



Πανεπιστήμιο Αιγαίου

Τμήμα Μηχανικών Πληροφοριακών και Επικοινωνιακών
Συστημάτων

321-7101 – Διπλωματική Εργασία

Εργίνα Καβαλλιεράτου

Αναπληρώτρια Καθηγήτρια

Κατασκευή 3D - Printer

321/2014116 Νικόλαος Μάνος

Σάμος, Νοέμβριος, 2019



321-7101 – Διπλωματική Εργασία

Τίτλος Μελέτης: Κατασκευή 3D - Printer

Νικόλαος Μάνος



321-7101 – Διπλωματική Εργασία

Τίτλος Μελέτης: Κατασκευή 3D - Printer

Νικόλαος Μάνος

Ευχαριστίες

Ευχαριστώ την καθηγήτριά μου, κυρία Εργίνα Καβαλλιεράτου για την καθοδήγηση και τη βοήθειά της κατά την εκπόνηση της διπλωματικής μου εργασίας. Επίσης, θα ήθελα να ευχαριστήσω τον Μάριο Βασιλείου για την βοήθειά του στη σχεδίαση των 3D αντικειμένων που χρειάστηκαν για την κατασκευή του εκτυπωτή. Τέλος, ευχαριστώ την οικογένειά μου για τη στήριξη που μου παρείχε κατά τη διάρκεια των σπουδών μου.



321-7101 – Διπλωματική Εργασία

Τίτλος Μελέτης: Κατασκευή 3D - Printer

Νικόλαος Μάνος



Περίληψη

Στόχος της παρούσας διπλωματικής εργασίας είναι η υλοποίηση 3D εκτυπωτή σε υλικό καθώς και σε λογισμικό επίπεδο. Στα πλαίσια του εργαστηρίου Τεχνητής Νοημοσύνης του Τμήματος Μηχανικών Πληροφοριακών και Επικοινωνιακών Συστημάτων του Πανεπιστημίου Αιγαίου, δημιουργήθηκε η ανάγκη για εκτύπωση τρισδιάστατων αντικειμένων μεγαλύτερων διαστάσεων σε σχέση με τον υπάρχων 3D Printer.

Στο πρώτο κεφάλαιο περιγράφεται η τεχνική της τρισδιάστατης εκτύπωσης και τα πλεονεκτήματα και μειονεκτήματα που προκύπτουν από εκείνη. Στη συνέχεια, παρουσιάζεται η ιστορική αναδρομή των 3D εκτυπωτών από το 1983 έως και τη σημερινή εποχή.

Στο δεύτερο κεφάλαιο αναλύεται η κατασκευή του εκτυπωτή με διαστάσεις 100cm (μήκος) x 55cm (πλάτος) x 60cm (ύψος), ενώ οι διαστάσεις εκτύπωσης είναι 40cm x 40cm x 45cm. Τα υλικά από τα οποία απαρτίζεται ο εκτυπωτής είναι προφίλ αλουμινίου, πλακέτα Arduino και Ramps Shield, βηματικοί κινητήρες, θερμαινόμενη κεφαλή, θερμαινόμενη βάση εκτύπωσης και 3D εκτυπωμένα κομμάτια πλαστικού.

Το τρίτο κεφάλαιο αναφέρεται στο λογισμικό επίπεδο του εκτυπωτή, καθώς και στο πρόγραμμα εξαγωγής αρχείων προς εκτύπωση Cura Ultimaker. Επιπλέον αναλύονται οι παραμετροποιήσεις που πραγματοποιήθηκαν στο Marlin 1.1.9, το οποίο είναι εγκατεστημένο στο Arduino Mega, στην κεντρική πλακέτα του εκτυπωτή.

Στο τέταρτο κεφάλαιο αναγράφεται ο αναλυτικός κατάλογος των υλικών που χρησιμοποιήθηκαν για την κατασκευή του εκτυπωτή, τα τεμάχια καθώς και η τιμή τους.

Τέλος, ακολουθούν οι μελλοντικές επεκτάσεις και τα συμπεράσματα τα οποία προέκυψαν κατά την διατριβή της διπλωματικής εργασίας.

Λέξεις Κλειδιά

3D Printer, Τρισδιάστατος εκτυπωτής, Τρισδιάστατη εκτύπωση, Άξονες, Arduino, Βηματικοί Κινητήρες, Stepper Motor, Οθόνη LCD, Βάση Εκτύπωσης, Marlin, Cura Ultimaker



Abstract

This specific diploma aims to the construction of 3D printer in hardware as well as in software level. Within the context of Artificial Intelligence Lab of the Departure of Information and Communication Systems Engineering at the University of Aegean, the need for printing 3D items with larger dimensions that the existing 3D printer, was created.

The first chapter describes the technique of 3D printing and the advantages and disadvantages of it. In addition, it is presented the historical background of 3D printers since 1983 until nowadays.

The second chapter analyzes the construction of the printer with dimensions 100cm (length) x 55cm (width) x 60cm (height), while the dimensions of printing are 40cm x 40cm x 45cm. The materials which the printer is consisted of are aluminium profiles, Arduino board and Ramps Shield, stepper motors, heated extruder, heated bed and 3D printed plastic items.

The third chapter refers to the software level of the printer, as the file export program Cura Ultimaker. Furthermore, it is analyzed the configurations that are executed in Marlin 1.1.9, which are installed in Arduino Mega and specific on the central board of printer.

The fourth chapter includes the analytical catalog of materials, which are used for the construction of printer, the pieces and their price.

In conclusion, future extensions are described and the result that occurred from thesis of diploma.

Key – Words

3D Printer, 3D Printing, Axis, Arduino, Stepper Motor, LCD monitor, Printing Base, Marlin, Cura Ultimaker



Κατάλογος Περιεχομένων

1	ΕΙΣΑΓΩΓΗ.....	1
1.1	ΠΛΕΟΝΕΚΤΗΜΑΤΑ – ΜΕΙΟΝΕΚΤΗΜΑΤΑ	1
1.2	ΙΣΤΟΡΙΚΗ ΑΝΑΔΡΟΜΗ.....	2
1.3	ΤΟΜΕΙΣ ΑΝΑΠΤΥΞΗΣ ΤΡΙΣΔΙΑΣΤΑΤΗΣ ΕΚΤΥΠΩΣΗΣ	5
1.4	ΚΑΤΗΓΟΡΙΟΠΟΙΗΣΗ ΤΕΧΝΟΛΟΓΙΩΝ ΤΡΙΣΔΙΑΣΤΑΤΗΣ ΕΚΤΥΠΩΣΗΣ	7
2	ΚΑΤΑΣΚΕΥΗ.....	11
2.1	ΣΚΕΛΕΤΟΣ ΕΚΤΥΠΩΤΗ	12
2.2	ΒΑΣΗ ΓΙΑ ΤΟ BED	13
2.3	BED (ΒΑΣΗ ΕΚΤΥΠΩΣΗΣ).....	14
2.4	ΚΙΝΗΣΗ ΚΑΙ ΜΟΤΟΡΕΣ.....	15
2.4.1	ΚΙΝΗΣΗ ΣΤΟΝ Χ ΑΞΟΝΑ	15
2.4.2	ΚΙΝΗΣΗ ΣΤΟΝ Υ ΑΞΟΝΑ	16
2.4.3	ΚΙΝΗΣΗ ΣΤΟΝ Ζ ΑΞΟΝΑ	16
2.4.4	ΥΛΙΚΟ ΕΚΤΥΠΩΣΗΣ	18
2.5	ΕΠΕΚΤΑΣΕΙΣ.....	20
2.6	ΔΙΑΓΡΑΜΜΑ ΚΑΛΩΔΙΩΣΗΣ.....	21
2.7	ΠΛΑΚΕΤΑ	23
2.8	LCD ΟΘΟΝΗ ΜΕ ΥΠΟΔΟΧΗ ΚΑΡΤΑΣ SD	24
2.9	ΥΠΟΛΟΙΠΑ ΜΕΡΗ ΕΚΤΥΠΩΤΗ	25
2.9.1	STEPPER MOTOR DRIVERS	25
2.9.2	STEPPER MOTORS	26
2.9.3	END STOPS	27
2.9.4	ΘΕΡΜΑΙΝΟΜΕΝΗ ΚΕΦΑΛΗ	27
2.9.5	ΠΡΟΩΘΗΤΗΣ ΥΛΙΚΟΥ	29
2.9.6	ΤΡΟΦΟΔΟΤΙΚΟ ΕΚΤΥΠΩΤΗ	30
3	ΛΟΓΙΣΜΙΚΟ.....	33
3.1	MARLIN 1.1.9	33



321-7101 – Διπλωματική Εργασία

Τίτλος Μελέτης: Κατασκευή 3D - Printer

Νικόλαος Μάνος

3.2	ΠΑΡΑΜΕΤΡΟΠΟΙΗΣΕΙΣ ΣΤΑ ΜΕΤΡΑ ΤΟΥ ΕΚΤΥΠΩΤΗ	34
3.3	PRONTERFACE	40
3.4	CURA ULTIMAKER 4.1.0	41
4	ΚΑΤΑΛΟΓΟΣ ΥΛΙΚΩΝ	43
5	ΜΕΛΛΟΝΤΙΚΕΣ ΕΠΕΚΤΑΣΕΙΣ ΚΑΙ ΒΕΛΤΙΩΣΕΙΣ.....	45
6	ΣΥΜΠΕΡΑΣΜΑΤΑ	47
7	ΠΑΡΑΡΤΗΜΑ	49
8	ΒΙΒΛΙΟΓΡΑΦΙΑ.....	61



Κατάλογος Εικόνων

Εικόνα 1: Ο πρώτος 3D printer	2
Εικόνα 2: Hall of Fame.....	3
Εικόνα 3: 1 st 3D printer	3
Εικόνα 4: Η μηχανή του Carl Deckard.....	4
Εικόνα 5: 3D - εκτύπωση στην αεροδιαστημική.....	5
Εικόνα 6: 3D - εκτύπωση στην αυτοκινητοβιομηχανία	6
Εικόνα 7: Τρισδιάστατα κτήρια	7
Εικόνα 8: Τεχνική SLS.....	8
Εικόνα 9: Τεχνική Multijet Modeling	9
Εικόνα 10: Creality Ender 3	10
Εικόνα 11: Monoprice voxel	10
Εικόνα 12: Σκελετός εκτυπωτή	12
Εικόνα 13: Βάση για το Bed.....	13
Εικόνα 14: Βάση εκτύπωσης.....	14
Εικόνα 15: Άξονας x	15
Εικόνα 16: Άξονας y	16
Εικόνα 17: Άξονας z.....	17
Εικόνα 18: Καρούλι υλικού εκτύπωσης.....	18
Εικόνα 19: Υλικά εκτύπωσης.....	19
Εικόνα 20: Διάγραμμα καλωδίωσης.....	21
Εικόνα 21: Ramps 1.4 shield	22
Εικόνα 22: Relay	22
Εικόνα 23: Arduino Mega	23
Εικόνα 24: LCD οθόνη.....	24
Εικόνα 25: Motor Driver	25
Εικόνα 26: Stepper motor Nema 17	26
Εικόνα 27: End stop	27



Εικόνα 28: Θερμαινόμενη κεφαλή	28
Εικόνα 29: Αρχιτεκτονική κεφαλής	28
Εικόνα 30: Προωθητής υλικού	30
Εικόνα 31: Τροφοδοτικό ATX	30
Εικόνα 32: Marlin 1.1.9	33
Εικόνα 33: Calculator steps/mm	38
Εικόνα 34: Pronterface	40
Εικόνα 35: Cura Ultimaker 4.1.0	41
Εικόνα 36: Ρυθμίσεις Εκτύπωσης	42
Εικόνα 37: 3D printer	45
Εικόνα 38: Εκτύπωση αντικειμένου	47



321-7101 – Διπλωματική Εργασία

Τίτλος Μελέτης: Κατασκευή 3D - Printer

Νικόλαος Μάνος

Κατάλογος Πινάκων

Πίνακας 1: Χαρακτηριστικά Arduino Mega	24
Πίνακας 2: Χαρακτηριστικά Βηματικού κινητήρα	26
Πίνακας 3: Κατάλογος υλικών	43



321-7101 – Διπλωματική Εργασία

Τίτλος Μελέτης: Κατασκευή 3D - Printer

Νικόλαος Μάνος



Ακρωνύμια και μετάφραση όρων

3D	Three Dimensional
CAD	Computer Aided Design
CNC	Computer Numerical Control
STL	Stereo lithography, Surface Tessellation Language
SLS	Selective Laser Sintering
Bed	Βάση εκτύπωσης
Stepper motor	Βηματικός κινητήρας
Extruder	Εξωθητήρας – προωθητής
Calibration	Ρύθμιση - αρχικοποίηση
Thermistor	Αισθητήρας θερμοκρασίας
LCD	Liquid Crystal Display
ATX	Advanced Technology Extended
PLA	Poly Lactic Acid
ABS	Acrylonitrile butadiene styrene



321-7101 – Διπλωματική Εργασία

Τίτλος Μελέτης: Κατασκευή 3D - Printer

Νικόλαος Μάνος



1 Εισαγωγή

Η τεχνολογία της τρισδιάστατης εκτύπωσης είναι μία καινοτόμα ιδέα που έχει ως σκοπό την κατασκευή πραγματικών αντικειμένων. Πρωτοεμφανιζόμενη στα μέσα της δεκαετίας του 1980, βασίζεται στη δημιουργία ψηφιακών σχεδίων πραγμάτων κάθε είδους, τα οποία με τη βοήθεια μιας συσκευής συνδεδεμένης σε υπολογιστή υλοποιούνται σε αληθινά αντικείμενα με τη μέθοδο της εναπόθεσης επάλληλων στρώσεων υλικού.

Αποτελεί ουσιαστικά, μέθοδο ταχείας κατασκευής πρωτοτύπων. Αν και υπάρχουν αρκετές μέθοδοι ή τεχνολογίες τρισδιάστατης εκτύπωσης, κοινό χαρακτηριστικό των τεχνολογιών αυτών είναι η χρήση των προγραμμάτων CAD για τη δημιουργία του ψηφιακού σχεδίου ενός αντικειμένου. Στη συνέχεια, κατασκευάζεται από κατάλληλες κεφαλές με την εναπόθεση λεπτών επάλληλων στρώσεων υλικού σύμφωνα με το ψηφιακό σχέδιο.

Φυσικά γενικός όρος στις τεχνολογίες τρισδιάστατης εκτύπωσης που χρησιμοποιείται είναι το «additive manufacturing» (προσθετικές μέθοδοι παραγωγής), ο οποίος υποδηλώνει εύστοχα τη διαφορά από τις σημερινές τεχνικές που βασίζονται στην αφαίρεση υλικού από αδιαμόρφωτα τεμάχια με τη χρήση των λεγόμενων μηχανών CNC, δηλαδή subtractive manufacturing.

1.1 Πλεονεκτήματα – Μειονεκτήματα

Η κατασκευή πρωτοτύπων με ταχύ ρυθμό επιτρέπει την έγκαιρη διόρθωση των λαθών και τη βελτιστοποίηση του προϊόντος πριν την ανάπτυξη των ακριβών εργαλείων που είναι αναγκαία για τη μαζική παραγωγή του. Άλλωστε αυτός είναι και ο βασικός λόγος που αποτελεί την κύρια εφαρμογή κατασκευής τρισδιάστατων εκτυπωτών. Ωστόσο τα τελευταία χρόνια ο αριθμός των εκτυπωτών που χρησιμοποιούνται στην παραγωγή ολοένα και μεγαλώνει, μάλιστα υπολογίζεται ότι μέχρι και το 2025 το ποσοστό τους θα αγγίξει το 50% των αντικειμένων που κατασκευάζονται.

Πασιφανές είναι επίσης το πλεονέκτημά τους, σε σχέση με τις συμβατικές μηχανές CNC, η εξοικονόμηση υλικού εφόσον το αντικείμενο κατασκευάζεται προσθέτοντας και όχι αφαιρώντας υλικό. Για την κατασκευή αρκετών εξαρτημάτων πολύπλοκης γεωμετρίας και υψηλής αντοχής, οι σημερινές μέθοδοι προβλέπουν τη μηχανουργική κατεργασία συμπαγών τεμαχίων με το 90% του υλικού να αφαιρείται και να απορρίπτεται σε μορφή που δεν μπορεί να ξαναχρησιμοποιηθεί για την κατασκευή των εξαρτημάτων.



Από την άλλη πλευρά, οι σημερινές τεχνολογίες τρισδιάστατης εκτύπωσης υπολείπονται των συμβατικών ως προς την ποικιλία των υλικών κατασκευής ομοιόμορφης και πλήρους πυκνότητας και την ακρίβεια των διαστάσεων (σε πολλές εφαρμογές η πυκνότητα και η ακρίβεια θα πρέπει να είναι 100% επαρκείς ώστε να υπάρξει το επιθυμητό αποτέλεσμα). Ένα άλλο σημαντικό μειονέκτημά τους εντοπίζεται στην ταχεία μαζική παραγωγή. Για τη διαμόρφωση εν θερμώ ή την κατασκευή πρεσσαριστών αντικειμένων απαιτείται χρονικό διάστημα μικρότερου του ενός λεπτού, ενώ η κατασκευή του ίδιου αντικειμένου από έναν τρισδιάστατο εκτυπωτή απαιτεί ώρες. Οι διαστάσεις των αντικειμένων που μπορούν να κατασκευαστούν από τους σημερινούς τρισδιάστατους εκτυπωτές είναι περιορισμένες, ενώ οι μηχανές που μπορούν να κατασκευάσουν μεγαλύτερα αντικείμενα έχουν ιδιαίτερα υψηλό κόστος. Επιπλέον, για αντικείμενα μεγαλύτερων διαστάσεων επιμηκύνεται σημαντικά ο χρόνος κατασκευής, ενώ υπάρχουν αντικείμενα οι διαστάσεις των οποίων είναι έξω από τα όρια των δυνατοτήτων των σημερινών τρισδιάστατων εκτυπωτών.

1.2 Ιστορική αναδρομή

Το 1981 ο Hideo Kodama κάνει την πρώτη αναφορά για τη μέθοδο του Rapid Prototyping με τη χρήση φωτοπολυμερών υλικών στην Ιαπωνία.

Ο πρώτος 3D printer κατασκευάστηκε από τον Αμερικάνο Chuck Hull πριν από περίπου 30 χρόνια, στις 9 Μαρτίου του 1983.



Εικόνα 1: Ο πρώτος 3D printer



321-7101 – Διπλωματική Εργασία

Τίτλος Μελέτης: Κατασκευή 3D - Printer

Νικόλαος Μάνος

Τρία χρόνια αργότερα το 1986, ο Chuck Hull δημιουργεί μια εταιρεία, τη 3D Systems. Ονομάζει “3D printer” ή “Additive Manufacturing” το μηχάνημα που έχει κατασκευάσει. Επίσης ο ίδιος δημιούργησε το γνωστό σε όλους τύπο αρχείου STL που χρησιμοποιείται μέχρι και σήμερα.



Εικόνα 2: Hall of Fame



Εικόνα 3: 1st 3D printer

Το 1988, επινοήθηκε μια άλλη τεχνολογία 3D εκτύπωσης. Αυτή τη φορά, ήταν επιλεκτική πυροσυσσωμάτωση με λέιζερ (SLS), το δίπλωμα ευρεσιτεχνίας για το οποίο υποβλήθηκε από τον Carl Deckard, προπτυχιακό στο Πανεπιστήμιο του Τέξας.



Εικόνα 4: Η μηχανή του Carl Deckard

Η μηχανή του Deckard, ο πρώτος 3D εκτυπωτής SLS, ονομάστηκε Betsy. Ήταν σε θέση να παράγει μόνο απλά κομμάτια πλαστικού. Ωστόσο, καθώς ο κύριος σκοπός του εκτυπωτή ήταν να δοκιμάσει την ιδέα για το SLS, οι λεπτομέρειες αντικειμένων και η ποιότητα εκτύπωσης δεν ήταν οι υψηλότερες προτεραιότητες.

Μια ακόμη τεχνολογία κατασκευής προσθέτων, η FDM ,επινοήθηκε μετά από τις SLA και SLS και αφορούσε τη μοντελοποίηση των συντηγμένων αποθέσεων.

Το δίπλωμα ευρεσιτεχνίας για το FDM υποβλήθηκε από τον Scott Crump, ο οποίος σήμερα είναι γνωστός για το γεγονός ότι είναι συνιδρυτής της Stratasys. Ιδρύθηκε το 1989 και είναι ένας από τους ηγέτες της αγοράς για εκτυπωτές 3D υψηλής ακρίβειας.

Το 1992, το δίπλωμα ευρεσιτεχνίας για το FDM εκδόθηκε τελικά στο Stratasys, το οποίο σήμανε την έναρξη της έντονης ανάπτυξης της τεχνολογίας. Ένας από τους πρώτους κλάδους που ανέλαβαν αυτήν την τεχνολογία στις αρχές της δεκαετίας του '90 ήταν η ιατρική.

Τα παλαιότερα χρόνια η τεχνολογία της τρισδιάστατης εκτύπωσης ήταν κάτι πολύ ακριβό το οποίο δεν απευθυνόταν για προσωπική ή οικιακή χρήση, όπως για ενασχόληση στον ελεύθερο χρόνο.

Στη σημερινή εποχή η τρισδιάστατη εκτύπωση είναι πλέον διαδεδομένη σε όλους τους τομείς και υπάρχουν αρκετοί 3D εκτυπωτές διαφόρων διαστάσεων για ποικίλες χρήσεις ακόμα και για οικιακή.

Οι άνθρωποι αγαπούν την ιδέα να είναι σε θέση να δημιουργήσουν όλα τα είδη των προσαρμοσμένων προϊόντων όπως και όταν τα χρειάζονται.

Η τεχνολογία 3D εκτύπωσης έχει αρχίσει να φέρνει επανάσταση στον τρόπο που παράγονται ολόκληρα φυσικά αντικείμενα και εξαρτήματα τα τελευταία χρόνια.



1.3 Τομείς ανάπτυξης τρισδιάστατης εκτύπωσης

Γίνεται χρήση των εκτυπωτών σε διάφορους τομείς όπως στην αυτοκινητοβιομηχανία, στην ιατρική, στην αεροδιαστημική, στην κατασκευή κτηρίων, στην τέχνη και τη γλυπτική όπως και σε κοσμήματα καθώς επίσης και σε ηλεκτρονικά κυκλώματα.

Βιομηχανία Αεροδιαστημικής

Η τεχνολογία 3D εκτύπωσης προσφέρει απaráμιλλη ελευθερία στο σχεδιασμό και στην παραγωγή της βιομηχανίας αεροδιαστημικής. Η τεχνολογία 3D εκτύπωσης έχει τη δυνατότητα να κάνει ελαφριά εξαρτήματα, βελτιωμένες και σύνθετες γεωμετρίες, οι οποίες μπορούν να μειώσουν τις ενεργειακές προδιαγραφές και τους πόρους που απαιτούνται στην παραγωγή. Ταυτόχρονα, η χρήση τεχνολογίας 3D εκτύπωσης, μπορεί να οδηγήσει σε εξοικονόμηση καυσίμων καθώς έχει τη δυνατότητα να μειώσει τα υλικά που χρησιμοποιούνται για την παραγωγή των μερών της αεροδιαστημικής.

Επιπλέον, με την τρισδιάστατη εκτύπωση εφαρμόζεται ευρέως η τεχνολογία για την παραγωγή ανταλλακτικών ορισμένων αεροδιαστημικών εξαρτημάτων, όπως οι κινητήρες. Τα μέρη του κινητήρα φθείρονται και καταστρέφονται εύκολα και απαιτείται συχνή αντικατάσταση. Σε αυτήν την περίπτωση, η τρισδιάστατη εκτύπωση αποτελεί μία πολύ καλή λύση για την προμήθεια τέτοιων ανταλλακτικών.



Εικόνα 5: 3D - εκτύπωση στην αεροδιαστημική



Αυτοκινητοβιομηχανία

Στις μέρες μας, η τεχνολογία της τρισδιάστατης εκτύπωσης άλλαξε ταχύτατα την αυτοκινητοβιομηχανία καθώς σχεδιάζει να αναπτύσσει και κατασκευάζει νέα προϊόντα. Στην αυτοκινητοβιομηχανία με την τεχνική της τρισδιάστατης εκτύπωσης επιτυγχάνεται η παραγωγή πιο ελαφρών και σύνθετων κατασκευών σε μικρότερο χρονικό διάστημα.

Συνεπώς, χρησιμοποιώντας την τεχνολογία 3D εκτύπωσης στην αυτοκινητοβιομηχανία, η εταιρεία μπορεί να δοκιμάσει διάφορες εναλλακτικές λύσεις και να δώσει έμφαση στα στάδια βελτίωσης, προάγοντας τον ιδανικό και αποτελεσματικό σχεδιασμό αυτοκινήτων. Ταυτόχρονα, η τεχνολογία 3D εκτύπωσης μπορεί να μειώσει τη σπατάλη και την κατανάλωση των υλικών. Τέλος με την τρισδιάστατη εκτύπωση, η τεχνολογία μπορεί να μειώσει το κόστος και το χρόνο, και συνεπώς να επιτρέπει τη δοκιμή νέων σχεδίων σε πολύ γρήγορο χρόνο.



Εικόνα 6: 3D - εκτύπωση στην αυτοκινητοβιομηχανία

Κατασκευή κτηρίων

Η τρισδιάστατη εκτύπωση επιτρέπει την κατασκευή κτιρίων σχεδόν οποιουδήποτε σχήματος, καθώς αποτελεί μια καινοτομία που θα φέρει επανάσταση στον κατασκευαστικό κλάδο, ενώ υπερέρχει από το παραδοσιακό σκυρόδεμα που είναι πολύ πιο άκαμπτο .

Η χρήση της τρισδιάστατης εκτύπωσης ανοίγει επιπλέον τη δυνατότητα τοποθέτησης ασύρματων αισθητήρων απευθείας στους τοίχους των κατοικιών, ώστε να δημιουργείται ένα «έξυπνο σπίτι», ενσωματώνοντας όλα τα απαραίτητα χειριστήρια φωτισμού, θέρμανσης και ασφάλειας.

Η εναλλακτική μέθοδος χτισίματος κατοικιών θα μειώσει το κόστος και τις περιβαλλοντικές ζημιές μειώνοντας την ποσότητα τσιμέντου που χρησιμοποιείται.

Η ολλανδική πόλη Αϊντχόφεν πρόκειται να είναι η πρώτη στον κόσμο που διαθέτει κατοικήσιμα σπίτια εκτυπωμένα από έναν 3D εκτυπωτή



Ο τρισδιάστατος εκτυπωτής που χρησιμοποιείται είναι ουσιαστικά ένας τεράστιος ρομποτικός βραχίονας που στρώνει ένα ειδικά διαμορφωμένο τσιμέντο, που λέγεται ότι έχει την υφή χτυπημένης κρέμας.



Εικόνα 7: Τρισδιάστατα κτήρια

1.4 Κατηγοριοποίηση τεχνολογιών τρισδιάστατης εκτύπωσης

Εκτυπωτές Στερεολιθογραφίας (SLA)

Η τεχνολογία της στερεολιθογραφίας είναι η παλαιότερη μέθοδος που χρησιμοποιείται ακόμα και σήμερα. Οι στρώσεις από τις οποίες αποτελείται το τελικό αντικείμενο δημιουργούνται διαδοχικά με την επεξεργασία ρητίνης ή υγρού πολυμερούς από laser υπεριώδους ακτινοβολίας. Η μέθοδος αυτή είναι αποτελεσματική για την εκτύπωση αντικειμένων μεγάλου μεγέθους καθώς και για πιστές αναπαραστάσεις εσωτερικών δομικών λεπτομερειών.

Εκτυπωτές Σύντηξης Εναπόθεσης υλικού (FDM)

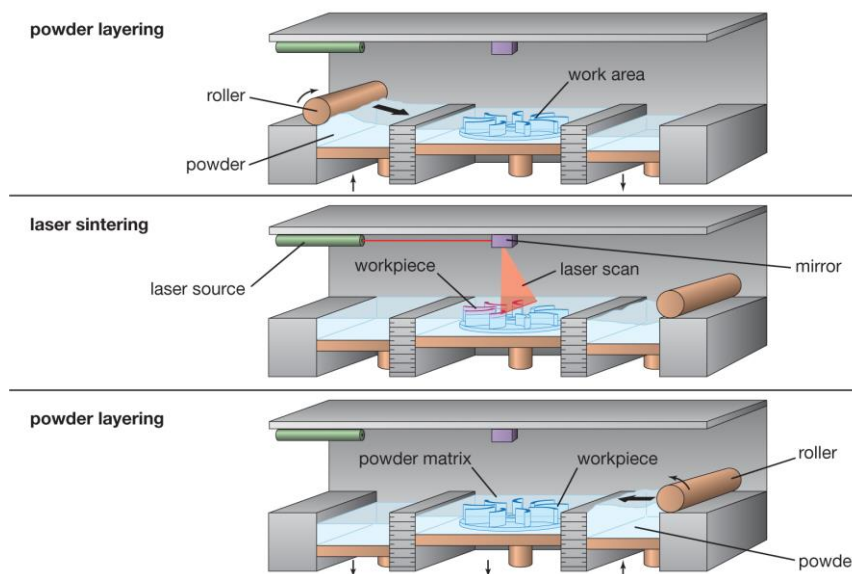
Η τεχνολογία FDM χρησιμοποιεί θερμοπλαστικό καθώς είναι η πιο δημοφιλής τεχνολογία 3D Printing. Τα αντικείμενα δημιουργούνται σε διαδοχικές στρώσεις με τη θέρμανση και την εξώθηση θερμοπλαστικού σύρματος. Ο τρόπος με τον οποίο θα κατασκευαστεί το αντικείμενο υπολογίζεται από ένα ειδικό λογισμικό. Χαρακτηρίζεται από υψηλή σχέση απόδοσης – τιμής σε σύγκριση με άλλες μεθόδους ταχείας προτυποποίησης ή συμβατικής παραγωγής. Τα αντικείμενα που παράγονται είναι αρκετά ανθεκτικά και τις περισσότερες φορές έτοιμα προς χρήση χωρίς να απαιτείται



κάποια πρόσθετη επεξεργασία. Ο εκτυπωτής που περιγράφεται στα επόμενα κεφάλαια, ανήκει σε αυτή την κατηγορία τρισδιάστατης εκτύπωσης.

Selective Laser Sintering (SLS)

Η τεχνολογία SLS χρησιμοποιεί το laser ως πηγή ενέργειας για τη δημιουργία των αντικειμένων. Το υλικό που χρησιμοποιείται είναι γυαλί, θερμοπλαστικό, μέταλλο ή κεραμικά σε μορφή σκόνης. Τα αντικείμενα που αποδίδονται έχουν πιο λεία επιφάνεια και η κατασκευή αποτελείται από λεπτές δομές με υψηλή ακρίβεια. Οι εκτυπωτές SLS είναι ακριβότεροι και λόγω των laser η χρήση τους απαιτεί ιδιαίτερη προσοχή για αυτό το λόγο χρησιμοποιούνται σε βιομηχανικές εφαρμογές.



© 2012 Encyclopædia Britannica, Inc.

Εικόνα 8: Τεχνική SLS

Ψηφιακή Επεξεργασία Φωτός (DPL)

Η τεχνολογία DPL εφευρέθηκε το 1987 και είναι παραπλήσια με την τεχνολογία SLA. Χρησιμοποιεί πολυμερή αλλά οι πηγές φωτός είναι συμβατικές όπως οι λαμπτήρες τόξου. Το υλικό εκτύπωσης είναι υγρή πλαστική ρητίνη. Τα αντικείμενα είναι πιο γερά από ότι στην SLA και έχουν πολύ καλή ανάλυση παρόλο που η ταχύτητα είναι υψηλή.

Θερμική Εκτύπωση Μελανιού (TIJ)

Η εκτύπωση με ψεκασμό μελάνης είναι μια τεχνική ανέπαφη που χρησιμοποιεί θερμική, ηλεκτρομαγνητική ή πιεζοηλεκτρική τεχνολογία για την εναπόθεση μικροσκοπικών σταγονιδίων μελάνης σε ένα υπόστρωμα.

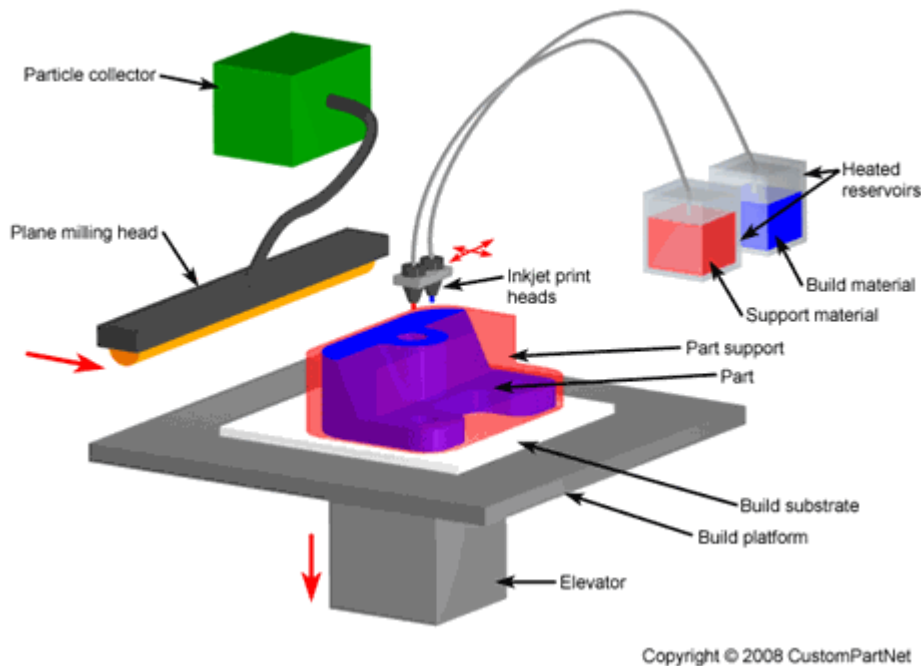


Δέσμευση Συνδετικού Υλικού (BJT)

Η τεχνική Binder Jet ή Power Bed είναι η πρώτη προσέγγιση λόγω της οποίας μειώθηκε το κόστος στους 3D εκτυπωτές. Έχει παρόμοιο τρόπο με την SLS καθώς η κεφαλή του εκτυπωτή εκτινάσσει ένα συνδετικό υλικό μαζί με μία χρωματιστή βαφή.

MultiJet Modeling

Η MultiJet Modeling είναι παρόμοια με τη στερεολιθογραφία με τη σημαντική διαφορά ότι το υγρό φωτοπολυμερές υφίσταται αμέσως επεξεργασία από υπεριώδη ακτινοβολία, αποφεύγοντας την χρονοβόρα διαδικασία της μετεπεξεργασίας. Η ανάλυση των αντικειμένων είναι αρκετά υψηλή, η τιμή των εκτυπωτών όμως είναι υψηλότερη από ότι των SLA.



Εικόνα 9: Τεχνική Multijet Modeling

Οι 3D εκτυπωτές σήμερα

Στις μέρες μας υπάρχει ραγδαία αύξηση τρισδιάστατων εκτυπωτών για επαγγελματική αλλά και οικιακή χρήση. Κάποια από τα πιο γνωστά μοντέλα παρουσιάζονται παρακάτω.



321-7101 – Διπλωματική Εργασία

Τίτλος Μελέτης: Κατασκευή 3D - Printer

Νικόλαος Μάνος



Εικόνα 10: Creality Ender 3



Εικόνα 11: Monoprice voxel



2 Κατασκευή

Η κατασκευή του εκτυπωτή έγινε εξολοκλήρου στο εργαστήριο ρομποτικής του Πανεπιστημίου. Τα εργαλεία που χρειάστηκαν για τις εργασίες ήταν τρυπάνι για το άνοιγμα των τρυπών στα προφίλ αλουμινίου, τρυπάνι μικρό (για λεπτομέρειες) στα πλαστικά μέρη, πιστόλι θερμού αέρα για την προσαρμογή των πλαστικών κομματιών, πριόνι για το κόψιμο των αλουμινίων, σφυρί για το σκελετό του εκτυπωτή, πένσα για το βίδωμα του σκελετού, κόφτης για το κόψιμο των καλωδίων και του υλικού εκτύπωσης, κατσαβίδια για το βίδωμα των βιδών σε ολόκληρο τον εκτυπωτή και κολλητήρι για τις κολλήσεις των καλωδίων και της πλακέτας.

Τα στάδια κατά τα οποία υλοποιήθηκε ο εκτυπωτής είναι:

Αρχικά υλοποιήθηκε η κατασκευή του σκελετού (σασί) του εκτυπωτή.

Στη συνέχεια έγιναν οι εκτυπώσεις των πλαστικών κομματιών για τους συνδέσμους στα μηχανικά μέρη, το καρούλι και τη βάση – κουτί της οθόνης.

Έπειτα έγινε προσθήκη των βηματικών κινητήρων στις κατάλληλες θέσεις που σχεδιάστηκαν για αυτούς, δηλαδή για τον άξονα y στη βάση εκτύπωσης, στον άξονα z για την κίνηση των σπειρωτών αξόνων, στον άξονα x για την κίνηση της κεφαλής.

Μετά το μοντάρισμα των κινητήρων, ακολούθησε η τοποθέτηση των γραμμικών και σπειρωτών αξόνων για την κατακόρυφη κίνηση του εκτυπωτή.

Περάστηκε η βάση για το bed από τους δύο κεντρικούς γραμμικούς άξονες M10 και βιδώθηκαν στο σασί του εκτυπωτή.

Ακολούθως έγινε τοποθέτηση του Bed πάνω στη μεταλλική βάση βιδώνοντας τις τέσσερις βίδες μαζί με ελατήρια στις πεταλούδες (παξιμάδια με ειδικό πιάσιμο).

Στη συνέχεια μονταρίστηκε ο μηχανισμός (τοποθέτηση βάσης κεφαλής) του άξονα x πάνω στους κατακόρυφους άξονες και τοποθετήθηκε ο βηματικός κινητήρας στη θέση του extruder για την προώθηση του υλικού εκτύπωσης.

Αφού τελείωσε η συναρμολόγηση των μηχανολογικών κομματιών, ακολούθησε η καλωδίωση του εκτυπωτή.

Στο τέλος χρειάστηκαν πολύωρες δοκιμές για να φτάσει να τυπώνει στο επίπεδο που είναι τώρα ο εκτυπωτής.



Παρακάτω ακολουθεί η αναλυτική περιγραφή της κατασκευής.

2.1 Σκελετός Εκτυπωτή

Ο σκελετός του εκτυπωτή αποτελείται από προφίλ αλουμινίου με διαστάσεις 100cm (μήκος) x 55cm (πλάτος) x 60cm (ύψος). Όλα τα κομμάτια είναι βιδωμένα με μεταλλικές γωνίες και με πλαστικά κομμάτια που έχουν τυπωθεί από άλλο 3D – εκτυπωτή. Ο σχεδιασμός του εκτυπωτή όπως φαίνεται και στην παρακάτω εικόνα είναι κατάλληλος για την κίνηση της κεφαλής στους οριζόντιους αλλά και τους κατακόρυφους άξονες καθώς υψώνεται για να τυπωθούν οι επόμενες στρώσεις υλικού. Στο πλαίσιο της βάσης υπάρχουν τέσσερις μεταλλικές γωνίες στο εσωτερικό οι οποίες συνδέουν τα τέσσερα κομμάτια αλουμινίου, ενώ εξωτερικά υπάρχουν άλλες τέσσερις πλαστικές(τυπωμένες) γωνίες ώστε να αποφεύγονται οι εκδορές προς τον χρήστη ή άλλων αντικειμένων. Στο κατακόρυφο τμήμα υπάρχουν δύο μεταλλικές γωνίες που ενώνουν κομμάτια αλουμινίου και δύο πλαστικά τυπωμένα κομμάτια που συνδέονται με το πλαίσιο. Είναι πολύ σημαντική η στιβαρότητα του σκελετού στην ακρίβεια της εκτύπωσης.

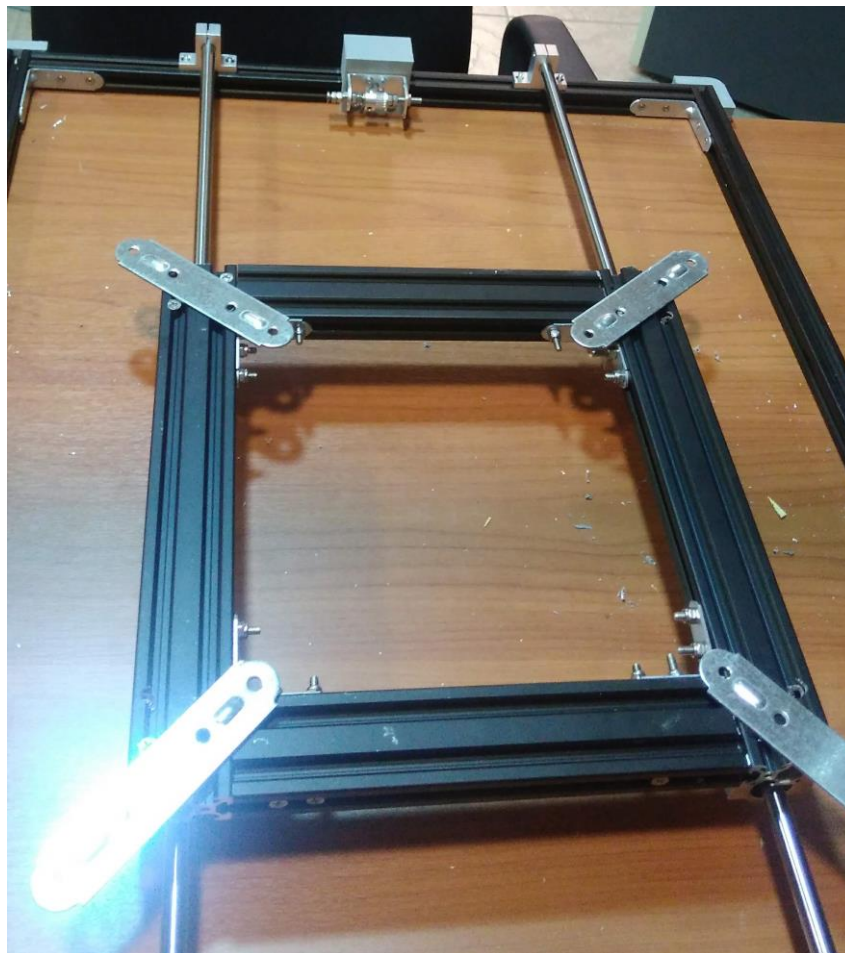


Εικόνα 12: Σκελετός εκτυπωτή



2.2 Βάση για το bed

Η βάση για το bed του εκτυπωτή αποτελείται από τέσσερα κομμάτια (προφίλ) αλουμινίου, τα οποία συνδέονται μεταξύ τους με γωνίες και σχηματίζουν το πλαίσιο που φαίνεται στην παρακάτω εικόνα. Κάτω από το πλαίσιο είναι βιδωμένοι τέσσερις κυλινδρικοί (ρουλεμάν), ένας στην κάθε γωνία, οι οποίοι είναι περασμένοι στους δύο γραμμικούς άξονες (M10), ώστε να επιτυγχάνεται η γραμμική κίνηση στον y άξονα του εκτυπωτή. Πάνω από το πλαίσιο είναι στερεωμένες τέσσερις μεταλλικές λάμες στις οποίες στηρίζεται το bed του εκτυπωτή. Ανάμεσα στις βίδες που κρατούν το bed και στις λάμες υπάρχουν ελατήρια και βίδες (πεταλούδες) για να μπορέσει να πραγματοποιηθεί η ρύθμιση (calibration) του bed. Οι διαστάσεις της βάσης για το bed είναι 29cm x 29cm.

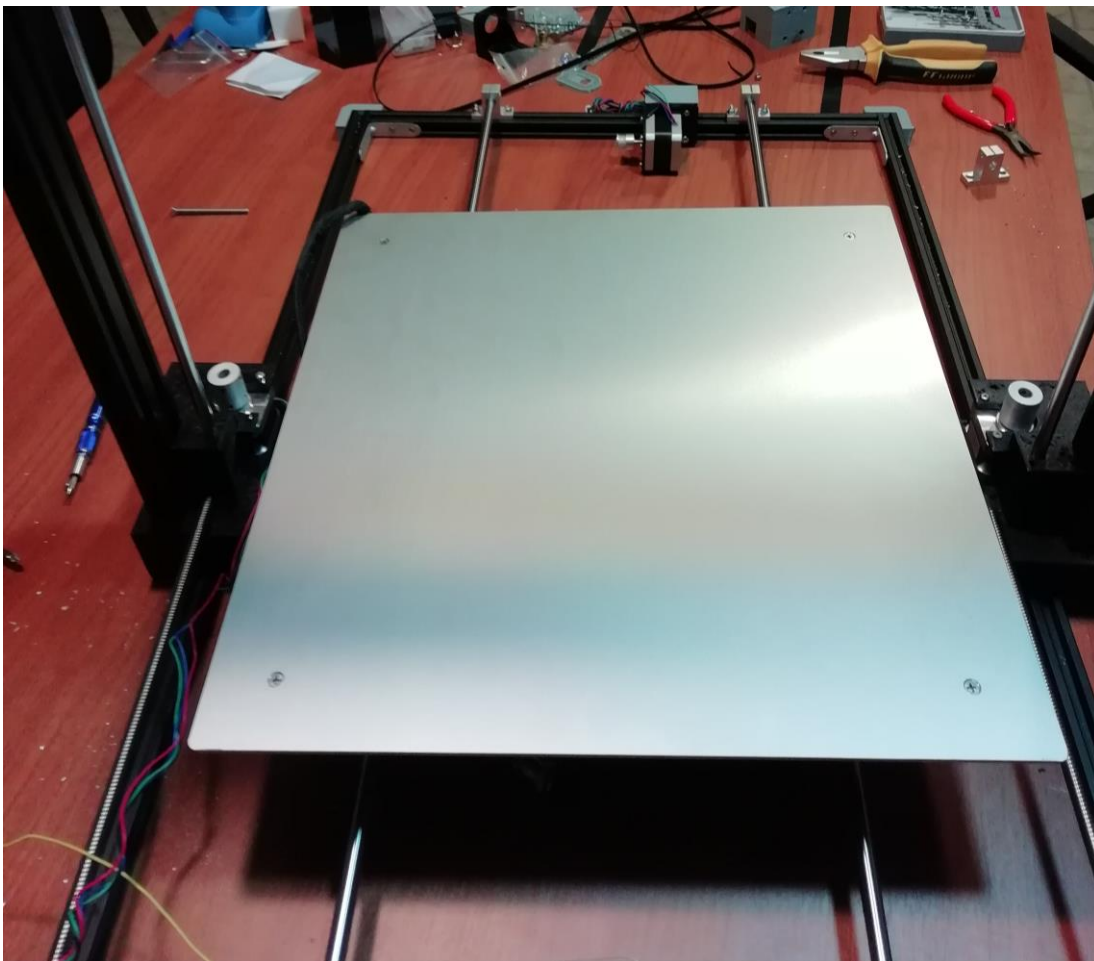


Εικόνα 13: Βάση για το Bed



2.3 Bed (Βάση Εκτύπωσης)

Η βάση εκτύπωσης έχει διαστάσεις 41cm x 41cm ώστε να μπορεί να τυπωθεί αντικείμενο με μέγιστες διαστάσεις 40cm x 40cm. Αποτελείται από μία πλάκα αλουμινίου και ακριβώς από πάνω υπάρχει γυαλί ώστε να προστατεύεται η επιφάνεια από τυχόν εκδορές του ακροφυσίου της κεφαλής, με τις ίδιες διαστάσεις. Το αλουμίνιο και το γυαλί είναι υλικά που βοηθούν στο να διασκορπίζεται ομοιόμορφα η θερμότητα. Στην κάτω πλευρά του bed υπάρχει θερμαινόμενη αντίσταση ώστε να αναπτύσσει κατάλληλη θερμοκρασία κατά τη διάρκεια της εκτύπωσης με σκοπό να παραμένουν σταθερά τα αντικείμενα που τυπώνονται χωρίς να εμφανίζεται το φαινόμενο της αποκόλλησης/στρέβλωσης (warping) κυρίως στις γωνίες. Επιπροσθέτως υπάρχει και ένας αισθητήρας θερμοκρασίας (thermistor) ώστε να στέλνει κάθε στιγμή την πραγματική θερμοκρασία του bed στην κεντρική πλακέτα. Έτσι κάθε φορά που υπάρχει πτώση της θερμοκρασίας η κεντρική πλακέτα τροφοδοτεί τη θερμαινόμενη βάση. Σε κάθε γωνία της μεταλλικής επιφάνειας όπως φαίνεται και στην εικόνα υπάρχει μια βίδα η οποία έχει ελατήριο και βιδώνεται πάνω στα ελάσματα της βάσης ώστε να μπορεί να ευθυγραμμιστεί το bed κατά το αρχικό calibration.



Εικόνα 14: Βάση εκτύπωσης



2.4 Κίνηση και Μότορες

Το γραμμικό σύστημα είναι η διάταξη της συναρμολόγησης η οποία επιτρέπει την κίνηση των αξόνων. Ο τύπος του γραμμικού συστήματος κίνησης καθορίζει την ταχύτητα και την ακρίβεια του εκτυπωτή όπως επίσης τη συντήρηση που θα χρειαστεί μακροπρόθεσμα.

2.4.1 Κίνηση στον x άξονα

Η κίνηση στον x άξονα επιτυγχάνεται με τη βοήθεια ενός ιμάντα που κινείται μέσω ενός stepper κινητήρα. Όπως φαίνεται στην παρακάτω εικόνα έχουν τοποθετηθεί δύο γραμμικοί άξονες και δύο ρουλεμάν στη βάση της κεφαλής για να κινείται γραμμικά και ταυτόχρονα σταθερά. Οι γραμμικοί άξονες είναι μονταρισμένοι σε δύο πλαστικές βάσεις δεξιά και αριστερά μέσω των οποίων γίνεται η κατακόρυφη κίνηση.

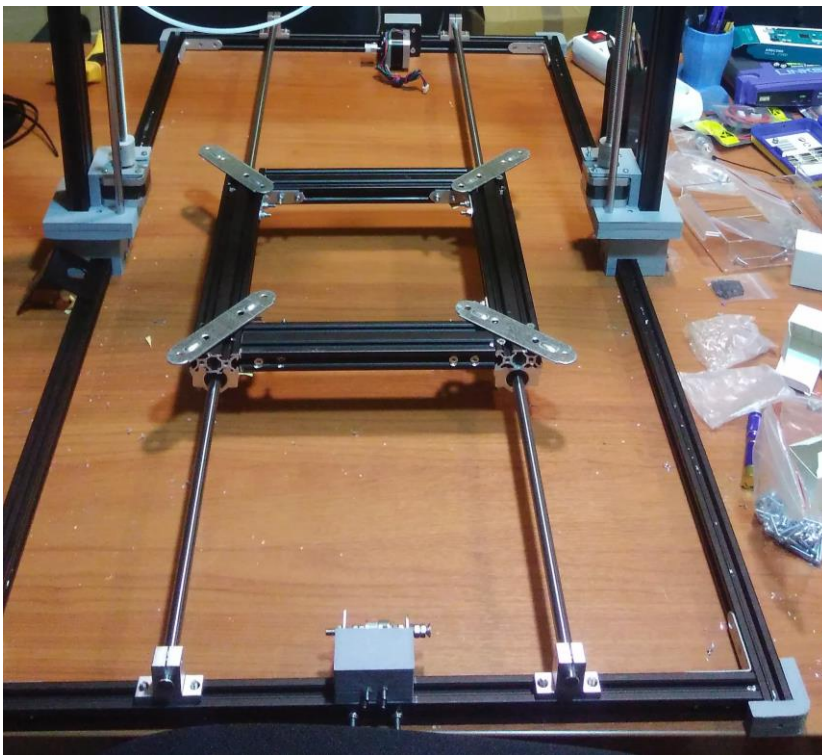


Εικόνα 15: Άξονας x



2.4.2 Κίνηση στον y άξονα

Για την κίνηση του y άξονα δηλαδή για την κίνηση του bed υπάρχει ένας βηματικός κινητήρας στη μία άκρη του σκελετού του εκτυπωτή και ένα καρούλι στην άλλη πλευρά. Οι βάσεις στις οποίες είναι βιδωμένος ο κινητήρας αλλά και το καρούλι στην απέναντι πλευρά αποτελούνται από πλαστικά τυπωμένα κομμάτια και από μεταλλικά κομμάτια. Στις δύο αυτές άκρες είναι περασμένος ένας μάντας ο οποίος δένεται κάτω από τη βάση του bed. Για το τέντωμα του μάντα έχουν τοποθετηθεί δύο μεταλλικά ελατήρια στο κάτω μέρος κοντά στη βάση του bed (υπάρχουν στο παράρτημα).



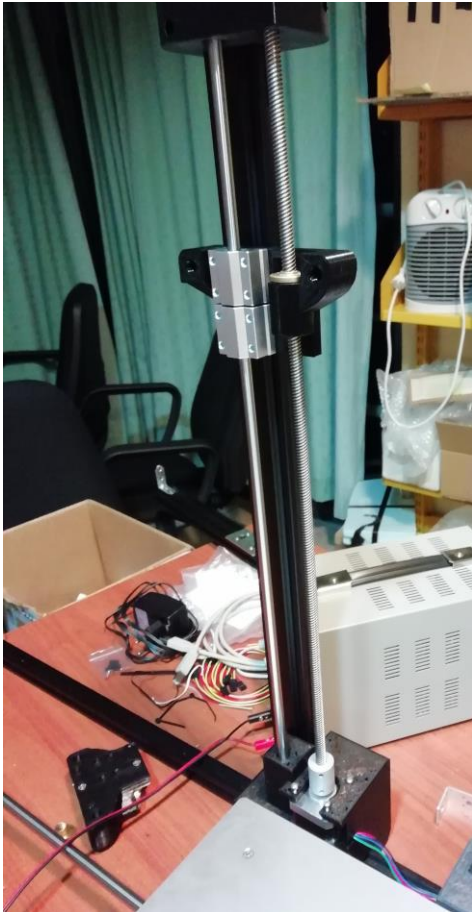
Εικόνα 16: Άξονας y

2.4.3 Κίνηση στον z άξονα

Για την κίνηση του z άξονα υπάρχουν δύο κινητήρες στο κάτω μέρος της βάσης του εκτυπωτή οι οποίοι συνδέονται σε δύο σπειρωτούς άξονες με τη βοήθεια δύο μεταλλικών συνδέσμων(παράρτημα). Με την περιστροφή τους πραγματοποιείται η άνω και κάτω κίνηση της κεφαλής. Εκτός από τους δύο σπειρωτούς άξονες, υπάρχουν άλλοι δύο γραμμικοί άξονες ένας στην κάθε πλευρά ώστε να επιτυγχάνεται η γραμμική κίνηση για την άνοδο και κάθοδο της κεφαλής.



Στην πλαστική βάση η οποία είναι τυπωμένη έχουν βιδωθεί δύο ρουλεμάν για τον γραμμικό άξονα και ένα περικόχλιο ακριβώς δεξιά για τον σπειρωτό άξονα. Αντίστοιχα υπάρχει η ίδια κατασκευή και από την απέναντι πλευρά. Οι άξονες στην πάνω πλευρά στηρίζονται με δύο πλαστικές βάσεις, μία στην κάθε πλευρά.



Εικόνα 17: Άξονας z

Κατά τη διάρκεια της εκτύπωσης, ο εκτυπωτής ακολουθεί τις οδηγίες του αρχείου STL μετακινώντας την κεφαλή εκτύπωσης στους άξονες x και y για να δημιουργηθεί η βάση του αντικειμένου. Στη συνέχεια μετακινεί την κεφαλή κατά μήκος των z αξόνων για να δημιουργηθεί το αντικείμενο κατακόρυφα με τις επάλληλες στρώσεις.



2.4.4 Υλικό εκτύπωσης



Εικόνα 18: Καρούλι υλικού εκτύπωσης

Η βάση για το καρούλι είναι τυπωμένη από 3D printer και βοηθάει για την καλύτερη περιστροφή του υλικού, ώστε να μην υπάρχουν εμπλοκές κατά τη διάρκεια της εκτύπωσης. Οι δύο βασικοί τύποι υλικών είναι το PLA (Poly Lactic Acid) και ABS (Acrylonitrile Butadiene Styrene). Ωστόσο τα τελευταία χρόνια υπάρχει μεγάλη ανάπτυξη και σε άλλους τύπους υλικών όπως PETG, TPU, Nylon, Polycarbonate (PC), PC-ABS.

PLA

Ο βασικός τύπος υλικού που έχει δοκιμαστεί και τυπώνεται στον εκτυπωτή είναι PLA, το οποίο είναι βιοδιασπώμενο θερμοπλαστικό που προέρχεται κυρίως από ανανεώσιμες φυτικές πηγές, με διάμετρο 1,75mm. Το PLA αρχίζει να μαλακώνει περίπου στους 65° και απαιτεί εύρος θερμοκρασίας κεφαλής από 180° έως και 230° και εύρος θερμοκρασίας βάσης εκτύπωσης 60° – 70°. Αξίζει να σημειωθεί ότι το PLA μπορεί να τυπωθεί και χωρίς θερμαινόμενη βάση. Είναι ένα από τα πιο φιλικά προς το περιβάλλον υλικά για αυτό το λόγο χρησιμοποιείται ευρέως. Επιπλέον, τα αντικείμενα που τυπώνονται με PLA μπορούν να επεξεργαστούν με γυαλόχαρτο, να τρυπηθούν και να βαφτούν.



Εικόνα 19: Υλικά εκτύπωσης

ABS

Ένας άλλος κοινός τύπος θερμοπλαστικού υλικού είναι το ABS το οποίο απαιτεί μεγαλύτερη θερμοκρασία κεφαλής σε σύγκριση με το PLA και συγκεκριμένα από 200° έως 240° και θερμοκρασία βάσης εκτύπωσης από 80° έως 110°. Το ABS έχει προέλευση από το πετρέλαιο, είναι ανθεκτικό, σκληρό και σε μικρό βαθμό εύκαμπτο, ώστε σε συνθήκες πίεσης να λυγίζει χωρίς να σπάει. Μέχρι και τους 105° διατηρείται σταθερό, οπότε μπορεί να χρησιμοποιηθεί σε εφαρμογές υψηλής θερμοκρασίας, όμως δεν είναι αδιάβροχο.

PETG

Το PETG είναι ένα πολυεστερικό υλικό το οποίο προκύπτει από χημική ανάμιξη δύο υλικών, του τερεφθαλικού πολυαιθυλενίου (PET) και της γλυκερόλης (Glycerol). Οι κατάλληλες θερμοκρασίες για την κεφαλή εκτύπωσης κυμαίνονται από 200° έως 240° , ενώ για τη βάση εκτύπωσης από 70° μέχρι 80°. Πλεονέκτημα του αποτελεί η καλή αντοχή στην κρούση που το κάνει κατάλληλο για μηχανολογικά εξαρτήματα.

Nylon

Το Nylon ή πολυαμίδιο είναι συνθετικό πολυμερές που χρησιμοποιείται σε αρκετές βιομηχανικές εφαρμογές. Είναι αποδοτικό πλαστικό καθώς οι ιδιότητές του το κάνουν να είναι εύκαμπτο, ελαφρύ, και ανθεκτικό στη φθορά ενώ ταυτόχρονα είναι ανακυκλώσιμο.



Metal PLA

Το metal PLA στην ουσία είναι όπως το PLA που αναφέρθηκε παραπάνω, αλλά συνδυασμένο με λεπτή μεταλλική σκόνη. Τα αντικείμενα που τυπώνονται από αυτό μοιάζουν σαν να είναι κατασκευασμένα από μπρούτζο ή χαλκό, ακόμα και από αλουμίνιο. Η πυκνότητα αυτού του υλικού είναι πολλαπλάσια από το απλό PLA για αυτό το λόγο και τα αντικείμενα μοιάζουν περισσότερο μεταλλικά παρά πλαστικά. Οι θερμοκρασίες που απαιτεί το υλικό είναι κοντά σε αυτές του PLA και είναι μεταξύ 195° και 220° ενώ δεν είναι απαραίτητη η θερμαινόμενη βάση.

Laywoo – D3

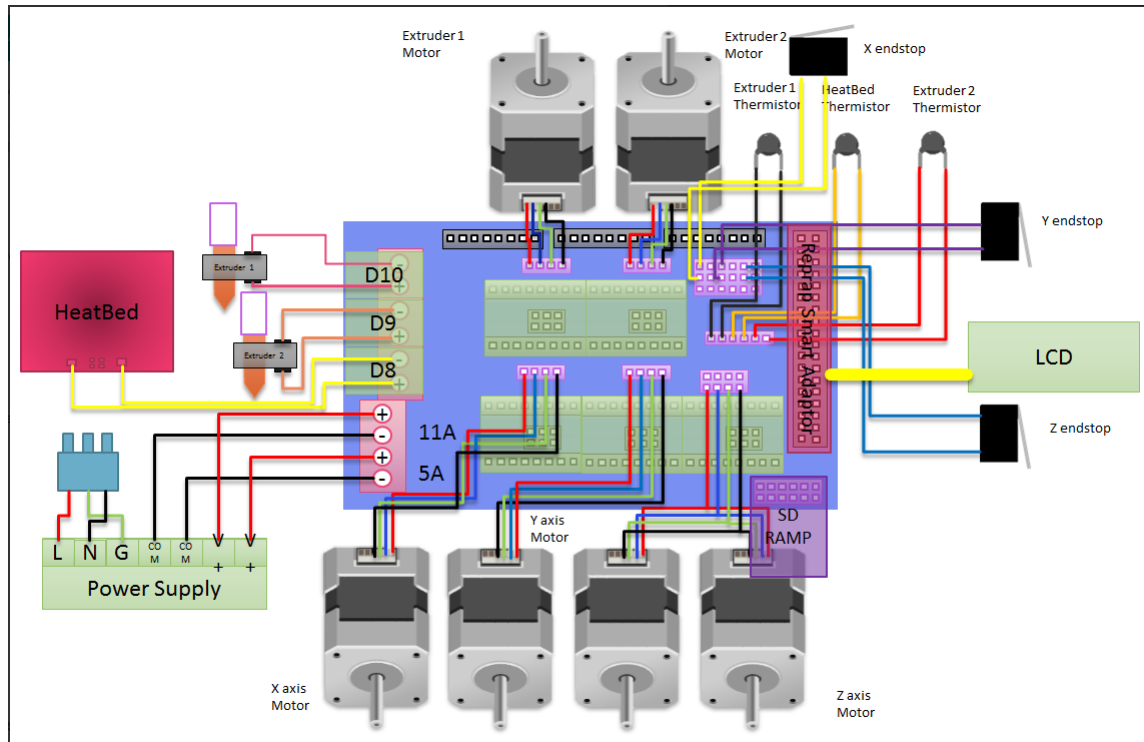
Το υλικό αυτό έχει μορφή νήματος με βάση το ξύλο, είναι συνθετικό υλικό και αποτελείται από 40% ανακυκλώσιμο ξύλο και το υπόλοιπο μέρος από αβλαβή πολυμερή. Δουλεύεται μεταξύ 175° και 250° και κολλάει εύκολα στην επιφάνεια εκτύπωσης.

2.5 Επεκτάσεις

Μια σημαντική επέκταση που διαθέτει ο εκτυπωτής είναι η αυτόματη απενεργοποίηση του, αφού ολοκληρωθεί η εκτύπωση, μετά από ένα χρονικό διάστημα που έχει καθοριστεί από τον χρήστη. Η λειτουργία αυτή επιτυγχάνεται με τη χρήση ενός relay που συνδέεται με την πλακέτα και διακόπτει την κεντρική τροφοδοσία όταν δοθεί το κατάλληλο σήμα. Ο σημαντικότερος λόγος για την δημιουργία αυτής της επέκτασης, υπήρξε η παρατήρηση στο χρόνο λειτουργίας του εκτυπωτή που ήταν ο διπλάσιος σε σχέση με το χρόνο εκτύπωσης.

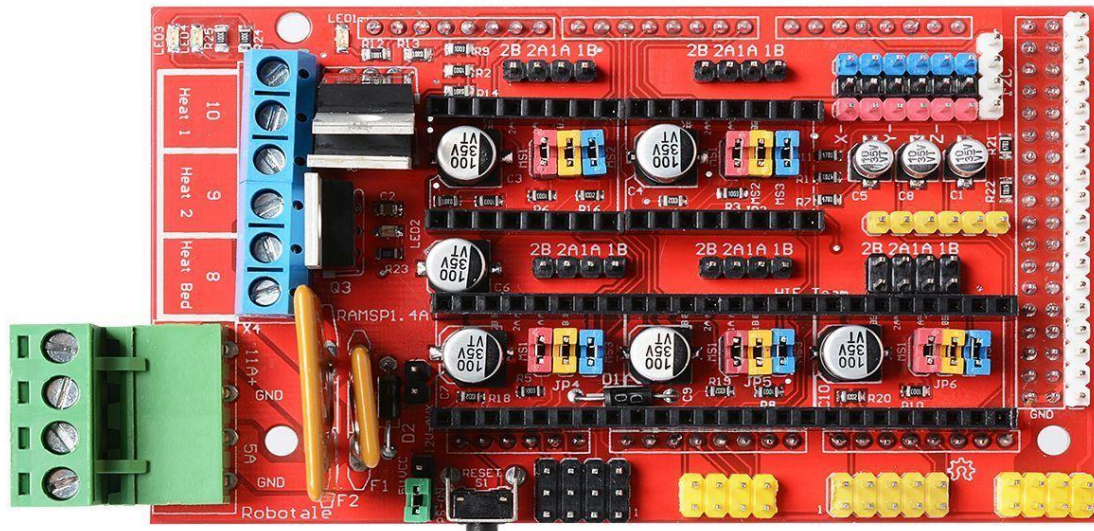


2.6 Διάγραμμα Καλωδίωσης



Εικόνα 20: Διάγραμμα καλωδίωσης

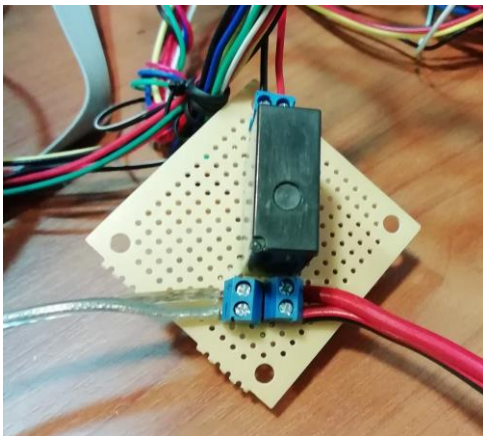
Πάνω στην κεντρική πλακέτα Ramps 1.4 shield συνδέονται 5 drivers για τους βηματικούς κινητήρες, 6 βηματικοί κινητήρες, 2 για τον z άξονα (κίνηση της κεφαλής), 1 για τον y άξονα (κίνηση bed), 1 για τον x άξονα (κίνηση κεφαλής) και άλλοι 2 για την προώθηση του κάθε υλικού (ένας για το κάθε ένα). Επίσης συνδέεται η αντίσταση και το thermistor (αισθητήρας θερμοκρασίας) της κάθε κεφαλής αλλά και για το bed (βάση εκτύπωσης). Ακόμα συνδέονται 3 end stops για να δίνουν σήμα οριακής θέσης. Επιπροσθέτως, πάνω στην πλακέτα συνδέονται όλοι οι ανεμιστήρες για την ψύξη των δύο κεφαλών, καθώς και άλλα δύο για την ψύξη του υλικού που μόλις τυπώνεται. Τέλος, δεξιά της πλακέτας στο IDC socket συνδέεται η LCD οθόνη και η υποδοχή της κάρτας SD. Σημαντική είναι η προσθήκη jumpers, δηλαδή αγωγοί που συνδέονται πάνω σε πλακέτες για να κλείνουν ή να ανοίγουν το κύκλωμα σε διάφορες περιπτώσεις. Στη συγκεκριμένη περίπτωση χρησιμοποιούνται 3 jumpers στο κάτω μέρος από κάθε driver ώστε να αποδώσουν τη μέγιστη ακρίβεια της κίνησης σε κάθε βηματικό κινητήρα.



Εικόνα 21: Ramps 1.4 shield

Αντικατάσταση transistor με Relay

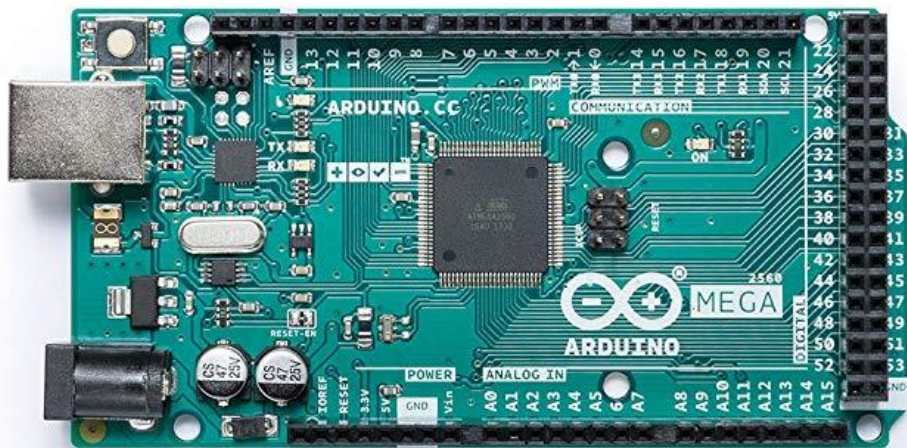
Λόγω του ότι η θερμαινόμενη βάση του εκτυπωτή καταναλώνει μεγάλη ισχύ και η τάση λειτουργίας της είναι στα 12V απαιτεί αρκετά Ampere με αποτέλεσμα να μην αρκεί το transistor της πλακέτας για να ελέγξει την τροφοδοσία της. Για το λόγο αυτό προστέθηκε ένα relay το οποίο είναι ικανό να δώσει όσο ρεύμα χρειάζεται η βάση του εκτυπωτή. Έτσι λοιπόν το τρανζίστορ της πλακέτας δίνει εντολή στο relay και εκείνο με τη σειρά του λειτουργεί ως διακόπτης για την τροφοδοσία της θερμαινόμενης επιφάνειας.



Εικόνα 22: Relay



2.7 Πλακέτα



Εικόνα 23: Arduino Mega

Η κύρια υπολογιστική πλακέτα του εκτυπωτή είναι το Arduino Mega 2560 Rev3. Χρησιμοποιήθηκε Arduino Mega και όχι Uno αφενός για μεγαλύτερη υπολογιστική ισχύ και αφετέρου για τις περισσότερες εισόδους/εξόδους που διαθέτει η πλακέτα. Η γλώσσα προγραμματισμού των πλακετών Arduino είναι η Wiring, η οποία είναι παραπλήσια με τη C και C++. Το λογισμικό που τρέχει η πλακέτα είναι το Marlin 1.1.9 το οποίο περιγράφεται στο επόμενο κεφάλαιο. Ακριβώς πάνω στα pins που διαθέτει η πλακέτα προσαρμόζεται το Ramps Shield στο οποίο συνδέονται όλα τα ηλεκτρονικά μέρη του εκτυπωτή όπως προαναφέρθηκαν. Το παραπάνω Shield είναι στην ουσία ο συνδετικός κρίκος ανάμεσα στο Arduino και στα υπόλοιπα ηλεκτρονικά μέρη του εκτυπωτή. Η τροφοδοσία του Arduino επιτυγχάνεται μέσω του Shield που συνδέεται απευθείας στο κεντρικό τροφοδοτικό του εκτυπωτή. Επιπροσθέτως η USB θύρα της πλακέτας διαθέτει προστασία από υπεροδήγηση του ρεύματος ώστε να μην υπάρχουν βλάβες στους υπολογιστές που συνδέονται με τον εκτυπωτή.

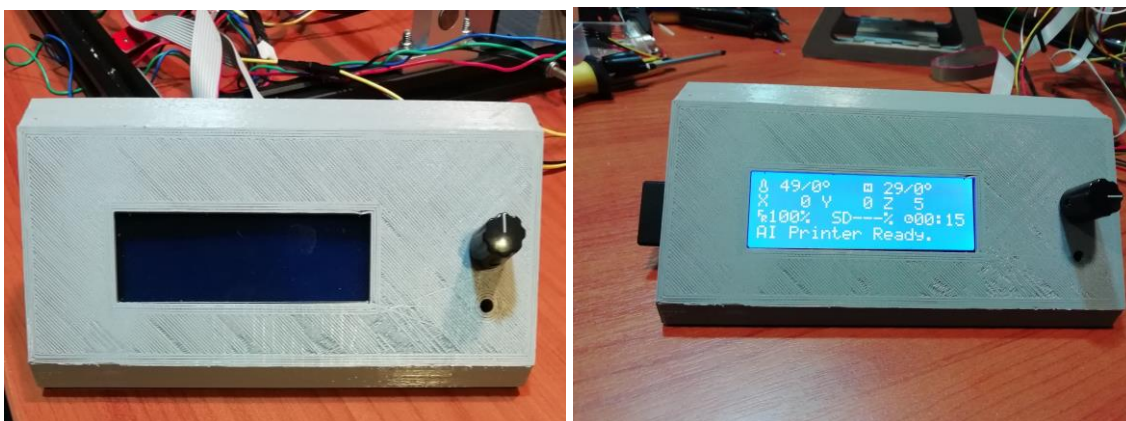


Το Arduino Mega 2560 Rev3 έχει τα εξής χαρακτηριστικά:

Πίνακας 1: Χαρακτηριστικά Arduino Mega

Τάση Λειτουργίας	5V
Τάση Εισόδου (προτεινόμενη)	7-12V
Τάση Εισόδου (όρια)	6-20V
Ψηφιακά I/O Pins	54 (14 PWM)
Αναλογικά Pin Εισόδου	16
DC Ρεύμα ανά I/O Pin	40mA
DC Ρεύμα για 3.3V Pin	50mA
Flash Memory	256 KB
SRAM	8 KB
EEPROM	4 KB
Ταχύτητα ρολογιού	16 MHz

2.8 LCD οθόνη με υποδοχή κάρτας SD



Εικόνα 24: LCD οθόνη

Ο χειρισμός του εκτυπωτή επιτυγχάνεται με την οθόνη LCD και τον περιστρεφόμενο επιλογή που διαθέτει. Είναι τοποθετημένα και προσαρμοσμένα σε σασί και συνδέονται πάνω στο Ramps 1.4 shield. Στην αριστερή πλευρά υπάρχει θύρα για την υποδοχή SD κάρτας ώστε να φορτώνονται τα σχέδια προς εκτύπωση. Επίσης πάνω στην πλακέτα υπάρχει ειδικό buzzer για κατάλληλες ηχητικές ειδοποιήσεις.

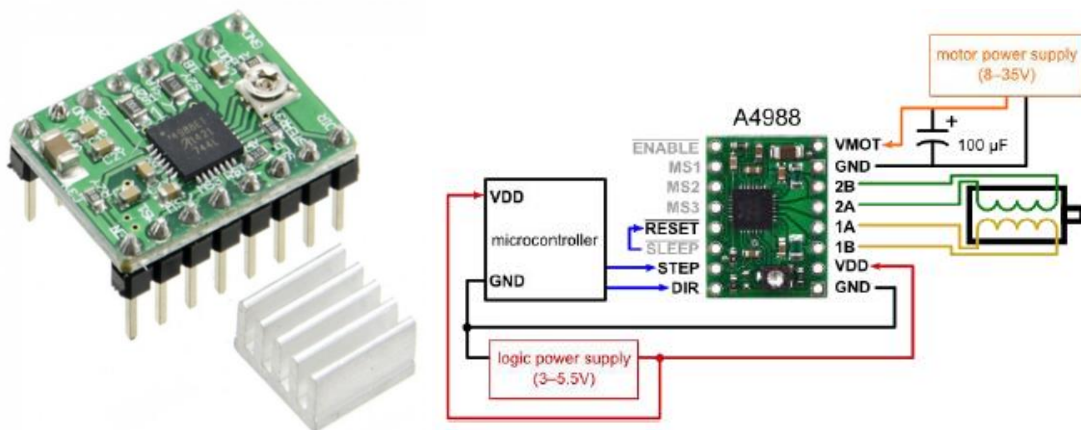


Το σασί της οθόνης είναι επίσης τυπωμένο από 3D – printer, με αποτέλεσμα να σταθεροποιείται και να είναι ευπαρουσίαστο. Επίσης προστατεύεται η πλακέτα από τυχόν βραχυκυκλώματα.

Υπάρχει φυσικά και εναλλακτικός τρόπος εκτύπωσης από τον υπολογιστή μέσω της θύρας Usb από το software Cura Ultimaker.

2.9 Υπόλοιπα μέρη εκτυπωτή

2.9.1 Stepper Motor Drivers

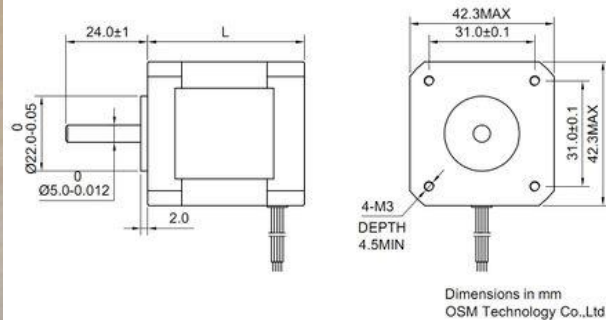
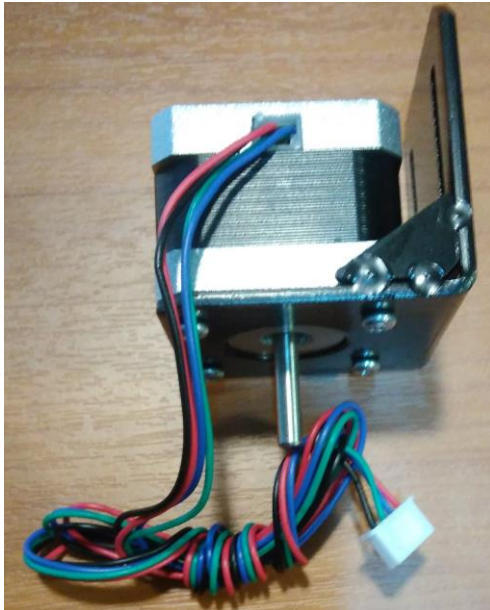


Εικόνα 25: Motor Driver

Για να λειτουργήσουν σωστά οι βηματικοί κινητήρες χρειάζεται να συνδεθούν πάνω σε ειδικούς οδηγούς. Υπάρχουν λοιπόν πέντε drivers A4988 για τους βηματικούς κινητήρες οι οποίοι είναι τοποθετημένοι πάνω στο Ramps 1.4 shield. Κάθε ένας από τους driver αντιστοιχεί σε έναν μόντορα, με εξαίρεση τους 2 κινητήρες στον z άξονα που αντιστοιχούν σε έναν driver διότι εκτελούν ακριβώς την ίδια κίνηση και οι δύο. Είναι αποσπώμενοι σε περίπτωση που κάποιος καεί να μπορεί να αντικατασταθεί άμεσα. Το παραπάνω διάγραμμα δεξιά επεξηγεί την συνδεσμολογία που ακολουθείται στο driver.



2.9.2 Stepper Motors



Εικόνα 26: Stepper motor Nema 17

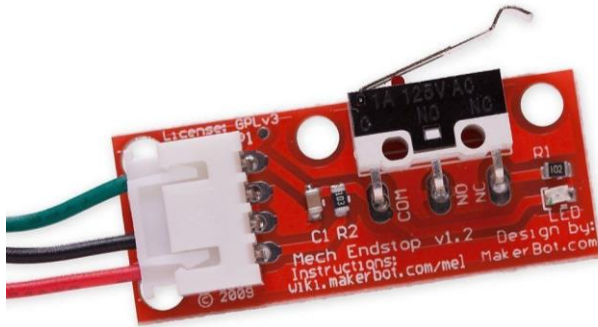
Οι βηματικοί κινητήρες (stepper motors) έχουν μεγαλύτερη ακρίβεια σε σύγκριση με άλλους τύπους κινητήρων (DC και servo). Όταν βρίσκονται σε κατάσταση ακινησίας συνεχίζουν να ασκούν δύναμη ώστε να παραμένουν ακίνητοι. Ακόμα έχουν μεγάλη απόκριση στην εκκίνησή τους και δεν απαιτείται μηχανικό φρένο για την επιβράδυνσή τους. Ακόμα μπορεί να επιτευχθεί πολύ χαμηλή ταχύτητα περιστροφής την οποία χρειάζεται ένας εκτυπωτής για μεγαλύτερη ακρίβεια στην εκτύπωση. Από την άλλη πλευρά ένα μειονέκτημα είναι ότι παράγεται αρκετός θόρυβος κατά τη λειτουργία τους. Οι βηματικοί κινητήρες Nema 17 διαθέτουν δύο πηνία, για αυτό το λόγο τροφοδοτούνται από μια τετράδα καλωδίων (2 ανά ζεύγη). Για τις διαστάσεις του εκτυπωτή έχουν την κατάλληλη δύναμη ώστε να κινούν τη βάση εκτύπωσης, την κεφαλή εκτύπωσης καθώς και την προώθηση του υλικού εκτύπωσης. Στον παρακάτω πίνακα ακολουθούν τα χαρακτηριστικά τους.

Πίνακας 2: Χαρακτηριστικά Βηματικού κινητήρα

Τάση Λειτουργίας	12V
Ένταση ρεύματος	0.4A/Phase
Γωνία βήματος	1.8°
Αντίσταση	30Ω/phase
Βάρος	250 gr
Ροπή	48 N.cm
Διάμετρος άξονα	5mm
Μήκος άξονα	20mm



2.9.3 End Stops

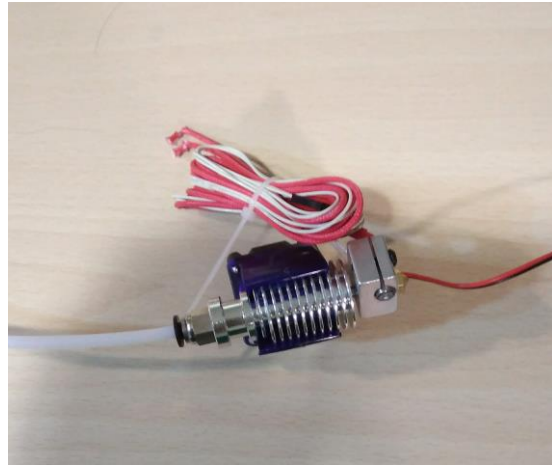
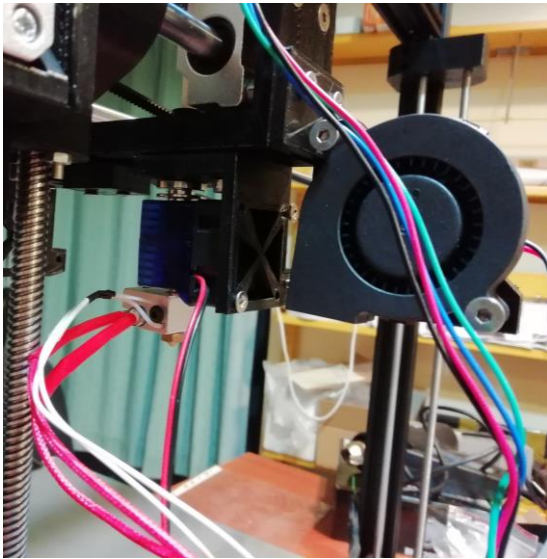


Εικόνα 27: End stop

Υπάρχουν τρία end stops, τα οποία χρησιμοποιούνται για τον έλεγχο των αρχικών θέσεων στους x, y και z άξονες και ενεργοποιούνται κατά την εκκίνηση κάθε εκτύπωσης. Επίσης σε περίπτωση που χαθούν βήματα στους κινητήρες και ξεπεραστούν τα όρια κίνησης στους άξονες ενεργοποιούνται τα end stops και σταματάει η εκτύπωση. Διαθέτουν ακόμα, ένα led του οποίου η φωτεινή ένδειξη ανάβει σε περίπτωση που ενεργοποιηθεί ο διακόπτης του.

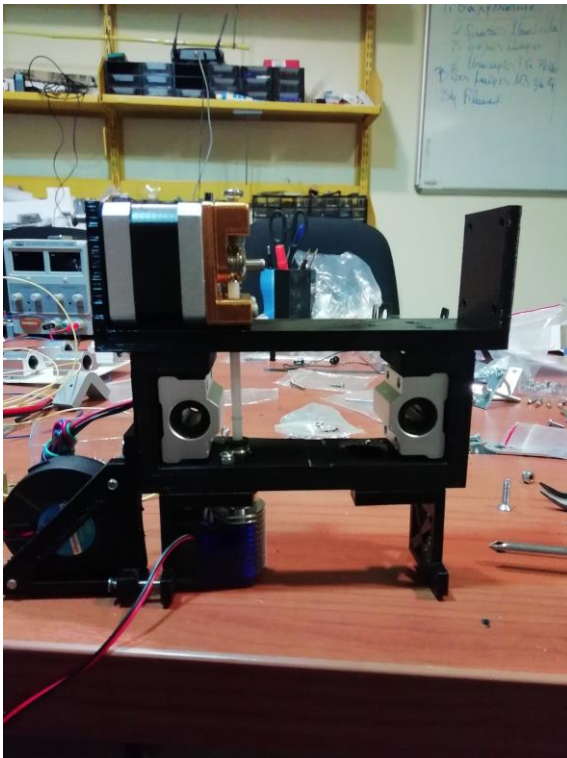
2.9.4 Θερμαινόμενη Κεφαλή

Η θερμαινόμενη κεφαλή είναι από τα πιο σημαντικά εξαρτήματα του εκτυπωτή καθώς χάρη σε αυτή εξωθείται το υλικό εκτύπωσης. Αποτελείται από ένα μεταλλικό μέρος πάνω στο οποίο είναι τοποθετημένη η θερμαινόμενη αντίσταση και ακριβώς δίπλα ένας αισθητήρας θερμοκρασίας για τον έλεγχο αυξομείωσης, ώστε να παραμένει σταθερή. Στο κάτω μέρος είναι βιδωμένο το ακροφύσιο από το οποίο εξέρχεται το υλικό αφού λειώσει από την υψηλή θερμοκρασία που παράγει η αντίσταση. Ακριβώς από πάνω υπάρχει ένα άλλο μεταλλικό μέρος ειδικά σχεδιασμένο έτσι ώστε να μπορεί να ψύχεται με τη βοήθεια ενός ανεμιστήρα για να μη λιώνει το υλικό πιο νωρίς. Τέλος έχει τοποθετηθεί ένας δεύτερος ανεμιστήρας για να ψύχει το υλικό που έχει πατήσει στην επιφάνεια του bed κατά τη διάρκεια της εκτύπωσης ώστε να πάρει την τελική στερεά μορφή.



Εικόνα 28: Θερμαινόμενη κεφαλή

Παρακάτω φαίνεται η αρχιτεκτονική της κεφαλής του εκτυπωτή, η οποία αποτελείται από τον προωθητή υλικού στο πάνω μέρος. Ενδιάμεσα υπάρχουν τα δύο ρουλεμάν και στο κάτω μέρος βρίσκεται η θερμαινόμενη κεφαλή και οι δύο ανεμιστήρες για την ψύξη της καθώς και την ψύξη του υλικού που έχει στερεωθεί στη βάση. Τα πλαστικά κομμάτια του κάτω μέρους της κεφαλής είναι τυπωμένα με ABS υλικό ώστε να αντέχουν υψηλές θερμοκρασίες.



Εικόνα 29: Αρχιτεκτονική κεφαλής



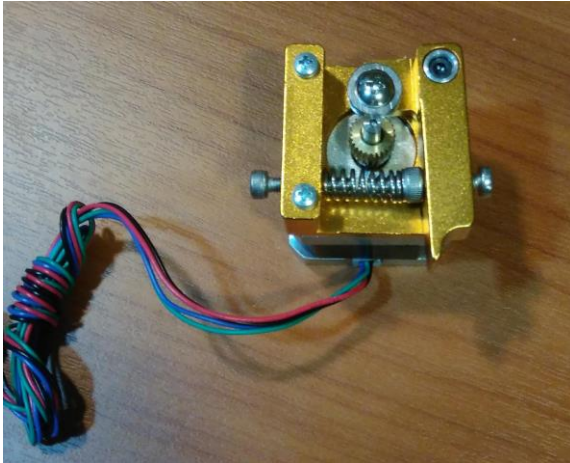
Πλεονεκτήματα δεύτερης κεφαλής

Ο εκτυπωτής διαθέτει και δεύτερη κεφαλή εκτύπωσης έτσι ώστε να μπορεί να τυπώνει δύο χρώματα ταυτόχρονα. Με αυτή την τεχνική μπορούν να τυπώνονται δίχρωμα τρισδιάστατα αντικείμενα.

Επιπροσθέτως το δεύτερο υλικό ή χρώμα μπορεί να είναι υδρόφοβο έτσι ώστε σε περίπτωση που χρειαστεί να τυπωθεί κάποιο 3D αντικείμενο με υποστηρικτικό υλικό που να φέρει δυσκολία στην αφαίρεσή του να είναι εφικτό με τη βοήθεια του νερού. Επίσης το δεύτερο υλικό εκτύπωσης μπορεί να είναι αγωγίμο για τη χρησιμοποίηση κάποιου αντικειμένου ως καναλιού τροφοδοσίας.

2.9.5 Προωθητής Υλικού

Ο προωθητής υλικού ή μηχανισμός εξώθησης υλικού βοηθάει στο να εισάγει το υλικό εκτύπωσης στο εσωτερικό της θερμαινόμενης κεφαλής. Αποτελείται από έναν βηματικό κινητήρα και από κομμάτια αλουμινίου για να συγκρατούν τον μηχανισμό προώθησης καθώς επίσης και ένα γρανάζι το οποίο έρχεται σε επαφή με το νήμα. Απαραίτητο κομμάτι του μηχανισμού προώθησης είναι μία βίδα που καθορίζει την πίεση που ασκεί το γρανάζι στο υλικό. Πολύ σημαντικό ρόλο παίζουν οι ρυθμίσεις της συχνότητας προώθησης υλικού σε συνάρτηση με την θερμοκρασία της κεφαλής εκτύπωσης που κατ' επέκταση καθορίζουν την ταχύτητα εξόδου του υλικού εκτύπωσης που λιώνει. Υπάρχουν αρκετές διατάξεις κατά τις οποίες ο προωθητής υλικού είναι τοποθετημένος στα διάφορα μέρη του εκτυπωτή. Οι πιο κοινές είναι δύο, στην πρώτη διάταξη ο προωθητής υλικού είναι ακριβώς πάνω από την κεφαλή, με αποτέλεσμα να κινείται ακριβώς όπως κινείται και αυτή προς όλες τις κατευθύνσεις, όμως προσθέτοντας επιπλέον βάρος σε αυτή. Η δεύτερη πιο κοινή διάταξη είναι η τοποθέτηση του προωθητή υλικού μακριά από την κεφαλή, ώστε να αποφευχθεί το επιπλέον βάρος, αλλά πολλές φορές να δυσχεραίνεται η προώθηση. Η διάταξη που ακολουθήθηκε σε αυτό τον εκτυπωτή είναι η πρώτη. Στην παρακάτω εικόνα παρουσιάζεται η συναρμολόγηση του προωθητή υλικού του εκτυπωτή.



Εικόνα 30: Προωθητής υλικού

2.9.6 Τροφοδοτικό Εκτυπωτή



Εικόνα 31: Τροφοδοτικό ATX

Το τροφοδοτικό του εκτυπωτή είναι τύπου ATX στο οποίο έχει γίνει τροποποίηση και διαθέτει καλύτερη ψύξη και αυτόματη απενεργοποίηση σε περίπτωση κάποιου βραχυκυκλώματος. Η τάση τροφοδοσίας είναι στα 12 Volt και 20 Ampere και έχει συνολική ισχύ 240 Watt. Επιπλέον διαθέτει εξόδους για 3,3V, 5V και 24V που μπορούν να τροφοδοτήσουν επεκτάσεις του εκτυπωτή όπως ταινία led.



Διορθώσεις που έγιναν κατά τη διάρκεια των δοκιμών

Ενίσχυση των πλαστικών τυπωμένων κομματιών του σκελετού του εκτυπωτή με πιο μεγάλα και σταθερά πλαστικά κομμάτια, ώστε να υπάρχει μεγαλύτερη σταθερότητα στον κατακόρυφο άξονα z.

Αντικατάσταση του τρανζίστορ που ήταν υπεύθυνο για τη θέρμανση της βάσης εκτύπωσης με καινούριο και προσθήκη εξωτερικού relay έτσι ώστε να αντέχει τη ροή του ρεύματος που χρειάζεται.

Προσθήκη δύο κομματιών προφίλ αλουμινίου στο κάτω μέρος της βάσης για μεγαλύτερη σταθερότητα και κράτημα του εκτυπωτή κατά τη διάρκεια της εκτύπωσης.

Μικρότερες διαστάσεις στο σασί για να μην υπάρχει καμπυλότητα στους άξονες M10 κατά την κίνηση της βάσης της επιφάνειας εκτύπωσης.

Αφαίρεση του γυαλιού από τη βάση εκτύπωσης ώστε να θερμαίνεται πιο εύκολα και γρήγορα το bed, γεγονός που κάνει ταχύτερη την προεργασία της εκτύπωσης. Τοποθέτηση χαρτοταινίας στην επιφάνεια της θερμαινόμενης βάσης ώστε να κολλάει εκεί το υλικό εκτύπωσης.



321-7101 – Διπλωματική Εργασία

Τίτλος Μελέτης: Κατασκευή 3D - Printer

Νικόλαος Μάνος



3 Λογισμικό

3.1 Marlin 1.1.9

Marlin | Arduino 1.8.7

Αρχείο Επεξεργασία Σχέδιο Εργαλεία Βοήθεια

```
Marlin | Conditionals.h | Conditionals_LCD.h | Conditionals_post.h | Configuration.h | Configurati
|/*
=====

Marlin Firmware

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

=====

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

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

Before diving in, we recommend the following essential links:

Marlin Firmware Official Website

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

Configuration

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

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

Εικόνα 32: Marlin 1.1.9



3.2 Παραμετροποιήσεις στα μέτρα του εκτυπωτή

Στο Marlin Software υπάρχει η συνάρτηση configuration.h η οποία είναι παραμετροποιήσιμη ως προς τις λειτουργίες του κάθε εκτυπωτή. Πιο αναλυτικά:

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

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

Παραπάνω έχει αρχικοποιηθεί ο τύπος της πλακέτας του εκτυπωτή και στη συνέχεια έχει δοθεί ένα χαρακτηριστικό όνομα στον εκτυπωτή που εμφανίζεται και στην οθόνη.

```
// @section extruder

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

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

Στη συνέχεια δηλώνεται ο αριθμός των κεφαλών εκτύπωσης(οι δοκιμές έγιναν με μία κεφαλή) και μετά αρχικοποιείται η διάμετρος του υλικού εκτύπωσης με 1.75mm.

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

Για την τροφοδοσία δηλώνεται η επιλογή 1 δηλαδή ATX τροφοδοτικό.



Temperature sensors available:

```
-4 : thermocouple with AD8495
-3 : thermocouple with MAX31855 (only for sensor 0)
-2 : thermocouple with MAX6675 (only for sensor 0)
-1 : thermocouple with AD595
0 : not used
1 : 100k thermistor - best choice for EPCOS 100k (4.7k pullup)
2 : 200k thermistor - ATC Semitec 204GT-2 (4.7k pullup)
3 : Mendel-parts thermistor (4.7k pullup)
4 : 10k thermistor !! do not use it for a hotend. It gives bad resolution at high temp. !!
5 : 100K thermistor - ATC Semitec 104GT-2/104NT-4-R025H42G (Used in ParCan & J-Head) (4.7k pullup)
501 : 100K Zonestar (Tronxy X3A) Thermistor
6 : 100k EPCOS - Not as accurate as table 1 (created using a fluke thermocouple) (4.7k pullup)
7 : 100k Honeywell thermistor 135-104LAG-J01 (4.7k pullup)
71 : 100k Honeywell thermistor 135-104LAF-J01 (4.7k pullup)
8 : 100k 0603 SMD Vishay NTC0603E3104FXT (4.7k pullup)
9 : 100k GE Sensing AL03006-58.2K-97-G1 (4.7k pullup)
10 : 100k RS thermistor 198-961 (4.7k pullup)
11 : 100k beta 3950 1% thermistor (4.7k pullup)
12 : 100k 0603 SMD Vishay NTC0603E3104FXT (4.7k pullup) (calibrated for Makibox hot bed)
13 : 100k Hisens 3950 1% up to 300°C for hotend "Simple ONE " & "Hotend "All In ONE"
15 : 100k thermistor calibration for JGAurora A5 hotend
20 : the PT100 circuit found in the Ultimainboard V2.x
60 : 100k Maker's Tool Works Kapton Bed Thermistor beta=3950
66 : 4.7M High Temperature thermistor from Dyze Design
70 : the 100K thermistor found in the bq Hephestos 2
75 : 100k Generic Silicon Heat Pad with NTC 100K MGB18-104F39050L32 thermistor

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

```
#define TEMP_SENSOR_0 75
#define TEMP_SENSOR_1 0
#define TEMP_SENSOR_2 0
#define TEMP_SENSOR_3 0
#define TEMP_SENSOR_4 0
#define TEMP_SENSOR_BED 1
#define TEMP_SENSOR_CHAMBER 0
```

Για τη δήλωση του αισθητήρα κεφαλής επιλέχθηκε το 75 δηλαδή 100k Generic Silicon Heat και για το bed το 1 δηλαδή 100k thermistor.

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

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



```
// The minimal temperature defines the temperature below which the heater w
// to check that the wiring to the thermistor is not broken.
// Otherwise this would lead to the heater being powered on all the time.
#define HEATER_0_MINTEMP 5
#define HEATER_1_MINTEMP 5
#define HEATER_2_MINTEMP 5
#define HEATER_3_MINTEMP 5
#define HEATER_4_MINTEMP 5
#define BED_MINTEMP 5

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

Ρύθμιση ελάχιστης θερμοκρασίας στους 5° για την κεφαλή αλλά και τη βάση και μέγιστης θερμοκρασίας καφαλής στους 260° και βάσης εκτύπωσης στους 120°.

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

Ενεργοποίηση των end stops στις minimum καταστάσεις για αρχικοποίηση.

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

Παρομοίως και εδώ γίνονται true μόνο για τις minimum καταστάσεις.



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

Δήλωση των driver για τους βηματικούς κινητήρες στους άξονες X Y Z και στον Extruder

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

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

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

Για τον υπολογισμό των steps/mm στον X και Y άξονα χρησιμοποιήθηκε ο τύπος:

$$\text{steps/mm} = (\text{motor steps per revolution} * \text{driver microstepping}) / (\text{belt pitch} * \text{pulley number of teeth})$$

Κάθε βήμα του κινητήρα περιστρέφει τον άξονα κατά $1,8^\circ$, Για μια περιστροφή 360° θα κάνει 200 βήματα.

Ο driver έχει driver microstepping= 1/16, το βήμα του μάντα είναι 2mm και τα δοντάκια της τροχαλίας είναι 20

$$\text{Άρα steps/mm} = (200 * 16) / (2 * 20) = 80$$



Steps per millimeter - leadscrew driven systems

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

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

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

Εικόνα 33: Calculator steps/mm

Για τον υπολογισμό των steps/mm στον άξονα z χρησιμοποιήθηκε ο παραπάνω calculator ο οποίος παίρνει ως τιμές τις μοίρες του stepper, το driver, τη διάμετρο του σπειρωτού άξονα καθώς και το βύθισμα των σπειρώσεων του άξονα.

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

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

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

// Travel limits (mm) after homing, corresponding to endstop positions.
#define X_MIN_POS 0
#define Y_MIN_POS 0
#define Z_MIN_POS 0
#define X_MAX_POS X_BED_SIZE
#define Y_MAX_POS Y_BED_SIZE
#define Z_MAX_POS 400
```

Ορισμός των διαστάσεων του bed σε 400mm x 400mm και σε ύψος 400mm.



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

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

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

Ρύθμιση της γλώσσας οθόνης στα Αγγλικά.

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

Για υποστήριξη κάρτας SD για την εκτύπωση.

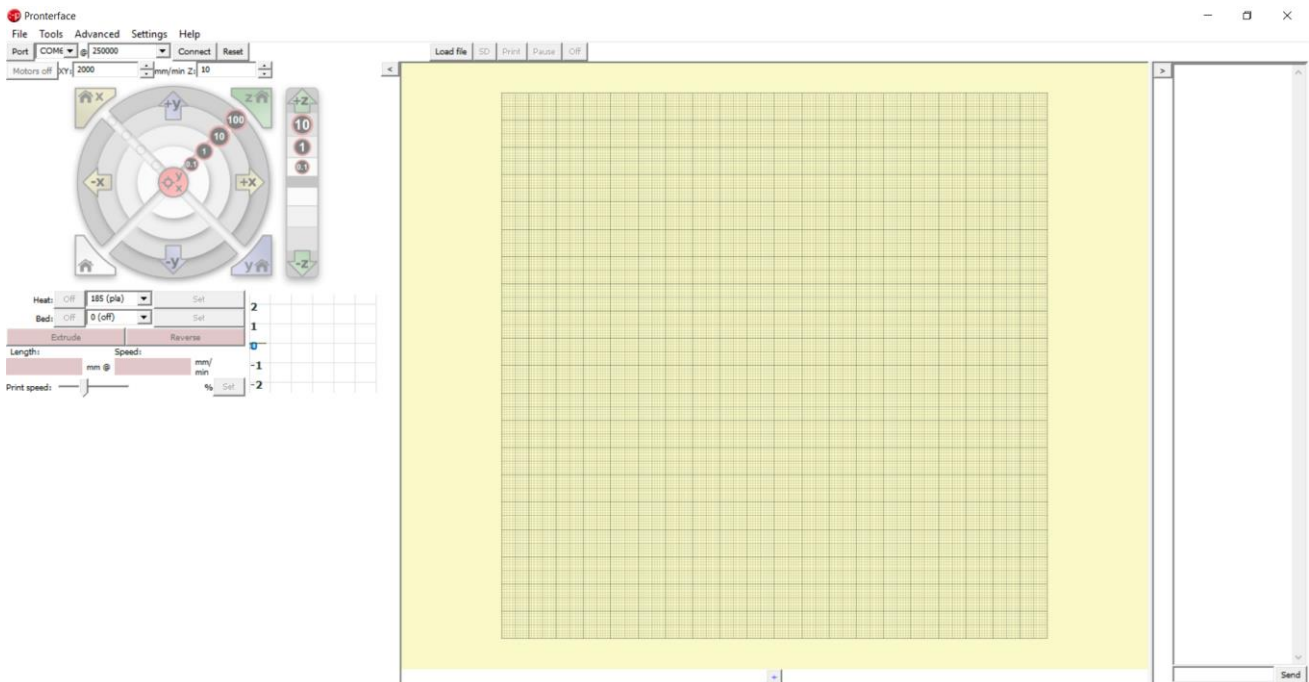
```
// SPEAKER/BUZZER
//
// If you have a speaker that can produce tones, enable it here.
// By default Marlin assumes you have a buzzer with a fixed frequency.
//
#define SPEAKER
```

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



3.3 Pronterface

Για τη δοκιμή των κινητήρων σε πρώτο στάδιο μετά τη συναρμολόγηση χρησιμοποιήθηκε το software Pronterface. Με τη βοήθεια του παρακάτω προγράμματος μπορεί να ελεγχθεί ο κάθε βηματικός κινητήρας ξεχωριστά, εκτός των δύο κινητήρων του άξονα z που είναι συνδεδεμένοι παράλληλα και να ρυθμιστεί η ταχύτητά του. Αρχικά δοκιμάστηκαν οι κινήσεις στον άξονα y, στη συνέχεια στον άξονα x και τέλος μετά από κάποιες περεταίρω διορθώσεις στον άξονα z, όπου είναι και η πιο σύνθετη μηχανολογικά κίνηση. Ακόμα δοκιμάστηκαν και ελέγχθηκαν οι κινήσεις στην αρχική κατάσταση του εκτυπωτή (home moves). Πρώτα για κάθε άξονα ξεχωριστά – home y, home x και home z – και στη συνέχεια όλων μαζί ταυτόχρονα. Τέλος, μέσω του Pronterface μπορεί να πραγματοποιηθεί εκτύπωση, αλλά με περιορισμένες ρυθμίσεις στα χαρακτηριστικά. Για αυτό το λόγο χρησιμοποιήθηκε το πρόγραμμα που υπάρχει στην επόμενη ενότητα Cura Ultimaker.

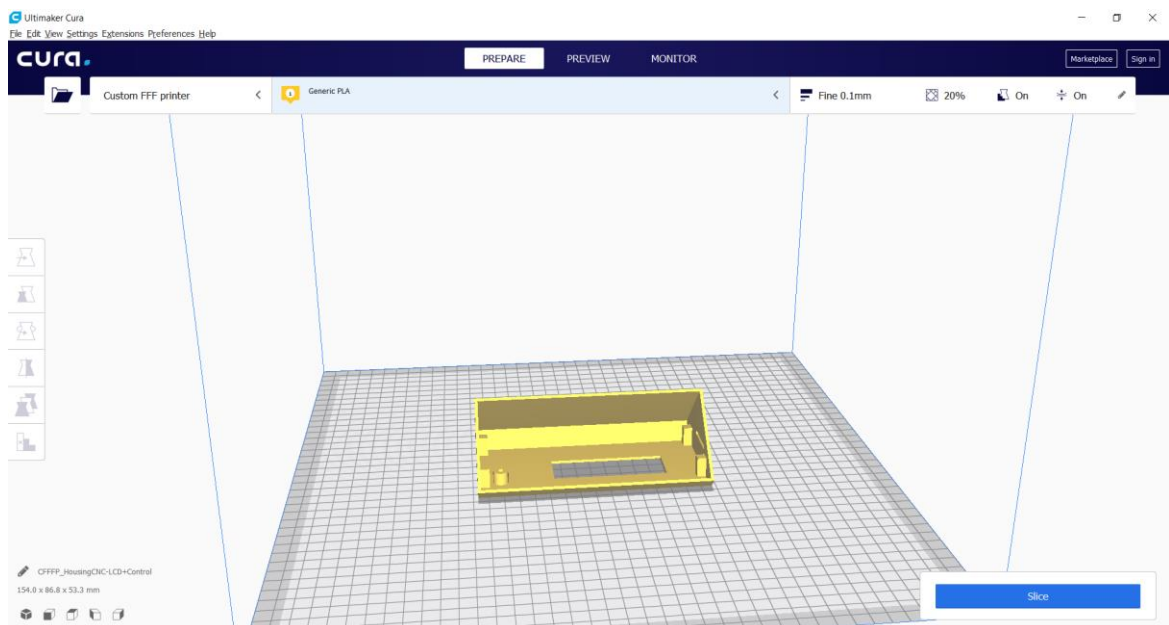


Εικόνα 34: Pronterface

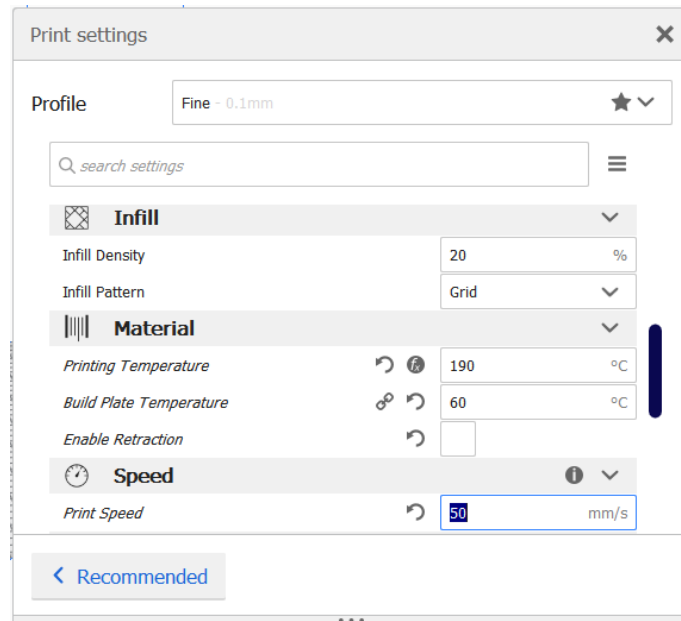


3.4 Cura Ultimaker 4.1.0

Για την εκτύπωση των 3D αντικειμένων χρησιμοποιήθηκε το ελεύθερο λογισμικό ανοιχτού κώδικα Cura Ultimaker το οποίο είναι διαθέσιμο σε 15 γλώσσες και η σύνταξή του είναι σε C++, Python και QML. Αρχικά εισάγεται το 3D αντικείμενο (σε μορφή STL) και στη συνέχεια αφού επεξεργαστεί με τις κατάλληλες ρυθμίσεις που έχουν τεθεί, όπως θερμοκρασία κεφαλής, θερμοκρασία βάσης, ταχύτητα εκτύπωσης, πυκνότητα υλικού, ύψος layer, εξάγεται (σε μορφή GCODE) και μπορεί να τυπωθεί μέσω του USB ή της SD κάρτας.



Εικόνα 35: Cura Ultimaker 4.1.0



Εικόνα 36: Ρυθμίσεις Εκτύπωσης



4 Κατάλογος υλικών

Πίνακας 3: Κατάλογος υλικών

A/A	Περιγραφή	Ποσότητα	Τιμή	Σχόλια
1	V-Slot 2040 1000mm - Black Anodized	2	25,98	σκελετός
2	V-Slot 2040 500mm - Black Anodized	2	13,98	Βάση bed
3	V-Slot 2020 500mm - Black Anodized	2	11,98	σκελετός
4	V-Slot 2020 1000mm - Black Anodized	2	19,80	σκελετός
5	Precision Shaft - D10mm x L1000mm	2	25,80	Άξονες bed
6	Γραμμικό Ρουλεμάν με Βάση - 10mm - SC10UU	4	19,20	Κίνηση bed
7	Linear Rail Shaft Guide/Support - 10mm Diameter - SK10	4	11,20	bed
8	Precision Shaft - D8mm x L500mm	4	24,80	Κίνηση κεφαλής
9	Γραμμικό Ρουλεμάν με Βάση - 8mm - SC8UU	8	30,40	Κίνηση κεφαλής
10	Linear Rail Shaft Guide/Support - 8mm Diameter - SK8	8	19,20	Κίνηση κεφαλής
11	Τραπεζοειδής Κοιλίας T8 500mm (Lead 8mm)	2	19,80	Κίνηση κεφαλής
12	Περικόχλιο για Τραπεζοειδής Κοιλίας T8 (Lead 8mm)	4	7,60	Κίνηση κεφαλής



13	Aluminum GT2 Timing Pulley - 6mm Belt - 20 Tooth - 5mm Bore	2	5,20	Κίνηση bed
14	Aluminum GT2 Timing Pulley - 20 Tooth - 8mm Bore	2	5,20	Κίνηση κεφαλής
15	Build plate with Heated bed 410x410mm	1	52,30	bed
16	Glass plate 410*410	1	60,10	bed
17	Aluminum Flex Shaft Coupler - 5mm to 8mm	2	6,40	Κίνηση κεφαλής
18	Belt Locking Spring - for GT2 Belts	4	0,80	Κίνηση κεφαλής
19	Timing Belt - GT2 (Per Meter)	4	12,80	Κίνηση κεφαλής
20	Bowden Extruder Feed Kit MK8 - 1.75mm All-metal Frame (Right)	1	5,90	Προώθηση υλικού
21	RAMPS RepRap Shield for Arduino Mega	1	8,90	πλακέτα
22	RAMPS 20x4 LCD Character Display Controller Board	1	16,90	πλακέτα
23	Οδηγός για Βηματικό Κινητήρα A4988	5	17,50	πλακέτα
24	RAMPS Endstop Switch with Cable	3	3,60	πλακέτα
25	Arduino Mega 2560 Rev3	1	42,90	πλακέτα
26	E3D V6 J-head Hotend 1.75mm Filament Bowden Extruder Nozzle 0.4mm	1	9,90	πλακέτα
27	Βηματικός Κινητήρας 2.8kg.cm (200 steps/rev) 42BYGHW208	5	63,00	κίνηση

Σύνολο: 521,34 ευρώ



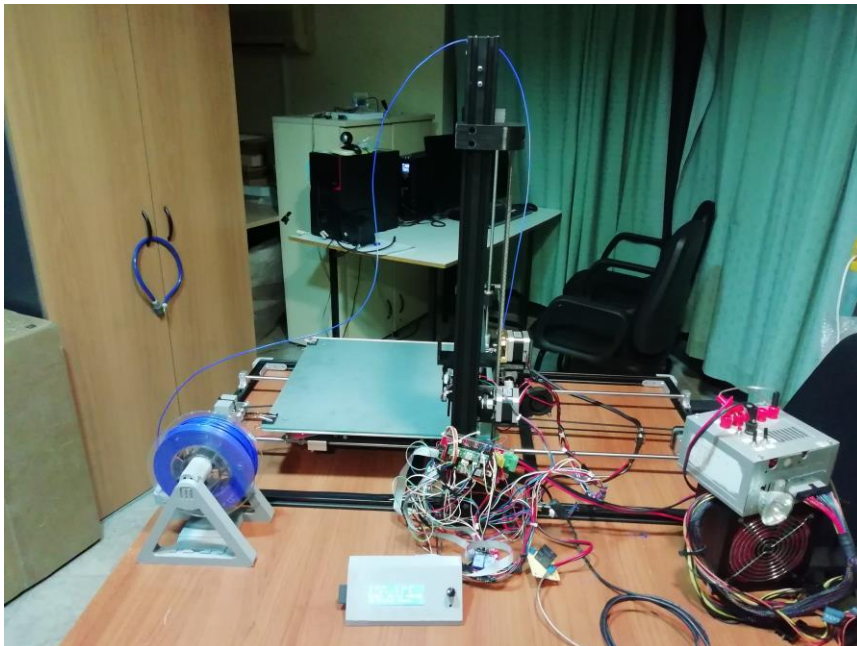
5 Μελλοντικές επεκτάσεις και βελτιώσεις

Προσθήκη Plexi Glass περιμετρικά του εκτυπωτή, για τη διατήρηση της θερμοκρασίας στο εσωτερικό του αλλά και για την αποφυγή δυσάρεστων οσμών στον εξωτερικό χώρο.

Αντικατάσταση του γυαλιού με ειδικό αυτοκόλλητο βάσης εκτύπωσης, ώστε να θερμαίνεται πιο γρήγορα η βάση και να μην χάνεται πολύτιμος χρόνος στην προεργασία της εκτύπωσης.

Αισθητήρας για αναγνώριση μπλοκαρίσματος υλικού, ώστε να βγάζει ειδοποίηση και να παγώνει η εκτύπωση. Στη συνέχεια όταν διορθωθεί το πρόβλημα θα μπορεί να συνεχιστεί κανονικά η εκτύπωση από όπου είχε μείνει.

Προσθήκη ταινίας led στο επάνω μέρος του σκελετού του εκτυπωτή έτσι ώστε να υπάρχει φωτισμός για καλύτερη οπτική του αντικειμένου που τυπώνεται.



Εικόνα 37: 3D printer



321-7101 – Διπλωματική Εργασία

Τίτλος Μελέτης: Κατασκευή 3D - Printer

Νικόλαος Μάνος



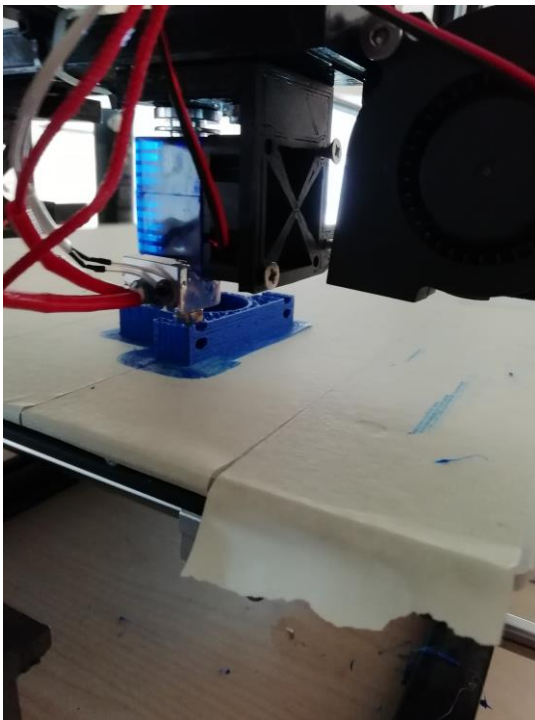
6 Συμπεράσματα

Παρατηρείται ότι το συνολικό κόστος του εκτυπωτή είναι αρκετά μικρό για τις διαστάσεις του, καθώς και για τις λειτουργίες τις οποίες διαθέτει. Όπως επίσης η πλακέτα, Ramps shield και γενικότερα η κατασκευή του εκτυπωτή έχουν τη δυνατότητα για επεκτάσεις που μπορούν να προστεθούν μελλοντικά.

Πρέπει να υπάρχει απόλυτη παραλληλία μεταξύ των γραμμικών αξόνων για την κίνηση της βάσης εκτύπωσης και της κεφαλής στον x και z άξονα. Διαφορετικά δυσχεραίνεται η ομαλότητα στις κινήσεις και υπάρχουν κραδασμοί, με αποτέλεσμα να μην τυπώνεται με ακρίβεια το αντικείμενο.

Οι δύο μάντες που κινούν τη βάση εκτύπωσης και την κεφαλή εκτύπωσης δεν πρέπει να είναι χαλαροί διότι χάνεται η ακρίβεια στις κινήσεις και αποτυγχάνει η εκτύπωση.

Συμπεράσματα από τις εκτυπώσεις:



Εικόνα 38: Εκτύπωση αντικειμένου

Αρκετή ακρίβεια διαστάσεων του αντικειμένου, λεία επιφάνεια τοιχωμάτων



321-7101 – Διπλωματική Εργασία

Τίτλος Μελέτης: Κατασκευή 3D - Printer

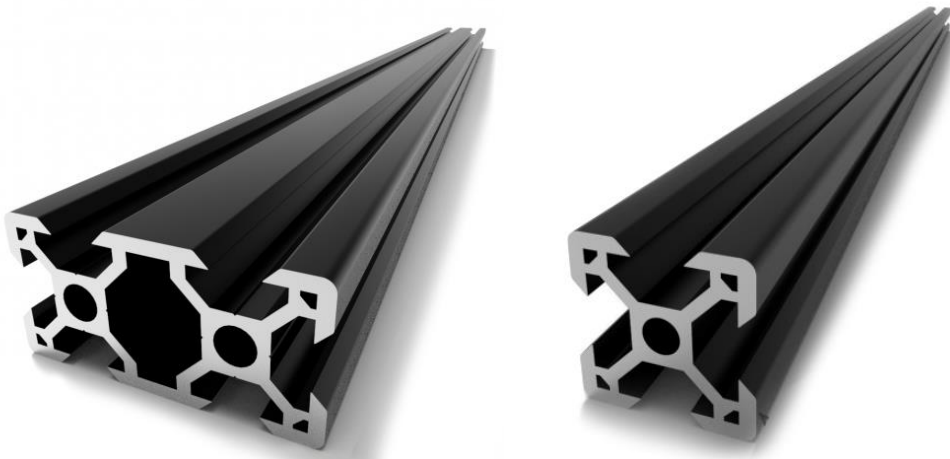
Νικόλαος Μάνος



7 Παράρτημα

Μηχανολογικά εξαρτήματα:

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



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





Γραμμικό ρουλεμάν για M8 και M10 άξονα



Οδηγός στήριξης άξονα M8 και M10





321-7101 – Διπλωματική Εργασία

Τίτλος Μελέτης: Κατασκευή 3D - Printer

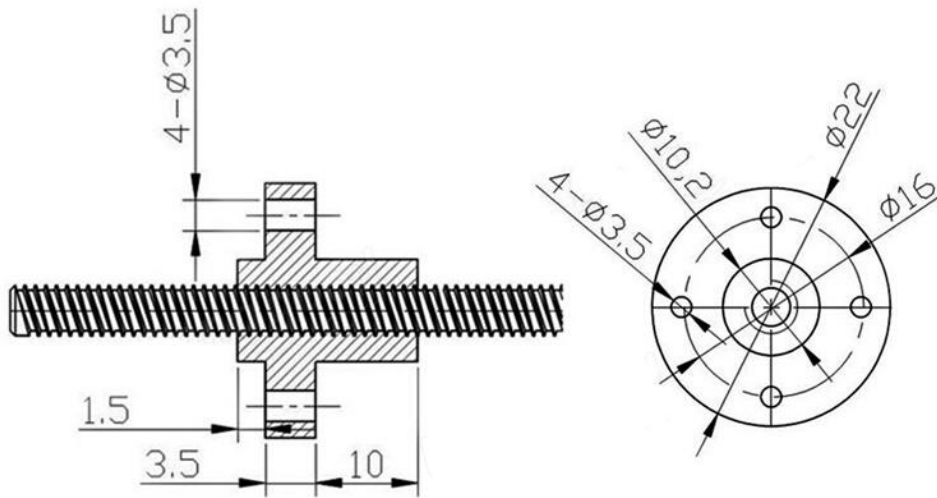
Νικόλαος Μάνος

Σπειρωτός άξονας T8 500mm



Περικόγλιο T8





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



Αριθμός δοντιών	20
Εσωτερική διάμετρος	5mm
Οδόντωση	2mm GT2

Aluminum GT2 Timing Pulley - 20 Tooth - 8mm Bore



Αριθμός δοντιών	20
Εσωτερική διάμετρος	8mm
Οδόντωση	2mm GT2



Aluminum Flex Shaft Coupler - 5mm to 8mm



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

Belt Locking Spring - for GT2 Belts





Timing Belt - GT2



Πλάτος	6mm
Βήμα	2mm

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



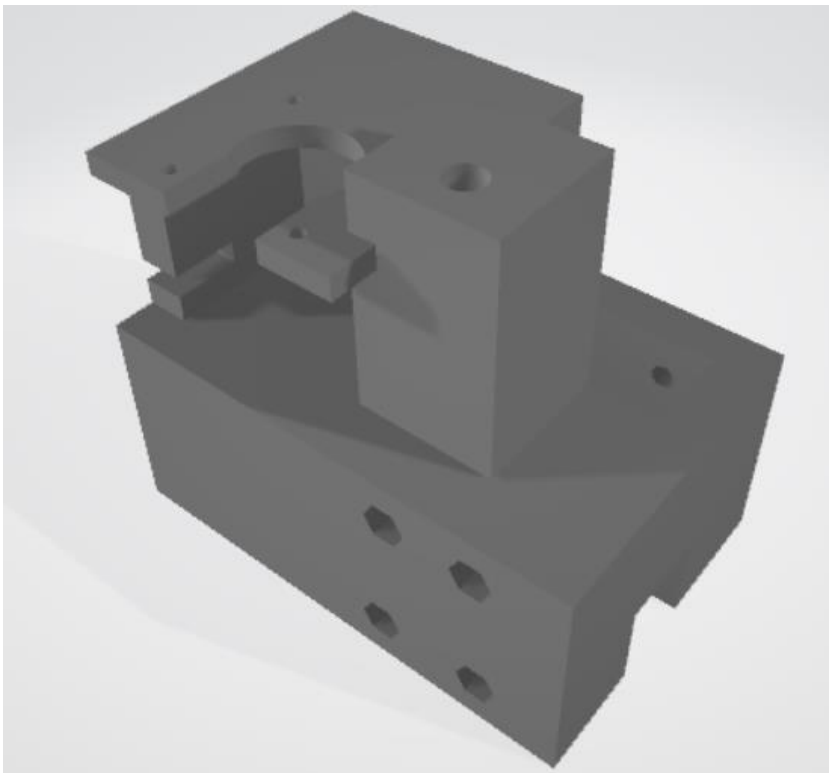


Πλαστικά εξαρτήματα:

Εξωτερικές γωνίες σκελετού εκτυπωτή

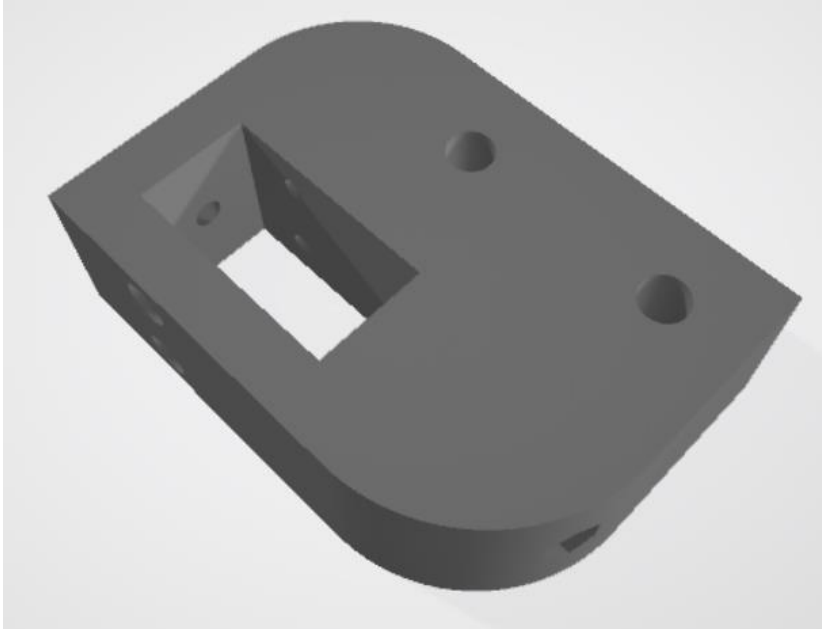


Βάση κινητήρων z άξονα

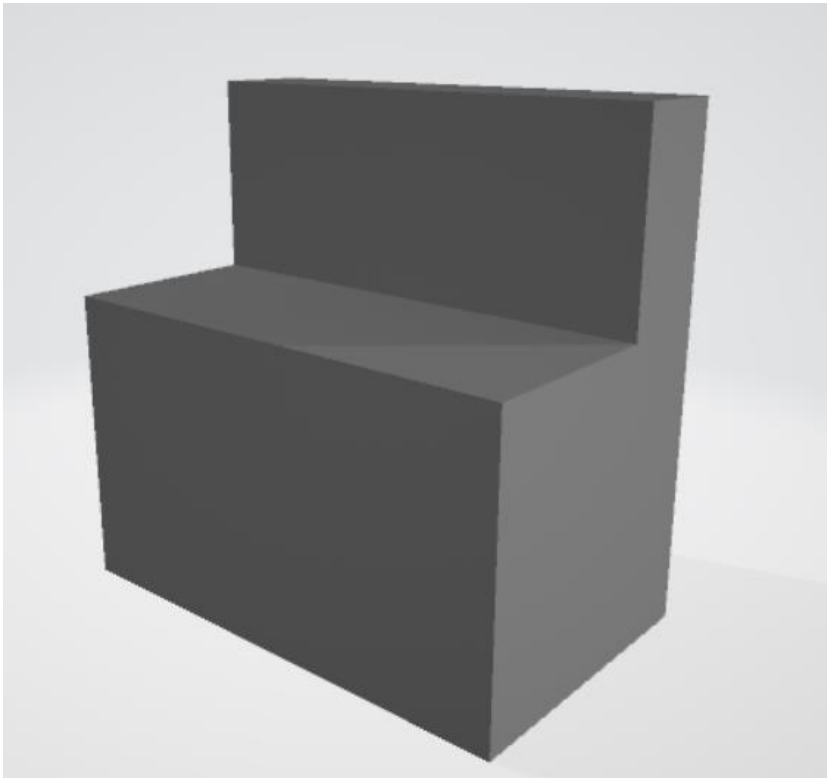




Άνω βάση z αξόνων

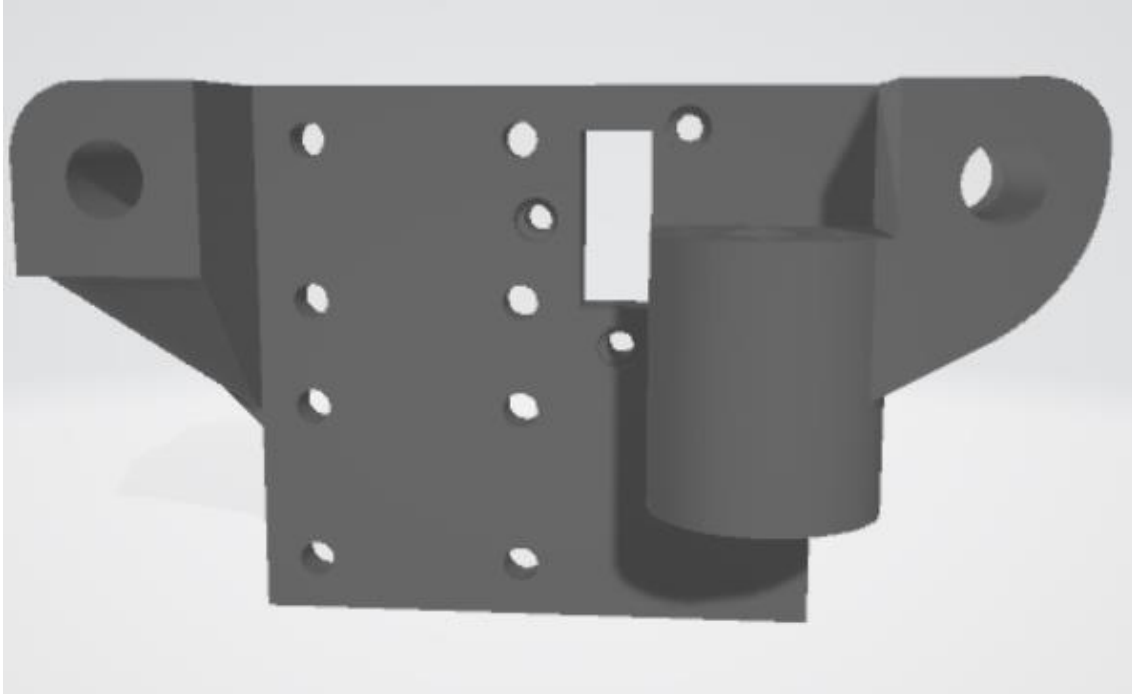


Βάση κινητήρων y άξονα

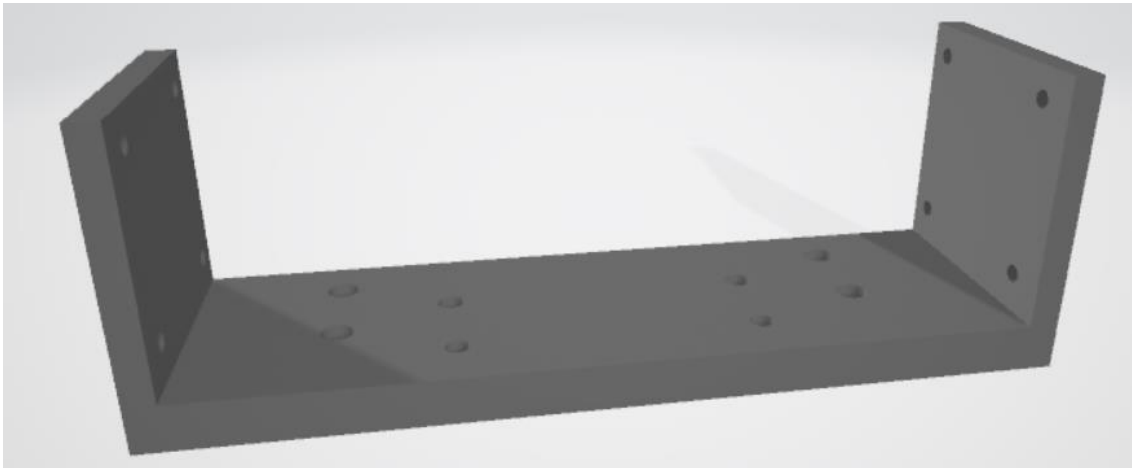




Βάση αξόνων κεφαλής εκτύπωσης

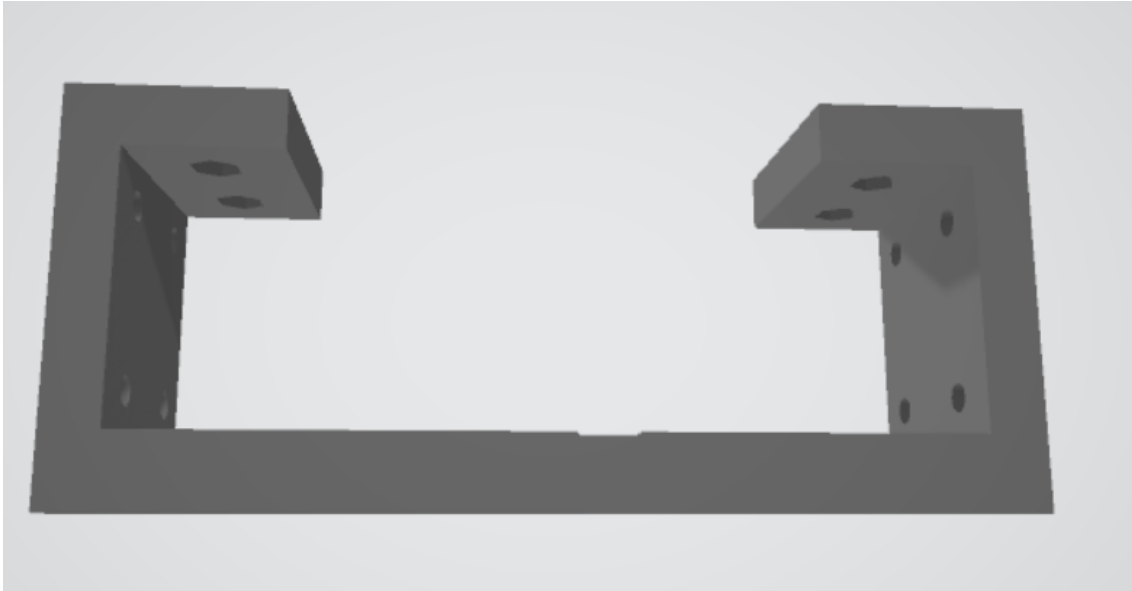


Βάση κεφαλής εκτύπωσης

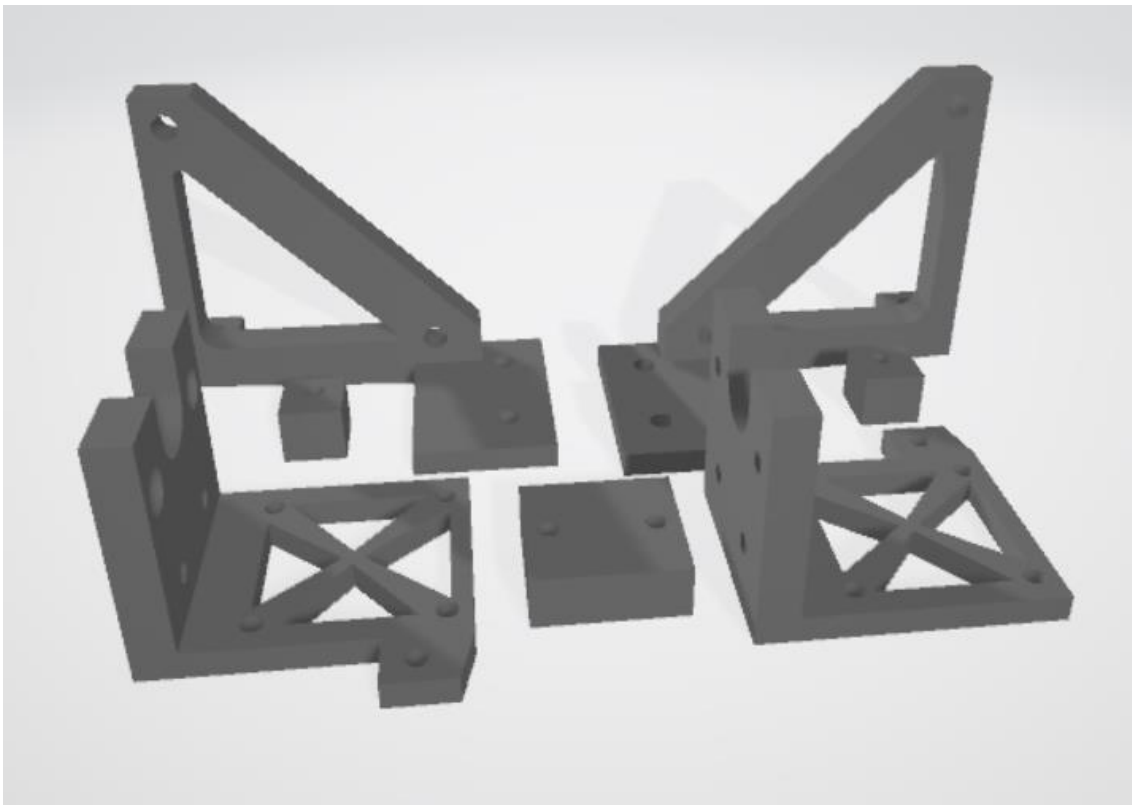




Μεσαίο εξάρτημα βάσης κεφαλής

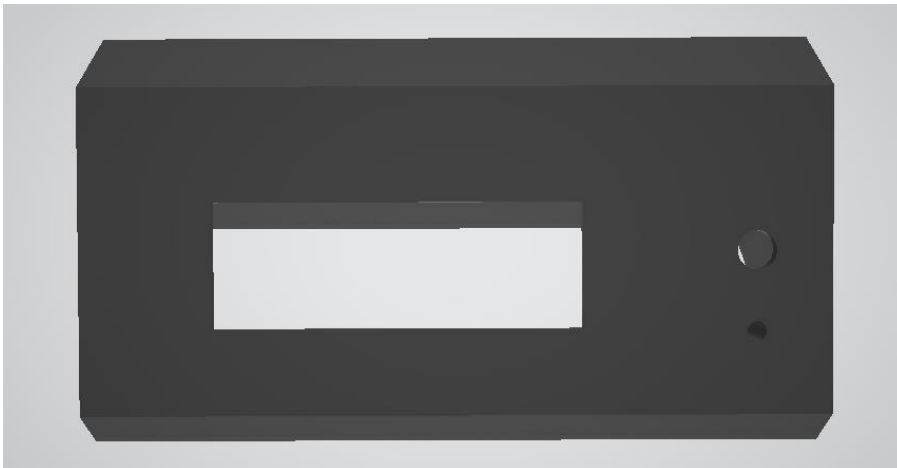


Εξαρτήματα κάτω μέρους κεφαλής

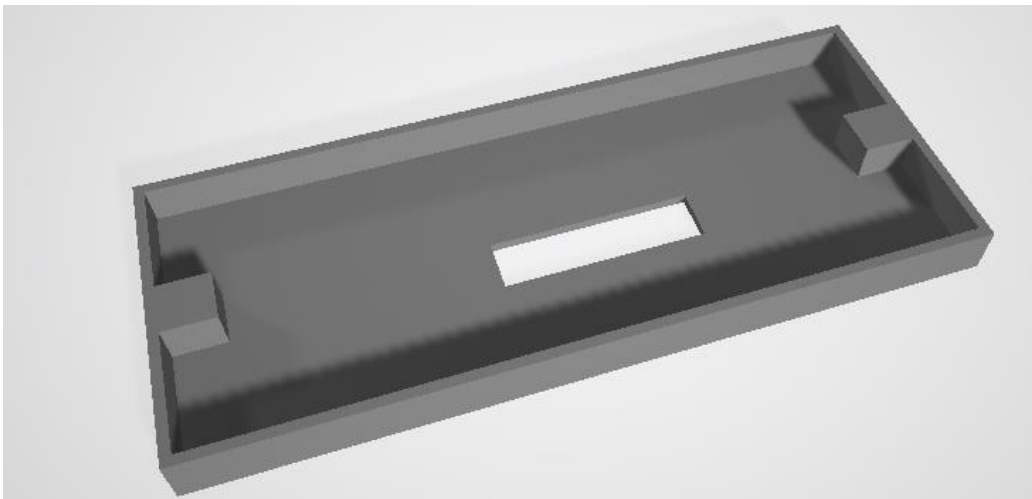




Κουτί οθόνης



Βάση οθόνης





321-7101 – Διπλωματική Εργασία

Τίτλος Μελέτης: Κατασκευή 3D - Printer

Νικόλαος Μάνος



8 Βιβλιογραφία

- [1] Lee, Michael P., et al. "Development of a 3D printer using scanning projection stereolithography." *Scientific reports* 5 (2015): 9875.
- [2] Bose, Susmita, Sahar Vahabzadeh, and Amit Bandyopadhyay. "Bone tissue engineering using 3D printing." *Materials today* 16.12 (2013): 496-504.
- [3] Lipson, Hod, and Melba Kurman. *Fabricated: The new world of 3D printing*. John Wiley & Sons, 2013.
- [4] Campbell, Thomas A., and Olga S. Ivanova. "3D printing of multifunctional nanocomposites." *Nano Today* 8.2 (2013): 119-120.
- [5] S. C. Joshi, & A. A. Sheikh, "3D-printing in aerospace and its long-term sustainability," *Virtual and Physical Prototyping*, Vol. 10, No.4, pp. 175-185, 2015.
- [6] W. Yu-Cheng, C. Toly, & Y. Yung-Lan, "Advanced 3D printing technologies for the aircraft industry: a fuzzy systematic approach for assessing the critical factors," *The International Journal of Advanced Manufacturing Technology*, Vol. 3, No.3, pp. 1-10, 2018

<https://www.instructables.com/id/Wiring-3D-Printer-RAMPS-14/>

https://reprap.org/wiki/RAMPS_1.4

<https://www.robotshop.com/media/files/pdf/arduinomega2560datasheet.pdf>

<https://3dinsider.com/3d-printing-history/>

<https://3dprint.com/72171/first-3d-printer-chuck-hull/>

<https://all3dp.com/2/history-of-3d-printing-when-was-3d-printing-invented/>

<https://zalophusdokdo.github.io/StepperMotorsCalculator/en/index.html>

<https://3dprintingindustry.com/>



321-7101 – Διπλωματική Εργασία

Τίτλος Μελέτης: Κατασκευή 3D - Printer

Νικόλαος Μάνος

Διπλωματικές εργασίες:

Σχεδιασμός και κατασκευή τρισδιάστατης εκτύπωσης – Τσίπης Σωκράτης

Τρισδιάστατη Εκτύπωση – Λασαλάντρα Αλέξανδρος – Καρποντίνης Ιωάννης

Η προστιθέμενη αξία του 3D Imaging και 3D Printer σε χειρουργικές επεμβάσεις κεφαλιού και λαιμού – Ευγενία Παριώτη

Βηματικοί κινητήρες και εφαρμογές – Χαρίσκου Νικόλαος

Marlin Firmware Available at: <http://marlinfw.org/http://marlinfw.org/>

PronterFace Firmware Available at: <https://www.pronterface.com/>

Cura Firmware Available at: <https://ultimaker.com/en/products/ultimaker-cura-software>