



Τμήμα Ηλεκτρολόγων Μηχανικών  
& Μηχανικών Υπολογιστών

**ΠΑΝΕΠΙΣΤΗΜΙΟ  
ΠΕΛΟΠΟΝΝΗΣΟΥ**

**ΠΑΝΕΠΙΣΤΗΜΙΟ ΠΕΛΟΠΟΝΝΗΣΟΥ**

**ΣΧΟΛΗ ΜΗΧΑΝΙΚΩΝ**

**ΤΜΗΜΑ ΗΛΕΚΤΡΟΛΟΓΩΝ ΜΗΧΑΝΙΚΩΝ ΚΑΙ  
ΜΗΧΑΝΙΚΩΝ ΥΠΟΛΟΓΙΣΤΩΝ**

**ΔΙΠΛΩΜΑΤΙΚΗ ΕΡΓΑΣΙΑ**

**ΕΞΕΛΙΞΕΙΣ ΣΤΟΝ ΠΡΟΓΡΑΜΜΑΤΙΣΜΟ CNC ΕΡΓΑΛΕΙΟΜΗΧΑΝΩΝ  
ΚΑΙ ΤΡΙΣΔΙΑΣΤΑΤΩΝ ΕΚΤΥΠΩΤΩΝ**

**ΛΥΚΟΥΡΓΙΩΤΗΣ ΣΤΕΦΑΝΟΣ ΑΜ:6749**

**ΕΠΙΒΛΕΠΩΝ ΚΑΘΗΓΗΤΗΣ: ΚΑΡΕΛΗΣ ΔΗΜΗΤΡΙΟΣ**

**ΠΑΤΡΑ 2022**

Εγκρίθηκε από την τριμελή εξεταστική επιτροπή

Πάτρα, 11/11/2022

## ΕΠΙΤΡΟΠΗ ΑΞΙΟΛΟΓΗΣΗΣ

1. Καρέλης Δημήτριος Επίκουρος Καθηγητής
2. Σταθάτος Ηλίας Καθηγητής
3. Χαραλαμπάκος Βασίλειος Επίκουρος Καθηγητής

### **Υπεύθυνη Δήλωση Φοιτητή**

Βεβαιώνω ότι είμαι συγγραφέας αυτής της εργασίας και ότι κάθε βοήθεια την οποία είχα για την προετοιμασία της είναι πλήρως αναγνωρισμένη και αναφέρεται στην εργασία. Επίσης έχω αναφέρει τις όποιες πηγές από τις οποίες έκανα χρήση δεδομένων, ιδεών ή λέξεων, είτε αυτές αναφέρονται ακριβώς είτε παραφρασμένες. Επίσης βεβαιώνω ότι αυτή η εργασία προετοιμάστηκε από εμένα προσωπικά ειδικά για τη συγκεκριμένη εργασία.

Η έγκριση της διπλωματικής εργασίας από το Τμήμα Ηλεκτρολόγων Μηχανικών και Μηχανικών Υπολογιστών του Πανεπιστημίου Πελοποννήσου δεν υποδηλώνει απαραίτητως και αποδοχή των απόψεων του συγγραφέα εκ μέρους του Τμήματος.

Η παρούσα εργασία αποτελεί πνευματική ιδιοκτησία του φοιτητή Λυκουργιώτη Στέφανου που την εκπόνησε. Στο πλαίσιο της πολιτικής ανοικτής πρόσβασης ο συγγραφέας/δημιουργός εκχωρεί στο Πανεπιστήμιο Πελοποννήσου, μη αποκλειστική άδεια χρήσης του δικαιώματος αναπαραγωγής, προσαρμογής, δημόσιου δανεισμού, παρουσίασης στο κοινό και ψηφιακής διάχυσής τους διεθνώς, σε ηλεκτρονική μορφή και σε οποιοδήποτε μέσο, για διδακτικούς και ερευνητικούς σκοπούς, άνευ ανταλλάγματος και για όλο το χρόνο διάρκειας των δικαιωμάτων πνευματικής ιδιοκτησίας. Η ανοικτή πρόσβαση στο πλήρες κείμενο για μελέτη και ανάγνωση δεν σημαίνει καθ' οιονδήποτε τρόπο παραχώρηση δικαιωμάτων διανοητικής ιδιοκτησίας του συγγραφέα/δημιουργού ούτε επιτρέπει την αναπαραγωγή, αναδημοσίευση, αντιγραφή, αποθήκευση, πώληση, εμπορική χρήση, μετάδοση, διανομή, έκδοση, εκτέλεση, «μεταφόρτωση» (downloading), «ανάρτηση» (uploading), μετάφραση, τροποποίηση με οποιονδήποτε τρόπο, τμηματικά ή περιληπτικά της εργασίας, χωρίς τη ρητή προηγούμενη έγγραφη συναίνεση του συγγραφέα/δημιουργού. Ο συγγραφέας/δημιουργός διατηρεί το σύνολο των ηθικών και περιουσιακών του δικαιωμάτων.

## ΠΕΡΙΛΗΨΗ

Η κατεργασία με εργαλειομηχανές CNC είναι μια από τις πιο κοινές τεχνολογίες κατασκευής με αφαίρεση-απομάκρυνση υλικού. Χρησιμοποιεί μια ποικιλία περιστρεφόμενων εργαλείων και κοπτικών για να μετατρέψει ένα συμπαγές μπλοκ πρώτης ύλης σε σχεδόν τελειωμένα εξαρτήματα. Τόσο για μικρές εφάπαξ εργασίες όσο και για παραγωγή εξαρτημάτων, η κατεργασία με CNC είναι μια από τις πιο δημοφιλείς μεθόδους κατασκευής. Προσφέρει επανάληψη της κατασκευής όσες φορές χρειαστεί στο παρόν ή στο μέλλον, υψηλή ακρίβεια, εφαρμόζεται σε μεγάλη γκάμα υλικών και δίνει επιλογές για πρόσθετη επεξεργασία και φινιρίσματα επιφανειών.

Η τρισδιάστατη εκτύπωση (3DP), κατασκευάζει εξαρτήματα με ένα στρώμα τη φορά. Δεν απαιτεί ειδικά εργαλεία ή εξαρτήματα, επομένως το αρχικό κόστος εγκατάστασης είναι ελάχιστο σε σύγκριση με την κατεργασία CNC.

Ενώ οι δύο τεχνολογίες διαφέρουν αρκετά στον τρόπο λειτουργίας τους, υπάρχει μεγάλη επικάλυψη στις εφαρμογές τους, ειδικά όταν πρόκειται για πρωτότυπα και λειτουργικά εξαρτήματα τελικής χρήσης (από πλαστικά και μέταλλα).

Στην παρούσα διπλωματική εργασία παρουσιάζονται η δομή και ο τρόπος προγραμματισμού των εργαλειομηχανών CNC καθώς και ο τρόπος προγραμματισμού των τρισδιάστατων εκτυπωτών. Συγκεκριμένα στο πρώτο κεφάλαιο υπάρχει μια ιστορική αναδρομή των εργαλειομηχανών και στο δεύτερο κεφάλαιο αναλύονται οι μηχανισμοί και η δομή των CNC εργαλειομηχανών. Ακολουθεί το τρίτο κεφάλαιο όπου παρουσιάζονται οι ηλεκτρικοί κινητήρες που χρησιμοποιούνται στις εργαλειομηχανές και στο τέταρτο κεφάλαιο παρουσιάζονται οι βασικές αρχές προγραμματισμού των εργαλειομηχανών CNC με G-code. Κατόπιν στο πέμπτο κεφάλαιο πραγματοποιείται μια ιστορική αναδρομή στην τρισδιάστατη εκτύπωση και παρουσιάζονται κάποιες εφαρμογές. Ακολουθεί το έκτο κεφάλαιο στο οποίο παρουσιάζονται οι βασικές αρχές προγραμματισμού των τρισδιάστατων εκτυπωτών και στο έβδομο και τελευταίο κεφάλαιο παρουσιάζεται όλη η διαδικασία προγραμματισμού και κατασκευής ενός ολοκληρωμένου κυκλώματος σε τρισδιάστατο εκτυπωτή

## **ABSTRACT**

CNC machining is one of the most common material removal manufacturing technologies. It uses a variety of rotating tools and cutters to turn a solid block of raw material into nearly finished parts. For both small one-off jobs and component production, CNC machining is one of the most popular manufacturing methods. It offers repeatability of manufacturing as many times as needed now or in the future, high accuracy, applies to a wide range of materials and gives options for additional processing and surface finishes.

3D printing (3DP) makes components one by one layer at a time. It does not require special tools or accessories, so the initial installation cost is minimal compared to CNC machining.

While the two technologies are quite different in how they work, there is much more overlap in how they are applied, especially when it comes to original and functional end-use components (plastic and metal).

In this thesis, the structure and programming method of CNC machine tools as well as the programming method of 3D printers are presented. Specifically in the first chapter there is a historical review of machine tools and in the second chapter the mechanisms and structure of CNC machine tools are analyzed. This is followed by the third chapter where the electric motors used in machine tools are presented and the fourth chapter presents the basic principles of programming CNC machine tools with G-code. Then in the fifth chapter a historical review of 3D printing is carried out and some applications are presented. This is followed by the sixth chapter in which the basic principles of 3D printer programming are presented and in the seventh and last chapter the entire process of programming and manufacturing an integrated circuit in a 3D printer is presented.

# ΠΕΡΙΕΧΟΜΕΝΑ

<b>ΠΕΡΙΛΗΨΗ</b> .....	<b>III</b>
<b>ABSTRACT</b> .....	<b>IV</b>
<b>ΠΕΡΙΕΧΟΜΕΝΑ</b> .....	<b>V</b>
<b>ΚΑΤΑΛΟΓΟΣ ΕΙΚΟΝΩΝ</b> .....	<b>VIII</b>
<b>ΚΑΤΑΛΟΓΟΣ ΣΧΗΜΑΤΩΝ</b> .....	<b>X</b>
<b>ΚΑΤΑΛΟΓΟΣ ΔΙΑΓΡΑΜΜΑΤΩΝ</b> .....	<b>XI</b>
<b>ΚΑΤΑΛΟΓΟΣ ΠΙΝΑΚΩΝ</b> .....	<b>XI</b>
<b>1 ΚΕΦΑΛΑΙΟ 1 - ΕΙΣΑΓΩΓΗ – ΙΣΤΟΡΙΚΗ ΑΝΑΔΡΟΜΗ<sup>[1]</sup></b> .....	<b>1</b>
1.1    Ιστορία των Εργαλειομηχανών .....	1
<b>2 ΚΕΦΑΛΑΙΟ 2 –ΒΑΣΙΚΑ ΣΤΟΙΧΕΙΑ ΚΑΙ ΜΗΧΑΝΙΣΜΟΙ ΕΡΓΑΛΕΙΟΜΗΧΑΝΩΝ<sup>[2]</sup></b> .....	<b>12</b>
2.1    Γενικά.....	12
2.2    Δομή των εργαλειομηχανών .....	16
<b>3 ΚΕΦΑΛΑΙΟ 3 - ΗΛΕΚΤΡΙΚΟΙ ΚΙΝΗΤΗΡΕΣ ΠΟΥ ΧΡΗΣΙΜΟΠΟΙΟΥΝΤΑΙ ΣΤΙΣ ΕΡΓΑΛΕΙΟΜΗΧΑΝΕΣ</b> .....	<b>24</b>
3.1    Απαιτήσεις κινητήρων εργαλειομηχανών <sup>[3]</sup> .....	24
3.2    Ηλεκτροκινητήρες προώσεως.....	27
3.2.1    Κινητήρες συνεχούς ρεύματος ( DC feed drives).....	28
3.2.2    Τριφασικοί σύγχρονοι κινητήρες (Three phase synchronous motors).....	29
3.2.3    Βηματικοί κινητήρες (stepping motor drives). <sup>[4]</sup> .....	29
3.2.3.1    Πώς λειτουργεί ένας βηματικός κινητήρας .....	30
3.2.3.2    Πώς λειτουργεί ένας σερβοκινητήρας.....	30
3.2.3.3    Σύγκριση Βηματικού Κινητήρα και σερβοκινητήρα.....	31
3.2.3.4    Γιατί οι σερβοκινητήρες χρησιμοποιούνται σε μηχανές CNC .....	33
3.2.3.5    Συμπέρασμα.....	34
<b>4 ΚΕΦΑΛΑΙΟ 4 ΠΡΟΓΡΑΜΜΑΤΙΣΜΟΣ ΜΕ G-code</b> .....	<b>35</b>

4.1	Προγραμματισμός και διαχείριση NC G-code: 6 βασικοί κανόνες <sup>[5]</sup> .....	35
4.1.1	Καταχώρηση του αριθμού σχεδίασης ή άλλων μοναδικών χαρακτηριστικών στο όνομα αρχείου NC.....	35
4.1.2	Κατάλογος της φάσης της κατεργασίας.....	36
4.1.3	Λίστα εργαλείων και προσαρμοσμένων εξαρτημάτων .....	36
4.1.4	Προσδιορισμός τιμής ακτινικής αντιστάθμισης .....	36
4.1.5	Χρήση υπορουτίνων.....	36
4.1.6	Προσδιορισμός του είδους της κατεργασίας που εκτελείται.....	37
4.2	Παραδείγματα προγραμματισμού CNC (φρεζάρισμα για ένα τυπικό πρισματικό εξάρτημα) <sup>[6]</sup> .....	38
4.2.1	Προγραμματισμός έναρξης / αναστολής προγράμματος.....	39
4.2.2	Φρέζα προσώπου και περίγραμμα προφίλ .....	40
4.2.3	Φινίρισμα περιγράμματος .....	44
4.3	Παραδείγματα προγραμματισμού CNC (στροφή για ένα τυπικό πρισματικό εξάρτημα) <sup>[6]</sup> .....	45
4.3.1	Πρόγραμμα εκκίνησης/Ρύθμιση τροφοδότη ράβδου .....	46
4.3.2	Λειτουργία χονδροποίησης για αφαίρεση υλικού από το εξωτερικό περίγραμμα .....	47
4.3.3	Κεντρική διάτρηση στην πρόσοψη του εξαρτήματος.....	49

## **5 ΚΕΦΑΛΑΙΟ 5 - ΤΡΙΣΔΙΑΣΤΑΤΗ ΕΚΤΥΠΩΣΗ – ΙΣΤΟΡΙΚΗ ΑΝΑΔΡΟΜΗ, ΕΦΑΡΜΟΓΕΣ ΚΑΙ ΠΡΟΟΠΤΙΚΕΣ<sup>[7]</sup>..... 51**

5.1	Γενικά για την τρισδιάστατη εκτύπωση .....	51
5.2	Ιστορική αναδρομή .....	52
5.2.1	Δεκαετίες 1940 και 1950.....	52
5.2.2	Δεκαετία του 1970 .....	52
5.2.3	Δεκαετία του 1980 .....	53
5.2.4	Δεκαετία του 1990 .....	57
5.2.5	Δεκαετία του 2000 .....	58
5.2.6	Δεκαετία του 2010 .....	58
5.2.7	Δεκαετία του 2020 .....	60

5.3	Εφαρμογές 3D εκτύπωσης.....	61
5.3.1	Βιομηχανία τροφίμων.....	61
5.3.2	Βιομηχανία μόδας.....	62
5.3.3	Βιομηχανία μεταφορών.....	62
5.3.4	Βιομηχανία πυροβόλων όπλων.....	65
5.3.5	Τομέας Υγείας.....	66
5.3.6	Τομέας εκπαίδευσης.....	69
5.3.7	Πολιτιστική κληρονομιά.....	69
5.3.8	Πρόσφατες άλλες εφαρμογές.....	71
<b>6</b>	<b>ΚΕΦΑΛΑΙΟ 6 – ΒΑΣΙΚΕΣ ΑΡΧΕΣ ΠΡΟΓΡΑΜΜΑΤΙΣΜΟΥ ΤΡΙΣΔΙΑΣΤΑΤΩΝ ΕΚΤΥΠΩΤΩΝ<sup>[8]</sup>.....</b>	<b>74</b>
6.1	Οι 10 πιο κοινές εντολές G-Code για τρισδιάστατη εκτύπωση.....	75
6.1.1	G28 – Εκτέλεση ρουτίνας αρχικής θέσης.....	75
6.1.2	G90 και G91 – Ορισμός της λειτουργίας εντοπισμού θέσης.....	76
6.1.3	G1 – Γραμμική κίνηση.....	77
6.1.4	G92 – Ορισμός τρέχουσας θέσης.....	78
6.1.5	M104 και M109 – Εντολές Θέρμανσης Εξωθητήρα.....	79
6.1.6	M140 και M190 – Εντολές θέρμανσης κλίνης.....	80
6.1.7	M106 – Ρύθμιση ταχύτητας ανεμιστήρα.....	80
<b>7</b>	<b>ΚΕΦΑΛΑΙΟ 7 – ΣΧΕΔΙΑΣΗ ΚΑΙ ΥΛΟΠΟΙΗΣΗ ΕΝΟΣ ΤΡΙΣΔΙΑΣΤΑΤΟΥ ΟΛΟΚΛΗΡΩΜΕΝΟΥ (CHIP).....</b>	<b>82</b>
7.1	Η σχεδίαση του chip.....	82
7.2	Η υλοποίηση του chip.....	94
<b>8</b>	<b>ΠΑΡΑΡΤΗΜΑ –Ο ΚΩΔΙΚΑΣ ΤΗΣ ΣΧΕΔΙΑΣΗΣ.....</b>	<b>95</b>
<b>9</b>	<b>ΒΙΒΛΙΟΓΡΑΦΙΑ.....</b>	<b>165</b>

## ΚΑΤΑΛΟΓΟΣ ΕΙΚΟΝΩΝ

Εικόνα 1-1	Πρώτη ξύλινη μηχανή τόνου. ( <a href="https://ebrary.net/">https://ebrary.net/</a> ) .....	3
Εικόνα 1-2	Μηχάνημα Ξύλινης πλάνης (1855). ( <a href="https://ebrary.net/">https://ebrary.net/</a> ) .....	4
Εικόνα 1-3	Πρώτη βιομηχανική μηχανή EDM στον κόσμο. Παρουσίαση του Eleroda D1 στην έκθεση EMO στο Μιλάνο. Ιταλία, 1955. (Courtesy of Charmilles, 560 Bond St., Lincolnshire, IL.) ( <a href="https://ebrary.net/">https://ebrary.net/</a> ) .....	5
Εικόνα 5-1	Η Stooftbrug στο Άμστερνταμ, η πρώτη 3D-εκτυπωμένη μεταλλική γέφυρα στον κόσμο [ <a href="https://www.robotics247.com/article/steel_bridge_3d_printed_by_mx3d_officially_opens_in_amsterdam">https://www.robotics247.com/article/steel_bridge_3d_printed_by_mx3d_officially_opens_in_amsterdam</a> ] .....	63
Εικόνα 5-2	Η Stooftbrug στο Άμστερνταμ, τοποθέτηση [ <a href="https://newsbeezer.com/belgium/de-eerste-3d-geprinte-stalen-brug-geinstalleerd-in-amsterdam/">https://newsbeezer.com/belgium/de-eerste-3d-geprinte-stalen-brug-geinstalleerd-in-amsterdam/</a> ].....	64
Εικόνα 5-3	Ένα τρισδιάστατο εκτυπωμένο μοντέλο κινητήρα τζετ[ <a href="https://en.wikipedia.org/wiki/3D_printing">https://en.wikipedia.org/wiki/3D_printing</a> ] .....	65
Εικόνα 5-4	Τρισδιάστατο τυπωμένο γλυπτό ενός Αιγύπτιου Φαραώ που παρουσιάζεται στο Threeding.....	70
Εικόνα 6-1	Εκτέλεση ρουτίνας αρχικής θέσης ( <a href="https://www.simplify3d.com/support/articles/3d-printing-gcode-tutorial/">https://www.simplify3d.com/support/articles/3d-printing-gcode-tutorial/</a> ) .	75
Εικόνα 6-2	Γραμμική κίνηση ( <a href="https://www.simplify3d.com/support/articles/3d-printing-gcode-tutorial/">https://www.simplify3d.com/support/articles/3d-printing-gcode-tutorial/</a> ) .	77
Εικόνα 7-1	Κάτω όψη σχεδίασης.....	82
Εικόνα 7-2	Άνω όψη σχεδίασης .....	83
Εικόνα 7-3	Η τελική σχεδίαση του αντικειμένου , όπου φαίνεται το πλάτος του .....	83
Εικόνα 7-4	Η τελική σχεδίαση του αντικειμένου , όπου φαίνεται το μήκος του .....	84
Εικόνα 7-5	Πλάγια όψη όπου μετράται το πάχος του chip.....	84



Εικόνα 7-6	Πλάγια όψη όπου μετράται η απόσταση της ακίδας από το chip ..	85
Εικόνα 7-7	Πλάγια όψη όπου μετράται το ύψος της ακίδας του chip.....	85
Εικόνα 7-8	Η εντολή create sketch που είναι η πρώτη εντολή που χρησιμοποιείται όταν ξεκινάει μια σχεδίαση .....	86
Εικόνα 7-9	Το εικονίδιο της εντολής create line με την οποία δημιουργούνται γραμμές.....	86
Εικόνα 7-10	Κλειστή επιφάνεια που δημιουργήθηκε με την εντολή create line .....	87
Εικόνα 7-11	Το εικονίδιο της εντολής create rectangle με την οποία δημιουργούνται ορθογώνια σχήματα .....	87
Εικόνα 7-12	Δημιουργία ορθογώνιου με την εντολή create rectangle .....	88
Εικόνα 7-13	Το εικονίδιο της εντολής create arc με την οποία δημιουργούμε τόξα.....	88
Εικόνα 7-14	Δημιουργία τόξου με την εντολή create arc.....	89
Εικόνα 7-15	Το εικονίδιο της εντολής center diameter circle με την οποία δημιουργούνται κύκλοι.....	89
Εικόνα 7-16	Δημιουργία κύκλου με την εντολή center diameter circle ....	90
Εικόνα 7-17	Το εικονίδιο της εντολής extrude με την οποία δημιουργείται πάχος στα προς σχεδιασμό αντικείμενα.....	90
Εικόνα 7-18	Δημιουργία πάχους με την εντολή extrude .....	91
Εικόνα 7-19	Δημιουργία πάχους με την εντολή extrude. Πατώντας πάνω στο αντικείμενο που σχεδιάζουμε, είναι δυνατή η εισαγωγή τιμής πάχους (μπλε περιοχή) .....	91
Εικόνα 7-20	Με την εντολή Extrude –cut δημιουργούνται οπές σε τρισδιάστατο αντικείμενο .....	92
Εικόνα 7-21	Με την εντολή extrude δημιουργούνται προσθήκες σε υπάρχον αντικείμενο .....	92
Εικόνα 7-22	Με την εντολή extrude επεκτείνεται ένα αντικείμενο .....	93

Εικόνα 7-23	Με την εντολή Mirror υπάρχει η δυνατότητα να σχεδιαστεί οτιδήποτε μια φορά (στο παράδειγμά μας τα τόξα στις άκρες του chip) και κατόπιν να αντικατοπτριστεί οπουδήποτε αλλού .....	93
Εικόνα 7-24	Η μπλέ σειρά ακίδων δημιουργήθηκε με την εντολή Mirror..	94
Εικόνα 7-25	Το chip που δημιουργήθηκε στον 3D εκτυπωτή με τη χρήση του προγράμματος Simplify3D .....	94

## ΚΑΤΑΛΟΓΟΣ ΣΧΗΜΑΤΩΝ

Σχήμα 2-1	Τυπική κλίνη κεντρικού τόρνου και πλαίσιο μηχανής διάτρησης. ( <a href="https://ebrary.net/">https://ebrary.net/</a> ) .....	17
Σχήμα 2-2	Παραδείγματα ανοιχτών πλαισίων (C-frames). ( <a href="https://ebrary.net/">https://ebrary.net/</a> ).....	17
Σχήμα 2-3	Παραδείγματα κλειστών κουφωμάτων. ( <a href="https://ebrary.net/">https://ebrary.net/</a> ) .....	18
Σχήμα 2-4	Κοίλα τμήματα κουτιού της κλίνης τόρνου. ( <a href="https://ebrary.net/">https://ebrary.net/</a> ).....	20
Σχήμα 2-5	Παραμόρφωση σε ανοιχτά και κλειστά πλαίσια. ( <a href="https://ebrary.net/">https://ebrary.net/</a> ).....	20
Σχήμα 2-6	Μηχάνημα ακτινωτής γεώτρησης με ακραίο στήριγμα. ( <a href="https://ebrary.net/">https://ebrary.net/</a> ).....	22
Σχήμα 2-7	Διάταξη ενισχυτικών σε κλίνες εργαλειομηχανών: (α) κατακόρυφα και (β) διαγώνια ενισχυτικά. ( <a href="https://ebrary.net/">https://ebrary.net/</a> ) .....	22
Σχήμα 2-8	Κλίνη τόρνου με υπερυψωμένα πίσω πλαϊνά. ( <a href="https://ebrary.net/">https://ebrary.net/</a> ).....	23
Σχήμα 2-9	Χυτές και κατασκευασμένες κατασκευές: (α) χυτές και (β) συγκολλημένες βάσεις εργαλειομηχανών. ( <a href="https://ebrary.net/">https://ebrary.net/</a> ).....	23

## ΚΑΤΑΛΟΓΟΣ ΔΙΑΓΡΑΜΜΑΤΩΝ

Διάγραμμα 1-1 Ταξινόμηση διεργασιών μηχανικής κατεργασίας. AJM, μηχανική κατεργασία με λειαντικό πίδακα. WJM, κατεργασία με πίδακα νερού. USM, κατεργασία με υπερήχους. AFM, λειαντική κατεργασία ροής. MAF, μαγνητικό λειαντικό φινίρισμα: CHM, χημική κατεργασία. ECM, ηλεκτροχημική μηχανική κατεργασία; EDM, μηχανική κατεργασία ηλεκτροεκφόρτισης; LBM, κατεργασία με δέσμη λέιζερ. PBM, κατεργασία δέσμης πλάσματος. (<https://ebrary.net/>)..... 1

## ΚΑΤΑΛΟΓΟΣ ΠΙΝΑΚΩΝ

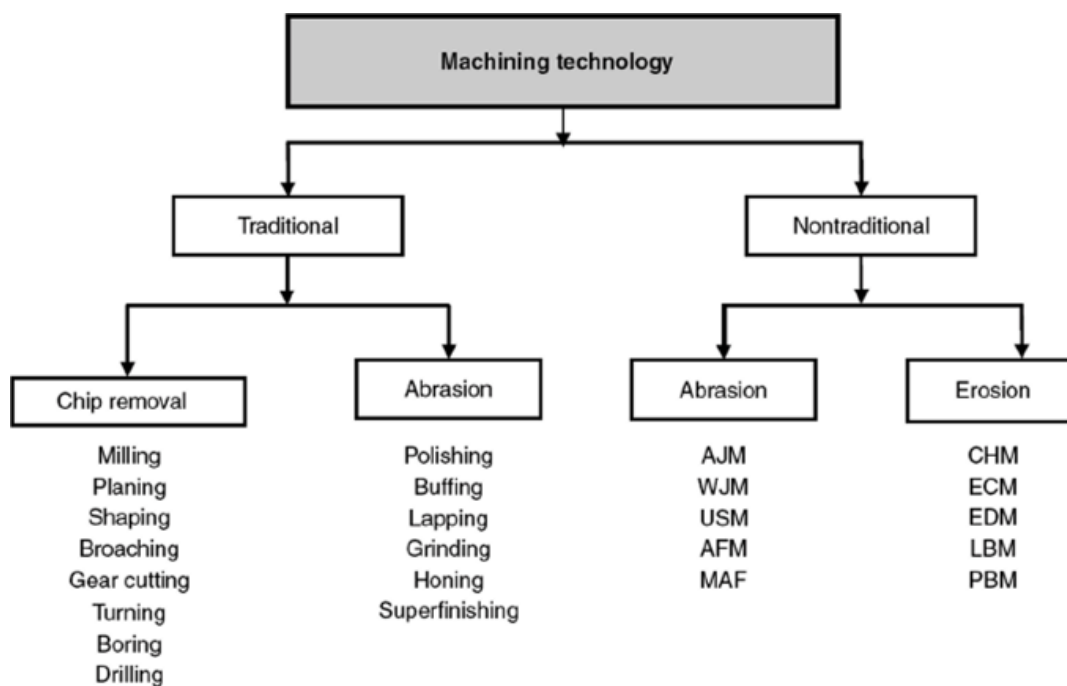
Πίνακας 1-1 Εξελίξεις Εργαλειομηχανών..... 7

Πίνακας 2-1 Ποσοστά διαφορετικών τύπων εργαλειομηχανών λειτουργίας.  
..... 12

## ΚΕΦΑΛΑΙΟ 1 - ΕΙΣΑΓΩΓΗ – ΙΣΤΟΡΙΚΗ ΑΝΑΔΡΟΜΗ<sup>[1]</sup>

### 1.1 Ιστορία των Εργαλειομηχανών

Η ανάπτυξη των μηχανών κοπής μετάλλων (κάποτε ονομάζονταν εν συντομία εργαλειομηχανές) ξεκίνησε με την εφεύρεση του κυλίνδρου, ο οποίος μετατράπηκε σε κύλινδρο που καθοδηγείται από ένα ρουλεμάν. Οι αρχαίοι Αιγύπτιοι χρησιμοποιούσαν αυτούς τους κυλίνδρους για τη μεταφορά πετρών από ένα λατομείο στο εργοτάξιο

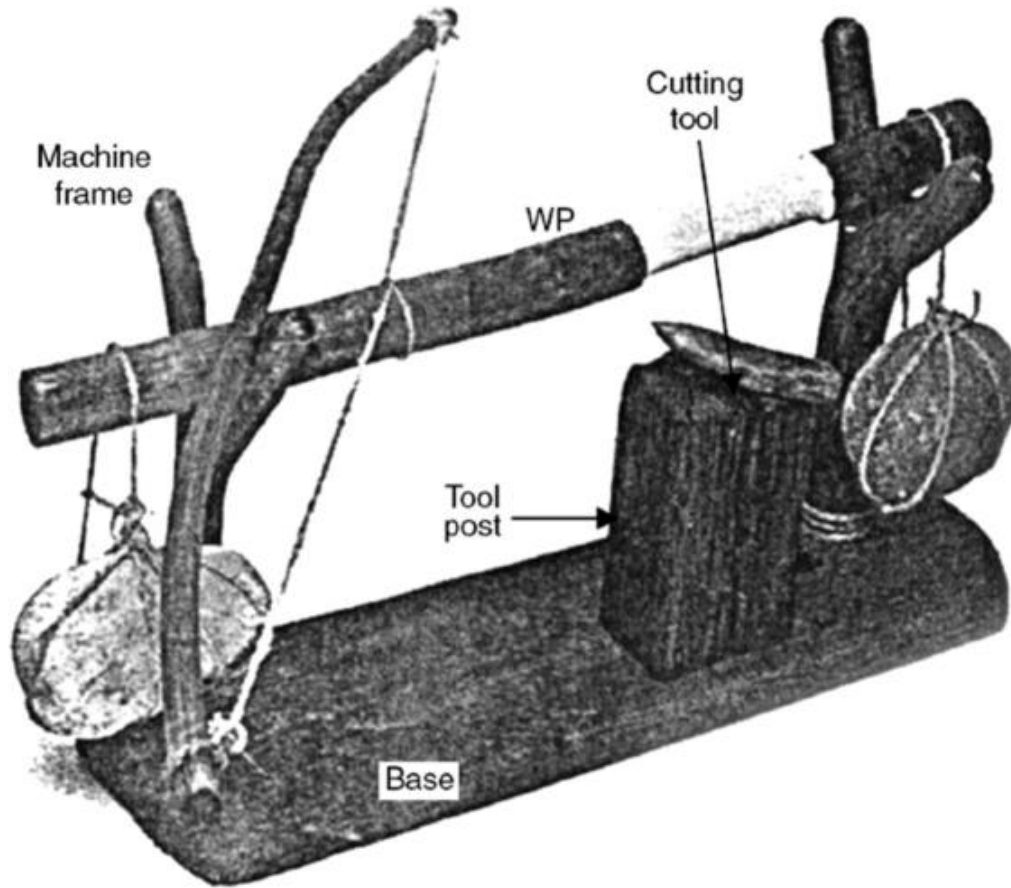


**Διάγραμμα 1-1 Ταξινόμηση διεργασιών μηχανικής κατεργασίας. AJM, μηχανική κατεργασία με λειαντικό πίδακα. WJM, κατεργασία με πίδακα νερού. USM, κατεργασία με υπερήχους. AFM, λειαντική κατεργασία ροής. MAF, μαγνητικό λειαντικό φινίρισμα: CHM, χημική κατεργασία. ECM, ηλεκτροχημική μηχανική κατεργασία; EDM, μηχανική κατεργασία ηλεκτροεκφόρτισης; LBM, κατεργασία με δέσμη λέιζερ. PBM, κατεργασία δέσμης πλάσματος. (<https://ebrary.net/>)**

Η χρήση των κυλίνδρων ξεκίνησε την εισαγωγή της πρώτης ξύλινης μηχανής διάτρησης, η οποία χρονολογείται από το 4000 π.Χ. Σε ένα τέτοιο μηχάνημα, μια μυτερή άκρη πέτρας από πυριτόλιθο λειτουργούσε

ως εργαλείο. Η πρώτη μηχανή διάτρησης βαθιάς οπής κατασκευάστηκε από τον Λεονάρντο ντα Βίντσι (1452-1519). Το 1840, παρουσιάστηκε ο πρώτος τόννος κινητήρα. Ο Maudslay (1771-1831) πρόσθεσε την μολύβδινη βίδα, τα πίσω γρανάζια και τον στύλο του εργαλείου στο προηγούμενο σχέδιο του Ντα Βίντσι. Αργότερα, ενσωματώθηκαν τρόποι ολίσθησης και συστήματα αυτόματης τροφοδοσίας εργαλείων. Οι πλάνες και οι διαμορφωτές έχουν εξελιχθεί και τροποποιήθηκαν από τον Sellers (1824-1905). Ο Fitch σχεδίασε τον πρώτο τόννο πυργίσκου το 1845. Αυτό το μηχάνημα έφερε οκτώ εργαλεία κοπής σε έναν οριζόντια τοποθετημένο πυργίσκο για την παραγωγή βιδών. Ένας εντελώς αυτόματος τόννος πυργίσκου εφευρέθηκε από τον Spencer το 1896. Του πιστώθηκε επίσης η ανάπτυξη του αυτόματου τόννου πολλαπλών ατράκτων. Το 1818, ο Whitney κατασκεύασε την πρώτη φρέζα. Η κυλινδρική μηχανή λείανσης κατασκευάστηκε για πρώτη φορά από τους Brown και Sharpe το 1874. Ο πρώτος διαμορφωτής ταχυτήτων εισήχθη από τον Fellows το 1896. Το 1879, ο Pfauter εφηύρε το γρανάζι ταχυτήτων και οι πλάνες γραναζιών του Sunderland αναπτύχθηκαν το 1908. Οι εικόνες 1.1. και 1.2 δείχνουν τις πρώτες ξύλινες εργαλειομηχανές τόννου και πλάνης.

Περαιτέρω εξελίξεις για αυτά τα συμβατικά μηχανήματα προέκυψαν μέσω της εισαγωγής αυτόματων μηχανισμών που μείωσαν τη χειρωνακτική εργασία και κατά συνέπεια αύξησαν την ακρίβεια του προϊόντος. Τα δυναμόμετρα εργαλειομηχανών χρησιμοποιούνται με εργαλειομηχανές για τη μέτρηση, την παρακολούθηση και τον έλεγχο των δυνάμεων που δημιουργούνται κατά τις εργασίες μηχανικής κατεργασίας. Τέτοιες δυνάμεις καθορίζουν τη μέθοδο συγκράτησης του εργαλείου ή του WP (working part) και σχετίζονται στενά με την ακρίβεια του προϊόντος και την ακεραιότητα της επιφάνειας.

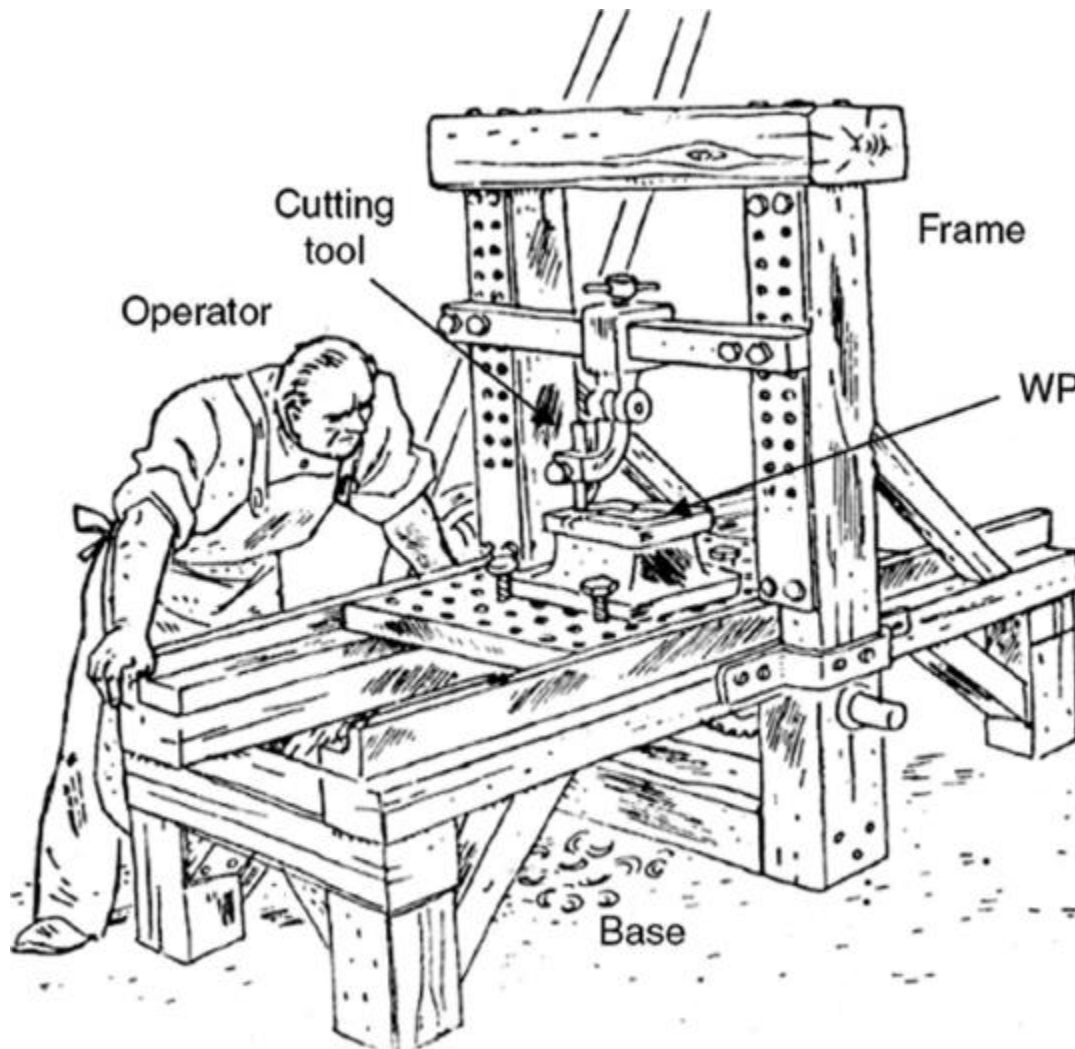


Εικόνα 1-1 Πρώτη ξύλινη μηχανή τόννου. (<https://ebrary.net/>)

Το 1953, η εισαγωγή της τεχνολογίας αριθμητικού ελέγχου (NC – Numerical Control) άνοιξε τις πόρτες σε κέντρα κατεργασίας αριθμητικού ελέγχου υπολογιστή (CNC –Computer Numerical Control ) και άμεσου αριθμητικού ελέγχου (DNC – Direct Numerical Control ) που ενίσχυσαν την ακρίβεια και την ομοιομορφία του προϊόντος. Οι εργαλειομηχανές έχουν υποστεί σημαντικές τεχνολογικές αλλαγές μέσα από διάφορες εξελίξεις στη μικροηλεκτρονική. Η διαθεσιμότητα υπολογιστών και μικροεπεξεργαστών έφερε ευελιξία που δεν ήταν δυνατή μέσω συμβατικών μηχανισμών.

Η εισαγωγή στη μηχανική υλικών οδήγησε στη χρήση μη παραδοσιακής τεχνολογίας μηχανικής κατεργασίας για την παραγωγή πολύπλοκων σχημάτων σε υπερκράματα. Η μη παραδοσιακή μηχανική κατεργασία

αφαιρεί υλικό χρησιμοποιώντας μηχανικά, χημικά ή θερμικά αποτελέσματα κατεργασίας. Η ηλεκτροχημική μηχανική κατεργασία (ECM) αφαιρεί το υλικό με ηλεκτρολυτική διάλυση του ανοδικού WP. Το πρώτο δίπλωμα ευρεσιτεχνίας στην ECM κατατέθηκε από τον Gussef το 1929.



**Εικόνα 1-2** Μηχάνημα Ξύλινης πλάνης (1855). (<https://ebrary.net/>)

Ωστόσο, η πρώτη σημαντική εξέλιξη σημειώθηκε τη δεκαετία του 1950. Επί του παρόντος, οι μηχανές ECM χρησιμοποιούνται σε βιομηχανίες αυτοκινήτων, μήτρων, καλουπιών και ιατρικής μηχανικής. Η διάβρωση μετάλλων από εκκενώσεις σπινθήρα σημειώθηκε για πρώτη φορά από τον

Sir Joseph Priestly το 1768. Το 1943, ο BR Lazerenko και ο NI Lazerenko παρουσίασαν την πρώτη τους μηχανή μηχανικής ηλεκτροεκφόρτισης (EDM), που φαίνεται στην εικόνα 1-3.



**Εικόνα 1-3** Πρώτη βιομηχανική μηχανή EDM στον κόσμο. Παρουσίαση του Eleroda D1 στην έκθεση EMO στο Μιλάνο. Ιταλία, 1955. (Courtesy of Charmilles, 560 Bond St., Lincolnshire, IL.) (<https://ebrary.net/>)



Η εργαλειομηχανή EDM συνέχισε να αναπτύσσεται μέσω της χρήσης νέων τροφοδοτικών μαζί με τον έλεγχο των παραμέτρων διεργασίας από υπολογιστή, γεγονός που έκανε τις μηχανές EDM ευρέως διαδεδομένες στις μεταποιητικές βιομηχανίες. Η χρήση ηχητικών κυμάτων υψηλής συχνότητας στη μηχανική κατεργασία σημειώθηκε το 1927 από τους Wood και Loomis. Το πρώτο δίπλωμα ευρεσιτεχνίας για κατεργασία υπερήχων (USM - Ultra Sound Machinery), από τον Balamuth, εμφανίστηκε το 1945. Τα οφέλη του USM πραγματοποιήθηκαν τη δεκαετία του 1950 με την παραγωγή σχετικών μηχανημάτων. Οι μηχανές USM αντιμετωπίζουν ένα ευρύ φάσμα υλικών, όπως γυαλί, κεραμικό και διαμάντι. Η παλαιότερη εργασία σχετικά με τη χρήση μηχανικής κατεργασίας δέσμης ηλεκτρονίων (EBM – Electronic Beam Machinery) αποδόθηκε στον Steigerwald, ο οποίος σχεδίασε το πρώτο πρωτότυπο μηχάνημα το 1947. Οι σύγχρονες μηχανές EBM είναι πλέον διαθέσιμες για διάτρηση φύλλων και δημιουργία σχεδίων που σχετίζονται με την κατασκευή ολοκληρωμένων κυκλωμάτων. Το φαινόμενο λέιζερ προβλέφθηκε για πρώτη φορά από τους Schawlow και Townes. Η διάτρηση, η κοπή, η χάραξη και η κοπή ηλεκτρονικών εξαρτημάτων είναι τυπικές εφαρμογές των σύγχρονων εργαλειομηχανών λέιζερ. Η χρήση τεχνολογιών NC, CNC, σχεδίασης με τη βοήθεια υπολογιστή ή κατασκευής με τη βοήθεια υπολογιστή (CAD/CAM) και τεχνολογιών ολοκληρωμένης κατασκευής με υπολογιστή (CIM) παρείχαν ισχυρές λύσεις σε πολλά προβλήματα μηχανικής κατεργασίας και έκαναν τις μη παραδοσιακές εργαλειομηχανές ευρέως διαδεδομένες στη βιομηχανία. Ο Πίνακας 1.1 συνοψίζει το ιστορικό υπόβαθρο των εργαλειομηχανών.

**Πίνακας 1-1 Εξελίξεις Εργαλειομηχανών**

<b>1200-1299</b>	<b>Εμφανίζεται οριζόντιος τόρνος πάγκου, χρησιμοποιώντας πέλμα ποδιού για την περιστροφή αντικειμένου</b>
<b>1770</b>	<b>Εφευρέθηκε ο τόρνος κοπής βιδών: (Ράμσντεν, Βρετανία)</b>
<b>1810</b>	<b>Μολύβδινη βίδα προσαρμοσμένη στον τόρνο, που οδηγεί σε κατασκευή εργαλειομηχανών μεγάλης ποσότητας (Maudslay, Βρετανία)</b>
<b>1817</b>	<b>Μηχάνημα πλανίσματος μετάλλων (Roberts, Βρετανία)</b>
<b>1818</b>	<b>Εφευρέθηκε η φρέζα (Whitney, Ηνωμένες Πολιτείες)</b>
<b>1820-1849</b>	<b>Τόρνοι, γεωτρήσεις, μηχανές διάτρησης και πλάνη (οι περισσότερες κύριες εργαλειομηχανές) εξευγενισμένα</b>
<b>1830</b>	<b>Βελτιωμένη μηχανή κοπής γραναζιών με ελικοειδείς κοπτήρες και βελτιωμένη ευρετηρίαση (Whitworth, Βρετανία)</b>
<b>1830-1859</b>	<b>Φρέζες, διαμορφωτές και μηχανές λείανσης (Ηνωμένες Πολιτείες)</b>
<b>1831</b>	<b>Μηχάνημα επιφανειακής λείανσης κατοχυρωμένο με</b>

---

	<b>δίπλωμα ευρεσιτεχνίας (JW Stone, Ηνωμένες Πολιτείες)</b>
<b>1834</b>	<b>Αναπτύχθηκε μηχανή λείανσης: ίσως πρώτη (Wheaton, Ηνωμένες Πολιτείες)</b>
<b>1836</b>	<b>Εφευρέθηκε η μηχανή διαμόρφωσης. Η Whitworth πρόσθεσε σύντομα μηχανισμό στροφάλου (Nasmyth, Βρετανία)</b>
<b>1840 περ.</b>	<b>Τρυπάνι κάθετου πυλώνα με ηλεκτρικό μηχανισμό κίνησης και τροφοδοσία σε χρήση (προέλευσης 1750)</b>
<b>1842</b>	<b>Αναπτύχθηκε μηχανή παραγωγής γραναζιών για κοπή κυκλοειδών δοντιών (Saxton, Ηνωμένες Πολιτείες)</b>
<b>1850</b>	<b>Εμπορικά επιτυχημένη μηχανή φρεζαρίσματος γενικής χρήσης (Robbins and Lawrence, Howe και Windsor, Ηνωμένες Πολιτείες)</b>
<b>1853</b>	<b>Επιφανειακός μύλος πατενταρισμένος (Darling, Ηνωμένες Πολιτείες)</b>
<b>1854 περ.</b>	<b>Εμπορικός κάθετος τόννος πυργίσκου που κατασκευάστηκε για τους Robbins and Lawrence από την Howe and Stone (Stone, Howe, Lawrence, Ηνωμένες Πολιτείες)</b>

---

1857	Κατασκευασμένος τόννος Whitney Gauge (Whitney, Ηνωμένες Πολιτείες)
1860-1869	Κατασκευάστηκε πρώτος κυλινδρικός μύλος. αντικαθιστά το εργαλείο ενός σημείου τόννου κινητήρα (Ηνωμένες Πολιτείες)
1860-1879	Παραγωγή γενικής χρήσης φρεζαρίσματος (1861-1865) και γενικής λείανσης (1876) (Brown and Sharpe, Ηνωμένες Πολιτείες)
1873	Εφευρέθηκε η αυτόματη βιδωτή μηχανή (1893, παράγαγε τελικές βίδες από κουλουριασμένο σύρμα) (Spencer, Ηνωμένες Πολιτείες)
1887	Κατοχυρωμένη με δίπλωμα ευρεσιτεχνίας μηχανήμα λείανσης με γρανάζια (Grant, Ηνωμένες Πολιτείες)
1895	Παρουσιάστηκε αυτόματος τόννος πολλαπλών αξόνων για μικρά κομμάτια (Ηνωμένες Πολιτείες)
1896-1940	Μηχανή λείανσης ακριβείας βαρέως τύπου, υψηλής παραγωγής που παρουσιάστηκε στο Brown and Sharpe (Norton, Ηνωμένες Πολιτείες)

---

1920	Ο όρος <i>μηχανική κατεργασία</i> προτάθηκε για πρώτη φορά από τον Taylor για να περιγράψει τις ιδιότητες κατεργασίας των υλικών του τεμαχίου εργασίας
1921	Το πρώτο βιομηχανικό τρυπάνι για κατεργασία ακριβείας: με βάση το εργαλείο ενός σημείου του 1912 (Societe Genevoise, Ελβετία)
1943	Μηχανουργική κατεργασία με ηλεκτρική εκκένωση (διάβρωση σπινθήρα) που αναπτύχθηκε για την κατασκευή εργαλειομηχανών
1944-1947	Κατοχυρωμένη με δίπλωμα ευρεσιτεχνίας μηχανή λείανσης χωρίς κέντρο (Scrivener, Βρετανία, Ηνωμένες Πολιτείες)
1945	USM με δίπλωμα ευρεσιτεχνίας από τον Balamuth
1947	Πρώτο πρωτότυπο EBM που σχεδιάστηκε από τον Steigerwald
1950	Ηλεκτροχημικές μηχανές που εισάγονται στη βιομηχανία
1952	Η πρώτη εργαλειομηχανή NC της Alfred Herbert Ltd. που λειτουργεί

**1958**

**Το φαινόμενο λέιζερ προβλέφθηκε για πρώτη φορά από τους Schawlow και Townes**

## ΚΕΦΑΛΑΙΟ 2 –ΒΑΣΙΚΑ ΣΤΟΙΧΕΙΑ ΚΑΙ ΜΗΧΑΝΙΣΜΟΙ ΕΡΓΑΛΕΙΟΜΗΧΑΝΩΝ<sup>[2]</sup>

### 2.1 Γενικά

Οι μηχανές κοπής μετάλλων (εργαλειομηχανές) χαρακτηρίζονται από μεγαλύτερη ακρίβεια παραγωγής σε σύγκριση με τις μηχανές μορφοποίησης μετάλλων. Χρησιμοποιούνται για την παραγωγή σχετικά μικρότερου αριθμού τεμαχίων. Αντίθετα, οι μηχανές διαμόρφωσης μετάλλων είναι οικονομικές για την παραγωγή μεγαλύτερων παρτίδων. Οι εργαλειομηχανές αποτελούν περίπου το 70% των συνολικών μηχανημάτων παραγωγής που λειτουργούν στη βιομηχανία. Τα ποσοστά των διαφορετικών τύπων εργαλειομηχανών λειτουργίας φαίνονται στον Πίνακα 2.1.

**Πίνακας 2-1 Ποσοστά διαφορετικών τύπων εργαλειομηχανών λειτουργίας**

Τύπος Εργαλειομηχανής	Ποσοστό
<b>Τόρνοι, συμπεριλαμβανομένων των αυτόματων</b>	<b>34</b>
<b>Λείανση</b>	<b>30</b>
<b>Φρεζάρισμα</b>	<b>15</b>
<b>Διάτρηση και τρύπημα</b>	<b>10</b>
<b>Πλάνη και διαμορφωτές</b>	<b>4</b>
<b>Οι υπόλοιποι</b>	<b>7</b>

Ο επιτυχημένος σχεδιασμός εργαλειομηχανών απαιτεί τις ακόλουθες βασικές γνώσεις:

1. Μηχανική των διαδικασιών κατεργασίας για την αξιολόγηση του μεγέθους και της κατεύθυνσης και για τον έλεγχο των δυνάμεων κοπής
2. Η δυνατότητα μηχανικής κατεργασίας των διαφόρων προς επεξεργασία υλικών
3. Οι ιδιότητες των υλικών που χρησιμοποιούνται για την κατασκευή των διαφόρων μερών των εργαλειομηχανών
4. Οι τεχνικές κατασκευής που χρησιμοποιούνται για την οικονομική παραγωγή κάθε εξαρτήματος εργαλειομηχανής
5. Η ανθεκτικότητα και η ικανότητα των διαφορετικών υλικών εργαλείων
6. Οι αρχές της μηχανικής οικονομίας

Η παραγωγικότητα μιας εργαλειομηχανής μετριέται είτε από τον αριθμό των εξαρτημάτων που παράγονται σε μια μονάδα χρόνου, από τον ογκομετρικό ρυθμό αφαίρεσης ή από τον ειδικό ρυθμό αφαίρεσης ανά μονάδα ισχύος που καταναλώνεται. Τα επίπεδα παραγωγικότητας μπορούν να βελτιωθούν χρησιμοποιώντας τις ακόλουθες μεθόδους:

1. Αύξηση των ταχυτήτων του μηχανήματος και των ρυθμών τροφοδοσίας
2. Αύξηση της διαθέσιμης ισχύος της εργαλειομηχανής
3. Χρήση πολλών εργαλείων ή πολλών τεμαχίων κατεργασίας (WPs) που έχουν επεξεργαστεί ταυτόχρονα
4. Αύξηση της ταχύτητας διέλευσης των λειτουργικών μονάδων κατά τη διάρκεια των μη κατεργασμένων τμημάτων του χρόνου παραγωγής
5. Αύξηση του επιπέδου αυτοματισμού για τις μονάδες χειρισμού εργαλειομηχανών και τα στοιχεία μεταγωγής τους



- 
6. Υιοθέτηση σύγχρονων τεχνικών ελέγχου όπως ο αριθμητικός έλεγχος και ο αριθμητικός έλεγχος μέσω υπολογιστή
  7. Επιλέγοντας σωστά τις διαδικασίες κατεργασίας με βάση το υλικό του κατεργασμένου εξαρτήματος, την πολυπλοκότητα του σχήματος, την ακρίβεια και την ακεραιότητα της επιφάνειας
  8. Παρουσίαση εξαρτημάτων και εξαρτημάτων που εντοπίζουν και συσφίγγουν τα μέρη εργασίας στον ελάχιστο δυνατό χρόνο

Οι εργαλειομηχανές έχουν σχεδιαστεί για να επιτυγχάνουν τη μέγιστη δυνατή παραγωγικότητα και να διατηρούν την προβλεπόμενη ακρίβεια και τον βαθμό φινιρίσματος της επιφάνειας σε όλη τη διάρκεια ζωής τους. Για να ικανοποιηθούν αυτές οι απαιτήσεις, κάθε στοιχείο εργαλειομηχανής πρέπει να σχεδιαστεί χωριστά ώστε να είναι όσο το δυνατόν πιο άκαμπτο και στη συνέχεια να ελέγχεται για συντονισμό και αντοχή. Επιπλέον, η εργαλειομηχανή, στο σύνολό της, πρέπει να έχει επαρκή σταθερότητα και να πληροί τις ακόλουθες γενικές απαιτήσεις:

- Υψηλή στατική ακαμψία των διαφορετικών στοιχείων εργαλειομηχανής, όπως η δομή, οι αρμοί και οι άξονες
- Αποφυγή απαράδεκτων φυσικών συχνοτήτων που προκαλούν συντονισμό της εργαλειομηχανής
- Αποδεκτό επίπεδο δόνησης
- Επαρκής ικανότητα απόσβεσης
- Υψηλές ταχύτητες και τροφοδοσίες
- Χαμηλά ποσοστά φθοράς στα συρόμενα μέρη
- Χαμηλή θερμική παραμόρφωση των διαφορετικών στοιχείων εργαλειομηχανής
- Χαμηλό κόστος σχεδίασης, ανάπτυξης, συντήρησης, επισκευής και κατασκευής

-----  
Οι εργαλειομηχανές χωρίζονται ανάλογα με την εξειδίκευσή τους στις ακόλουθες κατηγορίες:

- Μηχανήματα γενικής χρήσης (καθολικής χρήσης), που χρησιμοποιούνται για τη μηχανική κατεργασία μεγάλης γκάμας προϊόντων
- Μηχανές ειδικής χρήσης, που χρησιμοποιούνται για την κατεργασία αντικειμένων παρόμοιας μορφής αλλά διαφορετικού μεγέθους
- Μηχανήματα περιορισμένης χρήσης, τα οποία εκτελούν ένα στενό φάσμα εργασιών σε μεγάλη ποικιλία προϊόντων

Οι εργαλειομηχανές χωρίζονται ανάλογα με το επίπεδο ακρίβειάς τους στις ακόλουθες κατηγορίες:

- Εργαλειομηχανές κανονικής ακρίβειας, που περιλαμβάνουν την πλειονότητα των μηχανών γενικής χρήσης
- Εργαλειομηχανές υψηλότερης ακρίβειας, οι οποίες είναι ικανές να παράγουν μικρότερες ανοχές και έχουν ακριβέστερη συναρμολόγηση και ρυθμίσεις
- Εργαλειομηχανές υπερυψηλής ακρίβειας, οι οποίες είναι ικανές να παράγουν πολύ ακριβή εξαρτήματα

Οι κύριες λειτουργίες μιας εργαλειομηχανής είναι η συγκράτηση των WP προς κατεργασία, η συγκράτηση του εργαλείου και η επίτευξη της απαιτούμενης σχετικής κίνησης για τη δημιουργία της απαιτούμενης γεωμετρίας του εξαρτήματος.

---

## 2.2 Δομή των εργαλειομηχανών

Οι εργαλειομηχανές περιλαμβάνουν τα ακόλουθα στοιχεία:

1. Μια δομή που αποτελείται από κλίνη, στήλη ή πλαίσιο
2. Διαφάνειες και προσαρτήματα εργαλείων
3. Άξονες και ρουλεμάν ατράκτου
4. Ένα σύστημα κίνησης (μονάδα ισχύος)
5. Στοιχεία συγκράτησης και συγκράτησης εργαλείων
6. Συστήματα ελέγχου
7. Μια σύνδεση μετάδοσης

Οι τάσεις που παράγονται κατά τη μηχανική κατεργασία, οι οποίες τείνουν να παραμορφώνουν την εργαλειομηχανή ή ένα WP, προκαλούνται συνήθως από έναν από τους ακόλουθους παράγοντες:

- Στατικά φορτία που περιλαμβάνουν το βάρος του μηχανήματος και των διαφόρων μερών του
- Δυναμικά φορτία που προκαλούνται από τα περιστρεφόμενα ή παλινδρομικά μέρη
- Δυνάμεις κοπής που δημιουργούνται από τη διαδικασία αφαίρεσης υλικού

Τόσο το στατικό όσο και το δυναμικό φορτίο επηρεάζουν την απόδοση της κατεργασίας στο στάδιο φινιρίσματος, ενώ ο τελικός βαθμός ακρίβειας επηρεάζεται επίσης από την απόκλιση που προκαλείται από τις δυνάμεις κοπής.

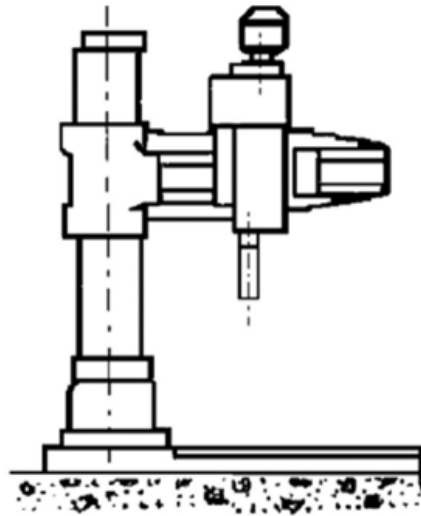
Οι κύριες λειτουργίες της δομής του μηχανήματος περιλαμβάνουν τα ακόλουθα:

- Ικανότητα της κατασκευής ή της κλίνης να αντιστέκεται στην παραμόρφωση που προκαλείται από στατικά και δυναμικά φορτία

- Σταθερότητα και ακρίβεια των κινούμενων μερών
- Αντίσταση στη φθορά του οδηγού
- Απελευθέρωση από υπολειμματικές καταπονήσεις
- Απόσβεση κραδασμών

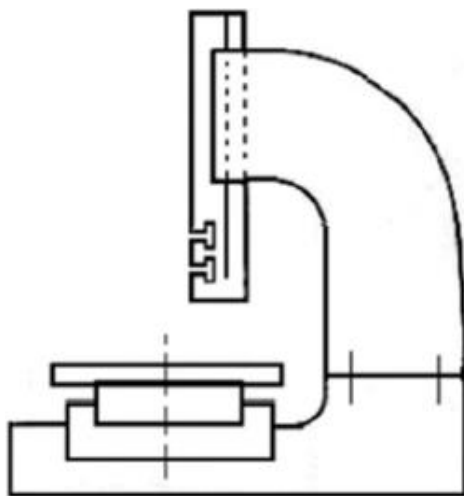


Lathe bed

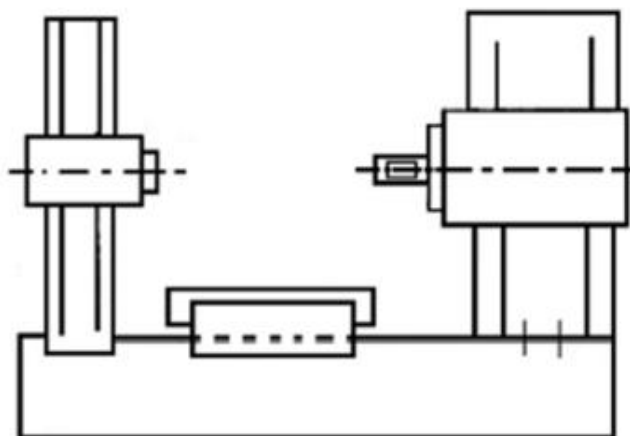


Frame of radial drill

Σχήμα 2-1 Τυπική κλίνη κεντρικού τόρνου και πλαίσιο μηχανής διάτρησης. (<https://ebrary.net/>)



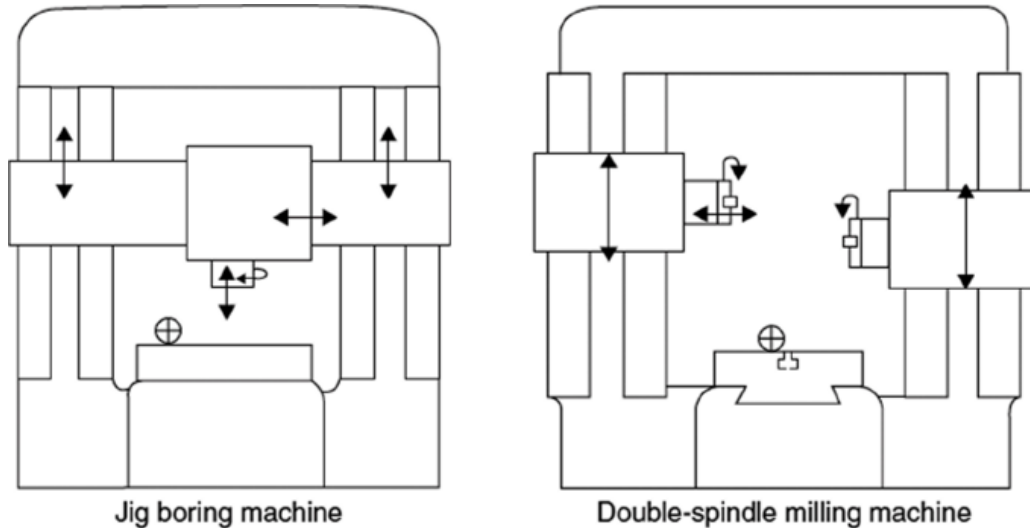
Slotting machine



Boring machine

Σχήμα 2-2 Παραδείγματα ανοιχτών πλαισίων (C-frames). (<https://ebrary.net/>)

Οι δομές εργαλειομηχανών ταξινομούνται με διάταξη σε ανοιχτά (πλαίσια C) και κλειστά πλαίσια. Τα ανοιχτά πλαίσια παρέχουν εξαιρετική προσβασιμότητα στο εργαλείο και στο WP. Τυπικά παραδείγματα ανοιχτών πλαισίων βρίσκονται σε μηχανές τόννευσης, διάτρησης, φρεζαρίσματος, διαμόρφωσης, λείανσης, σχισμής και διάτρησης (Σχήμα 2.2). Τα κλειστά πλαίσια βρίσκουν εφαρμογή σε πλάνη, μηχανές φρεζαρίσματος και διπλής ατράκτου (Σχήμα 2.3). Μια δομή εργαλειομηχανής τοποθετεί και καθοδηγεί το εργαλείο και το WP και διατηρεί την καθορισμένη σχετική θέση τους κατά τη διαδικασία κατεργασίας. Επομένως, οι δομές εργαλειομηχανών πρέπει να είναι σχεδιασμένες ώστε να αντέχουν και να μεταδίδουν, χωρίς παραμόρφωση, τις δυνάμεις κοπής και τα βάρη των κινούμενων μερών της μηχανής στη βάση. Για μια δομή πολλαπλών μονάδων, οι μονάδες πρέπει να είναι σχεδιασμένες ώστε να εντοπίζουν και να οδηγούν η μία την άλλη σύμφωνα με την απαιτούμενη θέση μεταξύ του εργαλείου και του WP.



**Σχήμα 2-3** Παραδείγματα κλειστών κουφωμάτων. (<https://ebrary.net/>)

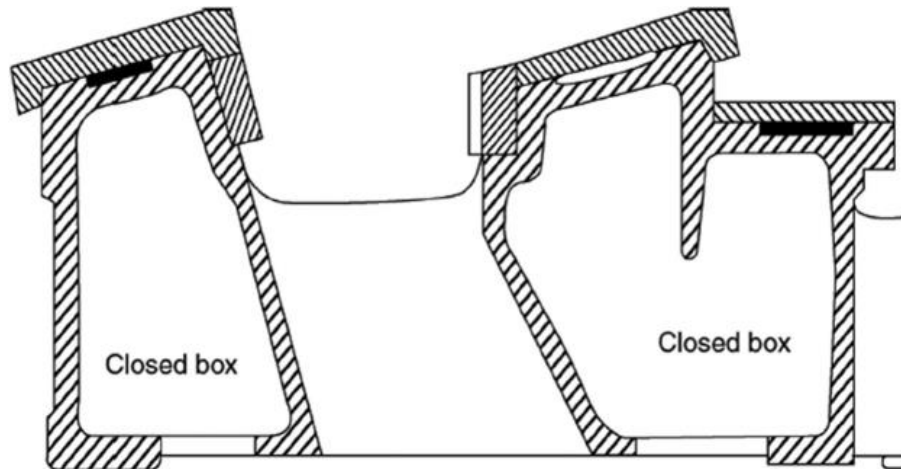
Η διαμόρφωση της δομής εργαλειομηχανών διέπεται από τη διάταξη των απαραίτητων κινήσεων κοπής και τροφοδοσίας και τα μήκη διαδρομής τους καθώς και από το μέγεθος και τη χωρητικότητα της μηχανής. Από

αυτή την άποψη, εξετάζονται επίσης η απόρριψη των κατεργασμένων κομματιών, η μεταφορά, η ανέγερση και η συντήρηση. Ο ρυθμός αφαίρεσης υλικού καθορίζει την ικανότητα ισχύος της εργαλειομηχανής και επομένως το μέγεθος των δυνάμεων κοπής. Ο βαθμός ακρίβειας παραγωγής επηρεάζεται από τις παραμορφώσεις της κατασκευής, οι οποίες θα πρέπει να διατηρούνται εντός καθορισμένων ορίων. Η αξιολόγηση της συμπεριφοράς της δομής εργαλειομηχανών λαμβάνεται με την αξιολόγηση των στατικών και δυναμικών χαρακτηριστικών της.

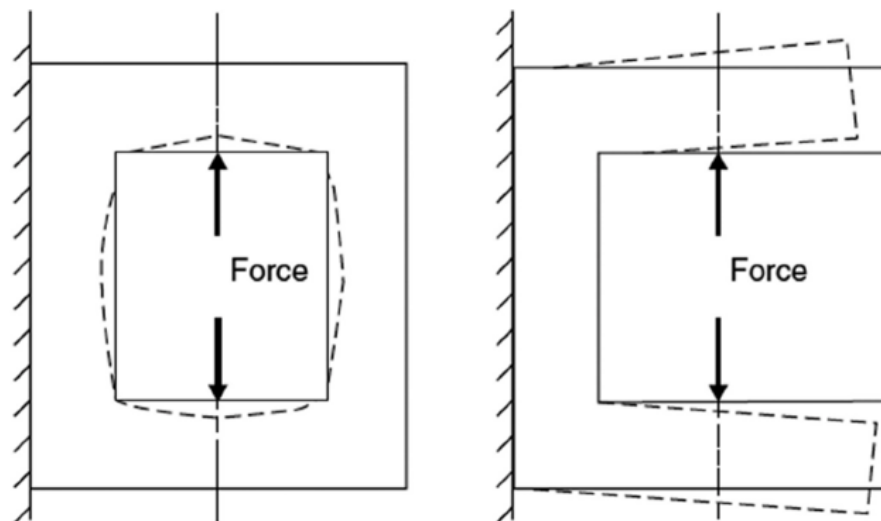
- *Στατικά χαρακτηριστικά.* Αυτά τα χαρακτηριστικά αφορούν τη σταθερή απόκλιση υπό σταθερές λειτουργικές δυνάμεις κοπής, το βάρος των κινούμενων εξαρτημάτων και τις δυνάμεις τριβής και αδράνειας. Επηρεάζουν την ακρίβεια των κατεργασμένων εξαρτημάτων και συνήθως μετρώνται από τη στατική ακαμψία.
- *Δυναμικά χαρακτηριστικά.* Τα δυναμικά χαρακτηριστικά καθορίζονται κυρίως από τη δυναμική απόκλιση και τις φυσικές συχνότητες. Επηρεάζουν τη δυναμική των εργαλειομηχανών και ως εκ τούτου τη σταθερότητα της λειτουργίας κατεργασίας.

Οι στατικές και δυναμικές παραμορφώσεις μιας δομής εργαλειομηχανής εξαρτώνται από τον τρόπο με τον οποίο μεταδίδονται και κατανέμονται οι επιχειρησιακές δυνάμεις και από τη συμπεριφορά κάθε δομικής μονάδας υπό συνθήκες λειτουργίας. Ένα στοιχείο που μοιάζει με δοκό, με διατομή σε μορφή κοίλου ορθογωνίου, είναι το προτιμώμενο στοιχείο. Μια τυπική εφαρμογή αυτής της ιδέας δίνεται στην κλίνη τόρνου που φαίνεται στο Σχήμα 2.4. Η δυσμενής επίδραση των χυτών οπών στην ακαμψία της διατομής του κλειστού κουτιού ελαχιστοποιείται με τη μείωση του αριθμού και του μεγέθους τους. Όπως φαίνεται στο Σχήμα 2.5, οι κατασκευές κλειστού πλαισίου, αν και παραμορφώνονται υπό φορτίο, διατηρούν αμετάβλητη την ευθυγράμμιση των αξόνων κεντρικής γραμμής τους. Αυτό, με τη σειρά του, έχει ως αποτέλεσμα μια αξονική (όχι

πλευρική) μετατόπιση του εργαλείου σε σχέση με το WP, η οποία δεν επηρεάζει την ακρίβεια των κατεργασμένων εξαρτημάτων. Ένα ανοιχτό πλαίσιο μπορεί, επομένως, να συμπληρωθεί με ένα στοιχείο στήριξης για το κλείσιμο του πλαισίου του κατά τη διάρκεια της μηχανικής κατεργασίας, όπως φαίνεται στο μηχάνημα ακτινικής διάτρησης στο σχήμα 2.6.



Σχήμα 2-4 Κοίλα τμήματα κουτιού της κλίνης τόννου. (<https://ebrary.net/>)

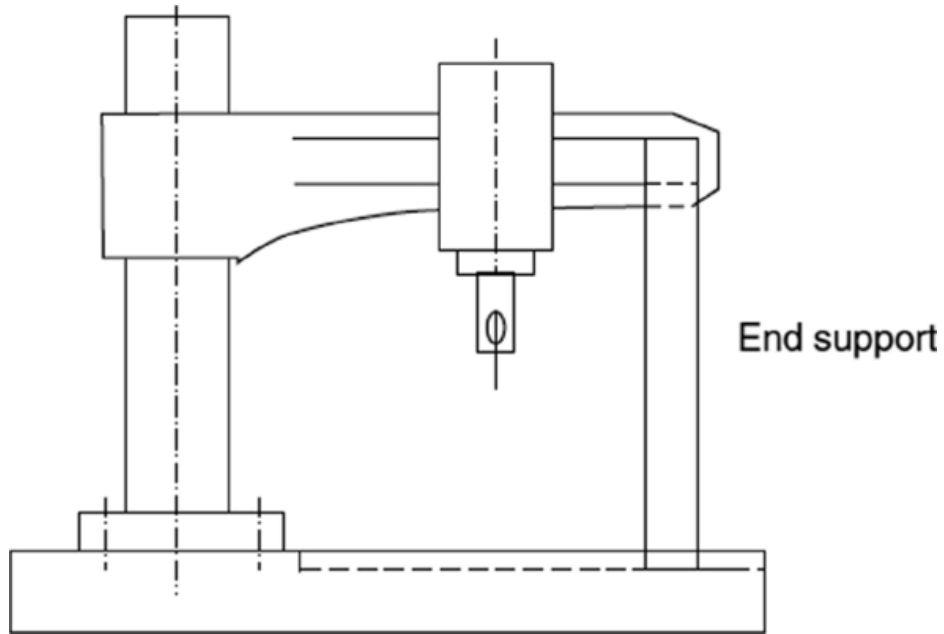


Σχήμα 2-5 Παραμόρφωση σε ανοιχτά και κλειστά πλαίσια (<https://ebrary.net/>)

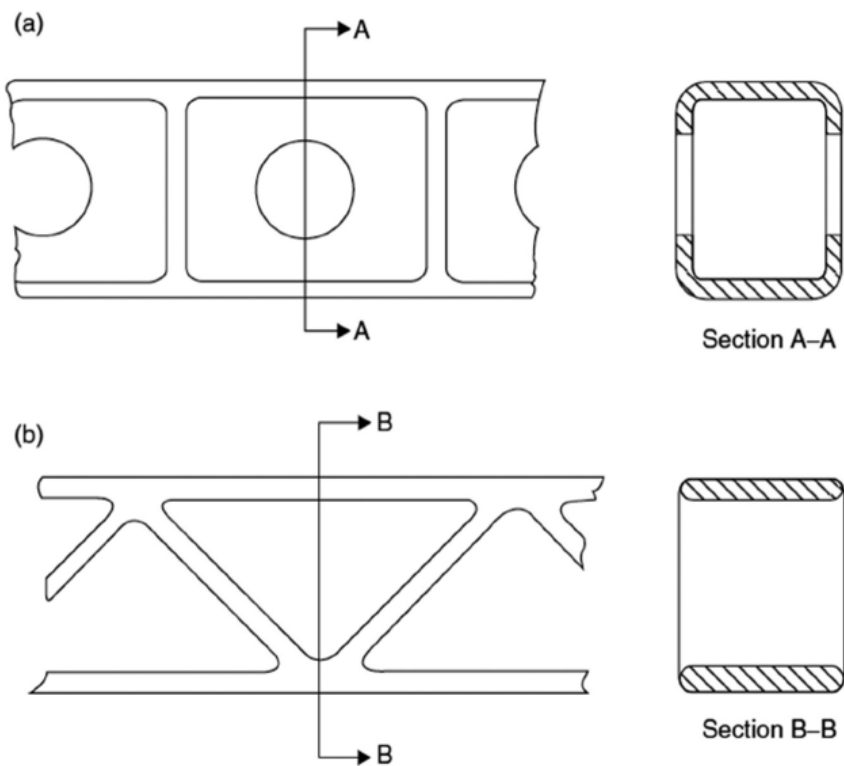
Η ακαμψία και η απόσβεση της δομής της εργαλειομηχανής εξαρτώνται από τον αριθμό και τον τύπο των αρμών που χρησιμοποιούνται για τη σύνδεση των διαφορετικών μονάδων της κατασκευής. Κατά κανόνα, όσο λιγότεροι είναι οι σύνδεσμοι, τόσο μεγαλύτερη είναι η ακαμψία της κατασκευής και τόσο μικρότερη είναι η ικανότητα απόσβεσης. Το σύστημα ραβδώσεων είναι μια αποτελεσματική μέθοδος για την αύξηση της ακαμψίας των δομών της εργαλειομηχανής. Από αυτή την άποψη, οι απλές κατακόρυφες ακαμψίες, που φαίνονται στο Σχήμα 2.7α, αυξάνουν την ακαμψία της κάθετης κάμψης αλλά δεν βελτιώνουν την οριζόντια κάμψη. Η διαγώνια διάταξη ακαμψίας, που φαίνεται στο Σχήμα 2.7β, δίνει μεγαλύτερη ακαμψία τόσο στην κάμψη όσο και στη στρέψη. Σε ορισμένες περιπτώσεις, για να εξαλειφθεί η κίνηση κλίσης που συνήθως επενεργεί στην ουρά του μηχανήματος τόννου, εισάγονται ανυψωμένοι πίσω οδηγοί, όπως φαίνεται στο Σχήμα 2.8. Τα πλαίσια εργαλειομηχανών μπορούν να παραχθούν χρησιμοποιώντας χυτή ή συγκολλημένη κατασκευή. Οι συγκολλημένες κατασκευές εξασφαλίζουν μεγάλη εξοικονόμηση κόστους υλικών και σχεδίων. Το σχήμα 2.9 δείχνει τυπικές χυτές και κατασκευασμένες δομές εργαλειομηχανών. Μια δομή από χυτοσίδηρο εξασφαλίζει τα ακόλουθα πλεονεκτήματα:

- Καλύτερη λιπαντική ιδιότητα (λόγω της παρουσίας ελεύθερου γραφίτη). Καταλληλότερο για κλίνες στις οποίες το τρίψιμο είναι το κύριο κριτήριο
- Υψηλή θλιπτική αντοχή
- Καλύτερη ικανότητα απόσβεσης
- Εύκολη χύτευση και μηχανική επεξεργασία



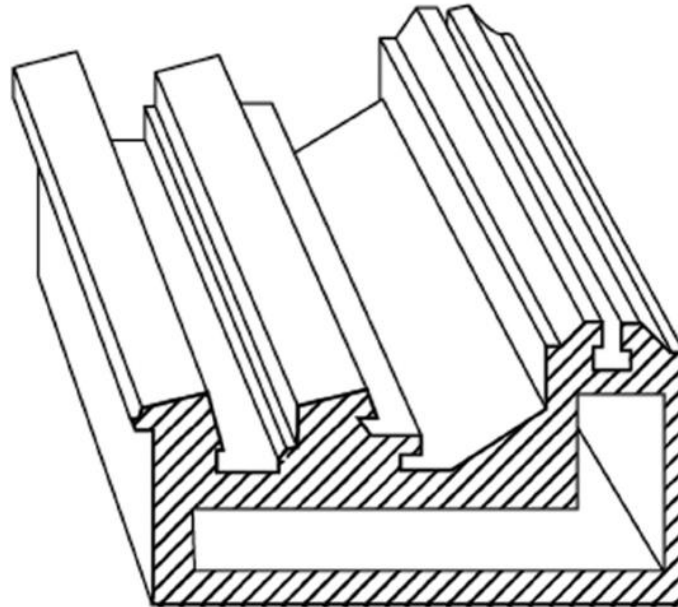


**Σχήμα 2-6 Μηχάνημα ακτινωτής γεώτρησης με ακραίο στήριγμα.**  
(<https://ebrary.net/>)



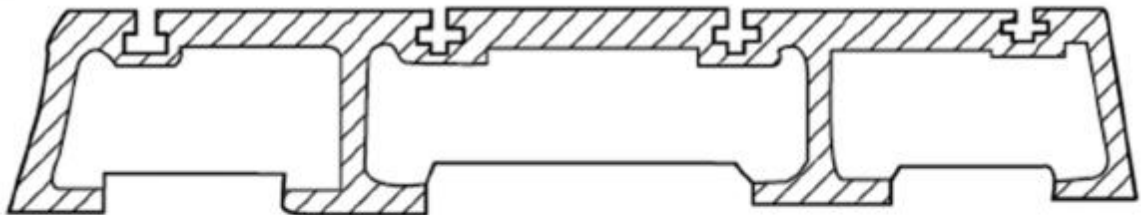
**Σχήμα 2-7 Διάταξη ενισχυτικών σε κλίνες εργαλειομηχανών: (α) κατακόρυφα και (β) διαγώνια ενισχυτικά.** (<https://ebrary.net/>)

Raised guideways

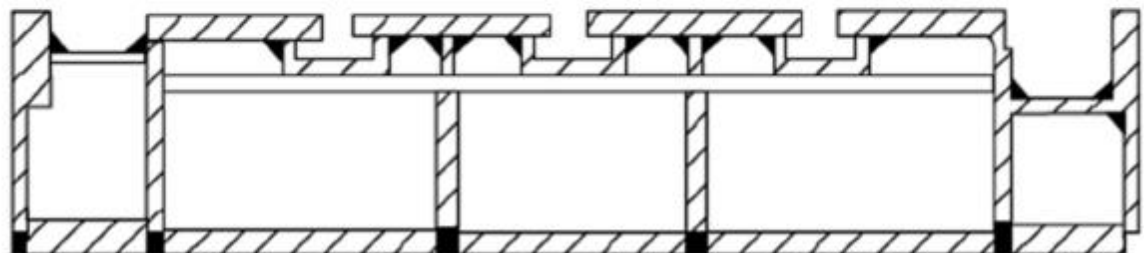


Σχήμα 2-8 Κλίνη τόρνου με υπερυψωμένα πίσω πλαϊνά.  
(<https://ebrary.net/>)

(a)



(b)



Σχήμα 2-9 Χυτές και κατασκευασμένες κατασκευές: (α) χυτές και (β) συγκολλημένες βάσεις εργαλειομηχανών. (<https://ebrary.net/>)

υ.

---

## ΚΕΦΑΛΑΙΟ 3 - ΗΛΕΚΤΡΙΚΟΙ ΚΙΝΗΤΗΡΕΣ ΠΟΥ ΧΡΗΣΙΜΟΠΟΙΟΥΝΤΑΙ ΣΤΙΣ ΕΡΓΑΛΕΙΟΜΗΧΑΝΕΣ

### 3.1 Απαιτήσεις κινητήρων εργαλειομηχανών<sup>[3]</sup>

Οι απαιτήσεις κινητήρων εργαλειομηχανών είναι:

1. Οι κινητήρες πρέπει να είναι αξιόπιστοι και χαμηλού κόστους, να απαιτούν λιγότερη συντήρηση.
2. Πρέπει να είναι ικανοί να ελέγχουν την ταχύτητα. Ορισμένες εφαρμογές ενδέχεται να απαιτούν λειτουργία σε σταθερές ταχύτητες. Μερικές φορές απαιτείται σταθερός και ομαλός έλεγχος ταχύτητας για καλύτερους χρονισμούς κατεργασίας και φινίρισμα επιφάνειας.
3. Η ροπή εκκίνησης μπορεί να κυμαίνεται από περίπου 10% έως 250% της ροπής πλήρους φορτίου ανάλογα με τον τύπο των απαιτήσεων κινητήρων εργαλειομηχανών.
4. Η επιτάχυνση του κινητήρα πρέπει να είναι αρκετά γρήγορη ώστε να αποφεύγεται η θέρμανση του κινητήρα κατά την εκκίνηση. Το φρενάρισμα πρέπει επίσης να είναι αποτελεσματικό και γρήγορο. Αυτό οφείλεται στο ότι απαιτείται συχνή εκκίνηση και διακοπή. Για λόγους ασφαλείας, το φρενάρισμα πρέπει να είναι τέτοιο ώστε να διασφαλίζεται η ακριβής ακινητοποίηση του εργαλείου.
5. Οι κύκλοι λειτουργίας καθορίζονται για τις λειτουργίες εργαλειομηχανών. Ο σχεδιασμός των απαιτήσεων κινητήρων εργαλειομηχανών εξαρτάται από τον κύκλο λειτουργίας.
6. Φορτία αιχμής μικρής διάρκειας μπορεί να εναλλάσσονται με ελαφρύ φορτίο σε ορισμένες λειτουργίες. Μπορεί να επιλεγεί κινητήρας μικρότερου μεγέθους εάν χρησιμοποιείται σφόνδυλος. Ο κινητήρας πρέπει να έχει επαρκή ρύθμιση ταχύτητας για χρήση του σφονδύλου. Χρησιμοποιούνται επαγωγικοί κινητήρες υψηλής ολίσθησης ή αθροιστικά σύνθετοι κινητήρες.

- 
7. Λειτουργία μεταβλητής ταχύτητας με σταθερή ροπή σε όλες τις ταχύτητες μπορεί να απαιτείται σε εργαλειομηχανές, όπως μύλο, πλάνη κ.λπ.
  8. Μερικοί κινητήρες εργαλειομηχανών απαιτούν πολύ υψηλές ταχύτητες λειτουργίας. Αυτοί είναι μύλοι υψηλής ταχύτητας.
  9. Οι αριθμητικά ελεγχόμενες εργαλειομηχανές προτιμώνται από τις συμβατικές εργαλειομηχανές. Αυτό έχει αυξήσει τη χρήση του μηχανήματος. Ο ρυθμός παραγωγής μπορεί να αυξηθεί.
  10. Οι απαιτήσεις του κινητήρα κίνησης είναι γρήγορη απόκριση, μεγάλο εύρος ελέγχου ταχύτητας, χαμηλοί κραδασμοί, καλύτερη θερμική ικανότητα, χαμηλή συντήρηση, Για να έχουμε γρήγορη απόκριση η αδράνεια πρέπει να είναι χαμηλή.

Λόγω της απλής, οικονομικής και στιβαρής κατασκευής, της ρεαλιστικότητας και της λιγότερης συντήρησης, οι κινητήρες βραχυκυκλωμένου δρομέα είναι κατάλληλοι για την οδήγηση απαιτήσεων κινητήρων εργαλειομηχανών. Μέχρι την εμφάνιση των μετατροπέων ισχύος με θυρίστορ που είναι ικανοί να παρέχουν μεταβλητή τάση, και μεταβλητή συχνότητα, ο έλεγχος της ταχύτητας αυτών των κινητήρων ήταν πρόβλημα. Χρησιμοποιώντας εξοπλισμό μετάδοσης ισχύος, όπως γρανάζια, η ταχύτητα που προκαλείται επηρεάζει την ακρίβεια της εξόδου. Μπορεί να χρησιμοποιηθεί τετραπολικός ή εξαπολικός κινητήρας. Ένας κινητήρας με μεγαλύτερο αριθμό πόλων έχει χαμηλό συντελεστή ισχύος, μικρότερη ροπή εκκίνησης και μικρότερη απόδοση. Οι διπολικοί κινητήρες είναι θορυβώδεις και έχουν κραδασμούς.

Οι κινητήρες πολλαπλών ταχυτήτων με αλλαγή πόλων είναι διαθέσιμοι όταν επιτρέπεται η συγκεκριμένη λειτουργία κλιμακωτής ταχύτητας. Αυτές οι συνδέσεις είναι διαθέσιμες για σταθερή ροπή καθώς και για λειτουργία σταθερής ισχύος. Παρέχουν υψηλές και χαμηλές ταχύτητες.

Όταν απαιτείται ομαλός έλεγχος ταχύτητας για καλύτερο φινίρισμα και χρονισμό της μηχανής, απαιτούνται κατάλληλοι έλεγχοι. Η έλευση των θυρίστορ και των σχετικών μετατροπέων ισχύος άνοιξε το δρόμο για τον ομαλό έλεγχο της ταχύτητας των κινητήρων εναλλασσόμενου ρεύματος. Είναι δυνατές τόσο λειτουργίες σταθερής ροπής όσο και σταθερής ισχύος. Ο μετατροπέας μεταβλητής συχνότητας που χρησιμοποιείται για τον έλεγχο της ταχύτητας μπορεί επίσης να χρησιμοποιηθεί για σκοπούς εκκίνησης. Η εκκίνηση με μεταβλητή συχνότητα έχει πλεονεκτήματα και προσδίδει μια πολύ καλή συμπεριφορά εκκίνησης. Η ροπή εκκίνησης ή επιτάχυνσης μπορεί να ελεγχθεί. Αυτά είναι επίσης δαπανηρά επί του παρόντος. Η διαθεσιμότητα θυρίστορ σε μειωμένες τιμές και υψηλότερες βαθμολογίες μπορεί να κάνει αυτούς τους δίσκους δημοφιλείς στο μέλλον.

Η ισχύς του κινητήρα καθορίζεται από τον κύκλο λειτουργίας. Πρέπει να επιλεγεί μια κατάλληλη ονομαστική τιμή ισχύος του κινητήρα, με επαρκή μηχανική υπερφόρτωση καθώς και θερμική υπερφόρτωση. Παρατίθενται οι κινητήρες για τους κύκλους λειτουργίας S1-S6.

S1 Κινητήρες υδραυλικής αντλίας, κινητήρας αντλίας λίπανσης, κινητήρας αντλίας ψυκτικού.

S2 Ταχύς εγκάρσιος κινητήρας.

S3 Κύριος κινητήρας για διαμορφωτή γραναζιών και για μηχανή διάτρησης.

S4 Κύριος κινητήρας μετάδοσης κίνησης σε τόνους χωρίς συμπλέκτη στη μετάδοση κίνησης, κινητήρας κεφαλής εργασίας στη μηχανή λείανσης, κινητήρας κύριας μετάδοσης κίνησης στη μηχανή κοπής γραναζιών, κινητήρας αντλίας ψυκτικού υγρού με συχνή εκκίνηση και διακοπή.

S5 Κινητήρας κεφαλής εργασίας σε μηχανή λείανσης με ηλεκτρική πέδηση.

S6 Κινητήρες τροφοδοσίας μετάδοσης κίνησης με συμπλέκτη στον κινητήρα.

Η συχνότητα εκκίνησης και διακοπής καθορίζει τον τύπο εκκίνησης καθώς και τη μέθοδο πέδησης. Είναι επιθυμητοί κινητήρες επαγωγής δακτυλίου ολίσθησης με εκκίνηση αντίστασης ρότορα. Εάν χρησιμοποιείται πρίζα για συχνή διακοπή λειτουργίας, ο κινητήρας υπερφορτώνεται θερμικά. Ο κινητήρας πρέπει να αποσυνδεθεί με μηδενική ταχύτητα. Μπορεί επίσης να χρησιμοποιηθεί δυναμική πέδηση DC. Αυτό απαιτεί περισσότερο χρόνο για το φρενάρισμα αλλά η θέρμανση μειώνεται. Για λόγους ασφαλείας, μαζί με την ηλεκτρική πέδηση, πρέπει να παρέχονται και μηχανικά φρένα ως αναμονή/εφεδρεία.

Απαιτούνται κινητήρες υψηλής ολίσθησης για χρήση με σφόνδυλο, για την κίνηση φορτίου που εναλλάσσεται με συνθήκες χωρίς φορτίο. Όταν εφαρμόζεται το φορτίο, η ταχύτητα πρέπει να πέσει κατά 8-10%, έτσι ώστε ο σφόνδυλος να μπορεί να παρέχει ένα μέρος της ισχύος που απαιτείται από το φορτίο από την αποθηκευμένη του ενέργεια. Σε κατάσταση χωρίς φορτίο, οι ταχύτητες αυξάνονται και ο σφόνδυλος αποθηκεύει αυτήν την ενέργεια. Οι κινητήρες δακτυλίου ολίσθησης με πρόσθετη αντίσταση ρότορα είναι πλεονεκτικότεροι. Η αντίσταση προκαλεί την απαραίτητη ολίσθηση. Ο κινητήρας δεν θερμαίνεται. Όταν χρησιμοποιούνται κινητήρες συνεχούς ρεύματος χρησιμοποιούνται σύνθετοι κινητήρες με αθροιστική σύνθεση.

### 3.2 Ηλεκτροκινητήρες προώσεως

Οι κινήσεις προώσεως των αξόνων μίας εργαλειομηχανής πρέπει γενικά να είναι μεγάλης ακρίβειας και να έχουν μικρές επιβραδύνσεις, λόγω τριβών. Οι μετατοπίσεις των αξόνων πρέπει να είναι ανεξάρτητες από τα φορτία αντίδρασης, που είναι οι δυνάμεις τριβής και οι αδρανειακές δυνάμεις. Επίσης οι κινήσεις προώσεως πρέπει να είναι σταθερές, καθώς απότομες αλλαγές και ταλαντωτικές κινήσεις είναι απαράδεκτες, μιας και επιδρούν

-----  
δραστικά στην ποιότητα της κατεργασμένης επιφάνειας. Παλιότερα, σε αρχικά στάδια εξέλιξης των εργαλειομηχανών CNC, για όλες τις κινήσεις των αξόνων υπήρχε ένας κινητήρας. Η κίνηση μεταδιδόταν στους διάφορους άξονες μέσω συμπλεκτών και πεδών. Αυτή η μέθοδος έχει σήμερα εγκαταλειφθεί και κάθε άξονας κατεργασίας ενεργοποιείται από το δικό του κινητήρα .

Οι κύριες απαιτήσεις των κινητήρων των αξόνων είναι :

- Σταθερή ροπή στρέψης σε όλο το εύρος των στροφών λειτουργίας των κινητήρων.
- Μέγιστη ταχύτητα περιστροφής σε περίπτωση ταχείας κίνησης έως 6,000rpm.
- Μέγιστη αποδιδόμενη ροπή σε συνθήκες αιχμής (peak) τουλάχιστον τετραπλάσια από την ονομαστική του κινητήρα .
- Ονομαστική ισχύς έως 15kW.

Στις κινήσεις προώσεων χρησιμοποιούνται οι παρακάτω τύποι κινητήρων

### **3.2.1 Κινητήρες συνεχούς ρεύματος ( DC feed drives).**

Οι κινητήρες αυτοί είναι αντίστοιχοι με αυτούς που χρησιμοποιούνται και στην περίπτωση των κινητήρων ατράκτων των εργαλειομηχανών. Είναι φυσικό να χρησιμοποιούνται κινητήρες με σαφώς μικρότερη ονομαστική ισχύ, σε σχέση με τις ατράκτους. Υπάρχουν πολλές κατασκευαστικές λύσεις και γενικά οι κινητήρες αυτοί χρησιμοποιούνται αρκετά στις κινήσεις προώσεων σε όλους τους άξονες κατεργασίας .

---

### **3.2.2 Τριφασικοί σύγχρονοι κινητήρες (Three phase synchronous motors)**

Σε σχέση με τους κινητήρες συνεχούς ρεύματος, οι κινητήρες αυτοί έχουν πολλά πλεονεκτήματα. Για παράδειγμα δεν χρειάζονται εναλλάκτη ρεύματος, με αποτέλεσμα να μην έχουν ιδιαίτερα προβλήματα φθοράς, ενώ η απουσία συλλέκτη λύνει το πρόβλημα της σκόνης από τα καρβουνάκια. Επίσης μπορούν να δώσουν τη μέγιστη ροπή τους ακόμα και κατά τη στιγμή της εκκίνησης, όταν δηλαδή ο ρότορας τους δεν περιστρέφεται. Ακόμα για τις ίδιες εξωτερικές διαστάσεις αποδίδουν μεγαλύτερη ροπή, ενώ δεν έχουν προβλήματα υπερθέρμανσης. Για τους λόγους αυτούς οι τριφασικοί σύγχρονοι κινητήρες είναι πολύ ελκυστικοί στους κατασκευαστές εργαλειομηχανών.

### **3.2.3 Βηματικοί κινητήρες (stepping motor drives).<sup>[4]</sup>**

Οι βηματικοί κινητήρες ενεργοποιούνται με παλμούς, δηλαδή με ψηφιακό σήμα. Κάθε παλμός περιστρέφει την άτρακτο του κινητήρα ακριβώς κατά μία αυστηρά προκαθορισμένη γωνία. Έτσι δεν χρειάζεται να μετατραπεί το ψηφιακό σήμα καθοδήγησης σε αναλογικό ρεύμα ενεργοποίησης, όπως συμβαίνει σε όλους τους άλλους τύπους ηλεκτρικών κινητήρων. Επίσης δεν χρειάζονται σύστημα μέτρησης της θέσεως, αφού η ακρίβεια κίνησης είναι δεδομένη. Όλα αυτά τα χαρακτηριστικά θα έκαναν τους βηματικούς κινητήρες πολύ ελκυστικούς για ενεργοποίηση των ατράκτων προώσεων, εάν δεν είχαν κάποια μεγάλα μειονεκτήματα για τέτοιες εφαρμογές. Έτσι, οι συχνότητες βήματος είναι πολύ μικρές, με αποτέλεσμα να μην επιτυγχάνονται μεγάλες προώσεις. Ακόμα, οι διαθέσιμες ροπές είναι πολύ χαμηλές, ενώ και η επιτάχυνση τους είναι πολύ αργή. Για τους λόγους αυτούς, οι βηματικοί κινητήρες χρησιμοποιούνται πολύ σπάνια στις εργαλειομηχανές.



---

### **3.2.3.1 Πώς λειτουργεί ένας βηματικός κινητήρας**

Οι βηματικοί κινητήρες χρησιμοποιούν σκαλοπάτια ισομεγέθη τοποθετημένα γύρω από έναν κύλινδρο. Στις εφαρμογές εργαλειομηχανών, συχνά υπάρχουν 200 σκαλοπάτια ή μαγνητικοί πόλοι, σε πλήρη περιστροφή, δηλαδή 100 βήματα για 180 μοίρες περιστροφής. Ανάλογα με το μέγεθος του κινητήρα, δημιουργείται μια συγκεκριμένη τάση και εφαρμόζεται για να στραφεί ένα βήμα. Ορισμένοι είναι επίσης ικανοί για μικροβήματα όπου κάθε βήμα αναλύεται σε μικρότερα βήματα, επιτρέποντας κίνηση υψηλότερης ανάλυσης.

Οι βηματικοί κινητήρες λειτουργούν σε ανοιχτό βρόχο, που σημαίνει ότι η θέση τους υπαγορεύεται αποκλειστικά από την τάση που λαμβάνουν. Δεν υπάρχουν αισθητήρες που να παρέχουν μετρήσεις θέσης ή σχετικής κίνησης στο χειριστήριο. Η σχετικά απλή συναρμολόγησή τους τα καθιστά αξιόπιστη επιλογή όταν συνδυάζονται με τη σωστή εφαρμογή.

### **3.2.3.2 Πώς λειτουργεί ένας σερβοκινητήρας**

Οι σερβοκινητήρες, γνωστοί επίσης ως κινητήρες άξονα ή ροπής, χρησιμοποιούν λιγότερους ηλεκτρομαγνητικούς πόλους -συνήθως λιγότερους από δώδεκα- και βασίζονται στην επικοινωνία κλειστού βρόχου για ακρίβεια και έλεγχο ταχύτητας, που σημαίνει ότι υπάρχει αμφίδρομο σήμα μεταξύ αυτού και του χειριστηρίου. Με άλλα λόγια, όταν ενεργοποιείται, το χειριστήριο λαμβάνει ένα ακριβές σήμα εντοπισμού θέσης. Δεν χρειάζεται να αποκατασταθεί το σημείο μηδέν. Οι περιστροφικοί κωδικοποιητές ή οι γωνιακοί κωδικοποιητές είναι οι κύριες συσκευές ανάδρασης που χρησιμοποιούνται για τη διευκόλυνση αυτού εμπρός και πίσω.

Με τα συγκροτήματα σερβοκινητήρων, υπάρχει η δυνατότητα επιλογής συνδυασμού κινητήρα και συσκευών ανάδρασης που είναι ειδικά για το προϊόν ή τον προϋπολογισμό. Για μηχανήματα επεξεργασίας μετάλλων

υψηλής ακρίβειας, διατίθενται επίσης κινητήρες με τους ιδανικούς κωδικοποιητές που είναι ήδη ενσωματωμένοι .

### **3.2.3.3 Σύγκριση Βηματικού Κινητήρα και σερβοκινητήρα**

Λόγω των θεμελιωδών διαφορών στον τρόπο λειτουργίας τους, οι σερβοκινητήρες και οι βηματικοί κινητήρες έχουν διαφορετικά πλεονεκτήματα και αδυναμίες. Σε γενικές γραμμές, οι σερβοκινητήρες είναι κατάλληλοι για προηγμένες βιομηχανικές μηχανές με απαιτήσεις υψηλής ακρίβειας, ταχύτητας και ροπής, ενώ οι βηματικοί κινητήρες χρησιμοποιούνται σε λιγότερο απαιτητικές μηχανές εργαστηρίου και από χομπίστες.

- **Κόστος**

Η προσθήκη της συσκευής ανάδρασης και άλλου απαραίτητου υλικού καθιστά τους σερβοκινητήρες πιο ακριβούς από τους βηματικούς κινητήρες. Ωστόσο, η δυνατότητα συνεργασίας και αντιστοίχισης του συγκροτήματος κινητήρα και κωδικοποιητή προσφέρει ευελιξία.

- **Ροπή**

Η ροπή του βηματικού κινητήρα μειώνεται με γρήγορη επιτάχυνση και σε υψηλές ταχύτητες. Χάρη εν μέρει στους ισχυρούς μαγνήτες σπάνιων γαιών που χρησιμοποιούν, οι σερβοκινητήρες διατηρούν σχεδόν όλη τη ροπή τους στη μέγιστη ταχύτητα, γεγονός που μεταφράζεται επίσης σε υψηλότερη απόδοση. Ορισμένοι σερβοκινητήρες μπορούν επίσης να διπλασιάσουν σχεδόν την ονομαστική ροπή τους για μικρά χρονικά διαστήματα, κάτι που μπορεί να είναι εξαιρετικά χρήσιμο για το σταμάτημα, την εκκίνηση και την αντιστροφή κλινών ή ατράκτων.

---

Σημείωση: Υπάρχουν διάφορες προδιαγραφές ροπής για σερβοκινητήρες. Η κοινώς αποδεκτή προδιαγραφή για εφαρμογές εργαλειομηχανών είναι η ονομαστική ροπή.

- Αντοχή

Ένας σερβοκινητήρας έχει εξαρτήματα που ένας βηματικός δεν έχει, όπως η συσκευή ανάδρασης, ψήκτρες που μεταδίδουν ισχύ και, σε ορισμένες περιπτώσεις, κιβώτια ταχυτήτων, με αποτέλεσμα ελαφρώς υψηλότερο κίνδυνο αστοχίας από έναν βηματικό κινητήρα.

- Επαναληψιμότητα και Ακρίβεια

Η προσθήκη μιας ειδικής συσκευής μέτρησης δίνει στον σερβοκινητήρα το πλεονέκτημα. Η ακραία ανάλυση, της τάξης των εκατοντάδων χιλιάδων βημάτων ανά περιστροφή, επιτρέπει την ακριβή κίνηση που είναι ιδιαίτερα σημαντική καθώς προστίθενται περισσότεροι άξονες στα κέντρα μηχανών. Οι βηματικοί κινητήρες μπορεί επίσης περιστασιακά να "χάνουν" βήματα, ένα μικρό σφάλμα που δεν αναγνωρίζεται από το χειριστήριο, αλλά μπορεί να φανεί στο εξάρτημα.

- Ταχύτητα

Οι σερβοκινητήρες είναι ικανοί να διατηρούν κορυφαία απόδοση σε πολύ υψηλές ταχύτητες, αρκετές χιλιάδες στροφές ανά λεπτό σε αντίθεση με περίπου 2.000 στους βηματικούς κινητήρες. Αυτό καθιστά τους σερβοκινητήρες δημοφιλείς για εξοπλισμό μηχανικής κατεργασίας υψηλής ταχύτητας (HSM – High Speed Machines) που κερδίζει δημοτικότητα στον κόσμο της κατασκευής. Αυτή η επιπλέον ταχύτητα είναι συχνά απαραίτητη για κοπή ακριβείας, εργασίες φινιρίσματος και εργασία με σκληρότερα υλικά.

---

### **3.2.3.4 Γιατί οι σερβοκινητήρες χρησιμοποιούνται σε μηχανές CNC**

Τα ποιοτικά εξαρτήματα ξεκινούν από τον κινητήρα της εργαλειομηχανής. Οι σερβοκινητήρες είναι η επιλογή για τον έλεγχο της κίνησης των αξόνων σε εργαλειομηχανές που έχουν κατασκευαστεί για εργασίες υψηλής ταχύτητας και ακρίβειας. Παράγοντες όπως η ανώτερη ροπή, η κίνηση και η ανάδραση υψηλής ανάλυσης και η σταθερότητα βοηθούν στην αποφυγή αποτελεσμάτων όπως κακό φινίρισμα επιφάνειας, πρόωρη φθορά του εργαλείου και περίγραμμα εκτός προδιαγραφών.

#### **1. Η δυνατότητα χρήσης κωδικοποιητών**

Οι περιστροφικοί κωδικοποιητές και οι γωνιακοί κωδικοποιητές για σερβοκινητήρες παρέχουν λεπτομερή και ακριβή ανατροφοδότηση στο χειριστήριο με χιλιάδες φορές υψηλότερη ανάλυση από ότι είναι δυνατό με τους βηματικούς κινητήρες. Οι κωδικοποιητές απόλυτου και επαυξητικού τύπου όχι μόνο επιτρέπουν τον ακριβή έλεγχο της κίνησης και της ταχύτητας που απαιτούνται από τα σημερινά μηχανήματα πολλαπλών αξόνων και τις περίπλοκες γεωμετρίες εξαρτημάτων, αλλά παρέχουν στους χειριστές καλύτερη ορατότητα για την απόδοση της λειτουργίας. Αυτοί οι κωδικοποιητές είναι εύκολο να τοποθετηθούν και να καλωδιωθούν, είναι μικροί σε συνολικό μήκος και μπορούν ακόμη και να λάβουν υπόψη λειτουργίες ασφαλείας όπως αυτές που χειρίζονται οι διακόπτες ορίου.

#### **2. Ανώτερος Έλεγχος Φορτίου**

Οι σερβοκινητήρες είναι διαθέσιμοι σε ένα ευρύ φάσμα διαμορφώσεων, μεγεθών και δυνατοτήτων. Αυτό καθιστά δυνατή την εύρεση της ιδανικής ακαμψίας για το μέγεθος και το φορτίο οποιασδήποτε εργαλειομηχανής. Αυτό είναι σημαντικό επειδή ο λόγος αδράνειας μεταξύ του κινητήρα και του φορτίου είναι κρίσιμος για τη διατήρηση της ακρίβειας θέσης κατά τις αναστροφές και την αντίσταση στους κραδασμούς σε βαριές εφαρμογές φρεζαρίσματος κοπής. Οι σερβοκινητήρες δίνουν στους κατασκευαστές

-----  
εργαλειομηχανών την ευκαιρία να ταιριάζουν τον μεγαλύτερο δυνατό κινητήρα με την ελαφρύτερη δυνατή κλίνη.

### 3. Διαχειριζόμενη επιτάχυνση

Όταν πρόκειται για την επιτάχυνση μιας κλίνης ή ενός άξονα, η σχέση μεταξύ ροπής και αδράνειας στον ίδιο τον κινητήρα είναι κρίσιμη. Λόγω των ανώτερων δυνατοτήτων τους, οι σερβοκινητήρες προσφέρουν περισσότερους συνδυασμούς ροπής και αδράνειας του ίδιου του κινητήρα που επιτρέπουν στους κατασκευαστές να επιλέγουν τις δυνατότητες επιτάχυνσης όπως απαιτείται.

### 4. Ελεγχόμενος κυματισμός ροπής

Οι σερβοκινητήρες που είναι βελτιστοποιημένοι για εργαλειομηχανές περιορίζουν τις διαταραχές που μπορούν να προκαλέσουν οι ίδιοι σε μια λειτουργία κατεργασίας. Η ροπή του κινητήρα κυμαίνεται πάντα κατά τη διάρκεια μιας περιστροφής του άξονα, αλλά ο σωστός σερβοκινητήρας μπορεί να περιορίσει την επίδραση που έχει στο εξάρτημα, συγκεκριμένα σφάλματα περιγράμματος και σκιασμένα φινιρίσματα.

#### 3.2.3.5 Συμπέρασμα

Οι βηματικοί κινητήρες και οι σερβοκινητήρες έχουν και οι δύο τη θέση τους στον κόσμο της σχεδίασης εργαλειομηχανών CNC. Οι σερβοκινητήρες, ωστόσο, προσφέρουν περισσότερες επιλογές όσον αφορά τις δυνατότητες και το υλικό. Αυτοί οι κινητήρες υψηλής ικανότητας θα γίνουν πιο πολύτιμοι για τη συνολική αποτελεσματικότητα μιας εργαλειομηχανής, καθώς η κατασκευή προχωρά προς περισσότερη παραγωγή χωρίς παρακολούθηση και τα εξαρτήματα συνεχίζουν να συρρικνώνονται σε μέγεθος και να αυξάνονται σε πολυπλοκότητα.

---

## **ΚΕΦΑΛΑΙΟ 4 ΠΡΟΓΡΑΜΜΑΤΙΣΜΟΣ ΜΕ G-code**

### **4.1 Προγραμματισμός και διαχείριση NC G-code: 6 βασικοί κανόνες<sup>[5]</sup>**

Κατά τον προγραμματισμό μιας μηχανής CNC για κατεργασία πρέπει να ακολουθούνται βασικοί και σημαντικοί κανόνες. Αυτοί οι κανόνες αφορούν τη σωστή δομή και σύνταξη ενός προγράμματος CNC που παρέχει πληροφορίες που καθιστούν τη χρήση και τη διαχρονική λειτουργία όχι μόνο εύκολη αλλά και αποτελεσματική.

Οι σύγχρονοι ελεγκτές εργαλειομηχανών CNC εκτός από τις δυνατότητες που προβλέπονται για τον προγραμματισμό, έχουν επιπλέον και κάποιες ικανότητες που θα μπορούσαν να κάνουν πιο αποτελεσματική όχι μόνο τη συγγραφή προγραμμάτων αριθμητικού ελέγχου αλλά και τη λειτουργία τους και να διευκολύνουν τη ροή εργασιών σε κάθε εργασία.

Έχει παρατηρηθεί το γεγονός ότι πολλές εταιρείες ορίζουν έναν προκαθορισμένο τρόπο γραφής και λειτουργίας των προγραμμάτων αριθμητικού ελέγχου ώστε να συνάδουν με τη ροή των διαδικασιών τους.

Ανεξάρτητα από τη μέθοδο που ακολουθεί κάθε εταιρεία, υπάρχουν συγκεκριμένοι κανόνες που όταν εφαρμόζονται σωστά, εξαλείφουν τις δυσλειτουργίες σχετικά με την επαναχρησιμοποίηση έτοιμων προγραμμάτων αριθμητικού ελέγχου, ολοκληρώνουν τη φάση παραγωγής και βελτιώνουν τον χρόνο γραφής. Τα σημαντικότερα από αυτά αναλύονται στη συνέχεια

#### **4.1.1 Καταχώρηση του αριθμού σχεδίασης ή άλλων μοναδικών χαρακτηριστικών στο όνομα αρχείου NC**

Αυτό είναι το πρώτο βήμα για τη διευκόλυνση της αναζήτησης αυτού του προγράμματος σε περίπτωση επανάληψης από έναν χειριστή και όχι μόνο από τον δημιουργό του προγράμματος. Προτείνεται να εισαχθεί είτε ο αριθμός έργου που ακολουθεί η εταιρεία είτε ο αντίστοιχος αριθμός προγράμματος πελάτη ως όνομα του αρχείου του προγράμματος NC.

---

#### **4.1.2 Κατάλογος της φάσης της κατεργασίας**

Το όνομα θα πρέπει να διευκρινιστεί και η φάση της κατεργασίας. Για παράδειγμα, σε περίπτωση που το σχέδιο ονομάζεται ΣΧΕΔΙΟ 1 και είμαστε στη φάση 2, θα μπορούσαμε να γράψουμε στο όνομα ή στις πληροφορίες του εγγράφου: ΣΧΕΔΙΟ 1 – ΣΤ2.

#### **4.1.3 Λίστα εργαλείων και προσαρμοσμένων εξαρτημάτων**

Τα μεμονωμένα εργαλεία πρέπει να γράφονται σε κάθε χρήση εργαλείου. Στην ιδανική περίπτωση, εάν μια εργασία μηχανικής κατεργασίας ήταν επιτυχής, μπορεί επίσης να σημειωθεί ο ακριβής τύπος εργαλείου με τα στοιχεία του κατασκευαστή. Επιπλέον, είναι χρήσιμο να γράφετε σε οποιαδήποτε συσκευή που έχει χρησιμοποιηθεί.

#### **4.1.4 Προσδιορισμός τιμής ακτινικής αντιστάθμισης**

Εάν χρησιμοποιείται αντιστάθμιση (G41, G42), στο αντίστοιχο μπλοκ πρέπει να καθοριστεί με τη μορφή σχολίων, η τιμή που πρέπει να εισαχθεί στην αντίστοιχη θέση στο Tool Offset του ελεγκτή. Για παράδειγμα, στην περίπτωση της προτελικής επεξεργασίας όπου είναι φυσιολογικό να δηλώνεται μεγαλύτερη ακτίνα εργαλείου από την πραγματική προκειμένου να αφήσει το υλικό φινιρίσματος χρησιμοποιώντας το ίδιο εργαλείο στην επόμενη εργασία κατεργασίας όπου η τιμή ακτίνας εργαλείου θα είναι πραγματική.

#### **4.1.5 Χρήση υπορουτίνων**

Προτιμάται η χρήση υποπρογράμματος όταν εκτελείται επαναλαμβανόμενη επεξεργασία. Τα υποπρογράμματα παρέχονται ως βοηθητικό πρόγραμμα από τους περισσότερους ελεγκτές για τέτοιες περιπτώσεις, όταν θέλουμε να επαναλάβουμε μια σειρά διαδρομών κοπής με ένα συγκεκριμένο βήμα αξονικής ή ακτινικής κοπής σε έναν συγκεκριμένο άξονα μηχανικής κατεργασίας, εναλλάσσοντας το σχετικό και το απόλυτο σύστημα συντεταγμένων. Αυτό επιτρέπει τη χρήση ενός μικρού αριθμού μπλοκ προγραμματισμού για να επιτευχθεί το επιθυμητό

-----  
αποτέλεσμα και το πρόγραμμα να είναι όχι μόνο μικρότερο σε μέγεθος αλλά και πιο ευανάγνωστο και τροποποιήσιμο.

#### **4.1.6 Προσδιορισμός του είδους της κατεργασίας που εκτελείται**

Κάθε κατεργασία πρέπει να συνοδεύεται από όλα τα απαραίτητα σχόλια και παρατηρήσεις που βοηθούν στη βελτιστοποίηση της διαχείρισης του προγράμματος από διαφορετικούς χειριστές και προγραμματιστές.

Έχει παρατηρηθεί ότι εάν αυτοί οι κανόνες σε συνδυασμό με τη χρήση βοηθητικών εργαλείων που παρέχονται από σύγχρονους ελεγκτές τηρούνται από όλους τους προγραμματιστές, ανεξάρτητα από τον τύπο μηχανής που εργάζονται, έχουν καταλυτική επίδραση στην εξάλειψη τυχόν δυσλειτουργιών σε σχέση με το επαναχρησιμοποίηση έτοιμων προγραμμάτων αριθμητικού ελέγχου NC.

Προφανώς, μετά την επιτυχή ολοκλήρωση του τμήματος μηχανικής κατεργασίας, το πρόγραμμα αριθμητικού ελέγχου αποθηκεύεται για να είναι διαθέσιμο για το μέλλον.

Ένα άλλο θέμα που προκύπτει είναι πώς θα διαχειρίζεται κάθε εταιρεία τα ηλεκτρονικά έγγραφα σε σχέση με τη ροή της εργασίας της. Αυτό είναι κάτι που αφορά βασικά το διαθέσιμο λογισμικό διαχείρισης αρχείων σε κάθε εταιρεία. Για παράδειγμα, μπορεί να είναι είτε ένα διαθέσιμο σύστημα διαχείρισης αρχείων PDM (Product Data Management) ή απλά κάθε εταιρεία θα μπορούσε να διατηρεί ένα ηλεκτρονικό αρχείο στο δίκτυό της.

Σε κάθε περίπτωση, το πιο σημαντικό είναι εάν τηρούνται οι παραπάνω κανόνες, όταν έχει ήδη ολοκληρωθεί μια συγκεκριμένη παραγγελία, αφού έχει εμπλακεί ένα συγκεκριμένο όνομα αρχείου και τύπος αρχείου, ο προγραμματιστής απλώς αναζητά στα διαθέσιμα συστήματα και επεξεργάζεται το αντίστοιχο αρχείο.

Τέλος, αξίζει να αναφέρουμε ότι σε σχέση με τη διαχείριση αρχείων έχει πλέον δοθεί μια ολοκληρωμένη λύση από τους κατασκευαστές

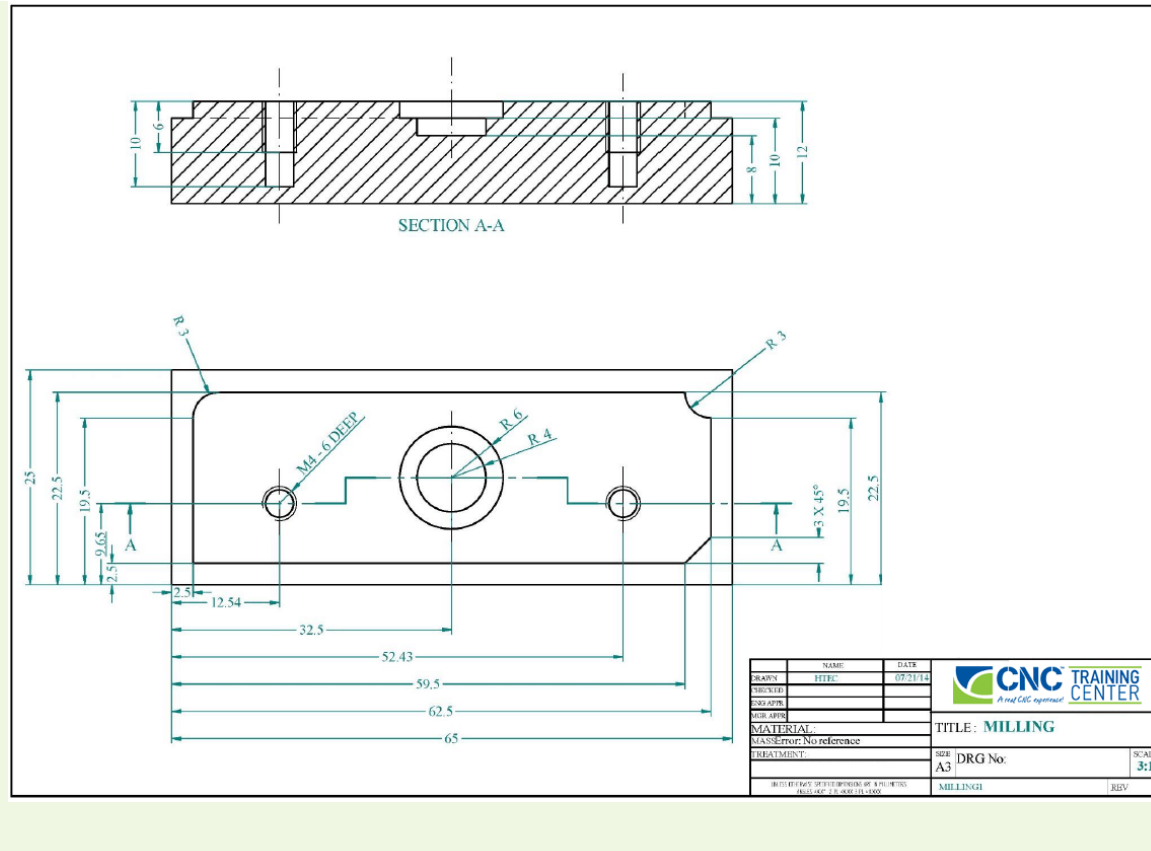


-----  
εργαλειομηχανών. Ειδικά τα τελευταία 5 χρόνια παρατηρείται η τάση σύνδεσης των σύγχρονων μηχανημάτων CNC στο δίκτυο της εταιρείας (ασύρματα ή ενσύρματα) και ως αποτέλεσμα έχουν ξεκλειδωθεί τεράστιες δυνατότητες, όχι μόνο σε σχέση με την επικοινωνία της εργαλειομηχανής με τα επιμέρους συστήματα της εταιρείας και τη διαχείριση των παραγόμενων αρχείων, αλλά και για τον πλήρη έλεγχο:

- Τη λειτουργία της μηχανής CNC και τα προγράμματά τους,
- Την παραγωγικότητα αλλά και τυχόν προβλήματα που μπορεί να προκύψουν κατά την παραγωγική διαδικασία,
- Τη γενική παρακολούθηση και συντονισμό ολόκληρου του κύκλου ζωής του προϊόντος, όπως καθορίζει η 4η Βιομηχανική Επανάσταση (Industry 4.0) που βρίσκεται σε εξέλιξη, δηλαδή η αυτόματη και αμφίδρομη επικοινωνία πληροφοριών και δεδομένων στις παραγωγικές διαδικασίες.

#### **4.2 Παραδείγματα προγραμματισμού CNC (φρεζάρισμα για ένα τυπικό πρισματικό εξάρτημα)<sup>[6]</sup>**

Παρά την απλότητα του παρουσιαζόμενου τμήματος, περιλαμβάνει τα περισσότερα από τα βασικά χαρακτηριστικά που συναντώνται συνήθως σε πραγματικές βιομηχανικές εφαρμογές, όπως φρεζάρισμα περιγράμματος, διάτρηση, τρύπημα και κυκλική άλεση τσέπης. Για αυτό το μέρος, παρουσιάζεται ο προτεινόμενος κώδικας G για την έναρξη του προγράμματος, το φρεζάρισμα προσώπου/το περίγραμμα προφίλ και το φινίρισμα περιγράμματος.



#### 4.2.1 Προγραμματισμός έναρξης / αναστολής προγράμματος

Ειδικά όταν πρόκειται να παράγουμε μικρές ή μεγαλύτερες παρτίδες, χρειαζόμαστε ένα γρήγορο σημείο αναφοράς για το απόθεμα υλικού μας, έτσι ώστε ο χειριστής να χρειάζεται λιγότερο χρόνο για να σφίξει το εξάρτημα στη μέγγενη ή στο εξάρτημα σύσφιξης. Σε αυτό το παράδειγμα φρεζαρίσματος, η χρήση μιας απλής στρατηγικής τοποθέτησης άξονα X εφαρμόζεται για τον προσανατολισμό του εξαρτήματος σε μια σταθερή θέση άξονα X. Το πρόγραμμα CNC ξεκινά ορίζοντας τη μετατόπιση εργασίας (G54) και προσδιορίζοντας το απόλυτο σύστημα συντεταγμένων (G90).

Ο παρακάτω πίνακας δίνει το πρόγραμμα NC με σχόλια, από το μπλοκ #1 (όνομα προγράμματος) έως το μπλοκ #9 (ανασύρετε το πόμα στη θέση αλλαγής εργαλείου). Σε αυτή την περίπτωση, χρησιμοποιούμε εργαλείο Ø8 mm.

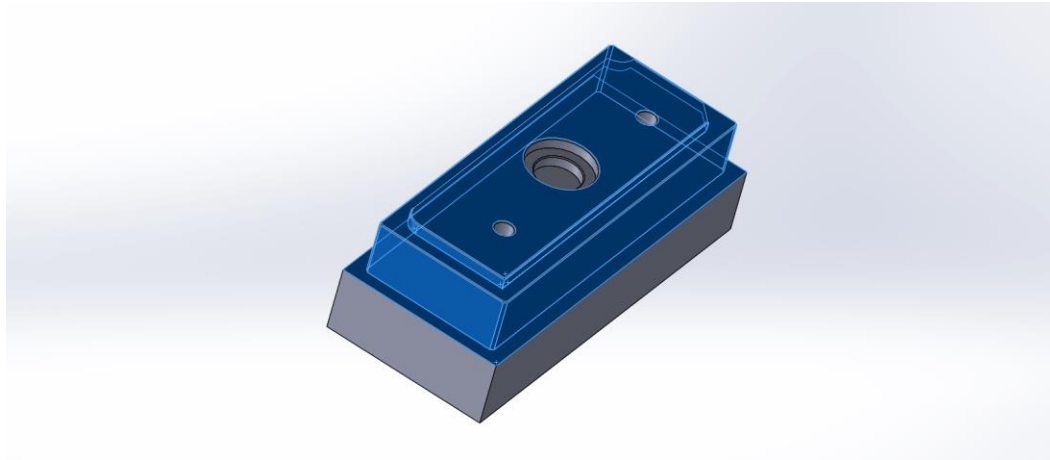
<b>Block</b>	<b>Πρόγραμμα CNC</b>	
<b>1</b>	<b>O10001 (CNC-Training Part-3)</b>	Όνομα προγράμματος
<b>2</b>	G90 G54	Μετατόπιση εργασίας G54, Απόλυτο σύστημα συντεταγμένων
<b>3</b>	<b>T10 M06 (STOP 8mm)</b>	<b>Επιλογή πώματος για χειροκίνητη σύσφιξη της αριστερής πλευράς του εξαρτήματος στη θέση X0.</b>
<b>4</b>	G00 X-7,5 Y12,5	Κίνηση πώματος στα X, Y και προς τα κάτω προς το ασφαλές ύψος Z με ενεργή αντιστάθμιση μήκους εργαλείου. Καθοδική μετατόπιση προς Z-8.
<b>5</b>	G00 G43 H10 Z20.	
<b>6</b>	G00 Z-8.	
<b>7</b>	M00	Προαιρετικό στοπ για να σφίξετε το εξάρτημα στη θέση X0 που καθορίζει το πώμα.
<b>8</b>	G00 Z20.	Μετατόπιση του πώματος προς τα πάνω σε ασφαλές ύψος Z.
<b>9</b>	G00 Z100.	Ανασηκώστε στη θέση αλλαγής εργαλείου

#### 4.2.2 Φρέζα προσώπου και περίγραμμα προφίλ

Σε αυτό το παράδειγμα φρεζαρίσματος, η επάνω όψη του εξαρτήματος επεξεργάζεται με ένα μόνο πέρασμα XY χρησιμοποιώντας ένα μύλο προσώπου, διαμέτρου 50 mm, με πέντε ένθετα κοπής. Επιπλέον, εκτελείται μια λειτουργία διαμόρφωσης περιγράμματος προφίλ σε τέσσερα περάσματα για να επεξεργαστεί το προφίλ «25mm x 65mm».

Ο παρακάτω πίνακας δίνει το πρόγραμμα NC που αντιστοιχεί στη λειτουργία φρεζαρίσματος προσώπου. Ο κωδικός ξεκινά από το μπλοκ #10

(Επιλογή προσώπου-μύλου  $\varnothing 50$ ) έως το μπλοκ #54 (ανασύρεται στη θέση αλλαγής εργαλείου). Αρχικά, εκτελείται ένα πέρασμα για την προετοιμασία του περιγράμματος "20mm x 60mm" με ύψος 2mm στην επάνω επιφάνεια του εξαρτήματος.



<b>10</b>	<b>T1 M06 (FACEMILL 50)</b>	<b>Επιλογή <math>\varnothing 50</math> μύλου προσώπου.</b>
<b>11</b>	S5000 M03	Άξονας δεξιόστροφα, 5000 rpm
<b>12</b>	G00 X-40. Y12.5	Αρχική τοποθέτηση X,Y, παραμένοντας σε ασφαλές ύψος Z (Z100)
<b>13</b>	G00 G43 H01 Z20. M08	Γρήγορη μετατόπιση προς τα κάτω στο ασφαλές ύψος Z με ενεργή αντιστάθμιση μήκους εργαλείου. Ψυκτικό αναμμένο.
<b>14</b>	G00 Z0.	Τοποθέτηση στο Z0. (Σημειώστε ότι το Z0 δεν είναι απαραίτητα η επάνω επιφάνεια του εξαρτήματος. Μπορεί να προγραμματιστεί να βρίσκεται κάτω από την επιφάνεια του εξαρτήματος για να περάσει ένα πέρασμα και να ορίσει το Z0 σε μια καθαρή επιφάνεια)
<b>15</b>	G01 X95. F1000.	Φρέζα προσώπου από X-40 έως X95
<b>16</b>	G00 Z20.	Ανάσυρση εργαλείου στο Z20

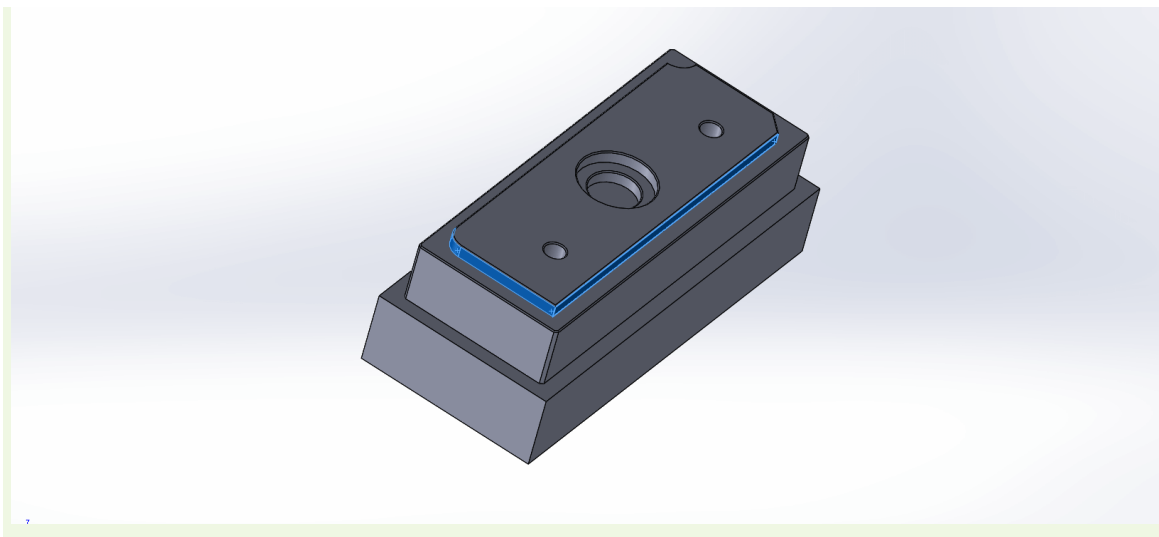
17	G00 X-30. Y-30.	Ταχεία μετατόπιση προς ασφαλή θέση X-30, Y-30 στην αριστερή πλευρά του εξαρτήματος.
18	G00 Z-3.	Προγραμματισμός του πρώτου βάθους $Z = -3\text{mm}$ για φρεζάρισμα περιγράμματος.
19	G01 G41 D01 X0. Y-25. F1000.	Ο μύλος προσώπου αλλάζει στα X-30, Y-30 για να επιτρέψει την ενεργοποίηση της αντιστάθμισης αριστερής ακτίνας κοπής (G41).
20	G01 Y25. , C0,5	Επεξεργασία της αριστερής πλευράς του εξαρτήματος με ταυτόχρονη λοξότμηση, χρησιμοποιώντας την παράμετρο «C».
21	G01 X65. , C0,5	Επεξεργασία της άνω επιφάνειας του εξαρτήματος με ταυτόχρονη λοξότμηση, χρησιμοποιώντας την παράμετρο «C».
22	G01 Y0. , C0,5	Επεξεργασία της δεξιάς πλευράς του εξαρτήματος με ταυτόχρονη λοξότμηση, χρησιμοποιώντας την παράμετρο «C».
23	G01 X0. ,C0.5	Επεξεργασία της κάτω πλευράς του εξαρτήματος με ταυτόχρονη λοξότμηση, χρησιμοποιώντας την παράμετρο «C».
24	G01 Y50.	Μετακινηθείτε πάλι προς την αριστερή πλευρά του εξαρτήματος για ακύρωση της αντιστάθμισης ακτίνας εργαλείου και επανατοποθετήστε το για το επόμενο πέρασμα φρεζαρίσματος σε νέο βάθος Z.
25	G01 G40 X-30. Y55.	Ακύρωση αντιστάθμισης ακτίνας εργαλείου με γραμμική / διαγώνια μετατόπιση στους άξονες X,Y.
26	G00 X-30. Y-30.	Επιστροφή στην ασφαλή θέση X-30, Y-30.
27	G00 Z-6.	Προγραμματισμός του δεύτερου βάθους $Z = -6\text{mm}$ για φρεζάρισμα περιγράμματος.
28	G01 G41 D01 X0. Y-	Ίδια σειρά εντολών, όπως και για το βάθος Z-3.

	25. F1000.	
29	G01 Y25. , C0,5	
30	G01 X65. , C0,5	
31	G01Y0. , C0,5	
32	G01 X0. ,C0.5	
33	G01 Y50.	
34	G01 G40 X-30. Y55.	
35	G00 X-30. Y-30.	
36	G00 Z-9.	Προγραμματισμός τρίτου βάθους Z = -9mm για φρεζάρισμα περιγράμματος.
37	G01 G41 D01 X0. Y- 25. F1000.	
38	G01 Y25. , C0,5	
39	G01 X65. , C0,5	
40	G01Y0. , C0,5	Ίδια σειρά εντολών, όπως και για τα βάθη Z-3 και Z-6.
41	G01 X0. ,C0.5	
42	G01 Y50.	
43	G01 G40 X-30. Y55.	
44	G00 X-30. Y-30.	
45	G00 Z-12,5	Προγραμματισμός του τέταρτου και του τελευταίου βάθους στο Z = -12,5mm για φρεζάρισμα περιγράμματος. (Αντί για Z-12, δίνεται Z-12.5, για ξεφλούδισμα και καθαρισμό της κάτω πλευράς του εξαρτήματος).
46	G01 G41 D01 X0. Y- 25. F1000.	
47	G01 Y25. , C0,5	Ίδια σειρά εντολών, όπως και για τα βάθη Z-3, Z-6 και Z-9.
48	G01 X65. , C0,5	
49	G01Y0. , C0,5	

<b>50</b>	G01 X0. ,C0.5	
<b>51</b>	G01 Y50.	
<b>52</b>	G01 G40 X-30. Y55.	
<b>53</b>	G00 Z20. M09	Ανάσυρση εργαλείου στο Z20. Σβήσε το ψυκτικό.
<b>54</b>	G00 Z100.	Ανασηκώστε στη θέση αλλαγής εργαλείου.

#### 4.2.3 Φινίρισμα περιγράμματος

Σε αυτό το παράδειγμα φρεζαρίσματος, το περιφερειακό περίγραμμα "20mm x 60mm" του εξαρτήματος ολοκληρώνεται με ένα μόνο πέρασμα XY χρησιμοποιώντας έναν τελικό μύλο 2 φλάουτων  $\varnothing 6$ . Αυτό το εργαλείο ολοκληρώνει και την ακτίνα 3 mm. Ο κωδικός για αυτήν τη λειτουργία συνεχίζεται από το μπλοκ #55 (Επιλογή τελικού μύλου  $\varnothing 6$ ) έως το μπλοκ #69 (ανασύρεται στη θέση αλλαγής εργαλείου).



<b>55</b>	T2 M06 (ENDMILL 6)	$\varnothing 6$ επιλογή τελικού μύλου.
<b>56</b>	S5000 M03	Άξονας δεξιόστροφα, 5000 rpm
<b>57</b>	G00 X-6. Y-6.	Αρχική θέση X,Y
<b>58</b>	G00 G43 Z20. H02 M08	Γρήγορη μετατόπιση προς τα κάτω στο

		ασφαλές ύψος Z με ενεργή αντιστάθμιση μήκους εργαλείου. Ψυκτικό αναμμένο.
59	G00 Z-2.	Τοποθέτηση στο βάθος Z-2
60	G01 G41 D02 X2,5 Y-3. F700.	Γραμμική μετατόπιση για διευκόλυνση της ενεργοποίησης του G41 για το φινίρισμα του φιλέτου που ο μύλος προσώπου δεν μπορεί να επεξεργαστεί λόγω της μεγάλης του διαμέτρου.
61	G01 Y22.5, R3.	
62	G01 X59.5	
63	G03 X62.5 Y19.5 R3.	
64	G01 Y2.5, C3.	Ακολουθία εντολών για φινίρισμα περιγράμματος.
65	G01 X2,5 ,C0,5	
66	G01 Y28.	
67	G01 G40 X-6. Y31.	
68	G00 Z20. M09	Ανάσυρση εργαλείου στο Z20. Σβήσε το ψυκτικό.
69	G00 Z100.	Ανασηκώστε στη θέση αλλαγής εργαλείου.

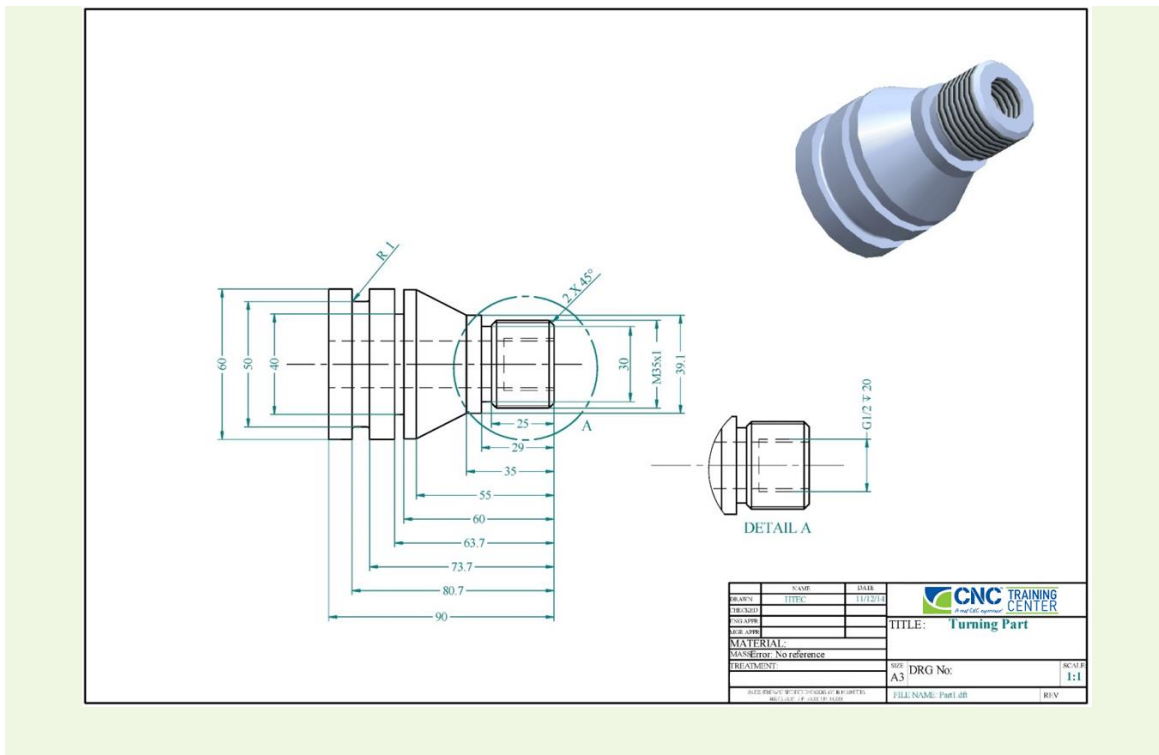
### 4.3 Παραδείγματα προγραμματισμού CNC (στροφή για ένα τυπικό πρισματικό εξάρτημα)<sup>[6]</sup>

Τα εξαρτήματα τόννευσης είναι πολύ δημοφιλή και ο προγραμματισμός στροφής CNC 2 αξόνων μπορεί να είναι εύκολος για χειριστές και προγραμματιστές CNC, καθώς οι βασικές λειτουργίες για την ολοκλήρωση ενός εξαρτήματος, όπως τραχύτητα, φινίρισμα, διάτρηση, τρύπημα και σπείρωμα είναι λιγότερες από ότι στον προγραμματισμό φρεζαρίσματος CNC.

Για αυτό το απλό εξάρτημα, παρουσιάζουμε τον συνιστώμενο G-code για τη ρύθμιση του τροφοδότη εκκίνησης προγράμματος/ράβδου, τη



λειτουργία τραχύτητας για την αφαίρεση υλικού από το εξωτερικό περίγραμμα και το τρύπημα στο κέντρο στην πρόσοψη του εξαρτήματος.



#### 4.3.1 Πρόγραμμα εκκίνησης/Ρύθμιση τροφοδότη ράβδου

Σε αυτό το παράδειγμα, το πρόγραμμα CNC ξεκινά ρυθμίζοντας τον τροφοδότη ράβδου στη σωστή θέση για να προσανατολίσει το μήκος του αποθέματος που απαιτείται για την κατεργασία του εξαρτήματος. Επιπλέον, το πρώτο εργαλείο που είναι εργαλείο χονδροποίησης επιλέγεται για την πρώτη εργασία κατεργασίας, οπότε είμαστε έτοιμοι για τη δεύτερη λειτουργία χωρίς να αλλάξουμε εργαλείο και να κερδίσουμε λίγο χρόνο.

Τα μπλοκ NC εμφανίζονται και σχολιάζονται από το μπλοκ #1 (όνομα προγράμματος) στο μπλοκ #7 (παύση προγράμματος για προσαρμογή του τροφοδότη ράβδων).

<b>Block</b>	<b>Πρόγραμμα NC</b>	
<b>1</b>	O12346 (TRAINING Lathe)	102 Όνομα προγράμματος
<b>2</b>	G54	Ορισμός αντιστάθμισης εργασίας
<b>3</b>	G50 S1800	Σταθερό όριο ταχύτητας άξονα στις 1800 σ.α.λ.
<b>4</b>	T101	<b>Αλλαγή εργαλείου T 1 (ένθετο ακατέργαστης κατεργασίας- εξωτερικό στήριγμα εργαλείου) με μετατόπιση εργαλείου καταχωρημένη στο 01.</b>
<b>5</b>	G96 S220 M3	Περιστροφή άξονα δεξιόστροφα με σταθερή ταχύτητα κοπής (Vc) 220m/min.
<b>6</b>	G00 X30. Z.5	Γρήγορη μετατόπιση πάνω από το εξάρτημα, 0,5 mm μπροστά στο πρόσωπο του εξαρτήματος.
<b>7</b>	M00	Προγραμματίστε την παύση για να ρυθμίσετε τον τροφοδότη ράβδων στο σωστό μήκος αποθέματος για κατεργασία.

#### **4.3.2 Λειτουργία χονδροποίησης για αφαίρεση υλικού από το εξωτερικό περίγραμμα**

Σε αυτό το παράδειγμα, το περίγραμμα του εξαρτήματος προγραμματίζεται με τις εντολές που ξεκινούν από N1 (εμφανίζεται στο μπλοκ #15) έως N3 (μπλοκ #24). Ο κύκλος που είναι υπεύθυνος για την ακατέργαστη μηχανική κατεργασία στη στροφή, ενεργοποιείται από το G71 συνοδευόμενο από τις αντίστοιχες παραμέτρους του. Τα μπλοκ NC

εμφανίζονται και σχολιάζονται από το μπλοκ #8 (Αλλαγή εργαλείου T1) στο μπλοκ #25 (Ανάκληση εργαλείου).

8	T101	Αλλαγή εργαλείου T 1 (ένθετο ακατέργαστης κατεργασίας-εξωτερικό στήριγμα εργαλείου) με μετατόπιση εργαλείου καταχωρημένη στο 01.
9	G00 X62. Z2. M08	Γρήγορη μετατόπιση πάνω από τη διάμετρο του εξαρτήματος (2mm) και 2mm μπροστά στην όψη – ψυκτικό αναμμένο.
10	G96 S220 M3	Περιστροφή άξονα δεξιόστροφα με σταθερή ταχύτητα κοπής (Vc) 220m/min.
11	G00 Z0 G01 X-2. ΣΤ.2	Γρήγορη μετατόπιση προς το πρόσωπο του εξαρτήματος Κατακόρυφη κοπή μέχρι X-2 λόγω της στρογγυλεμένης μύτης εργαλείου 0,8 mm με ταχύτητα τροφοδοσίας ίση με 0,2 mm/στροφές
12	G00 X60. Z2.	Γρήγορη μετατόπιση στην ακριβή διάμετρο του εξαρτήματος (X60) και 2 mm μπροστά από την πρόσοψη του εξαρτήματος. Προετοιμασία για την εκτέλεση του κύκλου αδροποίησης G71.
13	G71 P1 Q3 D2. U.4 W.05 F.2	Κύκλος αδροποίησης G71. Το περίγραμμα του εξαρτήματος προγραμματίζεται με τις εντολές που ξεκινούν από N1 έως N3. Ακτινικό βάθος κοπής 2mm, υλικό που αφήνεται για φινίρισμα ίση με 0,4mm σε διάμετρο (άξονας X) και 0,05mm στον άξονα Z. Ρυθμός τροφοδοσίας ίσος με 0,2 mm/στροφ.
14	N1 G00 X31. Z2.	
15	N1 G00 X31. Z2.	N1 έως N3 ένθετη ομάδα εντολών για τραχύτητα περιγράμματος χρησιμοποιώντας τον κύκλο G71.
16	G01 Z0	
17	G01 X35. Z-2.	
18	G01 Z-23.	

<b>19</b>	G01 X33,5 Z-23,75
<b>20</b>	G01 Z-29.
<b>21</b>	G01 X39.1
<b>22</b>	G01 Z-35.
<b>23</b>	G01 X60. Z-55.
<b>24</b>	N3 G01 Z-90.
<b>25</b>	G00 X100. Τραβήξτε το εργαλείο στα X100 και επιστρέψτε σε Z180. M9 ασφαλή απόσταση Z μακριά από την πρόσοψη του εξαρτήματος.

#### 4.3.3 Κεντρική διάτρηση στην πρόσοψη του εξαρτήματος

Σε αυτό το παράδειγμα, εκτελείται μια κεντρική διάτρηση στην πρόσοψη του εξαρτήματος για την προετοιμασία της λειτουργίας διάτρησης που ακολουθεί. Η απλή λειτουργία διάτρησης ενεργοποιείται από τον κύκλο G81 συνοδευόμενος από τις αντίστοιχες παραμέτρους του. Τα μπλοκ NC εμφανίζονται και σχολιάζονται από το μπλοκ #26 (Αλλαγή εργαλείου T7) στο μπλοκ #33 (Ανάσωση εργαλείου).

<b>26</b>	<b>T707</b>	<b>Αλλαγή εργαλείου T 7 (κεντρικό τρυπάνι) με μετατοπίσεις εργαλείων καταχωρημένες στο 07.</b>
<b>27</b>	G97 S800 M3	Περιστροφή άξονα δεξιόστροφα με σταθερή ταχύτητα άξονα (n) 800rpm
<b>28</b>	G00 Z20.	Προετοιμασία για κεντρικό τρύπημα (κεντράρισμα) – Τοποθέτηση εργαλείου 20 mm μακριά από την επιφάνεια του εξαρτήματος.
<b>29</b>	G00 X0 Z2. M8	Γρήγορη μετατόπιση 2 mm μακριά από το πρόσωπο στο κέντρο του εξαρτήματος (X0) – ψυκτικό αναμμένο.
<b>30</b>	<b>G81 Z-2. R2. F.08</b>	Απλή λειτουργία διάτρησης με κύκλο G81, τελικό βάθος ίσο με 2mm, ανάσωση εργαλείου (R) 2mm.

---

<b>31</b>	<b>G80</b>	Ακύρωση κύκλου G81.
<b>32</b>	G00 Z2. M9	Ανάσχυση εργαλείου σε απόσταση 2 mm από το πρόσωπο – το ψυκτικό υγρό απενεργοποιείται.
<b>33</b>	G00 Z130.	Ανάσχυση εργαλείου σε ασφαλή απόσταση Z για διευκόλυνση της αλλαγής εργαλείου.

---

## ΚΕΦΑΛΑΙΟ 5 - ΤΡΙΣΔΙΑΣΤΑΤΗ ΕΚΤΥΠΩΣΗ – ΙΣΤΟΡΙΚΗ ΑΝΑΔΡΟΜΗ, ΕΦΑΡΜΟΓΕΣ ΚΑΙ ΠΡΟΟΠΤΙΚΕΣ<sup>[7]</sup>

### 5.1 Γενικά για την τρισδιάστατη εκτύπωση

Η τρισδιάστατη εκτύπωση ή η κατασκευή πρόσθετων είναι η κατασκευή ενός τρισδιάστατου αντικειμένου από μοντέλο CAD ή ψηφιακό τρισδιάστατο μοντέλο. Μπορεί να γίνει σε μια ποικιλία διεργασιών στις οποίες το υλικό εναποτίθεται, ενώνεται ή στερεοποιείται υπό έλεγχο σε υπολογιστή, με υλικό που προστίθεται μαζί (όπως πλαστικά, υγρά ή κόκκοι σκόνης που συντήκονται), συνήθως στρώμα προς στρώμα .

Στη δεκαετία του 1980, οι τεχνικές τρισδιάστατης εκτύπωσης θεωρούνταν κατάλληλες μόνο για την παραγωγή λειτουργικών ή αισθητικών πρωτοτύπων και ένας καταλληλότερος όρος για αυτήν την εποχή ήταν η ταχεία δημιουργία πρωτοτύπων. Από το 2019, η ακρίβεια, η επαναληψιμότητα και η γκάμα υλικών της 3D εκτύπωσης έχουν αυξηθεί σε σημείο που ορισμένες διαδικασίες τρισδιάστατης εκτύπωσης θεωρούνται βιώσιμες ως τεχνολογία βιομηχανικής παραγωγής, όπου ο όρος κατασκευή προσθέτων μπορεί να χρησιμοποιηθεί ως συνώνυμος με την 3D εκτύπωση. Ένα από τα βασικά πλεονεκτήματα της τρισδιάστατης εκτύπωσης είναι η ικανότητα παραγωγής πολύ περίπλοκων σχημάτων ή γεωμετριών που διαφορετικά θα ήταν αδύνατο να κατασκευαστούν με το χέρι, συμπεριλαμβανομένων κοίλων μερών ή εξαρτημάτων με εσωτερικές δομές δοκών για μείωση του βάρους. Το Fused Deposition Modeling (FDM), το οποίο χρησιμοποιεί ένα συνεχές νήμα από θερμοπλαστικό υλικό, είναι η πιο κοινή διαδικασία τρισδιάστατης εκτύπωσης που χρησιμοποιείται από το 2020

---

## **5.2 Ιστορική αναδρομή**

### **5.2.1 Δεκαετίες 1940 και 1950**

Η γενική ιδέα και η διαδικασία που πρέπει να χρησιμοποιείται στην τρισδιάστατη εκτύπωση περιγράφηκε για πρώτη φορά από τον Murray Leinster στο διήγημά του Things Pass By το 1945 "Αλλά αυτός ο κατασκευαστής είναι και αποτελεσματικός και ευέλικτος. Τροφοδοτώ μαγνητρονικά πλαστικά - τα πράγματα που φτιάχνουν σπίτια και πλοία στις μέρες μας — σε αυτόν τον κινούμενο βραχίονα. Κάνει σχέδια στον αέρα ακολουθώντας τα σχέδια που σαρώνει με φωτοκύτταρα. Αλλά πλαστικό βγαίνει από το άκρο του βραχίονα σχεδίασης και σκληραίνει καθώς έρχεται ... ακολουθώντας μόνο τα σχέδια"

Περιγράφηκε επίσης από τον Raymond F. Jones στην ιστορία του, "Tools of the Trade", που δημοσιεύτηκε στο τεύχος Νοεμβρίου 1950 του περιοδικού Astounding Science Fiction. Το αναφέρθηκε ως «μοριακό σπρέι» σε εκείνη την ιστορία.

### **5.2.2 Δεκαετία του 1970**

Το 1971, ο Johannes F Gottwald κατοχύρωσε με δίπλωμα ευρεσιτεχνίας το Liquid Metal Recorder, US Patent 3596285A , μια συσκευή συνεχούς μετάλλου Inkjet για να σχηματίσει μια αφαιρούμενη μεταλλική κατασκευή σε μια επαναχρησιμοποιήσιμη επιφάνεια για άμεση χρήση ή να διασωθεί για εκτύπωση ξανά με επανατήξη. Αυτό φαίνεται να είναι το πρώτο δίπλωμα ευρεσιτεχνίας που περιγράφει την τρισδιάστατη εκτύπωση με γρήγορη δημιουργία πρωτοτύπων και ελεγχόμενη κατ' απαίτηση κατασκευή μοτίβων.

Το δίπλωμα ευρεσιτεχνίας αναφέρει "Όπως χρησιμοποιείται εδώ, ο όρος εκτύπωση δεν προορίζεται με περιορισμένη έννοια, αλλά περιλαμβάνει γραφή ή άλλα σύμβολα, σχηματισμό χαρακτήρων ή σχεδίων με μελάνι. Ο όρος μελάνι όπως χρησιμοποιείται προορίζεται να περιλαμβάνει όχι μόνο υλικά που περιέχουν βαφές ή χρωστικές, αλλά οποιαδήποτε ρέουσα ουσία

ή σύνθεση κατάλληλη για εφαρμογή στην επιφάνεια για το σχηματισμό συμβόλων, χαρακτήρων ή μοτίβων νοημοσύνης με σήμανση. Το προτιμώμενο μελάνι είναι τύπου Hot melt. Η εφεύρεση δεν είναι γνωστή προς το παρόν. Ωστόσο, η ικανοποιητική εκτύπωση σύμφωνα με την εφεύρεση έχει επιτευχθεί με το αγωγίμο κράμα μετάλλων ως μελάνι."

"Αλλά όσον αφορά τις απαιτήσεις υλικών για τέτοιες μεγάλες και συνεχείς οθόνες, εάν καταναλώνονταν με γνωστούς μέχρι τότε ρυθμούς, αλλά αυξάνονταν ανάλογα με την αύξηση του μεγέθους, το υψηλό κόστος θα περιόριζε σοβαρά κάθε ευρεία απόλαυση μιας διαδικασίας ή συσκευής που ικανοποιεί τα παραπάνω αντικείμενα."

"Είναι επομένως ένας πρόσθετος στόχος της εφεύρεσης να ελαχιστοποιήσει τη χρήση των υλικών σε μια διαδικασία της υποδεικνυόμενης κατηγορίας."

"Είναι ένα περαιτέρω αντικείμενο της εφεύρεσης τα υλικά που χρησιμοποιούνται σε μια τέτοια διαδικασία να διασωθούν για επαναχρησιμοποίηση."

"Σύμφωνα με μια άλλη άποψη της εφεύρεσης, ένας συνδυασμός για γραφή και τα παρόμοια περιλαμβάνει έναν φορέα για την εμφάνιση ενός σχεδίου νοημοσύνης και μια διάταξη για την αφαίρεση του σχεδίου από τον φορέα."

Το 1974, ο David EH Jones παρουσίασε την ιδέα της τρισδιάστατης εκτύπωσης στην κανονική του στήλη Ariadne στο περιοδικό New Scientist

### **5.2.3 Δεκαετία του 1980**

Ο εξοπλισμός και τα υλικά κατασκευής πρώιμων προσθέτων αναπτύχθηκαν τη δεκαετία του 1980. Τον Απρίλιο του 1980, ο Hideo Kodama του Δημοτικού Ινστιτούτου Βιομηχανικών Ερευνών της Ναγκόγια εφηύρε δύο πρόσθετες μεθόδους για την κατασκευή τρισδιάστατων πλαστικών μοντέλων με φωτοσκληρυνόμενο θερμοσκληρυνόμενο πολυμερές, όπου η περιοχή έκθεσης στην υπεριώδη ακτινοβολία ελέγχεται



-----  
από ένα σχέδιο μάσκας ή έναν πομπό ινών σάρωσης. Κατέθεσε ένα δίπλωμα ευρεσιτεχνίας για αυτόν τον σχεδιαστή XYZ, το οποίο δημοσιεύτηκε στις 10 Νοεμβρίου 1981 ( JP S56-144478 ). Τα ερευνητικά του αποτελέσματα ως δημοσιεύσεις σε περιοδικά δημοσιεύτηκαν τον Απρίλιο και τον Νοέμβριο του 1981. Ωστόσο, δεν υπήρξε καμία αντίδραση για τη σειρά των δημοσιεύσεών του. Η συσκευή του δεν αξιολογήθηκε ιδιαίτερα στο εργαστήριο και το αφεντικό του δεν έδειξε ενδιαφέρον. Ο προϋπολογισμός της έρευνάς του ήταν μόλις 60.000 γιεν ή 545 δολάρια το χρόνο. Η απόκτηση των δικαιωμάτων ευρεσιτεχνίας για τον plotter XYZ εγκαταλείφθηκε και το έργο τερματίστηκε.

Ένα δίπλωμα ευρεσιτεχνίας US 4323756, μέθοδος κατασκευής αντικειμένων με διαδοχική εναπόθεση , που χορηγήθηκε στις 6 Απριλίου 1982 στη Raytheon Technologies Corp περιγράφει τη χρήση εκατοντάδων ή χιλιάδων «στρωμάτων» κονιοποιημένου μετάλλου και μιας πηγής ενέργειας λείζερ και αντιπροσωπεύει μια πρόιμη αναφορά στο σχηματισμό «στρωμάτων» και την κατασκευή αντικειμένων σε υπόστρωμα.

Στις 2 Ιουλίου 1984, ο Αμερικανός επιχειρηματίας Bill Masters κατέθεσε ένα δίπλωμα ευρεσιτεχνίας για την αυτοματοποιημένη διαδικασία και το σύστημα κατασκευής του υπολογιστή (US 4665492). Αυτή η κατάθεση έχει καταγραφεί στο USPTO ως η πρώτη πατέντα τρισδιάστατης εκτύπωσης στην ιστορία. Ήταν το πρώτο από τα τρία διπλώματα ευρεσιτεχνίας που ανήκαν στον Masters που έθεσαν τα θεμέλια για τα συστήματα τρισδιάστατης εκτύπωσης που χρησιμοποιούνται σήμερα.

Στις 16 Ιουλίου 1984, οι Alain Le Méhauté , Olivier de Witte και Jean Claude André κατέθεσαν το δίπλωμα ευρεσιτεχνίας τους για τη διαδικασία της στερεολιθογραφίας. Η εφαρμογή των Γάλλων εφευρετών εγκαταλείφθηκε από τη γαλλική General Electric Company (τώρα Alcatel-Alsthom) και την CILAS (The Laser Consortium). Ο ισχυριζόμενος λόγος ήταν "για έλλειψη επιχειρηματικής προοπτικής".

-----

Το 1983, ο Robert Howard ξεκίνησε την RH Research, που αργότερα ονομάστηκε Howtek, Inc. τον Φεβρουάριο του 1984 για να αναπτύξει έναν έγχρωμο εκτυπωτή inkjet 2D, Pixelmaster, ο οποίος διατέθηκε στο εμπόριο το 1986, χρησιμοποιώντας θερμοπλαστικό πλαστικό μελάνι (hot-melt). Μια ομάδα συγκροτήθηκε, 6 μέλη από την Exxon Office Systems, το Danbury Systems Division, μια startup εκτυπωτών inkjet και ορισμένα μέλη του ομίλου Howtek, Inc που έγιναν δημοφιλείς φιγούρες στον κλάδο της τρισδιάστατης εκτύπωσης. Ένα μέλος της Howtek, ο Richard Helinski (ευρεσιτεχνία US5136515A, Μέθοδος και Μέσα για την κατασκευή τρισδιάστατων αντικειμένων με εναπόθεση σωματιδίων, αίτηση 11/07/1989 που χορηγήθηκε στις 8/04/1992) δημιούργησε μια εταιρεία του Νιού Χάμσαϊρ, την CAD-Cast, Inc, το όνομα άλλαξε αργότερα στην Visual Impact Corporation (VIC) στις 22/8/1991. Ένα πρωτότυπο του εκτυπωτή 3D VIC για αυτήν την εταιρεία είναι διαθέσιμο με μια παρουσίαση βίντεο που δείχνει ένα τρισδιάστατο μοντέλο τυπωμένο με ένα ακροφύσιο inkjet. Ένας άλλος υπάλληλος της εταιρείας Herbert Menhennett δημιούργησε μια εταιρεία HM Research στο New Hampshire το 1991 και εισήγαγε το Howtek, Inc, μια τεχνολογία inkjet και θερμοπλαστικά υλικά μαζί με τον Royden Sanders της SDI και τον Bill Masters της Ballistic Particle Manufacturing (BPM).. Τόσο οι εκτυπωτές 3D BPM όσο και οι εκτυπωτές 3D SPI χρησιμοποιούν υλικά τύπου Howtek, Inc στυλ Inkjet.. Ο James K. McMahon που προσλήφθηκε από την Howtek, Inc για να βοηθήσει στην ανάπτυξη του inkjet, αργότερα εργάστηκε στην Sanders Prototype και τώρα λειτουργεί το Layer Grown Model Technology, έναν πάροχο υπηρεσιών 3D που ειδικεύεται στην υποστήριξη inkjet με ένα ακροφύσιο Howtek και στην υποστήριξη εκτυπωτών SDI. Ο James K. McMahon συνεργάστηκε με τον Steven Zoltan, τον εφευρέτη inkjet το 1972 (drop-on-demand), στην Exxon και έχει ένα δίπλωμα ευρεσιτεχνίας το 1978 που επέκτεινε την κατανόηση των inkjets σχεδίασης ενός ακροφυσίου (Alpha jets) και βοήθησε στην τελειοποίηση των Howtek, Inc. Αυτή η θερμοπλαστική τεχνολογία θερμής

.....

τήξης Howtek είναι δημοφιλής στη χύτευση επένδυσης μετάλλων, ειδικά στη βιομηχανία κοσμημάτων εκτύπωσης 3D. Ο πρώτος πελάτης της Modelmaker 6Pro του Sanders (SDI) ήταν η Hitchner Corporations, Metal Casting Technology, Inc στο Milford, NH, ένα μίλι από την εγκατάσταση SDI στα τέλη του 1993-1995, η οποία κάνει χύτευση μαστουριών γκολφ και εξαρτημάτων κινητήρων αυτοκινήτων.

Στις 8 Αυγούστου 1984 κατατέθηκε ένα δίπλωμα ευρεσιτεχνίας, US4575330, που εκχωρήθηκε στην UVP, Inc., που αργότερα ανατέθηκε στον Chuck Hull της 3D Systems Corporation. Το δικό του δίπλωμα ευρεσιτεχνίας αφορούσε ένα σύστημα κατασκευής στερεολιθογραφίας, στο οποίο προστίθενται μεμονωμένα ελάσματα ή στρώματα με σκλήρυνση φωτοπολυμερών με προσπίπτουσα ακτινοβολία, βομβαρδισμό σωματιδίων, χημική αντίδραση ή απλώς λέιζερ υπεριώδους φωτός. Ο Hull όρισε τη διαδικασία ως ένα «σύστημα για τη δημιουργία τρισδιάστατων αντικειμένων με τη δημιουργία ενός σχεδίου διατομής του αντικειμένου που θα διαμορφωθεί». Η συνεισφορά του Hull ήταν η μορφή αρχείου STL (Stereolithography). και οι στρατηγικές ψηφιακής κοπής και πλήρωσης που είναι κοινές σε πολλές διαδικασίες σήμερα. Το 1986, στον Charles "Chuck" Hull χορηγήθηκε δίπλωμα ευρεσιτεχνίας για αυτό το σύστημα και η εταιρεία του, 3D Systems Corporation, δημιουργήθηκε και κυκλοφόρησε τον πρώτο εμπορικό 3D εκτυπωτή, τον SLA-1, αργότερα το 1987 ή το 1988.

Η τεχνολογία που χρησιμοποιείται από τους περισσότερους τρισδιάστατους εκτυπωτές μέχρι σήμερα -ειδικά μοντέλα χομπίστων και προσανατολισμένων στον καταναλωτή- είναι η μοντελοποίηση εναπόθεσης, μια ειδική εφαρμογή πλαστικής εξώθησης, που αναπτύχθηκε το 1988 από τον S. Scott Crump και διατέθηκε στο εμπόριο από την εταιρεία του Stratasys, η οποία κυκλοφόρησε την πρώτη της FDM μηχανή το 1992. Η κατοχή ενός 3D εκτυπωτή στη δεκαετία του 1980 κόστιζε πάνω από 300.000 \$ (650.000 \$ σε δολάρια 2016).

---

#### 5.2.4 Δεκαετία του 1990

Οι διεργασίες για πυροσυσσωμάτωση ή τήξη μετάλλων (όπως η επιλεκτική πυροσυσσωμάτωση με λέιζερ, η άμεση πυροσυσσωμάτωση με λέιζερ μετάλλων και η επιλεκτική τήξη με λέιζερ) έλαβαν συνήθως τα δικά τους ξεχωριστά ονόματα στη δεκαετία του 1980 και του 1990. Εκείνη την εποχή, όλη η κατεργασία μετάλλων γινόταν με διαδικασίες που σήμερα ονομάζονται μη πρόσθετες (χύτευση, κατασκευή, σφράγιση και μηχανική κατεργασία). Παρόλο που εφαρμόστηκε άφθονος αυτοματισμός σε αυτές τις τεχνολογίες (όπως με συγκόλληση ρομπότ και CNC), η ιδέα ενός εργαλείου ή κεφαλής που κινείται μέσα από ένα τρισδιάστατο φάκελο εργασίας μεταμορφώνοντας μια μάζα πρώτης ύλης σε ένα επιθυμητό σχήμα με μια διαδρομή εργαλείων, συσχετίστηκε στη μεταλλουργία μόνο με διαδικασίες που αφαιρούσαν το μέταλλο (αντί για την προσθήκη του), όπως φρέζα CNC, CNC EDM και πολλές άλλες. Αλλά οι αυτοματοποιημένες τεχνικές που πρόσθεταν μέταλλο, που αργότερα θα ονομαζόταν κατασκευή πρόσθετων, άρχισαν να αμφισβητούν αυτή την υπόθεση. Στα μέσα της δεκαετίας του 1990, αναπτύχθηκαν νέες τεχνικές για την εναπόθεση υλικών στο Πανεπιστήμιο Stanford και Carnegie Mellon, συμπεριλαμβανομένης της μικροχύτευσης και των υλικών με ψεκασμό. Τα υλικά υποστήριξης είχαν γίνει επίσης πιο κοινά, επιτρέποντας νέες γεωμετρίες αντικειμένων. Ο όρος τρισδιάστατη εκτύπωση αρχικά αναφερόταν σε μια διαδικασία κλίνης πούδρας που χρησιμοποιεί τυπικές και προσαρμοσμένες κεφαλές εκτύπωσης inkjet, που αναπτύχθηκε στο MIT από τον Emanuel Sachs το 1993 και διατέθηκε στο εμπόριο από τις Soligen Technologies, Extrude Hone Corporation και Z Corporation .

Το έτος 1993 ξεκίνησε επίσης μια εταιρεία εκτυπωτών inkjet 3D που αρχικά ονομάστηκε Sanders Prototype, Inc και αργότερα ονομάστηκε Solidscape, εισάγοντας ένα σύστημα κατασκευής πίδακα πολυμερούς υψηλής ακρίβειας με διαλυτές δομές στήριξης (κατηγοριοποιημένη ως

-----  
τεχνική "dot-on-dot" ). Το 1995 η Fraunhofer Society ανέπτυξε την επιλεκτική διαδικασία τήξης με λείζερ .

### **5.2.5 Δεκαετία του 2000**

Οι πατέντες διαδικασίας εκτύπωσης Fused Deposition Modeling (FDM) έληξαν το 2009.

### **5.2.6 Δεκαετία του 2010**

Καθώς ωρίμαζαν οι διάφορες διεργασίες πρόσθετων, έγινε σαφές ότι σύντομα η αφαίρεση μετάλλου δεν θα ήταν πλέον η μόνη διαδικασία επεξεργασίας μετάλλου που γίνεται μέσω ενός εργαλείου ή κεφαλής που κινείται μέσα από ένα τρισδιάστατο φάκελο εργασίας, μετατρέποντας μια μάζα πρώτης ύλης σε ένα επιθυμητό σχήμα στρώμα-στρώμα. Η δεκαετία του 2010 ήταν η πρώτη δεκαετία κατά την οποία μεταλλικά εξαρτήματα τελικής χρήσης, όπως βραχίονες κινητήρα και μεγάλα παξιμάδια θα καλλιεργούνταν (είτε πριν είτε αντί της μηχανικής κατεργασίας) στην παραγωγή εργασίας αντί να κατεργάζονταν υποχρεωτικά από ράβδους ή πιάτο. Εξακολουθεί να ισχύει ότι η χύτευση, η κατασκευή, η σφράγιση και η μηχανική κατεργασία είναι πιο διαδεδομένες από την κατασκευή προσθέτων στη μεταλλουργία, αλλά με τα πλεονεκτήματα του σχεδιασμού για την κατασκευή προσθέτων, είναι σαφές ότι κάτι αλλάζει προς αυτή την κατεύθυνση.

Ένα μέρος στο οποίο η τρισδιάστατη εκτύπωση κάνει σημαντική εισβολή είναι η αεροπορική βιομηχανία. Με σχεδόν 3,8 δισεκατομμύρια αεροπορικούς ταξιδιώτες το 2016, η ζήτηση για κινητήρες αεριωθούμενου με αποδοτική κατανάλωση καυσίμου και εύκολης παραγωγής δεν ήταν ποτέ υψηλότερη. Για μεγάλους κατασκευαστές αυθεντικού εξοπλισμού όπως η Pratt and Whitney (PW) και η General Electric (GE), αυτό σημαίνει ότι η τρισδιάστατη εκτύπωση είναι ένας τρόπος μείωσης του κόστους, μείωσης του αριθμού των εξαρτημάτων, μείωσης βάρους στους κινητήρες για αύξηση της απόδοσης καυσίμου και τη χρήση νέων,

-----  
εξαιρετικά πολύπλοκων σχημάτων που δεν θα ήταν εφικτά με τις απαραιτωμένες μεθόδους κατασκευής.

Ένα παράδειγμα ολοκλήρωσης της τρισδιάστατης εκτύπωσης με την αεροδιαστημική ήταν το 2016 όταν στην Airbus παραδόθηκε ο πρώτος κινητήρας LEAP της GE. Αυτός ο κινητήρας έχει ενσωματωμένα ακροφύσια καυσίμου με τρισδιάστατη εκτύπωση, δίνοντάς τους μείωση στα εξαρτήματα από 20 σε 1, μείωση βάρους 25% και μειωμένους χρόνους συναρμολόγησης. Ένα ακροφύσιο καυσίμου είναι η τέλεια αρχή στο δρόμο για την κατασκευή πρόσθετων σε κινητήρα τζετ, καθώς επιτρέπει τη βελτιστοποιημένη σχεδίαση των πολύπλοκων εσωτερικών χώρων και είναι ένα μη περιστρεφόμενο εξάρτημα χαμηλής καταπόνησης.

Ομοίως, το 2015, η PW παρέδωσε τα πρώτα της εξαρτήματα τρισδιάστατης εκτύπωσης στο PurePower PW1500G στη Bombardier.. Ενώ η τρισδιάστατη εκτύπωση εξακολουθεί να διαδραματίζει μικρό ρόλο στον συνολικό αριθμό εξαρτημάτων στη διαδικασία κατασκευής κινητήρων αεριωθουμένων, η απόδοση της επένδυσης μπορεί ήδη να φανεί από τη μείωση των ανταλλακτικών, τις γρήγορες δυνατότητες παραγωγής και τον «βελτιστοποιημένο σχεδιασμό όσον αφορά την απόδοση και το κόστος ».

Καθώς η τεχνολογία ωρίμαζε, αρκετοί είχαν αρχίσει να εικάζουν ότι η τρισδιάστατη εκτύπωση θα μπορούσε να βοηθήσει στη βιώσιμη ανάπτυξη στον αναπτυσσόμενο κόσμο.

Το 2012, η Filabot ανέπτυξε ένα σύστημα για το κλείσιμο του βρόχου με πλαστικό και επιτρέπει σε οποιονδήποτε τρισδιάστατο εκτυπωτή FDM ή FFF να μπορεί να εκτυπώνει με ένα ευρύτερο φάσμα πλαστικών.

Το 2014, ο Benjamin S. Cook και ο Μάνος Μ. Τεντζέρης επιδεικνύουν την πρώτη πλατφόρμα κατασκευής πρόσθετων τυπωμένων ηλεκτρονικών μέσω των πολλαπλών υλικών (VIPRE), η οποία επέτρεψε την τρισδιάστατη εκτύπωση λειτουργικών ηλεκτρονικών που λειτουργούσαν έως και 40 GHz.

Καθώς η τιμή των εκτυπωτών άρχισε να πέφτει, οι ενδιαφερόμενοι για αυτήν την τεχνολογία είχαν περισσότερη πρόσβαση και ελευθερία να κάνουν αυτό που ήθελαν. Η τιμή το 2014 ήταν ακόμα υψηλή με το κόστος να ξεπερνά τα 2.000 \$, ωστόσο αυτό επέτρεψε στους χομπίστες να εισέλθουν στην τρισδιάστατη εκτύπωση.

Ο όρος "3D printing" αρχικά αναφερόταν σε μια διαδικασία που εναποθέτει ένα συνδεδετικό υλικό σε μία κλίνη πούδρας με κεφαλές εκτυπωτή inkjet στρώμα προς στρώμα. Πιο πρόσφατα, Ο όρος "3D printing" χρησιμοποιείται για να συμπεριλάβει μια ευρύτερη ποικιλία τεχνικών παραγωγής πρόσθετων, όπως η κατασκευή πρόσθετων δέσμης ηλεκτρονίων και η επιλεκτική τήξη με λέιζερ. Οι Ηνωμένες Πολιτείες και τα παγκόσμια τεχνικά πρότυπα χρησιμοποιούν τον επίσημο όρο πρόσθετη κατασκευή για αυτήν την ευρύτερη έννοια.

Η πιο συχνά χρησιμοποιούμενη διαδικασία τρισδιάστατης εκτύπωσης (46% από το 2018 ) είναι μια τεχνική εξώθησης υλικού που ονομάζεται μοντελοποίηση λιωμένης εναπόθεσης ή FDM. Ενώ η τεχνολογία FDM εφευρέθηκε μετά τις άλλες δύο πιο δημοφιλείς τεχνολογίες, τη στερεολιθογραφία (SLA) και την επιλεκτική πυροσυσσωμάτωση με λέιζερ (SLS), η FDM είναι συνήθως η πιο φθηνή από τις τρεις με μεγάλο περιθώριο, που προσδίδει δημοτικότητα της διαδικασίας.

### **5.2.7 Δεκαετία του 2020**

Από το 2020, οι τρισδιάστατοι εκτυπωτές έχουν φτάσει στο επίπεδο ποιότητας και τιμής που επιτρέπει στους περισσότερους ανθρώπους να εισέλθουν στον κόσμο της τρισδιάστατης εκτύπωσης. Το 2020 μπορούν να βρεθούν εκτυπωτές αξιοπρεπούς ποιότητας για λιγότερο από 200\$ για μηχανήματα εισαγωγικού επιπέδου. Αυτοί οι πιο οικονομικοί εκτυπωτές είναι συνήθως εκτυπωτές μοντελοποίησης εναπόθεσης σύντηξης (FDM). Τον Νοέμβριο του 2021 ένας Βρετανός ασθενής ονόματι Steve Verze έλαβε το πρώτο στον κόσμο πλήρως εκτυπωμένο προσθετικό μάτι από το Moorfields Eye Hospital στο Λονδίνο .

---

### **5.3 Εφαρμογές 3D εκτύπωσης**

Η τρισδιάστατη εκτύπωση ή η κατασκευή πρόσθετων έχει χρησιμοποιηθεί στη μεταποίηση, την ιατρική, τη βιομηχανία και τους κοινωνικοπολιτιστικούς τομείς (π.χ. Πολιτιστική Κληρονομιά) για τη δημιουργία επιτυχημένης εμπορικής τεχνολογίας. Πιο πρόσφατα, η τρισδιάστατη εκτύπωση έχει επίσης χρησιμοποιηθεί στον ανθρωπιστικό και αναπτυξιακό τομέα για την παραγωγή μιας σειράς ιατρικών ειδών, προσθετικών, ανταλλακτικών και επισκευών. Η παλαιότερη εφαρμογή της κατασκευής προσθέτων ήταν στο άκρο των επιλογών του φάσματος παραγωγής. Για παράδειγμα, η ταχεία δημιουργία πρωτοτύπων ήταν μια από τις πρώτες παραλλαγές πρόσθετων και η αποστολή της ήταν να μειώσει τον χρόνο παράδοσης και το κόστος ανάπτυξης πρωτοτύπων νέων εξαρτημάτων και συσκευών, το οποίο νωρίτερα γινόταν μόνο με αφαιρετικές μεθόδους, όπως φρέζα CNC, τόννευση και λείανση ακριβείας. Στη δεκαετία του 2010, η παραγωγή προσθέτων εισήλθε στην παραγωγή σε πολύ μεγαλύτερο βαθμό.

#### **5.3.1 Βιομηχανία τροφίμων**

Η πρόσθετη παραγωγή τροφίμων αναπτύσσεται με τη συμπίεση των τροφίμων, στρώμα προς στρώμα, σε τρισδιάστατα αντικείμενα. Μια μεγάλη ποικιλία τροφών είναι υποψήφια, όπως η σοκολάτα και η καραμέλα, και τα επίπεδα φαγητά όπως τα κράκερ, τα ζυμαρικά, και η πίτσα. Η NASA εξετάζει την τεχνολογία προκειμένου να δημιουργήσει τρισδιάστατα εκτυπωμένα τρόφιμα για να περιορίσει τη σπατάλη τροφίμων και να φτιάξει τρόφιμα που έχουν σχεδιαστεί για να ανταποκρίνονται στις διατροφικές ανάγκες ενός αστροναύτη. Το 2018, ο Ιταλός βιομήχανος Giuseppe Scionti ανέπτυξε μια τεχνολογία που επιτρέπει την παραγωγή φυτικών ινών ανάλογων κρέατος χρησιμοποιώντας προσαρμοσμένο τρισδιάστατο βιοεκτυπωτή, μιμούμενο την υφή και τις θρεπτικές αξίες του κρέατος.



---

### 5.3.2 Βιομηχανία μόδας

Η τρισδιάστατη εκτύπωση έχει μπει στον κόσμο των ρούχων, με τους σχεδιαστές μόδας να πειραματίζονται με τρισδιάστατα μπικίνι, παπούτσια και φορέματα. Στην εμπορική παραγωγή η Nike χρησιμοποιεί τρισδιάστατη εκτύπωση για να πρωτοτυπήσει και να κατασκευάσει το παπούτσι ποδοσφαίρου Vapor Laser Talon του 2012 για παίκτες του αμερικανικού ποδοσφαίρου και η New Balance κατασκευάζει 3D παπούτσια προσαρμοσμένης εφαρμογής για αθλητές. Η τρισδιάστατη εκτύπωση έχει φτάσει στο σημείο όπου οι εταιρείες εκτυπώνουν γυαλιά καταναλωτικής ποιότητας με προσαρμοσμένη εφαρμογή και στυλ κατά παραγγελία (αν και δεν μπορούν να εκτυπώσουν τους φακούς). Η προσαρμογή των γυαλιών κατά παραγγελία είναι δυνατή με την ταχεία δημιουργία πρωτοτύπων.

Η Vanessa Friedman, διευθύντρια μόδας και επικεφαλής κριτικός μόδας στους The New York Times, λέει ότι η τρισδιάστατη εκτύπωση θα έχει σημαντική αξία για τις εταιρείες μόδας στο δρόμο, ειδικά αν μετατραπεί σε εργαλείο εκτύπωσης για τους αγοραστές. «Υπάρχει πραγματική αίσθηση ότι αυτό δεν πρόκειται να συμβεί σύντομα», λέει, «αλλά θα συμβεί και θα δημιουργήσει δραματική αλλαγή στον τρόπο με τον οποίο σκεφτόμαστε τόσο για την πνευματική ιδιοκτησία όσο και για το πώς είναι τα πράγματα στην αλυσίδα εφοδιασμού». Και προσθέτει: «Σίγουρα ορισμένες από τις κατασκευές που μπορούν να χρησιμοποιήσουν οι μάρκες θα αλλάξουν δραματικά από την τεχνολογία».

### 5.3.3 Βιομηχανία μεταφορών

Η Stoofbrug στο Άμστερνταμ είναι η πρώτη 3D-εκτυπωμένη μεταλλική γέφυρα στον κόσμο. Στα αυτοκίνητα, τα φορτηγά και τα αεροσκάφη, η προσθετική κατασκευή αρχίζει να μεταμορφώνει τόσο τη σχεδίαση και παραγωγή ενός αμαξώματος και ατράκτου όσο και τη σχεδίαση και παραγωγή του συστήματος μετάδοσης κίνησης. Για παράδειγμα:

Στις αρχές του 2014, ο Σουηδός κατασκευαστής υπεραυτοκίνητων Koenigsegg ανακοίνωσε το One:1, ένα υπεραυτοκίνητο που χρησιμοποιεί πολλά εξαρτήματα που εκτυπώθηκαν σε 3D. Urbee είναι το όνομα του πρώτου αυτοκινήτου στον κόσμο που τοποθετήθηκε χρησιμοποιώντας την τεχνολογία τρισδιάστατης εκτύπωσης (το αμάξωμα και τα παράθυρα του αυτοκινήτου «τυπώθηκαν»).

Το 2014, η Local Motors παρουσίασε το Strati, ένα λειτουργικό όχημα που εκτυπώθηκε εξ ολοκλήρου σε 3D χρησιμοποιώντας πλαστικό ABS και ανθρακονήματα, εκτός από το σύστημα μετάδοσης κίνησης.

Τον Μάιο του 2015 η Airbus ανακοίνωσε ότι το νέο της Airbus A350 XWB περιλάμβανε πάνω από 1000 εξαρτήματα που κατασκευάζονται με τρισδιάστατη εκτύπωση.



**Εικόνα 5-1** Η Stoofbrug στο Άμστερνταμ, η πρώτη 3D-εκτυπωμένη μεταλλική γέφυρα στον κόσμο  
[[https://www.robotics247.com/article/steel\\_bridge\\_3d\\_printed\\_by\\_mx3d\\_officially\\_opens\\_in\\_amsterdam](https://www.robotics247.com/article/steel_bridge_3d_printed_by_mx3d_officially_opens_in_amsterdam)]



**Εικόνα 5-2 Η Stoofbrug στο Άμστερνταμ, τοποθέτηση**  
[<https://newsbeezer.com/belgium/de-eerste-3d-geprinte-stalen-brug-geinstalleerd-in-amsterdam/>]

Το 2015, ένα μαχητικό αεροσκάφος Eurofighter Typhoon της Βασιλικής Αεροπορίας πέταξε με τυπωμένα εξαρτήματα. Η Πολεμική Αεροπορία των Ηνωμένων Πολιτειών έχει αρχίσει να εργάζεται με τρισδιάστατους εκτυπωτές και η ισραηλινή Πολεμική Αεροπορία έχει αγοράσει επίσης έναν 3D εκτυπωτή για την εκτύπωση ανταλλακτικών.



**Εικόνα 5-3 Ένα τρισδιάστατο εκτυπωμένο μοντέλο κινητήρα τζετ[[https://en.wikipedia.org/wiki/3D\\_printing](https://en.wikipedia.org/wiki/3D_printing)]**

Το 2017, η GE Aviation αποκάλυψε ότι είχε χρησιμοποιήσει σχεδιασμό για την κατασκευή πρόσθετων για να δημιουργήσει έναν κινητήρα ελικοπτέρου με 16 εξαρτήματα αντί για 900, με μεγάλο δυνητικό αντίκτυπο στη μείωση της πολυπλοκότητας των αλυσίδων εφοδιασμού .

#### **5.3.4 Βιομηχανία πυροβόλων όπλων**

Ο αντίκτυπος της τρισδιάστατης εκτύπωσης στα πυροβόλα όπλα περιλαμβάνει δύο διαστάσεις: νέες μεθόδους κατασκευής για καθιερωμένες εταιρείες και νέες δυνατότητες για την κατασκευή πυροβόλων όπλων «φτιάξ'το μόνος σου». Το 2012, ο όμιλος Defense Distributed με έδρα τις ΗΠΑ αποκάλυψε σχέδια να σχεδιάσει ένα λειτουργικό πλαστικό 3D εκτυπωμένο πυροβόλο όπλο «το οποίο θα μπορούσε να μεταφορτωθεί και να αναπαραχθεί από οποιονδήποτε με τρισδιάστατο εκτυπωτή». Αφού η Defense Distributed κυκλοφόρησε τα σχέδιά της, τέθηκαν ερωτήματα σχετικά με τις επιπτώσεις που μπορεί να έχει η τρισδιάστατη εκτύπωση και η ευρέως διαδεδομένη κατεργασία CNC σε επίπεδο καταναλωτή στην αποτελεσματικότητα του ελέγχου των όπλων..

---

### 5.3.5 Τομέας Υγείας

Οι χειρουργικές χρήσεις των θεραπειών με επίκεντρο την τρισδιάστατη εκτύπωση έχουν ιστορία που ξεκινά από τα μέσα της δεκαετίας του 1990 με την ανατομική μοντελοποίηση για τον προγραμματισμό της επανορθωτικής χειρουργικής των οστών. Τα εμφυτεύματα που ταιριάζουν με τον ασθενή ήταν μια φυσική επέκταση αυτής της εργασίας, που οδήγησε σε πραγματικά εξατομικευμένα εμφυτεύματα που ταιριάζουν σε ένα μοναδικό άτομο. Εξατομικευμένα όργανα έχουν εφαρμοστεί σε πολλούς τομείς της χειρουργικής, συμπεριλαμβανομένης της ολικής αρθροπλαστικής και της κρανιογναθοπροσωπικής ανακατασκευής με μεγάλη επιτυχία. Ένα παράδειγμα αυτού είναι ο βιοαπορροφήσιμος τραχειαίος νάρθηκας για τη θεραπεία νεογνών με τραχειοβρογχομαλάκυνση που αναπτύχθηκε στο Πανεπιστήμιο του Μίσιγκαν. Η χρήση της κατασκευής προσθέτων για τη σειριακή παραγωγή ορθοπεδικών εμφυτευμάτων (μετάλλων) αυξάνεται επίσης λόγω της ικανότητας αποτελεσματικής δημιουργίας πορωδών επιφανειακών δομών που διευκολύνουν την οστεοενσωμάτωση. Οι βιομηχανίες βοηθημάτων ακοής και οδοντιατρικής αναμένεται να είναι ο μεγαλύτερος τομέας μελλοντικής ανάπτυξης χρησιμοποιώντας την προσαρμοσμένη τεχνολογία τρισδιάστατης εκτύπωσης.

Τον Μάρτιο του 2014, χειρουργοί στο Σουόνσι χρησιμοποίησαν εξαρτήματα με τρισδιάστατη εκτύπωση για να ξαναχτίσουν το πρόσωπο ενός μοτοσικλετιστή που είχε τραυματιστεί σοβαρά σε τροχαίο ατύχημα. Τον Μάιο του 2018, η τρισδιάστατη εκτύπωση χρησιμοποιήθηκε για τη μεταμόσχευση νεφρού για να σωθεί ένα τρίχρονο αγόρι. Από το 2012, η τεχνολογία τρισδιάστατης βιοεκτύπωσης έχει μελετηθεί από εταιρείες βιοτεχνολογίας και ακαδημαϊκό κόσμο για πιθανή χρήση σε εφαρμογές μηχανικής ιστών στις οποίες τα όργανα και τα μέρη του σώματος κατασκευάζονται χρησιμοποιώντας τεχνικές εκτύπωσης inkjet. Σε αυτή τη διαδικασία, στρώματα ζωντανών κυττάρων εναποτίθενται σε ένα μέσο

γέλης ή σε μήτρα σακχάρου και σχηματίζονται αργά για να σχηματίσουν τρισδιάστατες δομές συμπεριλαμβανομένων των αγγειακών συστημάτων. Πρόσφατα, δημιουργήθηκε ένα heart-on-chip που ταιριάζει με τις ιδιότητες των κυττάρων.

Η θερμική αποδόμηση κατά την τρισδιάστατη εκτύπωση απορροφήσιμων πολυμερών, όπως και στα χειρουργικά ράμματα, έχει μελετηθεί και οι παράμετροι μπορούν να προσαρμοστούν για να ελαχιστοποιηθεί η αποικοδόμηση κατά την επεξεργασία. Μπορούν να εκτυπωθούν μαλακές εύκαμπτες δομές ικρίωματος για κυτταροκαλλιέργειες.

Στην τρισδιάστατη εκτύπωση, οι μικροδομές που προσομοιώνονται με υπολογιστή χρησιμοποιούνται συνήθως για την κατασκευή αντικειμένων με χωρικά μεταβαλλόμενες ιδιότητες. Αυτό επιτυγχάνεται διαιρώντας τον όγκο του επιθυμητού αντικειμένου σε μικρότερα υποκύτταρα χρησιμοποιώντας εργαλεία προσομοίωσης με τη βοήθεια υπολογιστή και στη συνέχεια γεμίζοντας αυτά τα κελιά με κατάλληλες μικροδομές κατά την κατασκευή. Πολλές διαφορετικές υποψήφιες δομές με παρόμοιες συμπεριφορές ελέγχονται μεταξύ τους και το αντικείμενο κατασκευάζεται όταν βρεθεί ένα βέλτιστο σύνολο δομών. Χρησιμοποιούνται προηγμένες μέθοδοι βελτιστοποίησης τοπολογίας για τη διασφάλιση της συμβατότητας των δομών σε γειτονικά κελιά. Αυτή η ευέλικτη προσέγγιση για την κατασκευή 3D χρησιμοποιείται ευρέως σε διάφορους κλάδους από τις βιοϊατρικές επιστήμες όπου χρησιμοποιούνται για τη δημιουργία πολύπλοκων οστικών δομών και ανθρώπινου ιστού στη ρομποτική όπου χρησιμοποιούνται στη δημιουργία μαλακών ρομπότ με κινητά μέρη. Η τρισδιάστατη εκτύπωση βρίσκει επίσης τις χρήσεις της όλο και περισσότερες στο σχεδιασμό και την κατασκευή εργαστηριακών συσκευών.

Η τρισδιάστατη εκτύπωση έχει επίσης χρησιμοποιηθεί από ερευνητές στον φαρμακευτικό τομέα. Κατά τη διάρκεια των τελευταίων ετών, υπήρξε ένα κύμα στο ακαδημαϊκό ενδιαφέρον σχετικά με τη χορήγηση φαρμάκων με

τη βοήθεια τεχνικών τρισδιάστατης εκτύπωσης. Αυτή η τεχνολογία προσφέρει έναν μοναδικό τρόπο χρήσης υλικών σε νέες συνθέσεις. Επιτρέπει τη χρήση υλικών και ενώσεων στην ανάπτυξη σκευασμάτων, με τρόπους που δεν είναι δυνατοί με τις συμβατικές/παραδοσιακές τεχνικές στον φαρμακευτικό τομέα, π.χ. δισκιοποίηση, χύτευση κ.λπ. Επιπλέον, ένα από τα σημαντικότερα πλεονεκτήματα της τρισδιάστατης εκτύπωσης, ειδικά στην περίπτωση της μοντελοποίησης συντηγμένης εναπόθεσης (FDM), είναι η εξατομίκευση της δοσολογικής μορφής που μπορεί να επιτευχθεί, στοχεύοντας έτσι στις συγκεκριμένες ανάγκες του ασθενούς. Στο όχι και τόσο μακρινό μέλλον, οι τρισδιάστατοι εκτυπωτές αναμένεται να φτάσουν σε νοσοκομεία και φαρμακεία προκειμένου να παρέχουν κατ' απαίτηση παραγωγή εξατομικευμένων σκευασμάτων σύμφωνα με τις ανάγκες των ασθενών.

Το 2018, η τεχνολογία τρισδιάστατης εκτύπωσης χρησιμοποιήθηκε για πρώτη φορά για τη δημιουργία μιας μήτρας για την ακινητοποίηση των κυττάρων στη ζύμωση. Ως μοντέλο μελέτης επιλέχθηκε η παραγωγή προπιονικού οξέος από *Propionibacterium acidipropionici* ακινητοποιημένο σε τρισδιάστατα εκτυπωμένα σφαιρίδια νάιλον. Αποδείχθηκε ότι αυτά τα τρισδιάστατα εκτυπωμένα σφαιρίδια ήταν ικανά να προάγουν τη σύνδεση κυττάρων υψηλής πυκνότητας και την παραγωγή προπιονικού οξέος, τα οποία θα μπορούσαν να προσαρμοστούν σε άλλες βιοδιεργασίες ζύμωσης.

Το 2005, ακαδημαϊκά περιοδικά είχαν αρχίσει να αναφέρουν τις πιθανές καλλιτεχνικές εφαρμογές της τεχνολογίας τρισδιάστατης εκτύπωσης. Από το 2017, η εγχώρια τρισδιάστατη εκτύπωση προσεγγίζει ένα καταναλωτικό κοινό πέρα από τους χομπίστες. Οι μηχανές εκτός ραφιού ήταν ολοένα και πιο ικανές να παράγουν πρακτικές οικιακές εφαρμογές, για παράδειγμα, διακοσμητικά αντικείμενα. Μερικά πρακτικά παραδείγματα περιλαμβάνουν ένα ρολόι εργασίας και γρανάζια τυπωμένα για οικιακές μηχανές επεξεργασίας ξύλου μεταξύ άλλων σκοπών. Οι ιστοσελίδες που

-----  
σχετίζονται με την οικιακή τρισδιάστατη εκτύπωση έτειναν να περιλαμβάνουν γάντζους για παλτό, πόμολα πόρτας, κ.λπ.

### **5.3.6 Τομέας εκπαίδευσης**

Η τρισδιάστατη εκτύπωση, και ειδικότερα οι τρισδιάστατοι εκτυπωτές ανοιχτού κώδικα, είναι η πιο πρόσφατη τεχνολογία που διεισδύει στην τάξη. Υπάρχει ο ισχυρισμός ότι οι τρισδιάστατοι εκτυπωτές προσφέρουν μια άνευ προηγουμένου «επανάσταση» στην εκπαίδευση STEM. Τα στοιχεία για τέτοιους ισχυρισμούς προέρχονται τόσο από τη χαμηλού κόστους ικανότητα για γρήγορη δημιουργία πρωτοτύπων στην τάξη από τους μαθητές, αλλά και από την κατασκευή επιστημονικού εξοπλισμού χαμηλού κόστους υψηλής ποιότητας από ανοιχτά σχέδια υλικού που σχηματίζουν εργαστήρια ανοιχτού κώδικα. Οι μελλοντικές εφαρμογές για την τρισδιάστατη εκτύπωση μπορεί να περιλαμβάνουν τη δημιουργία επιστημονικού εξοπλισμού ανοιχτού κώδικα.

### **5.3.7 Πολιτιστική κληρονομιά**

Τα τελευταία χρόνια η τρισδιάστατη εκτύπωση έχει χρησιμοποιηθεί εντατικά στον τομέα της πολιτιστικής κληρονομιάς για σκοπούς συντήρησης, αποκατάστασης και διάδοσης. Πολλοί Ευρωπαίοι και Μουσεία της Βόρειας Αμερικής έχουν αγοράσει τρισδιάστατους εκτυπωτές και αναδημιουργούν ενεργά κομμάτια τους που λείπουν και αρχαιολογικά μνημεία όπως το Tiwanaku στη Βολιβία. Το Μητροπολιτικό Μουσείο Τέχνης και το Βρετανικό Μουσείο έχουν αρχίσει να χρησιμοποιούν τους τρισδιάστατους εκτυπωτές τους για να δημιουργούν αναμνηστικά μουσείων που είναι διαθέσιμα στα καταστήματα των μουσείων. Άλλα μουσεία, όπως το Εθνικό Μουσείο Στρατιωτικής Ιστορίας και το Ιστορικό Μουσείο της Βάρνας, έχουν προχωρήσει περισσότερο και πουλούν μέσω της διαδικτυακής πλατφόρμας Threeding ψηφιακά μοντέλα των αντικειμένων τους, που δημιουργήθηκαν με σαρωτές Artec 3D, σε μορφή αρχείου φιλική προς την εκτύπωση 3D, την οποία ο καθένας μπορεί να εκτυπώσει 3D στο σπίτι.





**Εικόνα 5-4 Τρισδιάστατο τυπωμένο γλυπτό ενός Αιγύπτιου Φαραώ που παρουσιάζεται στο Threeding**

Η εφαρμογή της τρισδιάστατης εκτύπωσης για την αναπαράσταση αρχιτεκτονικών στοιχείων έχει πολλές προκλήσεις. Το 2018, η είσοδος της Εθνικής Τράπεζας του Ιράν μοντελοποιήθηκε σε λογισμικό γραφικών υπολογιστών (CG) (Cinema4D) και βελτιστοποιήθηκε για τρισδιάστατη εκτύπωση. Η ομάδα δοκίμασε την τεχνική για την κατασκευή του εξαρτήματος και ήταν επιτυχής. Μετά τη δοκιμή της διαδικασίας, οι μοντελιστές ανακατασκεύασαν τη δομή στο Cinema4D και εξήγαγαν το μπροστινό μέρος του μοντέλου στο Netfabb. Η είσοδος του κτιρίου επιλέχθηκε λόγω των περιορισμών της τρισδιάστατης εκτύπωσης και του προϋπολογισμού του έργου για την παραγωγή της μακέτας. Η τρισδιάστατη εκτύπωση ήταν μόνο μία από τις δυνατότητες που επέτρεψε

το παραγόμενο τρισδιάστατο μοντέλο της τράπεζας, αλλά λόγω του περιορισμένου πεδίου εφαρμογής του έργου, η ομάδα δεν συνέχισε τη μοντελοποίηση για την εικονική αναπαράσταση ή άλλες εφαρμογές. Το 2021, οι Parsinejad et al. συνέκρινε διεξοδικά τη μέθοδο χειρογράφου για τρισδιάστατη ανακατασκευή έτοιμη για τρισδιάστατη εκτύπωση με ψηφιακή καταγραφή (υιοθέτηση της μεθόδου φωτογραμμετρίας).

### **5.3.8 Πρόσφατες άλλες εφαρμογές**

Τρισδιάστατοι εκτυπωμένοι μαλακοί ενεργοποιητές είναι μια αυξανόμενη εφαρμογή της τεχνολογίας 3D εκτύπωσης που έχει βρει τη θέση της στις εφαρμογές της 3D εκτύπωσης. Αυτοί οι μαλακοί ενεργοποιητές αναπτύσσονται για να αντιμετωπίζουν μαλακές δομές και όργανα, ειδικά σε βιοϊατρικούς τομείς και όπου η αλληλεπίδραση μεταξύ ανθρώπου και ρομπότ είναι αναπόφευκτη. Η πλειονότητα των υπαρχόντων μαλακών ενεργοποιητών κατασκευάζονται με συμβατικές μεθόδους που απαιτούν χειροκίνητη κατασκευή συσκευών, μετα-επεξεργασία/συναρμολόγηση και μακρές επαναλήψεις μέχρι να επιτευχθεί η ωριμότητα της κατασκευής. Αντί για τις κουραστικές και χρονοβόρες πτυχές των τρεχουσών διαδικασιών κατασκευής, οι ερευνητές διερευνούν μια κατάλληλη προσέγγιση κατασκευής για την αποτελεσματική κατασκευή μαλακών ενεργοποιητών. Έτσι, οι 3D εκτυπωμένοι μαλακοί ενεργοποιητές εισάγονται για να φέρουν επανάσταση στο σχεδιασμό και την κατασκευή μαλακών ενεργοποιητών με προσαρμοσμένα γεωμετρικά και τον έλεγχο των ιδιοτήτων με ταχύτερη και φθηνή προσέγγιση. Επιτρέπουν επίσης την ενσωμάτωση όλων των στοιχείων του ενεργοποιητή σε μια ενιαία δομή εξαλείφοντας την ανάγκη χρήσης εξωτερικών αρμών, κολλών και συνδετήρων.

Η κατασκευή πλακέτας κυκλώματος περιλαμβάνει πολλαπλά στάδια που περιλαμβάνουν απεικόνιση, διάτρηση, επιμετάλλωση, επίστρωση μάσκας συγκόλλησης, εκτύπωση ονοματολογίας και φινιρίσματα επιφανειών. Αυτά τα βήματα περιλαμβάνουν πολλές χημικές ουσίες όπως σκληρούς

διαλύτες και οξέα. Οι πλακέτες κυκλωμάτων τρισδιάστατης εκτύπωσης εξαλείφουν την ανάγκη για πολλά από αυτά τα βήματα, ενώ εξακολουθούν να παράγουν πολύπλοκα σχέδια. Το πολυμερές μελάνι χρησιμοποιείται για τη δημιουργία των στρωμάτων της κατασκευής ενώ το πολυμερές ασήμι χρησιμοποιείται για τη δημιουργία των ιχνών και των οπών που χρησιμοποιούνται για να επιτρέπεται η ροή του ηλεκτρισμού. Η κατασκευή πλακέτας κυκλώματος είναι μια κουραστική διαδικασία ανάλογα με το σχεδιασμό. Συγκεντρώνονται συγκεκριμένα υλικά και αποστέλλονται σε επεξεργασία εσωτερικού στρώματος όπου οι εικόνες εκτυπώνονται, αναπτύσσονται και χαράσσονται. Οι πυρήνες χάραξης συνήθως τρυπούνται για να προστεθούν εργαλεία πλαστικοποίησης. Στη συνέχεια οι πυρήνες προετοιμάζονται για πλαστικοποίηση. Κατόπιν η πλακέτα αποστέλλεται σε πλαστικοποίηση όπου συνδέονται τα στρώματα. Οι πλακέτες στη συνέχεια μετρώνται και τρυπούνται. Πολλά βήματα μπορεί να διαφέρουν από αυτό το στάδιο, ωστόσο για απλά σχέδια, το υλικό περνάει από μια διαδικασία επιμετάλλωσης για την επικάλυψη των οπών και της επιφάνειας. Στη συνέχεια, το εξωτερικό κύκλωμα εκτυπώνεται, αναπτύσσεται και χαράσσεται. Αφού οριστεί το κύκλωμα, το υλικό πρέπει να επικαλυφθεί με μάσκα συγκόλλησης για μεταγενέστερη συγκόλληση. Στη συνέχεια προστίθεται ονοματολογία, ώστε τα συστατικά να μπορούν να αναγνωριστούν αργότερα. Στη συνέχεια προστίθεται το φινίρισμα της επιφάνειας. Εκτός από τη γραφειοκρατία που πρέπει να συμπληρωθεί που αποδεικνύει ότι οι πλακέτες πληρούν τις προδιαγραφές, οι πλακέτες στη συνέχεια συσκευάζονται και αποστέλλονται. Τα πλεονεκτήματα της τρισδιάστατης εκτύπωσης είναι ότι το τελικό περίγραμμα ορίζεται από την αρχή, δεν απαιτείται απεικόνιση, διάτρηση ή πλαστικοποίηση και γίνονται ηλεκτρικές συνδέσεις με το πολυμερές αργύρου που εξαλείφει τη διάτρηση και την επιμετάλλωση. Η τελική γραφική εργασία θα μειωνόταν επίσης πολύ λόγω της έλλειψης υλικών που απαιτούνται για την κατασκευή της πλακέτας κυκλώματος. Πολύπλοκα σχέδια που μπορεί να χρειαστούν εβδομάδες για να

---

ολοκληρωθούν μέσω κανονικής επεξεργασίας μπορούν να εκτυπωθούν 3D, μειώνοντας σημαντικά τον χρόνο κατασκευής.

Κατά τη διάρκεια της πανδημίας του COVID-19, χρησιμοποιήθηκαν τρισδιάστατοι εκτυπωτές για να ενισχύσουν την παραγωγή ΜΑΠ (μέσων ατομικής προστασίας) μέσω εθελοντών που χρησιμοποιούσαν τους προσωπικούς τους εκτυπωτές για να παράγουν διάφορα κομμάτια ατομικού προστατευτικού εξοπλισμού (π.χ. πλαίσια για ασπίδες προσώπου).

Από το 2021 και τα χρόνια που προηγήθηκαν, η τρισδιάστατη εκτύπωση έχει γίνει τόσο βιομηχανικό εργαλείο όσο και καταναλωτικό προϊόν. Με την τιμή ορισμένων τρισδιάστατων εκτυπωτών να γίνεται όλο και φθηνότερη και η ποιότητα να αυξάνεται συνεχώς, πολλοί άνθρωποι έχουν ασχοληθεί με την τρισδιάστατη εκτύπωση. Σύμφωνα με τις τρέχουσες εκτιμήσεις, υπάρχουν πάνω από 2 εκατομμύρια άνθρωποι σε όλο τον κόσμο που έχουν αγοράσει έναν 3D εκτυπωτή για χόμπι.

---

## **ΚΕΦΑΛΑΙΟ 6 – ΒΑΣΙΚΕΣ ΑΡΧΕΣ ΠΡΟΓΡΑΜΜΑΤΙΣΜΟΥ ΤΡΙΣΔΙΑΣΤΑΤΩΝ ΕΚΤΥΠΩΤΩΝ<sup>[8]</sup>**

Οι τρισδιάστατοι εκτυπωτές χρησιμοποιούν μια γλώσσα προγραμματισμού που αποτελείται από μια σειρά εντολών που ονομάζεται G-Code, δηλαδή τη γλώσσα που χρησιμοποιείται και στις CNC μηχανές. Οι περισσότερες από αυτές τις εντολές ξεκινούν με ένα G (εξου και το όνομα), αλλά υπάρχουν επίσης μερικοί κοινοί κωδικοί για συγκεκριμένο μηχάνημα που ξεκινούν με M. Αυτές οι εντολές λένε στον 3D εκτυπωτή ακριβώς ποιες ενέργειες πρέπει να εκτελέσει – πού να κινηθεί, ποια ταχύτητα να χρησιμοποιήσει, τι θερμοκρασίες να ρυθμισθούν και πολλά άλλα. Για οποιονδήποτε κατασκευαστή, είναι επωφελές να έχει βασικές γνώσεις του G-Code για να κατανοήσει πώς λειτουργεί ο τρισδιάστατος εκτυπωτής, να εντοπίσει σφάλματα ή να πραγματοποιήσει συντήρηση στο μηχάνημα και να επαληθεύσει τα αρχεία εκτύπωσης. Παρακάτω αναλύονται οι 10 εντολές που χρησιμοποιούνται πιο συχνά, τι κάνουν και πώς χρησιμοποιούνται στο εκάστοτε λογισμικό.

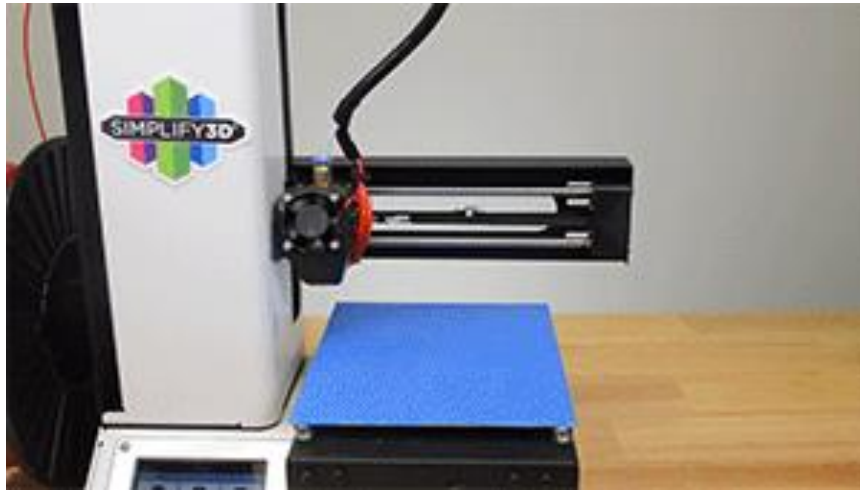
Το λογισμικό θα δημιουργήσει αυτόματα τις εντολές G-Code που είναι απαραίτητες για την ολοκλήρωση της εκτύπωσης. Αν και ο G-Code είναι η τυπική γλώσσα για τους περισσότερους τρισδιάστατους εκτυπωτές, ορισμένα μηχανήματα ενδέχεται να χρησιμοποιούν διαφορετικές μορφές αρχείων ή εντολών. Ακόμα κι αν ο εκτυπωτής χρησιμοποιεί διαφορετική μορφή αρχείου, όπως ένα αρχείο .x3g, το εκάστοτε λογισμικό θα εξακολουθήσει να εξάγει τόσο τα αρχεία .gcode όσο και τα αρχεία .x3g στη θέση που επιλέγεται. Αυτό είναι πολύ χρήσιμο, καθώς πολλές από τις άλλες μορφές αρχείων είναι στην πραγματικότητα δυαδικά αρχεία.

Κάθε εντολή του αρχείου .gcode εμφανίζεται συνήθως σε ξεχωριστή γραμμή. Η αρχή της γραμμής δηλώνει τι είδους εντολή είναι και, στη συνέχεια, μπορεί να ακολουθήσουν αρκετά πρόσθετα ορίσματα. Υπάρχει ακόμα η δυνατότητα πρόσθεσης σχολίων μέσα στο αρχείο, τοποθετώντας

ένα ερωτηματικό πριν από το σχόλιο, έτσι ώστε να αγνοηθεί από το μηχάνημα.

## 6.1 Οι 10 πιο κοινές εντολές G-Code για τρισδιάστατη εκτύπωση.

### 6.1.1 G28 – Εκτέλεση ρουτίνας αρχικής θέσης



**Εικόνα 6-1 Εκτέλεση ρουτίνας αρχικής θέσης**  
(<https://www.simplify3d.com/support/articles/3d-printing-gcode-tutorial/>)

Αυτή η εντολή λέει στον εκτυπωτή να εκτελέσει την αρχική του ακολουθία, η οποία θα μετακινήσει την κεφαλή εργαλείων στις απομακρυσμένες άκρες του μηχανήματος μέχρι να έρθει σε επαφή με τα άκρα σε αυτές τις θέσεις. Τα περισσότερα από τα αρχεία εκτύπωσης ξεκινούν με αυτήν την εντολή, έτσι ώστε ο εκτυπωτής να ξεκινά από μια γνωστή θέση. Αυτός είναι επίσης ένας χρήσιμος τρόπος για να απομακρυνθεί γρήγορα ένας άξονας, κάτι που μπορεί να είναι χρήσιμο στο τέλος μιας εκτύπωσης, ώστε να είναι δυνατή η αφαίρεση του εξαρτήματος.

#### **Ορίσματα**

Εάν δεν παρέχονται ορίσματα, το μηχάνημα θα φιλοξενήσει και τους 3 άξονες. Μπορεί επίσης να καθορισθεί ποιους ακριβώς άξονες θα φιλοξενήσει προσθέτοντας ένα X, Y ή Z στην εντολή.

---

**Παράδειγμα χρήσης**

G28 ; αρχική θέση σε όλους τους άξονες (X, Y, and Z)

G28 X Y ; αρχική θέση στους άξονες X and Y

G28 Z ; αρχική θέση του άξονα Z

**6.1.2 G90 και G91 – Ορισμός της λειτουργίας εντοπισμού θέσης**

Ο εκτυπωτής μπορεί να χρησιμοποιήσει είτε απόλυτη είτε σχετική τοποθέτηση. Η απόλυτη τοποθέτηση σημαίνει ότι ο 3D εκτυπωτής μετακινείται σε μια ακριβή συντεταγμένη XYZ. Η σχετική τοποθέτηση χρησιμοποιείται όταν πρέπει να οριστεί στον εκτυπωτή πόσο μακριά πρέπει να μετακινηθεί από την τρέχουσα θέση. Εντολή G90 για να χρησιμοποιήσει απόλυτη τοποθέτηση ή G91 για σχετική τοποθέτηση. Η πλειονότητα του αρχείου gcode πιθανότατα θα χρησιμοποιεί απόλυτη τοποθέτηση, καθώς ο αναλυτής έχει ήδη καθορίσει τις ακριβείς συντεταγμένες XYZ στις οποίες θα μετακινηθεί. Ωστόσο, εάν δεν είναι γνωστή η προηγούμενη θέση της κεφαλής εργαλείων ή απλά η κεφαλή πρέπει να μετακινηθεί σε μια συγκεκριμένη απόσταση κατά μήκος ενός άξονα, χρησιμοποιείται η σχετική τοποθέτηση. Ενώ τα G90 και G91 ελέγχουν τη λειτουργία τοποθέτησης για τους άξονες X, Y και Z, χρησιμοποιούνται επίσης το M82 ή το M83 για να ρυθμισθεί ο εξωθητήρας (άξονας E) σε απόλυτη ή σχετική τοποθέτηση.

**Παράδειγμα χρήσης**

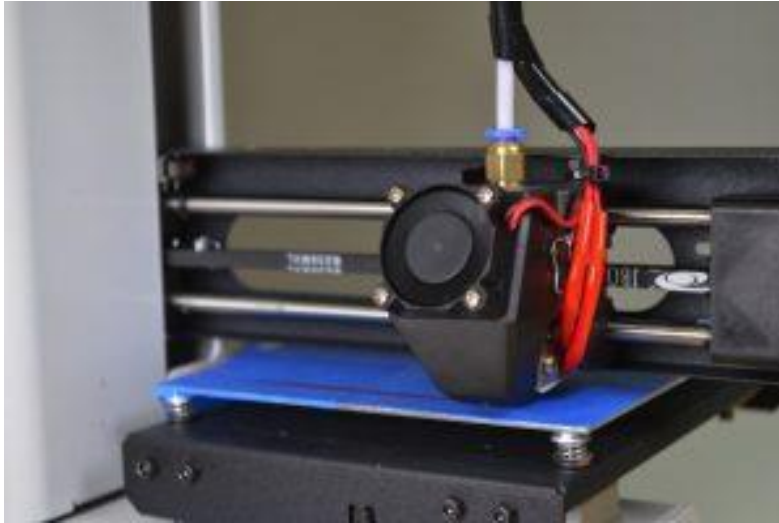
G1 X0 Y0 F2400 ; μετακίνηση στη θέση X=0 Y=0 στην επιφάνεια με ταχύτητα 2400 mm/min

G1 Z10 F1200 ; μετακίνηση του άξονα Z στο Z=10mm με μικρότερη ταχύτητα 1200 mm/min

G1 X30 E10 F1800 ; σπρώξιμο 10 mm νήματος μέσα στο ακροφύσιο με ταυτόχρονη μετακίνηση στη θέση X=30

---

### 6.1.3 G1 – Γραμμική κίνηση



Εικόνα 6-2 Γραμμική κίνηση

(<https://www.simplify3d.com/support/articles/3d-printing-gcode-tutorial/>)

Αυτή η εντολή πιθανότατα αποτελεί το 95% των αρχείων gcode. Η εντολή G1 λέει στον εκτυπωτή να μετακινηθεί σε ευθεία γραμμή σε καθορισμένη θέση. Η εντολή χρησιμοποιείται για την μετακίνηση ενός μόνο άξονα ή πολλών αξόνων ταυτόχρονα. Ο εξωθητής ελέγχεται ακριβώς όπως οποιοσδήποτε άλλος άξονας, επομένως μπορεί επίσης να χρησιμοποιηθεί αυτή η εντολή για να εξωθηθεί ή να αποσυρθεί το νήμα από το ακροφύσιο.

Χρησιμοποιούνται οι τιμές X, Y ή Z για να δηλωθεί η θέση μετακίνησης. Αυτές οι τιμές θα υπακούουν στην τρέχουσα λειτουργία τοποθέτησης, ώστε να μπορούν να καθορισθούν χρησιμοποιώντας είτε απόλυτες είτε σχετικές συντεταγμένες. Είναι δυνατόν να συμπεριληφθεί μια τιμή E εξωθητή. Η τιμή E αντιστοιχεί στη θέση του καρουλιού του νήματος, επομένως μετακίνηση του άξονα E κατά 10 mm, θα προκαλούσε ώθηση 10 mm του νήματος στο ακροφύσιο. Δεδομένου ότι η διάμετρος του ακροφυσίου είναι συνήθως πολύ μικρότερη από τη διάμετρο του νήματος, 10 mm νήματος που πιέζονται μέσα στο ακροφύσιο μπορεί να δημιουργήσουν μια εξώθηση μήκους εκατοντάδων χιλιοστών! Για αυτόν τον λόγο, οι τιμές E είναι συνήθως αρκετά μικρές σε σύγκριση με τις



τιμές X, Y και Z. Τέλος, μπορεί να χρησιμοποιηθεί μια τιμή F για να δηλωθεί ποια ταχύτητα θα χρησιμοποιηθεί για την κίνηση. Αυτή η ταχύτητα πρέπει πάντα να καθορίζεται σε μονάδες mm/min, επομένως ακόμα κι αν χρησιμοποιείται mm/s στο λογισμικό κοπής, θα πρέπει να γίνει χρήση mm/min όποτε αποστέλλεται μια εντολή απευθείας στον εκτυπωτή.

### **Παράδειγμα χρήσης**

G1 X0 Y0 F2400 ; μετακίνηση στη θέση X=0 Y=0 στην επιφάνεια με ταχύτητα 2400 mm/min

G1 Z10 F1200 ; μετακίνηση του άξονα Z στο Z=10mm με μικρότερη ταχύτητα 1200 mm/min

G1 X30 E10 F1800 ; σπρώξιμο 10 mm νήματος μέσα στο ακροφύσιο με ταυτόχρονη μετακίνηση στη θέση X=30 ταυτόχρονα

### **6.1.4 G92 – Ορισμός τρέχουσας θέσης**

Αυτή η εντολή χρησιμοποιείται για ορισμό της τρέχουσας θέσης των αξόνων. Αυτό μπορεί να είναι χρήσιμο σε περίπτωση αλλαγής ή αντιστάθμισης της θέσης ενός από τους άξονες. Μία από τις πιο κοινές χρήσεις αυτής της εντολής είναι στην πραγματικότητα με τον άξονα E (τη θέση του νήματος). Μπορεί να παρακαμφθεί γρήγορα η τρέχουσα θέση του νήματος, έτσι ώστε όλες οι μελλοντικές εντολές να είναι πλέον σε σχέση με αυτήν τη νέα τιμή. Είναι σύνηθες να γίνεται αυτό στην αρχή κάθε επιπέδου ή ακριβώς πριν από μια εντολή εκκίνησης ή ανάκλησης.

### **Ορίσματα**

Καθορίζεται η απόλυτη συντεταγμένη για κάθε άξονα. Μπορούν να συμπεριληφθούν οι άξονες X, Y, Z και E. Εάν δεν συμπεριληφθεί ένας από αυτούς τους άξονες στην εντολή, η θέση θα παραμείνει αμετάβλητη.

### **Παράδειγμα χρήσης**

G92 E0 ; ρύθμιση της τρέχουσας θέσης νήματος σε E=0

---

G1 E10 F800 ; εξώθηση 10 mm νήματος

### **6.1.5 M104 και M109 – Εντολές Θέρμανσης Εξωθητήρα**

Η εντολή M104 ξεκινά τη θέρμανση του εξωθητήρα, αλλά στη συνέχεια επιτρέπει την εκτέλεση εντολών αμέσως μετά. Η εντολή M109 θα περιμένει στην πραγματικότητα μέχρι να επιτευχθεί η επιθυμητή θερμοκρασία πριν επιτρέψει την εκτέλεση άλλων εντολών. Για αυτόν τον λόγο, φαίνεται συχνά ένα M109 στην κορυφή των αρχείων gcode, καθώς αυτό επιτρέπει στον εξωθητήρα να φτάσει την απαραίτητη θερμοκρασία πριν ξεκινήσει η εκτύπωση.

Ενώ τα περισσότερα μηχανήματα χρησιμοποιούν M104 και M109, ορισμένα υλικολογισμικά ενδέχεται να χρησιμοποιούν ελαφρώς διαφορετικές εντολές. Για παράδειγμα, σε ένα μηχάνημα που διαβάζει αρχεία x3g, χρησιμοποιούμε μια εντολή M133 για τη σταθεροποίηση του εξωθητήρα αντί του M109. Σε μηχάνημα που εκτελεί μια παραλλαγή του υλικολογισμικού FlashForge Dreamer ή Dremel, θα πρέπει να χρησιμοποιηθεί μια εντολή M6 για να σταθεροποίηση του εξωθητήρα..

### **Ορίσματα**

Η τιμή S καθορίζει τη θερμοκρασία του εξωθητήρα σε βαθμούς Κελσίου. Η τιμή T μπορεί να χρησιμοποιηθεί εάν υπάρχουν περισσότεροι από ένας εξωθητήρες. Συνήθως το T0 είναι ο δεξιός εξωθητής και το T1 ο αριστερός εξωθητής. Για ένα μηχάνημα εξώθησης, η παράμετρος T παραλείπεται εντελώς.

### **Παράδειγμα χρήσης**

M104 S190 T0 ; ξεκινάει η θέρμανση T0 στους 190 βαθμούς Κελσίου

G28 X0 ; εγκατάσταση του άξονα X ενώ ο εξωθητής εξακολουθεί να θερμαίνεται

M109 S190 T0 ; αναμονή μέχρι να φτάσει το T0 στις 190 μοίρες πριν συνεχίσουν οι άλλες εντολές

---

### **6.1.6 M140 και M190 – Εντολές θέρμανσης κλίνης**

Αυτές οι εντολές χρησιμοποιούνται για τη ρύθμιση της θερμοκρασίας της θερμαινόμενης πλατφόρμας κατασκευής. Η σύνταξη μοιάζει πολύ με τις εντολές M104 και M109 που αναφέρθηκαν παραπάνω. Η αποστολή της εντολής M140 ξεκινά τη θέρμανση της επιφάνειας, αλλά επιτρέπει την εκτέλεση άλλων εντολών αμέσως μετά. Η εντολή M190 θα περιμένει μέχρι να επιτευχθεί η θερμοκρασία της επιφάνειας πριν επιτρέψει την εκτέλεση άλλων εντολών. Η θερμαινόμενη επιφάνεια στον εκτυπωτή μπορεί να χρειαστεί αρκετά λεπτά για να φτάσει σε υψηλές θερμοκρασίες. Επομένως, ο εκτυπωτής μπορεί να σταματήσει ενώ περιμένει μια εντολή M190 για να ολοκληρώσει τη θέρμανση. Όπως και με τις εντολές M104 και M109, αυτές οι εντολές θέρμανσης μπορεί να διαφέρουν ανάλογα με το λογισμικό που χρησιμοποιείται..

#### **Ορίσματα**

Η τιμή S καθορίζει τη θερμοκρασία της επιφάνειας σε βαθμούς Κελσίου..

#### **Παράδειγμα χρήσης**

M140 S50 ; ξεκινάει να θερμαίνεται η επιφάνεια στους 50 βαθμούς Κελσίου

G28 ; τοποθέτηση και των τριών αξόνων ενώ η επιφάνεια ακόμα θερμαίνεται

M190 S50 ; αναμονή μέχρι η επιφάνεια να φτάσει τους 50 βαθμούς

### **6.1.7 M106 – Ρύθμιση ταχύτητας ανεμιστήρα**

Αυτή η εντολή επιτρέπει τη ρύθμιση της ταχύτητας του ανεμιστήρα ψύξης του εξαρτήματος που εκτυπώνεται. Αυτός είναι ένας εξωτερικός ανεμιστήρας ψύξης που είναι στραμμένος προς το μέρος της εκτύπωσης. Ο εκτυπωτής μπορεί επίσης να έχει έναν ανεμιστήρα εξώθησης που βοηθά στην ψύξη του μηχανισμού κίνησης του εξωθητήρα, επομένως πρέπει να οριστεί ο σωστός ανεμιστήρας.

---

**Ορίσματα**

Η τιμή S ρυθμίζει την ταχύτητα του ανεμιστήρα ψύξης σε ένα εύρος μεταξύ 0 (off) και 255 (πλήρης ισχύς).

**Παράδειγμα χρήσης**

M106 S255 ; ρύθμιση του ανεμιστήρα σε πλήρη ταχύτητα

M106 S127 ; ρύθμιση του ανεμιστήρα σε περίπου 50% ισχύ

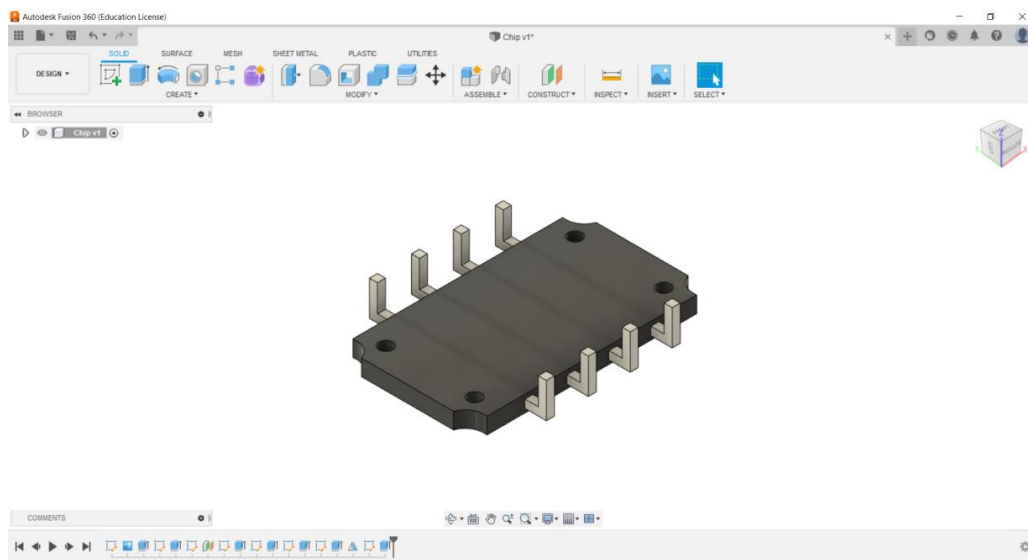
M106 S0 ; απενεργοποίηση τελείως του ανεμιστήρα

---

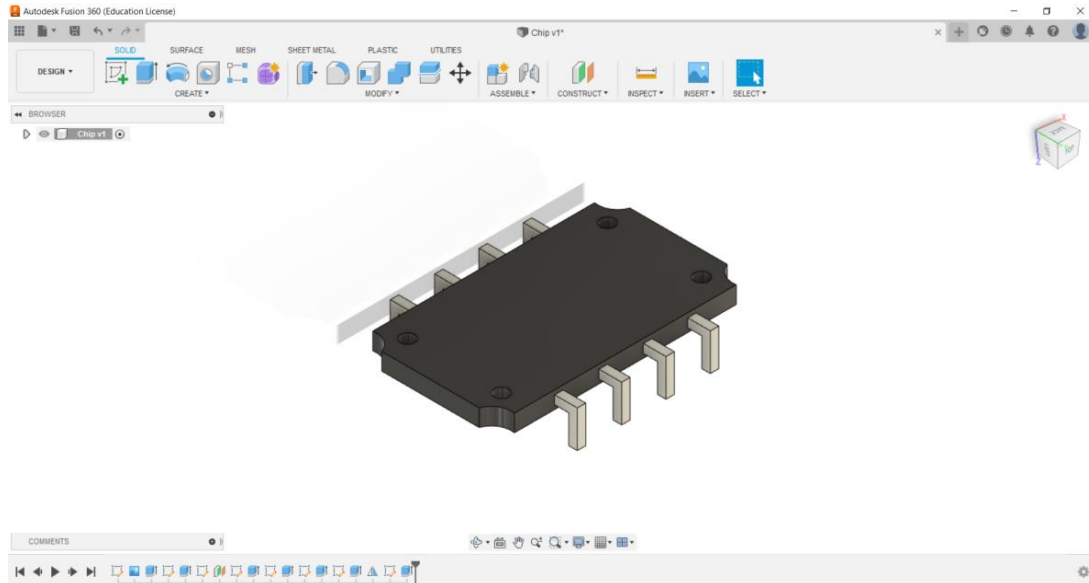
## ΚΕΦΑΛΑΙΟ 7 – ΣΧΕΔΙΑΣΗ ΚΑΙ ΥΛΟΠΟΙΗΣΗ ΕΝΟΣ ΤΡΙΣΔΙΑΣΤΑΤΟΥ ΟΛΟΚΛΗΡΩΜΕΝΟΥ (CHIP)

### 7.1 Η σχεδίαση του chip

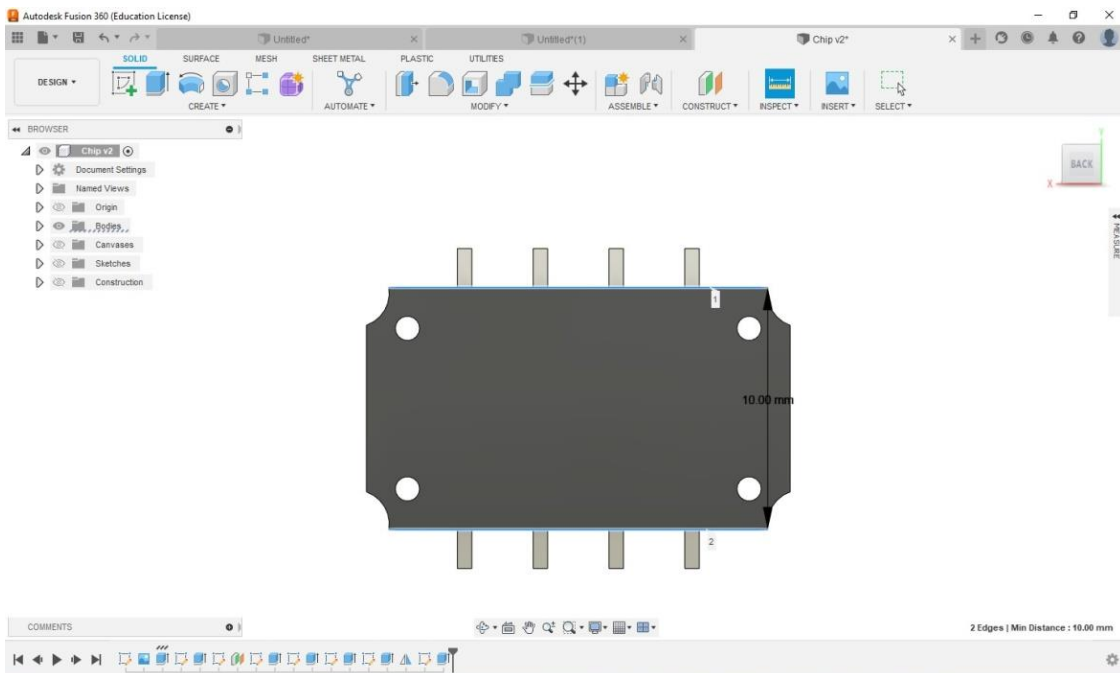
Στο παράρτημα φαίνεται ο κώδικας που αναπτύχθηκε προκειμένου να κατασκευαστεί σε 3D εκτυπωτή το ολοκληρωμένο κύκλωμα που φαίνεται στις επόμενες εικόνες. Το ολοκληρωμένο αυτό κύκλωμα (chip) σχεδιάστηκε με το λογισμικό Autodesk Fusion 360. Στις παρακάτω εικόνες φαίνεται ο σχεδιασμός του μέσα στο πρόγραμμα και παρουσιάζονται κάποιες από τις εντολές που χρησιμοποιήθηκαν για τον σχεδιασμό του. Το τελικό σχέδιο αποθηκεύεται ως αρχείο STL και έπειτα εισάγεται στο πρόγραμμα Simplify3D που περιγράφεται στη συνέχεια



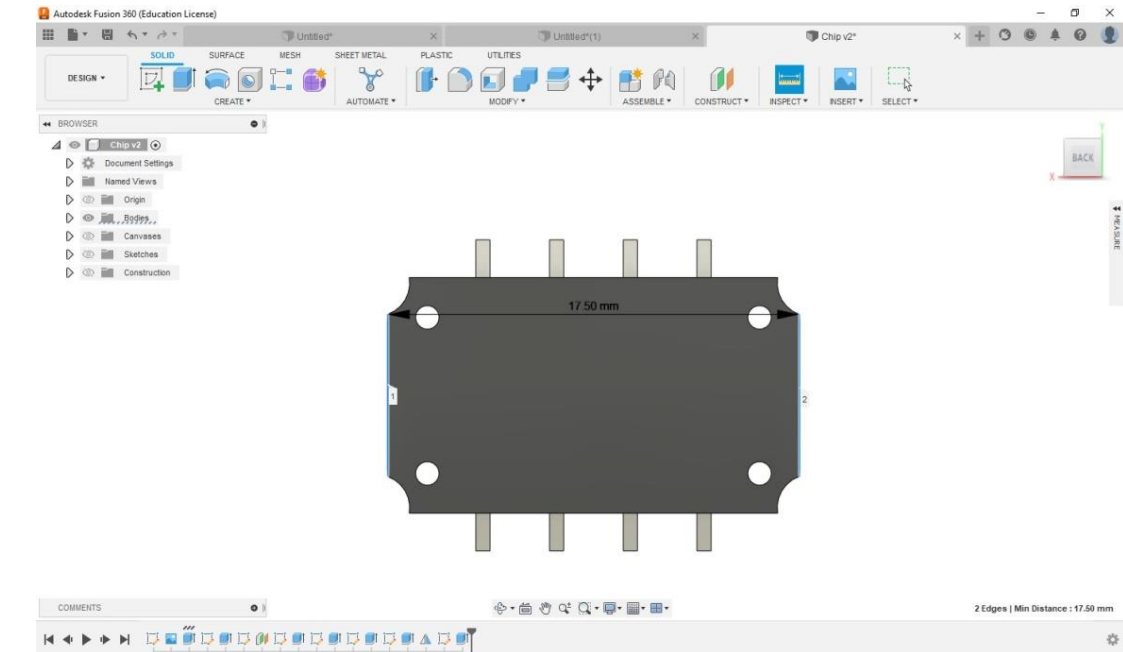
Εικόνα 7-1 Κάτω όψη σχεδίασης



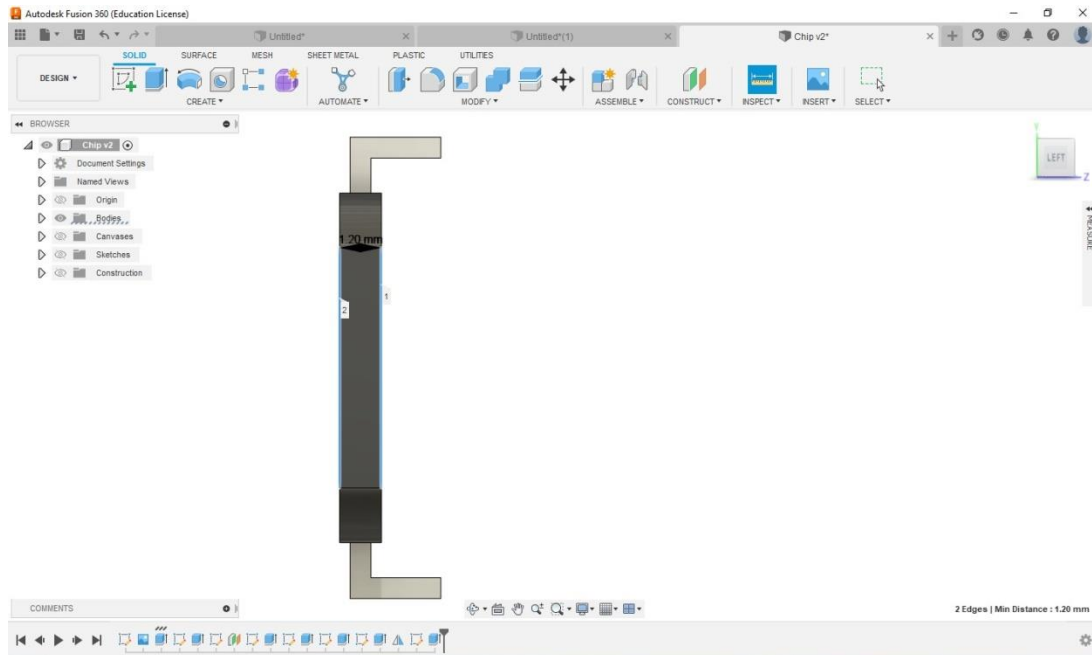
**Εικόνα 7-2 Άνω όψη σχεδίασης**



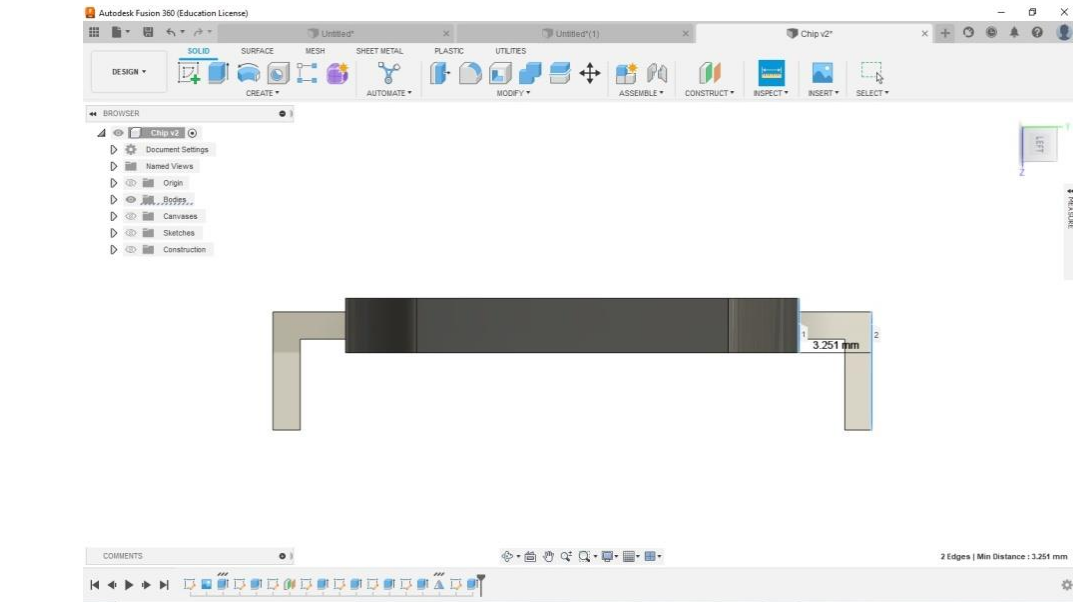
**Εικόνα 7-3 Η τελική σχεδίαση του αντικειμένου , όπου φαίνεται το πλάτος του**



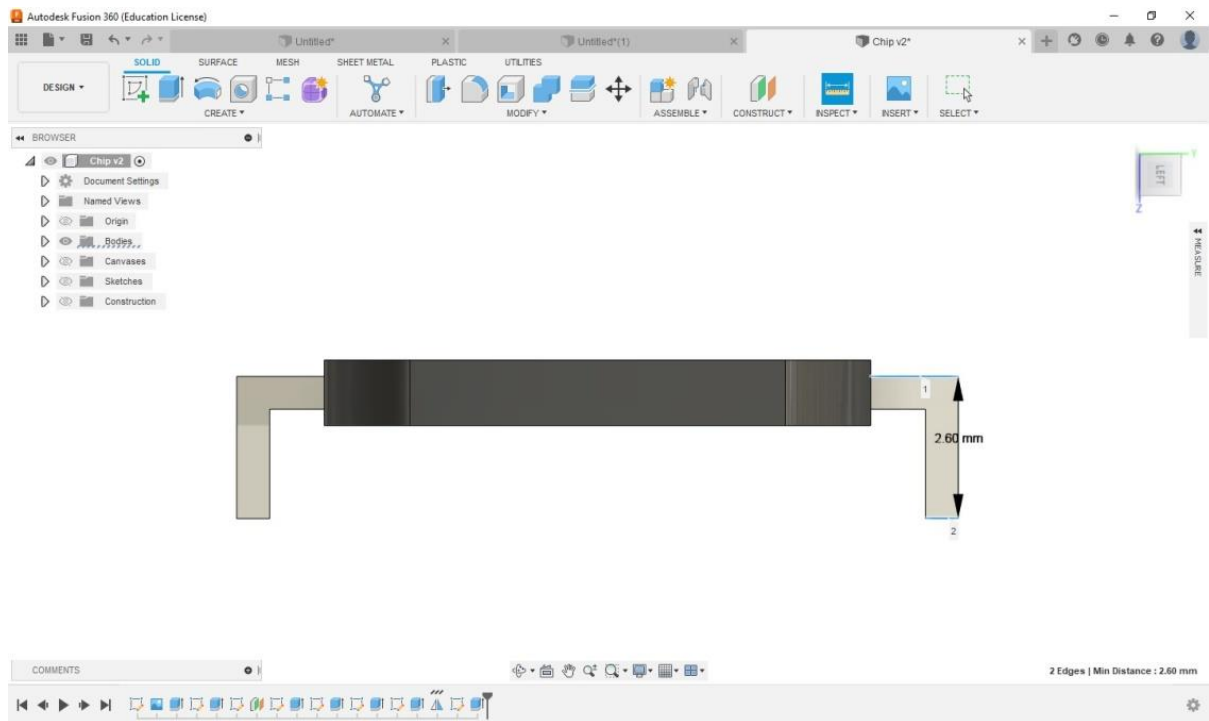
**Εικόνα 7-4** Η τελική σχεδίαση του αντικειμένου , όπου φαίνεται το μήκος του



**Εικόνα 7-5** Πλάγια όψη όπου μετράται το πάχος του chip

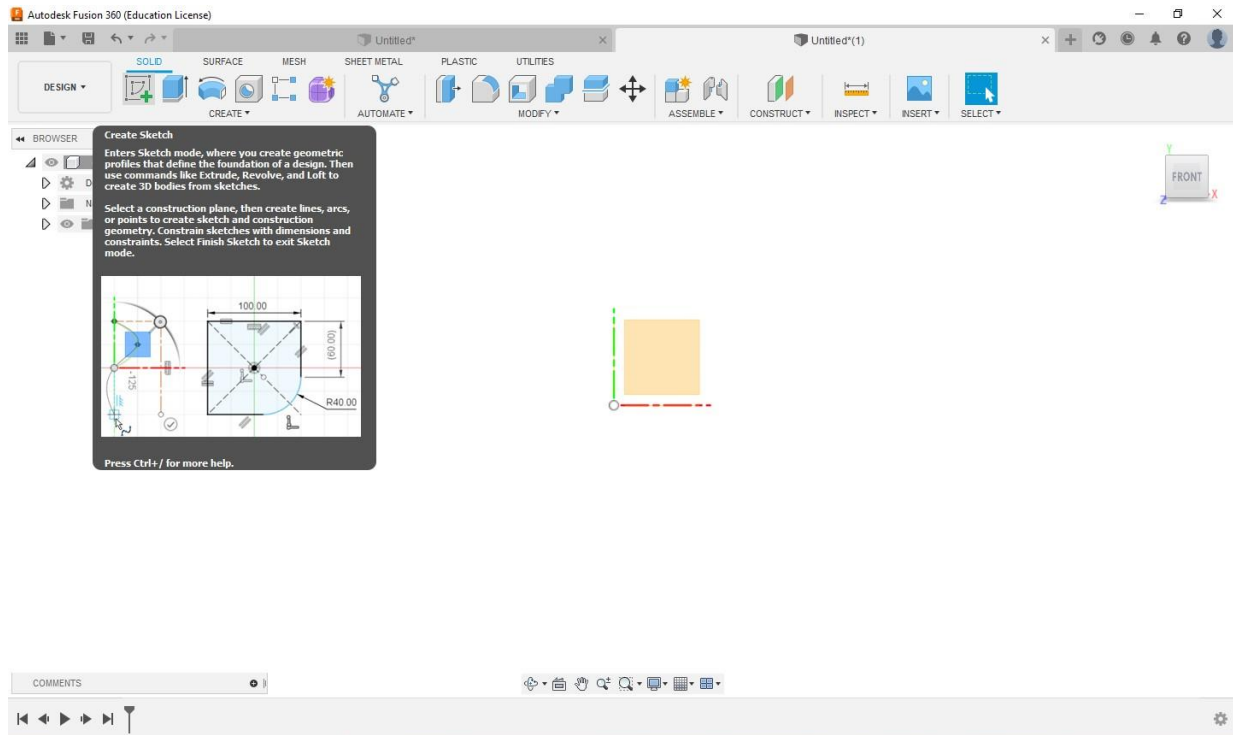


**Εικόνα 7-6 Πλάγια όψη όπου μετράται η απόσταση της ακίδας από το chip**

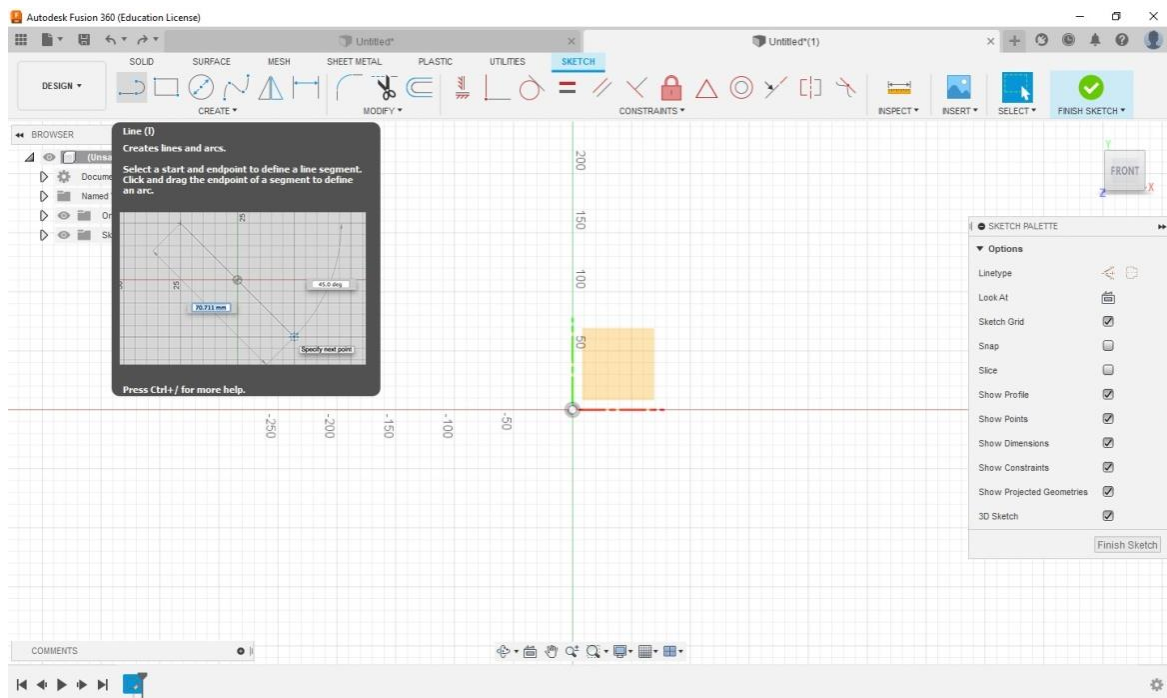


**Εικόνα 7-7 Πλάγια όψη όπου μετράται το ύψος της ακίδας του chip**

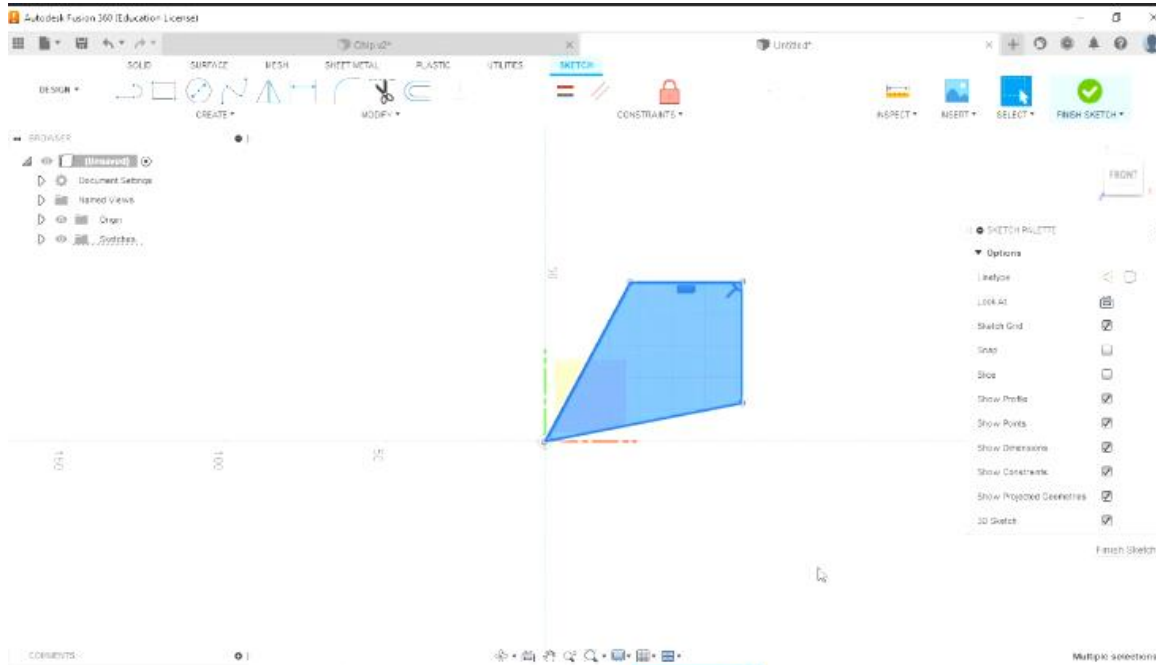




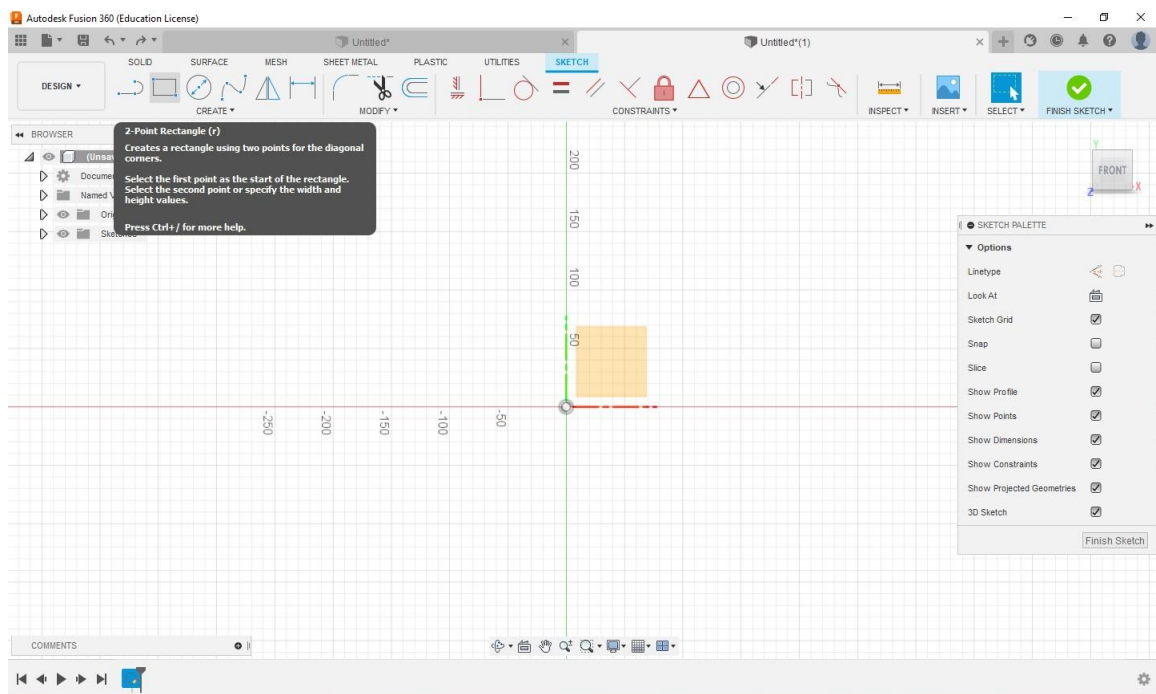
**Εικόνα 7-8** Η εντολή create sketch που είναι η πρώτη εντολή που χρησιμοποιείται όταν ξεκινάει μια σχεδίαση



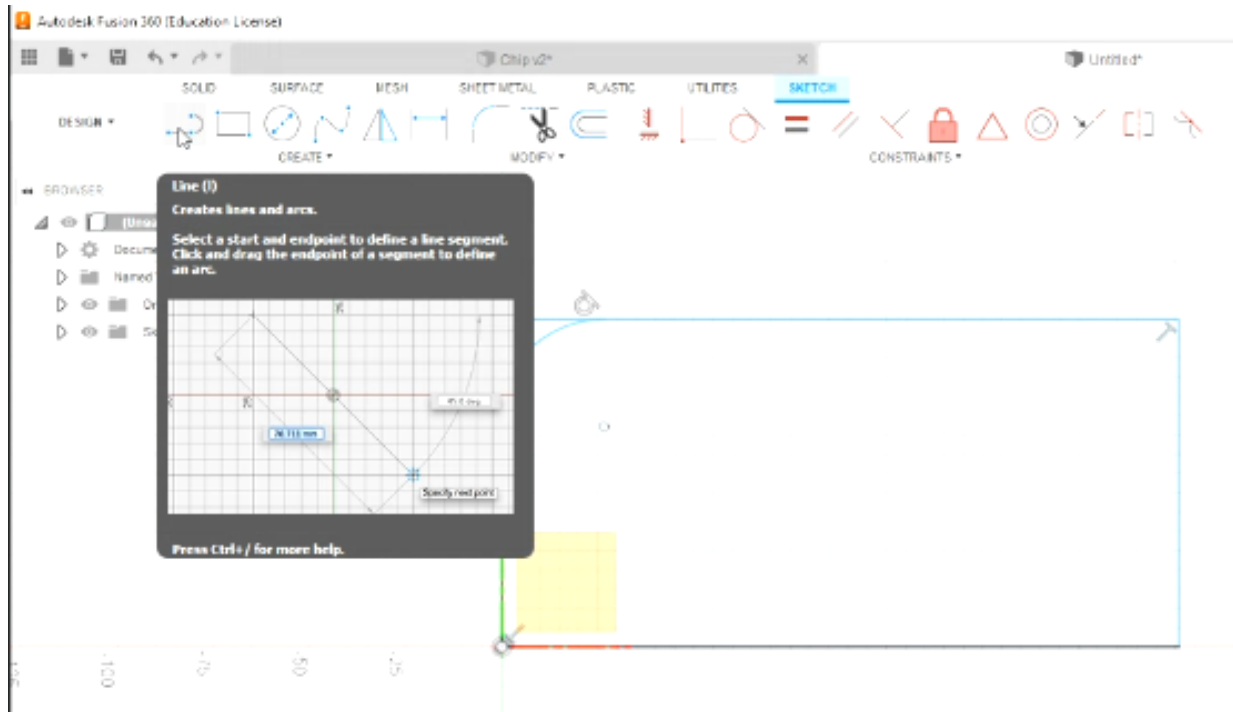
**Εικόνα 7-9** Το εικονίδιο της εντολής create line με την οποία δημιουργούνται γραμμές



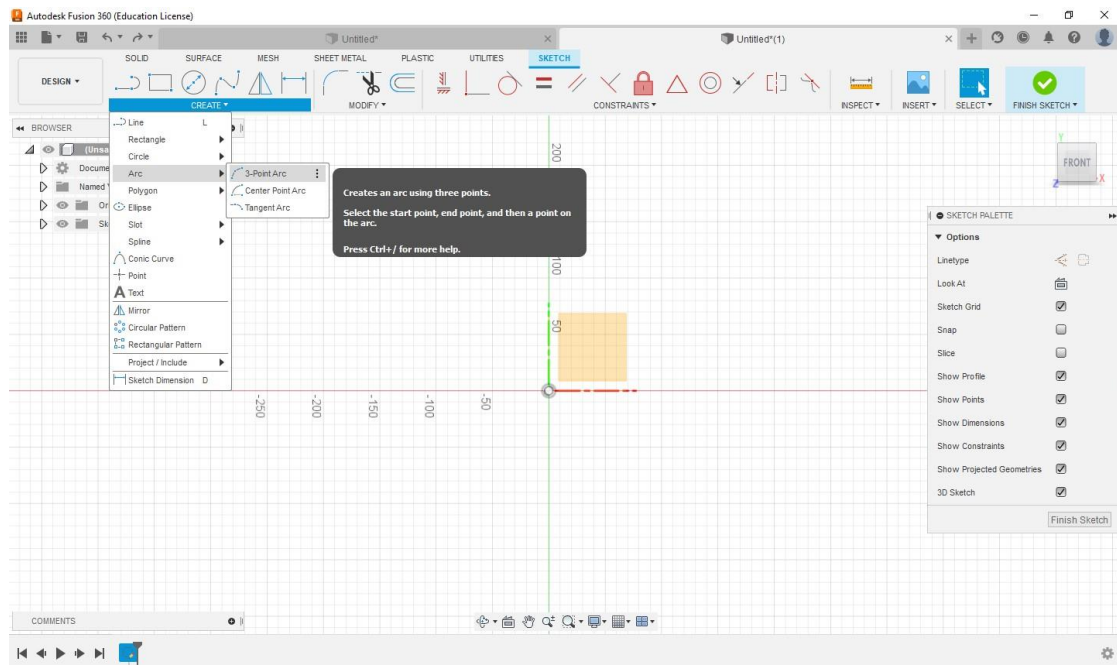
**Εικόνα 7-10** Κλειστή επιφάνεια που δημιουργήθηκε με την εντολή create line



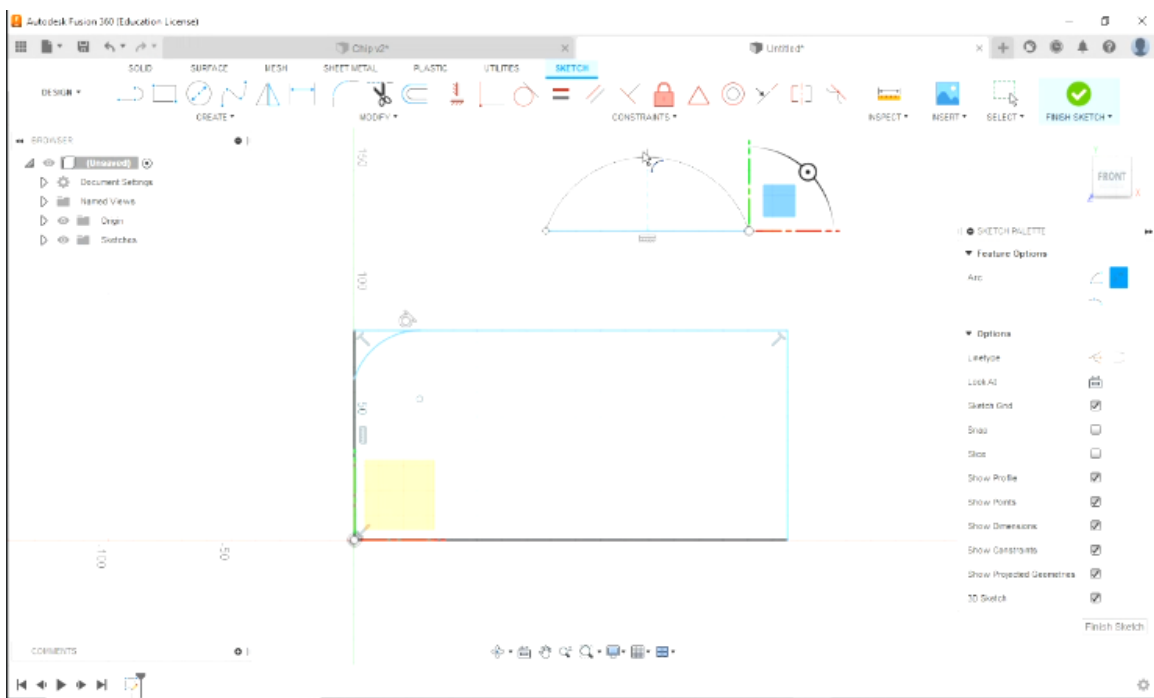
**Εικόνα 7-11** Το εικονίδιο της εντολής create rectangle με την οποία δημιουργούνται ορθογώνια σχήματα



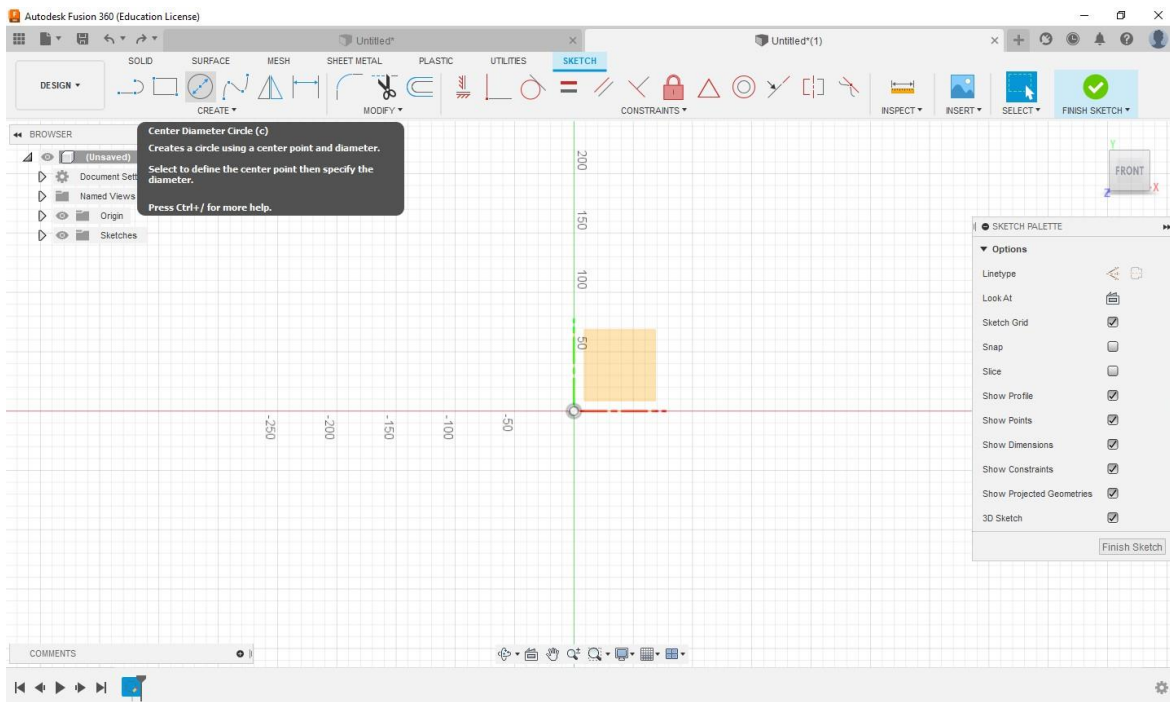
Εικόνα 7-12 Δημιουργία ορθογώνιου με την εντολή create rectangle



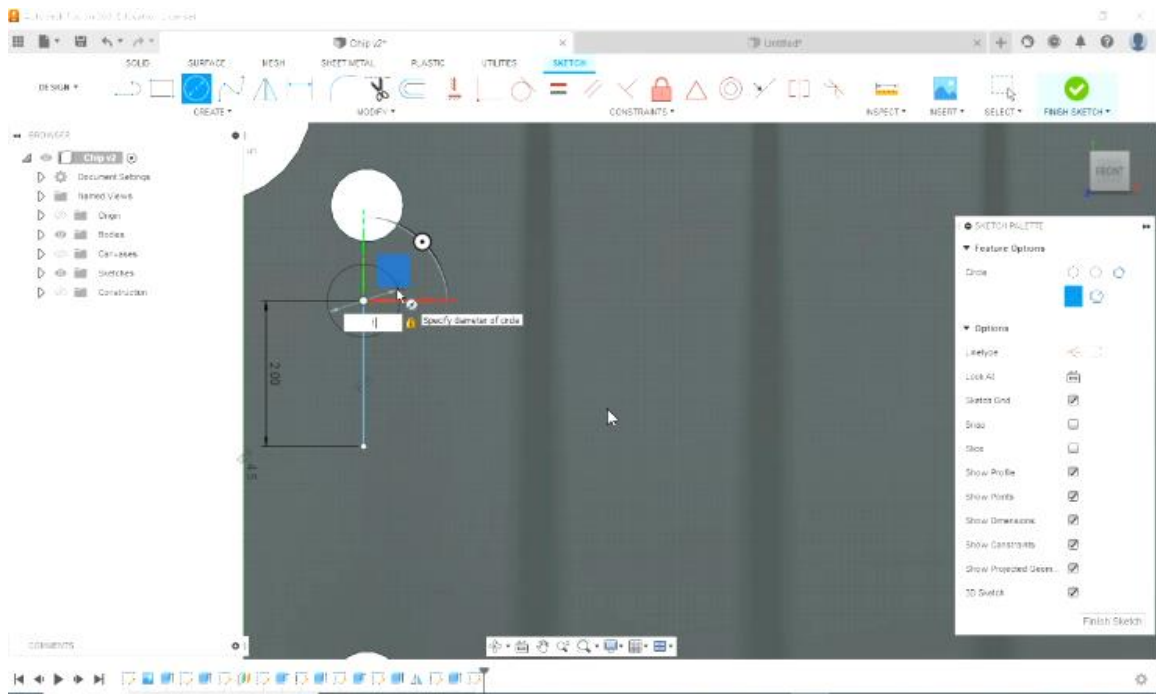
Εικόνα 7-13 Το εικονίδιο της εντολής create arc με την οποία δημιουργούμε τόξα



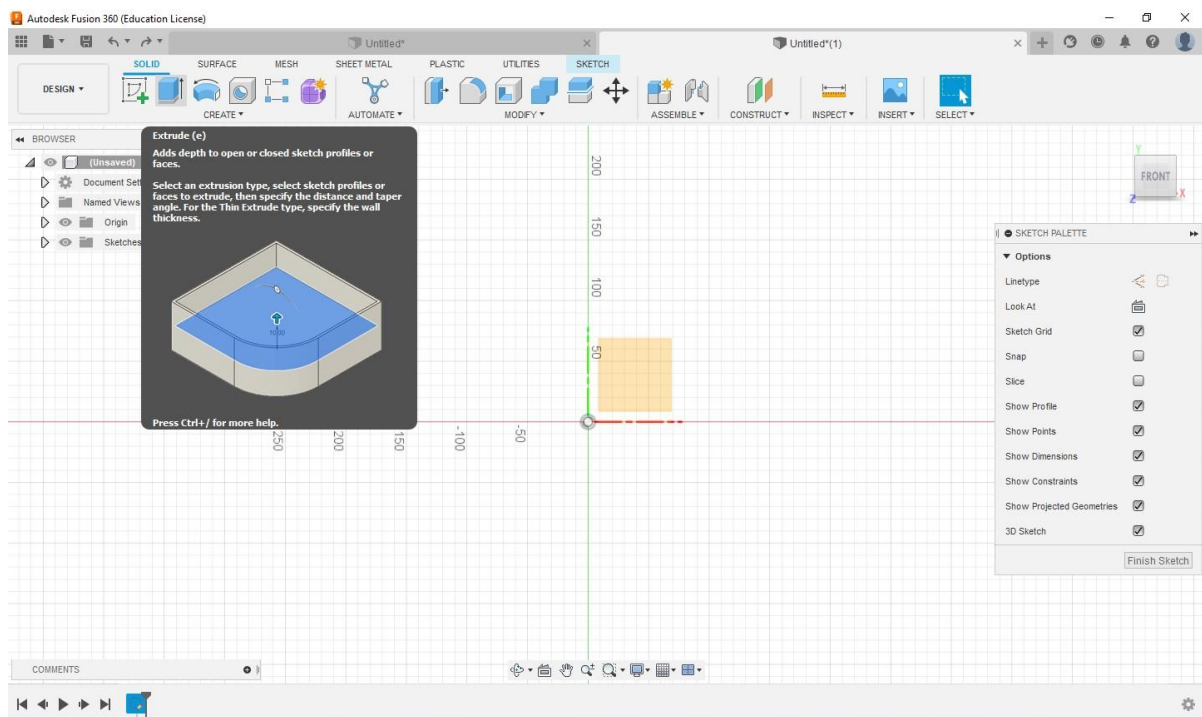
**Εικόνα 7-14** Δημιουργία τόξου με την εντολή create arc



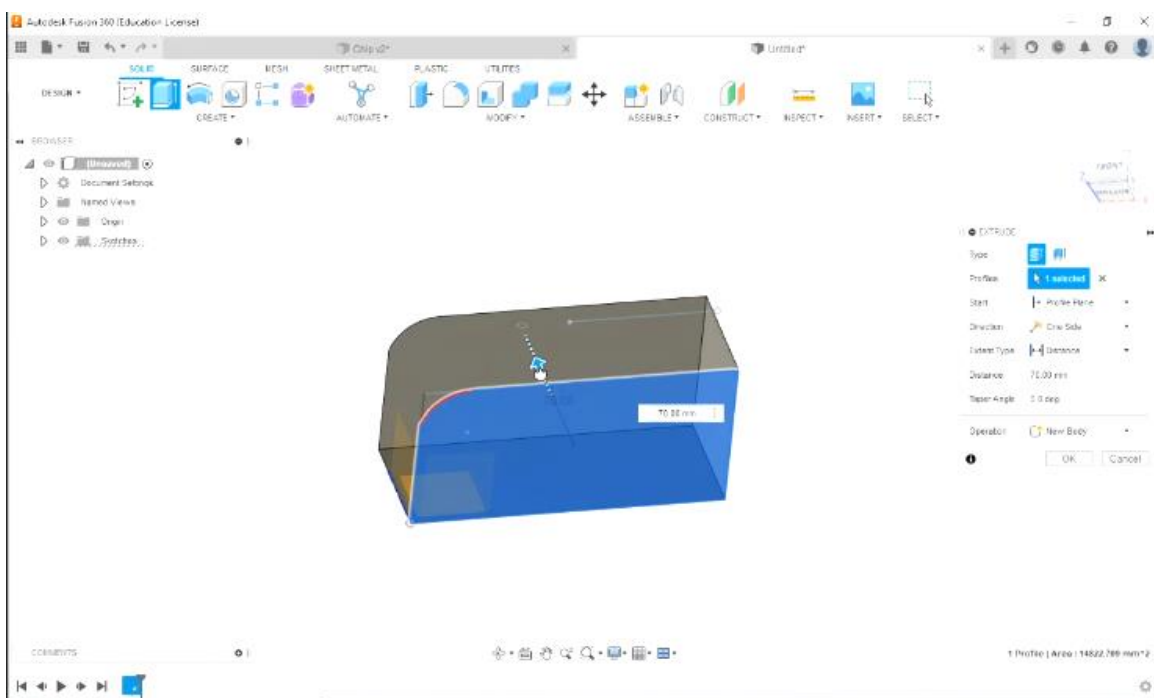
**Εικόνα 7-15** Το εικονίδιο της εντολής center diameter circle με την οποία δημιουργούνται κύκλοι



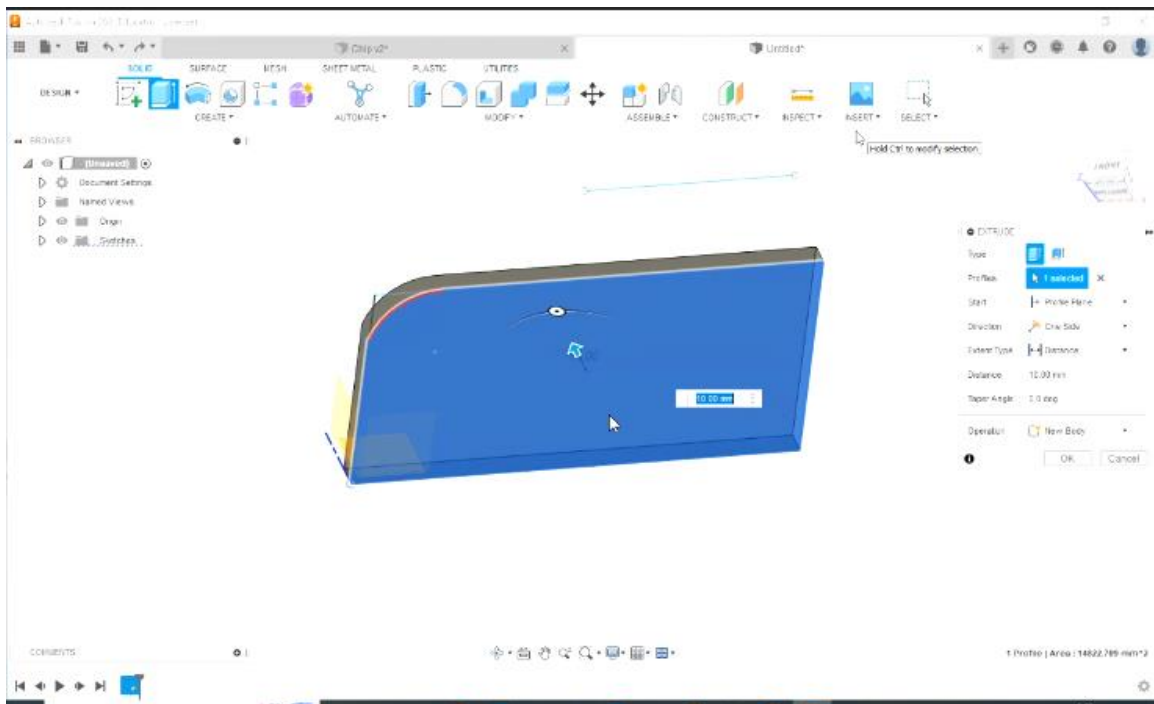
**Εικόνα 7-16** Δημιουργία κύκλου με την εντολή *center diameter circle*



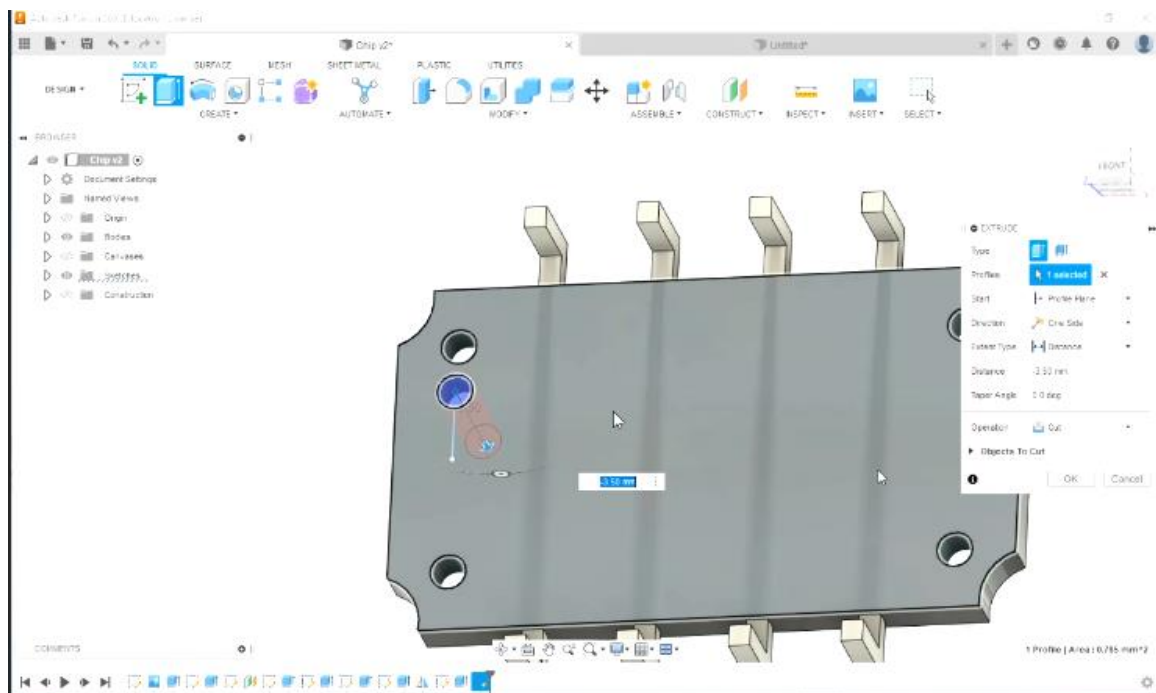
**Εικόνα 7-17** Το εικονίδιο της εντολής *extrude* με την οποία δημιουργείται πάχος στα προς σχεδιασμό αντικείμενα



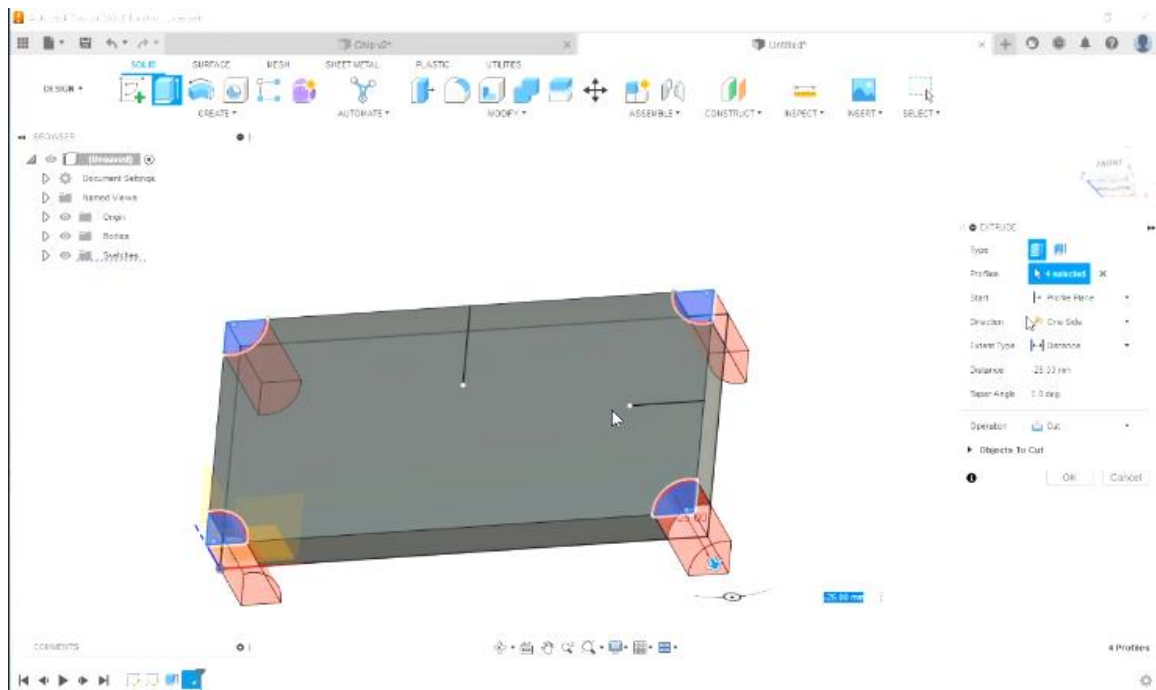
**Εικόνα 7-18** Δημιουργία πάχους με την εντολή extrude



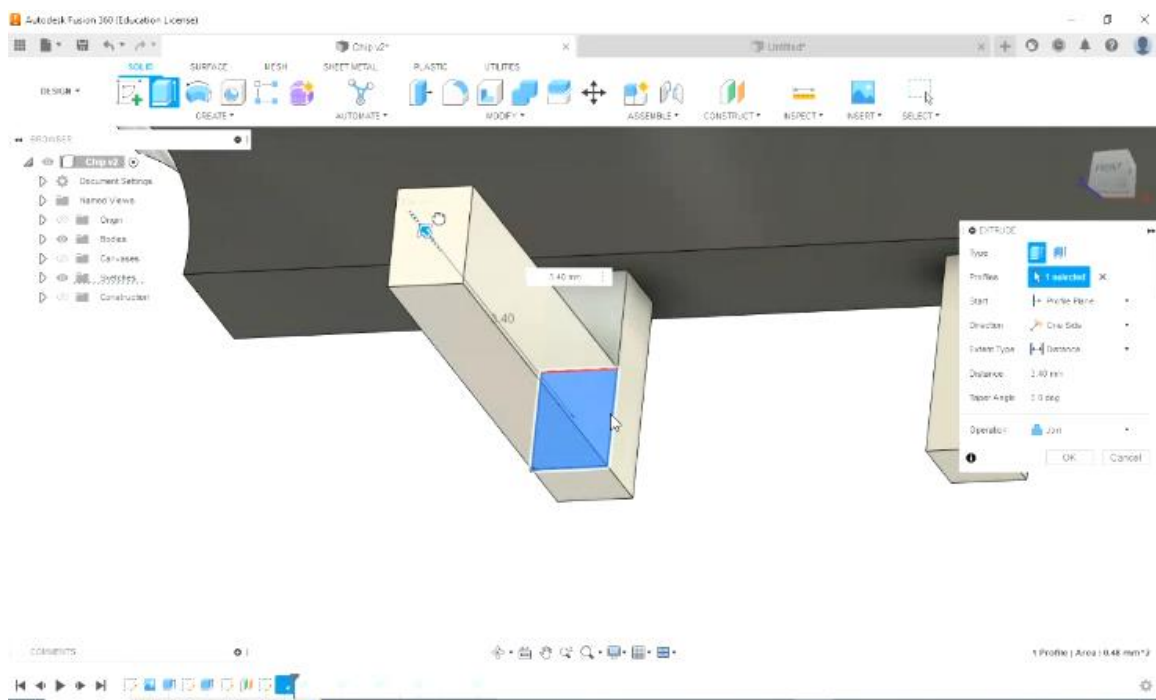
**Εικόνα 7-19** Δημιουργία πάχους με την εντολή extrude. Πατώντας πάνω στο αντικείμενο που σχεδιάζουμε, είναι δυνατή η εισαγωγή τιμής πάχους (μπλε περιοχή)



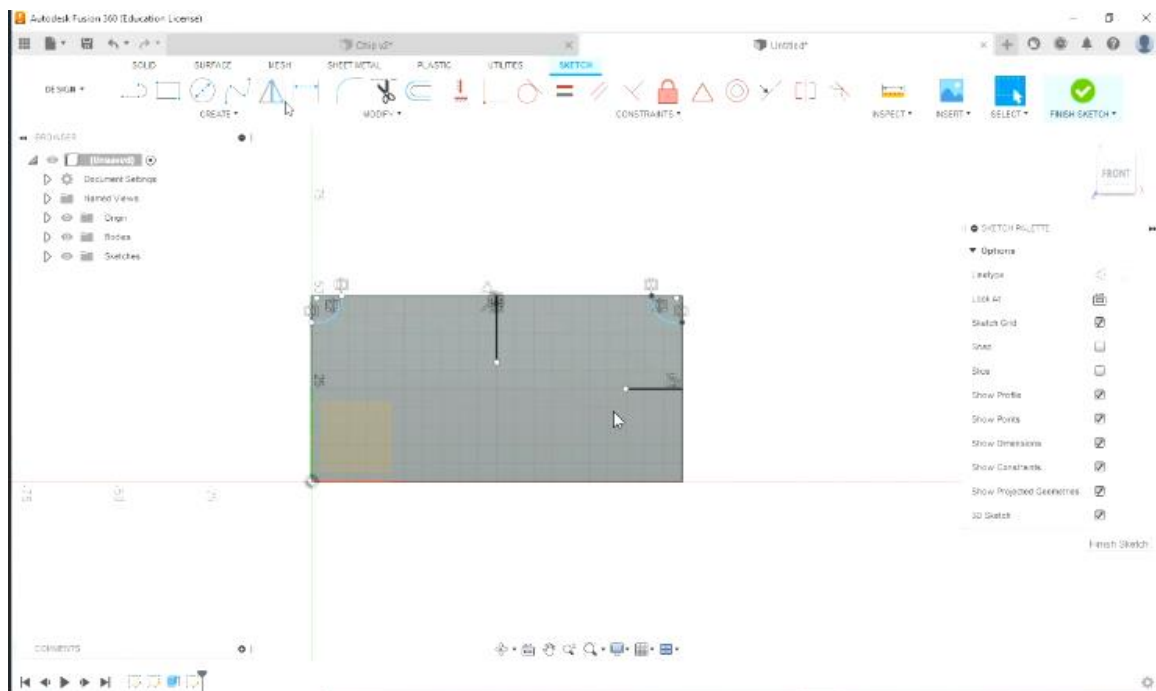
**Εικόνα 7-20** Με την εντολή Extrude –cut δημιουργούνται οπές σε τρισδιάστατο αντικείμενο



**Εικόνα 7-21** Με την εντολή extrude δημιουργούνται προσθήκες σε υπάρχον αντικείμενο

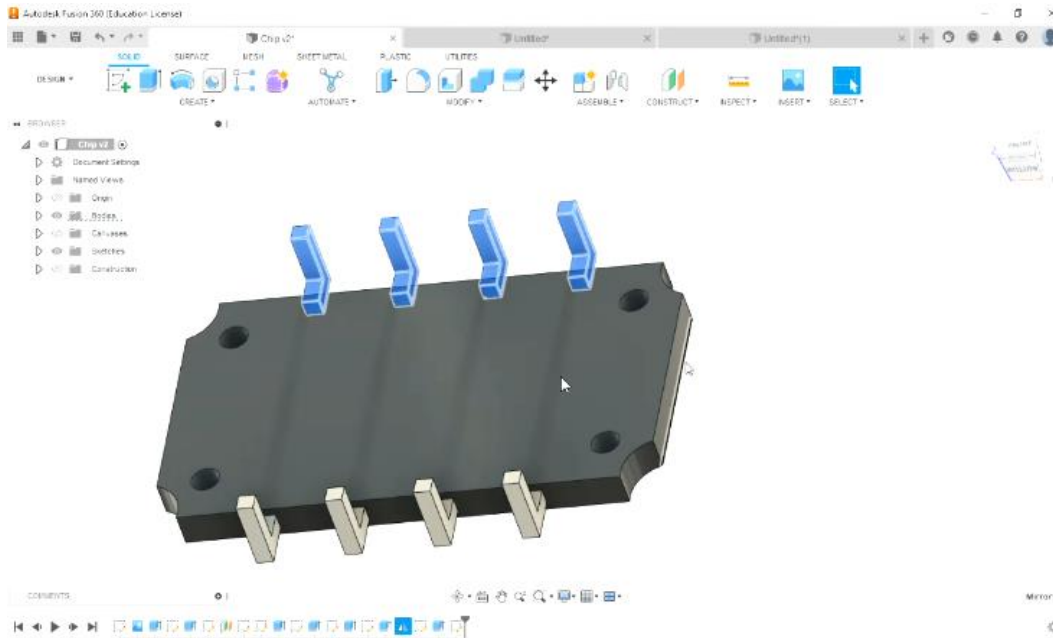


**Εικόνα 7-22** Με την εντολή extrude επεκτείνεται ένα αντικείμενο



**Εικόνα 7-23** Με την εντολή Mirror υπάρχει η δυνατότητα να σχεδιαστεί οτιδήποτε μια φορά (στο παράδειγμά μας τα τόξα στις άκρες του chip) και κατόπιν να αντικατοπτριστεί οπουδήποτε αλλού

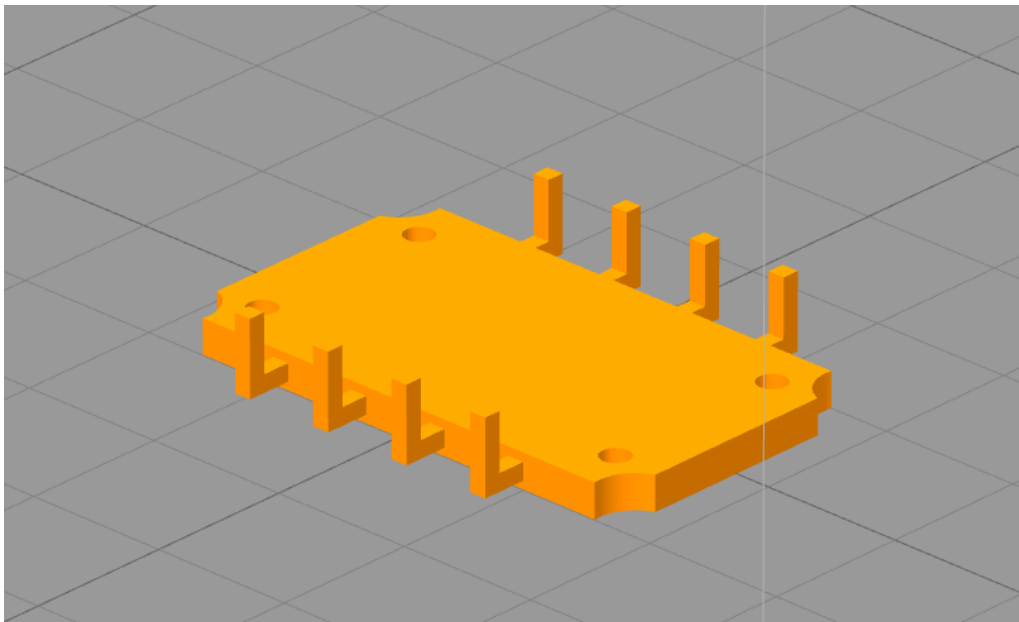




**Εικόνα 7-24** Η μπλέ σειρά ακίδων δημιουργήθηκε με την εντολή Mirror

## 7.2 Η υλοποίηση του chip

Στη συνέχεια αναπτύχθηκε ο κώδικας του παραρτήματος – με τη χρήση του προγράμματος simplify3d - ο οποίος εισήχθη σε 3D εκτυπωτή και δημιουργήθηκε το chip που φαίνεται παρακάτω



**Εικόνα 7-25**

**Το chip που δημιουργήθηκε στον 3D εκτυπωτή με τη χρήση του προγράμματος Simplify3D**

---

**ΠΑΡΑΡΤΗΜΑ –Ο ΚΩΔΙΚΑΣ ΤΗΣ ΣΧΕΔΙΑΣΗΣ**

```
; G-Code generated by Simplify3D(R) Version 4.1.2
; Jun 9, 2022 at 2:23:31 PM
; Settings Summary //Σύνοψη ρυθμίσεων
; processName,Process1 //Όνομα διαδικασίας
; applyToModels,chip_finalfinal //Ισχύει για τα μοντέλα
; profileName,Crealty CR 10 V3 (modified)
; profileVersion,2022-06-09 11:25:48
; baseProfile,Crealty CR-10(2) //Προφίλ βάσης
; printMaterial,PLA //Υλικό εκτύπωσης
; printQuality,Medium //Ποιότητα εκτύπωσης
; printExtruders, //Εξωθητές εκτύπωσης
; extruderName,Primary Extruder //Όνομα εξωθητή, Πρωτεύων εξωθητής
; extruderToolheadNumber,0 //Εξωθητής αριθμός κεφαλής εργαλείου
; extruderDiameter,0.4 //Διάμετρος εξωθητή
; extruderAutoWidth,1 //Αυτόματο πλάτος εξώθησης
; extruderWidth,0.48 //Πλάτος εξωθητή
; extrusionMultiplier,1 //Πολλαπλασιαστής εξώθησης
; extruderUseRetract,1 //Χρήση εξωθητή ανάσυρσης
; extruderRetractionDistance,1.2 //Απόσταση ανάκλησης εξώθησης
; extruderExtraRestartDistance,0 //Επιπλέον απόσταση επανεκκίνησης
εξώθησης
; extruderRetractionZLift,0.3 //Εξωθητής ανάκλησης Z ανύψωσης
; extruderRetractionSpeed,2100 //Ταχύτητα ανάκλησης εξωθητήρα
; extruderUseCoasting,0
; extruderCoastingDistance,0.2
```

---

```
; extruderUseWipe,0 //Εξωθητής χρήσης εκκαθάρισης
; extruderWipeDistance,5 //Εξωθητής εκκαθάρισης απόστασης
; primaryExtruder,0 //Πρωτεύων εξωθητής
; layerHeight,0.3 //Ύψος στρώματος
; topSolidLayers,4 //Κορυφαία στερεά στρώματα
; bottomSolidLayers,4 //Βάθος στερεών στρωμάτων
; perimeterOutlines,2 //Περιμετρικά περιγράμματα
; printPerimetersInsideOut,1 //Εκτύπωση περιμέτρου μέσα έξω
; startPointOption,3 //Επιλογή σημείου έναρξης
; startPointOriginX,250 //'Έναρξη σημείου προέλευσης X
; startPointOriginY,150 //'Έναρξη σημείου προέλευσης Y
; sequentialIslands,0
; spiralVaseMode,0
; firstLayerHeightPercentage,100
; firstLayerWidthPercentage,100
; firstLayerUnderspeed,0.3
; useRaft,0
; raftExtruder,0
; raftTopLayers,3
; raftBaseLayers,2
; raftOffset,3
; raftSeparationDistance,0.14
; raftTopInfill,100
; aboveRaftSpeedMultiplier,0.3
; useSkirt,1
; skirtExtruder,0
; skirtLayers,1
```

---

```
; skirtOutlines,2
; skirtOffset,6
; usePrimePillar,0
; primePillarExtruder,999
; primePillarWidth,12
; primePillarLocation,7
; primePillarSpeedMultiplier,1
; useOozeShield,0
; oozeShieldExtruder,999
; oozeShieldOffset,2
; oozeShieldOutlines,1
; oozeShieldSidewallShape,1
; oozeShieldSidewallAngle,30
; oozeShieldSpeedMultiplier,1
; infillExtruder,0
; internalInfillPattern,Grid
; externalInfillPattern,Rectilinear
; infillPercentage,5
; outlineOverlapPercentage,15
; infillExtrusionWidthPercentage,100
; minInfillLength,2
; infillLayerInterval,1
; internalInfillAngles,45,-45
; overlapInternalInfillAngles,1
; externalInfillAngles,45,-45
; generateSupport,1
; supportExtruder,0
```

---

```
; supportInfillPercentage,30
; supportExtraInflation,0.4
; supportBaseLayers,0
; denseSupportExtruder,0
; denseSupportLayers,0
; denseSupportInfillPercentage,70
; supportLayerInterval,1
; supportHorizontalPartOffset,0.6
; supportUpperSeparationLayers,1
; supportLowerSeparationLayers,1
; supportType,0
; supportGridSpacing,1
; maxOverhangAngle,45
; supportAngles,0
; temperatureName,Primary Extruder,Heated Bed
; temperatureNumber,0,0
; temperatureSetpointCount,1,1
; temperatureSetpointLayers,1,1
; temperatureSetpointTemperatures,205,60
; temperatureStabilizeAtStartup,1,1
; temperatureHeatedBed,0,1
; fanLayers,1,2,3
; fanSpeeds,0,40,100
; blipFanToFullPower,0
; adjustSpeedForCooling,1
; minSpeedLayerTime,15
; minCoolingSpeedSlowdown,20
```

---

```
; increaseFanForCooling,0
; minFanLayerTime,45
; maxCoolingFanSpeed,100
; increaseFanForBridging,0
; bridgingFanSpeed,100
; use5D,1
; relativeEdistances,0
; allowEaxisZeroing,1
; independentExtruderAxes,0
; includeM10123,0
; stickySupport,1
; applyToolheadOffsets,0
; gcodeXoffset,0
; gcodeYoffset,0
; gcodeZoffset,0
; overrideMachineDefinition,1
; machineTypeOverride,0
; strokeXoverride,300
; strokeYoverride,300
; strokeZoverride,400
; originOffsetXoverride,0
; originOffsetYoverride,0
; originOffsetZoverride,0
; homeXdirOverride,-1
; homeYdirOverride,-1
; homeZdirOverride,-1
; flipXoverride,1
```

---

```
; flipYoverride,-1
; flipZoverride,1
; toolheadOffsets,0,0|0,0|0,0|0,0|0,0|0,0
; overrideFirmwareConfiguration,1
; firmwareTypeOverride,RepRap (Marlin/Repetier/Sprinter)
; GPXconfigOverride,r2
; baudRateOverride,115200
; overridePrinterModels,1
; printerModelsOverride

; startingGcode,,G28 ;Home,,G92 E0 ;Reset Extruder,G1 Z2.0 F3000 ;Move Z
Axis up,G1 X10.1 Y20 Z0.28 F5000.0 ;Move to start position,G1 X10.1 Y200.0
Z0.28 F1500.0 E15 ;Draw the first line,G1 X10.4 Y200.0 Z0.28 F5000.0 ;Move to
side a little,G1 X10.4 Y20 Z0.28 F1500.0 E30 ;Draw the second line,G92 E0
;Reset Extruder,G1 Z2.0 F3000 ;Move Z Axis up,

; layerChangeGcode,
; retractionGcode,
; toolChangeGcode,

; endingGcode,G91 ;Relative positionning,G1 E-2 F2700 ;Retract a bit,G1 E-2
Z0.2 F2400 ;Retract and raise Z,G1 X5 Y5 F3000 ;Wipe out,G1 Z10 ;Raise Z
more,G90 ;Absolute positionning,,G1 X0 Y0 ;Present print,M106 S0 ;Turn-off
fan,M104 S0 ;Turn-off hotend,M140 S0 ;Turn-off bed,,M84 X Y E ;Disable all
steppers but Z,

; exportFileFormat,gcode
; celebration,0
; celebrationSong,Star Wars
; postProcessing,
; defaultSpeed,1800
; outlineUnderspeed,0.6
; solidInfillUnderspeed,0.8
; supportUnderspeed,0.8
```

---

```
; rapidXYSpeed,7200
; rapidZspeed,1002
; minBridgingArea,50
; bridgingExtraInflation,0
; bridgingExtrusionMultiplier,1
; bridgingSpeedMultiplier,1
; useFixedBridgingAngle,0
; fixedBridgingAngle,0
; applyBridgingToPerimeters,0
; filamentDiameters,1.75|1.75|1.75|1.75|1.75|1.75
; filamentPricesPerKg,46|46|46|46|46|46
; filamentDensities,1.25|1.25|1.25|1.25|1.25|1.25
; useMinPrintHeight,0
; minPrintHeight,0
; useMaxPrintHeight,0
; maxPrintHeight,0
; useDiaphragm,0
; diaphragmLayerInterval,20
; robustSlicing,1
; mergeAllIntoSolid,0 //Συγχώνευση όλων σε στερεό
; onlyRetractWhenCrossingOutline,1
; retractBetweenLayers,1
; useRetractionMinTravel,0
; retractionMinTravel,3
; retractWhileWiping,0
; onlyWipeOutlines,0
; avoidCrossingOutline,0
```



---

```
; maxMovementDetourFactor,3
; toolChangeRetractionDistance,12
; toolChangeExtraRestartDistance,-0.5
; toolChangeRetractionSpeed,600
; externalThinWallType,0
; internalThinWallType,2
; thinWallAllowedOverlapPercentage,15
; singleExtrusionMinLength,0.4
; singleExtrusionMinPrintingWidthPercentage,50
; singleExtrusionMaxPrintingWidthPercentage,200
; singleExtrusionEndpointExtension,0.4
; horizontalSizeCompensation,0
```

G90 //Η εντολή αυτή ορίζει την χρήση των απόλυτων συντεταγμένων για την κίνηση της κεφαλής κατά μήκος των αξόνων

M82 //Η εντολή αυτή ορίζει την χρήση απόλυτων συντεταγμένων για την εξώθηση του υλικού

M106 S0 //Η πρώτη εντολή ορίζει την ενεργοποίηση του ανεμιστήρα και η δεύτερη εντολή ρυθμίζει την ταχύτητα του ανεμιστήρα ψύξης όπου είναι απενεργοποιημένος διότι έχει μηδενική τιμή.Άρα με αυτή την εντολή έχουμε απενεργοποίηση του ανεμιστήρα

M140 S60 //Ξεκινάει να θερμένεται η επιφάνεια στους 60 βαθμούς κελσίου

M190 S60 //Αναμονή μέχρι η επιφάνεια να φτάσει τους 60 βαθμούς κελσίου

M104 S205 T0 //Ξεκινάει η θέρμανση T0 στους 205 βαθμούς κελσίου και συνήθως το T0 είναι ο δεξιός εξωθητής

M109 S205 T0 //Αναμονή μέχρι να φτάσει το T0 στις 205 μοίρες πριν συνεχίσουν οι άλλες εντολές

G28 ;Home //Αρχική θέση σε όλους τους άξονες X,Y,Z

G92 E0 ;Reset Extruder //Ρύθμιση της τρέχουσας θέσης νήματος σε E=0

G1 Z2.0 F3000 ;Move Z Axis up //Αρχικά η εντολή G1 περιγράφει την γραμμική κίνηση της κεφαλής με παράλληλη εξώθηση πλαστικού.Στη συνέχεια έχουμε μετακίνηση του άξονα Z στο Z=2,0mm με μικρότερη ταχύτητα 3000 mm/min

---

G1 X10.1 Y20 Z0.28 F5000.0 ;Move to start position //Αρχικά η εντολή G1 περιγράφει την γραμμική κίνηση της κεφαλής με παράλληλη εξώθηση πλαστικού. Στη συνέχεια έχουμε μετακίνηση στη θέση X=10,1mm Y=20mm Z=0,28mm στην επιφάνεια με ταχύτητα 5000,0 mm/min

G1 X10.1 Y200.0 Z0.28 F1500.0 E15 ;Draw the first line //Αρχικά η εντολή G1 περιγράφει την γραμμική κίνηση της κεφαλής με παράλληλη εξώθηση πλαστικού. Στη συνέχεια έχουμε μετακίνηση στη θέση X=10,1mm Y=200,0 Z=0,28mm στην επιφάνεια με ταχύτητα 1500,0 mm/min και η εντολή E αντιστοιχεί στη θέση του καρουλιού του νήματος. Επομένως έχουμε μετακίνηση του άξονα E κατά 15mm όπου θα προκαλέσει ώθηση 15mm του νήματος στο ακροφύσιο

G1 X10.4 Y200.0 Z0.28 F5000.0 ;Move to side a little

G1 X10.4 Y20 Z0.28 F1500.0 E30 ;Draw the second line

G92 E0 ;Reset Extruder

G1 Z2.0 F3000 ;Move Z Axis up

; process Process1

; layer 1, Z = 0.300

T0

G92 E0.0000

G1 E-1.2000 F2100

; feature skirt

; tool H0.300 W0.480

G1 Z0.300 F1002

G1 X165.470 Y155.368 F7200

G1 E0.0000 F2100

G92 E0.0000

G1 X164.574 Y156.797 E0.1010 F540

G1 X164.587 Y157.713 E0.1558

G1 X160.639 Y161.720 E0.4926

G1 X139.361 Y161.720 E1.7665

G1 X135.413 Y157.713 E2.1033

---

G1 X135.426 Y156.797 E2.1581  
G1 X134.530 Y155.368 E2.2591  
G1 X134.530 Y144.632 E2.9019  
G1 X135.426 Y143.203 E3.0028  
G1 X135.413 Y142.287 E3.0577  
G1 X139.361 Y138.280 E3.3945  
G1 X160.639 Y138.280 E4.6684  
G1 X164.587 Y142.287 E5.0051  
G1 X164.574 Y143.203 E5.0600  
G1 X165.470 Y144.632 E5.1610  
G1 X165.470 Y155.368 E5.8037  
G92 E0.0000  
G1 E-1.2000 F2100  
G1 Z0.600 F1002  
G1 X164.990 Y155.230 F7200  
G1 Z0.300 F1002  
G1 E0.0000 F2100  
G92 E0.0000  
G1 X164.092 Y156.662 E0.1012 F540  
G1 X164.104 Y157.519 E0.1525  
G1 X160.438 Y161.240 E0.4653  
G1 X139.562 Y161.240 E1.7151  
G1 X135.896 Y157.519 E2.0278  
G1 X135.908 Y156.662 E2.0791  
G1 X135.010 Y155.230 E2.1804  
G1 X135.010 Y144.770 E2.8065  
G1 X135.908 Y143.338 E2.9078

---

G1 X135.896 Y142.481 E2.9591

G1 X139.562 Y138.760 E3.2718

G1 X160.438 Y138.760 E4.5216

G1 X164.104 Y142.481 E4.8344

G1 X164.092 Y143.338 E4.8857

G1 X164.990 Y144.770 E4.9869

G1 X164.990 Y155.230 E5.6131

G92 E0.0000

G1 E-1.2000 F2100; feature inner perimeter //Χαρακτηριστικό εσωτερικής περιμέτρου

G1 Z0.600 F1002

G1 X158.030 Y152.441 F7200

G1 Z0.300 F1002

G1 E0.0000 F2100

G92 E0.0000

G1 X157.375 Y152.118 E0.0437 F432

G1 X156.895 Y152.086 E0.0725

G1 X156.439 Y152.241 E0.1014

G1 X156.077 Y152.559 E0.1302

G1 X155.862 Y152.994 E0.1592

G1 X155.835 Y153.485 E0.1887

G1 X155.989 Y153.929 E0.2168

G1 X156.297 Y154.280 E0.2448

G1 X143.815 Y154.280 E0.9920

G1 X144.136 Y153.629 E1.0354

G1 X144.168 Y153.149 E1.0643

G1 X144.013 Y152.693 E1.0931

---

G1 X143.695 Y152.331 E1.1219

G1 X143.263 Y152.118 E1.1508

G1 X142.783 Y152.086 E1.1796

G1 X142.327 Y152.241 E1.2084

G1 X141.970 Y152.554 E1.2368

G1 X141.970 Y147.559 E1.5359

G1 X142.625 Y147.882 E1.5796

G1 X143.105 Y147.914 E1.6084

G1 X143.561 Y147.759 E1.6372

G1 X143.923 Y147.441 E1.6661

G1 X144.136 Y147.009 E1.6949

G1 X144.168 Y146.529 E1.7237

G1 X144.013 Y146.073 E1.7525

G1 X143.703 Y145.720 E1.7806

G1 X156.185 Y145.720 E2.5279

G1 X155.862 Y146.374 E2.5716

G1 X155.835 Y146.865 E2.6010

G1 X155.989 Y147.309 E2.6291

G1 X156.305 Y147.669 E2.6578

G1 X156.737 Y147.882 E2.6866

G1 X157.217 Y147.914 E2.7155

G1 X157.673 Y147.759 E2.7443

G1 X158.030 Y147.446 E2.7727

G1 X158.030 Y152.441 E3.0717

; feature outer perimeter //Χαρακτηριστικό εξωτερικής περιμέτρου

G1 X158.510 Y153.284 F7200

G92 E0.0000

---

G1 X158.328 Y153.372 E0.0121 F324

G1 X158.119 Y153.530 E0.0278

G1 X157.941 Y153.715 E0.0431

G1 X157.793 Y153.925 E0.0585

G1 X157.678 Y154.161 E0.0742

G1 X157.582 Y154.524 E0.0967

G1 X157.567 Y154.760 E0.1109

G1 X142.433 Y154.760 E1.0169

G1 X142.418 Y154.524 E1.0311

G1 X142.322 Y154.161 E1.0536

G1 X142.207 Y153.925 E1.0692

G1 X142.059 Y153.715 E1.0846

G1 X141.881 Y153.530 E1.1000

G1 X141.672 Y153.372 E1.1157

G1 X141.490 Y153.284 E1.1278

G1 X141.490 Y146.716 E1.5210

G1 X141.672 Y146.628 E1.5331

G1 X141.881 Y146.470 E1.5488

G1 X142.059 Y146.285 E1.5642

G1 X142.207 Y146.075 E1.5796

G1 X142.322 Y145.839 E1.5953

G1 X142.418 Y145.476 E1.6178

G1 X142.433 Y145.240 E1.6319

G1 X157.567 Y145.240 E2.5380

G1 X157.582 Y145.476 E2.5521

G1 X157.678 Y145.839 E2.5746

G1 X157.793 Y146.075 E2.5903

---

G1 X157.941 Y146.285 E2.6057  
G1 X158.119 Y146.470 E2.6211  
G1 X158.328 Y146.628 E2.6367  
G1 X158.510 Y146.716 E2.6488  
G1 X158.510 Y153.284 E3.0421  
G1 X157.794 Y153.213 F7200  
G92 E0.0000  
G1 X157.701 Y152.938 E0.0174 F324  
G1 X157.509 Y152.719 E0.0348  
G1 X157.249 Y152.591 E0.0522  
G1 X156.959 Y152.572 E0.0696  
G1 X156.684 Y152.665 E0.0870  
G1 X156.465 Y152.857 E0.1044  
G1 X156.336 Y153.118 E0.1219  
G1 X156.320 Y153.417 E0.1398  
G1 X156.412 Y153.683 E0.1566  
G1 X156.603 Y153.901 E0.1739  
G1 X156.863 Y154.029 E0.1913  
G1 X157.153 Y154.048 E0.2087  
G1 X157.428 Y153.955 E0.2261  
G1 X157.647 Y153.763 E0.2435  
G1 X157.775 Y153.503 E0.2609  
G1 X157.794 Y153.213 E0.2783  
G1 X157.153 Y147.428 F7200  
G92 E0.0000  
G1 X157.428 Y147.335 E0.0174 F324  
G1 X157.647 Y147.143 E0.0348

---

G1 X157.775 Y146.883 E0.0522  
G1 X157.794 Y146.593 E0.0696  
G1 X157.701 Y146.318 E0.0870  
G1 X157.509 Y146.099 E0.1044  
G1 X157.249 Y145.971 E0.1218  
G1 X156.959 Y145.952 E0.1392  
G1 X156.684 Y146.045 E0.1566  
G1 X156.465 Y146.237 E0.1740  
G1 X156.336 Y146.498 E0.1914  
G1 X156.320 Y146.797 E0.2093  
G1 X156.412 Y147.063 E0.2262  
G1 X156.603 Y147.281 E0.2435  
G1 X156.863 Y147.409 E0.2609  
G1 X157.153 Y147.428 E0.2783  
G1 X143.682 Y146.593 F7200  
G92 E0.0000  
G1 X143.589 Y146.318 E0.0174 F324  
G1 X143.397 Y146.099 E0.0348  
G1 X143.137 Y145.971 E0.0522  
G1 X142.847 Y145.952 E0.0696  
G1 X142.572 Y146.045 E0.0870  
G1 X142.353 Y146.237 E0.1044  
G1 X142.224 Y146.498 E0.1218  
G1 X142.208 Y146.797 E0.1398  
G1 X142.300 Y147.063 E0.1566  
G1 X142.491 Y147.281 E0.1739  
G1 X142.751 Y147.409 E0.1913



---

G1 X143.041 Y147.428 E0.2087

G1 X143.316 Y147.335 E0.2261

G1 X143.535 Y147.143 E0.2435

G1 X143.663 Y146.883 E0.2609

G1 X143.682 Y146.593 E0.2783

G1 X143.137 Y152.591 F7200

G92 E0.0000

G1 X142.847 Y152.572 E0.0174 F324

G1 X142.572 Y152.665 E0.0348

G1 X142.353 Y152.857 E0.0522

G1 X142.224 Y153.118 E0.0697

G1 X142.208 Y153.417 E0.0876

G1 X142.300 Y153.683 E0.1044

G1 X142.491 Y153.901 E0.1218

G1 X142.751 Y154.029 E0.1392

G1 X143.041 Y154.048 E0.1566

G1 X143.316 Y153.955 E0.1739

G1 X143.535 Y153.763 E0.1913

G1 X143.663 Y153.503 E0.2087

G1 X143.682 Y153.213 E0.2261

G1 X143.589 Y152.938 E0.2435

G1 X143.397 Y152.719 E0.2609

G1 X143.137 Y152.591 E0.2783

; feature solid layer //Χαρακτηριστικό στερεό στρώμα

G1 X142.858 Y151.682 F7200

G92 E0.0000

G1 X142.378 Y151.203 E0.0406 F432

---

G1 X142.378 Y150.524 E0.0813  
G1 X143.764 Y151.910 E0.1986  
G1 X143.949 Y152.001 E0.2109  
G1 X144.373 Y152.485 E0.2495  
G1 X144.390 Y152.536 E0.2527  
G1 X145.726 Y153.872 E0.3658  
G1 X146.405 Y153.872 E0.4064  
G1 X142.378 Y149.845 E0.7474  
G1 X142.378 Y149.166 E0.7880  
G1 X147.084 Y153.872 E1.1865  
G1 X147.763 Y153.872 E1.2271  
G1 X142.378 Y148.487 E1.6830  
G1 X142.378 Y148.215 E1.6993  
G1 X142.517 Y148.284 E1.7086  
G1 X142.877 Y148.308 E1.7301  
G1 X148.441 Y153.872 E2.2013  
G1 X149.120 Y153.872 E2.2419  
G1 X143.469 Y148.221 E2.7204  
G1 X143.769 Y148.119 E2.7393  
G1 X143.917 Y147.990 E2.7511  
G1 X149.799 Y153.872 E3.2491  
G1 X150.478 Y153.872 E3.2898  
G1 X144.269 Y147.663 E3.8155  
G1 X144.493 Y147.208 E3.8458  
G1 X151.157 Y153.872 E4.4100  
G1 X151.836 Y153.872 E4.4507  
G1 X144.571 Y146.608 E5.0657

---

G1 X144.580 Y146.475 E5.0737  
G1 X144.462 Y146.128 E5.0956  
G1 X144.770 Y146.128 E5.1141  
G1 X152.514 Y153.872 E5.7697  
G1 X153.193 Y153.872 E5.8104  
G1 X145.449 Y146.128 E6.4660  
G1 X146.128 Y146.128 E6.5067  
G1 X153.872 Y153.872 E7.1623  
G1 X154.551 Y153.872 E7.2029  
G1 X146.807 Y146.128 E7.8586  
G1 X147.486 Y146.128 E7.8992  
G1 X155.230 Y153.872 E8.5549  
G1 X155.537 Y153.872 E8.5733  
G1 X155.423 Y153.543 E8.5942  
G1 X155.432 Y153.395 E8.6030  
G1 X148.164 Y146.128 E9.2183  
G1 X148.843 Y146.128 E9.2590  
G1 X155.507 Y152.792 E9.8231  
G1 X155.731 Y152.337 E9.8535  
G1 X149.522 Y146.128 E10.3792  
G1 X150.201 Y146.128 E10.4198  
G1 X156.083 Y152.010 E10.9179  
G1 X156.231 Y151.881 E10.9296  
G1 X156.531 Y151.779 E10.9486  
G1 X150.880 Y146.128 E11.4271  
G1 X151.559 Y146.128 E11.4677  
G1 X157.123 Y151.692 E11.9388

---

G1 X157.483 Y151.716 E11.9604

G1 X157.622 Y151.785 E11.9697

G1 X157.622 Y151.513 E11.9860

G1 X152.237 Y146.128 E12.4419

G1 X152.916 Y146.128 E12.4825

G1 X157.622 Y150.834 E12.8809

G1 X157.622 Y150.155 E12.9216

G1 X153.595 Y146.128 E13.2625

G1 X154.274 Y146.128 E13.3032

G1 X155.611 Y147.465 E13.4164

G1 X155.423 Y146.923 E13.4507

G1 X155.440 Y146.616 E13.4692

G1 X154.953 Y146.128 E13.5104

G1 X156.236 Y148.090 F7200

G92 E0.0000

G1 X157.622 Y149.476 E0.1173 F432

G1 X157.622 Y148.797 E0.1580

G1 X157.142 Y148.318 E0.1986

G1 X145.047 Y153.872 F7200

G92 E0.0000

G1 X144.561 Y153.386 E0.0412 F432

G92 E0.0000

G1 E-1.2000 F2100

; layer 2, Z = 0.600

M106 S102

; feature inner perimeter //Χαρακτηριστικό εσωτερικής περιμέτρου

G1 Z0.600 F1002

---

G1 X158.030 Y152.441 F7200  
G1 E0.0000 F2100  
G92 E0.0000  
G1 X157.375 Y152.118 E0.0437 F1440  
G1 X156.895 Y152.086 E0.0725  
G1 X156.439 Y152.241 E0.1014  
G1 X156.077 Y152.559 E0.1302  
G1 X155.859 Y153.000 E0.1597  
G1 X155.840 Y153.512 E0.1903  
G1 X155.992 Y153.932 E0.2171  
G1 X156.297 Y154.280 E0.2447  
G1 X143.815 Y154.280 E0.9920  
G1 X144.136 Y153.629 E1.0354  
G1 X144.168 Y153.149 E1.0643  
G1 X144.013 Y152.693 E1.0931  
G1 X143.695 Y152.331 E1.1219  
G1 X143.263 Y152.118 E1.1507  
G1 X142.783 Y152.086 E1.1796  
G1 X142.327 Y152.241 E1.2084  
G1 X141.970 Y152.554 E1.2368  
G1 X141.970 Y147.559 E1.5359  
G1 X142.625 Y147.882 E1.5796  
G1 X143.105 Y147.914 E1.6084  
G1 X143.561 Y147.759 E1.6372  
G1 X143.923 Y147.441 E1.6660  
G1 X144.136 Y147.009 E1.6949  
G1 X144.168 Y146.529 E1.7237

---

G1 X144.013 Y146.073 E1.7525

G1 X143.703 Y145.720 E1.7806

G1 X156.185 Y145.720 E2.5279

G1 X155.859 Y146.380 E2.5720

G1 X155.840 Y146.892 E2.6026

G1 X155.992 Y147.312 E2.6294

G1 X156.305 Y147.669 E2.6578

G1 X156.737 Y147.882 E2.6866

G1 X157.217 Y147.914 E2.7154

G1 X157.673 Y147.759 E2.7443

G1 X158.030 Y147.446 E2.7727

G1 X158.030 Y152.441 E3.0717

; feature outer perimeter //Χαρακτηριστικό εξωτερικής περιμέτρου

G1 X158.510 Y153.284 F7200

G92 E0.0000

G1 X158.328 Y153.372 E0.0121 F1080

G1 X158.119 Y153.530 E0.0278

G1 X157.941 Y153.715 E0.0431

G1 X157.793 Y153.925 E0.0585

G1 X157.678 Y154.161 E0.0742

G1 X157.582 Y154.524 E0.0967

G1 X157.567 Y154.760 E0.1109

G1 X154.754 Y154.760 E0.2793

G1 X154.754 Y156.360 E0.3751

G1 X154.634 Y156.360 E0.3823

G1 X154.634 Y154.760 E0.4781

G1 X151.624 Y154.760 E0.6583

---

G1 X151.624 Y156.360 E0.7541  
G1 X151.504 Y156.360 E0.7612  
G1 X151.504 Y154.760 E0.8570  
G1 X148.494 Y154.760 E1.0372  
G1 X148.494 Y156.360 E1.1330  
G1 X148.374 Y156.360 E1.1402  
G1 X148.374 Y154.760 E1.2360  
G1 X145.364 Y154.760 E1.4162  
G1 X145.364 Y156.360 E1.5120  
G1 X145.244 Y156.360 E1.5192  
G1 X145.244 Y154.760 E1.6150  
G1 X142.433 Y154.760 E1.7832  
G1 X142.418 Y154.524 E1.7974  
G1 X142.322 Y154.161 E1.8199  
G1 X142.207 Y153.925 E1.8356  
G1 X142.059 Y153.715 E1.8510  
G1 X141.881 Y153.530 E1.8663  
G1 X141.672 Y153.372 E1.8820  
G1 X141.490 Y153.284 E1.8941  
G1 X141.490 Y146.716 E2.2874  
G1 X141.672 Y146.628 E2.2994  
G1 X141.881 Y146.470 E2.3151  
G1 X142.059 Y146.285 E2.3305  
G1 X142.207 Y146.075 E2.3459  
G1 X142.322 Y145.839 E2.3616  
G1 X142.418 Y145.476 E2.3841  
G1 X142.433 Y145.240 E2.3982

---

G1 X145.244 Y145.240 E2.5665  
G1 X145.244 Y143.640 E2.6623  
G1 X145.364 Y143.640 E2.6695  
G1 X145.364 Y145.240 E2.7653  
G1 X148.374 Y145.240 E2.9455  
G1 X148.374 Y143.640 E3.0413  
G1 X148.494 Y143.640 E3.0484  
G1 X148.494 Y145.240 E3.1442  
G1 X151.504 Y145.240 E3.3244  
G1 X151.504 Y143.640 E3.4202  
G1 X151.624 Y143.640 E3.4274  
G1 X151.624 Y145.240 E3.5232  
G1 X154.634 Y145.240 E3.7034  
G1 X154.634 Y143.640 E3.7992  
G1 X154.754 Y143.640 E3.8064  
G1 X154.754 Y145.240 E3.9022  
G1 X157.567 Y145.240 E4.0706  
G1 X157.582 Y145.476 E4.0848  
G1 X157.678 Y145.839 E4.1073  
G1 X157.793 Y146.075 E4.1229  
G1 X157.941 Y146.285 E4.1383  
G1 X158.119 Y146.470 E4.1537  
G1 X158.328 Y146.628 E4.1694  
G1 X158.510 Y146.716 E4.1815  
G1 X158.510 Y153.284 E4.5747  
G1 X157.794 Y153.213 F7200  
G92 E0.0000



---

G1 X157.701 Y152.938 E0.0174 F1080

G1 X157.509 Y152.719 E0.0348

G1 X157.249 Y152.591 E0.0522

G1 X156.959 Y152.572 E0.0696

G1 X156.684 Y152.665 E0.0870

G1 X156.465 Y152.857 E0.1044

G1 X156.335 Y153.120 E0.1220

G1 X156.324 Y153.437 E0.1410

G1 X156.413 Y153.684 E0.1567

G1 X156.603 Y153.901 E0.1739

G1 X156.863 Y154.029 E0.1913

G1 X157.153 Y154.048 E0.2087

G1 X157.428 Y153.955 E0.2261

G1 X157.647 Y153.763 E0.2435

G1 X157.775 Y153.503 E0.2609

G1 X157.794 Y153.213 E0.2783

G1 X157.153 Y147.428 F7200

G92 E0.0000

G1 X157.428 Y147.335 E0.0174 F1080

G1 X157.647 Y147.143 E0.0348

G1 X157.775 Y146.883 E0.0522

G1 X157.794 Y146.593 E0.0696

G1 X157.701 Y146.318 E0.0870

G1 X157.509 Y146.099 E0.1044

G1 X157.249 Y145.971 E0.1218

G1 X156.959 Y145.952 E0.1392

G1 X156.684 Y146.045 E0.1566

---

G1 X156.465 Y146.237 E0.1740  
G1 X156.335 Y146.501 E0.1916  
G1 X156.324 Y146.817 E0.2105  
G1 X156.413 Y147.064 E0.2263  
G1 X156.603 Y147.281 E0.2435  
G1 X156.863 Y147.409 E0.2609  
G1 X157.153 Y147.428 E0.2783  
G1 X143.682 Y146.593 F7200  
G92 E0.0000  
G1 X143.589 Y146.318 E0.0174 F1080  
G1 X143.397 Y146.099 E0.0348  
G1 X143.137 Y145.971 E0.0522  
G1 X142.847 Y145.952 E0.0696  
G1 X142.572 Y146.045 E0.0870  
G1 X142.353 Y146.237 E0.1044  
G1 X142.223 Y146.501 E0.1220  
G1 X142.212 Y146.817 E0.1409  
G1 X142.301 Y147.064 E0.1567  
G1 X142.491 Y147.281 E0.1739  
G1 X142.751 Y147.409 E0.1913  
G1 X143.041 Y147.428 E0.2087  
G1 X143.316 Y147.335 E0.2261  
G1 X143.535 Y147.143 E0.2435  
G1 X143.663 Y146.883 E0.2609  
G1 X143.682 Y146.593 E0.2783  
G1 X143.137 Y152.591 F7200  
G92 E0.0000

---

G1 X142.847 Y152.572 E0.0174 F1080

G1 X142.572 Y152.665 E0.0348

G1 X142.353 Y152.857 E0.0522

G1 X142.223 Y153.120 E0.0698

G1 X142.212 Y153.437 E0.0888

G1 X142.301 Y153.684 E0.1045

G1 X142.491 Y153.901 E0.1217

G1 X142.751 Y154.029 E0.1391

G1 X143.041 Y154.048 E0.1565

G1 X143.316 Y153.955 E0.1739

G1 X143.535 Y153.763 E0.1913

G1 X143.663 Y153.503 E0.2087

G1 X143.682 Y153.213 E0.2261

G1 X143.589 Y152.938 E0.2435

G1 X143.397 Y152.719 E0.2609

G1 X143.137 Y152.591 E0.2783

; feature solid layer //Χαρακτηριστικό στερεό στρώμα

G1 X142.378 Y148.797 F7200

G92 E0.0000

G1 X142.868 Y148.307 E0.0415 F1440

G1 X143.159 Y148.326 E0.0590

G1 X143.718 Y148.136 E0.0943

G1 X142.378 Y149.476 E0.2077

G1 X142.378 Y150.155 E0.2483

G1 X146.405 Y146.128 E0.5893

G1 X147.084 Y146.128 E0.6299

G1 X142.378 Y150.834 E1.0284

---

G1 X142.378 Y151.513 E1.0690  
G1 X147.763 Y146.128 E1.5249  
G1 X148.441 Y146.128 E1.5655  
G1 X142.885 Y151.684 E2.0360  
G1 X143.371 Y151.716 E2.0651  
G1 X143.479 Y151.769 E2.0723  
G1 X149.120 Y146.128 E2.5499  
G1 X149.799 Y146.128 E2.5906  
G1 X143.934 Y151.993 E3.0872  
G1 X143.949 Y152.001 E3.0882  
G1 X144.255 Y152.351 E3.1160  
G1 X150.478 Y146.128 E3.6429  
G1 X151.157 Y146.128 E3.6835  
G1 X144.481 Y152.804 E4.2487  
G1 X144.580 Y153.095 E4.2671  
G1 X144.560 Y153.404 E4.2857  
G1 X151.836 Y146.128 E4.9017  
G1 X152.514 Y146.128 E4.9423  
G1 X144.770 Y153.872 E5.5980  
G1 X145.449 Y153.872 E5.6386  
G1 X153.193 Y146.128 E6.2943  
G1 X153.872 Y146.128 E6.3349  
G1 X146.128 Y153.872 E6.9906  
G1 X146.807 Y153.872 E7.0312  
G1 X154.551 Y146.128 E7.6869  
G1 X155.230 Y146.128 E7.7275  
G1 X147.486 Y153.872 E8.3832

---

G1 X148.165 Y153.872 E8.4238  
G1 X155.443 Y146.593 E9.0401  
G1 X155.430 Y146.957 E9.0618  
G1 X155.517 Y147.198 E9.0772  
G1 X148.843 Y153.872 E9.6423  
G1 X149.522 Y153.872 E9.6829  
G1 X155.745 Y147.649 E10.2097  
G1 X156.051 Y147.999 E10.2376  
G1 X156.066 Y148.007 E10.2386  
G1 X150.201 Y153.872 E10.7352  
G1 X150.880 Y153.872 E10.7758  
G1 X156.521 Y148.231 E11.2535  
G1 X156.629 Y148.284 E11.2607  
G1 X157.115 Y148.316 E11.2898  
G1 X151.559 Y153.872 E11.7603  
G1 X152.237 Y153.872 E11.8009  
G1 X157.622 Y148.487 E12.2568  
G1 X157.622 Y149.166 E12.2974  
G1 X152.916 Y153.872 E12.6958  
G1 X153.595 Y153.872 E12.7365  
G1 X157.622 Y149.845 E13.0774  
G1 X157.622 Y150.524 E13.1181  
G1 X156.282 Y151.863 E13.2315  
G1 X156.231 Y151.881 E13.2347  
G1 X155.747 Y152.305 E13.2733  
G1 X155.656 Y152.490 E13.2856  
G1 X154.274 Y153.872 E13.4026

---

G1 X154.953 Y153.872 E13.4433

G1 X155.437 Y153.388 E13.4842

G1 X157.132 Y151.693 F7200

G92 E0.0000

G1 X157.622 Y151.203 E0.0415 F1440

G1 X144.344 Y147.510 F7200

G92 E0.0000

G1 X145.726 Y146.128 E0.1170 F1440

G1 X145.047 Y146.128 E0.1577

G1 X144.572 Y146.604 E0.1979

G92 E0.0000

G1 E-1.2000 F2100

; layer 3, Z = 0.900

M106 S255

; feature inner perimeter //Χαρακτηριστικό εσωτερικής περιμέτρου

G1 Z0.900 F1002

G1 X158.030 Y152.441 F7200

G1 E0.0000 F2100

G92 E0.0000

G1 X157.375 Y152.118 E0.0437 F1440

G1 X156.895 Y152.086 E0.0725

G1 X156.439 Y152.241 E0.1014

G1 X156.077 Y152.559 E0.1302

G1 X155.856 Y153.006 E0.1600

G1 X155.846 Y153.540 E0.1920

G1 X155.996 Y153.937 E0.2174

G1 X156.297 Y154.280 E0.2447

---

G1 X143.815 Y154.280 E0.9920  
G1 X144.136 Y153.629 E1.0354  
G1 X144.168 Y153.149 E1.0643  
G1 X144.013 Y152.693 E1.0931  
G1 X143.695 Y152.331 E1.1219  
G1 X143.263 Y152.118 E1.1507  
G1 X142.783 Y152.086 E1.1796  
G1 X142.327 Y152.241 E1.2084  
G1 X141.970 Y152.554 E1.2368  
G1 X141.970 Y147.559 E1.5359  
G1 X142.625 Y147.882 E1.5796  
G1 X143.105 Y147.914 E1.6084  
G1 X143.561 Y147.759 E1.6372  
G1 X143.923 Y147.441 E1.6660  
G1 X144.136 Y147.009 E1.6949  
G1 X144.168 Y146.529 E1.7237  
G1 X144.013 Y146.073 E1.7525  
G1 X143.703 Y145.720 E1.7806  
G1 X156.185 Y145.720 E2.5279  
G1 X155.856 Y146.386 E2.5723  
G1 X155.846 Y146.920 E2.6043  
G1 X155.996 Y147.317 E2.6297  
G1 X156.305 Y147.669 E2.6578  
G1 X156.737 Y147.882 E2.6866  
G1 X157.217 Y147.914 E2.7154  
G1 X157.673 Y147.759 E2.7443  
G1 X158.030 Y147.446 E2.7727

---

G1 X158.030 Y152.441 E3.0717

; feature outer perimeter //Χαρακτηριστικό εξωτερικής περιμέτρου

G1 X158.510 Y153.284 F7200

G92 E0.0000

G1 X158.328 Y153.372 E0.0121 F1080

G1 X158.119 Y153.530 E0.0278

G1 X157.941 Y153.715 E0.0431

G1 X157.793 Y153.925 E0.0585

G1 X157.678 Y154.161 E0.0742

G1 X157.582 Y154.524 E0.0967

G1 X157.567 Y154.760 E0.1109

G1 X154.754 Y154.760 E0.2793

G1 X154.754 Y156.360 E0.3751

G1 X154.634 Y156.360 E0.3823

G1 X154.634 Y154.760 E0.4781

G1 X151.624 Y154.760 E0.6583

G1 X151.624 Y156.360 E0.7541

G1 X151.504 Y156.360 E0.7612

G1 X151.504 Y154.760 E0.8570

G1 X148.494 Y154.760 E1.0372

G1 X148.494 Y156.360 E1.1330

G1 X148.374 Y156.360 E1.1402

G1 X148.374 Y154.760 E1.2360

G1 X145.364 Y154.760 E1.4162

G1 X145.364 Y156.360 E1.5120

G1 X145.244 Y156.360 E1.5192

G1 X145.244 Y154.760 E1.6150



---

G1 X142.433 Y154.760 E1.7832  
G1 X142.418 Y154.524 E1.7974  
G1 X142.322 Y154.161 E1.8199  
G1 X142.207 Y153.925 E1.8356  
G1 X142.059 Y153.715 E1.8510  
G1 X141.881 Y153.530 E1.8663  
G1 X141.672 Y153.372 E1.8820  
G1 X141.490 Y153.284 E1.8941  
G1 X141.490 Y146.716 E2.2874  
G1 X141.672 Y146.628 E2.2994  
G1 X141.881 Y146.470 E2.3151  
G1 X142.059 Y146.285 E2.3305  
G1 X142.207 Y146.075 E2.3459  
G1 X142.322 Y145.839 E2.3616  
G1 X142.418 Y145.476 E2.3841  
G1 X142.433 Y145.240 E2.3982  
G1 X145.244 Y145.240 E2.5665  
G1 X145.244 Y143.640 E2.6623  
G1 X145.364 Y143.640 E2.6695  
G1 X145.364 Y145.240 E2.7653  
G1 X148.374 Y145.240 E2.9455  
G1 X148.374 Y143.640 E3.0413  
G1 X148.494 Y143.640 E3.0484  
G1 X148.494 Y145.240 E3.1442  
G1 X151.504 Y145.240 E3.3244  
G1 X151.504 Y143.640 E3.4202  
G1 X151.624 Y143.640 E3.4274

---

G1 X151.624 Y145.240 E3.5232  
G1 X154.634 Y145.240 E3.7034  
G1 X154.634 Y143.640 E3.7992  
G1 X154.754 Y143.640 E3.8064  
G1 X154.754 Y145.240 E3.9022  
G1 X157.567 Y145.240 E4.0706  
G1 X157.582 Y145.476 E4.0848  
G1 X157.678 Y145.839 E4.1073  
G1 X157.793 Y146.075 E4.1229  
G1 X157.941 Y146.285 E4.1383  
G1 X158.119 Y146.470 E4.1537  
G1 X158.328 Y146.628 E4.1694  
G1 X158.510 Y146.716 E4.1815  
G1 X158.510 Y153.284 E4.5747  
G1 X157.794 Y153.213 F7200  
G92 E0.0000  
G1 X157.701 Y152.938 E0.0174 F1080  
G1 X157.509 Y152.719 E0.0348  
G1 X157.249 Y152.591 E0.0522  
G1 X156.959 Y152.572 E0.0696  
G1 X156.684 Y152.665 E0.0870  
G1 X156.465 Y152.857 E0.1044  
G1 X156.334 Y153.122 E0.1221  
G1 X156.327 Y153.457 E0.1421  
G1 X156.414 Y153.686 E0.1568  
G1 X156.603 Y153.901 E0.1739  
G1 X156.863 Y154.029 E0.1913

---

G1 X157.153 Y154.048 E0.2087  
G1 X157.428 Y153.955 E0.2261  
G1 X157.647 Y153.763 E0.2435  
G1 X157.775 Y153.503 E0.2609  
G1 X157.794 Y153.213 E0.2783  
G1 X157.153 Y147.428 F7200  
G92 E0.0000  
G1 X157.428 Y147.335 E0.0174 F1080  
G1 X157.647 Y147.143 E0.0348  
G1 X157.775 Y146.883 E0.0522  
G1 X157.794 Y146.593 E0.0696  
G1 X157.701 Y146.318 E0.0870  
G1 X157.509 Y146.099 E0.1044  
G1 X157.249 Y145.971 E0.1218  
G1 X156.959 Y145.952 E0.1392  
G1 X156.684 Y146.045 E0.1566  
G1 X156.465 Y146.237 E0.1740  
G1 X156.334 Y146.502 E0.1917  
G1 X156.327 Y146.837 E0.2117  
G1 X156.414 Y147.066 E0.2264  
G1 X156.603 Y147.281 E0.2435  
G1 X156.863 Y147.409 E0.2609  
G1 X157.153 Y147.428 E0.2783  
G1 X143.682 Y146.593 F7200  
G92 E0.0000  
G1 X143.589 Y146.318 E0.0174 F1080  
G1 X143.397 Y146.099 E0.0348

---

G1 X143.137 Y145.971 E0.0522  
G1 X142.847 Y145.952 E0.0696  
G1 X142.572 Y146.045 E0.0870  
G1 X142.353 Y146.237 E0.1044  
G1 X142.222 Y146.502 E0.1221  
G1 X142.215 Y146.837 E0.1421  
G1 X142.302 Y147.066 E0.1568  
G1 X142.491 Y147.281 E0.1739  
G1 X142.751 Y147.409 E0.1913  
G1 X143.041 Y147.428 E0.2087  
G1 X143.316 Y147.335 E0.2261  
G1 X143.535 Y147.143 E0.2435  
G1 X143.663 Y146.883 E0.2609  
G1 X143.682 Y146.593 E0.2783  
G1 X143.137 Y152.591 F7200  
G92 E0.0000  
G1 X142.847 Y152.572 E0.0174 F1080  
G1 X142.572 Y152.665 E0.0348  
G1 X142.353 Y152.857 E0.0522  
G1 X142.222 Y153.122 E0.0699  
G1 X142.215 Y153.457 E0.0900  
G1 X142.302 Y153.686 E0.1046  
G1 X142.491 Y153.901 E0.1217  
G1 X142.751 Y154.029 E0.1391  
G1 X143.041 Y154.048 E0.1565  
G1 X143.316 Y153.955 E0.1739  
G1 X143.535 Y153.763 E0.1913

---

G1 X143.663 Y153.503 E0.2087

G1 X143.682 Y153.213 E0.2261

G1 X143.589 Y152.938 E0.2435

G1 X143.397 Y152.719 E0.2609

G1 X143.137 Y152.591 E0.2783

; feature solid layer //Χαρακτηριστικό στερεό στρώμα

G1 X142.858 Y151.682 F7200

G92 E0.0000

G1 X142.378 Y151.203 E0.0406 F1440

G1 X142.378 Y150.524 E0.0813

G1 X143.764 Y151.910 E0.1986

G1 X143.949 Y152.001 E0.2109

G1 X144.373 Y152.485 E0.2495

G1 X144.390 Y152.536 E0.2527

G1 X145.726 Y153.872 E0.3658

G1 X146.405 Y153.872 E0.4064

G1 X142.378 Y149.845 E0.7474

G1 X142.378 Y149.166 E0.7880

G1 X147.084 Y153.872 E1.1865

G1 X147.763 Y153.872 E1.2271

G1 X142.378 Y148.487 E1.6830

G1 X142.378 Y148.215 E1.6993

G1 X142.517 Y148.284 E1.7086

G1 X142.877 Y148.308 E1.7301

G1 X148.441 Y153.872 E2.2013

G1 X149.120 Y153.872 E2.2419

G1 X143.469 Y148.221 E2.7204

---

G1 X143.769 Y148.119 E2.7393  
G1 X143.917 Y147.990 E2.7511  
G1 X149.799 Y153.872 E3.2491  
G1 X150.478 Y153.872 E3.2898  
G1 X144.269 Y147.663 E3.8155  
G1 X144.493 Y147.208 E3.8458  
G1 X151.157 Y153.872 E4.4100  
G1 X151.836 Y153.872 E4.4507  
G1 X144.571 Y146.608 E5.0657  
G1 X144.580 Y146.475 E5.0737  
G1 X144.462 Y146.128 E5.0956  
G1 X144.770 Y146.128 E5.1141  
G1 X152.514 Y153.872 E5.7697  
G1 X153.193 Y153.872 E5.8104  
G1 X145.449 Y146.128 E6.4660  
G1 X146.128 Y146.128 E6.5067  
G1 X153.872 Y153.872 E7.1623  
G1 X154.551 Y153.872 E7.2029  
G1 X146.807 Y146.128 E7.8586  
G1 X147.486 Y146.128 E7.8992  
G1 X155.230 Y153.872 E8.5549  
G1 X155.535 Y153.872 E8.5732  
G1 X155.436 Y153.611 E8.5899  
G1 X155.440 Y153.404 E8.6023  
G1 X148.164 Y146.128 E9.2183  
G1 X148.843 Y146.128 E9.2590  
G1 X155.507 Y152.792 E9.8232

---

G1 X155.731 Y152.337 E9.8535  
G1 X149.522 Y146.128 E10.3792  
G1 X150.201 Y146.128 E10.4198  
G1 X156.083 Y152.010 E10.9179  
G1 X156.231 Y151.881 E10.9296  
G1 X156.531 Y151.779 E10.9486  
G1 X150.880 Y146.128 E11.4271  
G1 X151.559 Y146.128 E11.4677  
G1 X157.123 Y151.692 E11.9388  
G1 X157.483 Y151.716 E11.9604  
G1 X157.622 Y151.785 E11.9697  
G1 X157.622 Y151.513 E11.9860  
G1 X152.237 Y146.128 E12.4419  
G1 X152.916 Y146.128 E12.4825  
G1 X157.622 Y150.834 E12.8809  
G1 X157.622 Y150.155 E12.9216  
G1 X153.595 Y146.128 E13.2625  
G1 X154.274 Y146.128 E13.3032  
G1 X155.618 Y147.473 E13.4170  
G1 X155.436 Y146.991 E13.4479  
G1 X155.444 Y146.619 E13.4701  
G1 X154.953 Y146.128 E13.5117  
G1 X156.236 Y148.090 F7200  
G92 E0.0000  
G1 X157.622 Y149.476 E0.1173 F1440  
G1 X157.622 Y148.797 E0.1580  
G1 X157.142 Y148.318 E0.1986

---

G1 X145.047 Y153.872 F7200

G92 E0.0000

G1 X144.561 Y153.386 E0.0412 F1440

G92 E0.0000

G1 E-1.2000 F2100

; layer 4, Z = 1.200

; feature inner perimeter //Χαρακτηριστικό εσωτερικής περιμέτρου

G1 Z1.200 F1002

G1 X158.030 Y152.441 F7200

G1 E0.0000 F2100

G92 E0.0000

G1 X157.375 Y152.118 E0.0437 F1440

G1 X156.895 Y152.086 E0.0725

G1 X156.439 Y152.241 E0.1014

G1 X156.077 Y152.559 E0.1302

G1 X155.864 Y152.991 E0.1590

G1 X155.832 Y153.471 E0.1878

G1 X155.987 Y153.927 E0.2167

G1 X156.297 Y154.280 E0.2448

G1 X143.815 Y154.280 E0.9920

G1 X144.136 Y153.629 E1.0355

G1 X144.168 Y153.149 E1.0643

G1 X144.013 Y152.693 E1.0931

G1 X143.695 Y152.331 E1.1219

G1 X143.263 Y152.118 E1.1508

G1 X142.783 Y152.086 E1.1796

G1 X142.327 Y152.241 E1.2084



---

G1 X141.970 Y152.554 E1.2368

G1 X141.970 Y147.559 E1.5359

G1 X142.625 Y147.882 E1.5796

G1 X143.105 Y147.914 E1.6084

G1 X143.561 Y147.759 E1.6372

G1 X143.923 Y147.441 E1.6661

G1 X144.136 Y147.009 E1.6949

G1 X144.168 Y146.529 E1.7237

G1 X144.013 Y146.073 E1.7525

G1 X143.703 Y145.720 E1.7807

G1 X156.185 Y145.720 E2.5279

G1 X155.864 Y146.371 E2.5713

G1 X155.832 Y146.851 E2.6002

G1 X155.987 Y147.307 E2.6290

G1 X156.305 Y147.669 E2.6578

G1 X156.737 Y147.882 E2.6867

G1 X157.217 Y147.914 E2.7155

G1 X157.673 Y147.759 E2.7443

G1 X158.030 Y147.446 E2.7727

G1 X158.030 Y152.441 E3.0718

; feature outer perimeter //Χαρακτηριστικό εξωτερικής περιμέτρου

G1 X158.510 Y153.284 F7200

G92 E0.0000

G1 X158.328 Y153.372 E0.0121 F1080

G1 X158.119 Y153.530 E0.0278

G1 X157.941 Y153.715 E0.0431

G1 X157.793 Y153.925 E0.0585

---

G1 X157.678 Y154.161 E0.0742  
G1 X157.582 Y154.524 E0.0967  
G1 X157.567 Y154.760 E0.1109  
G1 X142.433 Y154.760 E1.0169  
G1 X142.418 Y154.524 E1.0311  
G1 X142.322 Y154.161 E1.0536  
G1 X142.207 Y153.925 E1.0692  
G1 X142.059 Y153.715 E1.0846  
G1 X141.881 Y153.530 E1.1000  
G1 X141.672 Y153.372 E1.1157  
G1 X141.490 Y153.284 E1.1278  
G1 X141.490 Y146.716 E1.5210  
G1 X141.672 Y146.628 E1.5331  
G1 X141.881 Y146.470 E1.5488  
G1 X142.059 Y146.285 E1.5642  
G1 X142.207 Y146.075 E1.5796  
G1 X142.322 Y145.839 E1.5953  
G1 X142.418 Y145.476 E1.6178  
G1 X142.433 Y145.240 E1.6319  
G1 X157.567 Y145.240 E2.5380  
G1 X157.582 Y145.476 E2.5521  
G1 X157.678 Y145.839 E2.5746  
G1 X157.793 Y146.075 E2.5903  
G1 X157.941 Y146.285 E2.6057  
G1 X158.119 Y146.470 E2.6211  
G1 X158.328 Y146.628 E2.6367  
G1 X158.510 Y146.716 E2.6488

---

G1 X158.510 Y153.284 E3.0421

G1 X157.794 Y153.213 F7200

G92 E0.0000

G1 X157.701 Y152.938 E0.0174 F1080

G1 X157.509 Y152.719 E0.0348

G1 X157.249 Y152.591 E0.0522

G1 X156.959 Y152.572 E0.0696

G1 X156.684 Y152.665 E0.0870

G1 X156.465 Y152.857 E0.1044

G1 X156.337 Y153.117 E0.1218

G1 X156.318 Y153.407 E0.1392

G1 X156.411 Y153.682 E0.1566

G1 X156.603 Y153.901 E0.1740

G1 X156.863 Y154.029 E0.1914

G1 X157.153 Y154.048 E0.2088

G1 X157.428 Y153.955 E0.2261

G1 X157.647 Y153.763 E0.2435

G1 X157.775 Y153.503 E0.2609

G1 X157.794 Y153.213 E0.2783

G1 X157.153 Y147.428 F7200

G92 E0.0000

G1 X157.428 Y147.335 E0.0174 F1080

G1 X157.647 Y147.143 E0.0348

G1 X157.775 Y146.883 E0.0522

G1 X157.794 Y146.593 E0.0696

G1 X157.701 Y146.318 E0.0870

G1 X157.509 Y146.099 E0.1044

---

G1 X157.249 Y145.971 E0.1218  
G1 X156.959 Y145.952 E0.1392  
G1 X156.684 Y146.045 E0.1566  
G1 X156.465 Y146.237 E0.1740  
G1 X156.337 Y146.497 E0.1914  
G1 X156.318 Y146.787 E0.2087  
G1 X156.411 Y147.062 E0.2261  
G1 X156.603 Y147.281 E0.2435  
G1 X156.863 Y147.409 E0.2609  
G1 X157.153 Y147.428 E0.2783  
G1 X143.682 Y146.593 F7200  
G92 E0.0000  
G1 X143.589 Y146.318 E0.0174 F1080  
G1 X143.397 Y146.099 E0.0348  
G1 X143.137 Y145.971 E0.0522  
G1 X142.847 Y145.952 E0.0696  
G1 X142.572 Y146.045 E0.0870  
G1 X142.353 Y146.237 E0.1044  
G1 X142.225 Y146.497 E0.1218  
G1 X142.206 Y146.787 E0.1392  
G1 X142.299 Y147.062 E0.1566  
G1 X142.491 Y147.281 E0.1740  
G1 X142.751 Y147.409 E0.1914  
G1 X143.041 Y147.428 E0.2088  
G1 X143.316 Y147.335 E0.2261  
G1 X143.535 Y147.143 E0.2435  
G1 X143.663 Y146.883 E0.2609

---

G1 X143.682 Y146.593 E0.2783

G1 X143.137 Y152.591 F7200

G92 E0.0000

G1 X142.847 Y152.572 E0.0174 F1080

G1 X142.572 Y152.665 E0.0348

G1 X142.353 Y152.857 E0.0522

G1 X142.225 Y153.117 E0.0696

G1 X142.206 Y153.407 E0.0870

G1 X142.299 Y153.682 E0.1044

G1 X142.491 Y153.901 E0.1218

G1 X142.751 Y154.029 E0.1392

G1 X143.041 Y154.048 E0.1566

G1 X143.316 Y153.955 E0.1740

G1 X143.535 Y153.763 E0.1914

G1 X143.663 Y153.503 E0.2087

G1 X143.682 Y153.213 E0.2261

G1 X143.589 Y152.938 E0.2435

G1 X143.397 Y152.719 E0.2609

G1 X143.137 Y152.591 E0.2783

; feature solid layer //Χαρακτηριστικό στερεό στρώμα

G1 X142.378 Y148.797 F7200

G92 E0.0000

G1 X142.868 Y148.307 E0.0415 F1440

G1 X143.159 Y148.326 E0.0590

G1 X143.718 Y148.136 E0.0943

G1 X142.378 Y149.476 E0.2077

G1 X142.378 Y150.155 E0.2483

---

G1 X146.405 Y146.128 E0.5893  
G1 X147.084 Y146.128 E0.6299  
G1 X142.378 Y150.834 E1.0284  
G1 X142.378 Y151.513 E1.0690  
G1 X147.763 Y146.128 E1.5249  
G1 X148.441 Y146.128 E1.5655  
G1 X142.885 Y151.684 E2.0360  
G1 X143.371 Y151.716 E2.0651  
G1 X143.479 Y151.769 E2.0723  
G1 X149.120 Y146.128 E2.5499  
G1 X149.799 Y146.128 E2.5906  
G1 X143.934 Y151.993 E3.0872  
G1 X143.949 Y152.001 E3.0882  
G1 X144.255 Y152.351 E3.1160  
G1 X150.478 Y146.128 E3.6429  
G1 X151.157 Y146.128 E3.6835  
G1 X144.481 Y152.804 E4.2487  
G1 X144.580 Y153.095 E4.2671  
G1 X144.560 Y153.404 E4.2857  
G1 X151.836 Y146.128 E4.9017  
G1 X152.514 Y146.128 E4.9423  
G1 X144.770 Y153.872 E5.5980  
G1 X145.449 Y153.872 E5.6386  
G1 X153.193 Y146.128 E6.2943  
G1 X153.872 Y146.128 E6.3349  
G1 X146.128 Y153.872 E6.9906  
G1 X146.807 Y153.872 E7.0312

---

G1 X154.551 Y146.128 E7.6869  
G1 X155.230 Y146.128 E7.7275  
G1 X147.486 Y153.872 E8.3832  
G1 X148.165 Y153.872 E8.4238  
G1 X155.440 Y146.596 E9.0398  
G1 X155.420 Y146.905 E9.0584  
G1 X155.519 Y147.197 E9.0768  
G1 X148.843 Y153.872 E9.6420  
G1 X149.522 Y153.872 E9.6826  
G1 X155.745 Y147.649 E10.2095  
G1 X156.051 Y147.999 E10.2373  
G1 X156.066 Y148.007 E10.2383  
G1 X150.201 Y153.872 E10.7349  
G1 X150.880 Y153.872 E10.7756  
G1 X156.521 Y148.231 E11.2532  
G1 X156.629 Y148.284 E11.2604  
G1 X157.115 Y148.316 E11.2896  
G1 X151.559 Y153.872 E11.7600  
G1 X152.237 Y153.872 E11.8006  
G1 X157.622 Y148.487 E12.2565  
G1 X157.622 Y149.166 E12.2972  
G1 X152.916 Y153.872 E12.6956  
G1 X153.595 Y153.872 E12.7362  
G1 X157.622 Y149.845 E13.0772  
G1 X157.622 Y150.524 E13.1178  
G1 X156.282 Y151.863 E13.2312  
G1 X156.231 Y151.881 E13.2345

---

G1 X155.747 Y152.305 E13.2730

G1 X155.656 Y152.490 E13.2853

G1 X154.274 Y153.872 E13.4023

G1 X154.953 Y153.872 E13.4430

G1 X155.428 Y153.396 E13.4833

G1 X157.132 Y151.693 F7200

G92 E0.0000

G1 X157.622 Y151.203 E0.0415 F1440

G1 X144.344 Y147.510 F7200

G92 E0.0000

G1 X145.726 Y146.128 E0.1170 F1440

G1 X145.047 Y146.128 E0.1577

G1 X144.572 Y146.604 E0.1979

G92 E0.0000

G1 E-1.2000 F2100

; feature outer perimeter //Χαρακτηριστικό εξωτερικής περιμέτρου

G1 Z1.500 F1002

G1 X145.364 Y143.760 F7200

G1 Z1.200 F1002

G1 E0.0000 F2100

G92 E0.0000

G1 X145.244 Y143.760 E0.0072 F1080

G1 X145.244 Y143.640 E0.0144

G1 X145.364 Y143.640 E0.0216

G1 X145.364 Y143.760 E0.0287

G92 E0.0000

G1 E-1.2000 F2100



G1 Z1.500 F1002

G1 X148.494 Y143.760 F7200

G1 Z1.200 F1002

G1 E0.0000 F2100

G92 E0.0000

G1 X148.374 Y143.760 E0.0072 F1080

G1 X148.374 Y143.640 E0.0144

G1 X148.494 Y143.640 E0.0216

G1 X148.494 Y143.760 E0.0287

G92 E0.0000

G1 E-1.2000 F2100

G1 Z1.500 F1002

G1 X151.624 Y143.760 F7200

G1 Z1.200 F1002

G1 E0.0000 F2100

G92 E0.0000

G1 X151.504 Y143.760 E0.0072 F1080

G1 X151.504 Y143.640 E0.0144

G1 X151.624 Y143.640 E0.0216

G1 X151.624 Y143.760 E0.0287

G92 E0.0000

G1 E-1.2000 F2100

G1 Z1.500 F1002

G1 X154.754 Y143.760 F7200

G1 Z1.200 F1002

G1 E0.0000 F2100

G92 E0.0000

---

G1 X154.634 Y143.760 E0.0072 F1080

G1 X154.634 Y143.640 E0.0144

G1 X154.754 Y143.640 E0.0216

G1 X154.754 Y143.760 E0.0287

G92 E0.0000

G1 E-1.2000 F2100

G1 Z1.500 F1002

G1 X154.754 Y156.240 F7200

G1 Z1.200 F1002

G1 E0.0000 F2100

G92 E0.0000

G1 X154.754 Y156.360 E0.0072 F1080

G1 X154.634 Y156.360 E0.0144

G1 X154.634 Y156.240 E0.0216

G1 X154.754 Y156.240 E0.0287

G92 E0.0000

G1 E-1.2000 F2100

G1 Z1.500 F1002

G1 X151.624 Y156.240 F7200

G1 Z1.200 F1002

G1 E0.0000 F2100

G92 E0.0000

G1 X151.624 Y156.360 E0.0072 F1080

G1 X151.504 Y156.360 E0.0144

G1 X151.504 Y156.240 E0.0216

G1 X151.624 Y156.240 E0.0287

G92 E0.0000

---

G1 E-1.2000 F2100

G1 Z1.500 F1002

G1 X148.494 Y156.240 F7200

G1 Z1.200 F1002

G1 E0.0000 F2100

G92 E0.0000

G1 X148.494 Y156.360 E0.0072 F1080

G1 X148.374 Y156.360 E0.0144

G1 X148.374 Y156.240 E0.0216

G1 X148.494 Y156.240 E0.0287

G92 E0.0000

G1 E-1.2000 F2100

G1 Z1.500 F1002

G1 X145.364 Y156.240 F7200

G1 Z1.200 F1002

G1 E0.0000 F2100

G92 E0.0000

G1 X145.364 Y156.360 E0.0072 F1080

G1 X145.244 Y156.360 E0.0144

G1 X145.244 Y156.240 E0.0216

G1 X145.364 Y156.240 E0.0287

G92 E0.0000

G1 E-1.2000 F2100

; layer 5, Z = 1.500

G1 Z1.500 F1002

G1 E0.0000 F2100

G92 E0.0000

---

G1 X145.364 Y156.360 E0.0072 F216

G1 X145.244 Y156.360 E0.0144

G1 X145.244 Y156.240 E0.0216

G1 X145.364 Y156.240 E0.0287

G92 E0.0000

G1 E-1.2000 F2100

G1 Z1.800 F1002

G1 X148.494 Y156.240 F7200

G1 Z1.500 F1002

G1 E0.0000 F2100

G92 E0.0000

G1 X148.494 Y156.360 E0.0072 F216

G1 X148.374 Y156.360 E0.0144

G1 X148.374 Y156.240 E0.0216

G1 X148.494 Y156.240 E0.0287

G92 E0.0000

G1 E-1.2000 F2100

G1 Z1.800 F1002

G1 X151.624 Y156.240 F7200

G1 Z1.500 F1002

G1 E0.0000 F2100

G92 E0.0000

G1 X151.624 Y156.360 E0.0072 F216

G1 X151.504 Y156.360 E0.0144

G1 X151.504 Y156.240 E0.0216

G1 X151.624 Y156.240 E0.0287

G92 E0.0000

-----  
G1 E-1.2000 F2100

G1 Z1.800 F1002

G1 X154.754 Y156.240 F7200

G1 Z1.500 F1002

G1 E0.0000 F2100

G92 E0.0000

G1 X154.754 Y156.360 E0.0072 F216

G1 X154.634 Y156.360 E0.0144

G1 X154.634 Y156.240 E0.0216

G1 X154.754 Y156.240 E0.0287

G92 E0.0000

G1 E-1.2000 F2100

G1 Z1.800 F1002

G1 X154.754 Y143.760 F7200

G1 Z1.500 F1002

G1 E0.0000 F2100

G92 E0.0000

G1 X154.634 Y143.760 E0.0072 F216

G1 X154.634 Y143.640 E0.0144

G1 X154.754 Y143.640 E0.0216

G1 X154.754 Y143.760 E0.0287

G92 E0.0000

G1 E-1.2000 F2100

G1 Z1.800 F1002

G1 X151.624 Y143.760 F7200

G1 Z1.500 F1002

G1 E0.0000 F2100

G92 E0.0000

G1 X151.504 Y143.760 E0.0072 F216

G1 X151.504 Y143.640 E0.0144

G1 X151.624 Y143.640 E0.0216

G1 X151.624 Y143.760 E0.0287

G92 E0.0000

G1 E-1.2000 F2100

G1 Z1.800 F1002

G1 X148.494 Y143.760 F7200

G1 Z1.500 F1002

G1 E0.0000 F2100

G92 E0.0000

G1 X148.374 Y143.760 E0.0072 F216

G1 X148.374 Y143.640 E0.0144

G1 X148.494 Y143.640 E0.0216

G1 X148.494 Y143.760 E0.0287

G92 E0.0000

G1 E-1.2000 F2100

G1 Z1.800 F1002

G1 X145.364 Y143.760 F7200

G1 Z1.500 F1002

G1 E0.0000 F2100

G92 E0.0000

G1 X145.244 Y143.760 E0.0072 F216

G1 X145.244 Y143.640 E0.0144

G1 X145.364 Y143.640 E0.0216

G1 X145.364 Y143.760 E0.0287

---

G92 E0.0000

G1 E-1.2000 F2100

; layer 6, Z = 1.800

G1 Z1.800 F1002

G1 E0.0000 F2100

G92 E0.0000

G1 X145.244 Y143.760 E0.0072 F216

G1 X145.244 Y143.640 E0.0144

G1 X145.364 Y143.640 E0.0216

G1 X145.364 Y143.760 E0.0287

G92 E0.0000

G1 E-1.2000 F2100

G1 Z2.100 F1002

G1 X148.494 Y143.760 F7200

G1 Z1.800 F1002

G1 E0.0000 F2100

G92 E0.0000

G1 X148.374 Y143.760 E0.0072 F216

G1 X148.374 Y143.640 E0.0144

G1 X148.494 Y143.640 E0.0216

G1 X148.494 Y143.760 E0.0287

G92 E0.0000

G1 E-1.2000 F2100

G1 Z2.100 F1002

G1 X151.624 Y143.760 F7200

G1 Z1.800 F1002

G1 E0.0000 F2100

---

G92 E0.0000

G1 X151.504 Y143.760 E0.0072 F216

G1 X151.504 Y143.640 E0.0144

G1 X151.624 Y143.640 E0.0216

G1 X151.624 Y143.760 E0.0287

G92 E0.0000

G1 E-1.2000 F2100

G1 Z2.100 F1002

G1 X154.754 Y143.760 F7200

G1 Z1.800 F1002

G1 E0.0000 F2100

G92 E0.0000

G1 X154.634 Y143.760 E0.0072 F216

G1 X154.634 Y143.640 E0.0144

G1 X154.754 Y143.640 E0.0216

G1 X154.754 Y143.760 E0.0287

G92 E0.0000

G1 E-1.2000 F2100

G1 Z2.100 F1002

G1 X154.754 Y156.240 F7200

G1 Z1.800 F1002

G1 E0.0000 F2100

G92 E0.0000

G1 X154.754 Y156.360 E0.0072 F216

G1 X154.634 Y156.360 E0.0144

G1 X154.634 Y156.240 E0.0216

G1 X154.754 Y156.240 E0.0287



---

G92 E0.0000

G1 E-1.2000 F2100

G1 Z2.100 F1002

G1 X151.624 Y156.240 F7200

G1 Z1.800 F1002

G1 E0.0000 F2100

G92 E0.0000

G1 X151.624 Y156.360 E0.0072 F216

G1 X151.504 Y156.360 E0.0144

G1 X151.504 Y156.240 E0.0216

G1 X151.624 Y156.240 E0.0287

G92 E0.0000

G1 E-1.2000 F2100

G1 Z2.100 F1002

G1 X148.494 Y156.240 F7200

G1 Z1.800 F1002

G1 E0.0000 F2100

G92 E0.0000

G1 X148.494 Y156.360 E0.0072 F216

G1 X148.374 Y156.360 E0.0144

G1 X148.374 Y156.240 E0.0216

G1 X148.494 Y156.240 E0.0287

G92 E0.0000

G1 E-1.2000 F2100

G1 Z2.100 F1002

G1 X145.364 Y156.240 F7200

G1 Z1.800 F1002

---

G1 E0.0000 F2100

G92 E0.0000

G1 X145.364 Y156.360 E0.0072 F216

G1 X145.244 Y156.360 E0.0144

G1 X145.244 Y156.240 E0.0216

G1 X145.364 Y156.240 E0.0287

G92 E0.0000

G1 E-1.2000 F2100

; layer 7, Z = 2.100

G1 Z2.100 F1002

G1 E0.0000 F2100

G92 E0.0000

G1 X145.364 Y156.360 E0.0072 F216

G1 X145.244 Y156.360 E0.0144

G1 X145.244 Y156.240 E0.0216

G1 X145.364 Y156.240 E0.0287

G92 E0.0000

G1 E-1.2000 F2100

G1 Z2.400 F1002

G1 X148.494 Y156.240 F7200

G1 Z2.100 F1002

G1 E0.0000 F2100

G92 E0.0000

G1 X148.494 Y156.360 E0.0072 F216

G1 X148.374 Y156.360 E0.0144

G1 X148.374 Y156.240 E0.0216

G1 X148.494 Y156.240 E0.0287

---

G92 E0.0000

G1 E-1.2000 F2100

G1 Z2.400 F1002

G1 X151.624 Y156.240 F7200

G1 Z2.100 F1002

G1 E0.0000 F2100

G92 E0.0000

G1 X151.624 Y156.360 E0.0072 F216

G1 X151.504 Y156.360 E0.0144

G1 X151.504 Y156.240 E0.0216

G1 X151.624 Y156.240 E0.0287

G92 E0.0000

G1 E-1.2000 F2100

G1 Z2.400 F1002

G1 X154.754 Y156.240 F7200

G1 Z2.100 F1002

G1 E0.0000 F2100

G92 E0.0000

G1 X154.754 Y156.360 E0.0072 F216

G1 X154.634 Y156.360 E0.0144

G1 X154.634 Y156.240 E0.0216

G1 X154.754 Y156.240 E0.0287

G92 E0.0000

G1 E-1.2000 F2100

G1 Z2.400 F1002

G1 X154.754 Y143.760 F7200

G1 Z2.100 F1002

---

G1 E0.0000 F2100

G92 E0.0000

G1 X154.634 Y143.760 E0.0072 F216

G1 X154.634 Y143.640 E0.0144

G1 X154.754 Y143.640 E0.0216

G1 X154.754 Y143.760 E0.0287

G92 E0.0000

G1 E-1.2000 F2100

G1 Z2.400 F1002

G1 X151.624 Y143.760 F7200

G1 Z2.100 F1002

G1 E0.0000 F2100

G92 E0.0000

G1 X151.504 Y143.760 E0.0072 F216

G1 X151.504 Y143.640 E0.0144

G1 X151.624 Y143.640 E0.0216

G1 X151.624 Y143.760 E0.0287

G92 E0.0000

G1 E-1.2000 F2100

G1 Z2.400 F1002

G1 X148.494 Y143.760 F7200

G1 Z2.100 F1002

G1 E0.0000 F2100

G92 E0.0000

G1 X148.374 Y143.760 E0.0072 F216

G1 X148.374 Y143.640 E0.0144

G1 X148.494 Y143.640 E0.0216

---

G1 X148.494 Y143.760 E0.0287

G92 E0.0000

G1 E-1.2000 F2100

G1 Z2.400 F1002

G1 X145.364 Y143.760 F7200

G1 Z2.100 F1002

G1 E0.0000 F2100

G92 E0.0000

G1 X145.244 Y143.760 E0.0072 F216

G1 X145.244 Y143.640 E0.0144

G1 X145.364 Y143.640 E0.0216

G1 X145.364 Y143.760 E0.0287

G92 E0.0000

G1 E-1.2000 F2100

; layer 8, Z = 2.400

G1 Z2.400 F1002

G1 E0.0000 F2100

G92 E0.0000

G1 X145.244 Y143.760 E0.0072 F216

G1 X145.244 Y143.640 E0.0144

G1 X145.364 Y143.640 E0.0216

G1 X145.364 Y143.760 E0.0287

G92 E0.0000

G1 E-1.2000 F2100

G1 Z2.700 F1002

G1 X148.494 Y143.760 F7200

G1 Z2.400 F1002

---

G1 E0.0000 F2100

G92 E0.0000

G1 X148.374 Y143.760 E0.0072 F216

G1 X148.374 Y143.640 E0.0144

G1 X148.494 Y143.640 E0.0216

G1 X148.494 Y143.760 E0.0287

G92 E0.0000

G1 E-1.2000 F2100

G1 Z2.700 F1002

G1 X151.624 Y143.760 F7200

G1 Z2.400 F1002

G1 E0.0000 F2100

G92 E0.0000

G1 X151.504 Y143.760 E0.0072 F216

G1 X151.504 Y143.640 E0.0144

G1 X151.624 Y143.640 E0.0216

G1 X151.624 Y143.760 E0.0287

G92 E0.0000

G1 E-1.2000 F2100

G1 Z2.700 F1002

G1 X154.754 Y143.760 F7200

G1 Z2.400 F1002

G1 E0.0000 F2100

G92 E0.0000

G1 X154.634 Y143.760 E0.0072 F216

G1 X154.634 Y143.640 E0.0144

G1 X154.754 Y143.640 E0.0216

---

G1 X154.754 Y143.760 E0.0287

G92 E0.0000

G1 E-1.2000 F2100

G1 Z2.700 F1002

G1 X154.754 Y156.240 F7200

G1 Z2.400 F1002

G1 E0.0000 F2100

G92 E0.0000

G1 X154.754 Y156.360 E0.0072 F216

G1 X154.634 Y156.360 E0.0144

G1 X154.634 Y156.240 E0.0216

G1 X154.754 Y156.240 E0.0287

G92 E0.0000

G1 E-1.2000 F2100

G1 Z2.700 F1002

G1 X151.624 Y156.240 F7200

G1 Z2.400 F1002

G1 E0.0000 F2100

G92 E0.0000

G1 X151.624 Y156.360 E0.0072 F216

G1 X151.504 Y156.360 E0.0144

G1 X151.504 Y156.240 E0.0216

G1 X151.624 Y156.240 E0.0287

G92 E0.0000

G1 E-1.2000 F2100

G1 Z2.700 F1002

G1 X148.494 Y156.240 F7200

---

G1 Z2.400 F1002

G1 E0.0000 F2100

G92 E0.0000

G1 X148.494 Y156.360 E0.0072 F216

G1 X148.374 Y156.360 E0.0144

G1 X148.374 Y156.240 E0.0216

G1 X148.494 Y156.240 E0.0287

G92 E0.0000

G1 E-1.2000 F2100

G1 Z2.700 F1002

G1 X145.364 Y156.240 F7200

G1 Z2.400 F1002

G1 E0.0000 F2100

G92 E0.0000

G1 X145.364 Y156.360 E0.0072 F216

G1 X145.244 Y156.360 E0.0144

G1 X145.244 Y156.240 E0.0216

G1 X145.364 Y156.240 E0.0287

G92 E0.0000

G1 E-1.2000 F2100

; layer 9, Z = 2.700

G1 Z2.700 F1002

G1 E0.0000 F2100

G92 E0.0000

G1 X145.364 Y156.360 E0.0072 F216

G1 X145.244 Y156.360 E0.0144

G1 X145.244 Y156.240 E0.0216



---

G1 X145.364 Y156.240 E0.0287

G92 E0.0000

G1 E-1.2000 F2100

G1 Z3.000 F1002

G1 X148.494 Y156.240 F7200

G1 Z2.700 F1002

G1 E0.0000 F2100

G92 E0.0000

G1 X148.494 Y156.360 E0.0072 F216

G1 X148.374 Y156.360 E0.0144

G1 X148.374 Y156.240 E0.0216

G1 X148.494 Y156.240 E0.0287

G92 E0.0000

G1 E-1.2000 F2100

G1 Z3.000 F1002

G1 X151.624 Y156.240 F7200

G1 Z2.700 F1002

G1 E0.0000 F2100

G92 E0.0000

G1 X151.624 Y156.360 E0.0072 F216

G1 X151.504 Y156.360 E0.0144

G1 X151.504 Y156.240 E0.0216

G1 X151.624 Y156.240 E0.0287

G92 E0.0000

G1 E-1.2000 F2100

G1 Z3.000 F1002

G1 X154.754 Y156.240 F7200

---

G1 Z2.700 F1002

G1 E0.0000 F2100

G92 E0.0000

G1 X154.754 Y156.360 E0.0072 F216

G1 X154.634 Y156.360 E0.0144

G1 X154.634 Y156.240 E0.0216

G1 X154.754 Y156.240 E0.0287

G92 E0.0000

G1 E-1.2000 F2100

G1 Z3.000 F1002

G1 X154.754 Y143.760 F7200

G1 Z2.700 F1002

G1 E0.0000 F2100

G92 E0.0000

G1 X154.634 Y143.760 E0.0072 F216

G1 X154.634 Y143.640 E0.0144

G1 X154.754 Y143.640 E0.0216

G1 X154.754 Y143.760 E0.0287

G92 E0.0000

G1 E-1.2000 F2100

G1 Z3.000 F1002

G1 X151.624 Y143.760 F7200

G1 Z2.700 F1002

G1 E0.0000 F2100

G92 E0.0000

G1 X151.504 Y143.760 E0.0072 F216

G1 X151.504 Y143.640 E0.0144

---

G1 X151.624 Y143.640 E0.0216  
G1 X151.624 Y143.760 E0.0287  
G92 E0.0000  
G1 E-1.2000 F2100  
G1 Z3.000 F1002  
G1 X148.494 Y143.760 F7200  
G1 Z2.700 F1002  
G1 E0.0000 F2100  
G92 E0.0000  
G1 X148.374 Y143.760 E0.0072 F216  
G1 X148.374 Y143.640 E0.0144  
G1 X148.494 Y143.640 E0.0216  
G1 X148.494 Y143.760 E0.0287  
G92 E0.0000  
G1 E-1.2000 F2100  
G1 Z3.000 F1002  
G1 X145.364 Y143.760 F7200  
G1 Z2.700 F1002  
G1 E0.0000 F2100  
G92 E0.0000  
G1 X145.244 Y143.760 E0.0072 F216  
G1 X145.244 Y143.640 E0.0144  
G1 X145.364 Y143.640 E0.0216  
G1 X145.364 Y143.760 E0.0287  
G92 E0.0000  
G1 E-1.2000 F2100  
; layer 10, Z = 3.000

---

G1 Z3.000 F1002

G1 E0.0000 F2100

G92 E0.0000

G1 X145.244 Y143.760 E0.0072 F216

G1 X145.244 Y143.640 E0.0144

G1 X145.364 Y143.640 E0.0216

G1 X145.364 Y143.760 E0.0287

G92 E0.0000

G1 E-1.2000 F2100

G1 Z3.300 F1002

G1 X148.494 Y143.760 F7200

G1 Z3.000 F1002

G1 E0.0000 F2100

G92 E0.0000

G1 X148.374 Y143.760 E0.0072 F216

G1 X148.374 Y143.640 E0.0144

G1 X148.494 Y143.640 E0.0216

G1 X148.494 Y143.760 E0.0287

G92 E0.0000

G1 E-1.2000 F2100

G1 Z3.300 F1002

G1 X151.624 Y143.760 F7200

G1 Z3.000 F1002

G1 E0.0000 F2100

G92 E0.0000

G1 X151.504 Y143.760 E0.0072 F216

G1 X151.504 Y143.640 E0.0144

---

G1 X151.624 Y143.640 E0.0216

G1 X151.624 Y143.760 E0.0287

G92 E0.0000

G1 E-1.2000 F2100

G1 Z3.300 F1002

G1 X154.754 Y143.760 F7200

G1 Z3.000 F1002

G1 E0.0000 F2100

G92 E0.0000

G1 X154.634 Y143.760 E0.0072 F216

G1 X154.634 Y143.640 E0.0144

G1 X154.754 Y143.640 E0.0216

G1 X154.754 Y143.760 E0.0287

G92 E0.0000

G1 E-1.2000 F2100

G1 Z3.300 F1002

G1 X154.754 Y156.240 F7200

G1 Z3.000 F1002

G1 E0.0000 F2100

G92 E0.0000

G1 X154.754 Y156.360 E0.0072 F216

G1 X154.634 Y156.360 E0.0144

G1 X154.634 Y156.240 E0.0216

G1 X154.754 Y156.240 E0.0287

G92 E0.0000

G1 E-1.2000 F2100

G1 Z3.300 F1002

---

G1 X151.624 Y156.240 F7200

G1 Z3.000 F1002

G1 E0.0000 F2100

G92 E0.0000

G1 X151.624 Y156.360 E0.0072 F216

G1 X151.504 Y156.360 E0.0144

G1 X151.504 Y156.240 E0.0216

G1 X151.624 Y156.240 E0.0287

G92 E0.0000

G1 E-1.2000 F2100

G1 Z3.300 F1002

G1 X148.494 Y156.240 F7200

G1 Z3.000 F1002

G1 E0.0000 F2100

G92 E0.0000

G1 X148.494 Y156.360 E0.0072 F216

G1 X148.374 Y156.360 E0.0144

G1 X148.374 Y156.240 E0.0216

G1 X148.494 Y156.240 E0.0287

G92 E0.0000

G1 E-1.2000 F2100

G1 Z3.300 F1002

G1 X145.364 Y156.240 F7200

G1 Z3.000 F1002

G1 E0.0000 F2100

G92 E0.0000

G1 X145.364 Y156.360 E0.0072 F216

---

```
G1 X145.244 Y156.360 E0.0144
G1 X145.244 Y156.240 E0.0216
G1 X145.364 Y156.240 E0.0287
G92 E0.0000
G1 E-1.2000 F2100
; layer end //Τέλος στρώσης
G91 ;Relative positioning
G1 E-2 F2700 ;Retract a bit
G1 E-2 Z0.2 F2400 ;Retract and raise Z
G1 X5 Y5 F3000 ;Wipe out
G1 Z10 ;Raise Z more
G90 ;Absolute positioning
G1 X0 Y0 ;Present print
M106 S0 ;Turn-off fan
M104 S0 ;Turn-off hotend
M140 S0 ;Turn-off bed
M84 X Y E ;Disable all steppers but Z
; Build Summary //Περίληψη κατασκευής
; Build time: 0 hours 2 minutes
; Filament length: 99.9 mm (0.10 m)
; Plastic volume: 240.40 mm^3 (0.24 cc)
; Plastic weight: 0.30 g (0.00 lb)
; Material cost: 0.01
```

## ΒΙΒΛΙΟΓΡΑΦΙΑ

[1] [https://ebrary.net/200087/engineering/machining\\_technology#9698](https://ebrary.net/200087/engineering/machining_technology#9698)

[2] [https://ebrary.net/200087/engineering/machining\\_technology#9698](https://ebrary.net/200087/engineering/machining_technology#9698)

[3] <https://www.eeeguide.com/machine-tools-motors-requirements/>

[4] <https://www.heidenhain.us/resources-and-news/servo-motors-for-cnc-machines/>

[5] <https://www.cnctraining.gr/en/activities/blog/198-nc-g-code-programming-and-management-6-key-rules>

[6] <https://www.cnctraining.gr/en/activities/blog/271-cnc-programming-examples>

[7] [https://en.wikipedia.org/wiki/3D\\_printing](https://en.wikipedia.org/wiki/3D_printing)

[8] <https://www.simplify3d.com/support/articles/3d-printing-gcode-tutorial/>

[9] ΤΕΧΝΟΛΟΓΙΑ ΚΑΙ ΠΡΟΓΡΑΜΜΑΤΙΣΜΟΣ  
ΕΡΓΑΛΕΙΟΜΗΧΑΝΩΝ CNC, ΟΜΗΡΟΥ ΣΩΤΗΡΗΣ,  
ISBN:978-960- 461-858-3. ΕΚΔΟΣΕΙΣ ΚΛΕΙΔΑΡΙΘΜΟΣ



- 
- [10] ΕΙΣΑΓΩΓΗ ΣΤΗΝ 3Δ ΕΚΤΥΠΩΣΗ, ΚΟΥΚΟΥΛΑΚΗΣ ΔΗΜΗΤΡΙΟΣ, ΕΚΔΟΣΕΙΣ: Commons Lab – ΕΡΓΑΣΤΗΡΙΟ ΑΝΟΙΚΤΗΣ ΤΕΧΝΟΛΟΓΙΑΣ
- [11] ΒΑΣΙΚΕΣ ΑΡΧΕΣ ΑΡΙΘΜΗΤΙΚΟΥ ΕΛΕΓΧΟΥ ΚΑΙ ΠΡΟΓΡΑΜΜΑΤΙΣΜΟΣ ΕΡΓΑΛΕΙΟΜΗΧΑΝΩΝ CNC, ΦΙΛΗΜΩΝ Χ. ΣΚΙΤΤΙΔΗΣ, ISBN: 9789608165021, ΕΚΔΟΣΕΙΣ: ΣΥΓΧΡΟΝΗ ΕΚΔΟΤΙΚΗ