



INTERNATIONAL  
HELLENIC  
UNIVERSITY

DEPARTMENT OF INDUSTRIAL ENGINEERING AND MANAGEMENT

Κατασκευή Λειτουργικών  
Μικροδομών με Τεχνολογία  
Τρισδιάστατης Εκτύπωσης

---

3D Printing of Functional  
Microstructures

*Τουλής Αθανάσιος*

*Επιβλέπων καθηγητής: Μιχάλης Κιζήρογλου*

*Θεσσαλονίκη 2024*

## **Abstract**

The subject of this work is 3D printing. More specifically, the analysis of 3D Printing technologies, drawing conclusions, reporting problems and providing advice and ideas to the users of the Flashforge Creator 3 3D printer. The first chapters report how the work has been done and contain an introduction to the technologies that exist, to the printing materials and there is a general analysis of the printing process and methods. Then there is a reference to Creator 3 itself, its features and properties as well as the tools used when using it, while instructions for its use are also mentioned. After that, there is an analysis of the programs used during the diploma dissertation work, as well as the experimental stage with the printed models and their explanation. Finally, some ideas for the future use of the printer are listed as well as the conclusions drawn from the author's experience.

## Περίληψη

Το αντικείμενο το οποίο πραγματεύεται η συγκεκριμένη διπλωματική είναι η τρισδιάστατη εκτύπωση. Πιο συγκεκριμένα η ανάλυση των τεχνολογιών του 3D Printing, η λήψη συμπερασμάτων, η αναφορά προβλημάτων και η παροχή συμβουλών και ιδεών στους χρήστες του τρισδιάστατου εκτυπωτή - Flashforge Creator 3. Στα πρώτα κεφάλαια γίνεται αναφορά του τρόπου εκπόνησης της εργασίας και μια εισαγωγή στις τεχνολογίες που υπάρχουν, στα υλικά εκτύπωσης και μια γενική ανάλυση στη διαδικασία και τους τρόπους εκτύπωσης. Έπειτα γίνεται μια αναφορά στον ίδιο τον Creator 3, στα χαρακτηριστικά και τις ιδιότητες του αλλά και στα εργαλεία που χρησιμοποιούνται κατά τη χρήση του, ενώ παράλληλα αναφέρονται και οδηγίες χρήσης αυτού. Παρακάτω υπάρχει ανάλυση των προγραμμάτων που χρησιμοποιήθηκαν κατά τη διάρκεια της διπλωματικής για τις εκτυπώσεις, καθώς και το πειραματικό στάδιο με τα εκτυπωμένα μοντέλα και την επεξήγησή τους. Τέλος, παρατίθενται ορισμένες ιδέες για τη μελλοντική χρήση του εκτυπωτή αλλά και τα συμπεράσματα τα οποία βγήκαν μέσα από την εμπειρία του συγγραφέα.

## Ευχαριστίες

Η εν λόγω εργασία δεν θα μπορούσε να έρθει σε πέρας χωρίς την εμπιστοσύνη, τις συμβουλές και τις πολύ σημαντικές οδηγίες του καθηγητή μου κ. Μιχάλη Κιζήρογλου. Επιπλέον θέλω να ευχαριστήσω την οικογένεια και την κοπέλα μου για τη στήριξη και την ώθηση που μου έδιναν κατά τη διάρκεια της υλοποίησης αυτής της διπλωματικής.

# Πίνακας περιεχομένων

|  |    |
|--|----|
| Abstract.....  | 2  |
| Περίληψη.....  | 3  |
| Ευχαριστίες.....   | 4  |
| Πίνακας Περιεχομένων.....  | 5  |
| Επεξήγηση Ακρωνύμων.....   | 6  |
| Κεφάλαιο 1.....  | 7  |
| 1.1 Σκοπός και συνεισφορά της διπλωματικής εργασίας.....                         | 7  |
| 1.2 Μεθοδολογία.....   | 7  |
| Κεφάλαιο 2.....  | 8  |
| 2.1.1 Ορισμός Τρισδιάστατης Εκτύπωσης.....                                       | 8  |
| 2.1.2 Πλεονεκτήματα-Μειονεκτήματα 3D Εκτύπωσης.....                              | 8  |
| 2.1.3 Βασικοί Τρόποι Εκτύπωσης.....  | 9  |
| 2.2.1 Εξώθηση Υλικού (material extrusion).....                                   | 10 |
| 2.2.2 Υλικά Εκτύπωσης.....   | 10 |
| 2.2.3 Το υλικό ABS.....  | 11 |
| 2.3.1 Οι διαφορές του εκτυπωτή.....  | 13 |
| 2.3.2 Η διαδικασία του 3D Printing.....  | 14 |
| 2.3.3 Από CAD (Computer Aided Design) σε CAM (Computer Aided Manufacturing)..... | 14 |
| Κεφάλαιο 3.....  | 16 |
| 3.1.1 Ο Flashforge Creator 3.....  | 16 |
| 3.1.2 Μια κυκλική ματιά.....   | 17 |
| 3.2.1 Διαδικασία ισοστάθμισης (leveling).....                                    | 18 |
| 3.2.2 Το leveling στον Flashforge Creator 3.....                                 | 19 |
| 3.3.1 Η διαδικασία homing.....   | 20 |
| 3.3.2 Το homing στον Flashfore Creator 3.....                                    | 20 |
| 3.4 Τοποθέτηση και αφαίρεση υλικού εκτύπωσης.....                                | 21 |
| 3.5.1 Τα σημαντικότερα εξαρτήματα του εκτυπωτή.....                              | 22 |
| 3.5.2 Εργαλεία και χρήση του Creator 3.....                                      | 24 |
| Κεφάλαιο 4.....  | 26 |
| 4.1 Το πρόγραμμα SOLIDWORKS.....   | 26 |
| 4.2.1 Το πρόγραμμα Flashprint.....   | 28 |
| 4.2.2 Προετοιμασία μοντέλου και εκτύπωση.....                                    | 28 |
| 4.3.1 Τοποθέτηση μοντέλου.....   | 30 |
| 4.3.2 Χρήση βοηθημάτων (supports).....   | 31 |
| Κεφάλαιο 5.....  | 32 |
| 5.1 Πειραματική διαδικασία.....  | 32 |
| 5.2.1 Μηχανικά Μετα-Υλικά (Mechanical Metamaterials).....                        | 32 |

|   |    |
|---|----|
| 5.2.2 Πειράματα με λεπτομέρεια.....       | 33 |
| 5.3 Ρουλεμάν.....                         | 35 |
| 5.4 Άρθρωση τύπου Flexure.....            | 37 |
| 5.5 Οι ιδιαιτερότητες των εκτυπώσεων..... | 40 |
| 5.5.1 Η μετα-επεξεργασία.....             | 40 |
| 5.5.2 Η σημασία της θερμοκρασίας.....     | 40 |
| Κεφάλαιο 6.....                           | 42 |
| 6.1 Συμπεράσματα και προτάσεις.....       | 42 |
| Βιβλιογραφία.....                         | 43 |

## Επεξήγηση ακρωνύμων

| <b>Ακρόνυμο</b> | <b>Αγγλική Επεξήγηση</b>  |
|-----------------|---|
| FFF             | Fused Filament Fabrication  |
| FDM             | Fused Deposition Modeling   |
| ABS             | Acrylonitrile Butadiene Styrene   |
| PLA             | Polylactic Acid   |
| PETG            | Polyethylene Terephthalate Glycol   |
| TPU             | Thermoplastic Polyurethane  |
| CAD             | Computer Aided Design   |
| STL             | Stereolithography<br>Standard Triangle Language<br>Standard Tessellation Language |
| CAM             | Computer Aided Manufacturing  |
| PTFE            | Polytetra-Fluoro-Ethylene   |

Πίνακας 1.1: Ανάλυση-Επεξήγηση των ακρωνύμων που εμφανίζονται στην διπλωματική.

# Κεφάλαιο 1

## 1.1 Σκοπός και συνεισφορά της διπλωματικής εργασίας

Με την επιλογή μου να ασχοληθώ με το συγκεκριμένο αντικείμενο ως θέμα της διπλωματικής μου εργασίας, έχω ως στόχο να εισαγάγω τόσο τον εαυτό μου, όσο και τους αναγνώστες στον χώρο του 3D Printing. Ένα χώρο ο οποίος έχει να προσφέρει στους ενδιαφερόμενους μεγάλη ποικιλία γνώσεων, ιδεών, αλλά και λύσεων σε διάφορους τομείς.

Έχοντας περάσει αρκετές ώρες μελετώντας τη συγκεκριμένη τεχνολογία και ανακαλύπτοντας τις δυνατότητές της, κατάλαβα πως ο εκάστοτε χρήστης των γνώσεων και των προνομιών αυτής, μπορεί να επιλέξει ανάμεσα σε πολλές λύσεις και εναλλακτικές τεχνικές. Αυτό αυτόματα παρέχει ευκολία στην παραγωγή νέων τεχνολογικών ιδεών.

Η σημασία όλων αυτών των ιδεών και των λύσεων που θα αναλυθούν παρακάτω είναι μεγάλη, καθώς υπάρχει η δυνατότητα να πάρουν «σάρκα και οστά» πολλές από τις δομές που μέχρι πρότινος φάνταζαν εξαιρετικά χρονοβόρες και δαπανηρές.

## 1.2 Μεθοδολογία

Ο τρόπος με τον οποίο η συγκεκριμένη διπλωματική προσπαθεί να πετύχει τον στόχο της «περνάει» από δύο στάδια. Τη μελέτη και τα πειράματα.

Αρχικά γίνεται μια εισαγωγή στις τεχνικές εκτύπωσης, τα υλικά εκτύπωσης, και τις διαφορές στις δυνατότητες που σου δίνει κάθε ένα από αυτά. Έπειτα, μέσω των πειραμάτων που έχουν λάβει χώρα στο εργαστήριο αλλά και της καταγραφής των αποτελεσμάτων τους, δίνεται η δυνατότητα στον αναγνώστη να καταλάβει τη διαδικασία μέσα από πιο χειροπιαστά παραδείγματα.

## 1.3 Διάρθρωση της διπλωματικής εργασίας

Η ύλη της διπλωματικής εργασίας οργανώνεται ως εξής. Στο παρόν (πρώτο) Κεφάλαιο αναλύονται τόσο ο σκοπός όσο και η μεθοδολογία η οποία ακολουθήθηκε για να έρθει σε πέρας. Στο δεύτερο Κεφάλαιο γίνεται μια γενική εισαγωγή στην τρισδιάστατη εκτύπωση, στους τρόπους με τους οποίους πραγματοποιείται αλλά και τα υλικά που χρησιμοποιούνται, ενώ παράλληλα περιγράφεται και η διαδικασία που ακολουθείται έτσι ώστε να εκτυπωθεί ένα αντικείμενο. Στη συνέχεια και στο τρίτο Κεφάλαιο,



υπάρχει μια ολοκληρωμένη ματιά γύρω από τον εκτυπωτή του εργαστηρίου του Ιδρύματος αλλά και πληροφορίες σχετικά με τη χρήση και τη συντήρησή του, ενώ στο τέταρτο Κεφάλαιο παρουσιάζονται τα προγράμματα εκτύπωσης που χρησιμοποιήθηκαν από τον συγγραφέα. Το πέμπτο Κεφάλαιο της διπλωματικής περιέχει την παρουσίαση και περιγραφή των εκτυπωμένων αντικειμένων και στο έκτο και τελευταίο Κεφάλαιο υπάρχουν τα συμπεράσματα και οι προτάσεις του συγγραφέα.

## Κεφάλαιο 2

### 2.1.1 Ορισμός Τρισδιάστατης Εκτύπωσης

Η τρισδιάστατη εκτύπωση (3D printing) είναι μια μέθοδος προσθετικής κατασκευής στην οποία κατασκευάζονται αντικείμενα μέσω της διαδοχικής πρόσθεσης επάλληλων στρώσεων υλικού. Στη τρισδιάστατη εκτύπωση μπορούν να χρησιμοποιηθούν διάφοροι τύποι υλικού, κυρίως κεραμικά (νήματα που βασίζονται σε πολυαμίδιο, το οποίο τα διακρίνει από άλλα, σχετικά υλικά τρισδιάστατης εκτύπωσης) και πολυμερή. Σκοπός της τρισδιάστατης εκτύπωσης (3D Printing) είναι η μετατροπή ψηφιακών σχεδίων σε πραγματικά φυσικά αντικείμενα. Το πλεονέκτημα που προσφέρει η τρισδιάστατη εκτύπωση σε σχέση με άλλες τεχνικές είναι η ταχύτητα και η αμεσότητα. Για τον λόγο αυτό έχουν αναπτυχθεί πάρα πολλές τεχνικές οι οποίες στηρίζονται στην τρισδιάστατη εκτύπωση[1].

### 2.1.2 Πλεονεκτήματα-Μειονεκτήματα 3D Εκτύπωσης

Από τις απαρχές της τρισδιάστατης εκτύπωσης και την ολοένα αυξανόμενη χρήση της σε διάφορους τομείς της βιομηχανίας και όχι μόνο, έχει παρουσιαστεί μεγάλη πληθώρα τόσο πλεονεκτημάτων όσο και μειονεκτημάτων αυτής. Στον παρακάτω πίνακα παρουσιάζονται ενδεικτικά ορισμένα από αυτά.

| ΠΛΕΟΝΕΚΤΗΜΑΤΑ   | ΜΕΙΟΝΕΚΤΗΜΑΤΑ   |
|---|---|
| Σχεδιασμός και εκτύπωση περίπλοκων σχεδίων χωρίς σχεδιαστικούς περιορισμούς | Περιορισμένα υλικά  |
| Ταχεία πρωτοτυποποίηση  | Περιορισμένο μέγεθος κατασκευής   |
| Εκτύπωση κατά απαίτηση (μικρός χώρος αποθήκευσης, χαμηλό κόστος)            | Μεταγενέστερη επεξεργασία (καθαρισμός κομματιού, φινιρίσμα κλπ.)          |
| Δημιουργία ισχυρών και ελαφριών ανταλλακτικών                               | Αύξηση κόστους ανά μονάδα στην παραγωγή μεγάλων όγκων για μαζική παραγωγή |
| Γρήγορη σχεδίαση και παραγωγή   | Δομή παραγόμενων τεμαχίων   |
| Ελαχιστοποίηση απορριμμάτων   | Μείωση θέσεων εργασίας στη μεταποίηση                                     |








|   |                                  |
|---|----------------------------------|
| Cost effective (εξοικονόμηση χρόνου, χρημάτων, πόρων) | Ζητήματα πνευματικών δικαιωμάτων |
|---|----------------------------------|

Πίνακας 2.1 (Πηγή: twi-global): Παράθεση πλεονεκτημάτων και μειονεκτημάτων της τρισδιάστατης εκτύπωσης[2].

## 2.1.3 Βασικοί Τρόποι Εκτύπωσης

Οι βασικοί τρόποι εκτύπωσης ή/και παραγωγής προσθέτων είναι η εξώθηση υλικού (material extrusion), ο φωτοπολυμερισμός (photopolymerization), η δέσμευση σωματιδίων σκόνης (powder binding-based technique), η πλαστικοποίηση (lamination-based technique) και η εκτόξευση υλικού (material jetting). Η διαδικασία της εκτύπωσης (όπως είναι λογικό) ανάγεται στους παραπάνω τρόπους και χωρίζεται σε επτά κύριες κατηγορίες[3]:

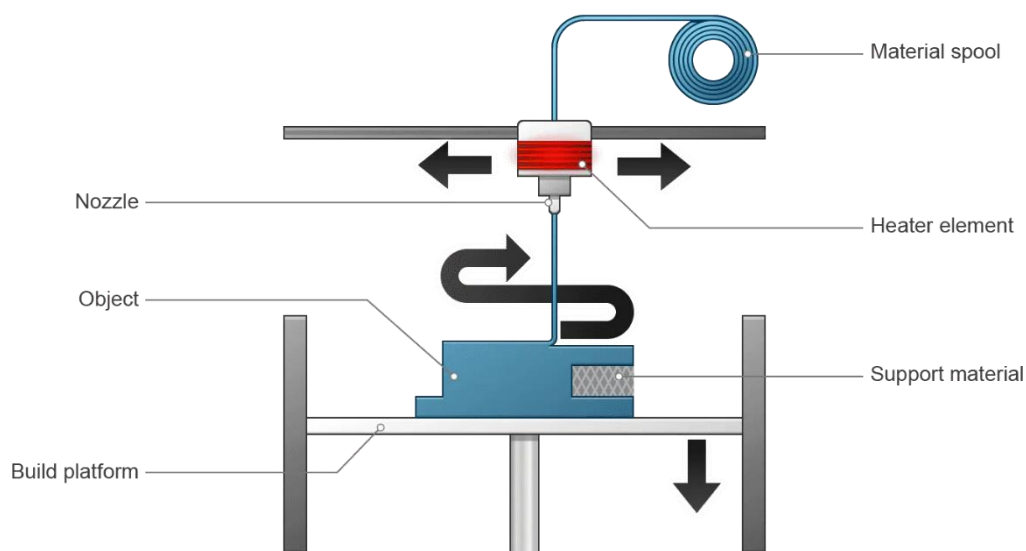
- 1) Εξώθηση υλικού (material extrusion)
- 2) Φωτοπολυμερισμός σε δοχείο (VAT photopolymerization)
- 3) Εκτόξευση υλικού (material jetting)
- 4) Δέσμευση συνδετικού υλικού (binder jetting)
- 5) Σύντηξη υποστρώματος σκόνης (powder bed fusion)
- 6) Κατευθυνόμενη ενεργειακή εναπόθεση (directed energy deposition)
- 7) Ελάσματα σε φύλλα (sheet lamination)

|         | Material Extrusion  | Vat Photo-polymerization  | Material Jetting  | Binder Jetting  | Powder Bed Fusion   | Direct Energy Deposition  | Sheet Lamination  |
|---------|---|---|---|---|---|---|---|
| Scheme  |  |  |  |  |  |  |  |
| Process | Layer by layer deposition of molten material  | Selective curing of photo-curable material in a liquid container                    | Material deposition and subsequent curing   | Selective dispense of binder for joining powder in a bed                            | Fusing of powder in a bed by melting the selected region                            | Direct fusion of the material   | Bonding of individual sheets of material  |
| Name    | FDM<br>RC<br>MJS<br>SFF   | SLA<br>DLP<br>LAMP<br>2PP   | DOD<br>MJ<br>NPJ  | BJ  | SLS<br>SLM<br>DMLS<br>EBM<br>MJF  | LENS<br>EBAM<br>DMT   | LOM<br>UC   |

Σχημα 2.1 (Πηγή: ResearchGate): Οι βασικές τεχνικές εκτύπωσης[4].

## 2.2.1 Εξώθηση Υλικού (material extrusion)

Η τεχνολογία με την οποία εκτυπώθηκαν τα μοντέλα της διπλωματικής αυτής εργασίας είναι η εξώθηση υλικού. Η τεχνολογία αυτή χρησιμοποιεί ένα συνεχές νήμα θερμοπλαστικού υλικού ως υλικό βάσης. Το νήμα αυτό τροφοδοτείται από ένα πηνίο μέσω μιας κινούμενης θερμαινόμενης κεφαλής, που συντομεύεται ως εξωθητής (extruder). Το λιωμένο υλικό βγαίνει από το ακροφύσιο του extruder και εναποτίθεται πάνω σε μια θερμαινόμενη πλατφόρμα για μεγαλύτερη πρόσφυση. Η εξώθηση υλικού είναι γνωστή ως Fused Filament Fabrication (FFF) και είναι μια από τις πιο δημοφιλείς διαδικασίες για τρισδιάστατη εκτύπωση στο πλαίσιο του πειράματος και του χόμπι. Η Stratasys άρχισε να εμπορευματοποιεί το 1990 τον ιδιόκτητο όρο Fused Deposition Modeling (FDM), που δημιουργήθηκε από τον S. Scott Crump στα τέλη της δεκαετίας του 1980[5].



2018 © Dassault Systèmes

Σχημα 2.2 (Πηγή: Dassault Systems): Απεικόνιση εξώθησης υλικού[6].

## 2.2.2 Υλικά Εκτύπωσης

Η μεγάλη ποικιλία σε εκτυπωτές και τεχνολογίες εκτύπωσης οδηγεί στον αυξανόμενο αριθμό υλικών με το πέρασμα των χρόνων. Λαμβάνοντας υπ' όψη τις βασικές τεχνολογίες εκτύπωσης αλλά και τις υποκατηγορίες που μπορούν να δημιουργηθούν από αυτές, καταλαβαίνει κανείς ότι το πλήθος των υλικών μπορεί να είναι μεγάλο. Κάθε τεχνολογία, ωστόσο, ανάλογα με τη μέθοδο και τα χαρακτηριστικά του εκτυπωτή, μπορεί να εκτυπώσει ορισμένα μόνο υλικά. Τα υλικά αυτά τα οποία μπορούν να εκτυπωθούν τρισδιάστατα είναι κυρίως τα θερμοπλαστικά, τα θερμοσκληρώμενα πολυμερή, τα μέταλλα, τα κεραμικά και άλλα συνθετικά. Στις μεθόδους FDM και FFF με τις οποίες ασχολούμαστε εμείς, τα βασικά υλικά είναι τα θερμοπλαστικά, με τα κύρια αυτών να είναι το ABS(Acrylonitrile Butadiene Styrene), το PLA(Polylactic Acid), το Nylon κ.α[7].

Παρακάτω αναγράφονται ενδεικτικά μερικά ακόμα πολυμερή:

- 1) PETG (Polyethylene terephthalate glycol)
- 2) Full Color Sandstone
- 3) High Resolution SLA
- 4) Flexible TPU (Thermoplastic Polyurethane)

Με βάση αυτές τις κατηγορίες μπορούν να παραχθούν και άλλα (παράγωγα αυτών) υλικά.



Σχήμα 2.3 (Πηγή: SelfCAD): Υλικά εκτόπωσης (filaments) τυλιγμένα σε καρούλια[8].

### 2.2.3 Το υλικό ABS

Στο εργαστήριο χρησιμοποιήθηκε για τα πειράματα το πολυμερές υλικό ABS σε μπλε χρώμα. Το υλικό αυτό στη σωστή θερμοκρασία είναι εύκολο να διαμορφωθεί σε σχεδόν οποιοδήποτε σχήμα. Στερεοποιείται ομοιόμορφα και σκληραίνει χωρίς καμία μετα-επεξεργασία, ενώ τείνει να επιλέγεται για την αντοχή και την ευελιξία του σε σχετικά υψηλές θερμοκρασίες. Το ABS αποτελείται από τρία μονομερή. Παρασκευάζεται με πολυμερισμό ακρυλονιτριλίου και στυρενίου παρουσία βουταδιενίου. Το ακρυλονιτρίλιο του προσδίδει ακαμψία και αντοχή. Το στυρένιο παρέχει λεία και λαμπερή υφή. Και το βουταδιένιο είναι το ελαστικό συστατικό που κάνει το ABS σκληρό[9].



Σχήμα 2.4 (Πηγή: 3dFuel): Μπλε ABS υλικό τυλιγμένο σε πλαστικό καρούλι[10].

Παρακάτω υπάρχει ένας πίνακας με τα **πλεονεκτήματα** και τα **μειονεκτήματα** που έχει το ABS στην εκτύπωση:

| <b>ΠΛΕΟΝΕΚΤΗΜΑΤΑ</b>                                    | <b>ΜΕΙΟΝΕΚΤΗΜΑΤΑ</b>  |
|---|---|
| <b>Πολύ ανθεκτικό και σκληρό</b>                        | Επιβλαβές για το περιβάλλον                                   |
| <b>Κατάλληλο για ανταλλακτικά μηχανών ή αυτοκινήτων</b> | Παραμορφώνεται όταν δεν εκτυπώνεται σε θερμαινόμενη επιφάνεια |
| <b>Υψηλότερο σημείο τήξης</b>                           | Καυτές αναθυμιάσεις πλαστικού κατά την εκτύπωση               |
| <b>Μεγαλύτερη διάρκεια ζωής</b>                         | Πιο δύσκολη η εκτύπωση  |
|   | Δεν είναι κατάλληλο για χρήση με τρόφιμα                      |

Πίνακας 2.2 (Πηγή: El blog del Plástico): Παράθεση πλεονεκτημάτων και μειονεκτημάτων του υλικού ABS[11].

### 2.3.1 Οι διαφορές στην εκτύπωση

Αναφέρθηκε παραπάνω πως η ποικιλία σε υλικά εκτύπωσης είναι μεγάλη. Η ποικιλία αυτή, όπως είναι λογικό, επιβάλει να υπάρχουν αλλαγές και διαφοροποιήσεις ως προς την διαχείριση και την επεξεργασία του κάθε υλικού κατά τη διάρκεια της 3D εκτύπωσης. Για τον λόγο ότι τα δημοφιλέστερα υλικά στην βιομηχανία είναι τα ABS, PLA και TPU, θα αναλύσουμε τις διαφορές που υπάρχουν μεταξύ των τριών αυτών υλικών.

Έχοντας πει μερικά λόγια για το ABS, ας ρίξουμε μια ματιά στα άλλα δύο υλικά.

Το PLA είναι ένας ανακυκλώσιμος, φυσικός θερμοπλαστικός πολυεστέρας που προέρχεται από ανανεώσιμους πόρους όπως το άμυλο καλαμποκιού ή το ζαχαροκάλαμο. Το νήμα είναι βιοδιασπώμενο υπό ορισμένες συνθήκες με υψηλή θερμοχωρητικότητα και υψηλή μηχανική αντοχή. Μπορεί να λιώσει χωρίς σημαντικές βλάβες και δεν εκπέμπει τοξίνες ή αναθυμιάσεις[12].

Το TPU είναι ένα μαλακό εύκαμπτο πλαστικό που διατηρεί το σχήμα και τη μορφή του. Είναι ισχυρό, ανθεκτικό και μπορεί να συγκριθεί με το καουτσούκ. Το νήμα TPU είναι ημιδιαφανές καθώς και πολύ ελαστικό. Το πλαστικό TPU είναι επίσης πολύ ανθεκτικό σε λάδια και λίπη, αλλά πρέπει να διατηρείται μακριά από διαλύτες, οξέα και καύσιμα[13].

Παρακάτω φαίνεται ο πίνακας με τις διαφορές των υλικών.

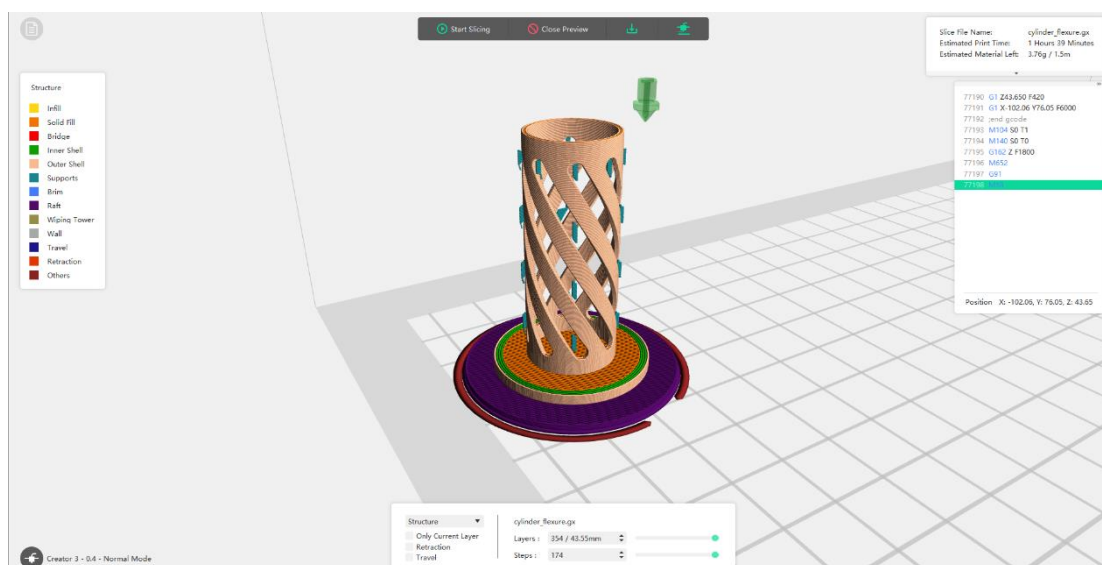
| Υλικό | Θερμοκρασία Πλατφόρμας (°C) | Θερμοκρασία Ακροφυσίου (°C) | Χρήση Ανεμιστήρα | Τελικό Μοντέλο | Δυσκολία Εκτύπωσης |
|-------|-----------------------------|-----------------------------|------------------|----------------|--------------------|
| ABS   | 95-110                      | 220-250                     | ΟΧΙ              | Σκληρό         | Μέτρια             |
| PLA   | 45-60                       | 190-220                     | 100%             | Σκληρό         | Εύκολη             |
| TPU   | 45-60                       | 225-245                     | 40%-60%          | Μαλακό         | Δύσκολη            |

Πίνακας 2.3 (Πηγή: the3dprinterbee): Οι διαφορές μεταξύ των υλικών εκτύπωσης[14].



## 2.3.2 Η διαδικασία του 3D Printing

Η διαδικασία της τρισδιάστατης εκτύπωσης περιλαμβάνει τον τεμαχισμό ενός αρχείου CAD σε διακριτά στρώματα και στη συνέχεια τη δημιουργία αυτού του τμήματος στρώμα προς στρώμα. Πιο αναλυτικά, ένας τρισδιάστατος εκτυπωτής κατασκευάζει τα μέρη του σε διακριτές φέτες που ονομάζονται στρώματα (layers). Ο slicer της τρισδιάστατης εκτύπωσης παίρνει ένα αρχείο STL, το διαιρεί σε επίπεδα και στη συνέχεια υπολογίζει και δημιουργεί μια διαδρομή εργαλείου (extruder) για κάθε επίπεδο. Στην αρχή κάθε στρώσης, η βάση εκτύπωσης τοποθετείται σε ένα δεδομένο ύψος και το σύστημα κίνησης σκελετών κινεί την κεφαλή εκτύπωσης κατά μήκος της διαδρομής του εργαλείου καθώς το σύστημα εξώθησης αποθέτει υλικό. Μετά το πέρας της εκτύπωσης, ο χρήστης μπορεί να πάρει το αντικείμενο από τη βάση εκτύπωσης και να το επεξεργαστεί εάν είναι αναγκαίο. Αυτό συμβαίνει διότι παρά το γεγονός ότι οι εκτυπωτές δημιουργούν λεία και ακριβή μοντέλα, σε πολλές περιπτώσεις χρησιμοποιούνται βοηθήματα στο μοντέλο (supports) τα οποία μετά πρέπει να αφαιρεθούν[15].



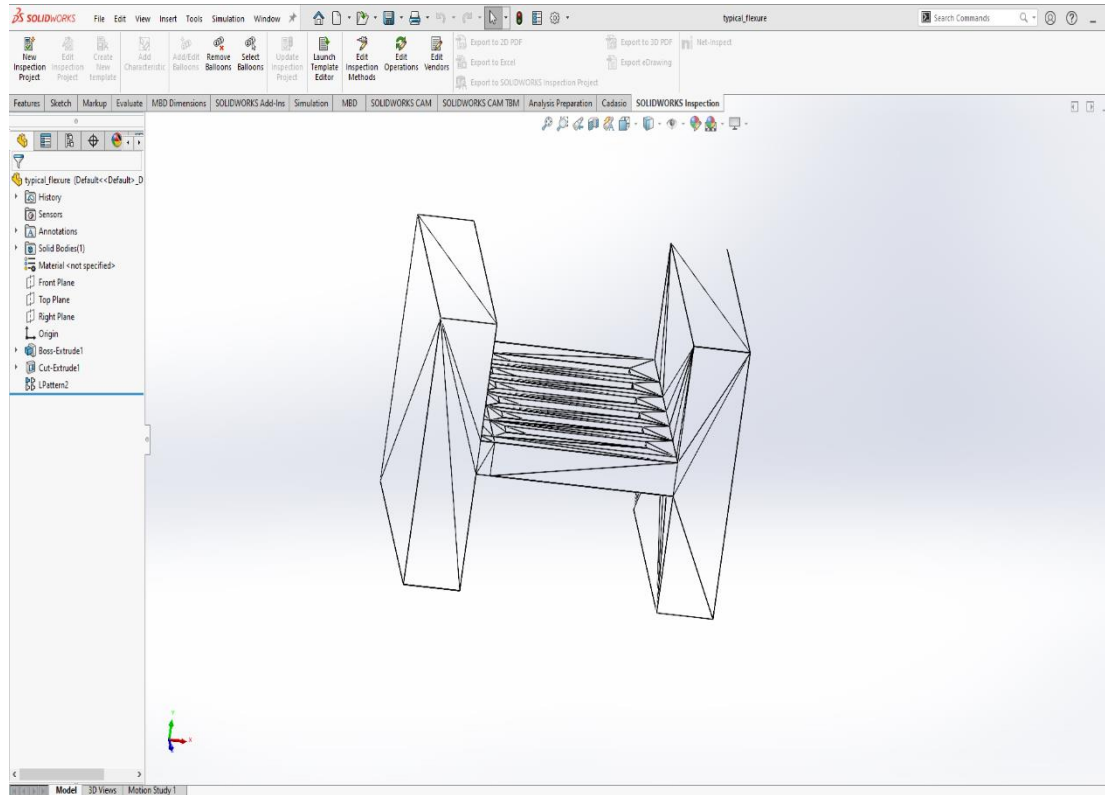
Σχήμα 2.5: Κυλινδρικό αντικείμενο στο πρόγραμμα τεμάχησης Flashprint [16].

## 2.3.3 Από CAD (Computer Aided Design) σε CAM (Computer Aided Manufacturing)

Σκοπός της τρισδιάστατης εκτύπωσης είναι η μετατροπή ενός ψηφιακού σχεδίου σε φυσικό αντικείμενο. Δηλαδή από ένα αρχείο της μορφής CAD σε ένα αρχείο της μορφής CAM. Αυτό πραγματοποιείται με τη βοήθεια των αρχείων STL, στον οποίων τη μορφή αποθηκεύει ο χρήστης το αντικείμενο μετά το τέλος της σχεδίασής του στο εκάστοτε πρόγραμμα. Το όνομά τους προέρχεται από τη στερεολιθογραφία



(stereolithography) καθώς και από τα αρχικά των Standard Triangle/Tessellation Language. Τα αρχεία STL δεν περιέχουν πληροφορίες κλίμακας και περιγράφουν μόνο τη γεωμετρία της επιφάνειας ενός τρισδιάστατου αντικειμένου μέσω πολλών τριγώνων χωρίς καμία αναπαράσταση χρώματος, υφής ή άλλων κοινών χαρακτηριστικών μοντέλου CAD.



**Σχήμα 2.6:** Αντικείμενο (typical flexure) σε αρχείο μορφής STL προς αποστολή από το πρόγραμμα SolidWorks στο FlashPrint[16].

## Κεφάλαιο 3

### 3.1.1 Ο Flashforge Creator 3

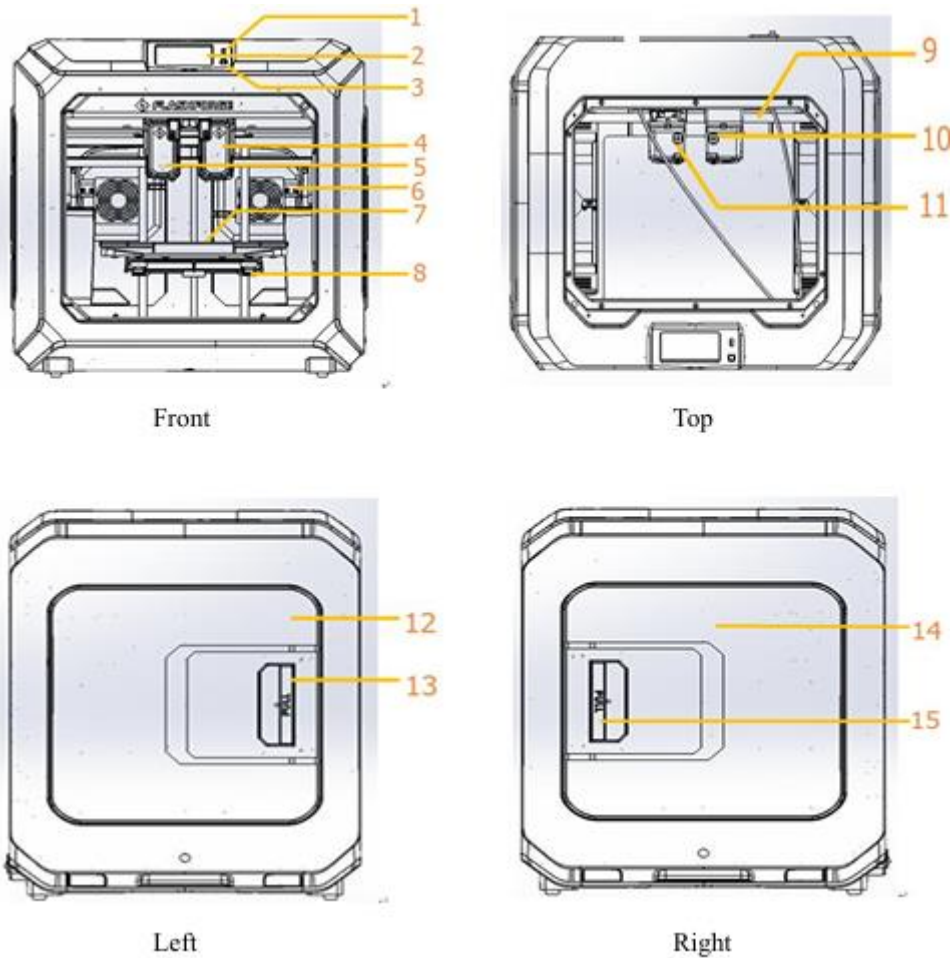


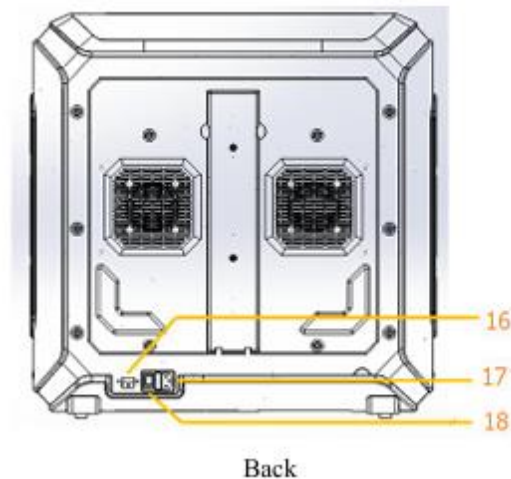
Σχήμα 3.1 (Πηγή: 3djake): Ο εκτυπωτής Flashforge Creator 3 που υπάρχει στο εργαστήριο για την εκτύπωση των μοντέλων[17].

Το εργαστήριο της σχολής έχει εξοπλισθεί με τον τρισδιάστατο εκτυπωτή Creator 3 της FlashForge. Ο συγκεκριμένος εκτυπωτής χρησιμοποιεί την τεχνική εξώθησης υλικού έχοντας δυο ανεξάρτητους extruders και στις παρακάτω παραγράφους θα αναλυθούν τόσο τα χαρακτηριστικά του, όσο και οι ενέργειες που πρέπει να γίνονται για μια επιτυχημένη εκτύπωση, αλλά και τα εξαρτήματα που υπάρχουν σε αυτόν. Θέλοντας να δημιουργήσουμε ένα Manual για μελλοντικούς χρήστες του συγκεκριμένου εκτυπωτή, θα πρέπει να αναλυθούν πρώτα οι ενέργειες που πραγματοποιούνται όταν χρησιμοποιείται ένας καινούργιος εκτυπωτής, όταν αλλάζει το υλικό τροφοδοσίας ή όταν παρατηρηθεί ότι ο εκτυπωτής δεν δουλεύει σωστά. Οι ενέργειες αυτές έχουν να κάνουν με την βαθμονόμηση της πλατφόρμας εκτύπωσης, του extruder και του αρχικού σημείου εκτύπωσης. Στον FlashForge Creator 3 αυτές οι διαδικασίες γίνονται αυτόματα από τον ίδιο τον εκτυπωτή, κάνοντας τον πολύ φιλικό προς νέους χρήστες.

### 3.1.2 Μια κυκλική ματιά

Από την πρώτη κιόλας στιγμή που ο χρήστης ανοίγει τη συσκευασία του Creator 3 αντιλαμβάνεται πως έχει στα χέρια του μια συσκευή με πολλές λειτουργίες και λεπτομέρειες τόσο στο εσωτερικό όσο και στο εξωτερικό της τμήμα. Υπάρχει μια μεγάλη ποικιλία από πλήκτρα, λαβές και πολλά άλλα χαρακτηριστικά με τα οποία θα πρέπει να εξοικειωθεί προτού τον χρησιμοποιήσει. Παρακάτω (σχ. 3.2) φαίνονται μέσα από τις διάφορες όψεις τα κύρια μέρη του εκτυπωτή.





Σχήμα 3.2 (Πηγή: FlashForge manual): Οι όψεις του εκτυπωτή[18].

- 1) Εισαγωγή USB
- 2) Οθόνη αφής
- 3) Πλήκτρο οθόνης
- 4) Δεξιάς extruder
- 5) Αριστερός extruder
- 6) Βούρτσα ακροφυσίου
- 7) Βάση εκτύπωσης
- 8) Παξιμάδια ανύψωσης
- 9) Ράβδος-οδηγός X άξονα
- 10) Δεξιά πρόσληψη νήματος
- 11) Αριστερή πρόσληψη νήματος
- 12) Αριστερό κάλυμμα νήματος
- 13) Αριστερή λαβή καλύμματος νήματος
- 14) Δεξιό κάλυμμα νήματος
- 15) Δεξιά λαβή καλύμματος νήματος
- 16) Είσοδος καλωδίου ethernet
- 17) Είσοδος τροφοδοσίας ρεύματος
- 18) Διακόπτης ενεργοποίησης

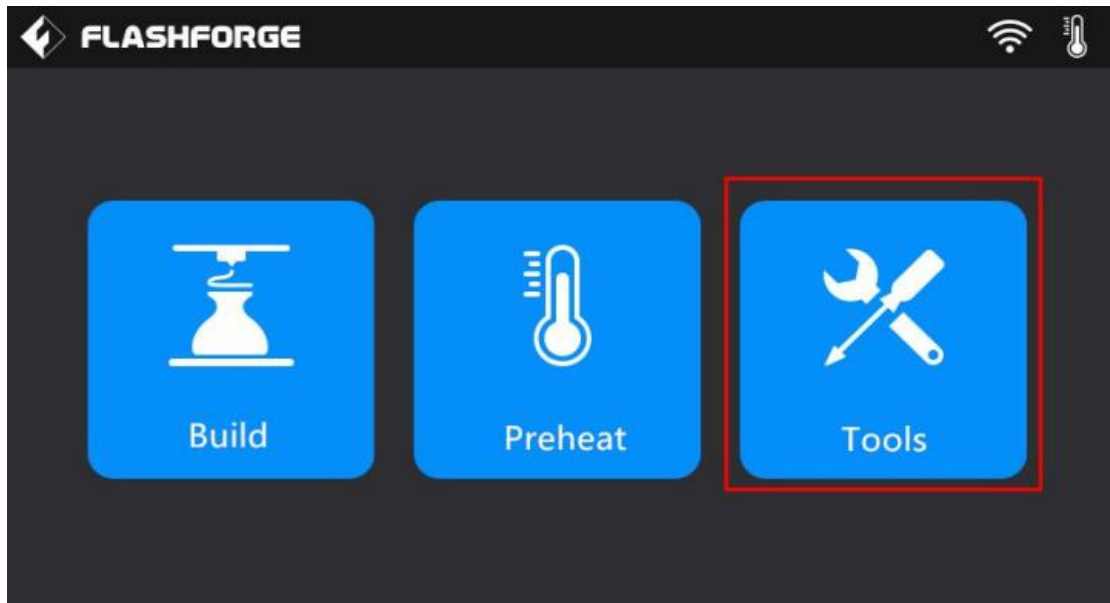
[18]

### 3.2.1 Η διαδικασία Homing

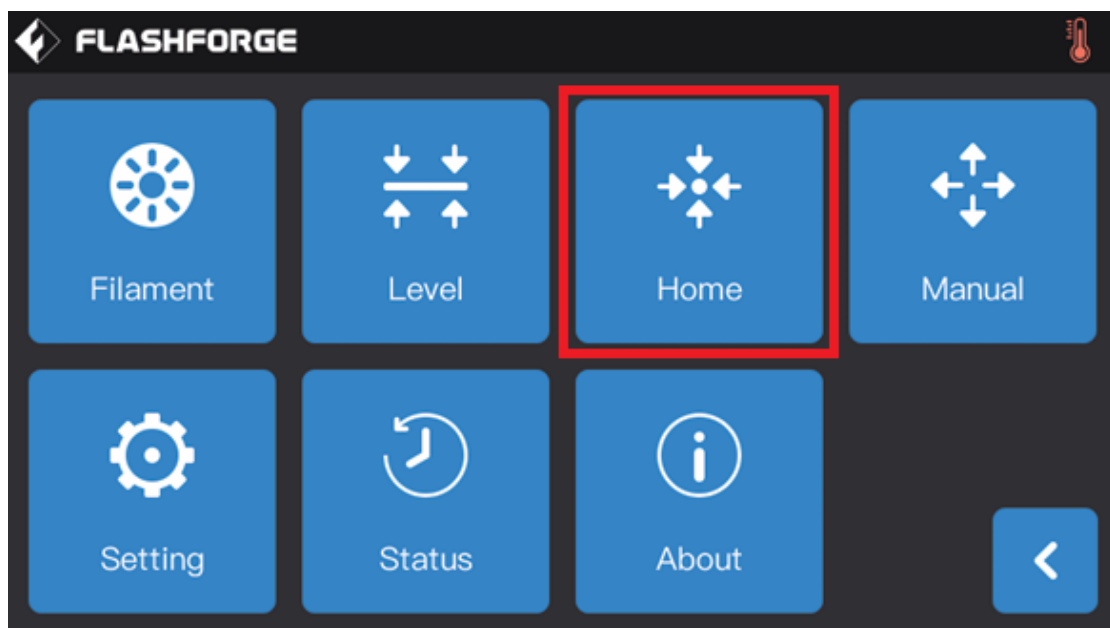
Το Homing είναι η διαδικασία με την οποία ο εκτυπωτής καθορίζει τη θέση του ακροφυσίου. Αυτό γίνεται κατά την αρχική ρύθμιση του εκτυπωτή και έπειτα πραγματοποιείται αυτόματα πριν από μια εκτύπωση αλλά και μετά το πέρας της. Το σημείο αναφοράς όπου βρίσκεται η αρχική θέση του ακροφυσίου και της επιφάνειας εκτύπωσης πρέπει να είναι εντός των ορίων του εκτυπωτή[19].

### 3.2.2 Το Homing στον FlashForge Creator 3

Όσον αφορά τον εκτυπωτή με τον οποίο πραγματευόμαστε, η διαδικασία είναι παρόμοια με αυτή του Leveling που θα αναλυθεί παρακάτω και πραγματοποιείται πάντοτε πρώτη. Αφού ενεργοποιηθεί ο εκτυπωτής και εμφανιστεί το μενού του Σχήματος 3.3 στην οθόνη, ο χρήστης επιλέγει το εικονίδιο “Tools” για να προχωρήσει στο μενού του Σχήματος 3.4. Έπειτα διαλέγει το εικονίδιο “Home” και ακολουθεί τα βήματα που θα εμφανιστούν στην οθόνη[18].



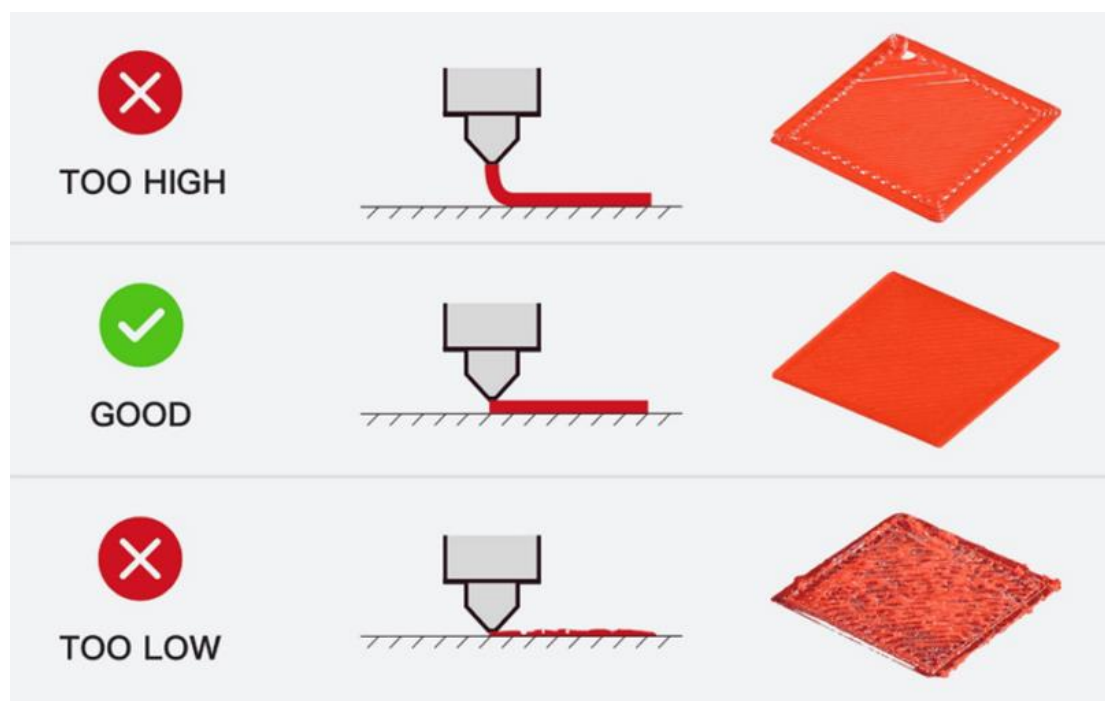
Σχήμα 3.3 (Πηγή: FlashForge manual): Το αρχικό μενού στην οθόνη του FlashForge Creator 3[18].



Σχήμα 3.4 (Πηγή: FlashForge manual): Η επιλογή «Home» στην οθόνη του FlashForge Creator 3[18].

### 3.3.1 Διαδικασία ισοστάθμισης (leveling)

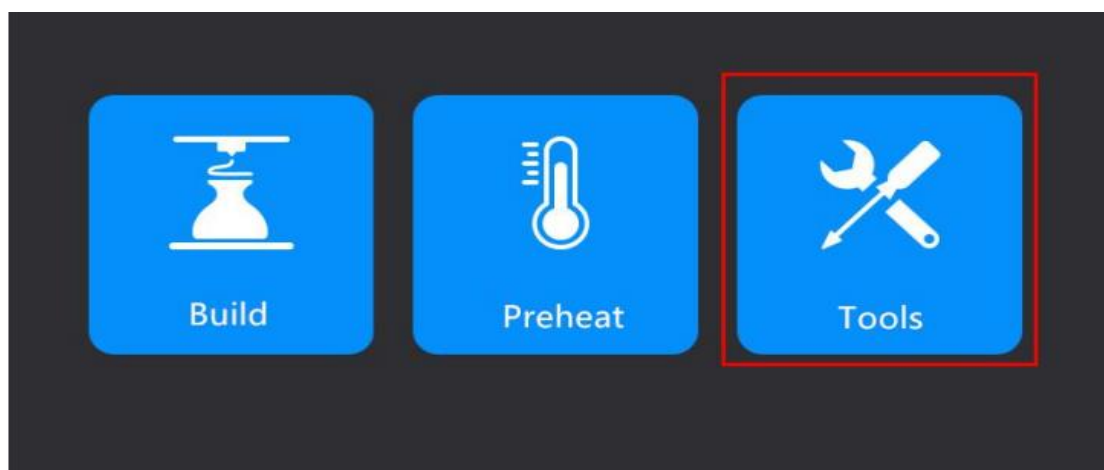
Η διαδικασία Leveling του ακροφυσίου και της πλατφόρμας είναι από τις πιο σημαντικές προτού ξεκινήσει η χρήση ενός εκτυπωτή. Κατά τη διαδικασία της ρύθμισης αυτής προσαρμόζουμε την απόσταση μεταξύ extruder και πλατφόρμας όταν αυτά θα κληθούν να εκτυπώσουν ένα αντικείμενο. Σε αρκετούς εκτυπωτές που δεν έχουν τη δυνατότητα να το κάνουν αυτόματα, πραγματοποιούμε χειροκίνητα τη διαδικασία του Leveling με τη βοήθεια μιας κόλλας A4 ή μιας ειδικής κάρτας (Leveling card) που υπάρχει στα εξαρτήματα του εκάστοτε εκτυπωτή διότι η απόσταση extruder-πλατφόρμας πρέπει να είναι μόλις μερικά χιλιοστά. Όπως αναφέραμε προηγουμένως, ο Flashforge Creator 3 δίνει τη δυνατότητα στον χρήστη να κάνει αυτή τη διαδικασία αυτόματα με τη χρήση μερικών κουμπιών στην οθόνη. Μια κακή ισοστάθμιση μπορεί να οδηγήσει μεγάλα προβλήματα εκτύπωσης ή ακόμα και λειτουργίας του εκτυπωτή. Στην πρώτη περίπτωση κακής ρύθμισης Leveling όπου η απόσταση μεταξύ πλατφόρμας και ακροφυσίου είναι μεγάλη, το ακροφύσιο εκτυπώνει στον αέρα χωρίς να υπάρχει σωστή πρόσφυση του υλικού μεταξύ των στρώσεων. Αυτό οδηγεί σε κακή ποιότητα εκτύπωσης ή και αποτυχία ολοκλήρωσής της, ωστόσο δεν επιφέρει ζημιές για τον εκτυπωτή. Στη δεύτερη περίπτωση όπου η απόσταση είναι πολύ μικρή, πέρα από τον κίνδυνο καταστροφής του αντικειμένου, υπάρχει πιθανότητα να υποστεί βλάβη και ο extruder καθώς συσσωρεύεται υλικό εσωτερικά αυτού με αποτέλεσμα να «μπουκώσει» και να αδυνατεί να εξωθήσει περαιτέρω[20].



Σχήμα 3.5 (Πηγή: 43D): Απεικόνιση σωστής και λάθους απόστασης του ακροφυσίου με την πλατφόρμα εκτύπωσης[21].

### 3.3.2 To leveling στον FlashForge Creator 3

Στον Flashforge Creator 3 η ισοστάθμιση γίνεται εύκολα καθώς ο χρήστης θα πρέπει να ενεργοποιήσει τον εκτυπωτή και από το αρχικό μενού να επιλέξει το κουμπί «Tools». Έπειτα επιλέγει το κουμπί «Level» και διαλέγει τον extruder τον οποίο θέλει να ισοσταθμίσει. Από εκεί και πέρα ακολουθεί τα βήματα που αναγράφονται στην οθόνη και ο εκτυπωτής εκτελεί τη διαδικασία[18].



Σχήμα 3.6 (Πηγή: FlashForge manual): Το αρχικό μενού στην οθόνη του FlashForge Creator 3[18].

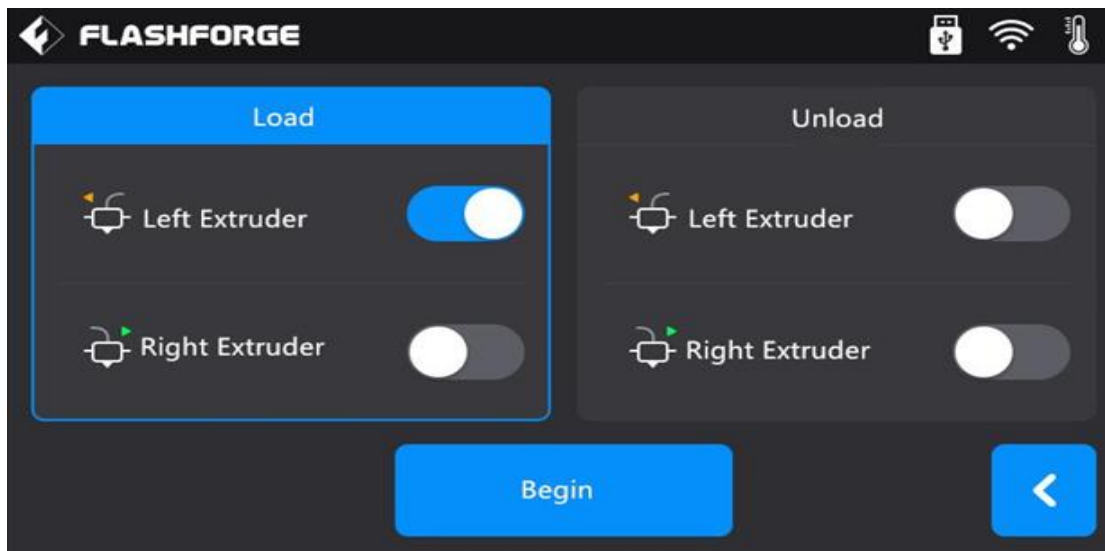


Σχήμα 3.7 (Πηγή: FlashForge manual): Η επιλογή «Level» στην οθόνη του FlashForge Creator 3[18].



### 3.4 Τοποθέτηση και αφαίρεση υλικού εκτύπωσης

Η διαδικασία τοποθέτησης και αφαίρεσης του υλικού εκτύπωσης είναι πολύ σημαντική αφού για να εκτυπωθεί ένα αντικείμενο πρέπει ο εκτυπωτής να διαθέτει εκτυπώσιμο υλικό. Αυτό σημαίνει πως πρέπει να τοποθετηθεί σωστά έτσι ώστε να μην υπάρξουν ανωμαλίες κατά την εκτύπωση. Όταν ο χρήστης ενεργοποιήσει τον εκτυπωτή και εμφανιστεί στην οθόνη το μενού του Σχήματος 3.3, επιλέγει και πάλι το εικονίδιο “Tools”. Στη συνέχεια, στο μενού του Σχήματος 3.4 ο χρήστης επιλέγει το εικονίδιο “Filament” και έπειτα μπορεί να επιλέξει αν θέλει να τοποθετήσει ή να αφαιρέσει υλικό, αλλά και για ποια κεφαλή.



Σχήμα 3.8 (Πηγή: FlashForge manual): Μενού τοποθέτησης/αφαίρεσης υλικού. Επιλογή ανάμεσα σε δεξιά ή αριστερή κεφαλή[18].

Σε κάθε περίπτωση το ακροφύσιο ξεκινάει να θερμαίνεται σε συγκεκριμένη θερμοκρασία βγάζοντας έναν ήχο όταν τη φτάσει. Αφού το καρούλι τοποθετηθεί έτσι ώστε να τροφοδοτεί τον εκτυπωτή πραγματοποιώντας κίνηση με φορά αντίθετη με αυτή του ρολογιού, με το χέρι ο χρήστης βάζει το υλικό στον αγωγό και με απαλή πίεση εισέρχεται στην κεφαλή και βγαίνει μέσα από το ακροφύσιο. Στην περίπτωση αφαίρεσης υλικού, ο χρήστης επιλέγει το εικονίδιο “Unload” από το μενού του Σχήματος 3.8. Έπειτα πρέπει να πιεστεί το πλήκτρο του εξωθητή και ο χρήστης να τραβήξει το υλικό από την κεφαλή. Πάντοτε μετά από τέτοιες διαδικασίες θα πρέπει να γίνονται σωστά και οι διαδικασίες “Homing” και “Leveling” για τη σωστή λειτουργία του εκτυπωτή.





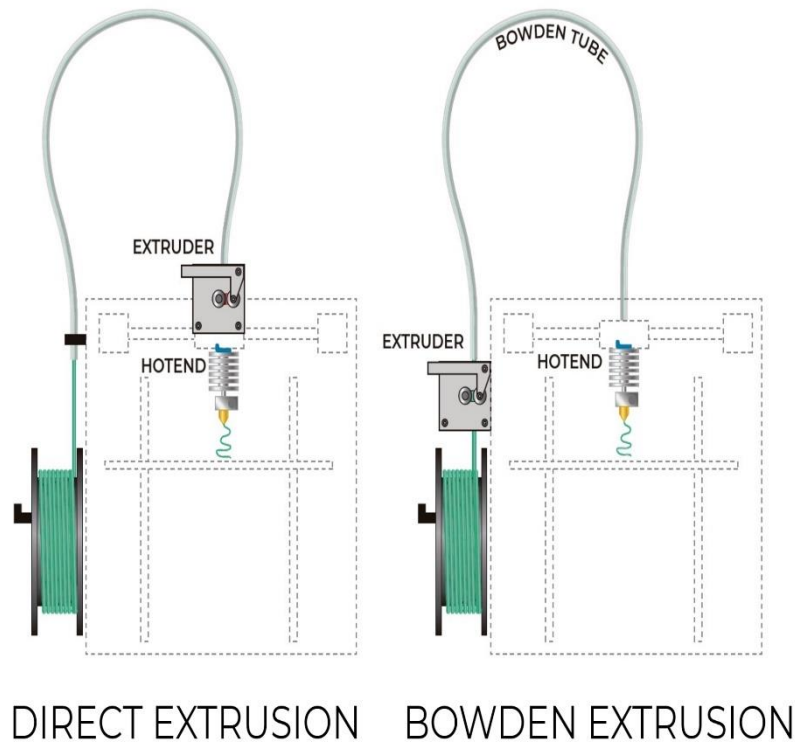
Σχήμα 3.9 (Πηγή: FlashForge manual): Τοποθέτηση υλικού στην κεφαλή με το χέρι[18].

### 3.5.1 Τα σημαντικότερα εξαρτήματα του εκτυπωτή

Ο τρισδιάστατος εκτυπωτής είναι μια πολύπλοκη μηχανή η οποία απαρτίζεται από έναν μεγάλο αριθμό εξαρτημάτων που συνεργάζονται μεταξύ τους για την επίτευξη μιας εκτύπωσης. Από τους ανεμιστήρες και τα δοχεία απορριμμάτων, μέχρι τον σωστό φωτισμό και τους αισθητήρες στις πόρτες, είναι πολύ σημαντικό να λειτουργούν όλα στην εν τέλεια έτσι ώστε να μην υπάρχουν προβλήματα στις εκτυπώσεις.

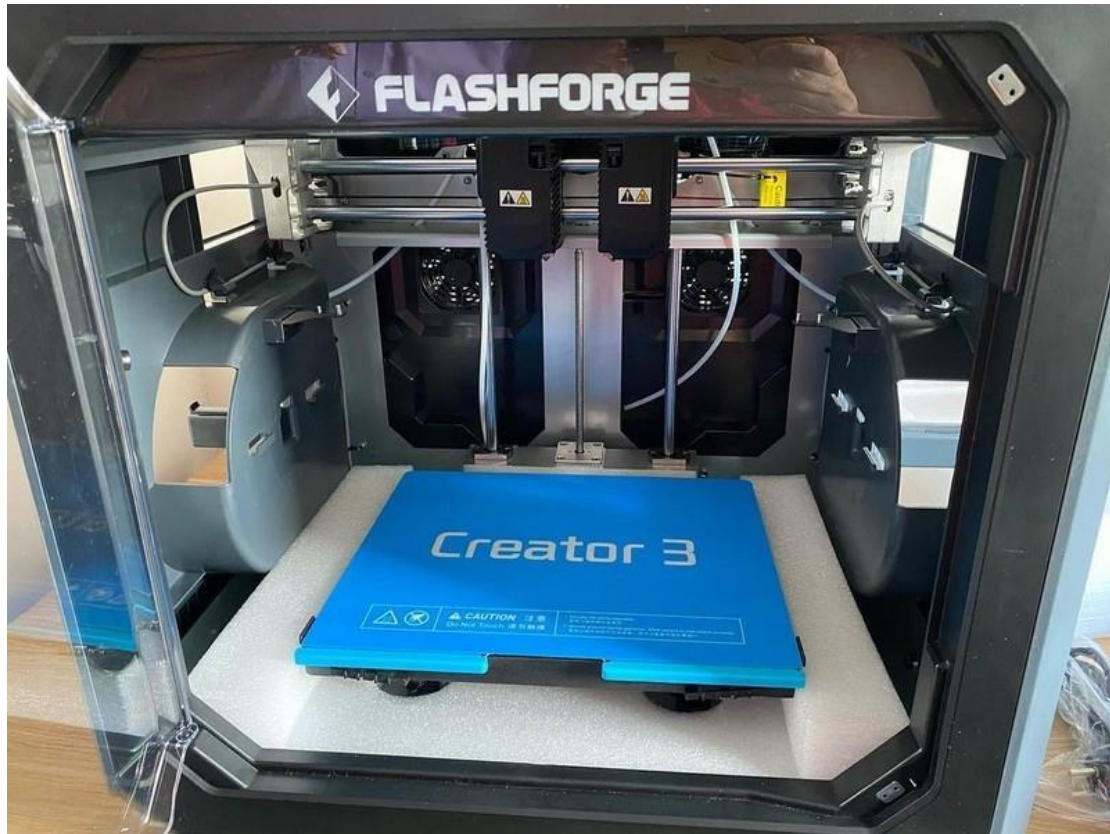
Όμως ποια είναι τα εξαρτήματα τα οποία φαίνεται να έχουν μεγαλύτερη βαρύτητα στη λειτουργία του εκτυπωτή; Παρακάτω αναλύονται τα βασικότερα.

- **Κεφαλή εκτύπωσης ή εξωθητής (extruder):** Είναι σαφές πως απαραίτητο για την εκτύπωση αντικειμένου είναι ο extruder. Σε έναν τρισδιάστατο εκτυπωτή συναντώνται δύο τύποι extruder, Direct (άμεσοι) και Bowden, οι οποίοι διαφέρουν ανάλογα με τον τύπο κίνησης. Στον Direct Extruder, ο οποίος υπάρχει και στον εκτυπωτή του εργαστηρίου, το νήμα τρέχει απευθείας στο HotEnd. Στους Bowden Extruders, από την άλλη, η σύνδεση με το HotEnd επιτυγχάνεται μέσω ενός σωλήνα PTFE (PolyTetraFluoroEthylene/οργανικό πολυμερές) από τον οποίο περνά το νήμα[22].



Σχήμα 3.10 (Πηγή: RECREUS): Διαφορά ανάμεσα σε Direct και Bowden Extruder[23].

- Βάση εκτύπωσης:** Η βάση εκτύπωσης ή αλλιώς πλάκα κατασκευής, είναι ένα από τα πιο σημαντικά στοιχεία ενός τρισδιάστατου εκτυπωτή που χρησιμοποιεί τεχνολογία FDM. Ο εκτυπωτής δεν μπορεί απλώς να εναποθέσει λιωμένο νήμα σε οποιαδήποτε επιφάνεια, και μια κακής ποιότητας βάση εκτύπωσης πιθανότατα να οδηγήσει σε αποτυχία εκτύπωσης. Η κύρια λειτουργία μιας βάσης εκτύπωσης είναι να παρέχει μια λεία επιφάνεια για να κολλάει το πρώτο στρώμα εξωθημένου νήματος έτσι ώστε να μην μετακινείται το αντικείμενο κατά την εκτύπωση. Οι επιλογές για μια βάση εκτύπωσης είναι πολλές με διαφορετικά χαρακτηριστικά μεταξύ τους αφού κάθε βάση μπορεί να προορίζεται για διαφορετικά υλικά εκτύπωσης. Για παράδειγμα, μια βάση εκτύπωσης μπορεί να λειτουργεί εξαιρετικά με νήμα PLA αλλά εάν χρησιμοποιηθεί ABS να υπάρξουν προβλήματα[24].



Σχήμα 3.11 (Πηγή: top3dshop): Η βάση εκτύπωσης του FlashForge Creator 3 [25].

### 3.5.2 Εργαλεία και χρήση του Creator 3

Όσο ο χρήστης είναι σε διαδικασία εκτυπώσεων, είναι πολύ πιθανό να του παρουσιαστούν προβλήματα και «εμπόδια» τα οποία δεν είχε προβλέψει. Ένα σύνηθες αυτών είναι η φραγή του ακροφυσίου. Αυτή μπορεί να οφείλεται σε παραπάνω από έναν λόγους. Για παράδειγμα μπορεί να έχει γίνει λάθος η ρύθμιση του Leveling (παρ. 3.3.1 και 3.3.2) ή να μην έχει δοθεί η σωστή θερμοκρασία στο πρόγραμμα τεμάχισης. Στην πρώτη περίπτωση ο extruder ενδέχεται να είναι πολύ κοντά στη βάση εκτύπωσης με αποτέλεσμα να συσσωρευτεί υλικό στην κεφαλή και να μην μπορεί να βγει. Στη δεύτερη περίπτωση, η λάθος θερμοκρασία σημαίνει ότι ο χρήστης έχει δώσει στον extruder θερμοκρασία μικρότερη από αυτή που απαιτείται για να λιώσει το υλικό που βρίσκεται μέσα και έτσι παραμένει φραγμένο στο εσωτερικό του ακροφυσίου.

Σε τέτοιες περιπτώσεις ο χρήστης μπορεί να επιλέξει ανάμεσα σε διάφορους τρόπους επίλυσης. Η πρώτη και πιο απλή από τις ενέργειες είναι να θερμάνει το ακροφύσιο σε τέτοια θερμοκρασία ώστε να λιώσει το υλικό που υπάρχει φραγμένο. Στη συνέχεια να ανοίξει το μενού τροφοδότησης υλικού του εκτυπωτή (παρ. 3.4) και να επιλέξει την επιλογή Load. Αφού το ακροφύσιο φτάσει στη θερμοκρασία που πρέπει, ο χρήστης ξεκινάει να ασκεί πίεση με το χέρι του για να φτάσει το υλικό στο σημείο τροφοδότησης. Μόλις παρατηρήσει ότι το υλικό εξέρχεται από το ακροφύσιο και έχει κανονική ροή, τότε σταματάει την πίεση και το πρόβλημα έχει επιλυθεί.

Η δεύτερη και πιο δύσκολη των λύσεων που μπορεί να επιλέξει ο χρήστης είναι η χρήση ενός εργαλείου για την άσκηση πίεσης σε αντίθεση με την παραπάνω λύση που η πίεση γινόταν με το χέρι απευθείας στο υλικό. Η ιδιαιτερότητα της συγκεκριμένης

λύσης είναι ότι ο χρήστης θα πρέπει να αποσυναρμολογήσει την κεφαλή εκτύπωσης. Πιο αναλυτικά, αφού αφαιρεθούν ορισμένες βίδες και βγει το προστατευτικό κάλυμμα, θα πρέπει και πάλι να γίνει θέρμανση του ακροφύσιου τέτοια ώστε να λιώσει το υλικό. Μόλις ολοκληρωθεί η διαδικασία αυτή, θα πρέπει ο χρήστης να ασκήσει πίεση με ένα εργαλείο που του παρέχεται μαζί με τον εκτυπωτή. Όταν θα σταματήσει να υπάρχει ροή υλικού από το ακροφύσιο και εφόσον αυτό δεν τροφοδοτείται με επιπλέον υλικό, η φραγή ενδεχομένως να έχει σταματήσει και το πρόβλημα να έχει λυθεί. Η λύση αυτή μπορεί να είναι πολύπλοκη συγκριτικά με τις υπόλοιπες αλλά είναι και αυτή που προτείνει ο κατασκευαστής.



**Σχήμα 3.12 (Πηγή: 3d Fabrik): Εργαλείο άσκησης πίεσης υλικού[26].**

Εάν καμία από τις παραπάνω λύσεις δεν έχει αποτέλεσμα, τότε ο χρήστης θα πρέπει να προμηθευτεί ένα εργαλείο το οποίο όμως δεν περιέχεται στον εξοπλισμό του εκτυπωτή. Το εργαλείο αυτό βρίσκεται εύκολα στο διαδίκτυο και έχει χαμηλό κόστος. Τα βήματα της τεχνικής αυτής είναι αρχικά ίδια με τις προηγούμενες. Πρώτα θερμαίνεται το ακροφύσιο για να λιώσει το υλικό και έπειτα ο χρήστης θα πρέπει να βάλει τη μύτη του εργαλείου στην κεφαλή του εξωθητή έτσι ώστε με κυκλικές κινήσεις να αφαιρέσει το φραγμένο υλικό. Η κίνηση αυτή επαναλαμβάνεται μέχρις ότου να έχει αφαιρεθεί ολόκληρη η ποσότητα υλικού. Η λύση αυτή προτείνεται σε σχέση με τις άλλες διότι είναι πιο εύκολη και πιο αποτελεσματική, με την υποσημείωση όμως ότι ο χρήστης πρέπει να γνωρίζει τη διάμετρο της τρύπας του εξωθητή. Αυτό συμβαίνει για τον λόγο ότι το εργαλείο θα πρέπει να είναι μερικά χιλιοστά μικρότερο έτσι ώστε να χωράει να μπει για να αφαιρέσει το υλικό.

Για παράδειγμα σε ακροφύσιο διαμέτρου 0.5 mm, το εργαλείο θα πρέπει να έχει μύτη περίπου 0.4 mm [27].



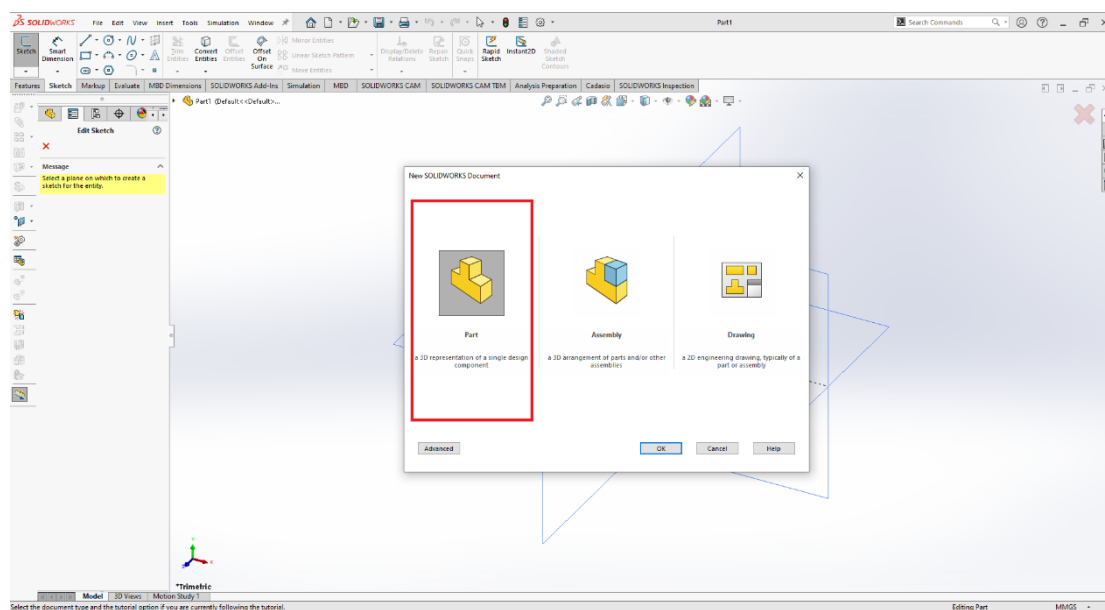
Σχήμα 3.13 (Πηγή: amazon): Το εργαλείο καθαρισμού του εξωθητή και ο τρόπος χρήσης του[28].

# Κεφάλαιο 4

## 4.1.1 Το πρόγραμμα SOLIDWORKS

Η εκτύπωση/δημιουργία ενός αντικειμένου δεν μπορεί να πραγματοποιηθεί χωρίς να έχει προηγηθεί η σχεδίαση του. Τη δυνατότητα σχεδίασης ο χρήστης την αποκτά έχοντας να επιλέξει ανάμεσα σε ορισμένα προγράμματα CAD. Ένα από αυτά, το οποίο χρησιμοποιήθηκε και για τη σχεδίαση των αντικειμένων της συγκεκριμένης διπλωματικής, είναι το SOLIDWORKS. Το πρόγραμμα αυτό, δίνοντας στον χρήστη απεριόριστες δυνατότητες σχεδίασης χρησιμοποιείται και σε βιομηχανικό επίπεδο, γεγονός που το κάνει να «απαιτεί» συνδρομή για τη χρησιμοποίησή του.

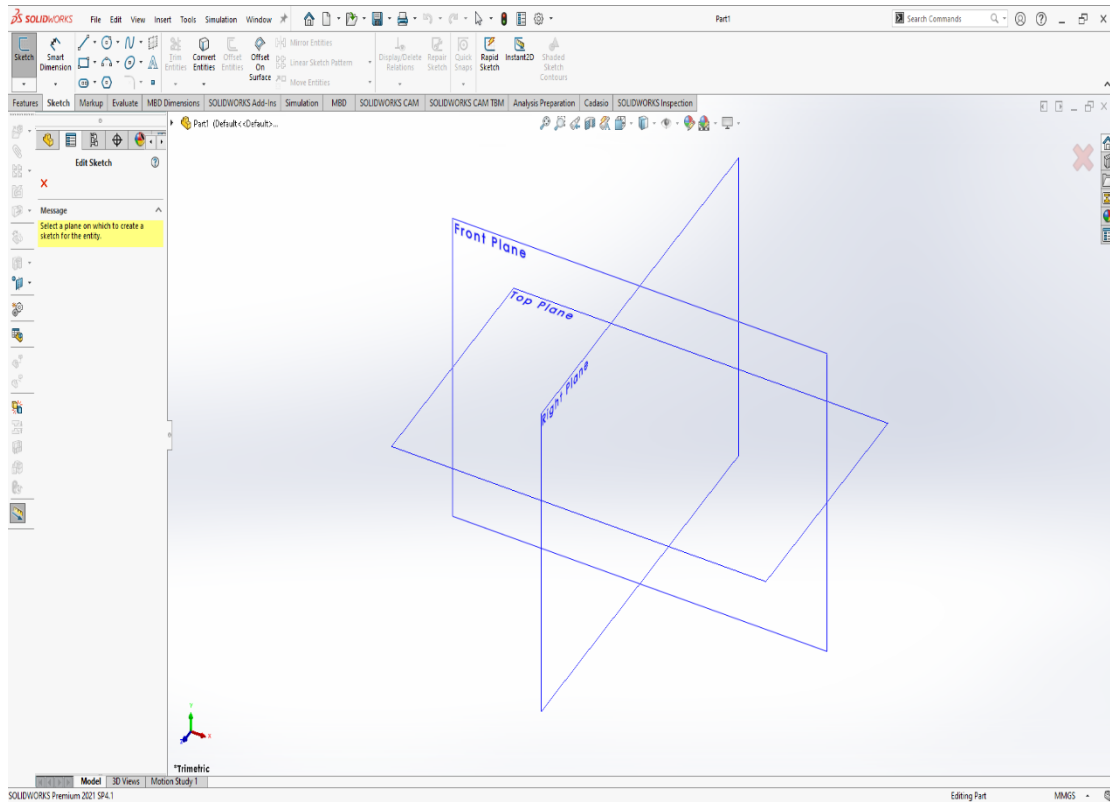
Αφού ο χρήστης εγκαταστήσει το πρόγραμμα και το εκκινήσει, θα εμφανιστεί το παράθυρο του Σχήματος 4.1 όπου θα επιλέξει την επιλογή “Part” για να ξεκινήσει να σχεδιάζει από την αρχή.



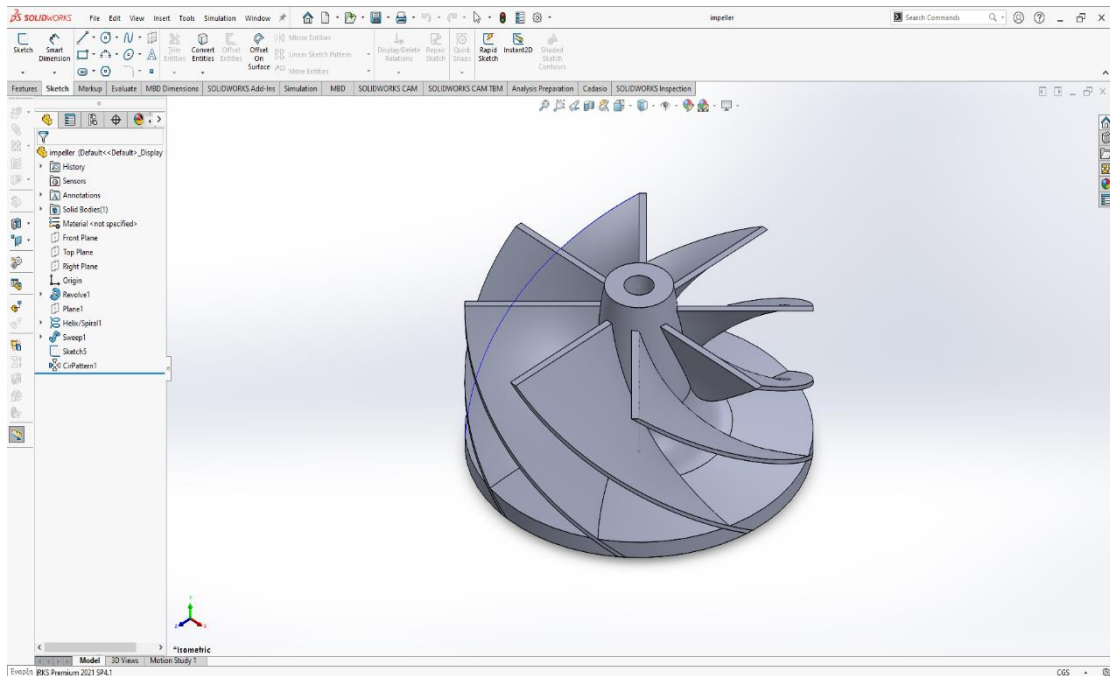
**Σχήμα 4.1 (Πηγή: στιγμιότυπο οθόνης του συγγραφέα): Αρχική οθόνη στο SOLIDWORKS[16].**

Στη συνέχεια ο χρήστης θα μεταφερθεί στο περιβάλλον σχεδίασης όπου αρχικά επιλέγει σε ποια όψη θα ξεκινήσει τη σχεδίασή του και έπειτα μέσα από τα εργαλεία που του παρέχονται έχει τη δυνατότητα να σχεδιάσει οτιδήποτε. Τα εργαλεία και οι δυνατότητες είναι τόσα πολλά που είναι αδύνατον να αναλυθούν γραπτώς. Για την εκμάθηση του προγράμματος λαμβάνουν χώρα διάφορα σεμινάρια καθώς υπάρχουν και πολλά video-tutorials στο διαδίκτυο.





**Σχήμα 4.2 (Πηγή: στιγμιότυπο οθόνης του συγγραφέα): Επιλογή όψης σχεδίασης στο SOLIDWORKS[16].**



**Σχήμα 4.3 (Πηγή: στιγμιότυπο οθόνης του συγγραφέα): Τελικό προϊόν μετά από σχεδίαση στο SOLIDWORKS[16].**

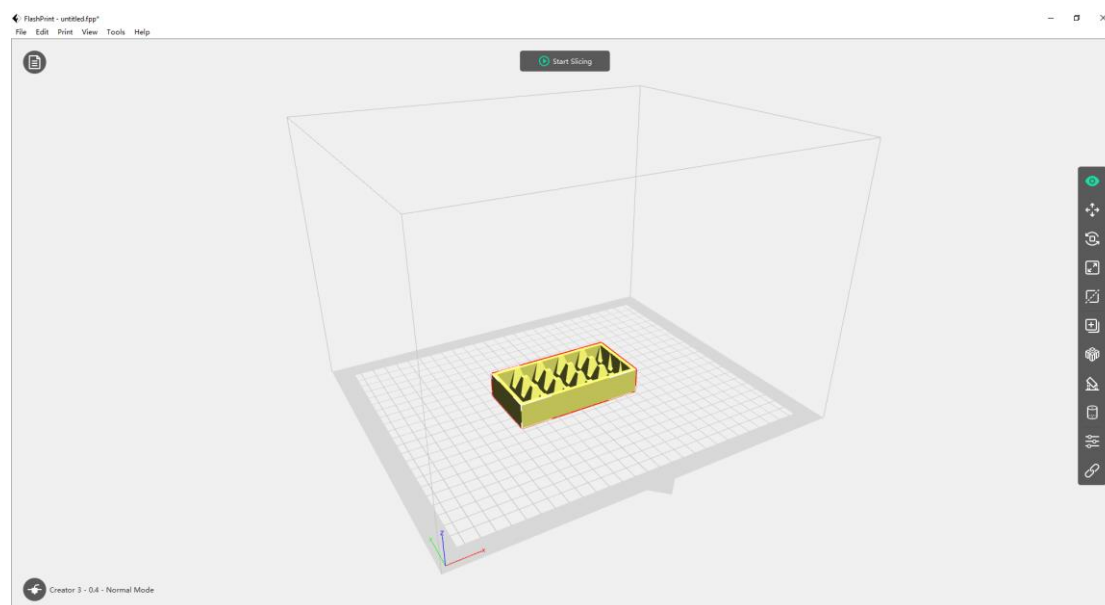
## 4.2.1 Το πρόγραμμα Flashprint

Το πρόγραμμα τεμάχισης (slicing) Flashprint είναι από την εταιρία Flashforge, η ίδια εταιρία δηλαδή που κατασκευάζει και τον Creator 3. Για τον λόγο αυτό προτείνεται στους χρήστες του συγκεκριμένου εκτυπωτή να χρησιμοποιούν αυτό το πρόγραμμα.

Αφού ο χρήστης σχεδιάσει το μοντέλο του και το μετατρέψει σε αρχείο STL, το μεταφέρει στο Flashprint για να το προετοιμάσει για εκτύπωση. Πέρα από την τεμάχιση όμως του μοντέλου, μέσω του συγκεκριμένου προγράμματος μπορούν να ρυθμιστούν και οι παράμετροι του εκτυπωτή. Για παράδειγμα μπορεί να αλλάξει η θερμοκρασία του εξωθητή, η θερμοκρασία της βάσης εκτύπωσης, το υλικό εκτύπωσης, η ταχύτητα κ.α. Μετά το τέλος της ρύθμισης των παραμέτρων, το πρόγραμμα τεμαχίζει το μοντέλο, δημιουργεί τον G-Κώδικα αυτόματα και τον «φορτώνει» στον εκτυπωτή, εφόσον πρώτα έχει γίνει η σύνδεση.

## 4.2.2 Προετοιμασία μοντέλου και εκτύπωση

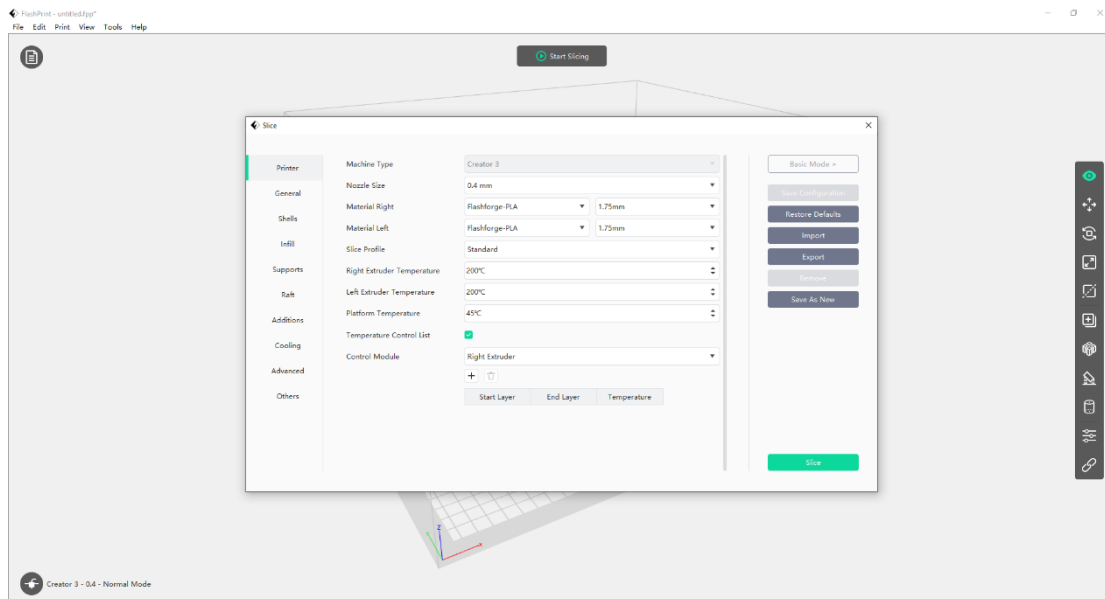
Έχοντας εκκινήσει ο χρήστης το Flashprint, με την γνωστή διαδικασία από το μενού εντολών επιλέγει File > Load file και ανοίγει το STL αρχείο στο οποίο ανήκει το μοντέλο του. Στη συνέχεια θα εμφανιστεί το μοντέλο στο πρόγραμμα όπως φαίνεται στο σχήμα 4.4 και θα πρέπει να επιλέξει την επιλογή Start Slicing στο πάνω μέρος της οθόνης.



Σχήμα 4.4 (Πηγή: στιγμιότυπο οθόνης του συγγραφέα): Περιβάλλον του Flashprint πριν την τεμάχιση του μοντέλου[16].

Το παράθυρο που εμφανίζεται στη συνέχεια (Σχήμα 4.5) περιέχει όλες τις ρυθμίσεις που μπορεί να αλλάξει ο χρήστης ανάλογα με τις ανάγκες της κάθε εκτύπωσης.





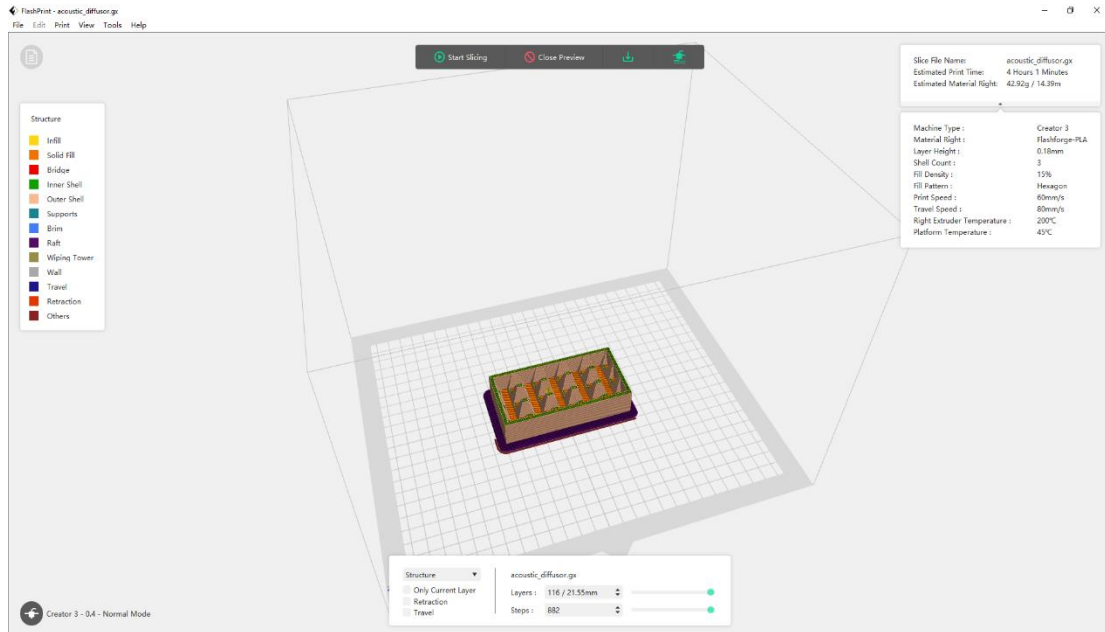
**Σχήμα 4.5 (Πηγή: στιγμιότυπο οθόνης του συγγραφέα): Το παράθυρο ρυθμίσεων εκτύπωσης[16].**

Για τον λόγο ότι οι ρυθμίσεις είναι πολλές, θα αναφερθούν οι πιο βασικές και αυτές που χρησιμοποιήθηκαν περισσότερο στις εκτυπώσεις.

Αρχικά ο χρήστης έχει τη δυνατότητα να επιλέξει το υλικό εκτύπωσης. Αφού γίνει η σωστή επιλογή, τότε θα πρέπει να επιλέξει ποιόν από τους δύο extruders θέλει χρησιμοποιήσει και φυσικά τη διάμετρο εκτύπωσης ανάλογα με το υλικό.

Στη συνέχεια, έχοντας ρυθμίσει την ποιότητα εκτύπωσης ανάλογα με τις ανάγκες, θα πρέπει να ρυθμιστεί η θερμοκρασία του εξωθητή και της πλατφόρμας. Πηγαίνοντας στις παρακάτω καρτέλες ρυθμίσεων ο χρήστης μπορεί να αλλάξει πολλά ακόμα. Για παράδειγμα μπορεί να προσθέσει στηρίγματα (supports) στο μοντέλο, να χρησιμοποιήσει ή όχι σχέδια (raft) για την εκτύπωση ή ακόμα και να ρυθμίσει το ποσοστό γεμίσματος του μοντέλου.

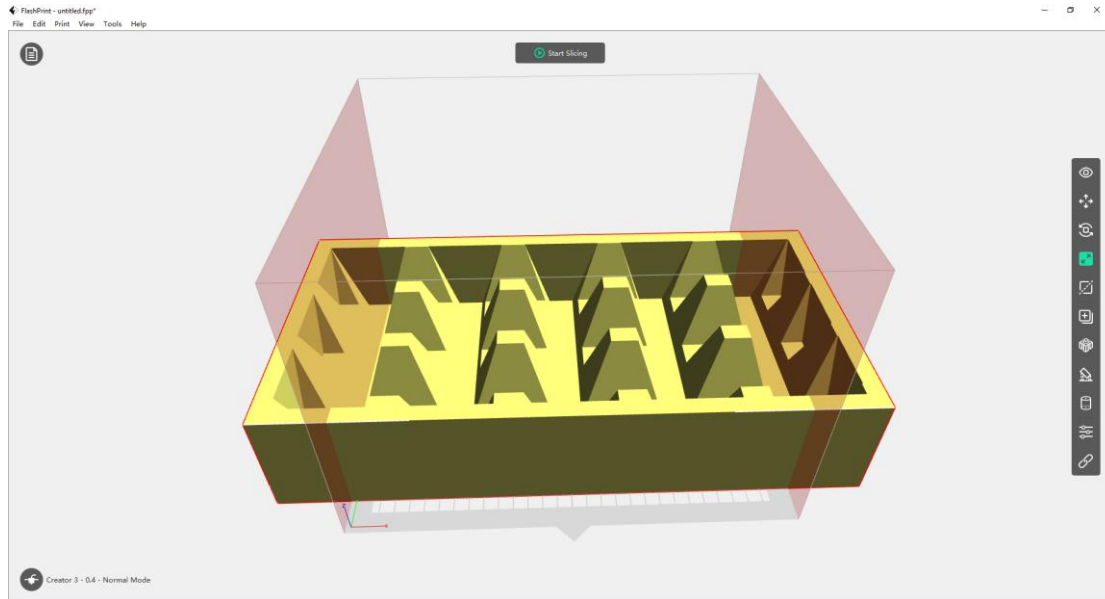
Όταν ολοκληρωθούν οι διαδικασίες αυτές, επιλέγεται η επιλογή Slice και εμφανίζεται πάλι το παράθυρο του Σχήματος 4.4, δίνοντας όμως τις επιλογές Slice Preview, Save To Local και Send To Printer. Επιλέγοντας ο χρήστης το Slice Preview μπορεί να δει περισσότερες πληροφορίες για την εκτύπωση όπως το υλικό που απαιτείται, το βάρος του μοντέλου, ο χρόνος εκτύπωσης, καθώς και ένα-ένα τα βήματα εκτύπωσης. Τέλος, για να σταλεί το μοντέλο για εκτύπωση, επιλέγει την επιλογή Send To Printer και εφόσον έχει συνδεθεί ο υπολογιστής με τον εκτυπωτή, ξεκινάει η εκτύπωση.



Σχήμα 4.6 (Πηγή: στιγμιότυπο οθόνης του συγγραφέα): Το Slice Preview με τις πληροφορίες εκτύπωσης[16].

### 4.3.1 Τοποθέτηση μοντέλου

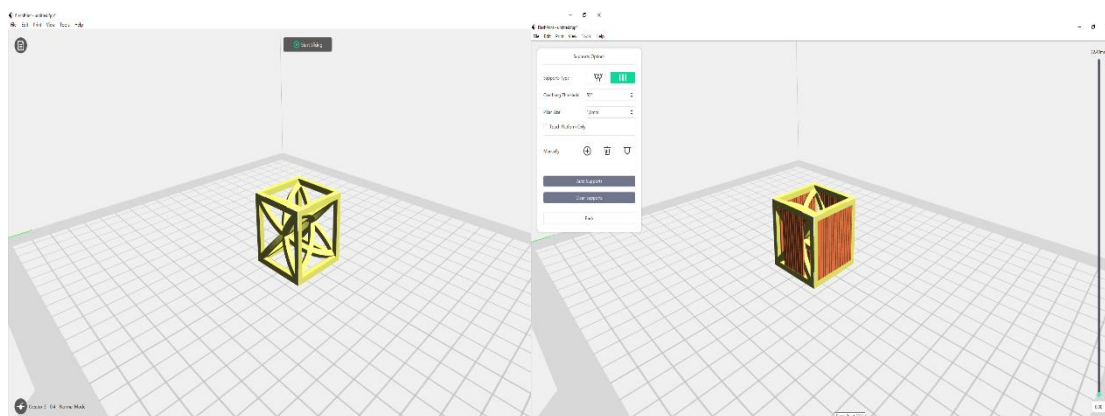
Στο δεξί μέρος της αρχικής οθόνης του Flashprint υπάρχει μια λίστα με εργαλεία που βοηθούν στην τοποθέτηση του μοντέλου και όχι μόνο. Αρχικά υπάρχει η επιλογή μετακίνησης και περιστροφής του μοντέλου στους άξονες X-Y-Z. Έπειτα δίνεται η δυνατότητα στον χρήστη να μεγεθύνει ή να μικρύνει το μοντέλο. Απαραίτητο σε αυτές τις επιλογές είναι ο χρήστης να μην βγαίνει από τα όρια του εκτυπωτή. Σε αυτό βοηθάει και το ίδιο το πρόγραμμα με μια ένδειξη ERROR όπως φαίνεται στο Σχήμα 4.7.



Σχήμα 4.7 (Πηγή: στιγμιότυπο οθόνης του συγγραφέα): Μοντέλο εκτός ορίων εκτυπωτή[16].

### 4.3.2 Χρήση βοηθημάτων (supports)

Μία ακόμη πολύ σημαντική ιδιότητα που προσφέρει το πρόγραμμα Flashprint είναι η προσθήκη βοηθημάτων supports. Τα supports είναι βοηθητικά στηρίγματα τα οποία βοηθούν μοντέλα με πολύπλοκες δομές να εκτυπωθούν σωστά χωρίς τον φόβο προβλημάτων πτώσης. Τα supports μπορούν να τοποθετηθούν είτε αυτόματα από το πρόγραμμα σε σημεία που υπάρχει μεγάλη κλίση (>45 μοιρών) ή απόσταση από το επίπεδο αναφοράς, είτε από τον χρήστη χειροκίνητα.

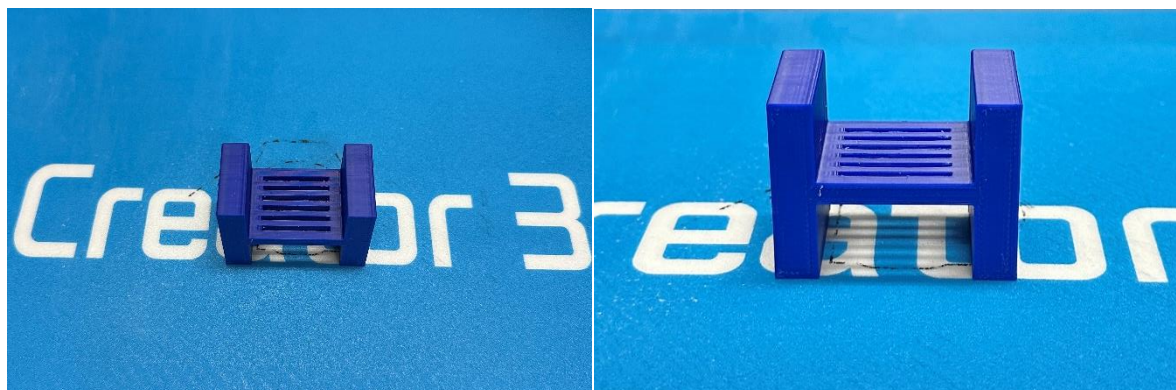


Σχήμα 4.8 (Πηγή: στιγμιότυπο οθόνης του συγγραφέα): Μοντέλο με ιδιαιτερότητες στο σχήμα. Χρήση supports (δεξιά) και απουσία supports (αριστερά)[16].

## Κεφάλαιο 5

### 5.1 Πειραματική διαδικασία

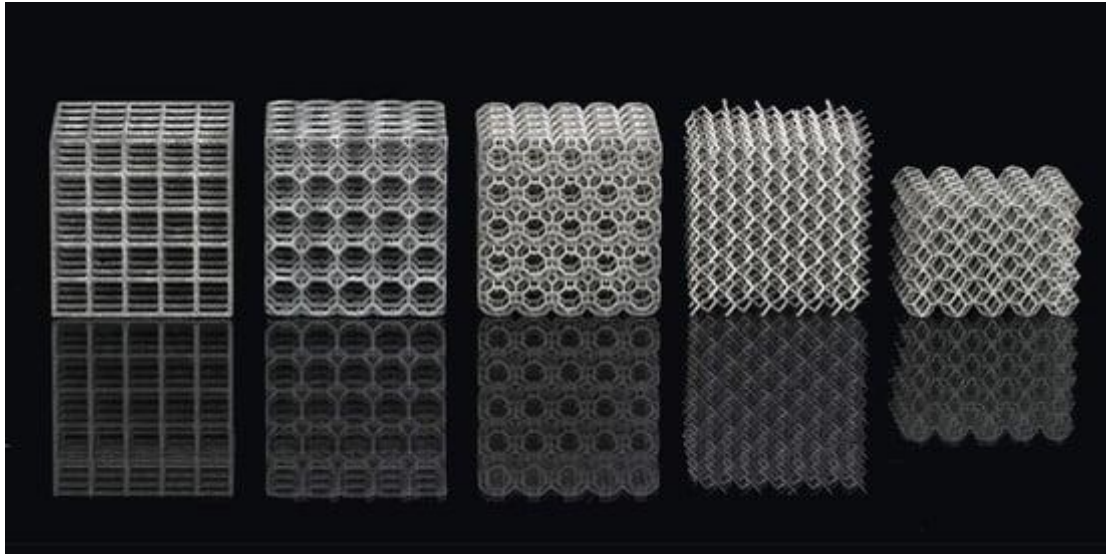
Κατά την υλοποίηση της διπλωματικής αυτής εργασίας πραγματοποιήθηκαν διάφορες πειραματικές εκτυπώσεις με σκοπό την απόκτηση γνώσεων σχετικά με τον εκτυπωτή και τη διαδικασία εκτύπωσης. Αφού ολοκληρώθηκε το συγκεκριμένο στάδιο, σειρά πήραν οι εκτυπώσεις μοντέλων τα οποία μπορούν να είναι λειτουργικά και να «γεννήσουν» νέες ιδέες. Όλες οι εκτυπώσεις έγιναν στο εργαστήριο ηλεκτρονικής του ΔΠΙΑΕ με τη χρήση του Flashforge Creator 3. Το υλικό εκτύπωσης που χρησιμοποιήθηκε ήταν το ABS σε μπλε χρώμα. Σύμφωνα με τα χαρακτηριστικά του υλικού αυτού αλλά και με το τι προτείνει ο κατασκευαστής, οι θερμοκρασίες του extruder κυμαίνονταν από 220°C έως 240°C. Η θερμοκρασία αυτή μετά από διάφορα πειράματα σταθεροποιήθηκε στη μέση, δηλαδή στους 230°C έτσι ώστε να επιτευχθούν καλύτερα αποτελέσματα. Η πλατφόρμα εκτύπωσης ήταν είτε στους 100°C είτε στους 110°C, ανάλογα με τις απαιτήσεις του μοντέλου.



Σχήμα 5.1 (Πηγή: φωτογραφία από τον συγγραφέα): Η πρώτη πειραματική εκτύπωση. Typical Flexure περιορισμένης λειτουργικότητας λόγω αυξημένου πάχους των ραβδώσεων [29].

#### 5.2.1 Μηχανικά Μετα-υλικά (Mechanical Metamaterials)

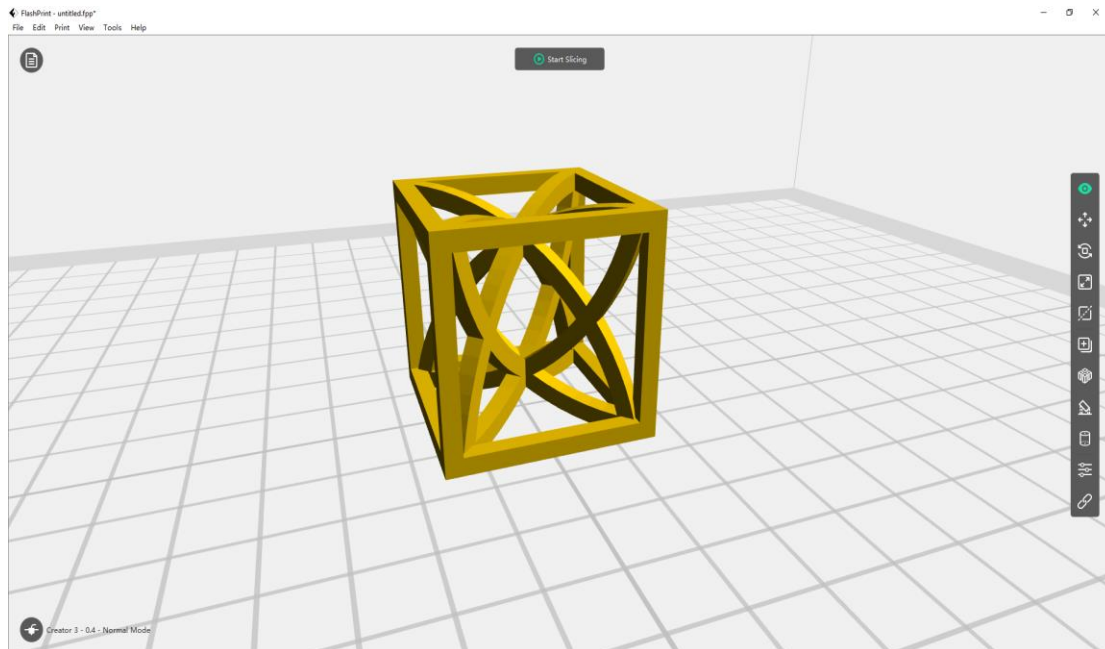
Με τον όρο «μετα-υλικά», ή όπως είναι πιο γνωστά στη βιομηχανία «metamaterials», εννοούμε τεχνητά κατασκευασμένα υλικά που έχουν σχεδιαστεί για να έχουν ιδιότητες που σπάνια παρατηρούνται στη φύση. Τα υλικά αυτά αποκτούν τις ιδιότητες τους από την εσωτερική τους μικροδομή και όχι από τη σύνθεσή τους. Τα metamaterials κατασκευάζονται από συγκροτήματα πολλαπλών στοιχείων κατασκευασμένα από σύνθετα υλικά όπως μέταλλα και πλαστικά, ενώ είναι συνήθως διατεταγμένα σε επαναλαμβανόμενα μοτίβα [30]. Για τον λόγο ότι ένα τέτοιο αντικείμενο είναι πρακτικά αδύνατο να εκτυπωθεί από τον Creator 3, απομονώθηκε ένα κομμάτι του (κύτταρο) και εκτυπώθηκε σε μεγέθυνση της τάξεως του 900%.



Σχήμα 5.2 (Πηγή: mdpi): Metamaterials διαφορετικής δομής [31].

## 5.2.2 Πείραμα με λεπτομέρεια

Στο εργαστήριο, όπως αναφέρθηκε παραπάνω, σχεδιάστηκε ολόκληρο το metamaterial όμως επειδή η εκτύπωση του θα ήταν χρονικά και σχηματικά απαγορευτική, απομονώθηκε ένα κομμάτι προκειμένου να παρουσιαστεί.

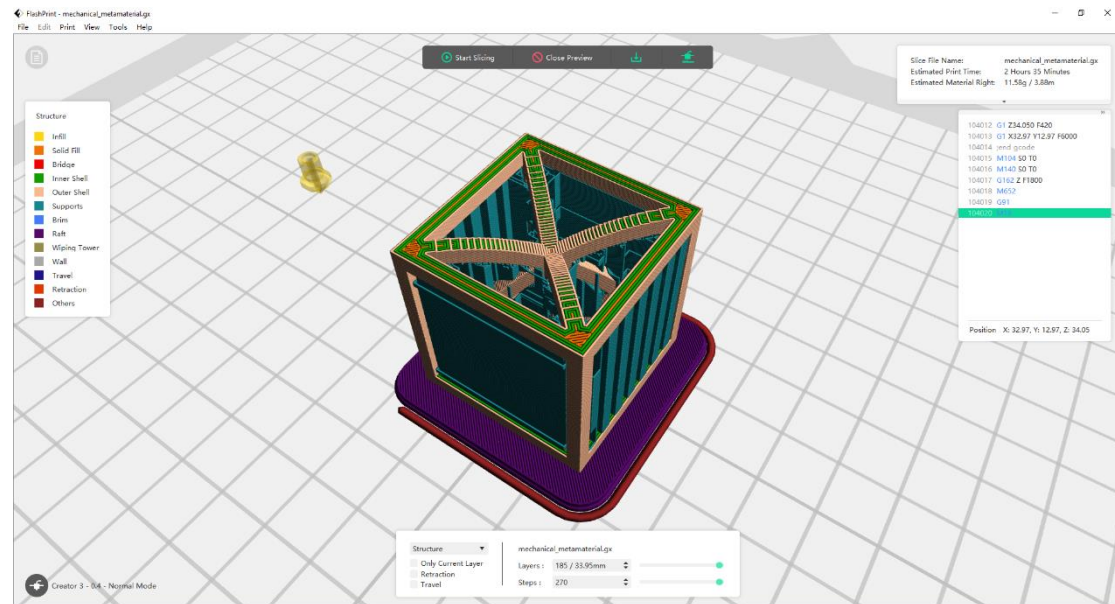


Σχήμα 5.3 (Πηγή: στιγμιότυπο οθόνης του συγγραφέα): Το μοντέλο του metamaterial στο πρόγραμμα τεμάχισης Flaprint [16].

Κατά την εκτύπωση του αντικειμένου αυτού εμφανίστηκαν διάφορα προβλήματα τα οποία απέτρεπαν την ολοκλήρωσή της. Αρχικά έπρεπε να βρεθεί το κατάλληλο μέγεθος του αντικειμένου έτσι ώστε να μην είναι πάρα πολύ μικρό, όπως είναι στην πραγματικότητα, διότι δεν θα είχε την δυνατότητα ο εκτυπωτής να του δώσει μορφή,



αλλά να μην είναι και πάρα πολύ μεγάλο διότι θα υπήρχε μεγάλη δαπάνη υλικού και χρόνου. Σε δεύτερο στάδιο, εξαιρετικά σημαντική ήταν η χρήση των βοηθημάτων (supports) διότι χωρίς αυτά οι ενδιάμεσοι άξονες του σχεδίου κατέρρεαν και σταματούσε η εκτύπωση, ενώ στο ίδιο μήκος κύματος ήταν και η τοποθέτηση σανίδας (raft) στη βάση. Χωρίς τη σανίδα παρατηρήθηκε ότι τα supports δεν στεκόντουσαν στη βάση εκτύπωσης με αποτέλεσμα να χανόταν η συνοχή του σχήματος.

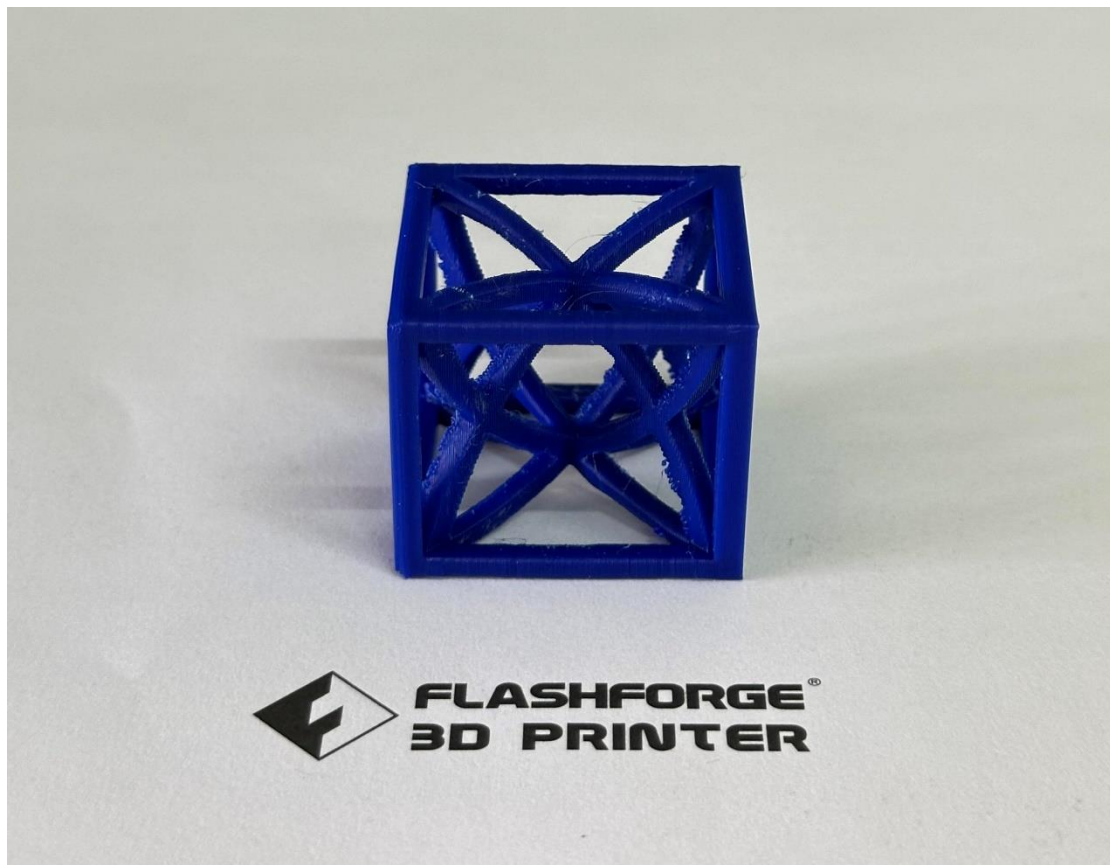


**Σχήμα 5.4 (Πηγή: στιγμιότυπο οθόνης του συγγραφέα): Η τελική μορφή του metamaterial με τα supports και το raft πριν την εκτύπωση [16].**

Οι ρυθμίσεις και οι παραμετροποιήσεις που έγιναν στο Flashprint είναι οι εξής:

- Θερμοκρασία extruder: 230°C
- Θερμοκρασία βάσης εκτύπωσης: 120°C
- Τύπος support: Linear
- Παρουσία Raft
- Fill density: 100% (ποσοστό γεμίσματος του αντικειμένου στο εσωτερικό του)

Οι λοιπές ρυθμίσεις του εκτυπωτή όπως ταχύτητα εκτύπωσης, ποιότητα εκτύπωσης κ.α. παρέμειναν στις default επιλογές.

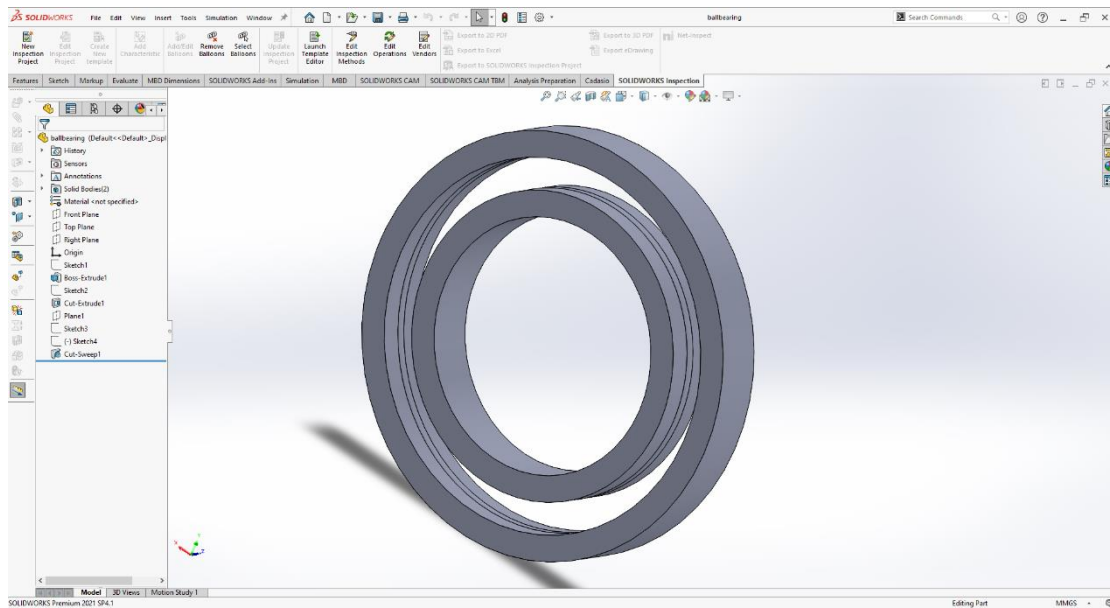


Σχήμα 5.5 (Πηγή: φωτογραφία από τον συγγραφέα): Το εκτυπωμένο αντικείμενο [29].

### 5.3 Ρουλεμάν

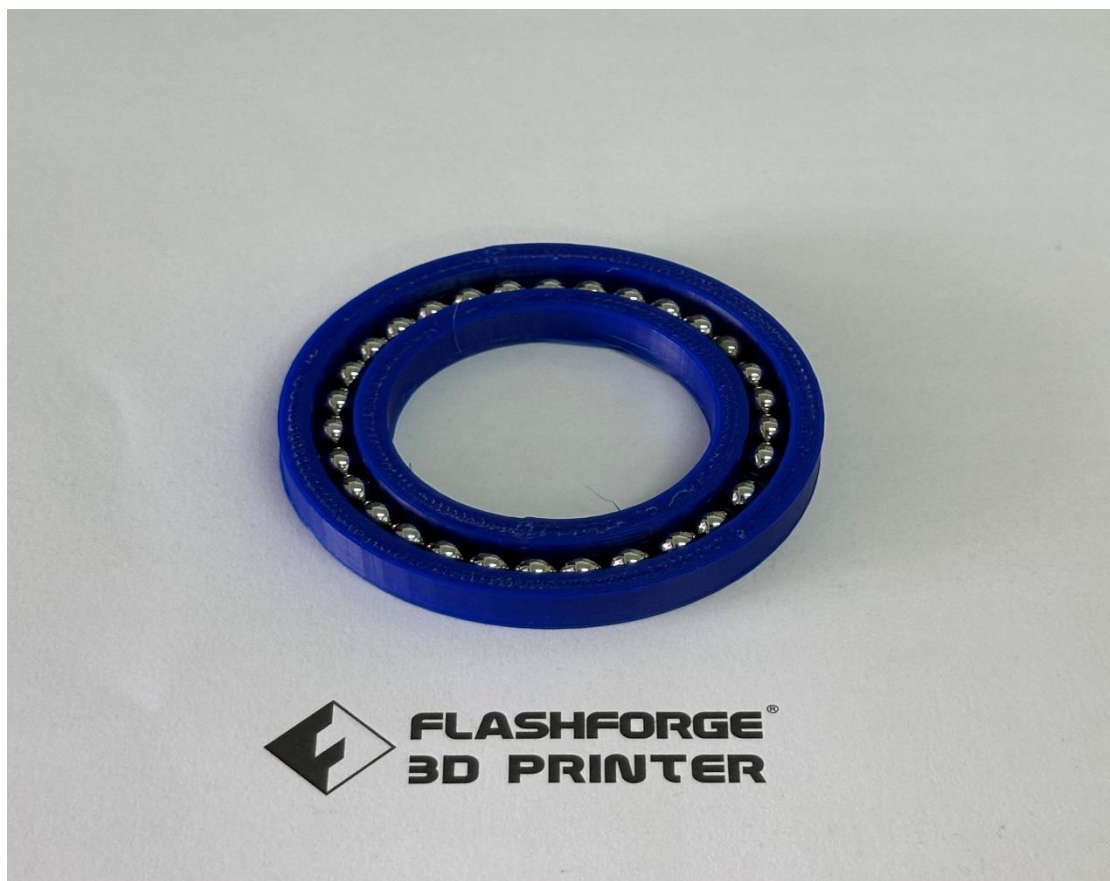
Το ρουλεμάν είναι ένα μηχανικό εξάρτημα που υποστηρίζει και μειώνει την τριβή μεταξύ κινούμενων μερών. Χρησιμοποιείται συνήθως σε πολλές μηχανικές εφαρμογές, όπως αυτοκίνητα, αεροπλάνα και βιομηχανικά μηχανήματα. Λειτουργεί επιτρέποντας σε δύο επιφάνειες να κινούνται η μία δίπλα στην άλλη με ελάχιστη αντίσταση. Ουσιαστικά, ένα ρουλεμάν είναι μια λεία επιφάνεια που χωρίζει δύο μέρη, επιτρέποντάς τους να περιστρέφονται ή να κινούνται ελεύθερα με μικρή ή καθόλου τριβή. Υπάρχουν πολλοί διαφορετικοί τύποι ρουλεμάν, αλλά τα πιο συνηθισμένα είναι τα ρουλεμάν σφαιρών και τα ρουλεμάν κυλίνδρων. Τα ρουλεμάν σφαιρών αποτελούνται από μικρές χαλύβδινες σφαίρες τοποθετημένες μεταξύ δύο δακτυλίων από χάλυβα. Τα ρουλεμάν κυλίνδρων, από την άλλη πλευρά, χρησιμοποιούν κυλίνδρους αντί για μπάλες (σφαίρες) [32].

Στο εργαστήριο προτιμήθηκε η κατασκευή ενός ρουλεμάν σφαιρών. Αφού έγινε η σχεδίαση στο SOLIDWORKS με τις σωστές διαστάσεις σε δακτυλίους και εσωτερικό αυλάκι, έγινε αγορά σφαιρών διαμέτρου 4mm.



**Σχήμα 5.6 (Πηγή: στιγμιότυπο οθόνης του συγγραφέα): Η σχεδίαση του ρουλεμάν στο SOLIDWORKS [16].**

Η εκτύπωση του αντικειμένου πραγματοποιήθηκε αρκετά εύκολα στο εργαστήριο καθώς δεν υπάρχουν πολλές λεπτομέρειες και απαιτήσεις στο σχήμα έτσι ώστε να δυσκολευτεί ο εκτυπωτής. Οι ρυθμίσεις θερμοκρασίας ήταν ίδιες με αυτές του metamaterial ενώ απουσίαζαν Raft και Supports. Μετά το τέλος της εκτύπωσης τοποθετήθηκαν οι σφαίρες στο εσωτερικό των δακτυλίων. Η λειτουργικότητα του ρουλεμάν ήταν αρκετά ικανοποιητική, ωστόσο για να λειτουργεί σωστά είναι απαραίτητη η παρουσία λιπαντικού ή «λεπτού» λαδιού στις σφαίρες.

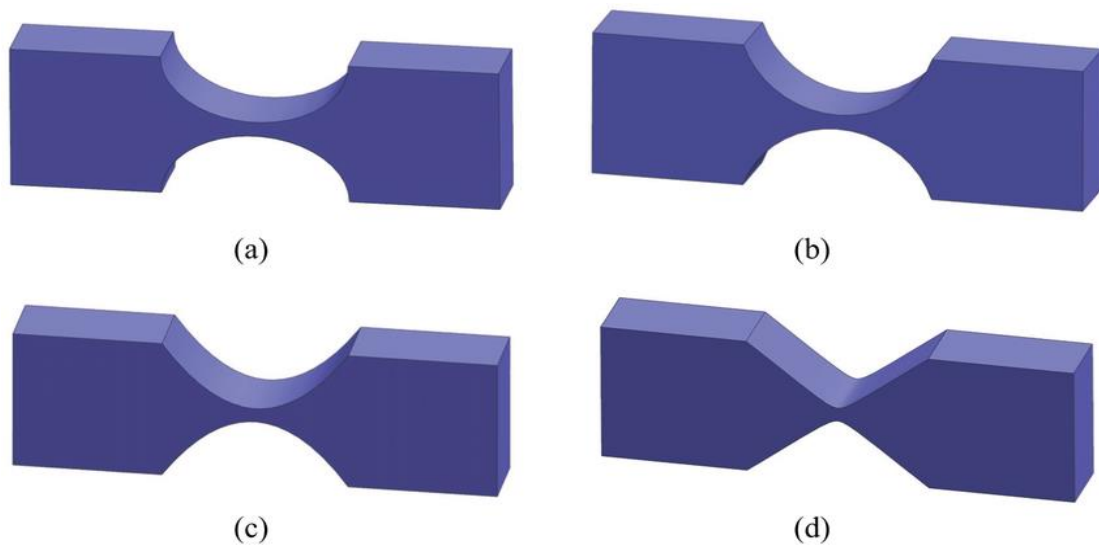




Σχήμα 5.7 (Πηγή: φωτογραφία από τον συγγραφέα): Το εκτυπωμένο ρουλεμάν μετά την τοποθέτηση των σφαιρών [29].

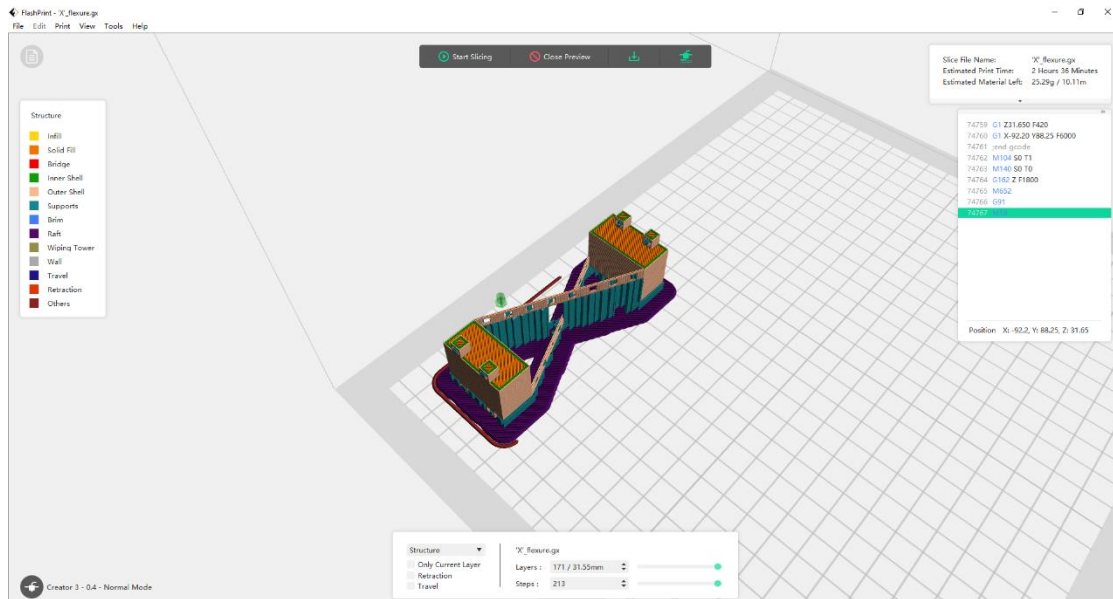
## 5.4 Άρθρωση τύπου Flexure

Στο πλαίσιο της έρευνας για τις μικροδομές που θα αναλυθούν στη διπλωματική αυτή εργασία, εξαιρετικά μεγάλο ενδιαφέρον προκάλεσαν τα flexures. Τα flexures έχουν χρησιμοποιηθεί ως ζωτικά μηχανικά εξαρτήματα σε εξοπλισμό ακριβείας και μικρομηχανισμούς για την καθοδήγηση της κίνησης μεταξύ των μηχανικών σωμάτων. Αποτελούνται από μια σειρά στενών, συνεχών σωμάτων που κάμπτονται ελαστικά όταν ασκείται δύναμη. Τα flexures χρησιμοποιούνται σε μικροκλίμακα για να αντικαταστήσουν τυπικές μηχανικές αρθρώσεις πολλαπλών τμημάτων που είναι δύσκολο να παραχθούν σε πολύ μικρή κλίμακα και είναι επιρρεπείς σε τριβή, φθορά και ανακρίβειες που προκαλούνται από σφάλματα συναρμολόγησης [33].



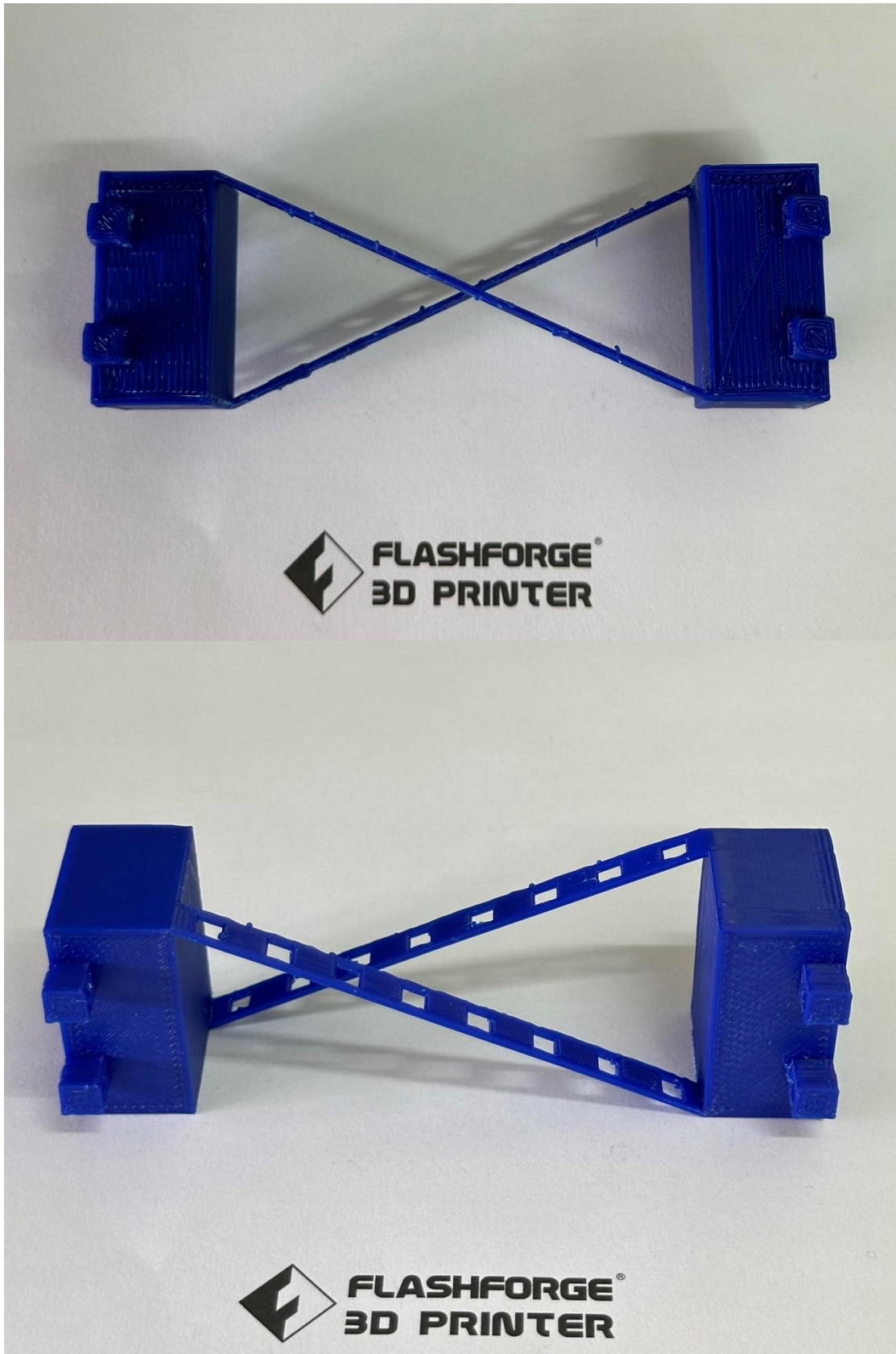
Σχήμα 5.8 (Πηγή: researchgate): Παραδείγματα διαφόρων ειδών Flexures [34].

Παίρνοντας ιδέες από την έρευνα στο διαδίκτυο για τα flexures, σχεδιάστηκε ένα τέτοιο σε σχήμα «X». Η εκτύπωση του ήταν αρκετά απαιτητική και χρειάστηκε, πέραν των supports και του Raft, και ο σωστός προσανατολισμός του μοντέλου όσον αφορά την τοποθέτηση του κατά την εκτύπωση.



**Σχήμα 5.9 (Πηγή: στιγμιότυπο οθόνης του συγγραφέα): Το flexure τοποθετημένο σωστά στο Flashprint [16].**

Οι ιδιαιτερότητες του συγκεκριμένου μοντέλου είναι αρκετές για αυτό και χρήζει προσοχής. Αρχικά, οι άξονες που ενώνουν τα δύο τμήματα δεξιά και αριστερά του μοντέλου είναι πολύ λεπτοί με διαδοχικά κενά κατά μήκος για να επιτρέπουν την ευκαμψία του. Έπειτα, στα δύο κύρια μέρη του αντικειμένου υπάρχουν μικρά σπειρώματα για την υποδοχή βιδών. Είναι αλήθεια ότι τα σπειρώματα αυτά δεν εκτυπώθηκαν με μεγάλη ακρίβεια διότι η λεπτομέρεια τους είναι τέτοια που δεν μπορεί να πραγματοποιηθεί από τον εκτυπωτή, ειδικά σε μικρό μέγεθος. Στη γενική εικόνα, ωστόσο, το μοντέλο είναι λειτουργικό και εύκαμπτο.



Σχήμα 5.10 (Πηγή: φωτογραφία από τον συγγραφέα): Το X-Flexure εκτυπωμένο [29].

## 5.5 Οι ιδιαιτερότητες των εκτυπώσεων

Οι εκτυπώσεις που πραγματοποιούνται με τον Creator 3 έχουν ορισμένες ιδιαιτερότητες σχετικά με το τελικό προϊόν. Παρακάτω θα γίνει η αναφορά αυτών αλλά και ο τρόπος με τον οποίο αντιμετωπίζονται και ξεπερνιούνται.

### 5.5.1 Η μετα-επεξεργασία

Εάν κάποιος κοιτάξει προσεκτικά τα παραπάνω σχήματα με τα εκτυπωμένα μοντέλα, θα παρατηρήσει πως υπάρχουν κάποιες κακοτεχνίες στην εκτύπωση με το αντικείμενο να μην είναι λείο και με ομαλή επιφάνεια. Το γεγονός αυτό συμβαίνει διότι ο εκτυπωτής του εργαστηρίου ενώ έχει αρκετά μεγάλες δυνατότητες εκτύπωσης, δυσκολεύεται να υλοποιήσει μικρές λεπτομερείες στα σχήματα. Οι λεπτομέρειες αυτές μπορεί να είναι λεπτομέρειες στη σχεδίαση, λεπτομέρειες με τα supports ή ακόμα και ανωμαλίες με την ταχύτητα εκτύπωσης.

Η λύση στο φαινόμενο αυτό είναι απλή και ονομάζεται μετα-επεξεργασία. Η μετα-επεξεργασία είναι μια διαδικασία κατά την οποία ο χρήστης παίρνει το τελικό προϊόν και το επεξεργάζεται με τέτοιο τρόπο ώστε να μειώσει ή και να εξαφανίσει τις κακοτεχνίες του. Η επεξεργασία συνήθως γίνεται με κάποιο γυαλόχαρτο τρίβοντας και λειαίνοντας το αντικείμενο. Μια ακόμη λύση που αφορά το υλικό εκτύπωσης ABS είναι η χρήση σκληρού ασετόν. Το ABS είναι πολύ ευάλωτο στο υγρό αυτό, δίνοντας τη δυνατότητα στον χρήστη μέσω μιας μπατονέτας ή άλλου εργαλείου να λειάνει κάποια επιφάνεια του μοντέλου.

### 5.5.2 Η σημασία της θερμοκρασίας

Κατά την πραγματοποίηση εκτυπώσεων, και ειδικότερα αυτής του ρουλεμάν που απαιτεί μεγάλη ακρίβεια στις διαστάσεις, παρατηρήθηκε πως αλλάζοντας τη θερμοκρασία της πλατφόρμας, αλλάζουν και οι διαστάσεις του μοντέλου. Οι αλλαγές αυτές είναι πολύ μικρές και δύσκολα φαίνονται με γυμνό μάτι. Για τον λόγο αυτό σχεδιάστηκε ένας δοκιμαστικός σταυρός και εκτυπώθηκε σε διαφορετικές θερμοκρασίες με σκοπό την εξαγωγή συμπερασμάτων.

Οι διαστάσεις του σταυρού στη σχεδίαση είναι οι εξής:

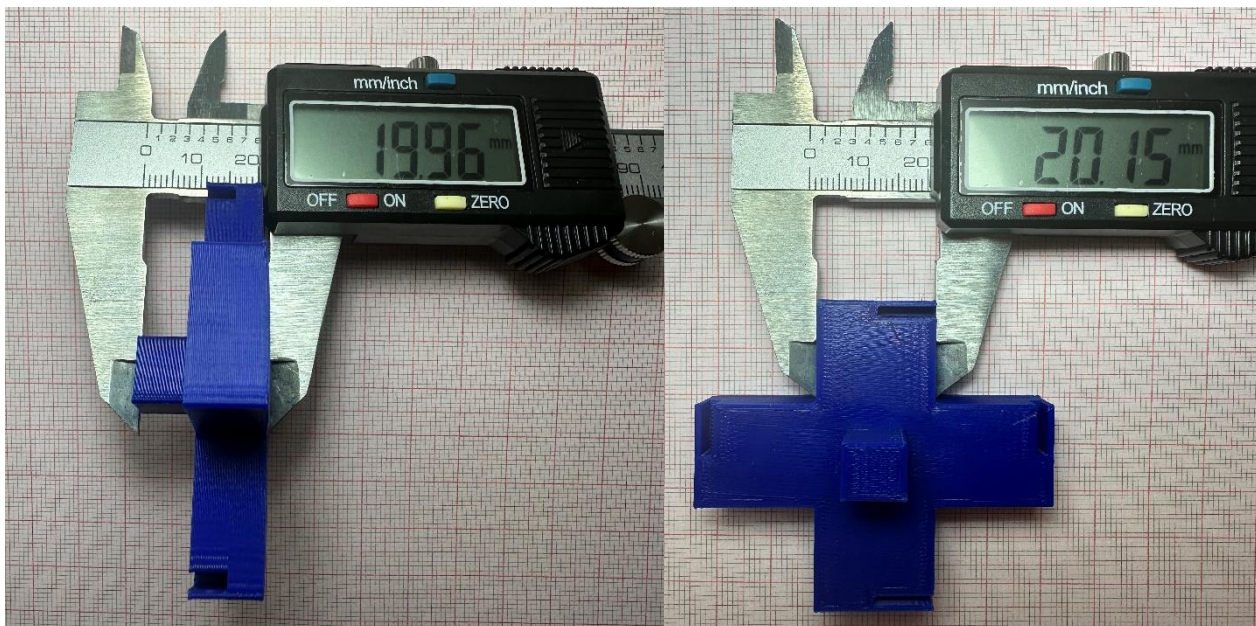
Πλάτος: 2εκ.

Ύψος: 1εκ.

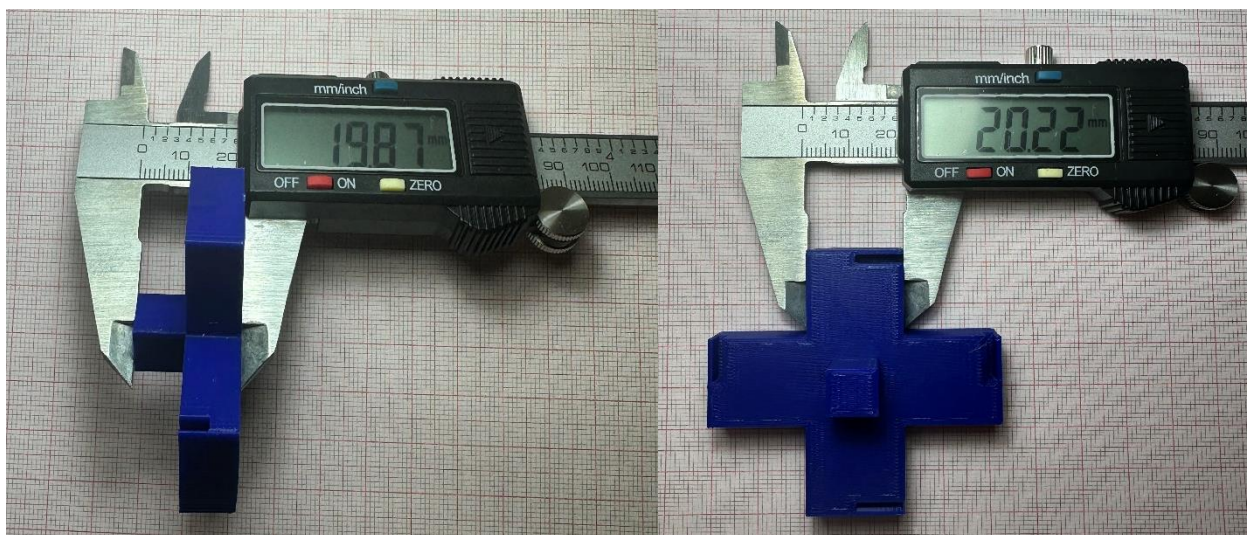
Ύψος κέντρου: 2εκ.

Παρακάτω φαίνονται στα σχήματα οι διαφορές κάθε εκτύπωσης.

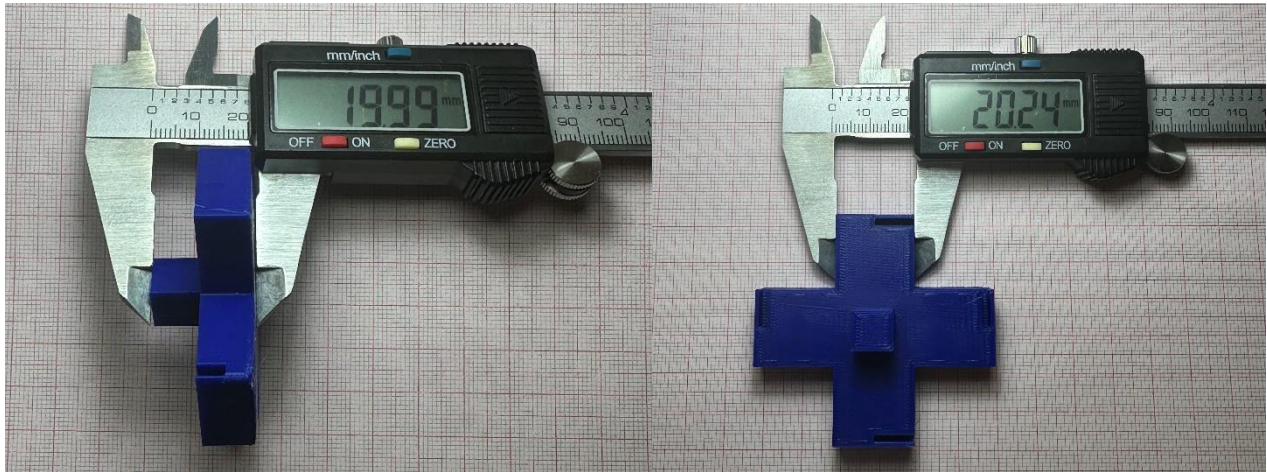




**Σχήμα 5.11 (Πηγή: φωτογραφία από τον συγγραφέα): 1<sup>η</sup> εκτύπωση με θερμοκρασία extruder 230°C και θερμοκρασία πλατφόρμας 90°C [29].**



**Σχήμα 5.12 (Πηγή: φωτογραφία από τον συγγραφέα): 2<sup>η</sup> εκτύπωση με θερμοκρασία extruder 230°C και θερμοκρασία πλατφόρμας 100°C [29].**



**Σχήμα 5.13 (Πηγή: φωτογραφία από τον συγγραφέα): 3<sup>η</sup> εκτύπωση με θερμοκρασία extruder 230°C και θερμοκρασία πλατφόρμας 110°C [29].**

Φαίνεται λοιπόν πως αλλάζοντας τη θερμοκρασία της πλατφόρμας εκτύπωσης αλλάζουν και οι διαστάσεις του κάθε αντικειμένου. Για το φαινόμενο αυτό δεν υπάρχει συγκεκριμένη λύση καθώς δεν υπάρχει κάποιο «μοτίβο» αλλαγής διαστάσεων έτσι ώστε να προβλέψουμε το αποτέλεσμα. Θα πρέπει λοιπόν ο χρήστης να κάνει ορισμένα πειράματα διακρίβωσης (ευθυγράμμισης) με σκοπό να καταλήξει στην επιθυμητή εκτύπωση.

## Κεφάλαιο 6

### 6.1 Συμπεράσματα και προτάσεις

Σαν τεχνολογία και μέθοδος παραγωγής η τρισδιάστατη εκτύπωση δέχεται ολοένα και περισσότερες βελτιώσεις καθιστώντας την εξαιρετικά σημαντική στη βιομηχανία και όχι μόνο.

Κατά την υλοποίηση της διπλωματικής αυτής εργασίας, η χρήση του Flashforge Creator 3 για τα πειράματα ήταν εξαιρετικά ενδιαφέροντα με τον εκτυπωτή να ανταποκρίνεται στο μεγαλύτερο μέρος των εκτυπώσεων. Πολλά μοντέλα ήταν πολύ απαιτητικά φέρνοντας τον εκτυπωτή στα όριά του με σκοπό να βγουν συμπεράσματα ως προς τον ίδιο τον Creator 3 αλλά και γενικά για τους κανόνες εκτύπωσης. Συμπεράσματα τα οποία αναλύονταν και λαμβάνονταν υπ' όψιν κατά τις επόμενες εκτυπώσεις.

Ο εκτυπωτής του εργαστηρίου μετά από την απαραίτητη συντήρηση που απαιτείται, μπορεί και πρέπει να εκμεταλευνεί στο μέλλον και με άλλες χρήσεις. Κάποιες από αυτές παραθέτονται παρακάτω:

- Χρήση PLA ως εκτυπώσιμο υλικό καθώς είναι ευκολότερο στην εκτύπωση και δίνει διαφορετικές δυνατότητες σε σχέση με το ABS.
- Χρησιμοποίηση TPU/TPE ως εκτυπώσιμο υλικό αξιοποιώντας την ευελιξία του σε διάφορες εφαρμογές.
- Ταυτόχρονη χρήση των δύο extruders για υλοποίηση πολύπλοκων σχημάτων με διαφορετικά υλικά και θερμοκρασίες εκατέρωθεν.



## Βιβλιογραφία

---

- [1] [https://en.wikipedia.org/wiki/3D\\_printing](https://en.wikipedia.org/wiki/3D_printing)
- [2] <https://www.twi-global.com/technical-knowledge/faqs/what-is-3d-printing/pros-and-cons>
- [3] <https://www.lecturesbureau.gr/1/3d-printing-2445/>
- [4] [https://www.researchgate.net/figure/Visualization-of-different-3D-printing-methods-based-on-DIL-17\\_fig1\\_332282851](https://www.researchgate.net/figure/Visualization-of-different-3D-printing-methods-based-on-DIL-17_fig1_332282851)
- [5] <https://www.3ds.com/make/guide/process/material-extrusion>
- [6] <https://www.3ds.com/make/guide/process/material-extrusion>.
  
- [7] <https://www.3dhub.gr/upload-3d-file/%CE%B4%CE%B9%CE%B1%CE%B8%CE%AD%CF%83%CE%B9%CE%BC%CE%B1-%CF%85%CE%BB%CE%B9%CE%BA%CE%AC-3d-%CE%B5%CE%BA%CF%84%CF%8D%CF%80%CF%89%CF%83%CE%B7%CF%82/>
  
- [8] <https://www.selfcad.com/blog/3d-printer-filament-types-and-functions>
  
- [9] [https://www.xometry.com/resources/3d-printing/abs-3d-printing-filament/#:~:text=ABS%20\(acrylonitrile%20butadiene%20styrene\)%20is,fused%20deposition%20modeling\)%203D%20printers.](https://www.xometry.com/resources/3d-printing/abs-3d-printing-filament/#:~:text=ABS%20(acrylonitrile%20butadiene%20styrene)%20is,fused%20deposition%20modeling)%203D%20printers.)
  
- [10] <https://eu.3dfuel.com/products/workday-abs-3d-filament-ocean-blue>
  
- [11] <https://elblogdelplastico.blogs.upv.es/2015/01/31/pla-vs-abs-plastic-the-pros-and-cons/>
  
- [12] <https://juggerbot3d.com/pla-filament-review/#:~:text=What%20is%20PLA%3F,capacity%20and%20high%20mechanical%20strength.>



- [13] <https://gizmodorks.com/3d-printing-flexible-tpu-filament/#:~:text=TPU%203D%20printing%20filament%20is,as%20well%20as%20very%20elastic.>
- [14] <https://the3dprinterbee.com/pla-vs-abs-vs-petg-vs-tpu-3d-printing-filament-guide/>
- [15] <https://markforged.com/resources/learn/3d-printing-basics/how-do-3d-printers-work/3d-printing-process>
- [16] Στιγμιότυπα οθόνης (screenshot) από τον ΗΥ του συγγραφέα.
- [17] <https://www.3djake.com/flashforge/creator-3-pro>
- [18] Επίσημο Εγχειρίδιο Χρήσης της FlashForge.
- [19] <https://support.makerbot.com/s/article/What-is-Homing>
- [20] <https://www.ankermake.com/blogs/printing-tips/what-is-auto-leveling-3d-printer>
- [21] <https://43dprint.org/3d-printer-bed-leveling/>
- [22] [https://filament2print.com/gb/blog/36\\_types-3d-extruders-and-hotend.html](https://filament2print.com/gb/blog/36_types-3d-extruders-and-hotend.html)
- [23] <https://recreus.com/gb/noticias/learn-with-recreus/direct-extrusion-vs-bowden-type>
- [24] <https://all3dp.com/2/3d-printer-bed-how-to-choose-the-right-build-plate/>
- [25] <https://top3dshop.com/blog/flashforge-creator-3-3d-printer-review>
- [26] <https://www.3d-fabrik.at/en/cleaning-tool-for-extruder.html>
- [27] <https://all3dp.com/2/3d-printer-nozzle-cleaning-the-easiest-way-to-do-it/>
- [28] <https://www.amazon.co.uk/Printer-Cleaning-Stainless-Needles-Accessory/dp/B0B9SNFM47>
- [29] Φωτογραφίες τραβηγμένες στο εργαστήριο ηλεκτρονικής.
- [30] [https://www.everythingrf.com/community/what-are-metamaterials-and-what-are-they-used-for\\_1588?gad\\_source=1&gclid=Cj0KCQjwrp-3BhDgARIsAEWJ6SzXKiLfJchq3W9pxu0r-EVDIUSqe\\_dcIgHkFPD0IoIH6NwDDGtVmx4aA17\\_EALw\\_wcB](https://www.everythingrf.com/community/what-are-metamaterials-and-what-are-they-used-for_1588?gad_source=1&gclid=Cj0KCQjwrp-3BhDgARIsAEWJ6SzXKiLfJchq3W9pxu0r-EVDIUSqe_dcIgHkFPD0IoIH6NwDDGtVmx4aA17_EALw_wcB)
- [31] <https://www.mdpi.com/1996-1944/12/4/635>

[32] <https://gr.hkbearingservice.com/news/what-is-a-bearing-and-how-does-it-work-71651523.html>

[33] <https://www.sciencedirect.com/topics/engineering/flexure#:~:text=Flexures%20have%20been%20utilized%20as,force%20is%20applied%20%5B224%5D>.

[34] [https://www.researchgate.net/figure/Four-types-of-flexure-hinges-a-elliptic-hinge-b-circular-hinge-c-parabolic\\_fig1\\_321291273](https://www.researchgate.net/figure/Four-types-of-flexure-hinges-a-elliptic-hinge-b-circular-hinge-c-parabolic_fig1_321291273)