
ΔΙΕΘΝΕΣ ΠΑΝΕΠΙΣΤΗΜΙΟ ΤΗΣ ΕΛΛΑΔΟΣ
ΣΧΟΛΗ ΜΗΧΑΝΙΚΩΝ
ΤΜΗΜΑ ΠΛΗΡΟΦΟΡΙΚΗΣ ΚΑΙ ΗΛΕΚΤΡΟΝΙΚΩΝ ΣΥΣΤΗΜΑΤΩΝ

Τρισδιάστατος Εκτυπωτής

3D Printer

ΠΤΥΧΙΑΚΗ ΕΡΓΑΣΙΑ
ΤΟΥ

Παντελή Καραφουλίδη

513074

ΚΩΔΙΚΟΣ ΠΤΥΧΙΑΚΗΣ
21107

Επιβλέπων: Γιακουμής Άγγελος, Επίκουρος Καθηγητής

Θεσσαλονίκη, 2021

Περίληψη

[1]Στα πλαίσια της παρούσας πτυχιακής εργασίας, θα γίνει κατασκευή ενός τρισδιάστατου εκτυπωτή, με την χρήση ενός μικροεπεξεργαστή Arduino για την κίνηση και τοποθέτηση του υλικού από τα επιμέρους όργανα.

Η τρισδιάστατη εκτύπωση είναι μια μέθοδος προσθετικής κατασκευής στην οποία δημιουργούμε/κατασκευάζουμε αντικείμενα μέσω διαδοχικής πρόσθεσης επάλληλων στρώσεων του υλικού. Οι τύποι υλικού είναι διαφέρουν από χρήση σε χρήση κυρίως όμως είναι κεραμικά και πολυμερή.

Οι τρισδιάστατοι εκτυπωτές χρησιμοποιούνται κυρίως για την κατασκευή φυσικών μοντέλων από σχεδιαστές και μηχανικούς, επίσης συνδυάζουν πολλαπλές τεχνολογίες οι οποίες βρίσκονται στην αγορά για κατανάλωση σε προσιτές τιμές σήμερα. Μερικές από αυτές είναι η τεχνολογία ηλεκτροκινητήρων, υλικών κατασκευής αλλά και η τεχνολογία προγραμμάτων software και hardware. Με αυτές τις τεχνολογίες κατάφερα να δημιουργήσω έναν εκτυπωτή τριών διαστάσεων με ανοιχτό κώδικα κι έτσι ανέπτυξα τις γνώσεις μου στον κατασκευαστικό τομέα, στον τομέα του προγραμματισμού αλλά και των ηλεκτρονικών κατασκευών γενικότερα. Η θέση μου ήταν ευχάριστη σαν μηχανικός κατά την διάρκεια της κατασκευής διότι κατάλαβα ότι με τα υλικά κατασκευής, την τεχνογνωσία και τον συνδυασμό χρήσης λογισμικών και υλικών κυκλωμάτων που έχουμε στην διάθεση μας, μπορούμε έμπρακτα να κατασκευάσουμε μόνοι μας τέτοιου είδους χρήσιμες εφαρμογές. Με αυτόν τον τρόπο οι δημιουργικές πράξεις των εφαρμογών συμβάλουν στην κοινωνία σε πολλές μορφές, όπως η ιατρική, οι τέχνες, η βιομηχανία κατασκευών (οικοδομές, αυτοκίνητα, έπιπλα) μέχρι και το φαγητό.

Στο σημείο αυτό θα ήθελα να ευχαριστήσω τον επίκουρο καθηγητή του Διεθνούς Πανεπιστήμιου της Ελλάδος κ. Άγγελο Γιακουμή, για την καθοδήγηση που μου πρόσφερε για την σωστή διεξαγωγή της πτυχιακής εργασίας τόσο στο θεωρητικό κομμάτι όσο και στο πρακτικό στον τομέα της κατασκευής και του προγραμματισμού.

Περιεχόμενα

Εισαγωγή/Περίληψη -----	2
Κεφάλαιο 1 ^ο : Εισαγωγή -----	5
Κεφάλαιο 2 ^ο : Ιστορική αναδρομή -----	7
2.1 Η ιστορία των εκτυπωτών -----	7
2.2 Εκτυπωτές έγχυσης μελάνης (inkjet printers) -----	8
2.3 Εκτυπωτές Laser -----	9
2.4 Σχεδιογράφοι (Plotters) -----	10
2.5 Θερμικοί Εκτυπωτές (Thermal printers) -----	10
2.6 Εκτυπωτές εξάχρωσης (Dye sublimation printers) -----	10
2.7 Εκτυπωτές Offset -----	11
2.8 Εκτυπωτές 3D -----	12
Κεφάλαιο 3 ^ο : Αρχή λειτουργίας-----	15
Κεφάλαιο 4 ^ο : Τρόπος κατασκευής τρισδιάστατου εκτυπωτή -----	18
4.1 Άξονας X -----	19
4.1.1 Τερματικός Διακόπτης -----	21
4.1.2 Γρανάζια Χρονισμού και ιμάντας -----	22
4.1.3 Σύστημα εξώθησης υλικού -----	23
4.1.4 Βάση κεφαλής υλικού -----	24
4.1.5 Θερμαινόμενη Αντίσταση Φυσιγγίου -----	25
4.1.6 Αισθητήρας Θερμοκρασίας -----	26
4.1.7 Σύστημα Ψύξης -----	27
4.2 Άξονας Y -----	27
4.2.1 Βάση Εκτύπωσης -----	28
4.2.2 Κινητήρας άξονα Y με ιμάντα -----	30
4.2.3 Τερματικός Διακόπτης -----	31
4.3 Άξονας Z -----	32
4.3.1 Σπειρωτοί ράβδοι -----	33
4.3.2 Κινητήρες άξονα Z -----	33
4.3.3 Τερματικός Διακόπτης -----	34
4.4 Σκελετός Κατασκευής -----	35
4.5 Πλαστικό νήμα (PLA) -----	36

4.6 Τροφοδοτικό	37
4.7 RAMPS (RepRap Arduino Mega Pololu Shield)	38
4.9 Βηματικός Κινητήρας (Stepper Motor)	39
Κεφάλαιο 5° : Προγραμματισμός τρισδιάστατου εκτυπωτή	42
5.1 Arduino	42
5.1.1 ATmega2560	44
5.1.2 Τροφοδοσία	45
5.1.3 SHIELDS	45
5.1.4 EEPROM	45
5.1.5 Μνήμη προγράμματος	45
5.1.6 Μνήμη δεδομένων	46
5.1.7 Σειριακές θύρες	46
5.1.8 Συνδέσεις επεκτάσεων	46
5.1.9 Καταχωρητές	46
5.1.10 Καταχωρητές εισόδου/εξόδου (I/O)	47
5.2 Λογισμικό Arduino (Arduino IDE)	47
5.2.1 Υλικό-λογισμικό (Marlin)	48
5.2.2 Ανάλυση κώδικα (Marlin)	49
5.3 Λογισμικό Slicer	54
5.3.1 Print Settings	55
5.3.2 Filament Settings	57
5.3.3 Printer Settings	58
5.4 Λογισμικό Pronterface (Printrun)	59
Κεφάλαιο 6° : Συμπεράσματα και Βελτιώσεις	61
6.1 Συμπεράσματα	61
6.2 Βελτιώσεις	62
Παράρτημα	63
Βιβλιογραφία	69

ΚΕΦΑΛΑΙΟ 1ο

Εισαγωγή

Τυπογραφία είναι η τέχνη και η τεχνική της διαμόρφωσης του τύπου για να γίνει η γραπτή γλώσσα κατανοητή και ελκυστική. Η διάταξη του τύπου περιλαμβάνει την επιλογή γραμματοσειράς, το μέγεθος, το μήκος της γραμμής, τα κενά γραμμής (leading), τα κενά γραμμάτων (tracking), και την προσαρμογή του χώρου ανάμεσα στα ζεύγη γραμμάτων.

Ο σχεδιασμός τύπου είναι μία στενά συνδεδεμένη με την τυπογραφία τεχνική και μερικές φορές θεωρείται μέρος της τυπογραφίας. Οι περισσότεροι τυπογράφοι δεν σχεδιάζουν γραμματοσειρές, και ορισμένοι σχεδιαστές του τύπου δεν θεωρούν τους εαυτούς τους τυπογράφους.

«Τυπογραφία είναι η τέχνη του να παρουσιάζεις την ανθρώπινη γλώσσα με μία ανθεκτική οπτική μορφή» ~Robert Brinhurst~

Η τυπογραφία χρησιμοποιείται επίσης από στοιχειοθέτες, συνθέτες, τυπογράφους, γραφίστες, σκηνοθέτες, δημιουργούς manga, σχεδιαστές κόμικς, καλλιτέχνες γκράφιτι, υπάλληλους γραφείου, και όλους όσους φροντίζουν να τυπώσουν ένα προϊόν. Μέχρι την ψηφιακή εποχή η τυπογραφία ήταν ένα εξειδικευμένο επάγγελμα. Η ψηφιοποίηση άνοιξε τον δρόμο για την τυπογραφία στις νέες γενιές των visual designers και ο David Jury, επικεφαλής της γραφιστικής στο Colchester Institute της Αγγλίας, αναφέρει ότι «Η τυπογραφία αποτελεί πλέον κάτι που κάνει ο οποιοσδήποτε». Από την ανακάλυψη της τυπογραφίας, τον 15^ο αιώνα και μέχρι τα μέσα του 18^{ου} αιώνα μικρή ήταν η εξέλιξη της τυπογραφίας έως την εμφάνιση των πρώτων υπολογιστών.

Στους πρώτους υπολογιστές δεν υπήρχαν οθόνες. Τα αποτελέσματα της επεξεργασίας των δεδομένων αποτυπώνονταν απευθείας σε χαρτί μέσω μίας συσκευής εκτύπωσης η οποία ονομαζόταν εκτυπωτής. Με την ανακάλυψη και την χρησιμοποίηση της οθόνης πολλές φορές δεν υπήρχε η ανάγκη χρήσης των εκτυπωτών παράλα αυτά πολλάκις ήταν απαραίτητη και γι' αυτό όχι μόνο δεν καταργήθηκε αλλά εξελίχθηκε και αντικατέστησε την τεχνολογία των γραφομηχανών.

Η *τριδιάστατη εκτύπωση (3D printing)* είναι μια μέθοδος προσθετικής κατασκευής στην οποία κατασκευάζονται αντικείμενα μέσω της διαδοχικής πρόσθεσης επάλληλων στρώσεων υλικού. Στην τρισδιάστατη εκτύπωση μπορούν να χρησιμοποιηθούν διάφοροι τύποι υλικού, κυρίως κεραμικά και πολυμερή. Σε σύγκριση με άλλες τεχνολογίες και εξοπλισμό προσθετικής κατασκευής, οι τρισδιάστατοι εκτυπωτές είναι συνήθως ταχύτεροι, φθηνότεροι και ευκολότεροι στη χρήση. Οι τρισδιάστατοι εκτυπωτές χρησιμοποιούνται κυρίως για την κατασκευή φυσικών μοντέλων και πρωτότυπων από σχεδιαστές, μηχανικούς και ομάδες ανάπτυξης νέων προϊόντων, έχουν τη δυνατότητα να εκτυπώνουν μέρη και εξαρτήματα από διάφορα υλικά, με διαφορετικές μηχανικές και φυσικές ιδιότητες και συχνά σε μία ενιαία διαδικασία κατασκευής.

Η τεχνολογία των 3D εκτυπωτών βρίσκει επίσης χρήση στους τομείς του

κοσμήματος, των υποδημάτων του βιομηχανικού σχεδιασμού της αρχιτεκτονικής, της μηχανικής και των κατασκευών (AEC), στην αυτοκινητοβιομηχανία, την αεροδιαστημική, την οδοντιατρική και ιατρική βιομηχανία, την εκπαίδευση, τη χαρτογράφηση πληροφοριακών συστημάτων σε έργα πολιτικών μηχανικών και πολλά άλλα.

Επίσης μια ιδιότητα των εκτυπωτών 3D είναι ότι μπορούν να αναπαράγουν τον εαυτό τους αφού μπορούν να εκτυπώσουν τα κομμάτια που τους αποτελούν.

Υπάρχει η άποψη ότι η πτώση του κόστους αλλά και η αύξηση της αποδοτικότητας και της αποτελεσματικότητας των τρισδιάστατων εκτυπωτών, θα σημαίνει την ευρεία διαθεσιμότητα τους, που με τη σειρά της ανοίγει νέους ορίζοντες για την επέκταση της ομότιμης παραγωγής στον υλικό κόσμο.

Η παρούσα πτυχιακή εργασία, η οποία εκπονήθηκε για την ολοκλήρωση των σπουδών μου στο Τμήμα Ηλεκτρονικών Μηχανικών Τ.Ε. του ΤΕΙ Θεσσαλονίκης αφορά την κατασκευή ενός τρισδιάστατου εκτυπωτή. Για την κατασκευή του συστήματος θα χρειαστούμε ηλεκτροκινητήρες μικρής διάταξης καθώς και λογισμικό καθοδήγησης τους (Drivers) συνδεδεμένους πάνω σε έναν ελεγκτή. Επίσης θα μελετηθούν με λεπτομέρεια οι αρχές λειτουργίας των επιμέρους εξαρτημάτων όπως : stepper motors, αισθητήρες θερμοκρασίας, διακόπτες για τα όρια των τριών αξόνων, Drivers, μικροεπεξεργαστής (M/E), τροφοδοτικό σταθερής DC τάσης, καθώς και μια ηλεκτρονική συνδεσμολογία που θα συνδέει το Arduino με όλα τα παραπάνω. Ταυτόχρονα η θερμοευαίσθητη κεφαλή θα κατατοπίζει τα είδη ειδικού πλαστικού που θερμαίνονται με σκοπό την δημιουργία τρισδιάστατων δημιουργιών.

Εν κατακλείδι για να έχουμε την σωστή λειτουργία και το επιθυμητό αποτέλεσμα της κατασκευής θα χρειαστούμε ένα είδος επικοινωνίας με τον M/E. Ο M/E θα εκτελεί εντολές μέσω ενός κώδικα σε γλώσσα προγραμματισμού βασισμένη στην C/C++. Η δημιουργία των μοντέλων θα γίνεται με την εφαρμογή του σχεδίου στο πρόγραμμα CAD όπου με την σειρά του θα μεταφραστεί σε αρχείο G-code για να γίνει η ανάγνωση και η εκτέλεση από το Arduino.

ΚΕΦΑΛΑΙΟ 2^ο

Ιστορική αναδρομή

2.1 Η Ιστορία των εκτυπωτών

[37] Η συσκευή στην οποία αποτυπώνονται μέσω του υπολογιστή οι πληροφορίες που έχουν δημιουργηθεί από την χρήση ενός λογισμικού σε ένα φυσικό μέσο συνήθως χαρτί ονομάζεται εκτυπωτής. Οι πρώτοι υπολογιστές δεν διέθεταν οθόνη, τα αποτελέσματα μετρά την επεξεργασία των δεδομένων αποτυπώνονταν από μία μηχανή απευθείας σε χαρτί. Κατά συνέπεια η χρήση του εκτυπωτή διευκόλυνε την χρήση των υπολογιστών σε αρχικό επίπεδο. Όταν εφευρέθηκε η οθόνη η χρήση των εκτυπωτών μειώθηκε εν μέρη. Παρόλα αυτά οι εκτυπωτές δεν εξαλείφθηκαν τελείως μέχρι και σήμερα γιατί η εκτύπωση παραμένει μια επιθυμητή εφαρμογή. Αντιθέτως οι εκτυπωτές βελτιώθηκαν με εφαρμογές της νέας τεχνολογίας εξυπηρετώντας τις νέες ανάγκες.

Οι πρώτοι εκτυπωτές χρησιμοποιούσαν ένα μεταλλικό κύκλο πάνω στον οποίο ήταν προσαρμοσμένα ακτινωτά στελέχη. Στο άκρο κάθε στελέχους υπήρχε ένα μεταλλικός τυπογραφικός χαρακτήρας σύστημα που χρησιμοποιούταν από τις γραφομηχανές. Ένα άλλο μέλος του εκτυπωτή ήταν μία υφασμάτινη ταινία ποτισμένη με μελάνι πάνω στην οποία χτυπούσε ο τυπογραφικός χαρακτήρας και αποτυπωνόταν στο χαρτί.

Αργότερα εφευρέθηκαν οι εκτυπωτές «μήτρας κουκκίδων» στους οποίους υπήρχε η μελανοταινία αλλά δεν την χτυπούσε το τυπογραφικό στοιχείο αλλά μία σειρά από ακίδες πολύ κοντά η μία στην άλλη. Έτσι κάθε χαρακτήρας αποτυπωνόταν ως μια σειρά κουκκίδων. Η μέθοδος αυτή έδωσε την δυνατότητα να χρησιμοποιήσουμε περισσότερα από ένα χρώματα, δύο ή και τρία ακόμα.



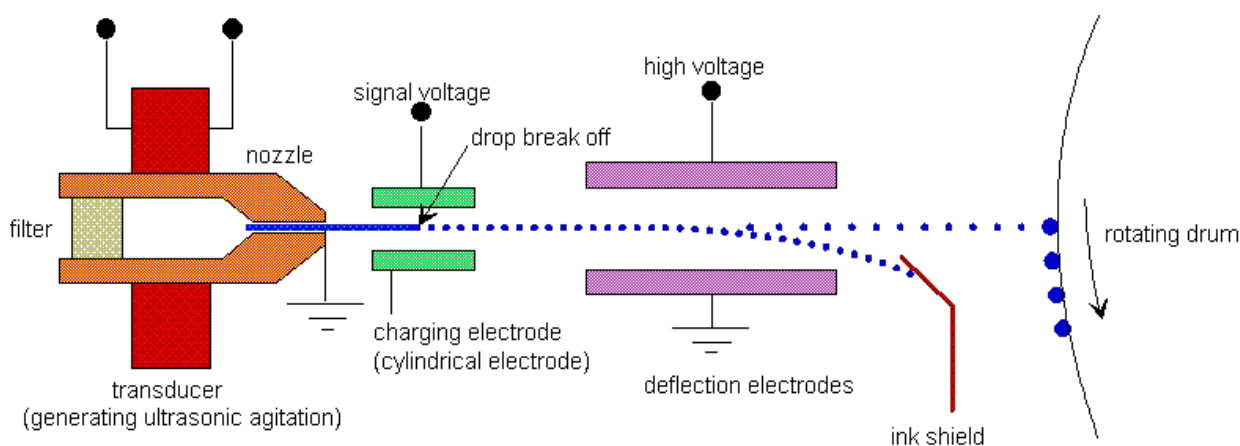
Εικ. 2.1 Μεταλλικός κύκλος daisywheel printer (αριστερά) και εκτυπωτής dot matrix (δεξιά)

2.2 Εκτυπωτές έγχυσης μελάνης (Inkjet printers)

[11] Οι εκτυπωτές ψεκασμού μελάνης είναι το ενδιάμεσο στάδιο μεταξύ των κρουστικών εκτυπωτών και των εκτυπωτών Laser. Έχουν χαμηλή τιμή όπως οι κρουστικοί εκτυπωτές και ταχύτητα και ποιότητα όπως οι ακριβοί εκτυπωτές Laser.

Η χρήση τους είναι κυρίως για εργασίες εκτύπωσης καλής ανάλυσης με χρώματα αλλά όχι για μεγάλες ποσότητες, διότι τα μελάνια είναι ακριβά. Η ταχύτητα εκτύπωσης είναι σχετικά χαμηλή. Η συντήρηση του είναι εύκολη αφού ο ίδιος ο εκτυπωτής κάνει καθαρισμό στις κεφαλές του, στα μηχανικά μέρη απαιτείται ελάχιστο καθαρισμό όπως και στο δοχείο που γίνεται ο αυτοκαθαρισμός των μελανιών. Οι εκτυπωτές Inkjet βρίσκονται εύκολα στην αγορά σε καλή και προσιτή τιμή με άριστη απόδοση.

Οι εκτυπωτές ψεκασμού μελάνης περιέχουν μια κεφαλή εκτύπωσης όπως οι κρουστικοί εκτυπωτές, κινούνται οριζόντια πάνω στο χαρτί εκτυπώνοντας γραμμή-γραμμή. Η κεφαλή αυτή δεν έχει ανάγλυφους τυπογραφικούς χαρακτήρες ή ακίδες αλλά από ακροφύσια που εκτοξεύουν απειροελάχιστα ποσότητες μελάνης στο χαρτί δημιουργώντας μικρές κουκκίδες. Η κεφαλή περιέχει ένα σύνολο θαλάμων μελάνης που καταλήγουν στα ακροφύσια. Το μελάνι θερμαίνεται σε κάθε θάλαμο μέσω μίας αντίστασης έτσι η αυξανόμενη θερμότητα δημιουργεί μία φυσαλίδα αέρα, η οποία σπρώχνει μία μικρή ποσότητα μελάνης προς τα έξω μέσω του ακροφυσίου. Κάποιες κεφαλές δεν έχουν θερμαντική αντίσταση αλλά κρύσταλλο χαλαζία ο οποίος ταλαντώνεται με την παροχή ηλεκτρικού ρεύματος πιέζοντας τον θάλαμο με αποτέλεσμα να εκτοξεύεται η μελάνη.



Εικ 2.2 Σχηματικό λειτουργίας μιας κεφαλής εκτυπωτή inkjet

2.3 Εκτυπωτές Laser

Η πρώτη εφαρμογή ιδιωτικής εφαρμογής του εκτυπωτή Laser ήταν από τον Gary Starkweather, ο οποίος εργαζόταν στο τμήμα ανάπτυξης προϊόντων της εταιρίας Xerox. Με την ιδέα να χρησιμοποιήσει μια ακτίνα λέιζερ για να «αντλήσει» μια εικόνα του τι επρόκειτο να αντιγραφεί κατευθείαν πάνω στο φωτοαντίγραφο.

Η ποιότητα της εκτύπωσης σε συνδυασμό με την ταχύτητα της εκτύπωσης παρέμενε πάντα ένα σοβαρό πρόβλημα. Η βιομηχανία εκτυπωτών δημιούργησε τους εκτυπωτές Laser αντιγράφοντας την τεχνολογία ξηρογραφικής αποτύπωσης από τα φωτοαντιγραφικά μηχανήματα, βελτιώνοντας έτσι σημαντικά την ταχύτητα και την ποιότητα της εκτύπωσης. Οι εκτυπωτές Laser ανήκουν στην κατηγορία των εκτυπωτών σελίδας. Δεν σαρώνουν την σελίδα γραμμή προς γραμμή αλλά με άλλη διαδικασία. Ο υπολογιστής στέλνει τα δεδομένα για κάθε σελίδα στην μνήμη του εκτυπωτή όπου και αποθηκεύονται, εκεί σχηματίζεται η τελική εικόνα της σελίδας κουκκίδα προς κουκκίδα και συνεχίζει η διαδικασία της εκτύπωσης.

Η διαδικασία εκτύπωσης περιλαμβάνει τα εξής στάδια :

Πρώτα σχηματίζεται η ακριβής εικόνα της σελίδας στην μνήμη του εκτυπωτή πάνω στην επιφάνεια του. Κατόπιν μια ακτίνα laser πέφτει πάνω στο τύμπανο. Επειδή το τύμπανο είναι ευαίσθητο έχει την δυνατότητα αποφορτίσεως σε όποια σημεία πέσει η ακτίνα laser.

Με αυτόν τον τρόπο φορτίζεται με θετικό στατικό ηλεκτρισμό το τύμπανο και δημιουργείται το αρνητικό της σελίδας πάνω στην επιφάνεια του. Μετά το τύμπανο περιστρέφεται γύρω από ένα ειδικό δοχείο με γραφίτη που ονομάζεται toner. Ο γραφίτης που είναι σε μορφή σκόνης προσκολλάται στις φορτισμένες επιφάνειες του τυμπάνου και σαν αποτέλεσμα δημιουργείται στην επιφάνεια του η εικόνα της σελίδας με γραφίτη. Ο μηχανισμός τροφοδοσίας χαρτιού φέρνει ένα λευκό χαρτί σε άμεση επαφή με το τύμπανο με αποτέλεσμα ο γραφίτης να μείνει πάνω στο χαρτί. Το χαρτί περνά από το πιεστήριο δηλαδή ανάμεσα από κυλίνδρους οι οποίοι πιέζουν και ξεραίνουν τον γραφίτη σε υψηλή θερμοκρασία ώστε να σταθεροποιηθεί πάνω στο χαρτί. Η επιφάνεια του τυμπάνου εκφορτίζεται, καθαρίζεται από τον γραφίτη και έπειτα συνεχίζει η εκτύπωση των επόμενων σελίδων.



2.4 Σχεδιογράφοι (Plotters)

Οι σχεδιογράφοι είναι ειδικές εκτυπωτικές μηχανές οι εκτυπώνουν για γραμμικά σχέδια μεγάλων διαστάσεων όπως είναι τα αρχιτεκτονικά, τα μηχανολογικά, τα ηλεκτρολογικά σχέδια κ.α. Παράγουν αντίγραφα σχεδίων διαστάσεων περίπου 100x123cm, μεγέθη πολύ μεγαλύτερα από τα συνηθισμένα A3 και A4 των εκτυπωτών γραφείου. Υπάρχουν δύο είδη σχεδιογράφων με μελάνι και οι ηλεκτροστατικοί.

Οι σχεδιογράφοι μελάνης σχεδιάζουν με ειδικά στυλό μελάνης μετακινούμενοι πάνω στην επιφάνεια του χαρτιού. Μπορούν να σχεδιάσουν με ένα έως τέσσερα στυλό μελάνης διαφορετικών χρωμάτων πάνω σε χαρτί το οποίο βρίσκεται είτε σε μια οριζόντια επιφάνεια είτε πάνω σε έναν κύλινδρο.

Οι ηλεκτροστατικοί σχεδιογράφοι βασίζονται στην φόρτιση του χαρτιού με laser στα σημεία που θέλουμε και μετά στο πέρασμα του από τον γραφίτη ώστε να δημιουργηθεί το σχέδιο. Τεχνολογία δηλαδή που μοιάζει αρκετά με εκείνη των εκτυπωτών laser.

2.5 Θερμικοί Εκτυπωτές (Thermal printers)

Οι θερμικοί εκτυπωτές εκτυπώνουν σε θερμικό χαρτί το οποίο μαυρίζει όπου εφαρμοστεί αυξημένη θερμότητα. Δεν χρειάζονται μελάνι η toner για αυτόν τον λόγο. Σημαντικό πρόβλημα αποτελεί η διάρκεια ζωής της εκτύπωσης καθώς το χαρτί είναι ευαίσθητο στο φως από το περιβάλλον. Επίσης έχει υψηλό κόστος η μελανοταινία που χρησιμοποιείται. Πλεονέκτημα τους είναι η υψηλή ταχύτητα και ποιότητα της εκτύπωσης και δεν χρειάζονται συχνή συντήρηση. Συνήθως χρησιμοποιούνται στις ταμιακές μηχανές, fax, τερματικά πιστωτικών, Μέσα Μαζικής Μεταφοράς, ATM κ.α.

2.6 Εκτυπωτές εξάχνωσης (Dye-sublimation printers)

Ένας ερευνητής με όνομα Noel de Plasse το 1957 έκανε μια ανακάλυψη την οποία την ονόμασε θερμική εξάχνωση χρωστικών. Ανακάλυψε ότι κάτω από υψηλή θερμοκρασία ορισμένες στερεές χρωστικές ουσίες μπορούσαν να περάσουν κατευθείαν σε αέρια μορφή χωρίς να μετατραπούν σε υγρή. Στα τέλη της δεκαετίας του 60 η τεχνολογία αυτή χρησιμοποιήθηκε στους πρώτους εκτυπωτές υπολογιστών. Στις μέρες μας η θερμικής εξάχνωσης χρησιμοποιείται κυρίως για την εκτύπωση διαφόρων υφασμάτων ή για την εκτύπωση άλλων υλικών όπως κούπες, θήκες smartphone, δελτία ταυτότητας κ.α.

Το μελάνι θερμικής εξάχνωσης αποτελείται από μία χρωστική που αιωρείται σε ένα υγρό φορέα. Μια εικόνα τυπώνεται σε ένα χαρτί μεταφοράς το οποίο έρχεται σε επαφή με ύφασμα από πολυεστέρα με την βοήθεια μιας πρέσας

θερμότητας. Η χρωστική στερεή ουσία κάτω από θερμότητα και πίεση εξαχνώνεται και διαχέεται μέσα στο ύφασμα με αποτέλεσμα να σταθεροποιείται πάνω στις ίνες του υφάσματος. Τα τελευταία χρόνια υπάρχουν συστήματα που μπορούν να εκτυπώσουν απευθείας πάνω στο ύφασμα χωρίς να απαιτείται χαρτί μεταφοράς.

Και οι δύο μέθοδοι έχουν πλεονεκτήματα και μειονεκτήματα. Το σημαντικότερο πλεονέκτημα από την χρήση της μεθόδου με την μεταφορά σε χαρτί είναι η ποιότητα της εικόνας. Με αυτή την διαδικασία το μελάνι διεισδύει βαθιά μέσα στο υπόστρωμα παραμένοντας κοντά στην επιφάνεια του. Αντίθετα με την μέθοδο άμεσης διασποράς το μελάνι διεισδύει βαθιά μέσα στο ύφασμα με αποτέλεσμα την έλλειψη ευκρίνειας και λιγότερα έντονα χρώματα. Το πλεονέκτημα της μεθόδου με μεταφορά είναι ότι μπορεί να δουλέψει σε οποιαδήποτε επιφάνεια με επίχρισμα πολυεστέρα όπως πανό, κούπες, μπλούζες κ.α. Ένα ακόμη πλεονέκτημα της μεθόδου είναι η μείωση του κόστους καθώς δεν χρησιμοποιούμε χαρτί μεταφοράς. Η απευθείας εκτύπωση έχει πλεονεκτήματα για συγκεκριμένες εφαρμογές όπως εκτύπωση διαφημιστικών σε υφάσματα, σημαίες και banners. Έτσι όταν τυπώνεται μια μεγάλη κόκκινη σημαία θα φτάσει και στην πίσω πλευρά με αποτέλεσμα τί και αν είναι ανάποδα η εικόνα ή το κείμενο μπορεί να αναγνωριστεί από μακριά, είναι μεγάλο πλεονέκτημα αυτού του είδους η εφαρμογή.



Εικ.2.6 Χρήση εκτυπωτή εξάχνωσης για την εκτύπωση φωτογραφίας υψηλής ποιότητας

2.7 Εκτυπωτές Offset

Στην εκτύπωση Offset δεν υπάρχουν ανάγλυφες ή χαραγμένες πλάκες. Η μέθοδος αυτή βασίζεται στην ιδιότητα του μελανιού να προσκολλάται σε ορισμένα υλικά και να απωθείται από άλλα, όπως π.χ. να προσκολλάται στο λάδι και να απωθείται από το νερό. Αν κάποιος γράψει σε μια λεία επιφάνεια με ένα λιπαρό μολύβι, την καλύψει με μελάνι και μετρά να την ξεπλύνει με νερό, θα παραμείνει μελάνι στις λιπαρές περιοχές. Η στοιχειοθεσία για την εκτύπωση offset γίνεται με στοιχειοφωτοθεσία. Το στοιχειοθετημένο κείμενο και οι εικόνες προβάλλεται στην εκτυπωτική πλάκα Offset η οποία έχει καλυφθεί με μια φωτοευαίσθητη ουσία. Στην συνέχεια η πλάκα βαφτίζεται σε μια ουσία που ξεπλένει την φωτοευαίσθητη ουσία από τις περιοχές που δεν θα τυπωθούν και αφήνει τις περιοχές που θα τυπωθούν. Υπάρχουν κυλινδρικές και επίπεδες εκτυπωτικές πλάκες Offset και είναι

συνήθως καλυμμένες με καουτσούκ ή ύφασμα οι οποίες με την σειρά τους πιέζουν το μελάνι πάνω στο χαρτί.

Μια εκτυπωτική μηχανή αποτελείται από 5 κύρια συστήματα :

- A) την μονάδα εισαγωγής
- B) την μονάδα εκτύπωσης
- Γ) την μονάδα μελάνωσης
- Δ) την μονάδα ύγρανσης
- E) την μονάδα εξαγωγής

Εφαρμογές εκτύπωσης με την εκτύπωση Offset γίνονται σε ευλύγιστα υλικά όπως χαρτί, χαρτόνι, πλαστικό PVC, φύλλα αλουμινίου κλπ. Τα προϊόντα εκτύπωσης Offset βρίσκονται παντού γύρω μας όπως τα σχολικά βιβλία, εφημερίδες, περιοδικά, συσκευασίες κουτιών και αναψυκτικών κ.α.



Εικ 2.7 Offset εκτυπωτής μεγάλων διαστάσεων

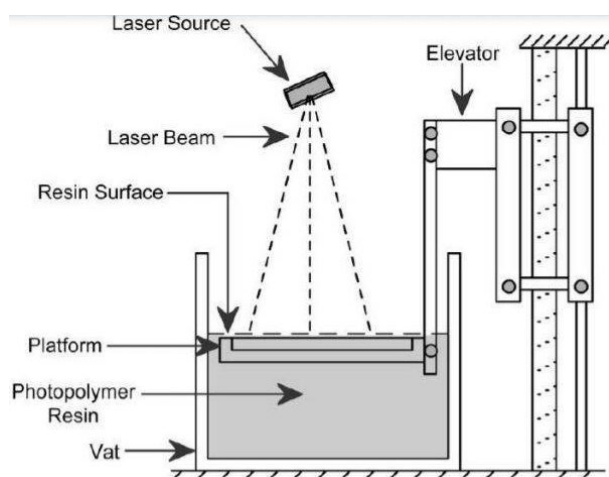
2.8 Εκτυπωτές 3D

[22][23][24] Στα τέλη της δεκαετίας του 1960 από τον μηχανικό και καθηγητή του Πανεπιστημίου Rochester των ΗΠΑ Herbert Voelker εμφανίστηκαν οι πρώτες θεωρητικές προσεγγίσεις της τρισδιάστατης εκτύπωσης. Ο Herbert Voelker άρχισε να εξετάζει διάφορους τρόπους για να πάρει σχέδια φτιαγμένα από τους πρώιμους υπολογιστές της εποχής μέσω του CAD με σκοπό να τα εφαρμόσει σε αυτοματοποιημένα εργαλεία μηχανικής που μόλις άρχισαν να εμφανίζονται στα εργοστάσια της εποχής. Στην συνέχεια επινόησε τα μαθηματικά εργαλεία για την περιγραφή των τρισδιάστατων αντικειμένων με σκοπό να βρει τα πρώτα αληθινά μαθηματικά μοντέλα και αλγορίθμους για την περιγραφή τους.

Την δεκαετία του 1980, ο Δρ. Χιντέο Κοντάμα του δημοσίου ινστιτούτου βιομηχανικής έρευνας στην Ιαπωνία στην πόλη Ναγκόνια ανέφερε ότι για την κατασκευή τρισδιάστατων μοντέλων, μια καλή εφαρμογή ήταν ο χωρισμός του μοντέλου σε στρώσεις και η κατασκευή ενός στρώματος μετά το άλλο (layer by layer), το οποίο έπειτα ονόμασε ταχεία προτυποποίηση (rapid prototyping). Έτσι

εμφανίστηκαν οι πρώτες ιδέες για την υλοποίηση των θεωριών τρισδιάστατης εκτύπωσης με συνοδοιπόρο στην ανάπτυξη τους τις τεχνικές υλοποίησης. Μια από αυτές ήταν η Στερεολιθογραφία το 1983, η οποία αναπτύχθηκε και εφαρμόστηκε και χρησιμοποιήθηκε από τον Τσαρλς Χόλλ. Αυτή η τεχνική χρησιμοποιεί λέιζερ πολύ χαμηλής ενέργειας με αποτέλεσμα να φέρει σε στερεή μορφή το υλικό, έτσι στερεοποιείται γιατί επηρεάζεται από το φως, έτσι ώστε να πολυμεριστεί.

Ο Τσαρλς Χολλ το 1986, δημιούργησε τη δικιά του 3Dsystems εταιρία που ασχολείται με την έρευνα πάνω στον τομέα των τρισδιάστατων εκτυπωτών στην οποία μέχρι και σήμερα βρίσκεται στην θέση του αντιπρόεδρου και προϊσταμένου τεχνολογίας.

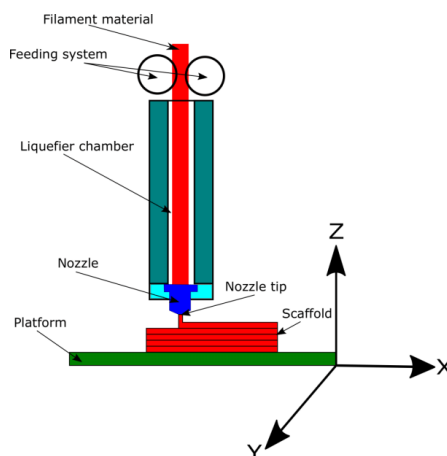


Εικ.2.8 Τεχνολογία εκτύπωσης SLA

Μια παρόμοια τεχνική εμφανίστηκε από τον Κάρλ Ντεκάρτ το 1987, που ονομάζεται Selective Laser Sintering (SLS). Η τεχνική (SLS) χρησιμοποιεί ισχυρά λέιζερ διοξειδίου του άνθρακα για να ενώσει ψιλή σκόνη από διάφορα υλικά σε μια τρισδιάστατη σταθερή κατασκευή. Επίσης την ίδια χρονιά το 1987, εμφανίστηκε και η τεχνική Fused Deposition Modeling (FDM) από τον Σκότ Κράμπ.

Σε αυτήν την πτυχιακή εργασία θα ασχοληθούμε με αυτό το είδος τρισδιάστατης εκτύπωσης η οποία έχει την εξής λογική. Το πολυμερές πλαστικό τροφοδοτείται σε ένα θερμαινόμενο αισθητήρα ο οποίος με την σειρά του διοχετεύει το πλαστικό και το εξωθεί, με αποτέλεσμα στο τέλος της διαδικασίας εκτύπωσης το πλαστικό να έχει ολοκληρωθεί σαν ομοίωμα και να είναι έτοιμο για

χρήση.



Εικ.2.9 Τεχνολογία εκτύπωσης FDM

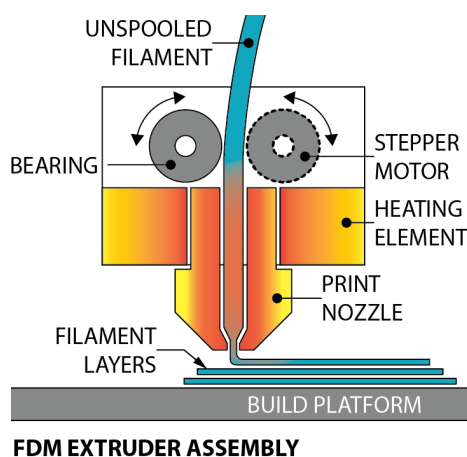
Αρκετές τεχνικές εμφανίστηκαν από το 1990 μέχρι και το 2000 κάποιες από αυτές είναι : laminated object manufacturing, three dimensional printing κ.α. Έτσι αναπτύχθηκε η βιομηχανική ανάπτυξη και θεωρία των συστημάτων αυτών, οι οποίες χωρίστηκαν σε δύο κατηγορίες, δίνοντας έμφαση σε διαφορετικό σκοπό προσαρμοσμένα στις ανάγκες της κατασκευής. Η μια κατηγορία ήταν οι επιχειρήσεις με τα μηχανήματα υψηλής ευκρίνειας με περίπλοκες κατασκευές. Η δεύτερη κατηγορία ήταν οι επιχειρήσεις με τα μηχανήματα στοχευμένα στην ταχεία προτυποποίηση. Όλα αυτά αφορούσαν ένα αγοραστικό κοινό το οποίο ήταν η βιομηχανία.

Το 2009 εμφανίστηκαν οι πρώτοι τρισδιάστατοι εκτυπωτές για εμπορική χρήση με σκοπό την καθημερινή χρήση καταναλωτών. Το project RepRap του πανεπιστημίου Bath στην Αγγλία ήταν από τους πρωτοπόρους, καθώς μπορούσε να εκτυπώσει τα περισσότερα κατασκευαστικά κομμάτια του το οποίο και το έκανε περιζήτητο. Έτσι με αυτόν τον τρόπο αναπτύχθηκε ραγδαία η κατασκευή εκτυπωτών 3D καθώς μειώθηκε το κόστος κατασκευής τους και συνεχίζει μέχρι και σήμερα.

ΚΕΦΑΛΑΙΟ 3ο

Αρχή λειτουργίας

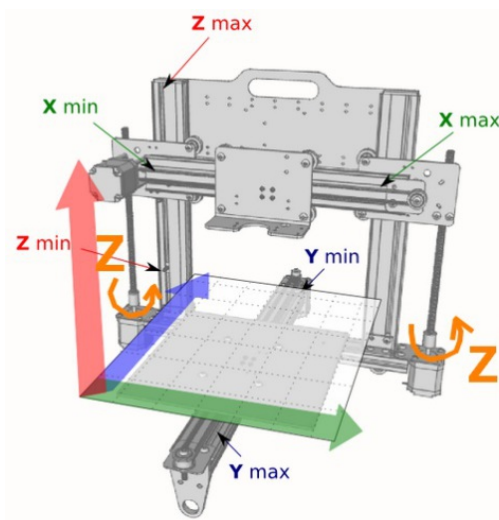
[8]Το υλικό τοποθετείτε και εφαρμόζεται στο σύστημα της κεφαλής που καθοδηγεί το υλικό μέσω ενός κινητήρα τραβώντας το υλικό στην θερμαινόμενη περιοχή για την εξαγωγή του. Πάνω στο σύστημα διοχέτευσης υπάρχει ένας ηλεκτροκινητήρας ο οποίος σπρώχνει το υλικό και βρίσκεται σε ξεχωριστό κομμάτι. Στο επόμενο βήμα το υλικό περνάει μέσα από το σύστημα διοχέτευσης με σκοπό την αύξηση της θερμοκρασίας στο σημείο της κεφαλής για την σχεδίαση και τοποθέτηση του υλικού στην βάση εκτύπωσης. Το σύστημα διοχέτευσης στο άκρο του ελέγχεται με τον αισθητήρα NTC 3950 thermistor 100K για τον έλεγχο της θερμοκρασίας στην θερμαινόμενη κεφαλή.



Εικ. 3 Αρχή λειτουργίας κεφαλής FDM εκτυπωτή

Η χρήση τεσσάρων κινητήρων επιτρέπει να ελέγχεται η θέση της κεφαλής. Ο κάθε άξονας ελέγχεται από δύο κινητήρες. Στον κάθετο άξονα z,z υπάρχουν δύο κινητήρες οι οποίοι κινούν τον οριζόντιο άξονα πάνω κάτω. Στον οριζόντιο άξονα υπάρχει ένα κινητήρας, πάνω στην κατασκευαστική γέφυρα που μετακινεί το θερμοευαίσθητο στον άξονα X. Επίσης στον οριζόντιο άξονα τοποθετείτε ένας ακόμα κινητήρας οποίος κινεί την βάση του εκτυπωτή στον άξονα Y. Με

αποτέλεσμα να έχουμε δύο κινητήρες για οριζόντια μετακίνηση και δύο για κάθετη κίνηση (X,Y,Z). Στο τέλος του κάθε άξονα για να ορίζουμε την αρχή των αξόνων (0,0,0) τοποθετούμε τερματικούς αισθητήρες.



Εικ.3 Άξονες X,Y & Z

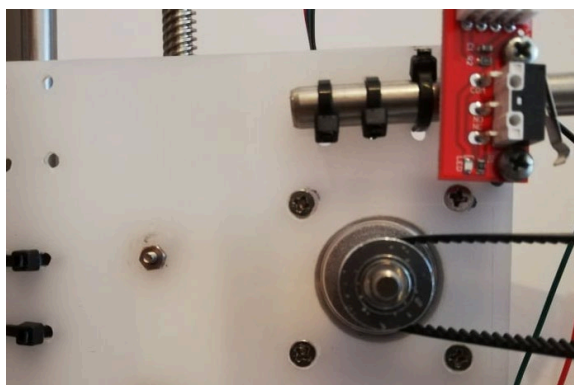
Οι αντιστάσεις που θερμαίνονται για να διατηρείται το πλαστικό σε μία σταθερή θερμοκρασία χωρίς να έχουμε απότομες μεταβολές βρίσκονται στην βάση της επιφάνειας εκτύπωσης. Με αυτό θα πετύχουμε την συστολή του υλικού με ομαλό τρόπο αποφεύγοντας έτσι τυχόν αστοχίες. Για να προστατεύσουμε την επιφάνεια εκτύπωσης τοποθετήσαμε μια γυάλινη επιφάνεια πάνω στην θερμαινόμενη πλάκα και για να πετύχουμε την σωστή επαφή του πλαστικού πάνω στην επιφάνεια εκτύπωσης . Για επιφάνεια εκτύπωσης επέλεξα την (Reprap A8/A6/A2 TRONXY P802M Heatbed) με διαστάσεις της επιφάνειας θέρμανσης 22x22cm. Η θερμαινόμενη επιφάνεια εκτύπωσης (Heatbed) τροφοδοτείται από την πλακέτα (Arduino) με επιλογή 12V ή 24V.

Για να κινηθούν οι άξονες X και Y τοποθετήθηκαν ιμάντες κίνησης για την μεταφορά του φορτίου, από την μια πλευρά στην άλλη, που με την σειρά τους συνδέονται με ένα γρανάζι στους δυο ηλεκτροκινητήρες. Για να κινηθεί η θερμαινόμενη κεφαλή στον άξονα Z τοποθετήθηκαν σπειρωτές ράβδους που συνδέονται απευθείας με τους κινητήρες με συνδέσμους κόμπλερ. Στην βάση της

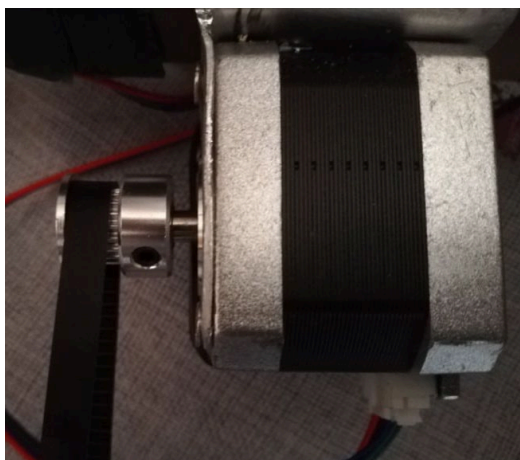
θερμαινόμενης κεφαλής τοποθετούνται παξιμάδια με την βοήθεια της οποίας περιστρέφεται η σπείρα αριστερά η δεξιά και ο άξονας ανεβαίνει η κατεβαίνει αντίστοιχα. Έτσι μετατρέπεται η περιστροφική κίνηση των κινητήρων του άξονα Z σε γραμμική.



Εικ.3 Σύνδεση κινητήρα Z με σπυρωτό άξονα



Εικ.3 Σύνδεση κινητήρα X με ιμάντα



Εικ.3 Σύνδεση κινητήρα Y με ιμάντα

Στο τέλος οι συνδέσεις όλων των περιφερειακών καταλήγουν στον μικροελεγκτή Arduino mega2560 ο οποίος ελέγχει την θερμοκρασία στην κεφαλή και

στην θερμαινόμενη βάση, παίρνει σήμα από τους αισθητήρες για να μην ξεπεράσει το σημείο εκτύπωσης αλλά και την προκαθορισμένη θερμοκρασία.

Στον μικρο-ελεγκτή τοποθετείται το πρόγραμμα ενεργειών για την επικοινωνία του λογισμικού που θα χρησιμοποιήσουμε με το κατασκευαστικό υλικό.

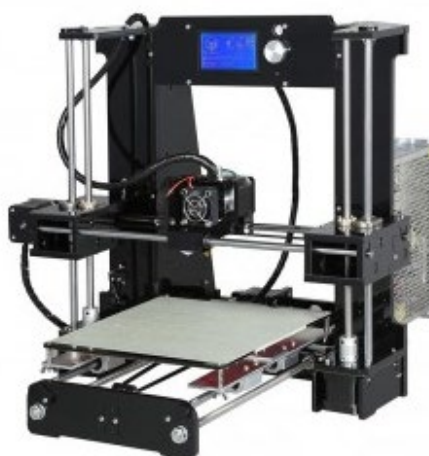
ΚΕΦΑΛΑΙΟ 4^ο

Τρόπος κατασκευής τρισδιάστατου εκτυπωτή

Το υλικό που χρησιμοποιήσα για να κατασκευάσω μικροαντικείμενα είναι το PLA (πολυγαλακτικό οξύ (C₃H₄O₂)_n) λόγω του ότι χρειάζονται χαμηλότερες θερμοκρασίες για την επεξεργασία του.

Ο τύπος εκτύπωσης που χρησιμοποιήσα ονομάζεται FDM/FFF (Fused Deposition Modeling/ Fused Filament Fabrication). Τα διάφορα είδη πλαστικού που θερμαίνονται και ρευστοποιούνται με την εκτύπωση αυτή είναι τα ABS, PLA, HIPS, PVA, Wood, Nylon, PETG.

Σαν πρότυπο κατασκευής του εκτυπωτή χρησιμοποιήθηκε το μοντέλο Real 3D Printer A6 Prusa I3.



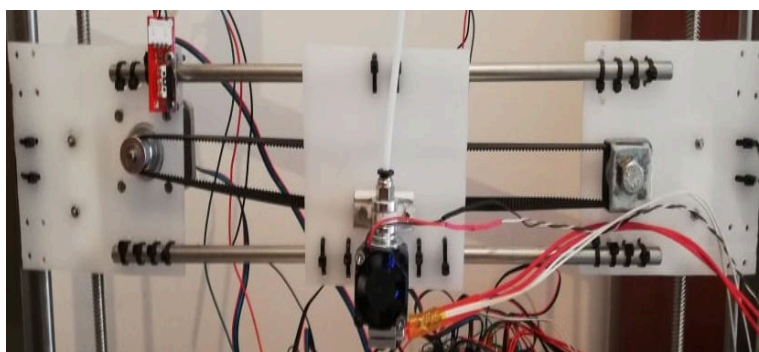
Εικ.4 Πρότυπο μοντέλο (A6 Prusa I3 Pro)

Για την κατασκευή του δικού μου 3D εκτυπωτή χρησιμοποίησα πληροφορίες από τα βιβλία «Practical 3D Printers: The Science and Art of 3D Printing (2012)» και «Designing Reality: How to Survive and Thrive in the Third Digital Revolution (2017)». Τα υλικά του εκτυπωτή τα προμηθεύτηκα από την ηλεκτρονική πλατφόρμα Ebay και Bangood. Παρακάτω αναφέρω κάθε εξάρτημα ξεχωριστά, την χρησιμότητα του και τον τρόπο λειτουργίας του στον εκτυπωτή.

4.1 Άξονας X

Στην παρακάτω εικόνα παρατηρούμε τον άξονα X ο οποίος αποτελείται από τα εξής εξαρτήματα :

- Θερμική έξοδος (Κεφαλή)
- Σπειρωτοί άξονες
- Κινητήρας άξονας X με ιμάντα
- Ατσάλινες λείες ράβδοι
- Τερματικός διακόπτης



Εικ.4.1 Τα στοιχεία που αποτελούν τον άξονα X

Οι ατσάλινες λείες ράβδοι χρησιμοποιούνται για την ομαλή και σταθερή κίνηση της κεφαλής. Επίσης με αυτό τον τρόπο ενώνουμε τα δύο άκρα του άξονα X με σκοπό την πλήρη μετακίνηση της κεφαλής στην βάση εκτύπωσης τόσο στον άξονα Z όσο και στον X. Η ομαλή κίνηση πραγματοποιείται με 3 γραμμικά ρουλεμάν κατά τον άξονα X και 2 κατά τον άξονα Z. Στην μια άκρη του άξονα X τοποθετούμε τον κινητήρα για την μετακίνηση της κεφαλής αριστερά-δεξιά πάνω στον άξονα X. Από την άλλη άκρη της κατασκευής τοποθετήθηκε ένα ρουλεμάν για την κίνηση της κεφαλής μέσω του ιμάντα.



Εικ.4.1 Ρουλεμάν άξονα X

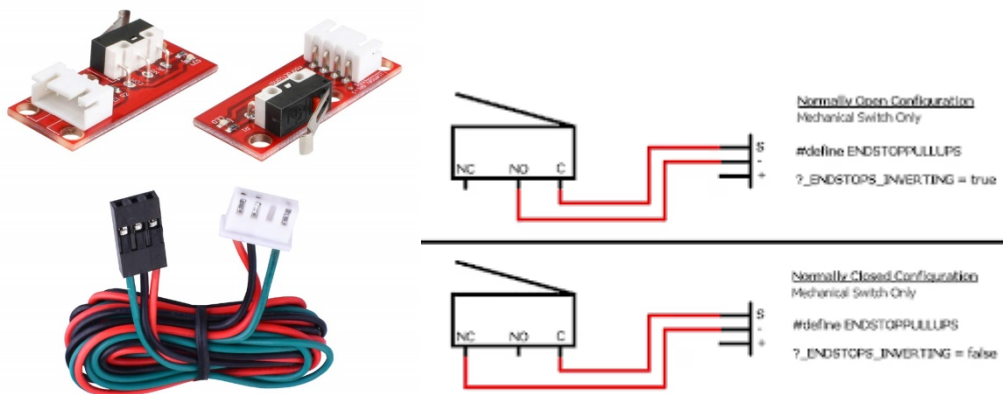
Πάνω στην κατασκευή του άξονα X χρησιμοποιήθηκαν δύο τετράγωνα κατασκευές μήκος 3cm x 0.5cm για την στήριξη του άξονα πάνω στις σπειρωτές ράβδους του άξονα Z. Οι τετράγωνα κατασκευές κατασκευάστηκαν με αλουμίνιο και τοποθετήθηκαν με βίδες πάνω στην κατασκευή του άξονα X.



Εικ.4.1 Κατασκευή κίνησης στον άξονα Z

4.1.1 Τερματικός Διακόπτης

Στον άξονα X έχουμε ένα τερματικό διακόπτη με τον οποίο μπορούμε να ορίσουμε τα όρια της κίνησης στους άξονες ανάλογα με τα βήματα του κινητήρα. Σε πρώτη φάση η τοποθέτηση του τερματικού διακόπτη μας επιτρέπει να ορίσουμε την αρχή του κάθε άξονα. Με αυτόν τον τρόπο και με την ανάλογη ταχύτητα που έχουμε ορίσει από τον κώδικα Marlin τα βήματα του κινητήρα είναι μετρήσιμα, βρίσκουμε τα βήματα στο τέλος του άξονα και ορίζουμε το μέγεθος του κάθε άξονα με πλήρη ασφάλεια για τα μοτέρ και για τυχόν αστοχίες. Ο διακόπτης έχει τρεις επαφές μια normally open (NO), μια normally closed (NC) και μια επαφή κοινή (COM). Εμείς χρησιμοποιούμε το διακόπτη και συνδέουμε τις επαφές σύμφωνα με το σχέδιο και τις προδιαγραφές της ηλεκτρονικής πλακέτας RAMPS, μια επαφή VCC+, μια GND και μια SIGNALη οποία είναι το σήμα που δίνει ο διακόπτης όταν πατηθεί.

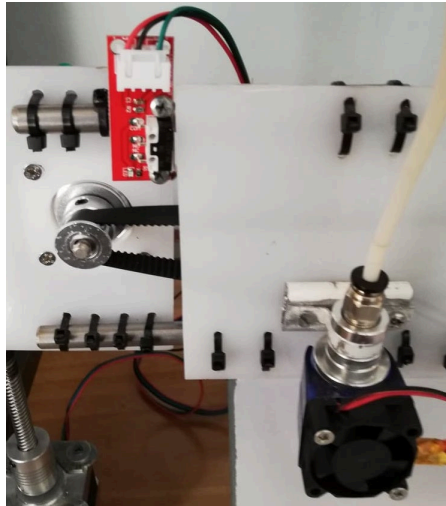


Εικ.4.1.1 Τερματικοί διακόπτες

Συνδεσμολογία καλωδίων

- Κόκκινο καλώδιο VCC (στο +)
- Μαύρο καλώδιο GND (στο -)
- Πράσινο καλώδιο SIGNAL (στο S)

Ο διακόπτης τοποθετήθηκε πάνω στον άξονα X με δύο βίδες στήριξης αλλά με την προϋπόθεση και την σιγουριά της σωστής επαφής και ανταπόκρισης του διακόπτη με την κεφαλή.



Εικ.4.1.1 Τερματικός διακόπτης άξονα X

4.1.2 Γρανάζια Χρονισμού και ιμάντας

Με τα γρανάζια χρονισμού πετυχαίνουμε έναν οδοντωτό τρόπο που μας βοηθάει να εκμεταλλευτούμε την κίνηση από τον άξονα του κινητήρα. Στην άκρη του κάθε ιμάντα δημιουργήθηκαν τρύπες για την ένωση τους και σταθεροποίηση τους πάνω στο σασί του κάθε άξονα με βίδες. Στην εσωτερική πλευρά ο ιμάντας έχει οδοντωτά στοιχεία για να γίνετε η συμπλοκή του με τα γρανάζια χρονισμού. Με αυτόν τον τρόπο πετυχαίνουμε την σταθερή, ομαλή και ελεγχόμενη κίνηση.

Γρανάζια Χρονισμού

Αριθμός δοντιών	16
Πλάτος δοντιών	7.5mm
Κενό δοντιών	2mm
Διάμετρος σπής	5mm
Βίδα	M3
Φλάντζα	Διπλή
Υλικό	Αλουμίνιο

Ιμάντας Χρονισμού

Πλάτος	6mm
Απόσταση δοντιών	2mm

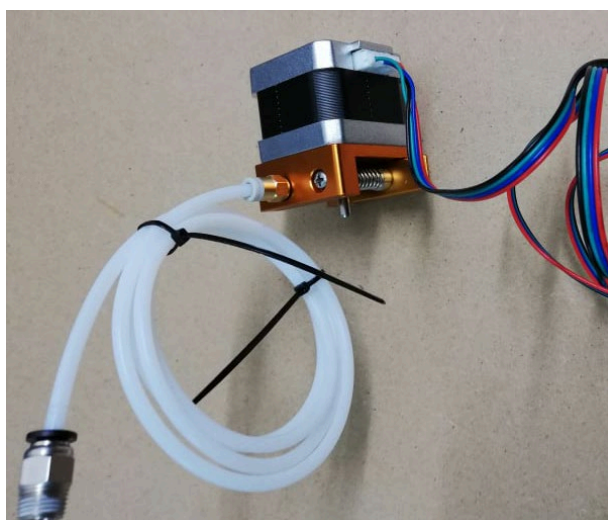
Χρώμα	Μαύρο
Υλικό	Καουτσούκ



Εικ.4.1.2 Ιμάντας και γρανάζια χρονισμού

4.1.3 Σύστημα εξώθησης υλικού

[3] Το Σύστημα εξώθησης υλικού είναι από τα πιο σημαντικά κομμάτια για την σωστή λειτουργία ενός 3D εκτυπωτή. Με την συναρμολόγηση του συστήματος εξώθησης παρατηρούμε ότι υπάρχουν τρία τμήματα. Το πρώτο τμήμα είναι το τμήμα του κινητήρα το οποίο αποτελεί και βάση στήριξης για τα παρακάτω. Το δεύτερο τμήμα περιλαμβάνει την μεταφορά του υλικού με σταθερό ρυθμό που ρυθμίζει ο χρήστης για την διοχέτευση του προς το θερμαινόμενο μέρος της κεφαλής. Η ομαλή μεταφορά του υλικού γίνεται μέσω ενός ρουλεμάν σε συνδυασμό με ένα γρανάζι. Το γρανάζι με την σωστή κατευθυνόμενη κίνηση γαντζώνει το υλικό και το ωθεί να περάσει στον πλαστικό σωλήνα διοχέτευσης. Το ρουλεμάν πιέζει το υλικό προς το γρανάζι να την καλύτερη πρόσφυση του υλικού με αποτέλεσμα να περνάει το υλικό με ομαλή κίνηση ανάμεσα από το ρουλεμάν και το γρανάζι. Το τρίτο τμήμα βρίσκεται στο πάνω μέρος της κεφαλής το οποίο συνδέεται με ένα σύνδεσμο στην υποδοχή του με σπείρωμα, πάνω σε αυτόν τον σύνδεσμο προσαρμόζεται ένας πλαστικός σωλήνας. Ο σωλήνας δρομολογεί το πλαστικό υλικό το οποίο καταλήγει στην κεφαλή με ομαλή φορά και κίνηση για την αποφυγή αλλαγής πορείας του υλικού.



Εικ.4.1.3 Σύστημα εξώθησης υλικού

4.1.4 Βάση κεφαλής υλικού

Το Τμήμα της θερμαινόμενης κεφαλής υλικού είναι η θερμαινόμενη περιοχή του συνολικού συστήματος με αποτέλεσμα να το καθιστά ένα πολύ σημαντικό κομμάτι του συστήματος ενός 3D εκτυπωτή. Σε αυτό το σημείο το πλαστικό (PLA) νήμα εισέρχεται μέσα από την κεφαλή και θερμαίνεται σε θερμοκρασία που χρειάζεται για φτάσει στην κατάσταση της ημίρρευστης μορφής και τέλος να βγει από το ακροφύσιο για χρήση πάνω στην βάση εκτύπωσης. Στο σημείο εξώθησης του νήματος υπάρχει μια θερμαινόμενη αντίσταση η οποία τροφοδοτείται από την πλακέτα και έπειτα από εξωτερικό τροφοδοτικό. Οι λεπτομέρειες για τον προγραμματισμό της διαδικασίας θέρμανσης της κεφαλής και εξώθησης του υλικού με σταθερά και ελεγχόμενα βήματα από τον βηματικό κινητήρα θα αναφερθούν στα κεφάλαια προγραμματισμού και βηματικών κινητήρων.



Εικ.4.1.4 Σύστημα κεφαλής Υλικού

4.1.5 Θερμαινόμενη Αντίσταση Φυσιγγίου

Χρησιμοποιούμε τη θερμαινόμενη αντίσταση φυσιγγίου (κυλινδρικού τύπου). Η αντίσταση τοποθετείτε στην ειδική τρύπα και θερμαίνει τη βάση της κεφαλής, με την σειρά της θερμαίνει το ακροφύσιο και πετυχαίνουμε το επιθυμητό αποτέλεσμα.



Εικ.4.1.5 Θερμαινόμενη αντίσταση φυσιγγίου

Στο εσωτερικό της αντίστασης βρίσκεται μια ηλεκτρική αντίσταση η οποία διαρρέεται από ρεύμα και θερμαίνεται, γύρω από την αντίσταση υπάρχει ένα κεραμικό υλικό το οποίο σαν ηλεκτρικός μονωτής έχει πολύ καλή θερμική αγωγιμότητα φέρνοντας το έτσι σε επαφή με την επιφάνεια της κεφαλής χωρίς να έχουμε διαρροές ρεύματος. Εξωτερικά καλύπτεται με ανοξείδωτο ατσάλι και τοποθετείτε σε μια μεταλλική βάση μαζί με το ακροφύσιο.

Στοιχεία Θερμαινόμενης Αντίστασης Φυσιγγίου

Τάση τροφοδοσίας	12V/24V
Ισχύς	30W/40W
Διαστάσεις	20x6mm/ 0.79x.024"
Μήκος καλωδίου	100cm/ 39.37"
Τύπος αντίστασης	Κυλινδρικού τύπου
Υλικό θερμαντήρα	Ανοξειδωτο ατσάλι

4.1.6 Αισθητήρας Θερμοκρασίας

[9][7]Ο αισθητήρας θερμοκρασίας αποτελεί κομμάτι της βάσης κεφαλής καθώς μας βοηθάει στον έλεγχο της θερμοκρασίας κατά την διάρκεια εκτύπωσης. Ο αισθητήρας θερμοκρασίας είναι στην πράξη μια αντίσταση Thermistor οι οποίες κατασκευαστικά παράγονται από πολυμερή ή κεραμικά υλικά. Χωρίζονται σε δύο βασικές κατηγορίες τα PTC που έχουν θετικό συντελεστή θερμότητας (positive thermal coefficient), και NTC με αρνητικό συντελεστή (negative thermal coefficient). Στην μία περίπτωση (PTC) η αντίσταση αυξάνεται καθώς αυξάνεται η θερμοκρασία και στην άλλη περίπτωση (NTC) η αντίσταση μειώνεται όσο αυξάνεται η θερμοκρασία. Ο αισθητήρας συνδέεται κατευθείαν πάνω στην πλακέτα στην θέση που μας ορίζει ο κατασκευαστής.



Εικ.4.1.6 Αισθητήρας Θερμοκρασίας

4.1.7 Σύστημα Ψύξης

Πάνω στην κεφαλή υλικού ένα από τα τελευταία συστήματα είναι το σύστημα ψύξης. Είναι πολύ σημαντικό σε αυτό το στάδιο να αναφέρουμε το σύστημα ψύξης καθώς είναι ένα πολύ βασικό μέρος της λειτουργίας του εκτυπωτή 3D. Οι θερμοκρασίες που χρησιμοποιούνται είναι μεγάλες (185C – 210C) με σκοπό να λειώσει στην σωστή θερμοκρασία το νήμα PLA που περνά μέσα από την κεφαλή για την εκτύπωση του σχεδίου που έχει προγραμματιστεί.

Στο σημείο έχει τοποθετηθεί μία ψήκτρα από αλουμίνιο λόγω της καλής θερμικής αγωγιμότητας της και πάνω από την ψήκτρα είναι τοποθετημένος επίσης ένας ανεμιστήρας ανάλογου μεγέθους. Κατά αυτόν τον τρόπο γίνεται η αποβολή της θερμότητας μέσα από την ψήκτρα η οποία ψύχεται συνεχώς από τον ανεμιστήρα μειώνοντας έτσι την θερμότητα του νήματος στα σημεία που δεν θα έπρεπε να θερμανθεί, με αποτέλεσμα την ελεγχόμενη και συνεχή θερμοκρασία στο σημείο για το σωστό εκτυπωτικό αποτέλεσμα.

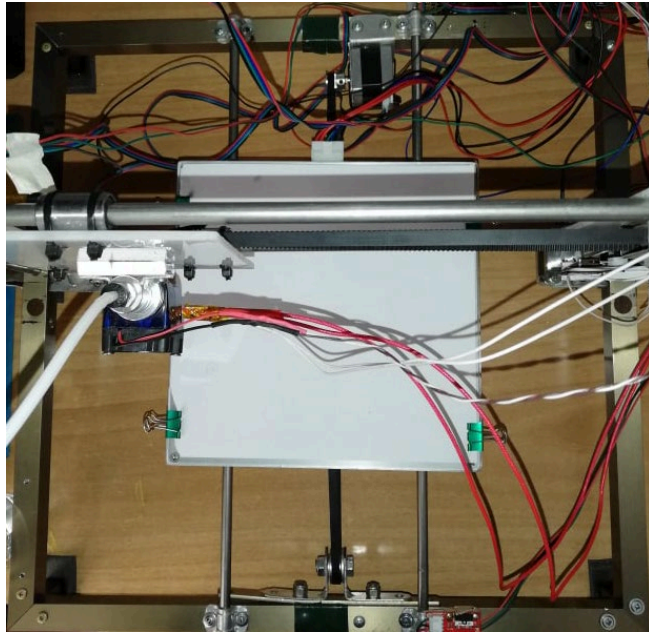


Εικ.4.1.7 Σύστημα Ψύξης

4.2 Άξονας Y

Στην παρακάτω εικόνα παρατηρούμε τον άξονα Y ο οποίος αποτελείται από τα εξής εξαρτήματα :

- Βάση εκτύπωσης
- Κινητήρας άξονας Y με ιμάντα
- Ατσάλινες λείες ράβδοι
- Τερματικός διακόπτης



Εικ.4.2 Τα στοιχεία που αποτελούν τον άξονα Y

Η δεύτερη διάσταση της τρισδιάστατης εκτύπωσης είναι ο άξονας Y, η λειτουργία του δεν διαφέρει σε σχέση με τον άξονα X. Η διαφορά τους βρίσκεται στην κατεύθυνση της κίνησης η οποία είναι αντίθετη προς το άξονα X. Για την δημιουργία της βάσης τοποθετήθηκαν 4 ράβδοι αλουμινίου και πάνω τους με τέσσερις βίδες τοποθετήθηκε η θερμική πλάκα εκτύπωσης για την εκτύπωση των σχεδίων.

Στην συνέχεια τοποθετήθηκε ο κινητήρας κίνησης του άξονα Y στην μέση της κατασκευής και στην άλλη το ρουλεμάν κίνησης της βάσης. Μεταξύ τους συνδέθηκαν με τον ιμάντα βηματισμού. Για την ομαλή και σταθερή κίνηση της βάσης από τον ιμάντα, η βάση με δύο γραμμικά ρουλεμάν τοποθετήθηκε πάνω σε δύο λείες ράβδους.

4.2.1 Βάση Εκτύπωσης

[10][12]Για την δημιουργία την βάσης εκτύπωσης κατασκευάστηκε μια τετράγωνη βάση από αλουμίνιο στην οποία τοποθετήθηκε η θερμαινόμενη πλάκα εκτύπωσης Reprap A8/A6/A2 TRONXY P802M 12 V με μέγεθος 220x220x3mm. Κάτω από την κατασκευή της βάσης τοποθετήθηκαν 4 γραμμικά ρουλεμάν για την κίνηση της βάσης πάνω σε δύο λείες ράβδους κίνησης.



Εικ.4.2.1 Γραμμικά ρουλεμάν κίνησης

Πάνω στην θερμαινόμενη βάση τοποθετήθηκε μια επιφάνεια γυαλιού 220x220x4mm για την αποφυγή αποτύπωσης των σχεδίων στην επιφάνεια της θερμαινόμενης βάσης απευθείας. Με αυτόν τον τρόπο προστατεύουμε την θερμαινόμενη επιφάνεια της βάσης και το υλικό αποτυπώνεται καλύτερα στην επιφάνεια του γυαλιού. Η θερμαινόμενη βάση σταθεροποιήθηκε στην αυτοσχέδια βάση αλουμινίου με 4 βίδες σταθεροποίησης.

Τεχνικά Χαρακτηρίστηκα

<i>Διαστάσεις πλακέτας</i>	<i>220mmx220mm</i>
<i>Διαστάσεις θέρμανσης</i>	<i>200x200mm</i>
<i>Χαρακτηριστικά τυπωμένων αγωγών</i>	<i>2 στρώσεις 35μm χαλκού</i>
<i>Ρεύμα I</i>	<i>9.8 A -8.8 A</i>
<i>Ισχύς στα 12V – 24 V</i>	<i>120 W</i>
<i>Μάκρος καλωδίου</i>	<i>87.5 cm</i>

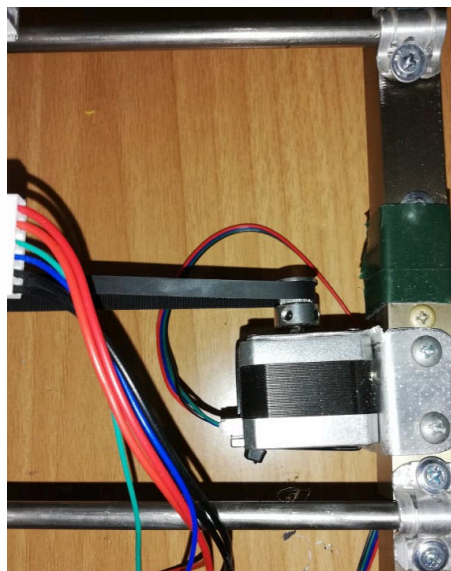


Εικ. 26 Θερμαινόμενη βάση εκτύπωσης

4.2.2 Κινητήρας άξονα Y με ιμάντα

Ο κινητήρας του άξονα Y με ιμάντα τοποθετείτε στο κέντρο της κατασκευής με αποτέλεσμα να μην υπάρχουν απώλειες κατά την μετακίνηση της βάσης.

Ο ιμάντας, ο κινητήρας και οι λείες ράβδοι είναι ακριβώς ίδια με την εφαρμογή στον άξονα X, με διαφορά το μέγεθος των λείων ράβδων να είναι μεγαλύτερο στην εφαρμογή του άξονα Y λόγω κατασκευής.



Εικ.4.2.2 Κινητήρας άξονα Y με ιμάντα

Από την μία πλευρά του άξονα Y τοποθετείτε ο κινητήρας με τα γρανάζια

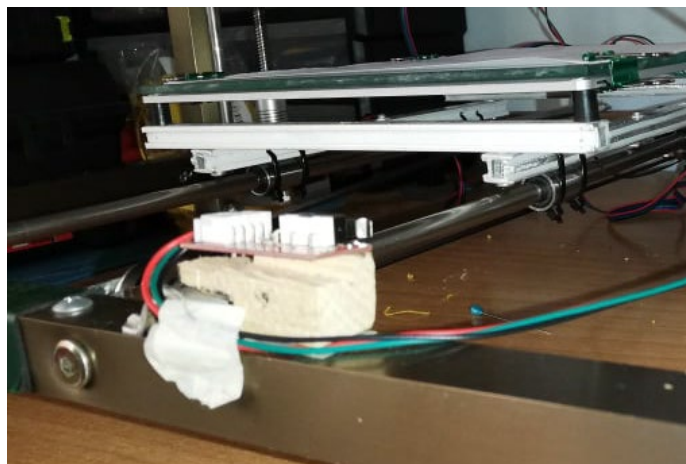
χρονισμού και από την άλλη πλευρά του άξονα Y τοποθετείτε ένα ρουλεμάν για την ομαλή κίνηση του μιάνα και αντίστοιχα της βάσης του εκτυπωτή. Ο κινητήρας τοποθετείτε με μια αυτοσχέδια κατασκευή αλουμινίου πάνω στην κατασκευή και το ρουλεμάν στο τέλος του μιάνα αντίστοιχα.



Εικ.4.2.2 Ρουλεμάν άξονα Y

4.2.3 Τερματικός Διακόπτης

Στον άξονα Y τοποθετούμε ένα τερματικό διακόπτη στην αρχή του άξονα με τον οποίο μπορούμε να ορίσουμε τα όρια της κίνησης . Με αυτόν τον τρόπο και με την ανάλογη ταχύτητα που έχουμε ορίσει από τον κώδικα Marlin όπως και στον άξονα X η κίνηση γίνεται ομαλά χωρίς αστοχίες. Ο τερματικός διακόπτης τοποθετείται πάνω στην κατασκευή με μια αυτοσχέδια βάση από ξύλο και σταθεροποιείται στην θέση που θέλουμε να ορίσουμε την αρχή του άξονα Y.



Εικ.4.2.3 Τερματικός διακόπτης άξονα Y

4.3 Άξονας Z

Στην παρακάτω εικόνα παρατηρούμε τον άξονα Z ο οποίος αποτελείται από τα εξής εξαρτήματα :

- Σπειρωτοί ράβδοι
- Κινητήρες άξονα Z
- Ατσάλινες λείες ράβδοι
- Τερματικός διακόπτης

Κατά την Τρίτη και τελευταία διάσταση, ο άξονας Z αναλαμβάνει την δημιουργία του ύψους. Για την δημιουργία του άξονα Z τοποθετήθηκαν δύο σπειρωτοί άξονες στην μέση της κατασκευής για την βηματική κίνηση της κεφαλής στον άξονα Z χωρίς την δυνατότητα κάποιου μιάντα. Ταυτόχρονα τοποθετήθηκαν και δύο λείες ράβδοι για την ομαλή κίνηση της κεφαλής και για την σταθεροποίηση τους πάνω στις σπειρωτές ράβδους.

Οι σπειρωτοί ράβδοι πατάνε πάνω στους δύο κινητήρες οι οποίοι τοποθετήθηκαν στο κέντρο της κατασκευής και συνδέονται μεταξύ τους με συνδέσμους κόμπλερ. Για την σύνδεση του άξονα Z με τον άξονα X δημιουργήθηκαν δύο αυτοσχέδιες βάσεις στήριξης σπυρωτών ράβδων με ορειχάλκινα παξιμάδια που αναλαμβάνουν το έργο της σύνδεσης των αξόνων με τις σπειρωτές βάσεις κίνησης.



Εικ.4.3 Βάση στήριξης σπυρωτών ράβδων

4.3.1 Σπειρωτοί ράβδοι



Εικ.4.3.1 Σπειρωτοί ράβδοι 8mm

Οι σπειρωτοί ράβδοι που χρησιμοποιήθηκαν είναι πάχους 8mm και ύψος 50cm. Τοποθετήθηκαν στον άξονα Z με συνδέσεις κόμπλερ για την συνδεσμολογία των αξόνων με τους κινητήρες.



Εικ.4.3.1 Σύνδεσμος κόμπλερ

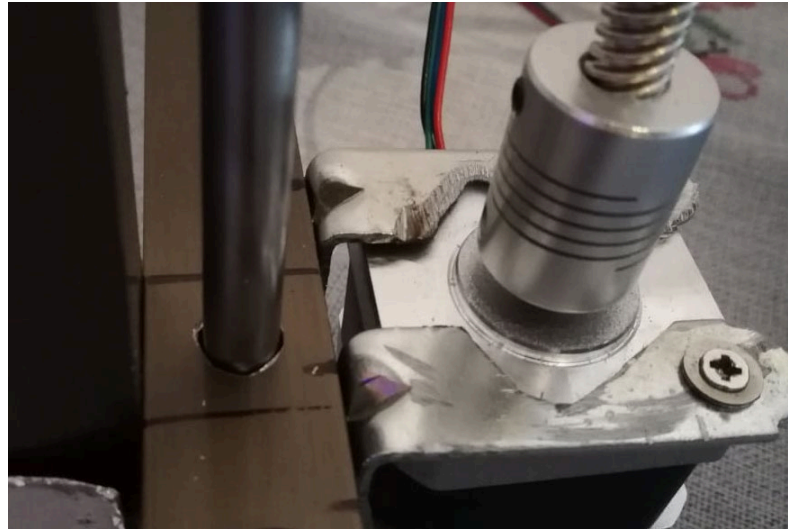
Για την ομαλή κίνηση του άξονα X πάνω στον άξονα Z δημιουργήθηκαν βάσεις στήριξης σπειρωτών ράβδων με ορειχάλκινα παξιμάδια. Κατά την εφαρμογή των ράβδων για την ενσωμάτωση τους, πραγματοποιήθηκαν αυτοσχέδιες κατασκευές στους κινητήρες και στις εφαρμογές των ράβδων στην επιφάνεια της κατασκευής.

4.3.2 Κινητήρες άξονα Z

Οι κινητήρες του άξονα Z τοποθετήθηκαν στο κέντρο της κατασκευής. Ο ένα δεξιά από την μία πλευρά και άλλος από την αντίθετη.

Ο κινητήρας με την εφαρμογή των συνδέσμων κόμπλερ κινεί την σπειρωτή

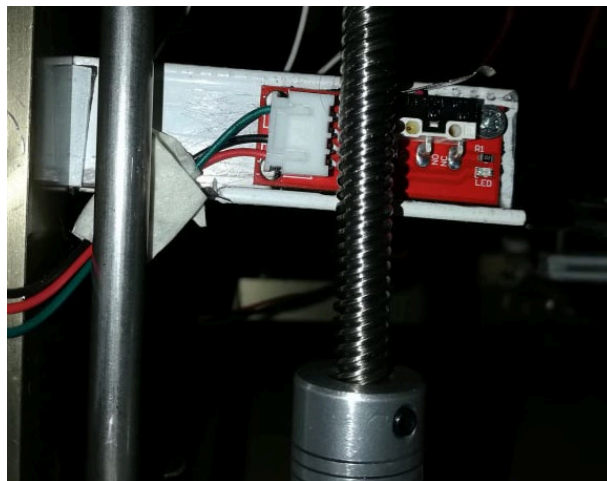
ράβδο η οποία ενώνεται με τον άξονα X με την βάση στήριξης σπειρωτών ράβδων. Έτσι και από τις δύο πλευρές με την βοήθεια των κινητήρων κινούνται στον άξονα Z ταυτόχρονα οι δύο σπειρωτοί ράβδοι. Για την σταθεροποίηση των κινητήρων χρησιμοποιήθηκαν δύο σε κάθε πλευρά μεταλλικές γωνίες.



Εικ.4.3.2 Κινητήρας άξονα Z

4.3.3 Τερματικός Διακόπτης

Στον άξονα Z τοποθετούμε ένα τερματικό διακόπτη κοντά στην βάση εκτύπωσης δηλαδή στην αρχή του άξονα με τον οποίο μπορούμε να ορίσουμε τα όρια της κίνησης στο ύψος. Κατά αυτόν τον τρόπο και όπως στον άξονα X έχουμε ορίσει από τον κώδικα Marlin την βηματική κίνηση ώστε η κίνηση γίνεται ομαλά χωρίς αστοχίες και με την σωστή αναλογία.



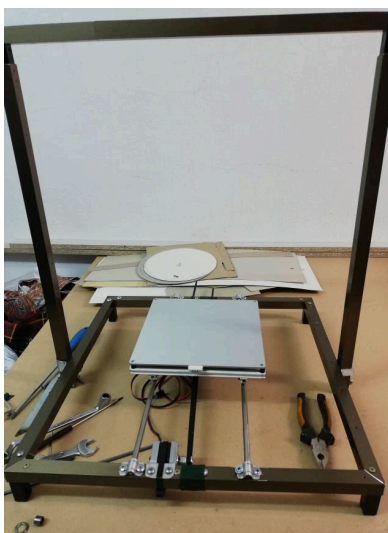
Εικ.4.3.3 Τερματικός διακόπτης άξονα Z

Ο τερματικός διακόπτης τοποθετείται πάνω στην κατασκευή με μια αυτοσχέδια βάση από αλουμίνιο και σταθεροποιείται στην θέση που θέλουμε στο ύψος της βάσης ώστε να ορίσουμε την αρχή του άξονα Z.

4.4 Σκελετός Κατασκευής

Ο σκελετός κατασκευής πραγματοποιήθηκε από διάφορα υλικά όπως το αλουμίνιο, ξύλο και πλαστικό. Η βάση και τα κυρίως μέρη του υλοποιήθηκαν από κομμάτια αλουμινίου τα οποία κόπηκαν σε ανάλογο μέγεθος για την συναρμολόγηση τους. Μία σύνδεση του τερματικού διακόπτη και τέσσερις εσωτερικές συνδέσεις υλοποιήθηκαν από κομμάτια ξύλου τροχισμένα για την σωστή εφαρμογή τους πάνω στην είδη υπάρχουσα κατασκευή. Το ύψος της κατασκευής πραγματοποιήθηκε με τα ίδια υλικά αλουμινίου που χρησιμοποιήθηκαν και στην κύρια βάση.

Κατασκευαστικά επιλέχθηκε το υλικό του αλουμινίου καθώς το αλουμίνιο είναι στιβαρό υλικό με αρκετή αντοχή σε κραδασμούς και θερμοκρασιακές αλλαγές. Επίσης μπορούμε να βρούμε σε προσιτές τιμές το υλικό του ξύλου στην αγορά παρόλα αυτά επιλέχθηκε για λόγους προσωπικής αισθητικής.



Εικ.4.4 Σκελετός κατασκευής

Οι διαστάσεις του αλουμινίου είναι 2x2cm και κόπηκαν σε 7 κομμάτια, από τα οποία τα τέσσερα βρίσκονται στην βάση της κατασκευής και τα υπόλοιπα τρία στο ύψος. Τα κομμάτια αλουμινίου εσωτερικά ενισχύθηκαν με κομμάτια ξύλου για την καλύτερη σταθεροποίηση τους και συνδέθηκαν μεταξύ τους με τέσσερις βίδες το κομμάτι. Η διαδικασία πραγματοποιήθηκε σε ειδικό εργαστηριακό χώρο για την ασφαλή υλοποίηση της πτυχιακής εργασίας.

Τέλος για την ομαλή επαφή της κατασκευής με την επιφάνεια στήριξης τοποθετήθηκαν τέσσερα ποδαράκια από πλαστικό καουτσούκ με ενισχυμένο σφουγγάρι για την αποφυγή χτυπογενών θορύβων και απωλειών δονήσεων ανάμεσα στα δύο υλικά.

Διαστάσεις κατασκευής

<i>Διαστάσεις σκελετού βάσης</i>	<i>450x450mm</i>
<i>Διαστάσεις βάσης</i>	<i>220x220mm</i>
<i>Διαστάσεις σκελετού ύψους</i>	<i>500mm (x2) – 450mm</i>

4.5 Πλαστικό νήμα (PLA)

[5][4] Κατά την υλοποίηση τρισδιάστατων μοντέλων χρησιμοποιήθηκε το υλικό πλαστικό PLA (πολυγαλακτικό οξύ). Το πλαστικό PLA έχει την ιδιότητα της βιοδιάσπασης καθώς σαν πολυμερές πλαστικό που η πρώτη ύλη του είναι το άμυλο, το οποίο εξάγεται από φυτά (καλαμπόκι, ζαχαροκάλαμο). Κατά αυτήν την σύσταση πετυχαίνουμε την βιοδιάσπαση του πλαστικού PLA σε περίπου 15 χρόνια πολύ πιο γρήγορη σε σχέση με τυπικά πλαστικά υλικά.

Το πλαστικό PLA κατασκευαστικά έχει ανοχή στον εφελκυσμό (η δυνατότητα του αντικειμένου να διατηρεί το σχήμα του σε πίεση) ίση με 56.6 MPa (Mega Pascal) και μέτρο ελαστικότητας (πίεσεις που μπορεί να δεχθεί το πλαστικό πριν αλλοιωθεί μόνιμα) ίσο με 3368 MPa. Οι δύο παράμετροι, του εφελκυσμού και του μέτρου ελαστικότητας καθιστούν το πλαστικό PLA ιδανικό για εφαρμογές που ασκούνται δυνάμεις σε αυτό.

Σε μία εκτύπωση ομοιωμάτων θα χρειαζόμασταν ένα υλικό το οποίο θα

είναι στερεό σε χαμηλές θερμοκρασίες και ευλύγιστο σε υψηλές θερμοκρασίες. Το PLA είναι ιδανικό για αυτές τις χρήσεις καθώς κατηγοριοποιείται στα θερμοπλαστικά υλικά.

4.6 Τροφοδοτικό

Το τροφοδοτικό που χρησιμοποιήθηκε για την τροφοδοσία του εκτυπωτή είναι το “FLSUN Universal Switching Power Supply”. Στην πράξη πρόκειται για έναν μετατροπέα εναλλασσόμενης τάσης σε συνεχή (AC/DC converter) με τάση εξόδου 12V. Το τροφοδοτικό έχει τρεις εξόδους 12V -20A -240W, από τις τρεις αυτές εξόδους χρησιμοποιήθηκαν οι δύο για την τροφοδότηση της κεφαλής εκτύπωσης καθώς και της θερμαινόμενης βάσης εκτύπωσης.

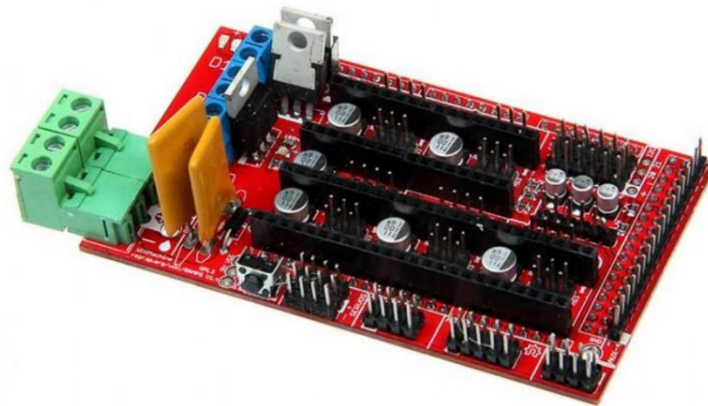
Τεχνικά χαρακτηριστικά τροφοδοτικού

Αριθμός μοντέλου κατασκευής	S-250-12
Τάση εισόδου	110/220V AC 50/60Hz
Τάση εξόδου	12V DC
Μέγιστο ρεύμα εξόδου	20A



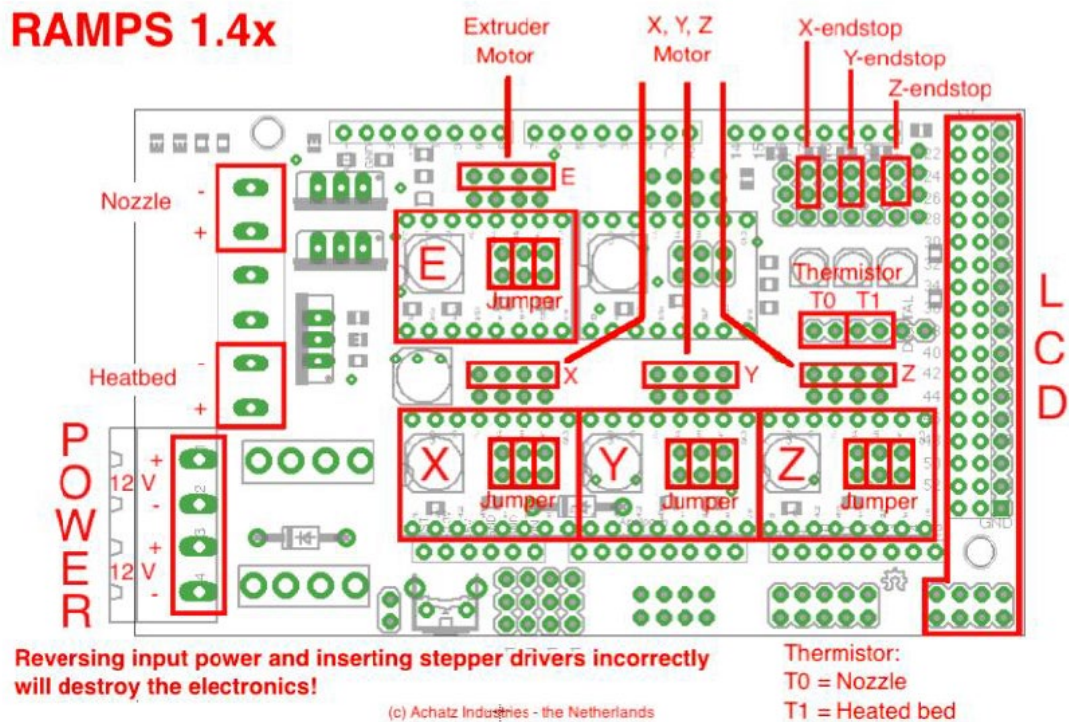
Εικ.4.6 Τροφοδοτικό FLSUN 240W

4.7 RAMPS (RepRap Arduino Mega Pololu Shield)



Εικ.4.7 RAMPS 1.4

[3][2] Η επέκταση του Hardware του Arduino που θα χρησιμοποιηθεί είναι το RAMPS 1.4. Το RAMPS1.4 SHIELD περιλαμβάνει 3 κυκλώματα για τους αισθητήρες θερμοκρασίας (thermistor), επαφές για 5 κινητήρες stepper καθώς και για τους drivers τους, υποδοχή ενσωμάτωσης οθόνης LCD, 3 εξόδους τάσης που ελέγχονται από MOSFET παλμοδότησης, κύκλωμα ελέγχου θερμοκρασίας για την επιφάνεια εκτύπωσης (HeatBed) με ασφάλεια 11A και 6 υποδοχές για τους 6 αισθητήρες θέσης (τερματικούς διακόπτες).



Εικ.4.7 Σύνδεση εξαρτημάτων RAMPS 1.4

Στην παραπάνω εικόνα βλέπουμε πώς συνδέθηκαν μερικά από τα εξαρτήματα που χρησιμοποιήθηκαν στην παρούσα πτυχιακή εργασία πάνω στην πλακέτα RAMPS 1.4. Αρχικά συνδέθηκαν τα καλώδια τροφοδοσίας με την έξοδο του τροφοδοτικού για την τροφοδοσία της πλακέτα με 12 V DC. Ο κύριος λόγος της εξωτερικής τροφοδοσίας είναι η απαιτούμενη ισχύς των κινητήρων την οποία δεν μπορεί να τροφοδοτήσει το Arduino. Στην ίδια πλευρά της πλακέτας βλέπουμε και τις συνδέσεις Nozzle και Heatbed, οι οποίες αντίστοιχα συνδέθηκαν με την θερμαινόμενη κεφαλή φυσιγγίου και με την θερμαινόμενη βάση εκτύπωσης. Στην συνέχεια τοποθετούμε τους Driver στα σημεία των Stepper Motors και την καλωδίωση τους ξεχωριστά (X, Y, Z, E0). Έπειτα συνδέθηκε και η καλωδίωση των thermistor της θερμαινόμενης κεφαλής και βάσης εκτύπωσης για τον έλεγχο και την σωστή λειτουργία τους κατά την διάρκεια λειτουργίας του εκτυπωτή. Τέλος οι τερματικοί διακόπτες θέσης δρομολογήθηκαν στις 3 εξόδους X-Y-Z Endstops ξεχωριστά για την οριοθέτηση των X-Y-Z αξόνων.

4.9 Βηματικός Κινητήρας (Stepper Motor)

[3]Οι βηματικοί κινητήρες (Stepper motors) είναι κινητήρες DC που περιστρέφονται με διακριτές κινήσεις (Steps). Στον στάτη τους έχουν πολλά πηνία συνδεδεμένα έτσι ώστε ο θετικός και αρνητικός πόλος να έχουν διαφορά μεταξύ τους 180°. Ο δρομέας έχει το σχήμα γραναζιού για να έλκεται σε διακριτές θέσεις. Κατά αυτόν τον τρόπο τροφοδοτώντας ένα ζευγάρι την φορά ελέγχουμε την κατεύθυνση του δρομέα και αντίστοιχα του κινητήρα.



Εικ.4.9 Βηματικός Κινητήρας NEMA 17HS19-2004S

Για την κατασκευή της πτυχιακής εργασίας επιλέξαμε διπολικούς κινητήρες οι οποίοι έχουν μεγαλύτερη ροπή. Υπάρχουν 2 είδη βηματικών κινητήρων, οι διπολικοί και οι μονοπολικοί. Οι μονοπολικοί κινητήρες έχουν μικρότερη ροπή λόγω της μεσαίας λήψης στα πηνία του για να τροφοδοτεί μισό πηνίο την φορά.

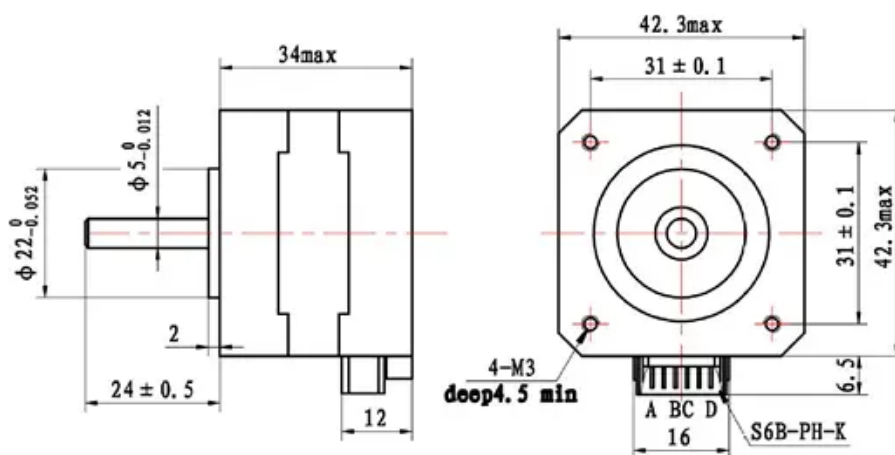
Οι 5 κινητήρες που χρησιμοποιήσαμε είναι οι NEMA 17HS19-2004S και έχουν τις παρακάτω διαστάσεις και χαρακτηριστικά.

Μηχανικά χαρακτηριστικά Βηματικού Κινητήρα

Διαστάσεις	423mmx423mmx340mm
Βάρος	340g

Ηλεκτρικά χαρακτηριστικά Βηματικού Κινητήρα

Αριθμός φάσεων	2
Γωνία βήματος	1.8°
Αντίσταση/Φάση	30 Ω ± 10%
Μέγιστο ρεύμα/Φάση	1.7 A
Επαγωγή	37mH ± 20%
Τάση λειτουργίας	12 V



Εικ.4.9 Χαρακτηριστικά Βηματικού κινητήρα NEMA 17HS19-2004S

General Specifications	
Step angle	1.8°
Number of phase	2
Insulation resistance	100MΩmin.(500V DC)
Insulation class	Class B
Rotor inertia	38g.cm ²
Mass	0.2kg
Electrical Specifications	
Rated voltage	12V
Rated current	1.7A
Resistance per phase	30Ω ± 10%
Inductance per phase	37mH ± 20%
Holding torque	260mN. m
Detent torque	12mN. m

Εικ.4.9 Γενικά Χαρακτηριστικά Βηματικού κινητήρα NEMA 17HS19-2004S

[15]Ο βηματισμός του κινητήρα εκτός από τα κατασκευαστικά του χαρακτηριστικά εξαρτάται και από τους drivers του. Στην παρούσα πτυχιακή εργασία χρησιμοποιήθηκε ο A4988 της Allegro microsystems λόγω της πλήρους συμβατότητας του με την RAMPS 1.4. Ο A4988 χρησιμοποιήθηκε γιατί είναι ένα ολοκληρωμένος microstepping driver κινητήρας με ενσωματωμένο μεταφραστή για εύκολη λειτουργία. Έχει σχεδιαστεί για να λειτουργεί με διπολικούς βηματικούς κινητήρες σε υποδιαιρέσεις του αρχικού βήματος (μισό, τέταρτο, όγδοο, δέκατο-έκτο ή και πλήρες). Κατά αυτόν τον τρόπο με την χρήση της εναλλαγής της ταχύτητας του κινητήρα ο κινητήρας θα κάνει ένα micro step χωρίς να έχει την ανάγκη από πίνακες αλληλουχίας φάσης ή γραμμής ελέγχου. Τον καθιστά ιδανικό για εφαρμογές όπου ο M/E δεν είναι διαθέσιμος για χειρισμό. Στην συγκεκριμένη περίπτωση της εργασίας τα βήματα τροποποιήθηκαν με τον έλεγχο της απόστασης των βημάτων (Steps/mm) και τον έλεγχο της απόστασης ανά δευτερόλεπτο (mm/s), από τον κώδικα Marlin του λογισμικού Arduino IDE.

Κεφάλαιο 5^ο

Προγραμματισμός Τρισδιάστατου εκτυπωτή

[25] Στο κεφάλαιο αυτό θα μιλήσουμε για την χρησιμότητα, τα χαρακτηριστικά αλλά και την εφαρμογή του Arduino στην παρούσα πτυχιακή εργασία καθώς και μια εισαγωγική ιστορική αναδρομή.

Κατά την πάροδο του 2015 ξεκίνησε ένα σχέδιο προκειμένου να κατασκευαστεί μια συσκευή για τον χειρισμό και έλεγχο προγραμμάτων διαφόρων ειδών δια δραστικών κατασκευών από μαθητές, με πρώτο και κύριο χαρακτηριστικό την φθηνότερη κοστολόγηση από οποιοδήποτε πρωτότυπο σύστημα εκείνη την περίοδο. Οι ιδρυτές του Arduino “Massimo Banzi και David Cueartielles” ονόμασαν το σχέδιο του Arduino από τον Arduino της Ιβρέας (Βασιλιάς της Ιταλίας το 1002-1014 μ.Χ). Ξεκίνησαν να παράγουν πλακέτες και να δημιουργούν το λογισμικό ανάπτυξης (IDE) σε ένα μικρό εργοστάσιο στην Ιβρέα της Ιταλίας. Το 2006 το Arduino έλαβε τιμητική αναφορά στην κατηγορία Digital Communities στο Prix Ars Electronica.

Μέσα σε 10 χρόνια η ομάδα του Arduino μεγάλωσε κατά πολύ, πλέον μέσω της διαδικτυακής κοινότητας το 2017 εκατοντάδες άτομα ασχολούνται με την εξέλιξη του Arduino. Νέα μοντέλα σχεδιάζονται από πλακέτες και νέες βιβλιοθήκες λογισμικού έχουν προστεθεί μεγαλώνοντας έτσι τις πιθανές εφαρμογές του.

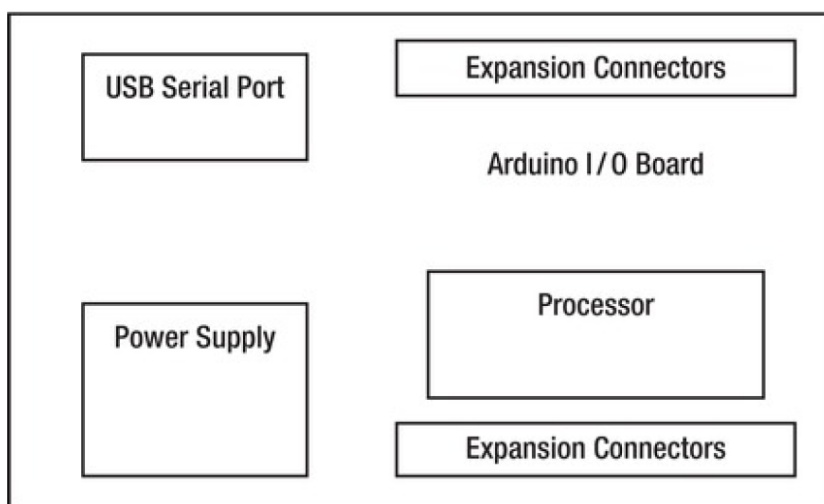
5.1 Arduino

[13] Το Arduino είναι μια απλή μητρική πλακέτα ανοικτού κώδικα με ενσωματωμένο μικροελεγκτή και εισόδους/εξόδους. Το Arduino προγραμματίζεται στην γλώσσα Wiring που ουσιαστικά είναι η γλώσσα προγραμματισμού C++ με απλοποιήσεις και ένα σύνολο από βιβλιοθήκες υλοποιημένες επίσης στην C++. Οι εκδόσεις του Arduino πωλούνται συναρμολογημένες έτοιμες για χρήση. Ωστόσο πολλοί μηχανικοί χρησιμοποιούν το διάγραμμα και τις πληροφορίες για το υλικό οι οποίες βρίσκονται ανοιχτά στο διαδίκτυο για την κατασκευή και συναρμολόγηση

του Arduino σε μεμονωμένα κομμάτια μόνοι τους.

[13]Το μοντέλο που χρησιμοποιείται για την κατασκευή του τρισδιάστατου εκτυπωτή της πτυχιακής εργασίας είναι το Arduino Mega 2560. Το Arduino Mega είναι μια ποιο εξελιγμένη πλακέτα και προτείνεται συνήθως για περίπλοκες κατασκευές που απαιτούν μεγαλύτερη επεξεργαστική ισχύ, μεγαλύτερη μνήμη και περισσότερες εισόδους/εξόδους. Το Arduino Mega 2560 είναι ένα από τα ποιο διαδεδομένα μοντέλα της οικογένειας Arduino και είναι συμβατό με μεγάλο πλήθος αισθητηρίων και επεκτάσεων. Η έκδοση του Arduino Mega2560 που χρησιμοποιήθηκε είναι η Rev 3.

Το Arduino Mega Rev3 βασίζεται στην μικροελεγκτή ATmega2560 της Atmel. Η ευκολία και η χρησιμότητα και το πλεονέκτημα της πλακέτας είναι ότι είναι ολοκληρωμένη χωρίς να χρειαστεί ξεχωριστά κομμάτια συνδεσμολογίας για την λειτουργία της, περιέχει ότι χρειάζεται, μπορεί να προγραμματιστεί και να λειτουργήσει συνδέοντας την με ένα καλώδιο USB στο υπολογιστή.



Εικ.5.1 Block Διάγραμμα Arduino Mega2560

Σε μεγαλύτερη ανάλυση η πλακέτα διαθέτει 16 αναλογικές εισόδους, 1 κουμπί reset της πλακέτας, 1 είσοδο τροφοδοσίας που μπορεί να χρησιμοποιηθεί για τροφοδοτικά, 1 θύρα USB τύπου B για τον προγραμματισμό της, 54 ψηφιακές εισόδους ή εξόδους, 1 υποδοχή ICSP και 4 σειριακές θύρες. Το Arduino Mega 2560 λειτουργεί με τροφοδοσία 5V DC από την είσοδο του USB ή με τροφοδοτικό

9V/12V DC από την είσοδο της τροφοδοσίας.

Τεχνικά Χαρακτηριστικά

<i>Μικροελεγκτής</i>	<i>ATmega2560</i>
<i>Αρχιτεκτονικής ελεγκτή</i>	<i>AVR</i>
<i>Τάση λειτουργίας</i>	<i>5V</i>
<i>Προτεινόμενη τάση εισόδου</i>	<i>7-12V</i>
<i>Όρια τάσης εισόδου</i>	<i>6-20V</i>
<i>PWM Ψηφιακές εισοδοί/έξοδοι</i>	<i>16</i>
<i>Ψηφιακές εισοδοί/έξοδοι</i>	<i>54 (15 PWM έξοδοι)</i>
<i>Αναλογικές εισοδοί</i>	<i>16</i>
<i>Ρεύμα ανά είσοδο/έξοδο</i>	<i>20mA</i>
<i>Μνήμη Flash</i>	<i>256KB (τα 8KB χρησιμοποιούνται)</i>
<i>Μνήμη SRAM</i>	<i>8KB</i>
<i>Μνήμη EEPROM</i>	<i>4KB</i>
<i>Ταχύτητα συγχρονισμού</i>	<i>16MHz</i>

5.1.1 ATmega2560

[13]Ο μικροελεγκτής της σειράς AVR της εταιρίας Atmel είναι κατασκευασμένος με CMOS τρανζίστορ (Complementary Metal – Oxide Semiconductor). Για να πετύχουμε την μέγιστη απόδοση της AVR αρχιτεκτονικής χρησιμοποιήθηκε η αρχιτεκτονική Harvard η οποία έχει διαφορετικές μνήμες και διαύλους μεταξύ του προγράμματος και των δεδομένων. Η ATmega2560 είναι βασισμένη στην αρχιτεκτονική RISC (Reduced Instructions Set Computer). Η αρχιτεκτονική RISC χρησιμοποιεί μια συλλογή εντολών, εύκολες στην εκτέλεση τους από τον μικροελεγκτή αυξάνοντας έτσι την επεξεργαστική ισχύ του. Για την καλύτερη κατανόηση της σειράς AT mega2560 θα αναλύσουμε παρακάτω κάποια από τα βασικά χαρακτηριστικά του.

5.1.2 Τροφοδοσία

Η τροφοδοσία της πλακέτας Arduino Mega2560 λειτουργεί με τροφοδοσία 5V DC από την θύρα USB που χρησιμοποιούμε για τον προγραμματισμό της. Το κύκλωμα τροφοδοσίας είναι μια σειρά από ανορθωτικές διατάξεις που σταθεροποιούν την τροφοδοσία στα επιτρεπτά όρια. Συγκεκριμένα το κύκλωμα διαλέγει την μεγαλύτερη τάση και την χρησιμοποιεί για την τροφοδοσία του κυκλώματος. Ωστόσο στην δικιά μας εφαρμογή η τροφοδοσία πραγματοποιήθηκε από εξωτερικό τροφοδοτικό 12 V στην υποδοχή της πλακέτας.

5.1.3 SHIELDS

Οι πλακέτες SHIELDS συνδέονται στο Arduino με σκοπό την επέκταση των δυνατοτήτων του. Οι περισσότερες πλακέτες SHIELD έχουν το ίδιο σχήμα καθώς κουμπώνουν ολοκληρωτικά πάνω στην πλακέτα του Arduino με αποτέλεσμα να την καλύπτουν όπως μια ασπίδα (SHIELD). Με την δυνατότητα της παράλληλης σύνδεσης των πλακετών SHIELD, επιτρέπει στους χρήστες μια τεράστια επιλογή από συνδυασμό εφαρμογών.

5.1.4 EEPROM

Η μνήμη EEPROM (Electrically Erasable Programmable Read-Only Memory) αδειάζει εφαρμόζοντας μια τάση στα άκρα της. Η EEPROM έχει μέγεθος 4KB και κρατά τα δεδομένα της και μετά την παύση τροφοδοσίας της πλακέτας. Οι μνήμες EEPROM είναι άριστες για την αποθήκευση αξιόπιστων δεδομένων και εύκολα επεξεργάσιμων για τον λόγο ότι έχει περισσότερους κύκλους εγγραφής και διαγραφής.

5.1.5 Μνήμη προγράμματος

[14] Η μνήμη προγράμματος αποτελείται από παρατάξεις των 16-bit στην μνήμη flash με δυνατότητα ISP (In-System re-Programmable). Το λογισμικό του Arduino χρησιμοποιεί την ISP δυνατότητα της και εφαρμόζει έναν φορτιστή λογισμικού (bootloader). Κατά αυτόν τον τρόπο καθιστά την επικοινωνία αλλά και μετάφραση (compile) του κώδικα εφικτή στον υπολογιστή και την στέλνει στη

μνήμη προγράμματος του AVR. Ο φορτιστής λογισμικού (bootloader) είναι ένα κομμάτι υλικολογισμικού (firmware). Το υλικολογισμικό είναι το λογισμικό των ηλεκτρονικών συσκευών, το οποίο είναι γραμμένο σε γλώσσα μηχανής και είναι φτιαγμένο αποκλειστικά μόνο για ένα μοντέλο συσκευής. Στην μνήμη προγράμματος του AVR βρίσκονται οι οδηγίες της γλώσσας μηχανής η οποία και έχει μέγεθος 256 KB.

5.1.6 Μνήμη δεδομένων

Η μνήμη δεδομένων των AVR είναι τύπου SRAM (Static Random-Access Memory). Η μνήμη SRAM κρατάει τα δεδομένα μόνο κατά την διάρκεια τροφοδοσίας της ενώ σε αντίθετες περιπτώσεις τα δεδομένα είναι αόριστα. Έτσι κατά την τροφοδοσία του, η γλώσσα προγραμματισμού C σιγουρεύει ποια δεδομένα χρησιμοποιούνται και ποια όχι από την αόριστη κατάσταση τους. Η μνήμη δεδομένων SRAM είναι μεγέθους 8KB με δυνατότητα επέκτασης μέχρι και 64KB.

5.1.7 Σειριακές θύρες

Οι σειριακές θύρες του μικρό-επεξεργαστή χρησιμοποιούνται για την επικοινωνία της πλακέτας με άλλες συσκευές. Στην παρούσα κατάσταση η γραφή του κώδικα στον υπολογιστή και η αποστολή του για αποθήκευση στο Arduino έγινε μέσω της σειριακής θύρας USB.

5.1.8 Συνδέσεις επεκτάσεων

Οι επεκτάσεις στην πλακέτα του Arduino γίνετε μέσω των συνδέσεων επεκτάσεων για την σύνδεση επιπρόσθετων ηλεκτρονικών κυκλωμάτων. Έχουν σχεδιαστεί έτσι ώστε να είναι ευδιάκριτες πάνω στην πλακέτα για την εύκολη εντόπιση και σύνδεση τους. Οι συνδέσεις βρίσκονται περιφερειακά της πλακέτας με τον αντίστοιχο αριθμό και ονομασία.

5.1.9 Καταχωρητές

Οι καταχωρητές είναι ηλεκτρονικές διατάξεις αποθήκευσης δεδομένων

περιορισμένου χρόνου. Στο σύνολο οι καταχωρητές γενικών καθηκόντων είναι 32 των 8 bit. Σε περίοδο ενός κύκλου μηχανής οι περισσότερες αριθμητικές και λογικές εντολές της CPU μπορούν να γράψουν/διαβάσουν απευθείας στους καταχωρητές. Κατά αυτόν τον τρόπο μικραίνουμε τον χρόνο εκτέλεσης εντολών εγγραφής ή διαβάσματος.

5.1.10 Καταχωρητές εισόδου/εξόδου (I/O)

Κάθε περιφερειακό καταλήγει συνήθως σε έναν ή περισσότερους καταχωρητές οι οποίοι ελέγχουν της συμπεριφορά του περιφερειακού. Στην πράξη οι ακροδέκτες εισόδου/εξόδου καταλήγουν στους καταχωρητές εισόδου/εξόδου για τον καθορισμό των δεδομένων κάθε περιφερειακού.

5.2 Λογισμικό Arduino (Arduino IDE)

Το λογισμικό που χρησιμοποιεί το Arduino για τον προγραμματισμό του είναι το Arduino IDE. Η γλώσσα προγραμματισμού που χρησιμοποιεί είναι η γλώσσα Wiring η οποία βασίζεται στην γλώσσα C/C++. Το Arduino IDE είναι το πρόγραμμα που μας προσφέρει η κατασκευαστική εταιρία για την επικοινωνία του υπολογιστή μας με το Arduino. Το Arduino IDE περιέχει ένα text editor (sketch) μια επιφάνεια στην οποία μπορούμε να γράψουμε τον κώδικα του προγράμματος.

Έπειτα αφού ολοκληρωθεί η γραφή του κώδικα μεταγλωττίζεται από τον μεταγλωττιστή (compiler) και περνάει το αρχείο από διάφορες επεξεργασίες ώσπου να μεταφραστεί πλήρως σε δυαδική γλώσσα. Ο Compiler αντιστοιχεί κάθε λέξη του κώδικα σε σύμβολα και τα αναλύει. Με αυτόν τον τρόπο σιγουρεύεται ότι μπορεί να τα μεταφράσει σε γλώσσα μηχανής και ταυτόχρονα ψάχνει τις βιβλιοθήκες που χρησιμοποιήθηκαν.

Στην συνέχεια μετά την μεταγλώττιση γίνεται έλεγχος για την οικονομία χώρου και χρόνου του αρχείου (optimization). Κατά αυτόν τον τρόπο το λογισμικό προγραμματισμού συσκευής που ελέγχει την σειριακή επικοινωνία του υπολογιστή και του Arduino, με ένα μόνο πάτημα κουμπιού, περνάει αυτή η σειρά από 0 και 1 στην μνήμη του Arduino.

```

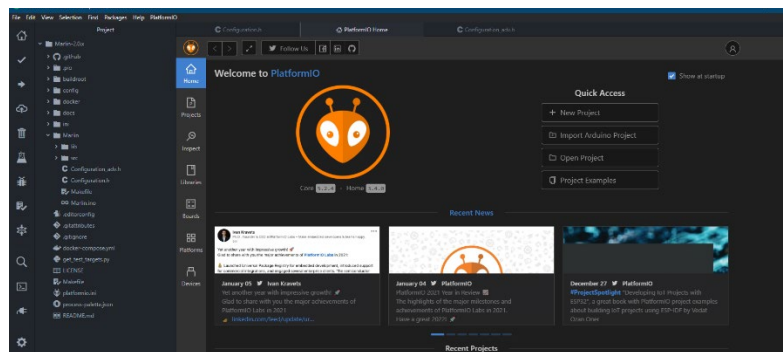
File Edit Sketch Tools Help
Marlin Configuration Configuration.h
// Heated Bed Bang-Bang options
//
// #if DISABLED(PIDTEMPBED)
// #define BED_CHECK_INTERVAL 5000 // (ms) Interval between checks in bang-bang control
// #if ENABLED(BED_LIMIT_SWITCHING)
// #define BED_HYSTERESIS 2 // (°C) Only set the relevant heater state when ABS(T-target) > BED_HYSTERESIS
// #endif
// #endif
//
// Heated Chamber options
//
// #if DISABLED(PIDTEMPCHAMBER)
// #define CHAMBER_CHECK_INTERVAL 5000 // (ms) Interval between checks in bang-bang control
// #if ENABLED(CHAMBER_LIMIT_SWITCHING)
// #define CHAMBER_HYSTERESIS 2 // (°C) Only set the relevant heater state when ABS(T-target) > CHAMBER_HYSTERESIS
// #endif
// #endif
//
// #if TEMP_SENSOR_CHAMBER
// #define HEATER_CHAMBER_PIN P2_04 // Required heater on/off pin (example: SKR 1.4 Turbo HE1 plug)
// #define HEATER_CHAMBER_INVERTING false
// #define FAN_PIN -1 // Remove the fan signal on pin P2_04 (example: SKR 1.4 Turbo HE1 plug)
// #define CHAMBER_FAN
// // Enable a fan on the chamber
// #if ENABLED(CHAMBER_FAN)
// #define CHAMBER_FAN_MODE 2 // Fan control mode: 0=Static; 1=Linear increase when temp is higher than target; 2=V-shaped curve; 3=similar to 1 but fan is always on.
// #define CHAMBER_FAN_SPEED 0 // Chamber fan PWM (0-255)
// #if CHAMBER_FAN_SPEED == 1
// #define CHAMBER_FAN_BASE 120 // Base chamber fan PWM (0-255); turns on when chamber temperature is above the target
// #define CHAMBER_FAN_FACTOR 25 // PWM increase per °C above target
// #if CHAMBER_FAN_SPEED == 2
// #define CHAMBER_FAN_BASE 120 // Minimum chamber fan PWM (0-255)
// #define CHAMBER_FAN_FACTOR 25 // PWM increase per °C difference from target
// #if CHAMBER_FAN_SPEED == 3
// #define CHAMBER_FAN_BASE 120 // Base chamber fan PWM (0-255)
// #define CHAMBER_FAN_FACTOR 25 // PWM increase per °C above target
// #endif
// #endif
// #endif

```

Εικ.5.2 Περιβάλλον Λογισμικού Arduino IDE

5.2.1 Υλικολογισμικό (Marlin)

Το υλικολογισμικό Marlin χρησιμοποιήθηκε για τον έλεγχο και χειρισμό του εκτυπωτή. Οι εφαρμογές του Marlin 2.0 που χρησιμοποιήθηκαν με την συνεργασία του Arduino δημιουργούσαν μεγάλους χρόνους καθυστέρησης μεταγλώττισης του προγράμματος. Για να μειώσουμε τους χρόνους μεταγλώττισης χρησιμοποιήσαμε το λογισμικό πρόγραμμα Atom το οποίο είναι απόλυτα συμβατό με το Arduino και όλες του τις εκδοχές.



Εικ.5.2.1 Περιβάλλον Λογισμικού Atom (Platform IO)

[16] Το υλικολογισμικό Marlin εκδόθηκε το 08/2011 στην πλατφόρμα ανάπτυξης GitHub.com. Από τότε μέχρι και σήμερα σχεδόν κάθε μέρα αναβαθμίζεται από τους χρήστες γιατί είναι ανοιχτού κώδικα (open source). Το υλικολογισμικό που χρησιμοποιήθηκε έχει διαφοροποιηθεί καθώς για διαφορετικές

διαστάσεις του εκτυπωτή και για διαφορετικές χρήσεις είναι αναγκαίες οι μικρομετατροπές. Το Marlin 2.0 είναι ιδανικό για εφαρμογές τρισδιάστατου εκτυπωτή διότι είναι σχεδιασμένο για M/E AVR των 8-bit όπως το Arduino. Το υλικολογισμικό που χρησιμοποιήθηκε αποτελείται από περισσότερα από 40 αρχεία. Οι προσαρμογές του τρισδιάστατου εκτυπωτή κυρίως γίνονται από δύο αρχεία το Configuration.h και configuration_adv.h .

Το υλικολογισμικό ελέγχει σε πραγματικό χρόνο όλες τις λειτουργίες του εκτυπωτή, συγχρονίζει τις θερμοκρασίες των αντιστάσεων, τις κινήσεις των κινητήρων τους αισθητήρες θερμοκρασίας κ.α. Η μετατροπή του σχεδίου τρισδιάστατου μοντέλου γίνεται σε μορφή κώδικα G-code με διαφορετικό πρόγραμμα στο οποίο θα αναφερθούμε λεπτομερώς στο επόμενο υποκεφάλαιο. Κατά την ανάγνωση του κώδικα G-code ο οποίος περιλαμβάνει οδηγίες και συντεταγμένες των τριών αξόνων όπως (G4 X5 Y9 Z8), δίνει προτεραιότητα στις ανάλογες εντολές.

Έπειτα γίνεται η επεξεργασία της λίστας προτεραιότητας μετατρέποντας τις εντολές κίνησης σε παλμούς κίνησης για τους κινητήρες (stepper interrupt) και στην συνέχεια ελέγχονται τακτικά οι αισθητήρες από μια δεύτερη ρουτίνα με σκοπό την συλλογή δεδομένων συνολικής προόδου.

5.2.2 Ανάλυση κώδικα (Marlin)

[6] Η ανάλυση του κώδικα θα γίνει για τα σημαντικά κομμάτια που δέχτηκαν μετατροπή για την συγκεκριμένη εφαρμογή. Τροποποιήθηκαν τα δεδομένα του ρυθμού μετάδοσης για την ανάλογη επικοινωνία του M/E Arduino με τον υπολογιστή. Η επικοινωνία είναι αμφίδρομη με αποτέλεσμα ο ρυθμός μετάδοσης να χρειάζεται να είναι κοινός. Ο M/E περιορίζει την ικανότητα της αύξησης του ρυθμού μετάδοσης πάνω από τα 250 KBd (Baud), παρόλα αυτά 250KBd είναι μια ικανοποιητική ταχύτητα δεδομένων.

```

102 *
103 * :[-1, 0, 1, 2, 3, 4, 5, 6, 7]
104 */
105 #define SERIAL_PORT 0
106
107 /**
108 * Serial Port Baud Rate
109 * This is the default communication speed for all serial ports.
110 * Set the baud rate defaults for additional serial ports below.
111 *
112 * 250000 works in most cases, but you might try a lower speed if
113 * you commonly experience drop-outs during host printing.
114 * You may try up to 1000000 to speed up SD file transfer.
115 *
116 * :[2400, 9600, 19200, 38400, 57600, 115200, 250000, 500000, 1000000]
117 */
118 #define BAUDRATE 250000
119 // #define BAUD_RATE_GCODE // Enable G-code M575 to set the baud rate

```

Εικ. 5.2.2 BaudRate Marlin

Δηλώνουμε το Shield που χρησιμοποιήθηκε RAMPS 1.4. Ονομάζονται οι άξονες που χρησιμοποιήθηκαν και οριοθετούνται. Παρακάτω συνεχίζετε ο αριθμητικός ορισμός των κεφαλών που χρησιμοποιήθηκαν και τι διάμετρο έχει το υλικό νήμα.

```

141 #ifndef MOTHERBOARD
142 #define MOTHERBOARD BOARD_RAMPS_14_FFB
143 #endif
144
145 #if LINEAR_AXES >= 4
146 #define AXIS4_NAME 'A' // :['A', 'B', 'C', 'U', 'V', 'W']
147 #endif
148 #if LINEAR_AXES >= 5
149 #define AXIS5_NAME 'B' // :['A', 'B', 'C', 'U', 'V', 'W']
150 #endif
151 #if LINEAR_AXES >= 6
152 #define AXIS6_NAME 'C' // :['A', 'B', 'C', 'U', 'V', 'W']
153 #endif
154
155 // @section extruder
156
157 // This defines the number of extruders
158 // :[0, 1, 2, 3, 4, 5, 6, 7, 8]
159 #define EXTRUDERS 1
160
161 // Generally expected filament diameter (1.75, 2.85, 3.0, ...). Use
162 #define DEFAULT_NOMINAL_FILAMENT_DIA 1.75

```

Εικ. 5.2.2 Drivers Marlin

Στις παρακάτω εικόνες δηλώνουμε την αντιστροφή των διακοπών στο μέγιστο και στο ελάχιστο τους διότι βρίσκονται σε κατάσταση Normally Closed, κατά αυτό τον τρόπο βρίσκει τους τερματικούς διακόπτες ο κάθε άξονας σαν αρχή των αξόνων. Στην συνέχεια δηλώνουμε το μοντέλο των οδηγών (Drivers) που

χρησιμοποιούμε για τον κάθε άξονα και τον εξωθητήρα.

```
830 // Mechanical endstop with COM to ground and NC to Signal uses "false" here (most common setup).
831 #define X_MIN_ENDSTOP_INVERTING true // Set to true to invert the logic of the endstop.
832 #define Y_MIN_ENDSTOP_INVERTING true // Set to true to invert the logic of the endstop.
833 #define Z_MIN_ENDSTOP_INVERTING true // Set to true to invert the logic of the endstop.
834 // #define I_MIN_ENDSTOP_INVERTING false // Set to true to invert the logic of the endstop.
835 // #define J_MIN_ENDSTOP_INVERTING false // Set to true to invert the logic of the endstop.
836 // #define K_MIN_ENDSTOP_INVERTING false // Set to true to invert the logic of the endstop.
837 #define X_MAX_ENDSTOP_INVERTING false // Set to true to invert the logic of the endstop.
838 #define Y_MAX_ENDSTOP_INVERTING false // Set to true to invert the logic of the endstop.
839 #define Z_MAX_ENDSTOP_INVERTING false // Set to true to invert the logic of the endstop.
840 // #define I_MAX_ENDSTOP_INVERTING false // Set to true to invert the logic of the endstop.
841 // #define J_MAX_ENDSTOP_INVERTING false // Set to true to invert the logic of the endstop.
842 // #define K_MAX_ENDSTOP_INVERTING false // Set to true to invert the logic of the endstop.
843 // #define Z_MIN_PROBE_ENDSTOP_INVERTING false // Set to true to invert the logic of the probe.
844
```

Εκ. 5.2.2 Endstops Marlin

```
863 #define X_DRIVER_TYPE A4988
864 #define Y_DRIVER_TYPE A4988
865 #define Z_DRIVER_TYPE A4988
866 // #define X2_DRIVER_TYPE A4988
867 // #define Y2_DRIVER_TYPE A4988
868 // #define Z2_DRIVER_TYPE A4988
869 // #define Z3_DRIVER_TYPE A4988
870 // #define Z4_DRIVER_TYPE A4988
871 // #define I_DRIVER_TYPE A4988
872 // #define J_DRIVER_TYPE A4988
873 // #define K_DRIVER_TYPE A4988
874 #define E0_DRIVER_TYPE A4988
875 // #define E1_DRIVER_TYPE A4988
```

Εκ. 5.2.2 Axis Drivers Marlin

Στην πρώτη εντολή δηλώνουμε το πλήθος των βημάτων του κινητήρα κατά 1mm. Για να υπολογίσουμε τα βήματα πρέπει να πάρουμε την γωνία βήματος που είναι 1.8° και να την πολλαπλασιάσουμε με την υποδιαίρεση του βήματος του Driver (1/16). Αυτό ισούται με 3200 (steps/rev)

- Άρα $\frac{360}{1.8} = 200 \text{ Steps/Rev}$
- Και $\frac{200}{\left(\frac{1}{16}\right)} = 200 \times 16 = 3200 \text{ Steps/Rev}$ (πλήθος βημάτων ανά περιστροφή)

Έτσι αφού βρήκαμε το πλήθος των βημάτων ανά μια περιστροφή του κινητήρα θα πρέπει να βρούμε την απόσταση που θα διανύσει η κεφαλή σε αυτήν την περιστροφή. Για τον άξονα Z πολλαπλασιάζουμε την απόσταση μεταξύ των

σπειρωμάτων (2mm) με το πλήθος τους που είναι 4. Για το άξονα X και Y πολλαπλασιάζουμε τα δόντια του γραναζιού που είναι 16 με την απόσταση των δοντιών του ιμάντα (2mm).

- Για Z : $16 \times 2 = 32\text{mm/rev} = 0.03125 \text{ rev/mm}$
- Για X και Y : $4 \times 2 = 8\text{mm/rev} = 0.125 \text{ rev/mm}$

Τέλος θα πρέπει να διαιρέσουμε το πλήθος των βημάτων με την απόσταση μίας περιστροφής.

- Για Z : $3200 \times 0.03125 = 100 \text{ Steps/mm}$
- Για X και Y : $3200 \times 0.125 = 400 \text{ Steps/mm}$

Πάνω στις παραπάνω πράξεις και στους υπολογισμούς των βημάτων από το ίδιο το λογισμικό κατά την πράξη των κινήσεων πραγματοποιήθηκαν οι παρακάτω τιμές στον κώδικα. Έπειτα δηλώνουμε τις επιτρεπτές ταχύτητες αλλά και επιταχύνσεις ως μέτρο προστασίας των κινητήρων (mm/sec).

```
928 */
929 #define DEFAULT_AXIS_STEPS_PER_UNIT { 4, 4, 30, 94.69 }
930
931 /**
932  * Default Max Feed Rate (mm/s)
933  * Override with M203
934  *
935  * X, Y, Z [, I [, J [, K]]], E0 [, E1[, E2...]]
936  */
937 #define DEFAULT_MAX_FEEDRATE { 300, 300, 5, 25 }
938 // #define LIMITED_MAX_FR_EDITING // Limit edit via M203 or LCD to DEFAULT_MAX_FEEDRATE
939 // #if ENABLED(LIMITED_MAX_FR_EDITING)
940 // #define MAX_FEEDRATE_EDIT_VALUES { 600, 600, 10, 50 } // ...or, set your own
941 // #endif
942
943 /**
944  * Default Max Acceleration (change/s) change = mm/s
945  * (Maximum start speed for accelerated moves)
946  * Override with M201
947  *
948  * X, Y, Z [, I [, J [, K]]], E0 [, E1[, E2...]]
949  */
950 #define DEFAULT_MAX_ACCELERATION { 2000, 2000, 100, 10000 }
951 // #define LIMITED_MAX_ACCEL_EDITING // Limit edit via M201 or LCD to DEFAULT_MAX_ACCELERATION
952 // #if ENABLED(LIMITED_MAX_ACCEL_EDITING)
953 // #define MAX_ACCEL_EDIT_VALUES { 6000, 6000, 200, 20000 } // ...or, set your own
954 // #endif
955
956 /**
957  * Default Acceleration (change/s) change = mm/s
958  * Override with M204
959  *
960  * M204 P Acceleration
961  * M204 R Retract Acceleration
962  * M204 T Travel Acceleration
963  */
964 #define DEFAULT_ACCELERATION 2000 // X, Y, Z and E acceleration for print moves
965 #define DEFAULT_RETRACT_ACCELERATION 3000 // E acceleration for retracts
966 #define DEFAULT_TRAVEL_ACCELERATION 2000 // X, Y, Z acceleration for travel (unless retracts)
967
```

Εικ. 5.2.2 Step settings Marlin

Παρακάτω δηλώνουμε που βρίσκονται τα τερματικά των αξόνων για 0 αλλά από -1 έως 1 δηλαδή (0, 0, 0). Έπειτα δηλώνουμε το μέγεθος του τραπέζιου εκτύπωσης. Το μέγεθος του τραπέζιου εκτύπωσης διαφέρει από κατασκευή σε κατασκευή και υπολογίζεται από την αρχή του τραπέζιου που χρησιμοποιείται και κατά πόσο απέχει σε χιλιοστά από το 0. Έτσι υπολογίζεται και το μέγιστο του τραπέζιου κατά συνέπεια και βγαίνει το συνολικό μέγεθος. Το τραπέζι στην πραγματικότητα είναι 220 x 220 mm αλλά επειδή η ακμή κατασκευαστικά έχει απόκλιση 3.5 cm πρέπει να ορίσουμε το σημείο έναρξης στα 35mm. Αντίστοιχα κάνουμε στον άξονα Y και Z.

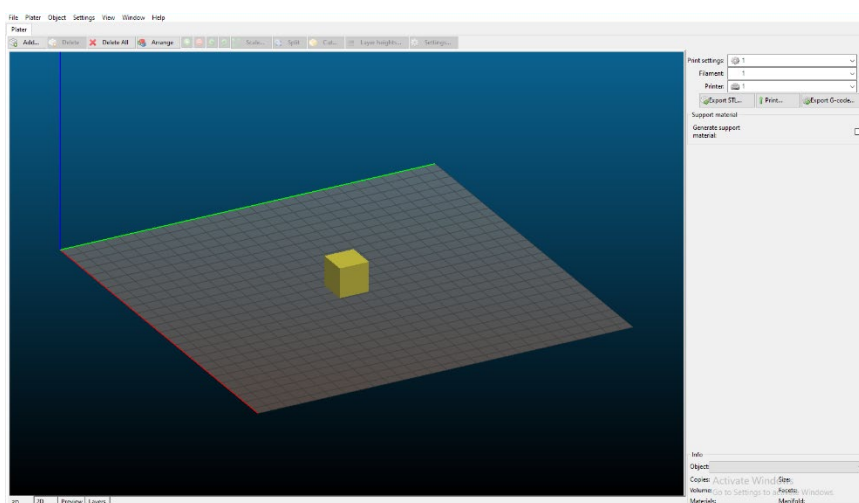
```
1361 #define X_HOME_DIR -1
1362 #define Y_HOME_DIR -1
1363 #define Z_HOME_DIR -1
1364 // #define I_HOME_DIR -1
1365 // #define J_HOME_DIR -1
1366 // #define K_HOME_DIR -1
1367
1368 // @section machine
1369
1370 // The size of the printable area
1371 #define X_BED_SIZE 205
1372 #define Y_BED_SIZE 242.8
1373 //164
1374 // Travel limits (mm) after homing, corres
1375 #define X_MIN_POS 35
1376 #define Y_MIN_POS 3
1377 #define Z_MIN_POS -0.2
1378 #define X_MAX_POS 240
1379 #define Y_MAX_POS 245.8
1380 #define Z_MAX_POS 230
1381 // #define Z_MIN_POS 0
```

Εικ. 5.2.2 Bed Size Marlin

5.3 Λογισμικό Slicer

[17],[19] Το λογισμικό Slicer δέχεται τρισδιάστατα ψηφιακά σχέδια και τα μετατρέπει σε G-code εντολές. Με αυτόν τον τρόπο μετατρέπονται τα σχέδια εκτύπωσης σε μορφές έτοιμες για εκτύπωση G-code. Το λογισμικό Slicer που επιλέχθηκε είναι το λογισμικό Slic3r. Ο δημιουργός του λογισμικού Slic3r είναι ο Alessandro Ranellucci και το ξεκίνησε περίπου το 2011, το Slic3r πρόγραμμα είναι ανοιχτού κώδικα που σημαίνει ότι οι βελτιστοποιήσεις του προγράμματος γίνονται από το σύνολο των χρηστών της πλατφόρμας GitHub. Στην πράξη η μετατροπή του σχεδίου σε G-code είναι ο τεμαχισμός του σχεδίου σε οριζόντιες λωρίδες, οι οποίες δημιουργούν στηρίγματα η μία την άλλη για την πλήρη εκτύπωση του αντικειμένου. Τοποθετεί σχεδιαστικά την πορεία της κεφαλής κατά την διάρκεια της εκτύπωσης, γεμίζει το εσωτερικό του σχεδίου και υπολογίζει την απαιτούμενη ποσότητα υλικού στα ανάλογα σημεία. Το Λογισμικό Slic3r στην βέλτιστη του έκδοση προμηθεύτηκε από την επίσημη ιστοσελίδα slic3r.org/download.

[18] Κατά την εγκατάσταση του προγράμματος χρειάζεται κάποια διευκρίνιση παραμέτρων του εκτυπωτή. Ορίζουμε το μέγεθος της βάσης εκτύπωσης, την διάμετρο ακροφυσίου, την διάμετρο του υλικού PLA, την θερμοκρασία εξώθησης του υλικού και την θερμοκρασία της βάσης. Οι ρυθμίσεις αυτές μπορούν να επεξεργαστούν και μετά το πρώτο βήμα σε περίπτωση αλλαγής ρυθμίσεων.

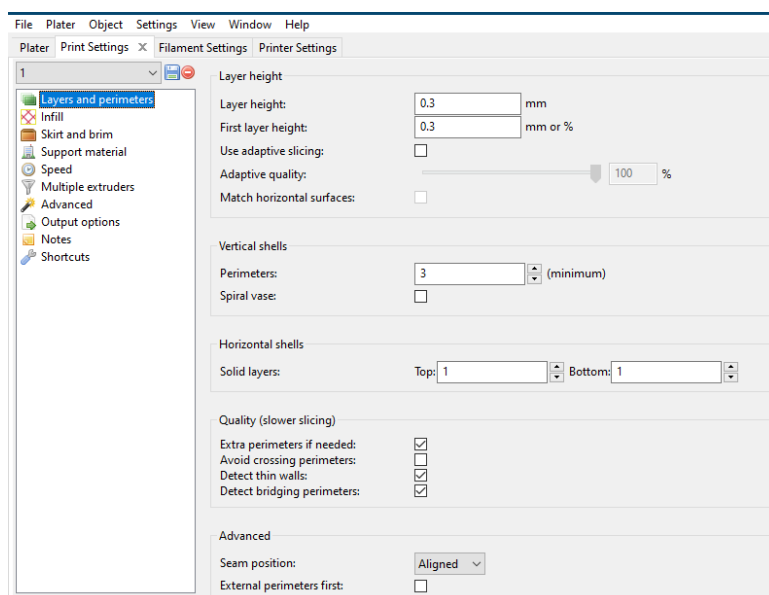


Εικ. 5.3 Λογισμικό Slic3r

Στην εικόνα φαίνεται η επιφάνεια εργασίας του προγράμματος Slic3r με ενσωμάτωση του σχεδιαστικού μοντέλου εκτύπωσης. Στο τέλος της διεργασίας μπορούμε να βγάλουμε το αρχείο σε μορφή STL και G-code. Στις παρακάτω εικόνες θα περιγράψουμε τις τρεις βασικές ρυθμίσεις του προγράμματος slic3r αναλυτικά.

5.3.1 Print Settings

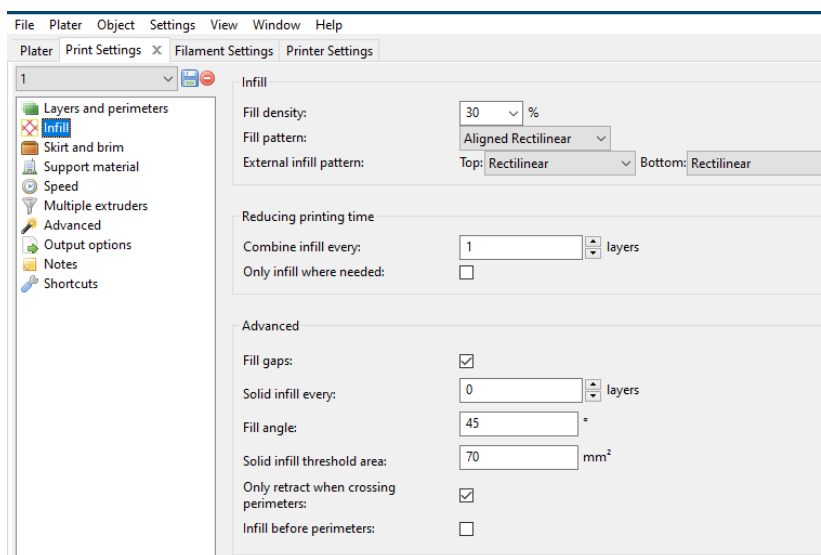
Στις ρυθμίσεις του Slic3r για να επεξεργαστούμε τα δεδομένα της εκτύπωσης το πρώτο που μπορούμε να μεταβάλουμε είναι το ύψος της κάθε στρώσης και της πρώτης στρώσης σε χιλιοστά. Παρακάτω μπορούμε να επεξεργαστούμε τα οριζόντια στιβαρά κελιά και κατά πόσες στρώσεις να εκτυπωθούν στην αρχή και της εκτύπωσης και στο τέλος, με αυτόν τον τρόπο όσο περισσότερα κελιά βάζουμε τόσο πιο στιβαρή βάση και κορυφή έχει η εκτύπωση μας.



Εικ. 5.3.1 Print Settings Layers

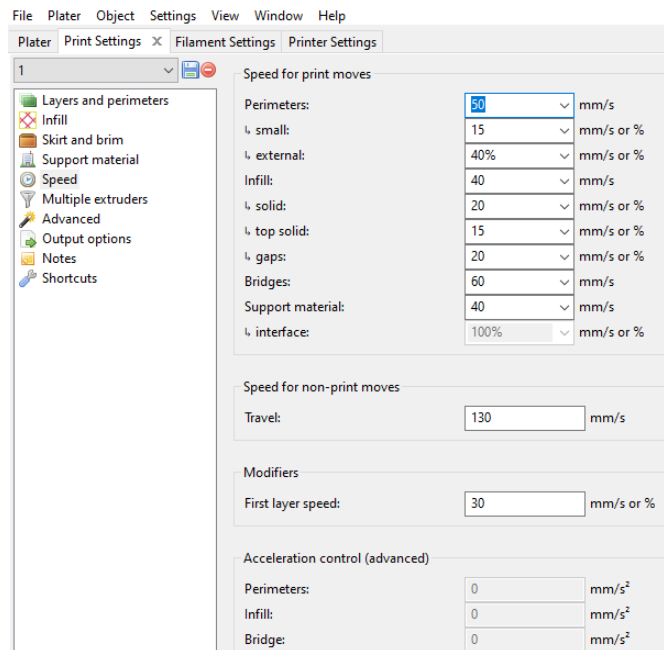
Στα δεδομένα εκτύπωσης επίσης στην ρύθμιση infill μπορούμε να ρυθμίσουμε τα ποσοστά και το μοτίβο γεμίσματος στο εσωτερικό της εκτύπωσης του μοντέλου. Τα ποσοστά εσωτερικής γέμισης υλικού και το μοτίβο επηρεάζουν τον χρόνο εκτύπωσης. Η επιλογή μοτίβου διευκολύνει τον χρήστη σε εφαρμογές

μεγαλύτερης ανθεκτικότητας και σε θέματα οικονομίας υλικού. Όπως και πριν η επιλογή μοτίβου τόσο βάσης όσο και κορυφής του μοντέλου εκτός εσωτερικού είναι διαθέσιμη.



Εικ. 5.3.1 Print Settings Infill

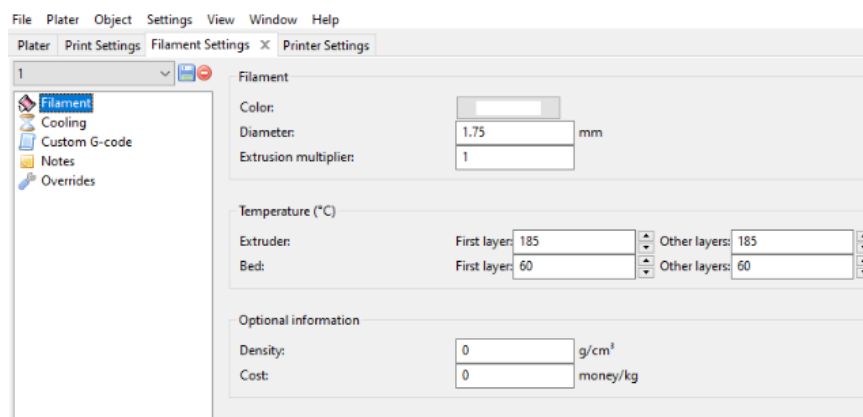
Ωστόσο μια από της κύριες επιλογές επίσης στα δεδομένα εκτύπωσης είναι και οι ταχύτητες εκτύπωσης. Στις ταχύτητες εκτύπωσης μπορούμε να επεξεργαστούμε τις παραμέτρους ταχύτητας κατά την διάρκεια των στρώσεων εκτύπωσης, τις εσωτερικές, τις εξωτερικές και την ταχύτητα γεμίσματος του μοντέλου. Επίσης επεξεργάζεται η ταχύτητα των στιβαρών στρώσεων, τα κενά, η ταχύτητα εκτύπωσης του βοηθητικού υλικού αλλά και των γεφυρών.



Εικ. 5.3.1 Print Settings Speed

5.3.2 Filament Settings

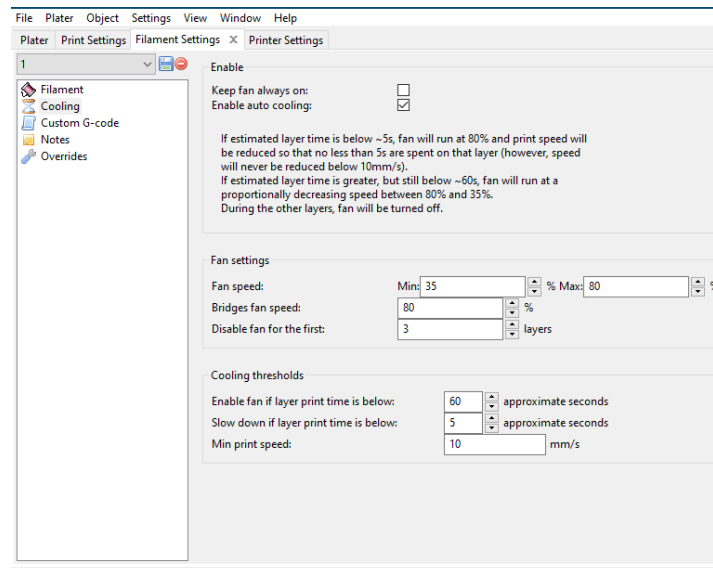
Στις παρακάτω ρυθμίσεις υλικού μπορεί να τροποποιηθεί η διάμετρος του υλικού που χρησιμοποιήθηκε και η θερμοκρασία του υλικού εξώθησης. Επίσης είναι διαθέσιμη και η ρύθμιση της θερμοκρασίας βάσης εκτόπωσης με επιλογή και των δύο ρυθμίσεων θερμοκρασίας, για την πρώτη στρώση αλλά και συνολικά.



Εικ. 5.3.2 Filament Settings

Η ταχύτητα του ανεμιστήρα της θερμαινόμενης κεφαλής είναι τροποποιήσιμη στην κατηγορία Cooling. Στην επιλογή Cooling βλέπουμε τις

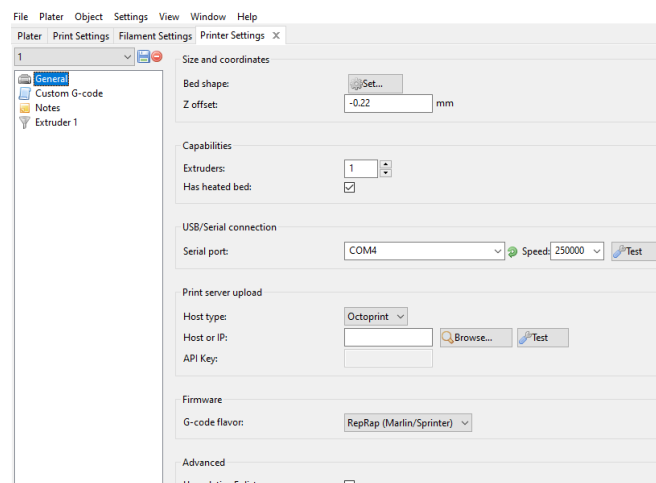
επιλογές ελάχιστης και μέγιστης ταχύτητας του ανεμιστήρα στο σημείο της κεφαλής.



Εικ. 5.3.2 Filament Settings Cooling

5.3.3 Printer Settings

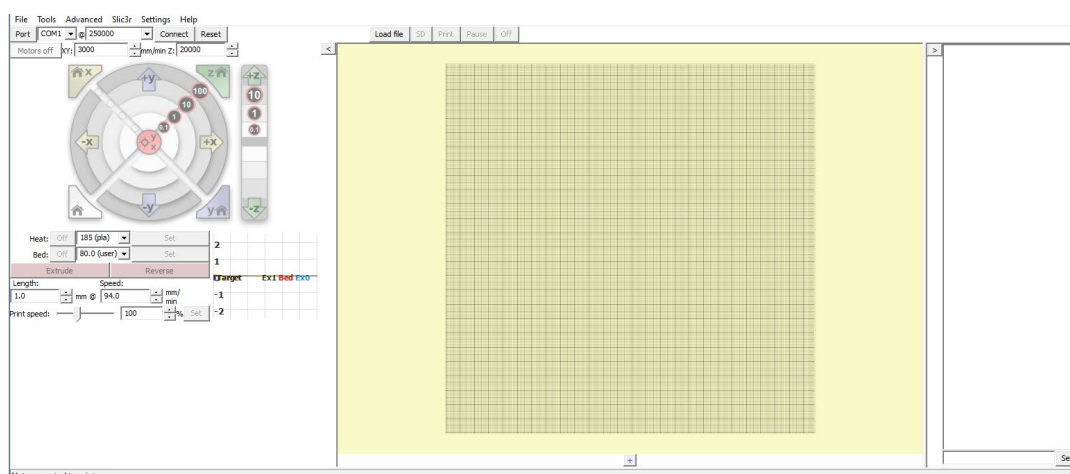
Στις ρυθμίσεις του εκτυπωτή βλέπουμε την επιλογή ορισμού του άξονα Z σε χιλιοστά. Επίσης ρυθμίζουμε τις διαστάσεις βάσης εκτύπωσης και τον αριθμό εξωθητήρων που χρησιμοποιήθηκαν. Ενημερώνουμε την σειριακή πόρτα που ελέγχεται το Arduino καθώς και τον ρυθμό μετάδοσης.



Εικ. 5.3.3 Printer Settings General

5.4 Λογισμικό Pronterface (Printrun)

[21] Το λογισμικό που χρησιμοποιήθηκε την τον έλεγχο του εκτυπωτή κατά την διάρκεια δοκιμών αλλά και κατά την διάρκεια εκτύπωσης μοντέλων είναι το Printrun το οποίο αποτελείται από δύο κομμάτια το Pronterface και το Pronsole. Το Printrun δημιουργήθηκε από τον Kliment Yanev και υποστηρίζει σειριακές και Ethernet συνδέσεις. Αυτά τα δύο προγράμματα Pronterface και Pronsole μας επιτρέπουν να ελέγχουμε δια δραστικά τον εκτυπωτή, να κόβουμε, να εκτυπώνουμε και να φορτώνουμε σχέδια G-code. Για την τρισδιάστατη εκτύπωση χρησιμοποιήθηκε το Pronterface, ένας εξοπλισμένος κεντρικός υπολογιστής GUI ώστε να μπορεί ο χρήστης να επικοινωνεί με το hardware του τρισδιάστατου εκτυπωτή.

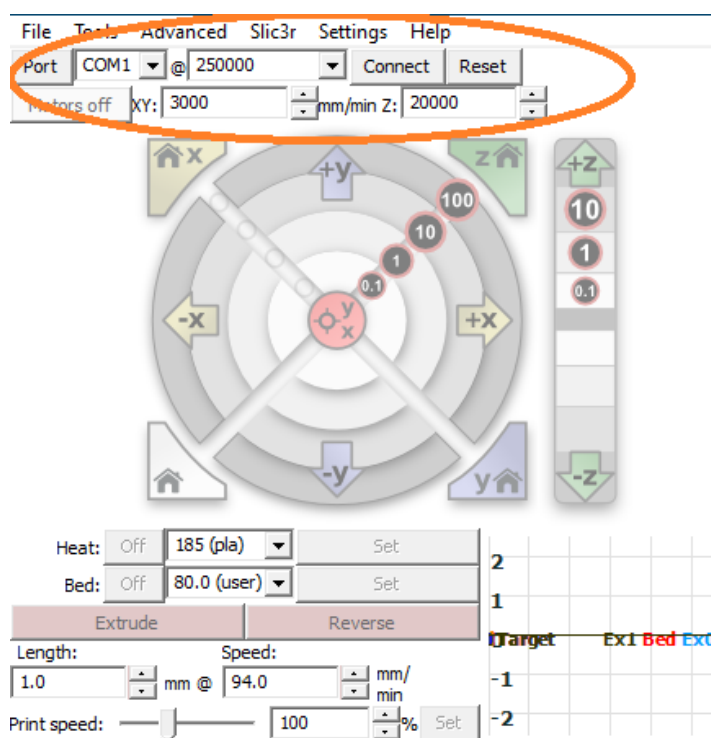


Εικ. 5.4 Λογισμικό Pronterface

[20] Το περιβάλλον GUI είναι αυτό το οποίο περιέχει γραφικά με την δυνατότητα της αλληλεπίδρασης σε πραγματικό χρόνο χωρίς να γράφουμε εντολές. Για παράδειγμα στο λογισμικό Windows που έχουν GUI ανοίγουμε κάποιο είδους παράθυρο χωρίς την εφαρμογή κάποιου κώδικα. Έτσι βλέπει την διαδικασία γραφικής αναμετάδοσης το πρόγραμμα σε πραγματικό χρόνο, μεταφράζει τις κινήσεις του εκτυπωτή σε ειδικές εντολές οι οποίες στέλνονται στο γραφικό πεδίο του Pronterface.

Μετά την εγκατάσταση του προγράμματος επιλέγουμε την θύρα του υπολογιστή στην οποία έχει συνδεθεί ο εκτυπωτής, επιλέγουμε τον ρυθμό

μετάδοσης και πατάμε connect για την σύνδεση των δύο συσκευών και τροποποιούμε τα όρια του X,Y και Z άξονα σε mm/min.



Εικ. 5.4 Πλήκτρα χειρισμού

Για την μετακίνηση της κεφαλής σε πραγματικό χρόνο στους άξονες X,Y και Z χρησιμοποιούμε τα παρακάτω πλήκτρα. Τους άξονες X και Y τους ελέγχουμε με τα 4 διαφορετικά βήματα (0.1mm, 1mm, 10mm, 100mm) και τον άξονα Z από τα κάθετα πλήκτρα με 3 διαφορετικά βήματα (0.1mm, 1mm, 10mm). Για τον κάθε άξονα υπάρχει πλήκτρο για Home και ένα πλήκτρο για τον συνδυασμό του home και στους τρεις άξονες.

Παρακάτω βλέπουμε τα πλήκτρα Heat και Bed τα οποία ρυθμίζουν της θερμοκρασία στην κεφαλή και στην βάση εκτύπωσης. Συνήθως αυτά τα πλήκτρα κατά την εκκίνηση των εκτυπώσεων ενεργοποιούνται από μόνα τους διότι έχουν είδη οριστεί οι θερμοκρασίες από το πρόγραμμα G-code ωστόσο μας παρέχει την επιλογή ρύθμισης θερμοκρασιών μεμονωμένα. Στο κάτω δεξί μέρος της εικόνας παρατηρούμε ένα μιλιμετρέ σχέδιο στο οποίο μας εμφανίζει την θερμοκρασία στα δύο σημεία, της κεφαλής και της βάσης εκτύπωσης.

Με τα δύο κόκκινα κουμπιά Extrude και Reverse μπορούμε να ελέγξουμε τον εξωθνητήρα υλικού με κανονική και αντίστροφη φορά, με λεπτομέρεια μήκους και ταχύτητας.

Κεφάλαιο 6^ο

Συμπεράσματα και Βελτιώσεις

6.1 Συμπεράσματα

Η μελέτη και κατασκευή τρισδιάστατου εκτυπωτή σε βασικό επίπεδο είναι εφικτή και από άτομα με λιγότερες γνώσεις στο κομμάτι των ηλεκτρονικών. Ωστόσο η γνώση προγραμματισμού και η γνώση μηχανικής αποτελεί ένα σημαντικό κομμάτι της εργασίας καθώς χωρίς την εφαρμογή τους η κατασκευή δεν θα πραγματοποιούνταν με τον ίδιο αποτελεσματικό τρόπο. Τα μοντέλα εκτύπωσης έχουν καλή ποιότητα κατασκευής και δεν διαφέρουν από αντίστοιχα μοντέλα εκτυπωτών αγοράς μεγαλύτερης κοστολογικής αξίας.

Η διαδικασία κατασκευής δεν ήταν εύκολη και παρουσιάστηκαν απρόβλεπτα προβλήματα ωστόσο ήταν ευχάριστη γεμάτη γνώση και εμπειρίες. Η αναβάθμιση των λογισμικών αλλά και των υλικών που χρησιμοποιήθηκαν δημιούργησαν προβλήματα συνδεσιμότητας λόγω έλλειψης οδηγών λειτουργίας (drivers). Με την μελέτη των κατασκευαστικών εγχειριδίων, την συνολική έρευνα σε βιβλία και διαδικτυακές κοινότητες επιλύθηκαν τα αντίστοιχα προβλήματα έως το τέλος της παρούσας πτυχιακής εργασίας. Η κατασκευαστική πλευρά της εργασίας βελτίωσε την ικανότητα μου να σκέφτομαι απλά και συντονισμένα. Βελτίωσε επίσης τον χειρισμό εργαλείων που είχα και την δυνατότητα συναρμολόγησης κατασκευών σε κομμάτια. Η παρούσα πτυχιακή εργασία βελτίωσε εξίσου τις προγραμματιστικές μου δεξιότητες και την εμπειρία μου σε εφαρμογές κοστολογικού πλάνου.

Τέλος παρατηρήθηκε ότι λόγω του περιορισμού του κόστους αντίστοιχα περιορίστηκε και η βελτιστοποίηση της κατασκευής. Η αύξηση του κόστους θα είχε αποτέλεσμα στα μοντέλα εκτύπωσης και αντίστοιχα συνολικά στην

κατασκευή, δεν θα υπήρχε έντονος θόρυβος κατά την λειτουργία του. Επίσης θα μειωνόταν ο χρόνος λειτουργίας και θα αυξάνονταν οι λεπτομέρειες στα μοντέλα κατασκευής.

6.2 Βελτιώσεις

Η εστίαση στις βελτιώσεις μιας κατασκευής ή ενός προϊόντος έχει ως αποτέλεσμα την κοινή χρήση και βελτίωση της στην διάρκεια του χρόνου από το κοινό. Για τους τρισδιάστατους εκτυπωτές το ενδιαφέρον για την εξέλιξη τους και την κατασκευή είναι διεθνής γ' αυτό και έχει σημαντικό ρόλο η βελτίωση τους. Συνήθως οι βελτιώσεις βρίσκονται σε όλα τα σημεία της κατασκευής, στον χρωματισμό των αντικειμένων, στην ταχύτητα εκτύπωσης, στο κόστος κατασκευής, στα υλικά εκτύπωσης, στην ανάπτυξη λειτουργιών μέσω λογισμικού και πολλά άλλα.

Κάποιες από τις βελτιώσεις που μπορούμε να αναφέρουμε είναι η εφαρμογή ενός ή δύο κεφαλών με λεπτομερέστερο θερμοκρασιακό έλεγχο για την χρήση διαφορετικών υλικών εκτύπωσης όπως υλικών σιλικόνης, κεραμικών υλικών και μετάλλων. Η εφαρμογή βελτιωμένων βηματικών κινητήρων εξίσου θα αυξήσει την ακρίβεια των κινήσεων του εκτυπωτή με αποτέλεσμα την εκτύπωση μοντέλων με μεγαλύτερη ακρίβεια. Η βελτίωση της θερμαινόμενης επιφάνειας εκτύπωσης θα βοηθήσει στην αποδοτικότερη εκτύπωση της κεφαλής με μικρότερη δυσκολία, αυτό θα έχει ως αποτέλεσμα να μην πιέζεται η κεφαλή εξώθησης και να μειωθεί ο θόρυβος εκτύπωσης. Επίσης οι η ενσωμάτωση αισθητήριων θα βελτιστοποιούσε την κατασκευή, όπως αισθητήρες ελέγχου ταχύτητας, απόστασης κεφαλών από το υλικό αλλά και στον άξονα του, κατανάλωσης υλικού και ελέγχου απωλειών κίνησης.

Οι βελτιώσεις αυτές θα πραγματοποιούσαν αύξηση του κόστους αλλά κατά συνέπεια αύξηση της ποιότητας του εκτυπωτή συνολικά. Οι τρισδιάστατοι εκτυπωτές βελτιώνονται διότι έχουν μεγάλη αξία σε εργοστασιακή αλλά και σε ατομική κλίμακα.

Παράρτημα

Κοστολόγιο

0.4mm J-Head Hotend Extruder Remote Kit Support 1.75mm PLA/ABS



8.93 €

Easythreed® 250g/Roll 1.75mm PLA 3D Printer Filament



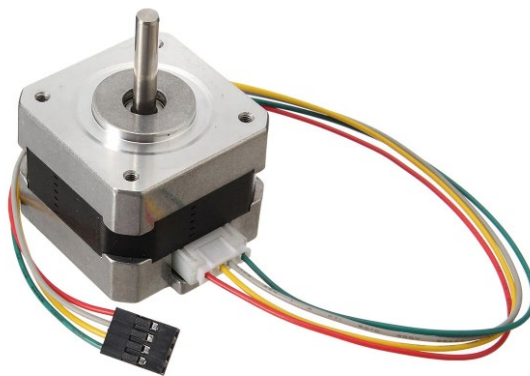
16.82 €

Aluminum Extruder Forward or Reverse Direction Bracket Kit



4.78 €

42mm 12V Nema 17 Two Phase Stepper Motor For 3D Printer



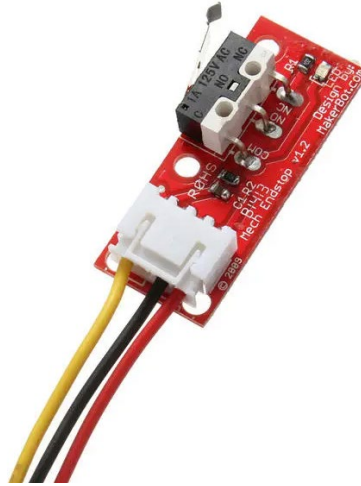
6.56 x 5 €

20T GT2 Aluminium Timing Pulley 2GT 5M Belt



6.64 €

Geekcreit® RAMPS 1.4 Endstop Switch



1.46 x 3 €

LM8UU 8mm Linear Ball Bearing Bush Steel x10



17.9 €

TWO TREES® 12V 20A 240W Power Supply



20.15 €

220x220x3mm 120W 12V MK3 Aluminum Board PCB Heated Bed



17.36 €

8mm x 500mm T8x2 Lead Screw Threaded Rod Nut T8



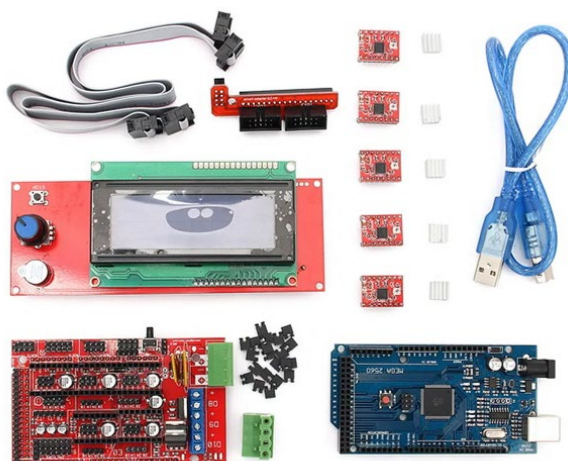
7.69 x 2 €

5mm x 8mm Aluminium Flexible Shaft Coupling OD19mm x L25mm



4.49 x 4 €

Geekcreit® RAMPS 1.4 + Mega2560 + A4988 + 2004LCD Controller 3D



20.76 €

Αλουμίνιο 2mmx2mmx3m



3.96 €

Δείοι ράβδοι 8mm x 50cm



2.00 €

Σύνολο : 176.7 €

Βιβλιογραφία

Βιβλία :

- [1] History of additive manufacturing by Terry Wohlers and Tim Gornet
- [2] RAMPS 1.4 manual by ReaRap
- [3] Power supply, Arduino mega 2560 and stepper motors connectors by Maram Sulimani
- [4] ΟΞΟΒΙΟΔΙΑΣΜΩΠΕΝΑ ΠΛΑΣΤΙΚΑ ΣΥΜΒΟΛΗ ΣΤΗΝ ΒΙΩΣΙΜΗ ΑΝΑΠΤΥΞΗ – Νίκος Κατσαρός
- [5] Mechanical properties of components fabricated with open-source 3-D printers under realistic environmental conditions- B. M. Tymrak, M. Kreiger, and J. M Pearce.
- [6] C ΠΡΟΓΡΑΜΜΑΤΙΣΜΟΣ “Παρουσίαση C++ και Αντικειμενοστραφούς Προγραμματισμού με την βιβλιοθήκη Allegro C”-P.J. Deitel, H. M. Deitel.

Διαδίκτυο :

- [7] <http://funofdiy.blogspot.com/2014/03/a-simple-temperature-control-system-for.html>
- [8] <https://reprap.org/wiki/Category:Extruders>
- [9] <https://reprap.org/wiki/Thermistor#Theory>
- [10] <http://domoticx.com/3d-printer-heated-bed-reprap-mendel/>
- [11] <https://reprap.org/wiki/About>
- [12] https://reprap.org/wiki/PCB_Heatbed
- [13] <https://grobotronics.com/arduino-mega-2560-rev3.html?sl=e1>
- [14] <https://www.dictionary.com/browse/firmware>
- [15] <https://nmbtc.com/resources/stepping-motor-engineering/>
- [16] <https://marlinfw.org/docs/configuration/configuration.html#configuring-marlin-1.1>
- [17] <https://reprap.org/wiki/Slic3r>
- [18] <https://manual.slic3r.org>
- [19] <https://slic3r.org/about/>
- [20] <https://ti-einai.gr/gui/>
- [21] <https://www.plasticscribbler.com/tutorial/getting-started/item/21-getting-started-with-pronterface#.WeJEH4-0Pcc>
- [22] <https://thefutureofthings.com/4664-the-future-of-3d-printing/>
- [23] <https://3dprintingindustry.com/3d-printing-basics-free-beginners-guide>
- [24] <https://www.allthat3d.com/3d-printing-history/>
- [25] <https://www.arduino.cc/en/Guide/Introduction>