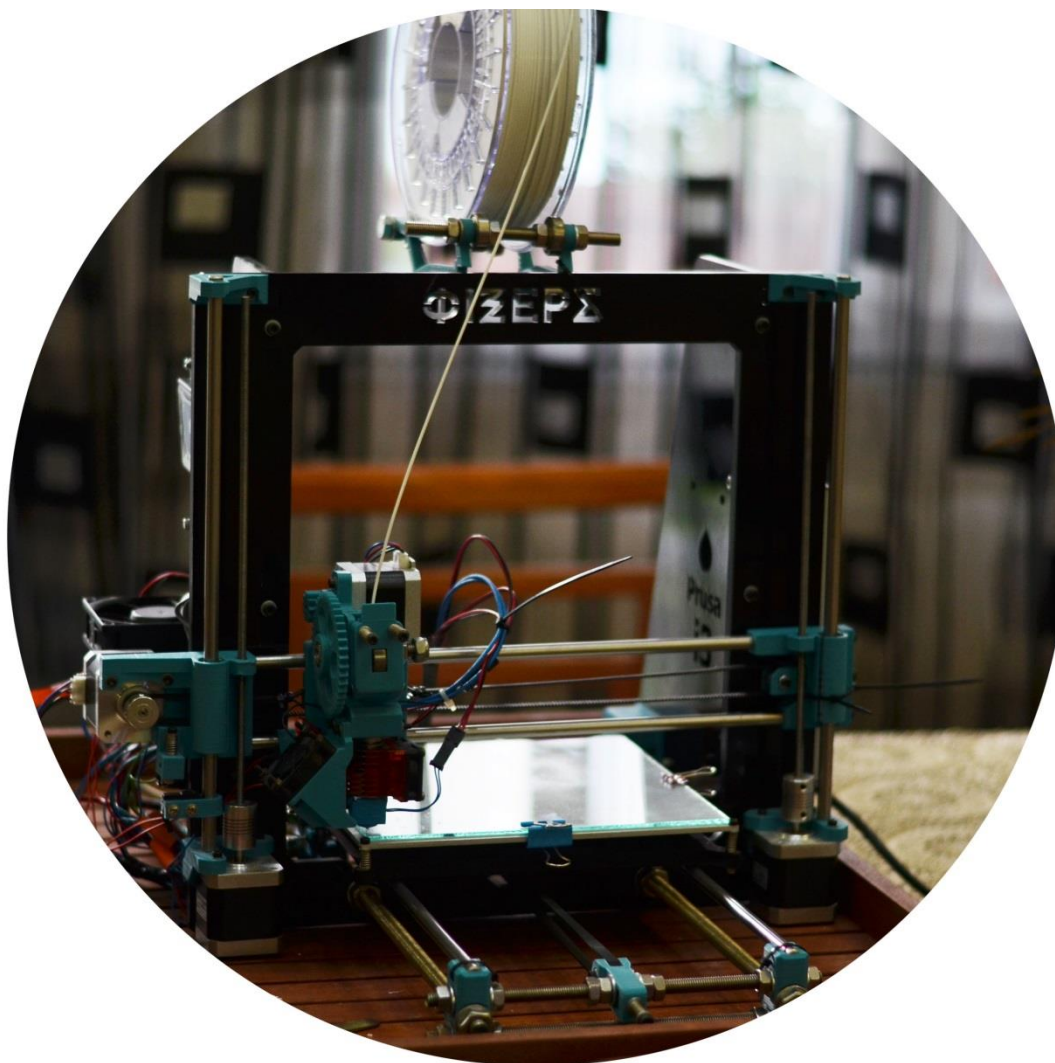




Πολυτεχνείο
Κρήτης

ΤΜΗΜΑ ΜΗΧΑΝΙΚΩΝ ΠΑΡΑΓΩΓΗΣ & ΔΙΟΙΚΗΣΗΣ

ΚΑΤΑΣΚΕΥΗ ΤΡΙΣΔΙΑΣΤΑΤΟΥ ΕΚΤΥΠΩΤΗ



ΕΠΙΒΛΕΠΩΝ ΚΑΘΗΓΗΤΗΣ
ΜΠΙΛΛΗΣ ΝΙΚΟΛΑΟΣ

ΕΞΕΤΑΣΤΙΚΗ ΕΠΙΤΡΟΠΗ

ΧΑΝΙΑ
ΙΟΥΝΙΟΣ 2018
ΜΑΥΡΕΛΟΥ ΕΙΡΗΝΗ

ΑΝΤΩΝΙΑΔΗΣ ΑΡΙΣΤΟΜΕΝΗΣ
ΚΟΥΛΟΥΡΙΔΑΚΗΣ ΠΑΥΛΟΣ

Ευχαριστίες

Θα ήθελα αρχικά να ευχαριστήσω τον επιβλέποντα καθηγητή μου κ. Μπιλάλη Νικόλαο για την εμπιστοσύνη που μου έδειξε στην ανάθεση της συγκεκριμένης εργασίας και για την ελευθερία επιλογών που μου έδωσε καθ' όλη την διάρκεια της συνεργασίας μας.

Το μεγαλύτερο όμως ευχαριστώ το οφείλω στην οικογένειά μου για την στήριξη τους όλα αυτά τα χρόνια, γιατί ακόμα κι όταν χάνω τον δρόμο μου και ζω σε πανικό, έχουν τον τρόπο να με επαναφέρουν στην πραγματικότητα.

Ευχαριστώ τους φίλους μου, που ζήσαμε όλα αυτά τα χρόνια μαζί και με αγαπούν με όλα μου τα ελαττώματα και τις παραξενιές.

Η διπλωματική μου εργασία αφιερώνεται στην οικογένειά μου.
Στην μαμά μου Χριστίνα και τον μπαμπά μου Γιώργο.
Στην μικρή μου Νόρμα.
Στον παππού μου Μιχάλη, που ήταν, είναι και θα είναι για πάντα εδώ.

Και να γιατί είμαι το πνεύμα της ανταρσίας,
Γιατί στα ιδανικά των κόσμων που γκρεμίζονται,
Φέρνω τα ιδανικά των κόσμων που γεννιούνται.
Είμαι κάθε φορά το μέλλον...
Κ. Βάρναλης

Περίληψη

Η τρισδιάστατη εκτύπωση συναντάται όλο και πιο συχνά τα τελευταία χρόνια τόσο στους βιομηχανικούς κλάδους όσο και σε οικιακό επίπεδο. Αποτελεί ένα πολύ σημαντικό εργαλείο στα χέρια των νέων μηχανικών (και όχι μόνο) καθώς λύνει ή τουλάχιστον απλοποιεί πολλά σύνθετα προβλήματα του παρελθόντος, ενώ ταυτόχρονα απελευθερώνει και προάγει την φαντασία του καθενός.

Στην παρούσα διπλωματική εργασία θα προσπαθήσουμε να μυήσουμε τους αναγνώστες στα διάφορα είδη τρισδιάστατης εκτύπωσης που υπάρχουν και τις εφαρμογές που αυτά εξυπηρετούν. Ακόμα, θα επιχειρήσουμε να αναλύσουμε την κατασκευή ενός τρισδιάστατου εκτυπωτή βήμα-βήμα και να εξηγήσουμε με ποιον τρόπο λειτουργεί και πώς με χρήση λογισμικών ανοιχτού κώδικα, η τεχνολογία αυτή έρχεται να εδραιωθεί στην καθημερινότητα των ανθρώπων.

Περιεχόμενα

Ευχαριστίες.....	2
Περίληψη	3
Εισαγωγή – Ορολογία	6
ΚΕΦΑΛΑΙΟ 1.....	9
1.1. Η λογική πίσω από την Προσθετική Κατασκευή	9
1.2. Σύγκριση με τις συμβατικές κατασκευαστικές μεθόδους.....	10
1.2.1. Μηχανική Κατεργασία / Αφαιρετική Κατασκευή (Machining / Subtractive Fabrication).....	10
1.2.2. Χύτευση/Χύτευση με Έγχυση (Molding/Injection Molding)	11
1.3. Πλεονεκτήματα τρισδιάστατης εκτύπωσης.....	12
1.4. Μειονεκτήματα τρισδιάστατης εκτύπωσης	15
1.5. Συγκριτικός πίνακας τρισδιάστατης εκτύπωσης και παραδοσιακής κατασκευής (Πότε επιλέγουμε ποια μέθοδο)	17
ΚΕΦΑΛΑΙΟ 2.....	18
2.1. Ιστορική Αναδρομή	18
ΚΕΦΑΛΑΙΟ 3.....	20
3.1. Βασικοί τρόποι τρισδιάστατης εκτύπωσης.....	20
3.2. Τεχνολογίες τρισδιάστατης εκτύπωσης	20
3.3. Είδη FDM εκτυπωτών	31
ΚΕΦΑΛΑΙΟ 4.....	34
4.1. Ιστορική Αναδρομή	34
4.2. Τι είναι το λογισμικό ανοιχτού κώδικα;.....	34
4.2.1. Δημοφιλέστεροι τύποι αδειών χρήσης	36
4.2.2. Ποια είναι η διαφορά μεταξύ του ελεύθερου λογισμικού / λογισμικού ανοιχτού κώδικα από τα άλλα είδη λογισμικού;	39
4.2.3. Πλεονεκτήματα λογισμικό ανοιχτού κώδικα	39
4.2.4. Λογισμικό ανοιχτού κώδικα σημαίνει δωρεάν λογισμικό;.....	40
4.2.5. Το Ελεύθερο Λογισμικό / Λογισμικό Ανοιχτού Κώδικα στην καθημερινότητα μας.....	40
4.3. Υλισμικό ανοικτής πηγής.....	42
ΚΕΦΑΛΑΙΟ 5.....	43
5.1. Το RepRap Project	43
5.2. Ιστορική Αναδρομή	43

5.3. Software.....	45
5.4. Διαθέσιμα υλικά εκτύπωσης.....	45
5.5. Κατασκευή.....	46
ΚΕΦΑΛΑΙΟ 6.....	47
6.1. Bill of Materials	47
6.2. Έναρξη κατασκευής.....	54
6.2.1. Δομικά μέρη	54
6.2.2. Ηλεκτρονικά μέρη.....	63
6.2.3. Συνδεσμολογία	68
6.2.4. Φωτογραφικό Υλικό Κατασκευής.....	71
6.3. Λογισμικό – Firmware.....	79
6.3.1. Κατέβασμα και Εγκατάσταση του Arduino IDE	79
6.3.2. Κατέβασμα και Αποσυμπίεση λογισμικού Marlin	80
6.3.3. Επεξεργασία του λογισμικού Marlin σύμφωνα με τις απαιτήσεις του εκτυπωτή μας	80
6.3.4. Ανέβασμα του λογισμικού στο Arduino και την RAMPS	83
6.4. Λογισμικό Slicing.....	83
6.4.1. Βασικές ρυθμίσεις λογισμικού slicing	83
ΚΕΦΑΛΑΙΟ 7.....	87
7.1. Κατασκευαστικά προβλήματα	87
7.1.1. Προμήθεια κακής ποιότητας υλικών	87
7.1.2. Άλλες βλάβες	87
7.2. Προβλήματα εκτύπωσης.....	88
Επίλογος.....	91
References	92

Εισαγωγή – Ορολογία

Additive Manufacturing (AM – Προσθετική Κατασκευή): Μέθοδος κατασκευής κατά την οποία υλικό προστίθεται με διάφορους τρόπους με σκοπό την κατασκευή ενός αντικειμένου.

Rapid Prototyping (RP – Ταχεία Πρωτοτυποποίηση): Οι πρώτες τεχνολογίες 3D printing εμφανίστηκαν στα τέλη της δεκαετίας του 1980, οπότε και ονομάζονταν τεχνολογίες ταχείας πρωτοτυποποίησης. Αυτό συνέβη διότι οι τεχνολογίες αυτές είχαν αρχικά σχεδιαστεί ως μια γρήγορη και πιο αποδοτική μέθοδος για τη δημιουργία πρωτοτύπων για την ανάπτυξη προϊόντων στη βιομηχανία.

Direct Digital Manufacturing (DDM – Άμεση Ψηφιακή Κατασκευή): Εναλλακτική ορολογία για την Προσθετική Κατασκευή.

3D Printing (Τρισδιάστατη Εκτύπωση): Ορισμός που έχει σκοπό να εξηγήσει την Προσθετική Κατασκευή σε κοινό με μη μηχανολογικές γνώσεις, δεδομένου ότι είναι πιο κοντά στην ιδέα της 2D εκτύπωσης με την οποία οι περισσότεροι είναι εξοικειωμένοι.

Στις συμβατικές κατασκευαστικές μεθόδους, η κατασκευή οποιουδήποτε αντικειμένου γίνεται συνήθως είτε με αφαίρεση υλικού από μια προϋπάρχουσα δομική μονάδα είτε με χύτευση υλικού σε καλούπια (φορμάρισμα) προκειμένου να δημιουργηθεί το τελικό αντικείμενο. Αντίθετα, στην Προσθετική Κατασκευή έχουμε ένα τρισδιάστατο ψηφιακό μοντέλο, το οποίο δημιουργείται με την διαδοχική εναπόθεση επάλληλων στρώσεων υλικού. Κάθε στρώση τοποθετείται πάνω από την προηγούμενη, δημιουργώντας έτσι μια στερεά μορφή η οποία αναπαριστά το τρισδιάστατο μοντέλο με όλη του την πολυπλοκότητα και λεπτομέρεια, χωρίς να χρειάζεται επιπλέον κατεργασίες διαμόρφωσης όπως συμβαίνει με τις συμβατικές μεθόδους.

Είναι γεγονός ότι ο σύγχρονος τρόπος σχεδίασης τείνει να είναι εξατομικευμένος και βιώσιμος. Εξατομικευμένος στα προσωπικά γούστα και τις προσωπικές ανάγκες του καθενός έτσι ώστε να καλύπτει απόλυτα τις επιθυμίες του ατόμου (design for the individual). Βιώσιμος όσον αφορά την εξοικονόμηση των υλικών – ελαχιστοποίηση των απορριμμάτων (design for sustainability). Η μέθοδος της τρισδιάστατης εκτύπωσης λοιπόν έρχεται να υπηρετήσει αυτά τα δύο ζητούμενα της σχεδιαστικής διαδικασίας, με τρόπο που θα αναλύσουμε αργότερα.

Πού χρησιμοποιούμε την τρισδιάστατη εκτύπωση.

Ιατρική: Η τρισδιάστατη εκτύπωση έχει βρει πρόσφορο έδαφος σε πάρα πολλούς τομείς, με πρώτο αυτόν της ιατρικής. Χαρακτηριστικό παράδειγμα είναι η κατασκευή προσθετικών μελών, όπου έχουμε το παράδειγμα του Jeremy, ενός Αμερικανού, ο οποίος κατασκεύασε

μόνος του ένα πρόσθετο μηχανικό νευροελεγχόμενο χέρι, για τον εαυτό του, με κόστος 50\$, ενώ πρωτύτερα είχε αγοράσει το ίδιο χέρι από μια εταιρεία του είδους, με κόστος 42.000\$.

Η χρήση τρισδιάστατων εκτυπωτών έχει ήδη αρχίσει να εξαπλώνεται σε διάφορες βιομηχανίες, με χαρακτηριστικό παράδειγμα αυτό της Local Motors, που κατασκεύασε ολόκληρο 3D αυτοκίνητο και μάλιστα πήρε και άδεια χρήσης από το αρμόδιο υπουργείο.

Τέχνη: Η τεχνολογία αυτή ακόμα και στην τέχνη έχει διεισδύσει, αφού πολλοί είναι οι καλλιτέχνες οι οποίοι βρήκαν έμπνευση και νέες δυνατότητες με τις εφαρμογές που μπορεί να προσφέρει η τρισδιάστατη εκτύπωση, κατασκευάζοντας αντικείμενα τα οποία εκτός από πρωτοπορία και φαντασία, μπορούν πλέον να διαθέτουν ακρίβεια και λειτουργικότητα, κάτι που έως σήμερα, για πολλές κατασκευές ήταν ανέφικτο. Αυτό βέβαια, υποστηρίζουν πολλοί, ότι αλλοιώνει το χαρακτήρα της, αφού σε μεγάλο βαθμό τη βιομηχανοποιεί. Όπως και να έχει όμως, μπορεί στο κομμάτι της υλοποίησης να είναι πράγματι έτσι, όμως εκείνο που παραμένει αναλλοίωτο σε κάθε περίπτωση, είναι η ιδέα και η φαντασία του καλλιτέχνη.

Καθημερινότητα: Σήμερα η χρήση 3D εκτυπωτών διανύει μια από τις καλύτερες περιόδους και αυτό γιατί ακόμα εκείνοι που δεν γνωρίζουν να σχεδιάζουν με κάποιο σχεδιαστικό πρόγραμμα τύπου **CAD**, έχουν την δυνατότητα να αξιοποιούν έτοιμα σχέδια τα οποία διατίθενται δωρεάν μέσα από διάφορες κοινότητες.

Παρότι οι τρισδιάστατοι εκτυπωτές είναι διαθέσιμοι εδώ και πολλά χρόνια, πολύ πρόσφατα έγιναν διαθέσιμοι στο ευρύ κοινό. Η μεγάλη ποικιλία στα υλικά και τα μοντέλα των τρισδιάστατων εκτυπωτών, καθώς επίσης και οι συνεχείς καινοτομίες σε αυτό τον τομέα είναι κάποιοι από τους λόγους που οι τρισδιάστατοι εκτυπωτές είναι πλέον οικονομικά προσιτοί σε μια όλο και περισσότερο αυξανόμενη μερίδα ανθρώπων, οι οποίοι τους έχουν εντάξει στον οικιακό τους εξοπλισμό, όπως και έναν απλό εκτυπωτή μελάνης.

Πλέον μπορείς να κατασκευάζεις από ολόκληρα σπίτια μέχρι κεραμικά αντικείμενα, από φαγητά μέχρι ανθρώπινους ιστούς. Μπορεί ακόμα όλα αυτά να βρίσκονται σε πρώιμο ή/και ερευνητικό στάδιο, και παρότι κανείς δεν μπορεί να προβλέψει το μέλλον, σίγουρα είμαστε μπροστά σε μια πρόκληση που ίσως οδηγήσει σε μια νέα Βιομηχανική Επανάσταση και σε κάθε περίπτωση αναμένεται στο σύντομο μέλλον να διαδοθεί, εξελιχθεί και επηρεάσει πληθώρα σχετιζόμενων τομέων.

Μπορεί να απέχουμε από την εποχή αυτή, όμως, κάθε πρόκληση πρέπει να αντιμετωπίζεται θετικά, να αξιοποιείται δια της υιοθέτησης των πλεονεκτημάτων που προσφέρει και σε κάθε περίπτωση να εντάσσεται και να ερευνάται στο πλαίσιο της ευρύτερης γνώσης, αλλά και των θετικών / εξελικτικών εφαρμογών της.

Η κατασκευή ενός τρισδιάστατου εκτυπωτή είτε με υλικά που μπορεί κάποιος να αποκτήσει μεμονωμένα, είτε με υλικά που πωλούνται σε έτοιμα ΚΙΤ αποδείχθηκε μια ενδιαφέρουσα και σχετικά οικονομική εμπειρία.

Κι' αυτό χάρις στο ανοικτό λογισμικό και υλισμικό αλλά και στο κίνημα REP RAP που επιτρέπει την φθηνή αναπαραγωγή των περισσότερων μερών ενός τρισδιάστατου εκτυπωτή μέσω τρισδιάστατης εκτύπωσης.

Σε όλα αυτά θα αναφερθούμε διεξοδικότερα κατωτέρω .

ΚΕΦΑΛΑΙΟ 1

1.1. | Η λογική πίσω από την Προσθετική Κατασκευή

Γιατί άραγε αυτή η διαδικασία δημιουργίας ονομάζεται Προσθετική; Η απάντηση είναι πολύ απλή. Η Προσθετική Κατασκευή βασίζεται στο γεγονός ότι το τρισδιάστατο μοντέλο, χωρίζεται σε διαδοχικά επίπεδα (layers) τα οποία με την σειρά τους τοποθετούνται το ένα πάνω στο άλλο (σε στρώσεις- layer by layer) και ομογενοποιούνται για να δημιουργήσουν το τελικό προϊόν. Αυτή είναι η βασική λογική πίσω από την Προσθετική Κατασκευή πάνω στην οποία βασίζονται όλα τα είδη τρισδιάστατων εκτυπωτών ανεξάρτητα από την τεχνολογία την οποία χρησιμοποιούν. Είτε έχουμε να κάνουμε με ένα μικρό κύβο, είτε με την δημιουργία ενός ολόκληρου σπιτιού, το αρχικό βήμα είναι η δημιουργία του πρώτου επιπέδου, πάνω στο οποίο προστίθεται η κάθε επιπλέον στρώση μέχρι να οδηγηθούμε στο τελικό αντικείμενο, όπως ακριβώς αυτό φαίνεται στο τρισδιάστατο μοντέλο.

Οι τρισδιάστατοι εκτυπωτές «χτίζουν» τα επάλληλα επίπεδα με τους ακόλουθους τρόπους:

- (a) συγχωνεύουν (fuse) υγρά πολυμερή με χρήση ακτινών laser / ηλεκτρονίων ή
- (b) εξάγουν/εξωθούν (extrude) τηγμένα υλικά από κάποιο στόμιο.

Τα υλικά τα οποία χρησιμοποιούν οι διάφοροι τρισδιάστατοι εκτυπωτές (ανάλογα με το είδος τους) είναι φωτοπολυμερή, τηγμένο πλαστικό νήμα, μεταλλικές πούδρες, τσιμέντο, σοκολάτα, ακόμα και υλικά όπως βιολογικά κύτταρα τα οποία μπορούν να δημιουργήσουν σύνθετες δομές για να αντικαταστήσουν, επιδιορθώσουν ακόμα και να βελτιώσουν ιστούς του σώματος.

Στο πλαίσιο αυτής της λογικής και της ακολουθούμενης διαδικασίας επάλληλων στρώσεων υλικού που τοποθετούνται η μια μετά την άλλη είναι εφικτή η δημιουργία απλών ή σύνθετων δομών. Από ένα μικρό πλαστικό παιχνίδι, μέχρι ολόκληρες μηχανές, από σύνθετα μέρη ενός αεροπλάνου μέχρι ολόκληρα σπίτια.

Σήμερα, έχουν γίνει έρευνες πάνω σε υλικά με αγωγήιμες ιδιότητες, γεγονός που προμηνύει ότι στο μέλλον θα είναι δυνατή η σχεδίαση και μαζική παραγωγή αντικειμένων με προ-εγκατεστημένα ηλεκτρικά κυκλώματα, χωρίς να χρειάζεται να τοποθετούνται σε δεύτερο στάδιο της κατασκευής.

1.2. | Σύγκριση με τις συμβατικές κατασκευαστικές μεθόδους

Κατά τη διάρκεια της Πρώτης Βιομηχανικής Επανάστασης, το 1700 είχαμε την χρήση νερού και ατμού για τη λειτουργία μηχανών, με την Δεύτερη Βιομηχανική Επανάσταση το 1800 περάσαμε από την χειρωνακτική εργασία στην χρήση αυτοματοποιημένων μηχανημάτων για την βελτιστοποίηση της παραγωγικής διαδικασίας, αυξάνοντας τον ρυθμό παραγωγής και μειώνοντας το κόστος, ενώ με την Τρίτη Βιομηχανική Επανάσταση, γνωστή και ως Ψηφιακή Επανάσταση, εξαπλώθηκε η χρήση των υπολογιστών και της αυτοματοποίησης. Η Τέταρτη Βιομηχανική Επανάσταση, στην καμπή της οποίας βρισκόμαστε, έχει την προοπτική να χειραφετήσει άτομα και κοινότητες, καθώς δημιουργεί νέες ευκαιρίες για την οικονομική, κοινωνική και προσωπική ανάπτυξη. Αλλά επίσης, μπορεί να περιθωριοποιήσει ορισμένες ομάδες, να διογκώσει την ανισότητα, να δημιουργήσει νέα προβλήματα για την ασφάλεια και να υπονομεύσει τις ανθρώπινες σχέσεις. Αν θέλουμε να αδράξουμε την ευκαιρία και να αποφύγουμε τις παγίδες πρέπει να εξετάσουμε προσεκτικά τα ερωτήματα που προκύπτουν. Η ερώτηση, λοιπόν, που τίθεται εν προκειμένω είναι πώς μπορεί να συγκριθεί η Προσθετική Κατασκευή με τις μέχρι τώρα μεθόδους που χρησιμοποιούνταν στις βιομηχανίες; Πιθανόν, η μέχρι τώρα μαζική παραγωγή και η παγκόσμια μεταφορά προϊόντων να παραμεριστεί για χάρη της τοπικής παραγωγής η οποία θα είναι, επιπλέον, απόλυτα προσωποποιημένη στον «πελάτη».

Η Τέταρτη Βιομηχανική Επανάσταση μπορεί να θέσει σε κίνδυνο τις παραδοσιακές ανθρώπινες αξίες – εργασία, κοινότητα, οικογένεια και ταυτότητα – ή να ανυψώσει την ανθρωπότητα σε μία νέα συλλογική και ηθική συνείδηση κοινής ταυτότητας. Η επιλογή είναι δική μας.

1.2.1. | Μηχανική Κατεργασία / Αφαιρετική Κατασκευή (Machining / Subtractive Fabrication)

Με την Προσθετική Κατασκευή μπορούν να παράγονται ολοκληρωμένα προϊόντα, ακόμα και αντικείμενα με αλληλένδετα κινούμενα μέρη (interlocking moving parts) όπως ρουλεμάν ή αντικείμενα με συνδεδεμένες αλυσίδες (linked chains). Τα προϊόντα αυτά συνήθως χρειάζονται ελάχιστο ή μηδενικό φινίρισμα και εκ των υστέρων επεξεργασία (post-processing) σε σχέση με τα προϊόντα που παράγονται με τις παραδοσιακές μεθόδους. Η παραδοσιακή προσέγγιση συνήθως παράγει προϊόντα με αφαίρεση υλικού, απαιτώντας την υλοποίηση μιας σειράς μηχανικών κατεργασιών όπως κοπή, τόννευση, δημιουργία οπών ή ελασμάτων, καθώς επίσης και γυάλισμα για να προετοιμάσει ακόμα και τα αρχικά μέρη ενός προϊόντος. Στην παραδοσιακή κατασκευή επίσης, το τελικό κόστος αυξάνεται αρκετά, καθώς απαιτεί εργατοώρες εξειδικευμένου τεχνίτη.

Το γεγονός αυτό πρακτικά σημαίνει ότι στο μέλλον οι τεχνίτες αυτοί θα μειωθούν σημαντικά, ενώ παράλληλα τα προϊόντα θα παράγονται γρηγορότερα, με χρήση μικρότερων ποσοτήτων

πρώτων υλών. Είναι πολύ οικονομικότερο, ένα μηχάνημα το οποίο έχει την δυνατότητα να τοποθετεί ακριβώς την απαιτούμενη ποσότητα υλικού για την παραγωγή ενός προϊόντος, σε σχέση με ένα μηχάνημα στο οποίο για να καταλήξουμε στην ζητούμενη / επιθυμητή κατασκευή, τοποθετείται ένα ακατέργαστο κομμάτι (block) πρώτης ύλης και κατά την επεξεργασία αφαιρείται το μεγαλύτερο μέρος αυτής καθιστώντας την άχρηστη. Επιπλέον, είναι γεγονός ότι τα προϊόντα τρισδιάστατης εκτύπωσης κατασκευάζονται με ενσωματωμένες όλες τις τρύπες και τις κοιλότητες και όλα τα επίπεδα και κελύφη που απαιτούνται. Έτσι, εξαλείφονται πολλά επιπρόσθετα βήματα της περαιτέρω επεξεργασίας που παραδοσιακά θα απαιτούνταν για την παραγωγή προϊόντων. (παράδειγμα καλούπια eos).

1.2.2. | Χύτευση/Χύτευση με Έγχυση (Molding/Injection Molding)

Συνήθως «βαριά» - ανθεκτικά προϊόντα, όπως τα μέρη αυτοκινήτων, αεροπλάνων κλπ παράγονται σε χυτήρια, με την μέθοδο της τήξης των μετάλλων που στην συνέχεια χύνονται σε καλούπια ή μέσω κατεργασμένων πρεσών (tooled dies). Η ίδια λογική βρίσκεται και πίσω από την δημιουργία πλαστικών αντικειμένων. Λιωμένο πλαστικό πιέζεται μέσα σε καλούπια εγχύσεως (injection molds) για να παραχθεί το τελικό προϊόν. Η διαδικασία αυτή εφαρμόζεται και στην κατασκευή γυάλινων προϊόντων και μάλιστα, η επεξεργασία με καλούπι βοήθησε στην ευρεία χρήση παραθύρων και γυάλινων προσόψεων κτιρίων.

Παρόλ' αυτά, για την χρήση καλουπιών είναι προαπαιτούμενη η διαδικασία κατασκευής των πρωτοτύπων καλουπιών (master mould), τα οποία χρησιμοποιούνται για την μαζική παραγωγή πανομοιότυπων προϊόντων. Έτσι, για να δημιουργήσει κανείς ένα έστω και λίγο διαφορετικό προϊόν, πρέπει να δημιουργήσει από την αρχή ένα νέο καλούπι, το οποίο με τη σειρά του μπορεί να αναπαράγει μόνο το συγκεκριμένο σχέδιο επαναλαμβανόμενα. Όπως είναι φανερό λοιπόν, η διαδικασία αυτή είναι αρκετά χρονοβόρα. Με τη χρήση τρισδιάστατων εκτυπωτών έγινε δυνατή η παραγωγή καλουπιών σε πολύ γρηγορότερους χρόνους απ' ότι με τις συμβατικές μεθόδους, έτσι ώστε ένας κατασκευαστής να μπορεί να ελέγχει και στη συνέχεια να προσαρμόζει ανάλογα με τις ανάγκες του το καλούπι (αλλαγή γεωμετρίας, διαστάσεων κλπ) πριν βγει σε μαζική παραγωγή. Εναλλακτικά, θα μπορούσε να τυπώνει κατευθείαν το επιθυμητό αντικείμενο και να τροποποιεί απευθείας το σχέδιο για να ενσωματώνει τα νέα χαρακτηριστικά που θέλει. Η άμεση αυτή παραγωγή τρισδιάστατου αντικειμένου από έναν εκτυπωτή εφαρμόζεται ήδη σε πειραματικό στάδιο από την General Electrics για την παραγωγή τουρμποκινητήρων αεροσκαφών, οι οποίοι προβλέπεται παραχθούν μαζικά μέχρι το τέλος του 2019. Μ' αυτό τον τρόπο αν ξαφνικά διαπιστωθεί κάποιο σχεδιαστικό λάθος ή αν χρειαστεί να γίνει κάποια τροποποίηση εν μέσω παραγωγής, με την τρισδιάστατη εκτύπωση απλά τροποποιείται το ψηφιακό μοντέλο και συνεχίζει κανονικά η παραγωγή του, ενώ υπό άλλες συνθήκες θα χρειαζόταν ολοκληρωτική τροποποίηση και κατασκευή εκ νέου καλουπιών για την συνέχιση της παραγωγικής διαδικασίας, γεγονός που θα κόστιζε τόσο σε χρόνο όσο και σε χρήμα.

1.3. | Πλεονεκτήματα τρισδιάστατης εκτύπωσης

Τα πλεονεκτήματα της τρισδιάστατης εκτύπωσης μπορούν να συνοψισθούν στις ακόλουθες γενικές κατηγορίες:

1. Εξατομίκευση
2. Πολυπλοκότητα
3. Βιωσιμότητα – μείωση απορριμμάτων
4. Προγραμματισμένη απόσυρση και Ανακύκλωση
5. Οικονομική προσέγγιση παραγωγής

Αναλυτικότερα :

1. Εξατομίκευση

Τα τελευταία χρόνια παρατηρείται μια τάση για προϊόντα, τα οποία παροτρύνουν τον χρήστη να τα προσαρμόσει ακριβώς στις ανάγκες του. Μέχρι στιγμής σε ευρεία κατανάλωση υπάρχουν παπούτσια ή αξεσουάρ τα οποία επιθυμούν να εμπλέξουν τον αγοραστή στη διαδικασία της σχεδίασης. Και ποιος δεν θα ήθελε να αποκτήσει ένα προϊόν που θα του ταιριάζει απόλυτα; Χαρακτηριστικό παράδειγμα αποτελεί η Nokia η οποία διαθέτει το βασικό σχέδιο μιας θήκης για συγκεκριμένο μοντέλο κινητού της, δίνοντας το δικαίωμα στον χρήστη να το τροποποιήσει σύμφωνα με το γούστο του.

Τέτοιες προσπάθειες δεν στοχεύουν αποκλειστικά στην διαφημιστική προώθηση συγκεκριμένων προϊόντων και την αύξηση της κερδοφορίας ή του ενδιαφέροντος του καταναλωτικού κοινού για μια εταιρεία, αλλά είναι ιδιαίτερα χρηστικές εφόσον μπορεί να εφαρμοστούν για την επίλυση πιο εξειδικευμένων ζητημάτων, όπως είναι η παραγωγή ακουστικών τα οποία εφαρμόζουν απόλυτα στο αυτί του χρήστη, σε κράνη τα οποία έχουν ακριβώς το σχήμα του κρανίου του αγοραστή τους, σε ειδικά παπούτσια τα οποία θα έχουν διαμορφωθεί ύστερα από μετρήσεις στα πέλματα του πελάτη και όχι μόνο.

2. Πολυπλοκότητα

Όπως έχουμε ήδη αναφέρει, η τρισδιάστατη εκτύπωση λόγω της φύσης της και του τρόπου με τον οποίο λειτουργεί (διαδοχική δημιουργία επιπέδων- layering), δίνει την δυνατότητα να παραχθούν περίπλοκες εσωτερικές δομές οι οποίες είτε θα δημιουργούνται με πολύ μεγάλη δυσκολία με τις συμβατικές μεθόδους κατεργασίας (μορφοποιημένα ή χυτά μέρη -molded or casted parts) είτε θα ήταν αδύνατον να κατασκευαστούν. Στις περιπτώσεις που η αντοχή στο βάρος δεν παίζει ρόλο, με την τρισδιάστατη εκτύπωση μπορεί κανείς να πετύχει μέχρι και δομές με πάρα πολύ λεπτά τοιχώματα, ακόμα και κενά σημεία. Όταν, όμως, ενδιαφέρει η αντοχή όπως π.χ. στην

περίπτωση αμαξωμάτων, τότε μπορεί να επιλεγεί μερικό γέμισμα με εσωτερικά κενά κυψελίδων ή και άλλων γεωμετριών που θα δούμε παρακάτω, έτσι ώστε να ταυτόχρονα να επιτυγχάνεται η επιθυμητή αντοχή χωρίς όμως να έχουμε απαραίτητα αύξηση βάρους. Τέλος, μέσω της τρισδιάστατης εκτύπωσης, έχουμε πλέον την δυνατότητα να μιμούμαστε δομές της φύσης, όπως για παράδειγμα την ανατομία των πουλιών με αποτέλεσμα να δημιουργούνται, μ' αυτόν τον τρόπο, νέες δυνατότητες εξέλιξης σε πολλούς άλλους τομείς, όπως εν προκειμένω, της αεροναυπηγικής, οι οποίες συμβατικά δεν θα μπορούσαν να επιτευχθούν.

Αν αναλογιστεί κανείς ότι αυτή η τεχνολογία ήδη- σε πειραματικό στάδιο- εκτυπώνει τρισδιάστατα σπίτια, είναι πρόδηλο ότι πιθανόν θα επηρεαστούν και οι λοιπές σχετιζόμενες επιχειρήσεις είτε βιομηχανικές είτε παροχής υπηρεσιών. Στο μέλλον, ίσως, οι εταιρείες μετακομίσεων να καταστούν περιττές, αφού θα υπάρχει η δυνατότητα να δημιουργηθεί από την αρχή όχι μόνο ένα σπίτι αλλά και ο συνολικός εξοπλισμός του χωρίς να χρειάζεται κανείς να μεταφέρει τίποτα περισσότερο από τα προσωπικά του αντικείμενα, αφού όλα τα άλλα θα δύνανται να εκτυπωθούν από την αρχή και να τοποθετηθούν στα σημεία που επιθυμεί και ακριβώς όπως τα επιθυμεί. Επιπλέον, η ίδια εταιρεία που θα δημιουργεί το νέο σπίτι από την αρχή, θα έχει την δυνατότητα να χρησιμοποιεί όλα τα υλικά που υπήρχαν στο παλιό σπίτι, καταλήγοντας έτσι σε μια μορφή πλήρους «ανακύκλωσης».

3. Βιωσιμότητα – μείωση απορριμμάτων

Έχοντας την δυνατότητα να ελέγξει κάποιος την αντοχή αλλά και την ελαστικότητα στα διάφορα σημεία ενός αντικειμένου, μπορεί να δημιουργήσει αντικείμενα με μικρότερο βάρος, οδηγώντας έτσι στην εξοικονόμηση καυσίμων. Χαρακτηριστικό παράδειγμα αποτελεί μια ζώνη ασφαλείας σε αεροσκάφη, μειώνοντας το βάρος της οποίας μπορούν να εξοικονομηθούν πολλές χιλιάδες λίτρα καυσίμων καθ' όλη την διάρκεια των πτήσεων του αεροσκάφους. Επίσης, με το να μπορεί να ελέγχεται το πού ακριβώς θα τοποθετηθεί το υλικό και να μην υπάρχει άσκοπη τοποθέτηση και κατά συνέπεια φύρα, η τρισδιάστατη εκτύπωση μπορεί να μειώσει σημαντικά την ποσότητα υλικού που καταλήγει άχρηστο στα σκουπίδια από διαδικασίες πρόσθετης επεξεργασίας, οδηγώντας σε εξοικονόμηση χρημάτων και αποθεμάτων υλικού.

Για τις διαδικασίες Προσθετικής Κατασκευής, μπορούν να χρησιμοποιηθούν μια σειρά υλικών, τα οποία θα αναλυθούν αργότερα μαζί με τα είδη τρισδιάστατης εκτύπωσης που τα χρησιμοποιούν. Ωστόσο είναι σημαντικό να αναφερθεί ότι ακόμα και στην πιο απλή μορφή τρισδιάστατης εκτύπωσης, η οποία χρησιμοποιεί διάφορα είδη πλαστικών σαν βάση, υπάρχουν αρκετές επιλογές, κάποιες χημικές και σε ένα βαθμό πιο τοξικές για το περιβάλλον και άλλες πλήρως φυτικής προέλευσης, έτσι ώστε να διαλέξει ο χρήστης ανάλογα με το τι ζητάει.

4. Προγραμματισμένη απόσυρση και Ανακύκλωση

Είθισται οι κατασκευαστές πληθώρας ειδών , να κυκλοφορούν στην αγορά νέα μοντέλα ανά τακτά διαστήματα με συνέπεια ο καταναλωτής να ωθείται έμμεσα ή άμεσα στην αγορά τους , επιλογή που πιθανόν να επιβάλλεται ενόψει της παράλληλης έλλειψης ανταλλακτικών σε σχέση με παλαιότερα μοντέλα (εφεξής η «Προγραμματισμένη Απόσυρση»).

Με την χρήση τρισδιάστατων εκτυπωτών, οι συνέπειες εκ της στρατηγικής της Προγραμματισμένης Απόσυρσης των εταιρειών (π.χ. η έλλειψη ανταλλακτικών) θα περιορίζονται, ενώ επιδιορθώσεις που θα ήταν πρακτικά αδύνατες θα καθίστανται εφικτές.. Ο κωμικός Jay Leno για παράδειγμα, ο οποίος είναι συλλέκτης παλιών αμαξιών, χρησιμοποιεί τρισδιάστατους εκτυπωτές για να επιδιορθώσει τα ξεπερασμένα αυτοκίνητα ατμού που διαθέτει, ακόμα και αν τα ανταλλακτικά τους έχουν εκλείψει εδώ και σχεδόν έναν αιώνα. Είναι σαφές λοιπόν ότι με την χρήση αυτής της τεχνολογίας, οι κατασκευαστές ίσως αναγκασθούν να εγκαταλείψουν την υιοθετούμενη ευρέως επί του παρόντος λογική της Προγραμματισμένης Απόσυρσης , ούτε θα χρειάζεται καν να κρατούν αρχείο από παλαιότερα αντικείμενα – ανταλλακτικά, στο πλαίσιο της δυνατότητας της εκ νέου εκτύπωσής τους. Έτσι, για παράδειγμα, αν χαλάσει ένα πλυντήριο ρούχων, δεν θα χρειάζεται η ολοκληρωτική αντικατάστασή του, αλλά θα είναι δυνατή η εκτύπωση ανταλλακτικού στην τοπική κοινότητα, με πολύ μικρότερο κόστος επισκευής και ελάχιστη επίπτωση στο περιβάλλον.

Καταργώντας την Προγραμματισμένη Απόσυρση, χωρίς δηλ. να έρχονται νέα μοντέλα κάθε σεζόν, μπορεί να μειωθεί η βασική παραγωγή αγαθών σε ορισμένους τομείς, καθώς επίσης μπορεί να μειωθεί η ατελείωτη συσσώρευση χρέους καταναλωτών προκειμένου να συμβαδίζει με τον κύκλο της αγοράς.

Επιπλέον, οι τρισδιάστατοι εκτυπωτές επωφελούνται από τις βιώσιμες κατασκευαστικές μεθόδους και επιτρέπουν στους κατασκευαστές να επαναχρησιμοποιήσουν υπάρχοντα υλικά και μέρη, με προσωποποιημένα και προσαρμόσιμα χαρακτηριστικά έτσι ώστε να διατηρηθεί το ενδιαφέρον των καταναλωτών. Αυτό –εκτός των άλλων- μπορεί να επηρεάσει τον κύκλο των επενδύσεων για ακριβά προϊόντα.

5. Οικονομική προσέγγιση παραγωγής

Μέσα από την τρισδιάστατη παραγωγή είναι εφικτή η παραγωγή εξατομικευμένων προϊόντων με το ίδιο κόστος που θα είχε αν ήταν μαζική. Η λογική που μέχρι τώρα ισχύει στην παραγωγή αναφορικά με την αύξηση των παραγομένων αντικειμένων ώστε να επιτευχθεί ανάλογη μείωση της τιμής, παύει να έχει εφαρμογή. Ακόμα, συνήθως πρακτική των βιομηχανιών είναι να μεταφέρουν τα εργοστάσια σε χώρες όπου τα υρομίσθια είναι χαμηλά αλλά και οι νόμοι που αφορούν την παραγωγή και τα μέτρα

ασφαλείας είναι πιο ελαστικοί, με σκοπό την μείωση του κόστους κατ' αντικείμενο (per item), κάτι το οποίο καθίσταται περιττό στην τρισδιάστατη παραγωγή.

1.4. | Μειονεκτήματα τρισδιάστατης εκτύπωσης

Όπως όλα τα πράγματα, έτσι και οι τρισδιάστατοι εκτυπωτές φυσικά δεν θα μπορούσαν παρά να έχουν και αντίστοιχα μειονεκτήματα.

Τα πιο σημαντικά από αυτά είναι τα ακόλουθα:

1. Υλικά τρισδιάστατων εκτυπωτών
2. Μέγεθος παραγόμενων προϊόντων
3. Σχεδιαστικοί περιορισμοί
4. Ταχύτητα παραγωγής

Αναλυτικότερα:

1. Υλικά τρισδιάστατων εκτυπωτών

Παρότι υπάρχει μια ολοένα και αυξανόμενη ποικιλία υλικών προς χρήση στα διάφορα είδη τρισδιάστατων εκτυπωτών που υπάρχουν, οι επιλογές παραμένουν περιορισμένες. Συμβατικά πάντα έχεις τη δυνατότητα να δουλέψεις με περισσότερα υλικά απ' ότι με τα διαθέσιμα για τους τρισδιάστατους εκτυπωτές. Όσο και να εξελιχθεί η τεχνολογία σε αυτό το κομμάτι πάντα θα υπάρχουν υλικά τα οποία δεν θα μπορούν να αναπαραχθούν πιστά για να χρησιμοποιηθούν γι' αυτόν τον τρόπο παραγωγής. Για παράδειγμα, ενώ έχουν δημιουργηθεί διαθέσιμα νήματα (filament) που προσομοιάζουν στο ξύλο, στην πραγματικότητα ποτέ δεν θα μπορέσει να παραχθεί κάτι εξ' ολοκλήρου ξύλινο με αυτή την τεχνολογία αφού δεν είναι δυνατόν λόγω της δομής του να χρησιμοποιηθεί ατόφιο. Στο μέλλον βέβαια όλα μπορούν να αλλάξουν και να εξελιχθούν προς το καλύτερο, με χαρακτηριστικότερο παράδειγμα αυτό της εκτύπωσης ολόκληρων ιστών και οργάνων.

2. Μέγεθος παραγόμενων προϊόντων

Είναι γεγονός ότι μέχρι στιγμής, οι οικιακής χρήσης τρισδιάστατοι εκτυπωτές έχουν ένα συγκεκριμένο μέγεθος ανάλογα με το είδος τους, το οποίο αντικειμενικά είναι αρκετά περιορισμένο και αντίστοιχα οι βιομηχανικής χρήσης τρισδιάστατοι εκτυπωτές, παρ' ότι σαφέστερα έχουν μεγαλύτερο μέγεθος χώρου εκτύπωσης, πάντα δημιουργούνται περιορισμοί στο μέγεθος του παραγόμενου προϊόντος. Σίγουρα υπάρχουν σχεδιαστικές λύσεις που μπορούν να βοηθήσουν σε έναν βαθμό π.χ. Σχεδίαση για συναρμολόγηση (Design for Assembly) ωστόσο λογικό είναι να υπάρχει πάντα ένας περιορισμός στην κλίμακα των προϊόντων που παράγονται. Ακόμα και οι τρισδιάστατοι εκτυπωτές που «χτίζουν» σπίτια, έχουν περιορισμούς στο μέγεθος μέχρι

στιγμής. Ίσως στο μέλλον βρεθούν τρόποι αντιμετώπισης που θα βοηθήσουν στην παραγωγή αντικειμένων μεγάλης κλίμακας με μία μόνο εκτύπωση, αλλά ακόμα και τότε σίγουρα θα υπάρχουν περιορισμοί.

3. Σχεδιαστικοί περιορισμοί

Σχεδιάζοντας ένα τρισδιάστατο μοντέλο, θα πρέπει να λαμβάνονται υπόψιν α) οι διαστάσεις του εκτυπωτή β) τα περιορισμένα υλικά που μπορούν να χρησιμοποιηθούν και γ) η σχεδίαση καθ' αυτή, η οποία πρέπει να είναι συμβατή με την δεδομένη δυνατότητα εκτύπωσης. . Εν προκειμένω , ανάλογα με το τι θέλει να κατασκευάσει κανείς, πρέπει να φροντίζει να χρησιμοποιεί τις κατάλληλες μεθόδους σχεδίασης και τα κατάλληλα υλικά ενώ σημαντική παράμετρο αποτελεί η εμπειρία στην σχεδίαση. Για παράδειγμα στην σχεδίαση, πρέπει να λαμβάνεται υπόψη η χρήση στηριγμάτων ώστε να βρίσκονται σε σημεία που μπορούν να αφαιρεθούν εύκολα και χωρίς να δημιουργήσουν πρόβλημα (κοκκίωση) στο εκτυπωμένο προϊόν.

4. Ταχύτητα παραγωγής

Σε πρώτη ανάγνωση η τρισδιάστατη εκτύπωση, φαντάζει ιδιαίτερα αργή . Χαρακτηριστικό παράδειγμα αποτελεί το κλασικό test print για να ελέγξει κανείς τον εκτυπωτή του, που αφορά την εκτύπωση ενός μικρού πλαστικού κύβου με πλευρά 20mm, για την οποία χρειάζονται περίπου 20 λεπτά . Τα περισσότερα αντικείμενα που προβάλλονται στο Internet δείχνουν εκπληκτικά, αποτελούνται όμως από πολλά μικρότερα κομμάτια τα οποία χρειάζονται χρόνο τόσο για να σχεδιαστούν, όσο και για να εκτυπωθούν, θεωρώντας πάντα ότι όλα θα πάνε καλά από την πρώτη εκτύπωση. Το πλεονέκτημα της Προσθετικής Κατασκευής είναι ότι σύνθετες γεωμετρίες που θα κατασκευάζονταν με μεγάλη δυσκολία με τις συμβατικές μεθόδους κατεργασίας, εκτυπώνονται στον ίδιο χρόνο που χρειάζεται να εκτυπωθεί το τρισδιάστατο μοντέλο και χωρίς τις λεπτομέρειες αυτές. Αυτό, στην συγκεκριμένη περίπτωση, την καθιστά γρηγορότερη από τις συμβατικές μεθόδους, όχι όμως πραγματικά γρήγορη .

1.5. | Συγκριτικός πίνακας τρισδιάστατης εκτύπωσης και παραδοσιακής κατασκευής (Πότε επιλέγουμε ποια μέθοδο)

Η τρισδιάστατη εκτύπωση προτιμάται σε περιπτώσεις:

1. Μικρής κλίμακας παραγωγή
2. Πρωτοτυποποίηση
3. Ανάγκης για προσαρμογή και διαμόρφωση
4. Δημιουργίας πολύπλοκων σχημάτων

Ακόμα, προτιμάται όταν έχουμε ανάγκη από:

1. Ταχύτητα μέχρι το λανσάρισμα στην αγορά
2. Μείωση φύρας

Καθώς επίσης και όταν το στοιχείο του ρίσκου του εγχειρήματος είναι σημαντικό και άρα πρέπει να ελεγχθεί το προϊόν, σε σύντομο χρονικό διάστημα πριν βγει στην παραγωγή.

Από την άλλη, οι συμβατικές μέθοδοι κατασκευής προτιμούνται σε περιπτώσεις:

1. Μεγάλης κλίμακας παραγωγή
2. Ανάγκης τέλειου φινιρίσματος και
3. Παραγωγής μεγάλου μεγέθους κομματιών.

Φυσικά, οι συμβατικές μέθοδοι έρχονται να καλύψουν και τα κενά που δημιουργούνται στην τρισδιάστατη εκτύπωση λόγω του περιορισμού των διαθέσιμων υλικών.

Είναι σαφές λοιπόν ότι η τρισδιάστατη εκτύπωση δεν έχει έρθει για να αντικαταστήσει συμβατικές μεθόδους παραγωγής, αλλά περισσότερο να τις συμπληρώσει και να τις εξελίξει. Δεν διαφαίνεται καμία πιθανότητα στο κοντινό μέλλον να τις εξαφανίσει εντελώς.

ΚΕΦΑΛΑΙΟ 2

2.1. | Ιστορική Αναδρομή

Πατέρας του 3D Printing θεωρείται ο Chuck (Charles) Hull, ο άνθρωπος ο οποίος το 1983 εφηύρε την στερεολιθογραφία (stereolithography), ίδρυσε και μέχρι σήμερα διοικεί την εταιρεία 3D Systems. Από την λέξη αυτή (σε συντομογραφία STL) προέκυψε και η ονομασία STL του βασικού αρχείου που περιέχει το τρισδιάστατο αντικείμενο, η οποία χρησιμοποιείται μέχρι και σήμερα.

Εκείνη την περίοδο, ο Hull, δούλευε με φωτοπολυμερή, δηλ. πολυμερή υλικά τα οποία άλλαζαν σύσταση όταν έπεφτε πάνω τους υπεριώδες φως (UV-Ultraviolet light) και από υγρά στερεοποιούνταν. Έτσι λοιπόν σκέφτηκε πως αν μπορούσε να τοποθετήσει χιλιάδες λεπτά στρώματα πλαστικού το ένα πάνω από το άλλο και στη συνέχεια να χαράξει το σχήμα τους, χρησιμοποιώντας το φως, τότε θα ήταν σε θέση να σχηματίσει τρισδιάστατα αντικείμενα. Μετά από ένα χρόνο πειραματισμού με τις ιδέες αυτές, ανέπτυξε ένα σύστημα όπου μια συμπυκνωμένη ακτίνα υπεριώδους φωτός, κινούμενη υπό τον έλεγχο ενός υπολογιστή, «χτυπά» την επιφάνεια ενός κάδου γεμάτου με υγρό φωτοπολυμερές (ρητίνη) και όπου «χτυπά» το υγρό αυτό μετατρέπεται σε ένα τύπο πλαστικού σε σταθερή μορφή. Το μηχάνημα αυτό θα ονομαστεί αργότερα SLA (Stereolithography Apparatus-Συσκευή Στερεολιθογραφίας) και θα αποτελέσει τον πρώτο τρισδιάστατο εκτυπωτή που κατασκευάστηκε ποτέ. Έτσι το 1986 κατοχυρώθηκε για πρώτη φορά σε πατέντα η στερεολιθογραφία, αφού ο ίδιος συνειδητοποίησε ότι οποιοδήποτε υλικό έχει την ικανότητα να αλλάζει την σύστασή του (ικανό προς στερεοποίηση), θα μπορούσε να χρησιμοποιηθεί για τον σκοπό αυτό.

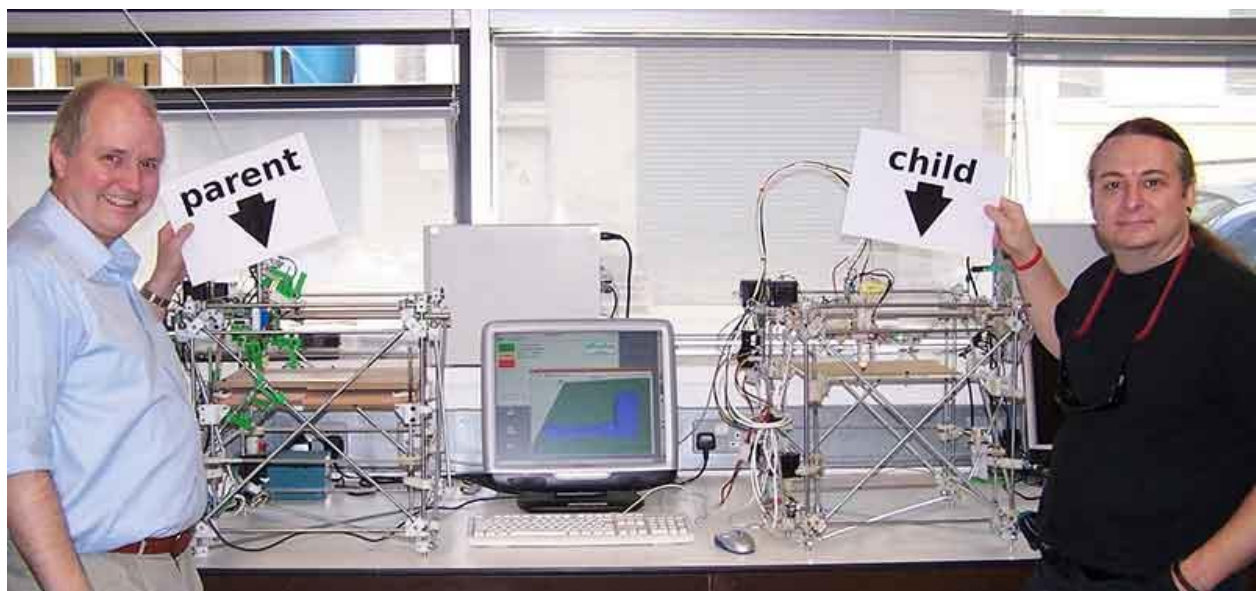
Το 1987, ο Carl Deckard, ο οποίος εργάζεται στο Πανεπιστήμιο του Τέξας, κατέθεσε αίτηση διπλώματος ευρεσιτεχνίας στις ΗΠΑ για την επιλεκτική διαδικασία ταχείας πρωτοτυποποίησης Laser Sintering (SLS). Αυτό το δίπλωμα ευρεσιτεχνίας εκδόθηκε το 1989 και η SLS στη συνέχεια παραχωρήθηκε στην εταιρία DTM Inc., η οποία εξαγοράστηκε αργότερα από την 3D Systems. Μελλοντικά η εταιρεία 3D Systems κατοχύρωσε και άλλες πατέντες που αφορούν μεθόδους τρισδιάστατης εκτύπωσης.

Σημαντική προσωπικότητα στην βιομηχανία τρισδιάστατης εκτύπωσης αποτελεί και ο Scott Crump (Steven Scott Crump), συνιδρυτής της Stratasys, ο οποίος κατέθεσε αίτηση διπλώματος ευρεσιτεχνίας για την τεχνολογία FDM, η οποία θα αναλυθεί αργότερα, αποκλειστική τεχνολογία που εξακολουθεί να κατέχεται από την εταιρία σήμερα, αλλά είναι επίσης και η διαδικασία που χρησιμοποιείται από πολλές μηχανές entry-level, με βάση το μοντέλο RepRap ανοιχτού κώδικα, που είναι ευρέως διαδεδομένη σήμερα. Το δίπλωμα ευρεσιτεχνίας FDM εκδόθηκε για τη Stratasys το 1992.

Η Ευρώπη, το 1989 είδε επίσης το σχηματισμό της EOS GmbH στη Γερμανία, που ιδρύθηκε από τον Hans Langer αναπτύσσοντας τη διαδικασία LS. Σήμερα, τα συστήματα EOS αναγνωρίζονται σε όλο τον κόσμο για την ποιότητα της παραγωγής τους για την κατασκευή βιομηχανικών πρωτοτύπων και την παραγωγή εφαρμογές 3D εκτύπωσης. Η EOS πούλησε το πρώτο σύστημα "Stereos" το 1990. Η διαδικασία direct metal laser sintering (DMLS) της εταιρείας προέκυψε από ένα έργο της EOS με ένα τμήμα της Electrolux, η οποία αργότερα αποκτήθηκε από την EOS.

Ο Dr. Adrian Bowyer, το 2005 κατασκεύασε τον πρώτο 3D εκτυπωτή, ο οποίος ήταν σε θέση να αναπαράγει μόνος του τα κομμάτια από τα οποία αποτελείτο, και άρα να αναπαράγει τον εαυτό του. Το πρώτο μοντέλο που δημιουργήθηκε ονομάζεται Darwin – Δαρβίνος και μπορούσε να αναπαράγει περισσότερο από το 50% του εαυτού του.

Το 2007 όμως, ήταν η χρονιά που σηματοδότησε το σημείο καμπής για την προσβάσιμη τεχνολογία της 3D εκτύπωσης όταν το RepRap φαινόμενο άρχισε να αποκτά προβολή μέσω του open source κινήματος της τρισδιάστατης εκτύπωσης.



ΚΕΦΑΛΑΙΟ 3

3.1. | Βασικοί τρόποι τρισδιάστατης εκτύπωσης

Αρχικά, πρέπει να κατανοήσουμε ότι για να μπορέσει ένας τρισδιάστατος εκτυπωτής να «μεταφράσει» το τρισδιάστατο σχέδιο έτσι ώστε να το εκτυπώσει, χρειάζεται να γνωρίζει ανά πάσα στιγμή την θέση στην οποία πρέπει να βρίσκονται η κεφαλή και η επιφάνεια εκτύπωσής του (bed). Για τον λόγο αυτό απαιτούνται οι ακριβείς και μοναδικές συντεταγμένες κάθε σημείου του αντικειμένου. Αυτό επιτυγχάνεται με χρήση G-Code, δηλ. Κώδικα μηχανής. Θα μπορούσαμε να πούμε ότι ο G-Code είναι η γλώσσα προγραμματισμού που αναγνωρίζει ένα μηχάνημα και η απαιτούμενη «μετάφραση» γίνεται με χρήση κατάλληλων προγραμμάτων στον υπολογιστή τα οποία είναι αυτά που ευθύνονται για το slicing, δηλ. την διαδικασία «τεμαχισμού» του τρισδιάστατου αντικειμένου στα διάφορα επίπεδα και την εξαγωγή των αρχείων G-Code που αναγνωρίζει ένας εκτυπωτής.

Κάποιοι εκτυπωτές δουλεύουν κατά μήκος μιας επιφάνειας η οποία ονομάζεται build plate – επιφάνεια εκτύπωσης, ενώ άλλοι δημιουργούν τα αντικείμενα πάνω σε διαδοχικές λωρίδες κοκκώδους υλικού.

Τα συνηθέστερα υλικά είναι τα ακόλουθα:

Φωτοπολυμερή (Photopolymers)

Κοκκώδη (Granulation)

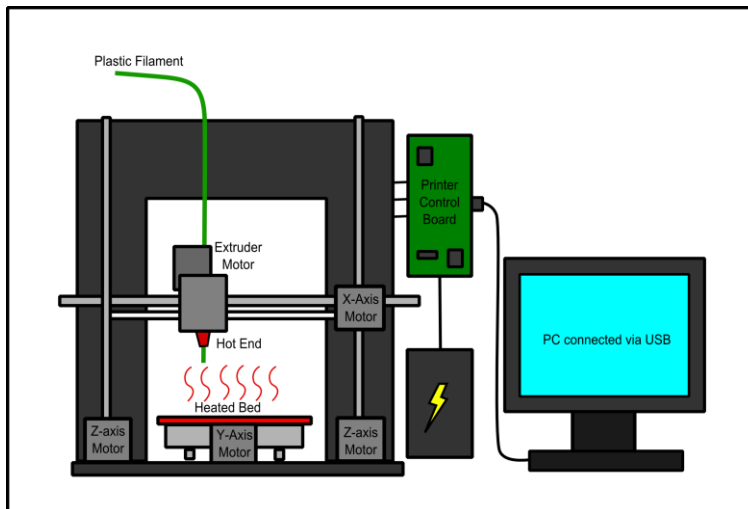
Λεπτά ελάσματα (Lamination)

Συντηγμένη Μοντελοποίηση Εναπόθεσης (FDM)

3.2. | Τεχνολογίες τρισδιάστατης εκτύπωσης

Οι πιο γνωστές τεχνολογίες τρισδιάστατης εκτύπωσης είναι οι ακόλουθες:

1. Εξώθηση υλικού (Material Extrusion)
Χρησιμοποιείται από εκτυπωτές τύπου FDM.
FDM = Fused Deposition Modelling



Σε αυτό το είδος τρισδιάστατης εκτύπωσης έχουμε ένα καρούλι από πλαστικό υλικό, το οποίο λιώνει και εξωθείται από μια μεταλλική μύτη (nozzle) και με διαδοχικές στρώσεις κατασκευάζει το τελικό προϊόν.

Η τεχνολογία FDM συχνά αναφέρεται και ως FFF = Fused Filament Fabrication, είναι η πιο γνωστή τεχνολογία τρισδιάστατης εκτύπωσης. Οι FDM κατασκευάζουν αντικείμενα χρησιμοποιώντας

νήματα στερεού θερμοπλαστικού υλικού. Το νήμα εξωθείται από την μύτη της κεφαλής εξώθησης, όπου λιώνει. Ο εκτυπωτής μετακινεί διαρκώς την μύτη στον χώρο, αφήνοντας λιωμένο υλικό σε συγκεκριμένες θέσεις ακολουθώντας την προδιαγεγραμμένη διαδρομή. Μόλις παγώσει το υλικό, στερεοποιείται, κατασκευάζοντας το υλικό επίπεδο – επίπεδο.

Εφαρμογή:

Η εξώθηση πλαστικού είναι γρήγορη και οικονομική μέθοδος για να παράγει κανείς πλαστικά πρωτότυπα. Τα βιομηχανικά FDM συστήματα επίσης παράγουν λειτουργικά πρωτότυπα από μηχανολογικά υλικά. Η τεχνολογία FDM έχει κάποιους περιορισμούς σε σχέση με την διαστασιολογική ακρίβεια και είναι ανισότροπη.

Τεχνολογία	Κατασκευαστές	Υλικά που χρησιμοποιεί
FDM	Stratasys, Ultimaker, MakerBot, Markforged	ABS, PLA, Nylon, PC, fiber-reinforced Nylon, ULTEM, exotic filaments (wood-filled, metal-filled etc)

2. Vat Polymerization

Χρησιμοποιείται από εκτυπωτές τύπου SLA, DLP, CDLP.

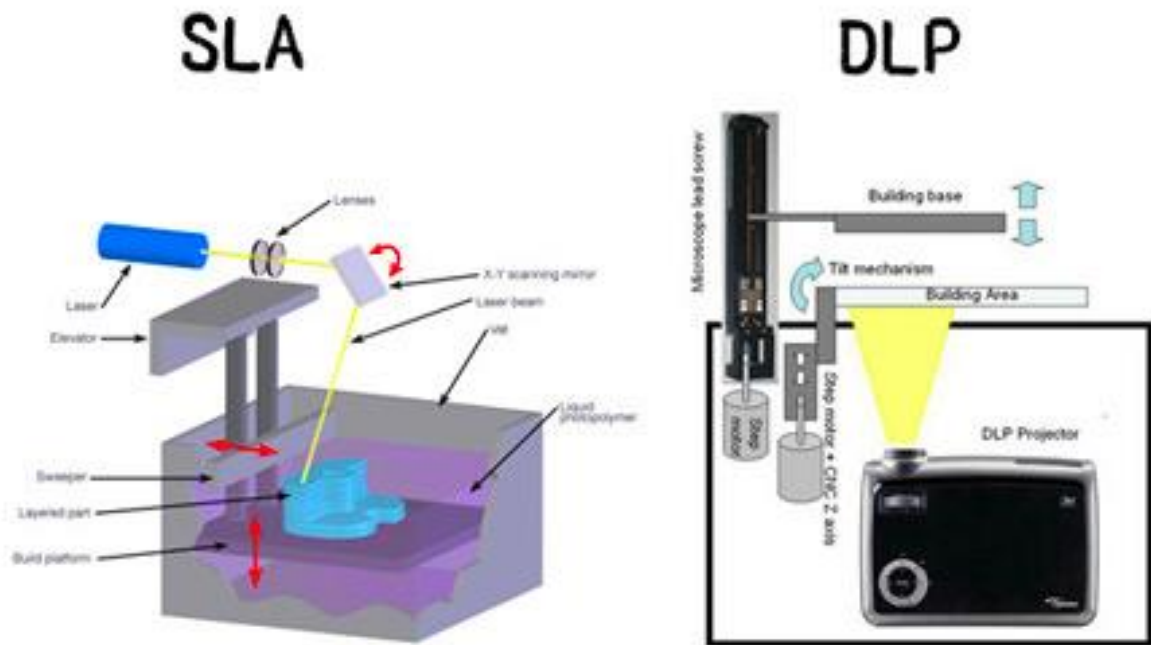
SLA = Stereolithography Apparatus

DLP = Direct Light Processing

CDLP = Continuous DLP

Η **στερεολιθογραφία – SLA** χρησιμοποιεί μια δέσμη UV φωτός για να μετατρέψει υγρά φωτοπολυμερή πλαστικά σε στερεή μορφή. Η διαδικασία επιτυγχάνεται με μια

κινούμενη πλατφόρμα-βάση η οποία βρίσκεται πάνω σε μια λεκάνη γεμάτη με το φωτοπολυμερές υλικό-ρητίνη. Η πλατφόρμα βυθίζεται μέσα στο υλικό τόσο όσο χρειάζεται για να δημιουργήσει μια λεπτή στρώση υγρού. Τότε το laser χτυπάει στοχευμένα τα σημεία που πρέπει για να δημιουργήσει το πρώτο επίπεδο του αντικειμένου. Στη συνέχεια η πλατφόρμα ξαναβυθίζεται, αφήνοντας περισσότερο υγρό να καλύψει το πρώτο επίπεδο και με τη σειρά του δημιουργείται το δεύτερο. Κάθε επίπεδο πρέπει να συνδέεται άμεσα με το προηγούμενο ή να χρησιμοποιεί κατάλληλα στηρίγματα (supports) έτσι ώστε να μην καταλήξει το αντικείμενο να επιπλέει καθώς τα νέα επίπεδα προστίθενται.



Η τεχνολογία **DLP** ακολουθεί μια μέθοδο όμοια με αυτή της SLA. Η βασική διαφορά είναι ότι στην DLP χρησιμοποιείται μια οθόνη ψηφιακού προτζέκτορα, ώστε να προβάλλει όχι απλά μια δέσμη φωτός, αλλά ένα ολόκληρο επίπεδο με την μια κατά μήκος της βάσης του χώρου εκτύπωσης. Η DLP επιτυγχάνει να τυπώνει γρηγορότερα σε σχέση με την SLA.

Τέλος, η **συνεχόμενη DLP – CDLP** (γνωστή και ως CLIP – Continuous Liquid Interface Production), παράγει αντικείμενα ακριβώς όπως η DLP. Έχει όμως μια επιπλέον συνεχόμενη κίνηση του τραπέζιου εκτύπωσης στον άξονα Z (προς τα πάνω). Αυτό οδηγεί σε ακόμα γρηγορότερους χρόνους εκτύπωσης, αφού δεν χρειάζεται να σταματάει η εκτύπωση σε κάθε επίπεδο.

Εφαρμογή:

Η μέθοδος της στερεολιθογραφίας προτιμάται όταν το προς κατασκευή αντικείμενο έχει πολλές λεπτομέρειες και πρέπει να είναι υψηλής ανάλυσης. Είναι ιδανική για κατασκευή κοσμημάτων και ιατρικές και οδοντιατρικές εφαρμογές.

Ωστόσο, τα υλικά που χρησιμοποιεί περιορίζονται μόνο σε αυτά που μπορούν να επηρεαστούν από την συγκεντρωμένη ακτίνα και τα τελικά προϊόντα είναι αρκετά εύθραυστα.

Τεχνολογία	Κατασκευαστές	Υλικά που χρησιμοποιεί
SLA	Formlabs, 3D Systems, DWS	Standard, tough, flexible, transparent, & castable resins
DLP	B9 Creator, MoonRay	Standard & castable resins
CDLP	Carbon3D, EnvisionTEC	Standard, tough, flexible, transparent, & castable resins

3. Powder Bed Fusion (Polymers)

Χρησιμοποιείται από εκτυπωτές τύπου SLS.

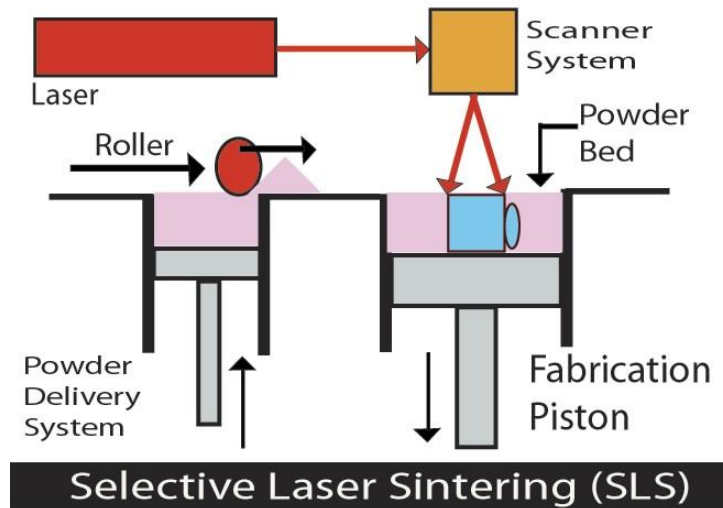
SLS = Selective Laser Sintering

Οι τεχνολογίες Powder Bed Fusion – PBF παράγουν στερεά αντικείμενα χρησιμοποιώντας μια θερμική πηγή, η οποία προκαλεί σύντηξη (πυροσυσσωμάτωση ή τήξη) ανάμεσα στα μόρια πούδρας – σκόνης πλαστικών ή μετάλλων από επίπεδο σε επίπεδο.

Οι περισσότερες τεχνολογίες PBF χρησιμοποιούν μηχανισμούς, ώστε να απλώνουν λεπτές στρώσεις πούδρας σε κάθε επίπεδο, με αποτέλεσμα στο τέλος να υπάρχει μεγάλο περίσσειμα υλικού για καθάρισμα.

Οι βασική διαφοροποίηση που υπάρχει ανάμεσα στις τεχνολογίες PBF αφορά τις διαφορετικές πηγές ενέργειας που χρησιμοποιούνται (πχ laser ή ηλεκτρονίων) και τα διαφορετικά υλικά που χρησιμοποιούνται στην διαδικασία (πούδρα πλαστικών ή μετάλλων).

Με την SLS παράγονται στερεά πλαστικά αντικείμενα χρησιμοποιώντας ακτίνες laser για την ενοποίηση των λεπτών επιπέδων της πούδρας ανά επίπεδο. Η διαδικασία ξεκινάει με την κεφαλή να απλώνει μια αρχική στρώση υλικού πάνω στο τραπέζι εκτύπωσης. Η τομή του αντικειμένου σκανάρεται και έχουμε τήξη με laser ώστε να στερεοποιηθεί. Στη συνέχεια το τραπέζι εκτύπωσης κατεβαίνει σε πάχος ενός επιπέδου και το νέο στρώμα πούδρας απλώνεται. Η διαδικασία επαναλαμβάνεται μέχρι να παραχθεί το τελικό αντικείμενο, το οποίο βρίσκεται περιτριγυρισμένο από τα υπολείμματα πούδρας που δεν στερεοποιήθηκε. Χρειάζεται, λοιπόν, καθαρισμό πριν από οποιαδήποτε περαιτέρω επεξεργασία.



4. Powder Bed Fusion (Metals)

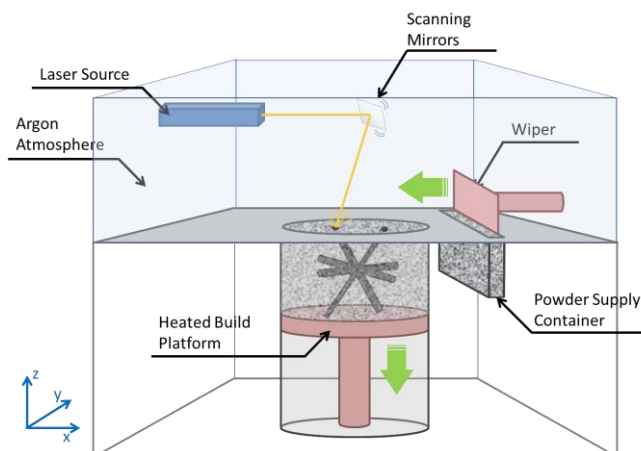
Χρησιμοποιείται από εκτυπωτές τύπου SLM, DMLS, EBM, MJF.

SLM = Selective Laser Melting

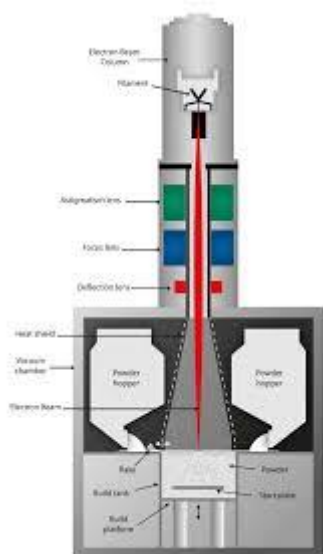
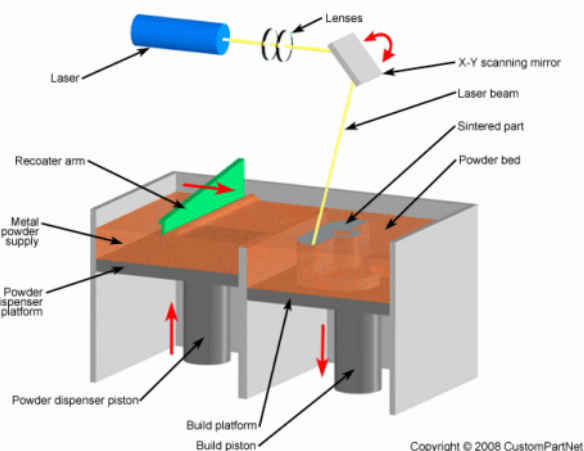
DMLS = Direct Metal Laser Sintering

EBM = Electron Beam Melting

MJF = Multi Jet Fusion



Και η SLM και η DMLS τεχνολογίες οδηγούν στην παραγωγή αντικειμένων με όμοια διαδικασία με αυτή των SLS. Η βασική διαφορά είναι ότι στις δύο αυτές έχουμε σαν πρώτη ύλη μέταλλα. Οι εκτυπωτές τύπου SLM επιτυγχάνουν ολική τήξη της μεταλλικής πούδρας, ενώ οι DMLS θερμαίνουν την πούδρα σε θερμοκρασίες κοντά στο σημείο τήξης τους μέχρι να ενοποιηθούν χημικά. Οι DMLS χρησιμοποιούν μόνο κράματα (νικελίου, τιτανίου κλπ), ενώ οι SLM μπορούν να χρησιμοποιήσουν κανονικά μέταλλα, όπως αλουμίνιο. Αντίθετα με την SLS, οι SLM και DMLS χρειάζονται στηρίγματα για να ανταπεξέλθουν στις υψηλές υπολειμματικές τάσεις που δημιουργούνται κατά την διαδικασία της εκτύπωσης. Τα supports βοηθούν στο να μειωθεί ο κίνδυνος για warping και οποιαδήποτε άλλη παραμόρφωση. Η DMLS είναι η κυριότερη προσθετική κατασκευαστική διαδικασία που χρησιμοποιείται για μέταλλα.



Από την άλλη, η τεχνολογία EBM χρησιμοποιεί μια δέσμη υψηλής ενέργειας αντί για laser για να πετύχει την σύντηξη μεταξύ των μορίων των μετάλλων. Μια εστιασμένη δέσμη ηλεκτρονίων περνάει πάνω από μια λεπτή στρώση πούδρας προκαλώντας τοπικό λιώσιμο και στερεοποίηση μιας συγκεκριμένης επιφάνειας τομής. Τα συστήματα με δέσμη ηλεκτρονίων παράγουν κομμάτια με μικρότερη υπολειμματική τάση κι έτσι δεν υπάρχει τόσο μεγάλη παραμόρφωση και χρειάζονται λιγότερα anchors και supports. Επιπλέον, με την EBM χρησιμοποιείται λιγότερη ενέργεια και η εκτύπωση είναι γρηγορότερη σε σχέση με την SLM και την DMLS, αλλά το μέγεθος κόκκων της πούδρας, το ελάχιστο μέγεθος λεπτομερειών, το πάχος κάθε επιπέδου και το τελικό φινίρισμα της επιφάνειας είναι συνήθως χειρότερης ποιότητας. Επίσης στην EBM απαιτείται η χρήση vacuum (χώρου κενού αέρος) κατά την παραγωγή και μπορεί να χρησιμοποιηθεί μόνο με αγωγίμα υλικά.

Η τεχνολογία MJF είναι βασικά ένας συνδυασμός των μεθόδων SLS και των ευρύτερων Material Jetting τεχνολογιών. Μια κεφαλή με ακροφύσια ψεκασμού μελάνης (inkjet nozzles), τα οποία είναι παρόμοια με αυτά που χρησιμοποιούνται και

στους δισδιάστατους οικιακούς εκτυπωτές, περνάει πάνω από την επιφάνεια εκτύπωσης, αφήνοντας έναν συγκολλητικό παράγοντα (fusing agent) πάνω σε μια λεπτή στρώση πούδρας πλαστικού. Ταυτόχρονα, ένας παράγοντας λεπτομερειών (detailing agent) που εμποδίζει την πυροσυσσωμάτωση τυπώνεται στην άκρη του αντικειμένου. Στη συνέχεια, μια πηγή υψηλής ενέργειας IR περνάει πάνω από το τραπέζι εκτύπωσης όπου πυροσυσσωματώνει τα κομμάτια όπου υπάρχει ο fusing agent, ενώ ταυτόχρονα δεν επηρεάζει την υπόλοιπη πούδρα. Η διαδικασία επαναλαμβάνεται μέχρι να ολοκληρωθεί το αντικείμενο.

Εφαρμογή:

Οι τεχνολογίες PBF πολυμερών δίνουν μεγάλη σχεδιαστική ελευθερία, καθώς δεν χρειάζονται στηρίγματα, επιτρέποντας την δημιουργία πολύ σύνθετων γεωμετριών.

Και στις δύο περιπτώσεις (πολυμερών και μετάλλων) παράγονται κομμάτια τα οποία έχουν μεγάλη αντοχή και ακαμψία καθώς επίσης και πολύ καλές μηχανικές ιδιότητες, οι οποίες είναι συγκρίσιμες (ακόμα και καλύτερες σε κάποιες περιπτώσεις) με τις αντίστοιχες ιδιότητες των χύμα υλικών. Υπάρχουν πολλές διαθέσιμες μέθοδοι περαιτέρω επεξεργασίας, γεγονός που πρακτικά σημαίνει ότι τα τελικά προϊόντα PBF μπορούν να έχουν πολύ ομαλό φινίρισμα και για τον λόγο αυτό χρησιμοποιούνται για να δημιουργήσουν τελικά προϊόντα που βγαίνουν στην αγορά.

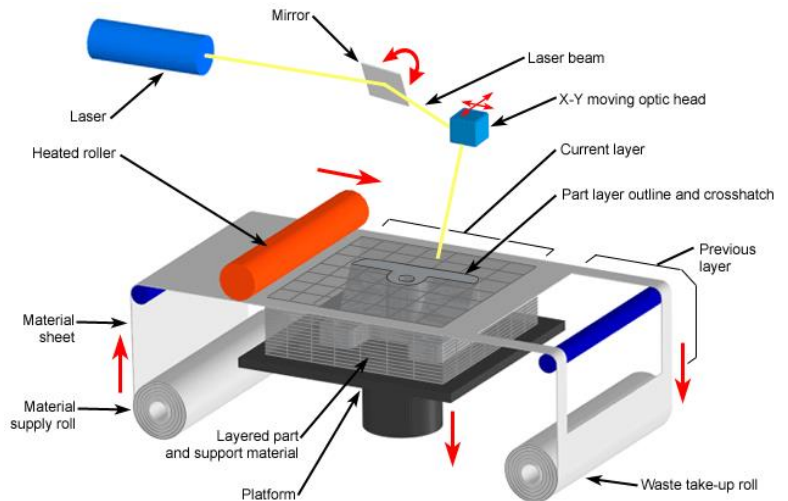
Οι περιορισμοί των μεθόδων PBF συνήθως αφορούν την τραχύτητα και την εσωτερική πορώδη επιφάνεια (internal porosity) των κομματιών όπως αυτά τυπώνονται, την συρρίκνωση ή την παραμόρφωση και τέλος, τις προκλήσεις που συναντώνται στην διαχείριση και την διάθεση της πούδρας.

Τεχνολογία	Κατασκευαστές	Υλικά που χρησιμοποιεί
SLS	EOS, Stratasys	Nylon, alumide, carbon-fiber filled nylon, PEEK, TPU
SLM/DMLS	EOS, 3D Systems, Sinterit	Aluminum, titanium, stainless steel, nickel alloys, cobalt-chrome
EBM	Arcam	Titanium, cobalt-chrome
MJF	HP	Nylon

5. Sheet Lamination

Χρησιμοποιείται από εκτυπωτές τύπου LOM.
LOM = Laminated Object Manufacturing

Μια διαφορετική προσέγγιση τρισδιάστατης εκτύπωσης αποτελεί η LOM. Πρόκειται για ένα σύστημα το οποίο «κόβει» και «ενοποιεί» ελάσματα. Το κάτω μέρος της επιφάνειας του ελάσματος έχει μια συγκολλητική ουσία, η οποία όταν πιεστεί και θερμανθεί από έναν κύλινδρο, αναγκάζεται να κολλήσει πάνω στο προηγούμενο έλασμα. Το έλασμα κόβεται από ένα laser ακολουθώντας το περίγραμμα της τομής. Το πάχος του ελάσματος δεν είναι σταθερό. Συνεπώς, ένας αισθητήρας μετράει το πάχος του παρόντος ελάσματος και το μοντέλο κόβεται ανάλογα.

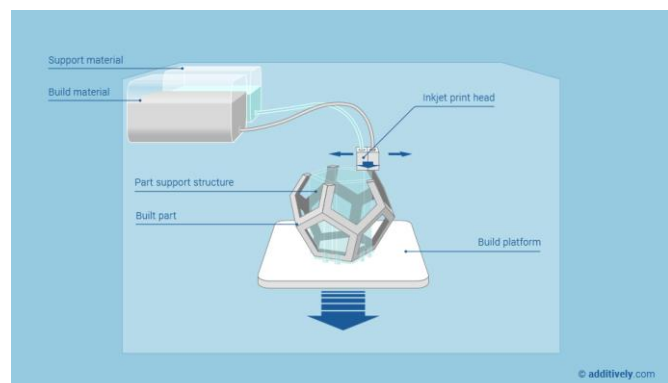


6. Εκτόξευση Υλικού (Material Jetting)

Χρησιμοποιείται από εκτυπωτές τύπου MJ, NPJ, DOD.
MJ = Material Jetting
NPJ = Nano Particle Jetting
DOD = Drop on Demand

Η εκτόξευση υλικού συχνά συγκρίνεται με την δισδιάστατη διαδικασία εκτόξευσης μελάνης. Φωτοπολυμερή, μέταλλα ή κερί τα οποία σκληραίνουν όταν εκτίθενται σε υπεριώδες φως ή αυξημένες θερμοκρασίες μπορούν να χρησιμοποιηθούν για να δημιουργηθούν αντικείμενα. Η φύση της διαδικασίας επιτρέπει την εκτύπωση με πολλαπλά υλικά. Αυτή η ικανότητα συχνά χρησιμοποιείται για την εκτύπωση supports από διαφορετικό (διαλυτό) υλικό.

Στην εκτόξευση υλικού διανέμεται ένα φωτοπολυμερές υλικό από εκατοντάδες μικρά ακροφύσια της κεφαλής έτσι ώστε να δημιουργηθεί το υλικό επίπεδο – επίπεδο. Αυτό επιτρέπει στις διαδικασίες MJ να εναποθέτουν



υλικό με γρήγορο, γραμμικό τρόπο σε σχέση με άλλες τεχνολογίες που τοποθετούν υλικό σε σημεία ανάλογα με το προδιαγεγραμμένο μονοπάτι που ακολουθούν. Καθώς πέφτουν οι σταγόνες στην πλατφόρμα εκτύπωσης, στερεοποιούνται χρησιμοποιώντας υπεριώδες φως. Οι MJ χρειάζονται στηρίγματα τα οποία συνήθως εκτυπώνονται ταυτόχρονα από διαλυτό υλικό, έτσι ώστε να μπορούν να αφαιρεθούν γρήγορα στην επιπρόσθετη επεξεργασία των προϊόντων.

Η NPJ τεχνολογία χρησιμοποιεί ένα υγρό, το οποίο περιλαμβάνει μεταλλικά νανομόρια ή νανομόρια στηριγμάτων και τοποθετείται στον εκτυπωτή σαν δοχείο μελάνης και εκτοξεύεται στο τραπέζι εκτύπωσης με πολύ λεπτές στρώσεις σταγόνων. Οι υψηλές θερμοκρασίες μέσα στον χώρο εκτύπωσης κάνουν το υγρό να εξατμίζεται και αφήνουν πίσω τα μεταλλικά αντικείμενα.

Οι εκτυπωτές DOD έχουν 2 κεφαλές εκτύπωσης. Η μία χρησιμοποιείται για το υλικό του προϊόντος (συνήθως κάποιο κερί) και η δεύτερη για το διαλυτό υλικό των στηριγμάτων. Όμοια με τις συνηθέστερες διαδικασίες προσθετικής κατασκευής, οι DOD εκτυπωτές ακολουθούν το προδιαγεγραμμένο μονοπάτι και εναποθέτουν υλικό σε σημεία, κατασκευάζοντας έτσι την τομή του προς εκτύπωση προϊόντος. Τα μηχανήματα αυτά έχουν συνήθως και έναν εξάρτημα (fly-cutter) το οποίο περνά πάνω από το τραπέζι εκτύπωσης ύστερα από κάθε επίπεδο για να υπάρχει μια ίσια επιφάνεια πριν την εκτύπωση του επόμενου επιπέδου. Η τεχνολογία DOD συνήθως χρησιμοποιείται για να κατασκευάσει κάποιο σχέδιο από κερί, το οποίο στην συνέχεια θα χρησιμοποιηθεί για χύτευση με τη μέθοδο του χαμένου κεριού, χύτευση επενδύσεων και άλλες μεθόδους κατασκευής καλουπιών.

Εφαρμογή:

Αυτή η μέθοδος είναι ιδανική για την δημιουργία ρεαλιστικών πρωτοτύπων αφού δίνει εξαιρετικές λεπτομέρειες, υψηλή ακρίβεια και ομαλό τελικό φινίρισμα επιφανείας. Επιτρέπει στον σχεδιαστή να χρησιμοποιήσει πολλαπλά χρώματα και υλικά σε μια μόνο εκτύπωση. Τα βασικά μειονεκτήματα αυτής της τεχνολογίας είναι το υψηλό κόστος και τα εύθραυστα μηχανικά μέρη των φωτοπολυμερών που ενεργοποιούνται με το υπεριώδες φως.

Τεχνολογία	Κατασκευαστές	Υλικά που χρησιμοποιεί
Material jetting	Stratasys (Polyjet), 3D Systems (MultiJet)	Rigid, transparent, multi-color, rubber-like, ABS-like. Multi-material and multi-color printing available

Τεχνολογία	Κατασκευαστές	Υλικά που χρησιμοποιεί
NPJ	Xjet	Stainless steel, ceramics
DOD	Solidscap	Wax

7. Εκτόξευση συγκολλητικού (Binder Jetting)
Χρησιμοποιείται από εκτυπωτές τύπου BJ.
BJ = Binder Jetting

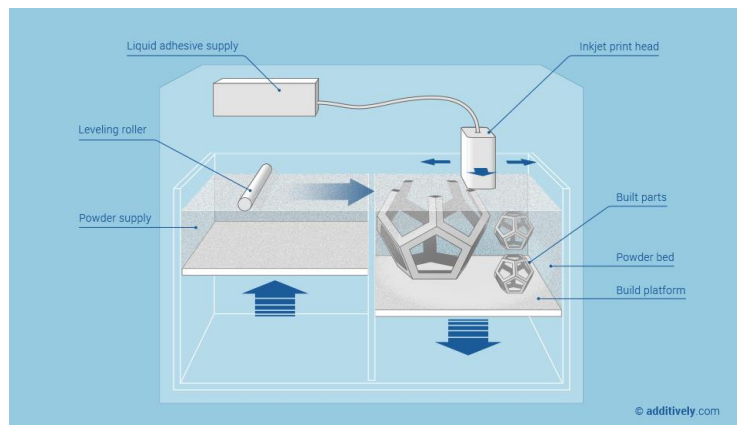
Στην τεχνολογία BJ ένας συγκολλητικός παράγοντας (binding agent) διανέμεται στην επιφάνεια εκτύπωσης για να δημιουργήσει το αντικείμενο επίπεδο – επίπεδο. Τα επίπεδα ενοποιούνται μεταξύ τους δημιουργώντας ένα στερεό αντικείμενο.

Οι εκτυπωτές τύπου BJ αφήνουν το συγκολλητικό υλικό πάνω σε λεπτές στρώσεις υλικού – πούδρας. Οι πούδρες μπορεί να είναι είτε κράματα κεραμικών (όπως πχ γυαλί ή γύψος), είτε μετάλλων (όπως πχ ανοξείδωτο ατσάλι). Η κεφαλή εκτύπωσης κινείται πάνω στην επιφάνεια εκτύπωσης αφήνοντας σταγόνες «κόλλας», εκτυπώνοντας όμοια με έναν δισδιάστατο εκτυπωτή που αφήνει μελάνι πάνω σε χαρτί. Όταν ολοκληρώνεται ένα επίπεδο, η επιφάνεια εκτύπωσης με πούδρα κινείται

προς τα κάτω έτσι ώστε να απλωθεί μια νέα στρώση υλικού για να δημιουργηθεί επόμενο επίπεδο. Η διαδικασία επαναλαμβάνεται έως ότου ολοκληρωθεί το αντικείμενο.

Μετά το τέλος της εκτύπωσης, τα αντικείμενα χρειάζονται οπωσδήποτε περαιτέρω επεξεργασία

προτού χρησιμοποιηθούν. Συχνά χρησιμοποιείται και ένα υλικό για γέμισμα (infiltrant) έτσι ώστε να βελτιώσει τις μηχανικές ιδιότητες των αντικειμένων. Το infiltrant για τα κεραμικά είναι συνήθως κάποια κυανοακρυλλική κόλλα, ενώ για τα μέταλλα είναι συνήθως μπρούντζος.



ΤΟ

Εφαρμογή:

Η BJ κεραμικών είναι ιδανική μέθοδος για εφαρμογές στις οποίες η αισθητική έχει βαρύνουσα σημασία όπως πχ σε αρχιτεκτονικά μοντέλα, μοντέλα για έλεγχο εργονομίας κλπ. Ακόμα μπορεί να χρησιμοποιηθεί για την δημιουργία καλουπιών για χύτευση με άμμο. Η χρήση της δεν συνιστάται για λειτουργικά πρωτότυπα, καθώς τα προϊόντα που παράγονται είναι ιδιαίτερα εύθραυστα.

Τα αντίστοιχα μεταλλικά προϊόντα που παράγονται με εκτυπωτές τύπου BJ, μπορούν να χρησιμοποιηθούν ως λειτουργικά πρωτότυπα και είναι πιο αποδοτικά από οικονομικής άποψης σε σχέση με τα αντίστοιχα των SLM και DMLS, έχουν όμως χειρότερες μηχανικές ιδιότητες.

Τεχνολογία	Κατασκευαστές	Υλικά που χρησιμοποιεί
Binder jetting	3D Systems, Voxeljet	Silica sand, PMMA particle material, gypsum
	ExOne	Stainless steel, ceramics, cobalt-chrome, tungsten-carbide

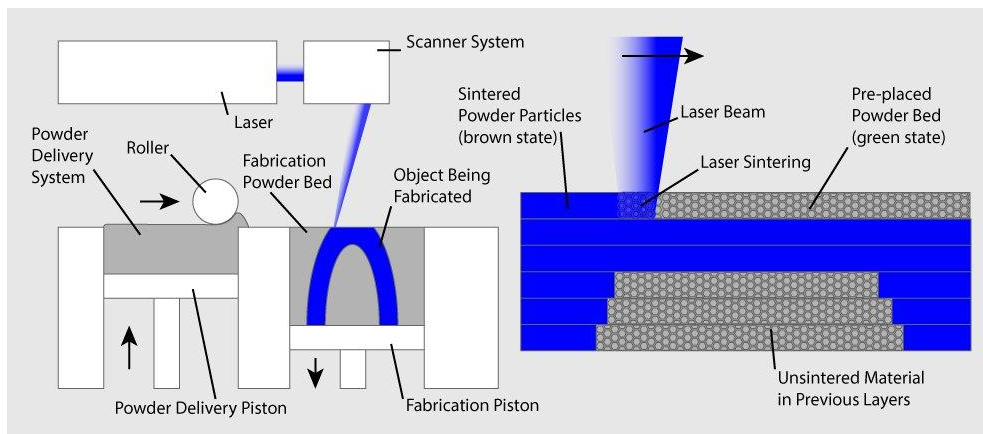
8. Άμεση Εναπόθεση Ενέργειας (Direct Energy Deposition)

Χρησιμοποιείται από εκτυπωτές τύπου LENS, EBAM.

LENS = Laser Engineered Net Shape

EBAM = Electron Beam Additive Manufacturing

Με την DED τεχνολογία παράγονται αντικείμενα με άμεση τήξη πούδρας, καθώς αυτή τοποθετείται στην επιφάνεια εκτύπωσης. Χρησιμοποιείται κυρίως με μεταλλικές πούδρες ή καλώδια και συχνά αναφέρεται ως εναπόθεση μετάλλου (metal deposition).



Οι εκτυπωτές LENS χρησιμοποιούν μια κεφαλή εναπόθεσης η οποία αποτελείται από μια κεφαλή laser, μύτες για την διοχέτευση πούδρας (powder dispensing nozzles) και ένα σωλήνα για παροχή αδρανούς αερίου, έτσι ώστε να υπάρξει άμεση τήξη καθώς η πούδρα εναποτίθεται στην επιφάνεια εκτύπωσης, δημιουργώντας το τελικό στερεό αντικείμενο επίπεδο – επίπεδο. Το laser δημιουργεί μια λίμνη τήξης πάνω στην επιφάνεια εκτύπωσης πάνω στην οποία ψεκάζετε η πούδρα, τήκεται και μετά στερεοποιείται. Το υπόστρωμα συνήθως είναι μια επίπεδη μεταλλική πλάκα ή ένα υπάρχον αντικείμενο πάνω στο οποίο τοποθετείται το υλικό (πχ για επισκευή ή τροποποίηση του σχεδίου).

Με την διαδικασία EBAM κατασκευάζονται μεταλλικά αντικείμενα χρησιμοποιώντας πούδρα μετάλλων ή καλώδιο, τα οποία συγκολλούνται χρησιμοποιώντας ως πηγή θερμότητας δέσμη ηλεκτρονίου. Η διαδικασία είναι παρόμοια με αυτή της τεχνολογία τύπου LENS, με τη διαφορά ότι οι δέσμες ηλεκτρονίων είναι πιο αποδοτικές από το laser και λειτουργούν μέσα σε vacuum (κενό αέρος). Η τεχνολογία αρχικά αναπτύχθηκε για χρήση στο διάστημα.

Εφαρμογή:

Οι τεχνολογίες DED χρησιμοποιούνται αποκλειστικά για προσθετική κατασκευή με μέταλλα. Η φύση των διαδικασιών βοηθά κυρίως στις επισκευές και την προσθήκη υλικού σε υπάρχουσες γεωμετρίες – αντικείμενα. Η ανάγκη για πυκνή στήριξη καθιστά την DED άβολη για παραγωγή αντικειμένων από το μηδέν.

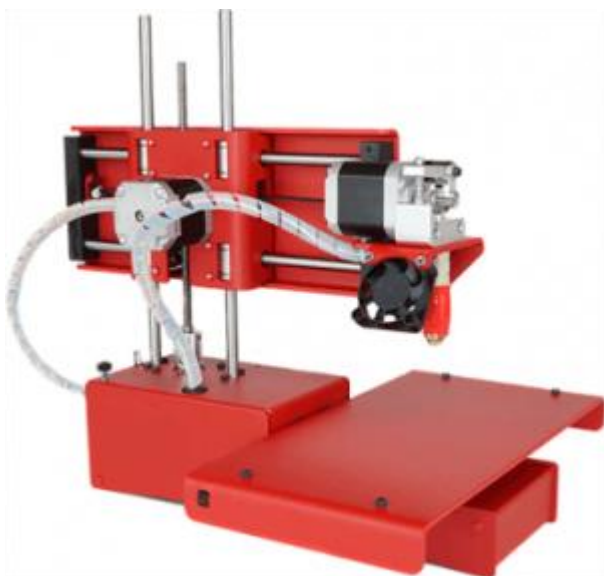
Τεχνολογία	Κατασκευαστές	Υλικά που χρησιμοποιεί
LENS	Optomec	Titanium, stainless steel, aluminum, copper, tool steel
EBAM	Sciaky Inc	Titanium, stainless steel, aluminum, copper nickel, 4340 steel

3.3. | Είδη FDM εκτυπωτών

Οι FDM εκτυπωτές είναι οι πιο διαδεδομένοι αυτή τη στιγμή κυρίως λόγω της προσιτής τιμής τόσο των ίδιων των μηχανημάτων όσο και των αναλωσίμων τους.

Οι FDM εκτυπωτές ανάλογα με τον τρόπο με τον οποίο κινούνται και εκτυπώνουν, διαχωρίζονται σε καρτεσιανούς, Delta, πολικούς και Scara εκτυπωτές.

1. Καρτεσιανοί εκτυπωτές



Είναι οι συνηθέστεροι εκτυπωτές που κυκλοφορούν. Οι καρτεσιανοί εκτυπωτές έχουν πάρει το όνομά τους από το καρτεσιανό σύστημα συντεταγμένων (άξονες $X - Y - Z$), το οποίο χρησιμοποιείται για να καθοριστεί η κίνηση στις 3 διαστάσεις.

Οι καρτεσιανοί εκτυπωτές χρησιμοποιούν 3 μοτέρ για την κίνησή τους στους άξονες X , Y και Z , τα οποία κινούνται ανεξάρτητα το ένα από το άλλο καθώς και ένα επιπλέον για τον extruder της κεφαλής. Στον άξονα Z κινείται η επιφάνεια εκτύπωσης, ενώ στους X και Y

άξονες κινείται η κεφαλή με τον extruder.

2. Εκτυπωτές Delta

Οι εκτυπωτές Delta είναι επίσης αρκετά διαδεδομένοι. Οι Delta χρησιμοποιούν επίσης το καρτεσιανό σύστημα συντεταγμένων και έχουν μια χαρακτηριστική στρογγυλή επιφάνεια εκτύπωσης. Η κεφαλή εξώθησης συγκρατείται από τρεις βραχίονες τοποθετημένους σε μια τριγωνική διάταξη, εξ' ου και το όνομά τους.

Σε αυτή την περίπτωση η επιφάνεια εκτύπωσης είναι ακίνητη και η κίνηση δίνεται από 3 μοτέρ που κινούν τους βραχίονες με τον κατάλληλο συγχρονισμό. Αντίστοιχα υπάρχει και το μοτέρ για την κεφαλή εξώθησης.

Οι εκτυπωτές Delta είναι γρηγορότεροι από τους καρτεσιανούς, όμως είναι λιγότερο ακριβείς και έχουν χαμηλότερη ανάλυση.

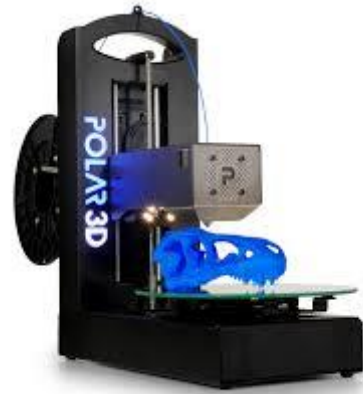


3. Πολικοί εκτυπωτές

Οι πολικοί εκτυπωτές είναι ένα νέο είδος τρισδιάστατων εκτυπωτών, οι οποίοι μοιάζουν πολλά υποσχόμενοι. Οι εκτυπωτές της κατηγορίας αυτής, όπως φανερώνει και το όνομά της, χρησιμοποιούν το πολικό σύστημα συντεταγμένων, το οποίο είναι όμοιο με το Καρτεσιανό με την διαφορά ότι κινείται σε στρογγυλό πλέγμα.

Όλα αυτά οδηγούν σε έναν εκτυπωτή με περιστρεφόμενη επιφάνεια εκτύπωσης και μια κεφαλή που μπορεί να κινηθεί πάνω, κάτω, δεξιά και αριστερά. Το μεγάλο πλεονέκτημα των πολικών τρισδιάστατων εκτυπωτών είναι ότι μπορούν να λειτουργούν με 2 βηματικούς κινητήρες. Αν το συγκρίνεις αυτό με τους αντίστοιχους καρτεσιανούς οι οποίοι χρειάζονται τουλάχιστον έναν κινητήρα ανά άξονα, δηλ συνολικά τουλάχιστον 4, είναι σαφές ότι οι πολικοί είναι αρκετά πιο αποδοτικοί.

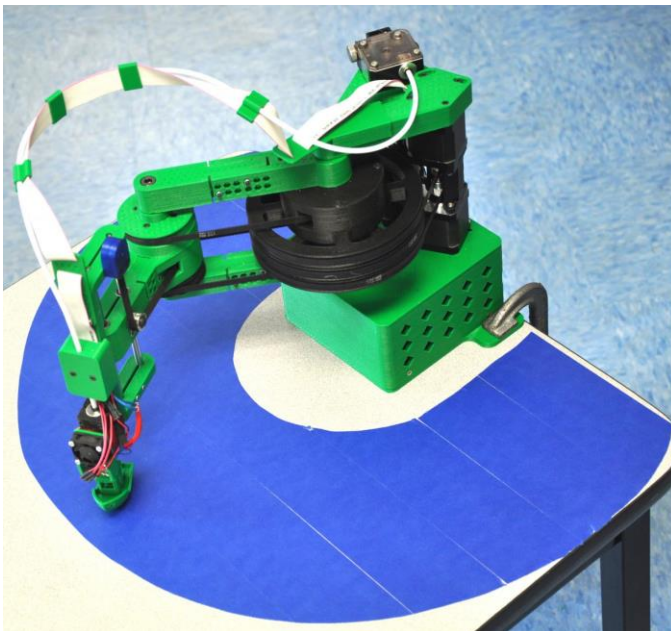
Επίσης, οι πολικοί εκτυπωτές, δεδομένου ότι δεν απαιτούν έναν σκελετό με $X - Y - Z$ άξονες για την κίνησή τους, έχουν μεγαλύτερο όγκο εκτύπωσης σε μικρότερο χώρο.



4. Εκτυπωτές Scara

SCARA = Selective Compliance Assembly Robotic Arm

Το SCARA είναι ένα σύστημα ακριβείας με πολύ μικρό ίχνος. Η κίνηση ενός τρισδιάστατου εκτυπωτή Scara μοιάζει με αυτή ενός ρομπότ ή μιας βιομηχανικής γραμμής παραγωγής.



Στην πραγματικότητα είναι ένας πολικός εκτυπωτής ο οποίος αποτελεί μια κατηγορία από μόνος του, αλλά έχει μεγάλα περιθώρια ανάπτυξης.

ΚΕΦΑΛΑΙΟ 4

ΛΟΓΙΣΜΙΚΟ ΑΝΟΙΧΤΟΥ ΚΩΔΙΚΑ –ΥΛΙΣΜΙΚΟ ΑΝΟΙΧΤΗ ΠΗΓΗΣ

4.1. | Ιστορική Αναδρομή

Στην αρχή μοναδική πηγή λογισμικού ήταν συγκεκριμένες εταιρίες, οι οποίες κατείχαν όλα τα δικαιώματα σε σχέση με τη δημιουργία του και την διανομή του. Οι πελάτες είχαν πρόσβαση μόνο στο εκτελέσιμο αρχείο ώστε να χρησιμοποιούν το λογισμικό μόνο ως έτοιμο εργαλείο. Ο κώδικας του λογισμικού παρέμενε στην κατοχή των επιχειρήσεων αυτών, με σκοπό την πλήρη εμπορευματοποίησή του. Λόγω των αυστηρών περιορισμών το λογισμικό αυτό ονομάζεται κλειστό.

Όταν κάποιοι προγραμματιστές θέλησαν να υπάρξει ελεύθερη / δωρεάν πρόσβαση σε όλο το μέρος ενός λογισμικού, ώστε να μπορούν να το τροποποιούν ανάλογα με τις ανάγκες τους, δημιούργησαν το ελεύθερο λογισμικό.

Το 1983 ο Richard Stallman (θεωρείται ο πατέρας του ελεύθερου λογισμικού) γράφει το GNU Manifesto και ξεκινάει η διαδικασία ανάπτυξης ενός λειτουργικού συστήματος ως αποκλειστικά ελεύθερο λογισμικό. Αξιοσημείωτο είναι ότι το 1984, ο ίδιος, παραιτήθηκε από την δουλειά του σε εργαστήριο του Μ.Ι.Τ. ώστε να μην μπορεί το ίδρυμα να διεκδικήσει τα πνευματικά δικαιώματα του GNU Project. Το 1985 ιδρύεται το Free Software Foundation με σκοπό την προάσπιση του ελεύθερου λογισμικού.

Λίγο αργότερα η ομάδα συναντά τον Linus Torvalds, ο οποίος είχε φτιάξει ένα δικό του λειτουργικό σύστημα και σύντομα διαπίστωσαν ότι είχε κάνει αρκετά καλύτερη δουλειά από αυτούς με αποτέλεσμα να του προτείνουν να συνεργαστούν και να το διαθέσουν ως κομμάτι του GNU Project. Η ιστορία αφορά το λειτουργικό σύστημα Linux διάφορες διανομές του οποίου (με πιο γνωστή το Ubuntu) κυκλοφορούν σήμερα σε οργανισμούς, υπηρεσίες αλλά και σε προσωπικούς Η/Υ.

4.2. | Τι είναι το λογισμικό ανοιχτού κώδικα;

Λογισμικό ανοιχτού κώδικα στον χώρο της πληροφορικής και των υπολογιστών είναι το λογισμικό του οποίου ο πηγαίος κώδικας είναι διαθέσιμος σε κάποιον τρίτο για να τον εξετάσει, να τον τροποποιήσει ή να τον αναβαθμίσει και στην συνέχεια να τον διανείμει, μέσω μιας άδειας ελεύθερης χρήσης.

Ο όρος «Ελεύθερο Λογισμικό / Λογισμικό Ανοικτού Κώδικα» – ΕΛ/ΛΑΚ ομαδοποιεί το Ελεύθερο Λογισμικό (ΕΛ) και το Λογισμικό Ανοικτού Κώδικα (ΛΑΚ). Ως σύνολο περιγράφει

Ο τεχνικός τρόπος με τον οποίο επιτυγχάνεται αυτό είναι η διαθεσιμότητα του πηγαίου κώδικα από αποθετήρια (source code repositories). Οι αντίστοιχοι αγγλικοί όροι είναι Free

Οι δύο αυτές ομάδες περιγράφουν λογισμικό με παρόμοια μοντέλα ανάπτυξης και διάθεσης. Η κύρια διαφορά είναι ότι ο όρος Ελεύθερο Λογισμικό εστιάζει στις ελευθερίες που παρέχονται στο χρήστη μέσω της

Από νομική άποψη, αυτές οι διαφορετικές προτεραιότητες εκφράζονται με χρήση αντίστοιχων αδειών χρήσης του λογισμικού. Για παράδειγμα, το Ελεύθερο Λογισμικό διατίθεται με άδεια που εξασφαλίζει τις ελευθερίες προς το χρήστη και απαγορεύει τον περιορισμό τους.

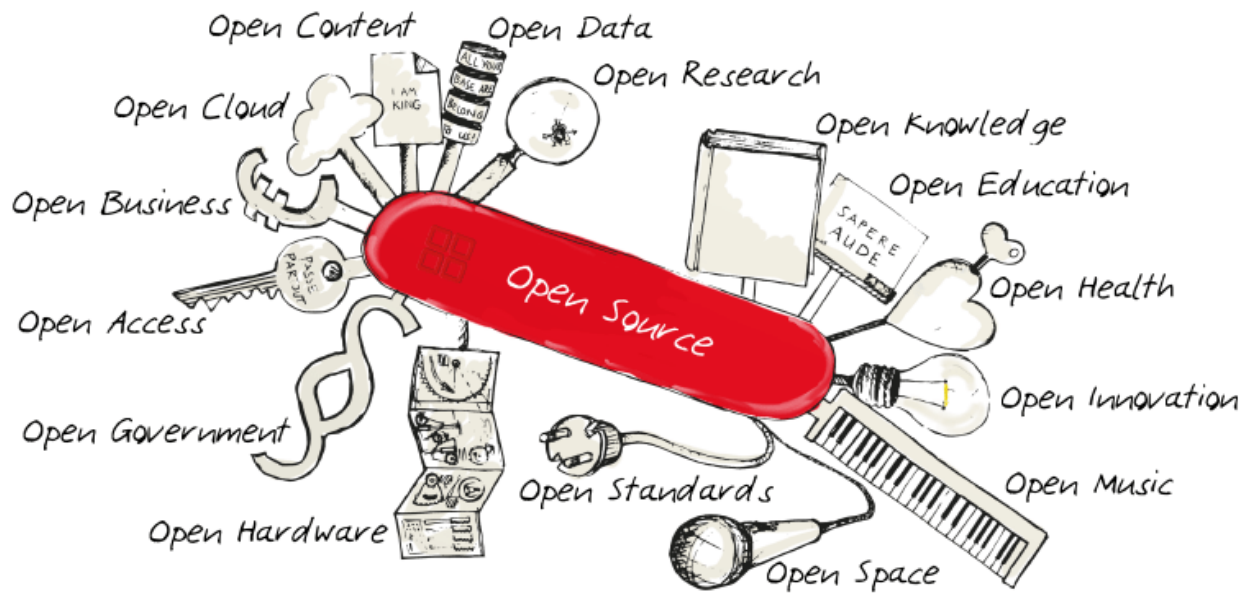
Όταν αναφερόμαστε, λοιπόν, σε open source λογισμικό, εννοούμε οποιοδήποτε software μας επιτρέπει να δούμε τον πηγαίο του κώδικα (source code), να τον τροποποιήσουμε και να τον μοιραστούμε ελεύθερα.

Σημαντικό είναι να αναφερθεί ότι το λογισμικό ανοιχτού κώδικα δεν σημαίνει απαραίτητως δωρεάν λογισμικό, ούτε ελεύθερο λογισμικό σύμφωνα με τον ορισμό που δίνει στο Ελεύθερο λογισμικό το Ίδρυμα Ελεύθερου Λογισμικού, αλλά αναφέρεται μόνο στο γεγονός πως επιτρέπεται σε κάθε χρήστη να εξετάσει και να χρησιμοποιήσει τις γνώσεις και τις δυνατότητες που προσφέρει ο παρεχόμενος πηγαίος κώδικας.

Όλα τα ελεύθερα λογισμικά είναι λογισμικά ανοιχτού κώδικα, αλλά όλα τα λογισμικά ανοιχτού κώδικα δεν είναι απαραίτητα ελεύθερα λογισμικά.

Στην πράξη, τα περισσότερα προγράμματα ανοιχτού κώδικα παρέχονται δωρεάν και μπορούν να χρησιμοποιηθούν ελεύθερα.





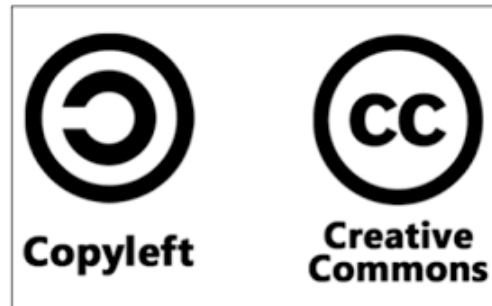
4.2.1. | Δημοφιλέστεροι τύποι αδειών χρήσης

Παραθέτουμε κατωτέρω τις δημοφιλέστερες άδειες χρήσης που χρησιμοποιούνται σήμερα.

4.2.1.1. GNU General Public License

Η παραπάνω κύρια άδεια χρήσης δημιουργήθηκε από τον Stalman, και είναι τύπου Copyleft. Αυτός ο τύπος άδειας επιχειρεί να δώσει επιπλέον δικαιώματα στον χρήστη ενός έργου, σε αντίθεση με τους περιορισμούς που δίνει ο νόμος για τα πνευματικά δικαιώματα (Copyright). Ουσιαστικά μια άδεια Copyleft παραχωρεί ελευθερίες στην χρήση, τροποποίηση και διανομή ενός πνευματικού έργου, με τον περιορισμό ότι κάθε αντίγραφο ή παράγωγο έργο θα διανέμεται με ίδια άδεια χρήσης παραχωρώντας ίδιες ελευθερίες. Ο περιορισμός αυτός δεν έρχεται σε αντίθεση με τις ελευθερίες που παρέχονται και που καθιστούν το έργο ελεύθερο περιεχόμενο. Το GNU License είναι η πρώτη άδεια τέτοιου τύπου που δημιουργήθηκε και περιγράφει το ελεύθερο λογισμικό με τέσσερεις βασικές ελευθερίες:

- Την ελευθερία να εκτελείται το πρόγραμμα για οποιοδήποτε σκοπό.
- Την ελευθερία να μελετάται ο τρόπος λειτουργίας του προγράμματος και να προσαρμόζεται κάθε φορά στις ανάγκες μας.



την
τις










- Την ελευθερία του να αναδιανέμεται το πρόγραμμα με σκοπό να βοηθήσουμε το συνάνθρωπό μας.
- Την ελευθερία να τροποποιείται το πρόγραμμα, να βελτιώνεται και να κοινοποιείται στην κοινότητα, με σκοπό να επωφεληθεί ολόκληρη η κοινότητα. Απαραίτητη προϋπόθεση για τα παραπάνω αποτελεί η διάθεση του πηγαίου κώδικα.

4.2.1.2. BSD Licenses

Παρόμοιες άδειες χρήσης είναι οι BSD Licenses, οι οποίες προσφέρουν την ελευθερία να εκτελείται το πρόγραμμα για οποιοδήποτε σκοπό και να αναδιανέμεται με σκοπό να βοηθήσουμε το συνάνθρωπό μας, αλλά δεν περιέχουν τον περιορισμό ότι κάθε αντίγραφο ή παράγωγο έργο θα διανέμεται με την ίδια άδεια χρήσης. Δηλαδή, παράγωγα του κώδικα αυτού επιτρέπεται να δημοσιευτούν για εμπορικούς και κερδοσκοπικούς λόγους με άλλη άδεια (πχ Copyright). Το λογισμικό του οποίου ο πηγαίος κώδικας δίνεται αλλά δεν έχει Copyleft άδεια χρήσης, θεωρείται ανοικτό λογισμικό και παρότι περιέχει χαρακτηριστικά του ελεύθερου, υπάρχει κίνδυνος να μετατραπεί σε κλειστό.

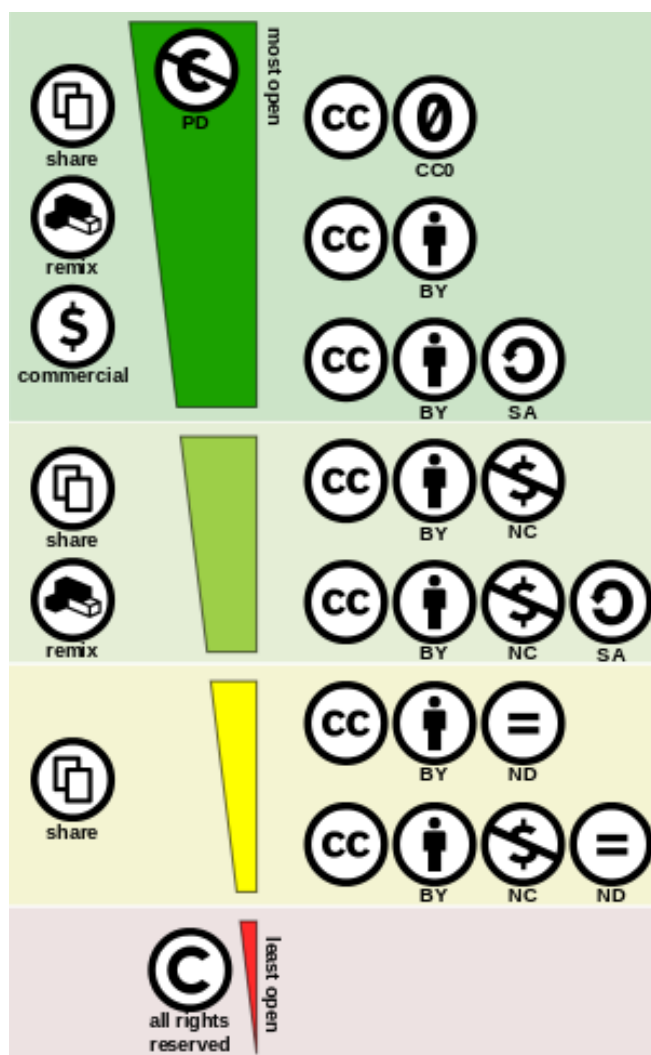
4.2.1.3. Creative Commons Licenses ή CC

Η άδειες CC και τα εργαλεία πνευματικών δικαιωμάτων Creative Commons επιφέρουν μια ισορροπία στην παραδοσιακή ρύθμιση «διατήρησης πλήρους δικαιώματος» που δημιουργεί η νομοθεσία για τα πνευματικά δικαιώματα. Τα εργαλεία προσφέρουν στον καθένα- από μεμονωμένους δημιουργούς μέχρι μεγάλες εταιρίες και ιδρύματα - έναν απλό, προτυποποιημένο τρόπο για να χορηγεί άδειες επί των δικαιωμάτων πνευματικής ιδιοκτησίας των έργων του. Ο συνδυασμός των εργαλείων και χρηστών αποτελεί μια μεγάλη αυξανόμενη ψηφιακή κοινότητα, δεξαμενή περιεχομένου που μπορεί να αντιγραφεί, διανεμηθεί, τροποποιηθεί, αναδομηθεί και αξιοποιηθεί πάντοτε εντός των ορίων της νομοθεσίας για τα πνευματικά δικαιώματα.

LICENSES	TERMS
	 Attribution Others can copy, distribute, display, perform and remix your work if they credit your name as requested by you
	
	 No Derivative Works Others can only copy, distribute, display or perform verbatim copies of your work
	 Share Alike Others can distribute your work only under a license identical to the one you have chosen for your work
	 Non-Commercial Others can copy, distribute, display, perform or remix your work but for non-commercial purposes only.

των
και
μια

Όλες οι άδειες Creative Commons έχουν κοινά πολλά σημαντικά χαρακτηριστικά. Κάθε άδεια βοηθάει τον δημιουργό. Αν κάποιος χρησιμοποιεί



τα διαθέσιμα εργαλεία , γίνεται αδειοδότης. Οι αδειοδότες ενώ διατηρούν το δικαίωμα πνευματικής ιδιοκτησίας (copyright), επιτρέπουν παράλληλα σε άλλους να αντιγράψουν, να διαμοιράσουν και να χρησιμοποιήσουν με διάφορους τρόπους το έργο τους, το λιγότερο για μη εμπορικούς σκοπούς. Κάθε άδεια Creative Commons διασφαλίζει ότι οι αδειοδότες λαμβάνουν την αναγνώριση που πρέπει για το έργο τους. Οι άδειες Creative Commons είναι διεθνείς και κρατάνε όσο και το δικαίωμα πνευματικής ιδιοκτησίας (copyright) (καθώς χτίζουν πάνω σε αυτό). Αυτά τα κοινά χαρακτηριστικά λειτουργούν ως βάση, πάνω στην οποία οι αδειοδότες επιλέγουν να δώσουν επιπρόσθετα δικαιώματα όταν αποφασίζουν πως θα χρησιμοποιηθεί το έργο τους.

Ένας πάροχος αδείας Creative Commons, απαντά σε λίγες απλές ερωτήσεις σχετικά με την διαδρομή επιλογής μιας αδείας — πρώτον, θέλω να επιτρέπω την εμπορική χρήση ή όχι, και δεύτερον, θέλω να επιτρέπω τα παράγωγα έργα όχι; Αν ένας πάροχος αδείας αποφασίσει να επιτρέπει τα

παράγωγα έργα, μπορεί επίσης να επιλέξει να απαιτεί από οποιονδήποτε χρησιμοποιεί το έργο — να αποκαλεί τον εαυτό του αδειοδοτούμενο/ licensee — και να κάνει το νέο έργο διαθέσιμο υπό τους ίδιους όρους αδείας. Τα παραπάνω προσδιορίζονται ως “ShareAlike” και είναι ένας από τους μηχανισμούς που (αν επιλεγεί) βοηθά το ψηφιακό Κοινό Κτήμα να αυξάνεται συν τω χρόνω. Η άδεια ShareAlike εμπνέεται από την άδεια GNU General Public License, που χρησιμοποιείται από πολλά έργα ελεύθερου και ανοικτού λογισμικού.

4.2.2. | Ποια είναι η διαφορά μεταξύ του ελεύθερου λογισμικού / λογισμικού ανοικτού κώδικα από τα άλλα είδη λογισμικού;

Για πολλές εφαρμογές λογισμικού, ο πηγαίος κώδικας τους δεν μπορεί να τροποποιηθεί από τον καθένα, αλλά μόνο από το άτομο, την ομάδα ή την εταιρία που τις δημιούργησε και διατηρεί τον αποκλειστικό έλεγχο πάνω τους. Αυτό το είδος του λογισμικού που καλείται συχνά «ιδιόκτητο – ιδιοταγές λογισμικό» ή λογισμικό «κλειστού κώδικα», επειδή ο πηγαίος κώδικας του είναι ιδιοκτησία των αρχικών συγγραφέων του, οι οποίοι είναι και οι μόνοι που νομικά τους επιτρέπεται να το αντιγράψουν ή να το τροποποιήσουν. Το Microsoft Word και το Adobe Photoshop είναι παραδείγματα ιδιόκτητου λογισμικού. Για να χρησιμοποιήσουν οι χρήστες το ιδιόκτητο λογισμικό, θα πρέπει να συμφωνήσουν (συνήθως με την αποδοχή μιας άδειας χρήσης, που εμφανίζεται την πρώτη φορά που εκτελούν αυτό το λογισμικό) ότι δεν θα κάνουν τίποτα με το λογισμικό που δεν επιτρέπεται ρητά από τους ιδιοκτήτες του λογισμικού. Το ελεύθερο λογισμικό / λογισμικό ανοικτού κώδικα είναι διαφορετικό. Οι δημιουργοί του διαθέτουν ελεύθερα τον πηγαίο κώδικα του σε όλους όσους θέλουν να τον δουν, να τον αντιγράψουν, να μάθουν από αυτόν, να τον τροποποιήσουν ή και να το μοιραστούν. Το LibreOffice και το GIMP είναι παραδείγματα λογισμικού ανοικτού κώδικα. Όπως και με το κλειστό λογισμικό, οι χρήστες θα πρέπει να αποδεχτούν κάποιους όρους άδειας χρήσης, αλλά οι νομικοί όροι των αδειών ανοικτού κώδικα διαφέρουν ριζικά από εκείνες των ιδιωτικών εφαρμογών. Οι άδειες χρήσης του λογισμικού ανοικτού κώδικα προωθούν την συνεργασία και την ανταλλαγή, διότι επιτρέπουν σε όλους να κάνουν τροποποιήσεις στον πηγαίο κώδικα και να ενσωματώσουν αυτές τις αλλαγές σε δικά τους έργα. Μερικές άδειες Ανοικτού Κώδικα διασφαλίζουν ότι τα άτομα που τροποποιούν και στη συνέχεια μοιράζονται ένα πρόγραμμα με τους άλλους, θα πρέπει επίσης να μοιράζονται και τον πηγαίο κώδικα αυτού του προγράμματος, χωρίς την επιβολή κάποιας μορφής τέλους αδειοδότησης για αυτό. Με άλλα λόγια, οι προγραμματιστές μπορούν να έχουν πρόσβαση, να προβάλουν και να τροποποιούν το λογισμικό ανοικτού κώδικα όποτε θέλουν, αρκεί να αφήνουν και άλλους να κάνουν το ίδιο, όταν μοιράζονται την εργασία τους. Σύμφωνα με το Open Source Initiative, “open source” δεν σημαίνει μόνο πρόσβαση στον πηγαίο κώδικα. Σημαίνει ότι ο καθένας θα πρέπει να είναι σε θέση να τροποποιήσει τον πηγαίο κώδικα για να το ταιριάξει στις ανάγκες του, και ότι κανείς δεν θα πρέπει να εμποδίζει τους άλλους από το να πράξουν το ίδιο. Ο ορισμός του Open Source Initiative για τον ανοικτό κώδικα περιλαμβάνει και διάφορες άλλες σημαντικές διατάξεις.

4.2.3. | Πλεονεκτήματα λογισμικό ανοικτού κώδικα

Το λογισμικό ανοικτού κώδικα, προτιμάται από πολλούς διότι:

α) έχουν περισσότερο έλεγχο πάνω στο λογισμικό που χρησιμοποιούν, μπορούν να εξετάσουν τον κώδικα του για να βεβαιωθούν ότι δεν επέρχονται αλλαγές χωρίς την θέληση τους, μπορούν να αλλάξουν τα μέρη που δεν τους αρέσουν και μπορούν να το

χρησιμοποιήσουν για οποιοδήποτε σκοπό θέλουν και όχι μόνο με τον τρόπο που κάποιος έχει καθορίσει,

β) βοηθά να γίνουν καλύτεροι προγραμματιστές,

γ) επειδή ο ανοικτός κώδικας είναι προσβάσιμος στο κοινό, οι μαθητές/φοιτητές μπορούν να μάθουν και να βελτιώνονται μελετώντας τι έχουν γράψει άλλοι. Μπορούν επίσης να μοιραστούν την εργασία τους με τους άλλους για σχόλια και κριτική, είτε

δ) το θεωρούν πιο ασφαλές και σταθερό σε σύγκριση με το ιδιόκτητο λογισμικό, είτε

ε) ο καθένας μπορεί να δει και να τροποποιήσει το λογισμικό ανοικτού κώδικα, είναι πολύ πιο εύκολος ο εντοπισμός και η διόρθωση σφαλμάτων ή παραλείψεων, είτε στ) πολλοί προγραμματιστές μπορούν να εργαστούν σε ένα κομμάτι του λογισμικού ανοικτού κώδικα χωρίς να ζητήσουν την άδεια από τους αρχικούς δημιουργούς, το λογισμικό ανοικτού κώδικα είναι σταθερότερο και ενημερώνεται και αναβαθμίζεται πιο γρήγορα. Συνεπώς, πολλοί χρήστες και εταιρίες προτιμούν το λογισμικό ανοικτού κώδικα για τα σημαντικά και μακροπρόθεσμα σχέδια τους δεδομένου ότι ο πηγαίος κώδικας του είναι ελεύθερος, όσοι βασίζονται σε λογισμικό για κρίσιμες εργασίες μπορούν να είναι βέβαιοι ότι τα εργαλεία τους δεν θα εξαφανιστούν ή δεν θα σταματήσουν να ενημερώνονται αν οι αρχικοί του δημιουργοί σταματήσουν να εργάζονται πάνω σε αυτό, ή αν κλείσει η εταιρία που τα στηρίζει.

4.2.4. | Λογισμικό ανοικτού κώδικα σημαίνει δωρεάν λογισμικό;

Αυτό είναι μια κοινή παρανόηση σχετικά με το τι σημαίνει “open source”. Οι προγραμματιστές μπορούν να χρεώνουν χρήματα για το λογισμικό ανοικτού κώδικα που δημιουργούν ή στα έργα στα οποία συμβάλλουν. Αλλά επειδή οι περισσότερες άδειες χρήσης ανοικτού κώδικα απαιτούν να έχουν ελεύθερο τον πηγαίο κώδικα τους όταν πωλούν λογισμικό σε άλλους, πολλοί προγραμματιστές λογισμικού ανοικτού κώδικα αμείβονται για την παροχή υπηρεσιών και υποστήριξης λογισμικού (και όχι για το ίδιο το λογισμικό). Με αυτό τον τρόπο, το λογισμικό τους εξακολουθεί να είναι δωρεάν ενώ αμείβονται βοηθώντας τους άλλους στην εγκατάσταση, τη χρήση και την αντιμετώπιση των προβλημάτων του.

4.2.5. | Το Ελεύθερο Λογισμικό / Λογισμικό Ανοικτού Κώδικα στην καθημερινότητά μας

4.2.5.1. Το ΕΛ/ΛΑΚ στην εκπαίδευση

Ίσως η πλέον προοδευτική σκοπιά του ΕΛ/ΛΑΚ είναι η συνεισφορά του στην εκπαίδευση. Χρησιμοποιώντας λογισμικό ανοικτού κώδικα στην εκπαιδευτική διαδικασία προσαρμόζουμε το λογισμικό στις ανάγκες της εκπαίδευσης, αντιδιαμετρικά με τη χρήση του κλειστού λογισμικού, όπου έχουμε προσαρμογή της εκπαίδευσης στις ιδιαιτερότητες του λογισμικού.

Αρχικά η αλληλεπίδραση χρηστών – δημιουργών οδηγεί σε μια σχέση ανάδρασης, που συντελεί στην συνεχόμενη βελτιστοποίηση του λογισμικού, στην καλλιέργεια κλίματος συναδελφικότητας μεταξύ των μελών της κοινότητας που το χρησιμοποιούν, και στην διεπιστημονική ανάπτυξη των εμπλεκόμενων. Έτσι η εκπαιδευτική διαδικασία μπορεί να γίνει πιο δημιουργική και πιο προσοδοφόρα.

4.2.5.2. Το ΕΛ/ΛΑΚ στην κοινωνία

Βασική επίδραση του ΕΛ/ΛΑΚ είναι τα οφέλη της συμμετοχής στην κοινότητά του. Στις επιχειρήσεις η ανάπτυξη κλειστού λογισμικού γίνεται από ολιγομελείς ομάδες που υποχρεώνονται να ασχοληθούν με συγκεκριμένα κομμάτια του με βάση τις εξειδικευμένες γνώσεις τους, ανταγωνιζόμενες η μια την άλλη. Κατ' επέκταση οι ίδιοι οι εργαζόμενοι αναπτύσσουν σχέσεις ανταγωνιστικές και όχι συναδελφικές. Αντίθετα, στη κοινότητα του ΕΛ/ΛΑΚ λόγω του πλήθους των μελών της και της συνεργασίας μεταξύ τους, ο κάθε προγραμματιστής συμβάλει στην κοινότητα άμεσα ή έμμεσα, με αποτέλεσμα να γίνεται κομμάτι μιας συλλογικής διαδικασίας. Υπάρχει καταμερισμός της εργασίας, αλλά δεν είναι ούτε προϊόν ανάθεσης ούτε εξαρτάται από συνθήκες της αγοράς, παρά μόνο από τις ανάγκες της κοινότητας. Γενικότερα μπορούμε να πούμε ότι το κίνητρο για την ενασχόληση (επομένως και την συνεισφορά στην ανάπτυξη του ΕΛ/ΛΑΚ) δεν είναι εξωτερικό αλλά εσωτερικό. Έγγεται στην εσωτερική θέληση του ίδιου του ατόμου να συνεισφέρει στην κοινότητα. Τελικά, μέσω του συλλογικού δρόμου αναπτύσσεται το αίσθημα της ευθύνης προς αυτήν, εξαλείφεται ο ανταγωνισμός, προωθείται η συνεργασία και καλλιεργούνται οι συνειδήσεις των ατόμων, αλλάζοντας τον τρόπο σκέψης τους ευρύτερα στην καθημερινότητά τους.

Μπορεί το ΕΛ/ΛΑΚ να επιφέρει μια κοινωνική επανάσταση; Η γρήγορη και προφανής απάντηση είναι βέβαια “Όχι”, καθώς η ανάπτυξη του Ελεύθερου λογισμικού από μόνης της δεν μετασχηματίζει την κοινωνία, δεν δημιουργεί-εξαλείφει κοινωνικές τάξεις ούτε καλλιεργεί συνειδήσεις στο σύνολο του πληθυσμού. Όλα αυτά όμως συμβαίνουν στην κοινότητα χρηστών – δημιουργών του ΕΛ/ΛΑΚ. Στο βαθμό που η εν λόγω παραγωγική διαδικασία δύναται να αποτελέσει πρότυπο ανάπτυξης και για άλλους κλάδους της παραγωγής τότε το ΕΛ/ΛΑΚ μπορεί να αποτελέσει μέσο κοινωνικής χειραφέτησης.

Ο ανοικτός κώδικας δεν είναι μόνο ένας τρόπος για την ανάπτυξη και την χρήση λογισμικού, αλλά και μια στάση ζωής. Ο ανοικτός κώδικας εκφράζει την επιθυμία των ανθρώπων να μοιράζονται και να συνεργάζονται με διαφανείς τρόπους. Σημαίνει δέσμευση να διαδραματίσουν ένα ενεργό ρόλο στη βελτίωση

του κόσμου, η οποία είναι δυνατή μόνο όταν ο καθένας έχει πρόσβαση στον τρόπο με τον οποίο έχει σχεδιαστεί ο κόσμος.

Ο κόσμος γύρω μας είναι γεμάτος από «πηγαίο κώδικα» που διαμορφώνει τον τρόπο που σκεφτόμαστε και ενεργούμε σε αυτόν. Η εκπαίδευση, η κυβέρνηση, η υγεία, το δίκαιο, οι επιχειρήσεις καθώς και κάθε άλλος τομέας της ζωής μας αποτελούν τον πηγαίο μας κώδικα, ο οποίος θα λειτουργήσει καλύτερα μόνο όταν είναι ανοικτός.

4.3. | Υλισμικό ανοικτής πηγής

Υλισμικό ανοικτής πηγής ή ανοικτό υλικό είναι υλικό του οποίου ο σχεδιασμός είναι δημοσίως διαθέσιμος έτσι ώστε ο καθένας να μπορεί να μελετήσει, μετατρέψει, διανείμει, κατασκευάσει και πουλήσει το σχεδιασμό ή το υλικό με βάση αυτόν τον σχεδιασμό. Το πηγαίο του υλικού, ο σχεδιασμός με τον οποίο δημιουργήθηκε, είναι διαθέσιμος σε ανοικτή μορφή για να γίνονται μετατροπές σε αυτό. Ιδανικά, το ανοικτό υλικό χρησιμοποιεί προσιτά εξαρτήματα και υλικά, τυποποιημένες διαδικασίες, ανοικτές υποδομές, περιεχόμενο χωρίς περιορισμούς και ανοικτού κώδικα εργαλεία σχεδιασμού για να μεγιστοποιήσει την ικανότητα του καθενός στο να δημιουργεί και να κάνει χρήση του υλικού. Το ανοικτό υλικό δίνει στους ανθρώπους την ελευθερία να ελέγχουν την τεχνολογία τους διαμοιράζοντας ταυτόχρονα γνώση και ενθαρρύνοντας το εμπόριο δια μέσου της ανοικτής ανταλλαγής των σχεδιασμών.

Το υλισμικό ανοικτής πηγής είναι, λοιπόν, ένα σύνολο από αρχές σχεδιασμού και νομικές πρακτικές και όχι ένα συγκεκριμένο είδος αντικειμένου. Υπό αυτή την έννοια ο όρος αναφέρεται σε αντικείμενα που ενδέχεται να έχουν μεγάλες διαφορές μεταξύ τους όπως αυτοκίνητα, καρέκλες, υπολογιστές, ρομπότ ή ακόμα και σπίτια. Το ανοικτό υλικό, όπως και το λογισμικό ανοικτού κώδικα, θεωρείται μέρος της κουλτούρας ανοικτού κώδικα. Με την προώθηση του μοιράσματος της γνώσης και των σχεδίων το κίνημα του ανοικτού υλικού ενθαρρύνει τον οποιοδήποτε πρακτικά να κατασκευάσει· αυτό το χαρακτηριστικό το φέρνει σε στενή σχέση με την κουλτούρα "φτιάχτο μόνος σου" και γενικότερα με το *maker movement*.

Ο όρος *υλικό* στο ανοικτό υλικό παραδοσιακά χρησιμοποιούνταν σε μια αντιπαράθεση με τον όρο *λογισμικό* στο ανοικτό λογισμικό. Δηλαδή στα ηλεκτρονικά κυκλώματα στα οποία έτρεχε το λογισμικό. Εντούτοις τα τελευταία χρόνια καθώς όλο και περισσότερα μη-ηλεκτρονικά υλικά μετατρέπονται σε ανοικτής πηγής ο όρος *υλικό* ξαναγυρνάει πίσω στην γενική του έννοια του "φυσικού αντικειμένου". Έτσι λοιπόν οι διαφορετικοί τομείς που βρίσκουμε εφαρμογές ανοικτού υλικού πληθαίνουν διαρκώς και συμπεριλαμβάνουν όλο και μεγαλύτερο φάσμα.

ΚΕΦΑΛΑΙΟ 5

5.1. | To RepRap Project

Το RepRap project ξεκίνησε το 2005 από τον Dr Adrian Bowyer, αναπληρωτή Καθηγητή μηχανικής στο Πανεπιστήμιο του Bath στην Αγγλία. Η χρηματοδότηση προερχόταν από το Engineering and Physical Sciences Research council.

RepRap σημαίνει Self **Re**plicating – **R**apid Prototyping, αναφέρεται δηλαδή στην βασική ιδέα πίσω από ολόκληρο το project που ήταν η δημιουργία ενός τρισδιάστατου εκτυπωτή ο οποίος θα έχει την δυνατότητα να εκτυπώνει τον «εαυτό» του – A printer that prints itself (!).

Οι εκτυπωτές RepRap αποτελούν την επιτομή του open source hardware και software, αφού τόσο το υλισμικό του όσο και το λογισμικό που τρέχει η πλακέτα του είναι διαθέσιμα και δωρεάν για τον οποιοδήποτε θελήσει να ασχοληθεί.

Το project σχεδιάστηκε από τον Dr. Bowyer ώστε να ενθαρρύνει την εξέλιξη και έκτοτε έχουν δημιουργηθεί πολλές γενιές τρισδιάστατων εκτυπωτών. Σαν project υλισμικού ανοικτής πηγής αλλά και λογισμικού ανοιχτού κώδικα επιτρέπει στους σχεδιαστές να κάνουν μετατροπές και αντικαταστάσεις, με την προϋπόθεση ότι μοιράζονται τις βελτιώσεις τους με την RepRap κοινότητα.

Ο δεδηλωμένος στόχος του RepRap project είναι να παράγει μία συσκευή που να μπορεί να αναπαράγει τον εαυτό της όχι σαν αυτοσκοπό, αλλά κυρίως για να προμηθεύσει με μια ελάχιστη δαπάνη κεφαλαίου κάθε σπίτι με ένα σύστημα που θα επιτρέψει σε ένα οποιοδήποτε άτομο να κατασκευάσει πολλά από τα αντικείμενα που χρησιμοποιούνται στην καθημερινή ζωή.

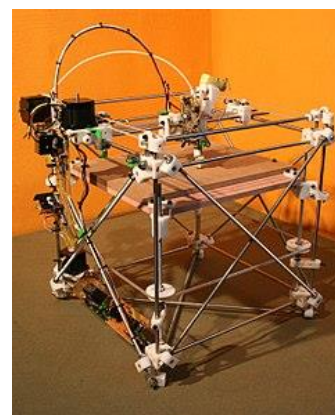
5.2. | Ιστορική Αναδρομή

13 Σεπτεμβρίου 2006: Ο πρωτότυπος RepRap 0.2 εκτύπωσε με επιτυχία το πρώτο εξάρτημα του εαυτού του. Αυτό στη συνέχεια χρησιμοποιήθηκε για να αντικαταστήσει ένα ταυτόσημο εξάρτημα του, που αρχικά δημιουργήθηκε από έναν εμπορικό 3D εκτυπωτή.

9 Φεβρουαρίου 2008: Ο RepRap 1.0 "Darwin" κατασκεύασε επιτυχία πάνω από τα μισά μέρη που αποτελούν.

14 Απριλίου 2008: Δημιουργήθηκε το πρώτο αντικείμενο τελικού χρήστη από έναν RepRap, μία βάση για να συγκρατεί με ασφάλεια iPod στο ταμπλό ενός Ford Fiesta.

Μέχρι το Σεπτέμβριο του ίδιου έτους αναφέρθηκε ότι είχαν παραχθεί τουλάχιστον 100 αντίτυπα σε διάφορες χώρες.

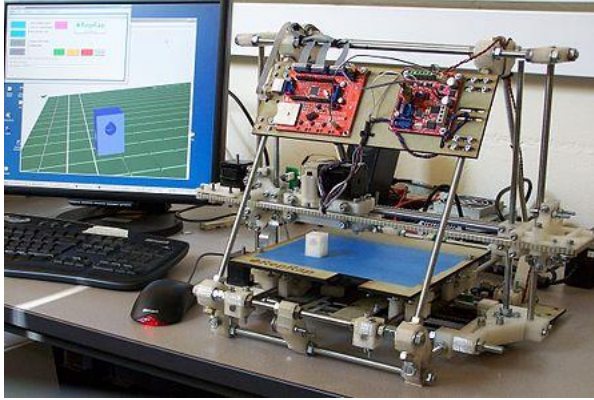


με
τον

ένα

Απρίλιος 2009: Με χρήση ενός RepRap παρήχθησαν πλακέτες ηλεκτρονικών κυκλωμάτων, χρησιμοποιώντας ένα αυτοματοποιημένο σύστημα ελέγχου και ένα σύστημα με εναλλάξιμες κεφαλές εκτύπωσης, ικανό να τυπώνει και πλαστικό και αγωγίμο διάλυμα .

2 Οκτωβρίου 2009: Η δεύτερη γενιά του σχεδιασμού, που ονομάζεται "Mendel", τύπωσε το πρώτο εξάρτημά του. Το σχήμα του Μέντελ μοιάζει περισσότερο με ένα τριγωνικό πρίσμα, αντί ενός κύβου. Ο RepRap 2.0 "Mendel", ολοκληρώθηκε τον Οκτώβριο του 2009.



27 Ιανουαρίου 2010: Το Ινστιτούτο Foresight ανακοίνωσε το «Ανθρωπιστικό Βραβείο Καινοτομίας Kartik M. Gada» για το σχεδιασμό και την κατασκευή ενός βελτιωμένου RepRap.

31 Αυγούστου 2010: Ο σχεδιασμός τρίτης γενιάς, "Huxley", είναι γεγονός. Η ανάπτυξη στηρίχτηκε σε μία συρρικνωμένη έκδοση του υλικού του Mendel με το 30% του αρχικού όγκου εκτύπωσης.

Μέσα σε δύο χρόνια, η κατασκευή και χρήση του RepRap διαδόθηκε ευρέως μέσα στην τεχνολογική, gadget και μηχανολογική κοινότητα.

Το 2012 έγινε ο πρώτος επιτυχής σχεδιασμός Delta, με τον εκτυπωτή Rostock, είχε εντελώς διαφορετικό σχεδιασμό. Η τελευταία έκδοση χρησιμοποιούσε OpenBeams, καλώδια (τυπικά Dyneema ή πετονιές Spectra) αντί για ιμάντες.

Ιανουάριος 2016: η RepRapPro (συντόμευση του "RepRap Professional", ένας επαγγελματικός κλάδος του RepRap στο UK) ανακοίνωσαν ότι θα σταματήσουν την εμπορία KIT στις 15 Ιανουαρίου 2016. Η εξήγηση που δόθηκε ήταν η κατάλληψη της αγοράς από χαμηλού κόστους 3D εκτυπωτές και η αδυναμία επέκτασης σε αυτή την αγορά. Η RepRapPro China συνεχίζει να λειτουργεί.

5.3. | Software

Σαν ιδέα ο RepRap είχε συλληφθεί σαν ένα πλήρες σύστημα αντιγραφής αντικειμένων και όχι σαν ένα απλό κομμάτι hardware. Από αυτή την άποψη το σύστημα συμπεριλαμβάνει και τα δύο:

Σχεδιασμό υποβοηθούμενο με Η/Υ (CAD) με τη μορφή 3D μοντελισμού και στη συνέχεια κατασκευή υποβοηθούμενη από Η/Υ (computer-aided manufacturing – CAM).

Έτσι διαθέτει προγράμματα και drivers οι οποίοι μετατρέπουν τα τρισδιάστατα σχέδια των χρηστών σε ένα σύνολο εντολών για το RepRap hardware. Το hardware στη συνέχεια μετατρέπει το σύνολο εντολών σε φυσικά αντικείμενα.

Αρχικά είχαν αναπτυχθεί δύο σειρές εργαλείων CAM για τους RepRap. Η πρώτη, με το όνομα "RepRap Host", είχε γραφτεί σε Java από τον πρωτοπόρο στην ανάπτυξη του RepRap Adrian Bowyer. Η δεύτερη, "Skeinforge", είχε γραφεί ανεξάρτητα από τον Enrique Perez. Και τα δύο είναι πλήρη συστήματα για την μετατροπή τρισδιάστατων 3D μοντέλων σχεδιασμένων με υπολογιστή σε κώδικα-G. Ο κώδικας G είναι μία γλώσσα μηχανής για την καθοδήγηση του εκτυπωτή, ανεξαρτήτως μοντέλου.

Γενικά από τη RepRap κοινότητα είναι προτιμώμενα δωρεάν και ανοικτού κώδικα, 3-D προγράμματα μοντελοποίησης όπως το Blender, το OpenSCAD και το FreeCAD, αλλά με το RepRap μπορεί να χρησιμοποιηθεί σχεδόν κάθε CAD ή άλλο πρόγραμμα 3D μοντελοποίησης, αρκεί να είναι σε θέση να παράγει αρχεία .STL (το slic3r υποστηρίζει επίσης .obj και .amf αρχεία).

Έτσι οι δημιουργοί μπορούν να κάνουν χρήση οποιουδήποτε εργαλείου με το οποίο είναι εξοικειωμένοι, είτε πρόκειται για εμπορικά προγράμματα CAD, όπως το SolidWorks και το Autodesk AutoCAD, Autodesk Inventor, Autodesk 123D Σχέδιο, Tinkercad, ή SketchUp μαζί με το ελεύθερο λογισμικό.

5.4. | Διαθέσιμα υλικά εκτύπωσης

Οι RepRap εκτυπώνουν αντικείμενα από ABS, πολυγαλακτικό οξύ (PLA), Νάυλον (ενδεχομένως όχι όλοι οι extruders), HDPE, TPE και παρόμοια θερμοπλαστικά.

Το πολυγαλακτικό οξύ (PLA) έχει τα μηχανικά πλεονεκτήματα της υψηλής ακαμψίας, ελάχιστης στρέβλωσης (warping) και ένα ελκυστικό χρώμα. Επίσης, είναι βιοδιασπώμενο και φυτικής προέλευσης.

Οι μηχανικές ιδιότητες του PLA και του ABS που είναι τυπωμένα με εκτυπωτές RepRap, έχουν δοκιμαστεί και έχει αποδειχθεί ότι είναι ισοδύναμες με των επαγγελματικών εκτυπωτών.

Σε αντίθεση με τους περισσότερους επαγγελματικούς εκτυπωτές, οι χρήστες των RepRap ενθαρρύνονται να πειραματιστούν με νέες μεθόδους εκτύπωσης, με την εκτύπωση νέων

υλικών και στη συνέχεια καλούνται να δημοσιεύσουν τα αποτελέσματά τους, με σκοπό την ανάπτυξη μεθόδων εκτύπωσης με νέα υλικά (όπως κεραμικά). Επιπλέον, έχουν σχεδιαστεί και κατασκευαστεί αρκετές RecycleBots για τη μετατροπή πλαστικών αποβλήτων, όπως δοχεία σαμπουάν και γάλακτος, σε φτηνό νήμα εκτύπωσης για RepRap.

Η εκτύπωση ηλεκτρονικών είναι ένας βασικός στόχος του RepRap project, έτσι ώστε να μπορεί να τυπώνει τα δικά του κυκλώματα. Αρκετές μέθοδοι έχουν δοκιμαστεί μέσα στα χρόνια οι οποίες αν και ικανοποιητικές, χρήζουν βελτίωσης.

5.5. | Κατασκευή

Ο στόχος του έργου είναι ένας RepRap να είναι σε θέση να κατασκευάσει, στο κοντινό μέλλον, αυτόνομα πολλά από τα μηχανικά του εξαρτήματα, χρησιμοποιώντας πόρους χαμηλού επιπέδου. Όμως διάφορα εξαρτήματα, όπως αισθητήρες, βηματικοί κινητήρες ή μικροελεγκτές δεν μπορούν να αναπαραχθούν χρησιμοποιώντας τη RepRap 3D τεχνολογία εκτύπωσης. Έτσι πρέπει να παράγονται ανεξάρτητα από τη RepRap διαδικασία αυτοαναπαραγωγής. Ο στόχος είναι μελλοντικά να προσεγγίσει ασυμπτωτικά το 100% της αυτοαναπαραγωγής μέσα από μια εξελικτική σειρά γενεών. Για παράδειγμα, από την έναρξη του έργου η RepRap ομάδα έχει διερευνήσει μια ποικιλία προσεγγίσεων για την ενσωμάτωση στο προϊόν ηλεκτρικά αγωγίμων μέσων. Η μελλοντική επιτυχία αυτής της πρωτοβουλίας θα μπορούσε να ανοίξει την πόρτα για την ενσωμάτωση καλωδίων σύνδεσης, τυπωμένων κυκλωμάτων και ενδεχομένως, ακόμη και ηλεκτρικών κινητήρων σε RepRap προϊόντα. Παραλλαγές στη φύση των εξωθούμενων ηλεκτρικά αγωγίμων υλικών θα μπορούσαν να παράγουν ηλεκτρικά εξαρτήματα με διαφορετικές λειτουργίες από απλά αγωγιμες ηλεκτρικές διαδρομές.

Τα τυπωμένα ηλεκτρονικά (Printed electronics) είναι μια άλλη σχετική προσέγγιση. Ένα άλλο μη αντιγράψιμο εξάρτημα είναι οι ντίζες που χρησιμοποιούνται για τις γραμμικές κινήσεις. Μια έρευνα σε εξέλιξη είναι η χρήση αναπαραγόμενων συνδέσμων Sarrus για την αντικατάστασή τους.

ΚΕΦΑΛΑΙΟ 6

Κατασκευή τρισδιάστατου εκτυπωτή Rep Rap Prusa i3

6.1. | Bill of Materials

Υλικά που χρησιμοποιήθηκαν

Πλαστικά μέρη:

Τα πλαστικά μέρη όπως αυτά φαίνονται στην ακόλουθη λίστα εκτυπώθηκαν με ABS νήμα σε ένα Αθηναϊκό makerspace και είναι σύμφωνα με τα σχέδια που δίνονται στην επίσημη ιστοσελίδα του RepRap Project: <https://reprap.org/wiki/RepRap> .

- 4 x Y-corners
- 1 x Y-motor mount
- 2 x Z-top
- 2 x Z-motor mount
- 1 x Y-belt holder
- 1 x Y-belt tensioner
- 2 x X-Z endstop holders
- 1 x Y endstop holder
- 1 x X-motor mount
- 1 x X-idler
- 1 x Z-adjuster
- 1 x X-belt tensioner set
- 1 x X-carriage



1x Wade Extruder Body



1x Extruder Idler



1x Fan Duct



1x Wade Small Gear



1x Wade Big Gear



groove mount
compatible hotend
see:hotend comparison page
or hotend category



1x Hobbed Bolt



1x Fan 4*4



2x Springs



1x X Carriage



1x X End Idler



1x X End Motor



1x Y Belt Holder



4x Y Corner



1x Y Motor



1x Y Idler



1x Z Axis Top Left



1x Z Axis Top Right



1x Endstop Z Holder



1x Z Axis Bottom Left



1x Z Axis Bottom Right



3x Arduino Washer

- 1 x extruder body
- 1 x guidler
- 1 x large gear
- 1 x small gear
- 1 x fan duct
- 2 x spool holders
- 4 x arduino spacers

Ακρυλικό πλαίσιο:

Τα ακρυλικά μέρη κόπηκαν σε laser cutter του makerspace το οποίο μου τα προμήθευσε, σύμφωνα με τις οδηγίες που δίνονται από την RepRap κοινότητα:

- 1 x Πρόσοψη
- 2 x Πλαϊνά μέρη
- 1 x Βάση τραπέζιου - επιφάνειας εκτύπωσης

Ντίζες / Άξονες:

- 2 x Ντίζα M10x510
- 2 x Ντίζα M8x320
- 3 x Ντίζα M8x210
- 1 x Ντίζα M8x16
- 2 x Ντίζα M5x290
- 2 x Άξονας Y: Ντίζα M8x480
- 2 x Άξονας Z: Ντίζα M8x322
- 2 x Άξονας X: Ντίζα M8x370

Ρουλεμάν:

- 7 x 608zz
- 2 x 624zz
- 12 x LM8UU

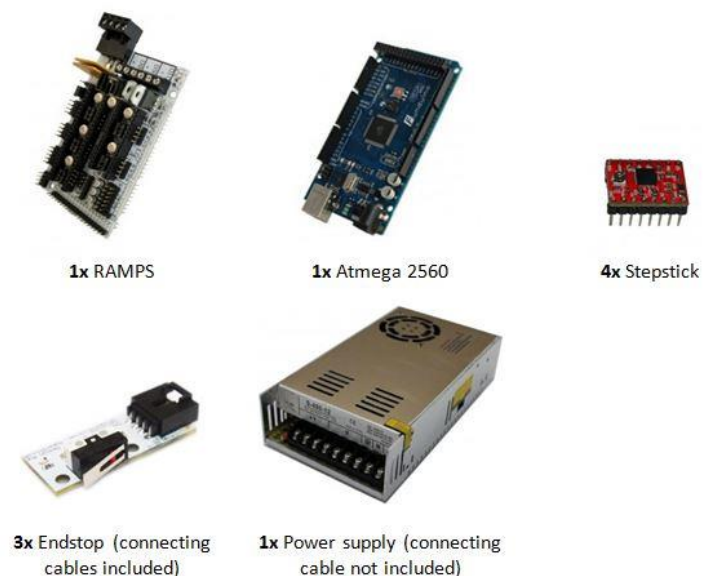


Ιμάντες και τροχαλίες:

- 2.5 m ιμάντας χρονισμού GT2
- 2 x τροχαλίες χρονισμού GT2
- 4 x grub screws

Ηλεκτρονικά:

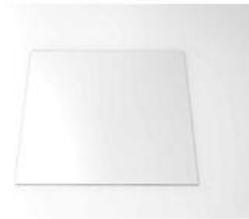
- 5 x NEMA 17 stepper motors
- 1 x Arduino Mega 2560
- 1 x USB καλώδιο
- 1 x Ramps Board
- 4 x Motor stepper drivers
- 1 x κεφαλή E3D-Lite 6 1.75/0.4 KIT
- 1 x thermistor 100K



5 x headers 4-pin
 5 x headers 2-pin
 30 x εσωτερικά για headers
 1 x LED
 1 x αντίσταση 1kΩ
 1 x heated bed 200x200mm
 1 x PSU 350W
 3 x Endstops
 1 x Ανεμιστήρας 12V 40mm
 1 x Ανεμιστήρας 12V 80mm



1x PCB Heatbed



1x Glass plate



1x Polyimide tape



4x Binder clip



1x Thermistor

Παρελκόμενα:

4 x Binder Clips
 2 x couplers (5 to 5mm)
 10 x Δεματικά
 1m Καλώδιο Τροφοδοσίας τριάρι
 1 x βύσμα σούκο
 2 x 60cm Καλώδιο δυάρι
 1 x 65cm Καλώδιο δυάρι για αντίσταση τραπέζιου εκτύπωσης
 3 m Καλώδια (Κόκκινο, Μπλε, Πράσινο και Μαύρο)
 1 x ταινία Kapton
 35 cm Σπирάλ τακτοποίησης Καλωδίων 8.2mm
 1.4 m Σπирάλ τακτοποίησης Καλωδίων 7.2mm
 Θερμοσυστελλόμενα

Στοιχεία σύνδεσης:

- Τραπέζιου Εκτύπωσης
 - 14 x Παξιμάδι M10
 - 12 x Ροδέλα M10x20
 - 24 x Παξιμάδι M8
 - 20 x Ροδέλα M8x16
 - 2 x Ροδέλα M8x24
 - 2 x Βίδα M3x20
 - 4 x Ροδέλα M3x7
 - 2 x Παξιμάδι NM3
 - 4 x Δεματικά
- Εντατήρα ιμάντα Y
 - 1 x Βίδα M4x25
 - 1 x Βίδα M4x20

1 x Ροδέλα M4x7
2 x Παξιμάδι ασφαλείας M4
1 x Παξιμάδι M4
1 x Ελατήριο

○ Plexiglass

6 x Βίδα M4x25
6 x Ροδέλα M4x9
6 x Παξιμάδι M4
8 x Παξιμάδι M8
4 x Ροδέλα M8x16
4 x Ροδέλα M8x24

○ Heated bed & Y-motor

4 x Δεματικά
6 x Βίδα M3x25
19 x Ροδέλα M3x7
6 x Παξιμάδι ασφαλείας M3
6 x Ελατήριο
3 x Βίδα M3x10

○ X-idler

3 x Βίδα M4x25
2 x Ροδέλα M4x9
3 x Παξιμάδι ασφαλείας M4
1 x Παξιμάδι M4
1 x Βίδα M4x20
1 x Παξιμάδι M5

○ X-motor

2 x Βίδα M3x12
2 x Βίδα M3x16
1 x Βίδα M3x30
2 x Ροδέλα M3x7
1 x Παξιμάδι M3
1 x Παξιμάδι ασφαλείας M3
1 x Ελατήριο
1 x Παξιμάδι M5

- Z άξονα
 - 10 x Βίδα M3x12
 - 10 x Βίδα M3x20
 - 1 x Ροδέλα M3x7
 - 1 x Παξιμάδι M3
- Endstops
 - 5 x Βίδα M2.5x16
 - 6 x Ροδέλα M3x7
 - 5 x Παξιμάδι M2.5
 - 1 x Βίδα M3x20
 - 1 x Παξιμάδι M3
- Arduino & PSU
 - 4 x Βίδα M2.5x16
 - 4 x Ροδέλα M3x7
 - 4 x Παξιμάδι M2.5
 - 4 x Βίδα M3x12
 - 4 x Ροδέλα M4x9
- X-carrige & ανεμιστήρα ηλεκτρονικών
 - 4 x Βίδα M4x20
 - 2 x Ροδέλα M4
 - 4 x Παξιμάδι M4
 - 14 x Δεματικά
- Guidler
 - 1 x Βίδα M3x30
 - 6 x Ροδέλα M3x7
 - 3 x Παξιμάδι M3
 - 2 x Ελατήριο
 - 2 x Βίδα M3x45
- Hot-End
 - 2 x Βίδα M3x40
 - 4 x Ροδέλα M3x7
 - 2 x Παξιμάδι ασφαλείας M3
- Hobbed bolt
 - 5 x Ροδέλα M8x16

- 1 x Παξιμάδι M8
- 1 x Παξιμάδι ασφαλείας M8
- 1 x Hobbed bolt
- Extruder-motor
 - 3 x Βίδα M3x12
 - 1 x Παξιμάδι M3
 - 3 x Ροδέλα M3x7
 - 1 x Grub screw M3x8
- Ανεμιστήρα κεφαλής
 - 4 x Βίδα M3x16
 - 4 x Παξιμάδι M3
- Βάσης νήματος
 - 2 x Βίδα M3x20
 - 2 x Παξιμάδι M3
 - 2 x Ροδέλα M3
 - 4 x Ρουλεμάν 628zz
 - 4 x Βίδα M8x25
 - 8 x Ροδέλα M8
 - 4 x Παξιμάδι ασφαλείας M8
- Τραπεζιού αλουμινίου με βάση plexi
 - 4 x Βίδα M3x20
 - 4 x Παξιμάδι M3
 - 4 x Ροδέλα M3x7
 - 4 x Παξιμάδι ασφαλείας M4

Ακολούθως θα παρουσιαστεί βήμα – βήμα η διαδικασία κατασκευής του εκτυπωτή, η οποία έγινε σύμφωνα με τις οδηγίες που υπάρχουν στο φόρουμ του RepRap https://reprap.org/wiki/Prusa_i3.

Πριν αρχίσουμε την κατασκευή του εκτυπωτή μας, είναι σημαντικό να κατανοήσουμε την διαδικασία με την οποία κινούνται τα διάφορα μέρη σε κάθε άξονα.

Κίνηση στον άξονα Z

Ο κάθετος άξονας είναι αυτός τον οποίο ονομάζουμε Z-axis, σε ένα καρτεσιανό μηχάνημα. Είναι ο άξονας ο οποίος κινείται με τον πιο αργό ρυθμό έτσι ώστε να επιτύχουμε την

υψηλότερη ανάλυση με έμφαση στις λεπτομέρειες και την ακριβή εκτύπωση των επιμέρους επιπέδων.

Το μηχάνημά μας χρειάζεται να σηκώσει ολόκληρο το X-carriage, δηλ. ολόκληρο τον άξονα X μαζί με την κεφαλή και τον βηματικό κινητήρα, για να πετύχει την κίνηση στον Z-axis. Για τον σκοπό αυτό χρειάζονται 2 βηματικοί κινητήρες, ένας σε κάθε πλευρά του εκτυπωτή, οι οποίοι πρέπει να συγχρονίζονται για να επιτευχθεί σωστή κίνηση.

Συγκεκριμένα, έχουμε δύο ντίζες συνδεδεμένες πάνω στα μοτέρ, και οι οποίες σε μια πλήρη περιστροφή μεταφέρουν το X-carriage 1.25mm προς την επιθυμητή κατεύθυνση, οδηγώντας έτσι σε μια αρκετά καλή ανάλυση.

Φυσικά, κάθε φορά που προετοιμάζουμε μια εκτύπωση, πρέπει να λαμβάνουμε υπόψη τους περιορισμούς του εκτυπωτή μας, έτσι ώστε να μην έχουμε προβλήματα με τους κινητήρες οι οποίοι αν π.χ. δουλεύουν με μεγαλύτερη ταχύτητα (με σκοπό την μείωση του χρόνου εκτύπωσης) από αυτή που μπορούν, θα παραλείψουν κάποιο βήμα, οδηγώντας σε λάθη στην εκτύπωση.

Ευτυχώς η αργή κίνηση του Z-axis δεν επηρεάζει ουσιαδώς την εκτύπωση μας αφού έτσι κι αλλιώς οι περισσότερες κινήσεις γίνονται στους X και Y. Η κίνηση κατά μήκος των ντιζών δεν χρησιμοποιείται για τους άλλους 2 άξονες, γιατί θα ήταν πάρα πολύ αργή και θα αντιμετώπιζαμε πρόβλημα.

Εκτός από τις ντίζες M8, συχνά χρησιμοποιούνται σαν εναλλακτικές οι M5 και M6, καθώς επιτρέπουν ακόμη πιο λεπτά επίπεδα, ενώ ταυτόχρονα μπορούν να κινούνται σχετικά γρήγορα για να επιτυγχάνονται αποτελέσματα μεγαλύτερης ακρίβειας.

Υπάρχουν και άλλες λύσεις ειδικά σχεδιασμένες για την γραμμική αυτή κίνηση, οδηγώντας σε μεγαλύτερες ταχύτητες, όμως το κόστος ανεβαίνει σημαντικά ενώ επίσης είναι δυσκολότερη η τοποθέτηση τους στην κατασκευή.

Κίνηση στους άξονες X και Y

Η κίνηση στους άξονες X και Y πρέπει να είναι όσο γρηγορότερη γίνεται, αυτό συμβαίνει διότι όσο γρηγορότερα κινείται η κεφαλή μας πάνω στην επιφάνεια εκτύπωσης, τόσο γρηγορότερα θα έχουμε στα χέρια μας το τελικό μοντέλο. Για τον λόγο αυτό, χρησιμοποιούμε ιμάντες χρονισμού GT2 με οδοντωτούς οδηγούς οι οποίοι τοποθετούνται κατευθείαν πάνω στους κινητήρες.

Εναλλακτικά, αντί για ιμάντες των 2mm, μπορούν να χρησιμοποιηθούν και ιμάντες των 2.5 ή 5 mm, οι οποίοι όμως έχουν μικρότερη ακρίβεια, χωρίς αυτό να τους καθιστά άχρηστους. Οι ιμάντες αυτοί περιέχουν λεπτά μέταλλα τα οποία αποτρέπουν το ανεπιθύμητο τέντωμα – λασκάρισμα τους. Αυτό τελικά θα συμβεί και θα χρειαστεί να αντικατασταθούν, ωστόσο συνήθως αντέχουν κάποια χρόνια χωρίς πρόβλημα.

Υπάρχουν επιπλέον κάποια γραμμικά συστήματα οδηγών, τα οποία χρησιμοποιούν καλής ποιότητας πλεγμένη πετονιά για να τυλίξουν ένα εκτυπωμένο κομμάτι που μοιάζει με κουβαρίστρα και τοποθετούνται αντί του οδοντωτού οδηγού πάνω στους κινητήρες. Αυτή η μέθοδος προσφέρει πλεονεκτήματα όπως η μείωση του θορύβου και η αύξηση της ταχύτητας και είναι επίσης πιο οικονομική λύση σε σχέση με τους ιμάντες χρονισμού. Συνήθως χρησιμοποιείται σε εκτυπωτές Delta.

Εξίσου σημαντικοί για το σύστημα κίνησης είναι και οι άξονες που χρησιμοποιούνται και για τις τρεις διαστάσεις. Συνήθως έχουν διάμετρο 8 ή 6 mm, όμως ανάλογα με το μοντέλο του μηχανήματος μπορεί να απαιτούνται και άξονες των 10mm. Πάνω σε αυτούς τους άξονες έχουμε τις επιμέρους κινήσεις των αξόνων, οι οποίες επιτυγχάνονται με τη χρήση κατάλληλων για την κάθε περίπτωση ρουλεμάν.

Τα ρουλεμάν κατασκευάζονται από επαγγελματίες και έχουν δύο δακτυλίους, έναν εσωτερικό και έναν εξωτερικό μέσα στους οποίους βρίσκονται μεταλλικά σφαιρίδια τα οποία επιτρέπουν την κίνηση. Ενώ η διάρκεια ζωής των ρουλεμάν είναι μεγάλη, είναι γεγονός ότι κάνουν αρκετό θόρυβο. Στις περιπτώσεις που επιθυμούμε να τον μειώσουμε συνιστάται η χρήση ρουλεμάν από ορείχαλκο ή τρισδιάστατα εκτυπωμένων ρουλεμάν. Σε αυτή την περίπτωση η διάρκεια ζωής τους δεν είναι η ίδια όμως, ειδικά τα τρισδιάστατα εκτυπωμένα ρουλεμάν, έχουν ιδιαίτερα χαμηλό κόστος.

Τα τρισδιάστατα εκτυπωμένα ρουλεμάν πρέπει να είναι τυπωμένα από PLA καθώς είναι ένα σκληρό υλικό που επιτρέπει την ομαλή κίνηση πάνω στους άξονες. Αν τυπωθούν από άλλο υλικό πχ ABS κατά πάσα πιθανότητα θα φθαρούν αμέσως.

6.2. | Έναρξη κατασκευής

6.2.1. | Δομικά μέρη

Ανάλογα με τον RepRap που επιλέγει κανείς τα σχέδια του σκελετού μπορούν να διαφέρουν σημαντικά τόσο στον σχεδιασμό όσο και στα υλικά που χρησιμοποιούνται. Ωστόσο, σε κάθε περίπτωση, χρησιμεύουν στο να δημιουργηθεί μια σταθερή βάση πάνω στην οποία θα τοποθετηθούν τα επιμέρους εξαρτήματα του εκτυπωτή.

Βήμα 1

Αρχικά παίρνουμε τα 3 κομμάτια plexiglass – πρόσοψη, δύο πλαϊνές όψεις – και τα ενώνουμε με τις κατάλληλες βίδες έτσι ώστε να δημιουργηθεί το βασικό πλαίσιο του εκτυπωτή μας. Είναι σημαντικό να σφίξουμε σωστά τις βίδες και τα παξιμάδια μας, έτσι ώστε να μην επιτρέπεται οποιαδήποτε κίνηση του πλαισίου.

Εναλλακτικά, θα μπορούσαμε να έχουμε ένα ξύλινο κουτί σαν βάση του σκελετού μας. Αυτή η εναλλακτική υπερτερεί σε σχέση με το ακρυλικό, διότι μπορεί κανείς να την κατασκευάσει με πολύ απλά εργαλεία χωρίς να χρειάζεται η χρήση ειδικού εξοπλισμού (laser cutter) καθώς επίσης και γιατί προσφέρει σίγουρη σταθερότητα στις τρεις διαστάσεις, ωστόσο το τελικό αποτέλεσμα δείχνει λιγότερο επαγγελματικό και αισθητικά πιο απαρχαιωμένο.



Βήμα 2

Στη συνέχεια θα κατασκευάσουμε τον Y-axis.

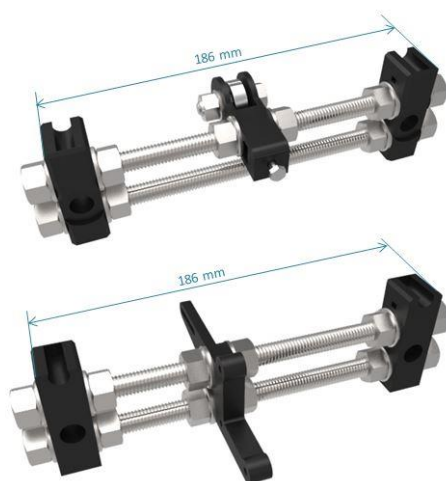
Στον Prusa i3 χρησιμοποιούνται σαν βάση, ντίζες M8 και M10 οι οποίες σταθεροποιούνται με την χρήση πλαστικών γωνιακών συνδέσμων Y-corners οι οποίες είναι τα «πόδια» - βάσεις του εκτυπωτή μας.

Στο μπροστινό μέρος του εκτυπωτή, στην μέση περίπου του πάνω μπροστινού άξονα τοποθετείται το Y-belt holder ή Y-idler πάνω στο οποίο στερεώνεται ο ιμάντας της κίνησης στον Y-axis. Επίσης, τοποθετείται ένα ρουλεμάν 608zz έτσι ώστε να μπορεί να ρολάρει πάνω του ο ιμάντας κίνησης. Όλα στερεώνονται κατάλληλα με παξιμάδια τα

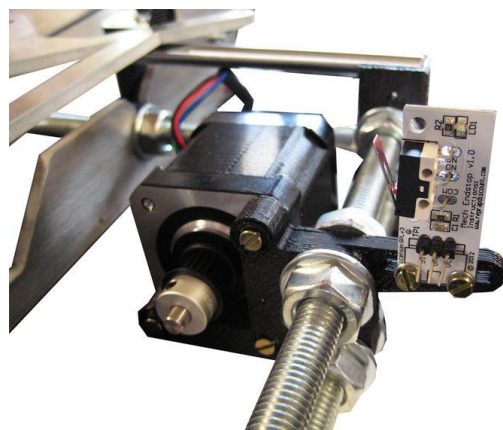


οποία πρέπει να σφίξουμε πολύ καλά για να αποφευχθούν τυχόν μετακινήσεις που θα μας κοστίσουν στην εκτύπωση. Στο πάνω μέρος των τρισδιάστατα εκτυπωμένων βάσεων θα τοποθετηθούν οι διαμέτρου 8mm άξονες του Υ.

Στο πίσω μέρος του εκτυπωτή και περίπου

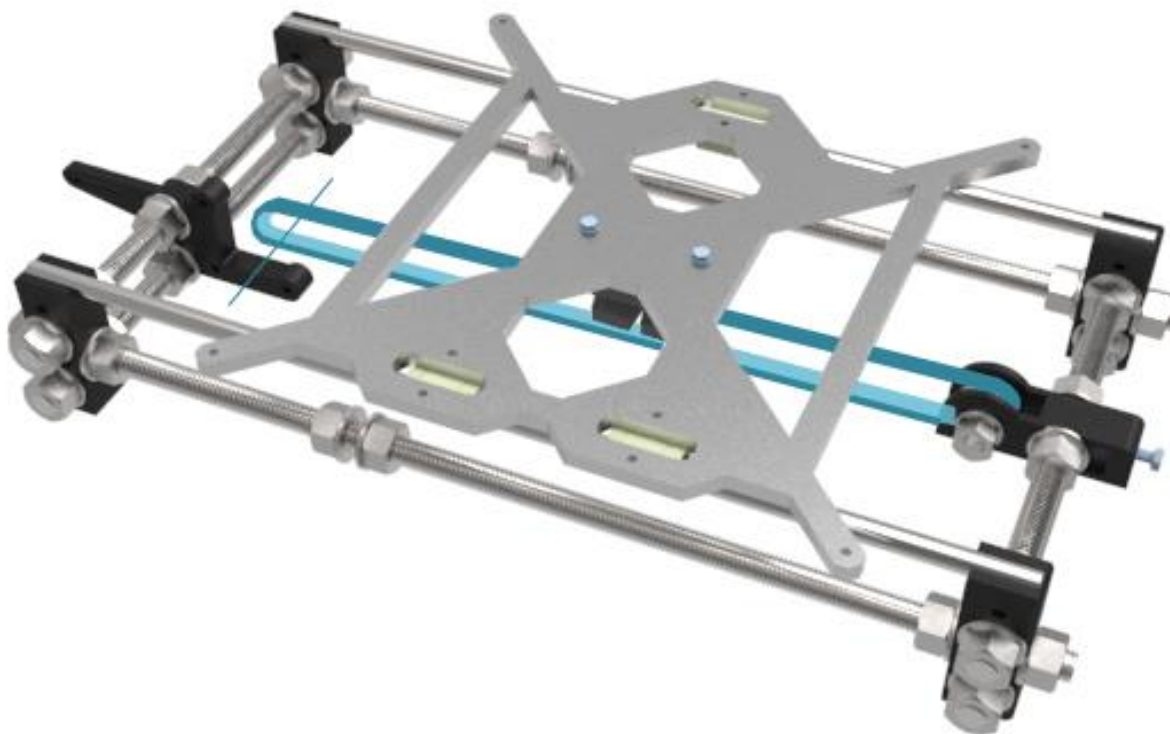


στο 1/3 της απόστασης από την πλαϊνή βάση, τοποθετείται το Y-motor mount πάνω στο οποίο θα βιδωθεί με την σειρά του ο βηματικός κινητήρας του Y-axis. Πρέπει να προσέξουμε να είναι ευθυγραμμισμένο με το Y-belt Tensioner ή idler, για να είναι σε ευθεία ο ιμάντας χρονισμού.



Στον Prusa i3 έχουμε επίσης την βάση από plexiglass πάνω στην οποία τοποθετείται η θερμαινόμενη επιφάνεια εκτύπωσης. Για να γίνει αυτό πρέπει η βάση πρώτα να τοποθετηθεί πάνω στους πλαϊνούς οδηγούς. Για να γίνει αυτό, βιδώνουμε πάνω στη βάση τον Y-belt Holder, με

τη βοήθεια του οποίου τεντώνουμε τον ιμάντα, ο οποίος καλύπτει όλο το μήκος από τον Y-belt Tensioner μέχρι τον κινητήρα. Είναι σημαντικό ο ιμάντας χρονισμού να είναι όσο περισσότερο τεντωμένος γίνεται γιατί αλλιώς θα χάνουμε βήματα. Για την κίνηση αυτής της βάσης κατά μήκος του Y-axis τοποθετούνται 4 ρουλεμάν LM8UU.



Βήμα 3

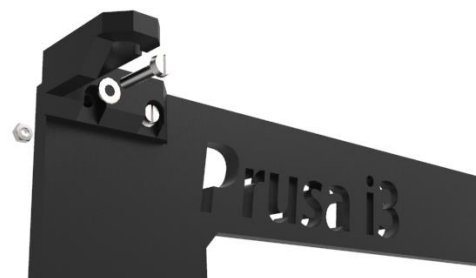
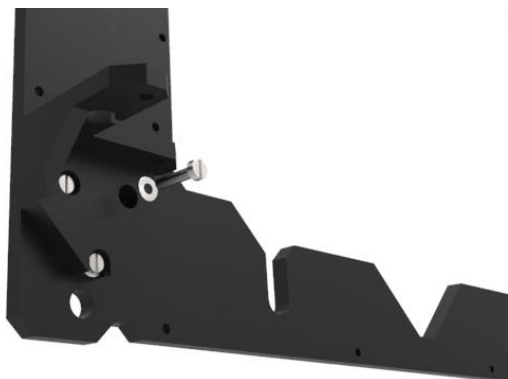
Κατασκευή X-axis και Z-axis. Αυτά τα δύο γίνονται παράλληλα έτσι ώστε να μπορέσουν να τοποθετηθούν ταυτόχρονα στην κατασκευή.

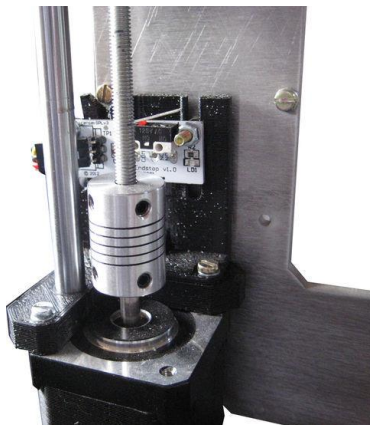
Για να μπορέσουμε να κατασκευάσουμε τον Z-axis, χρειάζεται αρχικά να βιδώσουμε πάνω στο πλαίσιο τα 2 πλαστικά κομμάτια Z-top και τα 2 Z-motor mount, στο

πάνω και κάτω μέρος του plexi αντίστοιχα.

Στα Z-motor mounts

θα τοποθετηθούν οι δύο κινητήρες που όπως περιγράφηκε παραπάνω προκαλούν την κίνηση του άξονα αυτού. Ανάμεσα στα Z-tops και τα Z-motor mounts θα τοποθετηθούν αντίστοιχα 2 ντίζες και 2 άξονες. Με τις ντίζες όπως ήδη αναφέραμε γίνεται η κίνηση, με τους άξονες σταθεροποιείται η όλη κατασκευή.





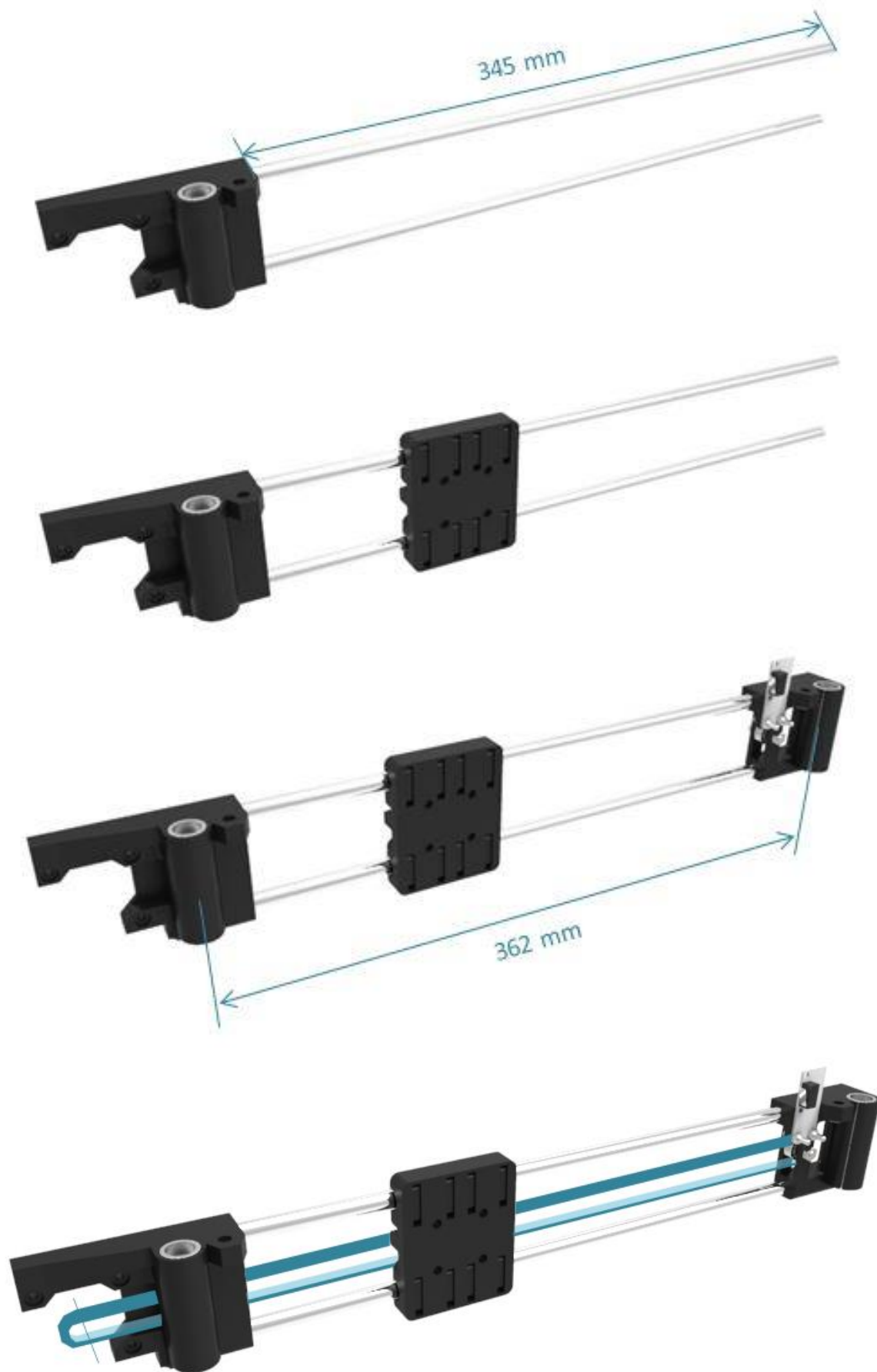
Πριν τοποθετήσουμε τους κινητήρες, πρέπει να βιδώσουμε τα 2 couplers πάνω τους έτσι ώστε με της σειρά της να τοποθετηθεί και να βιδωθεί η κάθε ντίζα για την μετάδοση της κίνησης. Στη συνέχεια βιδώνουμε τους κινητήρες στην θέση τους.

Πριν τοποθετήσουμε τους άξονες και τις ντίζες πρέπει επίσης να έχουμε ετοιμάσει το X-motor mount από την μία πλευρά και το X-carriage από την άλλη. Για το X-motor mount χρειαζόμαστε 2 ρουλεμάν LM8UU έτσι ώστε να επιτυγχάνεται η ομαλή κίνηση στον X-axis και μπορούμε επίσης να τοποθετήσουμε τον αντίστοιχο κινητήρα. Για το X-carriage χρειαζόμαστε άλλα 2 ρουλεμάν LM8UU και είμαστε έτοιμοι να τα ενώσουμε με τους 2 άξονες X. Για τον ιμάντα θα χρειαστεί επιπλέον 1 ρουλεμάν 608zz τοποθετημένο πάνω στο X-carriage ώστε όμοια με τον Z-axis να μπορεί να κινείται ομαλά όταν έρθει η ώρα να τον σφίξουμε.

Οι 2 άξονες του X θα πρέπει επίσης να περνούν από το ζεύγος των X-belt tensioner. Για την τοποθέτησή του, χρειαζόμαστε άλλα 4 ρουλεμάν LM8UU.



Μόλις είναι έτοιμος ο X-axis, ενώνουμε με τις 2 ντίζες και τους αντίστοιχους άξονες του Z.



Βήμα 4

Έχοντας τελειώσει την συναρμολόγηση των X-axis και Z-axis και ξεχωριστά τον Y-axis, χρειάζεται να τα ενώσουμε.

Έτσι, περνάμε τους άξονες ανάμεσα στις γωνιές μας και βιδώνουμε τις ντίζες στα couplers των κινητήρων. Τοποθετούμε τον ιμάντα στον άξονα X με προσοχή ώστε να είναι σφιχτός και συνεχίζουμε σφίγγοντας με προσοχή όλα τα παξιμάδια και τις βίδες που έχουμε και ευθυγραμμίζουμε όλες τους άξονες.

Ο βασικός σκελετός του εκτυπωτή μας είναι έτοιμος.



Βήμα 5

Τοποθέτηση heated bed.

Η θερμαινόμενη επιφάνεια εκτύπωσης είναι στην ουσία μια θερμαινόμενη αντίσταση σε μορφή εκτυπωμένου κυκλώματος σε πλακέτα (PCB). Ο λόγος που χρειαζόμαστε την θερμαινόμενη επιφάνεια εκτύπωσης είναι για να αποφευχθούν οι αναδιπλώσεις και η συρρίκνωση του εξωθούμενου πλαστικού λόγω της απότομης αλλαγής στη θερμοκρασία.

Για την τοποθέτηση της θερμαινόμενης επιφάνειας εκτύπωσης θα χρειαστούμε 4 βίδες και τα αντίστοιχα ελατήρια. Επίσης θα χρειαστούμε την ταινία Kapton, τον thermistor και το παροχικό καλώδιο.

Συγκολλούμε το παροχικό καλώδιο στις κατάλληλες επαφές του τραπεζιού και στη συνέχεια τοποθετούμε στο κέντρο του τον thermistor, ασφαλίζοντάς τον με ταινία Kapton. Η ταινία Kapton είναι μια ειδική ταινία η οποία είναι ανθεκτική στην θερμότητα.

Βήμα 6

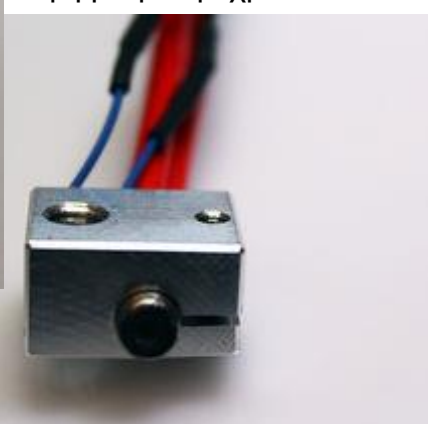
Συναρμολόγηση Extruder.

Αρχικά, θα συναρμολογήσουμε την κεφαλή μας η οποία είναι η **E3D Lite6**.

Εισάγουμε τον αισθητήρα θερμοκρασίας, Thermistor της κεφαλής στο block θέρμανσης και σφίγγουμε μέχρι να νοιώσουμε ελαφριά αντίσταση. Το block



ή



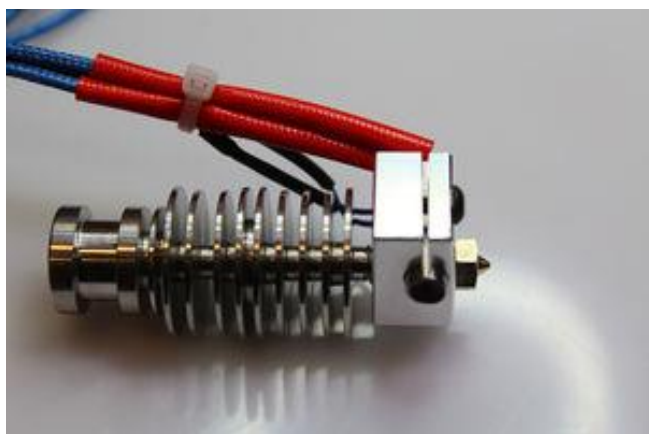
θέρμανσης είναι από αλουμίνιο λόγω της καλής θερμικής αγωγιμότητας που έχει. Προσοχή, δεν πρέπει να τον πιέσουμε παραπάνω καθώς ο Thermistor μπορεί να παραμορφωθεί με αποτέλεσμα

την μείωση της απόδοσής του

την δυσκολία αφαίρεσης από το block θέρμανσης στο μέλλον.

Ο Thermistor, είναι μια ευαίσθητη αντίσταση κατασκευασμένη από κεραμικό υλικό. Ο τρόπος λειτουργίας του βασίζεται στην αλλαγή της αντίστασής του με μικρές αλλαγές της θερμοκρασίας. Υπάρχουν δύο βασικές κατηγορίες Thermistor, οι PTC (Positive Thermal Coefficient), οι οποίοι έχουν θετικό συντελεστή θερμότητας, δηλ. η αντίστασή τους αυξάνεται με την αύξηση της θερμοκρασίας και οι NTC (Negative Thermal Coefficient), με αρνητικό συντελεστή, δηλ. η αντίστασή τους μειώνεται καθώς αυξάνεται η θερμοκρασία. Ο δικός μας ανήκει στην δεύτερη κατηγορία.

Ομοίως, τοποθετούμε θερμαινόμενη αντίσταση και την βιδώνουμε στη θέση της. Η θερμαινόμενη αντίσταση κυλινδρικού τύπου χρησιμοποιείται ως θερμαντικό στοιχείο για την ρευστοποίηση του πλαστικού νήματος. Στο εσωτερικό της βρίσκεται μια ηλεκτρική αντίσταση



η οποία διαρρέεται από ρεύμα και θερμαίνεται. Γύρω από την αντίσταση υπάρχει κεραμικό υλικό, το οποίο λειτουργεί ως μονωτής με πολύ καλή θερμική αγωγιμότητα, έτσι ερχόμενος σε επαφή με το block, μπορεί να το θερμάνει χωρίς να έχουμε διαρροές ρεύματος.

Ακολουθώντας, βιδώνουμε την μύτη εξώθησης μέχρι να δούμε ένα μικρό κενό ανάμεσα στην μύτη και το block θέρμανσης και αντίστοιχα βιδώνουμε την ψύκτρα. Και



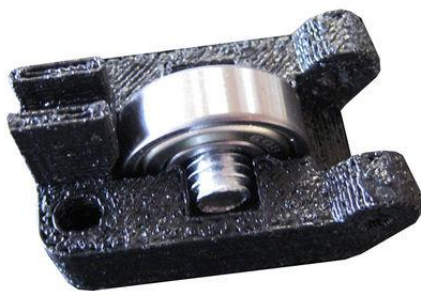
τα δύο θα σφιχτούν αργότερα, μόλις αυξήσουμε θερμοκρασία.

Τέλος, ετοιμάζουμε

το «collet-κολλάρο» και τον σωλήνα PTFE, για να ολοκληρωθεί η συναρμολόγησή μας. Ο σωλήνας αυτός αποτελεί τον «οδηγό» για την είσοδο του νήματος στην κεφαλή και φροντίζει ώστε να υπάρχει μια ομαλή ροή υλικού χωρίς προβλήματα στην πορεία του προς την μύτη του Extruder.

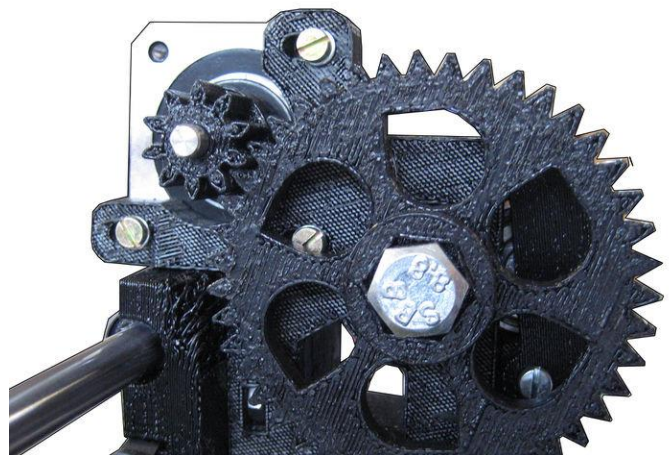
Ολοκληρώνουμε τοποθετώντας το ανεμιστηράκι της κεφαλής.

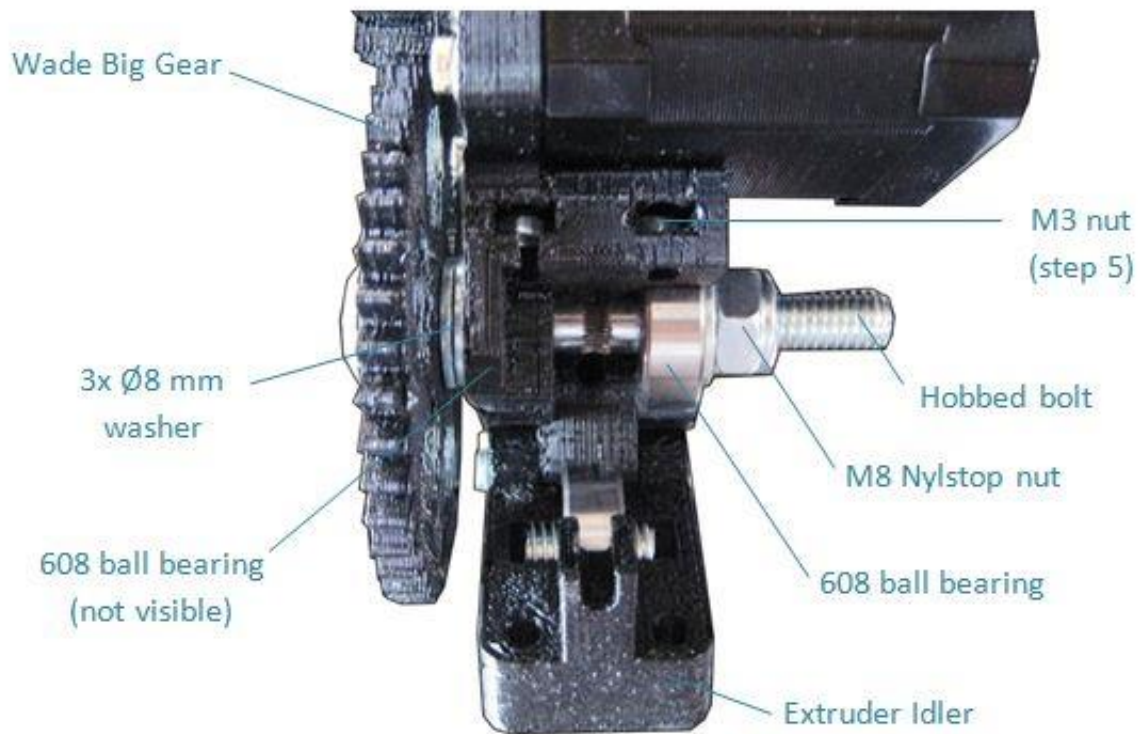
Με την συναρμολόγηση της κεφαλής διακρίνουμε καθαρά τα δύο μέρη τα οποία αποτελούν το σύστημα αυτό. Από τη μία έχουμε την ψυχρή περιοχή, η οποία παίρνει το νήμα με σταθερό ρυθμό και το διοχετεύει στην θερμαινόμενη περιοχή, η οποία είναι αυτή που το μετατρέπει σε ημίρευστη μορφή ώστε να εξωθηθεί από το ακροφύσιο για χρήση. Για να γίνει αυτή η μετάδοση κίνησης, έχουμε 2 γρανάζια κατάλληλα τοποθετημένα μεταξύ τους ώστε να βοηθούν την κίνηση και ένα ρουλεμάν το οποίο πιέζει το νήμα προς το γραναζι για καλύτερη πρόσφυση.



Έχοντας έτοιμη την κεφαλή μας, πρέπει να την συνδέσουμε με τα υπόλοιπα μέρη που θα την κρατούν στην θέση της καθόλη την διάρκεια της εκτύπωσης. Με κατάλληλες βίδες και

παξιμάδια ενώνουμε τα X-motor mount και X-idler και τα τοποθετούμε στο X-carriage ώστε να είναι έτοιμα να δεχτούν το κινητήρα.





Βήμα 7

Για να ολοκληρωθεί το «στήσιμο» του τρισδιάστατου εκτυπωτή, μένει να τοποθετήσουμε στα κατάλληλα σημεία τα Endstops – τερματικούς διακόπτες. Χρειαζόμαστε 3 τερματικούς διακόπτες, έναν για κάθε άξονα κίνησης. Με τη χρήση αυτού του διακόπτη, ορίζουμε τα όρια της κίνησής του κατά μήκος του άξονα.

Η διάταξη που επιλέγουμε για τον διακόπτη μας είναι η Normally Closed Configuration. Έτσι, μόλις πατηθεί ο διακόπτης, δίνεται σήμα για μηδενισμό θέσης και η κίνηση σταματάει.

Οι διακόπτες τοποθετούνται με τις αντίστοιχες βάσεις στήριξης (X – Y – Z Endstop holders) στα κατάλληλα σημεία για να σταματούν την κίνηση των αξόνων.

6.2.2. | Ηλεκτρονικά μέρη

Arduino

Τα ηλεκτρονικά μέρη του εκτυπωτή καθώς επίσης και το λογισμικό που χρησιμοποιούνται στους RepRap εκτυπωτές αντανakλούν πολλές ώρες ανάπτυξης και ενασχόλησης, έτσι ώστε να δημιουργηθεί ένα λειτουργικό μηχάνημα.

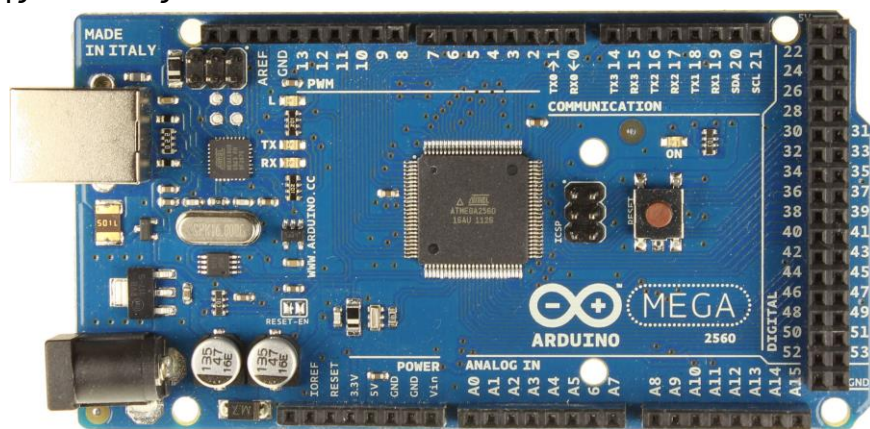
Τα ηλεκτρονικά των RepRap βασίζονται στον ανοιχτό κώδικα του Arduino project. Το Arduino είναι ένας μικροελεγκτής μονής πλακέτας, δηλ. Μια απλή μητρική πλακέτα ανοιχτού κώδικα με ενσωματωμένο μικροελεγκτή και εισόδους / εξόδους η οποία μπορεί να προγραμματιστεί με γλώσσα Wiring (ουσιαστικά πρόκειται για γλώσσα προγραμματισμού C++, με απλοποιήσεις και ένα σύνολο από έτοιμες βιβλιοθήκες).

Το μοντέλο του Arduino που χρησιμοποιούμε είναι το MEGA 2560.

Το Arduino Mega είναι μια εξελιγμένη πλακέτα της τεχνολογίας Arduino και προτείνεται για περίπλοκες κατασκευές που απαιτούν μεγαλύτερη μνήμη και περισσότερες εισόδους / εξόδους. Το μοντέλο MEGA 2560 είναι από τα πιο διαδεδομένα και είναι συμβατό με πλήθος αισθητήρων και επεκτάσεων.

Το Arduino MEGA βασίζεται στον μικροελεγκτή ATmega2560 της Atmel. Είναι μια ολοκληρωμένη πλακέτα που περιέχει ότι χρειάζεται για να μπορεί να προγραμματιστεί και να λειτουργήσει συνδένοντάς την με ένα απλό καλώδιο USB στον υπολογιστή, με μια μπαταρία ή με ένα τροφοδοτικό στην πρίζα.

Ενδεικτικά αναφέρουμε ότι διαθέτει 54 ψηφιακές εισόδους ή εξόδους, 16 αναλογικές εισόδους, 4 σειριακές θύρες, 1 θύρα USB (τύπου B) για τον προγραμματισμό και την τροφοδοσία της πλακέτας.

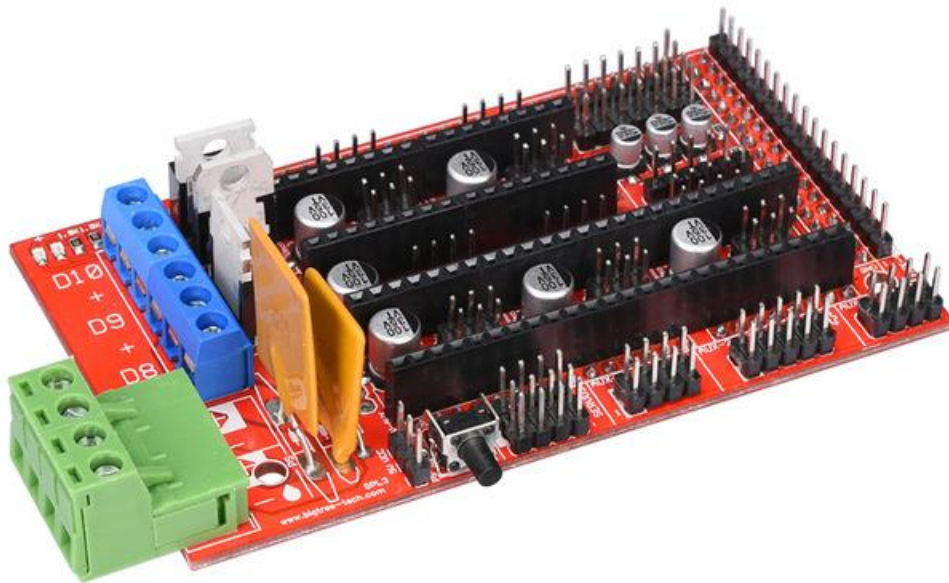


Shields

Οι Shields είναι πλακέτες (PCB) που συνδέονται στο Arduino, επεκτείνοντας τις δυνατότητές τους και επιτρέποντάς του να χρησιμοποιηθεί σαν μια μικρή μητρική κάρτα. Οι περισσότερες έχουν το ίδιο σχήμα με την πλακέτα του Arduino με αποτέλεσμα να την καλύπτουν ή να την προστατεύουν, γι' αυτό τον λόγο ονομάζονται Shields.

Για τον σκοπό αυτό, εμείς θα χρησιμοποιήσουμε την RAMPS, συντομογραφία τους RepRap Arduino Mega Pololu Shield.

Η RAMPS είναι μια επέκταση του hardware του Arduino. Περιλαμβάνει 3 εξόδους τάσης που ελέγχονται από MOSFET παλμοδότησης, κύκλωμα ελέγχου της θερμοκρασίας για την επιφάνεια εκτύπωσης (heated bed) με ασφάλεια 11A, 3 κυκλώματα ελέγχου για τους αισθητήρες θερμοκρασίας (thermistors), 6 υποδοχές για τους αισθητήρες θέσης (τερματικά – endstop), επαφές για 5 κινητήρες και τους αντίστοιχους drivers, θερμικά στα 5A και υποδοχές για οθόνη LCD. Για όλα αυτά θα παρουσιαστεί αναλυτικό διάγραμμα, σύμφωνα με την συνδεσμολογία που ακολουθήθηκε κατά την κατασκευή.



Υπάρχουν αρκετές εναλλακτικές, ενδεικτικά θα αναφέρω τις ακόλουθες:

- RAMBo: μια πιο εξελιγμένη έκδοση της RAMPS η οποία έρχεται με προεγκατεστημένους τους drivers των κινητήρων. Το γεγονός αυτό μειώνει το κόστος, όμως σε περίπτωση βλάβης ενός driver, χρειάζεται αντικατάσταση ολόκληρη η πλακέτα. Με την χρήση ξεχωριστών drivers, είναι δυνατή η αντικατάσταση μόνο του χαλασμένου αντικειμένου ή η αναβάθμιση με νέους οι οποίοι προσφέρουν μικρότερα βήματα, για μεγαλύτερη ακρίβεια.
- Sanguinolulu: επίσης μια αρκετά οικονομική πλακέτα η οποία απευθύνεται κυρίως σε χομπίστες, είναι όμως αρκετά περιορισμένη στην χρήση της.
- Minitronics: η εξέλιξη της Sanguinolulu, η οποία εστιάζει στην χρήση ενός Extruder και μόνο. Δεν προσφέρει καμία δυνατότητα αναβάθμισης, είναι όμως το πιο compact ηλεκτρονικό πακέτο για RepRap εκτυπωτές. Είναι πολύ μικρή σε μέγεθος και έχει ενσωματωμένα ότι χρειάζεται. Η χρήση της συνίσταται για μαζικής παραγωγής τρισδιάστατους εκτυπωτές.

Παρότι που όλο και περισσότερες πλακέτες παράγονται με ενσωματωμένα όλα τα απαραίτητα για την λειτουργία τους στοιχεία, παραμένει μια καλή ιδέα το να χρησιμοποιεί κανείς μεταβλητά μέρη, καθώς δίνουν την δυνατότητα πλήρους αυτονομίας, αναβάθμισης και αντικατάστασης σε περίπτωση βλάβης, οποιουδήποτε τμήματος.

Βηματικοί Κινητήρες – Steppers Motors

Οι βηματικοί κινητήρες είναι κινητήρες DC που περιστρέφονται με διακριτές κινήσεις (steps). Έχουν πολλά πηνία συνδεδεμένα έτσι ώστε ο θετικός και ο αρνητικός πόλος να έχουν διαφορά 180° , ενώ ο δρομέας έχει το σχήμα γραναζιού για να έλκεται σε διακριτές θέσεις. Τροφοδοτώντας ένα ζευγάρι την φορά περιστρέφεται ο δρομέας προς την κατεύθυνση που θέλουμε. Οι βηματικοί κινητήρες διακρίνονται σε 2 είδη, τους διπολικούς και τους μονοπολικούς. Εμείς επιλέξαμε διπολικούς κινητήρες γιατί έχουν μεγαλύτερη ροπή. Συγκεκριμένα, επιλέξαμε 5 NEMA17.

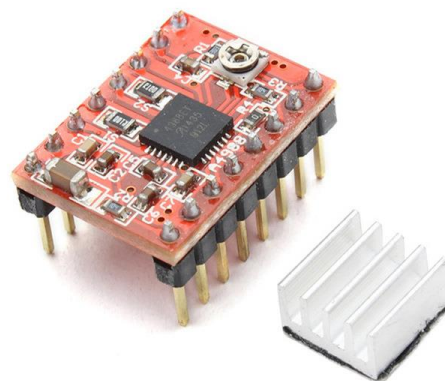


Drivers

Κάθε RepRap τρισδιάστατος εκτυπωτής κινείται με βηματικούς κινητήρες. Για να μπορέσουν να λειτουργήσουν αυτοί οι κινητήρες χρειάζονται ειδικούς drivers για να δίνουν κίνηση, κάθε βήμα περιστρέφει τον κινητήρα ανάλογα. Το λογισμικό που χρησιμοποιούμε σε συνδυασμό με τα ηλεκτρονικά είναι αυτά τα οποία ρυθμίζουν την ακριβή κίνηση.

Στην κατασκευή μας χρησιμοποιούμε τα A4988 Stepper Motor Driver Modules.

Καθώς οι drivers αυτοί ανεβάζουν αρκετά υψηλές θερμοκρασίες, είναι απαιτούμενη η τοποθέτηση της ψύκτρας για να αποφευχθεί η υπερθέρμανση αυτών και η καταστροφή της RAMPS.



Endstops

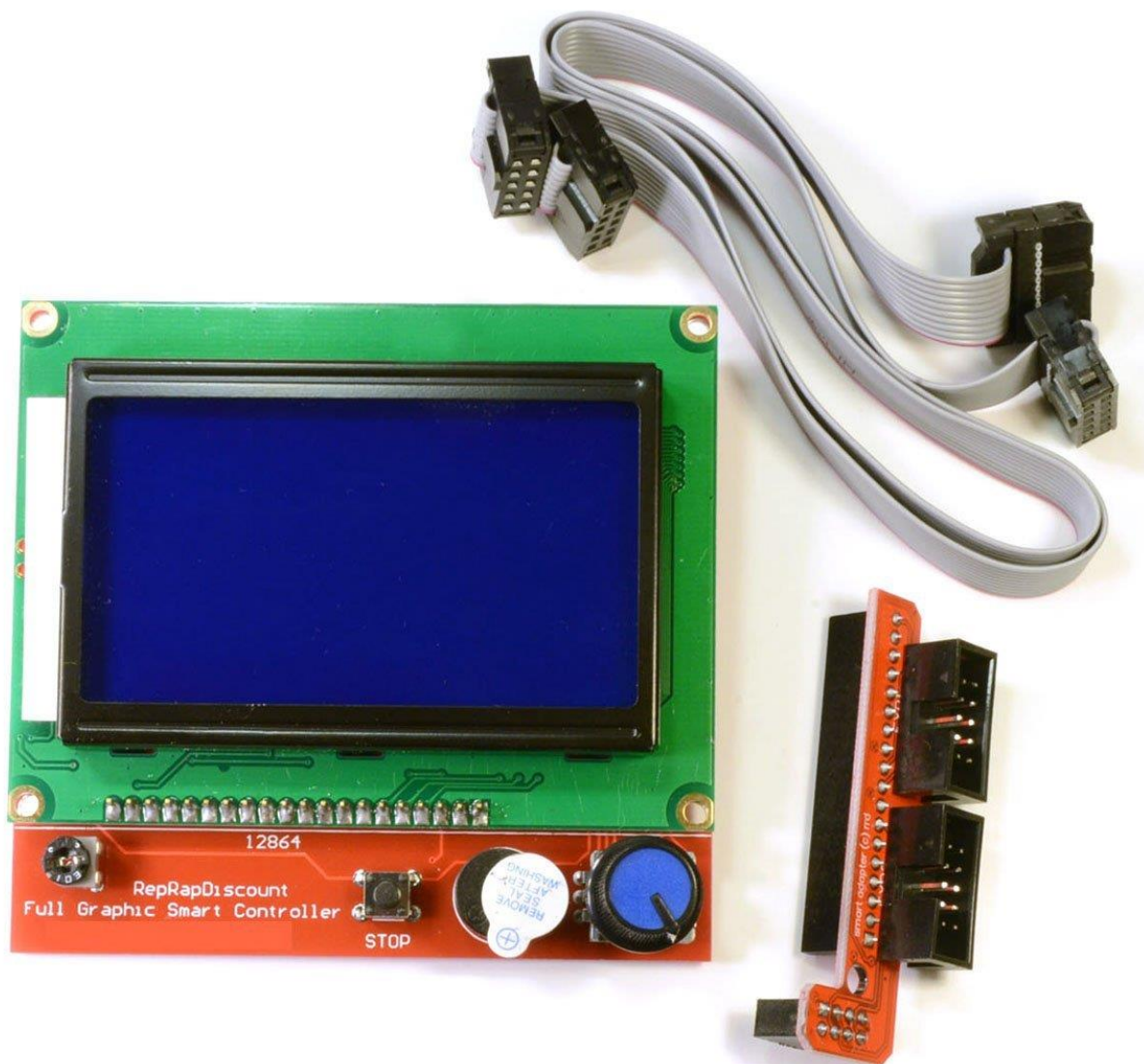
Οι τερματικοί διακόπτες που χρησιμοποιούμε είναι οι ακόλουθοι:



RepRap Discount Full Graphic Smart Controller

Για να έχουμε την δυνατότητα να εκτυπώνουμε χωρίς την χρήση ηλεκτρονικού υπολογιστή, είναι απαραίτητη η χρήση μιας οθόνης. Αυτό είναι πολύ χρήσιμο διότι όταν εκτυπώνουμε με χρήση H/Y έχουμε real-time μετάδοση του G-κώδικα, το οποίο σημαίνει πως αν για κάποιο λόγο καθυστερεί η μετάδοση της κίνησης, η εκτύπωσή μας θα είναι ανεπιτυχής.

Επιλέγουμε λοιπόν αυτή την περιφερειακή μονάδα εισόδου / εξόδου του εκτυπωτή η οποία αποτελείται από την οθόνη υγρών κρυστάλλων LCD, την υποδοχή κάρτας μνήμης για την άμεση εκτύπωση σχεδίων και ενός περιστρεφόμενου κομβίου το οποίο χρησιμοποιείται ως μέσο πλήγησης στο γραφικό περιβάλλον της οθόνης.



Τροφοδοσία

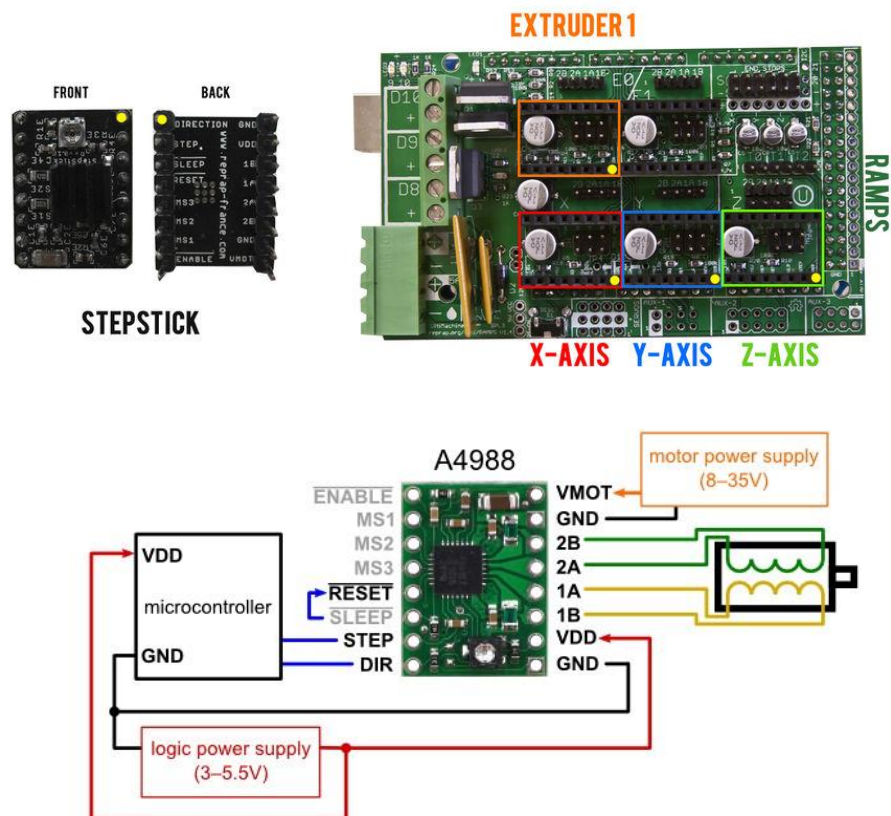
Τέλος, για να ολοκληρωθούν τα ηλεκτρονικά μας μέρη, χρειάζεται να αναφέρουμε το τροφοδοτικό μας. Στην ουσία πρόκειται για έναν μετατροπέα εναλασσόμενης τάσης σε συνεχή (AC / DC Converter) με τάσεις εξόδου 12/5/3.3 V σε διαφορετικούς ακροδέκτες η κάθε μια.



6.2.3. | Συνδεσμολογία

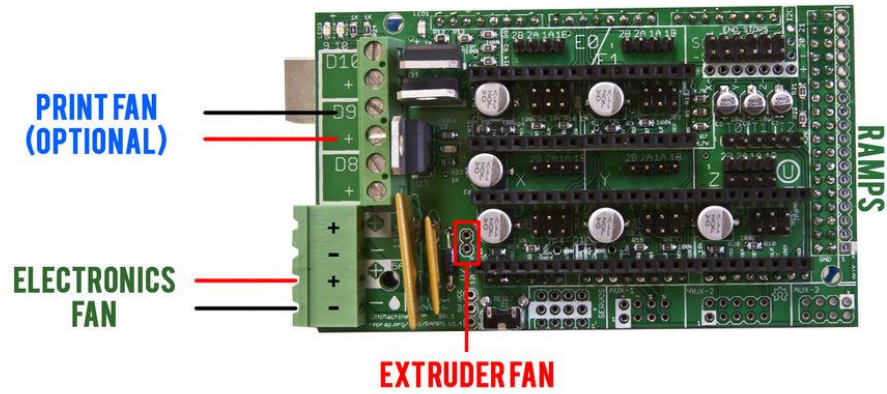
Η συνδεσμολογία όλων των ηλεκτρονικών που ακολουθήθηκε, φαίνεται στις ακόλουθες εικόνες:

- Drivers και αντίστοιχοι βηματικοί κινητήρες

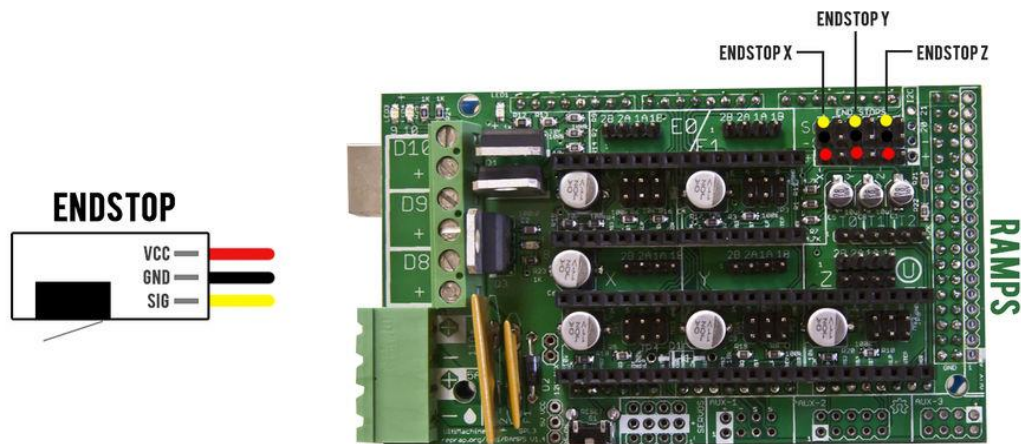


Τα pins των drivers πρέπει να έχουν την σωστή φορά σύμφωνα με την RAMPS.

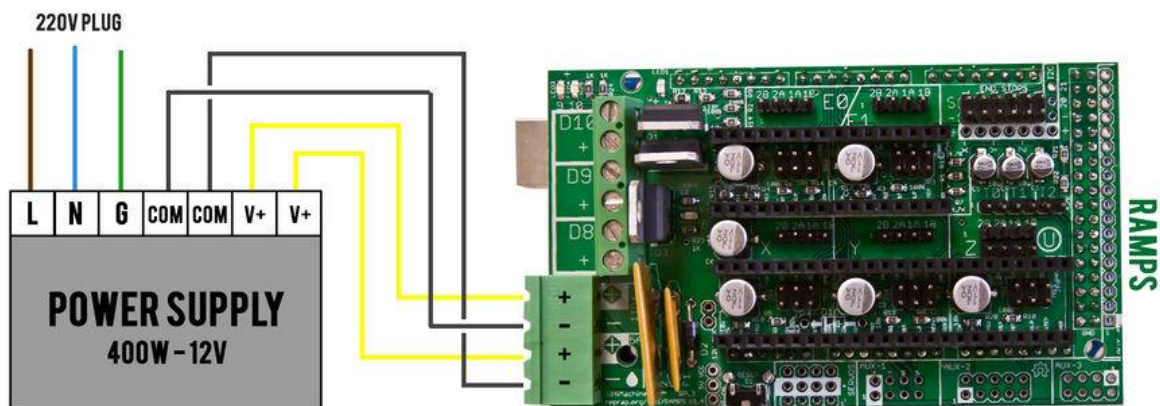
- Ανεμιστήρες



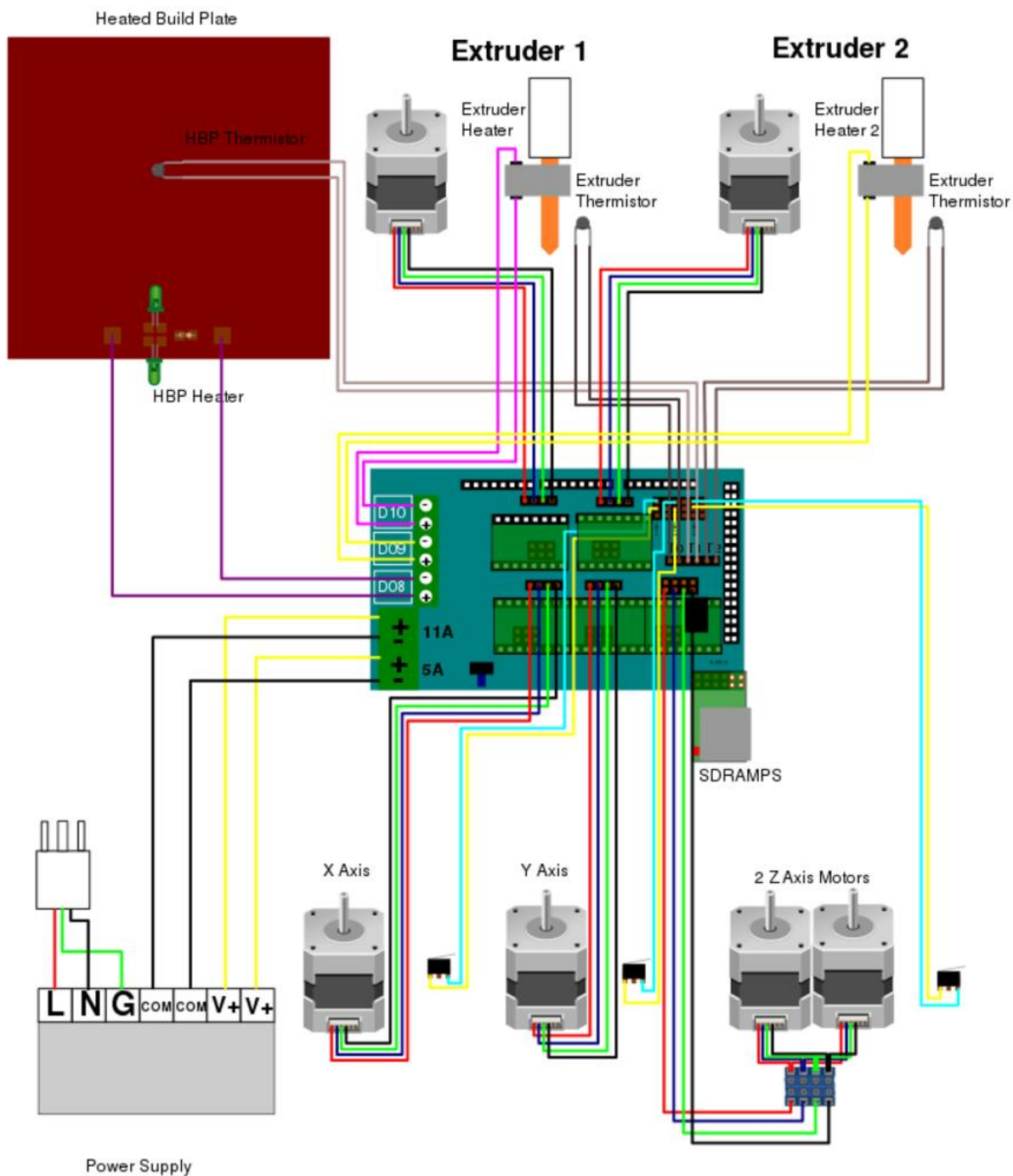
- Endstops



- Τροφοδοσία

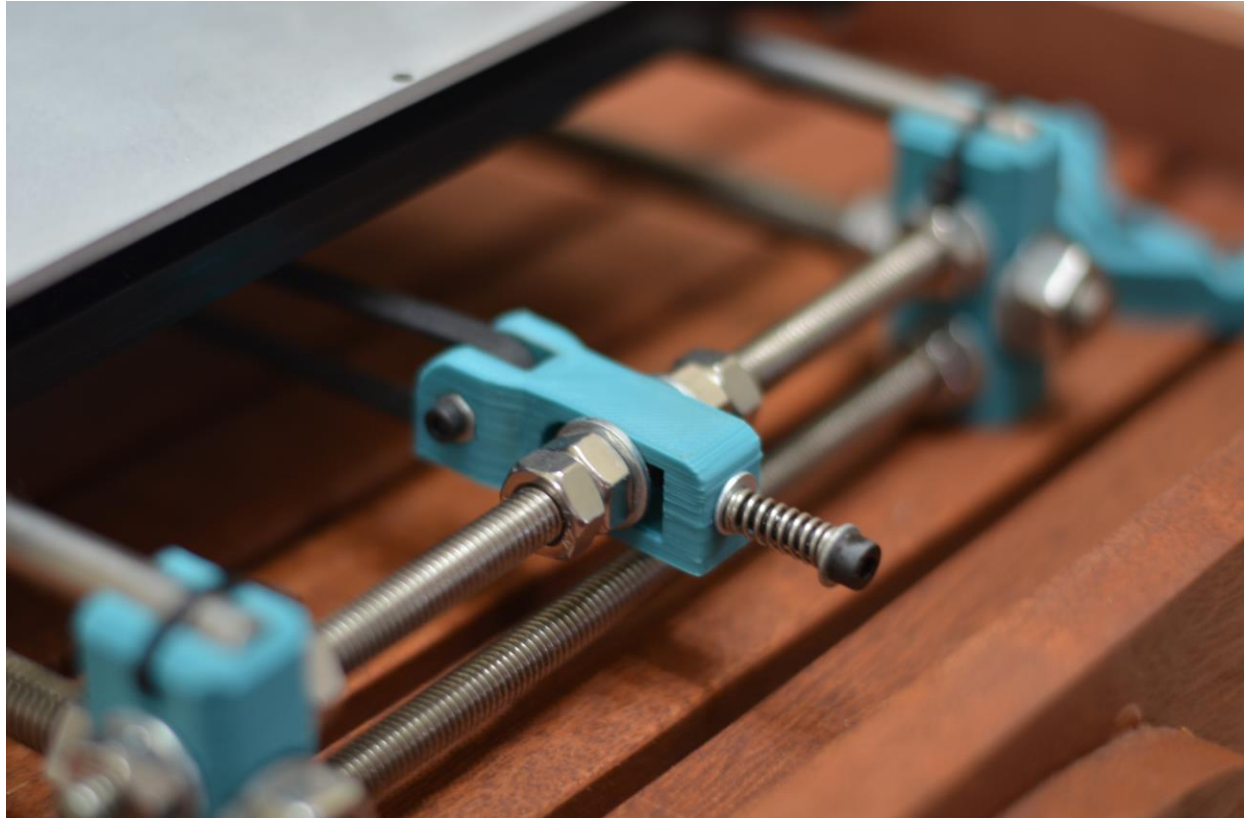


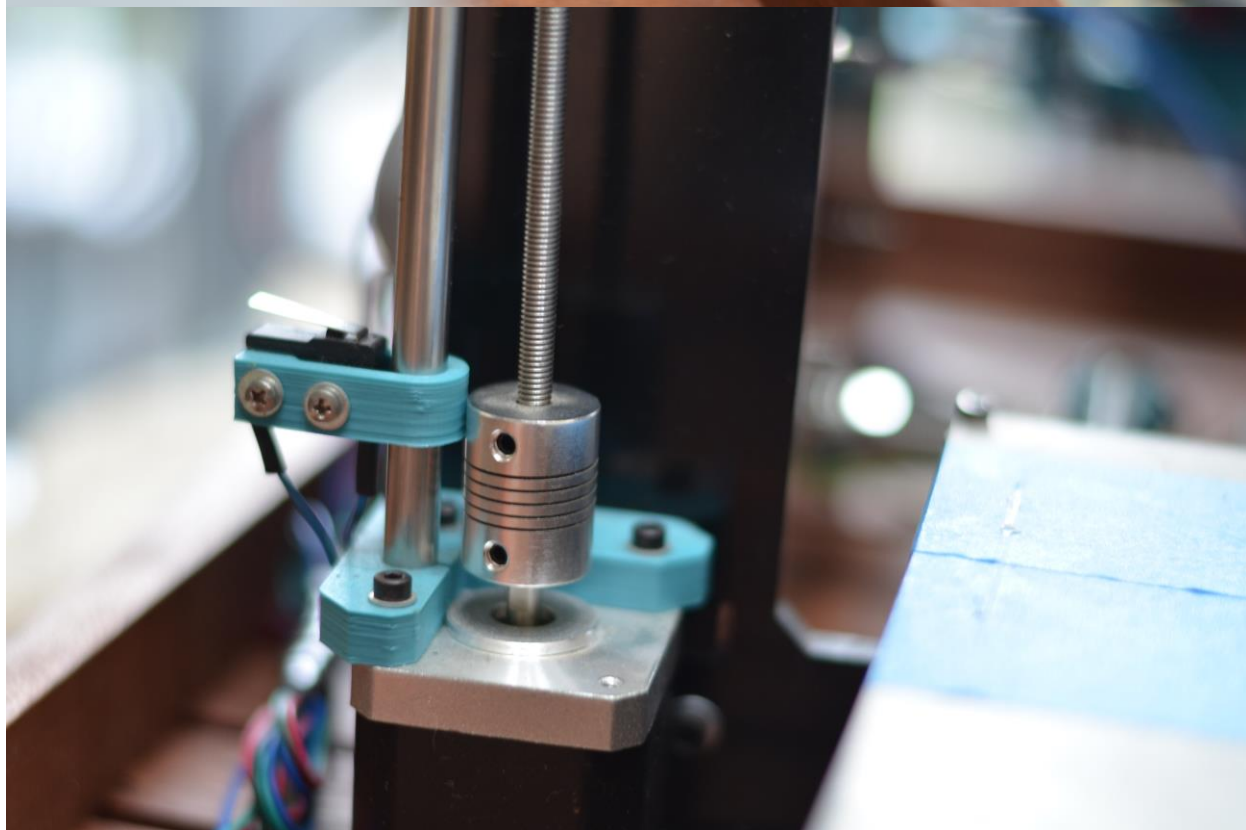
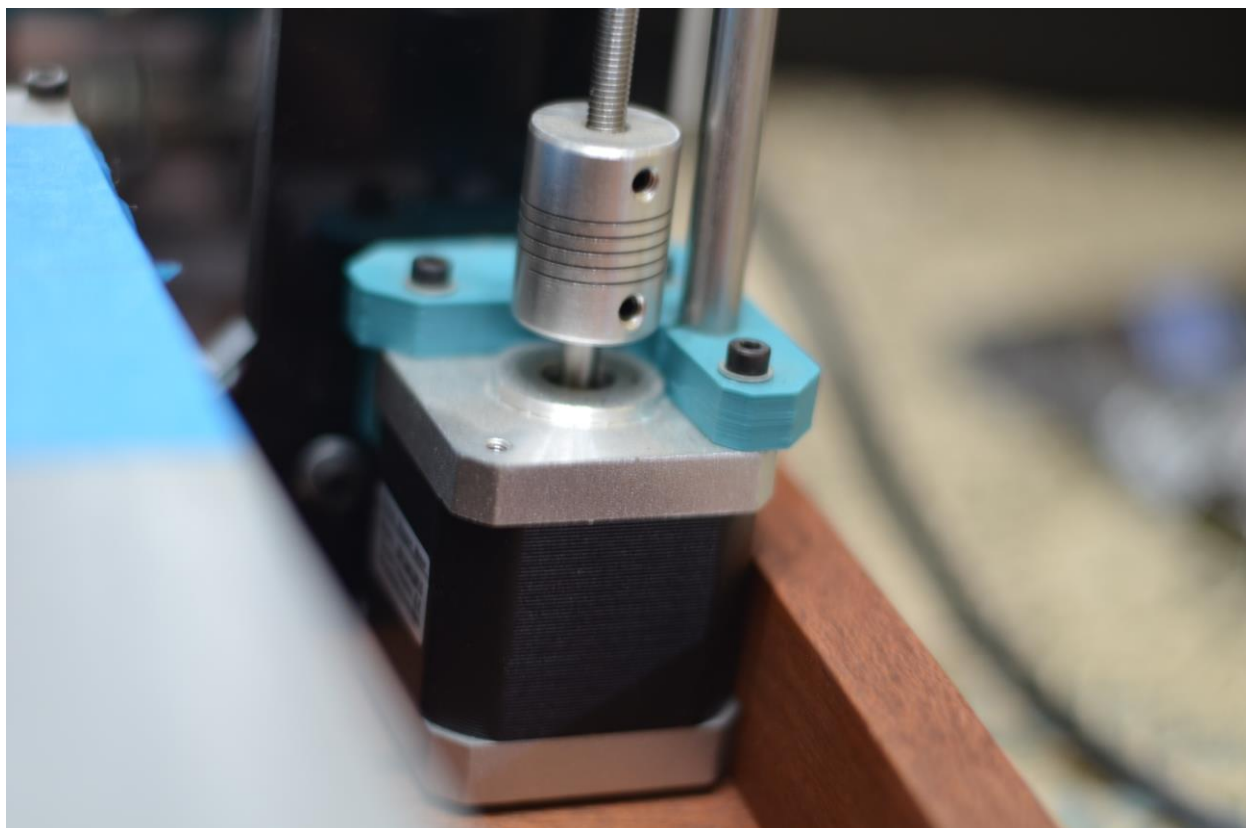
RepRap Arduino Mega Pololu Shield 1.4



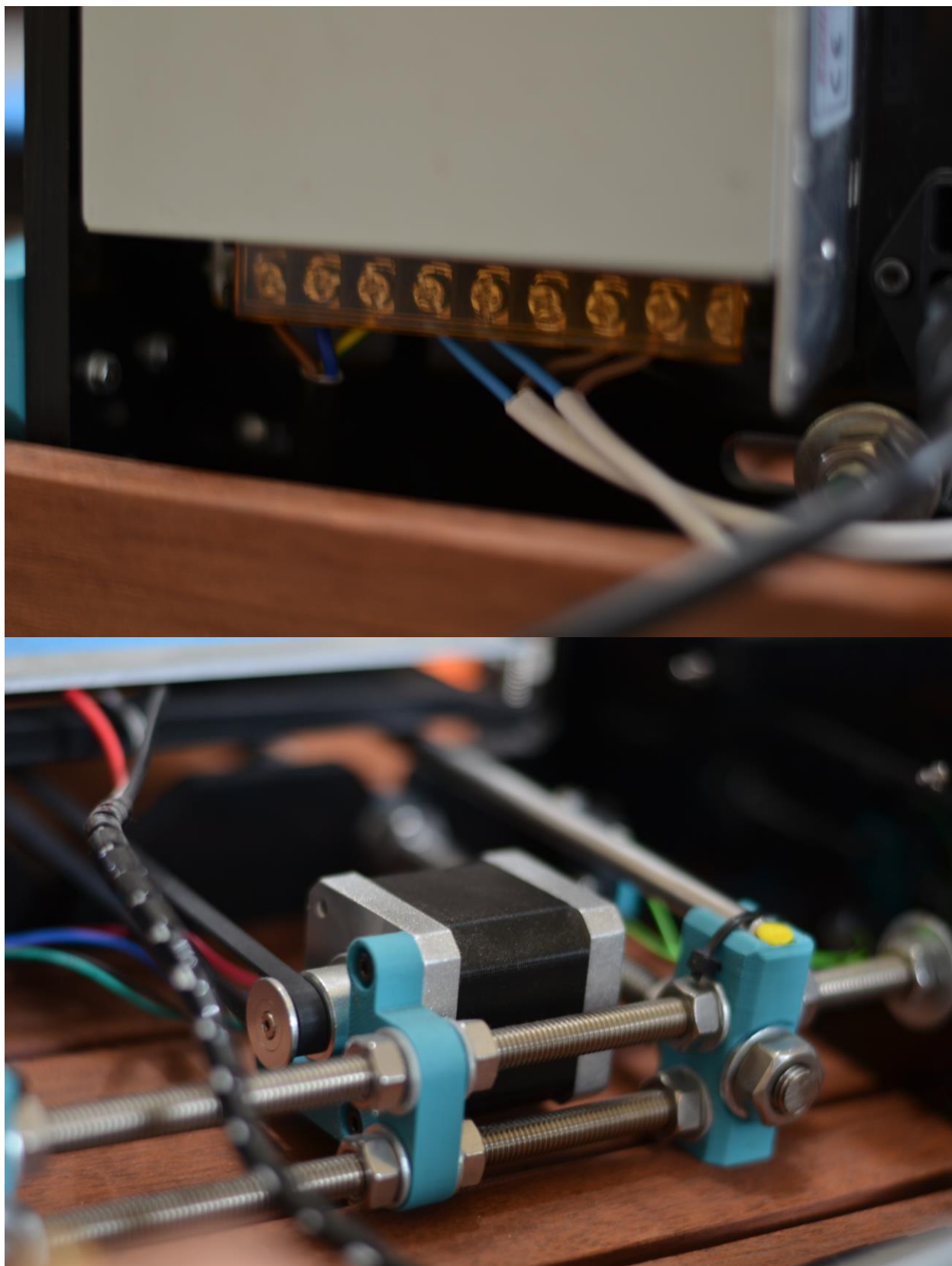
6.2.4. | Φωτογραφικό Υλικό Κατασκευής



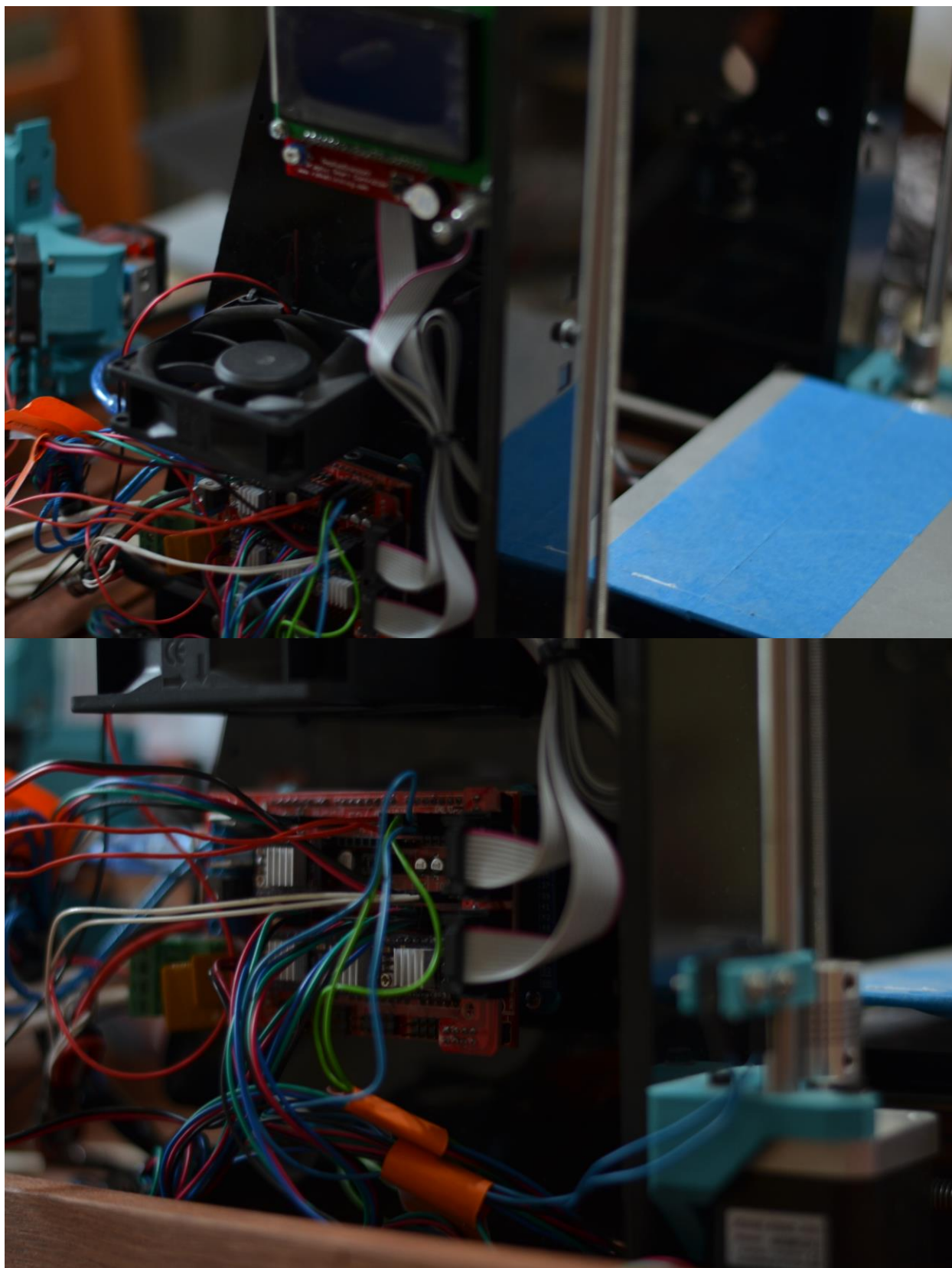


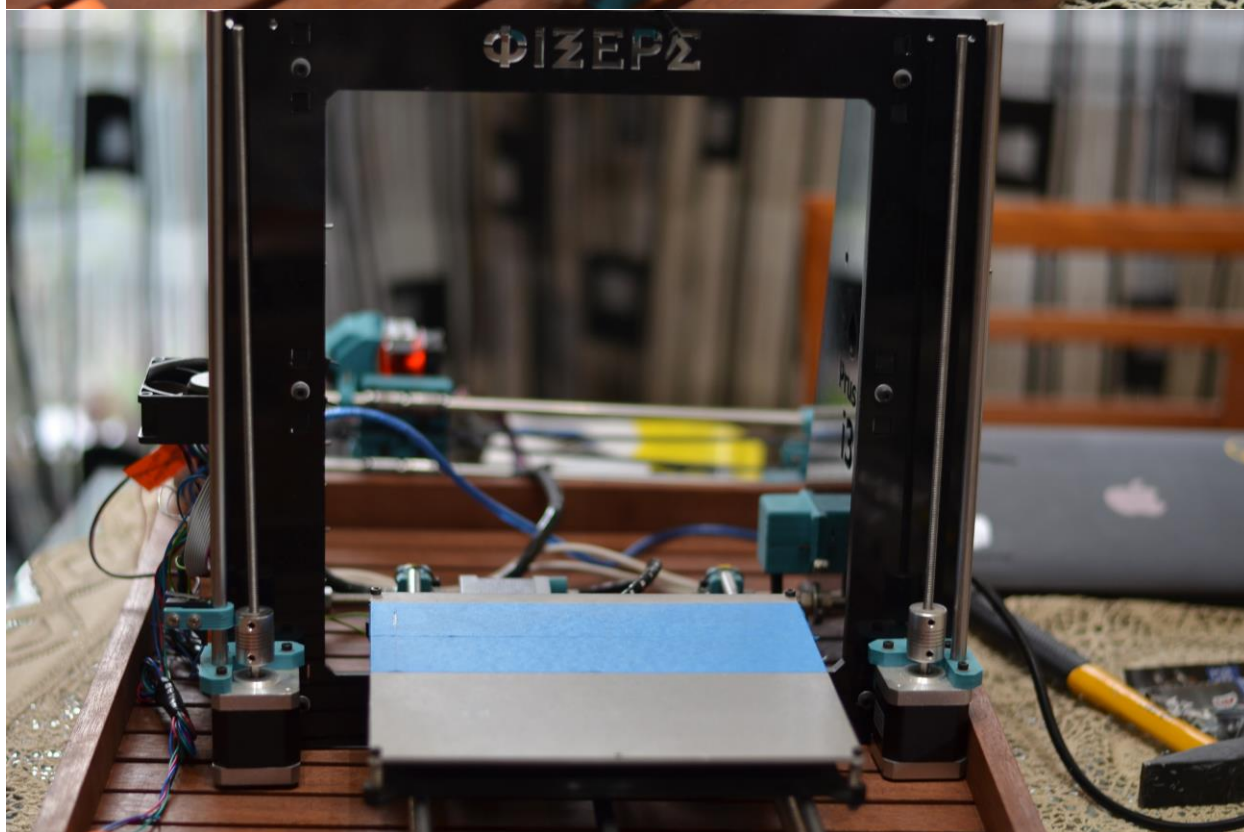
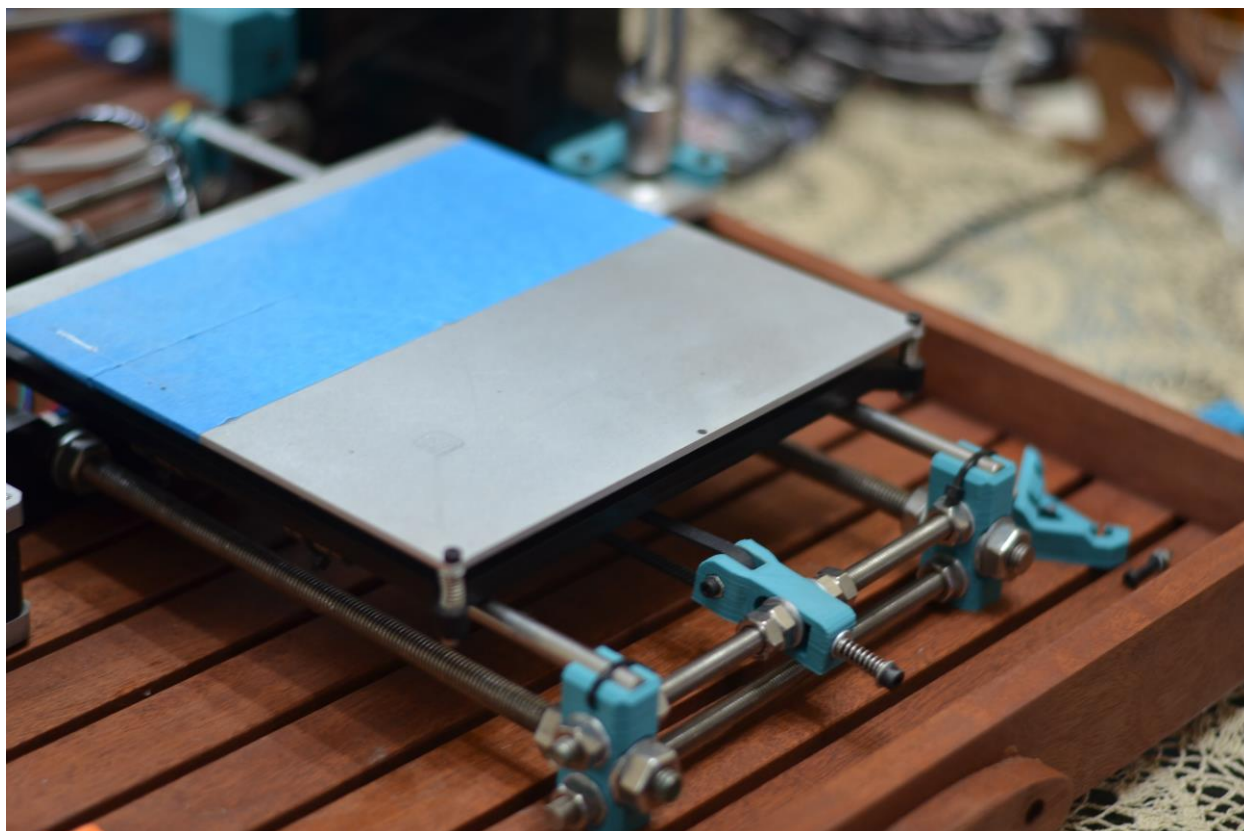


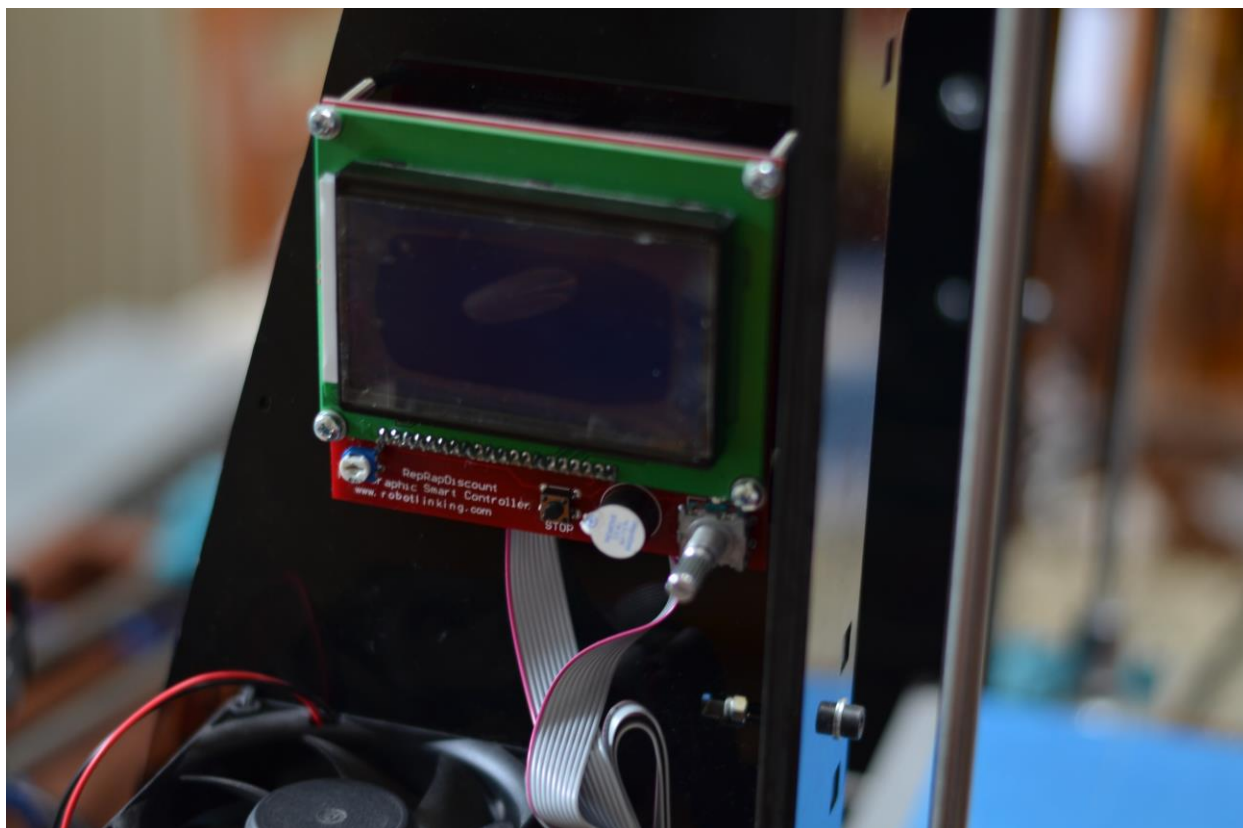












6.3. | Λογισμικό – Firmware

Έχοντας ολοκληρώσει την κατασκευή του τρισδιάστατου εκτυπωτή μας, ακολουθεί η ρύθμιση του λογισμικού του έτσι ώστε να μπορέσει να λειτουργήσει.

Το λογισμικό που θα χρησιμοποιήσουμε για τον σκοπό αυτό είναι το Marlin, το οποίο αποτελεί ένα από τα πιο διαδεδομένα λογισμικά ενώ ταυτόχρονα είναι αρκετά εύκολο στη χρήση.

Για να μπορέσουμε να αναλύσουμε τον τρόπο επεξεργασίας και εγκατάστασης του λογισμικού, θα χωρίσουμε την διαδικασία σε 4 απλούστερα βήματα:

1. Κατέβασμα και εγκατάσταση του Arduino IDE.
2. Κατέβασμα και αποσυμπίεση του λογισμικού Marlin.
3. Επεξεργασία του λογισμικού Marlin σύμφωνα με τις απαιτήσεις του εκτυπωτή μας.
4. Ανέβασμα του λογισμικού στο Arduino και την RAMPS.

6.3.1. | Κατέβασμα και Εγκατάσταση του Arduino IDE

Το κατέβασμα του λογισμικού για την επεξεργασία του κώδικα του Arduino έγινε από το <https://www.arduino.cc/>.

Στη συνέχεια εγκαταστάθηκε σύμφωνα με τι παρεχόμενες οδηγίες.

6.3.2. | Κατέβασμα και Αποσυμπίεση λογισμικού Marlin

Το κατέβασμα του λογισμικού Marlin έγινε από το <http://marlinfw.org/>.

Το Marlin είναι το υλικολογισμικό που χρησιμοποιούμε για τον έλεγχο του εκτυπωτή. Είναι ανοιχτό προς το κοινό (open source) για εφαρμογή, αλλαγές και μελέτη του κώδικά του. Μόλις το εγκαταστήσουμε στο Arduino, θα έχει την δυνατότητα να ελέγχει σε πραγματικό χρόνο όλες τις λειτουργίες του εκτυπωτή. Θα μπορεί να συγχρονίζει τις θερμαινόμενες αντιστάσεις, τους κινητήρες, τους αισθητήρες θερμοκρασίας, την οθόνη, τα endstops και ότι άλλο χρειάζεται. Για τον συγχρονισμό όλων αυτών των εντολών χρησιμοποιείται γλώσσα μηχανής G-Code. Κάθε εντολή G-Code εκτελεί απλές μεταβολές στην κατάσταση του συστήματος. Καθώς διαβάζει τις εντολές μια προς μια, το Marlin τις τοποθετεί σε μια λίστα προτεραιότητας.

Το Marlin είναι γραμμένο σε C++ και αποτελείται από πάνω από 40 αρχεία. Το βασικότερο αρχείο που τροποποιούμε για να ρυθμίσουμε το λογισμικό σύμφωνα με τις ανάγκες του εκτυπωτή μας, είναι το "Configuration.h". Σε αυτό δηλώνουμε χαρακτηριστικά όπως οι διαστάσεις του χώρου εκτύπωσης, τον τύπο του τροφοδοτικού, το πλήθος των κεφαλών εκτύπωσης κλπ.

Λόγω του ότι το Marlin είναι ένα ανοιχτό προς επεξεργασία λογισμικό, παρατηρούμε ότι οι προγραμματιστές του έχουν χρησιμοποιήσει πολλά σχόλια και επεξηγήσεις έτσι ώστε να το κάνουν φιλικό προς το κοινό και ακόμα και κάποιος ο οποίος έχει βασικές γνώσεις προγραμματισμού, να μπορεί να το καταλάβει.

6.3.3. | Επεξεργασία του λογισμικού Marlin σύμφωνα με τις απαιτήσεις του εκτυπωτή μας

Ο τρόπος με τον οποίο επεξεργαζόμαστε τον κώδικα του Marlin έχει τρεις βασικές προσεγγίσεις:

1. Αλλάζουμε τις εντολές #define
2. Βγάζουμε από τα σχόλια τις εντολές που θέλουμε να ενεργοποιήσουμε
3. Βάζουμε σε σχόλια τις εντολές που θέλουμε να απενεργοποιήσουμε

Τα βασικά στοιχεία που πρέπει να ελέγξουμε ώστε να είναι σωστά είναι τα ακόλουθα:

BAUDRATE: Το BAUDRATE είναι ο ρυθμός μετάδοσης δεδομένων στην επικοινωνία του Arduino με τον υπολογιστή. Καθώς η επικοινωνία είναι αμφίδρομη, το BAUDRATE πρέπει να είναι κοινό. Τα 250 Kbd ισοδυναμούν με 250Kbps.

`#define BAUDRATE 250000`

MOTHERBOARD: Στην ρύθμιση της MOTHERBOARD δηλώνουμε ότι το Arduino Mega2560 έχει ως shield την RAMPS 1.4.

`#ifndef MOTHERBOARD`


```
#define MOTHERBOARD BOARD_RAMPS_14_EFB
#endif
```

CUSTOM_MACHINE_NAME: Στο CUSTOM_MACHINE_NAME δηλώνουμε το όνομα που θέλουμε να δώσουμε στον εκτυπωτή μας.

EXTRUDERS: Με αυτή την επιλογή ορίζουμε το πλήθος κεφαλών που χρησιμοποιεί ο εκτυπωτής μας.

```
#define EXTRUDERS 1
```

TEMP_SENSOR: Αυτή η ρύθμιση αφορά το είδος του αισθητήρα θερμότητας που χρησιμοποιούμε. Στον εκτυπωτή μας έχουμε 2 thermistor, ο ένας βρίσκεται στην κεφαλή εξώθησης και ο άλλος στην θερμαινόμενη επιφάνεια εκτύπωσης. Σε κάθε περίπτωση επιλέγουμε τον κατάλληλο, από μια λίστα που μας δίνεται.

```
#define TEMP_SENSOR_0 5
#define TEMP_SENSOR_1 0
#define TEMP_SENSOR_2 0
#define TEMP_SENSOR_3 0
#define TEMP_SENSOR_4 0
#define TEMP_SENSOR_BED 1
```

HEATER_MINTEMP: Σε αυτή την ρύθμιση ορίζεται η ελάχιστη θερμοκρασία κάτω από την οποία δεν θα ενεργοποιείται η θέρμανση της κεφαλής ή της επιφάνειας εκτύπωσης. Σκοπός αυτής της εντολής είναι να μας προειδοποιήσει για τυχόν σφάλματα στη συνδεσμολογία ή σε περίπτωση βλάβης κάποιου thermistor.

```
#define HEATER_0_MINTEMP 5
#define HEATER_1_MINTEMP 5
#define HEATER_2_MINTEMP 5
#define HEATER_3_MINTEMP 5
#define HEATER_4_MINTEMP 5
#define BED_MINTEMP 5
```

HEATER_MAXTEMP: Αντίστοιχα με την ελάχιστη θερμοκρασία, οφείλουμε να ορίσουμε την μέγιστη θερμοκρασία την οποία δεν θέλουμε να ξεπερνάει η μύτη της κεφαλής μας. Αυτό γίνεται για δύο λόγους. Ο ένας αφορά την ίδια την κεφαλή η οποία έχει κάποια συγκεκριμένα χαρακτηριστικά και δυνατότητες και δεν μπορεί να ξεπεράσει κάποια όρια. Ο άλλος είναι ότι επειδή στα RepRap Projects πολλά μέρη των εκτυπωτών είναι εκτυπωμένα από πλαστικά νήματα, δεν θέλουμε τα μέρη που έρχονται σε επαφή με την κεφαλή (πχ βάση ανεμιστήρα) να λιώσουν κατά την διάρκεια της εκτύπωσης μας.

```
#define HEATER_0_MAXTEMP 230
#define HEATER_1_MAXTEMP 230
#define HEATER_2_MAXTEMP 230
#define HEATER_3_MAXTEMP 230
#define HEATER_4_MAXTEMP 230
#define BED_MAXTEMP 120
```

HOME_DIR: Με αυτές τις εντολές δηλώνουμε ότι τα Endstops βρίσκονται στην αρχή των αξόνων μας.

```
#define X_HOME_DIR -1
#define Y_HOME_DIR -1
#define Z_HOME_DIR -1
```

BED_SIZE: Εδώ ορίζουμε το μέγεθος του κρεβατιού εκτύπωσης έτσι ώστε μετά από τον μηδενισμό του σημείου HOME να γνωρίζει ο εκτυπωτής τα όριά του.

```
// The size of the print bed
#define X_BED_SIZE 200
#define Y_BED_SIZE 200
```

```
// Travel limits (mm) after homing, corresponding to endstop positions.
#define X_MIN_POS 0
#define Y_MIN_POS 0
#define Z_MIN_POS 0
#define X_MAX_POS X_BED_SIZE
#define Y_MAX_POS Y_BED_SIZE
#define Z_MAX_POS 200
```

Για τις ακόλουθες 3 εντολές ξεκινήσαμε δηλώνοντας τις συνηθέστερες επιλογές, ωστόσο μετά το πρώτο καλιμπράρισμα, έχουμε την δυνατότητα να τις αλλάξουμε με τις εμπειρικές που υπολογίζουμε εκείνη την ώρα:

```
#define DEFAULT_AXIS_STEPS_PER_UNIT { 55.5, 55.5, 500, 200 }
#define DEFAULT_MAX_FEEDRATE { 300, 300, 300, 25 }
#define DEFAULT_MAX_ACCELERATION { 500, 500, 500, 380 }
```

Με την ακόλουθη εντολή ρυθμίζουμε την χρήση της οθόνης μας:

```
#define REPRAP_DISCOUNT_FULL_GRAPHIC_SMART_CONTROLLER
```

Στην πορεία και όσο εξοικειώνεται κανείς με τον εκτυπωτή, δημιουργούνται όλο και περισσότερες ανάγκες για την κατανόηση του ακριβή τρόπου λειτουργίας του με σκοπό την βελτιστοποίηση του τρόπου εκτύπωσης.

6.3.4. | Ανέβασμα του λογισμικού στο Arduino και την RAMPS

Έχοντας ολοκληρώσει τις αλλαγές μας, και έχοντας συνδέσει το Arduino στην θύρα USB του εκτυπωτή, επιλέγουμε το board που χρησιμοποιούμε καθώς επίσης και την σωστή θύρα και κάνουμε Upload το λογισμικό μας.

Είμαστε πλέον έτοιμοι να ξεκινήσουμε τις εκτυπώσεις!

6.4. | Λογισμικό Slicing

Ο βασικός στόχος ενός προγράμματος slicing είναι να μπορεί να «κόψει» σε επιμέρους επίπεδα το τρισδιάστατο σχέδιο. Το «κόψιμο» αυτό δεν είναι τυχαίο αλλά είναι απόλυτα συνδεδεμένο με την ποιότητα της εκτύπωσης τόσο όσον αφορά τις διάφορες γεωμετρίες που μπορεί να έχει όσο και τις εκάστοτε διαστάσεις που πρέπει να τηρηθούν. Ακόμα, με το λογισμικό αυτό ορίζεται η διαδρομή της κεφαλής εκτύπωσης σε κάθε επίπεδο.

Το κάθε πρόγραμμα slicing ελέγχει αν το τρισδιάστατο μοντέλο που επιλέγουμε μπορεί όντως να εκτυπωθεί και ποιες είναι οι επιπρόσθετες ενέργειες που πρέπει να κάνει πχ τοποθέτηση επιπλέον υλικού όπου χρειάζεται ή τοποθέτηση στηριγμάτων.

Ορισμένα από τα δημοφιλέστερα προγράμματα slicing είναι:

- Cura : Είναι ιδανικό για αρχάριους και διατίθεται δωρεάν
- Netfabb : Συνήθως αναφέρεται σε μεσαίου επιπέδου χρήστες και διατίθεται επί πληρωμή, όμως υπάρχει μια basic έκδοση που κυκλοφορεί δωρεάν
- Repetier : Αφορά επίσης χρήστες μεσαίου επιπέδου και διατίθεται δωρεάν
- Simplify 3D : Το χρησιμοποιούν κυρίως επαγγελματίες και είναι επί πληρωμή
- Slic3r : Προτιμάται από επαγγελματίες και διατίθεται δωρεάν
- OctoPrint : Προτιμάται επίσης από επαγγελματίες και διατίθεται δωρεάν

Ακόμα υπάρχουν τα Pronterface και ReplicatorG, τα οποία είναι πακέτα ανοικτού κώδικα, πολύ διαδεδομένα στην RepRap κοινότητα.

6.4.1. | Βασικές ρυθμίσεις λογισμικού slicing

Οι βασικότερες ρυθμίσεις που πρέπει να οριστούν στο λογισμικό slicing είναι οι ακόλουθες:

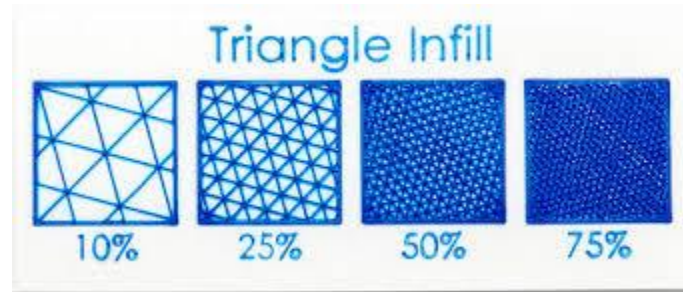
Layer Height: Με την ρύθμιση αυτή, ορίζεται το ύψος του κάθε επιπέδου. Όσο μικρότερο το ύψος τόσο μεγαλύτερη η ευκρίνεια και πιο λείο το τελικό αποτέλεσμα, αλλά αυξάνεται σημαντικά ο απαιτούμενος χρόνος που χρειάζεται η κάθε εκτύπωση. Η ρύθμιση εξαρτάται από τις εκάστοτε ανάγκες.

Perimeters: Με την ρύθμιση αυτή ορίζεται το ελάχιστο πάχος (σε επίπεδα), που μπορεί να έχει το κέλυφος του μοντέλου. Συνήθως χρειάζονται τουλάχιστον 2 επίπεδα, έτσι ώστε αν δεν εκτυπωθεί καλά το πρώτο, να έρθει το δεύτερο να καλύψει τα κενά.

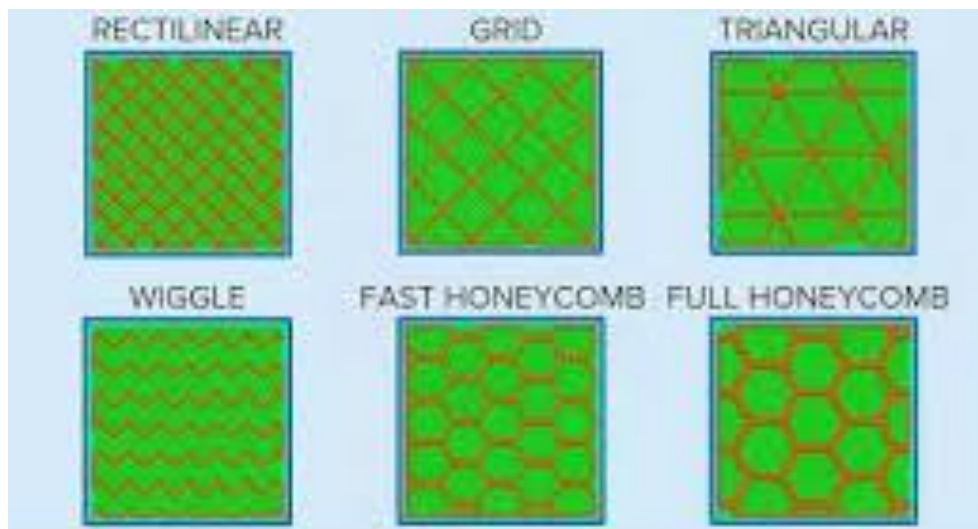
Solid Layers: Με την ρύθμιση αυτή ορίζονται τα πρώτα και τα τελευταία επίπεδα που διαθέτουν infill 100%.

Infill (γέμισμα)

Fill Density: Με την ρύθμιση αυτή ορίζεται η πυκνότητα του εσωτερικού του μοντέλου με κλίμακα από 0 μέχρι 100%. Σχεδόν όλα τα μοντέλα με γέμισμα της τάξεως του 40% αποκτούν μια ικανοποιητική μηχανική αντοχή. Τιμές κάτω από 20% δεν μπορούν να στηρίξουν επίπεδα.



Τα συνηθέστερα μοτίβα γεμίσματος τα οποία επιλέγονται με κριτήρια το είδος του μοντέλου, την επιθυμητή αντοχή και την ταχύτητα της εκτύπωσης, ανάλογα με τις ανάγκες μας είναι τα ακόλουθα:



Support Material

Generate Support Material: Με την ρύθμιση αυτή επιτρέπουμε στο λογισμικό Slicing να δημιουργήσει τα απαιτούμενα στηρίγματα για να μπορέσει να εκτυπωθεί το ζητούμενο μοντέλο.

Pattern Spacing: Με την ρύθμιση αυτή επιλέγουμε την πυκνότητα της κατασκευής των στηριγμάτων. Το βάρος το οποίο πρόκειται να στηρίξει είναι αυτό που καθορίζει και την απαιτούμενη πυκνότητα.

Speed

Perimeters: Με την ρύθμιση αυτή ορίζουμε την ταχύτητα για την εκτύπωση του εξωτερικού του μοντέλου. Συνίσταται να εκτυπώνεται με πιο αργό ρυθμό για να έχει λιγότερες ατέλειες.

Infill: Με την ρύθμιση αυτή ορίζουμε την ταχύτητα για την εκτύπωση του εσωτερικού του μοντέλου. Όσο μικρότερος θέλουμε να είναι ο χρόνος εκτύπωσης τόσο πιο βιαστικά μπορούμε να το βάλουμε να τυπωθεί. Σε κάθε περίπτωση πρέπει να είμαστε προσεκτικοί να μην το παρακάνουμε για να μην αλλοιωθεί το μοντέλο.

Travel: Με την ρύθμιση αυτή ορίζουμε την ταχύτητα με την οποία πρέπει να κινηθεί η κεφαλή εξώθησης, τις στιγμές που δεν τυπώνει πχ από μοντέλο σε μοντέλο ή από επίπεδο σε επίπεδο.

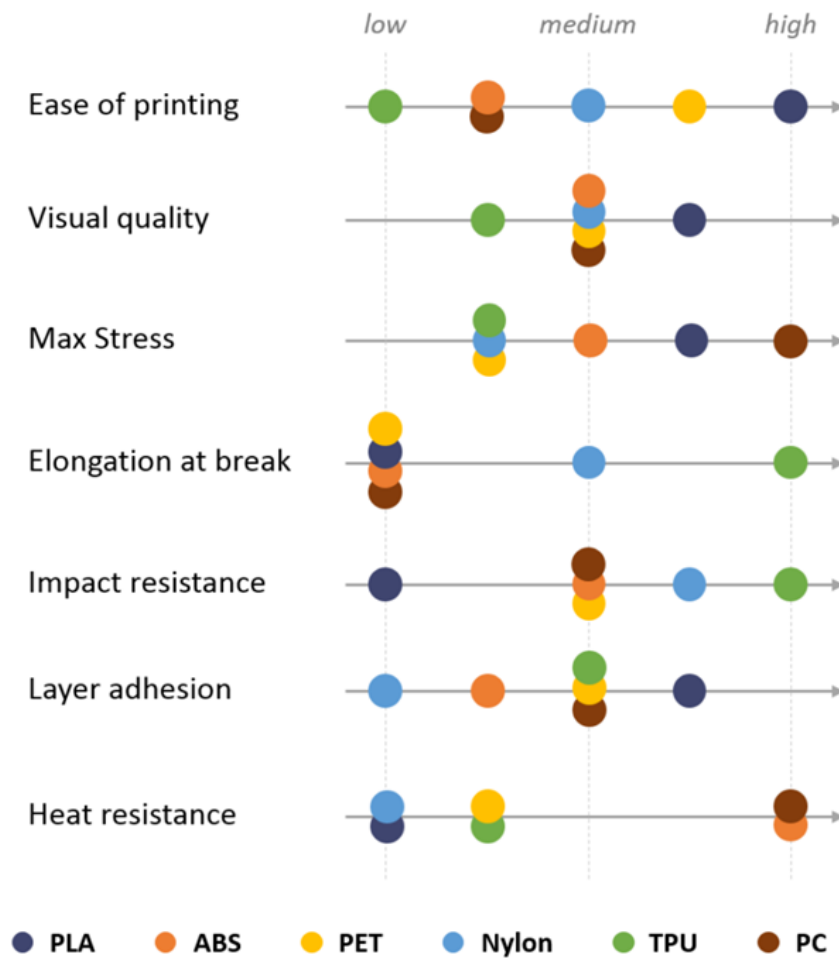
Filament settings

Diameter: Στην ρύθμιση αυτή δηλώνουμε την διάμετρο του νήματος του εκτυπωτή μας.

Extrusion multiplier: Στην ρύθμιση αυτή προσαρμόζουμε με ακρίβεια την ροή του πλαστικού. Η ποσότητα δίνει ως ποσοστό της τιμής που έχουμε ορίσει στο Marlin και τυχόν μεταβολές της πρέπει να γίνονται σε βαθμό της τάξης του $+ / - 0.05$, για να μην υπάρχει πρόβλημα.

Temperature: Στην ρύθμιση αυτή, ορίζουμε την θερμοκρασία στην οποία θέλουμε να εκτυπωθεί το μοντέλο μας. Η θερμοκρασία αυτή συνήθως εξαρτάται από το υλικό που εκτυπώνουμε.

Τα διαθέσιμα υλικά προς εκτύπωση από τους FDM τρισδιάστατους εκτυπωτές φαίνονται στην ακόλουθη εικόνα μαζί με μια σύγκριση ορισμένων ιδιοτήτων τους:



ΚΕΦΑΛΑΙΟ 7

Προβλήματα κατά την διάρκεια της κατασκευής και όχι μόνο.

7.1. | Κατασκευαστικά προβλήματα

Σε αυτό το σημείο καλό θα ήταν να διευκρινιστεί πως παρότι όλα φαίνονται αρκετά απλά όταν κάποιος τα περιγράφει, ολόκληρη η διαδικασία κατασκευής του εκτυπωτή ενέχει πολλούς κινδύνους και παγίδες στις οποίες μπορεί κανείς να πέσει.

Παρακάτω θα αναφέρω ορισμένα από τα προβλήματα που προέκυψαν και πως αυτά ξεπεράστηκαν.

7.1.1. | Προμήθεια κακής ποιότητας υλικών

Ενώ ακούγεται σχετικά απλό και αυτονόητο, εντούτοις είναι αρκετά δύσκολο να προμηθευτείς υλικά τα οποία θα είναι πλήρως λειτουργικά χωρίς καμία περαιτέρω επεξεργασία. Τι εννοούμε με αυτό;

Μεγάλο μέρος των υλικών που προμηθεύτηκα, τόσο όσον αφορά τα εκτυπωμένα κομμάτια ή τις ντίζες όσο και τα ίδια τα ηλεκτρονικά μέρη, πχ τροφοδοτικό, δημιούργησαν προβλήματα.

Τα εκτυπωμένα κομμάτια λόγω μέτριας ποιότητας εκτύπωσης, είχαν σε ορισμένα σημεία κακοτεχνίες ή λάθος διαστάσεις, με αποτέλεσμα να χρειάζονται επιπλέον επεξεργασία, είτε με διάνοιξη μεγαλύτερων οπών, είτε με αναγκαστική πίεση έως ότου χωρέσει κάποιο παξιμάδι στον προβλεπόμενο χώρο.

Το γεγονός αυτό σε συνδυασμό με την απειρία αλλά και τον φόβο μην τυχόν και καταστραφεί κάτι κατά την διάρκεια της κατασκευής, οδηγούσε σε καθυστερήσεις που δεν είχαν υπολογιστεί καθώς επίσης και στην αντίστοιχη αγανάκτηση.

Αναφορικά με τις ντίζες, το πρόβλημα που προέκυψε ήταν ότι επειδή ήταν κομμένες με απρόσεκτο τρόπο, χαλούσαν οι πρώτες στροφές, με αποτέλεσμα να μην μπορούν να βιδωθούν τα παξιμάδια. Για να αποφευχθούν αυτές οι αστοχίες, ήταν αναγκαία η αντικατάσταση ενός μέρους των ντιζών που είχα αρχικά προμηθευτεί.

Τέλος, το τροφοδοτικό ήταν αυτό το οποίο δημιούργησε το μεγαλύτερο πρόβλημα καθώς αρχικά δεν ήταν εμφανές αν υπάρχει κάποια λάθος συνδεσμολογία ή αν είχε πρόβλημα το ίδιο. Μετά το άνοιγμά του διαπιστώθηκε ότι το πρόβλημα ήταν ένα πηνίο το οποίο είχε αποκολληθεί και γι' αυτό δεν λειτουργούσε. Για την επιδιόρθωση χρησιμοποιήθηκε πολύμετρο ώστε να βρεθεί το σωστό σημείο επαφής και στη συνέχεια κολλήθηκε εκ νέου. Παράλληλα, ενισχύθηκαν οι υφιστάμενες κολλήσεις προς αποφυγή απροόπτων.

7.1.2. | Άλλες βλάβες

Εκτός από τα αρχικά κατασκευαστικά προβλήματα τα οποία σιγά σιγά ξεπεράστηκαν, προέκυψαν και κάποιες επιπλέον απροσδόκητες βλάβες.

Η μία αφορά το Arduino στο οποίο κήκε ο regulator που τροφοδοτεί τα 5V στην οθόνη LCD. Κάποια στιγμή χρειάστηκε να συνδέσω τον υπολογιστή στο Arduino μέσω του USB προκειμένου να κάνω κάποιες ρυθμίσεις που χρειαζόμουν. Λόγω της απότομης στιγμιαίας αύξησης της τάσης κήκε ο ρυθμιστής με αποτέλεσμα η οθόνη να λειτουργεί μόνο με τροφοδοσία μέσω USB.

Για την επιδιόρθωση αυτού του προβλήματος υπήρχαν 2 εναλλακτικές. Η μία ήταν η παράκαμψη (by-pass) του υφιστάμενου regulator με μια νέα αντίσταση. Η δεύτερη ήταν η προμήθεια νέου Arduino.

Καθώς η πρώτη μέθοδος δεν εξασφαλίζει την σωστή λειτουργία της πλακέτας ανά πάσα στιγμή, προτιμήθηκε η προμήθεια νέου Arduino.

Η δεύτερη και πιο σημαντική αφορά την βλάβη στο Thermistor της κεφαλής.

Ύστερα από τα ταξίδια που έχει κάνει ο εκτυπωτής από Χανιά προς Πειραιά και πάλι πίσω, τα καλώδια που ενώνουν τον Thermistor με την RAMPS έφτασαν σε μια κατάσταση όπου έκαναν επαφή μόνο όταν βρίσκονταν σε μια συγκεκριμένη γωνία, με αποτέλεσμα, κάθε φορά που ξεκινούσα μια εκτύπωση και κουνιούνταν έστω και ελάχιστα, αυτό να οδηγεί σε false τιμή στην RAMPS και συνεπώς να ακυρώνεται ακαριαία η εκτύπωση για λόγους ασφαλείας προκειμένου να μην καταστραφεί η κεφαλή μου, όπως είχα ρυθμίσει στο Marlin. Λόγω του ότι η κεφαλή μου ήταν η E3D Lite6, υπήρχε ένας περιορισμός στα διαθέσιμα ανταλλακτικά, αφού έπρεπε να είναι αυθεντικά και να τηρούν τις κατάλληλες προδιαγραφές (δεν κάνουν όλοι οι thermistor σε όλες τις κεφαλές) και ύστερα από αρκετή αναζήτηση, μπόρεσα να βρω το κατάλληλο ανταλλακτικό για να το επιδιορθώσω.

Μέχρι να βρω το ανταλλακτικό και προκειμένου να μπορέσω να αυξήσω την θερμοκρασία μια τελευταία φορά για να αφαιρεθεί το filament χωρίς να καταστρέψω την κεφαλή εξώθησης, δοκίμασα να χρησιμοποιήσω μπλε ταινία που έχει αντοχή στην θερμότητα και να κολλήσω με κόλλα στιγμής τα καλώδια στο σημείο που έκαναν επαφή. Το κόλλο λειτούργησε και αυτή τη στιγμή η κεφαλή εξώθησης λειτουργεί κανονικά.

7.2. | Προβλήματα εκτύπωσης

Τα 10 συνηθέστερα προβλήματα εκτύπωσης που συναντώνται, καθώς και οι αιτίες που τα προκαλούν, παρουσιάζονται παρακάτω:

1. Ο εκτυπωτής δεν τυπώνει στην αρχή της διαδικασίας εκτύπωσης
Αιτίες:
 - Η μύτη δεν έχει αρκετή απόσταση από την επιφάνεια εκτύπωσης
 - Το νήμα έχει φθαρεί από το γρανάζι εξώθησης και δεν φτάνει στην μύτη
 - Η μύτη έχει βουλώσει από υπολείμματα πλαστικού
2. Το εκτυπωμένο αντικείμενο δεν κολλάει στο τραπέζι εκτύπωσης
Αιτίες:



- Η επιφάνεια εκτύπωσης δεν είναι ευθυγραμμισμένη
- Η μύτη απέχει πολύ από την επιφάνεια εκτύπωσης
- Το πρώτο επίπεδο τυπώνεται πολύ γρήγορα

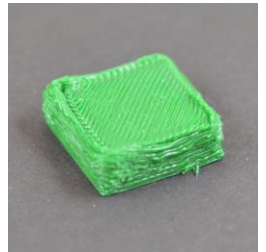
3. Ο extruder δεν εξωθεί αρκετό πλαστικό – Under extrusion
Αιτίες:

- Λάθος διάμετρος νήματος
- Μειωμένος πολλαπλασιαστής εξώθησης



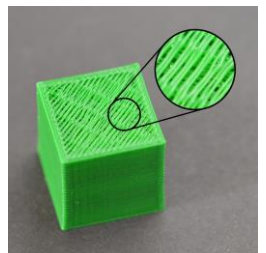
4. Ο extruder εξωθεί υπερβολικά πολύ πλαστικό –Over extrusion
Αιτίες:

- Αυξημένος πολλαπλασιαστής εξώθησης



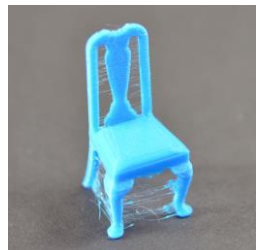
5. Δημιουργούνται κενά στα πάνω επίπεδα
Αιτίες:

- Δεν υπάρχουν αρκετά στερεά επίπεδα
- Το ποσοστό γεμίσματος είναι πολύ μικρό
- Under Extrusion



6. Δημιουργία περιττών νημάτων
Αιτίες:

- Μικρή απόσταση αναρρόφησης
- Μικρή ταχύτητα αναρρόφησης
- Πολύ υψηλή θερμοκρασία
- Μεγάλες κινήσεις πάνω από σημεία χωρίς στηρίγματα

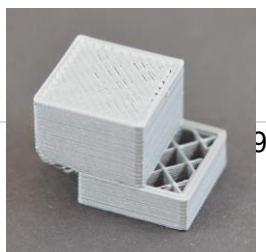


7. Υπερθέρμανση
Αιτίες:

- Ανεπαρκής ψύξη
- Εκτύπωση σε πολύ υψηλές θερμοκρασίες
- Εκτύπωση με μεγάλες ταχύτητες



8. Αλλαγή επιπέδων – Λάθος ευθυγράμμιση



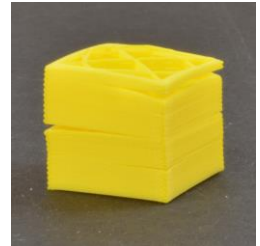
Αιτίες:

- Γρήγορη κίνηση κεφαλής με αποτέλεσμα να χάνονται βήματα
- Μηχανικά ή ηλεκτρικά προβλήματα (λασκαρισμένος ιμάντας χρονισμού)

9. Διαχωρισμός επιπέδων

Αιτίες:

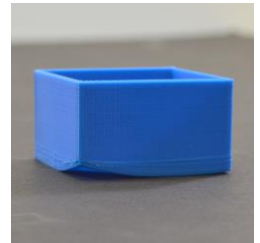
- Πολύ μεγάλο ύψος επιπέδου
- Πολύ χαμηλή θερμοκρασία εκτύπωσης



10. Warping

Αιτίες:

- Δεν χρησιμοποιείται θερμαινόμενη επιφάνεια εκτύπωσης
- Απότομη ψύξη αντικειμένου που εκτυπώνεται
- Έλλειψη εκτυπωμένης βάσης



Επίλογος

Παρά το γεγονός ότι στην πράξη συναντώνται προβλήματα που η αρχική αισιοδοξία του εγχειρήματος δεν μπορούσε να προβλέψει, η κατασκευή, ο προβληματισμός, η μελέτη και η επίλυση των προβλημάτων συντελούν μια συναρπαστική εμπειρία.

Κάθε βήμα προς την επίλυση, ακόμα και τα λάθη, εμπλουτίζουν την εμπειρία αυτή και τελικά το αποτέλεσμα κάθε διόρθωσης που γίνεται άμεσα ορατό στην εκτύπωση, οδηγεί στην συνέχιση της προσπάθειας με στόχο και μοναδική ανταμοιβή την δημιουργία.

References

Βιβλία:

“3D Printing for Dummies”, Kallian Kirk Housman, Richard Horne
«Συστήματα CAD / CAM & Τρισδιάστατη Μοντελοποίηση», Μπιλάλης Νικόλαος,
Μαραβελάκης Εμμανουήλ

Ιστοσελίδες:

<http://marlinfw.org/>

<https://www.arduino.cc/>

<https://formlabs.com/>

<https://all3dp.com>

<https://www.3dhubs.com>

<https://www.simplify3d.com>

<https://reprap.org/wiki/RepRap>

<https://ellak.gr/>

<https://opensource.com/>

<https://3dprinting.com/>

<http://www.stratasys.com>

<http://www.helisis.com>

<http://www.3dsystems.com>

<http://www.ultimaker.com>