



ΤΕΧΝΟΛΟΓΙΚΟ ΕΚΠΑΙΔΕΥΤΙΚΟ ΙΔΡΥΜΑ ΑΘΗΝΑΣ

ΣΧΟΛΗ ΤΕΧΝΟΛΟΓΙΚΩΝ ΕΦΑΡΜΟΓΩΝ

ΤΜΗΜΑ ΝΑΥΠΗΓΙΚΗΣ

ΠΤΥΧΙΑΚΗ ΕΡΓΑΣΙΑ

**Κατασκευή και χρήση τρισδιάστατου εκτυπωτή για
την παραγωγή μοντέλων πλοίων**

ΚΩΝΣΤΑΝΤΙΝΟΣ Γ. ΣΟΥΛΗΣ

ΜΕΛΗ ΤΡΙΜΕΛΟΥΣ ΕΠΙΤΡΟΠΗΣ:

Δρ. Κωνσταντίνος Κώστας, Καθηγητής Εφαρμογών

Δρ. Γεροστάθης Θεόδωρος, Επίκουρος Καθηγητής

Δρ. Παγώνης Δημήτριος-Νικόλαος, Καθηγητής Εφαρμογών

ΑΘΗΝΑ 2013

1. Περιεχόμενα

Πρόλογος.....	5
1. Εισαγωγή.....	6
1.1. Ιστορική Αναδρομή.....	6
1.2. Γενικές αρχές.....	7
1.2.1. Τρισδιάστατα σχέδια.....	7
1.2.2. Εκτύπωση.....	7
1.2.3. Φινίρισμα.....	8
1.3. Τεχνολογίες 3D εκτύπωσης.....	8
1.3.1. Εναπόθεση με εξώθηση (Extrusion deposition).....	10
1.3.2. Φωτοπολυμερισμός (Photopolymerization).....	11
2. Τρισδιαστατοι εκτυπωτές.....	12
2.1. Εκτυπωτής Huxley.....	15
2.1.1. Γενικά.....	15
2.1.2. Τεχνικά χαρακτηριστικά.....	16
2.2. Τεχνικά χαρακτηριστικά για το PLA και το ABS.....	17
2.2.1. Πολυγαλακτικό οξύ (PLA).....	17
2.2.2. Συμπολυμερές ακρυλονιτριλίου- βουταδιενίου- στυρενίου (ABS).....	18
3. Κατασκευή του εκτυπωτή.....	19
3.1. Συναρμολόγηση του σκελετού.....	19
3.2. Συναρμολόγηση του άξονα Y.....	27
3.3. Συναρμολόγηση του άξονα X.....	34
3.4. Άξονας Z.....	40
3.4.1. Συναρμολόγηση του άξονα Z.....	40
3.4.2. Τοποθέτηση του άξονα Z.....	43

3.5.	Συναρμολογήση θερμαινόμενης πλάκας.....	45
3.6.	Συναρμολογήση μηχανισμού εξώθησης υλικού εκτύπωσης (Extruder).	50
3.6.1.	Συναρμολόγηση κυρίως μηχανισμού για την εξώθηση του υλικού	50
3.6.2.	Συναρμολόγηση του τεμπέλη.	52
3.6.3.	Συναρμολογήση πλαστικού σωλήνα για την μετακίνηση του νήματος.	54
3.6.4.	Τοποθέτηση extruder πάνω στον σκελετό.....	55
3.7.	Θερμαινόμενη κεφαλή.....	56
3.7.1.	Συναρμολόγηση θερμαινόμενης κεφαλής.....	56
3.7.2.	Θερμαινόμενη κεφαλή.....	57
3.7.3.	Συναρμολόγηση συστήματος ψύξης της θερμαινόμενης κεφαλής.....	58
3.7.4.	Τοποθέτηση του θερμίστορ και της αντίστασης πάνω στην κεφαλή.....	60
3.7.5.	Τοποθέτηση της θερμαινόμενης κεφαλής στον εκτυπωτή	61
3.8.	Καλωδίωση του εκτυπωτή	62
3.8.1.	Τοποθέτηση της μητρικής πλακέτας.....	62
3.8.2.	Σύνδεση βύσματος τροφοδοσίας του εκτυπωτή.....	64
3.8.3.	Τερματικοί διακόπτες.....	67
3.8.3.1.	Τοποθέτηση τερματικού διακόπτη για τον άξονα Y	68
3.8.3.2.	Τοποθέτηση τερματικού διακόπτη για τον άξονα X	68
3.8.3.3.	Τοποθέτηση τερματικού διακόπτη για τον άξονα Z.....	69
3.8.4.	Στερέωμα καλωδιώσεων πάνω στον σκελετό του εκτυπωτή.....	69
3.8.4.1.	Στερέωμα καλωδίωσης άξονα Y και τροφοδοσίας της motherboard.....	69
3.8.4.2.	Στερέωμα καλωδίωσης άξονα X.	70
3.8.4.3.	Στερέωμα καλωδίωσης θερμαινόμενης κεφαλής.	70
3.8.4.4.	Στερέωμα καλωδίου USB και τερματικών διακοπών.....	71
3.8.5.	Συνδεσμολογία βηματικών κινητήρων άξονα Z.....	71
3.8.6.	Σύνδεση καλωδίων του θερμαινόμενου τραπεζιού.	72
3.8.7.	Σύνδεση όλων των καλωδιώσεων με την motherboard Sanguinololu.....	72
3.9.	Τελική δοκιμή και προσαρμογή ρυθμίσεων του εκτυπωτή	76
3.9.1.	Επικοινωνία με τον εκτυπωτή	76
3.9.2.	Σύνδεση USB.....	76

3.9.3.	Επικοινωνία με τον εκτυπωτή	76
3.9.4.	Κίνηση Βηματικών κινητήρων	78
3.9.5.	Τερματικοί διακόπτες.....	78
3.9.6.	Ευθυγράμμιση τμημάτων του εκτυπωτή	79
3.9.6.1.	Ευθυγράμμιση άξονα Χ.....	79
3.9.6.2.	Ευθυγράμμιση θερμαινόμενου τραπέζιού	79
3.9.6.3.	Θέση λειτουργίας άξονα Ζ.	79
3.9.7.	Θερμαινόμενα στοιχεία	79
3.9.7.1.	Θερμαινόμενο τραπέζι.....	79
3.9.7.2.	Θερμαινόμενη κεφαλή.....	79
3.9.8.	Μηχανισμός εξώθησης υλικού	80
3.10.	Εκτύπωση	80
3.10.1.	Εισαγωγή	80
3.10.2.	Προετοιμασία εκτυπωτή για την εκτύπωση	80
3.10.3.	Προετοιμασία αρχείου για εκτύπωση	81
3.10.4.	Έναρξη εκτύπωσης	81
3.10.5.	Ρύθμιση του εκτυπωτή.....	82
3.10.6.	Αλλαγή νήματος εκτύπωσης	82
4.	Παραδείγματα μοντέλων γαστρών	83
4.1.	Τρεχαντήρι.....	83
4.1.1.	Μορφή γάστρας	83
4.1.2.	Επιλογή διαστάσεων γάστρας προς εκτύπωση.	86
4.1.3.	Τοποθέτηση ενισχυτικών	88
4.1.4.	Εκτύπωση της γάστρας.....	89
4.1.4.1.	Εκτύπωση πρωταίου και πρυμναίου τμήματος της γάστρας.....	94
4.1.4.2.	Εκτύπωση πρωταίου και πρυμναίου τμήματος της κουπαστής	94
4.1.4.3.	Εκτύπωση πρωταίου και πρυμναίου τμήματος της καρίνας.....	95
4.1.5.	Συναρμολόγηση της κατασκευής.....	95
4.1.6.	Φινίρισμα της γάστρας.....	97
4.2.	Επιβατηγό.....	100

4.2.1.	Μορφή γάστρας	100
4.2.3.	Τοποθέτηση ενισχυτικών	104
4.2.4.	Εκτύπωση της γάστρας.....	105
4.2.4.2.	Εκτύπωση πυρμαίου τμήματος της γάστρας	107
4.2.5.	Συναρμολόγηση του μοντέλου	107
4.2.6.	Φινίρισμα της γάστρας.....	109
5.	Συμπεράσματα.....	112
6.	Βιβλιογραφία.....	114

Πρόλογος

Η παρούσα πτυχιακή εργασία αποσκοπεί αφενός στην κατασκευή ενός τρισδιάστατου εκτυπωτή τεχνολογίας εναπόθεσης υλικού (Additive manufacturing) και αφετέρου στην χρήση του για την παραγωγή τρισδιάστατων μοντέλων πλοίων κατάλληλων για χρήση σε μικρή πειραματική δεξαμενή.

Το πρώτο μέρος της εργασίας περιλαμβάνει τα ακόλουθα βήματα:

- 1) Διερεύνηση της σχετικής βιβλιογραφίας και των τεχνολογιών τρισδιάστατης εκτύπωσης
- 2) Επιλογή των βασικών μερών (μηχανικά και ηλεκτρονικά μέρη) για την κατασκευή ενός πρότυπου εκτυπωτή τεχνολογίας εναπόθεσης υλικού με δυνατότητα παραγωγής αντικειμένων σε διαστάσεις 15x15x10 εκατοστά.
- 3) Συναρμολόγηση των μηχανικών τμημάτων.
- 4) Κατασκευή των ηλεκτρονικών τμημάτων (χρήση κατάλληλου μικροεπεξεργαστή, ελεγκτή βηματικών κινητήρων κλπ)
- 5) Επιλογή ανοικτού λογισμικού οδήγησης μηχανών CNC (και παρέμβαση όπου αυτό χρειάζεται) για την οδήγηση του τρισδιάστατου εκτυπωτή.
- 6) Ρύθμιση και έλεγχος των συστατικών μερών για την παραγωγή μοντέλων καλής ποιότητας

Το δεύτερο μέρος της εργασίας περιλαμβάνει τα ακόλουθα βήματα:

- 1) Χρήση κατάλληλου λογισμικού τρισδιάστατης μοντελοποίησης (π.χ. Rhinoceros 3d) για την παραγωγή μοντέλων πλοίων από σχέδια γραμμών.
- 2) Επιλογή 2-3 τύπων πλοίου για την παραγωγή των μοντέλων υπό κλίμακα (αλιευτικό, επιβατηγό κλπ)
- 3) Διερεύνηση της διαδικασίας χωρισμού τμημάτων τρισδιάστατων μοντέλων πλοίων και μοντελοποίηση των συστημάτων σύνδεσης για παραγωγή μοντέλων μεγάλης κλίμακας από τμήματα εκτυπωμένων μερών.
- 4) Παραγωγή (εκτύπωση) και συναρμολόγηση 2 μοντέλων πλοίων σε κατάλληλη κλίμακα (25-40 εκατοστά) για χρήση στην πειραματική δεξαμενή του τμήματος.

Στο σημείο αυτό θα ήθελα να ευχαριστήσω θερμά τον επιβλέποντα Καθηγητή, Κ. Κώστα για την άριστη συνεργασία που είχαμε και για την καθοδήγηση που μου παρείχε καθ' όλη τη διάρκεια της πτυχιακής αυτής εργασίας, η οποία στάθηκε καταλυτική για την επιτυχή ολοκλήρωση της, αλλά κυρίως για την ενθάρρυνση και την στήριξη του.

...Στους γονείς μου Μαργαρίτα και Γιώργο

1. Εισαγωγή

Η τεχνολογία Τρισδιάστατης Εκτύπωσης (TE) αναφέρεται στην διαδικασία κατασκευής τρισδιάστατων αντικειμένων από ένα ψηφιακό μοντέλο. Σε πολλές υλοποιήσεις της τεχνολογίας TE η παραγωγή των αντικειμένων επιτυγχάνεται με εναπόθεση υλικού, δηλαδή το εκτυπούμενο αντικείμενο δημιουργείται από διαδοχικώς τοποθετούμενα στρώματα υλικού. Η τρισδιάστατη εκτύπωση διαφέρει από τις παραδοσιακές τεχνικές κατεργασίας οι οποίες είναι αφαιρετικές διαδικασίες και κατά συνέπεια βασίζονται, ως επί το πλείστον, στην αφαίρεση του υλικού με μεθόδους όπως η κοπή και η διάτρηση.

Η τεχνολογία TE έχει βρει ευρεία εφαρμογή και χρησιμοποιείται για την παραγωγή κοσμημάτων, υποδημάτων, στον βιομηχανικό σχεδιασμό, την αρχιτεκτονική, τη μηχανική, την αυτοκινητοβιομηχανία, την αεροδιαστημική, την οδοντιατρική και την ιατρική βιομηχανία, την εκπαίδευση και σε πολλούς άλλους τομείς.

Η TE πραγματοποιείται συνήθως από έναν *εκτυπωτή εναπόθεσης υλικών* χρησιμοποιώντας ψηφιακή τεχνολογία στην επικοινωνία και την διαχείριση του. Από την αρχή του εικοστού πρώτου αιώνα, υπήρξε σημαντική ανάπτυξη της τεχνολογίας και αντιστοίχως μια μεγάλη αύξηση στις πωλήσεις αυτών των μηχανών με αποτέλεσμα η τιμή τους έχει μειωθεί σημαντικά.

1.1. Ιστορική Αναδρομή

Οι πρώτες υλοποιήσεις τρισδιάστατων εκτυπωτικών μηχανών εμφανίστηκαν την δεκαετία του 1980, αν και τότε οι συγκεκριμένοι εκτυπωτές ήταν μεγάλοι, ακριβοί και με αρκετούς περιορισμούς ως προς το τι μπορούσαν να εκτυπώσουν και να παράγουν.

Η στερεολιθογραφία κατοχυρώθηκε με δίπλωμα ευρεσιτεχνίας το 1987 από τον Chuck Hull.

Η *επιλεκτική πυροσυσσωμάτωση με λέιζερ* (SLS) αναπτύχθηκε και κατοχυρώθηκε με δίπλωμα ευρεσιτεχνίας από τον Δρ. Carl Deckard του Πανεπιστημίου του Τέξας στο Όστιν στα μέσα της δεκαετίας του 1980, υπό την εγίδα της DARPA. Μια παρόμοια διαδικασία είχε κατοχυρωθεί με δίπλωμα ευρεσιτεχνίας, χωρίς να περάσει στην παραγωγή ο R. F. Housholder το 1979.

Ο όρος «3D εκτύπωση» επινοήθηκε στο MIT το 1995, όταν οι τότε μεταπτυχιακοί φοιτητές Jim Bredt και Tim Anderson τροποποίησαν έναν inkjet εκτυπωτή ώστε να εξάγει ένα διάλυμα σε ένα τραπέζι με σκόνη, αντί για μελάνι πάνω σε χαρτί. Το δίπλωμα ευρεσιτεχνίας που ακολούθησε οδήγησε στη δημιουργία της σύγχρονης εταιρίας 3D εκτύπωσης Z Corporation (που ιδρύθηκε από τους Bredt και Anderson) και ExOne.

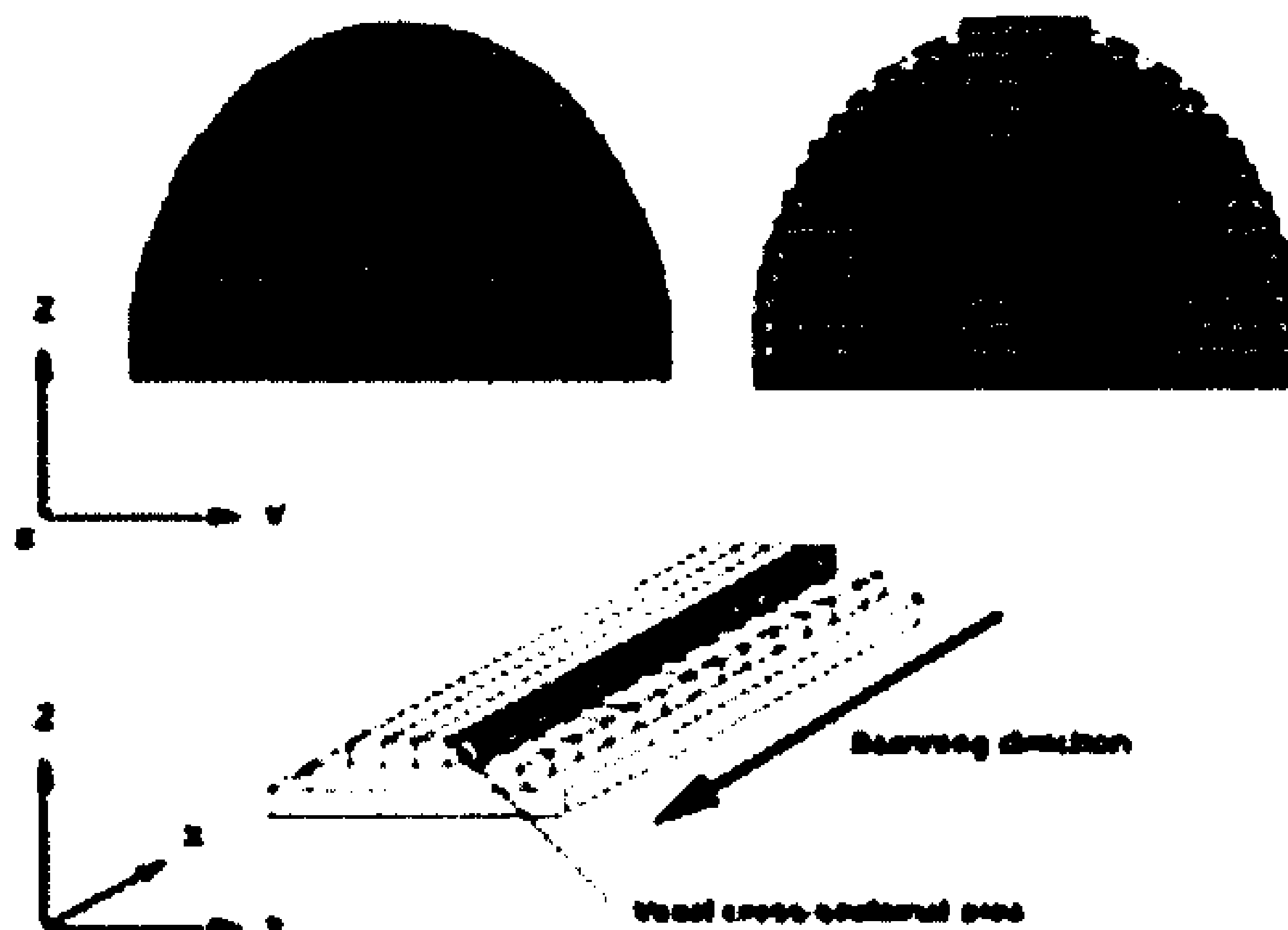
Η μοντελοποίηση με εναπόθεση τηγμένου υλικού (fused deposition modelling) αναπτύχθηκε από S. Scott Crump στα τέλη της δεκαετίας του 1980 και απέκτησε εμπορικές εφαρμογές το 1990.

1.2. Γενικές αρχές

1.2.1. Τρισδιάστατα σχέδια

Η χρήση της τεχνολογίας στρωματικής εναπόθεσης υλικού γίνεται με την χρήση εικονικών σχεδίων Computer Aided Design (CAD). Στη συνέχεια τα τεμαχίζει σε λεπτές, εικονικές, οριζόντιες εγκάρσιες τομές και δημιουργεί διαδοχικές στρώσεις μέχρι το μοντέλο είναι πλήρες. Είναι μια διαδικασία WYSIWYG (What You See Is What You Get) όπου το εικονικό μοντέλο και το φυσικό μοντέλο είναι σχεδόν ταυτόσημα.

Η πρότυπη διεπαφή δεδομένων μεταξύ λογισμικού CAD και των μηχανημάτων είναι η μορφή αρχείου STL. Ένα αρχείο STL προσεγγίζει το σχήμα ενός εξαρτήματος ή ενός πλήθους συναρμολογημένων εξαρτημάτων με τρίγωνα. Οι μικρότερες έδρες των τριγώνων παράγουν υψηλότερη ποιότητα επιφάνειας. Τα VRML (ή WRL) αρχεία συχνά χρησιμοποιείται ως είσοδος για τεχνολογίες 3D εκτύπωσης που είναι σε θέση να εκτυπώνουν σε πλήρες χρώμα.



Εικόνα 1: Τεμαχισμός 3D μοντέλου

1.2.2. Εκτύπωση

Για την πραγματοποιηθεί μία εκτύπωση, ο 3D εκτυπωτής διαβάζει το σχέδιο και εναποθέτει διαδοχικά στρώματα υγρού, σκόνης, ή το υπό εναπόθεση εκάστοτε υλικό σε διαδοχικά στρώματα. Αυτά τα στρώματα, τα οποία αντιστοιχούν στην εικονική διατομή από το μοντέλο CAD, ενώνονται μαζί για να δημιουργήσουν το τελικό σχήμα. Το κύριο πλεονέκτημα της κατασκευής με στρωματική εναπόθεση (additive fabrication) είναι η ικανότητά της να δημιουργεί σχεδόν οποιοδήποτε σχήμα ή γεωμετρικό χαρακτηριστικό.

Η ανάλυση του εκτυπωτή δίνεται σε πάχος στρώματος και XY ανάλυση σε dpi, ή μικρόμετρα. Τυπικό πάχος στρώματος είναι περίπου τα 100 μικρόμετρα (0.1 mm), αν και μερικές μηχανές όπως το Objet Connex μπορεί να εκτυπώσει στρώματα τόσο λεπτό όσο 16 μικρόμετρα. Η XY ανάλυση είναι συγκρίσιμη με εκείνη των εκτυπωτών λέιζερ. Τα σωματίδια (3D κουκκίδες) είναι περίπου 50 έως 100 μm (0.05-0.1 mm) σε διάμετρο.

Η κατασκευή ενός μοντέλου με σύγχρονες μεθόδους μπορεί να διαρκέσει από μερικές ώρες έως μερικές ημέρες, ανάλογα με τη χρησιμοποιούμενη μέθοδο και το μέγεθος και την πολυπλοκότητα του μοντέλου. Πρόσθετα συστήματα μπορούν να παράγουν μοντέλα σε λίγες ώρες, αν και αυτό μπορεί να ποικίλει ευρέως ανάλογα με τον τύπο της μηχανής που χρησιμοποιείται και το μέγεθος και τον αριθμό των μοντέλων που παράγονται ταυτόχρονα.

Παραδοσιακές τεχνικές όπως χύτευση με έγχυση μπορεί να είναι λιγότερο δαπανηρή για την κατασκευή πολυμερών προϊόντων σε μεγάλες ποσότητες, αλλά η κατασκευή με στρωματική εναπόθεση υλικού μπορεί να είναι ταχύτερη, πιο ευέλικτη και λιγότερο δαπανηρή όταν παράγονται σχετικά μικρές ποσότητες προϊόντων. Οι 3D εκτυπωτές δίνουν στους σχεδιαστές και στις ομάδες ανάπτυξης την ικανότητα να παράγουν προϊόντα και μοντέλα χρησιμοποιώντας έναν εκτυπωτή επιτραπέζιου μεγέθους.

1.2.3. Φινίρισμα

Η εγγενής ανάλυση ενός εκτυπωτή μπορεί να είναι επαρκής για κάποιες εφαρμογές. Εάν όχι, η ανάλυση και φινίρισμα επιφάνειας μπορεί να βελτιωθεί με την εκτύπωση ενός αντικειμένου ελαφρά υπερμεγέθη σε τυπική ανάλυση, ακολούθως απομάκρυνση του υλικού με υψηλότερης- ανάλυση αφαιρετική διαδικασία.

Μερικές τεχνικές στρωματικής εναπόθεσης χρησιμοποιούν δύο υλικά κατά τη διάρκεια της κατασκευής προϊόντων. Το πρώτο υλικό είναι το υλικό του προϊόντος και το δεύτερο είναι το υλικό στήριξης (για την υποστήριξη προεξέχοντα χαρακτηριστικά κατά την κατασκευή). Το υλικό υποστήριξης αργότερα απομακρύνεται με θέρμανση ή διαλύεται με ένα διαλύτη ή νερό.

1.3. Τεχνολογίες 3D εκτύπωσης

Ένας αριθμός ανταγωνιστικών τεχνολογιών είναι διαθέσιμος. Οι τεχνολογίες διαφέρουν στον τρόπο με τον οποίο τοποθετούν τα στρώματα του υλικού το ένα πάνω στο άλλο και στα υλικά που μπορούν να χρησιμοποιηθούν. Μερικές μέθοδοι χρησιμοποιούν τήξη ή μαλάκωμα υλικού για την παραγωγή των στρωμάτων, π.χ. επιλεκτική πυροσυσσωμάτωση λέιζερ (SLS) μοντελοποίηση εναπόθεσης τηγμένου υλικού (FDM), ενώ άλλες χρησιμοποιούν υγρά υλικά τα οποία σκληραίνουν με διαφορετικές τεχνολογίες, π.χ. στερεολιθογραφία (SLA).

Στην περίπτωση της κατασκευής του αντικειμένου από συγκολλημένα φύλλα (LOM), οι λεπτές στρώσεις κόβονται στο επιθυμητό σχήμα και ενώνονται μεταξύ τους (π.χ. χαρτί, πολυμερή, μέταλλο). Κάθε μέθοδος έχει τα πλεονεκτήματα και τα μειονεκτήματά του, και κατά συνέπεια, ορισμένες εταιρείες προσφέρουν μια επιλογή μεταξύ σκόνης και πολυμερούς, ως το υλικό από το οποίο το αντικείμενο κατασκευάζεται. Γενικά, οι

σημαντικότεροι λόγοι για την επιλογή μας είναι η ταχύτητα, το κόστος της τυπωμένου πρωτοτύπου, το κόστος του 3D εκτυπωτή, η επιλογή και το κόστος των υλικών.

Η εκτυπωτές που εργάζονται άμεσα με τα μέταλλα είναι ακριβοί. Ωστόσο, σε ορισμένες περιπτώσεις, έχουν χρησιμοποιηθεί εκτυπωτές χαμηλού κόστους για την κατασκευή ενός καλουπιού, το οποίο στη συνέχεια χρησιμοποιείται για την κατασκευή ενός μεταλλικού εξαρτήματος.

ΠΙΝΑΚΑΣ 1		
Τύπος	Τεχνολογία	Υλικό
Εναπόθεση με εξώθηση (Extrusion deposition)	Fused deposition modeling (FMD)	Θερμοπλαστικά(PLA,ABS), Εύτηκτα υλικά
	Direct material laser sintering (DMLS)	Κράμματα μετάλλων
	Electron beam melting (EBM)	Κράμματα Τιτανίου
	Selective heat sintering (SHS)	Θερμοπλαστική σκόνη
	Selective laser sintering (SLS)	Θερμοπλαστικά, σκόνη από μέταλλα, σκόνη από κεραμικά
	Powder bed and inkjet head 3D printing Plaster- based 3D printing (PP)	Πλαστικό
Laminated	Laminated object manufacturing (LOM)	Χαρτί, μεταλλικό φιλμ, πλαστικό φιλμ
Light polymerized	Stereolithography (SLA)	Φωτοπολυμεροί υλικά
	Digital Light Processing (DLP)	Υγρή ρητίνη

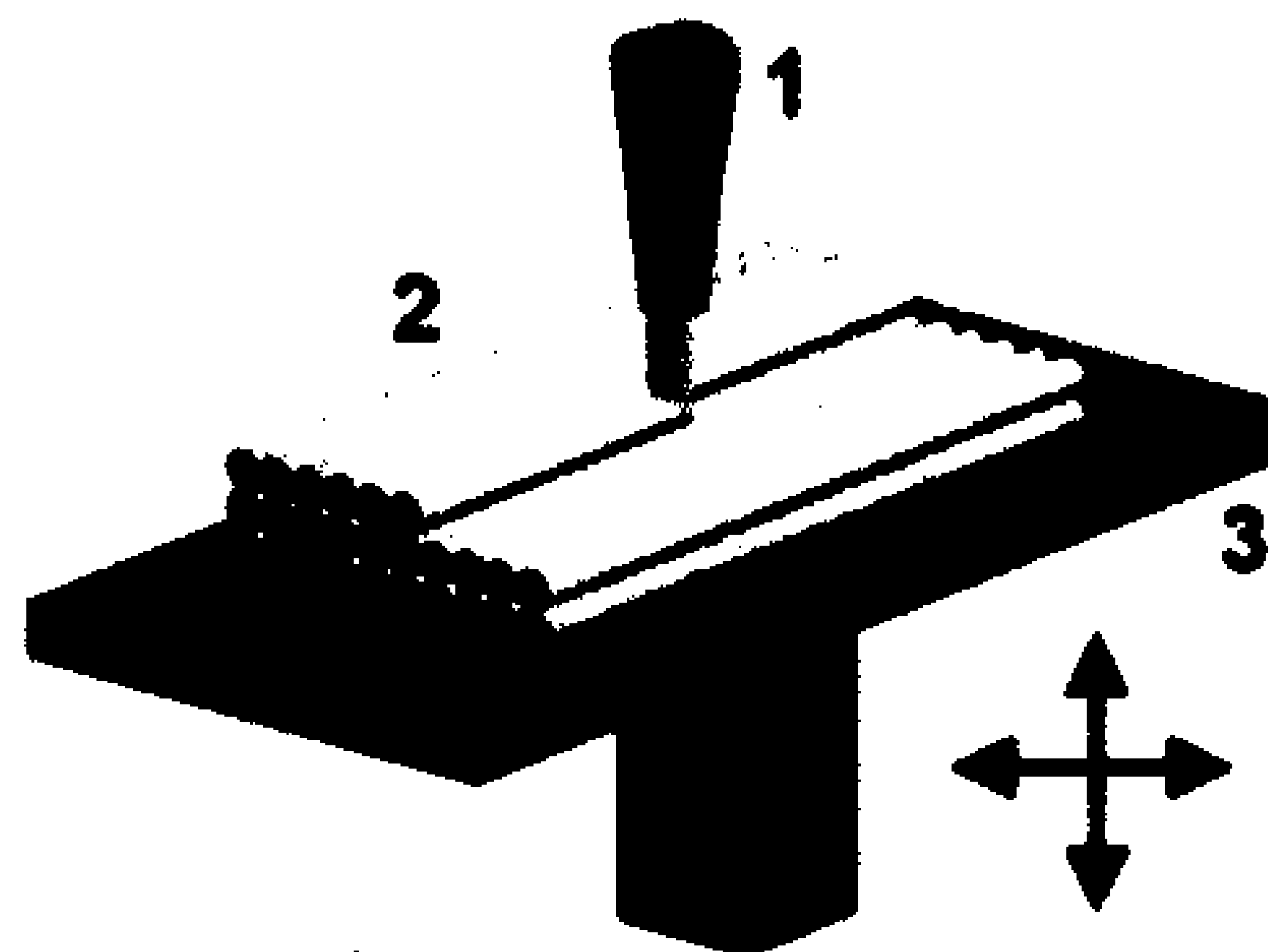
1.3.1. Εναπόθεση με εξώθηση (Extrusion deposition)

Η ιοντελοποίηση εναπόθεσης υλικού με εξώθηση (FDM) είναι μια τεχνολογία που ανατύχθηκε από την Stratasys στα τέλη της δεκαετίας του 1980.

Η FDM λειτουργεί χρησιμοποιώντας ένα πλαστικό νήμα ή μεταλλικό σύρμα το οποίο ξετυίγεται από ένα καρούλι και τροφοδοτείται σε ένα ακροφύσιο εξωθήσεως που μπορεί να ανοίξει ή να κλείνει την ροή. Το ακροφύσιο θερμαίνεται για να λιώσει το υλικό και μπορεί να ανείττει τόσο σε οριζόντια και κάθετη διεύθυνση με ένα αριθμητικά ελεγχόμενο μηχανισμό ο οποίος ελέγχεται άμεσα από ένα πακέτο λογισμικού CAM. Το μοντέλο ή εξάρτημα παράγεται με εξώθηση μικροσφαιριδίων από θερμοπλαστικό υλικό τα οποία σχηματίζουν στρώματα. Το υλικό σκληραίνει αμέσως μετά την εξώθηση από το ακροφύσιο. Βηματικοί κινητήρες ή σερβοκινητήρες χρησιμοποιούνται τυπικά για να κινηθεί η κεφαλή εξώθησης.

Τα διάφορα πολυμερή που χρησιμοποιούνται είναι τα εξής:

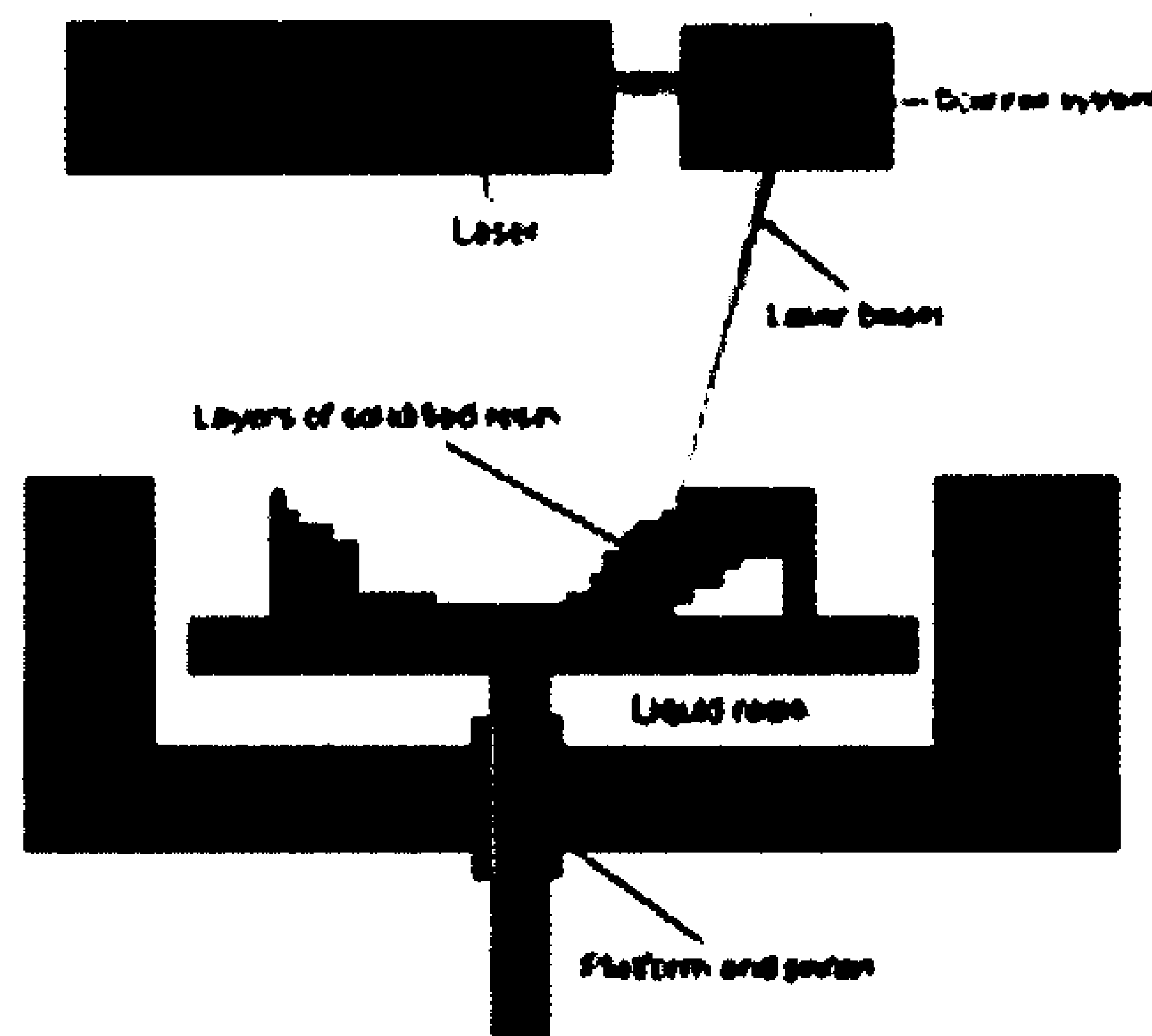
- ακρυλονιτριλίο βουταδιενίου στυρολίο (ABS),
- πολυανθρακικό (PC),
- πολυγαλακτικό οξύ (PLA),
- PC / ABS, και
- polyphenylsulfone (PPSU).



Εικόν 2: 1) ακροφύσιο έκχυσης τηγμένου υλικού, 2) εναποθετημένο υλικό, 3) κινούμενη τράπεζα

1.3.2. Φωτοπολυμερισμός (Photopolymerization)

Η κύρια τεχνολογία που χρησιμοποιούμε στον φωτοπολυμερισμό για την κατασκευή ενός στερεού σώματος από ένα υγρό διάλυμα είναι η στερεολιθογραφία (SLA).



Εικόνα 3: Στερεολιθογραφία

Στην ψηφιακή επεξεργασία φωτός (DLP), μια δεξαμενή με υγρό πολυμερές εκτίθεται σε φως από ένα προβολέα DLP υπό ασφαλείς συνθήκες φωτισμού. Το εκτεθειμένο υγρό πολυμερές σκληραίνει. Η πλάκα στη συνέχεια κινείται με μικρά βήματα και το υγρό πολυμερές εκτίθεται εκ νέου στο φως. Οι διαδικασίες επαναλαμβάνονται μέχρις ότου το μοντέλο είναι έτοιμο. Το υγρό πολυμερές στη συνέχεια αποστραγγίζεται από τον κάδο, αφήνοντας το στερεό μοντέλο. Η Envisiontec Ultra είναι ένα παράδειγμα ενός συστήματος DLP ταχείας κατασκευής πρωτοτύπων.

Το σύστημα Objet Polyjet χρησιμοποιεί ένα inkjet εκτυπωτή για να ψεκάζει φωτοπολυμερούς υλικά σε εξαιρετικά λεπτές στρώσεις (μεταξύ 16 και 30 μm), στρώμα στρώμα πάνω σε ένα δίσκο κατασκευής μέχρι το εξάρτημα να ολοκληρωθεί. Κάθε στρώμα του φωτοπολυμερούς υλικού σκληρύνεται αμέσως με υπεριώδες φως, παράγοντας πλήρως σκληρυμένα μοντέλα που μπορούν να χρησιμοποιούνται αμέσως, χωρίς μετα-σκλήρυνση. Το υλικό υποστήριξης, το οποίο έχει σχεδιαστεί για να υποστηρίξει πολύπλοκες γεωμετρίες, αφαιρείται με το χέρι και την υδροβολή. Επίσης είναι κατάλληλο και για ελαστομερή.

Εξαιρετικά μικρά αντικείμενα μπορούν να γίνουν με χρήση της τεχνικής του πολυφωτονικού φωτοπολυμερισμού. Στην προσέγγιση αυτή, το επιθυμητό αντικείμενο 3D ανιχνεύεται σε ένα μπλοκ πηκτής από ένα λέιζερ. Η πηκτή σκληρύνεται σε στερεό μόνο στις θέσεις όπου το λέιζερ εστιάζει, εξαιτίας της μη γραμμικής φύσεως της φωτοδιέγερσης, και στη συνέχεια το υπόλοιπο της πηκτής απομακρύνεται. Χαρακτηριστικό μέγεθος της τεχνικής αυτής είναι για αντικείμενα με διαστάσεις κάτω από 100 nm.

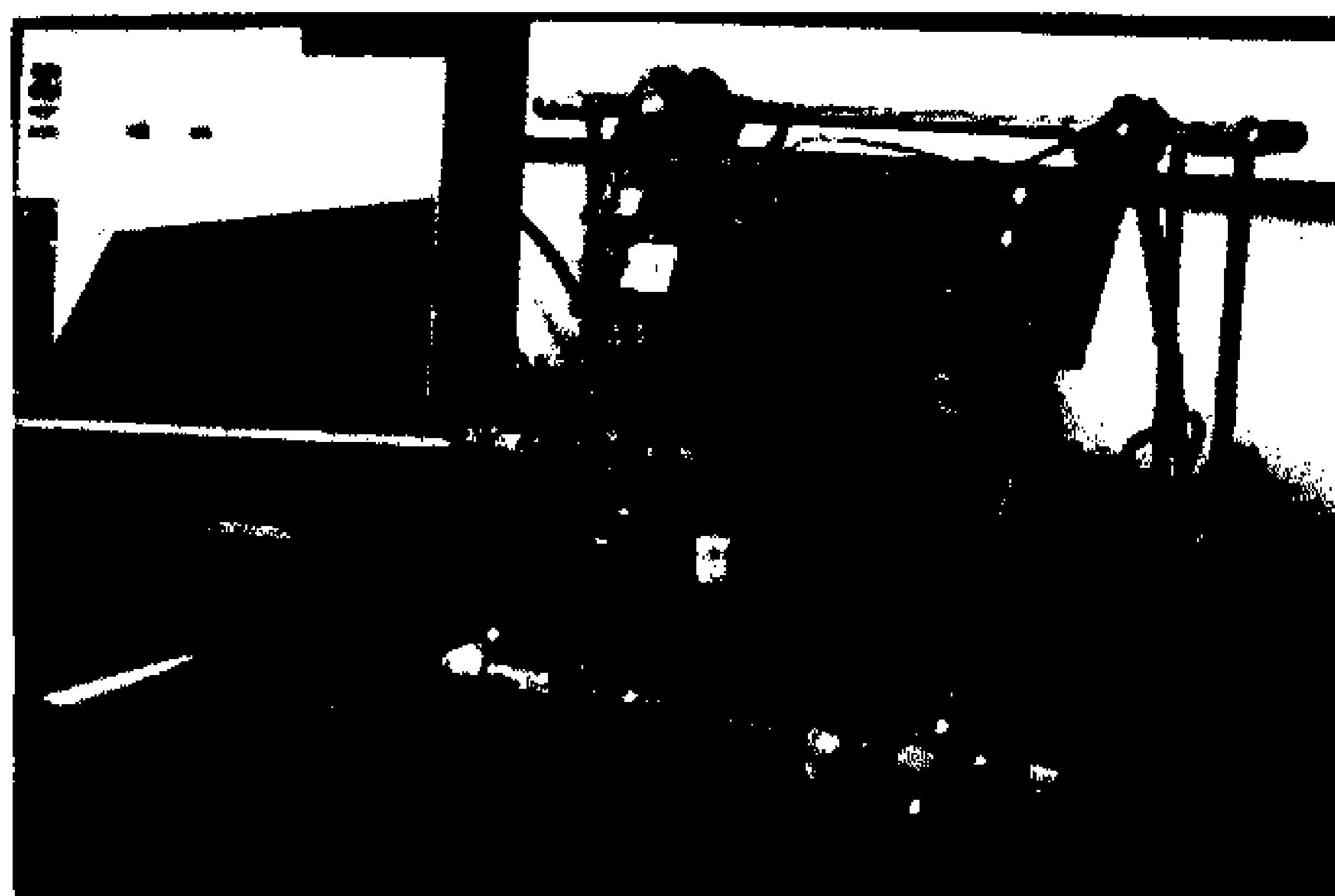
2. Τρισδιάστατοι εκτυπωτές

Στην αγορά πλέον υπάρχει μια αρκετά μεγάλη γκάμα για να επιλέξεις έναν 3D μηχανήμα εκτύπωσης. Παρακάτω θα αναφέρουμε κάποιες από τις οικονομικότερες περιπτώσεις οικιακών μηχανημάτων τρισδιάστατης εκτύπωσης.

- Ονομασία: Mendel

Εταιρεία κατασκευής: RepRapPro

Τιμή: 648.00 €

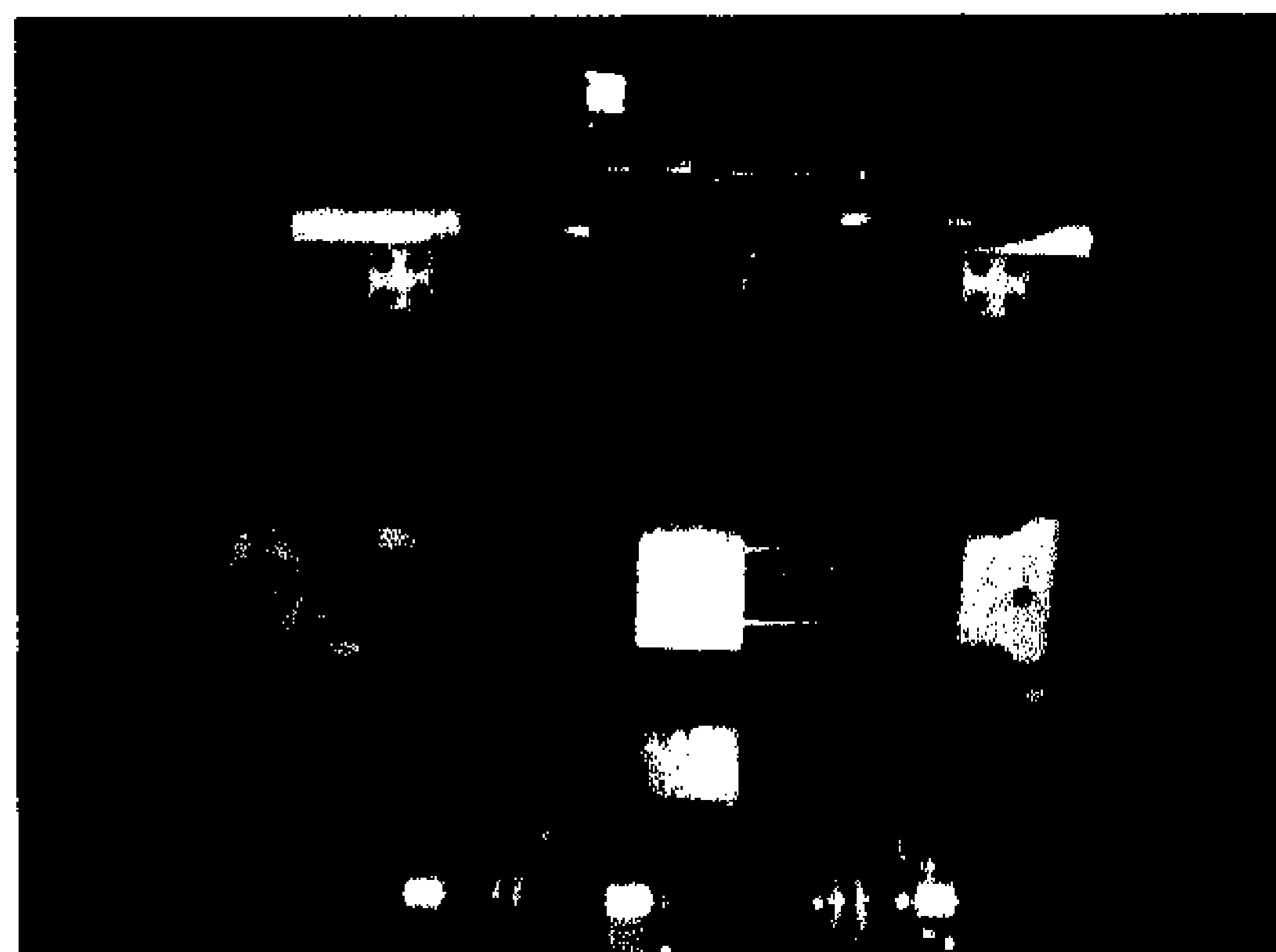


Εικόνα 4: Mendel 3D printer

- Ονομασία: Huxley

Εταιρεία κατασκευής: RepRapPro

Τιμή: 538.00 €

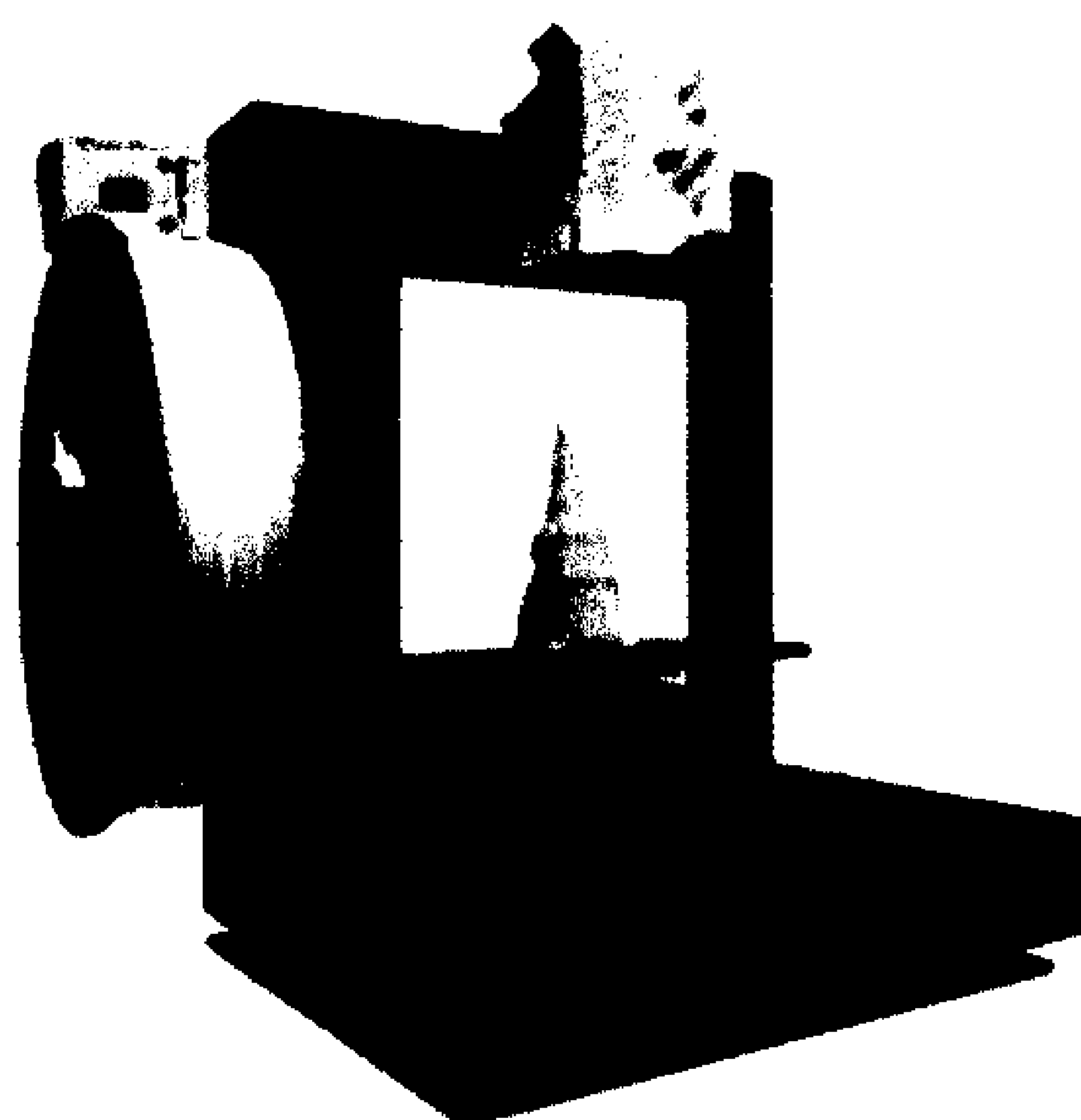


Εικόνα 5: Huxley 3D printer

- Ονομασία: UP!

Εταιρεία: UP!

Τιμή: 1499.00 €

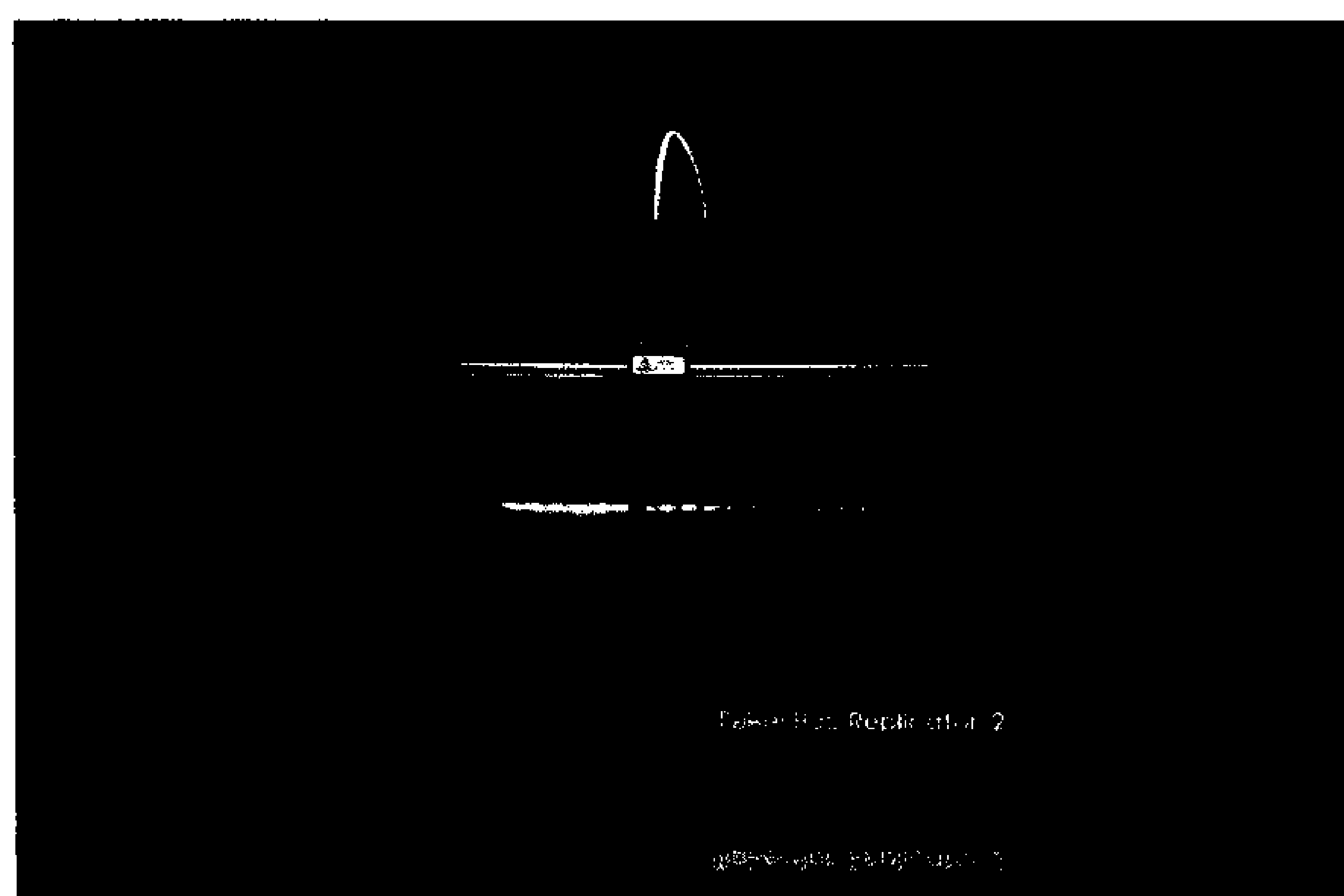


Εικόνα 6: UP! 3D printer

- Ονομασία: Makerbot Replicator

Εταιρεία: Makerbot

Τιμή: 2799.00 €



Εικόνα 7: Makerbot Replicator

- Ονομασία: Ultimaker Protobox

Εταιρεία: Ultimaker

Τιμή: 1194.00 €

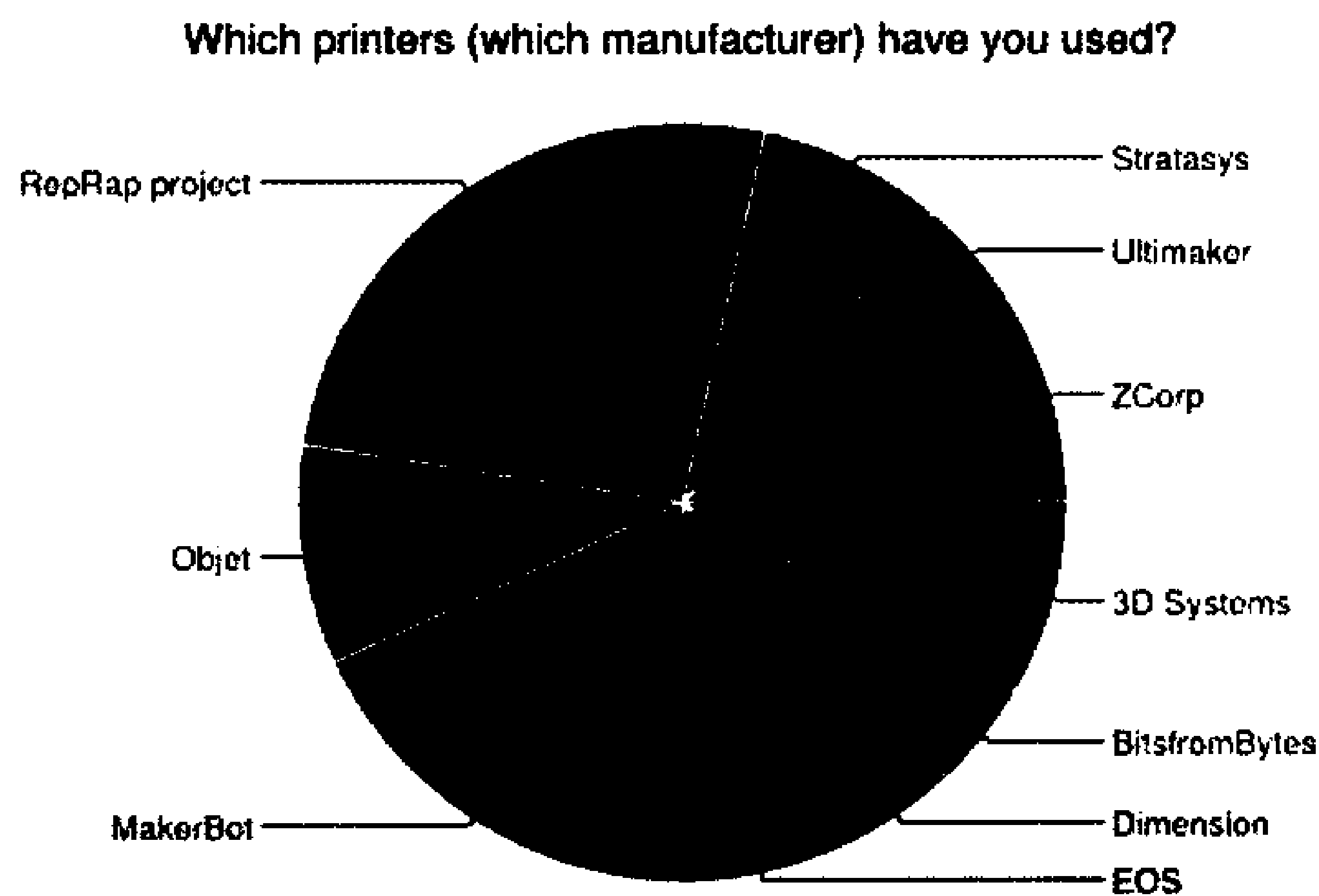


Εικόνα 8: Ultimaker Protobox

Από τις παραπάνω περιπτώσεις τρισδιάστατων εκτυπωτών βλέπουμε πως οι οικονομικότερες περιπτώσεις είναι οι εκτυπωτές της εταιρείας RepRapPro. Για την εκπόνηση αυτής της πτυχιακής εργασίας επιλέξαμε τον τρισδιάστατο εκτυπωτή Huxley καθώς αυτός αποτελεί την οικονομικότερη λύση, και παράλληλα μια αρκετά αξιόπιστη μηχανή τρισδιάστατης σχεδίασης με άριστα αποτελέσματα όσον αφορά τα εκτυπώσιμα αντικείμενα που παράγει.

2.1. Εκτυπωτής Huxley

2.1.1. Γενικά



Εικόνα 9: Πηγή: Moilanen, J. & Vaden, T.: Manufacturing in motion: first survey on the 3D printing community, *Statistical Studies of Peer Production*

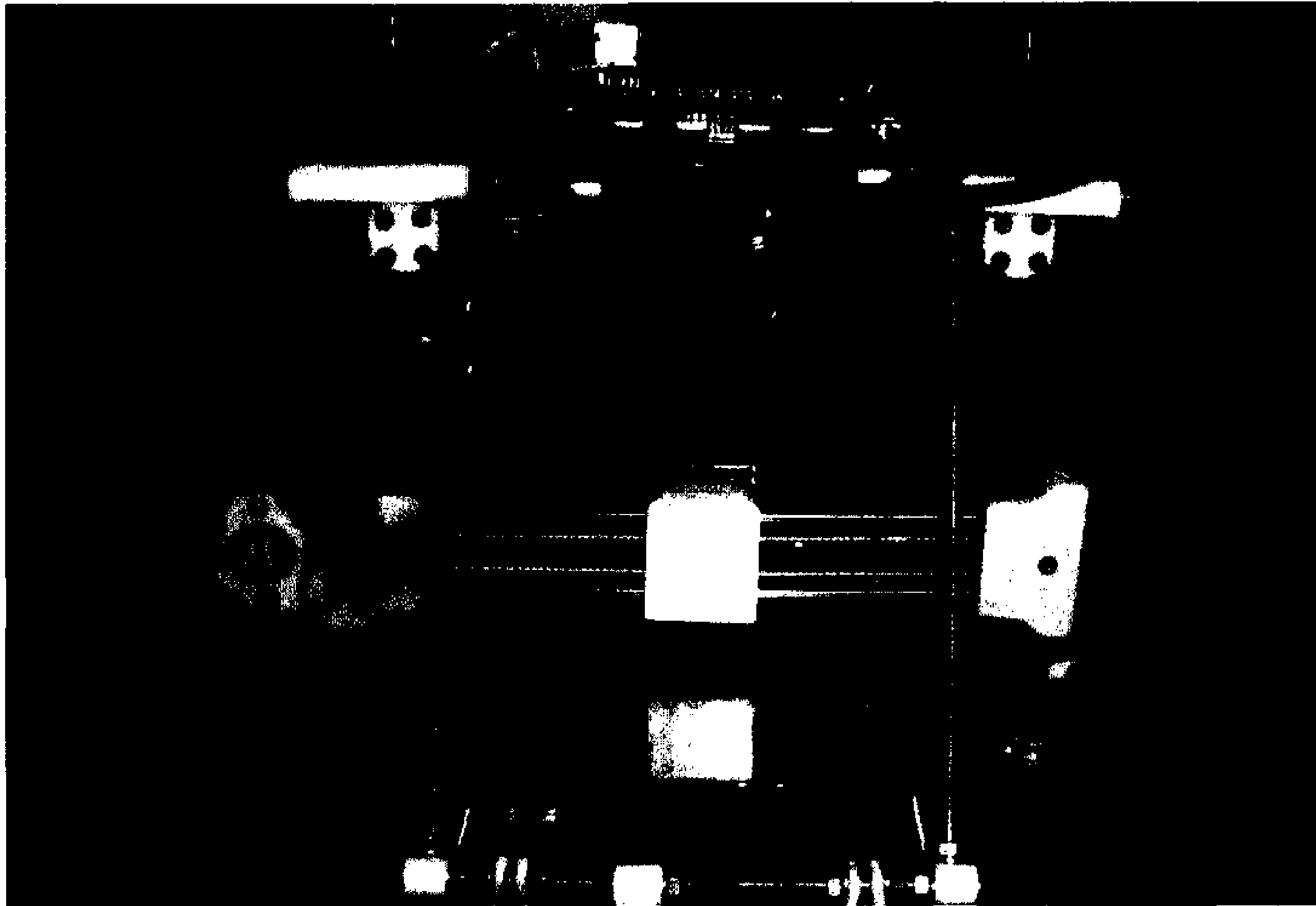
Ο 3D εκτυπωτής της RepRapPro, Huxley, είναι ένα μηχάνημα ταχείας δημιουργίας αντιγράφων – πρωτοτύπων (Replicating Rapid Prototyping machine). Πρόκειται για ένα προϊόν ανοικτού κώδικα της εταιρείας RepRapPro που ξεκίνησε στο Bath της Μεγάλης Βρετανίας το 2004.

Είναι ο πρώτος 3D εκτυπωτής ο οποίος μπορεί και εκτυπώνει όλα τα πλαστικά του μέρη δίνοντας έτσι την δυνατότητα στον ιδιοκτήτη του να μπορεί να κατασκευάσει και άλλους παρόμοιους εκτυπωτές με αρκετά χαμηλότερο κόστος από το αρχικό. Ενδεικτικά η τιμή του συγκεκριμένου εκτυπωτή είναι 538,00€ για κάποιον που τον αγοράζει με τα πλαστικά του κομμάτια. Για κάποιον που μπορεί να εκτυπώσει τα πλαστικά μέρη του εκτυπωτή, το κόστος πέφτει στα 443,00€. Αναφερόμαστε δηλαδή σε μία μείωση του κόστους περίπου 20%.

Η μηχανή κατασκευάζει 3D αντικείμενα με την χρήση τηγμένου νήματος από πλαστικό σε μεγάλη ποικιλία υλικών (PLA, ABS, κτλ) και χρωμάτων.

Αυτή η διαδικασία επιτρέπει στον χρήστη να δημιουργήσει σχεδόν οποιοδήποτε σχήμα το οποίο μπορεί να μοντελοποιηθεί σε ένα υπολογιστή, μερικά εκ των οποίων δεν θα μπορούσαν να παραχθούν με τις παραδοσιακές τεχνικές κατασκευής.

Ο RepRapPro Huxley είναι ένας από τους μικρότερους διαθέσιμους 3D εκτυπωτές από την άποψη του βάρους και του μεγέθους του, αλλά όχι όσον αφορά τον όγκο του παραγόμενου αντικειμένου, ο οποίος είναι συγκριτικά μεγάλος. Πρωταρχικοί στόχοι του σχεδιασμού του, ήταν να προσφέρουν έναν εκτυπωτή που είναι αρκετά μικρός για να μπορεί να είναι φορητός, να είναι οικονομικός και να έχει μεγάλη ταχύτητα αναπαραγωγής αντικειμένων. Από την πρώτη κατασκευή του στα τέλη του 2010, ο εκτυπωτής RepRap Huxley έχει υποστεί έντονη ανάπτυξη.



Εικόνα 10: Ο Εκτυπωτής Huxley της RepRapPro.

2.1.2. Τεχνικά χαρακτηριστικά

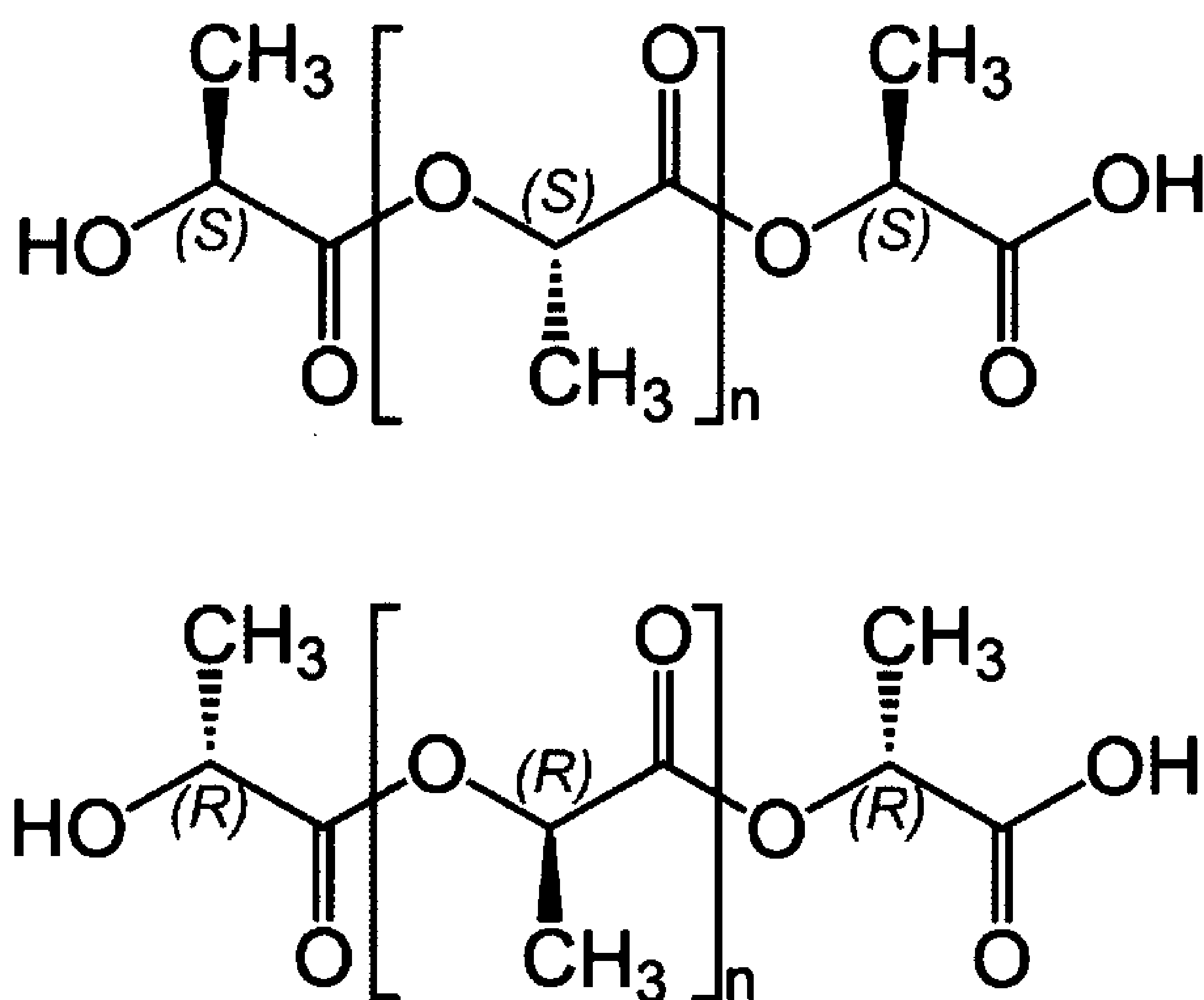
- Όγκος εκτύπωσης: 140x140x110 mm
- Διαστάσεις εκτυπωτή: 260x260x280mm
- Εκτυπώσιμα υλικά: ABS, PLA με 1.75 mm διάμετρο
- Επιφάνεια εκτύπωσης: θερμαινόμενο τραπέζι από PCB (μείωση της πολυπλοκότητας συναρμολόγησης του εκτυπωτή καθώς και μείωση του κινδύνου παραμόρφωσης του υπό εκτύπωση αντικειμένου).
- Αλληλεπίδραση με τον H/Y: USB
- Ακρίβεια: 0.1 mm
- Ανάλυση: 0.0125 mm
- Ταχύτητα εκτύπωσης: 1800 mm/min
- Ταχύτητα κίνησης αξόνων: 12000 mm/min
- Όγκος εναπόθεσης υλικού: 33 cm³ / hr
- Κίνηση: Ρουλεμάν ολίσθησης για τους άξονες X και Y, κουζινέτα χαμηλής τριβής για τον άξονα Z.

2.2. Τεχνικά χαρακτηριστικά για το PLA και το ABS

2.2.1. Πολυγαλακτικό οξύ (PLA)

Το πολυγαλακτικό οξύ (PLA) είναι ένα βιοπολυμερές που προσφέρει πλεονεκτήματα σε σχέση με την προστασία του περιβάλλοντος καθώς παρασκευάζεται από ανανεώσιμους πόρους. Παρασκευάζεται με πολυμερισμό του γαλακτικού οξέος που παράγεται κατά τη ζύμωση των σακχάρων φυτικής προέλευσης.

Ο χημικός του τύπος είναι ο $(C_3H_4O_2)_n$. Ακόμα έχει πυκνότητα 1210- 1430 kg/m³ και σημείο τήξης 150- 160°C.



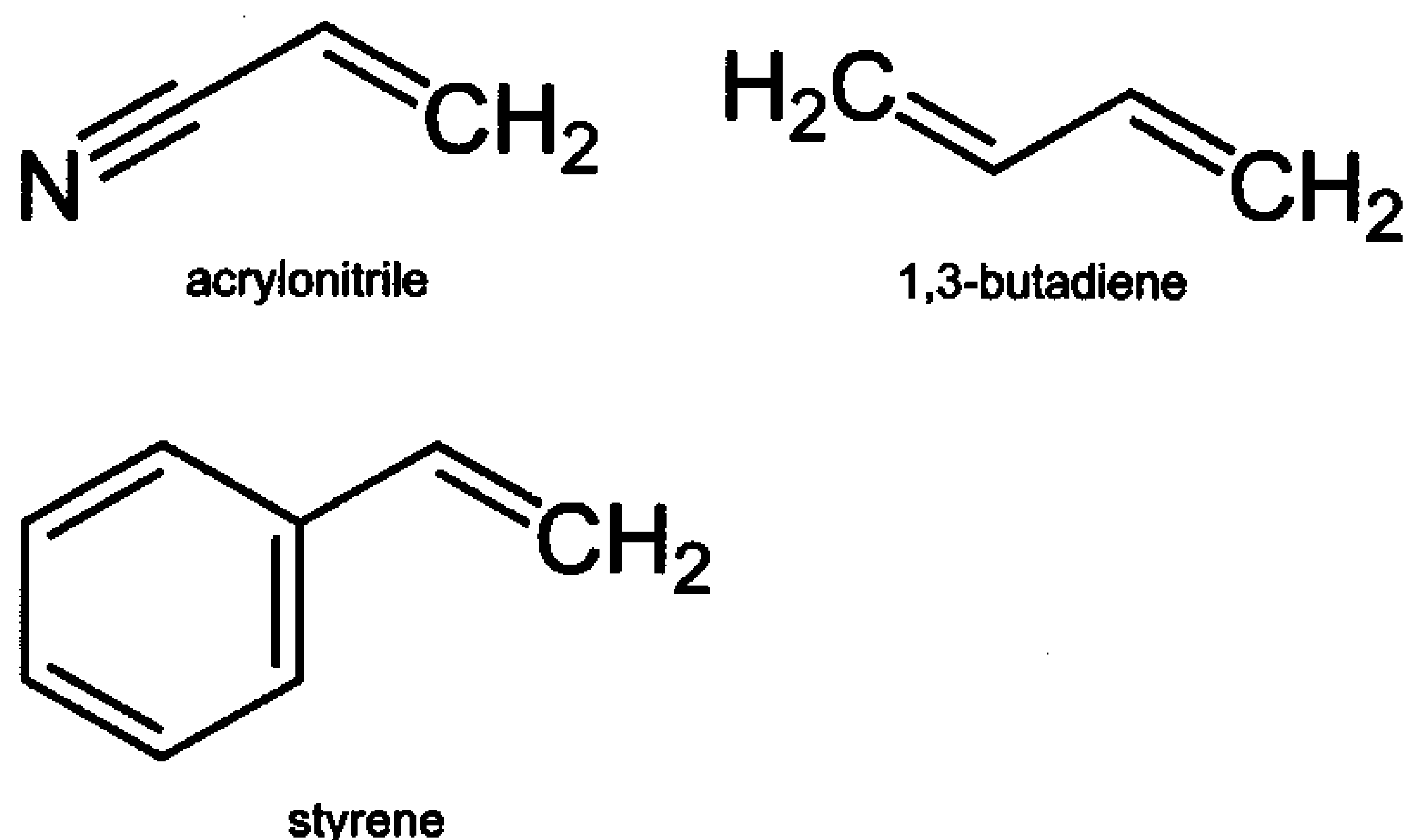
Εικόνα 11: Χημικός τύπος του PLA.

2.2.2. Συμπολυμερές ακρυλονιτριλίου- βουταδιενίου- στυρενίου (ABS)

Το συμπολυμερές ακρυλονιτριλίου-βουταδιενίου-στυρενίου (ABS) είναι ένα άμορφο πολυμερές που παρασκευάζεται με τεχνολογία πολυμερισμού γαλακτώματος ή μάζας

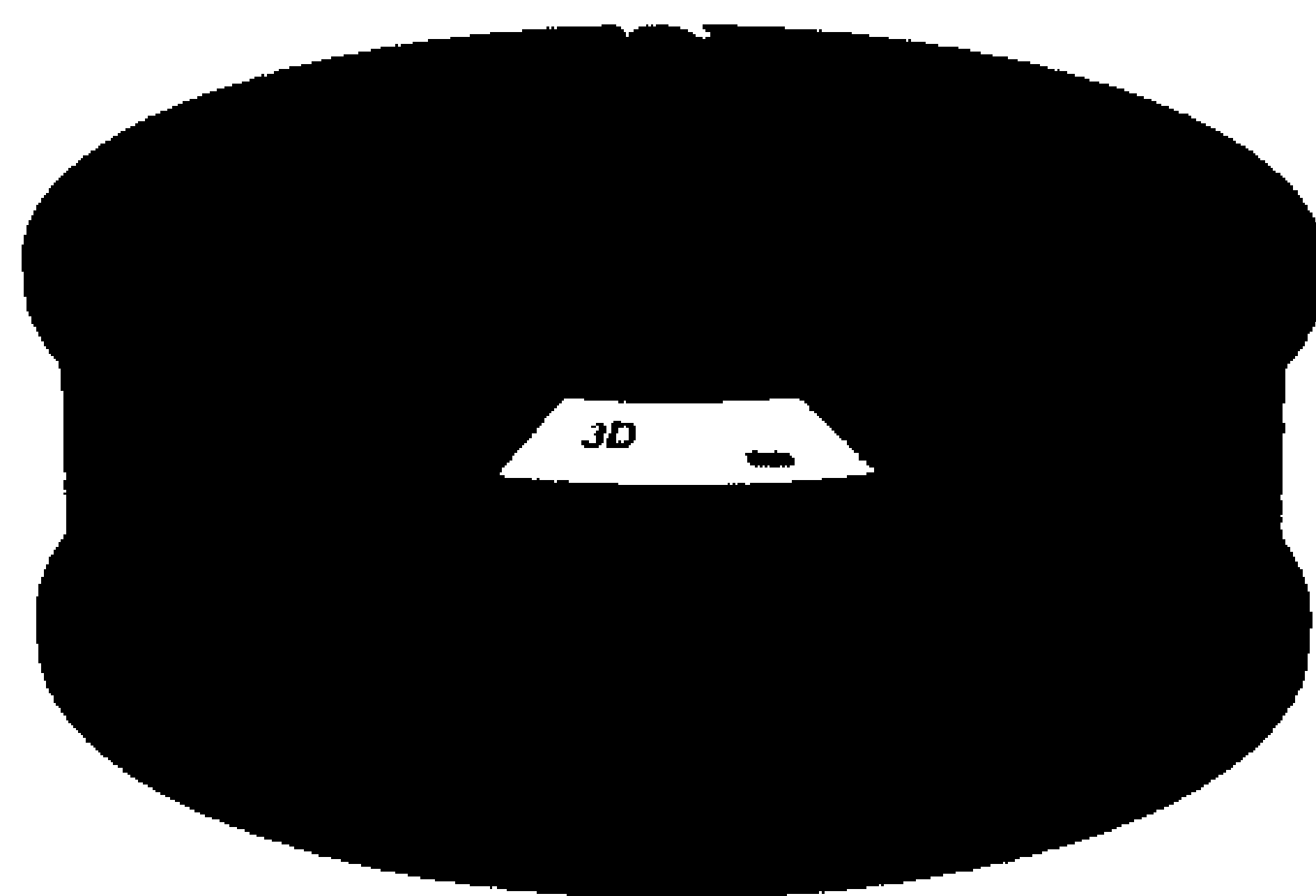
ακρυλονιτριλίου και στυρολίου υπό την παρουσία πολυβουταδιενίου. Οι πιο σημαντικές ιδιότητες του ABS είναι η αντοχή σε κρούση και η ανθεκτικότητα. Το ABS έχει χημικό τύπο: $(C_8H_8 \cdot C_4H_6 \cdot C_3H_3N)_n$.

Το ABS είναι άμορφο και επομένως δεν έχει πραγματικό σημείο τήξεως. Εμείς για τις εφαρμογές της τρισδιάστατης σχεδίασης χρησιμοποιούμε την θερμοκρασία υαλώδους μεταπτώσεως του που είναι περίπου 105 ° C (221 ° F).



Εικόνα 12: Χημικός τύπος του ABS

Για την κατασκευή τρισδιάστατων μοντέλων χρησιμοποιούμε τα παραπάνω υλικά με την μορφή νήματος συγκεκριμένης διαμέτρου, ανάλογα με τον τύπο του εκτυπωτικού μηχανήματος, τυλιγμένο σε καρούλι.

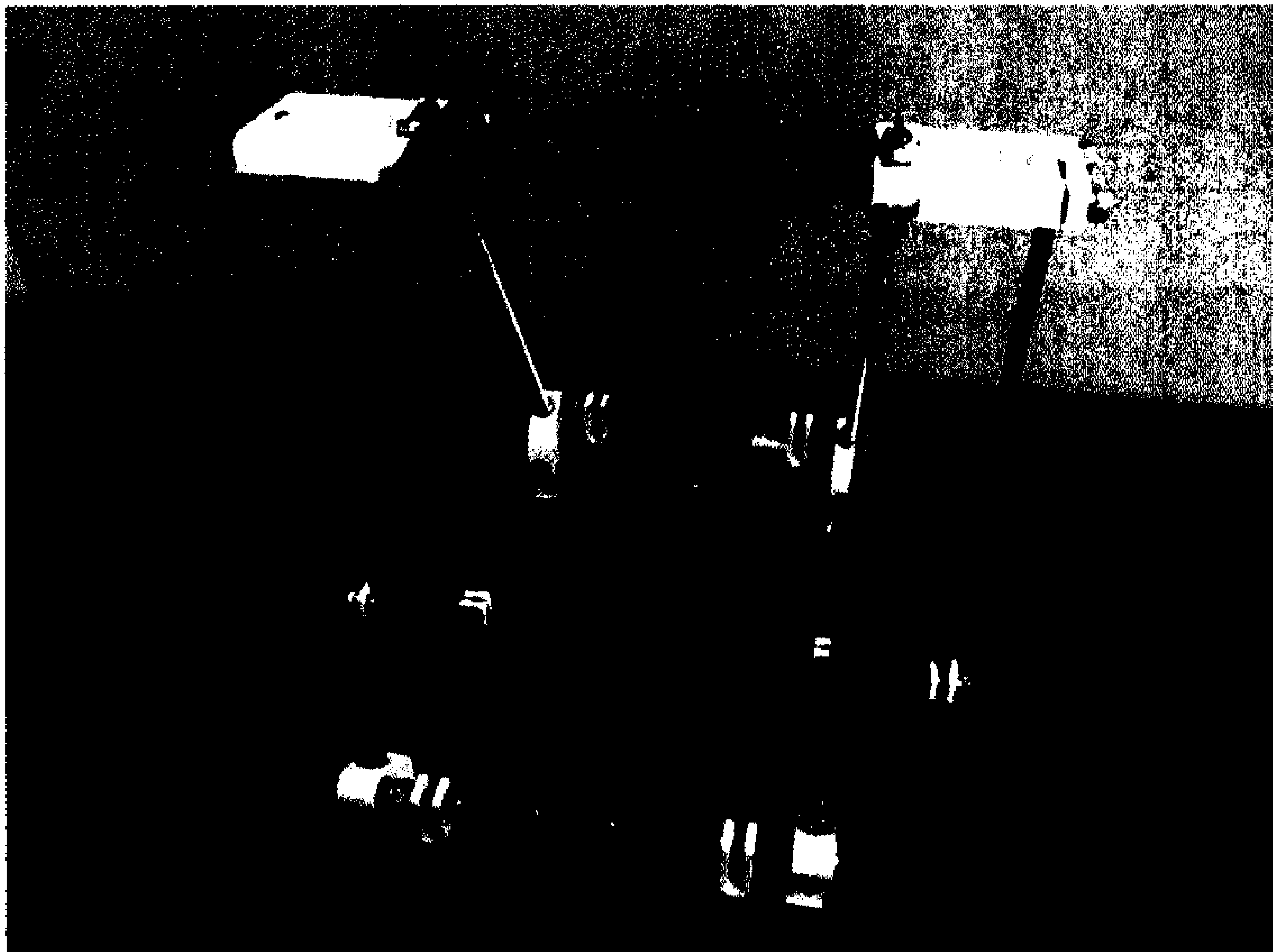


Εικόνα 13: Νήμα από PLA διαμέτρου 1,75 mm.

3. Κατασκευή του εκτυπωτή

3.1. Συναρμολόγηση του σκελετού

Αρχικά πρέπει να συναρμολογήσουμε τον σκελετό του εκτυπωτή. Στο τέλος αυτής της διαδικασίας ο σκελετός θα πρέπει να έχει την παρακάτω μορφή:

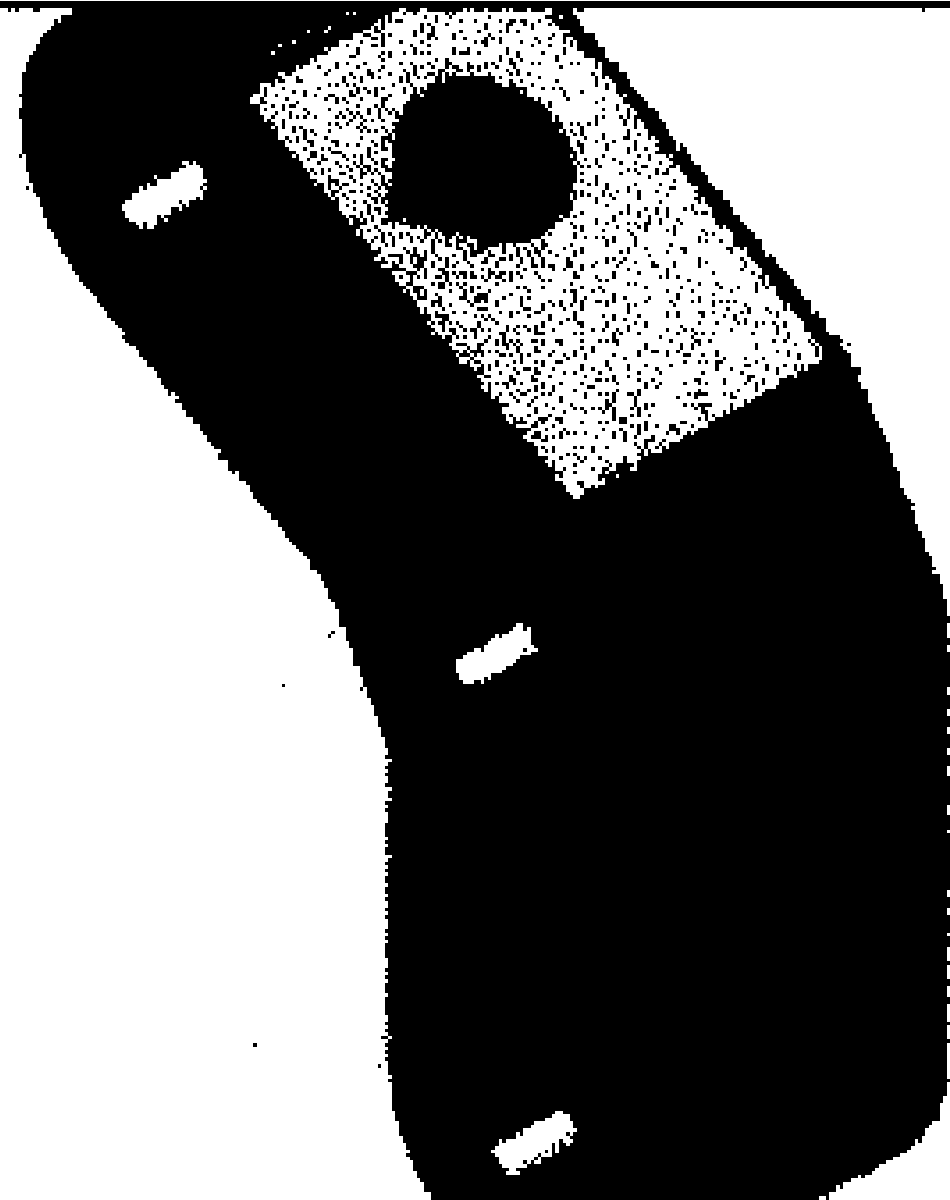
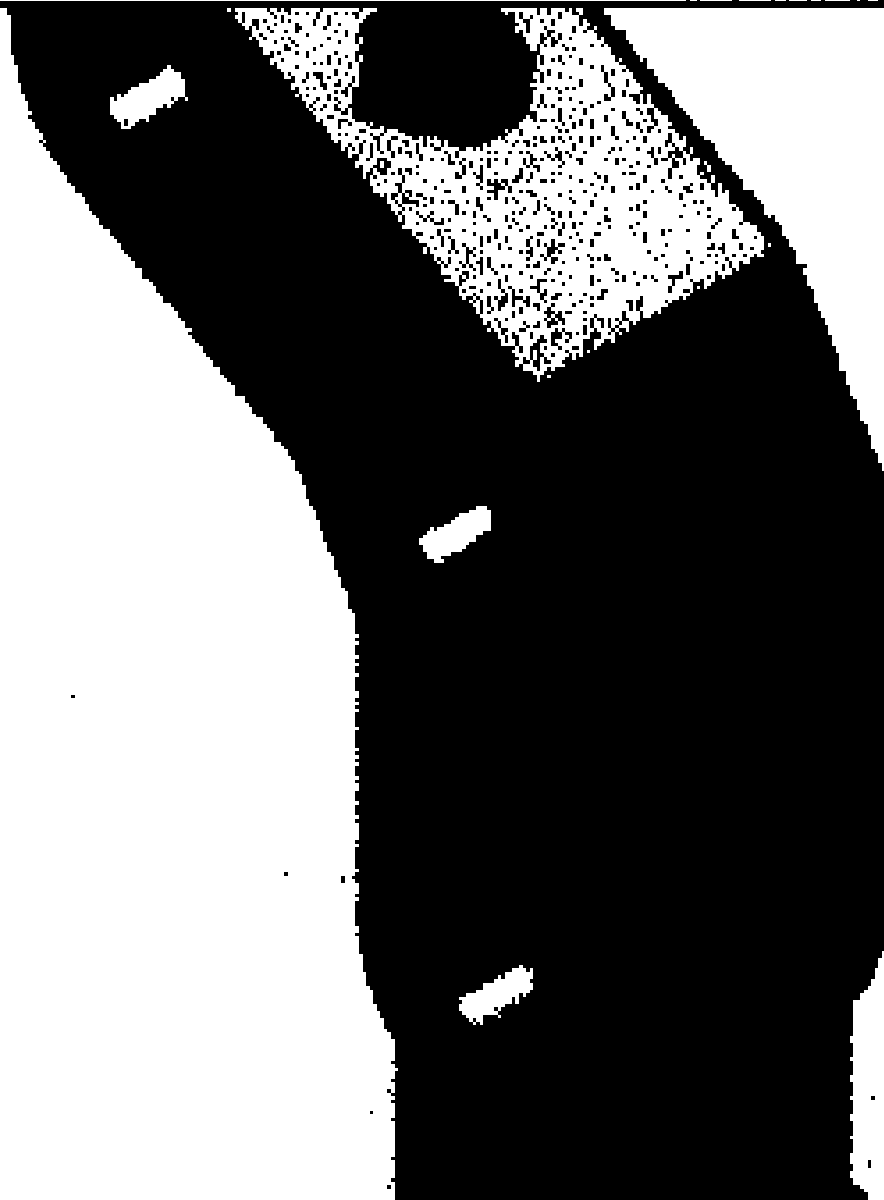
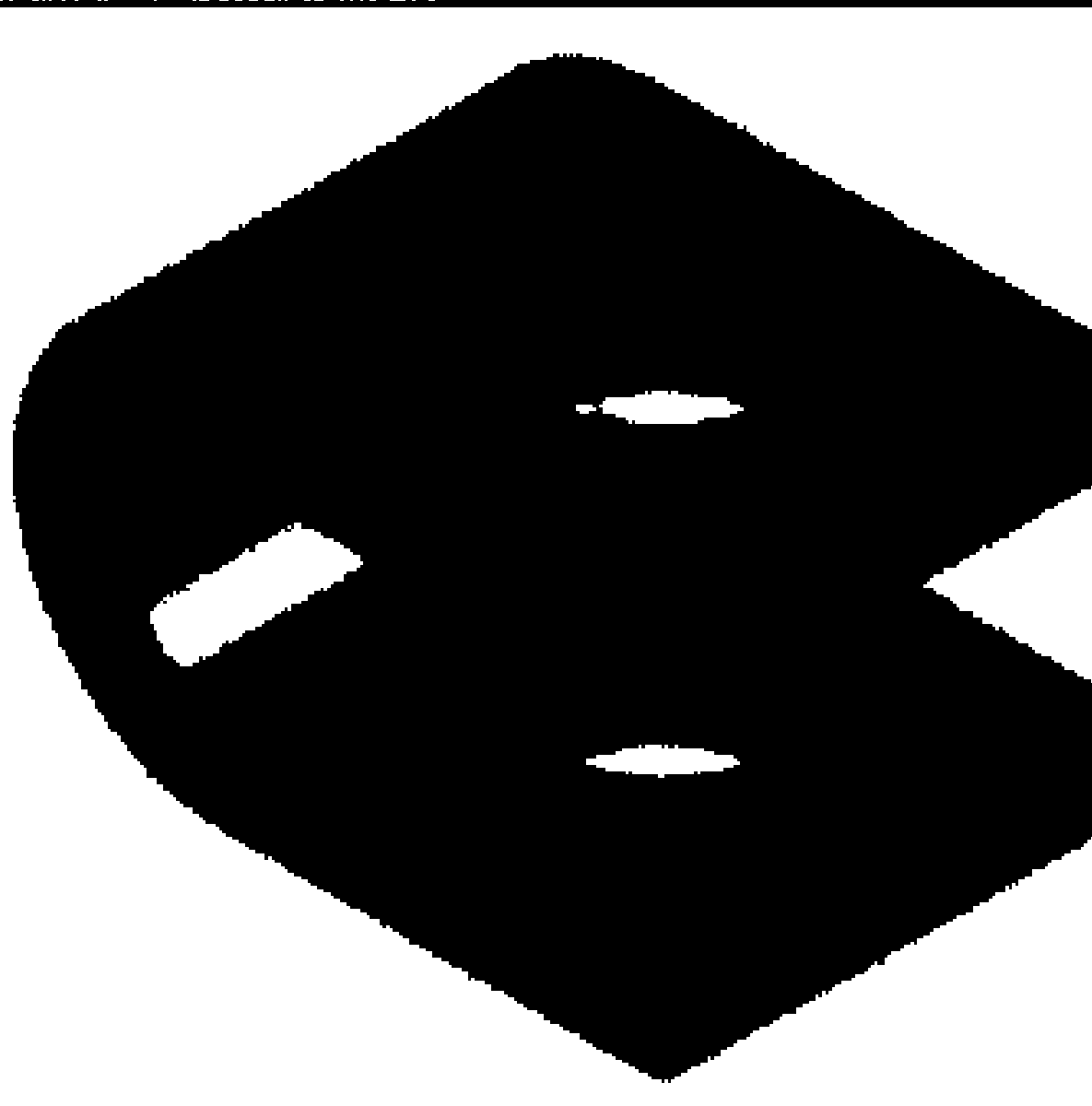


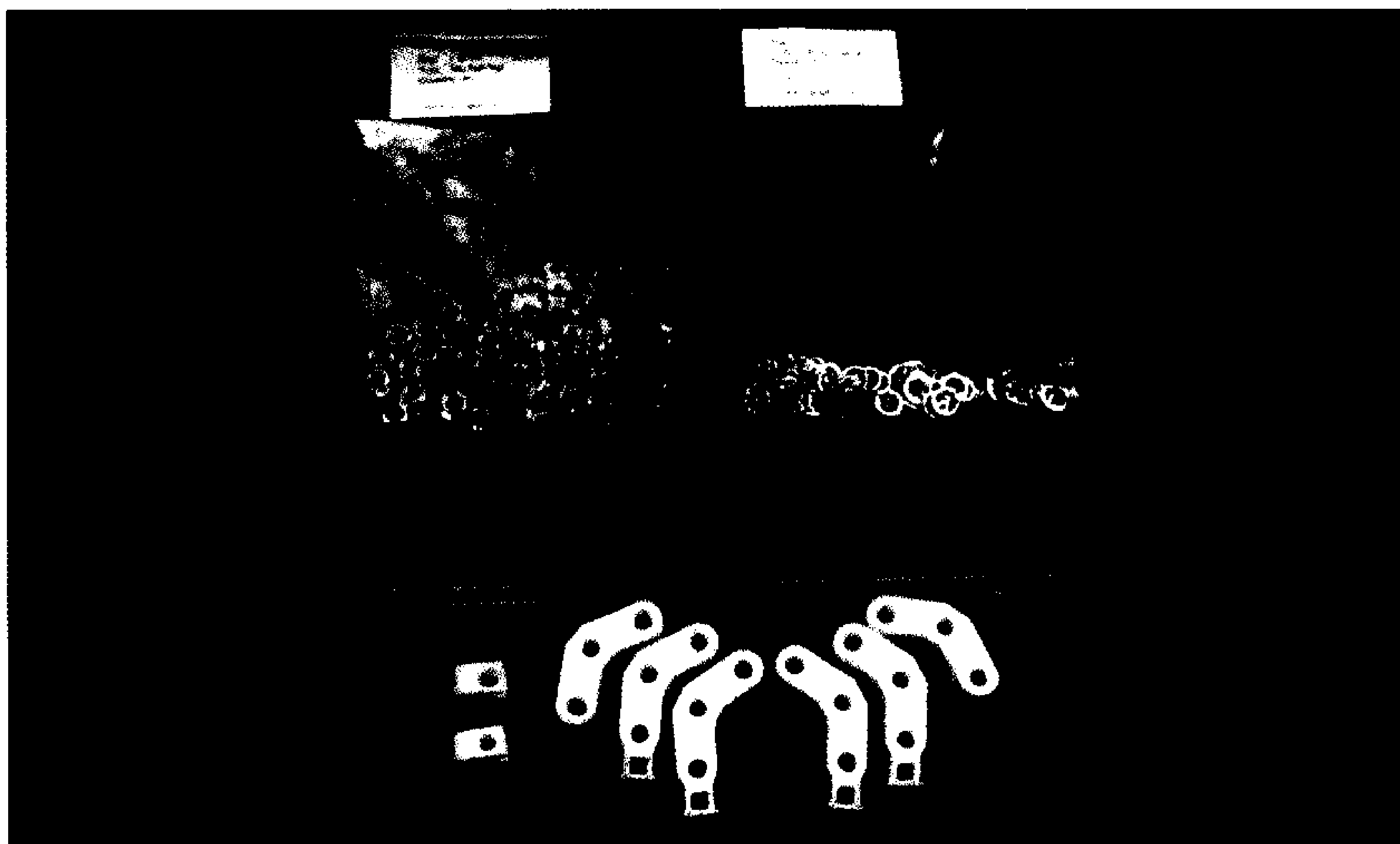
Εικόνα 14: Σκελετός τρισδιάστατου εκτυπωτή

Για την συναρμολόγηση θα χρειαστούμε τα παρακάτω εργαλεία:

- 2 Γερμανοπολύγωνα (10 mm)
- Χάρακας 300 mm
- Γωνιά

Το πρώτο στάδιο της συναρμολόγησης του πλαισίου του εκτυπωτή είναι η κατασκευή των δύο τριγώνων όπως φαίνονται στην παραπάνω εικόνα. Για την συναρμολόγηση τους θα χρειαστούμε τα εξής:

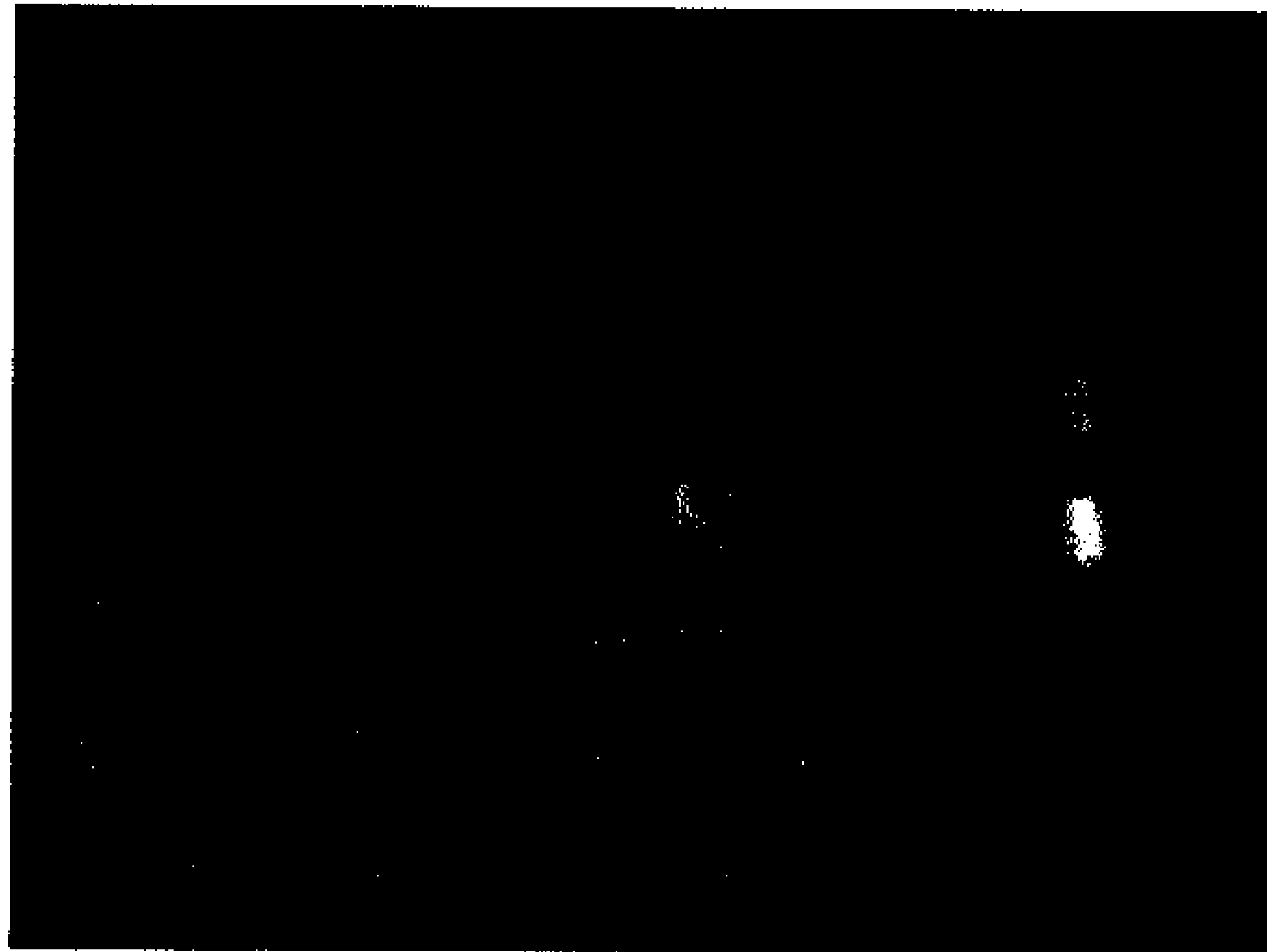
Εξαρτήματα			
Τεμάχια	2	4	2



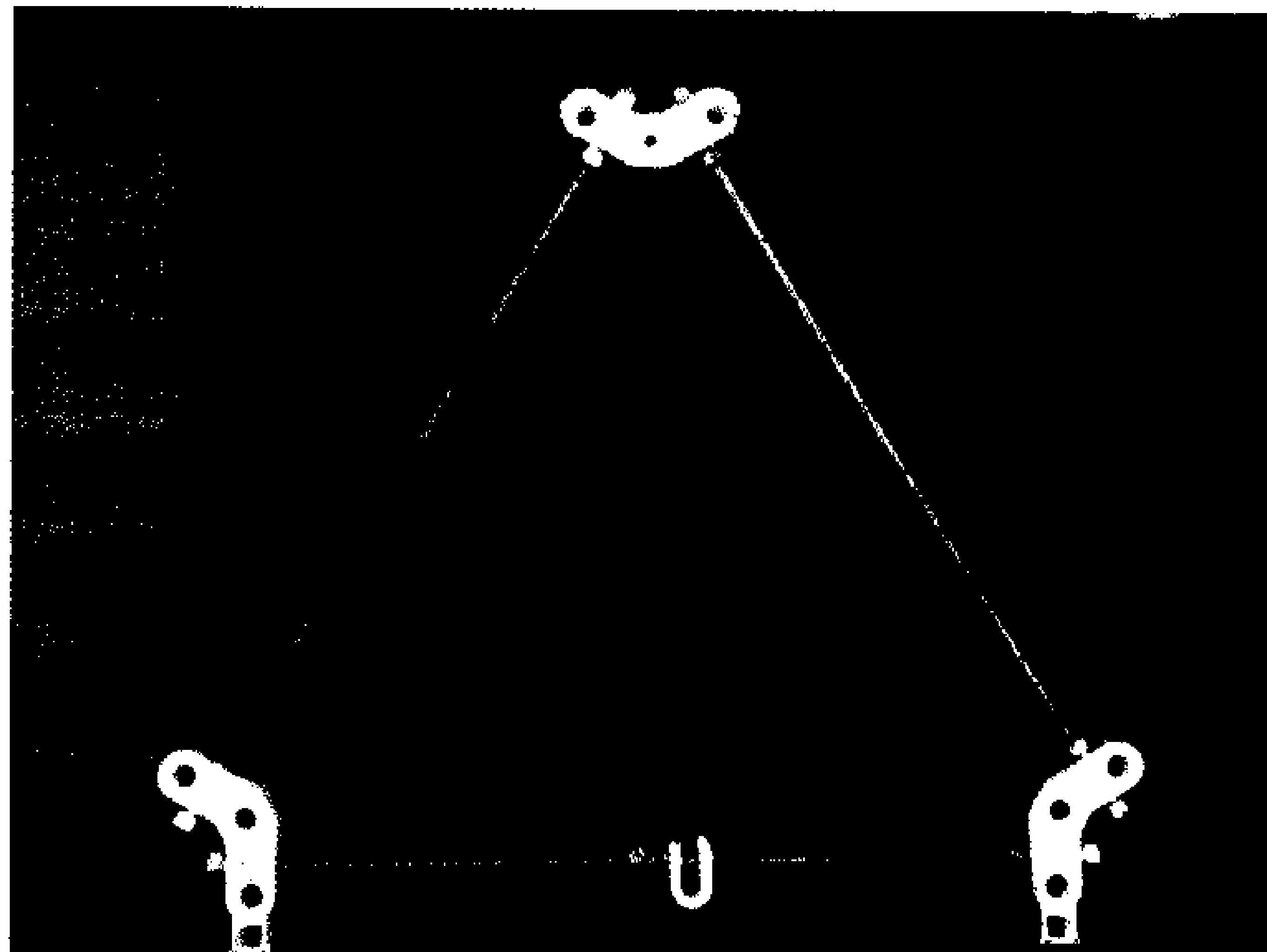
Εικόνα 15: Εξαρτήματα για την κατασκευή των δύο τριγώνων.

- 6 Ντίζες 6mm X 250 mm
- 28 Παξιμάδια M6
- 28 Οδοντωτές ροδέλες M6

Χωρίζουμε τα παραπάνω εξαρτήματα σε δύο ίσα σύνολα και στη συνέχεια τα βιδώνουμε χαλαρά ούτως ώστε να σχηματιστούν τα δύο τρίγωνα. Στην παρακάτω εικόνα βλέπουμε πως στην ντίζα που συγκρατεί την βάση του τριγώνου πρέπει να βάλουμε 2 παξιμάδια, 2 ροδέλες καθώς και τον πλαστικό σφικτήρα.



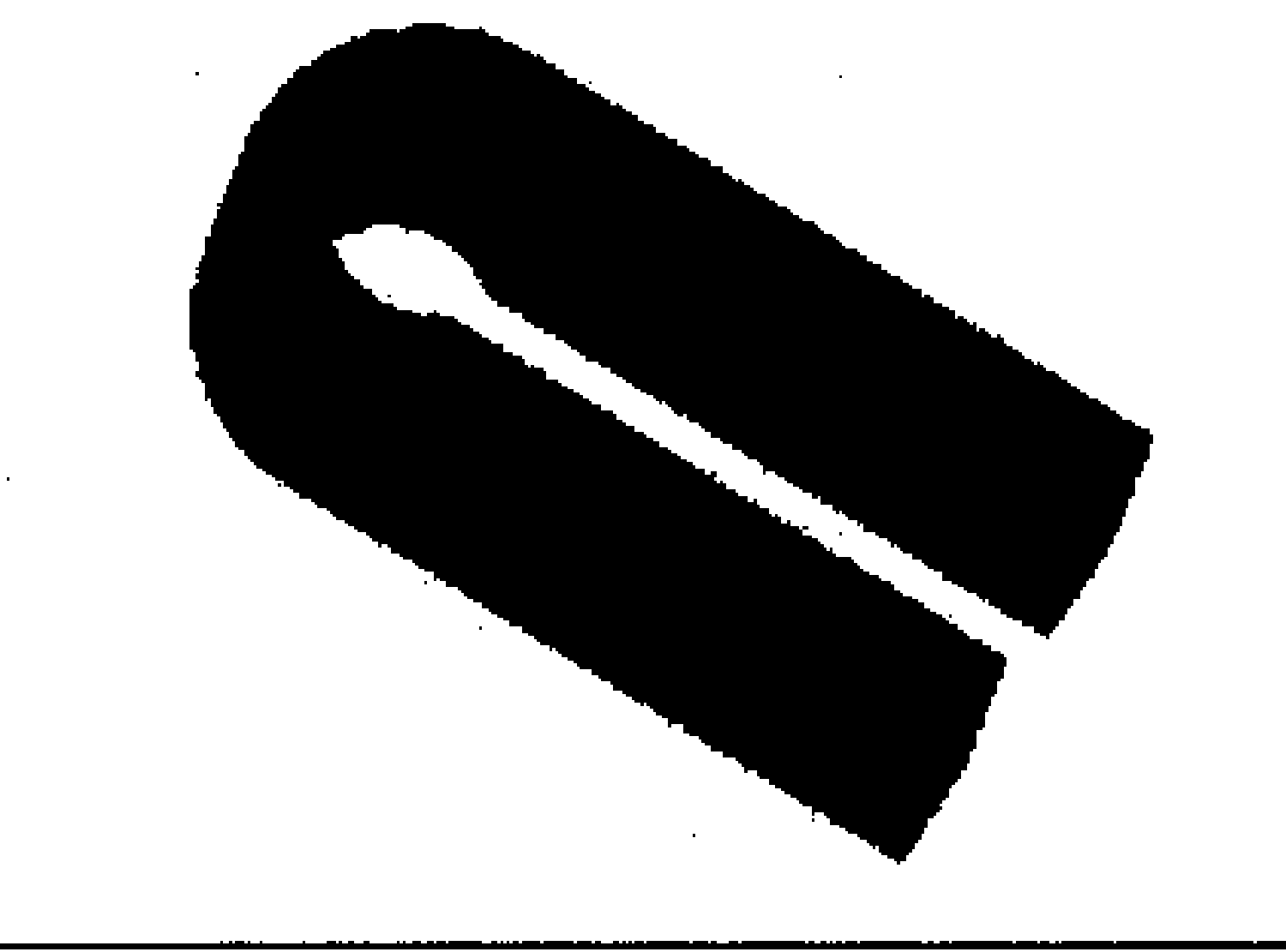
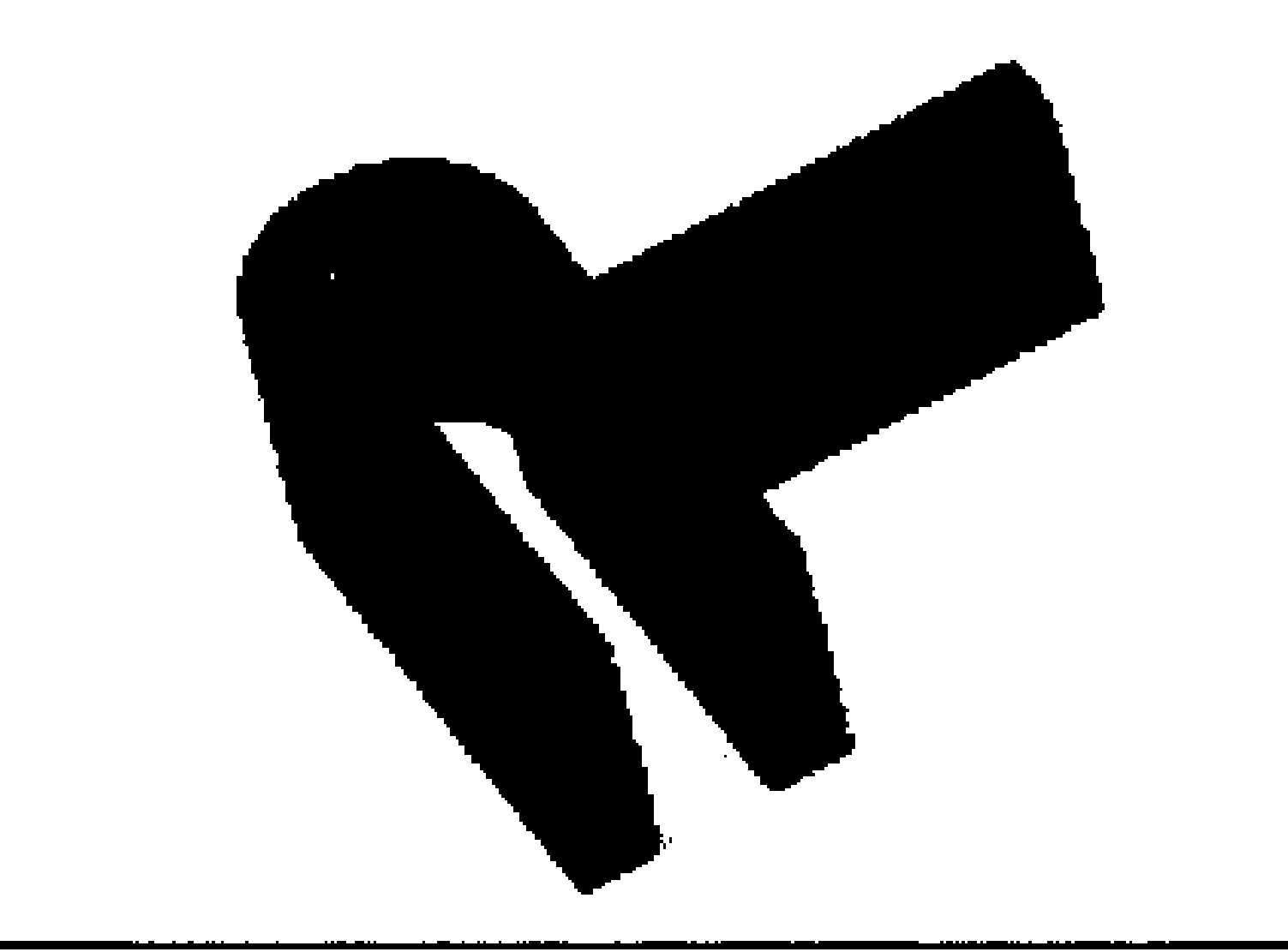
Εικόνα 16: Συναρμολόγηση τριγώνου.



Εικόνα 17: Συναρμολογημένο τρίγωνο.

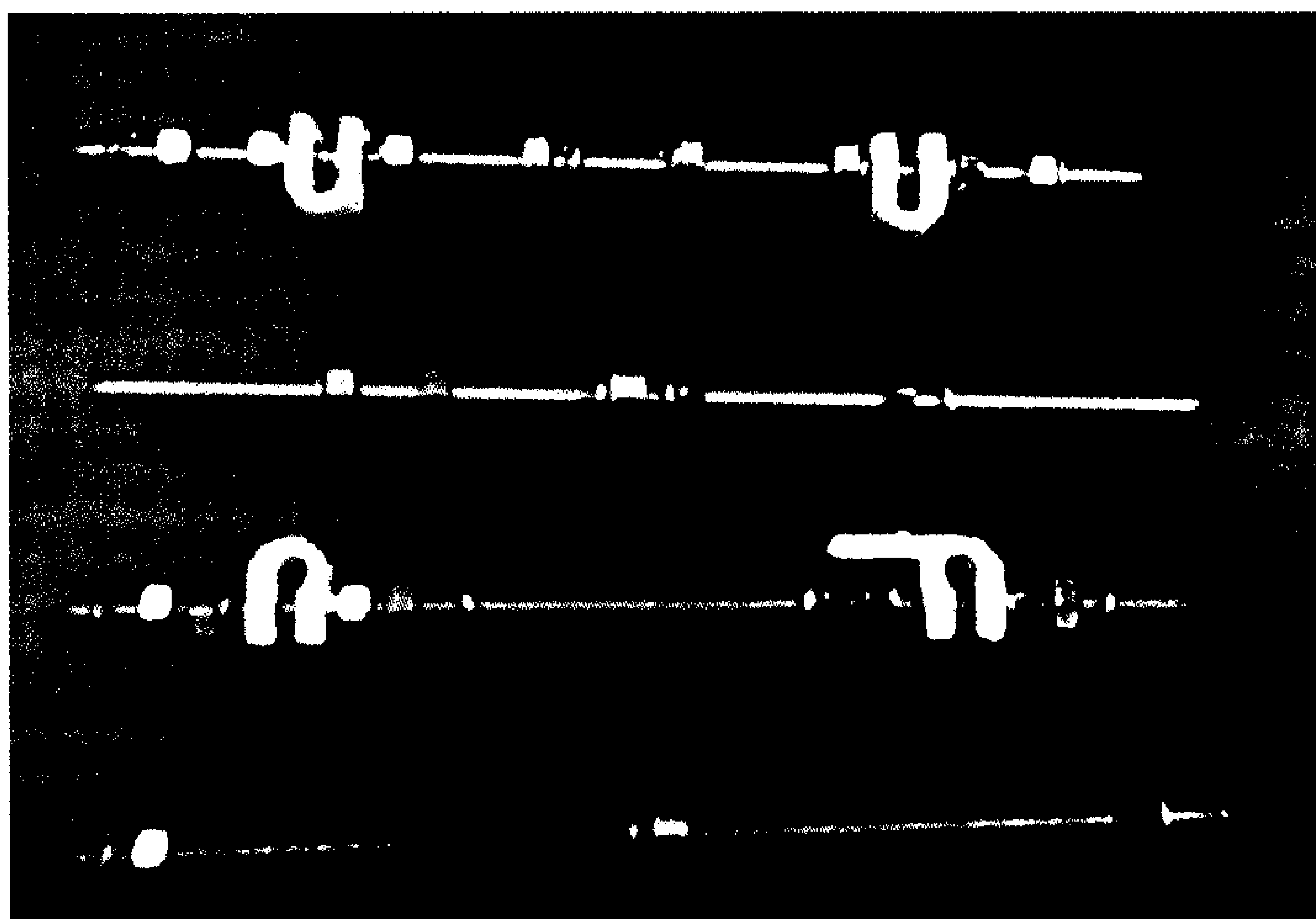
Αφού σχηματίσαμε τα δύο τρίγωνα, τώρα πρέπει να σφίξουμε τα παξιμάδια για να τα σταθεροποιήσουμε. Σκοπός μας είναι τα δυο τρίγωνα να είναι ισοσκελή με πλευρά 206 mm. Η ομοιότητα των δύο τριγώνων είναι πολύ σημαντική γιατί από αυτήν εξαρτάται η ευθυγράμμιση του εκτυπωτή μας.

Στη συνέχεια συναρμολογούμε τους άξονες που θα ενώσουν τα δύο τρίγωνα και θα σχηματίσουν τον σκελετό του εκτυπωτή. Για την συναρμολόγηση τους θα χρειαστούμε τα εξής:

Εξαρτήματα		
Τεμάχια	3	1

- 4 Ντίζες 6mm X 185mm
- 24 Παξιμάδια M6
- 24 Οδοντωτές ροδέλες M6
- 2 Ρουλεμάν 626

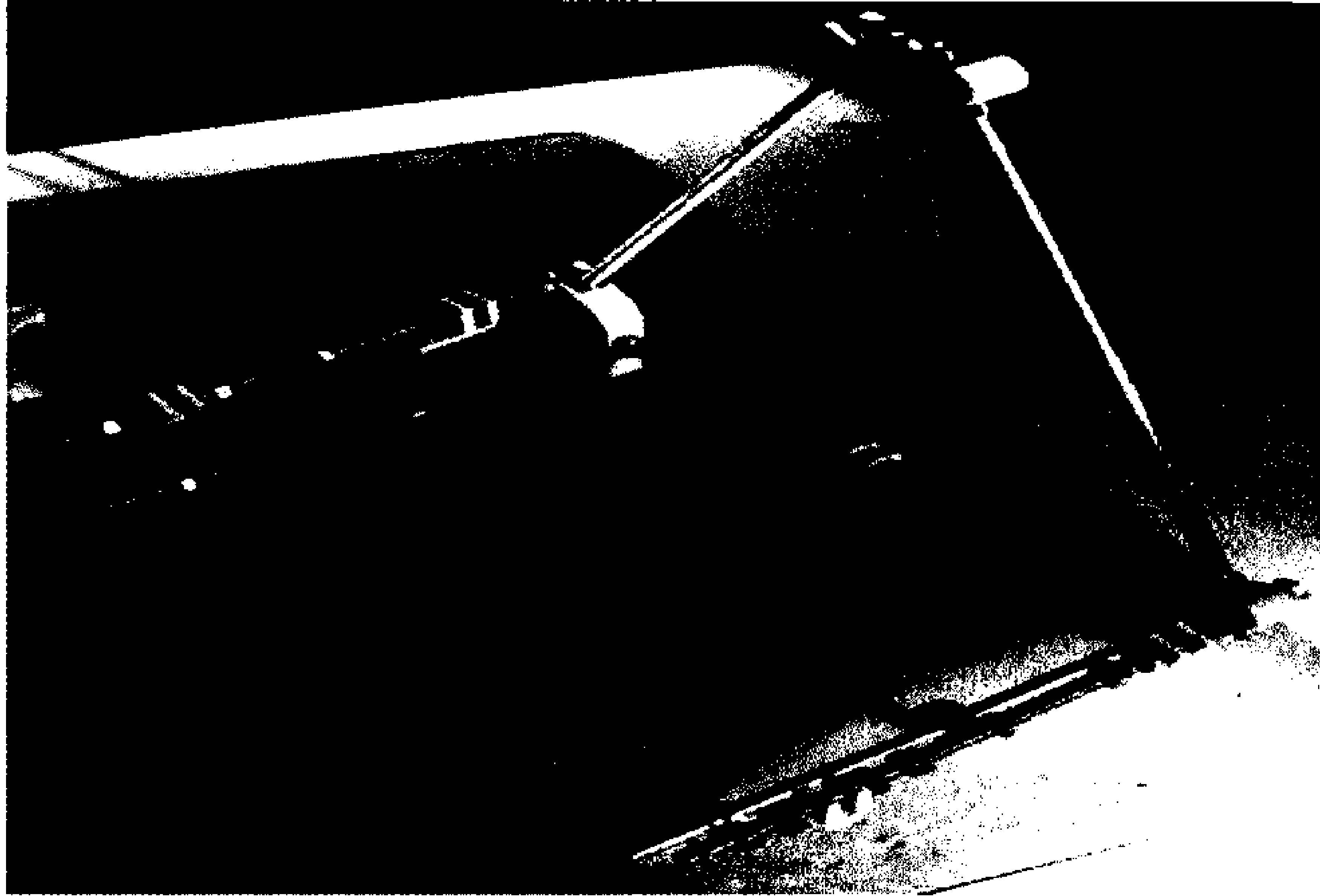
Χωρίζουμε πάλι τα παραπάνω εξαρτήματα σε δύο ίσα σύνολα, ένα για κάθε πλευρά. Στο ένα από τα δύο σύνολα θα βάλουμε τον πλαστικό σφικτήρα με την προεξοχή (είναι η θέση όπου θα στερεώσουμε αργότερα τον τερματικό διακόπτη του άξονα Υ). Στην εικόνα που ακολουθεί φαίνεται η διάταξη με την οποία πρέπει να τοποθετηθούν όλα τα εξαρτήματα:



Εικόνα 18: Τοποθέτηση εξαρτημάτων.

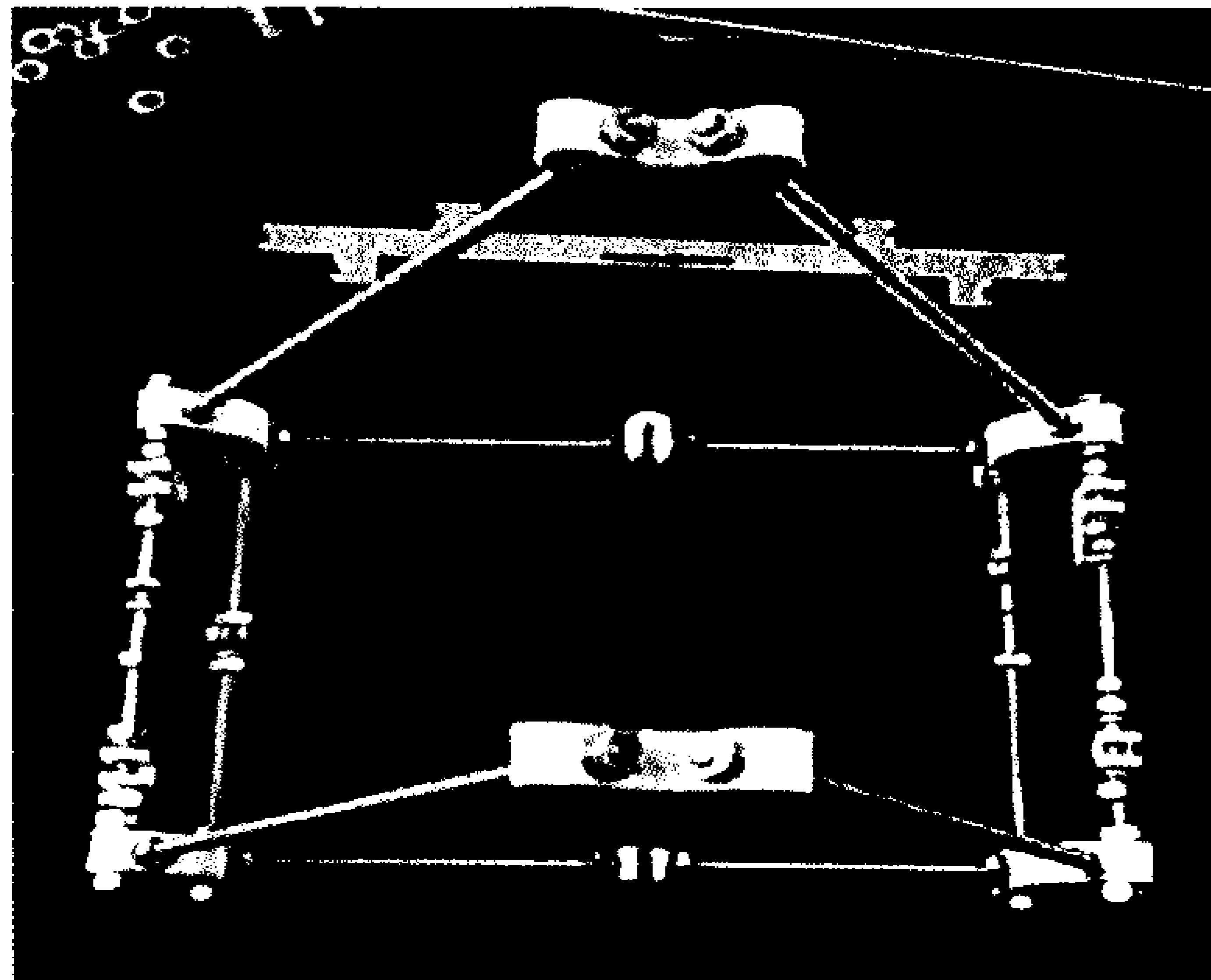
Σε κάθε πλευρά, κατά το διάμηκες, θα τοποθετηθούν οι ντίζες 1 και 2 στην μία και οι ντίζες 3 και 4 στην άλλη. Οι ντίζες 1 και 3 είναι οι άνω ντίζες της κάθε πλευράς και οι ντίζες 2 και 4 είναι οι κάτω.

Στη συνέχεια βιδώνουμε στο ένα από τα δύο τρίγωνα τις 4 ντίζες με τον τρόπο που φαίνεται στην παρακάτω εικόνα:

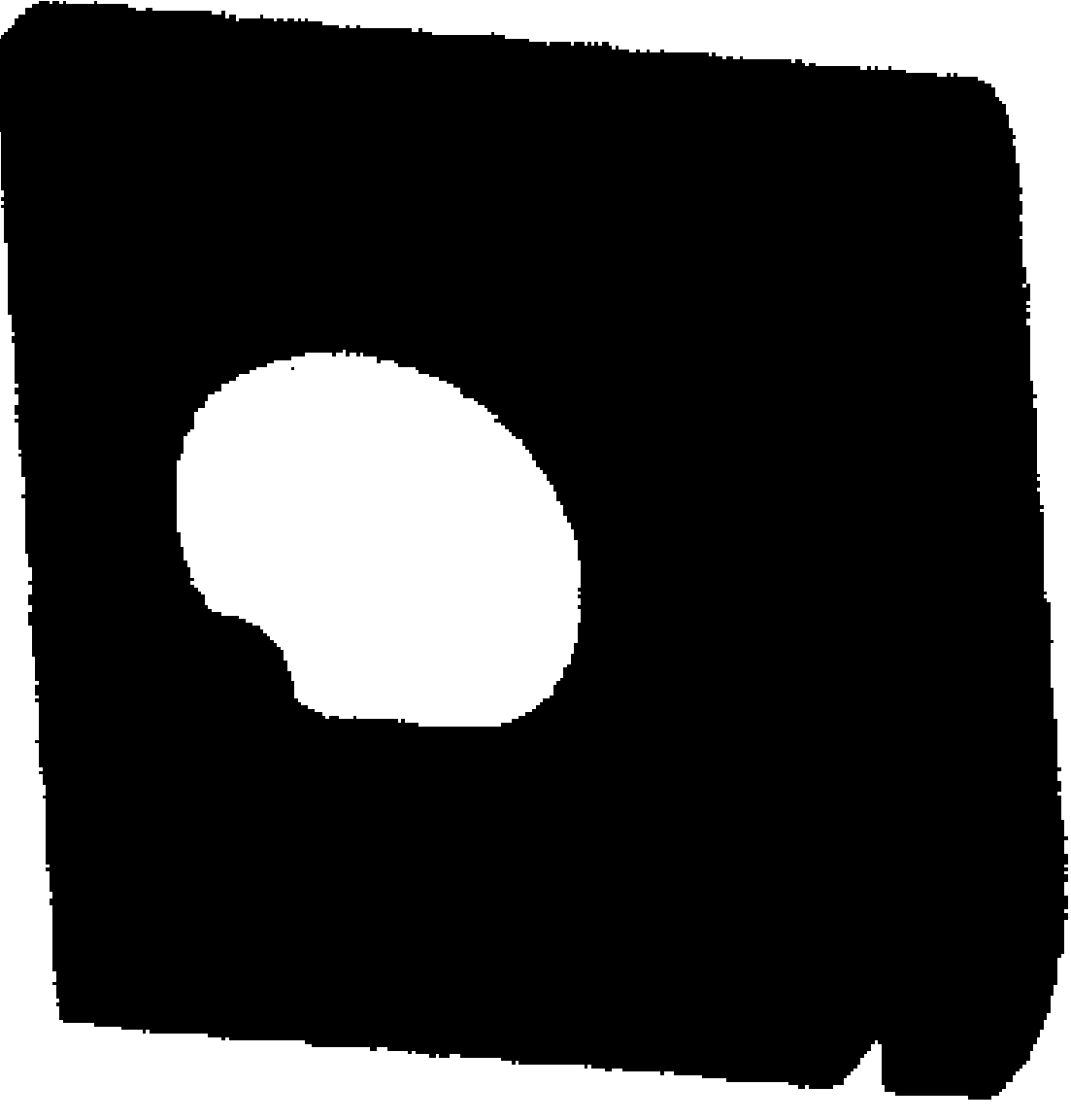


Εικόνα 19: Συναρμολόγηση του σκελετού.

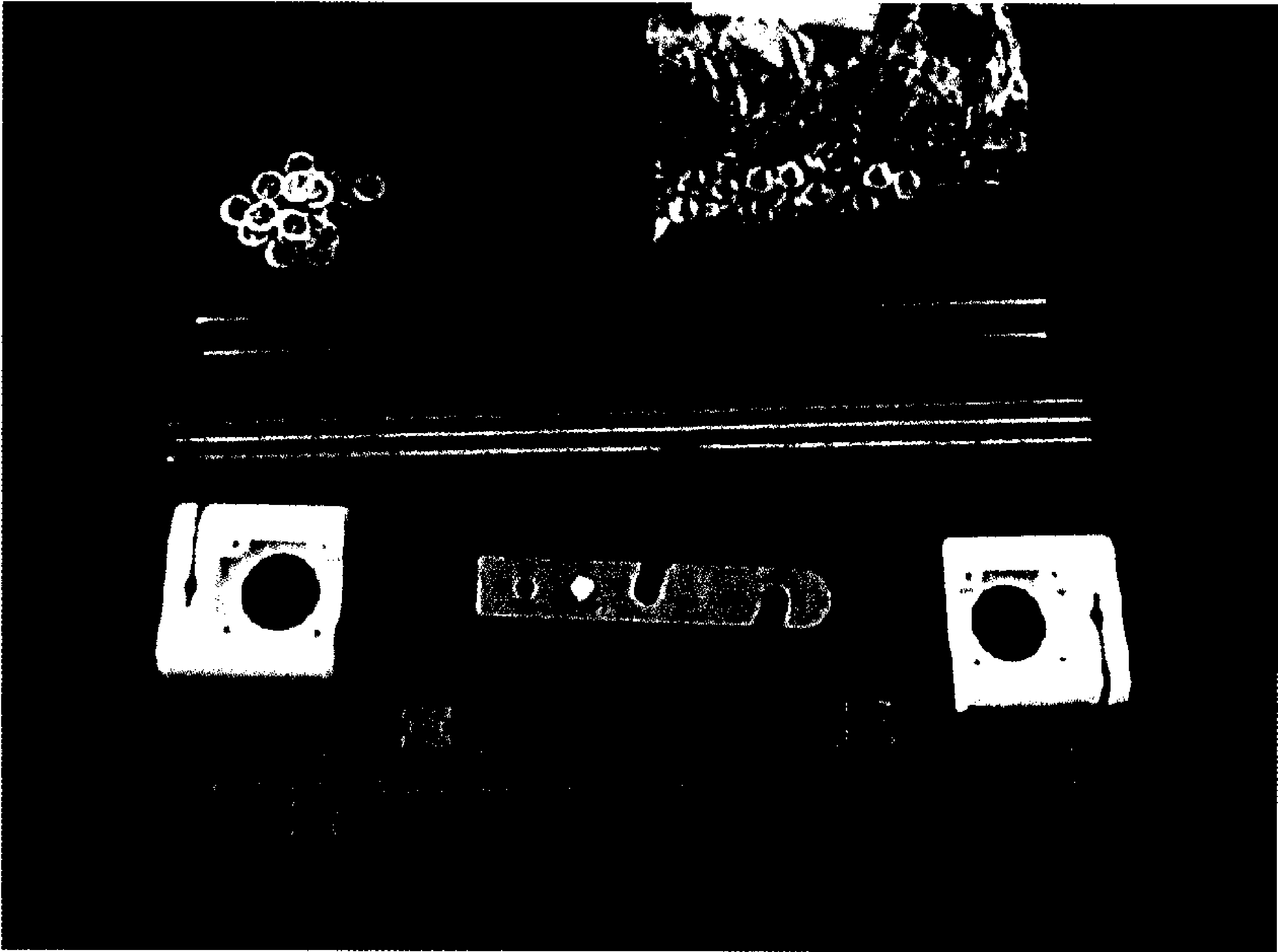
Αφού έχουμε ολοκληρώσει την παραπάνω διαδικασία, τοποθετούμε εν συνεχεία και το άλλο τρίγωνο και σφίγγουμε τα παξιμάδια που συγκρατούν τις ντίζες με τα δύο τρίγωνα. Η απόσταση μεταξύ των δύο τριγώνων πρέπει να είναι 145 mm.



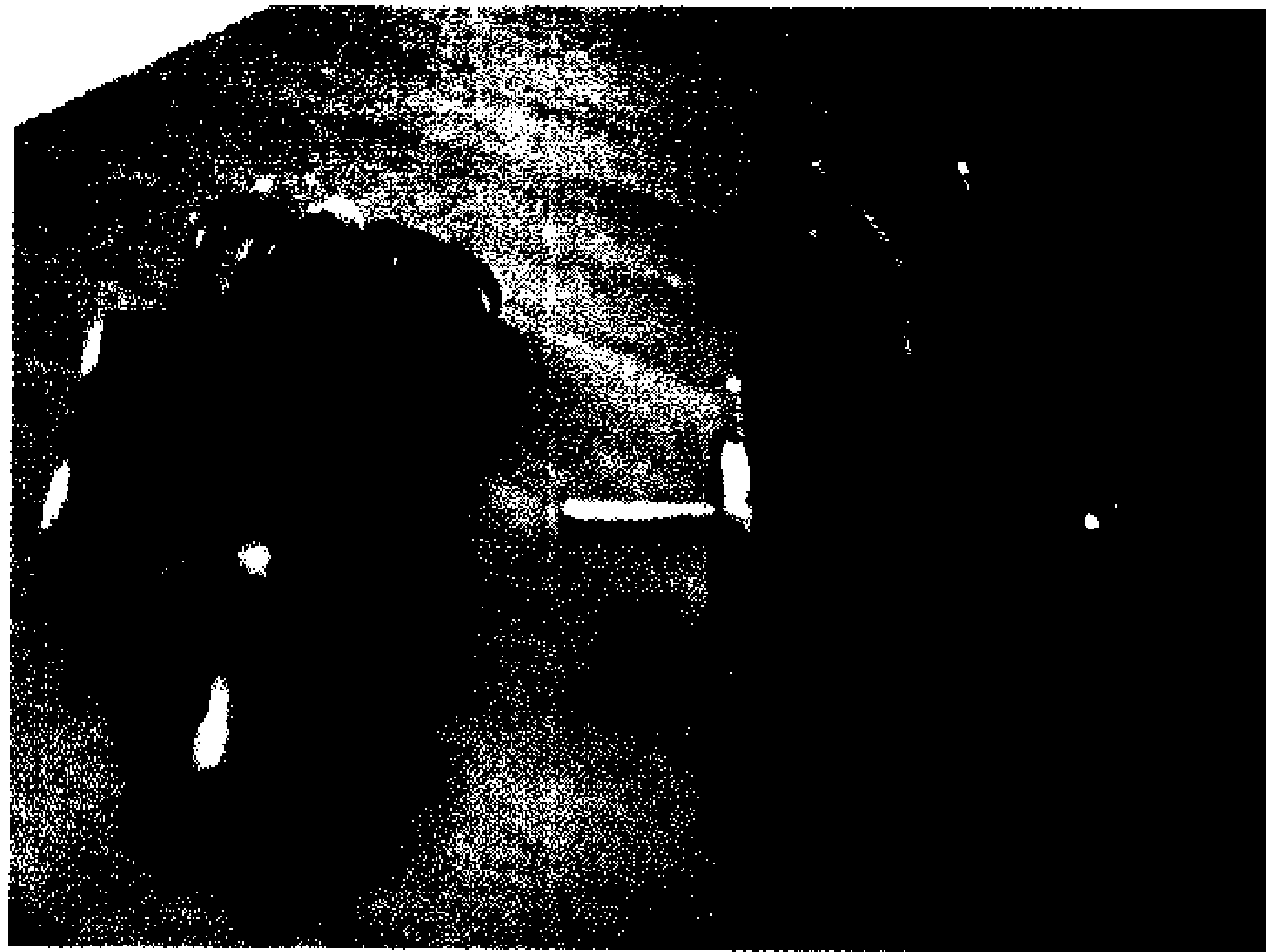
Εικόνα 20: Σκελετός εκτυπωτή (σχεδόν έτοιμος)

Εξαρτήματα	
Τεμάχια	2

- 2 Ντίζες 6mm X 285mm
- 2 Μεταλλικές ράβδοι 6mm X 235 mm
- 20 Παξιμάδια M6
- 20 Ροδέλες M6
- 2 Βηματικοί κινητήρες NEMA 14

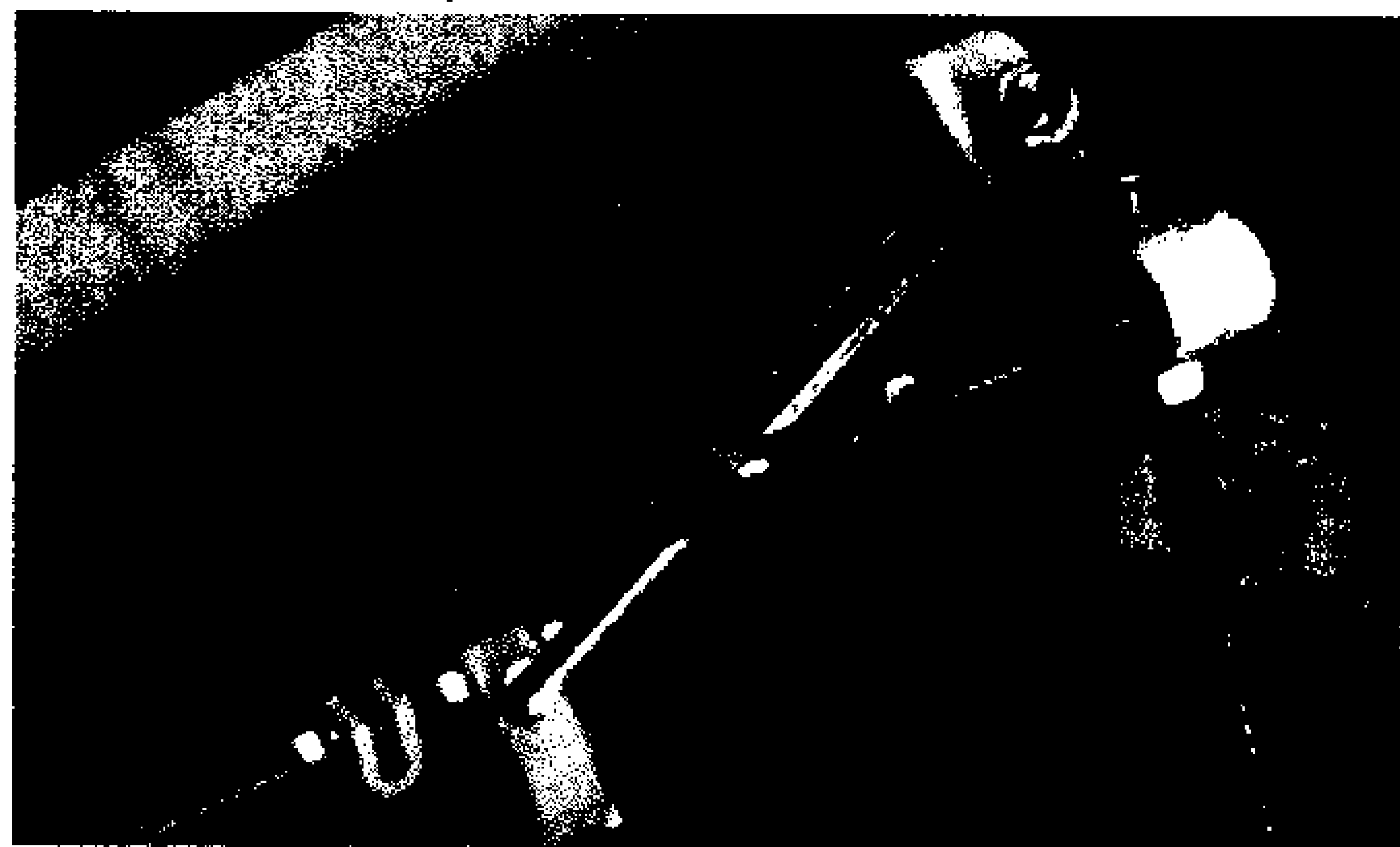


Εικόνα 21: Εξαρτήματα για την συναρμολόγηση του σκελετού



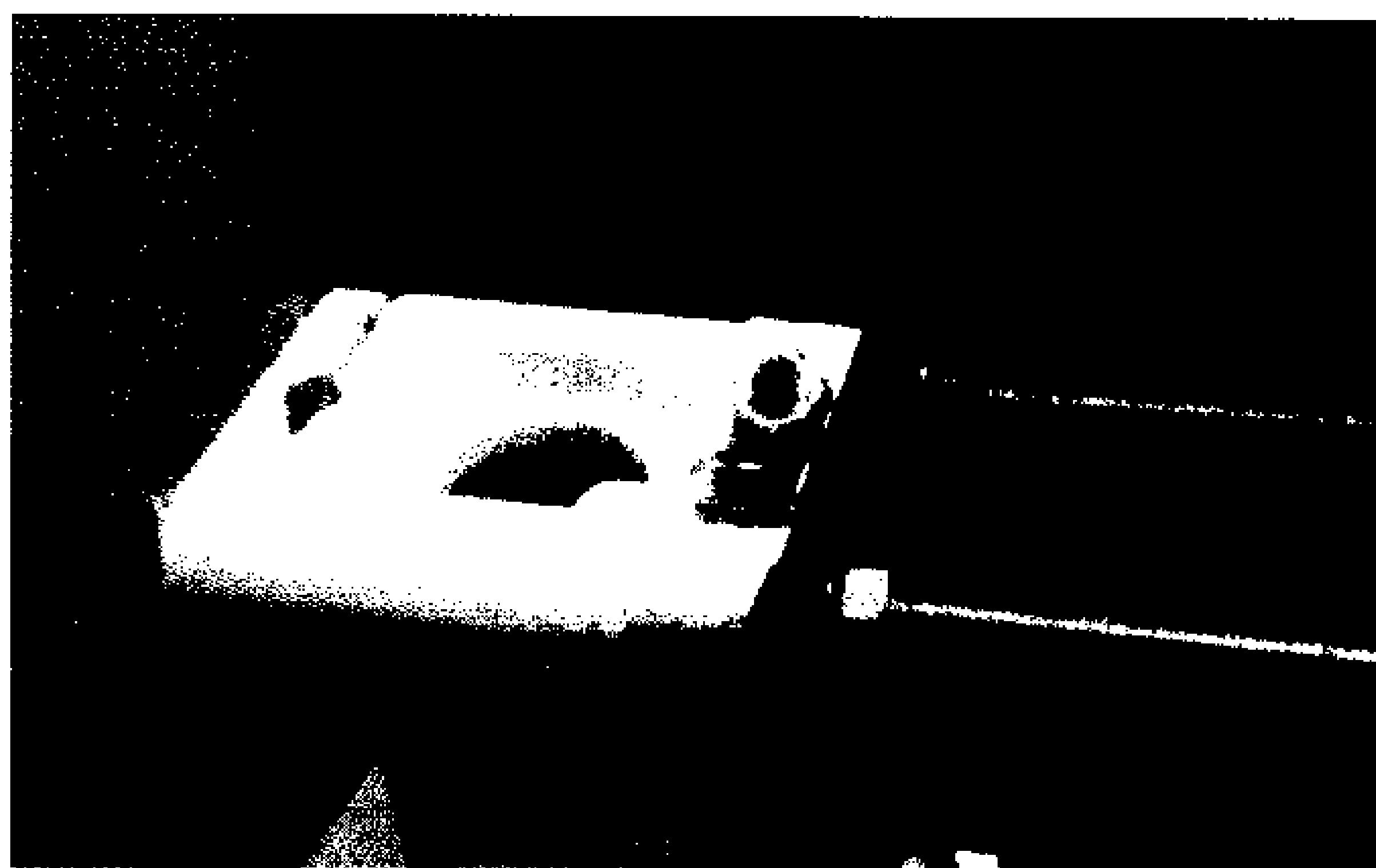
Εικόνα 22: Βηματικοί Κινητήρες NEMA 14

Τώρα το μόνο που απομένει είναι να τοποθετήσουμε τις δύο μακριές ντίζες στις δύο κορυφές των τριγώνων. Ο τρόπος φαίνεται στην εικόνα που ακολουθεί:



Εικόνα 23: Τοποθέτηση των ντιζών στις κορυφές των τριγώνων του σκελετού.

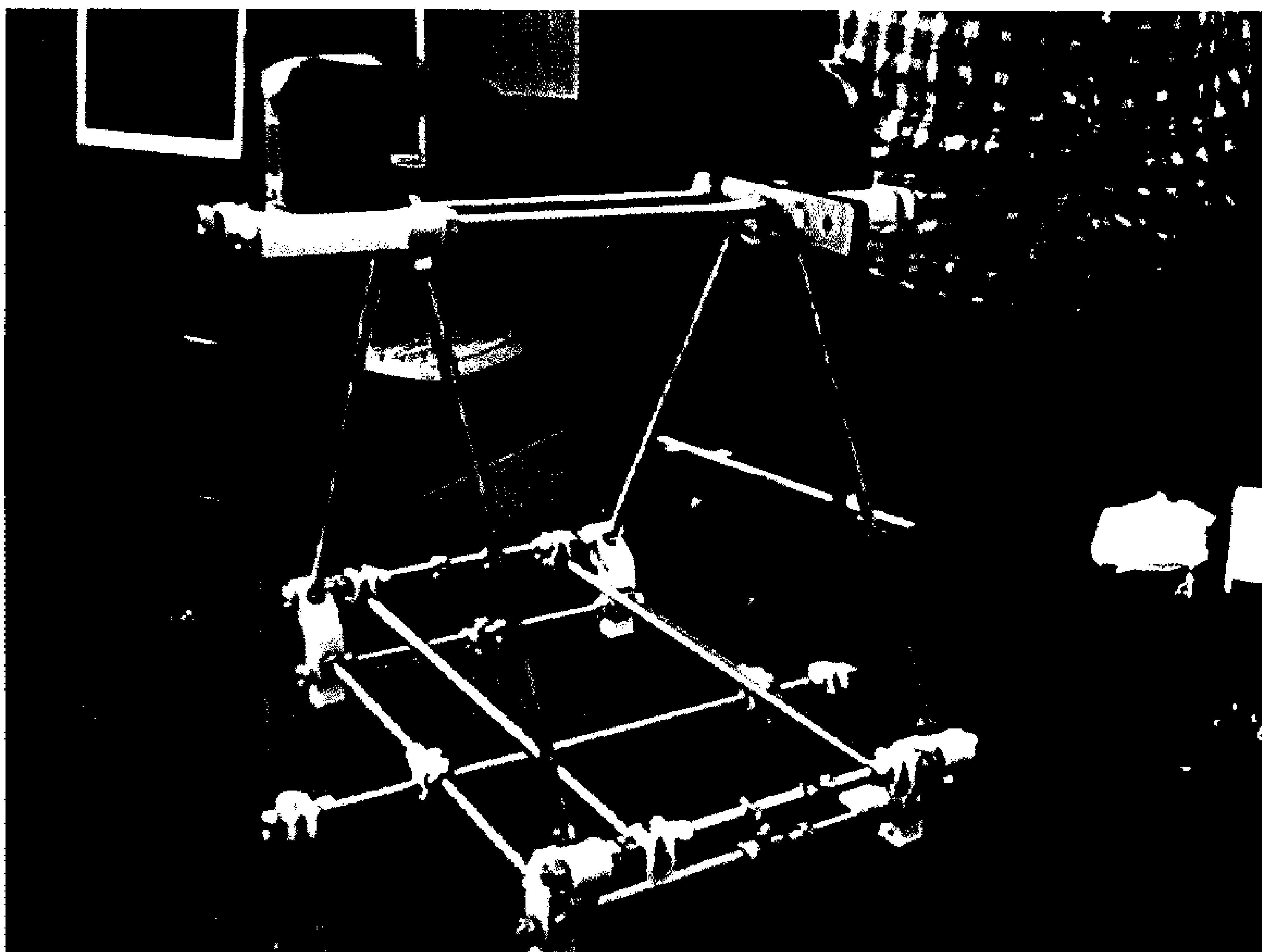
Αφού οι ντίζες μπουν στη θέση τους, τοποθετούμε στα άκρα τους τις βάσεις των βηματικών κινητήρων για τον άξονα Z. Σφίγγουμε τα παξιμάδια και τέλος τοποθετούμε την βάση στήριξης του extruder.



Εικόνα 24: Βάση στήριξης του βηματικού κινητήρα

Στην παραπάνω εικόνα βλέπουμε στα αριστερά της βάσης για τον κινητήρα μία μεταλλική ράβδο. Η ράβδος αυτή είναι ο οδηγός πάνω στον οποίο θα ολισθαίνουν οι βάσεις του μηχανισμού κίνησης του άξονα Z. Οι δύο αυτές μεταλλικές ράβδοι ενώνονται στο κάτω μέρος του σκελετού με μία ακόμα ντίζα.

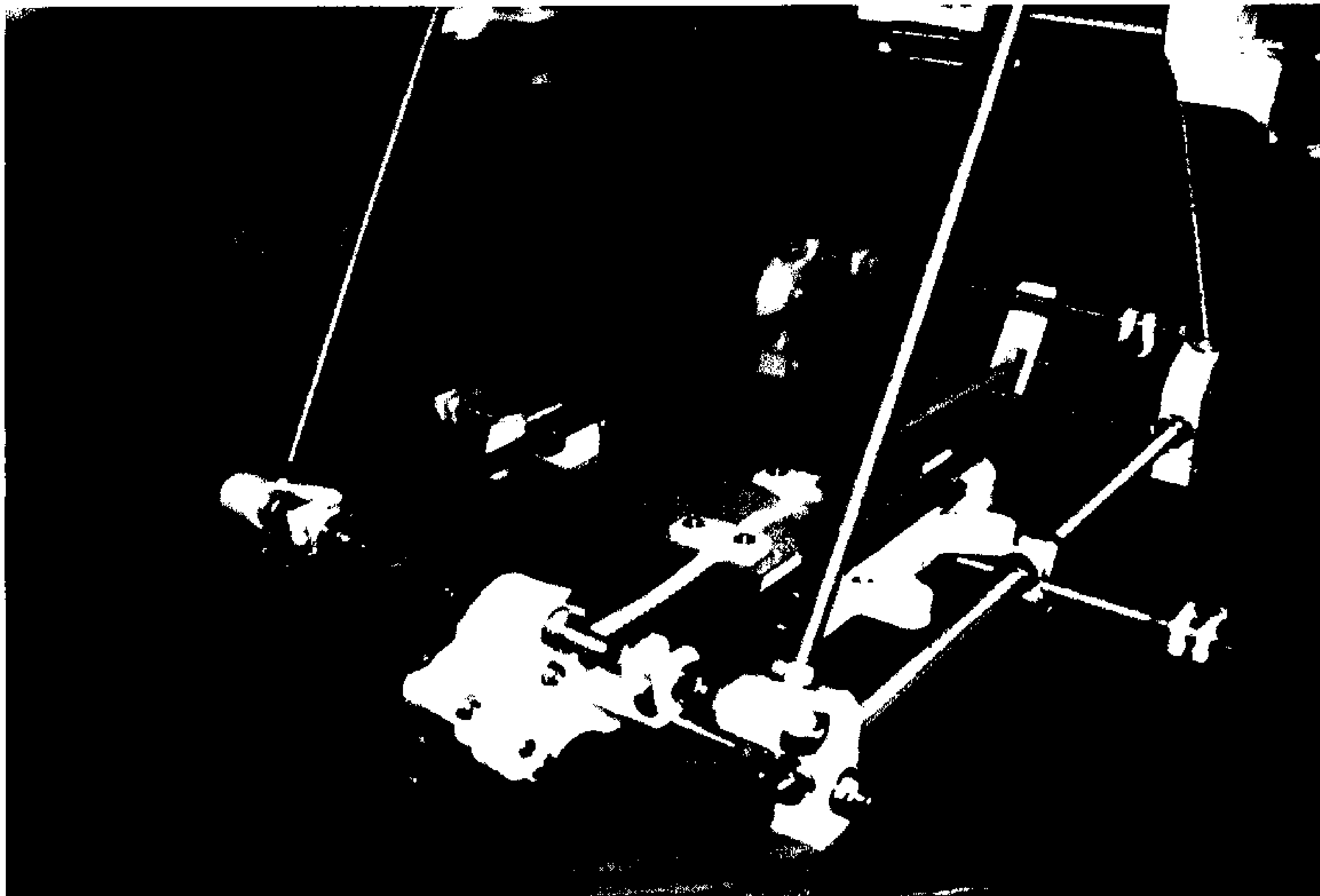
Ο σκελετός του εκτυπωτή είναι πλέον έτοιμος. Το μόνο που χρειάζεται είναι να γίνει σωστό γώνιασμα με την βοήθεια μιας γωνιάς και ενός αλφαδιού. Πετυχαίνοντας ένα σωστό καλιμπράρισμα στον σκελετό του εκτυπωτή, αυτό θα έχει σαν αποτέλεσμα τα παραγόμενα αντικείμενα να είναι αξιόπιστα σε σχέση με το σχέδιο του αντικειμένου που είναι προς εκτύπωση. Τέλος τοποθετούμε στις βάσεις τους δύο βηματικούς κινητήρες NEMA 14.



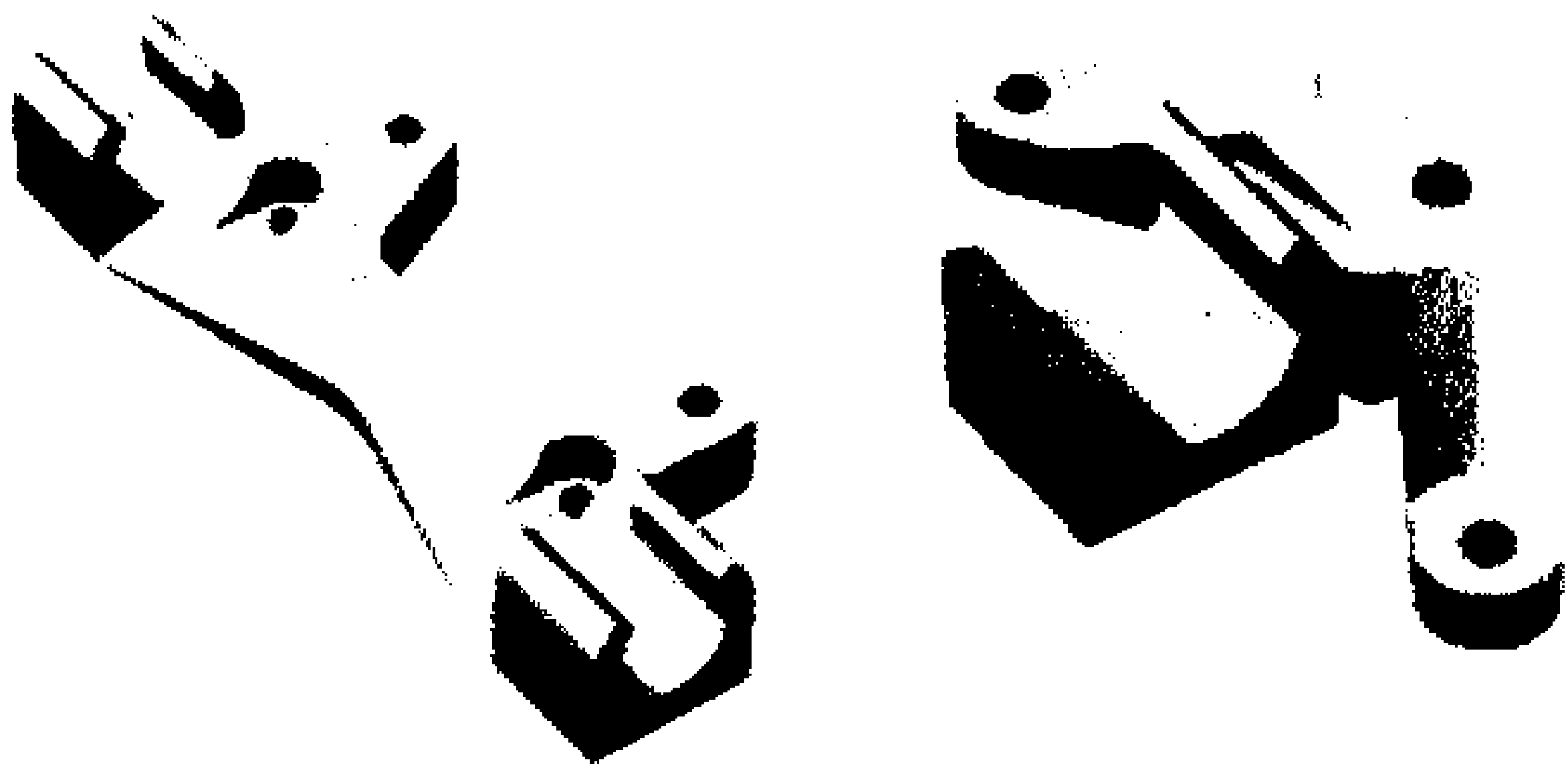
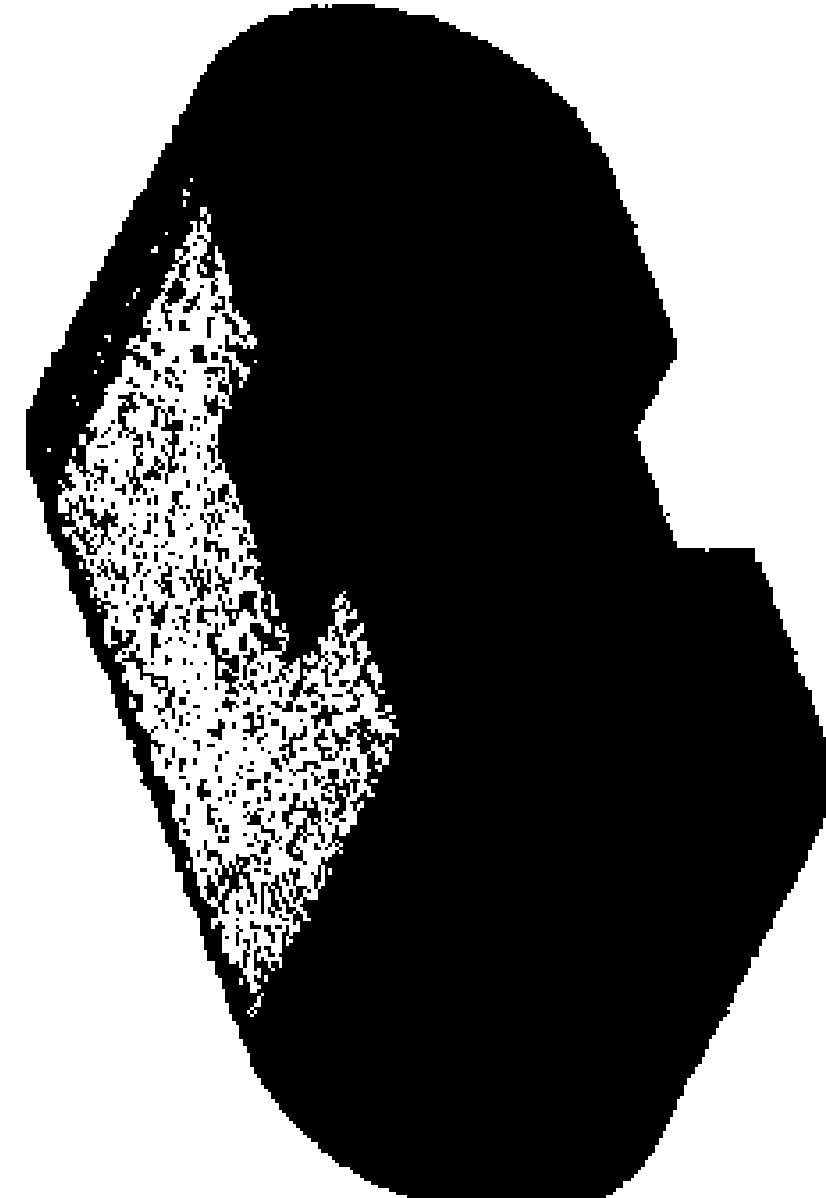
Εικόνα 25: Ολοκληρωμένος σκελετός εκτυπωτή.

3.2. Συναρμολόγηση του άξονα Υ.

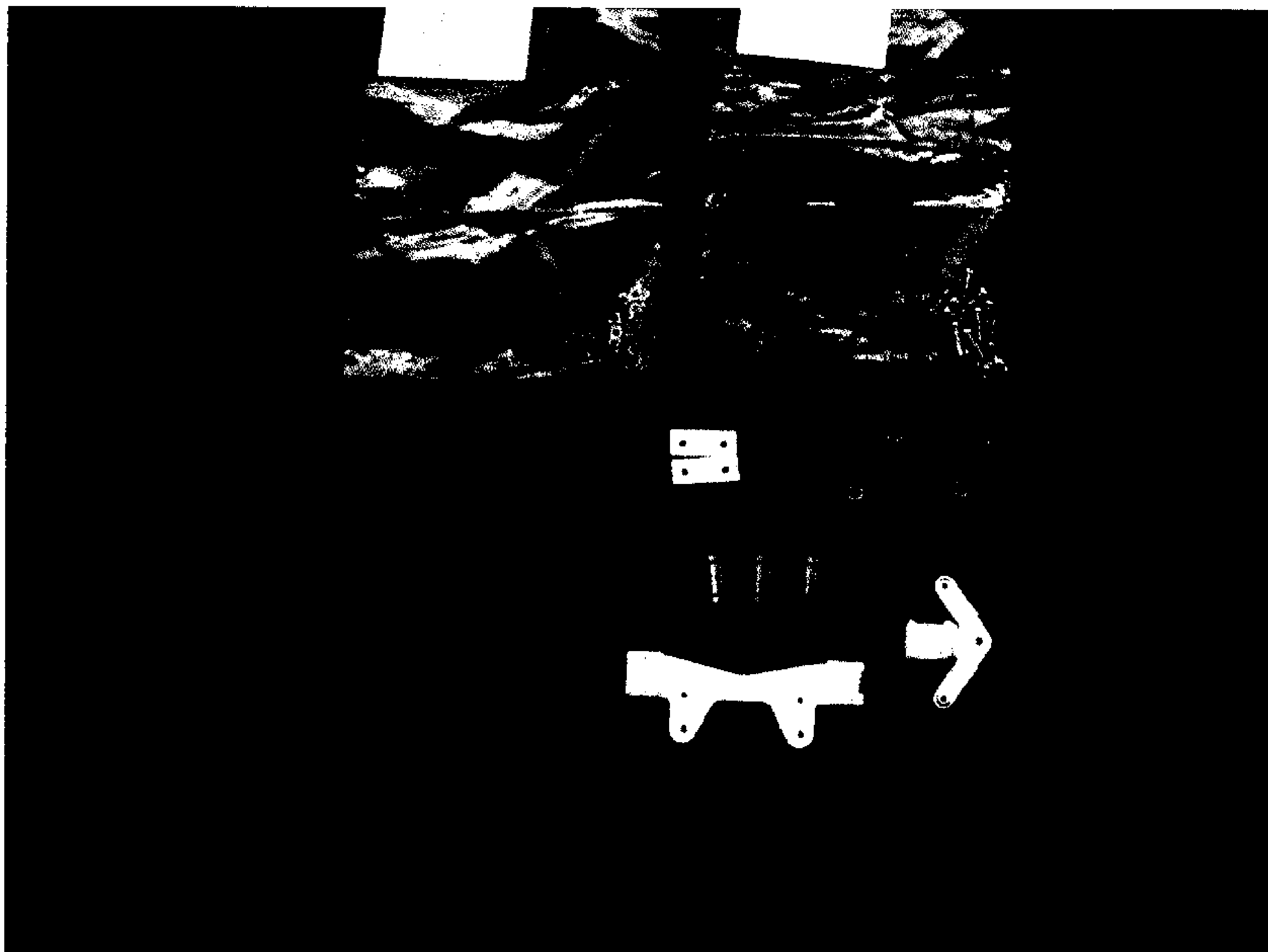
Στο τέλος αυτού του σταδίου η μηχανή θα πρέπει να έχει την παρακάτω μορφή.



Εικόνα 26: Ο εκτυπωτής μετά την συναρμολόγηση του άξονα Υ.

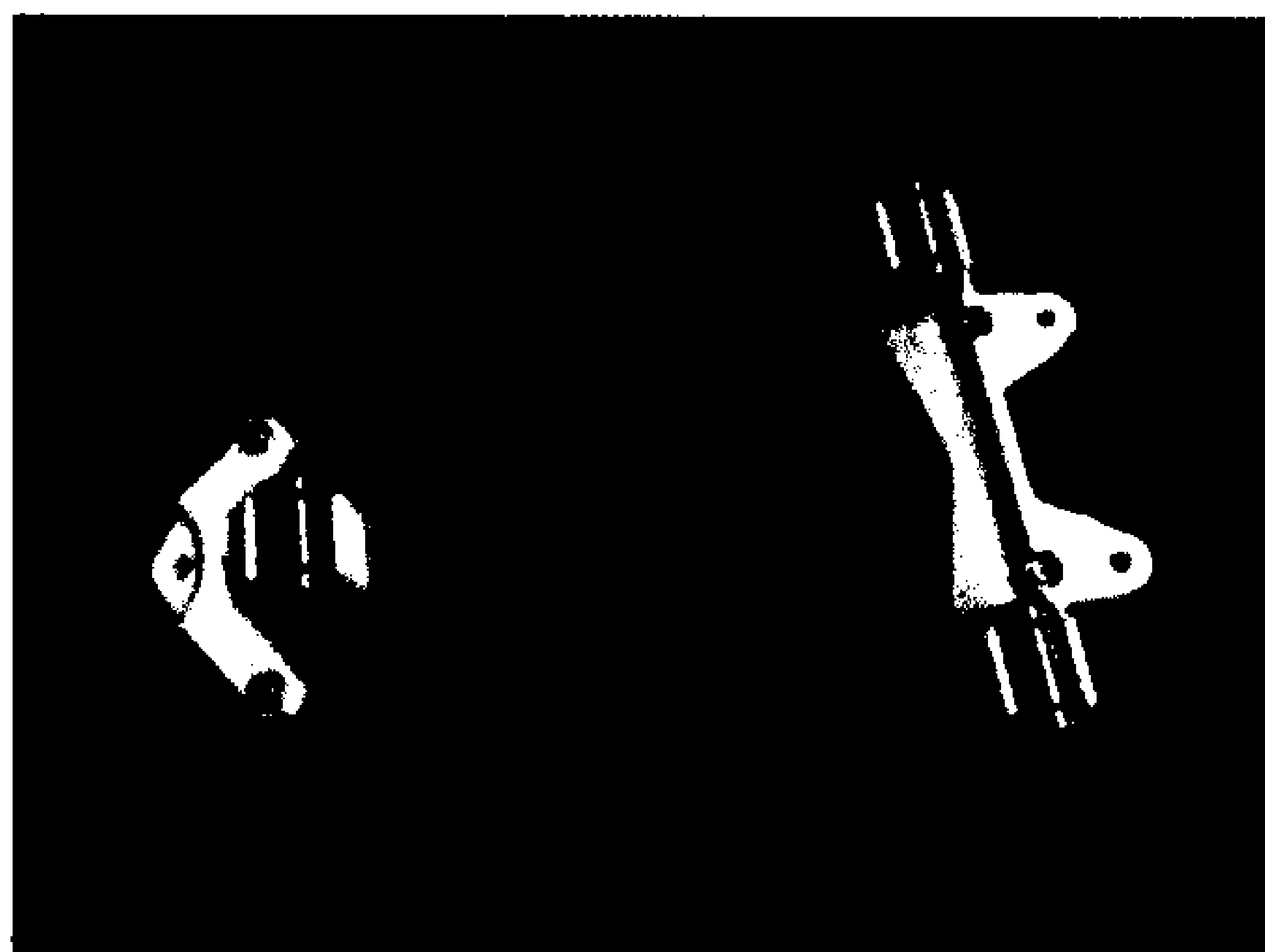
Εξαρτήματα			
Τεμάχια	1	1	2

- 8 Βίδες M3 x 12mm
- 8 Παξιμάδια M3
- 8 Ροδέλες M3
- 3 LM6UU Ρουλεμάν ολίσθησης
- Ορθογώνια ξύλινη πλάκα (Balsa)



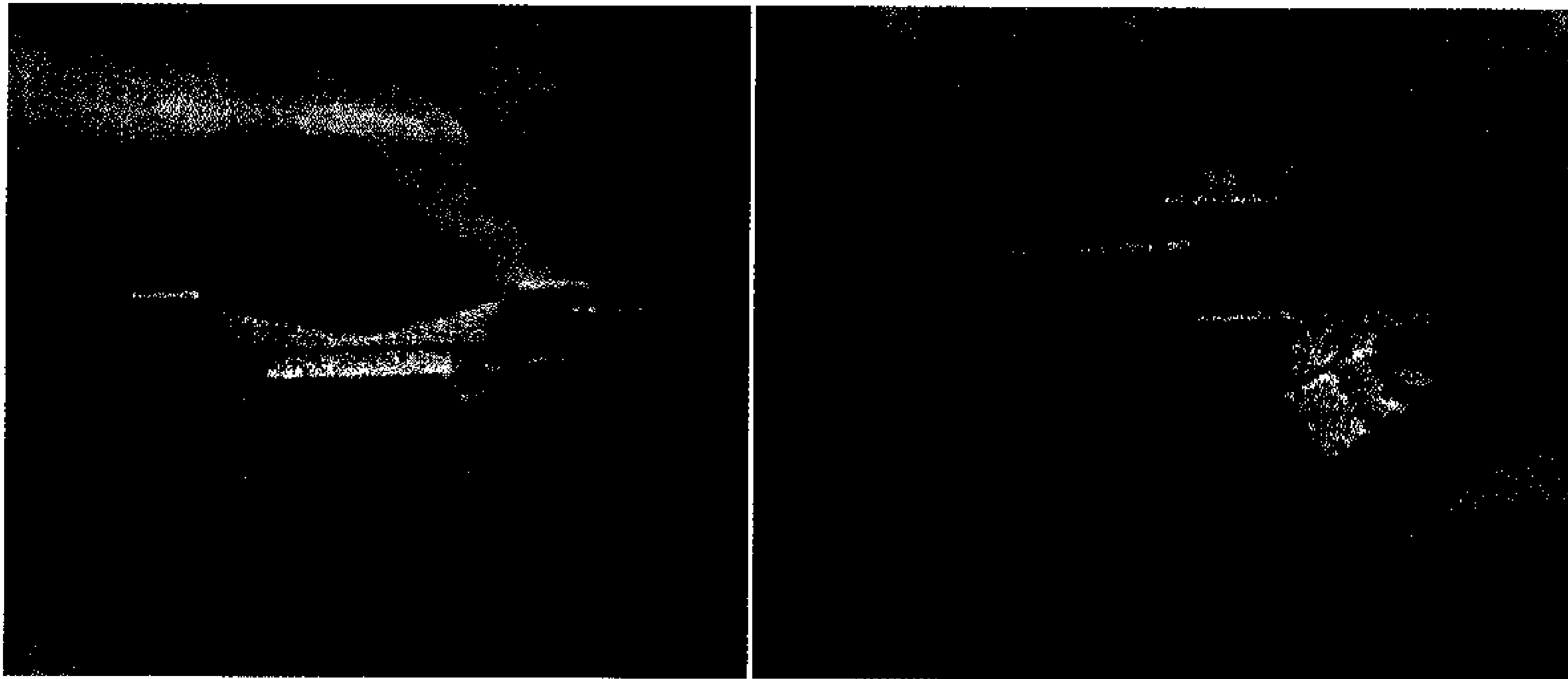
Εικόνα 27: Εξαρτήματα για την κατασκευή του τραπέζιού ολίσθησης.

Αρχικά συναρμολογούμε το τραπέζι ολίσθησης του άξονα Υ όπως φαίνεται στην εικόνα που ακολουθεί.



Εικόνα 28: Συναρμολογημένο τραπέζι ολίσθησης.

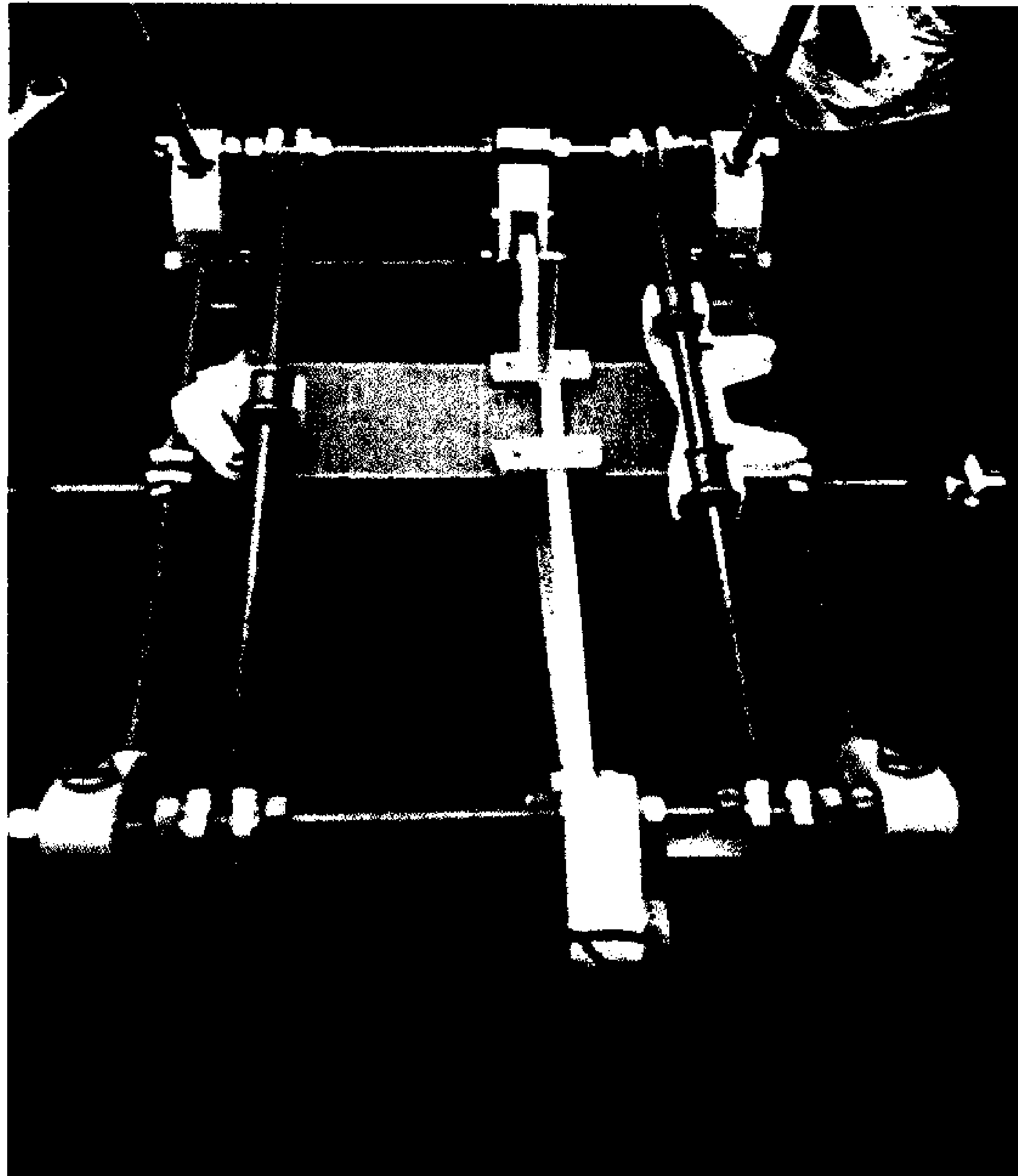
Για να τοποθετήσουμε τα ρουλεμάν στην θέση τους, όπως φαίνεται στην παραπάνω εικόνα πρέπει να τα σπρώξουμε από το πλάι. Υπάρχει περίπτωση εάν προσπαθήσουμε τα κουμπώσουμε στην θέση τους να σπάσουμε κάποια από τις βάσεις στήριξης των ρουλεμάν.



Εικόνα 29: Σωστός τρόπος τοποθέτησης των ρουλεμάν.

Τα ρουλεμάν θα πρέπει να ισαπέχουν από άκρα στηριξης τους. Εν συνεχεία βιδώνουμε τους οδηγούς του άξονα Υ πάνω στο ορθωγώνιο κομμάτι ξύλου (Balka). Τα ίδιο κάνουμε και με τα 2 πλαστικά κομμάτια που θα χρειαστούν για την αγκίστρωση του ιμάντα κίνησης του άξονα Υ.

Επόμενο βήμα είναι η τοποθέτηση του τραπεζιού ολίσθησης πάνω στον σκελετό του εκτυπωτή όπως φαίνεται στην εικόνα που ακολουθεί.

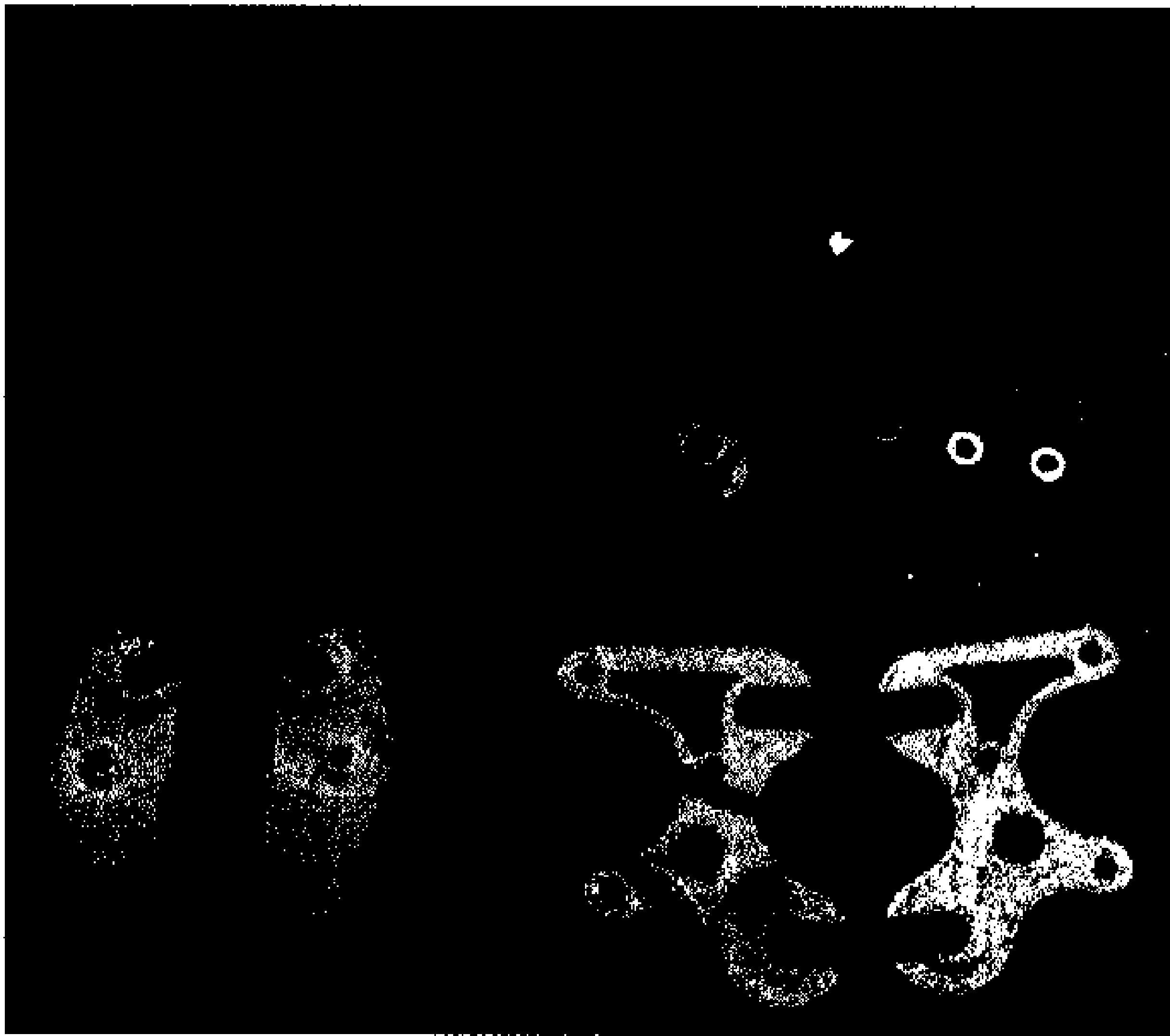


Εικόνα 30: Τοποθέτηση τραπεζιού ολίσθησης στον σκελετό του εκτυπωτή.

Για να γίνει αυτό πρέπει αρχικά να βγάλουμε τις 2 μεταλλικές ράβδους του σκελετού και να τις περάσουμε μέσα από τα ρουλεμάν του τραπεζιού ολίσθησης. Επόμενο βήμα είναι να τοποθετήσουμε τις δύο μεταλλικές ράβδους πίσω στον σκελετό του εκτυπωτή. Οι 2 αυτές ράβδοι πρέπει να είναι παράλληλες με τον σκελετο και να ισαπέχουν μεταξύ τους ούτως ώστε το τραπέζι να μπορεί να ολισθαίνει ελεύθερα πάνω της 2 μεταλλικές ράβδους. Τέλος σφίγγουμε τα παξιμάδια των βάσεων στήριξης των ράβδων.

Εξαρτήματα				
Τεμάχια	1	1	1	1

- 1 Ρουλεμάν 623
- 4 Βίδες M3 x16mm
- 5 Ροδέλες M3
- 1 Παξιμάδι M3
- 1 Βηματικό κινητήρα NEMA 14
- 1 Σκουλικόβιδα M3 x 10mm
- 1 Γρανάζι με 14 δόντια



Εικόνα 31: Εξαρτήματα για την συναρμολόγηση της βάσης στήριξης του βηματικού κινητήρα του άξονα Υ.

Τοποθετούμε αρχικά το γρανάζι στον άξονα του βηματικού κινητήρα και το στερεώνουμε με την βοήθεια της σκουληκόβιδας.



Εικόνα 32: Τοποθέτηση γραναζιού κίνησης του ιμάντα του άξονα Υ.

Στη συνέχεια παίρνουμε τα εξαρτήματα 3 και 4 και τα τοποθετούμε με τον τρόπο που φαίνεται στην παρακάτω εικόνα.

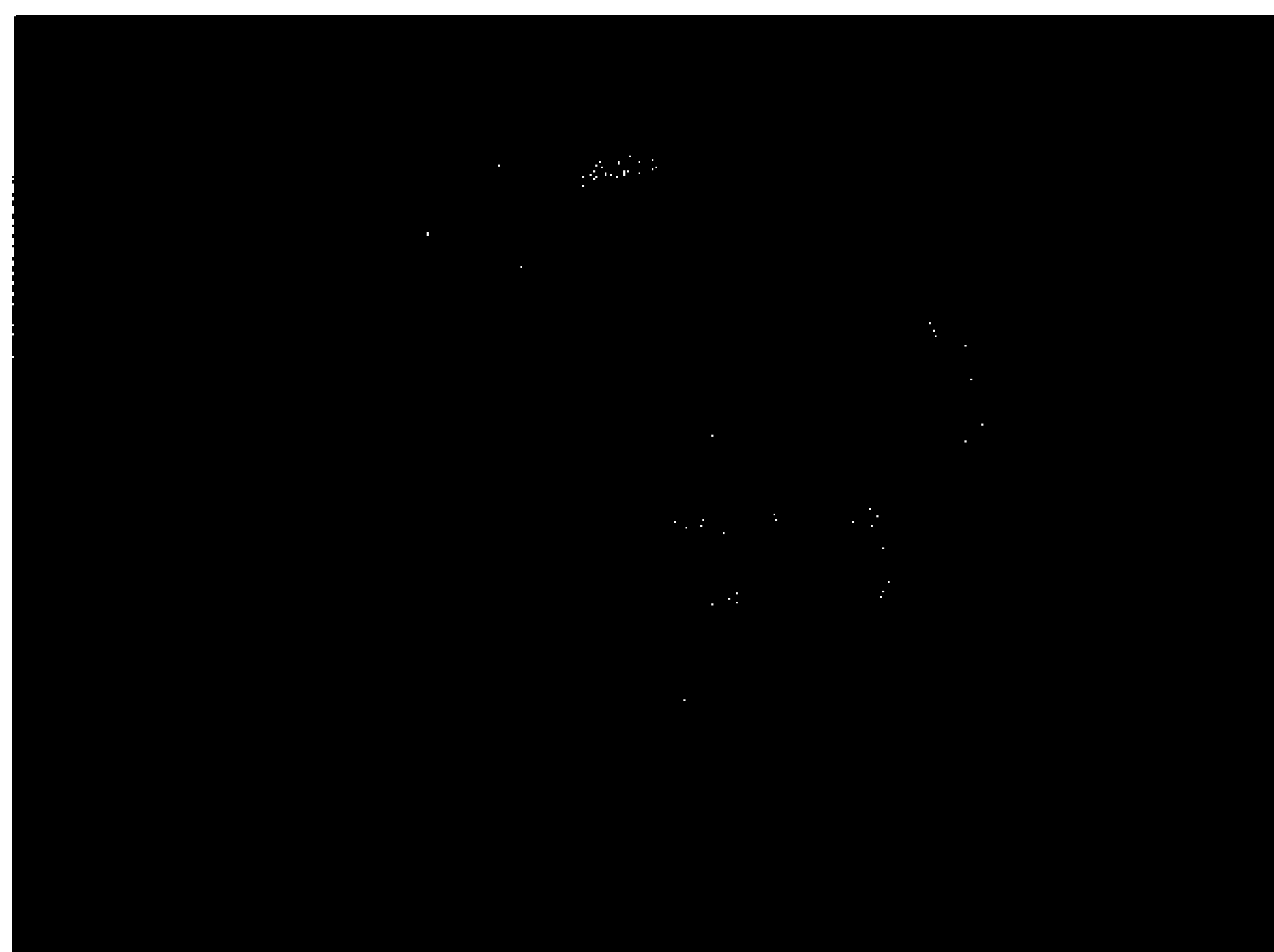


Εικόνα 33: Βάση στήριξης βηματικού κινητήρα για τον άξονα Υ.

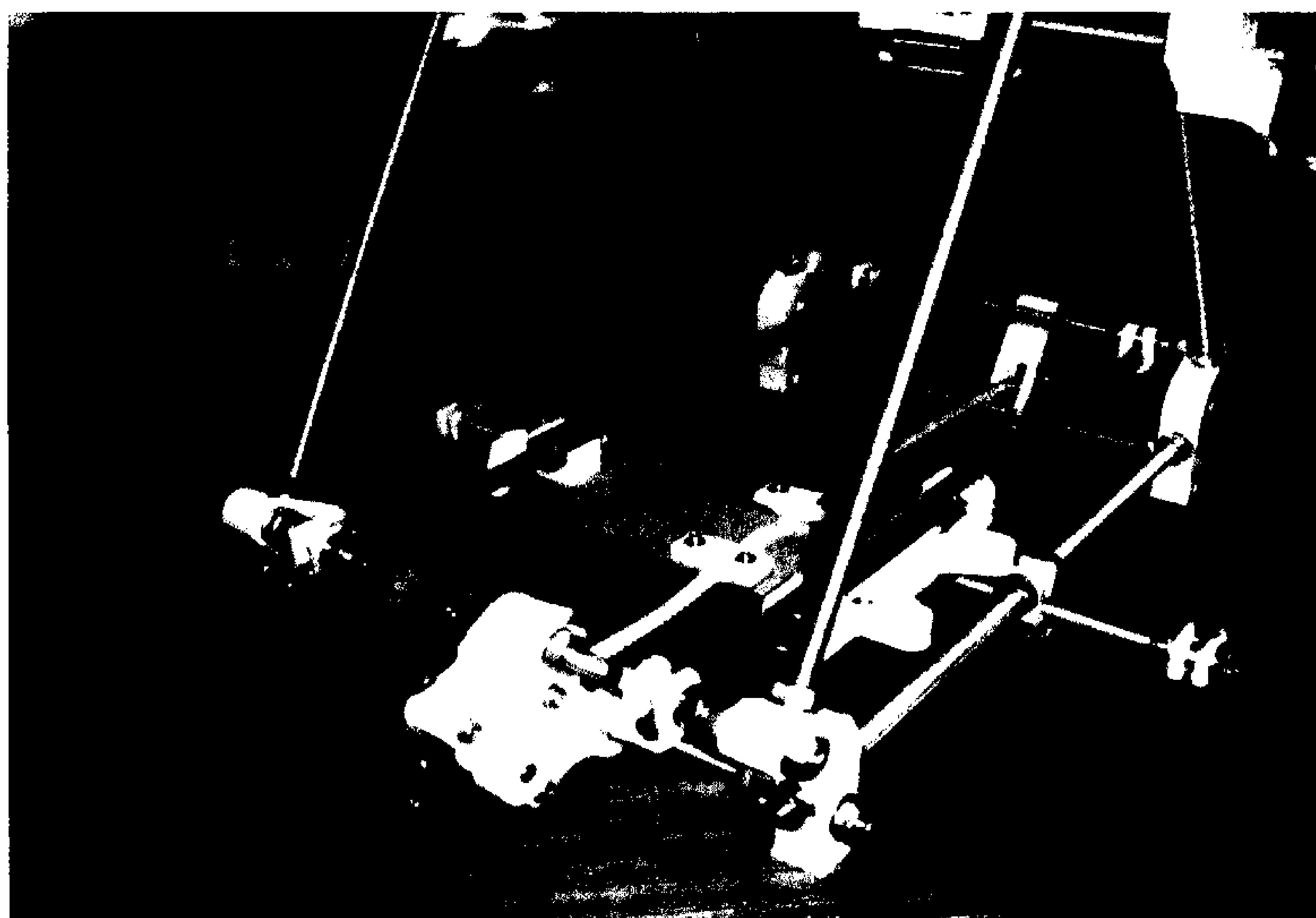
Αφού τελειώσει η συναρμολόγηση τοποθετούμε τον κινητήρα πάνω στον σκελετο του εκτυπωτή. Πρέπει να προσέξουμε το γρανάζι να βρίσκεται σε ευθεία με τις βάσεις στήριξης του ιμάντα που βρίσκονται βιδωμένες πάνω στο τραπέζι ολισθησης του άξονα Υ. Τέλος συναρμολογούμε και τα εξαρτήματα 1 και 2 και τα τοποθετούμε και αυτά με τρόπο αντίστοιχο με αυτόν που τοθετήσαμε τον κινητήρα.

Τέλος θα χρειαστούμε ένα κομμάτι ιμάντα T2.5 PU μήκους 600mm. Το ένα άκρο του θα το στηρίξουμε στο στηρίγμα του τραπεζιού ολίσθησης που βρίσκεται προς το μέρος του κινητήρα. Στη συνέχεια θα περάσουμε τον ιμάντα από το ρουλεμαν 626 που είχαμε τοποθετήσει κατά την κατασκευή του σκελετού του εκτυπωτή, μετά από το γρανάζι που είναι στερεωμένο πάνω στον κινητήρα, μετά θα τον περάσουμε κάτω από το τραπέζι του άξονα Υ, στο ρουλεμάν 626 που βρίσκεται στο άλλο άκρο του του σκελετού του εκτυπωτή και από εκεί

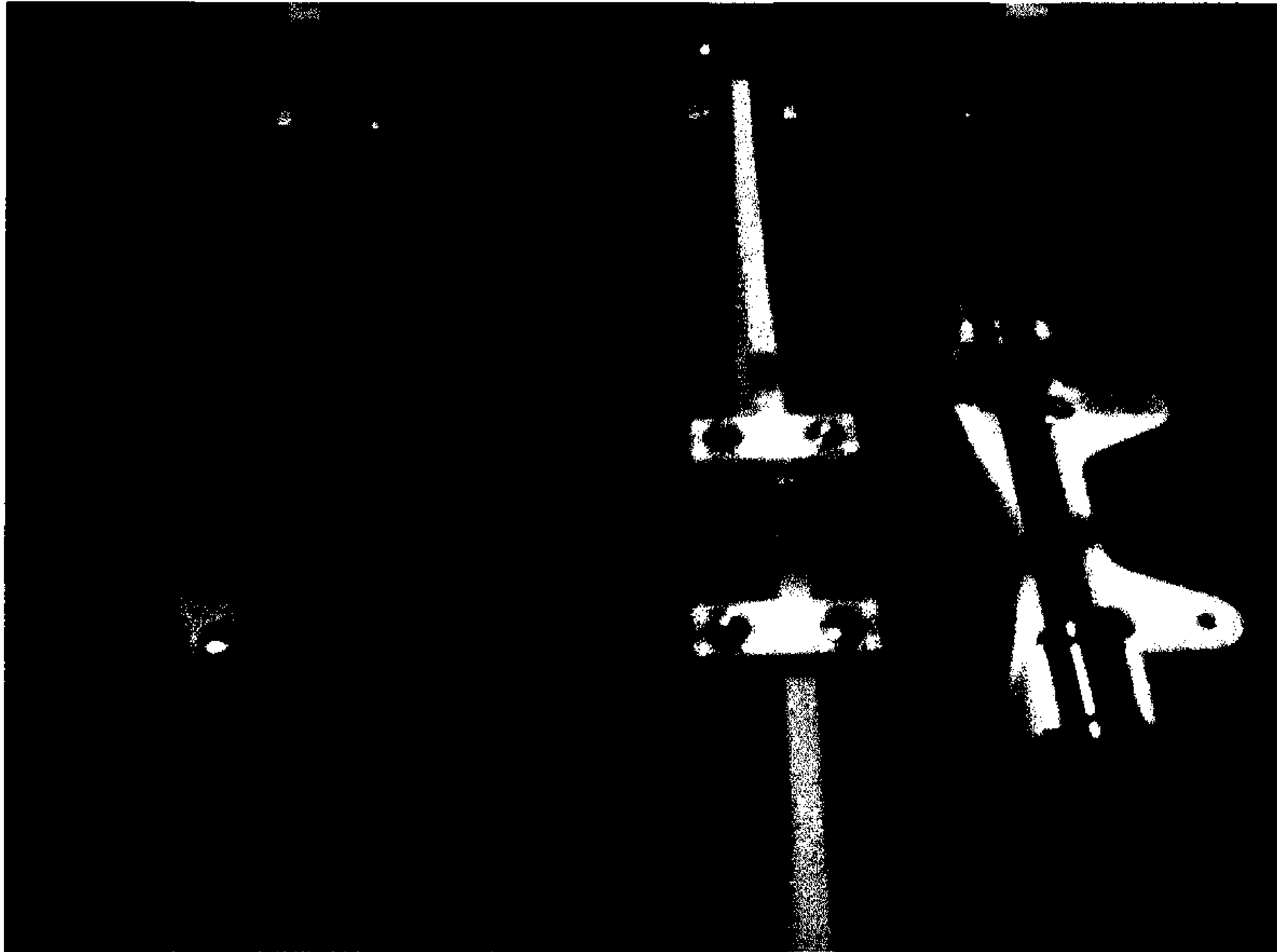
τέλος στην άλλη βάση στήριξης του ιμάντα που βρίσκεται πάνω στο τραπέζι του άξονα Υ. Ο ιμάντας θα πρέπει να είναι σωστά τανυσμένος ουτως ώστε να μην είναι πολύ σφικτός και ζορίζει τον κινητήρα αλλά και ούτε πολύ χαλαρός με αποτέλεσμα να μπορεί να ξεφύγει από τα δόντια του γραναζιού.



Εικόνα 34: Συναρμολόγηση βάσης ολίσθησης του ιμάντα του άξονα Υ.



Εικόνα 35: Συναρμολογημένο τραπέζι ολίσθησης.

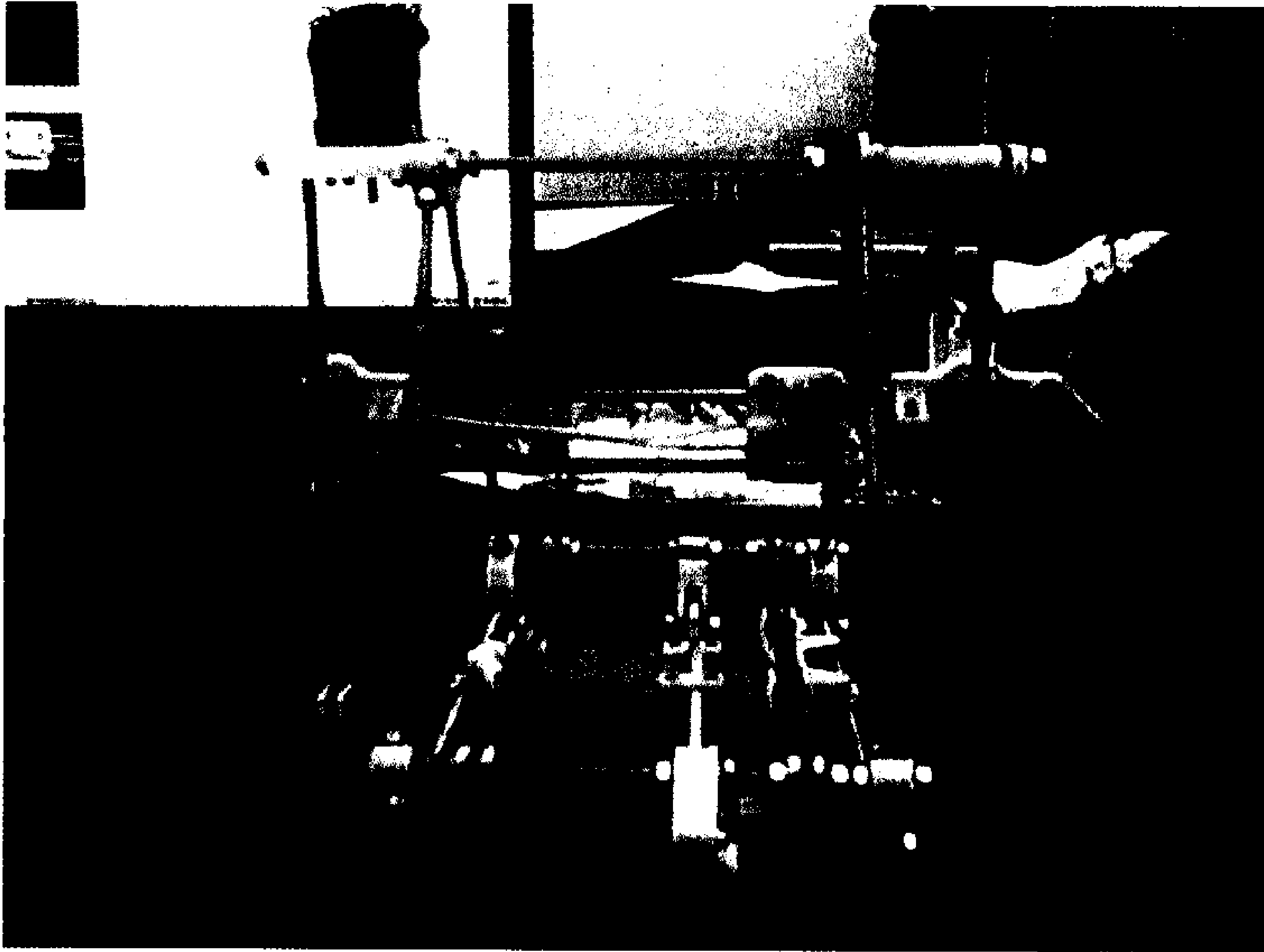


Εικόνα 36: Σωστός τρόπος τοποθέτησης του ιμάντα.

Αφού όλα έχουν τοποθετηθεί σωστά, δοκιμάζουμε να κινήσουμε με το χέρι μας το τραπέζι από την μία μεριά του σκελετού στην άλλη. Θα πρέπει για να έχουμε ένα σωστό αποτέλεσμα το τραπέζι να ολισθαίνει ομαλά και ο ιμάντας να βρίσκεται ευθυγραμμισμένος με τις βάσεις στήριξης του καθώς και με τον κινητήρα και την βάση στην απέναντι μεριά του σκελετού.

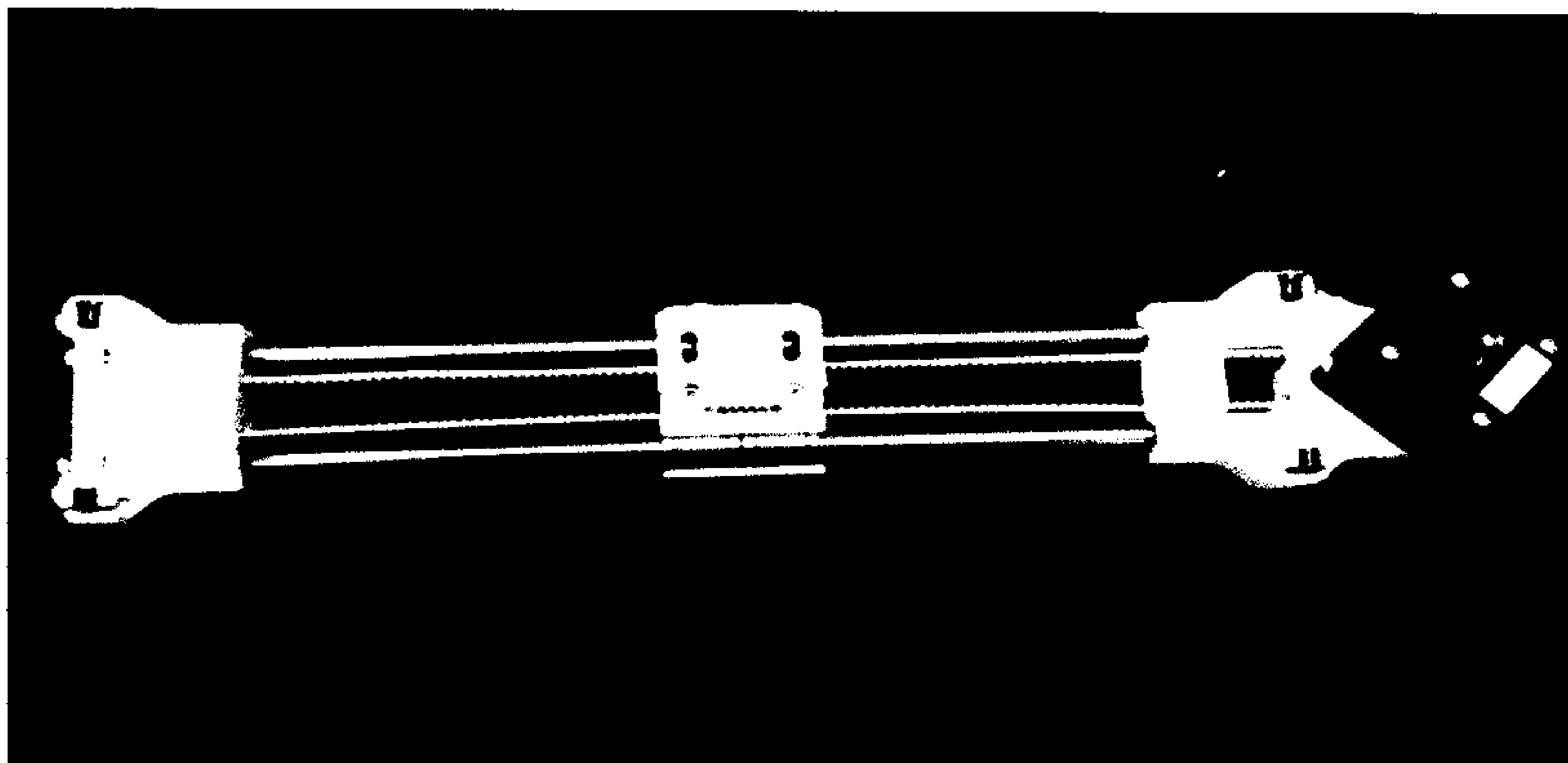
3.3. Συναρμολόγηση του άξονα X

Στο τέλος αυτού του σταδίου η μηχανή θα πρέπει να έχει την παρακάτω μορφή.

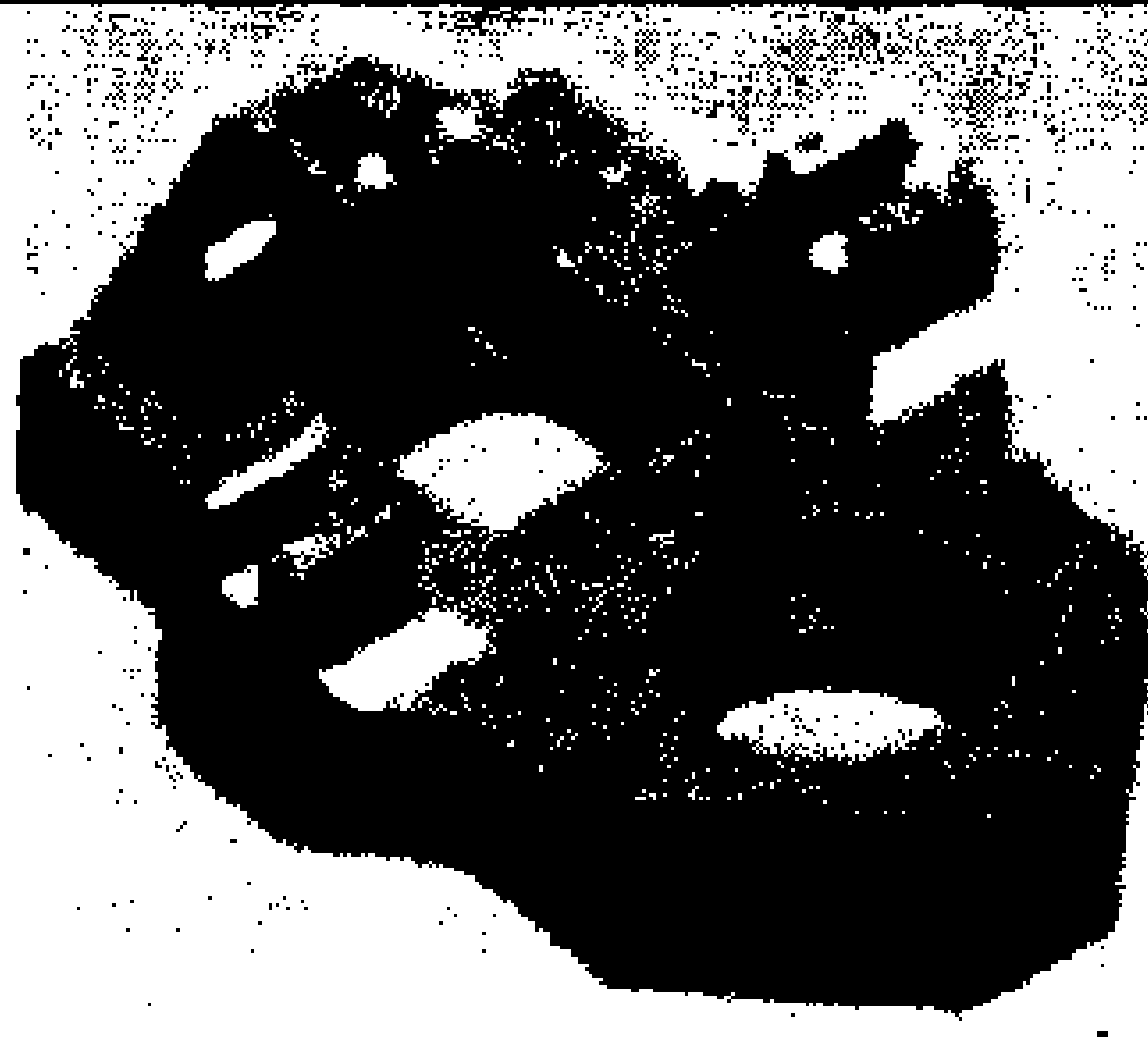
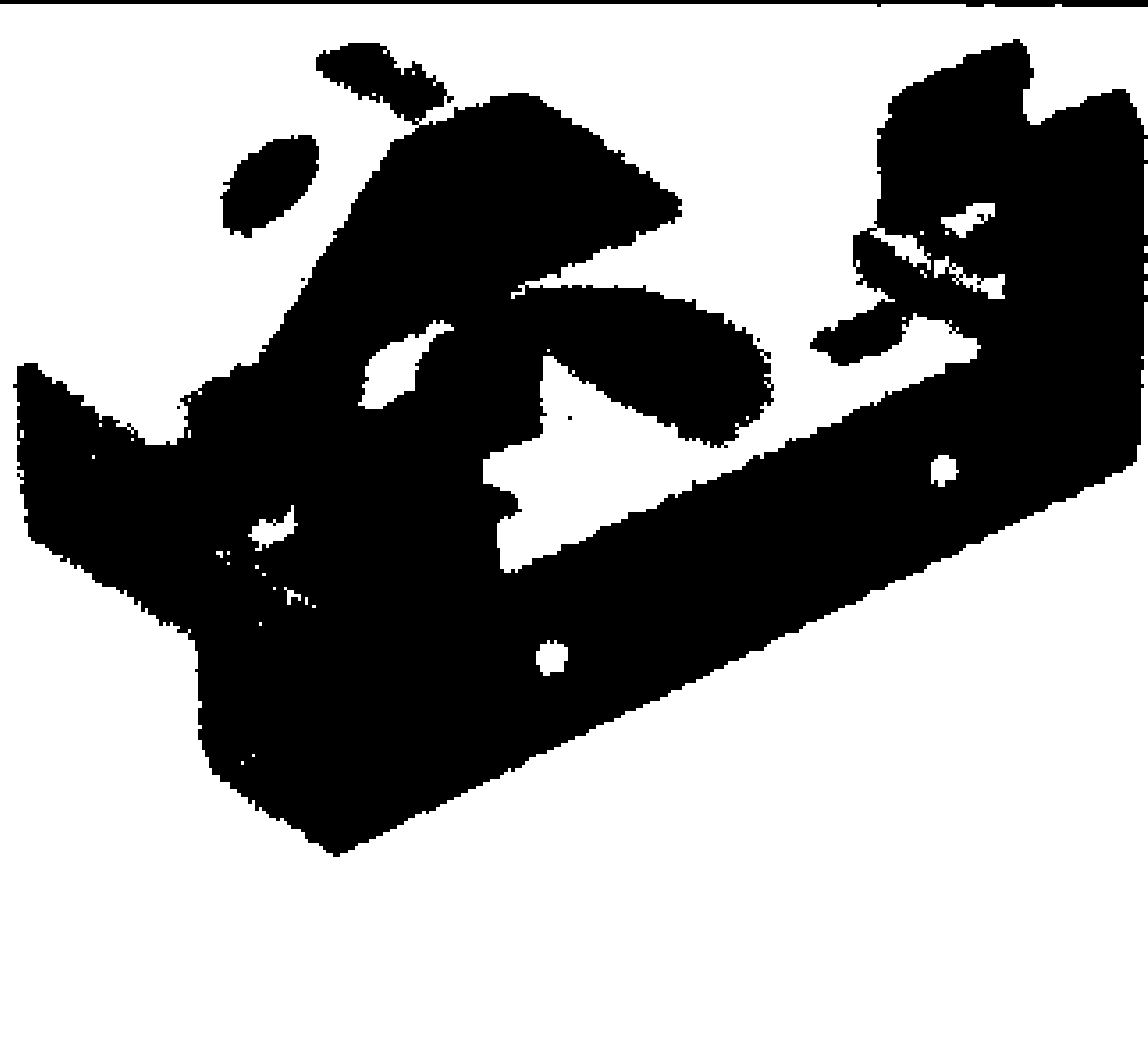
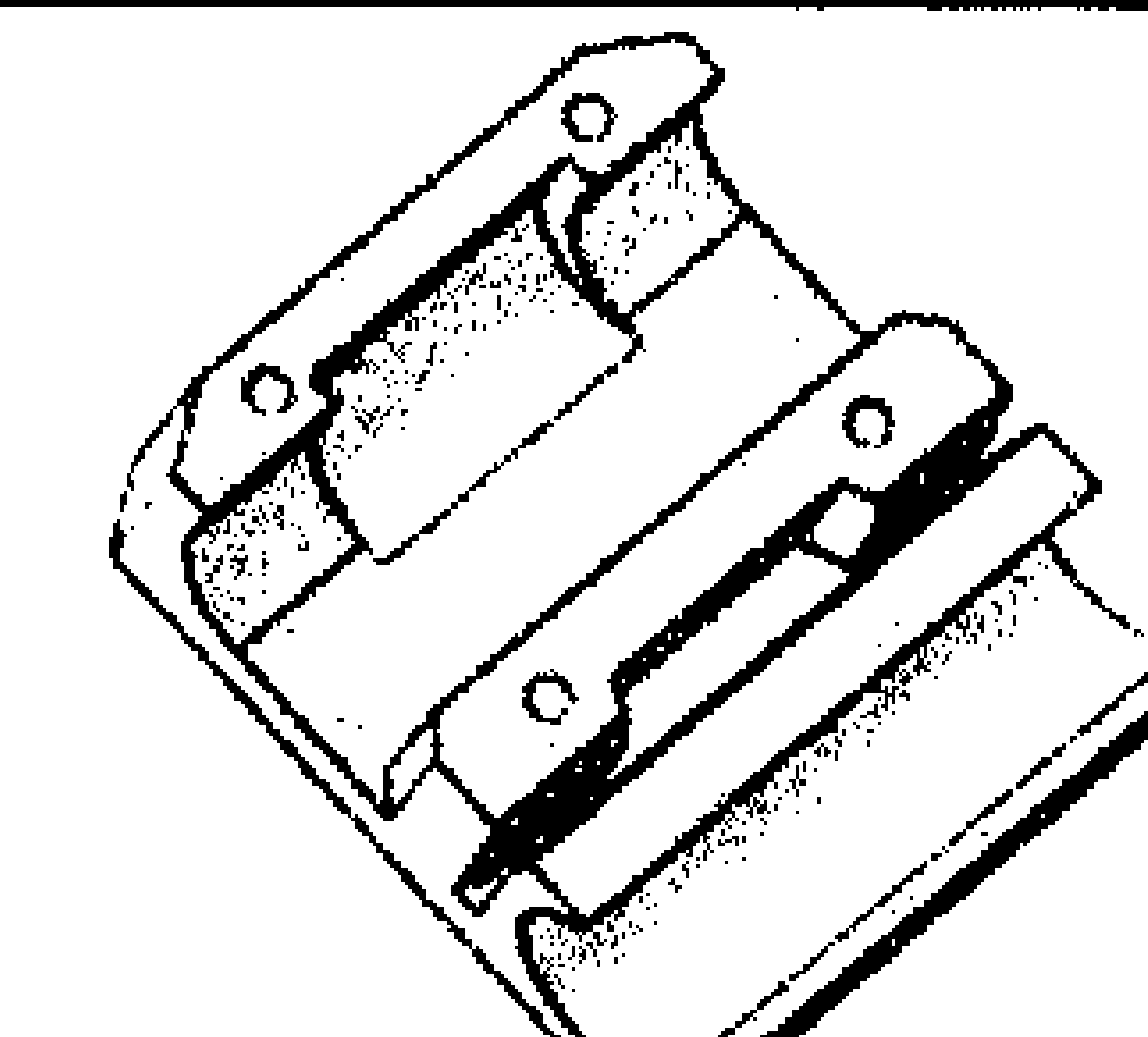


Εικόνα 37: Μορφή εκτυπωτή μετά το πέρας των εργασιών αυτού του κεφαλαίου.

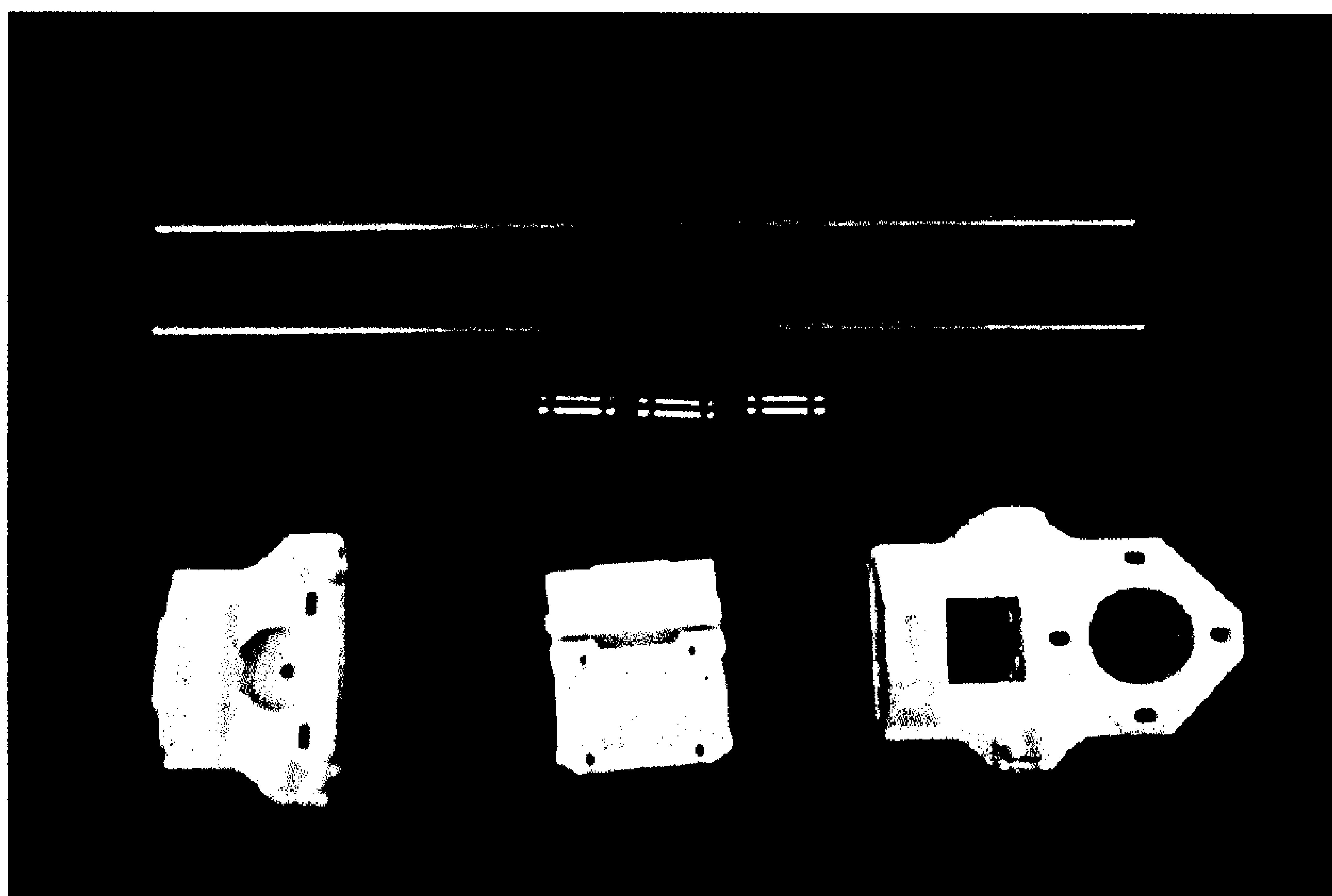
Το κομμάτι που θα συναρμολογήσουμε είναι το εξής:



Εικόνα 38: Συναρμολογημένος μηχανισμός του άξονα X.

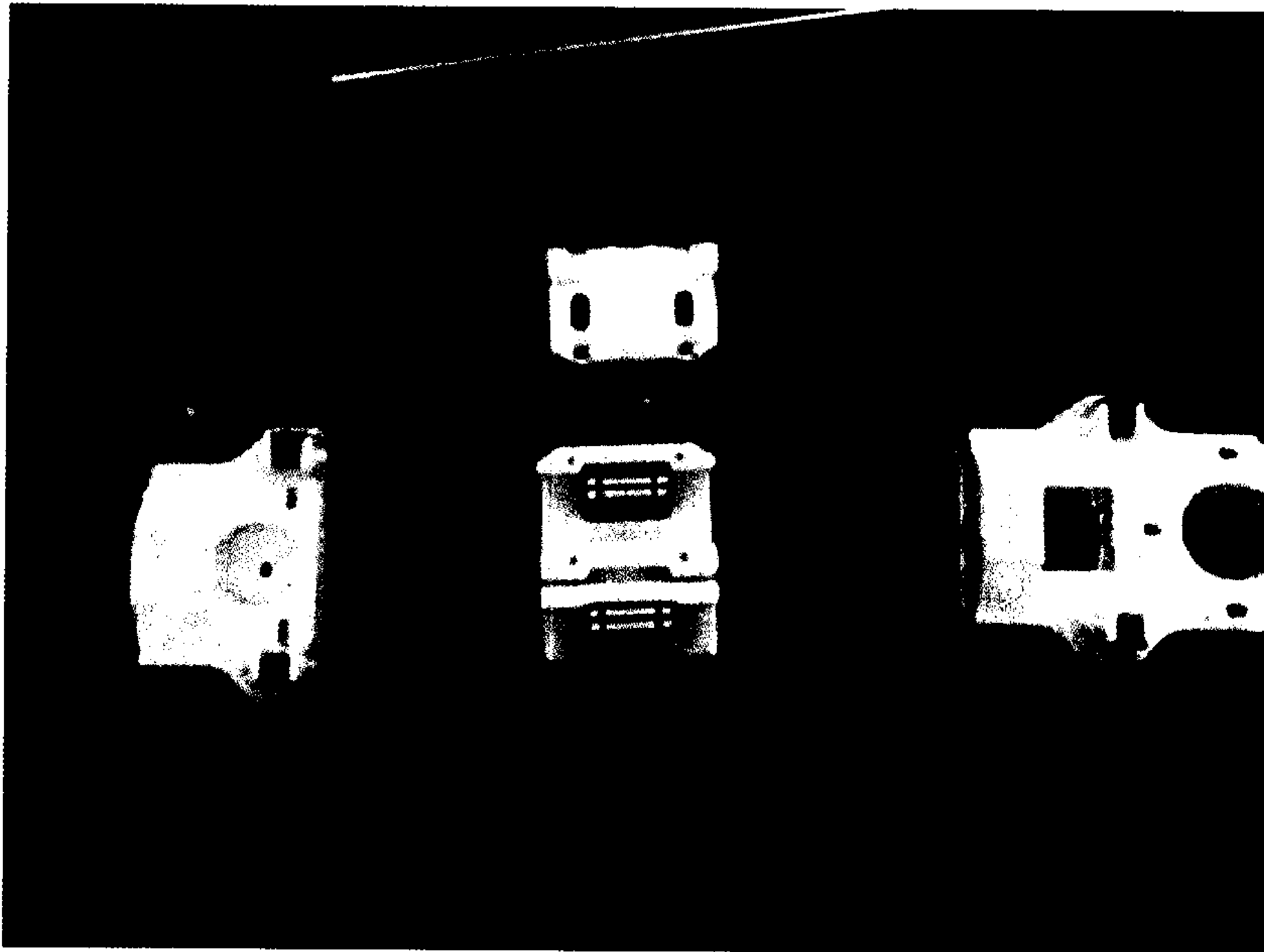
Εξαρτήματα			
Τεμάχια	1	1	1

- 2 Μεταλικές Ράβδους 265mm
- 3 Ρουλεμάν 626
- 4 Κουζινέτα ολίσθησης



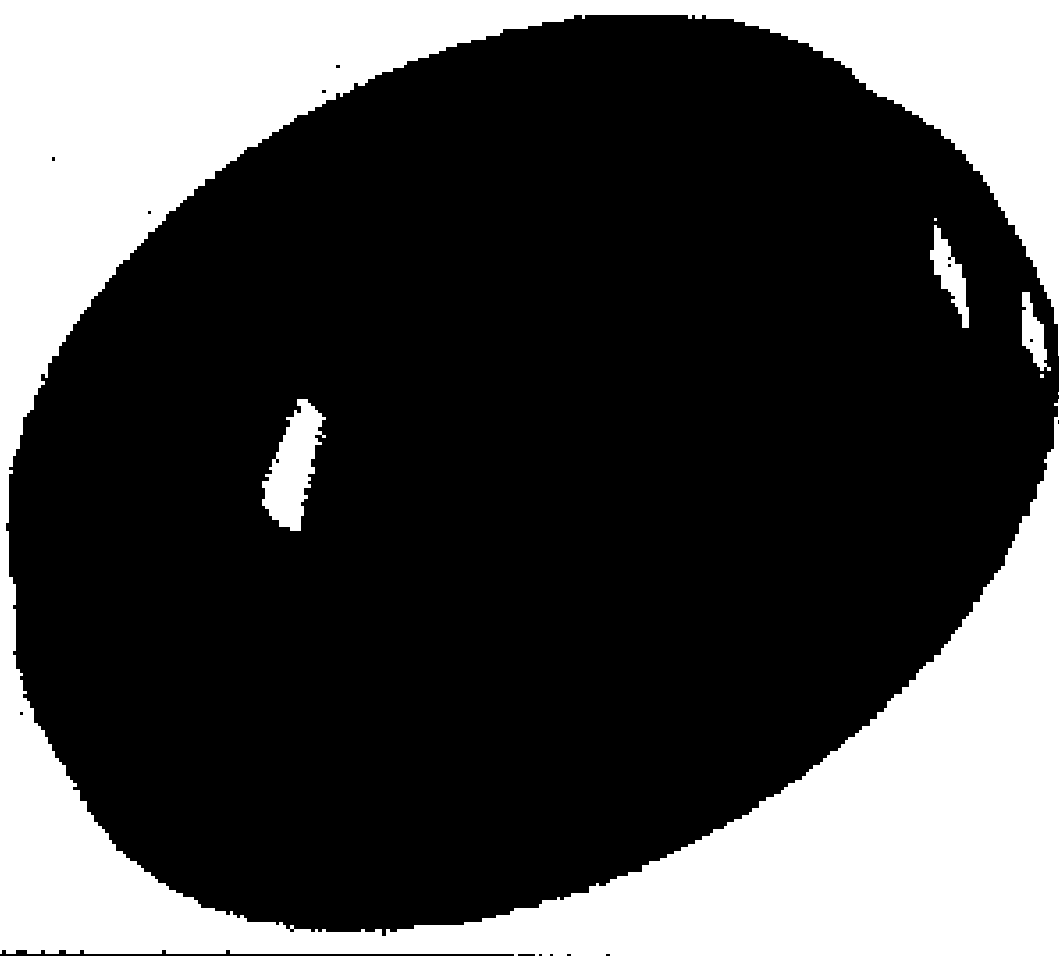
Εικόνα 39: Εξαρτήματα για την κατασκευή του μηχανισμού.

Αρχικά τοποθετούμε τα κουζινέτα. Τα κουζινέτα χρησιμοποιούνται για την ομαλή ολίσθηση του μηχανισμού του άξονα X πάνω στους οδηγούς του άξονα Z. Αν υπάρξει δυσκολία με την τοποθέτηση τους, θα πρέπει να τροχίσουμε λίγο τις υποδοχές των κουζινέτων ούτως ώστε να τους δώσουμε τον απαραίτητο χώρο για να λειτουργήσουν σωστά. Για να δούμε αν τα κουζινέτα έχουν τον βαθμό ελευθερίας που χρειάζονται για να ολισθήσουν χωρίς πρόβλημα, τα δοκιμάζουμε περνώντας την μεταλλική ράβδο του άξονα Z μέσα από αυτά. Ομαλή ολίσθηση σημαίνει ότι τα κουζινέτα έχουν τοποθετηθεί σωστά. Αν δεν ολισθαίνουν ομαλά, επαναλαμβάνουμε την διαδικασία με το τρόχισμα έως ότου να έχουμε το επιθυμητό αποτέλεσμα. Στην συνέχεια τοποθετούμε και τα ρουλεμάν 626 όπως φαίνεται στην παρακάτω εικόνα.



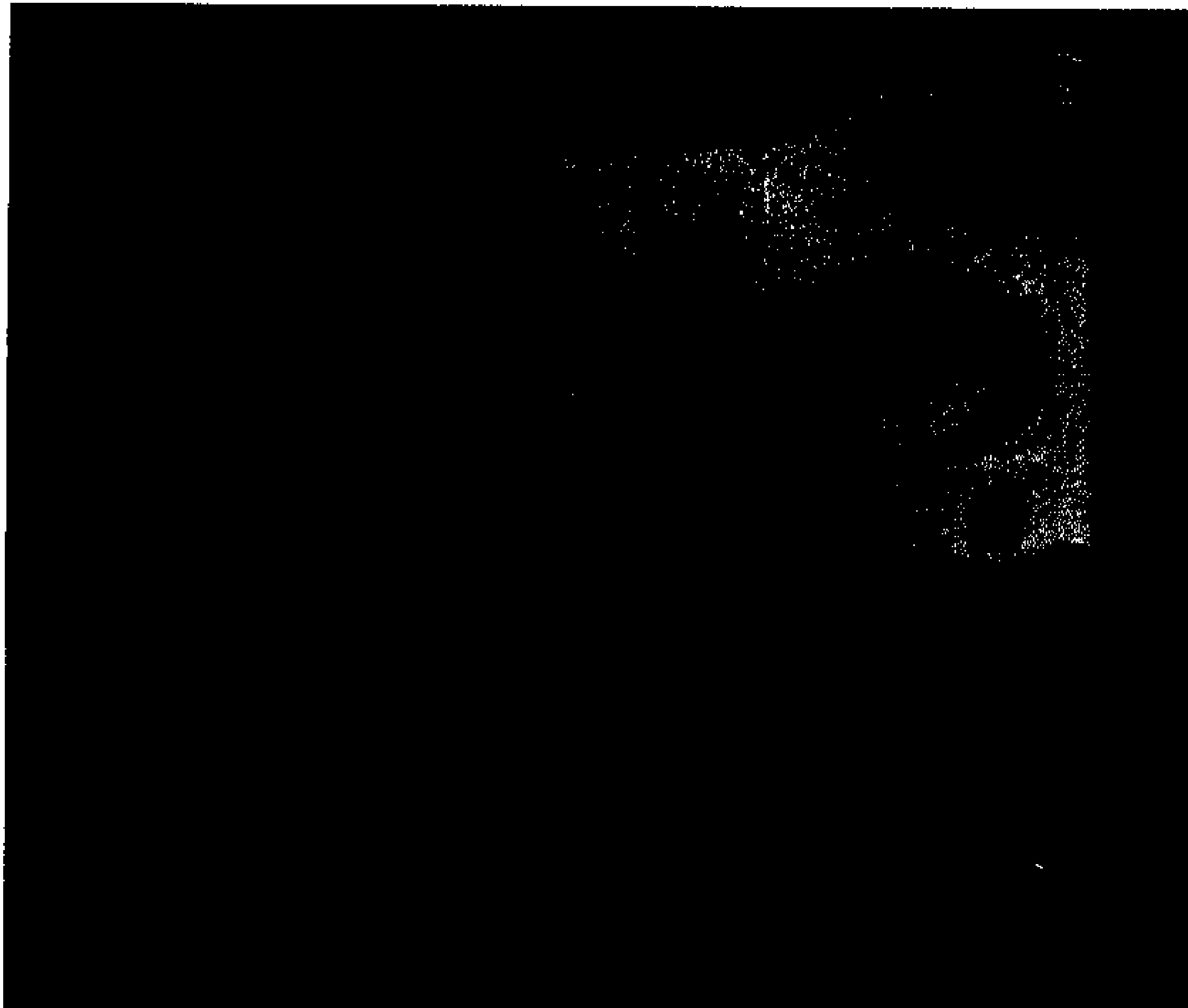
Εικόνα 40: Τοποθέτηση ρουλεμάν και κουζινέτων.

Αυτό που απομένει τώρα είναι η συναρμολόγηση των επιμέρους κομματιών. Χρησιμοποιούμε λοιπόν τις δύο μεταλλικές ράβδους και ενώνουμε τα κομμάτια μεταξύ τους όπως φαίνεται στην εικόνα 40.

Εξάρτημα	
Τεμάχια	1

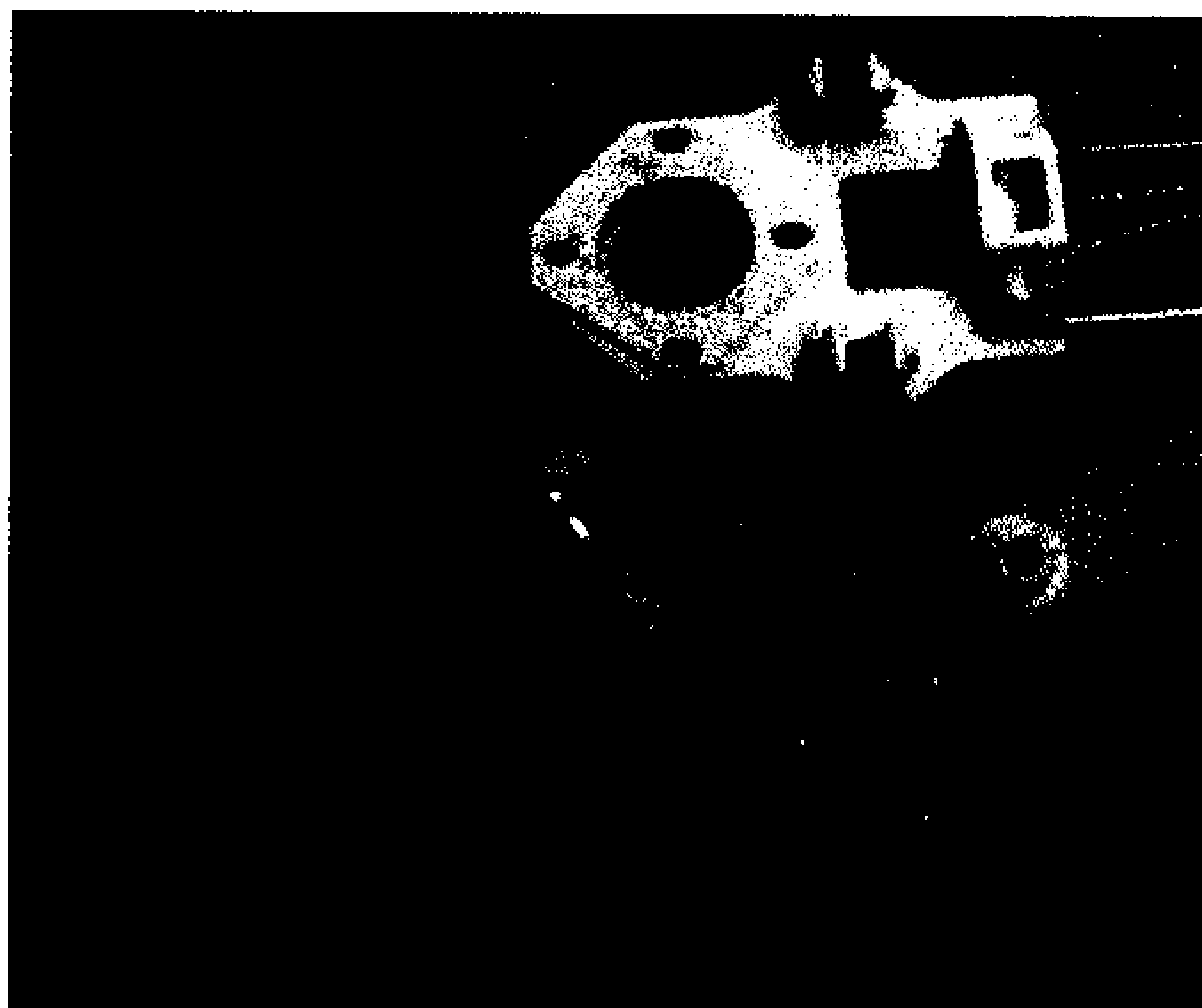
- Βηματικός Κινητήρας NEMA 14
- 7 Βίδες M3 x 16mm
- Γρανάζι με 14 δόντια
- Ρουλεμάν 626
- Σκουλικόβιδα M3 x 10mm
- 3 Παξιμάδια M3
- Ιμάντας T2.5

Αρχικά τοποθετούμε τον ιμάντα όπως φαίνεται στην παρακάτω εικόνα αφού πρώτα έχουμε βάλει το ένα άκρο του ιμάντα στην θέση αγγιστρωσής του.



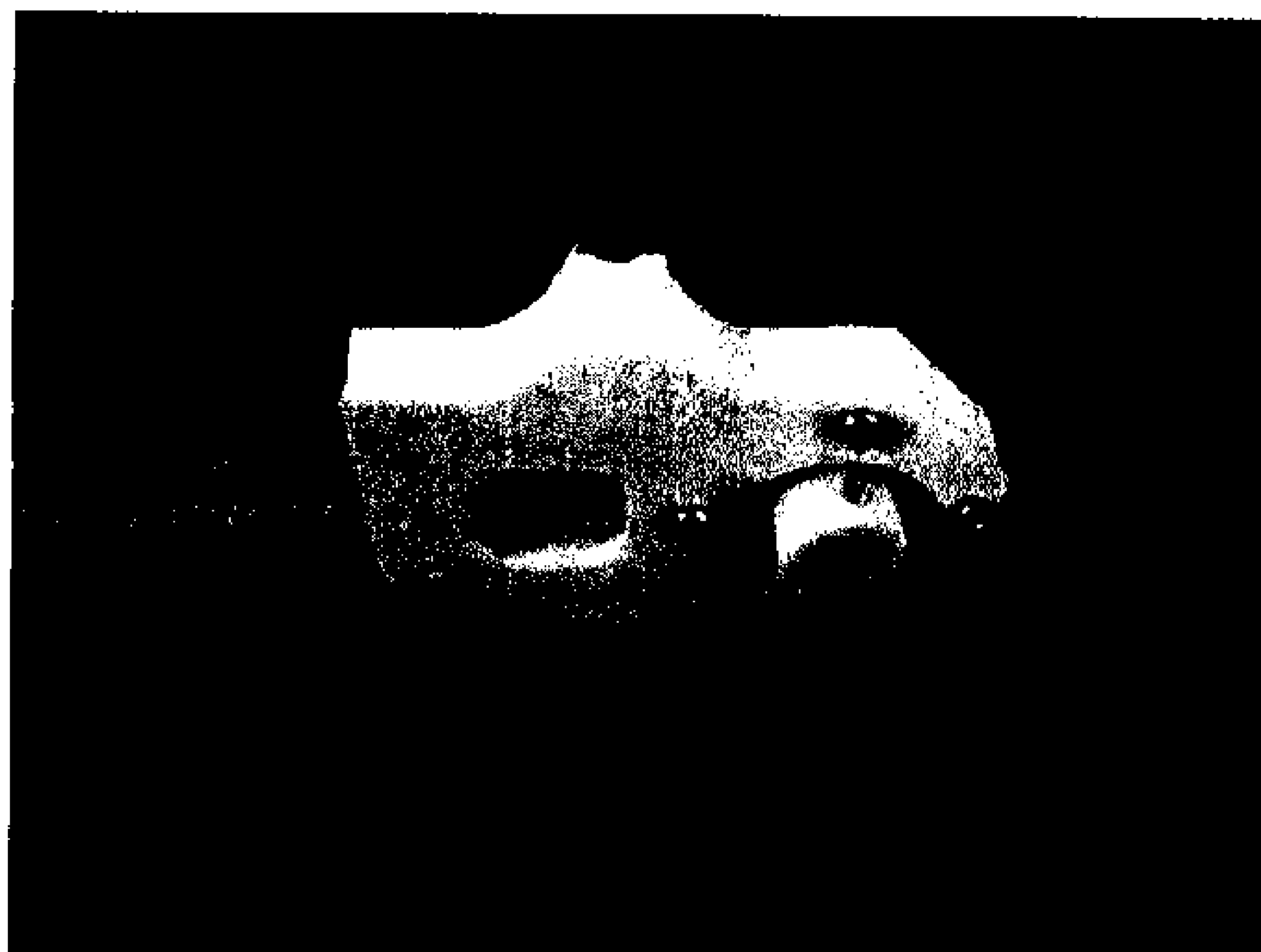
Εικόνα 41: τοποθέτηση του ιμάντα.

Κάνουμε ακριβώς το ίδιο πράγμα και από την άλλη μεριά του μηχανισμού του άξονα X.



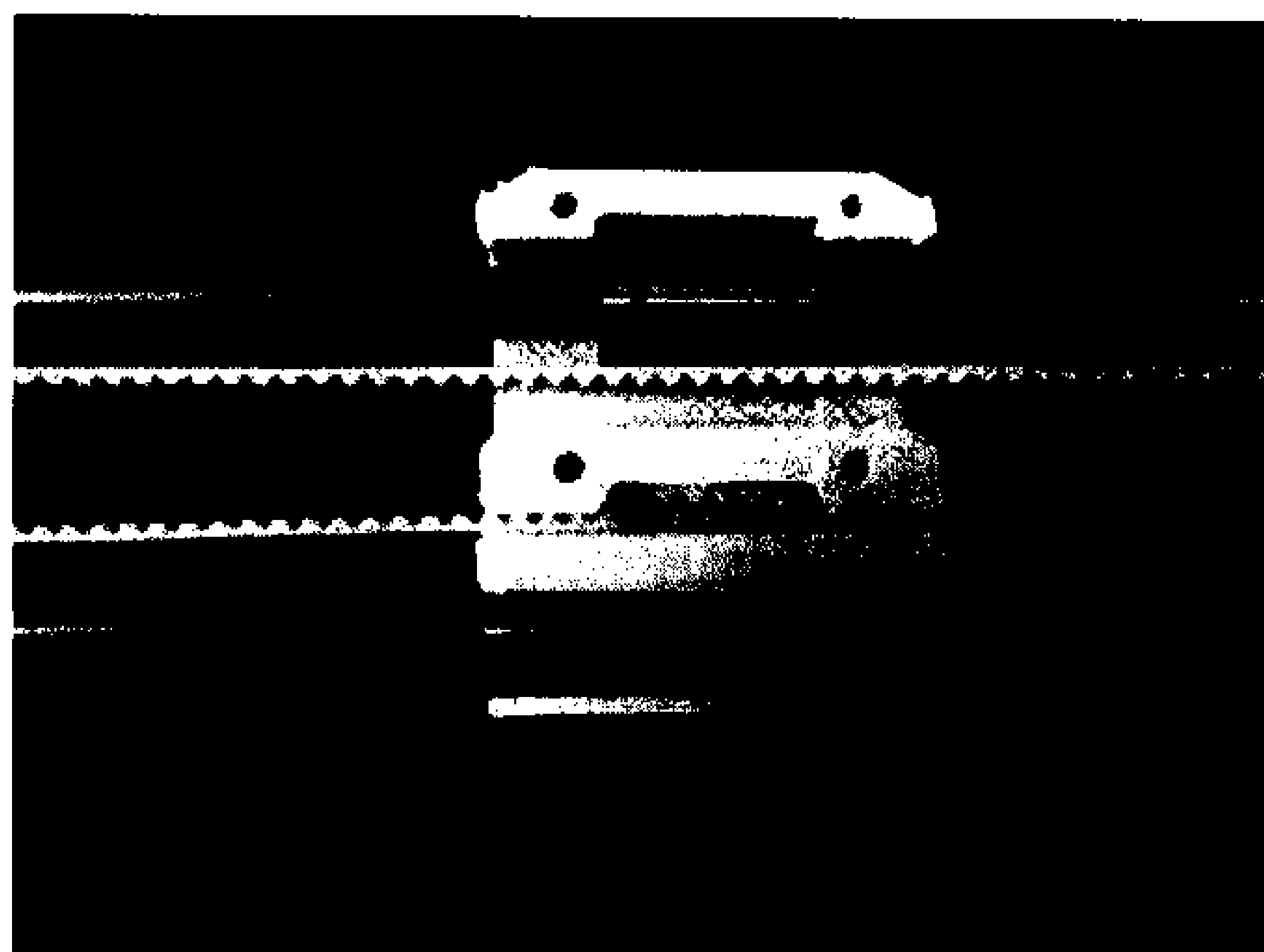
Εικόνα 42: Τοποθέτηση του βηματικού κινητήρα.

Τοποθετούμε τον βηματικό κινητήρα στην θέση του, μετά βάζουμε το γρανάζι στον άξονα του κινητήρα και το σφίξουμε με την σκουλικόβιδα.



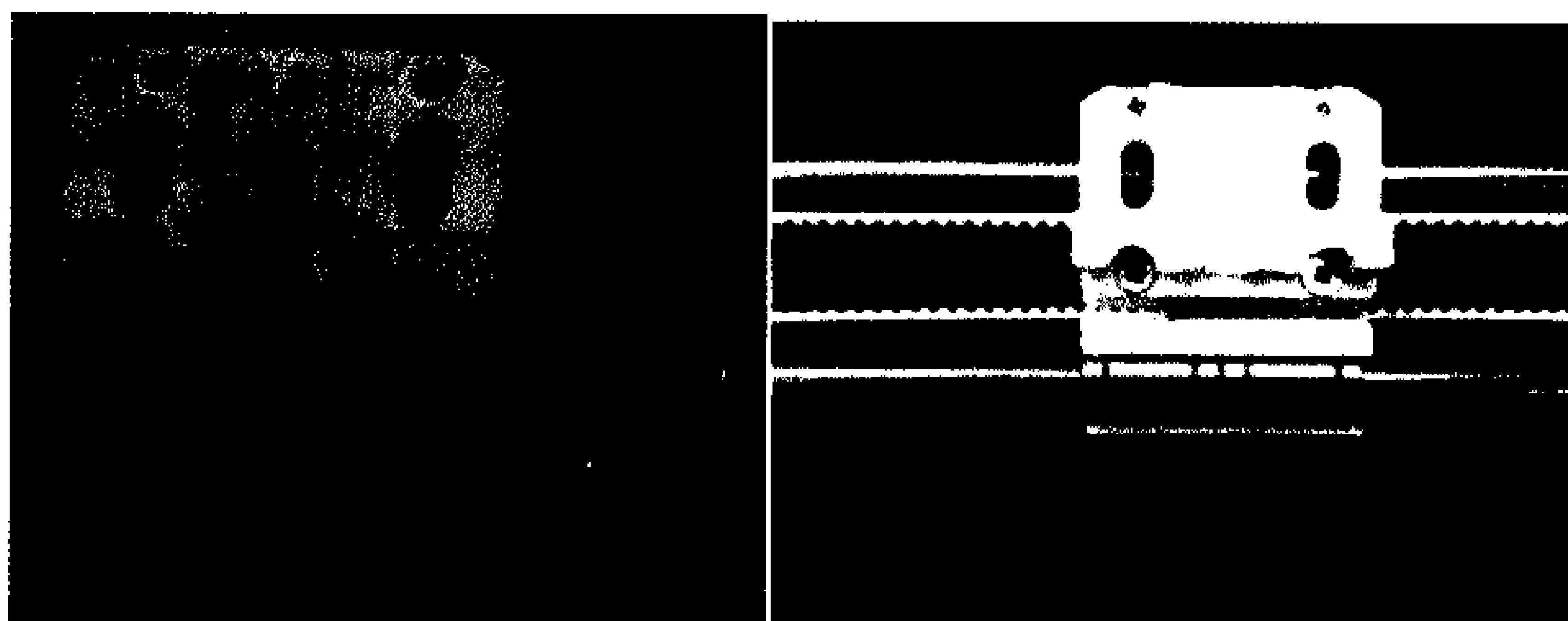
Εικόνα 43: Τοποθέτηση γραναζιού.

Επόμενο βήμα είναι να τανύσουμε τον ιμάντα σωστά. Για να γίνει αυτό πρέπει να τεντώσουμε τον ιμάντα ελαφρώς και να τοποθετήσουμε το ελεύθερο άκρο του στην θέση αγκίστρωσης του όπως φαίνεται στην παρακάτω εικόνα.



Εικόνα 44: Θέσεις αγκίστρωσης του ιμάντα.

Τέλος τοποθετούμε την βάση στήριξης της θερμαινόμενης κεφαλής πάνω από το πλαστικό εξάρτημα που έχουν τοποθετηθεί τα ρουλεμάν ολίσθησης.



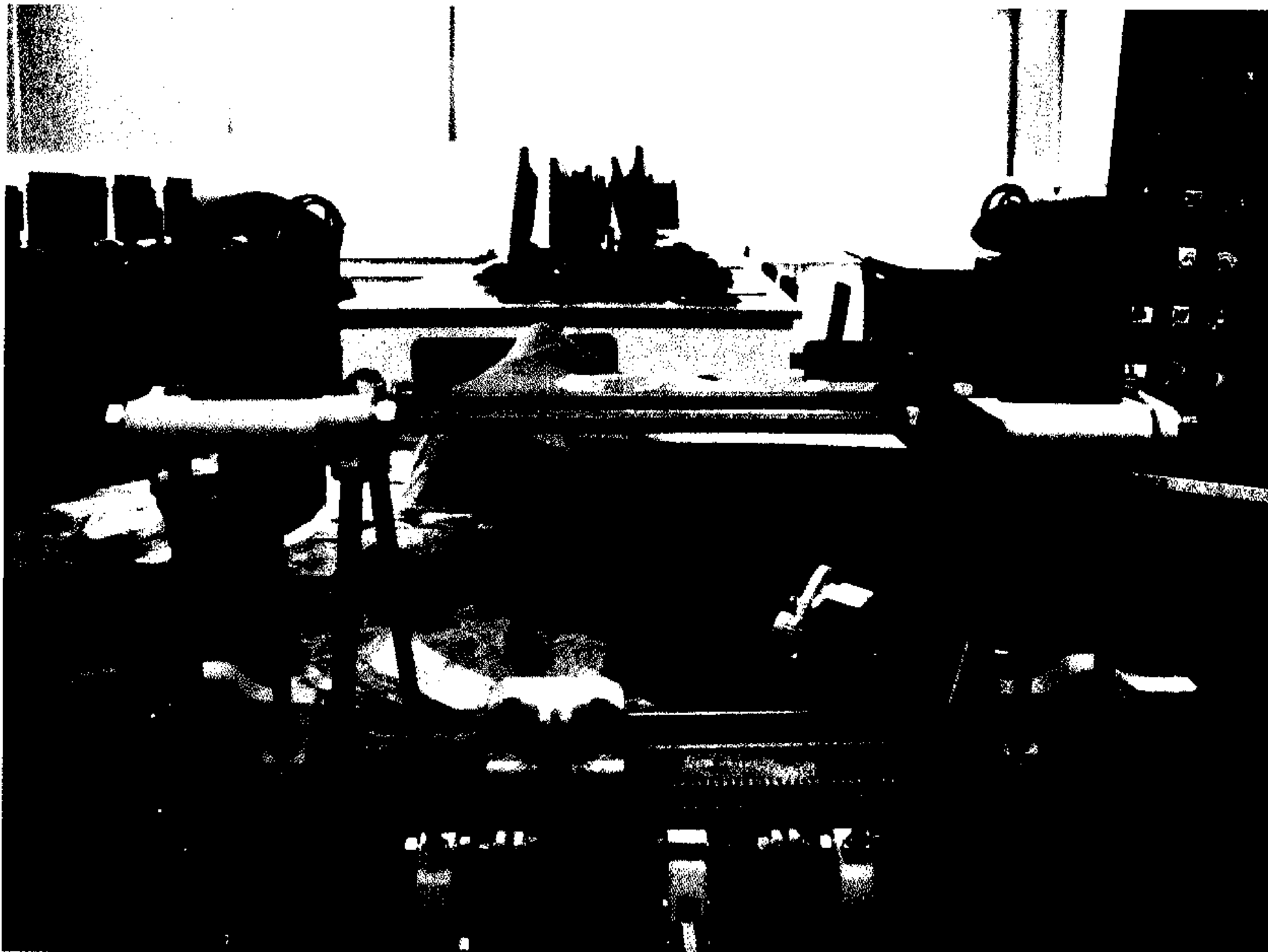
Εικόνα 45: Συναρμολόγηση της βάσης στήριξης της θερμαινόμενης κεφαλής.

Έχοντας συναρμολογήσει τον μηχανισμό για την κίνηση του άξονα X, πρέπει τώρα να τον τοποθετήσουμε στην σωστή θέση του πάνω στον σκελετό του εκτυπωτή. Η τοποθέτηση του μπορεί να γίνει αφού πρώτα συναρμολογήσουμε τον μηχανισμό κίνησης του άξονα Z. Η συναρμολόγηση του άξονα Z θα εξηγηθεί στο κεφάλαιο που ακολουθεί οπότε και θα δωθούν οι απαραίτητες οδηγίες για την σωστή τοποθέτηση του άξονα X.

3.4. Άξονας Z

3.4.1. Συναρμολόγηση του άξονα Z.

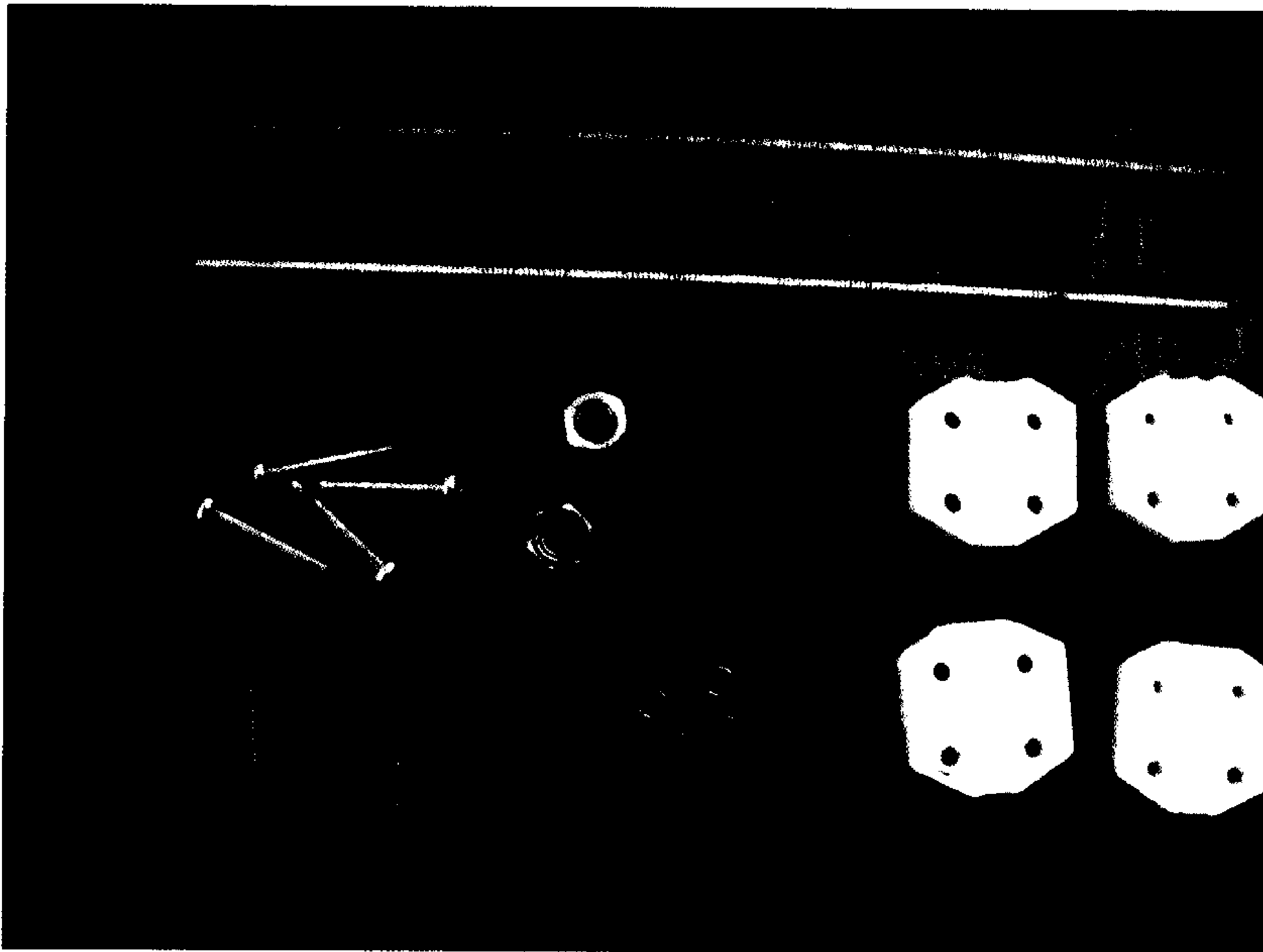
Στο τέλος αυτού του σταδίου η μηχανή θα πρέπει να έχει την παρακάτω μορφή.



Εικόνα 46: Μορφή εκτυπωτή μετά το πέρας των εργασιών αυτού του κεφαλαίου.

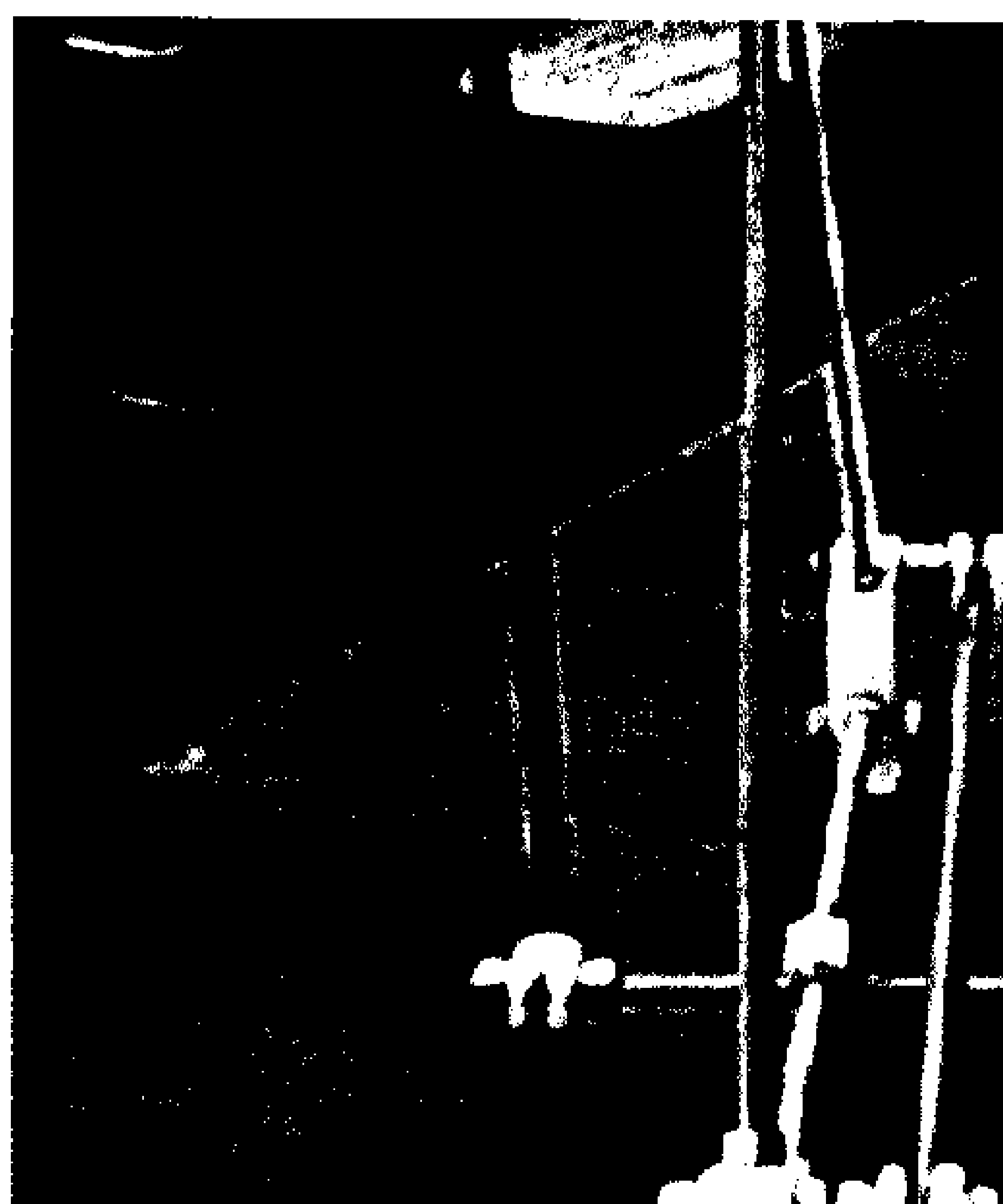
Εξαρτήματα	
Τεμάχια	2

- 2 Κομμάτια διάθανου πλαστικού σωλήνα μήκους 30 mm
- 8 Βίδες M3
- 8 Ροδέλες M3
- 8 Παξιμάδια M3
- 2 Ντίζες M3 x 165mm
- 2 Ελατήρια 10 mm (με εσωτερική διάμετρο μεγαλύτερη των 5 mm)
- 2 Παξιμάδια M5



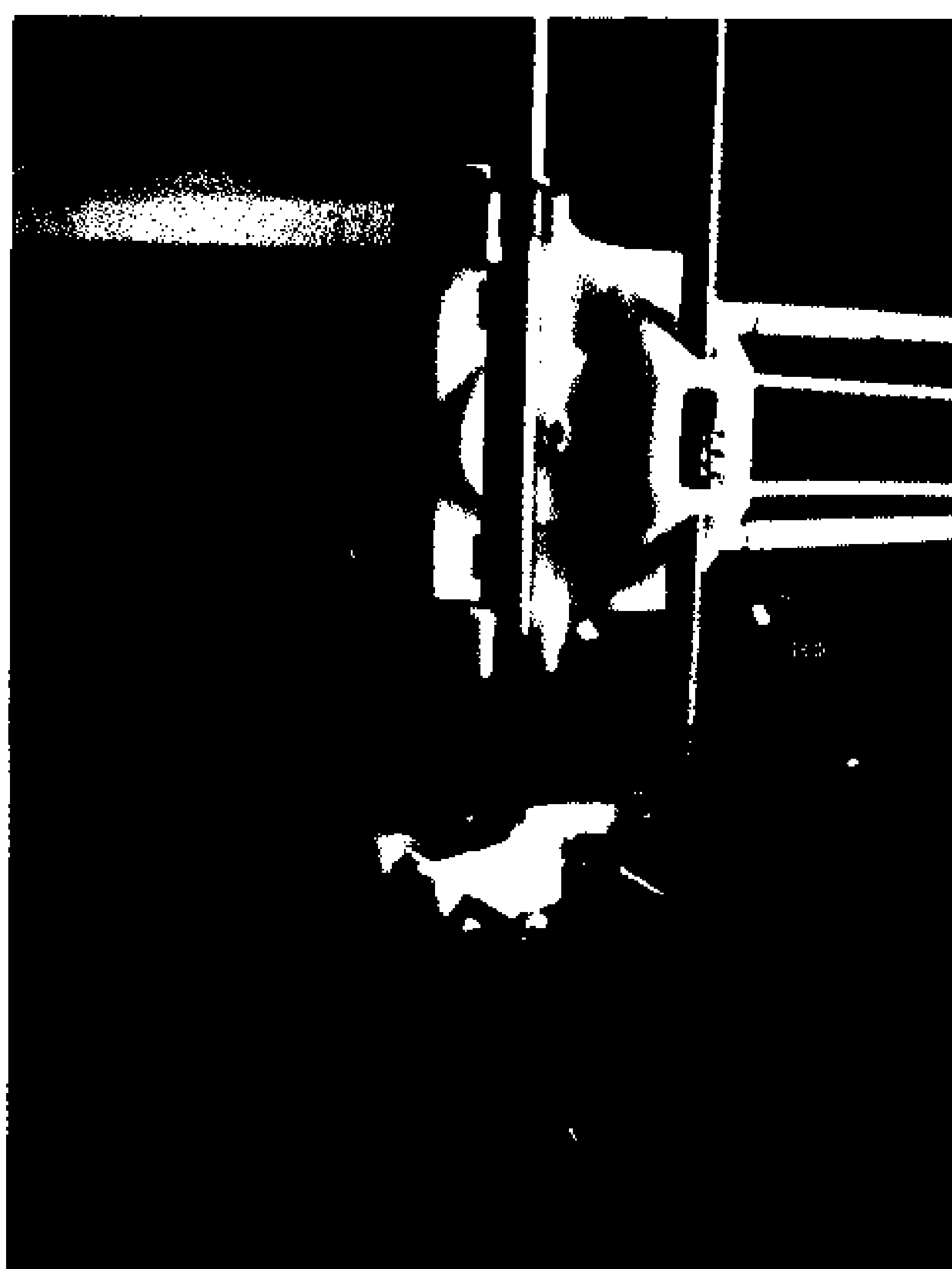
Εικόνα 47: Εξαρτήματα για την συναρμολόγηση του μηχανισμού για τον άξονα Z.

Αρχικά ξεσφίγγουμε τα παξιμάδια που συγκρατούν τις μεταλλικές ράβδους του άξονα Z (Προσοχή: Ξεσφίγγουμε μόνο τα εξωτερικά παξιμάδια. Τα εσωτερικά θα μας χρειαστούν σαν σημείο αναφοράς για να ξανάτοποθετήσουμε τις ράβδους στην σωστή τους θέση).



Εικόνα 48: Μεταλλική ράβδος για την ολίσθηση του μηχανισμού του άξονα X.

Στη συνέχεια ξεσφίγγουμε τα παξιμάδια που συγκρατούν τις ράβδους στο πάνω μέρος του σκελετού και τις μετακινούμε προς τα πάνω περίπου 150mm. Δημιουργούμε έτσι τον απαραίτητο χώρο για να μπορέσουμε να τοποθετήσουμε τον μηχανισμό του άξονα X στην θέση του. Για να γίνει αυτό πρέπει να περάσουμε τα κουζινέτα του άξονα X μέσα από τις δύο μεταλλικές ράβδους του άξονα Z. Αφού γίνει αυτό πρέπει να ελέγξουμε την κίνηση του μηχανισμού του άξονα X. Ο μηχανισμός πρέπει να ολισθαίνει ομαλά πάνω στις δύο μεταλλικές ράβδους. Αν δεν συμβαίνει αυτό, πρέπει να ρυθμίσουμε την απόσταση των δύο μεταλλικών ραβδών με την βοήθεια των παξιμαδιών στην βάση του σκελετού ούτως ώστε να πετύχουμε το επιθυμητό αποτέλεσμα.



Εικόνα 49: Μηχανισμός ρύθμισης της αποστάσεως των μεταλλικών ράβδων ολίσθησης.

3.4.2. Τοποθέτηση του άξονα Z

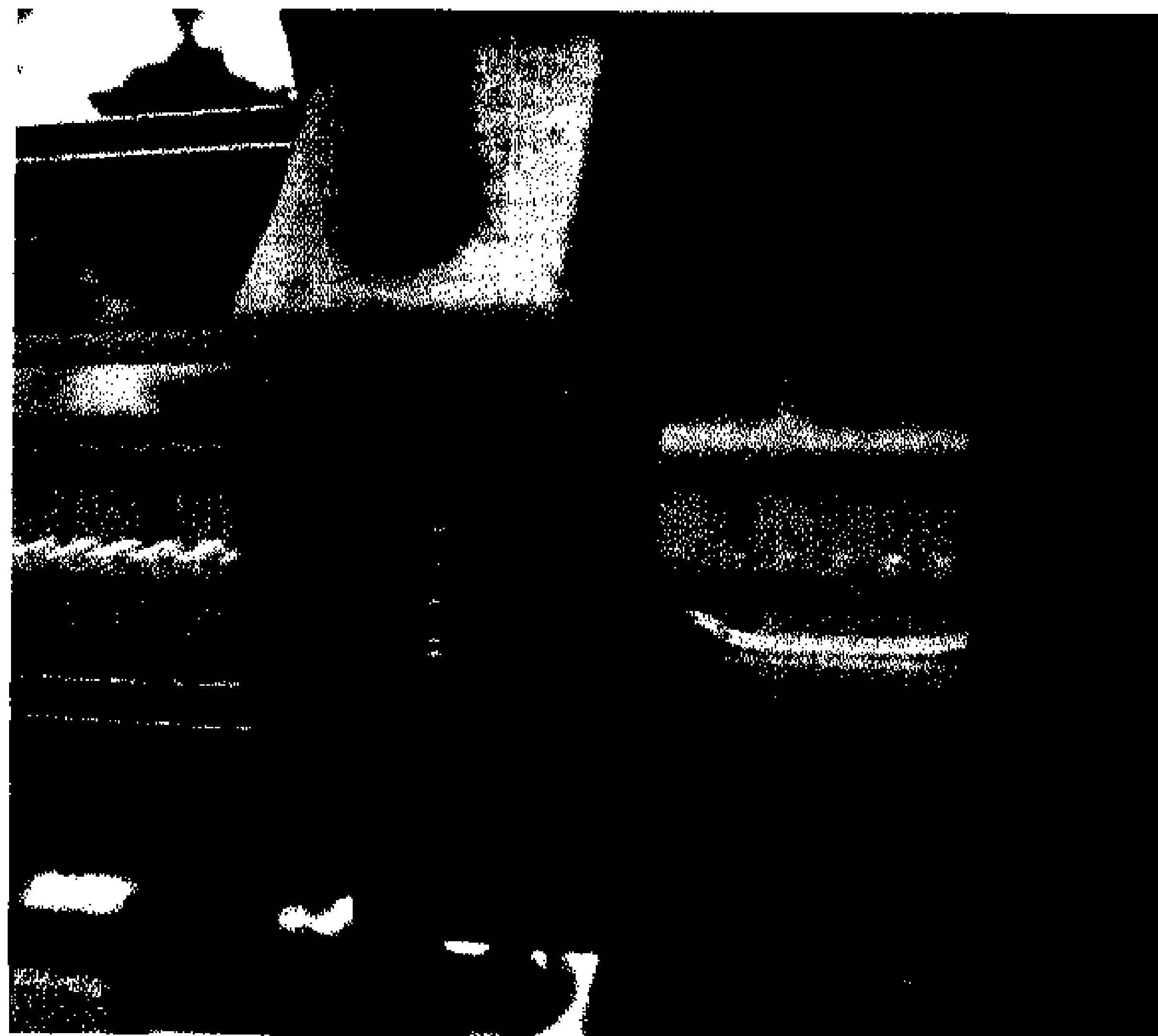
Αρχικά κόβουμε ένα κομμάτι από τον διαφανή σωλήνα περίπου 30 mm και τοποθετούμε μέσα στην μία άκρη του τον άξονα του κινητήρα(ρεπίπου 10mm). Το άλλο άκρο του το τοποθετούμε μέσα στην ντίζα(10 mm). Στη συνέχεια για να σταθεροποιήσουμε τον πλαστικό σωλήνα, τοποθετούμε γύρω του τα δύο πλαστικά καπάκια και τα σφίγγουμε μεταξύ τους με τέσσερις βίδες M3.



Εικόνα 50: Τοποθέτηση πλαστικών καπακιών στήριξης

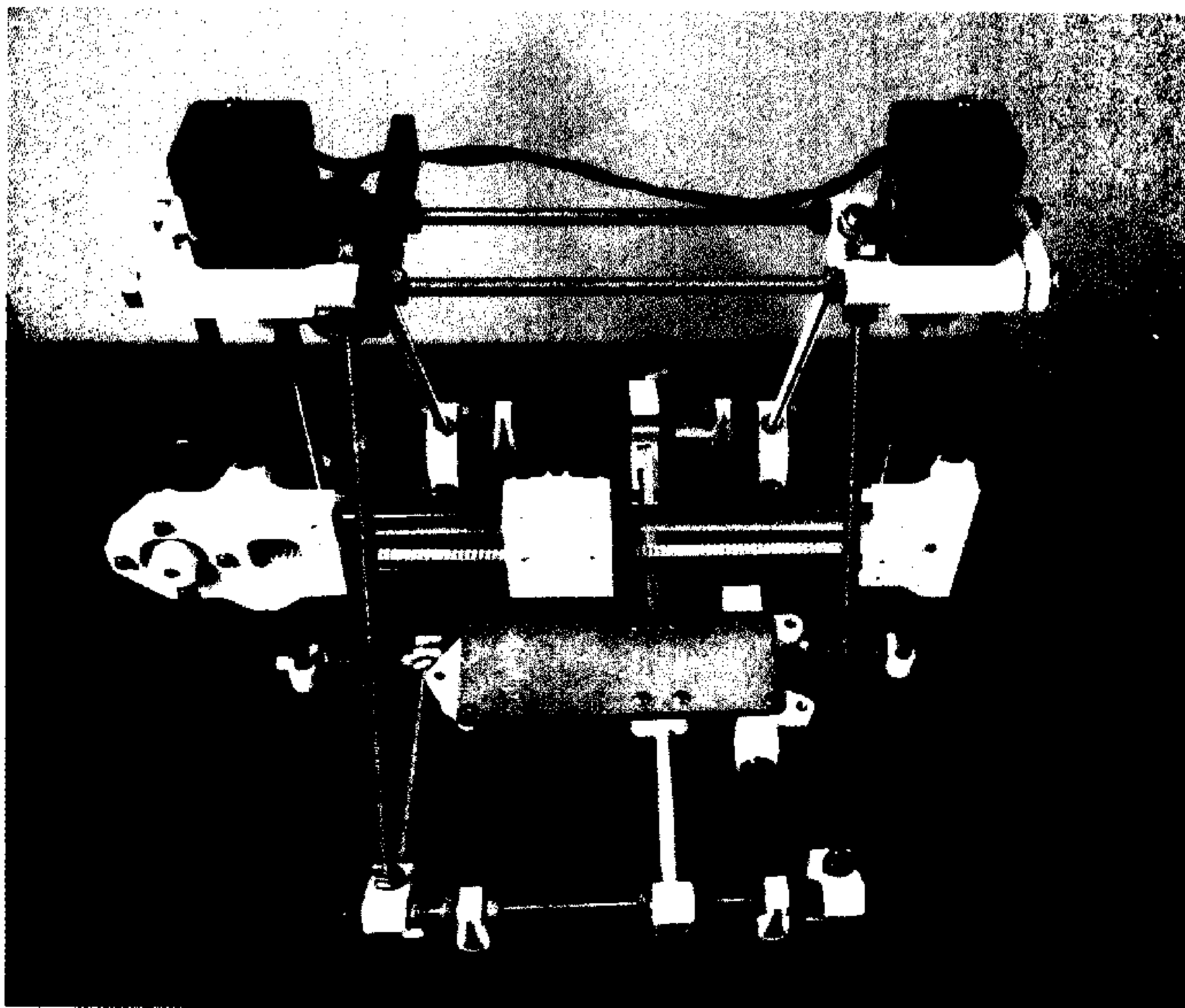
Η χρήση του πλαστικού σωλήνα γίνεται για να αυξήσουμε την τριβή μεταξύ άξονα κινητήρα-πλαστικού καπακιού και ντίζας-πλαστικού καπακιού. Χωρίς το σωληνάκι θα είχαμε κάποια στιγμή με την χρήση, την ολίσθηση κάποιου εκ των μεταλλικών στοιχείων με το πλαστικό καπάκι. Αυτό θα είχε σαν αποτέλεσμα την μη σωστή κίνηση του άξονα Z.

Παράλληλα με την παραπάνω εργασία θα πρέπει να έχουμε τοποθετήσει τα παξιμάδια M5 καθώς και τα ελατήρια στην οπή που βρίσκεται στον μηχανισμό του άξονα X. Αφού έχουν γίνει όλα τα παραπάνω βιδώνουμε την ντίζα μέσα στο παξιμάδι για περίπου 30mm.



Εικόνα 51: Τοποθέτηση παξιμαδιού και ελατηρίου.

Η παραπάνω διαδικασία επαναλαμβάνεται και για τον άλλο κινητήρα καθώς και για την άλλη ντίζα. Το μόνο που απομένει τώρα είναι να ευθυγραμμίσουμε την κίνηση του άξονα Z. Αυτό επιτυγχάνεται με το βίδωμα ή ξεβίδωμα των δύο ντιζών, ανάλογα με το προς τα που θέλουμε να μετακινήσουμε τον άξονα Z. Για να σιγουρευτούμε ότι ο άξονας Z είναι σωστά ευθυγραμμισμένος, μετράμε με έναν χάρακα την απόσταση της κάτω ράβδου του μηχανισμού του άξονα X σε σχέση με το επίπεδο. Η απόσταση και στα δύο άκρα του μηχανισμού πρέπει να είναι η ίδια.

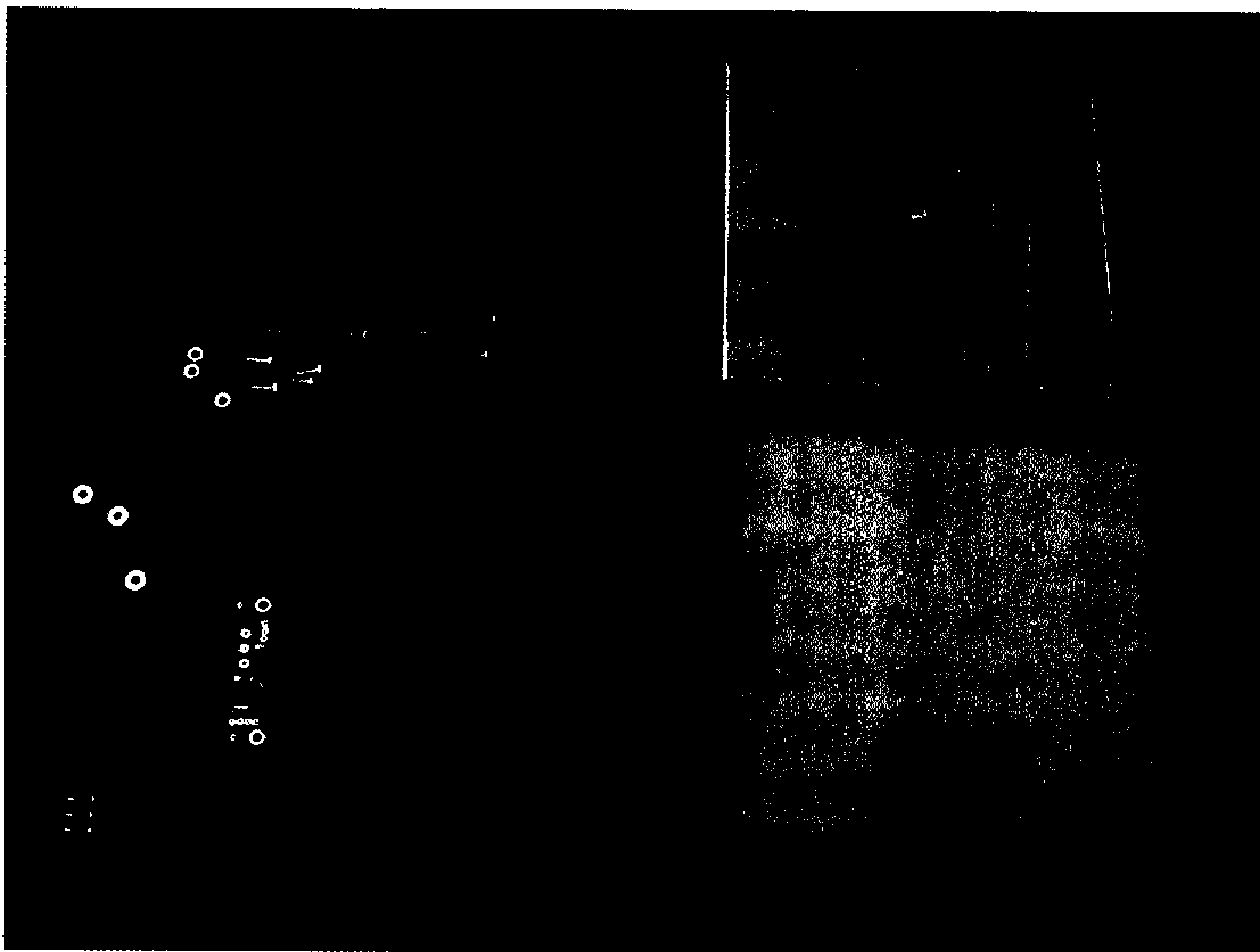


Εικόνα 52: Συναρμολογημένος άξονας Z.

3.5. Συναρμολογήση θερμαινόμενης πλάκας

Στο στάδιο αυτό θα χρειαστούμε τα παρακάτω:

- Θερμαινόμενη πλάκα PCB
- Πλάκα αλουμινίου
- Ξύλινη πλάκα μόνωσης (από Balsa)
- Τριπλή βιδωτή κλέμα
- Σύρμα περίπου 20 mm για jumper
- Πλαστική κλέμα με τέσσερις ακίδες
- 3 x Βίδες M3 x 25 mm
- 4 x Βίδες M3 x 8 mm
- 3 x Παξιμάδια ασφαλείας M3
- 3 x Παξιμάδια M3
- 3 x Ελατήρια $\varnothing$ 4 mm
- 6 x Ροδέλες M3

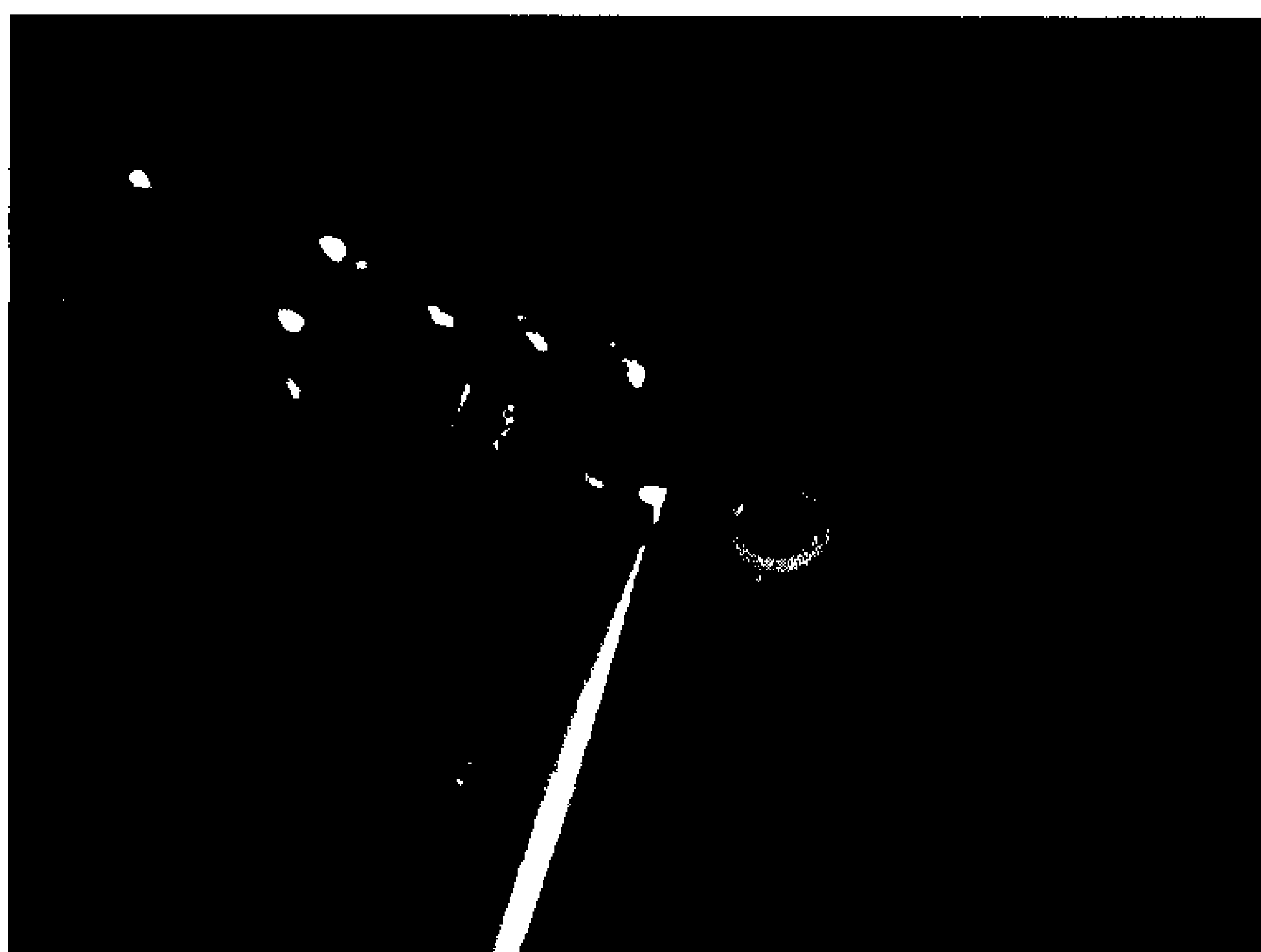


Εικόνα 53: Εξαρτήματα θερμαινόμενου τραπεζιού.

Αρχικά συγκολλούμε στην θέση που φαίνεται στην παρακάτω εικόνα τις δύο κλέμες. Στη συνέχεια με το σύρμα δημιουργούμε μία γέφυρα (jumper) και την συγκολλούμε κι αυτήν όπως φαίνεται στην εικόνα που ακολουθεί.



Εικόνα 54: Τοποθετημένες κλέμες.



Εικόνα 55: Γέφυρα (Jumper).

Επόμενο βήμα είναι η τοποθέτηση της θερμενόμενης πλάκας από PCB, της ξύλινης πλάκας από Balsa και της αλουμινένιας πλάκας με τον τρόπο που φαίνεται παρακάτω.

ΠΡΟΣΟΧΗ: Κατά την τοποθέτηση των τριών πλακών πρέπει να προσέξουμε πως θα τοποθετήσουμε την θερμαινόμενη πλάκα. Και αυτό γιατί πάνω στην πλάκα είναι συγκολλημένο το θερμίστορ καταγραφής της θερμοκρασίας της. Ακόμα πρέπει το θερμίστορ να είναι ηλεκτρικά μονωμένο με την αλουμινένια πλάκα. Αυτό επιτυγχάνεται με την χρήση ταινίας Kapton.



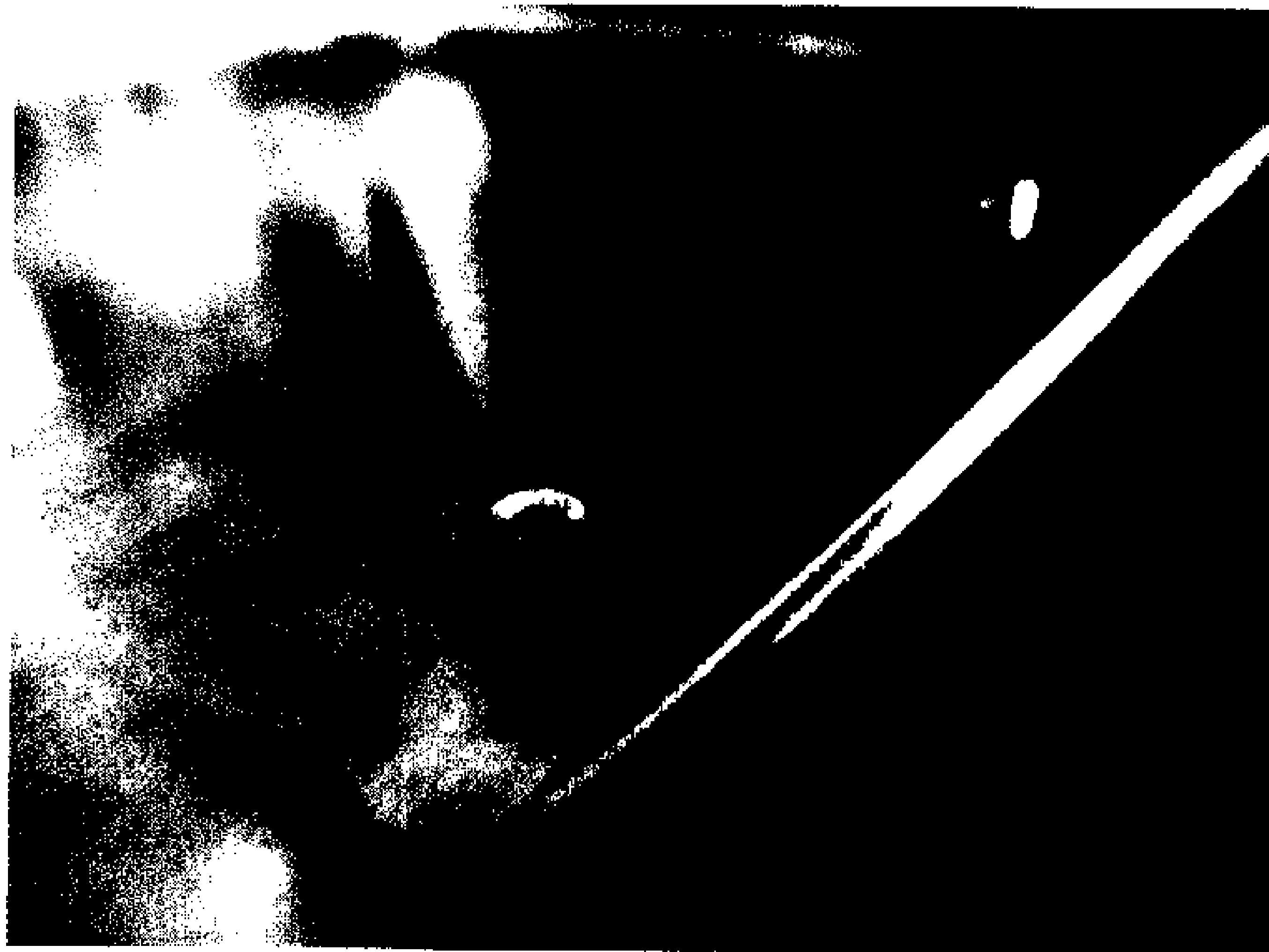
Εικόνα 56: Προσεκτική τοποθέτησης του θερμίστορ στην θέση του.

Για την καλύτερη προστασία του θερμίστορ, η αλουμινένια πλάκα έχει στο κέντρο της(στην θέση που τοποθετείται το θερμίστορ), μία οπή.



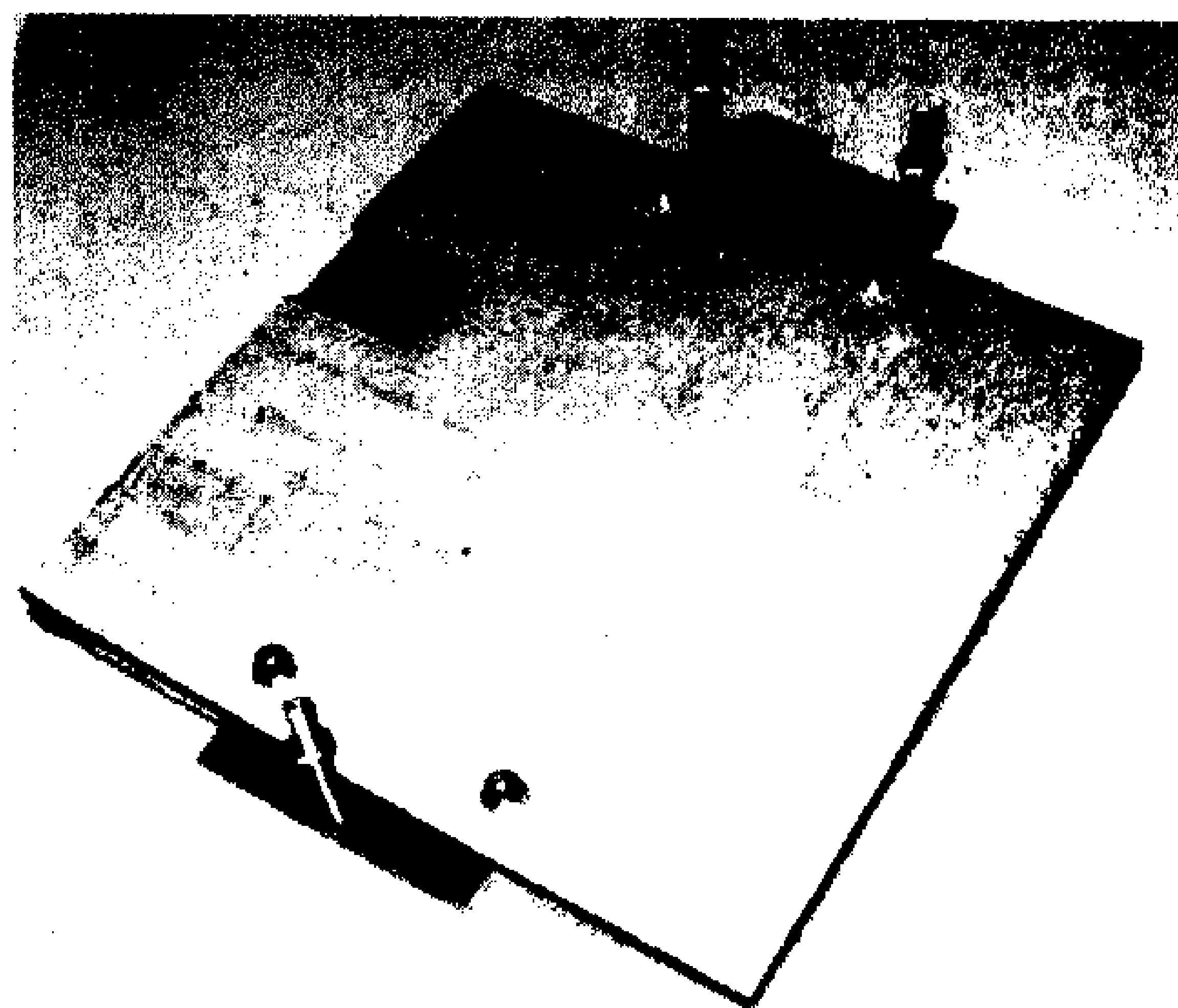
Εικόνα 57: Θέση τοποθέτησης του θερμίστορ.

Αφού έχουμε βάλει την μία πλάκα πάνω στην άλλη το μόνο που απομένει είναι να τις βιδώσουμε μεταξύ τους με τις βίδες M3 x 8mm. Το κεφάλι τις βίδας πρέπει να είναι από την μεριά της ξύλινης πλάκας. Δεν χρειάζεται πολύ δυνατό σφίξιμο. Δεν θέλουμε οι βίδες να περάσουν την αλουμινένια πλάκα από την μεριά όπου θα γίνεται η εκτύπωση.



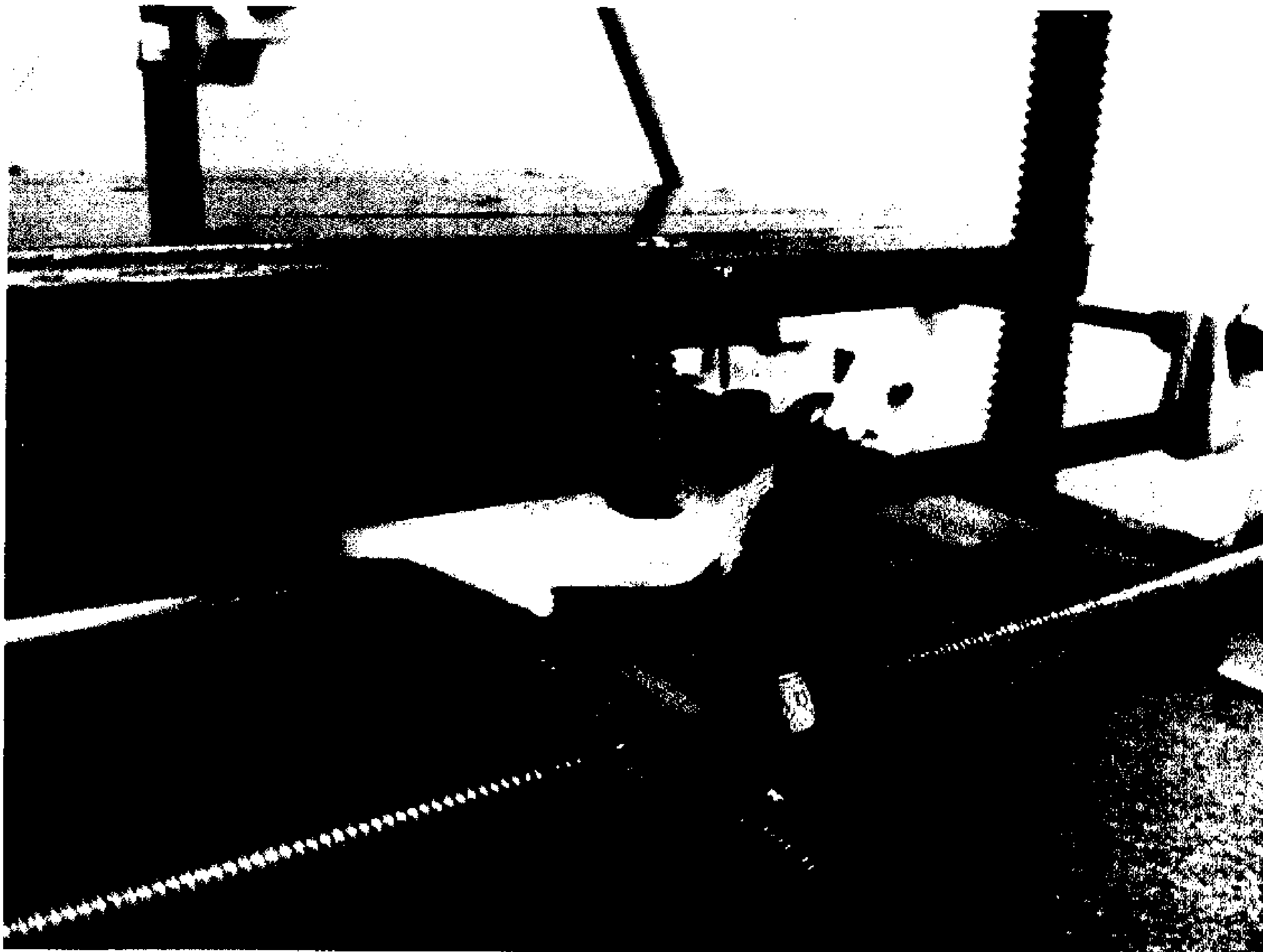
Εικόνα 58: Οπές με σπείρωμα πάνω στην αλουμινένια πλάκα.

Τέλος, Τοποθετούμε τις τρεις μακριές βίδες M3 x 25 mm στις οπές, όπως φαίνεται στην εικόνα που ακολουθεί.



Εικόνα 59: Τοποθέτηση των τριών βιδών.

Μετά τοποθετούμε τα ελατήρια, βάζουμε από μία ροδέλα και ένα παξιμάδι M3 σε κάθε βίδα και τοποθετούμε το θερμαινόμενο τραπέζι πάνω στο τραπέζι του άξονα Υ.



Εικόνα 60: Τοποθέτηση του τραπεζιού πάνω στην πλαστική βάση του.

Με τα παξιμάδια ασφαλείας στερεώνουμε τα δύο αυτά τραπέζια μεταξύ τους.

Τέλος θα χρειαστεί ευθυγράμμιση του τραπεζιού αλλά αυτό θα γίνει στο όταν ολοκληρωθεί η κατασκευή του εκτυπωτή. Το μόνο που χρειάζεται να ελέγξουμε προς το παρόν είναι η κίνηση του τραπεζιού να γίνεται ελεύθερα κατά τον άξονα Υ χωρίς να βρίσκει σε κάποιο τμήμα του εκτυπωτή. Τα παξιμάδια που συγκρατούν τα ελατήρια θα πρέπει να είναι με τέτοιο τρόπο σφιγμένα ούτως ώστε να μην πιέζουν πολύ τα ελατήρια (τα ελατήρια θα πρέπει να είναι ελάχιστα συμπιεσμένα). Θα πρέπει το τραπέζι να κατεβαίνει εύκολα όταν το σπρώχνουμε και να επανέρχεται εξίσου εύκολα στην αρχική του θέση (με την βοήθεια των τριών ελατηρίων).

3.6. Συναρμολογήση μηχανισμού εξώθησης υλικού εκτύπωσης (Extruder).

3.6.1. Συναρμολόγηση κυρίως μηχανισμού για την εξώθηση του υλικού

Στο τέλος αυτού του σταδίου η μηχανή θα πρέπει να έχει την παρακάτω μορφή.



Εικόνα 61: Ο μηχανισμός εξώθησης του υλικού εκτύπωσης.

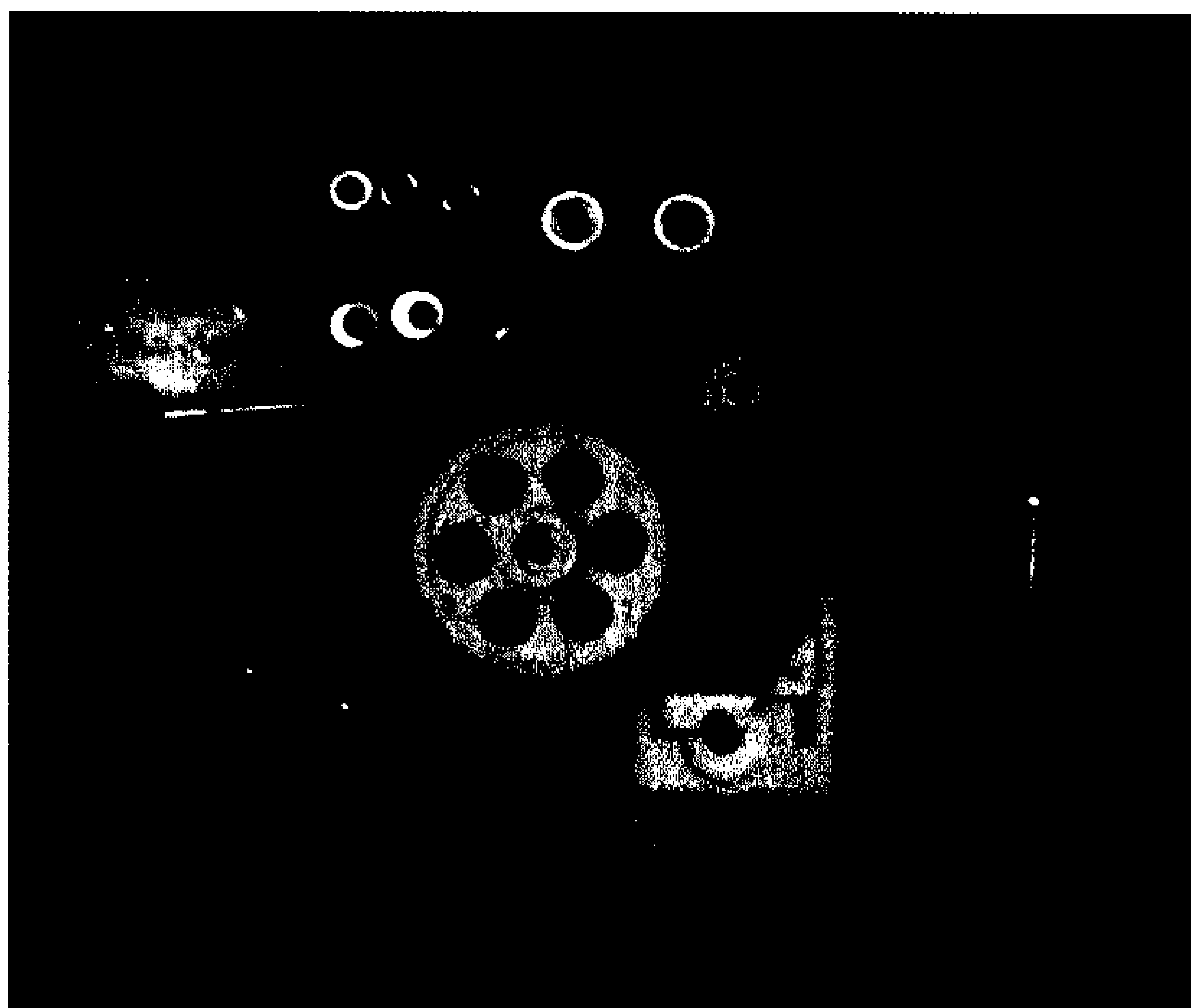
Για την συναρμολόγηση του μηχανισμού εξώθησης υλικού εκτύπωσης θα χρειαστούμε τα παρακάτω εργαλεία:

- 2 x Γερμανικό κλειδί 10mm (M6)
- Κλειδιά Allen
- Σταυροκατσάβιδο
- Πένσα

Καθώς και τα παρακάτω εξαρτήματα:

Εξάρτηματα			
Τεμάχια	1	1	1

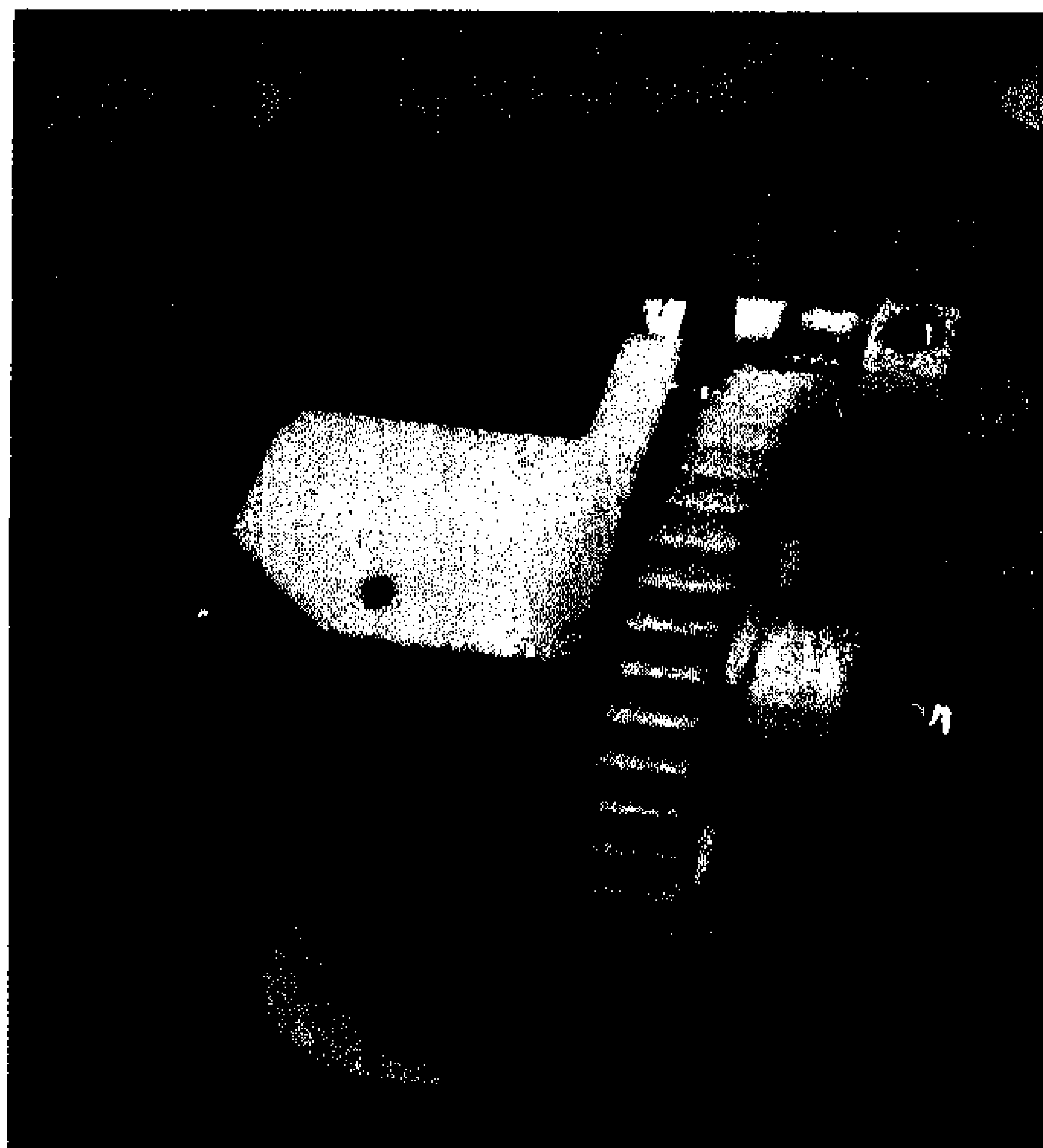
- Μεταλλικό άξονα με σπείρωμα στα δύο άκρα
- 2 x Ρουλεμάν 626
- Σουλγκόβιδα M3 x 10mm
- Παξιμάδι M6
- 2 x Παξιμάδια ασφαλείας M6
- 3 x Βίδες M3 x 8mm
- 3 Ροδέλες M3
- Βηματικό κινητήρα NEMA 14



Εικόνα 62: Εξαρτήματα για την κατασκευή του extruder.

Αρχικά βιδώνουμε χαλαρά πάνω στην πλαστική βάση τον βηματικό κινητήρα με τις βίδες M3x8mm. Στη συνέχεια τοποθετούμε το παξιμάδι M6 μέσα στην υποδοχή που έχει το μεγάλο γρανάτζι. Επόμενο βήμα είναι η τοποθέτηση στον άξονα από την μεριά με το περισσότερο σπείρωμα, του ρουλεμάν και των δύο ροδέλων M6. Τοποθετούμε στη συνέχεια στον άξονα του κινητήρα το μικρό γρανάτζι και το στερεώνουμε με την σκουλικόβιδα M3. Ο άξονας του συγκεκριμένου κινητήρα έχει μία επίπεδη επιφάνεια πάνω στην οποία πρέπει να σφίξουμε

την βίδα. Συναρμολογούμε εν συνεχεία τα επιμέρους κομμάτια του μηχανισμού εξώθησης υλικού εκτύπωσης και έχουμε το παρακάτω αποτέλεσμα.



Εικόνα 63: Συναρμολόγηση του κυρίως τμήματος του μηχανισμού εξώθησης του υλικού εκτύπωσης.

Αφού συναρμολογήσουμε τον μηχανισμό εξώθησης του υλικού εκτύπωσης, ελέγχουμε το πώς τα δύο γρανάζια συνεργάζονται μεταξύ τους. Τα γρανάζια δεν πρέπει να “τρίβονται” μεταξύ τους (πρέπει να υπάρχει αέρας περίπου μισού χιλιοστού. Τέλος βάζουμε το ρουλεμάν στην πίσω μεριά του άξονα και το σφίγγουμε με ένα παξιμάδι ασφαλείας.

Προσοχή: Ο άξονας σε ένα τμήμα του είναι οδόντωτος. Αυτό χρησιμοποιείται για να μαγκώνει το νήμα και να το οδηγεί. Πρέπει να βεβαιωθούμε πως η οπή από την οποία περνάει το νήμα προς εκτύπωση βρίσκεται σε ευθεία με το οδοντωτό τμήμα του άξονα. Αν δεν βρίσκεται, το ρυθμίζουμε με το να σφίξουμε ή με το να ξεσφίξουμε τα δύο παξιμάδια ασφαλείας.

3.6.2. Συναρμολόγηση του τεμπέλη.

Εξαρτήματα	
Τεμάχια	1

- Ρουλεμάν 626
- 6 x Ροδέλες M3
- 2 x Παξιμάδια M3
- Παξιμάδι ασφαλείας M3
- 2 x Βίδες με καλάμι M3 x 45mm
- Βίδα με καλάμι M3 x 30mm

- Σκουληκίδα M6 x 20mm
- 2 x Ελατήρια



Εικόνα 64: Τμήματα του τεμπέλη.

Βάζουμε στο ρουλεμάν την σκουληκίδα και το τοποθετούμε στην υποδοχή του πλαστικού κομματιού. Το ρουλεμάν θα πρέπει να περιστρέφεται ελεύθερα. Αν δεν περιστρέφεται ελεύθερα τότε αφαιρούμε λίγο υλικό από το πλαστικό κομμάτι. Τοποθετούμε το πλαστικό κομμάτι με το ρουλεμάν πάνω στο πλαστικό κομμάτι που βρίσκεται ο κινητήρας. Τα συνδέουμε μεταξύ τους με μία βίδα (M3 x 30mm με καλάμι) την οποία σφίγγουμε με ένα παξιμάδι ασφαλείας M3. Προσοχή: Το πλαστικό με το ρουλεμάν θα πρέπει να κινείται ελεύθερα.



Εικόνα 65: Τελική μορφή του μηχανισμού εξώθησης του υλικού εκτύπωσης.

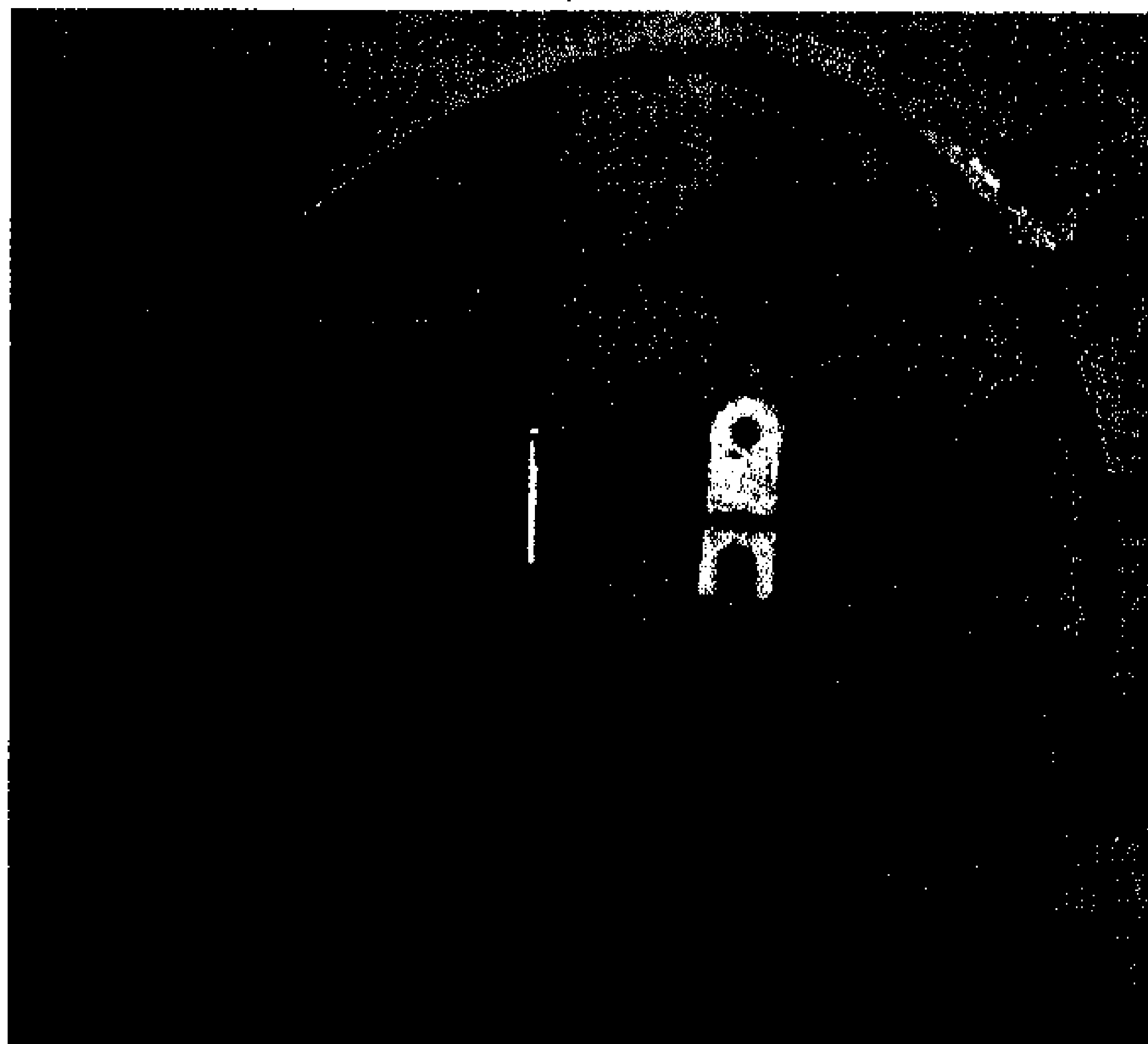
Τέλος βάζουμε τα ελατήρια μέσα στις μακριές βίδες. Το κάθε ελατήριο θα βρίσκεται μεταξύ 2 ροδελών M3. Βάζουμε τις βίδες με τα ελατήρια μέσα στις οπές και τις “πιάνουμε” με τα δύο παξιμάδια. Τα παξιμάδια μπαίνουν σε δύο εξαγωνικές εγκοπές όπου και στερεώνονται στην κάτω μεριά του πλαστικού κομματιού που συγκρατεί τον κινητήρα.

3.6.3. Συναρμολογήση πλαστικού σωλήνα για την μετακίνηση του νήματος.

Για την συναρμολόγηση θα χρειαστούμε:

Εξάρτημα	
	
Τεμάχια	1

- PTFE Σωλήνα διαμέτρου 3 mm
- Μεταλλικός σωλήνας στήριξης

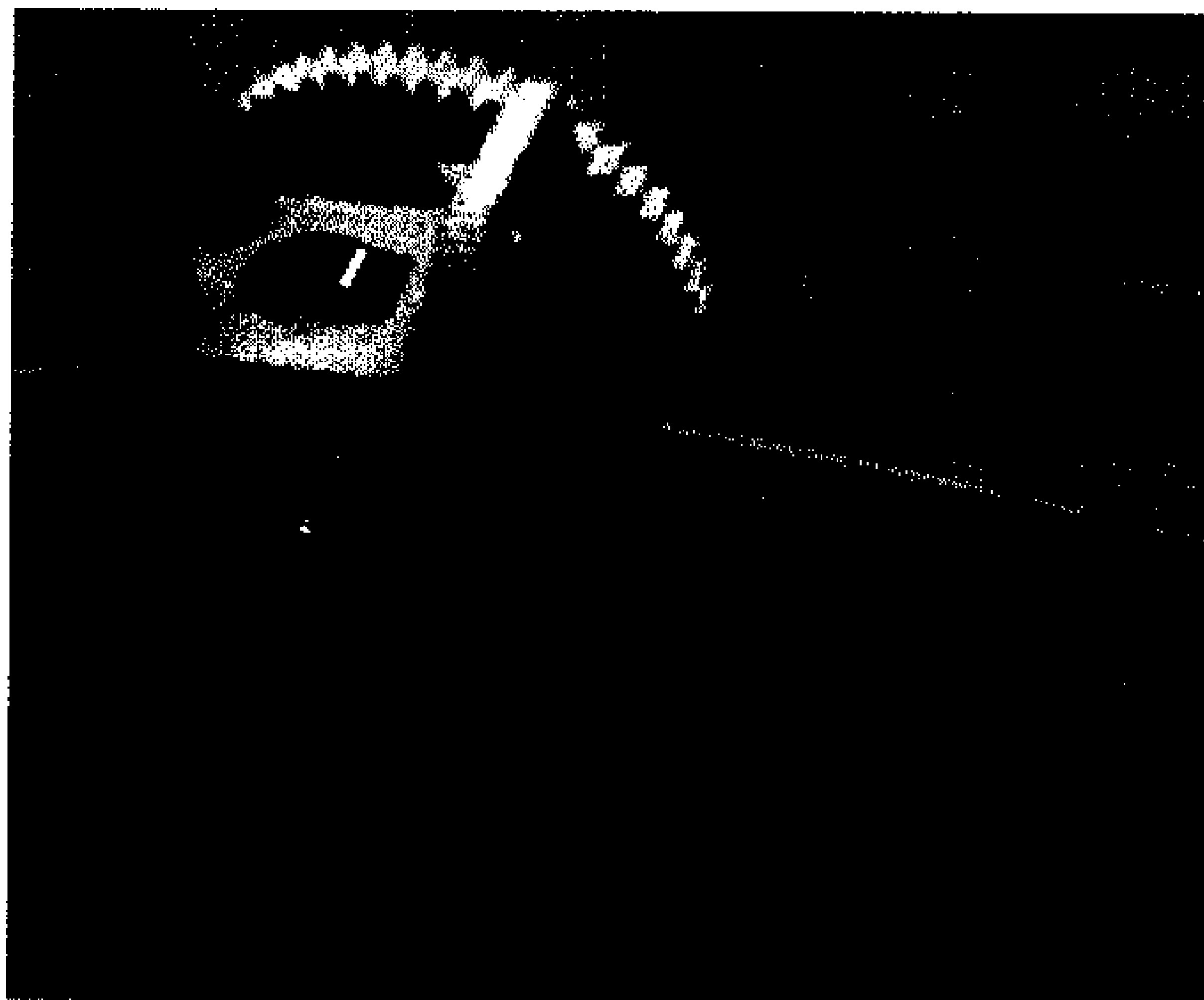


Εικόνα 66:

Με την βοήθεια μιας ξύστρας για μολύβια, κάνουμε το ένα άκρο του πλαστικού σωλήνα μυτερό.

Παίρνουμε στη συνέχεια τον μεταλλικό σωλήνα και τον βιδώνουμε στον πλαστικό σωλήνα (Ο μεταλλικός σωλήνας στο εσωτερικό του έχει σπείρωμα με το οποίο θα στερέωθεί καθώς τον περιστρέφουμε, ο πλαστικός σωλήνας). Επόμενη κίνηση είναι να δούμε αν μπορεί να περάσει μέσα από τον πλαστικό σωλήνα και το μεταλλικό του άκρο το νήμα που θα χρησιμοποιήσουμε ως υλικό εκτύπωσης. Το νήμα που θα χρησιμοποιήσουμε έχει μέση διάμετρο 1,75 mm. Αν το νήμα περνάει ελεύθερα τότε είμαστε έτοιμοι. Αν το νήμα παρουσιάζει μια δυσκολία στην κίνηση του τότε θα πρέπει να ανοίξουμε λίγο την διάμετρο του μεταλλικού άκρου με την χρήση ενός τρυπανιού διαμέτρου 2mm.

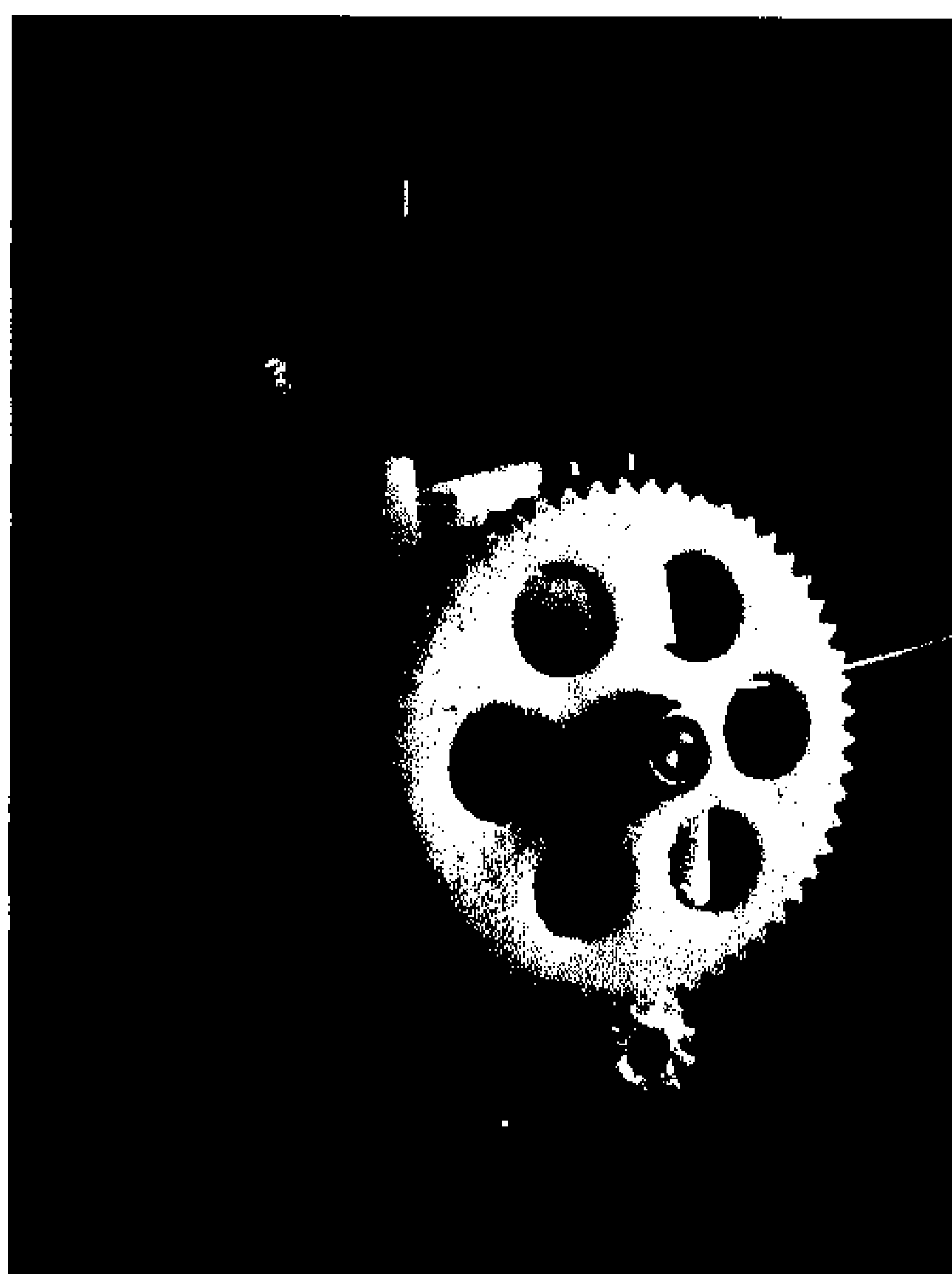
Έχοντας ολοκληρώσει την παραπάνω διαδικασία με επιτυχία, τοποθετούμε το μεταλλικό άκρο και το ασφαλίζουμε πάνω στον extruder όπως φαίνεται στην παρακάτω εικόνα.



Εικόνα 67: Συναρμολογημένος μηχανισμός εξώθησης του υλικού εκτύπωσης..

3.6.4. Τοποθέτηση extruder πάνω στον σκελετό

Τοποθετούμε τον extruder πάνω στον σκελετό με την χρήση μιας βίδας M3 x 20mm και του αντίστοιχου παξιμαδιού, στο σημείο που φαίνεται στην παρακάτω εικόνα.



Εικόνα 68: Σημείο τοποθέτησης του μηχανισμού εξώθησης πάνω στον σκελετό.

3.7. Θερμαινόμενη κεφαλή

3.7.1. Συναρμολόγηση θερμαινόμενης κεφαλής

Για την συναρμολόγηση της θερμαινόμενης κεφαλής θα χρειαστούμε τα εξής εργαλεία:

- Κλειδί Allen
- Ένα μικρό κατσαβίδι
- Πένσα
- Γαλλικό κλειδί
- Πιστολάκι για τα μαλλιά
- Μέγγενη

Καθώς και τα εξής εξαρτήματα για την θερμαινόμενη κεφαλή:

- Ψύκτρα
- Αλουμινένια βάση για την ψύκτρα
- Αλουμινένιο μπλοκ για την θερμαινόμενη κεφαλή.
- 2 x Βίδες M3 x 25
- 2 x Βίδες M3 x 16
- Καλώδια
- Θερμίστορ 100K
- Θερμική αντίσταση 6R8
- PTFE κώνος
- PTFE απόσταση
- Ακροφύσιο
- Μεταλλική απόσταση με σπείρωμα στα δύο άκρα της

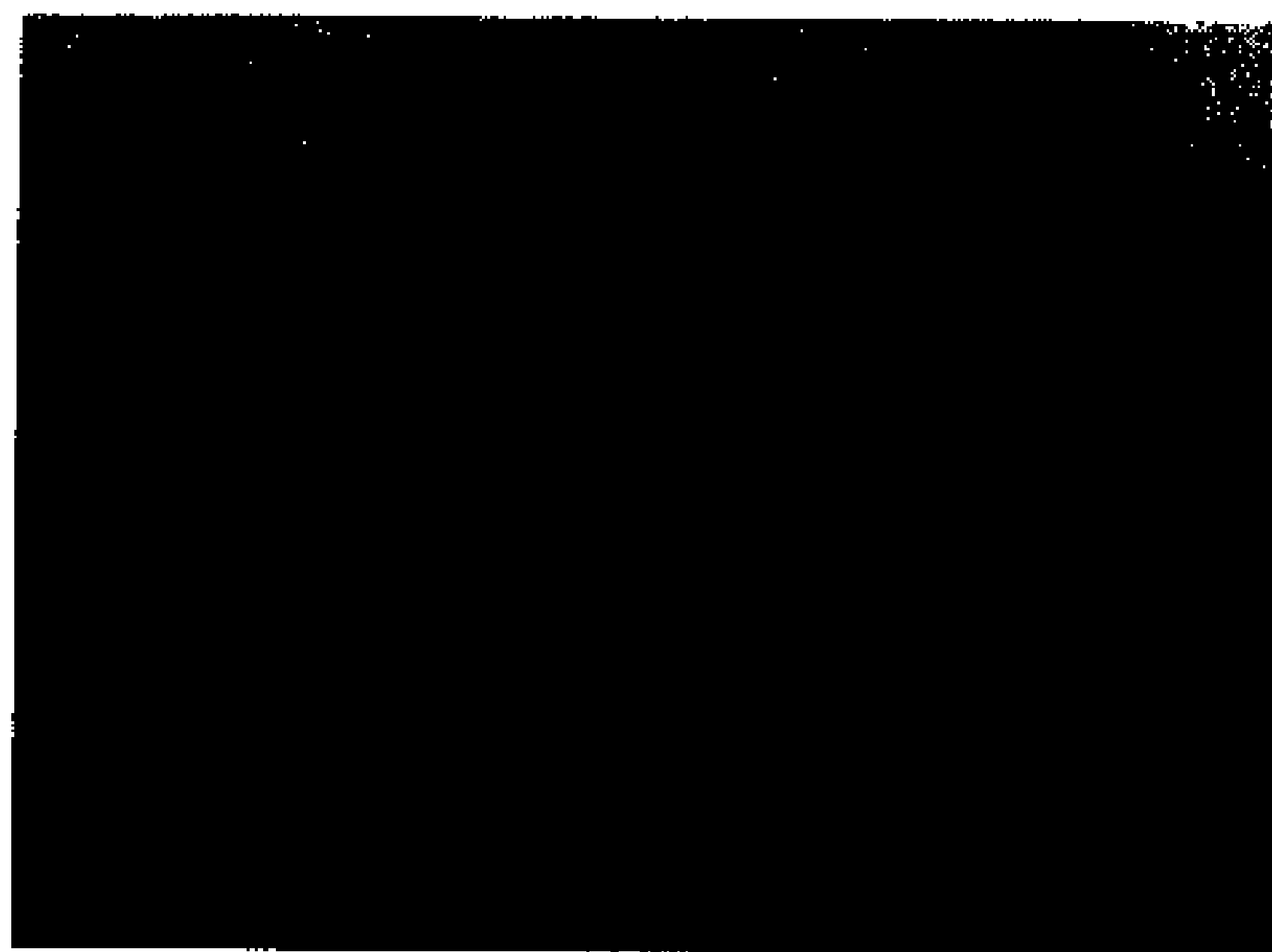


Εικόνα 69: Τα τμήματα της θερμαινόμενης κεφαλής.

Αρχικά πρέπει να βεβαιωθούμε ότι η αντίσταση και το θερμίστορ ταιριάζουν με τις οπές του αλουμινένιου μπλοκ της θερμαινόμενης κεφαλής. Επειδή τόσο η διάμετρος του θερμίστορ όσο και της αντίστασης διαφέρουν λίγο, μπορεί να χρειαστεί με ένα τρυπάνι 5mm να ανοίξουμε λίγο την διάμετρο των οπών του αλουμινένιου μπλοκ για να μπορέσουν έτσι να ταιριάξουν η αντίσταση και το θερμίστορ.

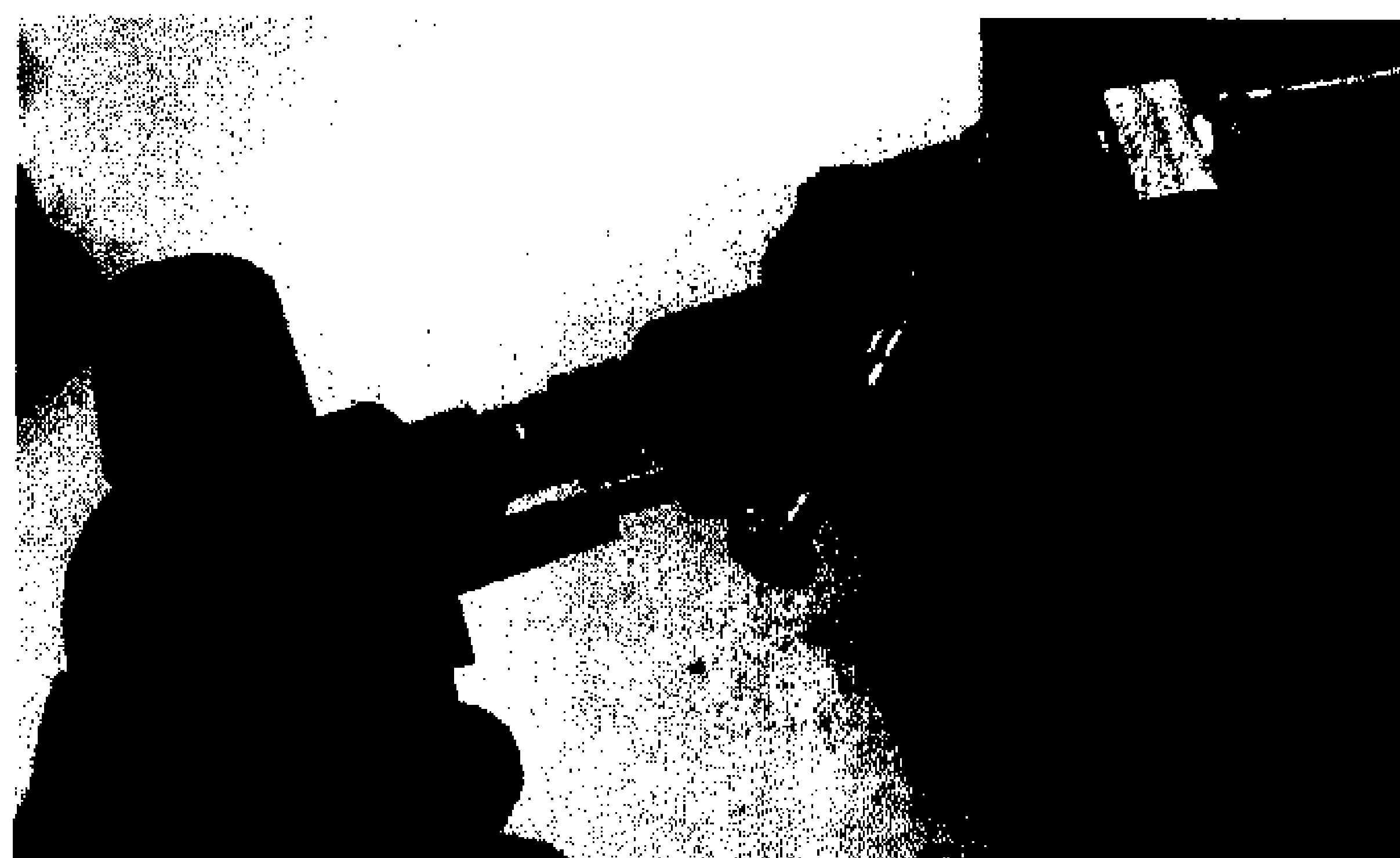
3.7.2. Θερμαινόμενη κεφαλή

Αφού έχει γίνει ο παραπάνω έλεγχος, ξεκινάμε με την συναρμολόγηση. Πρώτο βήμα είναι η τοποθέτηση του ορειχάλκινου σωλήνα (αντίστοιχος με αυτόν που χρησιμοποιήσαμε για την στερέωση του PTFE σωλήνα πάνω στον extruder), στο ελεύθερο άκρο του PTFE σωλήνα που έρχεται από τον extruder. Η διαδικασία στερέωσης του ορειχάλκινου άκρου με τον πλαστικό σωληνάκι είναι η ίδια που χρησιμοποιήσαμε και στο άλλο άκρο του. Ξύνουμε με μία ξύστρα το πλαστικό άκρο και αφού γίνει κωνικό βιδώνουμε πάνω του το ορειχάλκινο άκρο. Στην συνέχεια συναρμολογούμε την θερμική κεφαλή. Πάνω στο αλουμινένιο μπλοκ βιδώνουμε το ορειχάλκινο ακροφύσιο και την μεταλλική απόσταση.



Εικόνα 70: Τμήματα του ακροφύσιου της κεφαλής.

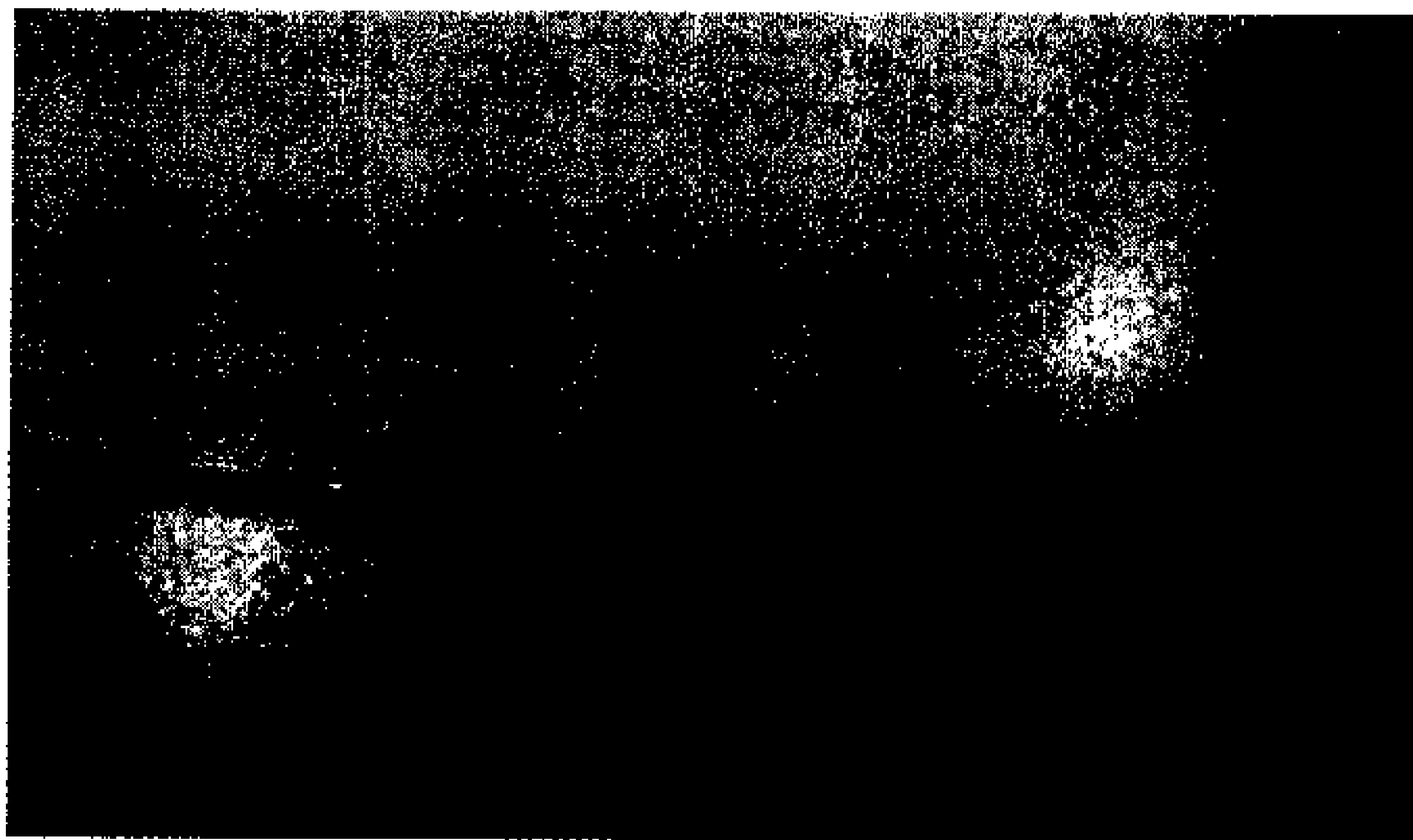
Σημείωση: Πριν βιδώσουμε τα σπειρώματα, βάζουμε Teflon σε αυτά, ούτως ώστε να αποφύγουμε τις διαρροές από αυτά κατά την θέρμανση του αλουμινένιου μπλοκ. Για μεγαλύτερη προστασία από της διαρροές, αφού βιδώσουμε τα δύο άκρα πάνω στο αλουμινένιο μπλοκ, το παίρνουμε και το τοποθετούμε σε μία μέγγενη. Εκεί με την χρήση ενός καμινέτου το θερμαίνουμε και σφίγγουμε τα άκρα λίγο ακόμα με μία πένσα. Πρέπει να προσέξουμε κατά την θέρμανση του αλουμινίου να μην το λιώσουμε. Το αλουμίνιο έχει σημείο τήξης τους 660°C και ένα καμινέτο φτάνει εύκολα τους 1000°C . Μας αρκεί να το θερμάνουμε γύρω στους 220°C μιας και αυτή πάνω κάτω είναι η μέγιστη θερμοκρασία λειτουργίας της κεφαλής.



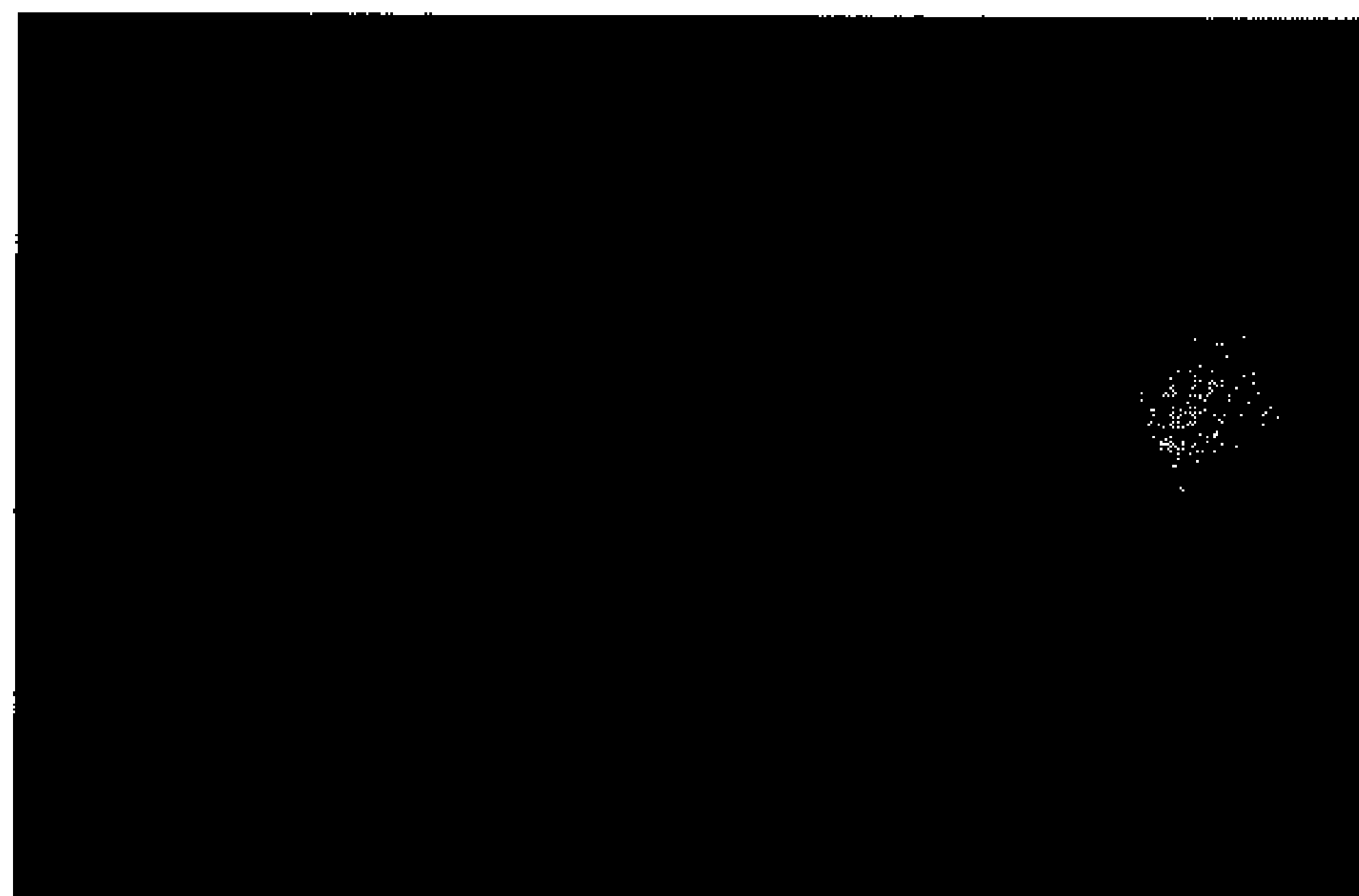
Εικόνα 71: Θέρμανση του αλουμινένιου μπλοκ.

3.7.3. Συναρμολόγηση συστήματος ψύξης της θερμαινόμενης κεφαλής.

Πάνω στην αλουμινένια βάση της ψύκτρας που θα χρησιμοποιήσουμε για το σύστημα ψύξης, βιδώνουμε από την μία μεριά το αλουμινένιο μπλοκ και από την άλλη το ορειχάλκινο άκρο με τον PTFE σωλήνα.



Εικόνα 72: Τμήματα της κεφαλής.



Εικόνα 73: Συναρμολόγηση της κεφαλής.

Το αλουμινένιο μπλοκ πρέπει να είναι παρράλληλο με το αλουμινένια βάση της ψύκτρας όπως φαίνεται στην παραπάνω εικόνα. Στην συνέχεια αφαιρούμε από το πίσω μέρος της ψύκτρας το υλικό θερμομόνωσης και βιδώνουμε σε αυτήν την θερμαινόμενη κεφαλή. Τέλος τοποθετούμε την πλαστική απόσταση από PTFE. Την βιδώνουμε πάνω στην αλουμινένια βάση της ψύκτρας (Εικόνα 61).



Εικόνα 74: Συναρμολογημένη κεφαλή.

3.7.4. Τοποθέτηση του θερμίστορ και της αντίστασης πάνω στην κεφαλή.

Έχοντας κάνει στην αρχή του κεφαλαίου αυτού την προετοιμασία με τις οπές του αλουμινένιου μπλοκ, έχει σειρά η τοποθέτηση του θερμίστορ και της αντίστασης σε αυτές. Η συναρμογή τόσο του θερμίστορ όσο και της αντίστασης με τις οπές πρέπει να είναι αρκετά σφικτή ούτως ώστε να μειώσουμε όσο γίνεται περισσότερο τις θερμικές απώλειες μεταξύ της αντίστασης και του αλουμινένιου μπλοκ και του θερμίστορ και του αλουμινένιου μπλοκ. Η σφικτή συναρμογή μπορεί εύκολα να επιτευχθεί με το να τυλίξουμε τόσο το θερμίστορ όσο και την αντίσταση με Teflon. Εφόσον έχουν τοποθετηθεί σωστά στην θέση τους, επόμενη κίνηση είναι η ένωση τους με καλώδια. Σε κάθε άκρο της αντίστασης και του θερμίστορ συνδέουμε από ένα καλώδιο και τα στερεώνουμε με την χρήση θερμοσυστελλόμενου πλαστικού.



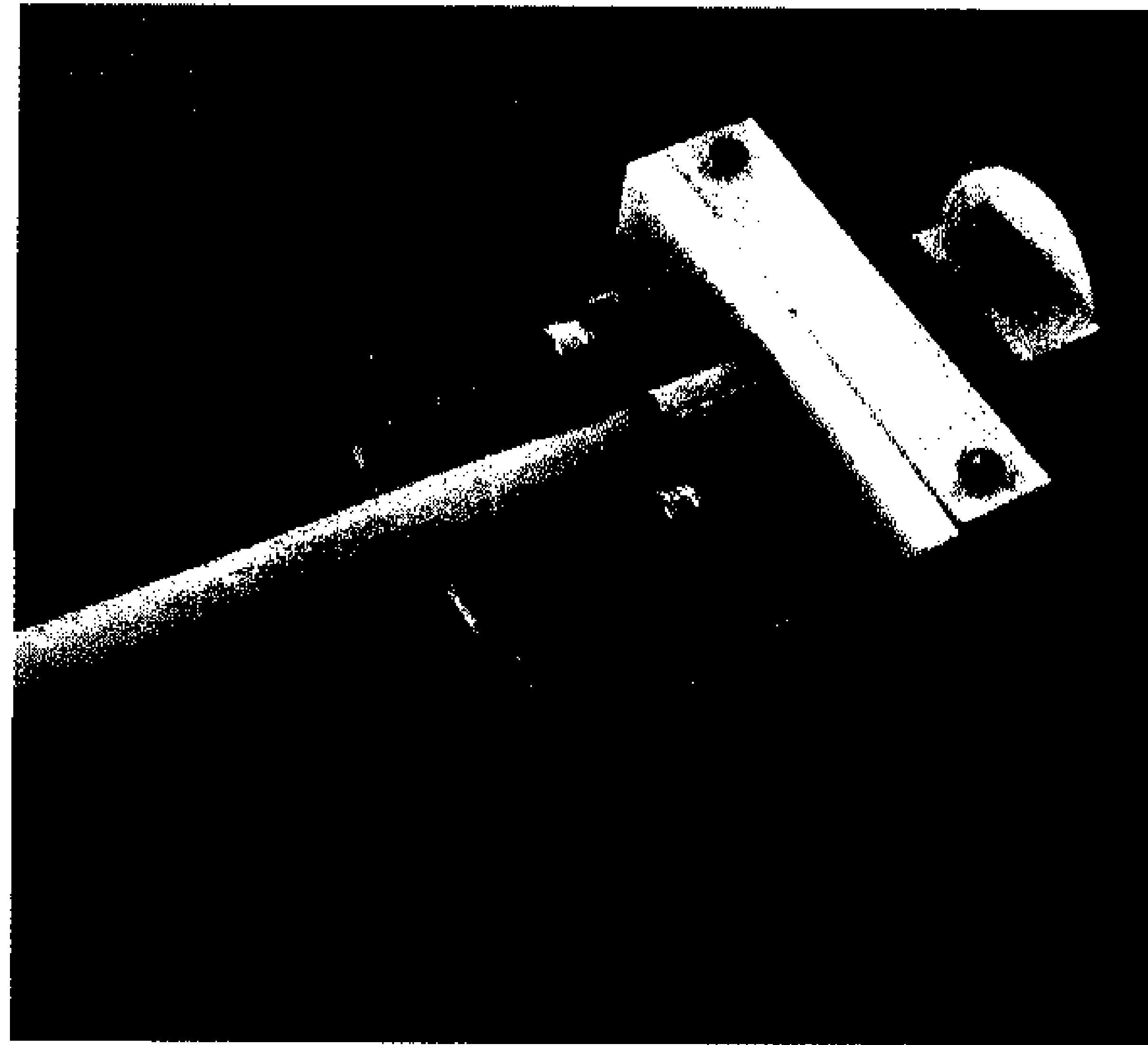
Εικόνα 75: Σύνδεση της αντίστασης της κεφαλής και μόνωση των συνδέσεων.

Η τελική μορφή της κεφαλής μετά από την τοποθέτηση των καλωδίων φαίνεται στην παρακάτω εικόνα.



Εικόνα 76: Τοποθέτηση του θερμίστορ και της αντίστασης στην θερμαινόμενη κεφαλή.

Τέλος, περνάμε τα καλώδια από το πλάι της ψύκτρας και τα στερεώνουμε μαζί και με τα καλώδια τροφοδοσίας της ψύκτρας με ένα πλαστικό clip.

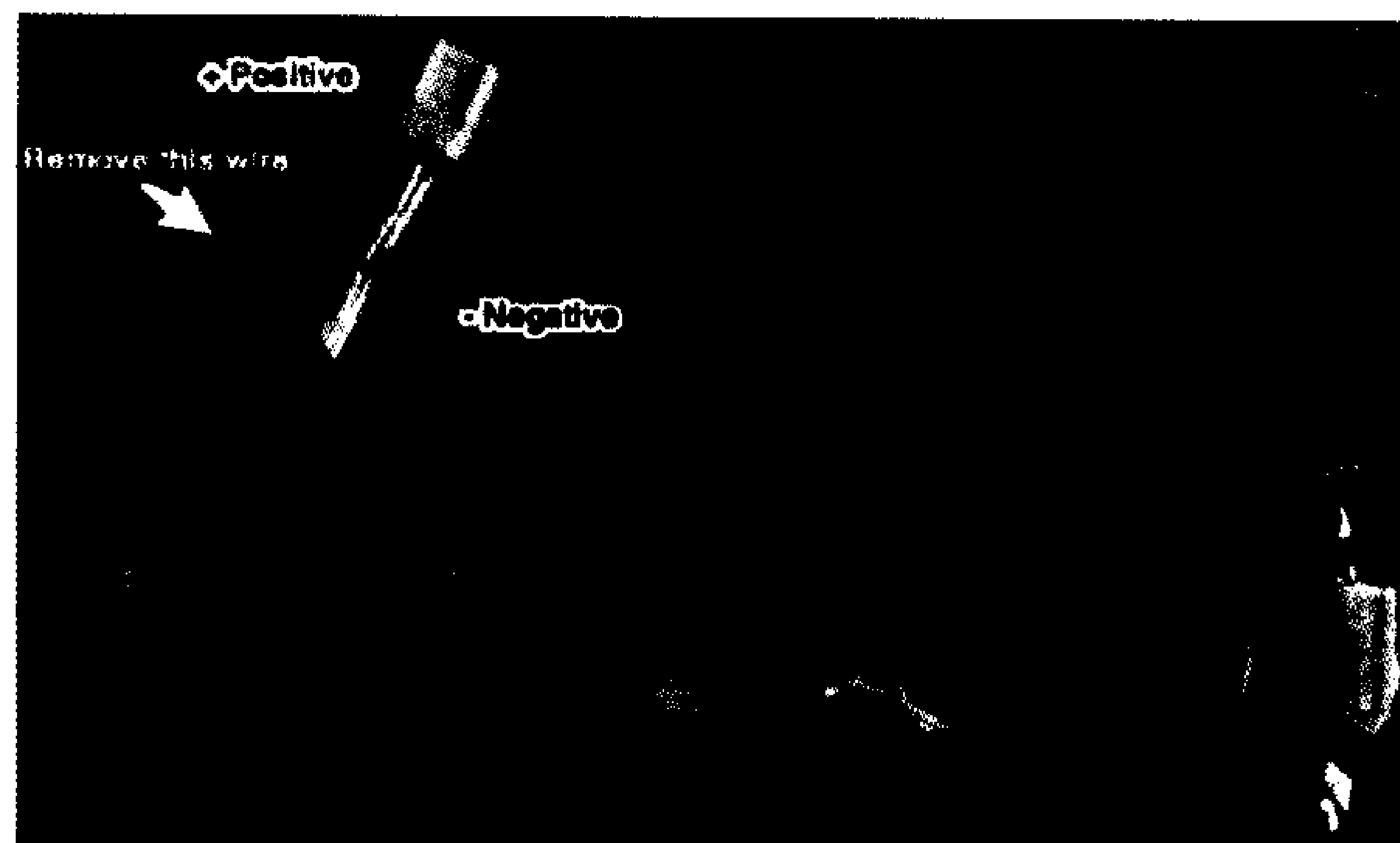


Εικόνα 77: Σωστή τοποθέτηση των καλωδίων πάνω στην θερμαινόμενη κεφαλή.

3.7.5. Τοποθέτηση της θερμαινόμενης κεφαλής στον εκτυπωτή

Η κεφαλή θα στερεωθεί πάνω στον άξονα X στην βάση που συναρμολογήσαμε κατά την συναρμολόγηση του άξονα X. Η στερέωση θα γίνει με τις βίδες που βιδώσαμε την πλαστική απόσταση πάνω στην βάση της ψύκτρας. Μετά την τοποθέτηση της κεφαλής θα πρέπει να ελέγξουμε την ελευθερία κινήσεως της τόσο κατά τον άξονα X όσο και κατά τον άξονα Z. πρέπει να προσέξουμε οι καλωδιώσεις της κεφαλής να μην εμποδίζουν την κίνηση της στον χώρο.

Το μόνο που απομένει είναι η προετοιμασία των καλωδιώσεων της κεφαλής για την τοποθέτησή τους πάνω στην πλακέτα.

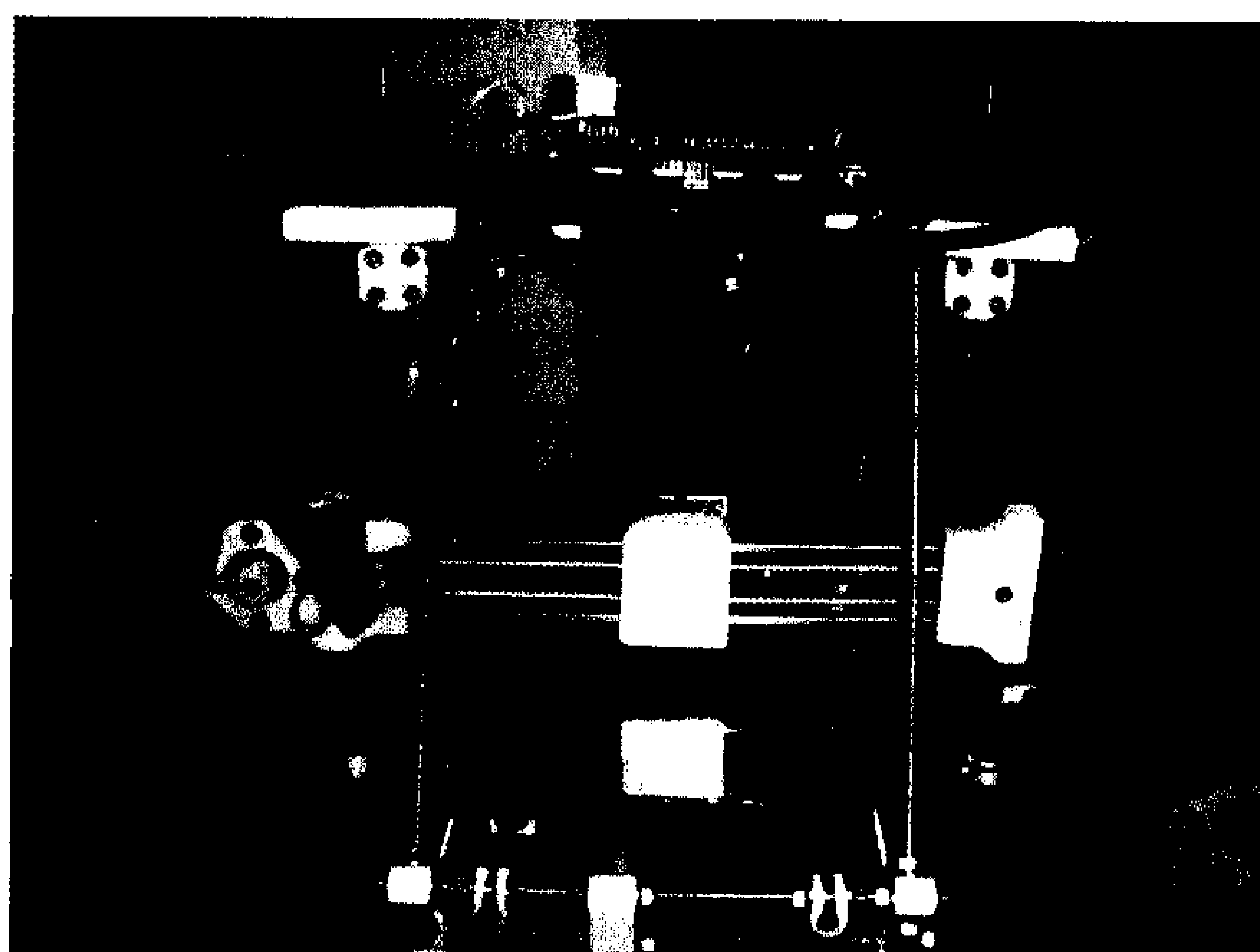


Εικόνα 78: Επεξήγηση των καλωδίων της ψύκτρας της θερμαινόμενης κεφαλής.

Στην παραπάνω εικόνα βλέπουμε ότι τις καλωδιώσεις του θερμίστορ και της αντίστασης τα συνδέουμε μαζί σε μια κλέμα. Από το καλώδιο τροφοδοσίας της ψύκτρας κόβουμε το ακριανό καλώδιο και σημειώνουμε με ένα μαρκαδόρο ένα (+) στο μεσαίο καλώδιο (θετικός πόλος) και ένα (-) στο ακριανό καλώδιο που δεν κόψαμε (αρνητικός πόλος).

3.8. Καλωδίωση του εκτυπωτή

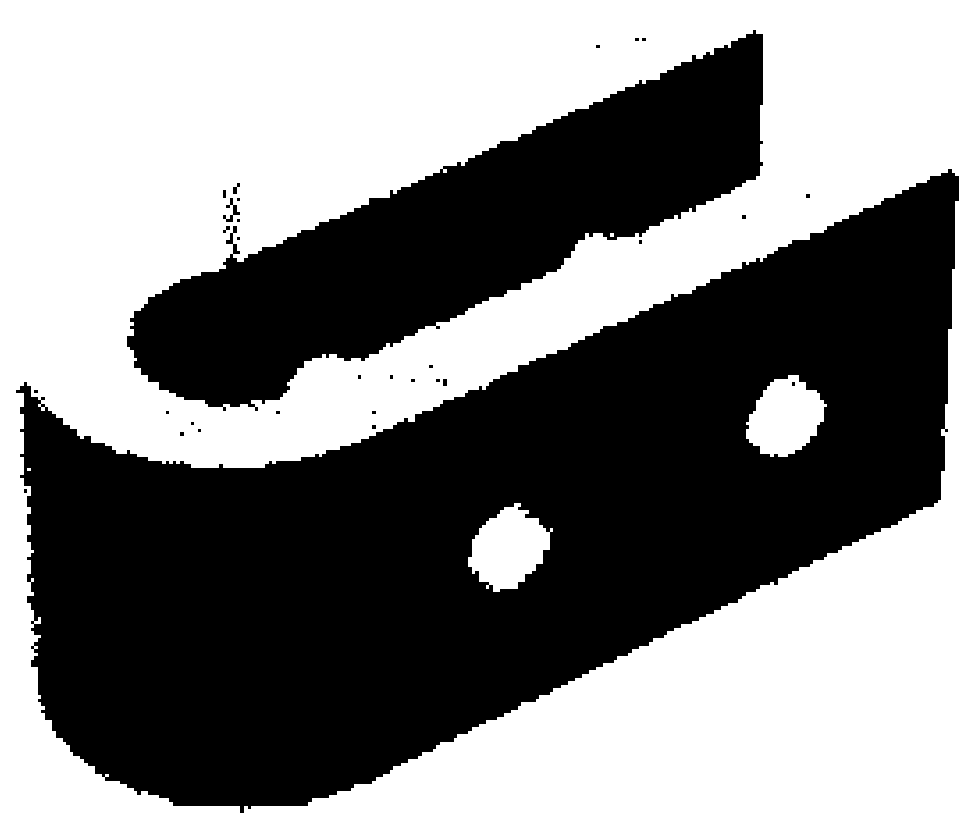
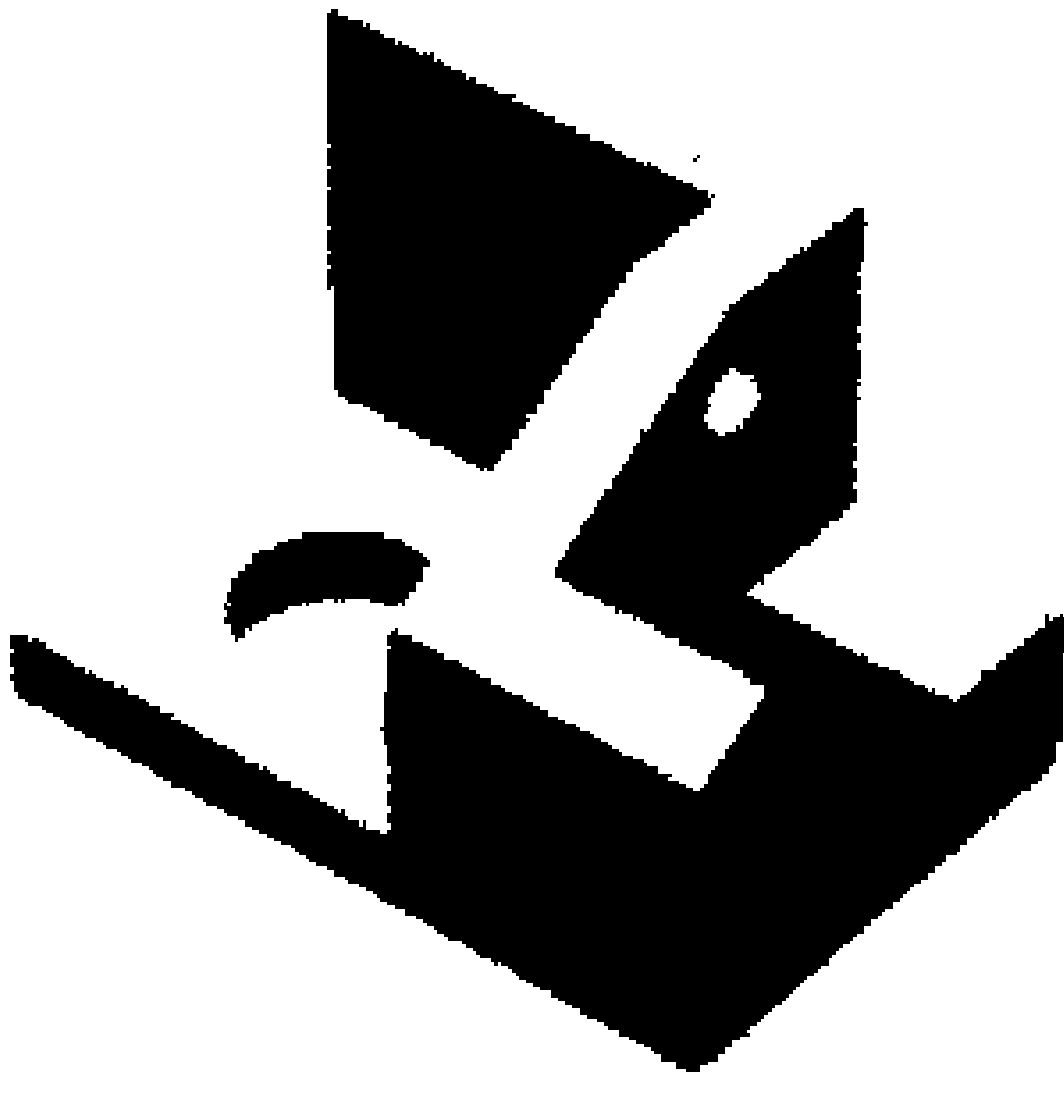
Στο τέλος αυτού του σταδίου ο εκτυπωτής θα έχει την παρακάτω μορφή και θα είναι έτοιμος για την τελική δοκιμή και την προσαρμογή των ρυθμίσεων.



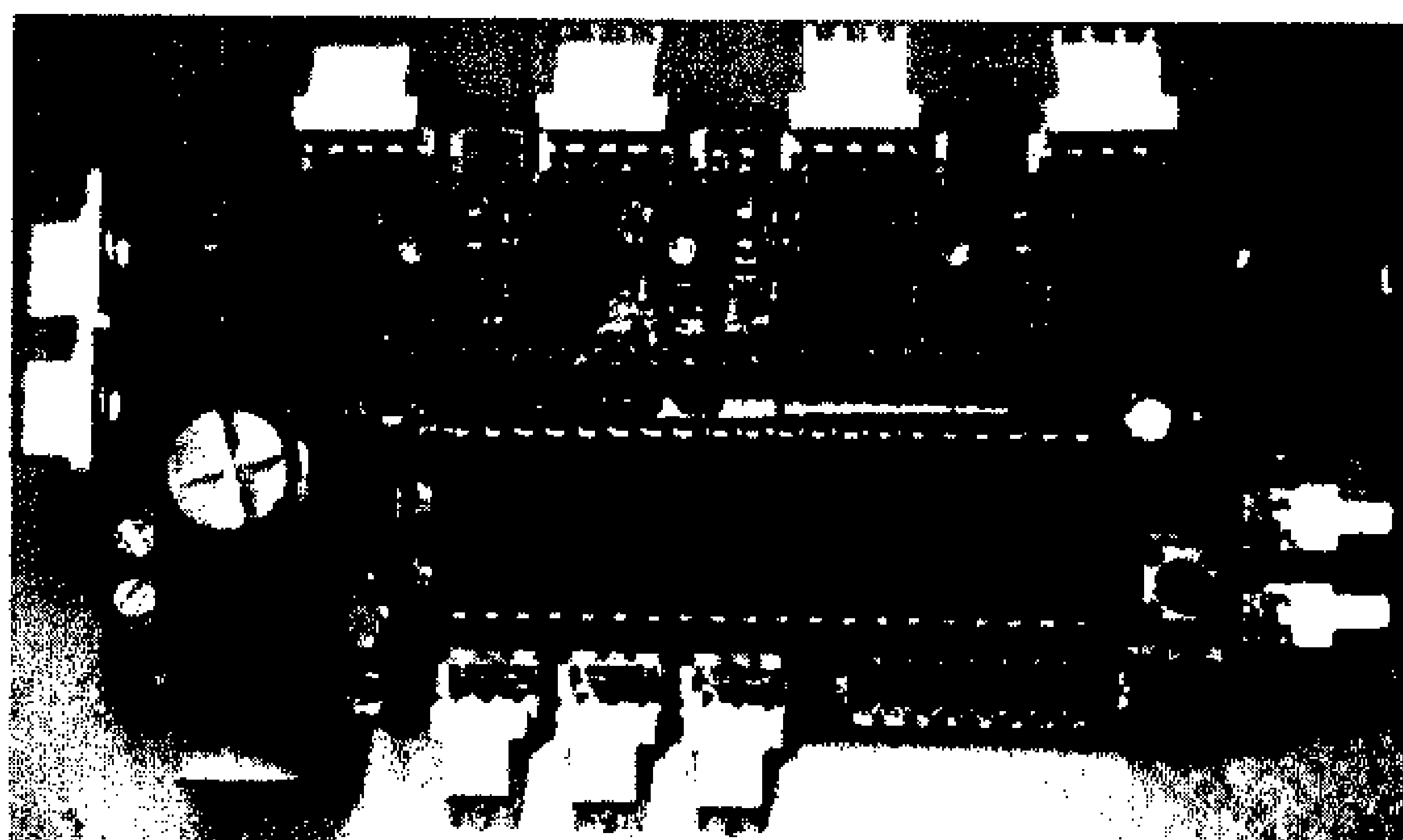
Εικόνα 79:

3.8.1. Τοποθέτηση της μητρικής πλακέτας

Για την τοποθέτηση της μητρικής πλακέτας θα χρειαστούμε τα παρακάτω εξαρτήματα:

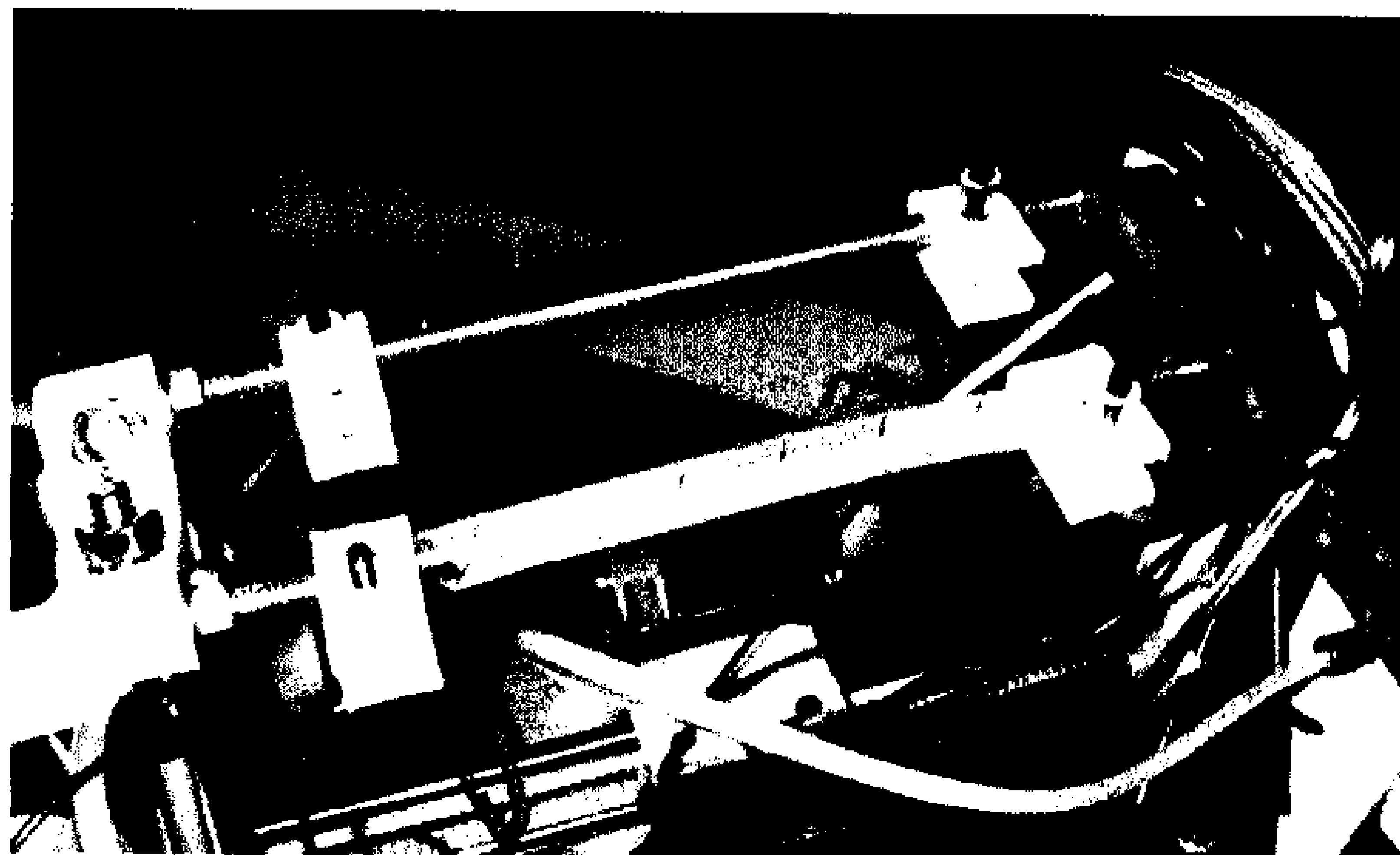
Εξάρτημα		
Τεμάχια	4	1

- 4 Βίδες M3 x 20mm
- 1 Βίδα M3 x 25mm
- 5 Παξιμάδια M3
- 10 Ροδέλες M3
- 4 Αποστάσεις από PVC μήκους 5 mm
- 1 Βύσμα για τροφοδοσία ρεύματος
- 50 Συνδετήρες καλωδίων
- Sanguinololu PCB



Εικόνα 80: Sanguinololu Electronics.

Πριν ξεκινήσουμε με την καλωδίωση του εκτυπωτή, πρέπει να τοποθετήσουμε την motherboard Sanguinololu πάνω του. Για να γίνει αυτό θα χρειαστούμε τις τέσσερις πλαστικές βάσεις σε σχήμα U. Η τοποθέτησή τους γίνεται όπως φαίνεται στην παρακάτω εικόνα.

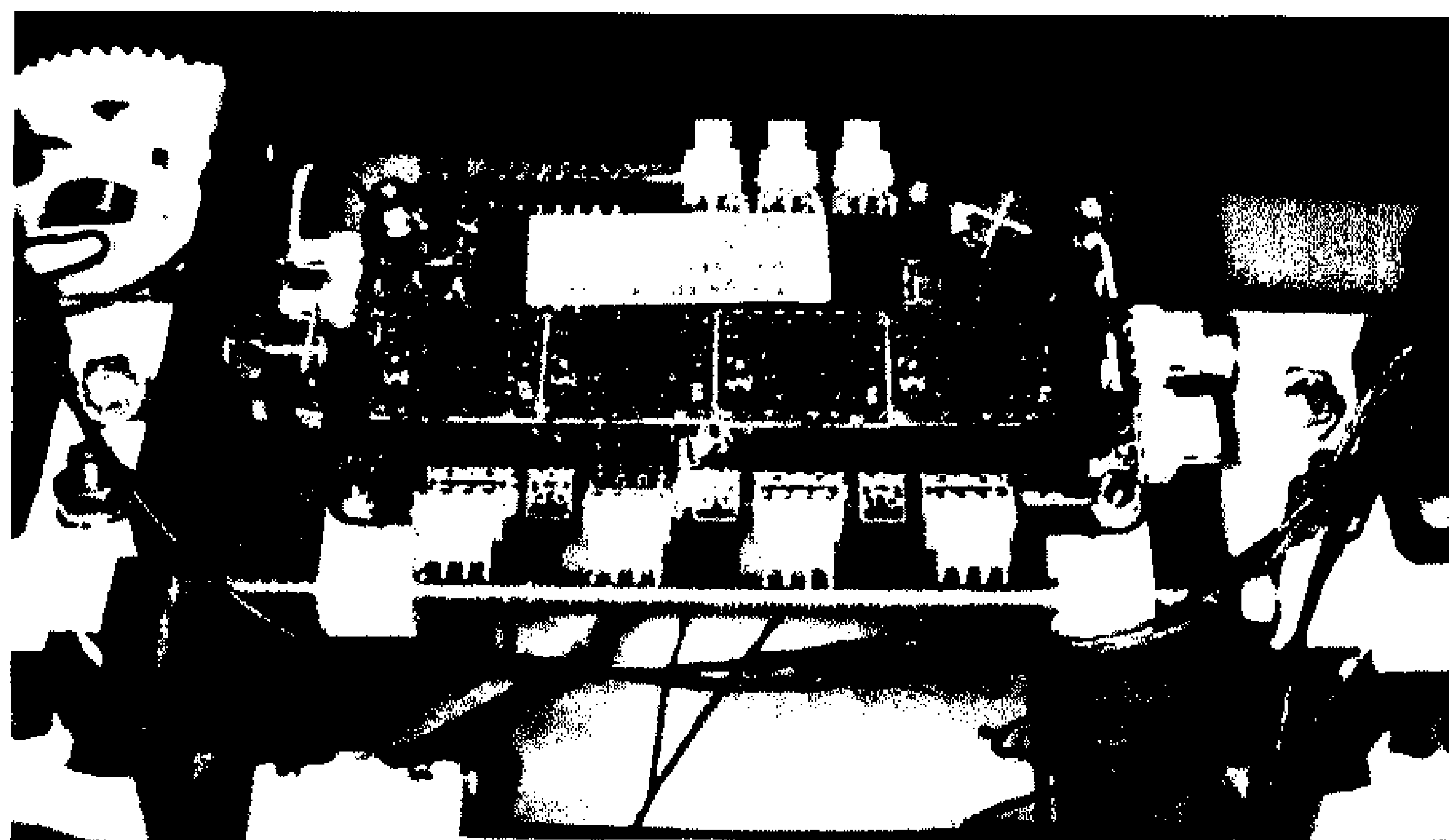


Εικόνα 81: Τοποθέτηση σπирάλ PVC για την αποφυγή τριβών των καλωδίων με τις δύο παράλληλες ντίζες.

Αφού τοποθετήσουμε τις τέσσερις βάσεις, τοποθετούμε τον επεξεργαστή όπως φαίνεται στην παρακάτω εικόνα και τον στερεώνουμε (4 βίδες με παξιμάδια M3). Μεταξύ του επεξεργαστή και των τεσσάρων βάσεων τοποθετούμε από ένα κομμάτι 5mm PVC σαν αποστάτη ούτως ώστε όταν η θερμαινόμενη κεφαλή ανεβαίνει στον άξονα Z, να έχει τον απαιτούμενο

ελεύθερο χώρο για να κάνει την προβλεπόμενη διαδρομή της και να μην βρίσκει στον επεξεργαστή.

Στην ντίζα που βρίσκεται προς την μεριά του Υ κινητήρα, περνάμε γύρω της ένα κομμάτι σπιράλ PVC. Αυτό το κάνουμε για να αποφύγουμε την τριβή των καλωδίων της θερμαινόμενης κεφαλής με την ντίζα όταν αυτά ανεβοκατεβαίνουν κατά τον άξονα Z.



Εικόνα 82: Motherboard Sanguinololu.

3.8.2. Σύνδεση βύσματος τροφοδοσίας του εκτυπωτή.

Επόμενο βήμα είναι η σύνδεση του τροφοδοτικού για την παροχή ρεύματος στον εκτυπωτή.



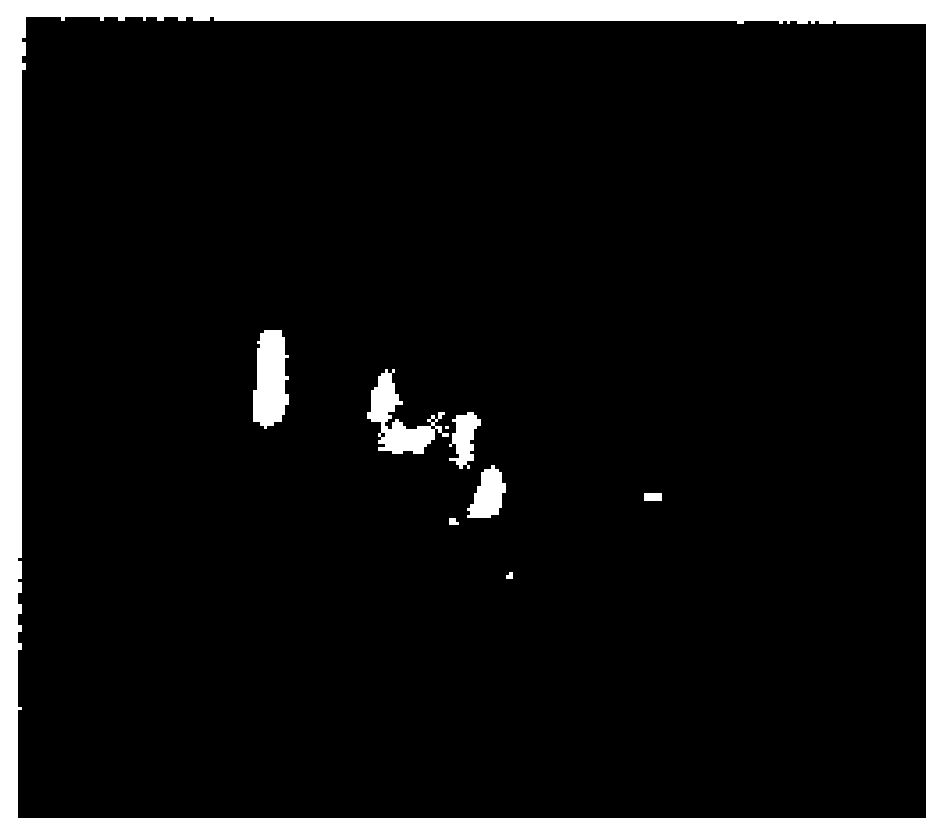
Εικόνα 83: Βύσμα τροφοδοσίας ρεύματος.

Ο μετασχηματιστής που χρησιμοποιούμε, μετατρέπει τα 220 V του δικτύου της ΔΕΗ σε 19 V. Συνδέουμε τον μετασχηματιστή στον εκτυπωτή μέσω ενός βύσματος. Το βύσμα είναι αυτό της εικόνας 69. Το βύσμα αυτό έχει το θετικό πόλο στην ακίδα στο κέντρο του και τον αρνητικό στο μεταλλικό περίβλημα γύρω από την ακίδα.



Εικόνα 84: Τεχνικά χαρακτηριστικά του μετασχηματιστή.

Το βύσμα έχει τρεις ακροδέκτες για την σύνδεσή του με καλώδια (εικόνα 71). Οι ακροδέκτες 1 και 2 είναι για τα 0 V και ο ακροδέκτης 3 για τα 19 V.



Εικόνα 85: απεικόνιση της θέσεως των τριών ακίδων του βύσματος.

Κόβουμε ένα καλώδιο μήκους περίπου 5 cm και γυμνώνουμε την μία του άκρη. Συνδέουμε την γυμνωμένη άκρη του καλωδίου με τους ακροδέκτες 1 και 2. Κάνουμε το ίδιο και για τον ακροδέκτη 1. Παίρνουμε τα δύο καλώδια και τα συνδέουμε με μία κλέμα.(εικόνα 454)



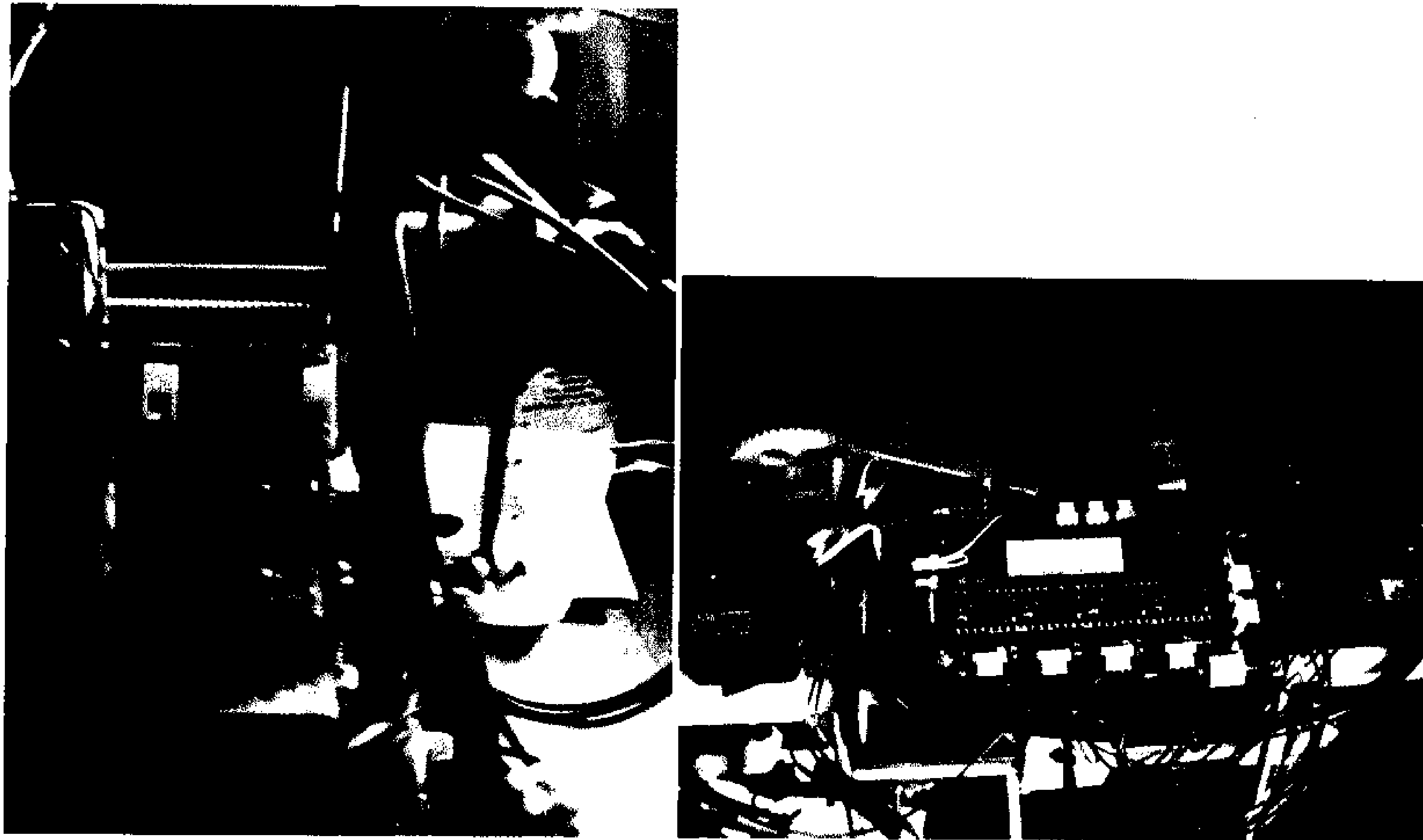
Εικόνα 86: Σύνδεση του βύσματος του μετασχηματιστή με την κλέμα.

Από την άλλη μεριά της κλέμας συνδέουμε παράλληλα τόσο την τροφοδοσία του εκτυπωτή, όσο και την τροφοδοσία του θερμαινόμενου τραπέζιού (εικόνα 455). Το πράσινο (-) και το καφέ καλώδιο (+) συνδέονται με το θερμαινόμενο τραπέζι και το μπλε (-) και μαύρο (+) συνδέονται με την τροφοδοσία του εκτυπωτή.



Εικόνα 87: Συνδεσμολογία καλωδίων τροφοδοσίας του εκτυπωτή και του θερμαινόμενου τραπέζιού.

Πρέπει να προσέξουμε τα καλώδια να έχουν τέτοιο μήκος ούτως ώστε να έχουν την απαραίτητη ελευθερία (περισσότερο στην περίπτωση του θερμαινόμενου τραπέζιού) και να είναι τοποθετημένα έτσι ώστε να μην ενοχλούν τις κινήσεις του εκτυπωτή (καλώδια τροφοδοσίας εκτυπωτή). Για τον λόγο αυτόν πιάνουμε τα καλώδια με πλαστικούς συνδετήρες πάνω στον σκελετό του εκτυπωτή.

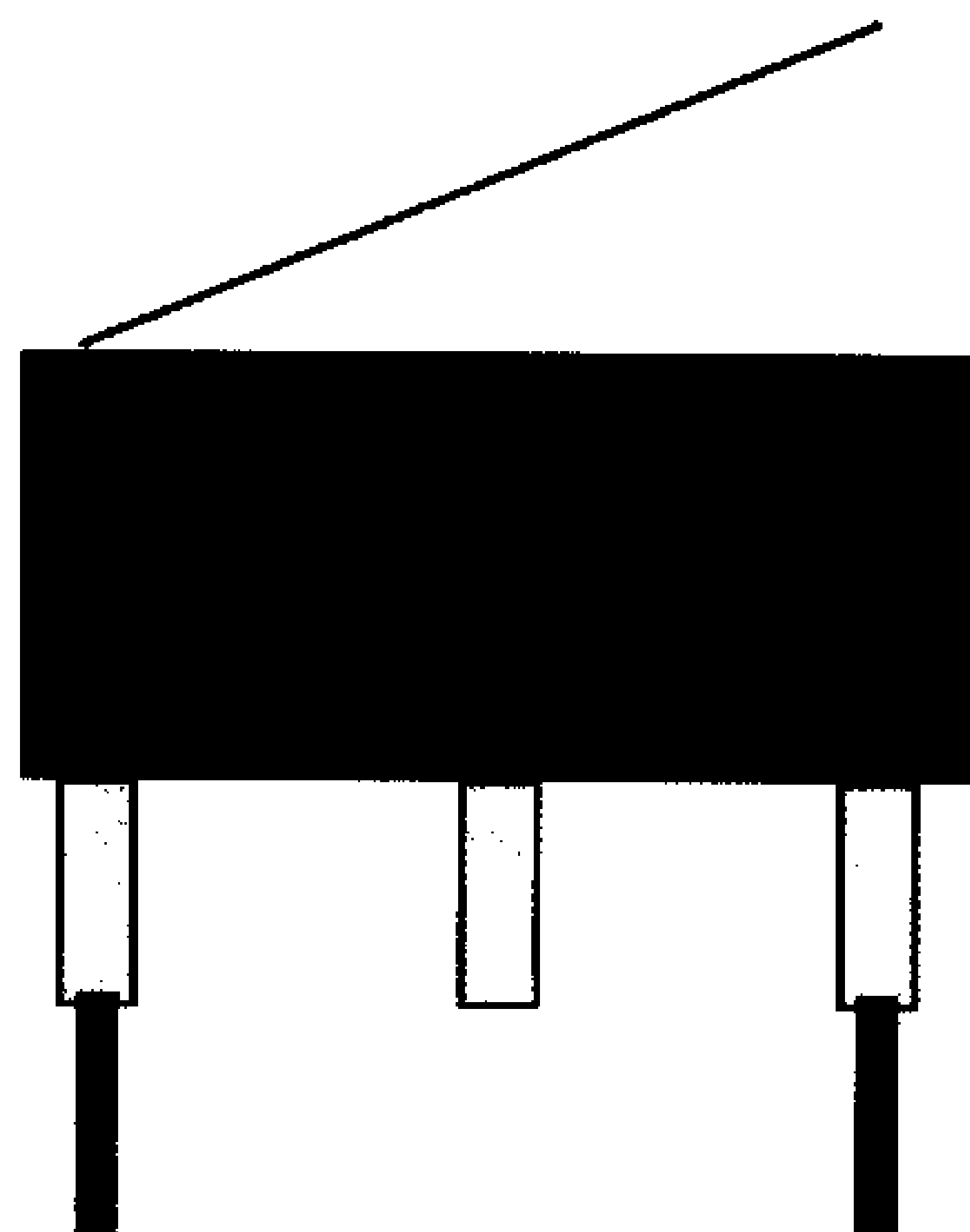


Εικόνα 88: Στερέωμα των καλωδίων της τροφοδοσίας πάνω στον σκελετό.

3.8.3. Τερματικοί διακόπτες.

Για την σύνδεση των τερματικών διακοπών θα χρειαστούμε δύο καλώδια. Καλό θα είναι να χρησιμοποιήσουμε για κάθε τερματικό διακόπτη καλώδια του ιδίου χρώματος. Π.χ.: μπλε καλώδιο για τον τερματικό διακόπτη του άξονα Z, πράσινο καλώδιο για τον τερματικό διακόπτη του άξονα Y και κόκκινο καλώδιο για τον τερματικό διακόπτη του άξονα X.

Σε κάθε τερματικό διακόπτη συνδέουμε δύο καλώδια, ένα σε κάθε ακριανό ακροδέκτη του (εικόνα 72). Για να μονώσουμε τις άκρες των καλωδίων χρησιμοποιούμε ένα πλαστικό υλικό το οποίο μόλις ζεσταθεί, συστέλλεται και μονώνει τα καλώδια.



Εικόνα 89: Σχηματική απεικόνιση τερματικού διακόπτη.

3.8.3.1. Τοποθέτηση τερματικού διακόπτη για τον άξονα Y

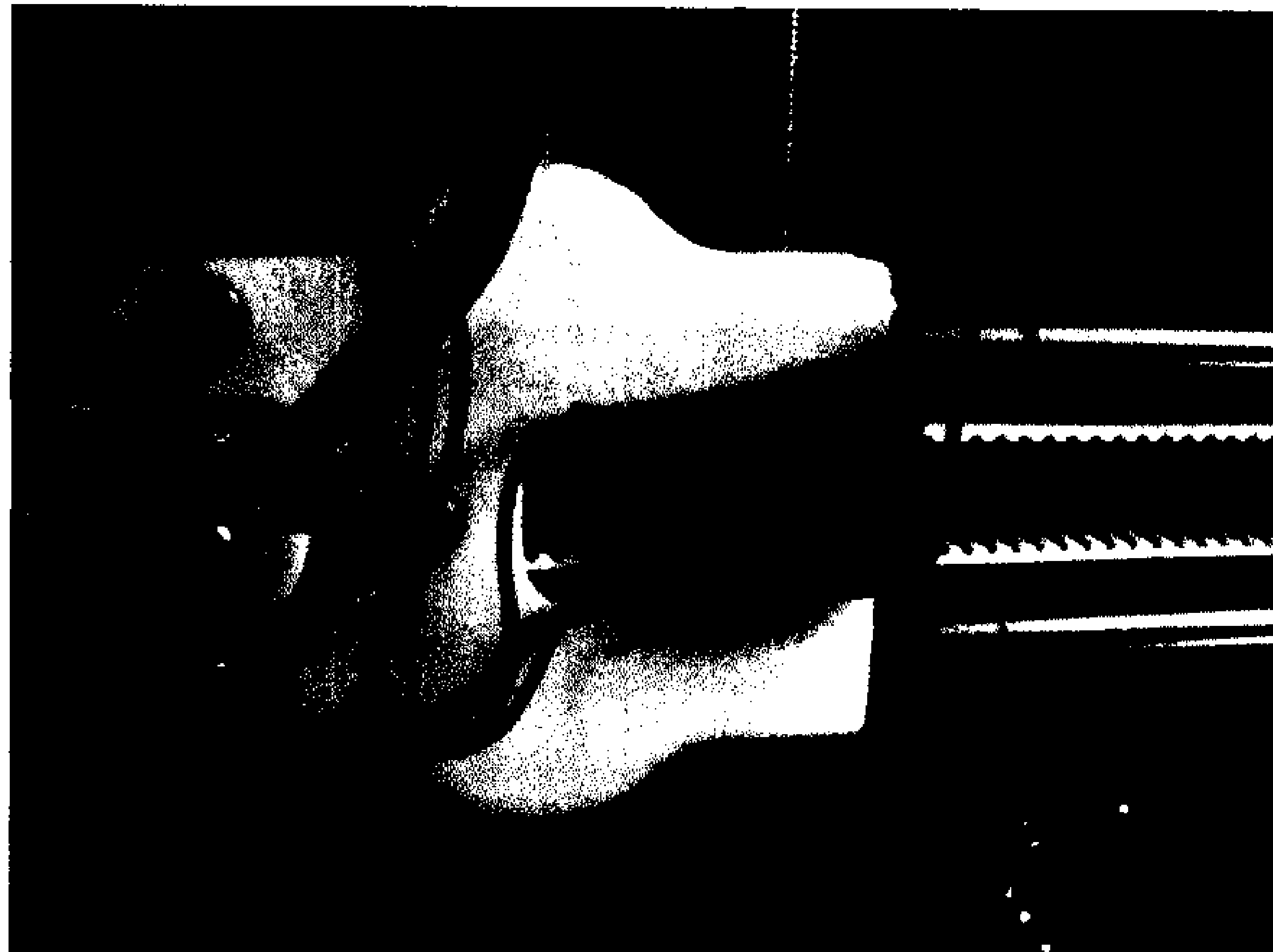
Ο τερματικός διακόπτης τοποθετείται σε μία βάση, δίπλα στον βηματικό κινητήρα του άξονα Y. η τοποθέτηση του γίνεται πάνω σε μία πλαστική βάση με δύο βίδες 3mm.



Εικόνα 90: Τερματικός διακόπτης για τον άξονα Y.

3.8.3.2. Τοποθέτηση τερματικού διακόπτη για τον άξονα X

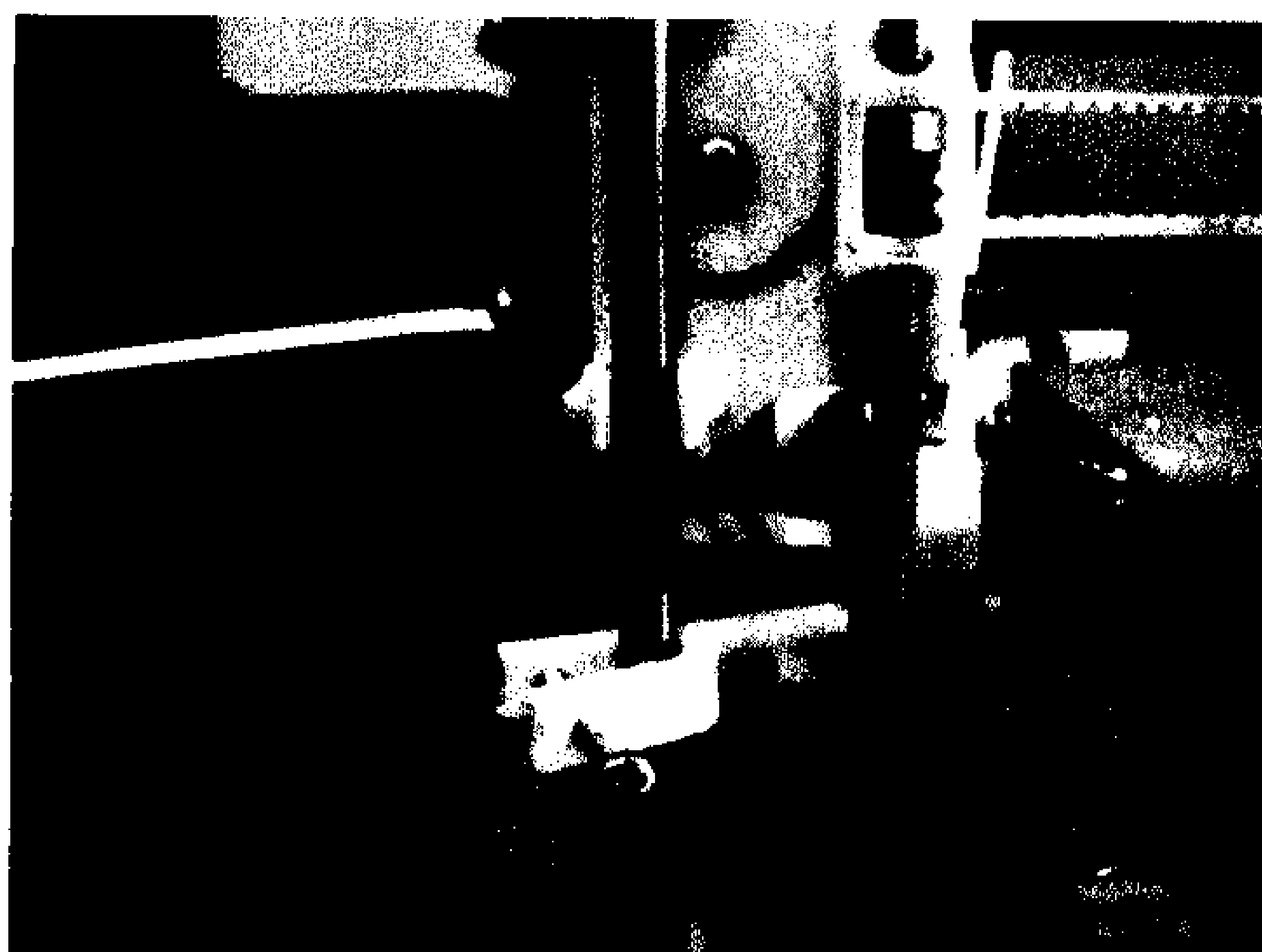
Ο τερματικός διακόπτης τοποθετείται πάνω στην βάση του βηματικού κινητήρα του άξονα X και στερεώνεται με δύο βίδες των 3mm.



Εικόνα 91: Τερματικός διακόπτης για τον άξονα X.

3.8.3.3. Τοποθέτηση τερματικού διακόπτη για τον άξονα Z

Ο τερματικός διακόπτης του άξονα Z τοποθετείται πάνω σε μία πλαστική βάση η οποία με την σειρά της τοποθετείται πάνω στην λεία ντίζα που κινείται ο άξονας Z. η βάση αυτή είναι ρυθμιζόμενη και μετακινείται πάνω ή κάτω ανάλογα με την ρύθμιση που έχεις κάνει στο ύψος του θερμαινόμενου τραπεζιού.



Εικόνα 92: τερματικός διακόπτης για τον άξονα Z.

3.8.4. Στερέωμα καλωδιώσεων πάνω στον σκελετό του εκτυπωτή

Πρώτο μέλημα στην διαδικασία αυτή είναι ο σωστός υπολογισμός του μήκους του καλωδίου που θα χρησιμοποιήσουμε για την κάθε καλωδίωση.

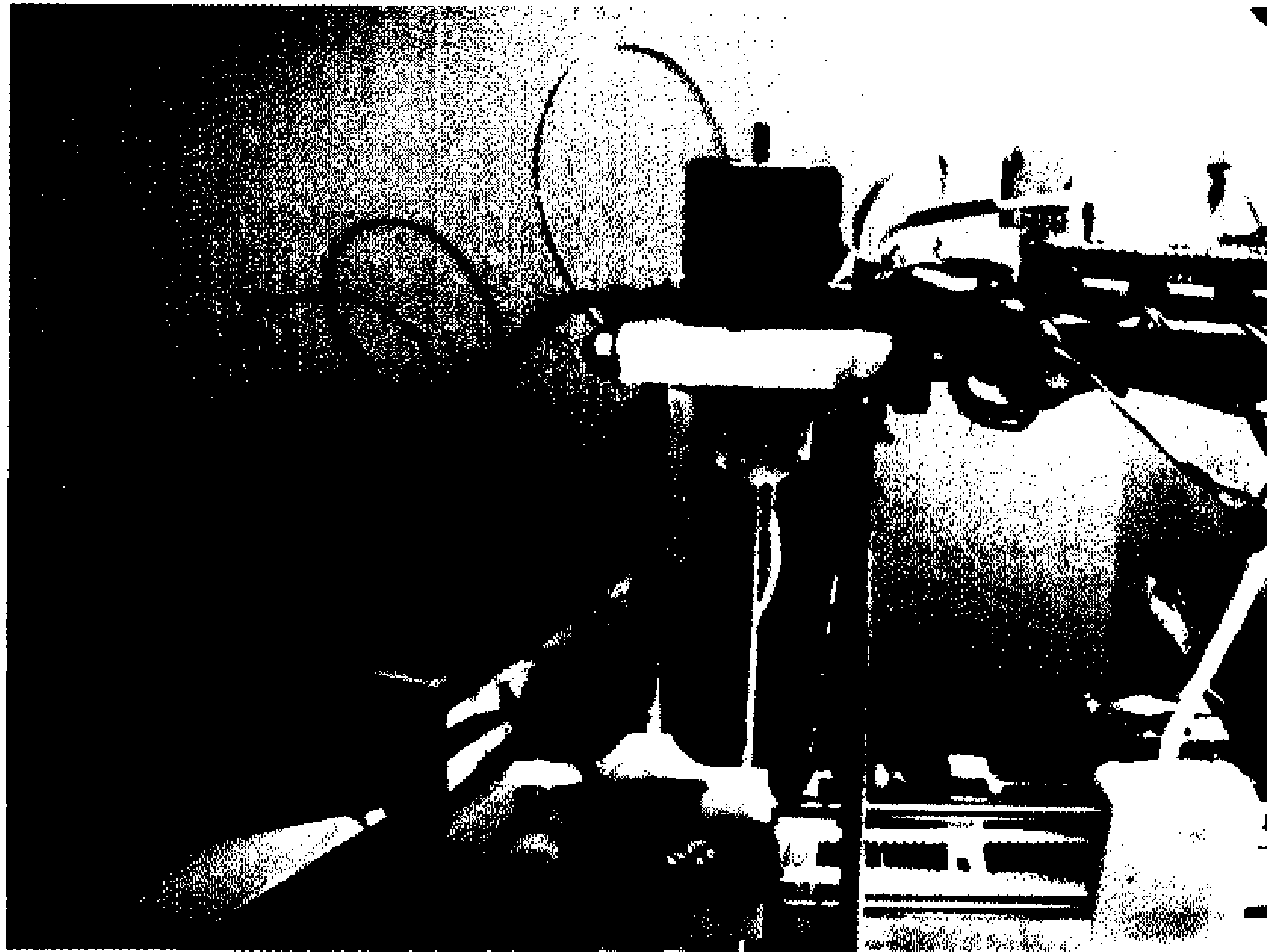
3.8.4.1. Στερέωμα καλωδίωσης άξονα Y και τροφοδοσίας της motherboard.



Εικόνα 93: Καλωδίωση άξονα Y και τροφοδοσίας.

3.8.4.2. Στερέωμα καλωδίωσης άξονα X.

Τα καλώδια πρέπει να έχουν την απαραίτητη ελευθερία ούτως ώστε να γίνεται ανεμπόδιστα η κίνηση του άξονα Z.



Εικόνα 94: Καλωδίωση άξονα X.

3.8.4.3. Στερέωμα καλωδίωσης θερμαινόμενης κεφαλής.

Τα καλώδια πρέπει να έχουν το απαραίτητο μήκος ούτως ώστε η κίνηση της κεφαλής στον άξονα Z να γίνεται με την απαραίτητη ελευθερία.



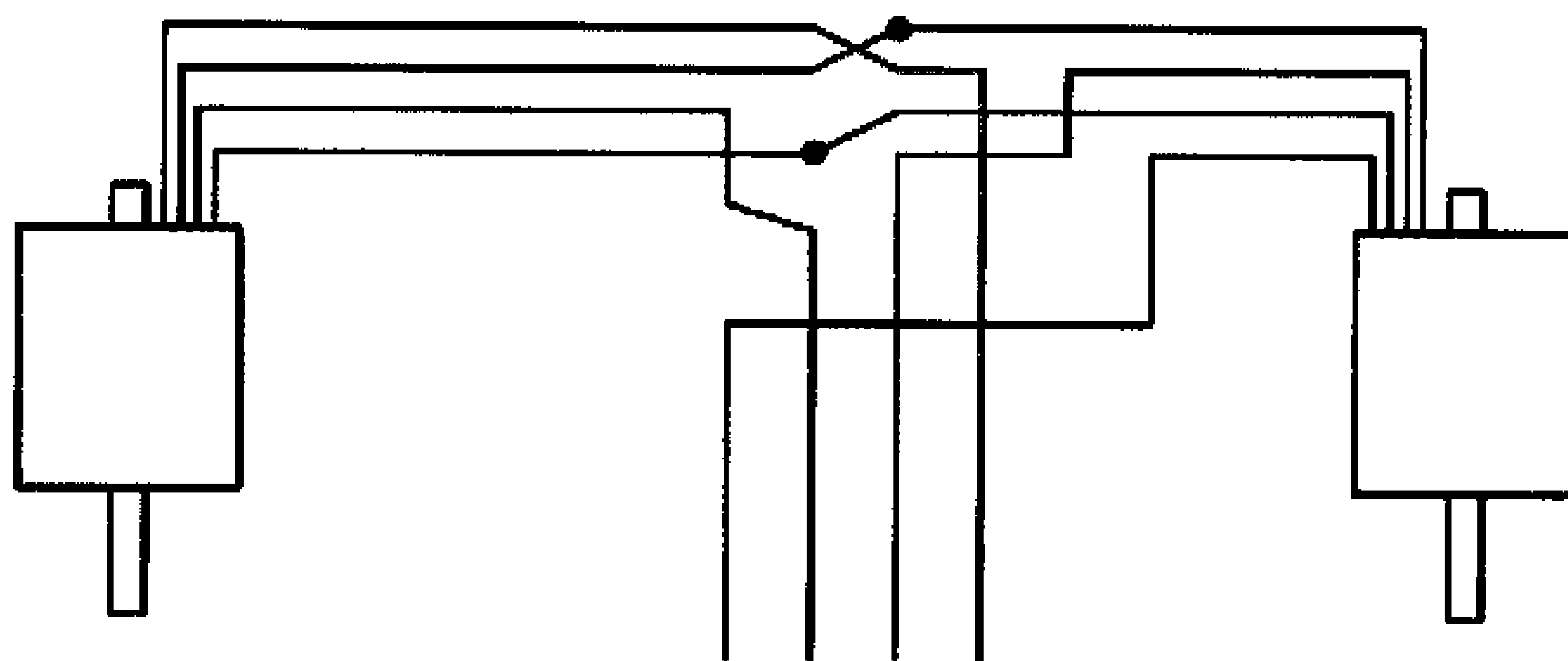
Εικόνα 95: Καλωδίωση θερμαινόμενης κεφαλής.

3.8.4.4. Στερέωμα καλωδίου USB και τερματικών διακοπών.

Στερεώνουμε κι εδώ καλώδια με τέτοιο τρόπο πάνω στον σκελετό του εκτυπωτή ώστε να μην εμποδίζεται η λειτουργία των κινητών μερών του (Άξονας X, Y, Z).

3.8.5. Συνδεσμολογία βηματικών κινητήρων άξονα Z.

Η κίνηση στον άξονα Z γίνεται από δύο βηματικούς κινητήρες. Η κίνηση των δύο αυτών κινητήρων πρέπει να είναι ταυτόχρονη οπότε τους συνδέουμε σε σειρά. Η συνδεσμολογία φαίνεται στην εικόνα που ακολουθεί.



Εικόνα 96: Συνδεσμολογία των καλωδίων των βηματικών κινητήρων του άξονα Z.

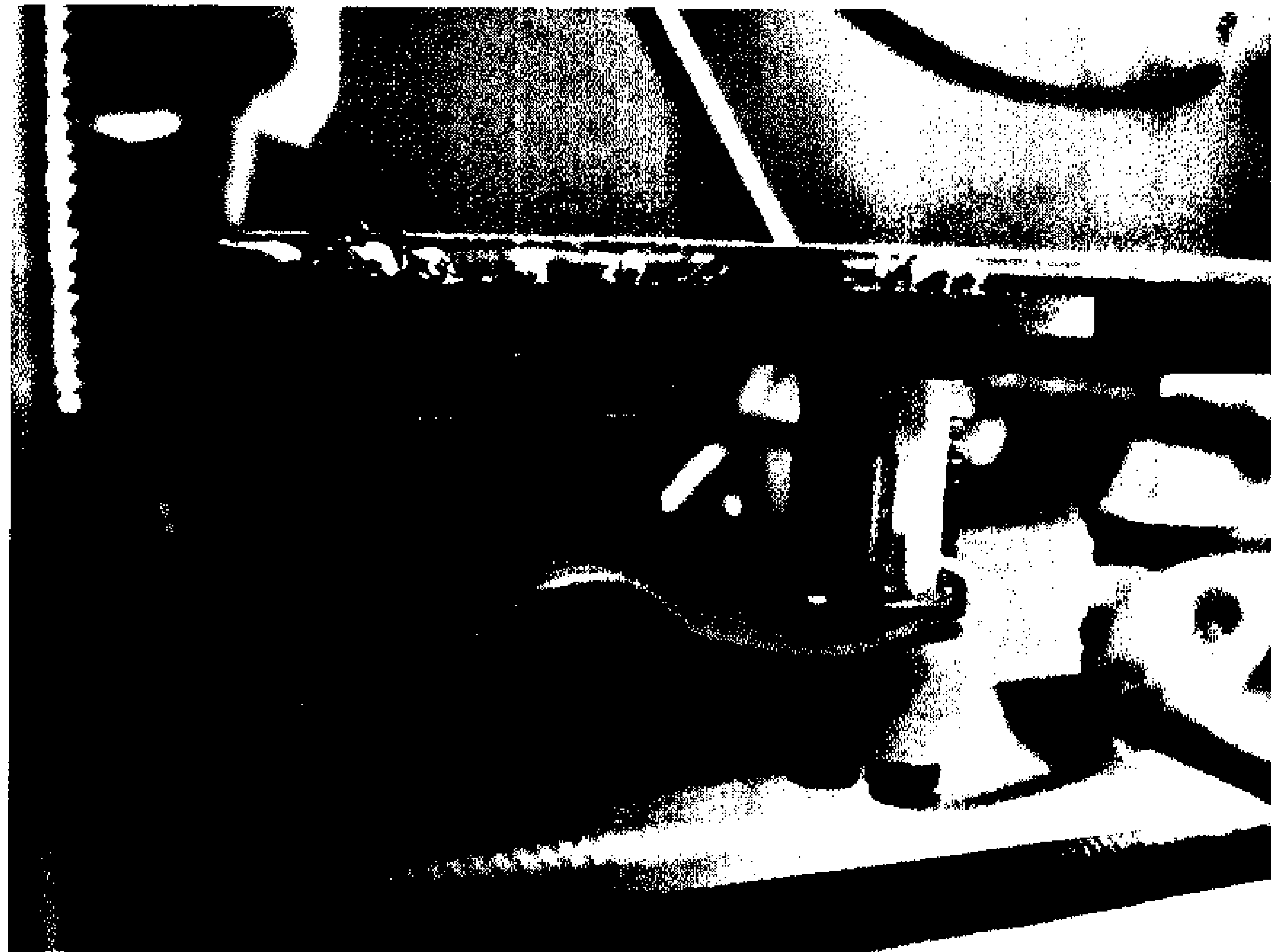
Αφού γίνει η σύνδεση των βηματικών κινητήρων σε σειρά, συνδέουμε τα ελεύθερα άκρα των καλωδίων σε μία κλέμα.



Εικόνα 97: Σύνδεση καλωδίων βηματικών κινητήρων σε κλέμα.

3.8.6. Σύνδεση καλωδίων του θερμαινόμενου τραπεζιού.

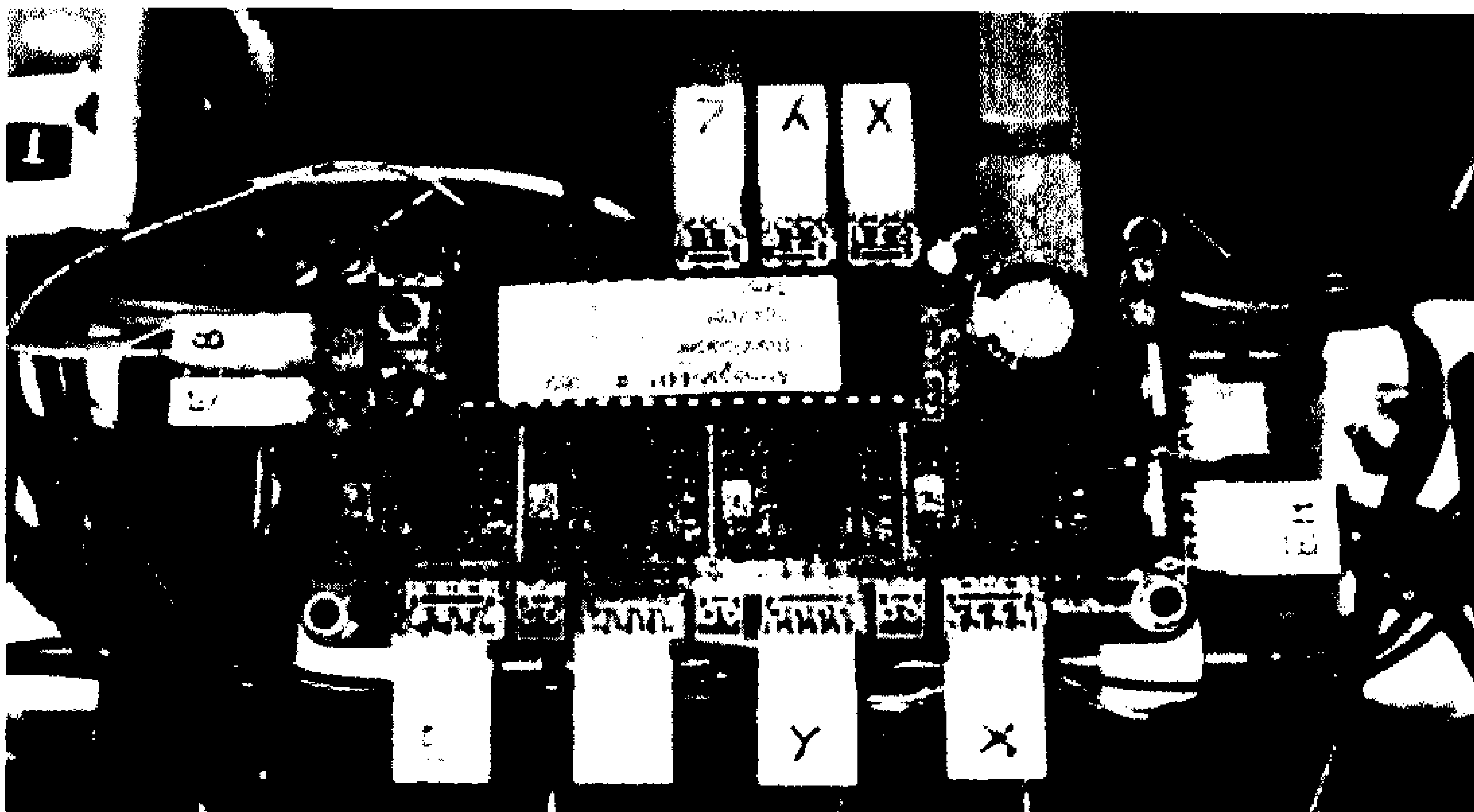
Η σύνδεση γίνεται με ένα καλώδιο τεσσάρων καναλιών και μία κλέμα. Χωρίζουμε τα καλώδια μεταξύ τους για περίπου 2cm και περνάμε κάθε ένα από αυτά σε μία από τις θέσεις για καλώδια της κλέμας. Αφού τοποθετήσουμε τα καλώδια στην θέση τους, πιέζουμε την κλέμα σε μία μέγγενη. Με αυτόν τον τρόπο ασφαλίζουμε τα καλώδια στην κλέμα. Η κλέμα τοποθετείται στην συνέχεια στο κάτω μέρος του θερμαινόμενου τραπεζιού. Το καλώδιο τέλος στερεώνεται μαζί με τα καλώδια τροφοδοσίας του τραπεζιού.



Εικόνα 98: Συνδεδεμένα καλώδια θερμαινόμενου τραπεζιού.

3.8.7. Σύνδεση όλων των καλωδιώσεων με την motherboard Sanguinololu.

Αρχικά παραθέτω μία εικόνα της motherboard η οποία θα μας βοηθήσει στην συνδεσμολογία των επιμέρους καλωδιώσεων πάνω σε αυτή.



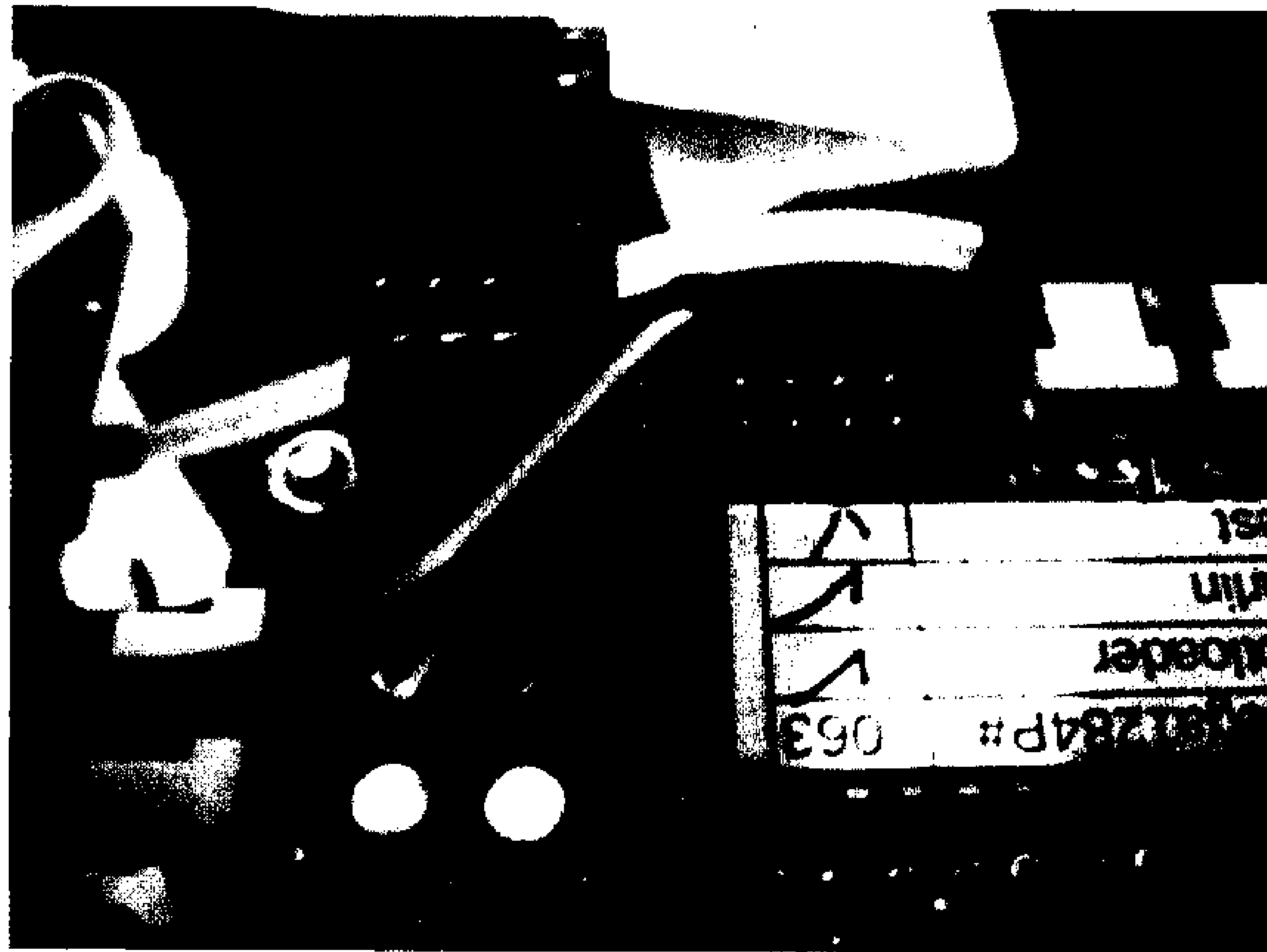
Εικόνα 99: Μητρική πλακέτα με την συνδεσμολογία της.

Πρώτα συνδέουμε τα καλώδια της τροφοδοσίας του εκτυπωτή. Αυτά συνδέονται στην πράσινη κλέμα δίπλα στον μεγάλο πυκνωτή, πάνω δεξιά της εικόνας. Μαζί με τα καλώδια αυτά συνδέουμε στην ίδια κλέμα και τα καλώδια τροφοδοσίας του ανεμιστήρα που ψύχει την θερμαινόμενη κεφαλή. Το κόκκινο καλώδιο πηγαίνει στο (+) και το μπλε στο (-).

Μετά συνδέουμε το καλώδιο των τεσσάρων καναλιών του θερμαινόμενου τραπεζιού. Τα καλώδια πρέπει να χωριστούν. Τα τέσσερα καλώδια από την έξω μεριά του τραπεζιού και προς τα μέσα είναι: για τον ανιχνευτή για την αντίσταση, για το θερμίστορ και για την γείωση. Το συγκεκριμένο μοντέλο δεν έχει χρησιμοποιεί ανιχνευτή.

Συνεχίζουμε με τις λοιπές συνδέσεις:

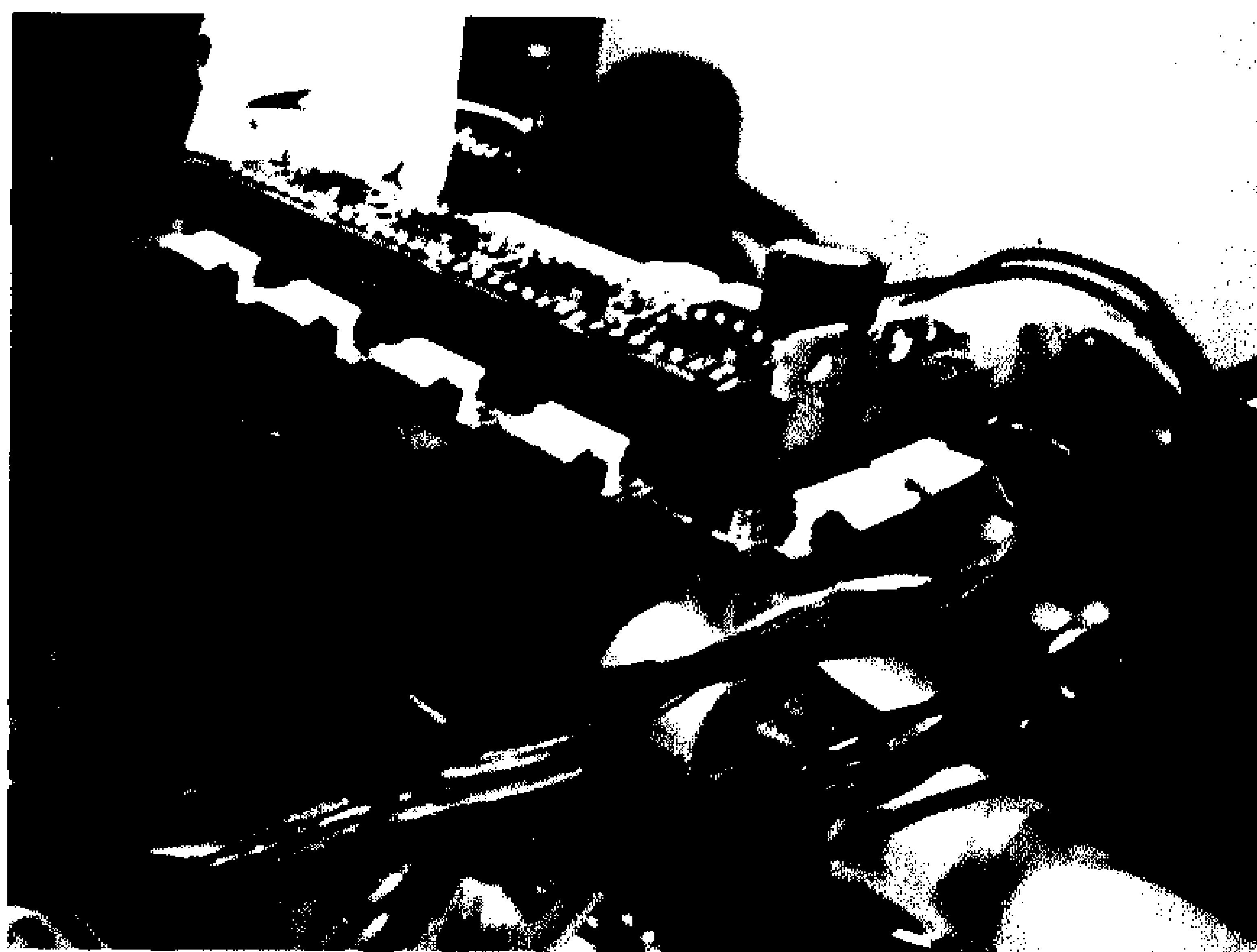
- Οι τερματικοί διακόπτες πηγαίνουν στα γράμματα X, Y, Z που βρίσκονται στο πάνω μέρος της motherboard. Κάθε τερματικός πηγαίνει και στην αντίστοιχη θέση. Ο τερματικός του άξονα X πηγαίνει στο γράμμα X κ.ο.κ.
- Τα καλώδια από την πλεξούδα του τραπεζιού που ελέγχει το MOSFET πηγαίνει στην ακίδα δίπλα στην card reader. Η ακίδα αυτή ελέγχει την θερμοκρασία του τραπεζιού και δίνει τάση 5 Volt όταν θερμαίνεται το τραπέζι και 0Volt όταν δεν θερμαίνεται.



Εικόνα 100: Θέση καλωδίου για τον έλεγχο της θερμοκρασίας του τραπεζιού.

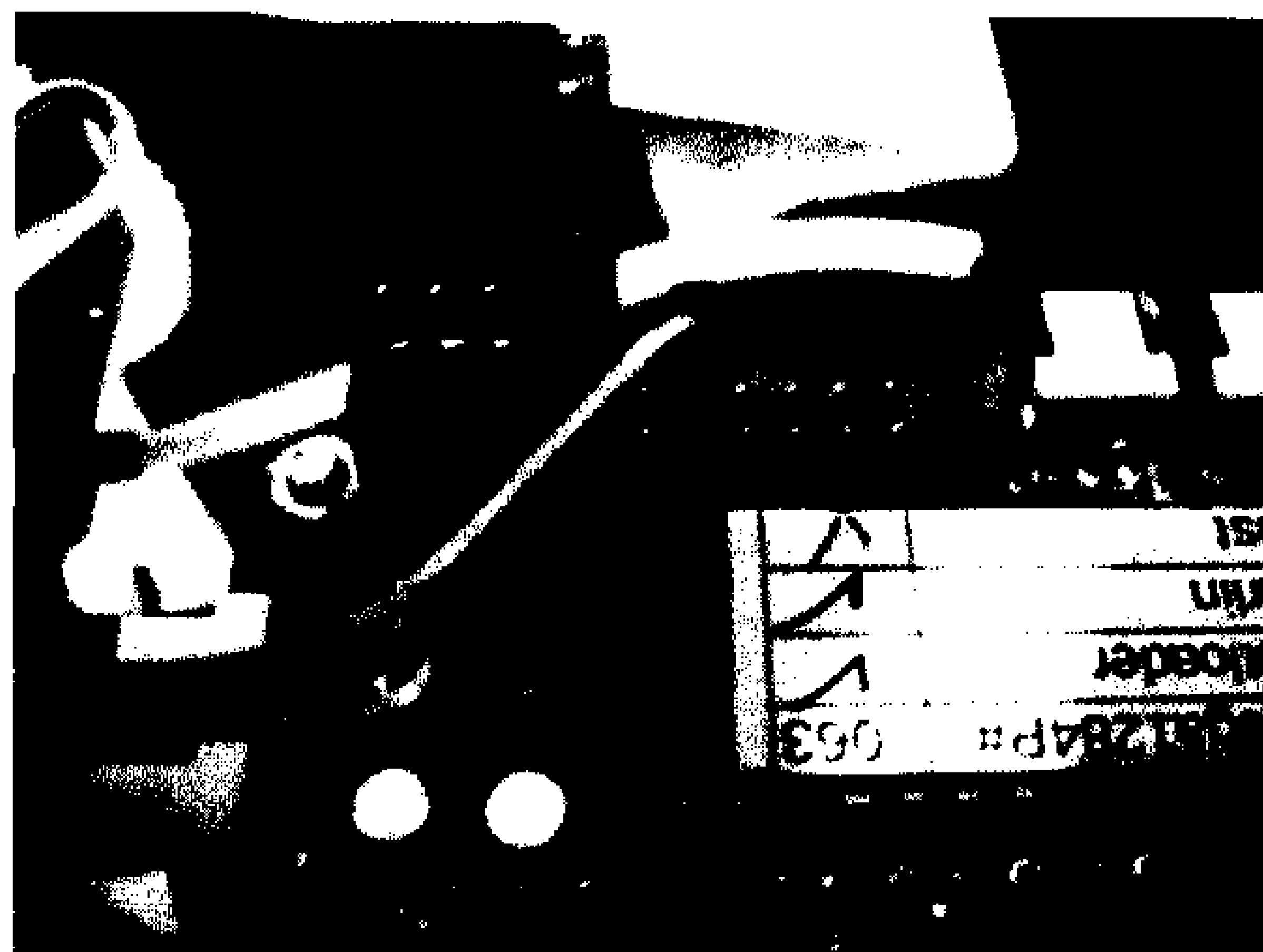
- Οι υποδοχές E και B (πάνω αριστερά της motherboard): είναι για τα θερμίστορ του extruder του τραπεζιού αντίστοιχα. Πρέπει να προσέξουμε την πολικότητα του θερμίστορ του τραπεζιού. Το καλώδιο που βρίσκεται τελευταίο στην πλεξούδα είναι η γείωση οπότε πρέπει να συνδεθεί με την ακίδα που είναι η γείωση (πάνω στην motherboard). Η ακίδα αυτή βρίσκεται δίπλα στην υποδοχή του θερμίστορ του extruder.
- Η υποδοχή E (κάτω αριστερά της motherboard): είναι για τον βηματικό κινητήρα του extruder. Τα καλώδια με φορά από τα αριστερά προς τα δεξιά: κόκκινο, μπλε, πράσινο, μαύρο.

- Η υποδοχή Z είναι για τους βηματικούς κινητήρες του άξονα Z. Τα καλώδια από τα αριστερά προς τα δεξιά : κόκκινο, μπλε, πράσινο, μαύρο.
- Η υποδοχή Y είναι για τον βηματικό κινητήρα του άξονα Y. Τα καλώδια από τα αριστερά προς τα δεξιά: μαύρο, πράσινο, μπλε, κόκκινο.
- Η υποδοχή X είναι για τον βηματικό κινητήρα του άξονα X. Τα καλώδια από τα αριστερά προς τα δεξιά: μαύρο, πράσινο, μπλε, κόκκινο.
- Η υποδοχή EH είναι για την αντίσταση της θερμαινόμενης κεφαλής. Σε κάθε ένα από τα δύο καλώδια της αντίστασης και πιο συγκεκριμένα στο άκρο κάθε καλωδίου, ενώνουμε άλλα δύο καλώδια. Έτσι δημιουργούμε 4 απολήξεις καλωδίων οι οποίες ανά δύο, τις τοποθετούμε στην υποδοχή EH. Με τον τρόπο αυτό μειώνουμε την συγκέντρωση υψηλών τιμών έντασης ρεύματος στο PCB.



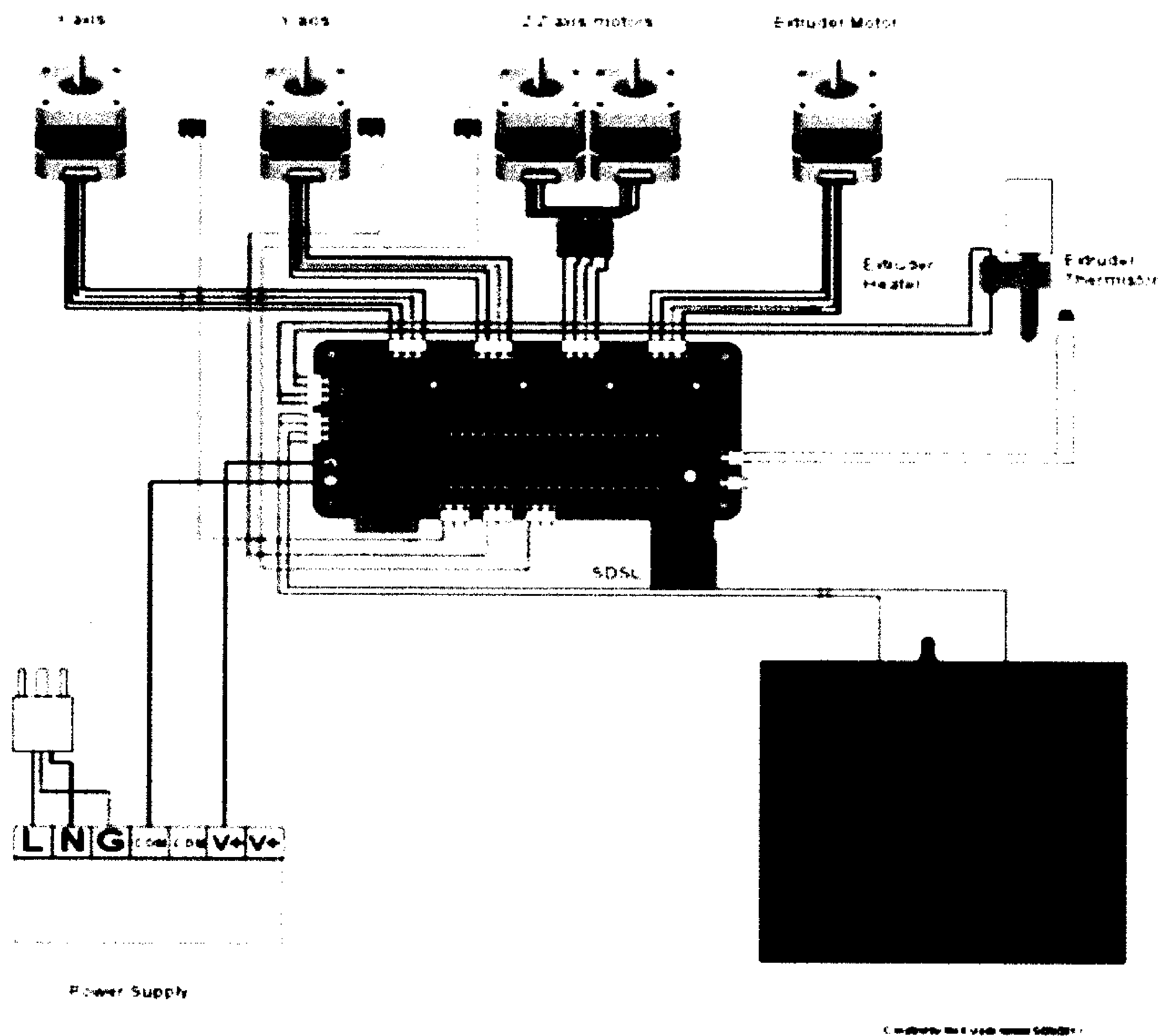
Εικόνα 101: Σύνδεση βηματικών κινητήρων με την μητρική πλακέτα.

- Τέλος συνδέουμε την card reader στις ακίδες που βρίσκονται στο πάνω δεξιά κομμάτι της παρακάτω εικόνας.



Εικόνα 102: Σύνδεση card reader.

Sanguinololu 1.2 Wiring Schematic



Εικόνα 103: Σχηματική αναπαράσταση της συνδεσμολογίας όλων των τμημάτων που συνεργάζονται με την motherboard.

3.9. Τελική δοκιμή και προσαρμογή ρυθμίσεων του εκτυπωτή

3.9.1. Επικοινωνία με τον εκτυπωτή

Πριν αρχίσουμε να επικοινωνούμε με τον εκτυπωτή, χρειαζόμαστε να εγκαταστήσουμε στον υπολογιστή μας το λογισμικό για την γλώσσα προγραμματισμού Python. Οι χρήστες Windows, πρέπει να εγκαταστήσουν την 32-bit έκδοση της Python ακόμα κι αν ο υπολογιστής τους δουλεύει με Windows 64-bit.

3.9.2. Σύνδεση USB

Έχοντας τον εκτυπωτή εκτός παροχής ρεύματος, συνδέουμε το καλώδιο του USB στην υποδοχή της motherboard. Το άλλο άκρο του καλωδίου το συνδέουμε με την θύρα USB του υπολογιστή. Αν ο υπολογιστής δεν μπορέσει να βρει τον οδηγό εγκατάστασης για την συνδεδεμένη USB συσκευή, τότε πρέπει να κατεβάσουμε και να εγκαταστήσουμε τον οδηγό από το παρακάτω site:

- http://www.ftdichip.com/Drivers/CDM/CDM20814_Setup.exe

3.9.3. Επικοινωνία με τον εκτυπωτή

Για να μπορεί ο χρήστης να επικοινωνήσει με τον εκτυπωτή, θα πρέπει να εγκαταστήσει το λογισμικό της εταιρείας RepRapPro. Το λογισμικό αυτό είναι το Pronterface και μπορεί να το κατεβάσει δωρεάν από την παρακάτω ιστοσελίδα:

- <https://github.com/reprappro/Software>

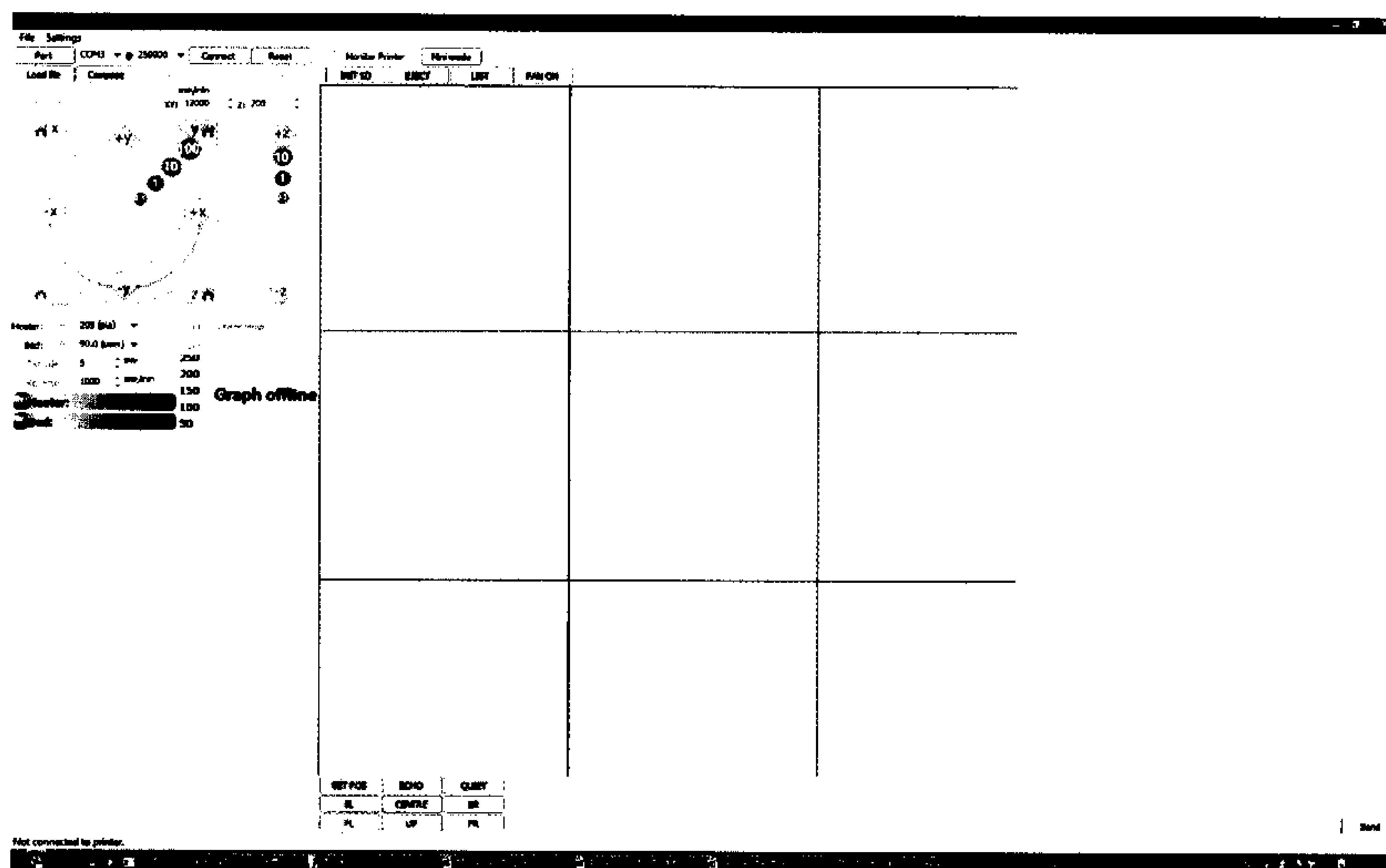
Το Pronterface είναι ένα λογισμικό το οποίο είναι γραμμένο σε γλώσσα προγραμματισμού Python. Το λογισμικό αυτό αποτελεί την οπτική απεικόνιση των λειτουργιών του εκτυπωτή και την διαχείριση τους. Με αυτό το πρόγραμμα μπορούμε να διαβάσουμε και να φορτώσουμε στον εκτυπωτή σχέδια σε μορφή .stl και G-code. Το Pronterface διαβάζει αρχεία στερεολιθογραφίας (.stl) και με χρήση ενός άλλου εργαλείου του συγκεκριμένου λογισμικού, το skeinforge, μετατρέπει αυτού του είδους τα αρχεία σε κώδικα για μηχανές CNC (G-code). Όπως είναι προφανές, ο εκτυπωτής διαβάζει και εκτελεί τις λειτουργίες του με βάση τον συγκεκριμένο κώδικα (G-code).

Το Skeinforge είναι ίσως το πιο χρήσιμο εργαλείο για την 3D εκτύπωση. Το συγκεκριμένο εργαλείο, μετατρέπει ένα αρχείο στερεολιθογραφίας, δηλαδή ένα αρχείο το οποίο αποτελείται από πάρα πολλά τρίγωνα τα οποία σχηματίζουν κατά προσέγγιση το αρχικό σχέδιο που θέλουμε να εκτυπώσουμε (τριγωνοποίηση), σε κώδικα για μηχανές CNC. Το εργαλείο αυτό χωρίζει το σχήμα που είναι αποθηκευμένο σε μορφή .stl σε οριζόντια επίπεδα, συγκεκριμένου πάχους (το πάχος εξαρτάται από το είδος και τον τύπο της μηχανής) και τα αποθηκεύει σε ένα αρχείο G-code. Το Skeinforge εκτός από τον τεμαχισμό του σχήματος εκτελεί ακόμα και τις παρακάτω εργασίες:

- Δημιουργεί ένα μοτίβο για τον τρόπο εναπόθεσης του υλικού για την εκτύπωση του αντικειμένου. Στόχος του είναι όσον το δυνατόν μεγαλύτερη οικονομία στο υλικό και ταυτόχρονα καλύτερη ποιότητα του εκτυπώσιμου αντικειμένου. Είναι κοινώς ένα εργαλείο βελτιστοποίησης της διαδικασίας της εκτύπωσης.
- Δημιουργεί βοηθητικές δομές κατά την εκτύπωση αντικειμένων με περίπλοκο γεωμετρικό σχήμα. (Στηρίγματα, βοηθητικά επίπεδα στήριξης, κ.α.)

Μετά την εγκατάσταση του απαραίτητου λογισμικού, συνδέουμε τον εκτυπωτή με τον υπολογιστή με το καλώδιο USB και τρέχουμε το αρχείο pronterface.py.

Με την εκτέλεση της εντολής, εμφανίζεται στην οθόνη του υπολογιστή η παρακάτω εικόνα.



Εικόνα 104: Παράθυρο λειτουργιών του προγράμματος Pronterface.

Η εικόνα αυτή είναι γραφική απεικόνιση των λειτουργιών του Pronterface. Την πρώτη φορά που θα τρέξουμε το συγκεκριμένο πρόγραμμα, πρέπει να επιλέξουμε το σωστό προφίλ χρήσης του εκτυπωτή μας. Αυτό γίνεται από την γραμμή ρυθμίσεων. Επιλέγουμε τις ρυθμίσεις για την εκτύπωση (slicing settings). Από αυτό το μενού επιλέγουμε το προφίλ που θέλουμε να χρησιμοποιήσουμε. Αναλόγως τον εκτυπωτή και το εκτυπώσιμο υλικό επιλέγουμε το αντίστοιχο προφίλ. Για την περίπτωση το συγκεκριμένου εκτυπωτή (Huxley) και για υλικό PLA, επιλέγουμε το προφίλ Huxley-PLA-05-03 και πατάμε αποθήκευση.

Στην συνέχεια επιλέγουμε την ενεργή θύρα USB και πατάμε το πλήκτρο σύνδεση. Περιμένουμε λίγο μέχρι να συνδεθεί ο εκτυπωτής. Μόλις συνδεθεί πατάμε το πλήκτρο GET POS (ο εκτυπωτής παίρνει την αρχική του θέση) και κοιτάμε αν ο εκτυπωτής πήρε την αρχική του θέση. Αν το σημείο που πηγαίνει είναι το (0,0,0) τότε ο εκτυπωτής λειτουργεί κανονικά.

3.9.4. Κίνηση Βηματικών κινητήρων

Ξεκινάμε με το να μηδενίσουμε την ένταση του ρεύματος των βηματικών κινητήρων ρυθμίζοντας τα ποτενσιόμετρα τους. Τα ποτενσιόμετρα βρίσκονται στους οδηγούς των κινητήρων (stepper drivers) πάνω στην motherboard.

Στη συνέχεια συνδέουμε τον εκτυπωτή με την παροχή του ρεύματος. Ελέγχουμε για τυχόν καπνούς στην περίπτωση που έχουμε σύνδεση κάτι λάθος. Επιπλέον ελέγχουμε τους βηματικούς κινητήρες (πρέπει να είναι κρύοι εφόσον έχουμε μηδενίσει την ένταση του ρεύματος).

Αν όλα είναι εντάξει, ρυθμίζουμε με την βοήθεια ενός πολύμετρου την τάση των βηματικών κινητήρων στα 0.4 volt. Αυτή είναι μία αρχική εκτίμηση της τάσης. Αν κάποιος βηματικός κινητήρας υπολειτουργεί (κάνει θόρυβο και ζορίζεται στην κίνηση του) ή ζεσταίνεται αρκετά, ρυθμίζουμε εκ νέου την τάση αυξάνοντας ή μειώνοντας αντίστοιχα την αρχική εκτίμηση που είχαμε κάνει για την τιμή της.

3.9.5. Τερματικοί διακόπτες

Για να ελέγξουμε εάν οι τερματικοί διακόπτες λειτουργούν σωστά, δίνουμε στον εκτυπωτή την παρακάτω εντολή:

G1 X-20 F100 (απόσταση 20 mm και ταχύτητα 100mm\ min)

Μόλις ο εκτυπωτής αρχίσει να λειτουργεί και συγκεκριμένα έχουμε κίνηση στον άξονα X (παραπάνω εντολή), πατάμε τον τερματικό διακόπτη του άξονα X και κοιτάμε να δούμε εάν κόβεται η παροχή ρεύματος στον άξονα X (βηματικός κινητήρας άξονα X).

Επαναλαμβάνουμε την ίδια διαδικασία και για τους άξονες Y και Z αλλάζοντας το γράμμα X και βάζοντας στην θέση του το γράμμα Y ή Z αναλόγως με τον πιο άξονα θέλουμε να δοκιμάσουμε.

Εάν οι τερματικοί διακόπτες λειτουργούν σωστά συνεχίζουμε στο επόμενο βήμα. Εάν όχι ελέγχουμε τις συνδέσεις των τερματικών διακοπών με την παροχή του ρεύματος και κοιτάμε για τυχόν ασυνέχειες στα καλώδια.

3.9.6. Ευθυγράμμιση τμημάτων του εκτυπωτή

3.9.6.1. Ευθυγράμμιση άξονα X

Με ένα παχύμετρο μετράμε την απόσταση της κάτω ράβδου του άξονα X με την ράβδο που κινείται πάνω της ο άξονας Y. Η απόσταση στα δύο άκρα του άξονα X πρέπει να είναι ίδια. Αν βρούμε κάποια διαφορά, τότε γυρίζουμε δεξιόστροφα ή αριστερόστροφα την ντίζα που μετακινεί τον άξονα X κατά την διεύθυνση Z και κάνουμε τις απαραίτητες διορθώσεις.

3.9.6.2. Ευθυγράμμιση θερμαινόμενου τραπέζιού

Τοποθετούμε τον εκτυπωτή σε μία επίπεδη επιφάνεια και με ένα αλφάδι το ευθυγραμμίζουμε. Έχοντας τον εκτυπωτή σε ευθυγραμμισμένη θέση, χρησιμοποιώντας πάλι το αλφάδι, ευθυγραμμίζουμε και το θερμαινόμενο τραπέζι. Οι μικρορυθμίσεις που χρειάζονται για να ευθυγραμμίσουμε το τραπέζι, γίνονται με τις τρεις βίδες που συγκρατούν το τραπέζι. Ανάλογα με το πια πλευρά αποκλίνει και προς τα πού, σφίγγουμε ή ξεσφίγγουμε την αντίστοιχη βίδα. Τέλος για να επαληθεύσουμε την ευθυγράμμιση του τραπέζιού, κατεβάζουμε την θερμαινόμενη κεφαλή και την ακουμπάμε σχεδόν πάνω στο τραπέζι. Αυτό το κάνουμε στις τέσσερις γωνίες του τραπέζιού. Εάν η απόσταση της κεφαλής και του τραπέζιού είναι ίδια τότε είμαστε έτοιμοι.

3.9.6.3. Θέση λειτουργίας άξονα Z.

Τοποθετούμε ένα φύλλο χαρτί πάνω στο τραπέζι. Κατεβάζουμε την κεφαλή μέχρι να ακουμπήσει το φύλλο (περίπου 0.3mm). Μόλις ακουμπήσει το φύλλο, τοποθετούμε τον τερματικό διακόπτη στην θέση αυτή και τον σταθεροποιούμε. Επομένως ο άξονας Z θα έχει ελάχιστη απόσταση από το τραπέζι 0.3mm περίπου.

3.9.7. Θερμαινόμενα στοιχεία

3.9.7.1. Θερμαινόμενο τραπέζι.

Αρχικά ζητάμε από το πρόγραμμα να μας δώσει την θερμοκρασία που έχει το τραπέζι σε θερμοκρασία περιβάλλοντος. Εάν η θερμοκρασία του τραπέζιού είναι κοντά σε αυτήν του περιβάλλοντος τότε το θερμίστορ δουλεύει σωστά. Επόμενη κίνηση είναι να ζητήσουμε από τον εκτυπωτή να ανεβάσει θερμοκρασία στο τραπέζι. Μέσω του Pronterface ζητάμε από το τραπέζι να ανεβάσει θερμοκρασία μέχρι τους 45°C. Μόλις φτάσει το τραπέζι την θερμοκρασία, ακουμπάμε με το χέρι μας το τραπέζι για να δούμε εάν ζεστάθηκε.

3.9.7.2. Θερμαινόμενη κεφαλή

Ζητάμε από το πρόγραμμα να ανεβάσει θερμοκρασία 100°C στην κεφαλή. Ελέγχουμε την κεφαλή για τυχόν καπνούς ή κάτι το ανησυχητικό. Εάν δεν δούμε κάτι το μεμπτό, ζητάμε από το πρόγραμμα να ανεβάσει κι άλλο την θερμοκρασία στους 200°C. Η κεφαλή πρέπει να

φτάσει σε αυτή την θερμοκρασία σε λιγότερο από ένα λεπτό. Τον έλεγχο της θερμοκρασίας τον κάνουμε από την γραφική απεικόνιση της μέσα στο περιβάλλον του Pronterface (γράφημα στο κάτω μέρος της οθόνης). Εάν η θερμοκρασία καθυστερήσει να πιάσει την επιθυμητή τιμή, τότε μπορούμε να παρέμβουμε στο firmware και να αλλάξουμε την αρχική τιμή του. Η αρχική τιμή που έχει οριστεί στο Firmware είναι 80. Μέσα από το αρχείο G-code, μπορούμε να παρέμβουμε και να αλλάξουμε αυτή την ρύθμιση. Με την εντολή M301 Ww, όπου w: 0- 255 και μία τιμή w=120 για PLA και w=180 για ABS μπορούμε να έχουμε γρηγορότερη απόκριση της κεφαλής στην απαίτηση μας για συγκεκριμένη θερμοκρασία.

3.9.8. Μηχανισμός εξώθησης υλικού

Μόλις σιγουρευτούμε ότι η κεφαλή δουλεύει σωστά, επόμενο βήμα είναι να ελέγξουμε εάν η εξώθηση του υλικού γίνεται με σωστό τρόπο. Η δοκιμή θα γίνει με το χέρι. Αφού θερμαίνουμε την κεφαλή στους 205° C, παίρνουμε ένα κομμάτι από το υλικό εξώθησης (νήμα PLA) και το περνάμε μέσα από τον πλαστικό σωλήνα οδήγησης του νήματος προς την κεφαλή. Σπρώχνουμε σιγά το νήμα PLA προς την θερμαινόμενη κεφαλή και κοιτάμε το υλικό να εξέρχεται τηγμένο διαμέσου την κεφαλής. Εφόσον το υλικό μας τήκεται και εξωθείται χωρίς πρόβλημα, θα επαναλάβουμε την ίδια διαδικασία, αυτή την φορά με την βοήθεια του μηχανισμού εξώθησης.

Τοποθετούμε ένα κομμάτι πλαστικού νήματος από τον μηχανισμό εξώθησης και δίνοντας εντολή στον εκτυπωτή, του ζητάμε να αρχίσει την εξώθηση με ταχύτητα 200mm/min. Είναι μια ταχύτητα αρκετή για να μπορούμε να ελέγξουμε την όλη διαδικασία καθώς και να προλάβουμε να παρέμβουμε εάν κάτι δεν λειτουργήσει σωστά. Μόλις δούμε ότι το νήμα εξωθείται από την κεφαλή και η όλη διαδικασία δεν παρουσιάζει κάποια επιπλοκή, ο εκτυπωτής είναι πλέον σε θέση να ξεκινήσει να εκτυπώνει.

3.10. Εκτύπωση

3.10.1. Εισαγωγή

Οι εκτυπωτές της εταιρείας RepRapPro πωλούνται στο εμπόριο σαν μία ολοκληρωμένη λύση για την τρισδιάστατη εκτύπωση, καθώς παρέχονται στον αγοραστή προκαθορισμένες ρυθμίσεις για εκτύπωση πλαστικού νήματος PLA και ABS. Οι ρυθμίσεις αυτές μπορούν να επεξεργαστούν και να αλλάξουν ανάλογα με τις εκάστοτε απαιτήσεις που έχει τόσο του αγοραστή όσο και το υλικό.

3.10.2. Προετοιμασία εκτυπωτή για την εκτύπωση

Πριν ξεκινήσουμε την εκτύπωση κάποιου αντικειμένου, πρέπει να θερμάνουμε αρχικά το τραπέζι. Ξεκινάμε με την θέρμανση του τραπεζιού γιατί λόγω της μεγάλης του επιφάνειας χρειάζεται αρκετό χρόνο μέχρι να φτάσει στην επιθυμητή θερμοκρασία. Για εκτύπωση αντικειμένου με νήμα PLA, το τραπέζι θα πρέπει να θερμανθεί σε θερμοκρασία 85°C περίπου. Αυτή η διαδικασία χρειάζεται περίπου δεκαπέντε λεπτά.

3.10.3. Προετοιμασία αρχείου για εκτύπωση

Το τρισδιάστατο μοντέλο που θέλουμε να εκτυπώσουμε θα πρέπει να αποθηκευτεί σε ένα είδος αρχείου το οποίο μπορεί να αναγνωρίσει ο εκτυπωτής. Ο εκτυπωτής για να εκτυπώσει ένα αντικείμενο θα πρέπει αυτό να είναι αποθηκευμένο σε μορφή .stl ή να έχει την μορφή G-code. Το λογισμικό του Pronterface μπορεί να διαβάσει και τους δύο αυτούς τύπους αρχείου. Φορτώνουμε το αρχείο (συνήθως σε μορφή .stl), και βλέπουμε την πορεία φόρτωσης του στο παράθυρο εντολών του Pronterface. Μόλις ολοκληρωθεί η φόρτωση του αρχείου στο παράθυρο του Pronterface εμφανίζεται η ποσότητα του νήματος που θα χρειαστεί για να εκτυπωθεί το αντικείμενο.

Ο εκτυπωτής μπορεί να εκτυπώσει είτε μέσω USB είτε μέσω της κάρτας μνήμης που είναι ενσωματωμένη στο μηχάνημα. Προτείνεται οι εκτυπώσεις να γίνονται μέσω της κάρτα μνήμης. Κι αυτό γιατί όταν η εκτύπωση γίνεται μέσω USB, ο υπολογιστής δεν δίνει την απαραίτητη προτεραιότητα στην εφαρμογή και έτσι έχουμε καθυστερήσεις στην μεταφορά δεδομένων και στην αλληλεπίδραση του υπολογιστή με τον εκτυπωτή. Ακόμα η εκτύπωση μέσω USB είναι πολύ ευαίσθητη στους θορύβους που μπορεί να έχει το καλώδιο του από την παροχή ρεύματος του υπολογιστή.

Για την εκτύπωση με την βοήθεια της κάρτα μνήμης, πρέπει να αποθηκεύσουμε στην κάρτα το αρχείο που θέλουμε να εκτυπώσουμε. Στην συνέχεια την συνδέουμε στον εκτυπωτή, φορτώνουμε το αρχείο και εκτυπώνουμε το αντικείμενο.

3.10.4. Έναρξη εκτύπωσης

Για να εκτυπώσουμε ένα αντικείμενο, θα πρέπει να επιλέξουμε το αρχείο που θέλουμε και να το φορτώσουμε στον εκτυπωτή είτε μέσω του καλωδίου USB, είτε μέσω της κάρτας μνήμης που είναι ενσωματωμένη στον εκτυπωτή.

Πριν την έναρξη κάθε εκτύπωσης ο εκτυπωτής ακολουθεί την παρακάτω διαδικασία ρουτίνας:

- Μετακινεί του άξονες X, Y, Z στο αρχικό σημείο τους που είναι προκαθορισμένο από το πρόγραμμα Pronterface.
- Θερμαίνουμε την κεφαλή στην απαραίτητη θερμοκρασία για την εξώθηση του υλικού εκτύπωσης,
- Μόλις η κεφαλή φτάσει την θερμοκρασία που της έχουμε ζητήσει, αρχίζει την εκτύπωση ενός περιγράμματος το οποίο περικλείει τον χώρο που θα γίνει η εκτύπωση του αντικειμένου. Αυτό γίνεται για να ελέγξουμε εάν η απόσταση της κεφαλής από το τραπέζι είναι η σωστή (0.3mm). Εάν δεν είναι μπορούμε να ρυθμίσουμε την απόσταση είτε χειροκίνητα ρυθμίζοντας τις ντίζες που είναι προσαρμοσμένες σε αυτές οι βηματικοί κινητήρες του άξονα Z, είτε με την εντολή M203 Z<τιμή>. Εάν η κεφαλή είναι πολύ κοντά στο τραπέζι τότε πρέπει να δώσουμε

τιμή με αρνητικό πρόσημο ούτως ώστε η κεφαλή να απομακρυνθεί από το τραπέζι. Εάν η κεφαλή είναι μακριά από το τραπέζι δίνουμε τιμή με θετικό πρόσημο ούτως ώστε η κεφαλή να πλησιάσει το τραπέζι.

3.10.5. Ρύθμιση του εκτυπωτή

Τα προφίλ εκτύπωσης του skeinforge έχουν κάποιες αρχικές ρυθμίσεις. Οι ρυθμίσεις αυτές καθορίζουν την ποσότητα του υλικού που θα τροφοδοτηθεί στον μηχανισμό εξώθησης για δεδομένο αριθμό βημάτων του κινητήρα του μηχανισμού. Μια κρίσιμη παράμετρος για την ποιότητα του παραγόμενου αντικειμένου είναι το κατά πόσο γνωρίζει το skeinforge την ακριβή ποσότητα του υλικού που τροφοδοτείται στον μηχανισμό εξώθησης. Κι αυτό γιατί η τροφοδοτούμενη ποσότητα υλικού από εκτυπωτή σε εκτυπωτή διαφέρει. Η ακριβής ποσότητα του υλικού καθορίζεται από την διάμετρο του νήματος. Επομένως για να έχουμε καλής ποιότητας εκτυπωμένα αντικείμενα θα πρέπει να μετρήσουμε την διάμετρο του νήματος και να την δώσουμε ως δεδομένο στο εκάστοτε προφίλ εκτύπωσης του skeinforge.

3.10.6. Αλλαγή νήματος εκτύπωσης

- Θέρμανση κεφαλής στην θερμοκρασία λειτουργίας του πλαστικού νήματος που είναι για αντικατάσταση.
- Λειτουργία του μηχανισμού εξώθησης ανάποδα. Έτσι το νήμα θα απομακρυνθεί από την κεφαλή εξώθησης και θα μπορέσουμε να το απομακρύνουμε.
- Με την εντολή M84 κλείνουμε την παροχή ρεύματος του κινητήρα του μηχανισμού εξώθησης.
- Τροφοδότηση του μηχανισμού εξώθησης με το νέο υλικό εκτύπωσης.
- Λειτουργία του μηχανισμού εξώθησης με ταχύτητα 200mm/ min έως ότου το νέο υλικό να φτάσει στην θερμαινόμενη κεφαλή.
- Ο εκτυπωτής είναι έτοιμος για εκτύπωση αντικειμένων με το νέο υλικό εκτύπωσης.

4. Παραδείγματα μοντέλων γαστρών

4.1. Τρεχαντήρι

4.1.1. Μορφή γάστρας

Έχοντας το σχέδιο γραμμών της γάστρας του τρεχαντηριού, σχεδιάζουμε την τρισδιάστατη μορφή της.

Οι πραγματικές διαστάσεις της γάστρας είναι οι εξής:

L_{OA} : 16.4 m

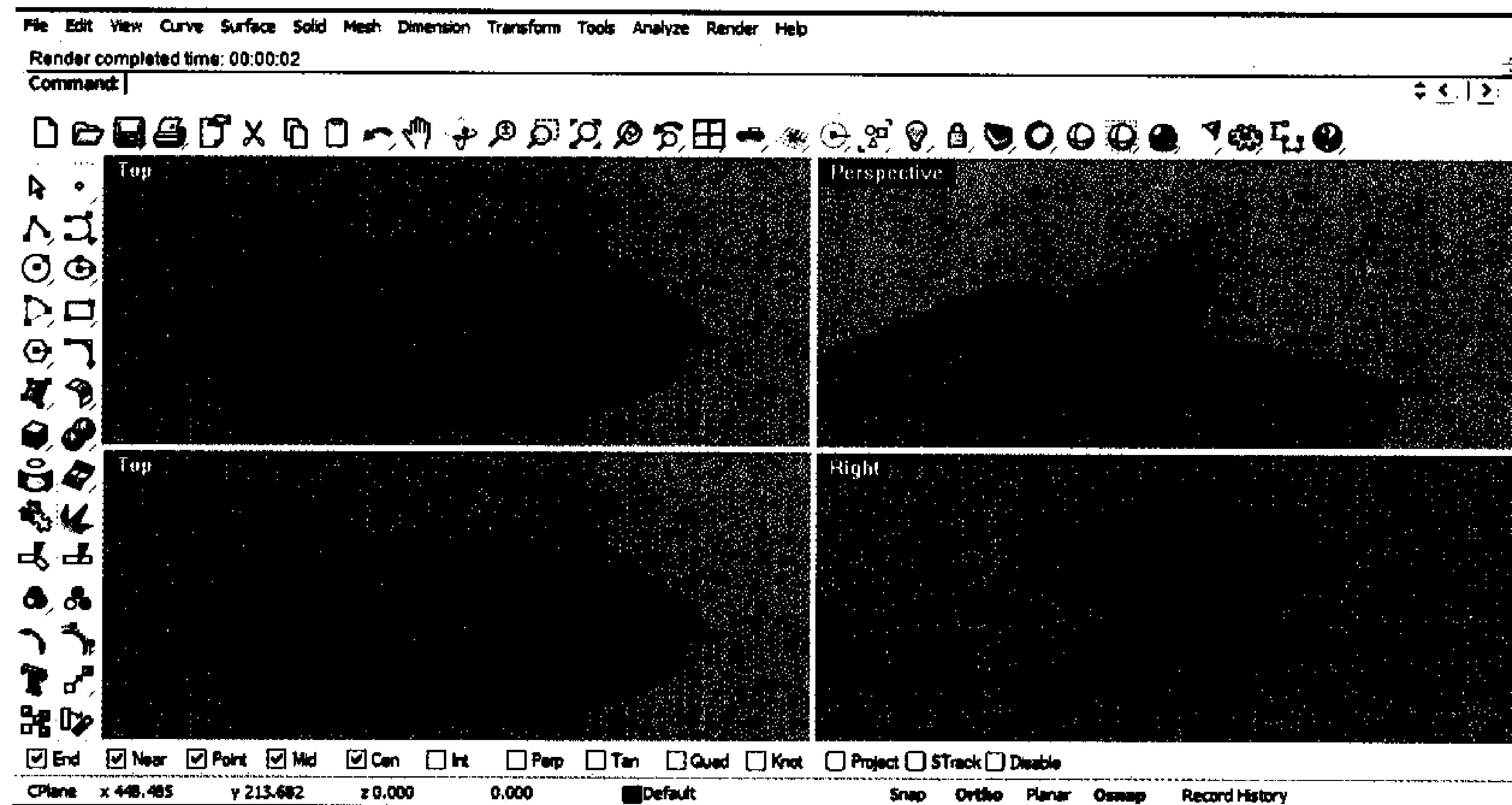
B: 5.4 m

T: 1.8 m



Εικόνα 105: Σχέδιο γραμμών τρεχαντηριού

Η τρισδιάστατη μορφή της γάστρας είναι αυτή που φαίνεται στην παρακάτω εικόνα. Πρόκειται για την τρισδιάστατη απεικόνιση της γάστρας αποτελούμενη από παραμετρικές επιφάνειες NURBS.



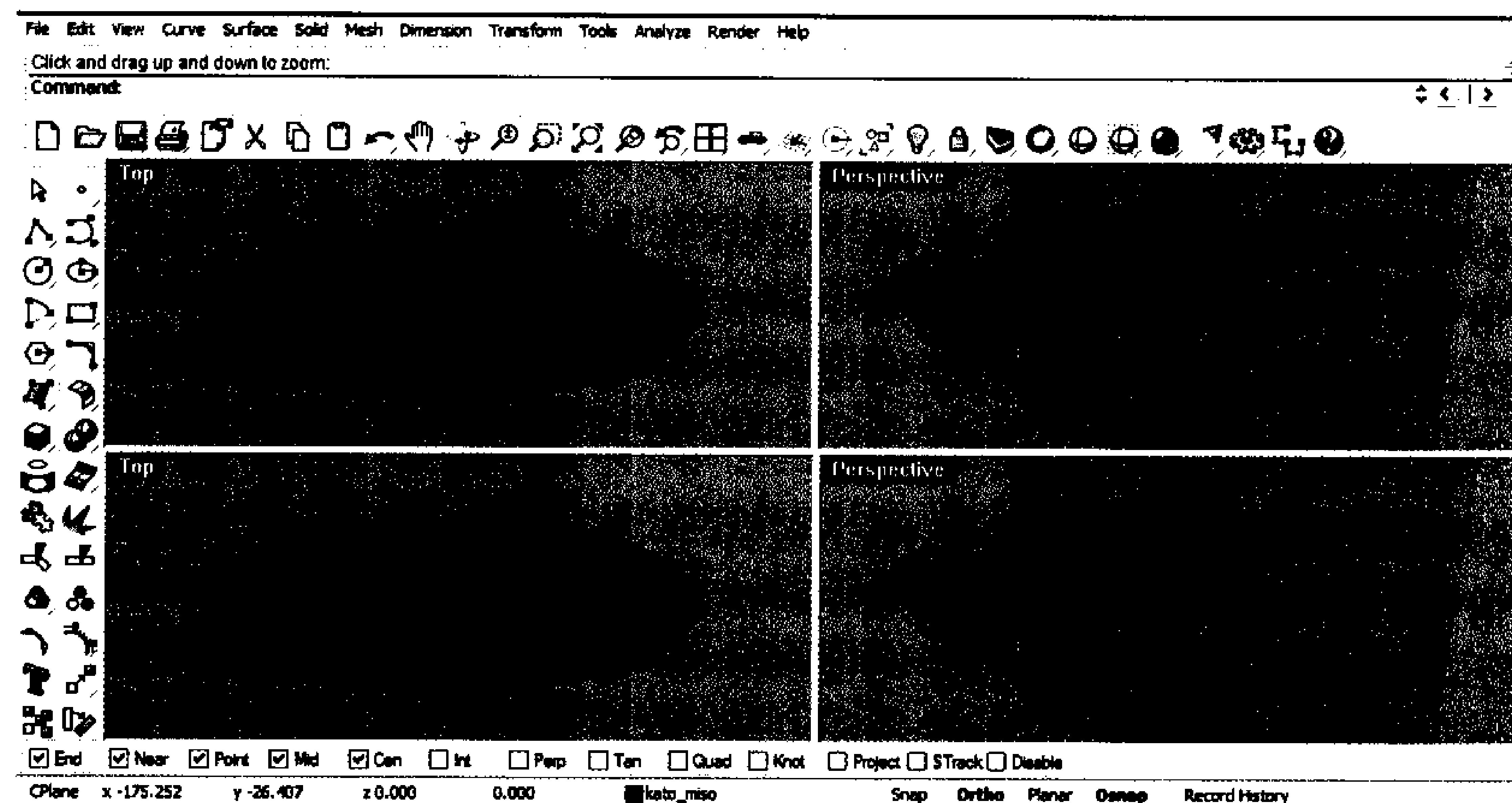
Εικόνα 106: Γάστρα τρεχαντηριού.



Εικόνα 107: Τρισδιάστατη απεικόνιση γάστρας τρεχαντηριού

Για να είναι εκτυπώσιμη η γάστρα θα πρέπει να είναι στερεό σώμα (solid model). Επομένως θα πρέπει να μετατρέψουμε το παραπάνω επιφανειακό μοντέλο της γάστρας, σε στερεό

μοντέλο προσδίδοντας «πάχος» στις επιφάνειες. Σχεδιάζουμε λοιπόν την γάστρα δίνοντας της πάχος 4 mm. Το πάχος το επιλέγουμε με βάση το μέγεθος που θέλουμε να εκτυπώσουμε.



Εικόνα 108: Γάστρα τρεχαντηριού (Η γάστρα με πάχος 4 mm).



Εικόνα 109 : Τρισδιάστατη απεικόνιση γάστρας τρεχαντηριού (πάχος 4mm)

4.1.2. Επιλογή διαστάσεων γάστρας προς εκτύπωση.

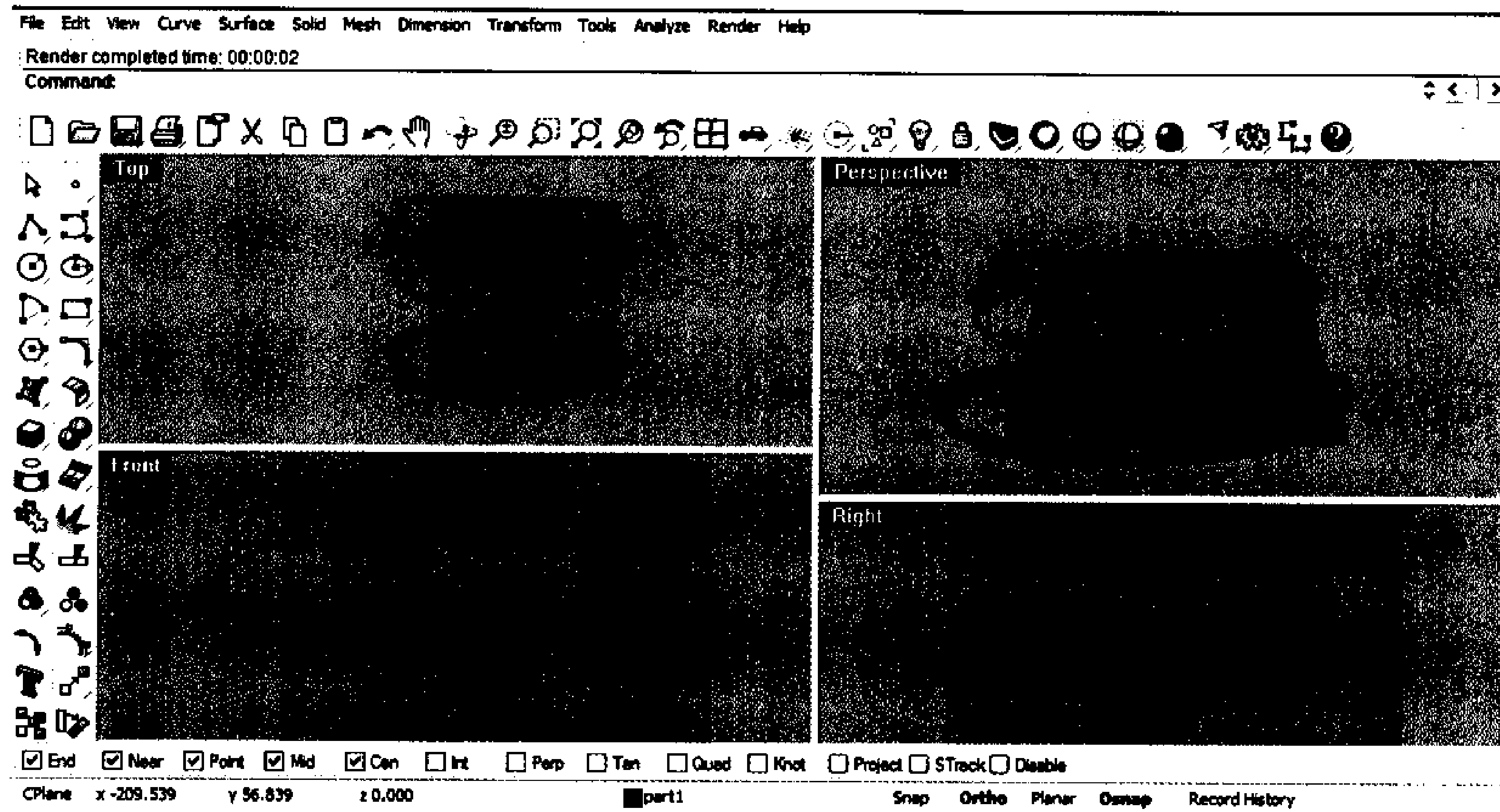
Για να επιλέξουμε τις διαστάσεις της γάστρας θα πρέπει να δούμε τι δυνατότητες έχει ο εκτυπωτής. Η εκτυπώσιμη επιφάνεια του εκτυπωτή είναι 140x140mm. Επιλέγουμε λοιπόν η γάστρα μας να έχει μήκος περίπου όσο το μήκος δύο τραπεζιών του εκτυπωτή. Άρα υπολογίζουμε ότι η γάστρα θα έχει περίπου 26 cm μήκος. Το κάνουμε λίγο μικρότερο από το μέγιστο μήκος των δύο τραπεζιών του εκτυπωτή κι αυτό γιατί ο εκτυπωτής εκτυπώνει με ασφάλεια σε διαστάσεις 130x130 mm.

Το αρχικό σχέδιο της γάστρας μας έχει διαστάσεις 140x48x35 mm (Μήκος x Πλάτος x Ύψος). Αφού εμείς θέλουμε μια γάστρα μήκους 260 mm, το μόνο που έχουμε να κάνουμε είναι να μεγαλώσουμε την υπάρχουσα γάστρα με την βοήθεια του υπολογιστικού προγράμματος Rhinoceros 4. Είναι προφανές πως και οι άλλες διαστάσεις της γάστρας θα μεταβληθούν ανάλογα με το μήκος. Επομένως έχουμε πλέον μία γάστρα με διαστάσεις: 258x88x65 mm.

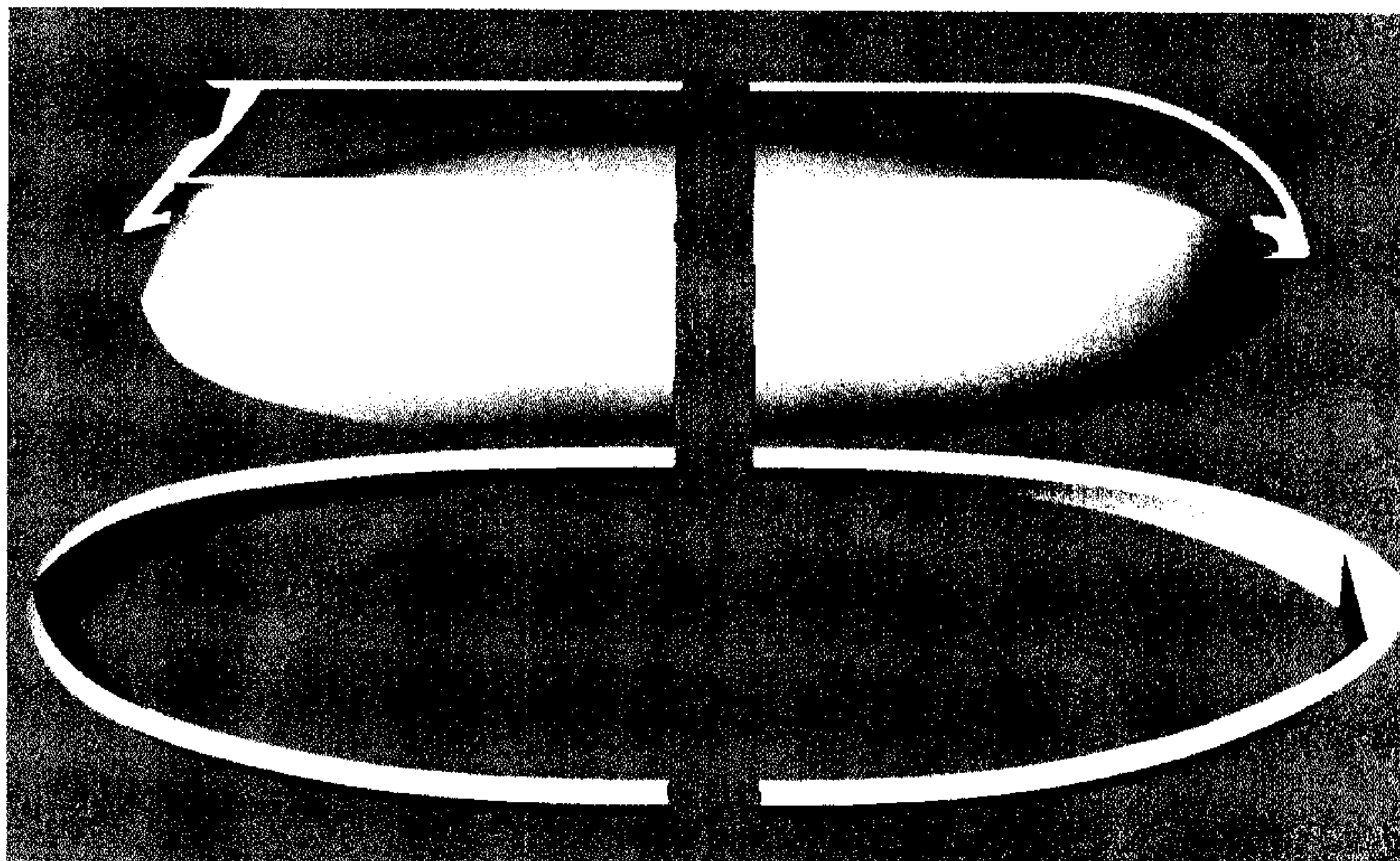
Εφόσον επιλέξαμε το μήκος της γάστρας να είναι 26 cm, θα πρέπει να την χωρίσουμε σε δύο κομμάτια των 13 cm (πρωραίο τμήμα και πρυμναίο τμήμα) ούτως ώστε να χωράει στον προς εκτύπωση χώρο. Προτού χωρίσουμε την γάστρα στα δύο, πρέπει να δούμε ποιος είναι ο πιο σωστός τρόπος εκτύπωσης. Για να γίνει η εκτύπωση ευκολότερη, θα πρέπει να εκτυπώσουμε την γάστρα αναποδογυρισμένη. Επειδή η κουπαστή της γάστρας έχει καμπυλότητα, πρέπει να κόψουμε την γάστρα σε δύο κομμάτια, την κουπαστή και την υπόλοιπη γάστρα. Έτσι επιτυγχάνουμε να δημιουργήσουμε επίπεδες επιφάνειες τόσο στην κουπαστή όσο και στην υπόλοιπη γάστρα. Οι επιφάνειες αυτές θα ακουμπήσουν πάνω στο τραπέζι του εκτυπωτή και από αυτές θα ξεκινήσει η εκτύπωση του εκάστοτε τμήματος της γάστρας. Αφού χωρίσαμε την γάστρα σε κουπαστή και υπόλοιπη γάστρα, συνεχίζουμε να την χωρίζουμε έτσι ώστε να χωράει στην εκτυπωμένη επιφάνεια του εκτυπωτή. Χωρίζουμε τα δύο αυτά τμήματα κατά το εγκάρσιο και στην μέση της γάστρας, δημιουργώντας έτσι τέσσερα κομμάτια:

- Πρωραίο τμήμα
- Πρυμναίο τμήμα
- Πρωραία κουπαστή
- Πρυμναία κουπαστή

Μας μένει ακόμα να χωρίσουμε στην μέση και την καρίνα της γάστρας. Έτσι έχουμε τελικά συνολικά έξι κομμάτια μαζί με το πρυμναίο και πρωραίο κομμάτι της καρίνας.



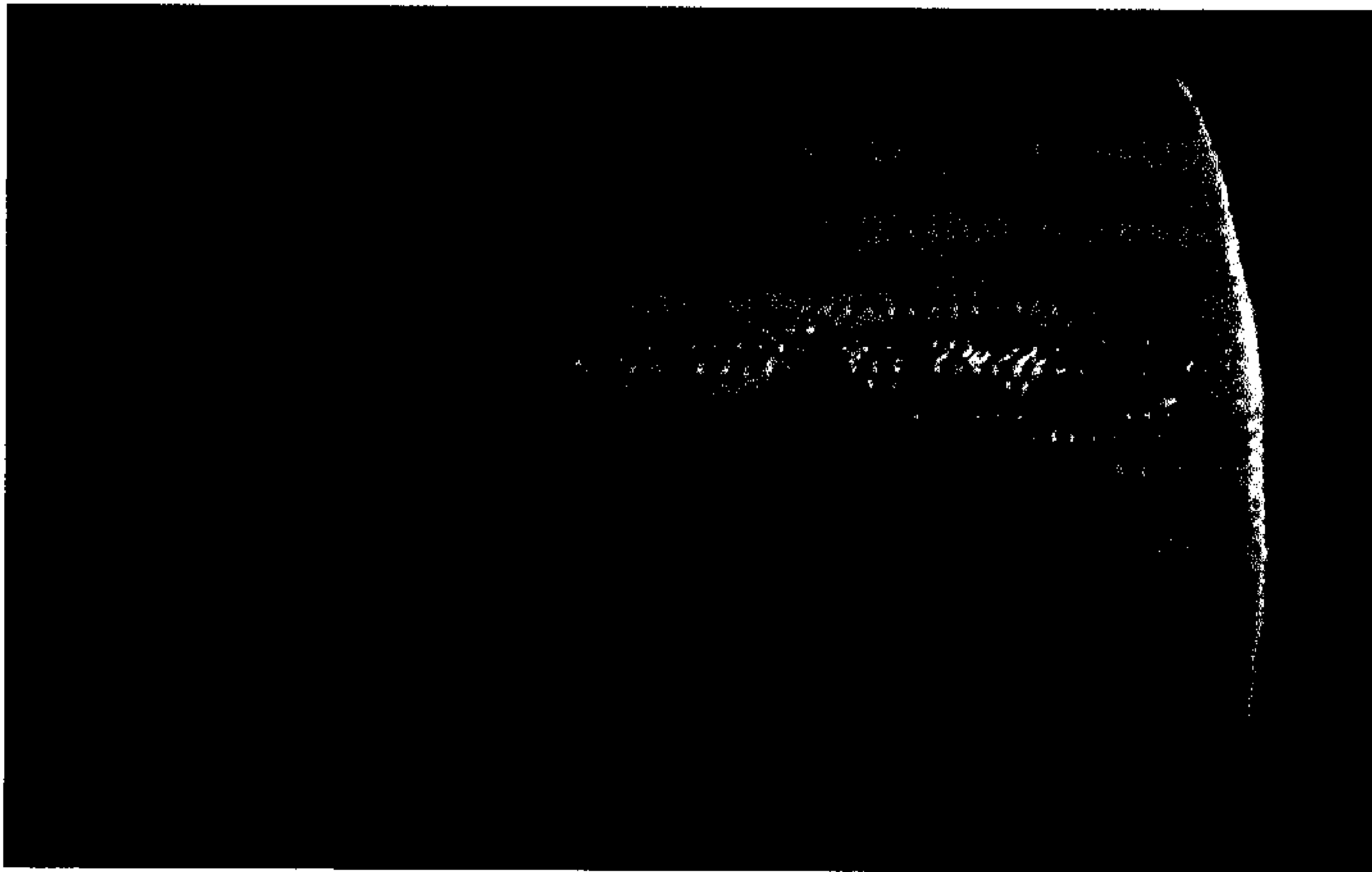
Εικόνα 110: Τμηματοποίηση γάστρας τρεχαντηριού



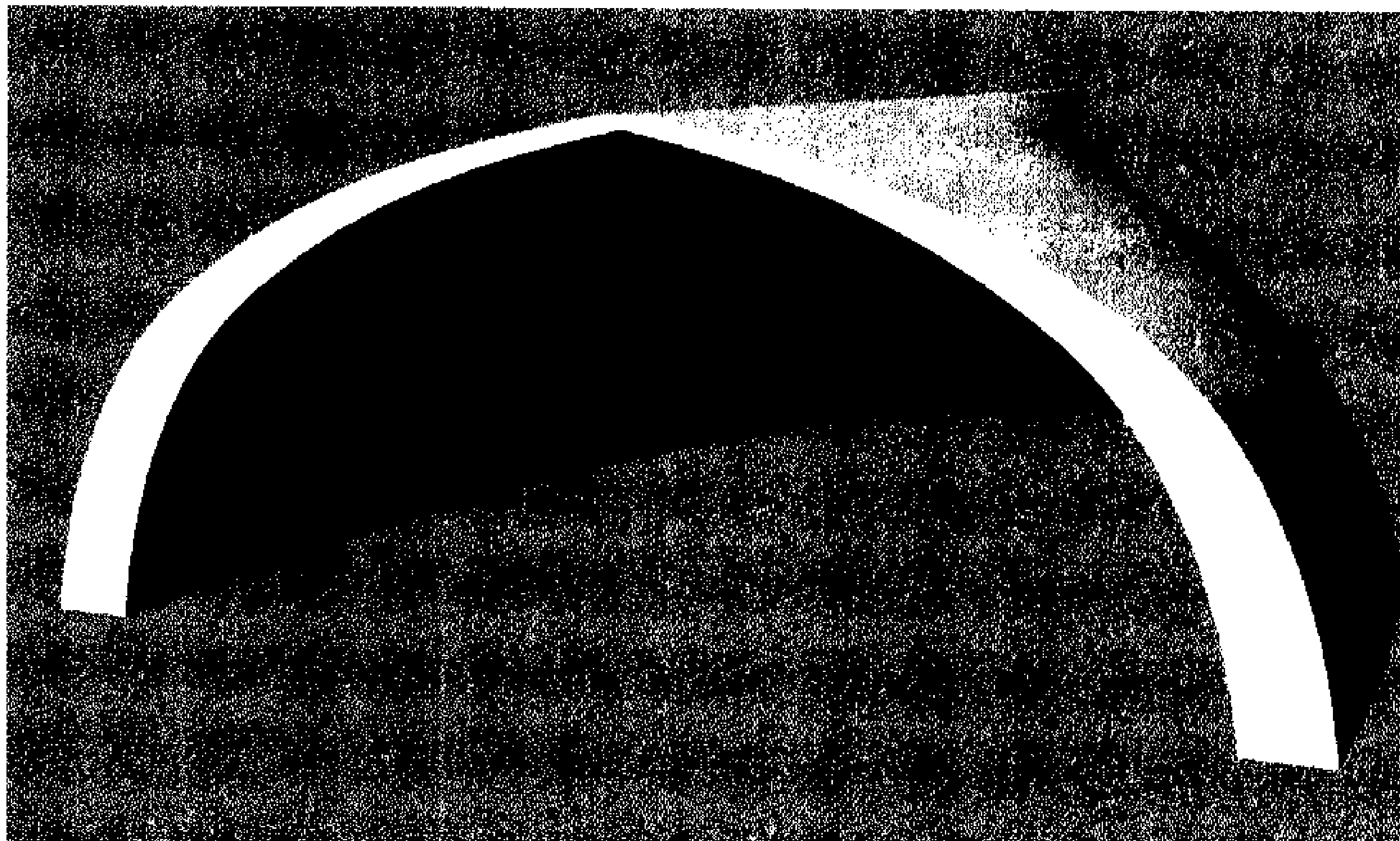
Εικόνα 111: Τρισδιάστατη απεικόνιση τμηματοποίηση γάστρας τρεχαντηριού.

4.1.3. Τοποθέτηση ενισχυτικών

Όπως φαίνεται από την παρακάτω εικόνα(εικόνα), η γάστρα έχει μία καμπυλότητα η οποία όσο πλησιάζει στον πυθμένα της γάστρας γίνεται σχεδόν επίπεδη και παράλληλη στο επίπεδο Χ. Επειδή η εκτύπωση της γάστρας θα γίνει από το επίπεδο τμήμα της και προς τον πυθμένα είναι προφανές πως καθώς η εκτύπωση πλησιάζει προς τον πυθμένα, το υλικό της εκτύπωσης θα είναι αρκετά δύσκολο να στερεωθεί στον αέρα. Η μη στήριξη του υλικού εναπόθεσης θα έχει σαν αποτέλεσμα την κατάρρευση της επιφάνειας κοντά στον πυθμένα.

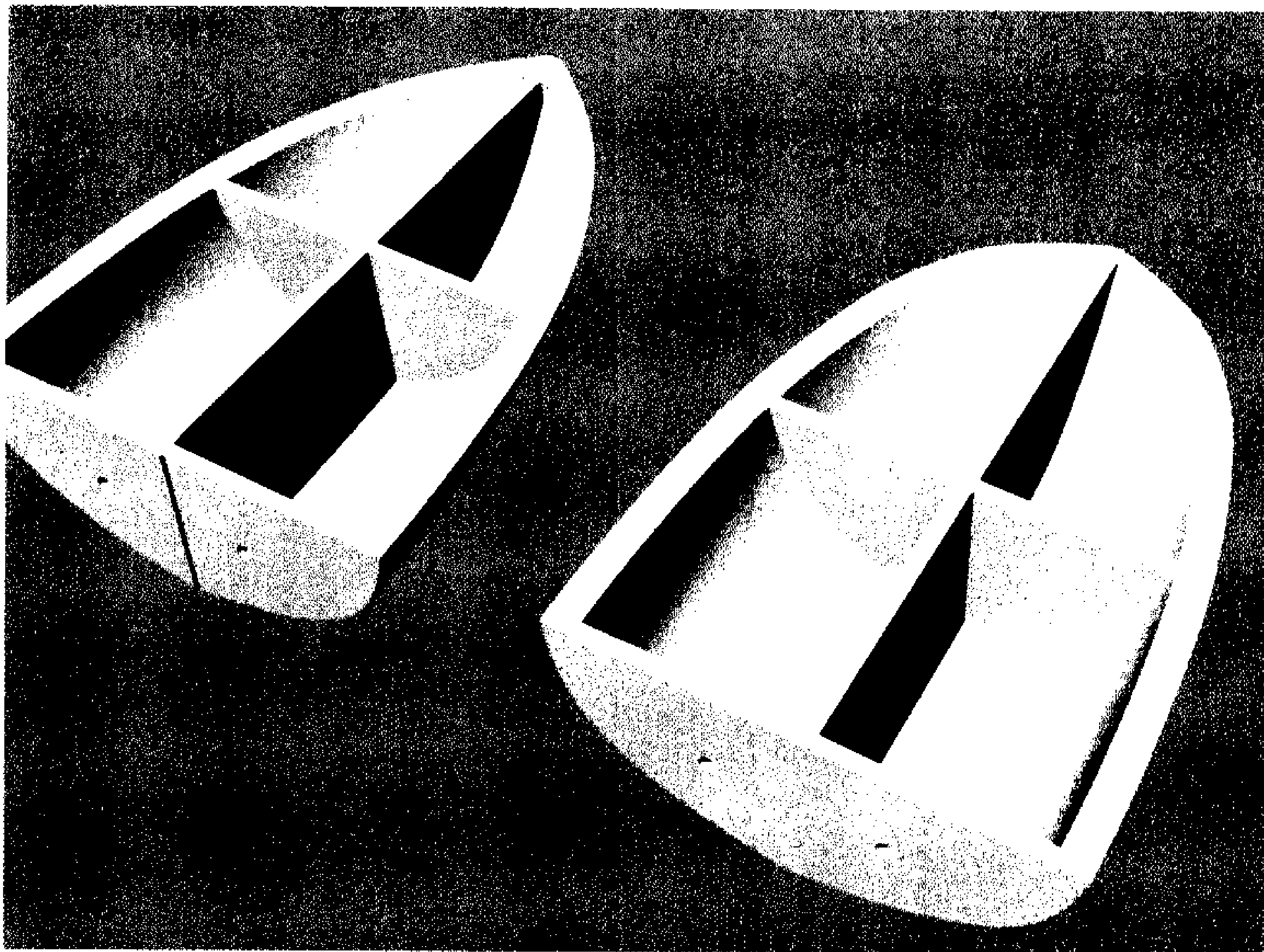


Εικόνα 112: Αστοχία επιφάνειας του προμναίου τμήματος της γάστρας λόγω έλλειψης ενισχυτικών.



Εικόνα 113: Προμναίο τμήμα γάστρας χωρίς ενισχυτικά.

Για να αποφύγουμε την κατάρρευση του υλικού θα πρέπει να τοποθετήσουμε ενισχυτικά τόσο κατά το διάμηκες όσο και κατά το εγκάρσιο. Η διαμήκης ενίσχυση θα τοποθετηθεί στο μέσο του σκάφους και θα καλύπτει όλο το μήκος του. Το πάχος της ενίσχυσης αυτής θα είναι 3 mm. Η εγκάρσια ενίσχυση θα τοποθετηθεί, μία στο σημείο τομής του προραίου και του πρυμναίου τμήματος (μία σε κάθε τμήμα) και μία στο μέσο του κάθε τμήματος.



Εικόνα 114: Πρυμναίο και προραίο τμήμα της γάστρας με ενισχυτικά.

Στην παραπάνω εικόνα φαίνονται στο μεσαίο εγκάρσιο ενισχυτικό δύο οπές. Οι οπές αυτές θα μας χρησιμεύσουν κατά την συναρμολόγηση των τμημάτων της γάστρας. Θα περάσουμε βίδες M4 x 15 mm, οι οποίες θα προσδώσουν στην γάστρα επιπλέον αντοχή και θα μας βοηθήσουν στην σωστή τοποθέτηση των τμημάτων της γάστρας.

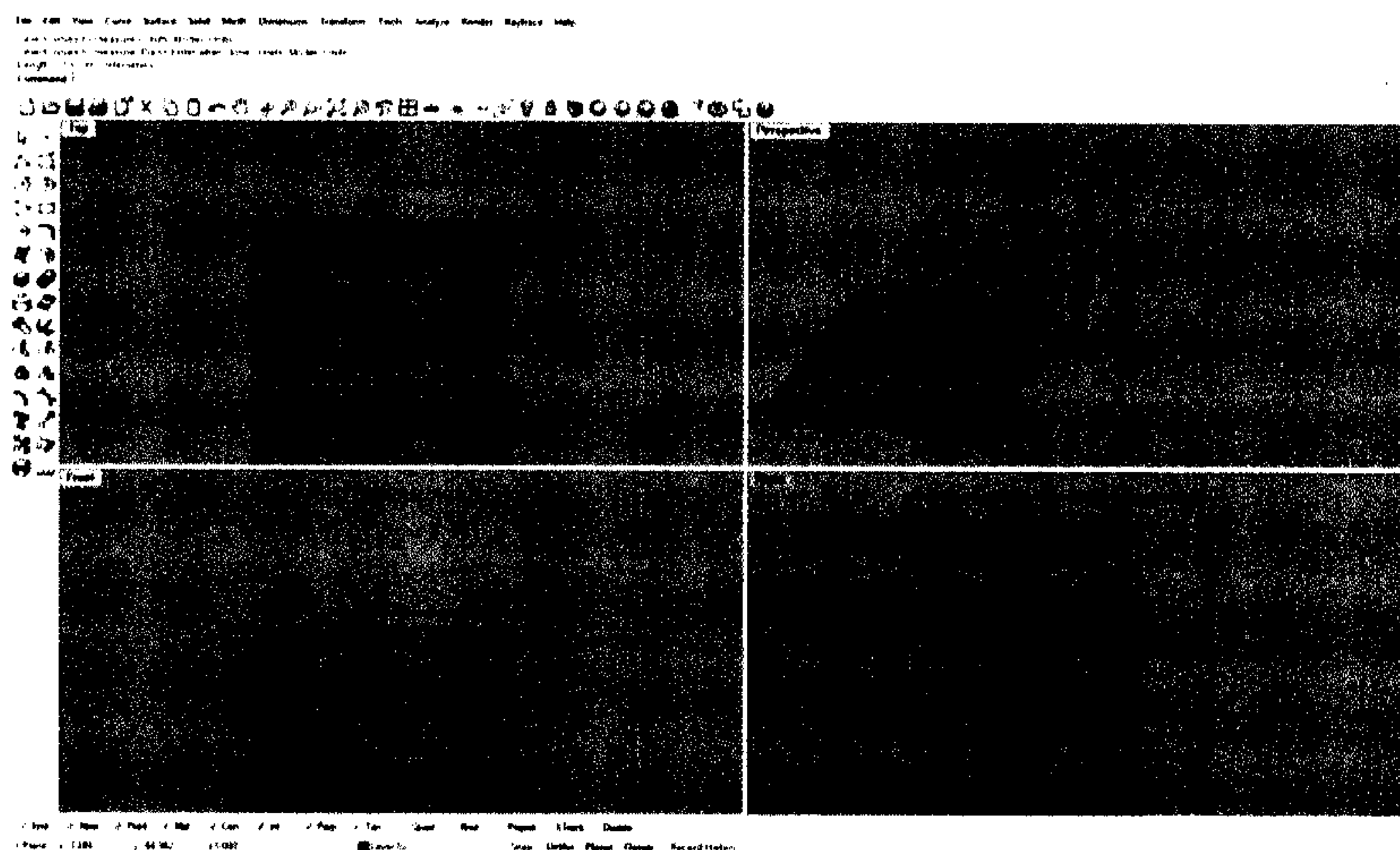
4.1.4. Εκτύπωση της γάστρας

Η εκτύπωση της γάστρας θα γίνει τμηματικά. Τα κομμάτια που θα εκτυπώσουμε είναι:

- Προραίο τμήμα
- Πρυμναίο τμήμα
- Προραία καρίνα
- Πρυμναία καρίνα
- Προραία κουπαστή
- Πρυμναία κουπαστή.

Γενικά η εκτύπωση για όλα τα τμήματα της κατασκευής μας, ακολουθούν την ίδια διαδικασία. Αρχικά θα πρέπει να ετοιμάσουμε τα σχέδια που είναι προς εκτύπωση. Τα δικά μας είναι ήδη έτοιμα από τις προηγούμενες παραγράφους. Το μόνο που πρέπει να κάνουμε είναι να τα τοποθετήσουμε σωστά στο περιβάλλον του Rhinoceros.

Το τραπέζι του εκτυπωτή έχει μέσα στο περιβάλλον του Rhinoceros μια συγκεκριμένη θέση. Στην περίπτωση μας το τραπέζι έχει την μια του γωνία του επιπέδου του στο σημείο (0, 0, 0) του συστήματος συντεταγμένων του Rhinoceros. Οπότε φανταστείτε τον εκτυπώσιμο χώρο του εκτυπωτή ως ένα ορθογώνιο παραλληλόγραμμο διαστάσεων 130x130x110mm(εικόνα).

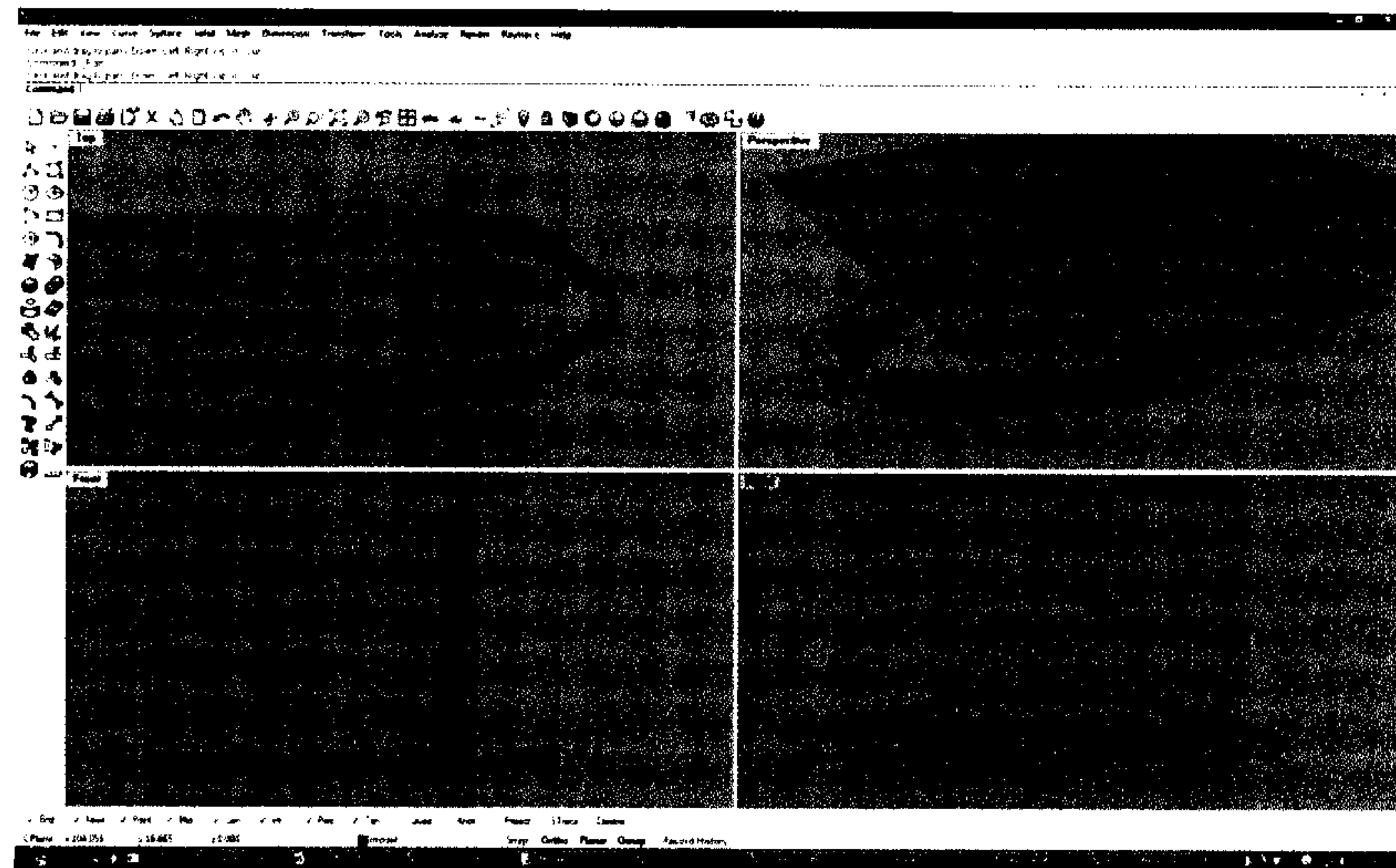


Εικόνα 115: Εκτυπώσιμος όγκος 130x130x110mm.

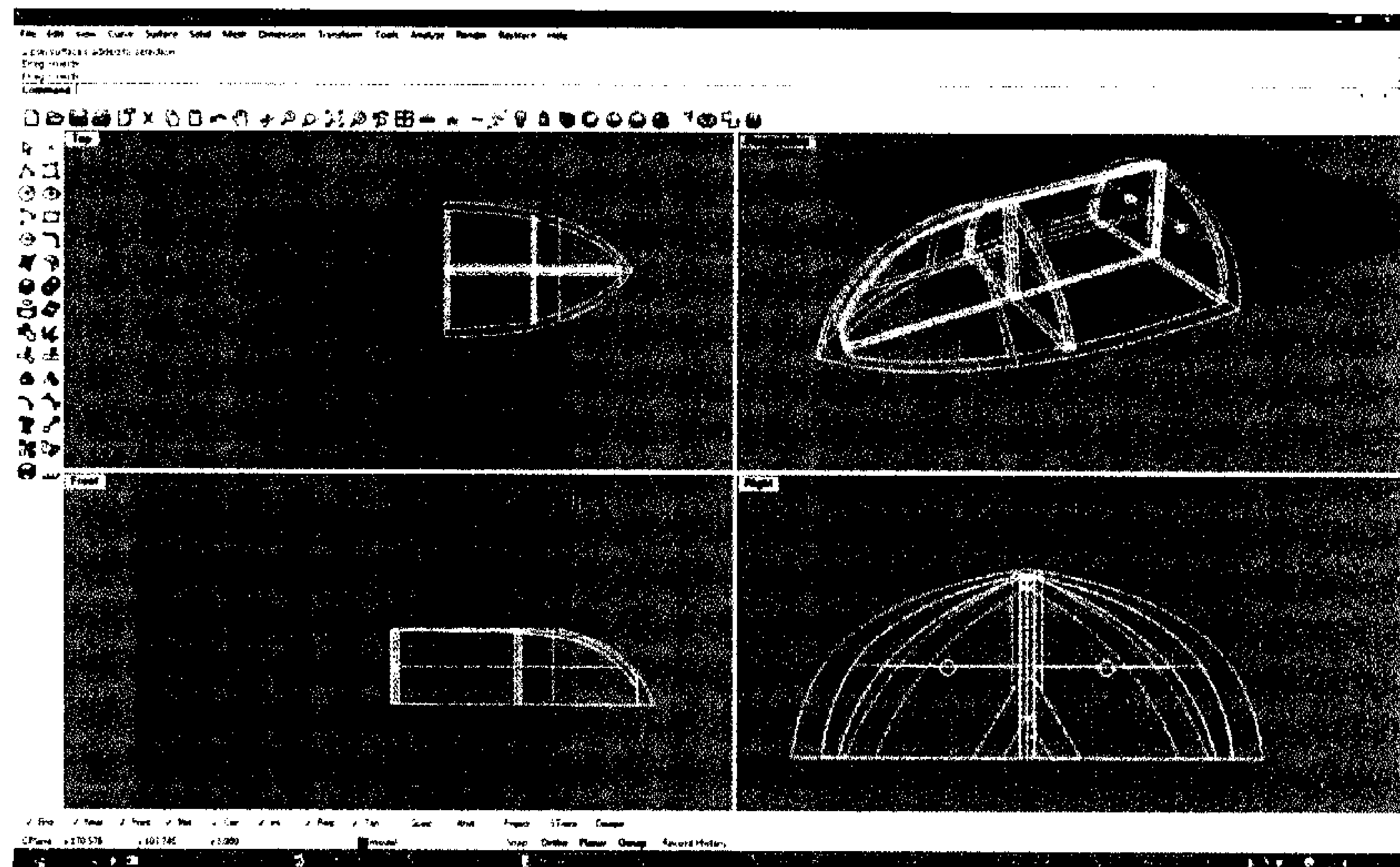
Επομένως για να εκτυπωθεί κάτι, θα πρέπει να βρίσκεται μέσα σε αυτό το ορθογώνιο παραλληλόγραμμο και να ακουμπάει στο επίπεδο που ορίζεται από το σημείο (0, 0, 0) (κάτω έδρα του κύβου).

Έχοντας τοποθετήσει σωστά τα αντικείμενα που θα εκτυπώσουμε με τον εκτυπωτή, τα αποθηκεύουμε σε ένα αρχείο στερεολιθογραφίας (.stl). Το αρχείο αυτό το φορτώνουμε στον εκτυπωτή είτε μέσω καλωδίου USB είτε με την χρήση κάρτα μνήμης. Ο εκτυπωτής στην συνέχεια μετατρέπει το αρχείο .stl σε αρχείο G-code και είναι έτοιμος για την εκτύπωση.

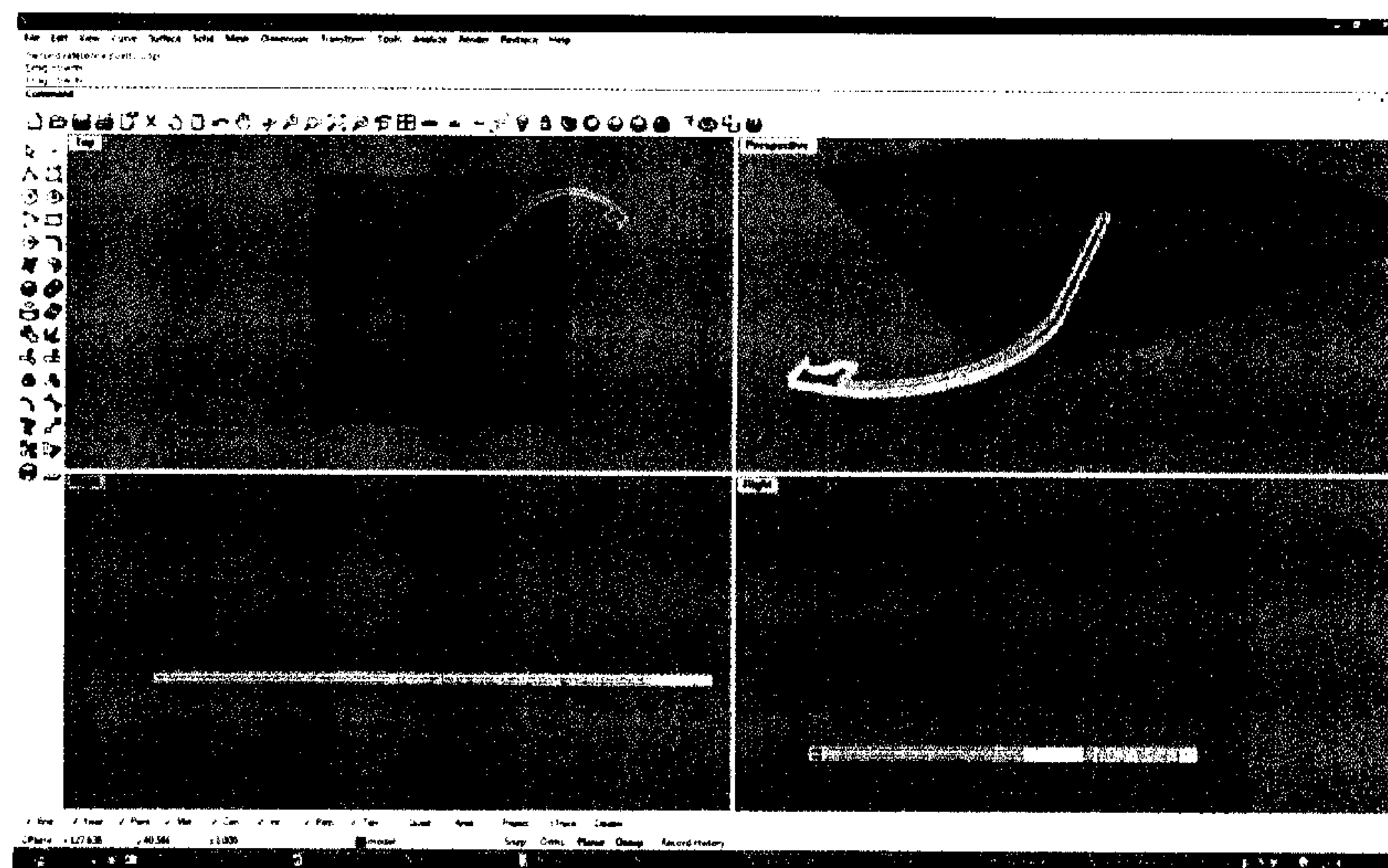
Στις παρακάτω εικόνες φαίνονται όλα τα τμήματα της γάστρας τοποθετημένα στο σωστό σημείο για αποθήκευση σε .stl , σε G code και τέλος για εκτύπωση.



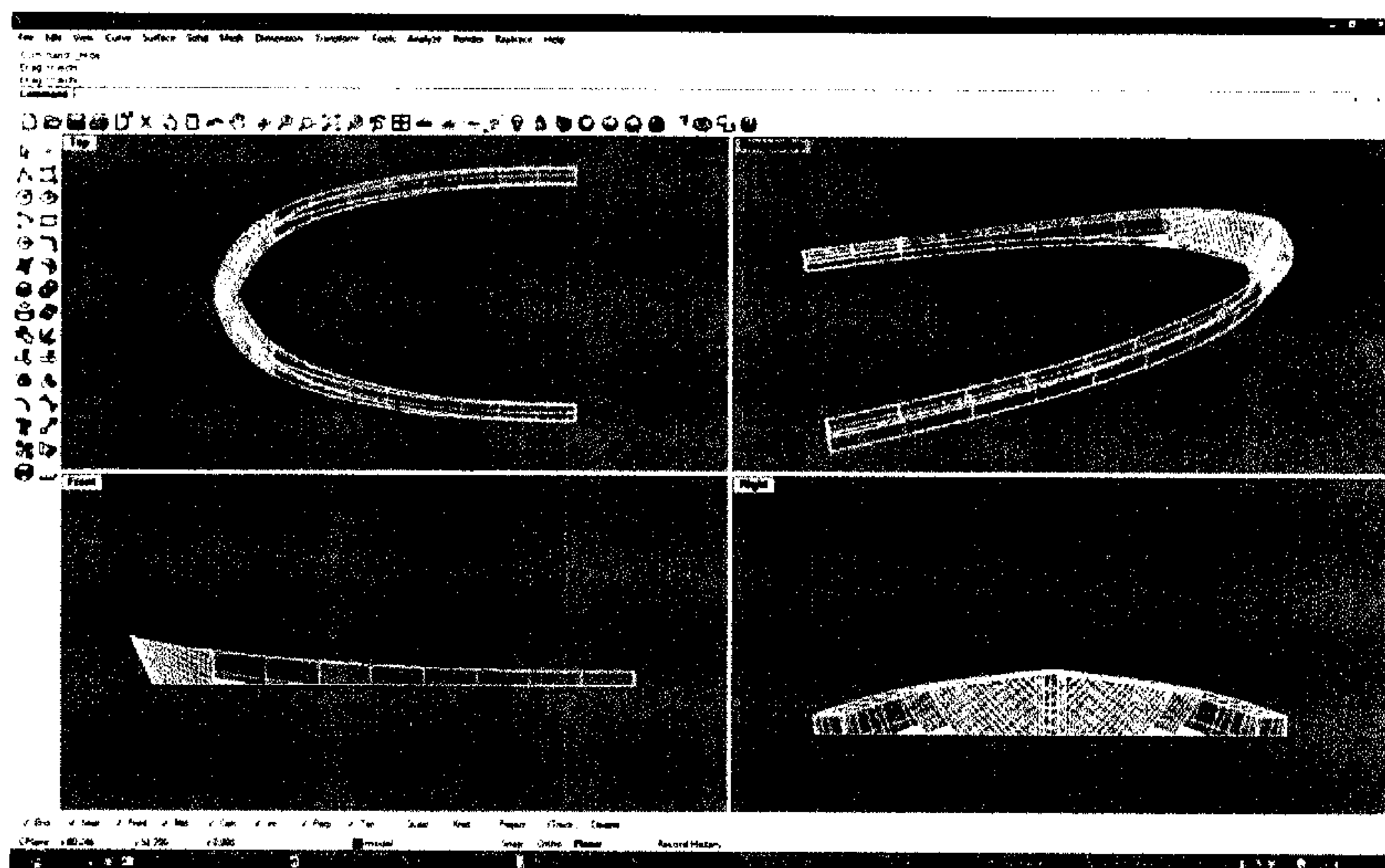
Εικόνα 116 : Προβαίο τμήμα κουπαστής



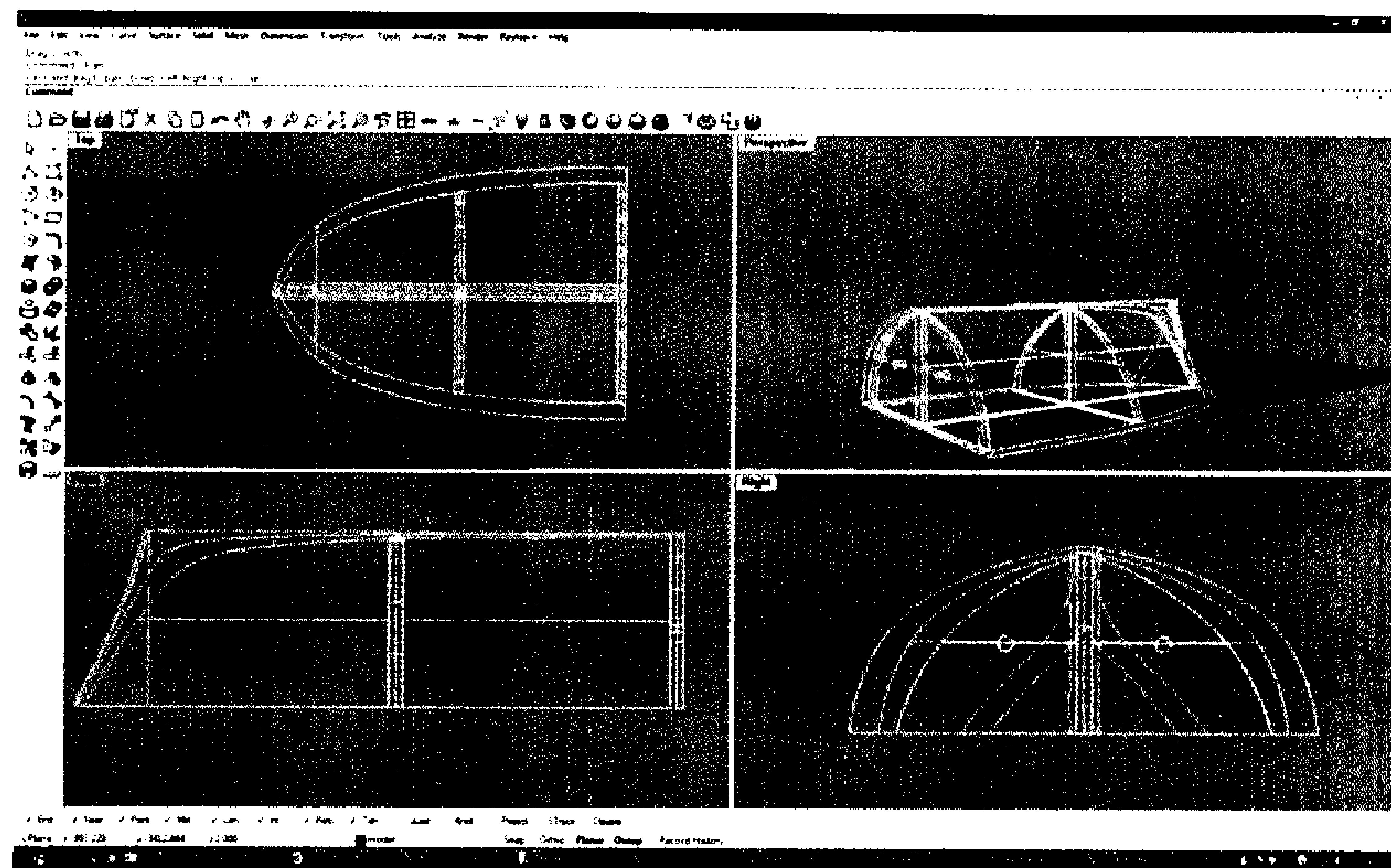
Εικόνα 117: Προβαίο τμήμα γάστρας



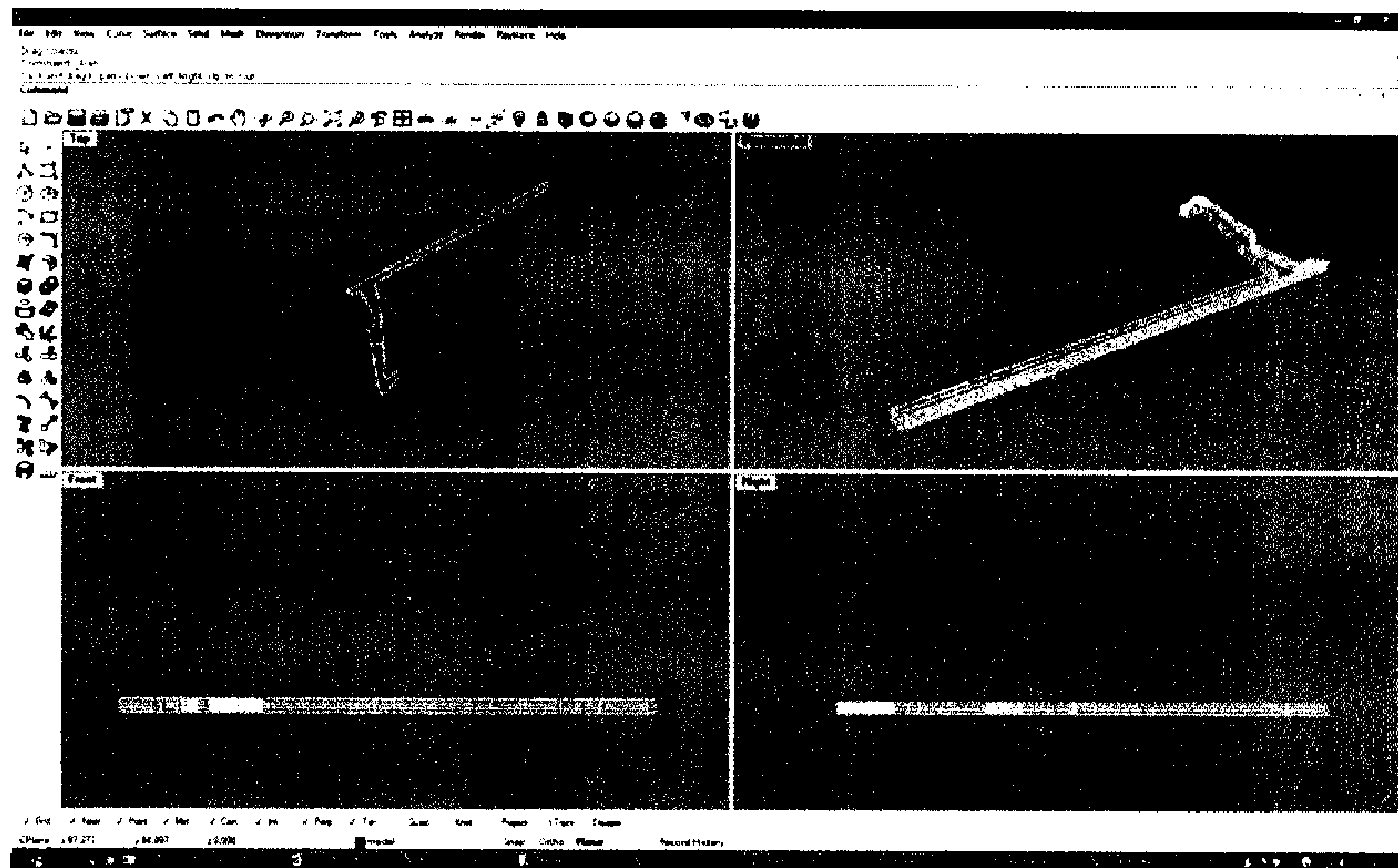
Εικόνα 118: Προωαίο τμήμα καρίνας



Εικόνα 119: Προωαίο τμήμα κουπαστής

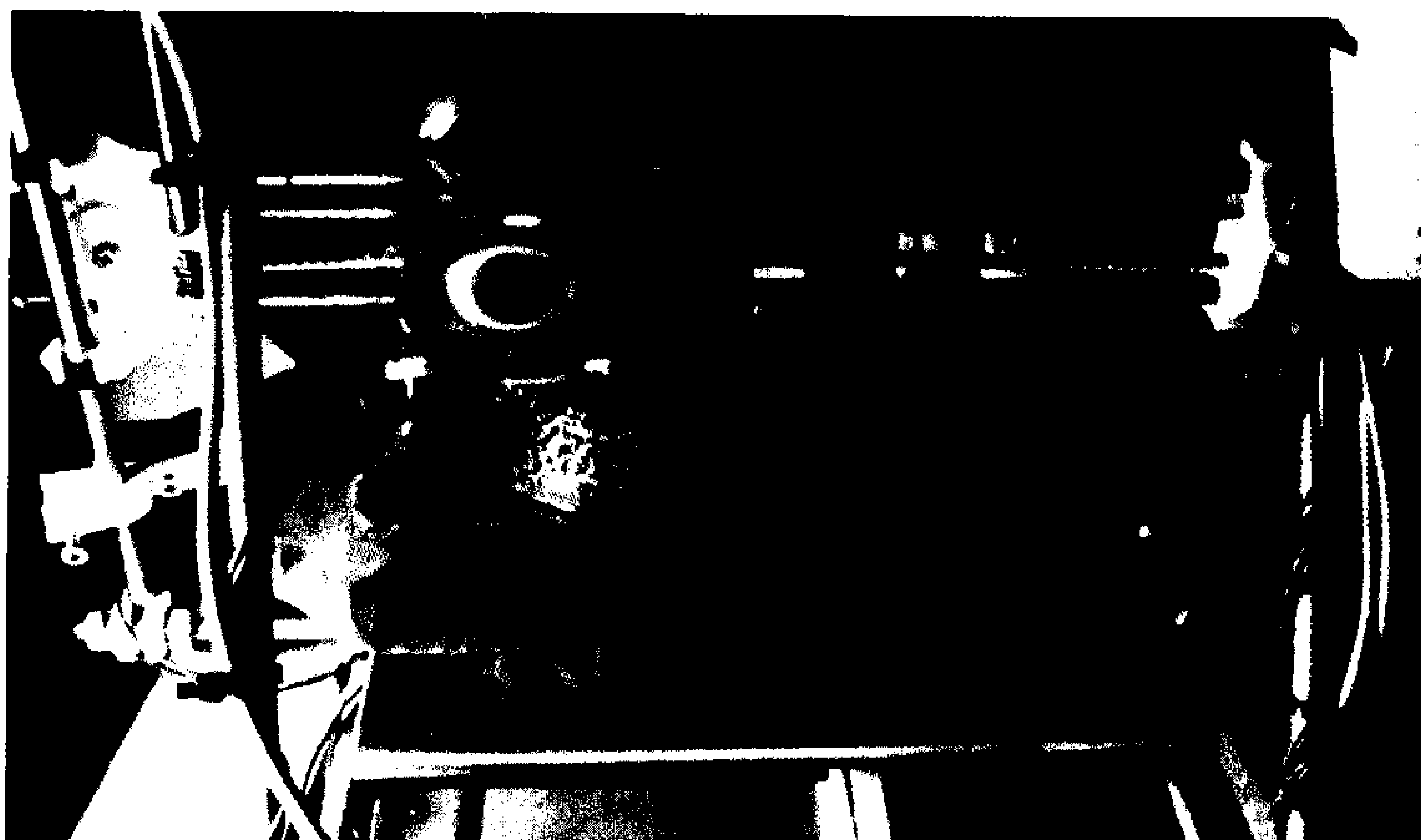


Εικόνα 120: Προμναίο τμήμα γάστρας

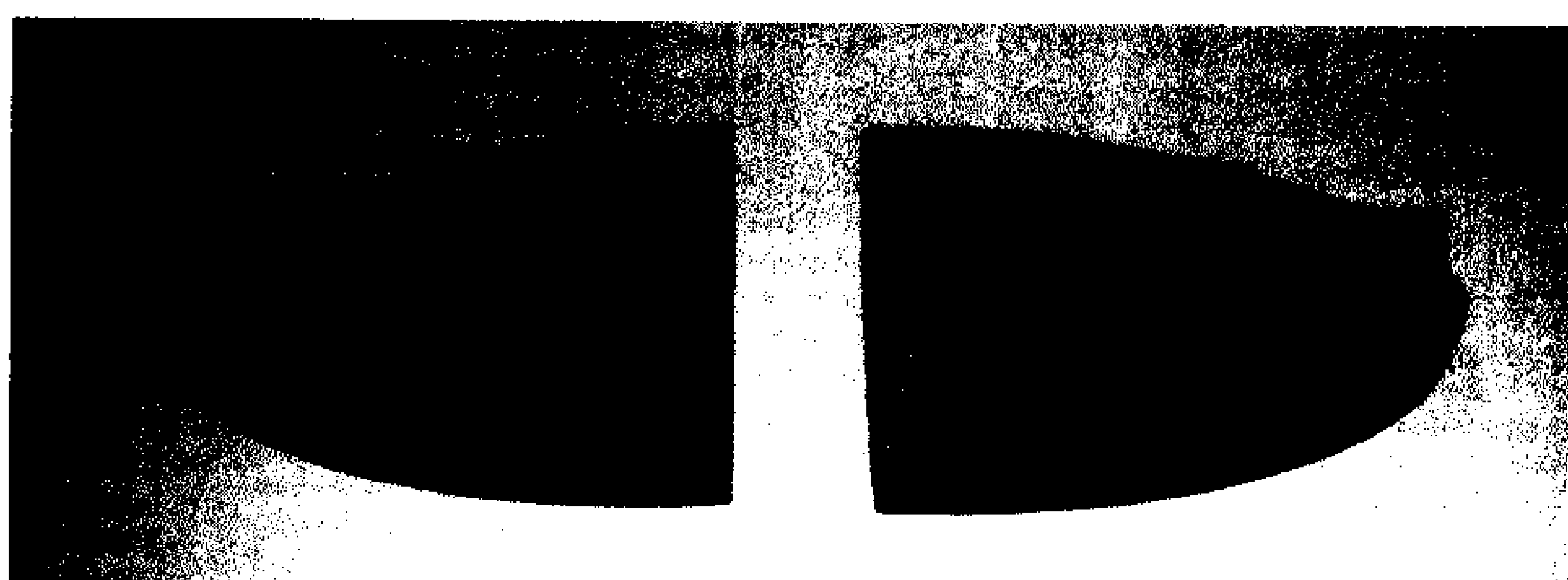


Εικόνα 121: Προμναίο τμήμα καρίνας

4.1.4.1. Εκτόπωση προραίου και πυρμναίου τμήματος της γάστρας

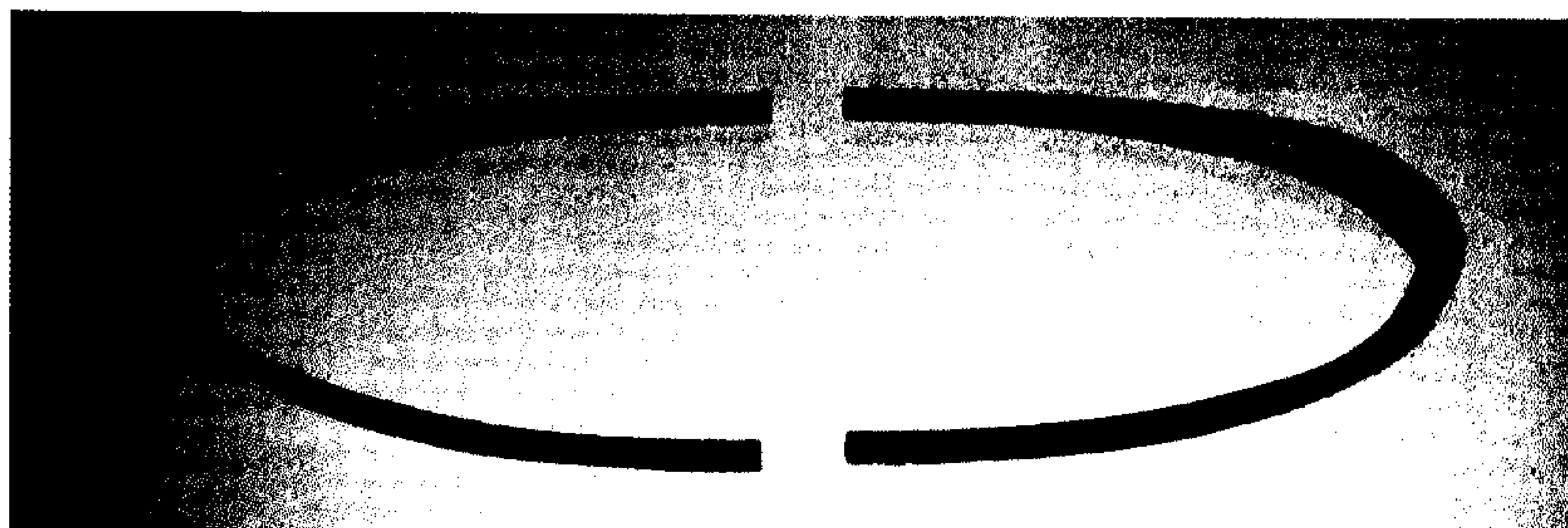


Εικόνα 122: Εκτόπωση προραίου τμήματος



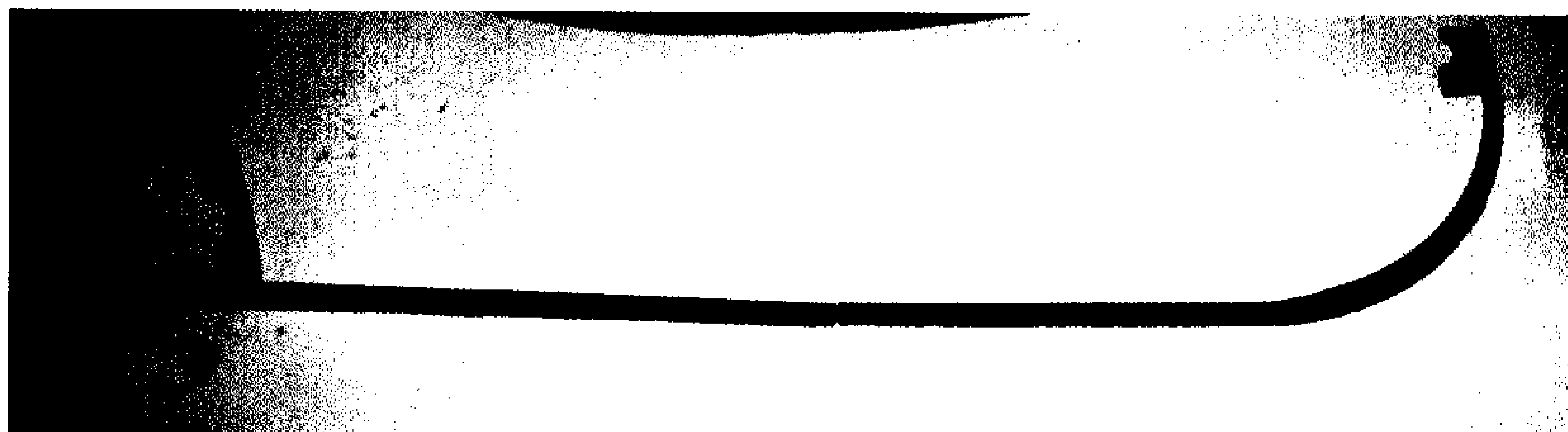
Εικόνα 123: Προραίο και πυρμναίο τμήμα γάστρας

4.1.4.2. Εκτόπωση προραίου και πυρμναίου τμήματος της κουπαστής



Εικόνα 124: Προραίο και πυρμναίο τμήμα κουπαστής

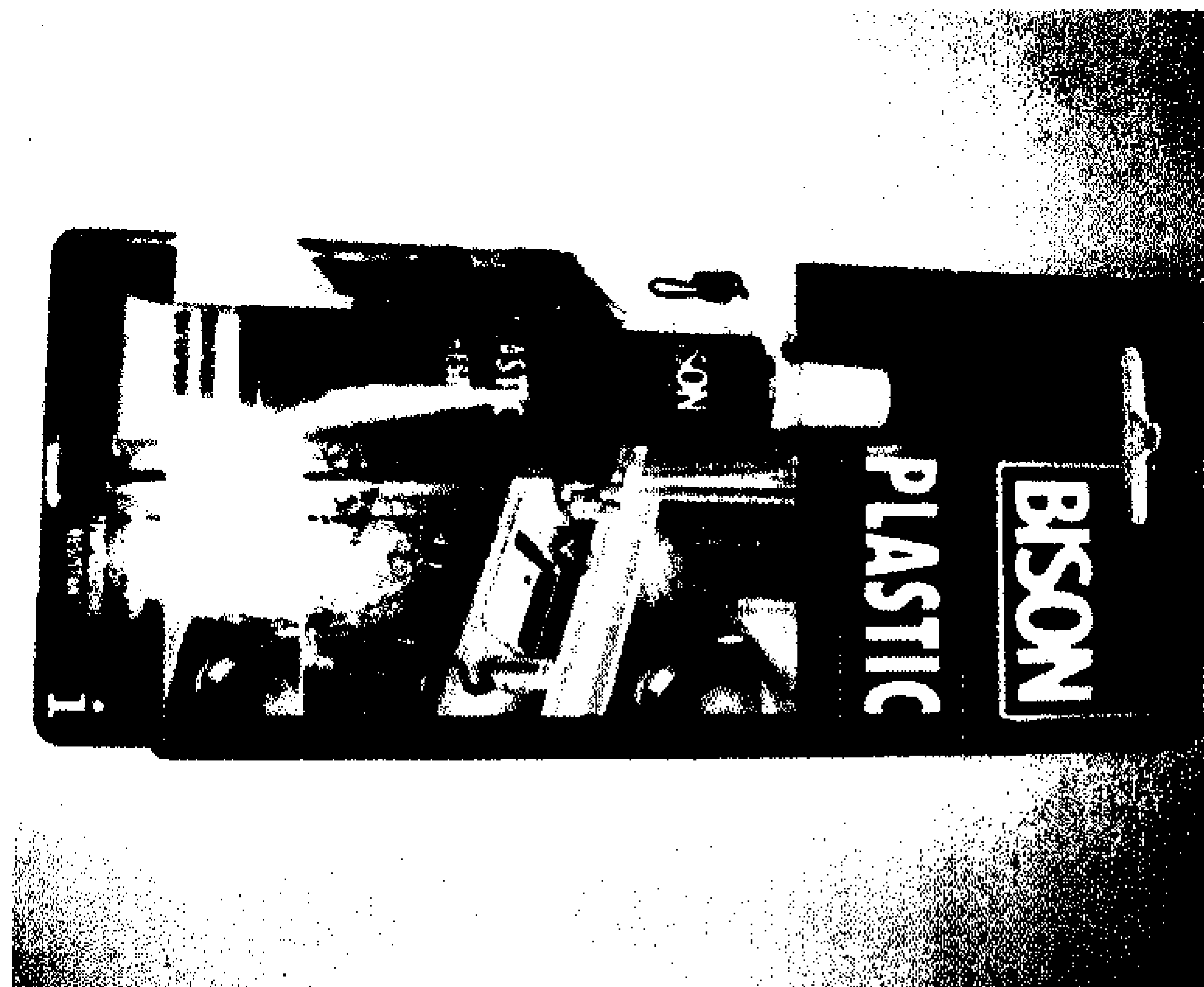
4.1.4.3. Εκτόπωση προραίου και προμναίου τμήματος της καρίνας



Εικόνα 125: Προραίο και προμναίο τμήμα καρίνας

4.1.5. Συναρμολόγηση της κατασκευής

Αρχικά συναρμολογούμε τα δύο κομμάτια της γάστρας (προραίο και προμναίο τμήμα). Ενώνουμε τα δύο τμήματα με συγκολλητικό μέσο για πλαστικά. Ακόμα βάζουμε λίγη σιλικόνη για να στεγανοποιήσουμε την κατασκευή. Για να γίνει ακόμα πιο γερή η όλη κατασκευή βάζουμε και δύο βίδες M3 X 15 mm για να συγκρατήσουμε την κατασκευή.



Εικόνα 126: Συγκολλητικό μέσο για πλαστικά αντικείμενα.



Εικόνα 127: Προετοιμασία για την ένωση των επιμέρους τμημάτων.

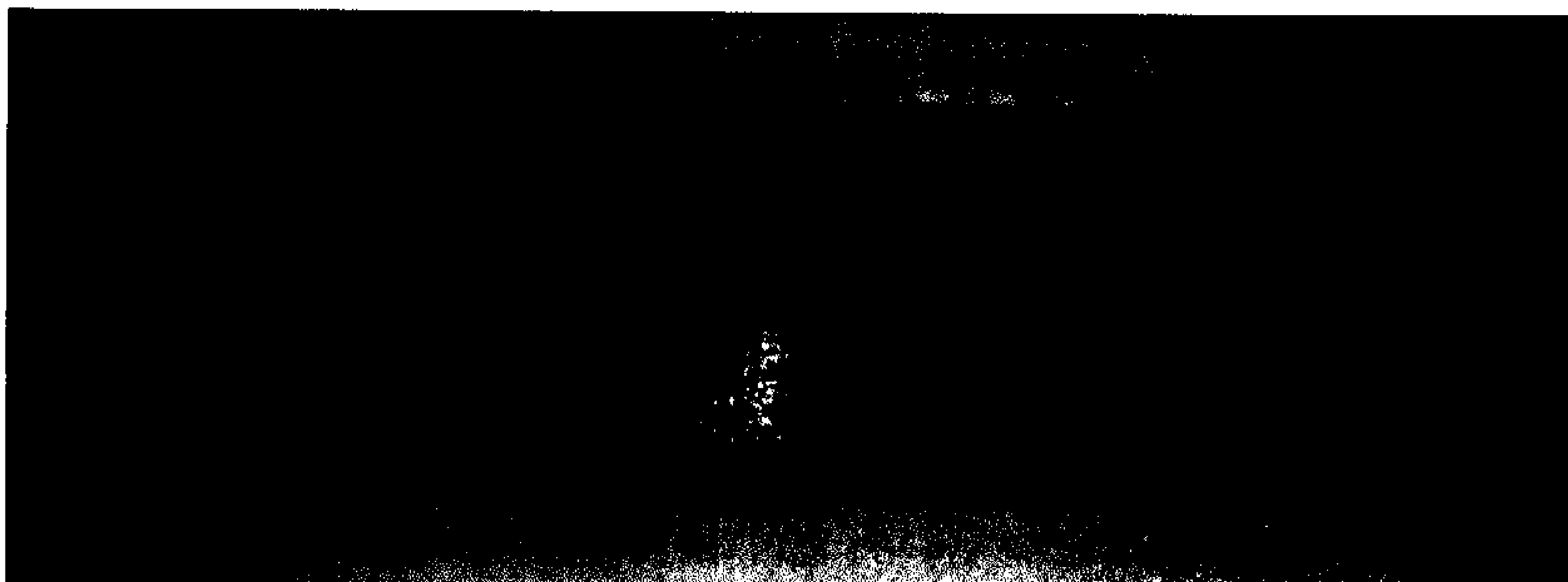


Εικόνα 128: Συναρμολογημένη γάστρα (πρωραίο – πρυμναίο τμήμα).



Εικόνα 129: Λεπτομέρεια σύνδεσης των επιμέρους τμημάτων

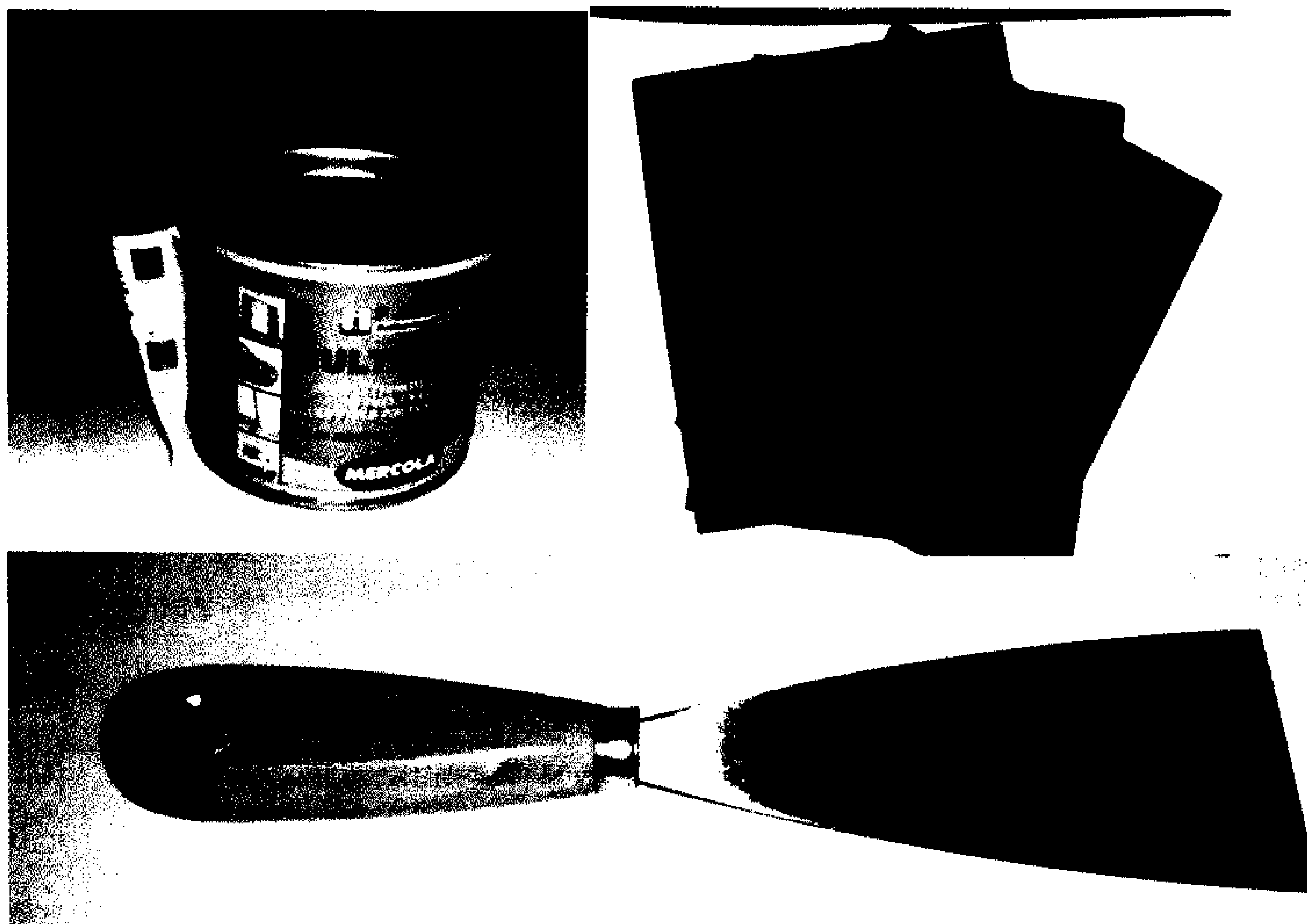
Στην συνέχεια ενώνουμε και τα τμήματα της κουπαστής.



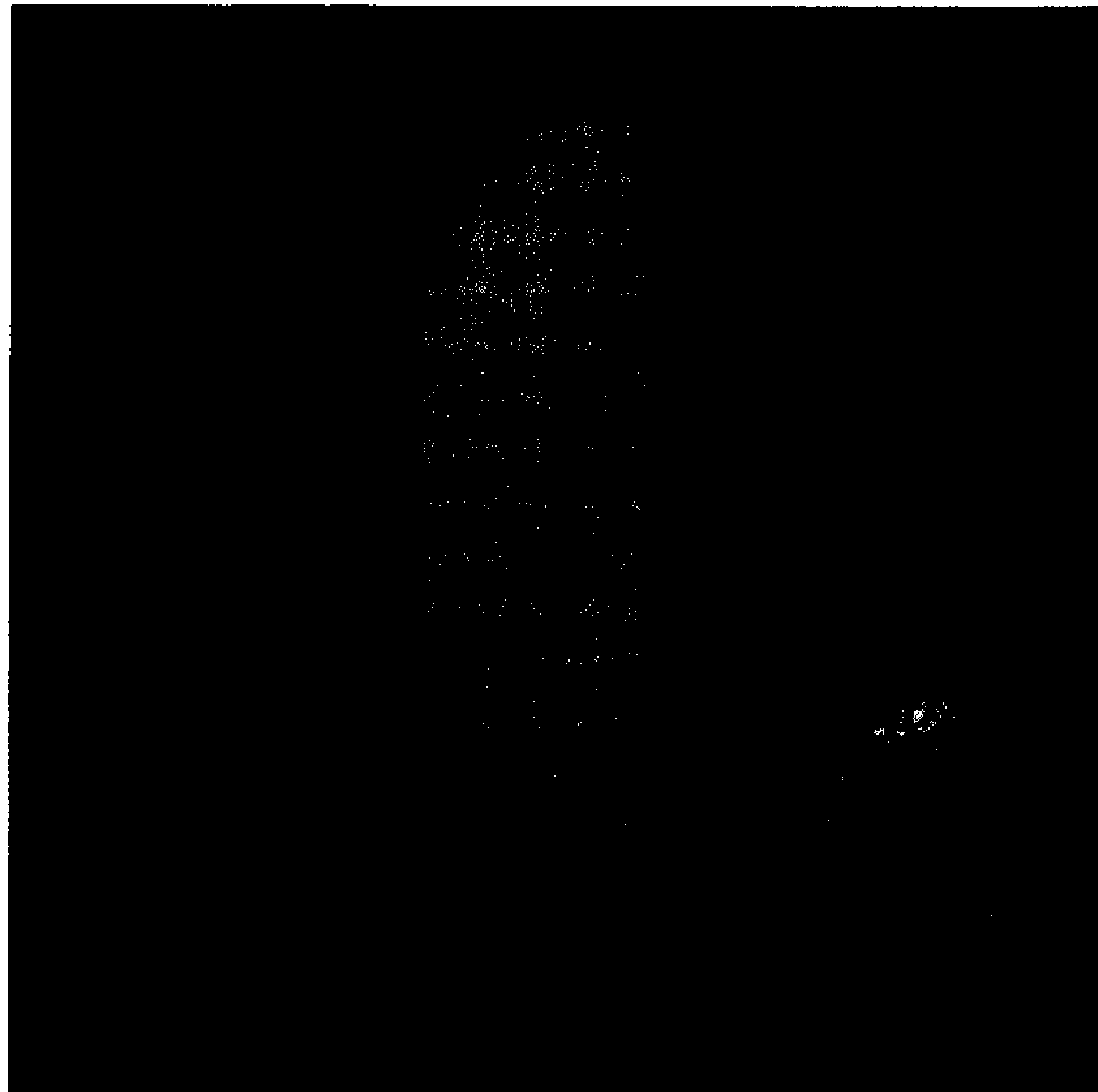
Εικόνα 130: Συναρμολόγηση της κουπαστής με την γάστρα.

4.1.6. Φινίρισμα της γάστρας

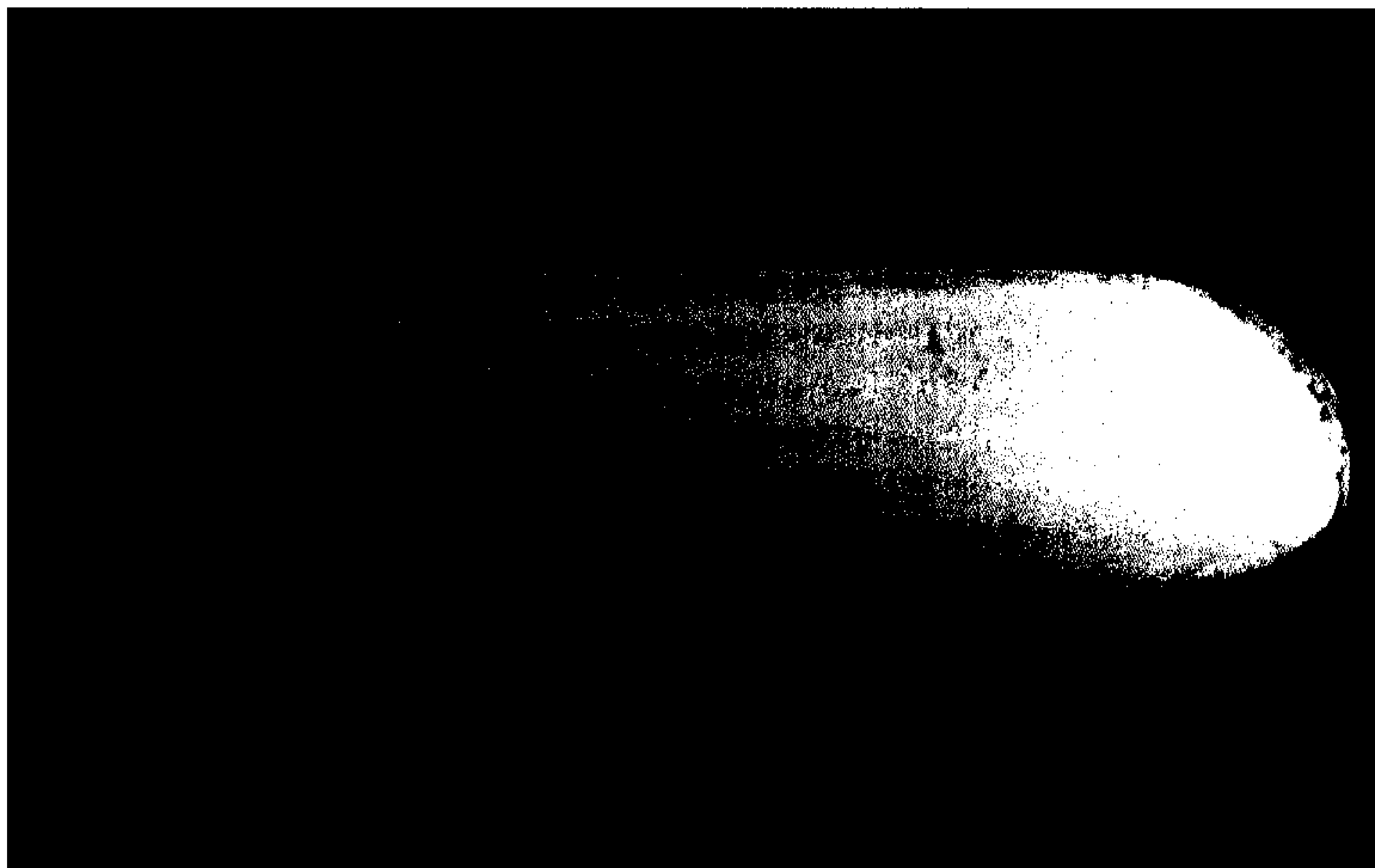
Επειδή η κατασκευή αποτελείται από αρκετά κομμάτια, είναι λογικό να υπάρχουν κάποιες ατέλειες στα σημεία που ενώνονται αυτά. Επομένως για να έχουμε ένα αισθητικά άρτιο αποτέλεσμα, θα κάνουμε χρήση σιδηρόστοκου για να καλύψουμε τις όποιες ατέλειες. Αφού περάσουμε όλη την γάστρα με σιδηρόστοκο, την αφήνουμε να στεγνώσει. Μόλις στεγνώσει ο σιδηρόστοκος τρίβουμε την γάστρα με γυαλόχαρτο. Προσπαθούμε με το γυαλόχαρτο να κάνουμε την επιφάνεια της γάστρας όσο το δυνατόν πιο λεία.



Εικόνα 131: Εργαλεία για το στοκάρισμα και το φινίρισμα της γάστρας.

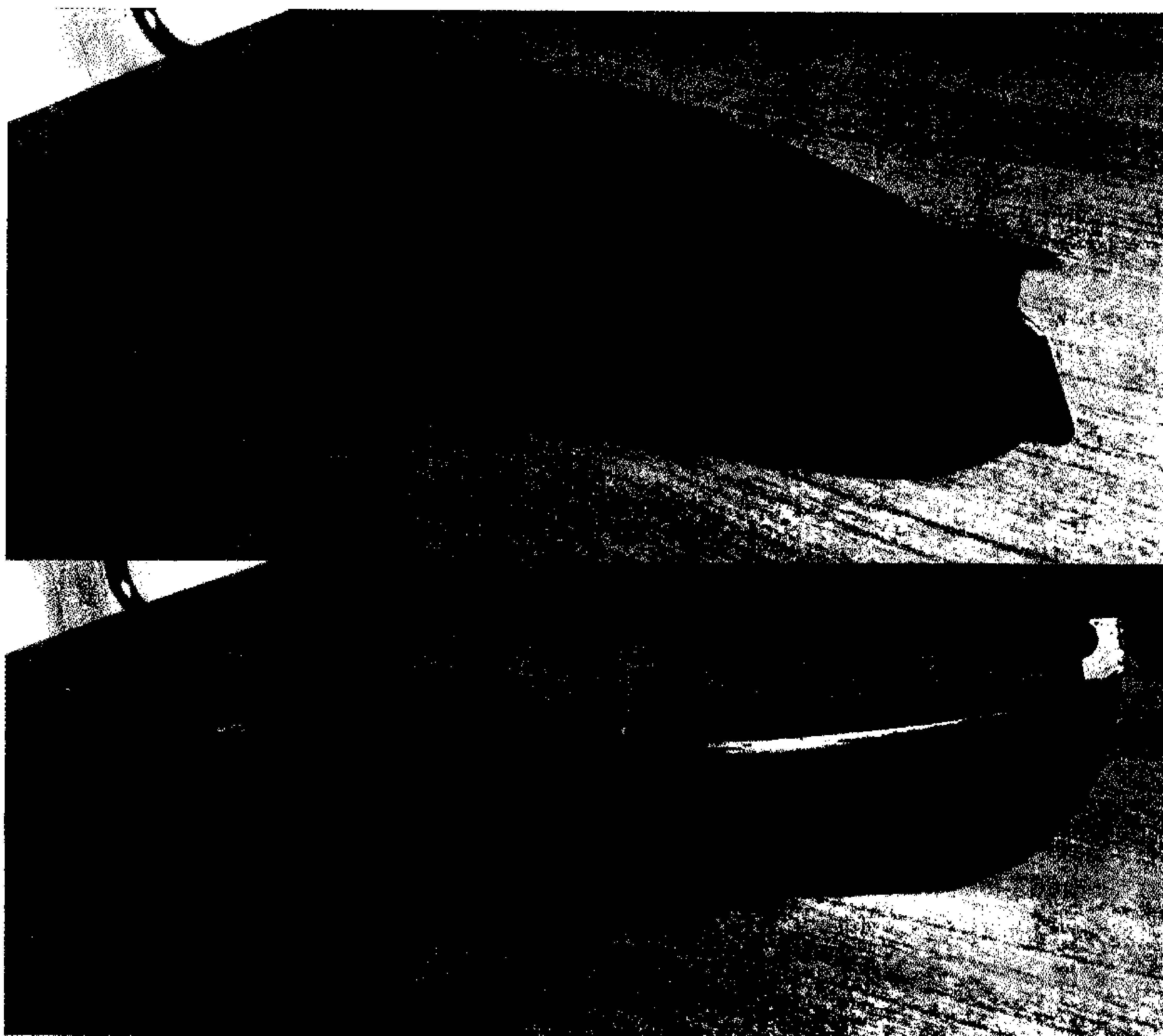


Εικόνα 132: Στοκαρισμένη γάστρα, έτοιμη για τρίψιμο.



Εικόνα 133: Φινιρισμένη γάστρα έτοιμη για βάψιμο.

Τέλος για ένα αισθητικά άρτιο αποτέλεσμα, βάφουμε την γάστρα.



Εικόνα 134: Βαμμένη γάστρα.



Εικόνα 135: Τοποθέτηση της γάστρας πάνω σε βάση στήριξης.

4.2. Επιβατηγό

4.2.1. Μορφή γάστρας

Έχοντας το σχέδιο γραμμών της γάστρας του επιβατηγού, σχεδιάζουμε την τρισδιάστατη μορφή της.

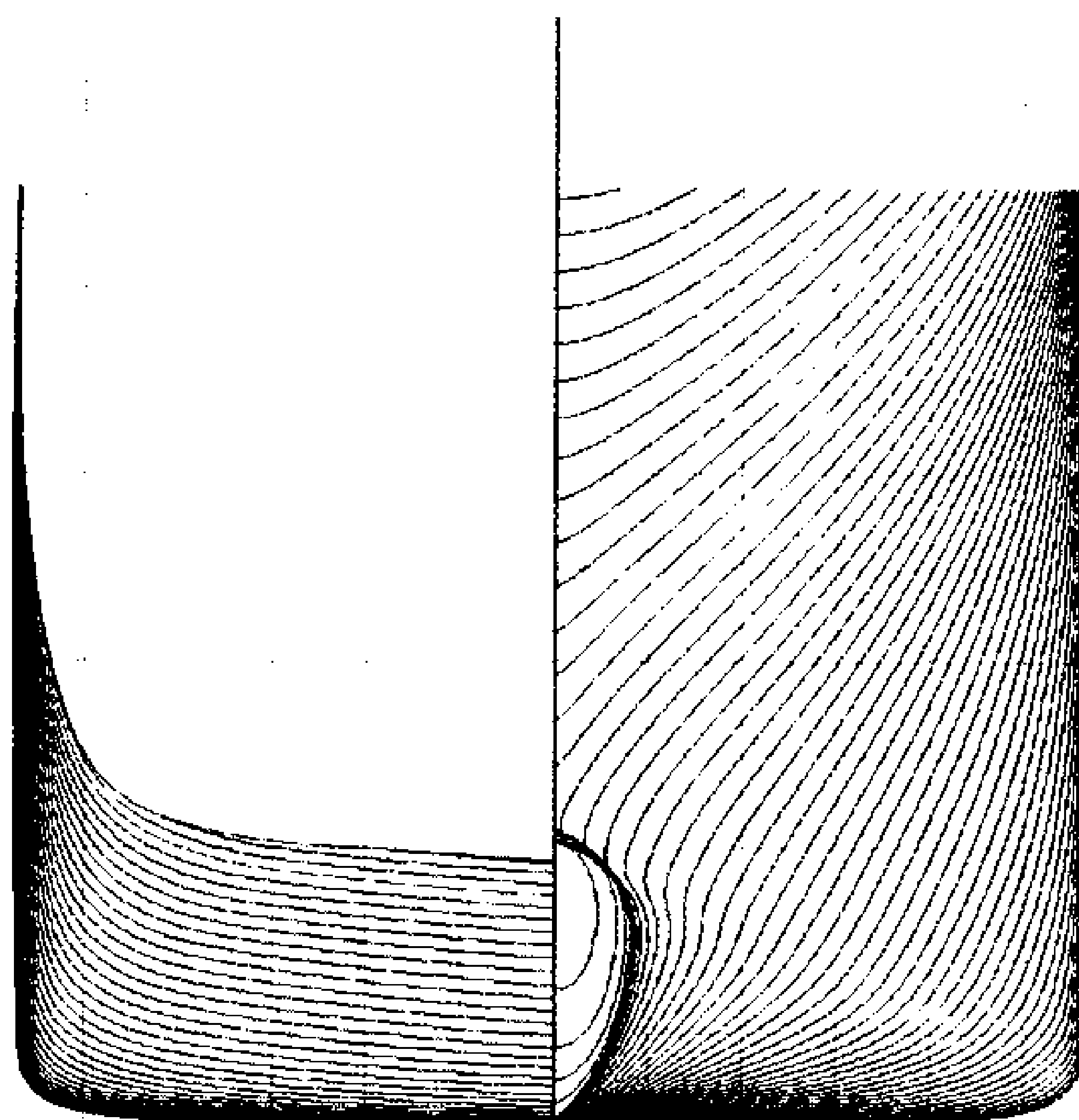
Οι πραγματικές διαστάσεις της γάστρας είναι οι εξής:

L_{OA} : 67.5

B: 11.5 m

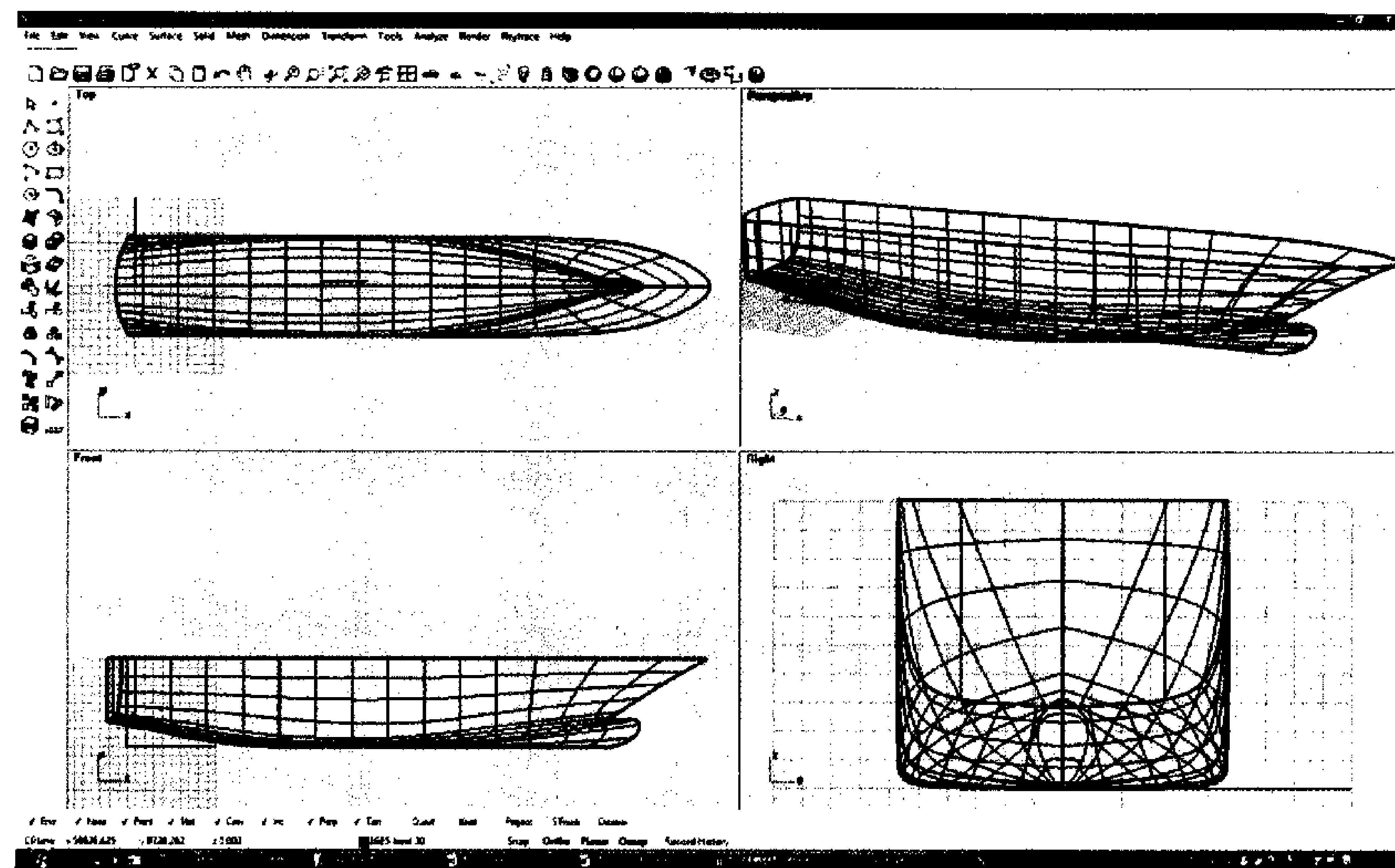
D: 10.08 m

mm



Εικόνα 136: Σχέδιο γραμμών της γάστρας του επιβατηγού.

Η τρισδιάστατη μορφή της γάστρας είναι αυτή που φαίνεται στην παρακάτω εικόνα. Είναι η τρισδιάστατη απεικόνιση της γάστρας αποτελούμενη από επιφάνειες.

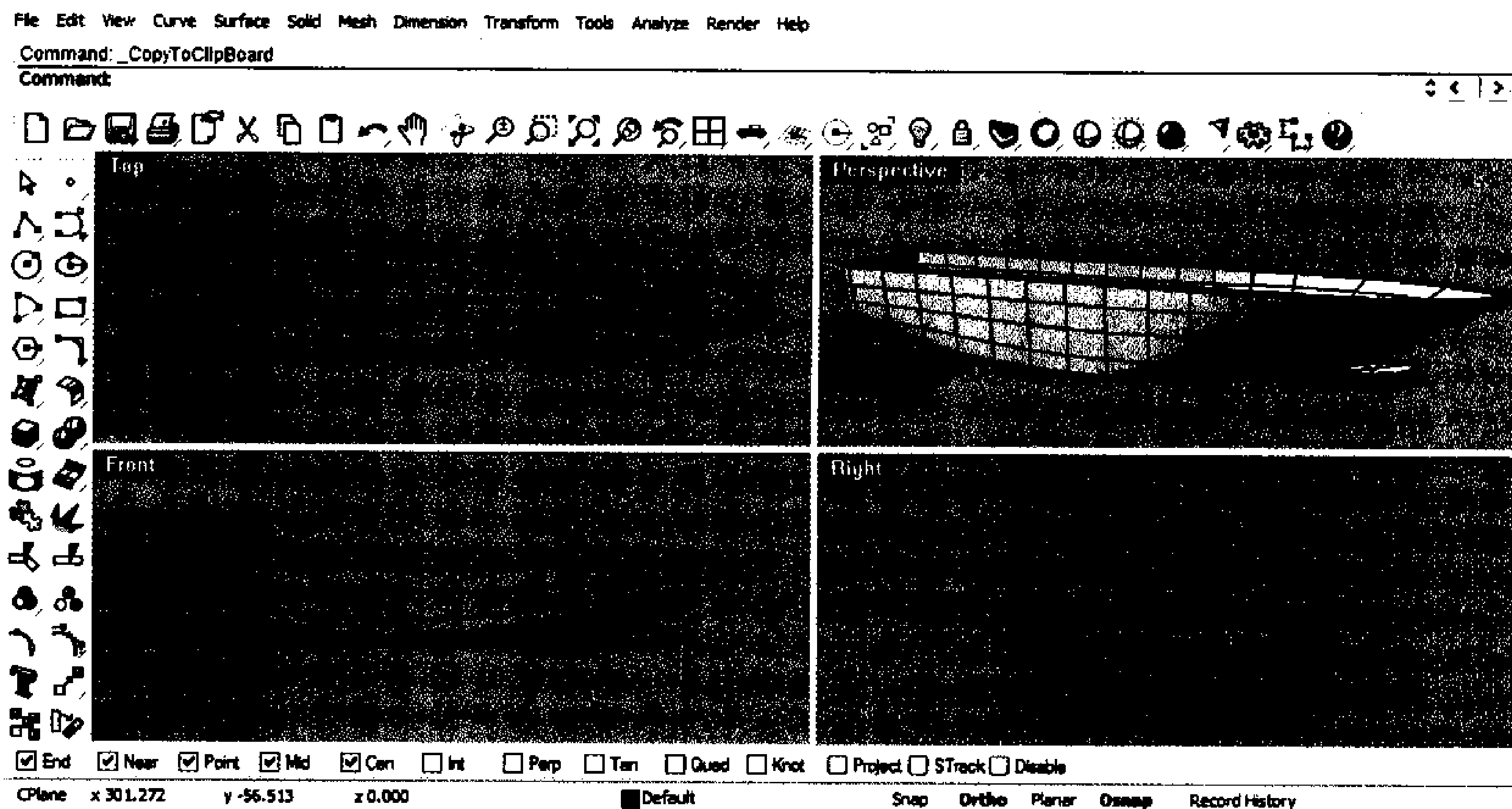


Εικόνα 137: Γάστρα επιβατηγού.

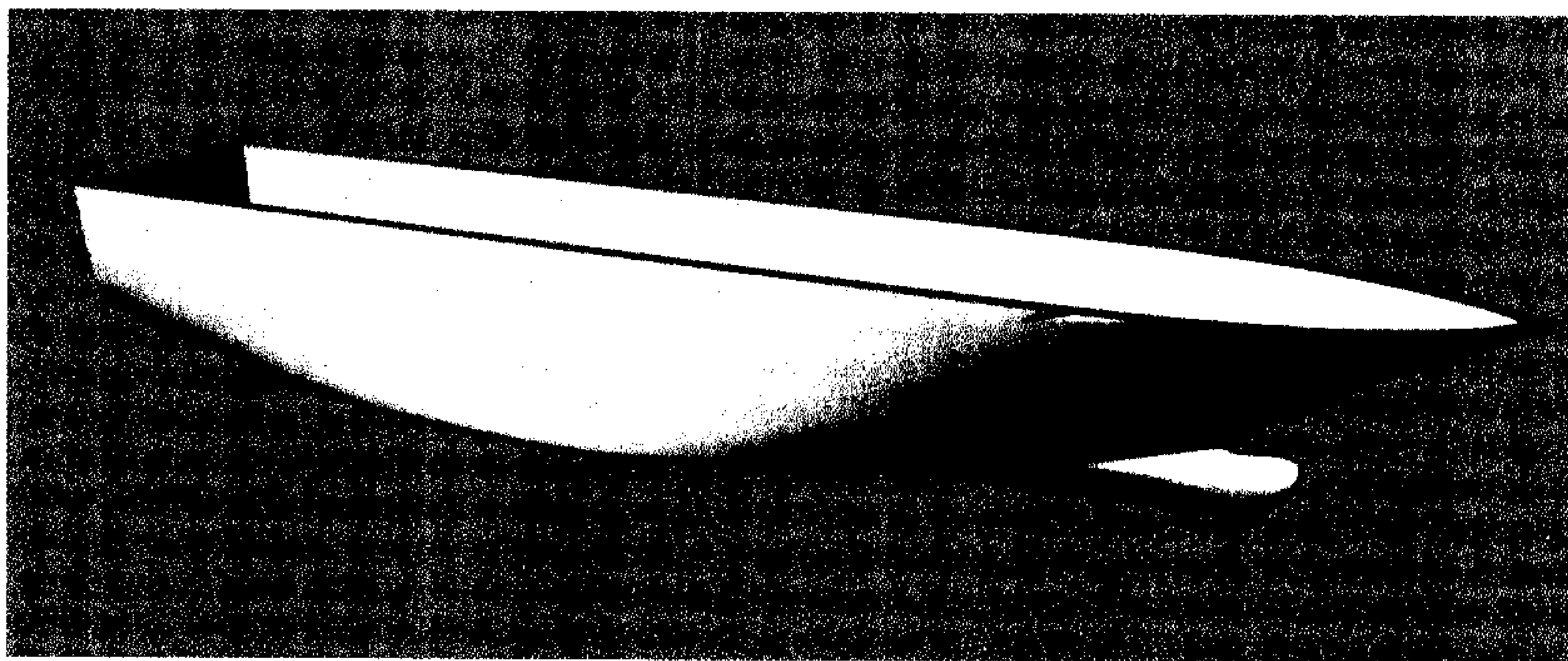


Εικόνα 138: Τρισδιάστατη απεικόνιση της γάστρας.

Για να είναι εκτυπώσιμη η γάστρα θα πρέπει, όπως έχουμε προαναφέρει, να είναι στερεό μοντέλο. Επομένως, θα πρέπει να μετατρέψουμε το επιφανειακό μοντέλο της παραπάνω γάστρας, σε στερεό μοντέλο, ήτοι σε «γάστρα με πάχος». Παράγουμε το στερεό μοντέλο δίνοντας στην γάστρα πάχος 3 mm. Το πάχος το επιλέγουμε με βάση το μέγεθος που θέλουμε να εκτυπώσουμε.



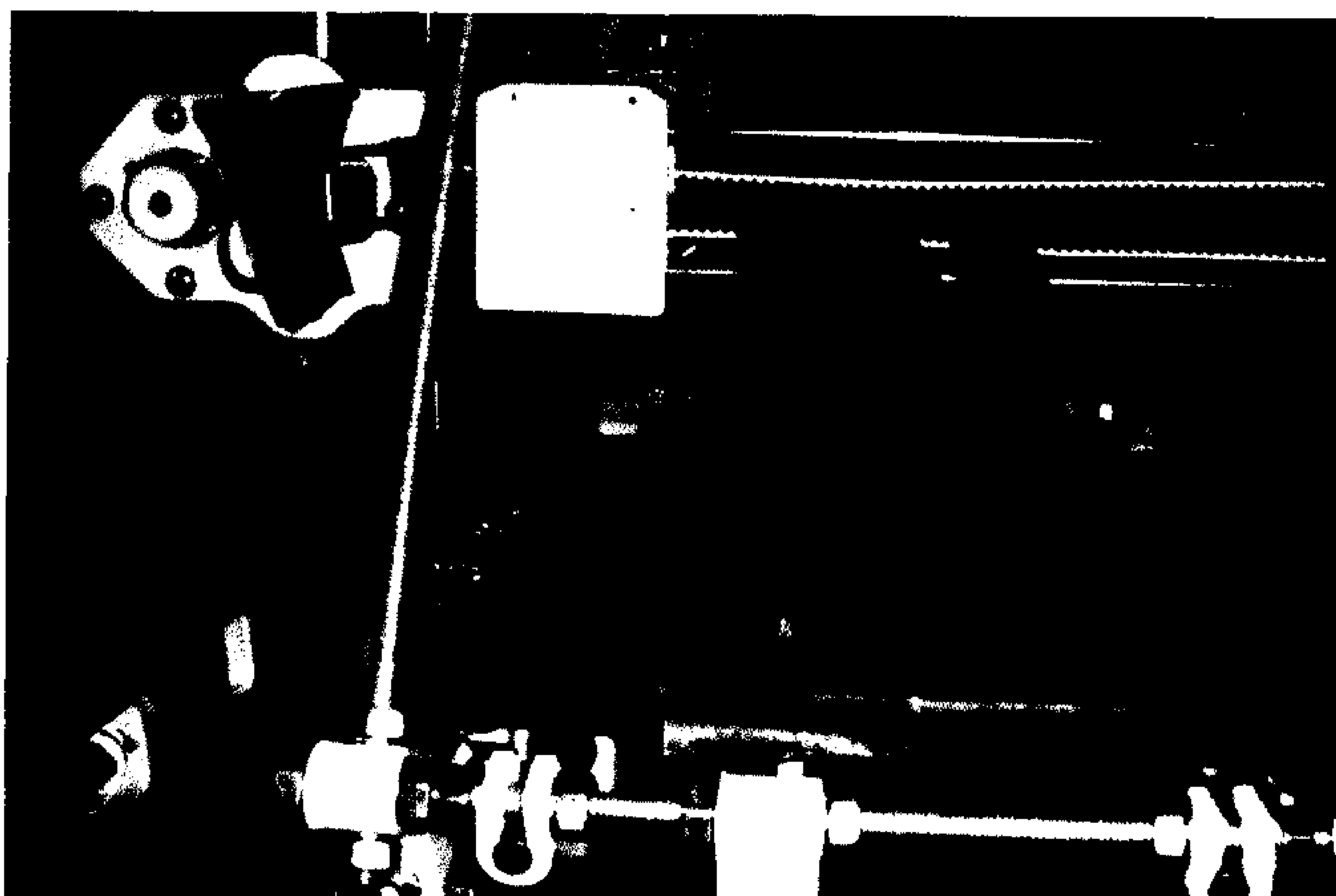
Εικόνα 139: Γάστρα επιβατηγού (Η γάστρα με πάχος 4 mm).



Εικόνα 140: Τρισδιάστατη απεικόνιση γάστρας επιβατηγού (πάχος 3 mm)

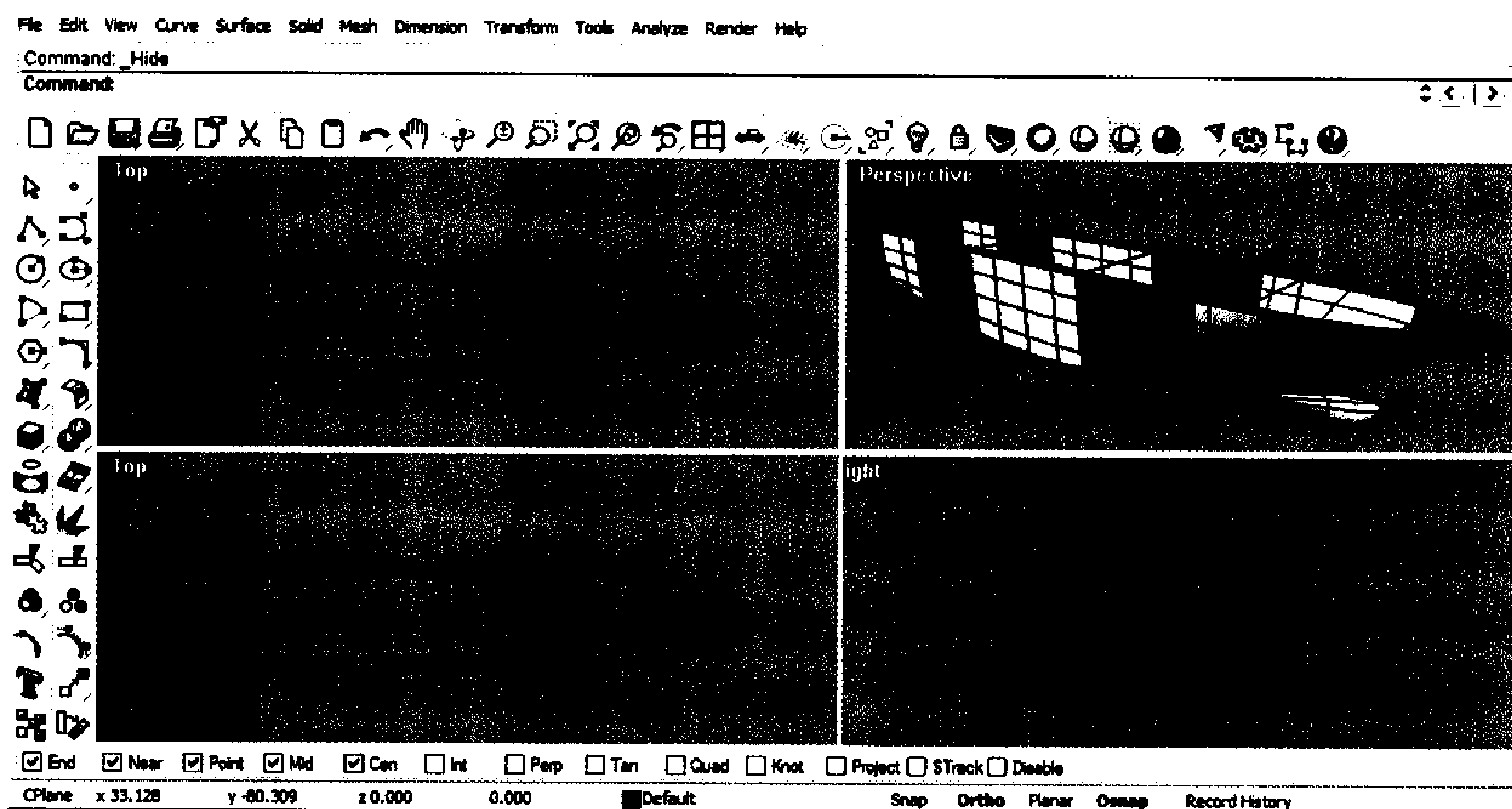
4.2.2. Επιλογή διαστάσεων γάστρας προς εκτύπωση.

Το σχέδιο της γάστρας του επιβατηγού έχει διαστάσεις 326.5 x 57.5 x 50.4mm (Μήκος x Πλάτος x Ύψος), οι οποίες θα είναι και οι διαστάσεις εκτύπωσης. Η εκτύπωση θα γίνει καθ' ύψος. Δηλαδή θα εκτυπώσουμε την γάστρα με τον διαμήκη άξονά της παράλληλο με τον κατακόρυφο άξονα του εκτυπωτή (άξονας Z).

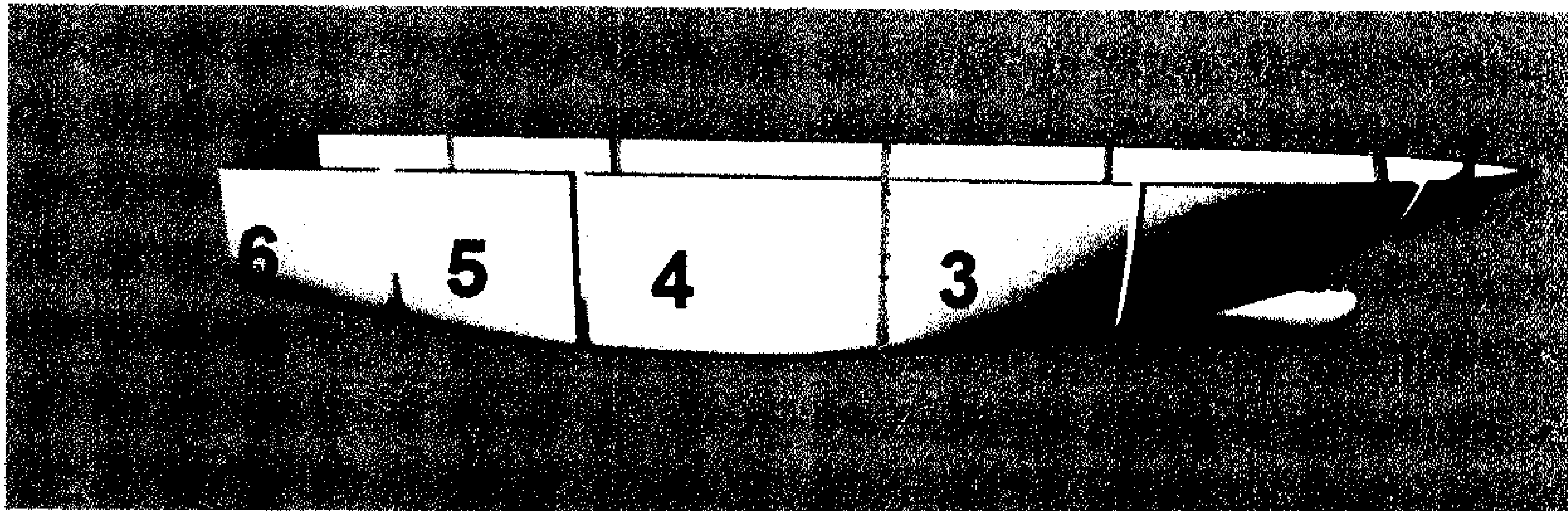


Εικόνα 141: Κατακόρυφος τρόπος εκτύπωσης.

Ο εκτυπωτής κατά τον άξονα Z, όπως αναφέραμε νωρίτερα μπορεί και εκτυπώσει αντικείμενα με ύψος έως και 110 mm. Ωστόσο, η τιμή αυτή είναι η μέγιστη δυνατή και για αυτό επιλέγουμε να περιοριστούμε σε μέγιστο ύψος 80-85 mm. Με τον τρόπο αυτό λειτουργούμε τον εκτυπωτή μέσα σε ασφαλή πλαίσια (αποφυγή ενδεχόμενων εμπλοκών στο άνω μέρος του εκτυπωτή).



Εικόνα 142: Τμηματοποίηση γάστρας επιβατηγού.



Εικόνα 143: Τρισδιάστατη απεικόνιση τμηματοποίησης γάστρας επιβατηγού.

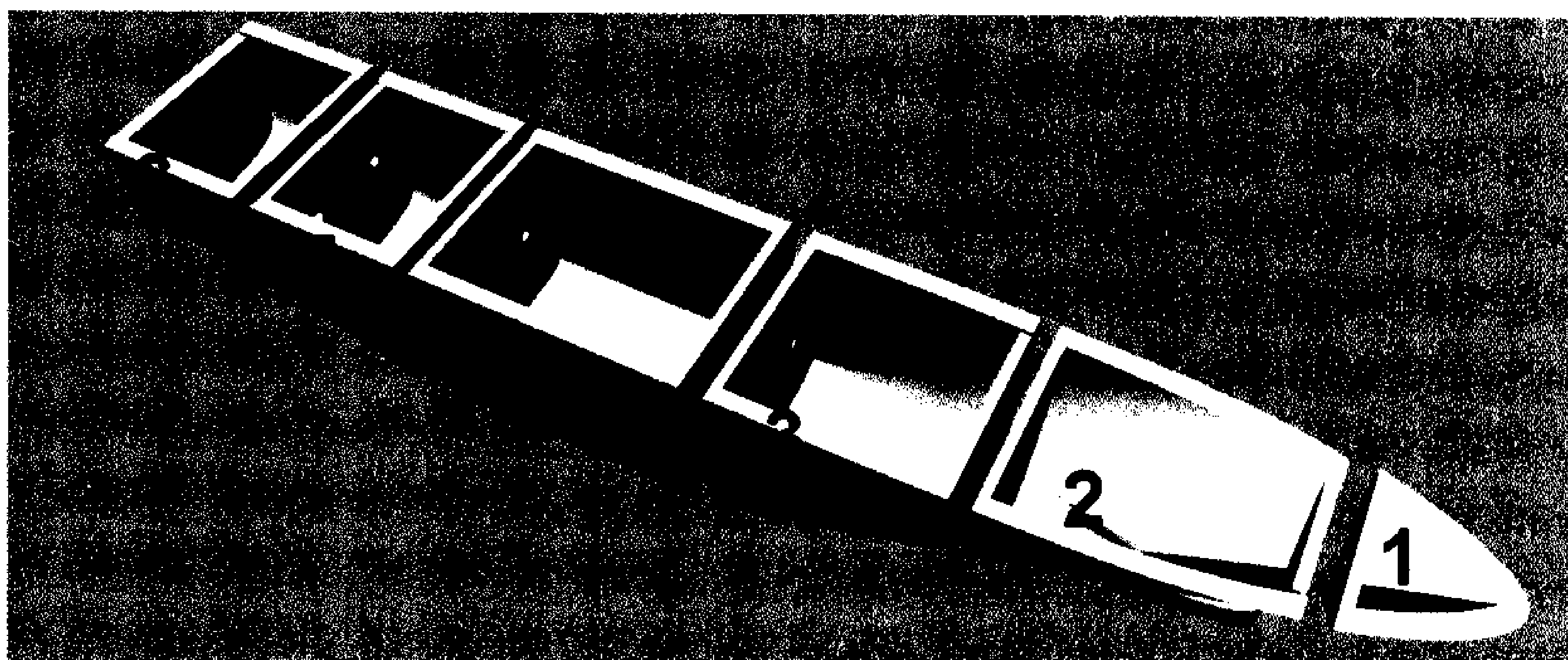
Με βάση την παραπάνω επιλογή η γάστρα θα χωρισθεί τελικά σε έξι τμήματα: τρία προραία και τρία πρυμναία. Ο χωρισμός γίνεται ως ακολούθως: αρχικά χωρίζουμε την γάστρα σε δύο κομμάτια. Το κάθε κομμάτι από αυτά είναι περίπου 16 cm σε μήκος και στη συνέχεια χωρίζουμε το καθένα από αυτά σε τρία επιμέρους τμήματα (βλέπε εικόνες 131,132).

Τελικά έχουμε:

- Προραίο τμήμα (κομμάτια 1, 2, 3)
- Πρυμναίο τμήμα (κομμάτια 4, 5, 6)

4.2.3. Τοποθέτηση ενισχυτικών

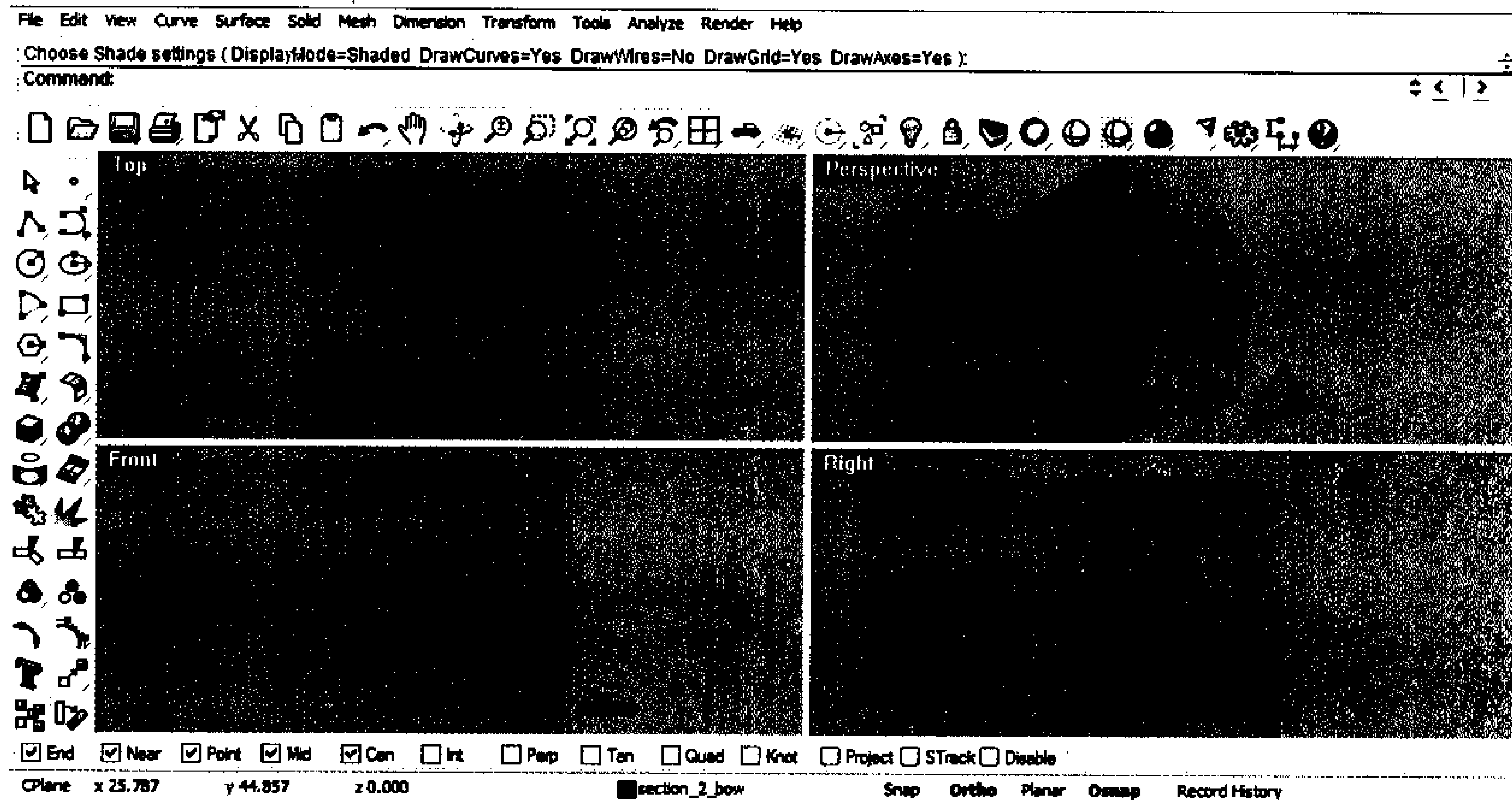
Εφόσον η εκτύπωση της γάστρας θα γίνει κατακόρυφα, τα μόνα ενισχυτικά που θα χρειαστούμε είναι αυτά που θα βάλουμε για να ενώσουμε τα τμήματα της γάστρας μεταξύ τους. Με την κατακόρυφη εκτύπωση αποφεύγουμε τον κίνδυνο κατάρρευσης αφού διασφαλίζεται η στήριξη όλων των προς εκτύπωση επιπέδων.



Εικόνα 144: Ενισχυμένη γάστρα επιβατηγού.

4.2.4. Εκτύπωση της γάστρας

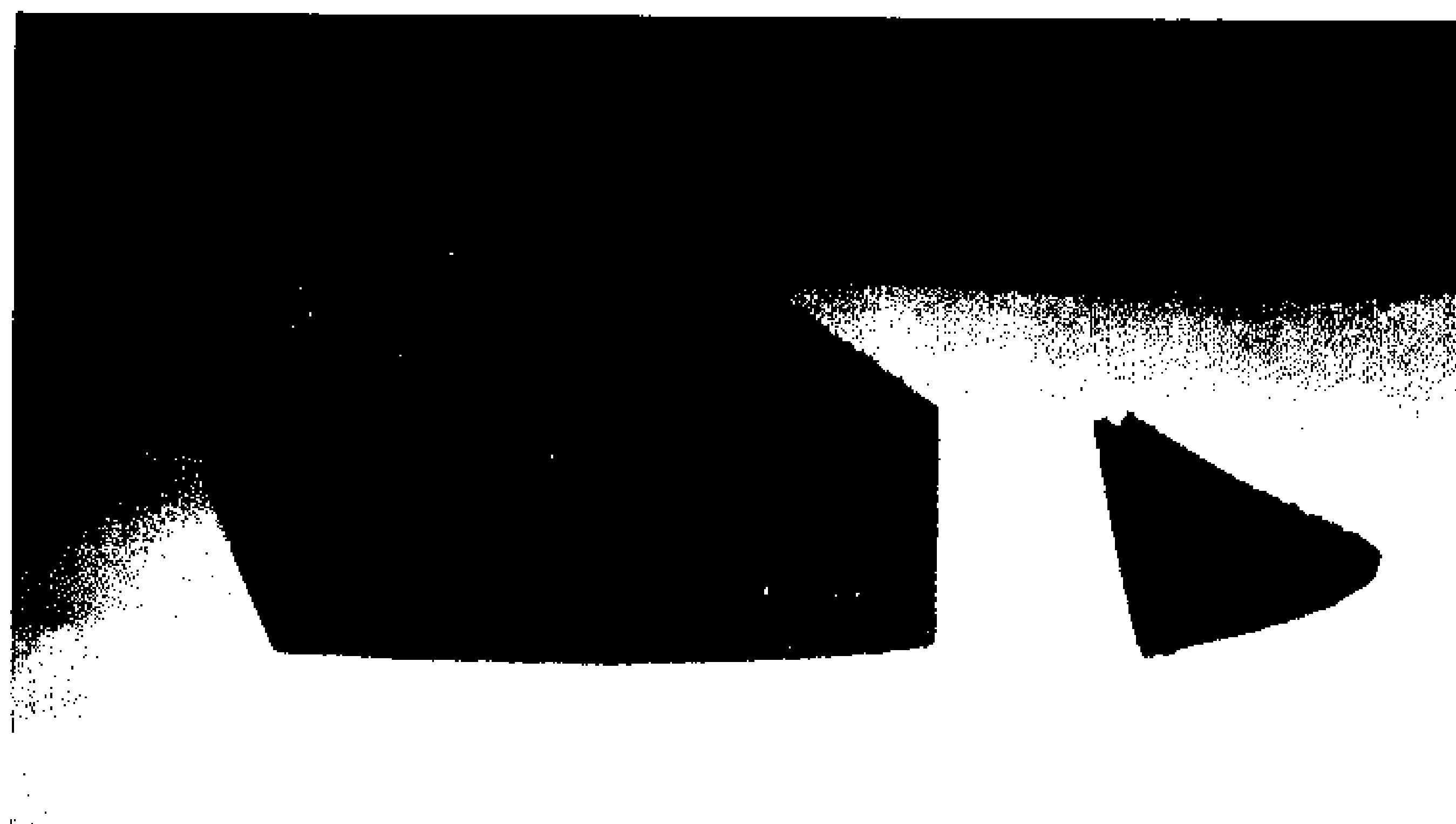
Φορτώνουμε στο Pronterface το αρχείο που θέλουμε να εκτυπώσουμε. Εκτυπώνουμε την γάστρα τμηματικά. Κάθε φορά εκτυπώνουμε ένα τμήμα της γάστρας με τα ενισχυτικά του. Ακολουθεί ένα παράδειγμα ενός τμήματος που είναι έτοιμο για εκτύπωση.



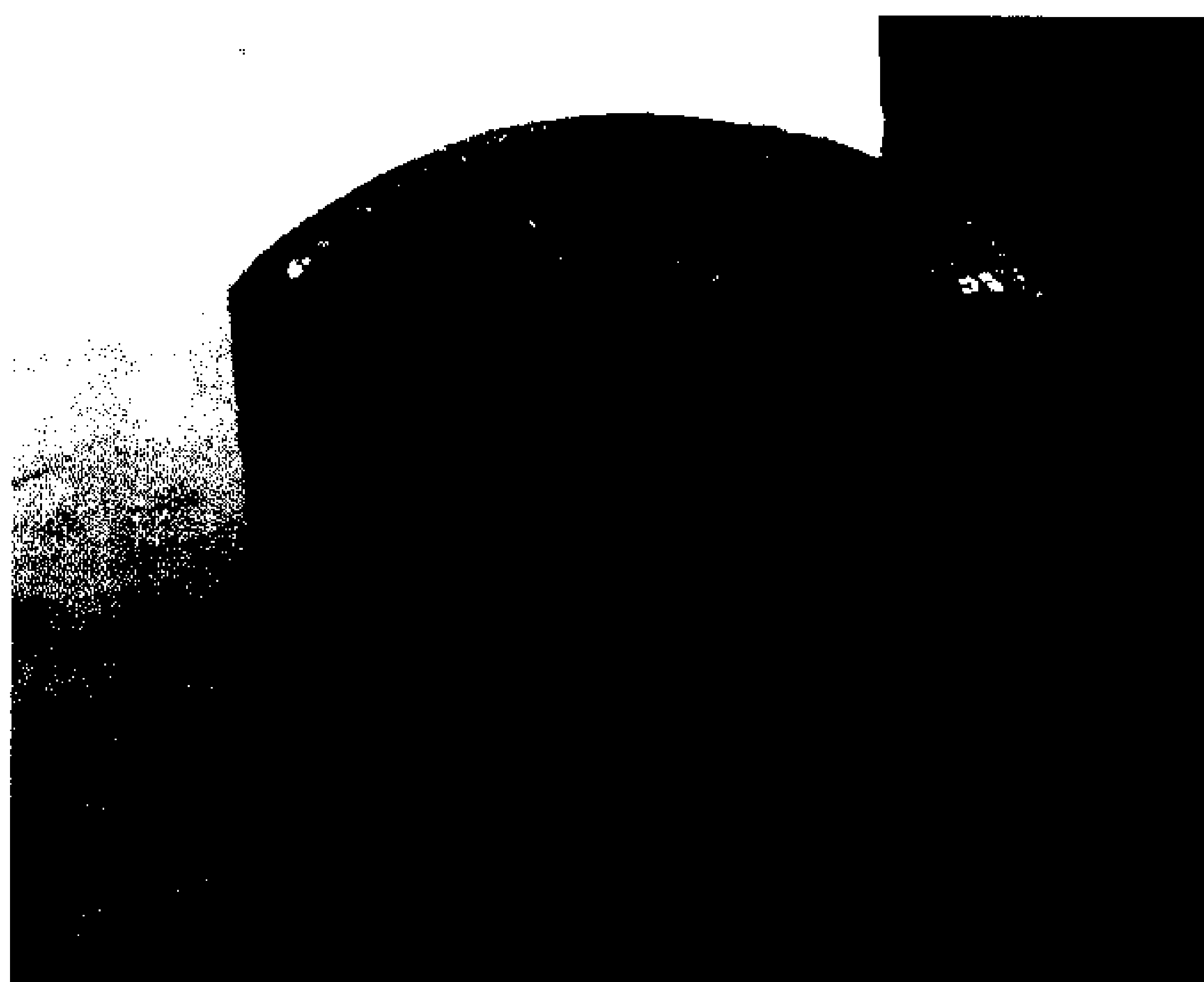
Εικόνα 145: Πρωραίο τμήμα επιβατηγού έτοιμο για εκτύπωση (τμήμα 2).

Το τμήμα που απεικονίζεται στην παραπάνω εικόνα είναι ένα τμήμα του πρωραίου τμήματος της γάστρας. Βλέπουμε ότι το κομμάτι αυτό είναι τοποθετημένο κατακόρυφα και στην σωστή θέση για να εκτυπωθεί.

4.2.4.1. Εκτύπωση προβαίου τμήματος της γάστρας

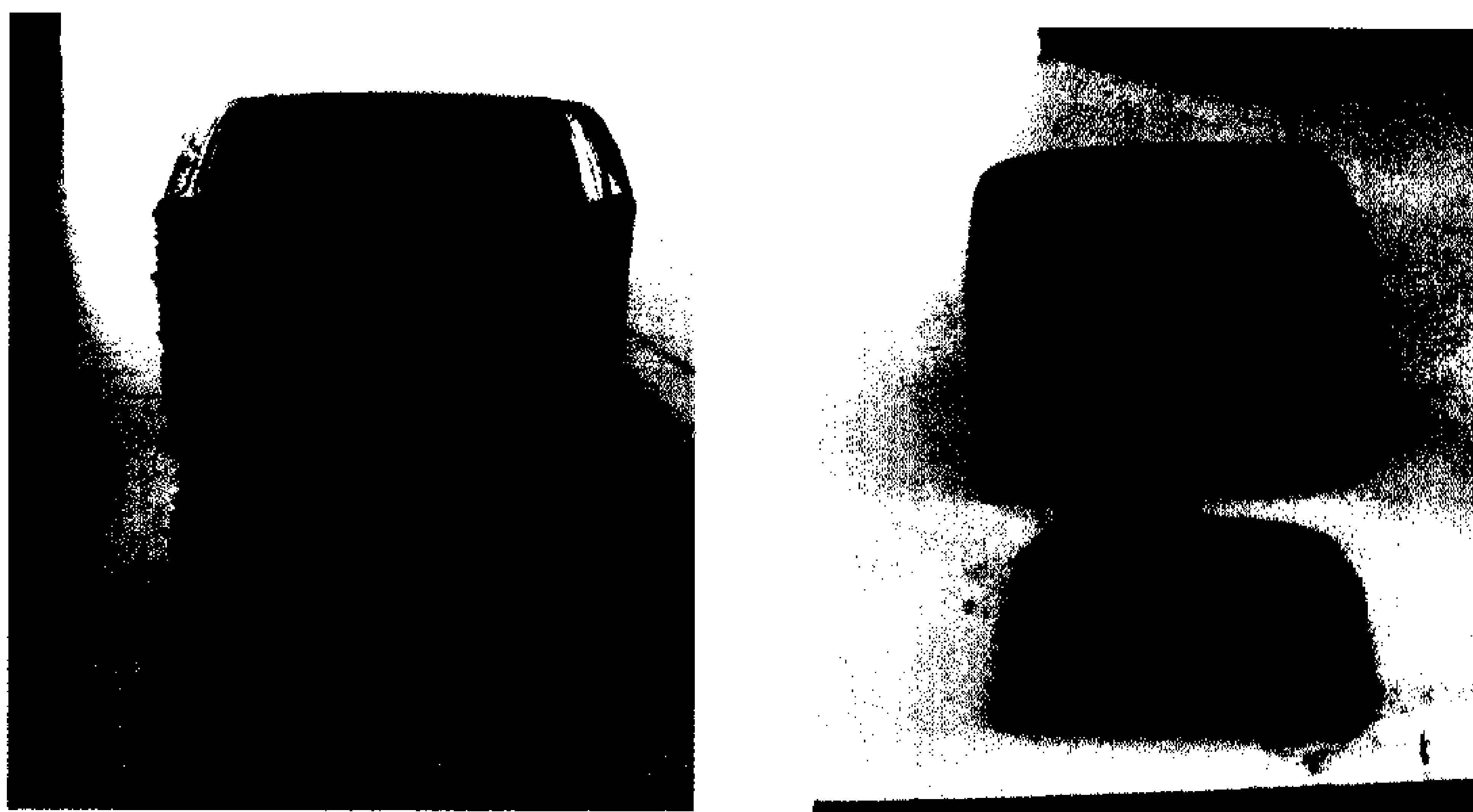


Εικόνα 146: Προβαία τμήματα επιβατηγού (Τμήματα 1 και 2).



Εικόνα 147: Προβαίο τμήμα επιβατηγού (Τμήμα 3).

4.2.4.2. Εκτύπωση πρυμναίου τμήματος της γάστρας



Εικόνα 148: Πρυμναίο τμήμα επιβατηγού (Τμήμα 5 και 6).



Εικόνα 149: πρυμναίο τμήμα επιβατηγού (Τμήμα 4).

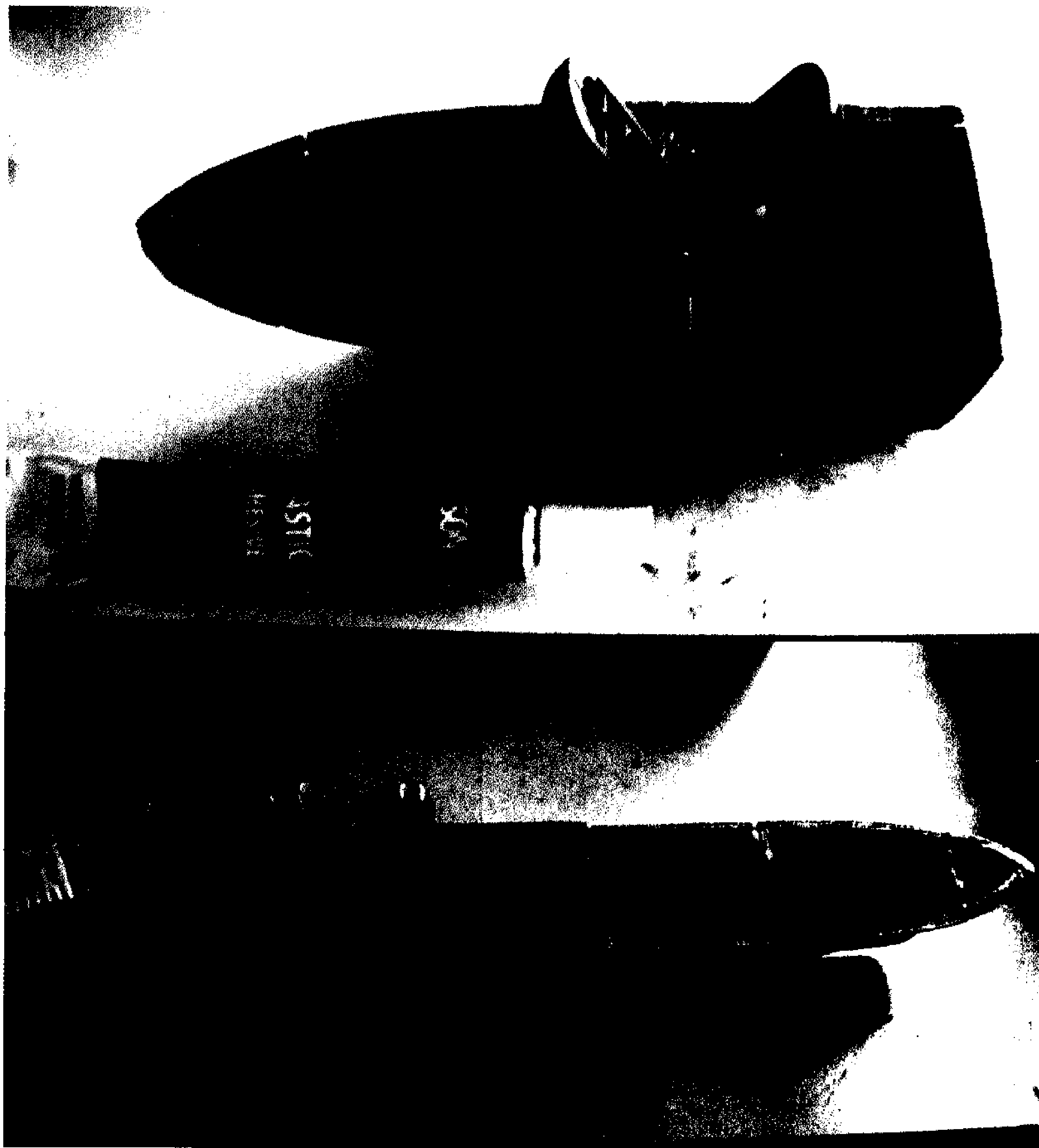
4.2.5. Συναρμολόγηση του μοντέλου

Συναρμολογούμε τα επιμέρους τμήματα της γάστρας. Τοποθετούμε τα ενισχυτικά κάθε τμήματος και στην συνέχεια ενώνουμε τα τμήματα με την σειρά (από την πλώρη προς την πρύμνη). Τα τμήματα ενώνονται με χρήση συγκολλητικού μέσου για πλαστικό και δύο βίδες M3 x 15 mm. Αφού βάλουμε το συγκολλητικό μέσο στην μία από τις δύο επιφάνειες τις πιέζουμε δυνατά με την βοήθεια ενός σφιγκτήρα και περιμένουμε το συγκολλητικό μέσο να

στεγνώσει. Μόλις το συγκολλητικό μέσο στεγνώσει, ενισχύουμε την υπάρχουσα ένωση με τις δύο βίδες τις οποίες σφίγγουμε. Για να αποφύγουμε το λασκάρισμα των παξιμαδιών, τοποθετούμε μια μικρή ποσότητα κόλλας στιγμής στο σπείρωμα της βίδας.



Εικόνα 150: Τμήματα γάστρας επιβατηγού έτοιμα για συναρμολόγηση.



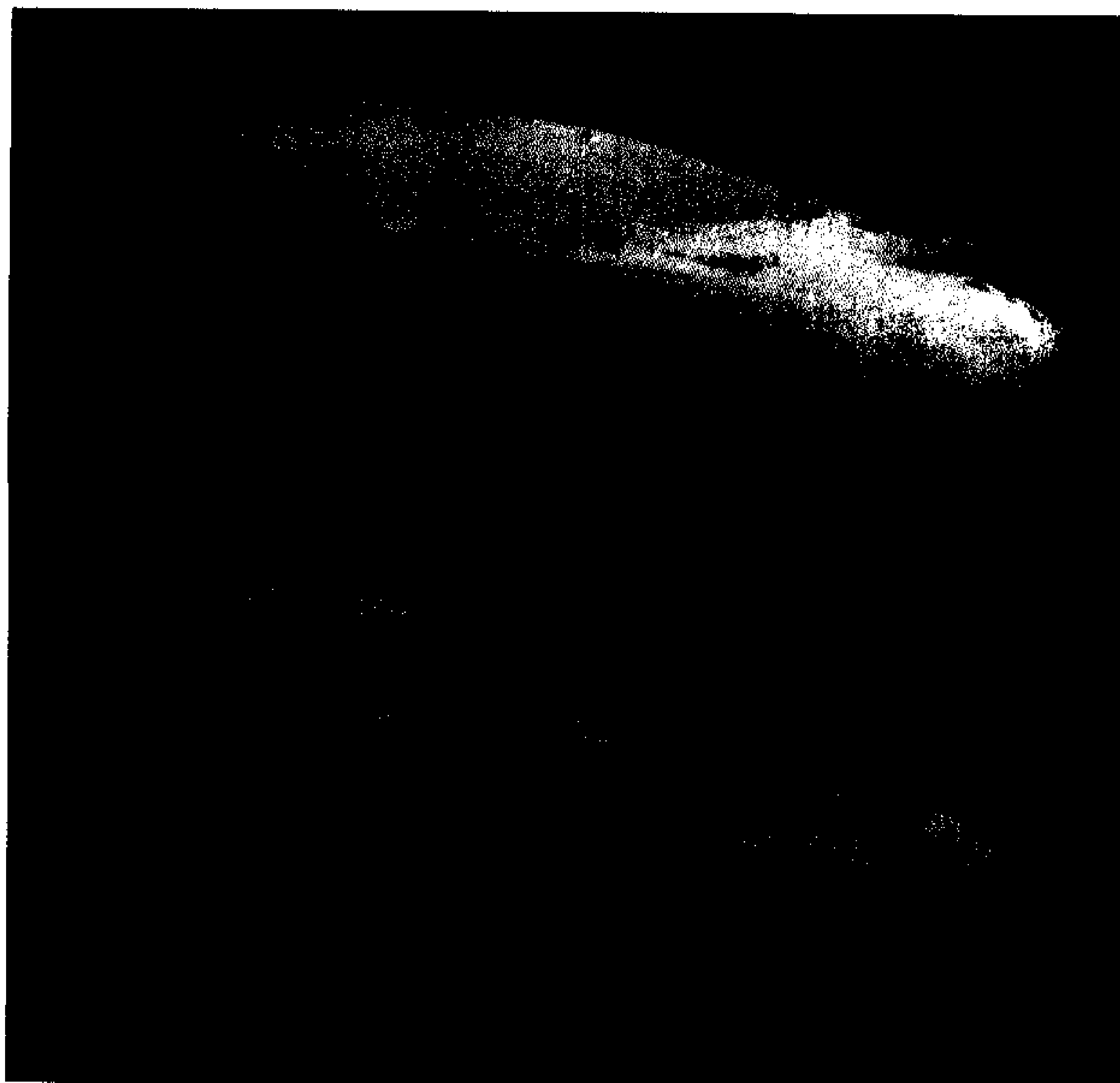
Εικόνα 151: Συναρμολόγηση των επιμέρους τμημάτων της γάστρας.

4.2.6. Φινίρισμα της γάστρας

Επειδή η κατασκευή αποτελείται από αρκετά κομμάτια και με δεδομένη την ακρίβεια εκτύπωσης και μια ελαφριά στρέβλωση του υλικού κατά την ψύξη του είναι λογικό να υπάρχουν κάποιες ατέλειες στα σημεία ένωσης. Επομένως για να επιτύχουμε ένα αισθητικά άρτιο αποτέλεσμα, κάνουμε χρήση σιδηρόστοκου για να καλύψουμε τις όποιες ατέλειες. Αφού περάσουμε όλη την γάστρα με σιδηρόστοκο, την αφήνουμε να στεγνώσει. Μόλις στεγνώσει ο σιδηρόστοκος τρίβουμε την γάστρα με γυαλόχαρτο. Προσπαθούμε με το γυαλόχαρτο να κάνουμε την επιφάνεια της γάστρας όσο το δυνατόν πιο λεία.



Εικόνα 152: Στοκαρισμένες επιφάνειες, έτοιμες για τρίψιμο.



Εικόνα 153: Φινιρισμένη γάστρα έτοιμη για βάψιμο.

Τέλος για ένα αισθητικά άρτιο αποτέλεσμα, βάφουμε την γάστρα.



Εικόνα 154: Βαρμένη γάστρα επιβατηγού.

5. Συμπεράσματα

Στην παρούσα πτυχιακή εργασία κατασκευάσαμε έναν τρισδιάστατο εκτυπωτή τεχνολογίας εναπόθεσης υλικού (Additive manufacturing) και κάναμε χρήση του για την παραγωγή τρισδιάστατων μοντέλων πλοίων κατάλληλων για χρήση σε μικρή πειραματική δεξαμενή.

Το πρώτο μέρος της εργασίας περιελάμβανε τα ακόλουθα βήματα:

- 1) Διερεύνηση της σχετικής βιβλιογραφίας και των τεχνολογιών τρισδιάστατης εκτύπωσης
- 2) Επιλέξαμε τα βασικά μέρη (μηχανικά και ηλεκτρονικά μέρη) και κατασκευάσαμε έναν πρότυπο εκτυπωτή τεχνολογίας εναπόθεσης υλικού με δυνατότητα παραγωγής αντικειμένων σε διαστάσεις 15x15x10 εκατοστά.
- 3) Συναρμολογήσαμε τα μηχανικά τμήματα.
- 4) Συναρμολογήσαμε τα ηλεκτρονικά τμήματα (χρήση κατάλληλου μικροεπεξεργαστή, ελεγκτή βηματικών κινητήρων κλπ)
- 5) Επιλέξαμε ανοικτό λογισμικό οδήγησης μηχανών CNC (και παρεμβήκαμε όπου αυτό χρειαζόταν) για την οδήγηση του τρισδιάστατου εκτυπωτή.
- 6) Ρυθμίσαμε και ελέγξαμε τα συστατικά μέρη για την παραγωγή μοντέλων καλής ποιότητας

Το δεύτερο μέρος της εργασίας περιελάμβανε τα ακόλουθα βήματα:

- 1) Κάναμε χρήση κατάλληλου λογισμικού τρισδιάστατης μοντελοποίησης (Rhino 3d) για την παραγωγή των μοντέλων πλοίων από τα σχέδια γραμμών τους.
- 2) Επιλέξαμε 2 τύπους πλοίου για την παραγωγή των μοντέλων υπό κλίμακα (αλιευτικό, επιβατηγό κλπ)
- 3) Διερευνήσαμε της διαδικασίας χωρισμού τμημάτων τρισδιάστατων μοντέλων πλοίων και τη μοντελοποίηση των συστημάτων σύνδεσης για παραγωγή μοντέλων μεγάλης κλίμακας από τμήματα εκτυπωμένων μερών.
- 4) Κατασκευάσαμε (εκτυπώσαμε) και συναρμολογήσαμε 2 μοντέλα πλοίων σε κατάλληλη κλίμακα (25-40 εκατοστά) για μελλοντική χρήση στην πειραματική δεξαμενή του τμήματος σε κάποιο πείραμα υπολογισμού αντίστασης ρυμούλκησης ή σε κάποιο πείραμα ευστάθειας.

Σε αυτή την πτυχιακή εργασία ασχοληθήκαμε με την κατασκευή και χρήση ενός τρισδιάστατου εκτυπωτή για την παραγωγή μικρών μοντέλων πλοίων. Η

τρισεδιάστατη εκτύπωση αποτελεί μία από τις σημαντικότερες τεχνολογικές εφευρέσεις των τελευταίων 20 ετών. Είναι μια σχετικά νέα αλλά ταχέως αναπτυσσόμενη τεχνολογία η οποία έχει υπεισέρθει στις περισσότερες καινοτόμες έρευνες της επιστήμης σε όλους τους τομείς (βιομηχανία, βιοιατρική, αεροναυπηγική κτλ).

Μια προφανής επέκτασης της παρούσας εργασίας είναι η παραγωγή μοντέλων μεγαλύτερου μεγέθους καθώς και η χρησιμοποίηση τρισεδιάστατων εκτυπωτών εναλλακτικών τεχνολογιών.

6. Βιβλιογραφία

- <http://www.reprap.org/wiki> : Επίσημος ιστότοπος της εταιρείας RepRapPro με οδηγίες για την συναρμολόγηση και τη λειτουργία του εκτυπωτή.
- <http://reprappro.com> : Επίσημος ιστότοπος της εταιρείας RepRapPro.
- http://en.wikipedia.org/wiki/3D_printing : Εισαγωγή στις έννοιες της τρισδιάστατης εκτύπωσης.
- http://www.osmtec.com/stepping_motors_nema_14_hs.htm : Ιστότοπος με τα τεχνικά χαρακτηριστικά των βηματικών κινητήρων.
- <http://reprap.org/wiki/Sanguinololu> : Τεχνικά χαρακτηριστικά μητρικής πλακέτας Sanguinololu.
- <https://github.com> : Ιστότοπος για την εύρεση και εγκατάσταση του απαραίτητου λογισμικού για την λειτουργία του 3D εκτυπωτή.
- www.up3dusa.com
- www.felixprinters.com
- www.makerbot.com
- www.ultimaker.com
- <http://www.3ders.org> : Σύγκριση τιμών 3D εκτυπωτών.