

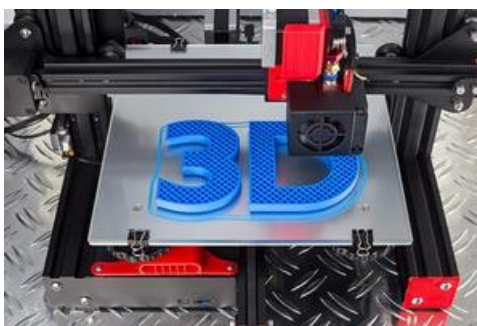


Πανεπιστήμιο Δυτικής Μακεδονίας
Πολυτεχνική Σχολή
πρώην Τμήμα Μηχανολόγων Μηχανικών και Βιομηχανικού Σχεδιασμού
(Εισαγωγική Κατεύθυνση Βιομηχανικού Σχεδιασμού)

Πτυχιακή Εργασία με τίτλο:

“ΣΧΕΔΙΑΣΜΟΣ ΚΑΙ ΚΑΤΑΣΚΕΥΗ 3D ΕΚΤΥΠΩΤΗ”

Του: **Αθανασίου Τσιμπούρα**



Επιβλέπων Καθηγητής: Δρ. Παναγιώτης Κυράτσης,

Κοζάνη 2021

Ευχαριστίες

Θα ήθελα να ευχαριστήσω την οικογένεια μου, η οποία με στήριξε και συνεχίζει να με στηρίζει με όλες τις δυνάμεις της σε κάθε μου βήμα. Επίσης, οφείλω να ευχαριστήσω θερμά τον Δρ. Παναγιώτης Κυράτση, Αναπληρωτή Καθηγητή του Τμήματος Μηχανικών Σχεδίασης Προϊόντων και Συστημάτων, ο οποίος μου παρείχε την αμέριστη υποστήριξη και καθοδήγησή του καθ' όλη την διάρκεια εκπόνησης της παρούσας πτυχιακής εργασίας.

Κοζάνη, Σεπτέμβριος 2021

2021, Αθανάσιος Τσιμπούρλας

Περιεχόμενα

Περιεχόμενα.....	3
Περίληψη.....	5
Κατάλογος Εικόνων.....	6
Κεφάλαιο 1.ΤΡΙΣΔΙΑΣΤΑΤΟΣ ΕΚΤΥΠΩΤΗΣ.....	7
1.1 Ιστορική αναδρομή.....	7
1.2 Λειτουργία 3D εκτυπωτών.....	10
1.3 Αρχή λειτουργίας.....	11
Βιβλιογραφία.....	13
Κεφάλαιο 2.ΣΧΕΔΙΑΣΜΟΣ 3D ΕΚΤΥΠΩΤΗ.....	14
2.1 Σχέδια σε ηλεκτρονική μορφή.....	14
2.1.1 Ασπρόμαυρα σχέδια εξαρτημάτων προς δημιουργία.....	14
2.1.2 Ασπρόμαυρα σχέδια τελικής μορφής 3D εκτυπωτή.....	19
2.1.3 Έγχρωμα σχέδια 3D εκτυπωτή.....	22
2.2 Σχεδιασμός 3D εκτυπωτή σε ηλεκτρονική μορφή (CAD) και η δημιουργία εικόνας σε φωτορεαλιστικό περιβάλλον.....	25
2.2.1 Σκελετός.....	25
2.2.2 Μηχανικά μέρη.....	27
2.3 Ολοκληρωμένη συναρμολόγηση 3D εκτυπωτή.....	56
2.3.1 Διάφορες άλλες όψεις.....	60
2.4 Τομές.....	64
Κεφάλαιο 3.ΔΗΜΙΟΥΡΓΙΑ ΜΑΚΕΤΑΣ.....	66
3.1 Αγορές και τιμές.....	66
3.2 Αναλυτικά κάθε αντικείμενο.....	67
3.2.1 Εξαρτήματα τα οποία αποτελούν την κεφαλή.....	72
3.3 Τελικό αποτέλεσμα κατασκευής.....	77
Κεφάλαιο 4.ΔΙΑΔΙΚΑΣΙΑ ΕΚΤΥΠΩΣΗΣ.....	79
4.1 Διαδικασία μεταγλώττισης Arduino.....	79
4.1.1 Εισαγωγή στο Software.....	79
4.1.2 ArduinoIDE.....	79
4.1.3 Firmware.....	81
4.2 Διαδικασία εκτύπωσης.....	90

4.2.1	Cura.....	90
4.2.2	Pronterface.....	96
4.3	Εκτυπωμένα πρότυπα δείγματα καλής λειτουργίας.	98

Περίληψη

Σκοπός της πτυχιακής αυτής είναι ο σχεδιασμός και η κατασκευή ενός εκτυπωτή τρισδιάστατων εκτυπώσεων (3d printer). Ο σχεδιασμός έλαβε δράση σε ορισμένα μηχανικά εξαρτήματα τα οποία δεν ήταν διαθέσιμα και ήταν απαραίτητα για την δημιουργία τους, ώστε να ολοκληρωθεί σωστά η κατασκευή. Όλα τα μηχανικά και ηλεκτρονικά μέρη απεικονίστηκαν σε φωτορελιστικό περιβάλλον. Στο πλαίσιο της κατασκευής του εκτυπωτή, ασχοληθήκαμε με τρόπους και ευέλικτες μεθοδολογίες με τις οποίες καταφέραμε να μειώσουμε χρόνο και λάθη κατά την διάρκεια της κατασκευής

Αφού ολοκληρώθηκε η κατασκευή, το επόμενο κομμάτι ήταν η μεταγλώττιση του εκτυπωτή έτσι ώστε να λειτουργεί με τον καλύτερο δυνατό τρόπο και από άποψη ποιότητας εκτύπωσης (ανάλυσης) , αλλά και από άποψη χρόνου εκτύπωσης. Η διαδικασία αυτή ολοκληρώθηκε με επιτυχία με τους κατάλληλους χειρισμούς.

Τέλος, η διαδικασία ολοκληρώθηκε με τους ελέγχους της ορθής λειτουργίας όλων των εξαρτημάτων του εκτυπωτή καθώς και με τη υλοποίηση κάποιων δοκιμαστικών εκτυπώσεων για την διαπίστωση της λειτουργικότητας του.

Κατάλογος Εικόνων

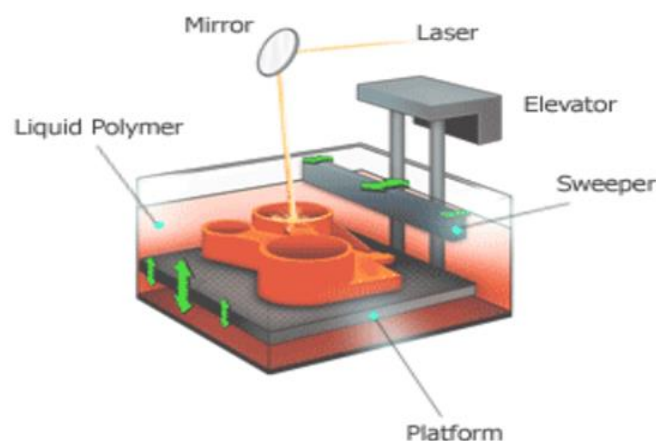
- Εικόνα 1.1 :** Τεχνολογία εκτύπωσης SLA.
- Εικόνα 1.2 :** Τεχνολογία εκτύπωσης SLS.
- Εικόνα 1.3 :** Τεχνολογία εκτύπωσης FDM.
- Εικόνα 1.4 :** Πως λειτουργεί το rapid prototyping.
- Εικόνα 1.5 :** Λειτουργία εξώθητη.
- Εικόνα 1.6 :** Άξονες X, Y και Z.

Κεφάλαιο 1. ΤΡΙΣΔΙΑΣΤΑΤΟΣ ΕΚΤΥΠΩΤΗΣ.

1.1 Ιστορική αναδρομή.

Οι πρώτες θεωρητικές προσεγγίσεις της τρισδιάστατης εκτύπωσης έγιναν στα τέλη της δεκαετίας του 1960 από τον μηχανικό και καθηγητή του Πανεπιστημίου Rochester των ΗΠΑ Herbert Voelker, ο οποίος άρχισε να εξετάζει τρόπους για να πάρει την έξοδο από σχέδια φτιαγμένα με τη βοήθεια ηλεκτρονικών υπολογιστών (CAD) και να τα χρησιμοποιήσει σε μερικά από τα αυτοματοποιημένα εργαλεία μηχανικής που μόλις αρχίζουν να εμφανίζονται στα εργοστάσια την εποχή εκείνη (CAM). Ο Herbert Voelker επινόησε τα βασικά μαθηματικά εργαλεία για την πλήρη περιγραφή των τρισδιάστατων αντικειμένων και κατέληξε στα πρώτα αληθινά μαθηματικά μοντέλα και αλγόριθμους για την περιγραφή τους. Το έργο του είναι η βάση για τα περισσότερα εργαλεία σχεδιασμού που χρησιμοποιούνται στην δημιουργία πρωτοτύπων (Rapid Prototyping – RP).

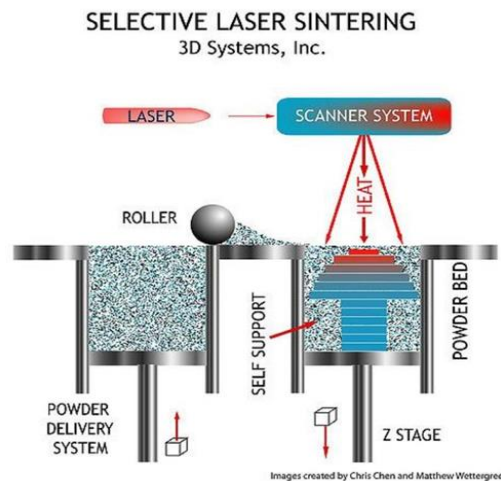
Την δεκαετία του 1980, εμφανίστηκαν οι πρώτες ιδέες για την υλοποίηση των θεωριών τρισδιάστατης εκτύπωσης, με τον Δρ. Χιντέο Κοντάμα του δημόσιου ινστιτούτου βιομηχανικής έρευνας της πόλης Νακγόγια στην Ιαπωνία που ανέφερε ότι για την κατασκευή τρισδιάστατων μοντέλων μια καλή προσέγγιση είναι ο χωρισμός του μοντέλου σε στρώματα και η κατασκευή ενός στρώματος μετά το άλλο (layer by layer), το οποίο και αποκάλεσε ταχεία προτυποποίηση (rapid prototyping – RP). Οι τεχνικές για μια τέτοια δουλειά δεν άργησαν να έρθουν. Μία εξ αυτών ήταν η Στερεολιθογραφία (stereolithography – SLA), η οποία αναπτύχθηκε και εφαρμόστηκε από τον Τσαρλς Χόλλ, το 1983. Η τεχνική αυτή χρησιμοποιεί λέιζερ χαμηλής ενέργειας για να φέρει σε στερεή μορφή ευκόλως επηρεαζόμενα από το φως υλικά και να πολυμεριστούν. Αρχικά, εφαρμόστηκε στην εκτύπωση οστών για εγχειρήσεις ορθοπεδικής φύσης και πλέον έχει εφαρμογές κάθε είδους. Το 1986 ο Τσαρλς Χολλ δημιούργησε τη δικιά του εταιρία 3dsystems που ασχολείται με την έρευνα πάνω στον τομέα των τρισδιάστατων εκτυπώσεων στην οποία είναι μέχρι και σήμερα αντιπρόεδρος και προϊστάμενος τεχνολογίας (CTO) .



Τεχνολογία εκτύπωσης SLA.

Εικόνα 1.1.

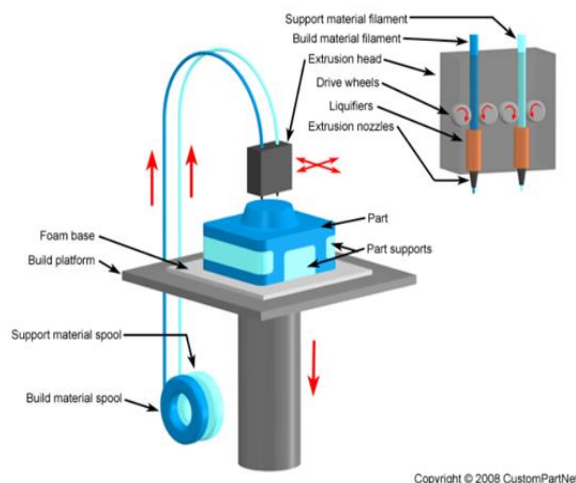
Το 1987 εμφανίστηκε μια παρόμοιας αρχής λειτουργίας τεχνική από τον Κάρλ Ντεκάρντ εν ονόματι Selective Laser Sintering (SLS), η οποία χρησιμοποιεί ισχυρά λέιζερ διοξειδίου του άνθρακα για να ενώσει ψιλή σκόνη από διάφορα υλικά σε μια σταθερή τρισδιάστατη κατασκευή. Ο Δρ.Καρλ Ντεκάρντ απόφοιτος μηχανολόγος μηχανικός του πανεπιστημίου του Όστιν, Τέξας, το 1987 δημιούργησε την εταιρία Desk top manufacturing, που το 2001 αγοράστηκε από την 3dsystems



Τεχνολογία εκτύπωσης SLS.

Εικόνα 1.2.

Την ίδια χρονιά εμφανίστηκε και η τεχνική από τον Σκότ Κράμπ, με την οποία θα ασχοληθούμε στη παρούσα εργασία και λέγεται Fused Deposition Modeling (FDM). Η λογική της FDM έχει ως εξής: μια τροφοδοσία από πολυμερές πλαστικό, το οποίο θερμαίνεται και εξωθείται, και όταν κρυώσει και σταθεροποιηθεί το ομοίωμα είναι έτοιμο.

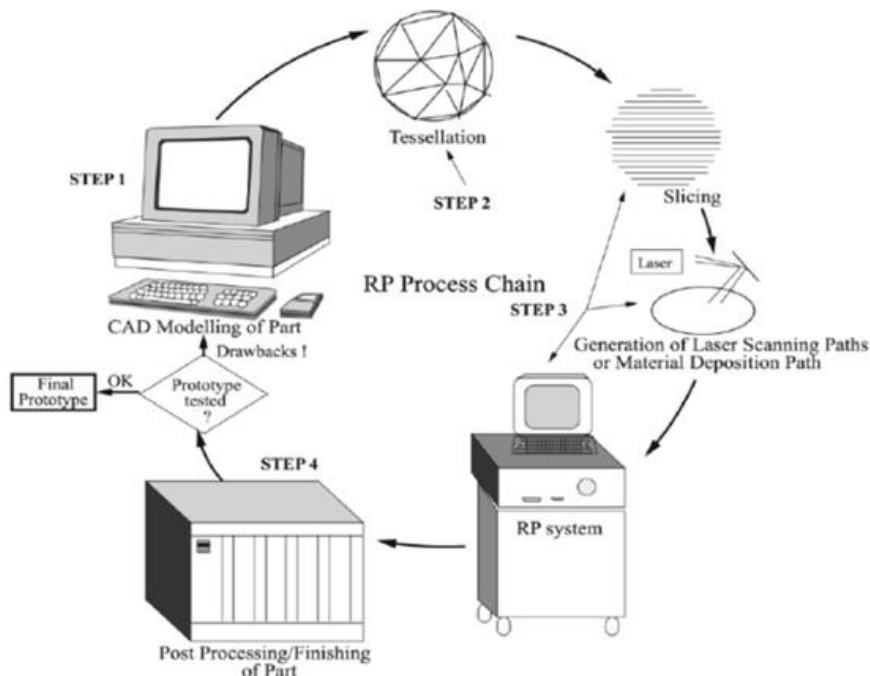


Τεχνολογία εκτύπωσης FDM

Εικόνα 1.3

Από το 1990 μέχρι το 2000 έκαναν την εμφάνιση τους αρκετές τεχνικές για τρισδιάστατη εκτύπωση, όπως: ballistic particle manufacturing, laminated object manufacturing και three dimensional printing. Καθώς εμφανίζονταν συνεχώς καινούργιες τεχνικές, άρχισε να εμφανίζεται και μια ορολογία και μια βιομηχανία βασισμένη σε αυτό. Η βιομηχανία είχε χωριστεί σε δυο μέρη, δίνοντας έμφαση σε διαφορετικό σκοπό. Από την μια είχαμε τις επιχειρήσεις με τα μηχανήματα υψηλής ευκρίνειας με περίπλοκες κατασκευές όπου προορίζονταν για ποιοτικά εξαρτήματα έτοιμα για χρήση. Από την άλλη, επιχειρήσεις με μηχανήματα στοχευόμενα στην ταχεία προτυποποίηση (rapid prototyping – RP) ώστε να εντοπιστούν σχεδιαστικά ή κατασκευαστικά λάθη. Όλα αυτά στόχευαν σε ένα αγοραστικό κοινό που αποτελούνταν από βιομηχανίες. Δεν υπήρχε πρόσβαση από το ευρύ κοινό στους τρισδιάστατους εκτυπωτές, αφού είχαν «πατενταρίσει» τις κατασκευές τους οι εκάστοτε εταιρίες. [1][2][3]

Οι πρώτοι εμπορικοί τρισδιάστατοι εκτυπωτές έγιναν διαθέσιμοι το 2009 με όλες τις απαραίτητες πληροφορίες (και από πλευράς software και hardware) να είναι εύκολα προσβάσιμες στο διαδίκτυο. Με πρωτόπους το project RepRap του πανεπιστημίου Bath στην Αγγλία, με το RepRap Mendel που λόγω της ιδιότητας του να μπορεί να εκτυπώσει τα περισσότερα από τα κομμάτια του έγινε αμέσως περιζήτητο στις μηχανικές και σχεδιαστικές κοινότητες. Αυτό είχε σαν αποτέλεσμα την ραγδαία βελτίωση των εκτυπωτών και την μείωση του κόστους κατασκευής τους. Η διαδικασία αυτή συνεχίζεται μέχρι σήμερα από ακαδημαϊκούς, επαγγελματίες και ερασιτέχνες να προσπαθούν να βελτιώσουν τα μέχρι τώρα μηχανήματα.[4]



Πως λειτουργεί το rapid prototyping

Εικόνα 1.4.

1.2 Λειτουργία 3D εκτυπωτών.

Αυτό που συμβαίνει κατά την διαδικασία της 3D εκτύπωσης είναι η δημιουργία ενός πραγματικού, τρισδιάστατου αντικειμένου, διαμέσου ορισμένων μεθόδων. Για να πραγματοποιηθεί η 3D εκτύπωση χρειαζόμαστε ένα ψηφιακό μοντέλο, το οποίο θα χρησιμοποιηθεί από έναν 3D εκτυπωτή. Με βάση αυτό το ψηφιακό μοντέλο ο 3D εκτυπωτής θα εναποθέσει αλληπάλληλα σε στρώσεις το υλικό κατασκευής (οι στρώσεις αυτές είναι πολύ λεπτές) με σκοπό την δημιουργία του τελικού αντικειμένου.

Ας αναλύσουμε λίγο περισσότερο την διαδικασία. Τα πάντα ξεκινούν από το 3d μοντέλο, το οποίο και περιγράφει τις ιδιότητες του πραγματικού αντικειμένου. Μιας και το μοντέλο αυτό είναι ένα ψηφιακό αρχείο έχει κάποιο format τύπου STL ή OBJ. Το STL (στερεολιθογραφία) είναι μια μορφή αρχείου (.stl) όπου περιγράφουν μόνο τη γεωμετρία της επιφάνειας ενός τρισδιάστατου αντικειμένου χωρίς οποιαδήποτε αναπαράσταση του χρώματος της υφής ή άλλων κοινών χαρακτηριστικών μοντέλων CAD (αρχεία που παράγονται από υπολογιστή), (Dibya Chakravorty STL FileFormat (3D Printing) – Simply Explained, 2018), αντιθέτως το OBJ είναι και αυτό μια μορφή αρχείου (.OBJ) πιο απλής μορφή σε σχέση με την προηγούμενη και αντιπροσωπεύει την γεωμετρία 3D δηλαδή την θέση κάθε κορυφής, την θέση UV κάθε κορυφής συντεταγμένων υφής και πολλά άλλα. Θα πρέπει να επισημάνουμε ότι οι κορυφές αποθηκεύονται κατά σειρά αντίθετης προς την φορά των δεικτών τουρολογιού με αποτέλεσμα να μην χρειάζεται να γίνει ρητή δήλωση των κανονικών όψεων.

Η δημιουργία του μοντέλου επιτυγχάνεται με την χρήση κάποιας CAD (computer aided design) εφαρμογής, παραδείγματος χάρη το Unity 3D όπου δίνει την δυνατότητα στον χρήστη για την δημιουργία παιχνιδιών τόσο σε 2D όσο και σε 3D. Επιπλέον μπορεί να γίνει δημιουργία 3D μοντέλου με την χρήση κάποιου 3D σαρωτή, όπου σε αυτή την περίπτωση επιτελείται σάρωση ενός υπαρκτού αντικείμενου και το αρχείο που δημιουργείτε είναι πάλι ψηφιακό της μορφής STL ή OBJ. Επιπροσθέτως μπορούμε να πετύχουμε δημιουργία 3D μοντέλου με την χρήση κάποιας ψηφιακής φωτογραφικής μηχανής ή γενικότερα με τη βοήθεια κατάλληλου λογισμικού.

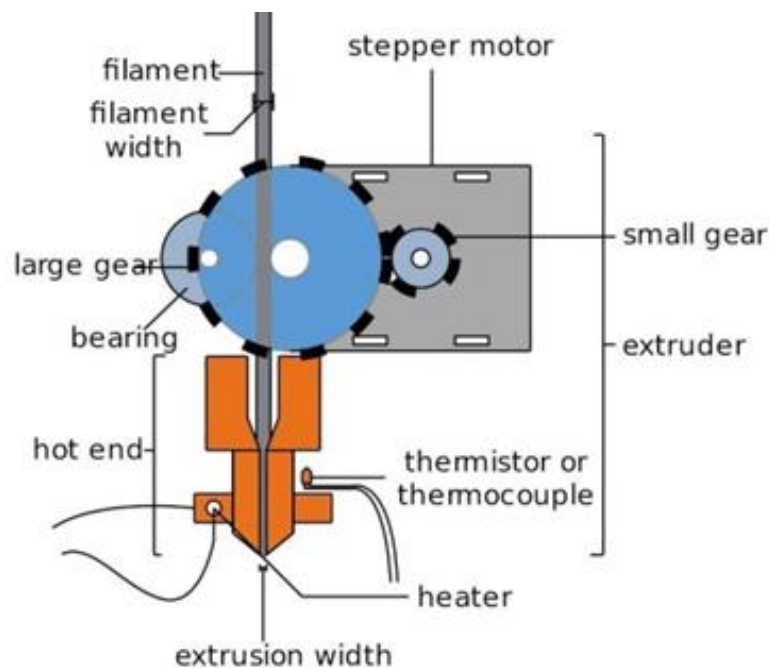
Αφού λοιπόν έχει δημιουργηθεί το απαραίτητο μοντέλο προχωράμε σε μια διαδικασία κατά την οποία γίνεται έλεγχος σφαλμάτων. Με το πέρας της διαδικασίας αυτής το αρχικό μοντέλο αναλύεται σε λεπτές στρώσεις και γίνεται παραγωγή μεταδεδομένων για τις στρώσεις αυτές. Τα δεδομένα αυτά εμπεριέχουν όλες τις απαραίτητες πληροφορίες, ώστε ο 3D εκτυπωτής να ξεκινήσει την

διαδικασία της κατασκευής του αντικειμένου, όπου γίνεται αλληπάλληλη εναπόθεση των στρώσεων με την μια στρώση να εφάπτεται στην αμέσως προηγούμενη στρώση. Όπως αναφέραμε και προηγουμένως οι στρώσεις αυτές είναι εξαιρετικά λεπτές(περίπου 0.1 χιλ).

Λίγο πριν το τέλος της διαδικασίας και αφού έχει κατασκευαστεί το αντικείμενο περνάει την διαδικασία του ελέγχου ποιότητας με σκοπό να εξαλειφθούν οι ατέλειες, οι οποίες ατέλειες μάλιστα συνήθως είναι αποτέλεσμα του πάχους των στρώσεων, όποτε γίνεται αντιληπτό πως όσο πιο λεπτές είναι οι στρώσεις, τόσο λιγότερες ατέλειες θα παρουσιαστούν στο τελικό αντικείμενο.[5]

1.3 Αρχή λειτουργίας.

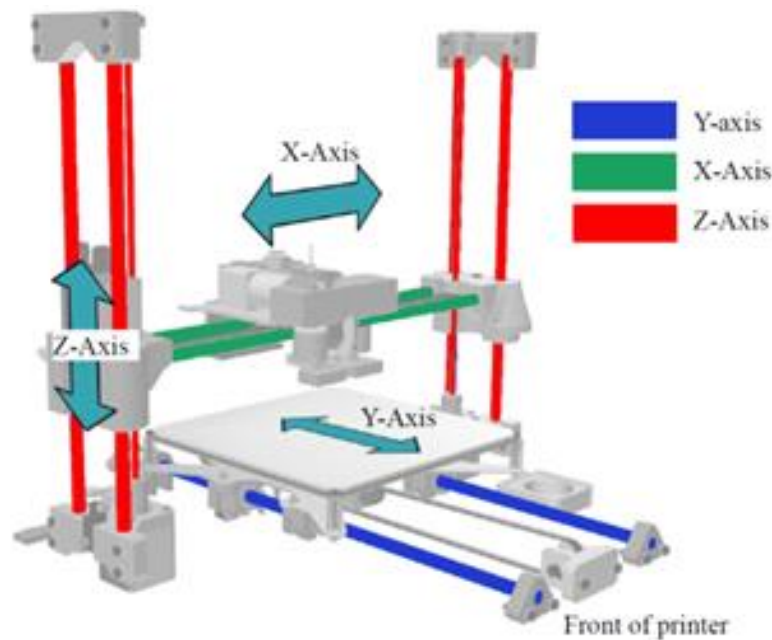
Για τη διοχέτευση του υλικού υπάρχει σύστημα συνδεδεμένο με την κεφαλή που οδηγείται από έναν κινητήρα τραβώντας το υλικό στην θερμαινόμενη περιοχή. Επίσης υπάρχει αισθητήρας θερμοκρασίας NTC 3950 thermistor 100K.



Λειτουργία εξώθητη.

Εικόνα 1.5.

Η θέση της κεφαλής ελέγχεται από 4 επιπλέον κινητήρες, δύο για τον κάθετο άξονα z'z και ένας για τον κάθε οριζόντιο. Στα άκρα κάθε άξονα τοποθετούνται τερματικοί αισθητήρες ορίζοντας την αρχή των αξόνων (0,0,0) Home set.



Αξονες X, Y και Z.

Εικόνα 1.6.

Η βάση της επιφάνειας εκτύπωσης (Heatbed) αποτελείται από μια διάταξη αντιστάσεων που θερμαίνονται για να διατηρείται το πλαστικό σε σταθερή θερμοκρασία χωρίς απότομες μεταβολές ώστε να συστέλλεται το υλικό ομοιόμορφα. Πάνω από τη βάση είναι τοποθετημένη μία γυάλινη επιφάνεια για την προστασία του Heatbed και την καλή επαφή του πλαστικού. Τα Heatbed έχουν διάφορες βελτιώσεις κατά την ανάπτυξη τους, εμείς επιλέξαμε το MK2b με διαστάσεις της πλακέτας (PCB) 214mm x 214mm και της επιφάνειας θέρμανσης 200mm x 200mm, στο κάτω μέρος τοποθετήσαμε ένα τετράγωνο κομμάτι από φελλό ως θερμικό μονωτή. Έχει επιλογή για 12V και 24V ανάλογος την συνδέσει στην τροφοδοσία και στο κέντρο του τοποθετείται ένας αισθητήρας θερμοκρασίας NTC 3950 thermistor 100K ώστε να μπορεί να ελέγχετε η θερμοκρασία από τον μικρο-ελεγκτής (M/E) Arduino.

Οι κινητήρες που αναλαμβάνουν την κίνηση των αξόνων συνδέονται με ένα γρανάζι που με την σειρά του συνδέεται με τον μάντα κίνησης για τους άξονες X και Y. Για τον άξονα Z έχουμε σπυρωτές ράβδους που συνδέονται απευθείας με τον κινητήρα με συνδέσμους (κόμπλερ). Με τα παξιμάδια που τοποθετούμε στις ράβδους, καθώς περιστρέφεται η σπείρα αριστερά ή δεξιά ο άξονας ανεβαίνει ή κατεβαίνει αντίστοιχος. Έτσι μετατρέπεται η περιστροφική κίνηση του κινητήρα σε γραμμική.

Όλα τα ηλεκτρικά εξαρτήματα που προαναφέραμε συνδέονται στον μικρο-ελεγκτή arduino mega2560 που ελέγχει την περιστροφή των κινητήρων, ελέγχει τη θερμοκρασία στην κεφαλή και στη βάση και παίρνει σήμα από τους αισθητήρες ώστε να μην ξεπεράσει τις προκαθορισμένες θερμοκρασίες για να κρατά την κεφαλή στα πλαίσια εκτύπωσης .[6]

Βιβλιογραφία.

Βιβλία:

1. Mechanical properties of components fabricated with open-source 3-D printers under realistic environmental conditions – B. M. Tymrak, M. Kreiger, and J. M Pearce.
2. ΟΞΟΒΙΟΔΙΑΣΠΩΜΕΝΑ ΠΛΑΣΤΙΚΑ ΣΥΜΒΟΛΗ ΣΤΗΝ ΒΙΩΣΙΜΗ ΑΝΑΠΤΥΞΗ -Νίκος Κατσαρός.
3. Power supply,Arduino mega 2560 and stepper motors connectors by Maram Sulimani.
4. RAMPS 1.4 manual by RepRap.
5. A4988 carrier manual by Allegro microsystems,LLC Micro-stepping.
6. Arduino internals – Dale Wheats (2015).
7. History of additive manufacturing by Terry Wohlers and Tim Gornet.
8. Stereolithography (2011) by Paulo Jorge Bartolo.

Περιοδικά:

9. PCIM magazine February 2005 Boosting power supply efficiency for desktop computers.

Διαδύκτιο:

1. <http://thefutureofthings.com/4664-the-future-of-3d-printing/>
2. <https://3dprintingindustry.com/3d-printing-basics-free-beginners-guide>
3. <https://www.allthat3d.com/3d-printing-history/>
4. <http://reprap.org/wiki/About>
5. <https://www.nbcnews.com/mach/science/soon-you-may-be-able-3d-print-clothing-your-own-ncna848646>
6. <http://reprap.org/wiki/Category:Extruders>

Κεφάλαιο 2. ΣΧΕΔΙΑΣΜΟΣ 3D ΕΚΤΥΠΩΤΗ.

2.1 Σχέδια σε ηλεκτρονική μορφή.

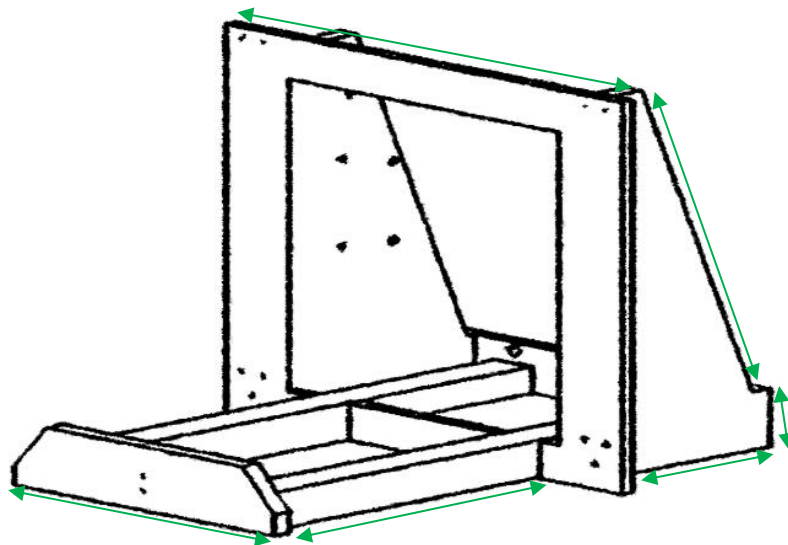
2.1.1 Ασπρόμαυρα σχέδια εξαρτημάτων προς δημιουργία.

2.1.1.1 Σκελετός.

Το καλούπι του σκελετού είναι βασικό στοιχείο της κατασκευής, διότι σε εκείνο θα στηριχτούν όλα τα είδη ηλεκτρονικών και μηχανικών εξαρτημάτων, οπότε πρέπει να δομηθεί έτσι ώστε όλα τα παρελκόμενα να βρίσκονται στην κατάλληλη θέση για την σωστή λειτουργία του εκτυπωτή.

- Το σχέδιο διαμορφώθηκε έτσι ώστε να παρέχει όλες τις ευελιξίες που χρειάζονται για ένα πρακτικό και άριστο αποτέλεσμα

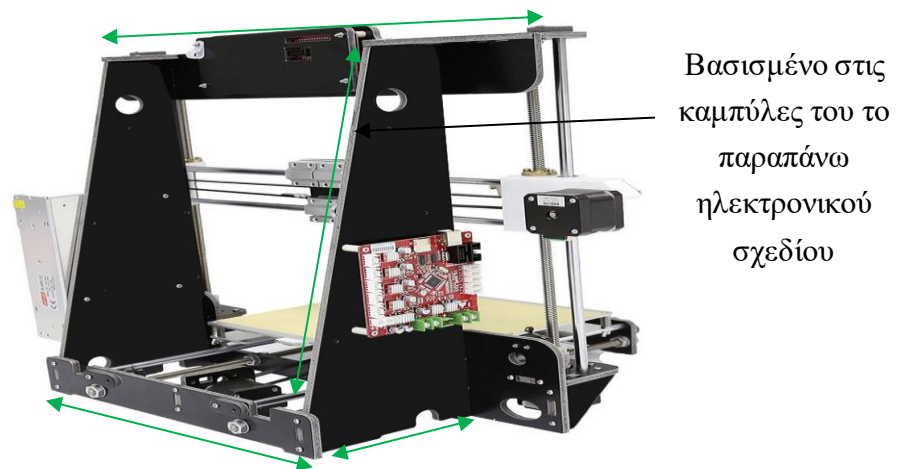
Στην συγκεκριμένη απεικόνιση η βάση παρουσιάζεται σε μια τρισδιάστατη sketch μορφή:



Σκελετός 3D εκτυπωτή.

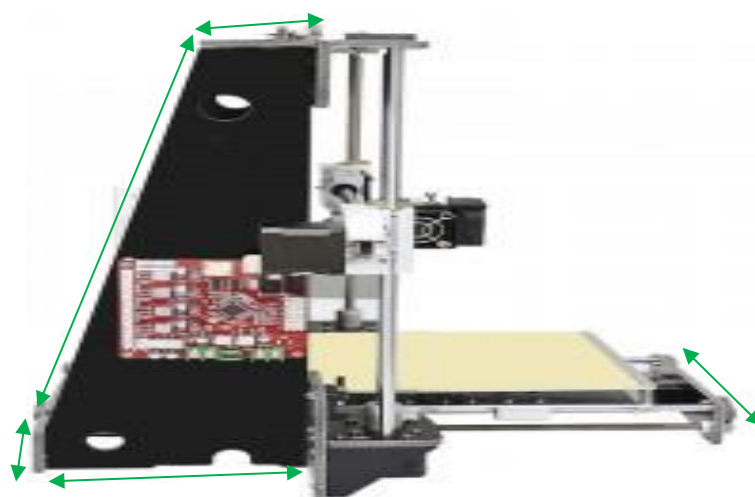
Ο τύπος εκτύπωσης που ακολουθήσαμε ονομάζεται FDM/FFF (Fused Deposition Modeling / Fused filament fabrication) κατά τον οποίο θερμαίνονται και ρευστοποιούνται διάφορα είδη πλαστικού (ABS, PLA, HIPS, PVA, Wood, nylon, PETG) ενώ κεφαλή κινείται και το αφήνει στο πέρασμά της. Εμείς δουλέψαμε σχεδόν αποκλειστικά με το PLA (πολυγαλακτικό οξύ: $(C_3H_4O_2)_n$) καθώς χρειάζεται χαμηλότερες θερμοκρασίες για την επεξεργασία του. Ως πρότυπο για την κατασκευή του εκτυπωτή χρησιμοποιήσαμε το μοντέλο Prusa i3 του project RepRap.

Το σχήμα που επιλέχτηκε έχει ως κύριο πρότυπο το μοντέλο Prusa i3 MK :



Πίσω όψη Prusa

Το ηλεκτρονικό σχέδιο στην πρώτη απεικόνιση έχει ίδια χαρακτηριστικά στοιχεία καμπύλων με το Prusa i3.

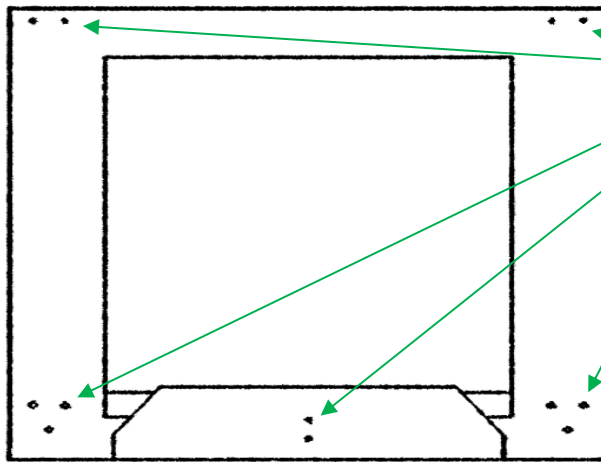


Πλάγια όψη.



Πρόοψη προτύπου χωρίς τα μηχανικά μέρη.

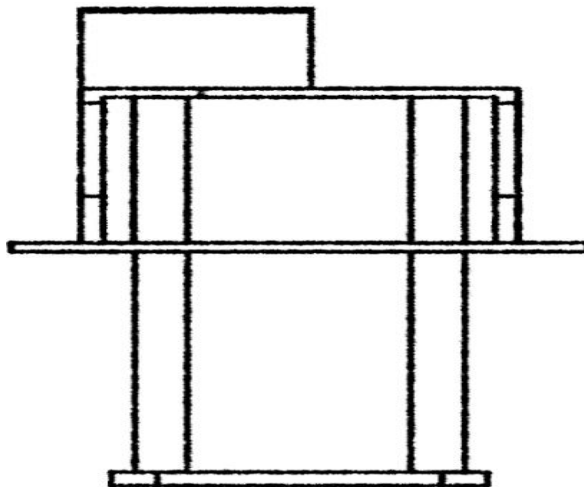
Απεικόνιση πρόοψης:



Οι οπές
σχεδιάστηκαν για
την στήριξη των
βάσεων ανά άξονα

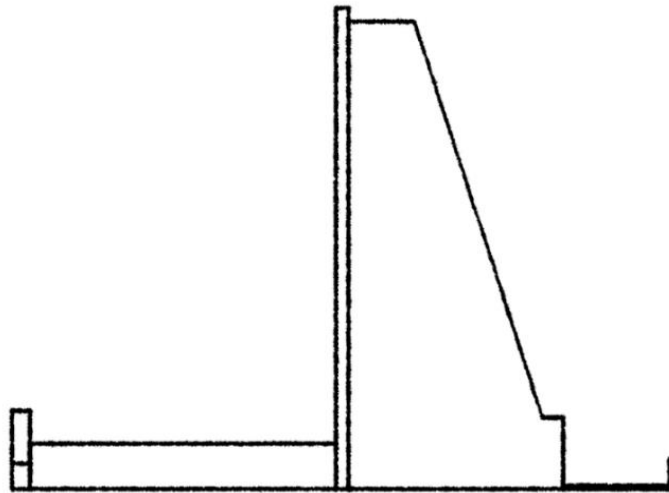
Πρόοψη σκελετού.

Απεικόνιση κάτοψης:



Κάτοψη σκελετού.

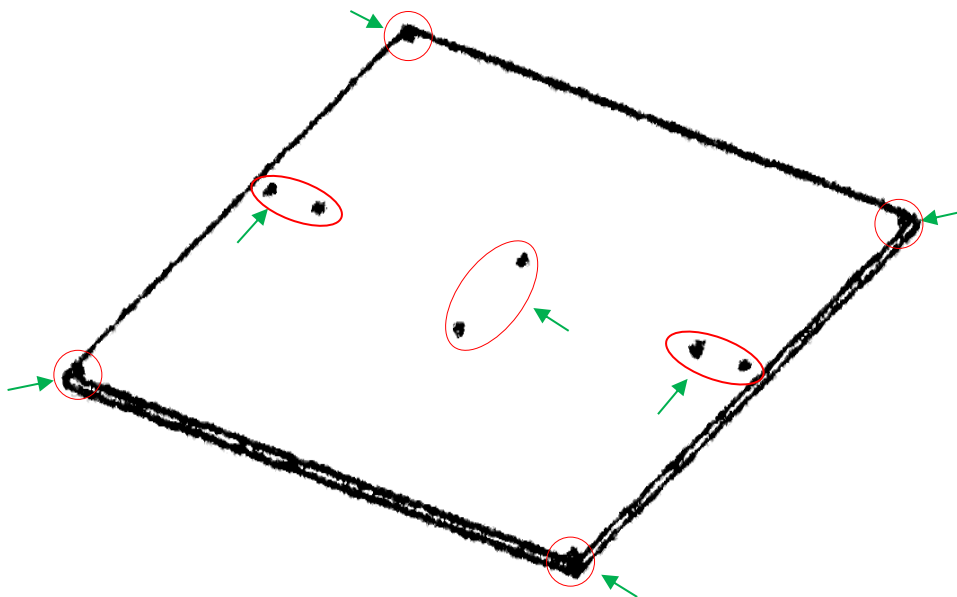
Απεικόνιση πλάγια όψης:



Πλάγια όψη σκελετού.

2.1.1.2 Υποστήριγμα θερμαινόμενης επιφάνειας.

Απεικόνιση υποστηρίγματος θερμαινόμενης επιφάνειας με τις οπές για τις βάσεις:

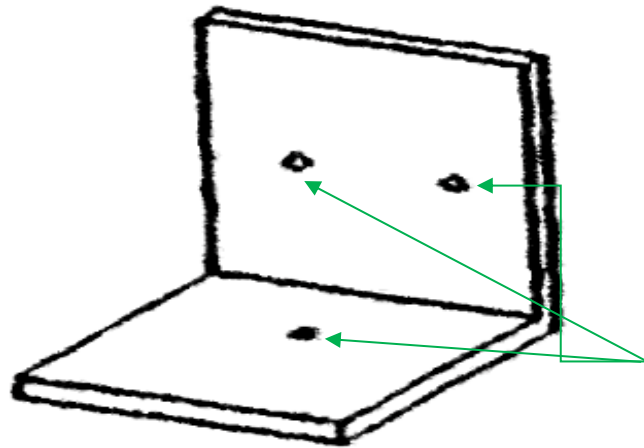


Υποστήριγμα θερμαινόμενης επιφάνειας.

Το υποστήριγμα σχεδιάστηκε έτσι ώστε να στηριχθούν όλα τα εξαρτήματα που χρειάζονται στις οπές για να λειτουργήσει ο άξονας Y σύμφωνα με τις περιστάσεις..

2.1.1.3 Στήριγμα extruder με άξονα X

Απεικόνιση στηρίγματος extruder με τον άξονα X και με τις οπές όπου είναι απαραίτητες για την υλοποίηση της στήριξης:

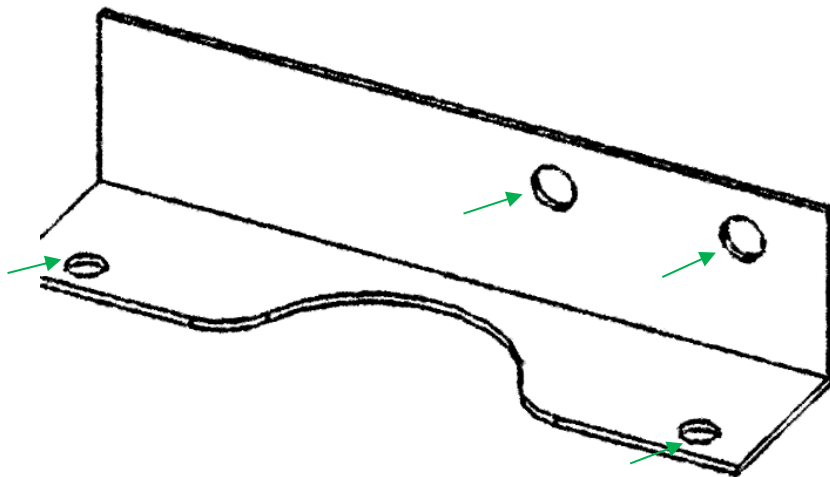


Οι οπές σχεδιάστηκαν για την στήριξη του στηρίγματος και του extruder στον άξονα Y.

Βάση extruder με άξονα X.

2.1.1.4 Βάση ανεμιστήρα μητρικής.

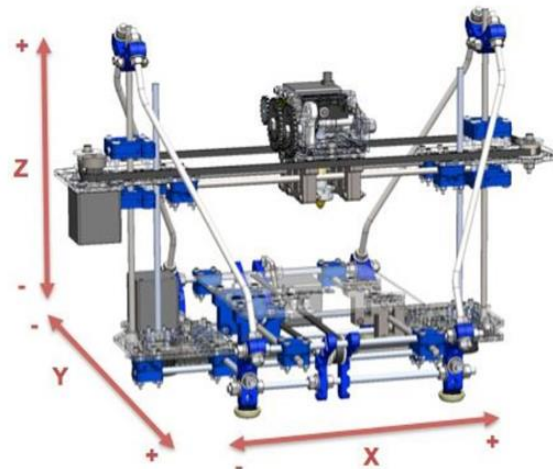
Απεικόνιση στηρίγματος ανεμιστήρα μητρικής:



Βάση ανεμιστήρα μητρικής Arduino.

Το συγκεκριμένο στηρίγμα θα στηρίζει τον ανεμιστήρα που θα βρίσκεται πάνω από την μητρική ώστε να συγκρατεί τα ηλεκτρονικά μέρη σε σταθερή θερμοκρασία.

2.1.2 Ασπρόμαυρα σχέδια τελικής μορφής 3D εκτυπωτή.

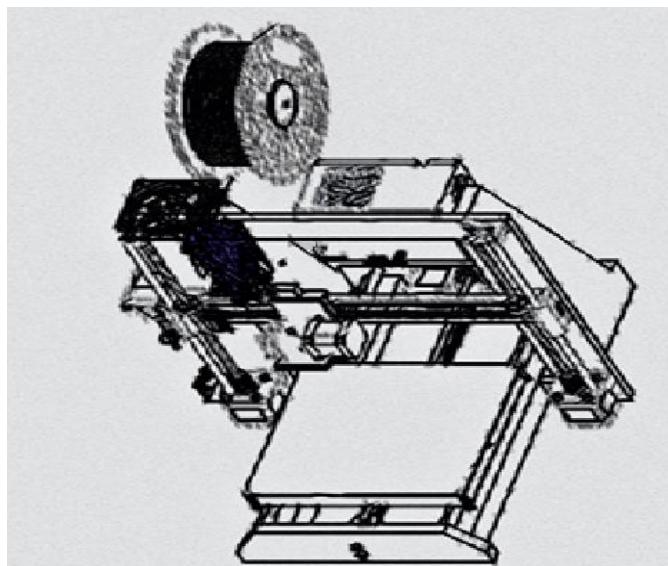


Οι τρεις διαστάσεις του εκτυπωτή.

Σε αυτήν την επικεφαλίδα θα πραγματοποιηθεί η απεικόνιση σε διάφορες όψεις της τελικής μορφής του 3D εκτυπωτή σε μορφή σχεδίου (sketch) . Το σχέδιο θα παρουσιαστεί στην τελική μορφή του, μετά από έρευνα που πραγματοποιήθηκε για παρελκόμενα εξαρτήματα τα οποία χρειάζονται ώστε να επιτευχθεί λειτουργικά ορθά η κατασκευή. Ο τρόπος δόμησης και σχεδίασης διενεργήθηκε βάση των αναγκών που υπάρχουν για την σωστή λειτουργία του.

- Τα σχέδια που θα πραγματοποιηθούν θα σχεδιαστούν σε ηλεκτρονική μορφή (sketch).

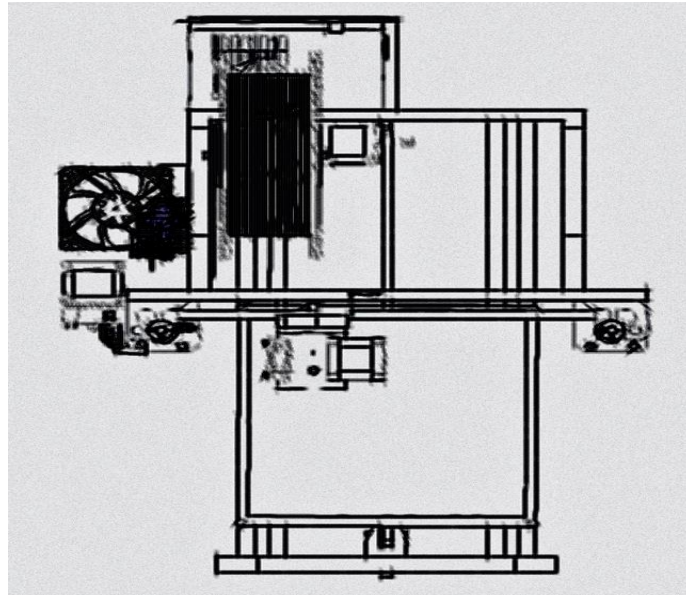
Στην πρώτη όψη θα απεικονιστεί ο 3D εκτυπωτής σε μία ισομετρική εκδοχή:



3D Εκτυπωτή 1^η όψη.

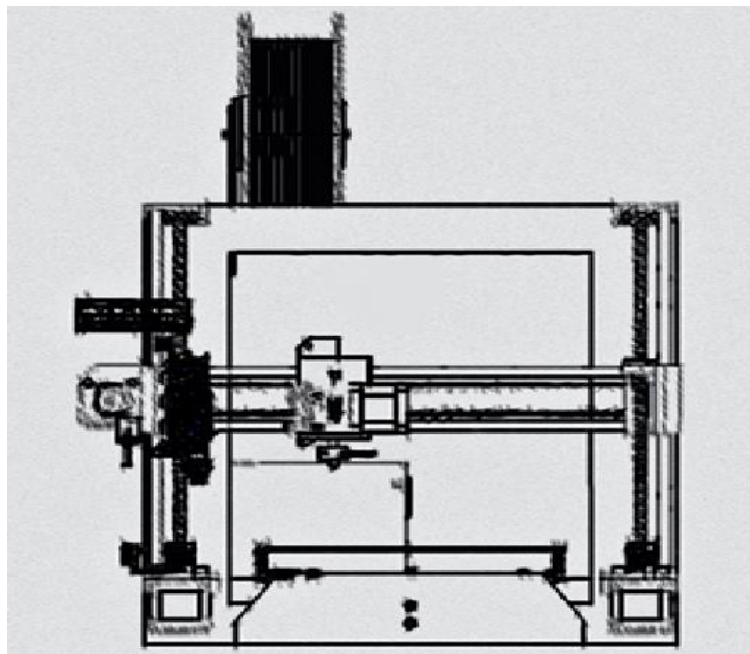
Στην πρώτη απεικόνιση παρουσιάζετε η κατασκευή σε μία τρισδιάστατη μορφή, όπου υποδεικνύει την διαμόρφωση του, μαζί με τα μηχανικά και ηλεκτρονικά μέρη που το αποτελούνε.

Στην δεύτερη όψη θα απεικονιστεί πανοραμικά ο 3D εκτυπωτής σε μία δισδιάστατη μορφή:



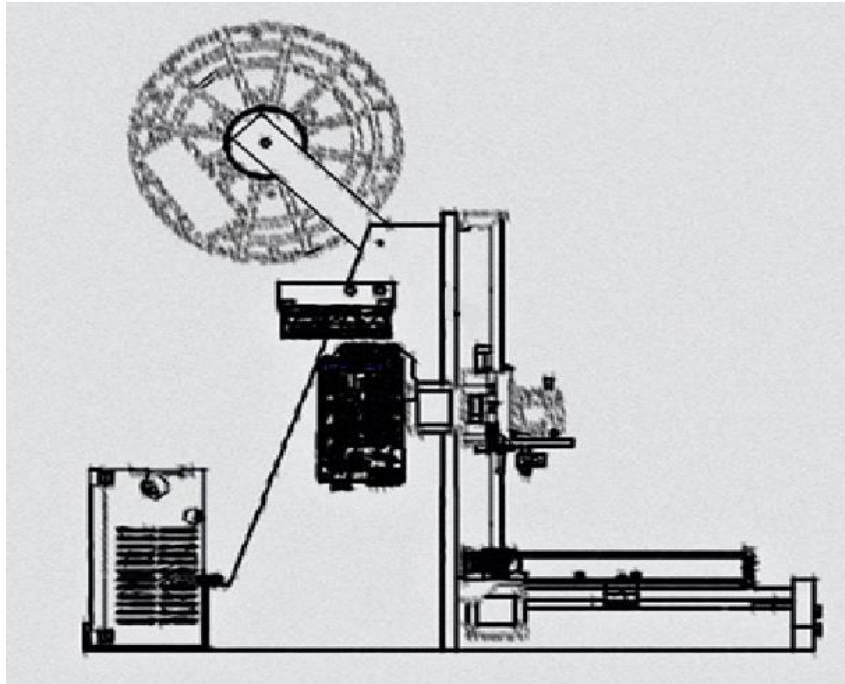
3D Εκτυπωτή 2^η όψη (κάτοψη).

Στην τρίτη όψη θα απεικονιστεί ο 3D εκτυπωτής σε μία δισδιάστατη μορφή πρόοψης:



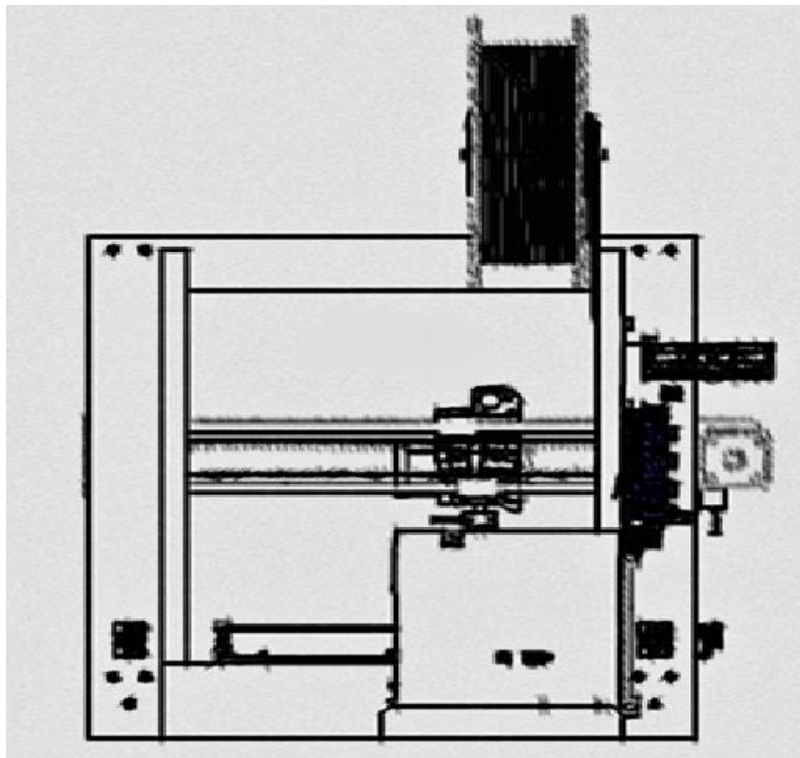
3D Εκτυπωτή 3^η όψη (πρόοψη).

Στην τέταρτη όψη θα απεικονιστεί ο 3D εκτυπωτής σε μία δισδιάστατη πλάγια όψη:



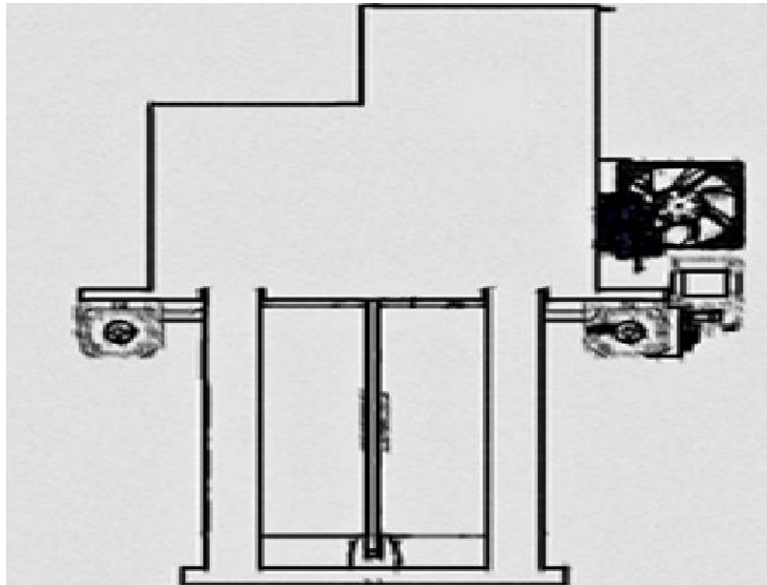
3D Εκτυπωτή 4^η όψη(αριστερή πλάγια).

Στην πέμπτη όψη θα απεικονιστεί ο 3D εκτυπωτής σε μία δισδιάστατη πίσω όψη:



3D Εκτυπωτή 5^η όψη (πίσω όψη).

Στην πέμπτη όψη θα απεικονιστεί ο 3D εκτυπωτής σε μία δισδιάστατη άνοψη:

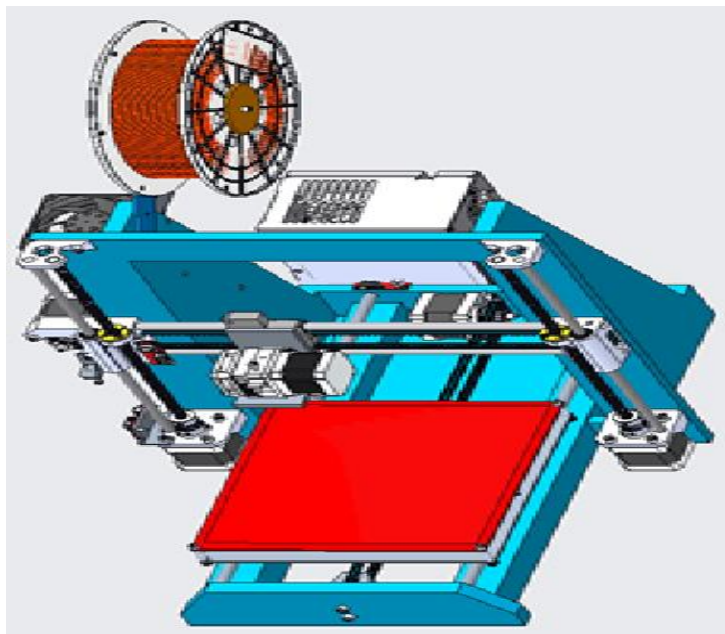


3D Εκτυπωτή 6^η όψη (άνοψη).

2.1.3 Έγχρωμα σχέδια 3D εκτυπωτή.

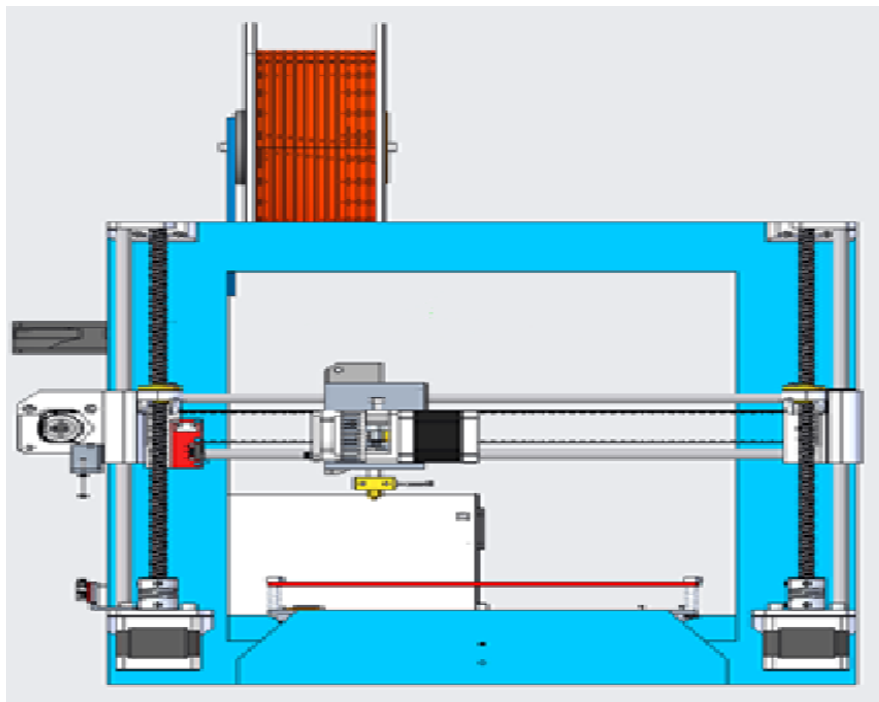
Στην παρών επικεφαλίδα θα απεικονιστεί το ολικό σχέδιο του 3D εκτυπωτή σε έγχρωμο σκίτσο, σε διάφορες όψεις, όπου θα παρουσιάζονται αναλυτικά όλα τα εξαρτήματα σε μία έγχρωμη εκδοχή.

Στην πρώτη όψη θα απεικονιστεί το σκίτσο σε μία ισομετρική προβολή:



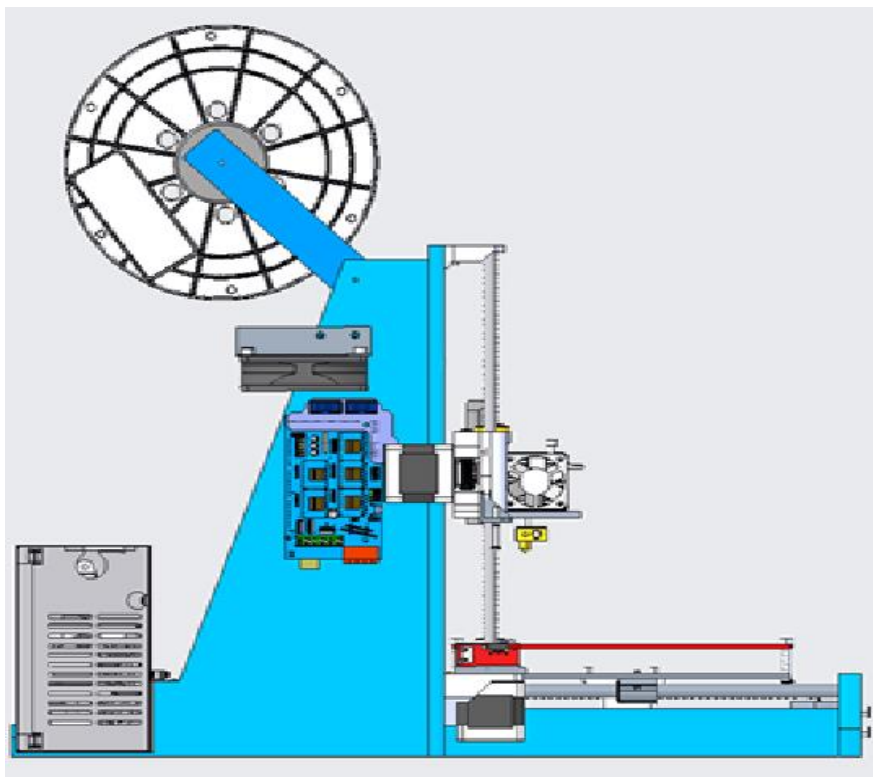
3D Εκτυπωτή 1^η όψη(ισομετρική).

Στην δεύτερη όψη θα απεικονιστεί το έγχρωμο σκίτσο σε μία πρόοψη:



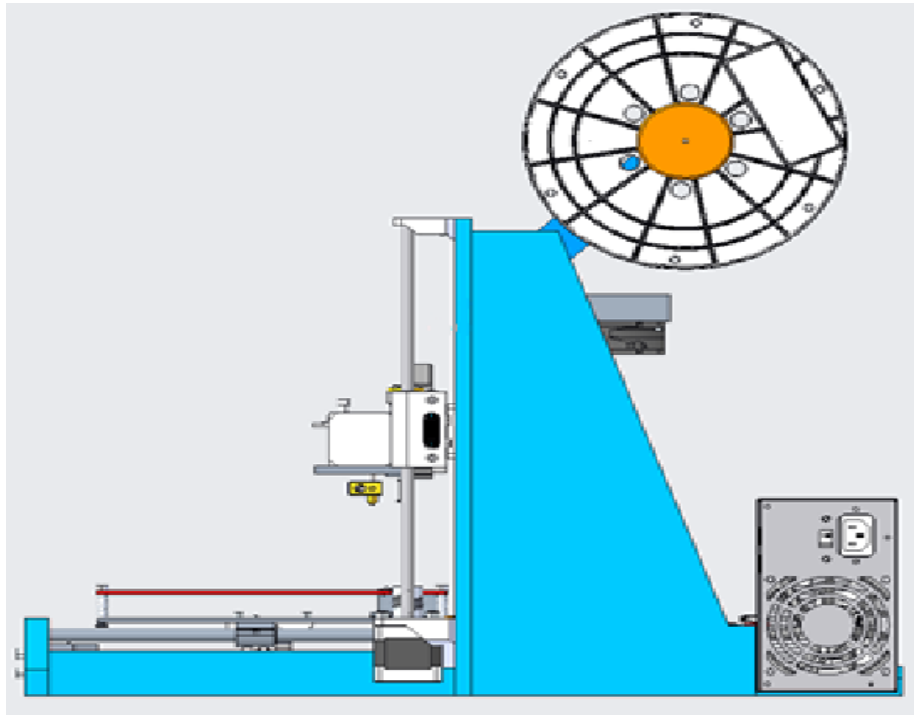
3D Εκτοπωτή 2^η όψη(πρόοψη).

Στην τρίτη όψη θα απεικονιστεί το έγχρωμο σκίτσο σε μία πλάγια αριστερή όψη:



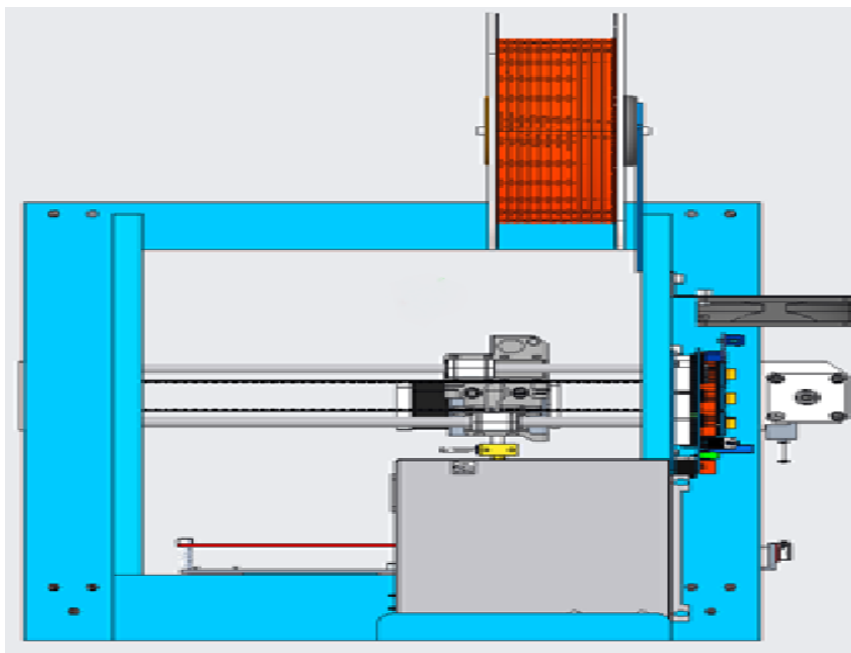
3D Εκτοπωτή 3^η όψη(αριστερή πλάγια).

Στην τέταρτη όψη θα απεικονιστεί το έγχρωμο σκίτσο σε μία πλάγια δεξιά όψη:



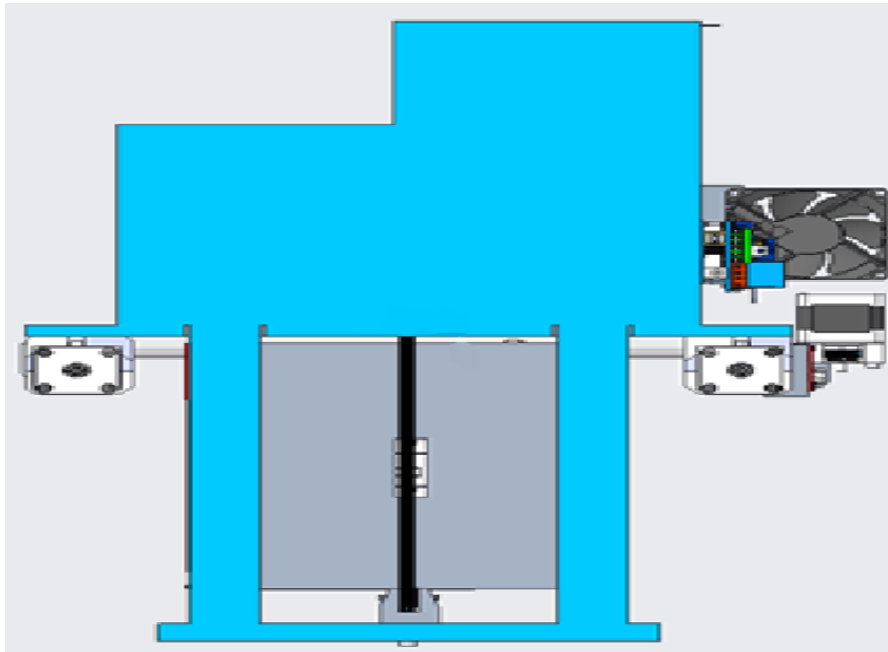
3D Εκτοπωτή 4^η όψη(δεξιά πλάγια).

Στην πέμπτη όψη θα απεικονιστεί το έγχρωμο σκίτσο σε μία πίσω όψη:



3D Εκτοπωτή 5^η όψη(πίσω όψη).

Στην έκτη όψη θα απεικονιστεί το έγχρωμο σκίτσο σε μία άνοψη:

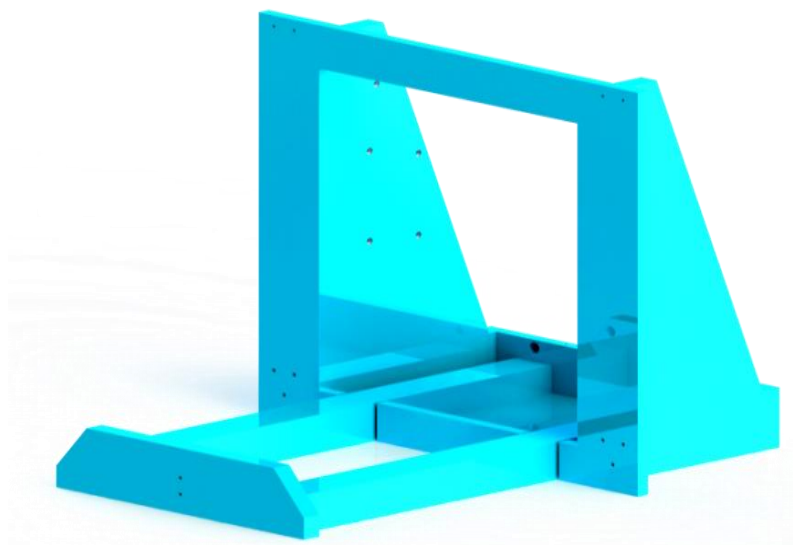


3D Εκτυπωτή 6^η όψη(άνοψη).

2.2 Σχεδιασμός 3D εκτυπωτή σε ηλεκτρονική μορφή (CAD) και η δημιουργία εικόνας σε φωτορεαλιστικό περιβάλλον.

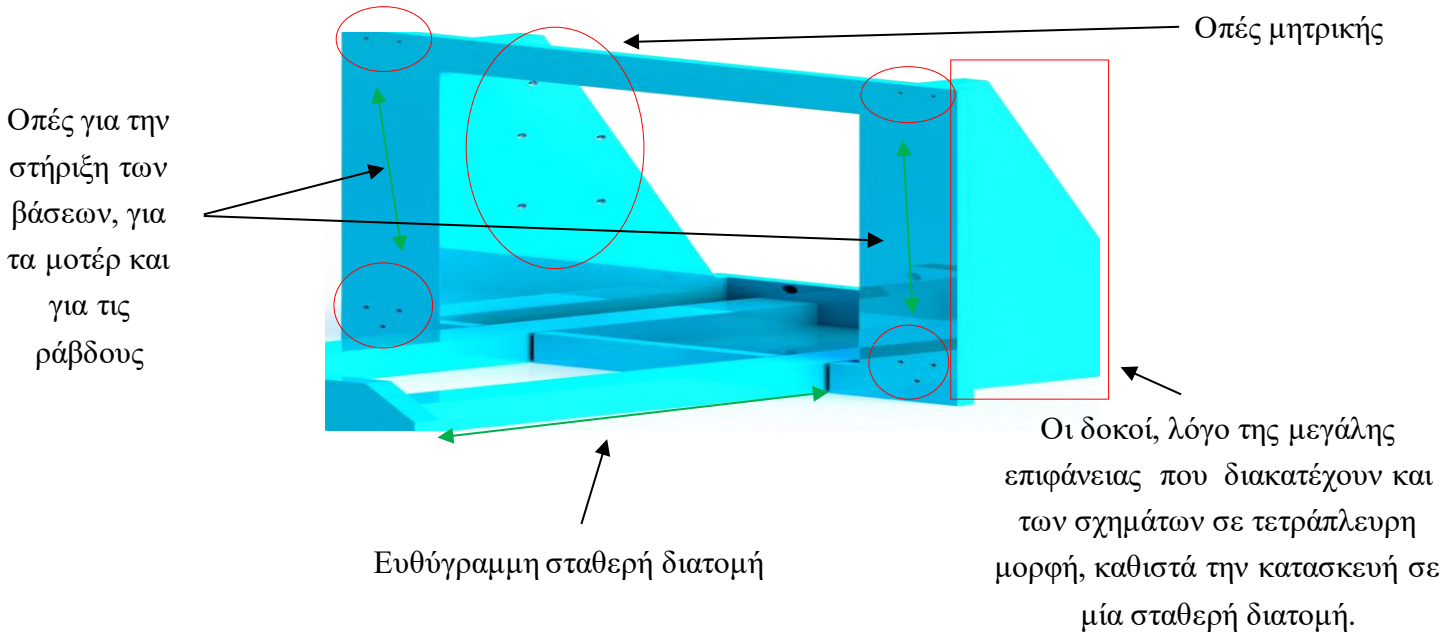
- Όλα τα σχέδια CAD δημιουργήθηκαν με το πρόγραμμα PTC CREO PARAMETRIC 6.0. Οι φωτορεαλιστικές απεικονίσεις και τα σχέδια μαζί με τις στατικές αναλύσεις πραγματοποιήθηκαν με το SOLIDWORKS 2020.

2.2.1 Σκελετός.

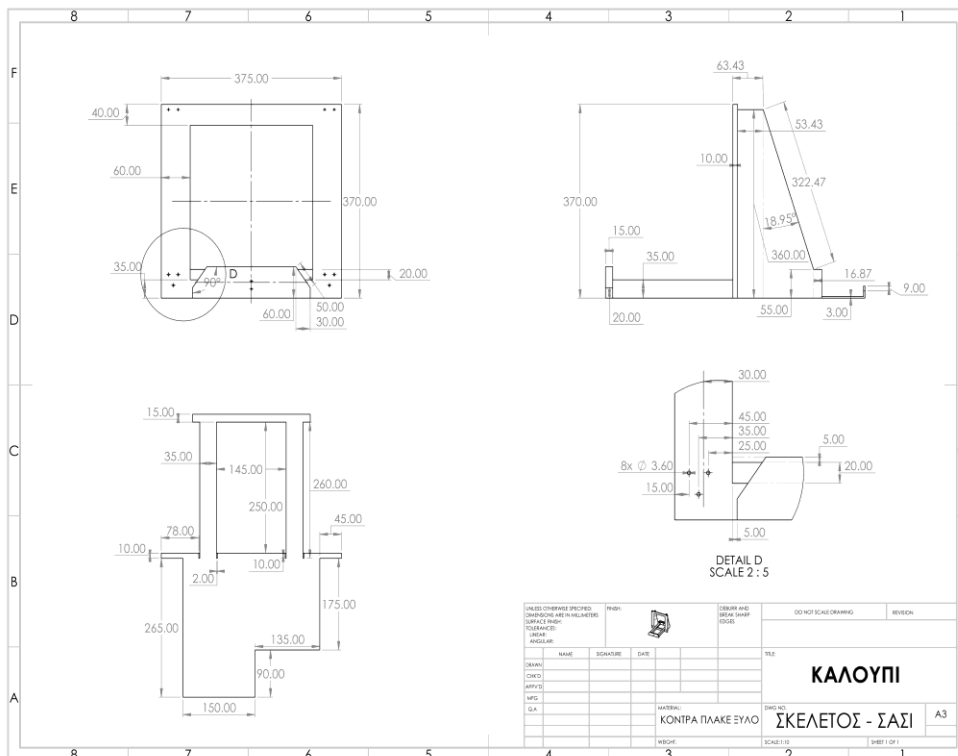


Σκελετός.

- Ο σκελετός είναι διαμορφωμένη έτσι ώστε να μας παρέχει λιγότερους “κραδασμούς” κατά την χρήση του, λόγω της ορθογωνικής διατομής του.
- Στις οπές θα στηριχτούν τα μηχανικά μέρη.

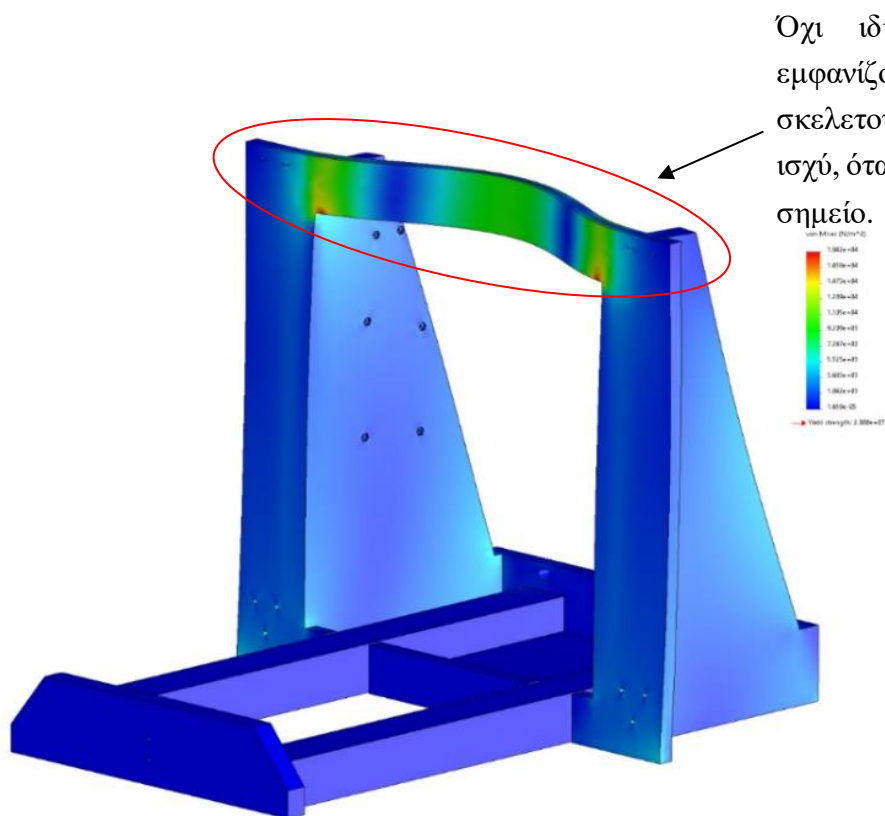


2.2.1.1 Μηχανολογικό Σχέδιο σκελετού.



Διαστάσεις σκελετού.

2.2.1.1.1 Στατική ανάλυση σκελετού.

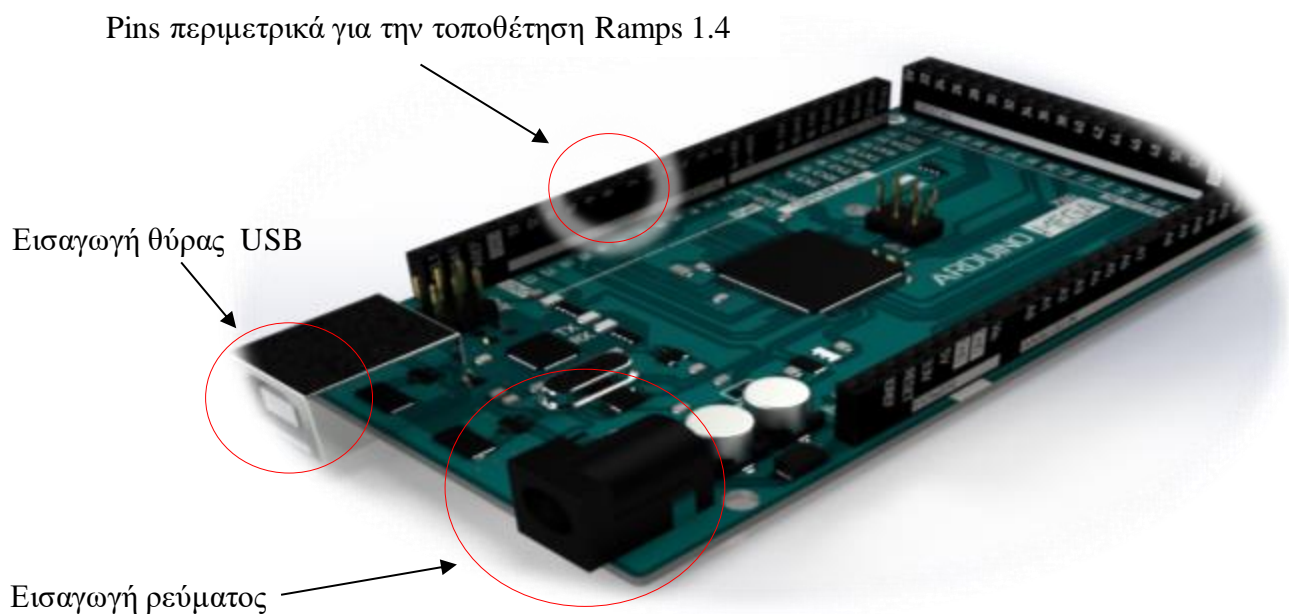


Κατά την χρήση του δεν θα αντιμετωπίσει κανένα απολύτως πρόβλημα.

2.2.2 Μηχανικά μέρη.

2.2.2.1 Arduino Mega.

Το Arduino είναι ένας μικροελεγκτής μονής πλακέτας, δηλαδή μια απλή μητρική πλακέτα ανοικτού κώδικα με ενσωματωμένο μικροελεγκτή και εισόδους/εξόδους, η οποία μπορεί να προγραμματιστεί με τη γλώσσα Wiring (ουσιαστικά πρόκειται για τη γλώσσα προγραμματισμού C++ με απλοποιήσεις και ένα σύνολο από βιβλιοθήκες, υλοποιημένες επίσης στην C++). Οι περισσότερες εκδόσεις του Arduino μπορούν να αγοραστούν προ-συναρμολογημένες. Το διάγραμμα και πληροφορίες για το υλικό είναι ελεύθερα διαθέσιμα για αυτούς που θέλουν να συναρμολογήσουν το Arduino μόνοι τους.

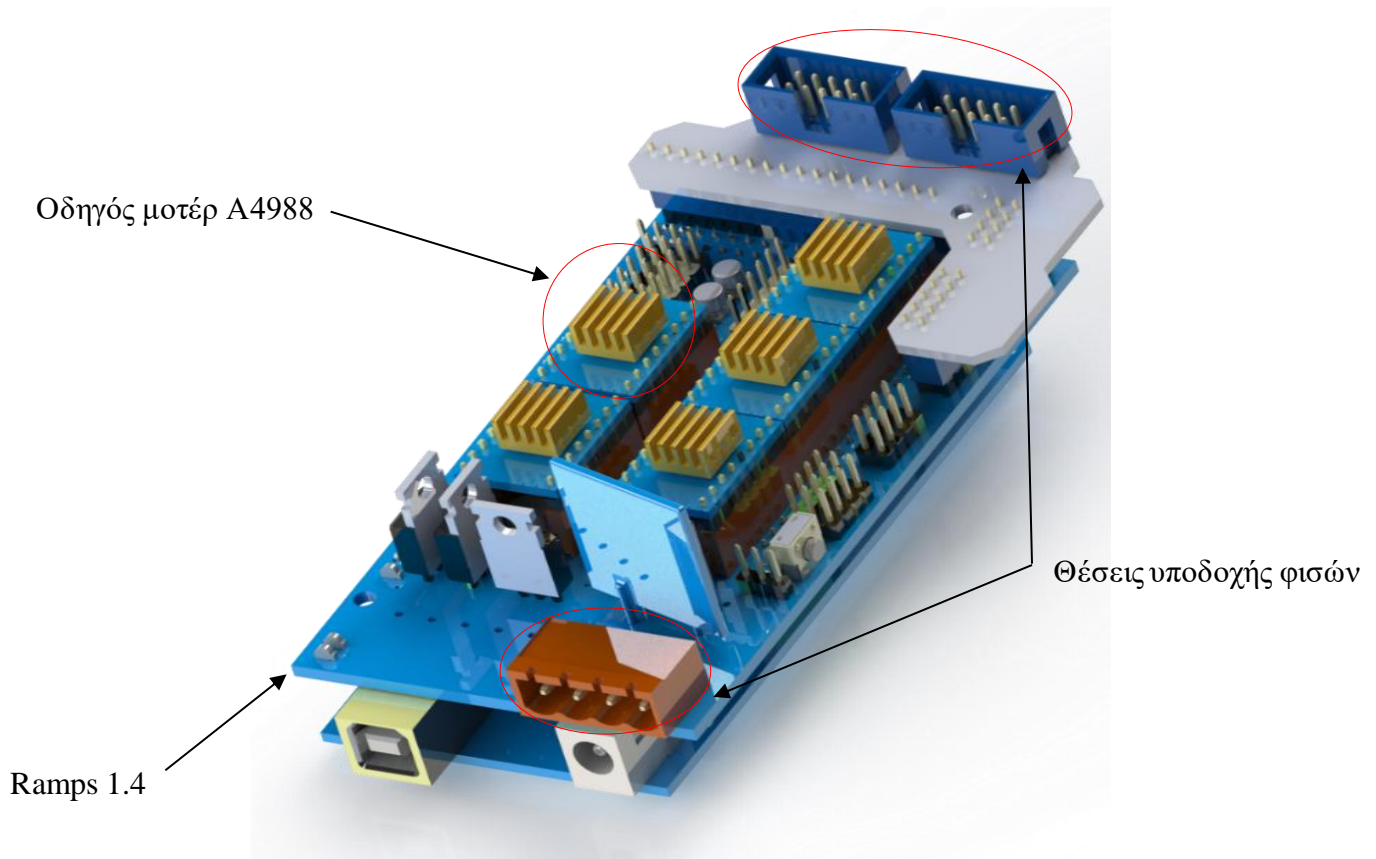


Μητρική πλακέτα Arduino Mega 2560 R3 .

Το μοντέλο του Arduino που θα χρησιμοποιούμε για την δημιουργία του εκτυπωτή μας είναι το Mega 2560, για το λόγω αυτό κρίνεται σκόπιμο να παραθέσουμε μερικά βασικά χαρακτηριστικά του.

Το Arduino Mega είναι πιο εξελιγμένη πλακέτα της τεχνολογίας Arduino και προτείνεται για περίπλοκες κατασκευές που απαιτούν μεγαλύτερη μνήμη και περισσότερες εισόδους/εξόδους. Το μοντέλο mega 2560 της οικογένειας Arduino είναι το πιο διαδεδομένο και είναι συμβατό με πλήθος αισθητήρων και επεκτάσεων. Η έκδοση 3(Rev3) του mega 2560 είναι η τελευταία που κυκλοφορεί και είναι πλήρως συμβατή με καινούριες και παλιές πλακέτες επέκτασης. Αυτή η έκδοση βασίζεται στην ίδια αρχιτεκτονική με την πλακέτα Uno και η βασική της διαφορά είναι η χωρητικότητα της μνήμης και το πλήθος των εισόδων εξόδων για την σύνδεση με εξωτερικές συσκευές.

Το Arduino Mega Rev3 βασίζεται στον μικροελεγκτή ATmega2560 της Atmel. Είναι μια ολοκληρωμένη πλακέτα που περιέχει ότι χρειάζεται για να μπορεί να προγραμματιστεί και να λειτουργήσει συνδέοντάς την με ένα απλό καλώδιο USB στον υπολογιστή σας ή με ένα τροφοδοτικό στην πρίζα, επίσης μπορεί να λειτουργήσει με απλή μπαταρία.



Arduino Mega 2560 R3 με Ramps 1.4 και Driver.

Αναλυτικά η πλακέτα διαθέτει 54 ψηφιακές εισόδους ή εξόδους (15 από αυτές μπορεί να χρησιμοποιηθούν σαν PWM εξόδους), 16 αναλογικές εισόδους, 4 σειριακές θύρες, 1 θύρα USB (τύπου B) για τον προγραμματισμό και την τροφοδοσία της πλακέτας, 1 είσοδο τροφοδοσίας που μπορεί να χρησιμοποιηθεί εναλλακτικά για τροφοδοσία από τροφοδοτικό πρίζας ή από απλή μπαταρία, 1 υποδοχή ICSP και τέλος κουμπί για το reset της πλακέτας. Ο μικροελεγκτής είναι συγχρονισμένος στους 16 megacycles (Crystal 16MHz).

Η μνήμη Flash του Arduino Uno που μπορείτε να αποθηκεύσετε το πρόγραμμά σας (sketch) είναι 256KB, ικανή να δεχτεί τα περισσότερα περίπλοκα προγράμματα σε αντίθεση με την μικρότερη έκδοση της Arduino, το Arduino Uno Rev3.

Το Arduino mega 2560 λειτουργεί με τροφοδοσία 5V DC από την είσοδο του USB ή με 9V/12V DC από την είσοδο της τροφοδοσίας χωρίς να υπάρχει κίνδυνος ηλεκτροπληξίας.

Ο ATmega 2560 είναι ένας μικρό – ελεγκτής της σειράς AVR, της εταιρίας ATMEL. Είναι κατασκευασμένος με τρανζίστορ τύπου CMOS (Complementary Metal – Oxide Semiconductor). Η σειρά είναι βασισμένη στην

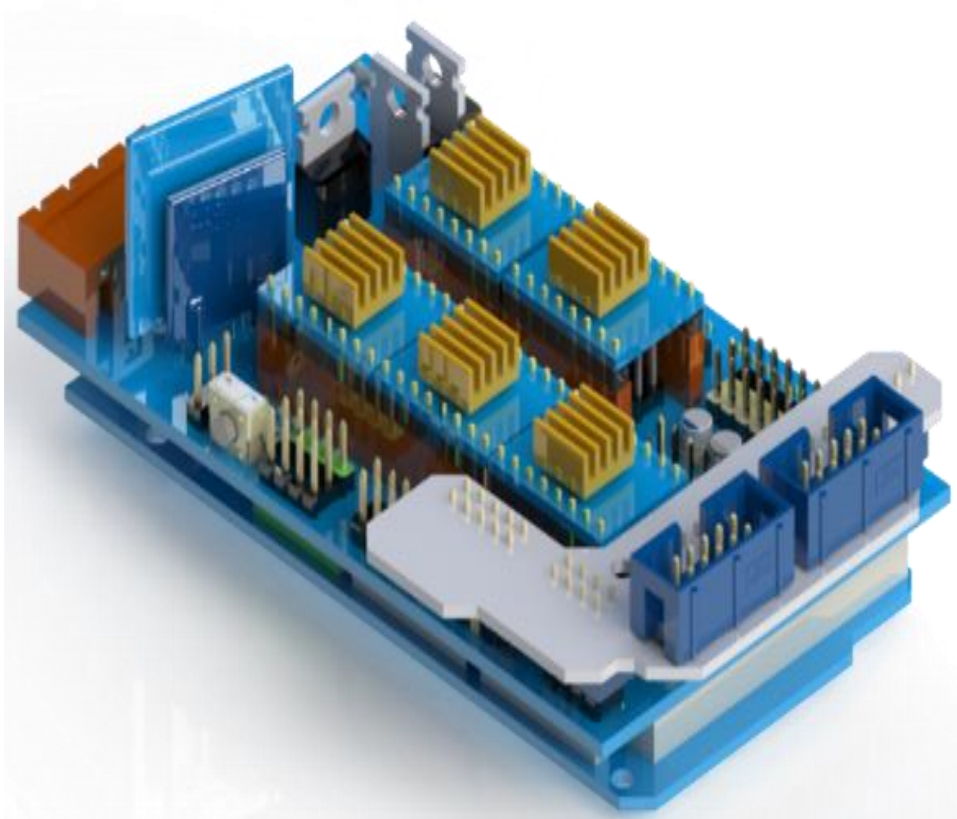
αρχιτεκτονική RISC (reduced instructions set computer) που χρησιμοποιεί μια μικρή συλλογή εντολών, εύκολες στην εκτέλεσή τους από τον Μ/Ε (μία εντολή ανά κύκλο μηχανής) αυξάνοντας την επεξεργαστική δύναμη του Μ/Ε.

Για την μέγιστη απόδοση της AVR αρχιτεκτονικής, χρησιμοποιείται η αρχιτεκτονική Harvard η οποία έχει διαφορετικές μνήμες και διαύλους μεταξύ του προγράμματος και των δεδομένων.

Για να μπορέσουν να μπου σε λειτουργία οι κινητήρες θα χρειαστούν μερικοί motordrivers και πιο συγκεκριμένα ένας motordriver για κάθε κινητήρα.

Οι motor drivers επί της ουσίας είναι μικροί ενισχυτές ρεύματος που στόχος τους είναι να λαμβάνουν ένα χαμηλού σήματος ρεύμα και να το μετατρέπουν σε ένα υψηλότερο σήμα ρεύματος που να μπορεί να οδηγήσει τον κινητήρα. Χρησιμοποιούνται σε συνδυασμό με κάποιον μικροελεγκτή που τους παρέχει το χαμηλού σήματος ρεύμα και με τη χρήση του Firmware μπορούμε να καθορίσουμε την φορά αλλά και τον χρόνο που κινείται ο κινητήρας.

Υπάρχουν διάφοροι motor drivers στην αγορά, στην περίπτωση μας όμως θα χρησιμοποιήσουμε τους A4988 motor drivers καθώς τοποθετούνται κατευθείαν πάνω στο Ramps 1.4

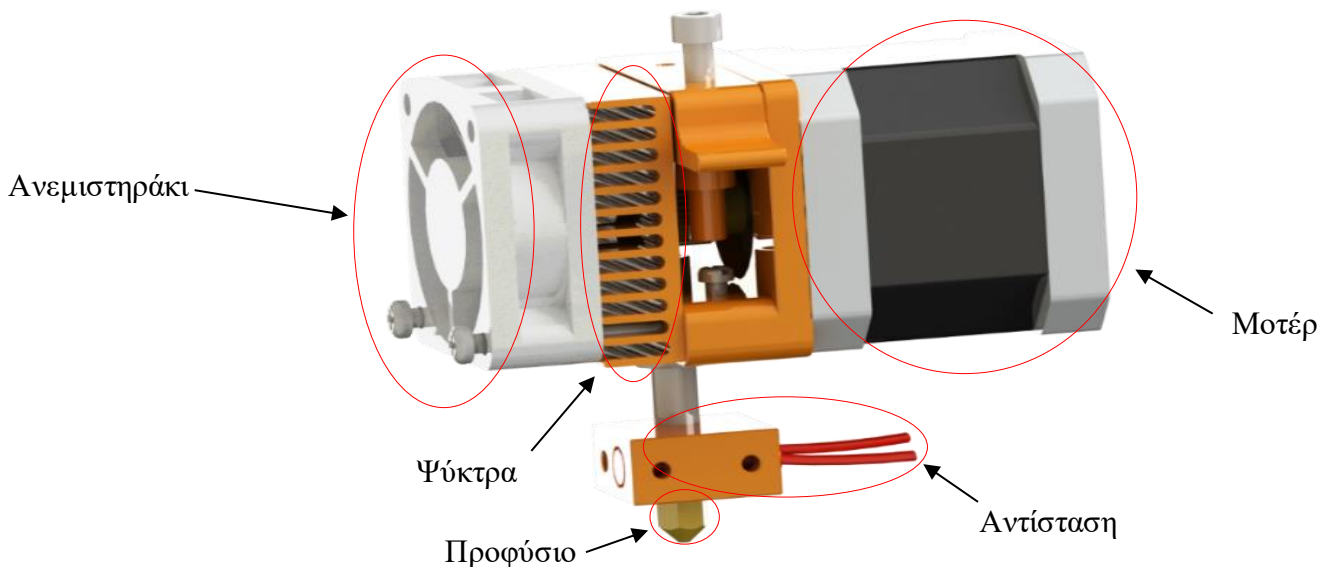


Άλλη όψη Arduino Mega.

2.2.2.2 Εξώθητης.

Το σύστημα εξώθησης υλικού (κεφαλή) του 3D εκτυπωτή είναι ένας από τους κύριους μηχανισμούς για τη σωστή λειτουργία του. Με τη συναρμολόγηση της κεφαλής παρατηρείτε πως το σύστημα ολόκληρο αποτελείται από δύο τμήματα και τον κινητήρα. Το ένα τμήμα περιλαμβάνει την ψυχρή περιοχή, που έχει το ρόλο να παίρνει το νήμα μας με σταθερό ρυθμό που θα ορίζει ο χρήστης ανάλογα με τα δεδομένα του υλικού και του εξωθητήρα, και θα το διοχετεύει στο δεύτερο τμήμα που είναι η θερμαινόμενη περιοχή. Η μεταφορά αυτή γίνεται μέσω ενός ρουλεμάν και ενός γραναζιού. Το γρανάτζι είναι τοποθετημένο στον άξονα του κινητήρα και με την σωστή κατευθυνόμενη κίνηση γαντζώνει το νήμα και το ωθεί στη θερμαινόμενη περιοχή. Το ρουλεμάν έχει το ρόλο της πίεσης του νήματος προς το γρανάτζι για καλύτερη πρόσφυση.

Σύστημα εξώθησης υλικού (κεφαλή-extruder):

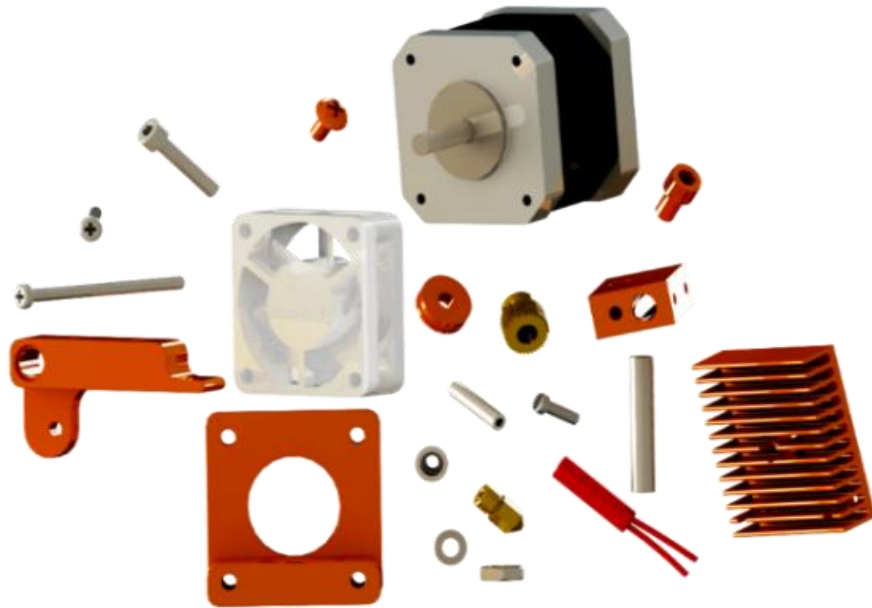


Ολοκληρωμένο σύστημα εξωθητήρα.

Το δεύτερο τμήμα είναι η θερμαινόμενη περιοχή, εδώ εισέρχεται το νήμα και θερμαίνεται σε θερμοκρασία που χρειάζεται για να έρθει σε ημίρρευστη μορφή και να βγει πλέον από το ακροφύσιο για χρήση.

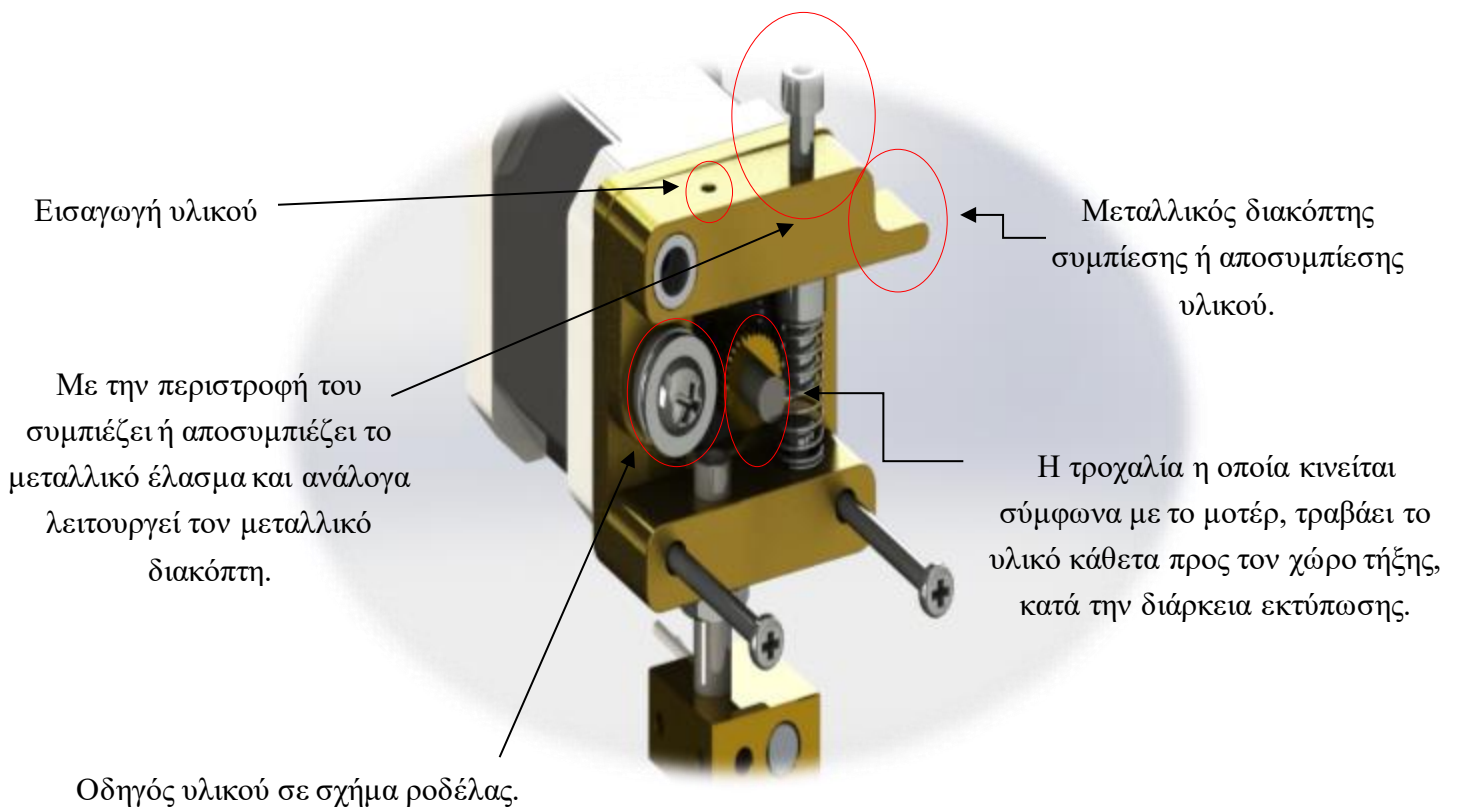
- Ο εξωθητής είναι βασισμένος στον ήδη υπάρχων MK8 extruder που είναι κινέζικης προελεύσεως.

Στην παρακάτω εικόνα φαίνονται τα εξαρτήματα που αποτελείτε ο εξωθητής νήματος .

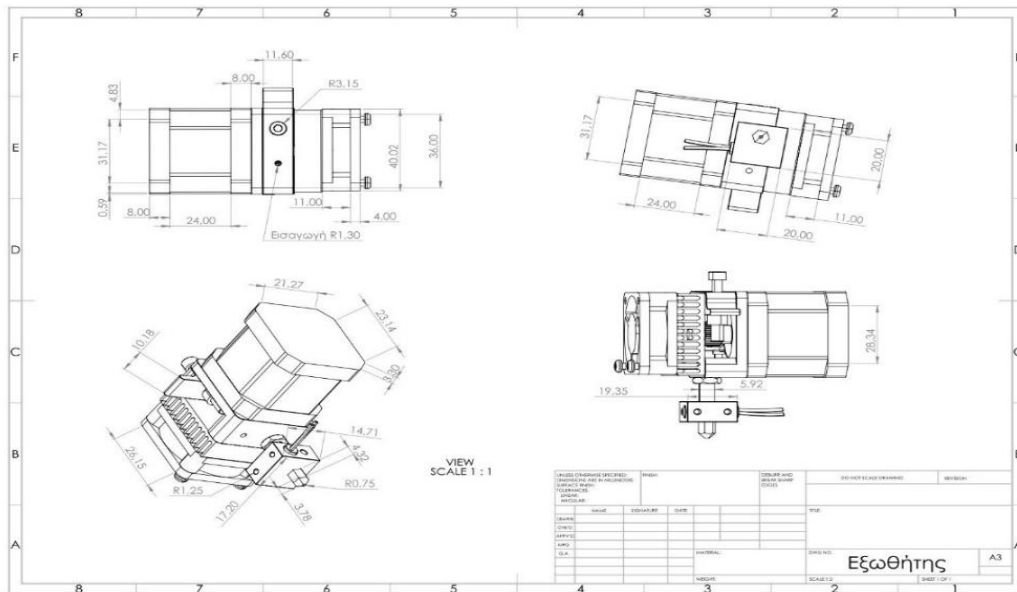


Κομμάτια που αποτελούν την κεφαλή.

- Ο τρόπος συναρμολόγησης και τα εξαρτήματα της κεφαλής θα αναληθούν στο κεφάλαιο δημιουργίας του 3D εκτυπωτή.



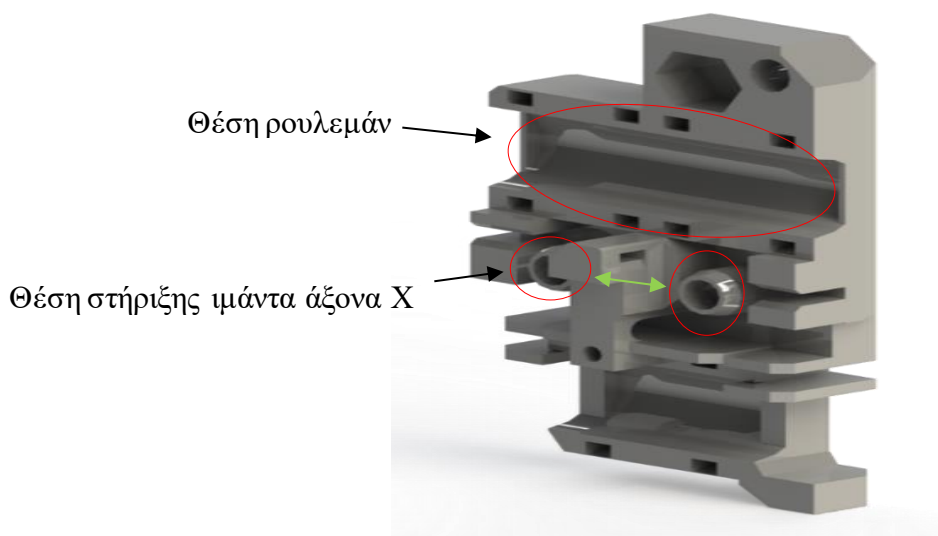
Τομή κεφαλής.



Διαστάσεις Εξωθητή (Extruder).

2.2.2.3 Βάση εξωθητή.

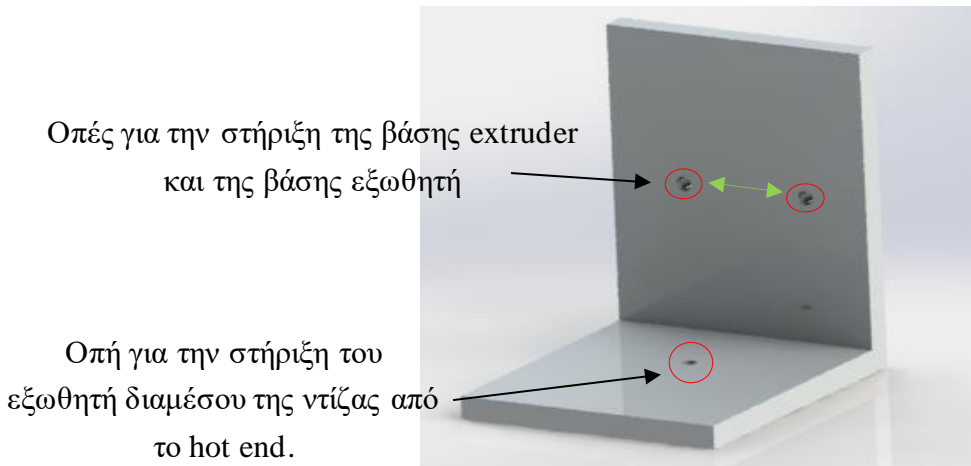
Η βάση εξωθητή είναι βασισμένη στην Prusa i3 έκδοση όπου η διαμορφώση του είναι σε αυτήν την μορφή. Η θέση για τα ρουλεμάν είναι σχεδιασμένη σύμφωνα με την κλίση και την διάμετρο του ρουλεμάν. Επίσης η στήριξη του ιμάντα χρονισμού βρίσκεται ενδιάμεσα στους κυλίνδρους όπου εκεί μια άκρη ενώνετε με την άλλη.



Βάση εξωθητή (extruder) και ρουλεμάν οδηγού (Άξονα X).

2.2.2.4 Βάση extruder.

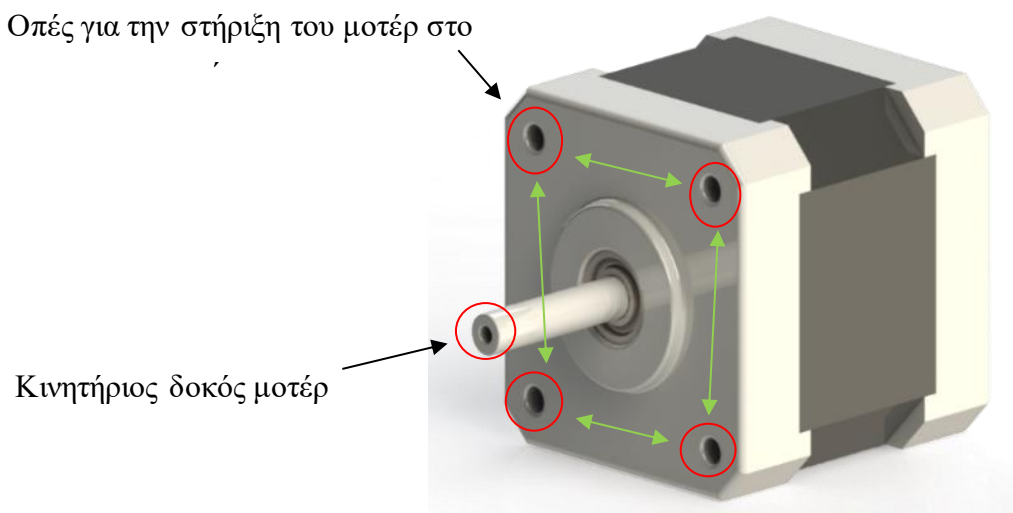
Η βάση του εξωθητή είναι μία απλή κατασκευή δεν έχει κάποιο ιδιαίτερο χαρακτηριστικό με κάποιο ήδη υπάρχων στήριγμα και διαμορφώθηκε ώστε να είναι εφικτή η ένωση του extruder με την βάση του εξωθητή. Οι οπές που δημιουργήσαμε θα βοηθήσουν να σταθεροποιηθεί της βάσης πάνω στην βάση του εξωθητή και ο εξωθητής πάνω στην οπή της βάσης.



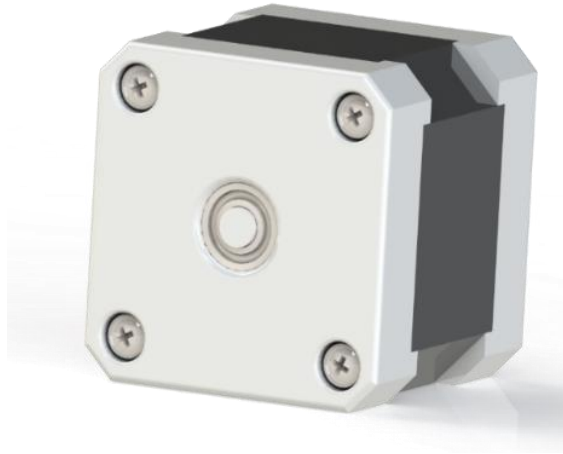
Βάση extruder άξονα X.

2.2.2.5 Βηματικοί κινητήρες.

Οι βηματικοί κινητήρες (Stepper motors) είναι κινητήρες DC που περιστρέφονται με διακριτές κινήσεις (steps). Έχουν στον στάτη τους πολλά πηνία συνδεδεμένα έτσι ώστε ο θετικός και ο αρνητικός πόλος να έχουν διαφορά 180°, ενώ οδρομέας έχει σχήμα γραναζιού ώστε να έλκεται σε διακριτές θέσεις. Τροφοδοτώντας ένα ζευγάρι την φορά περιστρέφεται ο δρομέας προς την κατεύθυνση που θέλουμε.



Βηματικός κινητήρας μοτέρ Nema 17 (Stepper motor).

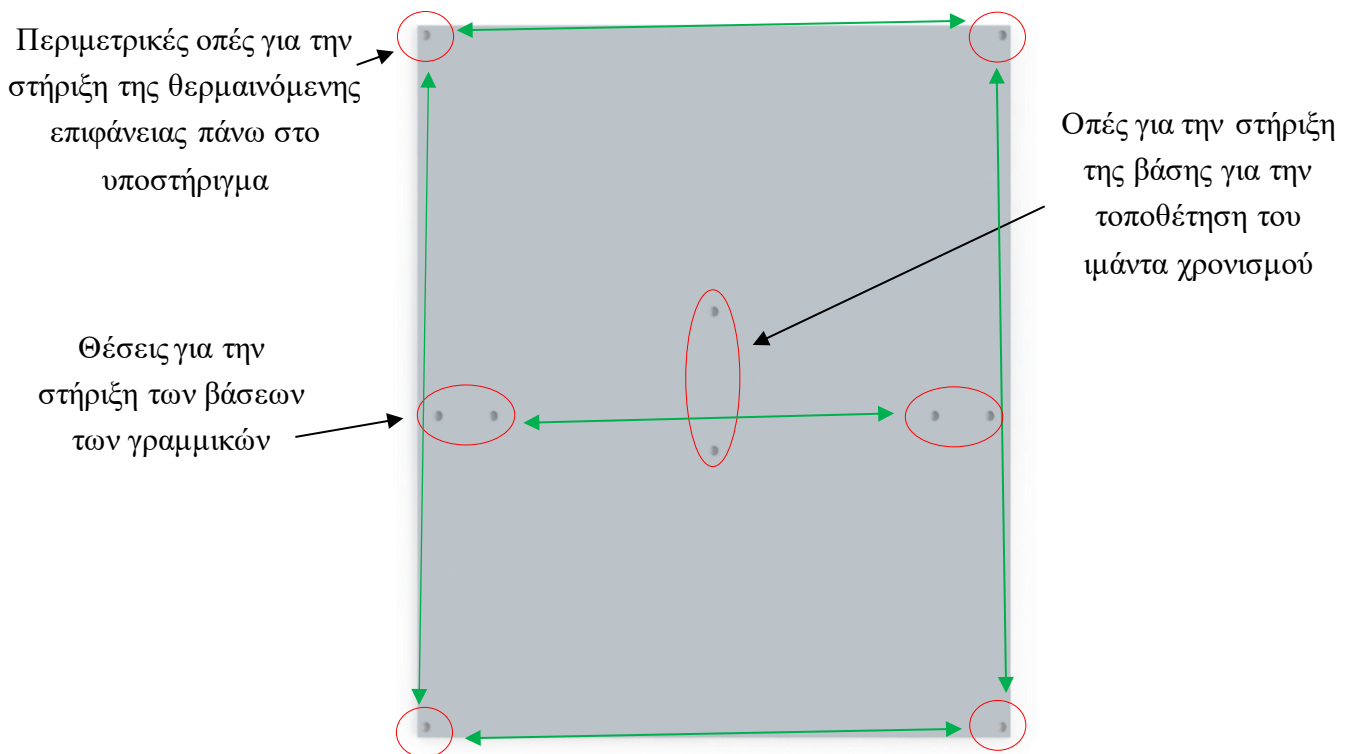


Πίσω όψη Nema 17.

- Στις παραπάνω απεικονίσεις το μοτέρ σχεδιάστηκε σύμφωνα με το ήδη υπάρχων Nema 17 όπου θα χρησιμοποιηθεί και στην δημιουργία το 3D εκτυπωτή.

2.2.2.6 Βάση θερμαινόμενης επιφάνειας (Bed).

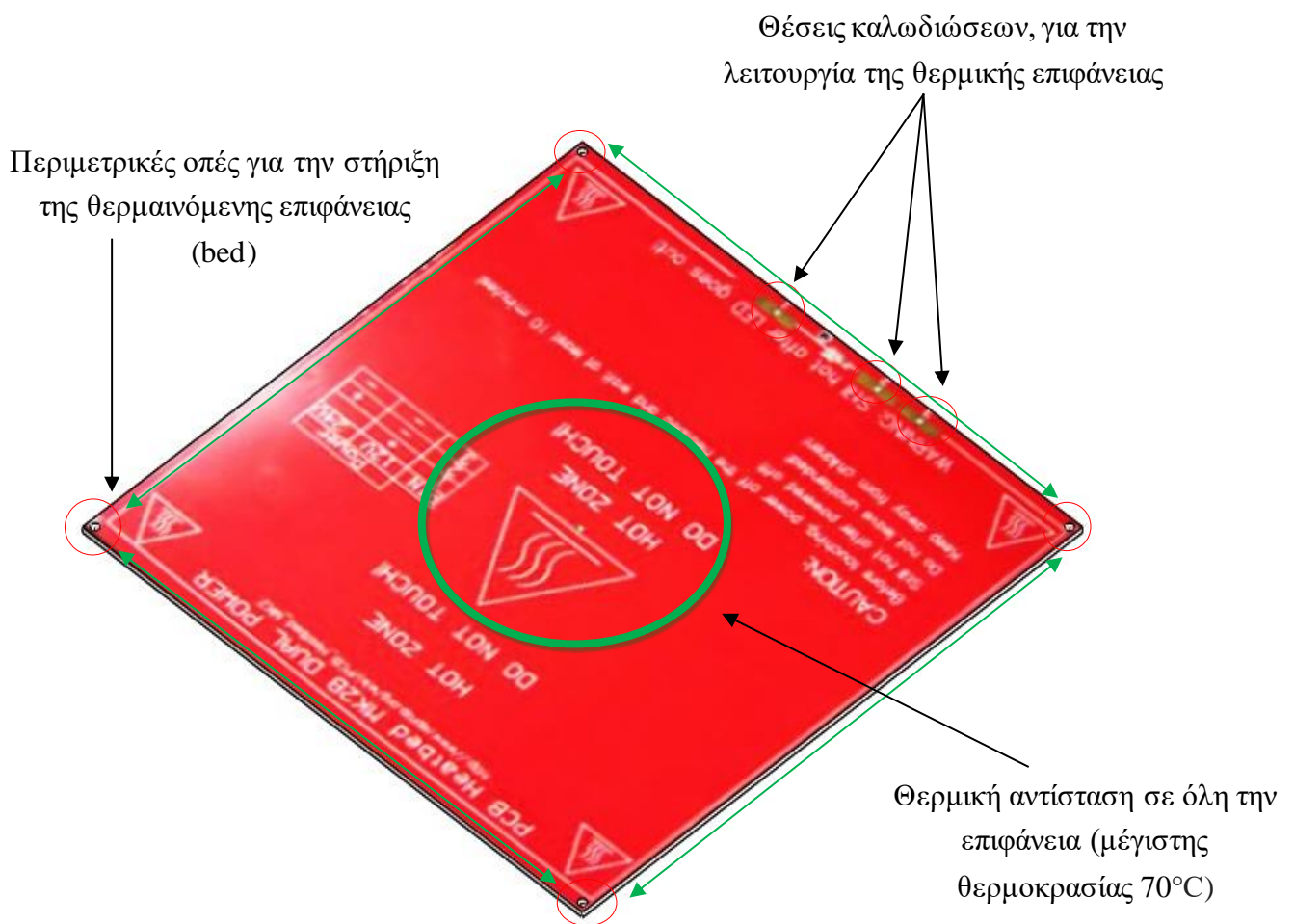
Η βάση είναι σημαντικό αντικείμενο για την ολοκλήρωση και την συνοχή της διέλευσης του άξονα Y ,σχεδιάστηκε βάση του σχεδίου sketch από προηγούμενο κεφάλαιο και παίζει κυρίαρχο ρόλο για την στήριξη των βάσεων και της θερμαινόμενης επιφάνειας στον άξονα Y.



Βάση για την θερμαινόμενη επιφάνειας 200*200mm άξονα Y..

2.2.2.7 Θερμαινόμενη επιφάνεια.

Κυριότερο στοιχείο που χρησιμοποιούμε για την ολοκλήρωση της διάστασης του άξονα Y είναι η επιφάνεια εκτύπωσης. Η θερμαινόμενη επιφάνεια εκτύπωσης (heatbed) είναι μια θερμαινόμενη αντίσταση σε μορφή εκτυπωμένου κυκλώματος σε πλακέτα (PCB). Η θερμαινόμενη επιφάνεια βελτιώνει την ποιότητα της εκτύπωσης αποτρέποντας την στρέβλωση - κύρτωση του μοντέλου που εκτυπώνεται. Όταν το μοντέλο ψύχεται, συρρικνώνεται ελάχιστα. Όταν αυτή η συρρίκνωση δεν γίνεται ομοιόμορφα το αποτέλεσμα είναι ένα στρεβλωμένο μοντέλο. Κατά κύριο λόγο η στρέβλωση του αντικειμένου παρατηρείται στις γωνίες αυτού.



Θερμαινόμενη επιφάνεια 200*200mm (Bed).

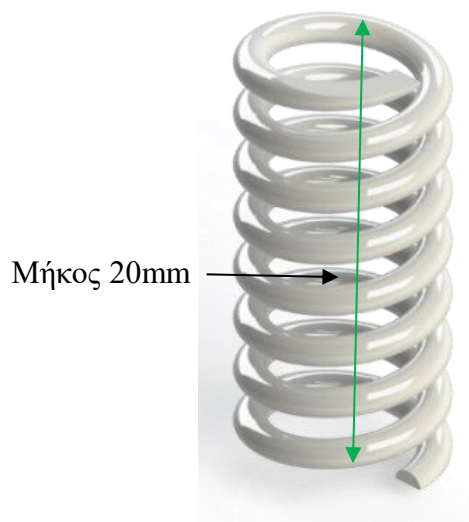
Με την χρήση της θερμαινόμενης βάσης επιτυγχάνουμε να κρατάμε το μοντέλο εκτύπωσης θερμό και σε μια σταθερή θερμοκρασία καθ'όλη την διάρκεια εκτύπωσης. Επίσης βοηθάει στην επίτευξη μιας πιο ομοιόμορφης συρρίκνωσης του μοντέλου.

Πέρα από την στρέβλωση - κύρτωση του μοντέλου μας στα άκρα, υπάρχουν και άλλα προβλήματα που μπορεί να παρουσιαστούν, όπως η αποκόλληση του υπό εκτύπωση μοντέλου από την βάση ή η αποκόλληση των στρωμάτων εκτύπωσης μεταξύ τους καθώς και πολλά άλλα προβλήματα ανάλογα την περίπτωση. Βέβαια όλα τα παραπάνω προβλήματα μπορούν να αντιμετωπιστούν με διάφορες τεχνικές ή ρυθμίσεις από το software. Ωστόσο, κάθε ένα από αυτά μπορούν να είναι καταστροφικά για το τελικό αποστέλεσμα.

- Η θερμαινόμενη επιφάνεια αντικατοπτρίζει την πραγματική έκδοση που θα χρησιμοποιηθεί στην κατασκευή.

2.2.2.8 Ελατήριο.

Το ελατήριο είναι είδος ανάρτησης και επιτυγχάνετε η απόσβεση των κραδασμών και την ευλυγισία για την ρύθμιση της θερμαινόμενης επιφάνειας ανάλογα με τις απαιτήσεις της κάθε περίπτωσης(άξονα Y).

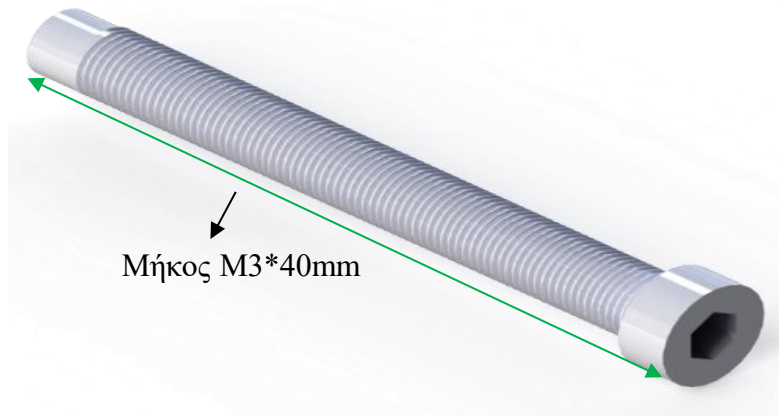


Παρατατικό ελατήριο για την διαμόρφωση της θερμαινόμενης επιφάνειας.

- Το ελατήριο σχεδιάστηκε σύμφωνα με τις πραγματικές διαστάσεις και τις ανάγκες της κατασκευής.

2.2.2.9 Βίδα.

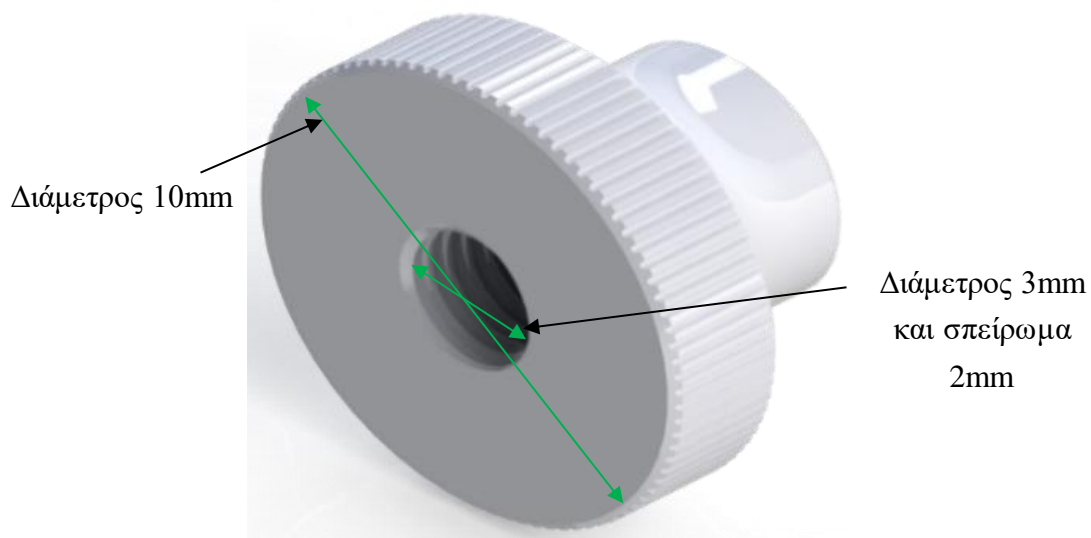
Η βίδα είναι σχεδιασμένη στην πραγματική διάσταση και μπορεί να εισέλθει στο ελατήριο και να γίνουν οι κατάλληλες ενέργειες για την ρύθμιση της θερμαινόμενης επιφάνειας.



Βίδα Allen για την διαμόρφωση της θερμαινόμενης επιφάνειας.

2.2.2.10 Παξιμάδι ρύθμισης ύψους θερμαινόμενης επιφάνειας.

Το παξιμάδι σχεδιάστηκε σύμφωνα με τις πραγματικές διαστάσεις για το βέλτιστο assembly και την αντικατοπτριστική εμφάνιση του. Θα χρησιμοποιηθεί για την ρύθμιση της θερμαινόμενης επιφάνειας μέσω της βίδας και του ελατήριου για την κάθε πλευρά.



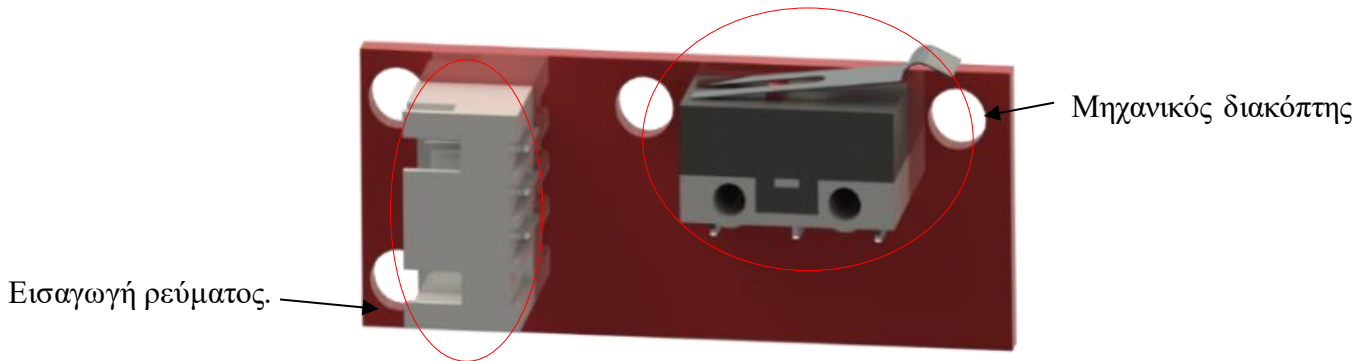
Παξιμάδι ρύθμισης ύψους θερμαινόμενης επιφάνειας.

2.2.2.11 Μηχανικός τερματικός διακόπτης.

Τα endstops είναι μικροί διακόπτες που τοποθετούνται στα άκρα των αξόνων και δηλώνουν την θέση του κάθε άξονα. Κύριος σκοπός τους είναι να ορίζουν την αρχή των αξόνων και να συμβάλλουν στην επίτευξη της αυτόματης βαθμονόμησης. Συνήθως χρησιμοποιείται ένα endstop στην αρχή του κάθε άξονα

(τρία στο σύνολο) όπου το καθένα ορίζει το σημείο μηδέν του αντίστοιχου άξονα. Επίσης χρησιμοποιούνται πολλές φορές και για να ορίζουν τα όρια του κάθε άξονα ώστε να αποφευχθούν τυχόν ζημιές στο σύστημα σε περίπτωση βλάβης. Γι' αυτό και μπορούν να τοποθετηθούν μέχρι έξι στο σύνολο, δύο για κάθε άξονα.

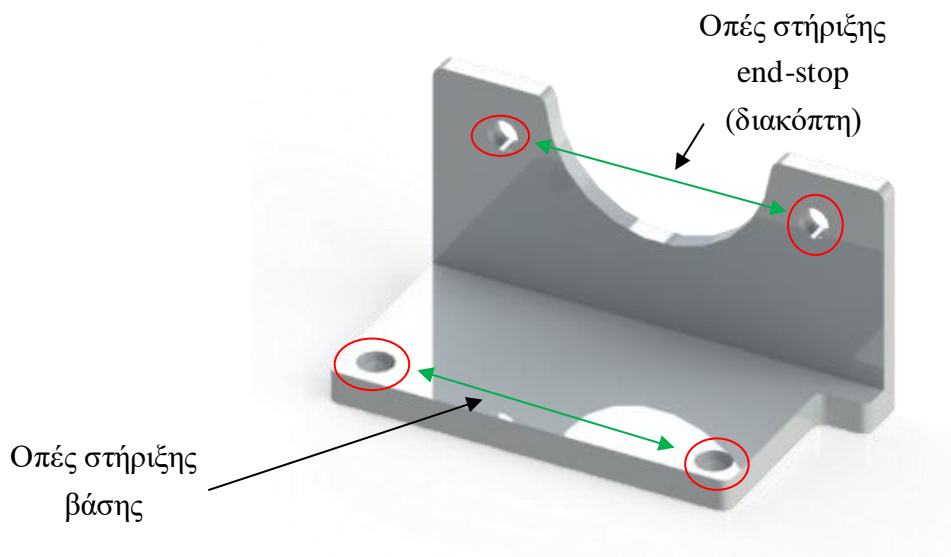
Για τον άξονα X-Y-Z έχουμε ένα τερματικό διακόπτη, με αυτό το διακόπτη μπορούμε να ορίσουμε τα όρια στις κινήσεις του άξονα. Όταν η κεφαλή μας πατήσει το διακόπτη, σταματάει η κίνηση της.



Μηχανικός τερματικός διακόπτης (End-Stop) για τους άξονες X-Y-Z.

2.2.2.12 Βάση end stop για άξονα Z.

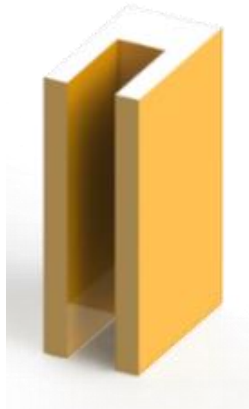
Η συγκεκριμένη βάση είναι σχεδιασμένη και διαμορφωμένη για τον Prusa i3 και χρησιμοποιήθηκε για την δημιουργία βάση του μηχανικού διακόπτη για τον συγκεκριμένο εκτυπωτή.



Βάση end-stop άξονα Z.

2.2.2.13 Επιφάνεια για μηχανικό διακόπτη άξονα Y.

Η συγκεκριμένη επιφάνεια σχεδιάστηκε ώστε όταν ο άξονας Y όταν επιστρέφει στο σημείο 0 να ακουμπάει η συγκεκριμένη επιφάνεια πάνω στον τερματικό διακόπτη για πιο ευέλικτη χρήση και για μικρότερο κίνδυνο κρούσης του άξονα Y.



Επιφάνεια για μηχανικό διακόπτη end-stop άξονα Y.

2.2.2.14 Παροχή ηλεκτρικού ρεύματος.

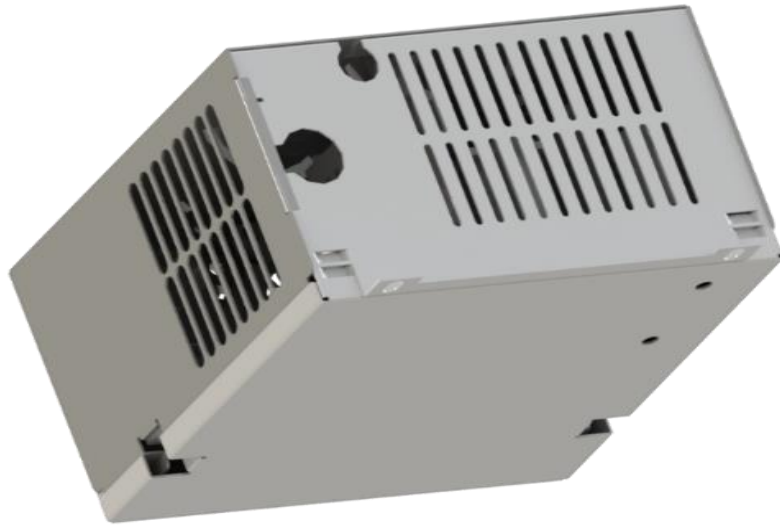
Με την συγκεκριμένη συσκευή τροφοδοτούμε με ηλεκτρικό ρεύμα την κατασκευή μας. Το τροφοδοτικό παρέχει ρεύμα χαμηλής ή υψηλής τάσης ανάλογα με τις ανάγκες της μητρικής πλακέτας Arduino Mega.



Εισαγωγή ηλεκτρικού ρεύματος.

Τροφοδοτικό.

Άλλη όψη:

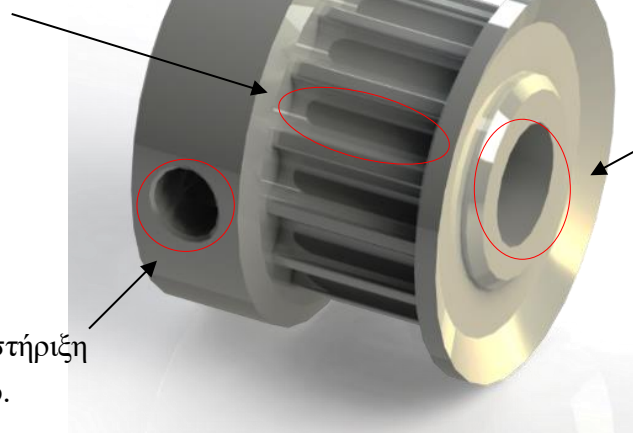


Τροφοδοτικό άλλη όψη.

2.2.2.15 Γρανάζι σύνδεσης μεταφορά μάντα.

Τα γρανάζια είναι ένας οδοντωτός τροχός που μας βοηθούν να εκμεταλλευτούμε την κίνηση από τον άξονα του κινητήρα. Τοποθετούνται από τη μία πλευρά πάνω στον άξονα και στην άλλη μεριά σε ειδική θέση που έχει η βάση στήριξης. Στο κέντρο τους υπάρχει μία τρύπα για να εισέρχεται κάποιος άξονας και δύο βίδες στα πλαϊνά τους για να κρατάνε σταθερή την επαφή τους με τον άξονα. Στην εξωτερική τους πλευρά έχουν "δόντια" για να μπορεί να γίνεται η συμπλοκή τους με άλλα οδοντωτά στοιχεία.

Θέσεις μάντα χρονισμού κατά την κίνηση της τροχαλίας

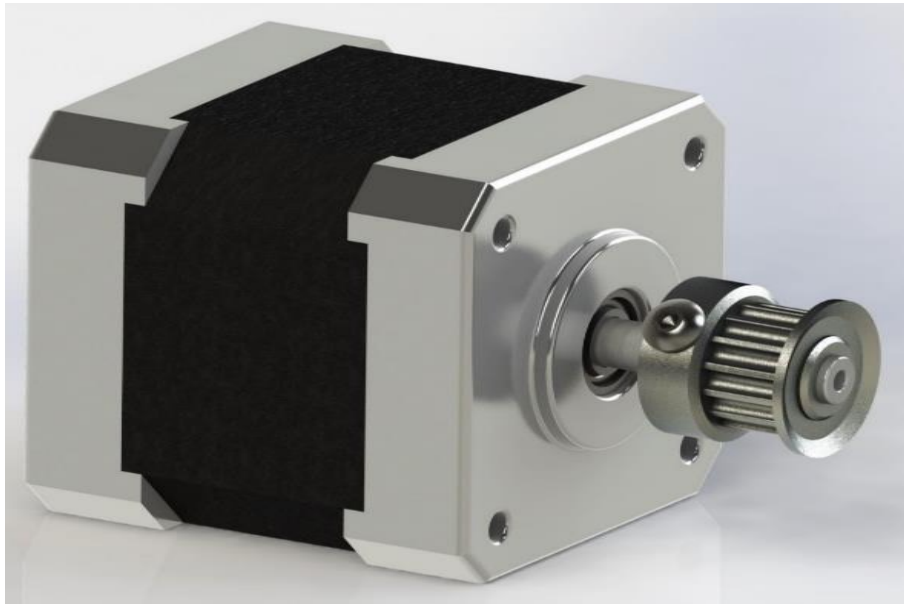


Θέση δοκού μοτέρ

Οπή για χρήση βίδας, για την στήριξη της τροχαλίας πάνω στο μοτέρ.

Γρανάζι χρονισμού κίνησης άξονα X-Y.(Pulley).

Γρανάζι με μοτέρ nema 17.



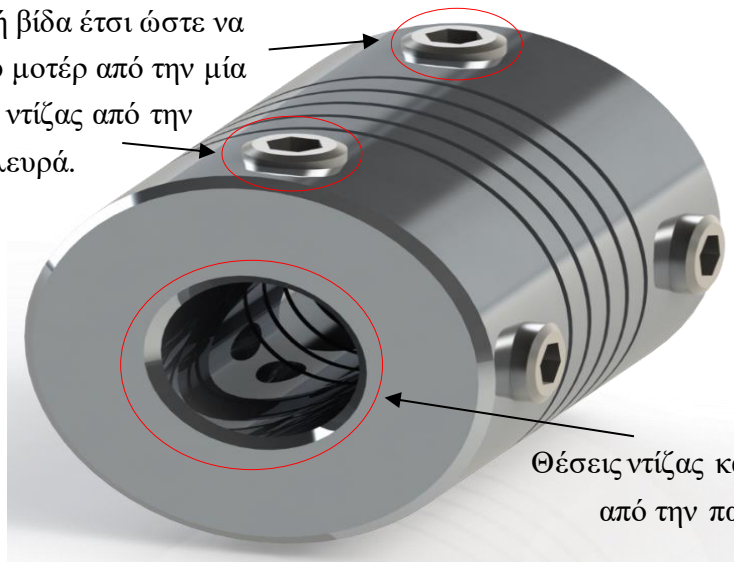
Τροχαλία μαζί με μοτέρ για άξονα X-Y.

2.2.2.16 Σύνδεσμος (κόμπλερ) για τη σύνδεση κινητήρων και σπειρωτών

Ράβδων

Με τους συνδέσμους αυτούς επιτυγχάνεται η σύνδεση των σπειρωτών ράβδων με τους βηματικούς κινητήρες στον άξονα ζ.

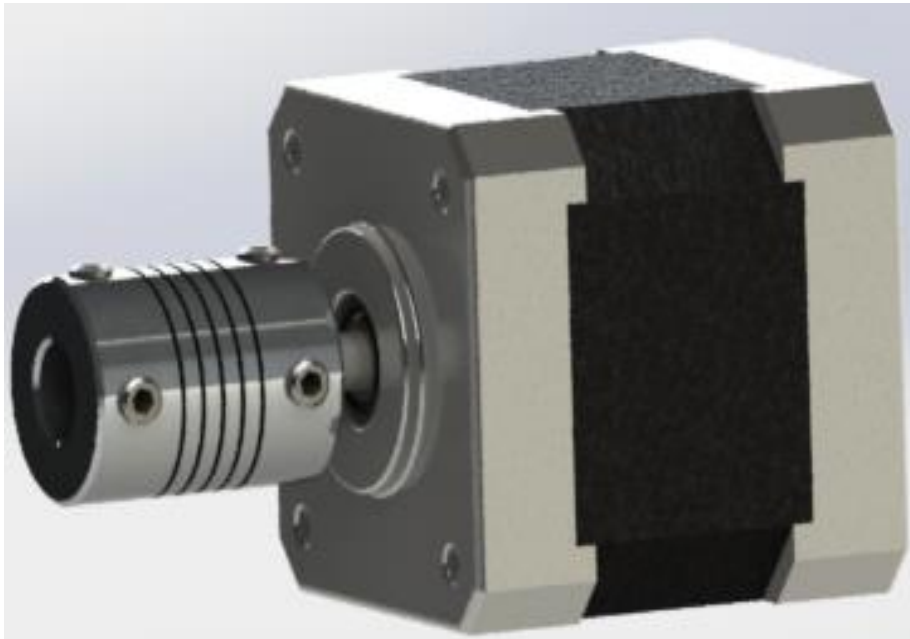
Με την χρήση κλειδιού Allen συμπιέζετε ή αποσυμπιέζετε η μεταλλική βίδα έτσι ώστε να επιτυγχάνετε η στήριξη του μοτέρ από την μία μεριά της οπής και της ντίζας από την παράλληλη πλευρά.



Θέσεις ντίζας και της δοκού του μοτέρ από την παράλληλη πλευρά.

Stepper Motor Flexible Coupling (Σύστημα σύνδεσης μεταξύ των δύο αξόνων) διαμέτρου 8mm.

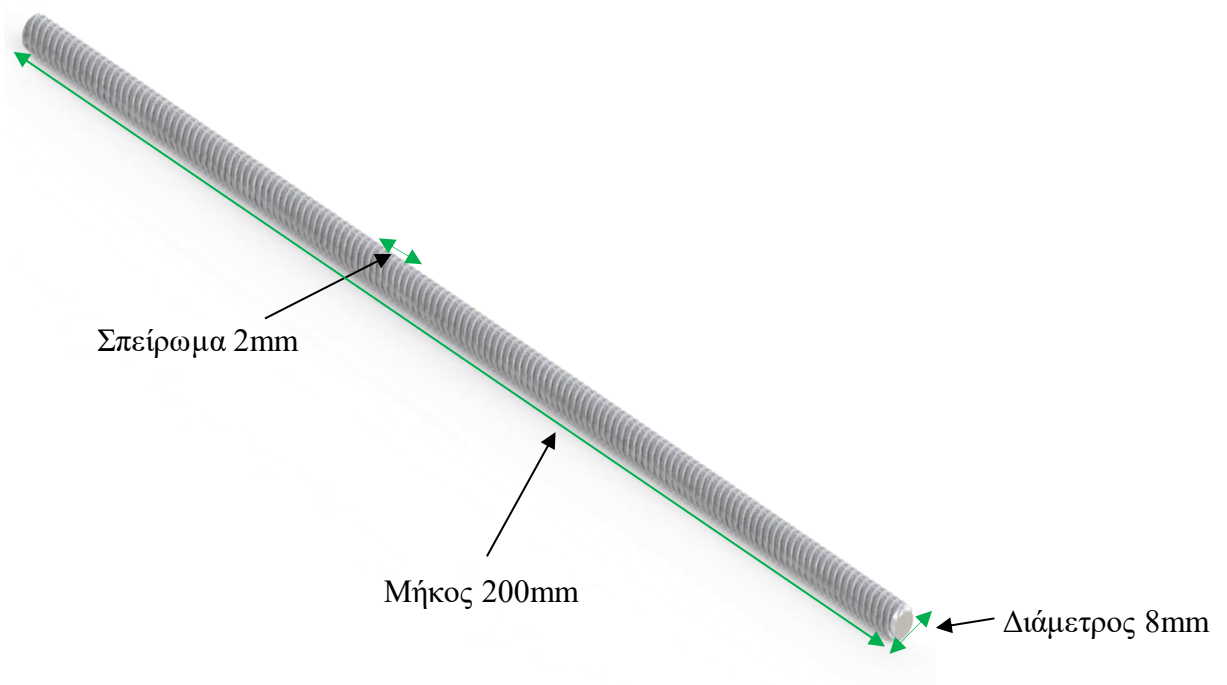
Σύνδεσμος κομπλερ μαζί με μοτέρ nema 17.



Coupling με Nema 17.

2.2.2.17 Σπειρωτή ράβδος.

Σπειρωτή ράβδος για τη συναρμολόγηση και το δέσιμο του εκτυπωτή.



Ντίζα με σπείρωμα 2mm, διαμέτρου 8mm και μήκους 200mm (Άξονας Z).

2.2.2.18 Σπειρωτή ράβδος με σύνδεσμο κομπλερ με μοτέρ neta 17.

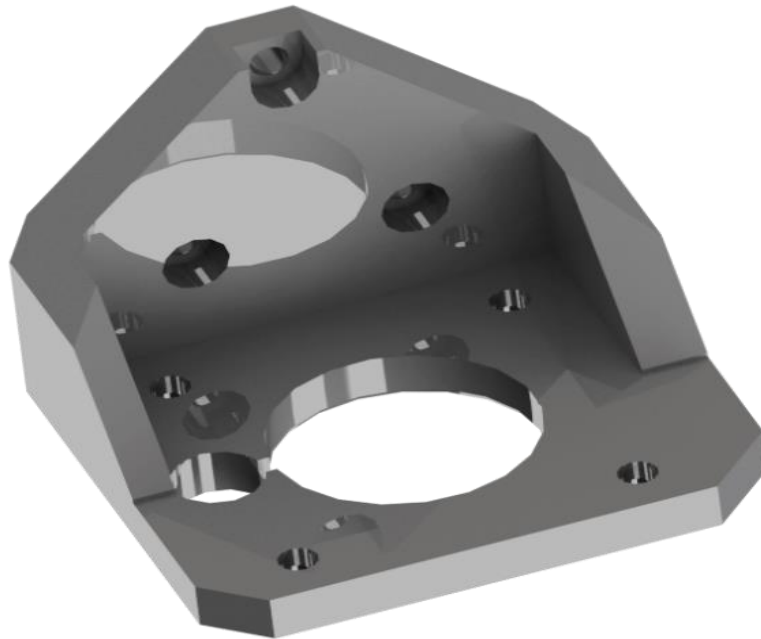
Με τον σύνδεσμο κομπλερ επιτυγχάνετε η σύζευξη της σπειρωτής ράβδου πάνω στο μοτέρ.



Μοτέρ μαζί με Coupling και ντίζα για άξονα Z.

2.2.2.19 Στήριγμα μοτέρ άξονα Z

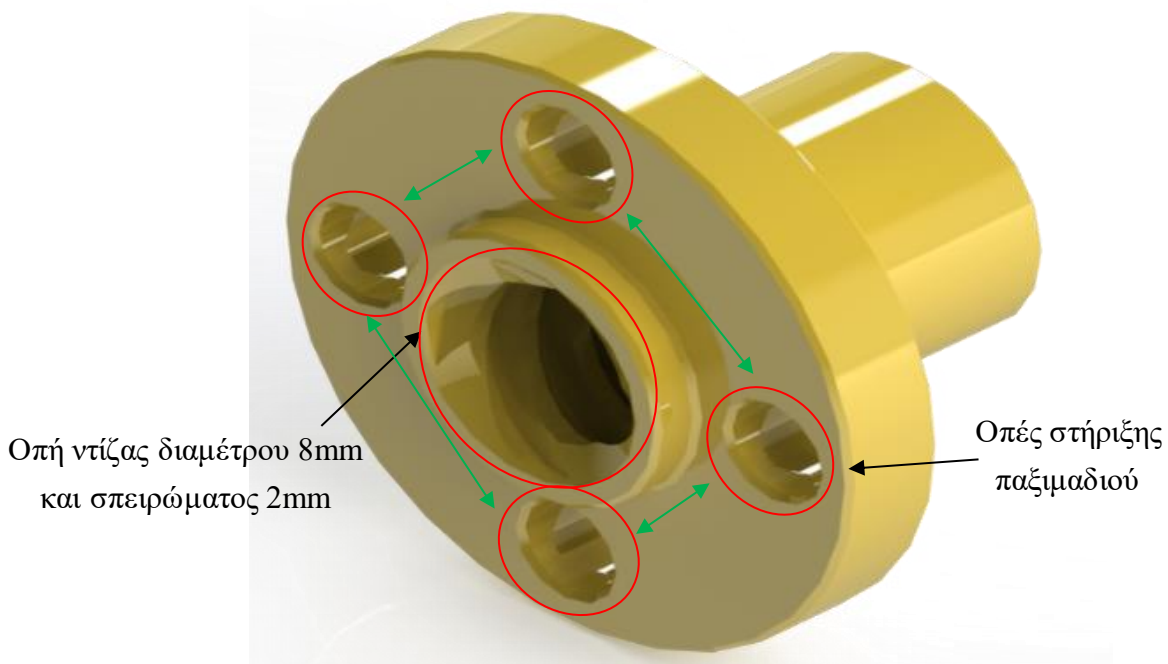
Με αυτήν την βάση επιτυγχάνετε η στήριξη των δύο μοτέρ στον άξονα Z, δεξιά κι αριστερά στην κατασκευή μας.



Στήριγμα για την στήριξη των μοτερ για τον άξονα Z.

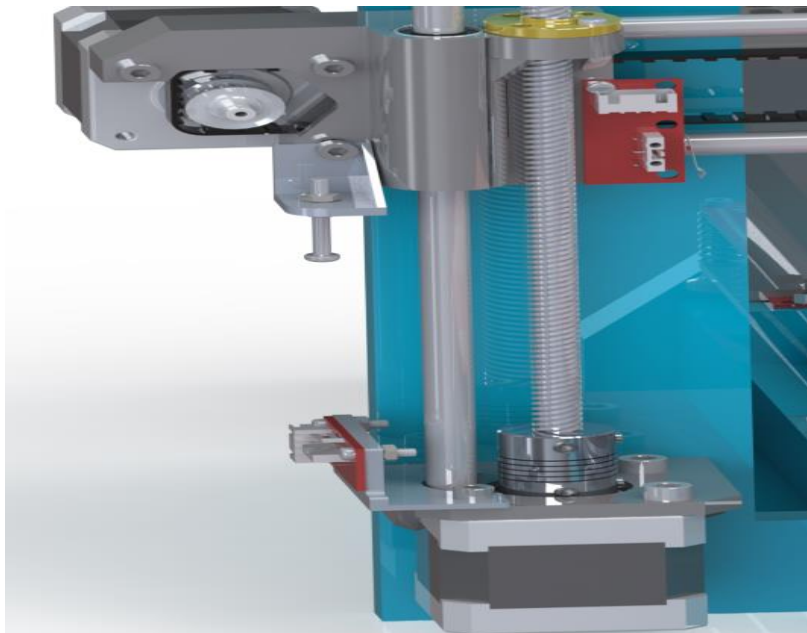
2.2.2.20 Παξιμάδι στήριξης σπειρωτής ράβδου.

Με το συγκεκριμένο παξιμάδι θα επιτευχθεί η ένωση της σπειρωτής ράβδου με την βάση στήριξης για τον άξονα ζ.



Παξιμάδι στήριξης ντίζας με τις βάσεις για τον άξονα Z.

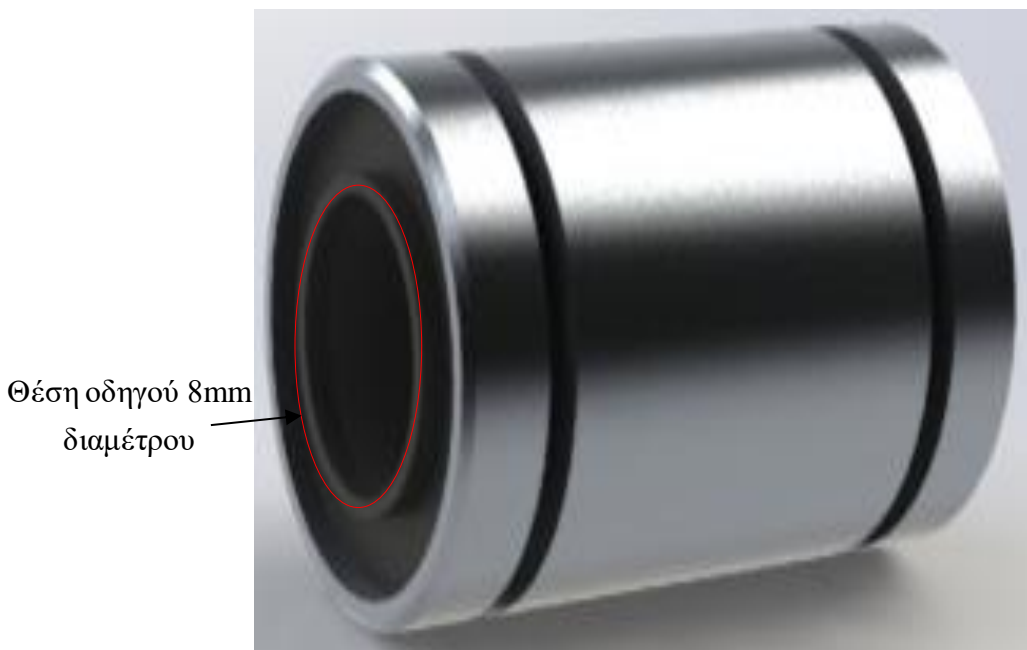
Ένωση σπειρωτής ράβδου με την βάση του άξονα, με το παξιμάδι και με τον σύνδεσμο κομπλερ για την στήριξη του στο μοτέρ.



Σύνδεσμος κομπλερ, παξιμάδι και βάση στήριξης.

2.2.2.21 Γραμμικό ρουλεμάν

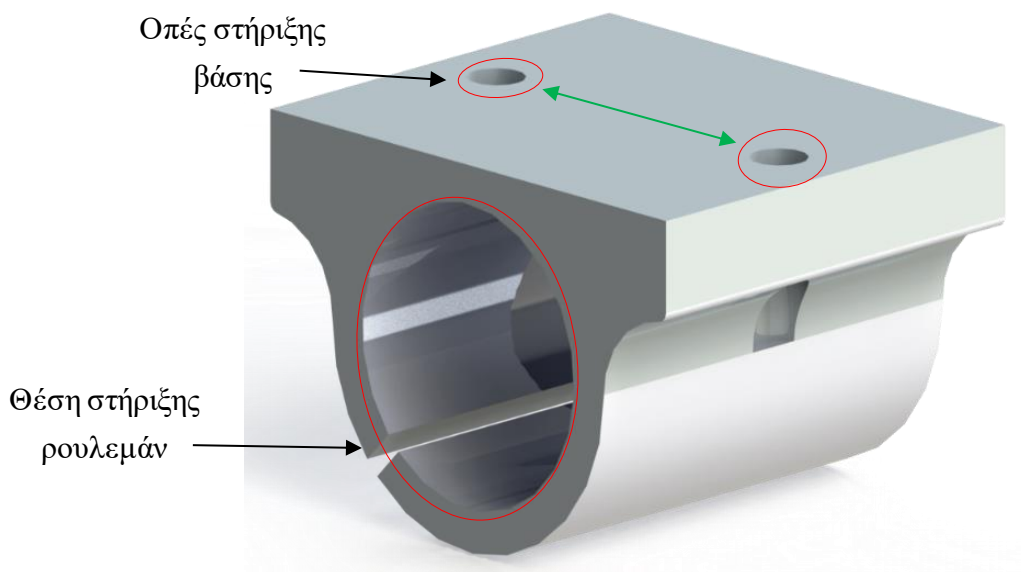
Γραμμικό ρουλεμάν για την ομαλή κίνηση των αξόνων πάνω στις ράβδους.



Γραμμικό Ρουλεμάν.

2.2.2.22 Βάση στήριξης γραμμικού ρουλεμάν άξονα Y.

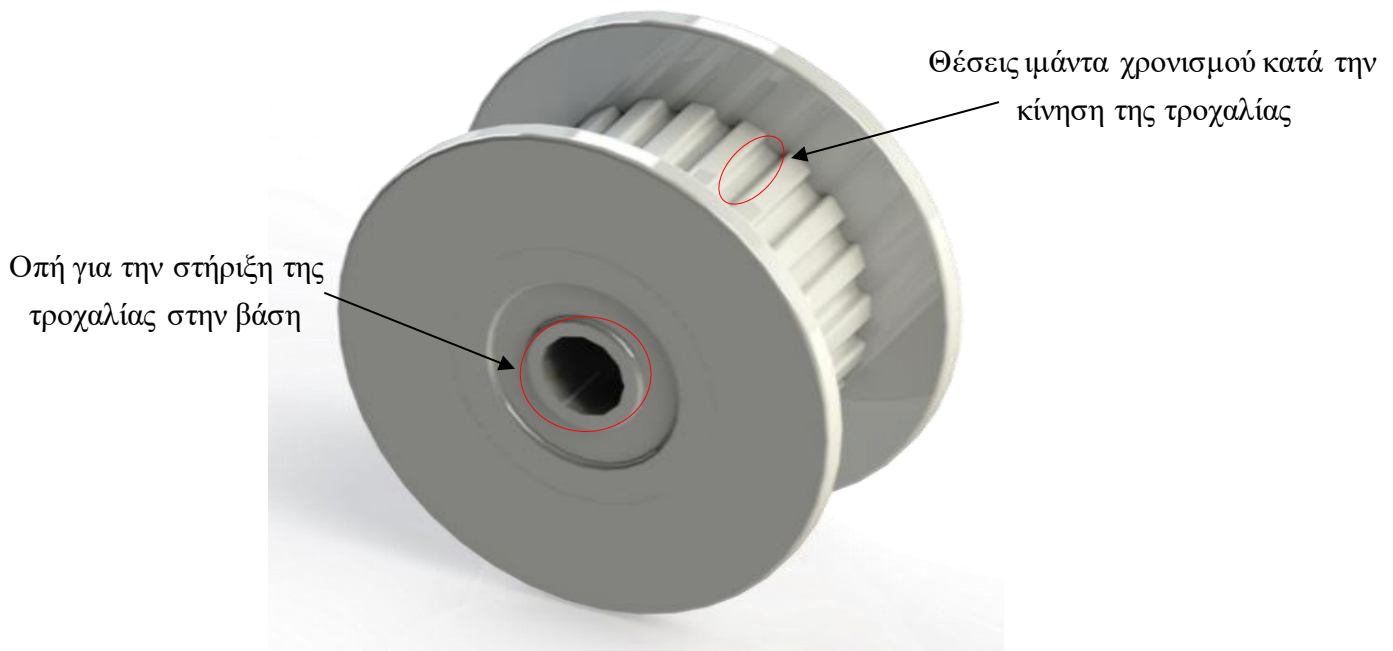
Στην συγκεκριμένη βάση θα στηριχτεί το ρουλεμάν η οποία θα τοποθετηθεί πάνω στην επιφάνεια του άξονα Y ώστε να επιτευχθεί μία σταθερή και ομαλή κίνηση του άξονα



Βάση ρουλεμάν άξονα Y.

2.2.2.23 Ροδέλα κίνησης μάντα.

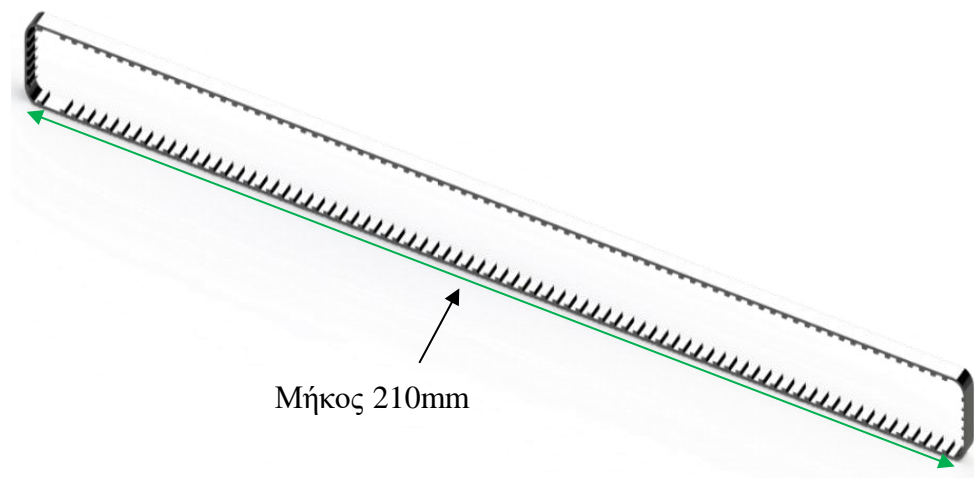
Με την ροδέλα θα επιτευχθεί η κίνηση των αξόνων X και Y οι οποίοι κινούνται με την βοήθεια του μάντα κίνησης.



Ροδέλα για μάντα κίνησης άξονα X-Y.

2.2.2.24 Ιμάντας χρονισμού.

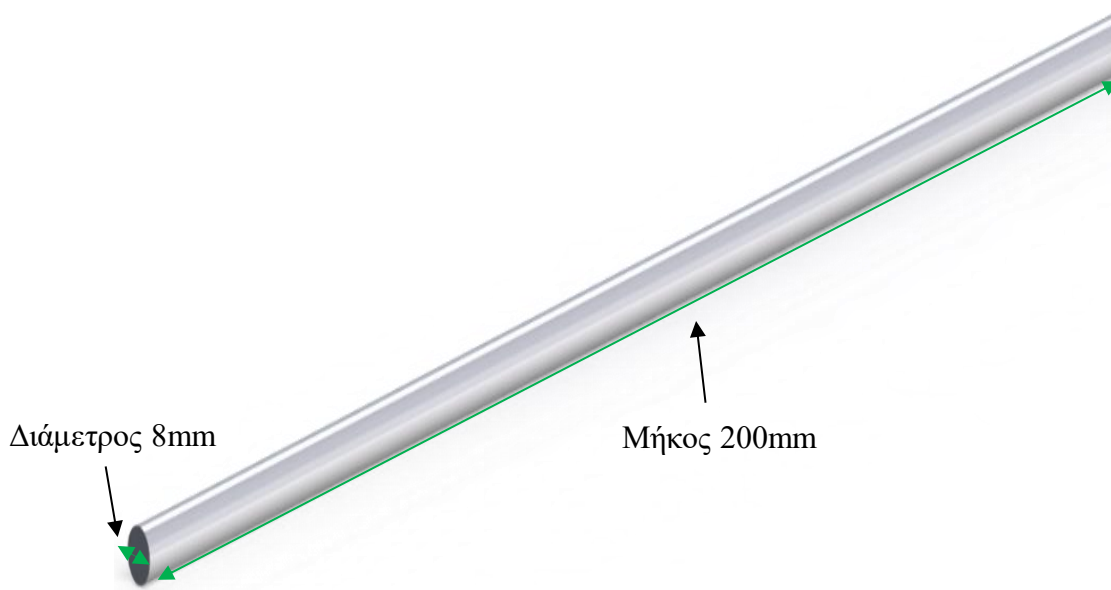
Ο ιμάντας χρονισμού είναι κατασκευασμένος από ανθεκτικό υλικό για μηχανική αντοχή. Στη μία πλευρά του είναι λείος ενώ στην άλλη έχει δόντια τα οποία κρατάνε πολύ καλή επαφή με τα γρανάζια.



Ιμάντας χρονισμού κίνησης άξονα X-Y.

2.2.2.25 Ράβδος ομαλής κίνησης.

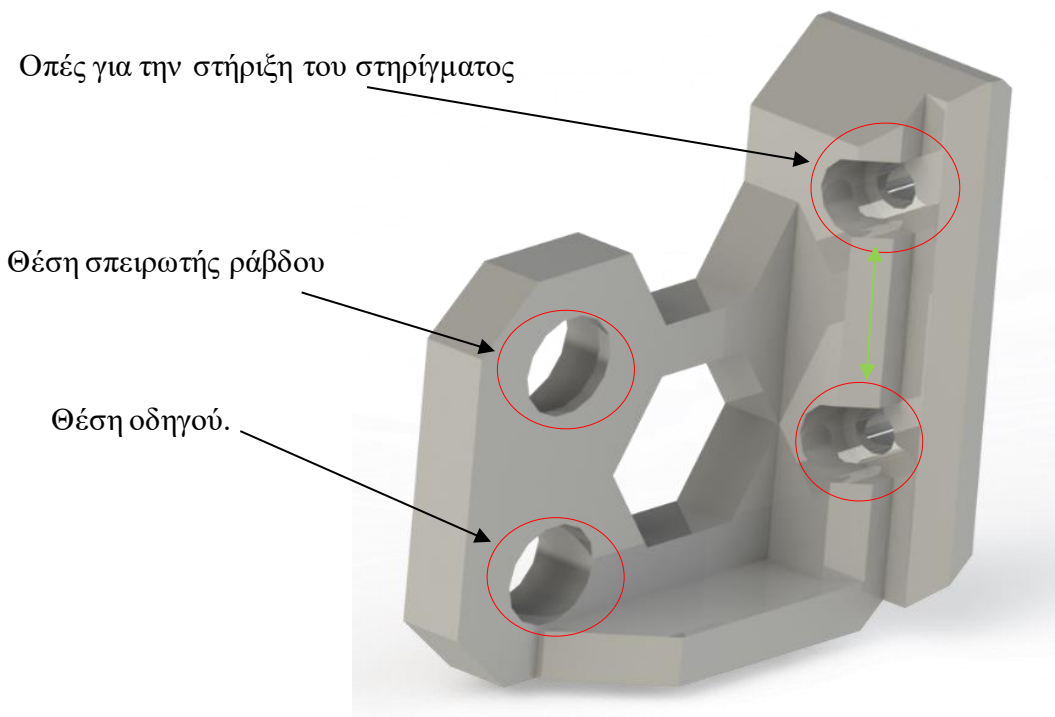
Χρησιμοποιούμε τις ράβδους για να μπορούμε να έχουμε ομαλή, σταθερή και εύκολη κίνηση στους άξονές μας.



Οδηγός βάσης άξονα Z διαμέτρου 8mm και μήκους 200mm.

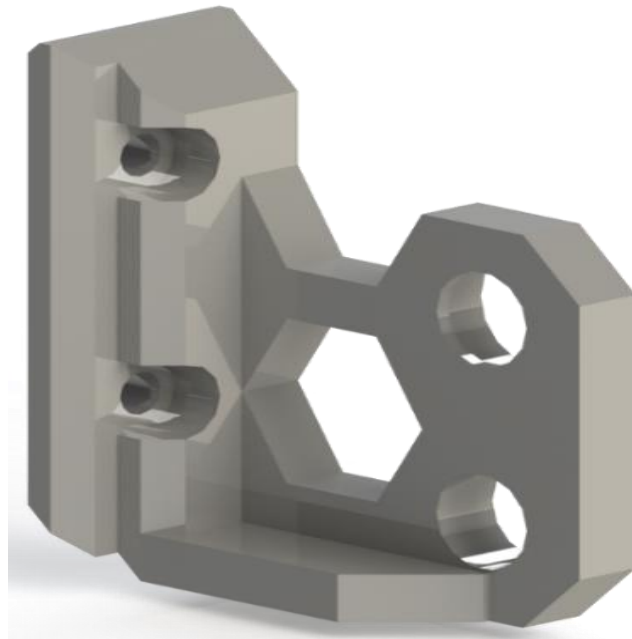
2.2.2.26 Βάσεις ράβδου.

Με την συγκεκριμένες βάσεις επιτυγχάνετε η στήριξη των ράβδων στο άξονα Z.



Βάση οδηγού και άξονα (Άξονα Z αριστερό).

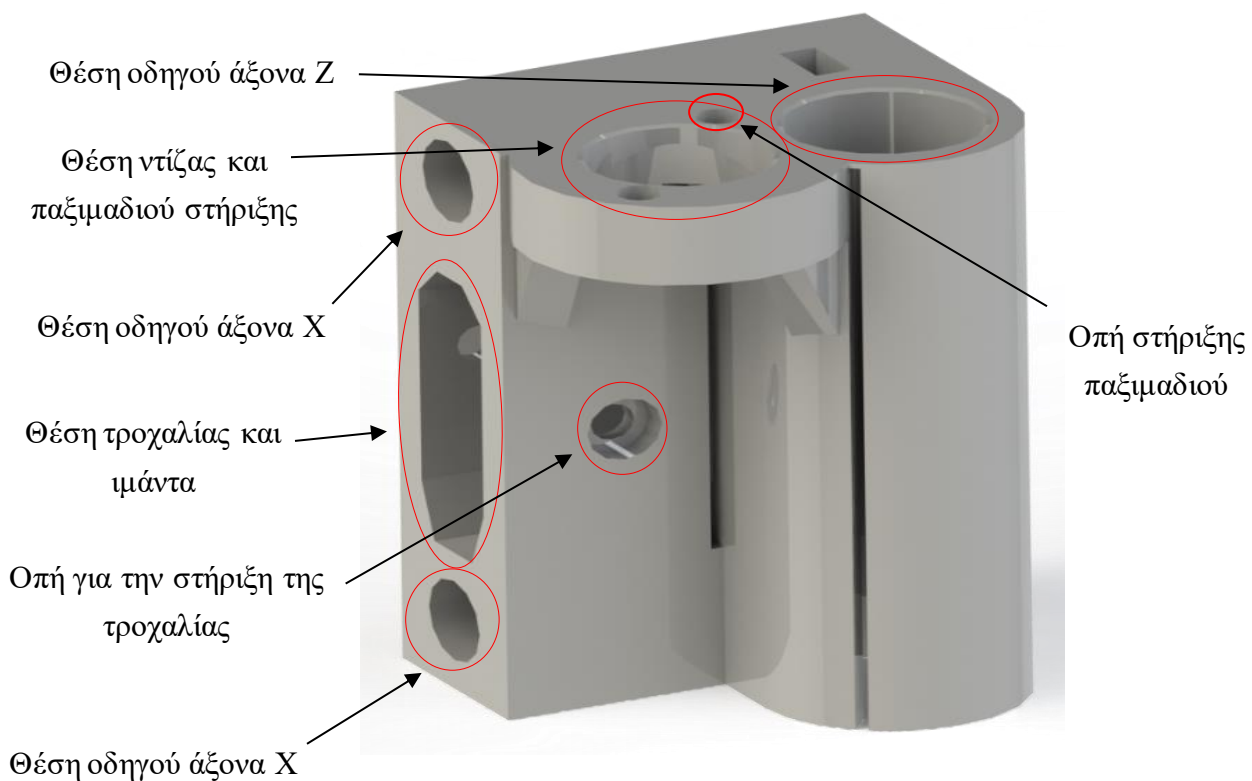
Αντίστοιχα για το δεξί στήριγμα.



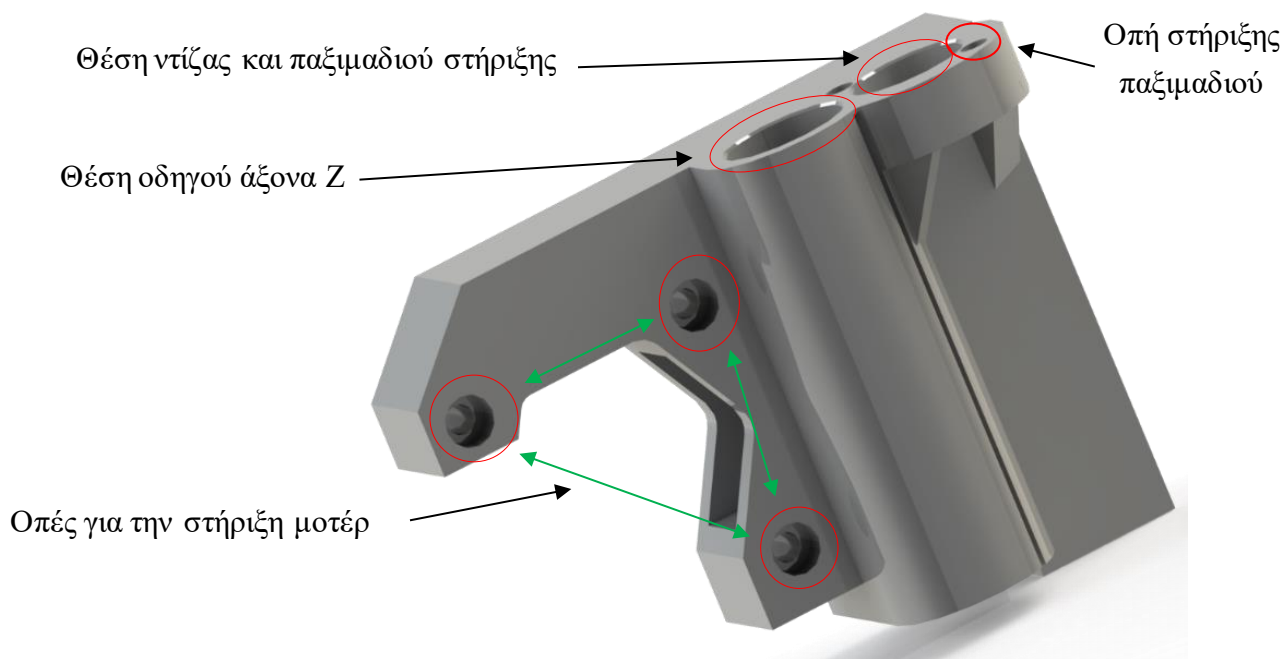
Βάση οδηγού και άξονα (Άξονα Z δεξί).

2.2.2.27 Βάσεις στήριξης άξονα X.

Με τις συγκεκριμένες βάσεις επιτυγχάνετε η στήριξη των ράβδων, των ροδελών, των σπειρωτών παξιμαδιών και του μάντα κίνησης.



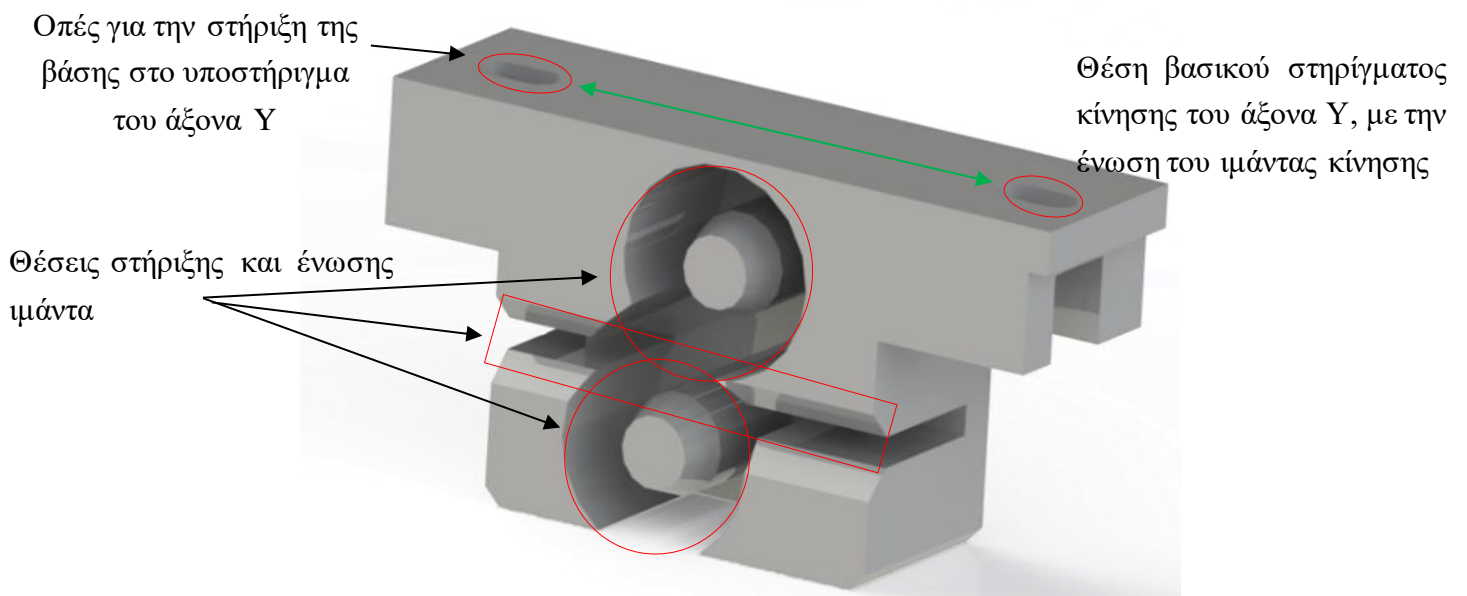
Βάση οδηγού (Άξονα X δεξί).



Βάση οδηγού και μοτέρ (Άξονα X αριστερό).

2.2.2.28 Σύνδεσμος μάντα με την επιφάνια εκτόπωσης άξονα Y.

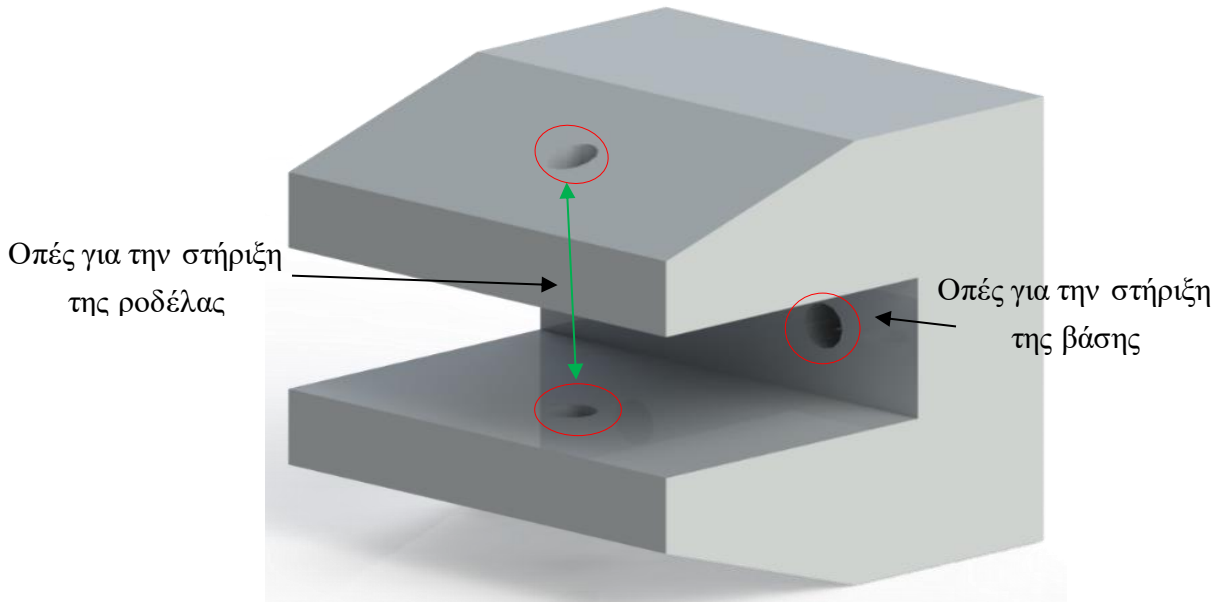
Με τη συγκεκριμένη βάση επιτυγχάνετε η στήριξη του μάντα κίνησης με το υποστήριγμα για τον άξονα Y



Βάση υποστηρίγματος, ένωσης και στήριξης μάντα (Άξονα Y).

2.2.2.29 Βάση στήριξης ροδέλας και μάντα κίνησης.

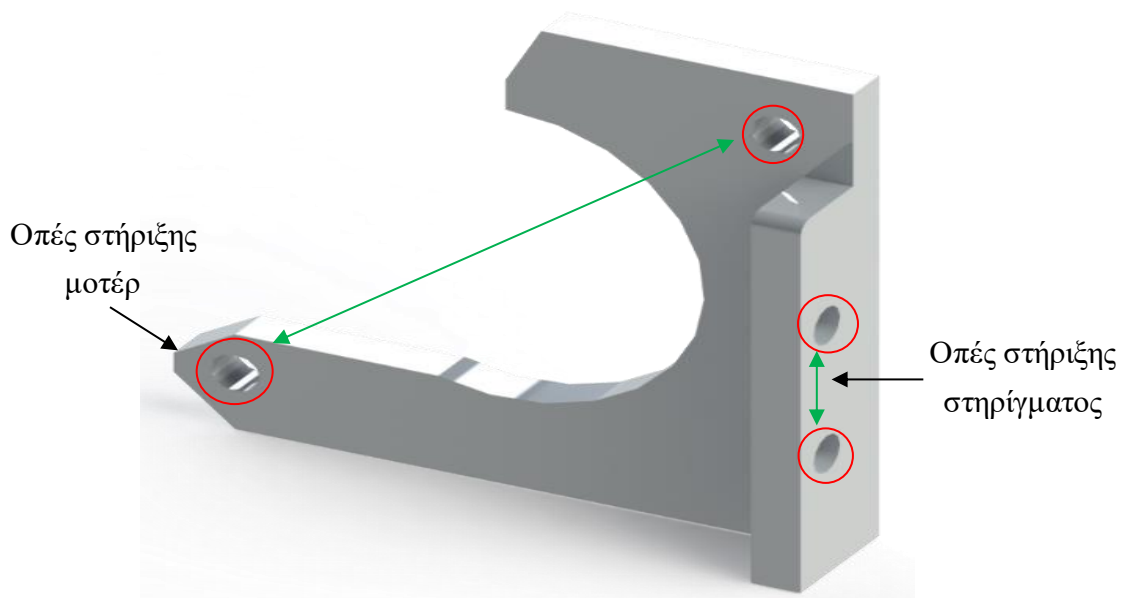
Με την συγκεκριμένη βάση στήριξης επιτυγχάνετε η τοποθέτηση της τροχαλίας πάνω στην βάση και του μάντα κίνησης.



Βάση ροδέλας μάντα άξονα Y

2.2.2.30 Βάση στήριξης μοτέρ άξονα Y.

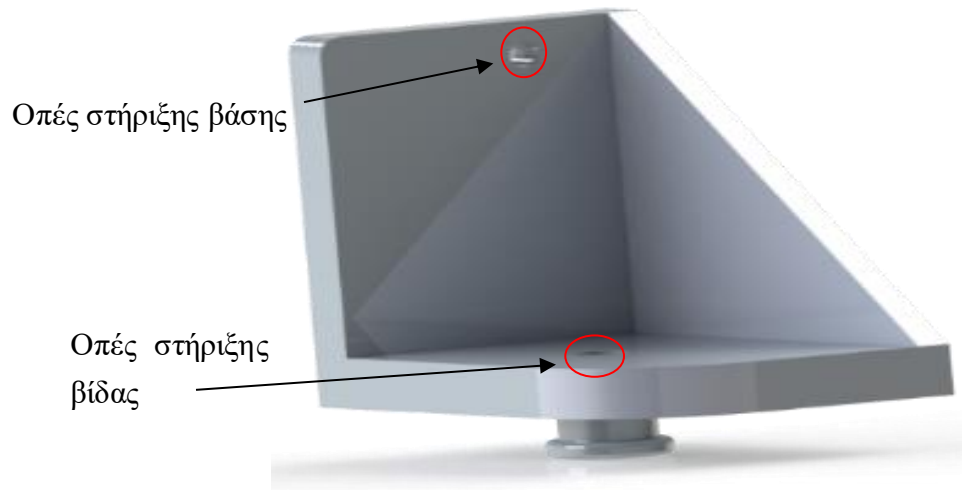
Με την συγκεκριμένη βάση επιτυγχάνετε η στήριξη του βηματικού κινητήρα στον άξονα Y..



Βάση μοτέρ άξονα Y.

2.2.2.31 Βάση στήριξης βίδας για μηχανικό τερματικό διακόπτη.

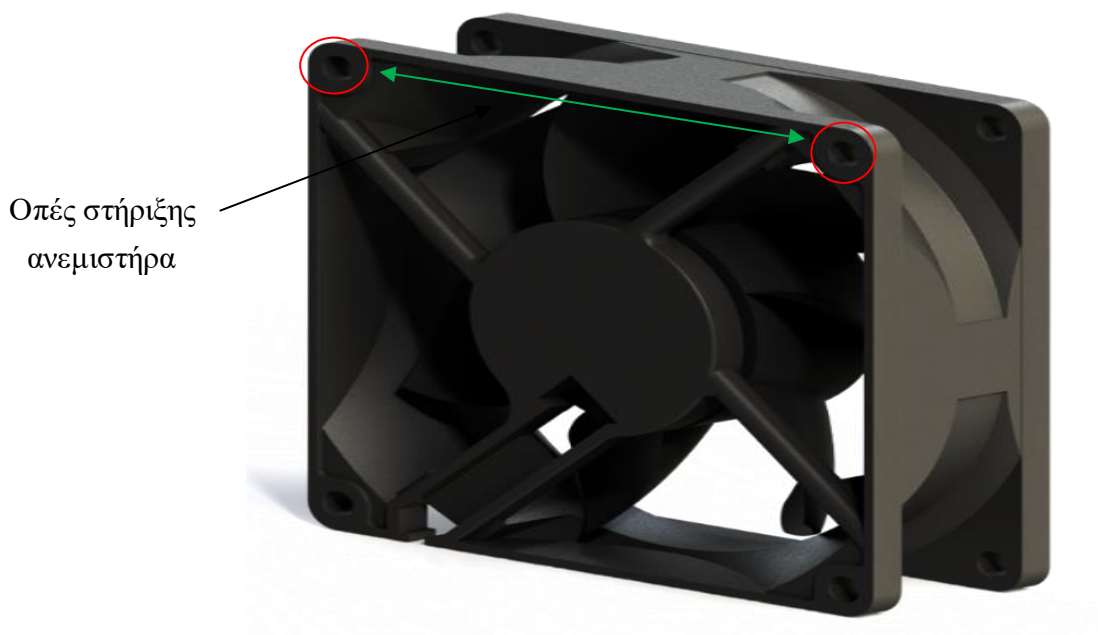
Με την συγκεκριμένη βάση επιτυγχάνετε η στήριξη της βίδας για την σωστή λειτουργία του τερματικού διακόπτη για τον άξονα Z



Βάση για βίδας end-stop άξονα Z.

2.2.2.32 Ανεμιστήρας.

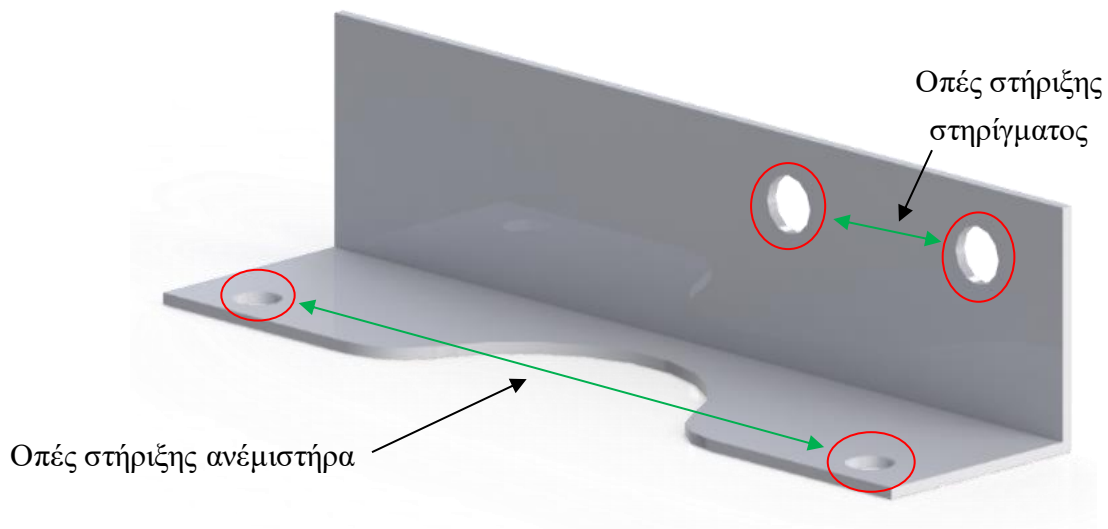
Με την χρήση του επιτυγχάνετε η σταθερή θερμοκρασία της μητρικής πλακέτα Arduino mega.



Ανεμιστήρας

2.2.2.33 Στήριγμα ανεμιστήρα.

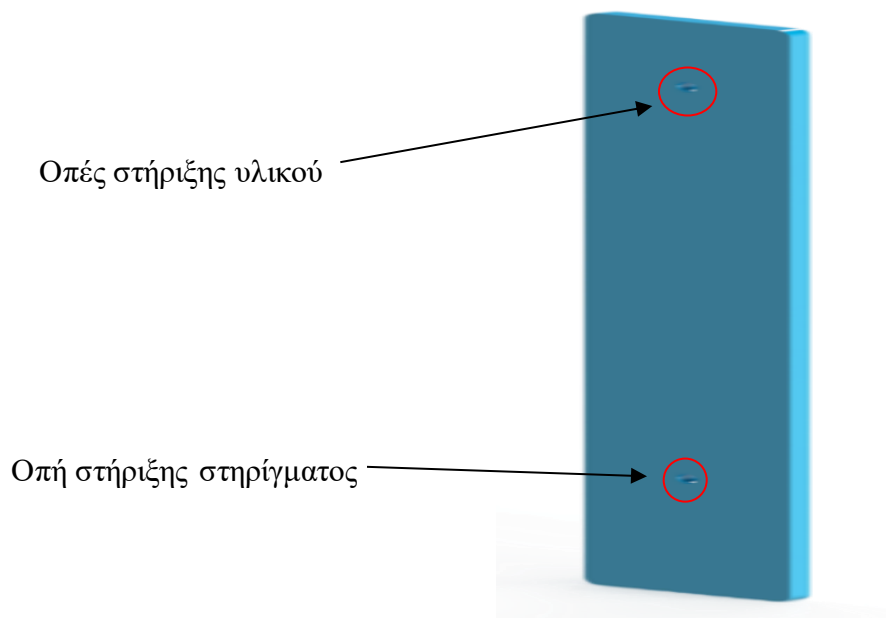
Με βοήθεια του συγκεκριμένου στηρίγματος επιτυγχάνετε η στήριξη του ανεμιστήρα ψύξης.



Στήριγμα από ανεμιστήρα .

2.2.2.34 Στήριγμα υλικού.

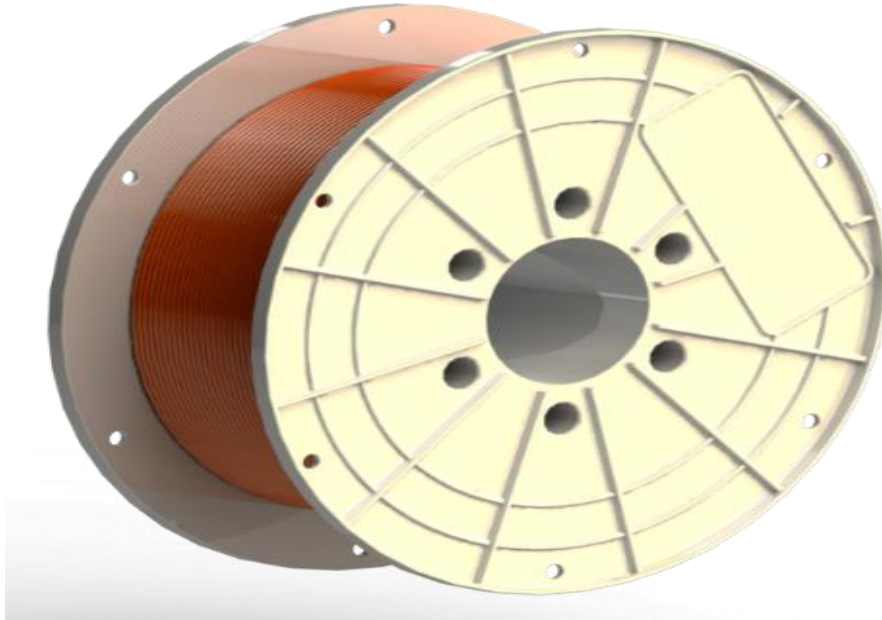
Με το συγκεκριμένο στηρίγμα επιτυγχάνετε η στήριξη του υλικού .



Βάση για υλικό.

2.2.2.35 Υλικό.

Δείγμα υλικού για την σωστή παρουσία του σχεδίου.



Δείγμα υλικού PLA.

2.2.2.36 Βίδες – Παξιμάδια.

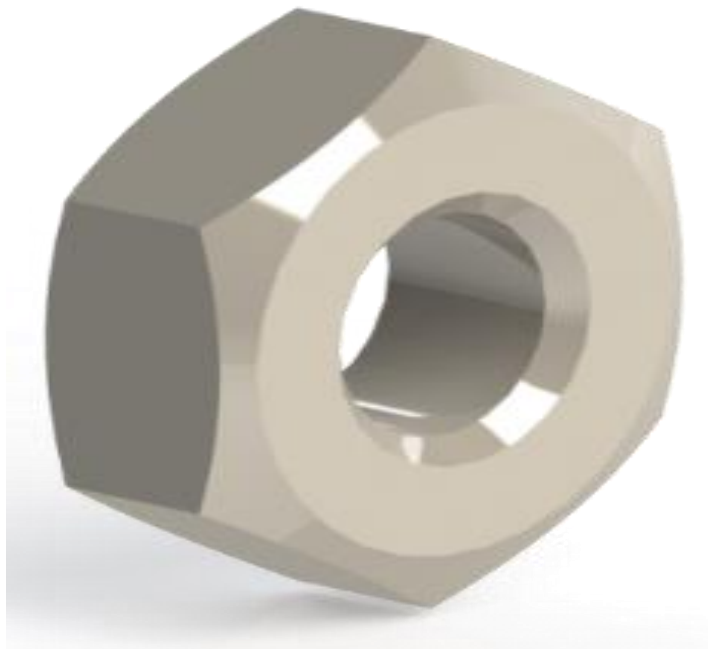
Η βίδες για την σύνδεση της κατασκευής για στηρίγματα της κατασκευής.



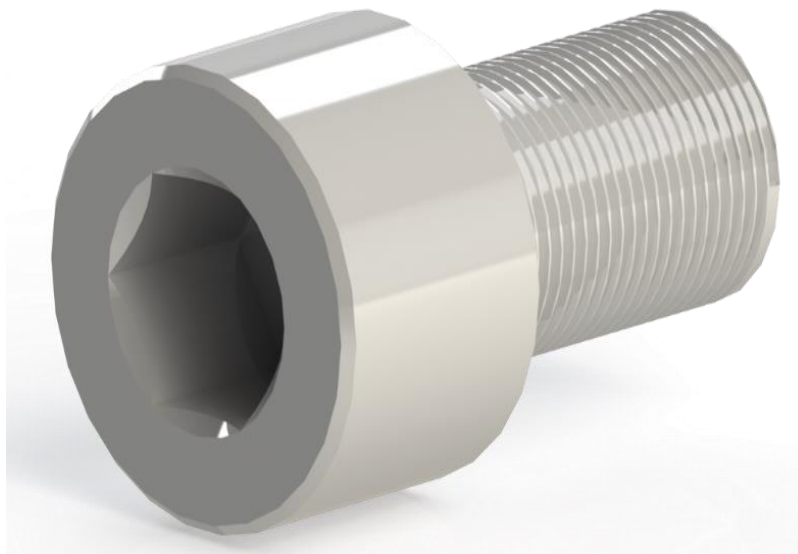
*Βίδα Allen M4*20mm.*



*Βίδα M3*10mm.*



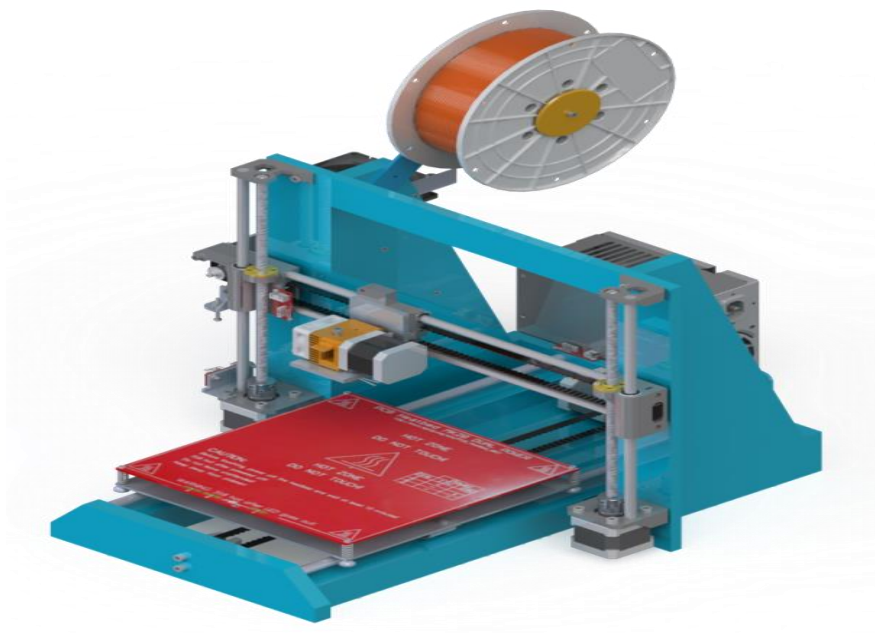
Παξιμάδι διαμέτρου 8mm και σπείρωμα 2mm



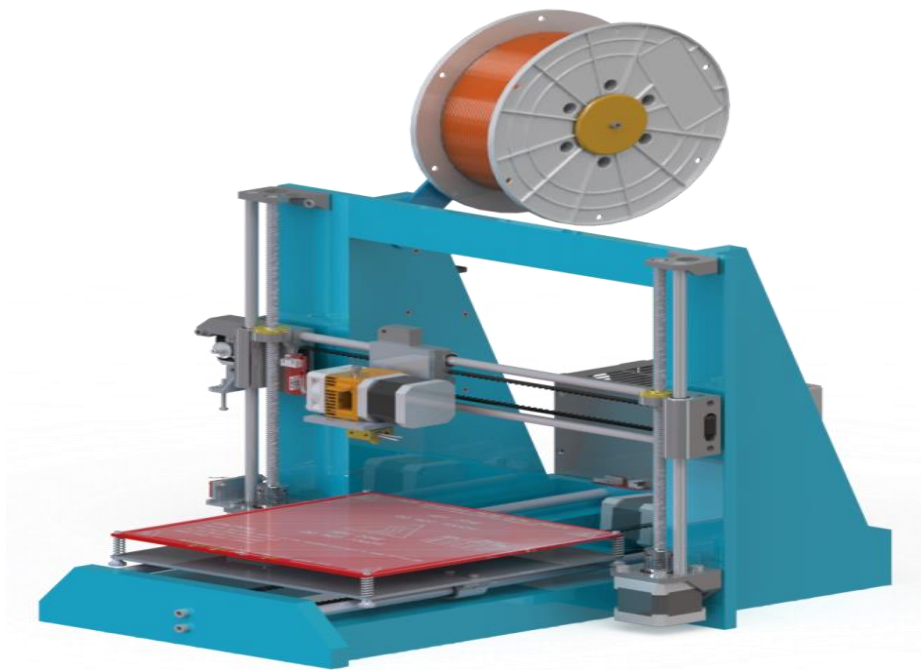
*Βίδα Allen M3*5mm.*

2.3 Ολοκληρωμένη συναρμολόγηση 3D εκτυπωτή.

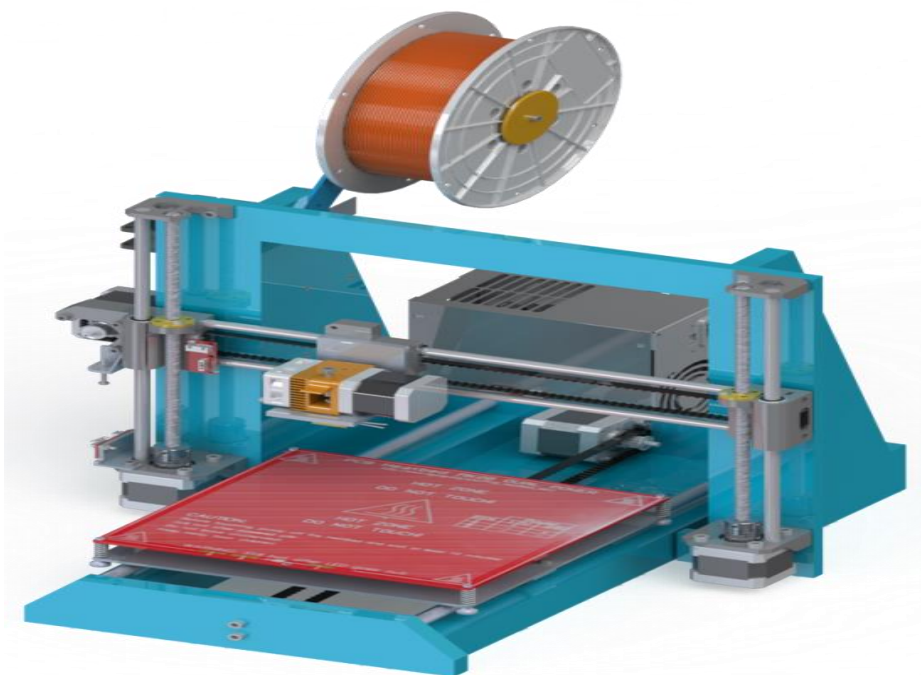
Σε αυτό αυτήν την ενότητα τοποθετήθηκαν όλα τα μηχανικά και ηλεκτρονικά μέρη πάνω στην κατασκευή.



3D Εκτυπωτή 1^η όψη(ισομετρική).

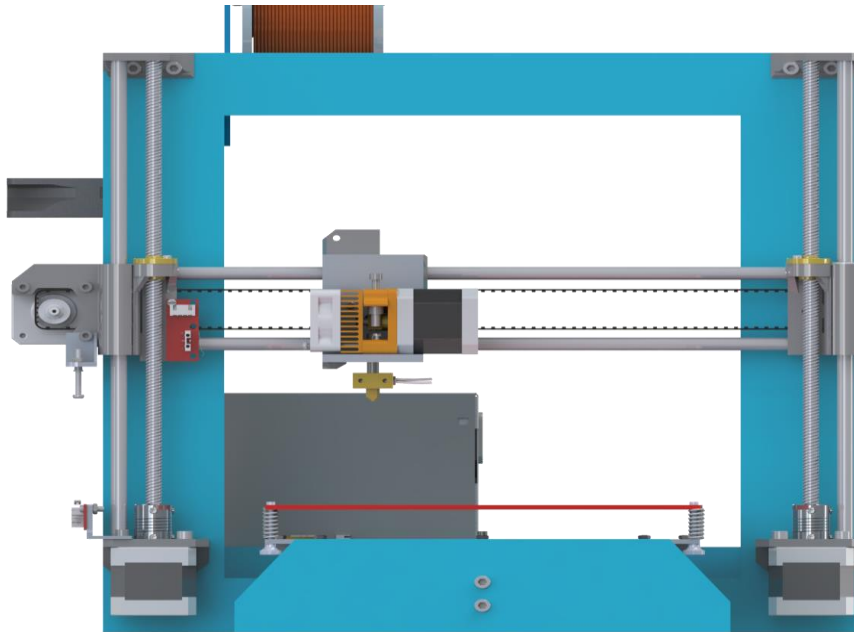


3D Εκτοπωτή 2^η άψη(διαμετρική).

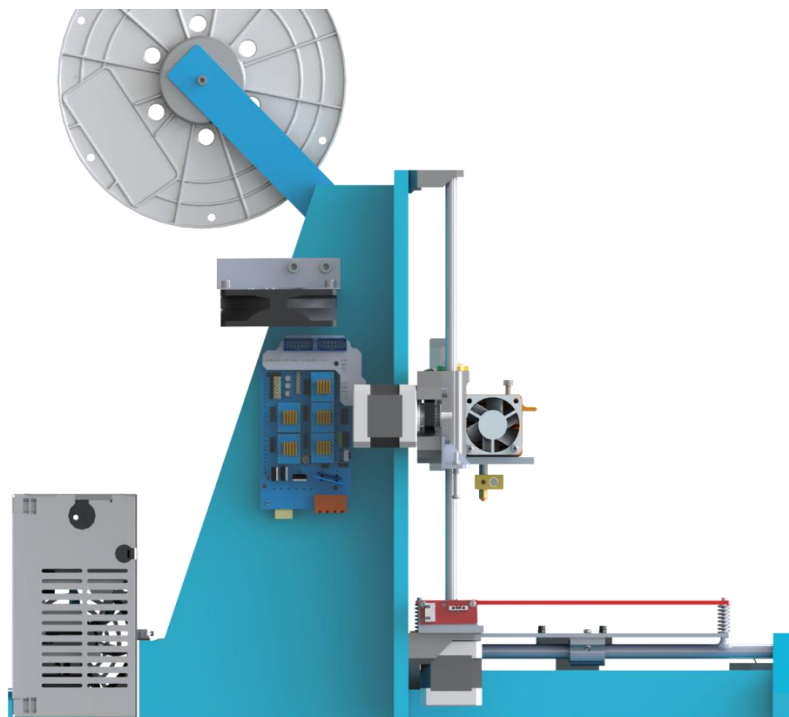


3D Εκτοπωτή 3^η άψη(τριαμετρική).

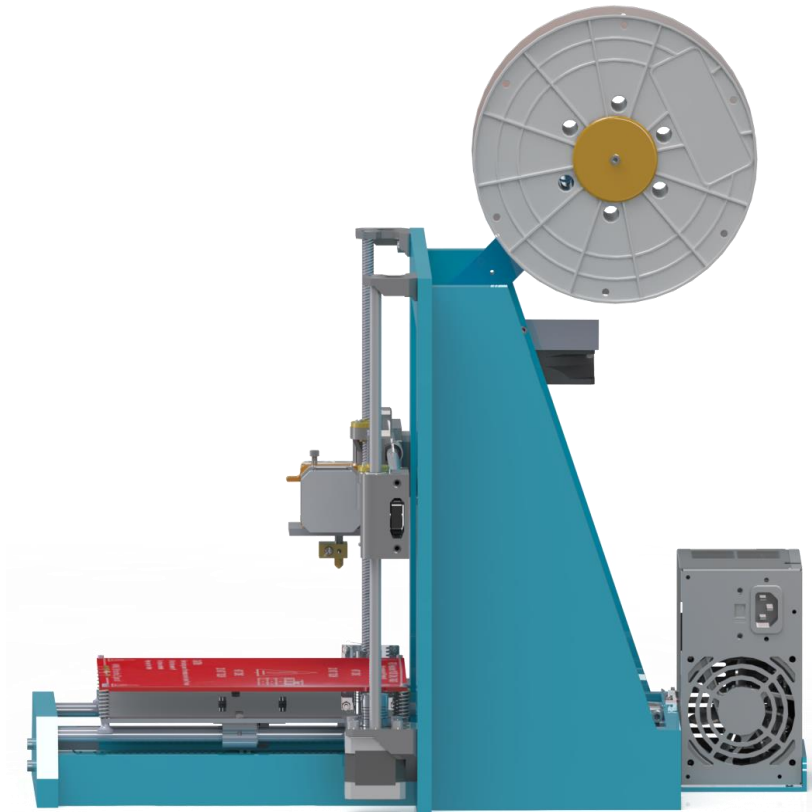
- Στην συγκεκριμένη απεικόνιση παρατηρούνται οι βάσεις, τα μηχανικά μέρη και τα σημεία τοποθέτησης τους πάνω στην κατασκευή μας.



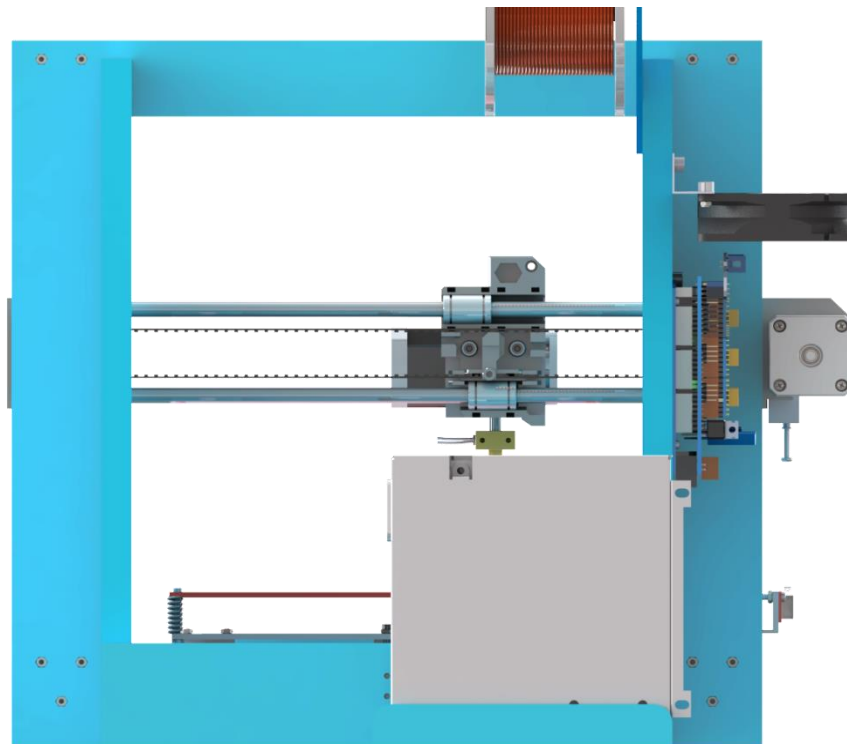
3D Εκτοπωτή 4^η όψη(πρόοψη).



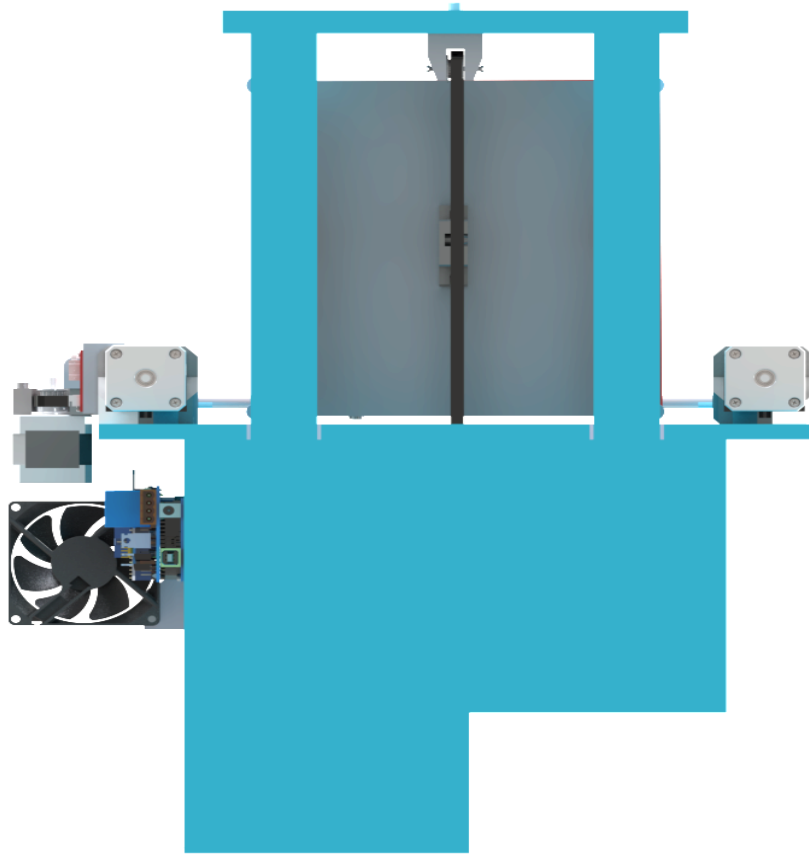
3D Εκτοπωτή 5^η όψη(αριστερή πλάγια).



3D Εκτοπωτή 6^η όψη(δεξιά πλάγια).

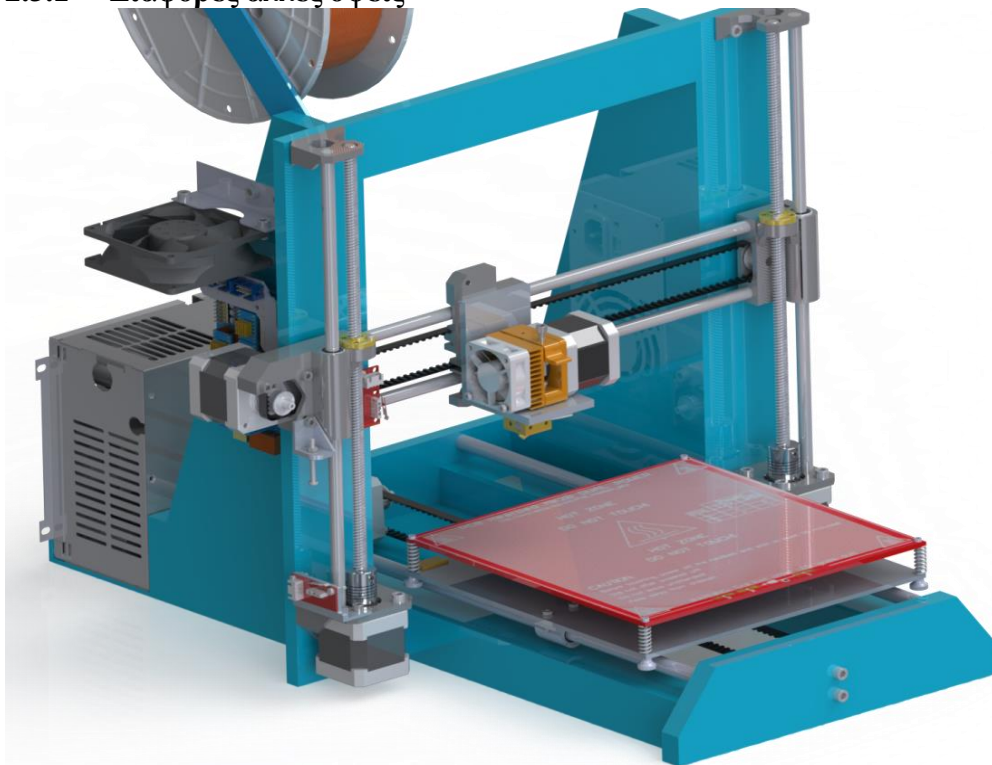


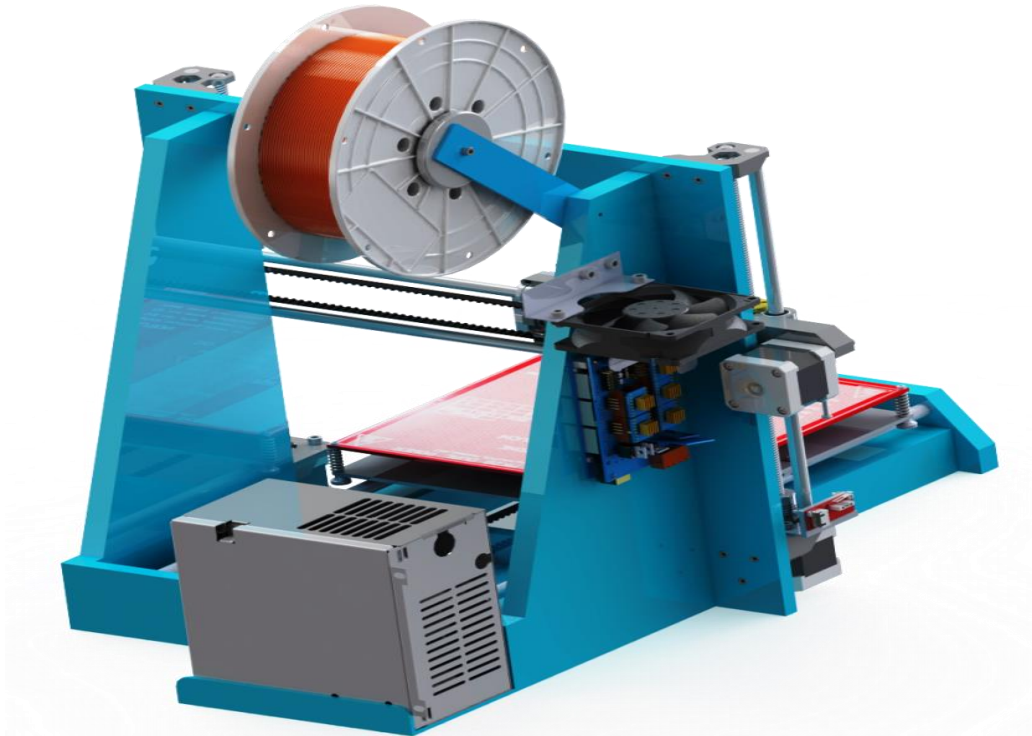
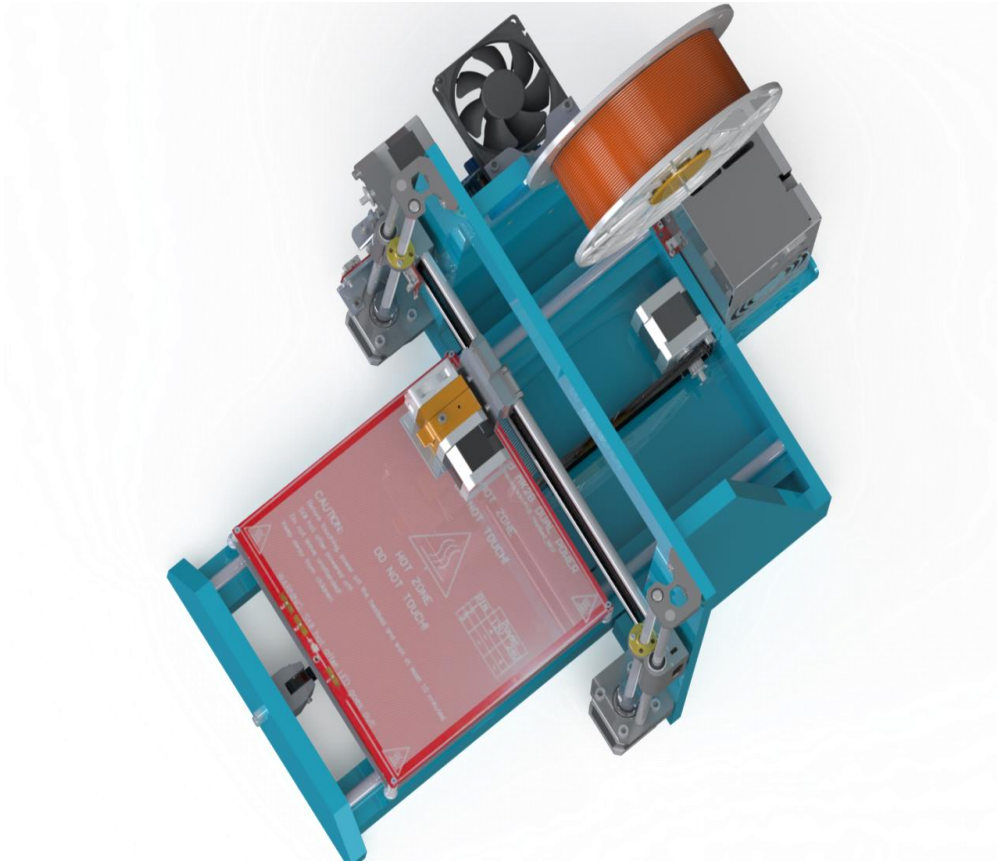
3D Εκτοπωτή 7^η όψη(πίσω όψη).

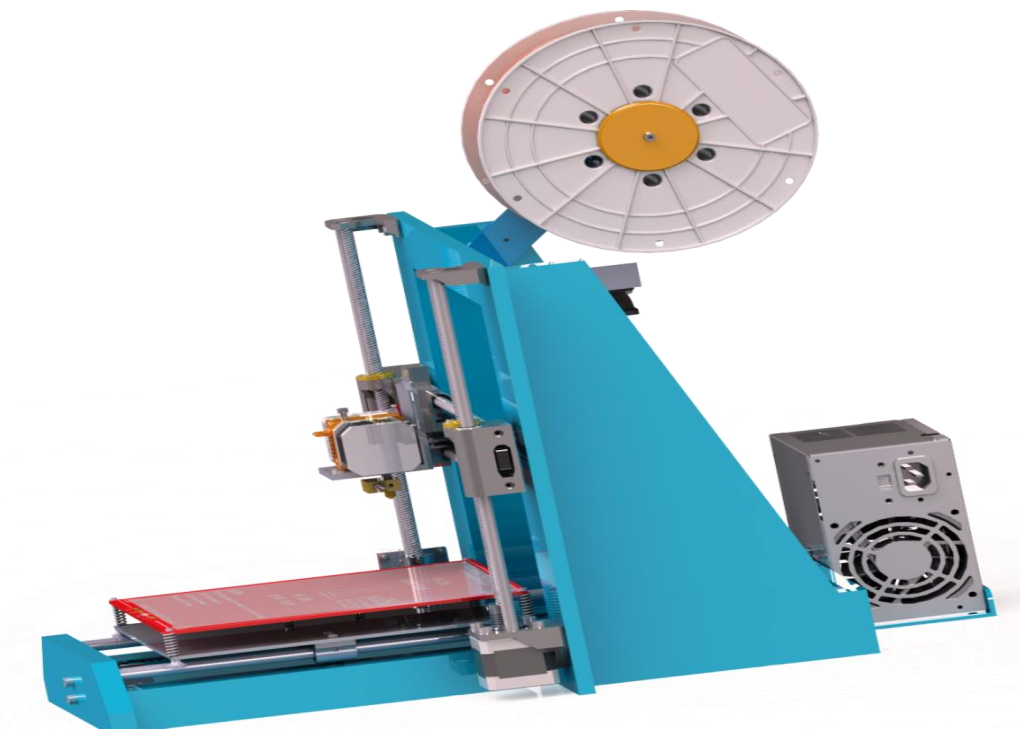
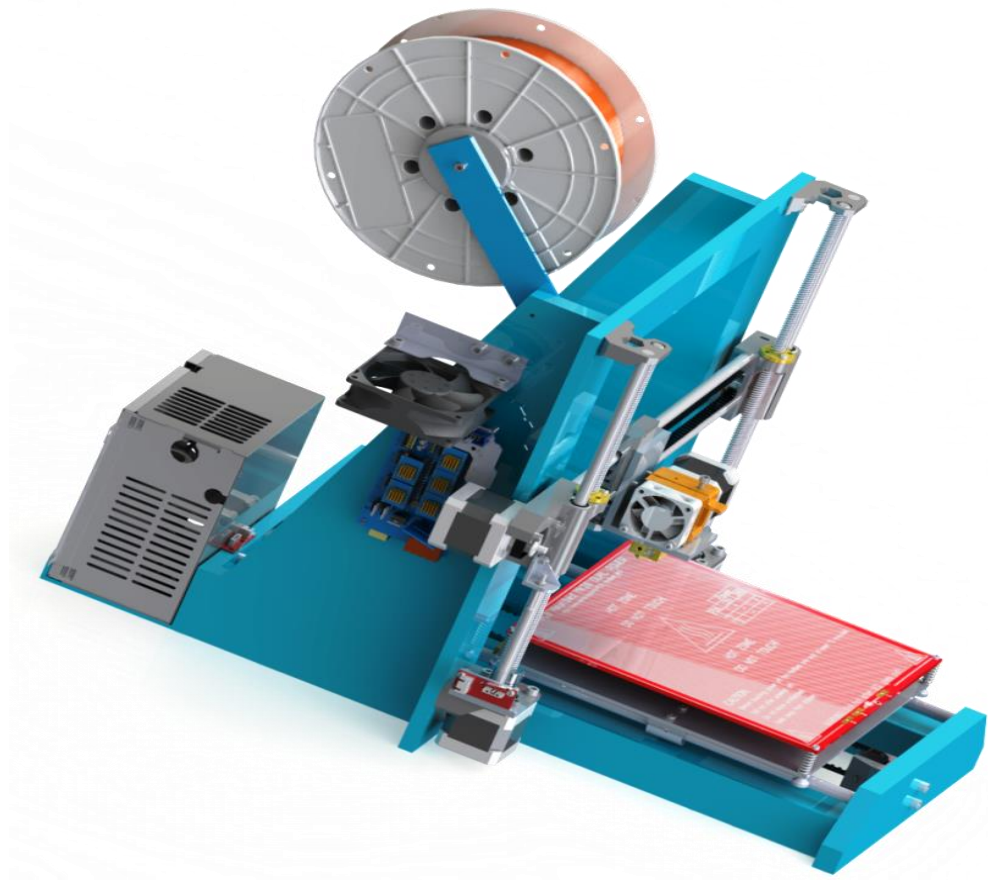


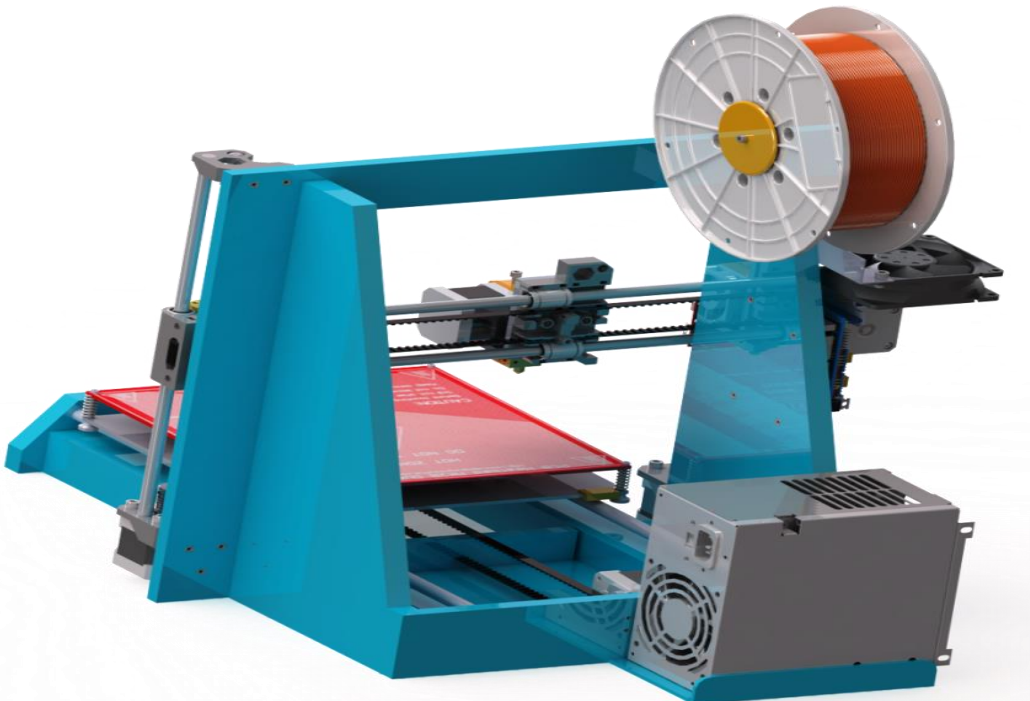
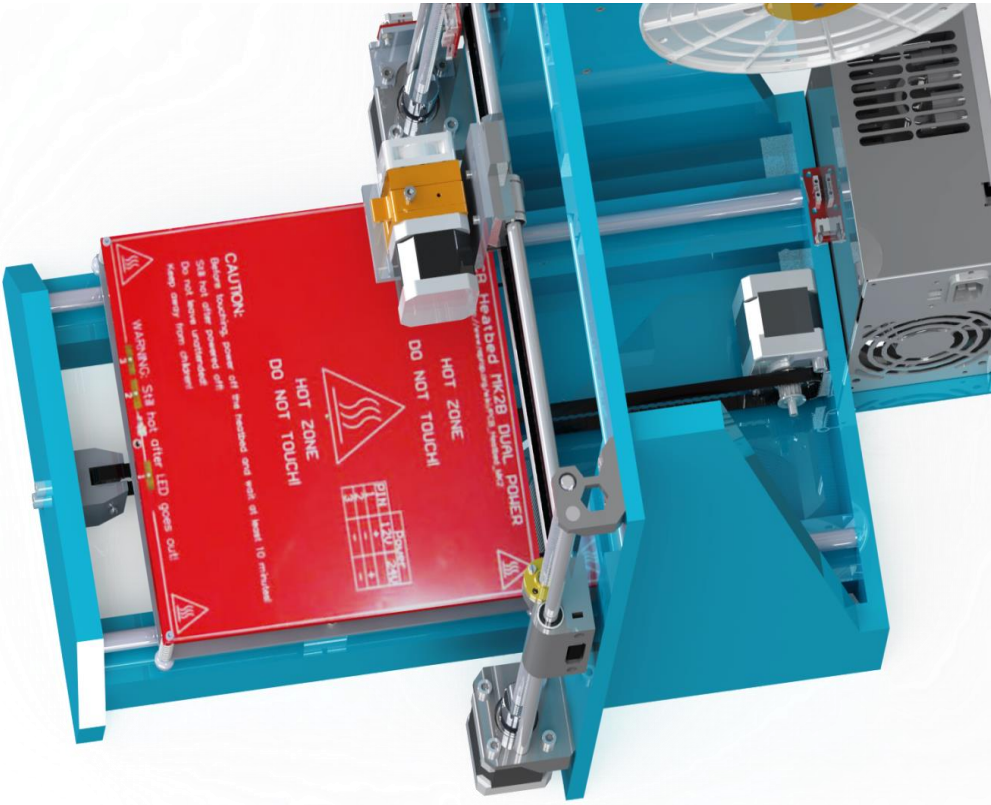
3D Εκτοπωτή 8" όψη(άνοψη).

2.3.1 Διάφορες άλλες όψεις

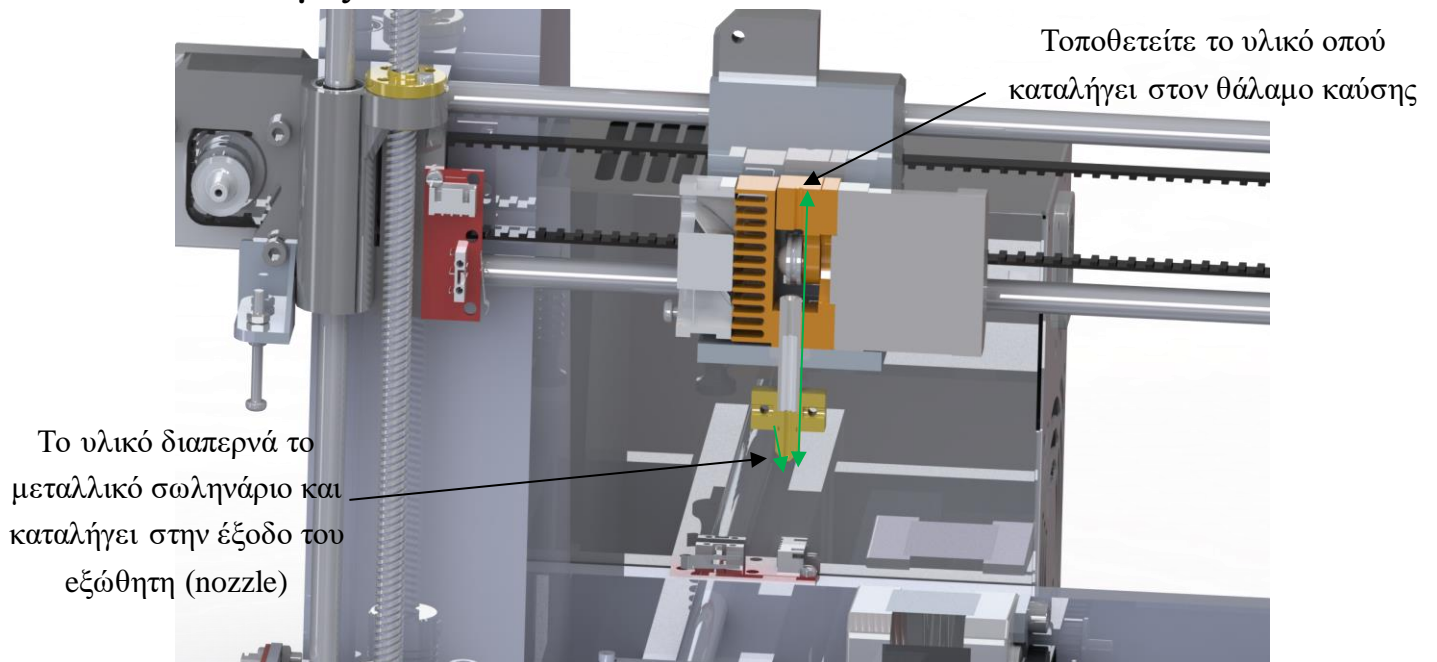




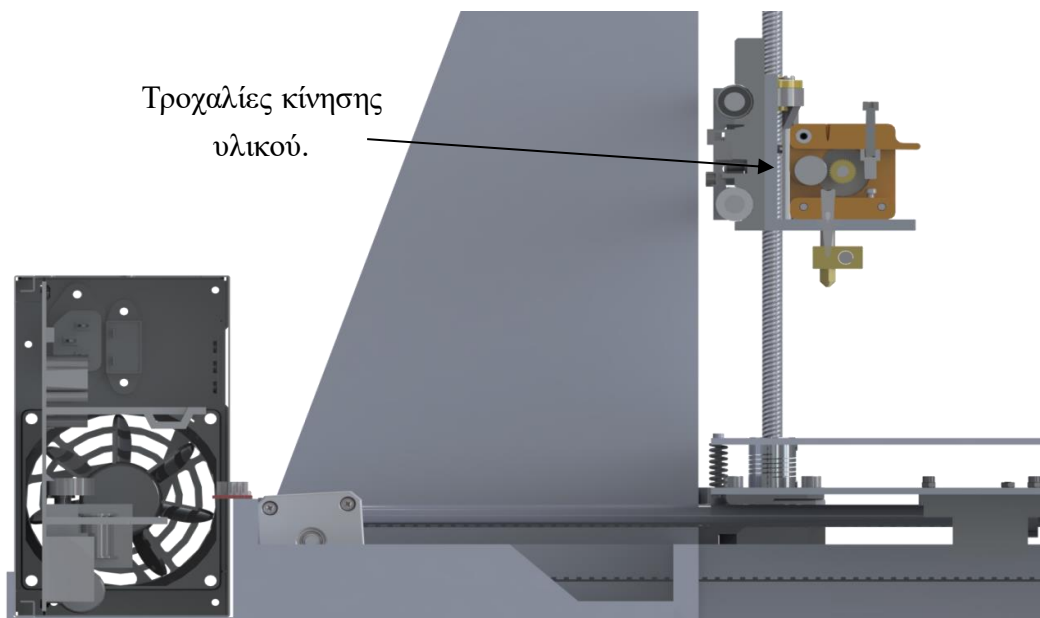




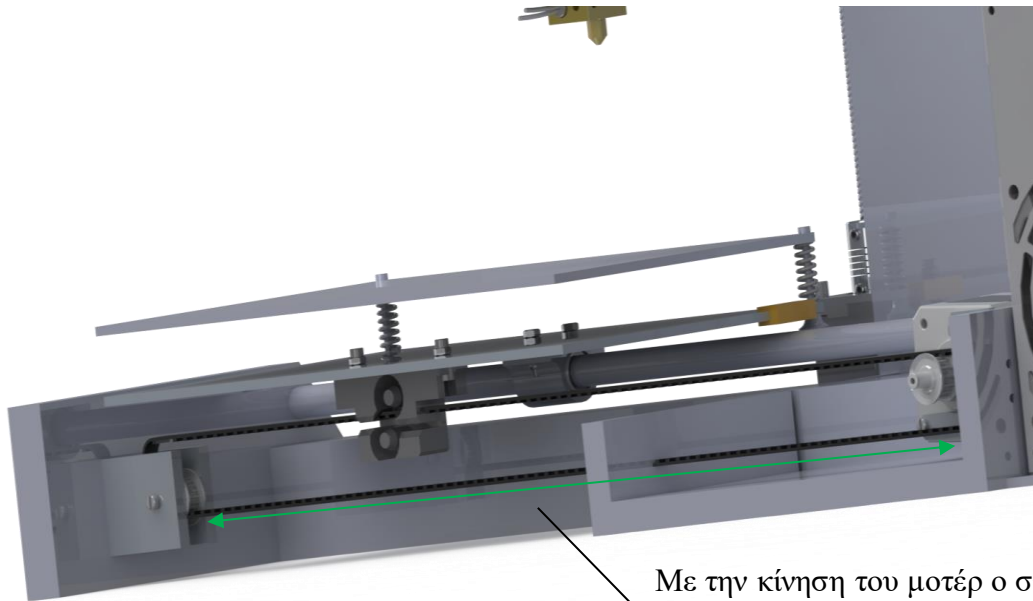
2.4 Τομές



1^η Τομή (προόψη)



2^η Τομή (πλάγια αριστερή)

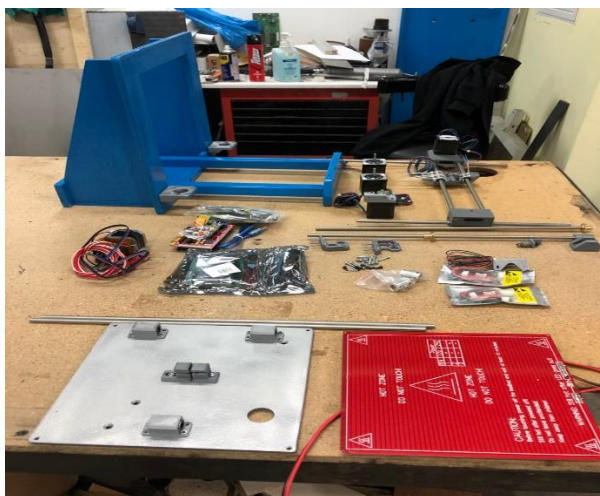


Με την κίνηση του μοτέρ ο στηριζόμενος
ιμάντας, θα κινήσει το υποστήριγμα του
τραπέζιου, σύμφωνα με την ένδειξη.

3^η Τομή (πλάγια δεξιά με κλίση 35°)

Κεφάλαιο 3. ΔΗΜΙΟΥΡΓΙΑ ΜΑΚΕΤΑΣ.

3.1 Αγορές και τιμές.



Στην παραπάνω φωτογραφία απεικονίζονται τα χρήσιμα αντικείμενα για την υλοποίηση της κατασκευής.

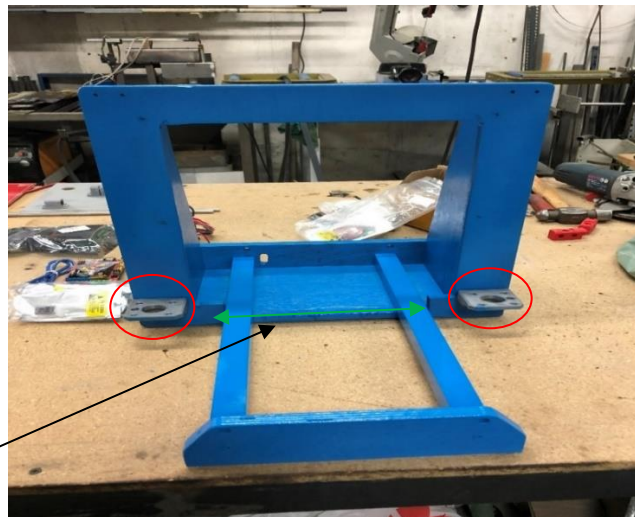
A/A	Υλικά	Ποσότητα	Κόστος €
1	Μοτέρ NEMA 17	4	55 €
2	Heated Bed	1	13 €
3	Andruino Mega 2560 R3	1	15 €
4	Ramps 1.4	1	15€
5	Endstop	3	5 €
6	Ιμάντες	2	2 €
7	Ρουλεμάν	10	6 €
8	Ρύθμιση επιπέδου κλίνης	4	3 €
9	Μύτη Extruder	1	1 €
10	Τροχαλία – teeth Bore	4	5 €
11	Ντίζα	2	8 €
12	Ανεμιστηράκι Extruder	1	5 €
13	Extruder με μοτέρ	1	25 €
14	Σύζευξη άξονα	2	3 €
15	Δοκάρι	2	3 €
16	Κόντρα πλακέ θαλασσί	1	15 €
17	Στηρίγματα	9	15 €
18	Ανεμιστήρι	1	20 €
19	Τροφοδοτικό	1	5 €
20	Βίδες	30	5 €
	Σύνολο	81	224 €

Πίνακα 1.1

Για τα εξαρτήματα που χρησιμοποιήσαμε για την κατασκευή του δικού μας 3D εκτυπωτή, συμβουλευτήκαμε τον επίσημο οδηγό της REPRAP. Όλα τα μηχανικά και ηλεκτρονικά εξαρτήματα τα προμηθευτήκαμε από την ηλεκτρονική πλατφόρμα αγοροπωλησιών Ebay τα υπόλοιπα υλοποιήθηκαν σύμφωνα με τις ανάγκες της κατασκευής.

3.2 Αναλυτικά κάθε αντικείμενο.

Ο παρακάτω σκελετός δημιουργήθηκε από ένα μακρύ ντουλάπι κόντρα πλακέ θαλασσή και με τις κατάλληλες ενέργειες διαμορφώθηκε έτσι όπως ήταν το αρχικό σχέδιο. Πραγματοποιήθηκαν με ειδικά κοπτικά μηχανήματα (π.χ σέγα, τρυπάνι) οι ανάλογες κοπές ώστε κάθε κομμάτι που κόβαμε να έπαιρνε το σχήμα που επιθυμούσαμε και έπειτα ενώσαμε τα κομμάτια αυτά. Τέλος πραγματοποιήθηκαν οι οπές για την στήριξη των βάσεων των μηχανικών και ηλεκτρονικών εξαρτημάτων στις διάφορες πλευρές όπως προέβλεπε το σχέδιο.



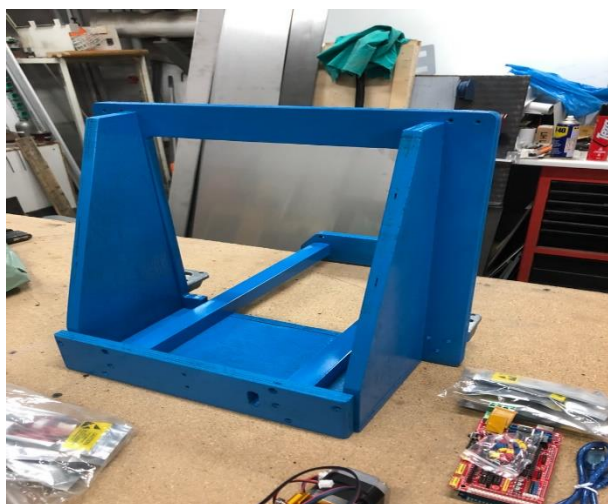
Στηρίγματα μοτέρ

Βάση με δύο στηρίγματα μοτέρ.

Σε πρώτη φάση βιδώσαμε τις βάσεις των μοτερ πάνω στις δοκούς στην προόψη του σκελετού και στις δύο πλευρές.

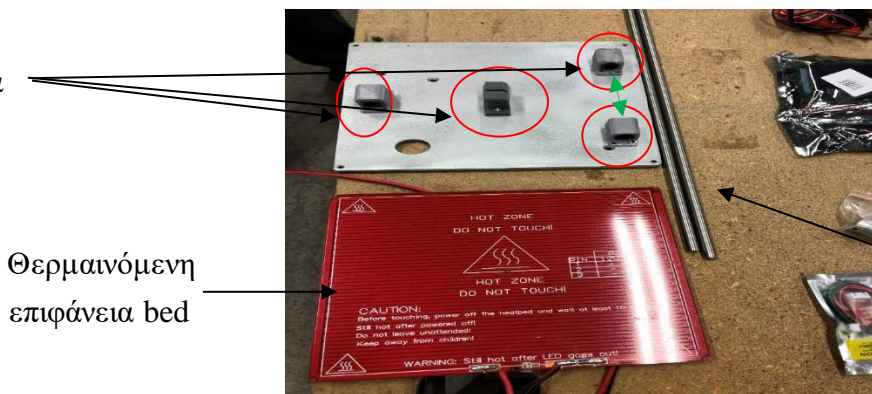


Πλάγια πίσω δεξιά όψη σκελετού.



Πλάγια πίσω αριστερή όψη σκελετού.

Στηρίγματα



Θερμαινόμενη
επιφάνεια bed

Ντίζες

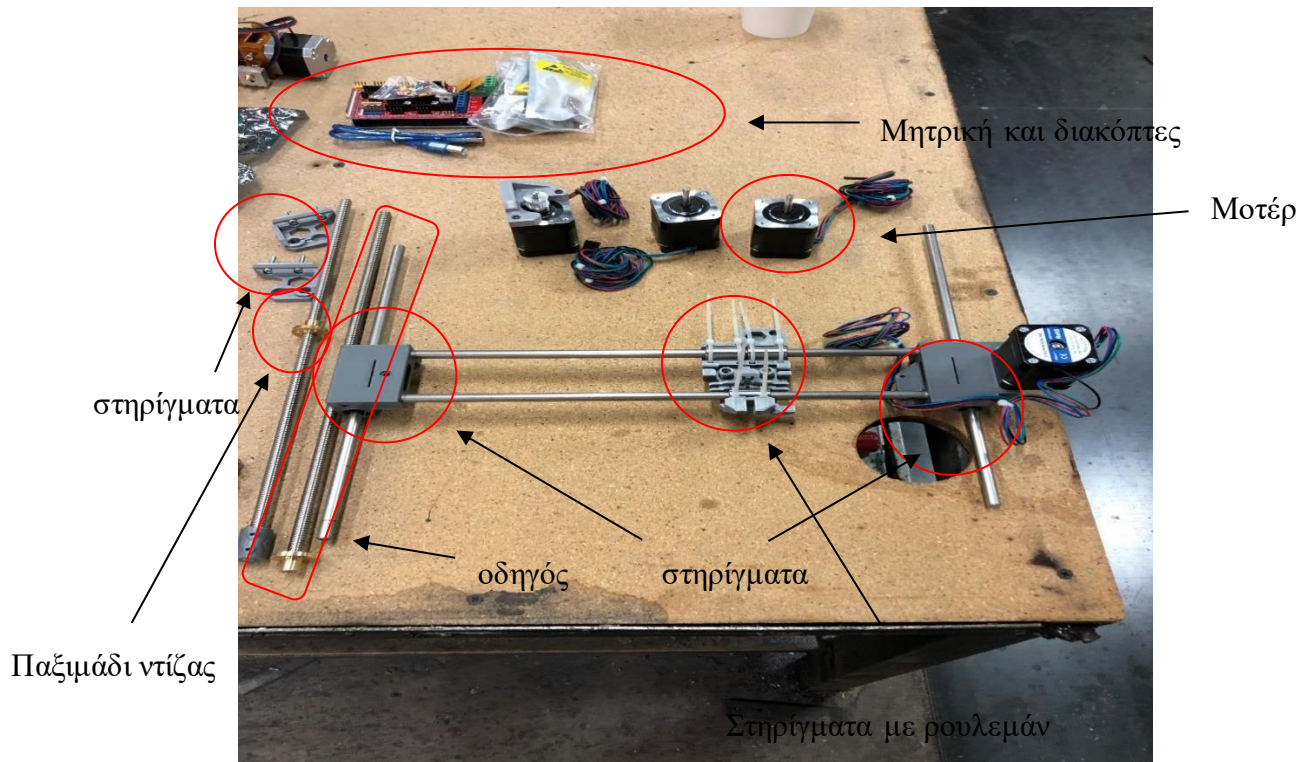
Θερμαινόμενη επιφάνεια μαζί με το υποστήριγμα και με τα στηρίγματά και τις ντίζες .

Μετέπειτα τοποθετήσαμε τα στηρίγματα των ρουλεμάν και το στήριγμα για το τερματικό του μάντα όπου με την ένωση του θα δίνει κίνηση μέσω του μοτέρ και της τροχαλίας στο υποστήριγμα του άξονα Y. Στην συνέχεια εγκαταστήσαμε τον μάντα κίνησης. Επιπλέον στηρίξαμε την θερμαινόμενη επιφάνεια πάνω στο υποστήριγμα με τις βίδες και τα ελατήρια ρύθμισης.



Ρυθμίσεις ύψους θερμαινόμενης επιφάνειας.

- Τα στηρίγματα που τοποθετήθηκαν, σχεδιάστηκαν και εκτυπώθηκαν σε φίλου 3D εκτυπωτή και το αποτελέσματα ήταν καλύτερο των προσδοκιών.



Στηρίγματα, μοτέρ, μητρική, παξιμάδια, ρουλεμάν και διακόπτες.

Έπειτα τοποθετήσαμε τις σπειρωτές ράβδους με τα παξιμάδια στήριξης και τις ράβδους ομαλής κίνησης πάνω στα στηρίγματα για τον άξονα X. Εγκαταστήσαμε τα ρουλεμάν στον κεντρικό στήριγμα και προβήκαμε και στην τοποθέτηση του μοτέρ μαζί με τις τροχαλίες κίνησης.

Σε αυτό το κομμάτι υπάρχει θέση όπου τοποθετούμε ένα ρουλεμάν με ειδικά γρανάζια . Ο μάντας που έρχεται από τον κινητήρα , περνάει από το ρουλεμάν και τερματίζει πάλι πίσω στον κινητήρα του άξονα X. Ο μάντας πρέπει να είναι τεντωμένος καλά για να μπορούμε να έχουμε ακριβής κίνηση, χωρίς να κρεμάει και να χάνουμε την πρόσφυση του μάντα με τα γρανάζια του κινητήρα και του αντίστοιχου ρουλεμάν.

Τα γρανάζια είναι ένας οδοντωτός τροχός που μας βοηθούν να εκμεταλλευτούμε την κίνηση από τον άξονα του κινητήρα. Τοποθετούνται από τη μία πλευρά πάνω στον άξονα και στην άλλη μεριά σε ειδική θέση που έχει η βάση στήριξης. Στο κέντρο τους υπάρχει μία τρύπα για να εισέρχεται κάποιος άξονας και δύο βίδες στα πλαϊνά τους για να κρατάνε σταθερή την επαφή τους με τον άξονα. Στην εξωτερική τους πλευρά έχουν "δόντια" για να μπορεί να γίνεται η συμπλοκή τους με άλλα οδοντωτά στοιχεία.

Με το που ολοκληρώσαμε τις παραπάνω στερεώσεις στον άξονα X και Y προβήκαμε στο κομμάτι της συναρμολόγησης και τοποθέτησης πάνω στην κατασκευή και στα στηρίγματα σύνδεσης που είχαμε εγκαταστήσει πάνω στον σκελετό, όπου συνδέσαμε τις σπειρωτές ράβδους και τις ράβδους ομαλής κίνησης πάνω στις οπές των στηριγμάτων στον άξονα Z και στον άξονα Y ανάλογα.



Μοτέρ Nema 17.

Στην παραπάνω απεικόνιση απεικονίζεται ένα από τα τέσσερα μοτερ που θα χρησιμοποιήσουμε για την κατασκευή μας.



Ιμάντας μαζί με τις ροδέλες.

Στην συνέχεια τοποθετήσαμε τον ιμάντα κίνησης πάνω στα στηρίγματα και τις ροδέλες κίνησης στον άξονα X. Μετέπειτα εγκαταστήσαμε την βάση που δημιουργήσαμε για την στήριξη της κεφαλής μας και την στερεώσαμε πάνω σε αυτήν.

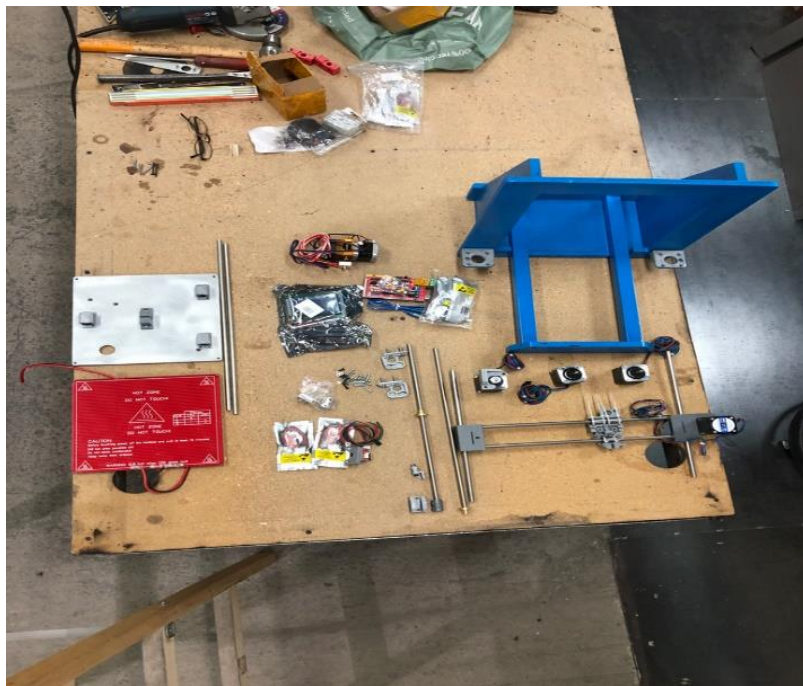


Τερματικοί διακόπτες end_stop

Ανεμιστηράκια
40mm*40mm*10mm

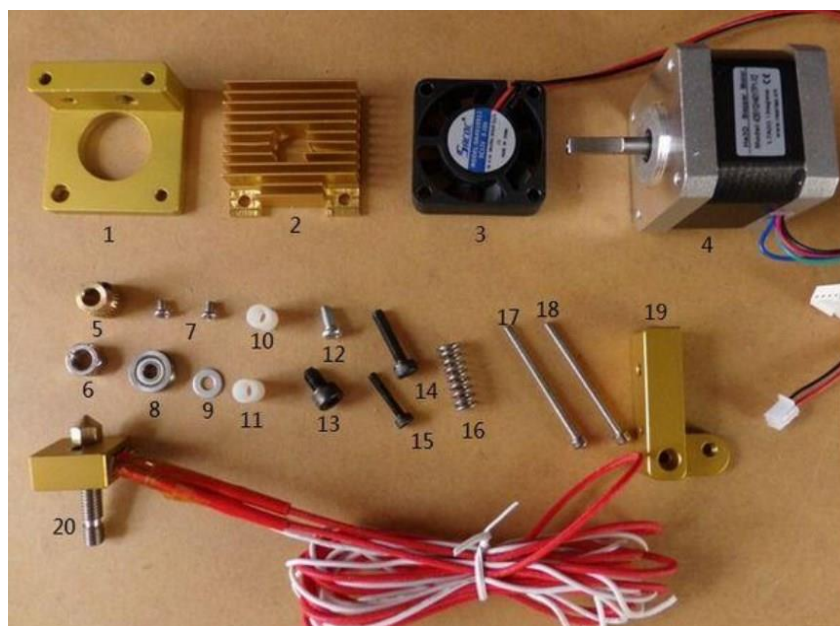
*Ανεμιστηράκια 40mm*40mm*10mm.*

Στην συνέχεια τοποθετήσαμε όλους τους τερματικούς διακόπτες στους τρεις άξονες πάνω στα στηρίγματα που δημιουργήσαμε. Έπειτα εγκαταστήσαμε την μητρική πλακέτα Arduino Mega πάνω στον σκελετό και προχωρήσαμε στις ανάλογες συνδέσεις των καλωδίων για την ολοκλήρωση του έργου.



Πανοραμική όψη όλων των αντικειμένων.

3.2.1 Εξαρτήματα τα οποία αποτελούν την κεφαλή.



1. 1×MK8A Βάση
2. 1×40*40*11 Ψήκτρα
3. 1×12V Ανεμιστήρας
4. 1×NEMA17 Κινητήρας
5. 1×Feed Γρανάζι νήματος
6. 1×M6 Παξιμάδι
7. 2×M3*4 Βίδες
8. 1×Bilateral Ρουλεμάν
9. 1×M4 Ροδέλα
10. 2×7*10 Πλαστική ροδέλα
11. 2×7*10 Πλαστική ροδέλα
12. 1×M4*8 Βίδα
13. 1×M5*8 Βίδα
14. 1×M4*18 Βίδα
15. 1×M3*16 Βίδα
16. 1× Ελατήριο
17. 2×M3*40 Βίδα
18. 2×M3*40 Βίδα
19. 1×MK8B Καπάκι ρύθμισης πάχους νήματος
20. Σετ στόμιο με θερμαινόμενη αντίσταση και τη βάση τους

3.2.1.1 Διαδικασία συναρμολόγησης.

1. Βήμα

Χρειαζόμαστε τα εξαρτήματα 1,7,4. Τοποθετούμε δύο παξιμάδια M3*4 στις θέσεις τους.



*M3*4 βίδες 2pcs, MK8A βάση, NEMA17 κινητήρας 1pc.*

2. Βήμα

Χρειαζόμαστε τα εξαρτήματα 13, 16. Τα συναρμολογούμε σύμφωνα με την εικόνα.



*Ελατήριο 1pc, M5*8 βίδα 1pc.*

3. Βήμα

Χρειαζόμαστε τα εξαρτήματα 14, 15, 19 . Τα συναρμολογούμε σύμφωνα με την εικόνα.



*MK8 μεταλλικό καπάκι , M3*16 βίδα 1pc, M4*18 βίδα 1pc.*

4. Βήμα

Χρειαζόμαστε τα εξαρτήματα 8, 9, 12. Βάζουμε το ρουλεμάν στη θέση όπως δείχνει η εικόνα και σφίγγουμε τις βίδες.



*M4*8 βίδα 1pc, M4 ροδέλα 1pc, ρουλεμάν 1pc.*

5. Βήμα

Συναρμολογούμε σύμφωνα με την εικόνα.



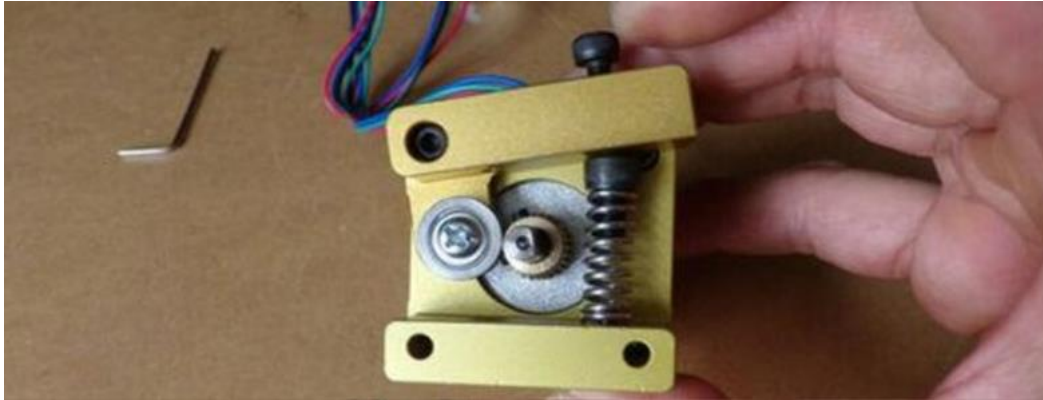
6. Βήμα

Χρειαζόμαστε το εξάρτημα 5, τοποθετούμε το γρανάζι τροφοδοσίας στον άξονα του κινητήρα.



7. Βήμα

Πιέζοντας το καπάκι με το ελατήριο ρυθμίζουμε τη θέση που θέλουμε και σφίγγουμε.



8. Βήμα

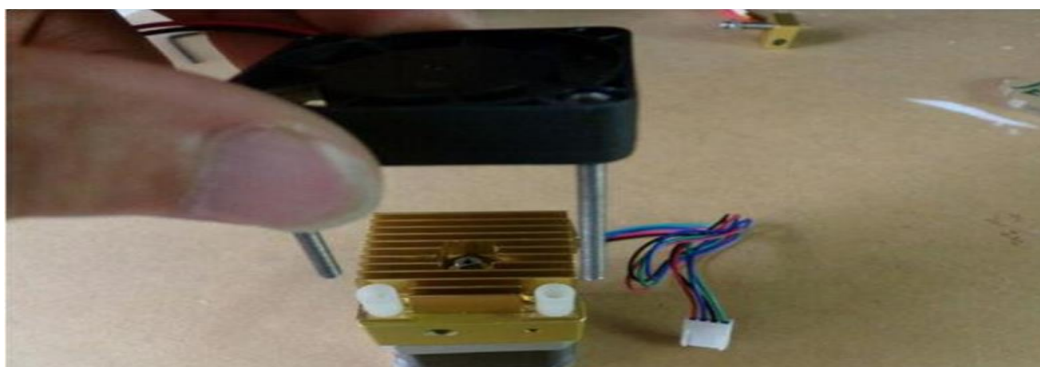
Σφίγγουμε τις βίδες στήριξης του γραναζιού .



9. Βήμα

Χρειαζόμαστε τα εξαρτήματα 2, 3, 10, 11, 17, 18, για να φτιάξουμε στο σύστημα ψύξης.





10. Βήμα

Χρειαζόμαστε τα εξαρτήματα 6, 20, για να τοποθετήσουμε το ακροφύσιο στη θέση του.

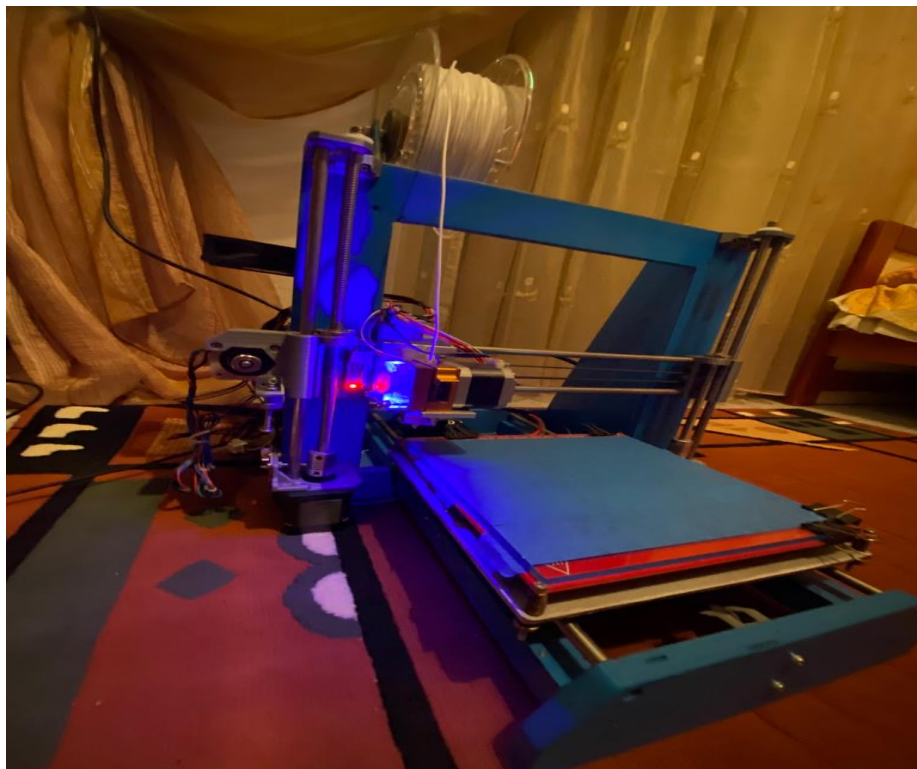
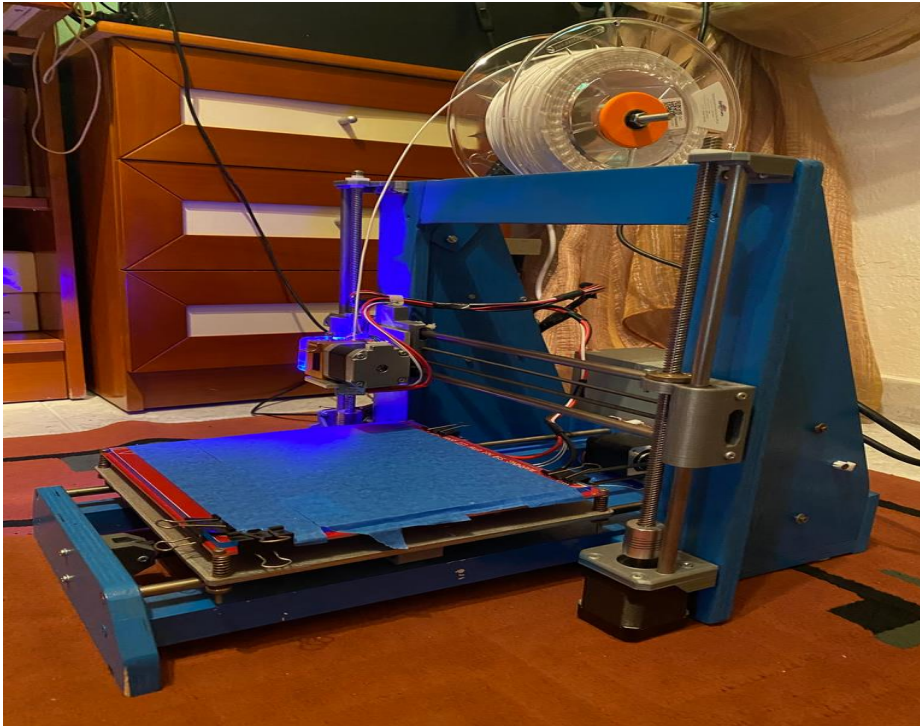


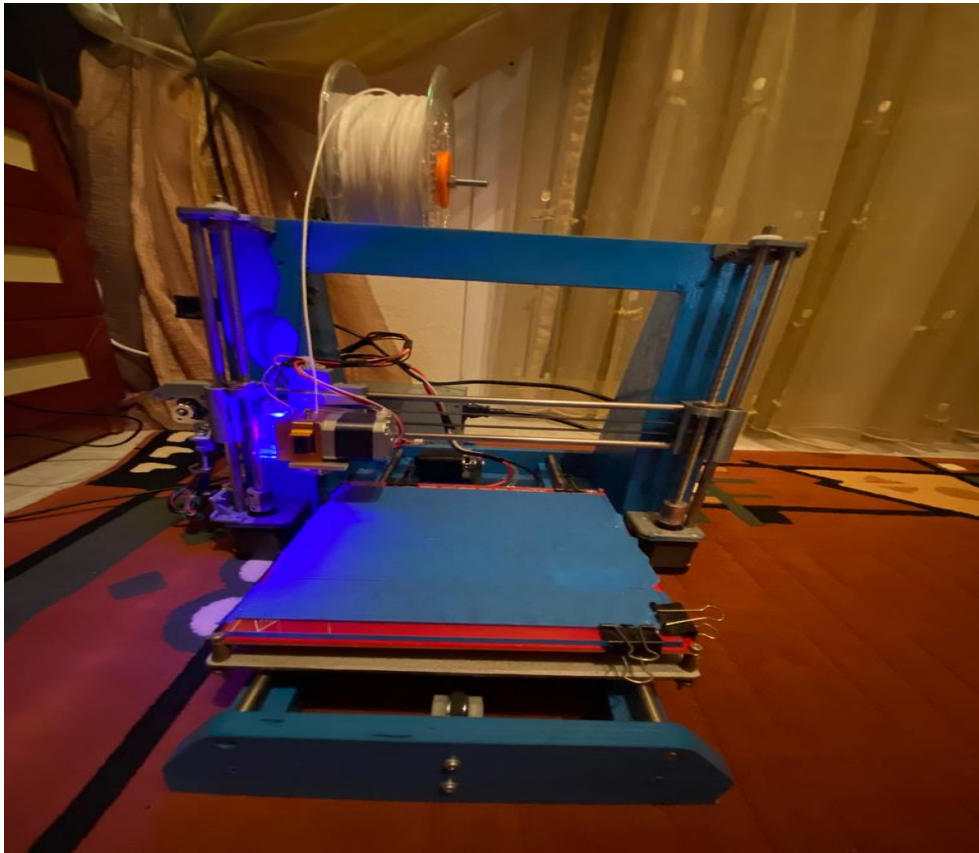
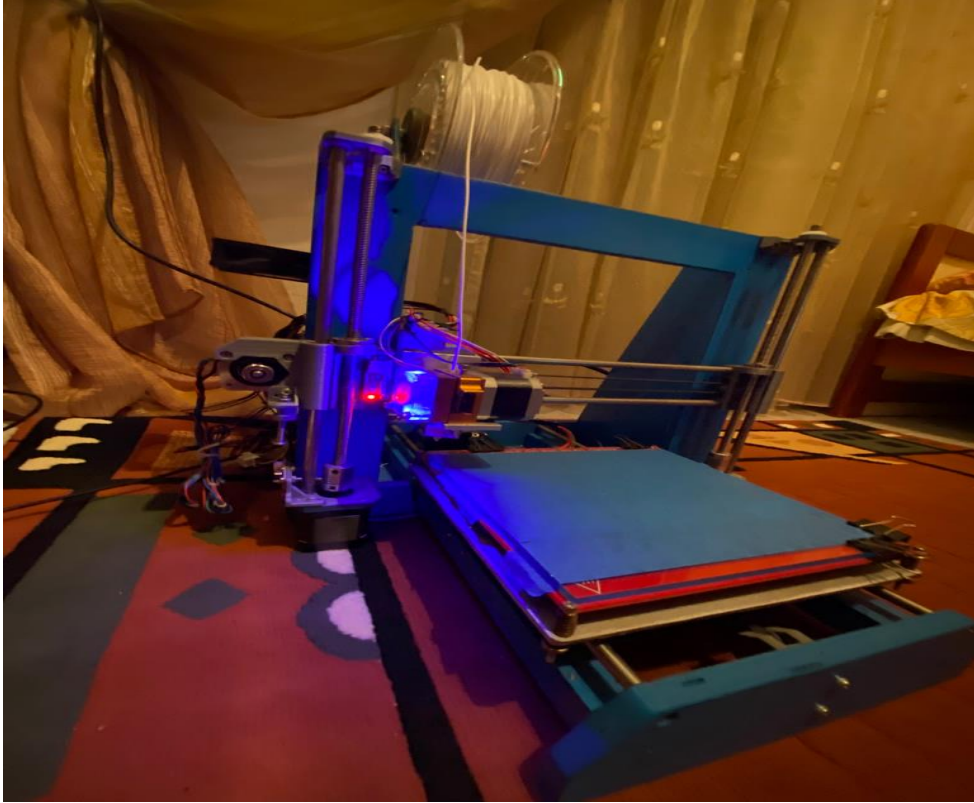
Ακροφύσιο 1set, M6 παξιμάδι 1pc.



Σφίγγουμε καλά τη μύτη στο μεταλλικό σωλήνα για να μην έχουμε διαρροές υλικού.

3.3 Τελικό αποτέλεσμα κατασκευής.





Κεφάλαιο 4. ΔΙΑΔΙΚΑΣΙΑ ΕΚΤΥΠΩΣΗΣ.

4.1 Διαδικασία μεταγλώττισης Arduino.

4.1.1 Εισαγωγή στο Software.

Για την λειτουργία του 3D εκτυπωτή, εκτός από το hardware, είναι σημαντικό και το λογισμικό (software). Για την επικοινωνία του Arduino με τον υπολογιστή θα χρησιμοποιηθεί το ArduinoIDE από το επίσημο site της Arduino, για τον κώδικα (Firmware) θα χρησιμοποιηθεί το marlin (έτοιμος κώδικας Arduino για την λειτουργία 3D εκτυπωτών), για τον έλεγχο και το καλιμπράρισμα του hardware του 3D εκτυπωτή θα γίνει χρήση της εφαρμογής pronterface και για την προετοιμασία και εκτύπωση του 3D μοντέλου θα χρησιμοποιηθεί η εφαρμογή Cura. Όλοι οι κώδικες και οι εφαρμογές είναι δωρεάν και opensource και μπορούν εύκολα να βρεθούν στο διαδίκτυο.

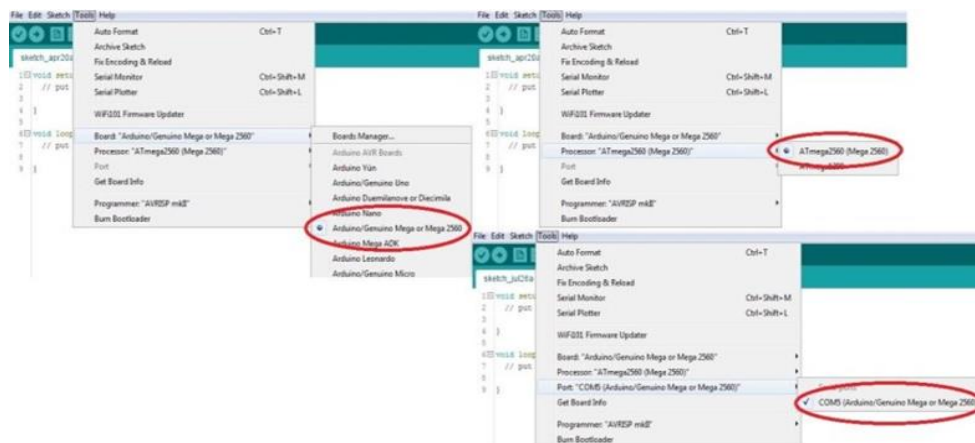
4.1.2 ArduinoIDE.

Για την επικοινωνία του ArduinoMega 2560 rev.3 με τον ηλεκτρονικό υπολογιστή θα χρειαστεί να κατεβάσουμε το ArduinoIDE από το επίσημο site της Arduino (Arduino, 2017) . Το ArduinoIDE είναι συμβατό με όλους τους μικροελεγκτες της Arduino και με τα περισσότερα Windows, Mac και LinuxOS (operating systems). Για τα Windows είναι συμβατό με WindowsXP και μεταγενέστερες εκδόσεις. Για τα Mac είναι συμβατό με MacOSX 10.7 Lion και μεταγενέστερες εκδόσεις και για τα Linux με Linux 32bit, Linux 64bit και Linux ARM, όπως αναφέρει και το site της Arduino.

Κατεβάζουμε τον μεταγλωττιστή Arduino.

Από εδώ κατεβάζουμε το αρχείο εγκατάστασης.

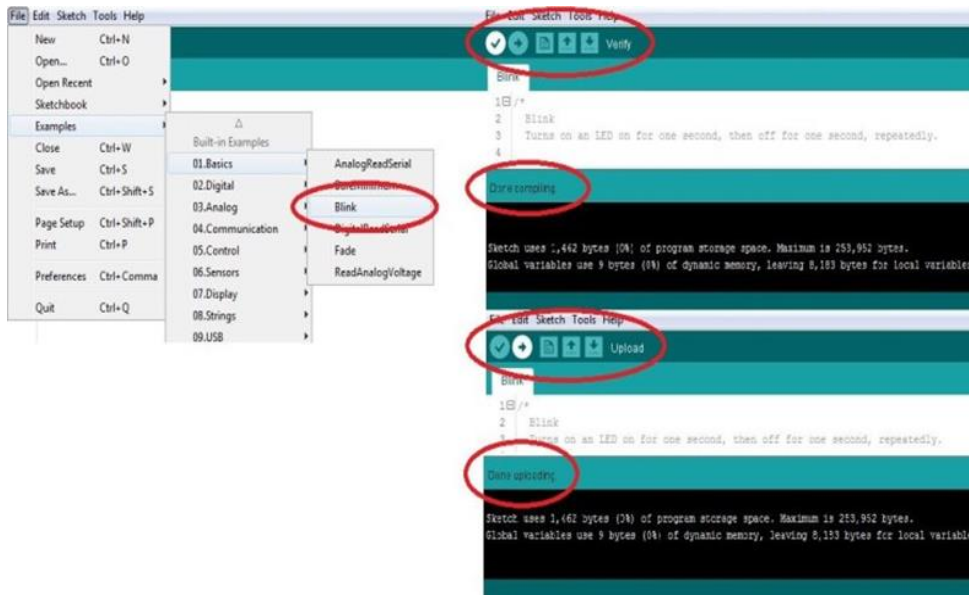
Αφού έχουμε κατεβάσει την κατάλληλη έκδοση για το λειτουργικό σύστημα του υπολογιστή μας και ολοκληρώσουμε την εγκατάσταση ακολουθώντας τα βήματα της εγκαταστάσης πρέπει να επιτύχουμε την επικοινωνία του υπολογιστή με το ArduinoMega 2560. Αφού έχουμε ανοίξει την εφαρμογή του ArduinoIDE αυτό που πρέπει να ελέγξουμε και να παραμετροποιήσουμε αν χρειάζεται είναι τρεις παράμετροι στην καρτέλα με την ονομασία Tools. Οι παράμετροι που μας ενδιαφέρουν ώστε να επιτύχουμε την επικοινωνία με το ArduinoMega 2560 είναι οι εξής τρεις: Η πρώτη είναι η παράμετρος με την ονομασία board. Επιλέγοντάς την ανοίγει μια λίστα με όλα τα διαθέσιμα board της Arduino. Εμείς επιλέγουμε το στοιχείο Arduino/Genuino Mega or Mega 2560. Η δεύτερη είναι η παράμετρος με την ονομασία Processor. Στην λίστα που μας εμφανίζει επιλέγοντας της, διαλέγουμε τον επεξεργαστή ATmega2560 (Mega 2560). Τέλος επιλέγουμε το Port του υπολογιστή μας όπου έχουμε συνδεδεμένο το usb.



Σύνδεση Arduino με υπολογιστή μέσω λογισμικού.

Για να εξακριβώσουμε ότι έχει επιτευχθεί η επικοινωνία με το Arduino μπορούμε να επιλέξουμε και να φορτώσουμε κάποιο από τα έτοιμα παραδείγματα κώδικα που υπάρχουν στην εφαρμογή. Αυτά μπορούν να βρεθούν στην καρτέλα File στην επιλογή Examples θα εμφανιστεί μία λίστα με όλα τα διαθέσιμα παραδείγματα κώδικα. Το καταλληλότερο για τον έλεγχο αυτό είναι το παράδειγμα με την ονομασία Blink, το οποίο βρίσκεται στην επιλογή Basics. Επιλέγοντας το μας ανοίγει ένα νέο παράθυρο με τον κώδικα για να αναβοσβήσει το Led που βρίσκεται ενσωματωμένο πάνω στο board του ArduinoMega 2560. Για να

ανέβασουμε τον κώδικα στο Arduino πρώτα διαλέγουμε την επιλογή Verify και αφού επιτευχθεί το compiling του κώδικα και βεβαιωθούμε ότι είναι σωστός, επιλέγουμε να κάνουμε το upload του κώδικα στο Arduino. Αν δεν μας εμφανίσει οποιοδήποτε λάθος κατά το ανέβασμα του κώδικα θα πρέπει να παρατηρήσουμε το led στην πλακέτα του Arduino να αναβοσβήνει με συχνότητα ενός δευτερολέπτου.

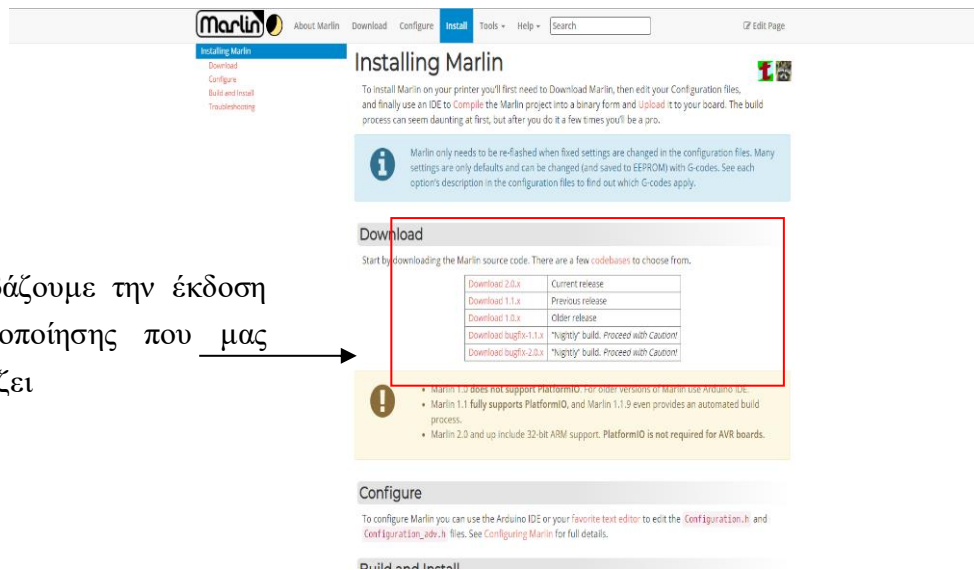


Upload κώδικα σε Arduino.

4.1.3 Firmware.

Ο κώδικας που θα χρησιμοποιήσουμε για τον 3D εκτυπωτή είναι έτοιμος κώδικας opensource και ονομάζεται Marlin. Ο κώδικας μπορεί να βρεθεί μέσω των site:

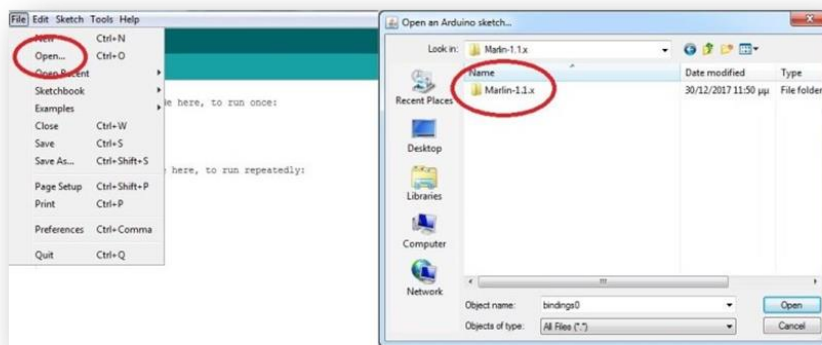
Κατεβάζουμε την έκδοση κωδικοποίησης που μας ταιριάζει →



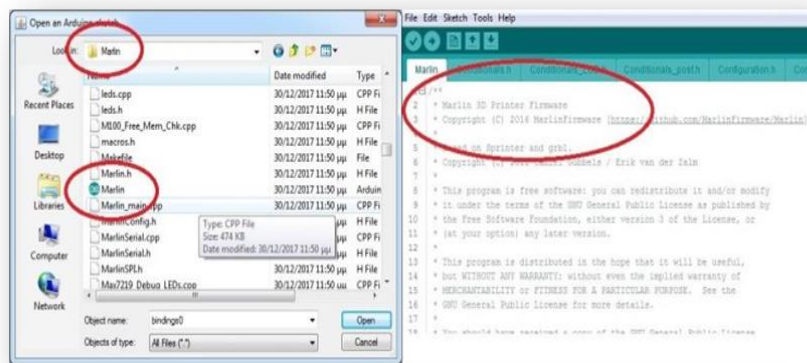
Και την αποθηκεύουμε στον υπολογιστή μας.

1. (marlinfw.org)
2. (GitHub)

Αφού κατεβάσουμε το zip αρχείο με το Firmware με ένα πρόγραμμα σαν το winzip ή το winrar αποσυμπιέζουμε το αρχείο στην τοποθεσία που θέλουμε και ανοίγουμε τον κώδικα μέσω του ArduinoIDE. Για να το κάνουμε αυτό ανοίγουμε το software του Arduino (ArduinoIDE) πάμε στο FILE Open κατευθυνόμαστε στην τοποθεσία που έχουμε αποθηκεύσει το αποσυμπιεσμένο αρχείο μπαίνουμε στην έκδοση του marlin που έχουμε κατεβάσει (έστω Marlin 1.1.x) ανοίγουμε τον φάκελο Marlin και ανοίγουμε το Arduinofile Marlin.



Marlin software



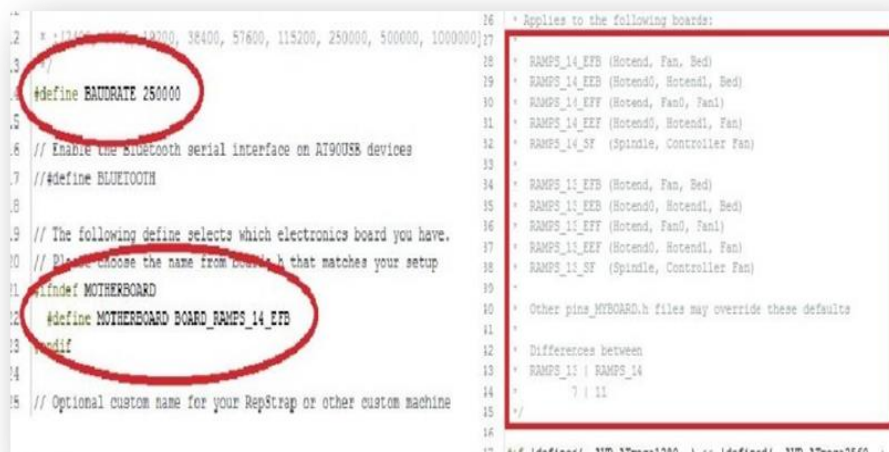
Άνοιγμα Marlin μέσω Arduino software

Το Marlin, όπως έχουμε ήδη αναφέρει, είναι έτοιμος κώδικας opensource για το Arduino. Ωστόσο για να δουλέψει με τον εκάστοτε εκτυπωτή χρειάζεται παραμετροποίηση.

Αφού έχουμε ανοίξει το Firmware μέσω του arduino κατευθυνόμαστε στην καρτέλα με την ονομασία configuration.h. Το πρώτο που πρέπει να κάνουμε είναι

να ορίσουμε το baudrate σύμφωνα με τα δεδομένα μας. Το baudrate είναι ο ρυθμός μετάδοσης συμβόλων και χρησιμοποιείται στην μετάδοση αναλογικών διαμορφωμένων σημάτων. Ως ρυθμός μετάδοσης συμβόλων ορίζεται το πλήθος των συμβόλων που διέρχονται από ένα σημείο του καναλιού σε ένα χρονικό διάστημα. Το baudrate που έχουμε εμείς ορίσει είναι 250.000. Το baudrate που χρησιμοποιούμε είναι 250.000 γιατί ο ρυθμός μετάδοσης προέρχεται άμεσα από την ταχύτητα του επεξεργαστή του Arduino Mega που είναι 16 MHz. Παρουσιάζει λιγότερα λάθη από ότι η συνηθισμένη ταχύτητα 115.200 αλλά ορισμένες φορές δεν υποστηρίζεται από το hardware του υπολογιστή. Στην περιπτωσή μας δεν παρουσιάζεται κάποιο πρόβλημα εφαρμόζοντας αυτόν τον ρυθμό μετάδοσης (250.000). Έπειτα ορίζουμε την πλακέτα μας. Αν κατευθυνθούμε στην καρτελα με ονομασία pins_Ramps.h θα βρούμε την λίστα με όλα τα διαθέσιμα boards.

Απο εκεί επιλέγουμε το δικό μας (ramps 1.4, ramps 1.3 κλπ) και την λειτουργία τους (EFB, EEB, EFF κλπ).



```
2 * (115200, 230400, 460800, 921600, 38400, 57600, 115200, 230400, 460800, 921600)
3 //
4 #define BAUDRATE 250000
5 // Enable the Bluetooth serial interface on AT90USB devices
6 // #define BLUETOOTH
7 //
8 // The following define selects which electronics board you have.
9 // Please choose the name from boards.h that matches your setup
10 #ifndef MOTHERBOARD
11 #define MOTHERBOARD BOARD_RAMPS_14_EFB
12 #endif
13 // Optional custom name for your RepStrap or other custom machine
14
15
16 * Applies to the following boards:
17
18 * RAMPS_14_EFB (Hotend, Fan, Bed)
19 * RAMPS_14_EEB (Hotend0, Hotend1, Bed)
20 * RAMPS_14_EFF (Hotend, Fan0, Fan1)
21 * RAMPS_14_EFF (Hotend0, Hotend1, Fan)
22 * RAMPS_14_SF (Spindle, Controller Fan)
23
24 * RAMPS_13_EFB (Hotend, Fan, Bed)
25 * RAMPS_13_EEB (Hotend0, Hotend1, Bed)
26 * RAMPS_13_EFF (Hotend, Fan0, Fan1)
27 * RAMPS_13_EFF (Hotend0, Hotend1, Fan)
28 * RAMPS_13_SF (Spindle, Controller Fan)
29
30 * Other pins_MYBOARD.h files may override these defaults
31
32 Differences between
33 * RAMPS_13 | RAMPS_14
34 * 7 | 11
35
36 #if !defined( SUD_3Tenna1280 ) || !defined( SUD_3Tenna2560 )
```

Ρύθμιση Baudrate.

Στην συνέχεια ορίζουμε τον αριθμό των extruders (1, 2, 3...) για την παροχή του υλικού και σε κάποιες εκδόσεις του Firmware και την διαμετρο του υλικού (1.75, 3.00,). Εδώ έχουμε επιλέξει έναν extruder και υλικό διαμέτρου 1.75 mm. Έπειτα ορίζουμε την τροφοδοσία του 3D εκτυπωτή επιλέγοντας 0 αν δεν έχει συνδεθεί το PS_ON_PIN, 1 αν το τροφοδοτικό είναι ATX και 2 αν η τροφοδοσία προέρχεται από τροφοδοτικό X-Box.

```

135 // This defines the number of extruders
136 // [1, 2, 3, 4, 5]
137 #define EXTRUDERS 1
138
139 // Generally expected filament diameter (1.75, 2.85, 3.
140 #define DEFAULT_NOMINAL_FILAMENT_DIA 1.75
141
142 // For cyclotrim, use "single extruder" that shares a si
223 * 0 = No Power Switch
224 * 1 = ATX
225 * 2 = X-Box 360 203Watts (the blue wire connected to PS_ON and the red
226
227 :{ 0:'No power switch', 1:'ATX', 2:'X-Box 360' }
228 +/
229 #define POWER_SUPPLY 1
230
231 #if POWER_SUPPLY > 0
232 // Enable this option to leave the PSU off at startup.
233 // Power to steppers and heaters will need to be turned on with M80.
234 #define PS_DEFAULT_OFF
235 #endif

```

Ορισμός Extruders και τροφοδοτικού.

Προχωρώντας κατευθυνόμαστε στο τμήμα των θερμικών ρυθμίσεων (Thermal Settings).

Αρχικά ορίζουμε τα αισθητήρια θερμοκρασίας. Όπως έχουμε ήδη αναφέρει έχουμε συνολικά δύο αισθητήρια, το ένα βρίσκεται στο hot end και το δεύτερο στη θερμαινόμενη βάση εκτύπωσης (HBP). Ο κώδικας παρέχει μια λίστα όλων των διαθέσιμων τύπων αισθητηρίων θερμοκρασίας με έναν κωδικό για τον καθένα. Από την λίστα αυτή επιλέγουμε τον τύπο που χρησιμοποιούμε όπου στην περίπτωση μας είναι δύο αισθητήρια 100 k thermistor με κωδικό 1 σύμφωνα με την λίστα. Οπότε στην συνέχεια ορίζουμε το Temp_Sensor+_0 = 1 και το Temp_Sensor_Bed = 1. Όλα τα υπόλοιπα τα αφήνουμε 0 ως έχουν.

```

-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 (used in ParCan & J-Head) (4.7k pullup)
6 : 100k EPCOS - Not as accurate as table 1 (created using a Fluke thermocouple) (4.7k pullup)
7 : 100k Honeywell thermistor 135-104LAG-301 (4.7k pullup)
71 : 100k Honeywell thermistor 135-104LAF-301 (4.7k pullup)
8 : 100k 0603 SMD Vishay NTCS0603E3104FKT (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 NTCS0603E3104FKT (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"
20 : the PT100 circuit found in the Ultimainboard v2.x
60 : 100k Maker's Tool works Kapton Bed Thermistor beta=3950
66 : 4.7k High Temperature thermistor from Dye2 Desktop
287 * { 0:'Not used', 1:'100k / 4.7k - EPCOS', 12:'200k / 4.7k - ATC Semitec
288
289 #define TEMP_SENSOR_0 1
290 #define TEMP_SENSOR_1 0
291 #define TEMP_SENSOR_2 0
292 #define TEMP_SENSOR_3 0
293 #define TEMP_SENSOR_4 0
294 #define TEMP_SENSOR_BED 1
295
296 // Dummy thermistor constant temperature readings, for use with 999 and 999
297 #define DUMMY_THERMISTOR_999_VALUE 25
298 #define DUMMY_THERMISTOR_999_VALUE 100
299
300

```

Ορισμός αισθητηρίων θερμοκρασίας.

Στην συνέχεια υπάρχουν ορισμένες μεταβλητές δικλείδες ασφαλείας που ελέγχουν την σταθερότητα της θερμοκρασίας. Αυτές είναι οι Temp_Residency_time, Temp_Hysteresys και Temp_Window για το hot end, και οι Temp_Bed_Residency_Time, Temp_Bed_Hysteresis και Temp_Bed_Window αντίστοιχα για την θερμαινόμενη βάση. Η Temps_residency καθορίζει τον χρόνο που πρέπει να παραμείνει σταθερή η θερμοκρασία πριν ξεκινήσει η εκτύπωση, ενώ οι άλλες δύο καθορίζουν το τι σημαίνει σταθερή θερμοκρασία για το σύστημα. Υπάρχουν κάποιες μεταβλητές που ενημέρωνουν αν υπάρχει βλάβη στο σύστημα θερμοκρασίας. Αυτές είναι οι Heater_Mintemp και Bed_Mintemp που καθορίζουν την ελάχιστη θερμοκρασία που χρειάζεται για να ενεργοποιηθεί ο heater και χρησιμοποιείται για να ελεγχθεί ότι δεν υπάρχει κάποιο βραχυκύκλωμα στα αισθητήρια θερμοκρασίας. Επίσης υπάρχουν οι μεταβλητές Heater_Maxtemp και Bed_Maxtemp που καθορίζουν την μέγιστη θερμοκρασία του μέσου θέρμανσης. Αυτές οι μεταβλητές πρέπει να τεθούν 10° – 20° βαθμούς κελσίου πάνω από τον επιθυμητό στόχο έτσι ώστε σε περίπτωση βλάβης του θερμαινόμενου μέσου να κλείσει το σύστημα και να σταματήσει η εκτύπωση για να αποφευχθεί περαιτέρω βλάβη.

Τέλος έχουμε την μεταβλητή Extrude_Mintemp όπου καθορίζει την ελάχιστη θερμοκρασία που πρέπει να επιτευχθεί για να ξεκινήσει η εκβολή του υλικού. Η μεταβλητή αυτή βρίσκεται στο τμήμα των ρυθμίσεων του extruder (section extruder).

```

255 // Extruder temperature must be close to target for this long 267 // Otherwise this would lead to the heater being po
256 #define TEMP_RESIDENCY_TIME 10 // (seconds) 268 #define HEATER_0_MINTEMP 5
257 #define TEMP_HYSTERESIS 3 // (degC) range of +/- tempe 269 // #define HEATER_1_MINTEMP 5
258 #define TEMP_WINDOW 1 // (degC) Window around targ 270 // #define HEATER_2_MINTEMP 5
259 // #define HEATER_3_MINTEMP 5
260 // Bed temperature must be close to target for this long bef 272 #define BED_MINTEMP 5
261 #define TEMP_BED_RESIDENCY_TIME 10 // (seconds) 273
262 #define TEMP_BED_HYSTERESIS 3 // (degC) range of +/- τ 274 // When temperature exceeds max temp, your heater w
263 #define TEMP_BED_WINDOW 1 // (degC) Window around 275 // This feature exists to protect your hotend from ov
264 // You should use MINTEMP for thermistor short/failur
265 // The minimal temperature defines the temperature below whi 277 #define HEATER_0_MAXTEMP 275
120 // *** IT IS HIGHLY RECOMMENDED TO LEAVE THIS OPTI 278 // #define HEATER_1_MAXTEMP 275
121 #define PREVENT_COLD_EXTRUSION 279 // #define HEATER_2_MAXTEMP 275
122 #define EXTRUDE_MINTEMP 170 280 // #define HEATER_3_MAXTEMP 275
123 281 #define BED_MAXTEMP 150
124 // This option prevents a single extrusion longer 282

```

Ρύθμιση Extruder.

Έπειτα συνεχίζουμε στο τμήμα των ρυθμίσεων του PID (PID settings). Υπάρχουν δύο ελεγκτές, ένας για το hot end και ένας για την θερμαινόμενη βάση εκτόπωσης. Σκοπός τους είναι να ρυθμίσουν την ταχύτητα την ομαλότητα και την επίτευξη της επιθυμητής θερμοκρασίας. Ρυθμίζοντας τους ελεγκτές αυτούς κατάλληλα για το σύστημα μας θα έχουμε το καλύτερο δυνατό αποτέλεσμα στον μικρότερο δυνατό χρόνο. Για αρχή ενεργοποιούμε το PID TEMP, αν δεν είναι ήδη ενεργοποιημένο, και την επιλογή του PID_AUTOTUNE_MENU. Επίσης ελέγχουμε αν είναι ορισμένες οι σταθερές default_Kp, default_Ki και default_Kd. Στην συνέχεια ελέγχουμε αν είναι ενεργοποιημένο το PID TEMP BED και αν είναι ορισμένες οι σταθερές default_bed Kp, default_bed Ki και default_bed Kd. Για την ώρα δεν θα κάνουμε κάποια άλλη αλλαγή στο τμήμα του PID αλλά αργότερα όταν θα αναλύσουμε το λογισμικό του Pronterface και θα χρησιμοποιήσουμε το PID_AUTOTUNE_MENU που ενεργοποιήσαμε για να συμπληρώσουμε τις σταθερές των PID που είναι κατάλληλες για το σύστημα μας.

```

288 // Comment the following line to disable
289 #define PIDTEMP
290 #define BANG_MAX 255 // limits current to
291 #define PID_MAX_BANG_MAX // limits curren
292 #if ENABLED(PIDTEMP)
293 #define PID_AUTOTUNE_MENU // Add PID Au
294 // #define PID_DEBUG // Sends debug data
295 // #define PID_OPENLOOP 1 // Puts PID in
// Ultimaker
#define DEFAULT_Kp 22.2
#define DEFAULT_Ki 1.08
#define DEFAULT_Kd 114
// MakerGear

```

Ρυθμίσεις PID.

```

// shouldn't use bed PID until someone el
// If this is enabled, find your own PID
#define PIDTEMPBED
// #define BED_LIMIT_SWITCHING
//120V 250W silicone heater into 4mm bore
//from FOPDI model - kp=.39 Ip=405 Tdead=
#define DEFAULT_bedKp 41.21
#define DEFAULT_bedKi 0.96
#define DEFAULT_bedKd 443.56
//120V 250W silicone heater into 4mm bore

```

Ρυθμίσεις PID.

Στην συνέχεια προχωράμε στο τμήμα των ρυθμίσεων για τα endstops (Endstops Settings).

Στο σημείο αυτό θα πρέπει να ορίσουμε όλα τα endstops που χρησιμοποιούμε. Στην περίπτωση μας χρησιμοποιούμε και τα έξι endstop. Έπειτα ορίζουμε την λογική των endstop που χρησιμοποιούμε. Επειδή τα endstop που χρησιμοποιούμε είναι NO, θα ορίσουμε όλες τις μεταβλητές ως TRUE. Επίσης θα αφήσουμε το end stop pull-ups ορισμένο ως έχει εφόσον χρησιμοποιούμε και τα έξι διαθέσιμα endstops και δεν χρειάζεται να ορίσουμε κάθε end stop pull-up ξεχωριστά.

```
417 // Mechanical endstop with COM to ground and NC to signal
418 #define USE_XMIN_PLUG
419 #define USE_YMIN_PLUG
420 #define USE_ZMIN_PLUG
421 #define USE_XMAX_PLUG
422 #define USE_YMAX_PLUG
423 #define USE_ZMAX_PLUG
424
425 // coarse Endstop Settings
426 #define ENDSTOPPULLUPS // Comment this out if you want to
427
438 // Mechanical endstop with COM to ground and NC to signal
439 // Mechanical endstop with COM to ground and NC to signal
440 #define X_MIN_ENDSTOP_INVERTING true // set to true
441 #define Y_MIN_ENDSTOP_INVERTING true // set to true
442 #define Z_MIN_ENDSTOP_INVERTING true // set to true
443 #define X_MAX_ENDSTOP_INVERTING true // set to true
444 #define Y_MAX_ENDSTOP_INVERTING true // set to true
445 #define Z_MAX_ENDSTOP_INVERTING true // set to true
446 #define Z_MIN_PROBE_ENDSTOP_INVERTING true // set to true
447
448
```

Ρύθμιση Endstops

Συνεχίζοντας, προχωράμε στα Movement settings. Σε αυτό το τμήμα του κώδικα υπάρχουν σχεδόν όλες οι ρυθμίσεις που αφορούν την κίνηση των βηματικών κινητήρων, όπως τα βήματα του κάθε κινητήρα (default_axis_steps_per_unit), η ταχύτητα (feed rate), η επιτάχυνση (acceleration). Υπάρχει επίσης μία ακόμα μεταβλητή που ορίζεται μέσα στον κώδικα ως JERK, η οποία ορίζει την ελάχιστη αλλαγή ταχύτητας που χρειάζεται για να επιταχύνει ο βηματικός κινητήρας. Όταν ο κινητήρας αλλάζει ταχύτητα ή κατεύθυνση, αν η διαφορά είναι μικρότερη από την ορισμένη τιμή, τότε η αλλαγή αυτή θα γίνει ακαριαία. Στις παρακάτω φωτογραφίες παρουσιάζονται οι τιμές που έχουμε επιλέξει για τον εκτυπωτή που έχουμε κατασκευάσει, ωστόσο αυτές οι τιμές διαφέρουν από εκτυπωτή σε εκτυπωτή. Για την εύρεση των κατάλληλων τιμών ξεκινήσαμε από τις χαμηλότερες δυνατές τιμές και ύστερα από δοκιμαστικές εκτυπώσεις καταλήξαμε σε αυτές που φαίνονται παρακάτω. Την επιλογή των συγκεκριμένων βημάτων για κάθε κινητήρα θα την αναλύσουμε εκτενέστερα όταν

θα έχουμε αναφερθεί και στο λογισμικό pronterface.

```
//#define DEFAULT_AXIS_STEPS_PER_UNIT { 80, 80, 4000, 500 }
#define DEFAULT_AXIS_STEPS_PER_UNIT { 105.5, 105.5, 109, 88.22}

//#define DEFAULT_MAX_FEEDRATE { 300, 300, 5, 25 }
#define DEFAULT_MAX_FEEDRATE { 100, 100, 5, 25}

//#define DEFAULT_MAX_ACCELERATION { 3000, 3000, 100, 10000 }
#define DEFAULT_MAX_ACCELERATION { 1000, 1000, 100, 5000 }

#define DEFAULT_ACCELERATION 100//3000 //
#define DEFAULT_RETRACT_ACCELERATION 100//3000 //
#define DEFAULT_TRAVEL_ACCELERATION 100//3000 //

#define DEFAULT_XJERK 10.0
#define DEFAULT_YJERK 10.0
#define DEFAULT_ZJERK 0.3
#define DEFAULT_EJERK 5.0
```

Ρύθμιση ελάχιστης ταχύτητας βηματικού κινητήρα.

Μία ακόμα επιλογή που υπάρχει για την κίνηση των κινητήρων είναι και η αλλαγή κατεύθυνσης. Έτσι εάν κάποιος από τους κινητήρες κινείται αντίθετα από την επιθυμητή φορά, αντί να αλλάξουμε χειροκίνητα τις φάσεις του κινητήρα, μπορούμε να αλλάξουμε την κατεύθυνση μέσα από τον κώδικα θέτωντας TRUE or FALSE στις παρακάτω εντολές.

```
// Invert the stepper direction // for direct drive extruder v1
#define INVERT_X_DIR false
#define INVERT_Y_DIR false
#define INVERT_Z_DIR false

#define INVERT_E0_DIR true
#define INVERT_E1_DIR false
#define INVERT_E2_DIR false
#define INVERT_E3_DIR false
```

Ρύθμιση κίνησης κινητήρων.

Επιπλέον υπάρχει η επιλογή να ορίσουμε την αρχική θέση των κινητήρων (homing position). Η πιο συνηθισμένη αρχική θέση των κινητήρων είναι ο κινητήρας του x άξονα να βρίσκεται τέρμα αριστερά, ο κινητήρας του y άξονα να βρίσκεται τέρμα πίσω και ο z άξονας να βρίσκεται όσο πιο κοντά γίνεται στην βάση. Ωστόσο, αν για κάποιο λόγο θέλουμε να αλλάξουμε την αρχική θέση μπορούμε να αλλάξουμε τις τιμές στις Home_Dir μεταβλητές. Οι τιμές που μπορούμε να ορίσουμε είναι [-1, 1] όπου το -1 = MIN και το 1 = Max. Επίσης πρέπει να ορίσουμε τις μεταβλητές

min_software_endstops = *TRUE* και *max_software_endstops* = *TRUE*, αν δεν είναι ήδη ορισμένες. Ορίζοντας αυτές ως αληθή, οι άξονες δεν θα φεύγουν εκτός των ορισμένων ορίων όπως φαίνονται παρακάτω. Τα όρια των αξόνων είναι το μήκος που μπορεί να ταξιδέψει κάθε άξονας. Ορίζουμε ως (0, 0, 0) τα MIN_POS και ως MAX_POS το μήκος του κάθε άξονα. Ιδανικά όλοι οι άξονες θα έπρεπε να έχουν ακριβώς το ίδιο μήκος.

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

#define min_software_endstops true
#define max_software_endstops true

#define X_MIN_POS 0
#define Y_MIN_POS 0
#define Z_MIN_POS 0
#define X_MAX_POS 42.00
#define Y_MAX_POS 37.00
#define Z_MAX_POS 35.70
```

Ρύθμιση Home positioning.

Αυτή είναι η βασική παραμετροποίηση που πρέπει να γίνει ώστε να έχουμε έναν λειτουργικό εκτυπωτή. Ο κώδικας μόνο στην καρτέλα configuration.h που παραμετροποιήσαμε για τον δικό μας εκτυπωτή είναι περίπου 1500 γραμμές, επιπλέον υπάρχει μια καρτέλα configuration_adv.h με περίπου άλλες 1000 γραμμές κώδικα. Ενδεικτικά κάποια από τα επιπλέον τμήματα του κώδικα είναι το Filament_runout_sensor αν υπάρχει ανάλογο αισθητήριο στον εκτυπωτή, το Auto Bed Leveling αν έχουμε εγκαταστήσει κάποιον proximity sensor στον z άξονα, επιπλέον επιλογή για την εγκατάσταση LCD οθόνης στον εκτυπωτή και πολλά ακόμα.

4.2 Διαδικασία εκτύπωσης.

4.2.1 Cura.

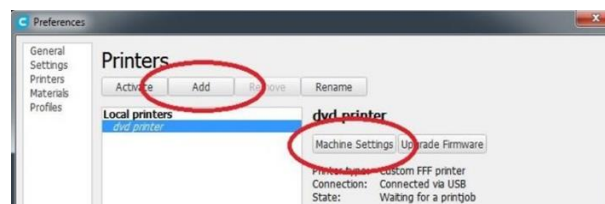
Το πρόγραμμα Cura είναι και αυτό ένα ακόμα open source λογισμικό, που μπορεί να βρεθεί χωρίς χρέωση από το επίσημο site της Ultimaker (UltimakerB.V., 2011-2019):

Είναι το επίσημο πρόγραμμα των εκτυπωτών Ultimaker και μπορεί να χρησιμοποιηθεί σε πληθώρα άλλων εκτυπωτών, όπως και στον εκτυπωτή που κατασκευάζουμε. Είναι ένα αρκετά σταθερό και αξιόπιστο πρόγραμμα, εύκολο προς τον χρήστη και με πλήθος ρυθμίσεων για την καλύτερη δυνατή εκτύπωση.

Με την εκκίνηση του προγράμματος εκτελείται και ο οδηγός εγκατάστασης του εκτυπωτή όπου γίνεται η κατάχωρηση του τύπου του εκτυπωτή και των βασικών μερών του hardware αυτού όπως η διάμετρος της μύτης εκτύπωσης (nozzle), οι διαστάσεις της βάσης εκτύπωσης κ.α. Τα στοιχεία αυτά μπορούν να αλλάξουν αργότερα μέσα από το πρόγραμμα. Το Cura μπορεί να επεξεργαστεί αρχεία STL, OBJ και 3MF. Κατά κύριο λόγο τα σχέδια που κυκλοφορούν στο διαδίκτυο είναι τύπου STL, ωστόσο για κάποιον που θέλει να κάνει τα δικά του σχέδια χρησιμοποιώντας προγράμματα όπως το Autocad, τα αρχεία OBJ μπορεί να του είναι πιο βολικά. Υπάρχουν πολλά site με έτοιμα σχέδια για 3D εκτυπώσεις όπως τα:

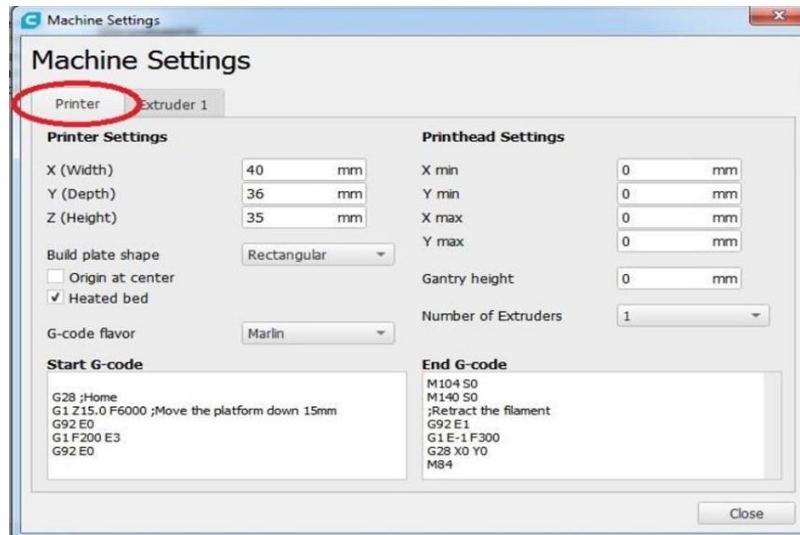
- (Pinshape)
- (Thingiverse)
- (Youmagine)

Χρησιμοποιώντας για πρώτη φορά το Cura θα πρέπει να ελέγξουμε να έχουν δηλωθεί σωστά τα χαρακτηριστικά του εκτυπωτή. Αυτό μπορούμε να το ελεγχουμε από την καρτέλα Settings, ακολουθώντας την διαδρομή Settings > Printer > Manage Printers. Όπως επίσης αν θέλουμε να κάνουμε κάποια αλλαγή στο hardware του εκτυπωτή (π.χ. να κάνουμε αλλαγή στην διάμετρο της μύτης του εκτυπωτή). Στο παράθυρο που ανοίγει επιλέγουμε το προφίλ του εκτυπωτή που έχουμε ήδη δημιουργήσει κατά την εγκατάσταση του προγράμματος ή αν δεν υπάρχει κάνουμε Add και δημιουργούμε έναν καινούργιο προφίλ. Έπειτα επιλέγουμε το προφίλ του εκτυπωτή μας και πατάμε το Machine Settings.

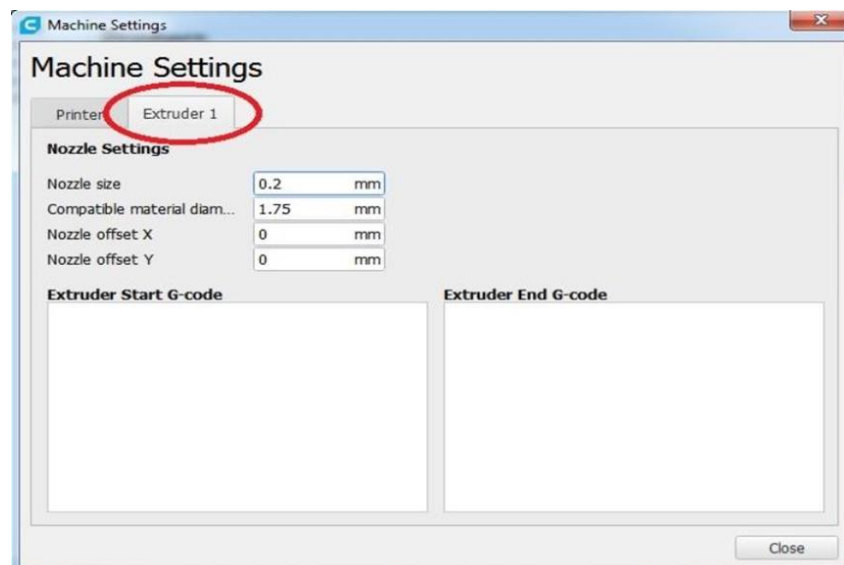


Cura, δήλωση εκτυπωτή.

Στο νέο παράθυρο που μας ανοίγει υπάρχουν δύο καρτέλες. Η πρώτη καρτέλα αφορά τις ρυθμίσεις του εκτυπωτή όπως το μέγεθος και το σχήμα της βάσης εκτύπωσης, το κατά πόσο η βάση είναι θερμαινόμενη ή όχι, το πλήθος των κεφαλών εκτύπωσης κ.α. Ενώ στην δεύτερη καρτέλα υπάρχουν οι ρυθμίσεις που αφορούν την κεφαλή εκτύπωσης, όπως η διάμετρος της μύτης εκτύπωσης, η διάμετρος του υλικού εκτύπωσης κ.α. Όλες αυτές οι ρυθμίσεις θα πρέπει να συμπληρωθούν κατά το δοκούν.



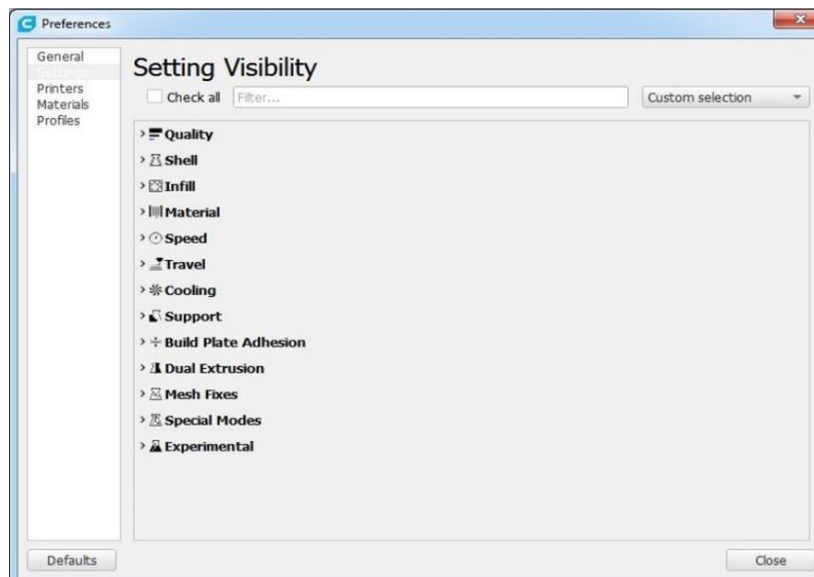
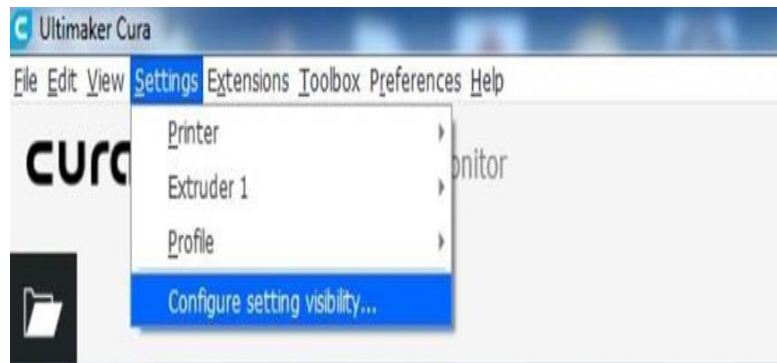
Cura, ρύθμιση εκτυπωτή.



Cura, ρύθμιση Extruder.

Στην συνέχεια αφού έχουμε δηλώσει και ρυθμίσει τον εκτυπωτή μας στην αρχική οθόνη του προγράμματος στα δεξιά θα δούμε ότι υπάρχει μια λίστα από πλήθος ρυθμίσεων Quality, Shell, Infill, Material, Speed κ.α., που αφορούν την ποιότητα της εκτύπωσης. Το Cura μας δίνει την επιλογή είτε να χρησιμοποιήσουμε το έτοιμο προφίλ εκτύπωσης με τις βασικές ρυθμίσεις ενεργές, είτε να δημιουργήσουμε το δικό μας προφίλ εκτύπωσης με τις δικές μας ρυθμίσεις. Για έναν casual χρήστη συνήθως οι βασικές ρυθμίσεις είναι αρκετές για να έχει μια

αρκετά καλή ποιότητα εκτύπωσης. Επιπλέον ρυθμίσεις για την παραμετροποίηση της εκτύπωσης πέρα των όσων υπάρχουν ήδη ενεργοποιημένες στην αρχική οθόνη, μπορούν να βρεθούν στην καρτέλα Settings → Configure setting visibility.



Cura, εύρεση τρεχόντων ρυθμίσεων.

- Quality: Η πρώτη ρύθμιση στην λίστα είναι η επιλογή της ποιότητας της εκτύπωσης (Quality). Ενδεικτικά μερικές από τις επιλογές ρύθμισης είναι τα Layer Height, Line Width, Wall Line Width, Infill Line Width κ.α. Γενικά σε αυτή την κατηγορία ρυθμίζουμε την ανάλυση και την ποιότητα της εκτύπωσης.
- Shell: Έπειτα ακολουθούν οι ρυθμίσεις για το κέλυφος της εκτύπωσης (Shell), που αφορά το πάχος των τοιχωμάτων (Wall Thickness) και το πάχος της αρχής και του τέλους της εκτύπωσης (Top/Bottom Thickness). Αν για παραδειγμα επιλέξουμε τα τοιχώματα των εκτυπώσεων μας να έχουν πάχος 0.8 mm (Wall Thickness) και το πάχος της γραμμής εκτύπωσης για τα τοιχώματα του μοντέλου να είναι 0.2 mm (Wall Line Width), τότε ο εκτυπωτής θα κάνει 4 συνολικά περάσματα για να τυπώσει το κέλυφος του μοντέλου. Μία ακόμα επιλογή που υπάρχει στις ρυθμίσεις για το κέλυφος του μοντέλου είναι το Print Thin Walls και αφορά την

εκτύπωση σημείων του μοντέλου εκτύπωσης όπου το πάχοςμέρους του μοντέλου είναι μικρότερο από την διάμετρο της μύτης εκτύπωσης. Γενικά η κατηγορία αυτή ρυθμίσεων αφορά τις ρυθμίσεις της εξωτερικής εκτύπωσης του κάθε μοντέλου και κατ' επέκταση της εμφάνισής του.

- **Infill:** Στην συνέχεια υπάρχουν οι ρυθμίσεις για την εκτύπωση του εσωτερικού του μοντέλου (Infill). Στην κατηγορία αυτή θα συναντίσουμε ρυθμίσεις όπως Infill Density, Infill Overlap Percentage κ.α. που αφορούν την ρύθμιση της εκτύπωσης του εσωτερικού μέρους ενός μοντέλου. Για παράδειγμα αν θέλαμε να τυπώσουμε έναν κουμπαρά θα έπρεπε να έχουμε ρυθμίσει έτσι το προφίλ εκτύπωσης ώστε να έχουμε ένα αρκετά γερό κέλυφος για να μπορεί να αντέξει το βάρος των κερμάτων. Ας πούμε 1 – 1.5 mm Wall Thickness ενώ το Infill Density θα έπρεπε να το ρυθμίσουμε ώστε να είναι 0% για να έχουμε μία τελείως κούφια εκτύπωση.
- **Material:** Στην κατηγορία Material θα βρούμε ρυθμίσεις που αφορούν το υλικό εκτύπωσης όπως την θερμοκρασία εκτύπωσης, την θερμοκρασία της θερμαινόμενης βάσης αν αυτή υπάρχει, την ροή του υλικού κ.α.
- **Speed:** Έπειτα υπάρχει η κατηγορία Speed. Μέσω αυτής μπορούμε να προσαρμόσουμε την ταχύτητα εκτύπωσης ανάλογα με τις ανάγκες μας και τις δυνατότητες του εκτυπώτη.
- **Travel:** Η κατηγορία Travel αφορά την κίνηση της κεφαλής κατά την εκτύπωση όπως για παράδειγμα για την αποφυγή εμποδίων, την προτεραιότητα εκτύπωσης κ.α.
- **Cooling:** Στην κατηγορία Cooling μπορούμε να ενεργοποιήσουμε τους ανεμιστήρες για την ψύξη του μοντέλου κατά την εκτύπωση αν αυτοί υπάρχουν. Κατ'επέκταση υπάρχουν διάφορες ρυθμίσεις για την ταχύτητα του ανεμιστήρα στην διάρκεια της εκτύπωσης.
- **Support:** Η επόμενη κατηγορία ρυθμίσεων είναι πολύ σημαντική καθώς χωρίς αυτήν πολλά από τα μοντέλα που εκτυπώνονται απλά θα κατέρρεαν πριν καλά καλά ολοκληρωθούν και αφορά την στήριξη (Support). Τα στηρίγματα κατά την εκτύπωση είναι πολλές φορές σωτήρια και πολύ βασικά για να ολοκληρωθεί σωστά μια εκτύπωση.
- **Build Plate Adhesion:** Στην διάρκεια μιας εκτύπωσης πολλές φορές παρατηρούμε είτε το μοντέλο να ξεκολλάει από την βάση επειδή έχει μικρή

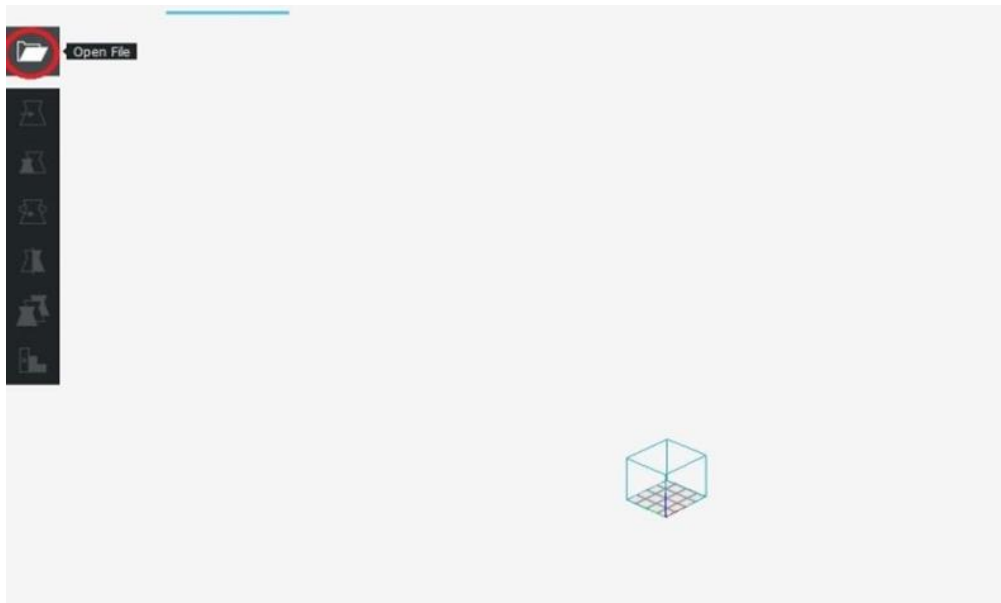
επιφάνεια επαφής με την βάση, είτε μετά το τέλος της εκτύπωσης και αφού κρυώσει η βάση της εκτύπωσης να παραμορφώνεται (warping). Για αυτές τις περιπτώσεις υπάρχει αυτή η κατηγορία ρυθμίσεων. Εδώ μπορούμε να ρυθμίσουμε την εκτύπωσή μας ώστε να δημιουργήσει μια επιπλέον βάση για την καλύτερη επαφή του εκτυπώμενου μοντέλου μας με την βάση του εκτυπωτή. Με αυτόν τον τρόπο κρατάμε το μοντέλο εκτύπωσης σταθερό στην θέση του. Ανάλογα το μοντέλο που θέλουμε να εκτυπώσουμε υπάρχουν διάφορες επιλογές και ρυθμίσεις για την δημιουργία της επιπλέον αυτής βάσης.

- Dual Extrusion: Η κατηγορία αυτή αφορά εκτυπωτές που έχουν διπλή κεφαλή εκτύπωσης.
- Mesh Fixes, Special Modes, Experimental.
- Οι τρεις αυτές κατηγορίες αφορούν ρυθμίσεις ειδικών περιπτώσεων ή έσχατης λύσης. Για παράδειγμα, αν γίνεται εκτύπωση πολλαπλών μοντέλων μπορούμε να επιλέξουμε αν θα τυπωθούν όλα μαζί ή το καθένα με την σειρά του. Επίσης αν υπάρχει πρόβλημα με κενά στα στρώματα της εκτύπωσης και δεν μπορεί να λυθεί με οποιοδήποτε άλλο τρόπο τότε μπορεί να ενεργοποιηθεί η ρύθμιση Ignore All Holes, αλλά σαν αντίκτυπο έχει ότι αφαιρούνται όλα τα κενά ακόμα και από τα εξωτερικά στρώματα εκτύπωσης.

Τέλος, στην κατηγορία Experimental υπάρχουν πλήθος πειραματικών ρυθμίσεων για πιο εξειδικευμένες εκτυπώσεις. Αφού έχουμε ορίσει στο Firmware τις κατά προσέγγιση τιμές των βημάτων του κάθε κινητήρα και έχουμε κάνει upload τον νέο κώδικα, θα χρησιμοποιήσουμε έναν κύβο βαθμονόμησης (Calibration cube), διαστάσεων 20 mm x 20 mm x 20 mm, ώστε να υπολογίσουμε ακριβώς τα βήματα του κάθε κινητήρα. Ο λόγος που χρειαζόμαστε επιπλέον βαθμονόμηση για τα βήματα των κινητήρων είναι επειδή σίγουρα θα έχουν υπάρξει κατασκευαστικές αστοχίες.

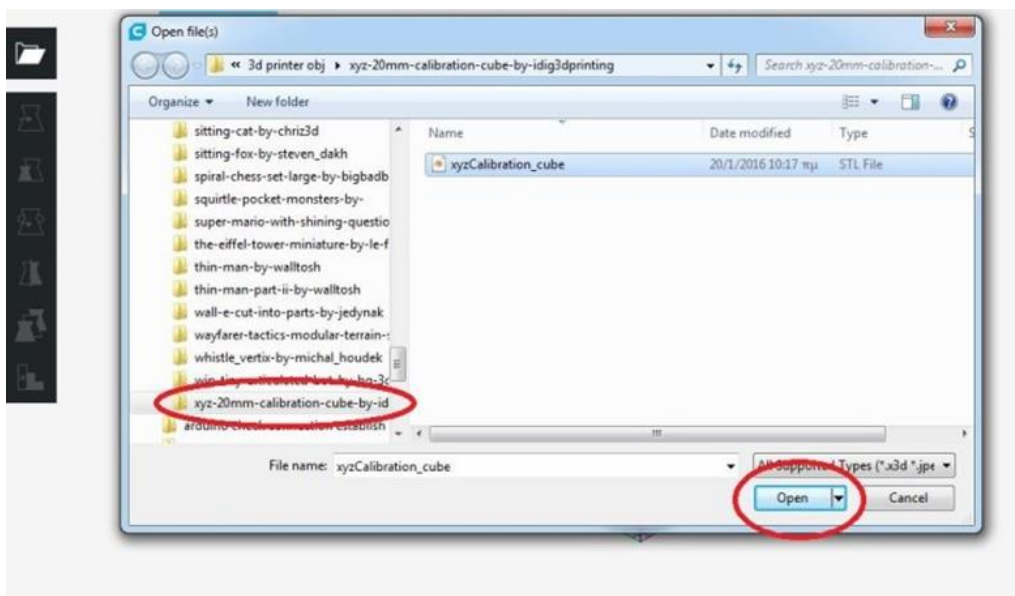
Για να εκτυπώσουμε ανοίγουμε το Cura και επιλέγουμε να ανοίξουμε τον φάκελο με τον κύβο βαθμονόμησης που έχουμε κάνει ήδη download από κάποιο από τα site που έχουν αναφερθεί. Έπειτα επιλέγουμε το προφίλ εκτύπωσης που επιθυμούμε και επιλέγουμε να κάνει εκτύπωση μέσω USB.

Βήμα 1ο: Επιλέγουμε το εικονίδιο Open File



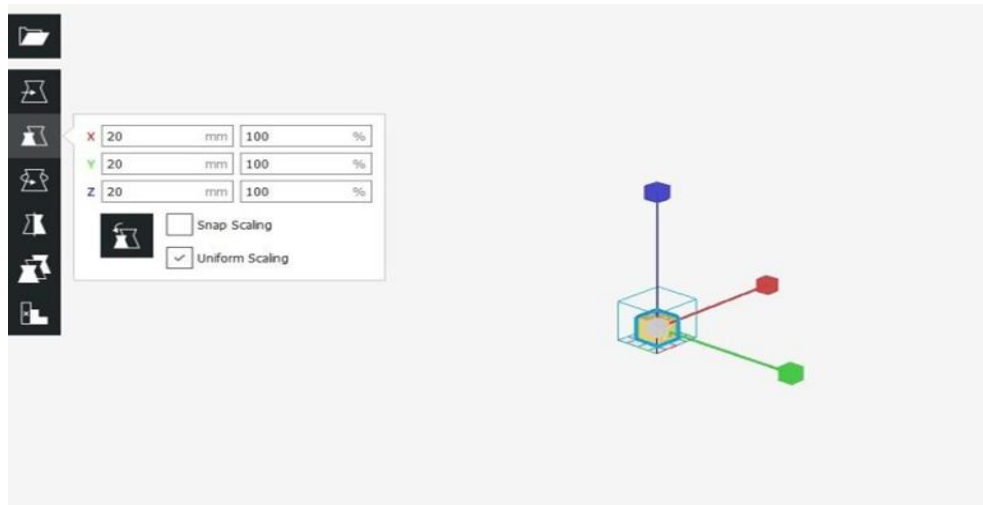
Εκτόπωση, Βήμα πρώτο.

Βήμα 2ο: Επιλέγουμε το Μοντέλο που θέλουμε να τυπώσουμε και επιλέγουμε το Open



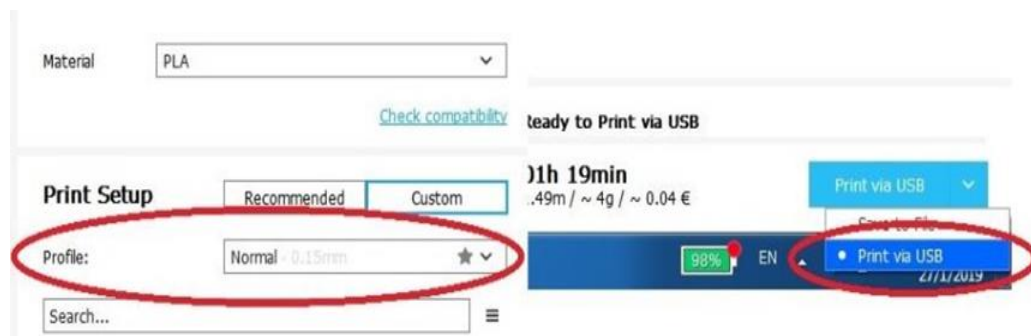
Εκτόπωση, βήμα δεύτερο.

Βήμα 3^ο: Παρατηρούμε ότι οι διαστάσεις το αντικειμένου είναι οι επιθυμητές



Εκτύπωση, βήμα τρίτο.

Βήμα 4^ο: Διαλέγουμε το προφίλ εκτύπωσης και επιλέγουμε να κάνει εκτύπωση μέσω του USB



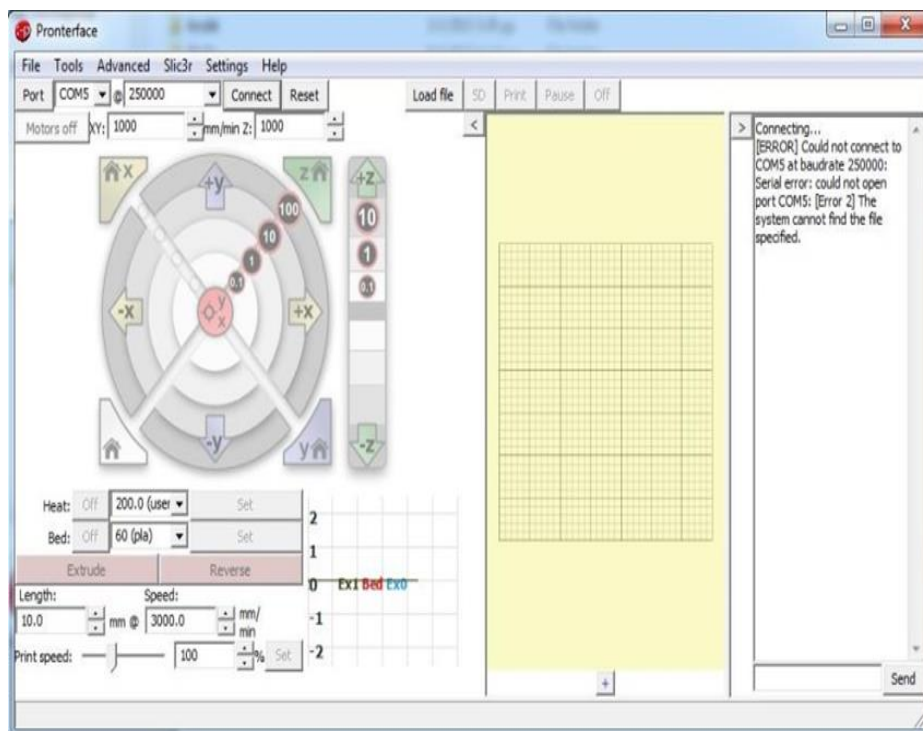
Εκτύπωση, βήμα.

4.2.2 Pronterface.

Το Pronterface είναι ένα δωρεάν και opensource πρόγραμμα, πλήρως εξοπλισμένο για 3D εκτύπωση και μπορούμε να το κατεβάσουμε από την επίσημη σελίδα (Pronterface, 2019). Ωστόσο στην περίπτωση μας, επειδή είναι κάπως πιο δυσανάγνωστο και το παραθυρικό του περιβάλλον δεν είναι τόσο φιλικό προς τον απλό χρήστη, θα το χρησιμοποιήσουμε μόνο σαν όργανο για να κάνουμε ορισμένους ελέγχους για τον εκτυπωτή μας κατά την διάρκεια της κατασκευής του και για να καλιμπράρουμε σωστά τους άξονες και τα αισθητήρια.

Το περιβάλλον του Pronterface αποτελείται από τρία βασικά πάνελ. Στα αριστερά βρίσκεται το πάνελ όπου μπορούμε χειροκίνητα να ελέγξουμε οποιοδήποτε μέρος του 3D εκτυπωτή, όπως τους άξονες, τον extruder, τις θερμοκρασίες κ.α. Στο κέντρο βρίσκεται το γράφημα όπου φορτώνουμε το σχέδιο που θέλουμε να τυπώσουμε και έχοντας θέσει τις κατάλληλες ρυθμίσεις στο πρώτο πάνελ εκτελούμε την εκτύπωση που επιθυμούμε.

Και στα δεξιά βρίσκεται ένας κειμενογράφος όπου αποτυπώνει την οποιαδήποτε κίνηση εκτελούμε, μας ενημερώνει για οποιοδήποτε σφάλμα και μας δίνει την δυνατότητα να δώσουμε εντολές σε κώδικα G-code. Ο κώδικας G είναι κώδικας που χρησιμοποιείται στις CNC μηχανές και έχει ενσωματωθεί και στο Firmware των 3D εκτυπωτών. Στην παρακάτω φωτογραφία φαίνονται τα τρία βασικά μέρη του Pronterface, όπως είπαμε παραπάνω, καθώς και το σφάλμα που έχει εμφανίσει στον κειμενογράφο αφού έχουμε προσπαθήσει να κάνουμε σύνδεση με τον εκτυπωτή ενώ δεν τον έχουμε συνδεδεμένο. Το Pronterface θα το χρησιμοποιήσουμε σαν εργαλείο αποσφαλμάτωσης και βαθμονόμησης του εκτυπωτή.

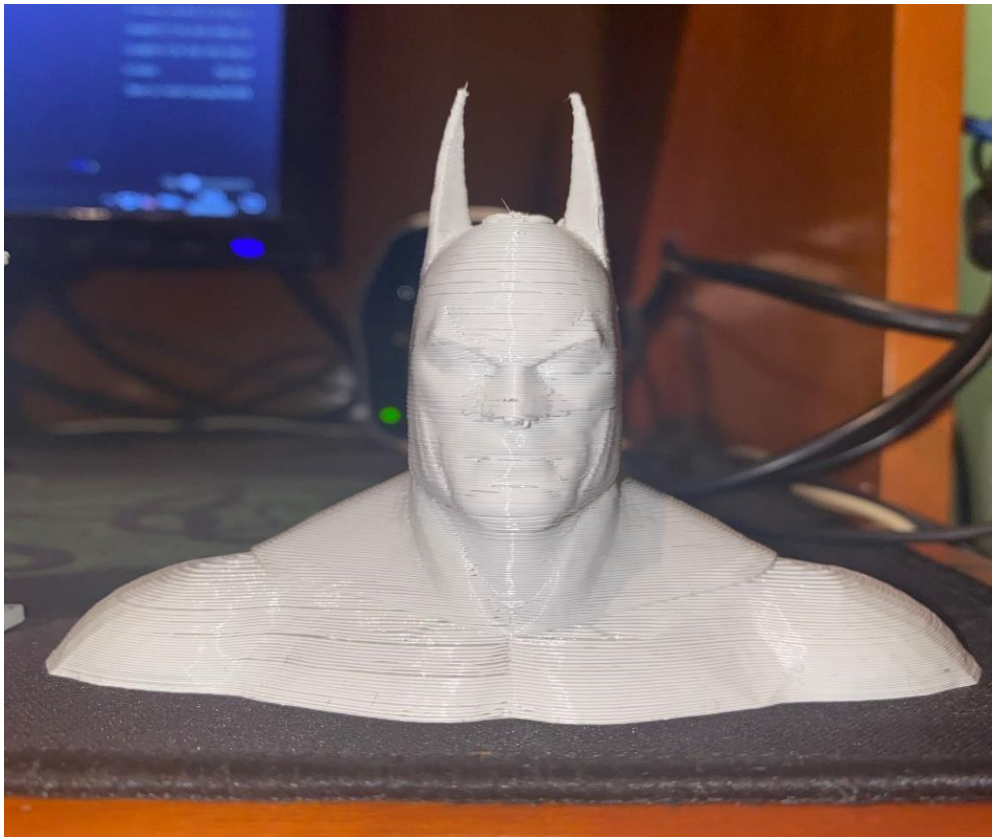


Περιβάλλον Pronterface.

4.3 Εκτυπωμένα πρότυπα δείγματα καλής λειτουργίας.



Αεροσκάφος προς απογείωση και αστροναύτης.



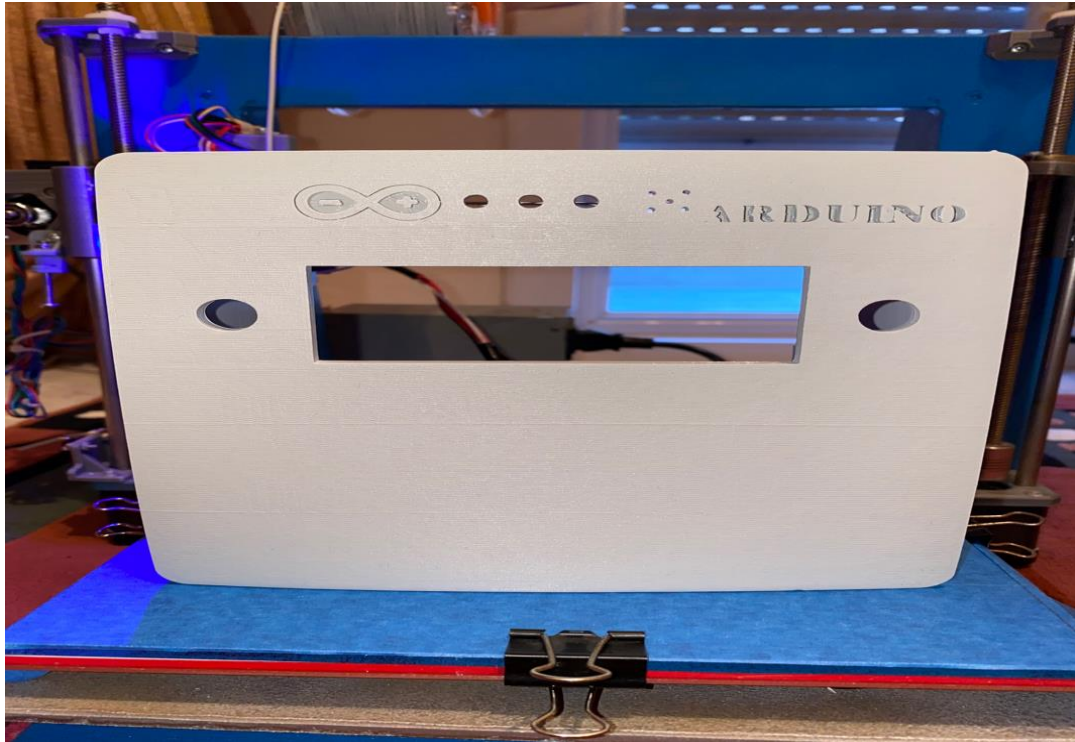
Batman Υπερήρωας.



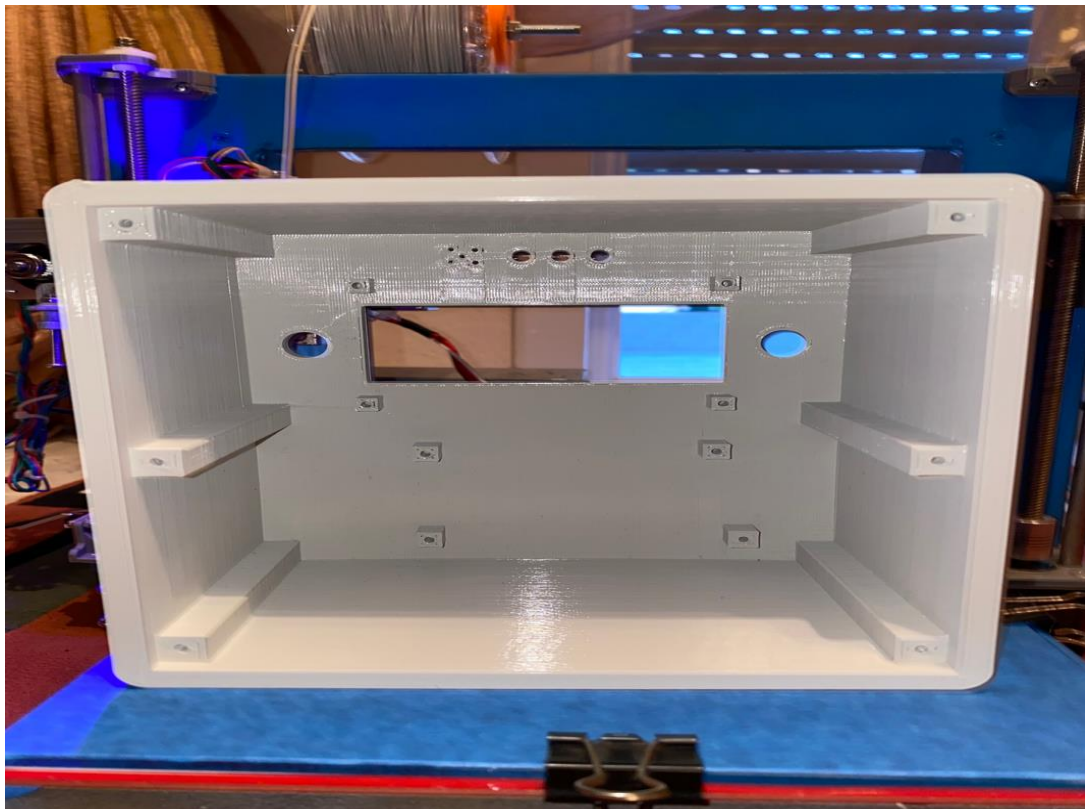
Νίκολα Τέσλα και Αλμπερτ Αϊνστάιν.



Μινιατούρες KAWS.



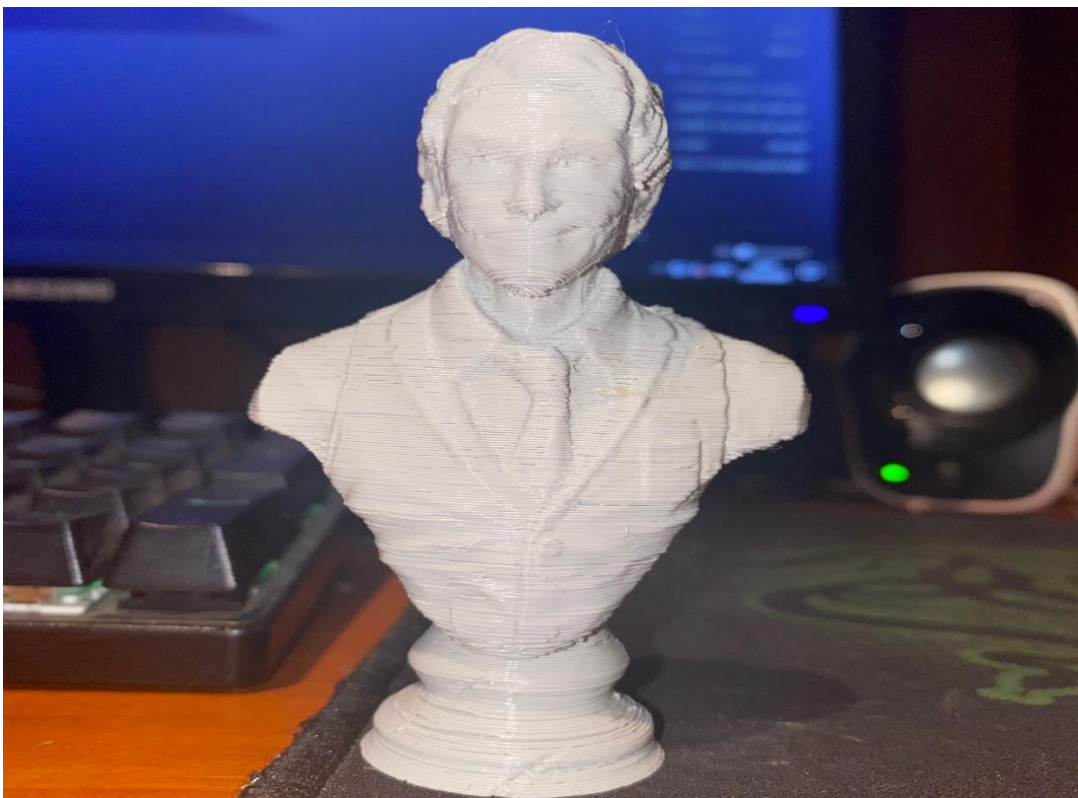
Καλούπι για Μόνιτορ πρόοψη.



Καλούπι για Μόνιτορ πίσω όψη.



Καρνάτιδα.



Joker χαρακτήρας.



Batman Υπερήρωας.



Ironman Υπερήρωας.