

Μελέτη και υλοποίηση 3D εκτυπωτή

ΠΡΩΗΝ ΤΕΙ ΔΥΤΙΚΗΣ ΜΑΚΕΔΟΝΙΑΣ

ΤΗΛΕΜΑΧΟΣ ΤΣΙΑΜΑΤΟΣ Α.Μ: ΗΝ07480 ΕΠΙΒΛΕΠΩΝ: ΒΑΣΙΛΕΙΟΣ ΜΟΛΑΣΙΩΤΗΣ

ΠΕΡΙΛΗΨΗ

Στόχος της παρούσας εργασίας είναι να δημιουργηθεί βήμα-βήμα ένας 3D εκτυπωτής. Αρχικά, γίνεται ιστορική αναδρομή και αναλύονται τα είδη των 3D εκτυπωτών αλλά και πως κατασκευάζονται. Πιο συγκεκριμένα, αναφέρεται πως γίνεται η κατασκευή του σκελετού, η βάση του bed και η βάση εκτύπωσης. Επιπρόσθετα, γίνεται ανάλυση της κίνησης και του υλικού εκτύπωσης. Στη συνέχεια, γίνεται αναφορά στις επεκτάσεις, τις διακλαδώσεις αλλά και πως γίνεται η αντικατάσταση του transistor με Relay. Αξίζει να αναφερθεί ότι, παρουσιάζεται η πλακέτα του 3D εκτυπωτή, η LCD οθόνη και όλα τα υπόλοιπα μέρη του εκτυπωτή. Παρακάτω, γίνεται ανάλυση του λογισμικού καθώς και του Ponterface. Τέλος, αναφέρονται όλες οι βελτιώσεις που μπορούν να πραγματοποιηθούν και τα συμπεράσματα.

Λέξεις Κλειδιά: 3D εκτυπωτής, κατασκευή, ανάλυση κίνησης, προγραμματισμός

Ευχαριστίες

Με την ολοκλήρωση της παρούσας πτυχιακής εργασίας θα ήθελα να εκφράσω τις θερμές μας ευχαριστίες σε όλους όσους με βοήθησαν προκειμένου η εργασία αυτή να πραγματοποιηθεί. Αρχικά, ευχαριστούμε τον επιβλέποντα καθηγητή μας, για την αμέριστη συμπαράστασή του και τις πολύτιμες συμβουλές του και έπιτα τους φίλους και συγγενείς που στάθηκαν δίπλα μου.

Πίνακας Περιεχομένων

1. Εισαγωγή.....	5
1. Ιστορική Αναδρομή.....	7
2. Η λειτουργία 3D.....	12
3. Είδη 3D εκτυπωτών.....	18
4. Κατασκευή.....	33
5.1 Σκελετός.....	34
5.2 Η βάση του bed.....	35
5.3 Η βάση εκτύπωσης.....	36
5.4 Κίνηση.....	37
5.5 Υλικό εκτύπωσης.....	38
5.6 Επεκτάσεις.....	40
5.7 Διακλαδώσεις.....	40
5.8 Αντικατάσταση transistor με Relay.....	41
5.9 Πλακέτα.....	42
5.10 LCD οθόνη με υποδοχή κάρτας SD.....	43
5.11 Υπόλοιπα μέρη εκτυπωτή.....	43
6 Λογισμικό.....	48
7. Pronterface.....	55
7.1 Cura Ultimaker 4.1.0.....	56
8. Βελτιώσεις.....	57
9. Συμπεράσματα.....	58
10. Βιβλιογραφία.....	59
11. Παράρτημα.....	63

1. Εισαγωγή

Η μελλοντική αυτοματοποίηση στο σχεδιασμό και την κατασκευή αντικειμένων θα ενεργοποιηθεί με την 3D εκτύπωση. Πρόκειται για μια σχετικά νέα εφεύρεση που επηρεάζει τις βιομηχανίες κατασκευής και σχεδιασμού. Θεωρείται ως μια νέα βιομηχανική επανάσταση επειδή απελευθερώνει τις παραγωγικές διαδικασίες επιτρέποντας τη δημιουργία τοπικών και μικρών προϊόντων σύμφωνα με τις απαιτήσεις που διέπουν κάθε περίπτωση μοναδικά. Έχει πολλές εφαρμογές σε πολλούς τομείς της παραγωγικής διαδικασίας. Έχει αποκτήσει δημοτικότητα πρόσφατα και χρησιμοποιείται σε διάφορες ρυθμίσεις, συμπεριλαμβανομένων γραφείων σε πανεπιστήμια και σχολεία, καθώς και από ερασιτέχνες ως χόμπι (Horvath, 2014).

Ακόμη και το ευρύ κοινό πιστεύει ότι η τρισδιάστατη εκτύπωση θα αντικαταστήσει τελικά τις πιο παραδοσιακές τεχνικές. Αυτή η ιδέα υποστηρίζεται περαιτέρω από το γεγονός ότι οι τρισδιάστατοι εκτυπωτές προσφέρουν πολλά οφέλη σε σχέση με τις συμβατικές τεχνικές. Ενδεικτικά, μπορούμε να επισημάνουμε ότι είναι ταχύτερα, λιγότερο δαπανηρά και απλούστερα στη χρήση από άλλους τεχνικούς τρόπους προσθετικής κατασκευής και συναφών εργαλείων. Ένας 3D εκτυπωτής χρησιμοποιείται κυρίως για την ανάπτυξη (κατασκευή) κοινών μοντέλων. Συχνά περιλαμβάνει διάφορες διαδικασίες στις οποίες εκτυπώνονται τμήματα ή ίσως ολόκληρο το τυπωμένο αντικείμενο. Αυτά τα εξαρτήματα μπορεί να είναι κατασκευασμένα από διάφορα υλικά και να έχουν διάφορες μηχανικές και φυσικές ιδιότητες ανάλογα με το υλικό εκτύπωσης που θα χρησιμοποιηθεί. (Horvath, 2014).

Η νέα τεχνολογία εκτύπωσης διαχειρίζεται και δημιουργεί κατασκευές, όπως το διαδίκτυο διαχειρίζεται και μεταφέρει πληροφορίες που μπορούν να λάβουν πολλές διαφορετικές μορφές, όπως ήχους, κείμενα και εικόνες. Η τρισδιάστατη εκτύπωση χαρακτηρίζεται επίσης από τον όρο "(ψηφιακό) MatterNet", το οποίο βασίζεται κυρίως στην τρισδιάστατη εκτύπωση αντικειμένων. Ένας 3D εκτυπωτής μπορεί να

αντιγράφει τον εαυτό του εκτυπώνοντας τα στοιχεία από τα οποία κατασκευάζεται. (Su & Al'Aref, 2018).

Τα νέα προϊόντα ξεκινάν πρώτα δημιουργώντας ένα τρισδιάστατο ψηφιακό μοντέλο και στη συνέχεια εκτυπώνονται χρησιμοποιώντας έναν 3D εκτυπωτή. Ο χρόνος που απαιτείται για τη δημιουργία των νέων μοντέλων μειώνεται, καθώς δεν υπάρχει ανάγκη για δαπανηρά και χρονοβόρα όργανα (Su & Al'Aref, 2018).

Καθώς δεν υπάρχουν εμπόδια στις συμβατικές τεχνικές κατασκευής αγαθών, ο χρόνος που απαιτείται για τη δημιουργία ενός προϊόντος μειώνεται σημαντικά (Su & Al'Aref, 2018).

Επειδή απαιτούνται λιγότερες μετακινήσεις προσωπικού για την παραγωγή των νέων αγαθών, παρατηρούμε επίσης μείωση των εκπομπών καυσαερίων ή άλλων επικίνδυνων ενώσεων (CO₂). Η δυνατότητα παραγωγής νέων αγαθών εκτός κεντρικών μονάδων παραγωγής (εργοστασίων) και κοντά στις τοποθεσίες των τοπικών πρώτων υλών, βοηθά σημαντικά στη γρήγορη ευνοϊκή ανταπόκριση των αγορών (Su & Al'Aref, 2018).

Η μειωμένη τιμή ενός 3D εκτυπωτή και η βελτιωμένη απόδοση τον μετατρέπουν σε ένα " χρήσιμο εργαλείο " για τη δημιουργία νέων αντικειμένων, ανοίγοντας νέες δυνατότητες για τον κόσμο της εργασίας. Ωστόσο, είναι πολύ εφικτό ότι η χρήση τρισδιάστατων εκτυπωτών θα έχει σοβαρά μειονεκτήματα. Το πιο σημαντικό από αυτά είναι η πιθανότητα νομικών προκλήσεων κατά των πνευματικών δικαιωμάτων του κατασκευαστή του αρχικού αντικειμένου (Savini & Savini, 2015).

Η εισαγωγή τρισδιάστατων εκτυπωτών θα αλλάξει προοδευτικά όχι μόνο τις συμπεριφορές των αγορών, αλλά και τον τρόπο με τον οποίο βλέπουμε πώς χρησιμοποιούνται τα πράγματα. Ως αποτέλεσμα, η οντότητα των αγοραστών καθώς και οι ανάγκες τους θα αλλάξουν, δεδομένου ότι θα συμμετάσχουν στις οικονομικές συνθήκες της οικοδομικής βιομηχανίας βάσει νέων κανόνων (Kabir et al., 2020).

1. Ιστορική Αναδρομή

Η ιδέα της τρισδιάστατης εκτύπωσης είναι απλή. Ξεκινώντας με τίποτα, δημιουργείτε μια κατασκευή, ένα στρώμα κάθε φορά μέχρι να ολοκληρωθεί το αντικείμενο. Υπάρχουν αρκετές περιπτώσεις παραλλαγών της διαδικασίας, όπως χαμηλότερης

τεχνολογίας εφευρέσεις που έχουν χρησιμοποιηθεί με διαφορετικά ονόματα για χιλιάδες χρόνια (κατασκευή ενός τοίχου από τούβλα). Η σημερινή έκρηξη στην τρισδιάστατη εκτύπωση, είναι ουσιαστικά η ανάπτυξη και συμβολή της τεχνολογίας και των μεθόδων που ήδη γνωρίζουμε. Ωστόσο, υπάρχουν ορισμένες σημαντικές τεχνολογικές και εμπορικές εξελίξεις που συνδυάστηκαν για να μειώσουν το κόστος της τρισδιάστατης εκτύπωσης (Braun & Clarke, 2006).

Η τρισδιάστατη εκτύπωση είναι εννοιολογικά ανάλογη με την ανέγερση ενός τοίχου από τούβλα (αν και είναι πολύ πιο ευέλικτη σε αυτό που μπορεί να χτίσει). Με τον ένα ή τον άλλο τρόπο, οι τρισδιάστατοι εκτυπωτές ξεκινούν με ένα μοντέλο υπολογιστή ενός αντικειμένου και χρησιμοποιούν αυτό το μοντέλο για να κατευθύνουν ένα ρομποτικό σύστημα που τοποθετεί ένα αντικείμενο χρησιμοποιώντας μία από τις τρεις τεχνολογίες. Η επιλεκτική δέσμευση, η επιλεκτική στερεοποίηση και η επιλεκτική εναπόθεση είναι οι τρεις γενικοί τύποι παρασκευής προσθέτων (Braun & Clarke, 2006).

Τα SLS, SLA και DLP είναι κοινές συντομογραφίες για αυτές τις τεχνολογίες, οι οποίες καλύπτονται σε αυτήν την ενότητα. Για να κατανοήσουμε την τεράστια γκάμα τεχνολογιών και να τις οργανώσουμε κάπως, καθορίζουμε αυτές τις τρεις κατηγορίες παρακάτω. SLS (επιλεκτική σύντηξη λέιζερ), χρησιμοποιώντας δεσμευτικές χημικές ουσίες ή θερμότητα για τη σύντηξη των σωματιδίων σκόνης, οι επιλεκτικές τεχνολογίες δέσμευσης μετατρέπουν το υλικό (μέταλλο και γύψος είναι τα τυπικά υλικά) σε ένα τρισδιάστατο τυπωμένο προϊόν. Για παράδειγμα, χρησιμοποιεί ένα λέιζερ για τη σύντηξη ενός στρώματος λεπτώς αλεσμένου τιτανίου. Το αρχικό στρώμα συντήκεται σε μια πλατφόρμα, ακολουθούμενη από την προσθήκη ενός δεύτερου λεπτού στρώματος σκόνης πάνω από το πρώτο. Η σκόνη χρησιμεύει ως υποστηρικτικό μέσο για την εκτύπωση, επιτρέποντας τη δημιουργία περίπλοκων και λεπτών εκτυπώσεων. Ωστόσο, η λεπτή σκόνη μπορεί να είναι δύσκολο να διαχειριστεί και οι εκτυπωτές είναι μερικές φορές ακριβοί. Εφαρμόζοντας επιλεκτικά ενέργεια για να στερεοποιηθεί το υγρό, ένα στρώμα κάθε φορά, η επιλεκτική στερεοποίηση μετατρέπει μια δεξαμενή υγρού σε ένα στερεό αντικείμενο. Για περισσότερη λεπτομέρεια στο αποτέλεσμα της εκτύπωσης προτείνεται η

στερεολιθογραφία (SLA), η οποία χρησιμοποιεί ένα λέιζερ ή περιστασιακά ένα ψηφιακό προβολέα φωτός (DLP) imager για να σκληρύνει ένα στρώμα κάθε φορά χρησιμοποιώντας υπεριώδες φως για να στερεοποιήσει την ρητίνη. Σε κάθε περίπτωση, το μοντέλο πρέπει συχνά να στεγνώσει και η μεταχείριση της ρητίνης μπορεί να είναι δυσάρεστη (Parikh & Sharma, 2018).

Οι επιτραπέζιοι εκτυπωτές SLA είναι πιο δαπανηροί από τους εκτυπωτές που βασίζονται σε νήματα. Τα υλικά εναποτίθενται μόνο χρησιμοποιώντας επιλεκτικές διαδικασίες εναπόθεσης στις επιθυμητές θέσεις. Έτσι λειτουργούν οι εκτυπωτές με βάση το νήμα : λιώνουν ένα νήμα και στη συνέχεια τοποθετούν με ακρίβεια το λιωμένο πλαστικό για να παράγουν ένα αντικείμενο. Επιπλέον, ορισμένοι 3D εκτυπωτές χρησιμοποιούν έναν εκτυπωτή inkjet για την παραγωγή υγρής ρητίνης που στη συνέχεια κατεργάζεται με υπεριώδη ακτινοβολία (Parikh & Sharma, 2018).

Αν και όλες οι τεχνολογίες αλλάζουν γρήγορα, οι φθηνότερες τεχνολογίες συνήθως προσφέρουν λιγότερο λεπτομερή ευρήματα. Αυτό το βιβλίο επικεντρώνεται σε εκτυπωτές που λιώνουν ένα νήμα πριν από την κατάθεση του υλικού, δεδομένου ότι είναι η επιλογή χαμηλότερου κόστους. Λόγω ζητημάτων κόστους και χειρισμού υλικών, οι άλλες τεχνολογίες συχνά δεν είναι κατάλληλες για τον τυπικό οικιακό χρήστη, αλλά αυτό μπορεί να αλλάξει με την πάροδο του χρόνου σε αυτόν τον ταχέως αναπτυσσόμενο κλάδο (Jakus, 2019).

Παρόλο που η τρισδιάστατη εκτύπωση φαίνεται να είναι μια τεχνολογία αιχμής, πολλές επιχειρήσεις εκτελούν τα ίδια καθήκοντα για γενιές. Μεταξύ των διαφόρων τρισδιάστατων εκτυπωτών που βρίσκονται στη φύση είναι τα μαλάκια που παράγουν τα κελύφη τους. Τα μαλάκια αρχίζουν να γεμίζουν το εξωτερικό τους κέλυφος με ανθρακικό ασβέστιο καθώς επεκτείνονται, γεγονός που αυξάνει τον εσωτερικό χώρο για το αναπτυσσόμενο ζώο. Εάν κοιτάξετε προσεκτικά, μπορείτε να εντοπίσετε τις αυξανόμενες γραμμές στα κελύφη (Jakus, 2019).

Ο Chuck Hull αναγνωρίζεται για την ανάπτυξη της 3D εκτύπωσης το 1982. Η βασική ιδέα βασίζεται στο "προσθετικό κτίριο" ή στη διαδοχική στρώση λεπτών πλαστικών δομικών επιπέδων. Τα στρώματα του υλικού ελέγχονται από ηλεκτρονικούς υπολογιστές, χρησιμοποιώντας οδηγίες από εφαρμογές ψηφιακού σχεδιασμού όπως CAD (Computer Aided Design), αρχεία AMF, αρχεία ιστού ή ακόμα και 3D σαρωτές.

Το 1999, η χρήση τρισδιάστατων εκτυπωτών για άλλους σκοπούς, όπως η δημιουργία ιατρικών οργάνων, αυξήθηκε σταδιακά. Το εργαστήριο του Wake Forest Institute for Regenerative Online Pharmacy Medicine παρήγαγε την πρώτη συσκευή χρησιμοποιώντας έναν τρισδιάστατο εκτυπωτή.

Το επόμενο βήμα προς την ίδια κατεύθυνση ήταν η δημιουργία του πρώτου μικροσκοπικού νεφρού, από επιστήμονες το 2002. Σε ένα ζώο, αυτό το νεφρό, μπορεί να φιλτράρει το αίμα και να δημιουργήσει αραιωμένα ούρα. Αυτή ήταν η πρώτη φορά που δημιουργήθηκαν ιστοί και όργανα σε εργαστήριο μετά από αυτό το περιστατικό (Clifton & Damon, 2020).

Το 2005, ο Δρ Adrian Bowyer ίδρυσε το RepRap, ένα έργο ανοιχτού κώδικα που επέτρεψε την παραγωγή της πλειοψηφίας των μηχανικών εξαρτημάτων ενός 3D εκτυπωτή από τον ίδιο τον εκτυπωτή. Ο Δρ Adrian Bowyer ήθελε να αναπτύξει προσιτές συσκευές RepRap που θα μπορούσαν να εκτυπώσουν και να παράγουν τα δικά τους προϊόντα (Clifton & Damon, 2020).

Ένα χρόνο αργότερα, το 2006, κατασκευάστηκε η πρώτη επιλεκτική πυροσυσσώματωση με λέιζερ, μια συσκευή που χρησιμοποιεί λέιζερ για την τήξη υλικών και στη συνέχεια κατασκευάζει τρισδιάστατα γλυπτά από το λιωμένο υλικό. Το ίδιο έτος δημιουργήθηκε η ικανότητα εκτύπωσης ελαστομερών και πολυμερών από διαφορετικά υλικά, συμπεριλαμβανομένων εκείνων με διαφορετικές πυκνότητες (Roberson et al., 2013).

Αξίζει να αναφερθεί ότι το 2008, ο πρώτος τρισδιάστατος εκτυπωτής δημιουργήθηκε και κυκλοφόρησε στην αγορά, παράγοντας κάθε στοιχείο που αποτελούσε το ίδιο το μηχάνημα, δηλαδή δημιούργησε ένα ακριβές αντίγραφο του εαυτού του. Επιπλέον, το πρώτο προσθετικό ανθρώπινο άκρο που παρήχθη χρησιμοποιώντας αυτή την τεχνική ήταν ένα πολύ περίπλοκο σχέδιο που κατασκευάστηκε από έναν 3D εκτυπωτή σε μία μόνο εκτύπωση. Ήταν ένα προσθετικό άκρο που αποτελείται από τη βάση των ποδιών, το πόδι και το γόνατο. (Roberson et al., 2013).

Το πρώτο εκτυπώσιμο αεροπλάνο δημιουργήθηκε και δοκιμάστηκε από μηχανικούς από το Πανεπιστήμιο του Σαουθάμπτον το 2010. Αυτό το οικοδομικό έργο κοστίζει £5.000 και χρειάστηκε 7 ημέρες για να ολοκληρωθεί. Ένα χρόνο αργότερα, δημιουργήθηκαν τα πρώτα κοσμήματα χρησιμοποιώντας τρισδιάστατη εκτύπωση και τα σωστά υλικά (π.χ. χρυσό 14K και ασήμι). Το Urbee, το πρώτο τυπωμένο αυτοκίνητο, είναι επίσης ένα άλλο ενδιαφέρον 3D μοντέλου (Mackay et al., 2017).

Το 2012, προκειμένου να αντικατασταθεί το οστό που λείπει σε μια ηλικιωμένη Ολλανδή, 83 ετών (Mackay et al., 2017) με επίμονη οστική λοίμωξη, δημιουργήθηκε ένα προσθετικό συστατικό οδοντοστοιχίας (κάτω γνάθο), χρησιμοποιώντας τρισδιάστατη εκτύπωση στον ορθοδοντικό τομέα. Χρησιμοποιώντας 3D εκτύπωση, ο ναυπηγικός Τομέας δημιούργησε την πρώτη 3D-τυπωμένη έλικα πλοίου το 2017. (Mackay et al., 2017).

Χρησιμοποιώντας έναν τρισδιάστατο εκτυπωτή, μπορείτε να δημιουργήσετε αντικείμενα όλων των σχημάτων και μεγεθών, από το "ασήμαντο" (εκτύπωση σε όγκο τόσο λίγο όσο μια ανθρώπινη τρίχα) έως το "μαζικό" (π.χ. έλικα πλοίου). Οι δυνατότητες εκτύπωσης είναι σχεδόν ατελείωτες, καθώς ένας τρισδιάστατος εκτυπωτής μηδενικής βαρύτητας μπορεί να εκτυπώσει σχεδόν οτιδήποτε (π. χ. από τμήματα πυραύλων έως τρόφιμα) (Mackay et al., 2017).

2. Η λειτουργία του 3D εκτυπωτή

Η εφαρμογή(application) χωρίζει το γεωμετρικό μοντέλο σε στρώματα, ενημερώνει τον εκτυπωτή για την κατασκευή κάθε στρώματος ξεκινώντας από τη βάση που ορίζει ο χρήστης και στη συνέχεια ενώνει αυτές τα στρώματα για να παράγει το επιθυμητό στοιχείο, ιδιαίτερα όταν είναι περίπλοκο (Palmara et al., 2021).

Επομένως, εάν σχεδιάσουμε το περίγραμμα ενός αντικειμένου χρησιμοποιώντας φως, μπορούμε να το δούμε σε τρεις διαστάσεις. Η λειτουργία 3D βασίζεται ουσιαστικά στη λεγόμενη "προσθετική αρχιτεκτονική" που βρίσκεται σε βράχους στο μανδύα της Γης. Η τεχνική βασίζεται στο νερό για να "μεταφέρει" μεταλλικά μόρια, τα οποία στη συνέχεια "εναποτίθενται" στην ίδια θέση στη γη για να σχηματίσουν λεπτά στρώματα μετάλλου. Οι γνωστοί σταλακτίτες και σταλαγμίτες δημιουργήθηκαν με αυτόν τον τρόπο. Αυτός ο συλλογισμός βασίζεται στον τρόπο λειτουργίας ενός 3D εκτυπωτή. Για να δημιουργήσετε μια εικόνα, ένας εκτυπωτής ψεκασμού μελάνης εφαρμόζει κουκκίδες μελάνης μία κάθε φορά, μόνο όπου πρέπει να είναι και όχι τυχαία, αλλά σύμφωνα με τις οδηγίες που περιλαμβάνονται σε ένα ψηφιακό αρχείο. Ο εκτυπωτής δεν λειτουργεί αμέσως, αλλά πρέπει να ρυθμιστεί (Palmara et al., 2021).

Οι 3D εκτυπωτές διατίθενται σε διάφορα μεγέθη και σχήματα. Υπάρχουν πολλές φάσεις σε αυτήν τη διαδικασία και δεν επηρεάζονται από το υλικό ή τον εκτυπωτή που χρησιμοποιείται. Το πρώτο στάδιο, το οποίο εξαρτάται από την τεχνολογία του εκτυπωτή, είναι να το φορτώσετε με τις κατάλληλες πρώτες ύλες. Οι μέθοδοι που χρησιμοποιούνται για την εφαρμογή του εκτυπωμένου στοιχείου ποικίλλουν ανάλογα με τον εκτυπωτή. Σύμφωνα με τις πληροφορίες που καθορίζουν το σχέδιο και αποθηκεύονται σε ψηφιακό αρχείο, η εξαγωγή υλικού ακολουθεί την ίδια λογική με ένα πιστόλι κόλλας, το οποίο προέρχεται από ένα πλαστικό νήμα που έχει θερμανθεί μέχρι να υγροποιηθεί και να βγει μέσω ενός ακροφυσίου σε υγρή μορφή. Ο εκτυπωτής χρησιμοποιεί το ψηφιακό αρχείο ως πηγή οδηγιών για την τοποθέτηση του υλικού ενώ τηρεί το σχέδιο, το οποίο αντιπροσωπεύεται από λεπτά, δισδιάστατα μικροσκοπικά σχίσματα. Το πλαστικό υλικό (πολυμερές) εισάγεται μέσω του ακροφυσίου σε στρώματα που δεν είναι παχύτερα από 0,1 mm (εξαιρετικά λεπτά), στερεοποιούνται γρήγορα και ενσωματώνονται με το στερεό στρώμα που έρχεται πριν από αυτό πριν από την προσθήκη του επόμενου στρώματος υλικού. Η διαδικασία παράγει ένα αντικείμενο, όμως πολλές φορές δεν είναι ακόμη κατάλληλο για χρήση. Επομένως, πρέπει να ληφθούν επιπλέον μέτρα, όπως:

- λείανση
- βαφή
- κάλυψη με βερνίκι.

Ο σχεδιασμός του νέου αντικειμένου ολοκληρώνεται μετά από αυτά τα ενδιάμεσα βήματα. Το υλικό που θα χρησιμοποιηθεί καθορίζει τη μέθοδο που θα ακολουθήσουμε σε αυτή τη φάση. Η όλη διαδικασία μπορεί να διαρκέσει από λίγα λεπτά, έως πολλές ημέρες. Ανάλογα την τεχνολογία, την περιπλοκότητα των σχεδιασμένων αντικειμένων και από την τεχνική 3D εκτύπωσης. Με άλλα λόγια, η τρισδιάστατη εκτύπωση δεν είναι τόσο αποτελεσματική όταν πρόκειται για μαζική παραγωγή απλών πραγμάτων, επομένως δεν υπάρχει κανένας λόγος να χρησιμοποιηθεί σε αυτές τις συνθήκες. Τα δοχεία απορριμμάτων και τα καθίσματα

του σταδίου είναι δύο περιπτώσεις όπου δεν χρειάζεται να χρησιμοποιούμε τρισδιάστατη εκτύπωση για τη δημιουργία νέων προϊόντων (Li & Pumera, 2021).

Υπάρχει μεγάλη ποικιλία πρώτων υλών με διαφορετικές υφές, όπως :

- μέταλλα
- κεραμικά
- πολυμερή
- βιοϋλικά
- πλαστικά
- σκόνες μετάλλων
- υφάσματα
- ρητίνες
- γυαλί
- πλαστικά
- άμμος
- τρόφιμα

Καθώς χρησιμοποιούν μόνο την ακριβή ποσότητα υλικού που απαιτείται κάθε φορά, οι τρισδιάστατοι εκτυπωτές ακολουθούν τις αρχές της "οικονομίας υλικού", η οποία τους επιτρέπει να παράγουν μοναδικά και περίπλοκα αντικείμενα. Για παράδειγμα, σπάζοντας τη φόρμα σε "απλά" στοιχεία, εκτυπώνοντάς τα ανεξάρτητα το ένα από το άλλο και στη συνέχεια τοποθετώντας τα ξανά μαζί μετά την εκτύπωση, μπορούμε να κάνουμε περίπλοκες γεωμετρικές δομές. Μπορούμε ακόμη και να αναπτύξουμε μοναδικά αγαθά χωρίς να ξοδεύουμε πολύ χρόνο ή χρήμα σε αυτά (Li & Pumera, 2021).

Αυτό συμβαίνει επειδή υπάρχει σημαντική μείωση του χρόνου που απαιτείται για την ανάπτυξη, την παραγωγή και την αξιολόγηση του τελικού προϊόντος. Αυτό επιτρέπει

στον παραγωγό να κάνει μια γρήγορη ανασκόπηση του προϊόντος πριν ολοκληρωθεί η διαδικασία κατασκευής, να παρέμβει αμέσως ενσωματώνοντας αλλαγές και να τροποποιήσει το σχέδιο, αποτρέποντας έτσι τυχόν σφάλματα. Με αυτόν τον τρόπο, ο σχεδιαστής μπορεί να επιταχύνει τη διαδικασία χύτευσης. Η ενέργεια εξοικονομείται ταυτόχρονα μειώνοντας το χρόνο που αφιερώνεται στις διάφορες φάσεις ανάπτυξης προϊόντων, τα απαραίτητα υλικά, τη δυνατότητα επανάληψης της χρήσης ενός ή περισσότερων υποπροϊόντων και τη δημιουργία νέων αντικειμένων με μικρότερο βάρος.

Το υλικό που θα χρησιμοποιηθεί σε κάθε κατάσταση εξαρτάται από τα χαρακτηριστικά που σκοπεύει να αναπτύξει το αντικείμενο. Με τη χρήση τέτοιων τεχνολογιών, μπορούμε να ελαχιστοποιήσουμε την απώλεια υλικού σε όλη τη διαδικασία εκτύπωσης. Στην ουσία, αυτή η στρατηγική μας επιτρέπει να μειώσουμε το ποσό των πόρων (τόσο όσον αφορά την τιμή όσο και την ποσότητα) κατά ένα τεράστιο ποσό, έως και 90%.

Για να διατηρηθεί η σταθερότητα και η μορφή του προϊόντος λόγω της θερμότητας κατά τη διάρκεια της διαδικασίας εκτύπωσης, ο εκτυπωτής πρέπει να προετοιμαστεί με τις κατάλληλες ενέργειες, όπως η αλλαγή, καθαρισμός ή τοποθέτηση κόλλας. Μετά την εκτύπωση, πραγματοποιείται νέα επεξεργασία προκειμένου να εμφανιστεί το νέο στοιχείο με τον σωστό τρόπο. Αυτό σχετίζεται με ορισμένα βήματα, μερικά από τα οποία είναι απλά και άλλα εμπλέκονται περισσότερο, και περιλαμβάνει πολλές λειτουργίες, όπως:

- φινίρισμα
- απλή αποκόλληση του αντικείμενου από την πλατφόρμα εκτύπωσης
- αφαίρεση δομών στήριξης από το αντικείμενο
- βούρτσισμα

Αυτό το επίπεδο απαιτεί συγκεκριμένες γνώσεις, εργαλεία και ικανότητες. Ένα δεύτερο αντικείμενο χρησιμοποιείται στη διαδικασία εκτύπωσης, ενεργώντας ως

στήριγμα(supports) για τις προεξοχές στο κύριο αντικείμενο . Μια άλλη εικόνα που τηρεί τις ίδιες αρχές είναι ένας τυπικός επιτραπέζιος εκτυπωτής (Arnold et al., 2019).

Ο Χαλ πέρασε ένα χρόνο κάνοντας πειράματα με αυτήν την ιδέα πριν καταλήξει σε μια συσκευή που αποτελείται από έναν κάδο γεμάτο με υγρό φωτοπολυμερές. Ένα σταθερό πλαστικό δημιουργήθηκε όταν μια έντονη ακτίνα λέιζερ UV που καθοδηγείται από εντολές υπολογιστή χτύπησε το υγρό. Αυτό το συμπέρασμα εφαρμόστηκε όχι μόνο σε υγρά αλλά και σε στερεά σώματα και, ευρύτερα, σε οποιοδήποτε υλικό σώμα ικανό να αλλάξει την κατάστασή του φυσικά. Ο Χαλ εμπνεύστηκε από αυτό το περιστατικό για να καλέσει την τεχνολογία του στερεολιθογραφία ή 3D. (τρισδιάστατο από 3 - διαστάσεων δηλαδή 3-διαστάσεων). 3D εκτυπωτή). Ο εκτυπωτής αρχίζει να παράγει το αναμενόμενο στοιχείο μόλις το ψηφιακό μοντέλο φορτωθεί στην πλατφόρμα εκτύπωσης. Ωστόσο, είναι μια μέθοδος που χρησιμοποιείται από όλους τους 3D εκτυπωτές και είναι εξαιρετικά οικονομικά αποδοτική, ειδικά όταν παράγει μοναδικά προϊόντα σε μικρές ποσότητες (Arnold et al., 2019).

Το γεγονός ότι οι τρισδιάστατοι εκτυπωτές μπορούν να χρησιμοποιηθούν με δυσμενή αποτελέσματα, όπως στην επιχείρηση εξοπλισμών, είναι ένα από τα μειονεκτήματά τους. Ο Δρ Hideo Kodama του Nagoya Industrial Research Institute έκανε την πρώτη προσπάθεια ανάπτυξης ενός 3D εκτυπωτή το 1980. Περιέγραψε την κατασκευή τρισδιάστατων μοντέλων από πολλαπλά στρώματα φωτοευαίσθητης ρητίνης που διασπάται σε κομμάτια από υπεριώδεις ακτίνες, αλλά δεν είχε χρόνο να κατοχυρώσει με δίπλωμα ευρεσιτεχνίας την εφεύρεσή του (Arnold et al., 2019).

Το κατασκευαστικό σύστημα στερεολιθογραφίας (SLA), το οποίο ιδρύθηκε τον Ιούλιο του 1984 από τους Γάλλους Oliverde Witte, Jean Claude Andre και Alain Le Mahaute, καταχωρήθηκε επίσημα, αλλά δεν χρησιμοποιήθηκε ποτέ, καθώς θεωρήθηκε μη εμπορικό. Έτσι, φτάνουμε λίγο πριν το 1987, τη χρονιά που ο Charles Hull ίδρυσε την 3D Systems Corporation και δημιούργησε ένα επαναστατικό σύστημα στερεολιθογραφίας. Η νέα τεχνική, γνωστή ως SLA (Στερεολιθογραφική συσκευή), χρησιμοποιεί στρώματα υλικού κατασκευασμένα από πολυμερή που έχουν

υποβληθεί σε ακτινοβολία λέιζερ UV και στη συνέχεια στερεοποιούνται για την κατασκευή αντικειμένων. Η Hull δημιούργησε την ψηφιακή διασταύρωση αντικειμένων και τη μορφή αρχείου STL stereolithography το 1987, τα οποία αποτελούν τα θεμέλια για τη λειτουργία των σύγχρονων τρισδιάστατων εκτυπωτών (Zhang et al., 2021).

Το 1992, η 3D Systems παρήγαγε τον πρώτο ολοκληρωμένο εκτυπωτή που χρησιμοποιεί τεχνολογία SLA. Είτε κατασκευάζουν βασικά ή εξελιγμένα μέρη προϊόντων, είτε δημιουργούν κρίσιμα όργανα για χρήση στην ιατρική, οι τρισδιάστατοι εκτυπωτές χρησιμοποιούνται σε μια ευρεία ποικιλία δομών. Η κατασκευή πολλών εξαρτημάτων και αντικειμένων που χρησιμοποιούν τρισδιάστατη εκτύπωση έχει σημειώσει σημαντική πρόοδο, με πολλά από αυτά να έρχονται με πολύ χαμηλό κόστος. Πολλά από τα εξελιγμένα και εξειδικευμένα κτίρια που κατασκευάζονται με 3D εκτυπωτές. Επιπλέον, δημιουργούνται εξαρτήματα για αντικείμενα με ελάχιστα πρότυπα και προορίζονται για κατανάλωση, όπως διακοσμητικές προσόψεις (Zhang et al., 2021).

Η χρήση της τρισδιάστατης εκτύπωσης σε σημαντικές δομές, όπως η ιατρική βιομηχανία, έχει τη δυνατότητα να επηρεάσει τις μελλοντικές εξελίξεις. Η κατασκευή εξακολουθεί να είναι ο πιο σημαντικός τομέας για την ανάπτυξη και χρήση 3D εκτύπωσης, αλλά βρίσκει επίσης εφαρμογές σε άλλους κλάδους, όπως ιατρική, αρχιτεκτονική, διακόσμηση και άλλους κατασκευαστικούς τομείς, καθώς και στην παραγωγή άλλων εκτυπωτών 3D (Chen et al., 2021).

Προς το παρόν δεν είναι εφικτή η κατασκευή κτιρίων 3D σε πολύ μεγάλες ποσότητες, καθώς η διαδικασία εκτύπωσης 3D είναι μια εκτέλεση που απαιτεί πολύ χρόνο. Ωστόσο, αυτό θα συμβεί στο μέλλον, επειδή ο τομέας της συνεχώς επεκτείνεται με πολύ ισχυρές δυνατότητες (Chen et al., 2021).

3. Είδη 3D εκτυπωτών

Τα βασικά είδη τρισδιάστατων εκτυπωτών είναι 9:

1. Εκτυπωτής SLA:

Ο όρος "στερεολιθογραφία", που αναφέρεται στην αρχική μέθοδο εκτύπωσης 3D, αποδίδει το ακρωνύμιο SLA. Η διαδικασία διεξάγεται χρησιμοποιώντας μια μέθοδο γνωστή ως " πολυμερισμός", στην οποία μια πηγή φωτός σκληραίνει επιλεκτικά το φωτο-πολυμερές που βρίσκεται μέσα σε μια δεξαμενή. Η ουσία είναι ρητίνη κατασκευασμένη από φωτοπολυμερές (Shahrubudin et al., 2019).

2. Εκτυπωτές τύπου DLP:

Τα γράμματα DPL αντιπροσωπεύουν " ψηφιακή επεξεργασία φωτός." υποδεικνύοντας μια απλή μηχανογραφημένη διαδικασία. Αυτοί οι εκτυπωτές χρησιμοποιούν τα ίδια υλικά με τους εκτυπωτές SLA ενώ έχουν πολλές ομοιότητες. Όταν ασχολούνται με

αντικείμενα μεγαλύτερου μεγέθους, λειτουργούν ταχύτερα από τα SLAs και βλέπουν σύντομα ένα στρώμα ή πολλά στρώματα. Τα Voxels είναι μικροσκοπικά τετράγωνα υλικού που παράγονται από τα εικονοστοιχεία της εκτύπωσης (Shahrubudin et al., 2019).

3. Εκτυπωτές τύπου FDM ή τύπου FFF:

Τα γράμματα FDM λαμβάνονται από τις λέξεις λιωμένη μοντελοποίηση εναπόθεσης, που σε ελεύθερη μετάφραση σημαίνει "εξαγωγή λιωμένου υλικού," και τα αρχικά FFF προέρχονται από τις λέξεις λιωμένη κατασκευή νήματος, που σε ελεύθερη μετάφραση σημαίνει "λιωμένη νηματοειδής κατασκευή." Αυτοί οι εκτυπωτές χρησιμοποιούν λιωμένο θερμοπλαστικό μελάνι που εξωθείται από τη θερμαινόμενη κεφαλή στη βάση της εκτύπωσης χρησιμοποιώντας υλικά όπως ABS, PET, PLA και TPU. Η κεφαλή κινείται πάνω από τη βάση για να κατασκευάσει το μοντέλο σταδιακά και οι συντεταγμένες του σχεδίου υπαγορεύουν πώς θα κινηθεί. Το λιωμένο υλικό σκληραίνει αμέσως από τη διαδικασία της πήξης και διαμορφώνει το πρότυπο μοντέλο. Οι πιο δημοφιλείς και οικονομικά αποδοτικοί 3D εκτυπωτές είναι μοντέλα εξώθησης υλικού (Shahabuddin et al., 2019).

4. Εκτυπωτές τύπου SLS:

Το SLS σημαίνει "επιλεκτική σύντηξη λέιζερ", η οποία είναι η κυριολεκτική μετάφραση της λέξης "σύντηξη". Χρησιμοποιεί τη διαδικασία κατασκευής προσθέτων (MT), ένα λέιζερ ως πηγή ισχύος του και κονιοποιημένο πολυμερές (θερμοπλαστικό) υλικό (πολυαμίδιο ή νάιλον) ως υλικό παραγωγής του. Το υλικό θερμαίνεται μέχρι να λιώσει, και στη συνέχεια τοποθετείται πολύ μικρή ποσότητα στην πλατφόρμα στον κάδο. Το λέιζερ σκληραίνει το υλικό για να σχεδιάσει το στοιχείο ενώ ταυτόχρονα στοχεύει αυτόματα στις θέσεις που καθορίζει το 3D μοντέλο. Η ίδια διαδικασία πραγματοποιείται ξανά σε κάθε στρώμα που παραμένει στην πλατφόρμα του εκτυπωτή. Η σύντηξη κλίνης ισχύος είναι μια σχετικά πρόσφατη τεχνική που, εκτός από μερικές τεχνικές διαφορές, είναι αρκετά παρόμοια με την επιλεκτική σύντηξη λέιζερ. Αυτοί οι εκτυπωτές είναι γνωστοί για το χαμηλό κόστος λειτουργίας και κατασκευής και επιλέγονται για τη γρήγορη κατασκευή προϊόντων και εξαρτημάτων μικρής παρτίδας. Καθώς αυξάνεται η χρήση της προσθετικής

εκτύπωσης για εμπορικούς σκοπούς, η τεχνολογία τους εξελίσσεται συνεχώς (Shahrubudin et al., 2019).

5. Εκτυπωτές τύπου MPBF:

Τα αρχικά MPBF προέρχονται από τις λέξεις Metal Powder Bed Fusion.

Χρησιμοποιούν μια πηγή θερμότητας για την παραγωγή στερεών υλικών και χρησιμοποιούν μεταλλική σκόνη πολλών τύπων, όπως χάλυβα, αλουμίνιο και τιτάνιο. Το υλικό πήζει για να διαμορφώσει το επιθυμητό αντικείμενο αφότου βοηθά η πηγή θερμότητας στην τήξη των μορίων σκονών μετάλλων για κάθε στρώμα ανεξάρτητα.

Αυτοί οι εκτυπωτές ταξινομούνται σε:

- SLM (Selective Laser Melting):
εκτυπωτές με επιλεκτική SLS τεχνική ειδικά για μέταλλα
- DMLS (Direct Metal Laser Sintering):
εκτυπωτές με ευθύς SLS τεχνική για μέταλλα
- EBM (Electronic Beam Melting):
εκτυπωτές που λειτουργούν με ηλεκτρόνια ή με ακτίνα υψηλής ενέργειας που βοηθούν στη σύντηξη των μορίων της μεταλλικής σκόνης.

6.Εκτυπωτές τύπου LOM:

Τα αρχικά LOM σχηματίζονται από τη φράση "πλαστικοποιημένο κατασκευασμένο αντικείμενο". Αυτή η τεχνική χρησιμοποιεί πίεση και θέρμανση μαζί με σχετικά φθηνά υλικά (χαρτί ή πλαστικό). Μια μικρή ποσότητα υλικού πλαστικοποιείται ή συντήκεται κατά τη διάρκεια αυτής της διαδικασίας για να παραχθεί ένα λεπτό πλαστικό φύλλο που τοποθετείται στην πλατφόρμα εκτύπωσης. Η διαδικασία επαναλαμβάνεται στο επόμενο βήμα, όταν το φρέσκο φύλλο είναι στρωμένο πάνω από το παλιό και συγχωνεύεται με αυτό. Όταν το μοντέλο παίρνει το σχήμα που επιθυμούμε σύμφωνα με το πρόγραμμα της διαδικασίας, το οποίο επαναλαμβάνει πάντα το ίδιο βήμα, η εκτύπωση λέγεται ότι είναι πλήρης.

7.Εκτυπωτές τύπου BJ:

Οι όροι Binder, που σημαίνει "Bookbinder", και Jetting, που σημαίνει "εκτόξευση / εκροή", συνδυάζονται για να σχηματίσουν τα αρχικά BJ. Επιπλέον, οι όροι μέταλλο και άμμος από τα υλικά που χρησιμοποιούνται για την κατασκευή του τυπωμένου αντικειμένου χρησιμοποιούνται για την περιγραφή τους. Αυτή η τεχνική περιλαμβάνει τη χρήση ενός υγρού συνδετικού παράγοντα για τη δέσμευση των κονιοποιημένων σημείων που αποτελούν κάθε στρώμα εκτύπωσης (γι ' αυτό και η λέξη συνδετικό υλικό).

8.Εκτυπωτές τύπου MJ:

Τα αρχικά MJ λαμβάνονται από τη φράση υλικό εκτόξευσης. Αυτοί οι εκτυπωτές έχουν το πλεονέκτημα της ταυτόχρονης δημιουργίας διαφορετικών υλικών διατηρώντας παράλληλα μια σταθερή ταχύτητα εκτύπωσης. Ξεκινούν με ρητίνη φωτοπολυμερούς. Αυτή η προσέγγιση είναι συγκρίσιμη με την προσέγγιση εκτύπωσης που χρησιμοποιείται για έναν τυπικό εκτυπωτή έγχυσης, δηλαδή την προσέγγιση εκτύπωσης. ένας εκτυπωτής μελανιού που χρησιμοποιεί εκατοντάδες μικροσκοπικές σταγόνες της ουσίας για να δημιουργήσει επαναλαμβανόμενα

στρώματα. Η χρησιμοποίηση της υπεριώδους ακτινοβολίας αναγκάζει τα στρώματα του υλικού να στερεοποιηθούν και να ενωθούν (UV ακτίνες).

9.Εκτυπωτές τύπου DOD:

Το ακρωνύμιο DOD προέρχεται από τη φράση "Drop On Demand," που κυριολεκτικά σημαίνει "απόθεση κατ' απαίτηση". Χρησιμοποιούν δύο κεφαλές μελάνης και ρητίνης φωτοπολυμερούς. Με τη βοήθεια ενός θερμαντικού, τα δομικά υλικά διατηρούνται σε μορφή κεριού. Το γλυπτό εκτυπώνεται σε στρώματα και ένα υλικό υποστήριξης διαλύτη που αποβάλλεται από τη δεύτερη κεφαλή βοηθά τα στρώματα να ενωθούν. Τα προηγούμενα στρώματα εξετάζονται από μία ειδική κεφαλή(sensor) για τυχόν πιθανές ανωμαλίες πριν από την τοποθέτηση κάθε νέου στρώματος υλικού.

Οι ποικιλίες εκτυπωτών που αναφέραμε εμπίπτουν στην ευρύτερη κατηγορία "εκτυπωτών εγχύσεως". Αυτοί οι εκτυπωτές είναι οι πιο διαδεδομένοι στη βιομηχανία, δεδομένου ότι είναι οι φθηνότεροι και έχουν μια απλή διαδικασία παραγωγής (Cheng et al., 2020).

Μπορούμε να πούμε ότι η λειτουργία των εκτυπωτών αυτού του είδους χωρίζεται σε 3 βήματα:

- τήξη του αρχικού υλικού
- τοποθέτηση του θερμοπλαστικού υλικού στη βάση εκτύπωσης
- εκτύπωση layer-upon-layer σε 3 διαστάσεις, δηλ. κατά μήκος x , κατά πλάτος y και κατά ύψος z .

Όταν χρησιμοποιούνται παραδοσιακοί εκτυπωτές μελανιού, η κεφαλή εκτύπωσης κινείται στην επιφάνεια ενός χαρτιού ή στην επιφάνεια του εκτυπωτή, χρησιμοποιώντας τα x και y ως τις δύο διαστάσεις του. Οι εκτυπωτές εγχύσεων και οι τρισδιάστατοι εκτυπωτές χρησιμοποιούν και την διάσταση Z , εντούτοις το ύψος είναι μια πρόσθετη διάσταση που χρησιμοποιείται στην 3D εκτύπωση. Η τρισδιάστατη εκτύπωση διαφέρει από τη δισδιάστατη εκτύπωση σε μερικά χαρακτηριστικά: κοστίζει περισσότερο, καθώς χρειάζεται περισσότερος χρόνος για την παραγωγή. Βοηθητικοί άξονες, ιδίως εκείνοι που προέρχονταν από παλιές συσκευές αναπαραγωγής DVD, χρησιμοποιούνται για την κίνηση της κεφαλής και/ή της βάσης. Επιπλέον, υπάρχουν βάσεις από συσκευές αναπαραγωγής DVD με μοναδικές διαμορφώσεις που χρησιμεύουν ως βάση τόσο για την κεφαλή όσο και για τη βάση εκτύπωσης (Cheng et al., 2020).

Ο μικροελεγκτής, ο οποίος είναι ο εγκέφαλος της διαδικασίας εκτύπωσης, βοηθά στη μεταφορά πληροφοριών και ισχύος από έναν υπολογιστή συνδεδεμένο στον

εκτυπωτή με ηλεκτρικές συνδέσεις στα μηχανικά του εξαρτήματα (Cheng et al., 2020).

Ο εκτυπωτής λαμβάνει εντολές μέσω του μικροελεγκτή και του αντίστοιχου λογισμικού στην κύρια μνήμη του υπολογιστή. Ο μικροελεγκτής οργανώνει και μεταδίδει τις πληροφορίες που σχετίζονται με την εκτύπωση. Αυτές οι πληροφορίες είναι οι εξής:

- οι μετρήσεις των διαστάσεων του αντικειμένου που πρόκειται να εκτυπωθεί
- η κατανομή του ρεύματος για την ολοκλήρωση όλης της διαδικασίας
- η μέτρηση παραμέτρων σχετικών με την εκτύπωση
- η βαθμονόμηση

και άλλες βασικές λειτουργίες.

Ο μικροελεγκτής του εκτυπωτή χρησιμοποιεί πρώτα παραμέτρους που συνδέονται με τη μονάδα εκτύπωσης και πραγματοποιεί ελέγχους μέσω δικτύου, μέσω USB ή με άλλο τρόπο. Στη συνέχεια, φορτώνεται ένα δείγμα του μοντέλου που θέλουμε να εκτυπώσουμε ή του μοτίβου εκτύπωσης. Στη συνέχεια, ο μικροελεγκτής δίνει στους άξονες την εντολή να μετακινήσουν τη βάση ή την κεφαλή εκτύπωσης στη θέση όπου θα ξεκινήσει η διαδικασία εκτύπωσης (εξαρτάται από τον τύπο κατασκευής) (Cheng et al., 2020).

Το ακροφύσιο θερμαίνεται στην κατάλληλη θερμοκρασία πριν λαμβάνει το θερμοπλαστικό υλικό από τη κεφαλή εξώθησης. Προωθώντας το ανώτερο στρώμα της εκτύπωσης προς τη βάση, το ακροφύσιο με αυτόν τον τρόπο προκαλεί την τήξη και το σχηματισμό του θερμοπλαστικού υλικού. Οι συντεταγμένες του σχεδίου, οι οποίες έχουν ήδη τοποθετηθεί στον μικροελεγκτή από το λογισμικό εκτύπωσης, χρησιμοποιούνται από τον εκτυπωτή για να μετακινήσουν την κεφαλή εκτύπωσης ή τη βάση κατά τη διάρκεια της τήξης και της εξώθησης του υλικού. Αυτή η διαδικασία συνεχίζεται για κάθε στρώμα μέχρι να ολοκληρωθεί το αντικείμενο. Κατά την εκτύπωση, ο εκτυπωτής χρησιμοποιεί συχνά διάφορες δομές υποστήριξης(supports)

που στη συνέχεια αφαιρούνται. Φυσικά, το υλικό πρέπει να πήξει και να στερεοποιηθεί για να συνδυαστούν όλα τα στρώματα. Το μέγεθος και το σχήμα του προβλεπόμενου αντικειμένου θα το καθορίσουν οι δυνατότητες του εκτυπωτή που χρησιμοποιείται, το μέγεθος του εκτυπωμένου προϊόντος, το μέγεθος της βάσης της εκτύπωσης καθώς και το εύρος κίνησης των αξόνων, ενώ το χρώμα της επιλέγεται από μια μεγάλη ποικιλία (Park & Shin, 2018).

Ένα από τα πιο κρίσιμα μέρη ενός εκτυπωτή, ο μικροελεγκτής, αφορά τον εγκέφαλό του και ελέγχει ολόκληρη τη διαδικασία εκτύπωσης. Αυτό ενεργοποιεί το λογισμικό (κώδικας) που διέπει τη διαδικασία εκτύπωσης 3D. Όλα τα άλλα μέρη του εκτυπωτή θα ήταν κάπως ανεξάρτητα το ένα από το άλλο και δεν θα μπορούσαν να συνεργαστούν για να ολοκληρώσουν τη διαδικασία εκτύπωσης αν δεν ήταν ο μικροελεγκτής. Το λογισμικό του μικροελεγκτή(software) συγχρονίζει τα μηχανικά(hardware) μέρη του εκτυπωτή, κάνοντάς τα να λειτουργούν ως μία συνεκτική μονάδα (Park & Shin, 2018).

Το Arduino Mega 2560, ένας τύπος μικροελεγκτή με συνολικά 54 εισόδους ή εξόδους, είναι αυτός που χρησιμοποιείται συχνά. Υπάρχουν δύο τρόποι λειτουργίας:

- με τη βοήθεια ενός προσαρμογέα από εναλλασσόμενη σε συνεχή τάση (της τάξης των 7V - 12V) για αυτόνομη (stand - alone) λειτουργία
- με τη χρήση usb (5V) σε σύνδεση με ηλεκτρονικό υπολογιστή.

Όταν ο εκτυπωτής είναι συνδεδεμένος απευθείας στον υπολογιστή, λαμβάνει όλη την ηλεκτρική ενέργεια 5V που χρειάζεται για να λειτουργήσει από τη θύρα USB του υπολογιστή.

Ο εκτυπωτής αποτελείται από διάφορα ηλεκτρονικά μέρη που διασυνδέονται και ελέγχονται από τον πίνακα ελέγχου, ο οποίος είναι συχνά ήδη κατασκευασμένος και δεν απαιτεί την δημιουργία προσαρμοσμένης πλακέτας. Ένας εκτυπωτής αποτελείται από πολλά διαφορετικά μέρη, συμπεριλαμβανομένων των θερμίστορ, των τελικών διακοπών, των οδηγών κινητήρων κ. λπ. Χρησιμοποιείται συνήθως ο Πίνακας

Ελέγχου Ramps 1.4, ο οποίος είναι απολύτως συμβατός με το Arduino Mega 2560. Είναι ένας πίνακας ελέγχου που συνδέεται ως επέκταση στο Arduino αλλά τροφοδοτείται ανεξάρτητα από αυτό (Ishida & Miyasaka, 2016).

Το κύκλωμα αυτό τροφοδοτεί τα επιμέρους εξαρτήματα ενός τρισδιάστατου εκτυπωτή. Έχει δύο εισόδους τροφοδοσίας:

- Το πρώτο τροφοδοτείται από ηλεκτρικό ρεύμα τάσης 12V, παρέχει ηλεκτρικό ρεύμα με ισχύ μεγαλύτερη από 5A και τροφοδοτεί τους κινητήρες για τον εξωθητή και άλλα μέρη του εκτυπωτή.
- Το δεύτερο, που αναφέρεται ως δευτερεύον, παρέχει το θερμαινόμενο bed (θερμικό κρεβάτι), υποθέτοντας ότι υπάρχει ένα, με ηλεκτρικό ρεύμα έντασης άνω των 11a. Το Ramps 1.4 μπορεί να λειτουργεί με πηγή ισχύος τάσης 12V εάν ο εκτυπωτής δεν διαθέτει θερμαινόμενη βάση και απαιτείται διπλή τροφοδοσία (Ishida & Miyasaka, 2016).

Το board αυτό έχει την ικανότητα να παρέχει υποστήριξη σε έως και σε 5 οδηγούς κινητήρων (motor drivers) και μέχρι 6 βηματικούς κινητήρες. Η κατανομή γίνεται ως εξής:

- ένας για τον άξονα x'x του μήκους
- ένας για τον άξονα y'y του πλάτους
- δύο για τον άξονα z'z του ύψους με παράλληλη λειτουργία γιατί προσαρμόζονται σε έναν κοινό οδηγό κινητήρα (motor driver) και
- δύο για τους εξωθητήρες (extruders)

Αυτό δείχνει ότι ο εκτυπωτής μπορεί να φιλοξενήσει έως και δύο κεφαλές εκτύπωσης ταυτόχρονα. Επιπλέον, διαθέτει συνδέσεις για διακόπτες κάθε άξονα (τερματικές στάσεις). Κατά συνέπεια, θα υπάρχουν τρεις έως έξι διακόπτες σε κάθε άξονα (τερματικά). Ο εκτυπωτής που συζητάμε περιλαμβάνει θύρες οθόνης και κάρτας SD έτσι ώστε να μπορεί να λειτουργεί ανεξάρτητα (αυτόνομη λειτουργία) χωρίς την

ανάγκη ταυτόχρονης δραστηριότητας υπολογιστή. Ωστόσο, μια πηγή ισχύος 7-12 V για το Arduino είναι επίσης απαραίτητη για αυτόνομη λειτουργία (Ishida & Miyasaka, 2016). Μερικά ακόμη χαρακτηριστικά:

- 3 το πολύ ακίδες (pins) ως αισθητήρα για τη θερμοκρασία
- ακίδες (pins) για να μπορούμε να επικολλήσουμε ανεμιστηράκια (fans) που θα χρησιμοποιούνται για την προστασία των κινητήρων του εκτυπωτή ή και του εκτυπωμένου μοντέλου από υπερθέρμανση παρέχοντας ψύξη
- 3 pins για άλλες προσθήκες.

Οι άξονες του εκτυπωτή απαιτούν ορισμένους εξειδικευμένους κινητήρες γνωστούς ως steppers για να κινηθούν. Συνήθως, ένας τρισδιάστατος εκτυπωτής απαιτεί συνολικά 4 βηματικούς κινητήρες για σωστή λειτουργία:

- 3 για τους άξονες (όπως αυτοί που υπάρχουν στα dvd players παλιών desktop computers)
- ένας για τη λειτουργία του εξωθητήρα (extruder)(π.χ. ενός κινητήρα Nema 17).

Ο αριθμός 17 σημαίνει ότι ο βηματικός κινητήρας έχει διαστάσεις 17×17 δηλ. 17 inches μήκος και 17 inches πλάτος. Τα χαρακτηριστικά που προτιμούνται συνήθως είναι:

- 1.5A έως 1.8A ένταση ανά φάση
- 1V - 4V
- έως 8 mH επαγωγή ανά φάση
- 44 N·cm ή και μεγαλύτερη ροπή συγκράτισης
- 1.8 ή 0.9 μοίρες ανά βήμα (200/400 βήματα ανά περιστροφή αντίστοιχα).

Σε αντίθεση με τους stepper κινητήρες, οι συσκευές αναπαραγωγής DVD ID απαιτούν κινητήρες dc για να λειτουργήσουν. Τις περισσότερες φορές, είναι επιθυμητό να έχετε πέντε συσκευές αναπαραγωγής DVD τύπου Sata. Αυτές οι συσκευές αναπαραγωγής μπορούν να βρεθούν σε παλιούς υπολογιστές, να αγοραστούν από έναν λιανοπωλητή ηλεκτρονικών ειδών που πωλεί εξαρτήματα υπολογιστών ή να αγοραστούν στο eBay. Ωστόσο, δεδομένου ότι χρειάζεται μόνο να ανοίξουμε την πόρτα και όχι το πλήρες εσωτερικό σύστημα λέιζερ που διαβάζει τα DVD, δεν είναι απολύτως απαραίτητο να λειτουργήσουμε πλήρως τις συσκευές αναπαραγωγής dvd. Δεδομένου ότι απαιτείται μόνο ο βηματικός κινητήρας και ο σκελετός που εφαρμόζεται σε αυτό, και όχι ολόκληρη η λειτουργία τους, η τιμή μπορεί ακόμη και να μειωθεί. Αν και δεν χρησιμοποιούνται και οι πέντε συσκευές αναπαραγωγής DVD σε όλη τη διαδικασία εκτύπωσης, η ύπαρξή τους χρησιμεύει ως αντίγραφο ασφαλείας σε περίπτωση που ένας από τους κινητήρες δυσλειτουργεί. Ένας βηματικός κινητήρας υποστηρίζει τη λειτουργία ενός κινητήρα διαιρώντας τη δραστηριότητά του σε βήματα και κάθε ένας χρειάζεται τον δικό του οδηγό ξεχωριστά(Wilhite & Wölfel, 2019).

Ένας μικροσκοπικός ενισχυτής ρεύματος που λειτουργεί παράλληλα με έναν μικροελεγκτή έχει σκοπό να μετατρέπει το χαμηλό ρεύμα σήματος που λαμβάνει από τον σε μεγαλύτερο ρεύμα σήματος που μπορεί να καθοδηγήσει τον κινητήρα. Το υλικολογισμικό(software) ελέγχει επίσης τον χρόνο λειτουργίας του κινητήρα και την κατεύθυνση κίνησης. Υπάρχουν πολλοί άλλοι τύποι βηματικών κινητήρων που διατίθενται στην αγορά, ωστόσο οι οδηγοί κινητήρων A4988 είναι πιο κατάλληλοι για το Ramps 1.4, καθώς μπορούν να εγκατασταθούν απευθείας σε αυτό. Η ρύθμιση του ρεύματος που διαρρέουν οι βηματικοί κινητήρες είναι ζωτικής σημασίας, γεγονός που απαιτεί τη συμπερίληψη ενός ποτενσιόμετρου. Δεδομένου ότι δεν υπάρχει στοιχείο για την ψύξη των κινητήρων, το ρεύμα πρέπει να έχει ένταση 0,5 A για τους βηματικούς κινητήρες σε συσκευές αναπαραγωγής DVD και 1 A για το Nema 17.

Συμπεριλαμβάνοντας μια παθητική ψήκτρα ή μια που ψύχεται με αέρα, η ηλεκτρική ροή μπορεί να βελτιωθεί. Ο υπολογισμός της τάσης που αντιστοιχεί στο επιθυμητό

ρεύμα θα αποκαλύψει το ρεύμα που διέρχεται από τους βηματικούς κινητήρες. Αυτό σημαίνει ότι πρέπει να προσδιορίσουμε το V_{Ref} που υποδεικνύεται από τον τύπο:

$$V_{Ref} = 8 \cdot I_{max} \cdot R_{cs}$$

όπου η αντίσταση R_{cs} ισούται με 0.05Ω ή 0.068Ω (εξαρτάται από το μοντέλο του A4988 που χρησιμοποιούμε).

Το υλικό (όπως ABS, HIPS, PLA, PVA ή ξύλο) θερμαίνεται από μια συσκευή που ονομάζεται εξωθητής πριν το αποθήσει το ακροφύσιο ή η μύτη εκτύπωσης, όπου αποφασίζεται το πλάτος της εκτύπωσης που θα εφαρμοστεί στη βάση. Το πλάτος της εκτύπωσης κυμαίνεται και είναι αρκετά μικρό, όπως $0,02 \text{ mm}$ ή $0,04 \text{ mm}$. το ζεστό άκρο και το κρύο άκρο είναι τα δύο τμήματα των εκβολών (Sathish et al., 2018).

Το hotend είναι ένα σύστημα που θερμαίνει το υλικό σε μια θερμοκρασία που εξαρτάται από το υλικό και έχει ως εξαρτήματα:

- το μέσο θέρμανσης
- το heater block(μπλοκ θερμαντήρα)
- το αισθητήριο θερμοκρασίας (ώστε να ελέγχεται η θερμοκρασία)
- το σύστημα ψύξης που αποτελείται συνήθως από ανεμιστήρα και ψύκτρα ώστε να μη μεταδίδεται η θερμότητα και να μη παραμορφώνεται το υλικό προτού αρχίσει η επεξεργασία και
- το nozzle (μύτη εκτύπωσης).

Η μορφή hotends δεν είναι απαραίτητα η ίδια με το σύστημα ισχύος, παρά το γεγονός ότι μπορεί να έχουν ένα έως τρία συστήματα ισχύος, το στυλ λειτουργίας τους είναι το ίδιο. Το υλικό εισέρχεται στο μπλοκ θερμαντήρα, θερμαίνεται μέσω του μέσου θέρμανσης και στη συνέχεια διέρχεται από το σύστημα ψύξης πριν εισέλθει στο ακροφύσιο, όπου εκκενώνεται στην πλατφόρμα του 3D εκτυπωτή (Sathish et al., 2018).

Το ακροφύσιο, όπως έχουμε ήδη δηλώσει, είναι ένα κρίσιμο μέρος του hotend και του εξωθητή στο σύνολό του, καθώς καθορίζει τους κατάλληλους περιορισμούς ελάχιστης και μέγιστης ανάλυσης για εκτυπώσεις. Η ποιότητα του τυπωμένου προϊόντος και ο ρυθμός με τον οποίο η διαδικασία εκτύπωσης εξελίσσεται καθορίζονται επίσης από το ακροφύσιο. Η περιοχή του εκτυπωτή όπου το υλικό αποβάλλεται αμέσως στη βάση της εκτύπωσης είναι γνωστή ως ακροφύσιο. Τα ακροφύσια διατίθενται σε διάφορα σχήματα και μεγέθη, Ωστόσο μπορούμε να τα χωρίσουμε σε δύο κύριες ομάδες:

- στα nozzle που είναι κατάλληλα για υλικά πάχους 1.75 mm και
- σε αυτά που είναι κατάλληλα για υλικά πάχους 3.00 mm.

Τα μεγέθη κυμαίνονται από 0,25 mm έως 0,5 mm, με το χαμηλότερο διαθέσιμο μέγεθος να είναι 0,15 mm και το μεγαλύτερο να είναι 0,8 mm (Sathish et al., 2018).

Το Cold End είναι ολόκληρο το σύστημα του κινητήρα (Nema 17) μαζί με τα εξαρτήματα τροφοδοσίας που είναι:

- ένα γρανάζι προσαρμοσμένο πάνω στον κινητήρα και
- ένα σύστημα πίεσης (ρουλεμάν) προς το γρανάζι που προορίζεται για να τροφοδοτηθεί σωστά το υλικό.

Το υλικό μπορεί να τραβηχτεί από το κρύο άκρο και να ωθηθεί προς την κατεύθυνση του θερμού άκρου. Το υλικό πιέζεται πάνω στο γρανάζι από το κρύο άκρο, το οποίο συνδέεται με τον κινητήρα, επιτρέποντάς του να ρέει μέσα από τις εγκοπές.

Ο εκβολέας (extruder) διατίθεται σε δύο είδη:

- direct

το hot end και το cold end αποτελούν ένα ενιαίο σύστημα τοποθετημένο πάνω στον άξονα z'z και το υλικό μεταδίδεται άμεσα χωρίς τη μεσολάβηση κάποιου άλλου συστήματος ανάμεσά τους)

- bowden

(το cold end είναι τοποθετημένο σε άλλο σημείο του εκτυπωτή και το υλικό μεταφέρεται προς το hot end (το οποίο βρίσκεται πάνω στον άξονα z'z) μέσα από ένα σωλήνα πλαστικής υφής που λέγεται Ptfе Tube).

Υπάρχουν πολλές διακρίσεις μεταξύ των δύο τύπων εκβολών, τόσο τεχνικά όσο και όσον αφορά τα έξοδα κατασκευής. Ακολουθούν οι βασικές διακρίσεις:

- ο Bowden Extruder είναι κατά πολύ ελαφρύτερος από ένα Direct Extruder ,λόγω της τοποθέτησης του βηματικού κινητήρα σε ένα άλλο τμήμα του εκτυπωτή και όχι στους άξονες , οπότε δεν τους επιβαρύνει
- ο Bowden Extruder έχει αρκετά μικρότερο κόστος κατασκευής αλλά και λειτουργίας , γιατί δε χρειάζεται να χρησιμοποιούνται δύο βηματικοί κινητήρες για τον άξονα z'z σε αντίθεση με το Direct Extruder.

Οι δύο τύποι εκβολών διαφέρουν μεταξύ τους ως προς τα πλεονεκτήματα και τους περιορισμούς τους, εκτός από τον τρόπο με τον οποίο τα υλικά τους είναι διατεταγμένα και διαμορφωμένα (Day & Speers, 2019).

Πρέπει να χρησιμοποιήσουμε μικρότερη ταχύτητα και επιτάχυνση στους direct extruders προκειμένου να λειτουργήσει κατάλληλα, επειδή υπάρχει πολύ περισσότερο βάρος στον άξονα. Η ροπή αυξάνει επίσης την πιθανότητα να μετακινηθούν από τη κανονική τους θέση, γεγονός που αποτελεί μειονέκτημα (2019 Day & Speers).

Ένα πλεονέκτημα της χρήσης ενός άμεσου εξωθητή είναι ότι το σύστημα αποκρίνεται εξαιρετικά γρήγορα, καθώς η τροφοδοσία υλικού ολοκληρώνεται αμέσως χωρίς καθυστέρηση με οποιονδήποτε τρόπο (day & Speers, 2019).

Ο εξωθητής bowden, από την άλλη πλευρά, παράγει εκτυπώσεις που είναι ουσιαστικά ταχύτερες (υψηλότερη ταχύτητα - μεγαλύτερη επιτάχυνση) και πιο ακριβείς, καθώς υπάρχει μικρότερο βάρος στον άξονα. Εκτός από αυτό, ένα μειονέκτημα του εξωθητή bowden είναι η πιθανότητα καθυστέρησης της αντίδρασης του συστήματος ως αποτέλεσμα της έμμεσης μεταφοράς του υλικού (Day & Speers, 2019).

Φυσικά, είναι δυνατόν να μειωθούν ή και να αντιμετωπιστούν πλήρως τα μειονεκτήματα του εκτοξευτήρα, ανεξάρτητα από τον τύπο, με τη βοήθεια του προγράμματος(λογισμικού), του κώδικα(υλικολογισμικού), καθώς και των δυνατοτήτων του εκτυπωτή.

4. Κατασκευή

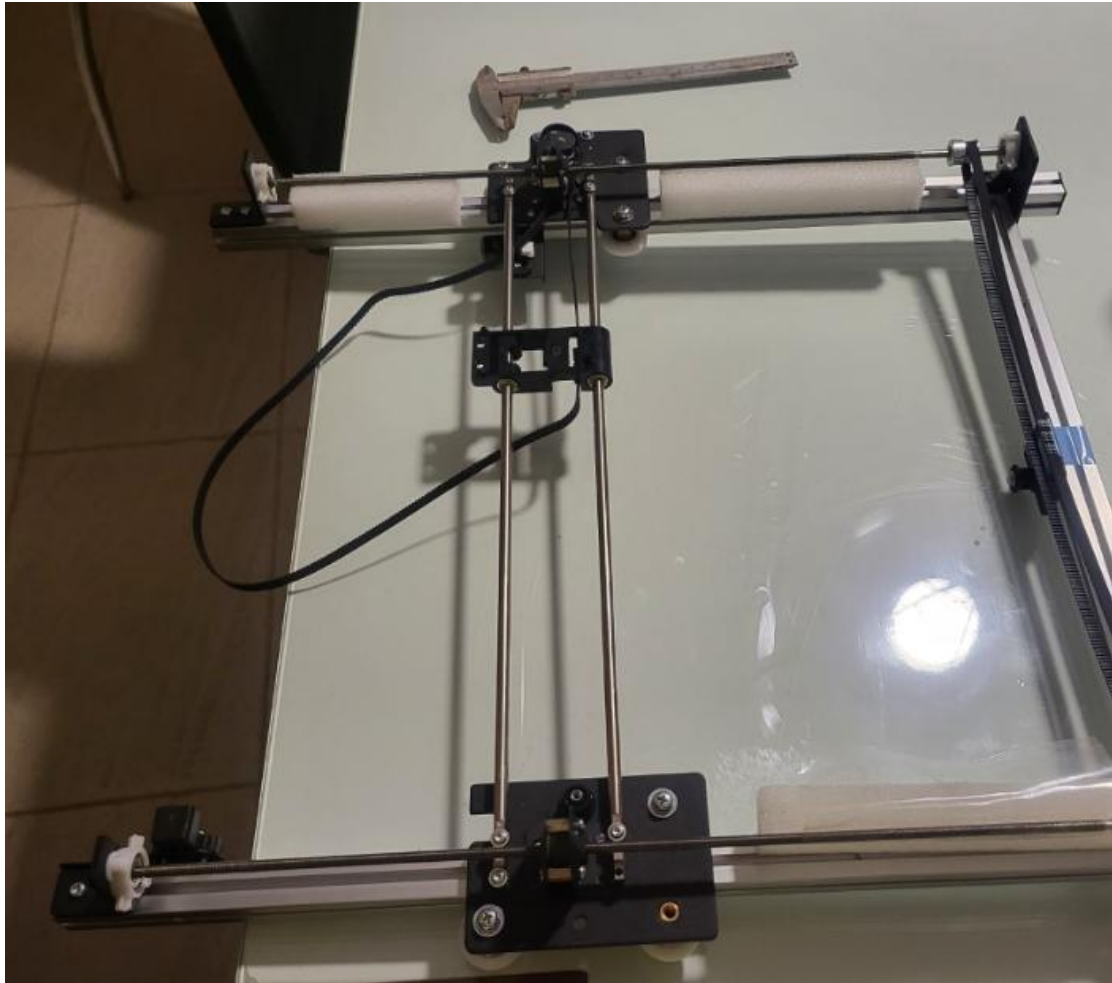
Στην αρχή, ο σκελετός του τρισδιάστατου εκτυπωτή επεξεργάστηκε με ένα τρυπάνι για τη διάνοιξη οπών σε προφίλ αλουμινίου, ένα μικρό τρυπάνι για λεπτομέρειες σε πλαστικά μέρη, ένα πιστόλι θερμού αέρα για τη ρύθμιση πλαστικών τεμαχίων, ένα πριόνι για κοπή αλουμινίου, ένα σφυρί για το πλαίσιο του εκτυπωτή, πένσες για βίδωμα του πλαισίου, ένα κόπτη για την κοπή των καλωδίων και το υλικό εκτύπωσης, κατσαβίδια για βίδωμα των βιδών σε όλο τον εκτυπωτή και ένα συγκολλητικό σίδερο για τη συγκόλληση των καλωδίων και της σανίδας.

Ακολουθούν οι διαδικασίες για την κατασκευή ενός εκτυπωτή: αρχικά τέθηκε σε εφαρμογή ο σκελετός του εκτυπωτή (σασί) . Στη συνέχεια, παρήχθησαν τα πλαστικά κομμάτια για το βασικό κουτί της οθόνης, το καρούλι και οι συνδέσεις με τα μηχανικά στοιχεία. Μετά από αυτό, οι βηματικοί κινητήρες τοποθετήθηκαν στον άξονα Y στη βάση εκτύπωσης, στον άξονα Z για την κίνηση του άξονα με σπείρωμα και στον άξονα X για την κίνηση κεφαλής. Οι γραμμικοί και σπειροειδείς άξονες που απαιτούνται για την κατακόρυφη κίνηση του εκτυπωτή τοποθετήθηκαν μετά τους κινητήρες. Η βάση του κρεβατιού προσαρτήθηκε στο πλαίσιο του εκτυπωτή περνώντας μέσω των δύο κύριων γραμμικών αξόνων. Στη συνέχεια, το κρεβάτι στερεώθηκε στη μεταλλική βάση χρησιμοποιώντας τέσσερις βίδες και τα ελατήρια πεταλούδας (παξιμάδια με ειδική λαβή). Στη συνέχεια, ο εξωθητήρας ενώθηκε με τον τελευταίο βηματικό κινητήρα για να οδηγήσει το υλικό εκτύπωσης και ο μηχανισμός άξονα X (βάση κεφαλής) τοποθετήθηκε στους κάθετους άξονες. Όταν ολοκληρώθηκε η κατασκευή μηχανικής κίνησης, ξεκίνησε η καλωδίωση όλων των μηχανικών εξαρτημάτων με τον κεντρικό μικροελεγκτή. Ο εκτυπωτής έπρεπε να δοκιμαστεί για αρκετές ώρες για να φτάσει στο σημείο που είναι τώρα.

5.1 Σκελετός

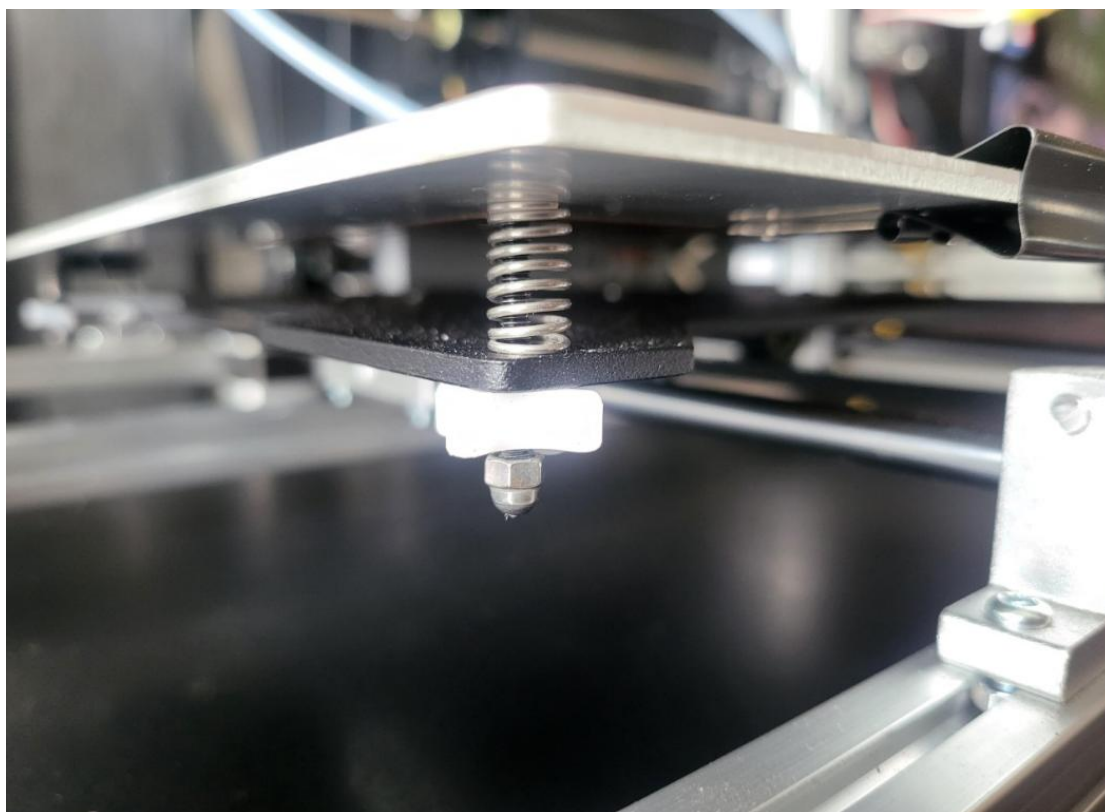
Το μεταλλικό προφίλ που χρησιμοποιείται για την κατασκευή του πλαισίου του εκτυπωτή έχει διαστάσεις μήκους 53,5 cm, πλάτους 43,2 cm και ύψους 54 cm. Για να ενωθούν όλα τα τμήματα μαζί χρησιμοποιούνται μεταλλικές γωνίες, μεταλλικά πλαίσια, πλαστικά εξαρτήματα και διαφόρων μεγέθους βίδες παξιμάδια και ροδέλες. Τέσσερις μεταλλικές γωνίες και βίδες M3 ενώνουν τα πέντε κομμάτια αλουμινίου στο πλαίσιο της βάσης και τέσσερα πρόσθετα πλαστικά "καπάκια" στο εξωτερικό μέρος αποτρέπουν τις εκδορές προς τον χρήστη ή άλλων αντικείμενων. Στον κάθετο άξονα ενώνουν τα τμήματα αλουμινίου δύο μεταλλικές γωνίες και δύο βίδες M3. Η βάση ενώνεται με τον κάθετο άξονα με 2 γωνίες, 2 βίδες M3 και 2 μεταλλικά πλαίσια. Η ανθεκτικότητα του πλαισίου είναι ζωτικής σημασίας για την ακρίβεια εκτύπωσης, καθώς η κεφαλή του εκτυπωτή για να εκτυπώσει τα επακόλουθα στρώματα υλικού, πρέπει να κινηθεί κατά μήκος και ύψος των οριζόντιων και κάθετων αξόνων.





5.2 Η βάση του bed

Τέσσερα κομμάτια αλουμινίου συνδέονται με τους 2 γραμμικούς άξονες(M8) και χρησιμεύουν ως ο άξονας Y για το κρεβάτι του εκτυπωτή. Η γραμική κίνηση στον άξονα Y επιτυγχάνεται με 2 γραμμικά ρουλεμάν, τα οποία περνούν στους γραμμικούς άξονες (M8). Το κρεβάτι του εκτυπωτή βρίσκεται σε σταθερά μεταλλικά ελάσματα που ισορροπούν το πλαίσιο. Για τον προγραμματισμό της ρύθμισης (βαθμονόμησης) της κλίσης, απαιτείται ανάλυση των βιδών συγκράτησης της κλίσης και των ελατηρίων και των βιδών πεταλούδες. Η βάση του κρεβατιού έχει μέγεθος 30 cm επί 30 cm.



5.3 Η βάση εκτύπωσης

Η βάση εκτύπωσης έχει μέγεθος 33 cm x 33 cm, επομένως μπορεί να δημιουργήσει μοντέλα με μέγεθος 30 cm x 30 cm. Είναι κατασκευασμένο από πλάκα αλουμινίου με ένα κομμάτι γυαλιού που κάθετα απευθείας στην κορυφή για να αποφευχθεί οποιαδήποτε επιφανειακή τριβή από το ακροφύσιο της κεφαλής. Τα υλικά που βοηθούν στην ομοιόμορφη κατανομή της θερμότητας αποτελούνται από γυαλί και αλουμίνιο. Προκειμένου να διατηρηθούν ακίνητα σε όλη τη διάρκεια της εκτύπωσης το αντικείμενο που θα μπορούσε να μεταδώσει τα φαινόμενα απόσπασης/παραμόρφωσης, το κάτω μισό του κρεβατιού έχει θερμαινόμενη αντίσταση. Για να ελέγχουμε την θερμοκρασία του κρεβατιού στην κεντρική

πλατφόρμα, συνδέουμε έναν αισθητήρα θερμοκρασίας (θερμίστορ). Επομένως, ο κύριος μικροελεγχτής τροφοδοτεί τη θερμαινόμενη βάση κάθε φορά που υπάρχει πτώση της θερμοκρασίας. Υπάρχουν τέσσερις βίδες, οι οποίες ενώνουν την βάση εκτύπωσης με την βάση του bed και έχουν ένα ελατήριο που είναι πάντα στερεωμένο στις πλάκες βάσης έτσι ώστε να μπορεί να γίνει σωστή βαθμονόμηση στο κρεβάτι πριν την εκτύπωση, χρησιμοποιώντας τα ελατήρια και τις βίδες πεταλούδες σε κάθε γωνία της μεταλλικής επαφής όπως φαίνεται στη φωτογραφία.

4.4 Κίνηση

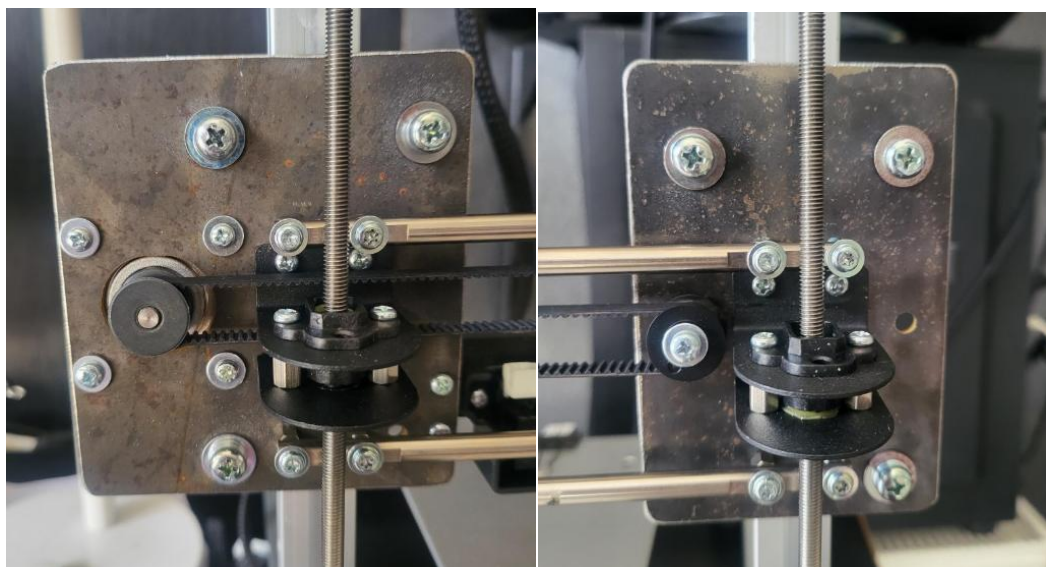
Ένας ιμάντας που λειτουργεί από έναν βηματικό κινητήρα επιτρέπει την κίνηση κατά μήκος του άξονα X. Δύο γραμμικοί άξονες και ένα έδρανο έχουν προστεθεί στη βάση της κεφαλής, όπως φαίνεται στη παρακάτω φωτογραφία, επιτρέποντάς της να κινείται τόσο γραμμικά όσο και σταθερά. Οι δύο μεταλλικές βάσεις δεξιά και αριστερά μέσω των οποίων παράγεται η κατακόρυφη κίνηση είναι εκεί όπου συνδέονται οι γραμμικοί άξονες, ο βηματικός κινητήρας, οι κάθετες ντίζες και οι 6 πλαστικές ρόδες.

Ένας βηματικός κινητήρας και ένα καρούλι βρίσκονται στα αντίθετα άκρα του πλαισίου του εκτυπωτή, αντίστοιχα, για να επιτυγχάνεται η κίνηση του άξονα Y. Μεταλλικά και πλαστικά τυπωμένα μέρη αποτελούν τις βάσεις στις οποίες βιδώνεται ο κινητήρας, καθώς και το καρούλι στην άλλη πλευρά. Ένας ιμάντας που στερεώνεται κάτω από τη βάση του κρεβατιού περνάει μέσα από αυτά τα δύο άκρα. Το σφήξιμο του ιμάντα επιτυγχάνεται έχοντας σταθεροποιήσει πρώτα τον κινητήρα, στην συνέχεια ακολουθεί η εφαρμογή του ιμάντα στα άκρα και έπειτα τραβώντας το καρούλι στο επιθυμητό μήκος έως ότου τεντωθεί αρκετά πριν το βιδώσουμε σφηχτά.

Δύο κινητήρες βρίσκονται στο πάνω μέρος του κάθετου άξονα του εκτυπωτή και συνδέονται με δύο ντίζες με σπείρωμα μέσω δύο μεταλλικών συνδέσμων για την κίνηση του άξονα Z (προσάρτημα). Οι άνω και κάτω κινήσεις της κεφαλής επιτυγχάνονται μέσω της περιστροφής τους και 2 ρουλεμαν ως στήριγμα στο κάτω μέρος.

Στην μεταλλική βάση έχουν τοποθετηθεί δύο κοχλίες για να μετατρέπουν την ροπή σε ανοδική και καθοδική κίνηση στους άξονες με σπείρωμα. Έξι πλαστικές ρόδες, τρεις σε κάθε πλευρά, στηρίζουν τους άξονες.

Η βάση του αντικειμένου δημιουργείται κατά την εκτύπωση από τον εκτυπωτή μετακινώντας την κεφαλή εκτύπωσης στους άξονες x και y σύμφωνα με τις οδηγίες του αρχείου STL. Το αντικείμενο στη συνέχεια δημιουργείται κάθετα στοιβάζοντας τα επιμέρους στρώματα, μετακινώντας την κεφαλή κατά μήκος του άξονα Z.



5.5 Υλικό εκτύπωσης

Χρησιμοποιούνται δύο πλαίσια αλουμινίου για τη δημιουργία της βάσης του καρουλιού, το οποίο βοηθά στην σωστή περιστροφή του υλικού για την αποφυγή εμπλοκών εκτύπωσης. Το PLA (πολυγαλακτικό οξύ) και το ABS είναι οι δύο κύριες κατηγορίες υλικών (ακρυλονιτρίλιο βουταδιένιο στυρόλιο). Ωστόσο, άλλοι τύποι πολυμερών όπως PETG, TPU, Νάιλον, πολυανθρακικό (PC) και PC-ABS έχουν σημειώσει σημαντική ανάπτυξη τα τελευταία χρόνια.

Το πιο συνηθισμένο υλικό που δοκιμάζεται και παράγεται στον εκτυπωτή είναι το PLA, ένα βιοαποικοδομήσιμο θερμοπλαστικό με διάμετρο 1,75 mm που παράγεται

κυρίως από ανανεώσιμες φυτικές πηγές. Το PLA χρειάζεται εύρος θερμοκρασίας κεφαλής από 180 έως 230 βαθμούς κελσίου και εύρος θερμοκρασίας βάσης εκτύπωσης από 60 έως 70 βαθμούς, καθώς αρχίζει να μαλακώνει γύρω στους 65. Αξίζει να σημειώσουμε ότι το PLA μπορεί να εκτυπωθεί και χωρίς θερμαινόμενη βάση και χρησιμοποιείται συχνά επειδή είναι από τα πιο φιλικά προς το περιβάλλον υλικά. Επιπλέον, τα τυπωμένα με PLA προϊόντα μπορούν να βαφτούν, να τρυπηθούν και να υποστούν επεξεργασία με γυαλόχαρτο.

Η θερμοκρασία βάσης εκτύπωσης για ABS πρέπει να είναι μεταξύ 80 και 110 βαθμών κελσίου, ενώ η θερμοκρασία της κεφαλής πρέπει να είναι υψηλότερη από τα PLA, μεταξύ 200 και 240 βαθμών. Το ABS μπορεί να λυγίσει υπό πίεση χωρίς να σπάσει, καθώς είναι στιβαρό, σκληρό και ελάχιστα εύκαμπτο λόγω της σύνθεσης με βάση το λάδι. Είναι σταθερό μέχρι τους 105 βαθμούς, κατά συνέπεια μπορεί να χρησιμοποιηθεί στις υψηλής θερμοκρασίας εφαρμογές, αλλά δεν είναι αδιάβροχο.

Το τερεφθαλικό πολυαιθυλένιο και η γλυκερόλη συνδυάζονται χημικά για να δημιουργήσουν το PET, ένα πολυεστερικό πολυμερές. Οι ιδανικές θερμοκρασίες για την κεφαλή εκτύπωσης και τον αέρα βάσης εκτύπωσης είναι 200 έως 240 βαθμούς και 70 έως 80 βαθμούς, αντίστοιχα. Το πλεονέκτημά του είναι ότι έχει ισχυρή αντίσταση κραδασμών, η οποία το χαρακτηρίζει για τη χρήση σε μηχανικές προδιαγραφές.

Ένα συνθετικό πολυμερές που ονομάζεται νάιλον ή πολυαμίδιο χρησιμοποιείται σε διάφορες βιομηχανικές εφαρμογές. Είναι ένα αποτελεσματικό πλαστικό λόγω των χαρακτηριστικών του, τα οποία το καθιστούν εύκαμπτο, ελαφρύ και ανθεκτικό στη φθορά ενώ εξακολουθεί να είναι ανακυκλώσιμο.

Παρόμοια με το τρόπο που συζητήθηκε προηγουμένως, αλλά με την προσθήκη κονιοποιημένης μεταλλικής σκόνης, τα αντικείμενα που εκτυπώνονται από αυτό το

μηχανισμό σχηματίζονται από χαλκό, αλουμίνιο ή ακόμα και πλατίνα. Λόγω της υψηλότερης πυκνότητας του υλικού από το απλό PLA, τα αντικείμενα που κατασκευάζονται από αυτά τα μηχανήματα φαίνονται πιο μεταλλικά από το πλαστικό. Το υλικό χρειάζεται θερμοκρασίες μεταξύ 195° και 220°, οι οποίες είναι συγκρίσιμες με εκείνες του PLA, αλλά δεν απαιτείται θερμαινόμενη βάση.

Το υλικό Laywoo-D3 είναι ένα συνθετικό υλικό με σχήμα νήματος με βάση το ξύλο. Περιέχει 40% ανακυκλώσιμο ξύλο και τα υπόλοιπα 60% αβλαβή πολυμερή. Λειτουργεί μεταξύ 175 και 250 °F και προσκολλάται εύκολα στην επιφάνεια εκτύπωσης.

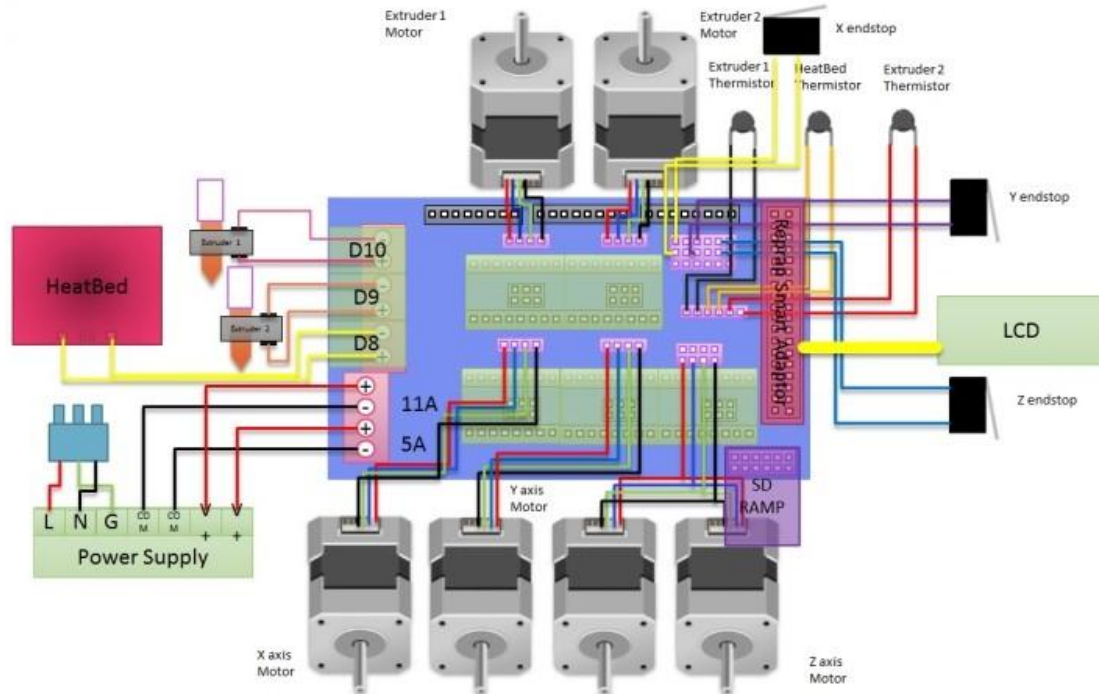
5.6 Επεκτάσεις

Η δυνατότητα του εκτυπωτή να κλείνει αυτόματα όταν ολοκληρωθεί η εκτύπωση και μετά από ένα χρονικό διάστημα που καθορίζεται από το χρήστη είναι ένα βασικό χαρακτηριστικό. Η πλακέτα συνδέεται με ένα ρελέ που εκτελεί αυτόν τον σκοπό απενεργοποιώντας την κύρια πηγή τροφοδοσίας όταν λαμβάνεται το κατάλληλο σήμα. Η παρατήρηση ότι ο χρόνος λειτουργίας του εκτυπωτή ήταν διπλάσιος από τον χρόνο εκτύπωσης ήταν ο κύριος οδηγός για την ανάπτυξη αυτής της αναβάθμισης.

5.7 Διακλαδώσεις

Έξι βηματικοί κινητήρες, συμπεριλαμβανομένων δύο για τον άξονα Z (κίνηση κεφαλής), ένας για τον άξονα Y (κίνηση κρεβατιού), ένας για τον άξονα X (κίνηση κεφαλής) και έναν ακόμη για την προώθηση του υλικού, συνδέονται με πέντε βηματικούς οδηγούς κινητήρα στην κύρια πλακέτα Ramps 1.4 shield . Ο θερμίστορ (αισθητήρας θερμοκρασίας), καθώς και η αντίσταση, συνδέονται επίσης στη βάση εκτύπωσης. Οι ενδείξεις οριακής θέσης παρέχονται από τη σύνδεση 3 τερματικών διακοπών σε κάθε άξονα. Ο ανεμιστήρας συνδέεται με την πλακέτα για να ψύχει την κεφαλή και μπορούν να τοποθετηθούν δύο επιπλέον ανεμιστήρες για να κρυώσουν το πρόσφατα τυπωμένο υλικό. Τέλος, η οθόνη LCD και η υποδοχή κάρτας SD είναι προσαρτημένες στην υποδοχή IDC στα δεξιά της πλακέτας. Οι βραχυκυκλωτήρες ή οι αγωγοί που συνδέονται με πλακέτες για να κλείσουν ή να ανοίξουν το κύκλωμα σε

διαφορετικές περιστάσεις είναι μια σημαντική προσθήκη. Για να διασφαλιστεί ότι κάθε βηματικός κινητήρας κινείται όσο το δυνατόν ακριβέστερα σε αυτήν την περίπτωση, τοποθετούνται τρεις άλτες στο κάτω μέρος κάθε οδηγού.

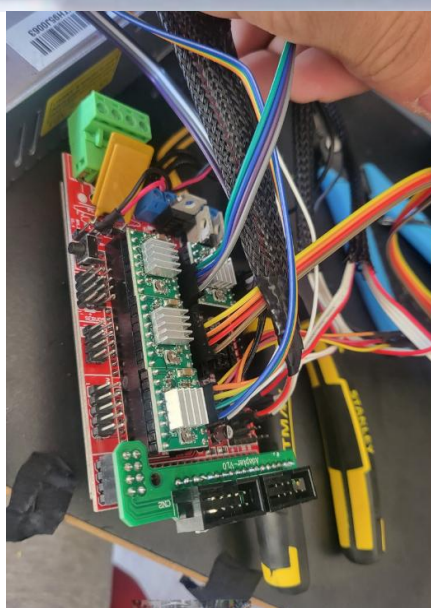


5.8 Αντικατάσταση transistor με Relay

Το τρανζίστορ στην πλακέτα δεν μπορεί να διαχειριστεί την τροφοδοσία του εκτυπωτή λόγω της υψηλής κατανάλωσης ισχύος της θερμαινόμενης βάσης και της τάσης λειτουργίας 12V, η οποία απαιτεί την αντικατάσταση του τρανζίστορ με ρελέ. Εξαιτίας αυτού, έχει συμπεριληφθεί ένα ρελέ που μπορεί να παρέχει τόσο ρεύμα όσο απαιτεί η βάση του εκτυπωτή. Ως αποτέλεσμα, το τρανζίστορ του πίνακα ελέγχει το ρελέ, το οποίο με τη σειρά του λειτουργεί ως διακόπτης για να ενεργοποιήσει τη θερμαινόμενη επιφάνεια.

5.9 Πλακέτα

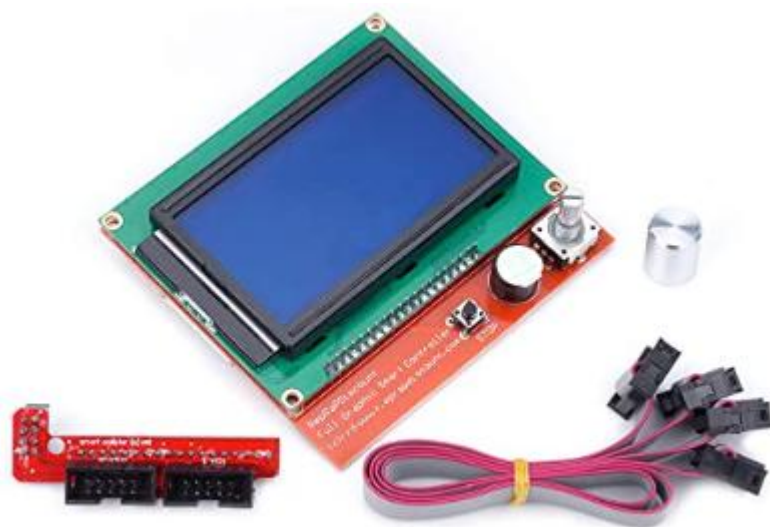
Το Arduino Mega 2560 Rev3 χρησιμεύει ως κύρια μονάδα επεξεργασίας του εκτυπωτή. Τόσο για την αυξημένη υπολογιστική ικανότητα όσο και για την πλειονοψηφία των εισόδων και εξόδων που παρέχει στον χρήστη, επιλέχθηκε το Arduino Mega και όχι το Uno. Η γλώσσα προγραμματισμού, η οποία είναι συγκρίσιμη με C και C++, χρησιμοποιείται σε πίνακες Arduino. Ο μικροελεγχτής λειτουργεί με το λογισμικό Marlin 1.1.9, το οποίο καλύπτεται στο επόμενο κεφάλαιο. Το Ramps 1.4 είναι αγκιστρωμένο απευθείας στις ακίδες της πλακέτας, όπου όλα τα ηλεκτρονικά εξαρτήματα του εκτυπωτή είναι συνδεδεμένα όπως εξηγήθηκε προηγουμένως. Επίσης, συνδέεται απευθείας με την κύρια τροφοδοσία του εκτυπωτή και χρησιμεύει ως πηγή τροφοδοσίας του Arduino. Προκειμένου να αποφευχθούν προβλήματα στους υπολογιστές που συνδέονται με τον εκτυπωτή, η θύρα USB της πλακέτας διαθέτει επίσης προστασία από υπέρταση.



5.10 LCD οθόνη με υποδοχή κάρτας SD

Η οθόνη LCD 12864 και ο περιστρεφόμενος επιλογέας χρησιμοποιούνται για τον έλεγχο και επίβλεψη του εκτυπωτή. Τοποθετούνται σε ένα τυπομένο πλαίσιο, συνδέονται στο Ramps 1.4 shield, και στη συνέχεια ασφαρίζονται. Υπάρχει μια θύρα για την υποδοχή κάρτας SD για να φορτώνουμε τα τυπωμένα σχέδια στην αριστερή πλευρά. Ένα μοναδικό ηχείο βρίσκεται επίσης στον πίνακα για ειδοποιήσεις ήχου.

Το πλαίσιο οθόνης κατασκευάζεται επίσης χρησιμοποιώντας έναν 3D εκτυπωτή, καθιστώντας τον σταθερό και εύκολο. Φυσικά, υπάρχει επίσης η επιλογή να χρησιμοποιούμε το λογισμικό Cura Ultimaker για εκτύπωση απευθείας από τον υπολογιστή, χρησιμοποιώντας την επαφή USB.



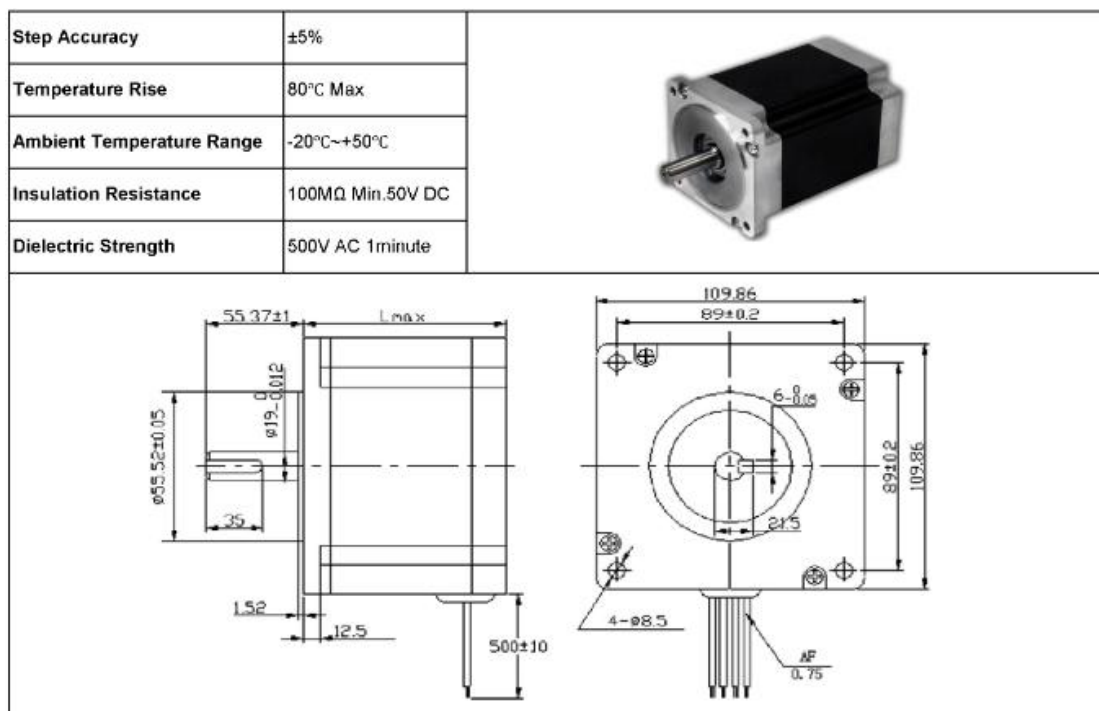
RAMPS 1.4 Control Panel LCD 12864 Display Monitor

5.11 Υπόλοιπα μέρη εκτυπωτή

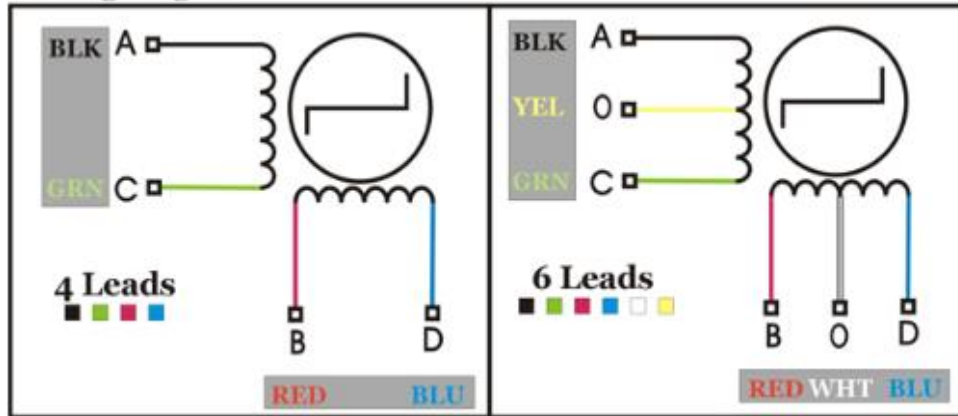
Οι βηματικοί κινητήρες πρέπει να είναι προσαρτημένοι σε ειδικούς οδηγούς για να λειτουργούν σωστά. Ως εκ τούτου, το Ramps 1.4 shield φιλοξενεί πέντε οδηγούς μοτέρ A4988 stepper. Με εξαίρεση τους δύο κινητήρες στον άξονα Z, οι οποίοι

αντιστοιχούν σε έναν οδηγό αφού ο καθένας εκτελεί την ίδια κίνηση, κάθε οδηγός αντιστοιχεί σε έναν κινητήρα. Είναι αφαιρούμενα έτσι ώστε να μπορούν να αλλάξουν αμέσως εάν κάποιος τα κάψει.

Συγκριτικά μιλώντας, οι stepper μηχανές είναι ακριβέστεροι από άλλους τύπους μηχανών (συνεχές ρεύμα και σερβο). Συνεχίζουν να χρησιμοποιούν δύναμη για να παραμείνουν ακίνητοι ακόμα και όταν είναι ακινητοποιημένοι. Εξακολουθούν να ανταποκρίνονται γρήγορα στην εκκίνηση τους και δεν χρειάζονται μηχανικό φρένο για να τους επιβραδύνουν. Είναι δυνατόν να επιτευχθούν πολύ χαμηλές ταχύτητες περιστροφής, τις οποίες απαιτεί ένας εκτυπωτής για μεγαλύτερη ακρίβεια εκτύπωσης. Το γεγονός ότι κάνουν πολύ θόρυβο κατά τη λειτουργία, ωστόσο, είναι ένα μειονέκτημα. Οι βηματικοί κινητήρες NEMA 17 κινούνται από ένα κουαρτέτο καλωδίων, καθώς διαθέτουν δύο πηνία (2 σε ζεύγη). Έχουν την απαραίτητη ισχύ για να μετακινήσουν την κεφαλή εκτύπωσης, τη βάση εκτύπωσης και την προώθηση του υλικού εκτύπωσης για το μέγεθος του εκτυπωτή. Οι ιδιότητές τους φαίνονται στον παρακάτω πίνακα.



Wiring Diagram



Κάθε εκτύπωση ξεκινά με την ενεργοποίηση ενός από τους τρεις τερματικούς διακόπτες, οι οποίοι ρυθμίζουν τις αρχικές θέσεις των αξόνων X, Y και Z. Επιπλέον, ενεργοποιούνται τα ακραία φρένα και η εκτύπωση σταματά εάν οι κινητήρες χάσουν βήματα και ξεπεραστούν οι περιορισμοί κίνησης των αξόνων.

Ένα από τα πιο κρίσιμα μέρη του εκτυπωτή είναι η θερμαινόμενη κεφαλή, καθώς εξωθεί την ουσία εκτύπωσης. Αποτελείται από ένα μεταλλικό εξάρτημα στο οποίο συνδέεται η θερμαινόμενη αντίσταση και έναν αισθητήρα θερμοκρασίας αμέσως δίπλα του για να ρυθμίζει τη διακύμανση και να τη διατηρεί σταθερή. Το ακροφύσιο, μέσω του οποίου το υλικό αναχωρεί μετά την τήξη στην υψηλή θερμοκρασία που παράγεται από την αντίσταση, ενώνεται στο κάτω μέρος. Ένα άλλο μεταλλικό εξάρτημα βρίσκεται ακριβώς πάνω από αυτό και δημιουργήθηκε ειδικά έτσι ώστε να μπορεί να ψύχεται με τη βοήθεια ενός ανεμιστήρα για να αποφευχθεί η τήξη του υλικού πολύ γρήγορα. Προκειμένου το υλικό που πάτησε στην επιφάνεια του κρεβατιού κατά την εκτύπωση να φτάσει στο απόλυτο στερεό σχήμα, μπορεί να προστεθεί ένας δεύτερος ανεμιστήρας.

Ο εκτυπωτής μπορεί να διαθέτει μια πρόσθετη κεφαλή εκτύπωσης, ώστε να εκτυπώνει ταυτόχρονα σε δύο χρώματα. Αυτή η μέθοδος επιτρέπει την εκτύπωση τρισδιάστατων αντικειμένων σε δύο χρώματα ή/και μεγαλύτερες ταχύτητες. Επιπλέον, η δεύτερη ουσία ή σκιά μπορεί να είναι υδρόφοβη, καθιστώντας εφικτή την εκτύπωση ενός τρισδιάστατου αντικειμένου με υλικό υποστήριξης που είναι δύσκολο να αφαιρεθεί με τη βοήθεια νερού. Η δεύτερη ουσία εκτύπωσης μπορεί επίσης να

είναι αγωγή, επιτρέποντας τη χρήση ενός καναλιού τροφοδοσίας από ένα αντικείμενο.

Το υλικό εκτύπωσης εισάγεται στο εσωτερικό της θερμαινόμενης κεφαλής με τη βοήθεια ενός προωθητή υλικού ή μιας συσκευής εξώθησης υλικού. Αποτελείται από έναν βηματικό κινητήρα, εξαρτήματα αλουμινίου, ένα γρανάζι που εμπλέκει το νήμα και έναν μηχανισμό πρόωσης. Μια βίδα που ελέγχει την πίεση που εφαρμόζει το γρανάζι στο υλικό είναι ένα κρίσιμο συστατικό του συστήματος προώθησης. Οι ρυθμίσεις της συχνότητας προώθησης υλικού σε σχέση με τη θερμοκρασία της κεφαλής εκτύπωσης, οι οποίες τελικά καθορίζουν την ταχύτητα εξόδου του υλικού εκτύπωσης τήξης, παίζουν εξαιρετικά σημαντικό ρόλο.

Ο προωθητής υλικού μπορεί να είναι τοποθετημένος σε διάφορα σημεία του εκτυπωτή χρησιμοποιώντας διάφορους μηχανισμούς. Αυτό που χρησιμοποιείται πιο συχνά είναι ο προωθητής υλικού να τοποθετείται ακριβώς πάνω από το κεφάλι, όπου ταξιδεύει προς όλες τις κατευθύνσεις ακριβώς όπως και η κεφαλή αλλά με αντίκτυπο το περισσότερο βάρος. Η δεύτερη πιο χαρακτηριστική διαμόρφωση περιλαμβάνει την τοποθέτηση του προωθητή υλικού μακριά από τη κεφαλή για τη μείωση του βάρους, ωστόσο αυτή η διάταξη καθιστά συχνά δύσκολη την ώθηση του υλικού. Σε αυτόν τον εκτυπωτή έχουμε υιοθετήσει την διάταξη με τον προωθητή μακριά από την κεφαλή, για να επιτύχουμε μεγαλύτερες ταχύτητες και επιταχύνσεις.

Η τροφοδοσία τύπου ATX για τον εκτυπωτή περιλαμβάνει ψύξη και αυτοματοποιημένη λειτουργία τερματισμού λειτουργίας σε περίπτωση βραχυκυκλώματος. Συνολικά 240 Watt ισχύος διατίθενται από την τάση τροφοδοσίας, η οποία είναι 12 βολτ. Επιπλέον, διαθέτει εξόδους για 3.3 V, 5 V και 24 V που μπορεί να τροφοδοτήσουν περαιτέρω επεκτάσεις για τον εκτυπωτή, όπως ταινία led.

Διορθώσεις που έγιναν κατά τη διάρκεια των δοκιμών

Η προσθήκη μεγαλύτερων, πιο ανθεκτικών μεταλλικών πλαισίων στα πλάγια του εκτυπωτή ήταν αναπόφευκτη καθώς αυξάνει κατά πολύ τη σταθερότητα του κάθετου άξονα Z. Για παραπάνω σταθερότητα και συγκράτηση του εκτυπωτή κατά την διάρκεια της εκτύπωσης, συνδέθηκε ένα ακόμα κομμάτι προφίλ αλουμινίου στο κάτω μέρος της βάσης. Η τοποθέτηση και μετά αφαίρεση χαρτοταινίας πάνω από την επιφάνεια του γυαλιού θα βοηθήσει το πρώτο στρώμα υλικού εκτύπωσης να κολλήσει. Προσθήκη δεύτερου βηματικού κινητήρα στον άξονα Z, καθώς η χρήση καρουλιού και μάντα δημιουργούσαν παράλληλη τάση στις κάθετες ντίζες, με αποτέλεσμα ακόμα και η μικρότερη κλίση να γίνετε εμφανές στο τυπομένο αντικείμενο. Ευθυγράμμιση των δύο κατακόρυφων αξόνων μεταξύ τους με την χρήση αλφαδιού και παχύμετρου για την αποφυγή καμπύλωσης ή καταστροφής των μεταλλικών αξόνων και εξαρτημάτων.

6 Λογισμικό

```
Marlin | Arduino 1.8.7
Αρχείο Επεξεργασία Σχέδιο Εργαλεία Βοήθεια
Marlin Conditionals.h Conditionals_LCD.h Conditionals_post.h Configuration.h Configurat
|*
=====
Marlin Firmware

(c) 2011-2018 MarlinFirmware
Portions of Marlin are (c) by their respective authors.
All code complies with GPLv2 and/or GPLv3

=====

Greetings! Thank you for choosing Marlin 2 as your 3D printer firmware.

To configure Marlin you must edit Configuration.h and Configuration_adv.h
located in the root 'Marlin' folder. Check the example_configurations folder to
see if there's a more suitable starting-point for your specific hardware.

Before diving in, we recommend the following essential links:

Marlin Firmware Official Website

- http://marlinfw.org/
  The official Marlin Firmware website contains the most up-to-date
  documentation. Contributions are always welcome!

Configuration

- https://www.youtube.com/watch?v=3qwWVFTdg-4
  A good 20-minute overview of Marlin configuration by Tom Sanladerer.
  (Applies to Marlin 1.0.x, so Jerk and Acceleration should be halved.)
  Also... https://www.google.com/search?tbs=vid%3A1&q=configure+marlin

- http://marlinfw.org/docs/configuration/configuration.html
  Marlin's configuration options are explained in more detail here.
```

Παραμετροποιήσεις στα μέτρα του εκτυπωτή

Η λειτουργία διαμόρφωσης του λογισμικού Marlin μπορεί να προσαρμοστεί ώστε να ταιριάζει με τα χαρακτηριστικά κάθε εκτυπωτή. Περισσότερες πληροφορίες:

```
// The following define selects which electronics board you have.
// Please choose the name from boards.h that matches your setup
#ifdef MOTHERBOARD
  #define MOTHERBOARD BOARD_RAMPS_14_EFB
#endif

// Optional custom name for your RepStrap or other custom machine
// Displayed in the LCD "Ready" message
#define CUSTOM_MACHINE_NAME "AI Printer"
```

Μετά την προετοιμασία του τύπου πλακέτας, δίνεται στον εκτυπωτή ένα διακριτικό όνομα που εμφανίζεται στην οθόνη.

```
// @section extruder

// This defines the number of extruders
// :[1, 2, 3, 4, 5]
#define EXTRUDERS 1

// Generally expected filament diameter (1.75, 2.85, 3.0, ...). Used for Volumetric, Filament Width Sensor, etc.
#define DEFAULT_NOMINAL_FILAMENT_DIA 1.75
```

Μετά τη δήλωση της αρίθμησης κεφαλών εκτύπωσης (μια κεφαλή εκτύπωσης χρησιμοποιήθηκε κατά τη διάρκεια της δοκιμής), δίνεται η αρχική διάμετρος του υλικού 1,75χιλ.

```
/**
 * Select your power supply here. Use 0 if you haven't connected the PS_ON_PIN
 *
 * 0 = No Power Switch
 * 1 = ATX
 * 2 = X-Box 360 203Watts (the blue wire connected to PS_ON and the red wire to VCC)
 *
 * :{ 0:'No power switch', 1:'ATX', 2:'X-Box 360' }
 */
#define POWER_SUPPLY 1
```

Για την τροφοδοσία δηλώνεται η επιλογή 1 δηλαδή ATX τροφοδοτικό.

Temperature sensors available:

```
-4 : thermocouple with AD8495
-3 : thermocouple with MAX31855 (only for sensor 0)
-2 : thermocouple with MAX6675 (only for sensor 0)
-1 : thermocouple with AD595
0 : not used
1 : 100k thermistor - best choice for EPCOS 100k (4.7k pullup)
2 : 200k thermistor - ATC Semitec 204GT-2 (4.7k pullup)
3 : Mendel-parts thermistor (4.7k pullup)
4 : 10k thermistor !! do not use it for a hotend. It gives bad resolution at high temp. !!
5 : 100K thermistor - ATC Semitec 104GT-2/104NT-4-R025H42G (Used in ParCan & J-Head) (4.7k pullup)
501 : 100K Zonestar (Tronxy X3A) Thermistor
6 : 100k EPCOS - Not as accurate as table 1 (created using a fluke thermocouple) (4.7k pullup)
7 : 100k Honeywell thermistor 135-104LAG-J01 (4.7k pullup)
71 : 100k Honeywell thermistor 135-104LAF-J01 (4.7k pullup)
8 : 100k 0603 SMD Vishay NTCS0603E3104FXT (4.7k pullup)
9 : 100k GE Sensing AL03006-58.2K-97-G1 (4.7k pullup)
10 : 100k RS thermistor 198-961 (4.7k pullup)
11 : 100k beta 3950 1% thermistor (4.7k pullup)
12 : 100k 0603 SMD Vishay NTCS0603E3104FXT (4.7k pullup) (calibrated for Makibox hot bed)
13 : 100k Hisens 3950 1% up to 300°C for hotend "Simple ONE " & "Hotend "All In ONE"
15 : 100k thermistor calibration for JGAurora A5 hotend
20 : the PT100 circuit found in the Ultimainboard V2.x
60 : 100k Maker's Tool Works Kapton Bed Thermistor beta=3950
66 : 4.7M High Temperature thermistor from Dyze Design
70 : the 100K thermistor found in the bq Hephestos 2
75 : 100k Generic Silicon Heat Pad with NTC 100K MGB18-104F39050L32 thermistor

1k ohm pullup tables - This is atypical, and requires changing out the 4.7k pullup for 1k.
                      (but gives greater accuracy and more stable PID)
51 : 100k thermistor - EPCOS (1k pullup)
52 : 200k thermistor - ATC Semitec 204GT-2 (1k pullup)
```

```
#define TEMP_SENSOR_0 75
#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
#define TEMP_SENSOR_CHAMBER 0
```

Η γενική θερμότητα 75 ή 100 βαθμούς επιλέχθηκε για τη δήλωση αισθητήρα κεφαλής και το θερμίστορ 1 ή 100 για το κρεβάτι.

```
#define THERMAL_PROTECTION_HOTENDS // Enable thermal protection for all extruders
#define THERMAL_PROTECTION_BED // Enable thermal protection for the heated bed
```

Ενεργοποιούνται οι δύο παραπάνω μεταβλητές για την προστασία των κεφαλών εκτύπωσης καθώς και του bed.

```

// The minimal temperature defines the temperature below which the heater w
// to check that the wiring to the thermistor is not broken.
// Otherwise this would lead to the heater being powered on all the time.
#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

// When temperature exceeds max temp, your heater will be switched off.
// This feature exists to protect your hotend from overheating accidentally
// You should use MINTEMP for thermistor short/failure protection.
#define HEATER_0_MAXTEMP 260
#define HEATER_1_MAXTEMP 260
#define HEATER_2_MAXTEMP 260
#define HEATER_3_MAXTEMP 260
#define HEATER_4_MAXTEMP 260
#define BED_MAXTEMP 120

```

Ρύθμιση ελάχιστης θερμοκρασίας στους 5 βαθμούς για την κεφαλή αλλά και τη βάση. Η μέγιστη θερμοκρασία κεφαλής ορίζεται στους 260 βαθμούς και βάσης εκτύπωσης στους 120 βαθμούς.

```

// Specify here all the endstop connectors that are connected to any endstop or probe.
// Almost all printers will be using one per axis. Probes will use one or more of the
// extra connectors. Leave undefined any used for non-endstop and non-probe purposes.
#define USE_XMIN_PLUG
#define USE_YMIN_PLUG
#define USE_ZMIN_PLUG
//#define USE_XMAX_PLUG
//#define USE_YMAX_PLUG
//#define USE_ZMAX_PLUG

```

Ενεργοποίηση των end stops στις minimum καταστάσεις για αρχικοποίηση.

```

// Mechanical endstop with COM to ground and NC to Signal uses "false" here (most common setup).
#define X_MIN_ENDSTOP_INVERTING true // set to true to invert the logic of the endstop.
#define Y_MIN_ENDSTOP_INVERTING true // set to true to invert the logic of the endstop.
#define Z_MIN_ENDSTOP_INVERTING true // set to true to invert the logic of the endstop.
#define X_MAX_ENDSTOP_INVERTING false // set to true to invert the logic of the endstop.
#define Y_MAX_ENDSTOP_INVERTING false // set to true to invert the logic of the endstop.
#define Z_MAX_ENDSTOP_INVERTING false // set to true to invert the logic of the endstop.
#define Z_MIN_PROBE_ENDSTOP_INVERTING false // set to true to invert the logic of the probe.

```

Παρομοίως και εδώ γίνονται true μόνο για τις minimum καταστάσεις.

```

#define X_DRIVER_TYPE A4988
#define Y_DRIVER_TYPE A4988
#define Z_DRIVER_TYPE A4988
//#define X2_DRIVER_TYPE A4988
//#define Y2_DRIVER_TYPE A4988
//#define Z2_DRIVER_TYPE A4988
#define E0_DRIVER_TYPE A4988
//#define E1_DRIVER_TYPE A4988
//#define E2_DRIVER_TYPE A4988
//#define E3_DRIVER_TYPE A4988
//#define E4_DRIVER_TYPE A4988

```

Δήλωση των driver για τους βηματικούς κινητήρες στους άξονες X Y Z και στον προωθητή βάση των οδηγών που χρησιμοποιήσαμε(A4988).

```

/**
 * Default Axis Steps Per Unit (steps/mm)
 * Override with M92
 *
 * X, Y, Z, E0 [, E1[, E2[, E3[, E4]]]]
 */
#define DEFAULT_AXIS_STEPS_PER_UNIT { 80, 80, 1600, 94.69 }

/**
 * Default Max Feed Rate (mm/s)
 * Override with M203
 *
 * X, Y, Z, E0 [, E1[, E2[, E3[, E4]]]]
 */
#define DEFAULT_MAX_FEEDRATE { 200, 200, 3, 25 }

/**
 * Default Max Acceleration (change/s) change = mm/s
 * (Maximum start speed for accelerated moves)
 * Override with M201
 *
 * X, Y, Z, E0 [, E1[, E2[, E3[, E4]]]]
 */
#define DEFAULT_MAX_ACCELERATION { 2000, 2000, 15, 10000 }

```

Ο ακόλουθος τύπος χρησιμοποιήθηκε για τον υπολογισμό των βημάτων/mm στους άξονες X και Y: τα βήματα ανά mm υπολογίζονται ως εξής: (βήματα κινητήρα ανά περιστροφή * microstepping οδηγού) / (δόντια ιμάντα * αριθμός δοντιών τροχαλίας) κάθε ένα από τα βήματα του κινητήρα περιστρέφει τον άξονα κατά 1,8 ο, με αποτέλεσμα 200 βήματα για περιστροφή 360 μοιρών. Το microstepping του οδηγού είναι 1/16, τα δόντια του ιμάντα είναι 2 χιλ. , και υπάρχουν 20 δόντια στην τροχαλία, επομένως τα βήματα ανά χιλιοστό είναι $(200 * 16)/(2 * 20)=80$.

Steps per millimeter - leadscrew driven systems

Gives you number of steps electronics need to generate to move the axis by 1mm.

Motor step angle 1.8° (200 per revolution) ▾	Driver microstepping 1/16 - uStep (mostly Pololu) ▾
Leadscrew pitch 2 mm/revolution	Pitch presets M8 - metric (2mm per rotation) ▾
Gear ratio 1 : 1	

Result	Leadscrew pitch	Step angle	Stepping	Gear ratio
1600.00	2	1.8°	1/16th	1 : 1

Ο παραπάνω υπολογιστής, ο οποίος χρησιμοποιεί τους βαθμούς stepper, τον οδηγό, τη διάμετρο του άξονα με σπείρωμα και το βύθισμα των νημάτων του άξονα ως τιμές, υπολογίζει τα βήματα/mm στον άξονα Z.

```
// Invert the stepper direction. Change (or reverse the motor connector) if an axis goes the wrong way.
#define INVERT_X_DIR false
#define INVERT_Y_DIR true
#define INVERT_Z_DIR false
```

Για την αντίθετη κατεύθυνση στους κινητήρες των X, Y και Z αξόνων, στον Y άξονα χρειάστηκε αντιστροφή.

```
// The size of the print bed
#define X_BED_SIZE 400
#define Y_BED_SIZE 400

// 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 400
```

Ορισμός των διαστάσεων του bed σε 300mm x 300mm και σε ύψος 300mm.

```

//#define FILAMENT_RUNOUT_SENSOR
#if ENABLED(FILAMENT_RUNOUT_SENSOR)
  #define NUM_RUNOUT_SENSORS 1 // Number of sensors, up to one per extruder. Define a FIL_RUNOUT#_PIN for each.
  #define FIL_RUNOUT_INVERTING false // set to true to invert the logic of the sensor.
  #define FIL_RUNOUT_PULLUP // Use internal pullup for filament runout pins.
  #define FILAMENT_RUNOUT_SCRIPT "M600"
#endif

```

Για την επέκταση του αισθητήρα προώθησης ενεργοποιείται ο παραπάνω κώδικας ώστε να μπορεί να παγώσει η εκτύπωση σε περίπτωση μπλοκαρίσματος του υλικού.

```

* LCD LANGUAGE
*
* Select the language to display on the LCD. These languages are available:
*
*   en, an, bg, ca, cn, cz, cz_utf8, de, el, el-gr, es, es_utf8,
*   eu, fi, fr, fr_utf8, gl, hr, it, kana, kana_utf8, nl, pl, pt,
*   pt_utf8, pt-br, pt-br_utf8, ru, sk_utf8, tr, uk, zh_CN, zh_TW, test
*
* :{ 'en':'English', 'an':'Aragonese', 'bg':'Bulgarian', 'ca':'Catalan', 'cn':'Chinese',
*/
#define LCD_LANGUAGE en

```

Ρύθμιση της γλώσσας οθόνης στα Αγγλικά.

```

/**
 * SD CARD
 *
 * SD Card support is disabled by default. If your controller has an SD slot,
 * you must uncomment the following option or it won't work.
 *
 */
#define SDSUPPORT

```

Για υποστήριξη κάρτας SD για την εκτύπωση.

```

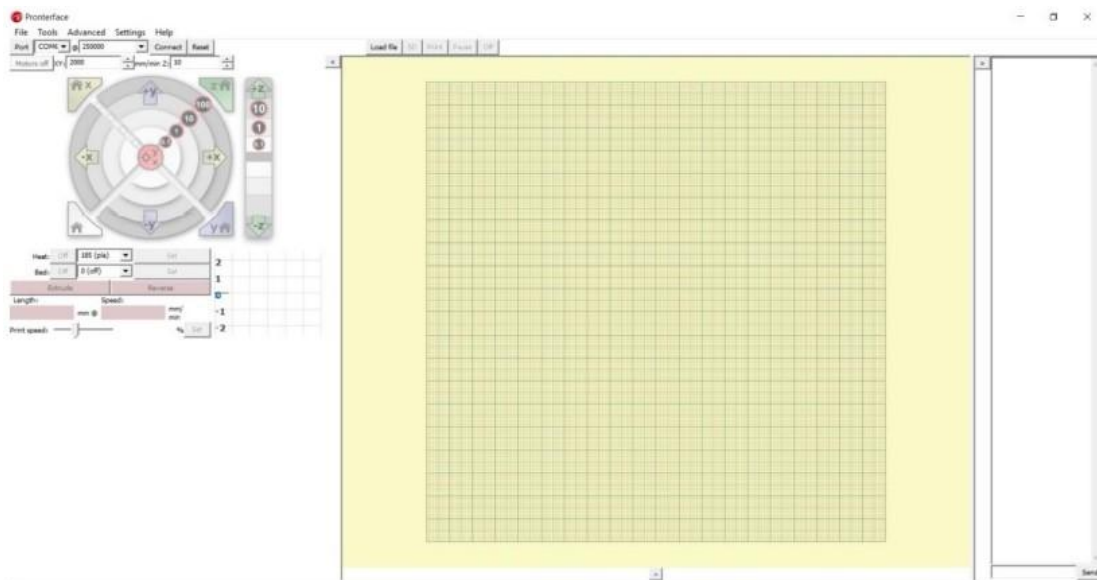
// SPEAKER/BUZZER
//
// If you have a speaker that can produce tones, enable it here.
// By default Marlin assumes you have a buzzer with a fixed frequency.
//
#define SPEAKER

```

Ενεργοποίηση Buzzer καθώς επιλέγεται κάτι στην οθόνη ή σε περίπτωση κάποιας βλάβης.

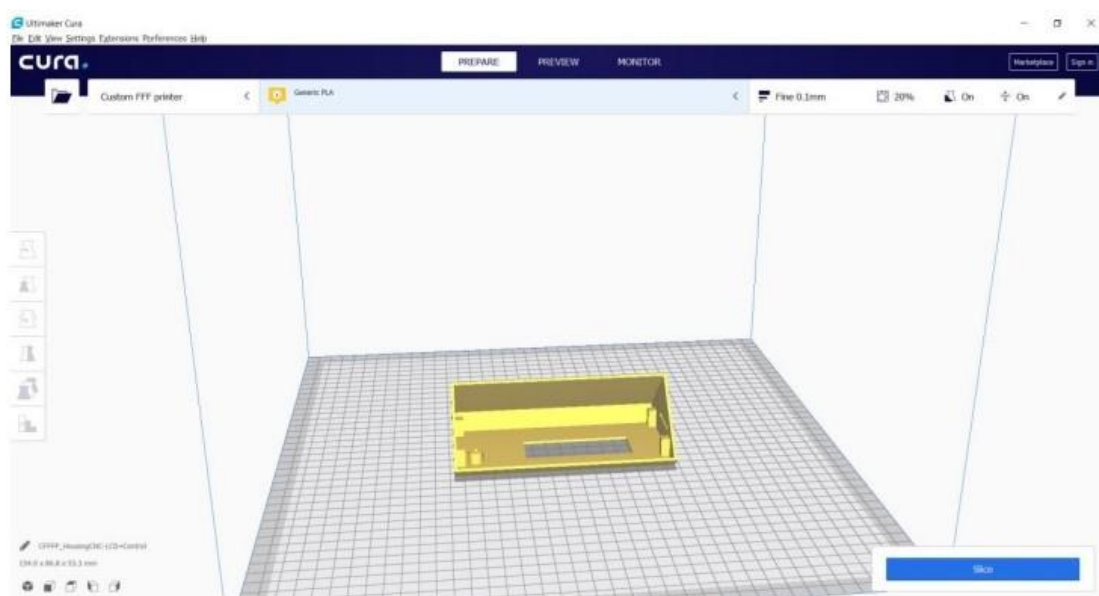
7. Pronterface

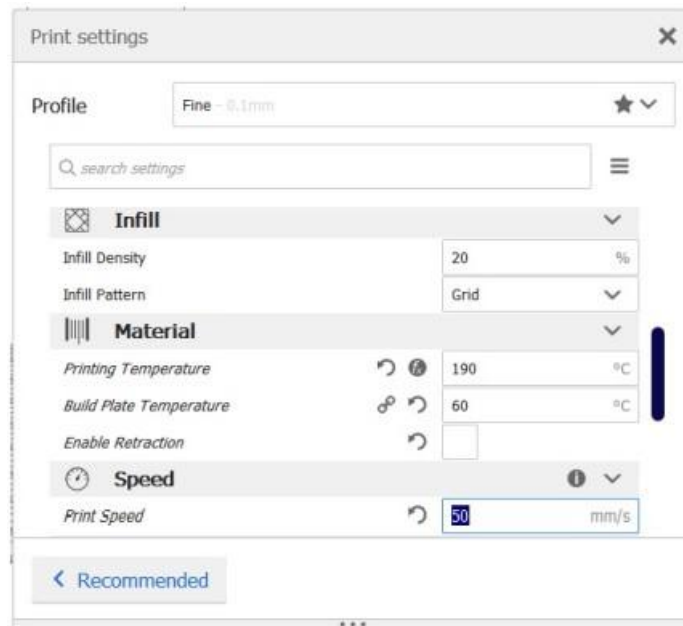
Οι κινητήρες δοκιμάστηκαν χρησιμοποιώντας το Pronterface στο αρχικό στάδιο μετά την κατασκευή. Με εξαίρεση τους δύο κινητήρες άξονα Z, οι οποίοι συνδέονται παράλληλα, κάθε βηματικός κινητήρας μπορεί να ελέγχεται ξεχωριστά και η ταχύτητά τους μπορεί να αλλάξει χρησιμοποιώντας το πρόγραμμα που ακολουθεί. Οι κινήσεις αξιολογήθηκαν πρώτα στον άξονα Y, στη συνέχεια στον άξονα X και, τέλος, μετά από κάποιες περαιτέρω τροποποιήσεις, στον άξονα Z, ο οποίος έχει την πιο περίπλοκη μηχανική κίνηση. Εξετάστηκαν, επίσης, και αξιολογήθηκαν οι κινήσεις του εκτυπωτή στην αρχική του κατάσταση για τους άξονες home y, home x και home z πρώτα ξεχωριστά και στη συνέχεια όλα ταυτόχρονα. Τέλος, η εκτύπωση είναι δυνατή με το Pronterface, αλλά με λίγες παραμέτρους για τα χαρακτηριστικά του εκτυπωτή. Αυτός είναι ο λόγος για τον οποίο χρησιμοποιήθηκε το λογισμικό Cura Ultimaker, το οποίο εμφανίζεται στην επόμενη ενότητα.



7.1 Cura Ultimaker 4.1.0

Το δωρεάν λογισμικό Cura Ultimaker ανοιχτού κώδικα, το οποίο είναι ενσωματωμένο σε C++, Python και QML και είναι προσβάσιμο σε 15 γλώσσες και χρησιμοποιήθηκε για την εκτύπωση 3D μοντέλων. Πρώτα προστίθεται το 3D μοντέλο (σε μορφή STL), επεξεργάζεται (χρησιμοποιώντας τις σωστές παραμέτρους για τη θερμοκρασία της κεφαλής, τη θερμοκρασία βάσης, την ταχύτητα εκτύπωσης, την πυκνότητα υλικού και το ύψος του στρώματος) και στη συνέχεια εξάγεται (σε μορφή GCODE) έτσι ώστε να μπορεί να εκτυπωθεί χρησιμοποιώντας μια κάρτα SD ή μέσω USB.





8. Βελτιώσεις

Μια από τις κύριες αναβαθμίσεις είναι η πρόσθεση Plexi Glass γύρω από τον εκτυπωτή για να διατηρηθεί το εσωτερικό σε σταθερή θερμοκρασία και να μην διαφεύγουν μυρωδιές. Η αντικατάσταση του γυαλιού με ένα συγκεκριμένο αυτοκόλλητο βάσης εκτύπωσης θα βοηθήσει τη βάση να ζεσταθεί πιο γρήγορα και να εξοικονομήσει χρόνο κατά την προ-εργασία εκτύπωσης. Μπορεί να χρησιμοποιηθεί ένας αισθητήρας για την αναγνώριση μπλοκαρίσματος υλικού, έτσι ώστε να σταματάει την εκτύπωση. Έπειτα, η εκτύπωση μπορεί να συνεχιστεί από εκεί που σταμάτησε μετά την επίλυση του προβλήματος. Η πρόσθεση μιας λωρίδας LED στο

επάνω μέρος του πλαισίου του εκτυπωτή παρέχει φωτισμό για καλύτερη προβολή του αντικειμένου που εκτυπώνεται. Μια από τις πιο υποτιμημένες βελτιώσεις εκτύπωσης είναι η αποξήρανση του υλικού(Filament) πριν την χρήση του, με σκοπό να εξατμιστεί η υγρασία η οποία μπορεί να μειώσει την ποιότητα του εκτυπωμένου αντικειμένου.

9. Συμπεράσματα

Παρατηρείται ότι το συνολικό κόστος του εκτυπωτή διαφέρει κατά πολύ ανάλογα με τις απαιτήσεις του καταναλωτή, την ποιότητα υλικού, το μέγεθος και των δυνατοτήτων του. Επίσης, όταν επιλέγουμε να κατασκευάσουμε τον εκτυπωτή κομμάτι κομμάτι, το τελικό κόστος αυξάνεται αρκετά καθώς τα αντικείμενα έχουν αυξημένη τιμή ή να τον αγοράσουμε σε ήδη έτοιμο kit. , δεδομένου τόσο του μεγέθους όσο και των δυνατοτήτων του. Υπάρχει η δυνατότητα για μελλοντικές προσθήκες που πρέπει να προστεθούν εκτός από το bed(κρεβάτι), το Ramps 1.4

shield, και γενικότερα τη δομή του εκτυπωτή. Η κίνηση της βάσης εκτύπωσης και της κεφαλής στους άξονες X και Z απαιτεί τέλειο παραλληλισμό μεταξύ των γραμμικών αξόνων. Διαφορετικά, είναι δύσκολο να μετακινηθεί ομαλά και υπάρχουν δονήσεις, γεγονός που προκαλεί την εσφαλμένη εκτύπωση του αντικειμένου. Λόγω της μειωμένης ακρίβειας και της ανεπιτυχούς εκτύπωσης, οι δύο μάντες που μετακινούν την κεφαλή εκτύπωσης και το κρεβάτι εκτύπωσης δεν πρέπει να είναι χαλαροί.

10. Βιβλιογραφία

Arnold, C. *et al.* (2019) “Surface quality of 3D-printed models as a function of various printing parameters,” *Materials*, 12(12), p. 1970. Available at: <https://doi.org/10.3390/ma12121970>.

Braun, V. and Clarke, V. (2006) “Using thematic analysis in psychology,” *Qualitative Research in Psychology*, 3(2), pp. 77–101. Available at: <https://doi.org/10.1191/1478088706qp063oa>.

Chen, J. *et al.* (2021) “3D-printed anisotropic polymer materials for functional applications,” *Advanced Materials*, 34(5), p. 2102877. Available at: <https://doi.org/10.1002/adma.202102877>.

Cheng, Y.-L., Chang, C.-H. and Kuo, C. (2020) “Experimental study on leveling mechanism for material-jetting-type color 3D printing,” *Rapid Prototyping Journal*, 26(1), pp. 11–20. Available at: <https://doi.org/10.1108/rpj-09-2018-0227>.

Clifton, W. and Damon, A. (2020) “The three-dimensional printing renaissance of individualized anatomical modeling: Are we repeating history?,” *Clinical Anatomy*, 33(3), pp. 428–430. Available at: <https://doi.org/10.1002/ca.23545>.

Day, P.J. and Speers, S.J. (2019) “The assessment of 3D Printer Technology for forensic comparative analysis,” *Australian Journal of Forensic Sciences*, 52(5), pp. 579–589. Available at: <https://doi.org/10.1080/00450618.2019.1609088>.

Horvath, J. (2014) “A brief history of 3D printing,” *Mastering 3D Printing*, pp. 3–10. Available at: https://doi.org/10.1007/978-1-4842-0025-4_1.

ISHIDA, Y. and MIYASAKA, T. (2016) “Dimensional accuracy of dental casting patterns created by 3D printers,” *Dental Materials Journal*, 35(2), pp. 250–256. Available at: <https://doi.org/10.4012/dmj.2015-278>.

Jakus, A.E. (2019) “An introduction to 3D printing—past, present, and future promise,” *3D Printing in Orthopaedic Surgery*, pp. 1–15. Available at: <https://doi.org/10.1016/b978-0-323-58118-9.00001-4>.

Kabir, S.M., Mathur, K. and Seyam, A.-F.M. (2020) “A critical review on 3D printed continuous fiber-reinforced composites: History, mechanism, materials and properties,” *Composite Structures*, 232, p. 111476. Available at: <https://doi.org/10.1016/j.compstruct.2019.111476>.

Li, J. and Pumera, M. (2021) “3D printing of functional microrobots,” *Chemical Society Reviews*, 50(4), pp. 2794–2838. Available at: <https://doi.org/10.1039/d0cs01062f>.

Mackay, M.E. *et al.* (2017) “The performance of the hot end in a plasticating 3D printer,” *Journal of Rheology*, 61(2), pp. 229–236. Available at: <https://doi.org/10.1122/1.4973852>.

Palmara, G. *et al.* (2021) “Functional 3D printing: Approaches and bioapplications,” *Biosensors and Bioelectronics*, 175, p. 112849. Available at: <https://doi.org/10.1016/j.bios.2020.112849>.

Park, M.-E. and Shin, S.-Y. (2018) “Three-dimensional comparative study on the accuracy and reproducibility of dental casts fabricated by 3D printers,” *The Journal of Prosthetic Dentistry*, 119(5). Available at: <https://doi.org/10.1016/j.prosdent.2017.08.020>.

Parikh, N. and Sharma, P. (2018) “Three-Dimensional Printing in urology: History, current applications, and Future Directions,” *Urology*, 121, pp. 3–10. Available at: <https://doi.org/10.1016/j.urology.2018.08.004>.

Roberson, D.A., Espalin, D. and Wicker, R.B. (2013) “3D printer selection: A decision-making evaluation and ranking model,” *Virtual and Physical Prototyping*, 8(3), pp. 201–212. Available at: <https://doi.org/10.1080/17452759.2013.830939>.

Sathish, T., Vijayakumar, M.D. and Krishnan Ayyangar, A. (2018) “Design and fabrication of industrial components using 3D printing,” *Materials Today: Proceedings*, 5(6), pp. 14489–14498. Available at: <https://doi.org/10.1016/j.matpr.2018.03.036>.

Savini, A. and Savini, G.G. (2015) “A short history of 3D printing, a technological revolution just started,” *2015 ICOHTEC/IEEE International History of High-Technologies and their Socio-Cultural Contexts Conference (HISTELCON)* [Preprint]. Available at: <https://doi.org/10.1109/histelcon.2015.7307314>.

Shahrubudin, N., Lee, T.C. and Ramlan, R. (2019) “An overview on 3D printing technology: Technological, materials, and applications,” *Procedia Manufacturing*, 35, pp. 1286–1296. Available at: <https://doi.org/10.1016/j.promfg.2019.06.089>.

Su, A. and Al'Aref, S.J. (2018) “History of 3D printing,” *3D Printing Applications in Cardiovascular Medicine*, pp. 1–10. Available at: <https://doi.org/10.1016/b978-0-12-803917-5.00001-8>.

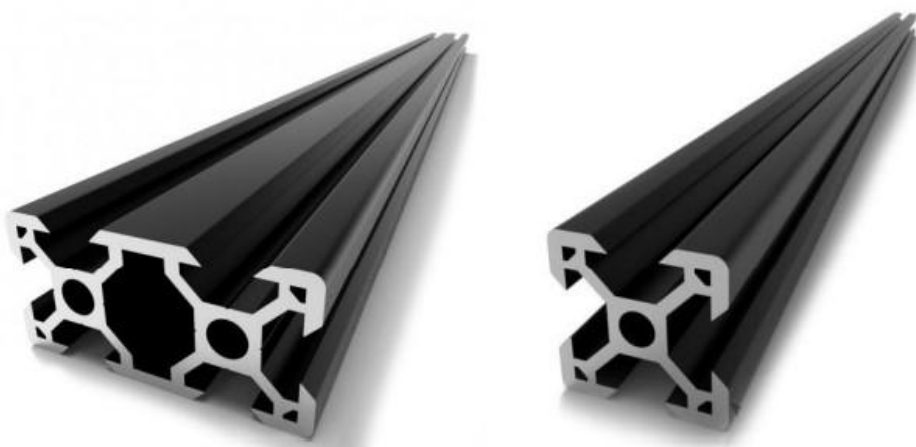
Wilhite, R. and Wölfel, I. (2019) “3D printing for veterinary anatomy: An overview,” *Anatomia, Histologia, Embryologia*, 48(6), pp. 609–620. Available at: <https://doi.org/10.1111/ahe.12502>.

Zhang, C. *et al.* (2021) “3D printing of functional magnetic materials: From design to applications,” *Advanced Functional Materials*, 31(34), p. 2102777. Available at: <https://doi.org/10.1002/adfm.202102777>.

11. Παράρτημα

Μηχανολογικά εξαρτήματα:

Προφίλ αλουμινίου με διαστάσεις 40mm x 20mm x 500mm ή 1000mm και 20mm x 20mm x 500mm ή 1000mm



Γραμμικοί άξονες M8 και M10 για τους x, y και z άξονες



Γραμμικό ρουλεμάν για M8 και M10 άξονα



Οδηγός στήριξης άξονα M8 και M10

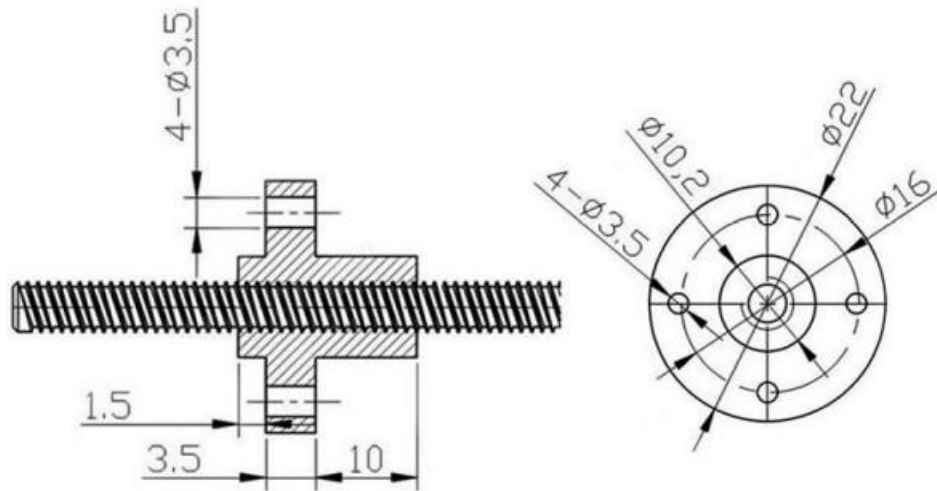


Σπειρωτός άξονας T8 500mm



Περικόγλιο T8





Aluminum GT2 Timing Pulley - 6mm Belt - 20 Tooth - 5mm Bore



Αριθμός δοντιών	20
Εσωτερική διάμετρος	5mm
Οδόντωση	2mm GT2

Aluminum GT2 Timing Pulley - 20 Tooth - 8mm Bore



Αριθμός δοντιών	20
Εσωτερική διάμετρος	8mm
Οδόντωση	2mm GT2

Aluminum Flex Shaft Coupler - 5mm to 8mm



Τύπος	Εύκαμπτο
Υλικό	Αλουμίνιο
Μέγεθος	5mm x 8mm
Εξωτερική διάμετρος	18mm
Μήκος	25mm

Timing Belt - GT2



Πλάτος	6mm
Βήμα	2mm

Bowden Extruder Feed Kit MK8 - 1.75mm All-metal Frame (Right)



Θερμανόμενη Κεφαλή Εκτύπωσης

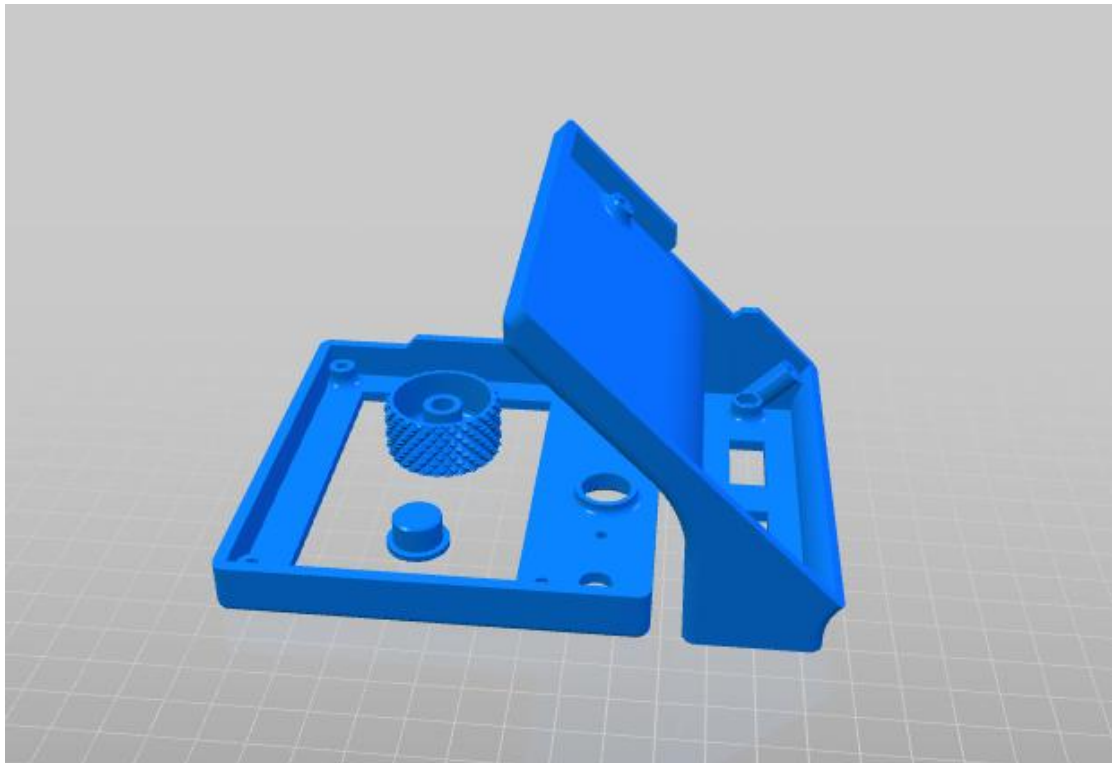


Πλαστικά εξαρτήματα:

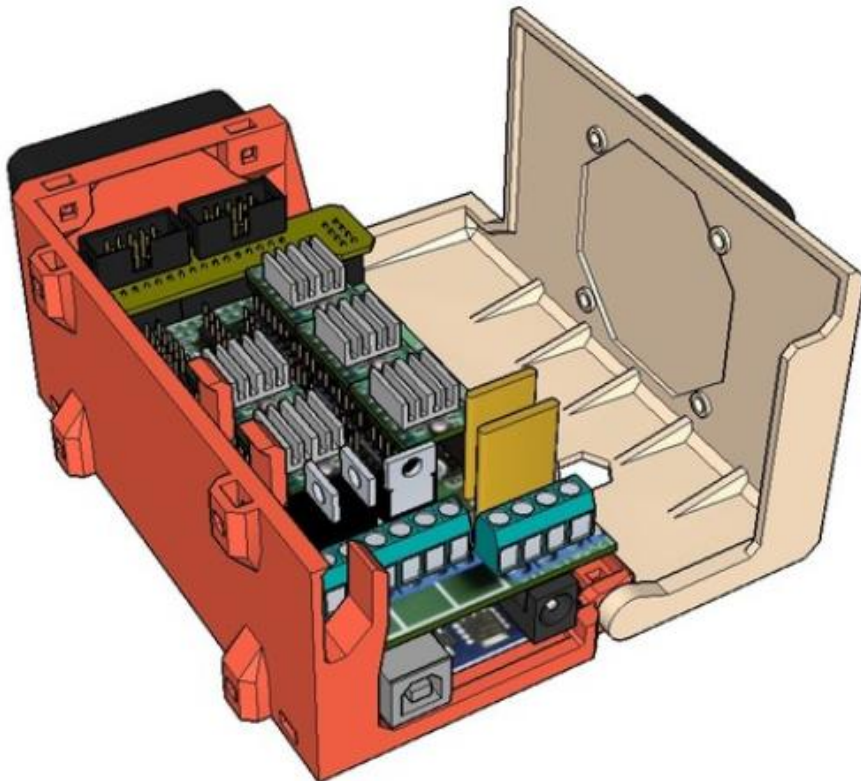
Εξωτερικές γωνίες σκελετού εκτυπωτή



Κουτί οθόνης LCD

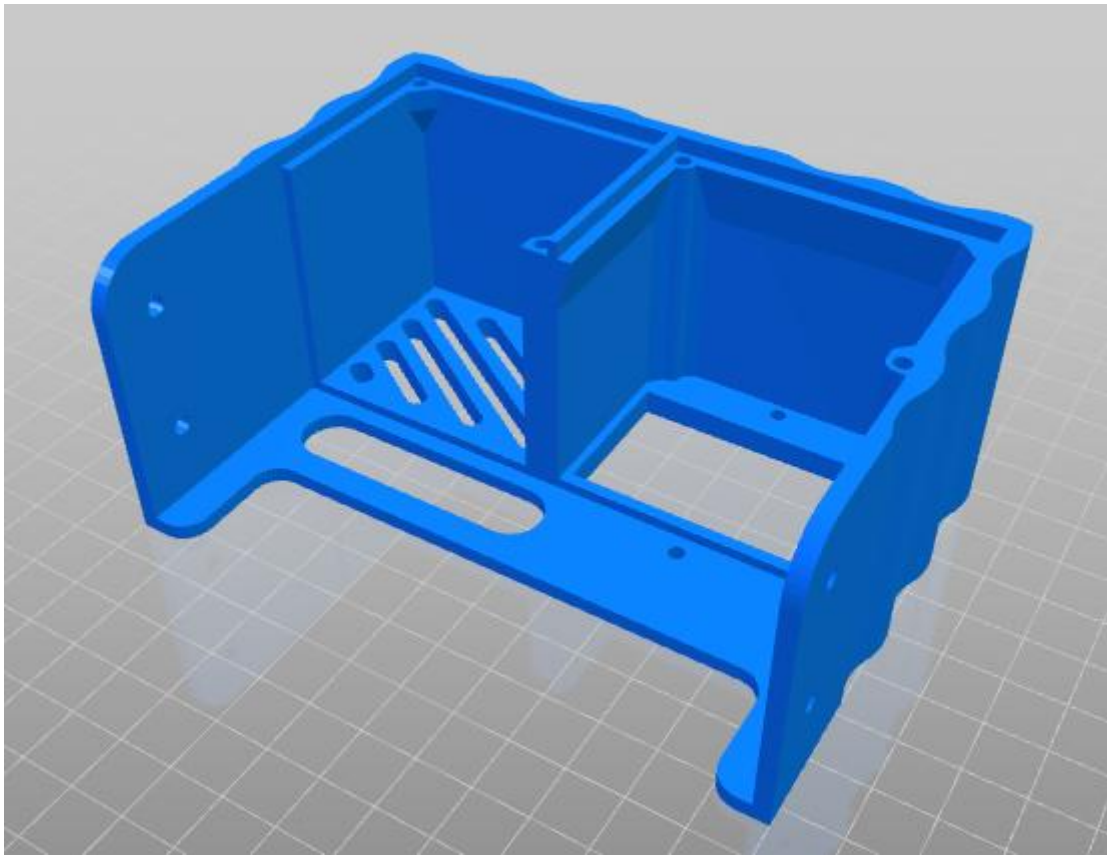


<https://www.thingiverse.com/thing:2514820>



<https://www.thingiverse.com/thing:761806>

Κάλλυμα για τροφοδοτικό τύπου Led



<https://www.thingiverse.com/thing:199089>