



ΠΑΝΕΠΙΣΤΗΜΙΟ ΑΙΓΑΙΟΥ

ΠΟΛΥΤΕΧΝΙΚΗ ΣΧΟΛΗ

**ΤΜΗΜΑ ΜΗΧΑΝΙΚΩΝ ΣΧΕΔΙΑΣΗΣ ΠΡΟΪΟΝΤΩΝ ΚΑΙ
ΣΥΣΤΗΜΑΤΩΝ**

**Π.Μ.Σ. «ΟΛΟΚΛΗΡΩΜΕΝΗ ΣΧΕΔΙΑΣΗ ΚΑΙΝΟΤΟΜΩΝ
ΠΡΟΪΟΝΤΩΝ»**

Οι πρακτικές εφαρμογές της 3D εκτύπωσης

Διπλωματική εργασία του Σαράντου Παπαδημητρίου

Επιβλέπων καθηγητής: Βασίλειος Μουλιανίτης

Μέλη Εξεταστικής Επιτροπής:

Βασίλειος Μουλιανίτης

Παρασκευάς Παπανίκος

Φίλιππος Αζαριάδης

ΣΥΡΟΣ, ΟΚΤΩΒΡΙΟΣ 2022

«Οι απόψεις που διατυπώνονται στην παρούσα πτυχιακή εργασία εκφράζουν αποκλειστικά τον συγγραφέα»

Περίληψη

Η τρισδιάστατη εκτύπωση είτε στον τομέα της βιομηχανίας είτε σε προσωπικό/οικιακό επίπεδο, παρουσιάζει αρκετά πλεονεκτήματα σε σύγκριση με τις παραδοσιακές μεθόδους κατασκευής, ωστόσο εμπερικλείει κάποιους περιορισμούς που οδηγούν στην επανεξέταση της χρήσης της.

Με τη χρήση της τρισδιάστατης εκτύπωσης παρουσιάστηκε αύξηση προϊόντων σχεδιασμένα σε ψηφιακά περιβάλλοντα, τα οποία πολλές φορές δεν μπορούν να παραχθούν φυσικά με κανένα άλλο τρόπο. Το γεγονός αυτό εκμεταλλεύτηκαν αρκετοί σχεδιαστές, καλλιτέχνες αλλά και άτομα από τον τομέα της βιομηχανίας για να δημιουργήσουν προϊόντα αφενός σε μικρότερο χρονικό διάστημα και αφετέρου ελαφρύτερα, ισχυρότερα και πιο εντυπωσιακά από τους προκατόχους τους. Σημαντικό επίσης είναι ότι οι διαδικασίες τρισδιάστατης εκτύπωσης επιτρέπουν την εξατομίκευση προϊόντων, δίνοντας τη δυνατότητα σχεδίασης προϊόντων σύμφωνα με τις προσωπικές ανάγκες και απαιτήσεις του εκάστοτε καταναλωτή. Από την άλλη πλευρά οι περιορισμοί της τρισδιάστατης εκτύπωσης περιλαμβάνουν ακριβά υλικά, καθιστώντας δύσκολο τον ανταγωνισμό της μαζικής παραγωγής.

Σε γενική θεώρηση η τρισδιάστατη εκτύπωση δεν είναι η απάντηση σε κάθε τύπο μεθόδου παραγωγής. Ωστόσο, η πρόοδος της συμβάλλει άμεσα στην επιτάχυνση του σχεδιασμού και της μηχανικής. Σκοπός της παρούσας διπλωματικής εργασίας είναι να διερευνήσει με ποιο τρόπο και σε ποιους τομείς εφαρμόζεται η τρισδιάστατη εκτύπωση αλλά και πως επηρεάζει τις σύγχρονες βιομηχανίες παραγωγής.

Summary

3D printing, whether it is used in the industrial sector or for personal and domestic purposes, presents several advantages compared to traditional manufacturing methods. However, there are certain limitations that lead to the reconsideration of its use.

With the use of 3D printing there has been an increase in products designed in digital environments that in many cases cannot be physically produced in any other way. Many designers, artists and manufacturers have taken advantage of 3D printing to create products not only in a shorter period of time but also lighter, stronger and more impressive than their predecessors. It is also important that 3D printing processes enable the bespoke design of products to address the personal needs and requirements of each consumer. However, the limitations of 3D printing include expensive materials which make it difficult to compete with mass production.

Taking all these into account, 3D printing is not the answer to every type of production method. However, its progress directly contributes to the acceleration of design and engineering. The purpose of this thesis is to investigate how and in which sectors 3D printing is applied and how it affects modern production industries.

Πίνακας Περιεχομένων

Περίληψη

Summary

1. Εισαγωγή	1
2. Η τεχνολογία της 3D εκτύπωσης	2
2.1. Ιστορική αναδρομή	3
2.2. Τύποι 3D εκτυπωτών	4
2.2.1. Στερεολιθογραφία (SLA)	5
2.2.2. Μοντελοποίηση με σύντηξη εναπόθεσης (FDM)	7
2.2.3. Εκτύπωση PolyJet ή MultiJet	8
2.2.4. Επιλεκτική πυροσυσσωμάτωση με λέιζερ (SLS)	10
2.3. Υλικά που χρησιμοποιούνται για την τεχνολογία 3D εκτύπωσης	12
2.3.1. Μέταλλα	12
2.3.2. Πολυμερή	13
2.3.3. Κεραμικά	14
2.3.4. Σύνθετα υλικά	15
2.3.5. Έξυπνα υλικά	15
2.3.6. Ειδικά υλικά	17
2.4. Εφαρμογές	17
2.4.1. Αεροναυπηγική βιομηχανία	18
2.4.2. Αυτοκινητοβιομηχανία	19
2.4.3. Βιομηχανία τροφίμων	20
2.4.4. Ιατρική βιομηχανία	21
2.4.5. Αρχιτεκτονική, οικοδομική και κατασκευαστική βιομηχανία	22
2.4.6. Εφαρμογή στο πεδίο της μόδας	23
2.4.7. Ηλεκτρική και ηλεκτρονική βιομηχανία	24
2.4.8. Τέχνη	25
2.4.9. Δημιουργία κοσμημάτων	27
3. Η 3D εκτύπωση στην οικονομία	28
4. Τεχνολογία 3D οικιακής χρήσης	31
5. Ζητήματα ιδιοκτησίας	33
6. Μελλοντική εξέλιξη	37
7. Συμπεράσματα	39
Βιβλιογραφία	41

1. Εισαγωγή

Το 1986 ο Charles "Chuck" Hull κατοχύρωσε με δίπλωμα ευρεσιτεχνίας τη μηχανή στερεολιθογραφίας, έναν από τους πρώτους τρισδιάστατους εκτυπωτές, ο οποίος χρησιμοποιούσε ακτίνες UV για τη σκλήρυνση φωτοπολυμερών υλικών. Λίγο αργότερα, η στερεολιθογραφία, καθώς και πολλές άλλες βασικές πατέντες, αποτέλεσαν τις βασικές αρμοδιότητες της 3D Systems, που ιδρύθηκε από τον Hull (Lipson & Kurman, 2013). Το 1988 ο Scott Crump εφηύρε μια άλλη τεχνολογία τρισδιάστατης εκτύπωσης, τη μοντελοποίηση με τη μέθοδο της λιωμένης εναπόθεσης (FDM). Η συγκεκριμένη μέθοδος αποτέλεσε τη βάση για την εταιρεία Stratasys που ίδρυσε ο ίδιος ένα χρόνο αργότερα μαζί με τη σύζυγό του, Lisa Crump. Οι δύο αυτές εταιρείες εξελίχθηκαν στις πιο εξέχουσες στον τομέα της τρισδιάστατης εκτύπωσης και της ταχείας πρωτοτυποποίησης (Matias & Rao, 2015). Για περίπου είκοσι χρόνια, η τεχνολογία τρισδιάστατης εκτύπωσης εξελισσόταν και αναπτυσσόταν αθόρυβα και χρησιμοποιούνταν κυρίως από σχεδιαστές και μηχανικούς στον επιχειρηματικό χώρο. Ωστόσο, αυτό άρχισε να αλλάζει το 2005 με την εμφάνιση του έργου RepRap. Ο Dr. Gordon ξεκίνησε το έργο RepRap, με στόχο να καταστήσει τις τεχνολογίες τρισδιάστατης εκτύπωσης προσιτές σε ένα ευρύτερο κοινό. Το 2009 οι Bre Pettis, Adam Mayer και Zach "Hoeken" Smith ίδρυσαν τη MakerBot παρουσιάζοντας έναν από τους πρώτους πλήρως συναρμολογημένους τρισδιάστατους εκτυπωτές. Με την πάροδο των χρόνων, αυξήθηκε η ζήτηση στο καταναλωτικό κοινό, καθιστώντας τους τρισδιάστατους εκτυπωτές ένα ενδιαφέρον πεδίο συζήτησης και μελέτης για περαιτέρω καινοτόμες λειτουργίες και εφαρμογές. Σκοπός της εν λόγω εργασίας είναι να εμβαθύνει και να διερευνήσει με ποιο τρόπο και σε ποιους τομείς εφαρμόζεται η τρισδιάστατη εκτύπωση αλλά και πως επηρεάζει τις βιομηχανίες παραγωγής.

2. Η τεχνολογία της 3D εκτύπωσης

Η τρισδιάστατη εκτύπωση είναι μία από τις πρόσφατες εξελίξεις στον τομέα της κατασκευαστικής τεχνολογίας. Είναι επίσης γνωστή ως διαδικασία προσθετικής κατασκευής ή ταχείας πρωτοτυποποίησης. Η συγκεκριμένη τεχνολογία χρησιμοποιείται από μηχανικούς, γιατρούς, σχεδιαστές, επιστήμονες, φοιτητές, ερευνητές και καλλιτέχνες.

Ταυτόχρονα εξελίσσονται και οι παρακάτω τρεις τεχνολογίες - σχεδίαση με τη βοήθεια υπολογιστή (CAD), κατασκευή με τη βοήθεια υπολογιστή (CAM) και αριθμητικός έλεγχος με υπολογιστή (CNC), τεχνολογίες οι οποίες απαιτούνται για τη χρήση μιας μηχανής τρισδιάστατης εκτύπωσης. Η μηχανή τρισδιάστατης εκτύπωσης εκτυπώνει τρισδιάστατα αντικείμενα με τη μέθοδο της προοδευτικής διαστρωμάτωσης από ένα ψηφιακό αρχείο. Το πρώτο βήμα σε αυτή τη διαδικασία είναι να γίνει το εικονικό σχέδιο ενός προϊόντος σε λογισμικό σχεδίασης με τη βοήθεια υπολογιστή χρησιμοποιώντας πρόγραμμα τρισδιάστατης μοντελοποίησης 3D ή το υπάρχον αντικείμενο μπορεί να σαρωθεί με τη χρήση τρισδιάστατου σαρωτή, ο οποίος δημιουργεί ένα τρισδιάστατο ψηφιακό αντίγραφο και το τοποθετεί σε πρόγραμμα τρισδιάστατης μοντελοποίησης. Στη συνέχεια το λογισμικό διαιρεί το αντικείμενο σε οριζόντια στρώματα/κομμάτια. Έπειτα ο τρισδιάστατος εκτυπωτής διαβάζει κάθε στρώμα (ή δισδιάστατη εικόνα 2D) και προχωρά στη δημιουργία του αντικειμένου με τη στερεοποίηση ή τη δέσμευση υγρού ή σκόνης σε κάθε σημείο της οριζόντιας διατομής όπου απαιτείται στερεό υλικό, αναμειγνύοντας κάθε στρώμα μεταξύ του χωρίς να είναι ορατό κανένα σημάδι της διαστρωμάτωσης, με αποτέλεσμα τη δημιουργία ενός τρισδιάστατου αντικειμένου.

Η τεχνολογία αυτή χρησιμοποιείται για την κατασκευή πρωτοτύπων για τον σχεδιασμό νέων εξαρτημάτων με χρήση μετάλλων, πλαστικών και κεραμικών. Το σύννηθες χρησιμοποιούμενο υλικό είναι η λεπτή πλαστική ή μεταλλική σκόνη. Το μέγεθος των σωματιδίων μπορεί να είναι μικρότερο από 20 μικρόμετρα. Αποθηκεύονται σε κασέτες ή κλίνες από τις οποίες διανέμεται σε μικρές ποσότητες και απλώνεται με κύλινδρο ή λεπίδα σε ένα εξαιρετικά λεπτό στρώμα που έχει το πάχος των λεπτών σωματιδίων. Μετά τη διαδικασία διαστρωμάτωσης, μια συστοιχία

ακροφυσίων ψεκάζει έναν συνδετικό παράγοντα σε μοτίβο που καθορίζεται από το CAD. Στη συνέχεια, νέα στρώση απλώνεται σε ολόκληρη την περιοχή δόμησης και η διαδικασία επαναλαμβάνεται. Μετά από κάθε στρώση, η κλίνη χαμηλώνει κατά το πάχος του νέου στρώματος σκόνης. Όταν ολοκληρωθεί η επανάληψη, το κατασκευασμένο τμήμα βγαίνει από τη μη στερεοποιημένη σκόνη. Στη συνέχεια, το τεμάχιο καθαρίζεται και μπορεί να τελειοποιηθεί. Η διαφορετικότητα αυτής της τεχνολογίας είναι ότι μπορεί να χρησιμοποιηθεί για την προσαρμογή προϊόντων υψηλού επιπέδου πολυπλοκότητας (Wong & Hernandez, 2012).

2.1. Ιστορική αναδρομή

Ο όρος "προσθετική κατασκευή" αναφέρεται στη διαδικασία κατασκευής προϊόντων με την προσθήκη πολλών λεπτών στρωμάτων υλικού. Ιστορικά, η προσθετική κατασκευή εντοπίζει τις ρίζες της στον 19ο αιώνα κυρίως στους τομείς της τοπογραφίας και της φωτογλυπτικής. Το 1972 η Ciraud κυκλοφόρησε την πρώτη τεχνολογία που αντιπροσωπεύει τον σημερινό ορισμό της προσθετικής κατασκευής (Wohlens & Gornet, 2014). Η διαδικασία του Ciraud περιγράφεται ως η λήψη υλικών σε μορφή τήγματος και η χρήση μιας δέσμης ενέργειας για την τήξη του υλικού, με αποτέλεσμα την κατασκευή ενός προϊόντος με την τήξη στρώματος επί στρώματος. Δυστυχώς, ενώ υπάρχουν σχέδια και σκίτσα σχετικά με την εφεύρεση του Ciraud, δεν υπάρχει καμία απόδειξη ότι η τεχνολογία παράχθηκε και εκτελέστηκε πραγματικά. Έπειτα η έκθεση που δημοσιεύθηκε από τα Ιαπωνικά και Παγκόσμια Κέντρα Αξιολόγησης Τεχνολογίας το 1997, αναφέρει τον Hideo Kodama ως τον πρώτο επιστήμονα που παρήγαγε ένα λειτουργικό σύστημα προσθετικής κατασκευής το 1981. Το 1982 ακολούθησε ο Alan Herbert της 3M. Αυτή τη φορά, υπήρχαν αποδείξεις ότι οι τεχνολογίες είχαν αναπτυχθεί και δοκιμαστεί. Τόσο ο Kodama όσο και ο Herbert ανέπτυξαν τεχνολογίες για την κατασκευή εξαρτήματος στρώμα προς στρώμα. Μετά από λίγα χρόνια, το 1986, ο Chuck Hull εφηύρε τη μηχανή στερεολιθογραφίας (SLA) η οποία θεωρείται ο πρώτος τρισδιάστατος εκτυπωτής (Prinz et al., 1997).

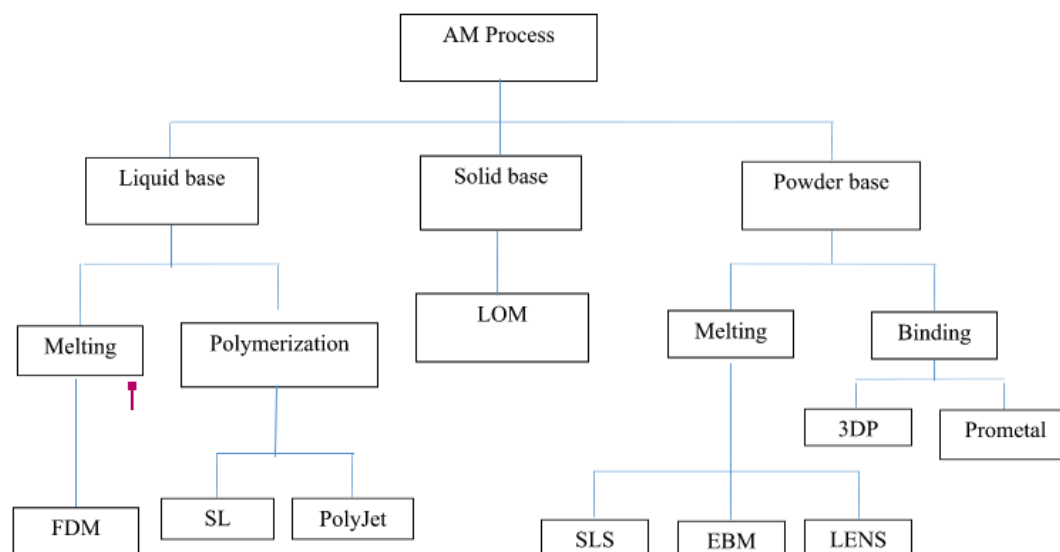
Σήμερα υπάρχουν τρεις σημαντικές μέθοδοι προσθετικής κατασκευής / 3D εκτύπωσης: 1) Fused Deposition Modeling (FDM), 2) Πλατφόρμα

πυροσυσσωμάτωσης λέιζερ (Laser Sintering Platform), 3) η πλατφόρμα ZPrinter. Πιο συγκεκριμένα, όσον αφορά στην τεχνολογία FDM, η οποία αποτελεί και την πλέον διαδεδομένη μέθοδο στην τρισδιάστατη εκτύπωση, ο Hull κάνει μια αναλογία σχετικά με την εν λόγω τεχνολογία παρομοιάζοντάς την με ένα πολύ εξελιγμένο πιστόλι κόλλας. Εν συνεχεία, οι πλατφόρμες πυροσυσσωμάτωσης λέιζερ (Laser Sintering Platform) μπορούν να εκτυπώσουν πληθώρα υλικών πέρα από το πλαστικό, το μέταλλο και τα κεραμικά, όμως παρά την εξελιγμένη τεχνολογία που χρησιμοποιούν η χρήση του είναι πιο σπάνιο λόγω κόστους. Τέλος, οι εκτυπωτές ZPrinters, χρησιμοποιούν μια ουσία σε μορφή σκόνης που στερεοποιείται με ψέκασμα χημικού δεσμευτικού (Hatch, 2014) και αποτελούν επίσης μία ακριβή επιλογή.

Όπως κάθε κατασκευαστική διαδικασία, η τρισδιάστατη εκτύπωση 3D χρειάζεται υλικά υψηλής ποιότητας που πληρούν σταθερές προδιαγραφές για την κατασκευή συσκευών υψηλής ποιότητας. Για να εξασφαλιστεί αυτό, θεσπίζονται διαδικασίες, απαιτήσεις και συμφωνίες ελέγχου των υλικών μεταξύ των προμηθευτών, των αγοραστών και των τελικών χρηστών των υλικών. Η τεχνολογία τρισδιάστατης εκτύπωσης είναι ικανή να παράγει πλήρως λειτουργικά εξαρτήματα σε ένα ευρύ φάσμα υλικών, συμπεριλαμβανομένων κεραμικών, μεταλλικών, πολυμερών αλλά και συνδυασμών τους με τη μορφή υβριδικών, σύνθετων και λειτουργικά διαβαθμισμένων υλικών (FGMs) (Tofail et al., 2018).

2.2. Τύποι 3D εκτυπωτών

Ο τρισδιάστατος εκτυπωτής είναι ένα είδος βιομηχανικού ρομπότ. Μπορεί να ταξινομηθεί με βάση τη μορφή των υλικών που χρησιμοποιούνται για την κατασκευή του μοντέλου. Η μορφή του υλικού μπορεί να είναι στερεό, υγρό και σκόνη (Cho, 2015). Η ταξινόμηση παρουσιάζεται στο σχήμα που ακολουθεί:



Οι σημαντικότερες τεχνολογίες είναι:

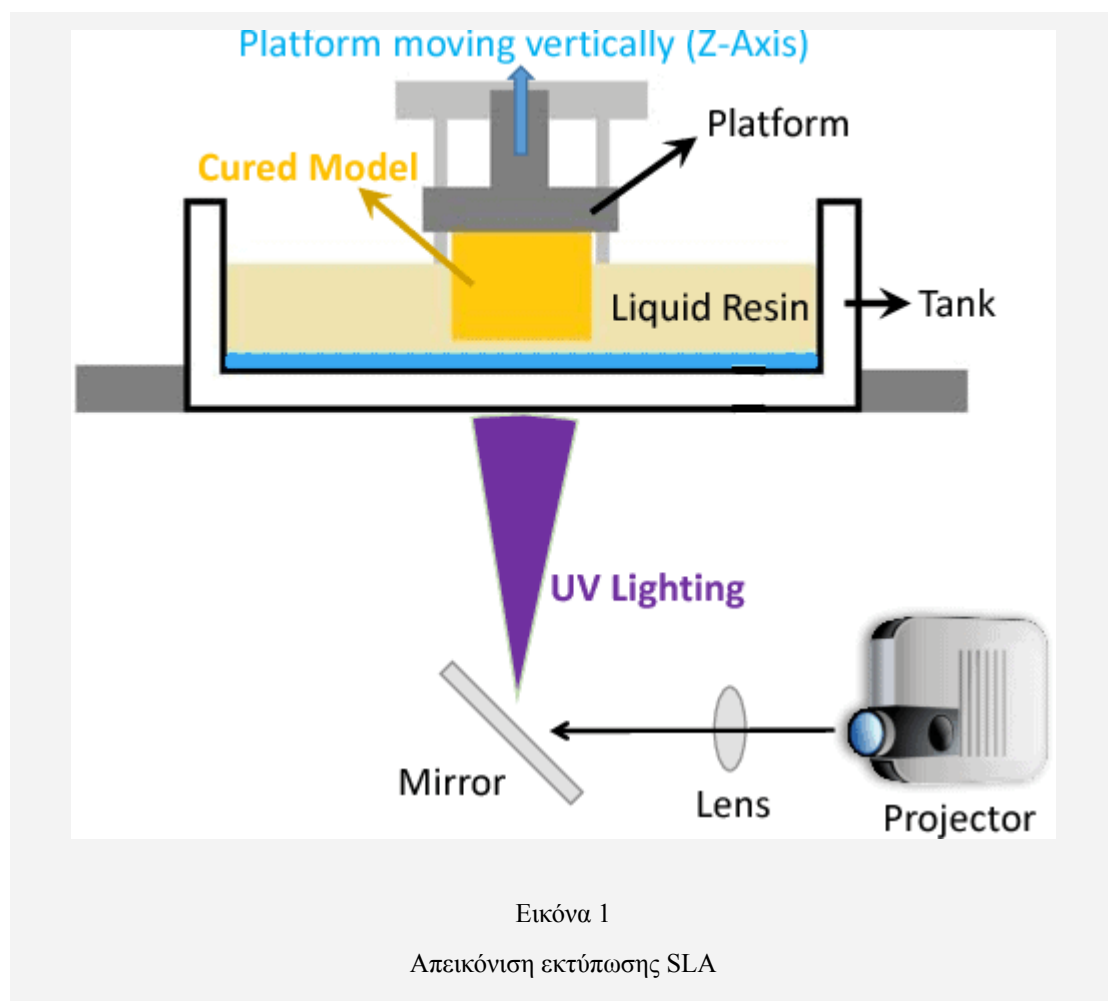
- i) Στερεολιθογραφία (SLA)
- ii) Μοντελοποίηση με τη μέθοδο της σύντηξης (FDM)
- iii) Εκτύπωση PolyJet ή Multi jet
- iv) Επιλεκτική πυροσυσσώματωση με λέιζερ (SLS)

2.2.1. Στερεολιθογραφία (SLA)

Η στερεολιθογραφία αναπτύχθηκε από την 3D system, Inc και είναι μια ευρέως χρησιμοποιούμενη διαδικασία ταχείας πρωτοτυποποίησης. Αρχικά, σε αυτή τη διαδικασία, δημιουργείται το αρχείο STL του εξαρτήματος/αντικειμένου στο λογισμικό CAD. Το αρχείο STL περιέχει λεπτομέρειες για κάθε στρώμα. Στη συνέχεια, γίνεται η διαστρωμάτωση υγρού φωτοπολυμερούς σε υλικό στήριξης στη μηχανή. Το υλικό στήριξης απαιτείται για τα κοιλώματα ή τα υπερκείμενα μέρη του αντικειμένου. Η μηχανή παράγει αυτόματα τη δομή στήριξης για το υπό κατασκευή μοντέλο. Μετά τη διαστρωμάτωση, η διαδικασία σκλήρυνσης γίνεται με λέιζερ UV σε συγκεκριμένες θέσεις (εικ. 1). Κατά τη διάρκεια της διαδικασίας σκλήρυνσης

γίνεται η στερεοποίηση του πολυμερούς και εν συνεχεία η πλατφόρμα χαμηλώνει κατά ένα πάχος στρώματος. Η διαδικασία διαστρωμάτωσης και σκλήρυνσης συνεχίζεται μέχρι να ολοκληρωθεί το τμήμα/αντικείμενο. Έπειτα το αντικείμενο και το υλικό στήριξης αφαιρούνται και η διαδικασία ολοκληρώνεται.

Η στερεολιθογραφία επιλέγεται για την κατασκευή οπτικών πρωτοτύπων για φωτογράφιση, για αντικείμενα με έντονες λεπτομέρειες, για έλεγχο τρισδιάστατων σχεδίων, για την παραγωγή μικρού όγκου πολύπλοκων γεωμετριών κ.λπ.

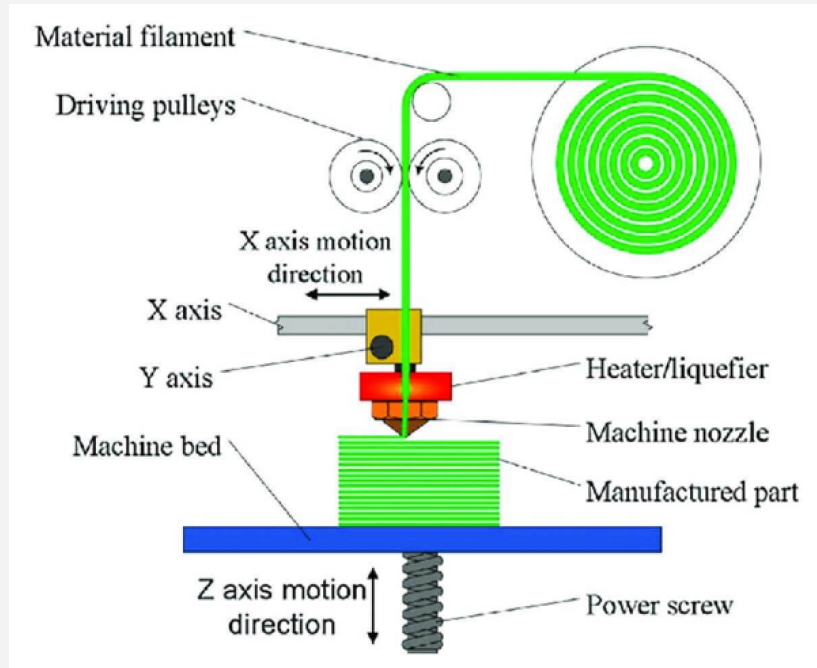


Εικόνα 1

Απεικόνιση εκτύπωσης SLA

2.2.2. Μοντελοποίηση με σύντηξη εναπόθεσης (FDM)

Η τεχνολογία αναπτύχθηκε από τον S. Scott Crump στα τέλη της δεκαετίας του 1980 και εμπορευματοποιήθηκε το 1990 από την εταιρεία Stratasys. Σε αυτή τη διαδικασία το αντικείμενο κατασκευάζεται στρώμα προς στρώμα από κάτω προς τα πάνω με θέρμανση και εξώθηση θερμοπλαστικού νήματος. Το πρώτο βήμα είναι η σχεδίαση του αντικειμένου με τη βοήθεια οποιουδήποτε σχεδιαστικού λογισμικού. Το λογισμικό καθορίζει τη διαδρομή για την εξώθηση του θερμοπλαστικού υλικού και του υλικού στήριξης. Στη συνέχεια, το υλικό τροφοδοτείται στην κεφαλή εξώθησης ελεγχόμενης θερμοκρασίας, όπου μετατρέπεται σε ημι-υγρή κατάσταση. Το θερμοπλαστικό υλικό θερμαίνεται λίγο πέρα από τη θερμοκρασία υαλώδους μετάβασης (T_g). Η κεφαλή εξωθεί λεπτό νήμα, ποικίλων διαστάσεων, και το εναποθέτει σε στρώσεις σε μια βάση χωρίς εξαρτήματα (εικ. 2). Σε περιπτώσεις που απαιτείται στήριξη ή απομόνωση, ο τρισδιάστατος εκτυπωτής εναποθέτει ένα αφαιρούμενο υλικό που λειτουργεί ως ικρίωμα. Όταν ολοκληρωθεί το στρώμα, μετακινείται κατά την κατεύθυνση Z προς το επόμενο στρώμα. Η διαδικασία διαστρωμάτωσης καθώς και η συγκόλληση και στερεοποίηση γίνεται με μεγάλη ακρίβεια. Μόλις ολοκληρωθεί η διαδικασία, το υλικό στήριξης αφαιρείται και το αντικείμενο είναι έτοιμο.



Εικόνα 2

Απεικόνιση εκτύπωσης FDM

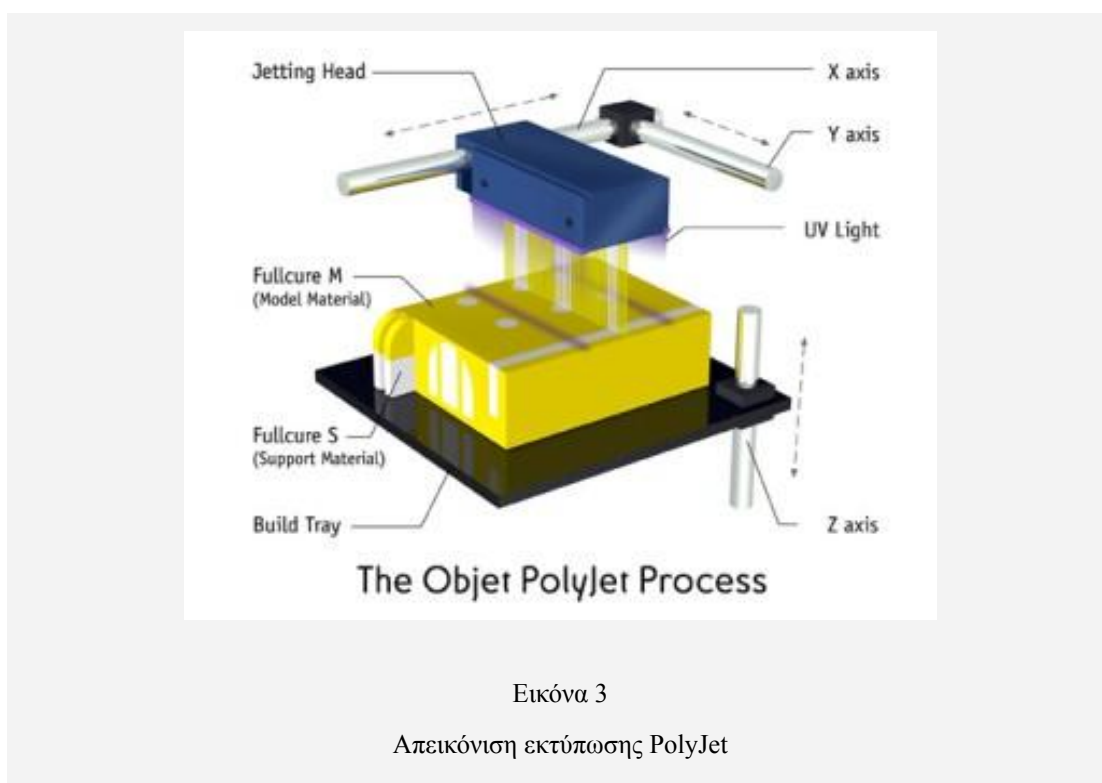
Στους τρισδιάστατους εκτυπωτές FDM χρησιμοποιούνται κυρίως πολυμερή υλικά όπως το ακρυλονιτρίλιο βουταδιένιο στυρένιο, το πολυγαλακτικό οξύ, το πολυκαρβονικό, το πολυαμίδιο, το πολυστυρένιο κ.λπ. Αυτή η τεχνολογία χρησιμοποιείται ευρέως σε διάφορες βιομηχανίες όπως η αεροδιαστημική, η αυτοκινητοβιομηχανία, η ιατρική κ.λπ. προσελκύοντας ένα μεγάλο αριθμό επαγγελματιών όπως μηχανικούς, σχεδιαστές, εκπαιδευτικούς δίνοντάς τους τη δυνατότητα να κατασκευάσουν οποιοδήποτε πρωτότυπο ή προϊόν για τις απαιτήσεις τους (Dudek, 2013).

2.2.3. Εκτύπωση PolyJet ή MultiJet

Σε αυτή την τεχνολογία χρησιμοποιούνται δύο ή περισσότεροι πίδακες μελάνης για τον ψεκασμό υγρών πολυμερών. Για την κατασκευή του αντικειμένου χρησιμοποιείται φωτοπολυμερές το οποίο με τη βοήθεια ακτίνων UV επιτυγχάνεται η

σκλήρυνσή του. Ένας άλλος πίδακας χρησιμοποιείται για τον ψεκασμό υλικού στήριξης, το οποίο όμως δεν σκληραίνει με τη χρήση ακτίνων UV (εικ. 3). Το υλικό στήριξης χρησιμοποιείται για υπερκείμενα μέρη και στη συνέχεια αφαιρείται με την ολοκλήρωση της διαδικασίας διαστρωμάτωσης χειροκίνητα με εκτόξευση νερού.

Η μηχανή τρισδιάστατης εκτύπωσης PolyJet χρησιμοποιείται για τη δημιουργία αντικειμένων ή εξαρτημάτων που έχουν έντονες λεπτομέρειες. Το πάχος των οριζόντιων στρώσεων μπορεί να είναι μέχρι και 16 micron με εξαιρετικά λεπτά τοιχώματα έως και 0,6 mm (0,024") ανάλογα τη γεωμετρία. Το μειονέκτημα της εν λόγω διαδικασίας είναι ότι τα αντικείμενα ή εξαρτήματα που παράγονται είναι ασθενέστερα σε σύγκριση με εκείνα της στερεολιθογραφίας και της επιλεκτικής πυροσυσσωμάτωσης με λέιζερ. Ωστόσο, αξίζει να σημειωθεί ότι με τη συγκεκριμένη τεχνολογία δίνεται η δυνατότητα παραγωγής πολύχρωμων αντικειμένων (εικ.4).



Εικόνα 3

Απεικόνιση εκτύπωσης PolyJet



Εικόνα 4

Τρισδιάστατα εκτυπωμένο πολύχρωμο αντικείμενο με PolyJet

Παραδείγματα εταιρειών που παράγουν υλικά που χρησιμοποιούνται στη συγκεκριμένη τεχνολογία τρισδιάστατης εκτύπωσης είναι η Materialise και η Stratasys. Η Materialise προσφέρει δύο βασικά υλικά, το Vero White Plus και το Tango White Plus. Το Vero White Plus είναι μια ρητίνη γενικής χρήσης, που διατίθεται σε λευκό χρώμα και έχει πολύ καλές μηχανικές ιδιότητες. Το Tango White Plus είναι εύκαμπτη ρητίνη που μοιάζει με καουτσούκ, η οποία έχει εξαιρετική επιμήκυνση κατά τη θραύση. Η Stratasys προσφέρει επίσης μια μεγάλη ποικιλία υλικών που μπορούν να λειτουργήσουν στις μηχανές τρισδιάστατης εκτύπωσης Polyjet, τα οποία έχουν τη δυνατότητα να προσομοιάζουν τη λειτουργικότητα και την εμφάνιση του πολυπροπυλενίου (Sochol et al., 2016).

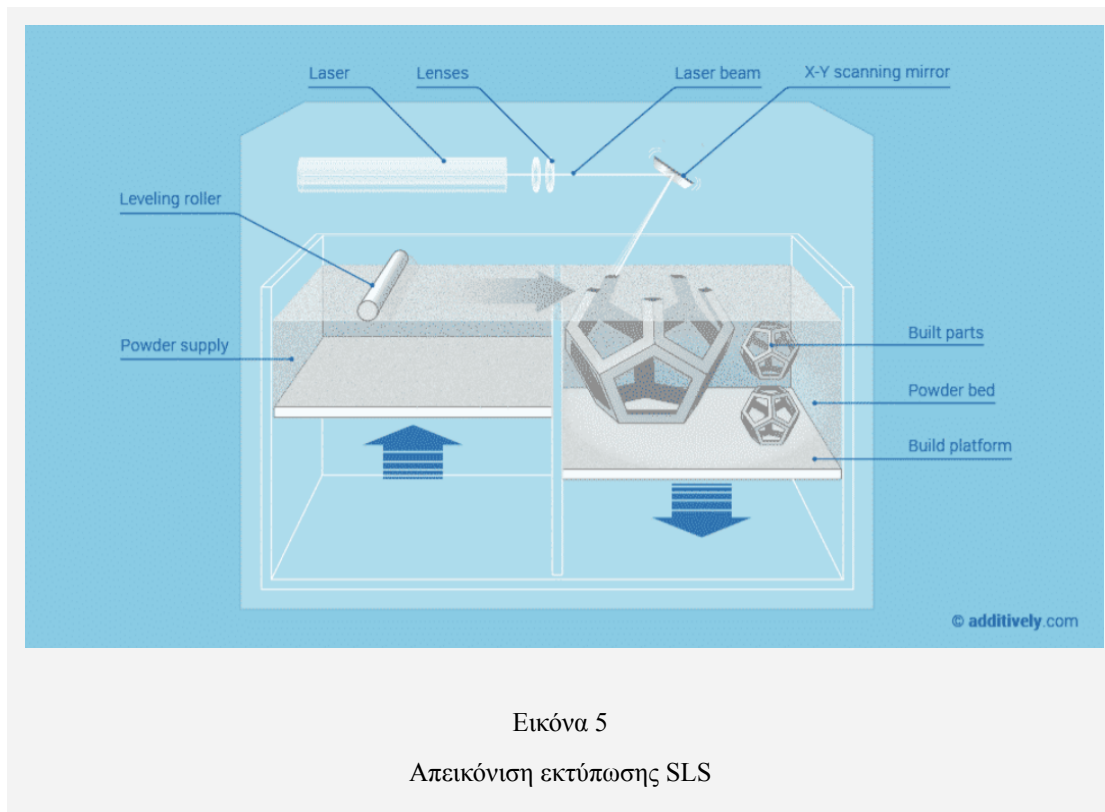
2.2.4. Επιλεκτική πυροσυσσωμάτωση με λέιζερ (SLS)

Η SLS αναπτύχθηκε και κατοχυρώθηκε με δίπλωμα ευρεσιτεχνίας από τον Dr. Carl Deckard και τον ακαδημαϊκό σύμβουλο Dr. Joe Beaman στο Πανεπιστήμιο του Τέξας στο Όστιν στα μέσα της δεκαετίας του 1980. Σε αυτή την τεχνολογία, το βασικό υλικό είναι η μορφή σκόνης μετάλλου. Χρησιμοποιούνται συνδυασμοί μετάλλων,

πολυμερών, συνδυασμοί πολυμερών, συνδυασμοί μετάλλων και πολυμερών, συνδυασμοί μετάλλων και κεραμικών. Τα μεγέθη των σωματιδίων είναι της τάξης των 50 μm. Η δέσμη λέιζερ διοξειδίου του άνθρακα συντηρεί τη δύναμη μετάλλων ή πολυμερών σε συγκεκριμένες θέσεις σύμφωνα με το σχεδιασμό. Μετά την ολοκλήρωση κάθε στρώματος, η κλίνη σκόνης χαμηλώνει κατά ένα πάχος στρώματος και από πάνω εφαρμόζεται το νέο στρώμα υλικού (εικ. 5). Η διαδικασία επαναλαμβάνεται μέχρι να ολοκληρωθεί το εξάρτημα ή το αντικείμενο και πραγματοποιείται σε αδρανή ατμόσφαιρα για την αποφυγή οξειδωσης. Στα μέταλλα χρησιμοποιούνται συνδετικά υλικά, τα οποία απομακρύνονται με την ολοκλήρωση της διαδικασίας (Wong & Hernandez, 2012).

Η SLS σε αντίθεση με την FDM, δεν απαιτεί κάποιο υλικό στήριξης, καθώς το τεμάχιο που κατασκευάζεται παραμένει πάντα περιτριγυρισμένο από μη πυροσυσσωματωμένη σκόνη. Τα υλικά που μπορούν να υποστούν επεξεργασία με αυτή την τεχνολογία είναι το νάιλον (καθαρό, γεμισμένο με γυαλί ή με άλλα πληρωτικά υλικά), μέταλλα όπως ο χάλυβας, το τιτάνιο καθώς και μείγματα κραμάτων και άλλα σύνθετα υλικά.

Η φυσική διεργασία μπορεί να είναι η πλήρης και μερική τήξη ή η πυροσυσσωμάτωση υγρής φάσης. Ανάλογα με το υλικό μπορεί να επιτευχθεί πυκνότητα έως και 100% με ιδιότητες υλικού συγκρίσιμες με εκείνες των συμβατικών μεθόδων κατασκευής. Άλλες τεχνικές προσθετικής κατασκευής είναι η 3DP, η Prometal, η τήξη με δέσμη ηλεκτρονίων (EBM), η κατασκευή πλαστικοποιημένων αντικειμένων (LOM) και η διαμόρφωση δικτύου με λέιζερ (LENS) (Wong & Hernandez, 2012).



2.3. Υλικά που χρησιμοποιούνται για την τεχνολογία 3D εκτύπωσης

2.3.1. Μέταλλα

Η τεχνολογία τρισδιάστατης εκτύπωσης 3D μετάλλων κερδίζει ολοένα και μεγαλύτερη προσοχή από την αεροδιαστημική, την αυτοκινητοβιομηχανία, την ιατρική εφαρμογή και τη βιομηχανία παραγωγής, λόγω των πλεονεκτημάτων που προσφέρει (Horst et al., 2018).

Τα υλικά από μέταλλο έχουν εξαιρετικές φυσικές ιδιότητες και μπορούν να χρησιμοποιηθούν για την εκτύπωση αεροδιαστημικών εξαρτημάτων έως και ανθρώπινων οργάνων. Τα κράματα αλουμινίου, τα κράματα με βάση το κοβάλτιο, τα κράματα με βάση το νικέλιο, οι ανοξείδωτοι χάλυβες και τα κράματα τιτανίου είναι μερικά από τα μέταλλα που χρησιμοποιούνται σε ένα μεγάλο φάσμα σύγχρονων βιομηχανιών (Trevisan et al., 2018). Για παράδειγμα, το κράμα με βάση το κοβάλτιο είναι κατάλληλο για οδοντιατρική χρήση. Επιπλέον, με τη χρήση κραμάτων βάσης

νικελίου (Murr, 2016), η τεχνολογία τρισδιάστατης εκτύπωσης έχει τη δυνατότητα παραγωγής αεροδιαστημικών εξαρτημάτων. Τα κράματα βάσης νικελίου μπορούν να χρησιμοποιηθούν σε επικίνδυνα περιβάλλοντα και αυτό οφείλεται στο γεγονός ότι, έχουν υψηλή αντοχή στη διάβρωση και στη θερμότητα, καθώς μπορεί να αντέξει έως και 1200 °C (Horst et al., 2018). Τέλος, η χρήση κράματος τιτανίου έχει αποκλειστικές ιδιότητες, όπως ολκιμότητα, αντοχή στη διάβρωση και στην οξείδωση όπως και χαμηλή πυκνότητα. Χρησιμοποιείται σε υψηλές θερμοκρασίες όπως για παράδειγμα σε αεροδιαστημικά εξαρτήματα και στη βιοϊατρική βιομηχανία (Trevisan et al., 2018).

2.3.2. Πολυμερή

Οι τεχνολογίες τρισδιάστατης εκτύπωσης χρησιμοποιούνται ευρέως για την παραγωγή πολυμερών εξαρτημάτων από πρωτότυπα έως λειτουργικές δομές με δύσκολες γεωμετρίες. Με τη μέθοδο της συντηγμένης εναπόθεσης (FDM), μπορεί να σχηματιστεί μια τρισδιάστατη εκτύπωση μέσω της εναπόθεσης διαδοχικών στρωμάτων εξηλασμένου θερμοπλαστικού νήματος, όπως πολυγαλακτικό οξύ (PLA), ακρυλονιτριλοβουταδιενικό στυρένιο (ABS), πολυπροπυλένιο (PP) ή πολυαιθυλένιο (PE) (Camirero et al., 2018). Επίσης, νήματα θερμοπλαστικών με υψηλότερες θερμοκρασίες τήξης, όπως το PEEK και το PMMA, χρησιμοποιούνται ήδη ως υλικά για τρισδιάστατη εκτύπωση. Τα πολυμερή υλικά τρισδιάστατης εκτύπωσης σε υγρή κατάσταση ή με χαμηλό σημείο τήξης χρησιμοποιούνται ευρέως στη βιομηχανία τρισδιάστατης εκτύπωσης λόγω του χαμηλού κόστους, του χαμηλού βάρους και την ευελιξία στην επεξεργασία τους (Wang et al., 2017). Ως επί το πλείστον, τα υλικά των πολυμερών έπαιξαν σημαντικό ρόλο στα βιοϋλικά και στα προϊόντα ιατρικών συσκευών, συμβάλλοντας στην αποτελεσματική λειτουργία των συσκευών καθώς και στην παροχή τεχνικής υποστήριξης σε πολλά ορθοπαιδικά εμφυτεύματα (εικ. 6) (Hitzler et al., 2018).



Εικόνα 6

Τρισδιάστατα εκτυπωμένα αντικείμενα από πολυμερή υλικά

2.3.3. Κεραμικά

Σήμερα, η τεχνολογία τρισδιάστατης εκτύπωσης μπορεί να παράγει τρισδιάστατα εκτυπωμένα αντικείμενα χρησιμοποιώντας κεραμικά και σκυρόδεμα χωρίς μεγάλους πόρους ή ρωγμές μέσω βελτιστοποίησης των παραμέτρων και ρύθμισης των μηχανικών ιδιοτήτων. Το κεραμικό σαν υλικό είναι ισχυρό, ανθεκτικό και πυρίμαχο λόγω της ρευστής κατάστασής του πριν από την πήξη. Πρακτικά μπορεί να εφαρμοστεί σε οποιαδήποτε γεωμετρία και σχήμα (εικ. 7) και είναι κατάλληλο για τη δημιουργία κατασκευών και κτιρίων (Baldassarre & Ricciardi, 2017).

Τα κεραμικά υλικά είναι επίσης χρήσιμα στην οδοντιατρική και την αεροδιαστημική εφαρμογή. Τα παραδείγματα αυτών των υλικών είναι η αλουμίνα, τα βιοενεργά γυαλιά και η ζirkονία. Η αλουμίνα έχει μεγάλη πολυπλοκότητα σκλήρυνσης και με ευρύ φάσμα εφαρμογών, όπως στη μικροηλεκτρονική, στην αεροδιαστημική και σε βιομηχανίες υψηλής τεχνολογίας (Owen et al., 2018). Συνάμα, με τη χρήση της τεχνολογίας τρισδιάστατης εκτύπωσης, μπορούν να εκτυπωθούν κεραμικά αντικείμενα πολύπλοκου σχήματος (Zocca et al., 2017).



Εικόνα 7

Τρισδιάστατη εκτύπωση κεραμικού αντικειμένου

2.3.4. *Σύνθετα υλικά*

Τα σύνθετα υλικά με την εξαιρετική ευελιξία, το χαμηλό βάρος και τις προσαρμόσιμες ιδιότητες έχουν φέρει επανάσταση στις βιομηχανίες υψηλών επιδόσεων. Τα παραδείγματα σύνθετων υλικών είναι τα σύνθετα πολυμερή ενισχυμένα με ίνες άνθρακα και τα σύνθετα πολυμερή ενισχυμένα με ίνες γυαλιού (Sathishkumar et al., 2014). Οι σύνθετες κατασκευές από πολυμερή ενισχυμένα με ίνες άνθρακα χρησιμοποιούνται ευρέως στην αεροδιαστημική βιομηχανία λόγω της υψηλής δυσκαμψίας, και της αντοχής στη διάβρωση (Hao et al., 2018). Ταυτόχρονα, τα σύνθετα πολυμερή ενισχυμένα με ίνες γυαλιού χρησιμοποιούνται ευρέως λόγω της οικονομικής αποδοτικότητας και της υψηλής απόδοσης (Liu et al., 2015).

2.3.5. *Εξυπνα υλικά*

Ως έξυπνα υλικά ορίζονται τα υλικά που έχουν τη δυνατότητα να μεταβάλλουν τη γεωμετρία και το σχήμα του αντικειμένου, επηρεαζόμενα από εξωτερικές συνθήκες

όπως η θερμότητα και το νερό (Lee et al., 2017b). Το γνώρισμα των τρισδιάστατων εκτυπωμένων αντικειμένων που παράγονται με τη χρήση έξυπνων υλικών είναι η αυτοαναπτυσσόμενη δομή και το σύστημα μαλακής ρομποτικής. Τα έξυπνα υλικά μπορούν επίσης να ταξινομηθούν ως υλικά εκτύπωσης 4D.

Παραδείγματα της ομάδας έξυπνων υλικών είναι τα κράματα μνήμης σχήματος και τα πολυμερή μνήμης σχήματος (Yang et al., 2016). Ορισμένα κράματα μνήμης σχήματος, όπως το νικέλιο-τιτάνιο, μπορούν να χρησιμοποιηθούν σε βιοϊατρικά εμφυτεύματα και σε εφαρμογές μικρο-ηλεκτρομηχανικών συσκευών (Baldassarre & Ricciardi, 2017). Το σημαντικό ζήτημα στην παραγωγή τρισδιάστατων εκτυπωμένων προϊόντων με τη χρήση νικελίου-τιτανίου είναι οι θερμοκρασίες μετασχηματισμού, η αναπαραγωγιμότητα της μικροδομής και της πυκνότητας (εικ. 8). Τα πολυμερή με μνήμη σχήματος (SMP) είναι ένα είδος λειτουργικού υλικού που ανταποκρίνεται σε ερεθίσματα όπως το φως, η ηλεκτρική ενέργεια, η θερμότητα και σε ορισμένους τύπους χημικών ουσιών. Η αξιολόγηση της ποιότητας αυτού του υλικού γίνεται με βάση την ακρίβεια των διαστάσεων, την τραχύτητα της επιφάνειας και την πυκνότητα του τεμαχίου (Yang et al., 2016).



Εικόνα 8

Αντικείμενο με χρήση SMP

2.3.6. *Ειδικά υλικά*

Παραδείγματα ειδικών υλικών είναι:

- Η τεχνολογία τρισδιάστατης εκτύπωσης τροφίμων μπορεί να επεξεργαστεί και να παράγει το επιθυμητό σχήμα και τη γεωμετρία χρησιμοποιώντας υλικά τροφίμων όπως η σοκολάτα, το κρέας, η καραμέλα, η πίτσα, τα μακαρόνια κ.τ.λ. (Liu et al., 2019). Η τρισδιάστατη εκτύπωση τροφίμων μπορεί να παράγει υγιεινά τρόφιμα, επειδή η συγκεκριμένη διαδικασία επιτρέπει στους πελάτες να προσαρμόζουν τα συστατικά των υλικών χωρίς να μειώνουν τα θρεπτικά συστατικά και τη γεύση των συστατικών (Singh & Raghav, 2018).
- Η διαδικασία τρισδιάστατης εκτύπωσης με σεληνιακή σκόνη έχει τη δυνατότητα άμεσης παραγωγής πολυστρωματικών εξαρτημάτων, η οποία πιθανόν να έχει εφαρμογή στον μελλοντικό αποικισμό στο φεγγάρι (Goulas & Friel, 2016).
- Με την ανάπτυξη της εκτύπωσης 3D textile ανοίγονται νέοι ορίζοντες στη κλωστοϋφαντουργία, στη βιομηχανία κοσμημάτων και ενδυμάτων. Μερικά πλεονεκτήματα της τεχνολογίας τρισδιάστατης εκτύπωσης είναι ο σύντομος χρόνος επεξεργασίας για την κατασκευή του προϊόντος, το μειωμένο κόστος που σχετίζεται με τη συσκευασία και η μείωση του κόστους της αλυσίδας εφοδιασμού (Dilberoglu et al., 2017).

2.4. **Εφαρμογές**

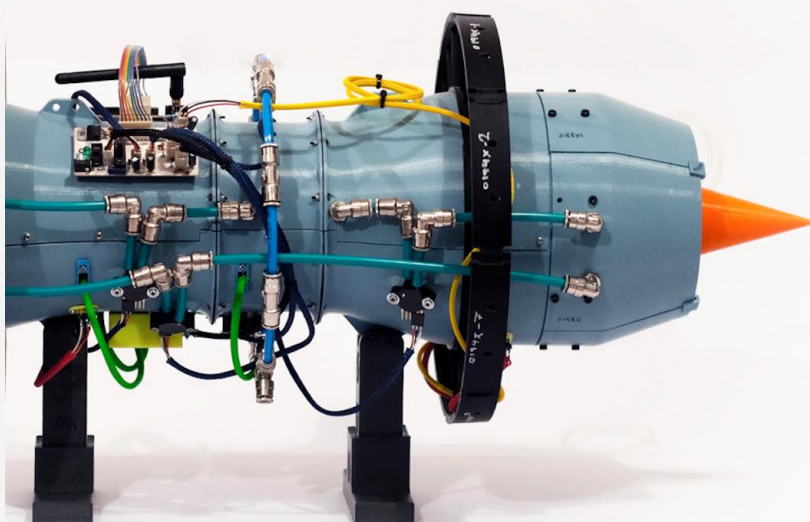
Σύμφωνα με την έκθεση της συμβουλευτικής εταιρείας McKinsey η τεχνολογία τρισδιάστατης εκτύπωσης ολοένα και αποτελεί βιώσιμη εναλλακτική λύση σε περισσότερες εφαρμογές, ξεφεύγοντας από τον εξειδικευμένο χαρακτήρα της (d'Aveni, 2015). Με τη συγκεκριμένη τεχνολογία η κατασκευή πολύπλοκων εξαρτημάτων είναι λιγότερο δαπανηρή σε σχέση με την παραδοσιακή διαδικασία.

Χρησιμοποιείται σε τεράστιο βαθμό στον ιατρικό τομέα ιδίως στην αντικατάσταση οστών, στην οδοντιατρική για προσθετικές θήκες, τεχνητά αιμοφόρα αγγεία κ.λπ., από αρχιτέκτονες για την δημιουργία σύνθετων μοντέλων καθώς και από καλλιτέχνες και σχεδιαστές μόδας (Wong & Hernandez, 2012).

Μερικές από τις εταιρείες που χρησιμοποιούν την τεχνολογία τρισδιάστατης εκτύπωσης για την κατασκευή συσκευών, προϊόντων και εξαρτημάτων είναι η GE, η Lockheed Martin, η Boeing, η Aurora Flight Sciences, η Invisalign, η LUXeXcel κ.λπ.

2.4.1. Αεροναυπηγική βιομηχανία

Στην αεροδιαστημική βιομηχανία, η τεχνολογία τρισδιάστατης εκτύπωσης έχει τη δυνατότητα κατασκευής ελαφρών εξαρτημάτων, βελτιωμένων και πολύπλοκων γεωμετριών, τα οποία μπορούν να μειώσουν τις απαιτήσεις σε ενέργεια και πόρους (Joshi & Sheikh, 2015). Για παράδειγμα η παραγωγή ανταλλακτικών αεροδιαστημικών εξαρτημάτων, όπως οι κινητήρες (εικ. 9), καθώς τα εξαρτήματα του κινητήρα καταστρέφονται εύκολα και απαιτούν τακτική αντικατάσταση (Wang et al., 2019). Χρησιμοποιούνται κυρίως κράματα με βάση το νικέλιο λόγω των ιδιοτήτων εφελκυσμού και της αντοχής στην οξείδωση (Uriondo et al., 2015).



Εικόνα 9

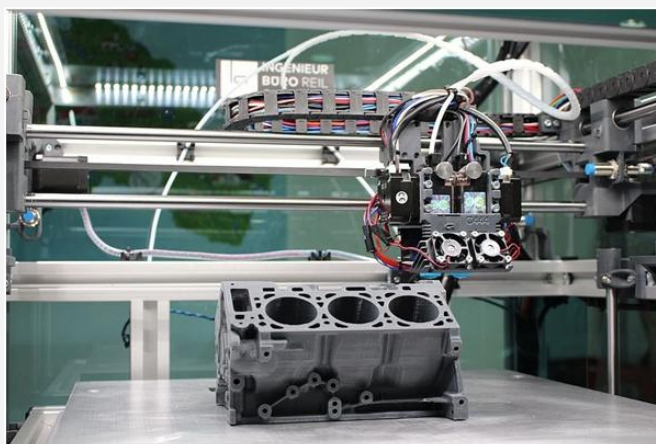
Εξάρτημα αεροσκάφους με τρισδιάστατη εκτύπωση

2.4.2. Αυτοκινητοβιομηχανία

Στην αυτοκινητοβιομηχανία η τεχνική της τρισδιάστατης εκτύπωσης έχει δημιουργήσει αρκετά καινοτόμα πεδία επιτρέποντας ελαφρύτερες και πιο σύνθετες δομές σε μικρότερο χρόνο (Maghnaní, 2015).

Κάποια παράδειγμα στην αυτοκινητοβιομηχανία που έχουν χρησιμοποιήσει τεχνολογία τρισδιάστατης εκτύπωσης είναι η Local Motors, η Ford, η BMW και η AUDI. Πιο συγκεκριμένα, το 2014, για πρώτη φορά, η Local Motors εκτύπωσε ένα ηλεκτρικό αυτοκίνητο και στη συνέχεια ένα λεωφορείο. Η Ford εφαρμόζει επίσης την τεχνολογία τρισδιάστατης εκτύπωσης για την παραγωγή πρωτοτύπων και εξαρτημάτων κινητήρα (εικ. 10) (Sreehitha, 2017). Επιπλέον, η BMW χρησιμοποιεί την τεχνολογία τρισδιάστατης εκτύπωσης για την παραγωγή εργαλείων χειρός για τη δοκιμή και τη συναρμολόγηση αυτοκινήτων. Το 2017 η AUDI συνεργάστηκε με την SLM Solution Group AG για την παραγωγή ανταλλακτικών και πρωτοτύπων (Petch, 2018).

Κατά συνέπεια, η χρήση της τεχνολογίας τρισδιάστατης εκτύπωσης στην αυτοκινητοβιομηχανία δίνει τη δυνατότητα στις εταιρείες να δοκιμάσουν διάφορες εναλλακτικές λύσεις δίνοντας έμφαση στα στάδια βελτίωσης, για αποτελεσματικότερο σχεδιασμό αυτοκινήτων.



Εικόνα 10

Τρισδιάστατη εκτύπωση κινητήρα αυτοκινήτου

2.4.3. Βιομηχανία τροφίμων

Στις μέρες μας ολοένα και αυξάνεται η ζήτηση για την ανάπτυξη προσαρμοσμένων τροφίμων για εξειδικευμένες και εξατομικευμένες διατροφικές ανάγκες, όπως αθλητές, παιδιά, έγκυες γυναίκες, ασθενείς κ.ο.κ., οι οποίες απαιτούν διαφορετική ποσότητα θρεπτικών συστατικών, μειώνοντας την ποσότητα των περιττών συστατικών και ενισχύοντας την παρουσία υγιεινών συστατικών (Dankar et al., 2018).

Η κατασκευή τροφίμων σε στρώματα γίνεται μέσω της εναπόθεσης διαδοχικών στρωμάτων που προέρχονται απευθείας από δεδομένα σχεδιασμού με τη βοήθεια υπολογιστή (Liu et al., 2019). Με τη χρήση της συγκεκριμένης τεχνολογίας τα υλικά μπορούν να αναμειχθούν και να επεξεργαστούν σε περίπλοκες δομές και σχήματα (Liu et al., 2017). Η ζάχαρη, η σοκολάτα, τα πολτοποιημένα τρόφιμα και τα επίπεδα τρόφιμα όπως τα ζυμαρικά, η πίτσα και τα κράκερ μπορούν να χρησιμοποιηθούν για τη δημιουργία νέων τροφίμων με πολύπλοκα και ενδιαφέροντα σχέδια και σχήματα (εικ. 11).

Γενικά η τεχνολογία τρισδιάστατης εκτύπωσης είναι μια τεχνολογία υψηλής ενεργειακής απόδοσης για την παραγωγή τροφίμων φιλική προς το περιβάλλον, καλό ποιοτικό έλεγχο και χαμηλό κόστος, προσφέροντας αρκετά οφέλη στον άνθρωπο (Liu et al., 2019).



Εικόνα 11

Τρισδιάστατη εκτύπωση τροφίμων

2.4.4. *Ιατρική βιομηχανία*

Η τεχνολογία τρισδιάστατης εκτύπωσης μπορεί να χρησιμοποιηθεί για την εκτύπωση τρισδιάστατου δέρματος, την έρευνα φαρμάκων και φαρμακευτικών προϊόντων, οστών και χόνδρων, ιστών αντικατάστασης, οργάνων, εκτύπωση για την έρευνα του καρκίνου και τέλος μοντέλα για οπτικοποίηση, εκπαίδευση και επικοινωνία (Knowlton et al., 2015). Υπάρχουν διάφορα πλεονεκτήματα της τεχνολογίας τρισδιάστατης εκτύπωσης στα βιοϊατρικά προϊόντα τα οποία είναι:

- Στην αναπαραγωγή της φυσικής δομής του δέρματος με χαμηλότερο κόστος. Το τρισδιάστατα εκτυπωμένο δέρμα (εικ. 12) μπορεί να χρησιμοποιηθεί για τη δοκιμή φαρμακευτικών, καλλυντικών και χημικών προϊόντων, αποφεύγοντας τη χρήση του δέρματος των ζώων για τη δοκιμή των προϊόντων (Yan et al., 2018).
- Στη φαρμακοβιομηχανία μπορεί να πραγματοποιηθεί εκτύπωση φαρμάκων αυξάνοντας την αποτελεσματικότητα, την ακρίβεια ελέγχου της δόσης και τη δυνατότητα παραγωγής δοσολογικών μορφών (Ventola, 2014).
- Στην εκτύπωση χόνδρων και οστών για την αντικατάσταση κενών στον χόνδρο ή στο οστό που έχουν προκληθεί από τραύματα ή ασθένειες (Bogue, 2013). Έτσι δημιουργείται μία επιπλέον επιλογή από τη χρήση αυτομοσχευμάτων και αλλομοσχευμάτων.
- Στην αντικατάσταση, αποκατάσταση, διατήρηση ή και βελτίωση της λειτουργίας των ιστών. Οι ιστοί αντικατάστασης που παράγονται με την τεχνολογία τρισδιάστατης εκτύπωσης έχουν συνδεδεμένο δίκτυο πόρων, βιοσυμβατότητα, κατάλληλη χημεία επιφάνειας και καλές μηχανικές ιδιότητες (Liu et al., 2016).
- Στην περίπτωση οργανικής ανεπάρκειας που έχουν προκληθεί όπως ασθένειες, ατυχήματα και γενετικές ανωμαλίες.
- Στη διαμόρφωση ελεγχόμενων μοντέλων καρκινικών ιστών παρουσιάζοντας μεγάλες δυνατότητες στην έρευνα για τον καρκίνο, με σκοπό οι ασθενείς να λαμβάνουν πιο αξιόπιστα και ακριβή δεδομένα.
- Στην εξάσκηση, κατά τη διαδικασία εκμάθησης, χειρουργικών τεχνικών με σκοπό τη μείωση χρόνου εκπαίδευσης, αλλά και τη βελτίωση της κλινικής διαδικασίας.



Εικόνα 12

Τρισδιάστατα εκτυπωμένο ανθρώπινο δέρμα

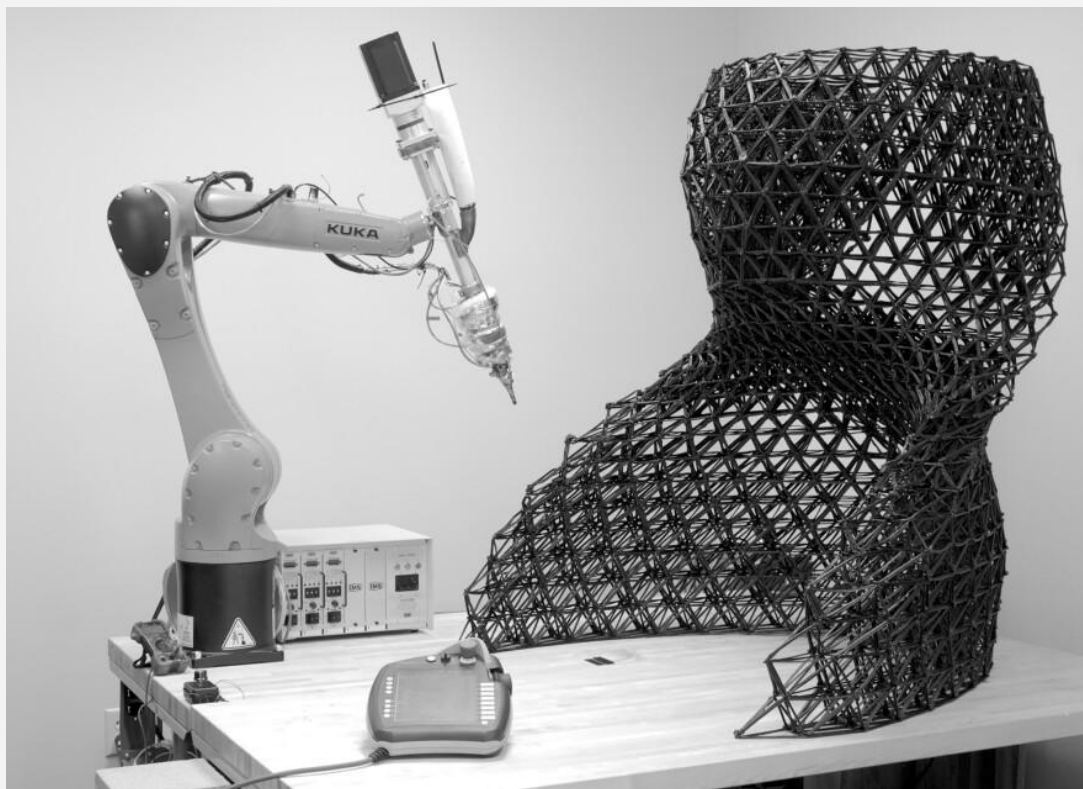
2.4.5. *Αρχιτεκτονική, οικοδομική και κατασκευαστική βιομηχανία*

Στον κατασκευαστικό κλάδο, η τεχνολογία τρισδιάστατης εκτύπωσης μπορεί να χρησιμοποιηθεί για την εκτύπωση ολόκληρων κτιρίων ή για τη δημιουργία κατασκευαστικών στοιχείων με γεωμετρική πολυπλοκότητα (εικ. 13).

Το μοντέλο δομικών πληροφοριών (BIM) είναι μια διαδικασία δημιουργίας και διαχείρισης πληροφοριών μέσω της ενσωμάτωσης διεπιστημονικών δεδομένων με σκοπό την παραγωγή ψηφιακής αναπαράστασης μιας δομικής κατασκευής από το σχεδιασμό έως την κατασκευή και τη λειτουργία του, αποτελώντας μια αξιόπιστη πηγή λήψης αποφάσεων από την αρχική σύλληψη έως την κατεδάφιση για την κατασκευή ή το σχεδιασμό ενός νέου κτιρίου (Sakin & Kiroglu, 2017).

Αυτή η καινοτόμος τεχνολογία υποστηρίζει μία πιο αποτελεσματική μέθοδο σχετικά με τον σχεδιασμό, τη δημιουργία και τη συντήρηση του δομημένου

περιβάλλοντος. Οι εταιρείες έχουν τη δυνατότητα να σχεδιάσουν και να δημιουργήσουν την οπτική του κτιρίου σε γρήγορο χρόνο και ανέξοδα, αποφεύγοντας τις καθυστερήσεις και εντοπίζοντας σε αρχικό στάδιο τυχόν προβληματικά σημεία. Ταυτόχρονα η επικοινωνία μεταξύ των κατασκευαστών - μηχανικών και των πελατών είναι πιο αποτελεσματική και με μεγαλύτερη σαφήνεια. Παραδείγματα τρισδιάστατης εκτύπωσης κτιρίων είναι το Apis Cor Printed House στη Ρωσία και το Canal House στο Άμστερνταμ (Hager et al., 2016).



Εικόνα 13

Τρισδιάστατα εκτυπωμένο συνδετικό οικοδομικό υλικό

2.4.6. Εφαρμογή στο πεδίο της μόδας

Μέχρι σήμερα τα ενδύματα που κατασκευάζονται με την τεχνολογία τρισδιάστατης εκτύπωσης δεν είναι μαλακά και εύκαμπτα όπως τα ενδύματα που κατασκευάζονται

από ύφασμα παρόλα αυτά έχουν γίνει αρκετές προσπάθειες από εταιρείες αλλά και μεμονωμένους σχεδιαστές για την εφαρμογή της.

Μια Ολλανδή σχεδιάστρια μόδας και τεχνολογίας, η Anouk Wipprecht χρησιμοποιώντας το TPU 92A-1, ένα πλήρως εύκαμπτο υλικό τρισδιάστατης εκτύπωσης δημιούργησε το "Synapse Dress". Το συγκεκριμένο φόρεμα λειτουργεί ως ρούχο ανίχνευσης που συλλέγει διάφορα ηλεκτρικά ερεθίσματα του σώματος τα οποία επεξεργάζεται και μπορεί να τα χρησιμοποιήσει για την καταγραφή και την επικοινωνία των διακυμάνσεων της διάθεσης του χρήστη. Πρόκειται για μια συγχώνευση της τεχνολογίας και της μόδας για τη δημιουργία έξυπνου ενδύματος.

Η Tamicare είναι μια εταιρεία τεχνολογίας και μηχανικής με έδρα το Ηνωμένο Βασίλειο η οποία έχει δημοσιεύσει λεπτομέρειες για ένα νέο καινοτόμο τρισδιάστατα εκτυπωμένο προϊόν με δίπλωμα ευρεσιτεχνίας που ονομάζεται Cosyflex. Το Cosyflex επινοήθηκε για την κατασκευή τρισδιάστατα εκτυπωμένων εσωρούχων μίας χρήσης με ενσωματωμένα μαξιλάρια εμμήνου ρύσεως. Σύμφωνα με την έκθεση της εταιρείας, το υλικό αποτελείται από ένα συνδυασμό ινών και είναι εξαιρετικά εύκαμπτο και προφανώς άνετο στη χρήση. Το ύφασμα, το οποίο ψεκάζεται σε στρώσεις από έναν εκτυπωτή, μπορεί να παραχθεί με διάφορους τύπους υγρών πολυμερών, όπως φυσικό λάτεξ, πυρίτιο, πολυουρεθάνη και τεφλόν, καθώς και με υφαντικές ίνες όπως βαμβάκι, βισκόζη και πολυαμίδιο.

Εκτός από την ένδυση, η τεχνολογία τρισδιάστατης εκτύπωσης χρησιμοποιείται για την κατασκευή προϊόντων που χρησιμοποιούνται ευρέως από εταιρείες υποδημάτων. Συγκεκριμένα, η Timberland και η Nike χρησιμοποιούν την τρισδιάστατη εκτύπωση για τη δημιουργία πρωτοτύπων σόλας παπουτσιών (Chakraborty & Biswas, 2020).

2.4.7. *Ηλεκτρική και ηλεκτρονική βιομηχανία*

Η τρισδιάστατη εκτύπωση γίνεται ολοένα και πιο προσιτή στους τομείς των επιστημών, της τεχνολογίας και της κατασκευής με τους κατασκευαστές να αρχίζουν να βλέπουν τις δυνατότητές της να υλοποιούνται με κάθε είδους ενδιαφέροντες

τρόπους. Σήμερα, διάφορες τεχνολογίες τρισδιάστατης εκτύπωσης έχουν ήδη χρησιμοποιηθεί ευρέως για δομικές ηλεκτρονικών συσκευών όπως ενεργά ηλεκτρονικά υλικά, ηλεκτρόδια και συσκευές με μαζική προσαρμογή και προσαρμοστικό σχεδιασμό μέσω της ενσωμάτωσης των αγωγών σε τρισδιάστατα εκτυπωμένες συσκευές (Lee et al., 2017).

Η διαδικασία παραγωγής για το τρισδιάστατο ηλεκτρόδιο με τη χρησιμοποίηση της τεχνικής Fused Deposition Modelling της τρισδιάστατης εκτύπωσης παρέχει χαμηλού κόστους μαζικής παραγωγής υλικών ηλεκτροδίων. Σε σύγκριση με τα εμπορικά ηλεκτρόδια, όπως τα ηλεκτρόδια αλουμινίου, χαλκού και άνθρακα, ο σχεδιασμός και η επιφάνεια του τρισδιάστατου ηλεκτροδίου μπορεί εύκολα να προσαρμοστεί ώστε να ταιριάζει σε μια συγκεκριμένη εφαρμογή. Επιπλέον, η διαδικασία τρισδιάστατης εκτύπωσης για το τρισδιάστατο ηλεκτρόδιο είναι πλήρως αυτοματοποιημένη, με υψηλό βαθμό ακρίβειας, καθιστώντας δυνατή την ολοκλήρωση της διαδικασίας εκτύπωσης 8 ηλεκτροδίων σε μόλις 30 λεπτά (Foo et al., 2018). Τα ενεργά ηλεκτρονικά εξαρτήματα είναι όλες οι ηλεκτρονικές συσκευές ή εξαρτήματα που έχουν τη δυνατότητα να ενισχύουν και να ελέγχουν τα φορτία ροής του ηλεκτρικού ρεύματος ή να μπορούν να παράγουν ενέργεια.. Αυτά τα εξαρτήματα απαιτούν συνήθως ιδιαίτερα περίπλοκες διαδικασίες κατασκευής σε σύγκριση με εκείνες που χρησιμοποιούνται για τα παθητικά εξαρτήματα λόγω των πολύπλοκων λειτουργιών τους (Saengchairat et al., 2017).

Με την τεχνολογία εκτύπωσης πολλαπλών υλικών επιτυγχάνεται η δημιουργία καινοτόμων σχεδίων με μία μόνο διαδικασία (Baldassarre & Ricciardi, 2017). Τέλος σημαντικό ζητούμενο για την αντιμετώπιση των περιβαλλοντικών ρύπων είναι η ανάπτυξη πράσινων ηλεκτρονικών συσκευών με χαμηλό κόστος κατασκευής, καλής ασφάλειας, υψηλής αξιοπιστίας και ταχείας παραγωγής (Foo et al., 2018).

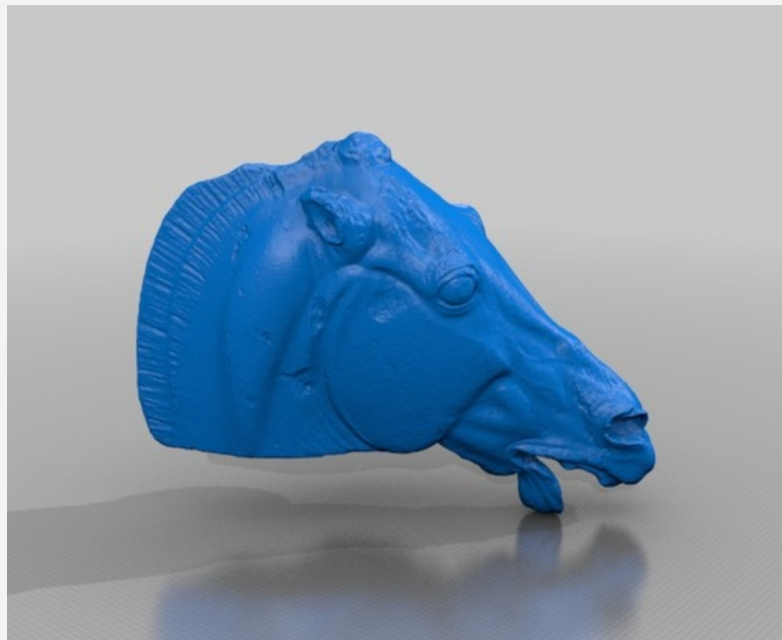
2.4.8. Τέχνη

Τα τελευταία χρόνια η εμφάνιση της τρισδιάστατης εκτύπωσης αποτελεί μία επιπλέον μορφή δημιουργικής έκφρασης. Οι καλλιτέχνες χρησιμοποιούν τη φαντασία και τις

ικανότητές τους για να δημιουργήσουν νέες οπτικές και τεχνικές, ξεπερνώντας περιορισμούς στο σχεδιασμό και στην κατασκευή έργων τέχνης. Παρά το γεγονός ότι η τέχνη και η μοντελοποίηση της τρισδιάστατης εκτύπωσης είναι σε ένα στάδιο που διαρκώς εξελίσσεται, υπάρχουν αρκετοί οραματιστές και φουτουριστικοί καλλιτέχνες που τη χρησιμοποιούν για την εκτύπωση και τον σχεδιασμό καλλιτεχνικών εγκαταστάσεων, συγχρονων γλυπτών κ.τλ.

Παράδειγμα αποτελεί το γλυπτό του Cosmo Wenman. Ο Wenman χρησιμοποιεί εκατοντάδες εικόνες ενός υπάρχοντος γλυπτού φωτογραφίζοντας με μια ψηφιακή φωτογραφική μηχανή το γλυπτό από διάφορες οπτικές γωνίες και στη συνέχεια με τη χρήση λογισμικού υπολογιστή, τις συναρμολογεί όλες μαζί.

Μια επιπλέον δημιουργία του είναι το αντίγραφο του κεφαλιού ενός αλόγου, από γλυπτό του 438 π.Χ. που ανακαλύφθηκε στην Αθήνα (εικ 14). Αφού πήρε το μοντέλο, το έσπασε σε πιο εύχρηστα εκτυπώσιμα μέρη, το μετακίνησε και το έβαψε για να μιμηθεί ένα χάλκινο φινίρισμα. Αυτό υπογραμμίζει επίσης μια άλλη άλλη εφαρμογή της τρισδιάστατης εκτύπωσης, την ικανότητα κατασκευής αντιγράφων μουσειακών αντικειμένων που μπορούν να εκτεθούν σε οποιοδήποτε μέρος.



Εικόνα 14

Τρισδιάστατα εκτυπωμένο γλυπτό του Cosmo Wenman

2.4.9. Δημιουργία κοσμημάτων

Τα κοσμήματα χρησιμοποιούν συχνά ως βασικό υλικό τον ανοξείδωτο χάλυβα. Λόγω των μεταλλικών συστατικών του, συμπεριλαμβανομένου του χρωμίου, του νικελίου, του πυριτίου και άλλων, είναι δύσκολο στην κατεργασία, αλλά έχει ισχυρή αντοχή στη διάβρωση, δίνοντάς του μια διαρκή γυαλιστερή όψη (Brady et al., 2002).

Στις αρχές της προηγούμενης δεκαετίας υπήρχαν πάνω από 100 διαφορετικοί τρισδιάστατοι εκτυπωτές που ήταν εμπορικά προσβάσιμοι (Gebhardt, 2012). Η τρισδιάστατη εκτύπωση κοσμημάτων μπορεί να είναι δυνατή με ένα ευρύτερο φάσμα υλικών, συμπεριλαμβανομένων των μετάλλων, όπως ο ανοξείδωτος χάλυβας, ο χαλκός και άλλα πολύτιμα μέταλλα όπως ο χρυσός. Τα μεταλλικά εξαρτήματα μπορούν να κατασκευαστούν απευθείας χρησιμοποιώντας τεχνικές άμεσης μεταλλοποίησης, οι οποίες χρησιμοποιούν μια πηγή ενέργειας, όπως ένα λέιζερ ή μια δέσμη ηλεκτρονίων για να λιώσουν επιλεκτικά το μεταλλικό στοιχείο σε σκόνη. Το SLM⁸ και το EBM⁹ είναι δύο περιπτώσεις άμεσης μεταλλικής επεξεργασίας της προσθετικής κατασκευής που είναι χρήσιμες στην παραγωγή κοσμημάτων. Η έμμεση τρισδιάστατη εκτύπωση, από την άλλη πλευρά, δεν δημιουργεί απευθείας τα τελικά εξαρτήματα. Αντ' αυτού, χρησιμοποιείται για τη δημιουργία των κύριων σχεδίων που αργότερα χυτεύονται στα τελικά προϊόντα ή χρησιμοποιείται για την άμεση δημιουργία των καλουπιών χύτευσης (Chua et al., 2010). Το πλεονέκτημα της έμμεσης τρισδιάστατης εκτύπωσης είναι ότι μπορεί να δημιουργήσει εξαρτήματα χρησιμοποιώντας κοινά υλικά με γνωστές ιδιότητες (Cheah, 2004). Σχεδόν όλες οι διαδικασίες προσθετικής κατασκευής μπορούν να χρησιμοποιηθούν για τη δημιουργία κοσμημάτων.

Η τεχνολογία έμμεσης τρισδιάστατης εκτύπωσης χρησιμοποιείται συχνά για τη δημιουργία καλουπιών και πυρήνων για χύτευση με άμμο. Τα πολυμερή συνδετικά μπορούν επίσης να εκτυπωθούν πάνω στη μεταλλική σκόνη ως εναλλακτική μέθοδος έμμεσης παραγωγής πυκνών μεταλλικών αντικειμένων. Στη συνέχεια, τα μεταλλικά μόρια λιώνουν σε κλίβανο υψηλής θερμοκρασίας και το αρχικό υλικό φιλτράρεται μέσω μιας δεύτερης μεταλλικής ουσίας, όπως ο χαλκός (Gibson et al., 2021).

Οι ExOne, M-Print και M-Flex είναι μερικά παραδείγματα εμπορικών έμμεσων τεχνολογιών που χρησιμοποιούνται σήμερα στην κοσμηματοβιομηχανία. Οι τεχνολογίες αυτές κάνουν χρήση μεθόδων κατασκευής που μπορούν να οδηγήσουν σε πολύ πυκνά μεταλλικά μέρη μετά το φιλτράρισμα.

Χρησιμοποιώντας λογισμικό μοντελοποίησης CAD, οι σχεδιαστές μπορούν να δημιουργήσουν το τρισδιάστατο μοντέλο CAD και να καθορίσουν ή να τροποποιήσουν τις διαστάσεις. Τα κοσμήματα που κατασκευάζονται με τη χρήση τρισδιάστατης εκτύπωσης έχουν γίνει περισσότερο αποδεκτά από τους καταναλωτές, τους σχεδιαστές μόδας και τους κατασκευαστές σε μεγαλύτερο βαθμό σε σχέση με τα ρούχα, αφενός λόγω της ευκολότερης εφαρμογής τους και αφετέρου λόγω της μεγαλύτερης ποικιλίας και προσβασιμότητας στα υλικά για τη δημιουργία τους.

3. Η 3D εκτύπωση στην οικονομία

Η τρισδιάστατη εκτύπωση έχει μεγάλη επίδραση στον τρόπο κατασκευής των προϊόντων, καθώς η φύση της συγκεκριμένης τεχνολογίας επιτρέπει νέους τρόπους σκέψης σχετικά με πιθανές επιπτώσεις στην παγκόσμια οικονομία, εάν υιοθετηθεί παγκοσμίως.

Η τρισδιάστατη εκτύπωση προσφέρει τη δυνατότητα δημιουργίας νέων βιομηχανιών και επαγγελμάτων, όσον αφορά στην παραγωγή τρισδιάστατων εκτυπωτών. Πιο συγκεκριμένα δημιουργούνται ευκαιρίες για επαγγελματικές υπηρεσίες, όπως νέες μορφές σχεδιαστών προϊόντων, χειριστές εκτυπωτών, προμηθευτές υλικών, αλλά και υπηρεσίες που σχετίζονται με νομικές διαφορές και διακανονισμούς πνευματικής ιδιοκτησίας.

Ωστόσο, οι επιδράσεις της εν λόγω τεχνολογίας στον αναπτυσσόμενο κόσμο έχουν αντιφατικό χαρακτήρα. Για παράδειγμα μία θετική επίδραση είναι το μειωμένο κόστος παραγωγής μέσω ανακυκλωμένων και άλλων τοπικών υλικών, ταυτόχρονα όμως η απώλεια θέσεων εργασίας στον παραδοσιακό τρόπο μεταποίηση θα μπορούσε να πλήξει σοβαρά πολλές αναπτυσσόμενες χώρες, κάτι που θα χρειαζόταν χρόνο για να ξεπεραστεί.

Επιπλέον, υπάρχει ελεγχόμενη χρήση υλικών σε σύγκριση με τις παραδοσιακές (αφαιρετικές) τεχνικές παραγωγής. Η παραγωγή και η συναρμολόγηση των προϊόντων είναι συγκεκριμένη τόσο σχεδιστικά όσο χρονικά και τοπικά, δημιουργώντας μόνο τα απαραίτητα προϊόντα, καταργώντας τις μεγάλες αποστάσεις μεταφοράς και την άσκοπη παραγωγή (Campbell et al., 2011).

Στις βιομηχανικές εφαρμογές το βασικό πλεονέκτημα της τρισδιάστατης εκτύπωσης εξακολουθεί να είναι η ταχεία κατασκευή πρωτοτύπων, κάτι που έχει αρχίσει να αλλάζει σταδιακά. Στις αρχές της δεκαετίας του 2010 είχε προβλεφθεί ότι περίπου το 28% των χρημάτων που θα δαπανηθεί για την εκτύπωση προϊόντων θα έχουν ως στόχο το τελικό αντικείμενο και όχι για ένα πρωτότυπο (The economist, 2012). Το παγκόσμιο εμπόριο των περιφερειακών επιχειρήσεων αναμένεται να επεκταθεί μέσω των ψηφιακών ανταλλαγών (Tallman et al., 2018) (Kohli & Melville, 2019).

Οι εταιρείες και οι τομείς που πρωτοπορούν στην ενσωμάτωση ψηφιακών τεχνολογιών, όπως η τρισδιάστατη εκτύπωση ή η τεχνητή νοημοσύνη, είναι πιο ευέλικτοι στην ανταλλαγή ψηφιακών πληροφοριών και επωφελούνται από τα πλεονεκτήματα των ψηφιακών τεχνολογιών στις διασυνοριακές επιχειρήσεις. Η ψηφιοποίηση ωστόσο ενδέχεται να οδηγήσει σε υπερεκτίμηση των δυνατοτήτων ανταλλαγής πληροφοριών και σε υποτίμηση των κινδύνων που συνδέονται με τη διαρροή γνώσεων, περιορίζοντας έτσι την κατανόηση των στόχων των εταιρειών, οδηγώντας σε λανθασμένες γενικεύσεις (Yamin & Sinkovics, 2006).

Η δημιουργία λύσεων τρισδιάστατης εκτύπωσης εντοπίζεται στην καταγραφή λειτουργικού λογισμικού, ψηφιακών σχεδίων και ανθρώπινων λειτουργιών σε ένα κοινωνικοτεχνικό σύστημα όπως για παράδειγμα, δραστηριότητες εγκατάστασης και πρακτικές μετά την εκτύπωση. Μετατρέπει τα ηλεκτρονικά σχέδια σε απτά αγαθά από πολυμερή, μέταλλο ή πρωτεΐνη (Rindfleisch et al., 2017). Η εκτύπωση προϊόντων είναι δυνατή οπουδήποτε στον κόσμο (Rayna & Striukova, 2016). Είναι ένας ψηφιακός τομέας που αρχικά είχε υιοθετήσει διεθνείς επιχειρηματικές μεθόδους (Conner et al., 2014).

Σε γενική θεώρηση η υιοθέτηση της τρισδιάστατης εκτύπωσης μελλοντικά θα προκαλέσει όχι μόνο τον επαναπροσδιορισμό αλλά και την εφεύρεση νέων προϊόντων

επηρεάζοντας όλους τους τομείς παραγωγής είτε με θετικό είτε με αρνητικό αντίκτυπο στην οικονομία.

4. Τεχνολογία 3D οικιακής χρήσης

Οι εκτυπωτές τρισδιάστατης εκτύπωσης έχουν εισέλθει πλέον και στον οικιακό τομέα, δίνοντας την ευκαιρία στο ευρύ κοινό να πειραματιστεί και να δημιουργήσει τα δικά του προϊόντα.

Σήμερα οι τρισδιάστατοι εκτυπωτές διατίθενται σε διάφορες τιμές. Παράδειγμα ενός συστήματος εκτύπωσης χαμηλού κόστους είναι το Fab@Home, τα εξαρτήματα του οποίου μπορούν να αγοραστούν και να συναρμολογηθούν με ελάχιστα εργαλεία, δίνοντας την ευκαιρία στους χρήστες να εκτυπώσουν αντικείμενα όπως μπαταρίες, ενεργοποιητές μέχρι και βρώσιμες σοκολάτες (Gibson et al., 2021). Ένα επιπλέον παράδειγμα είναι ο εκτυπωτής Peachy Printer, της εταιρείας Rinnovated Design. Πρόκειται μία φιλική προς το χρήστη συσκευή και οικονομικά προσιτή ("The Peachy Printer" n.d.).

Σημαντικό ρόλο στην εξάπλωση των τρισδιάστατων εκτυπωτών για οικιακή χρήση έπαιξε το "κίνημα των κατασκευαστών". Το εν λόγω κίνημα εισήχθη αρχικά από τον Dale Dougherty, ο οποίος είναι ο ιδρυτής του περιοδικού Make και ο δημιουργός του Maker Faire, όπου οι "κατασκευαστές" συγκεντρώνονται για να μοιραστούν τις νέες εφευρέσεις τους. Το κίνημα καθοδηγείται από μια ομάδα ανθρώπων που θεωρούν ότι "η ζωή τους εμπλουτίζεται δημιουργώντας κάτι νέο και μαθαίνοντας νέες δεξιότητες" (Dougherty 2012). Τα άτομα αυτά χαρακτηρίζονται συχνά ως "Do-It-Yourself" (DIY). Τόσο το περιοδικό Make όσο και οι εκδηλώσεις Maker Faire έχουν δώσει στους χρήστες την ευκαιρία να μοιραστούν τις ιδέες τους και να μάθουν νέες δεξιότητες, μέσω διαδικτυακών κοινοτήτων αλλά και φυσικών χώρων που ονομάζονται Makerspaces (Gobble, 2013).

Σημαντικό για τη χρήση των οικιακών τρισδιάστατων εκτυπωτών είναι η δημιουργία διαδικτυακών κοινοτήτων προς όφελος όλων των χρηστών, μέσω των οποίων μπορούν να αξιοποιήσουν τα διαθέσιμα αρχεία CAD ώστε να απλοποιηθεί η διαδικασία σχεδιασμού, ενώ οι χρήστες μπορούν να κατεβάζουν, να τροποποιούν και να βασίζονται στα σχέδια άλλων για να προωθήσουν τις τρισδιάστατες εκτυπωμένες δημιουργίες τους (Peacock, 2014). Για παράδειγμα, το Thingiverse παρέχει μια βάση δεδομένων με σχέδια τα οποία μπορούν να τροποποιηθούν και να εκτυπωθούν χωρίς

κόστος (Frandsen et al. 2012). Ο ιστότοπος περιγράφεται ως "μια ακμάζουσα κοινότητα για την ανακάλυψη, κατασκευή και ανταλλαγή τρισδιάστατων εκτυπώσιμων πραγμάτων". Ο συνδυασμός των προσιτών τρισδιάστατων εκτυπωτών και των άμεσα διαθέσιμων σχεδίων επιτρέπει την οικιακή παραγωγή απλών προϊόντων σε χαμηλό κόστος (Sissons & Thompson 2012).

Στον αντίκτυπο ωστόσο και με εστίαση στις μελλοντικές επιπτώσεις, η αναπληρώτρια καθηγήτρια του Πανεπιστημίου του Στάνφορντ Nora Engstrom υπογραμμίζει την πολυπλοκότητα της οικιακής χρήσης τρισδιάστατων εκτυπωτών, καθώς οι χρήστες θα πρέπει να είναι σε θέση να εξετάσουν τις πιθανές συνέπειες των δημιουργιών τους (Engstrom 2013). Ιδιαίτερη μεταχείριση της συγκεκριμένης τεχνολογίας χρειάζεται να δοθεί στην εκτύπωση οικιακών παιχνιδιών (Bilton R., 2013), καθώς ήδη από την εξάπλωσή τους στο ευρύ κοινό υπήρξε ένας σκεπτικισμός σχετικά με τις δυνατότητές τους (Kelleher et al., 2015).

Τέλος αξίζει να σημειωθεί ότι η χρήση τρισδιάστατων οικιακών εκτυπωτών απαιτεί χρόνο για τη δημιουργία ενός προϊόντος, περιοδική συντήρηση και συνεχή παρακολούθηση και έρευνα αγοράς υλικών φιλικά προς το περιβάλλον.

5. Ζητήματα ιδιοκτησίας

Η ύπαρξη ενός νομικού πλαισίου περί βιομηχανικής ιδιοκτησίας, για τη ρύθμιση των δικαιωμάτων επί συγκεκριμένων άυλων δικαιωμάτων βιομηχανικής ιδιοκτησίας (διακριτικά γνωρίσματα, διπλώματα ευρεσιτεχνίας κ.λ.π.), τη διασφάλιση των εμπορικών μυστικών, τη ρύθμιση των σχετικών συμβάσεων μεταφοράς τεχνολογίας και τεχνογνωσίας και τη θέσπιση ενός συστήματος δικαιωμάτων διανοητικής ιδιοκτησίας είναι αναγκαία. Σημαντικό είναι να διαχωριστεί η βιομηχανική ιδιοκτησία από την πνευματική ιδιοκτησία προκειμένου να κατανοηθούν καλύτερα.

Το νομικό δικαίωμα που παρέχεται από το νομικό σύστημα στον δημιουργό ενός πρωτότυπου πνευματικού έργου ορίζεται ως πνευματική ιδιοκτησία. Επιπλέον, η διάταξη του άρθρου 5 του νόμου 1733/87 ορίζει ότι:

1. Οι νέες καινοτομίες που απαιτούν ένα καινοτόμο βήμα και έχουν δυνατότητα βιομηχανικής χρήσης είναι επιλέξιμες για διπλώματα ευρεσιτεχνίας. Αντικείμενο της εφεύρεσης μπορεί να είναι μια βιομηχανική εφαρμογή, μια τεχνική ή ένα προϊόν.

2. Από τον ορισμό της "καινοτομίας" της παραγράφου 1 εξαιρούνται τα ακόλουθα: α. ανακαλύψεις, β. καλλιτεχνικά έργα, γ. σχέδια, κανόνες και τεχνικές για την άσκηση πνευματικών ασχολιών, παιχνιδιών και εμπορικών δραστηριοτήτων, δ. προγράμματα ηλεκτρονικών υπολογιστών και ε. απεικόνιση πληροφοριών.

3. Εάν μια καινοτομία αποκλίνει από την κατάσταση της τεχνικής, θεωρείται νέα. Ο όρος "επίπεδο της τεχνικής" αναφέρεται σε ό,τι ήταν ήδη γνωστό πριν από την ημερομηνία κατάθεσης της αίτησης διπλώματος ευρεσιτεχνίας ή την ημερομηνία προτεραιότητας, είτε με γραπτές, προφορικές ή άλλες περιγραφές.

4. Εάν, κατά τη γνώμη ενός ειδικού στην τέχνη, μια εφεύρεση δεν προκύπτει με προφανή τρόπο από την προηγούμενη τέχνη, τότε περιλαμβάνει ένα εφευρετικό στάδιο.

5. Αν το αντικείμενο μιας εφεύρεσης μπορεί να κατασκευαστεί ή να χρησιμοποιηθεί σε οποιονδήποτε τομέα της παραγωγικής δραστηριότητας, θεωρείται ότι μπορεί να τύχει βιομηχανικής εφαρμογής.

6. Οι μέθοδοι χειρουργικής και θεραπευτικής αντιμετώπισης του ανθρώπινου ή ζωικού σώματος δεν πρέπει να θεωρούνται ότι αποτελούν εφευρέσεις που επιδέχονται βιομηχανική εφαρμογή κατά την έννοια της παραγράφου 5.α. β. Οι τεχνικές διάγνωσης του ανθρώπινου ή ζωικού σώματος.

7. Τα προϊόντα, και ιδίως οι χημικές ουσίες ή οι συνθέσεις που χρησιμοποιούνται για την εφαρμογή των προαναφερόμενων τεχνικών, δεν υπόκεινται στις εξαιρέσεις της παραγράφου 6.

Επιπλέον, κατά τις διατάξεις του άρθρου 2 του ν. 2121/1993, όπως ισχύει σήμερα (ν. 4212/2013), που ενσωματώνει την Οδηγία 2011/77/ΕΕ, "... 2.α. Οι βάσεις δεδομένων που αποτελούν πνευματικά έργα λόγω της επιλογής ή της διάταξης του υλικού τους αποτελούν ομοίως αντικείμενο προστασίας. Χωρίς να περιορίζονται οι απαιτήσεις του κεφαλαίου 7 του παρόντος νόμου, τα προγράμματα ηλεκτρονικών υπολογιστών και τα υλικά που χρησιμοποιούνται για την προετοιμασία τους πρέπει να θεωρούνται ως λογοτεχνικά δημιουργήματα που καλύπτονται από τις διατάξεις περί πνευματικής ιδιοκτησίας. Οποιοσδήποτε τρόπος με τον οποίο ένα πρόγραμμα υπολογιστή εκφράζεται πρέπει να προστατεύεται. Ο παρών νόμος δεν παρέχει καμία προστασία για τις έννοιες και τα προτάγματα που διέπουν οποιοδήποτε συστατικό στοιχείο ενός προγράμματος υπολογιστή, συμπεριλαμβανομένων εκείνων που υποστηρίζουν τα συστήματα διασύνδεσής του. Εάν ένα πρόγραμμα υπολογιστή αποτελεί το ατομικό πνευματικό έργο του δημιουργού του, θεωρείται πρωτότυπο".

Από τα ανωτέρω προκύπτει ότι οτιδήποτε που μπορεί να χαρακτηριστεί ως εφεύρεση καλύπτεται από τον νόμο περί βιομηχανικής ιδιοκτησίας, συμπεριλαμβανομένων των εργαλείων και των μηχανημάτων, των ειδικών συστατικών στοιχείων των εργαλείων και των μηχανημάτων, των συστημάτων και των διατάξεων των εργαλείων και των μηχανημάτων, των μεθόδων βιομηχανικής παραγωγής, των τεχνικών χειρισμού και επεξεργασίας πληροφοριών σε συστήματα πληροφοριών και τηλεπικοινωνιών, των χημικών ενώσεων, ουσιών και προϊόντων, καθώς και των διαδικασιών που χρησιμοποιούνται για την παραγωγή τους, και όλων των χρήσεων όλων των τύπων τεχνολογίας. Τα πνευματικά δικαιώματα αποτελούν το μοναδικό είδος προστασίας τόσο για τον γραπτό κώδικα όσο και για το εκτελέσιμο πρόγραμμα. Η τεχνική μέθοδος που εκτελείται από το λογισμικό μπορεί επίσης να

κατοχυρωθεί με δίπλωμα ευρεσιτεχνίας, ανεξάρτητα από τη γλώσσα προγραμματισμού και το περιβάλλον υλοποίησης. Στην περίπτωση που η μέθοδος η οποία εκτελείται από τον αλγόριθμο, είναι τεχνικής φύσης και καινοτόμα, τότε το αποτέλεσμα κατοχυρώνεται με δίπλωμα ευρεσιτεχνίας.

Η νομοθεσία της Ευρωπαϊκής Ένωσης για τα διπλώματα ευρεσιτεχνίας εντοπίζεται στη Σύμβαση του Μονάχου σχετικά με τη χορήγηση ευρωπαϊκών διπλωμάτων ευρεσιτεχνίας, η οποία αναθεωρήθηκε στις 16 Ιουνίου 1999 για να καλύψει τις καινοτομίες της βιοτεχνολογίας. Στην Ελλάδα ισχύει ο νόμος 1733/1987 και το π.δ. 321/2001. Η διάρκεια ισχύος ενός διπλώματος ευρεσιτεχνίας στην Ελλάδα είναι 20 έτη και αρχίζει την επομένη της τυπικής ημερομηνίας κατάθεσης της αίτησης διπλώματος ευρεσιτεχνίας.

Σημαντικό είναι να αναφερθεί ότι η ανακάλυψη ενός υλικού που υπάρχει στη φύση σε ελεύθερη μορφή αποτελεί ανακάλυψη και δεν μπορεί να κατοχυρωθεί με δίπλωμα ευρεσιτεχνίας. Ωστόσο για να κατοχυρωθεί με δίπλωμα ευρεσιτεχνίας μια χημική ουσία, πρέπει πρώτα να διαχωριστεί από το περιβάλλον της και στη συνέχεια να εφευρεθεί ένας τρόπος απόκτησής της. Θα ήταν δυνατόν να κατοχυρωθεί με δίπλωμα ευρεσιτεχνίας μια ουσία εάν μπορεί να περιγραφεί επαρκώς με βάση τη δομή της, τη μέθοδο παραγωγής της, δηλαδή τον τρόπο ανακάλυψής της, ή με άλλα κριτήρια, και εάν η ύπαρξή της δεν έχει αναγνωριστεί και δεν είναι γενικά διαθέσιμη.

Η τρισδιάστατη εκτύπωση μπορεί να επωφεληθεί από την προστασία του δικαίου της πνευματικής και βιομηχανικής ιδιοκτησίας. Ωστόσο, η ραγδαία ανάπτυξη και ιδιαίτερα στον τομέα της βιοεκτύπωσης, η οποία άνοιξε την πόρτα στη δυνατότητα εκτύπωσης ζωντανών ιστών και οργάνων, εκτός του ότι έθεσε ηθικά ζητήματα, έφερε στο προσκήνιο την απαίτηση να ρυθμιστούν τα ζητήματα που αφορούν τα δικαιώματα βιομηχανικής ιδιοκτησίας και σε αυτόν τον τομέα, δεδομένου ότι οι προσεγγίσεις που χρησιμοποιούν οι διάφορες εταιρείες στον τομέα της βιοεκτύπωσης δεν είναι πάντοτε σύμφωνες με το δίκαιο.

Εκτός από την προώθηση καινοτόμων ιδεών, έρευνας και ανάπτυξης, η αποτελεσματική αναγνώριση της δυνατότητας εξασφάλισης δικαιωμάτων πνευματικής και βιομηχανικής ιδιοκτησίας για όλους όσους εμπλέκονται στον τομέα της τρισδιάστατης εκτύπωσης θα διασφαλίσει την ανάκτηση του κόστους των

επενδύσεων και την τεχνολογική πρόοδο, εξασφαλίζοντας την πρόσβαση στα αποτελέσματα της έρευνας.

6. Μελλοντική εξέλιξη

Η τεχνολογία της τρισδιάστατης εκτύπωσης μπορεί να εφαρμοστεί με διάφορους τρόπους και για ποικίλους σκοπούς, όπως η μελέτη, η έρευνα, η τεκμηρίωση, η διάγνωση, η επισκευή, η συντήρηση, η προστασία και η επικοινωνία. Η χρήση της ηλεκτρονικής και της τεχνολογίας των πληροφοριών έχει αυξηθεί τα τελευταία χρόνια, δημιουργώντας νέες ευκαιρίες στον κλάδο της προσθετικής κατασκευής. Αυτή η ανάπτυξη εργαλείων και διαδικασιών λειτουργεί παράλληλα με την εξάπλωση των τεχνολογικών ερευνητικών εργαλείων.

Τα τελευταία χρόνια η χρήση των οικιακών εκτυπωτών ολοένα και αυξάνεται. Πλέον ένας λιγότερο έμπειρος χρήστης μπορεί να εισέλθει στον κόσμο της τρισδιάστατης εκτύπωσης επιταχύνοντας την ανάπτυξή της για εμπορική χρήση. Η συγκεκριμένη τεχνική πρόοδος πρόκειται να αλλάξει τη φύση του εμπορίου, καθώς οι τελικοί χρήστες θα μπορούν να παράγουν ένα μεγάλο μέρος της παραγωγής μόνοι τους.

Συνάμα τα συστήματα όσο και τα εξαρτήματα που κατασκευάζονται έχουν θετικό αντίκτυπο στη διατήρηση πολύτιμων πόρων. Τα ενεργειακά αποδοτικά μηχανήματα παράγουν εξαρτήματα που εξοικονομούν σημαντικό όγκο πόρων και προάγουν τη βιώσιμη χρήση πρώτων υλών λόγω της σχεδιαστικής ελευθερίας, της λειτουργικής ολοκλήρωσης και της παραγωγής ελαφρών κατασκευών. Η απλοποίηση των σχεδίων και τα βελτιωμένα χαρακτηριστικά των υλικών έχουν ως αποτέλεσμα τη μείωση του πάχους των τοιχωμάτων των εξαρτημάτων χωρίς όμως να χάνεται η στιβαρότητά τους. Η εν λόγω μείωση του βάρους που επιτυγχάνεται με αυτήν την τεχνολογία, έχει ως αποτέλεσμα την εξοικονόμηση κατανάλωσης καυσίμου, στοχεύοντας κατ'επέκταση στην αειφόρο ανάπτυξη.

Επιπλέον στον τομέα της ιατρικής η συγκεκριμένη τεχνολογία έχει αξιοσημείωτο αντίκτυπο. Στο παρελθόν ήταν δυνατή η κατασκευή εξαρτημάτων όπως αρθρώσεις, τεχνητά μέλη και μέρη του κρανίου μόνο ως τυπικά προϊόντα. Λαμβάνοντας υπόψη την μοναδικότητα του ανθρώπινου σώματος, σήμερα η τεχνολογία της τρισδιάστατης εκτύπωσης έχει τη δυνατότητα να δημιουργήσει

προϊόντα προσαρμοσμένα στην ανατομία του κάθε ασθενούς ενθαρρύνοντας σημαντικά τη διαδικασία επούλωσης και συνεπώς τις πιθανότητες ανάρρωσης.

Η τρισδιάστατη εκτύπωση είναι ουσιαστικό μέρος του Industry 4.0, δηλαδή του όρου που περιγράφει την τεχνολογία και την παραγωγή στην εποχή της ψηφιακής επανάστασης. Όπως κάθε βιομηχανική επανάσταση, το τέταρτο στάδιο προκαλεί αλλαγές στον τομέα της εργασίας δημιουργώντας νέες ευκαιρίες. Η αποκοπή διαφόρων ενδιάμεσων σταδίων και η στροφή από το φυσικό ανθρώπινο δυναμικό στις ψηφιακές διαδικασίες, έχουν μακροπρόθεσμη επίδραση στις συνθήκες εργασίας μελλοντικά. Οι συγκεκριμένες αλλαγές προμηνύουν μείωση συγκεκριμένων τύπων εργασίας που σχετίζονται με τη συμβατική παραγωγή, δημιουργώντας όμως νέες θέσεις εργασίας στον ψηφιακό τομέα, στον τομέα της πληροφορικής, στο σχεδιασμό κ.τλ. Επίσης η συγκεκριμένη τεχνολογία καθιστά δυνατή τη δημιουργία εταιρειών χωρίς μεγάλες επενδύσεις, δίνοντας τη δυνατότητα σε ανθρώπους με καινοτόμες ιδέες να ξεκινήσουν μια επιχείρηση με σχετικά μικρό κεφαλαίο.

Σε γενική θεώρηση οι πιθανές εφαρμογές της τρισδιάστατη εκτύπωση είναι πρακτικά απεριόριστες. Η ενσωμάτωση της τρισδιάστατης εκτύπωσης τόσο σε υπάρχοντα όσο και σε μελλοντικά σενάρια παραγωγής είναι καταλύτης για τον καινοτόμο σχεδιασμό προϊόντων, το μάρκετινγκ και τη βιώσιμη χρήση των πόρων.

7. Συμπεράσματα

Η τρισδιάστατη εκτύπωση έχει εμφανιστεί από τα τέλη της δεκαετίας του 1980 και αποτελεί ουσιαστικά μία διαδικασία που μετατρέπει τα ψηφιακά δεδομένα σε απτά αντικείμενα. Με την πάροδο των ετών έχουν αναπτυχθεί αρκετές μέθοδοι για την κατασκευή τρισδιάστατων αντικειμένων. Στη σύγχρονη εποχή η τεχνολογία τρισδιάστατης εκτύπωσης έχει αλλάξει ραγδαία τη βιομηχανία για το σχεδιασμό, την ανάπτυξη και την κατασκευή νέων προϊόντων, παρέχοντας μεγάλη ελευθερία σχεδιασμού και μειώνοντας τη σπατάλη στην κατανάλωση περιττων υλικών.

Οι σύγχρονες βιομηχανίες χρησιμοποιούν ένα ευρύ φάσμα υλικών για να καλύψουν τις ανάγκες παραγωγής αλλά και του ευρύ κοινού. Τα υλικά που χρησιμοποιούνται ποικίλουν ενώ χρήζουν διαφορετικής μεταχείρισης αναλογα με το τελικό προϊόν κατασκευής και την τεχνική της τρισδιάστατης εκτύπωσης που χρησιμοποιείται. Η τρισδιάστατη εκτύπωση είναι σε θέση να παράγει ευέλικτα, ελαφριά και συγχρόνως σταθερά σχέδια, που χρησιμοποιούν την κατάλληλη ποσότητα ύλης για την κατασκευή του προϊόντος. Η διαδικασία αυτή φέρνει επανάσταση στις βιομηχανικές διαδικασίες παραγωγής και βοηθά στη δημιουργία νέων επιχειρηματικών μοντέλων.

Η εφαρμογή της συγκεκριμένη τεχνολογίας σε βιομηχανίες όπως π.χ. της αεροναυπηγικής, της αυτοκινητοβιομηχανίας, των τροφίμων, της ιατρικής, αλλά και στον τομέα της τέχνης έχει προωθήσει την έρευνα νέων τεχνικών κατασκευής, τον πειραματισμό και την υλοποίηση καινοτόμων ιδεών, τη μείωση της περιβαλλοντικής επιβάρυνσης και του χρόνου κατασκευής των προϊόντων.

Οι πρόσφατες βελτιώσεις της τεχνολογίας στην τρισδιάστατη εκτύπωση έχουν ως αποτέλεσμα την χρησιμοποίησή της και σε οικιακά περιβάλλοντα, δίνοντας τη δυνατότητα σε χρήστες με βασικές γνώσεις να σχεδιάσουν και να δημιουργήσουν αντικείμενα της αρεσκείας τους.

Στον τομέα της οικονομίας η ύπαρξη και εξέλιξη της εν λόγω τεχνολογίας έχει διττό χαρακτήρα, καθώς από την μία πλευρά αρκετά παραδοσιακά επαγγέλματα θα εξαφανιστούν, ενώ θα δημιουργηθούν αρκετές θέσεις εργασίες που αφορούν στην σχεδίαση, κατασκευή και παραγωγή προϊόντων.

Μελλοντικά είναι σίγουρο ότι η τρισδιάστατη εκτύπωση θα έχει ένα πρωταγωνιστικό ρόλο τόσο στην ανάπτυξη των βιομηχανιών όσο και στην εξέλιξη της κοινωνίας κάτι που θα προκαλέσει μεγάλες αλλαγές στον τρόπο αντίληψης και κατανόησης της δημιουργίας προϊόντων, εγείροντας ωστόσο αρκετά νομικά ζητήματα.

Βιβλιογραφία

Baldassarre, F., & Ricciardi, F. 2017. The additive manufacturing in the Industry 4.0 Era: the case of an Italian FabLab. *Journal of Emerging Trends in Marketing and Management*, 1(1), 105-115.

Bodhani, A. 2014. From computer to catwalk. *Engineering & Technology*, 12(9), 68-71.

Bogue, R. 2013. 3D printing: the dawn of a new era in manufacturing?. *Assembly Automation*.

Brady, G. S., Clauser, H. H., & Vaccari, J. A. 2002. *Materials handbook: an encyclopedia for managers, technical professionals, purchasing and production managers, technicians, and supervisors*. McGraw-Hill Education.

Camirero, M. A., Chacón, J. M., García-Moreno, I., & Rodríguez, G. P. 2018. Impact damage resistance of 3D printed continuous fibre reinforced thermoplastic composites using fused deposition modeling. *Composites Part B: Engineering*, 148, 93-103.

Campbell, T., Williams, C., Ivanova, O., & Garrett, B. 2011. Could 3D printing change the world. *Technologies, Potential, and Implications of Additive Manufacturing*, Atlantic Council, Washington, DC, 3.

Campbell, M. 2012. Absolutely fabricated: the sceptic's guide to 3D printing. *New Scientist*, 216(2895), 46-49.

Chakraborty, S., & Biswas, M. C. 2020. 3D printing technology of polymer-fiber composites in textile and fashion industry: A potential roadmap of concept to consumer. *Composite Structures*, 248, 112562.

Cheah, C. M., Chua, C. K., Lee, C. W., Feng, C., & Totong, K. 2005. Rapid prototyping and tooling techniques: a review of applications for rapid investment casting. *The International Journal of Advanced Manufacturing Technology*, 25(3), 308-320.

Cho, H. I. 2015. A Study about 3D printer classification and properties. In *Proceedings of the Korean Institute of Information and Communication Sciences Conference* (pp. 371-373). The Korea Institute of Information and Communication Engineering.

Chua, C. K., Leong, K. F., & Lim, C. S. 2010. *Rapid prototyping: principles and applications (with companion CD-ROM)*. World Scientific Publishing Company.

Cotteleer, M., Holdowsky, J., & Mahto, M. 2013. The 3D opportunity primer: The basics of additive manufacturing.

Cruz, F., Lanza, S., Boudaoud, H., Hoppe, S., & Camargo, M. (2015). Polymer Recycling and Additive Manufacturing in an Open Source context: Optimization of processes and methods. In *2015 International Solid Freeform Fabrication Symposium*. University of Texas at Austin.

Dankar, I., Pujolà, M., El Omar, F., Sepulcre, F., & Haddarah, A. 2018. Impact of mechanical and microstructural properties of potato puree-food additive complexes on extrusion-based 3D printing. *Food and Bioprocess Technology*, 11(11), 2021-2031.

d'Aveni, R. 2015. The 3-D printing revolution. *Harvard business review*, 93(5), 40-48.

Desai, D. R., & Magliocca, G. N. 2013. Patents, meet Napster: 3D printing and the digitization of things. *Geo. LJ*, 102, 1691.

Dilberoglu, U. M., Gharehpapagh, B., Yaman, U., & Dolen, M. 2017. The role of additive manufacturing in the era of industry 4.0. *Procedia Manufacturing*, 11, 545-554.

Dizon, J. R. C., Espera Jr, A. H., Chen, Q., & Advincula, R. C. (2018). Mechanical characterization of 3D-printed polymers. *Additive manufacturing*, 20, 44-67.

Dougherty, D. 2012. The maker movement. *Innovations: Technology, governance, globalization*, 7(3), 11-14.

Dudek, P. F. D. M. 2013. FDM 3D printing technology in manufacturing composite elements. *Archives of metallurgy and materials*, 58(4), 1415-1418.

Engstrom, N. F. 2013. 3-D printing and product liability: identifying the obstacles. *U. Pa. L. Rev. Online*, 162, 35.

Ferreira, T., Almeida, H. A., Bártolo, P. J., & Campbell, I. 2012. Additive manufacturing in jewellery design. In *Engineering Systems Design and Analysis* (Vol. 44878, pp. 187-194). American Society of Mechanical Engineers.

Foo, C. Y., Lim, H. N., Mahdi, M. A., Wahid, M. H., & Huang, N. M. 2018. Three-dimensional printed electrode and its novel applications in electronic devices. *Scientific reports*, 8(1), 1-11.

Frandsen, H. 2012. A Commercial Perspective on Open Source Hardware-An Interdisciplinary Law and Management Investigation of the Personal 3D Printing Industry. *Available at SSRN 2285055*.

Gebhardt, A. 2012. Understanding Additive Manufacturing Rapid Prototyping-Rapid Tooling-Rapid Manufacturing. Carl Hanser, München, 591.

Gibson, I., Rosen, D. W., Stucker, B., Khorasani, M., Rosen, D., Stucker, B., & Khorasani, M. 2021. *Additive manufacturing technologies* (Vol. 17). Cham, Switzerland: Springer.

Gmeiner, R., Deisinger, U., Schönherr, J., Lechner, B., Detsch, R., Boccaccini, A. R., & Stampfl, J. 2015. Additive manufacturing of bioactive glasses and silicate bioceramics. *J. Ceram. Sci. Technol*, 6(2), 75-86.

Gobble, M. M. 2013. The rise of the user-manufacturer. *Research-Technology Management*, 56(3), 64-67.

Goulas, A., & Friel, R. J. 2016. 3D printing with moon dust. *Rapid Prototyping Journal*.

Gupta, N., Weber, C., & Newsome, S. 2012. Additive manufacturing: status and opportunities. *Science and Technology Policy Institute, Washington*.

Hager, I., Golonka, A., & Putanowicz, R. 2016. 3D printing of buildings and building components as the future of sustainable construction?. *Procedia Engineering*, 151, 292-299.

Hao, W., Liu, Y., Zhou, H., Chen, H., & Fang, D. 2018. Preparation and characterization of 3D printed continuous carbon fiber reinforced thermosetting composites. *Polymer Testing*, 65, 29-34.

Hatch, M. 2014. *The maker movement manifesto: Rules for innovation in the new world of crafters, hackers, and tinkerers*. New York: McGraw-Hill Education.

Hitzler, L., Alifui-Segbaya, F., Williams, P., Heine, B., Heitzmann, M., Hall, W., ... & Öchsner, A. 2018. Additive manufacturing of cobalt-based dental alloys: analysis of

microstructure and physicomechanical properties. *Advances in materials science and engineering*, 2018.

Horst, D. J., Duvoisin, C. A., & de Almeida Vieira, R. 2018. Additive manufacturing at Industry 4.0: a review. *International journal of engineering and technical research*, 8(8), 264786.

Ianko, T., Panov, S., Sushchyns'ky, O., Pylypenko, M., & Dmytrenko, O. 2018. Zirconium alloy powders for manufacture of 3d printed articles used in nuclear power industry. *Вопросы атомной науки и техники*.

Joshi, S. C., & Sheikh, A. A. 2015. 3D printing in aerospace and its long-term sustainability. *Virtual and Physical Prototyping*, 10(4), 175-185.

Kelleher, K. (2017). Was 3D Printing Just a Passing Fad. *Time| Business*, June.

Knowlton, S., Onal, S., Yu, C. H., Zhao, J. J., & Tasoglu, S. 2015. Bioprinting for cancer research. *Trends in biotechnology*, 33(9), 504-513.

Kohli, R., & Melville, N. P. (2019). Digital innovation: A review and synthesis. *Information Systems Journal*, 29(1), 200-223.

Lee, J., Kim, H. C., Choi, J. W., & Lee, I. H. 2017. A review on 3D printed smart devices for 4D printing. *International Journal of Precision Engineering and Manufacturing-Green Technology*, 4(3), 373-383.

Lee, J. Y., An, J., & Chua, C. K. 2017b. Fundamentals and applications of 3D printing for novel materials. *Applied materials today*, 7, 120-133.

Lipson, H., & Kurman, M. 2013. *Fabricated: The new world of 3D printing*. John Wiley & Sons.

Liu, Z., Zhang, L., Yu, E., Ying, Z., Zhang, Y., Liu, X., & Eli, W. 2015. Modification of glass fiber surface and glass fiber reinforced polymer composites challenges and opportunities: from organic chemistry perspective. *Current organic chemistry*, 19(11), 991-1010.

Liu, Y., Hamid, Q., Snyder, J., Wang, C., & Sun, W. 2016. Evaluating fabrication feasibility and biomedical application potential of in situ 3D printing technology. *Rapid Prototyping Journal*, 22(6), 947-955.

Liu, Z., Zhang, M., Bhandari, B., & Wang, Y. 2017. 3D printing: Printing precision and application in food sector. *Trends in Food Science & Technology*, 69, 83-94.

Liu, L., Meng, Y., Dai, X., Chen, K., & Zhu, Y. 2019. 3D printing complex egg white protein objects: properties and optimization. *Food and Bioprocess Technology*, 12(2), 267-279.

Maghnani, R. 2015. An exploratory study: the impact of additive manufacturing on the automobile industry. *International Journal of Current Engineering and Technology*, 5(5), 1-4.

Matias, E., & Rao, B. 2015. 3D printing: On its historical evolution and the implications for business. In *2015 Portland International Conference on Management of Engineering and Technology (PICMET)* (pp. 551-558). IEEE.

McCue, T. 2012. Do It With Others - Maker Community Manifesto. <http://www.forbes.com/sites/tjmccue/2012/06/12/doi-it-with-others-maker-community-manifesto/>

Murr, L. E. 2016. Frontiers of 3D printing/additive manufacturing: from human organs to aircraft fabrication. *Journal of Materials Science & Technology*, 32(10), 987-995.

Owen, D., Hickey, J., Cusson, A., Ayeni, O. I., Rhoades, J., Deng, Y., ... & Zhang, J. 2018. 3D printing of ceramic components using a customized 3D ceramic printer. *Progress in additive manufacturing*, 3(1), 3-9.

Peacock, S. R. 2014. Why manufacturing matters: 3D printing, computer-aided designs, and the rise of end-user patent infringement. *William & Mary Law Review*, 55(5), 1933.

Pearce, J. (2013). Applications of open source 3-D printing on small farms. *Organic Farming*, 1(1), 19-35.

Petersen, E. E., & Pearce, J. (2017). Emergence of home manufacturing in the developed world: Return on investment for open-source 3-D printers. *Technologies*, 5(1), 7.

Petch, M. 2018. Audi gives update on use of SLM metal 3D printing for the automotive industry. *3D Printing Industry*.

Prinz, F. B., Atwood, C. L., Aubin, R. F., Beaman, J. J., Brown, R. L., Fussell, P. S., ... & Wozny, M. J. 1997. Rapid prototyping in Europe and Japan. *Center for Advanced Technology*, 102, 148.

Rayna, T., & Striukova, L. (2016). From rapid prototyping to home fabrication: How 3D printing is changing business model innovation. *Technological Forecasting and Social Change*, 102, 214-224. Rayna, T., & Striukova, L. (2016). From rapid prototyping to home fabrication: How 3D printing is changing business model innovation. *Technological Forecasting and Social Change*, 102, 214-224.

Rindfleisch, A., O'Hern, M., & Sachdev, V. (2017). The digital revolution, 3D printing, and innovation as data. *Journal of Product Innovation Management*, 34(5), 681-690.

Saengchairat, N., Tran, T., & Chua, C. K. 2017. A review: Additive manufacturing for active electronic components. *Virtual and Physical Prototyping*, 12(1), 31-46.

Sakin, M., & Kiroglu, Y. C. 2017. 3D Printing of Buildings: Construction of the Sustainable Houses of the Future by BIM. *Energy Procedia*, 134, 702-711.

Sathishkumar, T. P., Satheeshkumar, S., & Naveen, J. 2014. Glass fiber-reinforced polymer composites—a review. *Journal of reinforced plastics and composites*, 33(13), 1258-1275.

Singh, P., & Raghav, A. 2018. 3D food printing: a revolution in food technology. *Acta Scientific Nutritional Health*, 2(2), 11-12.

Sissons, A., & Thompson, S. 2012. Three Dimensional Policy. *Why Britain Needs a Policy Framework for 3D Printing*, The Work Foundation, Big Innovation Center, Lancaster University.

Sochol, R. D., Sweet, E., Glick, C. C., Venkatesh, S., Avetisyan, A., Ekman, K. F., ... & Lin, L. 2016. 3D printed microfluidic circuitry via multijet-based additive manufacturing. *Lab on a Chip*, 16(4), 668-678.

Sreehitha, V. 2017. Impact of 3D printing in automotive industry. *International Journal of Mechanical and Production Engineering*, 5(2), 91-94.

Tallman, S., Luo, Y., & Buckley, P. J. (2018). Business models in global competition. *Global Strategy Journal*, 8(4), 517-535.

Thiesse, F., Wirth, M., Kemper, H. G., Moisa, M., Morar, D., Lasi, H., ... & Minshall, T. (2015). Economic implications of additive manufacturing and the contribution of MIS. *Business & Information Systems Engineering*, 57(2), 139-148.

Tofail, S. A., Koumoulos, E. P., Bandyopadhyay, A., Bose, S., O'Donoghue, L., & Charitidis, C. 2018. Additive manufacturing: scientific and technological challenges, market uptake and opportunities. *Materials today*, 21(1), 22-37.

Trevisan, F., Calignano, F., Aversa, A., Marchese, G., Lombardi, M., Biamino, S., ... & Manfredi, D. 2018. Additive manufacturing of titanium alloys in the biomedical field: processes, properties and applications. *Journal of applied biomaterials & functional materials*, 16(2), 57-67.

Uriondo, A., Esperon-Miguez, M., & Perinpanayagam, S. 2015. The present and future of additive manufacturing in the aerospace sector: A review of important aspects. *Proceedings of the Institution of Mechanical Engineers, Part G: Journal of Aerospace Engineering*, 229(11), 2132-2147.

Ventola, C. L. 2014. Medical applications for 3D printing: current and projected uses. *Pharmacy and Therapeutics*, 39(10), 704.

Wang, X., Jiang, M., Zhou, Z., Gou, J., & Hui, D. 2017. 3D printing of polymer matrix composites: A review and prospective. *Composites Part B: Engineering*, 110, 442-458.

Wang, Y. C., Chen, T., & Yeh, Y. L. 2019. Advanced 3D printing technologies for the aircraft industry: a fuzzy systematic approach for assessing the critical factors. *The International Journal of Advanced Manufacturing Technology*, 105(10), 4059-4069.

Weinberg, M. 2010. It will be awesome if they don't screw it up. *Public Knowledge*.

Wittbrodt, B. T., Glover, A. G., Laureto, J., Anzalone, G. C., Oppliger, D., Irwin, J. L., & Pearce, J. M. (2013). Life-cycle economic analysis of distributed manufacturing with open-source 3-D printers. *Mechatronics*, 23(6), 713-726.

Wohlers, T., & Caffrey, T. 2013. Additive manufacturing: going mainstream. *Manufacturing Engineering*, 150(6), 67-73.

Wohlers, T., & Gornet, T. 2014. History of additive manufacturing. *Wohlers report*, 24(2014), 118.

Wong, K. V., & Hernandez, A. 2012. A review of additive manufacturing, *ISRN Mech. Eng*, 1, 1-10.

Yang, Y., Chen, Y., Wei, Y., & Li, Y. 2016. 3D printing of shape memory polymer for functional part fabrication. *The International Journal of Advanced Manufacturing Technology*, 84(9), 2079-2095.

Yamin, M., & Sinkovics, R. R. (2006). Online internationalisation, psychic distance reduction and the virtuality trap. *International Business Review*, 15(4), 339-360.

Yan, Q., Dong, H., Su, J., Han, J., Song, B., Wei, Q., & Shi, Y. 2018. A review of 3D printing technology for medical applications. *Engineering*, 4(5), 729-742.

Zocca, A., Lima, P., & Günster, J. 2017. LSD-based 3D printing of alumina ceramics. *Journal of ceramic science and technology*, 8(1), 141-148.