



ΠΑΝΕΠΙΣΤΗΜΙΟ ΠΕΙΡΑΙΩΣ

**ΣΧΟΛΗ ΤΕΧΝΟΛΟΓΙΩΝ ΠΛΗΡΟΦΟΡΙΚΗΣ
ΚΑΙ ΤΗΛΕΠΙΚΟΙΝΩΝΙΩΝ ΤΜΗΜΑ
ΠΛΗΡΟΦΟΡΙΚΗΣ**

ΠΤΥΧΙΑΚΗ ΕΡΓΑΣΙΑ

**Τεχνητή νοημοσύνη και 3d
Εκτύπωση στην 4η Βιομηχανική Επανάσταση**

ΣΤΑΥΡΟΥΛΑΚΗΣ ΙΩΑΝΝΗΣ Π14173

**Επιβλέπων Καθηγητής
Αποστόλου Δημήτριος, Καθηγητής**

ΠΕΙΡΑΙΑΣ

ΙΟΥΝΙΟΣ

2023

ΠΤΥΧΙΑΚΗ ΕΡΓΑΣΙΑ

ΠΕΡΙΛΗΨΗ

Στο πρώτο κεφάλαιο γίνεται η ιστορική αναδρομή των βιομηχανικών επαναστάσεων, αφού πρώτα επιχειρείται η εννοιοδότηση του όρου «βιομηχανική επανάσταση». Συγκεκριμένα γίνεται μια ανάλυση της κάθε περιόδου και της εξέλιξης της τεχνολογίας σε καθεμία από αυτές.

Στο δεύτερο κεφάλαιο, αναλύεται η τεχνολογία της 3d εκτύπωσης. Αρχικά το εν λόγω κεφάλαιο εισάγει τον αναγνώστη στη γενική έννοια της εκτύπωσης καθώς και αυτής μέσω υπολογιστή, η οποία πλέον είναι ευρέως διαδεδομένη. Κατόπιν, με τη μελέτη μέσω της βιβλιογραφίας της τρισδιάστατης εκτύπωσης, τεκμηριώνεται ο τρόπος λειτουργίας της, οι τύποι τεχνολογιών της, ενώ δίνεται ιδιαίτερη έμφαση στις εφαρμογές, στα πλεονεκτήματα και τις προκλήσεις αυτής.

Το τρίτο κεφάλαιο έχει ως αντικείμενο μελέτης την έτερη τεχνολογία του θέματος της εργασίας, την τεχνητή νοημοσύνη. Και σε αυτό, ομοίως με το προηγούμενο, γίνεται ενδελεχής ανάλυση ξεκινώντας από τον ορισμό και την ιστορική εξέλιξη της συγκεκριμένης έννοιας και ακολουθεί η παράθεση των κύριων τεχνικών, των εφαρμογών της σε διάφορους τομείς και των πλεονεκτημάτων αυτής.

Το επόμενο κεφάλαιο επικεντρώνεται στη διασύνδεση της Τέταρτης Βιομηχανικής Επανάστασης με τις τεχνολογίες της τρισδιάστατης εκτύπωσης και της τεχνητής νοημοσύνης. Αναλυτικότερα, δίδονται βάσει της βιβλιογραφίας τα στοιχεία της Τέταρτης Βιομηχανικής Επανάστασης και ειδικότερα οι τεχνολογίες αυτής καθώς και τα CPS συστήματα. Έπεται η έρευνα σχετικά με το πώς συνδέεται και εφαρμόζεται αφενός η τρισδιάστατη εκτύπωση αφετέρου η τεχνητή νοημοσύνη με τη βιομηχανική επανάσταση, με πυλώνα τα στοιχεία και τις πληροφορίες που έχουν συλλεχθεί και παρουσιαστεί στα παραπάνω κεφάλαια. Για την καλύτερη κατανόηση παρατίθενται και αντίστοιχα παραδείγματα.

Στο τελευταίο κεφάλαιο, παρουσιάζονται τα τελικά συμπεράσματα της εργασίας, δίνοντας όμως έμφαση στις προκλήσεις και αδυναμίες που καλείται η ανθρωπότητα να αντιμετωπίσει μπροστά στο φάσμα των τεχνολογικών και μετασχηματιστικών εξελίξεων.

Λέξεις κλειδιά: Βιομηχανική Επανάσταση, 3d printing, τεχνητή νοημοσύνη, εκμάθηση, κατασκευή πρωτοτύπων, τεχνολογία

ABSTRACT

The first chapter provides a historical review of the industrial revolutions, after first attempting to define the term "industrial revolution". In particular, an analysis is made of each period and the development of technology in each of them.

In the second chapter, the technology of 3d printing is analysed. Initially, this chapter introduces the reader to the general concept of printing as well as computer-based printing, which is now widespread. Then, by studying through the literature 3D printing, its mode of operation, its types of technologies are documented, while special emphasis is placed on its applications, advantages and challenges.

The third chapter is devoted to the study of the other technology of the subject of the thesis, artificial intelligence. In this chapter, as in the previous one, a thorough analysis is carried out, starting with the definition and historical development of this concept, followed by a list of its main techniques, its applications in various fields and its advantages.

The next chapter focuses on the link between the Fourth Industrial Revolution and the technologies of 3D printing and artificial intelligence. More specifically, based on the literature, the elements of the Fourth Industrial Revolution and in particular its technologies and CPS systems are given. This is followed by the research on how 3D printing on the one hand and artificial intelligence on the other hand are related and applied to the industrial revolution, based on the data and information collected and presented in the above chapters. For a better understanding, corresponding examples are also provided.

In the last chapter, the final conclusions of the work are presented, but with an emphasis on the challenges and weaknesses that humanity is called upon to face in the face of the range of technological and transformational developments.

Keywords: Industrial Revolution, 3d printing, artificial intelligence, artificial intelligence, learning, prototyping, technology

Κατάλογος εικόνων

Εικ. 2.1: FDM τεχνολογία.....	20
Εικ. 2.2: Η τεχνολογία SLS.....	23
Εικ. 2.3: Η τεχνολογία Binder Jetting.....	25
Εικ. 2.4: Αρθρωτή δοκός από σκυρόδεμα κατασκευασμένη με τρισδιάστατη εκτύπωση μήκους 3 μέτρων.....	31
Εικ. 3.1: Εφαρμογές της ΑΙ.....	39
Εικ. 4.1: Οι τεχνολογίες της Τέταρτης Βιομηχανικής Επανάστασης.....	44

Κατάλογος γραφημάτων

Γράφημα 4.1: Η αγορά του 3d printing και οι προβλέψεις για τα μελλοντικά έτη.....	54
Γράφημα 4.2: Η χρήση της τρισδιάστατης εκτύπωσης σε κράτη – μέλη της ΕΕ σε εταιρίες με 10 και άνω εργαζομένους	55
Γράφημα 4.3: Οι χρήσεις σε παγκόσμιο επίπεδο την τριετία 2017–2019-2021.....	57
Γράφημα 4.4: Μέσος αριθμός δυνατοτήτων ΑΙ που χρησιμοποιούν οι οργανισμοί...	62
Γράφημα 4.5: Δυνατότητες ΑΙ που χρησιμοποιούν οι οργανισμοί.....	63
Γράφημα 4.6: Μετατόπιση επενδύσεων επιχειρήσεων.....	64
Γράφημα 4.7: Η αγορά ΑΙ ανά ήπειρο.....	65

Περιεχόμενα

ΠΕΡΙΛΗΨΗ.....	i
ABSTRACT	ii
Κατάλογος εικόνων	iii
Κατάλογος γραφημάτων	iv
Περιεχόμενα	v
ΕΙΣΑΓΩΓΗ.....	1
ΚΕΦΑΛΑΙΟ 1	2
1.1 Ορισμός της έννοιας βιομηχανική επανάσταση.....	2
1.2 Η ιστορία των βιομηχανικών επαναστάσεων	2
1.2.1 Η πρώτη Βιομηχανική Επανάσταση.....	2
1.2.2 Η δεύτερη Βιομηχανική Επανάσταση	4
1.2.3 Η τρίτη Βιομηχανική Επανάσταση.....	7
1.2.4 Η τέταρτη Βιομηχανική Επανάσταση.....	9
ΚΕΦΑΛΑΙΟ 2	11
2.1 Σύντομη ιστορική αναδρομή της εκτύπωσης.....	11
2.2 Εκτύπωση μέσω υπολογιστή.....	12
2.2.1 Τύποι τεχνολογιών εκτύπωσης μέσω υπολογιστή	12
2.2.2 Η επίδραση της τεχνολογίας εκτύπωσης μέσω υπολογιστή	13
2.3 Η τρισδιάστατη εκτύπωση (ή 3D printing).....	15
2.3.1 Η ιστορία της τρισδιάστατης εκτύπωσης.....	15
2.3.2 Η λειτουργία του 3D printing.....	16
2.3.3 Τύποι τεχνολογιών τρισδιάστατης εκτύπωσης.....	17
2.3.3.1 Τεχνολογία FDM	18
2.3.3.2 Τεχνολογία SLA	20
2.3.3.3 Τεχνολογία SLS.....	22
2.3.3.4 Τεχνολογία Binder Jetting.....	23
2.3.3.5 Τεχνολογία Blind Jetting.....	25
2.3.3.6 Τεχνολογία DED.....	26
2.3.3.7 Τεχνολογία LOM.....	27
2.3.4 Εφαρμογές της τρισδιάστατης εκτύπωσης.....	28
2.3.5 Πλεονεκτήματα και προκλήσεις της τρισδιάστατης εκτύπωσης	31

ΚΕΦΑΛΑΙΟ 3	33
3.1 Ορισμός Τεχνητής Νοημοσύνης	33
3.2 Ιστορική εξέλιξη της ΑΙ	33
3.3 Κύριες τεχνικές της ΑΙ.....	35
3.4 Εφαρμογές της ΑΙ.....	36
3.5 Πλεονεκτήματα της χρήσης ΑΙ	39
3.6 Συνδυασμός χρήσης ΑΙ και 3d	40
3.6.1 Παραδείγματα εταιριών που συνδυάζουν ΑΙ και τρισδιάστατη εκτύπωση	42
ΚΕΦΑΛΑΙΟ 4	45
4.1 Η εποχή της Τέταρτης Βιομηχανικής Επανάστασης.....	45
4.1.1 Οι τεχνολογίες της Τέταρτης Βιομηχανικής Επανάστασης	46
4.1.2 CPS, η βάση της Βιομηχανικής Επανάστασης 4.0.....	48
4.2 Η τρισδιάστατη εκτύπωση στην εποχή της Τέταρτης Βιομηχανικής Επανάστασης	50
4.2.1 Μελέτη της χρήσης 3D εκτύπωσης στην αγορά	54
4.2.2 Παραδείγματα χρήσης της 3d εκτύπωσης στο πλαίσιο της Βιομηχανικής Επανάστασης 4.0.....	58
4.3 Η τεχνητή νοημοσύνη στην Τέταρτη Βιομηχανική Επανάσταση	59
4.3.1 Ανάλυση της χρήσης ΑΙ στη σημερινή οικονομία	61
4.3.2 Παραδείγματα χρήσης τεχνητής νοημοσύνης στο πλαίσιο της Βιομηχανικής Επανάστασης 4.0.....	66
4.4 Η συνεργασία ΑΙ και 3d εκτύπωσης στην Τέταρτη Βιομηχανική Επανάσταση.....	67
ΚΕΦΑΛΑΙΟ 5	69
5.1 Συμπεράσματα – προβληματισμοί.....	69
Βιβλιογραφία	73

ΕΙΣΑΓΩΓΗ

Η Τέταρτη Βιομηχανική Επανάσταση είναι μια περίοδος, που χαρακτηρίζεται από την ενσωμάτωση ψηφιακών τεχνολογιών, όπως η τεχνητή νοημοσύνη και η ρομποτική σε διάφορους κλάδους. Επιφέρει μετασχηματιστικές αλλαγές στον τρόπο καθημερινών δραστηριοτήτων, όπως είναι η εργασία, με έμφαση στην αυτοματοποίηση, τη συνδεσιμότητα και την καινοτομία που βασίζεται στα δεδομένα. Στην εποχή αυτή, ο συνδυασμός της τρισδιάστατης εκτύπωσης και της τεχνητής νοημοσύνης (AI) είναι έτοιμος να επιφέρει σημαντικές εξελίξεις και μετασχηματισμούς σε όλους τους κλάδους. Η σύγκλιση αυτών των τεχνολογιών προσφέρει μοναδικές ευκαιρίες για καινοτομία, αποτελεσματικότητα και προσαρμογή.

Σκοπός της εργασίας είναι να εξεταστεί η συνεισφορά και ο τρόπος με τον οποίο μπορεί να συμβάλει η αξιοποίηση της 3d εκτύπωσης και της τεχνητής νοημοσύνης στην Τέταρτη Βιομηχανική Επανάσταση. Πρόκειται για μελέτη η οποία γίνεται επίκαιρη, καθώς η τεχνητή νοημοσύνη εισέρχεται με γρήγορους ρυθμούς στην ανθρώπινη ζωή, ενώ και η τεχνολογία της τρισδιάστατης εκτύπωσης υποκαθιστά τις παραδοσιακές μεθόδους που χρησιμοποιούνται σε διάφορους κλάδους μέχρι τώρα, όπως είναι αυτός των κατασκευών.

Μέσα από την υπάρχουσα επιστημονική βιβλιογραφία, προκειμένου να διεκπεραιωθεί ο σκοπός της εργασίας απαντήθηκαν επιμέρους ζητήματα και ερωτήματα. Αρχικά διερευνήθηκε η έννοια της βιομηχανικής επανάστασης, κάνοντας μια σύντομη αναδρομή των τεσσάρων περιόδων αυτών και ακολούθησε η τεκμηρίωση σχετικά με τις τεχνολογίες τόσο της τρισδιάστατης εκτύπωσης όσο και της τεχνητής νοημοσύνης - σημαντική κρίνεται και η συνεισφορά διαδικτυακών πηγών. Κατόπιν, έγκυρες δημοσιεύσεις έδωσαν τις απαντήσεις στα καίρια ερωτήματα των χρήσεων των δύο αυτών τεχνολογιών στην εποχή της Τέταρτης Βιομηχανικής Επανάστασης και στην διασύνδεσή τους με τα χαρακτηριστικά της.

ΚΕΦΑΛΑΙΟ 1

1.1 Ορισμός της έννοιας βιομηχανική επανάσταση

Βιομηχανική Επανάσταση ορίζεται η διαδικασία αλλαγής από μια αγροτική και βιοτεχνική οικονομία σε μια οικονομία στην οποία κυριαρχούν η βιομηχανία και η μηχανική κατασκευή με τη συνδρομή της τεχνολογικής εξέλιξης. Αυτές οι τεχνολογικές αλλαγές εισήγαγαν νέους τρόπους εργασίας και διαβίωσης και μεταμόρφωσαν ριζικά την κοινωνία.

Οι βιομηχανικές επαναστάσεις θεωρούνται μνημειώδεις ως περίοδοι στην ανθρώπινη ιστορία καθώς επέφεραν πρωτοφανείς αλλαγές στον τρόπο λειτουργίας των κοινωνιών, στη λειτουργία των οικονομιών και στη μετεξέλιξη της τεχνολογίας. Κατά τη διάρκεια των αιώνων, μια σειρά από βιομηχανικές επαναστάσεις σάρωσαν τον πλανήτη και οι οποίες έθεσαν τα θεμέλια του σύγχρονου πολιτισμού από την εμφάνιση της μηχανοποιημένης παραγωγής και της ατμοηλεκτρικής ενέργειας έως την έλευση του ηλεκτρισμού και της αυτοματοποίησης και του σημερινού ψηφιακού κόσμου.

1.2 Η ιστορία των βιομηχανικών επαναστάσεων

1.2.1 Η πρώτη Βιομηχανική Επανάσταση

Η πρώτη Βιομηχανική Επανάσταση έχει τις απαρχές της στα τέλη του 18ου αιώνα στη Μεγάλη Βρετανία (περίπου το 1750-1760) και ήταν η μετάβαση σε νέες κατασκευαστικές διαδικασίες, και κορυφώθηκε κατά την περίοδο από το 1760 έως μεταξύ 1820 και 1840. Θεωρείται ως η διαρκής αλλά πολύ αργή οικονομική ανάπτυξη στη Βρετανία που βασίζεται στη συνεχώς αυξανόμενη χρήσιμη γνώση. Οι οικονομικοί ιστορικοί την ονόμασαν διαρθρωτική αλλαγή προς μια βιομηχανική οικονομία (Allen, R. C., 2009).

Το έτος 1776 είναι γνωστό για σημαντικά περιστατικά, καθώς τη χρονιά αυτή ο Adam Smith, δικαίως γνωστός ως ο πατέρας της σύγχρονης οικονομίας, δημοσίευσε

το *The Wealth of Nations*, οι αμερικανικές αποικίες κήρυξαν την ανεξαρτησία τους και ο James Watt βελτίωσε τη σύγχρονη ατμομηχανή. Η πρώτη Βιομηχανική Επανάσταση ήδη είχε ξεκινήσει με τη μηχανοποίηση των παραγωγικών διαδικασιών, κυρίως στην κλωστοϋφαντουργία, που προήλθε από εφευρέσεις όπως η κλωστική μηχανή και ο ηλεκτρικός αργαλειός. Παράλληλα, η Αγγλία είχε επεκτείνει τις αγορές εισαγωγών και εξαγωγών της μέσω της κυριαρχίας του καπιταλισμού ως οικονομικο-πολιτικού συστήματος, καθιστώντας την Αγγλία ως την πλουσιότερη χώρα του 19ου αιώνα.

Η ατμομηχανή του Τζέιμς Βατ αναδείχθηκε ως σημαντική καινοτομία, αποτελώντας την κινητήρια δύναμη των βιομηχανικών μηχανημάτων - η εφεύρεση αυτή επέφερε αλλαγή υποδείγματος στην παραγωγή ενέργειας. Η συγκεκριμένη ατμομηχανή αντιπροσώπευε σημαντική βελτίωση σε σχέση με τις προηγούμενες εκδόσεις, οι οποίες ήταν συχνά αναποτελεσματικές και αναξιόπιστες. Ο κινητήρας του εισήγαγε αρκετές βασικές καινοτομίες, συμπεριλαμβανομένου ενός ξεχωριστού συμπυκνωτή και ενός ρυθμιστή της ταχύτητας, καθιστώντας τον σημαντικά πιο αποδοτικό και προσαρμόσιμο σε διάφορες βιομηχανικές εφαρμογές. Αυτή η επανάσταση στην παραγωγή ενέργειας έφερε αντίστοιχες ριζοσπαστικές μεταβολές στο βιομηχανικό τοπίο, παρέχοντας μια αξιόπιστη και ευέλικτη πηγή ενέργειας.

Η ταχεία εκμηχάνιση και η υιοθέτηση της ατμομηχανής οδήγησε σε ανάπτυξη του κλάδου μεταποίησης, οδηγώντας στην αύξηση της παραγωγικότητας και στην άνοδο των εργοστασίων, καθώς τα μηχανήματα μπορούσαν να κινούνται από μία μόνο ατμομηχανή αντί να βασίζονται στη χειρωνακτική εργασία ή στην περιορισμένη ενέργεια του νερού ή του ανέμου. Η ικανότητα της ατμομηχανής να παράγει συνεχή και αξιόπιστη ισχύ μεταμόρφωσε τη βιομηχανική παραγωγή, καθιστώντας την ταχύτερη, πιο συνεπή και λιγότερο εξαρτώμενη από εξωτερικούς παράγοντες, όπως οι καιρικές συνθήκες. Η ευρεία υιοθέτηση της ατμομηχανής οδήγησε στη δημιουργία κέντρων παραγωγής μεγάλης κλίμακας (*Allen, R. C., 2009*). Εργοστάσια και μύλοι κατασκευάστηκαν σε περιοχές με πρόσβαση σε άνθρακα, σίδηρο και θαλάσσια μεταφορά, γεννώντας τις βιομηχανικές πόλεις. Αυτά τα κέντρα παραγωγής προσέλκυσαν μεγάλο εργατικό δυναμικό, οδηγώντας σε ταχεία αστικοποίηση, αναδιαμορφώνοντας τις κοινωνίες, τις οικονομίες και την κατανομή του πληθυσμού¹.

¹Βιομηχανικές πόλεις όπως το Μάντσεστερ και το Μπέρμιγχαμ στην Αγγλία και το Πίτσμπουργκ στις Ηνωμένες Πολιτείες γνώρισαν πρωτοφανή αύξηση του πληθυσμού και έγιναν πολυσύχναστα κέντρα εμπορίου και βιομηχανίας. Η συγκέντρωση μεταποιητικών δραστηριοτήτων σε αυτές τις αστικές περιοχές επιτάχυνε την οικονομική ανάπτυξη και τόνωσε την τεχνολογική πρόοδο.

Ο αντίκτυπος της ατμομηχανής επεκτάθηκε πολύ πέρα από τη βιομηχανική παραγωγή. Έφερε επίσης επανάσταση στις μεταφορές. Οι ατμοκίνητες ατμομηχανές και τα πλοία διευκόλυναν τη μετακίνηση αγαθών και ανθρώπων σε μεγάλες αποστάσεις, ανοίγοντας νέες αγορές και επεκτείνοντας τα εμπορικά δίκτυα. Οι σιδηρόδρομοι, ειδικότερα, έπαιξαν καθοριστικό ρόλο στη σύνδεση των βιομηχανικών κέντρων, επιτρέποντας την αποτελεσματική μεταφορά πρώτων υλών και τελικών προϊόντων.

Οι συνθήκες εργασίας κατά την πρώτη Βιομηχανική Επανάσταση χαρακτηρίζονταν συχνά από σκληρές πρακτικές, με τους εργάτες των εργοστασίων να υπομένουν πολλές ώρες εργασίας, χαμηλούς μισθούς και ανασφαλή περιβάλλοντα που χαρακτηρίζονταν από συχνά ατυχήματα και τραυματισμούς. Οι συνθήκες αυτές, σε συνδυασμό με τη ραγδαία αστικοποίηση και τον υπερπληθυσμό στις πόλεις, δημιούργησαν πλήθος κοινωνικών προβλημάτων, όπως ανθυγιεινές συνθήκες διαβίωσης, εκτεταμένη φτώχεια και αύξηση των ποσοστών εγκληματικότητας.

1.2.2 Η δεύτερη Βιομηχανική Επανάσταση

Η δεύτερη Βιομηχανική Επανάσταση ήταν μια περίοδος αξιοσημείωτων εξελίξεων στη μεταποίηση και την τεχνολογία που σημειώθηκε στα τέλη του 19ου και στις αρχές του 20ού αιώνα και ιδιαίτερα στις Ηνωμένες Πολιτείες, από το 1870 έως το 1914 περίπου. Η εποχή αυτή υπήρξε μάρτυρας μετασηματιστικών αλλαγών στις διαδικασίες παραγωγής, της ανόδου βιομηχανικών κολοσσών και της ραγδαίας ανάπτυξης των αστικών περιοχών. Οι κύριες αιτίες της δεύτερης Βιομηχανικής Επανάστασης έγκεινται στους φυσικούς πόρους, στην άφθονη προσφορά εργατικού δυναμικού, στην ισχυρή κυβερνητική πολιτική, στις νέες πηγές ενέργειας, στους σιδηροδρόμους και στους Αμερικανούς εφευρέτες και εφευρέσεις (*Stearns, P. N. 2020*).

Μία από τις βασικές καινοτομίες της ήταν η εισαγωγή των γραμμών συναρμολόγησης, η οποία έφερε επανάσταση στη μεταποίηση. Η γραμμή συναρμολόγησης², επέτρεψε την αποτελεσματική και τυποποιημένη παραγωγή αγαθών. Αυτή η ανακάλυψη επέτρεψε την αύξηση της παραγωγικότητας, τη μείωση

² Πρόκειται για το μοντέλο διοικητικής οργάνωσης του φορντισμού, έχοντας το όνομα του Χένρι Φορντ

του κόστους και τη δυνατότητα παραγωγής αγαθών σε πρωτοφανή κλίμακα. Οι τεχνικές μαζικής παραγωγής, σε συνδυασμό με τις αρχές της επιστημονικής διαχείρισης, εξορθολογίστηκαν οι διαδικασίες παραγωγής και οδήγησαν σε υψηλότερη αποδοτικότητα και παραγωγή. Σε συνδυασμό με αυτά, η ανάπτυξη μηχανών που ελέγχονταν από υποτυπώδεις υπολογιστές, έδωσε το έναυσμα για την αυτοματοποιημένη παραγωγή. Μέχρι τα τέλη της δεκαετίας του 1940, πολλά από τα εργοστάσια γραμμής συναρμολόγησης της Πρώτης Βιομηχανικής Επανάστασης εξελίχθηκαν γρήγορα σε πλήρως αυτοματοποιημένα εργοστάσια.

Η ευρεία υιοθέτηση του ηλεκτρισμού ήταν μια άλλη σημαντική εξέλιξη κατά τη διάρκεια αυτής της περιόδου. Ο ηλεκτρισμός αντικατέστησε την ατμοηλεκτρική ενέργεια ως κύρια πηγή ενέργειας στα εργοστάσια, παρέχοντας μεγαλύτερη ευελιξία, ευκολία και αποδοτικότητα. Αναλυτικότερα, το 1879, ο διάσημος Αμερικανός εφευρέτης Τόμας Έντισον τελειοποίησε το σχέδιό του για μια πρακτική ηλεκτρική λάμπα. Στα τέλη της δεκαετίας του 1880, οι πρώτες αποδοτικές εμπορικές ηλεκτρικές γεννήτριες έκαναν δυνατή τη μετάδοση ηλεκτρικής ενέργειας σε μεγάλη κλίμακα στο κοινό. Αποκαλούμενο "το σημαντικότερο τεχνικό επίτευγμα του 20ού αιώνα" από την Εθνική Ακαδημία Μηχανικής, ο ηλεκτρικός φωτισμός βελτίωσε σημαντικά τις συνθήκες εργασίας και την παραγωγικότητα στα εργοστάσια (Stearns, P. N. 2020). Αντικαθιστώντας τους κινδύνους πυρκαγιάς που εγκυμονούσε ο φωτισμός με αέριο, το αρχικό κόστος της μετατροπής σε ηλεκτρικό φωτισμό, αντισταθμίστηκε γρήγορα από τη μείωση των ασφαλιστρών πυρασφάλειας. Το 1886, αναπτύχθηκε ο πρώτος ηλεκτροκινητήρας συνεχούς ρεύματος (DC) και μέχρι το 1920, τροφοδοτούσε επιβατικούς σιδηροδρόμους σε πολλές πόλεις. Οι ηλεκτρικοί αυτοί κινητήρες αντικατέστησαν τις ατμομηχανές, επιτρέποντας την ομαλότερη και πιο αθόρυβη λειτουργία των μηχανημάτων. Η διαθεσιμότητα του ηλεκτρισμού οδήγησε επίσης στον εξηλεκτρισμό των νοικοκυριών, μεταμορφώνοντας τον τρόπο με τον οποίο οι άνθρωποι ζούσαν και εργάζονταν.

Η εν λόγω Βιομηχανική Επανάσταση χαρακτηρίστηκε επίσης από σημαντικές εξελίξεις στα υλικά και τις μεταφορές. Η διαδικασία Bessemer, που εφευρέθηκε από τον Henry Bessemer, έφερε επανάσταση στην παραγωγή χάλυβα, καθιστώντας την ταχύτερη και πιο αποδοτική. Η διαθεσιμότητα φθηνού και υψηλής ποιότητας χάλυβα έπαιξε καθοριστικό ρόλο στην κατασκευή σιδηροδρόμων, γεφυρών και κτιρίων, προωθώντας περαιτέρω την οικονομική ανάπτυξη και την εκβιομηχάνιση (Stearns, P. N. 2020).

Ο κινητήρας εσωτερικής καύσης που τροφοδοτείται από ορυκτά καύσιμα, κυρίως βενζίνη, προκάλεσε μια επανάσταση στις μεταφορές κατά τη διάρκεια αυτής της περιόδου. Η ανάπτυξη των αυτοκινήτων και των αεροπλάνων μεταμόρφωσε τον τρόπο με τον οποίο μεταφέρονταν οι άνθρωποι και τα αγαθά. Η αυτοκινητοβιομηχανία, με επικεφαλής καινοτόμους όπως ο Φορντ, έκανε τις προσωπικές μεταφορές προσιτές σε ευρύτερο πληθυσμό, συμβάλλοντας στην κοινωνική κινητικότητα και στην αλλαγή των προτύπων αστικοποίησης.

Η δεύτερη βιομηχανική επανάσταση ήταν μάρτυρας της ανόδου βιομηχανικών κολοσσών και μεγαλοεπιχειρηματιών. Επιχειρηματίες όπως ο Andrew Carnegie στη βιομηχανία χάλυβα και ο John D. Rockefeller στη βιομηχανία πετρελαίου συγκέντρωσαν τεράστιες περιουσίες και κυριάρχησαν στους αντίστοιχους τομείς τους (Hounshell, D. A., 1984). Αυτοί οι βιομήχανοι εφάρμοσαν καινοτόμες επιχειρηματικές πρακτικές, όπως η κάθετη ολοκλήρωση και η ενοποίηση, για να αποκτήσουν τον έλεγχο της παραγωγής, της διανομής και των αγορών. Η επιρροή και ο πλούτος τους διαμόρφωσαν το βιομηχανικό τοπίο και επηρέασαν τις οικονομικές πολιτικές.

Καθώς τα εργοστάσια επεκτάθηκαν και νέες βιομηχανίες εμφανίστηκαν, οι πόλεις αναπτύχθηκαν με ταχείς ρυθμούς για να φιλοξενήσουν τον αυξανόμενο πληθυσμό και τις βιομηχανικές δραστηριότητες. Η μετανάστευση των ανθρώπων από τις αγροτικές περιοχές προς τα αστικά κέντρα σε αναζήτηση εργασίας και καλύτερων ευκαιριών είχε ως αποτέλεσμα την άνοδο των εκτεταμένων βιομηχανικών πόλεων. Αυτή η αστικοποίηση έφερε τόσο οφέλη όσο και προκλήσεις, συμπεριλαμβανομένης της αυξημένης κοινωνικής ποικιλομορφίας, των στεγαστικών ζητημάτων και της ανάγκης για ανάπτυξη υποδομών.

Το βασικό μοντέλο ιδιοκτησίας της βιομηχανίας υπέστη επίσης μια σημαντική καινοτομία κατά τη διάρκεια της δεύτερης Βιομηχανικής Επανάστασης. Η ολιγαρχική ιδιοκτησία εταιρειών, αν όχι ολόκληρων βιομηχανιών από πλούσιους μεμονωμένους "μεγαλοεπιχειρηματίες" που είχε κυριαρχήσει κατά την αρχική Βιομηχανική Επανάσταση στις αρχές και τα μέσα του 19ου αιώνα, αντικαταστάθηκε σιγά-σιγά από το σημερινό μοντέλο της ευρύτερης δημόσιας διανομής της ιδιοκτησίας μέσω της πώλησης μετοχών σε μεμονωμένους επενδυτές και ιδρύματα όπως οι τράπεζες και οι ασφαλιστικές εταιρείες (Hounshell, D. A., 1984).

Αρνητική πτυχή της δεύτερης Βιομηχανικής Επανάστασης ήταν η ανάπτυξη της ανεξέλεγκτης παιδικής εργασίας. Για να βοηθήσουν τις εξαθλιωμένες οικογένειές τους, τα παιδιά, συχνά ηλικίας μόλις τεσσάρων ετών, αναγκάζονταν να εργάζονται πολλές

ώρες για ελάχιστη αμοιβή σε εργοστάσια υπό ανθυγιεινές και επικίνδυνες συνθήκες³. Μέχρι το 1900, εκτιμάται ότι 1,7 εκατομμύρια παιδιά κάτω των δεκαπέντε ετών εργάζονταν στα αμερικανικά εργοστάσια (*Stearns, P. N. 2020*).

1.2.3 Η τρίτη Βιομηχανική Επανάσταση

Η τρίτη Βιομηχανική Επανάσταση ξεκίνησε τη δεκαετία του '70 στον 20ό αιώνα μέσω της μερικής αυτοματοποίησης με τη χρήση χειριστηρίων και υπολογιστών με προγραμματιζόμενη μνήμη. Από την εισαγωγή αυτών των τεχνολογιών, πλέον είναι δυνατή η αυτοματοποίηση μιας ολόκληρης παραγωγικής διαδικασίας - χωρίς ανθρώπινη βοήθεια. Γνωστά παραδείγματα αυτού είναι τα ρομπότ που εκτελούν προγραμματισμένες ακολουθίες χωρίς ανθρώπινη παρέμβαση. Είναι γνωστή και ως Ψηφιακή Επανάσταση (*Rifkin, J., 2012*). Την περίοδο αυτή σημειώθηκαν σημαντικές ανακαλύψεις στην υπολογιστική ισχύ, τις τηλεπικοινωνίες και τη μικροηλεκτρονική, που οδήγησαν στην αυτοματοποίηση των διαδικασιών και στην άνοδο της τεχνολογίας των πληροφοριών.

Μια από τις καίριες εξελίξεις κατά τη διάρκεια αυτής ήταν η εκθετική αύξηση της υπολογιστικής ισχύος. Οι υπολογιστές έγιναν μικρότεροι, ταχύτεροι και πιο προσιτοί, καθιστώντας τους προσιτούς σε άτομα και οργανισμούς σε πολύ ευρύτερη κλίμακα. Η ανάπτυξη των μικροεπεξεργαστών και των ολοκληρωμένων κυκλωμάτων έφερε αλλαγές στην επεξεργασία δεδομένων, επιτρέποντας τη δημιουργία ολοένα και πιο πολύπλοκων συστημάτων (*Rifkin, J., 2012*). Αυτό οδήγησε σε βελτιώσεις της παραγωγικότητας, της αποδοτικότητας και της καινοτομίας σε διάφορους κλάδους.

Η εμφάνιση και η ευρεία υιοθέτηση του Διαδικτύου είχαν κεντρικό ρόλο στην Ψηφιακή Επανάσταση. Το διαδίκτυο συνέδεσε τον κόσμο, παρέχοντας ένα παγκόσμιο δίκτυο για την ανταλλαγή πληροφοριών και ιδεών, συμβάλλοντας στην παγίωση της παγκοσμιοποίησης. Μεταμόρφωσε τον τρόπο με τον οποίο οι άνθρωποι επικοινωνούν, έχουν πρόσβαση σε πληροφορίες και διεξάγουν επιχειρήσεις. Το διαδίκτυο έδωσε το έναυσμα για το ηλεκτρονικό εμπόριο, επιτρέποντας στις επιχειρήσεις να προσεγγίζουν πελάτες πέρα από γεωγραφικά σύνορα και δίνοντας τη δυνατότητα σε ιδιώτες να

³Με την υπογραφή του προέδρου Franklin D. Roosevelt, απαγορεύτηκε η απασχόληση ανηλίκων και η καταπιεστική παιδική εργασία, ενώ παράλληλα καθιέρωσε υποχρεωτικό κατώτατο μισθό και περιόρισε τον αριθμό των ωρών εργασίας των εργαζομένων.

πραγματοποιούν ηλεκτρονικές συναλλαγές. Εμφανίστηκαν διαδικτυακές πλατφόρμες, οι οποίες συνδέουν τους ανθρώπους και διευκολύνουν την ανταλλαγή γνώσεων, πόρων και υπηρεσιών (*Bojanova, I., 2014*).

Η ψηφιακή επανάσταση επέφερε εξίσου σημαντικές αλλαγές στη βιομηχανία των μέσων ενημέρωσης και της ψυχαγωγίας. Οι παραδοσιακές μορφές μέσων ενημέρωσης, όπως οι εφημερίδες, τα περιοδικά και η τηλεόραση, παρουσίασαν στροφή προς τις ψηφιακές μορφές. Η άνοδος των ψηφιακών πλατφορμών μέσων ενημέρωσης, των υπηρεσιών ροής και των μέσων κοινωνικής δικτύωσης μεταμόρφωσε τον τρόπο με τον οποίο οι άνθρωποι καταναλώνουν και αλληλεπιδρούν με το περιεχόμενο. Η ψηφιοποίηση της μουσικής, των ταινιών και των βιβλίων οδήγησε σε νέα μοντέλα διανομής και επιχειρηματικές ευκαιρίες.

Δίνοντας ώθηση στην ανάπτυξη πληροφοριακών συστημάτων και λογισμικών, οι εταιρείες άρχισαν να αυτοματοποιούν τις διαδικασίες, αξιοποιώντας τεχνολογίες όπως τα συστήματα προγραμματισμού επιχειρησιακών πόρων (ERP), το λογισμικό διαχείρισης πελατειακών σχέσεων (CRM) και την ανάλυση δεδομένων. Αυτές οι τεχνολογίες επέτρεψαν στους οργανισμούς να εκσυγχρονίσουν τις λειτουργίες τους, να βελτιώσουν τη λήψη αποφάσεων και τη συνολική εμπειρία των πελατών (*Rifkin, J., 2012*).

Οι κοινωνικές επιπτώσεις της έγκεινται κυρίως στη μεταμόρφωση του τρόπου, με τον οποίο οι άνθρωποι επικοινωνούν και συνδέονται, καταρρίπτοντας τα γεωγραφικά εμπόδια και διευκολύνοντας την παγκόσμια συνεργασία. Ωστόσο, η άνοδος των ψηφιακών τεχνολογιών έφερε επίσης προκλήσεις, όπως ανησυχίες για την προστασία της ιδιωτικής ζωής, απειλές για την κυβερνοασφάλεια και ζητήματα που σχετίζονται με το ψηφιακό χάσμα και την προσβασιμότητα.

Ο οικονομικός αντίκτυπος είναι ιδιαίτερα σημαντικός, καθώς η ανάδυση και εισαγωγή των νέων τεχνολογιών δημιούργησε νέες βιομηχανίες και διατάραξε τα παραδοσιακά επιχειρηματικά μοντέλα. Οι νεοσύστατες επιχειρήσεις και οι εταιρείες με ψηφιακή καταγωγή ήκμασαν, παρουσιάζοντας καινοτόμα προϊόντα και υπηρεσίες και οι καθιερωμένες επιχειρήσεις έπρεπε να προσαρμοστούν στο ψηφιακό τοπίο ή να αντιμετωπίσουν την απαξίωση.

1.2.4 Η τέταρτη Βιομηχανική Επανάσταση

Η τέταρτη Βιομηχανική Επανάσταση, αναφέρεται στον συνεχιζόμενο μετασχηματισμό των βιομηχανιών και της κοινωνίας μέσω της ενσωμάτωσης προηγμένων τεχνολογιών και της ψηφιοποίησης. Βασίζεται στις προόδους των προηγούμενων βιομηχανικών επαναστάσεων, αλλά διαφέρει ως προς την κλίμακα, την ταχύτητα και τον αντίκτυπό της.

Καθοδηγείται από τεχνολογίες όπως το Διαδίκτυο των πραγμάτων (IoT), η τεχνητή νοημοσύνη (AI), η ανάλυση μεγάλων δεδομένων, η ρομποτική και η αυτοματοποίηση. Αυτές οι τεχνολογίες επιτρέπουν τη συλλογή, την ανταλλαγή και την ανάλυση τεράστιου όγκου δεδομένων, διευκολύνοντας τη λήψη αποφάσεων σε πραγματικό χρόνο και τη βελτιστοποίηση των διαδικασιών (*Mattern, F. & Floerkemeier, C., 2014*). Η τέταρτη Βιομηχανική Επανάσταση δίνει έμφαση στη συνδεσιμότητα, την αυτοματοποίηση και τις διορατικές γνώσεις βάσει δεδομένων για την ενίσχυση της παραγωγικότητας, της αποδοτικότητας και της καινοτομίας σε διάφορους τομείς.

Μία από τις βασικές πτυχές της είναι η άνοδος των κυβερνο-φυσικών συστημάτων (CPS). Τα συστήματα αυτά ενσωματώνουν φυσικά εξαρτήματα με ψηφιακές τεχνολογίες, επιτρέποντας την απρόσκοπτη επικοινωνία, συνεργασία και έλεγχο μεταξύ μηχανών, συστημάτων και ανθρώπων. Τα CPS διευκολύνουν την αυτόνομη λήψη αποφάσεων, τις προσαρμοστικές διαδικασίες παραγωγής και τις έξυπνες υποδομές (*Mattern, F. & Floerkemeier, C., 2014*).

Η τέταρτη Βιομηχανική Επανάσταση έχει βαθύτατο αντίκτυπο σε κλάδους, όπως η μεταποίηση, η υγειονομική περίθαλψη, οι μεταφορές, η ενέργεια και η γεωργία. Μετασχηματίζει τις παραδοσιακές μεθόδους παραγωγής, εισάγει έξυπνα εργοστάσια και αλυσίδες εφοδιασμού και επιτρέπει εξατομικευμένα και προσαρμοσμένα προϊόντα και υπηρεσίες. Αναδιαμορφώνει επίσης τη φύση της εργασίας, με την αυτοματοποίηση και την τεχνητή νοημοσύνη να αναλαμβάνουν επαναλαμβανόμενες εργασίες, και τονίζει τη σημασία των ψηφιακών δεξιοτήτων και της δια βίου μάθησης.

Επιπλέον, η τέταρτη Βιομηχανική Επανάσταση έχει επιπτώσεις στην κοινωνία, συμπεριλαμβανομένων των ανησυχιών σχετικά με την προστασία της ιδιωτικής ζωής, την ασφάλεια στον κυβερνοχώρο και την ηθική χρήση της τεχνητής νοημοσύνης. Παρουσιάζει επίσης ευκαιρίες για τη βιωσιμότητα, καθώς τεχνολογίες όπως το IoT και

η ανάλυση δεδομένων μπορούν να βελτιστοποιήσουν τη χρήση των πόρων, να μειώσουν τα απόβλητα και να συμβάλουν στη διατήρηση του περιβάλλοντος.

ΚΕΦΑΛΑΙΟ 2

2.1 Σύντομη ιστορική αναδρομή της εκτύπωσης

Οι πρώτες μορφές εκτύπωσης ανάγονται σε αρχαίους πολιτισμούς, όπως η Μεσοποταμία, η Αίγυπτος και η Κίνα, όπου χρησιμοποιούνταν διάφορες τεχνικές για τη μεταφορά εικόνων και κειμένων σε επιφάνειες. Συγκεκριμένα, από τις πήλινες πινακίδες της Μεσοποταμίας έως την κινεζική ξυλογραφία, αυτές οι πρώιμες μέθοδοι έθεσαν τα θεμέλια για την ανάπτυξη της σύγχρονης τεχνολογίας εκτύπωσης.

Με την εφεύρεση του κινητού τυπογραφικού πιεστηρίου από τον Γιοχάν Γουτεμβέργιο τον 15ο αιώνα. Η καινοτομία αυτή σηματοδότησε μια κομβική στιγμή στην ιστορία της τυπογραφίας, επιτρέποντας τη μαζική παραγωγή βιβλίων και επιταχύνοντας τη διάδοση της γνώσης κατά τη διάρκεια της Αναγέννησης και πέραν αυτής. Το πιεστήριο του Γουτεμβέργιου χρησιμοποιούσε μεμονωμένα μεταλλικά κομμάτια γραμματοσειράς που μπορούσαν να αναδιατάσσονται, επιτρέποντας την ταχύτερη και αποτελεσματικότερη εκτύπωση.

Η Βιομηχανική Επανάσταση του 18ου και 19ου αιώνα επέφερε μια αλλαγή παραδείγματος στην τεχνολογία της εκτύπωσης. Η εφεύρεση των ατμοκίνητων πιεστηρίων και των περιστροφικών πιεστηρίων έφερε επανάσταση στην τυπογραφική βιομηχανία, επιτρέποντας την παραγωγή μεγάλης κλίμακας και τη βελτίωση της ποιότητας των εκτυπώσεων (Stearns, P. N., 2020).

Κατά τη διάρκεια αυτής της εποχής, εισήχθη η λιθογραφία, μια τεχνική που βασίζεται στην αρχή της χημικής απόθησης. Η λιθογραφική εκτύπωση κατέστησε δυνατή την αναπαραγωγή εικόνων και κειμένων με αξιοσημείωτη ακρίβεια. Επιπλέον, οι εξελίξεις στην κατασκευή χαρτιού, στις συνθέσεις μελανιών και στις τεχνικές στοιχειοθεσίας βελτίωσαν περαιτέρω την ποιότητα και την αποτελεσματικότητα της εκτύπωσης.

Το δεύτερο μισό του 20ού αιώνα με την άνοδο της ψηφιακής επανάστασης, μεταμορφώθηκε βαθιά το τοπίο της εκτύπωσης. Η ψηφιακή τεχνολογία άλλαξε τον τρόπο με τον οποίο γινόταν η εκτύπωση, προσφέροντας απaráμιλλη ταχύτητα, ακρίβεια και εξατομίκευση. Η εισαγωγή εκτυπωτικών μηχανών ελεγχόμενων από υπολογιστή, όπως οι ψηφιακοί εκτυπωτές, αποτέλεσε σημαντικό ορόσημο,

επιτρέποντας την άμεση εκτύπωση από ψηφιακά αρχεία και διευκολύνοντας την εκτύπωση κατά παραγγελία.

2.2 Εκτύπωση μέσω υπολογιστή

Η εκτύπωση μέσω υπολογιστή αποτελεί βασικό στοιχείο της σύγχρονης τεχνολογίας που επιτρέπει τη φυσική αναπαραγωγή ψηφιακών εγγράφων, εικόνων και άλλου οπτικού περιεχομένου. Παίζει ζωτικό ρόλο στη διευκόλυνση της επικοινωνίας, της ανταλλαγής πληροφοριών και της τεκμηρίωσης σε διάφορους τομείς, από τα σπίτια και τα γραφεία μέχρι τις βιομηχανίες και τα εκπαιδευτικά ιδρύματα (*Van der Meulen, M.-J.P., 2014*).

Η ιστορία της εκτύπωσης μέσω υπολογιστή μπορεί να αναχθεί στις πρώτες ημέρες της πληροφορικής, όπου μηχανικές συσκευές όπως οι τηλετυπωτές και οι εκτυπωτές γραμμής χρησιμοποιούνταν για τη δημιουργία έντυπων αντιγράφων ψηφιακών δεδομένων. Αυτές οι πρώιμες συσκευές εκτύπωσης είχαν σχεδιαστεί κυρίως για βασική παραγωγή κειμένου και δεν είχαν τη δυνατότητα αναπαραγωγής γραφικών ή εικόνων.

Με την έλευση των προσωπικών υπολογιστών στις δεκαετίες του 1970 και του 1980, η τεχνολογία εκτύπωσης άρχισε να εξελίσσεται ραγδαία. Οι εκτυπωτές πλέγματος σημείων εμφανίστηκαν ως οι πρώτοι δημοφιλείς εκτυπωτές υπολογιστών, χρησιμοποιώντας ένα πλέγμα ακίδων για να χτυπήσουν μια μελανοταινία και να σχηματίσουν χαρακτήρες στο χαρτί (*Nisato G., Lupo D. & Ganz S., 2016*). Αν και σχετικά αργοί και θορυβώδεις, οι εκτυπωτές αυτοί παρείχαν μια οικονομικά αποδοτική λύση για χρήση στο σπίτι και σε μικρά γραφεία.

2.2.1 Τύποι τεχνολογιών εκτύπωσης μέσω υπολογιστή

Οι τεχνολογίες εκτύπωσης μέσω υπολογιστή περιλαμβάνουν διάφορες μεθόδους που δίνουν τη δυνατότητα αναπαραγωγής ψηφιακού περιεχομένου σε φυσικά μέσα, η καθεμία με τα δικά της μοναδικά χαρακτηριστικά και πλεονεκτήματα όσον αφορά την ποιότητα εκτύπωσης, την ταχύτητα και τις χρωματικές δυνατότητες.

-Εκτύπωση inkjet: Οι εκτυπωτές inkjet κέρδισαν την προβολή τους στα τέλη της δεκαετίας του 1980, προσφέροντας βελτιωμένη ποιότητα εκτύπωσης και ευελιξία. Αυτοί οι εκτυπωτές λειτουργούν προωθώντας μικροσκοπικά σταγονίδια μελάνης στο χαρτί μέσω μιας κεφαλής εκτύπωσης. Οι εκτυπωτές inkjet χρησιμοποιούνται ευρέως σε σπίτια, γραφεία και δημιουργικές βιομηχανίες λόγω της ικανότητάς τους να παράγουν εικόνες υψηλής ανάλυσης και να υποστηρίζουν έγχρωμη εκτύπωση (*Van der Meulen, M.-J.P., 2014*).

-Εκτύπωση με λέιζερ: Οι εκτυπωτές λέιζερ έφεραν επανάσταση στον κλάδο της εκτύπωσης με την ταχύτητα, την ακρίβεια και την οικονομική αποδοτικότητά τους. Χρησιμοποιούν την τεχνολογία λέιζερ για τη δημιουργία μιας ηλεκτροστατικής εικόνας σε ένα τύμπανο, το οποίο προσελκύει και μεταφέρει το τόνερ στο χαρτί (*Nisato G., Lupo D. & Ganz S., 2016*). Οι εκτυπωτές λέιζερ υπερέχουν στην παραγωγή ευκρινών κειμένων και γραφικών, γεγονός που τους καθιστά δημοφιλείς σε επιχειρηματικά περιβάλλοντα και επαγγελματικές υπηρεσίες εκτύπωσης.

-Θερμική εκτύπωση: Η θερμική εκτύπωση χρησιμοποιεί χαρτί ευαίσθητο στη θερμότητα και μια θερμική κεφαλή εκτύπωσης για την παραγωγή εικόνων ή κειμένου. Χρησιμοποιείται συνήθως σε συστήματα σημείων πώλησης, αποδείξεις και εφαρμογές σήμανσης λόγω της απλότητας και της ταχύτητάς της. Ωστόσο, οι θερμικές εκτυπώσεις είναι επιρρεπείς στο ξεθώριασμα με την πάροδο του χρόνου.

-Εκτύπωση στερεών μελανιών: Οι εκτυπωτές στερεάς μελάνης χρησιμοποιούν στερεά μπλοκ μελάνης που λιώνουν και μεταφέρονται στο χαρτί. Αυτή η τεχνολογία προσφέρει ζωντανά χρώματα, ομαλές διαβαθμίσεις και μειωμένα απόβλητα σε σύγκριση με την παραδοσιακή εκτύπωση μελάνης. Οι εκτυπωτές στερεάς μελάνης προτιμώνται συχνά στις βιομηχανίες γραφιστικής και μάρκετινγκ.

2.2.2 Η επίδραση της τεχνολογίας εκτύπωσης μέσω υπολογιστή

Η εκτύπωση μέσω υπολογιστή είχε βαθύτατο αντίκτυπο στην κοινωνία, φέρνοντας επανάσταση σε διάφορες πτυχές της επικοινωνίας, των εκδόσεων, της διαφήμισης και της εκπαίδευσης. Μια από τις σημαντικές επιπτώσεις της εκτύπωσης μέσω υπολογιστή είναι εμφανής στον τομέα της επικοινωνίας και της τεκμηρίωσης. Η τεχνολογία εκτύπωσης έχει καταστήσει ευκολότερη τη δημιουργία φυσικών αντιγράφων ψηφιακών εγγράφων, επιτρέποντας την ανταλλαγή και την αρχειοθέτηση

πληροφοριών. Στην εποχή της ψηφιακής επικοινωνίας, η εκτύπωση παρέχει ένα απτό μέσο για την επίσημη επικοινωνία, την επίσημη τεκμηρίωση και τα νομικά συμβόλαια. Τα έντυπα έγγραφα διαθέτουν μια αίσθηση αυθεντικότητας και μονιμότητας, καθιστώντας τα πολύτιμα σε περιπτώσεις όπου απαιτούνται φυσικά αρχεία.

Επιπλέον, η ηλεκτρονική εκτύπωση έχει διαδραματίσει καθοριστικό ρόλο στις εκδόσεις και τα μέσα ενημέρωσης. Η άνοδος του λογισμικού επιτραπέζιων εκδόσεων και της ψηφιακής εκτύπωσης έχει εκδημοκρατίσει τον κλάδο των εκδόσεων. Παλαιότερα, η έκδοση βιβλίων, περιοδικών ή εφημερίδων απαιτούσε σημαντικούς πόρους και πρόσβαση σε μεγάλες εκτυπωτικές εγκαταστάσεις. Ωστόσο, με την έλευση της ψηφιακής εκτύπωσης, οι ιδιώτες και τα μικρά τυπογραφεία μπορούν να παράγουν εκδόσεις επαγγελματικής ποιότητας με σχετική ευκολία. Η ψηφιακή εκτύπωση επιτρέπει επίσης την εκτύπωση κατά παραγγελία, εξαλείφοντας την ανάγκη για μεγάλες εκτυπώσεις και μειώνοντας το κόστος των αποθεμάτων. Αυτό έχει διευκολύνει την αυτοέκδοση, επιτρέποντας στους συγγραφείς να φέρουν τα έργα τους στην αγορά χωρίς τα παραδοσιακά εμπόδια που επιβάλλουν οι παραδοσιακοί εκδοτικοί οίκοι (*Van der Meulen, M.-J.P., 2014*).

Στον τομέα της διαφήμισης και του μάρκετινγκ, η εκτύπωση μέσω υπολογιστή έχει φέρει επανάσταση στις καμπάνιες και τις στρατηγικές προώθησης. Η τεχνολογία παρέχει εκτυπώσεις υψηλής ποιότητας για φυλλάδια, διαφημιστικά φυλλάδια, πανό και διάφορα διαφημιστικά υλικά. Η δυνατότητα εκτύπωσης εξατομικευμένου περιεχομένου έχει ενισχύσει σημαντικά την αποτελεσματικότητα των στρατηγικών στοχευμένου μάρκετινγκ. Οι εταιρείες μπορούν να προσαρμόζουν και να προσαρμόζουν το υλικό μάρκετινγκ τους σε συγκεκριμένο κοινό, αυξάνοντας τη δέσμευση και τα ποσοστά ανταπόκρισης. Η εκτύπωση μέσω υπολογιστή έχει δώσει τη δυνατότητα στις επιχειρήσεις να δημιουργούν οπτικά ελκυστικό και εντυπωσιακό υλικό που επικοινωνεί αποτελεσματικά τα μηνύματα της μάρκας τους.

Η εκπαίδευση και η μάθηση έχουν επίσης επηρεαστεί θετικά από την τεχνολογία εκτύπωσης μέσω υπολογιστή. Η τεχνολογία εκτύπωσης επιτρέπει την παραγωγή σχολικών βιβλίων, τετραδίων εργασίας και μαθησιακού υλικού, τα οποία είναι απαραίτητα σε εκπαιδευτικά περιβάλλοντα. Υποστηρίζει τη δημιουργία οπτικών βοηθημάτων, φυλλαδίων και φύλλων εργασίας που βελτιώνουν τη μαθησιακή εμπειρία σε αίθουσες διδασκαλίας και εκπαιδευτικές συνεδρίες. Το έντυπο υλικό επιτρέπει τον εύκολο σχολιασμό, την επισήμανση και την παραπομπή, διευκολύνοντας την κατανόηση και τη διατήρηση της γνώσης. Επιπλέον, η δυνατότητα παραγωγής οπτικών

μέσων και διαγραμμάτων υψηλής ποιότητας βοηθά στη μετάδοση σύνθετων εννοιών και στη δέσμευση των μαθητών με πιο αποτελεσματικό τρόπο.

Καθώς η τεχνολογία εκτύπωσης μέσω υπολογιστή συνεχίζει να εξελίσσεται, ο αντίκτυπός της στην κοινωνία αναμένεται να εξελιχθεί περαιτέρω και να διαμορφώσει τον τρόπο με τον οποίο επικοινωνούμε, μοιραζόμαστε πληροφορίες και διεξάγουμε επιχειρήσεις.

2.3 Η τρισδιάστατη εκτύπωση (ή 3D printing)

Η τρισδιάστατη εκτύπωση, γνωστή και ως προσθετική κατασκευή, έχει επιφέρει μια αλλαγή παραδείγματος στον κόσμο του σχεδιασμού, των πρωτοτύπων και της κατασκευής. Αυτή η επαναστατική τεχνολογία επιτρέπει τη δημιουργία τρισδιάστατων στερεών αντικειμένων από ψηφιακά αρχεία, ανοίγοντας έναν κόσμο δυνατοτήτων σε διάφορους κλάδους. Η διαδικασία της τρισδιάστατης εκτύπωσης περιλαμβάνει την κατασκευή αντικειμένων στρώμα προς στρώμα, με βάση ένα ψηφιακό μοντέλο. Ξεκινά με τη δημιουργία ή την απόκτηση ενός τρισδιάστατου μοντέλου, το οποίο στη συνέχεια τεμαχίζεται σε λεπτά στρώματα. Αυτά τα στρώματα εκτυπώνονται διαδοχικά και στοιβάζονται, χρησιμοποιώντας υλικά όπως πλαστικά, μέταλλα, κεραμικά ή ακόμη και ζωντανά κύτταρα (Ngo, T.D., Kashani, A. & Imbalzano, G., 2018). Αυτή η προσθετική προσέγγιση επιτρέπει την παραγωγή πολύπλοκων γεωμετριών και περίπλοκων λεπτομερειών που θα ήταν δύσκολο ή αδύνατο να επιτευχθούν με τις παραδοσιακές μεθόδους κατασκευής.

2.3.1 Η ιστορία της τρισδιάστατης εκτύπωσης

Οι απαρχές της τρισδιάστατης εκτύπωσης χρονολογείται από τη δεκαετία του 1980, όταν η τεχνολογία πρωτοσχεδιάστηκε και αναπτύχθηκε από τον Charles Hull το 1983. Ο Hull συνέχισε να είναι συνιδρυτής της 3D Systems Corporation, η οποία έγινε μια από τις πρωτοπόρες εταιρείες στον τομέα αυτό.

Τα πρώτα χρόνια, η τρισδιάστατη εκτύπωση χρησιμοποιήθηκε κυρίως για σκοπούς κατασκευής πρωτοτύπων σε βιομηχανίες, όπως η αυτοκινητοβιομηχανία. Η τεχνολογία σταδιακά εξελίχθηκε και εισήχθησαν άλλες μέθοδοι, όπως η επιλεκτική

πυροσυσσωμάτωση⁴ με λέιζερ και η μοντελοποίηση με τη μέθοδο της λιωμένης εναπόθεσης, διευρύνοντας το φάσμα των υλικών και των εφαρμογών.

Καθώς τα διπλώματα ευρεσιτεχνίας για διάφορες τεχνολογίες τρισδιάστατης εκτύπωσης άρχισαν να λήγουν τη δεκαετία του 2000, ο τομέας γνώρισε σημαντική ώθηση. Με την πάροδο του χρόνου, η τρισδιάστατη εκτύπωση εξελίχθηκε από ένα κυρίως βιομηχανικό εργαλείο σε μια τεχνολογία προσιτή στους καταναλωτές. Οι επιτραπέζιοι τρισδιάστατοι εκτυπωτές έγιναν διαθέσιμοι, δίνοντας δυνατότητα στους χρήστες και τους σχεδιαστές να δημιουργήσουν τα δικά τους τρισδιάστατα εκτυπωμένα αντικείμενα (Ngo, T.D., Kashani, A. & Imbalzano, G., 2018).

Σήμερα, η τρισδιάστατη εκτύπωση έχει βρει εφαρμογές σε διάφορες βιομηχανίες, όπως η υγειονομική περίθαλψη, η αρχιτεκτονική, η μόδα και η μεταποίηση. Η τεχνολογία συνεχίζει να εξελίσσεται, με τη συνεχή έρευνα και ανάπτυξη να επικεντρώνεται στη βελτίωση της ταχύτητας, της ακρίβειας και του εύρους των εκτυπώσιμων υλικών.

2.3.2 Η λειτουργία του 3D printing

Η διαδικασία ξεκινά με ένα ψηφιακό μοντέλο που δημιουργείται με τη χρήση λογισμικού σχεδίασης με τη βοήθεια υπολογιστή (CAD) ή που λαμβάνεται μέσω τρισδιάστατης σάρωσης. Το μοντέλο καθορίζει τη γεωμετρία και τις προδιαγραφές του αντικειμένου που πρόκειται να εκτυπωθεί. Το ψηφιακό μοντέλο στη συνέχεια τεμαχίζεται σε λεπτά στρώματα με τη χρήση εξειδικευμένου λογισμικού. Το λογισμικό τεμαχισμού παίζει καθοριστικό ρόλο στη μετάφραση του ψηφιακού μοντέλου σε οδηγίες⁵ που μπορεί να κατανοήσει ο τρισδιάστατος εκτυπωτής και ουσιαστικά αναλύει το τρισδιάστατο μοντέλο σε πολυάριθμες οριζόντιες διατομές ή στρώματα, τα οποία ο εκτυπωτής θα κατασκευάζει ένα προς ένα. Κάθε στρώμα μετατρέπεται σε δισδιάστατη εικόνα διατομής που χρησιμεύει ως σχέδιο για την εκτύπωση.

Η μηχανή τρισδιάστατης εκτύπωσης λαμβάνει το αρχείο που έχει τεμαχιστεί και ξεκινά τη διαδικασία εκτύπωσης. Η επιλεγμένη τεχνολογία εκτύπωσης καθορίζει τον

⁴Η πυροσυσσωμάτωση αναφέρεται στη θέρμανση μεταλλικής σκόνης ή συμπαγούς σκόνης σε θερμοκρασία χαμηλότερη από το σημείο τήξης του κύριου συστατικού. Οι άνθρωποι χρησιμοποιούν εδώ και καιρό τη διαδικασία πυροσυσσωμάτωσης για την παραγωγή κεραμικών, μεταλλουργίας σκόνης, πυρίμαχων υλικών και υλικών εξαιρετικά υψηλής θερμοκρασίας (samuefiltration.com).

⁵Αυτές οι οδηγίες, που συχνά αναφέρονται ως κώδικας G, υπαγορεύουν τις κινήσεις του εκτυπωτή, το πάχος στρώματος και άλλες κρίσιμες παραμέτρους.

τρόπο εναπόθεσης του υλικού για τη δημιουργία του αντικειμένου - μπορεί να περιλαμβάνει τήξη και εξώθηση πλαστικού νήματος, πυροσυσσώματωση κονιοποιημένου υλικού με χρήση λέιζερ ή σκλήρυνση υγρής ρητίνης με υπεριώδες φως, μεταξύ άλλων μεθόδων.

Καθώς κάθε στρώμα εναποτίθεται, υποβάλλεται σε διαδικασία ψύξης ή σκλήρυνσης για τη στερεοποίηση του υλικού. Αυτό το βήμα είναι απαραίτητο για τη διατήρηση της δομικής ακεραιότητας του αντικειμένου και την αποφυγή παραμορφώσεων. Σε περιπτώσεις όπου ένα αντικείμενο έχει προεξέχοντα ή πολύπλοκα χαρακτηριστικά, μπορεί να εισαχθούν δομές στήριξης κατά τη διάρκεια της εκτύπωσης για να εξασφαλιστεί η σταθερότητα. Αυτά τα προσωρινά στηρίγματα μπορούν να αφαιρεθούν μόλις ολοκληρωθεί η εκτύπωση.

Ο τρισδιάστατος εκτυπωτής ακολουθεί τις οδηγίες από το τεμαχισμένο αρχείο, εναποθέτοντας ή στερεοποιώντας το υλικό στρώμα προς στρώμα μέχρι να σχηματιστεί το πλήρες αντικείμενο με τα στρώματα να συνδέονται μεταξύ τους για να δημιουργήσουν μια συνεκτική δομή. Μετά την εκτύπωση, μπορεί να απαιτηθούν βήματα μετα-επεξεργασίας, όπως η αφαίρεση των δομών στήριξης, η λείανση, η στίλβωση ή η βαφή, για να βελτιωθεί η τελική εμφάνιση και η λειτουργικότητα του εκτυπωμένου αντικειμένου (Τράντζας, Γ., 2017).

2.3.3 Τύποι τεχνολογιών τρισδιάστατης εκτύπωσης

Δε χρησιμοποιούν όλοι οι τρισδιάστατοι εκτυπωτές την ίδια τεχνολογία. Υπάρχουν διάφοροι τρόποι εκτύπωσης και όλοι οι διαθέσιμοι είναι προσθετικοί, διαφέροντας κυρίως στον τρόπο με τον οποίο δημιουργούνται τα στρώματα για τη δημιουργία του τελικού αντικειμένου. Ορισμένες μέθοδοι χρησιμοποιούν τήξη ή μαλάκωμα του υλικού για την παραγωγή των στρωμάτων. Η επιλεκτική πυροσυσσώματωση με λέιζερ (SLS) και η μοντελοποίηση με τη μέθοδο της λιωμένης εναπόθεσης (FDM) είναι οι πιο συνηθισμένες τεχνολογίες που χρησιμοποιούν αυτόν τον τρόπο εκτύπωσης. Μια άλλη μέθοδος εκτύπωσης είναι όταν μιλάμε για τη σκλήρυνση μιας φωτοαντιδραστικής ρητίνης με λέιζερ υπεριώδους ακτινοβολίας ή άλλη παρόμοια πηγή ενέργειας ένα στρώμα κάθε φορά. Η πιο συνηθισμένη τεχνολογία που χρησιμοποιεί αυτή τη μέθοδο ονομάζεται στερεολιθογραφία (SLA).

2.3.3.1 Τεχνολογία FDM

Η τεχνολογία FDM (Fused Deposition Modeling) είναι μια διαδεδομένη και ευρέως χρησιμοποιούμενη τεχνολογία τρισδιάστατης εκτύπωσης. Λειτουργεί με την τροφοδοσία ενός θερμαινόμενου θερμοπλαστικού νήματος μέσω ενός ακροφυσίου, το οποίο εναποθέτει συστηματικά το υλικό στρώμα προς στρώμα, με αποτέλεσμα τη δημιουργία ενός επιθυμητού αντικειμένου (*Al-Maliki, J. Q., 2015*).

Στην καρδιά της τεχνολογίας FDM βρίσκεται η αρχή της εξώθησης υλικού. Ξεκινά με την τροφοδοσία ενός θερμοπλαστικού νήματος, που χρησιμεύει ως το κύριο υλικό εκτύπωσης, στον εξωθητή του εκτυπωτή. Εντός του θερμαινόμενου ακροφυσίου του εξωθητή, το νήμα υφίσταται μετάβαση φάσης, λιώνοντας σε ημι-υγρή κατάσταση. Αυτό το λιωμένο υλικό μπορεί στη συνέχεια να εξωθείται με ακρίβεια, όπως ένα πιστόλι θερμής κόλλας που διανέμει κόλλα, για να σχηματίσει το αντικείμενο στρώμα προς στρώμα. Το καθοριστικό χαρακτηριστικό του FDM είναι η προσέγγιση κατασκευής στρώμα προς στρώμα. Η διαδικασία τρισδιάστατης εκτύπωσης ξεκινά με την εναπόθεση του πρώτου στρώματος υλικού στην πλατφόρμα κατασκευής. Μόλις ολοκληρωθεί αυτό το στρώμα, η πλατφόρμα κατεβαίνει ή η κεφαλή εκτύπωσης ανεβαίνει, ανάλογα με τον σχεδιασμό του εκτυπωτή, και το επόμενο στρώμα προστίθεται πάνω στο προηγούμενο. Αυτή η διαδοχική διαστρωμάτωση συνεχίζεται μέχρι να υλοποιηθεί ολόκληρο το αντικείμενο. Αυτή η αρχή της σταδιακής διαστρωμάτωσης επιτρέπει την κατασκευή περίπλοκων γεωμετριών και πολύπλοκων εσωτερικών δομών. Καθώς αναδύεται κάθε φρεσκοαποτιθέμενο στρώμα, υφίσταται ταχεία ψύξη και στερεοποίηση. Αυτή η γρήγορη διαδικασία στερεοποίησης είναι καθοριστική για τη δημιουργία ισχυρών δεσμών μεταξύ των διαδοχικών στρώσεων. Αυτοί οι δεσμοί διασφαλίζουν ότι το τελικό αντικείμενο διατηρεί τη δομική ακεραιότητα και τη διαστατική ακρίβεια. Η ισχυρή πρόσφυση μεταξύ των στρωμάτων αποτελεί ακρογωνιαίο λίθο της αξιοπιστίας του FDM. Πολύπλοκες γεωμετρίες ή προεξέχοντα χαρακτηριστικά συχνά καθιστούν αναγκαία τη χρήση δομών στήριξης στην εκτύπωση FDM. Αυτά τα προσωρινά ικρίσματα εκτυπώνονται ταυτόχρονα παράλληλα με το πρωταρχικό αντικείμενο για την αποφυγή της χαλάρωσης ή της παραμόρφωσης κατά τη διάρκεια της διαδικασίας εκτύπωσης. Μόλις ολοκληρωθεί η εκτύπωση, αυτά τα στηρίγματα μπορούν να αφαιρεθούν χειροκίνητα ή να διαλυθούν με τη χρήση κατάλληλων διαλυτών, αφήνοντας το τελικό αντικείμενο ανέπαφο. Η τεχνολογία FDM παρέχει στους χρήστες τον έλεγχο της εσωτερικής δομής των εκτυπωμένων αντικειμένων, που ονομάζεται πλήρωση - είναι δυνατή η προσαρμογή

της πυκνότητας πλήρωσης για τη βελτιστοποίηση των ιδιοτήτων του αντικειμένου, όπως η αντοχή, το βάρος και ο χρόνος εκτύπωσης. Τα συνήθη μοτίβα πλήρωσης περιλαμβάνουν κηρήθρα, πλέγμα και ευθύγραμμο, με υψηλότερα ποσοστά πλήρωσης να αποδίδουν πυκνότερα και πιο ανθεκτικά αντικείμενα. Μετά την εναπόθεση κάθε στρώματος, αυτό υποβάλλεται αμέσως σε μια κρίσιμη φάση ψύξης και στερεοποίησης. Η επαρκής ψύξη είναι απαραίτητη για την αποτροπή προβλημάτων όπως η στρέβλωση ή η παραμόρφωση του εκτυπωμένου υλικού. Ορισμένοι εκτυπωτές FDM ενσωματώνουν θερμαινόμενες πλατφόρμες κατασκευής για την ενίσχυση της πρόσφυσης του υλικού κατά τη διαδικασία εκτύπωσης.

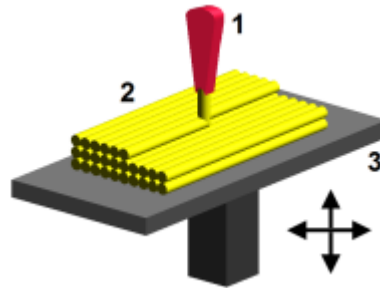
Οι εκτυπωτές FDM βασίζονται σε ακριβείς κινήσεις της κεφαλής εκτύπωσης και της πλατφόρμας κατασκευής. Ένα σύστημα ελέγχου ερμηνεύει τις οδηγίες που προέρχονται από το τρισδιάστατο μοντέλο, διασφαλίζοντας ότι η κεφαλή εκτύπωσης κινείται με ακρίβεια κατά μήκος των αξόνων X, Y και Z, η οποία είναι καθοριστική για τη μετάφραση του ψηφιακού σχεδίου σε ένα φυσικό αντικείμενο με εξαιρετική ακρίβεια.

Ο ρόλος του λογισμικού τεμαχισμού είναι υψίστης σημασίας στην εκτύπωση FDM. Λειτουργεί ως ενδιάμεσος μεταξύ του τρισδιάστατου μοντέλου και του εκτυπωτή, παρέχοντας οδηγίες που διέπουν παραμέτρους όπως οι κινήσεις των ακροφυσίων, οι ρυθμοί εξώθησης και το πάχος στρώματος. Η επιλογή των ρυθμίσεων τεμαχισμού έχει βαθύτατο αντίκτυπο στην ποιότητα και τα χαρακτηριστικά της εκτύπωσης.

Αν και η διαδικασία τρισδιάστατης εκτύπωσης ολοκληρώνεται με την ολοκλήρωση του αντικειμένου, ορισμένα σενάρια μπορεί να απαιτούν μετα-επεξεργασία. Εργασίες όπως η αφαίρεση της δομής στήριξης, η εξομάλυνση της επιφάνειας μέσω λείανσης, η αισθητική βελτίωση μέσω βαφής ή η συναρμολόγηση πολλαπλών εκτυπωμένων εξαρτημάτων για τη δημιουργία ενός λειτουργικού τελικού προϊόντος εμπίπτουν στη σφαίρα της μετα-επεξεργασίας.

Η ελκυστικότητα της FDM έγκειται στην προσιτή τιμή, την απλότητα και την ευελιξία της, καθιστώντας την ιδιαίτερα περιζήτητη τόσο από τους χομπίστες όσο και από τις μικρές επιχειρήσεις. Ο παράγοντας της οικονομικής προσιτότητας της FDM πηγάζει από τη χρήση εύκολα διαθέσιμων θερμοπλαστικών νημάτων, τα οποία είναι σχετικά φθηνά σε σύγκριση με άλλα υλικά τρισδιάστατης εκτύπωσης. Επιπλέον, η απλότητα της διαδικασίας την καθιστά προσιτή σε ένα ευρύ φάσμα χρηστών, ακόμη και σε εκείνους με περιορισμένη τεχνική εμπειρία. Η ευελιξία της FDM είναι ένα άλλο

βασικό πλεονέκτημα, επιτρέποντας την εκτύπωση διαφόρων σχημάτων και μεγεθών με διαφορετικά θερμοπλαστικά υλικά (Τράντζας, Γ., 2017).



Εικ. 2.1: FDM τεχνολογία με τα σημεία να είναι 1-Ακροφύσιο που εκτοξεύει λιωμένο υλικό (πλαστικό), 2-Αποτιθέμενο υλικό (μοντελοποιημένο μέρος) και 3-Ψηφιακή τεχνολογία ελεγχόμενης κινητής τράπεζας (Al-Maliki, J. Q., 2015)

2.3.3.2 Τεχνολογία SLA

Η στερεολιθογραφία (SLA) είναι μια τεχνολογία τρισδιάστατης εκτύπωσης που χρησιμοποιεί ένα λέιζερ υπεριώδους ακτινοβολίας για να στερεοποιήσει υγρή φωτοπολυμερή ρητίνη, στρώμα προς στρώμα, μέσα σε μια δεξαμενή. Καθώς κάθε στρώμα σκληραίνεται, η πλατφόρμα κατασκευής μετακινείται σταδιακά προς τα πάνω, σχηματίζοντας τελικά το επιθυμητό αντικείμενο.

Κεντρικό στοιχείο της τεχνολογίας SLA είναι η αρχή του φωτοπολυμερισμού. Οι εκτυπωτές SLA χρησιμοποιούν μια υγρή ρητίνη ως κύριο υλικό εκτύπωσης. Αυτή η ρητίνη είναι φωτοευαίσθητη, δηλαδή μετατρέπεται από υγρή σε στερεή κατάσταση όταν εκτίθεται σε συγκεκριμένο μήκος κύματος υπεριώδους (UV) φωτός. Η καρδιά του εκτυπωτή SLA είναι ένα λέιζερ ή ένας προβολέας υπεριώδους ακτινοβολίας που εκπέμπει ακριβείς δέσμες υπεριώδους φωτός, χαρτογραφώντας το σχήμα διατομής κάθε στρώματος στο αντικείμενο. Καθώς το υπεριώδες φως έρχεται σε επαφή με την υγρή ρητίνη, ενεργοποιεί τον φωτοπολυμερισμό, προκαλώντας τη σκλήρυνση και τη στερεοποίηση της ρητίνης σε ένα ακριβές στρώμα. Η τρισδιάστατη εκτύπωση SLA χαρακτηρίζεται από την προσέγγιση κατασκευής στρώμα προς στρώμα. Η διαδικασία εκτύπωσης ξεκινά με την πλατφόρμα κατασκευής βυθισμένη στη δεξαμενή υγρής ρητίνης. Στη συνέχεια, το λέιζερ ή ο προβολέας υπεριώδους ακτινοβολίας σαρώνει την επιφάνεια της ρητίνης, εντοπίζοντας το ακριβές σχήμα του τρέχοντος στρώματος του αντικειμένου. Καθώς το υπεριώδες φως αλληλεπιδρά με τη ρητίνη, πραγματοποιείται φωτοπολυμερισμός, μετατρέποντας την υγρή ρητίνη σε ένα στερεό στρώμα - το πρώτο στρώμα του αντικειμένου. Στη συνέχεια, η πλατφόρμα κατασκευής ανυψώνεται

σταδιακά, επιτρέποντας το σχηματισμό των επόμενων στρωμάτων. Αυτή η σχολαστική διαδικασία στρωματοποίησης επαναλαμβάνεται έως ότου δημιουργηθεί ολόκληρο το αντικείμενο, στρώμα προς στρώμα. Παρόμοια με τη μοντελοποίηση με τη μέθοδο FDM (Fused Deposition Modeling), η τεχνολογία SLA απαιτεί συχνά τη χρήση δομών στήριξης. Αυτά τα προσωρινά στηρίγματα χρησιμεύουν για να σταθεροποιούν και να ενισχύουν τα προεξέχοντα ή περίπλοκα χαρακτηριστικά κατά τη διάρκεια της διαδικασίας εκτύπωσης. Το λογισμικό τεμαχισμού δημιουργεί αυτά τα στηρίγματα αυτόματα, λαμβάνοντας υπόψη τη γεωμετρία του αντικειμένου. Μετά την εκτύπωση, τα στηρίγματα μπορούν να αφαιρεθούν, αφήνοντας πίσω τους ελάχιστα σημεία επαφής στο αντικείμενο. Ανάλογα με το επιθυμητό φινίρισμα, μπορεί να απαιτείται κάποια μεταγενέστερη επεξεργασία, όπως λείανση ή επίστρωση επιφάνειας, για να επιτευχθεί μια λεία και γυαλιστερή εμφάνιση. Η τεχνολογία SLA ξεχωρίζει για την εξαιρετική ακρίβεια και ανάλυση. Η στενά εστιασμένη πηγή λέιζερ ή υπεριώδους φωτός επιτρέπει τη δημιουργία αντικειμένων με σχολαστική λεπτομέρεια και εξαιρετικά ομαλά επιφανειακά φινιρίσματα. Αυτή η ιδιότητα καθιστά την SLA ιδιαίτερα κατάλληλη για εφαρμογές που απαιτούν περίπλοκα εξαρτήματα υψηλής ακρίβειας, όπως ο σχεδιασμός κοσμημάτων, η οδοντιατρική προσθετική και τα πρωτότυπα μικρής κλίμακας σε διάφορες βιομηχανίες.

Οι εκτυπώσεις SLA απαιτούν γενικά ελάχιστη μετεπεξεργασία σε σύγκριση με αρκετές άλλες μεθόδους τρισδιάστατης εκτύπωσης. Μετά την ολοκλήρωση της εκτύπωσης, το αντικείμενο συνήθως ξεπλένεται σε διαλύτη για την απομάκρυνση της περίσσειας ρητίνης. Οι δομές στήριξης μπορούν στη συνέχεια να αποκολληθούν. Ανάλογα με το επιθυμητό τελικό φινίρισμα, μπορεί να χρησιμοποιηθούν πρόσθετα βήματα όπως η λείανση ή η εφαρμογή επιφανειακών επιστρώσεων.

Η SLA φημίζεται για την εξαιρετική ακρίβεια και το επιφανειακό φινίρισμα, τοποθετώντας την ως κατάλληλη επιλογή για εφαρμογές που απαιτούν περίπλοκες λεπτομέρειες και λείες επιφάνειες. Ως προς την υψηλή ακρίβεια, απορρέει από τον ακριβή έλεγχο του λέιζερ, επιτρέποντας τη δημιουργία περίπλοκων και πολύπλοκων γεωμετριών με λεπτές λεπτομέρειες. Η ρητίνη έχει ως αποτέλεσμα ένα λείο φινίρισμα επιφάνειας, μειώνοντας την ανάγκη για μετεπεξεργασία και ενισχύοντας την τελική αισθητική του εκτυπωμένου αντικειμένου. Η τεχνολογία SLA βρίσκει ευρεία εφαρμογή σε διάφορες βιομηχανίες, όπως η κοσμηματοποιία, η οδοντιατρική και η κατασκευή πρωτοτύπων, όπου τα περίπλοκα σχέδια και οι λείες επιφάνειες είναι υψίστης σημασίας (Al-Maliki, J. Q., 2015). Η ικανότητά της να παράγει εξαιρετικά

λεπτομερείς και οπτικά ελκυστικές εκτυπώσεις την καθιστούν προτιμώμενη επιλογή για τους επαγγελματίες που αναζητούν κορυφαία ποιότητα στα τρισδιάστατα εκτυπωμένα αντικείμενά τους.

2.3.3.3 Τεχνολογία SLS

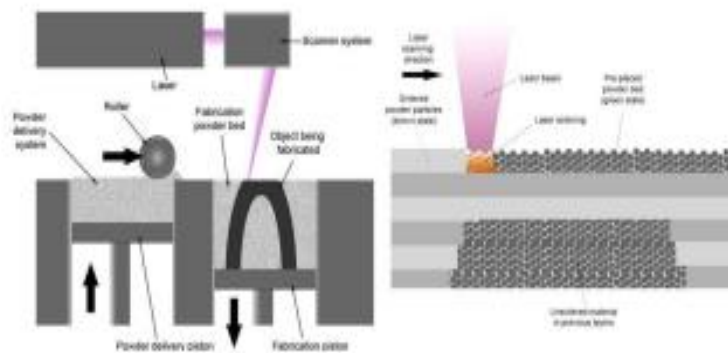
Η επιλεκτική πυροσυσσωμάτωση με λέιζερ (SLS) είναι η διαδικασία με την οποία το λέιζερ συγκολλά επιλεκτικά τα σωματίδια σκόνης μεταξύ τους, στρώμα προς στρώμα, για να δημιουργήσει το αντικείμενο.

Στον πυρήνα της τεχνολογίας SLS βρίσκεται η χρήση κονιοποιημένων υλικών ως το κύριο μέσο εκτύπωσης. Τα υλικά αυτά περιλαμβάνουν θερμοπλαστικά, μέταλλα, κεραμικά, ακόμη και εξειδικευμένα σύνθετα υλικά. Οι σκόνες αποθηκεύονται σε μια δεξαμενή ή χοάνη και απλώνονται ομοιόμορφα στην πλατφόρμα κατασκευής για να σχηματίσουν ένα λεπτό, ομοιόμορφο στρώμα. Κεντρική θέση στην τεχνολογία SLS κατέχει η αρχή της πυροσυσσωμάτωσης με λέιζερ. Ένα υψηλής ισχύος λέιζερ, καθοδηγούμενο από ακριβείς ψηφιακές οδηγίες από το τρισδιάστατο μοντέλο, σαρώνει επιλεκτικά το υλικό σε σκόνη σε κάθε στρώμα. Καθώς το λέιζερ χτυπά το υλικό, το θερμαίνει γρήγορα και με ακρίβεια μέχρι το σημείο σύντηξης (πυροσυσσωμάτωσης). Αυτό προκαλεί τη συγκόλληση των μεμονωμένων σωματιδίων σκόνης μεταξύ τους, μετατρέποντας τη χαλαρή σκόνη σε ένα συμπαγές στρώμα που αναπαριστά μια διατομή του αντικειμένου που εκτυπώνεται. Η τρισδιάστατη εκτύπωση SLS διακρίνεται για την προσέγγιση κατασκευής στρώμα προς στρώμα. Μετά την πυροσυσσωμάτωση ενός στρώματος, η πλατφόρμα κατασκευής χαμηλώνει σταδιακά κατά το πάχος ενός στρώματος και στη συνέχεια, ένα νέο στρώμα υλικού σε σκόνη απλώνεται πάνω από το προηγούμενο στρώμα και το λέιζερ σαρώνει αυτό το νέο στρώμα, επαναλαμβάνοντας τη διαδικασία πυροσυσσωμάτωσης. Αυτή η διαδοχική διαστρωμάτωση συνεχίζεται έως ότου ολόκληρο το αντικείμενο λάβει μορφή. Το σημαντικότερο είναι ότι η περιβάλλουσα μη πυροσυσσωματωμένη σκόνη λειτουργεί ως φυσικό στήριγμα κατά την εκτύπωση, εξαλείφοντας την ανάγκη για πρόσθετες δομές στήριξης. Οι εκτυπωτές SLS ελέγχουν σχολαστικά τη θερμοκρασία εντός του θαλάμου κατασκευής. Η ακριβής ρύθμιση της θερμοκρασίας εξασφαλίζει ότι μόνο το υλικό που στοχεύει το λέιζερ φτάνει στην απαιτούμενη θερμοκρασία πυροσυσσωμάτωσης, ενώ το υπόλοιπο παραμένει σε ελεγχόμενη χαμηλότερη θερμοκρασία. Μετά την πυροσυσσωμάτωση, το αντικείμενο αφήνεται να κρυσταλλώσει

σταδιακά εντός του θαλάμου, μειώνοντας τον κίνδυνο στρέβλωσης ή παραμόρφωσης (Yu-Cheng, W., Toly, C. & Yung-Lan, Y., 2018).

Μια βιώσιμη πτυχή της τεχνολογίας SLS είναι η επαναχρησιμοποίηση της αχρησιμοποίητης σκόνης. Μετά από μια εργασία εκτύπωσης, οποιαδήποτε μη πυροσυσσωματωμένη σκόνη μπορεί να συλλεχθεί, να κοσκινιστεί για την απομάκρυνση των ρύπων και στη συνέχεια να επανεισαχθεί στη διαδικασία εκτύπωσης. Αυτή η δυνατότητα ανακύκλωσης συμβάλλει στην οικονομική αποδοτικότητα και τη φιλικότητα προς το περιβάλλον της τεχνολογίας SLS.

Η SLS προσφέρει μεγάλη ελευθερία σχεδιασμού, υψηλή αντοχή και δυνατότητα εκτύπωσης πολύπλοκων γεωμετριών, γεγονός που την καθιστά δημοφιλή σε βιομηχανίες. Επιπρόσθετα, φημίζεται για τη συμβατότητά της με ένα ευρύ φάσμα υλικών, καθιστώντας την εφαρμόσιμη σε διάφορες βιομηχανίες. Τα υλικά αυτά περιλαμβάνουν πλαστικά, μέταλλα, κεραμικά και εξειδικευμένα σύνθετα υλικά, προσφέροντας ευελιξία για ποικίλες εφαρμογές.



Εικ. 2.2: Η τεχνολογία SLS (Al-Maliki, J. Q., 2015)

2.3.3.4 Τεχνολογία Binder Jetting

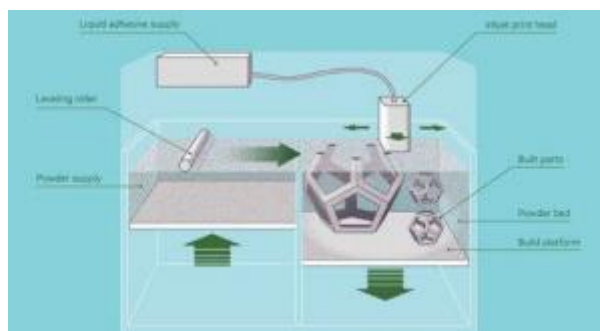
Η τεχνολογία Binder Jetting (εκτόξευση συνδετικού υλικού) είναι μια τεχνολογία τρισδιάστατης εκτύπωσης όπου ένα υγρό συνδετικό υλικό εναποτίθεται επιλεκτικά σε ένα στρώμα υλικού σε σκόνη, συνδέοντας σταδιακά τα σωματίδια μεταξύ τους για να σχηματίσουν το επιθυμητό αντικείμενο. Η υπόλοιπη χαλαρή σκόνη λειτουργεί ως δομή στήριξης κατά τη διάρκεια της διαδικασίας εκτύπωσης.

Το Binder Jetting είναι μια μέθοδος τρισδιάστατης εκτύπωσης με βάση τη σκόνη. Ξεκινά με ένα λεπτό στρώμα υλικού σε σκόνη (όπως μέταλλο, άμμος ή κεραμικά) που απλώνεται ομοιόμορφα στην πλατφόρμα κατασκευής. Το πάχος κάθε στρώματος καθορίζεται από τις προδιαγραφές του εκτυπωτή. Η βασική αρχή της Binder Jetting

είναι η εκτύπωση με μελάνι. Αντί να χρησιμοποιείται λέιζερ ή άλλη πηγή θερμότητας για τη σύντηξη του υλικού, το Binder Jetting χρησιμοποιεί κεφαλή εκτύπωσης inkjet. Αυτή η κεφαλή εκτύπωσης εναποθέτει με ακρίβεια έναν υγρό συνδετικό παράγοντα (το συνδετικό υλικό) πάνω στο κονιοποιημένο υλικό. Το συνδετικό υλικό δρα ως συγκολλητικό, συνδέοντας επιλεκτικά τα σωματίδια σκόνης μεταξύ τους στο σχήμα του τρέχοντος στρώματος. Όπως και άλλες μέθοδοι τρισδιάστατης εκτύπωσης, το Binder Jetting κατασκευάζει αντικείμενα στρώμα προς στρώμα. Αφού ένα στρώμα συνδεθεί επιλεκτικά μεταξύ του με το συνδετικό υλικό, απλώνεται από πάνω του ένα νέο στρώμα φρέσκιας σκόνης. Στη συνέχεια, η κεφαλή εκτύπωσης επαναλαμβάνει τη διαδικασία, εναποθέτοντας το συνδετικό υλικό σε αυτό το νέο στρώμα. Αυτή η διαδικασία διαστρωμάτωσης συνεχίζεται μέχρι να σχηματιστεί ολόκληρο το αντικείμενο. Σε ορισμένες περιπτώσεις, η εκτόξευση συνδετικού υλικού μπορεί να απαιτεί τη χρήση δομών στήριξης. Αυτά τα προσωρινά στηρίγματα κατασκευάζονται συνήθως από το ίδιο υλικό με τη σκόνη και εκτυπώνονται παράλληλα με το αντικείμενο για να παρέχουν σταθερότητα κατά την εκτύπωση. Μετά την ολοκλήρωση της εκτύπωσης, τα εν λόγω στηρίγματα μπορούν να αφαιρεθούν χειροκίνητα ή μέσω μεταγενέστερης επεξεργασίας. Ενώ το αντικείμενο εκτυπώνεται, συχνά δεν είναι στην τελική του κατάσταση. Μετά τη διαδικασία Binder Jetting, μπορεί να χρειαστούν πρόσθετα στάδια όπως η διήθηση (πλήρωση του αντικειμένου με ένα δευτερεύον υλικό) και η πυροσυσσωμάτωση (θέρμανση του αντικειμένου για τη σύντηξη των σωματιδίων) για να επιτευχθούν οι επιθυμητές ιδιότητες του υλικού και η δομική ακεραιότητα (Al-Maliki, J. Q., 2015).

Το Binder Jetting ξεχωρίζει για την ευελιξία του στην εργασία με ένα ευρύ φάσμα υλικών, συμπεριλαμβανομένων των μετάλλων, των κεραμικών και της άμμου, καθιστώντας την κατάλληλη για ποικίλες εφαρμογές στην κατασκευή και την αρχιτεκτονική. Η δυνατότητα εκτύπωσης με μεταλλικές σκόνες, για παράδειγμα, ανοίγει δυνατότητες για τη δημιουργία σύνθετων μεταλλικών εξαρτημάτων με περίπλοκες γεωμετρίες και λεπτές λεπτομέρειες. Έχει πολλά πλεονεκτήματα, όπως ταχύτερους χρόνους παραγωγής, μειωμένη σπατάλη υλικών και δυνατότητα δημιουργίας αντικειμένων μεγάλης κλίμακας. Η τεχνολογία Blind Jetting μπορεί να λειτουργήσει με μια ποικιλία φωτοπολυμερών ρητινών, καθιστώντας την κατάλληλη για εφαρμογές σε διάφορους κλάδους, όπως η αεροδιαστημική, η αυτοκινητοβιομηχανία, η υγειονομική περίθαλψη και τα καταναλωτικά. Ωστόσο, είναι σημαντικό να σημειωθεί ότι μπορεί να απαιτηθούν βήματα μεταγενέστερης

επεξεργασίας, για να ενισχυθούν οι μηχανικές ιδιότητες και η αντοχή των εκτυπωμένων αντικειμένων.



Εικ. 2.3: Η τεχνολογία Binder Jetting (Al-Maliki, J. Q., 2015)

2.3.3.5 Τεχνολογία Blind Jetting

Η εκτόξευση υλικού είναι μια τεχνολογία τρισδιάστατης εκτύπωσης που λειτουργεί παρόμοια με την εκτύπωση inkjet. Περιλαμβάνει την εναπόθεση σταγονιδίων υγρού φωτοπολυμερούς σε μια πλατφόρμα κατασκευής, τα οποία στη συνέχεια σκληραίνονται με τη χρήση υπεριώδους φωτός. Η διαδικασία αυτή επιτρέπει την ταυτόχρονη εκτύπωση πολλαπλών υλικών και χρωμάτων, καθιστώντας δυνατή τη δημιουργία αντικειμένων με διαφορετικές ιδιότητες και περίπλοκα σχέδια.

Η βασική αρχή αυτής της 3D τεχνολογίας είναι η αυτή της τεχνολογίας inkjet. Σε αντίθεση με τις συμβατικές μεθόδους τρισδιάστατης εκτύπωσης που κατασκευάζουν αντικείμενα στρώμα προς στρώμα, η Blind Jetting χρησιμοποιεί μια κεφαλή εκτύπωσης inkjet υψηλής ανάλυσης, παρόμοια με αυτές που χρησιμοποιούνται στη δισδιάστατη εκτύπωση χαρτιού. Ωστόσο, αντί για μελάνι, αυτή η κεφαλή εκτύπωσης διανέμει μια εξειδικευμένη υγρή φωτοπολυμερή ρητίνη. Η τεχνολογία Blind Jetting συνδέεται στενά με τη διαδικασία παραγωγής συνεχούς υγρής διεπαφής (CLIP). Στην CLIP, μια υγρή ρητίνη φωτοπολυμερούς διατηρείται σε μια διαφανή δεξαμενή πάνω από μια πλατφόρμα κατασκευής. Η κεφαλή εκτύπωσης inkjet διοχετεύει επιλεκτικά υπεριώδεις (UV) φως στην επιφάνεια της ρητίνης, προκαλώντας την άμεση στερεοποίησή της στο σημείο όπου το φως έρχεται σε επαφή με τη ρητίνη. Έτσι σχηματίζεται ένα συμπαγές στρώμα του αντικειμένου και η πλατφόρμα δόμησης κινείται προς τα πάνω για να δημιουργήσει το επόμενο στρώμα. Σε αντίθεση με την παραδοσιακή τρισδιάστατη εκτύπωση στρώμα προς στρώμα, η τεχνολογία Blind Jetting δε βασίζεται σε αυτή την προσέγγιση. Αντί αυτού, χρησιμοποιεί μια προσέγγιση «από κάτω προς τα πάνω», όπου το αντικείμενο ωθείται συνεχώς από την υγρή ρητίνη καθώς το υπεριώδες φως

σκληραίνει το υλικό (*Al-Maliki, J. Q., 2015*). Αυτή η μη στρωματοποιημένη προσέγγιση εξαλείφει τις ορατές γραμμές στρώματος που είναι συνηθισμένες στην παραδοσιακή τρισδιάστατη εκτύπωση, με αποτέλεσμα πιο ομαλές και αισθητικά ελκυστικές επιφάνειες.

Η δυνατότητα ταυτόχρονης εκτύπωσης με πολλαπλά υλικά και χρώματα προσφέρει τεράστια ευελιξία και ανοίγει ένα ευρύ φάσμα εφαρμογών. Επιτρέπει την κατασκευή αντικειμένων με διαφορετικές μηχανικές, οπτικές ή λειτουργικές ιδιότητες μέσα σε μία μόνο εκτύπωση. Αυτή η δυνατότητα είναι ιδιαίτερα πολύτιμη σε κλάδους όπως ο σχεδιασμός προϊόντων, η κατασκευή πρωτοτύπων, ακόμη και σε βιοϊατρικές εφαρμογές, όπου είναι επιθυμητά πολύπλοκα και προσαρμοσμένα αντικείμενα με διαφορετικά χαρακτηριστικά υλικών. Επιπλέον, η τεχνολογία εκτόξευσης υλικού παρέχει εξαιρετική ανάλυση λεπτομερειών και φινίρισμα επιφάνειας, με αποτέλεσμα εκτυπώσεις υψηλής ποιότητας. Επιτρέπει τη δημιουργία οπτικά ελκυστικών και ρεαλιστικών πρωτοτύπων ή εξαρτημάτων τελικής χρήσης με λεπτές υφές και λείες επιφάνειες (*Al-Maliki, J. Q., 2015*).

2.3.3.6 Τεχνολογία DED

Η κατευθυνόμενη ενεργειακή εναπόθεση (DED) περιλαμβάνει την εναπόθεση υλικού μέσω ακροφυσίου ή δέσμης λέιζερ με ταυτόχρονη τήξη του και χρησιμοποιείται συχνά για την επισκευή ή την προσθήκη υλικού σε υπάρχοντα αντικείμενα, όπως στην τρισδιάστατη εκτύπωση μετάλλων (*Zhang, B., 2018*).

Η τεχνολογία DED περιλαμβάνει την εναπόθεση υλικού, συνήθως με τη μορφή μεταλλικού σύρματος ή σκόνης, πάνω σε ένα υπόστρωμα ή ένα υπάρχον εξάρτημα. Το υλικό τροφοδοσίας κατευθύνεται με ακρίβεια στην επιθυμητή θέση όπου κατασκευάζεται ή επισκευάζεται το αντικείμενο ή το εξάρτημα. Τα συστήματα DED μπορούν να λειτουργήσουν με ένα ευρύ φάσμα υλικών, συμπεριλαμβανομένων των μετάλλων, των κεραμικών, ακόμη και των σύνθετων υλικών και η τεχνολογία βασίζεται σε μια κατευθυνόμενη πηγή ενέργειας, η οποία είναι συνήθως ένα λέιζερ υψηλής ισχύος, μια δέσμη ηλεκτρονίων ή ένα τόξο πλάσματος - αυτή η πηγή ενέργειας παρέχει την απαραίτητη θερμότητα για την τήξη ή τη σύντηξη του εναποτιθέμενου υλικού πάνω στο υπόστρωμα. Η επιλογή της πηγής ενέργειας εξαρτάται από τη συγκεκριμένη εφαρμογή και το υλικό που χρησιμοποιείται. Παρόμοια με άλλες μεθόδους τρισδιάστατης εκτύπωσης, η DED κατασκευάζει τα αντικείμενα στρώμα

προς στρώμα. Ωστόσο, διαφέρει ως προς τον τρόπο με τον οποίο δημιουργούνται αυτά τα στρώματα. Στην DED, το υλικό εναποτίθεται πάνω στο υπάρχον στρώμα και η πηγή ενέργειας χρησιμοποιείται για να λιώσει και να συγκολλήσει το υλικό με το προηγούμενο στρώμα. Η διαδικασία αυτή επαναλαμβάνεται για κάθε στρώμα, δημιουργώντας σταδιακά το αντικείμενο. Τα εν λόγω συστήματα ενσωματώνουν συχνά μηχανισμούς παρακολούθησης και ελέγχου σε πραγματικό χρόνο. Αισθητήρες και κάμερες μπορούν να χρησιμοποιηθούν για την αξιολόγηση της ποιότητας και της συνοχής των εκτυπωμένων στρωμάτων. Οι πληροφορίες αυτές επιστρέφονται στο σύστημα ελέγχου του εκτυπωτή, επιτρέποντας την πραγματοποίηση προσαρμογών κατά τη διάρκεια της εκτύπωσης, ώστε να διασφαλίζεται η ακρίβεια και η ακρίβεια κατά τη διάρκεια της εκτύπωσης. Τα συστήματα DED είναι συνήθως εξοπλισμένα με πολυαξονικούς ρομποτικούς βραχίονες ή συστήματα γερανογέφυρας που παρέχουν ακριβή έλεγχο της τοποθέτησης της εναπόθεσης του υλικού και της πηγής ενέργειας. Αυτή η ευελιξία επιτρέπει τη δημιουργία πολύπλοκων γεωμετριών και τη δυνατότητα επισκευής ή κατασκευής μεγάλων, περίπλοκων εξαρτημάτων. Αφού ολοκληρωθεί η διαδικασία εκτύπωσης DED, ενδέχεται να απαιτηθούν βήματα μετεπεξεργασίας. Αυτά μπορεί να περιλαμβάνουν μηχανική κατεργασία, θερμική επεξεργασία και επιφανειακό φινίρισμα για την επίτευξη των επιθυμητών τελικών ιδιοτήτων και της ποιότητας της επιφάνειας του εκτυπωμένου εξαρτήματος (Zhang, B., 2018).

Αυτή η τεχνολογία είναι γνωστή για την αποδοτικότητα των υλικών της. Ειδικότερα, δεδομένου ότι εναποθέτει υλικό μόνο εκεί που χρειάζεται, υπάρχει ελάχιστη σπατάλη, καθιστώντας την μια οικονομικά αποδοτική επιλογή για εφαρμογές κατασκευής και επισκευής.

2.3.3.7 Τεχνολογία LOM

Η κατασκευή πλαστικοποιημένων αντικειμένων (LOM) περιλαμβάνει την κοπή και συγκόλληση φύλλων υλικού, συνήθως χαρτιού ή πλαστικού, στρώμα προς στρώμα για τη δημιουργία του αντικειμένου.

Συγκεκριμένα, Η βασική αρχή του LOM είναι η πολυεπίπεδη κατασκευή. Σε αντίθεση με άλλες μεθόδους τρισδιάστατης εκτύπωσης που εναποθέτουν υλικό στρώμα προς στρώμα, η LOM κατασκευάζει αντικείμενα με τη συγκόλληση στρωμάτων υλικού μεταξύ τους. Φύλλα υλικού, συνήθως χαρτί ή χαρτί με επικάλυψη πλαστικού, κόβονται στο σχήμα κάθε στρώματος διατομής του αντικειμένου. Τα

φύλλα αυτά στοιβάζονται και εφαρμόζεται κόλλα ή θερμότητα για να συγκολληθούν μεταξύ τους. Η διαδικασία αυτή επαναλαμβάνεται για κάθε στρώμα μέχρι να σχηματιστεί το πλήρες αντικείμενο. Το LOM χρησιμοποιεί εύκολα διαθέσιμα υλικά όπως χαρτί, πλαστικό ή σύνθετα υλικά. Τα υλικά αυτά διατίθενται σε μορφή φύλλων ή ρολών, καθιστώντας τα προσιτά και προσιτά. Η επιλογή του υλικού εξαρτάται από τις επιθυμητές ιδιότητες και την εφαρμογή του τελικού αντικειμένου.. Ένα λείζερ ή ένα μαχαίρι χρησιμοποιείται για την κοπή κάθε στρώματος και μια κόλλα εφαρμόζεται για να τα συγκολλήσει μεταξύ τους και ως τεχνολογία είναι γνωστή για την ταχύτητα και την ικανότητά του να εκτυπώνει μεγάλα αντικείμενα, αλλά έχει περιορισμούς όσον αφορά το φινίρισμα της επιφάνειας και την πολυπλοκότητα. Μετά την κοπή, εφαρμόζεται μια κόλλα για τη συγκόλληση των στρωμάτων μεταξύ τους. Σε ορισμένες περιπτώσεις, μπορεί επίσης να χρησιμοποιηθεί θερμότητα για τη θερμική συγκόλληση των στρωμάτων. Η τεχνολογία LOM δεν απαιτεί παραδοσιακές δομές στήριξης, επειδή το μη απαραίτητο υλικό δεν εναποτίθεται εξαρχής. Ωστόσο, ορισμένα αντικείμενα ενδέχεται να απαιτούν προσωρινές δομές στήριξης εντός των στρωμάτων υλικού, οι οποίες μπορούν να αφαιρεθούν χειροκίνητα μετά την ολοκλήρωση της εκτύπωσης (*De Jong, J.P.J., de Bruijn, E., 2013*).

Μετά τη διαδικασία εκτύπωσης LOM, ενδέχεται να χρειαστεί μετα-επεξεργασία. Αυτό μπορεί να περιλαμβάνει την περικοπή του πλεονάζοντος υλικού, το τρίψιμο, τη βαφή ή τη συναρμολόγηση πολλαπλών εκτυπωμένων εξαρτημάτων για τη δημιουργία ενός τελικού προϊόντος.

Η τεχνολογία LOM είναι ευέλικτη και μπορεί να παράγει αντικείμενα με διαφορετικές ιδιότητες υλικού και τελειώματα ανάλογα με τον τύπο του υλικού που χρησιμοποιείται. Είναι ιδιαίτερα κατάλληλη για ταχεία κατασκευή πρωτοτύπων, αρχιτεκτονικά μοντέλα και εκπαιδευτικούς σκοπούς.

2.3.4 Εφαρμογές της τρισδιάστατης εκτύπωσης

Η τρισδιάστατη εκτύπωση εφαρμόζεται ποικιλοτρόπως, φέρνοντας καινοτομίες σε διάφορες βιομηχανίες και τομείς με τις μοναδικές της δυνατότητες.

Η ταχεία κατασκευή πρωτοτύπων είναι μία από τις θεμελιώδεις εφαρμογές της τρισδιάστατης εκτύπωσης. Παραδοσιακά, η κατασκευή πρωτοτύπων απαιτούσε σημαντικές επενδύσεις σε χρόνο και κόστος. Ωστόσο, η τρισδιάστατη εκτύπωση έχει μετασχηματίσει αυτή τη διαδικασία, διευκολύνοντας τόσο τους σχεδιαστές, όσο και

τους μηχανικούς να παράγουν γρήγορα και οικονομικά αποδοτικά πρωτότυπα και επιταχύνονται οι κύκλοι ανάπτυξης προϊόντων και μειώνεται ο χρόνος διάθεσης στην αγορά.

Η υγειονομική περίθαλψη έχει επηρεαστεί σημαντικά από την τρισδιάστατη εκτύπωση. Στον χειρουργικό σχεδιασμό, τα μοντέλα για τον ασθενή που δημιουργούνται μέσω της τρισδιάστατης εκτύπωσης βοηθούν τους χειρουργούς στην κατανόηση πολύπλοκων ανατομικών δομών και στον σχεδιασμό περίπλοκων διαδικασιών (Τράντζας, Γ., 2017). Η τεχνολογία αυτή ενισχύει την προεγχειρητική προετοιμασία, βελτιώνει τα χειρουργικά αποτελέσματα και μειώνει τους κινδύνους, ενώ παράλληλα στον τομέα της προσθετικής, η τρισδιάστατη εκτύπωση έχει φέρει επανάσταση στη διαδικασία κατασκευής. Ενώ οι παραδοσιακές προσθετικές εργασίες απαιτούν συχνά εκτεταμένη προσαρμογή και μπορεί να είναι αυξημένου κόστους, η τρισδιάστατη εκτύπωση επιτρέπει τη δημιουργία προσαρμοσμένων κατά παραγγελία προσθετικών υλικών σε ένα κλάσμα του κόστους, παρέχοντας μεγαλύτερη άνεση, λειτουργικότητα και προσβασιμότητα στους ακρωτηριασμένους σε όλο τον κόσμο. Τα ιατρικά εμφυτεύματα, όπως τα οστικά και τα οδοντικά, μπορούν επίσης να προσαρμοστούν με ακρίβεια σε μεμονωμένους ασθενείς με τη χρήση της νέας τεχνολογίας, άγοντας σε καλύτερα αποτελέσματα και βελτίωση της ποιότητας ζωής των ασθενών. Αξιοσημείωτη είναι η βιοεκτύπωση, ένα υποσύνολο της τρισδιάστατης εκτύπωσης, με την οποία κατασκευάζονται ζωντανοί ιστοί και όργανα, συνεισφέροντας στον κλάδο της αναγεννητικής ιατρικής και την αντιμετώπιση της παγκόσμιας έλλειψης οργάνων.

Η αεροδιαστημική και η αυτοκινητοβιομηχανία έχουν υιοθετήσει με τη σειρά τους την τρισδιάστατη εκτύπωση για διάφορες εφαρμογές. Στην αεροδιαστημική, η μείωση του βάρους αποτελεί κρίσιμο παράγοντα για την ενίσχυση της αποδοτικότητας των καυσίμων και των επιδόσεων. Η τρισδιάστατη εκτύπωση επιτρέπει τη δημιουργία ελαφρών και πολύπλοκων δομών που ήταν προηγουμένως ανέφικτες μέσω των παραδοσιακών μεθόδων κατασκευής. Η τεχνολογία αυτή επιτρέπει την ενοποίηση πολλαπλών εξαρτημάτων σε ένα μόνο εκτυπωμένο κομμάτι, μειώνοντας τον χρόνο συναρμολόγησης, βελτιώνοντας την αποδοτικότητα και μειώνοντας το συνολικό βάρος των αεροσκαφών. Επιπλέον, η τρισδιάστατη εκτύπωση διευκολύνει την ταχεία κατασκευή πρωτοτύπων, επιτρέποντας στους μηχανικούς να επαναλαμβάνουν και να βελτιστοποιούν γρήγορα τα σχέδια. Στην αυτοκινητοβιομηχανία, η τρισδιάστατη εκτύπωση προσφέρει παρόμοια οφέλη, όπως η μείωση του βάρους και η ταχεία

πρωτοτυποποίηση. Επιπλέον, η τρισδιάστατη εκτύπωση επιτρέπει την παραγωγή εξατομικευμένων εξαρτημάτων και αξεσουάρ οχημάτων, καλύπτοντας τις ατομικές προτιμήσεις των πελατών και επιτρέποντας την προσαρμογή σε ένα νέο επίπεδο.

Η εφαρμογή της τρισδιάστατης εκτύπωσης στην αρχιτεκτονική και τις κατασκευές έχει τη δυνατότητα να φέρει επανάσταση στον κλάδο, εισάγοντας νέες μεθόδους και δυνατότητες. Οι τρισδιάστατοι εκτυπωτές μεγάλης κλίμακας είναι σε θέση να κατασκευάζουν δομικά στοιχεία χρησιμοποιώντας υλικά όπως το σκυρόδεμα, παρουσιάζοντας αρκετά πλεονεκτήματα σε σχέση με τις παραδοσιακές μεθόδους κατασκευής. Ένα βασικό πλεονέκτημα είναι η δυνατότητα ταχύτερων διαδικασιών κατασκευής. Η τρισδιάστατη εκτύπωση επιτρέπει την ταχεία κατασκευή δομικών στοιχείων, μειώνοντας σημαντικά τον χρόνο που απαιτείται για την κατασκευή. Αυτό είναι ιδιαίτερα επωφελές για έργα με στενά χρονοδιαγράμματα ή επείγουσες στεγαστικές ανάγκες, καθώς επιτρέπει την ταχεία δημιουργία κατασκευών (*Sanjayan, J. G. & Nematollahi, B., 2019*). Με τον εξορθολογισμό της κατασκευαστικής διαδικασίας, η τρισδιάστατη εκτύπωση στην αρχιτεκτονική βελτιώνει την αποτελεσματικότητα και επιταχύνει την ολοκλήρωση του έργου. Επιπλέον, στον κλάδο των κατασκευών δύναται να μειώσει το κόστος εργασίας, σε αντίθεση με τις παραδοσιακές μεθόδους κατασκευής. Σε αυτό το πλαίσιο αναφοράς, η τρισδιάστατη εκτύπωση αυτοματοποιεί αυτές τις διαδικασίες, ελαχιστοποιώντας την ανάγκη για χειρωνακτική εργασία (*Sanjayan, J. G. & Nematollahi, B., 2019*). Αυτό μπορεί να οδηγήσει σε εξοικονόμηση κόστους όσον αφορά τα εργατικά έξοδα, καθιστώντας την κατασκευή πιο οικονομικά βιώσιμη. Δεν μπορεί να παραβλεφθεί ότι η τρισδιάστατη εκτύπωση επιτρέπει μεγαλύτερη σχεδιαστική ελευθερία στην αρχιτεκτονική με τους επαγγελματίες του κλάδου να δημιουργούν μοναδικές και περίπλοκες κατασκευές που ήταν προηγουμένως δύσκολο να επιτευχθούν με τις κλασικές μεθόδους δόμησης. Η εναπόθεση υλικών στρώμα προς στρώμα προσφέρει υψηλό βαθμό ακρίβειας και προσαρμογής, διευκολύνοντας την κατασκευή πολύπλοκων σχημάτων και γεωμετριών. Οι αρχιτέκτονες έχουν την ευχέρεια να εξερευνήσουν καινοτόμα σχέδια που κάποτε θεωρούνταν ανέφικτα ή ακριβά, διευρύνοντας τα όρια των δημιουργικών τους δυνατοτήτων. Προσθετικά, μειώνει τη σπατάλη υλικών βελτιστοποιώντας τη χρήση των πόρων κατά τη διαδικασία εκτύπωσης - η ακριβής εναπόθεση υλικών εξασφαλίζει ελάχιστη περίσσεια υλικού, ελαχιστοποιώντας τις περιβαλλοντικές επιπτώσεις. Άξιο αναφοράς είναι ότι η τρισδιάστατη εκτύπωση επιτρέπει την ενσωμάτωση βιώσιμων δομικών υλικών και τεχνικών, όπως η χρήση ανακυκλωμένων

ή φιλικών προς το περιβάλλον υλικών και συγχρόνως σημαντικές είναι και οι δυνατότητες για ενεργειακά αποδοτικές κατασκευές, καθώς η τρισδιάστατη εκτύπωση επιτρέπει την ενσωμάτωση μόνωσης και άλλων χαρακτηριστικών εξοικονόμησης ενέργειας απευθείας στα εκτυπωμένα στοιχεία (Ngo, T. D, Kashani, A. & Imbalzano, G., 2018).



Εικ. 2.4: Αρθρωτή δοκός από σκυρόδεμα κατασκευασμένη με τρισδιάστατη εκτύπωση μήκους 3 μέτρων (*wasproject.it*)

Τα μαθηματικά, είναι πρόδηλο, ότι διαδραματίζουν εξέχοντα ρόλο στην τρισδιάστατη τεχνολογία, επηρεάζοντας την ανάπτυξη, τις εφαρμογές και την αποτελεσματικότητά της με πολλούς τρόπους, αποτελώντας τη βάση της γεωμετρικής μοντελοποίησης, με έννοιες όπως οι συντεταγμένες, τα διανύσματα, οι καμπύλες και οι επιφάνειες να είναι απαραίτητες για τον ορισμό σχημάτων και διαστάσεων⁶.

2.3.5 Πλεονεκτήματα και προκλήσεις της τρισδιάστατης εκτύπωσης

Η τρισδιάστατη εκτύπωση, ως μια νέα και με δυναμικές τάσεις χρήσης τεχνολογία παρουσιάζει πλεονεκτήματα που λειτουργούν υπέρ της διάδοσής της και προκλήσεις που καλείται να αντιμετωπίσει. Αναφορικά με τα πλεονεκτήματα ενδεικτικά αναφέρονται:

-Σχεδιαστική ελευθερία: Η τρισδιάστατη εκτύπωση επιτρέπει τη δημιουργία πολύπλοκων γεωμετριών και περίπλοκων σχεδίων που θα ήταν δύσκολο ή αδύνατο να επιτευχθούν με τις παραδοσιακές μεθόδους κατασκευής.

-Προσαρμογή και εξατομίκευση: Η δυνατότητα δημιουργίας μοναδικών ή εξατομικευμένων προϊόντων αποτελεί σημαντικό πλεονέκτημα της τρισδιάστατης

⁶Ανακτήθηκε από:
<https://medium.com/reply-u-talents/why-do-3d-printers-need-math-7ac21375177f>

εκτύπωσης. Επιτρέπει τη δημιουργία εξατομικευμένων λύσεων και εξατομικευμένων σχεδίων.

-Μειωμένα απόβλητα υλικών: Σε αντίθεση με τις αφαιρετικές μεθόδους κατασκευής, η τρισδιάστατη εκτύπωση είναι μια προσθετική διαδικασία, η οποία μειώνει τη σπατάλη υλικών και συμβάλλει στη βιωσιμότητα.

-Ταχύτερη δημιουργία πρωτοτύπων και κατασκευή: Η τρισδιάστατη εκτύπωση εξαλείφει την ανάγκη για εργαλεία και επιτρέπει την ταχεία κατασκευή πρωτοτύπων και την κατασκευή κατά παραγγελία, μειώνοντας τους χρόνους παράδοσης και το κόστος (Smith, J., 2013).

Όσον αφορά τις προκλήσεις, αυτές είναι:

-Περιορισμένη επιλογή υλικών: Ενώ η γκάμα των εκτυπώσιμων υλικών διευρύνεται, εξακολουθεί να είναι περιορισμένη σε σύγκριση με τις παραδοσιακές διαδικασίες κατασκευής. Τα υλικά που είναι κατάλληλα για τρισδιάστατη εκτύπωση μπορεί να έχουν διαφορετικές ιδιότητες και περιορισμούς.

-Ποιότητα και φινίρισμα επιφάνειας: Η επίτευξη επιφανειακών τελειωμάτων και ανοχών υψηλής ποιότητας μπορεί να αποτελέσει πρόκληση με ορισμένες τεχνολογίες τρισδιάστατης εκτύπωσης. Ενδέχεται να απαιτούνται βήματα μεταγενέστερης επεξεργασίας για τη βελτίωση της τελικής εμφάνισης και λειτουργικότητας.

-Κόστος: Ενώ το κόστος των τρισδιάστατων εκτυπωτών έχει μειωθεί με την πάροδο του χρόνου, τα υλικά, ιδίως τα εξειδικευμένα, και ο σχετικός εξοπλισμός μπορεί να εξακολουθούν να είναι δαπανηρά.

-Ταχύτητα και κλίμακα: Η τρισδιάστατη εκτύπωση μπορεί να είναι σχετικά αργή για παραγωγή μεγάλης κλίμακας σε σύγκριση με τις παραδοσιακές μεθόδους κατασκευής. Η κλιμάκωση της παραγωγής με παράλληλη διατήρηση της σχέσης κόστους-αποτελεσματικότητας παραμένει πρόκληση.

-Πνευματική ιδιοκτησία και πνευματικά δικαιώματα: Η τρισδιάστατη εκτύπωση εγείρει ανησυχίες σχετικά με την παραβίαση πνευματικών δικαιωμάτων, καθώς επιτρέπει την αντιγραφή υφιστάμενων σχεδίων χωρίς άδεια (Smith, J., 2013).

ΚΕΦΑΛΑΙΟ 3

3.1 Ορισμός Τεχνητής Νοημοσύνης

Η Τεχνητή Νοημοσύνη (ή ΑΙ από την αγγλική απόδοση του όρου Artificial Intelligence) είναι ένας πρωτοποριακός τομέας που περιλαμβάνει τη δημιουργία ευφυών μηχανών που μπορούν να μιμηθούν την ανθρώπινη νοημοσύνη. Περιλαμβάνει ένα ευρύ φάσμα τεχνικών και κλάδων, όπως η επιστήμη των υπολογιστών, τα μαθηματικά, η γνωστική επιστήμη και άλλα. Ο πρωταρχικός στόχος της είναι να επιτρέψει στις μηχανές να εκτελούν εργασίες, που συνήθως απαιτούν ανθρώπινη νοημοσύνη, όπως η κατανόηση της φυσικής γλώσσας, η αναγνώριση μοτίβων, η λήψη αποφάσεων και η επίλυση σύνθετων προβλημάτων (*Langley, P. & Laird, J. E., 2006*).

Τα συστήματα τεχνητής νοημοσύνης έχουν σχεδιαστεί για να αντιλαμβάνονται το περιβάλλον τους, να επεξεργάζονται πληροφορίες, να συλλογίζονται και να αναλαμβάνουν τις κατάλληλες ενέργειες. Είναι ικανά να μαθαίνουν από τα δεδομένα, να προσαρμόζονται σε νέες καταστάσεις και να βελτιώνουν συνεχώς τις επιδόσεις τους με την πάροδο του χρόνου. Ο διεπιστημονικός χαρακτήρας της ΑΙ αντανακλά την πολύπλοκη φύση της, καθώς βασίζεται σε διάφορα πεδία για την ανάπτυξη αλγορίθμων, μοντέλων και αρχιτεκτονικών που μπορούν να αναπαράγουν και να ενισχύσουν τις ανθρώπινες γνωστικές ικανότητες.

Η ΑΙ αντιπροσωπεύει μια μετασχηματιστική τεχνολογία που έχει τη δυνατότητα να φέρει επανάσταση στους κλάδους και να αναδιαμορφώσει την κοινωνία με πολλούς τρόπους.

3.2 Ιστορική εξέλιξη της ΑΙ

Η ιστορία και η εξέλιξη της τεχνητής νοημοσύνης μπορεί να αναχθεί στα μέσα του 20ου αι., όταν πρωτοεξετάστηκε η ιδέα της δημιουργίας μηχανών ικανών για ευφυή συμπεριφορά. Από τότε ο τομέας έχει υποστεί σημαντικές εξελίξεις και μετασχηματισμούς, ανοίγοντας το δρόμο για τις τεχνολογίες τεχνητής νοημοσύνης που βλέπουμε σήμερα.

Η γέννησή της ως τομέα αποδίδεται στο συνέδριο του Ντάρτμουθ που πραγματοποιήθηκε το 1956, όπου επινοήθηκε ο όρος "τεχνητή νοημοσύνη". Το

συνέδριο αυτό έφερε σε επαφή ερευνητές από διάφορους κλάδους, οι οποίοι μοιράζονταν το κοινό ενδιαφέρον για την κατασκευή ευφυών μηχανών. Η πρόιμη έρευνα επικεντρώθηκε στη συμβολική AI, η οποία χρησιμοποιούσε λογική και σύμβολα για την αναπαράσταση της γνώσης και τη λήψη αποφάσεων. Η ανάπτυξη του Γενικού Επιλύτη Προβλημάτων (General Problem Solver - GPS) από τους Newell και Simon, το 1957, αποτέλεσε ορόσημο στην πρόιμη έρευνα - το GPS ήταν μια πρόιμη προσπάθεια δημιουργίας ενός προγράμματος υπολογιστή ικανού να επιλύει ένα ευρύ φάσμα προβλημάτων με τη χρήση ενός συνόλου κανόνων επίλυσης προβλημάτων (Jöhnk, J., Weißert, M. & Wyrcki, K., 2021).

Κατά τη διάρκεια των δεκαετιών του 1960 και 1970, η έρευνα της εν λόγω τεχνολογίας αντιμετώπισε προκλήσεις, καθώς η αρχική αισιοδοξία έδωσε τη θέση της σε αυτό που έγινε γνωστό ως «χειμώνας της AI». Η πρόοδος ήταν πιο αργή από ό,τι αναμενόταν και οι περιορισμοί των πρώτων συστημάτων τεχνητής νοημοσύνης έγιναν εμφανείς. Η συμβολική προσέγγιση, αν και επιτυχής σε ορισμένους τομείς, δυσκολευόταν να χειριστεί την πολυπλοκότητα του πραγματικού κόσμου και δεν είχε την ικανότητα να μαθαίνει από δεδομένα.

Στη δεκαετία του 1980, εμφανίστηκε μια νέα προσέγγιση που ονομάστηκε συνδετισμός, εμπνευσμένη από τη δομή και τη λειτουργία του ανθρώπινου εγκεφάλου⁷, η οποία αποσκοπούσε στην προσομοίωση των διασυνδεδεμένων νευρώνων του εγκεφάλου και στη μάθηση από δεδομένα μέσω της αναγνώρισης προτύπων, θέτοντας τα θεμέλια για τις σύγχρονες τεχνικές μηχανικής μάθησης.

Τη δεκαετία του 1990 παρατηρήθηκε μια αναζωπύρωση του ενδιαφέροντος για τον κλάδο αυτό, λόγω της προόδου στην υπολογιστική ισχύ και της διαθεσιμότητας μεγάλων συνόλων δεδομένων. Οι αλγόριθμοι μηχανικής μάθησης, όπως οι μηχανές διανυσμάτων υποστήριξης και τα δέντρα αποφάσεων, απέκτησαν δημοτικότητα. Τα συστήματα εμπειρογνομόνων, τα οποία χρησιμοποιούσαν κανόνες και βάσεις γνώσεων για την προσομοίωση της ανθρώπινης εμπειρογνωμοσύνης σε συγκεκριμένους τομείς, γνώρισαν επίσης σημαντική χρήση (Langley, P. & Laird, J. E., 2006).

Στις αρχές της δεκαετίας του 2000, η AI εισήλθε σε μια νέα εποχή με την εμφάνιση των μεγάλων δεδομένων και την άνοδο της βαθιάς μάθησης. Η βαθιά

⁷Συγκεκριμένα ήταν εμπνευσμένη από τους νευρώνες του εγκεφάλου εξ ου και τα μοντέλα συνδετισμού ονομάζονται και νευρωνικά δίκτυα.

μάθηση, ένα υποσύνολο της μηχανικής μάθησης, χρησιμοποιεί νευρωνικά δίκτυα με πολλαπλά επίπεδα για να μαθαίνει ιεραρχικές αναπαραστάσεις δεδομένων. Αυτή η προσέγγιση έφερε επανάσταση σε τομείς όπως η αναγνώριση εικόνων, η επεξεργασία φυσικής γλώσσας και η αναγνώριση ομιλίας. Η επανάσταση στη βαθιά μάθηση προήλθε από τις εξελίξεις σε μονάδες επεξεργασίας γραφικών (GPU) (Jöhnk, J., Weibert, M. & Wyrki, K., 2021).

Τα τελευταία χρόνια, η τεχνητή νοημοσύνη γνώρισε εκθετική ανάπτυξη και ευρεία υιοθέτηση. Οι τεχνολογίες που βασίζονται σε αυτήν ενσωματώνονται πλέον σε διάφορες εφαρμογές και δραστηριότητες όπως τα αυτόνομα οχήματα και η ιατρική διάγνωση.

3.3 Κύριες τεχνικές της AI

Η τεχνητή νοημοσύνη, ως τεχνολογία, ακολουθεί προσεγγίσεις και τεχνικές, οι οποίες επιτρέπουν στις μηχανές να χειρίζονται όλο και πιο σύνθετες εργασίες και διευρύνουν τις δυνατότητες του τι μπορεί να επιτύχει η τεχνητή νοημοσύνη. Ενδεικτικά αναφέρονται οι ακόλουθες:

-Μηχανική μάθηση (ML): Η μηχανική μάθηση είναι ένα υποσύνολο της AI, που επικεντρώνεται στο να επιτρέπει στις μηχανές να μαθαίνουν από δεδομένα και να βελτιώνουν τις επιδόσεις τους χωρίς ρητό προγραμματισμό. Περιλαμβάνει την ανάπτυξη αλγορίθμων και μοντέλων που μπορούν να μαθαίνουν αυτόματα μοτίβα και να κάνουν προβλέψεις ή αποφάσεις με βάση τα δεδομένα. Η επιβλεπόμενη μάθηση, η μη επιβλεπόμενη μάθηση και η ενισχυτική μάθηση είναι κοινοί τύποι τεχνικών μηχανικής μάθησης.

-Βαθιά μάθηση: Η βαθιά μάθηση είναι μια εξειδικευμένη μορφή μηχανικής μάθησης που περιλαμβάνει τη χρήση τεχνητών νευρωνικών δικτύων με πολλαπλά επίπεδα. Αυτά τα δίκτυα είναι εμπνευσμένα από τη δομή και τη λειτουργία του ανθρώπινου εγκεφάλου και είναι ικανά να μαθαίνουν ιεραρχικές αναπαραστάσεις δεδομένων (Langley, P. & Laird, J. E., 2006). Έχει σημειώσει αξιοσημείωτη επιτυχία σε διάφορους τομείς, όπως η αναγνώριση εικόνων, η επεξεργασία φυσικής γλώσσας και η αναγνώριση ομιλίας.

-Επεξεργασία φυσικής γλώσσας (NLP): Η NLP επικεντρώνεται στο να επιτρέπει στις μηχανές να κατανοούν, να ερμηνεύουν και να παράγουν ανθρώπινη γλώσσα.

Περιλαμβάνει τεχνικές όπως η ανάλυση κειμένου, η ανάλυση συναισθήματος, η γλωσσική μετάφραση και τα chatbots⁸. Η NLP επιτρέπει εφαρμογές όπως οι εικονικοί βοηθοί, οι υπηρεσίες γλωσσικής μετάφρασης και η περίληψη κειμένου (Crawfor, K., 2021).

-Όραση υπολογιστών: Η όραση υπολογιστών ασχολείται με τη δυνατότητα των μηχανών να κατανοούν και να ερμηνεύουν οπτικές πληροφορίες από εικόνες ή βίντεο. Περιλαμβάνει τεχνικές όπως η αναγνώριση εικόνων, η ανίχνευση αντικειμένων, η κατάτμηση εικόνων και η ανάλυση βίντεο. Η όραση υπολογιστών έχει εφαρμογές σε τομείς όπως τα αυτόνομα οχήματα, τα συστήματα επιτήρησης και η ιατρική απεικόνιση.

-Συστήματα εμπειρογνομώνων: Τα συστήματα εμπειρογνομώνων αποσκοπούν στην προσομοίωση της ανθρώπινης εμπειρογνομοσύνης σε συγκεκριμένους τομείς με τη χρήση τεχνικών αναπαράστασης γνώσης και συμπερασμού. Τα συστήματα αυτά βασίζονται σε κανόνες και βάσεις γνώσεων για τη λήψη αποφάσεων ή την παροχή συστάσεων. Τα συστήματα εμπειρογνομώνων έχουν χρησιμοποιηθεί σε τομείς όπως η ιατρική, η χρηματοοικονομική και η μηχανική, όπου βοηθούν στη διάγνωση, τη λήψη αποφάσεων και την επίλυση προβλημάτων.

-Ρομποτική: Η ρομποτική συνδυάζει τεχνητή νοημοσύνη και φυσικές μηχανές για να επιτρέψει αυτόνομη ή ημιαυτόνομη συμπεριφορά. Οι τεχνικές AI χρησιμοποιούνται για να παρέχουν στα ρομπότ δυνατότητες αντίληψης, λήψης αποφάσεων και ελέγχου. Η ρομποτική βρίσκει εφαρμογές σε τομείς όπως ο βιομηχανικός αυτοματισμός, η υγειονομική περίθαλψη και η εξερεύνηση.

3.4 Εφαρμογές της AI

Οι εφαρμογές τεχνητής νοημοσύνης αποδεικνύουν την πολύπλευρη μετασχηματιστική της δύναμη. Μάλιστα, καθώς συνεχίζει να εξελίσσεται, μπορούμε να περιμένουμε περαιτέρω καινοτομίες και εφαρμογές που θα διαμορφώσουν το μέλλον των βιομηχανιών και θα βελτιώσουν την καθημερινή μας ζωή (Crawfor, K., 2021). Ορισμένες από τις εφαρμογές που έχουν ως βάση την AI είναι:

⁸ Τα chatbots είναι λογισμικά που εκτελούν συγκεκριμένες λειτουργίες, μιμούμενα όσο το δυνατόν καλύτερα τον ανθρώπινο γραπτό και προφορικό λόγο (developgreece.com).

-Εικονικοί βοηθοί: Οι εικονικοί βοηθοί έχουν γίνει αναπόσπαστο μέρος της ζωής μας, παρέχοντας εξατομικευμένη βοήθεια και πληροφορίες. Μέσω της επεξεργασίας φυσικής γλώσσας (NLP) και των αλγορίθμων μηχανικής μάθησης, οι εικονικοί βοηθοί όπως η Google Assistant και η Amazon Alexa μπορούν να κατανοούν φωνητικές εντολές, να εκτελούν εργασίες και να παρέχουν σχετικές απαντήσεις (ACPR, 2018). Έχουν απλοποιήσει εργασίες όπως ο καθορισμός υπενθυμίσεων, η απάντηση σε ερωτήματα και ο έλεγχος έξυπνων οικιακών συσκευών.

-Συστήματα συστάσεων: Τα συστήματα συστάσεων έχουν μεταμορφώσει τον τρόπο με τον οποίο ανακαλύπτουμε περιεχόμενο και λαμβάνουμε αποφάσεις αγοράς. Αξιοποιώντας τεχνικές μηχανικής μάθησης, τα συστήματα αυτά αναλύουν τις προτιμήσεις και τη συμπεριφορά των χρηστών για να προτείνουν εξατομικευμένο περιεχόμενο, προϊόντα ή υπηρεσίες. Χρησιμοποιούνται ευρέως σε πλατφόρμες ηλεκτρονικού εμπορίου, υπηρεσίες streaming και μέσα κοινωνικής δικτύωσης, βελτιώνοντας την εμπειρία των χρηστών και προωθώντας τη δέσμευση των πελατών (Langley, P. & Laird, J. E., 2006).

-Αυτόνομα οχήματα: Η τεχνητή νοημοσύνη διαδραματίζει καθοριστικό ρόλο στην ανάπτυξη αυτοκινούμενων αυτοκινήτων. Μέσω της όρασης υπολογιστή, της σύντηξης αισθητήρων και των αλγορίθμων μηχανικής μάθησης, τα αυτόνομα οχήματα μπορούν να αντιλαμβάνονται το περιβάλλον τους, να λαμβάνουν αποφάσεις σε πραγματικό χρόνο και να πλοηγούνται με ασφάλεια χωρίς ανθρώπινη παρέμβαση. Η τεχνολογία αυτή έχει τη δυνατότητα να φέρει επανάσταση στις μεταφορές, βελτιώνοντας την οδική ασφάλεια και επιτρέποντας πιο αποτελεσματικές λύσεις μεταφορών και κινητικότητας (Crawfor, K., 2021).

-Υγειονομική περίθαλψη: Η τεχνητή νοημοσύνη έχει μεταμορφώσει διάφορες πτυχές της υγειονομικής περίθαλψης, οδηγώντας σε βελτιωμένη διάγνωση, θεραπεία και φροντίδα των ασθενών. Οι τεχνικές ανάλυσης ιατρικών εικόνων που υποστηρίζονται από αυτήν επιτρέπουν την ανίχνευση και την ταξινόμηση ασθενειών από δεδομένα απεικόνισης. Οι αλγόριθμοι συμβάλλουν επίσης στην ανακάλυψη φαρμάκων, εντοπίζοντας πιθανούς υποψηφίους με μεγαλύτερη αποτελεσματικότητα. Επιπλέον, τα συστήματα παρακολούθησης ασθενών βασισμένα στην ΑΙ και η χειρουργική με τη βοήθεια ρομπότ ενισχύουν την ακρίβεια, μειώνουν τα ανθρώπινα λάθη και βελτιώνουν τα χειρουργικά αποτελέσματα (Panch, T., Szolovits, P. & Atun, R., 2018).

-Χρηματοοικονομικά: Η τεχνητή νοημοσύνη έχει βρει εκτεταμένες εφαρμογές στον χρηματοπιστωτικό κλάδο, αυτοματοποιώντας τις διαδικασίες και βελτιώνοντας τη λήψη αποφάσεων. Στις αλγοριθμικές συναλλαγές, αναλύονται μεγάλες ποσότητες δεδομένων για τον εντοπισμό μοτίβων και τη λήψη βελτιστοποιημένων επενδυτικών αποφάσεων (ACPR, 2018). Τα συστήματα ανίχνευσης απάτης συμβάλλουν στον εντοπισμό ανώμαλων δραστηριοτήτων και την πρόληψη της χρηματοπιστωτικής απάτης. Τα μοντέλα αξιολόγησης κινδύνου και οι αλγόριθμοι πιστωτικής βαθμολόγησης χρησιμοποιούν τεχνικές TN για την αξιολόγηση της πιστοληπτικής ικανότητας, επιτρέποντας ακριβέστερες προβλέψεις (Crawfor, K., 2021). Τα chatbots με τεχνητή νοημοσύνη παρέχουν αποτελεσματική και εξατομικευμένη εξυπηρέτηση πελατών, βελτιώνοντας την εμπειρία των χρηστών στον χρηματοπιστωτικό τομέα.

-Παραγωγή και αυτοματοποίηση: Η τεχνητή νοημοσύνη έχει φέρει επανάσταση στις διαδικασίες παραγωγής μέσω της αυτοματοποίησης και της προγνωστικής ανάλυσης. Η ρομποτική και οι αλγόριθμοι μηχανικής μάθησης βελτιστοποιούν τις γραμμές παραγωγής, βελτιώνοντας την αποδοτικότητα, τον ποιοτικό έλεγχο και μειώνοντας τα ανθρώπινα λάθη. Τα συστήματα υπολογιστικής όρασης επιτρέπουν την παρακολούθηση σε πραγματικό χρόνο και τον ποιοτικό έλεγχο των προϊόντων. Τα συστήματα προγνωστικής συντήρησης χρησιμοποιούν την TN για την ανάλυση δεδομένων αισθητήρων και τον εντοπισμό πιθανών βλαβών του εξοπλισμού, ελαχιστοποιώντας τον χρόνο διακοπής λειτουργίας και βελτιστοποιώντας τα προγράμματα συντήρησης. Η τεχνητή νοημοσύνη διαδραματίζει επίσης σημαντικό ρόλο στη βελτιστοποίηση της αλυσίδας εφοδιασμού, στην πρόβλεψη της ζήτησης και στον εξορθολογισμό των λειτουργιών εφοδιαστικής.

-Επεξεργασία και μετάφραση φυσικής γλώσσας: Τα γλωσσικά μοντέλα και τα συστήματα μετάφρασης, που λειτουργούν με τεχνητή νοημοσύνη έχουν βελτιώσει σημαντικά την επικοινωνία και την κατανόηση της γλώσσας. Οι υπηρεσίες γλωσσικής μετάφρασης σε πραγματικό χρόνο έχουν γίνει προσβάσιμες, καταρρίπτοντας τα γλωσσικά εμπόδια στην παγκόσμια επικοινωνία. Τα chatbots και οι φωνητικοί βοηθοί αξιοποιούν το NLP, προκειμένου να παρέχουν διαδραστικές εμπειρίες, απαντώντας σε ερωτήματα και βοηθώντας τους χρήστες σε διάφορες εργασίες.



Εικ.3.1: Εφαρμογές της AI (Crawfor, K., 2021)

3.5 Πλεονεκτήματα της χρήσης AI

Η τεχνητή νοημοσύνη προσφέρει πολλά πλεονεκτήματα σε διάφορους τομείς και βιομηχανίες και για το λόγο αυτό η χρήση της θα επεκταθεί και θα διευρυνθεί.

Αρχικά, η AI επιτρέπει την αυτοματοποίηση επαναλαμβανόμενων και τετριμμένων εργασιών, απελευθερώνοντας ανθρώπινους πόρους για να επικεντρωθούν σε πιο σύνθετες και δημιουργικές δραστηριότητες. Αυτό οδηγεί σε αυξημένη αποδοτικότητα, παραγωγικότητα και εξοικονόμηση κόστους. Τα συστήματα με τεχνητή νοημοσύνη μπορούν να εκτελούν εργασίες γρηγορότερα και με μεγαλύτερη ακρίβεια από τους ανθρώπους, μειώνοντας τα λάθη και βελτιώνοντας τη συνολική επιχειρησιακή αποδοτικότητα.

Οι αλγόριθμοι AI μπορούν να επεξεργάζονται και να αναλύουν γρήγορα μεγάλους όγκους δεδομένων και να εξάγουν πολύτιμες πληροφορίες. Αυτό επιτρέπει τη λήψη αποφάσεων με βάση τα δεδομένα, καθώς τα συστήματα μπορούν να εντοπίζουν μοτίβα, τάσεις και συσχετίσεις που μπορεί να μην είναι εύκολα αναγνωρίσιμες από τους ανθρώπους. Αξιοποιώντας την τεχνολογία αυτή για την ανάλυση δεδομένων, οι οργανισμοί μπορούν να λαμβάνουν πιο τεκμηριωμένες και στρατηγικές αποφάσεις, οδηγώντας σε καλύτερα αποτελέσματα και ανταγωνιστικό πλεονέκτημα.

Η AI επιτρέπει εξατομικευμένες εμπειρίες με την ανάλυση δεδομένων και προτιμήσεων των χρηστών. Τα συστήματα συστάσεων, τα chatbots και οι εικονικοί βοηθοί δύνανται να κατανοήσουν τη συμπεριφορά των χρηστών και να παρέχουν

εξατομικευμένες συστάσεις, απαντήσεις και βοήθεια. Αυτό ενισχύει την εμπειρία του πελάτη, αυξάνει τη δέσμευση και βελτιώνει την ικανοποίηση των πελατών.

Οι τεχνικές που αναφέρθηκαν παραπάνω επιτρέπουν την προγνωστική ανάλυση, δίνοντας τη δυνατότητα στους οργανισμούς να προβλέπουν μελλοντικά αποτελέσματα και τάσεις. Αναλύοντας ιστορικά δεδομένα και εντοπίζοντας μοτίβα, τα μοντέλα που βασίζονται στην τεχνητή νοημοσύνη μπορούν να κάνουν προβλέψεις και να επικουρούν τις επιχειρήσεις να βελτιστοποιούν τις λειτουργίες, να διαβλέπουν τις ανάγκες των πελατών και να λαμβάνουν τις κατάλληλες προληπτικές αποφάσεις – κάτι τέτοιο μπορεί να οδηγήσει σε βελτιωμένη κατανομή πόρων, διαχείριση κινδύνων και στρατηγικό σχεδιασμό.

Οι τεχνολογίες τεχνητής νοημοσύνης ενθαρρύνουν την καινοτομία και τη δημιουργικότητα, ενισχύοντας τις ανθρώπινες ικανότητες, καθώς μπορούν να βοηθήσουν στη δημιουργία νέων ιδεών, στη βελτιστοποίηση σχεδίων και στην παροχή πληροφοριών που εμπνέουν πρωτοποριακές πρακτικές. Επιπλέον, τα εργαλεία που λειτουργούν με τεχνητή νοημοσύνη επιτρέπουν στους χρήστες και δημιουργούς να εξερευνήσουν νέες δυνατότητες και να διευρύνουν τα όρια των αντίστοιχων τομέων τους.

Τέλος, μέσω της τεχνητής νοημοσύνης και μέσω τεχνικών της όπως η ενισχυτική μάθηση, τα μοντέλα μπορούν να προσαρμόζονται και να βελτιστοποιούν τη συμπεριφορά τους με βάση την ανατροφοδότηση, οδηγώντας σε αυξημένη ακρίβεια και αποτελεσματικότητα.

3.6 Συνδυασμός χρήσης AI και 3d

Ο συνδυασμός της τρισδιάστατης εκτύπωσης και της τεχνητής νοημοσύνης συγκεντρώνει δύο ισχυρές τεχνολογίες που μπορούν να ενισχύσουν και να συμπληρώσουν η μία την άλλη. Η τεχνητή νοημοσύνη μπορεί να διαδραματίσει καθοριστικό ρόλο στη βελτιστοποίηση και τη βελτίωση της διαδικασίας τρισδιάστατης εκτύπωσης, ενώ η τρισδιάστατη εκτύπωση μπορεί να αξιοποιήσει αλγόριθμους τεχνητής νοημοσύνης για βελτιωμένο σχεδιασμό, προσαρμογή και επιλογή υλικών.

Η τεχνητή νοημοσύνη μπορεί να χρησιμοποιηθεί για τη βελτιστοποίηση της διαδικασίας τρισδιάστατης εκτύπωσης αναλύοντας δεδομένα και κάνοντας προσαρμογές σε πραγματικό χρόνο. Συγκεκριμένα, οι αλγόριθμοι μηχανικής μάθησης

μπορούν να αναλύσουν δεδομένα αισθητήρων από τον τρισδιάστατο εκτυπωτή, όπως η θερμοκρασία, η ταχύτητα και οι μετρήσεις ποιότητας, για να εντοπίσουν μοτίβα και να βελτιστοποιήσουν τις παραμέτρους για βελτιωμένη ποιότητα και αποδοτικότητα εκτύπωσης. Αυτό μπορεί να οδηγήσει σε μείωση των σφαλμάτων, αύξηση της παραγωγικότητας και καλύτερη αξιοποίηση των πόρων.

Εκτός αυτού, η τεχνητή νοημοσύνη μπορεί να βοηθήσει στη βελτιστοποίηση του σχεδιασμού για την τρισδιάστατη εκτύπωση. Οι αλγόριθμοι μπορούν να αναλύουν μεγάλα σύνολα δεδομένων σχεδίων και υλικών, εντοπίζοντας μοτίβα και συσχετίσεις για τη δημιουργία προτάσεων σχεδιασμού που βελτιώνουν τη δομική ακεραιότητα, μειώνουν τη χρήση υλικών ή βελτιώνουν την απόδοση. Η τεχνητή νοημοσύνη μπορεί επίσης να επιτρέψει τον γενετικό σχεδιασμό, όπου ο αλγόριθμος διερευνά αμέτρητες δυνατότητες σχεδιασμού με βάση δεδομένους περιορισμούς, με αποτέλεσμα βελτιστοποιημένα σχέδια που θα ήταν δύσκολο να συλλάβει ο άνθρωπος (*De Jong, J.P.J., de Bruijn, E., 2013*).

Επιπλέον, η τεχνητή νοημοσύνη μπορεί να διευκολύνει την προσαρμογή στην τρισδιάστατη εκτύπωση. Με την αξιοποίηση αλγορίθμων, οι τρισδιάστατοι εκτυπωτές μπορούν να προσαρμόζουν τα σχέδια με βάση τις ατομικές προτιμήσεις των χρηστών, επιτρέποντας εξατομικευμένα προϊόντα και προσαρμοσμένες λύσεις. Η ΑΙ μπορεί να αναλύσει δεδομένα χρηστών, όπως προτιμήσεις, σωματικές μετρήσεις ή μοτίβα χρήσης, για να δημιουργήσει προσαρμοσμένα σχέδια που ανταποκρίνονται σε συγκεκριμένες ανάγκες.

Μέσω της μηχανικής μάθησης, οι εκτυπωτές 3D μπορούν να μαθαίνουν από προηγούμενες εργασίες εκτύπωσης και να προσαρμόζουν τις παραμέτρους ή τις ρυθμίσεις τους για βελτιωμένη απόδοση. Αυτό μπορεί να οδηγήσει σε εκτυπωτές αυτοβελτιστοποίησης που βελτιώνουν συνεχώς την παραγωγή τους με την πάροδο του χρόνου. Η χρήση της μηχανικής μάθησης στους τρισδιάστατους εκτυπωτές ανοίγει ευκαιρίες για αυτοματοποίηση και βελτίωση της διαδικασίας εκτύπωσης. Οι εκτυπωτές μπορούν να εξάγουν πολύτιμες πληροφορίες από προηγούμενες εργασίες εκτύπωσης, επιτρέποντάς τους να βελτιώσουν τις ρυθμίσεις και τις παραμέτρους τους για μεγαλύτερη ακρίβεια και αποδοτικότητα. Επιπλέον, η αυτοματοποίηση αυξάνει την αποτελεσματικότητα, ελαχιστοποιεί τα σφάλματα και μειώνει το κόστος παραγωγής. Ως αποτέλεσμα, δημιουργούνται αυτοβελτιστοποιούμενοι εκτυπωτές που βελτιώνουν συνεχώς την παραγωγή τους. Με την πάροδο του χρόνου, αυτοί οι εκτυπωτές εξελίσσονται και προσαρμόζονται στις μεταβαλλόμενες απαιτήσεις, εξοικονομώντας

πόρους και βελτιώνοντας την ποιότητα εκτύπωσης. Ο συνδυασμός της τεχνολογίας τρισδιάστατης εκτύπωσης με τη μηχανική μάθηση φέρνει καινοτόμες εξελίξεις στον κλάδο της κατασκευής και της παραγωγής, αυξάνοντας την ανταγωνιστικότητα και την αποδοτικότητα.

Η συνέργεια της τεχνητής νοημοσύνης και της τρισδιάστατης εκτύπωσης αποτελεί μετασχηματιστική αλλαγή στο τοπίο της κατασκευής. Αυτοματοποιώντας κουραστικές εργασίες, η ΑΙ απελευθερώνει εξειδικευμένους τεχνικούς για να ασχοληθούν με δημιουργικές προσπάθειες υψηλότερης αξίας. Πέρα από τη βελτίωση της παραγωγικότητας, η ΑΙ γίνεται καταλύτης για την καινοτομία των υλικών. Σε εφαρμογές υψηλών επιδόσεων, οι περιορισμοί των υλικών μπορούν να εμποδίσουν την πρόοδο, όπως φαίνεται στις τουρμπίνες αεροσκαφών που περιορίζονται στους 1200 °F λόγω περιορισμών υλικών. Με την αρωγή της, μπορούν να κατασκευαστούν νέα υλικά και περίπλοκα κράματα, οδηγώντας σε ανώτερες επιδόσεις και αναδιαμορφώνοντας τις βιομηχανίες. Παρέχονται αποδοτικότερες λύσεις που κάποτε περιορίζονταν από τους περιορισμούς των υλικών.

Ο συνδυασμός της τρισδιάστατης εκτύπωσης και της τεχνητής νοημοσύνης έχει τη δυνατότητα να φέρει επανάσταση σε διάφορους κλάδους. Μπορεί να επιτρέψει ταχύτερες και αποτελεσματικότερες διαδικασίες παραγωγής, να μειώσει τα απόβλητα και να ξεκλειδώσει νέες δυνατότητες για προσαρμογή και σύνθετες γεωμετρίες. Καθώς οι δύο τεχνολογίες συνεχίζουν να εξελίσσονται, δύναται να υφίσταται μεγαλύτερη συνέργεια μεταξύ της τρισδιάστατης εκτύπωσης και της ΑΙ, που θα οδηγήσει σε μετασχηματιστικές εφαρμογές.

3.6.1 Παραδείγματα εταιριών που συνδυάζουν ΑΙ και τρισδιάστατη εκτύπωση

Η General Electric (GE) Aviation, είναι εταιρία που δραστηριοποιείται στον τομέα αεροδιαστημικής, η οποία αξιοποιεί τη συνεργασία μεταξύ ΑΙ και 3d εκτύπωσης για την εξέλιξη των εξαρτημάτων των κινητήρων των αεροσκαφών. Ειδικότερα, η GE Aviation έχει αξιοποιήσει τις δυνατότητες της ΑΙ, για να προωθήσει το σχεδιασμό και την παραγωγή περίπλοκων εξαρτημάτων του κινητήρα, όπως πτερύγια στροβίλων και ακροφύσια καυσίμων, μέσω τεχνικών προσθετικής κατασκευής. Χρησιμοποιεί αλγορίθμους ΑΙ για τη σύλληψη και τη βελτιστοποίηση των πολύπλοκων γεωμετριών αυτών των εξαρτημάτων, οι οποίες βελτιώνουν τη ροή του αέρα και την αποδοτικότητα

της καύσης, οδηγώντας τελικά σε βελτιωμένη απόδοση του κινητήρα και αποδοτικότητα καυσίμου. Τέτοια περίπλοκα σχέδια θα ήταν ανέφικτο να υλοποιηθούν με τη χρήση παραδοσιακών διαδικασιών κατασκευής. Επιπρόσθετα, η τεχνητή νοημοσύνη συμβάλλει στην επιλογή υλικών κατάλληλων για εφαρμογές υψηλών θερμοκρασιών, ένα κρίσιμο ζήτημα στην αεροδιαστημική μηχανική. Ενισχύεται η ανθεκτικότητα και αξιοπιστία των τρισδιάστατα εκτυπωμένων εξαρτημάτων, διασφαλίζοντας ότι μπορούν να αντέξουν τις ακραίες συνθήκες που συναντώνται κατά τη διάρκεια της πτήσης. Παράλληλα, με την παραγωγή ελαφρύτερων και πιο αποδοτικών εξαρτημάτων αεροδιαστημικών κινητήρων, ευθυγραμμίζεται η εν λόγω πρακτική της εταιρίας με τους στόχους βιωσιμότητας της αεροπορικής βιομηχανίας, καθώς μειώνουν την κατανάλωση καυσίμων και τις εκπομπές, ενώ παράλληλα βελτιώνουν τη συνολική απόδοση του κινητήρα⁹.

Η ICON είναι μια εταιρεία κατασκευαστική, η οποία και βρίσκεται στην πρώτη γραμμή της εφαρμογής της συνεργασίας μεταξύ της τεχνητής νοημοσύνης και της τρισδιάστατης εκτύπωσης στον κατασκευαστικό τομέα. Η ICON, ως εταιρία, ειδικεύεται στη χρήση της τεχνολογίας τρισδιάστατης εκτύπωσης για τη δημιουργία κατοικιών και κατασκευών, καθιστώντας τη στέγαση πιο προσιτή και βιώσιμη. Το εγχείρημα της ICON, αναφορικά με τη συνέργεια μεταξύ της ΑΙ και της τρισδιάστατης εκτύπωσης, βασίζεται στη χρήση αλγορίθμων. Αρχικά, ο ρόλος της ΑΙ στην τελειοποίηση της διαδικασίας τρισδιάστατης εκτύπωσης έγκειται στο ότι βελτιστοποιεί τη διαδρομή και την ταχύτητα του ακροφυσίου εκτύπωσης, εξασφαλίζοντας την ακρίβεια της διαστρωμάτωσης και τη δομική ακεραιότητα. Αυτό όχι μόνο βελτιώνει τη συνολική ποιότητα των σπιτιών, αλλά και επιταχύνει σημαντικά την κατασκευή. Κατά συνέπεια, τα παραδοσιακά χρονοδιαγράμματα κατασκευής μειώνονται δραματικά. Σε παράλληλο επίπεδο, η ενσωμάτωση της ΑΙ στη χρήση υλικών είναι ζωτικής σημασίας για τη βιωσιμότητα. Υλοποιείται με την ανάλυση δεδομένων σχετικά με τις ιδιότητες των υλικών, τις καιρικές συνθήκες και τις δομικές απαιτήσεις για τη βελτιστοποίηση αυτών. Ελαχιστοποιεί τα απόβλητα και συμβάλλει σε μια πιο φιλική προς το περιβάλλον κατασκευαστική διαδικασία, προτείνοντας εναλλακτικά υλικά και εισάγοντας δυνητικά πιο οικολογικές επιλογές στην κατασκευή¹⁰.

⁹Ανακτήθηκε από: <https://www.geaerospace.com/>

¹⁰Ανακτήθηκε από: <https://www.iconbuild.com/>

Οι καινοτόμες προσεγγίσεις της GE Aviation και της ICON είναι ενδεικτικές των δυνατοτήτων του συνδυασμού της τρισδιάστατης εκτύπωσης με την τεχνητή νοημοσύνη φέροντας μια νέα εποχή στις βιομηχανίες και σε εν γένει οικονομικούς κλάδους.

ΚΕΦΑΛΑΙΟ 4

4.1 Η εποχή της Τέταρτης Βιομηχανικής Επανάστασης

Η εν εξελίξει τέταρτη βιομηχανική επανάσταση, ευρέως γνωστή ως Βιομηχανική Επανάσταση 4.0, χαρακτηρίζεται από τη σύγκλιση των φυσικών, ψηφιακών και βιολογικών συστημάτων. Η επανάσταση αυτή καθοδηγείται από σημαντικές ανακαλύψεις στην τεχνητή νοημοσύνη (AI), τη μηχανική μάθηση, τη ρομποτική και το διαδίκτυο των πραγμάτων (IoT) (*Mattern, F. & Floerkemeier, C., 2014*).

Η τεχνητή νοημοσύνη και οι αλγόριθμοι μηχανικής μάθησης διαδραματίζουν κρίσιμο ρόλο στη Βιομηχανική Επανάσταση 4.0, επιτρέποντας την αυτοματοποίηση και την προγνωστική ανάλυση. Οι τεχνολογίες αυτές επιτρέπουν την επεξεργασία και ανάλυση τεράστιων ποσοτήτων δεδομένων, οδηγώντας σε αυξημένη αποδοτικότητα και παραγωγικότητα σε διάφορους τομείς. Τα συστήματα που λειτουργούν με τεχνητή νοημοσύνη μπορούν να αυτοματοποιήσουν επαναλαμβανόμενες εργασίες, απελευθερώνοντας τους ανθρώπινους εργαζόμενους ώστε να επικεντρωθούν σε πιο σύνθετες και δημιουργικές προσπάθειες. Οι αλγόριθμοι μηχανικής μάθησης επιτρέπουν στις μηχανές να μαθαίνουν και να βελτιώνονται από τα δεδομένα, καθιστώντας τις όλο και πιο έξυπνες και ικανές να λαμβάνουν τεκμηριωμένες αποφάσεις (*Bojanova, I., 2014*).

Προηγμένα ρομποτικά συστήματα χρησιμοποιούνται σε βιομηχανίες όπως η μεταποίηση, η υγειονομική περίθαλψη και οι μεταφορές και τα οποία μπορούν να εκτελούν εργασίες με ακρίβεια, ταχύτητα και ακρίβεια, οδηγώντας σε αυξημένη παραγωγικότητα και βελτιωμένη ασφάλεια σε διάφορα εργασιακά περιβάλλοντα. Τα αυτόνομα οχήματα αναπτύσσονται και δοκιμάζονται για τις μεταφορές, φέρνοντας επανάσταση στην εφοδιαστική και μειώνοντας ενδεχομένως τα ατυχήματα στους δρόμους.

Το Διαδίκτυο των Πραγμάτων (IoT) είναι ένα άλλο βασικό στοιχείο της Βιομηχανικής Επανάστασης 4.0. Το εν λόγω συνδέει συσκευές, αισθητήρες και μηχανές, δημιουργώντας ένα δίκτυο διασυνδεδεμένων συστημάτων, τα οποία δύνανται να συλλέγουν και να ανταλλάσσουν δεδομένα, παρέχοντας πληροφορίες σε πραγματικό χρόνο και επιτρέποντας τη λήψη καλύτερων αποφάσεων. Το IoT έχει εφαρμογές σε τομείς όπως τα έξυπνα σπίτια, οι έξυπνες πόλεις και ο βιομηχανικός

αυτοματισμός και επιτρέπει την απομακρυσμένη παρακολούθηση, την προληπτική συντήρηση και τη βελτιστοποίηση διαδικασιών και πόρων (*Mattern, F. & Floerkemeier, C., 2014*).

Η σύγχρονη Βιομηχανική Επανάσταση περιλαμβάνει και τις εξελίξεις στη βιοτεχνολογία, τη γενετική μηχανική και τη νανοτεχνολογία. Αυτοί οι τομείς δίνουν νέες δυνατότητες στην υγειονομική περίθαλψη, τη γεωργία και την επιστήμη των υλικών. Η βιοτεχνολογία χρησιμοποιείται για την ανάπτυξη εξατομικευμένης ιατρικής και τη χρήση τεχνολογιών γονιδιακής επεξεργασίας, η γενετική μηχανική επιτρέπει την τροποποίηση οργανισμών για τη βελτίωση των χαρακτηριστικών τους ή την ανάπτυξη νέων λειτουργιών και τέλος η νανοτεχνολογία προσφέρει ευκαιρίες για την ανάπτυξη προηγμένων υλικών και μικροσκοπικών συσκευών με βελτιωμένες ιδιότητες και δυνατότητες.

Η Τέταρτη Βιομηχανική Επανάσταση αναμένεται να έχει βαθύ αντίκτυπο σε διάφορες πτυχές της κοινωνίας, όπως το εργατικό δυναμικό, η εκπαίδευση και η διακυβέρνηση. Θα αναδιαμορφώσει την αγορά εργασίας, με την αυτοματοποίηση και την τεχνητή νοημοσύνη να εκτοπίζουν ενδεχομένως ορισμένες θέσεις εργασίας, ενώ θα δημιουργήσει νέες ευκαιρίες σε αναδυόμενους τομείς (*Schwab, K., 2016*). Τα εκπαιδευτικά συστήματα θα πρέπει να προσαρμοστούν για να εφοδιάσουν τα άτομα με τις απαραίτητες δεξιότητες για την ψηφιακή εποχή. Επιπλέον, η διακυβέρνηση και οι κανονισμοί θα πρέπει να συμβαδίζουν με τις ραγδαίες τεχνολογικές εξελίξεις για την αντιμετώπιση ηθικών, νομικών ζητημάτων και προβλημάτων ασφάλειας.

4.1.1 Οι τεχνολογίες της Τέταρτης Βιομηχανικής Επανάστασης

Η Βιομηχανική Επανάσταση 4.0 περιλαμβάνει μια σειρά προηγμένων τεχνολογιών που οδηγούν στο μετασχηματισμό των βιομηχανιών και της κοινωνίας. Ορισμένες από τις βασικές τεχνολογίες που συνδέονται με την Τέταρτη Βιομηχανική Επανάσταση είναι:

-Διαδίκτυο των πραγμάτων (IoT): Το IoT αναφέρεται στο δίκτυο φυσικών συσκευών, οχημάτων, συσκευών και άλλων αντικειμένων που ενσωματώνουν αισθητήρες, λογισμικό και συνδεσιμότητα. Επιτρέπει σε αυτές τις συσκευές να συλλέγουν και να ανταλλάσσουν δεδομένα, οδηγώντας σε αυξημένη συνδεσιμότητα και επικοινωνία μεταξύ μηχανών και συστημάτων.

-Τεχνητή νοημοσύνη (AI): Οι τεχνολογίες της ΑΙ επιτρέπουν στις μηχανές να μαθαίνουν από δεδομένα, να προσαρμόζονται και να λαμβάνουν ευφυείς αποφάσεις, όπως αναλύθηκε παραπάνω.

-Ανάλυση μεγάλων δεδομένων: Η ανάλυση μεγάλων δεδομένων περιλαμβάνει τη συλλογή, την επεξεργασία και την ανάλυση μεγάλου όγκου δεδομένων για την αποκάλυψη μοτίβων, πληροφοριών και τάσεων. Χρησιμοποιεί τεχνικές όπως η εξόρυξη δεδομένων, η μηχανική μάθηση και η στατιστική ανάλυση για την εξαγωγή πολύτιμων πληροφοριών από πολύπλοκα σύνολα δεδομένων.

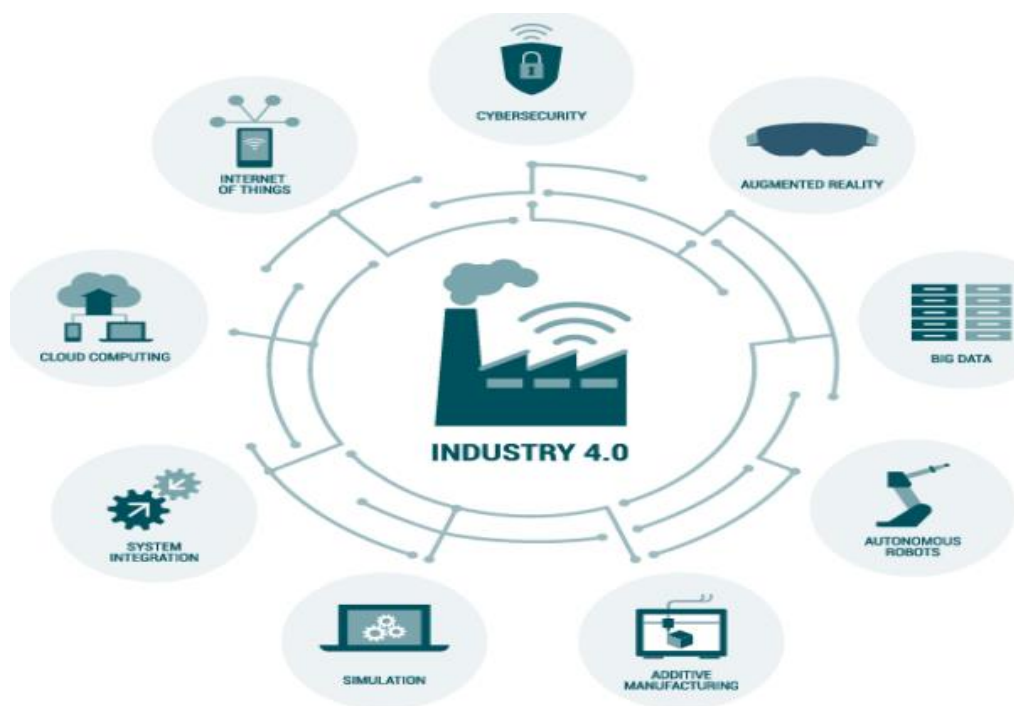
-Ρομποτική και αυτοματισμοί: Η ρομποτική περιλαμβάνει τον σχεδιασμό, την ανάπτυξη και την εγκατάσταση φυσικών ρομπότ που μπορούν να εκτελούν εργασίες αυτόνομα ή σε συνεργασία με τον άνθρωπο. Η αυτοματοποίηση αναφέρεται στη χρήση της τεχνολογίας για την αυτοματοποίηση επαναλαμβανόμενων και χειροκίνητων διαδικασιών, μειώνοντας την ανθρώπινη παρέμβαση και αυξάνοντας την αποδοτικότητα.

-Υπολογιστικό νέφος: Το υπολογιστικό νέφος επιτρέπει την αποθήκευση, την πρόσβαση και την επεξεργασία δεδομένων και εφαρμογών μέσω του διαδικτύου, χωρίς την ανάγκη τοπικής υποδομής. Παρέχει κλιμακούμενους υπολογιστικούς πόρους, διευκολύνει την ανταλλαγή δεδομένων και τη συνεργασία και υποστηρίζει την ανάπτυξη διαφόρων τεχνολογιών.

-Επαυξημένη πραγματικότητα (AR) και εικονική πραγματικότητα (VR): Οι τεχνολογίες AR και VR δημιουργούν καθηλωτικές και διαδραστικές εμπειρίες με την επικάλυψη ψηφιακών πληροφοριών ή τη δημιουργία εικονικών περιβαλλόντων. Βρίσκουν εφαρμογές σε τομείς όπως η εκπαίδευση, η προσομοίωση, ο σχεδιασμός και η ψυχαγωγία.

-Blockchain: Πρόκειται για τεχνολογία κατακευκμένου λογιστικού βιβλίου, που καταγράφει και επαληθεύει με ασφάλεια τις συναλλαγές σε πολλούς υπολογιστές. Επιτρέπει τη διαφανή και ασφαλή ανταλλαγή δεδομένων, την αυθεντικοποίηση και τις αποκεντρωμένες συναλλαγές μεταξύ ομοτίμων.

-Εκτύπωση 3D.



Εικ. 4.1: Οι τεχνολογίες της Τέταρτης Βιομηχανικής Επανάστασης

4.1.2 CPS, η βάση της Βιομηχανικής Επανάστασης 4.0

Τα κυβερνο-φυσικά συστήματα (CPS) διαδραματίζουν κρίσιμο ρόλο στην τέταρτη βιομηχανική επανάσταση, ενσωματώνοντας φυσικά και ψηφιακά στοιχεία για τη δημιουργία ευφών και διασυνδεδεμένων συστημάτων. Τα CPS χαρακτηρίζονται από την ικανότητά τους να αντιλαμβάνονται, να αναλύουν και να ανταποκρίνονται στον φυσικό κόσμο σε πραγματικό χρόνο, αξιοποιώντας προηγμένες τεχνολογίες όπως το Διαδίκτυο των πραγμάτων (IoT), η τεχνητή νοημοσύνη και η ανάλυση μεγάλων δεδομένων. Τα συστήματα αυτά επιτρέπουν την απρόσκοπτη ενσωμάτωση του φυσικού και του ψηφιακού κόσμου, οδηγώντας σε μετασχηματιστικές αλλαγές στις βιομηχανίες και την κοινωνία. Στο πλαίσιο της Τέταρτης Βιομηχανικής Επανάστασης, τα CPS επιτρέπουν τη σύγκλιση διαφόρων τεχνολογιών και κλάδων, δημιουργώντας διασυνδεδεμένα συστήματα που ενισχύουν την αποδοτικότητα, την παραγωγικότητα και τη λήψη αποφάσεων (Schuh, G., Pitsch, M., Rudolf, S., Karmann, W., & Sommer, M., 2014).

Τα CPS αξιοποιούν τη συνδεσιμότητα για την καθιέρωση απρόσκοπτης επικοινωνίας και ανταλλαγής δεδομένων μεταξύ φυσικών συσκευών και ψηφιακών συστημάτων. Αυτή η συνδεσιμότητα επιτρέπει την παρακολούθηση, τον έλεγχο και

τον συντονισμό των φυσικών διεργασιών σε πραγματικό χρόνο, ενισχύοντας την αποδοτικότητα και επιτρέποντας την έξυπνη λήψη αποφάσεων. Επιπρόσθετα, παράγουν τεράστιο όγκο δεδομένων από φυσικούς αισθητήρες και συσκευές. Οι προηγμένοι αλγόριθμοι ανάλυσης και μηχανικής μάθησης επεξεργάζονται αυτά τα δεδομένα για να εξάγουν πολύτιμες πληροφορίες, επιτρέποντας την προληπτική συντήρηση, την προγνωστική ανάλυση και τη βελτιστοποίηση των διαδικασιών. Οι διορατικές γνώσεις βάσει δεδομένων βελτιώνουν την αποδοτικότητα, την κατανομή των πόρων και τη λήψη αποφάσεων σε διάφορους κλάδους.

Τα CPS επιτρέπουν την αυτοματοποίηση και την αυτονομία με την ενσωμάτωση φυσικών και ψηφιακών συστημάτων. Μπορούν να αυτοματοποιήσουν επαναλαμβανόμενες και χειροκίνητες εργασίες, μειώνοντας την ανθρώπινη παρέμβαση και αυξάνοντας τη λειτουργική αποδοτικότητα και παράλληλα με την αυτόνομη λήψη αποφάσεων και τον έλεγχο, δίνεται η δυνατότητα αυτά τα συστήματα να ανταποκρίνονται στις μεταβαλλόμενες συνθήκες και να βελτιστοποιούν την απόδοση.

Διευκολύνουν τη βελτιστοποίηση και την προσαρμοστικότητα στην τέταρτη βιομηχανική επανάσταση. Αναλύουν συνεχώς δεδομένα, παρακολουθούν την απόδοση και προσαρμόζουν τις λειτουργίες για τη βελτιστοποίηση της χρήσης των πόρων, της ενεργειακής απόδοσης και της παραγωγικότητας. Τα CPS μπορούν να προσαρμόζονται στις μεταβαλλόμενες συνθήκες και να προσαρμόζουν δυναμικά τις διαδικασίες, εξασφαλίζοντας ευελιξία και ανταπόκριση σε ένα ταχέως εξελισσόμενο περιβάλλον (Schuh, G., Pitsch, M., Rudolf, S., Karmann, W., & Sommer, M., 2014).

Τα CPS επιτρέπουν την έξυπνη λήψη αποφάσεων με την αξιοποίηση δεδομένων σε πραγματικό χρόνο, αναλύσεων και αλγορίθμων τεχνητής νοημοσύνης. Παρέχουν στους υπεύθυνους λήψης αποφάσεων ακριβείς και έγκαιρες πληροφορίες, υποστηρίζοντας διαδικασίες λήψης αποφάσεων με βάση τα δεδομένα. Τα CPS μπορούν επίσης να λαμβάνουν αυτόνομα αποφάσεις βάσει προκαθορισμένων κανόνων και αλγορίθμων, βελτιστοποιώντας τις λειτουργίες και βελτιώνοντας τη συνολική απόδοση. Δίνουν προτεραιότητα στην ασφάλεια και την προστασία στην τέταρτη βιομηχανική επανάσταση. Για τους άνωθεν λόγους ενσωματώνουν ισχυρά μέτρα ασφαλείας για την προστασία των δεδομένων, των συστημάτων και των φυσικών περιουσιακών στοιχείων από απειλές στον κυβερνοχώρο (Schuh, G., Pitsch, M., Rudolf, S., Karmann, W., & Sommer, M., 2014).

4.2 Η τρισδιάστατη εκτύπωση στην εποχή της Τέταρτης Βιομηχανικής Επανάστασης

Η χρήση της τρισδιάστατης εκτύπωσης στο πλαίσιο της Βιομηχανικής Επανάστασης 4.0 ενέχει τεράστιες δυνατότητες και πρόκειται να επιφέρει σημαντικές αλλαγές σε διάφορους κλάδους, διαμορφώνοντας το μέλλον της παραγωγής, των αλυσίδων εφοδιασμού και της ανάπτυξης προϊόντων.

Ένα από τα βασικά πλεονεκτήματα της τρισδιάστατης εκτύπωσης είναι η ικανότητά της να παράγει εξαιρετικά προσαρμοσμένα και εξατομικευμένα προϊόντα (*Campbell, T., 2011*). Οι παραδοσιακές μέθοδοι κατασκευής συχνά περιλαμβάνουν μαζική παραγωγή, περιορίζοντας το επίπεδο προσαρμογής. Ωστόσο, με την τρισδιάστατη εκτύπωση, οι κατασκευαστές μπορούν να αξιοποιήσουν προηγμένο λογισμικό, τεχνητή νοημοσύνη και ανάλυση δεδομένων για τη συλλογή και αξιοποίηση των προτιμήσεων και των δεδομένων των πελατών. Αυτές οι πληροφορίες μπορούν στη συνέχεια να χρησιμοποιηθούν για τη δημιουργία προϊόντων κατά παραγγελία που ευθυγραμμίζονται με τις ατομικές απαιτήσεις των πελατών. Αυτό το επίπεδο εξατομικεύσης όχι μόνο ενισχύει την ικανοποίηση των πελατών, αλλά και προάγει την αφοσίωση «στη μάρκα».

Επιπλέον, η συγκεκριμένη τεχνολογία επιτρέπει την προσαρμογή σε κλίμακα. Αντί να βασίζονται σε χειροκίνητες διαδικασίες προσαρμογής, οι κατασκευαστές μπορούν να χρησιμοποιούν παραμετρικό σχεδιασμό και αυτοματοποιημένες τεχνικές προσαρμογής, επιτρέποντας δηλαδή την αποτελεσματική μαζική προσαρμογή, όπου παραλλαγές ενός προϊόντος μπορούν εύκολα να δημιουργηθούν και να παραχθούν χωρίς συμβιβασμούς ως προς την ποιότητα ή την αποτελεσματικότητα (*MacDougall, W., 2014*).

Στην εποχή της Βιομηχανικής Επανάστασης 4.0, οι απαιτήσεις της αγοράς μπορεί να είναι απρόβλεπτες και να αλλάζουν γρήγορα. Η τρισδιάστατη εκτύπωση παρέχει μια λύση στις προκλήσεις που συνδέονται με τις παραδοσιακές διαδικασίες κατασκευής, οι οποίες συχνά συνεπάγονται μεγάλους χρόνους παράδοσης και μεγάλης κλίμακας παραγωγή. Με την τρισδιάστατη εκτύπωση, οι κατασκευαστές μπορούν να υιοθετήσουν ευέλικτες και κατά παραγγελία στρατηγικές παραγωγής. Χρησιμοποιώντας τεχνικές προσθετικής κατασκευής, οι εταιρείες μπορούν να παράγουν αντικείμενα σύμφωνα με συγκεκριμένες παραγγελίες, μειώνοντας την

ανάγκη για πλεονάζοντα αποθέματα, που συνεπάγεται οικονομικές ζημίες και απώλειες. Αυτή η κατά παραγγελία προσέγγιση ελαχιστοποιεί το κόστος αποθήκευσης και εξαλείφει τον κίνδυνο κατοχής παρωχημένων ή μη πωλημένων αποθεμάτων. Οι κατασκευαστές μπορούν να ανταποκρίνονται γρήγορα στις απαιτήσεις της αγοράς, επιταχύνοντας τον χρόνο διάθεσης στην αγορά και αποκτώντας ανταγωνιστικό πλεονέκτημα. Εκτός αυτών, δίνεται η δυνατότητα παραγωγής ειδών κατά παραγγελία μειώνει την ανάγκη για εκτεταμένες αλυσίδες εφοδιασμού, μεταφορές και συναφή έξοδα (Campbell, T., 2011). Η δυνατότητα ταχείας παραγωγής ανταλλακτικών είναι ιδιαίτερα πολύτιμη για κλάδους με μεγάλους κύκλους ζωής ή περιορισμένη διαθεσιμότητα ανταλλακτικών, όπως η αεροδιαστημική, η αυτοκινητοβιομηχανία και η υγειονομική περίθαλψη. Μειώνει τον χρόνο διακοπής λειτουργίας και παρατείνει τη διάρκεια ζωής του εξοπλισμού, οδηγώντας σε εξοικονόμηση κόστους και βελτίωση της λειτουργικής αποδοτικότητας.

Η τρισδιάστατη εκτύπωση δύναται να ανατρέψει τις ισορροπίες του παραδοσιακού συγκεντρωτικού μοντέλου κατασκευής, επιτρέποντας την κατανομημένη κατασκευή και την τοπική παραγωγή. Αντί να βασίζονται αποκλειστικά σε κεντρικές εγκαταστάσεις παραγωγής μεγάλης κλίμακας, οι κατασκευαστές μπορούν να δημιουργήσουν μικρότερες μονάδες παραγωγής πιο κοντά στους τελικούς χρήστες ή στις αγορές – στόχους που εξυπηρετούν. Αυτή η αποκεντρωμένη προσέγγιση της κατασκευής προσφέρει πολλά πλεονεκτήματα. Μειώνεται το κόστος μεταφοράς και η κατανάλωση ενέργειας που συνδέεται με τις μεταφορές σε μεγάλες αποστάσεις. Παράλληλα, η τεχνολογία οδηγεί σε συντομότερες αλυσίδες εφοδιασμού, μειώνοντας την πολυπλοκότητα και τους κινδύνους που συνδέονται με την παγκόσμια εφοδιαστική. Επιπλέον, η εντοπισμένη παραγωγή μπορεί να ενισχύσει την ανταπόκριση στις απαιτήσεις της αγοράς, καθώς οι κατασκευαστές μπορούν να προσαρμόζονται γρήγορα στις περιφερειακές παραλλαγές και προτιμήσεις (MacDougall, W., 2014).

Στο ίδιο πλαίσιο αναφοράς, η κατανομημένη και εντοπισμένη παραγωγή επιτρέπει μεγαλύτερη βιωσιμότητα. Με την παραγωγή αγαθών πιο κοντά στο σημείο κατανάλωσης, οι εταιρείες μπορούν να ελαχιστοποιήσουν τις εκπομπές διοξειδίου του άνθρακα, καθώς και να μειώσουν τα υλικά συσκευασίας και τα απόβλητα που παράγονται κατά τη μεταφορά. Το μοντέλο εντοπισμένης παραγωγής ευθυγραμμίζεται επίσης με τις αρχές της κυκλικής οικονομίας, καθώς διευκολύνει την ανακύκλωση και την επαναχρησιμοποίηση των υλικών εντός μιας συγκεκριμένης περιοχής ή ενός

τόπου. Η βιωσιμότητα αποτελεί βασική εστίαση στην εποχή της Βιομηχανικής Επανάστασης 4.0 και η τρισδιάστατη εκτύπωση προσφέρει αρκετά πλεονεκτήματα από αυτή την άποψη. Οι παραδοσιακές μέθοδοι κατασκευής συχνά παράγουν σημαντικές ποσότητες αποβλήτων λόγω των αφαιρετικών διαδικασιών, της υπερβολικής χρήσης υλικών και των αναποτελεσματικών μεθόδων παραγωγής. Η τρισδιάστατη εκτύπωση, από την άλλη πλευρά, είναι μια προσθετική διαδικασία κατασκευής που ελαχιστοποιεί τα απόβλητα χρησιμοποιώντας μόνο την απαιτούμενη ποσότητα υλικού για την εκτύπωση. Αυτή η μείωση των αποβλήτων όχι μόνο μειώνει το κόστος, αλλά ευθυγραμμίζεται επίσης με τους στόχους περιβαλλοντικής βιωσιμότητας. Επιπλέον, με την τρισδιάστατη εκτύπωση μπορούν και χρησιμοποιούνται ανακυκλωμένα ή βιολογικά υλικά, μειώνοντας περαιτέρω την εξάρτηση από παρθένες πρώτες ύλες και συμβάλλοντας στην κυκλική οικονομία.

Επιπλέον, η τρισδιάστατη εκτύπωση επιτρέπει στους κατασκευαστές να προσφέρουν υπηρεσίες *aftermarket* που ανταποκρίνονται στις ατομικές ανάγκες των πελατών. Οι εταιρείες μπορούν να αξιοποιήσουν τις δυνατότητες προσαρμογής της τρισδιάστατης εκτύπωσης για την παραγωγή αξεσουάρ, τροποποιήσεων ή εξατομικευμένων εξαρτημάτων για υπάρχοντα προϊόντα. Αυτό όχι μόνο προσθέτει αξία στον πελάτη, αλλά ανοίγει και νέες πηγές εσόδων για τους κατασκευαστές (Schwab, K., 2016).

Η τρισδιάστατη εκτύπωση έχει ανοίξει το δρόμο για την εξέλιξη των υλικών και των συνδυασμών υλικών. Ενώ οι παραδοσιακές διαδικασίες κατασκευής συχνά περιορίζονται σε ένα επιλεγμένο φάσμα υλικών, η τρισδιάστατη εκτύπωση προσφέρει ένα ευρύτερο φάσμα εκτυπώσιμων υλικών. Οι ερευνητές και οι επιστήμονες υλικών διερευνούν συνεχώς νέα υλικά κατάλληλα για τρισδιάστατη εκτύπωση, όπως βιοσυμβατά υλικά, αγώγιμα πολυμερή, σύνθετα υλικά, ακόμη και υλικά με συγκεκριμένες ιδιότητες, όπως αυτοθεραπεία ή χαρακτηριστικά μνήμης σχήματος (Smith, J., 2013). Αυτή η διευρυνόμενη γκάμα υλικών επιτρέπει τη δημιουργία προϊόντων με βελτιωμένες ιδιότητες και λειτουργικότητα. Επιπλέον, οι εξελίξεις στην εκτύπωση πολλαπλών υλικών επιτρέπουν την ενσωμάτωση διαφορετικών υλικών σε μία μόνο εκτύπωση. Αυτή η δυνατότητα είναι ιδιαίτερα χρήσιμη για τη δημιουργία σύνθετων αντικειμένων με διαφορετικές ιδιότητες υλικών. Για παράδειγμα, μπορεί να αξιοποιηθεί για την παραγωγή εξαρτημάτων με άκαμπτα και εύκαμπτα μέρη ή για την ενσωμάτωση ηλεκτρονικών κυκλωμάτων σε εκτυπωμένες δομές. Η εκτύπωση

πολλαπλών υλικών διευρύνει το φάσμα των εφαρμογών της τρισδιάστατης εκτύπωσης, επιτρέποντας την παραγωγή λειτουργικών και πολυλειτουργικών αντικειμένων.

Στην εποχή της Βιομηχανικής Επανάστασης 4.0, η ενσωμάτωση της τρισδιάστατης εκτύπωσης με την αυτοματοποίηση και τη ρομποτική ενέχει μεγάλες δυνατότητες για την αύξηση της αποδοτικότητας και της παραγωγικότητας. Οι αυτοματοποιημένες διαδικασίες μπορούν να χρησιμοποιηθούν για διάφορες πτυχές των ροών εργασίας της τρισδιάστατης εκτύπωσης, συμπεριλαμβανομένου του χειρισμού υλικών, της αφαίρεσης εξαρτημάτων, της μετεπεξεργασίας και του ποιοτικού ελέγχου. Τα ρομπότ μπορούν να εργάζονται παράλληλα με τους τρισδιάστατους εκτυπωτές, βελτιστοποιώντας τη ροή εργασίας και μειώνοντας την ανάγκη για ανθρώπινη παρέμβαση. Τα αυτοματοποιημένα συστήματα μπορούν να εξασφαλίσουν ακριβή εναπόθεση υλικού, να ελαχιστοποιήσουν τα σφάλματα και να αυξήσουν τη συνέπεια στην κατασκευή. Αυτή η ενσωμάτωση της τρισδιάστατης εκτύπωσης με την αυτοματοποίηση και τη ρομποτική διευκολύνει τη συνεχή παραγωγή, μειώνει το κόστος εργασίας και βελτιώνει τη συνολική αποδοτικότητα της κατασκευής (Smith, J., 2013).

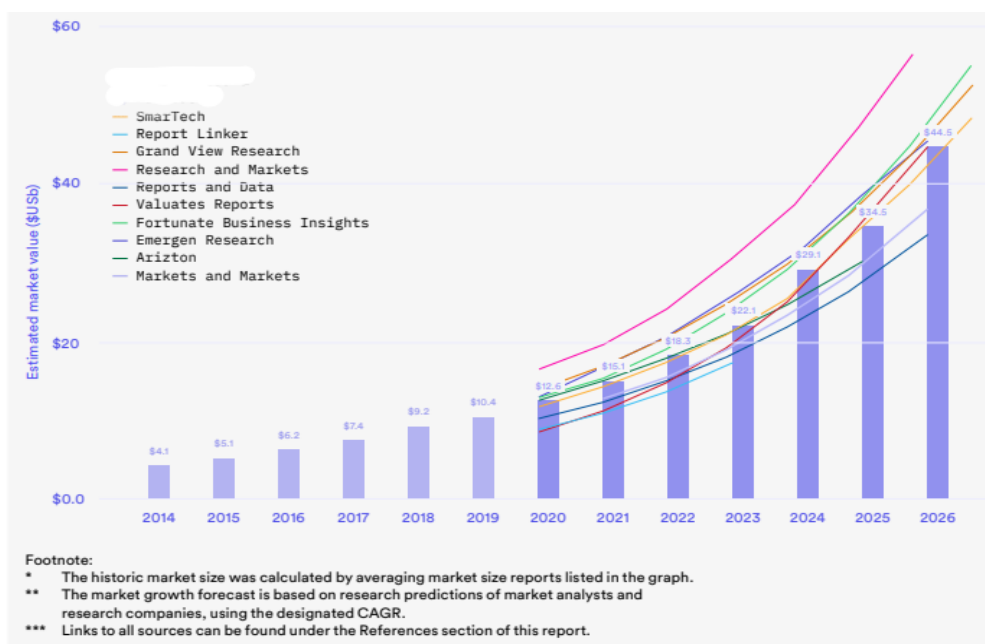
Επιπλέον, η χρήση τεχνητής νοημοσύνης και αλγορίθμων μηχανικής μάθησης μπορεί να βελτιώσει τις δυνατότητες των συστημάτων τρισδιάστατης εκτύπωσης. Αυτές οι τεχνολογίες μπορούν να αξιοποιηθούν για την παρακολούθηση σε πραγματικό χρόνο, τη βελτιστοποίηση της διαδικασίας και τον έλεγχο ποιότητας, βελτιώνοντας περαιτέρω την αποτελεσματικότητα και την αξιοπιστία των διαδικασιών τρισδιάστατης εκτύπωσης.

Με την αυξανόμενη διαθεσιμότητα σχεδίων ανοικτού κώδικα, κοινής γνώσης και διαδικτυακών πλατφορμών, τα άτομα, οι νεοσύστατες επιχειρήσεις και οι κοινότητες μπορούν να συνεργάζονται και να συμβάλλουν στην πρόοδο των τεχνολογιών τρισδιάστατης εκτύπωσης. Αυτό το συνεργατικό οικοσύστημα διευκολύνει την ανταλλαγή γνώσεων, την καινοτομία και την εξερεύνηση νέων εφαρμογών. Επιτρέπει την ανταλλαγή ιδεών, σχεδίων και βέλτιστων πρακτικών, δίνοντας τη δυνατότητα σε ιδιώτες και μικρότερες οντότητες να συμμετέχουν στο τοπίο της κατασκευής. Η προσβασιμότητα των τεχνολογιών τρισδιάστατης εκτύπωσης και η δυνατότητα ταχείας επανάληψης των σχεδίων ενθαρρύνει τον πειραματισμό και προάγει την κουλτούρα της καινοτομίας.

4.2.1 Μελέτη της χρήσης 3D εκτύπωσης στην αγορά

Το γράφημα 4.1 συνοψίζει τα δεδομένα που αναφέρθηκαν από αξιόπιστες εταιρείες αναλυτών αγοράς σχετικά με το τμήμα της αγοράς τρισδιάστατης εκτύπωσης το 2021 και το 2022, καθώς και τις προβλέψεις στα επόμενα έτη. Τα δεδομένα περιλαμβάνουν έσοδα από συστήματα τρισδιάστατης εκτύπωσης, λογισμικό, υλικά και υπηρεσίες, εξαιρουμένων των εσωτερικών εταιρικών επενδύσεων σε τεχνολογίες τρισδιάστατης εκτύπωσης. Το γράφημα κατασκευάστηκε με βάση δημόσια διαθέσιμες πληροφορίες και έχει ως στόχο να παρέχει την καλύτερη δυνατή εκτίμηση του τρέχοντος μεγέθους και των μελλοντικών δυνατοτήτων της παγκόσμιας αγοράς τρισδιάστατης εκτύπωσης. Ωστόσο, είναι σημαντικό να σημειωθεί ότι το μέγεθος της αγοράς για το 2021 παρουσιάζει ένα ευρύ φάσμα, από 10,8 δισ. δολάρια έως 19,5 δισ. δολάρια. Αυτές οι διακυμάνσεις στις προβλέψεις επηρεάζονται από τα διαθέσιμα δεδομένα κατά τη στιγμή της σύνταξης και της δημοσίευσης κάθε έκθεσης, καθώς και από τις επιπτώσεις των παγκόσμιων αποκλεισμών που προκλήθηκαν από την πανδημία COVID-19 (*hubs.com*).

Επιπλέον των προβλέψεων της αγοράς από κορυφαίες εκθέσεις του κλάδου, η αγορά αυξήθηκε περί του 21% το 2022, φθάνοντας σε μέγεθος 18,3 δισεκατομμυρίων δολαρίων μέχρι το τέλος του έτους, κάτι που υποδηλώνει ανάκαμψη της αγοράς και αυξημένη εμπιστοσύνη στις δυνατότητες του κλάδου.

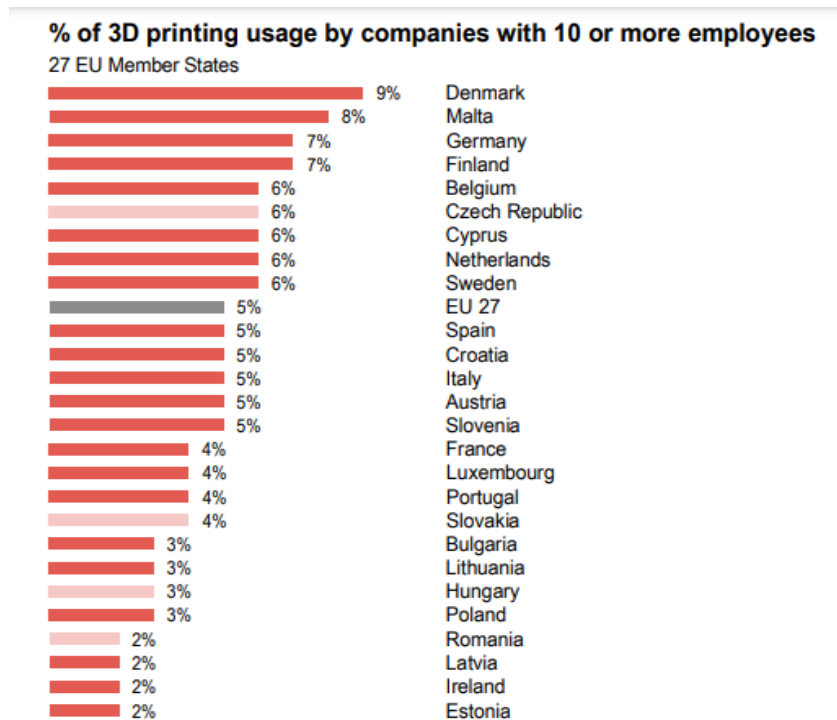


Γράφημα 4.1: Η αγορά του 3d printing και οι προβλέψεις για τα μελλοντικά έτη (*hubs.com*)

Πριν από την επιδημία COVID-19, ο σύνθετος ετήσιος ρυθμός ανάπτυξης (CAGR) για την αγορά τρισδιάστατης εκτύπωσης από το 2014 έως το 2019 ήταν 21%. Αυτή η πενταετής περίοδος παρουσίαζε ισχυρή ανάπτυξη και θετική πορεία για τον κλάδο. Παρά τις διαταραχές που προκάλεσε η πανδημία, η αγορά πλησιάζει τώρα στους προ της πανδημίας ρυθμούς ανάπτυξης.

Οι τρέχουσες προβλέψεις δείχνουν ένα προβλεπόμενο CAGR 24% για την επόμενη πενταετία, γεγονός που υποδηλώνει ακόμη υψηλότερο ρυθμό ανάπτυξης από την προ της πανδημίας περίοδο. Αυτή η αισιόδοξη πρόβλεψη υποδηλώνει ανάκαμψη της αγοράς και αυξημένη εμπιστοσύνη στις δυνατότητες του κλάδου (*hubs.com*). Είναι αξιοσημείωτο ότι ο προβλεπόμενος CAGR ευθυγραμμίζεται με την έκθεση για το 2020, υποδεικνύοντας συνέπεια στις προσδοκίες ανάπτυξης.

Αναφορικά με τη χρήση στις χώρες της ΕΕ παρουσιάζονται στο κάτωθι γράφημα (Γράφημα 4.2).



Γράφημα 4.2: Η χρήση της τρισδιάστατης εκτύπωσης σε κράτη – μέλη της ΕΕ σε εταιρίες με 10 και άνω εργαζομένους (*Jabil.com*)

Η ευρωπαϊκή αγορά της προσθετικής κατασκευής αποτιμάται σε 3,7 δισ. ευρώ, με τη Γερμανία να ηγείται της περιοχής με μέγεθος αγοράς 1,1 δισ. ευρώ. Η ισχυρή παρουσία της Γερμανίας στον κλάδο της τρισδιάστατης εκτύπωσης αναδεικνύει την τεχνολογική της υπεροχή και την υιοθέτηση της προσθετικής κατασκευής. Από την

άλλη πλευρά, η Δανία ξεχωρίζει για την υψηλή χρήση της τρισδιάστατης εκτύπωσης μεταξύ των εταιρειών με 10 ή περισσότερους υπαλλήλους στην Ευρώπη, γεγονός που υποδηλώνει ένα ευνοϊκό περιβάλλον και την ευρεία ενσωμάτωση της τεχνολογίας στις δανικές επιχειρήσεις (*Jabil.com*). Αυτά τα στατιστικά στοιχεία καταδεικνύουν τους διαφορετικούς βαθμούς ανάπτυξης της αγοράς και υιοθέτησης σε όλες τις ευρωπαϊκές χώρες στον τομέα της τρισδιάστατης εκτύπωσης.

Για πολλά χρόνια, η κατασκευή πρωτοτύπων αποτελούσε την κύρια εφαρμογή της τρισδιάστατης εκτύπωσης λόγω της ικανότητάς της να δημιουργεί γρήγορα και οικονομικά αποδοτικά φυσικά μοντέλα και πρωτότυπα. Ωστόσο, το τοπίο των εφαρμογών τρισδιάστατης εκτύπωσης εξελίσσεται, με άλλες χρήσεις να κερδίζουν έδαφος. Τον τελευταίο καιρό, έχει σημειωθεί ένα σημαντικό άλμα προς τα εμπρός σε διάφορες εφαρμογές της τρισδιάστατης εκτύπωσης. Συγκεκριμένα, η έρευνα και ανάπτυξη καθώς και τα jigs, τα εξαρτήματα και τα εργαλεία έχουν σημειώσει αξιοσημείωτη αύξηση κατά 20% σε σύγκριση με το 2019.

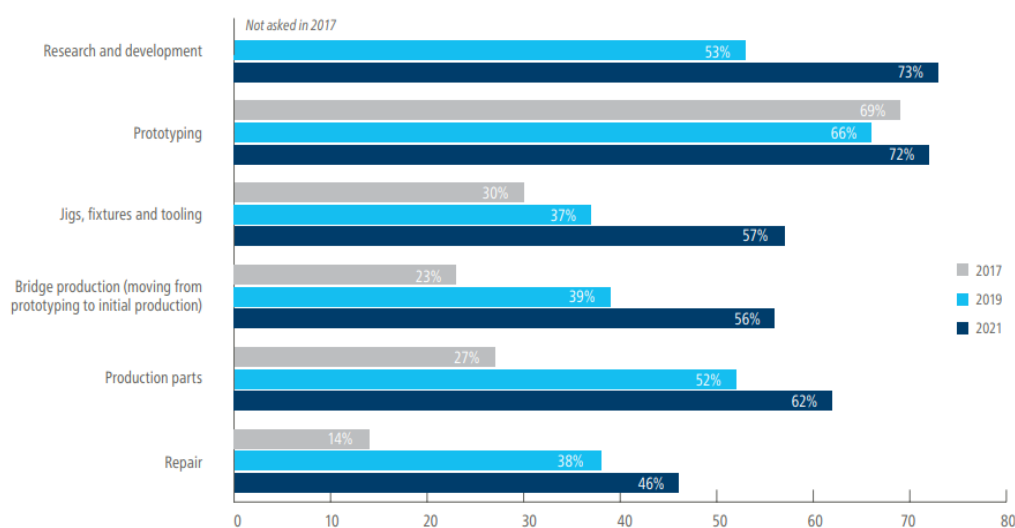
Η αυξημένη υιοθέτηση της τρισδιάστατης εκτύπωσης στην έρευνα και την ανάπτυξη σηματοδοτεί την αξία της για την ενεργοποίηση επαναληπτικών διαδικασιών σχεδιασμού, την επιτάχυνση της καινοτομίας και τη μείωση του χρόνου διάθεσης στην αγορά. Αξιοποιώντας την τεχνολογία τρισδιάστατης εκτύπωσης, οι ερευνητές και οι προγραμματιστές μπορούν να δημιουργήσουν λειτουργικά πρωτότυπα, να δοκιμάσουν σχέδια και να βελτιώσουν τις έννοιες πιο αποτελεσματικά από τις παραδοσιακές μεθόδους. Παρομοίως, η άνοδος της τρισδιάστατης εκτύπωσης σε διατάξεις, εξαρτήματα και εργαλεία υποδηλώνει τον αντίκτυπο της τεχνολογίας στις διαδικασίες κατασκευής. Η προσθετική κατασκευή προσφέρει την ευελιξία για την παραγωγή εξατομικευμένων και πολύπλοκων εξαρτημάτων, εξαρτημάτων και εργαλείων, ενισχύοντας την παραγωγικότητα, μειώνοντας το κόστος και βελτιώνοντας τη συνολική αποδοτικότητα των γραμμών παραγωγής.

Η ανάπτυξη αυτών των εφαρμογών καταδεικνύει την επέκταση της χρήσης της τρισδιάστατης εκτύπωσης πέρα από την κατασκευή πρωτοτύπων. Ενώ η κατασκευή πρωτοτύπων παραμένει μια ζωτικής σημασίας περίπτωση χρήσης, ο κλάδος διαφοροποιεί τις εφαρμογές του, αξιοποιώντας τα οφέλη της προσθετικής κατασκευής σε τομείς όπως η άμεση κατασκευή, η παραγωγή ανταλλακτικών, οι ιατρικές συσκευές και άλλα.

Αυτή η αλλαγή αναδεικνύει την ωρίμανση και την αυξανόμενη αποδοχή της τρισδιάστατης εκτύπωσης σε όλους τους κλάδους. Καθώς η τεχνολογία συνεχίζει να

εξελίσσεται και να γίνεται πιο προσιτή, αναμένεται να επεκτείνει περαιτέρω την εμβέλειά της σε νέες εφαρμογές, επιτρέποντας ανατρεπτικές αλλαγές στις διαδικασίες κατασκευής, έρευνας και ανάπτυξης.

Στο Γράφημα 4.3 φαίνεται ότι σε σύγκριση με το 2019, και οι δύο αυτές εφαρμογές σημείωσαν σημαντική αύξηση της τάξης του 20%. Αυτό υποδηλώνει την αυξανόμενη αναγνώριση και χρήση της προσθετικής κατασκευής για σκοπούς πέρα από την απλή κατασκευή πρωτοτύπων, αναδεικνύοντας τις δυνατότητές της στις βιομηχανίες έρευνας, κατασκευής και εργαλείων.



Γράφημα 4.3: Οι χρήσεις σε παγκόσμιο επίπεδο την τριετία 2017 – 2019 -2021 (Jabil.com)

Η ανάπτυξη αυτών των εφαρμογών καταδεικνύει την επέκταση της χρήσης της τρισδιάστατης εκτύπωσης πέρα από την κατασκευή πρωτοτύπων. Ενώ η κατασκευή πρωτοτύπων παραμένει μια ζωτικής σημασίας περίπτωση χρήσης, ο κλάδος διαφοροποιεί τις εφαρμογές του, αξιοποιώντας τα οφέλη της προσθετικής κατασκευής σε τομείς όπως η άμεση κατασκευή, η παραγωγή ανταλλακτικών, οι ιατρικές συσκευές και άλλα.

Αυτή η αλλαγή αναδεικνύει την ωρίμανση και την αυξανόμενη αποδοχή της τρισδιάστατης εκτύπωσης σε όλους τους κλάδους. Καθώς η τεχνολογία συνεχίζει να εξελίσσεται και να γίνεται πιο προσιτή, αναμένεται να επεκτείνει περαιτέρω την εμβέλειά της σε νέες εφαρμογές, επιτρέποντας ανατρεπτικές αλλαγές στις διαδικασίες κατασκευής, έρευνας και ανάπτυξης.

4.2.2 Παραδείγματα χρήσης της 3d εκτύπωσης στο πλαίσιο της Βιομηχανικής Επανάστασης 4.0

Στην Τέταρτη Βιομηχανική Επανάσταση, η τρισδιάστατη εκτύπωση, όπως έχει προαναφερθεί, έχει αναδειχθεί σε μια μετασχηματιστική τεχνολογία με πολυάριθμες εφαρμογές σε διάφορους κλάδους.

Παράδειγμα αποτελεί η αεροδιαστημική βιομηχανία. Αξιοποιώντας την τρισδιάστατη εκτύπωση, οι εταιρείες μπορούν να παράγουν περίπλοκα και ελαφριά εξαρτήματα που προηγουμένως ήταν δύσκολο ή αδύνατο να κατασκευαστούν με παραδοσιακές μεθόδους. Αυτό έχει ως αποτέλεσμα τη μείωση του βάρους, την αύξηση της αποδοτικότητας των καυσίμων και τη βελτίωση των επιδόσεων των αεροσκαφών. Η τρισδιάστατη εκτύπωση επιτρέπει την ενοποίηση πολλαπλών εξαρτημάτων σε μια ενιαία σύνθετη δομή, μειώνοντας τον χρόνο συναρμολόγησης και τα πιθανά σημεία αστοχίας (*De Jong, J.P.J., de Bruijn, E., 2013*).

Στον κλάδο της μόδας η τρισδιάστατη εκτύπωση δίνει δυνατότητες στους σχεδιαστές να δημιουργούν πρωτοποριακά και προσαρμοσμένα προϊόντα. Με τους τρισδιάστατους εκτυπωτές, οι σχεδιαστές μπορούν να ζωντανέψουν πολύπλοκες γεωμετρίες, περίπλοκα μοτίβα και μοναδικές υφές. Προσφέρει απaráμιλλη ελευθερία στο σχεδιασμό, επιτρέποντας την παραγωγή μοναδικών κομματιών μόδας, αξεσουάρ και κοσμημάτων.

Στον κατασκευαστικό κλάδο, η τρισδιάστατη εκτύπωση είναι έτοιμη να φέρει επανάσταση, εισάγοντας καινοτόμες τεχνικές δόμησης. Οι τρισδιάστατοι εκτυπωτές μεγάλης κλίμακας μπορούν να δημιουργήσουν κατασκευαστικά στοιχεία με μεγαλύτερη ακρίβεια και ταχύτητα, μειώνοντας τις απαιτήσεις εργασίας και τον χρόνο κατασκευής. Η τεχνολογία αυτή επιτρέπει τη δημιουργία εξατομικευμένων αρχιτεκτονικών σχεδίων, που ήταν προηγουμένως δύσκολο να επιτευχθούν με τις παραδοσιακές μεθόδους κατασκευής (*MacDougall, W., 2014*).

Η τρισδιάστατη εκτύπωση έχει μεταμορφώσει την αυτοκινητοβιομηχανία, επιτρέποντας την κατά παραγγελία παραγωγή εξατομικευμένων εξαρτημάτων και παράλληλα διευκολύνει την ταχεία κατασκευή πρωτοτύπων, επιτρέποντας στις αυτοκινητοβιομηχανίες να επαναλαμβάνουν και να βελτιώνουν γρήγορα τα σχέδια. Με τη χρήση της τεχνολογίας τρισδιάστατης εκτύπωσης, οι κατασκευαστές αυτοκινήτων μπορούν να μειώσουν το κόστος και να προσφέρουν μοναδικές επιλογές προσαρμογής στους πελάτες.

Στον ιατρικό τομέα, η τρισδιάστατη εκτύπωση συντελεί στην παραγωγή ιατρικών συσκευών και εμφυτευμάτων, ειδικά για τον ασθενή. Οι χειρουργοί μπορούν να χρησιμοποιούν τρισδιάστατα εκτυπωμένα ανατομικά μοντέλα για να σχεδιάζουν πολύπλοκες χειρουργικές επεμβάσεις, οδηγώντας σε βελτιωμένα χειρουργικά αποτελέσματα και μειωμένο χειρουργικό χρόνο. Ως προς την προσθετική, η τρισδιάστατη εκτύπωση επιτρέπει τη δημιουργία εξατομικευμένων συσκευών που ταιριάζουν απόλυτα στην ανατομία του ασθενούς, ενισχύοντας την άνεση και τη λειτουργικότητα. Η δυνατότητα τρισδιάστατης εκτύπωσης ζωντανών ιστών και οργάνων ενέχει τεράστιες δυνατότητες για την αναγεννητική ιατρική και τη μεταμόσχευση οργάνων, παρόλο που ο εν λόγω τομέας βρίσκεται σε πρώιμα στάδια ανάπτυξης.

4.3 Η τεχνητή νοημοσύνη στην Τέταρτη Βιομηχανική Επανάσταση

Η Τέταρτη Βιομηχανική Επανάσταση, που χαρακτηρίζεται από τη συγχώνευση τεχνολογιών που θολώνουν τα όρια μεταξύ του φυσικού, του ψηφιακού και του βιολογικού κόσμου, τροφοδοτείται από διάφορες εξελίξεις, με την ΑΙ να διαδραματίζει καθοριστικό ρόλο, προωθώντας την καινοτομία, την αυτοματοποίηση και την ευφυή λήψη αποφάσεων σε όλους τους κλάδους.

Η ευφυής αυτοματοποίηση αναφέρεται στη χρήση τεχνολογιών ΑΙ, όπως η μηχανική μάθηση και τα γνωστικά συστήματα, για την αυτοματοποίηση εργασιών και διαδικασιών που παραδοσιακά απαιτούσαν ανθρώπινη παρέμβαση. Αξιοποιώντας αυτές τις τεχνολογίες, οι επιχειρήσεις μπορούν να εκσυγχρονίσουν τις λειτουργίες, να βελτιώσουν την αποδοτικότητα και να ενισχύσουν την παραγωγικότητα (Müller, V. C. & Bostrom, N., 2016). Η αυτοματοποίηση ρομποτικών διαδικασιών (RPA), ένα υποσύνολο της ευφυούς αυτοματοποίησης, περιλαμβάνει τη χρήση ρομπότ λογισμικού ή "ρομπότ" για την εκτέλεση εργασιών που βασίζονται σε κανόνες. Ένα από τα κύρια οφέλη της ευφυούς αυτοματοποίησης είναι η ικανότητά της να αυτοματοποιεί επαναλαμβανόμενες και τετριμμένες εργασίες. Αναθέτοντας αυτές τις εργασίες σε ρομπότ με τεχνητή νοημοσύνη, οι οργανισμοί μπορούν να απελευθερώσουν ανθρώπινους πόρους για να επικεντρωθούν σε πιο στρατηγικές και δημιουργικές εργασίες. Αυτό όχι μόνο βελτιώνει την ικανοποίηση των εργαζομένων, αλλά επιτρέπει

επίσης στις επιχειρήσεις να αξιοποιούν καλύτερα το ανθρώπινο κεφάλαιό τους. Ο ευφυής αυτοματισμός ενισχύει επίσης την ακρίβεια και την αξιοπιστία. Οι αλγόριθμοι τεχνητής νοημοσύνης μπορούν να εκτελούν εργασίες με ακρίβεια, εξαλείφοντας τα ανθρώπινα λάθη και τις ασυνέπειες. Αυτό είναι ιδιαίτερα επωφελές σε κλάδους όπως η χρηματοοικονομική και η υγειονομική περίθαλψη, όπου ακόμη και μικρά λάθη μπορεί να έχουν σημαντικές συνέπειες. Με την αυτοματοποίηση με τεχνητή νοημοσύνη, οι οργανισμοί μπορούν να επιτύχουν υψηλότερα επίπεδα ακρίβειας, μειώνοντας το κόστος και βελτιώνοντας την ικανοποίηση των πελατών. Επιπλέον, η ευφυής αυτοματοποίηση προσφέρει επεκτασιμότητα και ευελιξία. Καθώς οι επιχειρήσεις αναπτύσσονται και εξελίσσονται, μπορούν εύκολα να κλιμακώσουν τις προσπάθειες αυτοματοποίησής τους, αναπτύσσοντας πρόσθετα bots ή αναδιαμορφώνοντας τα υπάρχοντα (Müller, V. C. & Bostrom, N., 2016). Αυτή η προσαρμοστικότητα επιτρέπει στους οργανισμούς να ανταποκρίνονται στις μεταβαλλόμενες απαιτήσεις της αγοράς πιο αποτελεσματικά και αποδοτικά.

Η προγνωστική ανάλυση αξιοποιεί τη δύναμη των αλγορίθμων για την ανάλυση τεράστιου όγκου δεδομένων, τον εντοπισμό μοτίβων και την πραγματοποίηση προβλέψεων. Αξιοποιώντας ιστορικά δεδομένα και δεδομένα πραγματικού χρόνου, οι επιχειρήσεις μπορούν να αποκτήσουν πολύτιμες πληροφορίες που οδηγούν στη λήψη αποφάσεων βάσει δεδομένων. Ένα από τα βασικά πλεονεκτήματα της προβλεπτικής ανάλυσης είναι η ικανότητά της να προβλέπει μελλοντικές τάσεις και συμπεριφορές. Με την ανάλυση ιστορικών δεδομένων και τον εντοπισμό μοτίβων, οι αλγόριθμοι αυτοί μπορούν να κάνουν ακριβείς προβλέψεις σχετικά με τη συμπεριφορά των πελατών, τις τάσεις της αγοράς και τα πρότυπα ζήτησης. Αυτό επιτρέπει στις επιχειρήσεις να βελτιστοποιούν τις λειτουργίες τους, να κατανέμουν αποτελεσματικά τους πόρους και να λαμβάνουν τεκμηριωμένες στρατηγικές αποφάσεις. Σε αυτό το πλαίσιο, η προγνωστική ανάλυση διαδραματίζει επίσης κρίσιμο ρόλο στη βελτιστοποίηση των διαδικασιών και στη μείωση του κόστους.

Επιπλέον, η προγνωστική ανάλυση επιτρέπει την προληπτική συντήρηση και τη διαχείριση περιουσιακών στοιχείων. Με την ανάλυση δεδομένων αισθητήρων, δεικτών απόδοσης μηχανών και αρχείων συντήρησης, οι αλγόριθμοι ΑΙ μπορούν να προβλέψουν τις βλάβες του εξοπλισμού πριν αυτές συμβούν. Αυτό δίνει τη δυνατότητα στους οργανισμούς να προγραμματίζουν τη συντήρηση προληπτικά, να ελαχιστοποιούν τον χρόνο διακοπής λειτουργίας και να βελτιστοποιούν τη χρήση των περιουσιακών στοιχείων. Ως αποτέλεσμα, οι επιχειρήσεις μπορούν να μειώσουν το

κόστος συντήρησης, να βελτιώσουν τη λειτουργική αποδοτικότητα και να παρατείνουν τη διάρκεια ζωής των περιουσιακών τους στοιχείων.

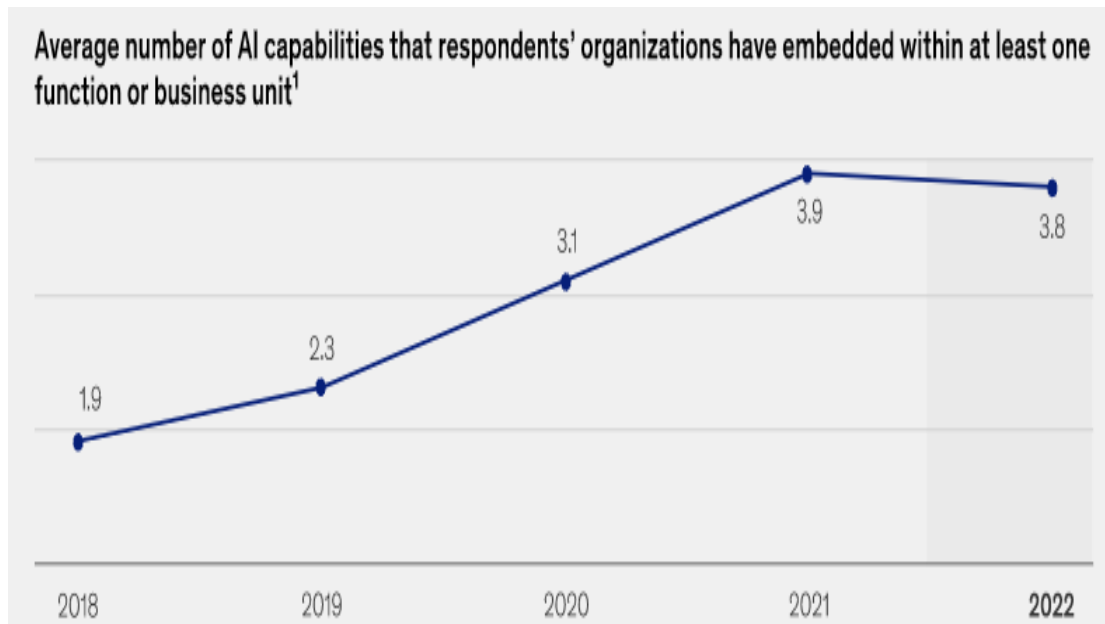
Η προγνωστική ανάλυση βοηθά στην αξιολόγηση και τον μετριασμό των κινδύνων. Με την ανάλυση ιστορικών δεδομένων και τον εντοπισμό παραγόντων κινδύνου, οι αλγόριθμοι αυτοί μπορούν να παρέχουν πληροφορίες και συστάσεις για τη διαχείριση των κινδύνων. Αυτό είναι ιδιαίτερα πολύτιμο σε κλάδους όπως η ασφάλιση και τα χρηματοοικονομικά, όπου η ακριβής αξιολόγηση των κινδύνων είναι ζωτικής σημασίας για τη λήψη αποφάσεων και τη συμμόρφωση με τις κανονιστικές διατάξεις.

Με το βλέμμα στο μέλλον, οι εφαρμογές της τεχνητής νοημοσύνης στην Τέταρτη Βιομηχανική Επανάσταση θα συνεχίσουν να εξελίσσονται. Οι εξελίξεις στη βαθιά μάθηση, την επεξεργασία φυσικής γλώσσας και την όραση υπολογιστών θα ενισχύσουν περαιτέρω τις δυνατότητες της ευφυούς αυτοματοποίησης και της προγνωστικής ανάλυσης (Schwab, K., 2016). Οι οργανισμοί θα υιοθετούν ολοένα και περισσότερο τεχνολογίες ΑΙ για την αυτοματοποίηση πολύπλοκων εργασιών, τη βελτίωση των διαδικασιών λήψης αποφάσεων και την απόκτηση ανταγωνιστικού πλεονεκτήματος.

4.3.1 Ανάλυση της χρήσης ΑΙ στη σημερινή οικονομία

Η ανάλυση του κάτωθι γραφήματος αποκαλύπτει ότι οι οργανισμοί έχουν αυξήσει σημαντικά την υιοθέτηση των δυνατοτήτων τεχνητής νοημοσύνης με την πάροδο των ετών. Ο μέσος αριθμός των δυνατοτήτων ΑΙ που χρησιμοποιούν οι οργανισμοί έχει διπλασιαστεί από 1,9 το 2018 σε 3,8 το 2022, κάτι που καταδεικνύει την αυξανόμενη αναγνώριση της αξίας και των δυνατοτήτων της σε διάφορους κλάδους¹¹.

¹¹ <https://www.mckinsey.com/capabilities/quantumblack/our-insights/the-state-of-ai-in-2022-and-a-half-decade-in-review>

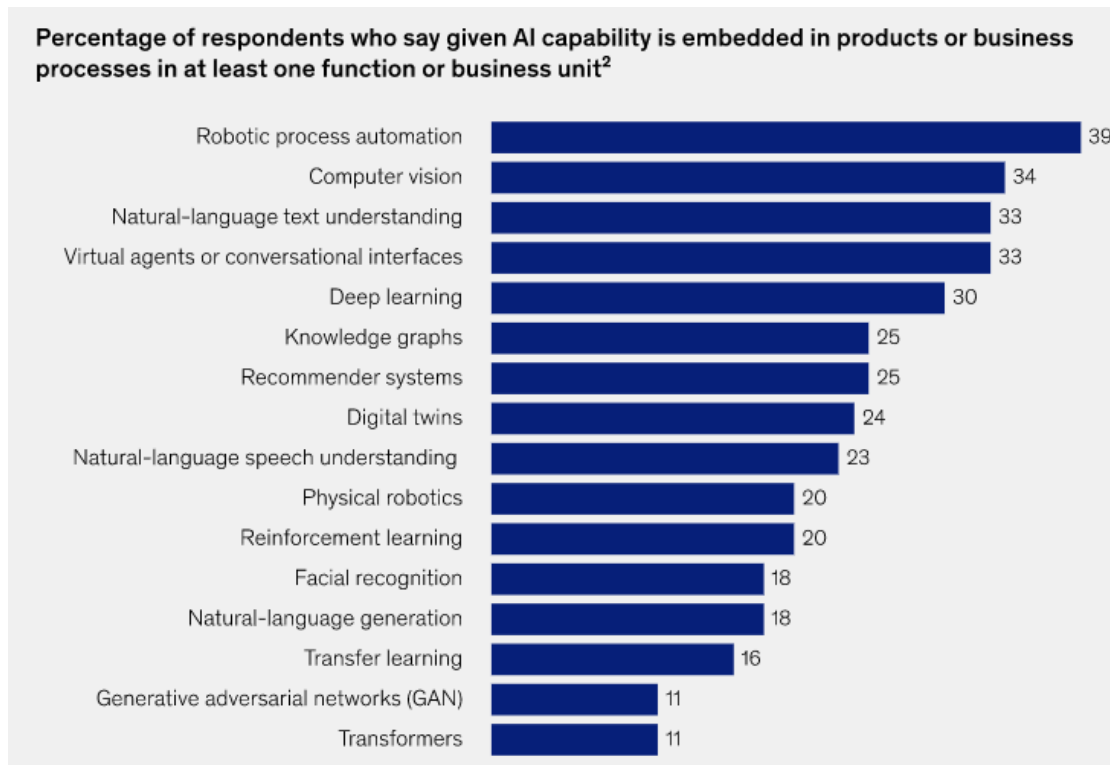


Γράφημα 4.4: Μέσος αριθμός δυνατοτήτων ΑΙ που χρησιμοποιούν οι οργανισμοί
(www.mckinsey.com)

Οι οργανισμοί αναγνωρίζουν τη σημασία της ρομποτικής αυτοματοποίησης διαδικασιών και της όρασης υπολογιστών για τον εξορθολογισμό των εργασιών και την οπτική ανάλυση. Αυτές οι δυνατότητες τεχνητής νοημοσύνης είναι σταθερά οι πιο συχνά χρησιμοποιούμενες, αναδεικνύοντας την αποδεδειγμένη αξία τους για τη βελτίωση της αποδοτικότητας και την ενίσχυση των διαδικασιών λήψης αποφάσεων.

Επιπλέον, η αξιοσημείωτη πρόοδος της κατανόησης κειμένου φυσικής γλώσσας είναι ενδεικτική της αυξανόμενης σημασίας που αποδίδεται στην επεξεργασία και κατανόηση της φυσικής γλώσσας. Η μετατόπιση αυτή μπορεί να αποδοθεί στις εξελίξεις σε τεχνολογίες όπως τα chatbots, οι φωνητικοί βοηθοί και οι εφαρμογές που βασίζονται στη γλώσσα¹². Οι οργανισμοί αξιοποιούν αυτές τις εξελίξεις για την καλύτερη κατανόηση και αλληλεπίδραση με τα δεδομένα κειμένου, επιτρέποντας πιο εξελιγμένες εφαρμογές που βασίζονται στη γλώσσα και βελτιώνοντας τις εμπειρίες των πελατών (Γράφημα 4.5).

¹² <https://www.mckinsey.com/capabilities/quantumblack/our-insights/the-state-of-ai-in-2022-and-a-half-decade-in-review>



Γράφημα 4.5: Δυνατότητες ΑΙ που χρησιμοποιούν οι οργανισμοί (www.mckinsey.com)

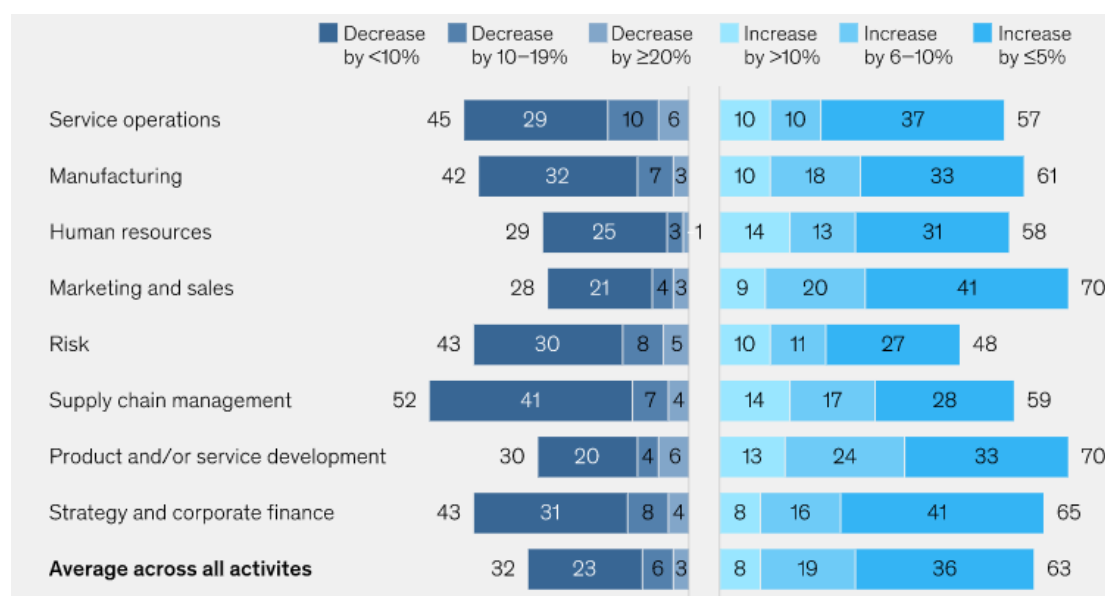
Τα δεδομένα υποδηλώνουν μια ευρύτερη τάση διαφοροποίησης των δυνατοτήτων των οργανισμών στον τομέα της τεχνητής νοημοσύνης, υιοθετώντας ένα ευρύτερο φάσμα τεχνολογιών για την αντιμετώπιση διαφόρων επιχειρηματικών αναγκών. Αυτό αντικατοπτρίζει την ωρίμανση της ΑΙ και την ευρύτερη υιοθέτησή της σε όλους τους κλάδους, καθώς οι οργανισμοί συνειδητοποιούν τις δυνατότητές της να προωθήσουν την αποδοτικότητα, την αυτοματοποίηση και την καινοτομία.

Υιοθετώντας την ΑΙ σε διάφορες μορφές, οι οργανισμοί μπορούν να εκσυγχρονίσουν τις διαδικασίες, να αποκτήσουν γνώσεις από οπτικά δεδομένα και να αξιοποιήσουν τη δύναμη της κατανόησης της φυσικής γλώσσας. Καθώς η τεχνητή νοημοσύνη συνεχίζει να εξελίσσεται και να αναδύονται νέες δυνατότητες, οι οργανισμοί είναι πιθανό να εξερευνήσουν περαιτέρω τις δυνατότητές της και να οδηγήσουν σε μετασχηματισμό των λειτουργιών τους και των διαδικασιών λήψης αποφάσεων.

Αναφορικά με τις επενδύσεις που έχουν συμβεί στη συγκεκριμένη τεχνολογία, υπήρξε αξιοσημείωτη αύξηση του επιπέδου της. Πριν από πέντε χρόνια, περίπου το 40% των επιχειρήσεων υπολογίζεται ότι διέθεταν περισσότερο από το 5% του ψηφιακού προϋπολογισμού τους. Ωστόσο, με την πάροδο του χρόνου, στην υφιστάμενη κατάσταση (έτος 2022) άνω του 50% δηλώνουν πλέον αυτό το επίπεδο

επένδυσης. Η μετατόπιση αυτή υποδηλώνει την αυξανόμενη αναγνώριση της αξίας και των δυνατοτήτων της ΑΙ στους οργανισμούς, καθώς διατίθενται περισσότεροι πόροι για την αξιοποίηση των δυνατοτήτων της, ενώ παράλληλα αναμένεται να ευθυγραμμίζεται η παραγωγικότητα με την αυξανόμενη αυτή τάση, προωθώντας την καινοτομία, την αποδοτικότητα και το ανταγωνιστικό πλεονέκτημα σε διάφορους κλάδους.

Υπήρξε, επιπρόσθετα, μετατόπιση στους τομείς στους οποίους οι εταιρείες αντιλαμβάνονται την αξία της ΑΙ. Το 2018, η κατασκευή και ο κίνδυνος ήταν οι λειτουργίες στις οποίες οι περισσότεροι επιχειρηματίες ανέφεραν ότι βλέπουν αξία από αυτήν. Ωστόσο, η εστίαση έχει πλέον επεκταθεί σε λειτουργίες όπως το μάρκετινγκ και οι πωλήσεις, η ανάπτυξη προϊόντων και υπηρεσιών και η στρατηγική και τα εταιρικά οικονομικά (Γράφημα 4.6).



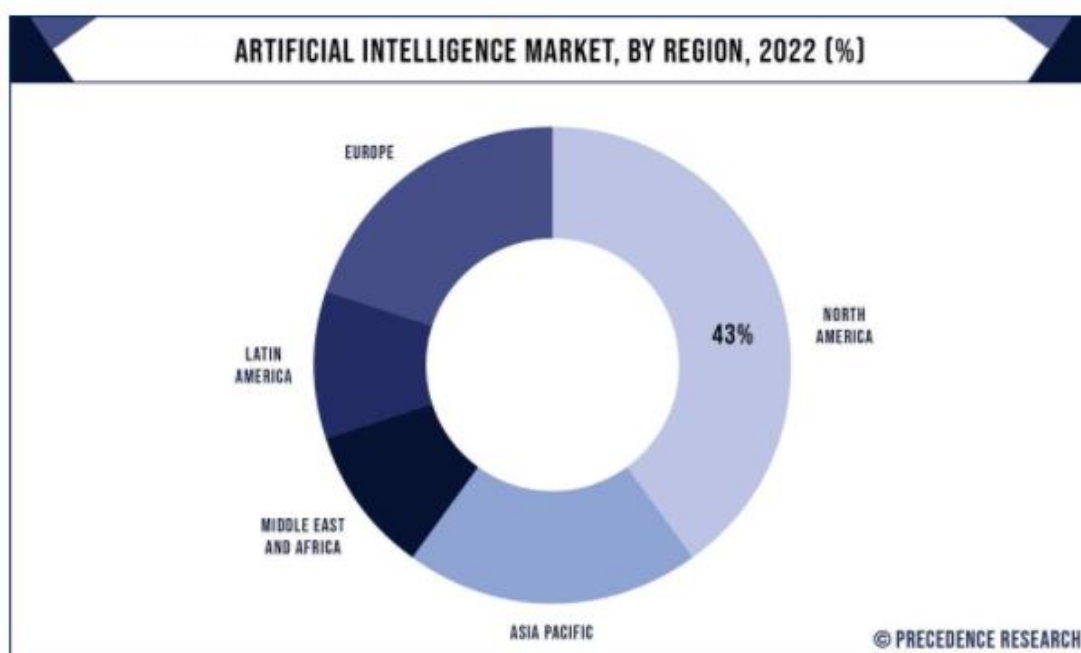
Γράφημα 4.6: Μετατόπιση επενδύσεων επιχειρήσεων (www.mckinsey.com)

Η μετατόπιση αυτή υποδηλώνει μια ευρύτερη κατανόηση των πιθανών εφαρμογών της ΑΙ σε διάφορες επιχειρηματικές λειτουργίες, αντικατοπτρίζοντας τον αντίκτυπο της στη δημιουργία εσόδων, τη δέσμευση πελατών και τη συνολική επιχειρηματική στρατηγική. Οι οργανισμοί αναγνωρίζουν ότι η τεχνητή νοημοσύνη μπορεί να διαδραματίσει κρίσιμο ρόλο στην προώθηση της ανάπτυξης, στη βελτίωση της εμπειρίας των πελατών και στη λήψη αποφάσεων βάσει δεδομένων.

Είναι πρόδηλο ότι η παγκόσμια αγορά τεχνητής νοημοσύνης έχει σημειώσει σημαντική ανάπτυξη και αναμένεται να συνεχίσει να αναπτύσσεται με σύνθετο ετήσιο

ρυθμό ανάπτυξης (CAGR) 37,3% από το 2023 έως το 2030. Το 2022, το μέγεθος της αγοράς έφτασε τα 136,55 δισεκατομμύρια δολάρια - η ανάπτυξη αυτή μπορεί να αποδοθεί στις προσπάθειες έρευνας και καινοτομίας υπό την ηγεσία των τεχνολογικών κολοσσών.

Η υψηλότερη ζήτηση για αυτοματοποιημένα και τεχνολογικά προηγμένα προϊόντα υλικού και λογισμικού σε διάφορους τομείς τελικής χρήσης και οι ευνοϊκές κυβερνητικές πολιτικές που ενθαρρύνουν τις βιομηχανίες στη Βόρεια Αμερική (Γράφημα 4.7) να υιοθετήσουν την τεχνητή νοημοσύνη, έχουν συμβάλει σημαντικά στην ανάπτυξη της αγοράς τεχνητής νοημοσύνης¹³.



Γράφημα 4.7: Η αγορά AI ανά ήπειρο (www.precedenceresearch.com)

¹³ Το 2019, ο Αμερικανός πρόεδρος ξεκίνησε μια αμερικανική πρωτοβουλία για την προώθηση των ΗΠΑ ως ηγέτη στην τεχνολογία τεχνητής νοημοσύνης. Η πρωτοβουλία αυτή επικεντρώθηκε στην υιοθέτηση συστημάτων βασισμένων στην τεχνητή νοημοσύνη, παρέχοντας κατευθυντήριες γραμμές για την εφαρμογή της τεχνολογίας τεχνητής νοημοσύνης στην πραγματική ζωή σε διάφορες βιομηχανίες και τομείς.

4.3.2 Παραδείγματα χρήσης τεχνητής νοημοσύνης στο πλαίσιο της Βιομηχανικής Επανάστασης 4.0

Στην Τέταρτη Βιομηχανική Επανάσταση, η τεχνητή νοημοσύνη εφαρμόζεται με πολλούς συγκεκριμένους τρόπους σε διάφορους κλάδους. Αναφέρονται κάποια παραδείγματα εφαρμογής της.

Η τεχνητή νοημοσύνη βρίσκεται στον πυρήνα των αυτόνομων οχημάτων. Οι αλγόριθμοι αναλύουν δεδομένα αισθητήρων, όπως κάμερες, LiDAR και ραντάρ, για να ανιχνεύουν αντικείμενα, να προβλέπουν τη συμπεριφορά τους και να σχεδιάζουν τις κατάλληλες ενέργειες (Schwab, K., 2016).

Στο ίδιο επίπεδο, η ΑΙ φέρνει επανάσταση στον βιομηχανικό αυτοματισμό, με τον επικουρικό ρόλο της προηγμένης ρομποτικής και των ευφυών συστημάτων. Τα ρομπότ που λειτουργούν με τεχνητή νοημοσύνη μπορούν να εκτελούν σύνθετες εργασίες, όπως συναρμολόγηση, ποιοτικό έλεγχο και εφοδιαστική, με ακρίβεια και αποτελεσματικότητα. Οι αλγόριθμοι μηχανικής μάθησης βελτιώνουν τις δυνατότητες αυτών των ρομπότ, επιτρέποντάς τους να προσαρμόζονται και να μαθαίνουν από τις εμπειρίες τους.

Παράδειγμα συνιστά και η διάγνωση και απεικόνιση στον τομέα της υγειονομικής περίθαλψης. Η μηχανική μάθηση μπορούν να αναλύουν ιατρικές εικόνες, όπως ακτινογραφίες και μαγνητικές τομογραφίες, για να εντοπίζουν μοτίβα και ανωμαλίες που μπορεί να υποδεικνύουν ασθένειες ή καταστάσεις. Τα διαγνωστικά συστήματα που βασίζονται στην τεχνητή νοημοσύνη μπορούν να παρέχουν πιο ακριβείς και έγκαιρες διαγνώσεις, οδηγώντας σε βελτιωμένα αποτελέσματα για τους ασθενείς.

Η τεχνητή νοημοσύνη μπορεί να βοηθήσει τις ομάδες ανθρώπινου δυναμικού να απλοποιήσουν τη διαδικασία πρόσληψης, αυτοματοποιώντας διάφορες εργασίες. Τα chatbots με τεχνητή νοημοσύνη μπορούν να συνομιλούν με τους υποψηφίους, να απαντούν σε συχνές ερωτήσεις και να βοηθούν στην αρχική διαδικασία ελέγχου. Οι αλγόριθμοι μπορούν να αναλύουν βιογραφικά σημειώματα και αιτήσεις για τον εντοπισμό κατάλληλων υποψηφίων, εξοικονομώντας χρόνο για τους επαγγελματίες του τομέα Ανθρώπινου Δυναμικού. Επιπλέον, η ΑΙ μπορεί να αναλύσει δεδομένα για να προβλέψει την επιτυχία των υποψηφίων και την προσαρμογή τους σε έναν οργανισμό.

Η ΑΙ μπορεί να βοηθήσει τις ομάδες ανθρώπινου δυναμικού να λαμβάνουν αποφάσεις βάσει δεδομένων, αναλύοντας μεγάλους όγκους δεδομένων ανθρώπινου δυναμικού. Οι αλγόριθμοι μπορούν να εντοπίζουν τάσεις, μοτίβα και συσχετίσεις στα δεδομένα των εργαζομένων, παρέχοντας πολύτιμες πληροφορίες για τον στρατηγικό σχεδιασμό του εργατικού δυναμικού, τη διαχείριση ταλέντων και τον προγραμματισμό διαδοχής. Τα συστήματα με τεχνητή νοημοσύνη μπορούν επίσης να βοηθήσουν στον εντοπισμό κενών δεξιοτήτων, στη βελτιστοποίηση της κατανομής του εργατικού δυναμικού και στην πρόβλεψη μελλοντικών αναγκών ανθρώπινου δυναμικού (*Schwab, K., 2016*).

Εν κατακλείδι, υπάρχει ένα πλήθος παραδειγμάτων από διαφορετικούς τομείς όπου αποδεικνύεται η χρήση της τεχνητής νοημοσύνης και η συμβολή της στην περίοδο της Τέταρτης Βιομηχανικής Επανάστασης.

4.4 Η συνεργασία ΑΙ και 3d εκτύπωσης στην Τέταρτη Βιομηχανική Επανάσταση

Στη δυναμική σύγκλιση της Τεχνητής Νοημοσύνης και της τρισδιάστατης εκτύπωσης, οι γνωστικές ικανότητες της πρώτης εναρμονίζονται άψογα με την ακρίβεια και την ευελιξία της δεύτερης τεχνολογίας, προσφέροντας πλήθος πλεονεκτημάτων σε όλο το φάσμα των βιομηχανικών διαδικασιών στο πλαίσιο της Επανάστασης 4.0

Στο επίκεντρο αυτής της συνεργασίας βρίσκεται η ικανότητα της ΑΙ να βελτιστοποιεί τον σχεδιασμό προϊόντων. Με την αφομοίωση τεράστιων συνόλων δεδομένων και την εξέταση μιας πληθώρας μεταβλητών, συμπεριλαμβανομένων των ιδιοτήτων των υλικών, των δομικών απαιτήσεων και των περιορισμών κατασκευής, η ΑΙ σχεδιάζει μοτίβα που είναι λειτουργικά αλλά και πιο λιτά, πιο ανθεκτικά και ιδιαίτερα αποδοτικά. Μάλιστα, δημιουργούνται αυτόνομα περίπλοκες, ελαφριές δομές ιδανικά κατάλληλες για τρισδιάστατη εκτύπωση - ένας άθλος που θα ήταν επίπονος μέσω συμβατικών μεθοδολογιών σχεδιασμού. Επιπρόσθετα, οι αλγόριθμοι μηχανικής μάθησης εξετάζουν διεξοδικά τα χαρακτηριστικά διαφόρων υλικών και προβλέπουν τη συμπεριφορά τους υπό διαφορετικές συνθήκες. Αυτή η προσέγγιση με βάση τα δεδομένα επιταχύνει την ανακάλυψη νέων υλικών που είναι τέλεια προσαρμοσμένα για

συγκεκριμένες εφαρμογές τρισδιάστατης εκτύπωσης, διευρύνοντας έτσι τα όρια του τι μπορεί να δημιουργηθεί.

Η πρόβλεψη της συντήρησης και η ενεργειακή απόδοση αποτελούν δύο κρίσιμους τομείς στο πλαίσιο της Βιομηχανικής Επανάστασης 4.0. Αναφορικά με τη συντήρηση, χρησιμοποιώντας μοντέλα μηχανικής μάθησης για την ανάλυση ιστορικών δεδομένων και εισροών αισθητήρων σε πραγματικό χρόνο, η ΑΙ μπορεί να προβλέψει πότε οι τρισδιάστατοι εκτυπωτές είναι πιθανό να χρειαστούν συντήρηση ή αντικατάσταση εξαρτημάτων, κάτι που αποτρέπει απροσδόκητες βλάβες, ελαχιστοποιεί τον δαπανηρό χρόνο διακοπής λειτουργίας και ενισχύει τη συνολική λειτουργική αποδοτικότητα., βελτιστοποιώντας, παράλληλα, τη χρήση των πόρων και μειώνοντας τον κίνδυνο διακοπής της παραγωγής. Ως προς την ενεργειακή απόδοση με την αξιοποίηση αλγορίθμων ΑΙ, οι κατασκευαστές μπορούν να βελτιστοποιήσουν την κατανάλωση ενέργειας κατά τη διαδικασία τρισδιάστατης εκτύπωσης, ρυθμίζοντας διάφορες παραμέτρους, όπως η θερμοκρασία και η ταχύτητα εκτύπωσης, σε πραγματικό χρόνο για την ελαχιστοποίηση της χρήσης ενέργειας, διατηρώντας συγχρόνως την ποιότητα του προϊόντος. Ευθυγραμμίζεται η άνω πρακτική με τις θεμελιώδεις αρχές της Βιομηχανίας 4.0, οι οποίες δίνουν έμφαση στη βιωσιμότητα και την αποδοτικότητα των πόρων - με τη μείωση της κατανάλωσης ενέργειας, οι εταιρείες μπορούν αφενός να μειώσουν το λειτουργικό τους κόστος αφετέρου να συμβάλουν σε μια πιο περιβαλλοντικά βιώσιμη διαδικασία παραγωγής.

Τελευταία πτυχή της συνέργειας ΑΙ και τρισδιάστατης εκτύπωσης είναι η συνεργατική ρομποτική. Συγκεκριμένα, καθοδηγούμενη από την τεχνητή νοημοσύνη, θα συμβάλει καθοριστικά στην ενίσχυση των διαδικασιών της εκτύπωσης, με τα ευέλικτα ρομπότ να βοηθούν σε διάφορες εργασίες, όπως η αφαίρεση εξαρτημάτων, η μετα-επεξεργασία και ο ποιοτικός έλεγχος, λειτουργώντας αυξητικά στη συνολική αποδοτικότητα της γραμμής παραγωγής. Εκτός αυτού, αναλύοντας τα δεδομένα που παράγονται καθ' όλη τη διάρκεια της διαδικασίας 3d εκτύπωσης, η ΑΙ εντοπίζει τάσεις, ανωμαλίες και ευκαιρίες για βελτίωση της διαδικασίας, διευκολύνοντας τη λήψη αποφάσεων βάσει δεδομένων και τη συνεχή βελτίωση.

ΚΕΦΑΛΑΙΟ 5

5.1 Συμπεράσματα – προβληματισμοί

Η τέταρτη βιομηχανική επανάσταση θεωρείται ένα γεγονός χωρίς προηγούμενο στην ανθρώπινη ιστορία λόγω της ταχύτητας και της έκτασής της. Παρατηρείται έκρηξη στον αριθμό των επιστημονικών ανακαλύψεων, στους τομείς εφαρμογής και στον αριθμό των αναδυόμενων τεχνολογιών, όπως η βιοτεχνολογία, η τρισδιάστατη εκτύπωση, η αλυσίδα μπλοκ, η εικονική και η επαυξημένη πραγματικότητα, το διαδίκτυο των πραγμάτων, οι έξυπνες πόλεις, τα αυτοκίνητα χωρίς οδηγό, η ρομποτική και η τεχνητή νοημοσύνη. Αναλυτικότερα η παρούσα εργασία υπογραμμίζει ότι η τέταρτη βιομηχανική επανάσταση ως η τελευταία μεγάλη βιομηχανική εποχή που χαρακτηρίζεται από τον ψηφιακό μετασχηματισμό και τον διάχυτο αντίκτυπο των τεχνολογιών. Αναγνωρίζει ότι ο κόσμος έχει περάσει από τρεις προηγούμενες βιομηχανικές επαναστάσεις, καθεμία από τις οποίες καθοδηγήθηκε από σημαντικές τεχνολογικές εξελίξεις.

Η πρώτη βιομηχανική επανάσταση σηματοδότησε την εισαγωγή των ατμομηχανών και της μηχανικής παραγωγής, ενώ η δεύτερη επανάσταση χρησιμοποίησε τον ηλεκτρισμό και τον καταμερισμό της εργασίας για να καταστήσει δυνατή τη μαζική παραγωγή. Η τρίτη επανάσταση εισήγαγε την τεχνολογία της πληροφορικής και τις αυτοματοποιημένες διαδικασίες παραγωγής. Τώρα, με την έλευση της τέταρτης βιομηχανικής επανάστασης, βιώνεται ένας ψηφιακός μετασχηματισμός που επηρεάζει κάθε πτυχή της ζωής παγκοσμίως (Yin, Y., Stecke, K.E., Li, D., 2018).

Η τεχνητή νοημοσύνη μπορεί να οδηγήσει σε μετασχηματιστικές αλλαγές και να ξεκλειδώσει νέες ευκαιρίες για τις επιχειρήσεις. Οι οργανισμοί πρέπει να προσεγγίσουν την εφαρμογή της με περίσκεψη και προληπτικά, κάτι που υποδηλώνει ότι η απλή υιοθέτηση της τεχνητής νοημοσύνης χωρίς σαφή στρατηγική μπορεί να μην αποφέρει τα επιθυμητά οφέλη. Επιπλέον, αναγνωρίζεται ότι η ενσωμάτωσή της στις υφιστάμενες διαδικασίες και συστήματα απαιτεί εστίαση στην εκπαίδευση και την ανάπτυξη κοινωνικών δεξιοτήτων. Αυτό υπογραμμίζει τη σημασία της προετοιμασίας του εργατικού δυναμικού για την αποτελεσματική αξιοποίηση της τεχνολογίας και την

προσαρμογή στις αλλαγές που επιφέρει. Η αναφορά στη βαθιά μάθηση ως δημοφιλή τομέα της έρευνας για την ΑΙ τα επόμενα χρόνια αντανακλά την τρέχουσα τάση στον τομέα. Η βαθιά μάθηση, με την ικανότητά της να επεξεργάζεται και να μαθαίνει από μεγάλα σύνολα δεδομένων, έχει επιδείξει αξιοσημείωτη επιτυχία σε τομείς όπως η αναγνώριση εικόνας και ομιλίας. Η συνεχής ανάπτυξη και εφαρμογή της αναμένεται να οδηγήσει σε εξελίξεις στη συγκεκριμένη τεχνολογία – εξάλλου αναμένεται η τεχνητή νοημοσύνη να έχει αυξητικές εφαρμογές σε διάφορα ερευνητικά πεδία και βιομηχανίες. Αυτό ευθυγραμμίζεται με την κατανόηση ότι η ΑΙ έχει τη δυνατότητα να φέρει επανάσταση στους κλάδους και να ενισχύσει την παραγωγικότητα μέσω της αυτοματοποίησης, της προγνωστικής ανάλυσης και της λήψης αποφάσεων. Μπορεί να βελτιώσει την αποτελεσματικότητα, την ακρίβεια και την ταχύτητα σε διάφορες διαδικασίες, οδηγώντας σε ουσιαστικές βελτιώσεις σε τομείς όπως η υγειονομική περίθαλψη, η χρηματοδότηση, η μεταποίηση και η εξυπηρέτηση πελατών.

Η τρισδιάστατη εκτύπωση, που αναφέρεται ως τεχνολογία αυξητικής διαμόρφωσης, έχει κερδίσει έδαφος κυρίως για την ταχεία κατασκευή πρωτοτύπων, αλλά βελτιώνεται και αναπτύσσεται συνεχώς για ευρύτερες εφαρμογές. Η εμφάνιση και η δημοτικότητα της τρισδιάστατης εκτύπωσης έχουν τη δυνατότητα να προσφέρουν σημαντικές ευκαιρίες, ιδίως για τις μικρές και μεσαίες παραγωγικές επιχειρήσεις. Η τεχνολογία αυτή επιτρέπει την παραγωγή μεμονωμένων προϊόντων με πολύπλοκες γεωμετρίες που είναι δύσκολο ή αδύνατο να παραχθούν με τις παραδοσιακές μεθόδους κατασκευής. Επίσης, εξαλείφει την ανάγκη για επεξεργασία πολλών σταδίων σε διαφορετικούς σταθμούς εργασίας, εξορθολογίζοντας τη διαδικασία παραγωγής. Παράλληλα μειώνει την ανάγκη για εγκαταστάσεις κατασκευής μεγάλης κλίμακας και επιτρέπει πιο ευέλικτες και ευέλικτες διαδικασίες κατασκευής.

Οι τεχνολογίες τρισδιάστατης εκτύπωσης διαφέρουν ως προς τη λειτουργία, τις μεθόδους λειτουργίας και την παραγωγικότητά τους. Υπάρχουν διαφορετικοί τύποι τρισδιάστατων εκτυπωτών, ο καθένας με τις δικές του δυνατότητες και περιορισμούς. Επιπλέον, τα υλικά που χρησιμοποιούνται στην τρισδιάστατη εκτύπωση είναι ποικίλα, από πλαστικά και μέταλλα έως βιοδιασπώμενα υλικά. Αυτή η ευελιξία των υλικών διευρύνει το φάσμα των εφαρμογών της τρισδιάστατης εκτύπωσης, επιτρέποντας την παραγωγή αντικειμένων με διαφορετικές ιδιότητες και λειτουργικότητες.

Στην αγορά τρισδιάστατης εκτύπωσης παρατηρείται μια στροφή πέρα από την κατασκευή πρωτοτύπων, με σημαντική ανάπτυξη σε εφαρμογές όπως η έρευνα και η

ανάπτυξη, καθώς και τα εξαρτήματα και τα εργαλεία. Παρά τις προκλήσεις της πανδημίας, η παγκόσμια αγορά τρισδιάστατης εκτύπωσης παρουσίασε ανάπτυξη το 2021 και αναμένεται να συνεχίσει να επεκτείνεται τα επόμενα χρόνια.

Παράλληλα, στην παρούσα εργασία παρατηρήθηκε μέσα από σύγχρονες μελέτες και αναλύσεις ότι η αυξανόμενη υιοθέτηση των τεχνολογιών τεχνητής νοημοσύνης σε όλους τους κλάδους, σε συνδυασμό με τη συνεχιζόμενη έρευνα και καινοτομία, θα οδηγήσει στην επέκταση της παγκόσμιας αγοράς τεχνητής νοημοσύνης, δημιουργώντας νέες ευκαιρίες για τις επιχειρήσεις και μετασχηματίζοντας τον τρόπο λειτουργίας των οργανισμών στο μέλλον. Πιο συγκεκριμένα, η παγκόσμια αγορά τεχνητής νοημοσύνης αναμένεται να παρουσιάσει σημαντική ανάπτυξη, με σύνθετο ετήσιο ρυθμό ανάπτυξης 37,3% από το 2023 έως το 2030, κάτι που καταδεικνύει την ευρεία διάδοση της εν λόγω τεχνολογίας, αναδιαμορφώνοντας τους οργανισμούς και επιφέροντας επανάσταση στις επιχειρηματικές λειτουργίες παγκοσμίως.

Η Βιομηχανική Επανάσταση 4.0, που χαρακτηρίζεται από την ενσωμάτωση της τεχνητής νοημοσύνης (AI) και των προηγμένων τεχνολογιών, επιφέρει πολλά οφέλη και ευκαιρίες. Ωστόσο, εγείρει επίσης σημαντικές ηθικές προκλήσεις που πρέπει να αντιμετωπιστούν για να διασφαλιστεί η υπεύθυνη και βιώσιμη ανάπτυξη. Αρχικά, η αυξημένη χρήση τεχνολογιών τεχνητής νοημοσύνης δημιουργεί τεράστιες ποσότητες δεδομένων, εγείροντας ανησυχίες σχετικά με την προστασία της ιδιωτικής ζωής και των δεδομένων. Τα συστήματα τεχνητής νοημοσύνης συχνά βασίζονται σε προσωπικά δεδομένα για να λειτουργήσουν αποτελεσματικά και υπάρχει κίνδυνος κατάχρησης, μη εξουσιοδοτημένης πρόσβασης ή παραβίασης δεδομένων. Η επίτευξη της σωστής ισορροπίας μεταξύ της καινοτομίας που βασίζεται στα δεδομένα και των ατομικών δικαιωμάτων προστασίας της ιδιωτικής ζωής είναι ζωτικής σημασίας (*Roberts J.C. & Al-Hamdani W., 2011*).

Η πολυπλοκότητα των συστημάτων τεχνητής νοημοσύνης, ιδίως εκείνων που βασίζονται σε βαθιά μάθηση και νευρωνικά δίκτυα, μπορεί να καταστήσει δύσκολη την ανάθεση ευθύνης όταν κάτι δεν ακολουθήσει την ορθή οδό. Ο προσδιορισμός της ευθύνης και η καθιέρωση σαφών γραμμών ευθύνης για αποφάσεις, ατυχήματα ή σφάλματα που σχετίζονται με την τεχνητή νοημοσύνη αποτελεί μια επιτακτική ηθική πρόκληση.

Σημαντικό είναι και το γεγονός ότι το δυναμικό αυτοματοποίησης που επέρχεται με τη Βιομηχανική Επανάσταση 4.0 εγείρει ανησυχίες σχετικά με την εκτόπιση θέσεων εργασίας και την οικονομική ανισότητα. Καθώς οι τεχνολογίες αυτοματισμού

αντικαθιστούν ορισμένες θέσεις εργασίας, υπάρχει ανάγκη επανεκπαίδευσης και αναβάθμισης των δεξιοτήτων του εργατικού δυναμικού για την προσαρμογή στους νέους ρόλους (Wang, L., Wang, G., 2016). Η διασφάλιση μιας δίκαιης μετάβασης και ο μετριασμός των επιπτώσεων στην απασχόληση και την εισοδηματική ανισότητα είναι ζωτικής σημασίας. Η Τέταρτη Βιομηχανική Επανάσταση θα πρέπει να προσπαθήσει να αντιμετωπίσει τις κοινωνικές προκλήσεις και να προωθήσει τη συμμετοχικότητα. Οι τεχνολογίες τεχνητής νοημοσύνης θα πρέπει να αναπτύσσονται και να αναπτύσσονται με τρόπο που να ωφελεί όλα τα τμήματα της κοινωνίας, συμπεριλαμβανομένων των περιθωριοποιημένων κοινοτήτων. Η διασφάλιση ότι τα συστήματα δεν επιδεινώνουν τις υφιστάμενες κοινωνικές ανισότητες αποτελεί ηθική επιταγή.

Με την αυξανόμενη εξάρτηση από τα συστήματα τεχνητής νοημοσύνης, η διασφάλιση της ασφάλειάς τους και η προστασία τους από κακόβουλες επιθέσεις είναι ζωτικής σημασίας. Τα συστήματα αυτά μπορεί να είναι ευάλωτα σε πειρατεία, χειραγώγηση ή αντίπαλες επιθέσεις, οι οποίες μπορεί να έχουν σοβαρές συνέπειες σε κρίσιμους τομείς όπως η υγειονομική περίθαλψη ή οι μεταφορές. Τα ισχυρά μέτρα κυβερνοασφάλειας και οι ηθικές εκτιμήσεις είναι απαραίτητα για τη διασφάλισή τους.

Εν κατακλείδι, υπογραμμίζεται η σημασία της κατανόησης, της ανάπτυξης και της εκτέλεσης ολοκληρωμένων στρατηγικών που αξιοποιούν τις τεχνολογίες της σε αυτόν τον ταχέως μεταβαλλόμενο κόσμο. Υπάρχει η ακράδαντη πεποίθηση ότι η τέταρτη βιομηχανική επανάσταση θα είναι εξίσου επιδραστική, μετασχηματιστική και ιστορικά σημαντική με τις προηγούμενες. Προτείνεται μέσα από την επανεξέταση των οικονομικών, κοινωνικών και πολιτικών συστημάτων διεθνώς ως απάντηση σε αυτές τις αλλαγές, οι οργανισμοί δημόσιου και ιδιωτικού τομέα να κινηθούν στην κατεύθυνση να δώσουν προτεραιότητα στην υιοθέτηση των ευκαιριών που παρουσιάζονται και να προσαρμόσουν τις λειτουργίες και τις στρατηγικές τους αναλόγως. Θα πρέπει να γίνει ενδελεχής μελέτη και κατανόηση των επιπτώσεων και των δυνατοτήτων που επιφέρει η Βιομηχανική Επανάσταση 4.0 είναι ζωτικής σημασίας για τους οργανισμούς προκειμένου να παραμείνουν ανταγωνιστικοί και σχετικοί. Απαιτούνται στρατηγικές επενδύσεις σε ψηφιακές υποδομές, αναβάθμιση των δεξιοτήτων του εργατικού δυναμικού και προώθηση μιας κουλτούρας καινοτομίας και προσαρμοστικότητας.

Βιβλιογραφία

Ελληνόγλωσση βιβλιογραφία

Rifkin, J. (2012). *Η Τρίτη Βιομηχανική Επανάσταση*. Αθήνα: Εκδ. Λιβάνης

Τράντζας, Γ. (2017). *Τι είναι η τρισδιάστατη εκτύπωση και ποιες είναι οι εφαρμογές της*. Αθήνα: Περιοδικό Psteps.

Ξενόγλωσση βιβλιογραφία

ACPR (2018). *Artificial intelligence: challenges for the financial sector*

Allen, R. C. (2009). *The British Industrial Revolution in Global Perspective: New Approaches to Economic and Social History*. Cambridge University Press, Cambridge, United Kingdom.

Al-Maliki, J. Q. (2015). *The Processes and Technologies of 3D Printing*. International Journal of Advances in Computer Science and Technology, 4 (10)

Berlanstein, L. R. (1992). *The Industrial Revolution and Work in Nineteenth-Century Europe*. London and New York: Routledge.

Bojanova, I. (2014). *The Digital Revolution: What's on the Horizon?* IT Professional.

Campbell, T. (2011). *Could 3D Printing Change the World?* Strategic foresight report.

Crawfor, K. (2021). *Atlas of AI: Power, Politics, and the Planetary Costs of Artificial Intelligence*. Yale University Press.

De Jong, J.P.J., de Bruijn, E. (2013). *Innovation lessons from 3-D printing*. Mit Sloan Management Review, 54(2)

Hounshell, D. A. (1984). *From the American System to Mass Production, 1800–1932: The Development of Manufacturing Technology in the United States*. Johns Hopkins University Press.

Jöhnk, J., Weißert, M. & Wyrтки, K. (2021). *Ready or Not, AI Comes*. An Interview Study of Organizational AI Readiness Factors. Business & Information Systems Engineering, 63(1).

- Langley, P. & Laird, J. E. (2006). *Artificial intelligence and intelligent systems*. Ann Arbor, 1001, 48109-2121.
- MacDougall, W. (2014). *Industrie 4.0: Smart Manufacturing for the Future*. Germany: Trade & Invest.
- Mattern, F.& Floerkemeier, C. (2014). *From the Internet of Computers to the Internet of Things* In: K. Sachs, I. Petrov and P. Guerrero (eds) *From Active Data 45 Management to Event-Based Systems and More. Lecture Notes in Computer Science*, Harvard Business Publishing.
- Müller, V. C. & Bostrom, N. (2016). *Future progress in artificial intelligence: A survey of expert opinion in Fundamental issues of artificial intelligence*. Springer, 2016
- Nisato, G., Lupo, D. & Ganz, S. (2016). *Organic and Printed Electronics: Fundamentals and Applications*. Singapore: Pan Stanford Publishing Pte. Ltd.
- Ngo, T.D., Kashani, A. & Imbalzano, G. (2018). *Additive manufacturing (3D printing): a review of materials, methods, applications and challenges*. Compos Part B Eng.
- Panch, T., Szolovits, P. & Atun, R. (2018). *Artificial intelligence, machine learning and health systems*. Journal of global health, 8(2).
- Roberts, J.C. & Al-Hamdani ,W. (2011). *Who can you trust in the cloud? A review of security issues within cloud computing*, Information Security Curriculum Development Conference
- Sanjayan, J. G. & Nematollahi, B. (2019). *3D Concrete Printing for Construction Applications*, Elsevier Inc.
- Schuh, G., Pitsch, M., Rudolf, S., Karmann, W. & Sommer, M. (2014). *Modular sensor platform for service-oriented cyber-physical systems in the European tool making industry*. Procedia CIRP, Vol17
- Schwab, K. (2016). *The Fourth Industrial Revolution*. New York: Crown Business.
- Smith, J. (2013). *3D Printing*, 3D Printing Workshop Notes.
- Stearns, P. N. (2020). *The Industrial Revolution in World History*. London and New York: Routledge.
- Van der Meulen, M.-J.P. (2014). *Meniscus motion and drop formation in inkjet printing*. Doctoral Thesis. University of Twente.

Wang, L., Wang, G., (2016). *Big Data in CyberPhysical Systems, Digital Manufacturing and Industry 4.0*. International Journal of Engineering and Manufacturing, 4.

Yin, Y., Stecke, K.E., Li, D., (2018). *The evolution of production systems from Industry 2.0 through Industry 4.0*, International Journal of Production Research, 56.

Yu-Cheng, W., Toly, C. & Yung-Lan, Y. (2018). *Advanced 3D printing technologies for the aircraft industry: a fuzzy systematic approach for assessing the critical factors*. The International Journal of Advanced Manufacturing Technology, Vol. 3.

Zhang, B. (2018). *Additive manufacturing of functionally graded material objects*, Journal of Computing and Information Science in Engineering (18).

ΛΙΑΔΙΚΤΥΑΚΕΣ ΠΗΓΕΣ

<https://developgreece.com/chatbots-oi-efarmoges-tou-mellontos/>

<https://www.geaerospace.com/>

<https://gr.samuefiltration.com/info/what-is-sintering-63140987.html>

[https://www.hubs.com/3DP-Trend-report-2022_DEF\(April 2022\).pdf](https://www.hubs.com/3DP-Trend-report-2022_DEF(April%202022).pdf)

<https://www.iconbuild.com/>

<https://www.jabil.com/dam/jcr:82f12c7a-7475-42a0-a64f-0f4a625587d8/jabil-2021-3d-printing-tech-trends-report.pdf>

<https://www.mckinsey.com/capabilities/quantumblack/our-insights/the-state-of-ai-in-2022-and-a-half-decade-in-review>

<https://medium.com/reply-u-talents/why-do-3d-printers-need-math-7ac21375177f>

<https://www.precedenceresearch.com/artificial-intelligence-market>

<http://www.wasproject.it/w/en/concrete-beam-created-with-3d-printing/>