεδιασμού αποτελούν αναπόσπαστο κομμάτι της. Οι αρχές αυτές είναι η διασύνδεση, η διαφάνεια

πληροφοριών, η τεχνική βοήθεια και οι αποκεντρωμένες αποφάσεις [2, 14, 15]. Αναλυτικότερα,

- Η διασύνδεση είναι η ικανότητα σύνδεσης και επικοινωνίας μεταξύ μηχανών, συσκευών, αισθητήρων και ανθρώπων μέσω του Διαδικτύου των πραγμάτων ή του Διαδικτύου των ανθρώπων.
- Η διαφάνεια πληροφοριών παρέχει στους χειριστές περιεκτικές πληροφορίες για τη λήψη καλύτερων αποφάσεων. Μέσω της διασυνδεσιμότητας γίνεται δυνατή η συλλογή τεράστιου όγκου πληροφοριών από όλα τα μέρη της παραγωγικής διαδικασίας. Ως εκ τούτου, είναι εφικτή η εστιασμένη βελτίωση βασικών τομέων για αύξηση της λειτουργικότητάς τους.
- Η τεχνική βοήθεια περιλαμβάνει συστήματα που αποσκοπούν στην υποστήριξη του ανθρώπου για τη λήψη αποφάσεων και την επίλυση προβλημάτων. Ταυτόχρονα, έχουν τη δυνατότητα να εκτελούν εργασίες που είναι δύσκολες και επικίνδυνες για τους εργαζόμενους.
- Οι αποκεντρωμένες αποφάσεις είναι η ικανότητα λήψης αποφάσεων και αυτόματης εκτέλεσης καθηκόντων των κυβερνο-φυσικών συστημάτων. Η ανθρώπινη παρέμβαση γίνεται μόνο σε περιπτώσεις εξαιρέσεων, παρεμβολών ή αντικρουόμενων στόχων.

Η εποχή της Βιομηχανίας 4.0 περιλαμβάνει τις παραγωγικές εγκαταστάσεις, τα συστήματα αποθήκευσης και τις έξυπνες μηχανές που έχουν την αυτονομία να εκτελούν ενέργειες, να ελέγχουν άλλες συσκευές και να ανταλλάσσουν πληροφορίες. Το βιομηχανικό Διαδίκτυο των πραγμάτων (IIoT) κάνει επιτρεπτή αυτή την ιδανική διανομή πληροφοριών. Τέσσερα στοιχεία αποτελούν τον κορμό του, τα οποία είναι τα κυβερνο-φυσικά συστήματα (cyber physical systems), το Διαδίκτυο των Πραγμάτων (Internet of Things), το υπολογιστικό νέφος (cloud computing) και η γνωστική υπολογιστική (cognitive computing) [4, 10, 15].

Τα κυβερνο-φυσικά συστήματα είναι μία από τις σημαντικότερες τεχνολογικές εφευρέσεις της Βιομηχανίας 4.0. Τα κατασκευαστικά συστήματα που έχουν ενσωματωμένες τεχνολογίες υπολογιστών επεκτείνονται και εξοπλίζονται με ένα ψηφιακό δίδυμο μέσω της συνδεσιμότητας του δικτύου. Αυτό επιτρέπει την επικοινωνία με άλλες εγκαταστάσεις και την εκροή πληροφοριών σχετικά με την κατάστασή τους. Η επικοινωνία κάθε τμήματος της παραγωγής επιτυγχάνεται μέσω ενός μοναδικού δικτύου καθιστώντας τη συνολική διαχείριση εξαιρετικά αποτελεσματική. Η δικτύωση όλων των συστημάτων μίας βιομηχανικής εγκατάστασης οδηγεί στα κυβερνοφυσικά συστήματα παραγωγής. Η ανάπτυξη των έξυπνων εργοστασίων, όπου η παραγωγή είναι αυτοματοποιημένη, έχει καθοδηγηθεί μέσω αυτής της εφεύρεσης [3, 4, 9, 11]. Αυτά τα συστήματα βρίσκουν εφαρμογή σε ένα ευρύ φάσμα βιομηχανικών διαδικασιών, όπου αναλύουν, καθοδηγούν και μοιράζονται ευφυές ενέργειες με απώτερο στόχο τη δημιουργία έξυπνων μηχανημάτων. Ακολούθως, τα έξυπνα μηχανήματα μπορούν

διαρκώς να παρακολουθούν, να εντοπίζουν και να προβλέπουν σφάλματα για να προτείνουν προληπτικά μέτρα και διορθωτικές ενέργειες, κάνοντας εφικτή την καλύτερη ετοιμότητα και χαμηλώνοντας τον χρόνο διακοπής της παραγωγής. Τέλος, η δυνατότητα εικονικής οπτικοποίησης των βιομηχανιών που παρέχουν τα κυβερνο-φυσικά συστήματα, καθιστά εύκολη την παρακολούθηση και ρύθμιση των τμημάτων παραγωγής [1, 4].

Η Βιομηχανία 4.0 χαρακτηρίζεται από τρία κύρια πλεονεκτήματα. Αυτά είναι η κάθετη ολοκλήρωση, η οριζόντια ολοκλήρωση και η μηχανική από άκρο σε άκρο. Η ενσωμάτωση συστημάτων τεχνολογίας πληροφοριών και επικοινωνιών σε όλα τα ιεραρχικά επίπεδα ενός οργανισμού αποτελεί την κάθετη ολοκλήρωση. Η κάθετη ολοκλήρωση αντιπροσωπεύει την ενοποίηση των επιπέδων παραγωγής και διαχείρισης. Η συνεργασία μεταξύ επιχειρήσεων μέσω της ανταλλαγής πόρων και πληροφοριών σε πραγματικό χρόνο συνιστά την οριζόντια ολοκλήρωση. Τέλος, η μηχανική από άκρο σε άκρο είναι η ενσωμάτωση της μηχανικής σε ολόκληρη την αλυσίδα αξίας ενός προϊόντος, από την ανάπτυξή του μέχρι την πώλησή του [16].

Η επιρροές της Βιομηχανίας 4.0 έχουν αλλάξει δραματικά τον τρόπο εργασίας των ανθρώπων, καθώς έχουν κάνει πιο αποδοτική την εκτέλεση τους με την τοποθέτηση του ανθρώπινου δυναμικού σε πιο έξυπνα δίκτυα. Η ψηφιοποίηση των παραγωγικών εγκαταστάσεων επιτρέπει την άμεση αποστολή των κατάλληλων πληροφοριών στα σωστά άτομα. Η παροχή ιστορικού επισκευής και εγγράφων του εξοπλισμού, προς τους επαγγελματίες συντήρησης, έχει διευκολυνθεί με την αυξανόμενη χρήση των ψηφιακών συσκευών, καθώς η διανομή τους γίνεται έγκαιρα και αξιόπιστα [4, 11]. Η αυτοματοποίηση των διαδικασιών παραγωγής με την ολοένα και μεγαλύτερη αξιοποίηση των ρομπότ μεταμορφώνει συνεχώς την αγορά εργασίας. Επιπλέον, με την αυξανόμενη υποστήριξη των εργαζόμενων από τις μηχανές έχει αρχίσει να εμφανίζεται η αναπόφευκτη συνέπεια ότι μελλοντικά θα απαιτούνται λιγότεροι εργαζόμενοι. Ωστόσο, αναπόφευκτη θα είναι και η εμφάνιση νέων καθηκόντων που θα πρέπει να καλυφθούν [9].

Μία τελευταία αξιοσημείωτη πτυχή της Βιομηχανίας 4.0 είναι η αυξημένη εστίαση προς στα θέματα βιωσιμότητας και περιβάλλοντος [4]. Ο τρόπος παραγωγής, διανομής, συντήρησης και βελτίωσης των αγαθών έχει αλλάξει ριζικά μέσω της ψηφιοποίησης. Οι απαιτήσεις της εποχής καθιστούν αδύνατη την αλόγιστη παραγωγή αγαθών για την συνεχή ύπαρξη αποθέματος, αλλά για την παραγωγή αγαθών με βάση την πραγματική ζήτηση και ανάγκη [9, 11]. Η αειφόρος ανάπτυξη, που αποτελείται από τους πυλώνες της περιβαλλοντικής, οικονομικής και κοινωνικής αειφορίας, θεωρείται αναγκαία τόσο για την διατήρηση των φυσικών πόρων και την φιλικότητα προς το περιβάλλον όσο και για την βελτίωση της αποτελεσματικότητας των διαδικασιών παραγωγής και της κερδοφορίας [4].

1.2.5. Συμπέρασμα

Η βιομηχανική ανάπτυξη αποτέλεσε σημείο καμπής για την ιστορία της ανθρωπότητας, καθώς σημείωσε το τέλος της αγροτικής και βιοτεχνικής εποχής και την έναρξη της εποχής της βιομηχανοποίησης και της μαζικής παραγωγής. Η εκβιομηχάνιση έκανε επιτρεπτή την παραγωγή πληθώρας αγαθών και τη διανομή τους σε παγκόσμιο επίπεδο, αναβαθμίζοντας έτσι τις συνθήκες διαβίωσης των ανθρώπων. Η συμβολή κάθε βιομηχανικού σταδίου σήμανε την ανάπτυξη νέων επιστημονικών και τεχνολογικών κλάδων που οδήγησαν στην ένταξη καινοτόμων τεχνολογιών, οι οποίες με τη σειρά τους βελτίωσαν την απόδοση και την αποτελεσματικότητα των διαδικασιών παραγωγής.

Το χαρακτηριστικό στοιχείο κάθε νέου βιομηχανικού σταδίου ήταν η ανάπτυξη καινοτόμων τεχνολογικών επιτευγμάτων, τα οποία εξέλιξαν περαιτέρω τις διαδικασίες παραγωγής. Ωστόσο, αυτή η εξέλιξη έδινε μεγάλη έμφαση στη χρήση μηχανημάτων για την επίτευξη καλύτερης αποτελεσματικότητας και απόδοσης, σε βάρος του ανθρώπινου παράγοντα. Επομένως, το επόμενο εξελικτικό στάδιο της Βιομηχανίας θα πρέπει να εστιάσει στην ανάπτυξη της συνεργασίας μεταξύ ανθρώπων και μηχανών, αξιοποιώντας έτσι πλήρως τις δυνατότητες κάθε παράγοντα για την επίτευξη μεγαλύτερης απόδοσης [3, 10, 17, 18]. Ταυτόχρονα, είναι αναγκαία η εύρεση μεθόδων ενίσχυσης της ανθεκτικότητάς της βιομηχανίας, ώστε να είναι σε θέση να ανταπεξέρχεται σε οποιαδήποτε γεγονός που μπορεί να την επηρεάσει. Τέλος, κρίνεται απαραίτητο να δώσει μεγαλύτερη έμφαση στη βιωσιμότητα, ώστε οι νέες παραγωγικές διαδικασίες που θα εισαχθούν να σέβονται τα πλανητικά όρια [18]. Η Βιομηχανία 5.0 θα αποτελέσει το νέο αυτό εξελικτικό στάδιο, το οποίο θα έχει ως χαρακτηριστικά τον ανθρωποκεντρισμό, τη βιωσιμότητα και την ανθεκτικότητα.

Κεφάλαιο 2 Η Βιομηχανία 5.0

Μία καθαρά κερδοσκοπική προσέγγιση γίνεται όλο και πιο αβάσιμη σε έναν παγκοσμιοποιημένο κόσμο, διότι η στενή εστίαση στο κέρδος αποτυγχάνει να εκτιμήσει ορθά τα περιβαλλοντικά και κοινωνικά κόστη και οφέλη που εμφανίζονται. Για το λόγο αυτό, η βιομηχανία πρέπει να επαναπροσδιορίσει τους στόχους της και να αρχίσει να λαμβάνει υπόψη κοινωνικά και περιβαλλοντικά ζητήματα, προκειμένου να γίνει πραγματικός φορέας ευημερίας. Αυτός ο επαναπροσδιορισμός συμπεριλαμβάνει την υπεύθυνη ανάπτυξη καινοτομιών, που δεν θα αποσκοπούν μονάχα στη μεγιστοποίηση του κέρδους και στην ελαχιστοποίηση του κόστους, αλλά θα εστιάζουν στην αύξηση της ευημερίας για όλους τους εμπλεκόμενους, από τους επενδυτές, τους εργαζόμενους και τους καταναλωτές έως την κοινωνία και το περιβάλλον [19]. Επομένως, η βιομηχανία επιβάλλεται να ηγηθεί την ψηφιακή και πράσινη μετάβαση για να παραμείνει ο καθοδηγητής της ευημερίας [20]. Το όραμα μιας καινοτόμου, ανθεκτικής, κοινωνικό-κεντρικής και ανταγωνιστικής βιομηχανίας, η οποία σέβεται τα πλανητικά όρια, ελαχιστοποιεί τις αρνητικές περιβαλλοντικές επιπτώσεις της και δεν έχει ως μοναδικούς στόχους την αποδοτικότητα και την παραγωγικότητα, αλλά στοχεύει πέρα από αυτούς, έχει χαρακτηριστεί ως Βιομηχανία 5.0 [20, 21].

2.1. Ορισμός της Βιομηχανίας 5.0

Ο Μάικλ Ράντα επινόησε τον όρο της Βιομηχανίας 5.0, στις αρχές του 2015 [22, 23]. Ο ίδιος προσδιόρισε την Βιομηχανία 5.0 ως « την πρώτη βιομηχανική εξέλιξη που καθοδηγείται από τον άνθρωπο με βάση τις αρχές 6R (Recognize/Αναγνώριση, Reconsider/Αναθεώρηση, Realize/Πραγματοποίηση, Reduce/Μείωση, Reuse/Επαναχρησιμοποίηση και Recycle/Ανακύκλωση) της βιομηχανικής ανακύκλωσης, μίας συστηματικής τεχνικής πρόληψης των αποβλήτων και του σχεδιασμού αποτελεσματικότητας της εφοδιαστικής αλυσίδας για την αξιολόγηση του προτύπου ζωής, των καινοτόμων δημιουργιών και την παραγωγή υψηλής ποιότητας εξατομικευμένων προϊόντων [24, 25]». Η επιρροή που έκτισε η Βιομηχανία 5.0 είναι εμφανής σε διάφορους τομείς και κυρίως στις επιχειρήσεις, λόγω της ταχύτατης προστιθέμενης βιομηχανικής και τεχνικής ενίσχυσης και της ενσωμάτωσης του ανθρώπινου παράγοντα [22].

Καθώς η Βιομηχανία 5.0 βρίσκεται ακόμα σε πρώιμο στάδιο, διάφοροι επαγγελματίες και ερευνητές έχουν δώσει ορισμούς και έννοιες για τη Βιομηχανία 5.0 από τη δική τους σκοπιά [24]. Παρακάτω, παρουσιάζονται ορισμένοι ορισμοί:

- Η Βιομηχανία 5.0 επαναφέρει το ανθρώπινο δυναμικό στο επίκεντρο της παραγωγής, όπου ο άνθρωπος και η μηχανή θα συνδυαστούν για να αυξήσουν την αποδοτικότητα των διαδικασιών, μέσω της ενσωμάτωσης

της ανθρώπινης εγκεφαλικής δύναμης και δημιουργικότητας και ευφώνων συστημάτων στις ροές εργασίας [24].

- Η Ευρωπαϊκή Οικονομική και Κοινωνική Επιτροπή ορίζει τη Βιομηχανία 5.0 ως την ενσωμάτωση των κυβερνο-φυσικών παραγωγικών συστημάτων και της ανθρώπινης νοημοσύνης για τη δημιουργία συνεργατικών εργοστασίων [24, 25].
- Η Βιομηχανία 5.0 αποτελεί την εποχή του Κοινωνικού Έξυπνου Εργοστασίου, όπου οι μηχανές επικοινωνούν με τους ανθρώπους μέσω των κοινωνικών δικτύων των επιχειρήσεων, για την επίτευξη απρόσκοπτης επικοινωνίας μεταξύ ανθρώπων και κυβερνο-φυσικών συστημάτων [24].
- Η Βιομηχανία 5.0 είναι μία συμμετρική καινοτομία και η επόμενη γενιά παγκόσμιας διακυβέρνησης, που αποτελεί μία σταδιακή εξέλιξη της Βιομηχανίας 4.0 (ασύμμετρη καινοτομία). Στόχος της είναι ο σχεδιασμός ορθογώνιων ασφαλών εξόδων για τη μεταποίηση και την παραγωγή, με το διαχωρισμό των υπερσυνδεδεμένων συστημάτων αυτοματισμού [24].
- Η Βιομηχανία 5.0 αποτελεί μία λύση ανθρωποκεντρικού σχεδιασμού, όπου τα ρομπότ συνεργάτες (cobots) και το ανθρώπινο δυναμικό συνεργάζονται για να καταστήσουν δυνατή την εξατομικευμένη αυτόνομη κατασκευή μέσω των κοινωνικών δικτύων των επιχειρήσεων. Τα cobots θα αναλαμβάνουν τις επαναλαμβανόμενες και επίπονες εργασίες, ενώ ο άνθρωπος θα είναι υπεύθυνος για την εξατομίκευση και την κριτική σκέψη [24].

Το βιομηχανικό παράδειγμα της Βιομηχανίας 5.0 αναγνωρίζει τη δυνατότητα της βιομηχανίας να επιτύχει κοινωνικούς και περιβαλλοντικούς στόχους, πέρα από την παροχή εργασίας και την ανάπτυξη. Αποσκοπεί στη μετατροπή της βιομηχανίας σε μία ανθεκτική και βιώσιμη πηγή παροχής ευημερίας, που θα επαναφέρει τον ανθρώπινο παράγοντα στο επίκεντρο της παραγωγής και θα αναπτύξει σεβασμό απέναντι στα πλανητικά όρια [19, 20, 21, 23, 24, 25]. Το προτεινόμενο όραμα της Βιομηχανίας 5.0 ξεπερνά την περιορισμένη και παραδοσιακή εστίαση της ανάπτυξης με βάση την τεχνολογική και οικονομική δυνατότητα, που βασίζεται στην εκτεταμένη εξαγωγή φυσικών πόρων, στη μαζική παραγωγή και στην κατανάλωση. Αντιθέτως, μετασχηματίζεται σε μία νέα θεώρηση ανάπτυξης, που θα επικεντρωθεί στην ανθρώπινη πρόοδο και ευημερία. Συνεπώς, θα βασιστεί στη μείωση και στη μετατόπιση της κατανάλωσης σε νέες μορφές βιώσιμης, κυκλικής και αναγεννητικής οικονομικής δημιουργίας αξίας και ευημερίας [20].

Η έννοια της Βιομηχανίας 5.0 πρωτίστως σημαίνει την αποφασιστική απομάκρυνση από την υπάρχουσα αποκλειστική έμφαση της παραγωγής κέρδους και αξίας για τους μετόχους. Επιπλέον, σημαίνει μία ισορροπημένη μακροπρόθεσμη θεώρηση αξίας κατά την οποία γίνεται κατανοητή η δύναμη του ανθρώπινου, φυσικού και οικονομικού κεφαλαίου για τη δημιουργία αξίας για όλους τους συμμετέχοντες [19, 20, 21]. Επομένως, βασικός στόχος της

Βιομηχανίας 5.0 είναι η επανεκτίμηση του κεφαλαίου και του βιομηχανικού μετασχηματισμού, ώστε να συμπεριληφθούν οι ανθρωπίνοι και φυσικοί παράγοντες [20]. Με αυτόν τον τρόπο η λειτουργία της βιομηχανίας θα περιλαμβάνει περιβαλλοντικές και κοινωνικές διαστάσεις σε συνδυασμό με τις οικονομικές και τεχνολογικές διαστάσεις [19, 21].

2.2. Το επόμενο βιομηχανικό παράδειγμα

Υπάρχει διχασμός σχετικά με την έννοια της Βιομηχανίας 5.0. Από τη μία πλευρά, θεωρείται ως το επόμενο εξελικτικό βιομηχανικό στάδιο, που θα αντικαταστήσει τα υπάρχοντα βιομηχανικά παραδείγματα της Βιομηχανίας 3.0 και της Βιομηχανίας 4.0 [21, 23, 24]. Από την άλλη πλευρά, δεν θεωρείται ότι αποτελεί χρονολογική συνέχεια ή εναλλακτική λύση της Βιομηχανίας 4.0, αλλά αποτελεί ένα στοιχείο που θα την συμπληρώσει και θα την συνοδεύει [19, 23, 26]. Ωστόσο, και στις δύο περιπτώσεις η Βιομηχανία 5.0 θα στοχεύσει στη συνύπαρξη της βιομηχανίας, των κοινωνικών τάσεων και των περιβαλλοντικών αναγκών [19, 26]. Ως εκ τούτου, η έννοια της Βιομηχανίας 5.0 θα επικεντρωθεί σε αξίες, όπως ο ανθρωποκεντρισμός, τα οικολογικά και κοινωνικά οφέλη, η ποιότητα ζωής, η συμπερίληψη και η βιωσιμότητα, αντί εξ' ολοκλήρου στην ανάπτυξη και εφαρμογή νέων τεχνολογιών, όπως επικεντρώνονταν οι προηγούμενες βιομηχανικές εξελίξεις [21, 26].

Για το λόγω αυτό, η Βιομηχανία 5.0 δεν θα αντιπροσωπεύει ένα νέο τεχνολογικό άλμα, αλλά ουσιαστικά θα εντάξει την τεχνολογική προσέγγιση της Βιομηχανίας 4.0 σε ένα ευρύτερο πλαίσιο, ώστε ο βιομηχανικός τεχνολογικός μετασχηματισμός να επιτύχει την ευημερία της ανθρωπότητας και του πλανήτη [20]. Αυτός ο αναπροσανατολισμός βασίζεται στην ιδέα ότι οι τεχνολογίες της Βιομηχανίας 5.0 θα διαμορφώνονται με σκοπό την υποστήριξη και την ενδυνάμωση των κοινωνικών αξιών. Επομένως, ο νέος τεχνολογικός μετασχηματισμός θα σχεδιάζεται με βάση τις αναδυόμενες κοινωνικές και οικολογικές ανάγκες. Για παράδειγμα, η πρωταρχική εστίαση των νέων τεχνολογιών θα πρέπει να είναι η υποστήριξη και υποβοήθηση των εργαζομένων και όχι η αντικατάστασή τους από τις μηχανές [21].

2.3. Οι πυλώνες της Βιομηχανίας 5.0

Ο ορισμός της Βιομηχανίας 5.0 θα χαρακτηριστεί από μία επαναπροσδιορισμένη και διευρυμένη σκοπιμότητα, η οποία θα υπερβαίνει την παραγωγή αγαθών και υπηρεσιών για την επίτευξη κέρδους [19]. Η Βιομηχανία 5.0 δεν θα έχει ως βάση την τεχνολογία, όπως οι προηγούμενες βιομηχανικές εξελίξεις, αλλά τρεις αρχές: τον ανθρωποκεντρισμό, τη βιωσιμότητα και την ανθεκτικότητα [19, 23, 25]. Αυτές οι βασικές αρχές αποτελούν τα χαρακτηριστικά γνωρίσματα της Βιομηχανίας 5.0 και θεωρούνται απαραίτητες προκειμένου η βιομηχανία να

παραμένει επίκαιρη, ανταγωνιστική και προετοιμασμένη για το μέλλον [19]. Αυτός ο αναπροσανατολισμός στηρίζεται στην αντίληψη ότι είναι δυνατή η προσαρμογή της τεχνολογίας για την ενίσχυση των ανθρώπινων αξιών και η δόμηση της τεχνολογικής καινοτομίας βασιζόμενη σε ηθικούς στόχους [23].

2.3.1. Πρώτος πυλώνας: Ανθρωποκεντρισμός

Η μετατόπιση της εστίασης της Βιομηχανίας 5.0 από την τεχνολογικά καθοδηγούμενη πρόοδο σε μία απόλυτα ανθρωποκεντρική προσέγγιση αποτελεί μία από τις σημαντικότερες μεταβάσεις που την χαρακτηρίζουν [19]. Για τη Βιομηχανία 5.0 αποτελεί πτυχή η υλοποίηση σχέσεων μεταξύ των συστημάτων, που άρχισε η Βιομηχανία 4.0, για την αύξηση της απόδοσης και την επίτευξη βελτιστοποίησης. Ωστόσο, σημαντικότεροι στόχοι της είναι η εισαγωγή της ανθρώπινης νοημοσύνης στο επίκεντρο της μεταποιητικής βιομηχανίας και η ανάπτυξη συμβιωτικών σχέσεων της με την τεχνολογία. Η Βιομηχανία 5.0 αποσκοπεί στην πραγματοποίηση της ευφυής κατασκευής με τον συνδυασμό έξυπνων συστημάτων, υψηλής ταχύτητας και ακρίβειας, και της ανθρώπινης κριτικής σκέψης, εφευρετικότητας και δημιουργικότητας. Αυτό θα έχει ως αποτέλεσμα, τη δημιουργία προϊόντων υψηλής προστιθέμενης αξίας, ποιότητας και εξατομίκευσης, που θα ικανοποιούν πλήρως τους πελάτες [24, 25]. Για να επιτευχθούν αυτοί οι στόχοι θα πρέπει να λαμβάνονται υπόψη οι κοινωνικοί περιορισμοί προκειμένου να συμπεριλαμβάνεται ολόκληρο το κοινωνικό σύνολο και να προσφέρονται ικανοποιητικές επαγγελματικές σταδιοδρομίες [19, 23].

Η ανθρωποκεντρική προσέγγιση προϋποθέτει την εστίαση στις βασικές ανθρώπινες ανάγκες και συμφέροντα και στην απομάκρυνση από την αποκλειστική εστίαση στις δυνατότητες της αναδυόμενης τεχνολογίας, για την αύξηση της αποδοτικότητας και παραγωγικότητας. Ως εκ τούτου, η ανάπτυξη της τεχνολογίας πρέπει να βασίζεται στην εξυπηρέτηση των ανθρώπινων συμφερόντων. Στο βιομηχανικό πλαίσιο, ο ανθρωποκεντρισμός σημαίνει ότι οι εργαζόμενοι δεν αναγκάζονται να προσαρμόζονται συνεχώς στη διαρκώς εξελισσόμενη τεχνολογία, αλλά η αναδυόμενη τεχνολογία οφείλει να προσαρμόζεται στις ανάγκες και ιδιαιτερότητες τους [19]. Ταυτόχρονα, σημαίνει ότι οι νέες τεχνολογίες δεν θίγουν τα θεμελιώδη δικαιώματα των εργαζομένων, όπως τα δικαιώματα της προστασίας της ιδιωτικής ζωής, της αυτονομίας και της αξιοπρέπειας. Αντιθέτως, εξασφαλίζεται η ευημερία των εργαζομένων και η συμμετοχή τους στον σχεδιασμό και στην ανάπτυξη νέων βιομηχανικών τεχνολογιών. Αυτό έχει ως αποτέλεσμα, οι εργαζόμενοι να ενδυναμώνονται, καθώς εξασφαλίζονται οι μεταβαλλόμενες απαιτήσεις σε δεξιότητες και κατάρτιση και το εργασιακό περιβάλλον γίνεται πιο συμμετοχικό [19, 23]. Εν κατακλείδι, η ανθρώπινη προσέγγιση της Βιομηχανίας 5.0 στην τεχνολογία δίνει έμφαση στη συμβολή του ατόμου και παράλληλα δημιουργεί ένα χώρο χωρίς

αποκλεισμούς στην αγορά εργασίας και στην πρόσβαση σε προϊόντα και υπηρεσίες [26].

2.3.1.1. Συνεργασία ανθρώπων και μηχανών

Ο κλάδος της μεταποίησης έχει αλλάξει ριζικά με την εισαγωγή της Βιομηχανίας 4.0, καθώς έχει μειώσει τα κόστη παραγωγής, μεταφοράς και διαχείρισης ποιότητας και παράλληλα έχει αυξήσει την παραγωγικότητα των επιχειρήσεων. Ωστόσο, για την επίτευξη της μείωσης του κόστους και της βελτιστοποίησης των παραγωγικών διαδικασιών ο ανθρώπινος παράγοντας έχει απομακρυνθεί από το επίκεντρο της παραγωγής [24].

Ο βασικότερος στόχος της Βιομηχανίας 5.0 είναι η επαναφορά της ανθρώπινης πτυχής στο επίκεντρο της μεταποιητικής βιομηχανίας και η ενίσχυση του ρόλου του σε αυτήν, δίνοντας έμφαση στην ανθρώπινη νοημοσύνη και εφευρετικότητα [3]. Ο στόχος αυτός θα επιτευχθεί με την ανάπτυξη συνεργασίας μεταξύ του ανθρώπινου δυναμικού και έξυπνων βιομηχανικών συστημάτων [3, 8, 23, 25, 26, 28]. Οι ραγδαίες εξελίξεις στη ρομποτική και στην τεχνητή νοημοσύνη θα κάνουν εφικτή την ανάπτυξη αυτής της συνεργασίας στους χώρους εργασίας [24, 28]. Η επιστροφή του ανθρώπινου παράγοντα στο βιομηχανικό πλαίσιο θα εξασφαλίσει την αξιοποίηση της ανθρώπινης νοημοσύνης και δημιουργικότητας για την εκτέλεση ευφυών διαδικασιών [3, 24].

Μέσω της συνεργασίας ανθρώπων και μηχανών οι επιχειρήσεις θα έχουν τη δυνατότητα να εκμεταλλευτούν πλήρως τα πλεονεκτήματα και των δύο στοιχείων. Ο συνδυασμός των γνωστικών ικανοτήτων, της κριτικής σκέψης, της δεξιοτεχνίας και της δημιουργικότητας των ανθρώπων με την ακρίβεια, την παραγωγικότητα, την τεχνική εμπειρογνωμοσύνη και την συνέπεια των βιομηχανικών αυτοματισμών θα εισάγει μία καινοτόμο κουλτούρα στους χώρους παραγωγής [3, 17, 25, 27]. Αυτό θα έχει ως αποτέλεσμα, η τεχνολογία να μην αντικαταστήσει το εργατικό δυναμικό, αλλά να ενισχύσει τον ρόλο του στην παραγωγική διαδικασία και η συνεργασία τους να οδηγήσει σε προϊόντα και υπηρεσίες προστιθέμενης αξίας [3, 24]. Επομένως, είναι αναμφίβολο ότι το συνδεδεμένο και συνεργατικό κλίμα της Βιομηχανίας 5.0 παρουσιάζει τεράστιες ευκαιρίες για την ενίσχυση της παραγωγικότητας και της καινοτομίας των βιομηχανιών [26].

Η συνεργασία ανθρώπων και μηχανών μπορεί να επιτευχθεί μονάχα με τον διαχωρισμό της γραμμής παραγωγής σε δύο τμήματα. Το πρώτο τμήμα θα αξιοποιεί τις μηχανές για την εκτέλεση των μονότονων, επαναλαμβανόμενων, επικίνδυνων και σωματικά επίπονων εργασιών. Το δεύτερο τμήμα θα αναθέτει στο ανθρώπινο δυναμικό θέσεις ευθύνης και νοητικές εργασίες, όπως τα καθήκοντα σχεδιασμού, στρατηγικής και εποπτείας των συστημάτων, που απαιτούν την ανθρώπινη εφευρετικότητα και κριτική σκέψη. Ταυτόχρονα, μέσω

της ψηφιοποίησης μπορεί να επιτευχθεί η ενσωμάτωση προηγμένων τεχνολογιών και ευφύων συστημάτων στις ροές εργασίας. Αυτά θα βοηθήσουν στην καλύτερη αξιοποίηση των ανθρώπινων γνωστικών ικανοτήτων, στην ενίσχυση των επιδόσεων του εργατικού δυναμικού και στην ανύψωση της συνεργασίας ανθρώπων και μηχανών. Επιπλέον, με την εισαγωγή της τεχνητής νοημοσύνης και της μηχανικής μάθησης στις βιομηχανικές μηχανές, η Βιομηχανία 5.0 αποσκοπεί στον συνδυασμό των γνωστικών υπολογιστικών ικανοτήτων και της ανθρώπινης ευφυίας και εφευρετικότητας. Με αυτόν τον συνδυασμό, οι άνθρωποι θα έχουν τη δυνατότητα λήψης βέλτιστων αποφάσεων σε πραγματικό χρόνο, αυξάνοντας έτσι την ποιότητα, την παραγωγικότητα, την ευελιξία και την αποδοτικότητα των βιομηχανικών εγκαταστάσεων [3, 8, 17, 24, 25, 28, 29, 27, 30, 31].

Η επαναφορά του ανθρώπινου παράγοντα στο επίκεντρο της παραγωγής θα αποτελέσει μία καινοτόμο αλλαγή για την κοινωνία, καθώς θα οδηγήσει στη δημιουργία του κοινωνικού έξυπνου εργοστασίου. Το κοινωνικό έξυπνο εργοστάσιο θα εστιάζει στη συνεργασία και επικοινωνία μεταξύ των ανθρώπων και συστημάτων, κάτι που θα αλλάξει ριζικά τον τρόπο ζωής και εργασίας. Με αυτόν τον τρόπο, η Βιομηχανία 5.0 θα αξιοποιήσει αποτελεσματικά το εργατικό δυναμικό, που θα αποτελείται από έξυπνες μηχανές και ανθρώπινο δυναμικό [24, 26, 28, 29, 30]. Το ανθρώπινο δυναμικό και οι μηχανές θα συνεργάζονται όποτε και όπου είναι δυνατόν, εξασφαλίζοντας έτσι μία ισορροπία μεταξύ ανθρώπων και τεχνολογίας [3, 26, 28]. Η συνεργασία τους θα γίνει επιτρεπτή μέσω της ανάπτυξης προηγμένων, ευφύων και εξαιρετικά υψηλής ακρίβειας βιομηχανικών αυτοματισμών και πρωτοποριακών διεπαφών, που θα επιτρέψουν την ολοκλήρωση της αλληλεπίδρασης ανθρώπου-μηχανής [3, 22, 24, 25, 27, 29, 32]. Η τοποθέτηση των ανθρώπων στο επίκεντρο της βιομηχανικής παραγωγής και η υποστήριξη τους από έξυπνα συστήματα, θα δώσει τη δυνατότητα στη βιομηχανία να παρέχει εξατομικευμένα προϊόντα και υπηρεσίες, που θα έχουν υψηλότερη προστιθέμενη αξία, και περισσότερες καταρτισμένες θέσεις εργασίας [24, 25]. Αυτό θα οδηγήσει τις εταιρείες να εκτιμήσουν τις γνωστικές και διορατικές ικανότητες του ανθρώπινου δυναμικού και να εστιάσουν λιγότερο στην αυτοματοποίηση, στην ψηφιοποίηση και στη μαζική παραγωγή, που αποτελούν βασικά στοιχεία της Βιομηχανίας 4.0 [3, 8].

2.3.2. Δεύτερος πυλώνας: Βιωσιμότητα

Βιωσιμότητα σημαίνει μείωση της κατανάλωσης ενέργειας και των εκπομπών αερίων του θερμοκηπίου και αποφυγή της εξάντλησης και της υποβάθμισης των φυσικών πόρων. Με αυτόν τον τρόπο, εξασφαλίζεται η ικανοποίηση των σημερινών αναγκών χωρίς να τίθενται όμως σε κίνδυνο οι ανάγκες των μελλοντικών γενεών. Επομένως, η βιομηχανία πρέπει να σεβαστεί τα πλανητικά όρια και να γίνει βιώσιμη αναπτύσσοντας κυκλικές διαδικασίες, που

επαναχρησιμοποιούν και ανακυκλώνουν τους φυσικούς πόρους και μειώνουν τα απόβλητα και τις περιβαλλοντικές επιπτώσεις [19].

Από τη Βιομηχανία 2.0 και έπειτα η περιβαλλοντική ρύπανση έχει εκθετική αύξηση, καθώς κανένας προηγούμενος βιομηχανικός μετασχηματισμός δεν είχε ως προτεραιότητά του την προστασία και διατήρηση του περιβάλλοντος. Για αυτόν τον λόγο, η βιομηχανία οφείλει να επικεντρωθεί στη διαχείριση των απορριμμάτων που παράγονται και στη μείωση των επιπτώσεων της στα οικοσυστήματα [3, 24]. Επομένως, κρίνεται απαραίτητη η ανάπτυξη και η εφαρμογή βιώσιμων πρακτικών, που θα βελτιστοποιήσουν την αποδοτικότητα των πόρων και θα ελαχιστοποιήσουν τα απόβλητα. Για να το πετύχει αυτό η Βιομηχανία 5.0 θα εισάγει διάφορες τεχνολογίες, όπως η τεχνική νοημοσύνη και η προσθετική κατασκευή, οι οποίες θα αποτελέσουν βασικά εργαλεία για την προστασία του περιβάλλοντος [19, 26].

Οι αυξανόμενες δημόσιες περιβαλλοντικές και κοινωνικές ανησυχίες, από τους διεθνείς οργανισμούς, τους κυβερνητικούς κανονισμούς και τους καταναλωτές, έχουν οδηγήσει τις εταιρίες στην ενσωμάτωση της βιωσιμότητας στα επιχειρηματικά μοντέλα τους. Η αποδοτική αξιοποίηση των φυσικών πόρων θα υιοθετηθεί από τη βιομηχανία ως φυσική επιλογή, μονάχα όταν γίνουν συνειδητά τα πλεονεκτήματα της εξοικονόμησης ενέργειας και πρώτων υλών. Αυτό θα έχει ως αποτέλεσμα, την εμφάνιση περιβαλλοντικών πολιτικών που θα καθιστούν τους οργανισμούς πιο αποτελεσματικούς και θα ελαττώνουν την παραγωγή απορριμμάτων. Συνεπώς, κρίνεται απαραίτητο να δοθεί περισσότερη έμφαση στην εύρεση τρόπων ανανέωσης των επιχειρηματικών μοντέλων, ώστε οι εταιρίες να λαμβάνουν υπόψη τους την περιβαλλοντική βιωσιμότητα σε οργανωτικό επίπεδο στα επιχειρηματικά τους οικοσυστήματα [3, 19].

Ταυτόχρονα, η καινοτομία μπορεί να συνδράμει σημαντικά στην ανάπτυξη βιωσιμότητας, αντιστρέφοντας την τάση της απαίτησης περισσότερης ενέργειας και της αύξησης εκπομπών διοξειδίου του άνθρακα για την αύξηση της βιομηχανικής παραγωγής. Αυτό μπορεί να το επιτύχει με τον εξυπνότερο σχεδιασμό της παραγωγής, με την αξιοποίηση πιο ενεργειακά αποδοτικών τεχνολογιών, με την ανάπτυξη βιώσιμων μεθόδων χρήσης των ανανεώσιμων πηγών ενέργειας και με την εξάλειψη των αποβλήτων [19, 31]. Τέλος, είναι σημαντικό να τονιστεί ότι τα οφέλη της βιομηχανικής οικολογίας και ειδικότερα της βιομηχανικής συμβίωσης, δηλαδή η κοινή χρήση και επαναχρησιμοποίηση δευτερογενών πόρων και υποπροϊόντων, αναγνωρίζονται ήδη από πολλές επιχειρήσεις για την βοήθεια τόσο του περιβάλλοντος όσο και της μακροπρόθεσμης ανταγωνιστικότητας των βιομηχανιών στις παγκόσμιες αγορές [19].

2.3.2.1. Κυκλική Οικονομία

Μια συστημική προσέγγιση της Βιομηχανίας 5.0 θα απαιτήσει μία αναπροσαρμογή πολιτικής, η οποία θα ευθυγραμμίζει τις επιχειρηματικές καινοτομίες και μετασχηματισμούς με τις αρχές της αναγεννητικής κυκλικής οικονομίας. Επομένως, κρίνεται αναγκαία η απομάκρυνση από το βιομηχανικό παράδειγμα της Βιομηχανίας 4.0, το οποίο ενθαρρύνει την ψηφιακά υποστηριζόμενη εξορυκτική και καταναλωτική οικονομική δραστηριότητα, που επιταχύνει τις αρνητικές κλιματικές και περιβαλλοντικές επιπτώσεις και την καταστροφή των οικοσυστημάτων [20].

Μέσω των προσεγγίσεων της αναγεννητικής κυκλικής οικονομίας παρέχεται ένα πλαίσιο συστηματικών λύσεων και μετασχηματισμών για την ανάπτυξη βιώσιμων θεμελιωδών επιχειρηματικών δραστηριοτήτων και βιομηχανικών μοντέλων. Το πλαίσιο της κυκλικής οικονομίας αποτελείται από τρεις βασικές αρχές σχεδιασμού. Τον σχεδιασμό παραγωγικών διαδικασιών για την εξάλειψη της παραγωγής αποβλήτων και της ρύπανσης του περιβάλλοντος. Την εκτεταμένη διατήρηση προϊόντων και υλικών σε παραγωγική χρήση και κυκλοφορία και τέλος, την αναγέννηση των φυσικών συστημάτων [20].

Το μοντέλο της κυκλικής οικονομίας θα εξετάζει την οικονομική δραστηριότητα των επιχειρήσεων από την οπτική των συστημάτων και των οικοσυστημάτων τους και θα βασίζεται στην αυξημένη χρήση ανανεώσιμων πηγών ενέργειας και υλικών. Συνεπώς, ως πλαίσιο λύσεων θα έχει τη δυνατότητα να εφαρμοστεί και να χρησιμοποιηθεί για την ανάπτυξη λύσεων σε πολλαπλά επίπεδα. Για παράδειγμα, στο επίπεδο σχεδιασμού των προϊόντων, στον σχεδιασμό των παραγωγικών συστημάτων και των οικοσυστημάτων των επιχειρήσεων και στον μετασχηματισμό της αλυσίδας αξίας και της εφοδιαστικής αλυσίδας. Ως εκ τούτου, η κυκλική οικονομία θα αποτελέσει ένα βασικό στοιχείο της προσέγγισης της Βιομηχανίας 5.0 [20].

2.3.2.2. Βιοοικονομία

Η Ευρωπαϊκή Επιτροπή ορίζει τη βιοοικονομία ως «Η παραγωγή ανανεώσιμων βιολογικών πόρων και η μετατροπή αυτών των πόρων και των ροών αποβλήτων σε προϊόντα προστιθέμενης αξίας, όπως τρόφιμα, προϊόντα βιολογικής προέλευσης και βιοενέργεια». Η βιοοικονομία περιλαμβάνει διάφορους βιομηχανικούς και παραγωγικούς τομείς, οι οποίοι διαθέτουν ισχυρό δυναμικό καινοτομίας λόγω του μεγάλου φάσματος επιστημών, βιομηχανικών τεχνολογιών και γνώσεων που περιλαμβάνουν. Η βιοοικονομία έχει τη δυνατότητα δημιουργίας θεμελιωδών αλλαγών στις βιομηχανίες [28]. Για το λόγω αυτό, η έννοια της βιοοικονομίας αποτελεί άλλο ένα κομμάτι της Βιομηχανίας 5.0, το οποίο θα συμβάλει στη μείωση της περιβαλλοντικής ρύπανσης. Μέσω της βιοοικονομίας θα μειωθεί η παραγωγή αποβλήτων και θα αξιοποιούνται αποδοτικά οι φυσικοί

πόροι, ώστε να διασφαλιστεί η βιωσιμότητα του πολιτισμού και να διατηρηθεί η ισορροπία μεταξύ της οικολογίας, της βιομηχανίας και της οικονομίας [24, 28, 31].

2.3.2.3. Έξυπνη προσθετική κατασκευή

Η βιώσιμη μεταποίηση αποτελεί την πιο οικονομικά αποδοτική προσέγγιση για τις σημερινές μεταποιητικές βιομηχανίες, καθώς επιτυγχάνει την ανάπτυξη των βιομηχανιών με ταυτόχρονη μείωση της ρύπανσης και χρήσης πόρων σε ολόκληρη τη διάρκεια του κύκλου ανάπτυξης. Η προσθετική κατασκευή αποτελεί τη βιώσιμη προσέγγιση, που θα υιοθετηθεί από την παραγωγική βιομηχανία. Στην προσθετική κατασκευή η παραγωγή ενός προϊόντος γίνεται με την σταδιακή προσθήκη υλικού και την ανάπτυξη του προϊόντος ανά στρώματα αντί με τη χρήση ενός συμπαγούς μπλοκ, με αποτέλεσμα την ανάπτυξη πιο ελαφριών και ανθεκτικών προϊόντων [24].

Η έξυπνη προσθετική κατασκευή εφαρμόζει αλγορίθμους τεχνητής νοημοσύνης και όραση υπολογιστή για την προσθήκη μεγαλύτερης ακρίβειας και καλύτερης γραφικής απεικόνισης του σχεδιασμού των προϊόντων στην τρισδιάστατη εκτύπωση. Η ανάπτυξη της 5D εκτύπωσης, που αποτελεί ένα νέο υποσύνολο της προσθετικής κατασκευής, θα παρέχει ακόμα καλύτερη σύνθεση των προϊόντων. Η πρόοδος στις αναδυόμενες τεχνολογίες, όπως η τεχνητή νοημοσύνη (AI), το Διαδίκτυο των Πραγμάτων (IoT), η υπολογιστική νέφους (Cloud Computing), τα μεγάλα δεδομένα (Big Data), τα κυβερνο-φυσικά συστήματα (CPS), το 5G, τα ψηφιακά δίδυμα (DT) και η υπολογιστική ακμής (EC), θα ενισχύσουν την εξέλιξη της έξυπνης προσθετικής κατασκευής [24].

Τα βασικά πλεονεκτήματα της έξυπνης μεταποιητικής βιομηχανίας είναι η βιωσιμότητα, η κερδοφορία και η παραγωγικότητα. Η έξυπνη προσθετική κατασκευή είναι μία από τις αναδυόμενες τεχνολογίες στον τομέα της έξυπνης μεταποίησης. Η έξυπνη προσθετική κατασκευή θα δίνει τη δυνατότητα εξοικονόμησης ενεργειακών πόρων και μείωσης της κατανάλωσης πρώτων υλών, οδηγώντας σε μία μη ρυπογόνο βιομηχανική παραγωγή. Συνεπώς, η προσθετική κατασκευή θα αποτελέσει ένα χαρακτηριστικό της Βιομηχανίας 5.0, που θα βοηθήσει στην παραγωγή πιο βιώσιμων και εξατομικευμένων προϊόντων. Επιπλέον, θα προσδώσει διαφάνεια, διαλειτουργικότητα και αυτοματοποίηση στις παραγωγικές διαδικασίες. Τέλος, θα βοηθήσει στη διαχείριση της εφοδιαστικής αλυσίδας και στη μείωση του χρόνου παράδοσης των προϊόντων [24].

2.3.3. Τρίτος πυλώνας: Ανθεκτικότητα

Η ανθεκτικότητα αναφέρεται στην ικανότητα ευέλικτης αντιμετώπισης των αλλαγών. Για τη βιομηχανία, η ανθεκτικότητα έχει διπλή σημασία. Η πρώτη σημασία αναφέρεται στην ικανότητα ενός συστήματος να αντιστέκεται στις

διαταραχές και πιέσεις, ώστε να διατηρεί τις σημαντικές λειτουργίες και διαδικασίες του. Η δεύτερη σημασία αναφέρεται στην ικανότητα ενός συστήματος να μπορεί να ανακάμπτει άμεσα ή να προσαρμόζεται στις αλλαγές, διασφαλίζοντας έτσι την παροχή και υποστήριξη κρίσιμων υποδομών σε περιόδους κρίσης [19, 25].

Με την άνοδο της παγκοσμιοποίησης και την ανάπτυξη αλληλένδετων εμπορικών σχέσεων οι αγορές και οι αλυσίδες αξίας είναι πιο ευάλωτες και επιρρεπείς σε διαταραχές, που μπορεί να προκληθούν από γεωπολιτικές μετατοπίσεις και φυσικές καταστάσεις έκτακτης ανάγκης. Το γεγονός αυτό αναδεικνύει την ευθραυστότητα της τρέχουσας προσέγγισης παγκόσμιας παραγωγής. Συνεπώς, για να διασφαλίσει η βιομηχανία τον ρόλο της ως μια βιώσιμη κινητήρια δύναμη ευημερίας, πρέπει να εξοπλιστεί κατάλληλα, ώστε να έχει τη δυνατότητα άμεσης προσαρμογής στις μεταβαλλόμενες συνθήκες. Ως εκ τούτου, κρίνεται απαραίτητη η ανάπτυξη ανθεκτικών στρατηγικών αλυσίδων αξίας, ευπροσάρμοστων γραμμών παραγωγής και ευέλικτων επιχειρηματικών διαδικασιών. Συμπερασματικά, μια εύρωστη βιομηχανία θα έχει τη δυνατότητα αντιμετώπισης των τρωτών σημείων, που μπορεί να παρουσιαστούν σε πολλαπλά επίπεδα της αλυσίδας αξίας, συμπεριλαμβανομένων των εργοστασιακών χώρων, του δικτύου εφοδιασμού και πολλών άλλων επιπέδων βιομηχανικών συστημάτων [19].

Κατά τις περιόδους σταθερών κοινωνικών και περιβαλλοντικών συνθηκών, η βιομηχανική καινοτομία τείνει να επικεντρώνεται περισσότερο στην αύξηση της αποτελεσματικότητας των γραμμών παραγωγής και των εφοδιαστικών αλυσίδων, συνήθως όμως εις βάρος της ανθεκτικότητας. Κατά συνέπεια, ακόμα και τα πιο αποδοτικά εργοστάσια μπορεί να καταλήγουν άκαμπτα ως προς την εγκατάστασή τους, με αποτέλεσμα να αναγκάζονται να σταματούν ή να μειώνουν δραστικά την παραγωγή σε περιπτώσεις απρόβλεπτων συνθηκών. Για το λόγω αυτό, είναι απαιτούμενη η έρευνα για τη βιομηχανική ανθεκτικότητα, διότι θα προσφέρει κατανόηση των παγκόσμιων, τοπικών και τεχνικών κινδύνων που αντιμετωπίζει ολόένα και περισσότερο η βιομηχανία. Επιπλέον, μπορεί να βοηθήσει στην ανάπτυξη και εφαρμογή στρατηγικών μετριασμού των κινδύνων, που θα αποτελέσουν ακρογωνιαίους λίθους για τη βέλτιστη και ανθεκτική λειτουργία της βιομηχανίας στο μέλλον. Η απόκτηση βιομηχανικής ανθεκτικότητας μπορεί επίσης να επιτευχθεί με την ανάπτυξη διάφορων καινοτομικών τεχνικών, όπως για παράδειγμα οι πιο αρθρωτές (modular) γραμμές παραγωγής, τα τηλεχειριζόμενα (remotely operated) εργοστάσια, η χρήση νέων υλικών και η παρακολούθηση και διαχείριση κινδύνων σε πραγματικό χρόνο [19].

Η έρευνα και η καινοτομία μπορούν επίσης να βοηθήσουν στην αντιμετώπιση διαταραχών, που μπορεί να προκύψουν από την εισαγωγή των ψηφιακών τεχνολογιών. Οι αναδυόμενες ψηφιακές τεχνολογίες θα αποτελέσουν αναπόσπαστο κομμάτι της μελλοντικής βιομηχανίας και θα έχουν μεγάλο

αντίκτυπο σε αυτήν, καθώς θα έχουν τη δυνατότητα ενίσχυσης της βιομηχανικής ανθεκτικότητας. Για παράδειγμα, η ψηφιακή διασύνδεση των επιχειρήσεων και η εισαγωγή τεχνολογιών άμεσης συλλογής δεδομένων μπορούν να καταστήσουν δυνατή την αυτόματη ανάλυση κινδύνων και την αντιμετώπιση τους. Ωστόσο, η αυξημένη εξάρτηση από τις ψηφιακές τεχνολογίες, διατρέχει τον κίνδυνο έκθεσης σε τεχνικές διαταραχές, λόγω δυσλειτουργιών και κυβερνο-επιθέσεων. Μέσω της έρευνας και καινοτομίας μπορεί να εξελιχθεί η κυβερνο-ασφάλεια και να εξασφαλιστεί η απαιτούμενη ανθεκτικότητα της μελλοντικής βιομηχανίας [19]. Τέλος, για την επίτευξη ανθεκτικότητας σε ολόκληρη την αλυσίδα αξίας χρειάζεται μία προσέγγιση ανθρώπινης και πλανητικής ευημερίας, που θα στοχεύει στον μακροπρόθεσμο σχεδιασμό και όχι στη βραχυπρόθεσμη επιδίωξη κέρδους [20].

Συμπερασματικά, η επίτευξη ανθεκτικότητας στη βιομηχανία διασφαλίζει τη διατήρηση της παραγωγής και τη συνεχή παροχή εργασίας στους εργαζόμενους, συμβάλλοντας με αυτόν τον τρόπο σε μεγάλο βαθμό στην ανάπτυξη κοινωνικής ανθεκτικότητας [19]. Επιπρόσθετα, με την οικοδόμηση ανθεκτικότητας σε ολόκληρη την αλυσίδα αξίας εξασφαλίζεται η παροχή απαραίτητων προϊόντων και υπηρεσιών κατά τη διάρκεια κρίσεων [20]. Η πραγματοποίηση μεταρρυθμίσεων και η επένδυση στις προτεραιότητες της πράσινης, ψηφιακής και κοινωνικής ανθεκτικότητας θα βοηθήσει στη δημιουργία θέσεων εργασίας και στη βιώσιμη και ισορροπημένη ανάπτυξη [19].

2.3.3.1. Προβλεπτική συντήρηση

Με την παγκοσμιοποίηση της οικονομίας οι βιομηχανίες αντιμετωπίζουν πολλές προκλήσεις, με αποτέλεσμα οι παραγωγικές μονάδες να προχωρούν στην εφαρμογή μετασχηματισμών, όπως η προληπτική συντήρηση. Η προβλεπτική συντήρηση έχει ως στόχο την ενεργοποίηση της ικανότητας αυτοσυνειδησίας για τα συστήματα και τις μηχανές. Η βασική τεχνολογία της είναι ο έξυπνος υπολογιστικός πράκτορας, ο οποίος περιλαμβάνει ένα ευφυές λογισμικό για την παροχή λειτουργιών προγνωστικής μοντελοποίησης. Η προβλεπτική συντήρηση θα βοηθήσει τη Βιομηχανία 5.0 στην πρόληψη και αποφυγή εμφάνισης προβλημάτων, τα οποία παρουσιάζουν τον κίνδυνο να διακόψουν την εκτέλεση των παραγωγικών διαδικασιών [24].

Η διαφάνεια δίνει τη δυνατότητα στις βιομηχανίες να αποκαλύπτουν και να αξιολογούν οποιεσδήποτε αβεβαιότητες προκειμένου να εκτιμούν σωστά την ικανότητα κατασκευής και τη διαθεσιμότητα των απαιτούμενων πόρων. Επομένως, οι παραγωγικές μονάδες θα πρέπει να μετασχηματιστούν για να εντάξουν την προβλεπτική συντήρηση στις παραγωγικές τους διαδικασίες για την απόκτηση διαφάνειας. Για να επιτευχθεί αυτός ο μετασχηματισμός απαιτείται η εφαρμογή σύγχρονων εργαλείων πρόβλεψης, που επεξεργάζονται συστηματικά τις πληροφορίες και έχουν τη δυνατότητα καθορισμού των αβεβαιοτήτων, προκειμένου το ανθρώπινο δυναμικό να λαμβάνει βέλτιστες αποφάσεις [24].

2.4. Οφέλη της Βιομηχανίας 5.0

Οι βιομηχανίες έχουν τη δυνατότητα να διαδραματίσουν ενεργό ρόλο στην παροχή λύσεων σε κοινωνικές προκλήσεις, όπως η διατήρηση των πόρων, η κλιματική αλλαγή και η κοινωνική σταθερότητα. Η Βιομηχανία 5.0 αποφέρει οφέλη για τους εργαζόμενους, τη βιομηχανία και την κοινωνία. Οι εργαζόμενοι ενισχύονται με την αντιμετώπιση των εξελισσόμενων αναγκών για δεξιότητες και κατάρτιση. Αυξάνεται η ανταγωνιστικότητα και παραγωγικότητα των βιομηχανιών. Ευνοείται ο πλανήτης και το περιβάλλον, καθώς χρησιμοποιούνται κυκλικά μοντέλα παραγωγής και υποστηρίζονται τεχνολογίες, οι οποίες καθιστούν εφικτή την αποτελεσματικότερη χρήση των φυσικών πόρων. Με την αναθεώρηση των υφιστάμενων αλυσίδων αξίας και των πρακτικών κατανάλωσης ενέργειας οι βιομηχανίες μπορούν να γίνουν ανθεκτικότερες απέναντι σε εξωτερικούς κλυδωνισμούς [20].

2.4.1. Οφέλη για το εργατικό δυναμικό

Η Βιομηχανία 5.0 θα αλλάξει σημαντικά το ρόλο του ανθρώπινου δυναμικού στη βιομηχανία, καθώς δεν θα θεωρείται πλέον ως κόστος, αλλά ως επένδυση. Αυτό θα δώσει τη δυνατότητα ανάπτυξης τόσο της επιχείρησης όσο και των εργαζομένων. Αυτή η αλλαγή οπτικής, σημαίνει ότι θα υπάρξει μεγαλύτερο ενδιαφέρον από τις επιχειρήσεις να επενδύσουν στην ανάπτυξη των δεξιοτήτων και ικανοτήτων των εργαζομένων καθώς και στη δημιουργία φιλικών χώρων εργασίας χωρίς αποκλεισμούς. Παρουσιάζονται προοπτικές βελτίωσης της ασφάλειας, της άνεσης και της ικανοποίησης στους χώρους εργασίας. Επομένως, η Βιομηχανία 5.0 είναι επωφελής για το ανθρώπινο δυναμικό με δύο διαφορετικούς τρόπους. Το πρώτο όφελος είναι η αναβάθμιση των δεξιοτήτων και ικανοτήτων των εργαζομένων. Το δεύτερο όφελος είναι η ανάθεση καθηκόντων προστιθέμενης αξίας για το ανθρώπινο δυναμικό και η δημιουργία πιο συμμετοχικών εργασιακών περιβαλλόντων [3, 8, 19, 23, 25, 26].

Συνήθως η έρευνα και η καινοτομία εστιάζουν στην ενδυνάμωση της παραγωγικότητας και της ανταγωνιστικότητας των εταιρειών, ωστόσο, κρίνεται απαραίτητη και η επένδυση στην έρευνα εσωτερικών καινοτομιών, που θα βοηθήσουν στην ανάπτυξη και εξέλιξη των ανθρώπινων δεξιοτήτων. Αυτές οι εσωτερικές καινοτομίες θα προσδώσουν στις επιχειρήσεις τις ικανότητες της διάδοσης και απορρόφησης νέων τεχνολογιών. Ταυτόχρονα, οι επιχειρήσεις οφείλουν να διαδραματίσουν εμφανή ρόλο στην εκπαίδευση και κατάρτιση του εργατικού δυναμικού, λόγο της πείρας και των γνώσεων που διαθέτουν. Η άμεση σύνδεσης τους με την τεχνολογία παρέχει τη γνώση των ελλείψεων που υπάρχουν σε απαραίτητες δεξιότητες, που θα απαιτηθούν μελλοντικά και μπορεί να διασφαλίσει τη δημιουργία κατάλληλων και σχετικών προγραμμάτων εκπαίδευσης [19].

Η υιοθέτηση νέων τεχνολογιών μπορεί να επιφέρει τον φόβο απώλειας θέσεων εργασίας. Ωστόσο, η ορθή εφαρμογή τους έχει την ικανότητα να δημιουργήσει πιο περιεκτικούς και ασφαλείς χώρους εργασίας, οι οποίοι θα αυξήσουν την αποδοτικότητα, ικανοποίηση και ευημερία των εργαζομένων. Η αυτοματοποίηση των επαναλαμβανόμενων, επικίνδυνων και επίπονων εργασιών μπορεί να μειώσει ριζικά τα ποσοστά των εργατικών ατυχημάτων και να κάνει ασφαλέστερους τους χώρους εργασίας. Παράλληλα, η εισαγωγή τεχνολογιών που περιέχουν τεχνητή νοημοσύνη, καθώς και η χρήση εργαλείων εικονικής και επαυξημένης πραγματικότητας, θα βοηθήσουν στην καθοδήγηση του εργατικού δυναμικού για την εκτέλεση εξειδικευμένων καθηκόντων, που απαιτούν ειδική τεχνογνωσία και εκπαίδευση. Τέλος, η ψηφιοποίηση των βιομηχανικών διαδικασιών θα κάνει επιτρεπτή την εξ αποστάσεως εργασία, δίνοντας τη δυνατότητα εισαγωγής στην αγορά εργασίας των ατόμων που ζουν απομακρυσμένα, και θα αυξήσει την ανθεκτικότητα της παραγωγής [19].

2.4.2. Οφέλη για τη βιομηχανία

Η Βιομηχανία 5.0 θα ωφελήσει τόσο τους εργαζομένους όσο και τις επιχειρήσεις. Συνδυάζει και προωθεί την οικονομική απόδοση των βιομηχανιών, με την ανάπτυξη σεβασμού των αναγκών και συμφερόντων των εργαζομένων. Αυτό έχει ως αποτέλεσμα, οι επιχειρήσεις να έχουν μεγαλύτερη προσέλκυση και συγκράτηση ταλαντούχων εργαζόμενων, που θα αυξήσουν την απόδοσή τους. Παράλληλα, προσφέρει ενεργειακές τεχνολογίες, οι οποίες θα βοηθήσουν στην εξοικονόμηση ενέργειας διασφαλίζοντας την περιβαλλοντική βιωσιμότητα και την επίτευξη ανθεκτικότητας των επιχειρήσεων. Ταυτόχρονα, αποσκοπεί στην παραγωγή εξατομικευμένων προϊόντων, με αποτέλεσμα οι βιομηχανίες να μπορούν να διατηρήσουν την ανταγωνιστικότητά τους σε παγκόσμιο επίπεδο [19].

Το συνολικό όφελος της Βιομηχανίας 5.0 θα είναι μακροπρόθεσμο, καθώς θα εξασφαλιστεί η συνεχής ανταγωνιστικότητα των επιχειρήσεων με την ανάπτυξη της ικανότητας της επιτυχούς προσαρμογής σε νέες αγορές και στις μεταβολές της οικονομίας. Βραχυπρόθεσμα μπορεί να υπάρξει ο κίνδυνος μείωσης της ανταγωνιστικότητας των επιχειρήσεων που θα επενδύσουν στη Βιομηχανία 5.0. Ωστόσο, πιστεύεται ότι οι επιχειρήσεις που δεν θα υιοθετήσουν τα στοιχεία της Βιομηχανίας 5.0 και συνεπώς, δεν θα εμπλακούν στην ευρύτερη κοινωνική μετάβαση προς τη βιωσιμότητα, τον ανθρωποκεντρισμό και την ανθεκτικότητα, θα χάσουν μακροπρόθεσμα την ανταγωνιστικότητά τους. Προκειμένου λοιπόν, οι επιχειρήσεις να διατηρήσουν την ανταγωνιστικότητά τους θα πρέπει να αποδεχθούν τις προτιμώμενες κοινωνικές αξίες των μελλοντικών εργαζόμενων και πελατών τους. Με αυτόν τον τρόπο, η Βιομηχανία 5.0 θα γίνει πιο ελκυστική τόσο για τους επιχειρηματίες όσο και για τους επενδυτές και για τους καταναλωτές [19].

2.5. Προκλήσεις της Βιομηχανίας 5.0

Είναι εμφανές ότι η Βιομηχανία 5.0 έχει τη δυνατότητα να φέρει επανάσταση σε πολλούς βιομηχανικούς τομείς, καθώς θα επιλύσει τα περισσότερα κατασκευαστικά ζητήματα που σχετίζονται με την απομάκρυνση των ανθρώπων από τις διάφορες διαδικασίες και εστιάζει στην παροχή εξατομικευμένων υπηρεσιών στους πελάτες [22, 24]. Ωστόσο, η εφαρμογή της θα επιφέρει πολλές νέες προκλήσεις, που θα χρειαστεί να αντιμετωπιστούν για την πλήρη αξιοποίηση των δυνατοτήτων της. Αυτές οι αναδυόμενες προκλήσεις σχετίζονται με την τεχνολογία, την κοινωνικο-οικονομία, τη διακυβέρνηση και τους κανονισμούς. Ειδικότερα, αφορούν τη δημιουργία ασφαλών και ωφέλιμων εργασιακών περιβαλλόντων, την σωστή εκπαίδευση των εργαζομένων για ανάπτυξη των απαραίτητων προσόντων και τον σεβασμό των ανθρωπίνων δικαιωμάτων. Επομένως, κρίνεται απαραίτητος ο επανασχεδιασμός των επιχειρηματικών μοντέλων, των αλυσίδων αξίας και των εφοδιαστικών αλυσίδων, ώστε να αντιμετωπιστούν οι αναδυόμενες προκλήσεις και να αποφευχθούν οι επιπτώσεις τους. Με αυτόν τον τρόπο, θα επιτευχθεί η απαραίτητη ανθεκτικότητα για τη διασφάλιση της διαβίωσης των ανθρώπων εντός των πλανητικών ορίων [19, 20, 21, 24].

2.5.1. Ασφάλεια

Μία από τις πιθανές προκλήσεις της Βιομηχανίας 5.0 είναι η ασφάλεια. Με τη διάδοση της ψηφιοποίησης αυξάνεται ο κίνδυνος ευπάθειας στην ασφάλεια, καθώς αυξάνεται ο όγκος των παραγόμενων βιομηχανικών δεδομένων και των δεδομένων των χρηστών. Συνεπώς, θα πρέπει να διαφυλάσσονται οι συναλλαγές δεδομένων προκειμένου να μην διαρρέουν ευαίσθητα δεδομένα. Επιπλέον, κρίνεται απαραίτητο να προστατευτεί η ιδιωτική ζωή των χρηστών κατά τη συσσώρευση δεδομένων για την προσφορά εξατομικευμένων και πιο προγνωστικών υπηρεσιών στους πελάτες. Η Βιομηχανία 5.0 θα πρέπει να εξασφαλίσει την παροχή υπηρεσιών ασφάλειας, όπως η ακεραιότητα, η διαθεσιμότητα, η πιστοποίηση ταυτότητας και πτυχές ελέγχου [24].

Η ακεραιότητα αποτελεί πρωταρχικό μέλημα στην προοπτική της ασφάλειας δεδομένων, διότι οι εντολές ελέγχου και τα δεδομένα παρακολούθησης θα μεταφέρονται μέσω των δικτύων τρίτων. Συνεπώς, απαιτείται η επικύρωση της ακεραιότητας χωρίς την παρεμπόδιση της απόδοσης των βιομηχανικών συστημάτων. Η ταυτοποίηση των διαφορετικών πηγών δεδομένων θα αποτελέσει κρίσιμη απαίτηση για την εδραίωση της αμοιβαίας εμπιστοσύνης στα διάφορα επιχειρηματικά οικοσυστήματα. Οι μηχανισμοί ταυτοποίησης θα πρέπει να είναι κλιμακούμενοι, προκειμένου να επιτρέπεται η σύνδεση μεγάλου αριθμού συσκευών παραγωγής και επεξεργασίας δεδομένων στις βιομηχανικές εγκαταστάσεις. Ταυτόχρονα, με την εξέλιξη της κβαντικής υπολογιστικής, τα

συστήματα ταυτοποίησης θα πρέπει να είναι σε θέση να υιοθετήσουν την κβαντική υπολογιστική, ώστε να μπορέσουν να ανταπεξέρχονται σε μελλοντικές εφαρμογές της. Άλλο ένα μέτρο ασφάλειας που θα χρειαστεί να εστιάσει η Βιομηχανία 5.0 είναι η ανάπτυξη μηχανισμών ελέγχου πρόσβασης. Αυτοί οι μηχανισμοί θα εξασφαλίζουν την πρόσβαση στους ευαίσθητους πόρους, όπως οι πνευματικές ιδιοκτησίες, μονάχα σε εξουσιοδοτημένους ενδιαφερόμενους. Ταυτόχρονα, η δυνατότητα ελέγχου αποτελεί βασικό στοιχείο για την αξιολόγηση της ευθυγράμμισης της λειτουργίας των συστημάτων με τους ορισμούς κανονιστικής συμμόρφωσης. Η διαχείριση των αρχείων καταγραφής θα πρέπει να υποστηρίζει τις απαιτήσεις κλιμάκωσης στη μαζική συνδεσιμότητα που αναμένεται στα μελλοντικά συστήματα [24].

Η εισαγωγή της τεχνητής νοημοσύνης και της μηχανικής μάθησης και η υποστήριξη της αυτοματοποίησης αποτελεί άλλον έναν φορέα απειλών ασφαλείας. Αναλυτικότερα, τα δεδομένα εκπαίδευσης των μοντέλων μηχανικής μάθησης θα πρέπει να προστατεύονται για την ορθή λειτουργία τους στις εφαρμογές της Βιομηχανίας 5.0. Ο διαμοιρασμός των εμπειρικών δεδομένων για την εκπαίδευση και την ενημέρωση των μοντέλων τεχνητής νοημοσύνης θα πρέπει να γίνεται με ασφάλεια για την αποφυγή υποκλοπής τους. Παράλληλα, σημαντικές εφαρμογές της Βιομηχανίας 5.0 θα εξαρτώνται σε μεγάλο βαθμό από συστήματα τεχνολογίας πληροφοριών και επικοινωνιών, που θα οδηγήσουν σε νέες απαιτήσεις ασφαλείας, όπως η ανάπτυξη προληπτικών μηχανισμών ασφαλείας. Τέλος, η ανάπτυξη της κβαντικής πληροφορικής και η εισαγωγή της στα βιομηχανικά συστήματα θα απλοποιήσει δραματικά τους μηχανισμούς ασφαλείας στα παλαιά συστήματα. Συνεπώς, θα πρέπει να χρησιμοποιηθούν μηχανισμοί κβαντικής ανθεκτικής κρυπτογραφίας ή μετα-κβαντικοί μηχανισμοί κρυπτογραφίας για να εξασφαλιστεί το απαιτούμενο επίπεδο προστασίας [24].

2.5.2. Απόρρητο και προστασία προσωπικών δεδομένων

Το οικοσύστημα της Βιομηχανίας 5.0 θα λειτουργεί με ακριβή πνευματικά περιουσιακά στοιχεία και υλικά κατασκευής με αποτέλεσμα το απόρρητο να αποτελέσει ζωτική απαίτηση των εφαρμογών της. Η συναλλαγή των δεδομένων θα γίνεται μέσω του Διαδικτύου για να επιτευχθεί η σύνδεση των μηχανών με τους ανθρώπους και η ανταλλαγή πληροφοριών παρακολούθησης και ελέγχου. Συνεπώς, αυτά τα δεδομένα θα πρέπει να ασφαρίζονται στα συστήματα νέφους, ώστε να αποφεύγεται η διαρροή τους στο Διαδίκτυο. Ταυτόχρονα, η εφαρμογή της τεχνητής νοημοσύνης θα πρέπει να τηρεί κοινωνικές και ηθικές αξίες για την αποφυγή των αρνητικών κοινωνικών επιπτώσεων. Τα ηθικά ζητήματα με την τεχνητή νοημοσύνη και τις επιπτώσεις της στο ανθρώπινο δυναμικό θα χρειαστεί να αμβλυνθούν για την επίτευξη απρόσκοπτης συνεργασίας μεταξύ των ανθρώπων και των ρομπότ συνεργάτες. Επομένως, οι υπεύθυνοι χάραξης πολιτικής για τη Βιομηχανία 5.0 θα πρέπει να λάβουν υπόψη τους τα ηθικά

ζητήματα που αφορούν τη συνεργασία ανθρώπων και μηχανών. Τέλος, τα ζητήματα προστασίας της ιδιωτικής ζωής περιλαμβάνουν τα δικαιώματα προστασίας των ανθρώπινων δεδομένων, δηλαδή οι άνθρωποι έχουν τον έλεγχο των δεδομένων τους. Ως εκ τούτου, το απόρρητο των δεδομένων θα πρέπει να διασφαλίζεται με την προστασία των δεδομένων των χρηστών κατά τη χρήση τους για γνωστική ανάλυση [24].

2.5.3. Επεκτασιμότητα

Η επεκτασιμότητα μπορεί να εκφραστεί με τους όρους της ανθεκτικότητας, της ευελιξίας και της ανταπόκρισης του συστήματος, όταν ο φόρτος εργασίας του μεταβάλλεται δυναμικά. Όταν ο αριθμός των συνδεδεμένων συστημάτων αυξομειώνεται, η επεκτασιμότητα αποτελεί την απόδοση του συστήματος σε διαφορετικές συνθήκες εργασίας. Καθώς η Βιομηχανία 5.0 προορίζεται να συνδέσει και να αναπτύξει επικοινωνία με πολυάριθμα συστήματα και ανθρώπους, η επεκτασιμότητα θα αποτελέσει μία από τις σημαντικότερες προκλήσεις που θα χρειαστεί να αντιμετωπίσει. Συνεπώς, θα πρέπει να χρησιμοποιούνται δείκτες επιπέδου υπηρεσιών, μέσω των οποίων θα παρακολουθείται η επεκτασιμότητα των συστημάτων. Ταυτόχρονα, για την διασφάλιση της επεκτασιμότητας τα συστήματα θα πρέπει να είναι ικανά να ανταπεξέρχονται στην προσφορά υπηρεσιών ανεξάρτητα από τον φόρτο εργασίας. Συνεπώς, θα πρέπει να είναι αρκετά εύελικτα, ώστε να παρέχουν άμεση απόκριση χωρίς καθυστέρηση στην επεξεργασία δεδομένων [24].

Η προσθετική κατασκευή, η οποία θα αποτελέσει κομμάτι της Βιομηχανίας 5.0, θα πρέπει να κλιμακώνεται ανάλογα με το περιβάλλον αυτοματισμού και τις μεταβαλλόμενες ανάγκες. Ωστόσο, υπάρχουν συγκεκριμένα ζητήματα που θα χρειαστεί να αντιμετωπιστούν σχετικά με την κλιμάκωση της προσθετικής κατασκευής. Το πρώτο ζήτημα είναι ο προσδιορισμός του τρόπου αξιοποίησης των αποτελεσμάτων της προσθετικής κατασκευής και η κλιμάκωση τους για την εφαρμογή της στην παραγωγή. Το δεύτερο ζήτημα είναι ο εντοπισμός των εμποδίων κλιμάκωσης της προσθετικής κατασκευής στην παραγωγή και οι τεχνικές μετριασμού τους. Το τελευταίο ζήτημα είναι η ικανότητα κλιμάκωσης της προσθετικής κατασκευής παράλληλα με τις μελλοντικές τάσεις και τις μεταβολές των αγορών. Για την επίλυση των παραπάνω ζητημάτων κλιμάκωσης της προσθετικής κατασκευής στην παραγωγή, θα απαιτηθεί η θέσπιση βιομηχανικών προτύπων κλιμάκωσης της προσθετικής κατασκευής για την εφαρμογής της σε ολόκληρη τη βιομηχανία. Επιπλέον, με την αύξηση των συσσωρευμένων δεδομένων στους διακομιστές νέφους μπορεί να μειωθεί η ταχύτητα απόκρισης των συστημάτων, εξαιτίας της καθυστερημένης επεξεργασίας των δεδομένων. Επομένως, κρίνεται αναγκαία η εφαρμογή της υπολογιστικής άκρων σε συνδυασμό με την τεχνητή νοημοσύνη, προκειμένου να μειωθεί η καθυστέρηση

επεξεργασίας δεδομένων και να εξασφαλιστεί η γρήγορη απόκριση των συστημάτων [24].

2.5.4. Εξειδικευμένο εργατικό δυναμικό

Η συνεχής εξέλιξη της τεχνολογίας απαιτεί τη διαρκή ανάπτυξη νέων δεξιοτήτων, ώστε να γίνεται πλήρης αξιοποίηση των νέων τεχνολογικών επιτευγμάτων, κάτι που θα αποτελέσει σημαντικό πρόβλημα για τη Βιομηχανία 5.0. Συνεπώς, θα είναι αναγκαία η παροχή ειδικευμένου και κατάλληλα καταρτισμένου προσωπικού, που θα εκτελεί εργασίες υψηλής αξίας στην παραγωγή. Ωστόσο, η σημαντικότερη πρόκληση της παροχής εξειδικευμένων δεξιοτήτων είναι η ανεπάρκεια των εκπαιδευτικών ιδρυμάτων στην ανταπόκριση της ζήτησης δεξιοτήτων και οικονομικοί περιορισμοί που δεν επιτρέπουν την κατάλληλη εκπαίδευση. Αυτό έχει ως αποτέλεσμα οι βιομηχανίες να έχουν ελλείψεις σε απαραίτητες δεξιότητες. Επιπλέον, μέχρι την πλήρη υιοθέτηση της Βιομηχανίας 5.0, η απαίτηση εξειδικευμένου εργατικού δυναμικού αναμένεται να αυξηθεί, διότι θα έχουν αναπτυχθεί νέες τεχνολογίες. Συνεπώς, μία πιθανή λύση αυτού του προβλήματος, θα είναι μία νέα προσέγγιση στην ανάπτυξη της τεχνολογίας. Οι νέες τεχνολογίες θα μπορούν να είναι πιο φιλικές προς τους χρήστες, ώστε να μην απαιτούνται εξειδικευμένες δεξιότητες για την αξιοποίησή τους. Ταυτόχρονα, η κατάρτιση θα μπορεί να αναπτύσσεται παράλληλα με την ανάπτυξη της τεχνολογίας, εξασφαλίζοντας έτσι ότι το σύνολο των διαθέσιμων δεξιοτήτων θα μπορεί να ανταποκρίνεται στις απαιτήσεις της βιομηχανίας [19, 24].

Ένα ακόμα αξιοσημείωτο πρόβλημα που θα πρέπει να αντιμετωπίσει η Βιομηχανία 5.0 είναι η αδυναμία της επιμόρφωσης όλων των εργαζομένων. Η συνεχής αυτοματοποίηση των διαδικασιών θα οδηγήσει αναπόφευκτα στην εξάλειψη κάποιων δεξιοτήτων, καθώς δεν θα είναι πλέον αναγκαίες. Συνεπώς, κρίνεται σημαντική η επανεκπαίδευση των εργαζομένων για την απόκτηση νέων προσόντων και δεξιοτήτων και η συνεχής κατάρτισή τους για την διασφάλιση ενός εξειδικευμένου ανθρώπινου δυναμικού. Μία από τις σημαντικότερες δεξιότητες που θα πρέπει να διδαχθούν και να αναπτυχθούν είναι οι ψηφιακές δεξιότητες, που θα είναι απαραίτητες λόγω της συνεχούς ψηφιοποίησης των συστημάτων. Τέλος, είναι σημαντική η βασική κατανόηση της λειτουργίας της τεχνητής νοημοσύνης, καθώς έτσι θα εξασφαλιστεί η γνωστοποίηση των οφελών και των περιορισμών της και θα οδηγήσει στην αποτελεσματική αξιοποίηση της [19].

2.5.5. Νομοθετική συμμόρφωση

Η βασική προϋπόθεση για την πλήρη υιοθέτηση κάθε βιομηχανικής εξέλιξης είναι οι νόμοι και οι κανονισμοί. Παρόλο που, υπάρχουν πρότυπα για την αυτοματοποίηση, την πολιτική καινοτομία και τις βιομηχανικές πολιτικές, όπως η

πράξη της ΕΕ για την τεχνητή νοημοσύνη, πρέπει να επιβληθούν πιο ειδικά πρότυπα για την εποχή της Βιομηχανίας 5.0. Η ανάπτυξη προτύπων, νόμων και κατευθυντήριων γραμμών θα κάνει πιο γρήγορη την υιοθέτηση της Βιομηχανίας 5.0. Οι βασικότεροι κανονισμοί που θα πρέπει να οριστούν αφορούν την επαναφορά του ανθρώπινου δυναμικού στο επίκεντρο της βιομηχανίας και την ανάπτυξη της συνεργασίας μεταξύ ανθρώπων και έξυπνων μηχανών. Θα πρέπει να εξασφαλίζεται ότι οι βελτιώσεις που θα προσφέρει στις συνθήκες εργασίας η προσαρμογή νέων τεχνολογιών δεν θα εισέλθουν εις βάρος των θεμελιωδών δικαιωμάτων των εργαζομένων. Τα δικαιώματα της αυτονομίας, της αξιοπρέπειας, της ιδιωτικής ζωής και η σωματική και ψυχική υγεία δεν θα πρέπει να επηρεάζονται ούτε να τίθενται σε κίνδυνο στους χώρους εργασίας. Επομένως, κατά τον σχεδιασμό έξυπνων χώρων εργασίας θα πρέπει να λαμβάνονται υπόψη πιθανές προκαταλήψεις των εργαζόμενων σχετικά με τη συνεργασία τους με ευφυή συστήματα και να διασφαλίζεται η αξιοπρέπειά τους. Για το λόγο αυτό, είναι σημαντικό να δημιουργηθούν κανονισμοί και νόμοι, οι οποίοι θα καθορίζουν τη χρήση της τεχνητής νοημοσύνης και της μηχανικής μάθησης στη μεταποιητική βιομηχανία [19, 24].

Παράλληλα, ο ψηφιακός μετασχηματισμός ενδέχεται να επιφέρει νέους κινδύνους που σχετίζονται με την επαγγελματική εξουθένωση, εξαιτίας της ανάπτυξης μιας συνεχούς διαθέσιμης και συνδεδεμένης εργασιακής κουλτούρας. Επομένως, κατά τον σχεδιασμό ψηφιοποιημένων χώρων εργασίας είναι σημαντικό να συμπεριλαμβάνονται ισότιμα τόσο η σωματική όσο και η ψυχική υγεία των εργαζομένων, διασφαλίζοντας έτσι την ασφάλεια και ευημερία τους. Οι νέες ψηφιακές τεχνολογίες θα πρέπει να υποστηρίζουν την ευημερία και την ψυχική υγεία των εργαζομένων και να ελαχιστοποιούν τους κινδύνους και τις επιπτώσεις των νέων εργασιακών χώρων. Με αυτόν τον τρόπο, θα γίνει επιτρεπτή η ανάπτυξη μίας εταιρικής κουλτούρας εξασφάλισης της ψυχικής και σωματικής υγείας. Το πλεονέκτημα της νέας εταιρικής κουλτούρας θα είναι η προσφορά οικονομικών οφελών, λόγω της αυξημένης παραγωγικότητας και απόδοσης των εργαζομένων [19].

2.5.6. Ζητήματα συνεργασίας ανθρώπου - ρομπότ

Η Βιομηχανία 5.0 αποτελεί τη βιομηχανική εξέλιξη, που θα χαρακτηρίσει την επιστροφή των ανθρώπων στο εργοστάσιο και θα αναπτύξει τη συνεργασία μεταξύ ανθρώπων και έξυπνων μηχανών. Αυτό όμως θα δημιουργήσει πρακτικά ζητήματα, όπως τα ζητήματα της αντιστοίχισης της ανθρώπινης νοημοσύνης με τη μηχανική νοημοσύνη, της εκπαίδευσης των ρομπότ συνεργατών και της προσαρμογής των συστημάτων στη συνεργασία τους με τους εργαζόμενους. Αυτά τα ζητήματα θα είναι εφικτό να αντιμετωπιστούν μονάχα με την αποτελεσματική εκπαίδευση τόσο των ανθρώπων όσο και των μηχανών [22, 24]. Μέσω της αποτελεσματικής εκπαίδευσης θα είναι εφικτή η αποδοχή των ρομπότ στους

χώρους εργασίας, η αποφυγή διακρίσεων εις βάρος των ρομπότ ή των ανθρώπων και η ανάπτυξη εμπιστοσύνης στο περιβάλλον συνεργασίας ανθρώπου-ρομπότ [28]. Επιπλέον, πρέπει να ληφθούν υπόψη τα ηθικά ζητήματα που σχετίζονται με την υιοθέτηση της τεχνητής νοημοσύνης για την αποφυγή πιθανών μειονεκτημάτων και αρνητικών κοινωνικών επιπτώσεων [24]. Επομένως, τα αυτόνομα συστήματα θα πρέπει να ενσωματώνουν ηθικές αρχές που θα μπορούν να επαληθευτούν και να επικυρωθούν κατάλληλα, προτού γίνει η ενσωμάτωση προηγμένων δεξιοτήτων στη βιομηχανική διαχείριση. Ο συντονισμός και η επικύρωση θα αποτρέψουν κάπως τα σοβαρά προβλήματα μεταξύ της τεχνολογίας, της κοινωνίας και των επιχειρήσεων [22].

Η Bagdasarova και οι συνεργάτες της διερεύνησαν τις οργανωτικές εκτιμήσεις σχετικά με την εργασία με ρομπότ και όρισαν τρεις ομάδες παραγόντων που θα επηρεάσουν τη σχέση των εργαζομένων με τα ρομπότ. Αυτές οι ομάδες παραγόντων είναι ο ατομικός, ο οργανωτικός και ο ρομποτικός παράγοντας. Στο πλαίσιο κάθε ομάδας παραγόντων προτείνεται η εξέταση διαφόρων παραγόντων που τους απαρτίζουν. Ατομικοί παράγοντες αποτελούν η ηλικία των εργαζομένων, το φύλο, το επίπεδο εκπαίδευσης, το τεχνικό υπόβαθρο, η κοινωνική αντίληψη και η διαπροσωπική ευαισθησία. Οργανωτικοί παράγοντες αποτελούν τη ροή εργασίας του οργανισμού, το φυσικό περιβάλλον, το κοινωνικό και συναισθηματικό πλαίσιο, η εκπαίδευση και η ευθυγράμμιση στόχων εργαζομένου-ρομπότ. Τέλος, η εμφάνιση, η συμπεριφορά, οι δυνατότητες αλληλεπίδρασης και η ασφάλεια του ρομπότ αποτελούν τους ρομποτικούς παράγοντες [28].

Η συνεργασία ανθρώπων-ρομπότ θα αποτελέσει μία σημαντική αλλαγή τόσο για τους οργανισμούς όσο και για την ανθρωπότητα. Η ανθρωπότητα προσπαθεί να δημιουργήσει μία τεχνολογία, η οποία θα είναι όμοια της σε πολλές πτυχές. Συνεπώς, αυτή η τεχνολογία θα προκαλέσει διάφορες αντιδράσεις, καθώς ορισμένοι θα έχουν θετική στάση απέναντι στα ρομπότ, ενώ άλλοι θα έχουν απαισιόδοξη στάση. Ωστόσο, είναι σημαντικό να σημειωθεί ότι μέχρι να πραγματοποιηθεί η συμβίωση και η συνεργασία με τα ρομπότ, δεν είναι δυνατόν να επιβεβαιωθεί η πραγματική αντίδραση της ανθρωπότητας απέναντί τους. Εκτός από αυτό, αναμένεται ότι η στάση απέναντι στα ρομπότ θα εξελιχθεί με την απόκτηση εμπειριών μαζί τους. Επιπροσθέτως, πρέπει να ληφθεί υπόψη ότι η αντίδραση διαφορετικών γενεών μπορεί να είναι διαφορετική στην ιδέα της συνεργασίας με ρομπότ. Αυτό οφείλεται στο γεγονός ότι κάποιες γενιές θα μεγαλώσουν με αυτήν την τεχνολογία ή με παρόμοιες τεχνολογίες και άλλες θα βρεθούν σε μία κοινωνία με ρομπότ. Επομένως, είναι σημαντικό να ληφθούν υπόψη οι διαφορές της σημερινής γενιάς με τις μελλοντικές, ώστε να ξεκινήσει η οικοδόμηση μιας ρομποτικής κοινωνίας που θα εκμεταλλεύεται στο μέγιστο βαθμό αυτή την τεχνολογία και θα μειώσει τις συνέπειές της. Συμπεραίνεται λοιπόν, ότι η Βιομηχανία 5.0 έχει τη δυνατότητα να συμβάλει στον ριζικό μετασχηματισμό της κοινωνίας, της ποιότητας ζωής και της οικονομίας [3, 28].

Κεφάλαιο 3 ΜΕΘΟΔΟΛΟΓΙΑ

Η μεταποιητική βιομηχανία, από τη γέννησή της πριν από δύο αιώνες μέχρι και σήμερα, έχει εξελιχθεί μέσα από διάφορα πρότυπα. Η χειροτεχνική παρασκευή αποτέλεσε το πρώτο πρότυπο, κατά το οποίο τα προϊόντα που δημιουργούνταν ικανοποιούσαν επακριβώς τις ανάγκες των πελατών, αλλά υπήρχε το βασικό μειονέκτημα ότι η παραγωγή τους είχε πολύ υψηλό κόστος. Παράλληλα, οι παραγωγοί βιοτεχνικών προϊόντων περιοριζόντουσαν σε συγκεκριμένες γεωγραφικές περιοχές με αποτέλεσμα ο συγκεκριμένος τύπος παραγωγής να μην ήταν επεκτάσιμος. Η ανάπτυξη των γραμμών παραγωγής και η επίτευξη της συμβατότητας έκαναν επιτρεπτή την ανάπτυξη του δεύτερου παραγωγικού προτύπου, της μαζικής παραγωγής. Το βασικό χαρακτηριστικό της ήταν η παροχή προϊόντων σε μεγάλη κλίμακα και σε χαμηλό κόστος, αλλά είχε το σημαντικό μειονέκτημα ότι η ποικιλία προϊόντων που προσέφερε ήταν πολύ περιορισμένη [33].

Ο παγκόσμιος ανταγωνισμός και οι αναπτυσσόμενες απαιτήσεις των καταναλωτών για μεγαλύτερη ποικιλία προϊόντων οδήγησαν στα τέλη της δεκαετίας του ογδόντα στην ανάπτυξη της μαζικής προσαρμογής (mass customization). Σε αυτό το πρότυπο, οι κατασκευαστές σχεδιάζουν τη βασική αρχιτεκτονική και τις επιλογές των προϊόντων, ενώ οι πελάτες έχουν τη δυνατότητα επιλογής του συνδυασμού συναρμολόγησης που προτιμούν. Ο σχεδιασμός οικογενειών προϊόντων επέτρεψε τον καταμερισμό των κοινών εξαρτημάτων μεταξύ των προϊόντων της οικογένειας, με αποτέλεσμα την επίτευξη οικονομίας κλίμακας. Η χρήση ευέλικτων και ρυθμιζόμενων συστημάτων παραγωγής μέσω της συνδυαστικής συναρμολόγησης βοήθησε στη δημιουργία μεγάλης ποικιλίας προϊόντων, επιτυγχάνοντας έτσι οικονομία κλίμακας [33].

Η επιθυμία των καταναλωτών να επηρεάζουν και να συμμετέχουν στον σχεδιασμό των προϊόντων οδηγεί στο επόμενο μεταποιητικό πρότυπο, το οποίο ονομάζεται εξατομίκευση (personalization) [33]. Η επαναφορά των ανθρώπων στο επίκεντρο της παραγωγής σε συνδυασμό με τη χρήση τεχνολογιών αιχμής θα εστιάσει στη δημιουργία εξατομικευμένων εμπειριών στους πελάτες. Μέσω της τεχνικής καινοτομίας και της αξιοποίησης της ανθρώπινης δημιουργικότητας η Βιομηχανία 5.0 θα αναπτύξει τη μαζική εξατομίκευση για την ικανοποίηση της ζήτησης των καταναλωτών [3].

3.1. Μαζική προσαρμογή και μαζική εξατομίκευση στη Βιομηχανία 5.0

Δύο όροι έχουν συσχετιστεί με τη Βιομηχανία 5.0 ως βασικές εφαρμογές της, λόγω των αναπτυσσόμενων προσδοκιών και απαιτήσεων των καταναλωτών για εξατομικευμένα και προσαρμοσμένα προϊόντα και υπηρεσίες. Αυτοί είναι οι όροι

της μαζικής προσαρμογής (mass customization) και της μαζικής εξατομίκευσης (mass personalization) [17, 25, 29]. Μέσα από αυτά τα δύο κατασκευαστικά πρότυπα οι καταναλωτές θα έχουν τη δυνατότητα να επιλέγουν προϊόντα που θα είναι κατασκευασμένα σύμφωνα με τις προτιμήσεις και τις προσωπικές τους ανάγκες [25, 29]. Οι προκλήσεις της μαζικής προσαρμογής και της μαζικής εξατομίκευσης θα είναι δυνατόν να ξεπεραστούν μονάχα με την ανθρώπινη συμμετοχή στην παραγωγική διαδικασία. Επομένως, για την επίτευξη πιο εξατομικευμένων προϊόντων και υπηρεσιών είναι αναγκαία η μετάβαση στη Βιομηχανία 5.0, καθώς αυτή θα επικεντρωθεί στη δημιουργία σχέσεων υψηλής συνεργασίας μεταξύ ανθρώπων και έξυπνων παραγωγικών συστημάτων [25, 27, 29, 30, 32]. Η ανάπτυξη της γνωσιακής υπολογιστικής και ο συνδυασμός της με την ανθρώπινη νοημοσύνη θα επιτρέψει τη δημιουργία εξατομικευμένων προϊόντων προστιθέμενης αξίας στην παραγωγή [3, 8, 27, 32]. Η Βιομηχανία 5.0 θα λύσει την ανάγκη για εξατομίκευση και προσαρμογή των προϊόντων, καθώς θα παρέχει στους πελάτες τη δυνατότητα να εξατομικεύσουν τις παραγγελίες τους και να ικανοποιήσουν πλήρως τις ανάγκες τους [3, 8].

3.1.1. Μαζική Προσαρμογή (Mass Customization) και Υπερ-προσαρμογή (Hyper Customization)

Το πρότυπο της μαζικής προσαρμογής, όπως προαναφέρθηκε, εμφανίστηκε στα τέλη της δεκαετίας του ογδόντα λόγω της αυξανόμενης ζήτησης για μεγαλύτερη ποικιλία προϊόντων. Ο παγκόσμιος ανταγωνισμός και ο τμηματικός διαχωρισμός της αγοράς οδήγησαν στην ανάγκη ανάπτυξης περισσότερων προϊόντων [33]. Η μαζική προσαρμογή έχει καταφέρει να ικανοποιήσει την ζήτηση μεγαλύτερης ποικιλίας προϊόντων [34, 35]. Το χαρακτηριστικό αυτού του προτύπου είναι ότι οι καταναλωτές έχουν τη δυνατότητα να επιλέγουν ένα προϊόν και να το προσαρμόζουν στις ανάγκες τους με βάση κάποιες επιλογές που τους προσφέρουν οι κατασκευαστές. Με αυτόν τον τρόπο, ικανοποιούνται εν μέρη οι ατομικές επιθυμίες και ανάγκες τους [35].

Παρόλο που, η Βιομηχανία 4.0 επιτρέπει την εφαρμογή της μαζικής προσαρμογής, με τη χρήση τεχνικών μαζικής παραγωγής, αδυνατεί να διαχειριστεί την ολοένα αυξανόμενη ζήτηση για εξατομίκευση. Η Βιομηχανία 5.0 θα ικανοποιήσει αυτή την αυξανόμενη ζήτηση εξελίσσοντας τη μαζική προσαρμογή στο πρότυπο της υπέρ-προσαρμογής [3, 24, 36]. Αυτή η εξέλιξη θα επιτευχθεί με την απομάκρυνση από τη μαζική αυτοματοποίηση και την εστίαση στη βελτίωση των ικανοτήτων των ανθρώπινων εργαζομένων και την αξιοποίηση της συνεργασίας μεταξύ ανθρώπων και έξυπνων μηχανών. Με αυτόν τον τρόπο, η Βιομηχανία 5.0 θα συμβάλει στη μαζική προσαρμογή με την προσαρμογή των προϊόντων σε υψηλότερο επίπεδο και την προσφορά πιο εξατομικευμένων προϊόντων σύμφωνα με τις προτιμήσεις και τις ειδικές ανάγκες των χρηστών [3, 17, 24, 25].

Το πρότυπο της υπερ-προσαρμογής θα αποτελέσει μία εξατομικευμένη στρατηγική που θα χρησιμοποιεί δεδομένα σε πραγματικό χρόνο σε συνδυασμό με τεχνολογίες αιχμής, όπως η τεχνητή νοημοσύνη και η μηχανική μάθηση, προκειμένου να παρέχονται στους χρήστες προϊόντα και υπηρεσίες που θα ανταποκρίνονται στις ανάγκες τους [3, 24, 36]. Σε αυτό το πρότυπο οι κατασκευαστές θα παράγουν σε μεγάλες ποσότητες το βασικό σχέδιο ενός συγκεκριμένου προϊόντος, και έπειτα θα ολοκληρώνεται με χειρωνακτική εργασία [3]. Η ενσωμάτωση της ανθρώπινης νοημοσύνης με τη μηχανική θα βοηθήσει τις βιομηχανίες στη μαζική παραγωγή προσαρμοσμένων προϊόντων. Η συνεργασία μεταξύ ανθρώπων και μηχανών θα βοηθήσει τις βιομηχανίες στον συντονισμό των διαδικασιών της παραγωγής σύμφωνα με τις μεταβολές των αναγκών των πελατών και των αγορών. Αυτό θα επιτρέψει τη μετάβαση σε πιο ευέλικτες μεταποιητικές διαδικασίες και εφοδιαστικές αλυσίδες, που θα κριθούν απαραίτητες για την εφαρμογή της υπέρ-προσαρμογής, με ελάχιστο κόστος και με μεγάλη ακρίβεια [24, 36].

3.1.2. Μαζική Εξατομίκευση (Mass Personalization)

Στη μαζική προσαρμογή τα προϊόντα προκαθορίζονται από τους κατασκευαστές με βάση την κατηγοριοποίηση των πελατών. Αυτό όμως δεν επιτρέπει έναν υψηλό βαθμό εξατομίκευσης, λόγω των μεταβαλλόμενων προτιμήσεων των καταναλωτών και της αυξημένης επιθυμίας έκφρασης της ατομικότητας [34, 35]. Η ανάγκη ικανοποίησης των ατομικών αναγκών των πελατών σε μεγάλη κλίμακα θα οδηγήσει στη δημιουργία ενός νέου κατασκευαστικού προτύπου, της μαζικής εξατομίκευσης [35]. Η Βιομηχανία 5.0 αποσκοπεί στην παροχή ενός υψηλότερου επιπέδου εξατομίκευσης στα τελικά προϊόντα της για την ικανοποίηση των πελατών, συνεπώς, το πρότυπο της μαζικής εξατομίκευσης θα αποτελέσει μία από τις κύριες εφαρμογές της [3]. Η "μαζική" συνιστώσα δηλώνει ότι στόχος του νέου αυτού προτύπου θα είναι η ανταπόκριση στις ατομικές προσδοκίες των καταναλωτών στο επίπεδο αποδοτικότητας της μαζικής παραγωγής [33, 34]. Η μαζική εξατομίκευση δεν θα αφορά απλώς μία τεράστια αύξηση στην ποικιλία προκαθορισμένων προϊόντων. Αντίθετα, θα προσδώσει την ικανότητα διαμόρφωσης προϊόντων, που θα ικανοποιούν τις απαιτήσεις και προτιμήσεις κάθε πελάτη [34].

Η παρουσία του διαδικτύου και η ανάπτυξη τεχνολογιών αιχμής και ευέλικτων παραγωγικών συστημάτων, θα κάνουν τη μαζική εξατομίκευση εφικτή σε ένα μεγάλο φάσμα βιομηχανιών. Το πρότυπο της μαζικής εξατομίκευσης θα στοχεύσει στην παραγωγή προϊόντων πλήρως προσαρμοσμένων στις ατομικές ανάγκες και προτιμήσεις των καταναλωτών. Αυτό θα δώσει στους καταναλωτές τη δυνατότητα επιλογής προϊόντων που ικανοποιούν τις επιθυμίες και τις ανάγκες τους [24, 32, 33, 34]. Η δημιουργία εξατομικευμένων προϊόντων είναι συνήθως ακριβή και χρονοβόρα. Ωστόσο, η ανάπτυξη μίας υπηρεσίας κατά απαίτηση και η

κατασκευή των εξατομικευμένων προϊόντων σε μέγεθος παρτίδας θα μπορέσει να διατηρήσει το κόστος στο επίπεδο της μαζικής παραγωγής [34].

Η επιθυμία για μαζική εξατομίκευση θα αποτελέσει την ψυχολογική και πολιτιστική κινητήρια δύναμη πίσω από τη Βιομηχανία 5.0, η οποία θα συνδέσει την ανθρώπινη ευφυΐα με την τεχνολογία και τη γνωστική πληροφορική για την παροχή προστιθέμενης αξίας στην παραγωγή και ανθρώπινης αξίας στα προϊόντα [23, 27, 32]. Η μαζική εξατομίκευση θα μπορέσει να πραγματοποιηθεί μονάχα με την ανάπτυξη στενής συνεργασίας μεταξύ ανθρώπων και μηχανών [32]. Η αυξανόμενη εμπλοκή των ανθρώπων κατά τον σχεδιασμό των αγαθών και των υπηρεσιών που θα αναπτύξει η Βιομηχανία 5.0, θα παρέχει ακόμα πιο εξατομικευμένα προϊόντα στους πελάτες [3]. Ως εκ τούτου, η μαζική εξατομίκευση θα αποτελέσει ένα υψηλότερο επίπεδο προσαρμογής, στο οποίο οι συγκεκριμένες ανάγκες των πελατών θα γίνονται κατανοητές, με αποτέλεσμα οι βιομηχανίες να ανταποκρίνονται πλήρως σε αυτές [32, 34]. Ταυτόχρονα, θα βοηθήσει τη Βιομηχανία 5.0 και στην επίτευξη βιωσιμότητας, καθώς θα εξαιρεθούν από τα εξατομικευμένα προϊόντα τυχόν ανεπιθύμητα χαρακτηριστικά και συνεπώς, θα ελαχιστοποιηθούν τα παραγόμενα απόβλητα [34].

Άλλο ένα χαρακτηριστικό της μαζικής εξατομίκευσης θα είναι η δυνατότητα διαμόρφωσης των προϊόντων από τους καταναλωτές, με την παροχή μιας ποικιλίας υπηρεσιών κατασκευής σχετικά με την εμφάνιση, το υλικό, τα χαρακτηριστικά και άλλων παραγόντων [34]. Με την εφαρμογή μιας ανοιχτής αρχιτεκτονικής προϊόντων οι πελάτες θα μπορούν να συνεργάζονται με τους παραγωγούς για την ανάπτυξη εξατομικευμένων προϊόντων. Η χρήση ευέλικτων κυβερνο-φυσικών συστημάτων θα καταστήσει δυνατό τον συν-σχεδιασμό των προϊόντων που θα περιλαμβάνει τη συμμετοχή των χρηστών για την άμεση προσαρμογή των αγαθών στις ανάγκες και προτιμήσεις τους. Για το λόγω αυτό θα κριθεί σημαντική η ανάπτυξη εργαλείων απεικόνισης για την υποβοήθηση των καταναλωτών στον σχεδιασμό και στην κατανόηση των επιπτώσεων των επιλογών τους χωρίς την ανάγκη παροχής φυσικών προτύπων. Ως εκ τούτου, θα είναι επιθυμητή η δημιουργία περιβαλλόντων που θα επιτρέπουν στους πελάτες να σχεδιάζουν και να απεικονίζουν τα στοιχεία που επιθυμούν στα προϊόντα τους [33]. Επομένως, μέσω της μαζικής εξατομίκευσης θα πραγματοποιούνται εξατομικευμένες εμπειρίες εξυπηρέτησης, που θα δημιουργήσουν μακροπρόθεσμα πιο αφοσιωμένους πελάτες [32].

Σύμφωνα με το [32], ένας τομέας που θα ευδοκιμήσει η εξατομίκευση είναι η ορθοπεδική. Μέσω της μαζικής εξατομίκευσης θα μπορέσει να ικανοποιηθεί η απαίτηση για την κατασκευή εξατομικευμένων ανθρώπινων εμφυτευμάτων. Στον κλάδο της ορθοπεδικής είναι αναγκαία η παροχή υψηλής ποιότητας εξατομικευμένων εμφυτευμάτων με παρατεταμένη διάρκεια ζωής. Η Βιομηχανία 5.0 θα βοηθήσει τον κλάδο της ορθοπεδικής με την εφαρμογή της μαζικής εξατομίκευσης, για τη δημιουργία εμφυτευμάτων που θα αντιστοιχούν επακριβώς

στους ασθενείς. Παράλληλα, με την αναβάθμιση των εργαλείων και συσκευών θα αλλάξει και τις παραδοσιακές μεθόδους κατασκευής των εμφυτευμάτων. Συνεπώς, η Βιομηχανία 5.0 θα φανεί πολύ χρήσιμη για την παροχή υψηλής ποιότητας εξατομικευμένων εμφυτευμάτων, εργαλείων και συσκευών σύμφωνα με τις απαιτήσεις των ασθενών.

3.2. Η Εφοδιαστική Αλυσίδα στη Βιομηχανία 5.0

Η εφοδιαστική αλυσίδα έχει καθοριστικό ρόλο στην οικονομική ανάπτυξη, καθώς διευκολύνει τη ροή των εμπορευμάτων. Αποτελεί ένα κρίσιμο στοιχείο της κοινωνικής υποδομής, διότι υποστηρίζει τις επιχειρηματικές δραστηριότητες και την καθημερινή διαβίωση. Η εισαγωγή των ανατρεπτικών τεχνολογιών στην εφοδιαστική αλυσίδα θα την αλλάξει ουσιαστικά, καθώς θα δοθεί η δυνατότητα πλήρους αυτοματοποίησης και αυτό-οργάνωσής της [37].

Μελλοντικά η βελτιστοποίηση της εφοδιαστικής αλυσίδας θα απαιτεί ένα συνδυασμό έξυπνων, δικτυωμένων ψηφιακών περιβαλλόντων και ανθρώπινης κατανόησης για την επίτευξη καλύτερων αποτελεσμάτων. Η Βιομηχανία 5.0 θα το προσφέρει αυτό για τη βελτίωση της προσαρμοστικότητας, της ευρωστίας και της αποτελεσματικότητας της εφοδιαστικής αλυσίδας. Έτσι, οι φορείς της εφοδιαστικής αλυσίδας θα αξιοποιήσουν πλήρως τις δυνατότητές τους, αυξάνοντας την εξατομίκευση για τη βελτίωση της αξίας και της ικανοποίησης των πελατών, μειώνοντας παράλληλα τη σπατάλη και τους κινδύνους της αλυσίδας εφοδιασμού. Παράλληλα, η Βιομηχανία 5.0 θα βοηθήσει την εφοδιαστική αλυσίδα να δώσει έμφαση στη στρατηγική καινοτομία, για τη διευκόλυνση δημιουργίας συμμαχιών και τη βελτίωση του ανθρώπινου δυναμικού με τη μεταφορά και τη διατήρηση της γνώσης [38].

3.2.1. Εφοδιαστική Αλυσίδα 4.0

Η παραγωγή αγαθών και υπηρεσιών με τη χρήση ενός συνδυασμού ανατρεπτικών τεχνολογιών που είναι πλήρως συμβατές, είναι γνωστή ως Εφοδιαστική Αλυσίδα 4.0 [39]. Ο τομέας της εφοδιαστικής αλυσίδας αναδεικνύεται από τη Βιομηχανία 4.0, καθώς είναι απαραίτητος για τη βελτιστοποίηση των δικτύων εφοδιασμού των κατασκευαστών και των μικρών επιχειρήσεων. Οι εξελίξεις στις ψηφιακές τεχνολογίες αυξάνει την εμβέλεια της Εφοδιαστικής Αλυσίδας 4.0 και παρέχει διαφάνεια σε όλα τα εμπλεκόμενα μέρη, καθώς επιτρέπει την ανίχνευση της ροής των αγαθών, από την αποστολή μέχρι την ολοκλήρωση του κύκλου ζωής του προϊόντος [40].

Με την ελαχιστοποίηση της ανθρώπινης παρέμβασης και την αποτελεσματική ενσωμάτωση των ανατρεπτικών τεχνολογιών για τη δημιουργία ευφών και συνδεδεμένων κυβερνο-φυσικών συστημάτων, που περιλαμβάνουν το σύνολο των λειτουργιών, οι επιδόσεις των διαδικασιών της εφοδιαστικής αλυσίδας

αυξάνονται. Οι κύριοι στόχοι της Εφοδιαστικής Αλυσίδας 4.0 είναι η αυτοματοποίηση και η διαλειτουργικότητα μεταξύ της τεχνολογίας και των διαδικασιών για την ανάπτυξη μίας ομαλής συνεργασίας σε πραγματικό χρόνο, η οποία θα ενισχύσει την ανταπόκριση, ευελιξία και ευκινησία των αλυσίδων εφοδιασμού. Ταυτόχρονα, η βελτιωμένη διαφάνεια, η υποστήριξη προσαρμογής και η ταχύτερη εκπλήρωση των εργασιών, θα προσφέρει ανώτερες εμπειρίες εξυπηρέτησης στους πελάτες και θα αυξήσει την ποιότητα της εφοδιαστικής αλυσίδας [39, 41].

Η τεχνολογία και η ενσωμάτωσή της στον κύκλο της αλυσίδας εφοδιασμού αποτελεί τον πυρήνα της Εφοδιαστικής Αλυσίδας 4.0. Ιδιαίτερη έμφαση δίνεται στη χρήση των πληροφοριών για τη βελτιστοποίηση των λειτουργιών και των διαδικασιών σε ολόκληρη την αλυσίδα αξίας. Η εισαγωγή τεχνολογιών ασφαλούς ανταλλαγής δεδομένων, όπως το blockchain, θα κάνει δυνατή την αποκέντρωση του κλάδου εφοδιασμού [42]. Συνεπώς, η Εφοδιαστική Αλυσίδα 4.0 πρόκειται για ένα έξυπνο σύστημα εφοδιασμού που έχει την ικανότητα βελτίωσης της προσαρμοστικότητας στις αλλαγές της αγοράς και έλξης των επιχειρήσεων πιο κοντά στις επιθυμίες των πελατών. Αυτό θα καταστήσει δυνατή τη βελτίωση της εξυπηρέτησης των πελατών, τη μεγιστοποίηση της παραγωγής και τη μείωση του κόστους αποθήκευσης και παραγωγής [37].

3.2.2. Εφοδιαστική Αλυσίδα 5.0

Η Εφοδιαστική Αλυσίδα 5.0 θα αποτελέσει την απάντηση του κλάδου της εφοδιαστικής αλυσίδας στην έννοια της Βιομηχανίας 5.0. Η Εφοδιαστική Αλυσίδα 5.0 θα δώσει προτεραιότητα στους εργαζόμενους, στη γνώση και στη μείωση των περιβαλλοντικών επιπτώσεων, διατηρώντας παράλληλα την ανταγωνιστικότητα και την κερδοφορία [42]. Ο κύριος στόχος της θα είναι η ανταπόκριση στις απαιτήσεις για μαζική προσαρμογή και εξατομίκευση [29, 41]. Για τη διαχείριση αυτών των απαιτήσεων από τα παραγωγικά συστήματα των εφοδιαστικών αλυσίδων, η Εφοδιαστική Αλυσίδα 5.0 θα δημιουργήσει ένα ισορροπημένο περιβάλλον ανθρώπου-τεχνολογίας που θα ενθαρρύνει τη συνεργασία μεταξύ ανθρώπων και μηχανών [29, 39, 41]. Συνδυάζοντας τις ανατρεπτικές τεχνολογίες της Βιομηχανίας 5.0 με την ανθρώπινη εφευρετικότητα και δημιουργικότητα, οι βιομηχανίες και κατ' επέκταση οι εφοδιαστικές αλυσίδες θα μπορούν να ανταποκριθούν άμεσα στη ζήτηση για εξατομικευμένα και προσαρμοσμένα προϊόντα [24]. Αυτή η συνεργασία θα αυξήσει, επίσης, την αποτελεσματικότητα των διαδικασιών των εφοδιαστικών αλυσίδων, καθώς θα επιτρέψει στους εργαζόμενους να αναπτύξουν τη δημιουργικότητα και τις ιδέες τους [41, 37].

Η Εφοδιαστική Αλυσίδα 5.0 θα συνδυάσει τις αναδυόμενες ανατρεπτικές τεχνολογίες και την ανθρώπινη εφευρετικότητα για τη δημιουργία ενός οικοσυστήματος καινοτομίας που θα προωθεί την περιβαλλοντική βιωσιμότητα με τη μείωση των αποβλήτων και τη χρήση καθαρών πηγών ενέργειας [29, 37]. Θα

επιτρέψει στις μονάδες της εφοδιαστικής αλυσίδας να επικεντρωθούν στις στρατηγικές συνεργασίας και ανάπτυξης, αυξάνοντας έτσι την προσαρμοστικότητα, την παραγωγικότητα, τα περιθώρια κέρδους και την αφοσίωση των πελατών, μειώνοντας παράλληλα του κινδύνους και την σπατάλη [37]. Υιοθετώντας τους πυλώνες της Βιομηχανίας 5.0, δηλαδή τον ανθρωποκεντρισμό, την ανθεκτικότητα και τη βιωσιμότητα, η Εφοδιαστική Αλυσίδα 5.0 θα αναβαθμίσει το παράδειγμα της Εφοδιαστικής Αλυσίδας 4.0, χρησιμοποιώντας την τεχνολογία προς όφελος της κοινωνίας και του περιβάλλοντος [40, 42].

3.3. Τεχνολογίες και καινοτομίες της Βιομηχανίας 5.0

Η εφαρμογή της Βιομηχανίας 5.0 θα απαιτήσει τη χρήση ορισμένων προηγμένων τεχνολογιών, ώστε να ωθηθούν οι κατασκευαστές της Βιομηχανίας 5.0 [22, 29]. Η Βιομηχανία 5.0 σκοπεύει να εκμεταλλευτεί τον προηγμένο ψηφιακό μετασχηματισμό και άλλες προηγμένες τεχνολογίες αιχμής. Παράλληλα, θα δώσει έμφαση στο ρόλο που μπορούν να διαδραματίσουν αυτές οι τεχνολογίες για την αντιμετώπιση των νέων και αναδυόμενων απαιτήσεων τόσο στον βιομηχανικό τομέα, όσο και στον κοινωνικό και περιβαλλοντικό τομέα [19, 23]. Αυτό σημαίνει ότι οι τεχνολογίες της Βιομηχανίας 5.0 θα αξιοποιηθούν για την αύξηση της ευελιξίας της παραγωγής σε περιόδους διαταραχών και την επίτευξη ευρωστίας στις αλυσίδες αξίας. Επίσης, σημαίνει ότι η ανάπτυξη της τεχνολογίας θα προσαρμόζεται στους εργαζόμενους και όχι το αντίστροφο και ότι οι τεχνολογίες θα χρησιμοποιούνται για την επίτευξη της κυκλικότητας και της βιωσιμότητας [19].

Οι τεχνολογίες που θα εφαρμόσει η Βιομηχανία 5.0 θα είναι σε μεγάλο βαθμό οι τεχνολογίες που αναπτύσσει και χρησιμοποιεί η Βιομηχανία 4.0, με την διαφορά ότι θα δοθεί μεγαλύτερη έμφαση στην παροχή των πλεονεκτημάτων της στον άνθρωπο και στο περιβάλλον [21, 26, 29]. Ως εκ τούτου, η Βιομηχανία 5.0 θα συμπληρώσει και θα επεκτείνει τα χαρακτηριστικά γνωρίσματα της Βιομηχανίας 4.0, έχοντας την έρευνα και την καινοτομία να καθοδηγούν τη μετάβαση σε μια βιώσιμη, ανθρωποκεντρική και ανθεκτική βιομηχανία [19, 20, 21]. Ωστόσο, για την επίτευξη των τριών αυτών βιομηχανικών χαρακτηριστικών θα απαιτηθεί η ανάπτυξη νέων τεχνολογιών, οι οποίες θα συμπληρώσουν τις τεχνολογίες της Βιομηχανίας 4.0. Συνεπώς, η καινοτομία θα διαδραματίσει καθοριστικό ρόλο στην επίτευξη μιας βιώσιμης, ανθρωποκεντρικής και ανθεκτικής βιομηχανίας [29].

Ο όρος της Βιομηχανίας 5.0 έχει συνδεθεί σε μεγάλο βαθμό με τις πρακτικές συνεργασίας μεταξύ έξυπνων συστημάτων και ανθρώπων [25]. Η Βιομηχανία 5.0 θεωρείται ότι θα διευκολύνει τις επαναλαμβανόμενες εργασίες με τη χρήση τεχνολογιών τεχνητής νοημοσύνης και μηχανικής μάθησης, για τη γνωστική υποστήριξη των ανθρώπων [23]. Η εισαγωγή της τεχνητής νοημοσύνης θα καταστήσει δυνατή την αλληλεπίδραση των ανθρώπων και βιομηχανικών

συστημάτων, καθώς μηχανές όπως τα ρομπότ θα μπορούν να μαθαίνουν πολλές από τις λειτουργίες που εκτελούνται από τους χειριστές [25]. Τέλος, ο ψηφιακός μετασχηματισμός θα παρέχει έναν χώρο πληροφοριών πλούσιο σε δεδομένα που θα μπορούν να χρησιμοποιούνται για τον προγραμματισμό και τον έλεγχο των πόρων σε πραγματικό χρόνο [23].

3.3.1. Τεχνολογικά πλαίσια της Βιομηχανίας 5.0

Οι βασικές τεχνολογίες της Βιομηχανίας 5.0 θα αποτελούν ένα σύνολο σύνθετων συστημάτων που θα συνδυάζουν πολλές τεχνολογίες αιχμής. Επομένως, κάθε μία από τις ακόλουθες κατηγορίες μπορεί να ξεδιπλώσει τις δυνατότητές της μόνο όταν συνδυάζεται με άλλες, ως μέρος συστημάτων και τεχνολογικών πλαισίων. Σύμφωνα με τους [18, 19, 21], έξι κατηγορίες έχουν προσδιοριστεί ως μέρος των τεχνολογικών πλαισίων της Βιομηχανίας 5.0.

Ανθρωποκεντρικές λύσεις και τεχνολογίες αλληλεπίδρασης ανθρώπου-μηχανής που θα βοηθήσουν στη διασύνδεση των ανθρώπων με την τεχνολογία και στον συνδυασμό της ανθρώπινης δημιουργικότητας με τις τεχνολογικές δυνατότητες [18, 19, 21]. Μερικές τεχνολογικές εξελίξεις που θα βοηθήσουν τους ανθρώπους στα σωματικά και πνευματικά τους καθήκοντα είναι τεχνολογίες πρόβλεψης ανθρώπινων προθέσεων και πολύγλωσσης αναγνώρισης ομιλίας και χειρονομιών, τεχνολογίες παρακολούθησης της σωματικής και πνευματικής εξάντλησης των εργαζομένων, τεχνολογίες επαυξημένης, εικονικής ή μικτής πραγματικότητας για την εκπαίδευση των εργαζόμενων και συνεργατικά ρομπότ. Εξωσκελετοί και βιολογικά εμπνευσμένος εξοπλισμός εργασίας και εξοπλισμός ασφάλειας για την ενίσχυση των ανθρώπινων φυσικών ικανοτήτων και τεχνολογίες συνδυασμού των ιδιοτήτων της τεχνητής νοημοσύνης και του ανθρώπινου εγκεφάλου, όπως τα συστήματα υποστήριξης αποφάσεων, για την ενίσχυση των γνωστικών ανθρώπινων ικανοτήτων [21].

Τεχνολογίες εμπνευσμένες από τη βιολογία και έξυπνα υλικά που θα βασίζονται στην ιδέα του βιολογικού μετασχηματισμού, θα επιτρέπουν την ενσωμάτωση αισθητήρων και θα είναι ανακυκλώσιμα [18, 19, 21]. Μέσο του βιολογικού μετασχηματισμού θα δημιουργηθούν αυτό-επισκευαζόμενα υλικά με εγγενή ιχνηλασιμότητα, τεχνολογίες που θα ενσωματώνουν ζωντανά υλικά και βιοαισθητήρες και θα είναι δυνατή η παραγωγή πρώτων υλών μέσω των αποβλήτων [21].

Ψηφιακά δίδυμα σε πραγματικό χρόνο και προσομοίωση για τη μοντελοποίηση συστημάτων και τη βελτιστοποίηση της παραγωγής, με τη δοκιμή προϊόντων και διαδικασιών και την ανίχνευση πιθανών προβλημάτων [18, 19, 21]. Αυτές οι τεχνολογίες θα επιτρέψουν τη δημιουργία ψηφιακών διδύμων προϊόντων και διαδικασιών για την εικονική δοκιμή τους υπό διάφορες συνθήκες, την πολυ-κλιμακούμενη δυναμική προσομοίωση και μοντελοποίηση, τη προσομοίωση των

περιβαλλοντικών και κοινωνικών επιπτώσεων και τον καθορισμό προγραμματισμένης συντήρησης [21].

Ενεργειακά αποδοτικές τεχνολογίες ασφαλούς μετάδοσης, αποθήκευσης και ανάλυσης δεδομένων στον κυβερνοχώρο που θα χειρίζονται τον τεράστιο όγκο δεδομένων και τη διαλειτουργικότητα των συστημάτων [18, 19, 21]. Με την τεχνολογία της υπολογιστικής άκρων και τη χρήση δικτυωμένων αισθητήρων θα είναι δυνατή η ανάπτυξη ιχνηλασιμότητας των δεδομένων και η διαλειτουργικότητα των δεδομένων και των συστημάτων. Ο μεγάλος όγκος δεδομένων θα διαχειρίζεται μέσω των μεγάλων δεδομένων που θα επιτρέψουν και την επεξεργασία των δεδομένων για μαθησιακές διαδικασίες. Ταυτόχρονα, θα πρέπει να αναπτυχθούν τεχνολογίες κλιμακούμενης και πολύ-επίπεδης ασφάλειας στον κυβερνοχώρο και στο νέφος [21].

Τεχνητή νοημοσύνη και μηχανική μάθηση για την ανάπτυξη της μηχανικής νοημοσύνης και την ανίχνευση αιτιών σε πολύπλοκα και δυναμικά συστήματα [18, 19, 21]. Θα χρειαστεί να αναπτυχθεί τεχνητή νοημοσύνη που θα βασίζεται στην αιτιότητα και όχι μονάχα στη συσχέτιση για την εμφάνιση σχέσεων και δικτυακών επιδράσεων. Αυτό θα δώσει τη δυνατότητα ανταπόκρισης των συστημάτων σε νέες και απροσδόκητες συνθήκες χωρίς την ανθρώπινη υποστήριξη. Τεχνολογίες διεπαφής εγκεφάλου και μηχανής θα οδηγήσουν στην ατομική και ανθρωποκεντρική τεχνητή νοημοσύνη που θα αντιστοιχεί τις ανθρώπινες δεξιότητες με συγκεκριμένα καθήκοντα. Επίσης, θα οδηγήσουν στην επίτευξη βαθιάς μάθησης που θα συνδυάζει τις γνώσεις των εμπειρογνώμων και της τεχνητής νοημοσύνης. Τέλος, μέσω της τεχνητής νοημοσύνης θα αναπτυχθούν συστήματα με την ικανότητα διαχείρισης και εντοπισμού συσχετίσεων μεταξύ πολύπλοκων και αλληλένδετων δεδομένων διαφορετικής προέλευσης και κλίμακας σε δυναμικά συστήματα [21].

Τεχνολογίες για ενεργειακή απόδοση, ανανεώσιμες πηγές ενέργειας, αποθήκευση και αξιόπιστη αυτονομία, καθώς οι προαναφερθείσες τεχνολογίες θα απαιτούν μεγάλες ποσότητες ενέργειας για τη λειτουργία τους [18, 19, 21]. Συνεπώς, θα απαιτηθούν τεχνολογίες για επίτευξη ουδετερότητας των εκπομπών, οπότε θα κριθεί απαραίτητη η ενσωμάτωση ανανεώσιμων πηγών ενέργειας και η υποστήριξη των τεχνολογιών υδρογόνου. Παράλληλα, θα είναι σημαντική η ανάπτυξη έξυπνων και ενεργειακά αυτόνομων αισθητήρων για τη μετάδοση και την ανάλυση των δεδομένων με χαμηλή κατανάλωση ενέργειας [21].

Καθώς, η Βιομηχανία 5.0 θα αποκτά όλο και μεγαλύτερη σημασία, η εστίαση της διαχείρισης της καινοτομίας καθίσταται υψίστης σημασίας. Η Βιομηχανία 5.0 δεν θα έχει ως γνώμονα την τεχνολογία, όπως οι προηγούμενες Βιομηχανίες, αλλά τις αξίες που θα οδηγούν στον τεχνολογικό μετασχηματισμό. Συνεπώς, θα πρέπει να δοθεί προσοχή στη σημασία και στον ρόλο της τροποποίησης του πλαισίου διαχείρισης της καινοτομίας με έμφαση στον ανθρωποκεντρισμό και στη

βιωσιμότητα [18, 29]. Παρακάτω θα αναλυθούν αναλυτικότερα ορισμένες από τις βασικότερες τεχνολογίες που θα αξιοποιήσει η Βιομηχανία 5.0.

3.3.2. Συνεργατικά Ρομπότ (*Collaborative Robots - Cobots*)

Η μεταβολή των προτιμήσεων των πελατών για πιο εξατομικευμένα προϊόντα σημαίνει την ανάγκη ανθρώπινης παρέμβασης στην παραγωγή. Η Βιομηχανία 5.0 θα επικεντρωθεί στην επαναφορά του ανθρώπινου παράγοντα στο βιομηχανικό πλαίσιο και θα αναπτύξει την συνεργασία ανθρώπων και μηχανών για τη βελτίωση της αποτελεσματικότητας της παραγωγής [24, 31]. Για το σκοπό αυτό, η Βιομηχανία 5.0 θα εισάγει την έννοια των συνεργατικών ρομπότ, γνωστά και ως cobots [22, 23, 31]. Σε αντίθεση, με τα υπόλοιπα βιομηχανικά ρομπότ που έχουν σχεδιαστεί να λειτουργούν ανεξάρτητα και χωρίς ανθρώπινη συμμετοχή, τα cobots θα σχεδιάζονται για την αλληλεπίδραση και συνεργασία με τους ανθρώπους σε έναν κοινό χώρο εργασίας. Η συνεργασία τους με τους εργαζόμενους θα χρησιμοποιηθεί από τη Βιομηχανία 5.0 για τη βελτίωση των παραγωγικών διαδικασιών, καθώς θα αυξήσει την αποδοτικότητα, την ακρίβεια και την ταχύτητά τους. Ταυτόχρονα, τα cobots θα συμβάλλουν στην αναβάθμιση των δεξιοτήτων των εργαζομένων και στην παραγωγή εξατομικευμένων προϊόντων σε μεγάλες ποσότητες, εισάγοντας έτσι πρόσθετη αξία στην παραγωγή [3, 24]. Τα cobots δεν θα προσφέρουν μόνο τη δυνατότητα βελτίωσης των επιχειρηματικών επιδόσεων, αλλά θα αυξήσουν και τις ευκαιρίες απασχόλησης και θα μειώσουν τα κόστη εργασίας στις άκρως ανταγωνιστικές αγορές [24, 30]. Τα cobots, παράλληλα με την εφαρμογή ανατρεπτικών τεχνολογιών, θα σηματοδοτήσουν την έξυπνη εργασία στο εργοστασιακό περιβάλλον που συνεπάγεται τη βελτίωση της παραγωγικότητας, τη μείωση των αποβλήτων και την ενίσχυση των βιώσιμων στόχων [29].

Σε μία αυτοματοποιημένη παραγωγή τα βιομηχανικά ρομπότ είναι εξαιρετικά αποδοτικά στη διαδικασία κατασκευής προϊόντων σε μεγάλο όγκο με υψηλή ταχύτητα αξιοποιώντας τυποποιημένες παραγωγικές διαδικασίες. Ωστόσο, η αυτοματοποίηση στις διαδικασίες παραγωγής θα μπορέσει να επιτύχει τη μέγιστη δυνατότητα της μονάχα όταν εισαχθεί η ανθρώπινη δημιουργικότητα, η οποία θα επηρεάζει τις διαδικασίες και θα καθοδηγεί τα ρομπότ [24, 29]. Συνεπώς, τα cobots θα αποτελέσουν ακριβώς τα εργαλεία που θα χρειαστούν οι εταιρίες για την παραγωγή εξατομικευμένων προϊόντων [22]. Η προσαρμογή και η εξατομίκευση των προϊόντων θα αποτελέσει μία σημαντική πρόκληση όπου τα ρομπότ θα χρειαστούν καθοδήγηση. Επομένως, η εισαγωγή του ανθρώπινου δυναμικού στο πλαίσιο των διαδικασιών παραγωγής είναι ζωτικής σημασίας [24]. Τα cobots θα συνεργάζονται με το ανθρώπινο δυναμικό στις μεταποιητικές εργασίες για την ικανοποίηση των απαιτήσεων των καταναλωτών για πιο εξατομικευμένα προϊόντα [24, 28]. Τα cobots θα προετοιμάζουν τα προϊόντα και θα αναλαμβάνουν τις μονότονες εργασίες, ενώ οι άνθρωποι θα είναι υπεύθυνοι

για την προσαρμογή και εξατομίκευση τους. Έτσι θα δοθεί στους ανθρώπους η δυνατότητα να επικεντρωθούν στη δημιουργικότητα και στην καινοτομία. Τα cobots θα ενισχύσουν την ανθρώπινη δεξιότητα και θα συμβάλλουν στην παροχή μαζικών προσαρμοσμένων και εξατομικευμένων προϊόντων στους πελάτες με μεγάλη ταχύτητα και ακρίβεια. Συνεπώς, οι εργαζόμενοι θα ενδυναμωθούν και τα cobots θα χρησιμοποιούνται ως ένα πολυσύνθετο εργαλείο [24, 30].

Τα cobots θα αποτελέσουν βασικό στοιχείο της επερχόμενης Βιομηχανίας 5.0, καθώς η δυνατότητα συνεργασίας ανθρώπων και μηχανών θα δώσει πολλές νέες ευκαιρίες στη μεταποιητική βιομηχανία [3, 29]. Για την επίτευξη αυτής της συνεργασίας τα cobots θα είναι εξοπλισμένα με προηγμένους συνδεδεμένους αισθητήρες και τεχνητή νοημοσύνη, για την αυτοματοποιημένη εκτέλεση περίπλοκων και επαναλαμβανόμενων εργασιών [3]. Επιπλέον, τα cobots θα είναι ευφυή με αποτέλεσμα να μπορούν να κατανοούν τις ανάγκες και τις προσδοκίες των ανθρώπων για την υποβοήθηση τους στις πολύπλοκες και ευαίσθητες εργασίες. Παράλληλα, θα είναι σε θέση να παρατηρούν και να μαθαίνουν τις εργασίες που εκτελούν οι εργαζόμενοι και θα καθορίζουν αν χρειάζονται βοήθεια στην εκτέλεση της εργασίας [3, 8, 23, 25, 43]. Επομένως, σε αντίθεση, με τα βιομηχανικά ρομπότ που μπορεί να προκαλέσουν σοβαρούς τραυματισμούς στους ανθρώπους, τα cobots θα εργάζονται με ασφάλεια και αποτελεσματικότητα μαζί τους. Οι ενσωματωμένοι αισθητήρες τους θα έχουν την ικανότητα ανίχνευσης της θέσης των εργαζομένων για την αποφυγή πρόσκρουσης με αυτούς, γεγονός που τους δίνει τη δυνατότητα να σταματούν αυθόρμητα για την αποφυγή τραυματισμών [3, 24, 43]. Αυτό θα τα καταστήσει εξαιρετικά αξιόπιστα όσον αφορά την ασφάλεια στην εργασία σε σύγκριση με τα τυπικά βιομηχανικά ρομπότ [24].

Η εξατομίκευση των cobots θα μπορέσει να λάβει πολλές μορφές στη Βιομηχανία 5.0, όπως η παροχή ιατρικών θεραπειών. Για παράδειγμα, η χειρουργική επέμβαση θα αποτελέσει μία από τις εφαρμογές των cobots, όπου ένας υψηλά καταρτισμένος γιατρός και ένας ρομποτικός βοηθός θα συνεργάζονται για την εκτέλεση των χειρουργικών επεμβάσεων. Το χειρουργικό σύστημα Davinci αποτελεί μία ήδη υπάρχουσα καινοτομία στην τεχνολογία των cobots, καθώς ενισχύει τη χειρουργική ικανότητα των χειρουργών [24].

Τέλος, παρόλο που, τα cobots θα αποτελέσουν έναν αποτελεσματικό τρόπο για την ανάπτυξη εξατομικευμένων προϊόντων, θα χρειαστεί να εξεταστούν ορισμένα ζητήματα που αφορούν τη συνεργασία τους με τους ανθρώπους. Αρχικά, θα πρέπει να διασφαλιστεί ότι οι εργαζόμενοι δεν θα διατρέχουν τον κίνδυνο απώλειας των θέσεων εργασίας τους. Επιπλέον, θα πρέπει να διευθετηθούν ζητήματα όπως η αλλαγή του ρόλου του ανθρώπινου δυναμικού, των τμημάτων πληροφορικής με τη ρομποτική, τα ηθικά προβλήματα που σχετίζονται με τα cobots, η εκπαίδευση του ανθρώπου για την συνεργασία με τα cobots, τα

ρυθμιστικά ζητήματα και οι ψυχολογικές ανησυχίες με την υιοθέτηση ενός νέου τρόπου εργασίας [24]. Μονάχα με την πλήρωση αυτών των προϋποθέσεων θα μπορέσει να πραγματοποιηθεί και να ευδοκιμήσει μία πραγματική συνεργασία ανθρώπου και ρομπότ [30].

3.3.3. Τεχνητή Νοημοσύνη και Μηχανική Γνώση (Artificial Intelligence and Machine Cognition)

Για την επιτυχή επίτευξη αυτονομίας στη διαχείριση των γραμμών παραγωγής και στην εκτέλεση των επιθυμητών εργασιών από τις μηχανές θα χρειαστεί η εισαγωγή της τεχνητής νοημοσύνης. Μέσω της τεχνητής νοημοσύνης και των στρατηγικών βαθιάς μάθησης θα μπορέσουν να δημιουργηθούν ευφυή συστήματα που θα προσφέρουν βέλτιστες λύσεις σε απροσδόκητες καταστάσεις [22, 43]. Στη Βιομηχανία 5.0 θα κριθεί σημαντικό τα ευφυή αυτοματοποιημένα συστήματα να αποκτήσουν την ικανότητα αναπαραγωγής των ανθρώπινων αισθήσεων, για να μπορέσουν να συνεργαστούν με τους ανθρώπους και να μαθαίνουν με προσαρμοστικό τρόπο. Η όραση υπολογιστών σε συνδυασμό με τη βαθιά μάθηση και την ενισχυτική μάθηση έχουν βοηθήσει στην ανάπτυξη βασικών δεξιοτήτων όρασης και αίσθησης. Ωστόσο, για τα cobots της Βιομηχανίας 5.0 θα απαιτηθεί ενίσχυση αυτών των δεξιοτήτων, προκειμένου να δημιουργηθεί σε αυτά μία προληπτική συμπεριφορά για την αποφυγή εργασιακών ατυχημάτων [43].

Πέρα από τις οπτικές και αισθητηριακές τεχνολογίες θα χρειαστεί και η ανάπτυξη μηχανικής νόησης, για τη λήψη βέλτιστων αποφάσεων στα διαρκώς μεταβαλλόμενα εργασιακά περιβάλλοντα. Μέσω της μηχανικής νόησης και της ανάπτυξης αισθητηριακών τεχνολογιών θα γίνει δυνατή η αναπαραστάση των δράσεων ενός εργαζομένου σε μία δεδομένη κατάσταση. Δεδομένου ότι τα cobots θα συνεργάζονται με τους ανθρώπους θα πρέπει να διαθέτουν συγκρίσιμους μηχανισμούς λήψης αποφάσεων. Συνεπώς, θα υπάρξει η ανάγκη βελτίωσης της υπολογιστικής ισχύς παράλληλα με τις δυνατότητες αντίληψης, εντοπισμού, όρασης και νόησης τους. Μέσω των τεχνικών βαθιάς μάθησης στους τομείς της ρομποτικής και της όρασης υπολογιστών θα προσδοθούν στα cobots οι απαραίτητες ικανότητες συλλογισμού και οπτικοποίησης. Τέλος, μέσω της εκμάθησης μεταφοράς θα είναι δυνατή η ασφαλής και αποτελεσματική μεταφορά γνώσεων και δεξιοτήτων από τα ψηφιακά συστήματα στα φυσικά αντίστοιχά τους [43].

3.3.4. Ψηφιακά Δίδυμα (Digital Twins)

Ψηφιακό δίδυμο είναι η ψηφιακή αναπαράσταση ενός οποιουδήποτε φυσικού συστήματος, διεργασίας ή αντικειμένου [24, 43]. Η έννοια των ψηφιακών διδύμων προτάθηκε το 2002, όμως η υλοποίησή τους έγινε εφικτή με την έξαρση του

Διαδικτύου των Πραγμάτων, καθώς τα κατέστησε οικονομικά αποδοτικά και προσιτά στις βιομηχανίες. Με τη χρήση συσκευών συνδεδεμένων στο Διαδίκτυο των Πραγμάτων, είναι δυνατή η τροφοδότηση των δεδομένων από τα φυσικά αντικείμενα για την προσομοίωσή τους και τη δημιουργία ενός ψηφιακού διδύμου. Μέσω της ψηφιακής απεικόνισης των αντικειμένων και συστημάτων είναι δυνατή η ανάλυση και η παρακολούθηση της ψηφιακής τους εκδοχής σε πραγματικό χρόνο, για την αντιμετώπιση τυχόν προβλημάτων προτού αυτά υλοποιηθούν φυσικά [24]. Με τη ραγδαία πρόοδο της μηχανικής μάθησης και της ανάλυσης μεγάλων δεδομένων γίνεται εφικτή η ανάπτυξη πιο ρεαλιστικών ψηφιακών διδύμων με μειωμένο κόστος συντήρησης και βελτιωμένη απόδοση [22, 24]

Η Βιομηχανία 5.0 θα χρησιμοποιεί τις δυνατότητες των ψηφιακών διδύμων για την ανάπτυξη προσαρμοσμένων προϊόντων στην αγορά, τη βελτίωση των επιχειρηματικών λειτουργιών, τη μείωση των ελαττωμάτων στα προϊόντα και την ανάπτυξη καινοτόμων επιχειρηματικών μοντέλων [24]. Τα ψηφιακά δίδυμα θα συνδέσουν τον εικονικό και τον φυσικό κόσμο, δίνοντας στη Βιομηχανία 5.0 τη δυνατότητα επίλυσης διάφορων τεχνητών ζητημάτων. Μέσω των ψηφιακών διδύμων θα πραγματοποιείται η παρακολούθηση των παραγωγικών διαδικασιών, για τον ταχύτερο εντοπισμό προβλημάτων και τη βέλτιστη πρόβλεψη μελλοντικών σφαλμάτων. Αυτό θα έχει ως αποτέλεσμα, τη μείωση του χρόνου διακοπής λειτουργίας και των οικονομικών απωλειών [24, 43]. Επίσης, ο συνδυασμός τους με τις τεχνολογίες των μεγάλων δεδομένων και της τεχνητής νοημοσύνης θα επιτρέψει την ακριβή προσομοίωση διαφόρων σεναρίων εργασίας, μειώνοντας έτσι την σπατάλη πόρων στις ροές των διαδικασιών και στον σχεδιασμό νέων συστημάτων [43].

Τέλος, τα ψηφιακά δίδυμα θα αξιοποιηθούν από τη Βιομηχανία 5.0 και για την επίτευξη μαζικής προσαρμογής και εξατομίκευσης. Μέσω των ψηφιακών διδύμων θα είναι εφικτή η δημιουργία μοντέλων προσομοίωσης που θα έχουν πρόσβαση σε υπολογιστικά δεδομένα σε πραγματικό χρόνο. Αυτό θα επιτρέπει τη δημιουργία ψηφιακών αντιγράφων των επιθυμητών χαρακτηριστικών, του υλικού, της εμφάνισης και της λειτουργικότητας του επιθυμητού εξατομικευμένου προϊόντος. Τα ψηφιακά δίδυμα θα βελτιώσουν τις εμπειρίες των χρηστών, καθώς θα επιτρέπουν τη δημιουργία εικονικών περιβαλλόντων για την προβολή των εξατομικευμένων προϊόντων που επιθυμούν [24, 34]. Συνεπώς, τα ψηφιακά δίδυμα με προηγμένες τεχνικές απεικόνισης και μοντελοποίησης θα ενισχύσουν την απόδοση όλων των βιομηχανικών τομέων [22, 43].

3.3.5. Διαδίκτυο των Πραγμάτων (Internet of Things)

Το Διαδίκτυο των Πραγμάτων αποτελεί των σύνδεσμο μεταξύ ανθρώπων, διαδικασιών, πληροφοριών και πραγμάτων. Για το λόγο αυτό το Διαδίκτυο των Πραγμάτων θα προσφέρει σημαντική αξία στις εφαρμογές της Βιομηχανίας 5.0,

καθώς θα μπορέσει να δημιουργήσει νέες ευκαιρίες και λειτουργικότητες και να προσφέρει καλύτερες εξατομικευμένες εμπειρίες στους πελάτες και μεγαλύτερα οφέλη στις βιομηχανίες. Επιπλέον, η χρήση του θα ελαχιστοποιήσει τα λειτουργικά κόστη με τη βελτιστοποίηση των διαδικασιών παραγωγής και των εφοδιαστικών αλυσίδων [24]. Τέλος, το Διαδίκτυο των Πραγμάτων θα συμπληρώσει τη μαζική προσαρμογή και τη μαζική εξατομίκευση, καθώς θα βοηθήσει στην επεξεργασία των δεδομένων των φυσικών αντικειμένων και στην αντιμετώπιση της αυξανόμενης πολυπλοκότητας και ποικιλίας. Το Διαδίκτυο των Πραγμάτων θα συνδέσει τις υπόλοιπες αναδυόμενες τεχνολογίες και θα εμπλακεί σε κάθε στάδιο της μαζικής εξατομίκευσης, από την τοποθέτηση παραγγελιών έως την παράδοση των εξατομικευμένων προϊόντων [34].

3.3.6. Μεγάλα Δεδομένα (Big Data)

Τα Μεγάλα Δεδομένα αντιπροσωπεύουν ένα μεγάλο και ποικίλο σύνολο δεδομένων που συλλέγονται από όλους τους τύπους πηγών. Η ανάλυση των Μεγάλων Δεδομένων θα διαδραματίσει σημαντικό ρόλο στη Βιομηχανία 5.0, διότι οι εταιρείες θα τα χρησιμοποιούν για την κατανόηση της συμπεριφοράς του κάθε καταναλωτή [24]. Επομένως, τα Μεγάλα Δεδομένα θα βοηθούν τις εταιρείες να επιτύχουν προσαρμογή και εξατομίκευση για την υψηλότερη ικανοποίηση των πελατών και να βελτιώσουν την αποδοτικότητα της παραγωγής με τη μείωση των εξόδων και την αύξηση του κέρδους [24, 34]. Η κατανόηση της συμπεριφοράς των χρηστών, των κοινωνικών σχέσεων και των κανόνων της ανθρώπινης συμπεριφοράς θα αποτελέσει μία κρίσιμη πρόκληση που θα χρειαστεί να αντιμετωπίσει η Βιομηχανία 5.0 για την επίτευξη εξατομίκευσης. Η ανάπτυξη μαζικών προσαρμοσμένων διαδικασιών παραγωγής και η έξυπνη αυτοματοποίηση στην παραγωγή κρίνονται απαραίτητες για την υλοποίηση της Βιομηχανίας 5.0. Τα Μεγάλα Δεδομένα θα μπορούν να χρησιμοποιηθούν στη λήψη αποφάσεων σε πραγματικό χρόνο και στην πρόγνωση προβλημάτων στο βιομηχανικό περιβάλλον [24]. Επιπλέον, η μαζική προσαρμογή και η μαζική εξατομίκευση θα παράγουν έναν τεράστιο όγκο δεδομένων, ο οποίος θα πρέπει να συλλέγεται και να καταγράφεται. Με την ανάλυση των Μεγάλων Δεδομένων θα μπορέσει να δημιουργηθεί ένα δυναμικό σύστημα που θα αναλύει τα συλλεγόμενα δεδομένα και θα ανταποκρίνεται στις ατομικές ανάγκες των καταναλωτών [24, 34]. Τα Μεγάλα Δεδομένα έχουν την ικανότητα να προσφέρουν μοναδικές εμπειρίες στους καταναλωτές, με αποτέλεσμα να επιτευχθεί μία μη παρεμβατική εξατομίκευση σε κλίμακα. Οι εταιρείες θα μπορούν να αξιοποιήσουν την τεχνολογία των Μεγάλων Δεδομένων, προκειμένου να κατανοήσουν καλύτερα τις ατομικές ανάγκες των πελατών τους και να παρέχουν καλύτερες υπηρεσίες [34].

3.3.7. Blockchain

Η Βιομηχανία 5.0 για να επιτύχει τους στόχους της θα χρησιμοποιεί έναν μεγάλο αριθμό ετερογενών συνδεδεμένων συσκευών. Συνεπώς, θα κριθεί απαραίτητος ο

σχεδιασμός αποκεντρωμένων συστημάτων διαχείρισης αυτών των συσκευών. Η τεχνολογία blockchain θα μπορέσει να προσφέρει σημαντική αξία στη Βιομηχανία 5.0 με τη δημιουργία ασφαλών τρόπων επικοινωνίας και διαμοιρασμού δεδομένων, αναπτύσσοντας έτσι εμπιστοσύνη και διαφάνεια [24]. Η ανάπτυξη διαφάνειας θα κριθεί σημαντική για την αντιμετώπιση του κλιμακούμενου απορρήτου και της ιχνηλασιμότητας των δεδομένων σε μεγάλη κλίμακα, ώστε οι βιομηχανίες να είναι ικανές να ανταποκριθούν στις απαιτήσεις της μαζικής προσαρμογής και εξατομίκευσης [34]. Παράλληλα, η τεχνολογία blockchain θα μπορέσει να προσφέρει ένα υψηλό επίπεδο προστασίας για τη συλλογή και τη συναλλαγή των δεδομένων μεταξύ των συστημάτων και των βιομηχανιών, καθώς θα προστατεύει τα δεδομένα από τη διαγραφή, την αλλοίωση και την αναθεώρηση σε διάφορες πτυχές της παραγωγής. Ως εκ τούτου, τα προσωπικά δεδομένα και οι πληροφορίες παραγωγής θα διατηρούνται ασφαλή [24, 34]. Η τεχνολογία blockchain θα μπορέσει να χρησιμοποιηθεί και για τη δημιουργία ψηφιακών ταυτοτήτων σε ένα δημόσιο δίκτυο, με στόχο τον έλεγχο πρόσβασης και την πιστοποίηση της ταυτότητας των ατόμων στις βιομηχανικές δραστηριότητες [24].

Παράλληλα, η επίτευξη μαζικής προσαρμογής και εξατομίκευσης θα αντιμετωπίσει το βασικό πρόβλημα του απορρήτου των προσωπικών δεδομένων των χρηστών. Τα δεδομένα που θα συλλέγονται από τους χρήστες θα είναι συχνά ιδιωτικά, με αποτέλεσμα ο διαμοιρασμός τους με εξωτερικούς προμηθευτές για την επίτευξη εξατομίκευσης να είναι δύσκολος. Ωστόσο, για τη μαζική εξατομίκευση θα χρειαστεί η συνεργασία και ο διαμοιρασμός των πληροφοριών με αξιόπιστους και ασφαλείς τρόπους. Η τεχνολογία blockchain θα αποτελέσει λύση σε αυτό το πρόβλημα, καθώς θα παρέχει έναν ασφαλή και αποκεντρωμένο τρόπο διαμοιρασμού δεδομένων. Για το λόγω αυτό το blockchain θα αποτελέσει σημαντική τεχνολογία για το πρότυπο της εξατομίκευσης, διότι θα ενδυναμώσει τις σχέσεις εμπιστοσύνης, με αποτέλεσμα πολλοί κατασκευαστές να μπορούν να μοιράζονται πόρους και δυνατότητες για την επίτευξη της εξατομικευμένης κατασκευής [34].

3.3.8. Υπολογιστική Άκρων (Edge Computing)

Η Υπολογιστική Άκρων θα αποτελέσει μία πολύ χρήσιμη τεχνολογία για τη μετάβαση στη Βιομηχανία 5.0, καθώς θα επιτρέπει τη διαχείριση των δεδομένων στην άκρη του δικτύου [24]. Με τη χρήση δικτυωμένων συσκευών θα είναι δυνατή η ανίχνευση και η συλλογή μεγάλων δεδομένων, για την επίτευξη ταχύτερων διαδικασιών ανάλυσης και τροποποίησης [43]. Με την εισαγωγή νοημοσύνης και υπολογιστικών ικανοτήτων στα δίκτυα αισθητήρων θα επιτρέπεται η τοπική επεξεργασία και το φιλτράρισμα των δεδομένων προτού σταλούν για αποθήκευση. Επομένως, δεν θα χρειαστεί η ανάπτυξη μεθόδων μετάδοσης δεδομένων υψηλού εύρους και η αποθήκευση τεράστιων ποσοτήτων δεδομένων.

Το όφελος της Υπολογιστικής Άκρων θα είναι η μείωση της καθυστέρησης και του κινδύνου υπερφόρτωσης του δικτύου και η αύξηση της ασφάλειας των δεδομένων, γιατί δεν θα είναι αναγκαία η αποστολή όλων των δεδομένων στο νέφος για αποθήκευση [24, 43]. Άλλο ένα πλεονέκτημα που θα προσδώσει στη Βιομηχανία 5.0 είναι η προγνωστική ανάλυση, καθώς θα είναι εφικτή η έγκαιρη ανακάλυψη ελαττωμάτων στα βιομηχανικά συστήματα και η άμεση αντιμετώπισή τους [24]. Η Υπολογιστική Άκρων θα δώσει στη Βιομηχανία 5.0 τη δυνατότητα πρόσβασης και διαμοιρασμού πληροφοριών σχετικά με τις βιομηχανικές εγκαταστάσεις, θα μειώσει το κόστος επικοινωνίας και θα διασφαλίσει την αποτελεσματική εκτέλεση εφαρμογών ακόμα και σε απομακρυσμένες τοποθεσίες. Τέλος, θα επιτρέψει την ανάπτυξη της προσαρμογής και της εξατομίκευσης στην παραγωγική διαδικασία, με αποτέλεσμα την παροχή αποτελεσματικών υπηρεσιών στους χρήστες [43].

3.3.9. Δίκτυα 6G

Η τεχνολογία 6G θα αποτελέσει μία σημαντική τεχνολογία για τη Βιομηχανία 5.0 που θα της παρέχει προστιθέμενη αξία. Λόγω της αναμενόμενης χρήσης μεγάλου αριθμού συστημάτων από τη Βιομηχανία 5.0 θα υπάρξει ταχέα αυξανόμενη ανάγκη για καλύτερο εύρος ζώνης, συνεπώς τα υπάρχοντα δίκτυα (4G και 5G) δεν θα είναι αποτελεσματικά. Τα δίκτυα 6G θα συμβάλλουν στην αποδοτική και αποτελεσματική βελτίωση των εφαρμογών της Βιομηχανίας 5.0, καθώς θα προσφέρουν υψηλούς ρυθμούς μεταφοράς δεδομένων, εξαιρετικά χαμηλή καθυστέρηση (latency), υψηλή αξιοπιστία και οικονομία ενέργειας. Παράλληλα, θα βοηθήσουν στην επέκταση των υποδομών του Διαδικτύου των Πραγμάτων και στην ενσωμάτωση της τεχνητής νοημοσύνης στα βιομηχανικά συστήματα. Τα μεγαλύτερα προβλήματα που θα αντιμετωπίσουν τα δίκτυα 6G στη Βιομηχανία 5.0 θα είναι η κινητικότητα και ο έλεγχος μετάβασης. Προκειμένου να εξασφαλιστεί η αποτελεσματική συνδεσιμότητα θα χρησιμοποιηθούν μέθοδοι τεχνητής νοημοσύνης για την απόκτηση καλύτερων προβλέψεων κινητικότητας. Τέλος, η διαχείριση της ενέργειας θα αποτελέσει ένα κρίσιμο ζήτημα στις εφαρμογές της Βιομηχανίας 5.0, επειδή θα υπάρχουν πολλές συνδεδεμένες έξυπνες συσκευές που θα χρησιμοποιούν μεγάλες ποσότητες ενέργειας. Μέσω της χρήσης πρωτοποριακών τακτικών χρήσης ενέργειας και τεχνικών συγκομιδής ενέργειας, τα δίκτυα 6G θα βοηθήσουν στη μεγιστοποίηση της διαχείρισης της ενέργειας [24].

3.3.10. Άλλες τεχνολογίες ενεργοποίησης της Βιομηχανίας 5.0

Μερικές ακόμα τρέχουσες τεχνολογίες, όπως ο Τεμαχισμός Δικτύου (Network Slicing NS), η Διευρυμένη Πραγματικότητα (eXtended Reality XR) και το Ιδιωτικό Κινητό Δίκτυο (Private Mobile Network PMN) θα είναι απαραίτητες για την ανάπτυξη της Βιομηχανίας 5.0. Η τεχνολογία NS θα παρέχει μία ενιαία

αρχιτεκτονική πραγματικού δικτύου, στην οποία θα επιτρέπεται η ενεργοποίηση πολλαπλών εικονικών δικτύων για τη διανομή πραγματικών δικτυακών πόρων. Κάθε δίκτυο θα μπορεί να εξατομικεύεται και να προσαρμόζεται, για να ανταποκρίνεται στις ανάγκες μίας συγκεκριμένης εφαρμογής. Συνεπώς, μέσω του Τεμαχισμού Δικτύου θα παρέχονται διάφορα αναπαραγόμενα δίκτυα που θα δίνουν τη δυνατότητα στη Βιομηχανία 5.0 να εξυπηρετεί ένα ποικίλο φάσμα εφαρμογών. Η τεχνολογία NS θα χρησιμοποιείται για την αυτό-οργάνωση, την ευελιξία και τη βέλτιστη χρήση των δικτυακών πόρων για την παρακολούθηση των δικτύων του Βιομηχανικού Διαδικτύου των Πραγμάτων [24].

Μία ακόμα τεχνολογία αιχμής είναι η Διευρυμένη Πραγματικότητα (XR), η οποία θα συνδυάζει τον πραγματικό και τον εικονικό κόσμο, για τη βελτίωση της συνεργασίας ανθρώπου-μηχανής. Ο όρος του XR θα συνδυάζει τις τεχνολογίες της εικονικής πραγματικότητας (VR), της επαυξημένης πραγματικότητας (AR) και της μικτής πραγματικότητας (MR) για την πραγματοποίηση διάφορων εφαρμογών στη Βιομηχανία 5.0. Μερικές εφαρμογές όπου θα χρησιμοποιείται αυτή η τεχνολογία θα είναι η παρακολούθηση των γραμμών συναρμολόγησης, η εξ αποστάσεως υγειονομική περίθαλψη και η εκπαίδευση γιατρών, οδηγών και πιλότων. Για να προωθηθούν οι τεχνολογίες XR προς τις εφαρμογές της Βιομηχανίας 5.0 θα απαιτηθεί η ανάπτυξη και χρήση άλλων τεχνολογιών, όπως η δικτύωση μηδενικής επαφής, ο υπολογισμός άκρων, η βελτίωση των τεχνολογιών επικοινωνίας και η ανάπτυξη υψηλής ακρίβειας υπολογιστικών δεξιοτήτων [24].

Το Ιδιωτικό Κινητό Δίκτυο (PMN), σε αντίθεση με τους συμβατικούς εθνικούς φορείς εκμετάλλευσης κινητών δικτύων, θα χρησιμοποιείται για την παροχή περιφερειακών και ειδικών για κάθε περίπτωση χρήσης υπηρεσιών δικτύου. Η τεχνολογία του 5G θα επιτρέπει τοπικές λύσεις δικτύωσης για τις εφαρμογές της Βιομηχανίας 5.0. Για την υλοποίηση της Βιομηχανίας 5.0 η τεχνολογία των PMNs θα εφαρμόζεται σε συνδυασμό με τις τεχνολογίες NS, AI και Blockchain, ωστόσο απαιτείται περαιτέρω έρευνα σχετικά με τον έλεγχο φάσματος, τη διαχείριση και την αδειοδότηση αυτής της τεχνολογίας, για να εφαρμοστεί ευρέως και οικονομικά [24].

Τέλος, οι τεχνολογίες της ηλεκτροεγκεφαλογραφίας (EEG), της λειτουργικής απεικόνισης μαγνητικού συντονισμού (fMRI) και λειτουργικής φασματοσκοπίας στο εγγύς υπέρυθρο (fNIRS) θα μπορέσουν να αξιοποιήσουν τον ανθρώπινο εγκέφαλο ως πηγή δεδομένων για την επίτευξη έξυπνης αντίληψης. Η τεχνολογία fNIRS είναι πιο φορητή και ευκολότερη στη χρήση από τις τρεις, λόγω της ταχύτερης εγκατάστασής της και της ενσωματωμένης ασύρματης συνδεσιμότητας για τη μετάδοση δεδομένων. Αυτές οι συσκευές θα μπορούν να καταγράφουν τις εγκεφαλικές ενεργοποιήσεις για να χρησιμοποιούνται σε διάφορες δραστηριότητες, όπως η ανάλυση σήματος, η πρόβλεψη πρόθεσης και η επίγνωση του περιβάλλοντος. Αυτή η τεχνολογία, για παράδειγμα, θα μπορούσε να

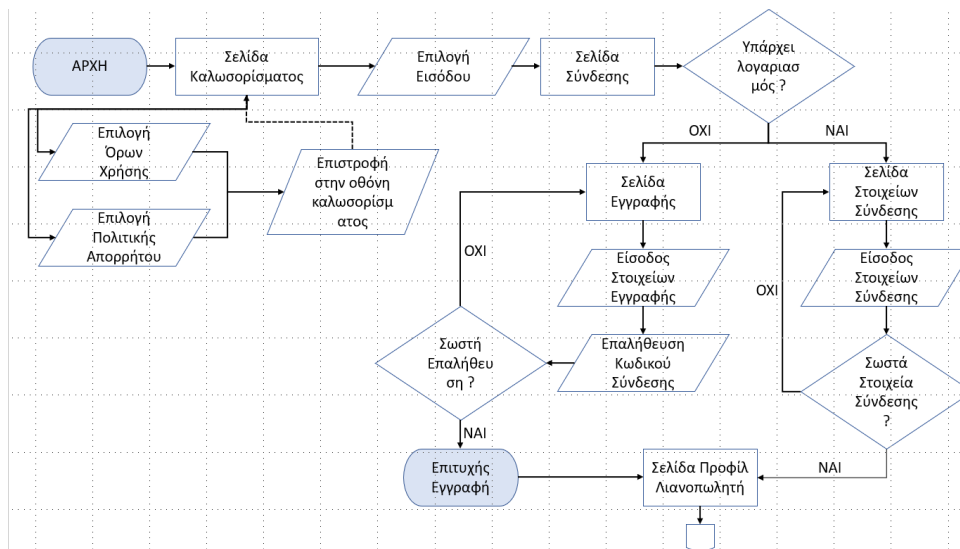
εφαρμοστή σε ένα ιατρικό περιβάλλον, όπου ένας γιατρός θα μπορεί να κατευθύνει ένα ρομποτικό βραχίονα για την εκτέλεση κάποιας εργασίας [43].

Κεφάλαιο 4 ΜΕΛΕΤΗ ΠΕΡΙΠΤΩΣΗΣ

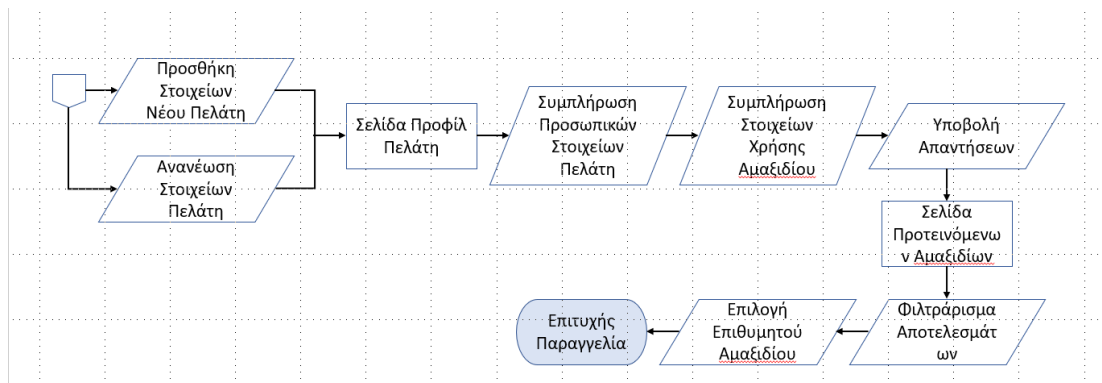
Σε αυτό το κεφάλαιο θα αναπτυχθεί ένα σύστημα για την παραγωγή εξατομικευμένων αναπηρικών αμαξιδίων. Για τη δημιουργία του συστήματος αναπτύχθηκε ένα διάγραμμα ροής, το οποίο εμφανίζει τα βήματα που θα ακολουθηθούν για τον προσδιορισμό εξατομικευμένων αναπηρικών αμαξιδίων. Στη συνέχεια, δημιουργήθηκε μία βάση δεδομένων, η οποία περιλαμβάνει τέσσερις κατηγορίες αναπηρικών αμαξιδίων. Οι κατηγορίες αυτές είναι χειροκίνητα, ηλεκτρικά, καροτσάκια και αθλητικά αμαξίδια. Επίσης, το σύστημα περιλαμβάνει ένα ερωτηματολόγιο. Η συμπλήρωση του ερωτηματολογίου θα γίνει από ένα εξειδικευμένο ιατρικό προσωπικό, το οποίο θα έχει πρόσβαση στην υποτιθέμενη ιστοσελίδα του συστήματος. Οι απαντήσεις θα διαμορφωθούν με βάση τα χαρακτηριστικά, τις προτιμήσεις και κατ' επέκταση των τρόπου ζωής του ασθενή. Το ερωτηματολόγιο χωρίζεται στις γενικές ερωτήσεις και στις συμπληρωματικές ερωτήσεις καθημερινής χρήσης ή αθλητισμού. Επιπλέον, δημιουργήθηκαν δέντρα αποφάσεων μέσω των οποίων οι απαντήσεις που υποβλήθηκαν θα μετατραπούν σε χαρακτηριστικά των αμαξιδίων. Τέλος, παρουσιάζεται ένα ενδεικτικό παράδειγμα του τρόπου λειτουργίας του συστήματος και της τελικής επιλογής του αμαξιδίου. Σημειώνεται ότι οι πηγές [44 – 69] χρησιμοποιήθηκαν συνδυαστικά για την ανάπτυξη της συγκεκριμένης μελέτης περίπτωσης.

4.1. Διάγραμμα Ροής

Αρχικά, το συγκεκριμένο διάγραμμα ροής απευθύνεται στον εξειδικευμένο γιατρό. Ο ρόλος του είναι η περιγραφή των δυνατών ενεργειών που θα έχει ο γιατρός στην ιστοσελίδα του συστήματος. Αντίστοιχα, ο σκοπός του παρόντος διαγράμματος αποτελεί τη δόμηση της ιστοσελίδας του συστήματος, για τον καθορισμό εξατομικευμένων αναπηρικών αμαξιδίων. Πιο αναλυτικά, παρουσιάζεται στις εικόνες 1 και 2.



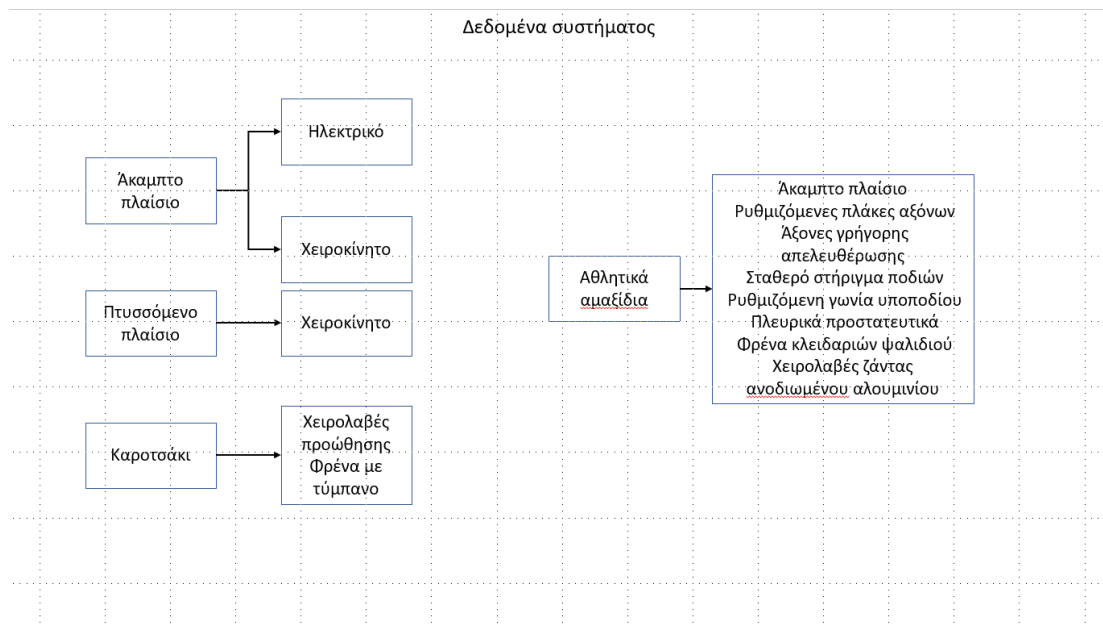
Εικόνα 1: Διάγραμμα ροής πρώτο μέρος.



Εικόνα 2: Διάγραμμα ροής δεύτερο μέρος.

4.2. Δεδομένα συστήματος

Στη συνέχεια, το σύστημα θα έχει ως δεδομένα κάποια χαρακτηριστικά για τις τέσσερις κατηγορίες αναπηρικών αμαξιδίων. Στις δύο πρώτες κατηγορίες διακρίνονται τα χειροκίνητα και ηλεκτρικά αμαξίδια που καθορίζονται για καθημερινή χρήση. Τα καροτσάκια αποτελούν μία ακόμη κατηγορία αναπηρικού αμαξιδίου για καθημερινή χρήση, τα οποία αφορούν παιδιά τεσσάρων χρονών και κάτω. Στη τελευταία κατηγορία εντάσσονται τα αθλητικά αναπηρικά αμαξίδια, όπου έχουν εξειδικευμένα χαρακτηριστικά ανάλογα με το είδος αθλήματος.



Εικόνα 3: Βάση Δεδομένων Συστήματος.

4.3. Ερωτήσεις και δέντρα αποφάσεων

Στη παρούσα ενότητα θα παρουσιαστούν οι ερωτήσεις που θα χρειαστεί να απαντήσει το εξειδικευμένο ιατρικό προσωπικό. Όπως έχει αναφερθεί, οι απαντήσεις θα βασίζονται στα χαρακτηριστικά του ασθενή και στις προτιμήσεις του. Επίσης, οι ερωτήσεις θα παρουσιαστούν με την σειρά που θα εμφανίζονται στο υποτιθέμενο σύστημα. Οι γενικές ερωτήσεις αφορούν το μέγεθος του αναπηρικού αμαξιδίου και το είδος χρήσης του. Έπειτα, οι συμπληρωματικές ερωτήσεις θα εμφανίζονται ανάλογα με το είδος χρήσης (καθημερινή χρήση ή αθλητισμού) του αναπηρικού αμαξιδίου. Μετά από κάθε ομάδα ερωτήσεων θα εμφανίζονται τα αντίστοιχα δέντρα αποφάσεων, που οδηγούν στην ιδανική επιλογή του αμαξιδίου. Στην πορεία θα παρουσιαστούν με περισσότερη λεπτομέρεια οι κατηγορίες των ερωτήσεων.

4.3.1. Γενικές ερωτήσεις

Σε αυτή την υπό-ενότητα θα εμφανιστούν μερικές γενικές ερωτήσεις σχετικά με τα σωματικά χαρακτηριστικά του χρήστη και την κατηγορία αναπηρικού αμαξιδίου που επιθυμεί. Περιληπτικά, θα περιλαμβάνονται κάποιες σωματικές μετρήσεις, το είδος πάθησης, η κλίση της λεκάνης, η κλίση του κορμού, η θέση των ποδιών, η γωνία κάμψης των ισχίων και το είδος χρήσης του αμαξιδίου. Σε ορισμένες ερωτήσεις υπάρχουν εξειδικευμένες απαντήσεις, τις οποίες θα ακολουθήσουν περαιτέρω πεδία προς συμπλήρωση. Παρακάτω, παρουσιάζονται οι ερωτήσεις αναλυτικότερα.

1) Συμπληρώστε τα παρακάτω στοιχεία

Πλάτος γοφών (σε cm):

Μήκος από το πίσω μέρος της λεκάνης έως το πίσω μέρος του γονάτου από τη δεξιά πλευρά (σε cm):

Μήκος από το πίσω μέρος της λεκάνης έως το πίσω μέρος του γονάτου από την αριστερή πλευρά (σε cm):

Μήκος από το γόνατο έως την φτέρνα από τη δεξιά πλευρά (σε cm):

Μήκος από το γόνατο έως την φτέρνα από την αριστερή πλευρά (σε cm):

2) Επιλέξτε και Συμπληρώστε ένα από τα παρακάτω στοιχεία

α. Απόσταση από το κάθισμα έως το κάτω μέρος του κλωβού των πλευρών (σε cm):

β. Απόσταση από το κάθισμα έως το κάτω μέρος της ωμοπλάτης (σε cm):

γ. Απόσταση από το κάθισμα έως το πάνω μέρος της ωμοπλάτης (σε cm):

3) Επιλέξτε το/α είδος/η πάθησης που πάσχει ο/η ασθενής

α. Ανικανότητα μετακίνησης/ελέγχου κάτω άκρων

β. Ανικανότητα μετακίνησης/ελέγχου κάτω & άνω άκρων

γ. Αδυναμία μυϊκού ελέγχου & συντονισμού κινήσεων*

δ. Ακρωτηριασμός ενός κάτω άκρου

ε. Ακρωτηριασμός κάτω άκρων

***Αν επιλεγθεί εμφάνιση και συμπλήρωση του παρακάτω στοιχείου:** Απόσταση καθίσματος έως τη βάση του κρανίου

4) Επιλέξτε τη θέση κλίσης της λεκάνης

α. Στην ουδέτερη στάση

β. Έχει οπίσθια κλίση ή/και ολισθαίνει προς τα εμπρός*

γ. Έχει πρόσθια κλίση

δ. Έχει μόνιμη δεξιά πλευρική κλίση ή γέρνει προς τη δεξιά πλευρά**

ε. Έχει μόνιμη αριστερή πλευρική κλίση ή γέρνει προς την αριστερή πλευρά**

***Αν επιλεγθεί εμφάνιση και συμπλήρωση του παρακάτω στοιχείου:** Απόσταση πίσω μέρους λεκάνης έως τα οστά καθίσματος & Απόσταση καθίσματος έως κορυφής λεκάνης

****Αν επιλεγθεί εμφάνιση και συμπλήρωση του παρακάτω στοιχείου:** Πλάτος γοφών

5) Επιλέξτε τη θέση κλίσης του κορμού

α. Στην ουδέτερη στάση

β. Σε καμπουριασμένη στάση ή κλίση κορμού προς τα εμπρός

γ. Γέρνει προς τη δεξιά πλευρά*

δ. Γέρνει προς την αριστερή πλευρά*

ε. Υπάρχει σταθερή ή ευέλικτη δεξιά πλευρική καμπύλη στη σπονδυλική στήλη**

ζ. Υπάρχει σταθερή ή ευέλικτη αριστερή πλευρική καμπύλη στη σπονδυλική στήλη**

***Αν επιλεγθεί εμφάνιση και συμπλήρωση του παρακάτω στοιχείου:** Απόσταση καθίσματος έως μασχάλη & Πλάτος κορμού

****Αν επιλεγθεί εμφάνιση και συμπλήρωση του παρακάτω στοιχείου:** Απόσταση καθίσματος έως μασχάλη, Πλάτος κορμού & Πλάτος γοφών

6) Επιλέξτε τη θέση που βρίσκονται τα πόδια

α. Στην ουδέτερη θέση

β. Σε απαγωγή (έχουν κλίση προς τα έξω)

γ. Σε προσαγωγή (έχουν κλίση προς τα μέσα)*

*Αν επιλεχθεί εμφάνιση και συμπλήρωση του παρακάτω στοιχείου: Απόσταση μεταξύ γονάτων

7) Συμπληρώστε τα παρακάτω στοιχεία

Μέγιστη γωνία κάμψης δεξιού ισχίου/γοφού (σε μοίρες)

Μέγιστη γωνία κάμψης αριστερού ισχίου/γοφού (σε μοίρες)

8) Επιλέξτε το/α είδος/η χρήσης για το/α οποίο/α χρειάζεται το αναπηρικό αμαξίδιο

α. Για καθημερινή χρήση

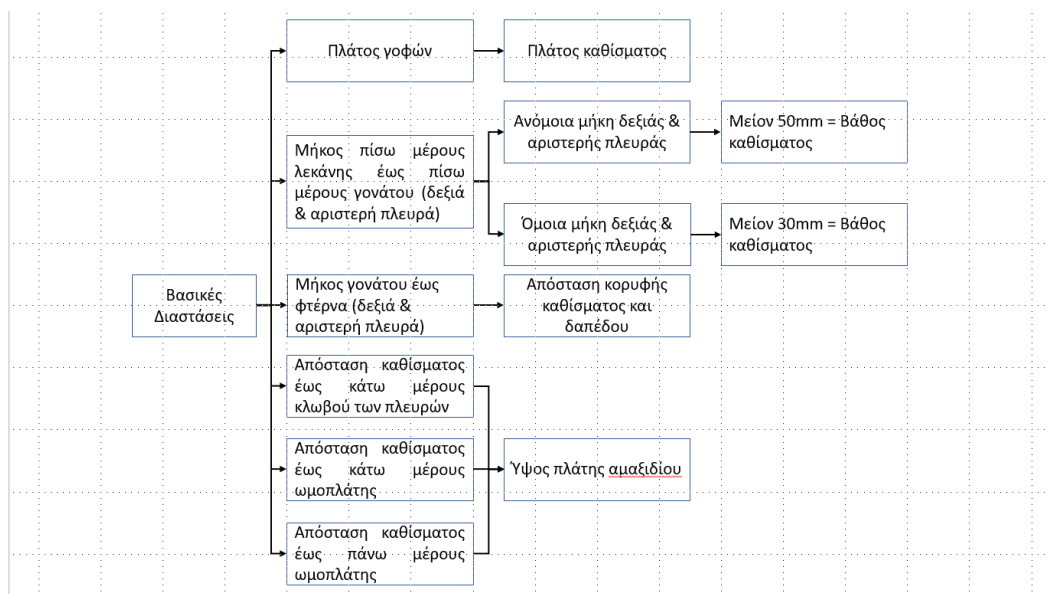
β. Για αθλητισμό

γ. Και τα δύο

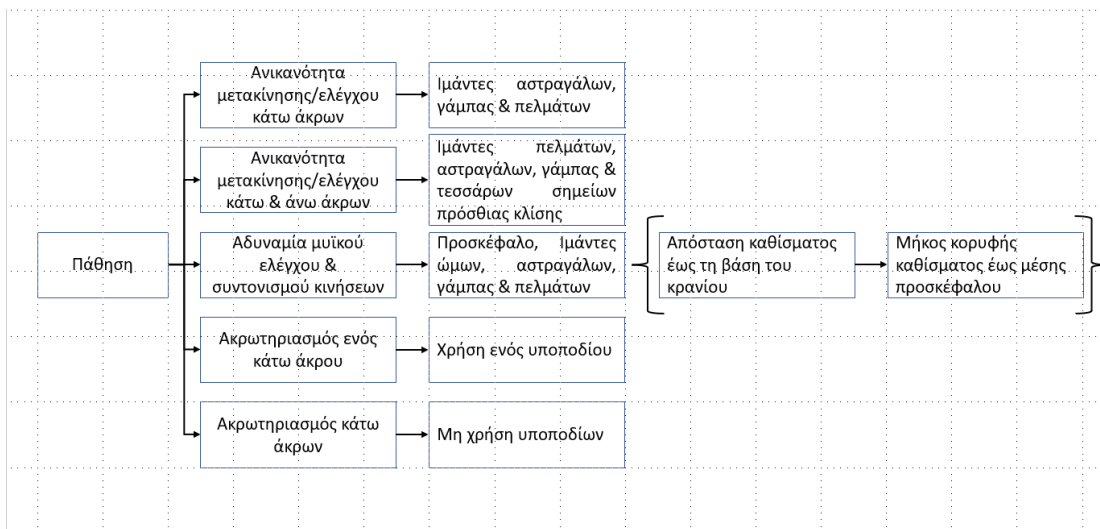
Η απάντηση στην ερώτηση 8 θα καθορίσει ποιες συμπληρωματικές ερωτήσεις θα εμφανιστούν στην ιστοσελίδα.

4.3.2. Δέντρα Αποφάσεων κατηγορίας Γενικές Ερωτήσεις

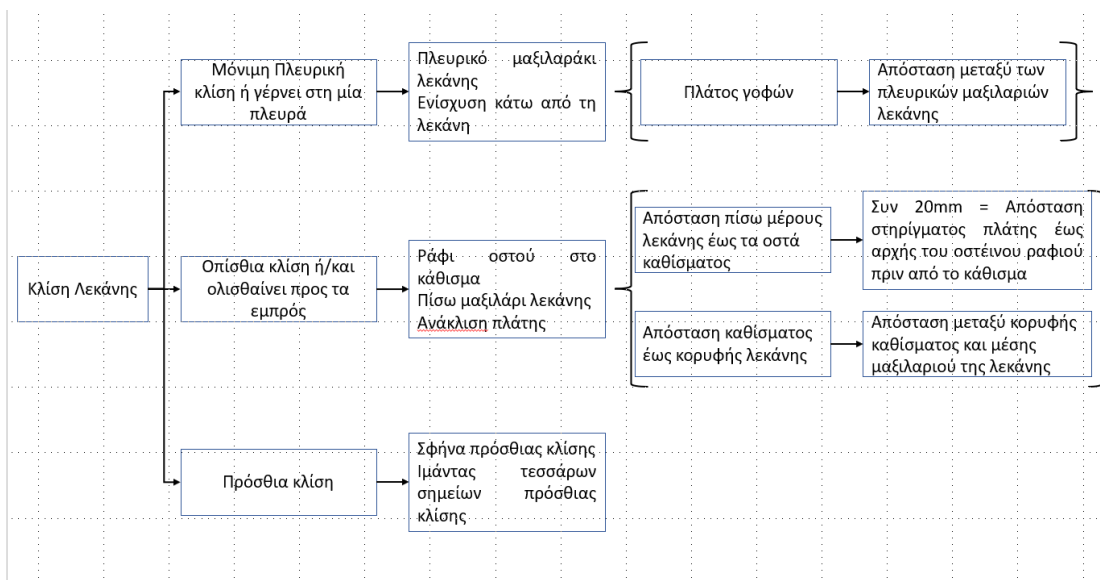
Σε αυτή την υπό-ενότητα θα παρουσιαστούν τα δέντρα αποφάσεων που αφορούν τις γενικές ερωτήσεις. Η σειρά των δέντρων αποφάσεων αντιστοιχεί την σειρά των ερωτήσεων της προηγούμενης υπό-ενότητας.



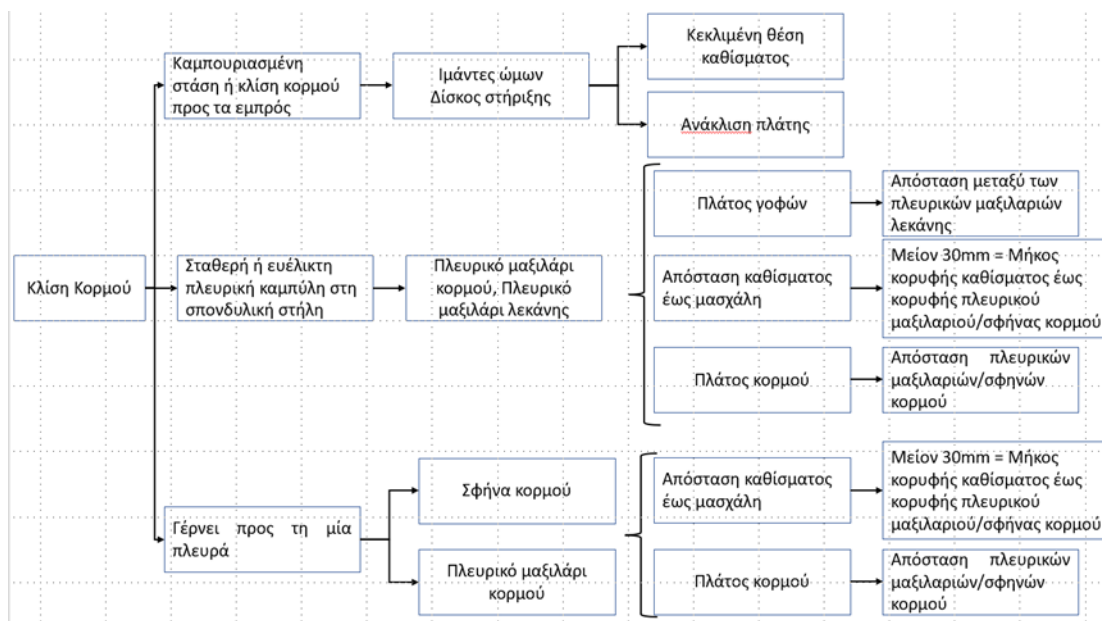
Εικόνα 4: Δέντρων Αποφάσεων Βασικές Διαστάσεις (ερώτηση 1 & 2).



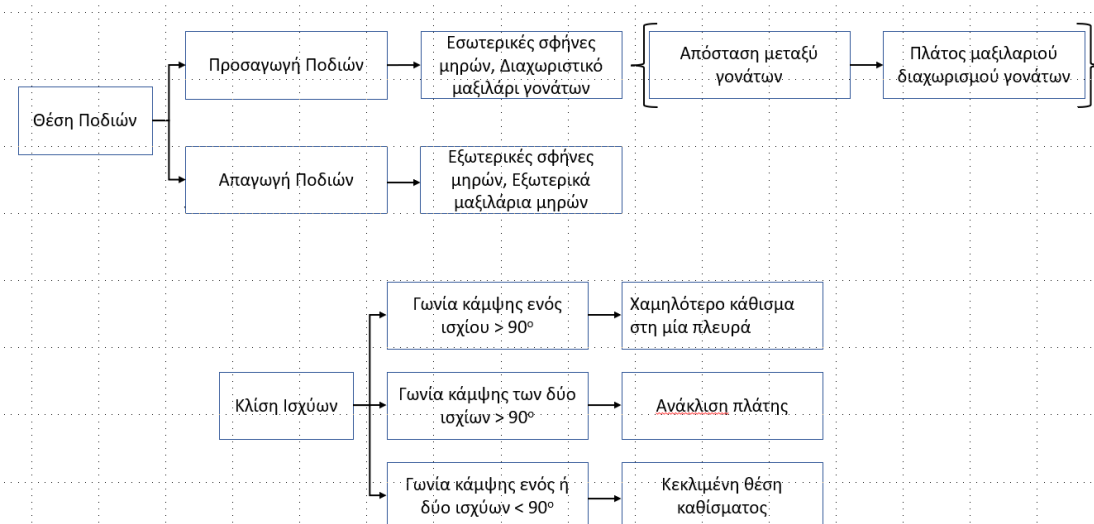
Εικόνα 5: Δέντρο αποφάσεων Πάθησης (ερώτηση 3).



Εικόνα 6: Δέντρο αποφάσεων Κλίση Λεκάνης (ερώτηση 4).



Εικόνα 7: Δέντρο αποφάσεων Κλίση Κορμού (ερώτηση 5).



Εικόνα 8: Δέντρα αποφάσεων Θέση Ποδιών και Κλίση Ισχίων (ερωτήσεις 6 & 7).

4.3.3. Συμπληρωματικές ερωτήσεις κατηγορίας Καθημερινής Χρήσης

Σε αυτή την υπό-ενότητα θα εμφανιστούν οι ερωτήσεις έπειτα από την επιλογή αμαξιδίου για καθημερινή χρήση. Περιληπτικά, θα περιλαμβάνεται η ηλικία, το βάρος, η γωνία κάμψης των γονάτων, ο τρόπο μεταφοράς από και στο αμαξίδιο, ο τρόπο προώθησης του αμαξιδίου, ο τύπος συχνότερης χρήσης και η θέση χρήσης στα μέσα μεταφοράς. Σε ορισμένες ερωτήσεις υπάρχουν εξειδικευμένες απαντήσεις, τις οποίες θα ακολουθήσουν περαιτέρω πεδία προς συμπλήρωση. Παρακάτω, παρουσιάζονται οι ερωτήσεις αναλυτικότερα.

1) Συμπληρώστε τα παρακάτω στοιχεία

Ηλικία (σε χρόνια):

Βάρος (σε κιλά):

2) Επιλέξτε το/α είδος/η αναπηρικό αμαξίδιο που προτιμάτε

α. Ηλεκτρικό αμαξίδιο

β. Χειροκίνητο αμαξίδιο

γ. Και τα δύο

3) Επιλέξτε τη δυνατότητα μεταβολής της γωνίας κάμψης των γονάτων

α. Δυνατότητα μεταβολής γωνίας κάμψης των γονάτων *

β. Αδυναμία μεταβολής γωνίας κάμψης των γονάτων *

***Μόλις επιλεχθεί κάποιο εμφάνιση και συμπλήρωση του παρακάτω στοιχείου:**

Μέγιστη γωνία κάμψης δεξιού & αριστερού γόνατος (σε μοίρες)

4) Επιλέξτε τον τρόπο μεταφοράς από και στο αναπηρικό αμαξίδιο

α. Όρθια μετακίνηση

β. Καθιστή πλάγια μετακίνηση

Οι ερωτήσεις 5α και 5β θα εμφανιστούν στον χρήστη ανάλογα με την απάντηση που έχει δοθεί στην ερώτηση 2.

5α) Επιλέξτε τον τρόπο προώθησης του χειροκίνητου αναπηρικού αμαξιδίου

α. Με τα χέρια

β. Μόνο με το δεξί χέρι

γ. Μόνο με το αριστερό χέρι

5β) Επιλέξτε τον τρόπο προώθησης του ηλεκτρικού αναπηρικού αμαξιδίου

α. Με το χέρι

β. Με το πιγούνι

γ. Με το κεφάλι

δ. Με τα δάκτυλα

Οι ακόλουθες δύο ερωτήσεις θα απαντηθούν με βάση τις προτιμήσεις και τον τρόπο ζωής του ασθενή.

6) Επιλέξτε τον τόπο συχνότερης χρήσης του αναπηρικού αμαξιδίου

α. Σε εσωτερικούς χώρους (π.χ. σπίτι, γραφείο, σχολείο)

β. Σε εξωτερικούς χώρους

γ. Τόσο σε εσωτερικούς όσο και σε εξωτερικούς χώρους

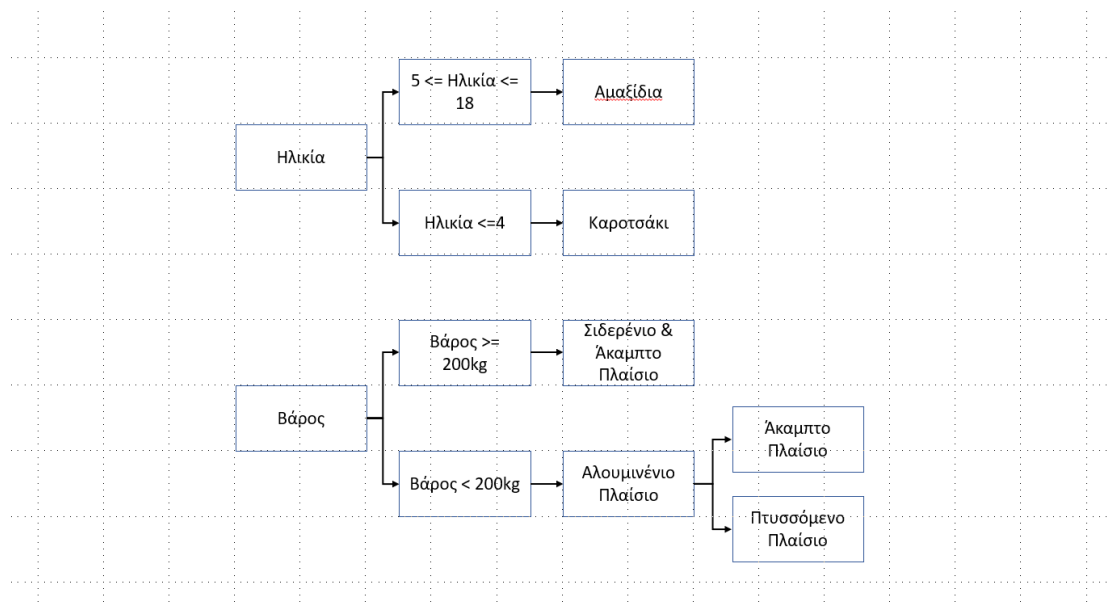
7) Επιλέξτε τη θέση που χρησιμοποιεί ο/η χρήστης στα μέσα μεταφοράς

α. Κάθεται στο αμαξίδιο

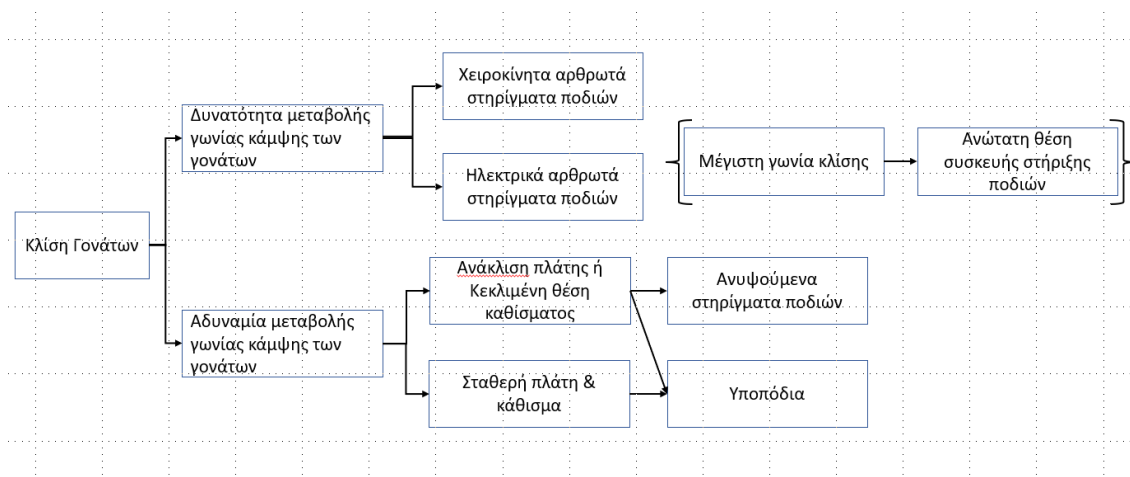
β. Στη θέση του οχήματος

4.3.4. Δέντρα Αποφάσεων κατηγορίας Καθημερινής Χρήσης

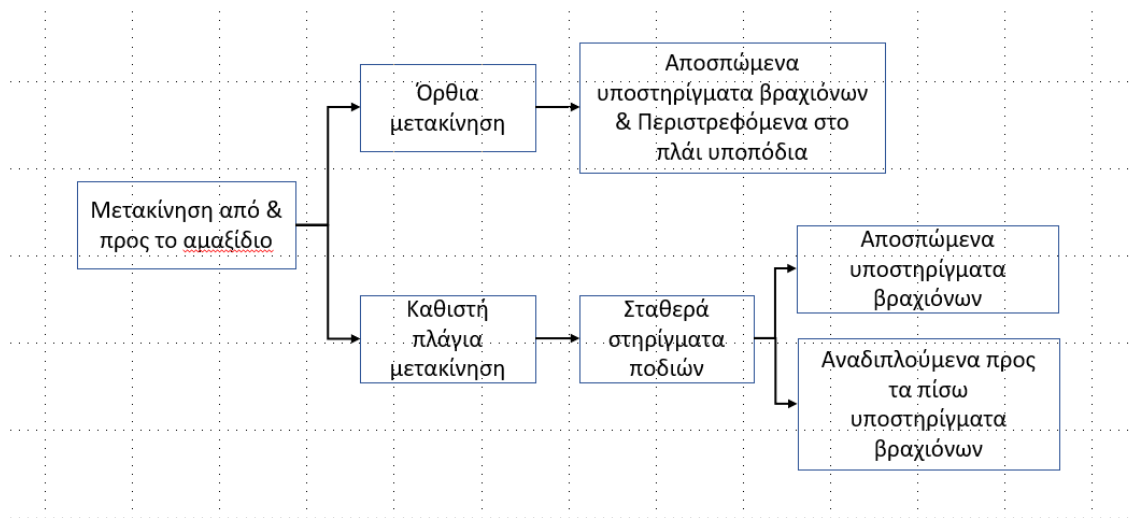
Σε αυτή την υπό-ενότητα θα παρουσιαστούν τα δέντρα αποφάσεων που αφορούν τις ερωτήσεις καθημερινής χρήσης. Η σειρά των δέντρων αποφάσεων αντιστοιχεί την σειρά των ερωτήσεων της προηγούμενης υπό-ενότητας.



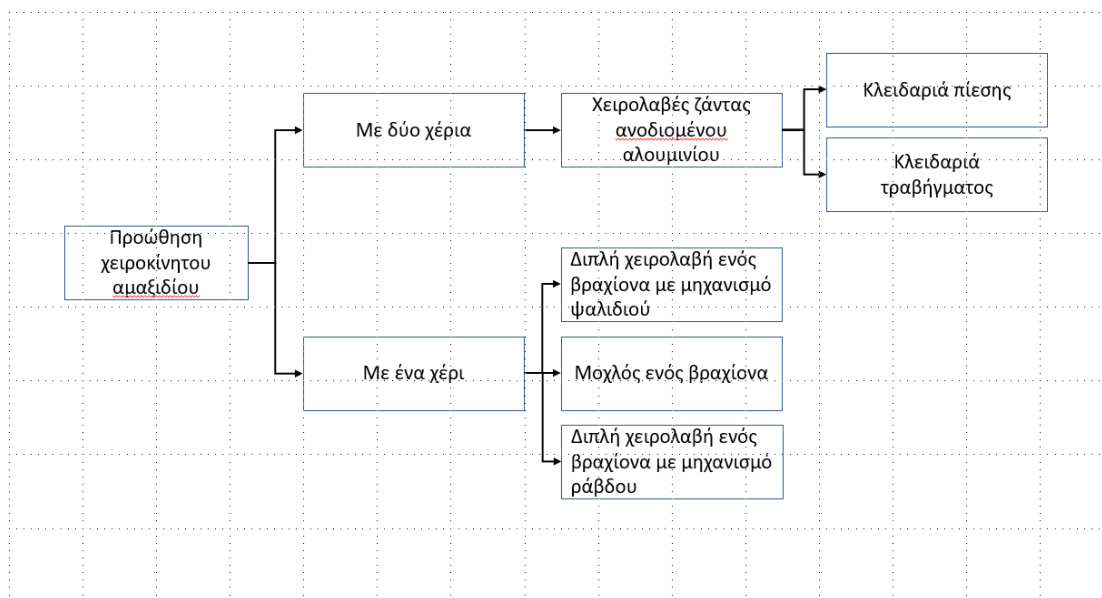
Εικόνα 9: Δέντρα αποφάσεων Ηλικίας και Βάρους (ερώτηση 1).



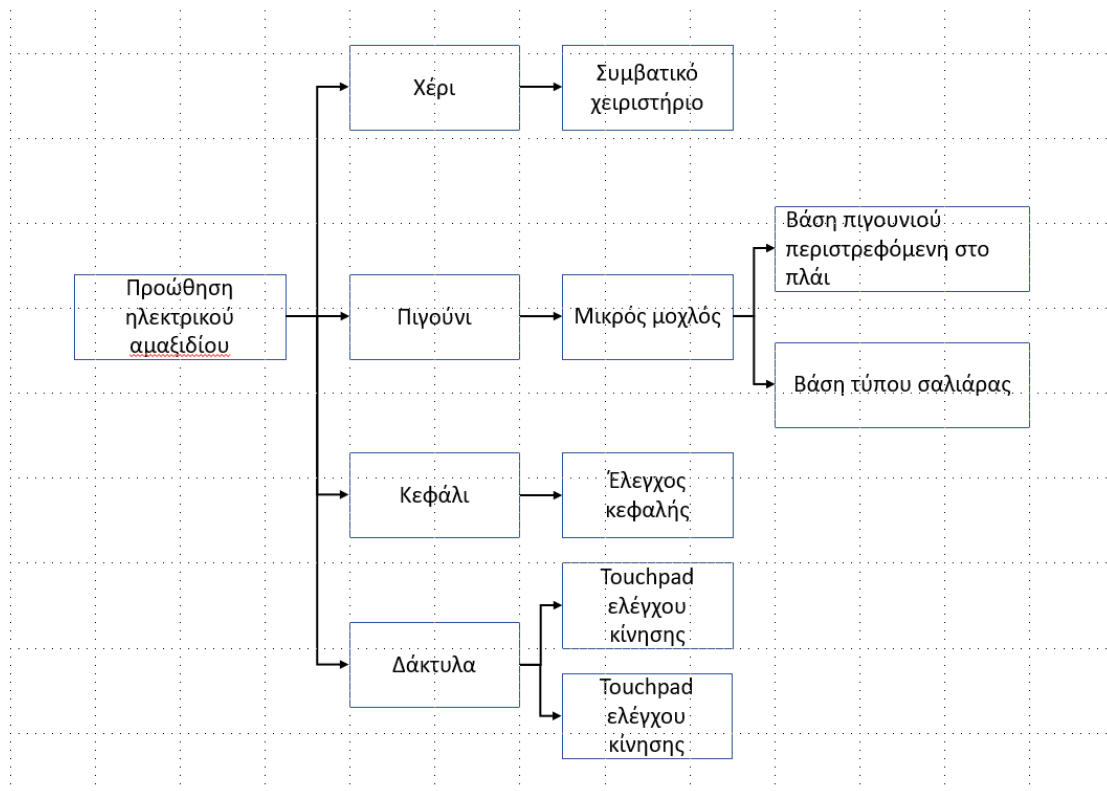
Εικόνα 10: Δέντρα αποφάσεων Κλίση Γονάτων (ερωτήσεις 3).



Εικόνα 11: Δέντρα αποφάσεων Μετακίνηση από & προς το αμαξίδιο (ερωτήσεις 4).

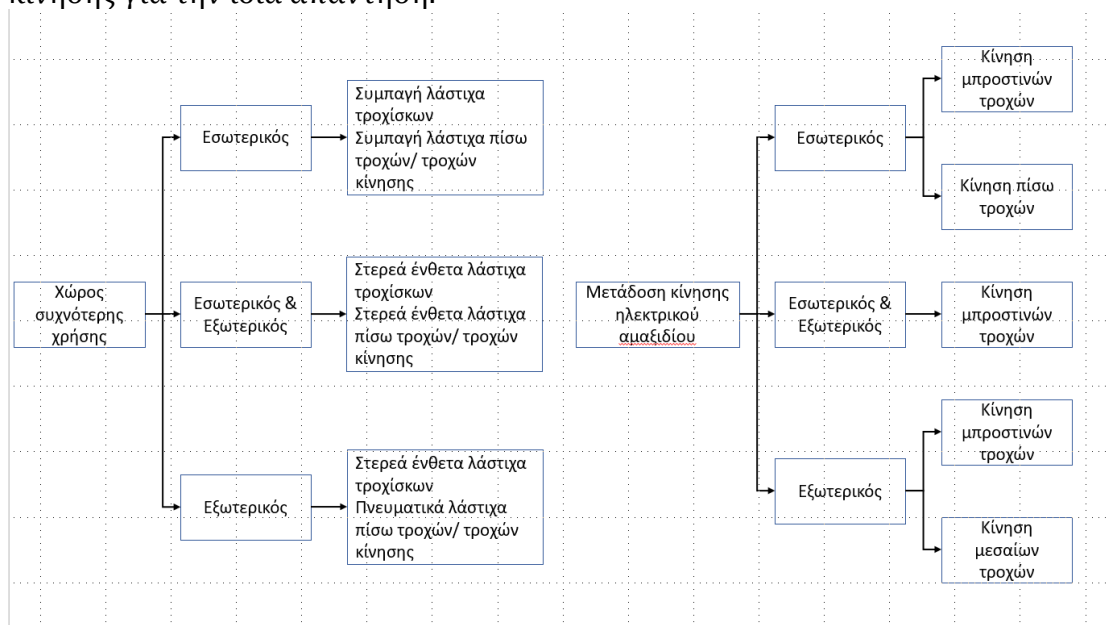


Εικόνα 12: Δέντρο αποφάσεων Πρώθηση χειροκίνητου αμαξιδίου (ερώτηση 5α).

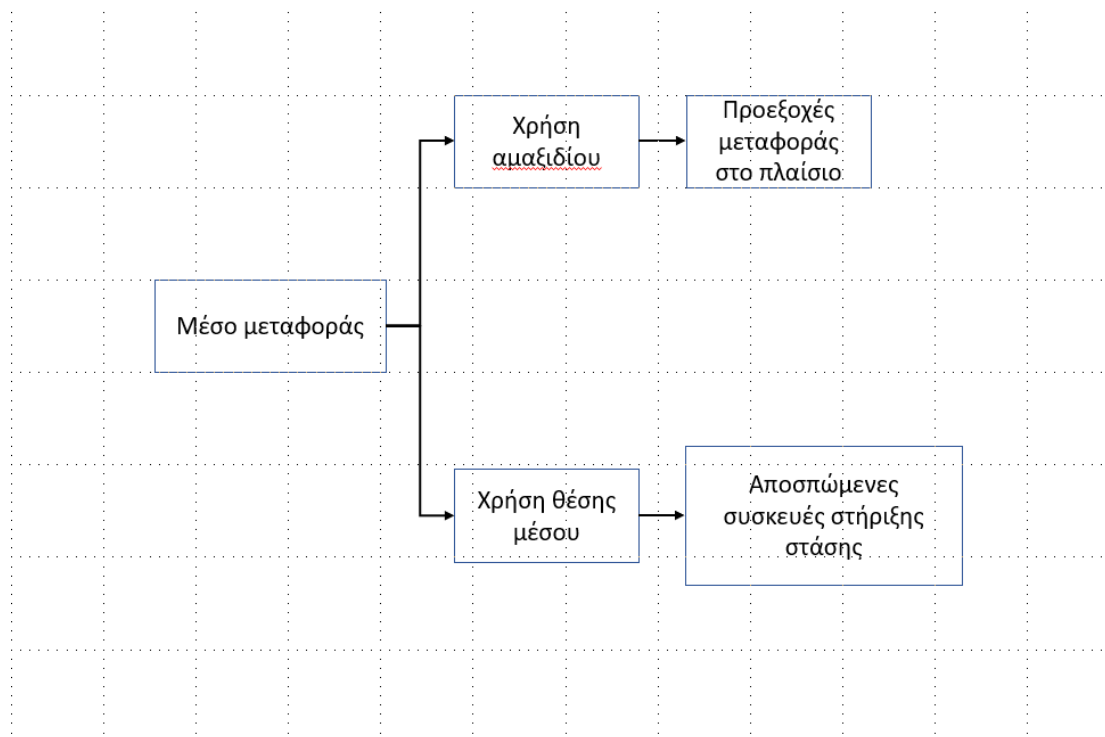


Εικόνα 13: Δέντρο αποφάσεων Πρώθηση ηλεκτρικού αμαξιδίου (ερώτηση 5β).

Στην εικόνα 14 εμφανίζεται το δέντρο αποφάσεων της ερώτησης 6 που θα καθορίσει τα είδη ελαστικών του αμαξιδίου. Σε περίπτωση, που έχει επιλεγθεί το ηλεκτρικό αμαξίδιο το σύστημα αυτόματα θα καθορίσει τον τρόπο μετάδοσης κίνησης για την ίδια απάντηση.



Εικόνα 14: Δέντρα αποφάσεων Χώρος συχνότερης χρήσης (ερώτηση 6) και Μετάδοση κίνησης ηλεκτρικού αμαξιδίου.



Εικόνα 15: Δέντρο αποφάσεων Μέσο μεταφοράς (ερώτηση 7).

4.3.5. Ερωτήσεις κατηγορίας Αθλητισμού

Σε αυτή την υπό-ενότητα θα εμφανιστούν οι ερωτήσεις έπειτα από την επιλογή αμαξιδίου για αθλητισμό. Περιληπτικά, θα περιλαμβάνεται το επίπεδο αθλητισμού και το είδος αθλήματος. Παρακάτω, παρουσιάζονται οι ερωτήσεις αναλυτικότερα.

1) Επιλέξτε το επίπεδο αθλητισμού που κάνει ο/η χρήστης

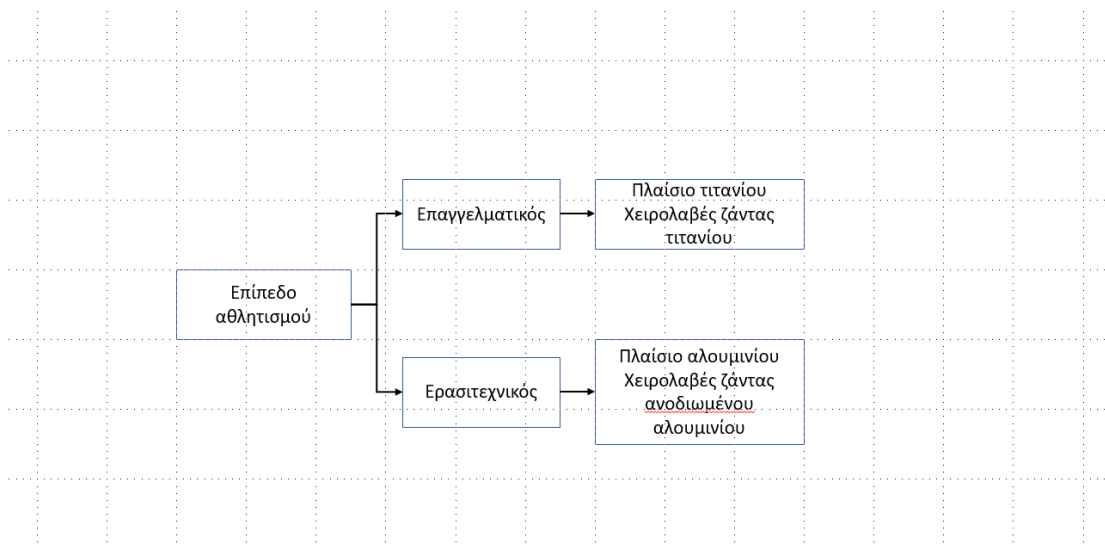
- α. Επαγγελματικό
- β. Ερασιτεχνικό

2) Επιλέξτε το/α είδος/η αθλήματος που κάνει ο χρήστης

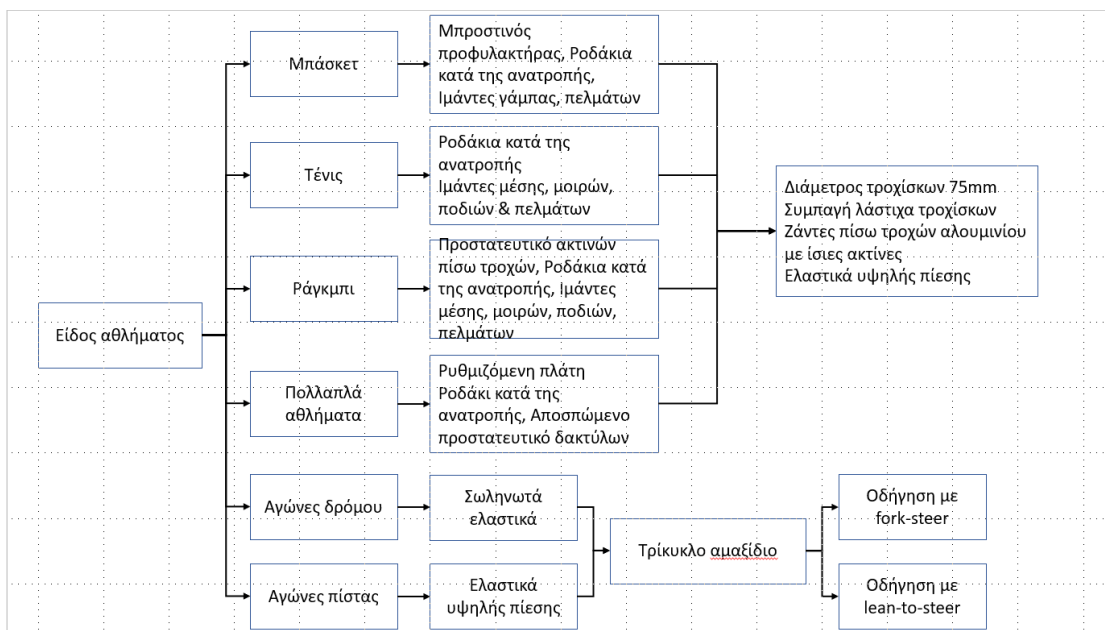
- α. Μπάσκετ
- β. Τένις
- γ. Ράγκμπι
- δ. Πολλαπλά αθλήματα
- ε. Αγώνες δρόμου
- ζ. Αγώνες πίστας

4.3.6. Δέντρα Αποφάσεων κατηγορίας Αθλητισμού

Σε αυτή την υπό-ενότητα θα παρουσιαστούν τα δέντρα αποφάσεων που αφορούν τις ερωτήσεις αθλητισμού. Η σειρά των δέντρων αποφάσεων αντιστοιχεί την σειρά των ερωτήσεων της προηγούμενης υπό-ενότητας.



Εικόνα 16: Επίπεδο αθλητισμού (ερώτηση 1).



Εικόνα 17: Είδος αθλήματος (ερώτηση 2).

4.4. Παράδειγμα

Στην παρούσα ενότητα θα παρουσιαστεί ένα ενδεικτικό παράδειγμα, στόχος του οποίου είναι η κατανόηση λειτουργίας του συστήματος. Αρχικά, θα επιλεγθούν τυχαία ορισμένες απαντήσεις από τις παραπάνω ερωτήσεις. Στη συνέχεια, σύμφωνα με τις απαντήσεις και με τα δέντρα αποφάσεων το σύστημα θα ορίσει τα χαρακτηριστικά των προτεινόμενων αναπηρικών αμαξιδίων. Τέλος, θα παρουσιαστούν τα προτεινόμενα αναπηρικά αμαξίδια μαζί με το σύνολο των χαρακτηριστικών τους. Η επιλογή του τελικού αμαξιδίου θα γίνει από το εξειδικευμένο ιατρικό προσωπικό μαζί με τον πελάτη.

Ακολουθεί η συμπλήρωση του ερωτηματολογίου:

Καταρχάς, θα συμπληρωθούν οι γενικές ερωτήσεις που αφορούν τα σωματικά χαρακτηριστικά του ασθενή. Η πρώτης δύο ερωτήσεις αφορούν ορισμένες διαστάσεις σύμφωνα με τον σωματικό τύπο του ασθενή, που θα καθορίσουν τις διαστάσεις και το μέγεθος του αναπηρικού αμαξιδίου.

Πλάτος γοφών (σε cm): 35cm

Μήκος από το πίσω μέρος της λεκάνης έως το πίσω μέρος του γονάτου από τη δεξιά και την αριστερή πλευρά (σε cm),

Δεξιά πλευρά: 45cm

Αριστερή πλευρά: 45cm

Μήκος από το γόνατο έως την φτέρνα από τη δεξιά και την αριστερή πλευρά (σε cm),

Δεξιά πλευρά: 50cm

Αριστερή πλευρά: 50cm

Στην επόμενη ερώτηση το ιατρικό προσωπικό με βάση την εξέταση του ασθενή και τις ανάγκες που θα έχει, θα επιλέξει την αντίστοιχη μέτρηση που θα κρίνει ότι θα είναι κατάλληλη για τον συγκεκριμένο ασθενή. Στη συγκεκριμένη περίπτωση θα επιλέξει την απάντηση α όπου θα συμπληρώσει και την απαραίτητη μέτρηση.

α. Απόσταση από το κάθισμα έως το κάτω μέρος του κλωβού των πλευρών (σε cm): 40cm

β. Απόσταση από το κάθισμα έως το κάτω μέρος της ωμοπλάτης (σε cm)

γ. Απόσταση από το κάθισμα έως το πάνω μέρος της ωμοπλάτης (σε cm)

Με βάση τις παραπάνω απαντήσεις το σύστημα θα υπολογίσει τις ακόλουθες διαστάσεις τους αναπηρικού αμαξιδίου σε χιλιοστά.

- (Πλάτος γοφών =) Πλάτος καθίσματος = 350mm
- (Μήκος γονάτου έως φτέρνα (δεξιά & αριστερή πλευρά) =) Απόσταση κορυφής καθίσματος και δαπέδου = 500mm
- (Απόσταση καθίσματος έως κάτω μέρους κλωβού των πλευρών =) Ύψος πλάτης = 400mm

Καθώς, τα μήκη της λεκάνης έως το πίσω μέρος του γονάτου είναι όμοια σε κάθε πλευρά τότε το σύστημα θα υπολογίσει το βάθος του καθίσματος:

- (Μήκος πίσω μέρους λεκάνης έως πίσω μέρους γονάτου (δεξιά & αριστερή πλευρά) =) Βάθος καθίσματος = 450mm - 30mm = 420mm

Έπειτα, θα ακολουθήσουν κάποιες ερωτήσεις σχετικά με παθήσεις ή άλλα σωματικά χαρακτηριστικά του ασθενή που θα καθορίσουν τις συσκευές στήριξης στάσης που θα πρέπει να υπάρχουν στα προτεινόμενα αναπηρικά αμαξίδια.

Πρώτα θα επιλεγθεί το είδος πάθησης που πάσχει ο χρήστης. Στο συγκεκριμένο παράδειγμα θα επιλεγθεί η απάντηση γ.

α. Ανικανότητα μετακίνησης/ελέγχου κάτω άκρων

β. Ανικανότητα μετακίνησης/ελέγχου κάτω & άνω άκρων

γ. Αδυναμία μυϊκού ελέγχου & συντονισμού κινήσεων

δ. Ακρωτηριασμός ενός κάτω άκρου

ε. Ακρωτηριασμός κάτω άκρων

Αυτή η απάντηση θα καθορίσει:

- Χρήση προσκέφαλου
- Χρήση ιμάντων ώμων, αστραγάλων, γάμπας και πελμάτων

Καθώς, θα χρησιμοποιηθεί προσκέφαλο το σύστημα θα ζητήσει από τον χρήστη να συμπληρώσει την παρακάτω διάσταση.

Απόσταση καθίσματος έως τη βάση του κρανίου (σε cm): 60cm

Το σύστημα θα καταχωρήσει την ακόλουθη διάσταση στο αναπηρικό αμαξίδιο ως:

- Μήκος κορυφής καθίσματος έως μέσης προσκέφαλου = 600mm

Στη συνέχεια, θα επιλεγθούν με την ακόλουθη σειρά ο τύπος κλίσης της λεκάνης και του κορμού, η θέση των ποδιών και η κλίση των ισχύων.

α. Στην ουδέτερη στάση

β. Έχει οπίσθια κλίση ή/και ολισθαίνει προς τα εμπρός

γ. Έχει πρόσθια κλίση

δ. Έχει μόνιμη δεξιά πλευρική κλίση ή γέρνει προς τη δεξιά πλευρά

ε. Έχει μόνιμη αριστερή πλευρική κλίση ή γέρνει προς την αριστερή πλευρά

Καθώς, επιλέχθηκε η ουδέτερη στάση σημαίνει ότι δεν απαιτείται κάποια συσκευή στήριξης στάσης, άρα το σύστημα δεν θα προσθέσει κάποια συσκευή στα προτεινόμενα αμαξίδια.

α. Στην ουδέτερη στάση

β. Σε καμπουριασμένη στάση ή κλίση κορμού προς τα εμπρός

γ. Γέρνει προς τη δεξιά πλευρά

δ. Γέρνει προς την αριστερή πλευρά

ε. Υπάρχει σταθερή ή ευέλικτη δεξιά πλευρική καμπύλη στη σπονδυλική στήλη

ζ. Υπάρχει σταθερή ή ευέλικτη αριστερή πλευρική καμπύλη στη σπονδυλική στήλη

Αυτή η απάντηση θα καθορίσει:

- Χρήση Ιμάντων ώμων
- Χρήση Δίσκου στήριξης
- Είτε Κεκλιμένη θέση καθίσματος είτε Ανάκλιση πλάτης

α. Στην ουδέτερη θέση

β. Σε απαγωγή (έχουν κλίση προς τα έξω)

γ. Σε προσαγωγή (έχουν κλίση προς τα μέσα)

Αυτή η απάντηση θα καθορίσει:

- Χρήση Εσωτερικών σφηνών μηρών,
- Χρήση Διαχωριστικού μαξιλαριού γονάτων

Καθώς, θα χρησιμοποιηθεί διαχωριστικό μαξιλάρι γονάτων το σύστημα θα ζητήσει από τον χρήστη να συμπληρώσει την παρακάτω διάσταση.

Απόσταση μεταξύ γονάτων (σε cm): 20cm

Το σύστημα θα καταχωρήσει την ακόλουθη διάσταση στο αναπηρικό αμαξίδιο ως:

- Πλάτος μαξιλαριού διαχωρισμού γονάτων = 200mm

Μέγιστη γωνία κάμψης δεξιού ισχίου/γοφού (σε μοίρες): 120°

Μέγιστη γωνία κάμψης αριστερού ισχίου/γοφού (σε μοίρες): 120°

Καθώς, η γωνία κάμψης και των δύο ισχίων είναι μεγαλύτερη από 90° η απάντηση θα καθορίσει:

- Χρήση Ανάκλιση πλάτης

Με αυτήν την απάντηση θα απορριφθεί η επιλογή της κεκλιμένης θέσης καθίσματος που δόθηκε από την απάντηση της ερώτησης κλίσης κορμού. Συνεπώς, οι προτεινόμενες επιλογές αναπηρικών αμαξιδίων θα έχουν ανακλινόμενη πλάτη.

Τέλος, θα επιλεγεί το είδος χρήσης του αναπηρικού αμαξιδίου που θα κάνει ο πελάτης. Στη συγκεκριμένη περίπτωση θα επιλεγεί η απάντηση **α**.

α. Για καθημερινή χρήση

β. Για αθλητισμό

γ. Και τα δύο

Καθώς, έχει επιλεγεί η **καθημερινή χρήση** θα εμφανιστούν περαιτέρω ερωτήσεις που αφορούν την κατηγορία αναπηρικών αμαξιδίων που είναι για καθημερινή χρήση. Πρώτα θα συμπληρωθούν η ηλικία και το βάρος.

- **Ηλικία (σε χρόνια): 30 χρονών**

- **Βάρος (σε κιλά) : 80 κιλά**

Αυτές οι δύο απαντήσεις θα καθορίσουν:

- Τύπος αμαξιδίου = Αμαξίδιο
- Τύπος πλαισίου = Αλουμινένιο πλαίσιο, είτε άκαμπτο είτε πτυσσόμενο.

Στη συνέχεια, θα επιλεγθεί το είδος αναπηρικού αμαξιδίου που θα χρειαστεί ή θα προτιμήσει ο χρήστης. Στη συγκεκριμένη περίπτωση θα επιλεγθεί η τρίτη επιλογή που σημαίνει ότι το σύστημα θα εμφανίσει χειροκίνητα και ηλεκτρικά αμαξίδια.

- α. Ηλεκτρικό αμαξίδιο
- β. Χειροκίνητο αμαξίδιο

γ. Και τα δύο

Στη συνέχεια, θα επιλεγθούν με την ακόλουθη σειρά ο τύπος κλίσης των γονάτων, ο τρόπος μετακίνησης από και προς το αμαξίδιο, ο τρόπος προώθησης του αμαξιδίου, ο τόπος συχνότερης χρήσης και η θέση που θα χρησιμοποιείται στα μέσα μεταφοράς από τον χρήστη.

- α. Δυνατότητα μεταβολής γωνίας κάμψης των γονάτων
- β. Αδυναμία μεταβολής γωνίας κάμψης των γονάτων**

Αφού επιλεγθεί η απάντηση θα ζητήσει το σύστημα να συμπληρώσει τη μέγιστη γωνία κάμψης κάθε γονάτου σε μοίρες, τις οποίες θα καταχωρίσει το σύστημα ως τη μέγιστη θέση των στηριγμάτων των ποδιών.

- Μέγιστη γωνία κάμψης δεξιού γόνατος (σε μοίρες) : 75°**
- Μέγιστη γωνία κάμψης αριστερού γόνατος (σε μοίρες) : 80°**

Επιπλέον, αυτή η απάντηση σε συνδυασμό με το αποτέλεσμα της ερώτησης κλίση των ισχύων (Ανάκλιση πλάτης) θα καθορίσει:

- Χρήση Υποποδιών ή Ανυψούμενων στηριγμάτων ποδιών

- α. Όρθια μετακίνηση
- β. Καθιστή πλάγια μετακίνηση**

Αυτή η απάντηση θα καθορίσει:

- Χρήση Σταθερών υποστηριγμάτων ποδιών
- Χρήση Αποσπώμενα υποστηρίγματα βραχιόνων ή Αναδιπλούμενα προς τα πίσω υποστηρίγματα βραχιόνων

Καθώς, έχουν επιλεγθεί και οι δύο τύποι αμαξιδίων (ηλεκτρικά & χειροκίνητα) το σύστημα θα ζητήσει από τον χρήστη να επιλέξει τον τρόπο προώθησης και των δύο τύπων αμαξιδίων.

Για χειροκίνητα:

- α. Με τα χέρια**
- β. Μόνο με το δεξί χέρι
- γ. Μόνο με το αριστερό χέρι

Αυτή η απάντηση θα καθορίσει:

- Χρήση Χειρολαβών ζάντας ανοδιομένου αλουμινίου
- Χρήση Κλειδαριά πίεσης ή Κλειδαριά τραβήγματος

Για ηλεκτρικό:

α. Με το χέρι

β. Με το πιγούνι

γ. Με το κεφάλι

δ. Με τα δάκτυλα

Αυτή η απάντηση θα καθορίσει:

- Χρήση Συμβατικού χειριστηρίου

α. Σε εσωτερικούς χώρους (π.χ. σπίτι, γραφείο, σχολείο)

β. Σε εξωτερικούς χώρους

γ. Τόσο σε εσωτερικούς όσο και σε εξωτερικούς χώρους.

Αυτή η απάντηση θα καθορίσει:

- Στερεά ένθετα λάστιχα τροχίσκων
- Στερεά ένθετα λάστιχα πίσω τροχών

Επειδή έχει επιλεγεί και ο τύπος ηλεκτρικού αναπηρικού αμαξιδίου το σύστημα με την απάντηση στην παραπάνω ερώτηση θα καταχωρήσει και την ακόλουθη πληροφορία για τον τρόπο μετάδοσης κίνησης στο ηλεκτρικό αμαξίδιο.

- Κίνηση μπροστινών τροχών

α. Κάθεται στο αμαξίδιο

β. Στη θέση του οχήματος

Αυτή η απάντηση θα καθορίσει:

- Προεξοχές μεταφοράς στο πλαίσιο του αμαξιδίου

Μετά την συμπλήρωση και την υποβολή των απαντήσεων το σύστημα θα εμφανίσει τα προτεινόμενα αναπηρικά αμαξίδια, από τα οποία θα επιλέξει το ιατρικό προσωπικό σε συνεργασία με τον ασθενή ποιο κρίνεται καταλληλότερο.

Οι διαστάσεις όλων των προτεινόμενων αμαξιδίων θα είναι κοινές, καθώς εξαρτώνται από τον σωματικό τύπο του χρήστη. Παρακάτω παρουσιάζονται οι διαστάσεις των αμαξιδίων και η θέση του προσκέφαλου που θα χρησιμοποιηθεί.

- Πλάτη καθίσματος = 350 mm
- Απόσταση καθίσματος από το έδαφος = 500 mm
- Βάθος καθίσματος = 420 mm
- Ύψος πλάτη = 400 mm

- Απόσταση καθίσματος έως τη μέση προσκέφαλου = 600 mm

Επιπλέον οι συσκευές στήριξης στάσης θα είναι κοινές για όλα τα προτεινόμενα αναπηρικά αμαξίδια, οπότε για λόγους απλότητας παρατίθενται παρακάτω.

- Εσωτερικές σφήνες μηρών
- Διαχωριστικό μαξιλαράκι γονάτων
- Προσκέφαλο
- Ιμάντες ώμων, αστραγάλων, γάμπας και πελμάτων
- Δίσκος στήριξης

Παρακάτω θα παρουσιαστούν τα προτεινόμενα αναπηρικά αμαξίδια. Τα χαρακτηριστικά που αλλάζουν ακολουθούνται από ένα αστερίσκο (*), ώστε να είναι εμφανείς οι διαφορές των χαρακτηριστικών. Σημειώνεται ότι δεν θα εμφανιστούν όλοι οι δυνατοί συνδυασμοί, αλλά κάποιες ενδεικτικές επιλογές.

Πρόταση 1: Χειροκίνητο αναπηρικό αμαξίδιο με τα ακόλουθα χαρακτηριστικά.

- Αλουμινένιο πλαίσιο με προεξοχές μεταφοράς
- Πτυσσόμενο πλαίσιο*
- Ανακλινόμενη πλάτη
- Στερεά ένθετα λάστιχα τροχίσκων
- Στερεά ένθετα λάστιχα πίσω τροχών
- Χειρολαβές ζάντας ανοδιωμένου αλουμινίου
- Κλειδαριά πίεσης*
- Υποπόδια*
- Αποσπώμενα υποστηρίγματα βραχιόνων*

Πρόταση 2: Χειροκίνητο αναπηρικό αμαξίδιο με τα ακόλουθα χαρακτηριστικά.

- Αλουμινένιο πλαίσιο με προεξοχές μεταφοράς
- Άκαμπτο πλαίσιο *
- Ανακλινόμενη πλάτη
- Στερεά ένθετα λάστιχα τροχίσκων
- Στερεά ένθετα λάστιχα πίσω τροχών
- Χειρολαβές ζάντας ανοδιωμένου αλουμινίου
- Κλειδαριά τραβήγματος *
- Υποπόδια *
- Αναδιπλούμενα προς τα πίσω υποστηρίγματα βραχιόνων *

Πρόταση 3: Χειροκίνητο αναπηρικό αμαξίδιο με τα ακόλουθα χαρακτηριστικά.

- Αλουμινένιο πλαίσιο με προεξοχές μεταφοράς
- Πτυσσόμενο πλαίσιο *
- Ανακλινόμενη πλάτη
- Στερεά ένθετα λάστιχα τροχίσκων
- Στερεά ένθετα λάστιχα πίσω τροχών

- Χειρολαβές ζάντας ανοδιωμένου αλουμινίου
- Κλειδαριά πίεσης *
- Ανυψούμενα στηρίγματα ποδιών *
- Αναδιπλούμενα προς τα πίσω υποστηρίγματα βραχιόνων *

Πρόταση 4: Ηλεκτρικό αναπηρικό αμαξίδιο με τα ακόλουθα χαρακτηριστικά.

- Αλουμινένιο πλαίσιο με προεξοχές μεταφοράς
- Άκαμπτο πλαίσιο
- Ανακλινόμενη πλάτη
- Στερεά ένθετα λάστιχα τροχίσκων
- Στερεά ένθετα λάστιχα τροχών κίνησης
- Συμβατικό χειριστήριο
- Κίνηση μπροστινών τροχών
- Ανυψούμενα στηρίγματα ποδιών *
- Αποσπώμενα υποστηρίγματα βραχιόνων *

Πρόταση 5: Ηλεκτρικό αναπηρικό αμαξίδιο με τα ακόλουθα χαρακτηριστικά.

- Αλουμινένιο πλαίσιο με προεξοχές μεταφοράς
- Άκαμπτο πλαίσιο
- Ανακλινόμενη πλάτη
- Στερεά ένθετα λάστιχα τροχίσκων
- Στερεά ένθετα λάστιχα τροχών κίνησης
- Συμβατικό χειριστήριο
- Κίνηση μπροστινών τροχών
- Υποπόδια *
- Αποσπώμενα υποστηρίγματα βραχιόνων *

Πρόταση 6: Ηλεκτρικό αναπηρικό αμαξίδιο με τα ακόλουθα χαρακτηριστικά.

- Αλουμινένιο πλαίσιο με προεξοχές μεταφοράς
- Άκαμπτο πλαίσιο
- Ανακλινόμενη πλάτη
- Στερεά ένθετα λάστιχα τροχίσκων
- Στερεά ένθετα λάστιχα τροχών
- Συμβατικό χειριστήριο
- Κίνηση μπροστινών τροχών κίνησης
- Υποπόδια *
- Αναδιπλούμενα προς τα πίσω υποστηρίγματα βραχιόνων *

Στη σελίδα που το σύστημα θα εμφανίζει τα προτεινόμενα αναπηρικά αμαξίδια θα εμφανίζει στον χρήστη και φίλτρα για τα χαρακτηριστικά που έχουν αστερίσκο (*). Σκοπός των φίλτρων είναι ο αποκλεισμός ορισμένων προτάσεων, ώστε να είναι δυνατή η επιλογή του προτιμητέου αμαξιδίου. Στο συγκεκριμένο παράδειγμα θα εμφανίζει τα ακόλουθα φίλτρα.

Τύπος αμαξιδίου

- Χειροκίνητο
- Ηλεκτρικό

Τύπος υποστηριγμάτων βραχιόνων

- Αποσπώμενα
- Αναδιπλούμενα προς τα πίσω

Τύπος υποστηριγμάτων ποδιών

- Υποπόδια
- Ανυψούμενα στηρίγματα ποδιών

Αν επιλεχθεί η επιλογή χειροκίνητου αμαξιδίου θα εμφανιστούν άλλα δύο φίλτρα που αφορούν αυτόν τον τύπο αμαξιδίων.

Τύπος πλαισίου

- Πτυσσόμενο
- Άκαμπτο

Τύπος φρένων

- Κλειδαριά τραβήγματος
- Κλειδαριά πίεσης

Με αυτόν τον τρόπο, το εξειδικευμένο ιατρικό προσωπικό θα μπορέσει να επιλέξει το/α αμαξίδιο/α που θεωρεί καταλληλότερα για τον χρήστη και να του τα προτείνει. Είναι σημαντικό να σημειωθεί ότι η τελική επιλογή αναπηρικού αμαξιδίου θα βασιστεί κατά κύριο λόγο στην κρίση του ιατρικού προσωπικού, καθώς αυτό έχει τις γνώσεις για να καθορίσει ποιο είναι καταλληλότερο για τον ασθενή. Ωστόσο, η επιλογή θα πρέπει να γίνει μαζί με τον ασθενή, ώστε να ληφθούν υπόψη προσωπικοί παράγοντες, όπως η οικονομική δυνατότητα, κατά την επιλογή του αναπηρικού αμαξιδίου.

Κεφάλαιο 5 ΣΥΜΠΕΡΑΣΜΑΤΑ – ΠΡΟΤΑΣΕΙΣ

Η βιομηχανική ανάπτυξη έχει διαδραματίσει σημαντικό ρόλο στην ανθρώπινη ιστορία, καθώς έχει βοηθήσει στη βελτίωση των συνθηκών διαβίωσης της ανθρωπότητας. Κάθε στάδιο της βιομηχανικής ανάπτυξης επέφερε νέους επιστημονικούς και τεχνολογικούς κλάδους, οι οποίοι εισήγαγαν καινοτόμες τεχνολογίες για τη βελτίωση της αποδοτικότητας και της αποτελεσματικότητας των παραγωγικών διαδικασιών, αλλά και της διευκόλυνσης της καθημερινότητας των ανθρώπων. Ωστόσο, η μονόπλευρη εστίαση στην τεχνολογία για την επίτευξη μεγαλύτερης παραγωγικότητας οδήγησε στην παραμέληση του ανθρώπινου και περιβαλλοντικού παράγοντα στις παραγωγικές διαδικασίες.

Το νέο στάδιο της βιομηχανικής ανάπτυξης, ονομαζόμενο Βιομηχανία 5.0, θα αποτελέσει το νέο βιομηχανικό πρότυπο, το οποίο θα απομακρυνθεί από την μονόπλευρη εξέλιξη της τεχνολογίας και θα δώσει έμφαση στις κοινωνικές και περιβαλλοντικές αξίες. Χαρακτηριστικά γνωρίσματα αυτού του νέου βιομηχανικού προτύπου θα αποτελέσουν ο ανθρωποκεντρισμός, η βιωσιμότητα και η ανθεκτικότητα. Μέσω των τριών αυτών πυλώνων η Βιομηχανία 5.0 θα επαναφέρει τον ανθρώπινο παράγοντα στο επίκεντρο των παραγωγικών διαδικασιών, θα εστιάσει στην ανάπτυξη τεχνικών προστασίας του περιβάλλοντος και θα μετασχηματίσει τις αλυσίδες αξίας για την αύξηση της ανθεκτικότητάς τους. Στη Βιομηχανία 5.0 ο ανθρώπινος παράγοντας και η ανάπτυξη συνεργασίας μεταξύ ανθρώπων και μηχανών θα έχουν καθοριστικό ρόλο για την επίλυση των μελλοντικών κοινωνικών και περιβαλλοντικών προκλήσεων. Συνεπώς, η Βιομηχανία 5.0 θα ωφελήσει εξίσου σημαντικά το βιομηχανικό, κοινωνικό και ατομικό σύνολο. Ωστόσο, η εφαρμογή της θα παρουσιάσει σημαντικές προκλήσεις, οι οποίες θα πρέπει να αντιμετωπιστούν προκειμένου να επιτύχει τους στόχους της.

Βασικό στοιχείο της Βιομηχανίας 5.0 θα αποτελέσει η πλήρης ικανοποίηση των αναγκών των καταναλωτών. Για την επίτευξη αυτού του στόχου θα χρησιμοποιηθούν τα κατασκευαστικά πρότυπα της μαζικής προσαρμογής και της μαζικής εξατομίκευσης. Το ήδη υπάρχον πρότυπο της μαζικής προσαρμογής θα υιοθετηθεί από τη Βιομηχανία 5.0 και θα εξελιχθεί στο πρότυπο της υπέρ-προσαρμογής, με τη βελτίωση των ικανοτήτων των ανθρώπινων εργαζομένων και την αξιοποίηση της συνεργασίας μεταξύ ανθρώπων και έξυπνων μηχανών. Με αυτόν τον τρόπο, θα παρέχεται ακόμα μεγαλύτερη ποικιλία επιλεγόμενων χαρακτηριστικών στα προϊόντα που θα επιτρέψει την πλήρη ή σε μεγάλο βαθμό ικανοποίηση των ατομικών αναγκών και την έκφραση της ατομικότητας των καταναλωτών. Παράλληλα, το κατασκευαστικό πρότυπο της μαζικής εξατομίκευσης που θα αναπτυχθεί από τη Βιομηχανία 5.0 θα στοχεύσει στην πλήρη ικανοποίηση των πελατών με την εξαρχής κατασκευή εξατομικευμένων προϊόντων, σύμφωνα με τις προσωπικές προτιμήσεις κάθε καταναλωτή. Για την αντιμετώπιση των προκλήσεων διαμοιρασμού και παροχής των παραγόμενων εξατομικευμένων προϊόντων η Βιομηχανία 5.0 θα δημιουργήσει το πρότυπο της Εφοδιαστικής Αλυσίδας 5.0. Χαρακτηριστικό αυτού του προτύπου θα αποτελέσει

η εισαγωγή προηγμένων τεχνολογιών και η ανάπτυξη συνεργασίας μεταξύ ανθρώπων και μηχανών στις εφοδιαστικές αλυσίδες.

Η Βιομηχανία 5.0 θα αξιοποιήσει σε μεγάλο βαθμό τον ψηφιακό μετασχηματισμό και τις τεχνολογίες αιχμής που εισήγαγε η Βιομηχανία 4.0. Ωστόσο, θα δώσει μεγαλύτερη έμφαση στην εκμετάλλευση αυτών των τεχνολογιών για την επίλυση κοινωνικών και περιβαλλοντικών ζητημάτων. Αυτό θα έχει ως αποτέλεσμα η Βιομηχανία 5.0 να επεκτείνει τα χαρακτηριστικά γνωρίσματα της Βιομηχανίας 4.0 και να καταστήσει την βιομηχανία πιο ανθρωποκεντρική, βιώσιμη και ανθεκτική. Επιπλέον, η καινοτομία και η εξέλιξη της τεχνολογίας θα έχουν βασικό ρόλο στη Βιομηχανία 5.0 για την αντιμετώπιση των αναδυόμενων προκλήσεων. Μεγάλη σημασία θα έχει η εξέλιξη της τεχνητής νοημοσύνης και της μηχανικής μάθησης, καθώς θα κριθούν απαραίτητες για την επίτευξη συνεργασίας μεταξύ ανθρώπων και τεχνολογίας.

Στη μελέτη περίπτωσης της συγκεκριμένης εργασίας αναπτύχθηκε ένα σύστημα για την παραγωγή εξατομικευμένων αναπηρικών αμαξιδίων που θα μπορούσε να εφαρμοστεί ως ένα παραγωγικό σύστημα στο πρότυπο της Βιομηχανίας 5.0. Για την ανάπτυξη του συστήματος δημιουργήθηκε ένα διάγραμμα ροής, το οποίο δείχνει τα βήματα που θα ακολουθηθούν για την παραγγελία του εξατομικευμένου αναπηρικού αμαξιδίου. Στη συνέχεια, δημιουργήθηκαν δέντρα αποφάσεων αποτελούμενα από τα πιθανά χαρακτηριστικά που θα μπορούν να προστεθούν στο εξατομικευμένο αναπηρικό αμαξίδιο με βάση τις ατομικές ανάγκες και προτιμήσεις του εκάστοτε καταναλωτή. Για την εύρεση των απαιτούμενων χαρακτηριστικών του αναπηρικού αμαξιδίου σχεδιάστηκε ένα ερωτηματολόγιο, το οποίο περιέχει ερωτήσεις με τα ανθρωπομετρικά στοιχεία του ασθενή και με το επιθυμητό είδος χρήσης του αναπηρικού αμαξιδίου. Στόχος του συστήματος θα είναι μέσω των δέντρων αποφάσεων, η κωδικοποίηση των απαντήσεων του ερωτηματολογίου ως χαρακτηριστικά των εξατομικευμένων αναπηρικών αμαξιδίων. Με αυτόν τον τρόπο το σύστημα στο τέλος της διαδικασίας θα εμφανίζει προτεινόμενα εξατομικευμένα αναπηρικά αμαξίδια που θα ικανοποιούν τις ατομικές ανάγκες του καταναλωτή. Τέλος, από τα προτεινόμενα αναπηρικά αμαξίδια θα είναι δυνατή η επιλογή του ιδανικότερου.

Μερικές προτάσεις για περαιτέρω έρευνα αφορούν τον καθορισμό των χαρακτηριστικών και των στοιχείων της Βιομηχανίας 5.0, καθώς βρίσκεται ακόμα σε πρώιμο στάδιο, με αποτέλεσμα να μην υπάρχει μία συγκροτημένη και κοινή κατεύθυνση. Επιπλέον, το ζήτημα της συνεργασίας μεταξύ ανθρώπων και μηχανών, που με βάση την υπάρχουσα βιβλιογραφία θα αποτελέσει σημαντικό στοιχείο της Βιομηχανίας 5.0, θα πρέπει να διερευνηθεί περαιτέρω, ώστε να καθοριστούν τεχνολογικά και νομοθετικά πρότυπα με βάση τα οποία θα είναι δυνατή η επίτευξη μίας τέτοιας συνεργασίας. Άλλη μία πρόταση για περαιτέρω έρευνα αφορά το κατασκευαστικό πρότυπο της μαζικής εξατομικεύσης, όπου θα πρέπει να οριστούν μεθοδολογίες σύμφωνα με τις οποίες θα είναι δυνατή η εφαρμογή της και ο τρόπος με τον οποίο οι εφοδιαστικές αλυσίδες θα είναι σε θέση να αντιμετωπίσουν την αυξανόμενη ζήτηση εξατομικευμένων προϊόντων. Κλείνοντας, με την εξέλιξη της τεχνολογίας των αναπηρικών αμαξιδίων θα είναι δυνατός ο εμπλουτισμός του πλάνου που αναπτύχθηκε στην παρούσα εργασία με επιπλέον χαρακτηριστικά που θα μπορούσαν να προστεθούν στα αναπηρικά

αμαξίδια. Μερικά από αυτά θα μπορούσε να είναι η διερεύνηση του τρόπου διαχείρισης των παραγγελιών, το κόστος αγοράς του αμαξιδίου και η ασφάλεια των αμαξιδίων.

ΒΙΒΛΙΟΓΡΑΦΙΑ

[1] Howard, E. (2018, September 5). *The Evolution of the Industrial Ages: Industry 1.0 to 4.0*.

<https://www.linkedin.com/pulse/evolution-industrial-ages-industry-10-40-christian-hidayat-ssi-apt-/>

[2] Dima, A. (2022, October 28). *Short history of manufacturing: from Industry 1.0 to Industry 4.0*. KFactory.

<https://kfactory.eu/short-history-of-manufacturing-from-industry-1-0-to-industry-4-0-2/>

[3] George, A., & George, A. (2020). INDUSTRIAL REVOLUTION 5.0: THE TRANSFORMATION OF THE MODERN MANUFACTURING PROCESS TO ENABLE MAN AND MACHINE TO WORK HAND IN HAND. *Seybold Report*, 15(9), 214–234.

<https://doi.org/10.5281/zenodo.6548092>

[4] Rinalducci, S. N. (2022, October 19). *Industry 1.0 to 4.0 - Brief History of the Industrial Revolution*. Sustainability Success.

<https://sustainability-success.com/industry-1-0-to-4-0-2-3-revolution/>

[5] Wilkinson, F. (2022, June 2). *Industrialization, Labor, and Life*. NATIONAL GEOGRAPHIC.

<https://education.nationalgeographic.org/resource/industrialization-labor-and-life/10th-grade/>

[6] Wikipedia contributors. (2023b, March 21). *Industrial Revolution*. Wikipedia.

https://en.wikipedia.org/wiki/Industrial_Revolution

[7] Chen, J. (2022, October 2). *Industrial Revolution Definition: History, Pros, and Cons*. Investopedia.

<https://www.investopedia.com/terms/i/industrial-revolution.asp>

[8] Columbus. (2019, 10 October). *Role of Humans in Industry 5.0*.

<https://www.columbusglobal.com/en/blog/role-of-humans-in-industry-5.0>

[9] M. (2020, June 23). *The Industrial Revolution; from Industry 1.0 to Industry 4.0*. DiConnex.

<https://diconnex.com/en/blog/2020/06/23/the-industrial-revolution/>

[10] Sheth, J. (2018, June 26). *The Industrial Revolution from Industry 1.0 to 5.0! Supply Chain Game Changer*™.

<https://supplychaingamechanger.com/the-industrial-revolution-from-industry-1-0-to-industry-5-0/>

[11] Tools, D. (2018, May 6). *Industrial Revolution - From Industry 1.0 to Industry 4.0*. Desoutter Industrial Tools.

<https://www.desouttertools.com/your-industry/news/503/industrial-revolution-from-industry-1-0-to-industry-4-0>

[12] Richmond Vale Academy. (2022, May 16). *The Second Industrial Revolution: The technological Revolution*.

<https://richmondvale.org/blog/second-industrial-revolution/>

[13] Wikipedia contributors. (2023, February 17). *Second Industrial Revolution*. Wikipedia.

https://en.wikipedia.org/wiki/Second_Industrial_Revolution

[14] Emnify. (2021, July 15). *An Introduction to Industry 4.0*. Emnify Blog.

<https://www.emnify.com/blog/industry-4-0>

[15] Wikipedia contributors. (2023, March 17). *Fourth Industrial Revolution*. Wikipedia.

https://en.wikipedia.org/wiki/Fourth_Industrial_Revolution

[16] Dalenogare, L. S., Benitez, G. B., Ayala, N. F., & Frank, A. G. (2018). The expected contribution of Industry 4.0 technologies for industrial performance. *International Journal of Production Economics*, 204, 383–394.

<https://doi.org/10.1016/j.ijpe.2018.08.019>

[17] ESSENTRA COMPONENTS. (2023, January 26). *Industry 4.0 vs Industry 5.0: what's the difference?*.

<https://www.essentracomponents.com/en-gb/news/trends/industry-40/is-industry-5-0-really-all-that-different-from-industry-4-0>

[18] Xu, X., Vogel-Heuser, B., & Wang, L. (2021). Industry 4.0 and Industry 5.0—Inception, conception and perception. *Journal of Manufacturing Systems*, 61, 530–535.

<https://doi.org/10.1016/j.jmsy.2021.10.006>

[19] European Commission, Directorate-General for Research and Innovation, Breque, M., De Nul, L., Petridis, A. (2021). *Industry 5.0 : towards a sustainable, human-centric and resilient European industry*, Publications Office.

<https://data.europa.eu/doi/10.2777/308407>

[20] European Commission, Directorate-General for Research and Innovation, Renda, A., Schwaag Serger, S., Tataj, D. (2022). *Industry 5.0, a transformative vision for Europe : governing systemic transformations towards a sustainable industry*, Publications Office of the European Union.

<https://data.europa.eu/doi/10.2777/17322>

[21] European Commission, Directorate-General for Research and Innovation, Müller, J. (2020). *Enabling Technologies for Industry 5.0 : results of a workshop with Europe's technology leaders*, Publications Office.

<https://data.europa.eu/doi/10.2777/082634>

[22] Chander, B., Pal, S., De, D., & Buyya, R. (2022). Artificial Intelligence-based Internet of Things for Industry 5.0. *Springer EBooks*, 3–45.

https://doi.org/10.1007/978-3-030-87059-1_1

[23] Akundi, A., Euresti, D., Luna, S., Ankobiah, W., Lopes, A. J., & Edinbarough, I. (2022). State of Industry 5.0—Analysis and Identification of Current Research Trends. *Applied System Innovation*, 5(1), 27.

<https://doi.org/10.3390/asi5010027>

[24] Maddikunta, P. K. R., Pham, Q., Prabadevi, B., Deepa, N., Dev, K., Gadekallu, T. R., Ruby, R., & Liyanage, M. (2022). Industry 5.0: A survey on enabling technologies and potential applications. *Journal of Industrial Information Integration*, 26, 100257.

<https://doi.org/10.1016/j.jii.2021.100257>

[25] López, E. J., Jiménez, F. J., Sandoval, G. J., Estrella, F. J., Monteón, M., Muñoz, F. O., & Leyva, P. (2022). Technical Considerations for the Conformation of Specific

Competences in Mechatronic Engineers in the Context of Industry 4.0 and 5.0. *Processes*, 10(8), 1445.

<https://doi.org/10.3390/pr10081445>

[26] Sigga TECHNOLOGIES. (n.d.). *The leap from Industry 4.0 to Industry 5.0*.

<https://www.sigga.com/blog/industry-4.0-to-industry-5.0>

[27] Atwell, C. (2017, September 12) *Yes, Industry 5.0 is Already on the Horizon*. Machine Design.

<https://www.machinedesign.com/automation-iiot/article/21835933/yes-industry-50-is-already-on-the-horizon>

[28] Demir, K., Döven, G., & Sezen, B. (2019). Industry 5.0 and Human-Robot Co-working. *Procedia Computer Science*, 158, 688–695.

<https://doi.org/10.1016/j.procs.2019.09.104>

[29] Frederico, G. F. (2021). From Supply Chain 4.0 to Supply Chain 5.0: Findings from a Systematic Literature Review and Research Directions. *Logistics*, 5(3), 49.

<https://doi.org/10.3390/logistics5030049>

[30] ØSTERGAARD, E.H. (2016, May 13). *INDUSTRY 5.0 – RETURN OF THE HUMAN TOUCH*. UNIVERSAL ROBOTS.

<https://www.universal-robots.com/fi/blogi/industry-50-return-of-the-human-touch/>

[31] Kiran, D., Sharma, I., & Garg, I. (2020). Industry 5.0 And Smart Cities: A Futuristic Approach. *European Journal of Molecular & Clinical Medicine*, 7(8), 2750–2756.

https://ejmcm.com/article_4786_fecb7ce33d6d11d7edb41c14e699c263.pdf

[32] Haleem, A., & Javaid, M. (2019). Industry 5.0 and its applications in orthopaedics. *Journal of Clinical Orthopaedics and Trauma*, 10(4), 807–808.

<https://doi.org/10.1016/j.jcot.2018.12.010>

[33] Hu, S. J. (2013). Evolving Paradigms of Manufacturing: From Mass Production to Mass Customization and Personalization. *Procedia CIRP*, 7, 3–8.

<https://doi.org/10.1016/j.procir.2013.05.002>

[34] Ahelerooff, S., Mostashiri, N., Xu, X., & Zhong, R. Y. (2021). Mass Personalization as a Service in Industry 4.0: A Resilient Response Case Study. *Advanced Engineering Informatics*, 50, 101438.

<https://doi.org/10.1016/j.aei.2021.101438>

[35] Pizoń, J., & Gola, A. (2023). Human–Machine Relationship—Perspective and Future Roadmap for Industry 5.0 Solutions. *Machines*, 11(2), 203.

<https://doi.org/10.3390/machines11020203>

[36] Khan, M., Haleem, A., & Javaid, M. (2023). Changes and improvements in Industry 5.0: A strategic approach to overcome the challenges of Industry 4.0. *Green Technologies and Sustainability*, 1(2), 100020.

<https://doi.org/10.1016/j.grets.2023.100020>

[37] Škrijelj, R., & Duzgun, E. (2021). *Academic Studies in Humanities and Social Sciences*. Livre de Lyon.

https://www.bookchapter.org/kitaplar/AcademicStudies_inHumanitiesAndSocialSciences.pdf#page=198

[38] Neights, G. (2020). Industry 5.0 and the Supply Chain. *Talking Logistics*.

<https://talkinglogistics.com/2020/08/11/industry-5-0-supply-chain/>

[39] Frederico, G. F. (2020, April 3). *Supply Chain 5.0 – The Reconciliation between Humans and Machines!* Supply Chain Management Review.

https://www.scmr.com/article/supply_chain_5.0_the_reconciliation_between_humans_and_machines

[40] redlogik. (n.d.) *The Futuristic Journey of Logistics - From Industry 4.0 to Industry 5.0*.

<https://www.redlogik.com/media/the-futuristic-journey-of-logistics-from-industry-4-0-to-industry-5-0>

[41] Mareana. (2022, January 24). *Supply Chain 4.0 vs Supply Chain 5.0 — Why Data Remains Key*.

<https://mareana.com/supply-chain-4-0-vs-supply-chain-5-0-why-data-remains-key/>

[42] Bilogistik, S.A.. (2021, July 23). *Logistics 5.0, a resilient technology serving humans*.

<https://www.bilogistik.com/en/blog/logistics-5-0-resilient-technology-serving-humans/>

[43] Nahavandi, S. (2019). Industry 5.0—A Human-Centric Solution. *Sustainability*, 11(16), 4371.

<https://doi.org/10.3390/su11164371>

[44] Freedom Care. (n.d.). *The Best Wheelchair Guide - Freedom Care*.

<https://freedomcare.com/types-of-wheelchairs/>

[45] DiGiovine, C. P. (2014, February 4). *Wheelchair*. Encyclopedia Britannica.

<https://www.britannica.com/topic/wheelchair>

[46] Godfrey, L. (2020). *Types of Power Wheelchair: Front-Wheel, Mid-Wheel & Rear-Wheel*. Innova Care Concepts.

<https://www.innovacareconcepts.com/en/blog/power-wheelchair-types/>

[47] Mobilitybasics.ca. (n.d.). *Lightweight Manual Wheelchairs*.

<https://mobilitybasics.ca/wheelchairs/lightweight>

[48] Mobilitybasics.ca. (n.d.). *Miscellaneous Wheelchair Options*.

<https://mobilitybasics.ca/wheelchairs/manualoptions>

[49] Mobilitybasics.ca. (n.d.). *One Arm Drive Manual Wheelchairs*.

<https://mobilitybasics.ca/wheelchairs/onearmdrives>

[50] Physiopedia. (n.d.). *Postural Support Devices*.

https://www.physio-pedia.com/Postural_Support_Devices

[51] Mobilitybasics.ca. (n.d.). *Power Wheelchair Joystick Mounts*.

<https://mobilitybasics.ca/wheelchairs/joystickmounts>

[52] Mobilitybasics.ca. (n.d.). *Rigid Manual Wheelchairs*.

<https://mobilitybasics.ca/wheelchairs/rigid>

[53] Mobilitybasics.ca. (n.d.). *Safety Items - Wheelchair Accessories*.

<https://mobilitybasics.ca/wheelchairs/safetyaccessories>

[54] Mobilitybasics.ca. (n.d.). *Manual Wheelchair Frames*.

<https://mobilitybasics.ca/wheelchairs/frames>

[55] Mobilitybasics.ca. (n.d.). *Manual Wheelchair Wheels*.

<https://mobilitybasics.ca/wheelchairs/rearwheels>

[56] Mobilitybasics.ca. (n.d.). *Power Wheelchair Drive Controls*.

<https://mobilitybasics.ca/wheelchairs/drivecontrols>

[57] Mobilitybasics.ca. (n.d.). *Wheelchair Armrests*.

<https://mobilitybasics.ca/wheelchairs/armrests>

[58] Mobilitybasics.ca. (n.d.). *Wheelchair Casters*.

<https://mobilitybasics.ca/wheelchairs/casters>

[59] Mobilitybasics.ca. (n.d.). *Wheelchair Footrest Information*.

<https://mobilitybasics.ca/wheelchairs/footrests>

[60] Mobilitybasics.ca. (n.d.). *Wheelchair Handrims*.

<https://mobilitybasics.ca/wheelchairs/handrims>

[61] Mobilitybasics.ca. (n.d.). *Wheelchair Wheel Locks*.

<https://mobilitybasics.ca/wheelchairs/wheellocks>

[62] Mobilitybasics.ca. (n.d.). *Ultralight Folding Wheelchairs*.

<https://mobilitybasics.ca/wheelchairs/lightadjustable>

[63] Physiopedia. (n.d.). *Types of Wheelchair*.

https://www.physio-pedia.com/Types_of_Wheelchair

[64] Physiopedia. (n.d.). *Wheelchair Accessories*.

https://www.physio-pedia.com/Wheelchair_Accessories

[65] Physiopedia. (n.d.). *Wheelchair Assessment - Assessment Interview*.

[https://www.physio-pedia.com/Wheelchair_Assessment -
Assessment Interview](https://www.physio-pedia.com/Wheelchair_Assessment_-_Assessment_Interview)

[66] Physiopedia. (n.d.). *Wheelchair Assessment - Body Measurements*.

[https://www.physio-pedia.com/Wheelchair_Assessment -
Body Measurements](https://www.physio-pedia.com/Wheelchair_Assessment_-_Body_Measurements)

[67] Physiopedia. (n.d.). *Wheelchair Fitting*.

https://www.physio-pedia.com/Wheelchair_Fitting

[68] Physiopedia. (n.d.). *Wheelchair Prescription*.

https://www.physio-pedia.com/Wheelchair_Prescription

[69] Physiopedia. (n.d.). *Wheelchair Skills*.

[https://www.physio-pedia.com/Wheelchair Skills](https://www.physio-pedia.com/Wheelchair_Skills)