



ΠΑΝΕΠΙΣΤΗΜΙΟ ΔΥΤΙΚΗΣ ΑΤΤΙΚΗΣ

ΣΧΟΛΗ ΜΗΧΑΝΙΚΩΝ

**ΤΜΗΜΑ ΜΗΧΑΝΙΚΩΝ ΠΛΗΡΟΦΟΡΙΚΗΣ
ΚΑΙ ΥΠΟΛΟΓΙΣΤΩΝ**

ΠΤΥΧΙΑΚΗ ΕΡΓΑΣΙΑ

**3D Εκτύπωση
Άρση γεωμετρικών περιορισμών
Η νέα βιομηχανική επανάσταση στη δημιουργία
εξαρτημάτων**

**Καλλιρρόη Π. Τυρλή
Ανδρέας Κ. Καράμπαλης**

Εισηγητής: Καμπούρης Χρήστος, Καθηγητής

**ΑΘΗΝΑ
ΙΟΥΝΙΟΣ 2018**

3D Εκτύπωση

Άρση γεωμετρικών περιορισμών - Η νέα βιομηχανική επανάσταση στη δημιουργία εξαρτημάτων

ΠΤΥΧΙΑΚΗ ΕΡΓΑΣΙΑ

3D Εκτύπωση

Άρση γεωμετρικών περιορισμών

Η νέα βιομηχανική επανάσταση στη δημιουργία εξαρτημάτων

Καλλιρρόη Π. Τυρλή

A.M. 42923

Ανδρέας Κ. Καραμπαλής

A.M. 39513

Εισηγητής: Καμπούρης Χρήστος, Καθηγητής

Εξεταστική Επιτροπή:

Ημερομηνία εξέτασης:

3D Εκτύπωση

Άρση γεωμετρικών περιορισμών - Η νέα βιομηχανική επανάσταση στη δημιουργία εξαρτημάτων

ΔΗΛΩΣΗ ΣΥΓΓΡΑΦΕΑ ΠΤΥΧΙΑΚΗΣ ΕΡΓΑΣΙΑΣ

Η κάτωθι υπογεγραμμένη Τυρλή Καλλιρρόη του Παναγιώτη, με αριθμό μητρώου 42923 φοιτήτρια του Τμήματος Μηχανικών Η/Υ Συστημάτων Τ.Ε. του Α.Ε.Ι. Πειραιά Τ.Τ./ Πανεπιστήμιο Δυτικής Αττικής πριν αναλάβω την εκπόνηση της Πτυχιακής Εργασίας μου, δηλώνω ότι ενημερώθηκα για τα παρακάτω:

«Η Πτυχιακή Εργασία (Π.Ε.) αποτελεί προϊόν πνευματικής ιδιοκτησίας τόσο του συγγραφέα, όσο και του Ιδρύματος και θα πρέπει να έχει μοναδικό χαρακτήρα και πρωτότυπο περιεχόμενο.

Απαγορεύεται αυστηρά οποιοδήποτε κομμάτι κειμένου της να εμφανίζεται αυτούσιο ή μεταφρασμένο από κάποια άλλη δημοσιευμένη πηγή. Κάθε τέτοια πράξη αποτελεί προϊόν λογοκλοπής και εγείρει θέμα Ηθικής Τάξης για τα πνευματικά δικαιώματα του άλλου συγγραφέα. Αποκλειστικός υπεύθυνος είναι ο συγγραφέας της Π.Ε., ο οποίος φέρει και την ευθύνη των συνεπειών, ποινικών και άλλων, αυτής της πράξης.

Πέραν των όποιων ποινικών ευθυνών του συγγραφέα σε περίπτωση που το Ίδρυμα του έχει απονεμίσει Πτυχίο, αυτό ανακαλείται με απόφαση της Συνέλευσης του Τμήματος. Η Συνέλευση του Τμήματος με νέα απόφαση της, μετά από αίτηση του ενδιαφερόμενου, του αναθέτει εκ νέου την εκπόνηση της Π.Ε. με άλλο θέμα και διαφορετικό επιβλέποντα καθηγητή. Η εκπόνηση της εν λόγω Π.Ε. πρέπει να ολοκληρωθεί εντός τουλάχιστον ενός ημερολογιακού δμήνου από την ημερομηνία ανάθεσης της. Κατά τα λοιπά εφαρμόζονται τα προβλεπόμενα στο άρθρο 18, παρ. 5 του ισχύοντος Εσωτερικού Κανονισμού.»

ΔΗΛΩΣΗ ΣΥΓΓΡΑΦΕΑ ΠΤΥΧΙΑΚΗΣ ΕΡΓΑΣΙΑΣ

Ο κάτωθι υπογεγραμμένος Καραμπάλης Ανδρέας του Κωνσταντίνου, με αριθμό μητρώου 39513 φοιτητής του Τμήματος Μηχανικών Η/Υ Συστημάτων Τ.Ε. του Α.Ε.Ι. Πειραιά Τ.Τ./ Πανεπιστήμιο Δυτικής Αττικής πριν αναλάβω την εκπόνηση της Πτυχιακής Εργασίας μου, δηλώνω ότι ενημερώθηκα για τα παρακάτω:

«Η Πτυχιακή Εργασία (Π.Ε.) αποτελεί προϊόν πνευματικής ιδιοκτησίας τόσο του συγγραφέα, όσο και του Ιδρύματος και θα πρέπει να έχει μοναδικό χαρακτήρα και πρωτότυπο περιεχόμενο.

Απαγορεύεται αυστηρά οποιοδήποτε κομμάτι κειμένου της να εμφανίζεται αυτούσιο ή μεταφρασμένο από κάποια άλλη δημοσιευμένη πηγή. Κάθε τέτοια πράξη αποτελεί προϊόν λογοκλοπής και εγείρει θέμα Ηθικής Τάξης για τα πνευματικά δικαιώματα του άλλου συγγραφέα. Αποκλειστικός υπεύθυνος είναι ο συγγραφέας της Π.Ε., ο οποίος φέρει και την ευθύνη των συνεπειών, ποινικών και άλλων, αυτής της πράξης.

Πέραν των όποιων ποινικών ευθυνών του συγγραφέα σε περίπτωση που το Ίδρυμα του έχει απονεμίσει Πτυχίο, αυτό ανακαλείται με απόφαση της Συνέλευσης του Τμήματος. Η Συνέλευση του Τμήματος με νέα απόφαση της, μετά από αίτηση του ενδιαφερόμενου, του αναθέτει εκ νέου την εκπόνηση της Π.Ε. με άλλο θέμα και διαφορετικό επιβλέποντα καθηγητή. Η εκπόνηση της εν λόγω Π.Ε. πρέπει να ολοκληρωθεί εντός τουλάχιστον ενός ημερολογιακού δμήνου από την ημερομηνία ανάθεσης της. Κατά τα λοιπά εφαρμόζονται τα προβλεπόμενα στο άρθρο 18, παρ. 5 του ισχύοντος Εσωτερικού Κανονισμού.»

3D Εκτύπωση

Άρση γεωμετρικών περιορισμών - Η νέα βιομηχανική επανάσταση στη δημιουργία εξαρτημάτων

ΕΥΧΑΡΙΣΤΙΕΣ

Η παρούσα πτυχιακή εργασία ολοκληρώθηκε μετά από επίπονες προσπάθειες, σε ένα ενδιαφέρον γνωστικό αντικείμενο το οποίο ήταν οι τρισδιάστατες εκτυπώσεις με χρήση διαφορετικών υλικών για πειραματισμούς και διασκέδαση. Την προσπάθεια μας αυτή την υποστήριξε ο επιβλέπων καθηγητής μας ο κύριος Χρήστος Καμπούρης, τον οποίο θα θέλαμε και να ευχαριστήσουμε.

Ακόμα θα θέλαμε να ευχαριστήσουμε τις οικογένειες μας για την στήριξη τους κατά την διάρκεια των σπουδών μας. Και τέλος τους φίλους μας για την υποστήριξη τους.

3D Εκτύπωση

Άρση γεωμετρικών περιορισμών - Η νέα βιομηχανική επανάσταση στη δημιουργία εξαρτημάτων

ΠΕΡΙΛΗΨΗ

Η πτυχιακή αυτή έχει σαν στόχο την συναρμολόγηση ενός 3D εκτυπωτή καρτεσιανής γεωμετρίας προκειμένου να γίνουν δοκιμές πάνω στην επεξεργασία των βασικών υλικών. Έγινε παρουσίαση προγράμματος διαχείρισης αρχείων για 3D εκτύπωση (Cura 2.3.1) που χρησιμοποιείται για την επεξεργασία των αντικειμένων, αλλά και ανάλυση των δυνατοτήτων του εκτυπωτή πριν και κατά την διάρκεια της εκτύπωσης. Στην συνέχεια περιγράφονται οι πειραματισμοί που έγιναν από εμάς καθώς και τα συμπεράσματα που προέκυψαν. Ακολούθως δημιουργήθηκε ένας οδηγός για τον έλεγχο και την σωστή συντήρηση του 3D εκτυπωτή. Τέλος έγινε αναφορά στα οφέλη και τις επιπτώσεις ανά τομείς χρήσης ενός 3D εκτυπωτή, καθώς και αναφορά σε νομικά θέματα πνευματικής ιδιοκτησίας των παραγόμενων αντικειμένων.

ABSTRACT

This thesis aims at assembling a 3D printer in order to test the processing of basic materials. The Cura program, used for editing objects, is presented, in addition to an analysis of the printer's capabilities before and during printing. We then describe the experiments that are conducted by us as well as the conclusions that have been drawn. Subsequently, a guide for controlling and maintaining the 3D printer was created. Finally, we report the benefits and the impact per sector of using a 3D printer, definition and intellectual property of the produced objects.

ΕΠΙΣΤΗΜΟΝΙΚΗ ΠΕΡΙΟΧΗ: Τρισδιάστατη Εκτύπωση

ΛΕΞΕΙΣ ΚΛΕΙΔΙΑ: 3D εκτυπωτής, σχεδίαση και παραγωγή αντικειμένων, υλικά εκτύπωσης

ΠΕΡΙΕΧΟΜΕΝΑ

Πτυχιακή εργασία	ii
Ευχαριστίες	vii
Περίληψη	ix
Περιεχόμενα	x
Κατάλογος Εικόνων	xiv
Κατάλογος Πινάκων	xvi
Κατάλογος Διαγραμμάτων	xvi
Συνομογραφίες.....	xvii
Κεφάλαιο 1: ΕΙΣΑΓΩΓΗ ΣΤΗΝ 3D ΕΚΤΥΠΩΣΗ	19
1.1 Εισαγωγή	19
1.2 Άρση γεωμετρικών περιορισμών, η νέα βιομηχανική επανάσταση ..	19
1.3 Ιστορική αναδρομή της τρισδιάστατης εκτύπωσης	20
1.4 Λογισμικά σχεδιασμού.....	21
1.5 Extrusion	22
1.6 Light polymerized	25
1.7 Powder Bed.....	26
1.8 Laminated.....	28
Κεφάλαιο 2: ΚΑΤΑΣΚΕΥΗ 3D ΕΚΤΥΠΩΤΗ	29
2.1 Εισαγωγή	29
2.2 Εξαρτήματα 3D εκτυπωτή	29
2.3 Συναρμολόγηση πλαισίων.....	32
2.4 Συναρμολόγηση Ανεμιστήρα Ψύξης.....	35
2.5 Συναρμολόγηση Τροφοδοτικού	35
2.6 Τοποθέτηση μητρικής πλακέτας.....	38
2.7 Τοποθέτηση θερμαινόμενου επιπέδου	40
2.8 Συναρμολόγηση X και Z άξονα.....	42

2.9	Τοποθέτηση οθόνης	45
2.10	Ολοκλήρωση κατασκευής 3D εκτυπωτή	46
2.11	Σύνδεση 3D εκτυπωτή με ηλεκτρονικό υπολογιστή	48
Κεφάλαιο 3: ΠΕΡΙΓΡΑΦΗ ΠΡΟΓΡΑΜΜΑΤΟΣ CURA		51
3.1	Εισαγωγή	51
3.2	Βασικό μενού Cura	51
3.3	Ορισμός βασικών παραμέτρων	53
3.4	Print Setup.....	54
3.4.1	Recommended (Προτεινόμενες ρυθμίσεις)	54
3.4.2	Custom (Προσαρμογή ρυθμίσεων)	55
3.4.2.1	Ποιότητα αντικειμένου.....	56
3.4.2.2	Κέλυφος αντικειμένου	58
3.4.2.3	Infill	61
3.4.2.4	Ρυθμίσεις υλικού.....	63
3.4.2.5	Ρυθμίσεις ταχύτητας.....	65
3.4.2.6	Travel	71
3.4.2.7	Ψύξη.....	72
3.4.2.8	Support.....	74
3.4.2.9	Build Plate Adhesion	78
3.4.2.10	Mesh Fixes	83
3.4.2.11	Ειδικές λειτουργίες.....	84
3.4.2.12	Πειραματισμοί.....	85
Κεφάλαιο 4: ΠΑΡΟΥΣΙΑΣΗ 3D ΕΚΤΥΠΩΤΗ		87
4.1	Εισαγωγή	87
4.2	Αρχική οθόνη εκτυπωτή	87
4.3	Μενού εκτυπωτή.....	88
4.3.1	Επιλογές εσωτερικών ρυθμίσεων εκτυπωτικής μονάδας.....	88

4.3.2	Επιλογές και ρυθμίσεις στην διάρκεια της εκτύπωσης	92
Κεφάλαιο 5: ΥΛΙΚΑ ΚΑΙ ΠΕΙΡΑΜΑΤΙΣΜΟΙ ΧΡΗΣΗΣ		97
5.1	Εισαγωγή	97
5.2	Βασικά υλικά.....	97
5.3	Ιδιότητες και Χαρακτηριστικά υλικών	101
5.4	Πειραματισμοί και δοκιμές με διαφορετικά υλικά	102
Κεφάλαιο 6: ΠΡΟΒΛΗΜΑΤΑ		119
6.1	Εισαγωγή	119
6.2	Προβλήματα κατά την συναρμολόγηση του 3D εκτυπωτή.....	119
6.2.1	Ασάφειες στο εγχειρίδιο κατασκευής.....	119
6.2.2	Προβλήματα εξοπλισμού	120
6.2.3	Προβλήματα δικών μας λαθών	122
6.3	Προβλήματα κατά την λειτουργία του 3D εκτυπωτή	122
6.4	Προβλήματα κατά τον σχεδιασμό αντικειμένων.....	125
6.5	Προβλήματα στην συντήρηση του 3D εκτυπωτή	128
6.6	Προβλήματα που οφείλονται σε ανειδίκευτους χρήστες	129
Κεφάλαιο 7: ΕΛΕΓΧΟΣ - ΣΥΝΤΗΡΗΣΗ 3D ΕΚΤΥΠΩΤΗ		133
7.1	Εισαγωγή	133
7.2	Έλεγχοι που πραγματοποιούνται πριν την εκτύπωση.....	133
7.2.1	Έλεγχος καλωδίων	133
7.2.2	Έλεγχος αισθητήρων	133
7.2.3	Έλεγχος κίνησης αξόνων	134
7.2.4	Έλεγχος ευθυγραμμίσεων	134
7.3	Στάδια συντήρησης 3D εκτυπωτή	135
7.3.1	Καθαρισμός μεταλλικών και πλαστικών μερών.....	135
7.3.2	Συντήρηση ιμάντων	135
7.3.3	Έλεγχος βιδών.....	136

7.3.4	Λίπανση αξόνων	136
7.3.5	Επίπεδο σχεδίασης.....	136
7.3.6	Συντήρηση κεφαλής.....	137
7.3.7	Νήματα για εκτύπωση.....	140
Κεφάλαιο 8: ΟΦΕΛΗ ΚΑΙ ΕΠΙΠΤΩΣΕΙΣ ΧΡΗΣΗΣ		141
8.1	Εισαγωγή	141
8.2	Τα οφέλη της χρήσης ενός 3D εκτυπωτή	141
8.2.1	Ιατρική.....	141
8.2.2	Βιομηχανία.....	144
8.2.3	Περιβάλλον	145
8.2.4	Αρχιτεκτονική	146
8.2.5	Μόδα.....	147
8.2.6	Διάστημα.....	149
8.2.7	Όπλα.....	151
8.2.8	Κλάδος Εστίασης.....	152
8.2.9	Οικιακή χρήση.....	153
8.3	Επιπτώσεις χρήσης 3D εκτυπωτή.....	153
Κεφάλαιο 9: ΠΝΕΥΜΑΤΙΚΗ ΙΔΙΟΚΤΗΣΙΑ.....		155
9.1	Εισαγωγή	155
9.2	Πνευματικά δικαιώματα και νομικά θέματα στην 3D εκτύπωση	155
ΒΙΒΛΙΟΓΡΑΦΙΚΕΣ ΑΝΑΦΟΡΕΣ.....		158

ΚΑΤΑΛΟΓΟΣ ΕΙΚΟΝΩΝ

Εικόνα 1.1 - Χαρακτηριστικό παράδειγμα δυνατοτήτων 3D εκτυπωτή	19
Εικόνα 1.2 - Καρτεσιανός εκτυπωτής με διπλή κεφαλή	23
Εικόνα 1.3 - Εκτυπωτής τεχνολογίας LOM.....	28
Εικόνα 2.1 - Εξαρτήματα συναρμολόγησης 1	31
Εικόνα 2.2 - Εξαρτήματα συναρμολόγησης 2	31
Εικόνα 2.3 - Πλαίσια εκτυπωτή	32
Εικόνα 2.4 - Συναρμολόγηση πλαισίων.....	33
Εικόνα 2.5 - Μπροστινό πλαίσιο	33
Εικόνα 2.6 - Τοποθέτηση πλαϊνών	33
Εικόνα 2.7 - Πίσω όψη πλαϊνών	34
Εικόνα 2.8 - Τοποθέτηση γωνιακού πλαισίου	34
Εικόνα 2.9 - Τοποθέτηση ανεμιστήρα	35
Εικόνα 2.10 - Καλωδίωση τροφοδοτικού	37
Εικόνα 2.11 - Τροφοδοτικό 3D Printer.....	37
Εικόνα 2.12 - Μητρική πλακέτα.....	38
Εικόνα 2.13 - Θύρες μητρικής πλακέτας	39
Εικόνα 2.14 - Θερμαινόμενο Επίπεδο	41
Εικόνα 2.15 - Κομμάτια κεφαλής	42
Εικόνα 2.16 - Τοποθέτηση πλαστικών σύζευξης.....	43
Εικόνα 2.17 - Σύνδεση αξόνων με τον βηματικό κινητήρα	43
Εικόνα 2.18 - Απόσταση μεταξύ των αξόνων του Z άξονα	44
Εικόνα 2.19 - Διαδικασία ευθυγράμμισης	44
Εικόνα 2.20 - Οι δύο όψεις της οθόνης.....	45
Εικόνα 2.21 - Τοποθέτηση οθόνης	45
Εικόνα 2.22 - Painters Tape.....	47
Εικόνα 2.23 - Karton Tape.....	47
Εικόνα 2.24 - Ολοκλήρωση κατασκευής πριν την τακτοποίηση των καλωδίων	48
Εικόνα 3.1 - Αρχική εικόνα προγράμματος Cura	51
Εικόνα 3.2 - Εισαγωγή αντικειμένου μέσα στο περιβάλλον του προγράμματος	52
Εικόνα 3.3 - Τοποθέτηση αντικειμένων με βάση το μενού επιλογής	53
Εικόνα 3.4 - Αποτελέσματα χρήσης View Mode	53
Εικόνα 3.5 - Ορισμός βασικών παραμέτρων	53
Εικόνα 3.6 - Προτεινόμενες ρυθμίσεις	54
Εικόνα 3.7 - Επιλογές για την επεξεργασία του αντικειμένου πριν την εκτύπωση	55
Εικόνα 3.8 - Προκαθορισμένες τιμές.....	55
Εικόνα 3.9 - Αρχικές τιμές για την ποιότητα του αντικειμένου.....	57
Εικόνα 3.10 - Αρχικές τιμές για το κέλυφος του αντικειμένου	60
Εικόνα 3.11 - Αρχικές τιμές για την πυκνότητα του αντικειμένου	62
Εικόνα 3.12 - Αρχικοποίηση τιμών για εκτύπωση με PLA υλικό	64
Εικόνα 3.13 - Αρχικές τιμές που ορίζουν την ταχύτητα εκτύπωσης.....	70
Εικόνα 3.14 - Προκαθορισμένες τιμές του travel	71
Εικόνα 3.15 - Αρχικές τιμές ψύξης.....	73
Εικόνα 3.16 - Προκαθορισμένες τιμές για την υποστήριξη του αντικειμένου	77
Εικόνα 3.17 - Προκαθορισμένες τιμές για την χρήση του Skirt	82
Εικόνα 3.18 - Προκαθορισμένες τιμές για την χρήση του Raft	82
Εικόνα 3.19 - Προκαθορισμένες τιμές για την χρήση του Brim.....	82
Εικόνα 3.20 - Επιλογές για διόρθωση πλέγματος	83
Εικόνα 3.21 - Ρυθμίσεις ειδικών λειτουργιών	84
Εικόνα 3.22 - Αρχικές τιμές για τους πειραματισμούς	86
Εικόνα 4.1 - Αρχική οθόνη εκτυπωτή.....	88
Εικόνα 5.1- Διαδικασία αναπαραγωγής αντικειμένων	102
Εικόνα 5.2 - Στάδια δημιουργίας ενός αντικείμενου	103
Εικόνα 5.3 - Σύγκριση αντικειμένων μετά από την αλλαγή θερμοκρασίας.....	104
Εικόνα 5.4 - Αποτελέσματα από διαφορετική τοποθέτηση του αντικείμενου	105
Εικόνα 5.5 - Δείγματα αντικειμένων με χρήση υλικού PLA	105
Εικόνα 5.6 - Σύγκριση αντικειμένων με χρήση διαφορετικών υλικών	107
Εικόνα 5.7 - Δείγματα αντικειμένων από το υλικό Wood	107

Εικόνα 5.8 - Σφαίρες τυπωμένες από (PLA) Metal	108
Εικόνα 5.9 - Κουτί από PLA υλικό.....	109
Εικόνα 5.10 - Κουτί από ABS υλικό	111
Εικόνα 5.11 - Κουτί από Metal Copper υλικό	113
Εικόνα 5.12 - Κουτί από Wood υλικό	113
Εικόνα 5.13 - Κουτί από Carbon υλικό	114
Εικόνα 5.14 - Κουτί από PETG Transparent	115
Εικόνα 5.15 - Κουτί από Flexible TPC υλικό.....	116
Εικόνα 5.16 - Παράθεση αποτελεσμάτων με χρήση διαφορετικών υλικών	118
Εικόνα 6.1 - Κατεστραμμένο σωληνάκι σιλικόνης από έκχυση μεγάλης ποσότητας υλικού.....	124
Εικόνα 6.2 - Αναπαραγωγή σκουπιδιών κατά την εκτύπωση.....	127
Εικόνα 6.3 - Καμένο φινιρίσματα	131
Εικόνα 7.1 - Η κεφαλή με υπολείμματα υλικού μετά από πολλές ώρες εκτύπωσης	138
Εικόνα 7.2 - Πριν καθαριστεί η κεφαλή και μετά την συντήρηση της.....	138
Εικόνα 7.3 - Η μύτη της κεφαλής πριν την συντήρηση	138
Εικόνα 7.4 - Καινούργιο σωληνάκι σιλικόνης.....	139
Εικόνα 7.5 - Μονωτικό υλικό για την κεφαλή.....	139
Εικόνα 7.6 - Συναρμολόγηση κεφαλής.....	139
Εικόνα 7.7 - Επανατοποθέτηση συντηρημένης κεφαλής.....	139
Εικόνα 8.1 - Πρόσθετα μέλη κτυπημένα από 3D εκτυπωτή.....	143
Εικόνα 8.2 - Ρούχα από 3D εκτυπωτή	147
Εικόνα 8.3 - Παπούτσια από 3D εκτυπωτή	147
Εικόνα 8.4 - Αθλητικά παπούτσια με σόλες από 3D εκτυπωτή.....	148
Εικόνα 8.5 - Εκτύπωση στο διάστημα	150
Εικόνα 8.6 - Όπλα εκτυπωμένα από ABS και Metal	151
Εικόνα 8.7 - Εκτύπωση με πρώτη ύλη την σοκολάτα.....	152

ΚΑΤΑΛΟΓΟΣ ΠΙΝΑΚΩΝ

Πίνακας 1 - Κρίσιμοι παράγοντες για την ποιότητα αντικειμένου	56
Πίνακας 2 - Κρίσιμοι παράγοντες για το κέλυφος του αντικειμένου	58
Πίνακας 3 - Κρίσιμοι παράγοντες Infill.....	61
Πίνακας 4 - Κρίσιμοι παράγοντες για την συμπεριφορά του υλικού.....	63
Πίνακας 5 - Κρίσιμοι παράγοντες για την ταχύτητα εκτύπωσης.....	65
Πίνακας 6 - Κρίσιμοι παράγοντες Travel	71
Πίνακας 7 - Κρίσιμοι παράγοντες για την ψύξη	72
Πίνακας 8 - Κρίσιμοι παράγοντες για την υποστήριξη του αντικειμένου	74
Πίνακας 9 - Κρίσιμοι παράγοντες για την προσκόλληση στο επίπεδο εκτύπωσης	78
Πίνακας 10 - Ρυθμίσεις διόρθωσης πλέγματος	83
Πίνακας 11 - Ειδικές Λειτουργίες εκτυπωτή	84
Πίνακας 12 - Πειραματικές ρυθμίσεις	85
Πίνακας 13 - Οδηγός υλικών	101
Πίνακας 14 - Ρυθμίσεις PLA	109
Πίνακας 15 - Δοκιμές για ABS υλικό	109
Πίνακας 16 - Δοκιμές για Metal Copper.....	112
Πίνακας 17 - Ρυθμίσεις για Wood υλικό	113
Πίνακας 18 - Ρυθμίσεις για Carbon υλικό	114
Πίνακας 19 - Ρυθμίσεις για PETG Transparent υλικό	115
Πίνακας 20 - Ρυθμίσεις για Flexible TPC υλικό.....	116
Πίνακας 21 - Οι ρυθμίσεις που προτείνουμε	117

ΚΑΤΑΛΟΓΟΣ ΔΙΑΓΡΑΜΜΑΤΩΝ

Διάγραμμα 1 - Τα βήματα συναρμολόγησης του 3D εκτυπωτή.....	50
Διάγραμμα 2 - Επιλογές εσωτερικών ρυθμίσεων εκτυπωτικής μονάδας.....	91
Διάγραμμα 3 - Επιλογές εσωτερικών ρυθμίσεων κατά την διάρκεια της εκτύπωσης ενός αντικειμένου.....	94
Διάγραμμα 4 - Διαδικασία εκτύπωσης αντικειμένου.....	95

ΣΥΝΤΟΜΟΓΡΑΦΙΕΣ

3D	Τρισδιάστατη
PLA	Polylactic Acid
ABS	Acrylonitrile Butadiene Styrene
PETG	Polyethylene Terephthalate
TPE	Thermoplastic Elastomer
TPU	Thermoplastic Polyurethane
HIPS	High-impact Polystyrene
PVA	Polyvinyl Alcohol
PET	Polyethylene Terephthalate
PP	Polypropylene
SD Card	Τύπος κάρτας μνήμης
CAD	Computer Aided Design
FDM	Fused Deposition Modeling
Retract	Απενεργοποίηση της εξαναγκασμένης κίνησης
Travel	Κίνηση κεφαλής χωρίς έκχυση υλικού
Infill	Εσωτερικό ενισχυτικό γέμισμα
Jerk	Τρέμουλο κεφαλής
Z-Hop	Ανέβασμα του άξονα Z
Skirt	Τα όρια του αντικείμενου
Brim	Προστασία από την αποκόλληση με παράλληλες μετατοπίσεις του περιγράμματος του αντικείμενου
Raft	Θερμική απομόνωση από το επίπεδο σχεδίασης με δημιουργία πολλαπλών επιπέδων

3D Εκτύπωση

Άρση γεωμετρικών περιορισμών - Η νέα βιομηχανική επανάσταση στη δημιουργία εξαρτημάτων

Κεφάλαιο 1: ΕΙΣΑΓΩΓΗ ΣΤΗΝ 3D ΕΚΤΥΠΩΣΗ

1.1 Εισαγωγή

Σε αυτό το κεφάλαιο παρουσιάζεται η ιστορική αναδρομή της τρισδιάστατης εκτύπωσης από το 1981 μέχρι σήμερα. Επίσης γίνεται περιγραφή των μεθόδων εκτύπωσης που υπάρχουν για την παραγωγή 3D αντικειμένων. Για την περιγραφή των μεθόδων θα χωρίσουμε τους εκτυπωτές με βάση τον τρόπο επεξεργασίας των υλικών και στην συνέχεια θα αναλυθούν οι τεχνολογίες που χρησιμοποιούνται.

1.2 Άρση γεωμετρικών περιορισμών, η νέα βιομηχανική επανάσταση

Μέχρι τώρα οι μέθοδοι κατασκευής εξαρτημάτων που υπάρχουν στην βιομηχανία είναι αφαιρετικές (subtractive manufacturing) ή μέθοδοι έκχυσης υλικού (καλούπι). Οι 3d εκτυπωτές προσφέρουν την δυνατότητα στους χρήστες να δημιουργούν αντικείμενα τα οποία μπορούν να επεξεργαστούν και στο εσωτερικό τους. Η δυνατότητα για εσωτερική επεξεργασία του αντικειμένου προσφέρει πολύπλοκες γεωμετρίες που δεν μπορούν να κατασκευαστούν με άλλη μέθοδο (Εικόνα 1.1).



Εικόνα 1.1 - Χαρακτηριστικό παράδειγμα δυνατοτήτων 3D εκτυπωτή

Η βιομηχανική επανάσταση επιτυγχάνεται εξαιτίας της εύκολης εξομοίωσης των αντικείμενων πριν φτάσουν στο στάδιο παραγωγής και στην πολυμορφία που μπορεί να δημιουργηθεί με την απευθείας μελέτη ενός φυσικού δείγματος και όχι απλών αναλύσεων. Αυτό έχει ως αποτέλεσμα να μειώνεται το κόστος παραγωγής για την δημιουργία αντικειμένων και ταυτόχρονα να δίνεται η δυνατότητα για πλήρη έλεγχο σε όλα τα στάδια της παραγωγικής διαδικασίας.

1.3 Ιστορική αναδρομή της τρισδιάστατης εκτύπωσης

Η τρισδιάστατη εκτύπωση (3D Printing) είναι μέθοδος εκτύπωσης μέσω της οποίας είναι εφικτό να μετατραπούν τρισδιάστατα μοντέλα σε πραγματικά αντικείμενα. Η πρώτη αναφορά για προσπάθεια εκτύπωσης 3D αποδίδεται στον Dr Kodama ο οποίος ανέπτυξε ένα πρότυπο στερεολιθογραφίας. Η συγκεκριμένη διαδικασία περιλάμβανε μια φωτοευαίσθητη ρητίνη που πολυμεριζόταν από ένα υπεριώδες φως. Ενδιαφέρον για αυτή την τεχνολογία έδειξε ο Charles Hull ο οποίος κατάφερε να την αναπτύξει και κατέθεσε το πρώτο δίπλωμα ευρεσιτεχνίας για την στερεολιθογραφία (SLA) το 1986. Παράλληλα ίδρυσε την εταιρία 3D Systems και παρουσίασε τον πρώτο εκτυπωτή για εμπορική χρήση με το όνομα SLA-1.

Το 1988 δημιουργήθηκε μια νέα τεχνική 3D εκτύπωσης στο Πανεπιστήμιο Austin του Τέξας. Ο Dr. Carl Deckard και ο Dr. Joe Beaman ανέπτυξαν την τεχνολογία Selective Laser Sintering (SLS) στην οποία οι κόκκοι σκόνης συντήκονται τοπικά με την χρήση λέιζερ.

Η πιο διαδεδομένη τεχνολογία στην οποία βασίζονται οι σημερινοί οικιακοί εκτυπωτές αναπτύχθηκε από τον S.Scott Crump στα τέλη του 1980. Η τεχνολογία Fused Deposition Modeling έτυχε εμπορικής εκμετάλλευσης από την εταιρία Stratasys Inc το 1990.

Το 1999 έχουμε την πρώτη σημαντική εφαρμογή της 3D εκτύπωσης στον τομέα της ιατρικής ανοίγοντας τον δρόμο για πληθώρα νέων εφαρμογών. Το πρώτο τρισδιάστατα εκτυπωμένο όργανο εμφυτεύεται επιτυχώς σε ανθρώπινο οργανισμό. Το όργανο δημιουργήθηκε με την εμφύτευση τρισδιάστατα εκτυπωμένου συστήματος κυττάρων της ουροδόχου κύστης.

Η δεκαετία του 2000 όμως είναι αυτή που θα φέρει ραγδαίες εξελίξεις στην 3D εκτύπωση. Μέχρι τότε οι εκτυπωτές αφορούσαν κυρίως βιομηχανικές εφαρμογές κάτι το οποίο έρχεται να αλλάξει η δημιουργία του RepRap Project το 2004. Αποτελεί ένα open-source πρόγραμμα με εμπνευστή τον Adrien Bowyer, μέσω του οποίου προσφέρονται δωρεάν οδηγίες κατασκευής ενός 3D εκτυπωτή και το απαραίτητο λογισμικό για επικοινωνία με τον υπολογιστή, καθώς και τρισδιάστατα μοντέλα αντικειμένων προς εκτύπωση. Η κατασκευή του πρώτου RepRap 3D εκτυπωτή είναι γεγονός το 2007 με το όνομα Darwin. Ο εκτυπωτής αυτός είχε την δυνατότητα να τυπώσει το 50% των τμημάτων του διευκολύνοντας την κατασκευή

ενός ίδιου εκτυπωτή, κάνοντας την τεχνολογία της 3D εκτύπωσης εύκολα προσβάσιμη από ένα χρήστη.

Με την λήξη του διπλώματος ευρεσιτεχνίας πάνω στην FDM τεχνολογία το 2009, η εταιρία Makerbot κάνει ακόμα πιο εύκολη την απόκτηση ενός 3D εκτυπωτή. Χρησιμοποιώντας ως βάση την επιτυχία του RepRap Project δημιουργεί DIY εξαρτήματα ώστε ο χρήστης να δημιουργήσει μόνος του τον δικό του εκτυπωτή. Ακόμα η εταιρία δημιουργεί μια διαδικτυακή βιβλιοθήκη αρχείων με την ονομασία Thingiverse, επιτρέποντας στους χρήστες να υποβάλλουν και να λαμβάνουν αρχεία έτοιμα για εκτύπωση. Το Thingiverse αποτελεί την μεγαλύτερη διαδικτυακή κοινότητα αυτή τη στιγμή και διαθέτει ένα μεγάλο αποθετήριο αρχείων.

Η δεκαετία του 2010 συνεχίζει να είναι πολύ σημαντική αφού η τρισδιάστατη εκτύπωση έχει καταφέρει να επηρεάσει σε μεγάλο βαθμό την αγορά. Οι καινοτομίες δεν σταματούν και το 2010 δημιουργείται το πρώτο πρωτότυπο τρισδιάστατο αυτοκίνητο με το όνομα Urbee. Το 2011 το Πανεπιστήμιο Cornell κατασκεύασε τον πρώτο 3D εκτυπωτή τροφίμων, οδηγώντας την NASA να συνεχίσει την έρευνα για να μπορέσουν οι αστροναύτες να εκτυπώσουν τρισδιάστατα τρόφιμα στο διάστημα. Η NASA συνέχισε με την αποστολή 3D εκτυπωτή στο διάστημα εκτυπώνοντας το πρώτο αντικείμενο μακριά από την γη.

Οι εκτυπωτές 3D συνεχίζουν να εξελίσσονται και να γίνονται πιο αποδοτικοί, ταχύτεροι, να δίνουν πρόσβαση σε νέα υλικά και συνεχίζουν τις προόδους σε όλους τους τομείς.

1.4 Λογισμικά σχεδιασμού

Λογισμικά σχεδιασμού είναι τα προγράμματα που χρησιμοποιούνται προκειμένου ένας χρήστης να σχεδιάσει αντικείμενα. Τα σχέδια που δημιουργούνται είναι τρισδιάστατης μορφής με στόχο πλέον και την παραγωγή τους από έναν τρισδιάστατο εκτυπωτή. Τα πιο γνωστά προγράμματα για την δημιουργία τρισδιάστατων μοντέλων είναι τα εξής:

- AutoCAD
- OpenSCAD
- Rhino3d
- CATIA

- Solidworks
- 3ds MAX

Για την δημιουργία των τρισδιάστατων μοντέλων εμείς χρησιμοποιήσαμε το σχεδιαστικό πρόγραμμα AutoCAD.

1.5 Extrusion

Σε αυτή την περίπτωση τοποθετείται το νήμα από πλαστικό υλικό το οποίο τροφοδοτείται με την βοήθεια βηματικών κινητήρων σε μια θερμαινόμενη κεφαλή. Το υλικό εξωθείται σχηματίζοντας ένα ένα τα επίπεδα του αντικείμενου. Σε αυτή την περίπτωση το επίπεδο σχεδίασης, αν απαιτείται από το υλικό που εκτυπώνεται, θερμαίνεται. Ανά εκτυπωτή διαφέρει το είδος της κίνησης τόσο της κεφαλής όσο και του επιπέδου σχεδίασης.

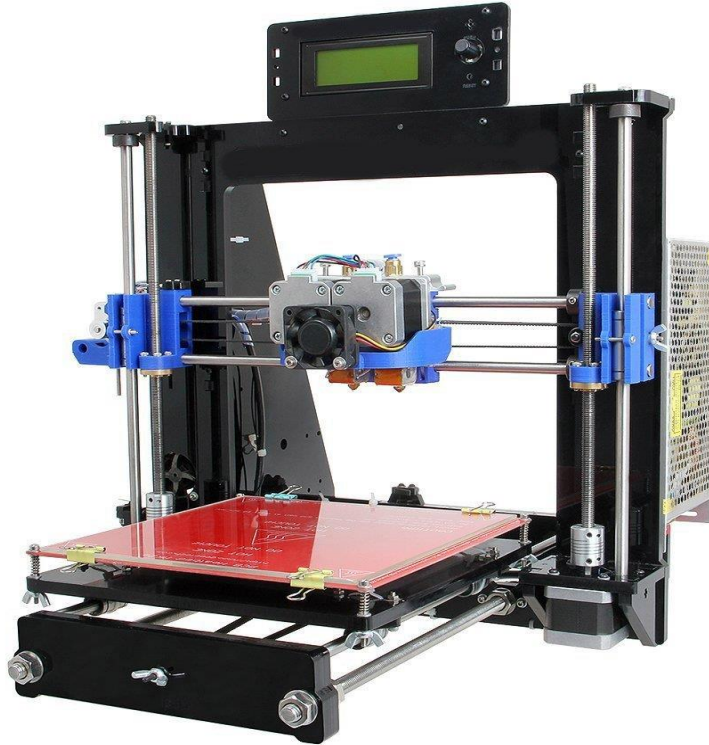
Fused Deposition Modelling (FDM) / Filament Fabrication (FFF): Στη μέθοδο αυτή το υλικό σε μορφή νήματος εξωθείται από την κεφαλή του εκτυπωτή με τέτοιο τρόπο ώστε η ροπή που δημιουργείται να εκχύει συγκεκριμένη ποσότητα υλικού ορισμένη από τον χρήστη. Το νήμα εισέρχεται σε ένα μπλοκ υψηλής θερμοκρασίας που ονομάζεται κεφαλή του εκτυπωτή. Στην συνέχεια το υλικό σε ρευστή μορφή εναποτίθεται σε στρώσεις με σκοπό την δημιουργία των επιπέδων του αντικείμενου που εκτυπώνεται. Με την μέθοδο αυτή υπάρχει δυνατότητα να έχουμε στον εκτυπωτή διπλή ή και τριπλή κεφαλή σε περίπτωση που ο χρήστης θέλει να δημιουργήσει είτε βοηθητική υποστήριξη είτε γιατί επιθυμεί στην εκτύπωση του να έχει διαφορετικά υλικά ταυτόχρονα.

Η μέθοδος αυτή εμφανίζεται σε τέσσερις τύπους εκτυπωτών οι οποίοι διαχωρίζονται με βάση την κίνηση των αξόνων κατά την εκτύπωση των αντικειμένων.

➤ **Καρτεσιανοί (Cartesian):** Οι καρτεσιανοί 3D εκτυπωτές ονομάστηκαν έτσι από το σύστημα συντεταγμένων διαστάσεων που χρησιμοποιούν για την κίνηση τους, δηλαδή τους άξονες X, Y και Z.

Οι περισσότεροι χρησιμοποιούν ένα επίπεδο εκτύπωσης που κινείται μόνο στον Z άξονα. Η κεφαλή έκχυσης κινείται στον X και Y άξονα προς τέσσερις διευθύνσεις πάνω στον σκελετό. Η συγκεκριμένη διάταξη είναι η πιο διαδεδομένη ανάμεσα στους 3D εκτυπωτές.

Υπάρχουν όμως και εκτυπωτές με διαφορετικό τρόπο κίνησης. Ένας από αυτούς χρησιμοποιεί το επίπεδο εκτύπωσης για την κίνηση και όχι την κεφαλή. Είναι ένα μηχανικά απλούστερο σχέδιο αλλά θυσιάζει μεγάλο μέρος από την ταχύτητα εκτύπωσης.



Εικόνα 1.2 - Καρτεσιανός εκτυπωτής με διπλή κεφαλή

➤ **Δέλτα (Delta):** Οι δέλτα εκτυπωτές δουλεύουν επίσης στο καρτεσιανό επίπεδο αλλά έχουν αρκετά χαρακτηριστικά που τους διαφοροποιούν. Το επίπεδο εκτύπωσης είναι κυκλικό και η κεφαλή έκχυσης ενώνεται με τρεις βραχίονες σε τριγωνική διαμόρφωση.

Σχεδιάστηκαν για μεγαλύτερη ταχύτητα εκτύπωσης και είναι χρήσιμοι σε ορισμένες εργασίες εκτύπωσης αλλά απαιτούν ένα ενδιάμεσο στάδιο μετάφρασης των συντεταγμένων που δεν χρειάζεται στους καρτεσιανούς.

➤ **Πολικοί (Polar):** Οι πολικοί εκτυπωτές χρησιμοποιούν το πολικό σύστημα συντεταγμένων για την κίνηση τους. Περιλαμβάνουν ένα κυκλικό περιστρεφόμενο κρεβάτι και την κεφαλή εκτύπωσης, η οποία μπορεί να κινηθεί προς τέσσερις

διευθύνσεις. Επίσης χρησιμοποιούν δυο βηματικούς κινητήρες σε αντίθεση με τους καρτεσιανούς που απαιτούν το λιγότερο έναν για κάθε άξονα κίνησης.

Οι πολικοί εκτυπωτές μπορούν να εκτυπώσουν μεγαλύτερο όγκο σε πολύ μικρότερο χώρο χωρίς να περιορίζονται από τους άξονες και δεν υστερούν σε ποιότητα σε σχέση με τους υπόλοιπους εκτυπωτές.

➤ **Scara:** Οι εκτυπωτές Scara (Selective Compliance Articulated Robot Arm) βρίσκονται σε πειραματικό στάδιο. Τα περισσότερα πειραματικά μοντέλα όπως το RepRap Morgan έχουν αρκετές ομοιότητες με τους καρτεσιανούς αλλά η κεφαλή έκχυσης κινείται με την χρήση ρομποτικού βραχίονα.

Direct Ink Writing (DIW): Η τεχνική αυτή αναπτύχθηκε για πρώτη φορά στις ΗΠΑ το 1996 ως μέθοδος που επιτρέπει την παραγωγή γεωμετρικά πολύπλοκων κεραμικών αντικειμένων. Ένα υγρό (κεραμικός πολτός) εξωθείται πάνω στο επίπεδο σχεδίασης μέσω του ακροφυσίου δημιουργώντας ένα ένα τα επίπεδα του αντικείμενου. Πρόκειται για μια διαδικασία που δεν βασίζεται στη στερεοποίηση ή την ξήρανση για να διατηρήσει το σχήμα της μετά από την εξώθηση αλλά αντίθετα διατηρεί την ρεολογική ιδιότητα της αραιής διάτμησης.

Composite Filament Fabrication (CFF): Είναι μια διαδικασία εκτύπωσης αντικειμένων από σύνθετα νήματα δηλαδή από νήματα που περιέχουν ανθρακονήματα, ίνες γυαλιού. Είναι ειδικά νήματα που χρησιμοποιούνται από τον εκτυπωτή Mark One 3D. Η διαφορά από την μέθοδο FDM / FFF έγκειται στην ποιότητα του υλικού που χρησιμοποιείται και κατά προέκταση στην ποιότητα του αντικείμενου που παράγεται. Σε αυτή την μέθοδο χρησιμοποιούνται συνεχόμενες ίνες ως ενισχυτικό υλικό με αποτέλεσμα το παραγόμενο αντικείμενο να έχει μεγαλύτερη αντοχή και ακαμψία.

1.6 Light polymerized

Σε αυτή τη διαδικασία μια δεξαμενή υγρού πολυμερισμού εκτίθεται σε ελεγχόμενο φωτισμό. Αυτό έχει σαν αποτέλεσμα στα σημεία που φωτίζονται το υλικό να αποκτά στέρεα μορφή και να δημιουργείται το αντικείμενο. Ο φωτισμός είναι συνήθως UV.

Stereolithography (SLA): Στην στερεολιθογραφία χρησιμοποιείται υπεριώδης ακτινοβολία ώστε να σταθεροποιείται το φωτοπολυμερές υλικό που βρίσκεται σε υγρή μορφή. Οι εκτυπωτές αυτού τύπου αποτελούνται από μια δεξαμενή που γεμίζεται από φωτοπολυμεριζόμενη ρητίνη, η βάση της εκτύπωσης βρίσκεται σχεδόν στην επιφάνεια του υγρού ώστε το υγρό που την καλύπτει να δημιουργήσει την βάση του αντικείμενου. Δημιουργείται μια δέσμη υπεριώδους ακτινοβολίας που όταν έρχεται σε επαφή με την φωτοπολυμεριζόμενη ρητίνη σταθεροποιείται ώστε να δημιουργηθεί το αντικείμενο. Το επίπεδο βυθίζεται μέσα στο υγρό προκειμένου να δημιουργηθούν τα επίπεδα του αντικείμενου. Όταν ολοκληρωθεί η εκτύπωση του αντικείμενου το αντικείμενο αφαιρείται από την δεξαμενή και τοποθετείται σε φούρνο με υπεριώδη ακτινοβολία ώστε να στερεοποιηθεί πλήρως το παραγόμενο αντικείμενο. Είναι μια διαδικασία που προσφέρει στα αντικείμενα υψηλή ακρίβεια και ανάλυση αλλά είναι αρκετά χρονοβόρα.

Digital Light Processing (DLP): Η συγκεκριμένη τεχνολογία παρουσιάζει πολλές ομοιότητες με την στερεολιθογραφία. Η κύρια διαφορά τους είναι η πηγή φωτός που χρησιμοποιείται. Στο DLP χρησιμοποιείται μια πιο συμβατική πηγή φωτός, όπως μια λυχνία ατμών μαζί με ένα πάνελ υγρών κρυστάλλων. Χρησιμοποιείται επίσης και μια μικρή δεξαμενή ρητίνης για να διευκολυνθεί η διαδικασία, η οποία έχει ως αποτέλεσμα λιγότερα απόβλητα και μικρότερο λειτουργικό κόστος. Μετά την αποστολή του 3D μοντέλου στον εκτυπωτή, η δεξαμενή με το πολυμερές υγρό εκτίθεται στο φως από τον προβολέα. Το υγρό πολυμερές σκληραίνει, η πλάκα κατασκευής κινείται προς τα κάτω και το υγρό πολυμερές εκτίθεται πάλι στο φως. Η διαδικασία επαναλαμβάνεται μέχρι να ολοκληρωθεί το τρισδιάστατο μοντέλο και αποστραγγιστεί το δοχείο υγρού, αποκαλύπτοντας το στερεοποιημένο μοντέλο. Η εκτύπωση DLP είναι ταχύτερη και μπορεί να εκτυπώσει αντικείμενα με υψηλότερη ανάλυση.

Continuous Liquid Interface Production (CLIP): Είναι μια σχετικά νέα τεχνολογία που έχει την δυνατότητα να δημιουργήσει αντικείμενα με λεία επιφάνεια με την χρήση ρητίνης. Χρησιμοποιείται μια δεξαμενή με ρητίνη που ο πυθμένας της είναι διάφανος στην υπεριώδη ακτινοβολία. Η υπεριώδης ακτινοβολία προκαλεί την στερεοποίηση της ρητίνης και το αντικείμενο ανεβαίνει αργά και επιτρέπει την ροή της επαφής κάτω από αυτό διατηρώντας την επαφή με την βάση του αντικειμένου. Μια μεμβράνη οξυγόνου βρίσκεται κάτω από την ρητίνη εμποδίζοντας την προσκόλληση στον πυθμένα της δεξαμενής. Σε αντίθεση με την στερεολιθογραφία η διαδικασία εκτύπωσης είναι συνεχής και είναι δυνατόν να δημιουργήσει αντικείμενα έως και εκατό φορές ταχύτερα σε σχέση με τους 3D εκτυπωτές εμπορίου σύμφωνα με τους εφευρέτες.

1.7 Powder Bed

Οι εκτυπωτές αυτής της κατηγορίας αποτελούνται από μια δεξαμενή όπου το υλικό για την παραγωγή των αντικειμένων είναι σε μορφή σκόνης. Το υλικό προωθείται με την βοήθεια μιας πλατφόρμας σε μια δεύτερη όπου η απόσταση της από την επιφάνεια του εκτυπωτή αποτελεί το πάχος των επιπέδων. Στην συνέχεια το υλικό στρώνεται με την βοήθεια ενός κυλίνδρου πάνω στην δεύτερη πλατφόρμα. Έπειτα παράγεται μια δέσμη φωτός η οποία οδηγείται στα σημεία του αντικείμενου με την βοήθεια ενός κατόπτρου. Αυτό έχει ως αποτέλεσμα η δέσμη φωτός να θερμαίνει το υλικό και να δημιουργείται ένα ενιαίο κομμάτι. Τέλος αφαιρείται η πλεονάζουσα ποσότητα σκόνης και τα αντικείμενα είναι έτοιμα.

Power Bed and Inkjet Head 3D printing (3DP): Αρχικά στρώνεται ένα μικρό στρώμα από σκόνη στην επιφάνεια του εμβόλου. Η τεχνολογία που χρησιμοποιείται είναι παρόμοια με αυτή των ink-jet εκτυπωτών, ένα υλικό ενοποιεί τα σωματίδια στα σημεία εκείνα όπου το αντικείμενο πρέπει να είναι ένα σώμα. Τότε το έμβολο χαμηλώνει, τόσο ώστε να απλωθεί η νέα σκόνη και να ενοποιηθεί επιλεκτικά. Τέλος με μια κατάλληλη θερμική διαδικασία αφαιρείται η ελεύθερη σκόνη αφήνοντας πίσω το μοντέλο. Η μέθοδος λειτουργίας βασίζεται στην ένωση και η πρώτη ύλη είναι σε στερεά κονιοροποιημένη μορφή.

Electron Beam Melting (EBM): Η τεχνολογία αυτή χρησιμοποιείται για παραγωγή μεταλλικών μερών. Για πρώτη ύλη στους εκτυπωτές χρησιμοποιείται μεταλλική σκόνη και σύρμα και η συγκόλληση επιτυγχάνεται με δέσμες ηλεκτρονίων

υψηλής ισχύος. Η εκτύπωση των αντικείμενων γίνεται σε κενό με υψηλές θερμοκρασίες.

Selective Laser Sintering (SLS): Η μέθοδος αυτή αναπτύχθηκε από το Πανεπιστήμιο Austin του Τέξας στα μέσα του 1980. Η πρώτη ύλη είναι σε μορφή σκόνης (πλαστικό, μέταλλο, κεραμικό ή γυαλί) η οποία απλώνεται σε μια πλατφόρμα με την βοήθεια ενός κυλίνδρου. Το υλικό θερμαίνεται από την δέσμη του λέιζερ τόσο ώστε τα μόρια της σκόνης να ενωθούν μεταξύ τους. Με αυτή την διαδικασία μπορεί να οριστεί η πυκνότητα του τελικού αντικειμένου πράγμα ιδιαίτερα χρήσιμο όταν χρησιμοποιούνται μίγματα διαφορετικών υλικών.

Selective Heat Sintering (SHS): Η τεχνολογία αυτή λειτουργεί με την χρήση θερμικής κεφαλής εκτύπωσης για την εφαρμογή θερμότητας σε στρώματα από θερμοπλαστικό σε μορφή σκόνης. Μόλις ολοκληρωθεί το στρώμα, το επίπεδο εκτύπωσης μετακινείται προς τα κάτω και ένας αυτοματοποιημένος κύλινδρος προσθέτει ένα νέο στρώμα υλικού το οποίο είναι σε θραύσματα και είναι έτοιμο για να σχηματίσει το επόμενο επίπεδο του μοντέλου. Το SHS είναι μια τεχνική κατασκευής πρόσθετων πλαστικών, παρόμοια με την SLS, με κύρια διαφορά ότι χρησιμοποιεί θερμική κεφαλή εκτύπωσης αντί για λέιζερ, καθιστώντας την έτσι μια φθηνότερη λύση.

Selective Laser Melting (SLM): Η μέθοδος αυτή έχει τον ίδιο ακριβώς τρόπο υλοποίησης με το SLS. Η διαφορά έγκειται στο ότι όταν δέχεται το υλικό την δέσμη του λέιζερ τα μόρια της σκόνης λιώνουν πλήρως δημιουργώντας ένα ομογενές κομμάτι. Ένας χρήστης επιλέγει αυτή την μέθοδο όταν θέλει να επεξεργαστεί ένα καθαρό μέταλλο.

Direct Metal Laser Sintering (DMLS): Στην μέθοδο αυτή χρησιμοποιείται ένας ειδικός θάλαμος και με πρώτη ύλη την σκόνη μετάλλου παράγονται αντικείμενα. Χρησιμοποιείται ένα μεγάλης ισχύος λέιζερ της τάξεως των 200 Watt. Η φυσική διεργασία μπορεί να είναι πλήρης τήξη, μερική τήξη ή υγρής φάσης σύντηξη ανάλογα με το υλικό που χρησιμοποιείται. Τα αντικείμενα που παράγονται έχουν υψηλή ακρίβεια, λεπτομέρεια μορφής, καλή τελική ποιότητα επιφάνειας και άριστες μηχανικές ιδιότητες.

1.8 Laminated

Laminated Object Manufacturing (LOM): Η εταιρεία HELISYS ανέπτυξε ένα σύστημα το οποίο κόβει και ενοποιεί φύλλα από χαρτί, πλαστικό ή μέταλλο. Η μέθοδος λειτουργίας είναι η κόλληση και η ύλη είναι σε στερεά μορφή και τύπου ελάσματος. Το κάτω μέρος των φύλλων έχει μια συγκολλητική ουσία, η οποία όταν πιεσθεί και θερμανθεί από έναν κύλινδρο, την αναγκάζει να κολλήσει πάνω στο προηγούμενο φύλλο. Στην συνέχεια το φύλλο κόβεται από ένα λέιζερ ακολουθώντας το περίγραμμα της τομής. Το τελικό προϊόν που παράγεται έχει πολύ καλές ιδιότητες αλλά κακή ποιότητα επιφάνειας.



Εικόνα 1.3 - Εκτυπωτής τεχνολογίας LOM

Κεφάλαιο 2: ΚΑΤΑΣΚΕΥΗ 3D ΕΚΤΥΠΩΤΗ

2.1 Εισαγωγή

Σε αυτό το κεφάλαιο περιγράφεται η διαδικασία της κατασκευής του 3D εκτυπωτή. Παρουσιάζεται αναλυτικά η σειρά συναρμολόγησης των εξαρτημάτων του και τα υλικά που χρησιμοποιήθηκαν για αυτήν. Έπειτα παρουσιάζεται η εγκατάσταση των κατάλληλων προγραμμάτων για τον σχεδιασμό και την επεξεργασία των αντικείμενων, προκειμένου να γίνει επιτυχής σύνδεση του ηλεκτρονικού υπολογιστή με τον εκτυπωτή για την παραγωγή αντικείμενων.

2.2 Εξαρτήματα 3D εκτυπωτή

Ο εκτυπωτής που χρησιμοποιήθηκε για την εκτέλεση της πτυχιακής εργασίας είναι συμβατός με τον Prusa I3 Plus. Δεν αποτελεί το "γνήσιο" μοντέλο καθώς τοποθετήθηκαν διαφορετικοί κινητήρες και κεφαλή από αυτούς που έχει ο κατασκευαστής. Αυτό είχε ως στόχο να επιτευχθεί το βέλτιστο αποτέλεσμα από πλευρά ποιότητας παραγόμενων αντικείμενων αλλά και καλύτερη λειτουργία του εκτυπωτή κατά την διάρκεια της εκτύπωσης. Ο τρόπος συναρμολόγησης των εξαρτημάτων του εκτυπωτή χρίζει μεγάλης προσοχής, το οποίο και πράξαμε ενώ αποτελεί και τον βασικότερο παράγοντα για την ποιότητα των αντικείμενων που θα παραχθούν κατά την μετέπειτα λειτουργία του.

Υλικά που χρησιμοποιήθηκαν για την κατασκευή:

- Πλαίσια εκτυπωτή
- Θερμαινόμενο επίπεδο
- Μητρική πλακέτα
- Τροφοδοτικό
- Μια οθόνη
- 4 Βηματικοί κινητήρες τύπου Nema 17 (stepper motor Nema 17)
- 2 Ανεμιστήρες
- 2 Θερμοστοιχεία
- 2 Ντίζες
- 6 Άξονες

- 2 Ατέρμονες Κοχλίες
- Βίδες (M4, M5)
- Παξιμάδια (M4, M5)
- Ροδέλες (M4, M5)
- 2 Ιμάντες
- Καλώδια 0.25 και 1 καρέ
- Αποστάτες
- Τεφλόν
- Pata Cables
- Μικροηλεκτρονικούς ακροδέκτες για τα καλώδια του τροφοδοτικού
- Καλώδιο Τροφοδοσίας
- Στόμιο έκχυσης υλικού (Nozzle)
- Ακροφύσιο σιλικόνης
- Σωληνάκι σιλικόνης
- Θερμομονωτικό υλικό
- 3 Αισθητήρες τέρματος
- Βύσματα συνδέσεως
- Καλώδιο USB
- Κάρτα μνήμης τύπου SD
- Βάση για το υλικό εκτύπωσης
- Κασετίνα με εργαλεία (βιδολόγοι, λίμες, χάρακες, παχύμετρο κλπ.)

2.3 Συναρμολόγηση πλαισίων

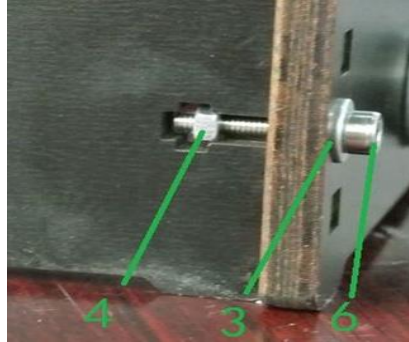
Το πρώτο βήμα για την κατασκευή του εκτυπωτή είναι η συναρμολόγηση των πλαισίων. Τα κομμάτια που χρησιμοποιήθηκαν παρουσιάζονται στην Εικόνα 2.3.



Εικόνα 2.3 - Πλαίσια εκτυπωτή

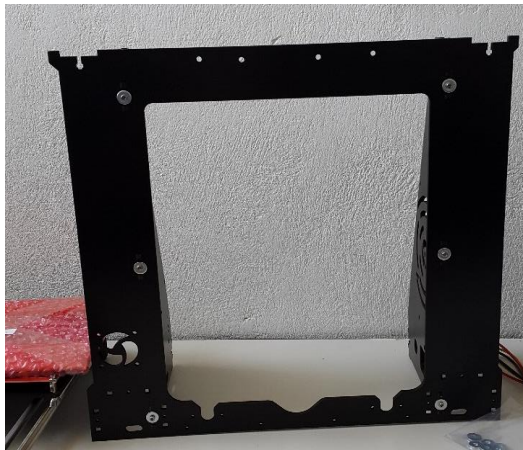
Η συναρμολόγηση των πλαισίων πρέπει να γίνει με πολύ μεγάλη προσοχή. Αν δεν είναι σωστά ευθυγραμμισμένα τα πλαίσια μεταξύ τους και αν δεν εδράζει η βάση τους σε απόλυτα λείο επίπεδο, όταν θα πραγματοποιούνται εκτυπώσεις θα υπάρχουν αστοχίες καθώς δεν θα έχει επιτευχθεί το απόλυτο μηδέν που απαιτείται για την δημιουργία τέλειων αντικειμένων. Κατά την συναρμολόγηση, τοποθετήθηκε το μπροστινό πλαίσιο όρθιο και στη συνέχεια πραγματοποιήθηκε ευθυγράμμιση με τις οπές των πλαϊνών πλαισίων προκειμένου να συναρμολογηθούν μεταξύ τους. Στην συνέχεια τοποθετήθηκαν οι βίδες και οι ροδέλες προκειμένου να σταθεροποιηθούν με την χρήση των παξιμαδιών. Οι βίδες περάστηκαν από το

μπροστινό πλαίσιο μαζί με τις ροδέλες προκειμένου να βιδωθούν μέσα στο πλαϊνό πλαίσιο με τα παξιμάδια (Εικόνα 2.4).

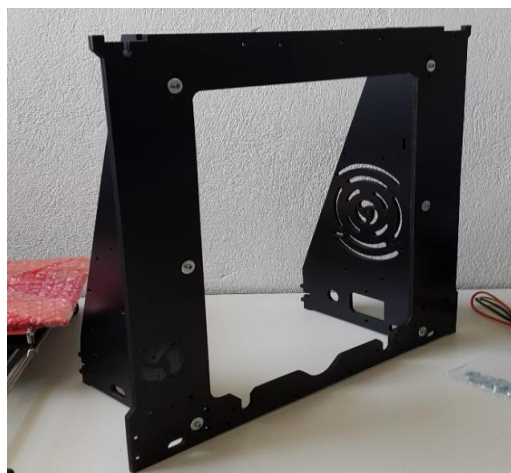


Εικόνα 2.4 - Συναρμολόγηση πλαισίων

Το αποτέλεσμα αυτής της διαδικασίας φαίνεται στις Εικόνα 2.5, Εικόνα 2.6, Εικόνα 2.7.



Εικόνα 2.5 - Μπροστινό πλαίσιο

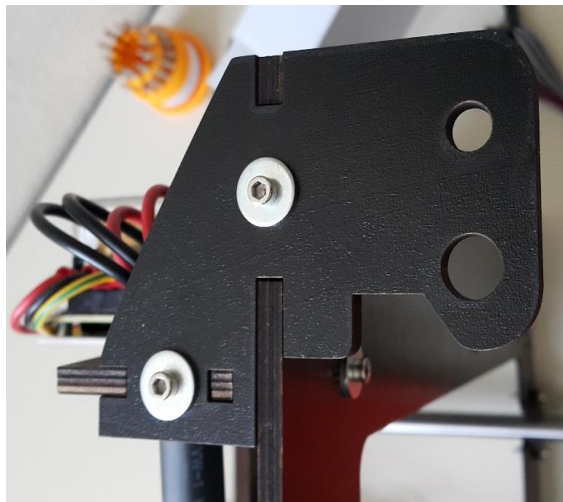


Εικόνα 2.6 - Τοποθέτηση πλαϊνών



Εικόνα 2.7 - Πίσω όψη πλαινών

Στην συνέχεια τοποθετούνται τα γωνιακά στηρίγματα δεξιά και αριστερά στο πάνω μέρος του μπροστινού πλαισίου και στα αντίστοιχα πλαινά. Αφού συναρμολογηθούν σωστά τα γωνιακά στηρίγματα, εν συνεχεία στις οπές τοποθετούνται οι βίδες και οι ροδέλες από την πάνω πλευρά του σκελετού του εκτυπωτή με φορά προς τα κάτω. Έπειτα τα παξιμάδια θα βιδωθούν στις οπές που υπάρχουν τόσο στο εμπρόσθιο πλαίσιο, όσο και στο πλαινό, όπως φαίνεται και στην Εικόνα 2.8.



Εικόνα 2.8 - Τοποθέτηση γωνιακού πλαισίου

2.4 Συναρμολόγηση Ανεμιστήρα Ψύξης

Το επόμενο βήμα για την κατασκευή του εκτυπωτή είναι η εγκατάσταση του ανεμιστήρα ψύξης της μητρικής πλακέτας, ο οποίος τοποθετείται στο πίσω μέρος της αριστερής πλευράς του μπροστινού πλαισίου. Για να επιτευχθεί η σταθεροποίηση του ανεμιστήρα ψύξης πάνω στο πλαίσιο χρησιμοποιούνται τα παρακάτω υλικά μονταρίσματος: βίδες, αποστάτες, ροδέλες και παξιμάδια. Για να υπάρξει σωστή ψύξη της μητρικής πλακέτας του εκτυπωτή, τοποθετείται ο ανεμιστήρας με τέτοιο τρόπο ώστε η φορά του αέρα να κατευθύνεται από το εμπρόσθιο πλαίσιο προς την μητρική πλακέτα. Για το σκοπό αυτό, εξασφαλίζουμε ότι τα ανάγλυφα βελάκια του ανεμιστήρα “δείχνουν” προς την μητρική πλακέτα. Οι βίδες τοποθετήθηκαν από την μπροστινή πλευρά του πλαισίου μαζί με τις ροδέλες. Αφού περάσανε από το πλαίσιο, εγκαταστάθηκαν οι αποστάτες μετά τον ανεμιστήρα και τέλος βιδώθηκαν τα παξιμάδια για να σταθεροποιηθεί ο ανεμιστήρας, όπως φαίνεται στην Εικόνα 2.9.



Εικόνα 2.9 - Τοποθέτηση ανεμιστήρα

2.5 Συναρμολόγηση Τροφοδοτικού

Η συναρμολόγηση του τροφοδοτικού γίνεται πάνω στο δεξιό πλαϊνό πλαίσιο. Για να την τοποθέτησή του χρειάστηκαν καλώδια διάστασης 1 καρέ, αποστάτες, ροδέλες και μικροηλεκτρονικοί ακροδέκτες. Στο σημείο αυτό θα πρέπει να επισημανθεί, ότι ο κατασκευαστής δεν χρησιμοποιεί τον ευρωπαϊκό χρωματικό κώδικα στα καλώδια. Πιο συγκεκριμένα θα έπρεπε για τα υψηλά ρεύματα να

υπήρχαν τα παρακάτω χρώματα στα καλώδια: καφέ για τη μια φάση, μπλε για το ουδέτερο και κίτρινο-πράσινο για τη γείωση, ενώ αντίστοιχα για τα χαμηλά ρεύματα θα έπρεπε να υπάρχει πορτοκαλί και λευκό καλώδιο. Ωστόσο διαπιστώθηκε ότι τόσο για τα χαμηλά ρεύματα όσο και για τα υψηλά υπάρχουν μόνο κόκκινα και μαύρα καλώδια, ενώ για τη γείωση το κίτρινο-πράσινο.

Τα παραπάνω έχουν ως αποτέλεσμα να δημιουργείται μια αρκετά επικίνδυνη κατάσταση, σε περίπτωση που κάποιος χωρίς τις κατάλληλες γνώσεις επιχειρήσει να πειράξει τα καλώδια του τροφοδοτικού. Οι τάσεις των μεγάλων ρευμάτων είναι στα 220Volt, τα μικρά ρεύματα είναι στα 12Volt, ενώ στο λευκό καλώδιο έχουμε 0Volt. Για να γίνει η σύνδεση των καλωδίων με το τροφοδοτικό αφαιρέθηκε το μονωτικό υλικό από τις άκρες τους και τοποθετήθηκαν μικροηλεκτρονικοί ακροδέκτες καλωδίων (κοσάκια).

Εν συνεχεία από την εσωτερική πλευρά του πλαινού πλαισίου περάστηκαν οι βίδες και οι ροδέλες, οι οποίες βιδώθηκαν πάνω στους αποστάτες του τροφοδοτικού με ιδιαίτερη προσοχή στο σφίξιμο καθώς υπάρχει κίνδυνος να σπάσουν ή και να χαλάσουν οι βόλτες στους πλαστικούς αποστάτες. Έπειτα τοποθετήθηκε το τροφοδοτικό πάνω στους πλαστικούς αποστάτες. Αφού σταθεροποιήθηκε το τροφοδοτικό έγινε η σύνδεση των καλωδίων στις αντίστοιχες θέσεις όπως αναγράφονται πάνω στο τροφοδοτικό. Στο σύμβολο V + συνδέθηκαν τα κόκκινα καλώδια, στο V- συνδέθηκαν τα μαύρα καλώδια και στο σύμβολο της γείωσης συνδέθηκε το κίτρινο-πράσινο καλώδιο (Εικόνα 2.10).

Στη συνέχεια τοποθετήθηκε στο κάτω μέρος του δεξιού πλαισίου η υποδοχή της εξωτερικής πηγής ενέργειας (δηλαδή η υποδοχή του καλωδίου τροφοδοσίας του εκτυπωτή που συνδέεται στην πρίζα), ενώ για να σταθεροποιηθεί χρησιμοποιήθηκαν βίδες, ροδέλες και βιδώθηκαν τα παξιμάδια. Οι ελεύθερες άκρες των καλωδίων, τα οποία είναι συνδεδεμένα πάνω στο τροφοδοτικό, περάστηκαν από την εσωτερική πλευρά του πλαισίου. Τα καλώδια για την υψηλή τάση συνδέθηκαν στους ακροδέκτες του βύσματος της πηγής ενέργειας, ενώ τα καλώδια χαμηλής τάσης περάστηκαν από την απέναντι πλευρά του εκτυπωτή (αριστερό πλαίσιο). Η σύνδεση των καλωδίων χαμηλής τάσης έμεινε σε εκκρεμότητα μέχρι την τοποθέτηση της μητρικής πλακέτας του εκτυπωτή, ούτως ώστε όταν συνδεθούν να την τροφοδοτήσουν (Εικόνα 2.11).



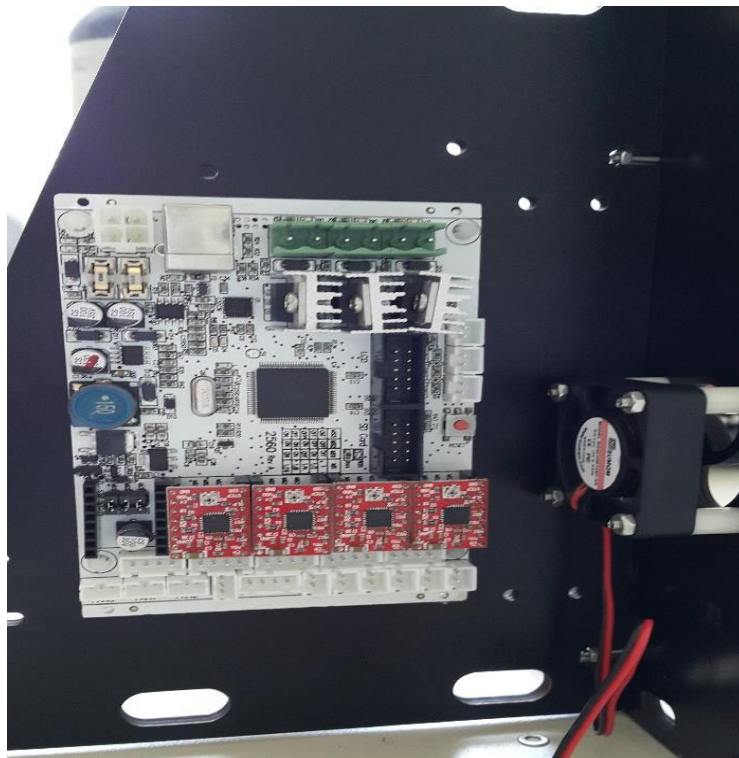
Εικόνα 2.10 - Καλωδίωση τροφοδοτικού



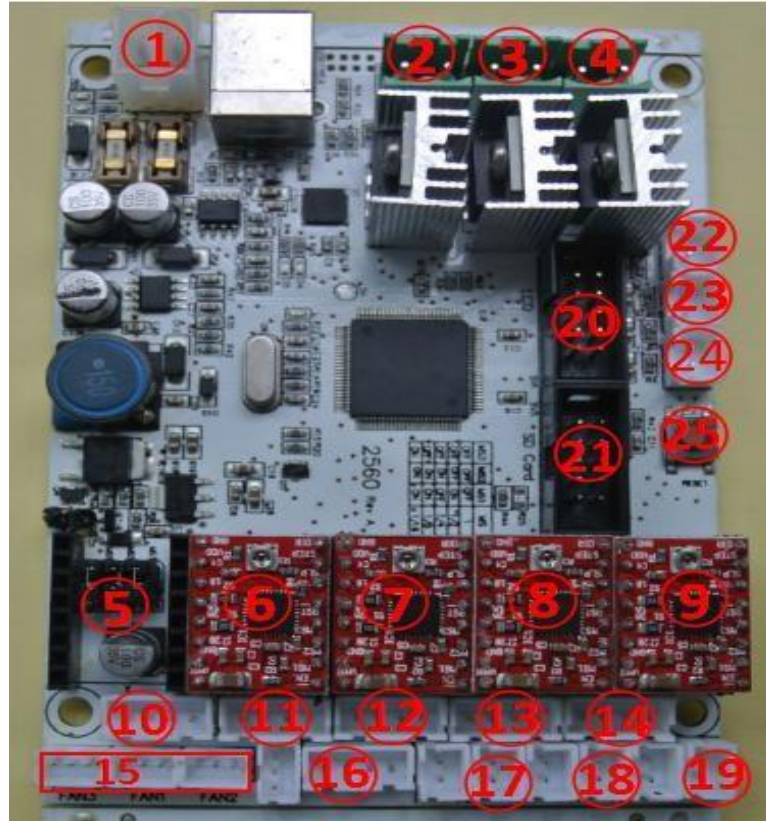
Εικόνα 2.11 - Τροφοδοτικό 3D Printer

2.6 Τοποθέτηση μητρικής πλακέτας

Η μητρική πλακέτα είναι από τα πιο σημαντικά κομμάτια ενός 3D εκτυπωτή, καθώς είναι υπεύθυνη να δίνει όλες τις εντολές για την ορθή λειτουργία του μηχανήματος. Κατά την συναρμολόγηση της μητρικής πλακέτας πάνω στο πλαίσιο απαιτείται μεγάλη προσοχή, καθώς δεν πρέπει να υπάρξει επαφή με γυμνά χεριά. Ο στατικός ηλεκτρισμός μπορεί να επιφέρει τον κίνδυνο να καταστρέψει τον επεξεργαστή της, για αυτό τον λόγο χρησιμοποιήθηκαν βραχιόλια γειώσεως. Για την σταθεροποίηση της μητρικής πλακέτας πάνω στο πλαϊνό πλαίσιο χρησιμοποιήθηκαν 4 πλαστικές βάσεις και βίδες. Τοποθετούνται πρώτα οι πλαστικές βάσεις στις αντίστοιχες οπές του αριστερού πλαισίου και στην συνέχεια βιδώνονται οι βίδες από την εσωτερική πλευρά του πλαισίου με μεγάλη προσοχή γιατί αν βάλουμε μεγάλη δύναμη μπορεί να χαλάσουν οι βόλτες στις πλαστικές βάσεις ή ακόμα και να σπάσουν. Έπειτα μπαίνει κουμπωτά από την εξωτερική πλευρά του πλαισίου η μητρική πλακέτα (Εικόνα 2.12). Η τοποθέτηση των καλωδίων στις αντίστοιχες θύρες πάνω στην μητρική πλακέτα γίνεται στο τέλος της συναρμολόγησης του εκτυπωτή (Εικόνα 2.13).



Εικόνα 2.12 - Μητρική πλακέτα



Εικόνα 2.13 - Θύρες μητρικής πλακέτας

Στην παραπάνω φωτογραφία παρουσιάζεται η απεικόνιση της μητρικής πλακέτας του εκτυπωτή. Στην συνέχεια γίνεται περιγραφή της εικόνας αυτής:

1. Τροφοδοσία μητρικής πλακέτας
2. Τροφοδοσία αντίστασης θέρμανσης θερμαινόμενου κρεβατιού
3. Κενή θύρα (υποστήριξη δεύτερης κεφαλής θέρμανσης)
4. Τροφοδοσία αντίστασης θέρμανσης κεφαλής
5. Εξομάλυνση τροφοδοσίας
6. Επεξεργαστής κίνησης κεφαλής
7. Επεξεργαστής κίνησης στον z άξονα (οδήγηση)
8. Επεξεργαστής κίνησης στον y άξονα (οδήγηση)
9. Επεξεργαστής κίνησης στον x άξονα (οδήγηση)
10. Κενή θύρα
11. Δεξιός κινητήρας Z άξονα
12. Αριστερός κινητήρας Z άξονα
13. Κινητήρας στον άξονα Y

14. Κινητήρας στον άξονα X
15. Ανεμιστήρας μητρικής πλακέτας/ ανεμιστήρας κεφαλής/ κενή θύρα
16. Υποστήριξη δεύτερης κεφαλής έκχυσης υλικού
17. Τερματικός αισθητήρας άξονα Z
18. Τερματικός αισθητήρας άξονα Y
19. Τερματικός αισθητήρας άξονα X
20. Καλωδιωτική για επικοινωνία με LCD οθόνη
21. Καλωδιωτική για επικοινωνία με SD CARD
22. Αισθητήρας θερμοκρασίας κεφαλής
23. Κενή θύρα
24. Αισθητήρας θερμοκρασίας θερμαινόμενου επιπέδου
25. Κουμπί επανεκκίνησης

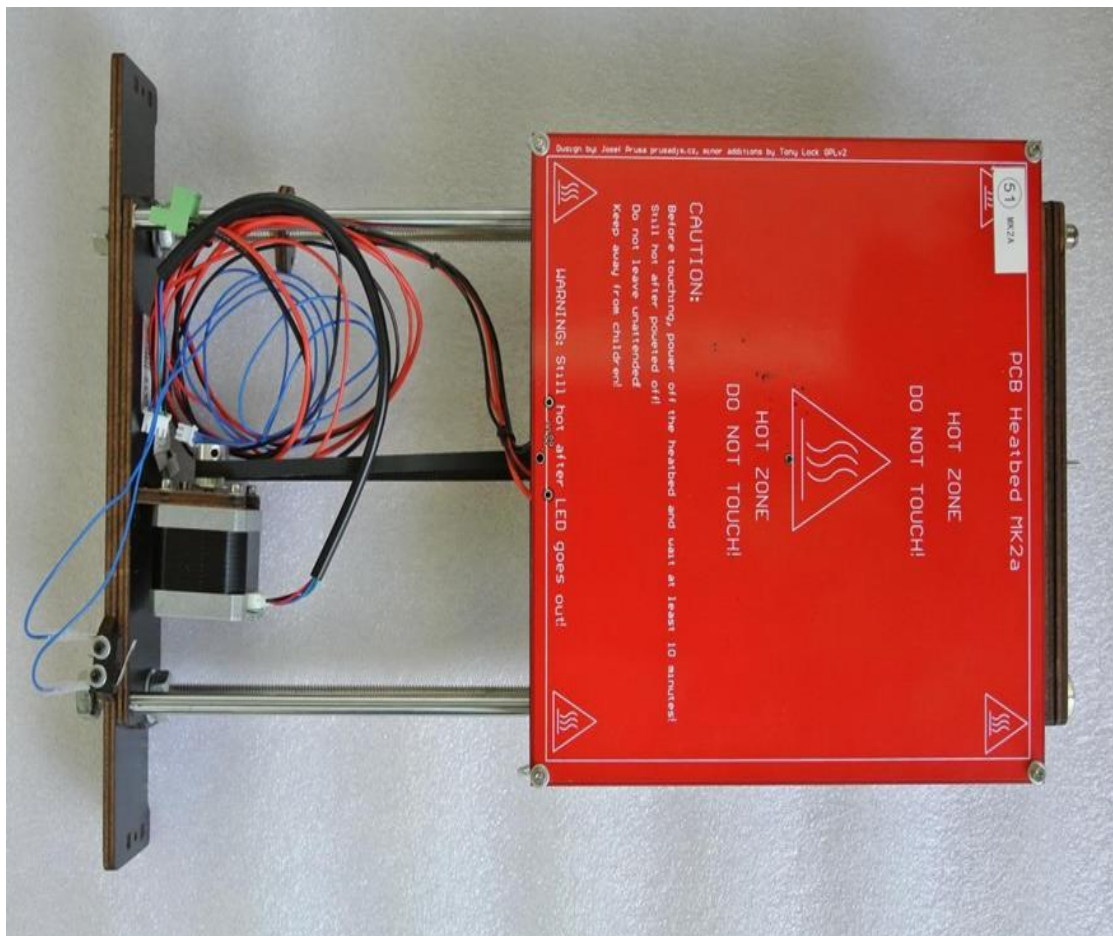
2.7 Τοποθέτηση θερμαινόμενου επιπέδου

Το θερμαινόμενο επίπεδο όπως φαίνεται και στην (Εικόνα 2.14) το παραλάβαμε προσυναρμολογημένο όσον αναφορά την στήριξη του. Πάνω στο θερμαινόμενο επίπεδο υπάρχουν κόκκινα και μαύρα καλώδια, το λεπτό κόκκινο καλώδιο είναι ο αισθητήρας θερμοκρασίας ενώ τα άλλα δυο καλώδια είναι για την τροφοδοσία του θερμαινόμενου επιπέδου. Το θερμαινόμενο επίπεδο έχει από κάτω ένα ξύλινο πλακίδιο το οποίο είναι για την κίνηση του κρεβατιού αφού βρίσκεται πάνω στους άξονες και σε ατέρμονες κοχλίες, για να μην υπάρχει κίνδυνος να ζεσταθεί και να παραμορφωθεί η ξύλινη επιφάνεια. Για επιτευχθεί η σωστή ευθυγράμμιση του επιπέδου που είναι συνδεδεμένο με την ξύλινη επιφάνεια τοποθετούνται μακριές βίδες στις οποίες αναμεσά τους βρίσκεται ένα ελατήριο το οποίο όταν βιδωθούν τα παξιμάδια διαμορφώνεται το απόλυτο μηδέν που απαιτείται για το επίπεδο όταν εκτελούνται εκτυπώσεις, προκειμένου να δημιουργηθούν σωστά αντικείμενα. Ακόμα βλέπουμε ότι στην πίσω πλευρά υπάρχει ένας βηματικός κινητήρας ο οποίος είναι συνδεδεμένος με τον ιμάντα και συντελεί στην κίνηση του επιπέδου.

Τέλος υπάρχει ο αισθητήρας τερματισμού στο πίσω μέρος της κατασκευής. Είναι σημαντικό πριν από κάθε λειτουργία του εκτυπωτή να ελέγχεται αν ο τερματικός αισθητήρας είναι σωστά στην θέση του καθώς υπάρχει κίνδυνος να εμφανιστούν τα παρακάτω προβλήματα: 1) Να μην σταματήσει το επίπεδο και να

χτυπήσει τον βηματικό κινητήρα και να τον χαλάσει. 2) Να γίνει ζημιά ή να κόψει ακόμα και τα καλώδια που συνδέονται με το θερμαινόμενο επίπεδο. 3) Κατά την διάρκεια της εκτύπωσης αν δεν μπορεί να αντιληφθεί τα όρια της λειτουργίας του, χάνονται οι συντεταγμένες και το αντικείμενο που είναι προς εκτύπωση μπορεί να παραμορφωθεί ή και να καταστραφεί τελείως.

Στην συνέχεια τοποθετείται η προσυναρμολογημένη κατασκευή ανάμεσα στα δυο πλαϊνά πλαίσια με την πλευρά που είναι ο κινητήρας να είναι από την πίσω μεριά του εκτυπωτή, με τα άκρα της ξύλινης πλάτης να ακουμπούν στα πλαϊνά πλαίσια. Χρησιμοποιούνται βίδες ροδέλες και παξιμάδια και με αυτό τον τρόπο πραγματοποιείται η σύνδεση του αντικειμένου με τον υπόλοιπο σκελετό του εκτυπωτή. Τα καλώδια του επιπέδου έρχονται με μεγάλη προσοχή από την πίσω πλευρά του εκτυπωτή και τοποθετούνται κοντά στην μητρική πλακέτα για να συνδεθούν στο τέλος.



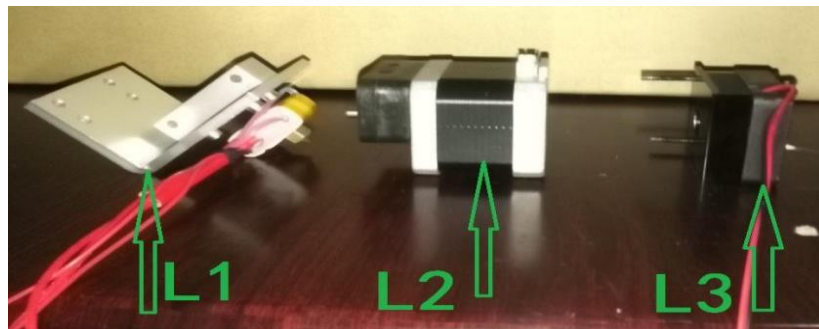
Εικόνα 2.14 - Θερμαινόμενο Επίπεδο

2.8 Συναρμολόγηση X και Z άξονα

Η συναρμολόγηση των εξαρτημάτων του εκτυπωτή για αυτές τις δύο διαστάσεις γίνεται παράλληλα. Για αυτό τον λόγο χωρίστηκε η διαδικασία σε βήματα προκειμένου να μην γίνουν λάθη που θα κοστίσουν στην ευθυγράμμιση που απαιτείται για την δημιουργία άρτιων αντικειμένων.

Βήμα 1: Συναρμολόγηση κεφαλής.

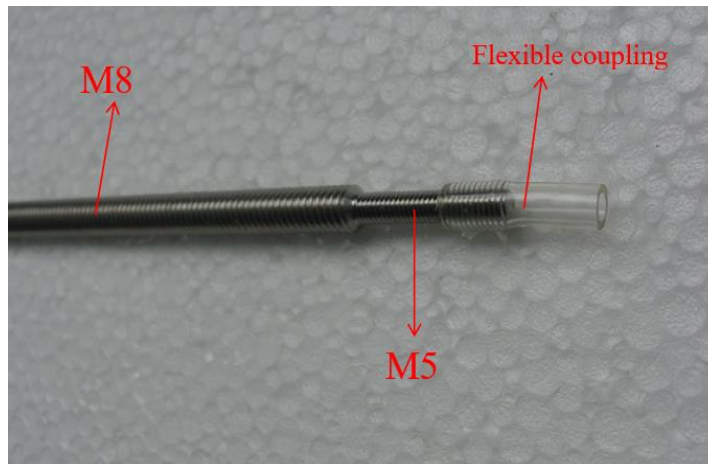
Ο τύπος της κεφαλής που χρησιμοποιήθηκε μας δίνει την δυνατότητα, μελλοντικά, να γίνει έκχυση δυο υλικών ταυτόχρονα. Το σύστημα της κεφαλής αποτελείται από μια μεταλλική βάση η οποία με βίδες, βιδώνεται πάνω στην μπλε βάση που κινείται πάνω στους άξονες για να υπάρξει κίνηση της κεφαλής. Από την κάτω πλευρά της μεταλλικής βάση έχουμε μια μικρότερη βάση, η οποία είναι μονωμένη προκειμένου να διατηρείται η θερμοκρασία. Μέσα από αυτό περνάει ο αισθητήρας της θερμοκρασίας και η αντίσταση τα οποία είναι υπεύθυνα για την διατήρηση της σταθερής θερμοκρασίας της κεφαλής, ώστε να λιώνει σωστά το υλικό, αφού διατηρεί μεγάλη ακρίβεια και σταθερότητα. Στο άκρο της βιδώνεται η μεταλλική μύτη όπου μέσα από αυτή γίνεται έκχυση του υλικού προκειμένου να γίνει η εκτύπωση του αντικειμένου που θέλουμε (Εικόνα 2.15 L1). Πάνω στην βάση είναι τοποθετημένος ο βηματικός κινητήρας τύπου stepper motor Nema 17 ο οποίος είναι υπεύθυνος για να προωθεί το υλικό προς τα κάτω. Αναλυτικά για το πως γίνεται αυτή η διαδικασία γίνεται αναφορά στο κομμάτι του προγραμματισμού (Εικόνα 2.15 L2). Τέλος, τοποθετείται ο ανεμιστήρας ο οποίος συνδέεται πάνω στον κινητήρα από την δεξιά του πλευρά με την βοήθεια πλαστικών αποστατών για να μην υπάρξει υπερθέρμανση του κινητήρα κατά την λειτουργία του. Αυτό γίνεται διότι τα αντικείμενα προς εκτύπωση δεν είναι πάντα μικρά, καθώς υπάρχουν αντικείμενα που οι ώρες εκτύπωσής τους μπορεί να ξεπεράσουν τις 10 (Εικόνα 2.15 L3).



Εικόνα 2.15 - Κομμάτια κεφαλής

Βήμα 2: Τοποθέτηση ντιζών για την κίνηση στον Z άξονα.

Αρχικά γίνεται η τοποθέτηση των βηματικών κινητήρων τύπου Nema 17 (stepper motor Nema 17) δεξιά και αριστερά από την μπροστινή πλευρά των πλαϊνών πλαισίων. Για να σταθεροποιηθούν οι κινητήρες, τα ξύλινα πλαίσια βιδώνονται από την πάνω πλευρά των κινητήρων. Τα ταιριάζουμε με τις οπές των πλαϊνών πλαισίων και σταθεροποιούνται με την χρήση βιδών, ροδελών και σφίγγουμε τα παξιμάδια. Στην συνέχεια τοποθετούνται στις άκρες των ντιζών τα πλαστικά συζεύξεις (Εικόνα 2.16) και συνδέονται με τις άκρες των κινητήρων ώστε να υπάρξει κίνηση της κεφαλής στον Z άξονα (Εικόνα 2.17). Έπειτα τοποθετούνται οι ατέρμονες κοχλίες στις οπές των ξύλινων πλαισίων, που είναι στους κινητήρες και ακολουθείται το πέρασμα από την πάνω πλευρά της κατασκευής που φτιάχτηκε στο πρώτο βήμα.



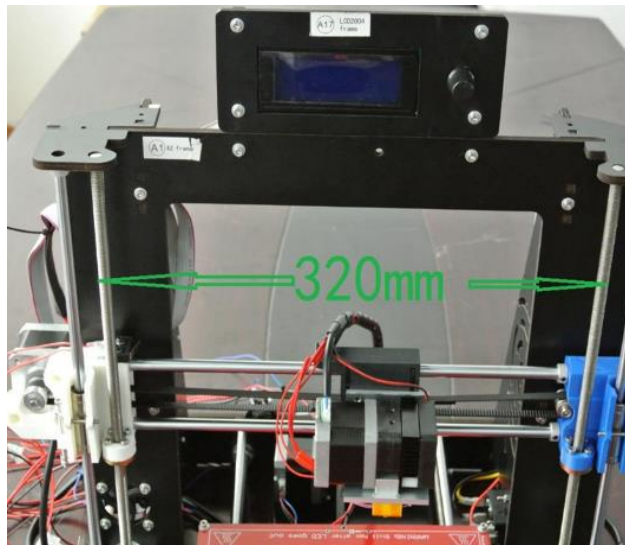
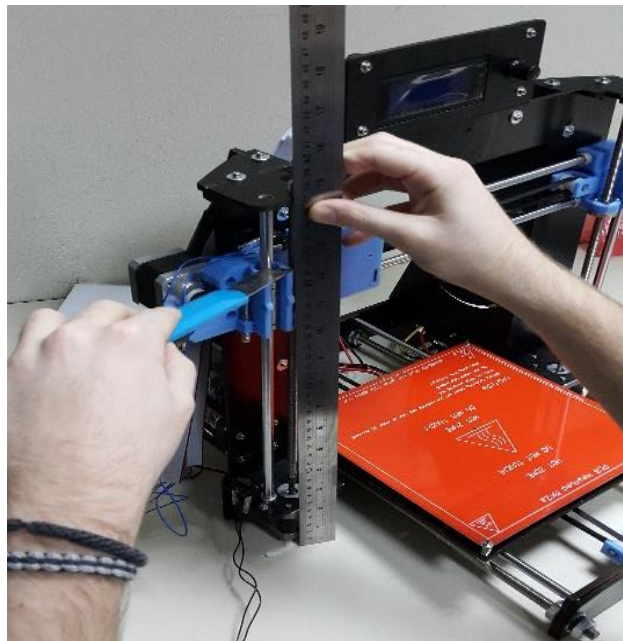
Εικόνα 2.16 - Τοποθέτηση πλαστικών σύζευξης



Εικόνα 2.17 - Σύνδεση αξόνων με τον βηματικό κινητήρα

Βήμα 3: Ευθυγράμμιση μεταξύ των αξόνων.

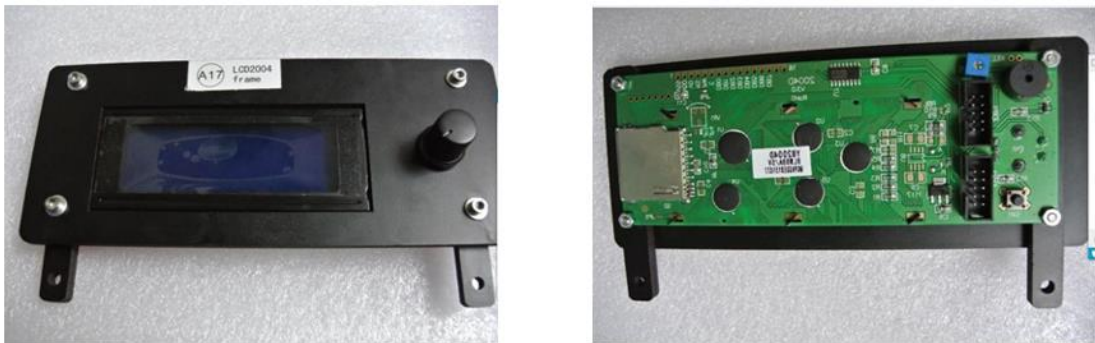
Σε αυτό το σημείο πρέπει να δοθεί μεγάλη προσοχή στην απόσταση μεταξύ των εσωτερικών ατέρμων κοχλιών πρέπει να είναι ακριβώς 320mm (Εικόνα 2.18). Για να επιτευχθεί αυτό χρησιμοποιήθηκε μέτρο ακριβείας. Στην συνέχεια φέρνουμε παράλληλα τους άξονες που κινούν στην κεφαλή. Πρέπει η απόσταση από το έδαφος και από τις δυο πλευρές να είναι ακριβώς στην ίδια απόσταση. Για να γίνει αυτό χρησιμοποιήθηκαν χάρακες και φίλερ για να υπάρξει απόλυτη ακρίβεια στις αποστάσεις (Εικόνα 2.19).

**Εικόνα 2.18 - Απόσταση μεταξύ των αξόνων του Z άξονα****Εικόνα 2.19 - Διαδικασία ευθυγράμμισης**

2.9 Τοποθέτηση οθόνης

Η οθόνη του εκτυπωτή είναι το μέσο επικοινωνίας ανάμεσα στον χρήστη και τον εκτυπωτή. Στην πίσω πλευρά της οθόνης υπάρχει θύρα υποδοχής SD κάρτας, η οποία χρησιμοποιείται για την μεταφορά αρχείων για την εκτύπωση αντικειμένων (Εικόνα 2.20). Ακόμα με την βοήθεια της οθόνης ρυθμίζονται παράγοντες του εκτυπωτή όπως η ταχύτητα εκτύπωσης, η θερμοκρασία του επιπέδου σχεδίασης, η θερμοκρασία κεφαλής, η αρχική θέση εκτυπωτή κλπ. Οι οπές της οθόνης ευθυγραμμίζονται με το πάνω μέρος του μπροστινού πλαισίου της κατασκευής του εκτυπωτή. Χρησιμοποιώντας βίδες και ροδέλες σταθεροποιείται η οθόνη και βιδώνονται στο πίσω μέρος του πλαισίου τα παξιμάδια (Εικόνα 2.21)

Στην συνέχεια συνδέουμε τα καλώδια στην πίσω πλευρά της οθόνης και τα φέρνουμε από την πλευρά της μητρικής πλακέτας για να συνδεθούν στις αντίστοιχες θύρες της πλακέτας.



Εικόνα 2.20 - Οι δύο όψεις της οθόνης



Εικόνα 2.21 - Τοποθέτηση οθόνης

2.10 Ολοκλήρωση κατασκευής 3D εκτυπωτή

Στο τελευταίο στάδιο της κατασκευής του 3D εκτυπωτή τοποθετούνται τα καλώδια που υπάρχουν στον αέρα από τα επιμέρους κομμάτια του εκτυπωτή πάνω στην μητρική πλακέτα, σύμφωνα με την παράγραφο 2.6 που έγινε αναλυτική περιγραφή των θέσεων των θυρών. Θα πρέπει να δοθεί προσοχή στο πέρασμα των καλωδίων ώστε να μην είναι κάποιο τεντωμένο, γιατί σε αυτή την περίπτωση υπάρχει κίνδυνος να κοπεί ή να αποσυνδεθεί κατά την λειτουργία του εκτυπωτή. Μια τέτοια κατάσταση επιφέρει κίνδυνο να καταστραφεί η μητρική πλακέτα και η αντικατάσταση της δεν είναι εύκολη από πλευράς μας, καθώς είναι δύσκολο να βρεθεί κάποια συμβατή με αυτή που ήδη υπάρχει. Η αντικατάσταση των καλωδίων των εξαρτημάτων επιφέρει μεγάλο βαθμό δυσκολίας. Σε περίπτωση βλάβης σε καλώδιο αισθητήρα δημιουργείται ο κίνδυνος να μην γίνει άμεσα αντιληπτό από τον χρήστη και να υπάρξει ζημιά σε οποιοδήποτε άλλο εξάρτημα του εκτυπωτή όπως στον αισθητήρα τέρματος ή σε κάποιο βηματικό κινητήρα, αφού πλέον δεν θα μπορούν να οριστούν τα όρια λειτουργίας του εκτυπωτή.

Ακόμα υπάρχει πιθανότητα καταστροφής του αντικείμενου που εκτυπώνεται. Αν είναι κάποιο μικρό αντικείμενο, δηλαδή με μικρή διάρκεια εκτύπωσης ίσως να μην είναι πολύ σοβαρό πρόβλημα για τον χρήστη. Όταν όμως πρόκειται για αντικείμενο που έχει διάρκεια εκτύπωσης πάνω από 4 ώρες τότε το πρόβλημα για τον χρήστη θα είναι μεγάλο από άποψη κόστους αλλά και από θέμα χρόνου. Μια τέτοια κατάσταση σε καθιστά υπεύθυνο για την μη υλοποίηση του εκάστοτε στόχου εντός του χρονοδιαγράμματος εργασιών που έχει δοθεί.

Αφού γίνει η σύνδεση των καλωδίων, το επόμενο βήμα είναι να τοποθετηθεί πάνω στην γυάλινη επιφάνεια ταινία κατάλληλη για να κρατά το αντικείμενο προσκολλημένο στο επίπεδο εκτύπωσης, εμποδίζοντας την αποκόλλησή του από αυτό με βάση τις ανάγκες του υλικού που θα χρησιμοποιηθεί. Υπάρχουν δυο είδη ταινιών που μπορούν να χρησιμοποιηθούν ανάλογα με τις ανάγκες της εκτύπωσης. Η μια είναι η Painters Tape (Εικόνα 2.22), η οποία χρησιμοποιείται όταν το επίπεδο του εκτυπωτή δεν απαιτείται να είναι θερμαινόμενο και η άλλη είναι η Kapton Tape (Εικόνα 2.23), η οποία χρησιμοποιείται όταν το αντικείμενο πρέπει να εκτυπώνεται σε θερμαινόμενο επίπεδο.

Στην συνέχεια τοποθετείται η γυάλινη επιφάνεια με την αντίστοιχη ταινία ανάλογα με το είδος της εκτύπωσης που θέλουμε να πραγματοποιήσουμε πάνω

στο θερμαινόμενο επίπεδο και σταθεροποιείται από τον χρήστη με τους καταλλήλους γάντζους προκειμένου να μην υπάρχει κίνηση της γυάλινης επιφάνειας από τους κραδασμούς που δημιουργούνται κατά την διάρκεια της εκτύπωσης του αντικειμένου. Η τοποθέτηση τους πρέπει να γίνει με τέτοιο τρόπο ώστε όταν λειτουργεί ο εκτυπωτής οι γάντζοι αυτοί να μην δημιουργούν πρόβλημα στην κίνηση των αξόνων ή σε κάποιο άλλο εξάρτημα της κατασκευής του εκτυπωτή (δηλαδή σε καλώδια, αισθητήρες ή πλαίσια).

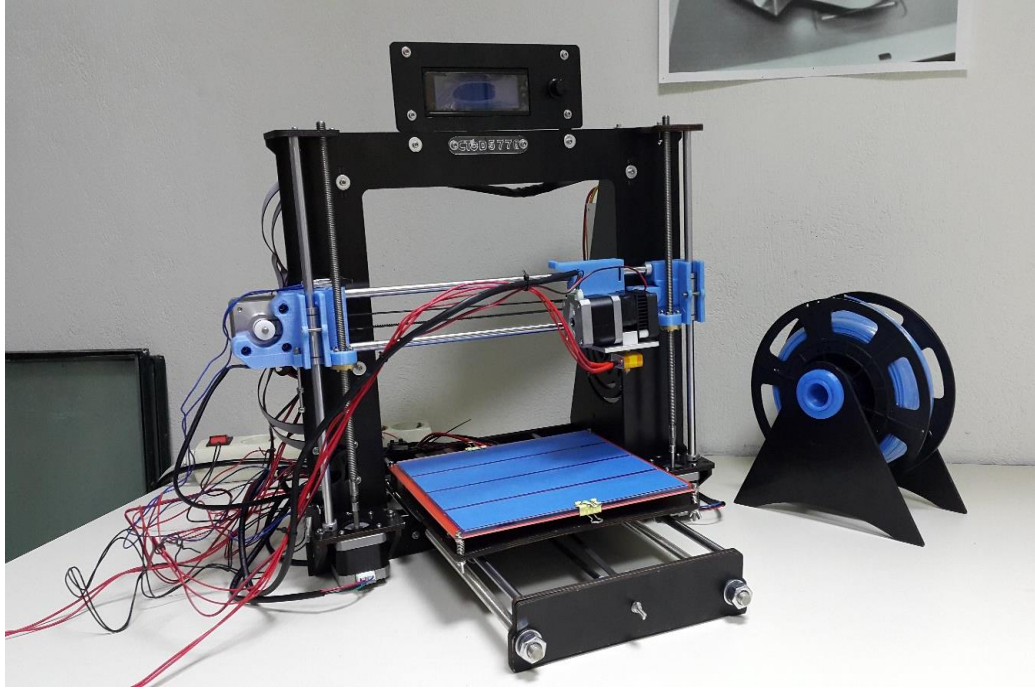
Η τελική μορφή του εκτυπωτή μετά από την συναρμολόγηση παρουσιάζεται στην Εικόνα 2.24 χωρίς να έχει γίνει η κατάλληλη τακτοποίηση των καλωδίων.



Εικόνα 2.22 - Painters Tape



Εικόνα 2.23 - Kapton Tape



Εικόνα 2.24 - Ολοκλήρωση κατασκευής πριν την τακτοποίηση των καλωδίων

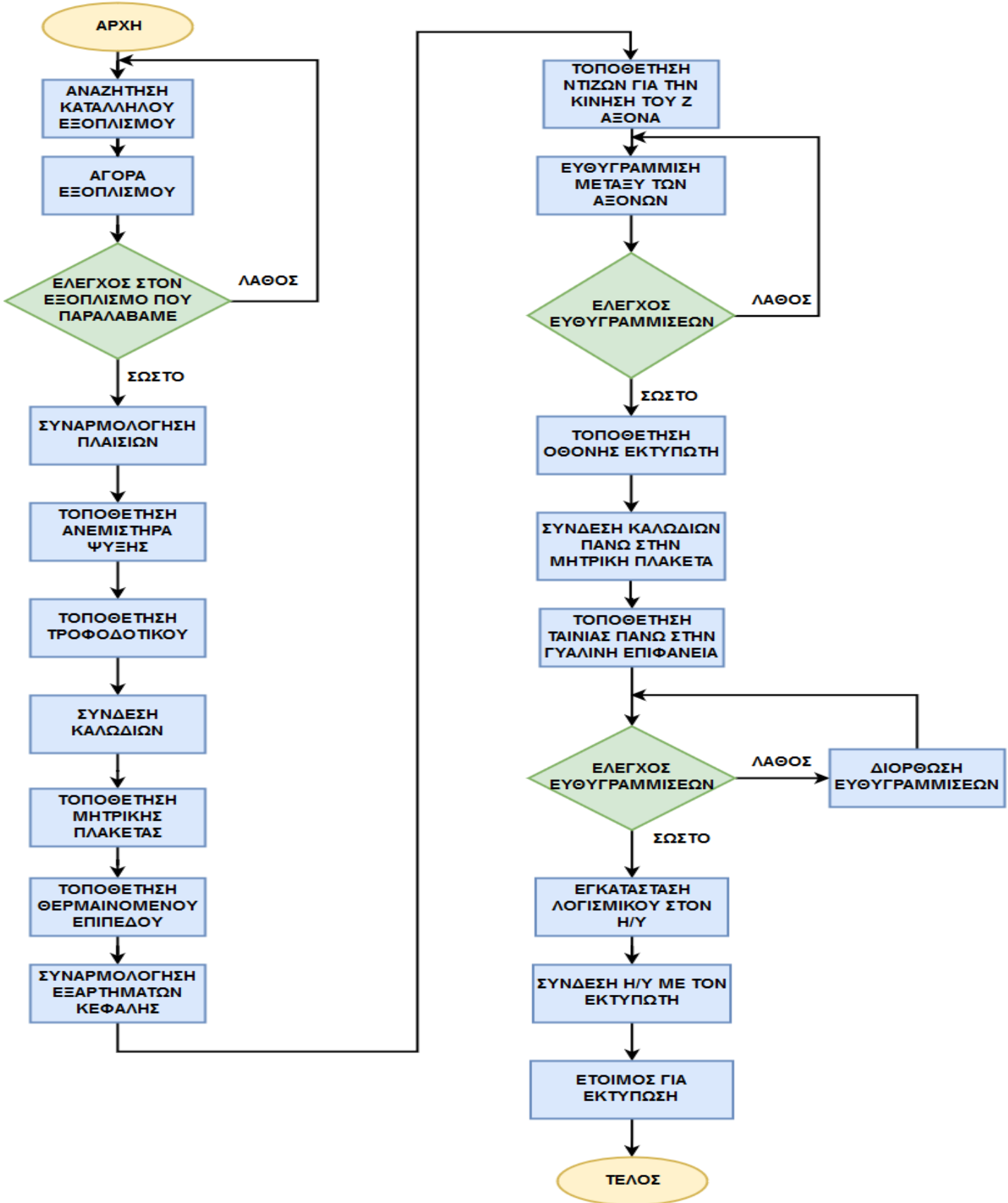
Ολοκληρώνοντας, πραγματοποιείται ένας τελευταίος έλεγχος στα σφιξίματα των βιδών για να μην υπάρχουν κραδασμοί κατά την εκτύπωση. Επίσης γίνεται έλεγχος των ευθυγραμμίσεων μεταξύ των αξόνων με την χρήση κατάλληλων εργαλείων όπως χάρακες, λείζερ ευθυγράμμισης και με την χρήση μικρομέτρου με υδραυλική βάση προσαρτημένη σε μαγνητική έδραση, για την ευθυγράμμιση του επιπέδου σχεδίασης. Στην συνέχεια πραγματοποιείται ένας οπτικός έλεγχος σε όλων τον εκτυπωτή που έχει να κάνει με την τοποθέτηση των καλωδίων πάνω στην μητρική πλακέτα, αλλά και με το αν υπάρχει οποιοδήποτε αντικείμενο στην περίμετρο του εκτυπωτή ή ακόμα και πάνω που θα μπορούσε να προκαλέσει πρόβλημα κατά την τροφοδοσία του, κατά την κίνηση των αξόνων.

2.11 Σύνδεση 3D εκτυπωτή με ηλεκτρονικό υπολογιστή

Το επόμενο βήμα μετά την κατασκευή του εκτυπωτή και τους ελέγχους που έχουν πραγματοποιηθεί σε αυτόν θα πρέπει να δημιουργηθεί επικοινωνία ανάμεσα στον εκτυπωτή και τον ηλεκτρονικό υπολογιστή για να υπάρχει η δυνατότητα της απευθείας σύνδεσης με σειριακή επικοινωνία εκτύπωσης αντικειμένων. Το πρώτο βήμα είναι η εγκατάσταση κατάλληλων προγραμμάτων στον ηλεκτρονικό υπολογιστή για την δημιουργία και την επεξεργασία των αντικειμένων πριν την

εκτύπωση. Στην δική μας περίπτωση έχουμε επιλέξει να σχεδιάζουμε τα αντικείμενα προς εκτύπωση στο σχεδιαστικό πρόγραμμα AUTOCAD. Η εγκατάσταση του συγκεκριμένου προγράμματος γίνεται πολύ απλά όπως γίνεται και σε κάθε άλλο πρόγραμμα, η μόνη "δυσκολία" που υπάρχει είναι ότι δεν υπάρχει δωρεάν έκδοση. Η δωρεάν έκδοση του προγράμματος αυτού είναι μόνο για το διάστημα 30 ημερών με αποτέλεσμα να πρέπει να αγοραστεί από εμάς η ολοκληρωμένη έκδοση (συνεπώς επιφέρει ένα επιπλέον κόστος σε όποιον επιθυμεί την χρήση του). Ένα δεύτερο πρόγραμμα που πρέπει να εγκατασταθεί στον Η/Υ είναι το CURA (η έκδοση που δουλεύουμε εμείς είναι η 2.1.3). Είναι ένα πρόγραμμα που το βρίσκουμε δωρεάν στο διαδίκτυο και κάνουμε την εγκατάσταση του όπως σε κάθε άλλο πρόγραμμα χωρίς κάποια ιδιαιτερότητα. Ο λόγος που το χρησιμοποιούμε είναι γιατί μέσα από αυτό μας δίνεται η δυνατότητα να ανοίγονται τα αρχεία που δημιουργούνται στο AUTOCAD και να κάνουμε τις αντίστοιχες μετατροπές που χρειάζονται με σκοπό να μεταφερθούν τα αρχεία στον εκτυπωτή και να έχουμε την δημιουργία των αντικειμένων. Ακόμα πρέπει να εγκαταστήσουμε τον κατάλληλο Arduino Driver προκειμένου να υπάρξει επικοινωνία με την μητρική πλακέτα του εκτυπωτή, κάτι που βρίσκουμε δωρεάν στο διαδίκτυο και κάνουμε την απαραίτητη εγκατάσταση στον Η/Υ. Τέλος γίνεται εγκατάσταση των οδηγών για σειριακή επικοινωνία. Έπειτα συνδέεται το καλώδιο της σειριακής επικοινωνίας στον Η/Υ και στην αντίστοιχη θύρα του 3D εκτυπωτή και είναι έτοιμος για την εκτύπωση αντικειμένων.

Σε περίπτωση που θέλουμε ασύρματη σύνδεση μεταξύ υπολογιστή και εκτυπωτή απαιτείται και πάλι να έχουμε εγκατεστημένα τα παραπάνω προγράμματα AUTOCAD και CURA, αφού είναι αυτά που μας δίνουν την δυνατότητα να σχεδιάζουμε και να επεξεργαζόμαστε τα αντικείμενα που θέλουμε να εκτυπωθούν. Σε αυτή την περίπτωση ο χρήστης πρέπει να διαθέτει και μια κάρτα μνήμης τύπου SD προκειμένου να αποθηκεύονται σε αυτή τα αρχεία για να μεταφέρονται στον εκτυπωτή. Στην συνέχεια η κάρτα τοποθετείται στην πίσω πλευρά της οθόνης στην αντίστοιχη θύρα και μέσα από το μενού του εκτυπωτή πραγματοποιείται η ανάγνωση του εκάστοτε αρχείου που θέλουμε να χρησιμοποιήσουμε. Τα θετικά της ασύρματης επικοινωνίας μεταξύ των μονάδων είναι ότι σε έναν εργασιακό χώρο η απόστασή τους μπορεί να είναι μεγάλη και να μην υπάρχει δυνατότητα για σειριακή επικοινωνία.



ΤΙΤΛΟΣ	ΤΑ ΒΗΜΑΤΑ ΣΥΝΑΡΜΟΛΟΓΗΣΗΣ ΤΟΥ 3D ΕΚΤΥΠΩΤΗ
Α/Α	ΛΟΓΙΚΟ ΔΙΑΓΡΑΜΜΑ 1

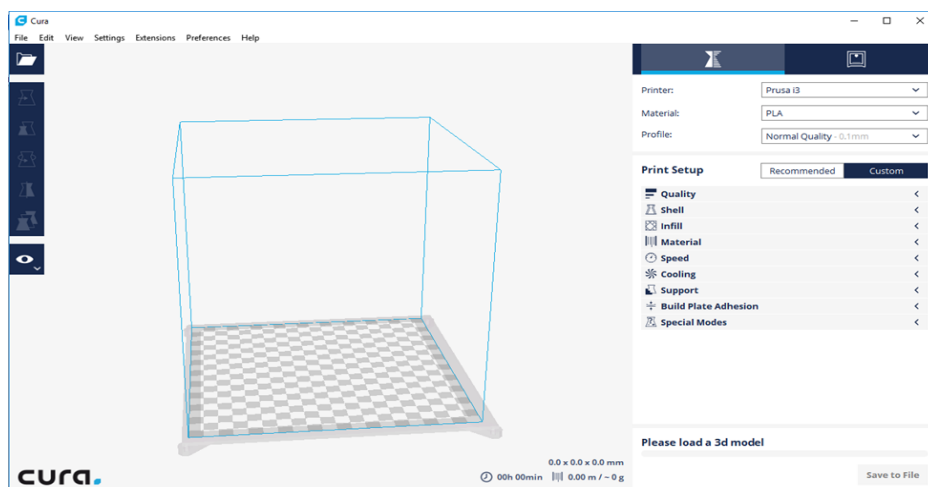
Κεφάλαιο 3: ΠΕΡΙΓΡΑΦΗ ΠΡΟΓΡΑΜΜΑΤΟΣ CURA

3.1 Εισαγωγή

Σε αυτό το κεφαλαίο γίνεται αναλυτική παρουσίαση του προγράμματος Cura. Το πρόγραμμα Cura χρησιμοποιείται από τους χρήστες μετά από τον σχεδιασμό ενός αντικειμένου σε σχεδιαστικό πρόγραμμα (AUTOCAD) με στόχο την επεξεργασία του αντικειμένου πριν την εκτύπωση. Μέσα στο πρόγραμμα Cura γίνεται ο ορισμός των παραμέτρων όπως οι θερμοκρασίες που απαιτούνται κατά την εκτύπωση. Ακόμα ορίζεται η ποσότητα έκχυσης υλικού πάνω στο αντικείμενο, η τοποθέτηση του αντικειμένου πάνω στο επίπεδο σχεδίασης και άλλες παράμετροι που θα αναλυθούν παρακάτω.

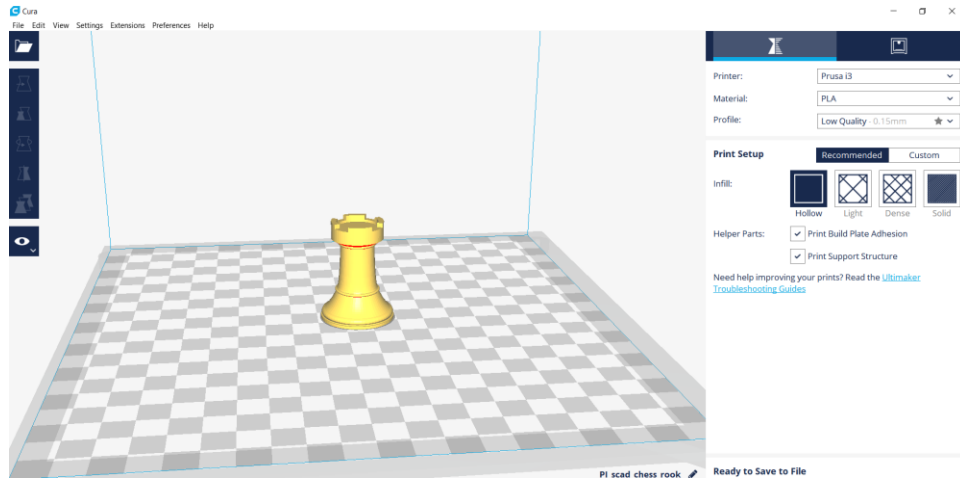
3.2 Βασικό μενού Cura

Ο χρήστης μέσω του προγράμματος Cura έχει την δυνατότητα να ανοίξει αρχεία τύπου .stl με σκοπό την επεξεργασία του αντικειμένου. Μέσα από το πρόγραμμα μπορεί να παραμετροποιήσει όλες τις παραμέτρους που απαιτούνται για την εκτύπωση ενός αντικειμένου και να δει όλες τις κινήσεις που θα εκτελέσει η κεφαλή προκειμένου να δημιουργήσει ένα αντικείμενο. Στην συνέχεια θα παραχθεί αυτόματα ένα αρχείο σε μορφή .gcode, το οποίο είτε με σειριακή επικοινωνία με τον εκτυπωτή είτε αποθηκεύοντας το σε μια κάρτα SD θα περαστεί στον εκτυπωτή για να ξεκινήσει η εκτύπωση. Το βασικό περιβάλλον όταν θα ανοίξει ο χρήστης το πρόγραμμα για να το χρησιμοποιήσει παρουσιάζεται στην Εικόνα 3.1.



Εικόνα 3.1 - Αρχική εικόνα προγράμματος Cura

Για να μπορέσει ο χρήστης να επεξεργαστεί ένα αρχείο ακολουθεί τις παρακάτω οδηγίες. Επιλέγει στην πάνω αριστερή γωνία File → Open File και εμφανίζεται η λίστα με τα αρχεία που ο χρήστης έχει δημιουργήσει. Στην συνέχεια επιλέγει αυτό που θέλει να επεξεργαστεί και πατάει Άνοιγμα και το σχέδιο εμφανίζεται μέσα στο περιβάλλον του προγράμματος Cura (Εικόνα 3.2).



Εικόνα 3.2 - Εισαγωγή αντικειμένου μέσα στο περιβάλλον του προγράμματος



Move: Μετακίνηση αντικειμένου με απόλυτες συντεταγμένες ή χειροκίνητα με το ποντίκι πάνω στο επίπεδο.

Scale: Δυνατότητα για επεξεργασία της κλίμακας που βρίσκεται το αντικείμενο για έλεγχο λεπτομερειών.

Rotate: Περιστροφή αντικειμένου προς όλες τις κατευθύνσεις.

Mirror: Περιστροφή αντικειμένου με βάση τον καθρέφτη.

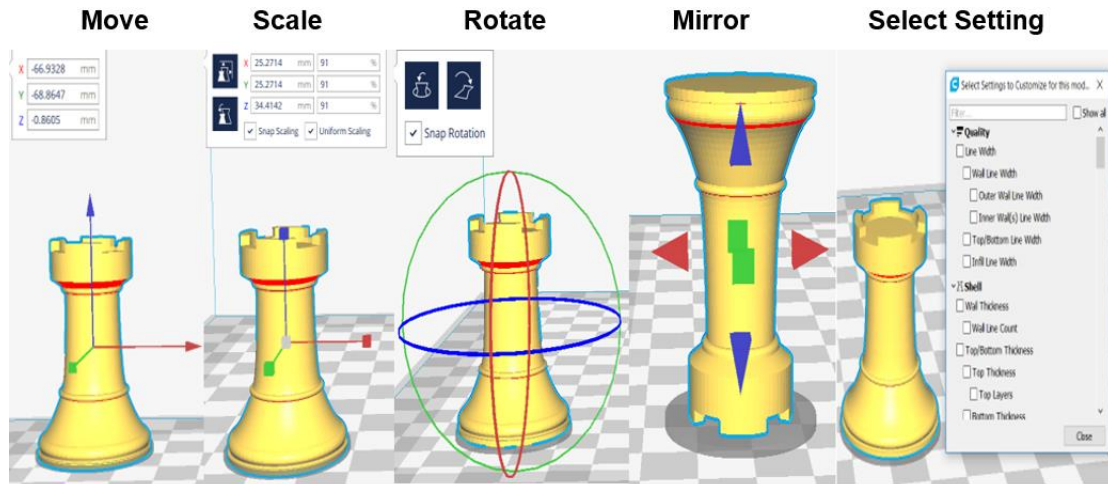
Select Setting: Επιλογή ρυθμίσεων για την επεξεργασία του αντικειμένου.

View Mode: Παρουσίαση αντικειμένου.

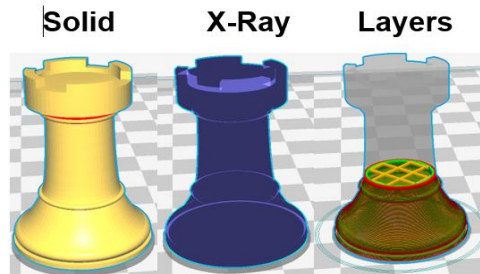
Solid → Ολόκληρο το αντικείμενο.

X-Ray → Ακτινογραφία του αντικειμένου.

Layers → Όλα τα επίπεδα του αντικειμένου.



Εικόνα 3.3 - Τοποθέτηση αντικειμένων με βάση το μενού επιλογής



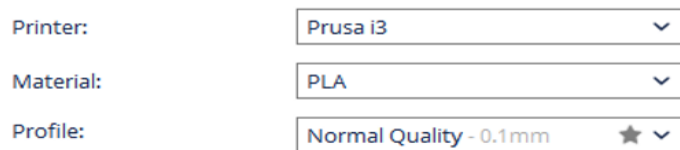
Εικόνα 3.4 - Αποτελέσματα χρήσης View Mode

3.3 Ορισμός βασικών παραμέτρων

Printer: Επιλογή του μοντέλου του εκτυπωτή που θα χρησιμοποιηθεί από τον χρήστη για την εκτύπωση του αντικειμένου. Το Cura έχει την δυνατότητα να ρυθμίσει τις παραμέτρους εκτύπωσης αυτόματα με βάση συγκεκριμένα μοντέλα εκτυπωτών.

Material: Επιλογή του υλικού εκτύπωσης για την δημιουργία του αντικειμένου. Υπάρχουν ήδη ορισμένες ρυθμίσεις για τα πιο διαδεδομένα υλικά που χρησιμοποιούνται για την παραγωγή αντικειμένων αυτά είναι το PLA και το ABS.

Profile: Επιλογή της ποιότητας εκτύπωσης. Ανάλογα με την ρύθμιση του πάχους του κάθε επιπέδου μπορούμε να πετύχουμε καλύτερη λεπτομέρεια στην εκτύπωση μας.



Εικόνα 3.5 - Ορισμός βασικών παραμέτρων

3.4 Print Setup

3.4.1 Recommended (Προτεινόμενες ρυθμίσεις)

Infill: Τρόποι γεμίσματος του εσωτερικού στα αντικείμενα που σχεδιάστηκαν.

Hollow: Το εσωτερικό του αντικειμένου μένει κενό με κόστος την χαμηλή αντοχή του αντικειμένου.

Light: Γεμίζει το 20% σε κάθε επίπεδο στο εσωτερικό του αντικειμένου με αποτέλεσμα το αντικείμενο να αποκτά μια μέση αντοχή.

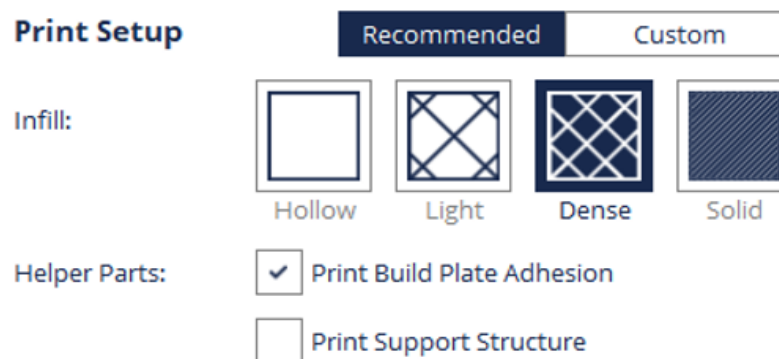
Dense: Το πυκνό γέμισμα σε ποσοστό 50% στο εσωτερικό του αντικειμένου θα δώσει μια μέση αντοχή μετά την ολοκλήρωση του.

Solid: Η συμπαγής εκτύπωση στο εσωτερικό του αντικειμένου σε ποσοστό 100% θα κάνει το αντικείμενο απόλυτα σταθερό.

Helper Parts: Επιλογές που θα βοηθήσουν για την καλύτερη εκτύπωση των αντικειμένων.

Print Build Plate Adhesion: Εκτύπωση με την βοήθεια Brim ή Raft. Προσθέτει μια επίπεδη επιφάνεια γύρω ή κάτω από το αντικείμενο η οποία είναι εύκολο να αφαιρεθεί μετά την εκτύπωση. Δίνει επίσης μεγαλύτερη σταθερότητα στην βάση του αντικειμένου κατά την διάρκεια την εκτύπωσης.

Print Support Structure: Εκτυπώνεται μια βοηθητική κατασκευή η οποία στηρίζει το αντικείμενο για να αποφεύγεται η εκτύπωση στον αέρα που θα έχει σαν αποτέλεσμα την παραμόρφωση ή την ολική καταστροφή του αντικειμένου.



Εικόνα 3.6 - Προτεινόμενες ρυθμίσεις

3.4.2 Custom (Προσαρμογή ρυθμίσεων)

Το πρόγραμμα Cura δίνει την δυνατότητα στους χρήστες να μπορούν να διαμορφώσουν όλες τις παραμέτρους που επηρεάζουν το παραγόμενο αντικείμενο κατά την διάρκεια της εκτύπωσης (Εικόνα 3.7). Μια ακόμα δυνατότητα που παρέχεται, είναι οι χρήστες του προγράμματος όταν ρυθμίσουν το μοντέλο του εκτυπωτή που θα χρησιμοποιηθεί, το υλικό για την παραγωγή του αντικειμένου και την ποιότητα του αντικειμένου που θέλουν, να εμφανιστούν οι προκαθορισμένες τιμές που το πρόγραμμα θεωρεί κατάλληλες για την εκτύπωση (Εικόνα 3.8). Από την επιλογή Custom εμφανίζονται οι προκαθορισμένες τιμές και στην συνέχεια χειροκίνητα μπορούν να παραμετροποιηθούν από τον χρήστη με στόχο ένα καλύτερο αποτέλεσμα στο παραγόμενο αντικείμενο. Πριν από κάθε εκτύπωση ο χρήστης πρέπει να ελέγχει τις τιμές που δίνονται από το πρόγραμμα για να είναι σίγουρος για το αποτέλεσμα του αντικειμένου.



Εικόνα 3.7 - Επιλογές για την επεξεργασία του αντικειμένου πριν την εκτύπωση



Εικόνα 3.8 - Προκαθορισμένες τιμές

3.4.2.1 Ποιότητα αντικειμένου

Πίνακας 1 - Κρίσιμοι παράγοντες για την ποιότητα αντικειμένου

Quality	Σύνοψη	Επηρεάζει	Επηρεάζεται από
Layer Height	Το ύψος του κάθε επιπέδου εκτύπωσης σε χιλιοστά (mm). Οι υψηλότερες τιμές έχουν σαν αποτέλεσμα γρήγορες εκτυπώσεις με χαμηλή ανάλυση ενώ οι μικρότερες τιμές έχουν σαν αποτέλεσμα εκτυπώσεις μεγαλύτερης διάρκειας αλλά με καλύτερη ανάλυση αντικειμένων.	<ul style="list-style-type: none"> -Top layers -Bottom layers -Infill Layer Thickness -Regular Fan Speed at Layer -Raft Top Layer Thickness -Raft Middle Thickness 	
Initial Layer Height	Το ύψος του αρχικού επιπέδου σε χιλιοστά (mm). Αν το αρχικό επίπεδο έχει μεγάλο πάχος τότε μπορεί να βοηθήσει την προσκόλληση του αντικειμένου πάνω στο επίπεδο σχεδίασης του εκτυπωτή.	<ul style="list-style-type: none"> -Regular Fan Speed at Height -Regular Fan Speed at Layer -Raft Base Thickness 	
Line Width	Συνήθως το πλάτος μια γραμμής καθορίζεται από την διάμετρο του στομίου της κεφαλής. Όταν το πλάτος μειώνεται έστω και λίγο επιτυγχάνεται καλύτερη ποιότητα και ακρίβεια στην εκτύπωση του αντικειμένου.	<ul style="list-style-type: none"> -Wall Line Width -Top/Bottom Line Width -Infill Line Width -Skirt/Brim Line Width -Support Line Width -Support Interface Line Width -Prime Tower Line Width -Retraction Minimum Travel -Raft Top Line Width -Raft Middle Line Width 	-Nozzle Diameter
Wall Line Width	Το πλάτος της γραμμής στα τοιχώματα του αντικείμενου.	<ul style="list-style-type: none"> -Outer Wall Line Width -Inner Wall Line Width 	-Line Width

Outer Wall Line Width	Το πλάτος της γραμμής του εξωτερικού τοιχώματος ενός αντικειμένου. Αν η τιμή αυτή μειωθεί τότε μπορούμε να εκτυπώσουμε με μεγαλύτερη λεπτομέρεια ένα αντικείμενο.	-Wall Line Count -Outer Wall Inset -Infill Wipe Distance	-Wall Line Width
Inner Wall(s) Line Width	Ορίζει τα πλάτη όλων των γραμμών εκτός αυτών που αποτελούν τα εξωτερικά τοιχώματα.	-Wall Line Count -Infill Wipe Distance	-Wall Line Width
Top/Bottom Line Width	Ορίζει το πλάτος της γραμμής στην κορυφή και στην βάση της εκτύπωσης.	-Skin Overlap	-Line Width
Infill Line Width	Ορίζει το πλάτος μιας γραμμής κατά την διάρκεια γεμίσματος του εσωτερικού χώρου ενός αντικειμένου.	-Infill Line Distance -Infill Overlap	-Line Width
Support Line Width	Το πλάτος μιας γραμμής της κατασκευής υποστήριξης.	-Support Line Width	-Line Width
Support Interface Line Width	Το πλάτος μιας γραμμής της διεπαφής της υποστήριξης.	-Support Interface Line Width	-Line Width

Quality		
Layer Height	0.1	mm
Initial Layer Height	0.3	mm
Line Width	0.4	mm
Wall Line Width	0.4	mm
Outer Wall Line Width	0.4	mm
Inner Wall(s) Line Width	0.4	mm
Top/Bottom Line Width	0.4	mm
Infill Line Width	0.4	mm

Εικόνα 3.9 - Αρχικές τιμές για την ποιότητα του αντικειμένου

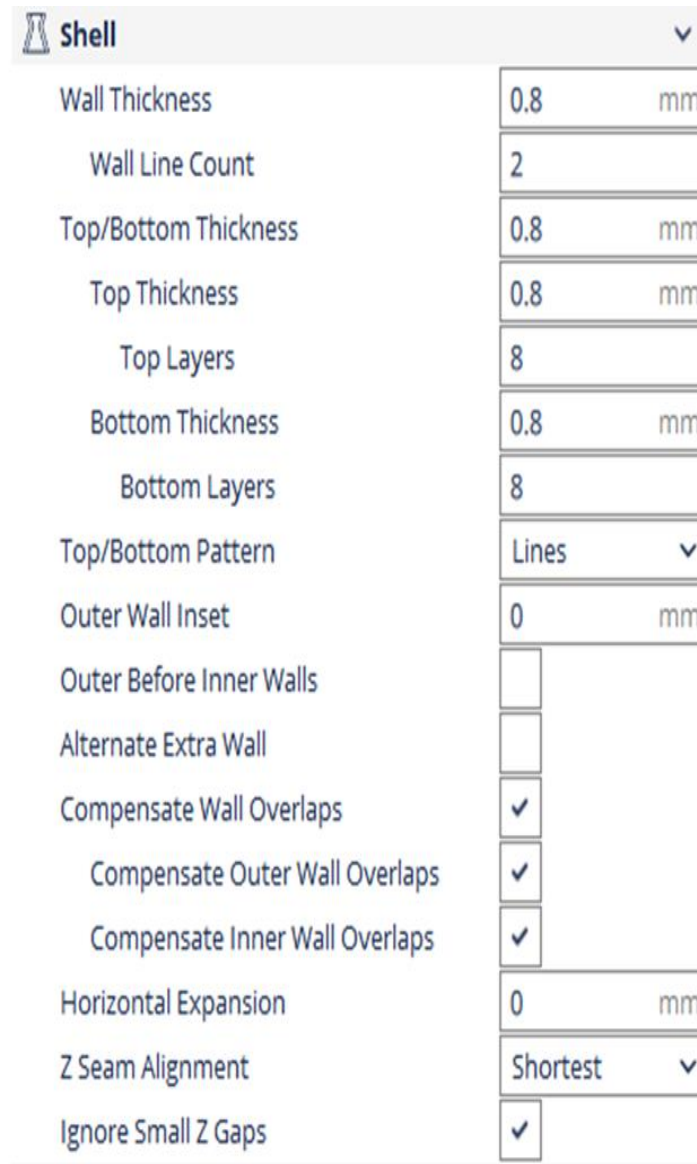
3.4.2.2 Κέλυφος αντικειμένου

Πίνακας 2 - Κρίσιμοι παράγοντες για το κέλυφος του αντικειμένου

Shell	Σύνοψη	Επηρεάζει	Επηρεάζεται από
Wall Thickness	Ρυθμίζεται το πάχος των εξωτερικών τοιχωμάτων σε οριζόντια κατεύθυνση. Αυτή η τιμή αν διαιρεθεί με το πλάτος της γραμμής του τοιχώματος μας καθορίζει το πλήθος των τοιχωμάτων.	-Wall Line Count	
Wall Line Count	Το πλήθος των τοιχωμάτων. Όταν υπολογίζεται από το πάχος των τοιχωμάτων, η τιμή στρογγυλοποιείται σε ολόκληρο αριθμό.	-Infill Wipe Distance	-Spiralize Outer Contour -Wall Thickness -Outer Wall Line Width -Inner Wall Line Width
Top/Bottom Thickness	Το πάχος του επιπέδου της βάσης και της κορυφής στην εκτύπωση. Αυτή η τιμή αν διαιρεθεί από το ύψος των τοιχωμάτων μας καθορίζει τον αριθμό των επιπέδων της βάσης και της κορυφής.	-Top Thickness -Bottom Thickness	
Top Thickness	Το πάχος των επιπέδων της κορυφής στην εκτύπωση. Αν η τιμή διαιρεθεί από το ύψος του επιπέδου μας καθορίζει τον αριθμό των επιπέδων της κορυφής.	-Top Layers	-Top/Bottom Thickness
Top Layers	Το πλήθος των επιπέδων της κορυφής. Όταν υπολογίζεται από πάχος του επιπέδου της κορυφής, αυτή η τιμή στρογγυλοποιείται.		-Infill Density -Layer Height -Top Thickness
Bottom Thickness	Το πάχος των επιπέδων της βάσης σε μια εκτύπωση. Αυτή η τιμή αν διαιρεθεί από το ύψος των επιπέδων καθορίζει τον αριθμό των επιπέδων της βάσης.	-Bottom Layers	-Top/Bottom Thickness
Bottom Layers	Το πλήθος των επιπέδων της βάσης. Όταν υπολογίζεται από το πάχος της βάσης τότε η τιμή στρογγυλοποιείται.		-Infill Density -Layer Height -Bottom Thickness
Top/Bottom Pattern	Αλλάζει το μοτίβο του των επιπέδων της βάσης και της κορυφής.	-Skin Overlap Percentage -Skin Overlap	
Outer Wall Inset	Ρυθμίσεις για τα εξωτερικά τοιχώματα ενός αντικειμένου.		-Outer Wall Line Width -Nozzle Diameter -Outer Before Inner Walls

Outer Before Inner Walls	Όταν ενεργοποιηθεί τυπώνει πρώτα τα εξωτερικά και στην συνέχεια τα εσωτερικά τοιχώματα. Αυτό μπορεί να βοηθήσει να αυξηθεί η ακρίβεια στον X και στον Y άξονα όταν χρησιμοποιείται ένα αρκετά κολλώδης πλαστικό όπως το ABS. Παρόλα αυτά μπορεί να μειώσει την ποιότητα εκτύπωσης της εξωτερικής επιφάνειας, κυρίως στις προεξοχές του αντικειμένου.	-Outer Wall Inset	
Alternate Extra Wall	Τυπώνει ένα επιπλέον τοίχωμα σε κάθε άλλο επίπεδο. Με αυτό τον τρόπο το infill συγκρατείται ανάμεσα σε αυτά τα επιπλέον τοιχώματα, καταλήγοντας σε πιο σταθερές εκτυπώσεις.		
Compensate Wall Overlaps	Ρυθμίζεται η επικάλυψη στα τοιχώματα ενός αντικειμένου όταν υπάρχει ήδη ένα τυπωμένο τοίχωμα στην θέση του.	-Compensate Outer Wall Overlaps -Compensate Inner Wall Overlaps	
Compensate Outer Wall Overlaps	Ρυθμίζονται οι επικαλύψεις στα εξωτερικά τοιχώματα ενός αντικειμένου όταν υπάρχει ήδη κάποιο τοίχωμα σε αυτή την θέση.		-Compensate Wall Overlaps
Compensate Inner Wall Overlaps	Ρυθμίζονται οι επικαλύψεις στα εσωτερικά τοιχώματα ενός αντικειμένου όταν υπάρχει ήδη κάποιο τοίχωμα σε αυτή την θέση.		-Compensate Wall Overlaps
Horizontal Expansion	Πρόκειται για ρυθμίσεις που αφορούν την οριζόντια επέκταση. Είναι η ποσότητα αντιστάθμισης που εφαρμόζεται σε όλα τα πολύγωνα σε κάθε επίπεδο του αντικειμένου. Οι θετικές τιμές στην παράμετρο αυτή αντισταθμίζουν τις υπερβολικά μεγάλες τρύπες. Ενώ οι αρνητικές τιμές μπορούν να αντισταθμίσουν τις πολύ μικρές οπές.		
Z Seam Alignment	Ρυθμίζεται το σημείο έναρξης κάθε διαδρομής ανά επίπεδο. Όταν οι διαδρομές στα διαδοχικά στρώματα ξεκινούν από το ίδιο σημείο μπορεί να εμφανιστεί μια κάθετη ραφή στην εκτύπωση. Όταν ευθυγραμμίζονται αυτές στο πίσω μέρος του αντικειμένου η αφαίρεση τους μετά το τέλος της εκτύπωσης είναι ευκολότερη. Όταν οι τοποθετήσεις γίνονται τυχαία οι ανακρίβειες στην αρχή της διαδρομής θα είναι λιγότερο αισθητές. Όταν η εκτύπωση γίνεται με βάση τις μικρότερες διαδρομές η εκτύπωση του αντικειμένου είναι γρηγορότερη.		

Ignore Small Z Gaps	Όταν το μοντέλο έχει μικρά κατακόρυφα κενά, τότε χρησιμοποιείται περίπου ένα 5% του εκτιμώμενου χρόνου στη δημιουργία φλοιού σε αυτά τα μικρά κενά. Σε αυτή την περίπτωση απενεργοποιούμε αυτή την επιλογή.		
---------------------	---	--	--



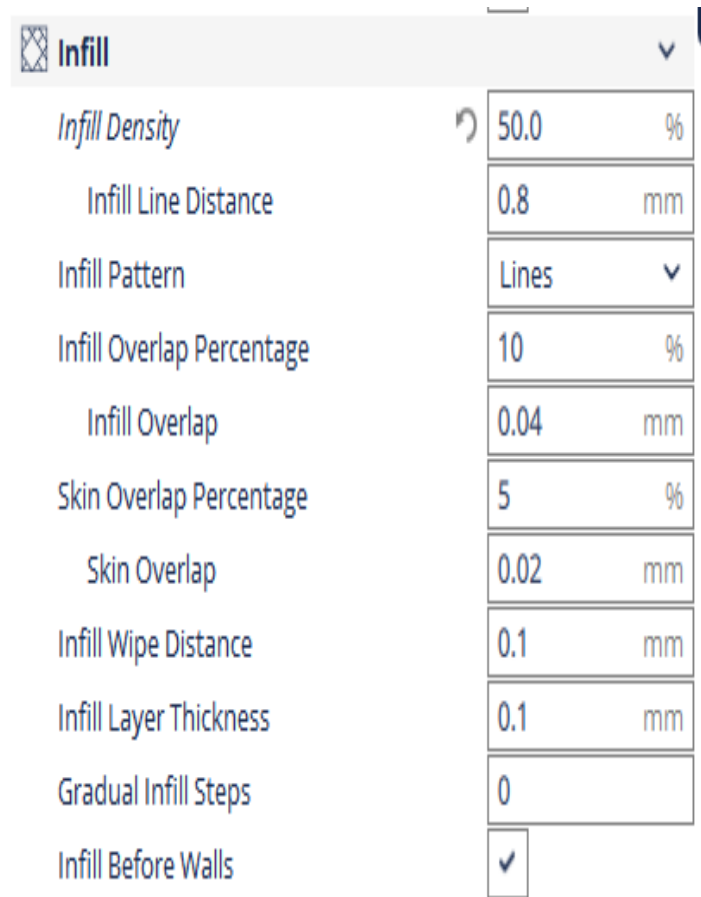
Εικόνα 3.10 - Αρχικές τιμές για το κέλυφος του αντικειμένου

3.4.2.3 Infill

Πίνακας 3 - Κρίσιμοι παράγοντες Infill

Infill	Σύνοψη	Επηρεάζει	Επηρεάζεται από
Infill Density	Προσαρμόζει την πυκνότητα του infill κατά την εκτύπωση.	-Top Layers -Bottom Layers -Infill Line Distance -Infill Pattern -Infill Overlap Percentage -Infill Overlap	
Infill Line Distance	Ορίζει την απόσταση μεταξύ των εκτυπωμένων γραμμών του infill. Αυτή η ρύθμιση υπολογίζεται από το πλάτος της γραμμής του infill.		-Infill Line Width -Infill Pattern -Infill Density
Infill Pattern	Ρυθμίζεται ο τρόπος infill του αντικείμενου. Οι επιλογές Lines και Zig Zag μειώνουν το κόστος του υλικού καθώς γίνεται έκχυση υλικού σε εναλλασσόμενα επίπεδα του αντικείμενου. Ενώ οι επιλογές Grid, Triangles, Cubic, Tetrahedral και Concentric πραγματοποιούν έκχυση υλικού πλήρως σε κάθε επίπεδο με αποτέλεσμα να παρέχεται στο αντικείμενο ισότιμη κατανομή ισχύος σε κάθε κατεύθυνση.	-Infill Line Distance -Infill Overlap Percentage -Infill Overlap	-Infill Density
Infill Overlap Percentage	Ρυθμίζεται το ποσοστό του υλικού που δημιουργεί αλληλοεπικάλυψη μεταξύ των τοιχωμάτων του αντικείμενου και του infill ώστε το αντικείμενο να γίνεται πιο σταθερό.	-Infill Overlap	-Infill Density -Infill Pattern
Infill Overlap	Η ποσότητα του υλικού της αλληλοεπικάλυψης.		-Infill Density -Infill Pattern -Infill Line Width -Infill Overlap Percentage
Skin Overlap Percentage	Ρυθμίζεται το ποσοστό της επικάλυψης μεταξύ του φλοιού και των τοιχωμάτων του αντικείμενου.	-Skin Overlap	-Top/Bottom Pattern
Skin Overlap	Η ποσότητα του υλικού που θα εκχυθεί ανάμεσα στα τοιχώματα και το φλοιό του αντικείμενου.		-Top/Bottom Line Width -Top/Bottom Pattern -Skin Overlap Percentage

Infill Wipe Distance	Η απόσταση ενός travel που θα προστεθεί μετά από κάθε γραμμή του infill, έτσι ώστε το infill να σταθεροποιηθεί καλύτερα με τα τοιχώματα.		-Wall Line Count -Outer Wall Line Width -Inner Wall Line Width
Infill Layer Thickness	Το πάχος κάθε επιπέδου του υλικού του infill. Αυτή η τιμή πρέπει να είναι πολλαπλάσιο του Layer Height αλλιώς στρογγυλοποιείται.		-Layer Height
Gradual Infill Steps	Υπολογίζει την σταδιακή μείωση της πυκνότητας του infill κατά το μισό όσο απομακρυνόμαστε από τα επίπεδα της κορυφής.		
Infill Before Walls	Ορίζει την εκτύπωση του infill πριν από τα τοιχώματα. Όταν τυπώνεται πρώτα το infill τότε θα έχουμε πιο σταθερά τοιχώματα αλλά το σχέδιο του infill μπορεί να εμφανίζεται στην επιφάνεια.		



Εικόνα 3.11 - Αρχικές τιμές για την πυκνότητα του αντικειμένου

3.4.2.4 Ρυθμίσεις υλικού

Πίνακας 4 - Κρίσιμοι παράγοντες για την συμπεριφορά του υλικού

Material	Σύνοψη	Επηρεάζει	Επηρεάζεται από
Printing Temperature	Η θερμοκρασία που χρησιμοποιείται για την εκτύπωση. Την ορίζουμε στο μηδέν αν θέλουμε να κάνουμε προθέρμανση στον εκτυπωτή χειροκίνητα.		
Build Plate Temperature	Η θερμοκρασία που χρησιμοποιείται για το θερμαινόμενο επίπεδο. Την ορίζουμε στο μηδέν αν θέλουμε να κάνουμε προθέρμανση στον εκτυπωτή χειροκίνητα.		
Diameter	Προσαρμόζει την διάμετρο του υλικού εκτύπωσης που χρησιμοποιείται. Η τιμή της διαμέτρου πρέπει να είναι ίση με αυτήν του υλικού που χρησιμοποιείται.		
Flow	Ρυθμίσεις που αφορούν την ροή του υλικού.		
Enable Retraction	Κάνει retract το υλικό όταν η κεφαλή κινείται πάνω από περιοχή που δεν γίνεται εκτύπωση.		
Retraction Distance	Το μήκος του υλικού που κάνει retract κατά την διάρκεια του retract.	-Minimum Extrusion -Distance Window	
Retraction Speed	Η ταχύτητα με την οποία ένα υλικό κάνει retract και επανέρχεται στην αρχική του κατάσταση κατά την διάρκεια του retract.	-Retraction Retract Speed -Retraction Prime Speed	
Retraction Retract Speed	Η ταχύτητα με την οποία ένα υλικό κάνει retract κατά την διάρκεια του retract.		-Retraction Speed
Retraction Prime Speed	Η ταχύτητα με την οποία το υλικό επιστρέφει στην αρχική του κατάσταση κατά την διάρκεια του retract.		-Retraction Speed
Retraction Extra Prime Amount	Μερικά υλικά μπορεί να απομακρυνθούν περισσότερο κατά την διάρκεια του retract στην πορεία της κεφαλής. Η ποσότητα αυτή μπορεί να αντισταθμιστεί με την ρύθμιση αυτής της τιμής.		
Retraction Minimum Travel	Η ελάχιστη απόσταση ενός travel για να γίνει ένα retraction. Αυτό βοηθάει να έχουμε λιγότερα retractions σε μια μικρή περιοχή.		-Line Width
Maximum Retraction Count	Αυτή η ρύθμιση βάζει όριο στον αριθμό των retractions που μπορούν να γίνουν στο Minimum Extrusion Distance Window.		

Minimum Extrusion Distance Window	Το μήκος του υλικού στο οποίο υπολογίζεται το Maximum Retraction Count.		-Retraction Distance
Standby Temperature	Η θερμοκρασία της κεφαλής όταν άλλη κεφαλή χρησιμοποιείται για εκτύπωση.		
Nozzle Switch Retraction Distance	Το μήκος του υλικού κατά την διάρκεια του retract.		-Heat Zone Length
Nozzle Switch Retraction Speed	Η ταχύτητα με την οποία το υλικό κάνει retract. Μια υψηλότερη ταχύτητα μπορεί να έχει καλύτερα αποτελέσματα αλλά μπορεί να οδηγήσει σε τριβή του υλικού.	-Nozzle Switch Retract Speed -Nozzle Switch Prime Speed	
Nozzle Switch Retract Speed	Η ταχύτητα με την οποία το υλικό κάνει retract κατά την διάρκεια του Nozzle Switch Retract.		-Nozzle Switch Retraction Speed
Nozzle Switch Prime Speed	Η ταχύτητα με την οποία το υλικό ωθείται προς τα πίσω μετά από το Nozzle Switch Retraction.		-Nozzle Switch Retraction Speed

Material	
Printing Temperature	200 °C
Build Plate Temperature	60 °C
Diameter	1.75 mm
Flow	100 %
Enable Retraction	<input checked="" type="checkbox"/>
Retraction Distance	6.5 mm
Retraction Speed	25 mm/s
Retraction Retract Speed	25 mm/s
Retraction Prime Speed	25 mm/s
Retraction Extra Prime Amount	0 mm ³
Retraction Minimum Travel	0.8 mm
Maximum Retraction Count	90
Minimum Extrusion Distance Window	6.5 mm
Standby Temperature	175 °C
Nozzle Switch Retraction Distance	16 mm
Nozzle Switch Retraction Speed	20 mm/s
Nozzle Switch Retract Speed	20 mm/s
Nozzle Switch Prime Speed	20 mm/s

Εικόνα 3.12 - Αρχικοποίηση τιμών για εκτύπωση με PLA υλικό

3.4.2.5 Ρυθμίσεις ταχύτητας

Πίνακας 5 - Κρίσιμοι παράγοντες για την ταχύτητα εκτύπωσης

Speed	Σύνοψη	Επηρεάζει	Επηρεάζεται από
Print Speed	Η ταχύτητα με την οποία γίνεται η εκτύπωση.	-Infill Speed -Wall Speed -Top/Bottom Speed -Support Speed -Prime Tower Speed -Travel Speed -Initial Layer Travel Speed -Raft Print Speed	
Infill Speed	Η ταχύτητα με την οποία γίνεται το infill.		-Print Speed
Wall Speed	Η ταχύτητα με την οποία εκτυπώνονται τα τοιχώματα.	-Outer Wall Speed -Inner Wall Speed	-Print Speed
Outer Wall Speed	Η ταχύτητα με την οποία εκτυπώνεται το εξωτερικό τοίχωμα. Όσο μικρότερη τόσο βελτιώνεται η ποιότητα του εξωτερικού τοιχώματος. Όμως δεν πρέπει να υπάρχει μεγάλη διαφορά με το Inner Wall Speed γιατί θα έχουμε θέμα ποιότητας.		-Wall Speed
Inner Wall Speed	Η ταχύτητα με την οποία εκτυπώνονται τα εσωτερικά τοιχώματα. Τυπώνοντας το εσωτερικό τοίχωμα με μεγαλύτερη ταχύτητα από το εξωτερικό μειώνεται και ο χρόνος εκτύπωσης, άρα πρέπει να υπάρχει σωστή αναλογία με το Infill Speed και το Outer Wall Speed.		-Wall Speed
Top/Bottom Speed	Η ταχύτητα εκτύπωσης των επιπέδων της βάσης και της κορυφής.		-Print Speed
Support Speed	Η ταχύτητα με την οποία εκτυπώνεται η κατασκευή υποστήριξης. Με την αύξηση της ταχύτητας μειώνεται η συνολική διάρκεια εκτύπωσης. Η ποιότητα της υποστήριξης δεν είναι σημαντική αφού θα αφαιρεθεί αργότερα.	-Support Infill Speed -Support Interface Speed	-Print Speed

Support Infill Speed	Η ταχύτητα με την οποία εκτυπώνεται το infill της εκτύπωσης. Η εκτύπωση του infill σε χαμηλότερες ταχύτητες βελτιώνει την σταθερότητα.		-Support Speed
Support Interface Speed	Η ταχύτητα με την οποία εκτυπώνονται οι κορυφές και οι βάσεις της υποστήριξης.		-Support Speed
Travel Speed	Η ταχύτητα με την οποία γίνονται οι κινήσεις travel.	-Initial Layer Travel Speed	-Print Speed -Spiralize Outer Contour
Initial Layer Speed	Η ταχύτητα που χρησιμοποιείται για το αρχικό επίπεδο. Μια χαμηλότερη τιμή συνίσταται ώστε να βελτιωθεί η προσκόλληση του αντικείμενου στο επίπεδο εκτύπωσης.	-Initial Layer Print Speed -Initial Layer Travel Speed -Skirt/Brim Speed	
Initial Layer Print Speed	Η ταχύτητα εκτύπωσης του αρχικού επιπέδου.		-Initial Layer Speed
Initial Layer Travel Speed	Η ταχύτητα των κινήσεων travel στο αρχικό επίπεδο. Συνίσταται χαμηλή τιμή ώστε να προληφθεί πιθανή αποκόλληση των εκτυπωμένων τμημάτων από το επίπεδο εκτύπωσης.		-Print Speed -Initial Layer Speed -Travel Speed
Maximum Z Speed	Η τελική ταχύτητα με την οποία μπορεί να κινηθεί το επίπεδο εκτύπωσης. Αν η τιμή είναι μηδέν τότε χρησιμοποιούνται οι προκαθορισμένες τιμές για το Maximum Z Speed.		
Number of Slower Layers	Τα πρώτα επίπεδα τυπώνονται με μικρότερη ταχύτητα από το υπόλοιπο αντικείμενο, έτσι ώστε να γίνει καλύτερη προσκόλληση στο επίπεδο εκτύπωσης και να είναι μεγαλύτερο το ποσοστό για επιτυχή εκτύπωση. Η ταχύτητα αυξάνεται σταδιακά σε αυτά τα επίπεδα.		
Equalize Filament Flow	Η εκτύπωση λεπτότερων από το κανονικό γραμμών με μεγαλύτερη ταχύτητα ώστε το υλικό έκχυσης ανά δευτερόλεπτο να παραμένει το ίδιο σε ποσότητα. Τα λεπτά κομμάτια στο αντικείμενο μπορεί να απαιτούν οι γραμμές να εκτυπωθούν με μικρότερο πάχος γραμμής. Η ρύθμιση ελέγχει τις αλλαγές ταχύτητας σε αυτές τις γραμμές.		

Maximum Speed for Flow Equalization	Η μέγιστη ταχύτητα εκτύπωσης όπως προσαρμόζεται ώστε να ισοσταθμιστεί η ροή του υλικού.		
Enable Acceleration Control	Επιτρέπει την προσαρμογή της επιτάχυνσης της κεφαλής εκτύπωσης. Με την αύξηση των επιταχύνσεων μπορούμε να μειώσουμε το χρόνο εκτύπωσης αλλά παράλληλα να μειώσουμε και την ποιότητα εκτύπωσης.		
Print Acceleration	Η επιτάχυνση με την οποία γίνεται η εκτύπωση.	-Infill Acceleration -Wall Acceleration -Top/Bottom Acceleration -Support Acceleration -Prime Tower Acceleration -Travel Acceleration -Initial Layer Acceleration -Initial Layer Travel Acceleration -Raft Print Acceleration	
Infill Acceleration	Η επιτάχυνση με την οποία εκτυπώνεται το infill.		-Print Acceleration
Wall Acceleration	Η επιτάχυνση με την οποία εκτυπώνονται τα τοιχώματα.	-Outer Wall Acceleration -Inner Wall Acceleration	-Print Acceleration
Outer Wall Acceleration	Η επιτάχυνση με την οποία εκτυπώνονται τα εξωτερικά τοιχώματα.		-Wall Acceleration
Inner Wall Acceleration	Η επιτάχυνση με την οποία εκτυπώνονται όλα τα εσωτερικά τοιχώματα.		-Wall Acceleration
Top/Bottom Acceleration	Η επιτάχυνση με την οποία εκτυπώνονται τα επίπεδα της βάσης και της κορυφής.		-Print Acceleration

Support Acceleration	Η επιτάχυνση με την οποία εκτυπώνεται η κατασκευή υποστήριξης.	-Support Infill Acceleration -Support Interface Acceleration	-Print Acceleration
Support Infill Acceleration	Η επιτάχυνση με την οποία εκτυπώνεται το infill της υποστήριξης.		-Support Acceleration
Support Interface Acceleration	Η επιτάχυνση με την οποία εκτυπώνονται οι βάσεις και οι κορυφές της υποστήριξης.		-Support Acceleration
Travel Acceleration	Η επιτάχυνση με την οποία γίνεται το travel.	-Initial Layer Travel Acceleration	-Spiralize Outer Contour -Print Acceleration
Initial Layer Acceleration	Η επιτάχυνση που χρησιμοποιείται για το αρχικό επίπεδο.	-Initial Layer Print Acceleration -Initial Layer Travel Acceleration -Skirt/Brim Acceleration	-Print Acceleration
Initial Layer Print Acceleration	Η επιτάχυνση κατά την διάρκεια της εκτύπωσης του αρχικού επιπέδου.		-Initial Layer Acceleration
Initial Layer Travel Acceleration	Η επιτάχυνση των κινήσεων travel στο αρχικό επίπεδο.		-Initial Layer Acceleration -Travel Acceleration -Print Acceleration
Skirt/Brim Acceleration	Η επιτάχυνση με την οποία εκτυπώνεται το skirt και το brim. Συνήθως αυτό γίνεται με το Initial Layer Acceleration, αλλά μερικές φορές μπορεί να χρειαστεί να εκτυπωθεί το skirt και το brim με διαφορετική επιτάχυνση.		-Initial Layer Acceleration
Enable Jerk Control	Επιτρέπει την προσαρμογή των αιφνίδιων κινήσεων της κεφαλής όταν η ταχύτητα αλλάζει στους X/Y άξονες. Αυξάνοντας το jerk μπορεί να μειώσει την διάρκεια εκτύπωσης μειώνοντας παράλληλα και την ποιότητα της εκτύπωσης.		

Print Jerk	Η μέγιστη στιγμιαία αλλαγή ταχύτητας της κεφαλής.	-Infill Jerk-Wall Jerk-Top/Bottom Jerk-Support Jerk-Prime Tower Jerk-Travel Jerk-Initial Layer Jerk-Initial Layer Travel Jerk-Raft Print Jerk	
Infill Jerk	Η μέγιστη στιγμιαία αλλαγή ταχύτητας με την οποία τυπώνεται το infill.		-Print Jerk
Wall Jerk	Η μέγιστη στιγμιαία αλλαγή ταχύτητας με την οποία τυπώνονται τα τοιχώματα.	-Outer Wall Jerk -Inner Wall Jerk	-Print Jerk
Outer Wall Jerk	Η μέγιστη στιγμιαία αλλαγή ταχύτητας με την οποία τυπώνονται τα εξωτερικά τοιχώματα.		-Wall Jerk
Inner Wall Jerk	Η μέγιστη στιγμιαία αλλαγή ταχύτητας με την οποία τυπώνονται τα εσωτερικά τοιχώματα.		-Wall Jerk
Top/Bottom Jerk	Η μέγιστη στιγμιαία αλλαγή ταχύτητας με την οποία τυπώνονται τα επίπεδα της βάσης και της κορυφής.		-Print Jerk
Support Jerk	Η μέγιστη στιγμιαία αλλαγή ταχύτητας με την οποία τυπώνεται η κατασκευή υποστήριξης.	-Support Infill Jerk -Support Interface Jerk	-Print Jerk
Support Infill Jerk	Η μέγιστη στιγμιαία αλλαγή ταχύτητας με την οποία τυπώνεται το infill της υποστήριξης.		-Support Jerk
Support Interface Jerk	Η μέγιστη στιγμιαία αλλαγή ταχύτητας με την οποία τυπώνονται οι κορυφές και οι βάσεις της υποστήριξης.		-Support Jerk
Travel Jerk	Η μέγιστη στιγμιαία αλλαγή ταχύτητας με την οποία γίνονται τα travel.	-Initial Layer Travel Jerk	-Spiralize Outer Contour -Print Jerk

Initial Layer Jerk	Η μέγιστη στιγμιαία αλλαγή ταχύτητας της εκτύπωσης του αρχικού επιπέδου.	-Initial Layer Print Jerk -Initial Layer Travel Jerk -Skirt/Brim Jerk	-Print Jerk
Initial Layer Print Jerk	Η μέγιστη στιγμιαία αλλαγή ταχύτητας κατά την διάρκεια της εκτύπωσης του αρχικού επιπέδου.		-Initial Layer Jerk
Initial Layer Travel Jerk	Η επιτάχυνση των travel για το αρχικό επίπεδο.		-Initial Layer Jerk -Print Jerk -Travel Jerk
Skirt/Brim Jerk	Η μέγιστη στιγμιαία αλλαγή ταχύτητας με την οποία εκτυπώνεται το skirt και το brim.		-Initial Layer Jerk

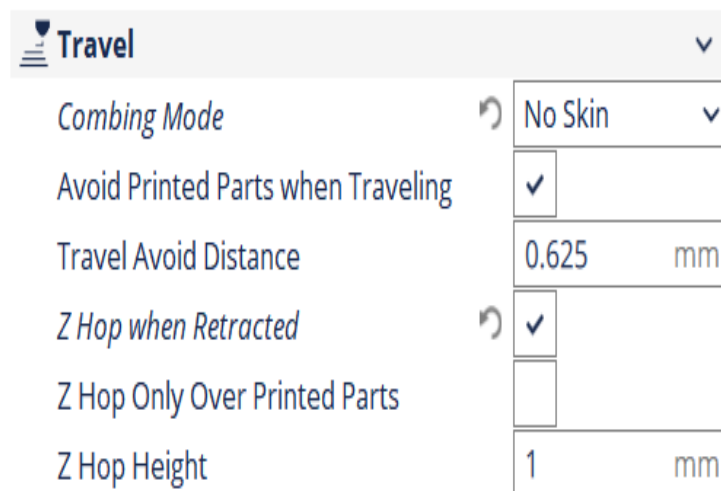
Category	Setting	Value	Unit	
Speed	Print Speed	60	mm/s	
	Infill Speed	60	mm/s	
	Wall Speed	30.0	mm/s	
	Outer Wall Speed	30.0	mm/s	
	Inner Wall Speed	60.0	mm/s	
	Top/Bottom Speed	30.0	mm/s	
	Travel Speed	120	mm/s	
	Initial Layer Speed	30	mm/s	
	Initial Layer Print Speed	30	mm/s	
	Initial Layer Travel Speed	60.0	mm/s	
	Maximum Z Speed	0	mm/s	
	Number of Slower Layers	2.0		
	Acceleration & Jerk	Equalize Filament Flow	<input checked="" type="checkbox"/>	
		Maximum Speed for Flow Equalization	150	mm/s
		Enable Acceleration Control	<input checked="" type="checkbox"/>	
Print Acceleration		3000	mm/s ²	
Infill Acceleration		3000	mm/s ²	
Wall Acceleration		3000	mm/s ²	
Outer Wall Acceleration		3000	mm/s ²	
Inner Wall Acceleration		3000	mm/s ²	
Top/Bottom Acceleration		3000	mm/s ²	
Travel Acceleration		5000	mm/s ²	
Initial Layer Acceleration		3000	mm/s ²	
Initial Layer Print Acceleration		3000	mm/s	
Initial Layer Travel Acceleration		5000.0	mm/s	
Skirt/Brim Acceleration		3000	mm/s ²	
Enable Jerk Control		<input checked="" type="checkbox"/>		
Print Jerk	20	mm/s		
Infill Jerk	20	mm/s		
Wall Jerk	20	mm/s		
Outer Wall Jerk	20	mm/s		
Inner Wall Jerk	20	mm/s		
Top/Bottom Jerk	20	mm/s		
Travel Jerk	30	mm/s		
Initial Layer Jerk	20	mm/s		
Initial Layer Print Jerk	20	mm/s		
Initial Layer Travel Jerk	30.0	mm/s		
Skirt/Brim Jerk	20	mm/s		

Εικόνα 3.13 - Αρχικές τιμές που ορίζουν την ταχύτητα εκτύπωσης

3.4.2.6 Travel

Πίνακας 6 - Κρίσιμοι παράγοντες Travel

Travel	Σύνοψη	Επηρεάζεται από
Combing Mode	Με αυτήν την ρύθμιση η κεφαλή κινείται μέσα στις εκτυπωμένες περιοχές κατά την διάρκεια του travel. Αυτό μπορεί να οδηγήσει σε λίγο μεγαλύτερα travel αλλά μειώνει την ανάγκη για retracts.	
Avoid Printed Parts when Traveling	Η κεφαλή αποφεύγει τις εκτυπωμένες περιοχές κατά το travel. Αυτή η επιλογή είναι διαθέσιμη μόνο όταν είναι ενεργοποιημένο το Combing Mode.	
Travel Avoid Distance	Η απόσταση ανάμεσα στην κεφαλή και τις ήδη τυπωμένες περιοχές όταν αυτές αποφεύγονται κατά την διάρκεια του travel.	-Outer Nozzle Diameter
Z Hop when Retracted	Όταν γίνεται ένα retraction το επίπεδο εκτύπωσης χαμηλώνει για να δημιουργήσει ένα κενό ανάμεσα στην κεφαλή και την εκτύπωση. Με αυτόν τον τρόπο προστατεύεται η κεφαλή από την επαφή με την εκτύπωση κατά το travel.	
Z Hop Only Over Printed Parts	Το Z Hop πραγματοποιείται μόνο όταν κινείται πάνω από εκτυπωμένα τμήματα τα οποία δεν γίνεται να αποφύγει από την οριζόντια κίνηση από το Avoid Printed Parts when Traveling.	
Z Hop Height	Η διαφορά ύψους όταν γίνεται ένα Z Hop.	



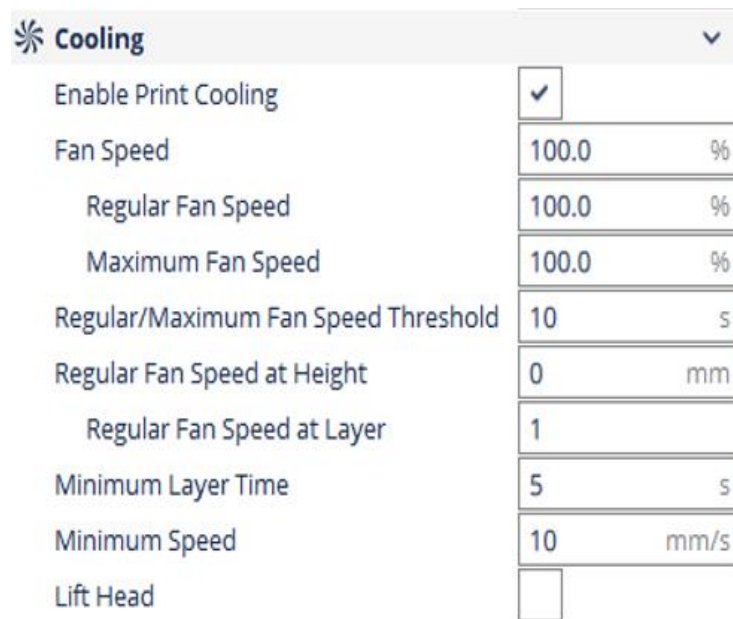
Εικόνα 3.14 - Προκαθορισμένες τιμές του travel

3.4.2.7 Ψύξη

Πίνακας 7 - Κρίσιμοι παράγοντες για την ψύξη

Cooling	Σύνοψη	Επηρεάζει	Επηρεάζεται από
Enable Print Cooling	Ενεργοποιεί τους ανεμιστήρες ψύξης της κεφαλής. Οι ανεμιστήρες βελτιώνουν την ποιότητα εκτύπωσης στα επίπεδα με χαμηλό χρόνο στρώσης και συνδέσεις / προεξοχές.	-Fan Speed	
Fan Speed	Η ταχύτητα με την οποία περιστρέφονται οι ανεμιστήρες ψύξης του εκτυπωτή.	-Regular Fan Speed -Maximum Fan Speed	-Enable Print Cooling
Regular Fan Speed	Η ταχύτητα με την οποία κινούνται οι ανεμιστήρες μέχρι να φτάσουν το όριο. Όταν ένα επίπεδο τυπώνεται γρηγορότερα από το όριο τότε η ταχύτητα αυξάνεται σταδιακά προς την μέγιστη ταχύτητα των ανεμιστήρων.		-Fan Speed
Maximum Fan Speed	Η ταχύτητα με την οποία κινούνται οι ανεμιστήρες στον ελάχιστο χρόνο στρώσης. Η ταχύτητα αυξάνεται σταδιακά μεταξύ της κανονικής ταχύτητας και της μέγιστης ταχύτητας του ανεμιστήρα όταν φτάσει το όριο.		-Fan Speed
Regular/Maximum Fan Speed Threshold	Η ταχύτητα στρώσης η οποία ορίζει το όριο ανάμεσα στο Regular Fan Speed και στο Maximum Fan Speed. Αν τα επίπεδα τυπώνονται πιο αργά από αυτό το χρόνο τότε χρησιμοποιείται η Regular Fan Speed. Για γρηγορότερους χρόνους στρώσης η ταχύτητα των ανεμιστήρων αυξάνεται σταδιακά προς το Maximum Fan Speed.		
Regular Fan Speed at Height	Το ύψος στο οποίο κινούνται οι ανεμιστήρες στο Regular Fan Speed. Στις στρώσεις κάτω από την ταχύτητα του ανεμιστήρα αυξάνεται σταδιακά από μηδέν σε Regular Fan Speed.	-Regular Fan Speed at Layer	-Initial Layer Height -Build Plate Adhesion Type

Regular Fan Speed at Layer	Το επίπεδο στο οποίο περιστρέφονται οι ανεμιστήρες στο Regular Fan Speed.		-Regular Fan Speed at Height -Initial Layer Height -Layer Height
Minimum Layer Time	Ο ελάχιστος χρόνος στρώσης του επιπέδου. Αυτό αναγκάζει τον εκτυπωτή να επιβραδύνει ώστε ο χρόνος στρώσης του επιπέδου να είναι ίσος με αυτόν που έχει οριστεί. Αυτό βοηθάει να μειωθεί η θερμοκρασία του υλικού εκτύπωσης πριν περάσει στο επόμενο επίπεδο.		
Minimum Speed	Η ελάχιστη ταχύτητα εκτύπωσης, παρόλο που επιβραδύνει από το Minimum Layer Time. Όταν ο εκτυπωτής επιβραδύνει πολύ η πίεση στην κεφαλή θα είναι χαμηλή και έχει ως αποτέλεσμα την κακή ποιότητα εκτύπωσης.		
Lift Head	Όταν φτάσει την ελάχιστη ταχύτητα εξαιτίας του Minimum Layer Time, τότε ανασηκώνεται η κεφαλή μακριά από την εκτύπωση και ο εκτυπωτής περιμένει επιπλέον χρόνο μέχρι να φτάσει το Minimum Layer Time.		



Εικόνα 3.15 - Αρχικές τιμές ψύξης

3.4.2.8 Support

Πίνακας 8 - Κρίσιμοι παράγοντες για την υποστήριξη του αντικείμενου

Support	Σύνοψη	Επηρεάζει	Επηρεάζεται από
Enable Support	Με αυτή είναι δυνατή η προσθήκη κατασκευής υποστήριξης στο σχέδιο. Οι κατασκευές αυτές υποστηρίζουν κομμάτια του μοντέλου με μεγάλες προεξοχές.		
Support Placement	Προσαρμόζει την τοποθέτηση των κατασκευών υποστήριξης.	-Support Bottom Distance	
Support Overhang Angle	Η ελάχιστη τιμή κλίσης για την οποία τοποθετείται υποστήριξη. Όταν η τιμή είναι 0° τότε όλες οι προεξοχές υποστηρίζονται ενώ όταν η τιμή είναι 90° τότε δεν δημιουργείται υποστήριξη.		
Support Pattern	Το σχέδιο εκτύπωσης της κατασκευής υποστήριξης. Οι διαφορετικές επιλογές που είναι διαθέσιμες έχουν ως αποτέλεσμα μια σταθερή ή εύκολη σε αφαίρεση υποστήριξη.	-Support Line Distance	
Connect Support Zig Zags	Σύνδεση των zigzag. Αυτό μπορεί να αυξήσει την σταθερότητα της υποστήριξης με zigzag.		
Support Density	Προσαρμόζει την πυκνότητα της κατασκευής υποστήριξης. Μια υψηλή τιμή βοηθάει στην εκτύπωση καλύτερων προεξοχών αλλά η υποστήριξη είναι δυσκολότερο να αφαιρεθεί.	-Support Line Distance	
Support Line Distance	Η απόσταση μεταξύ των εκτυπωμένων γραμμών της υποστήριξης. Αυτή η τιμή υπολογίζεται από την πυκνότητα της υποστήριξης.		-Support Line Width -Support Density -Support Pattern
Support Z Distance	Η απόσταση από την κορυφή ή βάση της υποστήριξης με την εκτύπωση. Αυτό το κενό παρέχει απόσταση που βοηθάει στην απομάκρυνση των υποστηρίξεων όταν γίνει η εκτύπωση. Αυτή η τιμή στρογγυλοποιείται σε πολλαπλάσιο του Layer Height.	-Support Top Distance -Support Bottom Distance	
Support Top Distance	Η απόσταση από την κορυφή της υποστήριξης έως το αντικείμενο.		-Support Z Distance -Support Extruder

Support Bottom Distance	Η απόσταση από το αντικείμενο μέχρι την βάση της υποστήριξης.		-Support Z Distance -Support Extruder -Support Placement
Support X/Y Distance	Η απόσταση της κατασκευής υποστήριξης από την εκτύπωση σε σχέση με τους X/Y άξονες.		
Support Distance Priority	Επιτρέπει στο Support X/Y Distance να υπερτερήσει του Support Z Distance ή και αντίστροφα.		
Minimum Support X/Y Distance	Η απόσταση της υποστήριξης από την προεξοχή με βάση τους X/Y άξονες.		-Nozzle Diameter
Support Stair Step Height	Το ύψος των βαθμίδων στην βάση της υποστήριξης του μοντέλου. Μια χαμηλή τιμή οδηγεί σε δυσκολία αφαίρεσης, αλλά οι υψηλές τιμές μπορεί να οδηγήσουν σε ασταθείς κατασκευές υποστήριξης.		
Support Join Distance	Η μέγιστη απόσταση ανάμεσα στις κατασκευές υποστήριξης με βάση τους X/Y άξονες Όταν οι κατασκευές βρίσκονται πιο κοντά μεταξύ τους από το μέγεθος της τιμής τότε ενοποιούνται.		
Support Horizontal Expansion	Δημιουργείται ένα αντιστάθμισμα στην κατασκευή υποστήριξης με βάση τους X/Y άξονες. Υψηλές τιμές θα επεκτείνουν την κατασκευή υποστήριξης κάνοντάς την πιο σταθερή.		
Enable Support Interface	Δημιουργεί μια πυκνή διεπαφή ανάμεσα στο μοντέλο και την υποστήριξη. Αυτό θα δημιουργήσει ένα περίβλημα στην κορυφή της υποστήριξης στην οποία θα τυπωθεί το μοντέλο και στην βάση της.		
Support Interface Thickness	Το πάχος της διεπαφής της υποστήριξης που συνδέεται με το μοντέλο στην βάση ή στην κορυφή.	-Support Roof Thickness -Support Bottom Thickness	
Support Roof Thickness	Το πάχος της διεπαφής της υποστήριξης που συνδέεται με το μοντέλο στην βάση ή στην κορυφή.		-Support Interface Thickness -Support Interface Extruder

Support Bottom Interface	Το πάχος της βάσης της υποστήριξης. Αυτή η ρύθμιση ελέγχει τον αριθμό των πυκνών επιπέδων τα οποία τυπώνονται.		-Support Interface Thickness -Support Interface Extruder
Support Interface Resolution	Η ανάλυση ως προς την κατεύθυνση του άξονα Z καθορίζει που θα εκτυπωθεί η υποστήριξη της διεπαφής.		
Support Interface Density	Προσαρμόζει την πυκνότητα της οροφής και της βάσης της κατασκευής υποστήριξης. Μια υψηλή τιμή έχει ως αποτέλεσμα καλύτερα εκτυπωμένες προεξοχές αλλά είναι δυσκολότερο να αφαιρεθούν.	-Support Interface Line Distance	
Support Interface Line Distance	Η απόσταση μεταξύ των διεπαφών της υποστήριξης. Αυτή η τιμή υπολογίζεται από το Support Interface Density αλλά μπορεί να υπολογιστεί και ξεχωριστά.		-Support Interface Density -Support Interface Line Width -Support Interface Pattern
Support Interface Pattern	Το σχέδιο με το οποίο τυπώνεται η διεπαφή της υποστήριξης.	-Support Interface Line Distance	
Use Towers	Χρησιμοποιούνται ειδικοί πύργοι για την υποστήριξη μικρών προεξοχών.		
Tower Diameter	Η διάμετρος των ειδικών πύργων.		
Minimum Diameter	Η ελάχιστη διάμετρος μιας μικρής περιοχής με βάση τους X/Y άξονες η οποία πρέπει να υποστηριχτεί από ειδικό πύργο υποστήριξης.		
Tower Roof Angle	Η κλίση του ανώτερου επιπέδου του πύργου.		

Support		Support XY Distance	0.7 mm
Enable Support	<input checked="" type="checkbox"/>	Support Distance Priority	Z overrides XY ▾
Support Placement	Everywhere ▾	Minimum Support XY Distance	0.2 mm
Support Overhang Angle	50 °	Support Stair Step Height	0.3 mm
Support Pattern	Zig Zag ▾	Support Join Distance	2.0 mm
Connect Support ZigZags	<input checked="" type="checkbox"/>	Support Horizontal Expansion	0.2 mm
Support Density	15 %	Enable Support Interface	<input type="checkbox"/>
Support Line Distance	2.6667 mm	Use Towers	<input checked="" type="checkbox"/>
Support Z Distance	0.1 mm	Tower Diameter	3.0 mm
Support Top Distance	0.1 mm	Minimum Diameter	3.0 mm
Support Bottom Distance	0.1 mm	Tower Roof Angle	65 °

Εικόνα 3.16 - Προκαθορισμένες τιμές για την υποστήριξη του αντικειμένου

3.4.2.9 Build Plate Adhesion

Πίνακας 9 - Κρίσιμοι παράγοντες για την προσκόλληση στο επίπεδο εκτύπωσης

Build Plate Adhesion	Σύνοψη	Επηρεάζει	Επηρεάζεται από
Build Plate Adhesion Type	Διαφορετικές επιλογές οι οποίες μπορούν να βοηθήσουν στην έκχυση του υλικού αλλά και την προσκόλληση στο επίπεδο εκτύπωσης. Το brim προσθέτει ένα επίπεδο εκτύπωσης γύρω από την βάση του αντικείμενου αποτρέποντας την παραμόρφωση. Το Raft προσθέτει ένα επίπεδο κάτω από το αντικείμενο. Το Skirt είναι μια γραμμή που τυπώνεται γύρω από το αντικείμενο αλλά δεν συνδέεται με αυτό.	-Regular Fan Speed at Height	
Raft Extra Margin	Με αυτή τη ρύθμιση ορίζεται μια περιοχή γύρω από το αντικείμενο στην οποία επεκτείνεται το raft. Με την αύξηση της περιοχής του raft θα γίνει πιο σταθερή εκτύπωση αλλά θα χρησιμοποιηθεί περισσότερο υλικό και θα μειωθεί ο χώρος εκτύπωσης.		
Raft Air Gap	Η απόσταση μεταξύ του πρώτου και του τελευταίου επιπέδου εκτύπωσης του raft.	-Initial Layer Z Overlap	
Initial Layer Z Overlap	Μειώνει όλα τα επίπεδα του μοντέλου εκτός από το αρχικό ώστε αυτό να πιεστεί κόντρα στο raft.		-Raft Air Gap
Raft Top Layers	Ο αριθμός των επιπέδων της κορυφής.		
Raft Top Layer Thickness	Το πάχος των επιπέδων της κορυφής του raft.		-Layer Height
Raft Top Line Width	Το πλάτος των γραμμών στην επιφάνεια του raft. Αυτές μπορεί να είναι λεπτές γραμμές ώστε να γίνει πιο λεία η επιφάνεια.	-Raft Top Spacing	-Line Width
Raft Top Spacing	Η απόσταση μεταξύ των γραμμών του raft στα επίπεδα της κορυφής του. Οι αποστάσεις πρέπει να είναι ίσες με το Line Width ώστε η επιφάνεια να είναι σταθερή.		-Raft Top Line Width

Raft Middle Thickness	Το πάχος των ενδιάμεσων επιπέδων του raft.		-Layer Height
Raft Middle Line Width	Το πάχος των γραμμών των ενδιάμεσων επιπέδων του raft.	-Raft Middle Spacing	-Line Width
Raft Middle Spacing	Η απόσταση των γραμμών στα ενδιάμεσα επίπεδα του raft. Το διάστημα πρέπει να είναι πλατύ και πυκνό για να υποστηριχτούν τα επίπεδα κορυφής του raft.		-Raft Middle Line Width
Raft Base Thickness	Το πάχος του επιπέδου της βάσης του raft. Το επίπεδο αυτό πρέπει να έχει μεγάλο πάχος ώστε να προσκολληθεί σωστά στο επίπεδο εκτύπωσης.		-Initial Layer Height
Raft Base Line Width	Το πλάτος των γραμμών στο επίπεδο βάσης του raft. Όσο μεγαλύτερο το πάχος τόσο καλύτερη η εφαρμογή στο επίπεδο εκτύπωσης.	-Raft Line Spacing	-Build Plate Adhesion Extruder- Nozzle Diameter
Raft Line Spacing	Η απόσταση μεταξύ των γραμμών του raft. Όταν τα διαστήματα έχουν μεγάλο πάχος βοηθούν στην εύκολη αφαίρεση του αντικειμένου από το επίπεδο εκτύπωσης.		-Raft Base Line Width
Raft Print Speed	Η ταχύτητα εκτύπωσης του raft.	-Raft Top Print Speed -Raft Middle Print Speed -Raft Base Print Speed	-Print Speed
Raft Top Print Speed	Η ταχύτητα με την οποία εκτυπώνονται τα επίπεδα κορυφής του raft. Τα επίπεδα αυτά πρέπει να εκτυπωθούν με χαμηλή ταχύτητα ώστε η κεφαλή να δημιουργήσει μια λεία εξωτερική επιφάνεια.		-Raft Print Speed
Raft Middle Print Speed	Η ταχύτητα με την οποία εκτυπώνονται τα ενδιάμεσα επίπεδα του raft. Αυτά πρέπει να εκτυπωθούν πάρα πολύ αργά καθώς ο όγκος του υλικού έκχυσης είναι ιδιαίτερα υψηλός.		-Raft Print Speed

Raft Base Print Speed	Η ταχύτητα με την οποία με την οποία εκτυπώνονται τα επίπεδα της βάσης του raft. Λόγω του όγκου του υλικού έκχυσης, η ταχύτητα πρέπει να είναι πολύ χαμηλή.		-Raft Print Speed
Raft Print Acceleration	Η επιτάχυνση με την οποία εκτυπώνεται το raft.	-Raft Top Print Acceleration -Raft Middle Print Acceleration -Raft Base Print Acceleration	-Print Acceleration
Raft Top Print Acceleration	Η επιτάχυνση με την οποία εκτυπώνονται τα επίπεδα της κορυφής του raft.		-Raft Print Acceleration
Raft Middle Print Print Acceleration	Η επιτάχυνση με την οποία εκτυπώνονται τα ενδιάμεσα επίπεδα του raft.		-Raft Print Acceleration
Raft Base Print Acceleration	Η επιτάχυνση με την οποία εκτυπώνονται τα επίπεδα της βάσης του raft.		-Raft Print Acceleration
Raft Print Jerk	Το jerk με το οποίο εκτυπώνεται το raft.	-Raft Top Print Jerk -Raft Middle Print Jerk -Raft Base Print Jerk	-Print Jerk
Raft Top Print Jerk	Το jerk με το οποίο εκτυπώνονται τα επίπεδα της κορυφής του raft.		-Raft Print Jerk
Raft Middle Print Jerk	Το jerk με το οποίο εκτυπώνονται τα ενδιάμεσα επίπεδα του raft.		-Raft Print Jerk
Raft Base Print Jerk	Το jerk με το οποίο εκτυπώνονται τα επίπεδα της βάσης του raft.		-Raft Print Jerk
Raft Fan Speed	Η ταχύτητα των ανεμιστήρων κατά την διάρκεια εκτύπωσης του raft.	-Raft Top Fan Speed -Raft Middle Fan Speed -Raft Base Fan Speed	

Raft Top Fan Speed	Η ταχύτητα των ανεμιστήρων κατά την διάρκεια εκτύπωσης των επιπέδων της κορυφής του raft.		-Raft Fan Speed
Raft Middle Fan Speed	Η ταχύτητα των ανεμιστήρων κατά την διάρκεια εκτύπωσης των ενδιάμεσων επιπέδων του raft.		-Raft Fan Speed
Raft Base Fan Speed	Η ταχύτητα των ανεμιστήρων κατά την διάρκεια εκτύπωσης των επιπέδων της βάσης του raft.		-Raft Fan Speed
Skirt/ Brim Minimum Length	Το ελάχιστο μήκος του skirt/brim. Αν η τιμή είναι μηδέν τότε η ρύθμιση αγνοείται.		
Brim Width	Η απόσταση από το αντικείμενο μέχρι την εξωτερική γραμμή του brim. Ένα μεγαλύτερο brim βοηθάει στην προσκόλληση στο επίπεδο εκτύπωσης αλλά μειώνει την περιοχή εκτύπωσης.	-Brim Line Count	
Brim Line Count	Η ποσότητα των γραμμών που χρησιμοποιούνται για το brim.		-Brim Width -Skirt/Brim Line Width
Brim Only on Outside	Το brim εκτυπώνεται μόνο γύρω από το αντικείμενο. Αυτό μειώνει το brim που πρέπει να αφαιρεθεί αργότερα χωρίς να μειώνεται η προσκόλληση στο επίπεδο εκτύπωσης σε σημαντικό βαθμό.		
Skirt Line Count	Πολλαπλές γραμμές του skirt μπορούν να βοηθήσουν την έκχυση σε μικρότερα αντικείμενα. Αν η τιμή είναι μηδέν, τότε απενεργοποιείται το skirt.		
Skirt Distance	Η οριζόντια απόσταση μεταξύ του skirt και του πρώτου επιπέδου εκτύπωσης.		

Build Plate Adhesion	
Build Plate Adhesion Type	Skirt
Skirt Line Count	1
Skirt Distance	3 mm
Skirt/Brim Minimum Length	250 mm

Εικόνα 3.17 - Προκαθορισμένες τιμές για την χρήση του Skirt

Build Plate Adhesion Type	Raft	Raft Base Thickness	0.36 mm
Raft Extra Margin	15 mm	Raft Base Line Width	0.8 mm
Raft Air Gap	0.3 mm	Raft Line Spacing	1.6 mm
Initial Layer Z Overlap	0.15 mm	Raft Print Speed	30.0 mm/s
Raft Top Layers	2	Raft Top Print Speed	30.0 mm/s
Raft Top Layer Thickness	0.2 mm	Raft Middle Print Speed	22.5 mm/s
Raft Top Line Width	0.4 mm	Raft Base Print Speed	22.5 mm/s
Raft Top Spacing	0.4 mm	Raft Fan Speed	0 %
Raft Middle Thickness	0.3 mm	Raft Top Fan Speed	0 %
Raft Middle Line Width	0.8 mm	Raft Middle Fan Speed	0 %
Raft Middle Spacing	1.0 mm	Raft Base Fan Speed	0 %

Εικόνα 3.18 - Προκαθορισμένες τιμές για την χρήση του Raft

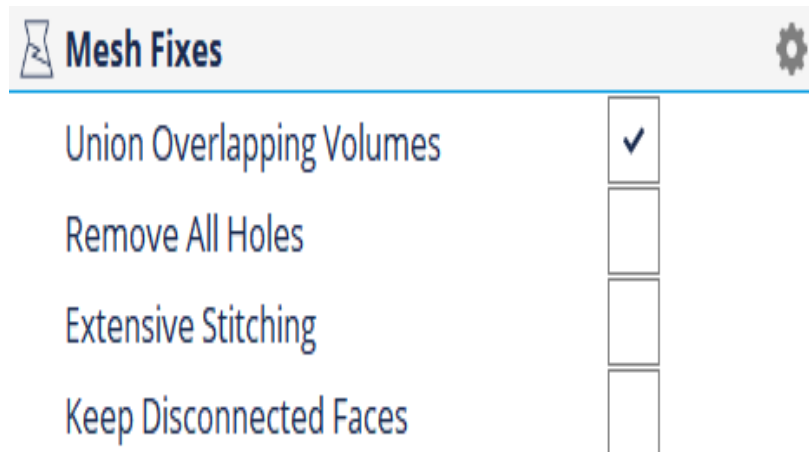
Build Plate Adhesion Type	Brim
Skirt/Brim Minimum Length	250 mm
Brim Width	15 mm
Brim Line Count	38
Brim Only on Outside	<input checked="" type="checkbox"/>

Εικόνα 3.19 - Προκαθορισμένες τιμές για την χρήση του Brim

3.4.2.10 Mesh Fixes

Πίνακας 10 - Ρυθμίσεις διόρθωσης πλέγματος

Mesh Fixes	Σύνοψη
Union Overlapping Volumes	Αν σε ένα αντικείμενο περιλαμβάνονται δύο διαφορετικά κομμάτια τα οποία αλληλεπικαλύπτονται τότε μπορεί να τα ενοποιήσει και να τα εκτυπώσει σαν ολόκληρο αντικείμενο.
Remove All Holes	Αφαιρεί όλα τα κενά σε κάθε επίπεδο και κρατάει μόνο το εξωτερικό σχέδιο. Με αυτό τον τρόπο αφαιρούνται όλα τα μη εμφανή κομμάτια. Όμως αγνοούνται και τα κενά του επιπέδου τα οποία είναι εμφανή από πάνω ή κάτω.
Extensive Stitching	Με αυτή τη ρύθμιση μπορούν να καλυφθούν όλα τα ανοιχτά κενά με συνδεδεμένα πολύγωνα. Αυτή η επιλογή μπορεί να αυξήσει αισθητά τον χρόνο.
Keep Disconnected Faces	Το Cura προσπαθεί να καλύψει τις μικρές τρύπες και να αφαιρέσει τμήματα του επιπέδου με μεγαλύτερα κενά. Με την ενεργοποίηση αυτής της επιλογής δεν θα αφαιρεθούν τα τμήματα που δεν μπορούν να καλυφθούν. Αυτή όμως η επιλογή πρέπει να χρησιμοποιηθεί σαν τελική επιλογή όταν όλα τα υπόλοιπα αποτύχουν να παράγουν σωστό κώδικα GCode.

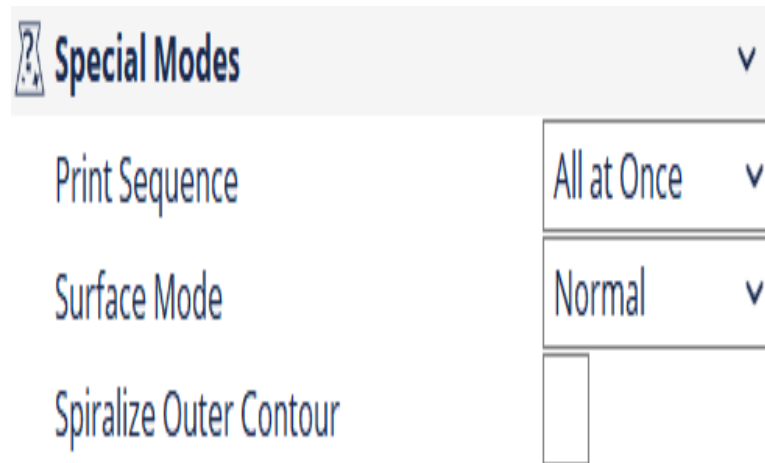


Εικόνα 3.20 - Επιλογές για διόρθωση πλέγματος

3.4.2.11 Ειδικές Λειτουργίες

Πίνακας 11 - Ειδικές Λειτουργίες εκτυπωτή

Special Modes	Σύνοψη	Επηρεάζει
Print Sequence	Όταν τοποθετούνται πάνω ένα αντικείμενα εκτύπωσης στο επίπεδο τότε καθορίζει την σειρά που θα εκτυπωθούν.	
Surface Mode	Διαφορετικοί τρόποι για την εκτύπωση του αντικειμένου. Στο Normal τυπώνεται μόνο ο βασικός κορμός του αντικειμένου. Στο Surface εκτυπώνεται μόνο ένα τοίχωμα χωρίς infill και υποστήριξη. Τέλος στο Both τυπώνεται κανονικά το αντικείμενο.	
Spiralize Outer Contour	Η κίνηση του Z άξονα γίνεται πιο ομαλή στο εξωτερικό. Επίσης μετατρέπει το αντικείμενο ώστε να έχει μόνο μια σταθερή και ένα εξωτερικό τοίχωμα.	-Wall Line Count -Travel Speed -Travel Acceleration -Travel Jerk



Εικόνα 3.21 - Ρυθμίσεις ειδικών λειτουργιών

3.4.2.12 Πειραματισμοί

Πίνακας 12 - Πειραματικές ρυθμίσεις

Experimental	Σύνοψη
Enable Draft Shield	Με αυτή τη ρύθμιση δημιουργείται ένας τοίχος γύρω από το μοντέλο ο οποίος παγιδεύει τον ζεστό αέρα και προστατεύει από στοιχεία περιβάλλοντος όπως ρεύματα αέρα. Είναι ιδιαίτερα χρήσιμο για υλικά που παραμορφώνονται εύκολα.
Draft Shield X/Y Distance	Η απόσταση της Draft Shield από την εκτύπωση στους X/Y άξονες.
Draft Shield Limitation	Ρύθμιση του ύψους της Draft Shield. Μπορεί να γίνει επιλογή το Draft Shield να έχει το ίδιο ύψος με το αντικείμενο ή να οριοθετήσει το ύψος του.
Make Overhang Printable	Αλλάζει την γεωμετρία του αντικειμένου ώστε να χρειάζεται την ελάχιστη υποστήριξη.
Enable Coasting	Το Coasting αντικαθιστά την τελευταία διαδρομή έκχυσης με ένα travel. Το πλεονάζον υλικό χρησιμοποιείται για να εκτυπώσει το τελευταίο κομμάτι από την διαδρομή έκχυσης ώστε να μειώσει την δημιουργία ινών.
Extra Skin Wall Count	Αντικαθιστά το εξωτερικό κομμάτι του σχεδίου της βάσης και της κορυφή με έναν αριθμό από ομόκεντρες γραμμές.
Alternate Skin Rotation	Αλλάζει την κατεύθυνση με την οποία εκτυπώνονται τα επίπεδα της βάσης και της κορυφής. Συνήθως εκτυπώνονται μόνο διαγώνια.
Enable Conical Support	Μετατρέπει τις περιοχές υποστήριξης στην βάση μειώνοντας το μέγεθος τους σε σχέση με την προεξοχή.
Fuzzy Skin	Καθώς τυπώνεται ο εξωτερικός τοίχος γίνεται τυχαία έκχυση υλικού δημιουργώντας ανάγλυφη επιφάνεια.
Wire Printing	Τυπώνεται μόνο η εξωτερική επιφάνεια με μια αραιή ινώδης κατασκευή.

Experimental		Fuzzy Skin	Wire Printing	WP Top Delay	0 s
Enable Draft Shield	<input checked="" type="checkbox"/>	Fuzzy Skin Thickness	0.3 mm	WP Bottom Delay	0 s
Draft Shield X/Y Distance	10 mm	Fuzzy Skin Density	1.25 1/mm	WP Flat Delay	0.1 s
Draft Shield Limitation	Full	Fuzzy Skin Point Distance	0.8 mm	WP Ease Upward	0.3 mm
Make Overhang Printable	<input checked="" type="checkbox"/>	Wire Printing	<input checked="" type="checkbox"/>	WP Knot Size	0.6 mm
Maximum Model Angle	50 °	WP Connection Height	3 mm	WP Fall Down	0.5 mm
Enable Coasting	<input checked="" type="checkbox"/>	WP Roof Inset Distance	3 mm	WP Drag Along	0.6 mm
Coasting Volume	0.064 mm ³	WP Speed	5 mm/s	WP Strategy	Compensate
Minimum Volume Before Coasting	0.8 mm ³	WP Bottom Printing Speed	5 mm/s	WP Straighten Downward Lines	20 %
Coasting Speed	90 %	WP Upward Printing Speed	5 mm/s	WP Roof Fall Down	2 mm
Extra Skin Wall Count	0	WP Downward Printing Speed	5 mm/s	WP Roof Drag Along	0.8 mm
Alternate Skin Rotation	<input checked="" type="checkbox"/>	WP Horizontal Printing Speed	5 mm/s	WP Roof Outer Delay	0.2 s
Enable Conical Support	<input checked="" type="checkbox"/>	WP Flow	100 %	WP Nozzle Clearance	1 mm
Conical Support Angle	30 °	WP Connection Flow	100 %		
Conical Support Minimum Width	5.0 mm	WP Flat Flow	100 %		

Εικόνα 3.22 - Αρχικές τιμές για τους πειραματισμούς

Κεφάλαιο 4: ΠΑΡΟΥΣΙΑΣΗ 3D ΕΚΤΥΠΩΤΗ

4.1 Εισαγωγή

Σε αυτό το κεφάλαιο θα γίνει παρουσίαση του μενού του εκτυπωτή. Θα δούμε τι επιλογές μπορούν να αλλάξουν κατά την λειτουργία του εκτυπωτή καθώς και ποιες είναι οι επιπτώσεις πάνω στο αντικείμενο που εκτυπώνεται όταν αλλαχτούν κάποιες παράμετροι από τον εκτυπωτή.

4.2 Αρχική οθόνη εκτυπωτή

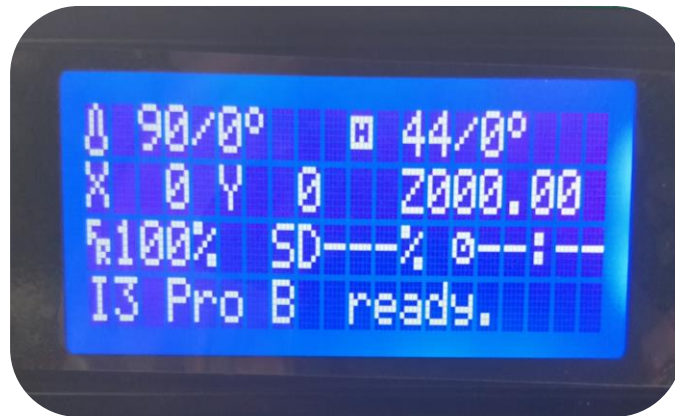
Όταν τροφοδοτείται ο εκτυπωτής η πρώτη εικόνα που παρουσιάζεται δείχνει στον χρήστη την κατάσταση στην οποία βρίσκεται ο εκτυπωτής (Εικόνα 4.1). Πάνω αριστερά εμφανίζεται η θερμοκρασία της κεφαλής που αναγνωρίζεται από τον αισθητήρα που υπάρχει πάνω στην κεφαλή. Η τιμή που αναγράφεται αριστερά είναι αυτή που διαβάζεται από τον αισθητήρα συνέχεια ενώ η τιμή που βρίσκεται δεξιά είναι η τιμή που ρυθμίζει ο χρήστης και επιθυμεί να έχει κατά την διάρκεια της εκτύπωσης. Οι τιμές που είναι πάνω δεξιά στην οθόνη είναι για την θερμοκρασία στο θερμαινόμενο επίπεδο που θα σχεδιαστεί το αντικείμενο. Η τιμή που είναι αριστερά αναγνωρίζεται από τον αισθητήρα που βρίσκεται πάνω στο θερμαινόμενο επίπεδο, ενώ η τιμή που είναι δεξιά είναι η τιμή της θερμοκρασίας που έχει ρυθμιστεί από τον χρήστη. Όταν ξεκινάει μια εκτύπωση πρώτα αρχίζει να θερμαίνεται το επίπεδο σχεδίασης και όταν φτάσει την τιμή που επιθυμεί ο χρήστης (δεξιά τιμή θερμοκρασίας) τότε αρχίζει η θέρμανση της κεφαλής ώστε να μπορεί να λιώσει το υλικό που χρησιμοποιείται από τον χρήστη. Για να αρχίσει η εκτύπωση του αντικειμένου πρέπει οι θερμοκρασίες αυτές να έχουν την τιμές που έχει ορίσει ο χρήστης.

Στην δεύτερη σειρά της οθόνης ο χρήστης βλέπει τις ακριβές συντεταγμένες από την θέση της κεφαλής κατά την διάρκεια της εκτύπωσης του αντικειμένου.

Στην επόμενη σειρά η πρώτη παράμετρος ορίζει την ταχύτητα λειτουργίας των αξόνων κατά την εκτύπωση. Η δεύτερη παράμετρος δείχνει σε τι ποσοστό είναι έτοιμο το αντικείμενο και η τελευταία παράμετρος δείχνει την διάρκεια της εκτύπωσης μέχρι την ολοκλήρωση του αντικειμένου.

Τέλος στην τελευταία σειρά αναγράφεται η κατάσταση του εκτυπωτή στην οποία βρίσκεται. Τα σύνηθες κείμενα που εμφανίζονται είναι:

- **I3 Pro B ready.:** Ο χρήστης μπορεί να περάσει το αρχείο που θέλει να εκτυπώσει, να ρυθμίσει τις θερμοκρασίες χειροκίνητα, αν δεν το έχει κάνει ήδη από το πρόγραμμα Cura και να ξεκινήσει την εκτύπωση του αντικειμένου.
- **Printing...:** Ο εκτυπωτής είναι σε λειτουργία και έχει ξεκινήσει ήδη την εκτύπωση κάποιου αντικειμένου.
- **Heating...:** Ο χρήστης είναι σε αναμονή μέχρι η θερμοκρασία της κεφαλής και η θερμοκρασία στο επίπεδο σχεδίασης να φτάσουν στις τιμές που έχουν οριστεί.
- **Heating done.:** Οι θερμοκρασίες του εκτυπωτή έχουν τις τιμές που απαιτούνται για την εκτύπωση αντικειμένου και η εκτύπωση είναι έτοιμη να ξεκινήσει.



Εικόνα 4.1 - Αρχική οθόνη εκτυπωτή

4.3 Μενού εκτυπωτή

4.3.1 Επιλογές εσωτερικών ρυθμίσεων εκτυπωτικής μονάδας

Με την είσοδο στο μενού του εκτυπωτή πριν αρχίσει η εκτύπωση του αντικειμένου οι επιλογές που εμφανίζονται είναι οι εξής:

- Info screen: Επιστροφή στην αρχική οθόνη.
- Prepare: Επιλογές για την προετοιμασία του εκτυπωτή πριν αρχίσει η εκτύπωση ενός αντικειμένου.
- Control: Διαχείριση ρυθμίσεων.
- Print from SD: Επιλογή αρχείου για εκτύπωση από την κάρτα SD.

Στο παρακάτω διάγραμμα παρουσιάζονται οι επιλογές που δίνονται στον χρήστη πριν την εκτύπωση ενός αντικειμένου. Ο χρήστης έχει την δυνατότητα να πραγματοποιήσει χειροκίνητα διάφορες ρυθμίσεις με στόχο την παραγωγή αντικειμένων σε άρτια κατάσταση. Ακόμα έχει την δυνατότητα να αλλάξει τις ρυθμίσεις που έχουν σαν αποτέλεσμα την μετατόπιση της μηδενικής θέσης του εκτυπωτή, την ταχύτητα στην κίνηση των αξόνων και τις θερμοκρασίες.

Η επιλογή Disable steppers απενεργοποιεί το τελευταίο βήμα που έχει εκτελεστεί από τον χρήστη και επιστρέφει στην αρχική οθόνη του εκτυπωτή.

Η επιλογή Auto home μετακινεί την κεφαλή του εκτυπωτή και το θερμαινόμενο επίπεδο σχεδίασης στο αρχικό σημείο εκτύπωσης που έχει οριστεί.

Το μενού του εκτυπωτή είναι ιδιαίτερα φιλικό για χρήση από αρχάριους χρήστες και από άτομα που δεν έχουν γνώσεις για τις θερμοκρασίες που απαιτούνται για την επεξεργασία των υλικών αλλά και την ταχύτητα εκτύπωσης. Ο ορισμός αυτών των παραμέτρων γίνεται για δυο βασικά υλικά το PLA και το ABS που είναι εύκολα στην χρήση για την εκτύπωση αντικείμενων και μπορούν να χρησιμοποιηθούν για την παραγωγή αντικειμένων σε διαφορετικούς τομείς.

Στην περίπτωση που ένας χρήστης διαπιστώσει ότι διαφορετικές ρυθμίσεις πάνω σε αυτά τα δυο υλικά έχουν καλύτερα αποτελέσματα στο αντικείμενο που παράγεται, τότε έχει την δυνατότητα να αποθηκεύσει αυτές τις παραμέτρους και να τις χρησιμοποιεί αυτόματα.

Η επιλογή Cooldown σταματάει την διαδικασία της θέρμανσης της κεφαλής και του επιπέδου σχεδίασης και ξεκινάει να παγώνει.

Η επιλογή Switch power on/off σταματάει την τροφοδοσία που γίνεται στους κινητήρες και στην συνέχεια ο χρήστης μπορεί να μετακινήσει τους άξονες X, Y, Z και extruder χειροκίνητα από την επιλογή Move axis. Αν αποθηκευτούν οι τιμές αυτές τότε αλλάζει το αρχικό σημείο εκτύπωσης.

Η επιλογή Move axis μπορεί να μετακινήσει τους άξονες και το extruder κατά 10mm ή 1mm ή 0.1mm.

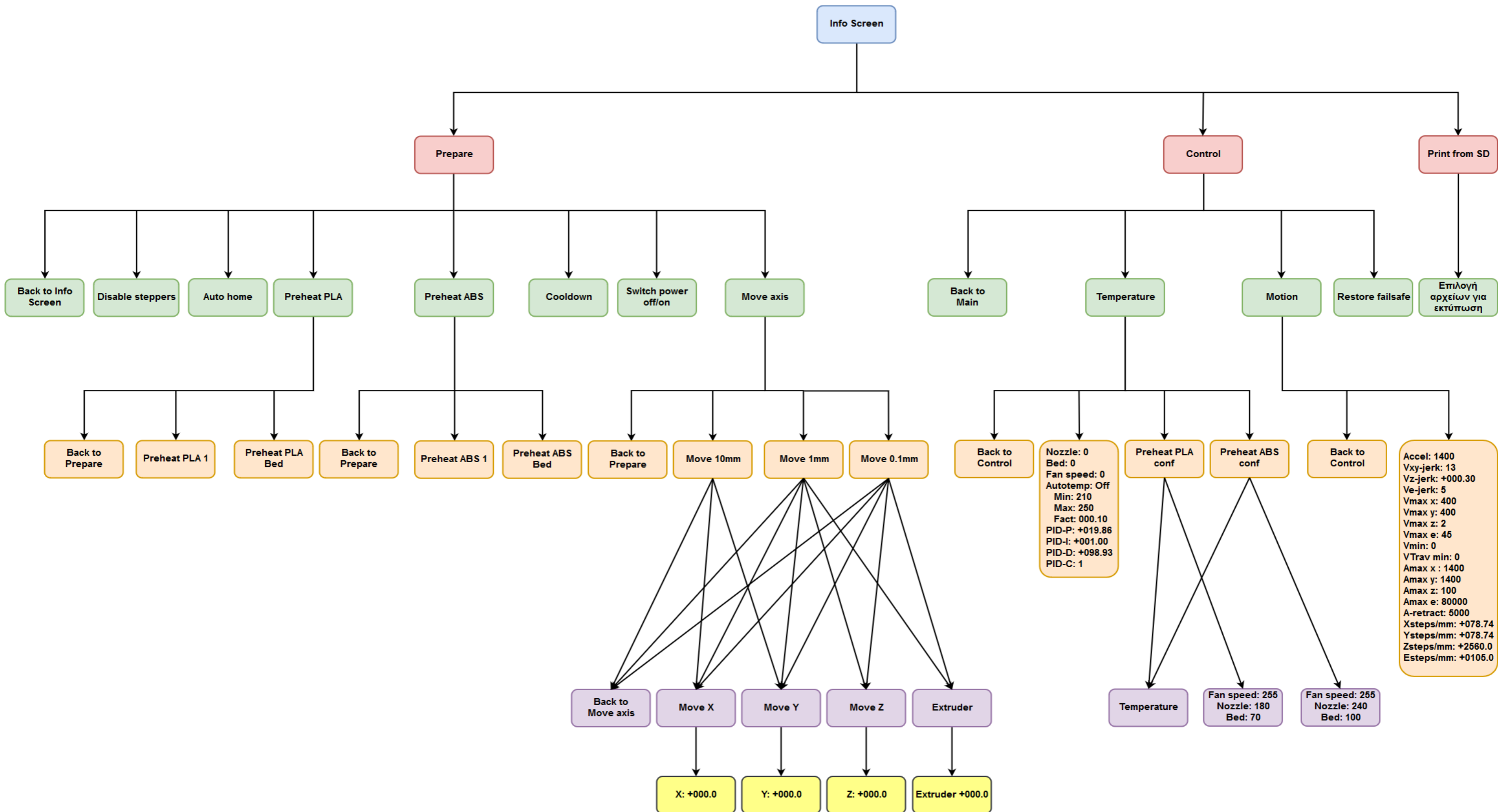
Από το μενού Control γίνεται έλεγχος όλων των παραμέτρων.

Μέσα από την επιλογή Temperature ο χρήστης έχει την δυνατότητα να αλλάξει τις ρυθμίσεις που αφορούν τις θερμοκρασίες στα εξαρτήματα του εκτυπωτή (κεφαλή, επίπεδο σχεδίασης) να ρυθμίσει την ταχύτητα των ανεμιστήρων, καθώς και να αλλάξει τις προκαθορισμένες τιμές που αφορούν το PLA και το ABS.

Οι παράμετροι που βρίσκονται στην επιλογή Motion είναι εξιδεικευμένη πάνω στην λειτουργία του εκτυπωτή. Συνεπώς δεν συνίσταται από τον κατασκευαστή του εκτυπωτή να ρυθμίζονται παρόλο που δίνεται αυτή η δυνατότητα στον χρήστη.

Με την επιλογή Restore failsafe ο χρήστης έχει την δυνατότητα να επαναφέρει τις ρυθμίσεις που έχει αλλάξει προκειμένου να επαναφέρει την σωστή λειτουργία του εκτυπωτή.

Τέλος από την επιλογή Print from SD ο χρήστης μπορεί να επιλέξει μέσα από την κάρτα SD το αρχείο που θέλει να εκτυπώσει. Για να γίνει η αναγνώριση των αρχείων από τον εκτυπωτή πρέπει η κατάληξη των αρχείων να έχει κατάληξη σε .gcode.



ΤΙΤΛΟΣ	ΕΠΙΛΟΓΕΣ ΕΣΩΤΕΡΙΚΩΝ ΡΥΘΜΙΣΕΩΝ ΕΚΤΥΠΩΤΙΚΗΣ ΜΟΝΑΔΑΣ
A/A	ΔΙΑΓΡΑΜΜΑ 2

4.3.2 Επιλογές και ρυθμίσεις στην διάρκεια της εκτύπωσης

Οι επιλογές που εμφανίζονται στο μενού του εκτυπωτή κατά την διάρκεια της εκτύπωσης είναι οι εξής:

- Info screen: Επιστροφή στην αρχική οθόνη
- Tune: Ρυθμίσεις που αφορούν παραμέτρους που επηρεάζουν την λειτουργία του εκτυπωτή κατά την παραγωγή του αντικειμένου.
- Control: Διαχείριση ρυθμίσεων.
- Pause print: Παύση της εκτύπωσης με δυνατότητα επαναφοράς σε αυτή ώστε να συνεχίσει η δημιουργία του αντικειμένου.
- Stop print: Ολική διακοπή της εκτύπωσης.

Στο παρακάτω διάγραμμα εμφανίζονται οι επιλογές που έχει ο χρήστης στο μενού του εκτυπωτή όταν ξεκινήσει η εκτύπωση ενός αντικειμένου. Όπως είναι εμφανές από την σύγκριση των δυο διαγραμμάτων υπάρχουν νέες επιλογές στο μενού που δεν εμφανίζονταν πριν και επιλογές στο μενού που πλέον δεν υπάρχει πρόσβαση.

Οι βασικές επιλογές που πλέον εμφανίζονται είναι Tune, Control, Pause print και Stop print.

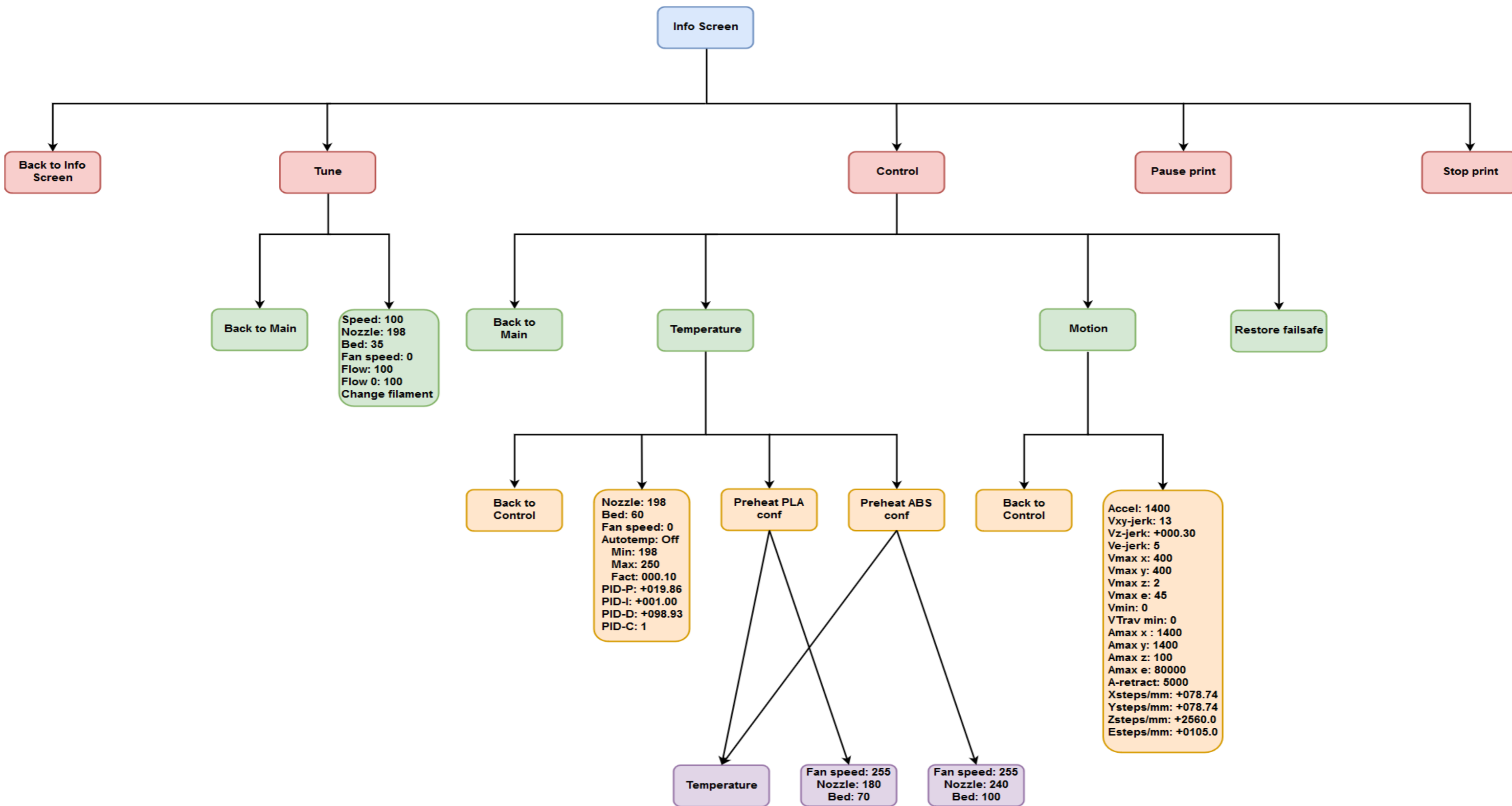
Στην επιλογή Tune ο χρήστης μπορεί να επιλέξει να αλλάξει ρυθμίσεις όπως την θερμοκρασία της κεφαλής, την θερμοκρασία του επιπέδου σχεδίασης, την ταχύτητα εκτύπωσης, την ταχύτητα του ανεμιστήρα, το Flow καθώς και να κάνει αλλαγή στο υλικό που θα χρησιμοποιηθεί για την παραγωγή του αντικειμένου. Σε αυτό το σημείο ο χρήστης πρέπει να δώσει ιδιαίτερη σημασία στο ότι υπάρχει μια μικρή χρονοκαυστέρηση μέχρι να γίνουν εμφανείς οι αλλαγές αυτές στην λειτουργία του εκτυπωτή. Η παράμετρος flow έχει να κάνει με την ροή του υλικού πάνω στο αντικείμενο για όλα τα επίπεδα του αντικειμένου ενώ το flow 0 αφορά την ροή του υλικού στην βάση του αντικειμένου.

Το μενού του Control δεν έχει αλλάξει και παραχωρεί στον χρήστη τις ίδιες δυνατότητες που παρουσιάστηκαν και παραπάνω.

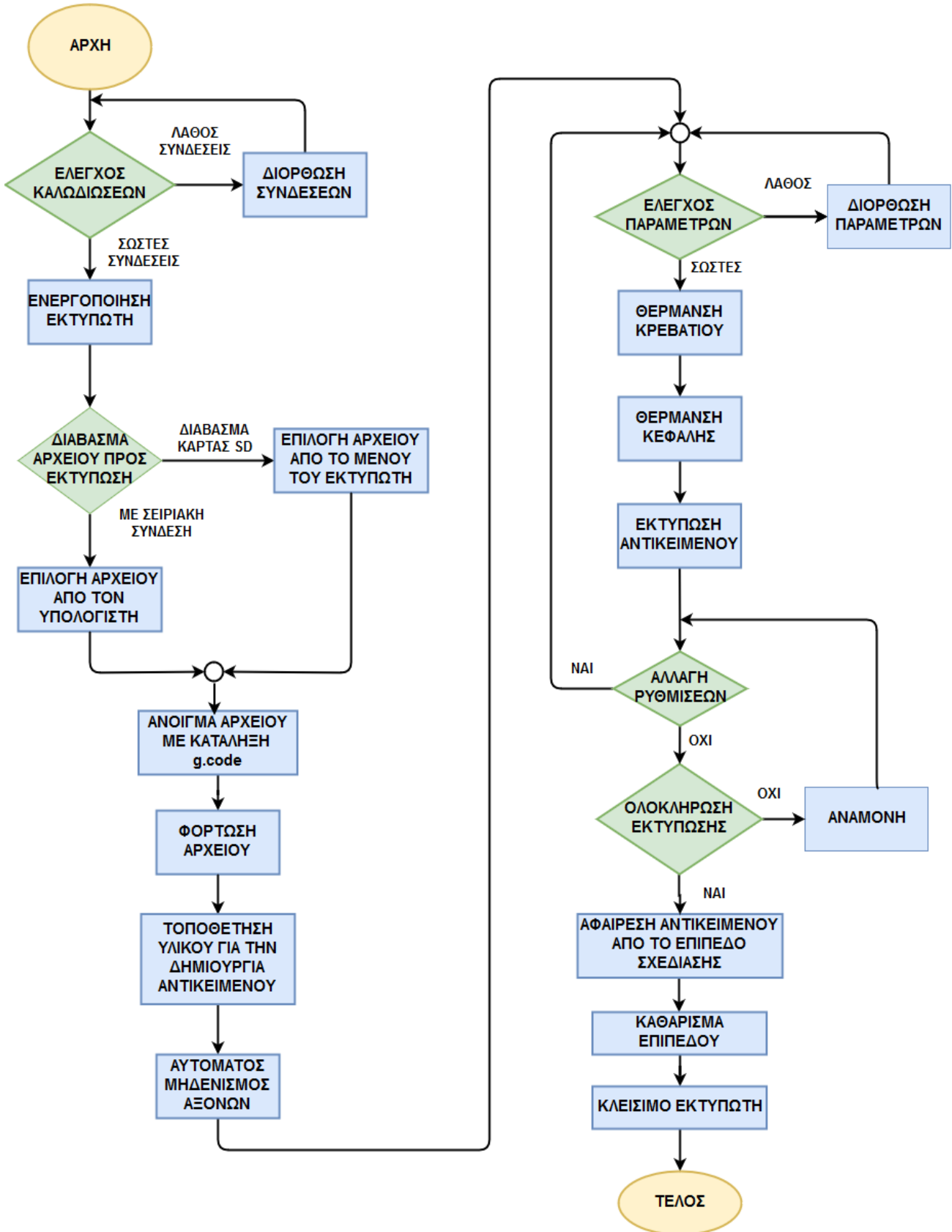
Η επιλογή Pause print σταματάει την λειτουργία των κινητήρων. Για αυτό τον λόγο ο χρήστης πρέπει να προσέξει τότε θα χρησιμοποιηθεί. Το πρόβλημα είναι ότι υπάρχει πιθανότητα η κεφαλή να σταματήσει πάνω στο αντικείμενο και από την

θερμοκρασία που έχει το ακροφύσιο να καταστρέψει το αντικείμενο που εκτυπώνεται. Επιλέγοντας πάλι την επιλογή αυτή η λειτουργία του εκτυπωτή συνεχίζεται από το σημείο που είχε σταματήσει.

Η επιλογή Stop print επιλέγεται από τον χρήστη όταν επιθυμεί να ακυρώσει την εκτύπωση ενός αντικειμένου. Σε αυτή την περίπτωση δεν υπάρχει τρόπος να επαναφέρουμε την λειτουργία του εκτυπωτή στο σημείο που είχε σταματήσει. Ο χρήστης προβαίνει σε αυτή την ενέργεια συνήθως όταν διαπιστώνει ότι το αντικείμενο που παράγεται δεν θα έχει την άρτια μορφή που επιθυμεί μετά την ολοκλήρωση της εκτύπωσης.



ΤΙΤΛΟΣ	ΕΠΙΛΟΓΕΣ ΕΣΩΤΕΡΙΚΩΝ ΡΥΘΜΙΣΕΩΝ ΚΑΤΑ ΤΗΝ ΔΙΑΡΚΕΙΑ ΤΗΣ ΕΚΤΥΠΩΣΗΣ ΕΝΟΣ ΑΝΤΙΚΕΙΜΕΝΟΥ
A/A	ΔΙΑΓΡΑΜΜΑ 3



ΤΙΤΛΟΣ	ΕΚΤΥΠΩΣΗ ΑΝΤΙΚΕΙΜΕΝΩΝ
Α/Α	ΛΟΓΙΚΟ ΔΙΑΓΡΑΜΜΑ 4

3D Εκτύπωση

Άρση γεωμετρικών περιορισμών - Η νέα βιομηχανική επανάσταση στη δημιουργία εξαρτημάτων

Κεφάλαιο 5: ΥΛΙΚΑ ΚΑΙ ΠΕΙΡΑΜΑΤΙΣΜΟΙ ΧΡΗΣΗΣ

5.1 Εισαγωγή

Σε αυτό το κεφάλαιο θα γίνει περιγραφή των υλικών που μπορούν να χρησιμοποιηθούν για την παραγωγή αντικειμένων από έναν 3D εκτυπωτή και θα γίνει αναφορά στα βασικά υλικά που μπορεί να χρησιμοποιήσει με σχετική ευκολία ένας χρήστης. Στην συνέχεια θα γίνει παρουσίαση όλων των υλικών με βάση τις ιδιότητες τους σε έναν πίνακα. Τέλος παρουσιάζονται διάφοροι πειραματισμοί που έγιναν από εμάς με τα βασικά υλικά για την παραγωγή αντικειμένων, καθώς και οι επιπτώσεις που υπήρχαν αλλάζοντας τις παραμέτρους κατά την εκτύπωση.

5.2 Βασικά υλικά

Οι βασικοί τύποι των νημάτων για 3D εκτυπωτή θα περιγραφούν παρακάτω. Για να καταλήξουμε σε αυτά τα νήματα τα κριτήρια μας ήταν η δυνατότητα χρήσης τους σε διαφορετικούς τομείς, η δυνατότητα επεξεργασίας από τον εκτυπωτή που διαθέτουμε, το χαμηλό κόστος αγοράς τους και οι φυσικές ιδιότητές τους.

PLA: Το PLA αποτελεί το βασικό υλικό που θα χρησιμοποιηθεί από έναν χρήστη 3D εκτυπωτή για την παραγωγή αντικειμένων. Το PLA για την εκτύπωση αντικειμένων απαιτεί χαμηλές θερμοκρασίες, δεν παραμορφώνεται εύκολα και για αυτό τον λόγο δεν απαιτείται θέρμανση στο κρεβάτι κατά την διάρκεια της εκτύπωσης. Δεν εκπέμπονται καπνοί ή μυρωδιές κατά την εκτύπωση. Είναι ένα βιοδιασπώμενο υλικό φιλικό προς το περιβάλλον καθώς κατασκευάζεται από ανανεώσιμους πόρους. Μπορεί να χρησιμοποιηθεί για διάφορες εφαρμογές αρκεί να μην υφίσταται το αντικείμενο υψηλές θερμοκρασίες. Η ανθεκτικότητα του αντικειμένου που παράγεται δίνει στον χρήστη την δυνατότητα να παρέμβει πάνω στο αντικείμενο με μηχανουργική επεξεργασία. Επίσης ο χρήστης έχει την δυνατότητα να αλλάξει το χρώμα του αντικειμένου με την χρήση ακρυλικών χρωμάτων.

ABS: Το ABS είναι ελάχιστα ανώτερο από το PLA παρά το γεγονός ότι έχει μια μεγαλύτερη δυσκολία στην χρήση του κατά την διάρκεια παραγωγής ενός αντικειμένου. Τα προϊόντα που παράγονται από το ABS έχουν υψηλή ανθεκτικότητα και αντοχή σε υψηλές θερμοκρασίες και πίεση. Ο χρήστης κατά την διάρκεια της εκτύπωσης πρέπει να προσέχει την στρέβλωση κατά την ψύξη του

υλικού καθώς και τους καπνούς. Για αυτό τον λόγο πρέπει να υπάρχει θέρμανση στο επίπεδο σχεδίασης αλλά και ο χώρος να αερίζεται επαρκώς. Επειδή το ABS είναι ελάχιστα εύκαμπτο μπορεί να χρησιμοποιηθεί για την κατασκευή οικιακών και καταναλωτικών προϊόντων όπως για παράδειγμα τουβλάκια LEGO, κράνη ποδηλατών και γενικότερα για αντικείμενα που χειρίζονται συχνά από κάποιον.

PETG: Το PETG προσφέρει το καλύτερο μίγμα μηχανικής αντοχής και οπτικής ελκυστικότητας. Το PETG μπορεί να θεωρηθεί από έναν χρήστη μια ενδιάμεση κατηγορία ανάμεσα στο PLA και ABS. Αυτό γίνεται γιατί είναι πιο εύκαμπτο και ανθεκτικό από το PLA και έχει μεγαλύτερη ευκολία κατά την διαδικασία της εκτύπωσης σε σύγκριση με το ABS. Οι χρήστες του υλικού αυτού πρέπει να δώσουν μεγάλη προσοχή στους τομείς χρήσης του και στο χώρο αποθήκευσης του καθώς είναι ένα υλικό που απορροφά την υγρασία από το περιβάλλον με αποτέλεσμα να αλλάζει η σύσταση του υλικού. Το PETG χρησιμοποιείται σε αντικείμενα που ενδέχεται να υποστούν μεγάλη ή αιφνίδια πίεση όπως μηχανικά μέρη μιας κατασκευής, για εξαρτήματα εκτυπωτή αλλά και για την δημιουργία προστατευτικών εξαρτημάτων.

Nylon: Το Nylon χρησιμοποιείται από έναν χρήστη όταν θέλει να παρέχει στο αντικείμενο που δημιουργείται αντοχή, ευκαμψία, ανθεκτικότητα καθώς και την επιλογή να βαφτεί το υλικό πριν ή μετά την εκτύπωση. Όπως και με το PETG υπάρχουν τα ίδια προβλήματα με την απορρόφηση της υγρασίας καθώς πρόκειται για υγροσκοπικά υλικά. Χρησιμοποιείται κυρίως για την παράγωγή εργαλείων και για λειτουργικά πρωτότυπα ή μηχανικά μέρη όπως μεντεσέδες ή γρανάζια.

Flexible (TPE, TPU, TPC): Πρόκειται για μια κατηγορία πλαστικών με ιδιότητες όπως το καουτσούκ κάνοντας τα εξαρτήματα εξαιρετικά εύκαμπτα και ανθεκτικά. Το TPE είναι μαλακό και εύκαμπτο και με μεγάλη ανθεκτικότητα. Η εκτύπωσή του δεν είναι πάντα εύκολη καθώς δεν προωθείται εύκολα πάνω στο αντικείμενο. Το TPU είναι μια ειδική κατηγορία του TPE, είναι πιο εύκολο στην εκτύπωση αντικειμένων, πιο ανθεκτικό και διατηρεί καλύτερα την ελαστικότητα του στο κρύο. Στο TPC το κύριο πλεονέκτημα που το διαφοροποιεί είναι η μεγάλη αντοχή σε χημικά και UV έκθεση καθώς και η αντοχή σε υψηλές θερμοκρασίες. Τα υλικά αυτά χρησιμοποιούνται από έναν χρήστη όταν θέλει να έχει στο αντικείμενο που παράγεται δυνατότητα να λυγίζει, να τεντώνεται ή να συμπιέζεται. Δηλαδή αφορά εφαρμογές για παιχνίδια, θήκες ή και αξεσουάρ.

Wood: Δεν είναι ένα υλικό που είναι αποκλειστικά μόνο φυσικό ξύλο, αλλά πρόκειται για PLA με έγχυση ινών ξύλου. Συνήθως για την παραγωγή αυτού του νήματος χρησιμοποιούνται οι εξής ποικιλίες ξύλου πεύκο, μπαμπού, κερασιά, καρυδιά, φελλός και ελιά. Ανάλογα με το είδος του ξύλου αλλάζουν και τα χαρακτηριστικά του υλικού όπως αντοχή, ευκαμψία, δύναμη και οπτική ελκυστικότητα. Ο χρήστης κατά την διάρκεια της εκτύπωσης πρέπει να δίνει μεγάλη προσοχή στην θερμοκρασία της κεφαλής καθώς υπάρχει ο κίνδυνος το αντικείμενο που θα παραχθεί να είναι ελαφρώς καμένο ή με «καραμελωμένη» εμφάνιση. Χρησιμοποιείται για παραγωγή αντικείμενων με λιγότερες λειτουργικές δυνατότητες αλλά με εμφανές ένα ωραίο αισθητικό αποτέλεσμα. Ακόμα χρησιμοποιούνται για την δημιουργία μοντέλων κλίμακας όπως στην αρχιτεκτονική.

PVA: Πρόκειται για ένα υλικό το οποίο είναι διαλυτό στο νερό και αυτή είναι η βασική ιδιότητα του που εκμεταλλεύονται οι χρήστες του για την δημιουργία αντικείμενων. Αποτελεί ένα υλικό υποστήριξης όταν συνδυάζεται με κάποιο άλλο υλικό από εκτυπωτές με διπλή κεφαλή. Δεν είναι εύκολο στην χρήση του και πρέπει να δίνεται μεγάλη προσοχή στον χώρο αποθήκευσής του ώστε να μην υπάρχει υγρασία η οποία θα επιφέρει αλλοίωση στην σύστασή του. Χρησιμοποιείται ως υλικό υποστήριξης σε πολύπλοκες εκτυπώσεις με προεξοχές καθώς είναι εύκολο να αφαιρεθεί αλλά και για την παραγωγή αντικείμενων οικιακής χρήσης ώστε να διαλύονται εύκολα και να είναι φιλικά προς το περιβάλλον.

HIPS: Πρόκειται για ένα υλικό που λειτουργεί συνήθως ως υποστήριξη από εκτυπωτές με διπλή κεφαλή σε συνδυασμό με το ABS. Είναι ανθεκτικό με περιορισμένη κάμψη, δεν υφίσταται συρρίκνωση και είναι εύκολο να κολληθεί μαζί με άλλα μέρη. Έχει δυνατότητα να βαφτεί και είναι εύκολο στην διαχείρισή του κατά την εκτύπωση.

Metal: Πρόκειται για ένα μείγμα μεταλλικής σκόνης σε συνδυασμό είτε με PLA είτε με ABS. Τα αντικείμενα που παράγονται έχουν την εμφάνιση και την αίσθηση του μετάλλου όπως επίσης και το βάρος είναι αυξημένο καθώς τα μείγματα τείνουν να είναι πιο πυκνά από τα καθαρά PLA ή ABS. Οι ποικιλίες που χρησιμοποιούνται συνήθως είναι ο μπρούτζος, ο ορείχαλκος, ο χαλκός, το αλουμίνιο και ο ανοξείδωτος χάλυβας. Ο χρήστης μπορεί να γυαλίσει, να εκθέσει τα αντικείμενα σε καιρικές συνθήκες ή και να τα οξειδώσει ή επιμεταλλώσει χωρίς να καταστραφούν (χημικό μαύρισμα). Το υλικό αυτό χρησιμοποιείται για αντικείμενα

που ο χρήστης θέλει να δώσει μια αισθητική ιδιαιτερότητα, αλλά και για την παραγωγή εργαλείων, για σχάρες ή για εξαρτήματα που χρειάζονται φινιρίσμα.

Carbon: Όταν το PLA, ABS, PETG, και το Nylon ενισχυθούν με ίνες άνθρακα το υλικό γίνεται εξαιρετικά άκαμπτο και με σχετικά μικρό βάρος. Είναι ένα υλικό που προκαλεί φθορά στο ακροφύσιο του εκτυπωτή για αυτό το λόγο χρησιμοποιούνται πιο σκληρές κεφαλές. Τα αντικείμενα που παράγονται είναι κυρίως για μηχανικά εξαρτήματα αφού έχουν δομική αντοχή και χαμηλή πυκνότητα. Επίσης είναι ένα υλικό που μπορεί να χρησιμοποιηθεί για εξαρτήματα αυτοκινήτου ή ακόμα και για εξαρτήματα αεροπλάνου.

Acetal (POM): Πρόκειται για ένα υλικό που χρησιμοποιείται για εφαρμογές που απαιτείται μεγάλη αντοχή, ακαμψία, αντοχή στην φθορά και χαμηλό συντελεστή τριβής. Για να μπορέσει ο χρήστης του εκτυπωτή να το χρησιμοποιήσει πρέπει να έχει θερμαινόμενο επίπεδο σχεδίασης καθώς το πρώτο στρώμα έχει δυσκολία να κολλήσει πάνω στο επίπεδο. Είναι ένα υλικό που χρησιμοποιείται για την παραγωγή γραναζιών, έδρανα, φερμουάρ και για μηχανισμούς μετάδοσης.

5.3 Ιδιότητες και Χαρακτηριστικά υλικών

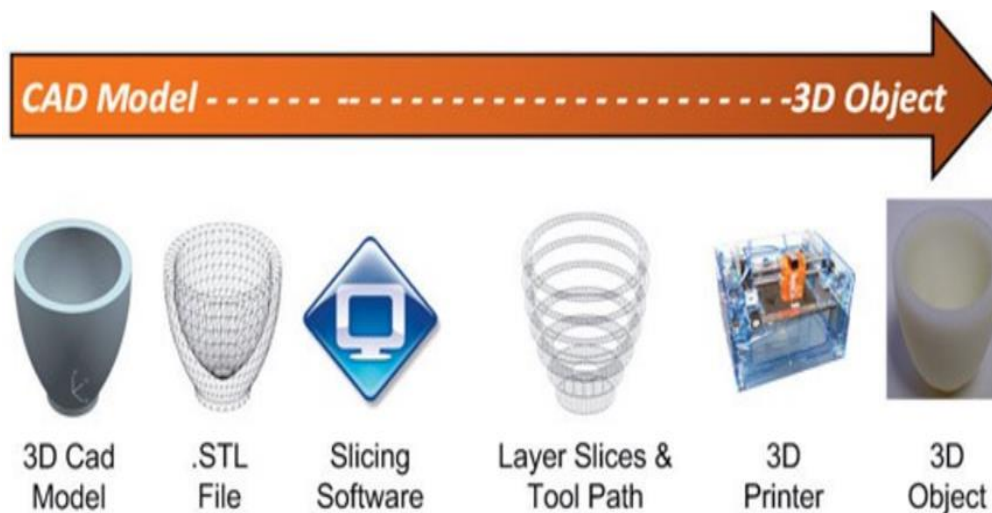
Πίνακας 13 - Οδηγός υλικών

ΥΛΙΚΑ	ΙΔΙΟΤΗΤΕΣ	ΧΡΗΣΕΙΣ	ΔΥΝΑΜΗ	ΠΥΚΝΟΤΗΤΑ	ΕΥΚΑΜΨΙΑ	ΑΝΤΟΧΗ	ΔΥΣΚΟΛΙΑ ΣΤΗΝ ΕΚΤΥΠΩΣΗ	ΘΕΡΜΟΚΡΑΣΙΑ ΚΕΦΑΛΗΣ °C	ΘΕΡΜΟΚΡΑΣΙΑ ΚΡΕΒΑΤΙΟΥ °C
PLA	Βιοδιασπώμενο	Καταναλωτικά προϊόντα	XX	1240kg/m ³	X	XX	X	180-230	Δ/Χ
ABS	Ανθεκτικό σε κρούσεις	Λειτουργικά μέρη	XX	1010kg/m ³	XX	XXX	XX	210-250	50-100
PETG	Ανθεκτικό	Όλα	XX	1270kg/m ³	XXX	XXX	XX	220-235	Δ/Χ
Nylon	Εύκαμπτο	Όλα	XXX		XXX	XXX	XX	220-260	50-100
TPE	Ευέλικτο	Απορρίμματα	X		XXX	XX	XXX	225-235	40
TPU	Ευέλικτο	Απορρίμματα	X		XXX	XX	XXX	225-235	Δ/Χ
Wood	Φινίρισμα σαν ξύλο	Διακοσμητικά μέρη	XX		XX	XX	XX	195-220	Δ/Χ
HIPS	Διαλυτό, Βιοδιασπώμενο	Για δομές υποστήριξης κατά την χρήση ABS	X	1040kg/m ³	XX	XXX	XX	210-250	50-100
PVA	Διαλυτό, Υδροδιαλυτό, Βιοδιασπώμενο, Ανθεκτικό σε λάδι	Για δομές υποστήριξης κατά την χρήση PLA ή ABS	XXX		X	XX	X	180-230	Δ/Χ
PET(CEP)	Εύκαμπτο, Ανακυκλώσιμο	Όλα	XXX		XXX	XXX	XX	220-250	Δ/Χ
PLA Metal	Μεταλλικό φινίρισμα	Κοσμήματα	XX		X	XXX	XXX	195-220	Δ/Χ
PLA Carbon Fiber	Άκαμπτο, πιο ισχυρό από το καθαρό PLA	Λειτουργικά μέρη	XX		X	XXX	XX	195-220	Δ/Χ
Lignin	Βιοδιασπώμενο		XX		X	XX	X	190-225	55
Polycarbonate	Αντιθερμικό, Διάφανο, Πολύ δυνατό	Λειτουργικά μέρη	XXX	1.18-1.20g/cm ³	XXX	XXX	XX	270-310	90-105
Conductive	Αγώγιμο	Ηλεκτρονικά είδη	XX		XX	X	X	215-230	Δ/Χ
Wax (MOLDLAY)	Χαμηλό σημείο τήξης	Δημιουργία καλουπιών	X		X	X	X	170-180	Δ/Χ
PETT(T-Glase)	Εύκαμπτο, Διάφανο, Διαυγές	Λειτουργικά μέρη	XXX		XXX	XXX	XX	235-240	Δ/Χ
ASA	Ανθεκτικό στις καιρικές συνθήκες	Εξωτερικοί χώροι	XX		X	XXX	XX	240-260	100-120
PP	Χημική αντίσταση	Ευέλικτα εξαρτήματα	XX		XXX	XX	XXX	210-230	120-150
Acetal (POM)	Χαμηλή τριβή, Ελαστικό	Λειτουργικά μέρη	XXX		X	XX	XXX	210-225	130
PMMA, Acrylic	Διαφανές, Αντοχή σε πρόσκρουση	Διάχυση φωτός	XX		X	XXX	XX	235-250	100-120
Sandstone (LAYBRICK)	Πέτρινο φινίρισμα	Αρχιτεκτονική	X		X	X	XX	165-210	Δ/Χ
Glow in the Dark	Φωτεινό, Φθορίζων	Διασκέδαση	XX		XX	XX	X	215	Δ/Χ
Cleaning	Καθάρισμα	Καθάρισμα ακροφυσίου	N/A		N/A	N/A	X	150-260	Δ/Χ
PC/ABS	Αντοχή στην πρόσκρουση, εκτροπή θερμότητας	Λειτουργικά μέρη	XX		X	XXX	XXX	260-280	120
Magnetic	Μαγνητικές ιδιότητες	Διασκέδαση	XX		XX	XX	XXX	195-220	Δ/Χ
Color Changing	Δυνατότητα αλλαγής χρωμάτων	Διασκέδαση	XX		XX	XX	X	215	Δ/Χ
nGen	Παρόμοιο με το PETG, αντιθερμικό, διαφανές	Όλα	XX		XXX	XXX	XX	210-240	60
TPC	Χημικά ανθεκτικό, ευέλικτο, αντιθερμικό, ανθεκτικό σε ακτίνες UV	Εξωτερικοί χώροι, ελαστικά μέρη	X		XXX	XX	XXX	210	60-100
PORO-LAY	Μερικώς υδατοδιαλυτό	Πειραματικές δοκιμές	X		XXX	XX	X	220-235	Δ/Χ
FPE	Εύκαμπτο	Ευέλικτα εξαρτήματα	X		XXX	XXX	XX	205-250	75

N/A	Δ/Χ	X	XX	XXX
Άγνωστα στοιχεία	Δεν χρειάζεται θέρμανση	Χαμηλό	Μεσαίο	Υψηλό

5.4 Πειραματισμοί και δοκιμές με διαφορετικά υλικά

Η διαδικασία της αναπαραγωγής αντικειμένων παρουσιάζεται στην παρακάτω εικόνα (Εικόνα 5.1). Τα αντικείμενα που θέλει ο χρήστης να εκτυπώσει σχεδιάζονται σε ένα σχεδιαστικό πρόγραμμα. Για αυτό τον σκοπό εμείς χρησιμοποιούμε το σχεδιαστικό πρόγραμμα Autocad. Στην συνέχεια το αρχείο που παράγεται πρέπει να μετατραπεί σε .stl αρχείο με σκοπό να μπορέσει ο χρήστης να το επεξεργαστεί στο πρόγραμμα Cura. Από το πρόγραμμα Cura ο χρήστης έχει την δυνατότητα να ρυθμίσει τις παραμέτρους κατά την διάρκεια της εκτύπωσης όπως είναι το υλικό που θα χρησιμοποιηθεί, η θερμοκρασία της κεφαλής και του κρεβατιού, η ταχύτητα εκτύπωσης, καθώς και συγκεκριμένες ρυθμίσεις που μπορούν να γίνουν σε συγκεκριμένα επίπεδα του αντικειμένου. Στην συνέχεια το αρχείο αυτό περνάει σε μορφή .gcode στο εκτυπωτή είτε με σειριακή επικοινωνία είτε μέσω της κάρτας SD προκειμένου να ξεκινήσει η εκτύπωση του αντικειμένου. Μετά το τέλος της εκτύπωσης το αντικείμενο είναι έτοιμο να χρησιμοποιηθεί από τον χρήστη.



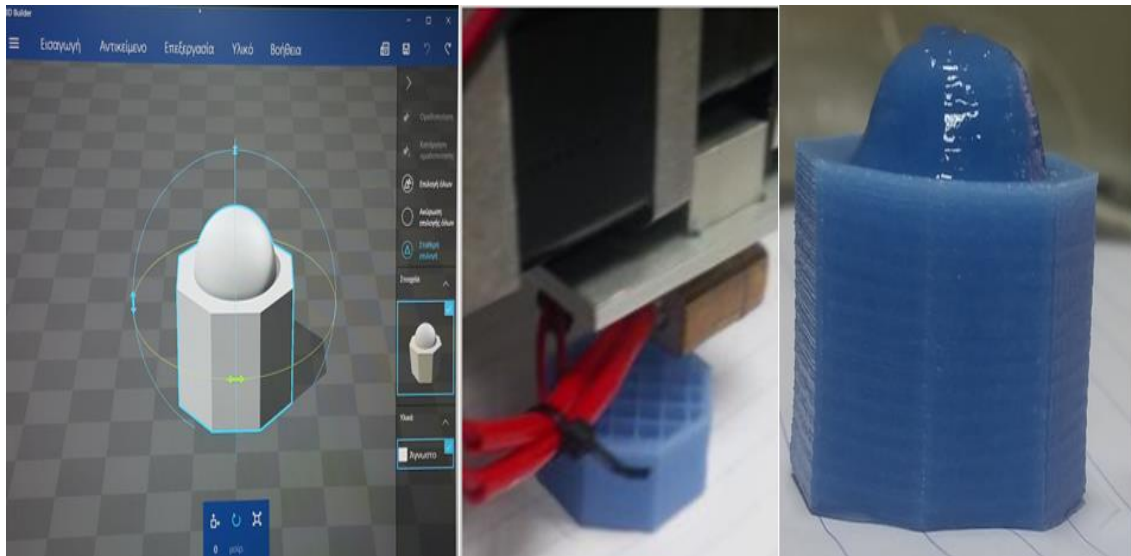
Εικόνα 5.1- Διαδικασία αναπαραγωγής αντικειμένων

Οι πρώτες δοκιμές με τον 3D εκτυπωτή είχαν σαν σκοπό να πειραματιστούμε με τα αντικείμενα που δημιουργήσαμε με σκοπό να καταλάβουμε την λειτουργία του εκτυπωτή και ποια είναι τα αποτελέσματα όταν πειράζονται διάφοροι παράμετροι.

Το πρώτο υλικό που χρησιμοποιήθηκε από εμάς ήταν το PLA το οποίο είναι ένα εύκολο υλικό κατά την επεξεργασία του για την εκτύπωση αντικειμένων. Στο στάδιο αυτό τα σχέδια που εκτυπώσαμε τα βρήκαμε έτοιμα στο διαδίκτυο σε μορφή .stl όποτε από εμάς γινόταν μόνο η επεξεργασία του αντικειμένου στο πρόγραμμα Cura. Τα πρώτα σχέδια δεν σχεδιάστηκαν από εμάς για εξοικονόμηση χρόνου αλλά

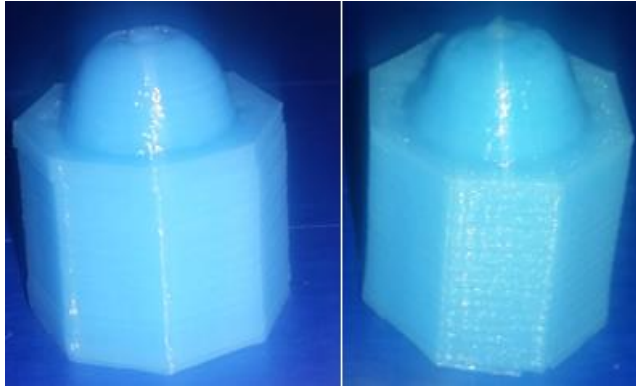
και επειδή το αρχικό μας κριτήριο ήταν καταλάβουμε γρήγορα τον τρόπο λειτουργίας του εκτυπωτή και τι μπορούμε να κάνουμε χρησιμοποιώντας διάφορα υλικά. Για αυτό τον λόγο τα πρώτα σχέδια είναι μικρά σε διάρκεια εκτύπωσης και χωρίς πολλές λεπτομέρειες. Σε αυτό το σημείο πρέπει να σημειωθεί ότι τα σχέδια που υπάρχουν στο διαδίκτυο έχουν δεχθεί επεξεργασία και οι διαστάσεις που έχουν δεν είναι οι πραγματικές με αυτές που έχουν κατά τον σχεδιασμό τους από τα σχεδιαστικά προγράμματα που χρησιμοποιούνται.

Το πρώτο αντικείμενο που τυπώθηκε από εμάς ήταν ένας πύργος (Εικόνα 5.2). Όπως φαίνεται και στην εικόνα η εκτύπωση του αντικειμένου ξεκίνησε πάρα πολύ καλά. Όταν έφτασε στο στάδιο του θόλου ξεκίνησε να χαλάει η εκτύπωση. Αυτό έγινε γιατί στις πληροφορίες για την θέρμανση της κεφαλής στο PLA προτείνεται θερμοκρασία από 180-230 °C. Εμείς θερμάναμε την κεφαλή στους 225 °C με αποτέλεσμα να είναι μια πολύ υψηλή θερμοκρασία για τόσο μικρή επιφάνεια. Αυτό είχε ως αποτέλεσμα να μην προλαβαίνει το υλικό να παγώσει (στερεοποιηθεί) και να αρχίσει η κατάρρευση του θόλου. Η γυαλάδα που έχει ο θόλος ευθύνεται στο ότι το υλικό έλιωνε περισσότερο από όσο θα έπρεπε.



Εικόνα 5.2 - Στάδια δημιουργίας ενός αντικείμενου

Αποφασίσαμε να εκτυπώσουμε πάλι το ίδιο αντικείμενο για να διαπιστώσουμε πως μπορεί να αλλάξει το αποτέλεσμα ενός αντικειμένου αν μειώσουμε την θερμοκρασία της κεφαλής. Όπως φαίνεται και στην εικόνα (Εικόνα 5.3) το αριστερό αντικείμενο που εκτυπώθηκε με θερμοκρασία κεφαλής 198 °C έχει καλύτερο τελικό αποτέλεσμα από το πρώτο. Αυτό γίνεται γιατί το υλικό προλαβαίνει να παγώσει όταν η κεφαλή κινείται από επίπεδο σε επίπεδο.



Εικόνα 5.3 - Σύγκριση αντικειμένων μετά από την αλλαγή θερμοκρασίας

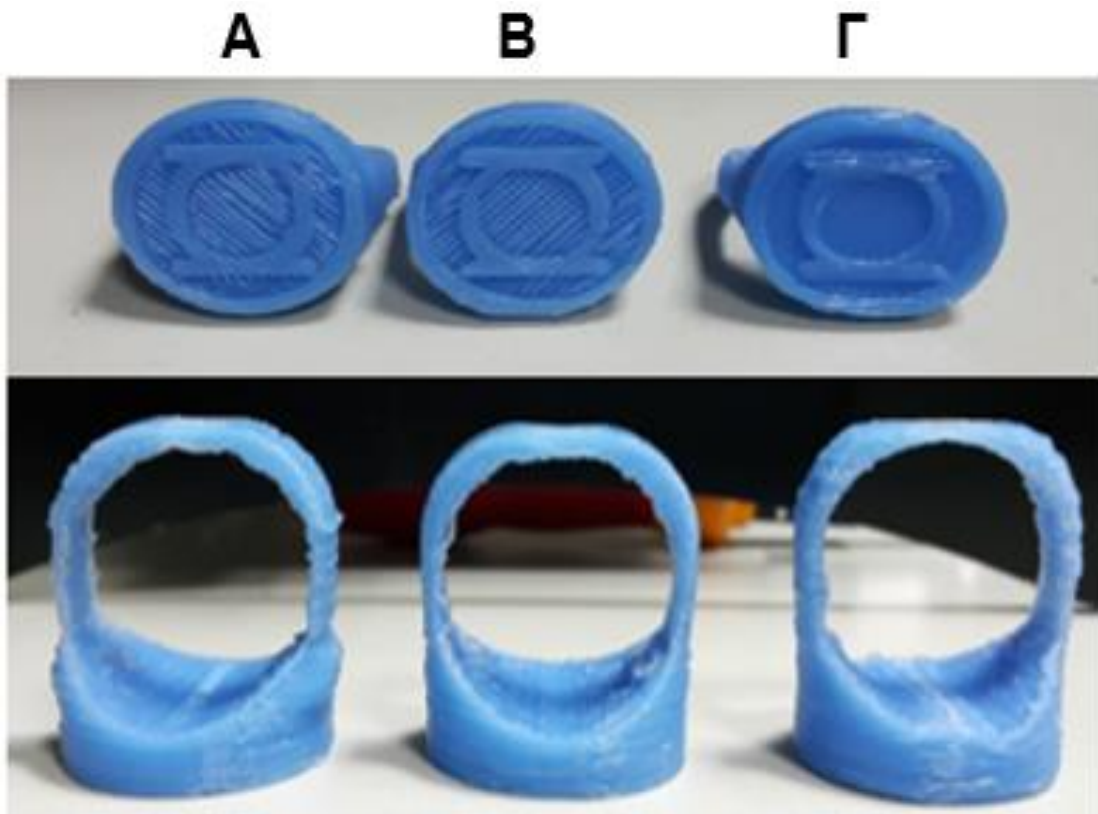
Ένα δεύτερο χαρακτηριστικό παράδειγμα που μπορεί να αλλάξει το αποτέλεσμα ενός αντικειμένου είναι ο τρόπος τοποθέτησής του, έχοντας σταθερή την θερμοκρασία της κεφαλής στους 198°C και την θερμοκρασία του επίπεδου σχεδίασης στους 60°C (Εικόνα 5.4).

Το αντικείμενο Α τοποθετήθηκε με την μεγάλη βάση προς τα κάτω και με ταχύτητα 50%. Αυτό είχε σαν αποτέλεσμα η βάση να γίνει αρκετά καλή αλλά όταν ξεκίνησε η κεφαλή να τυπώνει τις πιο μικρές επιφάνειες το υλικό δεν προλάβαινε να παγώσει και κατά συνέπεια να υποχωρούν τα τοιχώματα του αντικειμένου.

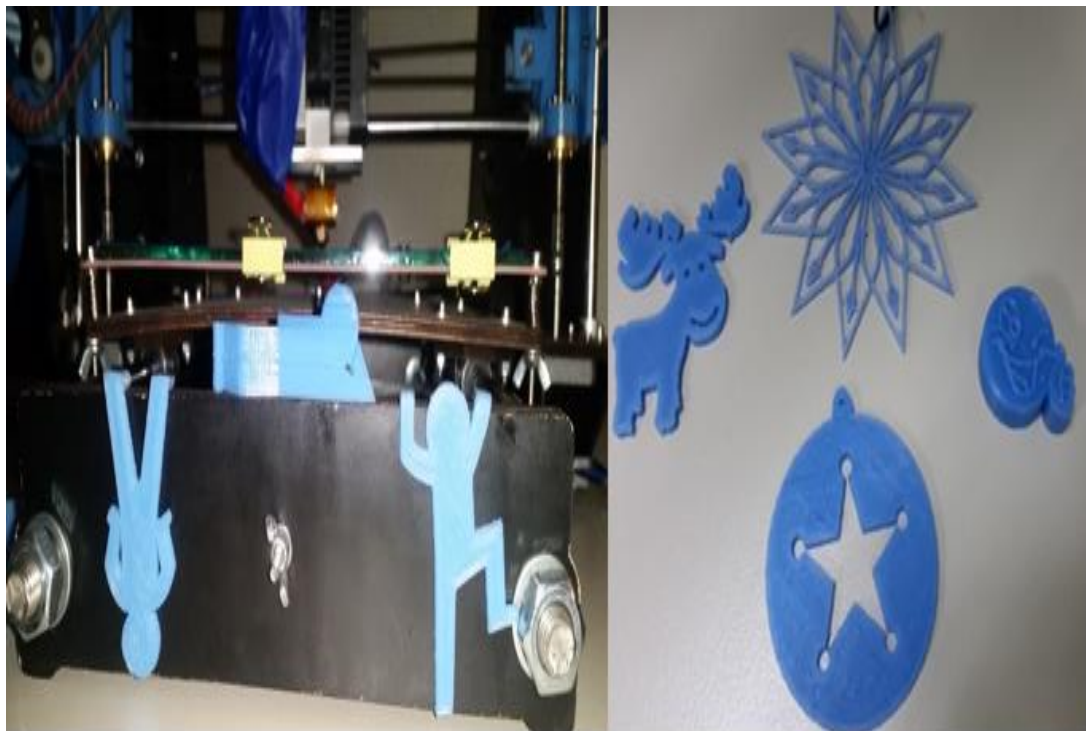
Το αντικείμενο Β τυπώθηκε και αυτό με την μεγάλη βάση προς τα κάτω αλλά σε αυτή την περίπτωση λειτουργήσαμε τον εκτυπωτή με ταχύτητα 100%. Αυτό είχε σαν αποτέλεσμα η επιφάνεια της βάσης να γίνει πιο λεία και να στρωθεί καλύτερα το υλικό. Παρατηρήσαμε επίσης ότι τα πλαϊνά τοιχώματα δεν υποχώρησαν καθώς το υλικό προλάβαινε να παγώσει. Σαν σύνολο το αποτέλεσμα ήταν πολύ καλύτερο σε σύγκριση με το αντικείμενο Α καθώς ήταν πιο λείο και πιο ομοιόμορφο.

Το αντικείμενο Γ τυπώθηκε με την μικρή βάση προς τα κάτω με ταχύτητα 100%. Αυτό είχε σαν αποτέλεσμα η μεγάλη βάση να γίνει λεία και γυαλιστερή. Τα πλαϊνά τοιχώματα όμως δεν βγήκαν όσο άρτια περιμέναμε όπως επίσης και η εσωτερική πλευρά της μεγάλης βάσης στα πρώτα επίπεδα υπέστη υποχώρηση του υλικού καθώς δεν υπήρχε στο σχέδιο κομμάτι υποστήριξης και η κεφαλή έκανε έκχυση υλικού στον αέρα. Μετά την σταθεροποίηση του υλικού στα πρώτα επίπεδα της μεγάλης βάσης η μορφή του αντικειμένου επανήλθε σε αυτή που αναμέναμε σαν τελικό αποτέλεσμα.

Σαν συμπέρασμα από αυτούς τους πειραματισμούς καταλήξαμε ότι οι ρυθμίσεις για το αντικείμενο Β είναι οι κατάλληλες για την εκτύπωση τέτοιων αντικειμένων.



Εικόνα 5.4 - Αποτελέσματα από διαφορετική τοποθέτηση του αντικειμένου



Εικόνα 5.5 - Δείγματα αντικειμένων με χρήση υλικού PLA

Μια δεύτερη δοκιμή που κάναμε ήταν να κρατήσουμε το ίδιο σχέδιο προς εκτύπωση και να αλλάξουμε τα υλικά που χρησιμοποιούνται για την παραγωγή των αντικειμένων. Το σχέδιο που χρησιμοποιήθηκε ήταν ένας πύργος από σκακιέρα και τα υλικά για την παραγωγή του αντικείμενου ήταν το PLA, το Wood και το (PLA) Metal (Εικόνα 5.6).

Οι ρυθμίσεις για την εκτύπωση του πύργου με υλικό PLA ήταν η εξής: η θερμοκρασία κεφαλής ήταν 198°C, η θερμοκρασία κρεβατιού 60°C και η ταχύτητα εκτύπωσης 100%. Όπως φαίνεται και στην εικόνα το αποτέλεσμα βγήκε άρτιο χωρίς παραμορφώσεις στα τοιχώματα. Η επιφάνεια των τοιχωμάτων είναι λεία και γυαλιστερή και όλες οι λεπτομέρειες του σχεδίου αποδίδονται με ακρίβεια.

Οι ρυθμίσεις για την εκτύπωση του πύργου με υλικό Wood ήταν η εξής: η θερμοκρασία κεφαλής 215°C, η θερμοκρασία κρεβατιού 60°C και η ταχύτητα εκτύπωσης 100%. Στα πρώτα επίπεδα αντικείμενου η εκτύπωση είχε τα ίδια αποτελέσματα όπως και όταν κάναμε την εκτύπωση του αντικείμενου με το υλικό PLA. Τα προβλήματα εμφανίστηκαν όταν ξεκίνησε να εκτυπώνεται το πάνω μέρος του αντικείμενου. Η θερμοκρασία της κεφαλής ήταν λίγο υψηλή με αποτέλεσμα να υπάρχει μια μικρή παραμόρφωση στα τοιχώματα του αντικείμενου. Ακόμα διαπιστώθηκε ότι το αντικείμενο δεν είχε γυαλιστερά τοιχώματα αλλά αυτό οφείλεται στο είδος του υλικού που χρησιμοποιήθηκε. Επίσης και σε αυτή την περίπτωση εξαιτίας της μεγάλης ταχύτητας επιτεύχθηκε η λεία επιφάνεια στα τοιχώματα.

Οι ρυθμίσεις για την εκτύπωση του πύργου με υλικό (PLA) Metal ήταν η εξής: η θερμοκρασία κεφαλής 218°C, η θερμοκρασία κρεβατιού 60°C και η ταχύτητα εκτύπωσης 100%. Όπως φαίνεται και στην εικόνα το αποτέλεσμα δεν ήταν τόσο άρτιο όσο περιμέναμε. Υπήρξε μια μικρή παραμόρφωση η οποία οφείλεται στην θερμοκρασία της κεφαλής η οποία είχε σαν αποτέλεσμα να λιώνει μεγαλύτερη ποσότητα υλικού από αυτή που χρειαζόταν το αντικείμενο με αποτέλεσμα να υπάρχει υπερχείλιση υλικού στα επίπεδα του αντικείμενου. Το αντικείμενο βγήκε γυαλιστερό αλλά όχι αρκετά λείο όπως περιμέναμε.

Και στις τρεις περιπτώσεις ο λόγος που θερμαίνουμε το επίπεδο σχεδίασης είναι για να γίνεται πιο εύκολα η προσκόλληση του αντικείμενου στο επίπεδο εκτύπωσης, ώστε να μην δημιουργηθεί κίνδυνος μετατόπισης του αντικείμενου από τους κραδασμούς που δημιουργούνται κατά την λειτουργία του εκτυπωτή. Επίσης πρέπει να σημειωθεί ότι παρόλο που χρησιμοποιήθηκε το ίδιο σχέδιο προς

3D Εκτύπωση

Άρση γεωμετρικών περιορισμών - Η νέα βιομηχανική επανάσταση στη δημιουργία εξαρτημάτων εκτύπωση υπήρξαν μεγάλες αποκλίσεις στο βάρος των παραγόμενων αντικειμένων. Το Wood ήταν το ελαφρύτερο αντικείμενο ενώ ο πύργος από (PLA) Metal ήταν αρκετά πιο βαρύς.



Εικόνα 5.6 - Σύγκριση αντικειμένων με χρήση διαφορετικών υλικών

Χρησιμοποιώντας τις κατάλληλες ρυθμίσεις για την δημιουργία αντικειμένων με το υλικό Wood διαπιστώνουμε ότι μπορούμε να παράγουμε αντικείμενα με μεγάλη λεπτομέρεια (Εικόνα 5.7).



Εικόνα 5.7 - Δείγματα αντικειμένων από το υλικό Wood

Στην συνέχεια (Εικόνα 5.8) παρουσιάζονται κάποιες σφαίρες που τυπώθηκαν με την χρήση υλικού (PLA) Metal. Μειώνοντας την θερμοκρασία της κεφαλής στους 215°C διαπιστώσαμε ότι τα αντικείμενα έχουν λεία και γυαλιστερή επιφάνεια. Ακόμα δεν υπήρξαν αλλοιώσεις στα επιπέδα του αντικειμένου όπως επίσης δεν υπήρξε και υπερχείλιση του υλικού στα τοιχώματα του αντικειμένου.



Εικόνα 5.8 - Σφαίρες τυπωμένες από (PLA) Metal

Βλέποντας τις διαφορές που δημιουργούνται κατά την υλοποίηση του ίδιου σχεδίου, αλλάζοντας το υλικό παραγωγής, αποφασίσαμε να φτιάξουμε κάποια δοκιμαστικά κουτιά τα οποία θα τυπώνονταν με διαφορετικά υλικά και θα πειράζαμε τις ρυθμίσεις ανά εκτύπωση. Αυτό είχε σαν στόχο να φτιάξουμε έναν εξιδεικευμένο οδηγό για την λειτουργία του εκτυπωτή μας για το πως ένας χρήστης πρέπει να διαχειρίζεται το εκάστοτε υλικό για την παραγωγή αντικειμένων. Ακόμα διαπιστώσαμε ότι η συμπεριφορά των υλικών εξαρτάται απόλυτα από τις ρυθμίσεις που κάνει ο χρήστης τόσο κατά την διάρκεια της εκτύπωσης όσο και κατά την επεξεργασία του αντικειμένου πριν αρχίσει η εκτύπωση.

Τα υλικά που χρησιμοποιήθηκαν για αυτό το πείραμα ήταν το PLA (γαλάζιο χρώμα), το ABS (πράσινο χρώμα), το Metal-Cooper (σκούρο καφέ χρώμα), το Wood (ανοιχτό καφέ χρώμα), το Carbon (μαύρο χρώμα), το PETG Transparent (μπλε διάφανο χρώμα) και το Flexible TPC (λευκό χρώμα).

Για την δημιουργία του κουτιού από PLA υλικό χρησιμοποιήσαμε τις παρακάτω ρυθμίσεις (Πίνακας 14).

Πίνακας 14 - Ρυθμίσεις PLA

Υλικό	Θερμοκρασία κεφαλής	Θερμοκρασία επιπέδου	Ταχύτητα εκτύπωσης	Χρήση ανεμιστήρα	Βάρος αντικειμένου
PLA	198°C	60°C	100%	Όχι	10.2gr

Συμπεράσματα: Οι ρυθμίσεις που χρησιμοποιήθηκαν ήταν οι κατάλληλες με αποτέλεσμα η βάση του αντικειμένου να προσκολληθεί σωστά στο επίπεδο σχεδίασης. Αυτό είχε ως αποτέλεσμα να μην υπάρξει κάποια κλίση στην βάση του αντικειμένου και να τυπωθεί σωστά. Τα τοιχώματα του αντικειμένου βγήκαν λεία και γυαλιστερά (Εικόνα 5.9). Δοκιμάζοντας την αντοχή του υλικού κάναμε ρίψη θερμικής κόλλας και διαπιστώσαμε ότι τα τοιχώματα του κουτιού ξεκίνησαν να παραμορφώνονται καθώς δεν άντεξαν στην υψηλή θερμοκρασία. Επίσης δοκιμάσαμε να καθαρίσουμε το αντικείμενο με καθαρό ασετόν και είδαμε ότι υπήρξε διάβρωση του αντικειμένου αλλά τα τοιχώματα του έγιναν θαμπά.



Εικόνα 5.9 - Κουτί από PLA υλικό

Για να καταφέρουμε να τυπώσουμε το αντικείμενο με ABS υλικό χρειάστηκαν να κάνουμε αρκετές δοκιμές εξαιτίας της δυσκολίας του υλικού(Πίνακας 15).

Πίνακας 15 - Δοκιμές για ABS υλικό

Δοκιμές	Θερμοκρασία κεφαλής	Θερμοκρασία επιπέδου	Ταχύτητα εκτύπωσης	Flow 0	Flow	Χρήση ανεμιστήρα	Υλικό βάσης
1 ^η	240 °C	60 °C	100%	0	100	Όχι	Όχι
2 ^η	240°C	0°C	50%	0	100	Ναι	Όχι
3 ^η	256°C	60°C	50%	147	150	Όχι	Όχι
4 ^η	256°C	60°C	10-126%	147	170	Όχι	Χρήση ταινίας

5 ^η	256°C	60°C	10-126%	147	170	Όχι	Βάση από Pla
6 ^η	256°C	60°C	10-126%	147	170	Ναι	Χρήση ταινίας Βάση από Petg
7 ^η	256°C	120°C	10-250%	148	170	Όχι	Όχι
8 ^η	256°C	120°C	10-250%	148	170	Ναι	Όχι

Συμπεράσματα: Το καλύτερο αποτέλεσμα στο παραγόμενο αντικείμενο επιτεύχθηκε με τις ρυθμίσεις που κάναμε στην 7^η δοκιμή. Στις δυο πρώτες δοκιμές δεν καταφέραμε να πραγματοποιήσουμε ούτε την εκτύπωση του πρώτου επίπεδου καθώς η θερμοκρασία της κεφαλής ήταν πολύ μικρή και το υλικό δεν έλιωνε σωστά. Για αυτό τον λόγο αυξήσαμε την θερμοκρασία λίγο παραπάνω από τις προτεινόμενες θερμοκρασίες της εταιρίας προκειμένου να υπάρξει η σωστή ρευστότητα του υλικού που απαιτείται.

Στην 3^η δοκιμή καταφέραμε να πετύχουμε μια σωστή βάση για το αντικείμενό μας, αλλά όταν ξεκίνησε η εκτύπωση των τοιχωμάτων του κουτιού η βάση του αντικειμένου άρχισε να αποκολλάται από το επίπεδο του εκτυπωτή με αποτέλεσμα μετά από λίγο να αποκολληθεί πλήρως. Συνεπώς ακυρώθηκε η εκτύπωση.

Στην 4^η δοκιμή τοποθετήσαμε πάνω στο επίπεδο ταινία διπλής όψης προκειμένου να πετύχουμε την συγκράτηση της βάσης του αντικειμένου πάνω στο επίπεδο. Στα πρώτα επίπεδα του αντικειμένου η ταχύτητα εκτύπωσης ήταν στο 10%. Στην συνέχεια ξεκινήσαμε να την αυξάνουμε σε σταθερά χρονικά διαστήματα μέχρι που φτάσαμε σε ταχύτητα εκτύπωσης 126%. Αυτή η ενέργεια είχε σαν αποτέλεσμα να πετύχουμε λεία και γυαλιστερά τοιχώματα στο αντικείμενο. Όμως κατά την διάρκεια της εκτύπωσης η ταινία διπλής όψης ξεκίνησε να φουσκώνει με αποτέλεσμα στο τελικό αντικείμενο που δημιουργήθηκε να υπάρχει μια μικρή παραμόρφωση στην βάση.

Στην 5^η δοκιμή δημιουργήσαμε την βάση του αντικειμένου από υλικό PLA με βάση τις ρυθμίσεις που γνωρίζουμε με στόχο να αποφύγουμε την αποκόλληση του αντικειμένου. Αυτή η ενέργεια είχε σαν αποτέλεσμα να ενωθούν τα δυο υλικά μεταξύ τους αλλά όσο προχώραγε η εκτύπωση του αντικειμένου διαπιστώσαμε ότι ξεκίνησε να παραμορφώνεται η βάση του αντικειμένου ως μια μάζα. Τελικά η εκτύπωση του αντικειμένου δεν πραγματοποιήθηκε καθώς υπήρξε πλήρης αποκόλληση του αντικειμένου από το επίπεδο σχεδίασης.

Στην 6^η δοκιμή δημιουργήσαμε μια βάση από το υλικό PETG η οποία ήταν εκτυπωμένη και συνδεόταν με το επίπεδο σχεδίασης με ταινία διπλής όψης. Επίσης

είχαμε βάλει σε λειτουργία και τους εξωτερικούς ανεμιστήρες. Δεν υπήρξε όμως άρτιο αποτέλεσμα, και σε αυτή την περίπτωση καταφέραμε την ένωση των δύο υλικών μεταξύ τους αλλά και πάλι υπήρξε αποκόλληση του αντικειμένου. Η χρήση του ανεμιστήρα είχε σαν αποτέλεσμα την γρηγορότερη αποκόλληση του αντικειμένου.

Στην 7^η δοκιμή είχαμε το άρτιο αποτέλεσμα που επιζητούσαμε. Η εκτύπωση του αντικειμένου ξεκίνησε με πολύ χαμηλή ταχύτητα και σιγά σιγά την αυξήσαμε προκειμένου να πετύχουμε λεία και γυαλιστερά τοιχώματα. Ένα μικρό πρόβλημα εμφανίστηκε όταν η εκτύπωση είχε φτάσει σε ποσοστό ολοκλήρωσης 95% όπου εμφανίστηκε μια μικρή παραμόρφωση στην βάση του αντικείμενου (Εικόνα 5.10).

Στην 8^η δοκιμή παρόλο που οι ρυθμίσεις ήταν ίδιες με αυτές που είχαμε και πριν, εξαιτίας της λειτουργίας του ανεμιστήρα το αντικείμενο αποκολλήθηκε άμεσα.

Γενικές παρατηρήσεις για το ABS: Η εκτύπωση του αντικειμένου πρέπει να ξεκινά με πολύ χαμηλή ταχύτητα και σταδιακά να αυξάνεται. Η μεγάλη ταχύτητα εκτύπωσης επιφέρει λεία και γυαλιστερά τοιχώματα. Η λειτουργία των ανεμιστήρων επιφέρει σαν αποτέλεσμα την αποκόλληση του αντικείμενου από το επίπεδο σχεδίασης. Αν η θερμοκρασία της κεφαλής είναι στους 240°C και η ταχύτητα εκτύπωσης 50% τότε δεν πραγματοποιείται κόλληση μεταξύ του επιπέδου σχεδίασης και της βάσης του αντικείμενου που εκτυπώνεται. Αν η θερμοκρασία της κεφαλής είναι στους 240°C και η ταχύτητα εκτύπωσης πολύ μικρή τότε εμφανίζεται το φαινόμενο των σκουπιδιών στο αντικείμενο.



Εικόνα 5.10 - Κουτί από ABS υλικό

Για την δημιουργία του κουτιού με Metal Copper υλικό πραγματοποιήθηκαν οι παρακάτω δοκιμές μέχρι να αποκτήσουμε ένα άρτιο αποτέλεσμα (Πίνακας 16).

Πίνακας 16 - Δοκιμές για Metal Copper

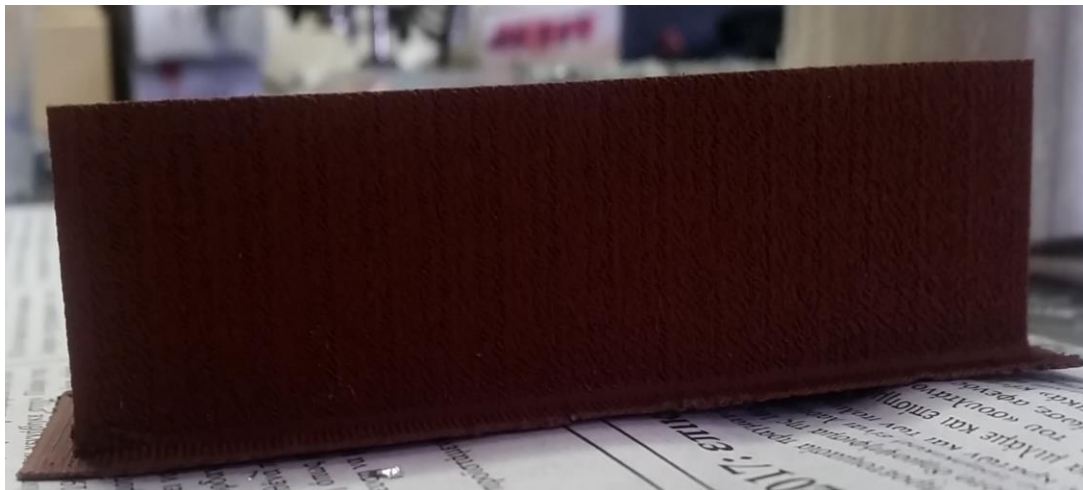
Δοκιμές	Θερμοκρασία κεφαλής	Θερμοκρασία επιπέδου	Ταχύτητα εκτύπωσης	Flow 0	Flow	Χρήση ανεμιστήρα
1 ^η	215 °C	60 °C	100%	0	100	Ναι
2 ^η	195°C	0°C	100%	0	100	Όχι
3 ^η	180°C	0°C	80%	0	132	Όχι

Συμπεράσματα: Στην 1^η δοκιμή που σταματήσαμε την θέρμανση του επιπέδου σχεδίασης είχε σαν αποτέλεσμα όταν ολοκληρώθηκε το αντικείμενο να μην μπορούμε να το αποκολλήσουμε από αυτό. Με αποτέλεσμα όταν ασκήσαμε δύναμη αποκολλήθηκαν τα τοιχώματα από την βάση καθώς ήταν αρκετά λεπτά. Στις πλευρές που είχαμε εξαναγκασμένη ψύξη από τον ανεμιστήρα τα τοιχώματα του αντικείμενου εκτυπώθηκαν τραχιά και με διασκορπισμένα κενά μεταξύ των επιπέδων, ενώ στις πλευρές που η ψύξη στα τοιχώματα δεν γινόταν εστιασμένα οι πλευρές βγήκαν λείες και συμπαγής .

Στην 2^η δοκιμή η θέρμανση του κρεβατιού ήταν ενεργή σε όλη την διάρκεια της εκτύπωσης με αποτέλεσμα η αποκόλληση του αντικειμένου από το επίπεδο να πραγματοποιηθεί χωρίς προβλήματα. Η μη λειτουργία του ανεμιστήρα ψύξης επέφερε ως αποτέλεσμα μέτρια τραχιές πλευρές αλλά συμπαγής χωρίς κενά μεταξύ των επιπέδων του αντικειμένου.

Στην 3^η δοκιμή είχαμε ένα άρτιο αποτέλεσμα. Η αύξηση του Flow και η μείωση της ταχύτητας εκτύπωσης είχε ως αποτέλεσμα τα τοιχώματα του αντικειμένου να εκτυπωθούν λεία και χωρίς κενά μεταξύ των επιπέδων (Εικόνα 5.11).

Γενική παρατήρηση για το Metal Copper υλικό: Επειδή η σύσταση του υλικού αυτού αποτελείται από ρινίσματα μετάλλου διαπιστώνουμε ότι αν κάνουμε έκχυση μέσα στο κουτί κάποιο υλικό το οποίο έχει υψηλή θερμοκρασία τότε απορροφάται η θερμότητα αυτή από τα τοιχώματα του αντικειμένου. Στα δείγματα που υπήρχε κενό μεταξύ των επιπέδων η αύξηση της θερμοκρασίας είχε σαν αποτέλεσμα την παραμόρφωση των τοιχωμάτων του αντικειμένου.



Εικόνα 5.11 - Κουτί από Metal Copper υλικό

Για την δημιουργία του κουτιού με Wood υλικό χρησιμοποιήθηκαν οι εξής παράμετροι (Πίνακας 17).

Πίνακας 17 - Ρυθμίσεις για Wood υλικό

Υλικό	Θερμοκρασία κεφαλής	Θερμοκρασία επιπέδου	Ταχύτητα εκτύπωσης	Χρήση ανεμιστήρα	Βάρος αντικειμένου
Wood	215°C	60°C	100-150%	Όχι	9.6gr

Συμπεράσματα: Αυξάνοντας σταδιακά την ταχύτητα εκτύπωσης διαπιστώθηκε ότι τα τοιχώματα του αντικειμένου γίνονται λεία και δεν δημιουργούνται κενά μεταξύ των επιπέδων. Δεν μπορούμε να επιτύχουμε με αυτό το υλικό γυαλιστερές επιφάνειες εξαιτίας της ποιότητας του υλικού και όχι λανθασμένων ρυθμίσεων (Εικόνα 5.12).



Εικόνα 5.12 - Κουτί από Wood υλικό

Για την εκτύπωση του κουτιού με υλικό Carbon έγιναν οι παρακάτω δοκιμές (Πίνακας 18).

Πίνακας 18 - Ρυθμίσεις για Carbon υλικό

Δοκιμές	Θερμοκρασία κεφαλής	Θερμοκρασία επιπέδου	Ταχύτητα εκτύπωσης	Flow 0	Flow	Χρήση ανεμιστήρα
1 ^η	200 °C	60 °C	100%	0	150	Ναι
2 ^η	218°C	60°C	32-100%	0	120-220	Όχι
3 ^η	218°C	60°C	100%	0	250	Όχι

Συμπεράσματα: Στην 1^η δοκιμή τα τοιχώματα του αντικειμένου που εκτυπώθηκαν ήταν τραχιά και με κενά μεταξύ των επιπέδων.

Στην 2^η δοκιμή πραγματοποιήσαμε την πιο άρτια εκτύπωση. Όσο αυξάνεται το Flow σε συνδυασμό με την ταχύτητα της εκτύπωσης σταδιακά τα τοιχώματα του αντικειμένου γίνονται λεία και γυαλιστερά. Δεν εμφανίζονται προβλήματα με κενά ανάμεσα στα επίπεδα του αντικειμένου. Η βάση του αντικειμένου δεν εμφάνισε τάσεις αποκόλλησης και παραμόρφωση (Εικόνα 5.13).

Στην 3^η δοκιμή αυξήσαμε το Flow σε 250 με σκοπό να γίνει το τοίχωμα του αντικειμένου ακόμα πιο λείο και γυαλιστερό. Αυτή η ενέργεια δεν είχε τα επιθυμητά αποτελέσματα καθώς δημιουργούσε υπερχειλίση υλικού στα τοιχώματα του αντικειμένου.



Εικόνα 5.13 - Κουτί από Carbon υλικό

Για την εκτύπωση του κουτιού με υλικό PETG Transparent έγιναν οι παρακάτω δοκιμές (Πίνακας 19).

Πίνακας 19 - Ρυθμίσεις για PETG Transparent υλικό

Δοκιμές	Θερμοκρασία κεφαλής	Θερμοκρασία επιπέδου	Ταχύτητα εκτύπωσης	Flow 0	Flow	Χρήση ανεμιστήρα
1 ^η	228 °C	60 °C	100%	148	160	Όχι
2 ^η	228°C	60°C	100-164%	148	110	Όχι

Συμπεράσματα: Στην 1^η δοκιμή είχαμε ένα άρτιο αποτέλεσμα με λεία τοιχώματα και γυαλιστερά αλλά εξαιτίας του μεγάλου Flow δεν καταφέραμε να πετύχουμε την εικόνα του αντικειμένου να είναι διάφανη.

Στην 2^η δοκιμή που αυξήσαμε σταδιακά την ταχύτητα εκτύπωσης και μειώσαμε το Flow καταφέραμε να έχουμε στο εκτυπωμένο αντικείμενο λεία και γυαλιστερά τοιχώματα και το τελικό αποτέλεσμα του αντικειμένου να έχει διάφανα τοιχώματα ως έναν βαθμό (Εικόνα 5.14).

Γενικές παρατηρήσεις για το PETG υλικό: Μετά από αρκετές δοκιμές με διαφορετικά PETG υλικά καταλήξαμε ότι οι τιμές του παραπάνω πίνακα μπορεί να αλλάζουν. Για αυτό το πρόβλημα ευθύνονται διάφοροι παράγοντες όπως η ημερομηνία παραγωγής του υλικού σε συνδυασμό με το περιβάλλον στο οποίο έχει αποθηκευτεί το υλικό μέχρι την στιγμή της χρήσης του. Αν είναι Transparent (διάφανο) ή όχι καθώς και τι χρώμα είναι το υλικό. Συνεπώς διαπιστώσαμε ότι οι προτεινόμενες θερμοκρασίες μπορεί να έχουν μια μικρή απόκλιση.



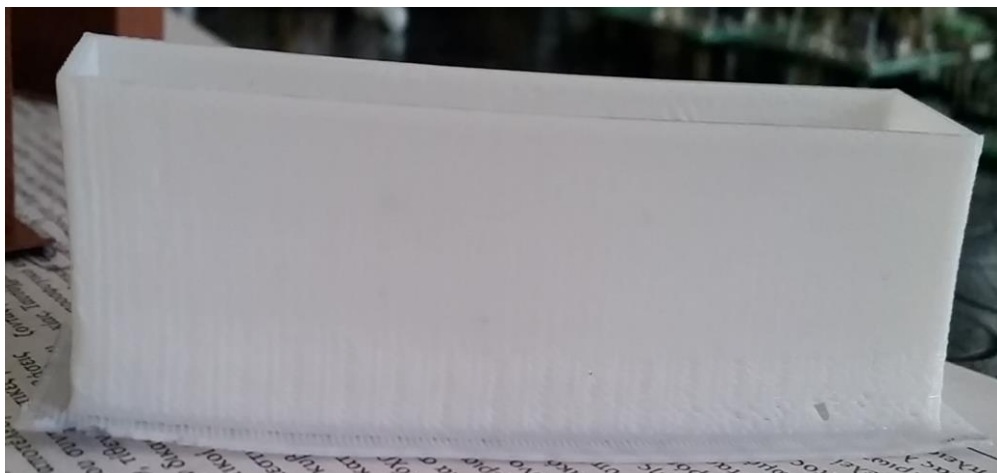
Εικόνα 5.14 - Κουτί από PETG Transparent

Για την εκτύπωση του κουτιού με υλικό Flexible TPC πραγματοποιήθηκαν οι παρακάτω ρυθμίσεις (Πίνακας 20).

Πίνακας 20 - Ρυθμίσεις για Flexible TPC υλικό

Υλικό	Θερμοκρασία κεφαλής	Θερμοκρασία επιπέδου	Ταχύτητα εκτύπωσης	Flow 0	Flow	Χρήση ανεμιστήρα
Flexible TPC	235 °C	60 °C	10-150%	0	70-150	Ναι

Συμπεράσματα: Όταν ξεκίνησε η εκτύπωση του αντικειμένου με Flow 70 και χαμηλή ταχύτητα είχαμε σαν αποτέλεσμα η βάση του αντικειμένου να εκτυπωθεί σωστά και να κολλήσει στο επίπεδο σχεδίασης. Όταν όμως ξεκίνησε η εκτύπωση των τοιχωμάτων άρχισαν να δημιουργούνται κενά μεταξύ των επιπέδων και να μην έχει πλέον τόσο λεία επιφάνεια όσο είχε στην αρχή της εκτύπωσης. Σταδιακά αρχίσαμε να αυξάνουμε το Flow συνδυαστικά με την ταχύτητα εκτύπωσης. Τελικά για να έχουμε στο παραγόμενο αντικείμενο λεία και συμπαγή τοιχώματα ανά επίπεδο το Flow το πήγαμε στο 150 και την ταχύτητα εκτύπωσης στο 150% (Εικόνα 5.15).



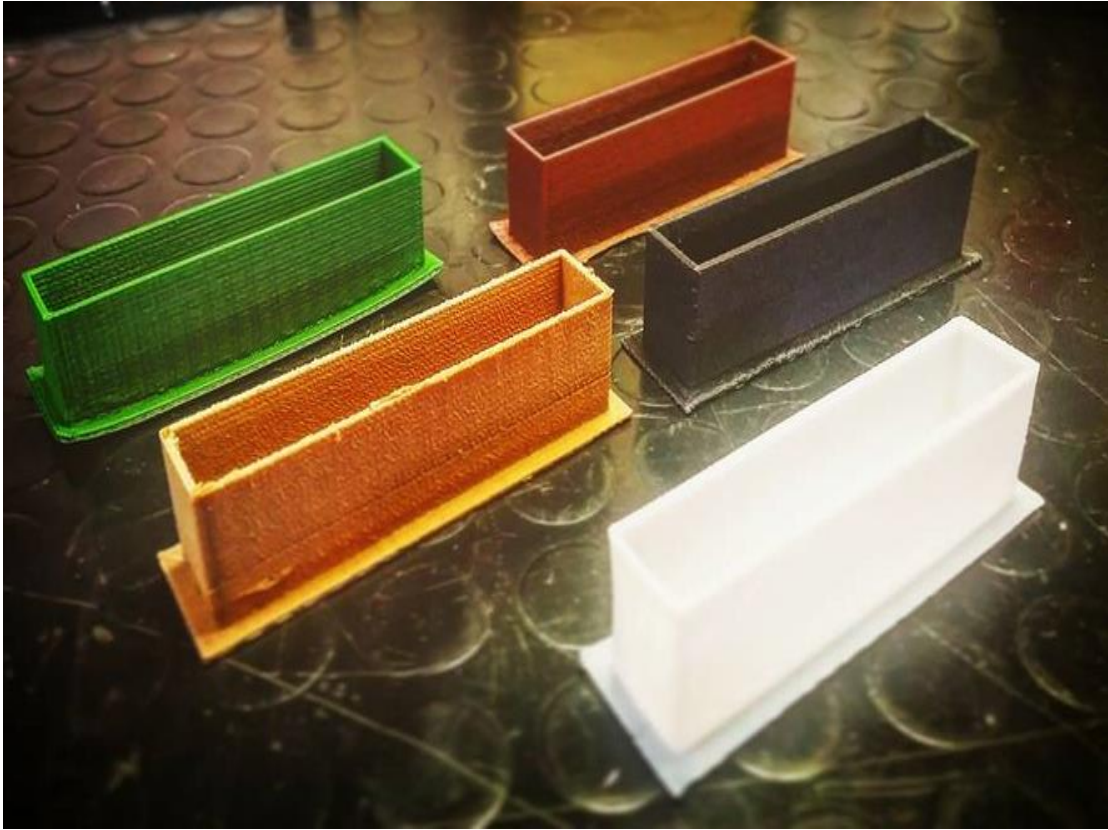
Εικόνα 5.15 - Κουτί από Flexible TPC υλικό

Συμπέρασμα πειραματισμού: Μπορεί το σχέδιο που επιλέξαμε προς εκτύπωση να θεωρείται οπτικά εύκολο, αλλά κατά την διάρκεια της αναπαραγωγής των αντικειμένων διαπιστώσαμε ότι υπάρχουν τεράστιες αποκλίσεις τόσο στις ρυθμίσεις που απαιτούνται για το εκάστοτε υλικό προς χρήση όσο και στις μετατροπές των ρυθμίσεων στο ίδιο υλικό. Μεγάλο ρόλο για το τελικό αποτέλεσμα έχει ο συνδυασμός των τροποποιήσεων κατά την διάρκεια της εκτύπωσης. Συνεπώς χρειάζεται «συνταγή» ανά υλικό των βασικών παραμέτρων για την υλοποίηση των εκτυπώσεων. Ακόμα πρέπει ο χρήστης να έχει σαν δεδομένο ότι η σύσταση του υλικού διαφέρει ανά παρτίδα παραγωγής. Επίσης οι συνθήκες αποθήκευσης των υλικών μπορούν να επιφέρουν αλλοιώσεις στο υλικό αν δεν είναι αυτές που συνιστώνται και συνεπώς να μην έχουν τα αποτελέσματα που αναμένουμε κατά την χρήση τους. Τέλος διαπιστώνονται αποκλίσεις στην συμπεριφορά των υλικών όταν έχουν εκτεθεί σε περιβαλλοντικές συνθήκες όπως σκόνη, έκθεση σε ηλιακή ακτινοβολία, υγρασία και υψηλές θερμοκρασίες. Σημειώτέο πολύ σημαντικός παράγοντας στην ποιότητα εκτύπωσης είναι η παρατεταμένη έκθεσή του στην ατμόσφαιρα (εκτός της αεροστεγούς συσκευασίας).

Η συνταγή που προτείνουμε για την υλοποίηση των εκτυπώσεων με βάση τις δοκιμές που κάναμε και τα χαρακτηριστικά του εκτυπωτή που χρησιμοποιούμε παρουσιάζονται στον Πίνακα 21.

Πίνακας 21 - Οι ρυθμίσεις που προτείνουμε

Υλικό	Θερμοκρασία κεφαλής	Θερμοκρασία επιπέδου	Ταχύτητα εκτύπωσης	Flow 0	Flow	Χρήση ανεμιστήρα
PLA	198 °C	60 °C	100%	0	100	ΟΧΙ
ABS	256°C	120 °C	10-250%	148	170	ΟΧΙ
Metal Copper	180°C	0 °C	80%	0	132	ΟΧΙ
Wood	215 °C	60 °C	100-150%	0	100	ΟΧΙ
Carbon	218 °C	60 °C	32-100%	0	120-220	ΟΧΙ
PETG	228 °C	60 °C	100-164%	148	110	ΟΧΙ
Flexible TPC	235 °C	60 °C	10-150%	0	70-150	Ναι



Εικόνα 5.16 - Παράθεση αποτελεσμάτων με χρήση διαφορετικών υλικών

Κεφάλαιο 6: ΠΡΟΒΛΗΜΑΤΑ

6.1 Εισαγωγή

Σε αυτό το κεφάλαιο θα γίνει αναφορά στα προβλήματα που υπήρξαν και στον τρόπο αντιμετώπισής τους. Τα προβλήματα αυτά χωρίζονται στις εξής κατηγορίες I) Κατά την συναρμολόγηση του 3D εκτυπωτή. II) Κατά την λειτουργία του 3D εκτυπωτή. III) Κατά τον σχεδιασμό των αντικειμένων. IV) Στην συντήρηση του 3D εκτυπωτή. V) Προβλήματα που οφείλονται σε ανειδίκευτους χρήστες. Τα ως άνω προβλήματα είχαν ως αποτέλεσμα να αυξήσουν το κόστος κατασκευής του εκτυπωτή αλλά και να καθυστερήσει η υλοποίηση διαφόρων ενεργειών μέχρι να βρεθεί λύση για την αντιμετώπιση των προβλημάτων αυτών.

6.2 Προβλήματα κατά την συναρμολόγηση του 3D εκτυπωτή

Τα προβλήματα που προέκυψαν κατά την συναρμολόγηση του 3D εκτυπωτή χωρίζονται σε 3 βασικές κατηγορίες. Στην πρώτη κατηγορία θα γίνει αναφορά για τα προβλήματα που οφείλονται σε ασάφειες των οδηγιών που δόθηκαν από τον κατασκευαστή. Η δεύτερη κατηγορία έχει να κάνει με προβλήματα που υπήρξαν με τον εξοπλισμό που παραλάβαμε από διάφορους προμηθευτές και η τρίτη κατηγορία έχει να κάνει με προβλήματα που δημιουργήθηκαν εξαιτίας δικών μας λαθών κατά την συναρμολόγηση.

6.2.1 Ασάφειες στο εγχειρίδιο κατασκευής

Το εγχειρίδιο με της οδηγίες που δίνεται από τον κατασκευαστή για την συναρμολόγηση των εξαρτημάτων του 3D εκτυπωτή είχε πολλές ασάφειες καθώς ήταν κακομεταφρασμένο από τα κινέζικα στα αγγλικά με αποτέλεσμα πολλά σημεία του να μην γίνονται απόλυτα κατανοητά και οι εικόνες που παρουσιάζονται για την εγκατάσταση κάποιων προγραμμάτων να είναι φωτογραφίες από την οθόνη του υπολογιστή του "κατασκευαστή" και κατά συνέπεια να είναι κινέζικα. Ένα ακόμα πρόβλημα εξαιτίας του εγχειριδίου ήταν ότι ενώ περιείχε την φωτογραφία της μητρικής πλακέτας καθώς και την αρίθμηση των θυρών και από κάτω την επεξήγησή τους, στην συνέχεια διαβάζοντάς το διαπιστώθηκε ότι στα επιμέρους κομμάτια τοποθέτησης δίνονταν διαφορετικές πληροφορίες για την τοποθέτηση των καλωδίων στις αντίστοιχες θύρες της μητρικής πλακέτας του εκτυπωτή με

αποτέλεσμα να δημιουργηθεί σύγχυση για το πως πρέπει να τοποθετηθούν τα καλώδια. Για να λυθεί αυτό το πρόβλημα με την βοήθεια του επιβλέποντος καθηγητή της πτυχιακής εργασίας μας μελετήσαμε την μητρική πλακέτα και κάνοντας μια γραφική απεικόνιση της πλακέτας σε χαρτί καταφέραμε να κατανοήσουμε και να τοποθετήσουμε τα καλώδια από την αρχή στις σωστές θύρες. Αυτό έγινε γιατί σε περίπτωση λανθασμένης τοποθέτησης υπήρχε ο κίνδυνος να κάψουμε την μητρική πλακέτα ή κάποιο εξάρτημά της, όπως και κάποιο εξάρτημα της υπόλοιπης κατασκευής καθώς δεν θα δίνονταν σωστές εντολές.

Το εγχειρίδιο οδηγιών δεν περιλάμβανε οδηγίες για την τοποθέτηση των καλωδίων του τροφοδοτικού ένα κομμάτι που είναι πάρα πολύ σοβαρό για δυο βασικούς λόγους όπως περιγράψαμε και στο κεφάλαιο 2 υποκεφάλαιο 2.5. Τα καλώδια που δόθηκαν από τον κατασκευαστή δεν ακολουθούν τον ευρωπαϊκό χρωματικό κώδικα και δεύτερον στο τροφοδοτικό υπάρχουν δύο κατηγορίες ρευμάτων, ρεύματα υψηλής τάσης και ρεύματα χαμηλής τάσης. Συνεπώς αν η τροφοδοσία της πλακέτας γίνει με ρεύμα υψηλής τάσης τότε η μητρική πλακέτα του εκτυπωτή θα καεί. Επίσης αν γίνει τροφοδοσία του τροφοδοτικού με χαμηλή τάση, το τροφοδοτικό του εκτυπωτή θα υπολειτουργεί με αποτέλεσμα να καεί είτε αυτό είτε οποιοδήποτε άλλο εξάρτημα όπως οι βηματικοί κινητήρες. Σε ακραία περίπτωση αν τα καλώδια που έχουν συνδεθεί δεν έχουν την απαιτούμενη αντοχή για την τάση που τους δίνεται μπορεί να λιώσουν και αν δεν γίνει αντιληπτό έγκαιρα από τον χρήστη να υπάρξουν μεγάλες πιθανότητες βραχυκυκλώματος και κατά συνέπεια πυρκαγιά. Για να λυθεί αυτό το πρόβλημα χρησιμοποιήσαμε τις γνώσεις μας από τα ηλεκτρονικά καθώς επίσης και με αναζήτηση στο διαδίκτυο για το σχηματικό του τροφοδοτικού προκειμένου να αναγνωριστούν οι θέσεις τοποθέτησης των καλωδίων και να συνδεθούν τα σωστά καλώδια για τις σωστές τάσεις.

6.2.2 Προβλήματα εξοπλισμού

Το πακέτο που παραλάβαμε είχε ελλείψεις στον εξοπλισμό που απαιτείται για την συναρμολόγηση των εξαρτημάτων. Δεν περιλάμβανε παξιμάδια και ροδέλες που ήταν βασικές για την σταθεροποίηση και την ένωση του εκτυπωτή με αποτέλεσμα να πρέπει να αγοραστούν από εμάς. Επίσης στις οδηγίες γινόταν αναφορά ότι πρέπει να χρησιμοποιηθούν μεγέθη M3 αλλά μετά από δοκιμή

καταλήξαμε ότι με μέγεθος M4 εξασφαλίζεται μεγαλύτερη σταθερότητα στον εκτυπωτή καθώς οι οπές που υπήρχαν πάνω στα επιμέρους κομμάτια του ήταν μεγαλύτερης διατομής από αυτές που αναγράφονται στις οδηγίες.

Στα γωνιακά ξύλινα πλαίσια που χρησιμοποιούνται για την ένωση και την συγκράτηση του μπροστινού πλαισίου του εκτυπωτή με τα πλαίσια υπήρχαν κάποιες τρύπες από τις οποίες περνάνε οι ατέρμονες κοχλίες για την κίνηση στον Z άξονα. Οι τρύπες αυτές δεν ήταν σωστά ευθυγραμμισμένες με αποτέλεσμα να μην μπορούν οι ατέρμονες κοχλίες να τοποθετηθούν στην σωστή θέση. Έτσι έπρεπε με την χρήση κατάλληλης λίκας να ανοίξουμε τις τρύπες αυτές ώστε να τοποθετηθούν σωστά οι κοχλίες.

Ένα ακόμα πρόβλημα που έπρεπε να λυθεί ήταν το μήκος των καλωδίων καθώς υπήρχαν μακριά καλώδια σε εξαρτήματα που δεν χρειάζονταν και κοντά καλώδια σε εξαρτήματα που είχαν μεγαλύτερη απόσταση από την μητρική πλακέτα. Συνεπώς εμείς έπρεπε να προσέξουμε ιδιαίτερα την χωροταξία των καλωδίων για να έχουμε το βέλτιστο αποτέλεσμα ώστε να λειτουργούν σωστά όλα τα εξαρτήματα και να μην υπάρχει κίνδυνος να κοπεί κάποιο κατά την λειτουργία του 3D Printer ή και να εμποδίζεται η λειτουργία του από κάποιο καλώδιο κατά την διάρκεια της κίνησης των αξόνων .

Το θερμοστοιχείο της κεφαλής το παραλάβαμε καμένο με αποτέλεσμα να αποσυναρμολογήσουμε την κεφαλή από την αρχή με σκοπό την αντικατάστασή του το οποίο είχε ως αποτέλεσμα την καθυστέρησή μας στις απαιτήσεις του χρονοδιαγράμματος εργασιών μέχρι να βρεθεί συμβατό και να αντικατασταθεί.

Για την σύνδεση κάποιων εξαρτημάτων δεν είχε δοθεί αρκετός χώρος από τον κατασκευαστή με αποτέλεσμα να υπάρχει πρόβλημα με την τοποθέτηση κάποιων βιδών που εμπόδιζαν την σωστή λειτουργία της κεφαλής. Για την αντιμετώπιση αυτού του προβλήματος αλλάξαμε τις βίδες με μικρότερες στο μέγεθος .

Στα κομμάτια που παραλάβαμε προσυναρμολογημένα ήταν και τα πλαστικά εύκαμπτης σύζευξης που βρίσκονται στο κάτω μέρος των ατέρμων κοχλιών τα οποία ενώνονται με τις προεξοχές των κινητήρων με σκοπό την κίνηση στον Z άξονα. Αυτά τα εύκαμπτα πλαστικά δεν είχαν τοποθετηθεί σωστά με αποτέλεσμα να έχουν παραμορφωθεί και να μην γίνεται σωστή περιστροφική κίνηση των

αξόνων συνεπώς υπήρξε η αντικατάστασή τους προκειμένου να λειτουργήσουν σωστά οι άξονες.

Τέλος οι βάσεις των βηματικών κινητήρων ενώ ήταν τοποθετημένες δεν ήταν σωστά ευθυγραμμισμένες με αποτέλεσμα να πρέπει να λυθούν και να μονταριστούν πάλι από εμάς δίνοντας μεγάλη προσοχή στην ευθυγράμμισή τους και στην επανατοποθέτησή τους πάνω στον 3D εκτυπωτή.

6.2.3 Προβλήματα δικών μας λαθών

Το πρόβλημα που υπήρξε εξαιτίας δικής μας απροσεξίας κατά την κατασκευή του 3D εκτυπωτή ήταν η καταστροφή των σπειρωμάτων στις πλαστικές βάσεις που χρησιμοποιήθηκαν για την τοποθέτηση της μητρικής πλακέτας πάνω στο πλαϊνό πλαίσιο. Όταν βιδώνονται οι βίδες για την σταθεροποίηση τους δεν πρέπει να βάζουμε παραπάνω δύναμη καθώς το σημείο που επιτυγχάνεται το σωστό σφίξιμο με το σημείο της καταστροφής των σπειρωμάτων είναι οριακό. Αυτό σε εμάς δεν ήταν γνωστό καθώς δεν είχαμε χρησιμοποιήσει πάλι τέτοιου είδους βάσεις. Για να λυθεί αυτό το πρόβλημα αντικαταστήσαμε όλες τις βάσεις και ήμασταν πιο προσεκτικοί στην σταθεροποίησή τους.

6.3 Προβλήματα κατά την λειτουργία του 3D εκτυπωτή

Τα προβλήματα που εμφανίζονται κατά την διάρκεια λειτουργίας ενός 3D εκτυπωτή δεν αφορούν μόνο τον ανθρώπινο παράγοντα αλλά έχουν να κάνουν και με την ευαισθησία των εξαρτημάτων που αποτελούν την κατασκευή. Συνεπώς ένα βασικό πρόβλημα που βρεθήκαμε αρκετές φορές αντιμέτωποι ήταν ότι εξαιτίας των κραδασμών που προκύπτουν κατά την λειτουργία του εκτυπωτή δηλαδή την ώρα παραγωγής κάποιου αντικειμένου, είχε ως αποτέλεσμα να χαλάνε οι ευθυγραμμίσεις μεταξύ των εξαρτημάτων και κατά συνέπεια να δημιουργούνται προβλήματα με την ανίχνευση των αισθητήρων τερματισμού. Είναι ένα σοβαρό πρόβλημα καθώς χάνεται με αυτόν τον τρόπο ο ορισμός του μηδενός (μηδενισμός των αξόνων) που έχει γίνει πριν αρχίσει η λειτουργία του. Επειδή η αναπαραγωγή των αντικειμένων γίνεται από κάτω προς τα πάνω, όταν χάνεται η ευθυγράμμιση του εκτυπωτή διαπιστώνεται το φαινόμενο της μετακίνησης του αντικειμένου. Αυτό γίνεται γιατί ο 3D εκτυπωτής λειτουργεί με σχετικές και όχι απόλυτες συντεταγμένες με βάση την αρχική θέση που έχει δοθεί. Σε αυτή την περίπτωση σε μεγάλο

ποσοστό το εκάστοτε αντικείμενο θα βγει ελαττωματικό ή τελείως κατεστραμμένο γιατί η κεφαλή του εκτυπωτή δεν αντιλαμβάνεται την μετακίνηση του αντικείμενου. Συνεπώς συνεχίζει την εκτύπωση όχι με βάση τη θέση του αντικείμενου αλλά με βάση την αρχική ένδειξη των συντεταγμένων που αναγνωρίζει από τους αισθητήρες. Έτσι διαπιστώνεται ότι από το ανώτερο επίπεδο που έχει σχεδιαστεί μέχρι εκείνη την στιγμή και μετά τα επόμενα επίπεδα έχουν μια ελαφριά μετακίνηση ανάλογα με το μέγεθος του προβλήματος που έχει δημιουργηθεί, εξαιτίας της απώλειας ευθυγράμμισης.

Επίσης εξαιτίας των κραδασμών στην αρχή υπήρξε πρόβλημα με τον αισθητήρα θερμοκρασίας της κεφαλής και αυτό είχε τα παρακάτω αποτελέσματα. Από την στιγμή που έχανε την θέση του ο αισθητήρας δεν αναγνωριζόταν από το εκτυπωτή η πραγματική θερμοκρασία της κεφαλής συνεπώς συνέχιζε την τροφοδοσία της. Αυτό είχε ως αποτέλεσμα αν το υλικό είναι για παράδειγμα PLA που χρειάζεται 198°C στην κεφαλή για να λιώσει για να ξεκινήσει η εκτύπωση, ο εκτυπωτής να φτάσει να έχει 240°C σαν πραγματική τιμή μετά από μέτρηση που πραγματοποιήθηκε από εμάς. Η οθόνη συνέχιζε να αναγράφει 198°C συνεπώς η ποσότητα του υλικού που έλιωνε ήταν μεγαλύτερη από αυτή που μπορεί να διαχειριστεί η κεφαλή και να έχει σαν συνέπεια η εκτύπωση να μην γίνεται σωστά. Για αυτό το λόγο άλλες φορές τροφοδοτούσε το αντικείμενο με μεγαλύτερη ποσότητα υλικού με συνέπεια να δημιουργηθούν σκουπίδια πάνω στο αντικείμενο ενώ η λιγότερη ποσότητα υλικού δημιούργησε κενά στα επίπεδα του αντικειμένου.

Η μη αναγνώριση της πραγματικής θερμοκρασίας της κεφαλής δεν επιφέρει προβλήματα μόνο στα αντικείμενα αλλά και στον ίδιο τον εκτυπωτή καθώς η παραπάνω ποσότητα του υλικού που λιώνει δημιουργεί παραμόρφωση στο σωληνάκι σιλικόνης και το υλικό σιγά σιγά παγώνει εμποδίζοντας την διέλευσή του (Εικόνα 6.1). Αυτό έχει ως αποτέλεσμα ο βηματικός κινητήρας της κεφαλής να συνεχίζει να προωθεί υλικό και συνεπώς δημιουργείται κίνδυνος να καταστραφεί (καεί) ο κινητήρας αφού δεν προωθείται υλικό στο αντικείμενο. Επίσης όταν θα δημιουργηθεί αυτή η κατάσταση θα πρέπει να λυθεί όλη η κεφαλή και να γίνει αντικατάσταση στο σωληνάκι σιλικόνης αλλά και να καθαριστούν όλα τα μέρη της κεφαλής από την ύπαρξη πλεονάζουσας ποσότητας καμένου υλικού. Έτσι για να αποφευχθούν αυτά τα προβλήματα προβήκαμε στην σταθεροποίηση του αισθητήρα θερμοκρασίας πάνω στην κεφαλή στην κατάλληλη τομή.



Εικόνα 6.1 - Κατεστραμμένο σωληνάκι σιλικόνης από έκχυση μεγάλης ποσότητας υλικού

Τέλος κατά την λειτουργία του εκτυπωτή ένα πρόβλημα που έπρεπε να αντιμετωπιστεί ήταν η διαχείριση των υλικών και ο ορισμός διαφόρων παραμέτρων οι οποίες είναι υπεύθυνες για την τελική μορφή του αντικείμενου κατά την εκτύπωση αλλά και για την μορφή του τελικού αντικείμενου που θα δημιουργηθεί. Το πρόβλημα έγκειται στο ότι κάθε υλικό ακόμα και αν είναι της ίδιας εταιρίας έχει διαφορετική συμπεριφορά όταν αλλάζει η ημερομηνία παραγωγής ή οι περιβαλλοντικές συνθήκες που έχει βρεθεί. Δηλαδή αν έχει εκτεθεί για παραπάνω ώρα στον ήλιο ή τι θερμοκρασίες έχει στο χώρο αποθήκευσης όπως και τα ποσοστά υγρασίας του χώρου, όλα αυτά είναι παράμετροι που μπορούν να αλλάξουν την συμπεριφορά του υλικού κατά την εκτύπωση. Χρειάστηκε χρόνος από εμάς για να γίνει κατανόηση μέσα από πειραματισμούς στο πως πρέπει να αλλάζονται οι ταχύτητες κατά την εκτύπωση αλλά και πώς πρέπει να αλλάζουν οι παράμετροι όπως η θερμοκρασία σε συνδυασμό με την ταχύτητα για να έχουμε ένα τέλειο αποτέλεσμα κατά την εκτύπωση διαφόρων αντικειμένων.

6.4 Προβλήματα κατά τον σχεδιασμό αντικειμένων

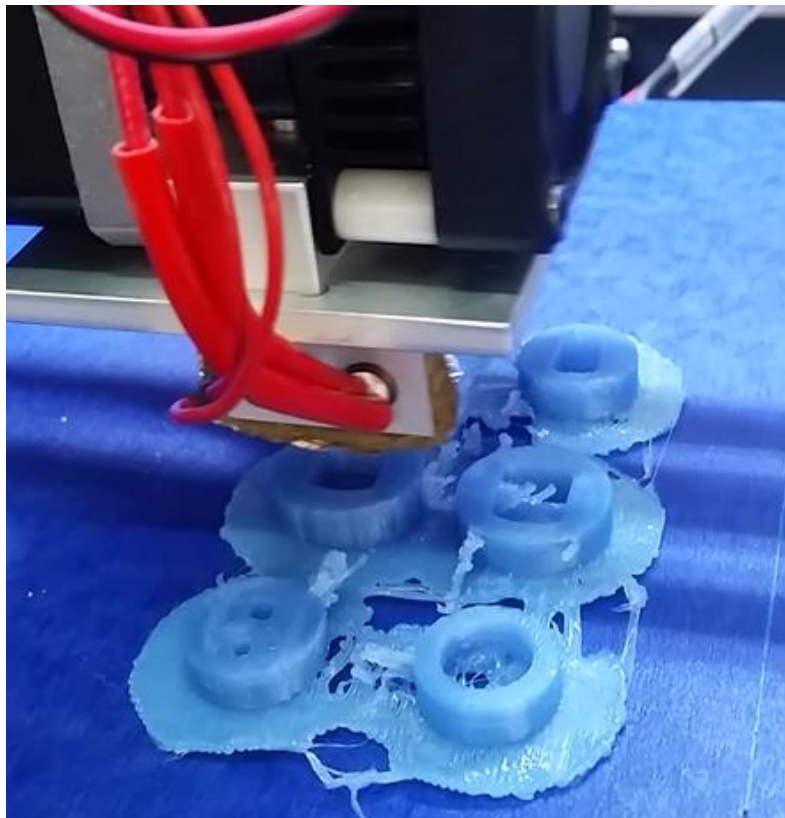
Οι 3D εκτυπωτές δίνουν την δυνατότητα στους χρήστες να μπορούν να δημιουργήσουν τρισδιάστατα αντικείμενα χωρίς κανέναν περιορισμό στην φαντασία που απαιτείται κατά τον σχεδιασμό. Στην πράξη όμως διαπιστώνεται ότι η ελευθερία αυτή περιορίζεται καθώς πρέπει να υπολογιστούν περιορισμοί που δεν φανταζόμασταν για την δημιουργία άρτιων αντικειμένων. Ο πρώτος περιορισμός είναι οι διαστάσεις του αντικειμένου που θα σχεδιαστεί οι οποίες ορίζονται στα μέγιστα όρια 200mm*200mm*180mm. Θα πρέπει να σημειωθεί ότι πρέπει να αποφεύγεται η εκτύπωση στα όρια καθώς υπάρχει μεγάλος κίνδυνος να μην είναι απόλυτες οι ευθυγραμμίσεις οπότε δεν θα υπάρχει σωστή μετακίνηση των αξόνων για να βρεθεί στα απαιτούμενα σημεία η κεφαλή με σκοπό την δημιουργία του αντικειμένου. Ακόμα και μικρό να είναι το αντικείμενο που έχει σχεδιαστεί θα πρέπει να υπάρξει μεγάλη προσοχή στην τοποθέτησή του όταν θα περάσει από το πρόγραμμα Cura καθώς αν μια πλευρά του αντικείμενου είναι στα όρια σχεδίασης που δίνονται από τον κατασκευαστή μπορεί να δημιουργήσει παραμόρφωση σε όλο το αντικείμενο καθώς δεν πραγματοποιείται σωστή κίνηση των αξόνων.

Ακόμα απαιτείται μεγάλη προσοχή στις διαστάσεις και στα πάχη των ακμών, όταν σχεδιάζεται ένα αντικείμενο ειδικά στην περίπτωση που απαιτείται μεγάλη λεπτομέρεια ή αν το κομμάτι που κατασκευάζεται χρειάζεται να συνδεθεί με κάποιο άλλο κομμάτι καθώς χρειάζεται μεγάλη ακρίβεια. Πρέπει να λαμβάνεται υπόψη η διατομή της κεφαλής για την έκχυση του υλικού στο αντικείμενο, η διάμετρος του νήματος, οι ρυθμίσεις που γίνονται από το πρόγραμμα Cura καθώς μέσα από αυτό ρυθμίζονται παράμετροι όπως η λειτουργία βηματικού κινητήρα για την ποσότητα έκχυσης υλικού ανάλογα με τις ανάγκες του αντικείμενου ανά επίπεδο εκτύπωσης.

Επίσης πρέπει να λαμβάνεται υπόψη ότι κατά την διάρκεια της εκτύπωσης η μύτη της κεφαλής περνάει και ακουμπάει πάνω στο επίπεδο που εκτυπώνει. Συνεπώς μέχρι να παγώσει το υλικό διαπιστώνεται ότι υπάρχει μια μικρή υπερχειλίση δεξιά και αριστερά της ακμής που σχεδιάζεται. Στην μορφή του αντικείμενου που θα έχουμε στο τέλος της εκτύπωσης δεν επιφέρει οπτικές αλλοιώσεις με βάση αυτό που έχει σχεδιαστεί αλλά στην περίπτωση που κατά την διάρκεια σχεδίασης ενός αντικείμενου δεν έχει δοθεί προσοχή σε αυτή την μικρή λεπτομέρεια, τότε στο εκτυπωμένο αντικείμενο δεν θα έχουμε την σωστή διάμετρο στις τομές που έχουν σχεδιαστεί. Έτσι μπορεί ακόμα και για λίγα χιλιοστά να μην

μπορεί να γίνει η σύνδεση μεταξύ δυο αντικειμένων καθώς δεν θα εφαρμόζονται απόλυτα όπως εμείς επιθυμούμε ή αν πρόκειται για τρύπες ή τομές που θέλουμε να περάσουμε κάποιο άλλο αντικείμενο να μην εφάπτονται όπως εμείς θα επιθυμούσαμε με βάση τα αρχικά μας σχέδια. Μπορεί να φαίνεται ασήμαντο αλλά δεν είναι αν σκεφτεί κάποιος ότι ένα αντικείμενο μπορεί να χρειάζεται ώρες ολόκληρες για την εκτύπωση του και μια τέτοια λεπτομέρεια για λίγα χιλιοστά να καθυστερήσει την πραγματοποίηση μια εργασίας ολόκληρη μέρα.

Ένας ακόμα παράγοντας που συνδέεται με αυτά που περιγράφηκαν παραπάνω είναι η παραγωγή «σκουπιδιών» σε ένα αντικείμενο (Εικόνα 6.2). Πρόκειται για την ύπαρξη μεγαλύτερης ποσότητας υλικού πάνω στο αντικείμενο από αυτή που απαιτείται. Τα σκουπίδια σε ένα αντικείμενο μπορούν να οφείλονται σε πολλούς παράγοντες. Βασική αιτία είναι ο σχεδιασμός του αντικειμένου που έχει γίνει από τον χρήστη όπως επίσης και ο μετέπειτα προγραμματισμός που κάνει ο χρήστης για την λειτουργία της κεφαλής και την έκχυση της σωστής ποσότητας υλικού πάνω στο αντικείμενο. Κατά την διάρκεια της επεξεργασίας του αντικειμένου στο πρόγραμμα CURA ρυθμίζεται η λειτουργία του κινητήρα της κεφαλής που προωθεί την κατάλληλη ποσότητα υλικού ανάλογα με το αντικείμενο. Ορίζονται τα διαστήματα κατά τα οποία θα γίνεται η προώθηση του υλικού ή θα σταματά η λειτουργία του κινητήρα ή και θα αναστρέφεται. Συνεπώς όταν το αντικείμενο έχει προεξοχές σε διάφορα επίπεδα για παράδειγμα κορυφές όπου η απόσταση μεταξύ αυτών των επιπέδων είναι μεγαλύτερη υπάρχει περίπτωση ο βηματικός κινητήρας να προωθήσει υλικό στον αέρα και όταν θα πάει η κεφαλή στο σημείο που θέλουμε να συνεχιστεί η εκτύπωση να αφήσει την ποσότητα αυτή του υλικού πάνω στα τοιχώματα του αντικειμένου. Όταν αυτό γίνεται συνέχεια κατά την διάρκεια της εκτύπωσης το υλικό παγώνει και έχει ως συνέπεια όταν θα ολοκληρωθεί η εκτύπωση και έρθει η ώρα να αφαιρεθούν τα κομμάτια αυτά του υλικού από τα τοιχώματα του αντικειμένου να δημιουργηθούν αλλοιώσεις που έχουν να κάνουν με την μορφή του αντικειμένου. Σε αυτή την περίπτωση απαιτείται να χρησιμοποιηθεί λίμα ή ηλεκτρικό τριβείο αυτό έχει σαν αποτέλεσμα να δημιουργηθεί θάμπωμα του υλικού σε αυτό το σημείο ή ακόμα και να σπάσει αν είναι πολύ λεπτό το σημείο που πάμε να κάνουμε την αφαίρεση του υλικού.



Εικόνα 6.2 - Αναπαραγωγή σκουπιδιών κατά την εκτύπωση

Επίσης αν κατά την διάρκεια της εκτύπωσης σε οποιοδήποτε σημείο του αντικείμενου γίνει προώθηση μεγαλύτερης ποσότητας υλικού πάνω στο αντικείμενο και δεν γίνει έγκυρα αντιληπτό από τον επιβλέποντα χρήστη του εκτυπωτή προκειμένου να το αφαιρέσει προσεκτικά πριν παγώσει. Τότε δημιουργείται πρόβλημα στην κίνηση της κεφαλής καθώς δημιουργείται εξόγκωμα το οποίο μπορεί να επιφέρει τους παρακάτω κινδύνους. Να καταστραφεί όλο το αντικείμενο καθώς θα χαθούν οι συντεταγμένες λειτουργίας της κεφαλής, να δημιουργηθούν κενά μεταξύ των επιπέδων του αντικείμενου, να δημιουργηθούν κραδασμοί στην κεφαλή και να χαθούν οι συντεταγμένες λειτουργίας και να υπάρξει μετακίνηση του αντικείμενου. Στην χειρότερη περίπτωση αν το εξόγκωμα είναι αρκετά μεγάλο όταν η κεφαλή θα πάει να περάσει από το σημείο αυτό με την ταχύτητα που έρχεται θα σπάσει ολόκληρη. Για να αποφευχθούν τα σκουπίδια σε ένα αντικείμενο και συνεπώς τα προβλήματα που έγινε αναφορά παραπάνω θα πρέπει να δίνεται μεγάλη προσοχή στον σχεδιασμό των αντικειμένων και στις παραμέτρους που θέτουμε για την λειτουργία της κεφαλής. Ακόμα πρέπει να δίνεται προσοχή στο πρόγραμμα CURA όταν γίνεται η αναπαράσταση των κινήσεων που θα

πραγματοποιηθούν από την κεφαλή κατά την διάρκεια της εκτύπωσης αν αντιληφθεί ο χρήστης ότι δεν μπορεί να αποφύγει τυχόν μελλοντικά προβλήματα από την παραμετροποίηση της λειτουργίας του κινητήρα της κεφαλής τότε έχει δύο επιλογές ή κατά την διάρκεια την εκτύπωσης να πειράξει τις ρυθμίσεις από το μενού του εκτυπωτή μια κατάσταση η οποία δεν συνιστάται καθώς υπάρχει μια μικρή χρονοκαθυστέρηση μέχρι να γίνουν δεκτές από τον εκτυπωτή οι όποιες αλλαγές του ορίζουμε. Η δεύτερη επιλογή είναι να πειράξουμε τον κώδικα που παράγεται κατά την διάρκεια της επεξεργασίας του αντικειμένου στο πρόγραμμα CURA αλλά σε αυτή την περίπτωση ο χρήστης πρέπει να έχει γνώσεις Assembly γλώσσας προγραμματισμού προκειμένου να αντιλαμβάνεται σε ποια κομμάτια κώδικα πρέπει να κάνει αλλαγές και με ποιον τρόπο.

6.5 Προβλήματα στην συντήρηση του 3D εκτυπωτή

Κατά την διάρκεια της συντήρησης του 3D εκτυπωτή δεν αντιμετωπίσαμε σημαντικά προβλήματα, τα προβλήματα με τα οποία ήρθαμε κυρίως αντιμέτωποι είχαν να κάνουν κατά κύριο λόγο με την δυσκολία εύρεσης κάποιων ανταλλακτικών. Όπως σωληνάκι σιλικόνης που τοποθετείται μέσα στην κεφαλή, μύτες για την κεφαλή καθώς ήταν σε έλλειψη από την αγορά, στην εύρεση καταλλήλου μονωτικού υλικού για την συνεχή διατήρηση της θερμοκρασίας της κεφαλής και στην έλλειψη καταλλήλων εργαλείων όπως κατσαβίδια για να μπορούμε να ελέγχουμε αν υπάρχει χαλάρωση στις συνδέσεις του εκτυπωτή μεταξύ των εξαρτημάτων.

Σαν χρήστες του εκτυπωτή κατά την συντήρηση του οι αστοχίες που είχαμε ήταν στην τοποθέτηση πλεονάζουσας ποσότητας λαδιού σιλικόνης πάνω στους άξονες. Με αποτέλεσμα να κολλάει η σκόνη και να υπάρχει πρόβλημα στην κίνηση τους. Για να διορθωθεί αυτή η κατάσταση καθαρίσαμε όλους τους άξονες και τους λιπάναμε από την αρχή με μεγαλύτερη προσοχή. Μια ακόμα απροσεξία μας ήταν κατά την διάρκεια λυσίματος της κεφαλής με σκοπό τον καθαρισμό της. Επειδή χρειάζεται να είναι ελαφρώς θερμασμένη για να μπορέσουμε να διαχωρίσουμε τα κομμάτια της είχαμε κάποια μικρά καψίματα στα δάχτυλα επειδή δεν φοράγαμε προστατευτικά γάντια.

6.6 Προβλήματα που οφείλονται σε ανειδίκευτους χρήστες

Ο εκτυπωτής συναρμολογήθηκε στα πλαίσια χρήσης από το εργαστήριο Σύγχρονης Σχεδίασης με στόχο να χρησιμοποιηθεί μελλοντικά για εκπαιδευτικούς λόγους από τον υπεύθυνο καθηγητή μας. Στο πλαίσιο της εκπαίδευσης χρησιμοποιήθηκε και από άλλους χρήστες - φοιτητές με σκοπό την εκτύπωση διαφόρων εξαρτημάτων για προσωπική χρήση ή και για άλλες μελλοντικές πτυχιακές. Συνεπώς πολλές φορές βρεθήκαμε αντιμέτωποι με προβλήματα - ζημίες πάνω στον 3D εκτυπωτή εξαιτίας της αγνοίας τους για τον τρόπο της λειτουργίας του 3D εκτυπωτή, είτε εξαιτίας της απροσεξίας τους και της αδιαφορίας που επιδείκνυαν στις οδηγίες που τους είχαν δοθεί τόσο από τον υπεύθυνο καθηγητή όσο και από εμάς.

Όπως έχουμε αναφερθεί και σε άλλα κεφάλαια ο εκτυπωτής θέλει ιδιαίτερη προσοχή καθώς τα εξαρτήματα που έχει είναι ευαίσθητα τόσο στους κραδασμούς που δημιουργούνται κατά την εκτύπωση όσο και στην αντιμετώπιση από τους χρήστες κατά την διάρκεια της συντήρησης και της αφαίρεσης των αντικειμένων μετά από την ολοκλήρωση της εκτύπωσης. Βασικός κανόνας στις οδηγίες προς τους άλλους χρήστες που δεν τηρήθηκε ήταν ότι σε οποιαδήποτε στιγμή χρειαστεί να κάνουν κάποια ενέργεια πάνω στον εκτυπωτή όπως αφαίρεση αντικειμένου από το επίπεδο σχεδίασης, ή όταν θα ακούσουν κάποιο διαφορετικό θόρυβο από αυτούς που έχει ο εκτυπωτής κανονικά κατά την διάρκεια της εκτύπωσης να ζητήσουν αμέσως βοήθεια και να μην πάρουν καμία πρωτοβουλία για την επίλυση κάποιου προβλήματος. Επίσης έπρεπε κατά την διάρκεια της εκτύπωσης να είναι εκεί να ελέγχουν ότι όλα λειτουργούν σωστά όπως επίσης και πριν αρχίσουν την εκτύπωση κάποιου αντικειμένου να γίνεται έλεγχος ότι κανένα καλώδιο ή άλλο ξένο σώμα δεν εμποδίζει την κίνηση των αξόνων και του επιπέδου σχεδίασης. Και να ελέγχεται ότι όλοι οι αισθητήρες θερμοκρασίας και τερματισμού λειτουργούν σωστά. Επειδή δεν υπήρξε η τήρηση αυτόν τον κανόνων δημιουργήθηκαν τα παρακάτω προβλήματα.

- Ξεκίνησε η εκτύπωση κάποιου αντικείμενου και δεν έγινε έλεγχος για το αν κάποιο καλώδιο ή ξένο σώμα εμποδίζει την λειτουργία του εκτυπωτή κατά την κίνηση του επιπέδου σχεδίασης και των αξόνων. Αυτό είχε ως αποτέλεσμα να μην εντοπιστεί ότι το πιαστράκι που συγκρατεί την γυάλινη επιφάνεια με το θερμαινόμενο επίπεδο ότι βρίσκεται πάνω στον βηματικό κινητήρα που είναι

υπεύθυνος για την κίνηση του σχεδιαστικού επιπέδου. Επίσης δεν δόθηκε προσοχή ούτε στον ήχο που ακουγόταν ούτε και στο ότι μετά από ένα σημείο στην οθόνη του εκτυπωτή η ένδειξη της θερμοκρασίας για το θερμαινόμενο επίπεδο ήταν μηδενική. Αυτό είχε ως αποτέλεσμα να δημιουργηθεί μια μεγάλη ζημιά στον εκτυπωτή. Ο τερματικός αισθητήρας (stopper) για τον άξονα Y στράβωσε με αποτέλεσμα να θέλει αντικατάσταση. Το καλώδιο του αισθητήρα για την θερμοκρασία του θερμαινόμενου επιπέδου έφυγε από την θέση του μερικώς και πλέον δεν αναγνώριζε την πραγματική θερμοκρασία της επιφάνειας. Συνεπώς η μητρική πλακέτα αντιλαμβανόταν ως πληροφορία 0°C ενώ για την εκτύπωση του υλικού χρειαζόνταν 60°C, έτσι συνέχιζε την τροφοδοσία του με αποτέλεσμα να αυξηθεί παραπάνω από τα όρια. Με αποτέλεσμα να δημιουργηθεί βραχυκύκλωμα πάνω στην μητρική πλακέτα το οποίο προκάλεσε το λιώσιμο του φινις της αντίστοιχης θύρας πάνω στην μητρική πλακέτα. Για να αντιμετωπιστεί αυτό το πρόβλημα από εμάς το πρώτο που κάναμε ήταν να επιδιορθώσουμε και να φέρουμε στην αρχική του θέση τον τερματικό αισθητήρα του θερμαινόμενου επιπέδου. Στην συνέχεια αφαιρέσαμε το θερμαινόμενο επίπεδο και κολλήσαμε με καλάι το καλώδιο του αισθητήρα της θερμοκρασίας στην σωστή θέση του θερμαινόμενου επιπέδου, έπειτα ελέγξαμε αν δεν έχουν υποστεί ζημιά οι κυψέλες θερμοκρασίας πάνω στο θερμαινόμενο επίπεδο. Τέλος αφαιρέσαμε την μητρική πλακέτα από την θέση της φορώντας βραχιόλια γειώσεως, για να μην κάνουμε κάποιο βραχυκύκλωμα με τον στατικό ηλεκτρισμό που δημιουργείται και κάναμε οπτικό έλεγχο για να εντοπίσουμε τα σημεία που έχουν υποστεί ζημιά. Με την χρήση πολυμέτρου ελέγξαμε αν η ζημιά που έχει γίνει είναι μόνο στο φινις (Εικόνα 6.3) ή έχει καεί και κάποιος διάδρομος, ο οποίος θα δημιουργήσει πρόβλημα στην επικοινωνία μεταξύ των εξαρτημάτων της πλακέτας. Τελικά η πλακέτα δεν είχε κάποια βλάβη συνεπώς αφαιρέσαμε το καμένο φινις από την πλακέτα με την χρήση κολλητηριού και τρόμπας αναρρόφησης και το αντικαταστήσαμε με καινούργιο. Επαναλάβαμε τον οπτικό έλεγχο και τον έλεγχο με το πολύμετρο και επανατοποθετήσαμε την μητρική πλακέτα στην θέση της όπως και το θερμαινόμενο επίπεδο. Μετά την ολοκλήρωση αυτής της διαδικασίας επαναφέραμε τον εκτυπωτή σε λειτουργία.



Εικόνα 6.3 - Καμένο φινι πλακέτας

- Ένα άλλο πρόβλημα που αντιμετωπίσαμε ήταν κατά την αφαίρεση ενός αντικείμενου δεν δόθηκε η απαιτούμενη προσοχή και χτύπησε το χέρι του χρήστη πάνω στην πλαστική βάση που στηρίζει τους άξονες για την κίνηση της κεφαλής στον X άξονα. Πρόκειται για μεγάλη ζημία καθώς η βάση αυτή δεν βρίσκεται στο εμπόριο για αντικατάσταση συνεπώς την κολλήσαμε πρόχειρα με ειδική κόλλα. Το δεύτερο πρόβλημα που δημιουργήθηκε ήταν ότι χάθηκαν όλες οι ευθυγραμμίσεις και η ακρίβεια που υπήρχε μεταξύ των αξόνων. Συνεπώς εμείς έπρεπε να κάνουμε όλες τις ευθυγραμμίσεις από την αρχή με μεγάλη προσοχή. Για να ολοκληρωθεί η επίλυση αυτού του προβλήματος πρέπει να σχεδιαστεί από εμάς στο σχεδιαστικό πρόγραμμα AUTOCAD το εξάρτημα που έσπασε να εκτυπωθεί και να αντικατασταθεί ώστε να έχουμε πάλι την ακρίβεια που είχαμε πριν την ζημιά αυτή.

- Τέλος ένα πρόβλημα που δημιουργήθηκε άλλα με μικρότερη έκταση επιπτώσεων ήταν η διάβρωση της πλαστικής επιφάνειας που χρησιμοποιείται πάνω στον εκτυπωτή ως βάση για την εκτύπωση των αντικειμένων. Μετά από διάφορες δόκιμες είχαμε καταλήξει ότι το αντικείμενο τυπώνεται καλύτερα πάνω στην πλαστική βάση αντί για την γυάλινη επιφάνεια όπου πολλές φορές ξεκόλλαγε

η βάση του αντικειμένου με αποτέλεσμα να χαλάει και το αντικείμενο αφού χανόταν η θέση του και η ευθυγράμμιση του. Σαν οδηγία είχε δοθεί ότι μετά την αφαίρεση του αντικειμένου η επιφάνεια εκτύπωσης πρέπει να καθαρίζεται πλήρως από τα υπολείμματα υλικού που έχουν μείνει για να υπάρχει το απόλυτο μηδέν και στην επόμενη εκτύπωση. Αυτή η ενέργεια πραγματοποιείται με ένα μικρό λεπίδι για να μην υπάρχουν γρατζουνιές ή αλλοιώσεις στην πλαστική επιφάνεια. Λόγω βιασύνης ο χρήστης χρησιμοποίησε το καθαρό ασετόν που χρησιμοποιείται κανονικά κατά την συντήρηση του εκτυπωτή για την αφαίρεση υλικού από την κεφαλή. Όπως είναι κατανοητό η χημική του σύσταση είναι πολύ δυνατή για να αντέξει μια πλαστική επιφάνεια συνεπώς υπήρξε διάβρωση της επιφάνειας αυτής και ήταν αδύνατη πλέον η χρήση της για άλλες εκτυπώσεις. Επειδή είχε χαθεί το λείο επίπεδο και εκτός αυτού υπήρχε κίνδυνος να σπάσει κατά την λειτουργία του εκτυπωτή. Η λύση σε αυτό το πρόβλημα ήταν η αντικατάσταση της πλαστικής επιφάνεια με καινούργια.

Κεφάλαιο 7: ΕΛΕΓΧΟΣ - ΣΥΝΤΗΡΗΣΗ 3D ΕΚΤΥΠΩΤΗ

7.1 Εισαγωγή

Αυτό το κεφάλαιο αποτελεί ένα γενικό οδηγό συντήρησης του 3D εκτυπωτή. Η διαδικασία συντήρησης ενός εκτυπωτή είναι προληπτική αλλά όπως έχει αποδειχθεί απαραίτητη σε τακτά χρονικά διαστήματα ώστε να εξασφαλιστεί η σωστή λειτουργία του. Συνεπώς θα γίνει αναφορά για τους ελέγχους που πραγματοποιούνται σε όλα τα επιμέρους κομμάτια του εκτυπωτή πριν ξεκινήσει μια εκτύπωση. Όπως επίσης και τι ενέργειες πρέπει να κάνει ένας χρήστης με σκοπό να διατηρεί τον εκτυπωτή σε καλή κατάσταση για την δημιουργία άρτιων αντικειμένων.

7.2 Έλεγχοι που πραγματοποιούνται πριν την εκτύπωση

7.2.1 Έλεγχος καλωδίων

Το πρώτο και το βασικότερο βήμα πριν αρχίσει η εκτύπωση ενός αντικειμένου είναι να γίνει έλεγχος όλων των καλωδίων του εκτυπωτή. Θα πρέπει να πραγματοποιηθεί ένας οπτικός έλεγχος ότι όλα τα καλώδια είναι τοποθετημένα στις σωστές θύρες πάνω στην μητρική πλακέτα, καθώς και ότι δεν έχει τραβηχτεί κάποιο καλώδιο από την θέση του. Ακόμα ο χρήστης θα πρέπει να ελέγξει ότι δεν εμποδίζει κάποιο καλώδιο όταν λειτουργεί ο εκτυπωτής ή την πιθανότητα να τεντώνεται όπου δημιουργείται ο κίνδυνος να φύγει από την θέση του. Τέλος πρέπει να γίνει έλεγχος ότι δεν έχει υπάρξει φθορά σε κάποιο καλώδιο όπου σε αυτή την περίπτωση υπάρχει ο κίνδυνος βραχυκυκλώματος.

7.2.2 Έλεγχος αισθητήρων

Πραγματοποιείται έλεγχος ότι όλοι οι αισθητήρες είναι σωστά τοποθετημένοι στις θέσεις τους ώστε να αναγνωρίζουν τις τιμές που διαβάζουν κατά την λειτουργία του εκτυπωτή. Συγκεκριμένα πρέπει να ελέγχεται αν ο αισθητήρας της θερμοκρασίας της κεφαλής είναι σωστά τοποθετημένος μέσα στην σχισμή της κεφαλής. Προκειμένου να διαβάσει την πραγματική θερμοκρασία της κεφαλής και όχι την θερμοκρασία από το εξωτερικό περιβάλλον. Στην συνέχεια γίνεται έλεγχος στον αισθητήρα θερμοκρασίας του επιπέδου σχεδίασης ότι λειτουργεί σωστά και

ότι αντιλαμβάνεται την θερμοκρασία του επιπέδου σχεδίασης. Τέλος γίνεται έλεγχος στους τερματικούς αισθητήρες (stopper) που είναι υπεύθυνοι για τον ορισμό των ορίων μεταξύ των αξόνων κατά την λειτουργία του εκτυπωτή. Σε αυτή την περίπτωση θα πρέπει να ελεγχθεί αν έχει χαλάσει η ευθεία της μεταλλικής επιφάνειας και αν μηδενίζουν στις θέσεις που έχουμε ορίσει ώστε να μην υπάρξει βίαιη επαφή μεταξύ των εξαρτημάτων του εκτυπωτή.

7.2.3 Έλεγχος κίνησης αξόνων

Για την παράγωγή άρτιων αντικειμένων πρέπει να δοθεί μεγάλη προσοχή στην κίνηση των αξόνων. Η κίνηση στους άξονες X και Y θα πρέπει να γίνεται με ευκολία και να κυλάνε με την βαρύτητα. Δεν θα πρέπει να υπάρχουν κολλήματα ή να σταματάει την κίνηση του κάποιος άξονας. Ταυτόχρονα θα πρέπει να ελέγχεται αν υπάρχει συγχρονισμός μεταξύ των αξόνων που είναι υπεύθυνοι για την κίνηση στο ίδιο επίπεδο. Τέλος θα πρέπει να γίνεται έλεγχος αν υπάρχει κάποιο καλώδιο ή κάποιο άλλο εξωτερικό αντικείμενο που μπορεί να εμποδίσει την κίνηση των αξόνων σε όλο το εύρος κατά την λειτουργία του εκτυπωτή.

7.2.4 Έλεγχος ευθυγραμμίσεων

Οι ευθυγραμμίσεις στον 3D εκτυπωτή συντελούν τον βασικό παράγοντα για την επιτυχία ή όχι του παραγόμενου αντικειμένου. Για αυτό τον λόγο γίνονται στο τελευταίο στάδιο των ελέγχων. Θα πρέπει με χρήση χάρακα και λείζερ ευθυγράμμισης να γίνει έλεγχος για την ευθυγράμμιση των αξόνων. Στην συνέχεια γίνεται έλεγχος στην απόσταση της κεφαλής από το επίπεδο σχεδίασης αν δηλαδή είναι στην κατάλληλη απόσταση ώστε να μην έρχεται σε επαφή η μύτη της κεφαλής με το σχεδιαστικό επίπεδο. Τέλος με την χρήση μικρομέτρου με υδραυλική βάση προσαρτημένη σε μαγνητική έδραση, ελέγχεται αν το σχεδιαστικό επίπεδο είναι απόλυτα ευθυγραμμισμένο και δεν υπάρχει κάποια παραμόρφωση στην επιφάνειά του.

7.3 Στάδια συντήρησης 3D εκτυπωτή

7.3.1 Καθαρισμός μεταλλικών και πλαστικών μερών

Όλα τα μέρη του εκτυπωτή επιβάλλεται να καθαρίζονται σε τακτά χρονικά διαστήματα με στόχο να μην υπάρχει σκόνη πάνω σε αυτά. Καθώς τα υπολείμματα σκόνης πάνω στον εκτυπωτή δημιουργούν προβλήματα κατά την εκτύπωση. Για αυτό τον λόγο η αποθήκευση του εκτυπωτή δεν πρέπει να είναι σε ρεύμα αέρα δηλαδή σε μέρος που έχει κοντά παράθυρο ή πόρτα. Θα πρέπει να σημειωθεί ότι κατά την διάρκεια της εκτύπωσης ο εκτυπωτής θε πρέπει να λειτουργεί σε χώρο που αερίζεται επαρκώς. Όπως είπαμε αν υπάρχει σκόνη πάνω στον εκτυπωτή δημιουργείται πρόβλημα καθώς η σκόνη αυτή πηγαίνει στο νήμα και αλλοιώνει την ποιότητα του. Όταν υπάρχει σκόνη στο επίπεδο σχεδίασης έχει ως αποτέλεσμα να μην προσκολλάται το αντικείμενο κατά την διάρκεια της εκτύπωσης. Το μεγαλύτερο πρόβλημα το συναντάμε αν υπάρχει σκόνη πάνω στους άξονες ή στον extruder της κεφαλής, καθώς σε αυτές τις περιπτώσεις σε συνδυασμό με το λάδι της σιλικόνης και το λιωμένο υλικό αντίστοιχα επιφέρουν δυσκολίες στην λειτουργία του εκτυπωτή με αποτέλεσμα να δημιουργούνται αστοχίες και να μην παράγονται άρτια αντικείμενα.

Για αυτό τον λόγο ο χρήστης θα πρέπει να καθαρίζει τα μέρη του εκτυπωτή με καθαρό ασετόν. Επίσης πρέπει δοθεί μεγάλη προσοχή να μην μένουν υπολείμματα από χαρτί πάνω στα εξαρτήματα για να μην δημιουργηθεί κάποιο πρόβλημα κατά την λειτουργία του. Για αυτό τον λόγο προτείνεται η χρήση συρματόβουρτσας για την κεφαλή και μαλακής βούρτσας για τα υπόλοιπα σημεία του εκτυπωτή που χρειάζονται καθαρισμό και υπάρχει δυσκολία πρόσβασης.

7.3.2 Συντήρηση ιμάντων

Η καλή κατάσταση στους ιμάντες εξασφαλίζει στον χρήστη την δημιουργία άρτιων αντικείμενων κατά την παραγωγή. Για αυτό τον λόγο πρέπει να δίνεται προσοχή στην κατάσταση τους αν δηλαδή έχουν υποστεί φθορές από τον χρόνο ή κάποια αλλοίωση από τις πολλές εκτυπώσεις. Επίσης πρέπει να ελέγχεται να είναι πάντα τεντωμένοι πριν από τις εκτυπώσεις. Σε περίπτωση που ο χρήστης εντοπίσει κάποια χαλάρωση θα πρέπει να σφίξει τις ρυθμιστικές βίδες που τους συγκρατούν

ενώ αν διαπιστώσει κάποια αλλοίωση ή φθορά πάνω τους θα πρέπει να τους αντικαταστήσει με καινούργιους.

7.3.3 Έλεγχος βιδών

Όπως έχουμε αναφέρει και σε άλλα κεφάλαια κατά την διάρκεια της εκτύπωσης δημιουργούνται κραδασμοί με αποτέλεσμα να υπάρχει χαλάρωση στις βίδες που συγκρατούν τα κομμάτια του εκτυπωτή μεταξύ τους. Συνεπώς θα πρέπει τουλάχιστον μια φορά το μήνα να γίνεται έλεγχος από τον χρήστη ότι δεν υπάρχει χαλάρωση στις βίδες. Σε περίπτωση που βρεθεί χαλαρή βίδα θα πρέπει ο χρήστης να την σφίξει με μεγάλη προσοχή με την χρήση κατάλληλων εργαλείων όπως κατσαβίδια ή βιδολόγο. Και στην συνέχεια να ελέγξει αν έχει χαλάσει κάποια ευθυγράμμιση στον εκτυπωτή. Σε αυτή την περίπτωση ακολουθεί την διαδικασία του περιγράψαμε στην ενότητα 7.2.4 .

7.3.4 Λίπανση αξόνων

Η κίνηση στους άξονες πρέπει να γίνεται χωρίς δυσκολία ώστε να μην υπάρχουν κολλήματα στην εκτύπωση. Για αυτό τον λόγο ο χρήστης πρέπει να χρησιμοποιεί συχνά λάδι σιλικόνης προκειμένου να κρατά τους άξονες λαδωμένους για να αποφεύγονται οι κραδασμοί και οι δυσκολίες στην κίνηση τους. Ακόμα πρέπει να δίνεται προσοχή όταν λαδώνει ένας χρήστης τους άξονες να μην τοποθετεί μεγαλύτερη ποσότητα από αυτή που χρειάζεται για να λειτουργούν σωστά. Γιατί σε μια τέτοια περίπτωση μπορεί είτε να στάξει πάνω στο αντικείμενο που εκτυπώνεται είτε σε κάποιο εξάρτημα που έρχεται σε επαφή με κάποιο καλώδιο και να προκαλέσει βραχυκύκλωμα στον εκτυπωτή.

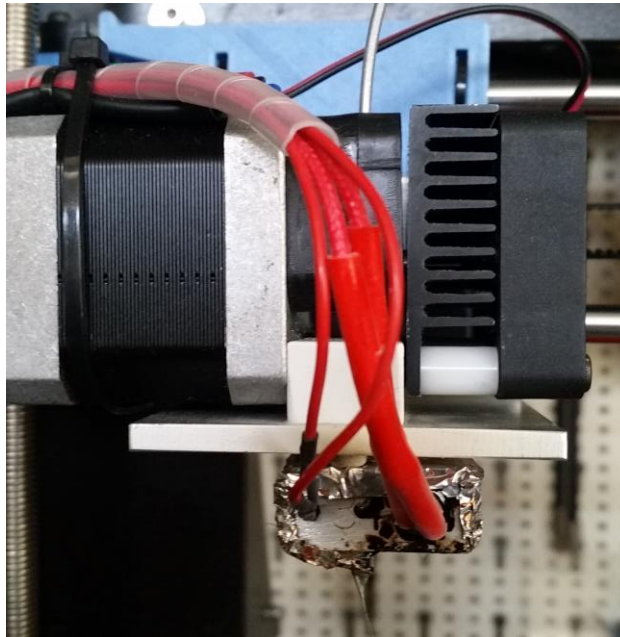
7.3.5 Επίπεδο σχεδίασης

Μετά από κάθε εκτύπωση το επίπεδο σχεδίασης πρέπει να καθαρίζεται προκειμένου όταν χρειαστεί να χρησιμοποιηθεί πάλι ο εκτυπωτής να υπάρχει το απόλυτο μηδέν ώστε να παραχθεί αντικείμενο με λείο επίπεδο (βάση) και να μην υπάρξουν προβλήματα με “σκουπίδια” που θα καταστρέψουν το αντικείμενο. Για αυτό το λόγο αν η εκτύπωση γίνεται πάνω σε γυάλινη επιφάνεια που είναι επικαλυμμένη με Painters Tape ή Kapton Tape τότε οι ταινίες αυτές αφαιρούνται

και τοποθετούνται στην θέση τους καινούργιες. Αν η εκτύπωση γίνεται πάνω σε ειδική πλαστική επιφάνεια (πλεξιγκλάς) τότε η διαδικασία καθαρισμού θέλει μεγαλύτερη προσοχή. Αφού αφαιρεθεί το αντικείμενο με την χρήση μιας λεπίδας στην συνέχεια πρέπει να αφαιρεθούν τα υπολείμματα του υλικού που έχουν μείνει πάνω με μεγάλη προσοχή ώστε να μην χαράξουμε την πλαστική επιφάνεια.

7.3.6 Συντήρηση κεφαλής

Μετά από πολλές ώρες εκτύπωσης ή δοκιμές διαφορετικών υλικών για την παραγωγή αντικειμένων η κεφαλή του εκτυπωτή διατρέχει τον κίνδυνο να οδηγηθεί σε μερικό ή ολικό μπλοκάρισμα. Για αυτό τον λόγο πρέπει σε τακτά χρονικά διαστήματα να λύνεται από τον χρήστη ώστε να καθαρίζονται ή και να αλλάζουν με καινούργια κάποια από τα επιμέρους κομμάτια της. Το πιο συνηθισμένο πρόβλημα και άμεσα αντιληπτό από έναν χρήστη είναι να υπάρχει υλικό πάνω στα γρανάζια του βηματικού κινητήρα με αποτέλεσμα να κάνει έναν περίεργο θόρυβο και να μην προωθείται το υλικό προς το αντικείμενο. Ταυτόχρονα δημιουργείται ο κίνδυνος να καεί ο βηματικός κινητήρας. Παρακάτω παρουσιάζονται εικόνες που δείχνουν πώς γίνεται η κεφαλή όταν χρειάζεται συντήρηση και καθαρισμός (Εικόνα 7.1). Για να επιτευχθεί αυτό το αποτέλεσμα από τον χρήστη πρέπει να διαθέτει τα κατάλληλα κατσαβίδια προκειμένου να λύσει την κεφαλή από την βάση της. Πρέπει να έχει προμηθευτεί καινούργιο σωληνάκι σιλικόνης για να το αντικαταστήσει. Να έχει στην διάθεση του μονωτικό υλικό και αλουμινόχαρτο για να τυλίξει την βάση της κεφαλής που τοποθετούνται ο αισθητήρας θερμοκρασίας και η αντίσταση της θερμοκρασίας προκειμένου να διατηρείται σταθερή η θερμοκρασία κατά την εκτύπωση. Καθώς και καθαρό ασετόν για να καθαρίσει τα υπολείμματα υλικού τόσο στην βάση της κεφαλής όσο και την μύτη της κεφαλής.



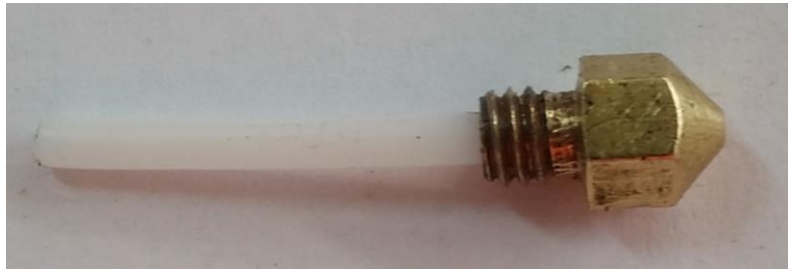
Εικόνα 7.1 - Η κεφαλή με υπολείμματα υλικού μετά από πολλές ώρες εκτύπωσης



Εικόνα 7.2 - Πριν καθαριστεί η κεφαλή και μετά την συντήρησή της



Εικόνα 7.3 - Η μύτη της κεφαλής πριν την συντήρηση



Εικόνα 7.4 - Καινούργιο σωληνάκι σιλικόνης



Εικόνα 7.5 - Μονωτικό υλικό για την κεφαλή



Εικόνα 7.6 - Συναρμολόγηση κεφαλής



Εικόνα 7.7 - Επανατοποθέτηση συντηρημένης κεφαλής

7.3.7 Νήματα για εκτύπωση

Μετά το τέλος της εκτύπωσης ενός αντικειμένου το νήμα (filament) που έχει χρησιμοποιηθεί από τον χρήστη πρέπει να αφαιρείται από τον εκτυπωτή και να αποθηκεύεται. Η αποθήκευση των νημάτων πρέπει να γίνεται μέσα σε κουτιά όπου θα διασφαλίζεται η σωστή υγρασία και η απουσία σκόνης. Ακόμα θα πρέπει να δοθεί προσοχή ώστε να μην έρχονται σε επαφή με πολύ ήλιο καθώς και σε αυτή την περίπτωση θα υπάρξουν αλλοιώσεις πάνω στα υλικά. Μπορεί οπτικά οι αλλοιώσεις αυτές να μην γίνονται άμεσα αντιληπτές από τον χρήστη αλλά όταν θα χρειαστεί να πραγματοποιήσει μια εκτύπωση θα διαπιστώσει ότι ενώ οι παράμετροι που έχουν χρησιμοποιηθεί είναι ίδιοι η ανταπόκριση από το υλικό είναι διαφορετική. Για παράδειγμα μπορεί να μην λιώνει σωστά και να δημιουργεί σκουπίδια ή κατά την διάρκεια της εκτύπωσης να κοπεί με αποτέλεσμα αν δεν γίνει αντιληπτό από τον χρήστη να χαλάσει το αντικείμενο που εκτυπώνεται. Για αυτό το λόγο πρέπει να δίνεται μεγάλη προσοχή στον τρόπο αποθήκευσης.

Κεφάλαιο 8: ΟΦΕΛΗ ΚΑΙ ΕΠΙΠΤΩΣΕΙΣ ΧΡΗΣΗΣ

8.1 Εισαγωγή

Σε αυτό το κεφάλαιο γίνεται αναφορά τόσο στα θετικά όσο και στα αρνητικά στοιχεία της χρήσης ενός 3D εκτυπωτή. Οι επιπτώσεις αυτών είναι εμφανείς τόσο σε ατομικό όσο και σε μαζικό επίπεδο. Πρόκειται για μια καινούργια τεχνολογία που ακόμα εξελίσσεται και αναπτύσσεται συνέχεια. Συνεπώς δεν μπορεί να γίνει ακριβής διαχωρισμός στα οφέλη και στους κινδύνους που δημιουργούνται κατά την χρήση ενός 3D εκτυπωτή όποτε θα αναλυθούν σε ένα γενικότερο πλαίσιο. Το ευρύ φάσμα εφαρμογής των 3D εκτυπωτών μας δίνει την δυνατότητα να χωρίσουμε και αναλύσουμε κάποιες μεγάλες κατηγορίες όπως Ιατρική, Βιομηχανία, Περιβάλλον, Αρχιτεκτονική, Μόδα, Διάστημα, Όπλα, Κλάδος Εστίασης, Οικιακή Χρήση κλπ. Η κύρια δυνατότητα που δίνεται σε όλους τους παραπάνω τομείς είναι η δημιουργία νέων αντικειμένων με σκοπό την ταχύτερη έρευνα και ανάπτυξη τους σε σύγκριση με παραδοσιακές μεθόδους παραγωγής όπως την χρήση φρέζας, τόνου και CNC συστημάτων. Τα οποία πολλές φορές είναι πιο χρονοβόρα και με μεγαλύτερο κόστος κατά την παράγωγη αντικειμένων.

8.2 Τα οφέλη της χρήσης ενός 3D εκτυπωτή

8.2.1 Ιατρική

Ο τομέας της Ιατρικής ήταν και ένας από τους κύριους λόγους που αποφασίσαμε να ασχοληθούμε με τις 3D εκτυπώσεις. Η ιατρική είναι ένας κλάδος που εξελίσσεται ραγδαία συνεπώς δεν θα μπορούσε να μην έχει ενσωματώσει τις αναζητήσεις της και στην χρήση των 3D εκτυπωτών. Η χρήση των 3D εκτυπωτών γίνεται σε διαφορετικούς τομείς της ιατρικής και με διαφορετικούς στόχους.

Σε ερευνητικό επίπεδο από το 2003 γίνεται προσπάθεια στην αναπαραγωγή ζωτικών οργάνων με σκοπό να μειωθεί το πρόβλημα της έλλειψης συμβατών δοτών. Όπως είναι γνωστό σε έναν 3D εκτυπωτή υπάρχει η δυνατότητα να τοποθετηθεί οποιοδήποτε υλικό και να παραχθούν από αυτό διάφορα προϊόντα. Βασιζόμενοι σε αυτή την δυνατότητα σε εργαστήρια έχει αρχίσει η προσπάθεια εύρεσης κατάλληλου υλικού το οποίο δεν θα είναι βλαβερό για τον ανθρώπινο οργανισμό, δεν θα αλλοιώνεται και θα δημιουργείται μέσα από τα κύτταρα του

οργανισμού που χρήζει μεταμόσχευσης σε μικρό χρονικό διάστημα. Με στόχο να πραγματοποιούνται μεταμοσχεύσεις άμεσα. Δεν πρόκειται για μια εύκολη διαδικασία καθώς τα κύτταρα που θα εκχύνονται μαζί με το υλικό για την δημιουργία ζωτικών οργάνων θα πρέπει να είναι σε περιβάλλον τέτοιο ώστε να πραγματοποιούν τις ιδιότητες που έχουν και τώρα σε ένα πραγματικό ζωτικό όργανο, δηλαδή να πολλαπλασιάζονται χωρίς να αλλοιώνεται το DNA τους. Τα θετικά αυτής της καινοτομίας είναι ότι σε ερευνητικό επίπεδο τα αποτελέσματα είναι ενθαρρυντικά και έχουν αρχίσει ήδη οι δόκιμες σε ζώα. Αυτή η επαναστατική καινοτομία με την χρήση ενός 3D εκτυπωτή θα σώσει πολύ κόσμο που χρήζει άμεσης ανάγκης από συμβατό μόσχευμα.

Σημαντική εξέλιξη πάνω στην έρευνα της ιατρικής εμφανίζεται στην Βρετανία όπου για πρώτη φορά εκτυπώθηκαν κύτταρα ματιού. Γίνεται εκτύπωση τεχνητού ιστού που προέρχεται από μια ποικιλία κυττάρων του ανθρώπινου αμφιβληστροειδούς ως μοσχεύμα. Αυτό δίνει τεράστιες ελπίδες για ανθρώπους που έχουν χάσει την όραση τους καθώς μέχρι τώρα η μόνη επιλογή για κάποιον που έχει χάσει το μάτι του και κατά συνέπεια την όραση του ήταν η τοποθέτηση ψεύτικου ματιού. Αυτό γίνεται μόνο για αισθητικούς λόγους και χωρίς αποτέλεσμα για την όραση του ασθενούς. Ο στόχος είναι να τυπωθούν τα αντίστοιχα κύτταρα ματιού και να θεραπευτεί η ασθένεια της τύφλωσης. Οι πρώτες έρευνες γίνονται πάνω σε κύτταρα ζώων και συγκεκριμένα σε αρουραίους τα αποτελέσματα είναι άκρως ενθαρρυντικά. Για την διαδικασία αυτή χρησιμοποιήθηκε για πρώτη φορά ένας πιεζοηλεκτρικός τρισδιάστατος εκτυπωτής. Πρόκειται για ελπιδοφόρα έρευνα που ακόμα εξελίσσεται.

Οι τρισδιάστατες εκτυπώσεις αποτελούν μια μεγάλη εκπαιδευτική αξία καθώς οι φοιτητές της ιατρικής έχουν την δυνατότητα να ειδικευτούν και να εξοικειωθούν με ασφάλεια στην ανατομία του ανθρώπινου σώματος πριν έρθουν σε επαφή με τους ασθενείς. Επίσης βλέπουμε τα θετικά αποτελέσματα στον προεγχειρητικό έλεγχο και στον θεραπευτικό σχεδιασμό. Αφού μπορούν να δημιουργηθούν ακριβή αντίγραφα με την βοήθεια αξονικού και μαγνητικού τομογράφου όπου τα παραγόμενα αντικείμενα είναι συνήθως πολυμερή, υδροζέλ, γυαλί ή γύψος. Επίσης διαδεδομένες στις προσομοιώσεις επεμβάσεων είναι οι ρητίνες καθώς αντιδρούν παρόμοια με τους ανατομικούς ιστούς. Έτσι αποκτάται η δυνατότητα στους γιατρούς που χρησιμοποιούν αυτού του είδους τις μεθόδους να έχουν μια

πραγματική κατάσταση με την οποία οργανώνουν το πλάνο των ενεργειών τους πριν από ένα χειρουργείο ή για να κατασκευάσουν ένα ακριβές εκτυπωμένο εμφύτευμα με σκοπό την τοποθέτηση του στον ανθρώπινο οργανισμό.

Στις θετικές επιπτώσεις της χρήσης των 3D εκτυπωτών στην ιατρική καταγράφεται και ο σχεδιασμός προσθετικών άκρων για ακρωτηριασμένα άτομα. Το θετικό στοιχείο στα πρόσθετα 3D μέλη είναι η ακρίβεια που έχουν τις αναλογίες του κάθε ασθενούς, μπορούν να φτιαχτούν γρηγορότερα και το κόστος τους είναι πολύ μικρότερο σε σύγκριση με τις συμβατικές μεθόδους κατασκευής. Ακόμα διαπιστώνεται ότι τα πρόσθετα μέλη που φτιάχνονται με την χρήση του 3D εκτυπωτή είναι ελαφρύτερα, δυνατότερα, πιο ελαστικά και με καλύτερη οπτική όψη. Αυτά τα χαρακτηριστικά για έναν υγιή άνθρωπο ίσως να μην έχουν σημασία αλλά για ένα άτομο με ακρωτηριασμένο μέλος φέρει βελτιώσεις τόσο την ψυχολογική του κατάσταση όσο και στην καλύτερη ποιότητα ζωής του ασθενή.



Εικόνα 8.1 - Πρόσθετα μέλη κτυπημένα από 3D εκτυπωτή

Στην οδοντιατρική μέσω της αξονικής τομογραφίας ο οδοντίατρος έχει την ευχέρεια να προσδιορίσει εικονικά τις κατάλληλες θέσεις των εμφυτευμάτων και με την βοήθεια της τρισδιάστατης εκτύπωσης να κατασκευαστεί ένας χειρουργικός νάρθηκας που θα αποτελεί τον οδηγό για την ακριβή τοποθέτηση των εμφυτευμάτων αυτών. Ακόμα δίνεται η δυνατότητα στην κατασκευή διαφόρων τύπων προσθετικών τα οποία θα είναι έτοιμα πριν από μια επέμβαση και απόλυτα συμβατά και ο ασθενής θα μπορεί να έχει δόντια την ίδια μέρα. Έτσι ο ασθενής γλυτώνει την ταλαιπωρία και μπορεί να έχει το επιθυμητό αποτέλεσμα μέσα σε λίγες ώρες σε αντίθεση με τις μεθόδους που υπήρχαν μέχρι τώρα όπου έκανες αφαίρεση ενός δοντιού αλλά για την τοποθέτηση του νέου μοσχεύματος έπρεπε να περάσουν μέρες μέχρι την κατασκευή του.

Η τεχνολογία της τρισδιάστατης εκτύπωσης έχει εδώ και πάνω από 10 χρόνια αξιοποιηθεί για την κατασκευή βοηθημάτων ακοής. Τα στάδια παράγωγης ενός ακουστικού μέσω 3D εκτύπωσης είναι τρία η σάρωση η δημιουργία μοντέλου και η εκτύπωση. Υπάρχουν σήμερα εκτυπωτές που είναι ικανοί να δημιουργήσουν 65 κελύφη βοηθημάτων ακοής εντός 60 με 90 λεπτών. Επιπλέον η ύπαρξη του ψηφιακού αρχείου επιτρέπει την εύκολη επεξεργασία, αν υπάρχει ανάγκη μεταποίησης του αντικειμένου.

8.2.2 Βιομηχανία

Οι 3D εκτυπωτές παρέχουν μια γρήγορη και οικονομική λύση, καθώς αποτελούν ένα πολύτιμο εργαλείο για τον σχεδιασμό αντικειμένων. Είτε αυτά είναι βιομηχανικής, είτε οικιακής χρήσης. Προσφέρεται η δυνατότητα στις εταιρίες να παράγουν πρότυπα για δοκιμές σε όλα τα στάδια του σχεδιασμού πριν καταλήξουν στην παραγωγή του τελικού αντικειμένου. Αυτό δίνει την δυνατότητα στις εταιρίες για εξατομικευμένα αντικείμενα, αλλά και πλήρη έλεγχο για το τελικό αποτέλεσμα που παράγεται χωρίς να αυξάνεται το κόστος της παραγωγής των προϊόντων. Αυτό γίνεται γιατί πλέον έχουν μια ψηφιακή μορφή των εξαρτημάτων που μπορεί να ελέγχει από προγράμματα προσομοίωσης να γίνουν δοκιμές και στην συνέχεια να περάσουν στην παραγωγή τους.

Στην αυτοκινητοβιομηχανία έχουν εντάξει την διαδικασία παραγωγής εξαρτημάτων που παράγονται με την χρήση τρισδιάστατων εκτυπωτών. Η BMW παράγει με αυτή την τεχνολογία πρωτότυπα μεταλλικών εξαρτημάτων, όπως και εξαρτήματα κινητήρων αγωνιστικών αυτοκινήτων. Η συγκόλληση των μεταλλικών εξαρτημάτων γίνεται με την χρήση λέιζερ (direct metal laser sintering). Εταιρείες παραγωγής πολυτελών αυτοκινήτων όπως Bentley και η Rolls-Royce, έχουν τη δυνατότητα μέσω της τρισδιάστατης εκτύπωσης να παράγουν ορισμένα εξαρτήματα πιο οικονομικά, σε σύγκριση με τους συμβατικούς τρόπους κατασκευής. Η Tesla, εταιρεία παραγωγής ηλεκτρικών οχημάτων, παράγει τμήματα των αυτοκινήτων με χρήση τρισδιάστατων εκτυπωτών.

Η εταιρεία Airbus, έχει αναπτύξει τη τεχνολογία της τρισδιάστατης εκτύπωσης σε βαθμό που της επιτρέπει να επεξεργάζεται υλικά όπως, μέταλλο, νάιλον και ενισχυμένα με ανθρακονήματα πλαστικά, σε μοριακό επίπεδο, γεγονός που της επιτρέπει την ασφαλή χρήση τους σε καταστάσεις με μεγάλες καταπονήσεις, όπως

συχνά απαιτείται στην αεροναυπηγική. Σε σύγκριση με τα συμβατικά παραγόμενα εξαρτήματα, είναι ότι αυτά που παράγονται με τη νέα αυτή τεχνολογία είναι έως 65% ελαφρύτερα, ενώ έχουν παράλληλα την ίδια αντοχή. Το 2011 η εταιρεία παρήγαγε έναν μεντεσέ για την πόρτα του μοντέλου A350-1000, χρησιμοποιώντας τρισδιάστατο εκτυπωτή διακοσίων Watt ενώ η εκτύπωση διήρκησε 2 ώρες.

Η Boeing και άλλες εταιρείες που δραστηριοποιούνται στον ίδιο τομέα έχουν αναπτύξει ερευνητικούς τομείς αφιερωμένους στην έρευνα γύρω από την τρισδιάστατη εκτύπωση. Ήδη από το 2002 αξιοποιεί την τεχνική SLS (Selective Laser Sintering) για παραγωγή ηλεκτρονικών εξαρτημάτων, τόσο σε εμπορικά όσο και σε στρατιωτικά αεροσκάφη.

Το 2012, η Aurora Flight Sciences of Manassas, κατασκεύασε και δοκίμασε σε πτήση ένα θερμοπλαστικό drone που κατασκευάστηκε από τρισδιάστατο εκτυπωτή. Το συγκεκριμένο και άλλα μοντέλα που έχουν κατασκευαστεί από τον ίδιο οργανισμό χρησιμεύουν για τον έλεγχο της αεροδυναμικής των αεροσκαφών, πριν προχωρήσουν σε μεγαλύτερη κλίμακα παραγωγής. Καθώς και για την ανάπτυξη νέων πρωτοποριακών δομών, που δε θα ήταν δυνατό να κατασκευαστούν χωρίς την χρήση της νέας τεχνολογίας.

8.2.3 Περιβάλλον

Οι 3D εκτυπωτές χρησιμοποιούν υλικά που παρασκευάζονται από ανακυκλώσιμα υλικά, όπως πλαστικό, μέταλλο και γυαλί. Ακόμα υπάρχουν νήματα παραγόμενα από βίο-υλικά όπως ζαχαροκάλαμο και καλαμπόκι. Ένας ακόμα σημαντικός παράγοντας πέρα από την χρήση των ανακυκλώσιμων υλικών που χρησιμοποιούνται για την παραγωγή των νημάτων είναι ότι οι κατασκευαστές προσπαθούν συνεχώς να μειώσουν τις ενεργειακές ανάγκες των εκτυπωτών. Όπως έχουμε αναφέρει και σε άλλα κεφάλαια μια εκτύπωση μπορεί να διαρκέσει πολλές ώρες μέχρι την ολοκλήρωση της παραγωγής του αντικειμένου. Αυτή η παράμετρος είναι πολύ σημαντική αν σκεφτεί κάποιος ότι το κόστος αγοράς των οικιακών εκτυπωτών μειώνεται με το πέρασμα των χρόνων και θα σιγά σιγά θα αποτελεί ένα προϊόν στο οποίο θα έχει πρόσβαση μεγάλο μέρος του κοινού.

8.2.4 Αρχιτεκτονική

Με στόχο την οικοδόμηση κατοικιών με χαμηλό κόστος οι 3D εκτυπωτές προσφέρουν σε μηχανικούς και αρχιτέκτονες τη δυνατότητα να χρησιμοποιήσουν φθηνά και εύκολα διαθέσιμα υλικά όπως είναι το τσιμέντο ταχείας πήξης. Η προσθετική τεχνολογία της τρισδιάστατης εκτύπωσης έχει ως τώρα χρησιμοποιηθεί ευρέως για κτίρια χαμηλού ύψους, ενός ή δύο ορόφων, χωρίς αυτό να σημαίνει πως δεν υπάρχουν δείγματα και για κατασκευές μεγαλύτερης κλίμακας. Στην περίπτωση που επιτευχθεί η εισαγωγή και άλλων υλικών στη διαδικασία της τρισδιάστατης εκτύπωσης οι ειδικοί εικάζουν πως είναι δυνατόν να παραχθούν έως και ουρανοξύστες.

Από την δημιουργία του πρώτου «εκτυπωμένου» σπιτιού στην Κίνα το 2014, μέχρι σήμερα, έχουν γίνει σημαντικά βήματα στην εξάπλωση αυτής της τεχνολογίας. Στην Ασία, η τεχνολογία αυτή χρησιμοποιείται και αναπτύσσεται με γνώμονα την δυνατότητα που προσφέρεται για γρήγορη και οικονομική δόμηση. Στην Κίνα, τον Απρίλιο του 2016, η εταιρία China WinSun Decoration Design Engineering Co. κατασκεύασε στην Σαγκάη 10 κατοικίες, με χρήση τρισδιάστατου εκτυπωτή, από ανακυκλωμένο σκυρόδεμα. Η ίδια εταιρεία, σημειώνοντας σημαντική πρόοδο, κατασκεύασε ένα κτίριο 6 ορόφων, με εμβαδό 1.100 τ.μ.. Το μείγμα που χρησιμοποίησαν, περιείχε επεξεργασμένα δομικά υλικά που προέκυψαν ως υποπροϊόντα συμβατικής δόμησης και άλλων κλάδων της βιομηχανίας, όπως ανθρακονήματα, σκυρόδεμα, άμμο και άλλα ανακυκλώσιμα υλικά. Τμήματα της κατασκευής, εκτυπώθηκαν εκτός της τοποθεσίας και μεταφέρθηκαν, έτοιμα για τοποθέτηση. Στη συνέχεια τοποθετήθηκαν μεταλλικές ενισχύσεις στους τοίχους, στους οποίους δημιουργήθηκαν και φρεάτια καθώς και χώρος για να τοποθετηθούν σωληνώσεις και κουφώματα.

Η οικοδόμηση με χρήση κατάλληλων 3D εκτυπωτών έχει αρχίσει να εμφανίζεται και στην Ευρώπη. Η ανάπτυξη αυτή έχει σίγουρα ενθαρρυντικά αποτελέσματα καθώς με αυτόν τον τρόπο προστατεύεται και το περιβάλλον.

8.2.5 Μόδα

Ο τομέας της μόδας δεν θα μπορούσε να μην υιοθετήσει την χρήση των 3D εκτυπωτών για την παραγωγή ρούχων, παπουτσιών και για αξεσουάρ. Στην εβδομάδα Μόδας στο Παρίσι το 2013, η σχεδιάστρια Iris van Herpen δημιούργησε ρούχα με την βοήθεια εκτυπωτή Stratasys Object Connex. Το αποτέλεσμα ήταν ιδιαίτερα εντυπωσιακό καθώς ήταν ένα σύνολο από περίτεχνες υφές και παράξενα σχήματα (Εικόνα 8.2). Η συγκεκριμένη σχεδιάστρια μόδας έχει ασχοληθεί και με τα την δημιουργία 3D παπουτσιών (Εικόνα 8.3). Μπορεί να πρόκειται για εντυπωσιακές δημιουργίες αλλά σιγουρά δεν θεωρούνται είδη προς καθημερινή χρήση.



Εικόνα 8.2 - Ρούχα από 3D εκτυπωτή



Εικόνα 8.3 - Παπούτσια από 3D εκτυπωτή

Σε αντίθεση με την εταιρεία Adidas, η οποία κατασκεύασε για πρώτη φορά σόλες για αθλητικά παπούτσια με χρήση 3D εκτυπωτή (Εικόνα 8.4). Η τεχνολογία εκτύπωσης που χρησιμοποιήθηκε ήταν η Selective Laser Sintering (SLS). Πρόκειται για εκτυπωμένα τμήματα που ενσωματώθηκαν στο τελικό αποτέλεσμα του προϊόντος. Πολλές εταιρείες ακολουθούν το παράδειγμα αυτό με αποτέλεσμα να υπάρχει μια ταχεία ανάπτυξη.



Εικόνα 8.4 - Αθλητικά παπούτσια με σόλες από 3D εκτυπωτή

Ένα καλό παράδειγμα για το πως οι 3D εκτυπωτές μπορούν να μειώσουν σημαντικά το κόστος παραγωγής ενός αντικειμένου, έχοντας την ίδια εμφάνιση αλλά καλύτερες ιδιότητες μπορεί να γίνει εμφανές από τη απόφαση που πήρε ο διοικητής της φρουράς του Πάπα Φραγκίσκου.

Ένα από τα παραδοσιακά στρατεύματα του κόσμου, αυτό του Βατικανού, εκσυγχρονίζεται καθώς τα σφυρήλατα κράνη που φορούν οι άντρες της φρουράς του πάπα αντικαθίστανται με νέα σύγχρονης τεχνολογίας, εκτυπωμένα από 3D εκτυπωτές, κάνοντας τα πιο ελαφριά και άνετα. Την παραγωγή τους την έχει αναλάβει μια ελβετική εταιρία. Ένας σιδεράς χρειάζεται 100 ώρες εργασίας για την παραγωγή ενός κράνους σε αντίθεση με τον 3D εκτυπωτή που χρειάζεται μόνο 14 ώρες. Τα κύρια χαρακτηριστικά του είναι ότι ζυγίζει μόλις 570 γραμμάρια χωρίς τη διακόσμηση με τα φτερά παγονιού, ακόμα το υλικό που είναι κατασκευασμένο απορροφά λιγότερη θερμότητα, ενώ έχουν δημιουργηθεί στο εσωτερικό του κράνους κανάλια εξαερισμού. Επίσης το νέο κράνος παραμένει ανθεκτικό στα χτυπήματα, στην υπεριώδη ακτινοβολία και στις καιρικές συνθήκες, δεν βλάπτει την υγεία, αλλά επισημαίνουν ότι δεν είναι αλεξίσφαιρο.

8.2.6 Διάστημα

Η τεχνολογία της τρισδιάστατης εκτύπωσης έχει τις προοπτικές να επηρεάσει θετικά τις δραστηριότητες του ανθρώπου στο διάστημα, παρέχοντας τη δυνατότητα παραγωγής ανταλλακτικών εξαρτημάτων και εργαλείων κατά τη διάρκεια διαστημικών πτήσεων. Η δυνατότητα αυτή θα μπορούσε να μειώσει τις ανάγκες για μεταφορά προμηθειών προς τους διαστημικούς σταθμούς που βρίσκονται σε τροχιά γύρω από τη γη καθώς και να επιτρέψει μελλοντικές επανδρωμένες πτήσεις μεγάλης διάρκειας. Το 2000 εκδόθηκε από το NRC μία μελέτη με τίτλο «Άμεση παραγωγή» («direct manufacturing», όρος που χρησιμοποιείται για να περιγράψει τη διαδικασία της τρισδιάστατης εκτύπωσης), στο οποίο αναφέρονταν: «Σε απομακρυσμένες περιοχές όπως η Σελίνη ή ο Άρης, η «άμεση παραγωγή» μέσα από ηλεκτρονικά συστήματα, θα μπορούσε να χρησιμοποιηθεί για να παραχθούν επιτόπου αντικείμενα, μειώνοντας έτσι την εξάρτηση των αποστολών από τα ανταλλακτικά που αποστέλλονται από τη γη».

Η NASA είναι ο πρωτοπόρος οργανισμός στην διερεύνηση των προοπτικών της νέας τεχνολογίας στον τομέα αυτό. Μετά την αρχική αξιολόγηση της τεχνολογίας κατά τη δεκαετία του 1990, η υπηρεσία χρηματοδότησε μια δοκιμή που έλαβε χώρα στον Διεθνή Διαστημικό Σταθμό (ISS). Η δοκιμή περιλάμβανε έναν «μικρό 3d εκτυπωτή, που θα παρασκεύαζε πλαστικά μέρη και θα αξιολογούνταν ως προς την ποιότητα και την πιθανότητα τα τμήματα αυτά να φανούν χρήσιμα σε μελλοντικές αποστολές.» Παρότι πολλά ερευνητικά κέντρα του οργανισμού διεξάγουν πειράματα που αφορούν την χρήση τρισδιάστατων εκτυπωτών, στο έδαφος, μέχρι και το 2014, μόνο ο οργανισμός Marshall Space Flight Center, χρηματοδοτούσε εφαρμογές της τεχνολογίας, με έδρα το διάστημα.

Ακόμα, εξαρτήματα που παράγονται με τρισδιάστατη εκτύπωση θα μπορούν δυνητικά να είναι ανακυκλώσιμα και να επαναχρησιμοποιούνται ως υλικό άλλων μερών. Η απευθείας εκτύπωση σε περιβάλλον διαστήματος αποτελεί μια νέα αρχιτεκτονική που θα αφορά στις κατασκευές αυτές θα επιτρέψει στα διαστημικά οχήματα να μην περιορίζονται από περιορισμούς που επιφέρουν οι σύγχρονες μέθοδοι κατασκευής αλλά και οι δυνάμεις που ασκούνται κατά τη διάρκεια της εκτόξευσής τους.



Εικόνα 8.5 - Εκτύπωση στο διάστημα

8.2.7 Όπλα

Το 2013 δημιουργήθηκε και δοκιμάστηκε το πρώτο εξολοκλήρου εκτυπωμένο όπλο. Δεκαπέντε από τα δεκαέξι συνολικά εξαρτήματα που το αποτελούσαν εκτυπώθηκαν από πλαστικό τύπου ABS. Η εταιρεία που το παρασκεύασε δημοσιεύει το ψηφιακό αρχείο με τα σχέδια στο διαδίκτυο. Με αποτέλεσμα μέχρι να αφαιρεθούν τα αρχεία αυτά από την αστυνομία να τα έχουν αποκτήσει πάνω από 100.000 χρήστες του διαδικτύου.

Το πρώτο μεταλλικό όπλο κατασκευάστηκε από την εταιρία Solid Concepts και αποτελείται από 30 τμήματα. Είναι ένα αντίγραφο κλασικού όπλου Browning 1911, το οποίο ξεπερνά τα πλαστικά σε ανθεκτικότητα και ακρίβεια, ρίχνοντας, 50 σφαίρες πριν διαλυθεί. Το όπλο αυτό κατασκευάστηκε με την τεχνική DMLS (direct metal laser sintering).

Το Σώμα Αμερικανών Πεζοναυτών φτιάχνει εν εκστρατεία μικρά αναγνωριστικά drones για επιχειρήσεις συμβατικών δυνάμεων χρησιμοποιώντας φορητούς 3D εκτυπωτές. Οι Πεζοναύτες κατασκευάζουν μικρά <<Nibbler>> UAV με τρισδιάστατους εκτυπωτές. Ακόμα πρωτοπορεί εκτυπώνοντας 3D πυρομαχικά και ανταλλακτικά οπλικών συστημάτων. Υστερά από αποκαλύψεις του Πενταγώνου έγινε γνωστό ότι ένα μαχητικό Super Hornet του Ναυτικού εξαπέλυσε σμήνος από 3D εκτυπωμένα micro-drones κάτι που προκάλεσε μεγάλη αίσθηση στις αρχές του 2017. Αλλά πρέπει να λάβουμε υπόψη ότι με αυτό τον τρόπο δημιουργούνται άμεσα, με χαμηλό κόστος εφαρμογές στο πεδίο της μάχης για την συλλογή πληροφοριών, την επιτήρηση και την αναγνώριση όποτε και οπουδήποτε απαιτηθούν. Ακόμα μια τέτοια κατάσταση επιλύει τα προβλήματα έλλειψης ανταλλακτικών των παλαιών οπλικών συστημάτων. Και δίνει την δυνατότητα για την δημιουργία νέων οπλικών συστημάτων που απαιτούνται άμεσα σε κρίσιμων καταστάσεων.



Εικόνα 8.6 - Όπλα εκτυπωμένα από ABS και Metal

8.2.8 Κλάδος Εστίασης

Ένας από τους τελευταίους κλάδους που ενσωματώνεται σταδιακά η τεχνολογία του 3D εκτυπωτή είναι η βιομηχανία του φαγητού. Το Πανεπιστήμιο του Exeter ανέπτυξε έναν εκτυπωτή για σοκολάτα (Εικόνα 8.7). Μετά από το έντονο ενδιαφέρον ερευνητών και επαγγελματιών του κλάδου ενδέχεται να καταστεί εμπορικά διαθέσιμος. Ο εκτυπωτής εναποθέτει στρώσεις σοκολάτα τη μια πάνω από άλλη, δημιουργώντας περίτεχνες τρισδιάστατες μορφές χωρίς την ανάγκη ύπαρξης καλουπιού. Αυτό δίνει την δυνατότητα για δημιουργία εξατομικευμένων σοκολατένιων μορφών.

Ένα ακόμα παράδειγμα είναι η παραγωγή δημιουργικών σχεδίων καλουπιών για διάφορες χρήσεις, από τη δημιουργία έως και την αποθήκευση τροφίμων.



Εικόνα 8.7 - Εκτύπωση με πρώτη ύλη την σοκολάτα

8.2.9 Οικιακή χρήση

Από το 2008 μέχρι σήμερα το κόστος αγοράς και το μέγεθος των εκτυπωτών αυτών συνεχώς μειώνεται. Με αποτέλεσμα να γίνονται ολοένα και πιο προσιτοί σε μεγαλύτερο ποσοστό του κοινού. Ένας ακόμα παράγοντας που είναι σημαντικός στην αύξηση της χρήσης τους για οικιακή χρήση είναι η ευκολία λειτουργίας τους καθώς δεν χρειάζονται εξειδικευμένες γνώσεις από τον χρήστη. Ένας χρήστης για οικιακή χρήση το μόνο που χρειάζεται είναι φαντασία προκειμένου να δημιουργήσει τα αντικείμενα που επιθυμεί και χρειάζεται. Ότι ένας χρήστης μπορεί να εκτυπώσει στο σπίτι του αντικείμενα με χαμηλό κόστος για την εξυπηρέτηση των αναγκών του έχει σαν αποτέλεσμα να μειώνεται το κόστος αγοράς που θα έπρεπε να υποστεί κάποιος αγορά από ένα μαγαζί. Ακόμα εξοικονομεί χρόνο καθώς μια εκτύπωση μπορεί να διαρκέσει ώρες αλλά όχι εβδομάδες όπως γίνεται με τις παράλαβες από τις διαδικτυακές παραγγελίες που σε αρκετές περιπτώσεις υπάρχουν και πρόσθετες τελωνειακές επιβαρύνσεις στην τελική τιμή του προϊόντος.

Μερικά από τα αντικείμενα που μπορούν να εκτυπωθούν από έναν οικιακό εκτυπωτή είναι τα εξής: Διακοσμητικά αντικείμενα για εσωτερικούς και εξωτερικούς χώρους, εργαλεία κουζίνας, προστατευτικές θήκες, παιχνίδια, εξοπλισμοί για το μπάνιο, παπούτσια, αξεσουάρ, αντικείμενα για μακέτες κ.α.

8.3 Επιπτώσεις χρήσης 3D εκτυπωτή

Πρόκειται για μια νέα συνεχώς εξελισσόμενη τεχνολογία και οι επιπτώσεις της δεν μπορούν να είναι απόλυτα διακριτές αλλά σίγουρα δεν είναι ανύπαρκτες.

Η αυξανόμενη χρήση των 3D εκτυπωτών μακροπρόθεσμα θα μειώσει την ύπαρξη του ανθρώπινου δυναμικού στις βιομηχανίες καθώς πρόκειται για δημιουργία αντικείμενων αυτόνομης λειτουργίας. Σε συνδυασμό με την δυνατότητα των χρηστών για δημιουργία αντικειμένων σε οικιακό επίπεδο θα επιφέρει μείωση των παραγωγικών μονάδων καθώς κάθε σπίτι θα μπορεί να παράγει τα είδη των αναγκών του.

Η χρήση ανακυκλώσιμων υλικών για την εκτύπωση των αντικείμενων είναι ένα θετικό βήμα για την προστασία του περιβάλλοντος καθώς εξοικονομούνται φυσικοί πόροι. Αλλά δεν πρέπει να αγνοούμε ότι κατά την διάρκεια της εκτύπωσης εκπέμπονται στον αέρα μια αρκετά μεγάλη ποσότητα από επιβλαβή και πολύ λεπτά σωματίδια (UFPs). Σε ένα εργοστασιακό περιβάλλον για την προστασία από τις

εκπομπές των αερίων χρησιμοποιούνται συστήματα εξαέρωσης του χώρου και γίνεται χρήση ειδικών εξοπλισμών από προσωπικό ώστε να μην έρχονται σε επαφή με αυτά τα σωματίδια. Αλλά σε ένα οικιακό περιβάλλον δεν είναι εύκολο να ισχύουν αυτά τα μέτρα προστασίας. Μακροπρόθεσμα ένας χρήστης 3D εκτυπωτή μπορεί να παρουσιάσει άσθμα, καρδιακή ανακοπή ή και εγκεφαλικό επεισόδιο.

Ένας ακόμα σοβαρός παράγοντας που πρέπει να λαμβάνουμε υπόψη είναι ότι οι εκτυπωτές για οικιακή χρήση δεν μπορούν ούτε να ελεγχθούν από κάποιον για τα είδη των αντικειμένων που παράγονται ούτε και να περιοριστούν σε συγκεκριμένα σχέδια παραγωγής. Συνεπώς πληθώρα αντικειμένων έχουν εκτυπωθεί έως τώρα με σκοπό τη χρήση τους σε παράνομες δραστηριότητες.

Το FBI έχει πραγματοποιήσει πολλές συλλήψεις μετά από την δημοσίευση αρχείων από χρήστη με σχέδια κατασκευής όπλων. Πριν την αφαίρεση των αρχείων είχαν είδη αποκτηθεί από 100.000 χρήστες. Τα τελευταία χρόνια οι έφοδοι της αστυνομίας κατά του οργανωμένου εγκλήματος έχουν σαν αποτέλεσμα τον εντοπισμό όπλων των οποίων τμήματα έχουν τυπωθεί από 3D εκτυπωτή. Όπως επίσης και όπλων που η μορφή τους δεν είναι οικία με αυτή που έχει κάποιος όταν ακούει την λέξη όπλο.

Ένα ακόμα παράδειγμα που δημιούργησε προβληματισμούς στην κοινή γνώμη για την λειτουργία των 3D εκτυπωτών ήταν η ενημέρωση που έκανε η αστυνομία του Σίδνεϋ για συμμορίες εγκληματιών που χρησιμοποιούν τους εκτυπωτές για δημιουργία συσκευών με στόχο να κλέψουν στοιχεία πιστωτικών καρτών κατά την χρήση τους σε ATM. Η ενημέρωση της αστυνομίας έκανε αναφορά για συσκευές που ταιριάζουν απόλυτα πάνω στα μηχανήματα ανάληψης και συνεπώς δεν είναι εύκολο να γίνουν αντιληπτές.

Σε ερευνητικό επίπεδο φοιτητές του MIT, σάρωσαν (ct-scanned) κλειδαριές με προδιαγραφές υψίστης ασφαλείας και παρήγαγαν με την χρήση 3D εκτυπωτή με επιτυχία κλειδιά για την παραβίαση τους.

Συνεπώς πρέπει να δίνεται μεγάλη προσοχή στο πως χρησιμοποιούνται οι εκτυπωτές και από ποιους. Καθώς ένα εργαλείο που για άλλους είναι μέσο διασκέδασης και πειραματισμών, για άλλους μπορεί να γίνει εργαλείο για υλοποίηση παράνομων δραστηριοτήτων.

Κεφάλαιο 9: ΠΝΕΥΜΑΤΙΚΗ ΙΔΙΟΚΤΗΣΙΑ

9.1 Εισαγωγή

Σε αυτό το κεφάλαιο θα προσπαθήσουμε να ορίσουμε τα πνευματικά δικαιώματα που έχει ο χρήστης πάνω σε ένα παραγόμενο αντικείμενο από τον ίδιο μέσω της χρήσης ενός 3D εκτυπωτή. Επίσης θα γίνει αναφορά για τα δικαιώματα που παραχωρούμε χωρίς να το επιλέξουμε όταν χρησιμοποιούμε προγράμματα σχεδίασης ή επεξεργασίας αντικειμένων.

9.2 Πνευματικά δικαιώματα και νομικά θέματα στην 3D εκτύπωση

Όπως έχουμε αναφέρει πολλές φορές οι 3D εκτυπωτές σε συνδυασμό με το εκάστοτε CAD πρόγραμμα που χρησιμοποιείται για τον σχεδιασμό και την αναπαραγωγή αντικειμένων δίνουν στον χρήστη την ελευθερία να κάνει την φαντασία του πραγματικότητα. Το πρόβλημα έγκειται κατά πόσο μια σκέψη του χρήστη στο τέλος της δημιουργίας του αντικείμενου θα ανήκει στον ίδιο η όχι.

Για αυτό υπάρχουν τα πνευματικά δικαιώματα και τα νομοθετικά πλαίσια για την προστασία τόσο των δημιουργών όσο και των χρηστών. Ο ορισμός των πνευματικών δικαιωμάτων δεν είναι ξεκάθαρος καθώς πρόκειται για μια σύγχρονη τεχνολογία. Σε αυτό επίσης συντελεί ότι το κόστος αγοράς ενός 3D εκτυπωτή είναι ακόμα μεγάλο και δεν έχει πρόσβαση όλο το κοινό.

Το πρώτο καταγεγραμμένο συμβάν παραβίασης πνευματικής ιδιοκτησίας σχεδίων έλαβε χώρα το 2016 με βάση την Φιλαδέλφεια των Η.Π.Α. Η δικαστική διαμάχη έγινε ανάμεσα 3DR Holdings και στην Just 3D Print. Ένας χρήστης του Thingiverse με την ονομασία "Ioubie" (το πλήρες όνομα Louise Driggers) ανακάλυψε ότι ένα eBay storefront που ονομάζεται Just 3D Print πωλούσε ένα από τα μοντέλα της (μαζί με πολλά άλλα) χωρίς να τηρεί την άδεια Creative Commons. Αποδεικνύεται ότι είχε κατεβάσει εκατοντάδες μοντέλα από την Thingiverse και τα πουλούσε ως εκτυπώσιμα στο eBay. Το Thingiverse είναι μια ιστοσελίδα που επιτρέπει στους σχεδιαστές να μοιράζονται τις δημιουργίες τους σε ψηφιακή μορφή με οποιονδήποτε και συνεπώς εξαπλωθούν σε όλο τον κόσμο. Ωστόσο, αυτό το είδος ανοίγματος μπορεί μερικές φορές να εκμεταλλευτεί ή να κακοποιηθεί. Οι σχεδιαστές μπορούν να κατεβάσουν και να πουλήσουν τα σχέδιά χωρίς την άδειά

των πραγματικών δημιουργιών, ακόμα κι αν έχουν τις κατάλληλες προστασία στα αρχεία τους.

Στην Αμερική στο ξεκίνημα της λειτουργίας των 3D εκτυπωτών χρήστες ξεκίνησαν να σχεδιάζουν και να τυπώνουν όπλα και σφαίρες , σε αυτό το γεγονός παρενέβη η αστυνομία καθώς πρόκειται για την προστασία του κοινού, (συνόλου κοινωνίας). Πως γίνεται η αστυνομία να γνωρίζει τον τρόπο χρήσης ενός μηχανήματος όταν πρόκειται για αντικείμενα που παράγονται σε οικιακό περιβάλλον. Δεν υπάρχουν θεωρίες συνωμοσίας αντίθετα είναι οι όροι χρήσης που αποδέχεται κάποιος όταν εγκαθιστά ένα πρόγραμμα CAD στον ηλεκτρονικό του υπολογιστή. Στους οποίους όρους πολλές φορές δεν δίνεται προσοχή από τους χρήστες καθώς η ανάγκη χρήσης κάποιου προγράμματος είναι μεγαλύτερη.

Συγκεκριμένα για το σχεδιαστικό πρόγραμμα AUTOCAD 123D CIRCUITS όταν χρησιμοποιείται από έναν χρήστη το περιβάλλον του συμφωνεί ότι θα έχει πρόσβαση και στην χρήση βιβλιοθηκών του προγράμματος καθώς και ότι όλα τα σχέδια του πέρα από την αποθήκευση τους στον Η/Υ αποθηκεύονται αυτόματα και στην βάση της εταιρίας. Άρα από την στιγμή που υπάρχει σύνδεση στο διαδίκτυο αυτόματα τα σχέδια ενός χρήστη παύουν να βρίσκονται μόνο στον τοπικό δίσκο ενός υπολογιστή. Η προστασία που υπάρχει είναι ότι δεν γίνονται εμφανή σε άλλους χρήστες αλλά από την πλευρά της εταιρίας υπάρχει άμεση πρόσβαση χωρίς να απαιτείται η έγκριση του χρήστη αφού το έχει συμφωνήσει στους όρους χρήσης που έχει αποδεκτή. Επίσης έχει δοθεί ένα μικρό ποσοστό των πνευματικών δικαιωμάτων των σχεδίων του χρήστη στην εταιρία να επεξεργάζεται αυτή τα σχέδια για λόγους διαφημιστικούς ή σε περίπτωση που εντοπιστεί κάποιο αρχείο που επιφέρει κινδύνους για το κοινό καλό. Σε αυτή την περίπτωση έχει το δικαίωμα να παρέμβει ο εισαγγελέας και να κρίνει το περιεχόμενο του αρχείου και στην συνέχεια γίνεται ενημέρωση της αστυνομίας προκειμένου να πράξει αυτά που ορίζει ο νόμος. Τους όρους χρήσης μπορείτε να τους διαβάσετε στην παρακάτω σελίδα <https://www.autodesk.com/company/legal-notices-trademarks/terms-of-service-autodesk360-web-services/terms-of-service-for-autodesk-123d-circuits>

Συνεπώς όπως γίνεται αντιληπτό ήδη κατά των σχεδιασμό ενός αντικειμένου παρόλο που θεωρείται αρχικό στάδιο έχουν παραχωρηθεί δικαιώματα σε κάποιον τρίτο.

Επειδή όπως αναφέραμε και πιο πριν η χρήση ενός 3D εκτυπωτή μπορεί να γίνει και από κάποιον που έχει τις βασικές γνώσεις χρήσης πάνω σε ηλεκτρονικούς υπολογιστές το νομοθετικό πλαίσιο που ισχύει μέχρι σήμερα δεν καλύπτει απόλυτα την τρισδιάστατη εκτύπωση. Οι νόμοι που υπάρχουν αφορούν την προστασία σε μεγάλες επώνυμες εταιρίες για την μαζική παραγωγή κάποιου αντικειμένου με σκοπό το κέρδος και την παράνομη κατασκευή όπλων όπου και στις δύο περιπτώσεις οι ποινές είναι αυστηρές.

ΒΙΒΛΙΟΓΡΑΦΙΚΕΣ ΑΝΑΦΟΡΕΣ

- 3D EXPERT. (n.d.). *3D EXPERT all about 3D printing*. Retrieved from <https://www.3dexpert.gr/tips/genikos-odigos-sintirisis-3d-printer/>.
- ALL3DP. (n.d.). *ALL3DP*. Retrieved from <https://all3dp.com/1/3d-printer-filament-types-3d-printing-3d-filament/>: <https://all3dp.com/1/3d-printer-filament-types-3d-printing-3d-filament/>
- AUTODESK. (2015, 6 12). *TERMS OF SERVICE FOR AUTODESK® 123D® CIRCUITS*. Retrieved from <https://www.autodesk.com/company/legal-notices-trademarks/terms-of-service-autodesk360-web-services/terms-of-service-for-autodesk-123d-circuits>: <https://www.autodesk.com/company/legal-notices-trademarks/terms-of-service-autodesk360-web-services/terms-of-service-for-autodesk-123d-circuits>
- in.gr. (2013, 05 29). *in.gr*. Retrieved from <http://www.in.gr/2013/05/29/tech/stin-trisdiastati-ektypwsi-ependyei-i-nasa-kai-o-amerikanikos-stratos/>.
- Koslow, T. (2018, 1 27). *ALL3DP*. Retrieved from <https://all3dp.com/just-3d-print-brings-new-lawsuit-against-3dr-holdings/>: <https://all3dp.com/just-3d-print-brings-new-lawsuit-against-3dr-holdings/>
- LEE, K. (2009). Βασικές αρχές συστημάτων CAD/CAM/CAE BY KUNWOO LEE . In K. L. Καρανικολός, *Βασικές αρχές συστημάτων CAD/CAM/CAE BY KUNWOO LEE* (p. 784). Εθνικό Πανεπιστήμιο Σεούλ , Νότια Κορέα : ΕΚΔΟΣΕΙΣ ΚΛΕΙΔΑΡΙΘΜΟΣ .
- PRIMA FILAMENTS. (n.d.). *PRIMA FILAMENTS*. Retrieved from <http://www.primafilaments.com/>.
- ResearchGate. (2017, 3). <https://www.researchgate.net/publication>. Retrieved from https://www.researchgate.net/publication/318339210_EVALUATING_THE_ADVANTAGE_S_AND_DISADVANTAGES_OF_IMPLEMENTING_SUSTAINABLE_LOW-COST_HOUSING_UNITS_THROUGH_3-D_PRINTING?enrichId=rgreq-fdeb2697933d99d45db7f6ef6d85d5b3-XXX&enrichSource=Y292ZXJQYWdlOzMxODMzOTI: https://www.researchgate.net/publication/318339210_EVALUATING_THE_ADVANTAGE_S_AND_DISADVANTAGES_OF_IMPLEMENTING_SUSTAINABLE_LOW-COST_HOUSING_UNITS_THROUGH_3-D_PRINTING?enrichId=rgreq-fdeb2697933d99d45db7f6ef6d85d5b3-XXX&enrichSource=Y292ZXJQYWdlOzMxODMzOTI
- sculpteo. (n.d.). *Sculpteo*. Retrieved from <https://www.sculpteo.com/en/>.
- Stahl, D. (2013, 12 5). <https://www.oeko.de>. Retrieved from <https://www.oeko.de/oekodoc/1888/2013-532-en.pdf>: <https://www.oeko.de/oekodoc/1888/2013-532-en.pdf>
- THE NATIONAL ACADEMIES PRESS. (2001). *The Nasional Academies of SCIENCES ENGINEERING MEDICINE*. Retrieved from <https://www.nap.edu/catalog/18871/3d-printing-in-space>: <https://www.nap.edu/catalog/18871/3d-printing-in-space>
- Thingiverse. (n.d.). *Thingiverse*. Retrieved from <https://www.thingiverse.com/newest>.
- Wikipedia. (2018, 1 30). *3D printing filament from Wikipedia*. Retrieved from https://en.wikipedia.org/wiki/3D_printing_filament.
- ΑΝΤΩΝΙΑΔΗΣ, Α. Θ. (2013). Μηχανολογικό Σχέδιο . In Α. Θ. ΑΝΤΩΝΙΑΔΗΣ, *Μηχανολογικό Σχέδιο* (p. 576). Χανιά: ΕΚΔΟΣΕΙΣ ΤΖΙΟΛΑ.
- Εφαρμογές Τηλεπικοινωνιακών Διατάξεων. (2015, 06 24). *Εφαρμογές Τηλεπικοινωνιακών Διατάξεων*. Retrieved from http://brain.ee.auth.gr/dokuwiki/doku.php?id=3d_printer:3d_printer.
- Θεολόγου, Α. (2017, 11 5). *ΠΤΗΣΗ*. Retrieved from <https://www.ptisidiastima.com/3d-printable-drone/>.
- Ινστ, Τ. (2013, 7 27). Retrieved from <https://www.insomnia.gr/articles/>.
- Κωσταντίνος Σκιαδά/INSOMNIA. (2013, 07 27). *Το Ινστιτούτο Τεχνολογίας του Ιλινόις*. Retrieved from <https://www.insomnia.gr/articles/>.
- Νικόλαος Μπιλάλης, Ε. μ. (2014). ΣΥΣΤΗΜΑΤΑ CAD/CAM & ΤΡΙΣΔΙΑΣΤΑΤΗ ΜΟΝΤΕΛΟΠΟΙΗΣΗ. In Ε. μ. Νικόλαος Μπιλάλης, *ΣΥΣΤΗΜΑΤΑ CAD/CAM & ΤΡΙΣΔΙΑΣΤΑΤΗ ΜΟΝΤΕΛΟΠΟΙΗΣΗ* (p. 535). ΕΚΔΟΣΕΙΣ ΚΡΙΤΙΚΗ.
- Πάνος Αντωνιάδης / B3D. (n.d.). *B3D*. Retrieved from <https://b3d.gr/3d-printers-eco-friendly/>.