

# ΠΑΝΕΠΙΣΤΗΜΙΟ ΔΥΤΙΚΗΣ ΑΤΤΙΚΗΣ



## Σχολή Μηχανικών Τμήμα Μηχανικών Βιομηχανικής Σχεδίασης και Παραγωγής

Διπλωματική Εργασία

### Τίτλος

Industry 4.0 και νέες / προηγμένες τεχνολογίες για μια βιώσιμη ανάπτυξη  
και προστασία του περιβάλλοντος.  
Η περίπτωση της σχεδίασης και υλοποίησης μηχανικών φίλτρων με  
μικροπορώδες με τεχνικές 3D printing.

Όνοματεπώνυμο Καραμήτρος Χρήστος  
Α.Μ. 47581

Επιβλέπων Καθηγητής  
Νικόλαος Λάσκαρης



Αθήνα, Ιούλιος 2023

**UNIVERSITY OF WEST ATTICA**

**SCHOOL OF ENGINEERING  
DEPARTMENT OF INDUSTRIAL DESIGN AND  
PRODUCTION ENGINEERING**

Diploma Thesis

**Title**

Industry 4.0 and new / advanced technologies for sustainable development  
and environmental protection.

The case of the design and implementation of mechanical filters with  
microporosity using 3D printing techniques.

Full name Karamitros Christos  
Registration Number: 47581

Supervision:  
Nikolaos Laskaris

Athens, July 2023

**Μέλη Εξεταστικής Επιτροπής συμπεριλαμβανομένου και του  
Εισηγητή**

Η πτυχιακή/διπλωματική εργασία εξετάστηκε επιτυχώς από την κάτωθι  
Εξεταστική Επιτροπή:

<b>No</b>	<b>Όνοματεπώνυμο και Ιδιότητα</b>	<b>Ψηφιακή Υπογραφή</b>
1	Νικόλαος Λάσκαρης Επίκουρος Καθηγητής	
2	Ελένη Συμεωνάκη Μέλος Ε.Δ.Ι.Π.	
3	Χρήστος Δρόσος Μέλος Ε.Δ.Ι.Π.	

## ΔΗΛΩΣΗ ΣΥΓΓΡΑΦΕΑ ΠΤΥΧΙΑΚΗΣ/ΔΙΠΛΩΜΑΤΙΚΗΣ ΕΡΓΑΣΙΑΣ

Ο κάτωθι υπογεγραμμένος Καραμήτρος Χρήστος με αριθμό μητρώου 47581 φοιτητής του Πανεπιστημίου Δυτικής Αττικής της Σχολής Μηχανικών του Τμήματος Μηχανικών Βιομηχανικής Σχεδίασης και Παραγωγής, **δηλώνω υπεύθυνα** ότι:

«Είμαι συγγραφέας αυτής της πτυχιακής/διπλωματικής εργασίας και ότι κάθε βοήθεια την οποία είχα για την προετοιμασία της είναι πλήρως αναγνωρισμένη και αναφέρεται στην εργασία. Επίσης, οι όποιες πηγές από τις οποίες έκανα χρήση δεδομένων, ιδεών ή λέξεων, είτε ακριβώς είτε παραφρασμένες, αναφέρονται στο σύνολό τους, με πλήρη αναφορά στους συγγραφείς, τον εκδοτικό οίκο ή το περιοδικό, συμπεριλαμβανομένων και των πηγών που ενδεχομένως χρησιμοποιήθηκαν από το διαδίκτυο. Επίσης, βεβαιώνω ότι αυτή η εργασία έχει συγγραφεί από μένα αποκλειστικά και αποτελεί προϊόν πνευματικής ιδιοκτησίας τόσο δικής μου, όσο και του Ιδρύματος. Παράβαση της ανωτέρω ακαδημαϊκής μου ευθύνης αποτελεί ουσιώδη λόγο για την ανάκληση του πτυχίου μου».

Date 1/7/2023

Ο Δηλών



(υπογραφή)

Ονοματεπώνυμο  
Καραμήτρος Χρήστος

## Περιεχόμενα

Περίληψη :	.....
Abstract :	.....
Αναγνωρίσεις :	.....
Κεφάλαιο 1 Industry 4.0 :	.....
1.1. Διαδίκτυο των πραγμάτων (IoT):	.....
1.2 Τεχνητή νοημοσύνη (AI) και μηχανική μάθηση (ML):	.....
1.3 Ανάλυση μεγάλων δεδομένων:	.....
1.4 Ρομποτική και αυτοματισμοί:	.....
1.5 Προσθετική κατασκευή (τρισδιάστατη εκτύπωση):	.....
1.6 Κυβερνοασφάλεια:	.....
1.7 Επαυξημένη πραγματικότητα (AR) και εικονική πραγματικότητα (VR):	.....
Κεφάλαιο 2	.....
Εισαγωγή στην Τρισδιάστατη Εκτύπωση :	.....
2.1 Εισαγωγή :	.....
2.1.1 Τεχνολογίες εκτύπωσης :	.....
2.1.2 Σχεδιασμός και μοντελοποίηση:	.....
2.1.3 Υλικά :	.....
2.1.4 Μετεπεξεργασία:	.....
2.1.5 Εφαρμογές:	.....
2.2 Ιστορική αναδρομή :	.....
Προέλευση της τρισδιάστατης εκτύπωσης:	.....
2.2.1 Στερεολιθογραφία :	.....
2.2.2 Επιλεκτική πυροσυσσωμάτωση με λέιζερ (SLS) :	.....
2.2.3 Εξελίξεις στην τρισδιάστατη εκτύπωση :	.....
2.2.4 Επέκταση υλικών και πολύχρωμη εκτύπωση :	.....
2.2.5 Βιοεκτύπωση και μηχανική ιστών:	.....
2.2.6. Εκτύπωση μεγάλης κλίμακας και υψηλής ταχύτητας :	.....
2.3 Αξιοσημείωτες συνεισφορές και καινοτομίες :	.....
2.3.1. Ακαδημαϊκά και ερευνητικά ιδρύματα:	.....
2.3.2. Προτοβουλίες ανοικτού κώδικα:	.....
2.3.3. Τρέχουσες και μελλοντικές εφαρμογές:	.....
Κεφάλαιο 3	.....
Είδη και μέθοδοι προσθετικών κατασκευών :	.....

<b>3.1. Material extrusion :</b>	
<b>3.1.1 Διαδικασία :</b>	.....
<i>Εικόνα 1 : FDM process</i> .....	.....
<b>3.1.2 Εξώθηση υλικών βήμα προς βήμα :</b>	.....
<b>3.1.3 Παράδειγμα εκτυπωτή :</b>	.....
Πίνακας 1 :	.....
<i>Εικόνα 2 : Παράδειγμα FDM εκτυπωτή</i> .....	.....
<b>3.1.4 Πλεονεκτήματα :</b>	.....
<b>3.1.5 Μειονεκτήματα :</b>	.....
<b>3.2. Stereolithography :</b>	.....
<b>3.2.1. Διαδικασία :</b>	.....
<i>Εικόνα 3 : Stereolithography process</i> .....	.....
<b>3.2.2. Φωτοπολυμερισμός - Βήμα προς Βήμα :</b>	.....
<b>3.2.3. Παράδειγμα εκτυπωτή :</b>	.....
Πίνακας 2 :	.....
<i>Εικόνα 4 : Παράδειγμα SLA εκτυπωτών</i> .....	.....
<b>3.2.4. Πλεονεκτήματα:</b>	.....
<b>3.2.5. Μειονεκτήματα:</b>	.....
<b>3.3. Material Jetting (Εκτόξευση υλικού) :</b>	.....
<b>3.3.1. Διαδικασία :</b>	.....
<i>Εικόνα 5 Material Jetting process</i> .....	.....
<b>3.3.2. Εκτόξευση υλικού - Βήμα προς Βήμα :</b>	.....
<b>3.3.3. Παράδειγμα εκτυπωτή :</b>	.....
Πίνακας 3 :	.....
<i>Εικόνα 6 : Παράδειγμα Material Jetting εκτυπωτών</i> .....	.....
<b>3.3.4. Πλεονεκτήματα:</b>	.....
<b>3.3.5. Μειονεκτήματα:</b>	.....
<b>3.4. Powder Bed Fusion :</b>	.....
<b>3.4.1. Διαδικασία :</b>	.....
<i>Εικόνα 7 Powder Bed Fusion process</i> .....	.....
<b>3.4.2. Powder Bed Fusion- Βήμα προς βήμα :</b>	.....
<b>3.4.3. Παράδειγμα εκτυπωτή :</b>	.....
Πίνακας 4 :	.....
<i>Εικόνα 8 : Παράδειγμα Powder Bed Fusion εκτυπωτή</i> .....	.....
<b>3.4.4. Πλεονεκτήματα:</b>	.....
<b>3.4.5. Μειονεκτήματα:</b>	.....

<b>3.5 Binderjetting :</b>	.....
<b>3.5.1. Διαδικασία :</b>	.....
<i>Εικόνα 9 : Binder Jetting process.</i>	.....
<b>3.5.2. Binder Jetting–Βήμα προς Βήμα :</b>	.....
<b>3.5.3. Παράδειγμα εκτυπωτή :</b>	.....
Πίνακας 5 :	.....
<i>Εικόνα 10 : Παράδειγμα Powder Bed Fusion εκτυπωτή.</i>	.....
<b>3.5.4.Πλεονεκτήματα:</b>	.....
<b>3.5.5. Μειονεκτήματα:</b>	.....
<b>3.6 Sheet Lamination :</b>	.....
<b>3.6.1. Διαδικασία :</b>	.....
<i>Εικόνα 11 : Sheet Lamination process.</i>	.....
<b>3.6.2. Επικάλυψη φύλλων - Βήμα προς Βήμα :</b>	.....
<b>3.6.3. Παράδειγμα εκτυπωτή :</b>	.....
Πίνακας 6 :	.....
<i>Εικόνα 12 : Παράδειγμα Sheet Lamination εκτυπωτή.</i>	.....
<b>3.6.4. Πλεονεκτήματα:</b>	.....
<b>3.6.5. Μειονεκτήματα:</b>	.....
<b>3.7 Directed energy deposition :</b>	.....
<b>3.7.1. Διαδικασία :</b>	.....
<i>Εικόνα 13 : Directed Energy Deposition process.</i>	.....
<b>3.7.2. Άμεση εναπόθεση ενέργειας (D.E.D) - Βήμα προς βήμα:</b>	.....
<b>3.7.3. Παράδειγμα εκτυπωτή :</b>	.....
Πίνακας 7 :	.....
<i>Εικόνα 14 : Παράδειγμα Directed Energy Deposition εκτυπωτή.</i>	.....
<b>3.7.4. Πλεονεκτήματα:</b>	.....
<b>3.7.5. Μειονεκτήματα:</b>	.....
<b>Κεφάλαιο 4 Προγράμματα σχεδίασης με την βοήθεια ηλεκτρονικού υπολογιστή (Computer Aided Design) :</b>	.....
<b>4.1.Εισαγωγή :</b>	.....
<b>4.2.Είδη/Τρόποι τρισδιάστατης σχεδίασης :</b>	.....
<b>4.2.1. Μοντελοποίηση Στερεών (Solid Modeling) :</b>	.....
<i>Εικόνα 15 : Solid Modeling.</i>	.....
<b>4.2.2. Μοντελοποίηση συρματοπλέγματος (Wireframe Modeling):</b>	.....
<i>Εικόνα 16 : Wireframe Modeling.</i>	.....

<b>4.2.3. Μοντελοποίηση Επιφανειών (Surface Modeling) :</b>	.....
<i>Εικόνα 17 : Surface Modeling.</i>	.....
<b>4.3. Προγράμματα C.A.D (Πλεονεκτήματα/Μειονεκτήματα) :</b>	.....
<b>4.4. Slicers :</b>	.....
<b>Κεφάλαιο 5</b>	.....
<b>Υλικά στην Προσθετική Κατεργασία (Additive Manumafuring) :</b>	.....
<b>5.1. Εισαγωγή :</b>	.....
<b>5.2. PolyLacticAcid :</b>	.....
<b>5.2.1. Μηχανικές ιδιότητες PLA:</b>	.....
<b>5.2.2. Εφαρμογές PLA:</b>	.....
<b>5.2.3. Πλεονεκτήματα PLA :</b>	.....
<b>5.2.4. Μειονεκτήματα PLA :</b>	.....
<b>5.3. Φωτοπολυμερή :</b>	.....
<b>5.3.1. Μηχανικές ιδιότητες Φωτοπολυμερών:</b>	.....
<b>5.3.2. Εφαρμογές Φωτοπολυμερών :</b>	.....
<b>5.3.4. Πλεονεκτήματα Φωτοπολυμερών :</b>	.....
<b>5.3.5. Μειονεκτήματα Φωτοπολυμερών :</b>	.....
<b>5.4. Μέταλλα και κράματα:</b>	.....
<b>5.4.1. Μηχανικές Ιδιότητες :</b>	.....
<b>5.4.2. Εφαρμογές Μετάλλων :</b>	.....
<b>5.4.3. Πλεονεκτήματα Μετάλλων :</b>	.....
<b>5.4.4. Μειονεκτήματα Μετάλλων :</b>	.....
<b>5.5. Κεραμικά υλικά :</b>	.....
<b>5.5.1. Μηχανικές ιδιότητες κεραμικών υλικών :</b>	.....
<b>5.5.2. Εφαρμογές κεραμικών υλικών :</b>	.....
<b>5.5.3. Πλεονεκτήματα κεραμικών υλικών :</b>	.....
<b>5.5.4. Μειονεκτήματα κεραμικών υλικών :</b>	.....
<b>Κεφάλαιο 6 Μικροπορώδη υλικά :</b>	.....
<i>Εικόνα 18 : Δομές μικροπορώδων υλικών.</i>	.....
<b>6.1. Εισαγωγή:</b>	.....
<b>6.2. Δομή των μικροπορώδων και κατηγοριοποίηση :</b>	.....
<b>6.2.1. Ζεόλιθοι:</b>	.....
<b>6.2.2. Μεταλλο-οργανικά πλαίσια (MOFs):</b>	.....
<b>6.2.3. Ομοιοπολικά οργανικά πλαίσια (COFs):</b>	.....
<b>6.2.4. Άλλα μικροπορώδη υλικά:</b>	.....



6.3. Σύνθεση και χαρακτηρισμός: .....	
6.3.1. Μέθοδοι σύνθεσης: .....	
6.3.2. Τεχνικές χαρακτηρισμού: .....	
6.4. Ιδιότητες και εφαρμογές: .....	
6.4.1. Υψηλή επιφάνεια και πορώδες: .....	
6.4.2. Αποθήκευση και διαχωρισμός αερίου: .....	
6.4.3. Κατάλυση και χημικοί μετασχηματισμοί: .....	
6.4.4. Αποθήκευση και μετατροπή ενέργειας: .....	
6.4.5. Περιβαλλοντικές εφαρμογές : .....	
6.5. Συμπέρασμα: .....	
<b>Κεφάλαιο 7 Η περίπτωση της σχεδίασης και υλοποίησης μηχανικών φίλτρων με τεχνικές 3D printing. ....</b>	
Πίνακας 8 : .....	
7.1 Στάδια σχεδίασης : .....	
<b>Κεφάλαιο 8 Συμπεράσματα, Περιορισμοί και Μελλοντική Εργασία. ....</b>	
<b>Κεφάλαιο 9 Κατάλογος Αναφορών : .....</b>	

Περιεχόμενα πινάκων και σχημάτων :

Εικόνα 1 : FDM process. 23

Πίνακας 1 : .24

Εικόνα 2 : Παράδειγμα FDM εκτυπωτή.24

Εικόνα 3 : Stereolithography process. 27

Πίνακας 2 .29

Εικόνα 4 : Παράδειγμα SLA εκτυπωτών. 29

Εικόνα 5 Material Jetting process.32

Πίνακας 3 .33

Εικόνα 6 : Παράδειγμα Material Jetting εκτυπωτών. 33

Εικόνα 7 Powder Bed Fusion process.36

Πίνακας 4 .37

Εικόνα 8 : Παράδειγμα Powder Bed Fusion εκτυπωτή.37

Εικόνα 9 : Binder Jetting process.40

Πίνακας 5 .41

Εικόνα 10 : Παράδειγμα Powder Bed Fusion εκτυπωτή.41

Εικόνα 11 : Sheet Lamination process.44

Πίνακας 6 .45

Εικόνα 12 : Παράδειγμα Sheet Lamination εκτυπωτή.45

Εικόνα 13 : Directed Energy Deposition process.48

Πίνακας 7 .49

Εικόνα 14 : Παράδειγμα Directed Energy Deposition εκτυπωτή.49

Εικόνα 15 : Solid Modeling.52

Εικόνα 16 : Wireframe Modeling.53

Εικόνα 17 : Surface Modeling. 55

Εικόνα 18 : Δομές μικροπορώδων υλικών.80

Πίνακας 8 .84

## Περίληψη :

Η παρούσα διατριβή έχει στόχο την διερεύνηση καθώς και τη διασταύρωση της Industry 4.0 και των προηγμένων τεχνολογιών στην επίτευξη των στόχων της βιώσιμης ανάπτυξης και της προστασίας του περιβάλλοντος. Η μελέτη επικεντρώνεται κυρίως στο σχεδιασμό και την υλοποίηση μηχανικών φίλτρων με μικροπορώδεις δομές με τη χρήση τεχνικών τρισδιάστατης εκτύπωσης.

Το πρώτο μέρος της διατριβής παρέχει μια εμπειριστατωμένη ανάλυση της Industry 4.0 και των επιπτώσεών της σε διάφορες βιομηχανίες, ενώ παράλληλα εμβαθύνει στην έννοια της τρισδιάστατης εκτύπωσης και τις εφαρμογές της στην ανάπτυξη μικροπορωδών μηχανικών φίλτρων. Διερευνά τις θεμελιώδεις αρχές της τρισδιάστατης εκτύπωσης, συμπεριλαμβανομένων των διαφόρων τεχνικών εκτύπωσης, της επιλογής κατάλληλων υλικών και των επιμέρους μηχανικών τους ιδιοτήτων καθώς και των σχεδιαστικών εκτιμήσεων για τις μικροπορώδεις δομές. Συζητούνται τα πλεονεκτήματα της τρισδιάστατης εκτύπωσης όσον αφορά την εξατομίκευση, την ταχεία πρωτοτυποποίηση και τη μειωμένη σπατάλη υλικών, τονίζοντας τη σημασία τους στις βιώσιμες κατασκευαστικές πρακτικές.

Ο πυρήνας της έρευνας περιστρέφεται γύρω από τον σχεδιασμό και την υλοποίηση μικροπορωδών μηχανικών φίλτρων με τη χρήση τεχνικών τρισδιάστατης εκτύπωσης. Η διατριβή διερευνά τη βελτιστοποίηση των γεωμετριών των φίλτρων, την επιλογή υλικών και τις διαδικασίες κατασκευής για την επίτευξη υψηλής απόδοσης διήθησης, χαμηλής πτώσης πίεσης και μακροχρόνιας διάρκειας ζωής. Πραγματοποιούνται πειραματικές μελέτες και προσομοιώσεις για την αξιολόγηση της απόδοσης των τρισδιάστατα εκτυπωμένων φίλτρων στην απομάκρυνση σωματιδίων και ρύπων από τον αέρα και τις πηγές νερού.

Εν κατακλείδι, η παρούσα διατριβή συμβάλλει στο σύνολο των γνώσεων διερευνώντας την ενσωμάτωση του Industry 4.0 και συγκεκριμένα της τεχνολογίας της τρισδιάστατης εκτύπωσης για τη βιώσιμη ανάπτυξη και την προστασία του περιβάλλοντος. Η μελέτη περίπτωσης του σχεδιασμού και της υλοποίησης μικροπορωδών μηχανικών φίλτρων με τη χρήση τεχνικών τρισδιάστατης εκτύπωσης καταδεικνύει τις δυνατότητες αυτών των τεχνολογιών για την επίτευξη αποδοτικών συστημάτων φιλτραρίσματος με μειωμένο περιβαλλοντικό αποτύπωμα. Τα ευρήματα αυτής της έρευνας έχουν επιπτώσεις για τις

βιομηχανίες που στοχεύουν στην υιοθέτηση προηγμένων τεχνολογιών στις κατασκευαστικές τους διαδικασίες, δίνοντας παράλληλα προτεραιότητα στη βιωσιμότητα και τη διατήρηση του περιβάλλοντος.

### Abstract :

This thesis aims to investigate as well as the intersection of Industry 4.0 and advanced technologies in achieving the goals of sustainable development and environmental protection. The study focuses mainly on the design and implementation of mechanical filters with microporous structures using 3D printing techniques.

The first part of the thesis provides an in-depth analysis of Industry 4.0 and its impact on various industries, while also delving into the concept of 3D printing and its applications in the development of microporous mechanical filters. Explores the fundamentals of 3D printing, including various printing techniques, selection of appropriate materials and their individual mechanical properties, and design considerations for microporous structures. The advantages of 3D printing in terms of customization, rapid prototyping and reduced material waste are discussed, highlighting their importance in sustainable manufacturing practices.

The core of the research revolves around the design and implementation of microporous mechanical filters using 3D printing techniques. The thesis investigates the optimization of filter geometries, material selection and manufacturing processes to achieve high filtration efficiency, low pressure drop and long lifetime. Experimental studies and simulations are performed to evaluate the performance of 3D printed filters in removing particles and pollutants from air and water sources.

In conclusion, this thesis contributes to the body of knowledge by exploring the integration of Industry 4.0 and specifically 3D printing technology for sustainable development and environmental protection. The case study of the design and implementation of microporous mechanical filters using 3D printing techniques demonstrates the potential of these technologies to achieve efficient filtration systems with a reduced environmental footprint. The findings of this research have implications for industries aiming to adopt advanced technologies in their manufacturing processes while prioritizing sustainability and environmental conservation.

## Αναγνωρίσεις :

Αρχικά, θα ήθελα να εκφράσω τις ειλικρινείς ευχαριστίες μου στον κύριο επιβλέποντα Λάσκαρη Νικόλαο για τη συνεχή υποστήριξη της διπλωματικής μου διατριβής και για την υπομονή καθώς και για τα κίνητρα που μου έδωσε. Με τις διαρκείς συζητήσεις, ο Καθηγητής Λάσκαρης Νικόλαος με βοήθησε να καταλάβω ποια βήματα έπρεπε να ακολουθήσω για να ολοκληρώσω με επιτυχία τη διατριβή μου, ενώ μέσω των διορατικών σχόλιων και των δύσκολων ερωτήσεων του Καθηγητή διεύρυνα την έρευνά μου από διάφορες οπτικές γωνίες.

Θα ήθελα επίσης να εκφράσω τη βαθύτατη εκτίμηση στους συναδέλφους μου που διάβασαν και σχολίασαν τη διατριβή μου.

Ευχαριστώ τους γονείς μου που με στήριξαν πνευματικά και οικονομικά για την ολοκλήρωση της διπλωματικής μου διατριβής. Επίσης τους φίλους μου και την αδερφή μου Κατερίνα για την υπομονή, την ενθάρρυνση και την υποστήριξη κατά τις δύσκολες στιγμές της υλοποίησης αυτού του έργου.

## Κεφάλαιο 1

### Industry 4.0 :

Η βιομηχανία 4.0, γνωστή και ως τέταρτη βιομηχανική επανάσταση, αντιπροσωπεύει την ενσωμάτωση προηγμένων τεχνολογιών στις βιομηχανικές διαδικασίες για τη δημιουργία έξυπνων, διασυνδεδεμένων συστημάτων. Οι τεχνολογίες αυτές επιτρέπουν την ψηφιοποίηση, την αυτοματοποίηση και τη βελτιστοποίηση διαφόρων πτυχών της παραγωγής και έχουν τη δυνατότητα να φέρουν επανάσταση στις βιομηχανικές λειτουργίες. Εδώ, θα συζητήσουμε ορισμένες βασικές τεχνολογίες της Βιομηχανίας 4.0 και τις εφαρμογές τους:

#### 1.1. Διαδίκτυο των πραγμάτων (IoT):

Το IoT περιλαμβάνει τη σύνδεση φυσικών συσκευών και αντικειμένων στο διαδίκτυο, επιτρέποντας την ανταλλαγή δεδομένων και την επικοινωνία μεταξύ τους.

Εφαρμογές: IoT διευκολύνει την παρακολούθηση και τον έλεγχο των διαδικασιών παραγωγής σε πραγματικό χρόνο, την προγνωστική συντήρηση των μηχανημάτων, τη διαχείριση αποθεμάτων, τη βελτιστοποίηση της εφοδιαστικής αλυσίδας και την έξυπνη παρακολούθηση των προϊόντων σε όλο τον κύκλο παραγωγής.

#### 1.2 Τεχνητή νοημοσύνη (AI) και μηχανική μάθηση (ML):

Οι τεχνολογίες AI και ML επιτρέπουν στις μηχανές και τα συστήματα να μαθαίνουν από δεδομένα, να λαμβάνουν έξυπνες αποφάσεις και να εκτελούν εργασίες χωρίς ρητό προγραμματισμό.

Εφαρμογές: Οι αλγόριθμοι AI και ML χρησιμοποιούνται για τον ποιοτικό έλεγχο, την προγνωστική ανάλυση, την πρόβλεψη της ζήτησης, τη βελτιστοποίηση της παραγωγής, τα αυτόνομα ρομπότ και τα ευφυή συστήματα υποστήριξης αποφάσεων στη μεταποίηση.

#### 1.3 Ανάλυση μεγάλων δεδομένων:

Η ανάλυση μεγάλων δεδομένων περιλαμβάνει την επεξεργασία και την ανάλυση μεγάλων όγκων δεδομένων για την εξαγωγή σημαντικών πληροφοριών και προτύπων.

Εφαρμογές: Η ανάλυση μεγάλων δεδομένων χρησιμοποιείται για τη βελτιστοποίηση διαδικασιών, τον έλεγχο ποιότητας, την προγνωστική συντήρηση, τη διαχείριση της αλυσίδας εφοδιασμού και την παρακολούθηση της απόδοσης σε πραγματικό χρόνο. Βοηθά στον εντοπισμό αναποτελεσματικότητας, στη βελτίωση της παραγωγικότητας και στη λήψη αποφάσεων βάσει δεδομένων.

### 1.4 Ρομποτική και αυτοματισμοί:

Οι τεχνολογίες ρομποτικής και αυτοματισμού περιλαμβάνουν τη χρήση ρομποτικών συστημάτων και αυτοματοποιημένων διαδικασιών για την εκτέλεση επαναλαμβανόμενων εργασιών, τη βελτίωση της ακρίβειας και την αύξηση της παραγωγικότητας.

Εφαρμογές: Τα βιομηχανικά ρομπότ χρησιμοποιούνται για τη συναρμολόγηση, το χειρισμό υλικών, τη συγκόλληση και τη συσκευασία. Τα αυτοματοποιημένα συστήματα βελτιώνουν την αποδοτικότητα, μειώνουν τα σφάλματα και επιτρέπουν την παραγωγή χωρίς φως σε τομείς όπως οι γραμμές συναρμολόγησης, τα logistics και οι λειτουργίες αποθήκης.

### 1.5 Προσθετική κατασκευή (τρισδιάστατη εκτύπωση):

Η προσθετική κατασκευή αναφέρεται στη διαδικασία κατασκευής τρισδιάστατων αντικειμένων στρώμα προς στρώμα, επιτρέποντας πολύπλοκες γεωμετρίες και προσαρμογή.

Εφαρμογές: Η τρισδιάστατη εκτύπωση χρησιμοποιείται για την ταχεία κατασκευή πρωτοτύπων, την κατασκευή εξατομικευμένων προϊόντων, την κατασκευή εργαλείων, την παραγωγή ανταλλακτικών και την κατασκευή ιατρικών συσκευών. Επιτρέπει μειωμένους χρόνους παράδοσης, ευελιξία σχεδιασμού και οικονομικά αποδοτική παραγωγή.

### 1.6 Κυβερνοασφάλεια:

Η κυβερνοασφάλεια επικεντρώνεται στην προστασία των συστημάτων υπολογιστών, των δικτύων και των δεδομένων από μη εξουσιοδοτημένη πρόσβαση, επιθέσεις και παραβιάσεις δεδομένων.

Εφαρμογές: Με την αυξημένη συνδεσιμότητα, η κυβερνοασφάλεια είναι ζωτικής σημασίας για τη διαφύλαξη ευαίσθητων δεδομένων, τη διασφάλιση της ακεραιότητας των συστημάτων παραγωγής, την προστασία της πνευματικής ιδιοκτησίας και την αποτροπή διακοπής των λειτουργιών στο ψηφιοποιημένο περιβάλλον παραγωγής.

### 1.7 Επαυξημένη πραγματικότητα (AR) και εικονική πραγματικότητα (VR):

Οι τεχνολογίες AR και VR επικαλύπτουν εικονικές πληροφορίες στον πραγματικό κόσμο ή δημιουργούν καθηλωτικά προσομοιωμένα περιβάλλοντα.

Εφαρμογές: AR και VR χρησιμοποιούνται για απομακρυσμένη βοήθεια, εικονική εκπαίδευση, προσομοίωση, ψηφιακή απεικόνιση διαδικασιών παραγωγής και εργονομικές αξιολογήσεις. Βελτιώνουν την παραγωγικότητα των εργαζομένων, μειώνουν τα σφάλματα και ενισχύουν την αποτελεσματικότητα του σχεδιασμού και της παραγωγής.

Αυτές οι τεχνολογίες της Βιομηχανίας 4.0 δεν περιορίζονται στις προαναφερθείσες εφαρμογές. Εξελίσσονται συνεχώς και βρίσκουν νέες περιπτώσεις χρήσης σε όλους τους κλάδους, όπως η αυτοκινητοβιομηχανία, η αεροδιαστημική, η ηλεκτρονική, η υγειονομική περίθαλψη και η ενέργεια. Η ενσωμάτωση αυτών των τεχνολογιών επιτρέπει την αύξηση της αποδοτικότητας, της παραγωγικότητας, της ευελιξίας και της βιωσιμότητας στις βιομηχανικές λειτουργίες, ανοίγοντας το δρόμο για τα εργοστάσια του μέλλοντος.

## Κεφάλαιο 2

### Εισαγωγή στην Τρισδιάστατη Εκτύπωση :

#### 2.1 Εισαγωγή :

Η τρισδιάστατη εκτύπωση (3DPrinting), γνωστή και ως προσθετική κατασκευασία (AdditiveManufacturing), είναι μία επαναστατική τεχνολογία κατασκευής που επιτρέπει τη δημιουργία τρισδιάστατων αντικειμένων με την προσθήκη υλικού στρώμα προς στρώμα. Επιτρέπει την παραγωγή πολύπλοκων γεωμετριών, προσαρμοσμένων σχεδίων και λειτουργικών πρωτοτύπων με μεγάλη ακρίβεια. Η τρισδιάστατη εκτύπωση έχει συγκεντρώσει σημαντική προσοχή σε διάφορους κλάδους λόγω της ευελιξίας, της αποδοτικότητας και της δυνατότητας μετασχηματισμού των παραδοσιακών διαδικασιών κατασκευής. Η τεχνολογία αυτή περιλαμβάνει διάφορα βασικά στοιχεία και διαδικασίες που συμβάλλουν στον επιστημονικό και τυπικό χαρακτήρα της. Αναφορικά οι εν λόγω διαδικασίες και τα στοιχεία μπορούν να περιγραφούν ως εξής :

#### 2.1.1 Τεχνολογίες εκτύπωσης :

Στερεολιθογραφία (SLA): Αυτή η τεχνική χρησιμοποιεί μια υγρή ρητίνη που σκληραίνεται επιλεκτικά από ένα λέιζερ υπεριώδους ακτινοβολίας για να σχηματίσει κάθε στρώμα του αντικειμένου.

Επιλεκτική πυροσυσσωμάτωση με λέιζερ (SLS): Η SLS χρησιμοποιεί ένα λέιζερ για την επιλεκτική σύντηξη κονιοποιημένου υλικού, συνήθως πολυμερών ή μετάλλων, στρώμα προς στρώμα.

Μοντελοποίηση σύντηξης με εναπόθεση (FDM): Το FDM χρησιμοποιεί ένα θερμαινόμενο ακροφύσιο για την εξώθηση και την εναπόθεση θερμοπλαστικών υλικών στρώμα προς στρώμα.

Εκτόξευση συνδετικού υλικού: Στην εκτόξευση συνδετικού υλικού, ένας υγρός συνδετικός παράγοντας εναποτίθεται επιλεκτικά σε ένα στρώμα κονιοποιημένου υλικού για να δεσμεύσει τα σωματίδια μεταξύ τους.

Άμεση πυροσυσσωμάτωση με λέιζερ μετάλλων (DMLS): Η DMLS περιλαμβάνει τη χρήση λέιζερ για την επιλεκτική τήξη και τήξη μεταλλικών σκονών για τη δημιουργίαμεταλλικών εξαρτημάτων.



### 2.1.2 Σχεδιασμός και μοντελοποίηση:

Σχεδιασμός με τη βοήθεια υπολογιστή (CAD): Η τρισδιάστατη εκτύπωση ξεκινά με τη δημιουργία ενός ψηφιακού μοντέλου με τη χρήση λογισμικού CAD. Αυτό επιτρέπει τον ακριβή σχεδιασμό και την προσαρμογή των αντικειμένων.

Μορφή αρχείου STL: Το μοντέλο CAD μετατρέπεται συνήθως σε μορφή αρχείου STL (Standard Tessellation Language), το οποίο αναπαριστά το αντικείμενο ως συλλογή τριγωνικών όψεων.

### 2.1.3 Υλικά :

Πολυμερή: Τα κοινά πολυμερή υλικά που χρησιμοποιούνται στην τρισδιάστατη εκτύπωση περιλαμβάνουν ABS, PLA, νάilon και πολυκαρβονικό. Προσφέρουν ένα ευρύ φάσμα μηχανικών και χημικών ιδιοτήτων.

Μέταλλα: Μέταλλα όπως το τιτάνιο, το αλουμίνιο, ο ανοξείδωτος χάλυβας και το κοβάλτιο-χρώμιο μπορούν να εκτυπωθούν τρισδιάστατα. Οι μεταλλικές σκόνες συγχωνεύονται επιλεκτικά για τη δημιουργία πλήρως πυκνών μεταλλικών εξαρτημάτων.

Κεραμικά: Κεραμικά υλικά όπως η αλουμίνα, η ζirkονία και ο υδροξυαπατίτης μπορούν να χρησιμοποιηθούν για τρισδιάστατη εκτύπωση. Τα κεραμικά εξαρτήματα σχηματίζονται συνήθως μέσω της ενοποίησης κεραμικών σκονών.

### 2.1.4 Μετεπεξεργασία:

Αφαίρεση στήριξης: Σε πολλές διαδικασίες τρισδιάστατης εκτύπωσης, εκτυπώνονται δομές υποστήριξης παράλληλα με το αντικείμενο για να στηρίξουν τα προεξέχοντα χαρακτηριστικά. Αυτά τα στηρίγματα πρέπει να αφαιρεθούν χειροκίνητα ή μηχανικά μετά την εκτύπωση.

Φινίρισμα της επιφάνειας: Ανάλογα με την επιθυμητή ποιότητα της επιφάνειας, τα τρισδιάστατα εκτυπωμένα αντικείμενα μπορεί να υποβληθούν σε πρόσθετες διεργασίες όπως λείανση, στίλβωση ή επίστρωση για να επιτευχθεί η επιθυμητή αισθητική και λειτουργικότητα.

Θερμική επεξεργασία: Ορισμένα υλικά, ιδίως μέταλλα, μπορεί να απαιτούν διαδικασίες θερμικής επεξεργασίας, όπως ανόπτηση ή ανακούφιση από τις τάσεις, για να βελτιώσουν τις μηχανικές τους ιδιότητες.

### 2.1.5 Εφαρμογές:

Πρωτοτυποποίηση: Η τρισδιάστατη εκτύπωση επιτρέπει την ταχεία και οικονομικά αποδοτική κατασκευή πρωτοτύπων, επιτρέποντας γρήγορες επαναλήψεις του σχεδιασμού και επικύρωση του προϊόντος πριν από τη μαζική παραγωγή.

Προσαρμογή: Η δυνατότητα δημιουργίας μοναδικών σχεδίων και εξατομικευμένων προϊόντων καθιστά την τρισδιάστατη εκτύπωση κατάλληλη για εξατομικευμένα ιατρικά εμφυτεύματα, οδοντιατρική προσθετική και καταναλωτικά αγαθά.

Παραγωγή: Η τρισδιάστατη εκτύπωση χρησιμοποιείται όλο και περισσότερο για την κατασκευή εξαρτημάτων, ανταλλακτικών και εργαλείων μικρής κλίμακας. Προσφέρει παραγωγή κατά παραγγελία, μειωμένα αποθέματα και απλούστευση της αλυσίδας εφοδιασμού.

Εκπαίδευση και έρευνα: Η τρισδιάστατη εκτύπωση έχει γίνει πολύτιμο εργαλείο στην εκπαίδευση, παρέχοντας πρακτικές μαθησιακές εμπειρίες και διευκολύνοντας την έρευνα σε διάφορους τομείς, όπως η μηχανική, η ιατρική και ο σχεδιασμός.

## 2.2 Ιστορική αναδρομή :

Η έννοια της τρισδιάστατης εκτύπωσης προέκυψε από την επιθυμία να αναπτυχθεί μια μέθοδος κατασκευής που θα μπορούσε να κατασκευάζει αντικείμενα στρώμα προς στρώμα, απευθείας από ψηφιακά σχέδια. Η προσέγγιση αυτή έθεσε υπό αμφισβήτηση τις παραδοσιακές τεχνικές αφαιρετικής κατασκευής και άνοιξε νέες δυνατότητες για προσαρμογή, ταχεία πρωτοτυποποίηση και σύνθετες γεωμετρίες.

## Προέλευση της τρισδιάστατης εκτύπωσης:

### 2.2.1 Στερεολιθογραφία :

Στις αρχές της δεκαετίας του 1980, ο Charles W. Hull εφηύρε τη στερεολιθογραφία, την πρώτη τεχνική τρισδιάστατης εκτύπωσης. Περιελάμβανε τη χρήση ενός λέιζερ υπεριώδους ακτινοβολίας για την επιλεκτική σκλήρυνση ενός υγρού φωτοπολυμερούς, στρώμα προς στρώμα, για τη δημιουργία στερεών αντικειμένων.

### 2.2.2 Επιλεκτική πυροσυσσωμάτωση με λέιζερ (SLS) :

Στα μέσα της δεκαετίας του 1980, ο Carl Deckard και ο Joseph Beaman ανέπτυξαν την επιλεκτική πυροσυσσωμάτωση με λέιζερ, η οποία συνένωσε υλικά σε σκόνη με τη χρήση λέιζερ για τη δημιουργία στερεών δομών. Η τεχνική αυτή άνοιξε το δρόμο για την εκτύπωση με ένα ευρύτερο φάσμα υλικών, συμπεριλαμβανομένων πολυμερών και μετάλλων.

### 2.2.3 Εξελίξεις στην τρισδιάστατη εκτύπωση :

Στη δεκαετία του 1990, η 3D Systems Corporation, που ιδρύθηκε από τον Charles W. Hull, παρουσίασε τους πρώτους εμπορικούς τρισδιάστατους εκτυπωτές, καθιστώντας την τεχνολογία πιο προσιτή για επιχειρήσεις και ερευνητικά ιδρύματα. Οι βιομηχανικές εφαρμογές, όπως η ταχεία κατασκευή πρωτοτύπων, απέκτησαν δυναμική.

#### 2.2.4 Επέκταση υλικών και πολύχρωμη εκτύπωση :

Καθώς ο τομέας εξελισσόταν, νέα υλικά έγιναν διαθέσιμα για τρισδιάστατη εκτύπωση, συμπεριλαμβανομένων των θερμοπλαστικών, των κεραμικών και των μετάλλων. Επιπλέον, οι εξελίξεις στην τεχνολογία εκτύπωσης μελανιού επέτρεψαν την εκτύπωση αντικειμένων σε πολλαπλά χρώματα και με λεπτότερες λεπτομέρειες.

#### 2.2.5 Βιοεκτύπωση και μηχανική ιστών:

Εμφανίστηκε ο τομέας της βιοεκτύπωσης, συνδυάζοντας την τρισδιάστατη εκτύπωση με τη βιολογία και την ιατρική. Οι ερευνητές άρχισαν να εκτυπώνουν βιολογικά υλικά, όπως ζωντανά κύτταρα και βιοϋλικά, για εφαρμογές στη μηχανική ιστών, την αναγεννητική ιατρική και τη δοκιμή φαρμάκων.

#### 2.2.6. Εκτύπωση μεγάλης κλίμακας και υψηλής ταχύτητας :

Με τη ζήτηση για μεγαλύτερες και ταχύτερες εκτυπώσεις, οι εξελίξεις στην τεχνολογία τρισδιάστατης εκτύπωσης επέτρεψαν την παραγωγή αντικειμένων σε μεγαλύτερη κλίμακα και με αυξημένες ταχύτητες εκτύπωσης. Αυτό διευκόλυνε τις εφαρμογές στην αρχιτεκτονική, την αυτοκινητοβιομηχανία και την αεροδιαστημική βιομηχανία.

### 2.3 Αξιοσημείωτες συνεισφορές και καινοτομίες :

#### 2.3.1. Ακαδημαϊκά και ερευνητικά ιδρύματα:

Σημαντικά ακαδημαϊκά ιδρύματα και ερευνητικά εργαστήρια συνέβαλαν σημαντικά στην πρόοδο της τεχνολογίας τρισδιάστατης εκτύπωσης μέσω πρωτοποριακής έρευνας, νέων υλικών και βελτιωμένων τεχνικών εκτύπωσης.

#### 2.3.2. Πρωτοβουλίες ανοικτού κώδικα:

Το κίνημα ανοικτού κώδικα, με επικεφαλής έργα όπως το RepRap, επέτρεψε σε άτομα και οργανισμούς να μοιράζονται ελεύθερα σχέδια και λογισμικό τρισδιάστατων εκτυπωτών. Αυτό εκδημοκρατικοποίησε την πρόσβαση στην τεχνολογία, προωθώντας την καινοτομία και οδηγώντας στην ευρεία υιοθέτησή της.

### 2.3.3. Τρέχουσες και μελλοντικές εφαρμογές:

Παραγωγή και βιομηχανία: Η τρισδιάστατη εκτύπωση χρησιμοποιείται όλο και περισσότερο στη μεταποίηση για την παραγωγή εξαρτημάτων τελικής χρήσης, εργαλείων και προσαρμοσμένων εξαρτημάτων. Η ικανότητά της να εξορθολογίζει την παραγωγή, να μειώνει τα απόβλητα και να επιτρέπει την κατασκευή κατά παραγγελία προσφέρει σημαντικά πλεονεκτήματα.

Ιατρική και υγειονομική περίθαλψη: Στον ιατρικό τομέα, η τρισδιάστατη εκτύπωση φέρνει επανάσταση στη φροντίδα ειδικά για τον ασθενή, διευκολύνοντας την παραγωγή εξατομικευμένων εμφυτευμάτων, προσθετικών υλικών, χειρουργικών μοντέλων και ανατομικών αντιγράφων. Επίσης, προωθεί τα συστήματα χορήγησης φαρμάκων και τη μηχανική ιστών.

Αεροδιαστημική και άμυνα: Οι βιομηχανίες αεροδιαστημικής και άμυνας αξιοποιούν την τρισδιάστατη εκτύπωση για τη δημιουργία ελαφρών εξαρτημάτων, πολύπλοκων γεωμετριών και προσαρμοσμένων σχεδίων, οδηγώντας σε βελτιωμένες επιδόσεις, μειωμένο κόστος και ταχύτερους κύκλους ανάπτυξης.

Εκπαίδευση και έρευνα: Η τρισδιάστατη εκτύπωση έχει γίνει ένα ανεκτίμητο εργαλείο στην εκπαίδευση και την έρευνα, επιτρέποντας εμπειρίες πρακτικής μάθησης, διευκολύνοντας τις επιστημονικές έρευνες και προωθώντας την καινοτομία σε όλους τους κλάδους.

Εν κατακλείδι, ιστορία της τρισδιάστατης εκτύπωσης καταδεικνύει την αξιοσημείωτη πρόοδο και τον μετασχηματιστικό αντίκτυπο που έχει επιφέρει αυτή η τεχνολογία στο κατασκευαστικό τοπίο. Από το ταπεινό της ξεκίνημα ως μια νέα ιδέα έως την ενσωμάτωσή της σε διάφορες βιομηχανίες, η τρισδιάστατη εκτύπωση συνεχίζει να διευρύνει τα όρια, προσφέροντας μία πληθώρα δυνατοτήτων προσαρμογής, αποδοτικότητας και καινοτομίας. Με τις συνεχείς εξελίξεις και την αυξανόμενη προσβασιμότητα σε αυτού του είδους τεχνολογία, το μέλλον της τρισδιάστατης εκτύπωσης επιφυλάσσει τεράστιες δυνατότητες για τη διαμόρφωση και τη διάδοση του τρόπου με τον οποίο σχεδιάζουμε, δημιουργούμε και κατασκευάζουμε αντικείμενα.

## Κεφάλαιο 3

### Είδη και μέθοδοι προσθετικών κατεργασιών :

Υπάρχουν πολλές διαφορετικές διαδικασίες τρισδιάστατης εκτύπωσης, οι οποίες μπορούν να ομαδοποιηθούν σε επτά κατηγορίες:

1. **Material extrusion**
2. **Vat photopolymerization**
3. **Material Jetting**
4. **Powder bed fusion**
5. **Binder jetting**
6. **Sheet lamination**
7. **Directed energy deposition**

Οι κύριες διαφορές μεταξύ των διεργασιών αφορούν τον τρόπο εναπόθεσης των στρωμάτων για τη δημιουργία των εξαρτημάτων και τα υλικά που χρησιμοποιούνται. Κάθε μέθοδος έχει τα δικά της πλεονεκτήματα και μειονεκτήματα, γι' αυτό και ορισμένες εταιρείες προσφέρουν επιλογή σκόνης και πολυμερούς για το υλικό που χρησιμοποιείται για την κατασκευή του αντικειμένου. Άλλες χρησιμοποιούν μερικές φορές τυποποιημένο, έτοιμο χαρτί επιχειρήσεων ως υλικό κατασκευής για την παραγωγή ενός ανθεκτικού πρωτοτύπου. Οι κύριοι παράγοντες που λαμβάνονται υπόψη για την επιλογή ενός μηχανήματος είναι γενικά η ταχύτητα, το κόστος του τρισδιάστατου εκτυπωτή, του εκτυπωμένου πρωτοτύπου, η επιλογή και το κόστος των υλικών και οι δυνατότητες χρωματισμού. Οι εκτυπωτές που εργάζονται απευθείας με μέταλλα είναι γενικά ακριβοί. Ωστόσο, οι λιγότερο ακριβοί εκτυπωτές μπορούν να χρησιμοποιηθούν για την κατασκευή ενός καλουπιού, το οποίο στη συνέχεια χρησιμοποιείται για την κατασκευή μεταλλικών εξαρτημάτων. Κάθε διαδικασία και κάθε κομμάτι εξοπλισμού έχει πλεονεκτήματα και μειονεκτήματα που συνδέονται με αυτό. Αυτά συνήθως αφορούν πτυχές όπως η ταχύτητα, το κόστος, η ευελιξία σε σχέση με το υλικό τροφοδοσίας, οι γεωμετρικοί περιορισμοί και οι ανοχές, καθώς και οι μηχανικές και εμφανισιακές ιδιότητες των προϊόντων, όπως η αντοχή, η υφή και το χρώμα.

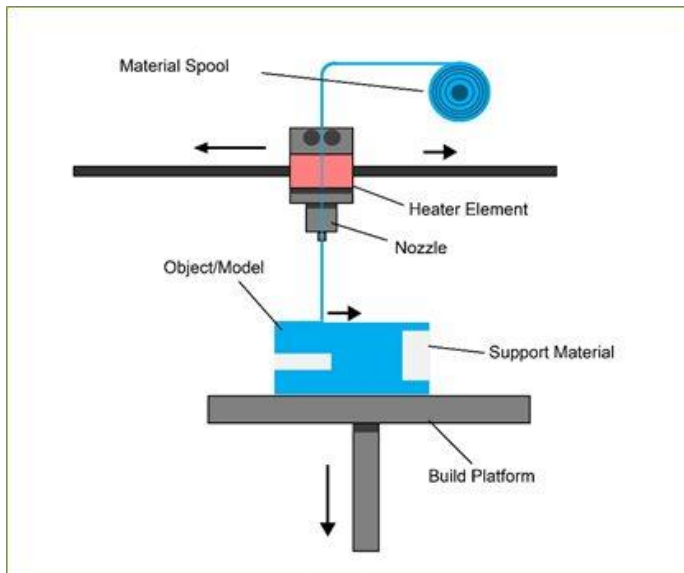
Η ποικιλία των διαδικασιών και του εξοπλισμού επιτρέπει πολυάριθμες χρήσεις τόσο από ερασιτέχνες όσο και από επαγγελματίες. Ορισμένες προσφέρονται καλύτερα για βιομηχανική χρήση (στην περίπτωση αυτή προτιμάται ο όρος Additive Manufacturing), ενώ άλλες καθιστούν την τρισδιάστατη εκτύπωση προσιτή στον μέσο καταναλωτή. Ορισμένοι εκτυπωτές είναι αρκετά μεγάλοι ώστε να κατασκευάζουν κτίρια ενώ άλλοι τείνουν σε αντικείμενα μεγέθους μικρο- και νανοκλίμακας και γενικά μπορούν να αξιοποιηθούν πολλές διαφορετικές τεχνολογίες για τη φυσική παραγωγή των σχεδιασμένων αντικειμένων.

### 3.1. Material extrusion :

#### 3.1.1 Διαδικασία :

Η μοντελοποίηση εναπόθεσης τήξης (FuseDepositionModeling) είναι μια κοινή διαδικασία εξώθησης υλικών. Στην συγκεκριμένη διεργασία το υλικό ωθείται, συνήθως μέσω δύο γραναζιών στο εσωτερικό ενός σωλήνα ο οποίος συνδέεται με ένα ακροφύσιο, έπειτα το υλικό θερμαίνεται και στη συνέχεια εναποτίθεται σε μία θερμαινόμενη επιφάνειαστρώμα προς στρώμα. Το ακροφύσιο πραγματοποιεί κινήσεις αριστερά και δεξιά σε έναν οριζόντιο άξονα(δηλαδή στον άξονα x), ενώ η πλατφόρμα κινείται εμπρός και πίσω(δηλαδή στον άξονα y). Για την εναπόθεση κάθε νέου στρώματος (δηλαδή στον άξονα z) την αντίστοιχη μετατόπιση-κίνηση αναλαμβάνει κυρίως μία ή περισσότερες μεταλλικές ράβδοι, η οποία είναι συνδεδεμένη με ένα κινητήρα. Η συγκεκριμένη μέθοδος τρισδιάστατης εκτύπωσης πρόκειται για μια ευρέως χρησιμοποιούμενη τεχνική που χρησιμοποιείται σε πολλούς φθηνούς, οικιακούς και ερασιτεχνικούς τρισδιάστατους εκτυπωτές.

Η διαδικασία έχει πολλούς παράγοντες που επηρεάζουν την ποιότητα του τελικού μοντέλου, αλλά έχει μεγάλες δυνατότητες και βιωσιμότητα όταν οι παράγοντες αυτοί ελέγχονται με επιτυχία. Ενώ η FDM είναι παρόμοια με όλες τις άλλες κατηγορίες διαδικασιών τρισδιάστατης εκτύπωσης, καθώς κατασκευάζει στρώμα προς στρώμα, διαφέρει στο γεγονός ότι το υλικό προστίθεται μέσω ενός ακροφυσίου υπό σταθερή πίεση και σε συνεχή ροή. Αυτή η πίεση πρέπει να διατηρείται σταθερή και με σταθερή ταχύτητα για να είναι δυνατή η επίτευξη ακριβών αποτελεσμάτων. Τα στρώματα υλικού μπορούν να συγκολληθούν με έλεγχο της θερμοκρασίας ή με τη χρήση χημικών παραγόντων και συχνά υλικό προστίθεται συχνά στη μηχανή σε μορφή καρουλιού.



Εικόνα 1 : FDM process.

### 3.1.2 Εξώθηση υλικών βήμα προς βήμα :

1. Το πρώτο στρώμα κατασκευάζεται καθώς το ακροφύσιο εναποθέτει υλικό όπου απαιτείται στη διατομή της πρώτης φέτας αντικειμένου.
2. Τα επόμενα στρώματα προστίθενται πάνω στα προηγούμενα στρώματα.
3. Τα στρώματα συγχωνεύονται μεταξύ τους κατά την εναπόθεση, καθώς το υλικό βρίσκεται σε κατάσταση τήξης.

### 3.1.3 Παράδειγμα εκτυπωτή :

Πίνακας 1 :

<b>Όνομα Προϊόντος :</b>	<b>Διαστάσεις της περιοχής εκτύπωσης :</b>	<b>Πάχος στρώματος :</b>	<b>Αριθμός διαθέσιμων χρωμάτων προς εκτύπωση :</b>
Creality Ender 3	220 x 220 x 250 mm	100-400 μm	46



Εικόνα 2 : Παράδειγμα FDM εκτυπωτή.



### 3.1.4 Πλεονεκτήματα :

- Οι τρισδιάστατοι εκτυπωτές FDM είναι γενικά πιο προσιτοί από άλλες τεχνολογίες τρισδιάστατης εκτύπωσης, καθιστώντας τους προσιτούς σε χομπίστες και μικρές επιχειρήσεις.
- Οι εκτυπωτές FDM είναι σχετικά εύχρηστοι και απαιτούν ελάχιστη ρύθμιση, καθιστώντας τους ιδανικούς για αρχάριους.
- Πολλοί εκτυπωτές FDM διαθέτουν μεγάλο όγκο κατασκευής, ο οποίος επιτρέπει τη δημιουργία μεγαλύτερων αντικειμένων.
- Οι εκτυπωτές FDM μπορούν να χρησιμοποιήσουν μια ποικιλία υλικών, όπως PLA, ABS, PETG, νάιλον και TPU.
- Οι εκτυπωτές FDM μπορούν να δημιουργήσουν δομές υποστήριξης που μπορούν να αφαιρεθούν εύκολα μόλις ολοκληρωθεί η εκτύπωση.
- Οι εκτυπωτές FDM μπορούν να παράγουν εκτυπώσεις υψηλής ποιότητας με λεπτές λεπτομέρειες και λείες επιφάνειες.

### 3.1.5 Μειονεκτήματα :

- Οι εκτυπώσεις FDM έχουν ορατές γραμμές στρώματος λόγω της διαδικασίας εκτύπωσης στρώμα προς στρώμα, η οποία μπορεί να επηρεάσει την ποιότητα του τελικού προϊόντος.
- Οι εκτυπωτές FDM έχουν περιορισμένη ανάλυση, η οποία μπορεί να οδηγήσει σε εκτυπώσεις χαμηλότερης ποιότητας με λιγότερες λεπτομέρειες.
- Οι εκτυπώσεις FDM είναι επιρρεπείς στη στρέβλωση, ειδικά όταν χρησιμοποιούνται ορισμένα υλικά όπως το ABS, γεγονός που μπορεί να προκαλέσει στρέβλωση και παραμόρφωση του εκτυπωμένου αντικειμένου κατά τη διαδικασία εκτύπωσης.
- Η εκτύπωση FDM είναι γενικά πιο αργή από άλλες τεχνολογίες τρισδιάστατης εκτύπωσης, γεγονός που μπορεί να περιορίσει τον αριθμό των αντικειμένων που μπορούν να εκτυπωθούν σε δεδομένο χρονικό διάστημα.
- Οι εκτυπωτές FDM έχουν περιορισμένη δυνατότητα δημιουργίας προεξοχών, γεγονός που μπορεί να περιορίσει τις σχεδιαστικές δυνατότητες του εκτυπωτή.
- Οι εκτυπωτές FDM απαιτούν τακτική συντήρηση και βαθμονόμηση για να εξασφαλιστεί η σωστή λειτουργία τους, η οποία μπορεί να είναι χρονοβόρα και κουραστική.
- Οι εκτυπωτές FDM μπορεί να παράγουν πολλά απόβλητα, ειδικά εάν οι δομές στήριξης δεν είναι επαναχρησιμοποιήσιμες ή ανακυκλώσιμες.

## 3.2. Stereolithography :

### 3.2.1. Διαδικασία :

**Αρχή λειτουργίας:** Φωτοπολυμερισμός VAT είναι μια διαδικασία προσθετικής κατασκευής που χρησιμοποιεί ένα δοχείο με υγρή φωτοπολυμερή ρητίνη και μια πηγή φωτός για την επιλεκτική σκλήρυνση της ρητίνης στρώμα προς στρώμα για τη δημιουργία ενός τρισδιάστατου αντικειμένου. Η διαδικασία ξεκινά με μια πλατφόρμα κατασκευής βυθισμένη στην υγρή ρητίνη. Ένα εστιασμένο λέιζερ υπεριώδους ακτινοβολίας (UV) ή ένας προβολέας ψηφιακού φωτός (DLP) εκθέτει την υγρή ρητίνη σε ένα ακριβές μοτίβο που αντιστοιχεί στη διατομή του επιθυμητού αντικειμένου. Το υπεριώδες φως πυροδοτεί μια φωτοχημική αντίδραση στη ρητίνη, με αποτέλεσμα να στερεοποιείται ή να "σκληραίνει" και να προσκολλάται στο προηγούμενο στρώμα. Στη συνέχεια, η πλατφόρμα κατασκευής χαμηλώνει και ένα νέο στρώμα υγρής ρητίνης απλώνεται πάνω από το σκληρυμένο στρώμα. Η διαδικασία επαναλαμβάνεται μέχρι να σχηματιστεί ολόκληρο το αντικείμενο.

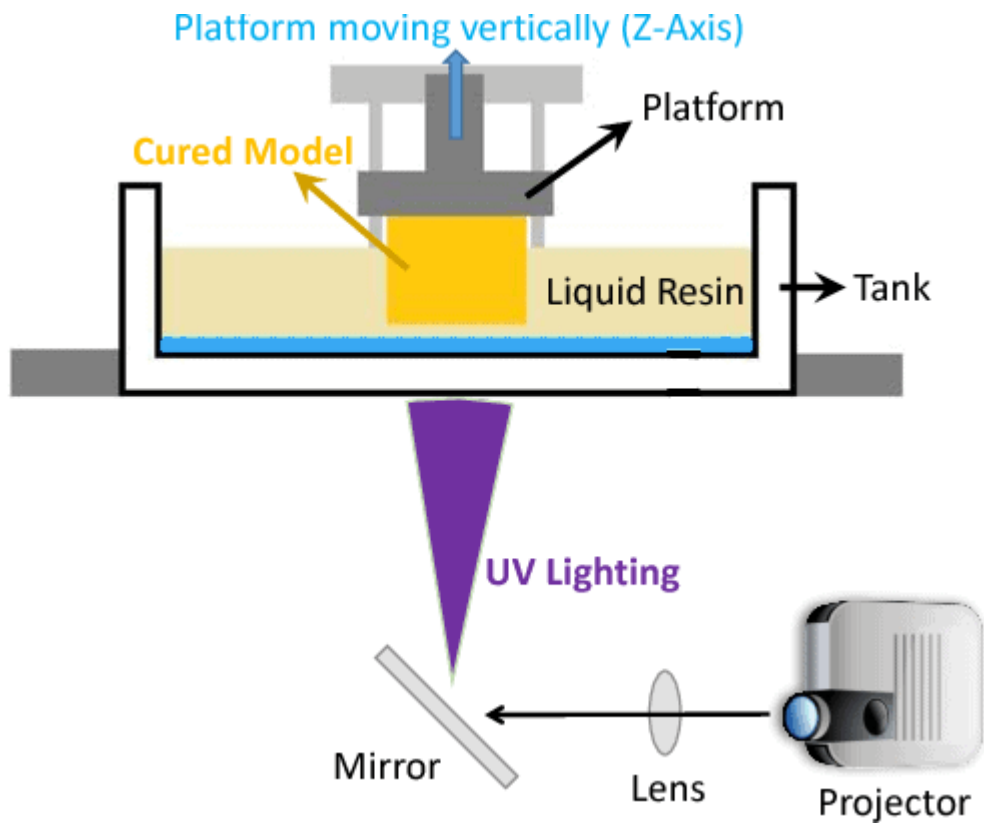
**Ρητίνες φωτοπολυμερούς:** Ο φωτοπολυμερισμός ΦΠΑ απαιτεί έναν συγκεκριμένο τύπο ρητίνης, γνωστό ως ρητίνη φωτοπολυμερούς. Αυτές οι ρητίνες αποτελούνται από ένα υγρό μονομερές, έναν φωτοεκκινητή και άλλα πρόσθετα που προσδίδουν στη ρητίνη τις επιθυμητές ιδιότητες. Ο φωτοεκκινητής αντιδρά στο συγκεκριμένο μήκος κύματος του υπεριώδους φωτός που χρησιμοποιείται στη διαδικασία, ξεκινώντας την αντίδραση πολυμερισμού ή σκλήρυνσης. Οι ρητίνες φωτοπολυμερών διατίθενται σε διάφορες συνθέσεις, η καθμία με διαφορετικές ιδιότητες υλικού, όπως η ευελιξία, η αντοχή, η διαύγεια ή η αντοχή στη θερμότητα. Αυτό επιτρέπει τη δημιουργία αντικειμένων με ευρύ φάσμα χαρακτηριστικών.

**Πάχος στρώματος και ανάλυση:** Ο φωτοπολυμερισμός προσφέρει εξαιρετική ανάλυση και δυνατότητες λεπτής λεπτομέρειας. Το πάχος στρώματος ή η κάθετη ανάλυση κυμαίνεται συνήθως από 0,025 mm έως 0,15 mm (25 μm έως 150 μm). Η επιτεύξιμη ανάλυση καθορίζεται από παράγοντες όπως η πηγή φωτός, το οπτικό σύστημα και το ιξώδες της ρητίνης. Τα χαμηλότερα πάχη στρώματος οδηγούν σε εκτυπώσεις υψηλότερης ανάλυσης, αλλά ενδέχεται να αυξήσουν το χρόνο εκτύπωσης.

**Μεταγενέστερη επεξεργασία:** Μόλις ολοκληρωθεί η εκτύπωση, το εκτυπωμένο αντικείμενο συνήθως αφαιρείται από τη δεξαμενή και ξεπλένεται με διαλύτη για την απομάκρυνση της περίσσειας μη σκληρυμένης ρητίνης. Το αντικείμενο μπορεί στη συνέχεια να υποβληθεί σε πρόσθετη μετασκλήρυνση, η οποία περιλαμβάνει την έκθεσή του σε υπεριώδες φως για να εξασφαλιστεί ο πλήρης πολυμερισμός και να βελτιωθούν οι μηχανικές του ιδιότητες. Ορισμένες ρητίνες μπορεί να απαιτούν πρόσθετα βήματα, όπως λείανση, στίλβωση ή επιφανειακή επεξεργασία για την επίτευξη του επιθυμητού φινιρίσματος.

**Εφαρμογές:** Ο φωτοπολυμερισμός ΦΠΑ χρησιμοποιείται ευρέως σε διάφορες βιομηχανίες και εφαρμογές. Είναι ιδιαίτερα κατάλληλος για την παραγωγή πρωτοτύπων υψηλής λεπτομέρειας, εννοιολογικών μοντέλων, λειτουργικών εξαρτημάτων, κοσμημάτων, οδοντιατρικών και ιατρικών συσκευών και περίπλοκων εξαρτημάτων στη μηχανική και το σχεδιασμό. Η ικανότητά του να δημιουργεί

πολύπλοκες γεωμετρίες και περίπλοκα χαρακτηριστικά με λεία επιφάνεια τον καθιστά πολύτιμο σε τομείς όπου η ακρίβεια και η αισθητική είναι σημαντικές.



Εικόνα 3 : Stereolithography process.

### 3.2.2. Φωτοπολυμερισμός - Βήμα προς Βήμα :

1. Η πλατφόρμα κατασκευής χαμηλώνει από την κορυφή του δοχείου ρητίνης προς τα κάτω κατά το πάχος του στρώματος.
2. Ένα υπεριώδες φως σκληραίνει τη ρητίνη στρώμα προς στρώμα. Η πλατφόρμα συνεχίζει να κινείται προς τα κάτω και επιπλέον στρώματα κατασκευάζονται πάνω στα προηγούμενα.
3. Ορισμένες μηχανές χρησιμοποιούν μια λεπίδα που κινείται μεταξύ των στρώσεων προκειμένου να δημιουργηθεί μια ομαλή βάση ρητίνης για την κατασκευή της επόμενης στρώσης.
4. Μετά την ολοκλήρωση, η δεξαμενή αδειάζει από τη ρητίνη και το αντικείμενο απομακρύνεται.

### 3.2.3. Παράδειγμα εκτυπωτή :

Πίνακας 2 :

Όνομα Προϊόντος :	Διαστάσεις της περιοχής εκτύπωσης :	Πάχος στρώματος :	Αριθμός διαθέσιμων χρωμάτων προς εκτύπωση :
3D Systems ProX 950	1500mmx750mmx550mm	0.05-0.15 mm	2layers/minute



Εικόνα 4 : Παράδειγμα SLA εκτυπωτών.

### 3.2.4. Πλεονεκτήματα:

- Κατάλληλο για την παραγωγή σύνθετων γεωμετριών με περίπλοκες λεπτομέρειες.
- Ομαλή επιφάνεια και ανάλυση επιφάνειας υψηλής ποιότητας, κατάλληλο για τη δημιουργία καλουπιών, χυτών και κοσμημάτων
- Δυνατότητα εκτύπωσης σε ένα ευρύ φάσμα υλικών, συμπεριλαμβανομένων τόσο σκληρών όσο και μαλακών πολυμερών, καθώς και ρητινών που μπορούν να μιμηθούν τις ιδιότητες μετάλλων, κεραμικών και άλλων υλικών
- Ταχύτερη ταχύτητα εκτύπωσης σε σχέση με άλλους τύπους εκτυπωτών που βασίζονται σε ρητίνες, λόγω της χρήσης ενός λείζερ υπεριώδους ακτινοβολίας ή ενός προβολέα φωτός για τη σκλήρυνση ολόκληρων στρωμάτων ταυτόχρονα
- Δυνατότητα ταυτόχρονης εκτύπωσης πολλαπλών εξαρτημάτων, η οποία μπορεί να συμβάλει στη μείωση του χρόνου εκτύπωσης και στην αύξηση της παραγωγικότητας
- Ελάχιστη απαιτούμενη μετεπεξεργασία, καθώς τα εξαρτήματα μπορούν να σκληρυνθούν και να σκληρύνουν απευθείας στον εκτυπωτή και να αφαιρεθούν από την πλατφόρμα κατασκευής με ευκολία.

### 3.2.5. Μειονεκτήματα:

- Περιορισμένος όγκος κατασκευής σε σύγκριση με τους εκτυπωτές FDM ή τους εκτυπωτές σύντηξης κλίνης σκόνης, γεγονός που μπορεί να περιορίσει το μέγεθος των αντικειμένων που μπορούν να εκτυπωθούν
- Υψηλό κόστος υλικών και εξοπλισμού σε σύγκριση με άλλους τύπους τρισδιάστατων εκτυπωτών, το οποίο μπορεί να αποτελέσει εμπόδιο εισόδου για ορισμένους χρήστες
- Η διαδικασία σκλήρυνσης μπορεί να οδηγήσει σε εξαρτήματα με χαμηλότερη μηχανική αντοχή και ανθεκτικότητα σε σύγκριση με άλλους τύπους τεχνολογιών τρισδιάστατης εκτύπωσης, καθιστώντας τα λιγότερο κατάλληλα για λειτουργικά εξαρτήματα και περισσότερο κατάλληλα για πρωτοτυποποίηση ή μοντελοποίηση
- Οι ρητίνες μπορεί να είναι βρώμικες και δύσκολες στην εργασία, απαιτώντας ειδικές διαδικασίες χειρισμού και αποθήκευσης για την αποφυγή σκλήρυνσης εκτός του εκτυπωτή ή ζημιάς στον ίδιο τον εκτυπωτή
- Οι ρητίνες μπορεί επίσης να έχουν δυσάρεστες οσμές και να απελευθερώνουν δυνητικά επιβλαβείς αναθυμιάσεις κατά τη διάρκεια της διαδικασίας σκλήρυνσης, απαιτώντας επαρκή εξαερισμό και προφυλάξεις ασφαλείας στο περιβάλλον εκτύπωσης.

### 3.3. Material Jetting (Εκτόξευση υλικού) :

#### 3.3.1. Διαδικασία :

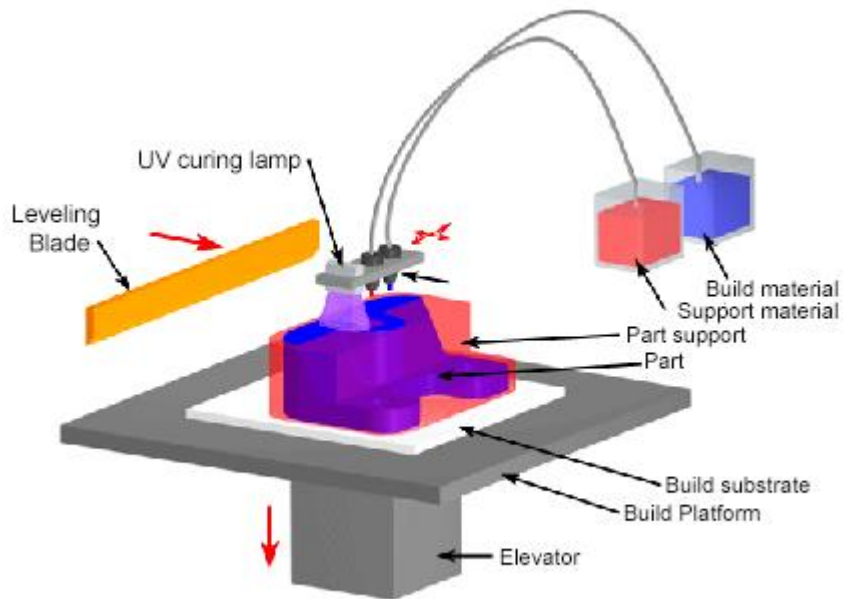
**Αρχή λειτουργίας:** Η εκτόξευση υλικού είναι μια διαδικασία προσθετικής κατασκευής που χρησιμοποιεί την τεχνολογία inkjet για την εναπόθεση σταγονιδίων φωτοπολυμερών υλικών σε μια πλατφόρμα κατασκευής. Η διαδικασία ξεκινά με ένα υγρό φωτοπολυμερές υλικό που περιέχεται σε κεφαλές εκτύπωσης inkjet. Οι κεφαλές εκτύπωσης εναποθέτουν επιλεκτικά το υλικό στρώμα προς στρώμα και κάθε στρώμα σκληραίνεται με τη χρήση υπεριώδους φωτός για να στερεοποιηθεί το υλικό και να δημιουργηθεί το επιθυμητό αντικείμενο.

**Φωτοπολυμερή υλικά:** Η εκτόξευση υλικού μπορεί να λειτουργήσει με μια ποικιλία φωτοπολυμερών υλικών που είναι ειδικά σχεδιασμένα για τρισδιάστατη εκτύπωση. Αυτά τα υλικά αποτελούνται συνήθως από υγρές ρητίνες που περιέχουν φωτοευαίσθητα πολυμερή και πρόσθετα. Τα φωτοπολυμερή υλικά μπορούν να έχουν διαφορετικές ιδιότητες, όπως ευελιξία, διαφάνεια, αντοχή και θερμική αντοχή, ανάλογα με τη συγκεκριμένη σύνθεση.

**Κεφαλές εκτύπωσης και ανάλυση:** Οι εκτυπωτές εκτόξευσης υλικού διαθέτουν πολλαπλές κεφαλές εκτύπωσης inkjet που εναποθέτουν το φωτοπολυμερές υλικό στην πλατφόρμα κατασκευής. Ο αριθμός των κεφαλών εκτύπωσης και η διάταξή τους μπορεί να διαφέρει ανάλογα με το μοντέλο του εκτυπωτή. Η ανάλυση της εκτόξευσης υλικού είναι συνήθως υψηλή, με μεγέθη σταγονιδίων που κυμαίνονται από δεκάδες έως εκατοντάδες μικρά, επιτρέποντας περίπλοκες λεπτομέρειες και ομαλά επιφανειακά φινιρίσματα.

**Δομές υποστήριξης και εκτύπωση πολλαπλών υλικών:** Η εκτόξευση υλικού επιτρέπει την ταυτόχρονη εκτύπωση πολλαπλών υλικών ή χρωμάτων σε μία μόνο κατασκευή. Αυτό επιτρέπει τη δημιουργία σύνθετων αντικειμένων με διαφορετικές ιδιότητες υλικών ή πολύχρωμων μοντέλων. Επιπλέον, οι δομές στήριξης μπορούν να εκτυπωθούν ταυτόχρονα με τη χρήση ξεχωριστού υλικού στήριξης που μπορεί να αφαιρεθεί εύκολα μετά την εκτύπωση, διευκολύνοντας την παραγωγή περίπλοκων γεωμετριών.

**Μεταγενέστερη επεξεργασία και σκλήρυνση:** Μετά τη διαδικασία εκτύπωσης, το εκτυπωμένο αντικείμενο μπορεί να υποβληθεί σε στάδια μετεπεξεργασίας. Αυτό μπορεί να περιλαμβάνει την αφαίρεση τυχόν δομών στήριξης, τον καθαρισμό του αντικειμένου για την απομάκρυνση της περίσσειας ρητίνης και τη μετασκλήρυνση του αντικειμένου για την επίτευξη των τελικών μηχανικών ιδιοτήτων του. Η μετασκλήρυνση γίνεται συνήθως με τη χρήση υπεριώδους φωτός για την πλήρη σκλήρυνση του φωτοπολυμερούς υλικού και την ενίσχυση της αντοχής και της σταθερότητάς του.



Copyright: © 2008 CustomPartNet

Εικόνα 5 Material Jetting process.

### 3.3.2. Εκτόξευση υλικού - Βήμα προς Βήμα :

1. Η κεφαλή εκτύπωσης είναι τοποθετημένη πάνω από την πλατφόρμα κατασκευής.
2. Σταγονίδια υλικού εναποτίθενται από την κεφαλή εκτύπωσης στην επιφάνεια όπου απαιτείται, χρησιμοποιώντας είτε θερμική είτε πιεζοηλεκτρική μέθοδο.
3. Τα σταγονίδια του υλικού στερεοποιούνται και αποτελούν το πρώτο στρώμα.
4. Περαιτέρω στρώματα δημιουργούνται όπως προηγουμένως πάνω στα προηγούμενα.
5. Τα στρώματα αφήνονται να κρυσώσουν και να σκληρυνθούν ή σκληραίνονται με υπεριώδη ακτινοβολία. Η μετεπεξεργασία περιλαμβάνει την αφαίρεση του υλικού στήριξης.

### 3.3.3. Παράδειγμα εκτυπωτή :

Πίνακας 3 :

Όνομα Προϊόντος :	Διαστάσεις της περιοχής εκτύπωσης :	Πάχος στρώματος :	Αριθμός διαθέσιμων χρωμάτων προς εκτύπωση :
Objet 500 Connex 3	490 x 390 x 200 mm	16 μm	46



Εικόνα 6 : Παράδειγμα Material Jetting εκτυπωτών.

### 3.3.4.Πλεονεκτήματα:

- Υψηλή ανάλυση: Αυτό τους καθιστά κατάλληλους για εφαρμογές που απαιτούν περίπλοκα σχέδια ή μικρά χαρακτηριστικά.
- Ευρεία γκάμα υλικών: Αυτοί οι εκτυπωτές μπορούν να χρησιμοποιήσουν μια ποικιλία υλικών, όπως άκαμπτα και εύκαμπτα πολυμερή, ελαστομερή, ακόμη και μέταλλα.
- Εκτύπωση πολλαπλών υλικών: Ορισμένοι εκτυπωτές Material Jetting μπορούν να εκτυπώσουν πολλαπλά υλικά σε ένα μόνο εξάρτημα, επιτρέποντας τη δημιουργία εξαρτημάτων με διαφορετικές ιδιότητες και λειτουργικότητες.
- Ομαλό φινίρισμα επιφάνειας: Τα ύψη στρώματος των εκτυπωτών Material Jetting 3D είναι συνήθως πολύ μικρά, με αποτέλεσμα να δημιουργούνται λεία επιφανειακά φινιρίσματα που απαιτούν ελάχιστη ή καθόλου μετεπεξεργασία.
- Υψηλή ταχύτητα εκτύπωσης: Αυτοί οι εκτυπωτές μπορούν να εκτυπώνουν εξαρτήματα με υψηλή ταχύτητα, γεγονός που είναι επωφελές για βιομηχανίες που απαιτούν γρήγορη κατασκευή πρωτοτύπων ή παραγωγή χαμηλού όγκου.



### 3.3.5. Μειονεκτήματα:

- Ακριβιά: Οι εκτυπωτές Material Jetting είναι συνήθως πιο ακριβοί από άλλες τεχνολογίες τρισδιάστατης εκτύπωσης, καθιστώντας τους λιγότερο προσιτούς για χομπίστες ή μικρές επιχειρήσεις.
- Περιορισμένος όγκος κατασκευής: Αυτοί οι εκτυπωτές έχουν συχνά μικρότερο όγκο κατασκευής σε σύγκριση με άλλες τεχνολογίες τρισδιάστατης εκτύπωσης, γεγονός που μπορεί να περιορίσει το μέγεθος των εξαρτημάτων που μπορούν να εκτυπωθούν.
- Απαιτείται μεταγενέστερη επεξεργασία για ορισμένα υλικά: Ορισμένα υλικά που χρησιμοποιούνται στους εκτυπωτές Material Jetting ενδέχεται να απαιτούν πρόσθετα στάδια μετεπεξεργασίας, όπως σκλήρυνση με υπεριώδη ακτινοβολία, για να διασφαλιστούν οι κατάλληλες μηχανικές ιδιότητες.
- Απόβλητα υλικών: Οι εκτυπωτές Material Jetting μπορεί να παράγουν περισσότερα απόβλητα υλικών σε σύγκριση με άλλες τεχνολογίες τρισδιάστατης εκτύπωσης, καθώς το ακριβώς χρησιμοποιημένο υλικό συνήθως απορρίπτεται μετά από κάθε εκτύπωση.
- Εύθραυστα εξαρτήματα: Τα εξαρτήματα που παράγονται από εκτυπωτές Material Jetting μπορεί να είναι εύθραυστα και εύθραυστα και ενδέχεται να μην είναι κατάλληλα για εφαρμογές που απαιτούν υψηλή αντοχή ή ανθεκτικότητα.

## 3.4. PowderBedFusion :

### 3.4.1. Δικαδικασία :

**Αρχή λειτουργίας:** Για την κατασκευή ενός τρισδιάστατου αντικειμένου χρησιμοποιείται μια δέσμη λέιζερ ή ηλεκτρονίων για την επιλεκτική τήξη ή πυροσυσσώματωση στρωμάτων κονιοποιημένου υλικού. Η διαδικασία ξεκινά με ένα λεπτό στρώμα κονιοποιημένου υλικού που απλώνεται ομοιόμορφα στην πλατφόρμα κατασκευής. Το λέιζερ ή η δέσμη ηλεκτρονίων σαρώνει το στρώμα σύμφωνα με το επιθυμητό σχήμα, λιώνει ή πυροσυσσωματώνει τα σωματίδια σκόνης για να δημιουργήσει στερεοποιημένα στρώματα. Αφού ολοκληρωθεί κάθε στρώμα, απλώνεται ένα νέο στρώμα σκόνης από πάνω και η διαδικασία επαναλαμβάνεται μέχρι να σχηματιστεί ολόκληρο το αντικείμενο.

**Υλικά σκόνης:** Η σύντηξη κλίνης σκόνης μπορεί να λειτουργήσει με ένα ευρύ φάσμα υλικών, συμπεριλαμβανομένων των μετάλλων, των κεραμικών και ορισμένων πολυμερών. Η επιλογή του υλικού εξαρτάται από τις ειδικές απαιτήσεις της εφαρμογής. Οι μεταλλικές σκόνες, όπως ο ανοξείδωτος χάλυβας, το τιτάνιο, το αλουμίνιο και τα κράματα κοβαλτίου-χρώματος, χρησιμοποιούνται συνήθως σε διαδικασίες PBF μετάλλων. Κεραμικές σκόνες, όπως αλουμίνα, ζirkονία και καρβίδιο του πυριτίου, χρησιμοποιούνται για κεραμικές διεργασίες PBF.

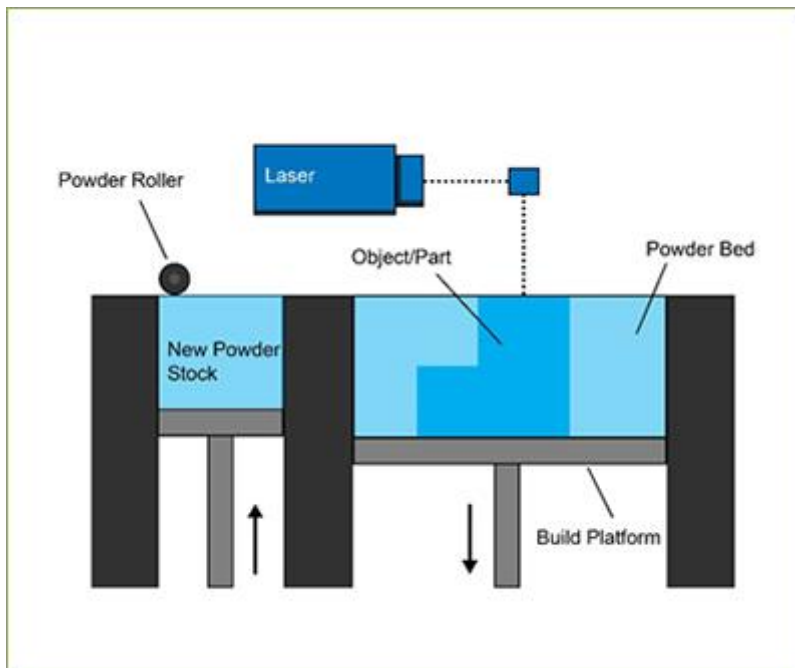
**Λήψη με λέιζερ ή δέσμη ηλεκτρονίων:** Η σύντηξη κλίνης σκόνης μπορεί να πραγματοποιηθεί χρησιμοποιώντας είτε λέιζερ είτε δέσμη ηλεκτρονίων ως πηγή θερμότητας. Στα συστήματα που βασίζονται σε λέιζερ, ένα λέιζερ υψηλής ισχύος κατευθύνεται με ακρίβεια στην κλίνη σκόνης για να λιώσει τα σωματίδια σκόνης. Τα συστήματα δέσμης ηλεκτρονίων χρησιμοποιούν εστιασμένη δέσμη ηλεκτρονίων για να επιτύχουν το ίδιο αποτέλεσμα. Η επιλογή της πηγής θερμότητας εξαρτάται από τις ιδιότητες του υλικού και τα επιθυμητά αποτελέσματα.

**Έλεγχος θέρμανσης και ψύξης:** Κατά τη διάρκεια της διαδικασίας PBF, ο ακριβής έλεγχος των ρυθμών θέρμανσης και ψύξης είναι ζωτικής σημασίας για την επίτευξη των επιθυμητών ιδιοτήτων του υλικού. Η εισροή θερμότητας από το λέιζερ ή τη δέσμη ηλεκτρονίων πρέπει να ελέγχεται προσεκτικά για να εξασφαλιστεί η σωστή τήξη ή πυροσυσσώματωση των σωματιδίων της σκόνης. Οι ρυθμοί ψύξης παίζουν επίσης ζωτικό ρόλο στη στερεοποίηση και την ανάπτυξη της μικροδομής του υλικού, επηρεάζοντας τις μηχανικές του ιδιότητες.

**Δομές στήριξης και μετα-επεξεργασία:** Η σύντηξη κλίνης σκόνης απαιτεί συχνά τη χρήση δομών στήριξης για την αποφυγή παραμόρφωσης ή κατάρρευσης των προεξέχοντων χαρακτηριστικών κατά τη διάρκεια της διαδικασίας εκτύπωσης. Αυτά τα στηρίγματα κατασκευάζονται συνήθως από το ίδιο ή παρόμοιο υλικό με το εκτυπωμένο αντικείμενο και αφαιρούνται κατά τη διάρκεια της μετα-επεξεργασίας.

Τα στάδια μετεπεξεργασίας μπορεί να περιλαμβάνουν την αφαίρεση της περίσσειας σκόνης, την αφαίρεση των δομών στήριξης, τη θερμική επεξεργασία για την

ανακούφιση από τις τάσεις και το φινίρισμα της επιφάνειας για την επίτευξη της επιθυμητής ποιότητας επιφάνειας.



Εικόνα 7 Powder Bed Fusion process.

### 3.4.2. Powder Bed Fusion- Βήμα προς βήμα :

1. Ένα στρώμα υλικού πάχους συνήθως 0,1 mm απλώνεται πάνω στην πλατφόρμα κατασκευής.
2. Ένα λέιζερ συγκολλά το πρώτο στρώμα ή την πρώτη διατομή του μοντέλου.
3. Ένα νέο στρώμα σκόνης απλώνεται πάνω στο προηγούμενο στρώμα με τη χρήση ενός κυλίνδρου.
4. Περαιτέρω στρώματα ή διατομές συγχωνεύονται και προστίθενται.
5. Η διαδικασία επαναλαμβάνεται έως ότου δημιουργηθεί ολόκληρο το μοντέλο.  
Η χαλαρή, μη συγχωνευμένη σκόνη παραμένει στη θέση της, αλλά αφαιρείται κατά τη διάρκεια της μεταγενέστερης επεξεργασίας.

### 3.4.3. Παράδειγμα εκτυπωτή :

Πίνακας 4 :

Όνομα Προϊόντος :	Διαστάσεις της περιοχής εκτύπωσης :	Πάχος στρώματος :	Αριθμός διαθέσιμων χρωμάτων προς εκτύπωση :
3S Systems ProX 500	381 x 330 x 457 mm	0.08-0.15mm	2liters/hour



Εικόνα 8 : Παράδειγμα Powder Bed Fusion εκτυπωτή.

### 3.4.4. Πλεονεκτήματα:

- Υψηλή ακρίβεια και ακρίβεια: Οι τρισδιάστατοι εκτυπωτές PBF μπορούν να παράγουν εξαιρετικά λεπτομερή και περίπλοκα εξαρτήματα με πολύ υψηλή διαστατική ακρίβεια.
- Μεγάλοι όγκοι κατασκευής: Οι τρισδιάστατοι εκτυπωτές PBF μπορούν να παράγουν μεγάλα εξαρτήματα, καθιστώντας τους ιδανικούς για την παραγωγή εξαρτημάτων βιομηχανικής κλίμακας.
- Ποικιλία υλικών: Οι τρισδιάστατοι εκτυπωτές PBF μπορούν να εργαστούν με ένα ευρύ φάσμα υλικών, συμπεριλαμβανομένων μετάλλων, πλαστικών, κεραμικών και σύνθετων υλικών.
- Εξαιρετικό φινίρισμα επιφάνειας: Οι τρισδιάστατοι εκτυπωτές PBF μπορούν να παράγουν εξαρτήματα με εξαιρετικό φινίρισμα επιφάνειας και ομαλότητα, καθιστώντας τους ιδανικούς για λειτουργικά εξαρτήματα και εφαρμογές υψηλής ποιότητας.

- Υψηλή αντοχή και ανθεκτικότητα: Τα τρισδιάστατα εκτυπωμένα εξαρτήματα PBF μπορούν να έχουν εξαιρετικές μηχανικές ιδιότητες, συμπεριλαμβανομένης της υψηλής αντοχής και ανθεκτικότητας.

#### 3.4.5. Μειονεκτήματα:

- Υψηλό κόστος: Αυτό τους καθιστά λιγότερο προσιτούς για μικρές επιχειρήσεις ή χομπίστες.
- Περιορισμένη ταχύτητα: Η τρισδιάστατη εκτύπωση PBF είναι μια αργή διαδικασία, η οποία μπορεί να περιορίσει τη χρήση της για εφαρμογές παραγωγής μεγάλου όγκου.
- Περιορισμένη ανάλυση: Παρόλο που οι τρισδιάστατοι εκτυπωτές PBF μπορούν να παράγουν εξαιρετικά λεπτομερή εξαρτήματα, η ανάλυση μπορεί να περιορίζεται από το μέγεθος των σωματιδίων σκόνης που χρησιμοποιούνται.
- Χειρισμός σκόνης: Ο χειρισμός των σκονών μπορεί να είναι βρώμικος και δυνητικά επικίνδυνος, απαιτώντας ειδικές προφυλάξεις ασφαλείας.
- Απαιτείται μεταγενέστερη επεξεργασία: Τα τρισδιάστατα εκτυπωμένα εξαρτήματα PBF απαιτούν συχνά μετα-επεξεργασία, όπως θερμική επεξεργασία, για την επίτευξη βέλτιστων μηχανικών ιδιοτήτων.

## 3.5 Binderjetting :

### 3.5.1. Διαδικασία :

**Αρχή λειτουργίας:** BinderJetting είναι μια διαδικασία προσθετικής κατασκευής που χρησιμοποιεί έναν υγρό συνδετικό παράγοντα για την επιλεκτική συγκόλληση στρωμάτων κονιοποιημένου υλικού μεταξύ τους για τη δημιουργία ενός τρισδιάστατου αντικειμένου. Η διαδικασία ξεκινά με ένα λεπτό στρώμα σκόνης που απλώνεται ομοιόμορφα στην πλατφόρμα κατασκευής. Μια κεφαλή εκτύπωσης ή ένας μηχανισμός εκτόξευσης εναποθέτει σταγονίδια ενός υγρού συνδετικού υλικού πάνω στο στρώμα σκόνης, συνδέοντας τα σωματίδια μεταξύ τους στο επιθυμητό μοτίβο. Αυτή η διαδικασία επαναλαμβάνεται στρώμα προς στρώμα μέχρι να σχηματιστεί το πλήρες αντικείμενο.

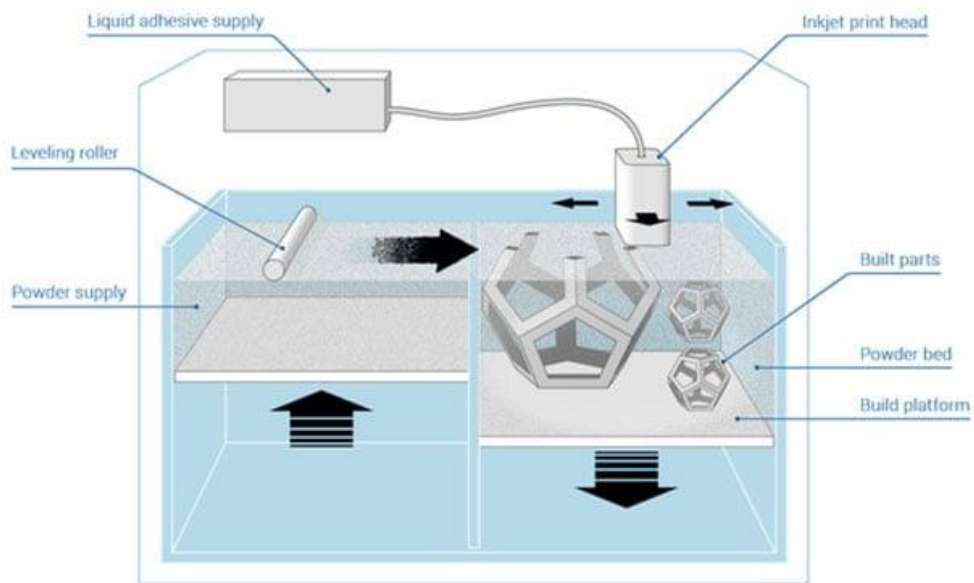
**Υλικά σκόνης:** Η εκτόξευση συνδετικού υλικού μπορεί να λειτουργήσει με ένα ευρύ φάσμα υλικών σε σκόνη, συμπεριλαμβανομένων μετάλλων, κεραμικών και ορισμένων πολυμερών. Οι μεταλλικές σκόνες, όπως ο ανοξείδωτος χάλυβας, ο χαλκός και το αλουμίνιο, καθώς και οι κεραμικές σκόνες, όπως η αλουμίνα και η ζirkονία, χρησιμοποιούνται συνήθως σε διαδικασίες εκτόξευσης συνδετικού υλικού. Η επιλογή του υλικού εξαρτάται από τις επιθυμητές ιδιότητες και την προβλεπόμενη εφαρμογή του τελικού εξαρτήματος.

**Συνδετικά μέσα:** Ο συνδετικός παράγοντας που χρησιμοποιείται στην εκτόξευση συνδετικού υλικού είναι ένα υγρό που δρα ως συγκολλητικό μέσο για τη συγκόλληση των σωματιδίων σκόνης μεταξύ τους. Η σύνθεση του συνδετικού μέσου μπορεί να ποικίλλει ανάλογα με το υλικό που επεξεργάζεται. Το συνδετικό μέσο μπορεί να περιέχει συνδυασμό πολυμερών, διαλυτών και πρόσθετων. Είναι σημαντικό να επιλεγεί ένα συνδετικό υλικό που παρέχει επαρκή αντοχή συγκόλλησης και διευκολύνει τη σωστή διείδυση στην κλίση σκόνης.

**Μετεπεξεργασία:** Μετά την εκτύπωση του αντικειμένου με τη χρήση δέσμης εκτόξευσης συνδετικού υλικού, αυτό υποβάλλεται σε στάδια μετεπεξεργασίας για την επίτευξη των επιθυμητών τελικών ιδιοτήτων. Τα βήματα αυτά περιλαμβάνουν συνήθως την απομάκρυνση της περίσσειας σκόνης από το εκτυπωμένο τεμάχιο, η οποία μπορεί να γίνει με τεχνικές όπως βούρτσισμα, σκούπισμα με ηλεκτρική σκούπα ή φύσημα με αέρα. Επιπλέον, το τεμάχιο μπορεί να υποβληθεί σε θερμική επεξεργασία, όπως αποκόλληση και πυροσυσσωμάτωση, για την απομάκρυνση τυχόν υπολειμμάτων συνδετικού υλικού και τη βελτίωση των μηχανικών ιδιοτήτων.

**Δομές στήριξης και επίλυση:** Στην εκτόξευση συνδετικού υλικού, συχνά απαιτούνται δομές στήριξης για να παρέχουν σταθερότητα σε προεξέχουσες ή πολύπλοκες γεωμετρίες κατά τη διάρκεια της διαδικασίας εκτύπωσης. Αυτά τα στηρίγματα είναι συνήθως κατασκευασμένα από ένα θυσιαζόμενο υλικό και μπορούν εύκολα να αφαιρεθούν κατά τη διάρκεια της μετα-επεξεργασίας. Η ανάλυση της εκτόξευσης συνδετικού υλικού επηρεάζεται από διάφορους παράγοντες, όπως το μέγεθος των σωματιδίων της σκόνης, το μέγεθος των σταγονιδίων του συνδετικού υλικού και το

πάχος του στρώματος. Τα μικρότερα μεγέθη σταγονιδίων και τα λεπτότερα στρώματα μπορούν να συμβάλουν σε υψηλότερη ανάλυση.



Εικόνα 9 : Binder Jetting process.

### 3.5.2. Binder Jetting–ΒήμαπροςΒήμα :

1. Το υλικό σε σκόνη απλώνεται στην πλατφόρμα κατασκευής με τη χρήση ρολού.
2. Η κεφαλή εκτύπωσης εναποθέτει την κόλλα συνδετικού υλικού πάνω από τη σκόνη, όπου απαιτείται.
3. Η πλατφόρμα κατασκευής χαμηλώνει ανάλογα με το πάχος στρώματος του μοντέλου.
4. Ένα άλλο στρώμα σκόνης απλώνεται πάνω από το προηγούμενο στρώμα. Το αντικείμενο διαμορφώνεται στο σημείο όπου η σκόνη συνδέεται με το υγρό.
5. Η μη δεσμευμένη σκόνη παραμένει στη θέση της γύρω από το αντικείμενο.
6. Η διαδικασία επαναλαμβάνεται έως ότου κατασκευαστεί ολόκληρο το αντικείμενο.

### 3.5.3. Παράδειγμα εκτυπωτή :

Πίνακας 5 :

Όνομα Προϊόντος :	Διαστάσεις της περιοχής εκτύπωσης :	Πάχος στρώματος :	Αριθμός διαθέσιμων χρωμάτων προς εκτύπωση :
Spectrum Z 500	-	0.089-0.203mm	2layers/minute



Εικόνα 10 : Παράδειγμα Powder Bed Fusion εκτυπωτή.

### 3.5.4.Πλεονεκτήματα:

- Ταχύτητα εκτύπωσης σε σύγκριση με άλλες τεχνολογίες τρισδιάστατης εκτύπωσης
- Δυνατότητα παραγωγής μεγάλων αντικειμένων
- Υψηλός βαθμός ακρίβειας και ακρίβειας στα εκτυπωμένα μέρη
- Επιτρέπει την εκτύπωση πολλαπλών χρωμάτων και υλικών
- Κατάλληλο για την παραγωγή σύνθετων γεωμετριών και περίπλοκων σχεδίων
- Χαμηλή σπατάλη υλικών σε σύγκριση με άλλες τεχνολογίες
- Μπορεί να χρησιμοποιήσει ένα ευρύ φάσμα υλικών, συμπεριλαμβανομένων μετάλλων, κεραμικών και πλαστικών
- Δεν απαιτεί δομές στήριξης κατά την εκτύπωση
- Χαμηλό λειτουργικό κόστος σε σύγκριση με άλλες τεχνολογίες



### 3.5.5. Μειονεκτήματα:

- Χαμηλότερη ανάλυση και επιφανειακό φινίρισμα σε σύγκριση με άλλες τεχνολογίες
- Περιορισμένη μηχανική αντοχή και ανθεκτικότητα των εκτυπωμένων εξαρτημάτων
- Ενδέχεται να απαιτείται μεταγενέστερη επεξεργασία, όπως η πυροσυσσώματωση, για τη βελτίωση της αντοχής και της ανθεκτικότητας
- Περιορισμένη γκάμα υλικών σε σύγκριση με άλλες τεχνολογίες
- Περιορισμένος έλεγχος των ιδιοτήτων των εκτυπωμένων εξαρτημάτων
- Περιορισμένη λεπτομέρεια σε μικρά χαρακτηριστικά σε σύγκριση με άλλες τεχνολογίες
- Μπορεί να παραχθεί υπολειμματική σκόνη που πρέπει να αφαιρεθεί μετά την εκτύπωση

## 3.6 Sheet Lamination :

### 3.6.1. Διαδικασία :

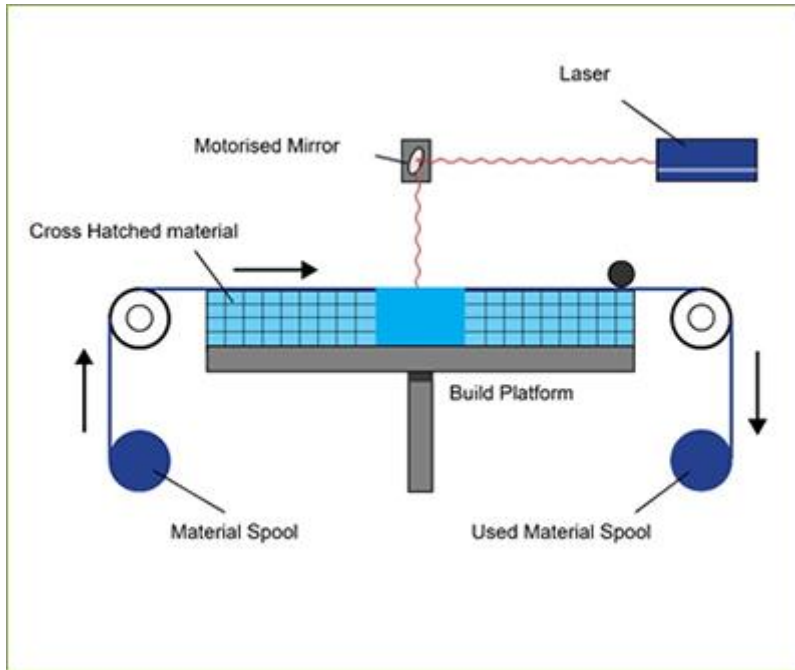
**Αρχή λειτουργίας:** Είναι μια διαδικασία προσθετικής κατασκευής που δημιουργεί τρισδιάστατα αντικείμενα με τη διαστρωμάτωση και συγκόλληση φύλλων υλικού μεταξύ τους. Η διαδικασία ξεκινά με μια στοίβα λεπτών φύλλων υλικού, συνήθως χαρτιού ή πλαστικού, τα οποία συγκολλούνται μεταξύ τους με τη χρήση κόλλας ή θερμότητας. Στη συνέχεια χρησιμοποιείται ένα λέιζερ ή ένας κόφτης μαχαιριών για να κόψει με ακρίβεια το σχήμα κάθε στρώματος σύμφωνα με το ψηφιακό σχέδιο. Τα στρώματα συγκολλούνται διαδοχικά μεταξύ τους για να σχηματίσουν το τελικό αντικείμενο.

**Υλικά φύλλων:** Η πλαστικοποίηση φύλλων μπορεί να χρησιμοποιήσει διάφορα υλικά φύλλων, όπως χαρτί, πλαστικό, μεταλλικά φύλλα ή ακόμη και καπλαμάδες ξύλου. Η επιλογή του υλικού εξαρτάται από τις επιθυμητές ιδιότητες του τελικού αντικειμένου, όπως η αντοχή, η ευελιξία ή η αισθητική εμφάνιση. Το χαρτί χρησιμοποιείται συνήθως λόγω της διαθεσιμότητάς του, του χαμηλού κόστους και της ευκολίας χειρισμού του. Πλαστικά φύλλα, όπως το πολυαιθυλένιο ή το πολυστυρένιο, μπορούν επίσης να χρησιμοποιηθούν για εφαρμογές που απαιτούν αυξημένη αντοχή ή αντίσταση στην υγρασία.

**Συγκόλληση με κόλλα ή θερμότητα:** Τα φύλλα υλικού στην πλαστικοποίηση φύλλων συγκολλούνται μεταξύ τους είτε με χρήση κόλλας είτε με θερμότητα. Η συγκολλητική συγκόλληση περιλαμβάνει την εφαρμογή ενός στρώματος κόλλας μεταξύ κάθε φύλλου, το οποίο ενεργοποιείται με θερμότητα ή πίεση για τη δημιουργία ενός ισχυρού δεσμού. Η θερμική συγκόλληση, από την άλλη πλευρά, βασίζεται στην τήξη ή την αποδυνάμωση των επιφανειών των υλικών για να τα ενώσει μεταξύ τους. Η επιλογή της μεθόδου συγκόλλησης εξαρτάται από τα συγκεκριμένα υλικά που χρησιμοποιούνται και τις επιθυμητές ιδιότητες του τελικού αντικειμένου.

**Μετεπεξεργασία και φινίρισμα:** Μετά την εκτύπωση του αντικειμένου με τη χρήση πλαστικοποίησης φύλλων, ενδέχεται να απαιτηθούν βήματα μετεπεξεργασίας για την επίτευξη των επιθυμητών τελικών ιδιοτήτων και εμφάνισης. Αυτό μπορεί να περιλαμβάνει την αφαίρεση τυχόν πλεονάζοντος υλικού ή δομών στήριξης, λείανση ή κατεργασία της επιφάνειας για πιο λείο φινίρισμα και εφαρμογή επιστρώσεων ή χρωμάτων για αισθητικούς σκοπούς. Τα στάδια μετεπεξεργασίας μπορεί να ποικίλλουν ανάλογα με τα συγκεκριμένα υλικά και την επιθυμητή τελική εφαρμογή.

**Εφαρμογές:** Η πλαστικοποίηση φύλλων είναι κατάλληλη για διάφορες εφαρμογές, όπως ταχεία κατασκευή πρωτοτύπων, αρχιτεκτονικά μοντέλα, σχεδιασμός συσκευασιών και καλλιτεχνικές δημιουργίες. Προσφέρει πλεονεκτήματα όπως το χαμηλό κόστος, η ευκολία χρήσης και η δυνατότητα δημιουργίας αντικειμένων μεγάλης κλίμακας. Ωστόσο, είναι σημαντικό να ληφθούν υπόψη οι περιορισμοί της διαδικασίας, όπως η πιθανότητα αποκόλλησης στρώματος και η χαμηλότερη ακρίβεια σε σύγκριση με άλλες τεχνικές προσθετικής κατασκευής.



Εικόνα 11 : Sheet Lamination process.

### 3.6.2. Επικάλυψη φύλλων - Βήμα προς Βήμα :

1. Το υλικό τοποθετείται στη θέση του στην κλίνη κοπής.
2. Το υλικό συγκολλάται στη θέση του, πάνω από την προηγούμενη στρώση, χρησιμοποιώντας την κόλλα.
3. Στη συνέχεια κόβεται το απαιτούμενο σχήμα από το στρώμα, με λέιζερ ή μαχαίρι.
4. Προστίθεται η επόμενη στρώση.
5. Τα βήματα δύο και τρία μπορούν να αντιστραφούν και εναλλακτικά, το υλικό μπορεί να κοπεί πριν από την τοποθέτηση και τη συγκόλληση.

### 3.6.3. Παράδειγμα εκτυπωτή :

Πίνακας 6 :

Όνομα Προϊόντος :	Διαστάσεις της περιοχής εκτύπωσης :	Πάχος στρώματος :	Αριθμός διαθέσιμων χρωμάτων προς εκτύπωση :
MCor Matrix 300 plus	A4 paper: 256 x 169 x 150 mm	0.1 mm – 0.19 mm	



Εικόνα 12 : Παράδειγμα Sheet Lamination εκτυπωτή.

### 3.6.4. Πλεονεκτήματα:

- Διαθέτει την ικανότητα να εκτυπώνει ένα μεγάλο εύρος υλικών όπως : χαρτί, ξύλο και μεταλλικά φύλλα.
- Γενικά χαμηλό κόστος σε σύγκριση με άλλες τεχνολογίες τρισδιάστατης εκτύπωσης.
- Μπορεί να παράγει μεγάλα αντικείμενα λόγω της χρήσης κυλινδρικών φύλλων.
- Δεν απαιτούν δομές στήριξης.
- Μπορεί να παράγει εξαρτήματα με καλή μηχανική αντοχή.
- Φιλικά προς το περιβάλλον, καθώς παράγουν λιγότερα απόβλητα σε σύγκριση με άλλες τεχνολογίες τρισδιάστατης εκτύπωσης.

### 3.6.5. Μειονεκτήματα:

- Γενικά χαμηλότερες ταχύτητες εκτύπωσης σε σύγκριση με άλλες τεχνολογίες τρισδιάστατης εκτύπωσης.
- Περιορισμένη ακρίβεια και ακρίβεια σε σύγκριση με άλλες τεχνολογίες τρισδιάστατης εκτύπωσης.
- Η πρόσφυση των στρωμάτων ενδέχεται να μην είναι τόσο ισχυρή όσο άλλες τεχνολογίες τρισδιάστατης εκτύπωσης.
- Τα μέρη ενδέχεται να απαιτούν μεταγενέστερη επεξεργασία για τη βελτίωση της επιφάνειας και την αφαίρεση της περίσσειας υλικού.
- Περιορισμένο εύρος γεωμετριών που μπορούν να εκτυπωθούν, συνήθως μόνο επίπεδες ή ελαφρώς καμπύλες επιφάνειες.

## 3.7 Directed energy deposition :

### 3.7.1. Διαδικασία :

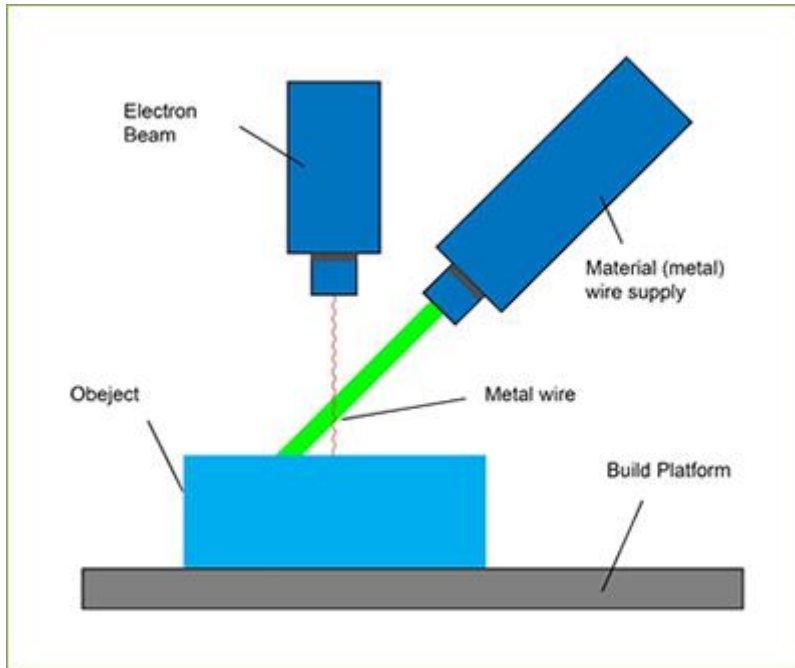
**Αρχή λειτουργίας:** Είναι μια διαδικασία προσθετικής κατασκευής που χρησιμοποιεί εστιασμένη θερμική ενέργεια για την τήξη και την τήξη υλικού καθώς αυτό εναποτίθεται σε ένα υπόστρωμα ή σε προηγούμενα στρώματα. Η διαδικασία περιλαμβάνει την τροφοδοσία μιας μεταλλικής σκόνης ή ενός σύρματος σε μια πηγή θερμότητας υψηλής ενέργειας, όπως ένα λέιζερ ή μια δέσμη ηλεκτρονίων, η οποία λιώνει το υλικό κατά την επαφή του με το υπόστρωμα. Το λιωμένο υλικό στερεοποιείται και σχηματίζει ένα νέο στρώμα, και η διαδικασία αυτή επαναλαμβάνεται στρώμα προς στρώμα για τη δημιουργία του τελικού τρισδιάστατου αντικειμένου.

**Υλικό τροφοδοσίας:** Η εναπόθεση κατευθυνόμενης ενέργειας μπορεί να λειτουργήσει με ένα ευρύ φάσμα υλικών, συμπεριλαμβανομένων των μετάλλων, των κραμάτων και των σύνθετων υλικών. Ως πρώτη ύλη χρησιμοποιούνται συνήθως μεταλλικές σκόνες ή μεταλλικά σύρματα. Η επιλογή του υλικού εξαρτάται από τις επιθυμητές ιδιότητες του τελικού αντικειμένου, όπως η αντοχή, η θερμική αγωγιμότητα ή η αντίσταση στη διάβρωση. Πολλαπλά υλικά μπορούν να χρησιμοποιηθούν σε μία μόνο διαδικασία εναπόθεσης, επιτρέποντας τη δημιουργία υβριδικών δομών ή διαβαθμισμένων υλικών.

**Πηγή θερμότητας:** Η εναπόθεση κατευθυνόμενης ενέργειας βασίζεται σε μια πηγή θερμότητας υψηλής ενέργειας, συνήθως ένα λέιζερ ή μια δέσμη ηλεκτρονίων, για την παροχή της θερμικής ενέργειας που απαιτείται για την τήξη του υλικού. Η πηγή θερμότητας ελέγχεται με ακρίβεια και κατευθύνεται πάνω στο υπόστρωμα ή σε προηγούμενα στρώματα, εξασφαλίζοντας τοπική τήξη και εναπόθεση. Η επιλογή της πηγής θερμότητας εξαρτάται από παράγοντες όπως το υπό επεξεργασία υλικό, οι απαιτήσεις ταχύτητας εναπόθεσης και η επιθυμητή ανάλυση.

**Έλεγχος εναπόθεσης:** Η Κατευθυνόμενη Ενεργειακή Εναπόθεση προσφέρει υψηλό επίπεδο ελέγχου εναπόθεσης, επιτρέποντας την ακριβή κατασκευή πολύπλοκων γεωμετριών και την προσαρμογή. Η διαδικασία περιλαμβάνει συνήθως ρομποτικά συστήματα ελεγχόμενα από υπολογιστή που χειρίζονται την πηγή θερμότητας και την πρώτη ύλη του υλικού. Αυτό επιτρέπει τον ακριβή έλεγχο των παραμέτρων εναπόθεσης, όπως η ταχύτητα, η ισχύς και το πάχος στρώματος. Μπορούν να ενσωματωθούν συστήματα παρακολούθησης και ανατροφοδότησης σε πραγματικό χρόνο για να διασφαλιστεί η ακριβής εναπόθεση και ο ποιοτικός έλεγχος.

**Εφαρμογές:** Η εναπόθεση κατευθυνόμενης ενέργειας έχει διάφορες εφαρμογές σε βιομηχανίες όπως η αεροδιαστημική, η αυτοκινητοβιομηχανία και η κατασκευή εργαλείων. Χρησιμοποιείται για την επισκευή ή την προσθήκη υλικού σε υπάρχοντα εξαρτήματα, την κατασκευή δομών μεγάλης κλίμακας, τη δημιουργία εξαρτημάτων με σχεδόν καθαρό σχήμα και την παραγωγή σύνθετων γεωμετριών με προσαρμοσμένες ιδιότητες υλικών. Η διαδικασία προσφέρει πλεονεκτήματα όπως η δυνατότητα εργασίας με μεγάλα εξαρτήματα, η επισκευή κατεστραμμένων εξαρτημάτων και η ταυτόχρονη εναπόθεση πολλαπλών υλικών.



Εικόνα 13 : Directed Energy Deposition process.

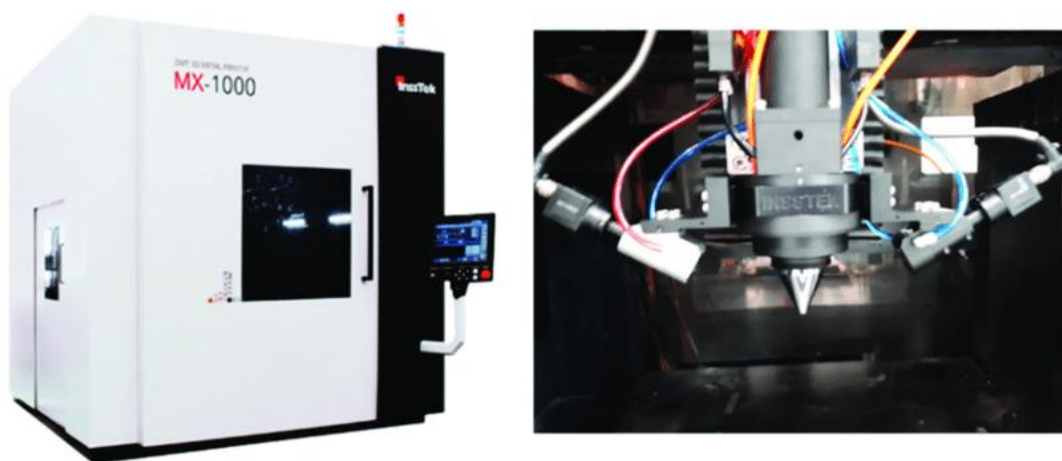
### 3.7.2. Άμεση εναπόθεση ενέργειας (D.E.D) - Βήμα προς βήμα:

1. Βραχίονας A4 ή 5 αξόνων με ακροφύσιο κινείται γύρω από ένα σταθερό αντικείμενο.
2. Το υλικό εναποτίθεται από το ακροφύσιο στις υπάρχουσες επιφάνειες του αντικειμένου.
3. Το υλικό παρέχεται είτε σε μορφή σύρματος είτε σε μορφή σκόνης.
4. Το υλικό λιώνει με τη χρήση λέιζερ, δέσμης ηλεκτρονίων ή τόξου πλάσματος κατά την εναπόθεση.
5. Περαιτέρω υλικό προστίθεται στρώμα προς στρώμα και στερεοποιείται, δημιουργώντας ή επιδιορθώνοντας νέα χαρακτηριστικά υλικού στο υπάρχον αντικείμενο.

### 3.7.3. Παράδειγμα εκτυπωτή :

Πίνακας 7 :

Όνομα Προϊόντος :	Διαστάσεις της περιοχής εκτύπωσης :	Πάχος στρώματος :	Αριθμός διαθέσιμων χρωμάτων προς εκτύπωση :
Insstek MX3	1000 x 800 x 650 mm	0.089 - 0.203 mm	2 layers/minute



Εικόνα 14 : Παράδειγμα Directed Energy Deposition εκτυπωτή.

### 3.7.4. Πλεονεκτήματα:

- Υψηλά ποσοστά εναπόθεσης: Αυτό τους καθιστά ιδανικούς για τη γρήγορη δημιουργία μεγάλων εξαρτημάτων.
- Μπορούν να εκτυπώσουν με πολλαπλά υλικά: Οι εκτυπωτές DED μπορούν να εργαστούν με μια ποικιλία υλικών, όπως μέταλλα, πλαστικά και κεραμικά, επιτρέποντας μεγαλύτερη ευελιξία στην κατασκευή.
- Μπορούν να εκτυπώσουν μεγάλα εξαρτήματα: Οι εκτυπωτές DED μπορούν να χρησιμοποιηθούν για τη δημιουργία μεγάλων, πολύπλοκων εξαρτημάτων που θα ήταν δύσκολο ή αδύνατο να παραχθούν με παραδοσιακές μεθόδους κατασκευής.
- Καλό φινίρισμα επιφάνειας: Οι εκτυπωτές DED μπορούν να παράγουν εξαρτήματα με πολύ λείο φινίρισμα επιφάνειας, μειώνοντας την ανάγκη για πρόσθετη μετα-επεξεργασία.
- Μπορούν να επισκευάσουν εξαρτήματα: Οι εκτυπωτές DED μπορούν να χρησιμοποιηθούν για την επισκευή κατεστραμμένων εξαρτημάτων προσθέτοντας υλικό όπου χρειάζεται, εξοικονομώντας χρόνο και χρήμα σε σύγκριση με την αντικατάσταση ολόκληρου του εξαρτήματος.



### 3.7.5. Μειονεκτήματα:

- Περιορισμένη ακρίβεια: Οι εκτυπωτές DED δεν είναι τόσο ακριβείς όσο ορισμένες άλλες τεχνολογίες τρισδιάστατης εκτύπωσης, καθιστώντας τους λιγότερο κατάλληλους για εφαρμογές που απαιτούν υψηλά επίπεδα ακρίβειας.
- Περιορισμένη ανάλυση: Οι εκτυπωτές DED έχουν χαμηλότερη ανάλυση από ορισμένες άλλες τεχνολογίες τρισδιάστατης εκτύπωσης, γεγονός που μπορεί να οδηγήσει σε ορατές γραμμές στρώματος και τραχιά επιφανειακά φινιρίσματα.
- Περιορισμένη επιλογή υλικών: Παρόλο που οι εκτυπωτές DED μπορούν να συνεργαστούν με μια ποικιλία υλικών, η γκάμα των διαθέσιμων υλικών εξακολουθεί να είναι πιο περιορισμένη από ορισμένες άλλες τεχνολογίες τρισδιάστατης εκτύπωσης.
- Πολύπλοκος εξοπλισμός: Οι εκτυπωτές DED μπορεί να είναι πολύπλοκοι και ακριβοί στη λειτουργία τους, απαιτώντας εξειδικευμένους τεχνικούς για τη συντήρηση και τη λειτουργία τους.
- Ανησυχίες σχετικά με την ασφάλεια: Οι εκτυπωτές DED χρησιμοποιούν λέιζερ υψηλής ενέργειας ή δέσμες ηλεκτρονίων, οι οποίες μπορεί να είναι επικίνδυνες εάν δεν λειτουργούν σωστά. Πρέπει να λαμβάνονται επαρκή μέτρα ασφαλείας ώστε να διασφαλίζεται ότι οι χειριστές και οι παρευρισκόμενοι δεν διατρέχουν κίνδυνο τραυματισμού.

## Κεφάλαιο 4

### Προγράμματα σχεδίασης με την βοήθεια ηλεκτρονικού υπολογιστή (Computer Aided Design) :

#### 4.1.Εισαγωγή :

Ο σχεδιασμός με τη βοήθεια υπολογιστή (CAD) είναι η χρήση της τεχνολογίας των υπολογιστών για να βοηθήσει στη δημιουργία, τροποποίηση, ανάλυση ή βελτιστοποίηση σχεδίων για διάφορες βιομηχανίες. Περιλαμβάνει τη χρήση εξειδικευμένων εργαλείων λογισμικού που επιτρέπουν στους σχεδιαστές και τους μηχανικούς να δημιουργούν ακριβείς και λεπτομερείς ψηφιακές αναπαραστάσεις αντικειμένων, συστημάτων ή δομών.

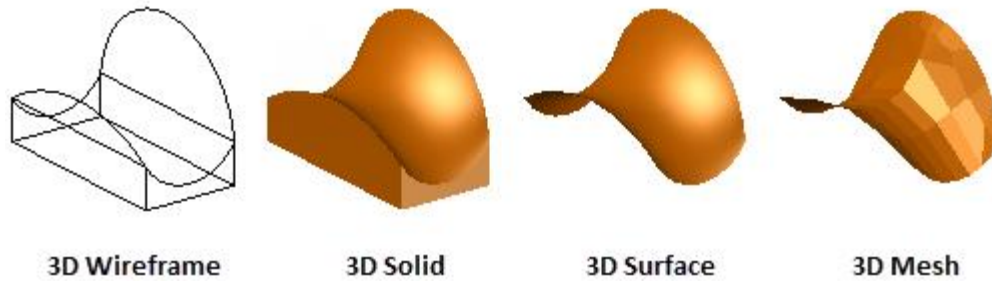
Το CAD επιτρέπει στους χρήστες να δημιουργούν δισδιάστατα και τρισδιάστατα μοντέλα, παρέχοντας μια εικονική πλατφόρμα για την οπτικοποίηση και τη βελτίωση των σχεδίων πριν από τη φυσική κατασκευή τους. Προσφέρει μια σειρά εργαλείων και λειτουργιών, όπως σχέδιο, σχεδίαση, μοντελοποίηση, προσομοίωση και τεκμηρίωση, τα οποία ενισχύουν τη διαδικασία σχεδιασμού και βελτιώνουν την παραγωγικότητα. Με το CAD, οι σχεδιαστές μπορούν να χειρίζονται και να επαναλαμβάνουν εύκολα τα σχέδια, να πραγματοποιούν ακριβείς μετρήσεις, να εφαρμόζουν ρεαλιστικά υλικά και υφές, να αναλύουν τη δομική ακεραιότητα, να προσομοιώνουν τη συμπεριφορά στον πραγματικό κόσμο και να δημιουργούν τεχνική τεκμηρίωση, συμπεριλαμβανομένων των μηχανολογικών σχεδίων και προδιαγραφών. Τα συστήματα CAD υποστηρίζουν επίσης τη συνεργασία και την ανταλλαγή δεδομένων μεταξύ των μελών της ομάδας, επιτρέποντας την αποτελεσματική επικοινωνία και τον συντονισμό κατά τα στάδια σχεδιασμού και ανάπτυξης.

Το CAD βρίσκει εφαρμογές σε διάφορους κλάδους, όπως η αρχιτεκτονική, η μηχανική, η κατασκευή, η αυτοκινητοβιομηχανία, η αεροδιαστημική, ο σχεδιασμός προϊόντων και πολλοί άλλοι. Έχει φέρει επανάσταση στη διαδικασία σχεδιασμού, παρέχοντας ταχύτερες και ακριβέστερες μεθόδους για τη δημιουργία και τη βελτίωση των σχεδίων, τη μείωση των σφαλμάτων και τη διευκόλυνση της καινοτομίας και της δημιουργικότητας.

Συνοπτικά, η σχεδίαση με τη βοήθεια υπολογιστή (CAD) είναι μια τεχνολογία βασισμένη σε υπολογιστή που επιτρέπει στους σχεδιαστές και τους μηχανικούς να δημιουργούν, να αναλύουν και να βελτιστοποιούν ψηφιακά μοντέλα αντικειμένων ή συστημάτων, ενισχύοντας την αποδοτικότητα και την αποτελεσματικότητα της διαδικασίας σχεδιασμού σε πολυάριθμους κλάδους.

## 4.2.Είδη/Τρόποι τρισδιάστατης σχεδίασης :

### 4.2.1. Μοντελοποίηση Στερεών (Solid Modeling) :



Εικόνα 15 : Solid Modeling.

Η μοντελοποίηση στερεών είναι μια θεμελιώδης τεχνική στον σχεδιασμό με τη βοήθεια υπολογιστή (CAD) που επιτρέπει τη δημιουργία ακριβών και ρεαλιστικών τρισδιάστατων (3D) ψηφιακών αναπαραστάσεων φυσικών αντικειμένων. Επικεντρώνεται στην αποτύπωση της πλήρους γεωμετρίας και της εσωτερικής δομής των αντικειμένων, παρέχοντας μια λεπτομερή και ακριβή αναπαράσταση που είναι ιδιαίτερα κατάλληλη για εφαρμογές μηχανικής, κατασκευής και σχεδιασμού προϊόντων.

Στη στερεά μοντελοποίηση, τα αντικείμενα αναπαρίστανται ως πλήρως κλειστοί και υδατοστεγείς όγκοι, διασφαλίζοντας ότι δεν υπάρχουν κενά ή επικαλύψεις στη γεωμετρία. Αυτό επιτρέπει ακριβείς προσομοιώσεις, αναλύσεις και διαδικασίες κατασκευής που βασίζονται στην ακεραιότητα της γεωμετρίας του αντικειμένου. Τα στερεά μοντέλα αποτελούνται από γεωμετρικά primitives, όπως κύβους, σφαίρες, κυλίνδρους και πιο σύνθετα σχήματα, τα οποία συνδυάζονται, τέμνονται ή αφαιρούνται για να δημιουργήσουν την επιθυμητή μορφή.

Ένα από τα κύρια πλεονεκτήματα της στερεάς μοντελοποίησης είναι η ικανότητά της να αναπαριστά με ακρίβεια τις φυσικές ιδιότητες και τη συμπεριφορά. Τα στερεά μοντέλα μπορούν να ενσωματώνουν ιδιότητες υλικών, όπως η πυκνότητα, η θερμική αγωγιμότητα και οι μηχανικές ιδιότητες, επιτρέποντας προσομοιώσεις και αναλύσεις της δομικής ακεραιότητας, της ροής ρευστών, της μεταφοράς θερμότητας και άλλων φυσικών φαινομένων. Αυτό επιτρέπει στους μηχανικούς και τους σχεδιαστές να αξιολογούν και να βελτιστοποιούν τα σχέδια πριν από τη δημιουργία φυσικών πρωτοτύπων ή την παραγωγή.

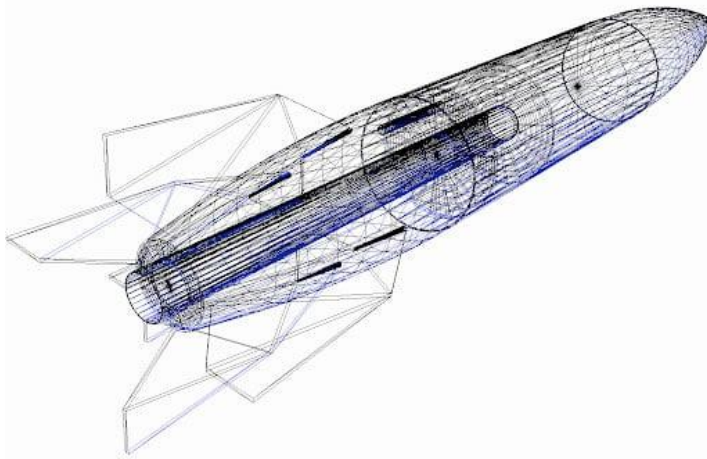
Οι τεχνικές μοντελοποίησης στερεών που χρησιμοποιούνται συνήθως στο λογισμικό CAD περιλαμβάνουν την αναπαράσταση ορίων (B-rep) και την εποικοδομητική γεωμετρία στερεών (CSG). Η B-rep αναπαριστά αντικείμενα με τον ορισμό των οριακών επιφανειών τους χρησιμοποιώντας μαθηματικές εξισώσεις ή πολυγωνικά πλέγματα, ενώ η CSG αναπαριστά αντικείμενα συνδυάζοντας απλά γεωμετρικά primitives χρησιμοποιώντας πράξεις Boolean (ένωση, τομή, αφαίρεση).

Η εφαρμογή της στερεάς μοντελοποίησης εκτείνεται πέρα από τη φάση του σχεδιασμού. Τα στερεά μοντέλα χρησιμεύουν ως βάση για τη δημιουργία μηχανολογικών σχεδίων, οδηγιών κατασκευής και τεκμηρίωσης. Διευκολύνουν την ανταλλαγή δεδομένων σχεδιασμού μεταξύ διαφορετικών συστημάτων λογισμικού και

επιτρέπουν τη συνεργασία μεταξύ πολλαπλών ενδιαφερομένων μερών που εμπλέκονται στη διαδικασία ανάπτυξης προϊόντων.

Συμπερασματικά, η στερεά μοντελοποίηση είναι μια ισχυρή τεχνική στον σχεδιασμό με τη βοήθεια υπολογιστή που παρέχει ακριβείς και λεπτομερείς αναπαραστάσεις φυσικών αντικειμένων. Η ικανότητά της να αποτυπώνει τη γεωμετρία, την εσωτερική δομή και τις φυσικές ιδιότητες την καθιστά απαραίτητη στους κλάδους της μηχανικής, της κατασκευής και του σχεδιασμού προϊόντων. Επιτρέποντας την προσομοίωση, την ανάλυση και την τεκμηρίωση, η στερεά μοντελοποίηση συμβάλλει σε αποδοτικές και αποτελεσματικές διαδικασίες σχεδιασμού, μειώνοντας το κόστος και τον χρόνο διάθεσης στην αγορά νέων προϊόντων.

#### 4.2.2. Μοντελοποίηση συρματοπλέγματος (Wireframe Modeling):



Εικόνα 16 : Wireframe Modeling.

Η μοντελοποίηση συρματοπλέγματος είναι μια θεμελιώδης τεχνική που χρησιμοποιείται στον σχεδιασμό με τη βοήθεια υπολογιστή (CAD) για την αναπαράσταση και την οπτικοποίηση τρισδιάστατων (3D) αντικειμένων χρησιμοποιώντας μόνο τις άκρες ή τις γραμμές τους. Χρησιμεύει ως θεμελιώδης προσέγγιση για τη δημιουργία ψηφιακών μοντέλων και είναι ιδιαίτερα πολύτιμη στα αρχικά στάδια της διερεύνησης του σχεδιασμού και της ανάπτυξης ιδεών. Κατά τη μοντελοποίηση συρματοπλαισίου, η πρωταρχική εστίαση είναι ο καθορισμός του δομικού πλαισίου ενός αντικειμένου και όχι της επιφάνειας ή των εσωτερικών λεπτομερειών του. Το μοντέλο αποτελείται από γραμμές, καμπύλες και κορυφές που περιγράφουν τις ακμές και τις διασταυρώσεις της γεωμετρίας του αντικειμένου. Αυτή η μινιμαλιστική αναπαράσταση επιτρέπει στους σχεδιαστές και τους μηχανικούς να κατανοήσουν τη βασική μορφή και τις χωρικές σχέσεις του αντικειμένου χωρίς την απόσπαση της προσοχής από τις επιφανειακές υφές ή τις ιδιότητες των υλικών. Τα μοντέλα wireframe κατασκευάζονται συνήθως χρησιμοποιώντας γεωμετρικά primitives όπως σημεία, γραμμές, τόξα και κύκλους. Τα στοιχεία αυτά συνδέονται για να σχηματίσουν το επιθυμητό σχήμα του αντικειμένου. Πολύπλοκα αντικείμενα μπορούν να δημιουργηθούν με το συνδυασμό και το χειρισμό αυτών των βασικών

γεωμετρικών οντοτήτων. Η προκύπτουσα αναπαράσταση συρματοπλέγματος παρέχει μια αφηρημένη άποψη του αντικειμένου, επιτρέποντας την εύκολη απεικόνιση της συνολικής δομής, των αναλογιών και της πρόθεσης σχεδιασμού του.

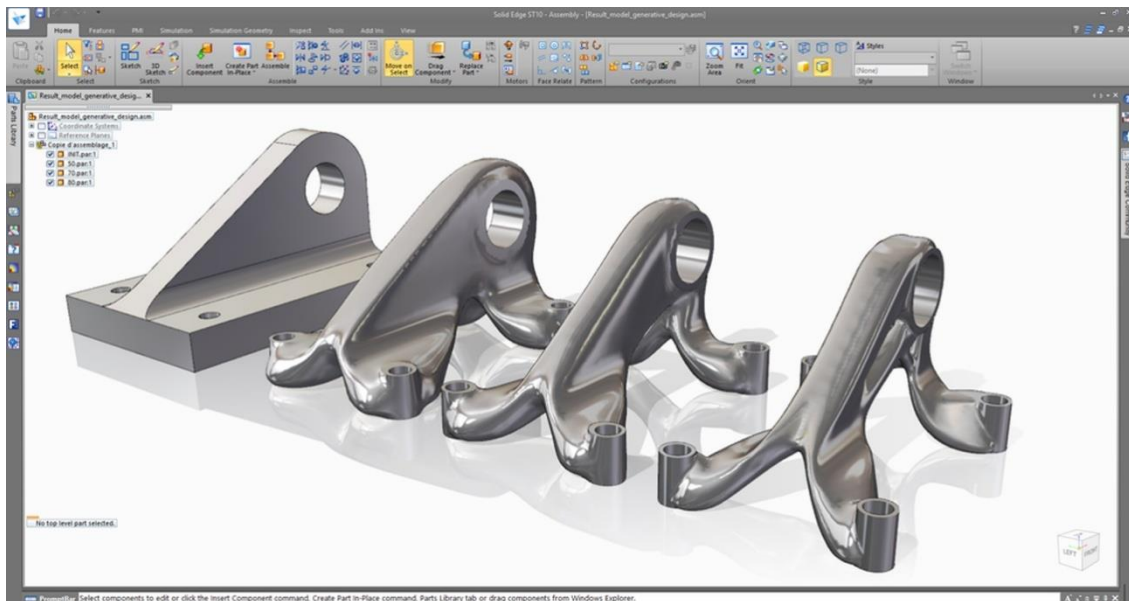
Ένα από τα βασικά πλεονεκτήματα της μοντελοποίησης συρματοπλαισίου είναι η απλότητα και η αποτελεσματικότητά της στη μετάδοση βασικών πληροφοριών σχεδιασμού. Εστιάζοντας στην υποκείμενη δομή του αντικειμένου, τα μοντέλα συρματοπλαισίου επιτρέπουν στους σχεδιαστές να διερευνούν γρήγορα διαφορετικές εναλλακτικές λύσεις σχεδιασμού, να αξιολογούν τις αναλογίες και να επαληθεύουν τις γεωμετρικές σχέσεις. Η απουσία επιφανειακών λεπτομερειών επιτρέπει επίσης την ταχύτερη απόδοση και χειρισμό του μοντέλου σε σύγκριση με πιο λεπτομερείς αναπαραστάσεις.

Τα μοντέλα wireframe μπορούν να χρησιμεύσουν ως βάση για πιο προηγμένες τεχνικές μοντελοποίησης, όπως η επιφανειακή μοντελοποίηση και η μοντελοποίηση στερεών. Η μοντελοποίηση επιφανειών περιλαμβάνει την προσθήκη επιφανειών στο πλαίσιο του συρματοπλέγματος για τη δημιουργία μιας πιο οπτικά ρεαλιστικής αναπαράστασης του αντικειμένου, ενώ η μοντελοποίηση στερεών ενσωματώνει τον όγκο και τις ιδιότητες των υλικών για σκοπούς μηχανικής ανάλυσης, προσομοίωσης και κατασκευής.

Παρά τα πλεονεκτήματά της, η μοντελοποίηση συρματοπλαισίου έχει περιορισμούς. Δεδομένου ότι δεν διαθέτει πληροφορίες επιφάνειας, ενδέχεται να μην αποδίδει με ακρίβεια την οπτική εμφάνιση ή τις λεπτότερες λεπτομέρειες του αντικειμένου. Επιπλέον, χωρίς την αναπαράσταση του όγκου, μπορεί να μην είναι κατάλληλη για ορισμένες εργασίες μηχανικής ανάλυσης ή προσομοίωσης που απαιτούν πλήρη τρισδιάστατη αναπαράσταση.

Εν κατακλείδι, η μοντελοποίηση συρματοπλαισίου είναι μια θεμελιώδης τεχνική στον σχεδιασμό με τη βοήθεια υπολογιστή που επικεντρώνεται στην αναπαράσταση του βασικού δομικού πλαισίου των τρισδιάστατων αντικειμένων με τη χρήση γραμμών και ακμών. Η απλότητα και η αποτελεσματικότητά της την καθιστούν πολύτιμη για την εξερεύνηση και την ανάπτυξη ιδεών σε πρώιμο στάδιο σχεδιασμού. Παρόλο που τα μοντέλα wireframe μπορεί να στερούνται επιφανειακών λεπτομερειών και όγκου, χρησιμεύουν ως σημείο εκκίνησης για πιο προηγμένες τεχνικές μοντελοποίησης και παρέχουν ουσιαστικές γνώσεις σχετικά με τη μορφή και τις χωρικές σχέσεις του αντικειμένου.

### 4.2.3. Μοντελοποίηση Επιφανειών (Surface Modeling) :



Εικόνα 17 : Surface Modeling.

Η μοντελοποίηση επιφανειών είναι μια εξέχουσα τεχνική στον σχεδιασμό με τη βοήθεια υπολογιστή (CAD) που επικεντρώνεται στη δημιουργία και αναπαράσταση ομαλών και συνεχών επιφανειών τρισδιάστατων (3D) αντικειμένων. Διαδραματίζει κρίσιμο ρόλο σε διάφορες βιομηχανίες, όπως ο σχεδιασμός αυτοκινήτων, ο βιομηχανικός σχεδιασμός και η αεροδυναμική μηχανική, όπου η ακριβής αναπαράσταση των επιφανειών είναι ζωτικής σημασίας για την οπτική ελκυστικότητα, την αεροδυναμική και τις κατασκευαστικές εκτιμήσεις.

Στη μοντελοποίηση επιφανειών, ο πρωταρχικός στόχος είναι ο καθορισμός της εξωτερικής εμφάνισης και του σχήματος ενός αντικειμένου. Αντί να εργάζεται με μεμονωμένα σημεία, γραμμές ή κορυφές όπως στη μοντελοποίηση συρματοπλαισίου, η μοντελοποίηση επιφάνειας χρησιμοποιεί μαθηματικές αναπαραστάσεις για τον ορισμό και τον χειρισμό πολύπλοκων καμπυλών και επιφανειών. Αυτές οι επιφάνειες μπορεί να είναι παραμετρικές, όπου ορίζονται από μαθηματικές εξισώσεις ή αλγόριθμους, ή μη παραμετρικές, όπου κατασκευάζονται με τη χρήση σημείων ελέγχου ή σημείων δεδομένων.

Μια από τις πιο συχνά χρησιμοποιούμενες τεχνικές μοντελοποίησης επιφανειών είναι η δημιουργία επιφανειών NURBS (Non-Uniform Rational B-Splines). Οι επιφάνειες NURBS ορίζονται από ένα σύνολο σημείων ελέγχου και μαθηματικών συναρτήσεων που διέπουν το σχήμα και τη συνέχειά τους. Επιτρέπουν τον ακριβή έλεγχο του σχήματος, της ομαλότητας και της καμπυλότητας των επιφανειών. Οι επιφάνειες NURBS είναι ευέλικτες και ικανές να αναπαραστήσουν ένα ευρύ φάσμα οργανικών και γεωμετρικών σχημάτων με μεγάλη ακρίβεια.

Η μοντελοποίηση επιφανειών επιτρέπει στους σχεδιαστές να δημιουργούν σύνθετα, αισθητικά ευχάριστα σχήματα και να επιτυγχάνουν την επιθυμητή μορφή του

αντικειμένου. Παρέχει εργαλεία και λειτουργίες για τον χειρισμό των επιφανειών, όπως κλιμάκωση, τέντωμα, κάμψη και ανάμειξη, επιτρέποντας τη βελτίωση και τη βελτιστοποίηση του σχεδιασμού. Τα μοντέλα επιφανειών που προκύπτουν μπορούν να είναι οπτικά ελκυστικά, ομαλά και οπτικά ρεαλιστικά, ικανοποιώντας τις απαιτήσεις των βιομηχανιών όπου η αισθητική είναι ζωτικής σημασίας.

Τα μοντέλα επιφανειών χρησιμεύουν ως βάση για διάφορες μεταγενέστερες διαδικασίες, όπως η απόδοση, η οπτικοποίηση, η ανάλυση και η κατασκευή. Μπορούν να χρησιμοποιηθούν για την ανάλυση πεπερασμένων στοιχείων (FEA) για την αξιολόγηση της δομικής ακεραιότητας, την αεροδυναμική ανάλυση για τη βελτιστοποίηση της ροής του αέρα και το σχεδιασμό εργαλείων για τη δημιουργία καλουπιών σε διαδικασίες παραγωγής. Τα μοντέλα επιφανειών μπορούν επίσης να μετατραπούν σε στερεά μοντέλα με την προσθήκη πάχους και όγκου για την αναπαράσταση του εσωτερικού του αντικειμένου, επιτρέποντας την περαιτέρω μηχανική ανάλυση, προσομοίωση και κατασκευαστικές εκτιμήσεις.

Ωστόσο, είναι σημαντικό να σημειωθεί ότι η επιφανειακή μοντελοποίηση έχει ορισμένους περιορισμούς. Η δημιουργία και ο χειρισμός πολύπλοκων επιφανειών μπορεί να είναι χρονοβόρα και δύσκολη, απαιτώντας τεχνογνωσία και εξειδικευμένα εργαλεία λογισμικού. Επιπλέον, τα επιφανειακά μοντέλα ενδέχεται να μην παρέχουν την εσωτερική δομή και τις ογκομετρικές πληροφορίες που είναι απαραίτητες για ορισμένες μηχανικές αναλύσεις ή διαδικασίες κατασκευής. Ως εκ τούτου, είναι συχνά απαραίτητη η μετατροπή επιφανειακών μοντέλων σε στερεά μοντέλα ή ο συνδυασμός της επιφανειακής μοντελοποίησης με άλλες τεχνικές μοντελοποίησης για την αντιμετώπιση αυτών των περιορισμών.

Συμπερασματικά, η μοντελοποίηση επιφανειών είναι μια ισχυρή τεχνική στον σχεδιασμό με τη βοήθεια υπολογιστή που επικεντρώνεται στη δημιουργία και την αναπαράσταση ομαλών και συνεχών επιφανειών τρισδιάστατων αντικειμένων. Μέσω της χρήσης μαθηματικών αναπαραστάσεων και αλγορίθμων, η επιφανειακή μοντελοποίηση επιτρέπει στους σχεδιαστές να επιτύχουν αισθητικά ευχάριστα σχήματα και ακριβή έλεγχο της μορφής του αντικειμένου. Διαδραματίζει κρίσιμο ρόλο σε βιομηχανίες όπου η ποιότητα της επιφάνειας, η οπτική ελκυστικότητα και οι κατασκευαστικές εκτιμήσεις είναι ουσιώδεις.

### 4.3. Προγράμματα C.A.D (Πλεονεκτήματα/Μειονεκτήματα) :

1. **AutoCAD:**

Το AutoCAD είναι ένα δημοφιλές λογισμικό που χρησιμοποιείται για 2D και 3D μοντελοποίηση και χρησιμοποιείται ευρέως σε διάφορες βιομηχανίες, όπως η αρχιτεκτονική, η μηχανική και ο σχεδιασμός προϊόντων. Παρέχει ένα ολοκληρωμένο σύνολο εργαλείων για ακριβή μοντελοποίηση, σχεδίαση και τεκμηρίωση, καθιστώντας το κατάλληλο για εφαρμογές τρισδιάστατης εκτύπωσης.

2. **SolidWorks:**

Το SolidWorks είναι ένα πλούσιο σε χαρακτηριστικά παραμετρικό λογισμικό μοντελοποίησης, γνωστό για τις εκτεταμένες δυνατότητές του στη δημιουργία σύνθετων τρισδιάστατων μοντέλων. Προσφέρει προηγμένα εργαλεία για τη μοντελοποίηση εξαρτημάτων και συγκροτημάτων, την προσομοίωση και την απόδοση. Το SolidWorks υποστηρίζει επίσης την εξαγωγή μοντέλων σε τυποποιημένες μορφές αρχείων συμβατές με την τρισδιάστατη εκτύπωση.

3. **Fusion 360:**

Το Fusion 360 είναι ένα λογισμικό 3D μοντελοποίησης βασισμένο στο cloud που αναπτύχθηκε από την Autodesk. Συνδυάζει παραμετρική μοντελοποίηση, μηχανολογικό σχεδιασμό, προσομοίωση και εργαλεία συνεργασίας σε μια ενιαία πλατφόρμα. Το Fusion 360 υποστηρίζει την άμεση ενσωμάτωση με υπηρεσίες τρισδιάστατης εκτύπωσης, καθιστώντας βολική για τους χρήστες την προετοιμασία και την εξαγωγή μοντέλων για προσθετική κατασκευή.

4. **Rhino3D:**

Το Rhino3D, επίσης γνωστό ως Rhinoceros, είναι ένα ευέλικτο λογισμικό 3D μοντελοποίησης που χρησιμοποιείται ευρέως στον βιομηχανικό σχεδιασμό, την αρχιτεκτονική και τον σχεδιασμό κοσμημάτων. Προσφέρει ισχυρές δυνατότητες μοντελοποίησης επιφανειών, επιτρέποντας στους χρήστες να δημιουργούν σύνθετα οργανικά σχήματα. Το Rhino3D υποστηρίζει την εξαγωγή μοντέλων σε διάφορες μορφές αρχείων κατάλληλες για τρισδιάστατη εκτύπωση.

5. **Blender:**

Το Blender είναι ένα ελεύθερο και ανοικτού κώδικα λογισμικό 3D μοντελοποίησης και animation με ισχυρή κοινότητα χρηστών. Αν και είναι κυρίως γνωστό για τις δυνατότητες animation και rendering, το Blender παρέχει επίσης ισχυρά εργαλεία μοντελοποίησης κατάλληλα για τρισδιάστατη εκτύπωση. Υποστηρίζει την εξαγωγή μοντέλων σε STL και άλλες κοινές μορφές αρχείων που χρησιμοποιούνται στην προσθετική κατασκευή.

6. **Tinkercad:**

Το Tinkercad είναι ένα φιλικό προς το χρήστη λογισμικό τρισδιάστατης μοντελοποίησης βασισμένο στο διαδίκτυο, σχεδιασμένο για αρχάριους και εκπαιδευτικούς σκοπούς. Προσφέρει ένα απλό περιβάλλον εργασίας και



διαισθητικά εργαλεία για τη δημιουργία βασικών τρισδιάστατων μοντέλων. Το Tinkercad παρέχει εύκολες επιλογές εξαγωγής για τρισδιάστατη εκτύπωση, καθιστώντας το κατάλληλο για όσους είναι αρχάριοι στην τρισδιάστατη μοντελοποίηση και εκτύπωση.

7. **SketchUp:**

Το SketchUp είναι ένα δημοφιλές λογισμικό που είναι γνωστό για την ευκολία χρήσης και τη γρήγορη εκμάθησή του. Προσφέρει μια σειρά εργαλείων για τη δημιουργία τρισδιάστατων μοντέλων, ιδίως αρχιτεκτονικών σχεδίων και πρωτοτύπων. Το SketchUp υποστηρίζει την εξαγωγή μοντέλων σε STL και άλλες μορφές αρχείων συμβατές με την τρισδιάστατη εκτύπωση.

#### 4.4. Slicers :

1. **UltimakerCura:** Το UltimakerCura είναι ένα δημοφιλές λογισμικό ανοιχτού κώδικα για τον τεμαχισμό 3D που υποστηρίζει ένα ευρύ φάσμα εκτυπωτών 3D. Παρέχει προηγμένα χαρακτηριστικά για την προετοιμασία του μοντέλου, συμπεριλαμβανομένων προσαρμόσιμων ρυθμίσεων τεμαχισμού, δημιουργίας υποστήριξης και βελτιστοποίησης της εκτύπωσης. Το UltimakerCura προσφέρει μια διαισθητική διεπαφή χρήστη και είναι κατάλληλο τόσο για αρχάριους όσο και για έμπειρους χρήστες.
2. **PrusaSlicer:** Το PrusaSlicer είναι ένα ισχυρό λογισμικό τεμαχισμού που αναπτύχθηκε από την PrusaResearch. Είναι γνωστό για την εκτεταμένη υποστήριξή του για τους τρισδιάστατους εκτυπωτές Prusa, αλλά λειτουργεί και με άλλους εκτυπωτές. Το PrusaSlicer προσφέρει προηγμένα χαρακτηριστικά, όπως προσαρμόσιμες δομές στήριξης, βελτιστοποίηση ύψους στρώματος και αυτόματο προσανατολισμό τεμαχίου. Παρέχει λεπτομερή έλεγχο των παραμέτρων τεμαχισμού για τη λεπτομερή ρύθμιση της διαδικασίας εκτύπωσης.
3. **Simplify3D:** Το Simplify3D είναι ένα ολοκληρωμένο εμπορικό λογισμικό τεμαχισμού 3D συμβατό με ένα ευρύ φάσμα τρισδιάστατων εκτυπωτών. Προσφέρει προηγμένα χαρακτηριστικά, όπως υποστήριξη πολλαπλών υλικών, μεταβλητό ύψος στρώματος και προσαρμόσιμες ρυθμίσεις εκτύπωσης. Το Simplify3D παρέχει μια φιλική προς το χρήστη διεπαφή με υψηλό επίπεδο ελέγχου των παραμέτρων τεμαχισμού, καθιστώντας το κατάλληλο για επαγγελματίες χρήστες.
4. **Slic3r:** Το Slic3r είναι ένα λογισμικό 3D slicer ανοιχτού κώδικα, γνωστό για τους προηγμένους αλγόριθμους τεμαχισμού και την ευελιξία του. Προσφέρει μια σειρά χαρακτηριστικών για την προετοιμασία του μοντέλου, όπως μοτίβα πλήρωσης, προσαρμόσιμες δομές στήριξης και διαδοχική εκτύπωση. Το Slic3r είναι ιδιαίτερα προσαρμόσιμο και επιτρέπει στους χρήστες να προσαρμόζουν τις ρυθμίσεις φέτες σύμφωνα με τις συγκεκριμένες ανάγκες τους.
5. **MatterControl:** Το MatterControl είναι ένα φιλικό προς το χρήστη λογισμικό τρισδιάστατου τεμαχισμού με έμφαση στην απλότητα και την ευκολία χρήσης.

Παρέχει βασικές δυνατότητες τεμαχισμού μαζί με πρόσθετα χαρακτηριστικά όπως η επισκευή μοντέλων, τα προσαρμόσιμα στηρίγματα και η διαχείριση ουράς εκτύπωσης. Το MatterControl υποστηρίζει μια ποικιλία τρισδιάστατων εκτυπωτών και είναι κατάλληλο τόσο για αρχάριους όσο και για προχωρημένους χρήστες.

6. **Repetier-Host**: Το Repetier-Host είναι ένα ευέλικτο λογισμικό τρισδιάστατης εκτύπωσης που περιλαμβάνει λειτουργίες τεμαχισμού. Προσφέρει λειτουργίες όπως επεξεργασία μοντέλου, έλεγχο εκτυπωτή και προσαρμογή παραμέτρων τεμαχισμού. Το Repetier-Host υποστηρίζει πολλαπλές μηχανές τεμαχισμού, επιτρέποντας στους χρήστες να επιλέξουν αυτή που ταιριάζει καλύτερα στις ανάγκες τους. Είναι συμβατό με διάφορους τρισδιάστατους εκτυπωτές και προσφέρει μια σειρά προηγμένων ρυθμίσεων για τη λεπτομερή ρύθμιση της διαδικασίας τεμαχισμού.

## Κεφάλαιο 5

### Υλικά στην Προσθετική Κατεργασία (Additive Manufacturing) :

#### 5.1. Εισαγωγή :

Κάθε μία από τις 7 κύριες κατηγορίες προσθετικής κατεργασίας χρησιμοποιεί μία πληθώρα υλικών και πολλές φορές κράμματα και προσμίξεις αυτών ανάλογα τις αναγκές του εκάστοτε παραγόμενου προϊόντος, όπως :

1. Θερμοπλαστικά: όπως το ακρυλονιτρίλιο βουταδιένιο στυρένιο (ABS), το πολυγαλακτικό οξύ (PLA), το νάιλον και το τερεφθαλικό πολυαιθυλένιο (PET). Αυτά τα υλικά χρησιμοποιούνται συχνά σε εκτυπωτές μοντελοποίησης με τη μέθοδο της συντηγμένης εναπόθεσης (FDM) και σε εκτυπωτές εξώθησης υλικών.
2. Φωτοπολυμερή: όπως οι υγρές ρητίνες που σκληρύνονται με υπεριώδες (UV) φως. Τα υλικά αυτά χρησιμοποιούνται σε εκτυπωτές στερεολιθογραφίας (SLA) και ψηφιακής επεξεργασίας φωτός (DLP).
3. Μέταλλα: όπως τιτάνιο, αλουμίνιο, ανοξείδωτος χάλυβας και χαλκός. Αυτά τα υλικά χρησιμοποιούνται σε εκτυπωτές άμεσης πυροσυσσωμάτωσης μετάλλων με λέιζερ (DMLS) και επιλεκτικής τήξης με λέιζερ (SLM).
4. Κεραμικά: όπως πορσελάνη, πηλός και γυαλί. Αυτά τα υλικά χρησιμοποιούνται σε τρισδιάστατες εκτυπώσεις με βάση τα κεραμικά.
5. Σύνθετα υλικά: όπως ανθρακονήματα, υαλονήματα και kevlar. Αυτά τα υλικά χρησιμοποιούνται στην τρισδιάστατη εκτύπωση με βάση σύνθετα υλικά.
6. Υλικά τροφίμων: όπως σοκολάτα, ζύμη και τυρί. Αυτά τα υλικά χρησιμοποιούνται στην τρισδιάστατη εκτύπωση με βάση τα τρόφιμα.
7. Βιολογικά υλικά: όπως ζωντανά κύτταρα και ιστοί. Τα υλικά αυτά χρησιμοποιούνται στη βιοεκτύπωση για τη δημιουργία τρισδιάστατα εκτυπωμένων οργάνων και ιστών.

Για τον λόγο αυτό παρακάτω πρόκειται να αναλυθούν οι πιο σημαντικές κατηγορίες αυτών καθώς και να καταγραφούν οι μηχανικές τους ιδιότητες.

## 5.2. PolyLacticAcid :

Το πολυ(γαλακτικό οξύ) (PLA) είναι ένα βιοδιασπώμενο και βιολογικής προέλευσης θερμοπλαστικό πολυμερές που προέρχεται από ανανεώσιμες πηγές, όπως το άμυλο καλαμποκιού ή το ζαχαροκάλαμο. Έχει κερδίσει σημαντική προσοχή στον τομέα της προσθετικής κατασκευής λόγω των ευνοϊκών μηχανικών ιδιοτήτων του, της ευρείας διαθεσιμότητάς του και της περιβαλλοντικής βιωσιμότητάς του. Σε αυτή την ενότητα θα διερευνήσουμε τις μηχανικές ιδιότητες, τις εφαρμογές και τα πλεονεκτήματα και τα μειονεκτήματα του PLA.

### 5.2.1. Μηχανικές ιδιότητες PLA:

Το PLA παρουσιάζει αρκετές επιθυμητές μηχανικές ιδιότητες που το καθιστούν κατάλληλο για διάφορες εφαρμογές. Οι βασικές μηχανικές του ιδιότητες περιλαμβάνουν:

- **Αντοχή σε εφελκυσμό:** PLA παρουσιάζει μέτρια αντοχή σε εφελκυσμό, που συνήθως κυμαίνεται από 45 MPa έως 60 MPa. Η αντοχή σε εφελκυσμό μετρά την ικανότητα ενός υλικού να αντέχει δυνάμεις έλξης χωρίς να σπάει ή να παραμορφώνεται. Η εγγενής αντοχή του PLA εξασφαλίζει τη δομική του ακεραιότητα και επιτρέπει τη χρήση του σε εφαρμογές που φέρουν φορτία.
- **Συντελεστής Young's Modulus:** Το μέτρο ελαστικότητας του PLA κυμαίνεται συνήθως μεταξύ 3 GPa και 4 GPa. Το μέτρο ελαστικότητας του Young είναι ένα μέτρο της δυσκαμψίας ή της ακαμψίας ενός υλικού. Το σχετικά υψηλό μέτρο ελαστικότητας Young του PLA παρέχει σταθερότητα διαστάσεων, επιτρέποντας την ακριβή εκτύπωση περίπλοκων σχεδίων και τη διατήρηση του σχήματος των εκτυπωμένων αντικειμένων.
- **Αντοχή σε κάμψη:** Το PLA επιδεικνύει καλή αντοχή σε κάμψη, η οποία μετρά την αντοχή του σε κάμψη ή παραμόρφωση υπό εφαρμοζόμενα φορτία. Η αντοχή σε κάμψη του PLA κυμαίνεται από 70 MPa έως 90 MPa, καθιστώντας το κατάλληλο για εφαρμογές όπου η αντοχή σε κάμψη ή λυγισμό είναι ζωτικής σημασίας.
- **Αντοχή στην κρούση:** Το PLA διαθέτει μέτρια αντοχή στην κρούση, η οποία αναφέρεται στην ικανότητά του να αντέχει ξαφνικά χτυπήματα ή κρούσεις χωρίς να σπάει. Αν και το PLA δεν είναι τόσο ανθεκτικό στις κρούσεις όσο ορισμένα τεχνικά πλαστικά, μπορεί να βελτιωθεί με την ενσωμάτωση προσθέτων ή την τροποποίηση των παραμέτρων εκτύπωσης.
- **Σκληρότητα:** Το PLA παρουσιάζει σχετικά υψηλή σκληρότητα σε σύγκριση με άλλα κοινά υλικά τρισδιάστατης εκτύπωσης. Η σκληρότητά του, η οποία μετράται στην κλίμακα σκληρότητας Rockwell ή Shore, εξασφαλίζει την ανθεκτικότητα των εκτυπωμένων αντικειμένων και την αντοχή στην επιφανειακή τριβή.

- **Θερμικές ιδιότητες:** Το PLA έχει σχετικά χαμηλή θερμοκρασία υαλώδους μετάπτωσης (Tg), περίπου 60°C έως 65°C. Η χαμηλή Tg επιτρέπει την εύκολη εκτύπωση σε σχετικά χαμηλές θερμοκρασίες, αλλά περιορίζει επίσης τη χρήση του PLA σε εφαρμογές υψηλών θερμοκρασιών.
- **Σταθερότητα διαστάσεων:** Το PLA επιδεικνύει καλή σταθερότητα διαστάσεων, δηλαδή διατηρεί το σχήμα και το μέγεθός του με την πάροδο του χρόνου. Αυτή η ιδιότητα είναι ζωτικής σημασίας για την επίτευξη ακριβών και ακριβών εκτυπώσεων, ειδικά για πολύπλοκες γεωμετρίες και λειτουργικά εξαρτήματα.

Η κατανόηση των μηχανικών ιδιοτήτων του PLA είναι ζωτικής σημασίας για τη βελτιστοποίηση της χρήσης του σε διάφορες εφαρμογές. Από την κατασκευή πρωτοτύπων έως τα καταναλωτικά προϊόντα και ακόμη και σε βιοϊατρικούς τομείς, οι μηχανικές ιδιότητες του PLA επιτρέπουν την ευέλικτη χρήση του. Ωστόσο, είναι σημαντικό να λαμβάνονται υπόψη οι ειδικές απαιτήσεις και οι περιβαλλοντικές συνθήκες κάθε εφαρμογής για να διασφαλιστεί η καταλληλότητα του PLA.

### 5.2.2. Εφαρμογές PLA:

PLA βρίσκει εφαρμογές σε διάφορους τομείς, μεταξύ των οποίων:

- **Πρωτοτυποποίηση:** PLA χρησιμοποιείται ευρέως για την ταχεία κατασκευή πρωτοτύπων λόγω της ευκολίας χρήσης, του χαμηλού κόστους και της ικανότητάς του να παράγει λεπτομερή και ακριβή μοντέλα.
- **Καταναλωτικά προϊόντα:** Χρησιμοποιείται συνήθως στην κατασκευή καταναλωτικών αγαθών, όπως υλικά συσκευασίας, μαχαιροπήρουνα μιας χρήσης και δοχεία τροφίμων, λόγω της βιοδιασπασιμότητάς του και της μη τοξικής του φύσης.
- **Ιατρικές εφαρμογές:** PLA έχει βρει εφαρμογές στον ιατρικό τομέα, συμπεριλαμβανομένων των χειρουργικών ραμμάτων, των συστημάτων χορήγησης φαρμάκων και των ικριωμάτων μηχανικής ιστών, λόγω της βιοσυμβατότητας και της βιοδιασπασιμότητάς του.
- **Εκπαίδευση και τέχνες:** Το PLA χρησιμοποιείται συχνά σε εκπαιδευτικά περιβάλλοντα και καλλιτεχνικές προσπάθειες για τη δημιουργία μοντέλων, γλυπτών και εκπαιδευτικών εργαλείων.

### 5.2.3. Πλεονεκτήματα PLA :

1. **Βιοδιασπασιμότητα:** Το PLA είναι βιοδιασπώμενο υπό κατάλληλες συνθήκες, καθιστώντας το φιλικό προς το περιβάλλον υλικό σε σύγκριση με τα συμβατικά πλαστικά.
2. **Ανανεώσιμος πόρος:** Το PLA προέρχεται από ανανεώσιμους πόρους, μειώνοντας την εξάρτηση από τα ορυκτά καύσιμα και προσφέροντας μια πιο βιώσιμη εναλλακτική λύση.
3. **Ευκολία χρήσης:** Το PLA είναι εύκολο στην εκτύπωση και κατάλληλο τόσο για αρχάριους όσο και για έμπειρους χρήστες, καθιστώντας το ευρέως προσβάσιμο στην κοινότητα της τρισδιάστατης εκτύπωσης.
4. **Χαμηλή παραμόρφωση:** Το PLA έχει χαμηλές τάσεις στρέβλωσης κατά την εκτύπωση, με αποτέλεσμα ελάχιστη παραμόρφωση και βελτιωμένη ακρίβεια διαστάσεων.

### 5.2.4. Μειονεκτήματα PLA :

1. **Περιορισμένη αντοχή στη θερμότητα:** Το PLA έχει περιορισμένη αντοχή σε υψηλές θερμοκρασίες, περιορίζοντας τις εφαρμογές του σε περιβάλλοντα με αυξημένες θερμοκρασίες ή σε εξαρτήματα που απαιτούν θερμική σταθερότητα.
2. **Ευθραυστότητα:** Το PLA μπορεί να είναι σχετικά εύθραυστο, οδηγώντας σε χαμηλότερη αντοχή σε κρούση και ευαισθησία σε ρωγμές υπό ορισμένες συνθήκες.
3. **Περιορισμένη χημική αντοχή:** Το PLA παρουσιάζει περιορισμένη αντοχή σε χημικές ουσίες και διαλύτες, γεγονός που μπορεί να περιορίσει τη χρήση του σε εφαρμογές που περιλαμβάνουν έκθεση σε σκληρές χημικές ουσίες.
4. **Ευαισθησία στην υγρασία:** Το PLA είναι υγροσκοπικό, που σημαίνει ότι απορροφά εύκολα την υγρασία από το περιβάλλον. Αυτό μπορεί να επηρεάσει την απόδοση και τη σταθερότητα των διαστάσεων του υλικού με την πάροδο του χρόνου.

Συμπερασματικά, το PLA προσφέρει ευνοϊκές μηχανικές ιδιότητες, ευελιξία στις εφαρμογές και φιλικότητα προς το περιβάλλον λόγω της βιοδιασπασιμότητάς του και της ανανεώσιμης φύσης του. Ωστόσο, οι περιορισμοί του όσον αφορά την αντοχή στη θερμότητα, την ευθραυστότητα και τη χημική αντοχή θα πρέπει να λαμβάνονται υπόψη κατά την επιλογή του PLA για συγκεκριμένες εφαρμογές.

### 5.3. Φωτοπολυμερή :

Τα φωτοπολυμερή είναι μια κατηγορία υλικών που χρησιμοποιούνται ευρέως στην προσθετική κατασκευή, ιδίως σε διεργασίες τρισδιάστατης εκτύπωσης με βάση τον φωτοπολυμερισμό σε δοχεία, όπως η στερεολιθογραφία (SLA) και η ψηφιακή επεξεργασία φωτός (DLP). Τα υλικά αυτά υφίστανται πολυμερισμό κατά την έκθεση σε συγκεκριμένα μήκη κύματος φωτός, με αποτέλεσμα τη στερεοποίησή τους και τη διαμόρφωση περίπλοκων τρισδιάστατων δομών. Η κατανόηση των μηχανικών ιδιοτήτων των φωτοπολυμερών είναι ζωτικής σημασίας για την αξιολόγηση της καταλληλότητάς τους για διάφορες εφαρμογές. Στην παρούσα ενότητα θα εμβαθύνουμε στις μηχανικές ιδιότητες των φωτοπολυμερών και θα συζητήσουμε τη σημασία τους.

#### 5.3.1. Μηχανικές ιδιότητες Φωτοπολυμερών:

- **Αντοχή σε εφελκυσμό:** Τα φωτοπολυμερή παρουσιάζουν συνήθως ένα ευρύ φάσμα τιμών αντοχής σε εφελκυσμό, ανάλογα με τη συγκεκριμένη σύνθεση και τις συνθήκες μετά τη σκλήρυνση. Η αντοχή σε εφελκυσμό μετρά την ικανότητα ενός υλικού να αντέχει δυνάμεις έλξης χωρίς να σπάει ή να παραμορφώνεται. Η αντοχή σε εφελκυσμό των φωτοπολυμερών μπορεί να κυμαίνεται από σχετικά χαμηλές τιμές έως συγκρίσιμα επίπεδα αντοχής των τεχνικών θερμοπλαστικών.
- **Αντοχή σε κάμψη:** Η αντοχή σε κάμψη είναι μια σημαντική ιδιότητα για υλικά που χρησιμοποιούνται σε εφαρμογές που απαιτούν αντοχή σε κάμψη ή λυγισμό. Τα φωτοπολυμερή συχνά διαθέτουν καλή αντοχή σε κάμψη, επιτρέποντάς τους να αντέχουν τα εφαρμοζόμενα φορτία χωρίς θραύση ή υπερβολική παραμόρφωση.
- **Μέτρο ελαστικότητας:** Το μέτρο ελαστικότητας, επίσης γνωστό ως μέτρο ελαστικότητας του Young, χαρακτηρίζει τη δυσκαμψία ή την ακαμψία ενός υλικού. Τα φωτοπολυμερή παρουσιάζουν ένα εύρος τιμών μέτρου ελαστικότητας, το οποίο μπορεί να προσαρμοστεί μέσω της σύνθεσης του υλικού και των παραμέτρων μετα-επεξεργασίας. Αυτή η ιδιότητα επηρεάζει τη σταθερότητα των διαστάσεων και τη δομική ακεραιότητα των εκτυπωμένων αντικειμένων.
- **Αντοχή στην κρούση:** Η αντοχή των φωτοπολυμερών στην κρούση αναφέρεται στην ικανότητά τους να απορροφούν ενέργεια όταν υποβάλλονται σε ξαφνικά χτυπήματα ή κρούσεις. Ενώ ορισμένα φωτοπολυμερή μπορεί να παρουσιάζουν μέτρια αντοχή στην κρούση, άλλα μπορεί να είναι πιο εύθραυστα, καθιστώντας τα επιρρεπή σε θραύση υπό συνθήκες υψηλής πίεσης. Η αντοχή στην κρούση μπορεί να βελτιωθεί μέσω της βελτιστοποίησης του υλικού και των τεχνικών μετά τη σκλήρυνση.

- **Σκληρότητα:** Τα φωτοπολυμερή συχνά παρουσιάζουν υψηλή επιφανειακή σκληρότητα λόγω της διαδικασίας πολυμερισμού, με αποτέλεσμα να δημιουργούνται στερεοποιημένες δομές με εξαιρετική αντοχή στην τριβή. Η σκληρότητα μπορεί να μετρηθεί χρησιμοποιώντας διάφορες κλίμακες, όπως η σκληρότητα Rockwell ή Shore. Η ιδιότητα αυτή είναι σημαντική για εφαρμογές όπου απαιτείται αντοχή στη φθορά και ανθεκτικότητα της επιφάνειας.
- **Θερμικές ιδιότητες:** Τα φωτοπολυμερή έχουν γενικά χαμηλότερες θερμοκρασίες θερμικής εκτροπής σε σύγκριση με τα μηχανικά θερμοπλαστικά. Αυτό περιορίζει τη χρήση τους σε εφαρμογές υψηλών θερμοκρασιών, καθώς ενδέχεται να μαλακώσουν ή να παραμορφωθούν σε υψηλές θερμοκρασίες. Ωστόσο, αναπτύσσονται ορισμένες προηγμένες συνθέσεις φωτοπολυμερών με βελτιωμένες θερμικές ιδιότητες για να ξεπεραστούν αυτοί οι περιορισμοί.
- **Ακρίβεια διαστάσεων:** Τα φωτοπολυμερή είναι γνωστά για την εξαιρετική διαστατική τους ακρίβεια και τη λεπτή ανάλυση χαρακτηριστικών. Μπορούν να επιτύχουν περίπλοκες λεπτομέρειες και ομαλά επιφανειακά φινιρίσματα, καθιστώντας τα κατάλληλα για εφαρμογές όπου η ακρίβεια είναι απαραίτητη, όπως στις βιομηχανίες κοσμημάτων, οδοντιατρικής και ιατρικής.

Η κατανόηση των μηχανικών ιδιοτήτων των φωτοπολυμερών είναι ζωτικής σημασίας για την επιλογή του κατάλληλου υλικού για συγκεκριμένες εφαρμογές. Επιτρέπει στους μηχανικούς και τους σχεδιαστές να βελτιστοποιήσουν τις παραμέτρους εκτύπωσης, να αξιολογήσουν την απόδοση των εξαρτημάτων και να διασφαλίσουν την καταλληλότητα για τις επιθυμητές λειτουργίες. Είναι σημαντικό να σημειωθεί ότι οι μηχανικές ιδιότητες των φωτοπολυμερών μπορούν να διαφέρουν σημαντικά ανάλογα με τη συγκεκριμένη σύνθεση, τις τεχνικές μετα-επεξεργασίας και τις συνθήκες σκλήρυνσης που χρησιμοποιούνται.

### **5.3.2. Εφαρμογές Φωτοπολυμερών :**

- **Δημιουργία πρωτοτύπων και ανάπτυξη προϊόντων:** Τα φωτοπολυμερή χρησιμοποιούνται συνήθως για την ταχεία κατασκευή πρωτοτύπων και την ανάπτυξη προϊόντων. Η ικανότητά τους να παράγουν εξαιρετικά λεπτομερή και ακριβή εξαρτήματα με περίπλοκες γεωμετρίες τα καθιστά πολύτιμα για τη δημιουργία λειτουργικών πρωτοτύπων για την επικύρωση του σχεδιασμού, τη δοκιμή μορφής και εφαρμογής και την αισθητική αξιολόγηση. Η τρισδιάστατη εκτύπωση με βάση τα φωτοπολυμερή επιτρέπει στους μηχανικούς και τους σχεδιαστές να επαναλαμβάνουν και να βελτιώνουν γρήγορα τα σχέδια πριν προχωρήσουν στη μαζική παραγωγή.
- **Κοσμήματα και αξεσουάρ:** Η βιομηχανία κοσμημάτων χρησιμοποιεί εκτενώς τα φωτοπολυμερή για την παραγωγή περίπλοκων και λεπτών κομματιών. Με τη



δυνατότητα παραγωγής λεπτομερών μοντέλων υψηλής ανάλυσης, η τρισδιάστατη εκτύπωση με βάση τα φωτοπολυμερή επιτρέπει στους σχεδιαστές κοσμημάτων να δημιουργούν προσαρμοσμένα σχέδια, περίπλοκα μοτίβα και λεπτές λεπτομέρειες που θα ήταν δύσκολο να επιτευχθούν με παραδοσιακές μεθόδους κατασκευής. Τα φωτοπολυμερή επιτρέπουν την παραγωγή σύνθετων κοσμημάτων, όπως δαχτυλίδια, βραχιόλια, μενταγιόν και σκουλαρίκια.

- **Οδοντιατρικές και ορθοδοντικές εφαρμογές:** Τα φωτοπολυμερή βρίσκουν σημαντικές εφαρμογές στον οδοντιατρικό και ορθοδοντικό τομέα. Χρησιμοποιούνται για την κατασκευή οδοντιατρικών μοντέλων, στεφανών, γεφυρών και ορθοδοντικών ευθυγραμμίσεων. Η ακρίβεια και το υψηλό επίπεδο λεπτομέρειας που επιτυγχάνονται με την τρισδιάστατη εκτύπωση με βάση τα φωτοπολυμερή εξασφαλίζουν ακριβή εφαρμογή για οδοντιατρικές αποκαταστάσεις και ορθοδοντικές συσκευές. Επιπλέον, οι ρητίνες φωτοπολυμερών με βιοσυμβατές ιδιότητες επιτρέπουν την παραγωγή προσωρινών προσθετικών υλικών και χειρουργικών οδηγών.
- **Ιατρικές συσκευές και προσθετική:** Η τρισδιάστατη εκτύπωση με βάση τα φωτοπολυμερή παίζει καθοριστικό ρόλο στην παραγωγή προσαρμοσμένων ιατρικών συσκευών και προσθετικών υλικών. Επιτρέπει τη δημιουργία μοντέλων ειδικά για τον ασθενή, χειρουργικών οδηγών, ανατομικών αντιγράφων και εμφυτευμάτων. Τα φωτοπολυμερή με βιοσυμβατές ιδιότητες χρησιμοποιούνται για την κατασκευή εξαρτημάτων ιατρικής ποιότητας, εξασφαλίζοντας τη συμβατότητα με το ανθρώπινο σώμα. Αυτή η τεχνολογία επιτρέπει εξατομικευμένες λύσεις υγειονομικής περίθαλψης, ταχύτερους χρόνους παραγωγής και βελτιωμένα αποτελέσματα για τους ασθενείς.
- **Καταναλωτικά αγαθά και ηλεκτρονικά:** Τα φωτοπολυμερή χρησιμοποιούνται στην παραγωγή καταναλωτικών αγαθών και ηλεκτρονικών εξαρτημάτων. Μπορούν να χρησιμοποιηθούν για τη δημιουργία περιβλημάτων, περιβλημάτων, κουμπιών και άλλων περίπλοκων εξαρτημάτων για ηλεκτρονικές συσκευές, wearables και καταναλωτικά προϊόντα. Η τρισδιάστατη εκτύπωση με βάση τα φωτοπολυμερή επιτρέπει στους κατασκευαστές να κατασκευάζουν γρήγορα πρωτότυπα και να παράγουν προσαρμοσμένα σχέδια, να βελτιστοποιούν την αισθητική των προϊόντων και να ενσωματώνουν σύνθετα χαρακτηριστικά ή εσωτερικές δομές.
- **Τέχνη και σχεδιασμός:** Η καλλιτεχνική και σχεδιαστική κοινότητα αξιοποιεί επίσης την τρισδιάστατη εκτύπωση με βάση τα φωτοπολυμερή για δημιουργικές εφαρμογές. Καλλιτέχνες και σχεδιαστές χρησιμοποιούν την τεχνολογία για να εξερευνήσουν καινοτόμες μορφές, γεωμετρίες και υφές που διευρύνουν τα όρια της παραδοσιακής τέχνης και του σχεδιασμού. Τα

φωτοπολυμερή επιτρέπουν την παραγωγή οπτικά εντυπωσιακών γλυπτών, περίπλοκων μοντέλων και επιφανειών με υφή και λεπτές λεπτομέρειες.

#### 5.3.4. Πλεονεκτήματα Φωτοπολυμερών :

1. **Υψηλή ακρίβεια:** φωτοπολυμερή επιτρέπουν την παραγωγή ιδιαίτερα λεπτομερών και περίπλοκων εξαρτημάτων με εξαιρετική ακρίβεια διαστάσεων και ποιότητα επιφάνειας. Μπορούν να επιτύχουν λεπτά χαρακτηριστικά και λεία φινιρίσματα, καθιστώντας τα ιδανικά για εφαρμογές όπου η ακρίβεια είναι κρίσιμη, όπως στις βιομηχανίες κοσμημάτων, οδοντιατρικής και ιατρικής.
2. **Γρήγορη ταχύτητα εκτύπωσης:** Οι διαδικασίες τρισδιάστατης εκτύπωσης με βάση τα φωτοπολυμερή παρουσιάζουν συχνά ταχύτερες ταχύτητες εκτύπωσης σε σύγκριση με άλλες τεχνολογίες. Η ταχεία διαδικασία φωτοπολυμερισμού επιτρέπει τη γρήγορη στερεοποίηση των στρώσεων, οδηγώντας σε μειωμένο συνολικό χρόνο παραγωγής.
3. **Ευρεία επιλογή υλικών:** Τα φωτοπολυμερή είναι διαθέσιμα σε ένα ευρύ φάσμα συνθέσεων, επιτρέποντας ευελιξία στις ιδιότητες των υλικών. Μπορούν να προσαρμοστούν ώστε να ικανοποιούν συγκεκριμένες απαιτήσεις, όπως η ευελιξία, η διαφάνεια, η βιοσυμβατότητα ή η μηχανική αντοχή, διευρύνοντας τις δυνατότητες εφαρμογής τους.
4. **Εξαιρετική ανάλυση λεπτομερειών:** Τα φωτοπολυμερή μπορούν να επιτύχουν υψηλή ανάλυση λεπτομέρειας, με αποτέλεσμα λείες επιφάνειες και περίπλοκες γεωμετρίες. Αυτό τα καθιστά κατάλληλα για τη δημιουργία σύνθετων μοντέλων, πρωτοτύπων και λειτουργικών εξαρτημάτων που απαιτούν λεπτές λεπτομέρειες και περίπλοκα χαρακτηριστικά.
5. **Χαμηλή παραμόρφωση και συρρίκνωση:** Οι ρητίνες φωτοπολυμερών παρουσιάζουν συνήθως ελάχιστη παραμόρφωση και συρρίκνωση κατά τη διάρκεια της διαδικασίας εκτύπωσης. Αυτό επιτρέπει την παραγωγή ακριβών και διαστατικά σταθερών εξαρτημάτων, μειώνοντας την ανάγκη για προσαρμογές μετά την εκτύπωση.

### 5.3.5. Μειονεκτήματα Φωτοπολυμερών :

1. **Περιορισμένες ιδιότητες υλικού:** Σε σύγκριση με τα παραδοσιακά μηχανικά θερμοπλαστικά, οι μηχανικές ιδιότητες των φωτοπολυμερών μπορεί να είναι σχετικά χαμηλότερες. Ενδέχεται να μην διαθέτουν το ίδιο επίπεδο αντοχής, σκληρότητας ή θερμικής αντοχής, περιορίζοντας την εφαρμογή τους σε περιβάλλοντα υψηλής πίεσης ή υψηλής θερμοκρασίας.
2. **Απαιτήσεις μετεπεξεργασίας:** Οι εκτυπώσεις με βάση τα φωτοπολυμερή συχνά απαιτούν βήματα μετα-επεξεργασίας, όπως καθαρισμό, σκλήρυνση ή πρόσθετη αφαίρεση των υποστηριγμάτων. Αυτά τα βήματα προσθέτουν χρόνο και προσπάθεια στη συνολική διαδικασία εκτύπωσης, αυξάνοντας ενδεχομένως το κόστος παραγωγής.
3. **Ευαισθησία στην υπεριώδη ακτινοβολία:** Τα φωτοπολυμερή είναι ευαίσθητα στην υπεριώδη ακτινοβολία, γεγονός που μπορεί να προκαλέσει την υποβάθμιση ή τον αποχρωματισμό τους με την πάροδο του χρόνου όταν εκτίθενται σε παρατεταμένο ηλιακό φως ή σε ορισμένες περιβαλλοντικές συνθήκες. Η σωστή αποθήκευση και ο κατάλληλος χειρισμός είναι απαραίτητοι για τη διατήρηση της ακεραιότητας και της απόδοσης του υλικού.
4. **Κόστος υλικού:** Οι ρητίνες φωτοπολυμερών μπορεί να είναι πιο ακριβές σε σύγκριση με τα νήματα που χρησιμοποιούνται σε άλλες τεχνολογίες τρισδιάστατης εκτύπωσης. Το κόστος των υλικών μπορεί να αποτελέσει σημαντικό παράγοντα, ιδίως όταν πρόκειται για εκτυπώσεις μεγάλης κλίμακας ή μεγάλου όγκου.
5. **Περιορισμένο μέγεθος εκτύπωσης:** Ο όγκος κατασκευής των εκτυπωτών που βασίζονται σε φωτοπολυμερή είναι συχνά περιορισμένος σε σύγκριση με άλλες τεχνολογίες τρισδιάστατης εκτύπωσης. Οι εκτυπώσεις μεγάλης κλίμακας ή μεγάλου μεγέθους μπορεί να απαιτούν πολλαπλές επαναλήψεις ή συναρμολόγηση μικρότερων εξαρτημάτων.

## 5.4. Μέταλλα και κράματα:

Στην DMLM μπορούν να χρησιμοποιηθούν διάφορα μέταλλα και κράματα μετάλλων, το καθένα με τις δικές του μοναδικές μηχανικές ιδιότητες. Ακολουθούν ορισμένα μέταλλα που χρησιμοποιούνται συνήθως σε DMLM και οι μηχανικές τους ιδιότητες:

### 5.4.1. Μηχανικές Ιδιότητες :

#### 1. Ανοξειδωτος γάλυβας (π.χ. 316L, 17-4 PH):

- **Αντοχή σε εφελκυσμό:** Τυπικά κυμαίνεται από 500 MPa έως 1000 MPa.
- **Δύναμη διαρροής:** Γενικά μεταξύ 200 MPa και 800 MPa.
- **Επιμήκυνση:** Συνήθως γύρω στο 10% έως 40%.
- **Σκληρότητα:** Διαφέρει ανάλογα με το συγκεκριμένο κράμα και τη θερμική επεξεργασία.

#### 2. Κράματα τιτανίου (π.χ. Ti-6Al-4V):

- **Αντοχή σε εφελκυσμό:** Τυπικά κυμαίνεται από 900 MPa έως 1200 MPa.
- **Αντοχή διαρροής:** Γενικά μεταξύ 800 MPa και 1100 MPa.
- **Επιμήκυνση:** Συνήθως γύρω στο 10% έως 20%.
- **Σκληρότητα:** Διαφέρει ανάλογα με το συγκεκριμένο κράμα και τη θερμική επεξεργασία.

#### 3. Κράματα αλουμινίου (π.χ. AlSi10Mg):

- **Αντοχή σε εφελκυσμό:** Τυπικά κυμαίνεται από 200 MPa έως 350 MPa.
- **Δύναμη διαρροής:** Γενικά μεταξύ 150 MPa και 300 MPa.
- **Επιμήκυνση:** Συνήθως γύρω στο 2% έως 8%.
- **Σκληρότητα:** Διαφέρει ανάλογα με το συγκεκριμένο κράμα και τη θερμική επεξεργασία.

#### 4. Κράματα κοβαλτίου-χρωμίου (π.χ. CoCrMo):

- **Αντοχή σε εφελκυσμό:** Τυπικά κυμαίνεται από 900 MPa έως 1200 MPa.
- **Αντοχή διαρροής:** Γενικά μεταξύ 600 MPa και 1000 MPa.
- **Επιμήκυνση:** Συνήθως γύρω στο 10% έως 25%.
- **Σκληρότητα:** Διαφέρει ανάλογα με το συγκεκριμένο κράμα και τη θερμική επεξεργασία.

#### 5. Κράματα με βάση το νικέλιο (π.χ. Inconel 718):

- **Αντοχή σε εφελκυσμό:** Τυπικά κυμαίνεται από 900 MPa έως 1300 MPa.
- **Αντοχή διαρροής:** Γενικά μεταξύ 600 MPa και 1100 MPa.

- **Επιμήκυνση:** Συνήθως γύρω στο 20% έως 30%.
- **Σκληρότητα:** Διαφέρει ανάλογα με το συγκεκριμένο κράμα και τη θερμική επεξεργασία.

Είναι σημαντικό να σημειωθεί ότι οι μηχανικές ιδιότητες των μεταλλικών εξαρτημάτων που παράγονται μέσω DMMLM μπορούν να επηρεαστούν από διάφορους παράγοντες, συμπεριλαμβανομένης της ειδικής σύνθεσης του κράματος, της θερμικής επεξεργασίας, του προσανατολισμού του εξαρτήματος και των παραμέτρων κατασκευής. Συνεπώς, συνιστάται να ανατρέχετε στα δελτία δεδομένων υλικού, στα πρότυπα δοκιμών και να συμβουλευέστε τους προμηθευτές υλικών για ακριβείς πληροφορίες σχετικά με τις μηχανικές ιδιότητες που αφορούν συγκεκριμένες εφαρμογές.

Τα μέταλλα χρησιμοποιούνται ευρέως στην τρισδιάστατη εκτύπωση, ιδίως σε τεχνολογίες όπως η άμεση τήξη με λέιζερ μετάλλων (DMMLM) ή η επιλεκτική τήξη με λέιζερ (SLM). Ενώ τα μέταλλα προσφέρουν πολυάριθμα πλεονεκτήματα για την προσθετική κατασκευή, συνοδεύονται επίσης από ορισμένους περιορισμούς. Στη συνέχεια πρόκειται να αναλυθούν τα πλεονεκτήματα και τα μειονεκτήματα της χρήσης μετάλλων στην τρισδιάστατη εκτύπωση:

#### **5.4.2. Εφαρμογές Μετάλλων :**

1. **Αεροδιαστημική και αεροπορία:** Η αεροδιαστημική βιομηχανία χρησιμοποιεί εκτενώς μέταλλα για την κατασκευή εξαρτημάτων αεροσκαφών και διαστημοπλοίων. Τα μέταλλα προσφέρουν εξαιρετικές αναλογίες αντοχής προς βάρος, αντοχή σε υψηλές θερμοκρασίες και καλές ιδιότητες κόπωσης, καθιστώντας τα ιδανικά για κρίσιμα εξαρτήματα όπως εξαρτήματα κινητήρων, δομικά στοιχεία, συστήματα προσγείωσης και πτερύγια στροβίλων. Η προσθετική κατασκευή μετάλλων επιτρέπει την παραγωγή πολύπλοκων γεωμετριών, ελαφρών δομών και βελτιωμένων επιδόσεων μέσω της βελτιστοποίησης του σχεδιασμού.
2. **Αυτοκινητοβιομηχανία:** Τα μέταλλα διαδραματίζουν ζωτικό ρόλο στην αυτοκινητοβιομηχανία, παρέχοντας αντοχή, δομική ακεραιότητα και αντοχή σε σύγκρουση. Η προσθετική κατασκευή επιτρέπει την παραγωγή ελαφρών μεταλλικών εξαρτημάτων που συμβάλλουν στην αποδοτικότητα των καυσίμων και στις επιδόσεις των οχημάτων. Τα μέταλλα χρησιμοποιούνται σε εξαρτήματα κινητήρα, εξαρτήματα ανάρτησης, συστήματα πέδησης και προσαρμοσμένα εξαρτήματα για πρωτότυπα αυτοκίνητα ή οχήματα περιορισμένης έκδοσης.
3. **Ιατρική και οδοντιατρική:** Τα μέταλλα βρίσκουν σημαντικές εφαρμογές στον ιατρικό και οδοντιατρικό τομέα. Τα εμφυτεύματα, τα προσθετικά και τα χειρουργικά εργαλεία κατασκευάζονται συνήθως από βιοσυμβατά μέταλλα,

όπως κράματα τιτανίου και κράματα κοβαλτίου-χρώματος. Η προσθετική κατασκευή μετάλλων επιτρέπει την παραγωγή εμφυτευμάτων ειδικά για τον ασθενή, προσαρμοσμένων χειρουργικών εργαλείων και πολύπλοκων οδοντιατρικών αποκαταστάσεων. Η δυνατότητα δημιουργίας πορωδών δομών με βελτιστοποιημένες επιφανειακές ιδιότητες διευκολύνει την οστεοενσωμάτωση και βελτιώνει την απόδοση των ιατρικών συσκευών.

4. **Εργαλειοποίηση και κατασκευή:** Τα μέταλλα χρησιμοποιούνται ευρέως σε διαδικασίες εργαλειοποίησης και κατασκευής λόγω της υψηλής αντοχής τους, της θερμικής τους αντοχής και της αντοχής τους στη φθορά. Η προσθετική κατασκευή επιτρέπει την παραγωγή ενθέτων εργαλείων, καλουπιών και μήτρων με περίπλοκα σχέδια και πολύπλοκα κανάλια ψύξης, βελτιώνοντας την αποδοτικότητα και μειώνοντας τους χρόνους παράδοσης. Τα μεταλλικά εργαλεία μπορούν να αντέξουν σε υψηλές θερμοκρασίες και μηχανικές καταπονήσεις, καθιστώντας τα κατάλληλα για εφαρμογές όπως η χύτευση με έγχυση, η χύτευση σε μήτρα και η διαμόρφωση μετάλλων.
5. **Ενέργεια και παραγωγή ενέργειας:** Τα μέταλλα διαδραματίζουν καθοριστικό ρόλο στους τομείς της ενέργειας και της ηλεκτροπαραγωγής. Χρησιμοποιούνται σε τουρμπίνες, γεννήτριες, εναλλάκτες θερμότητας και πυρηνικά εξαρτήματα λόγω της αντοχής τους σε υψηλές θερμοκρασίες, της αντοχής στη διάβρωση και της ηλεκτρικής αγωγιμότητας. Η προσθετική κατασκευή μετάλλων επιτρέπει την παραγωγή πολύπλοκων γεωμετριών, όπως πτερύγια στροβίλων με εσωτερικά κανάλια ψύξης, με αποτέλεσμα τη βελτίωση της αποδοτικότητας και της απόδοσης των συστημάτων παραγωγής ενέργειας.
6. **Άμυνα και πυροβόλα όπλα:** Τα μέταλλα είναι αναπόσπαστο κομμάτι της αμυντικής βιομηχανίας, όπου χρησιμοποιούνται στην κατασκευή πυροβόλων όπλων, στρατιωτικού εξοπλισμού και προστατευτικού εξοπλισμού. Η υψηλή αντοχή, η ανθεκτικότητα και οι βαλλιστικές ιδιότητες των μετάλλων τα καθιστούν κατάλληλα για εφαρμογές που απαιτούν στιβαρότητα και αξιοπιστία. Η προσθετική κατασκευή επιτρέπει την παραγωγή εξατομικευμένων εξαρτημάτων πυροβόλων όπλων, ελαφριάς θωράκισης και περίπλοκων εξαρτημάτων με βελτιωμένη λειτουργικότητα.

### 5.4.3. Πλεονεκτήματα Μετάλλων :

1. **Αντοχή και ανθεκτικότητα:** Τα μέταλλα παρέχουν εξαιρετικές μηχανικές ιδιότητες, όπως υψηλή αντοχή σε εφελκυσμό, σκληρότητα και αντοχή στην κόπωση. Αυτό τα καθιστά κατάλληλα για την παραγωγή στιβαρών και λειτουργικών εξαρτημάτων, ειδικά σε απαιτητικές εφαρμογές όπου η αντοχή είναι ζωτικής σημασίας.
2. **Ελευθερία σχεδιασμού:** Η τρισδιάστατη εκτύπωση επιτρέπει πολύπλοκες γεωμετρίες και περίπλοκα σχέδια που θα ήταν δύσκολο ή αδύνατο να επιτευχθούν με τις παραδοσιακές μεθόδους κατασκευής. Τα μέταλλα μπορούν να λιώσουν και να στερεοποιηθούν με ακρίβεια στρώμα προς στρώμα, επιτρέποντας την παραγωγή περίπλοκων και προσαρμοσμένων εξαρτημάτων.
3. **Ποικιλία υλικών:** Υπάρχει ένα ευρύ φάσμα μεταλλικών υλικών που είναι διαθέσιμα για τρισδιάστατη εκτύπωση, όπως ανοξείδωτος χάλυβας, κράματα τιτανίου, κράματα αλουμινίου, κράματα κοβαλτίου-χρώματος και κράματα με βάση το νικέλιο. Κάθε υλικό προσφέρει μοναδικές ιδιότητες, επιτρέποντας ποικίλες εφαρμογές σε διάφορους κλάδους.
4. **Ενοποίηση και πολυπλοκότητα:** Η τρισδιάστατη εκτύπωση επιτρέπει την ενοποίηση πολλαπλών εξαρτημάτων σε ένα μόνο εξάρτημα, μειώνοντας την ανάγκη για συναρμολόγηση και συνδετήρες. Αυτή η ενοποίηση μπορεί να οδηγήσει σε απλοποιημένα σχέδια, μειωμένο βάρος, βελτιωμένη απόδοση και εξοικονόμηση κόστους.
5. **Ταχεία πρωτοτυποποίηση και επανάληψη:** Η τρισδιάστατη εκτύπωση μετάλλων επιτρέπει την ταχεία πρωτοτυποποίηση και τις επαναληπτικές διαδικασίες σχεδιασμού. Οι μηχανικοί και οι σχεδιαστές μπορούν να παράγουν γρήγορα λειτουργικά μεταλλικά πρωτότυπα, να τα δοκιμάζουν, να κάνουν τροποποιήσεις στο σχεδιασμό και να επαναλαμβάνουν τη διαδικασία αποτελεσματικά, επιταχύνοντας τους κύκλους ανάπτυξης προϊόντων.

#### 5.4.4. Μειονεκτήματα Μετάλλων :

1. **Υψηλό κόστος:** Η τρισδιάστατη εκτύπωση μετάλλων είναι γενικά πιο ακριβή από άλλες διαδικασίες προσθετικής κατασκευής ή παραδοσιακές μεθόδους κατασκευής. Το κόστος των μεταλλικών σκονών, ο εξειδικευμένος εξοπλισμός και οι απαιτήσεις μεταγενέστερης επεξεργασίας συμβάλλουν στο συνολικό υψηλότερο κόστος της τρισδιάστατης εκτύπωσης με βάση τα μέταλλα.
2. **Περιορισμένες επιλογές υλικών:** Παρόλο που υπάρχει μια ποικιλία μεταλλικών υλικών που διατίθενται για τρισδιάστατη εκτύπωση, η γκάμα εξακολουθεί να είναι πιο περιορισμένη σε σύγκριση με τις συμβατικές διαδικασίες κατασκευής. Ορισμένα εξειδικευμένα κράματα ή εξωτικά μέταλλα μπορεί να είναι δύσκολη ή ανέφικτη η τρισδιάστατη εκτύπωση.
3. **Απαιτήσεις μετεπεξεργασίας:** Τα μεταλλικά εξαρτήματα που παράγονται μέσω τρισδιάστατης εκτύπωσης συχνά απαιτούν βήματα μετα-επεξεργασίας, όπως θερμική επεξεργασία, ανακούφιση από τις τάσεις, μηχανική κατεργασία ή επιφανειακό φινίρισμα για την επίτευξη των επιθυμητών ιδιοτήτων ή της ποιότητας της επιφάνειας. Αυτά τα πρόσθετα βήματα μπορούν να προσθέσουν χρόνο και κόστος στη διαδικασία παραγωγής.
4. **Ακρίβεια διαστάσεων και φινίρισμα επιφάνειας:** Η επίτευξη υψηλής διαστατικής ακρίβειας και ομαλού τελειώματος επιφάνειας στην τρισδιάστατη εκτύπωση μετάλλων μπορεί να αποτελέσει πρόκληση. Παράγοντες όπως οι θερμικές τάσεις, οι υπολειμματικές τάσεις και οι δομές στήριξης μπορούν να επηρεάσουν τη διαστατική ακρίβεια και την ποιότητα της επιφάνειας του τελικού τεμαχίου, απαιτώντας πρόσθετα βήματα μετεπεξεργασίας.
5. **Απαιτήσεις εξοπλισμού και εμπειρογνωμοσύνης:** Οι τεχνολογίες τρισδιάστατης εκτύπωσης μετάλλων απαιτούν εξειδικευμένο εξοπλισμό, όπως λέιζερ υψηλής ισχύος και ελεγχόμενα περιβάλλοντα, η εγκατάσταση και η συντήρηση των οποίων μπορεί να είναι δαπανηρή. Επιπλέον, η λειτουργία των τρισδιάστατων εκτυπωτών μετάλλων απαιτεί τεχνογνωσία στις παραμέτρους της διαδικασίας, στο χειρισμό των υλικών και στις τεχνικές μετα-επεξεργασίας.

Είναι σημαντικό να σημειωθεί ότι τα συγκεκριμένα πλεονεκτήματα και μειονεκτήματα της χρήσης μετάλλων στην τρισδιάστατη εκτύπωση μπορεί να διαφέρουν ανάλογα με την επιλεγμένη τεχνολογία, το υλικό και την εφαρμογή. Ως εκ τούτου, είναι απαραίτητη η προσεκτική εξέταση των απαιτήσεων και των περιορισμών κάθε έργου για τον προσδιορισμό της καταλληλότητας της τρισδιάστατης εκτύπωσης μετάλλων.



## 5.5. Κεραμικά υλικά :

Τα κεραμικά υλικά έχουν κερδίσει σημαντική προσοχή στον τομέα της τρισδιάστατης εκτύπωσης, γνωστής ως προσθετική κατασκευή, λόγω των μοναδικών ιδιοτήτων και των πιθανών εφαρμογών τους. Η τρισδιάστατη εκτύπωση κεραμικών υλικών περιλαμβάνει την εναπόθεση κεραμικών σκονών στρώμα προς στρώμα, ακολουθούμενη από παγίωση μέσω διαφόρων μεθόδων, όπως η εκτόξευση συνδετικού υλικού ή η στερεολιθογραφία. Εδώ, θα συζητήσουμε ορισμένα κεραμικά που χρησιμοποιούνται συνήθως στην τρισδιάστατη εκτύπωση και τις μηχανικές τους ιδιότητες:

### 5.5.1. Μηχανικές ιδιότητες κεραμικών υλικών :

#### Αλουμίνα (Al<sub>2</sub>O<sub>3</sub>):

- Σκληρότητα: 9 έως 9,5 στην κλίμακα Mohs.
- Αντοχή: Διαθέτουν εξαιρετική αντοχή σε θλίψη, που συνήθως κυμαίνεται από 300 έως 450 MPa.
- Θερμική σταθερότητα: Τα κεραμικά αλουμίνας προσφέρουν καλή θερμική σταθερότητα με υψηλά σημεία τήξης άνω των 2000°C.
- Ηλεκτρική μόνωση: Διαθέτουν εξαιρετικές ιδιότητες ηλεκτρικής μόνωσης, γεγονός που τα καθιστά κατάλληλα για εφαρμογές σε ηλεκτρικές και ηλεκτρονικές συσκευές.

#### Ζιρκονία (ZrO<sub>2</sub>):

- Ανθεκτικότητα: Κεραμικά ζιρκονίας παρουσιάζουν εξαιρετική ανθεκτικότητα και αντίσταση στη διάδοση ρωγμών.
- Αντοχή σε κάμψη: Έχουν υψηλή αντοχή σε κάμψη, που συνήθως κυμαίνεται από 800 έως 1200 MPa.
- Θερμικό φράγμα: Τα κεραμικά ζιρκονίας παρουσιάζουν χαμηλή θερμική αγωγιμότητα, καθιστώντας τα χρήσιμα ως επιστρώσεις θερμικού φράγματος.
- Βιοσυμβατότητα: Ορισμένες μορφές κεραμικών ζιρκονίας είναι βιοσυμβατές και χρησιμοποιούνται σε ιατρικές και οδοντιατρικές εφαρμογές.

#### Καρβίδιο του πυριτίου (SiC):

- Σκληρότητα: Σκληρότητα: Τα κεραμικά καρβιδίου του πυριτίου διαθέτουν υψηλή σκληρότητα, η οποία κυμαίνεται συνήθως από 9 έως 9,5 στην κλίμακα Mohs.
- Σταθερότητα σε υψηλές θερμοκρασίες: Παρουσιάζουν εξαιρετική θερμική σταθερότητα σε υψηλές θερμοκρασίες και μπορούν να αντέξουν σε ακραία περιβάλλοντα.
- Μηχανική αντοχή: Τα κεραμικά καρβιδίου του πυριτίου προσφέρουν υψηλή μηχανική αντοχή, με αντοχή σε εφελκυσμό που κυμαίνεται από 200 έως 500 MPa.

- Χημική αντίσταση: Διαθέτουν εξαιρετική αντοχή σε χημικές επιθέσεις, καθιστώντας τα κατάλληλα για διαβρωτικά περιβάλλοντα.

#### **Υδροξυαπατίτης (HA):**

- Βιοσυμβατότητα: Τα κεραμικά υδροξυαπατίτη είναι βιοσυμβατά και μοιάζουν με το ανόργανο συστατικό του φυσικού οστού.
- Βιοδραστικότητα: Παρουσιάζουν βιοδραστικότητα και μπορούν να συνδεθούν με ζωντανό οστικό ιστό, καθιστώντας τα κατάλληλα για οστικά μοσχεύματα και εμφυτεύματα.
- Έλεγχος του πορώδους: Τα κεραμικά υδροξυαπατίτη μπορούν να προσαρμοστούν ώστε να έχουν συγκεκριμένο πορώδες για βελτιωμένη ενσωμάτωση στους ιστούς.
- Μηχανική αντοχή: Οι μηχανικές ιδιότητες των κεραμικών υδροξυαπατίτη μπορούν να τροποποιηθούν με τον έλεγχο παραγόντων όπως η σύνθεση, το πορώδες και οι μέθοδοι επεξεργασίας.

#### **Πορσελάνη:**

- Αισθητική: Τα κεραμικά πορσελάνης είναι γνωστά για την εξαιρετική αισθητική τους εμφάνιση και τον οδοντικό τους χρωματισμό, γεγονός που τα καθιστά κατάλληλα για οδοντιατρικές εφαρμογές.
- Χαμηλή τριβή: Παρουσιάζουν χαμηλές ιδιότητες τριβής και φθοράς, γεγονός που τα καθιστά χρήσιμα για εφαρμογές όπως τα κεραμικά έδρανα.
- Θερμική μόνωση: Τα κεραμικά πορσελάνης έχουν καλές θερμομονωτικές ιδιότητες, οι οποίες βρίσκουν εφαρμογές σε μονωτήρες και θερμικά φράγματα.
- Είναι σημαντικό να σημειωθεί ότι οι μηχανικές ιδιότητες των κεραμικών εξαρτημάτων που παράγονται μέσω τρισδιάστατης εκτύπωσης μπορούν να επηρεαστούν από διάφορους παράγοντες, συμπεριλαμβανομένης της συγκεκριμένης κεραμικής σύνθεσης, των παραμέτρων επεξεργασίας και των επεξεργασιών μετά την επεξεργασία. Επιπλέον, οι τεχνικές τρισδιάστατης εκτύπωσης κεραμικών εξελίσσονται συνεχώς και η συνεχιζόμενη έρευνα αποσκοπεί στη βελτίωση των μηχανικών επιδόσεων των κεραμικών εξαρτημάτων.

## 5.5.2. Εφαρμογές κεραμικών υλικών :

### 1. Αεροδιαστημική και αεροπορία:

Τα κεραμικά βρίσκουν εφαρμογές στην αεροδιαστημική βιομηχανία λόγω της σταθερότητας σε υψηλές θερμοκρασίες, των ελαφρών ιδιοτήτων τους και της αντοχής τους στη φθορά και τη διάβρωση. Τα κεραμικά εξαρτήματα που παράγονται μέσω τρισδιάστατης εκτύπωσης μπορούν να χρησιμοποιηθούν σε κινητήρες αεριοστροβίλων, ακροφύσια πυραύλων, θερμικές ασπίδες και άλλα περιβάλλοντα υψηλής θερμοκρασίας. Η ικανότητά τους να αντέχουν σε ακραίες συνθήκες καθιστά τα κεραμικά κατάλληλα για αεροδιαστημικές εφαρμογές όπου η απόδοση, η ανθεκτικότητα και η μείωση του βάρους είναι ζωτικής σημασίας.

### 2. Βιοϊατρική και οδοντιατρική:

Τα κεραμικά προσφέρουν εξαιρετική βιοσυμβατότητα, καθιστώντας τα κατάλληλα για βιοϊατρικές και οδοντιατρικές εφαρμογές. Τα τρισδιάστατα εκτυπωμένα κεραμικά εμφυτεύματα, όπως αρθρώσεις ισχίου, οδοντικές στεφάνες και ικριώματα οστών, μπορούν να μιμηθούν στενά τις ιδιότητες των φυσικών ιστών και να προωθήσουν την οστεοενσωμάτωση. Η βιοαδρανής ή βιοδραστική φύση των κεραμικών, σε συνδυασμό με την ικανότητά τους να προσαρμόζονται και να προσαρμόζονται στις ανάγκες των συγκεκριμένων ασθενών, συμβάλλει στη χρήση τους στην αναγεννητική ιατρική, τη μηχανική ιστών και τις οδοντιατρικές αποκαταστάσεις.

### 3. Ηλεκτρονικά και ηλεκτρικά:

Τα κεραμικά διαθέτουν εξαιρετικές ιδιότητες ηλεκτρικής μόνωσης, υψηλή θερμική αγωγιμότητα και αντοχή σε υψηλές θερμοκρασίες, καθιστώντας τα ιδανικά για ηλεκτρονικές και ηλεκτρικές εφαρμογές. Τα τρισδιάστατα εκτυπωμένα κεραμικά εξαρτήματα χρησιμοποιούνται σε πλακέτες κυκλωμάτων, ηλεκτρικούς μονωτήρες, αισθητήρες, πυκνωτές και άλλες ηλεκτρονικές συσκευές. Η ικανότητά τους να αντέχουν σε υψηλές τάσεις και ακραία περιβάλλοντα καθιστά τα κεραμικά κρίσιμα σε συστήματα διανομής ενέργειας, ημιαγωγούς και εφαρμογές υψηλών συχνοτήτων.

### 4. Ενέργεια και περιβάλλον:

Τα κεραμικά διαδραματίζουν ζωτικό ρόλο στην παραγωγή, την αποθήκευση και τη διατήρηση της ενέργειας. Τα κεραμικά εξαρτήματα που παράγονται μέσω τρισδιάστατης εκτύπωσης μπορούν να χρησιμοποιηθούν σε κυψέλες καυσίμου στερεού οξειδίου, θερμομόνωση, καταλυτικούς μετατροπείς και ενεργειακά αποδοτικό φωτισμό. Η ικανότητα των κεραμικών να αντέχουν σε

υψηλές θερμοκρασίες, η χημική αντοχή και οι εξαιρετικές θερμικές και ηλεκτρικές τους ιδιότητες τα καθιστούν πολύτιμα για εφαρμογές στην παραγωγή και αποθήκευση ενέργειας και στην προστασία του περιβάλλοντος.

5. **Βιομηχανική και χημική επεξεργασία:**

Τα κεραμικά βρίσκουν εφαρμογές σε βιομηχανικές διεργασίες, ιδιαίτερα σε περιβάλλοντα υψηλών θερμοκρασιών και διαβρωτικά περιβάλλοντα. Τα τρισδιάστατα εκτυπωμένα κεραμικά εξαρτήματα χρησιμοποιούνται σε χημικούς αντιδραστήρες, εναλλάκτες θερμότητας, χωνευτήρια και εξαρτήματα ανθεκτικά στη φθορά. Η εξαιρετική θερμική σταθερότητα, η χημική αντοχή και η μηχανική αντοχή τους επιτρέπουν στα κεραμικά να αντέχουν σε δύσκολες συνθήκες λειτουργίας και συμβάλλουν στη βελτίωση της απόδοσης, της ανθεκτικότητας και της ασφάλειας σε εφαρμογές βιομηχανικής και χημικής επεξεργασίας.

6. **Τέχνη και σχεδιασμός:**

Τα κεραμικά έχουν μακρά ιστορία στην τέχνη και τον σχεδιασμό και η τρισδιάστατη εκτύπωση έχει ανοίξει νέες δυνατότητες για δημιουργική έκφραση. Οι καλλιτέχνες και οι σχεδιαστές μπορούν να χρησιμοποιήσουν την τρισδιάστατη εκτύπωση κεραμικών για την παραγωγή περίπλοκων γλυπτών, διακοσμητικών αντικειμένων και προσαρμοσμένων κεραμικών έργων τέχνης. Η δυνατότητα υλοποίησης πολύπλοκων γεωμετριών και σχεδιαστικών λεπτομερειών επιτρέπει την εξερεύνηση νέων μορφών και αισθητικής στην κεραμική τέχνη και το σχεδιασμό.

### **5.5.3. Πλεονεκτήματα κεραμικών υλικών :**

1. **Ελευθερία σχεδιασμού:** Η τρισδιάστατη εκτύπωση κεραμικών επιτρέπει την παραγωγή πολύπλοκων και περίπλοκων σχεδίων που θα ήταν δύσκολο ή αδύνατο να επιτευχθούν με τις παραδοσιακές μεθόδους κατασκευής. Αυτό επιτρέπει τη δημιουργία εξατομικευμένων και μοναδικών κεραμικών εξαρτημάτων με πολύπλοκες γεωμετρίες, εσωτερικά κανάλια και περίπλοκες λεπτομέρειες.
2. **Ποικιλία υλικών:** Υπάρχει ένα ευρύ φάσμα κεραμικών υλικών που διατίθενται για τρισδιάστατη εκτύπωση, όπως αλουμίνα, ζirkονία, υδροξυαπατίτης και πορσελάνη. Κάθε υλικό προσφέρει μοναδικές ιδιότητες, όπως υψηλή αντοχή, βιοσυμβατότητα, θερμική σταθερότητα ή ηλεκτρική μόνωση. Αυτή η ποικιλία επιτρέπει ποικίλες εφαρμογές σε διάφορους κλάδους.

3. **Προσαρμοσμένο πορώδες:** Οι τεχνικές τρισδιάστατης εκτύπωσης κεραμικών μπορούν να χρησιμοποιηθούν για τον έλεγχο του πορώδους των κεραμικών δομών. Τα πορώδη κεραμικά βρίσκουν εφαρμογές σε τομείς όπως η μηχανική ιστών, η διήθηση και η θερμική μόνωση. Η δυνατότητα προσαρμογής του πορώδους των κεραμικών τμημάτων μέσω της τρισδιάστατης εκτύπωσης παρέχει ευελιξία στην επίτευξη των επιθυμητών λειτουργιών.
4. **Σταθερότητα σε υψηλές θερμοκρασίες:** Τα κεραμικά είναι γνωστά για την εξαιρετική θερμική τους σταθερότητα. Μπορούν να αντέξουν υψηλές θερμοκρασίες χωρίς σημαντική παραμόρφωση ή υποβάθμιση. Αυτό καθιστά τα κεραμικά τρισδιάστατα εκτυπωμένα εξαρτήματα κατάλληλα για εφαρμογές που περιλαμβάνουν περιβάλλοντα υψηλών θερμοκρασιών, όπως η αεροδιαστημική, η ενεργειακή και η αυτοκινητοβιομηχανία.
5. **Χημική αντοχή:** Τα κεραμικά παρουσιάζουν εξαιρετική αντοχή στις χημικές επιθέσεις. Είναι ιδιαίτερα σταθερά σε διαβρωτικά περιβάλλοντα, καθιστώντας τα κατάλληλα για εφαρμογές στη χημική επεξεργασία, στις βιομηχανίες πετρελαίου και φυσικού αερίου και στα ιατρικά εμφυτεύματα.

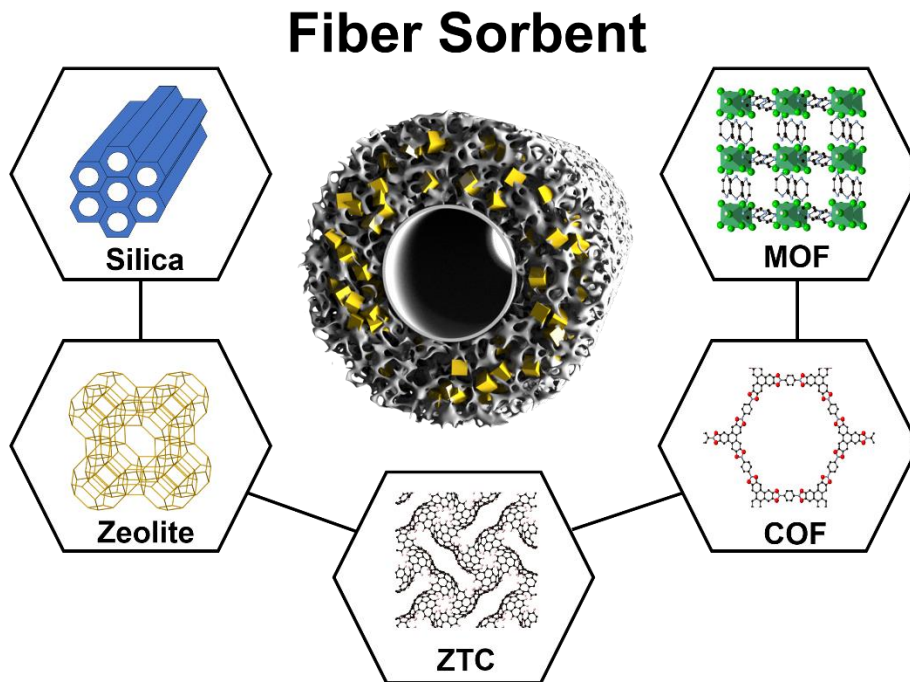
#### **5.5.4. Μειονεκτήματα κεραμικών υλικών :**

1. **Εύθραυστη συμπεριφορά:** Τα κεραμικά είναι εγγενώς εύθραυστα υλικά, επιρρεπή σε θραύση υπό εφελκυσμό ή κρουστικά φορτία. Αυτό περιορίζει την εφαρμογή τους σε σενάρια φόρτισης ή υψηλών πιέσεων, όπου η ανθεκτικότητα είναι κρίσιμη. Σχεδιαστικές εκτιμήσεις, όπως η αποφυγή συγκέντρωσης τάσεων και η βελτιστοποίηση των γεωμετριών, είναι απαραίτητες για τον μετριασμό της ευθραυστότητας των κεραμικών εξαρτημάτων.
2. **Περιορισμένο μέγεθος και πολυπλοκότητα:** Οι κεραμικές τεχνικές τρισδιάστατης εκτύπωσης ενδέχεται να έχουν περιορισμούς όσον αφορά το μέγεθος και την πολυπλοκότητα των εξαρτημάτων που μπορούν να παραχθούν. Τα κεραμικά εξαρτήματα μεγάλης κλίμακας μπορεί να είναι δύσκολο να

κατασκευαστούν λόγω της ανάγκης για δομές στήριξης και της πιθανότητας στρέβλωσης ή ρωγμών κατά τη διάρκεια της επεξεργασίας.

3. **Απαιτήσεις μετεπεξεργασίας:** Τα κεραμικά εξαρτήματα που παράγονται μέσω τρισδιάστατης εκτύπωσης απαιτούν συχνά πρόσθετα στάδια μετα-επεξεργασίας για την επίτευξη των επιθυμητών ιδιοτήτων ή του επιφανειακού φινιρίσματος. Αυτό μπορεί να περιλαμβάνει πυροσυσσωμάτωση, συμπύκνωση, μηχανική κατεργασία και επιφανειακή επεξεργασία. Αυτά τα βήματα μπορεί να προσθέσουν χρόνο, κόστος και πολυπλοκότητα στη συνολική διαδικασία κατασκευής.
4. **Απαιτήσεις εξοπλισμού και εμπειρογνωμοσύνης:** Η τρισδιάστατη εκτύπωση κεραμικών απαιτεί εξειδικευμένο εξοπλισμό ικανό να χειρίζεται κεραμικές σκόρες, να ελέγχει τις παραμέτρους της διαδικασίας εκτύπωσης και να διαχειρίζεται τις επεξεργασίες μετά την επεξεργασία. Επιπλέον, για την επιτυχή κεραμική τρισδιάστατη εκτύπωση απαιτείται τεχνογνωσία στην επιστήμη των κεραμικών υλικών, στο χειρισμό της σκόνης και στη βελτιστοποίηση της διαδικασίας.
5. **Κόστος:** Η κεραμική τρισδιάστατη εκτύπωση μπορεί να είναι σχετικά δαπανηρή σε σύγκριση με άλλες τεχνικές προσθετικής κατασκευής ή παραδοσιακές μεθόδους κατασκευής κεραμικών. Το κόστος των κεραμικών σκονών, του εξειδικευμένου εξοπλισμού, των βημάτων μετεπεξεργασίας και της εμπειρογνωμοσύνης συμβάλλουν στο συνολικά υψηλότερο κόστος της κεραμικής τρισδιάστατης εκτύπωσης.

## Κεφάλαιο 6 Μικροπορώδη υλικά :



Εικόνα 18 : Δομές μικροπορώδων υλικών.

### 6.1. Εισαγωγή:

Τα μικροπορώδη υλικά είναι μια κατηγορία υλικών που χαρακτηρίζονται από την περίπλοκη δομή των πόρων τους σε κλίμακα νανομέτρων. Παρουσιάζουν ένα δίκτυο διασυνδεδεμένων κενών ή πόρων, το οποίο συμβάλλει στις εξαιρετικές ιδιότητες και εφαρμογές τους. Το παρόν έγγραφο αποσκοπεί στην παροχή μιας ολοκληρωμένης επισκόπησης των μικροπορώδων υλικών, ρίχνοντας φως στη δομή, τις μεθόδους σύνθεσης, τις τεχνικές χαρακτηρισμού και τις σημαντικές συνεισφορές τους στις επιστημονικές και μηχανολογικές εξελίξεις.

## 6.2. Δομή των μικροπορώδων και κατηγοριοποίηση :

### 6.2.1. Ζεόλιθοι:

Οι ζεόλιθοι είναι από τα πιο γνωστά μικροπορώδη υλικά. Αποτελούνται από ένα πλαίσιο τετραεδρικά συντονισμένων ατόμων, συνήθως πυριτίου και αλουμινίου, που σχηματίζουν τρισδιάστατες (3D) δομές με ομοιόμορφους μικροπόρους. Η διάταξη των ατόμων και το μέγεθος των πόρων υπαγορεύουν τις ιδιότητες και τις εφαρμογές των ζεόλιθων.

### 6.2.2. Μεταλλο-οργανικά πλαίσια (MOFs):

Τα MOFs είναι μια κατηγορία μικροπόρων υλικών που αποτελούνται από ιόντα μετάλλων ή συστάδες που συντονίζονται με οργανικά ligands. Οι δεσμοί συντονισμού δημιουργούν μια πορώδη δομή με υψηλή επιφάνεια και ρυθμιζόμενο μέγεθος πόρων. Τα MOFs προσφέρουν εξαιρετική ευελιξία στο σχεδιασμό υλικών με συγκεκριμένες ιδιότητες και εφαρμογές.

### 6.2.3. Ομοιοπολικά οργανικά πλαίσια (COFs):

Τα COFs είναι οργανικά πολυμερή με κρυσταλλική δομή που αποτελείται από επαναλαμβανόμενες μονάδες συνδεδεμένες με ομοιοπολικούς δεσμούς. Η πορώδης φύση τους προκύπτει από τη διάταξη των οργανικών δομικών μονάδων, με αποτέλεσμα μια καλά καθορισμένη κατανομή μεγέθους πόρων. Τα COF παρουσιάζουν υψηλή θερμική και χημική σταθερότητα, γεγονός που τα καθιστά ελκυστικά για διάφορες εφαρμογές.

### 6.2.4. Άλλα μικροπορώδη υλικά:

Εκτός από τους ζεόλιθους, τα MOF και τα COF, υπάρχουν και άλλα μικροπορώδη υλικά, όπως οι ενεργοποιημένοι άνθρακες, το πορώδες πυρίτιο και τα πορώδη πολυμερή. Αυτά τα υλικά προσφέρουν μοναδικές δομές πόρων και χημικές ιδιότητες επιφάνειας, παρέχοντας ποικίλες επιλογές για προσαρμοσμένες εφαρμογές.



## 6.3. Σύνθεση και χαρακτηρισμός:

### 6.3.1. Μέθοδοι σύνθεσης:

Χρησιμοποιούνται διάφορες συνθετικές προσεγγίσεις, συμπεριλαμβανομένων διαλυτοθερμικών αντιδράσεων, υδροθερμικών μεθόδων, ιοντοθερμικών μεθόδων και τεχνικών templating, για τη δημιουργία μικροπορωδών υλικών με τις επιθυμητές δομές και ιδιότητες. Οι μέθοδοι αυτές επιτρέπουν τον έλεγχο των μεγεθών των πόρων, των επιφανειών και των λειτουργικών ομάδων.

### 6.3.2. Τεχνικές χαρακτηρισμού:

Ο χαρακτηρισμός των μικροπορωδών υλικών απαιτεί συνδυασμό τεχνικών για την ανάλυση της δομής, του πορώδους, της επιφάνειας και των ιδιοτήτων προσρόφησης. Οι συνήθεις τεχνικές περιλαμβάνουν την περίθλαση ακτίνων X (XRD), την ηλεκτρονική μικροσκοπία σάρωσης (SEM), την ηλεκτρονική μικροσκοπία διέλευσης (TEM), τις ισόθερμες προσρόφησης/απορρόφησης αζώτου (ανάλυση BET) και τη φασματοσκοπία πυρηνικού μαγνητικού συντονισμού στερεάς κατάστασης (NMR).

## 6.4. Ιδιότητες και εφαρμογές:

### 6.4.1. Υψηλή επιφάνεια και πορώδες:

Τα μικροπορώδη υλικά παρουσιάζουν εκτεταμένη επιφάνεια και καλά καθορισμένη δομή πόρων, παρέχοντας υψηλή ικανότητα προσρόφησης και αποτελεσματική μεταφορά μάζας. Οι ιδιότητες αυτές είναι πλεονεκτικές για διαδικασίες αποθήκευσης, διαχωρισμού και καθαρισμού αερίων.

#### 6.4.2. Αποθήκευση και διαχωρισμός αερίου:

Τα μικροπορώδη υλικά βρίσκουν εφαρμογές στην αποθήκευση αερίων, όπως η αποθήκευση υδρογόνου για κυψέλες καυσίμου, η δέσμευση αερίων του θερμοκηπίου και η αποθήκευση φυσικού αερίου. Οι ιδιότητες επιλεκτικής προσρόφησης που διαθέτουν επιτρέπουν αποτελεσματικές διαδικασίες διαχωρισμού και καθαρισμού αερίων.

#### 6.4.3. Κατάλυση και χημικοί μετασχηματισμοί:

Τα μικροπορώδη υλικά χρησιμεύουν ως καταλύτες ή φορείς καταλυτών λόγω της μεγάλης επιφάνειας και του ρυθμιζόμενου μεγέθους των πόρων τους. Επιτρέπουν ελεγχόμενες χημικές αντιδράσεις, όπως η ετερογενής κατάλυση, όπου τα αντιδρώντα μπορούν να εισέλθουν στους πόρους και να υποστούν τους επιθυμητούς μετασχηματισμούς.

#### 6.4.4. Αποθήκευση και μετατροπή ενέργειας:

Τα μικροπορώδη υλικά διαδραματίζουν κρίσιμο ρόλο στις τεχνολογίες αποθήκευσης και μετατροπής ενέργειας. Χρησιμοποιούνται σε υπερπυκνωτές, μπαταρίες ιόντων λιθίου και κυψέλες καυσίμου λόγω της ικανότητάς τους να φιλοξενούν ιόντα και να διευκολύνουν τις διαδικασίες ταχείας φόρτισης και εκφόρτισης.

#### 6.4.5. Περιβαλλοντικές εφαρμογές :

Τα μικροπορώδη υλικά χρησιμοποιούνται σε περιβαλλοντικές εφαρμογές, όπως ο καθαρισμός του νερού, η διήθηση του αέρα και η απομάκρυνση των ρύπων. Οι ιδιότητες προσρόφησης και η υψηλή επιφάνειά τους τα καθιστούν αποτελεσματικά στη σύλληψη και την απομάκρυνση ρύπων από διάφορα μέσα.

#### 6.5. Συμπέρασμα:

Τα μικροπορώδη υλικά είναι μια συναρπαστική κατηγορία υλικών με περίπλοκες δομές πόρων, υψηλές επιφάνειες και μοναδικές ιδιότητες. Έχουν βρει ποικίλες εφαρμογές στην αποθήκευση αερίων, στις τεχνολογίες διαχωρισμού, στην κατάλυση, στην αποθήκευση ενέργειας και στην αποκατάσταση του περιβάλλοντος. Η σύνθεση και ο χαρακτηρισμός των μικροπορώδων υλικών συνεχίζουν να εξελίσσονται, επιτρέποντας την ανάπτυξη προσαρμοσμένων υλικών για συγκεκριμένες εφαρμογές. Με τη συνεχή έρευνα και καινοτομία, τα μικροπορώδη υλικά υπόσχονται πολλά για την αντιμετώπιση


διαφόρων επιστημονικών και τεχνικών προκλήσεων και την προώθηση της προόδου σε πολλούς τομείς.

## Κεφάλαιο 7


### Η περίπτωση της σχεδίασης και υλοποίησης μηχανικών φίλτρων με τεχνικές 3D printing.









Για την διεκπεραίωση του πειράματος έγινε χρήση του προγράμματος Fusion 360. Η αρχική σκέψη για την υλοποίηση του φίλτρου ήταν η μίμηση της δομής ενός ήδη υπάρχοντος υλικού, του ενεργού άνθρακα, ο οποίος φέρει μία σχετικά απλή, αυτή ενός πλέγματος από ισόπλευρα εξάγωνα όπως φαίνεται και παρακάτω. Στόχος είναι η ορισμένη δομή να αποτελέσει την βάση για την σύνθεση ενός πιο πολύπλοκου φίλτρου, μέσω παραμετροποίησης του τρισδιάστατου μοντέλου και κατ'επέκταση την υλοποίηση ενός πιο αποδοτικού φίλτρου. Σε αυτό το σημείο κρίνεται απαραίτητο να αναφερθούν οι επιλογές και οι λοιπές παραδοχές που έλαβαν μέρος. Αρχικά, δεν ήταν δυνατή η εκτύπωση του μηχανικού φίλτρου, λόγω της έλλειψης κατάλληλου εκτυπωτή ικανού να υλοποιήσει σχέδιο στην κλίμακα των νανόμετρων, παράλληλα στο σχεδιαστικό πρόγραμμα η κλίμακα των σχεδίων είναι επαυξημένη κατά  $10^3$  καθώς η ελάχιστη δυνατή μονάδα μέτρησης που επιδεχόταν ήταν αυτή των χιλιοστών. Τέλος, το υλικό που επιλέχθηκε για την εκτύπωση του εν λόγω φίλτρου είναι το Nylon-12 καθώς εμπεριέχει τις πιο κατάλληλες φυσικές και μηχανικές ιδιότητες οι οποίες αναφέρονται παρακάτω :



Πίνακας 8 :

Physical Properties	Metric	English	Comments
Density	<u>0.00147</u> - <u>11.0</u> g/cc	<u>0.0000531</u> - <u>0.397</u> lb/in <sup>3</sup>	Average value: 1.27 g/cc Grade Count:807
Filler Content	10.0 - 59.0 %	10.0 - 59.0 %	Average value: 32.1 % Grade Count:23
Water Absorption	0.0100 - 3.50 %	0.0100 - 3.50 %	Average value: 0.929 % Grade Count:422
 Water Absorption	1.65 - 1.90 % @Temperature 100 - 100 °C	1.65 - 1.90 % @Temperature 212 - 212 °F	Average value: 1.79 % Grade Count:20
Moisture Absorption at Equilibrium	0.000 - 2.00 %	0.000 - 2.00 %	Average value: 0.649 % Grade Count:289
Water Absorption at Saturation	0.100 - 3.50 %	0.100 - 3.50 %	Average value: 1.50 % Grade Count:292
Additive Loading	2.00 - 30.0 %	2.00 - 30.0 %	Average value: 18.8 % Grade Count:12
Particle Size	<u>2.50</u> - <u>100</u> μm	<u>2.50</u> - <u>100</u> μm	Average value: 43.1 μm Grade Count:33

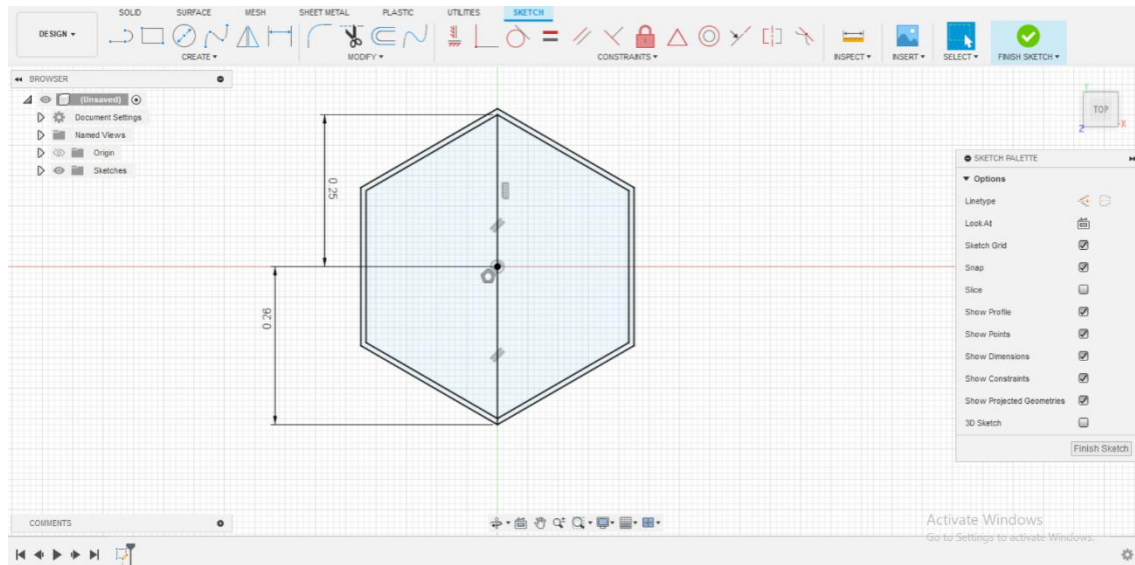
Specific Surface Area	<u>1.00</u> - <u>9.00</u> m <sup>2</sup> /g	<u>1.00</u> - <u>9.00</u> m <sup>2</sup> /g	Average value: 3.17 m <sup>2</sup> /g Grade Count:9
Water Vapor Transmission	<u>8.00</u> - <u>8.07</u> g/m <sup>2</sup> /day	<u>0.515</u> - <u>0.520</u> g/100 in <sup>2</sup> /day	Average value: 8.04 g/m <sup>2</sup> /day Grade Count:4
Viscosity Number	<u>100</u> - <u>190</u> cm <sup>3</sup> /g	<u>1.00</u> - <u>1.90</u> dl/g	Average value: 169 cm <sup>3</sup> /g Grade Count:9
Thickness	<u>5.00</u> - <u>660</u> microns	<u>0.197</u> - <u>26.0</u> mil	Average value: 195 microns Grade Count:12
Linear Mold Shrinkage	<u>0.000200</u> - <u>0.0220</u> cm/cm	<u>0.000200</u> - <u>0.0220</u> in/in	Average value: 0.00725 cm/cm Grade Count:496
 Linear Mold Shrinkage, Transverse	<u>0.00600</u> - <u>0.00700</u> cm/cm @ Temperature 80.0 - 80.0 °C	<u>0.00600</u> - <u>0.00700</u> in/in @ Temperature 176 - 176 °F	Average value: 0.00650 cm/cm Grade Count:8
Linear Mold Shrinkage, Transverse	<u>0.000500</u> - <u>0.0200</u> cm/cm	<u>0.000500</u> - <u>0.0200</u> in/in	Average value: 0.00751 cm/cm Grade Count:401
 Linear Mold Shrinkage, Transverse	<u>0.00700</u> - <u>0.00800</u> cm/cm @ Temperature 80.0 - 80.0 °C	<u>0.00700</u> - <u>0.00800</u> in/in @ Temperature 176 - 176 °F	Average value: 0.00750 cm/cm Grade Count:8
Melt Flow	<u>0.400</u> - <u>190</u> g/10 min	<u>0.400</u> - <u>190</u> g/10 min	Average value: 29.5 g/10 min Grade Count:140

Mechanical Properties	Metric	English	Comments
Hardness, Rockwell R	21.0 - 120	21.0 - 120	Average value: 98.0 Grade Count:41
Hardness, Shore D	40.0 - 88.0	40.0 - 88.0	Average value: 71.9 Grade Count:216
Ball Indentation Hardness	<u>20.0</u> - <u>230</u> MPa	<u>2900</u> - <u>33400</u> psi	Average value: 119 MPa Grade Count:140
Tensile Strength, Ultimate	<u>12.0</u> - <u>1750</u> MPa	<u>1740</u> - <u>254000</u> psi	Average value: 83.2 MPa Grade Count:566
 Tensile Strength, Ultimate	<u>15.0</u> - <u>110</u> MPa @ Temperature 60.0 - 150 °C	<u>2180</u> - <u>16000</u> psi @ Temperature 140 - 302 °F	Average value: 58.4 MPa Grade Count:4
Film Tensile Strength at Yield, MD	<u>35.0</u> - <u>35.0</u> MPa	<u>5080</u> - <u>5080</u> psi	Average value: 35.0 MPa Grade Count:4
Film Tensile Strength at Yield, TD	<u>35.0</u> - <u>35.0</u> MPa	<u>5080</u> - <u>5080</u> psi	Average value: 35.0 MPa Grade Count:4
Tensile Strength, Yield	<u>5.50</u> - <u>170</u> MPa	<u>798</u> - <u>24600</u> psi	Average value: 46.6 MPa Grade Count:499
Film Elongation at Break, MD	850 %	850 %	Average value: 850 % Grade Count:4
Film Elongation at Break, TD	900 %	900 %	Average value: 900 % Grade Count:4
Film Elongation at Yield, MD	6.00 %	6.00 %	Average value: 6.00 % Grade Count:4
Film Elongation at Yield, TD	6.00 %	6.00 %	Average value: 6.00 % Grade Count:4

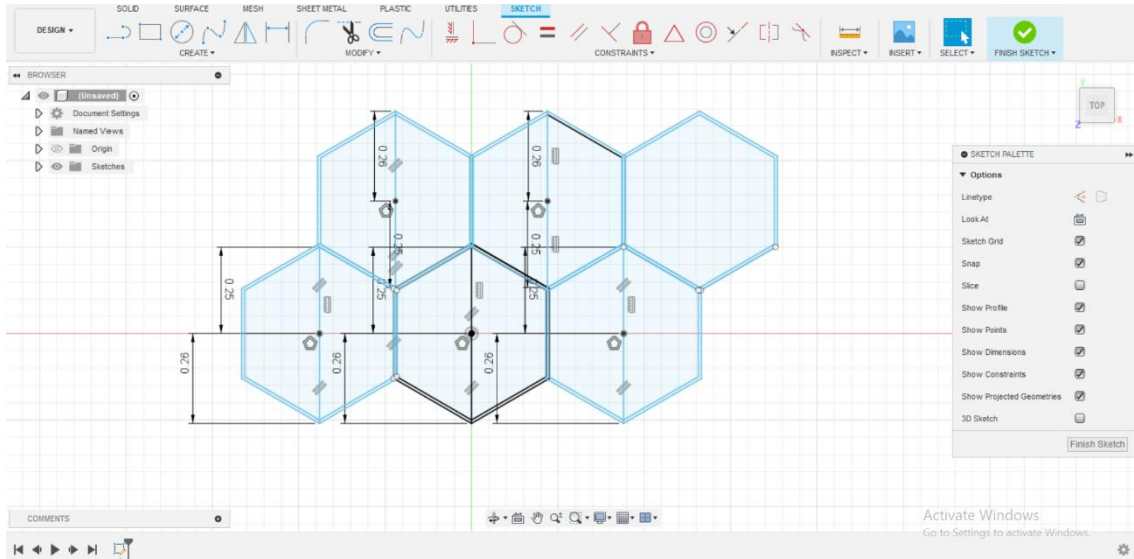
Elongation at Break	0.350 - 588 %	0.350 - 588 %	Average value: 60.9 % Grade Count:791
	4.50 - 16.0 % @Temperature 60.0 - 150 °C	4.50 - 16.0 % @Temperature 140 - 302 °F	Average value: 8.68 % Grade Count:3
Elongation at Yield	0.900 - 200 %	0.900 - 200 %	Average value: 13.6 % Grade Count:356
	>= 10.0 % @Temperature 60.0 - 150 °C	>= 10.0 % @Temperature 140 - 302 °F	Average value: 10.0 % Grade Count:1
Modulus of Elasticity	0.0400 - 100 GPa	5.80 - 14500 ksi	Average value: 4.95 GPa Grade Count:676
	0.259 - 7.20 GPa @Temperature 40.0 - 150 °C	37.6 - 1040 ksi @Temperature 104 - 302 °F	Average value: 3.29 GPa Grade Count:4
Tenacity	0.297 - 0.545 N/tex	3.37 - 6.17 g/denier	Average value: 0.413 N/tex Grade Count:3
Flexural Yield Strength	5.45 - 900 MPa	790 - 131000 psi	Average value: 119 MPa Grade Count:197
Flexural Modulus	0.170 - 95.0 GPa	24.7 - 13800 ksi	Average value: 5.71 GPa Grade Count:232
	0.275 - 0.685 GPa @Temperature 60.0 - 120 °C	39.9 - 99.4 ksi @Temperature 140 - 248 °F	Average value: 0.450 GPa Grade Count:1
Flexural Strain at Break	2.30 - 10.0 %	2.30 - 10.0 %	Average value: 4.30 % Grade Count:12
Compressive Yield Strength	6.00 - 167 MPa	870 - 24200 psi	Average value: 75.0 MPa Grade Count:10
Compressive Modulus	1.07 - 6.80 GPa	155 - 986 ksi	Average value: 2.93 GPa Grade Count:6
Poissons Ratio	0.350 - 0.430	0.350 - 0.430	Average value: 0.393 Grade Count:3
	0.450 - 0.450 @Temperature 100 - 100 °C	0.450 - 0.450 @Temperature 212 - 212 °F	Average value: 0.450 Grade Count:1
Izod Impact	53.0 - 160 J	39.1 - 118 ft-lb	Average value: 109 J Grade Count:11
Izod Impact, Notched	0.160 - 100 J/cm	0.300 - 187 ft-lb/in	Average value: 2.30 J/cm Grade Count:150
	0.210 - 1.10 J/cm @Temperature -40.0 - -20.0 °C	0.393 - 2.06 ft-lb/in @Temperature -40.0 - -4.00 °F	Average value: 0.410 J/cm Grade Count:5
Izod Impact, Unnotched	0.0166 J/cm - NB	0.0310 ft-lb/in - NB	Average value: 12.5 J/cm Grade Count:77
Izod Impact, Notched (ISO)	1.00 - 100000 kJ/m <sup>2</sup>	0.476 - 47600 ft-lb/in <sup>2</sup>	Average value: 13.1 kJ/m <sup>2</sup> Grade Count:44
	5.00 - 19.0 kJ/m <sup>2</sup> @Temperature -30.0 - -30.0 °C	2.38 - 9.04 ft-lb/in <sup>2</sup> @Temperature -22.0 - -22.0 °F	Average value: 13.1 kJ/m <sup>2</sup> Grade Count:15
Izod Impact, Unnotched (ISO)	8.00 kJ/m <sup>2</sup> - NB	3.81 ft-lb/in <sup>2</sup> - NB	Average value: 55.7 kJ/m <sup>2</sup> Grade Count:42
	41.0 - 90.0 kJ/m <sup>2</sup> @Temperature -30.0 - -30.0 °C	19.5 - 42.8 ft-lb/in <sup>2</sup> @Temperature -22.0 - -22.0 °F	Average value: 62.8 kJ/m <sup>2</sup> Grade Count:16
Charpy Impact	0.400 J/cm <sup>2</sup> - NB	1.90 ft-lb/in <sup>2</sup> - NB	Average value: 7.13 J/cm <sup>2</sup> Grade

Unnotched			Count:462
	<u>2.00</u> J/cm <sup>2</sup> - NB @Temperature -40.0 - 0.000 °C	<u>9.52</u> ft-lb/in <sup>2</sup> - NB @Temperature -40.0 - 32.0 °F	Average value: 7.43 J/cm <sup>2</sup> Grade Count:400
Charpy Impact, Notched	<u>0.100</u> J/cm <sup>2</sup> - NB	<u>0.476</u> ft-lb/in <sup>2</sup> - NB	Average value: 2.29 J/cm <sup>2</sup> Grade Count:496
	<u>0.100</u> J/cm <sup>2</sup> - NB @Temperature -40.0 - 0.000 °C	<u>0.476</u> ft-lb/in <sup>2</sup> - NB @Temperature -40.0 - 32.0 °F	Average value: 1.03 J/cm <sup>2</sup> Grade Count:427
Dart Drop, Total Energy	<u>5.00</u> - <u>16.0</u> J	<u>3.69</u> - <u>11.8</u> ft-lb	Average value: 10.1 J Grade Count:8
Falling Dart Impact	<u>9.73</u> - <u>13.0</u> J	<u>7.18</u> - <u>9.59</u> ft-lb	Average value: 11.2 J Grade Count:3
Instrumented Impact Total Energy	<u>3.61</u> - <u>21.3</u> J	<u>2.66</u> - <u>15.7</u> ft-lb	Average value: 15.2 J Grade Count:3
Puncture Energy	<u>60.0</u> - <u>70.0</u> J @Temperature -30.0 - -30.0 °C	<u>44.3</u> - <u>51.6</u> ft-lb @Temperature -22.0 - -22.0 °F	Average value: 62.5 J Grade Count:4
Coefficient of Friction	0.0200 - 0.670	0.0200 - 0.670	Average value: 0.312 Grade Count:16
Coefficient of Friction, Static	0.140 - 0.520	0.140 - 0.520	Average value: 0.308 Grade Count:8
Tensile Creep Modulus, 1 hour	<u>310</u> - <u>1300</u> MPa	<u>45000</u> - <u>189000</u> psi	Average value: 735 MPa Grade Count:10
Tensile Creep Modulus, 1000 hours	<u>60.0</u> - <u>800</u> MPa	<u>8700</u> - <u>116000</u> psi	Average value: 316 MPa Grade Count:18
Tear Strength Test	0.200 - 143	0.200 - 143	Average value: 81.6 Grade Count:5
K (wear) Factor	<u>0.000</u> - <u>103</u> x 10 <sup>-8</sup> mm <sup>3</sup> /N-M	<u>0.000</u> - <u>51.0</u> x 10 <sup>-10</sup> in <sup>3</sup> -min/ft-lb-hr	Average value: 25.9 x 10 <sup>-8</sup> mm <sup>3</sup> /N-M Grade Count:7
Taber Abrasion, mg/1000 Cycles	1.00 - 30.0	1.00 - 30.0	Average value: 4.04 Grade Count:28
Film Tensile Strength at Break, MD	<u>80.0</u> - <u>80.0</u> MPa	<u>11600</u> - <u>11600</u> psi	Average value: 80.0 MPa Grade Count:4
Film Tensile Strength at Break, TD	<u>70.0</u> - <u>70.3</u> MPa	<u>10200</u> - <u>10200</u> psi	Average value: 70.2 MPa Grade Count:4
Hydrostatic Design Basis	<u>13.7895</u> - <u>13.7895</u> MPa @Temperature 60.0 - 60.0 °C	<u>2000.00</u> - <u>2000.00</u> psi @Temperature 140 - 140 °F	Average value: 13.8 MPa Grade Count:1

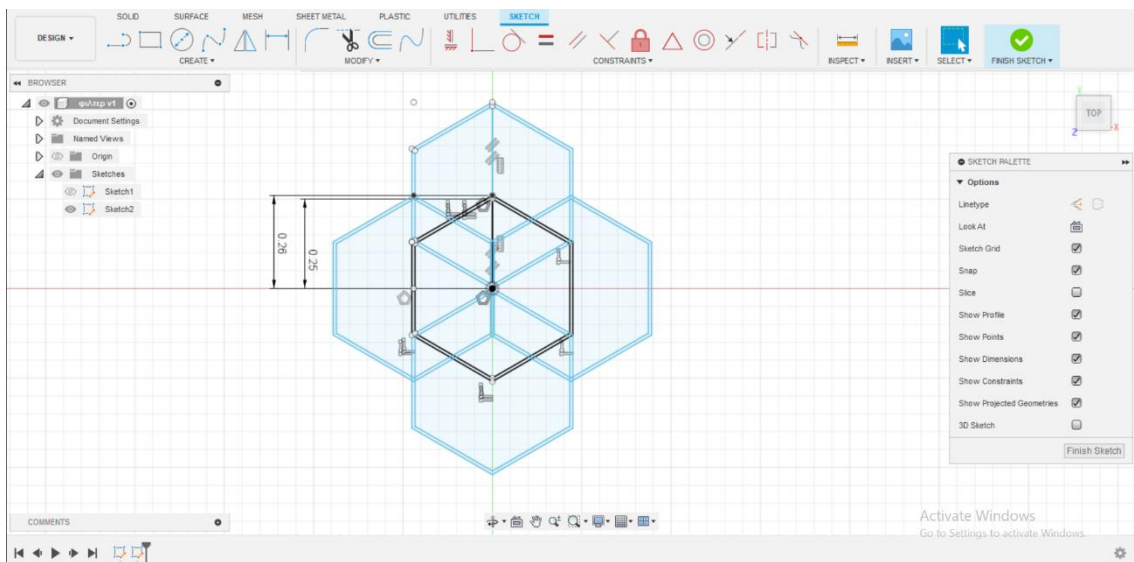
## 7.1 Στάδια σχεδίασης :



Το πρώτο στάδιο του πειράματος ήταν η σχεδίαση της βασικής δομής του φίλτρου όπου με βάση τη σχετική βιβλιογραφία ορίστηκαν οι διαστάσεις των επιμέρους ωπών του.

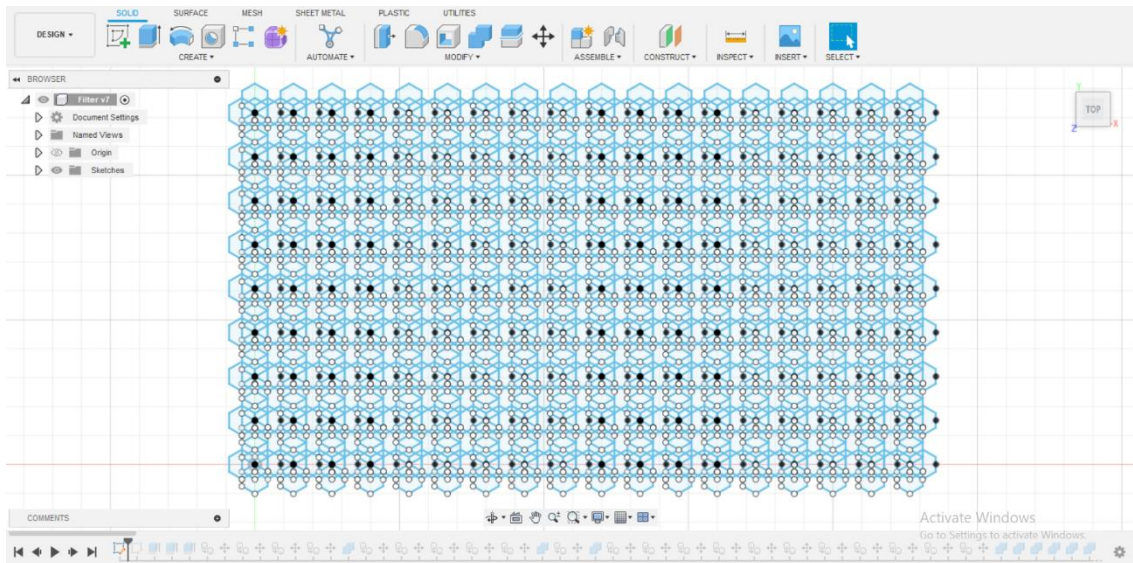


Στην συνέχεια επεκτάθηκε το μοτίβο για την δημιουργία ενός φαινομενικά υποτυπώδους πλέγματος και ακολούθησε η τροποποίηση αυτού προσδίδοντάς του μια πιο σύνθετη μορφή όπως αυτή της παρακάτω εικόνας.

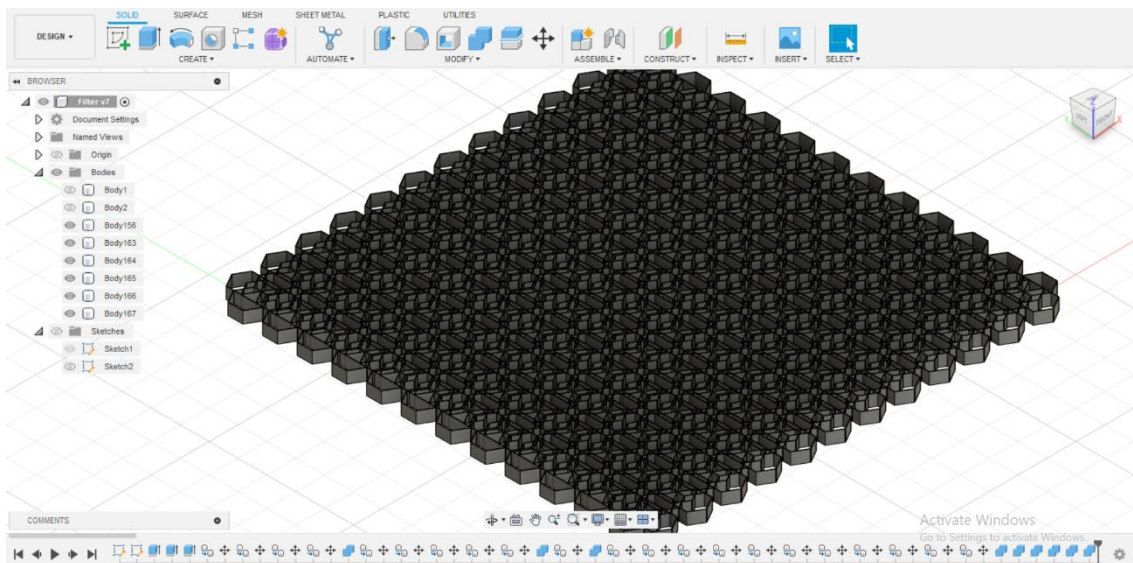




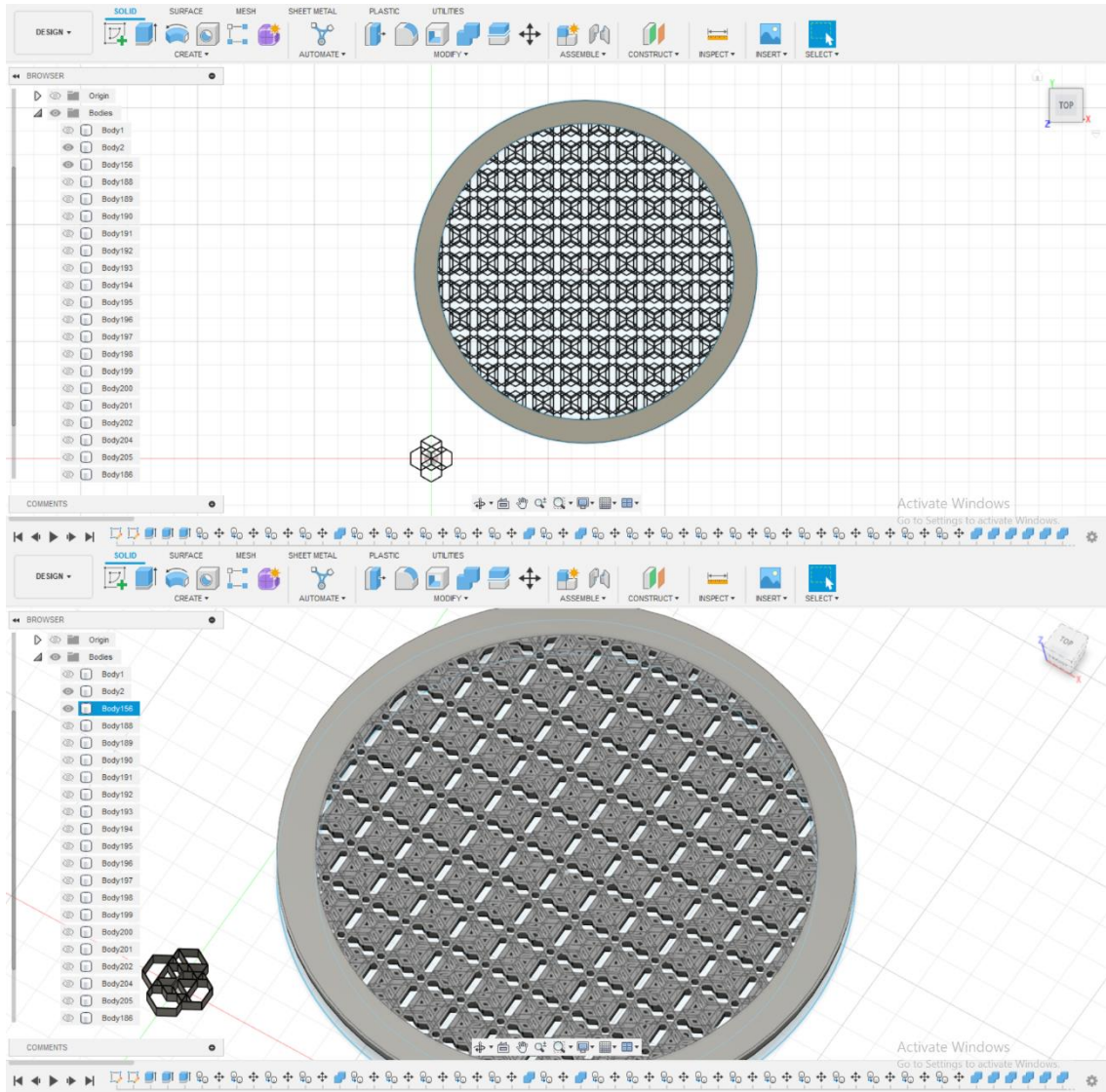
Έπειτα, μέσω αλληπάλληλων και διαδοχικών επιτεύχθηκε η δημιουργία ενός γεωμετρικού μοτίβου το οποίο μετεξελίχθηκε σε στο πλέγμα που διαφαινεται παρακάτω :



Στην συνέχεια ακολούθησε η εξώθηση του σχεδίου ύψους 0,2mm.

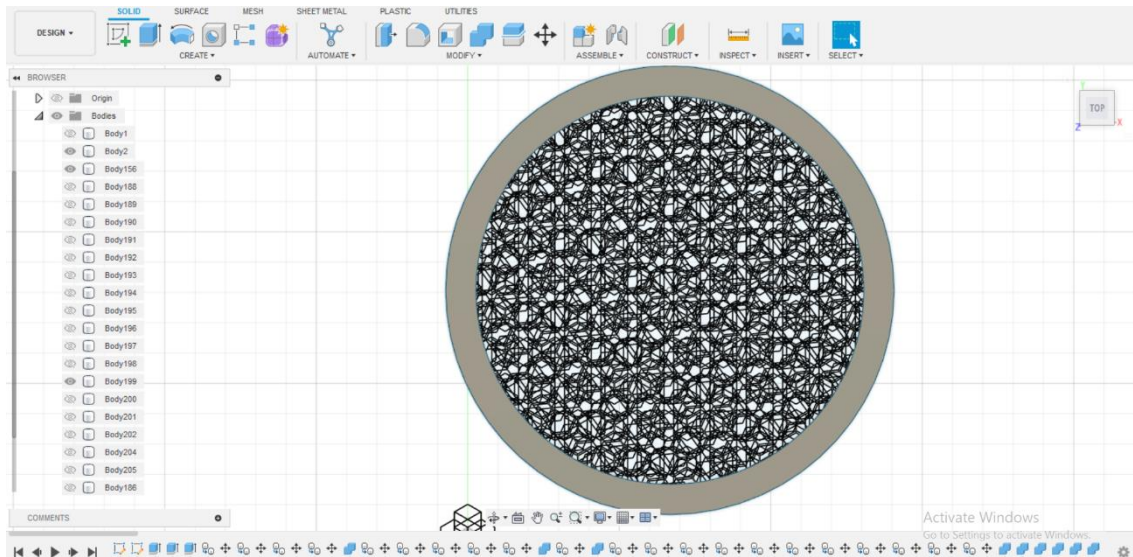


Στο επόμενο βήμα δημιουργήθηκε ένας δακτύλιος εσωτερικής διαμέτρου 6.4mm και εξωτερικής 7.4mm προκειμένου να πλαισιώσει την απαραίτητη ποσότητα υλικού που χρειάζεται για την προσομοίωση του φίλτρου και παράλληλα να απομονώσει το όποιο περισσευούμενο υλικό-σχέδιο.

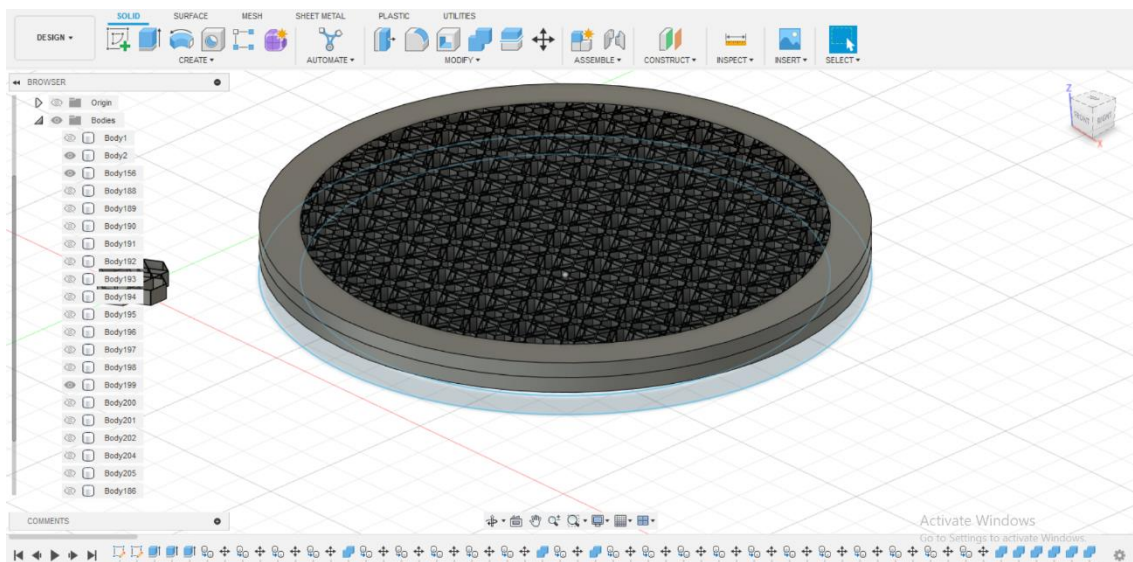


Μετά την δημιουργία του πρώτου στρώματος του εν λόγω φίλτρου ακολούθησε μια διαδοχική τοποθέτηση άλλων πέντε στρωμάτων ίδιων διαστάσεων. Σημειώνεται ότι εκτός της τοποθέτησης κάθε στρώματος πάνω στο προηγούμενο υπήρξε και στρέψη αυτού κατά 36 μοίρες ανά στρώμα.

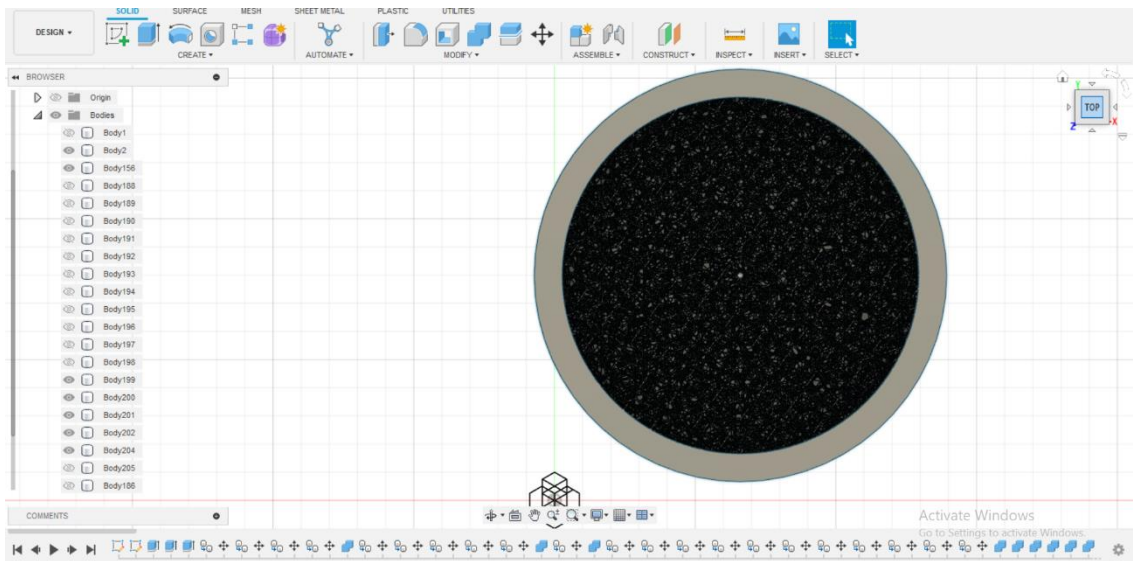
### Πρώτο στρώμα (layer) :



### Δεύτεροστρώμα (layer) :



## Έκτο στρώμα (layer) :



## Κεφάλαιο 8

### Συμπεράσματα, Περιορισμοί και Μελλοντική Εργασία.

Συμπερασματικά, η παρούσα διατριβή διερεύνησε τη διασταύρωση της Βιομηχανίας 4.0, των προηγμένων τεχνολογιών και κυρίως της τρισδιάστατης εκτύπωσης, καθώς και της βιώσιμης ανάπτυξης στο πλαίσιο του σχεδιασμού και της εφαρμογής μικροπορωδών φίλτρων με τη χρήση τεχνικών τρισδιάστατης εκτύπωσης. Οι πρωταρχικοί στόχοι αυτής της έρευνας ήταν να μελετήσει και να αναλύσει τις ποικίλες δυνατότητες των τεχνολογιών που έχουν να προσφέρουν οι τρισδιάστατοι εκτυπωτές στην προώθηση βιώσιμων πρακτικών και της προστασίας του περιβάλλοντος μέσω της ανάπτυξης καινοτόμων σχεδίων φίλτρων.

Μέσω της ολοκληρωμένης ανάλυσης της σχετικής βιβλιογραφίας, της εξέτασης τεχνολογιών αιχμής και πειραματικών μελετών, η παρούσα έρευνα απέδωσε πολύτιμες γνώσεις. Τα ευρήματα έδειξαν ότι οι τεχνολογίες της Βιομηχανίας 4.0, όπως η τρισδιάστατη εκτύπωση, προσφέρουν τεράστιες ευκαιρίες για την κατασκευή σύνθετων μικροπορωδών φίλτρων με βελτιωμένη απόδοση, αποδοτικότητα και βιωσιμότητα. Η χρήση προηγμένων υλικών, όπως το nylon 12 και τα φωτοπολυμερή, έδειξε υποσχόμενες μηχανικές ιδιότητες και συμβατότητα για εφαρμογές μικροπορωδών φίλτρων.

Η σημασία της παρούσας έρευνας έγκειται στη συμβολή της τόσο στον ακαδημαϊκό χώρο όσο και στη βιομηχανία. Ο σχεδιασμός και η εφαρμογή μικροπορωδών φίλτρων με τεχνικές τρισδιάστατης εκτύπωσης ενέχουν μεγάλες δυνατότητες για την ενίσχυση της προστασίας του περιβάλλοντος και των πρακτικών βιώσιμης ανάπτυξης. Επιτρέποντας την παραγωγή εξατομικευμένων και υψηλής απόδοσης φίλτρων, η τεχνολογία αυτή μπορεί να καλύψει συγκεκριμένες ανάγκες διήθησης σε διάφορους τομείς, όπως η επεξεργασία νερού, ο καθαρισμός του αέρα και οι βιομηχανικές διεργασίες.

Ενώ η παρούσα διατριβή έχει σημειώσει σημαντική πρόοδο στη διερεύνηση των δυνατοτήτων των μικροπορωδών φίλτρων και της εφαρμογής τους με τη χρήση τεχνικών τρισδιάστατης εκτύπωσης, υπάρχουν ακόμη τομείς που απαιτούν περαιτέρω διερεύνηση. Η μελλοντική έρευνα θα μπορούσε να επικεντρωθεί στη βελτιστοποίηση των παραμέτρων σχεδιασμού, στη διερεύνηση εναλλακτικών υλικών, στην χρήση καταλληλότερου τρισδιάστατου εκτυπωτή ικανού να υλοποιήσει σχέδια στην κλίμακα των νανόμετρων καθώς και στην αξιολόγηση της μακροπρόθεσμης απόδοσης και της ανθεκτικότητας αυτών των φίλτρων.

Εν κατακλείδι, η παρούσα μελέτη αναδεικνύει τον μετασχηματιστικό αντίκτυπο της Βιομηχανίας 4.0 και των προηγμένων τεχνολογιών στην επίτευξη των στόχων βιώσιμης ανάπτυξης. Ο σχεδιασμός και η εφαρμογή μικροπορωδών φίλτρων με τεχνικές τρισδιάστατης εκτύπωσης αποτελούν μια πολλά υποσχόμενη οδό για την προστασία του περιβάλλοντος, την προώθηση της αποδοτικότητας των πόρων και την προώθηση βιώσιμων πρακτικών σε διάφορες βιομηχανίες. Η παρούσα έρευνα χρησιμεύει ως βάση για μελλοντικές μελέτες και πρακτικές εφαρμογές, τονίζοντας τη σημασία της τεχνολογικής καινοτομίας για την επίτευξη ενός πιο βιώσιμου μέλλοντος.

## Κεφάλαιο9

### Κατάλογος Αναφορών :

1. "The history of 3D printing: A timeline" by Steve Duda, published on All3DP website (<https://all3dp.com/1/history-of-3d-printing-timeline/>)
2. "Additive Manufacturing: A Brief History" by Joseph J. Beaman Jr., published in the Journal of Materials Science and Engineering C (<https://www.ncbi.nlm.nih.gov/pmc/articles/PMC5713357/>)
3. "Additive Manufacturing: Evolution and Future Directions" by T.A. Wani, M. R. Asif, and I. Ali, published in the Journal of Mechanical Engineering Research and Developments ([https://www.researchgate.net/publication/314327068\\_Additive\\_Manufacturing\\_Evolution\\_and\\_Future\\_Directions](https://www.researchgate.net/publication/314327068_Additive_Manufacturing_Evolution_and_Future_Directions))
4. "The history of additive manufacturing - A critical review" by K.P. Karunakaran and K.M. Shaji, published in the International Journal of Engineering, Science and Technology ([https://www.researchgate.net/publication/329389763\\_The\\_history\\_of\\_additive\\_manufacturing\\_-\\_A\\_critical\\_review](https://www.researchgate.net/publication/329389763_The_history_of_additive_manufacturing_-_A_critical_review))
5. Hull, C. W. (1986). Apparatus for production of three-dimensional objects by stereolithography. U.S. Patent No. 4,575,330.
6. ISO/ASTM International. (2020). Standard Specification for Additive Manufacturing—File Format (AMF) Version 1.2.
7. Gibson, I., et al. (2015). Additive Manufacturing Technologies: 3D Printing, Rapid Prototyping, and Direct Digital Manufacturing. CRC Press.
8. Singhal, P., et al. (2019). Stereolithography: Materials, Processes and Applications. In 3D Printing and Additive Manufacturing Technologies (pp. 125-146). Springer.
9. ASTM International. (2020). Standard Specification for Additive Manufacturing—Terminology.
10. Pham, D. T., et al. (2019). Additive Manufacturing (3D Printing) in Engineering Education. Springer.

11. Rosen, D. W., et al. (2014). Design for Additive Manufacturing: Optimization of 3D Printed Nylon 12 Components for Fatigue Performance. *Journal of Mechanical Design*, 136(11), 111416.
12. ASTM International. (2018). Standard Specification for Additive Manufacturing Nylon (PA), ASTM F2989-17.
13. Balta, D., et al. (2021). The Role of Additives and the Impact of the Manufacturing Process on Mechanical and Chemical Properties of 3D Printed Polyamide 12. *Materials*, 14(13), 3411.
14. Zolfagharian, A., et al. (2019). Additive Manufacturing of Microporous Structures: A Review of Printing Parameters and Material Considerations. *Micromachines*, 10(5), 301.
15. Nair, A. K., et al. (2018). Additive Manufacturing for Microporous Membranes: A Review. *Journal of Membrane Science*, 549, 375-391.
16. Sivakumar, M., et al. (2019). Microporous Membranes for Water Filtration: A Review. *Journal of Water Process Engineering*, 30, 100630.
17. Bae, J., et al. (2021). Recent Progress in Microporous Membrane Fabrication Techniques: A Review
18. Smith, B., & Williams, C. B. (2017). Additive Manufacturing of Microporous Membranes. In *Additive Manufacturing of Metals: The Technology, Materials, Design and Production* (pp. 159-173). Elsevier.
19. Chartier, T. (2018). The Future of Filters: 3D Printing Microporous Membranes.
20. Piegl, L., & Tiller, W. (1995). *The NURBS Book*. Springer-Verlag.
21. Wolter, F.-E. (2004). *Solid Modeling: Methods and Applications*. Springer-Verlag.

22. Gomes, S., & Araújo, A. (2016). Solid Modeling. In Handbook of Geometric Constraint Systems Principles (pp. 93-112). Springer International Publishing.
23. Requicha, A. A. G., & Voelcker, H. B. (1981). Solid Modeling: A Historical Summary and Contemporary Assessment. *Computer Graphics and Image Processing*, 17(3), 258-275.
24. Foley, J. D., van Dam, A., Feiner, S. K., & Hughes, J. F. (1990). *Computer Graphics: Principles and Practice*. Addison-Wesley.
25. Gross, M. H. (1994). Form, Function, and Style in 3D CAD Models. *ACM SIGGRAPH Computer Graphics*, 28(3), 131-138.
26. Zeid, I. (2016). *Mastering CAD/CAM*. McGraw-Hill Education.
27. Hartman, J. C. (1985). *Wireframe-Based Computer Graphics*. Springer-Verlag.
28. Bartels, R. H., Beatty, J. C., & Barsky, B. A. (1987). *An Introduction to Splines for Use in Computer Graphics and Geometric Modeling*. Morgan Kaufmann.
29. Autodesk. (n.d.). AutoCAD. Retrieved from <https://www.autodesk.com/products/autocad/overview>
30. Dassault Systèmes. (n.d.). SolidWorks. Retrieved from <https://www.solidworks.com/>
31. Autodesk. (n.d.). Fusion 360. Retrieved from <https://www.autodesk.com/products/fusion-360/overview>
32. McNeel. (n.d.). Rhino3D. Retrieved from <https://www.rhino3d.com/>



33. Blender Foundation. (n.d.). Blender. Retrieved from <https://www.blender.org/>
34. Autodesk. (n.d.). Tinkercad. Retrieved from <https://www.tinkercad.com/>
35. Trimble Inc. (n.d.). SketchUp. Retrieved from <https://www.sketchup.com/>
36. Ultimaker. (n.d.). Ultimaker Cura. Retrieved from <https://ultimaker.com/software/ultimaker-cura>
37. Prusa Research. (n.d.). PrusaSlicer. Retrieved from <https://www.prusa3d.com/prusaslicer/>
38. Simplify3D. (n.d.). Simplify3D Software. Retrieved from <https://www.simplify3d.com/>
39. Slic3r. (n.d.). Slic3r. Retrieved from <https://slic3r.org/>
40. MatterHackers. (n.d.). MatterControl. Retrieved from <https://www.matterhackers.com/store/1/mattercontrol/sk/M6RZ6JGV>
41. Repetier Software. (n.d.). Repetier-Host. Retrieved from <https://www.repetier.com/>
42. Liao, S., et al. (2019). Poly(lactic acid) – Structure, Properties, Processing, and Applications: A Review. *Polymer Reviews*, 59(3), 487-512.
43. Gorrasi, G., & Pantani, R. (2013). Poly(lactic acid) for tissue engineering scaffold applications: Morphology, mechanical properties, and degradation. *Journal of Applied Polymer Science*, 130(2), 1420-1435.

44. Ramkumar, S. S., et al. (2020). Investigation of tensile and flexural properties of 3D printed polylactic acid (PLA) using fused deposition modeling (FDM) process. *Materials Today: Proceedings*, 22(Part 2), 685-692.
45. Jacobs, P. F. (Ed.). (2012). *Rapid Prototyping & Manufacturing: Fundamentals of Stereolithography*. Society of Manufacturing Engineers.
46. Sun, C., et al. (2018). Mechanical properties of a dental microcomposite. *Dental Materials Journal*, 37(6), 968-974.
47. Huang, S., et al. (2019). Photopolymer Resin for 3D Printing: Recent Advances, Challenges, and Emerging Trends. *Macromolecular Materials and Engineering*, 304(5), 1800651.
48. Ahn, S. H., et al. (2012). An overview of 3D printing technologies for food fabrication. *Food and Bioprocess Technology*, 5(3), 1143-1153.
49. DebRoy, T., Wei, H. L., Zuback, J. S., Mukherjee, T., Elmer, J. W., & Michaleris, P. (2018). Additive manufacturing of metallic components – Process, structure and properties. *Progress in Materials Science*, 92, 112-224.
50. Gibson, I., Rosen, D. W., & Stucker, B. (2014). *Additive manufacturing technologies: 3D printing, rapid prototyping, and direct digital manufacturing*. Springer Science & Business Media.
51. ISO/ASTM 52900:2015. (2015). *Additive manufacturing — General principles — Terminology*.
52. DebRoy, T., Wei, H. L., Zuback, J. S., Mukherjee, T., Elmer, J. W., & Michaleris, P. (2018). Additive manufacturing of metallic components –

- Process, structure and properties. *Progress in Materials Science*, 92, 112-224.
53. ASTM F2792 - 12(2017) Standard Terminology for Additive Manufacturing Technologies.
54. Włodarczyk, B., & Grzesiak, D. (2017). The use of photopolymer 3D printing technology in product design. *Procedia Engineering*, 182, 649-655.
55. Zhang, Y. S., & Khademhosseini, A. (2017). Advances in engineering hydrogels. *Science*, 356(6337), eaaf3627.
56. Zhang, Y., Du, R., Guo, J., & Shen, Z. (2021). Mechanical properties of ceramics fabricated by additive manufacturing technologies: a review. *Journal of Materials Science & Technology*, 84, 141-156.