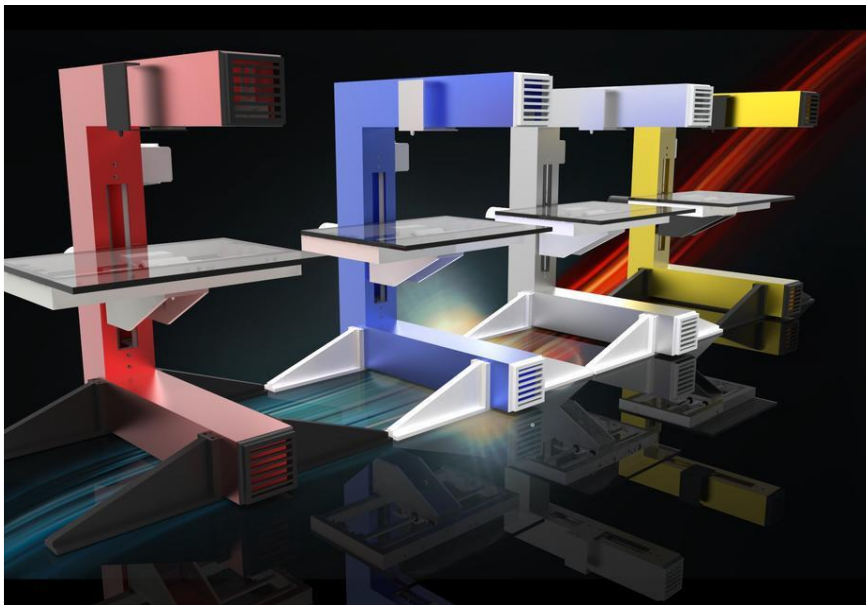




ΤΕΧΝΟΛΟΓΙΚΟ ΕΚΠΑΙΔΕΥΤΙΚΟ ΙΔΡΥΜΑ ΚΡΗΤΗΣ
ΣΧΟΛΗ ΤΕΧΝΟΛΟΓΙΚΩΝ ΕΦΑΡΜΟΓΩΝ
ΤΜΗΜΑ ΜΗΧΑΝΟΛΟΓΩΝ ΜΗΧΑΝΙΚΩΝ Τ.Ε.

ΠΤΥΧΙΑΚΗ ΕΡΓΑΣΙΑ

**ΣΧΕΔΙΑΣΗ ΚΑΙ ΥΛΟΠΟΙΗΣΗ ΣΥΣΤΗΜΑΤΟΣ ΕΛΕΓΧΟΥ ΤΡΙΣΔΙΑΣΤΑΤΟΥ
ΕΚΤΥΠΩΤΗ ΧΑΜΗΛΟΥ ΚΟΣΤΟΥΣ**



Σπουδαστής

ΖΑΚΥΝΘΙΝΟΣ ΓΕΩΡΓΙΟΣ

A.M. : 5295

Επιβλέπων καθηγητής

Δρ. Φασουλάς Ιωάννης

Επίκουρος Καθηγητής σχολής Σ.Τ.Εφ. τμήματος Μηχανολογίας Τ.Ε.Ι. Κρήτης

Περίληψη

Σε αυτήν την πτυχιακή εργασία θα γίνει μια προσπάθεια κατανόησης της λειτουργίας και κυρίως του **ελέγχου του τρισδιάστατου εκτυπωτή χαμηλού κόστους που κατασκευάστηκε στο εργαστήριο ρομποτικής και αυτοματικής του Τ.Ε.Ι Κρήτης**. Η πτυχιακή αυτή αναφέρεται κυρίως στα ηλεκτρονικά και προγραμματιστικά στοιχεία του συγκεκριμένου τρισδιάστατου εκτυπωτή. Αρχικά θα γίνει η παρουσίαση των εξαρτημάτων που χρειάζονται για τον έλεγχο και την κίνηση του. Στην συνέχεια παρουσιάζεται ο τρόπος με τον οποίο συνδέονται όλα αυτά τα επιμέρους εξαρτήματα και δίνεται το τελικό αποτέλεσμα της κατασκευής. Τέλος θα γίνει αναφορά και ανάλυση των λογισμικών που χρειάζονται για να κινηθούν με αρμονία όλα τα μέρη του εκτυπωτή καθώς και τα συμπεράσματα από την ολοκλήρωση της κατασκευής αυτής

In this thesis will be an attempt to understand the function and mainly **control the three-dimensional low-cost printer built in robotics laboratory and automatics TEI of Crete**. The thesis refers mainly to electronic and programmatic elements of this three-dimensional printer. Firstly we will see the presentation of the components that are needed to control and movement. Then occurs the way in which they are attached all the components and present the final result of the construction. Finally, we will make reference and analysis of the software needed to move in harmony all the parts of the printer and the conclusions of the construction's completion.

ΕΥΧΑΡΙΣΤΙΕΣ

Η πτυχιακή αυτή εργασία εκπονήθηκε στο Εργαστήριο ΕΜΤΤU στο τμήμα Μηχανολόγων μηχανικών Τ.Ε του Τ.Ε.Ι Κρήτης. Θα ήθελα να ευχαριστήσω όλους όσους με βοήθησαν στην υλοποίηση αυτής της εργασίας, όλο αυτό το χρονικό διάστημα.

Πρώτα από όλα θέλω να εκφράσω τις θερμές μου ευχαριστίες στους γονείς μου, Νικόλαο Ζακυνθινό και Μαρία αλλά και στον αδελφό μου Κωστάγγελο Ζακυνθινό, που με στήριζαν ηθικά και οικονομικά όλα αυτά τα χρόνια, δίνοντας μου κουράγιο να φτάσω στο στόχο μου.

Η εκπόνηση της πτυχιακής εργασίας πραγματοποιήθηκε υπό την επίβλεψη του καθηγητή κ. Ιωάννη Φασουλά, τον οποίο ευχαριστώ θερμά για τη βοήθεια, τη συμπαράσταση και την άριστη καθοδήγησή του.

1	ΕΙΣΑΓΩΓΗ	8
2	ΚΕΦΑΛΑΙΟ 2 -ΤΡΙΣΔΙΑΣΤΑΤΟΙ ΕΚΤΥΠΩΤΕΣ ΚΑΙ ΤΡΙΣΔΙΑΣΤΑΤΗ ΕΚΤΥΠΩΣΗ.....	10
2.1	Εισαγωγή.....	10
2.2	Τι είναι τρισδιάστατος εκτυπωτής.....	10
2.3	Γενικά για τις τρισδιάστατες εκτυπώσεις.....	10
2.4	Αρχές τρισδιάστατης εκτύπωσης.....	11
2.5	Εφαρμογές τρισδιάστατης εκτύπωσης.....	11
2.6	Η κοινότητα RepRap.....	12
2.7	Τρισδιάστατοι εκτυπωτές χαμηλού κόστους.....	13
3	ΚΕΦΑΛΑΙΟ 3 –ΕΠΙΛΟΓΗ ΚΑΙ ΥΛΟΠΟΙΗΣΗ ΤΟΥ ΤΡΙΣΔΙΑΣΤΑΤΟΥ ΕΚΤΥΠΩΤΗ	17
3.1	Εισαγωγή.....	17
3.2	Παρουσίαση του εκτυπωτή που κατασκευάστηκε.....	17
3.3	Κριτήρια επιλογής του τρισδιάστατου εκτυπωτή.....	18
3.4	Χαρακτηριστικά μέρη του εκτυπωτή	18
3.4.1	ΆΞΟΝΕΣ	18
3.4.2	EXTRUDER	18
3.4.3	ΤΡΑΠΕΖΑ ΕΚΤΥΠΩΣΗΣ	19
3.4.4	ΒΗΜΑΤΙΚΟΙ ΚΙΝΗΤΗΡΕΣ.....	20
3.5	Ηλεκτρονικά μέρη και έλεγχος του εκτυπωτή.....	21
3.6	Υποσύστημα αίσθησης.....	21
3.6.1	ΘΕΡΜΙΣΤΟΡ.....	21
3.6.2	ΤΕΡΜΑΤΙΚΟΙ ΔΙΑΚΟΠΤΕΣ (END-STOP)	22
3.7	Υποσύστημα κίνησης	22
3.7.1	ΜΟΝΑΔΑ ΕΛΕΓΧΟΥ.....	22
3.7.2	ΣΥΝΔΕΣΗ ΤΡΟΦΟΔΟΣΙΑΣ	24
3.7.3	ΙΣΧΥΣ ΤΡΟΦΟΔΟΣΙΑ.....	24
3.8	Arduino mega.....	24
3.8.1	ΑΡΧΙΤΕΚΤΟΝΙΚΗ ARDUINO.....	24
3.8.2	ΓΕΝΙΚΕΣ ΠΛΗΡΟΦΟΡΙΕΣ ΓΙΑ ΤΟ ARDUINO	25
3.8.3	ΤΕΧΝΙΚΑ ΧΑΡΑΚΤΗΡΙΣΤΙΚΑ ΤΟΥ ARDUINO MEGA.....	25
3.9	Οδηγοί βηματικών κινητήρων	26
3.10	Υποσύστημα ελέγχου	26
3.10.1	Το ΣΥΝΟΛΟ ΤΩΝ ΛΟΓΙΣΜΙΚΩΝ HOST & SLICE SOFTWARE.....	27
3.10.2	ΛΟΓΙΣΜΙΚΑ SLICER.....	28
3.10.3	ΛΟΓΙΣΜΙΚΑ HOST (ΛΟΓΙΣΜΙΚΟ ΥΠΟΔΟΧΗΣ).....	29
3.10.4	ΛΟΓΙΣΜΙΚΟ (FIRMWARE)	30
4	ΚΕΦΑΛΑΙΟ 4 –ΣΥΝΔΕΣΗ ΗΛΕΚΤΡΟΝΙΚΩΝ ΕΞΑΡΤΗΜΑΤΩΝ ΕΚΤΥΠΩΤΗ	33
4.1	Εισαγωγή.....	33

4.2	Διαδικασία σύνδεσης ηλεκτρονικών εξαρτημάτων.....	33
5	ΚΕΦΑΛΑΙΟ 5 –ΠΡΟΓΡΑΜΜΑΤΙΣΜΟΣ ΤΡΙΣΔΙΑΣΤΑΤΟΥ ΕΚΤΥΠΩΤΗ.....	39
5.1	Εισαγωγή.....	39
5.2	Κάνοντας το πρώτο upload	39
5.3	Τρόπος λειτουργίας των προγραμμάτων Host και Slicer	43
6	ΚΕΦΑΛΑΙΟ 6 –ΒΑΘΜΟΝΟΜΗΣΗ CALIBRATION.....	50
6.1	Εισαγωγή.....	50
6.2	Διαδικασία βαθμονόμησης εκτυπωτή.....	50
7	ΚΕΦΑΛΑΙΟ 7 –ΔΟΚΙΜΙΑ ΠΟΥ ΕΚΤΥΠΩΘΗΚΑΝ, ΤΕΛΙΚΗ ΜΟΡΦΗ ΤΟΥ ΕΚΤΥΠΩΤΗ, ΣΥΜΠΕΡΑΣΜΑΤΑ	53
7.1	Εισαγωγή.....	53
7.2	Δοκίμια που εκτυπώθηκαν	53
7.3	Τελική μορφή του εκτυπωτή.....	55
7.4	Συμπεράσματα για το κατασκευαστικό κομμάτι του εκτυπωτή:	56

Ευρετήριο εικόνων

Εικόνα 1 Το λογότυπο της κοινότητας RepRap.....	12
Εικόνα 2 Οι δημιουργοί της RepRap. Αριστερά φαίνεται Ο Adrian Bowyer, καθώς και ο πρώτος εκτυπωτής	12
Εικόνα 3 Εκτυπωτής Darwin. Ο πρώτος που κατασκευάστηκε το 2007	13
Εικόνα 4 Εκτυπωτής Mendel	13
Εικόνα 5 Εκτυπωτής Prusa Mendel	14
Εικόνα 6 Εκτυπωτής RepRapPro Mendel	14
Εικόνα 7 Εκτυπωτής RepRapPro Huxley.....	15
Εικόνα 8 Τρισδιάστατος εκτυπωτής Eventorbot.....	15
Εικόνα 9 στην αριστερή εικόνα παρουσιάζεται ο τρισδιάστατος εκτυπωτής που κατασκευαστική και στην δεξιά ο εκτυπωτής που προήλθε η ιδέα	17
Εικόνα 10 Τρισδιάστατο σχέδιο Eventorbot σε τομή που σχεδιαστική και κατασκευάστηκε στο εργαστήριο ρομποτικής του ΤΕΙ Κρήτης.....	18
Εικόνα 11 Παρουσιάζει τα σημαντικότερα σημεία του Extruder	19
Εικόνα 12 Παρουσιάζει τα σημαντικότερα σημεία του Extruder	19
Εικόνα 13 Οι κινήσεις στον άξονα X του κρεβατιού	20
Εικόνα 14 Σκελετός Eventrobot σε τομή με τους κινητήρες.....	20
Εικόνα 15 Νέμα 17 βηματικός κινητήρας	21
Εικόνα 16 Νέμα 17 τεχνικά χαρακτηριστικά.....	21
Εικόνα 17 Θερμίστορ του extruder Εικόνα 18 Η θέση του θερμίστορ στο extruder ...	22
Εικόνα 19 Τερματικοί διακόπτες End - Stop	22
Εικόνα 20 Η τελική μορφή της RAMPS.....	23
Εικόνα 21 Ο μικροελεγκτής Arduino mega	25
Εικόνα 22 Pololu stepper driver	26
Εικόνα 23 Cam tool chain	27
Εικόνα 24 Το πρόγραμμα slic3r.....	28
Εικόνα 25 περιβάλλον του Kisslicer	29
Εικόνα 26 Πρόγραμμα printrun	30
Εικόνα 27 Πρόγραμμα repetier host.....	30
Εικόνα 28 Ηλεκτρολογικό διάγραμμα	34
Εικόνα 29 Ακροδέκτης του κινητήρα	34
Εικόνα 30 Σύνδεση αντίστασης στην πλακέτα.....	34
Εικόνα 31 Σύνδεση θερμίστορ θερμαινόμενης επιφάνειας εκτύπωσης.....	35
Εικόνα 32 End – Stop.....	35
Εικόνα 33 End - Stop Y άξονα.....	36
Εικόνα 34 End-Stop Z άξονας	36
Εικόνα 35 Τοποθέτηση κινητήρα X άξονα	36
Εικόνα 36 Σύνδεση του τροφοδοτικού	37
Εικόνα 37 Σύνδεση τροφοδοτικού με και τα καλώδια της πλακέτας.....	37
Εικόνα 38 Σύνδεση καλωδίου usb	38
Εικόνα 39 Η τελική μορφή της πλακέτας	38
Εικόνα 40 Χώρος εργασίας arduino	40

Εικόνα 41 Φορτώνοντας το Firmware στον Arduino	40
Εικόνα 42 Ρύθμιση του βήματος κάθε άξονα.....	41
Εικόνα 43 Ρύθμιση της κίνησης των αξόνων	41
Εικόνα 44 Ορισμός των μέγιστων αποστάσεων ανά άξονα	42
Εικόνα 45 Ρύθμιση αξόνων , ταχυτήτων.....	42
Εικόνα 46 Ρύθμιση της επιτάχυνσης των αξόνων	43
Εικόνα 47 Πλατφόρμα Pronterface.....	44
Εικόνα 48 Ορισμός Baudrate	44
Εικόνα 49 Πλατφόρμα Pronterface.....	44
Εικόνα 50 Πλατφόρμα pronterface εισαγωγή αρχείου	45
Εικόνα 51 Εξιδανικευμένες ρυθμίσεις	46
Εικόνα 52 Pronterface expert mode	46
Εικόνα 53 Pronterface expert mode	47
Εικόνα 54 Pronterface expert mode ρύθμιση ταχυτήτων	47
Εικόνα 55 Pronterface expert mode	48
Εικόνα 56 Εξαγωγή G κώδικα Pronterface expert mode	49
Εικόνα 57 Εικόνα Εξαγωγή ρυθμίσεων pronterface expert mode	49
Εικόνα 58 Ρυθμίσεις στο firmware.....	50
Εικόνα 59 Pronterface κίνηση αξόνων.....	50
Εικόνα 60 Firmware.....	51
Εικόνα 61 Pronterface Extruder calibration.....	51
Εικόνα 62 Firmware extruder calibration	51
Εικόνα 63 Ρύθμιση του feedrate.....	52
Εικόνα 64 Δοκίμιο 1 Εικόνα 65 Δοκίμιο 2.....	54
Εικόνα 66 Δοκίμιο 3 Εικόνα 67 Δοκίμιο 4.....	54
Εικόνα 68 Κακή εκτύπωση δοκιμίου Εικόνα 69 Κακή εκτύπωση κομματιού 2	55
Εικόνα 70 Κακή εκτύπωση κομματιού 3	55
Εικόνα 71 Eventorbot τελική μορφή.....	56
Εικόνα 72 Eventorbot κατασκευαστικά σφάλματα	57
Εικόνα 73 Eventorbot κατασκευαστικά λάθη.....	57

1 Εισαγωγή

Η πρώτη απόπειρα κατασκευής ενός τρισδιάστατου εκτυπωτή έγινε στα τέλη του 1980 από τον Δρ. Kodama στην Ιαπωνία. Ωστόσο το πρώτο δίπλωμα ευρεσιτεχνίας για συσκευές στερεολιθογραφίας εκδόθηκε το 1986 από τον Charles (Chuck) Hull ο οποίος επινοείσαι το πρώτο μηχάνημα SLA το 1983. Από τότε μέχρι και σήμερα έχει εξελιχθεί κατά πολύ η τεχνολογία της τρισδιάστατης εκτύπωσης. Πλέον έχουν κατασκευαστεί τρισδιάστατοι εκτυπωτές χαμηλού κόστους που απευθύνονται στον καθένα για καθημερινή χρήση.

Στις επόμενες σελίδες παρουσιάζεται ο τρόπος ελέγχου ενός πραγματικού τρισδιάστατου εκτυπωτή χαμηλού κόστους ο οποίος κατασκευάστηκε στο εργαστήριο αυτοματικής και ρομποτικής του ΤΕΙ Κρήτης. Γίνεται αναφορά στο σύστημα ελέγχου του τρισδιάστατου εκτυπωτή με την πλατφόρμα Arduino καθώς και τα ηλεκτρονικά μέρη του εκτυπωτή που είναι απαραίτητα για την υλοποίηση του.

Τέλος παρουσιάζονται τα προγράμματα που χρειάζονται για την επικοινωνία του εκτυπωτή με τον υπολογιστή και τον χειρισμό του, ο τρόπος εξαγωγής του κώδικα G και όλες οι ρυθμίσεις που πρέπει να γίνουν για την κατάλληλη εκτύπωση. Στην συνέχεια παρουσιάζεται η δομή της πτυχιακής εργασίας όπως αυτή αποτυπώνεται στην παρούσα πτυχιακή εργασία.

Στο πρώτο κεφάλαιο παρουσιάζεται η πτυχιακή εργασία που αφορά τον **έλεγχο ενός τρισδιάστατου εκτυπωτή χαμηλού κόστους**, ο οποίος κατασκευάστηκε στο εργαστήριο **ρομποτικής και αυτοματικής του Τ.Ε.Ι Κρήτης**. Επίσης γίνεται μια σύντομη ιστορική αναδρομή για την πρώτη προσπάθεια κατασκευής τρισδιάστατου εκτυπωτή .

Στο δεύτερο κεφάλαιο γίνεται αναφορά στην τεχνολογία της τρισδιάστατης εκτύπωσης και τις εφαρμογές της. Ακόμα γίνεται αναφορά στην κοινότητα RepRap, η οποία είναι μια κοινότητα ανθρώπων που είναι υπεύθυνοι για την κατασκευή του πρώτου τρισδιάστατου εκτυπωτή χαμηλού κόστους. Τέλος γίνεται αναφορά στους τρισδιάστατους εκτυπωτές χαμηλού κόστους που υπάρχουν και στα χαρακτηριστικά τους.

Στο τρίτο κεφάλαιο παρουσιάζεται ο τρισδιάστατος εκτυπωτής που κατασκευάστηκε στο **Τ.Ε.Ι Κρήτης**. Ακόμα παρουσιάζονται τα χαρακτηριστικά σημεία του εκτυπωτή όπως (**άξονες, τράπεζα εκτύπωσης, extruder, βηματικοί κινητήρες**). Τέλος γίνεται εκτενής αναφορά στα ηλεκτρονικά του μέρη καθώς και στα λογισμικά που είναι απαραίτητα για τον έλεγχο του.

Στο τέταρτο κεφάλαιο παρουσιάζεται λεπτομερώς η συνδεσμολογία των ηλεκτρονικών εξαρτημάτων του τρισδιάστατου εκτυπωτή, καθώς και το ηλεκτρολογικό σχέδιο.

Στο πέμπτο κεφάλαιο γίνεται ανάλυση και επεξήγηση των λογισμικών που πρέπει να εγκατασταθούν στον υπολογιστή για τον χειρισμό του εκτυπωτή. Ακόμα παρουσιάζονται οι

σημαντικότερες ρυθμίσεις που δύναται να κάνει ο χειριστής προκειμένου να επιτευχθεί η ανάλογη απόδοση όπως π.χ. **(ταχύτερη εκτύπωση , ποιότητα εκτύπωσης, ήρεμη λειτουργία)**

Στο έκτο κεφάλαιο παρουσιάζεται ο τρόπος με το οποίο γίνεται η βαθμονόμηση του εκτυπωτή. Το τελευταίο και σημαντικότερο σημείο πριν την πρώτη εκτύπωση είναι η βαθμονόμηση του εκτυπωτή. Με αυτή την διαδικασία ρυθμίζεται ο εκτυπωτής για να κάνει τις ορθές κινήσεις. Επίσης ορίζονται οι μέγιστες και οι ελάχιστες αποστάσεις που μπορεί να διανύσει ο εκτυπωτής.

Στο έβδομο κεφάλαιο παρουσιάζονται τα δοκίμια που εκτυπώθηκαν και οι εσφαλμένες εκτυπώσεις. Τέλος παρουσιάζεται η μορφή του εκτυπωτή μετά την ολοκλήρωση της κατασκευής του καθώς και τα συμπεράσματα που προέκυψαν στο κατασκευαστικό κομμάτι του εκτυπωτή.

2 Κεφάλαιο 2 -Τρισδιάστατοι εκτυπωτές και τρισδιάστατη εκτύπωση

2.1 Εισαγωγή

Στο δεύτερο κεφάλαιο γίνεται αναφορά στην τεχνολογία της τρισδιάστατης εκτύπωσης και τις εφαρμογές της. Ακόμα γίνεται αναφορά στην κοινότητα RepRap, η οποία είναι μια κοινότητα ανθρώπων που είναι υπεύθυνοι για την κατασκευή του **πρώτου τρισδιάστατου εκτυπωτή χαμηλού κόστους**. Τέλος γίνεται αναφορά στους τρισδιάστατους εκτυπωτές χαμηλού κόστους που υπάρχουν και στα χαρακτηριστικά τους.

2.2 Τι είναι τρισδιάστατος εκτυπωτής

Η τρισδιάστατη εκτύπωση είναι μια τεχνολογία παραγωγής προσθέτοντας υλικό, όπου ένα αντικείμενο δημιουργείται με την πρόσθεση διαδοχικών στρωμάτων του υλικού. Οι τρισδιάστατοι εκτυπωτές είναι γενικά, ποιο γρήγοροι, ποιο προσιτοί και ποιο εύκολοι στη χρήση τους από άλλες τεχνολογίες κατασκευής με τον τρόπο πρόσθεσης υλικού. Οι τρισδιάστατοι εκτυπωτές προσφέρουν ανάπτυξη των προϊόντων, τη δυνατότητα κατασκευής διαφόρων εξαρτημάτων, πολύπλοκων, σύνθετης μορφής, με διαφορετικές μηχανικές και φυσικές ιδιότητες σε μία ενιαία διαδικασία κατασκευής. Οι εξειδικευμένες τεχνολογίες εκτύπωσης αναπαράγουν μοντέλα που χρησιμοποιούνται σαν πρωτότυπα προϊόντα. Υπάρχει ένας μεγάλος αριθμός τεχνολογιών τρισδιάστατης εκτύπωσης. Οι κύριες διαφορές είναι στον τρόπο που κατασκευάζουν τα στρώματα για την δημιουργία αντικειμένων. Άλλες μέθοδοι χρησιμοποιούν την πήξη ή το μαλάκωμα των υλικών για την παραγωγή των στρωμάτων π.χ. selective laser sintering (SLS) και fused deposition modeling (FDM). Οι βιομηχανικοί εκτυπωτές κατασκευάζονται από εταιρίες όπως είναι οι Objet Geometries, Stratasys, 3DSystems and Z-corp.

2.3 Γενικά για τις τρισδιάστατες εκτυπώσεις

Η 3D Εκτύπωση είναι μια διαδικασία δημιουργίας τρισδιάστατων αντικειμένων από ένα ψηφιακό αρχείο χρησιμοποιώντας έναν εκτυπωτή υλικών, με τρόπο παρόμοιο με την

εκτύπωση εικόνων σε χαρτί. Ο όρος είναι περισσότερο συνδεδεμένος με την τεχνολογία προσθετικής παραγωγής (additive manufacturing), όπου ένα αντικείμενο δημιουργείται από την εναπόθεση διαδοχικών στρωμάτων του υλικού. Όλο και περισσότερο ο όρος αυτός χρησιμοποιείται για να περιγράψει όλους τους τύπους των διαδικασιών προσθετικής παραγωγής. Η 3D εκτύπωση γίνεται συνήθως χρησιμοποιώντας έναν εκτυπωτή υλικών και από το 2003 υπήρξε μεγάλη αύξηση στις πωλήσεις των μηχανών αυτών. Επιπλέον, το κόστος των εκτυπωτών 3D έχει μειωθεί. Η τεχνολογία αυτή βρίσκει επίσης χρήση στον τομέα των κοσμημάτων, υποδημάτων, βιομηχανικού σχεδιασμού, αρχιτεκτονικής, μηχανικής και κατασκευών, της αυτοκινητοβιομηχανίας, της αεροδιαστημικής, της οδοντιατρικής και της ιατρικής, της εκπαίδευσης, των γεωγραφικών συστημάτων πληροφοριών, έργα πολιτικού μηχανικού και πολλών άλλων.

2.4 Αρχές τρισδιάστατης εκτύπωσης

Η χρήση της πρόσθετης παραγωγής παίρνει εικονικά σχέδια από ένα λογισμικό CAD (Computer Aided Design) ή λογισμικό προσομοίωσης animation, τα μετατρέπει σε λεπτές, εικονικές, οριζόντιες διατομές και στη συνέχεια δημιουργεί διαδοχικές στρώσεις μέχρι το μοντέλο να είναι πλήρες. Είναι μια διαδικασία όπου το εικονικό μοντέλο και το φυσικό μοντέλο είναι σχεδόν ταυτόσημα. Η μηχανή διαβάζει δεδομένα από ένα σχέδιο CAD και καθορίζει τις διαδοχικές στρώσεις υγρού, σκόνης, ή φύλλου υλικού και με αυτόν τον τρόπο ενισχύει το μοντέλο από μια σειρά διατομών. Αυτά τα στρώματα, τα οποία αντιστοιχούν στην εικονική διατομή από το μοντέλο CAD, ενώνονται ή συγχωνεύονται αυτόματα για να δημιουργήσουν το τελικό σχήμα. Το κύριο πλεονέκτημα για την κατασκευή πρόσθετης ύλης είναι η ικανότητά της να δημιουργήσει σχεδόν οποιοδήποτε σχήμα ή γεωμετρικό χαρακτηριστικό. Η πρότυπη διεπαφή δεδομένων λογισμικού CAD και των μηχανημάτων είναι η μορφή αρχείου STL. Ένα αρχείο STL προσεγγίζει το σχήμα ενός μέρους ή συνόλου της συναρμολόγησης με τριγωνικές πλευρές (τριγωνοποίηση αντικειμένου). Μικρότερες πτυχές παράγουν υψηλότερη ποιότητα επιφάνειας. VRML (ή WRL) είναι τα αρχεία που χρησιμοποιούνται συχνά ως είσοδοι στις 3D τεχνολογίες εκτύπωσης που είναι σε θέση να τυπώσουν έγχρωμα.

2.5 Εφαρμογές τρισδιάστατης εκτύπωσης

Συνήθεις εφαρμογές περιλαμβάνουν τον σχεδιασμό, την κατασκευή προτύπων, την χύτευση μετάλλων, την αρχιτεκτονική, και την εκπαίδευση. Άλλες εφαρμογές περιλαμβάνουν την ανακατασκευή απολιθωμάτων στην παλαιοντολογία, την αντιγραφή αρχαίων και ανεκτίμητων έργων τέχνης στην αρχαιολογία, την ανακατασκευή των οστών του σώματος στην ιατροδικαστική παθολογία και την ανάκτηση στοιχείων που συγκεντρώθηκαν από τις έρευνες σε τόπους εγκλήματος. Η 3D εκτύπωση παρουσιάζει πλέον τέτοιες δυνατότητες, ώστε να μπορεί να παράγει ένα εξατομικευμένο αντίγραφο ισχίου, με την άρθρωση μόνιμα μέσα στην υποδοχή. Με αποτέλεσμα ακόμη και σε τρέχουσες αναλύσεις εκτύπωσης τα αποτελέσματα δεν απαιτούν λείανση. Η χρήση των τεχνολογιών 3D εκτύπωσης επιτρέπουν την αναπαραγωγή των πραγματικών αντικειμένων, χωρίς τη χρήση τεχνικών διαμόρφωσης (όπως στις μηχανές CNC), όπου σε πολλές

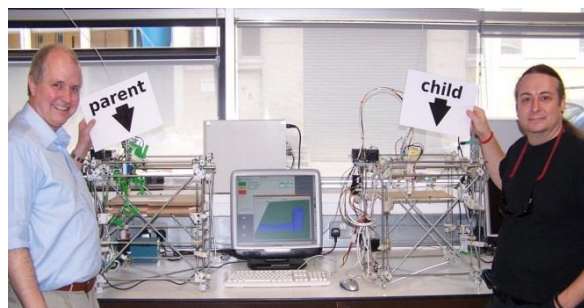
περιπτώσεις μπορεί να είναι πιο ακριβές, πιο δύσκολες ή πολύ επεμβατικές για να πραγματοποιηθούν. Ιδιαίτερα σε πολύτιμα ή ευαίσθητα αντικείμενα της πολιτιστικής κληρονομιάς, η άμεση επαφή των ουσιών αυτών θα μπορούσε να βλάψει την διαμόρφωση της επιφάνειας του αρχικού αντικειμένου. Βιομηχανικοί 3D εκτυπωτές έχουν υπάρξει από τις αρχές της δεκαετίας του 1980, και έχουν χρησιμοποιηθεί εκτενώς για την ταχεία προτυποποίηση και για ερευνητικούς σκοπούς, αλλά με την πτώση των τιμών και την εύρεση νέων τεχνικών παρατηρείται μια άνθηση στον τομέα αυτό.

2.6 Η κοινότητα RepRap

Το RepRap (Replicating rapid prototype) είναι ένας τρισδιάστατος εκτυπωτής ανοιχτού λογισμικού και χαμηλού κόστους, ο οποίος είναι ικανός να εκτυπώσει αρκετά κομμάτια. Το RepRap ξεκίνησε από τον Adrian Bowyer, καθηγητή στο πανεπιστήμιο του Bath στην Αγγλία. Το σημαντικό σημείο για το RepRap είναι πως ξεκίνησε ως ένα open-sourced εγχείρημα. Τι σημαίνει αυτό; Σημαίνει πως στήθηκε μια ολόκληρη κοινότητα (RepRap community) πίσω από το έργο. Η κοινότητα αυτή είχε ως σκοπό την ανάπτυξη του μοντέλου, τη βελτίωσή του αλλά και την διανομή του "δωρεάν". Δωρεάν δηλαδή δίδονται άνευ χρέωσης τόσο η λίστα με τα υλικά που χρειάζεσαι για να το φτιάξεις όσο και τα σχέδια για να εκτυπώσεις τα πλαστικά κομμάτια. Οπότε το κόστος πέφτει στο καθαρό κόστος κατασκευής. Η συναρμολόγηση πρέπει να γίνει από εσένα για εσένα και η βοήθεια έρχεται απ' ευθείας από την κοινότητα και την wiki που έχει στηθεί για να εξυπηρετεί ακριβώς αυτόν το στόχο.



Εικόνα 1 Το λογότυπο της κοινότητας RepRap

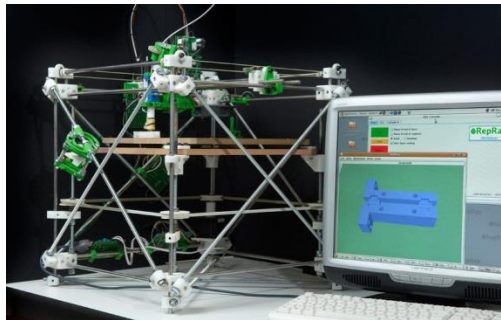


Εικόνα 2 Οι δημιουργοί της RepRap. Αριστερά φαίνεται ο Adrian Bowyer, καθώς και ο πρώτος εκτυπωτής

2.7 Τρισδιάστατοι εκτυπωτές χαμηλού κόστους

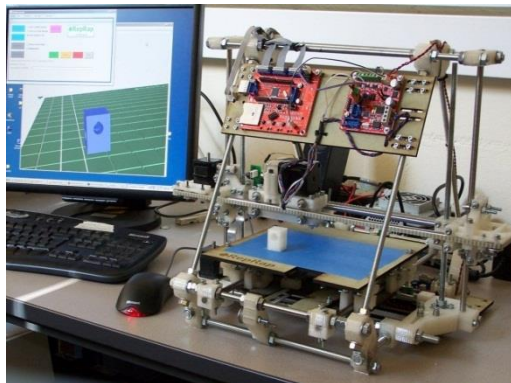
Σε αυτό το σημείο γίνεται αναφορά στους τρισδιάστατους εκτυπωτές χαμηλού κόστους. Η αναφορά ξεκινά από τον πρώτο εκτυπωτή που κατασκευαστικό και καταλήγει στον πιο πρόσφατο. Ακόμα παρουσιάζονται τα πιο σημαντικά χαρακτηριστικά και οι διαφορές τους που είναι σημαντικές και εμφανείς με το πέρασμα του χρόνου.

Ο πρώτος εκτυπωτής είναι ο **Darwin**. Ο εκτυπωτής αυτός κατασκευαστικό το 2007 από Adrian Bowyer που όπως αναφέρθηκε παραπάνω είναι και ο δημιουργός της κοινότητας RepRap. Ο εκτυπωτής αυτός είναι πολύ απλός στην κατασκευή του και αποτελείται από μεταλλικές ράβδους και εκτυπώσιμα πλαστικά κομμάτια



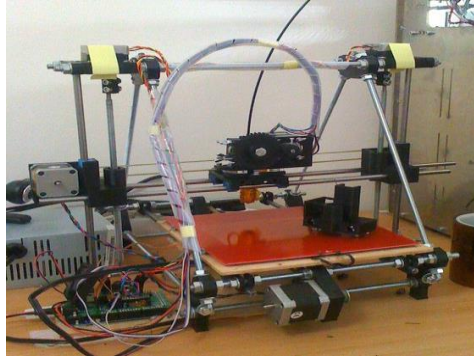
Εικόνα 3 Εκτυπωτής Darwin. Ο πρώτος που κατασκευάστηκε το 2007

Ο επόμενος εκτυπωτής που κατασκευάστηκε είναι ο **Mendel**. Αυτός ο εκτυπωτής είναι μια βελτιωμένη έκδοση του Darwin. Η λογική της κατασκευής παραμένει η ίδια αλλά εμφανίζει αρκετές διαφορές στα χαρακτηριστικά του όπως είναι το μικρό του μέγεθος αλλά και ο μεγαλύτερος χώρος εκτύπωσης. Αποτελείται από 102 εκτυπώσιμα κομμάτια.



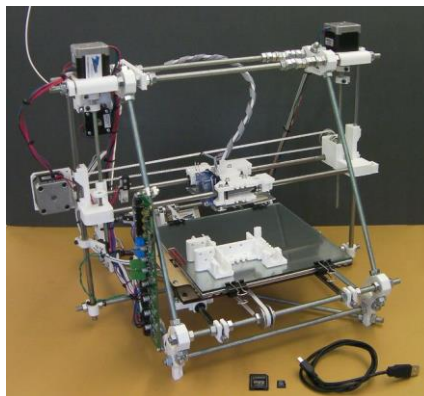
Εικόνα 4 Εκτυπωτής Mendel

Επόμενος τρισδιάστατος εκτυπωτής είναι ο **Prusa Mendel** ο εκτυπωτής αυτός σχεδιαστικέ για να διευκολύνει ακόμα περισσότερο την συναρμολόγηση του. Είναι μια βελτιωμένη έκδοση του Mendel με βελτιώσεις στον τρόπο συναρμολόγησης και στον τρόπο λειτουργίας του. Αποτελείται από 45 εκτυπώσιμα κομμάτια.



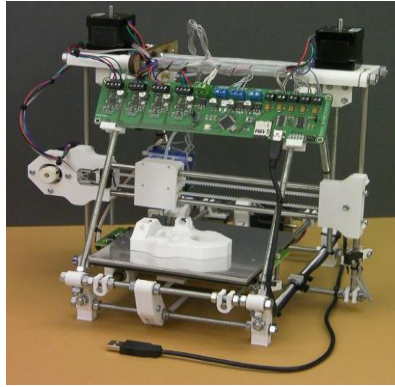
Εικόνα 5 Εκτυπωτής Prusa Mendel

Ο επόμενος εκτυπωτής στην λίστα είναι ο **RepRapPro Mendel** και αυτός ο εκτυπωτής είναι βασισμένος στον Mendel. Η μεγαλύτερη διαφορά τους είναι ότι έχει σχεδιαστεί για να φιλοξενεί από την αρχή πολλαπλούς extruders. Αυτή η προσθήκη επιτρέπει την έγχρωμη εκτύπωση αλλά και την εκτύπωση με διαφορά υλικά.



Εικόνα 6 Εκτυπωτής RepRapPro Mendel

Ακόμα ένας εκτυπωτής βασισμένος στον Mendel είναι ο **RepRapPro Huxley**. Η ιδιαιτερότητα αυτού του εκτυπωτή είναι στο μέγεθος του. Είναι ο μικρότερος εκτυπωτής και κατασκευαστικέ για να είναι φορητός και συναρμολογείται γρήγορα.



Εικόνα 7 Εκτυπωτής RepRapPro Huxley

Τελευταίος στην λίστα είναι ο **Eventorbot**. Είναι ένας εκτυπωτής ο οποίος είναι πολύ διαφορετικός από τους παραπάνω όσο αναφορά το σχήμα του. Η ιδιαιτερότητα του είναι στον σκελετό του. Η λογική για την κατασκευή του ήταν να δημιουργηθεί ένα άκαμπτο , χαμηλού κόστους τρισδιάστατος εκτυπωτής. Χρησιμοποιώντας λιγότερα εξαρτήματα, εύκολα στην συναρμολόγηση και να είναι σε θέση να αυτοαναπαράγει τα τμήματα του. Το 80% των τμημάτων του είναι εκτυπώσιμα. Με τον σκελετό του που είναι από χάλυβα δίνετε η δυνατότητα να χρησιμοποιηθούν 40% λιγότερα επιμέρους εξαρτήματα και έχει σαν αποτέλεσμα την μείωση του κόστους κατασκευής του.



Εικόνα 8 Τρισδιάστατος εκτυπωτής Eventorbot

Παρακάτω παρουσιάζεται ένας πίνακας που αναλύει τα χαρακτηριστικά των παραπάνω εκτυπωτών καθώς και των διαφορών τους.

ΣΧΕΔΙΑΣΗ ΚΑΙ ΥΛΟΠΟΙΗΣΗ ΣΥΣΤΗΜΑΤΟΣ ΕΛΕΓΧΟΥ ΤΡΙΣΔΙΑΣΤΑΤΟΥ ΕΚΤΥΠΩΤΗ ΧΑΜΗΛΟΥ ΚΟΣΤΟΥΣ

Όνομα Εκτυπωτή	Όγκος Εργασίας	Υλικό Εργασίας	Σύνδεση με υπολογιστή	Συνολικό Μέγεθος	Εκτυπώσιμα Κομμάτια	Ακρίβεια θέσης	Extruders	Βάρος
Darwin	230mm (X) x 230mm (Y) x 100mm (Z)	PLA	USB	600 mm x 520 mm x 650 mm	110	0.1 mm	1	14 Kg
Mendel	200 mm (W) x 200 mm (D) x 140 mm (H)	PLA, ABS	USB	500 mm x 400 mm x 60 mm	102	0.1 mm	1	7 Kg
Prusa Mendel	200mm x 200mm x 100mm	PLA, ABS	USB	440 mm x 470 mm x 370 mm	45	0.1 mm	1	5 kg
RepRapPro Mendel	200mm x 200mm x 100mm	PLA, ABS	USB	440 mm x 470 mm x 370 mm	45	0.1 mm	2	7 Kg
RepRapPro Huxley	140mm x 140mm x 110mm	PLA, ABS	USB	260 mm x 280 mm x 280 mm	30	0.1mm	1	5 kg
Eventorbot	152mm x 152mm x 152mm	PLA, ABS	PLA, ABS	419 mm x 406,5 mm x 350 mm	37	0.1 mm	1	15 kg

Πίνακας 1 Χαρακτηριστικά Τρισδιάστατων εκτυπωτών

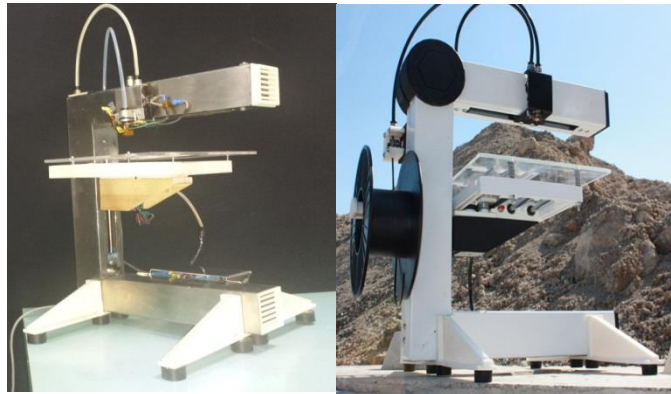
Όπως παρατηρείται με βάση τα χαρακτηριστικά των εκτυπωτών που φαίνεται στον πίνακα με την πάροδο του χρόνου γίνεται προσπάθεια να μικρύνει το μέγεθος, το βάρος καθώς και τα εκτυπώσιμα κομμάτια που χρησιμοποιούνται χωρίς όμως να επηρεάζεται ο χώρος εκτύπωσης.

3 Κεφάλαιο 3 –Επιλογή και υλοποίηση του τρισδιάστατου εκτυπωτή

3.1 Εισαγωγή

Στο τρίτο κεφάλαιο παρουσιάζεται ο τρισδιάστατος εκτυπωτής που κατασκευάστηκε στο Τ.Ε.Ι Κρήτης. Ακόμα παρουσιάζονται τα χαρακτηριστικά σημεία του εκτυπωτή όπως (άξονες, τράπεζα εκτύπωσης, extruder, βηματικοί κινητήρες). Τέλος γίνεται εκτενής αναφορά στα ηλεκτρονικά του μέρη καθώς και στα λογισμικά που είναι απαραίτητα για τον έλεγχο του.

3.2 Παρουσίαση του εκτυπωτή που κατασκευάστηκε



Εικόνα 9 στην αριστερή εικόνα παρουσιάζεται ο τρισδιάστατος εκτυπωτής που κατασκευαστικό και στην δεξιά ο εκτυπωτής που προήλθε η ιδέα

Στην παραπάνω εικόνα παρουσιάζεται ο εκτυπωτής που κατασκευάστηκε. Δεξιά φαίνεται ο εκτυπωτής που επιλέχθηκε να κατασκευαστεί και να παρουσιαστεί σε αυτήν την πτυχιακή εργασία. Αυτός ο εκτυπωτής ονομάζεται Eventorbot παρουσιάστηκε παραπάνω και είναι στους πρώτους εκτυπωτές που κατασκευάστηκαν στην κατηγορία των εκτυπωτών χαμηλού κόστους τα βασικά χαρακτηριστικά του φαίνονται στον πίνακα[1]

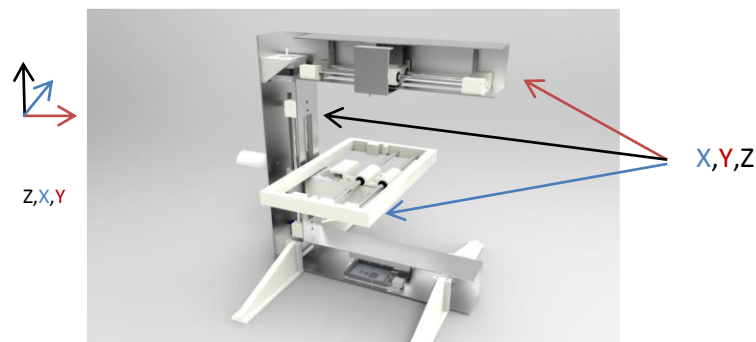
3.3 Κριτήρια επιλογής του τρισδιάστατου εκτυπωτή

Η επιλογή του συγκεκριμένου τρισδιάστατου εκτυπωτή έγινε με βάσει κάποιων κριτηρίων. Πολύ σημαντικό ήταν ότι το 80% των κομματιών που χρειάζονται για να κατασκευαστεί αυτός ο εκτυπωτής είναι από εκτυπώσιμα πλαστικά κομμάτια που ρίχνουν το κόστος κατασκευής του. Ακόμα όπως φαίνεται και στις εικόνες είναι πολύ διαφορετικός σαν σχεδιασμό από τους άλλους εκτυπωτές που υπάρχουν στην κατηγορία των τρισδιάστατων εκτυπωτών χαμηλού κόστους. Είναι πιο ελκυστικός σαν εκτυπωτής λόγω της μορφής του, τα καλώδια οι άξονες και τα επιμέρους μηχανικά και ηλεκτρονικά μέρη είναι μέσα στον μεταλλικό σκελετό και δεν φαίνονται απλά πεταμένα πάνω στον σκελετό. Τέλος δίνεται η δυνατότητα πολλών βελτιώσεων και αλλαγών στο κατασκευαστικό κομμάτι του εκτυπωτή.

3.4 Χαρακτηριστικά μέρη του εκτυπωτή

3.4.1 Άξονες

Σημαντικό ρόλο στον εκτυπωτή και στην εκτύπωση έχουν οι άξονες πάνω στον οποίο κινούνται όλα τα κινητά μέρη του εκτυπωτή. Οι άξονες είναι μεταλλικοί ράβδοι από χάλυβα που τοποθετούνται στο εσωτερικό του σώματος του εκτυπωτή. Πάνω σε αυτούς κινούνται α) Το σύστημα συγκράτησης του τραπέζιου στον άξονα Z, β) το extruder στο άξονα Y, γ) το τραπέζι στον άξονα X. Οι άξονες πρέπει να είναι ευθυγραμμισμένοι και σταθερά τοποθετημένοι στο σώμα του εκτυπωτή. Ο εκτυπωτής έχει τρεις βαθμούς ελευθερίας στους άξονες X, Y, Z



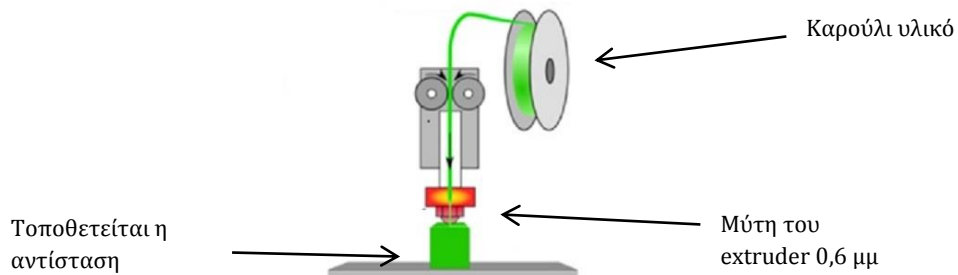
Εικόνα 10 Τρισδιάστατο σχέδιο Eventorbot σε τομή που σχεδιαστικέ και κατασκευάστηκε στο εργαστήριο ρομποτικής του ΤΕΙ Κρήτης

Στην εικόνα [10] το σχέδιο είναι σε τομή και γίνεται να παρατηρηθούν οι άξονες και οι κινήσεις που μπορούν να γίνουν. Τα κινητά μέρη κινούνται πάνω στους άξονες με γραμμικά ρουλεμάν.

3.4.2 Extruder

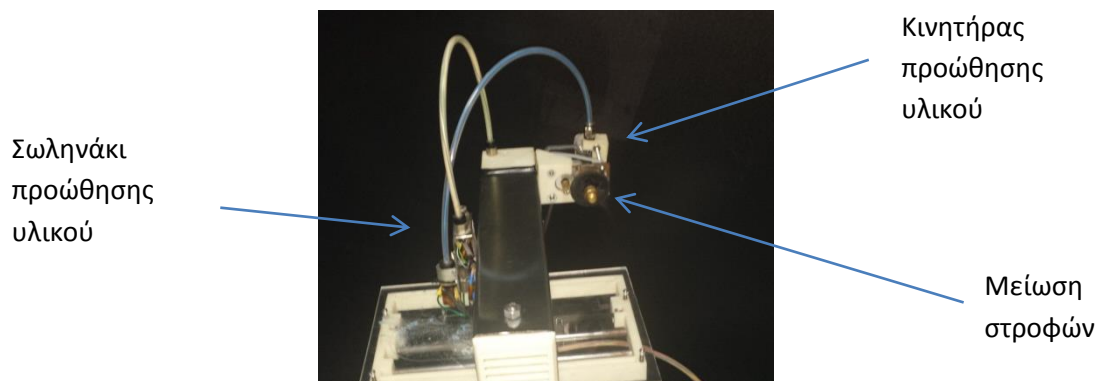
Ο extruder τοποθετείται στον άξονα Y και είναι υπεύθυνος για την εναπόθεση του υλικού πάνω στον τραπέζι εκτύπωσης. Παίρνει κίνηση από τον κινητήρα που είναι στον άξονα Y. Ο extruder αποτελείται από μπρούτζο για να έχει καλύτερη θερμική αγωγιμότητα, έχει πάνω

του μια αντίσταση και ένα θερμίστορ. Η αντίσταση ανεβάζει την θερμοκρασία του extruder στους 240 βαθμούς κελσίου. Το θερμίστορ δίνει πληροφορίες για την θερμοκρασία, μόλις η θερμοκρασία φτάσει το επιθυμητό επίπεδο τότε κλείνει η αντίσταση. Το υλικό τροφοδοτείται από την πάνω μεριά του extruder αφού ζεσταθεί και λιώσει βγαίνει από την μύτη του extruder η οποία έχει μία οπή 0,6mm και το αφήνει πάνω στο τράπεζα εκτύπωσης. Περισσότερα στην πτυχιακή εργασία [4].



Εικόνα 11 Παρουσιάζει τα σημαντικότερα σημεία του Extruder

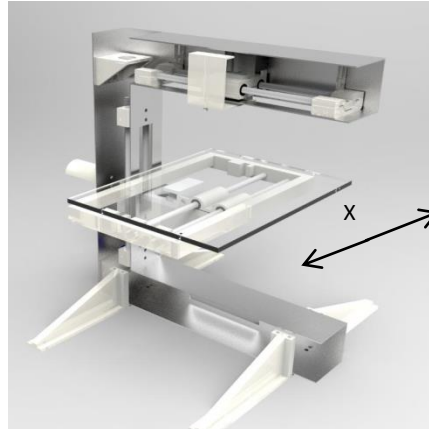
Στον συγκεκριμένο τρισδιάστατο εκτυπωτή η τροφοδοσία του υλικού μέσα στον extruder γίνεται από απόσταση. Δηλαδή ο κινητήρας που ωθεί το υλικό δεν είναι πάνω στον extruder αλλά είναι πακτωμένος στο πλάι του σκελετού του εκτυπωτή



Εικόνα 12 Παρουσιάζει τα σημαντικότερα σημεία του Extruder

3.4.3 Τράπεζα εκτύπωσης

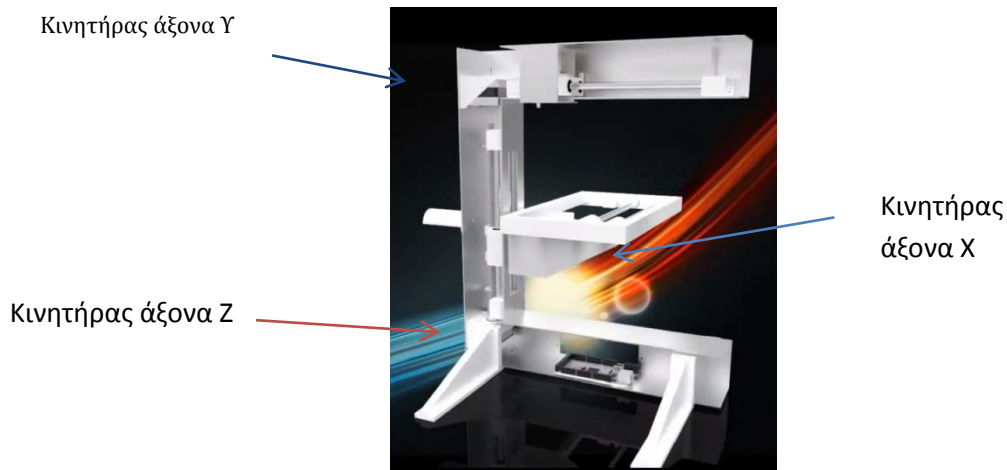
Ακόμα ένα σημαντικό κομμάτι του εκτυπωτή είναι η τράπεζα εκτύπωσης. Πάνω εκεί γίνεται η εκτύπωση των δοκιμίων, η τράπεζα είναι κάθετο στο extruder, πρέπει να είναι σταθερή και να μην έχει ανεβοκατεβάσματα γιατί έτσι χαλάει η ποιότητα εκτύπωσης. Τοποθετείται στον άξονα X κινείται γραμμικά πάνω στους άξονες και παίρνει τιμές θετικές και αρνητικές του X. Περισσότερα στην πτυχιακή εργασία [4]



Εικόνα 13 Οι κινήσεις στον άξονα X του κρεβατιού

3.4.4 Βηματικοί κινητήρες

Οι κινήσεις του εκτυπωτή είναι ένα πολύ σημαντικό αλλά και συναρπαστικό σημείο του εκτυπωτή αφού η σταθερότητα και η ακρίβεια των βημάτων επηρεάζουν την ποιότητα εκτύπωσης. Οι κινητήρες που είναι τοποθετημένοι στις άκρες των αξόνων με κάποιες βάσεις, πτυχιακή [4] δίνουν κίνηση με ιμάντες στα κινητά μέρη των αξόνων X,Y. Στο άξονα Z η κίνηση γίνεται με μακρύ κοχλία (ντίζα) ο οποίος περιστρέφεται και κινεί το τραπέζι. Ο άξονας κομπλάρεται πάνω στον άξονα του κινητήρα με σύνδεσμο κοπλέρ (coupler) ,πτυχιακή[4].

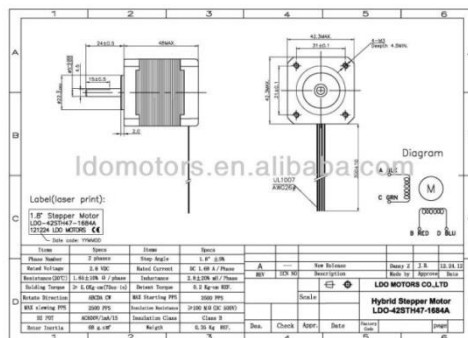


Εικόνα 14Σκελετός Eventrobot σε τομή με τους κινητήρες

Οι κινητήρες είναι Νέμα 17 είναι οι ιδανικοί για τους τρισδιάστατους εκτυπωτές γιατί έχουν ιδανικό μέγεθος μεγάλη ροπή και μεγάλη διακριτότητα στο βήμα τους. Οι Νέμα 17 είναι διπολικό βηματικοί κινητήρες



Εικόνα 15 Νέμα 17 βηματικός κινητήρας



Εικόνα 16 Νέμα 17 τεχνικά χαρακτηριστικά

3.5 Ηλεκτρονικά μέρη και έλεγχος του εκτυπωτή

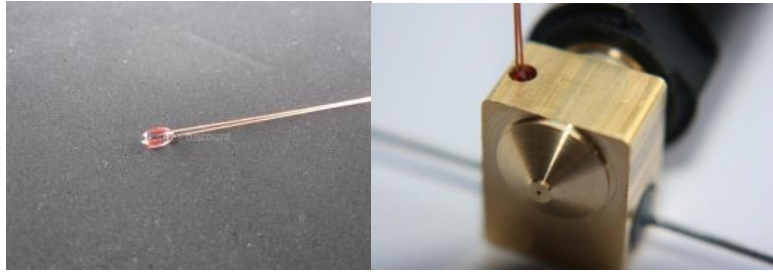
Το πιο σημαντικό σημείο σε έναν τρισδιάστατο εκτυπωτή είναι ο έλεγχος του. Για να υλοποιηθεί ο έλεγχος του εκτυπωτή είναι απαραίτητη η συνύπαρξη κάποιων ηλεκτρονικών εξαρτημάτων. Για να γίνει πιο απλή και κατανοητή η αναφορά στα ηλεκτρονικά μέρη γίνεται μια κατηγοριοποίηση αυτών. Α) Το υποσύστημα αίσθησης και Β) το υποσύστημα κίνησης.

3.6 Υποσύστημα αίσθησης

Το υποσύστημα αίσθησης αναφέρεται στους μηχανισμούς που δίνουν πληροφορίες στον χρήστη και στην κεντρική μονάδα ελέγχου του εκτυπωτή για τις θερμοκρασίες και τις κινήσεις που έχει κάνει ο εκτυπωτής. Για τον έλεγχο της θερμοκρασίας χρησιμοποιείται ένας αισθητήρας που ονομάζεται θερμίστορ και ο έλεγχος της θέσης των κινητών μερών του εκτυπωτή πραγματοποιείται με τους τερματικούς διακόπτες end-stop.

3.6.1 Θερμίστορ

Για τον έλεγχο της θερμοκρασίας του extruder του εκτυπωτή χρειάζεται το θερμίστορ. Το θερμίστορ είναι ένας αισθητήρας που τοποθετείται στην μύτη του extruder και δίνει πληροφορίες για την θερμοκρασία.



Εικόνα 17 Θερμίστορ του extruder

Εικόνα 18 Η θέση του θερμίστορ στο extruder

Για την έναρξη της εκτύπωσης το extruder πρέπει να φτάσει τους 240 βαθμούς κελσίου. Η θερμοκρασία ξεκινάει να αναβαίνει ενώ το θερμίστορ δίνει συνεχώς πληροφορίες για την θερμοκρασία της μύτης του εκτυπωτή. Μόλις η θερμοκρασία φτάσει στο επιθυμητό επίπεδο κλείνει η αντίσταση και ξεκινάει η διαδικασία εκτύπωσης.

3.6.2 Τερματικοί διακόπτες (End-Stop)

Κατά την εκτύπωσης και οι τρεις άξονες πρέπει να μετακινηθούν στην αρχική ή μηδενική ή homing θέση τους. Αύτη είναι η μηδενική θέση του καρτεσιανού ρομπότ. Οι άξονες δεν μπορούν να κινηθούν περαιτέρω από το μηδέν (δεν μπορούν να κινηθούν σε αρνητική θέση) .Για να επετεύχθη αυτό τρία end stops πρέπει να εγκατασταθούν, ένα για κάθε άξονα. Τα end stop είναι μπουτόν 0-1 και χρησιμοποιούνται για δύο λόγους. Ένας είναι για τον ορισμό της μηδενικής θέσης του εκτυπωτή από εκεί δηλαδή που ξεκινάει η εκτύπωση αλλά και το τέλος της κίνησης του κάθε άξονα μόλις το end-stop ενεργοποιηθεί.



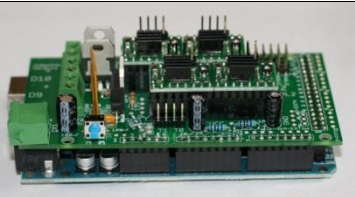

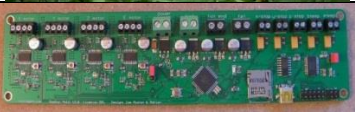

Εικόνα 19 Τερματικοί διακόπτες End - Stop

3.7 Υποσύστημα κίνησης

Στο υποσύστημα κίνησης αναφέρετε η διαδικασία κίνησης του εκτυπωτή και οι ηλεκτρονικοί μηχανισμοί που είναι απαραίτητοι για την κίνηση των κινητών μερών του εκτυπωτή. Αυτοί οι μηχανισμοί είναι η μονάδα ελέγχου του εκτυπωτή και οι οδηγοί των βηματικών κινητήρων.

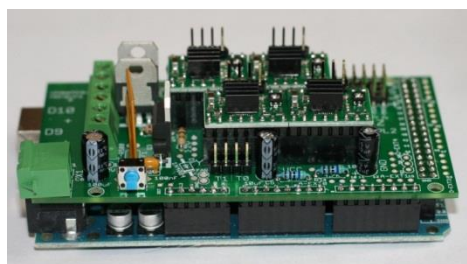
3.7.1 Μονάδα ελέγχου

Η μονάδα ελέγχου είναι μια πλακέτα η οποία είναι υπεύθυνη για την λειτουργία του εκτυπωτή. Για τις κινήσεις του, την θερμοκρασία του extruder, την λειτουργία των end-stop. Υπάρχει μεγάλη ποικιλία για την επιλογή μονάδας ελέγχου για έναν τρισδιάστατο εκτυπωτή.

Ramps	
Generation 7 electronics	
Melzi	
Saguinololu	

Πίνακας 2 Μονάδες ελέγχου τρισδιάστατου εκτυπωτή

Η μονάδα ελέγχου που χρησιμοποιήθηκε για αυτόν τον εκτυπωτή είναι η RAMPS. Το όνομα RAMPS είναι τα αρχικά από τις λέξεις (RepRap Arduino Mega Pololu Shield). Η RAMPS είναι σχεδιασμένη για να ταιριάζει στο σύνολο των ηλεκτρονικών που απαιτούνται για έναν τρισδιάστατο εκτυπωτή RepRap σε ένα μικρό πακέτο για χαμηλό κόστος. Η RAMPS έχει υποδοχές για να ταιριάζουν πάνω της οι οδηγοί των σέρβο κινητήρων τα pololu A4988 stepper driver. Για να πάρει η πλακέτα την τελική της μορφή τοποθετείται πάνω στην πλακέτα του Arduino mega. Η τελική της μορφή είναι αυτή



Εικόνα 20 Η τελική μορφή της RAMPS

Η σχεδίαση της περιλαμβάνει αναμονές για βηματικά μοτέρ και ηλεκτρονικά συστήματα ελέγχου. Η πλατφόρμα αυτή μπορεί να συντηρηθεί εύκολα και να αντικατασταθούν διάφορα εξαρτήματα σε περίπτωση βλάβης. Ακόμα δίνει την δυνατότητα και τον χώρο για αναβάθμιση όπως, προσθήκη LCD οθόνης η και αντάπτορα Bluetooth για ασύρματη επικοινωνία με τον εκτυπωτή.

Χαρακτηριστικά της RAMPS	Είναι σχεδιασμένο για καρτεσιανή κίνηση του extruder.
	Δυνατότητα επέκτασης για επιπλέον εξαρτημάτων
	3 Mosfets για την ενεργοποίηση της αντίστασης, έξοδο για ανεμιστήρακι, και 2 κυκλώματα για τον έλεγχο της θερμοκρασίας
	Υποδοχή για τέσσερις οδηγούς βηματικών κινητήρων (pololu stepper drivers)
	Οι οδηγοί pololu είναι έτσι τοποθετημένοι για να μπορούν εύκολα να αντικατασταθούν σε περίπτωση βλάβης.
	12 pins μένουν ελεύθερα για μελλοντική χρήση σε περίπτωση αναβάθμισης της πλακέτας.
	Η συνδεσμολογία των εξαρτημάτων όπως των κινητήρων , των end stops και leds είναι απλή και σχεδιασμένη για 3 A ρεύμα
	Είναι σχεδιασμένο για καρτεσιανή κίνηση του extruder.

Πίνακας 3 Τεχνικά χαρακτηριστικά της πλακέτας RAMPS

3.7.2 Σύνδεση Τροφοδοσίας

Η τροφοδοσία χωρίζεται σε 3 βασικά μέρη.

Τροφοδοσία του Arduino: Η υποδοχή της εξωτερικής τροφοδοσίας του Arduino δεν χρησιμοποιείται. Η μόνη τροφοδοσία που χρειάζεται το Arduino είναι μέσω του usb καλωδίου που συνδέεται με τον υπολογιστή.

Τροφοδοσία της RAMPS: Η τροφοδοσία της RAMPS γίνεται με κάποιο τροφοδοτικό το οποίο συνδέεται στην υποδοχή της πλακέτας. Η παροχή ισχύος το λιγότερο πρέπει να είναι 12V @ 5A.

Τροφοδοσία της αντίστασης της επιφάνειας εκτύπωσης (εάν αυτή υπάρχει): Για την θέρμανση της επιφάνειας εκτύπωσης από κάποια αντίσταση ίσως χρειαστεί επιπλέον εξωτερική τροφοδοσία.

3.7.3 Ισχύς Τροφοδοσία

Η τροφοδοσία της πλακέτας απαιτεί το λιγότερο 12V @ 5A.

3.8 Arduino mega

3.8.1 Αρχιτεκτονική Arduino

Το Arduino , είναι μια υπολογιστική πλατφόρμα βασισμένη σε μια μητρική πλακέτα, με ενσωματωμένο μικροελεγκτή και εισόδους/εξόδους, και η οποία μπορεί να προγραμματιστεί με τη γλώσσα Wiring (ουσιαστικά πρόκειται για τη C++ με κάποιες μετατροπές). Το Arduino μπορεί να χρησιμοποιηθεί για την ανάπτυξη ανεξάρτητων διαδραστικών αντικειμένων αλλά και να συνδεθεί με υπολογιστή. Στην ενότητα αυτή, παρουσιάζεται ο μικροελεγκτής Arduino που χρησιμοποιήθηκε.

3.8.2 Γενικές πληροφορίες για το Arduino

Για την υλοποίηση της εργασίας, χρησιμοποιήθηκε ένας μικροελεγκτής Arduino. Το Arduino, είναι μία ανοιχτού λογισμικού πλατφόρμα πρωτοτύπων ηλεκτρονικών συσκευών που βασίζονται στην ευελιξία και στην ευκολία χρήσης υλικού και λογισμικού. Το Arduino, μπορεί να αλληλεπιδρά με το περιβάλλον, κάνοντας λήψη σημάτων μέσα από μια ποικιλία αισθητήρων. Τα έργα που βασίζονται σε αυτόν τον μικροελεγκτή, μπορούν να είναι αυτόνομα ή μπορούν να επικοινωνούν με το λογισμικό που τρέχει σε έναν υπολογιστή (π.χ. Flash, Processing, MaxMSP).



Εικόνα 21 Ο μικροελεγκτής Arduino mega

3.8.3 Τεχνικά χαρακτηριστικά του Arduino Mega

Όπως προείπαμε, για την παρούσα διπλωματική εργασία, χρησιμοποιήθηκε σαν μικροελεγκτής το Arduino mega . Ο ακόλουθος πίνακας αναλύει τα χαρακτηριστικά του.

Μικροελεγκτής	ATMEGA2560
Τάση λειτουργίας	5V
Τάση εισόδου	7-12V
Όρια τάσης εισόδου	6-20V
Ψηφιακοί ακροδέκτες I/O	54, (14 PWM έξοδοι)
Αναλογικοί ακροδέκτες εισόδου	16
Ισχύς συνεχόμενου ρεύματος ανά ακροδέκτη	40mA

Ισχύς συνεχόμενου ρεύματος για ακροδέκτη τάσης 3.3V	50mA
Μνήμη flash	256KB (ATMEGA2560)
Μνήμη SRAM	8KB (ATMEGA2560)
Μνήμη EEPROM	4KB (ATMEGA2560)
Ταχύτητα ρολογιού	16MHz

Πίνακας 4 Χαρακτηριστικά Arduino mega

3.9 Οδηγοί βηματικών κινητήρων

Αυτά τα τσιπάκια κρατούν την δύναμη που οδηγεί του κινητήρες και την χωρίζουν από την δύναμη που βρίσκετε στην πλακέτα του εκτυπωτή (Arduino). Το Arduino δεν μπορεί να παρέχει την δύναμη για να τροφοδοτήσει άμεσα τους κινητήρες. Για τον λόγο αυτό θα πρέπει να χρησιμοποιείτε ξεχωριστά τσιπάκια για να περιστρέφεται ο κινητήρας. Ένα άλλο πλεονέκτημα τους είναι ότι παρέχουν κλασματικά βήματα. Αυτό βοηθά στην εξομάλυνση της κίνησης του κινητήρα. Χωρίς κλασματικά βήματα οι βηματικοί κινητήρες έχουν την τάση να δονούνται η να αποσυντονίζονται σε ορισμένες στροφές. Οι οδηγοί βηματικών κινητήρων λειτουργούν τεμαχίζοντας την τάση τροφοδοσίας χρησιμοποιώντας ένα ολοκληρωμένο PWM. Ένας οδηγός βηματικού κινητήρα διατηρεί την λειτουργία του κινητήρα και το ρεύμα σε ένα ασφαλές επίπεδο, ακόμα και κατά την οδήγηση ενός κινητήρα 3V από ένα τροφοδοτικό 24V.



Εικόνα 22Pololu stepper driver

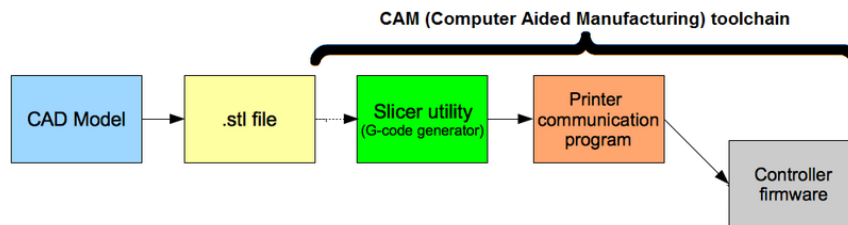
3.10 Υποσύστημα ελέγχου

Το υποσύστημα ελέγχου αναφέρεται στον έλεγχο του εκτυπωτή. Ο έλεγχος του εκτυπωτή γίνεται μέσα από τον υπολογιστή με την χρήση κάποιων προγραμμάτων τα οποία είναι δωρεάν και παρέχονται από την κοινότητα RepRap. Το υποσύστημα ελέγχου είναι το τελικό στάδιο για τον χειρισμό του εκτυπωτή. Για τον σωστό έλεγχο πρέπει να συνεργάζονται

αρμονικά το υποσύστημα αίσθησης και το υποσύστημα κίνησης. Παρακάτω γίνεται ανάλυση αυτών των λογισμικών αλλά και ο τρόπος σύνδεσης και λειτουργίας τους.

3.10.1 Το σύνολο των λογισμικών Host & Slice Software

Host & Slice Software είναι ένα σύνολο προγραμμάτων και εφαρμογών που χρειάζεται για να επικοινωνήσει ο υπολογιστής με την πλακέτα RAMPS του τρισδιάστατου εκτυπωτή. Όλο αυτό το σύνολο των προγραμμάτων ονομάζεται CAM Tool chains (αλυσίδα εργαλείων). Το λογισμικό που χρησιμοποιείται από τους RepRap εκτυπωτές μπορούν να χωριστούν σε δύο κατηγορίες : CAD (Computer Aided Design) και CAM (Computer Aided Manufacturing). Μόλις δημιουργηθεί ένα αρχείο CAD (σε μορφή stl). Πρέπει να χρησιμοποιηθεί κάποιος συνδυασμός CAM λογισμικό για να γίνει η εκτύπωση. Ένα πλήρες σύνολο εργαλείων RepRap CAM αποτελείται από όλα τα στοιχεία του λογισμικού που απαιτούνται για την εκτύπωση των τρισδιάστατων μοντέλων που έχουν δημιουργηθεί από κάποιο πρόγραμμα CAD.



Εικόνα 23 Cam tool chain

Η διαδικασία μιας υποθετικής σχεδίασης και εκτύπωσης κάποιου μοντέλου είναι αυτή.

- Σχεδιασμός ενός μοντέλου σε ένα από τα παρακάτω προγράμματα (ProEngineer, Solidworks, FreeCAD, OpenSCAD)
- Αποθήκευση του αρχείου σε μορφή .stl file
- Δημιουργία των διαδρομών κίνησης και τις εντολές του extruder σε μορφή G κώδικα μέσω ενός προγράμματος <<sliser>> (τεμαχισμός) κάποια από τα προγράμματα είναι (Skeinforge, repsnapper, SFACT, Slic3r)
- Με τη βοήθεια ενός λογισμικού <<host>> (υποδοχής) το οποίο επικοινωνεί με τον εκτυπωτή και του μεταφέρει τον G κώδικα κάποια προγράμματα είναι (printron, repsnapper, replicatorG, Repetier-Host)
- Στον εκτυπωτή έχει εγκατασταθεί ένα λογισμικό (Firmware) το οποίο καθορίζει τον τρόπο που θα αντιδράσει ο εκτυπωτής στον G κώδικα μόλις αυτός σταλεί. Κάποια από τα λογισμικά είναι (Sprinter, Marlin, Teacup)

Η επιλογή των εργαλείων (ToolChain) που θα χρησιμοποιηθούν βασίζεται στην ατομική επιλογή του κάθε χρήστη με βάση τα χαρακτηριστικά του κάθε εργαλείου. Δεν υπάρχει

κάποιος περιορισμός συμβατότητας η δυσλειτουργίας. Υπάρχει μια μεγάλη γκάμα εργαλείων σε κάθε στάδιο που το κάθε ένα δίνει περισσότερες η λιγότερες επιλογές. Υπάρχουν πίνακες που αναλύουν τα χαρακτηριστικά του κάθε εργαλείου.

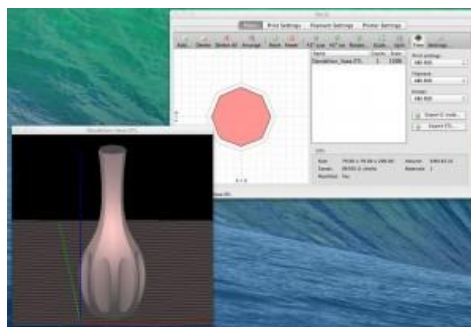
3.10.2 Λογισμικά slicer

Ένας τρισδιάστατος εκτυπωτής δεν μπορεί να επεξεργαστεί κατευθείαν τα αρχεία που προέρχονται από κάποιο πρόγραμμα CAD. Τα τρισδιάστατα αρχεία ή τα αρχεία CAD πρέπει πρώτα να περάσουν από μια επεξεργασία πριν γίνουν εκτυπώσιμα. Αυτή η διαδικασία ονομάζεται slicing. Το πρόγραμμα **slic3r** είναι το πρώτο πρόγραμμα που χρησιμοποιείτε στην τρισδιάστατη εκτύπωση. Ένα πρόγραμμα slicer συνήθως χρησιμοποιείται για να δημιουργήσει από ένα αρχείο stl τον κώδικα G. Ο κώδικας G περιέχει πληροφορίες για τον εκτυπωτή για το πώς, που και το πόσο γρήγορα θα κάνει τις κινήσεις. Τα αρχεία stl είναι τρισδιάστατα μοντέλα τα οποία μπορούν εξαχθούν από οποιοδήποτε πρόγραμμα τρισδιάστατης σχεδίασης. Το πρόγραμμα slicer <<τεμαχίζει>> το stl τρισδιάστατο μοντέλο σε φέτες και δημιουργεί μονοπάτια για να δημιουργήσει έναν κώδικα G του μοντέλου που είναι για εκτύπωση. Το λογισμικό που χρησιμοποιήθηκε σε αυτήν την πτυχιακή είναι το **slic3r**. Στο κεφάλαιο (4) γίνεται εκτενή αναφορά.

Παρακάτω παρουσιάζονται κάποια προγράμματα slicer

<u>Όνομα προγράμματος</u>	<u>Χαρακτηριστικά</u>
Slic3r	Εύκολη εγκατάσταση
	Αυτόνομα έργα
	Συμβατό με διάφορα προγράμματα Host
	Μπορεί να χωρίζει και να αποθηκεύει αρχεία STL
	Μπορεί να διαχειριστεί μεγάλα αρχεία STL
	Δεν επιτρέπει την Προβολή των κινήσεων του εκτυπωτή μετά τον τεμαχισμό.
	Εύκολη εγκατάσταση

Πίνακας 5 Χαρακτηριστικά του προγράμματος slic3r

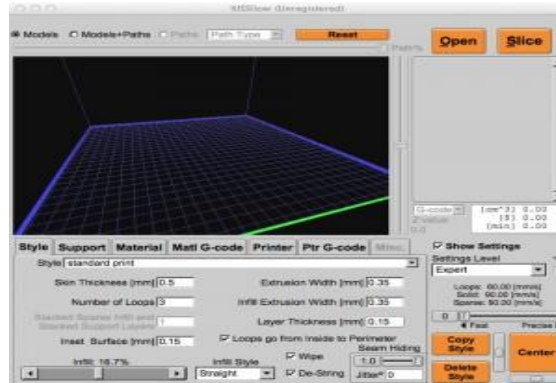


Εικόνα 24 Το πρόγραμμα slic3r

<u>Όνομα προγράμματος</u>	<u>Χαρακτηριστικά</u>
Kisslicer	Καλύτερο τελείωμα των επιφανειών
	Εύκολη εγκατάσταση
	Αυτόνομα έργα
	Συμβατό με πολλά προγράμματα Host

	Ολοκληρωμένο πρόγραμμα προβολής της κίνησης του εκτυπωτή
	Μπορεί να χωρίζει και να αποθηκεύει τα STL αρχεία
	Δεν μπορεί να χειριστεί μεγάλα αρχεία STL

Πίνακας 6 Χαρακτηριστικά του προγράμματος Kisslicer



Εικόνα 25 περιβάλλον του Kisslicer

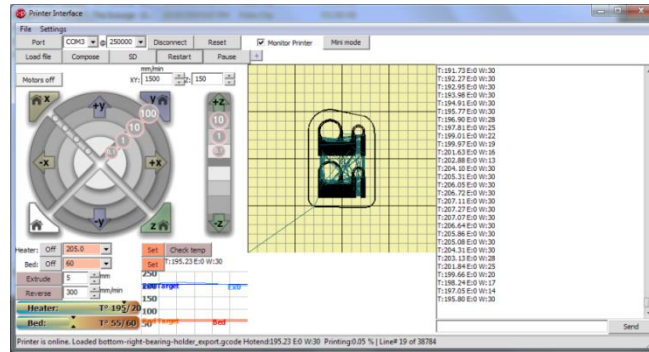
3.10.3 Λογισμικά Host (λογισμικό υποδοχής)

Ένα πρόγραμμα Host (υποδοχής) δίνει την δυνατότητα στον υπολογιστή να επικοινωνεί με την κεντρική πλακέτα RAMPS του εκτυπωτή. Αυτό καθιστά βέβαιο ότι δεν θα χρειαστεί να πληκτρολογηθεί ο κώδικας G στην γραμμή εντολών για να γίνει έλεγχος της κεφαλής του εκτυπωτή και της θερμοκρασίας του. Ο κώδικας G περνάει στον εκτυπωτή μέσω σύνδεσης USB. Αυτή η διαδικασία απλουστεύει πολύ τον τρόπο βαθμονόμησης (calibration) του εκτυπωτή με απλές κινήσεις. Στην οθόνη που διαθέτει το πρόγραμμα μπορεί να γίνει έλεγχος της θερμοκρασίας αλλά και της θέσης του extruder κατά την διάρκεια της εκτύπωσης. Το λογισμικό που χρησιμοποιήθηκε στην παρούσα πτυχιακή είναι το **pronterface** στο κεφάλαιο (4) γίνεται εκτενή αναφορά.

Παρακάτω παρουσιάζονται κάποια δωρεάν host λογισμικά

<u>Όνομα προγράμματος</u>	<u>Χαρακτηριστικά</u>
pronterface	Ευκολία στον έλεγχο του εκτυπωτή
	Δισδιάστατη απεικόνιση της διαδικασίας εκτύπωσης κατά της εκτύπωση
	Συμβατό με όλα τα είδη Slicer(τεμαχισμού)
	Ευκολία στον έλεγχο του εκτυπωτή
	Δισδιάστατη απεικόνιση της διαδικασίας εκτύπωσης κατά της εκτύπωση
	Συμβατό με όλα τα είδη Slicer(τεμαχισμού)
	Ευκολία στον έλεγχο του εκτυπωτή

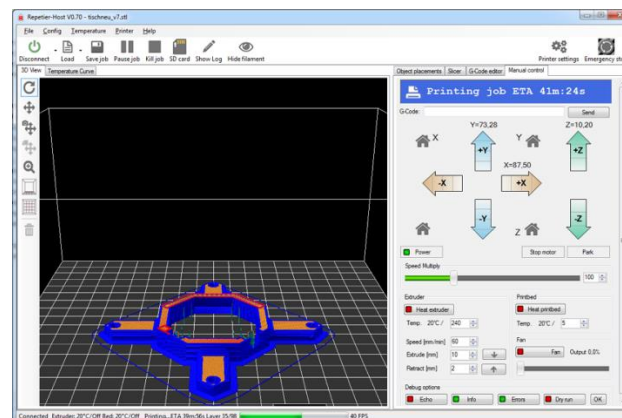
Πίνακας 7 Λογισμικό υποδοχής (Host) Printron



Εικόνα 26 Πρόγραμμα printrun

Όνομα προγράμματος	Χαρακτηριστικά
Repitier Host	Ευκολία στον έλεγχο του εκτυπωτή
	Ολοκληρωμένο πρόγραμμα αφού διαθέτει και slicer
	Τρισδιάστατη αναπαράσταση μοντέλου μετά τον τεμαχισμό
	Συμβατό με άλλα τα είδη slicer
	Ευκολία στον έλεγχο του εκτυπωτή
	Ολοκληρωμένο πρόγραμμα αφού διαθέτει και slicer
	Τρισδιάστατη αναπαράσταση μοντέλου μετά τον τεμαχισμό

Πίνακας 8 Λογισμικό υποδοχής (Host) Repetier host



Εικόνα 27 Πρόγραμμα repetier host

3.10.4 Λογισμικό (Firmware)

Μέχρι τώρα έχει γίνει αναφορά στα δωρεάν λογισμικά που θα πρέπει να είναι εξοπλισμένοι ένας υπολογιστής για να μπορεί τροφοδοτήσει τον εκτυπωτή με τον σωστό κώδικα G. Ωστόσο θα πρέπει να υπάρχει ένα πρόγραμμα στον εκτυπωτή που θα είναι σε θέση να διαχειριστεί τον κώδικα G που λαμβάνει. Η κεντρική πλακέτα που έχει ο εκτυπωτής από μόνη της δεν μπορεί να κάνει εκτύπωση. Γιατί πολύ απλά δεν έχει όλα τα απαραίτητα στοιχεία για να κινήσει τον εκτυπωτή να θέσει σε λειτουργία τις αντιστάσεις. Για να γίνει αυτό πρέπει ο μικροεπεξεργαστής που έχει ο εκτυπωτής να προγραμματιστεί με το κατάλληλο λογισμικό. Αυτή τη

δουλεία την κάνει το firmware. Το firmware είναι στην πραγματικότητα ο κώδικας που δέχεται ο Arduino και αποτελείται από πολλά αρχεία. Υπάρχουν πολλά είδη λογισμικών που το κάθε ένα έχει τα δικά του χαρακτηριστικά. Σε αυτή την πτυχιακή χρησιμοποιήθηκε το **Sprinter**.

τα πιο κοινά είναι

<u>Όνομα Firmware</u>	<u>Χαρακτηριστικά</u>	<u>Συμβατότητα με κεντρικές μονάδες</u>
Sprinter	Υποστήριξη κάρτας SD	RAMPS
	Extruder	Sanguinololu
	Έλεγχος ταχύτητας Extruder	Teensylu
	Έλεγχος ταχύτητας κινητήρων	Ultimaker Electronics
	Έλεγχος επιταχύνσεων	Generation 6 Electronics
	Υποστήριξη για θερμαινόμενο τραπέζι	RAMPS
	Υποστήριξη κάρτας SD	Sanguinololu

Πίνακας 9 Πίνακας χαρακτηριστικών Sprinter firmware

<u>Όνομα Firmware</u>	<u>Χαρακτηριστικά</u>	<u>Συμβατότητα με κεντρικές μονάδες</u>
Teacup	Υποστήριξη κάρτας SD	RAMPS
	Extruder	Sanguinololu
	Έλεγχος ταχύτητας Extruder	Teensylu
	Έλεγχος ταχύτητας κινητήρων	Ultimaker Electronics
	Έλεγχος επιταχύνσεων	Generation 6 Electronics
	Υποστήριξη για θερμαινόμενο τραπέζι	RAMPS
	Αναφορά σφαλμάτων	
	Υποστήριξη θερμοστοιχεία	
	Μη περιορισμός στα Extruders	

Πίνακας 10 Πίνακας χαρακτηριστικών teacup firmware

<u>Όνομα Firmware</u>	<u>Χαρακτηριστικά</u>	<u>Συμβατότητα με κεντρικές μονάδες</u>
Marlin	Υποστήριξη κάρτας SD	RAMPS
	Extruder	Sanguinololu
	Έλεγχος ταχύτητας Extruder	Teensylu
	Έλεγχος ταχύτητας κινητήρων	Ultimaker Electronics
	Έλεγχος επιταχύνσεων	Generation 6 Electronics
	Υποστήριξη για θερμαινόμενο τραπέζι	Generation 7 Electronics
	Αναφορά σφαλμάτων	
	Υποστήριξη θερμοστοιχεία	
	Μη περιορισμός στα Extruders	
	Υποστήριξη οθόνης LCD	
	Σταθεροποίηση θερμοκρασίας	
	Αναφορά θερμοκρασίας	
	Δυνατότητα εκτύπωσης μέσω της κάρτας SD και της LCD οθόνης χωρίς την σύνδεση με τον υπολογιστή	

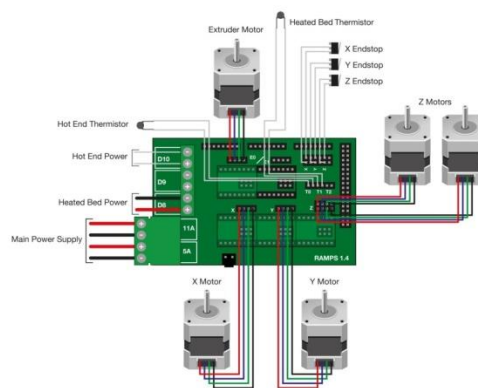
Πίνακας 11 Marlin firmware

4 Κεφάλαιο 4 –Σύνδεση ηλεκτρονικών εξαρτημάτων εκτυπωτή

4.1 Εισαγωγή

Στο τέταρτο κεφάλαιο παρουσιάζεται λεπτομερώς η συνδεσμολογία των ηλεκτρονικών εξαρτημάτων του τρισδιάστατου εκτυπωτή, καθώς και το ηλεκτρολογικό σχέδιο.

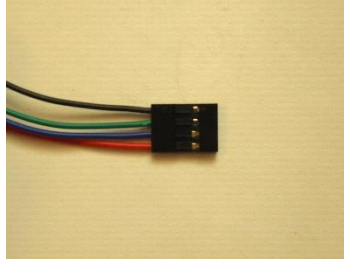
4.2 Διαδικασία σύνδεσης ηλεκτρονικών εξαρτημάτων



Πίνακας 12 Ηλεκτρονικό διάγραμμα

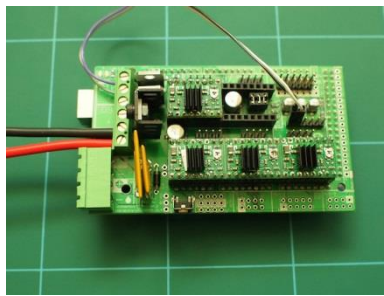
Βήμα 1: Βηματικοί κινητήρες

Τα καλώδια των κινητήρων θα πρέπει να έχουν τον κατάλληλο ακροδέκτη όπως φαίνεται στην εικόνα 30 για να μπορεί να τοποθετηθεί στην πλακέτα



Εικόνα 29 Ακροδέκτης του κινητήρα

Βήμα 2: Σύνδεση αντίστασης της θερμαινόμενη επιφάνειας εργασίας στην πλακέτα



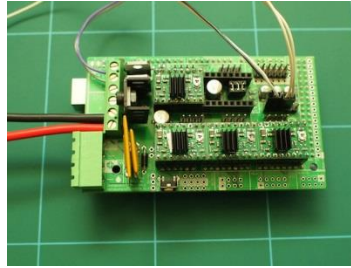
Εικόνα 30 Σύνδεση αντίστασης στην πλακέτα

Τα δύο χοντρά καλώδια το ένα μαύρο και κόκκινο που πάνε στην μπροστινή μεριά της πλακέτας στην θέση D8 είναι τα καλώδια από την αντίσταση της επιφάνειας εκτύπωσης. Δεν είναι απαραίτητη αυτή η αντίσταση. Υπάρχουν δύο ακόμα καλώδια ένα καφέ και ένα μοβ και πάνε στην θέση D10 της πλακέτας. Τα καλώδια αυτά είναι για την αντίσταση του

ΕΙΚΟΝΑ 28 ΗΛΕΚΤΡΟΛΟΓΙΚΟ ΔΙΑΓΡΑΜΜΑ

extruder. Τέλος στην φωτογραφία φαίνονται ακόμα δυο καλώδια ένα άσπρο και ένα μαύρο τα οποία πάνε στην θέση T0 της πλακέτας. Αυτά τα καλώδια είναι για τον αισθητήρα της θερμοκρασίας του extruder.

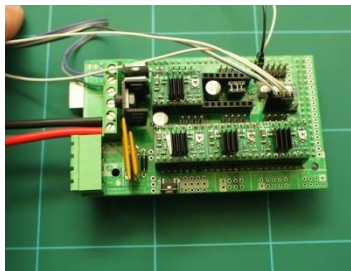
Βήμα 3: Αισθητήρας θερμοκρασίας θερμαινόμενης επιφάνειας εκτύπωσης



Εικόνα 31 Σύνδεση θερμιστορ θερμαινόμενης επιφάνειας εκτύπωσης

Εφόσον υπάρχει θερμαινόμενη επιφάνεια εκτύπωσης θα πρέπει να υπάρχει και ο ανάλογος αισθητήρας θερμοκρασίας για την ρύθμιση της θερμοκρασίας του. Ο αισθητήρας αυτός μπαίνει στην θέση T1 της πλακέτας.

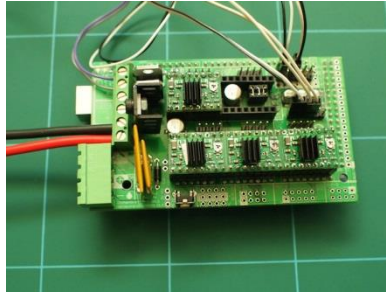
Βήμα 4: Σύνδεση End – Stop του X άξονα στην πλακέτα



Εικόνα 32 End – Stop

Στο πάνω δεξιά σημείο της πλακέτας συνδέονται οι τερματικοί διακόπτες end-stop των αξόνων. Αυτά είναι μπουτόν τα οποία τοποθετούνται στο τέλος του κάθε άξονα και δίνουν πληροφορίες στον εκτυπωτή ότι εκεί είναι το τέλος του άξονα οπότε και πρέπει να σταματήσει την κίνηση του. Είναι ένα μαύρο και ένα άσπρο καλώδιο τοποθετούνται στην πλακέτα στο σημείο που λέει X διότι είναι για τον X άξονα. Το μαύρο καλώδιο πρέπει να είναι ποιο κοντά στο κέντρο της πλατφόρμας

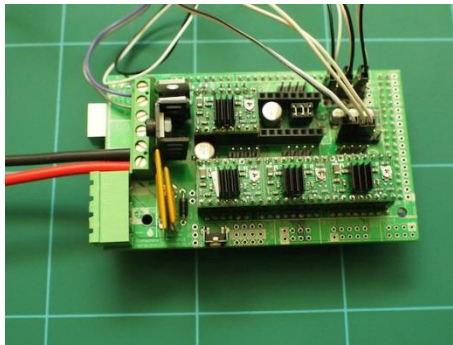
Βήμα 5: Σύνδεση End – Stop του Y άξονα στην



Εικόνα 33 nd - Stop Y άξονα

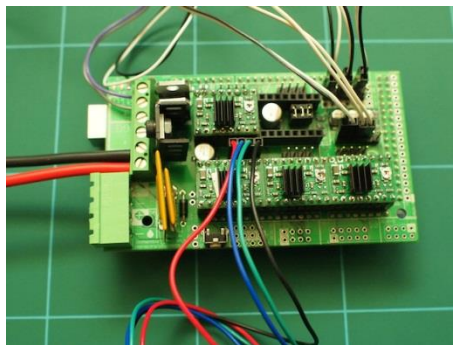
Για την σύνδεση του τερματικού διακόπτη end – stop για τον Y άξονα η διαδικασία είναι η ίδια και τοποθετείται στην θέση Y όπως φαίνεται και στην εικόνα.

Βήμα 6: Σύνδεση End – Stop του Z άξονα στην



Εικόνα 34 End-Stop Z άξονας

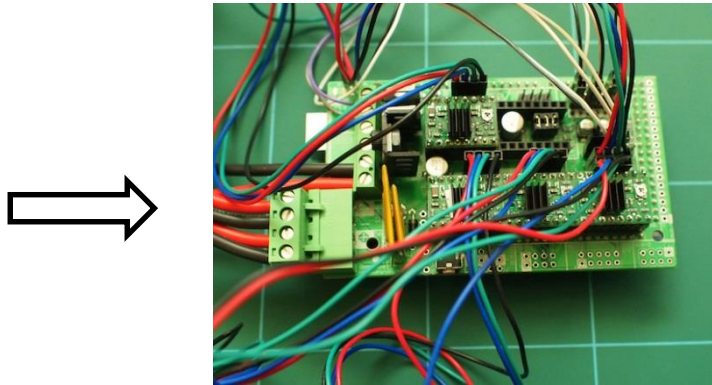
Βήμα 7 : Τοποθέτηση βηματικού κινητήρα για τον άξονα X



Εικόνα 35 Τοποθέτηση κινητήρα X άξονα

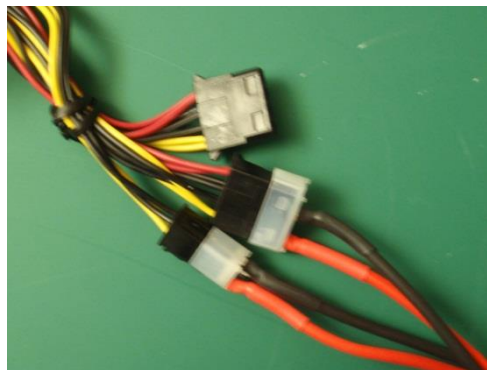
Ο κινητήρας τοποθετείται όπως φαίνεται στην εικόνα στην θέση X. Βεβαιωθείτε ότι το κόκκινο καλώδιο είναι πιο κοντά στην πράσινη υποδοχή του ρεύματος. Με τον ίδιο τρόπο τοποθετούνται και οι υπόλοιποι άξονες. Για τον Z άξονα η πλακέτα υποστηρίζει 2 κινητήρες. Δεν είναι απαραίτητη η χρήση και των δύο.

Βήμα 8 : Σύνδεση τροφοδοτικού



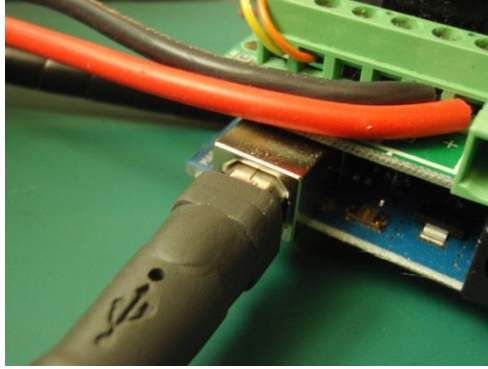
Εικόνα 36 Σύνδεση του τροφοδοτικού

Το τροφοδοτικό συνδέεται στις μπροστινές πράσινες υποδοχές της πλακέτας. Τα καλώδια με το κόκκινο χρώμα είναι η φάση και αυτά με το μαύρο είναι η γείωση. Η πλακέτα έχει δύο υποδοχές για τη φάση και δύο για την γείωση όπως φαίνεται και στο διάγραμμα. Και οι δύο φάσεις και οι δύο γειώσεις προέρχονται από το ίδιο τροφοδοτικό.



Εικόνα 37 Σύνδεση τροφοδοτικού με και τα καλώδια της πλακέτας

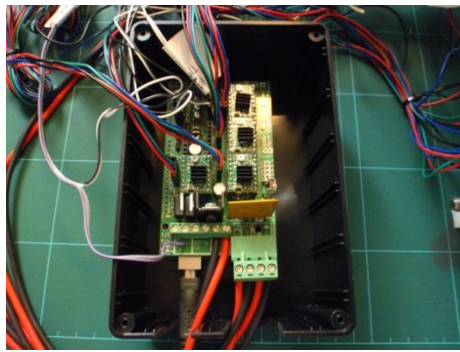
Βήμα 8 :Σύνδεση του καλωδίου usb στο Arduino



Εικόνα 38 Σύνδεση καλωδίου usb

Αφού γίνει και η σύνδεση του usb τότε είναι έτοιμο να περαστούν τα κατάλληλα προγράμματα για την έναρξη της διαδικασίας εκτύπωσης.

Αυτή είναι η τελική μορφή της πλακέτας μετά την συνδεσμολογία.



Εικόνα 39 Η τελική μορφή της πλακέτας

5 Κεφάλαιο 5 – Προγραμματισμός τρισδιάστατου εκτυπωτή

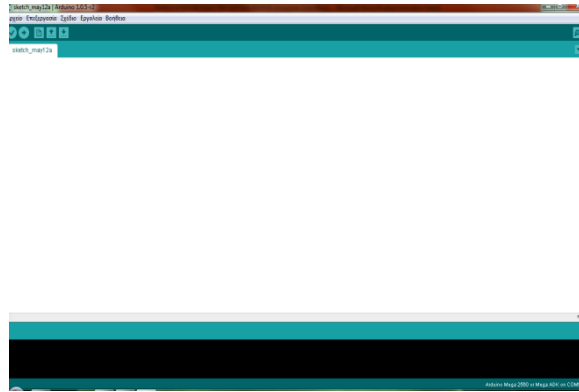
5.1 Εισαγωγή

Παραπάνω έγινε αναφορά στα firmware και στα host software που μπορούν να χρησιμοποιηθούν για την κίνηση ενός τρισδιάστατου εκτυπωτή. Σε αυτό το κεφάλαιο θα γίνει ανάλυση και επεξήγηση του firmware και των υπόλοιπων προγραμμάτων που χρησιμοποιήθηκαν στην συγκεκριμένη εργασία. Αρχικά η πλατφόρμα που χρησιμοποιήθηκε είναι η RAMPS 1.4 για τον λόγο ότι υπάρχει μεγαλύτερη εξοικείωση με τον Arduino. Ακόμα είναι πιο εύκολο να βρεθεί στην αγορά μιας και είναι η πιο κοινή πλατφόρμα για παρόμοιες εργασίες και τέλος ο arduino είναι μια πλατφόρμα η οποία έχει άπυρες λειτουργίες και εφαρμογές και η ειδίκευση σε αυτόν είναι πολύ χρήσιμη. Το firmware που χρησιμοποιήθηκε είναι το Sprinter, επιλέχθηκε το συγκεκριμένο γιατί είναι από τα πρώτα που έχουν δημιουργηθεί για αυτή την δουλειά έχει πολλά παραδείγματα πάνω σε αυτό, είναι αυτό που χρησιμοποιείται περισσότερο και είναι πιο απλό στη χρήση του.

5.2 Κάνοντας το πρώτο upload

Αφού γίνει η εγκατάσταση του προγράμματος οδήγησης του arduino το οποίο μπορεί να βρεθεί στην επίσημη σελίδα του arduino και παρέχεται δωρεάν, γίνεται λήψη του sprinter το οποίο είναι και αυτό δωρεάν. Για να γίνει η φόρτωση του sprinter στο πρόγραμμα του arduino η διαδικασία είναι απλή.

Γίνεται άνοιγμα του arduino



Εικόνα 40 Χώρος εργασίας arduino

Στην γραμμή εργαλείων του arduino υπάρχουν κάποιες επιλογές, επιλέγοντας την επιλογή <<αρχείο>> ανοίγει μια λίστα με επιλογές. Με την επιλογή <<άνοιγμα>> δίνεται η δυνατότητα φόρτωσης το πρόγραμμα που θα ανέβει στον arduino πηγαίνοντας στην τοποθεσία που έχει αποθηκευτεί αυτό. Αφού γίνει άνοιγμα του φακέλου που είναι μέσα το sprinter επιλέγουμε να ανοίξουμε το αρχείο sprinter.prdε κλικάροντας δύο φορές πάνω σε αυτό το πρόγραμμα φορτώνεται στον arduino.



Εικόνα 41 Φορτώνοντας το Firmware στον Arduino

Στην καρτέλα configuration.h γίνονται οι βασικές ρυθμίσεις που θα χρειαστεί ο εκτυπωτής. Αρχικά επιλέγεται η πλατφόρμα που θα χρησιμοποιηθεί βάζοντας στην επιλογή #define motherboard τον αριθμό της πλατφόρμας που θα χρησιμοποιηθεί (π.χ. 33) Στην συνέχεια επιλέγεται το είδος του θερμίστορ που θα χρησιμοποιηθεί και με τον ίδιο τρόπο δηλώνεται. Συνεχίζοντας προς τα κάτω εμφανίζονται οι ρυθμίσεις που πρέπει να γίνουν για να κινούνται σωστά οι άξονες X,Y,Z και ο extruder E.

Η ρυθμίσεις θα γίνουν στην γραμμή με τα σκούρα πυκνά γράμματα αλλάζοντας τις τιμές στις παρενθέσεις καθώς οι γραμμές με τις καθόδους είναι σχόλια και το πρόγραμμα δεν τις υπολογίζει καθόλου. Σε αυτό το σημείο αλλάζοντας τους αριθμούς μέσα στην παρένθεση ορίζεις το βήμα ανά μονάδα που θα κάνει ο κινητήρας του κάθε άξονα. Αυτές οι ρυθμίσεις θα αναλυθούν στην συνέχεια καθώς γίνονται με την συνεργασία του προγράμματος που θα κινεί τους άξονες.

```
//// Calibration variables
// X, Y, Z, E steps per unit - Metric Prusa Mendel with Wade extruder:
#define _AXIS_STEP_PER_UNIT (3.71, 3.891, 320.395,71.4)
// Metric Prusa Mendel with MakerGear geared stepper extruder:
//#define _AXIS_STEP_PER_UNIT (80,80,3200/1.25,1380)
// MakerGear Hybrid Prusa Mendel:
// Z axis value is for .9 stepper(if you have 1.8 steppers for Z, you need to use 2272.727)
//#define _AXIS_STEP_PER_UNIT (104.987, 104.987, 4545.4544, 1487)
```

Εικόνα 42 Ρύθμιση του βήματος κάθε άξονα

Συνεχίζοντας προς τα κάτω η επόμενη σημαντική στάση που γίνεται είναι στην ρύθμιση της κίνησης των αξόνων.

```
//-----
// Disables axis when it's not being used.
//-----
const bool DISABLE_X = false;
const bool DISABLE_Y = false;
const bool DISABLE_Z = true;
const bool DISABLE_E = true;

//-----
// Inverting axis direction
//-----
const bool INVERT_X_DIR = true;
const bool INVERT_Y_DIR = true;
const bool INVERT_Z_DIR = false;
const bool INVERT_E_DIR = false;
```

Εικόνα 43 Ρύθμιση της κίνησης των αξόνων

Στο πρώτο κομμάτι αλλάζοντας τις κίτρινες παραμέτρους (true , false) δίνεται η δυνατότητα να απενεργοποιούνται οι άξονες όταν αυτοί δεν κινούνται. Δηλαδή αφού γίνει η επιθυμητή κίνηση να μην κρατάνε καθόλου τάση οι κινητήρες. Στον άξονα X , και Y επιλέγεται η παράμετρος false γιατί οι κινητήρες σε αυτούς τους άξονες πρέπει να κρατάνε τάση διαφορετικά θα χάνουν την θέση τους. Αντίθετα στον άξονα Z δεν μας ενδιαφέρει να κρατάει την τάση γιατί η κίνηση του γίνεται με ντίζα οπότε και να μην έχει τάση ο κινητήρας δεν πρόκειται να χάσει την θέση του. Ο extruder E δεν μας ενδιαφέρει.

Στο επόμενο πακέτο ρυθμίσεων αλλάζοντας τις παραμέτρους (false,true) αλλάζει η φορά που θα κινηθούν οι άξονες θετική (+) ή αρνητική (-), και πάλι η ρύθμιση αυτών γίνεται με συνεργασία του προγράμματος οδήγησης του εκτυπωτή.

```
//-----  
//Max Length for Prusa Mendel, check the ways of your axis and set this Values  
//-----  
const int X_MAX_LENGTH = 175;  
const int Y_MAX_LENGTH = 140;  
const int Z_MAX_LENGTH = 130;  
  
//-----
```

Εικόνα 44 Ορισμός των μέγιστων αποστάσεων ανά άξονα

Σε αυτό το σημείο αλλάζοντας τους αριθμούς δηλώνονται τα όρια του κάθε άξονα του εκτυπωτή. Δηλαδή τη μέγιστη απόσταση που μπορεί να διανύσει ο κάθε άξονας. Αυτό γίνεται μετρώντας το μήκος των τριών αξόνων σε χιλιοστά. Οι ρυθμίσεις της κίνησης του εκτυπωτή. Είναι από τις πιο σημαντικές ρυθμίσεις που πρέπει να γίνουν.

```
//-----  
//// MOVEMENT SETTINGS  
//-----  
const int NUM_AXIS = 4; // The axis order in all axis related arrays is X, Y, Z, E  
#define _MAX_FEEDRATE {200, 200, 600, 40} // (mm/sec)  
#define _HOMING_FEEDRATE {2000,7000,600} // (mm/min) !!  
#define _AXIS_RELATIVE_MODES {false, false, false, false}  
  
#define MAX_STEP_FREQUENCY 30000 // Max step frequency  
  
//For the retract (negative Extruder) move this maximum Limit of Feedrate is used  
//The next positive Extruder move use also this Limit,  
//then for the next (second after retract) move the original Maximum (_MAX_FEEDRATE) Limit i  
#define MAX_RETRACT_FEEDRATE 80 //mm/sec  
  
//-----
```

Εικόνα 45 Ρύθμιση αξόνων, ταχυτήτων

- NUM AXIS: Ορίζεται ο αριθμός των αξόνων. Είναι 4 γιατί ο extruder συμπεριλαμβάνεται σαν ξεχωριστός άξονας.
- MAX FEEDRATE: Ορίζεται τα χιλιοστά που θα διανύσει ο άξονας το δευτερόλεπτο. Οι τιμές που πρέπει να έχει δεν πρέπει να είναι ούτε πολύ μεγάλες γιατί είτε θα χάνει βήματα είτε μπερδεύεται ο κινητήρας και δεν θα κάνει βήματα, αλλά ούτε πολύ μικρά γιατί ο κινητήρας θα τρέμει και δεν θα κάνει σωστά τα βήματα. Η ρύθμιση αυτή γίνεται με το πρόγραμμα οδήγησης του εκτυπωτή για να μπορεί ο χρήστης να βλέπει τις διάφορες σε κάθε αλλαγή που γίνεται.
- HOMING FEEDRATE: Είναι οι ταχύτητες που θα παίρνουν οι κινητήρες για να φτάσουν στο σημείο μηδέν. Οι τιμές που παίρνουν είναι μεγαλύτερες γιατί όπως φαίνεται οι μονάδες είναι σε χιλιοστά το λεπτό, Ακόμα το να κάνει γρήγορες κινήσεις για να φτάσει στο σημείο μηδέν είναι θεμιτό.

Τα υπόλοιπα μένουν ως έχουν.

```
-----  
// Acceleration settings  
-----  
// X, Y, Z, E maximum start speed for accelerated moves. E default values are good for skein  
#define _ACCELERATION 800 // Axis Normal acceleration mm/s^2  
#define _RETRACT_ACCELERATION 2000 // Extruder Normal acceleration mm/s^2  
#define _MAX_XY_JERK 15.0  
#define _MAX_Z_JERK 0.4  
#define _MAX_E_JERK 5.0 // (mm/sec)  
#define _MAX_START_SPEED_UNITS_PER_SECOND {25.0,25.0,0.2,10.0}  
#define _MAX_ACCELERATION_UNITS_PER_50_SECOND {2000,2000,50,5000} // X, Y, Z and E max ac
```

Εικόνα 46 Ρύθμιση της επιτάχυνσης των αξόνων

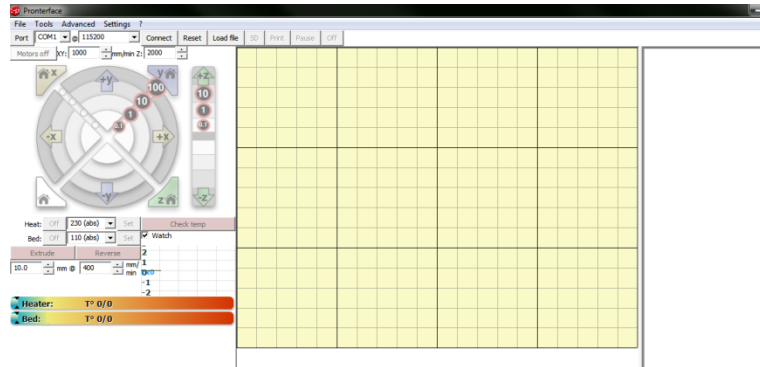
Ρύθμιση των επιταχύνσεων

- ACCELERATION : Η επιταχύνσεις δεν πρέπει να είναι πολύ μεγάλες για να αποφεύγονται οι κραδασμοί.
- MAX XY JERK : Η τιμή που πρέπει να έχει είναι ανάμεσα στο 10 με 15 , οι πολύ μεγαλύτερες τιμές δίνουν απότομες κινήσεις με αποτέλεσμα να χάνονται βήματα και να εμφανίζονται μεγάλοι κραδασμοί.

Τα άλλα μένουν ως έχουν εκτός και αν οι άξονες Z και E χάνουν βήματα οπότε και θα πρέπει να μειωθεί η τιμή τους. Αυτές είναι οι κυριότερες ρυθμίσεις που πρέπει να γίνουν, υπάρχουν και επιπλέον ρυθμίσεις οι οποίες είναι δευτερεύοντες και είναι στην ευχέρεια του χρήστη να τις κάνει. Τέτοιες ρυθμίσεις είναι για την θερμοκρασία που θα πάρει η αντίσταση του extruder , η υποστήριξη κάρτας sd εφόσον υπάρχει κτλ.

5.3 Τρόπος λειτουργίας των προγραμμάτων Host και Slicer

Όπως αναφέρθηκε παραπάνω, Host είναι το πρόγραμμα που σου δίνει τη δυνατότητα να χειρίζεσαι τον εκτυπωτή ανεξαρτήτως αν γίνεται κάποια εκτύπωση ή όχι. Το Slicer παίρνει το κομμάτι που είναι για εκτύπωση και υπολογίζει τις κινήσεις που πρέπει να κάνει ο εκτυπωτής για την κατασκευή του κομματιού. Υπάρχουν αρκετά προγράμματα που κάνουν αυτή τη διαδικασία. Το πρόγραμμα που επιλέχτηκε είναι το Pronterface το οποίο είναι δωρεάν. Κατεβάζοντας αυτό το πρόγραμμα δεν χρειάζεται να εγκατασταθεί κάτι άλλο στον υπολογιστή γιατί το πακέτο του προγράμματος αυτού έχει όλα τα απαραίτητα που χρειάζονται για την σωστή λειτουργία του εκτυπωτή.



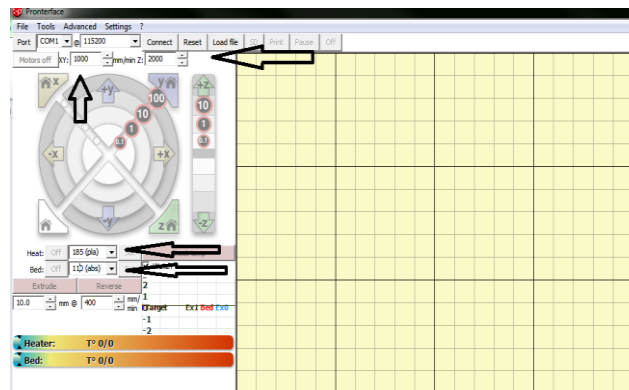
Εικόνα 47 Πλατφόρμα Pronterface

Η πλατφόρμα του προγράμματος είναι αυτή στην εικόνα. Οι πρώτες ρυθμίσεις που πρέπει να γίνουν είναι, πάνω αριστερά στην επιλογή Port ορίζεται η είσοδος που έχει ο arduino στον υπολογιστή πρέπει να είναι ίδια με τον arduino. Ακριβώς δίπλα έχει έναν αριθμό αυτός καλείται baudrate.

```
// This determines the communication speed of the printer  
// #define BAUDRATE 115200  
#define BAUDRATE 250000
```

Εικόνα 48 Ορισμός Baudrate

Ο αριθμός πρέπει να είναι ίδιος με αυτόν που έχει οριστεί στο firmware που έχει φορτωθεί στον arduino. Αφού γίνουν αυτές οι ρυθμίσεις πατώντας το κουμπί connect ο εκτυπωτής είναι έτοιμος για χρήση.



Εικόνα 49 Πλατφόρμα Pronterface

Στο κουτί X,Y ορίζονται οι ταχύτητες που θα κάνουν οι άξονες όταν κινούνται από τον χρήστη και είναι ανάλογες με αυτές που έχουν δοθεί στο firmware , η ταχύτητα στον άξονα Z είναι σε ξεχωριστό κουτί καθώς έχει διαφορετικό τρόπο κίνησης σε σχέση με τους όλους άξονες.

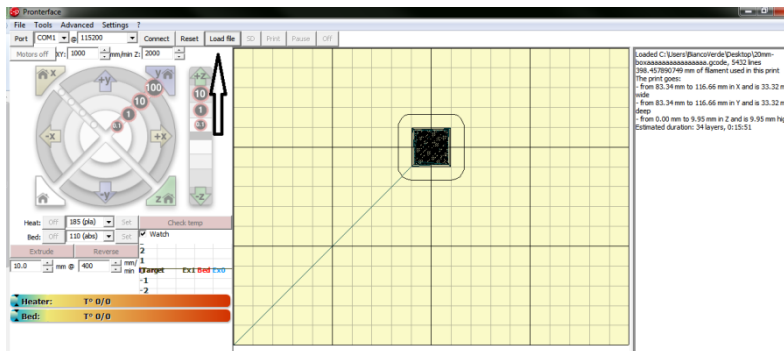
Πιο κάτω στην επιλογή Heat: ορίζεται η μέγιστη θερμοκρασία που θα πάρει ο extruder αυτή η τιμή ορίζεται ανάλογα με το υλικό που θα χρησιμοποιηθεί.

Bed: Είναι η θερμοκρασία που θα πάρει ο χώρος εκτύπωσης Εφόσον είναι θερμαινόμενος. Δεν είναι απαραίτητη η χρήση του.

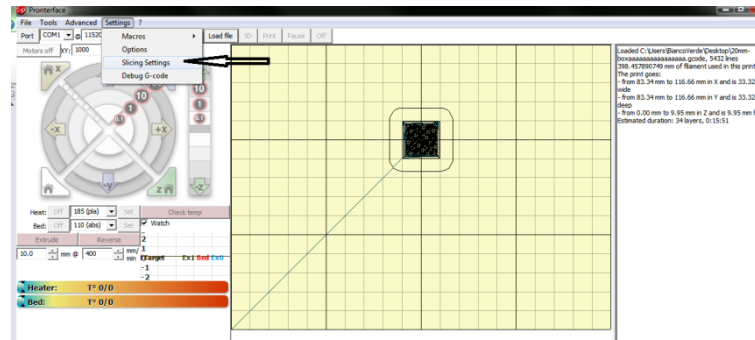
Το πρόγραμμα δίνει την δυνατότητα στον χρήστη να κινεί τους άξονες ξεχωριστά ανεξάρτητα αν εκτυπώνει η όχι. Πατώντας τα κουμπιά ανάλογα με τον άξονα που θέλει να κινήσει. Όπως παρατηρείται υπάρχουν τέσσερα διαφορετικά κουμπιά για κάθε άξονα που είναι οι επιλογές (0,5 , 1 , 10 , 100) τα νούμερα αυτά δηλώνουν την απόσταση που θα διανύσει ο εκάστοτε άξονας 0,5mm ,1mm , 10mm και 100mm.

Στο κάτω αριστερά σημείο έχει άλλα δυο κουμπιά extrude και reverse με την επιλογή extrude δουλεύει ο κινητήρας του extruder και βγάζει υλικό με την επιλογή reverse ο κινητήρας περιστρέφεται ανάποδα και μαζεύει το υλικό. Στα δύο κουτιά κάτω από το extrude στο αριστερό μπαίνουν τα χιλιοστά του υλικού που θέλουμε να ελευθερωθούν αν πατήσουμε μια φορά το extrude .Στο δεξιό κουτί είναι η ταχύτητα που θα απελευθερωθεί το υλικό.

Πατώντας το κουμπί load file δίνεται η δυνατότητα να φορτωθεί το κομμάτι που είναι προς εκτύπωση. Στην στήλη διαλόγου δίνονται πληροφορίες σχετικά με την ώρα που θα χρειαστεί για να ολοκληρωθεί η διαδικασία αλλά και τα στρώματα υλικού που θα χρειαστούν για την ολοκλήρωση του.

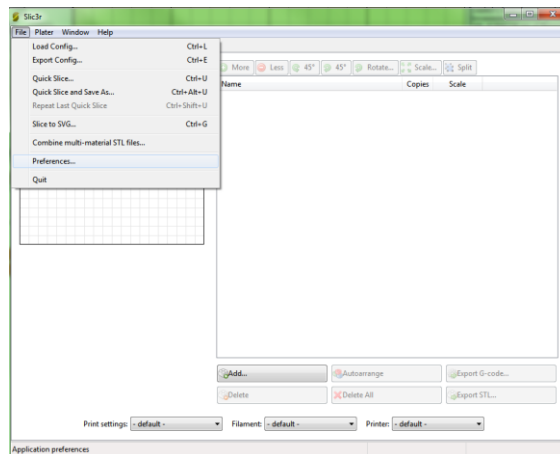


Εικόνα 50 Πλατφόρμα pronterface εισαγωγή αρχείου



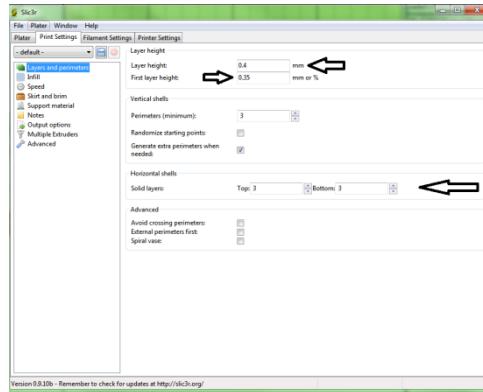
Εικόνα 51 Εξιδανικευμένες ρυθμίσεις

Υπάρχουν και επιπλέον ρυθμίσεις που μπορούν να γίνουν για την βελτιστοποίηση της εκτύπωσης του κομματιού. Οι ρυθμίσεις αυτές αφορούν το κάθε κομμάτι ξεχωριστά. Πηγαίνοντας στην επιλογή settings , slicing settings όπως φαίνεται στην εικόνα μας δίνεται η δυνατότητα για περαιτέρω ρυθμίσεις.



Εικόνα 52 Pronterface expert mode

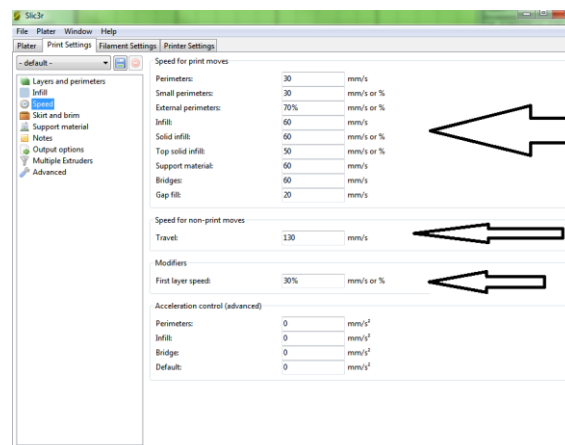
Στην επιλογή file , preferences υπάρχει η επιλογή expert mode για περισσότερες ρυθμίσεις. Σε αυτή την πλατφόρμα ρυθμίσεων υπάρχει πληθώρα επιλογών και ρυθμίσεων για να κάνουν την εκτύπωση όσο το δυνατόν καλύτερη και ποιοτικότερη



Εικόνα 53 Pronterface expert mode

Οι πιο σημαντικές ρυθμίσεις είναι :

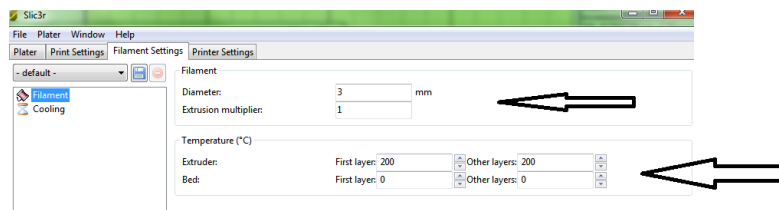
- Layer height: ορίζει το ύψος του κάθε στρώματος υλικού που θα αφήσει ο extruder. Η τιμή αυτή δεν μπορεί να είναι μεγαλύτερη από τη διάμετρο της μύτης του extruder πχ αν η μύτη του extruder είναι 0,4 mm τότε αυτή η τιμή δεν μπορεί να ξεπερνάει τα 0,4 mm.
- First layer height : Το ύψος του πρώτου στρώματος που θα αφήσει ο εκτυπωτής.
- Solid layers : Πόσο συμπαγές στρώμα υλικού θα αφήσει. Όσο περισσότερα συμπαγές είναι τα στρώματα αυξάνεται η ώρα εκτύπωσης.



Εικόνα 54 Pronterface expert mode ρύθμιση ταχυτήτων

Στη κατηγορία Speed for print moves: ρυθμίζονται οι ταχύτητες που θα έχει ο εκτυπωτής στις κινήσεις του κατά τη διάρκεια της εκτύπωσης. Όσο μικρότερες είναι οι ταχύτητες τόσο καλύτερες θα είναι οι επιφάνειες αλλά με το μειονέκτημα ότι αυξάνεται ο χρόνος εκτύπωσης.

- Perimeters: Ταχύτητα εκτύπωσης του περιγράμματος του κομματιού
- Small perimeters: Ταχύτητα εκτύπωσης των εσωτερικών περιμέτρων του κομματιού
- External perimeters: Ταχύτητα εκτύπωσης των εξωτερικών περιμέτρων του κομματιού
- Infill: Ταχύτητα για τα γεμίσματα του κομματιού
- Solid infill: Το ποσοστό του γεμίσματος που θα κάνει στο εσωτερικό
- Top solid infill: Το ποσοστό του γεμίσματος που θα κάνει στην κορυφή του υλικού
- Support material: Ταχύτητα εναπόθεσης υλικού στηριγμάτων (εάν υπάρχει)
- Gap fill: Ταχύτητα που θα κινηθεί στα νεκρά σημεία
- Speed for non – print moves: Οι κινήσεις που θα κάνει ο εκτυπωτής όταν δεν εκτυπώνει
- Travel: Η ταχύτητα που θα πηγαίνει η μύτη του εκτυπωτή από το ένα σημείο στο άλλο
- First layer speed: Η ταχύτητα που θα αφήσει τη πρώτη στρώση υλικού
- Acceleration control: Ο έλεγχος των επιταχύνσεων. Αφήνοντας μηδενικές τις τιμές ο εκτυπωτής παίρνει τις προκαθορισμένες τιμές από το πρόγραμμα. Δεν χρειάζεται κάποια αλλαγή σε αυτόν τον τομέα.

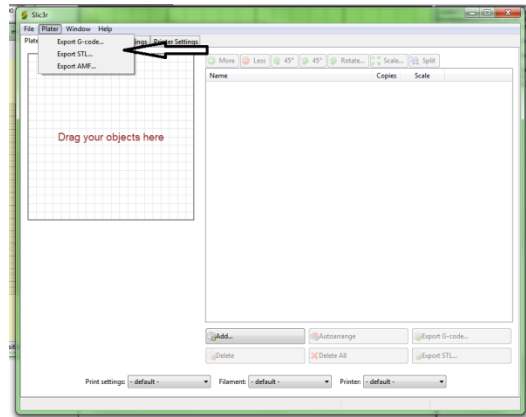


Εικόνα 55 Pronterface expert mode

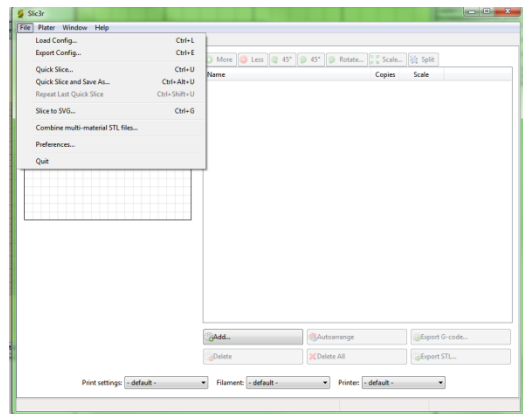
Filament: Σε αυτό το κουτί ορίζεται το πάχος του υλικού που χρησιμοποιείται.

Temperature: Ορίζεται η θερμοκρασία του extruder αλλά και του χώρου εκτύπωσης

Αφού γίνουν οι απαραίτητες ρυθμίσεις για το κομμάτι με την επιλογή export G-code βγάζει το πρόγραμμα τον G κώδικα και στην συνέχεια γίνεται φόρτωση στον Pronterface για να ξεκινήσει η εκτύπωση.



Εικόνα 56 Εξαγωγή G κώδικα Pronterface expert mode



ΕΙΚΟΝΑ 57 ΕΞΑΓΩΓΗ ΡΥΘΜΙΣΕΩΝ PRONTERFACE EXPERT MODE

Αφού γίνουν οι ρυθμίσεις το πρόγραμμα δίνει την δυνατότητα να αποθηκευθούν οι αλλαγές σε αρχείο στον υπολογιστή με την εντολή Export config και όποτε είναι απαραίτητο να της φορτώνει ο χρήστης εκ νέου.

6 Κεφάλαιο 6 –Βαθμονόμηση Calibration

6.1 Εισαγωγή

Στο έκτο κεφάλαιο παρουσιάζεται ο τρόπος με το οποίο γίνεται η βαθμονόμηση του εκτυπωτή. Το τελευταίο και σημαντικότερο σημείο πριν την πρώτη εκτύπωση είναι η βαθμονόμηση του εκτυπωτή. Με αυτή την διαδικασία ρυθμίζεται ο εκτυπωτής για να κάνει τις ορθές κινήσεις. Επίσης ορίζονται οι μέγιστες και οι ελάχιστες αποστάσεις που μπορεί να διανύσει ο εκτυπωτής.

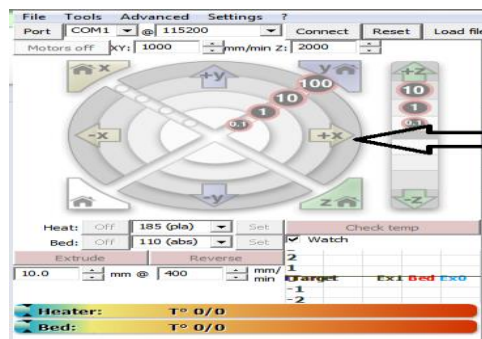
6.2 Διαδικασία βαθμονόμησης εκτυπωτή

Το πρώτο βήμα για την ρύθμιση του εκτυπωτή γίνεται στο πρόγραμμα του Arduino στα σημεία που έγινε αναφορά στο προηγούμενο κεφαλαίο.

```
///  
/// Calibration variables  
///  
// X, Y, Z, E steps per unit - Metric Prusa Mendel with Wade extruder:  
#define _AXIS_STEP_PER_UNIT {3.71, 3.891, 320.395,71.4}  
// Metric Prusa Mendel with MakerGear geared stepper extruder:  
//#define _AXIS_STEP_PER_UNIT {80,80,3200/1.25,1380}  
// MakerGear Hybrid Prusa Mendel:  
// Z axis value is for .9 stepper(if you have 1.8 steppers for Z, you need to use 2272.7272)  
//#define _AXIS_STEP_PER_UNIT {104.987, 104.987, 4545.4544, 1487}
```

Εικόνα 58 Ρυθμίσεις στο firmware

Το πρώτο πράγμα που πρέπει να ρυθμιστεί είναι οι παράμετροι που είναι με κίτρινο χρώμα. Αυτές οι τιμές ορίζουν την απόσταση που θα κινηθεί ο κάθε άξονας πατώντας το κουμπί να κινηθεί 100 mm



Εικόνα 59 Pronterface κίνηση αξόνων

Η διαδικασία είναι αυτή:

Πατώντας το κουμπί (home) έρχονται όλοι οι άξονες στην μηδενική τους θέση, αφού φτάσουν όλοι στο σημείο μηδέν πατιέται το κουμπί του άξονα X να κινηθεί κατά 100mm αφού ολοκληρώσει την κίνηση αυτή ο άξονας X γίνεται η μέτρηση της πραγματικής απόστασης που διάνυσε και παρατηρείται ότι αντί για 100 mm είναι πχ 80 mm

Η διαδικασία διόρθωσης είναι : Στο firmware επιλέγεται ο υπάρχον αριθμός από το πρόγραμμα για τον X άξονα

```
#define THERMISTORHEATER 1
#define THERMISTORBED 1

//// Calibration variables
// X, Y, Z, E steps per unit - Metric Prusa Mendel with Wade extru
#define _AXIS_STEP_PER_UNIT {3.71, 3.891, 320.395,71.4}
// Metric Prusa Mendel with Makergar geared stepper extruder:
// #define _AXIS_STEP_PER_UNIT {80,80,3200/1.25,1380}
// MakerGear Hybrid Prusa Mendel:
```

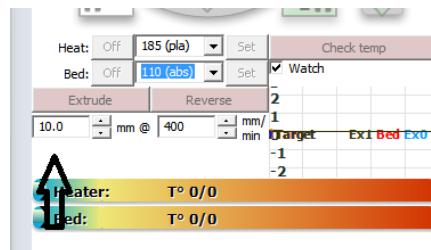


Εικόνα 60 Firmware

Που είναι 3,71 διαιρείται με τον πραγματικό αριθμό που κινήθηκε ο άξονας πχ 80 mm και πολλαπλασιάζεται με το 100 που είναι και ο επιθυμητός.

$$(3,71/80)*100 = 4,6375$$

Τοποθετείται το νέο αποτέλεσμα στο πρόγραμμα του Arduino και επαναλαμβάνεται η διαδικασία μέχρι η απόσταση που θα διανύσει ο άξονας να είναι αν όχι 100 όσο το δυνατόν πιο κοντά στο 100. Αυτή η διαδικασία είναι ίδια σε όλους τους άξονες. Αυτή η διαδικασία πρέπει να γίνει και στον extruder. Για τον extruder ορίζεται μια τιμή στο κουτί του extruder μέσα στο πρόγραμμα **Pronterface** πχ 10 mm, Πατώντας μία φορά το κουμπί extrude θα πρέπει το υλικό που θα βγει να είναι 10 mm σε περίπτωση που δεν είναι. Πρέπει να μετρηθεί το υλικό που βγήκε πχ 8mm.



Εικόνα 61Pronterface Extruder calibration

```
//// Calibration variables
// X, Y, Z, E steps per unit - Metric Prusa Mendel with Wade ext
#define _AXIS_STEP_PER_UNIT {3.71, 3.891, 320.395,71.4}
// Metric Prusa Mendel with Makergar geared stepper extruder:
// #define _AXIS_STEP_PER_UNIT {80,80,3200/1.25,1380}
// MakerGear Hybrid Prusa Mendel:
// Z axis value is for .9 stepper(if you have 1.8 steppers for Z
// #define _AXIS_STEP_PER_UNIT {104.987, 104.987, 4545.4544, 1487
```

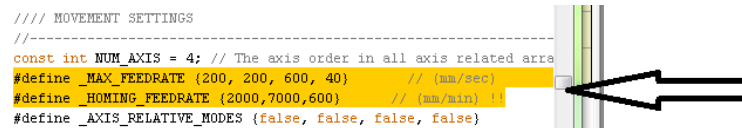


Εικόνα 62 Firmware extruder calibration

Επιλέγεται η τιμή από το πρόγραμμα του Arduino 71,4 διαιρείται με την πραγματική τιμή από το υλικό που βγήκε πχ 8mm και πολλαπλασιάζεται με το 10 δηλαδή την επιθυμητή τιμή

$$(71,4/8)*10=89,25$$

Τοποθετείται το νέο αποτέλεσμα στο πρόγραμμα και επαναλαμβάνεται η ίδια διαδικασία μέχρι να φτάσει ποιο κοντά στο επιθυμητό αποτέλεσμα.



Εικόνα 63 Ρύθμιση του feedrate

Οι τιμές στο **Feedrate** αλλάζουν ανάλογα με τις κινήσεις των κινητήρων δηλαδή αν δεν είναι σωστές , χάνουν βήματα , κάνουν θόρυβο ,τρέμουν μόνο τότε πρέπει να πειραχθούν αυτές οι τιμές.

- **Max Feedrate:** Είναι οι μέγιστες ταχύτητες που θα παίρνουν οι κινητήρες στις κινήσεις τους εκτός εκτύπωσης.
- **Homing Feedrate:** Η ταχύτητα που θα πηγαίνουν οι άξονες στο μηδενικό σημείο με την επιλογή home

Αφού γίνουν όλα τα παραπάνω βήματα ο εκτυπωτής είναι έτοιμος να ξεκινήσει την εκτύπωση.

7 Κεφάλαιο 7 –Δοκίμια που εκτυπώθηκαν, τελική μορφή του εκτυπωτή, συμπεράσματα

7.1 Εισαγωγή

Στο έβδομο κεφάλαιο παρουσιάζονται τα δοκίμια που εκτυπώθηκαν και οι εσφαλμένες εκτυπώσεις. Τέλος παρουσιάζεται η μορφή του εκτυπωτή μετά την ολοκλήρωση της κατασκευής του καθώς και τα συμπεράσματα που προέκυψαν στο κατασκευαστικό κομμάτι του εκτυπωτή.

7.2 Δοκίμια που εκτυπώθηκαν

Παρακάτω παρουσιάζονται κάποια από τα δοκίμια που εκτυπώθηκαν.

Χαρακτηριστικά δοκιμίων

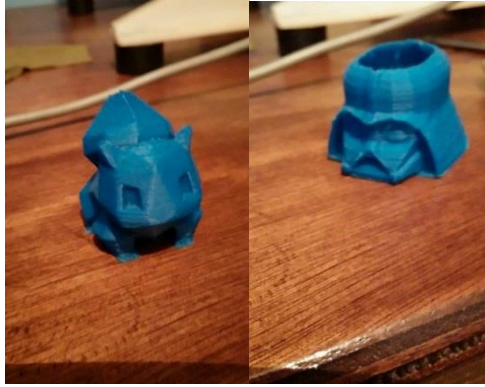
Δοκίμιο	Διαστάσεις (mm)	Ώρα εκτύπωσης με γέμισμα στο εσωτερικό τους (min)	Ώρα εκτύπωσης χωρίς γέμισμα στο εσωτερικό τους (min)
Δοκίμιο 1	85*50	90	60
Δοκίμιο2	70*40	80	45
Δοκίμιο4	90*60	90	50

Πίνακας 13 Χαρακτηριστικά δοκιμίων που εκτυπώθηκαν

Το δοκίμιο 4 αποτελείται από τρία διαφορετικά κομμάτια τα δύο γρανάζια και το περίβλημα τα οποία στο τέλος συναρμολογήθηκαν.

Η ώρα εκτύπωσης και η ποιότητα διαφέρει ανάλογα με τις ρυθμίσεις που γίνονται μέσα από το λογισμικό **slicer**. Το λογισμικό δίνει την δυνατότητα επιλογής αν το δοκίμιο θα είναι συμπαγές ή αν το εσωτερικό του θα είναι κούφιο. Ακόμα η εκτύπωση επηρεάζεται από το πάχος του κάθε layer που θα αφήνει ο extruder και τέλος οι ταχύτητες που θα έχει ο εκτυπωτής. Όλα αυτά επηρεάζουν την ποιότητα και την ώρα της εκτύπωσης.

Δοκίμια που έχουν εκτυπωθεί.



Εικόνα 64 Δοκίμιο 1 Εικόνα 65 Δοκίμιο 2



Εικόνα 66 Δοκίμιο 3 Εικόνα 67 Δοκίμιο 4

Η διπλωματική εργασία που παρουσιάστηκε στις παραπάνω παραγράφους, υλοποίησε έναν ολοκληρωμένο τρισδιάστατο εκτυπωτή που έχει τη δυνατότητα να εκτυπώνει τρισδιάστατα κομμάτια που έχουν σχεδιαστεί από οποιοδήποτε πρόγραμμα τρισδιάστατης σχεδίασης.

Κάνοντας αρκετές αποτυχημένες δοκιμές και πολλά σκάρτα κομμάτια, όπως φαίνεται στις εικόνες παρακάτω. Μετά από συνεχείς ρυθμίσεις μέσα από το λογισμικό εκτύπωσης ή κάνοντας διορθώσεις στον κατασκευαστικό τομέα ο εκτυπωτής έφτασε σε ένα αρκετά ικανοποιητικό επίπεδο εκτύπωσης όπως φαίνεται από τα εκτυπωμένα δοκίμια παραπάνω.



Εικόνα 68 Κακή εκτύπωση δοκμίου Εικόνα 69 Κακή εκτύπωση κομματιού 2



Εικόνα 70 Κακή εκτύπωση κομματιού 3

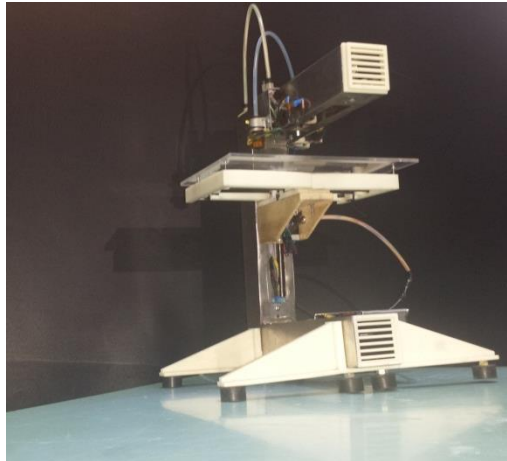
Η κατασκευή ενός τρισδιάστατου εκτυπωτή είναι αρκετά περίπλοκη. Πρέπει να λειτουργούν αρμονικά πολλά ηλεκτρονικά εξαρτήματα σε συνδυασμό με τα κινούμενα μηχανολογικά μέρη του εκτυπωτή. Οι πιθανότητες βλάβης στα ηλεκτρονικά μέρη είναι μεγάλη και χρειάζεται μεγάλη προσοχή. Σε συνδυασμό με το ότι στην Ελλάδα είναι δύσκολο να βρεθούν ανταλλακτικά στα ηλεκτρονικά μέρη του εκτυπωτή όπως είναι η RAMPS ή οι αντιστάσεις που χρειάζονται κάνει την κατασκευή του ακόμα πιο δύσκολη. Από την άλλη η κατασκευή ενός τρισδιάστατου εκτυπωτή δίνει την δυνατότητα να κατανοηθεί ακριβώς ο τρόπος με τον οποίο δουλεύει ένας τρισδιάστατος εκτυπωτής, και γενικά η τεχνολογία της τρισδιάστατης εκτύπωσης.

7.3 Τελική μορφή του εκτυπωτή

Χαρακτηριστικά εκτυπωτή.

Eventorbot	Χώρος εκτύπωσης (mm)	Μέγεθος εκτυπωτή (mm)	Ταχύτητα εκτύπωσης	Ακρίβεια θέσης (mm)	Βάρος (kg)
	152*152*152	419*406.5*350	Δεν μπορεί να καθοριστεί. Μπορεί να αλλαχτεί από τον χρήστη	0,1	15

Πίνακας 14 Χαρακτηριστικά Eventorbot



Εικόνα 71 Eventorbot τελική μορφή

7.4 Συμπεράσματα για το κατασκευαστικό κομμάτι του εκτυπωτή:

Ενώ αρχικά το σχέδιο του εκτυπωτή έμοιαζε ιδανικό για αυτήν την κατασκευή με πολλά θετικά στοιχεία όπως είναι η εμφάνιση του που τον κάνει να ξεχωρίζει από τους άλλους, το ότι όλα τα καλώδια οι άξονες και οι κινητήρες είναι κρυφά μέσα στο σκελετό του εκτυπωτή τον κάνει πολύ προσιτό και όμορφο εξωτερικά. Επιχειρώντας όμως την κατασκευή του γίνεται γρήγορα αντιληπτό ότι αυτός ο κλειστός μονοκόμματος σκελετός δεν είναι καθόλου εργονομικός αντίθετα είναι πολύ κακός σαν κατασκευή. Είναι πολύ δύσκολη η πρόσβαση στο εσωτερικό του με ελάχιστο χώρο που έχει σαν αποτέλεσμα η διευθέτηση των καλωδίων η ρύθμιση των αξόνων ή η απλή αλλαγή κάποιου κινητήρα να είναι πολύ δύσκολη και πολύ χρονοβόρα καθώς θα πρέπει να αποσυναρμολογείται όλος ο εκτυπωτής και να ξανά συναρμολογείται από την αρχή.

Ακόμα το αρχικό σχέδιο είχε πολλά μειονεκτήματα όσο αναφορά την σταθερότητα του εκτυπωτή καθώς η βάση του είναι σχετικά μικρή και σε συνδυασμό ότι είναι ψηλός σαν κατασκευή εμφανίζει πολλούς κραδασμούς κατά τη διάρκεια της εκτύπωσης κάτι που χαλάει την ποιότητα του κομματιού.

Επίσης ένα ακόμα μειονέκτημα στο αρχικό σχέδιο είναι ο τρόπος που στερεώνεται ο extruder πάνω στον άξονα Y.

Η βάση του extruder στον άξονα Y



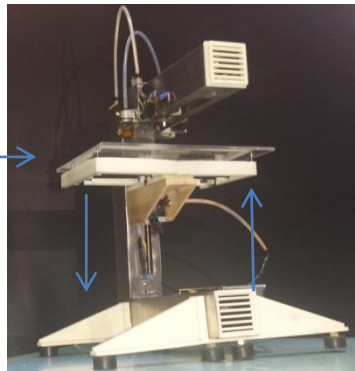
Η βάση της τράπεζας εκτύπωσης

Εικόνα 72 Eventorbot κατασκευαστικά σφάλματα

Τα πλαστικά εκτυπώσιμα κομμάτια δεν έχουν μεγάλη αντοχή και δεν επιτρέπουν το σφίξιμο των κοχλιών. Αυτό έχει σαν αποτέλεσμα κατά την διάρκεια της εκτύπωσης είτε να φεύγει τελείως από την θέση του ή να χαλαρώνει αρκετά και να παίζει.

Τέλος ένα ακόμα κατασκευαστικό λάθος είναι η βάση του κρεβατιού εκτύπωσης καθώς. Επίσης είναι από πλαστικό οπότε δεν επιτρέπεται η δυνατή σύσφιξη των κοχλιών και έχει σαν αποτέλεσμα με του κραδασμούς να χαλαρώνουν οι βίδες. Ακόμα η τράπεζα εκτύπωσης είναι αρκετά μεγάλη και όταν φτάνει στην μεγαλύτερη απόσταση που μπορεί τείνει να εμφανίζει μια κλίση προς τα κάτω οπότε χάνεται η σταθερότητα.

Εμφάνιση κλίσης Η μία μεριά τείνει να σηκωθεί και η άλλη να πέφτει



Εικόνα 73 Eventorbot κατασκευαστικά λάθη

Βιβλιογραφία

[1]diyhlektronika.

(2015, Φεβρουάριος). Ανάκτηση από arduino serial communication:

<http://diyhlektronika.blogspot.gr/2011/11/arduino-serial-communication.html>

[2]Eventorbot.

(2015, Φεβρουάριος). Ανάκτηση από <http://www.eventorbot.com/articles.html>

[3]instructables.

(2015, Φεβρουάριος). Ανάκτηση από arduino CNC: <http://www.instructables.com/>

[4] Θανάσης Στεφάνη,

Πτυχιακή εργασία: Κατασκευή τρισδιάστατου εκτυπωτή χαμηλού κόστους.

[5]machine science.

(2015, Φεβρουάριος). Ανάκτηση από ATmega Board:

<http://guides.machinescience.org/mod/book/view.php?id=904>

[6]machinescience.

(2015, Φεβρουάριος). Ανάκτηση από Robotic projects :

<http://guides.machinescience.org/course/view.php?id=29>

[7]nemhobby.

(2015, Φεβρουάριος). Ανάκτηση από pololu: <http://www.nemhobby.com/pololu-rc-switch-with-medium-low-side-mosfet-p32378.html>

[8]RepRap wiki.

(2015, Φεβρουάριος). Ανάκτηση από Nema 17: http://reprap.org/wiki/NEMA_17

[9]RepRap Wiki.

(2015, Φεβρουάριος). Ανάκτηση από RepRap guid: <http://reprap.org/>

[10]tvrug.org.u.

(2015, Φεβρουάριος). Ανάκτηση από Hot end: http://tvrug.org.uk/hot_end

[11]wikipedia.

(2015, Φεβρουάριος). Ανάκτηση από <http://en.wikipedia.org>

jkmkj. (n.d.).

[12]wiki, R.

(2015). *The incomplete RepRap beginner's guide*. RepRap wiki.