

ΠΑΝΕΠΙΣΤΗΜΙΟ ΔΥΤΙΚΗΣ ΑΤΤΙΚΗΣ  
ΤΜΗΜΑ ΜΗΧΑΝΟΛΟΓΩΝ ΜΗΧΑΝΙΚΩΝ

ΠΤΥΧΙΑΚΗ ΕΡΓΑΣΙΑ

**ΠΑΡΑΓΩΓΗ, ΒΕΛΤΙΣΤΟΠΟΙΗΣΗ ΚΑΙ ΣΥΓΚΡΙΣΗ  
ΜΟΝΤΕΛΩΝ CAM ΒΑΣΕΙ ΠΡΑΓΜΑΤΙΚΩΝ  
ΣΥΝΘΗΚΩΝ ΚΑΤΕΡΓΑΣΙΑΣ ΣΕ ΣΥΓΧΡΟΝΗ  
CNC ΕΡΓΑΛΕΙΟΜΗΧΑΝΗ**

Μανωλάκης Τζανής του Δημητρίου

A.M.: 42759

Πατρικίου Ηλιάννα του Ηλία

A.M.: 43200

*Επιβλ. Καθ. Βασίλειος Σαγιάς*

Πειραιάς, 2018





**Περίληψη :** Η παρούσα εργασία εστιάζει στον προγραμματισμό της κατασκευής εξαρτήματος αεροσκάφους με τη χρήση προγράμματος ηλεκτρονικής σχεδίασης. Αρχικά, γίνεται μία αναφορά σε βασικές εργαλειομηχανές (τόρνος, φρέζα), στην τεχνολογική εξέλιξή τους, στις συνθήκες λειτουργίας τους, καθώς και στα κοπτικά εργαλεία που χρησιμοποιούνται σε κάθε εργαλειομηχανή ξεχωριστά. Παράλληλα, σημειώνονται κάποιοι ορισμοί που αφορούν τις συνθήκες κατεργασίας και οι οποίοι θα αποτελέσουν ένα βοήθημα για την κατανόηση του ορθού προγραμματισμού. Αναφέρονται, το πρόγραμμα ηλεκτρονικής σχεδίασης και η μέθοδος επεξεργασίας δεδομένων (μέθοδος Taguchi) με τα οποία εκπονήθηκε η εργασία, όπως επίσης το φασεολόγιο κατασκευής του δοκιμίου, μαζί με μηχανολογικό σχέδιο και εικόνες που επεξηγούν την κάθε μία φάση κατεργασίας. Κατόπιν, αναλύεται η διαδικασία επιλογής της πραγματικής CNC εργαλειομηχανής και των αντίστοιχων πραγματικών κοπτικών εργαλείων βάσει προϋποθέσεων που τέθηκαν. Ακολουθεί αναλυτική περιγραφή των φάσεων κατεργασίας και του προγραμματισμού τους με χρήση εικόνων από το πρόγραμμα ηλεκτρονικής σχεδίασης σε κάθε ένα βήμα ξεχωριστά. Έπειτα, αναπτύσσονται τα προβλήματα που παρουσιάστηκαν κατά την εκπόνηση της εργασίας, καθώς και οι τρόποι αντιμετώπισής τους. Τέλος, παρουσιάζονται τα συμπεράσματα όπως αυτά προέκυψαν, αλλά και οι δυνατότητα επεξεργασίας της παρούσας εργασίας στο μέλλον με διάφορους τρόπους.

**Λέξεις κλειδιά:** CNC εργαλειομηχανή, Κοπτικά εργαλεία, Φάσεις κατεργασίας, Χρόνος κατεργασίας

**Abstract:** *This work focuses on the planning of aircraft component manufacturing using an electronic design program. Initially, reference is made to basic machine tools (lathe, milling machine), their technological evolution, their operating conditions, as well as the cutting tools used in each machine tool separately. At the same time, some definitions of working conditions are noted which will be an aid to understanding the right programming. The electronic design program and data processing method (Taguchi method) with which the work was done are listed below. Then the plan of the construction phases of the specimen is presented, along with a mechanical drawing and illustrations that explain each processing phase. The process of selecting the actual CNC machine tool and the corresponding actual cutting tools on the basis of the conditions set is also analyzed. After that, a detailed description of the processing phases and their programming using images from the electronic design program in each step individually, follows. Then, the problems that came forward during the preparation of the work, as well as the ways of dealing with them, are developed. Finally, the conclusions are presented as well as the possibility of processing this work in the future in various ways.*

**Keywords:** CNC machine, Cutting tools, Process plan, Processing time

## Δήλωση ακαδημαϊκής ακεραιότητας

*(Declaration of academic integrity)*

Οι υπογράφοντες υπεύθυνα δηλώνουν ότι η παρούσα εργασία με τίτλο «Παραγωγή, βελτιστοποίηση και σύγκριση μοντέλων CAM βάσει πραγματικών συνθηκών κατεργασίας σε σύγχρονη CNC εργαλειομηχανή» είναι προϊόν δικής τους δουλειάς και ότι όλες οι πηγές που έχουν χρησιμοποιηθεί για τη σύνταξη της αναφέρονται πλήρως.

Τζανής Μανωλάκης



Ηλιάννα Πατρικίου





## Ευχαριστίες

Σε αυτό το σημείο θα θέλαμε να ευχαριστήσουμε τους γονείς μας που μας στήριξαν κατά τη διάρκεια των σπουδών μας και τον καθηγητή μας κ. Σαγιά Βασίλειο που μας βοήθησε για τη διεκπεραίωση αυτής της εργασίας.



## ΠΕΡΙΕΧΟΜΕΝΑ

1	ΕΙΣΑΓΩΓΗ.....	1
1.1	ΣΚΟΠΟΣ ΚΑΙ ΣΤΟΧΟΙ	1
	ΘΕΩΡΗΤΙΚΟ ΜΕΡΟΣ .....	3
2	ΕΡΓΑΛΕΙΟΜΗΧΑΝΕΣ .....	4
2.1	ΤΟΡΝΟΣ – CNC ΤΟΡΝΟΣ	4
2.1.1	Λειτουργίες του Τόρνου	4
2.1.2	Κύρια μέρη του Τόρνου	5
2.1.3	CNC Τόρνος	7
2.2	ΦΡΕΖΑ – CNC ΦΡΕΖΑ	8
2.2.1	Λειτουργίες της Φρέζας	8
2.2.2	Κύρια μέρη της Φρέζας	9
2.2.3	CNC Φρέζα	11
2.3	ΤΑ ΠΡΩΤΑ ΚΕΝΤΡΑ ΚΑΤΕΡΓΑΣΙΑΣ	12
2.3.1	Κατηγορίες κέντρων κατεργασίας	13
3	ΤΕΧΝΟΛΟΓΙΚΗ ΕΞΕΛΙΞΗ ΤΩΝ CNC ΕΡΓΑΛΕΙΟΜΗΧΑΝΩΝ .....	15
3.1	ΤΕΧΝΟΛΟΓΙΑ NUMERICAL CONTROL (NC)	16
3.2	ΤΕΧΝΟΛΟΓΙΑ COMPUTER NUMERICAL CONTROL (CNC)	16
3.3	ΤΕΧΝΟΛΟΓΙΑ DISTRIBUTED NUMERICAL CONTROL (DNC)	17
4	ΠΑΡΑΜΕΤΡΟΙ ΚΑΤΕΡΓΑΣΙΑΣ.....	19
4.1	ΣΥΝΘΗΚΕΣ ΚΑΤΕΡΓΑΣΙΑΣ	19
4.2	ΥΛΙΚΟ ΔΟΚΙΜΙΟΥ	20
4.2.1	Κράματα αλουμινίου	21
4.3	ΚΟΠΤΙΚΑ ΕΡΓΑΛΕΙΑ	22
4.3.1	Κοπτικά εργαλεία τόρνου	22
4.3.2	Κοπτικά εργαλεία φρέζας	23
5	ΠΡΟΓΡΑΜΜΑΤΑ Η/Υ .....	28
	ΜΕΛΕΤΗ ΚΑΤΑΣΚΕΥΗΣ ΔΟΚΙΜΙΟΥ .....	35
6	ΦΑΣΕΟΛΟΓΙΟ .....	36
7	ΕΠΙΛΟΓΗ ΕΡΓΑΛΕΙΟΜΗΧΑΝΗΣ .....	42
8	ΕΠΙΛΟΓΗ ΚΟΠΤΙΚΩΝ ΕΡΓΑΛΕΙΩΝ.....	46

9	ΚΑΤΕΡΓΑΣΙΑ ΔΟΚΙΜΙΟΥ.....	59
9.1	ΦΑΣΗ ΚΑΤΕΡΓΑΣΙΑΣ - 1	59
9.1.1	Κατεργασία των πλευρών Β & Ε.	59
9.1.2	Κατεργασία των πλευρών Γ & Ζ.	79
9.1.3	Κατεργασία των πλευρών Α & Δ.	79
9.2	ΦΑΣΗ ΚΑΤΕΡΓΑΣΙΑΣ - 2	80
9.3	ΦΑΣΗ ΚΑΤΕΡΓΑΣΙΑΣ - 3	103
9.4	ΦΑΣΗ ΚΑΤΕΡΓΑΣΙΑΣ - 4	138
9.5	ΦΑΣΗ ΚΑΤΕΡΓΑΣΙΑΣ - 5	171
9.6	ΦΑΣΗ ΚΑΤΕΡΓΑΣΙΑΣ - 6	204
9.7	ΠΑΡΑΓΩΓΗ G-ΚΩΔΙΚΑ	235
9.8	ΧΡΟΝΟΣ ΚΑΤΑΣΚΕΥΗΣ ΔΟΚΙΜΙΟΥ	240
10	ΠΡΟΒΛΗΜΑΤΑ ΚΑΙ ΑΝΤΙΜΕΤΩΠΙΣΗ .....	241
11	ΣΥΜΠΕΡΑΣΜΑΤΑ.....	243
12	FUTURE WORKS.....	246
13	ΒΙΒΛΙΟΓΡΑΦΙΑ .....	247
14	ΠΑΡΑΡΤΗΜΑ Α: ΘΕΩΡΗΤΙΚΟ ΜΕΡΟΣ.....	249
15	ΠΑΡΑΡΤΗΜΑ Β: ΜΕΛΕΤΗ ΚΑΤΕΡΓΑΣΙΑΣ ΔΟΚΙΜΙΟΥ .....	259



## **1 ΕΙΣΑΓΩΓΗ**

Η παρούσα εργασία αποτελεί μελέτη της κατεργασίας ενός δοκιμίου. Παρατίθενται πληροφορίες οι οποίες αποτελούν το θεωρητικό μέρος και είναι οι απαραίτητες γνώσεις για την κατανόηση του πειραματικού μέρους που ακολουθεί. Αναλύεται το πειραματικό μέρος με τη χρήση εικόνων ώστε να γίνει αντιληπτή η διαδικασία που ακολουθήθηκε. Τέλος, γίνεται παράθεση των συμπερασμάτων που προκύπτουν από τη μελέτη.

### **1.1 ΣΚΟΠΟΣ ΚΑΙ ΣΤΟΧΟΙ**

Ως κύριος στόχος της παρούσας εργασίας είναι η εξοικείωση της παραγωγής μοντέλων CAM με τη χρήση προγράμματος ηλεκτρονικής σχεδίασης. Η παραγωγή του μοντέλου CAM πραγματοποιείται βάσει πραγματικών συνθηκών κατεργασίας σε σύγχρονη CNC εργαλειομηχανή. Λόγω της απαίτησης της εκπόνησης της μελέτης με πραγματικές συνθήκες κατεργασίας, ως δευτερεύον στόχος της εργασίας ορίζεται η κατανόηση και η εκμάθηση της μεθοδολογίας επιλογής εργαλειομηχανής και κοπτικών εργαλείων, όπως αυτό συμβαίνει σε επαγγελματικό επίπεδο.



## **ΘΕΩΡΗΤΙΚΟ ΜΕΡΟΣ**

Στην ενότητα που ακολουθεί θα γίνει μια αναφορά στο ελάχιστο θεωρητικό υπόβαθρο που απαιτείται, ώστε να είναι πιο κατανοητή η ορολογία αλλά και η μελέτη που πραγματοποιήθηκε.

## **2 ΕΡΓΑΛΕΙΟΜΗΧΑΝΕΣ**

Η κατασκευή του δοκιμίου που μελετάται στην παρούσα εργασία, πραγματοποιείται με αφαίρεση υλικού. Δηλαδή, σε έναν αρχικό όγκο συγκεκριμένης γεωμετρίας και υλικού, μέσω ενός κοπτικού εργαλείου αφαιρείται σταδιακά υλικό με σκοπό τη δημιουργία του τελικού δοκιμίου. Αυτό το είδος της κατεργασίας επιτυγχάνεται από αρκετές κατηγορίες εργαλειομηχανών. Στις ακόλουθες ενότητες αναλύονται οι δύο βασικότερες, ο τόννος και η φρέζα αλλά και μία τρίτη κατηγορία που προκύπτει από το συνδυασμό αυτών των δύο.

### **2.1 ΤΟΡΝΟΣ – CNC ΤΟΡΝΟΣ**

Ο τόννος είναι μια εργαλειομηχανή στην οποία η κατεργασία ενός τεμαχίου γίνεται εκ περιστροφής, η οποία ονομάζεται τόννευση. Κατά τη διαδικασία της τόννευσης το προς κατεργασία τεμάχιο τοποθετείται σε μία συσκευή συγκράτησης όπου πακτώνεται και στη συνέχεια κεντράρεται με τον άξονα του τόννου, ενώ το κοπτικό εργαλείο τοποθετείται στο εργαλειοφορείο. Στην συνέχεια επιλέγονται οι κατάλληλες συνθήκες κατεργασίας στη μηχανή, για τη σωστή κατεργασία του αντικειμένου. Καθώς το τεμάχιο περιστρέφεται γύρω από τον άξονα περιστροφής του, το εργαλειοφορείο πλησιάζει το κοπτικό εργαλείο προς αυτό. Τέλος, η σχετική κίνηση και η συνεχής επαφή του τεμαχίου με το κοπτικό εργαλείο, οδηγούν στην αφαίρεση υλικού με τη μορφή συνεχούς αποβλήτου (γρέξι) και συνεπώς στη δημιουργία της επιθυμητής γεωμετρίας. (Singh, 2010)

#### **2.1.1 Λειτουργίες του Τόννου**

Τα κύρια χαρακτηριστικά της τόννευσης είναι τα παρακάτω:

1. Η κύρια κίνηση είναι περιστροφική και δίνεται στο τεμάχιο, ενώ η πρόωση δίνεται στο κοπτικό εργαλείο.
2. Υπάρχει η δυνατότητα δημιουργίας επιφανειών κυρτών ή κοίλων, αλλά και επίπεδων επιφανειών.
3. Το κοπτικό εργαλείο έχει μία κοπτική ακμή και κατά τη διάρκεια της κατεργασίας βρίσκεται συνεχώς σε επαφή με το τεμάχιο.

Οι κινήσεις που μπορούν να πραγματοποιηθούν σε έναν τόννο με τη χρήση του κατάλληλου κοπτικού οδηγούν σε κατεργασίες όπως είναι:

1. Κατασκευή πολυβάθμιων αξόνων με διαφορετικές διαμέτρους.
2. Διάνοιξη οπών στον άξονα περιστροφής.
3. Διάνοιξη σπειρωμάτων.

Υπάρχει ποικιλία κατεργασιών που μπορούν να πραγματοποιηθούν σε έναν τόννο όπως είναι η τόννευση εξωτερικών και εσωτερικών κυλινδρικών επιφανειών, η δημιουργία κωνικών και επίπεδων επιφανειών, διάνοιξη οπών μικρού ή μεγάλου

βάθους, δημιουργία εσωτερικών και εξωτερικών σπειρωμάτων καθώς και σφαιρικών επιφανειών με τη χρήση της κατάλληλης ιδιοσυσκευής. (Rajput, 2005)

Με την εξέλιξη της τεχνολογίας δημιουργήθηκαν διάφοροι τύποι τόνων ώστε να ανταποκριθούν στην ανάγκη για αύξηση της παραγωγικότητας και την ακρίβειας των κατεργαζόμενων τεμαχίων, με ταυτόχρονη μείωση του κόστους παραγωγής. Έτσι λοιπόν οι διάφοροι τύποι τόνων μπορούν να κατηγοριοποιηθούν με βάση:

- i. Το μέγεθός τους, το οποίο καθορίζεται αρχικά από το ύψος των κέντρων πάνω από την κορυφή του κρεβατιού, το οποίο όσο αυξάνεται τόσο μεγαλώνει η διάμετρος των προς κατεργασία τεμαχίων. Επίσης, από το μήκος του κρεβατιού βάσει του οποίου προκύπτει το μέγιστο μήκος του επεξεργαζόμενου τεμαχίου που μπορεί να τοποθετηθεί μεταξύ των δύο κέντρων του τόνου· το ένα του μηχανισμού συγκράτησης του τεμαχίου και το άλλο του κεντροφορέα.
- ii. Το είδος της κατεργασίας που μπορούν να εκτελέσουν σε συνδυασμό με τη μορφολογία τους. Υπάρχει ο τόννος γενικής χρήσης (engine or center lathe), ο οποίος είναι και ο πιο διαδεδομένος και πραγματοποιούνται σε αυτόν κατά κόρον όλες οι απλές κατεργασίες σε ένα τεμάχιο. Κατόπιν, υπάρχει ο τόννος υψηλών ταχυτήτων (speed lathe), ο οποίος είναι κατάλληλος για κατεργασία τεμαχίων μικρής διαμέτρου με μεγάλες ταχύτητες περιστροφής. Επιπλέον, υπάρχει ο επιτραπέζιος τόννος (bench lathe) ο οποίος βρίσκεται πακτωμένος σε έναν πάγκο και είναι χρησιμοποιείται για κατεργασία μικρών τεμαχίων τα οποία απαιτούν υψηλή ακρίβεια. Τέλος, υπάρχουν τόννοι εξειδικευμένων κατεργασιών (special purpose lathes) όπως για παράδειγμα για κατασκευή στροφαλοφόρων αξόνων μηχανών εσωτερικής καύσης. (Singh, 2012)

### 2.1.2 Κύρια μέρη του Τόννου

Ανεξάρτητα από τη διαφοροποίηση των διαφόρων τύπων τόννων, υπάρχουν κάποια βασικά μέρη τα οποία είναι κοινά σε όλους τους τύπους, αφού από αυτά εξαρτάται η σωστή λειτουργία του τόννου. Παρακάτω αναφέρονται αυτά τα κύρια μέρη, όπως φαίνονται στην εικόνα (Εικόνα 2.1.2.1), καθώς και η βασική λειτουργία του καθενός:

#### 1. Σώμα (Κρεβάτι)

Είναι το μεγαλύτερο και βαρύτερο κομμάτι και σκοπός του είναι να φέρει πάνω του όλα τα υπόλοιπα βασικά μέρη του τόννου όπως το κιβώτιο ταχυτήτων και προώσεων που βρίσκεται στην αριστερή πλευρά του. Το εργαλειοφορείο το οποίο κινείται κατά μήκος του κρεβατιού και τον κεντροφορέα που βρίσκεται στη δεξιά πλευρά του τόννου. Συνήθως, το σώμα του τόννου είναι κατασκευασμένο από χυτοσίδηρο.

## 2. Κιβώτιο ταχυτήτων

Αποτελείται από τον μηχανισμό ταχυτήτων και την κύρια άτρακτο. Σκοπός του είναι να δίνει την περιστροφική κίνηση στο προς κατεργασία τεμάχιο μέσω της κύριας άτρακτου. Ταυτόχρονα, αποτελεί βασικό παράγοντα παρέχοντας ποικίλο αριθμό στροφών ώστε να προσαρμόζει την περιστροφή του τεμαχίου στην εκάστοτε κατεργασία.

## 3. Εργαλειοφορείο

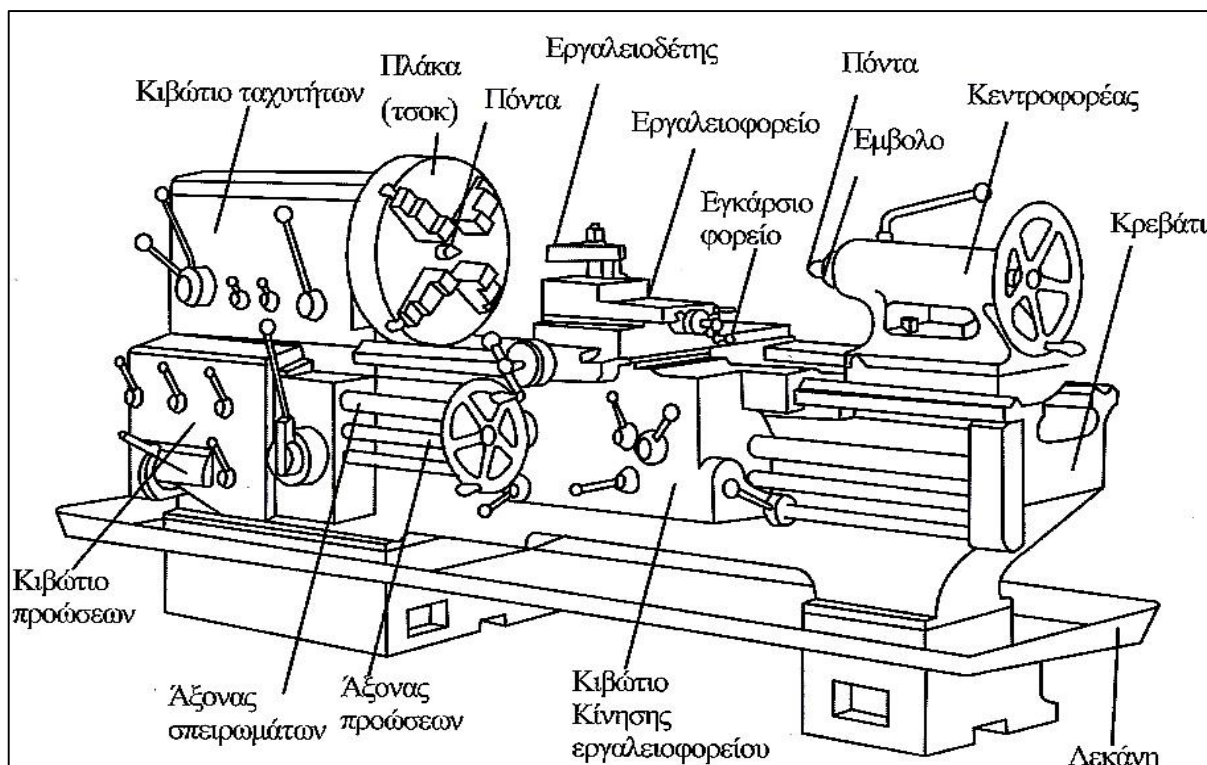
Είναι το κύριο μέρος του τόννου το οποίο φέρει το κοπτικό εργαλείο και αποτελείται από ένα σύνολο τμημάτων όπως είναι τα ακόλουθα. Το κύριο φορείο που βρίσκεται στο κατώτατο του τμήμα και συνδέεται με έναν ατέρμονα κοχλία ο οποίος ευθύνεται για την κίνησή του κατά μήκος του κρεβατιού. Το εγκάρσιο φορείο που βρίσκεται στο ενδιάμεσο του τμήμα και με έναν μηχανισμό μετατοπίζει το κοπτικό εργαλείο από και προς τον άξονα περιστροφής του τεμαχίου, δημιουργώντας έτσι το λεγόμενο βάθος κοπής. Τέλος, περιλαμβάνει τον εργαλειοδέτη που βρίσκεται στο ανώτατο τμήμα του και σκοπός του είναι η συγκράτηση του κοπτικού εργαλείου μέσω της προσαρμογής κατάλληλων ιδιοσυσκευών συγκράτησης.

## 4. Μηχανισμός προώσεων

Βρίσκεται κάτω από το κιβώτιο ταχυτήτων και σε συνεργασία με αυτό κινεί είτε τον ατέρμονα κοχλία που ευθύνεται για την πρόωση στην κατεργασία διάνοιξης σπειρώματος, είτε τον ατέρμονα κοχλία ο οποίος μετακινεί το εργαλειοφορείο κατά μήκος του κρεβατιού.

## 5. Κεντροφορέας

Βασικός σκοπός του είναι η συγκράτηση του ελεύθερου άκρου του κατεργαζόμενου τεμαχίου στην περίπτωση που αυτό έχει μεγάλο μήκος και σχετικά μικρή διάμετρο. Με αυτόν τον τρόπο, το τεμάχιο παραμένει σταθερό κατά τη διάρκεια της κατεργασίας χωρίς να περιστρέφεται έκκεντρα το ελεύθερο άκρο του αλλά διατηρείται η περιστροφική κίνηση γύρω από τον άξονα περιστροφής του σε όλο του το μήκος. (Sen, 2006) (Rajput, 2005)



Εικόνα 2.1.2.1-Μέρη του τόνου

### 2.1.3 CNC Τόρνος

Όπως αναφέρθηκε παραπάνω, η ανάγκη για καλύτερη ποιότητα και ακρίβεια των παραγόμενων τεμαχίων οδήγησαν στη δημιουργία διάφορων τύπων τόνων και σε συνδυασμό με τον βαθμό αυτοματισμού επήλθε μια μετάβαση από τους συμβατικούς τόνους σε τόνους ψηφιακής καθοδήγησης γνωστούς ως CNC τόνους, όπως φαίνεται και στην εικόνα (Εικόνα 2.1.3.1).

Η διαφοροποίησή του από τον συμβατικό τόνο είναι η προσαρμογή σερβοκινητήρων και μιας μονάδας ηλεκτρονικού υπολογιστή(Personal Computer – PC).

Με τη βοήθεια των σερβοκινητήρων, οι κινήσεις του κοπτικού εργαλείου πραγματοποιούνται αυτόματα, ενώ με τη χρήση του ηλεκτρονικού υπολογιστή πραγματοποιείται οι διαδικασίες από το στάδιο του ορισμού της πρώτης ύλης του τεμαχίου έως και την κατασκευή του. (Altintas, 2012) (Anotairaihoon, 2007) Τόσο η λειτουργία των σερβοκινητήρων, όσο και η δυνατότητα της σχεδίασης της διαδικασίας κατασκευής του εκάστοτε τεμαχίου, αναλύονται στο Κεφάλαιο 3: «Τεχνολογική Εξελίξη των CNC Εργαλειομηχανών».



Εικόνα 2.1.3.1-CNC τόννος

## 2.2 ΦΡΕΖΑ – CNC ΦΡΕΖΑ

Φρεζομηχανή ονομάζεται η εργαλειομηχανή η οποία εκτελεί τη διαδικασία του φρεζαρίσματος. Σύμφωνα με το πρότυπο DIN 8589, φρεζάρισμα αποκαλείται η μέθοδος μορφοποίησης με αφαίρεση υλικού, μέσω της περιστροφικής κίνησης ενός κυλινδρικού κοπτικού εργαλείου ως προς τον άξονα του με την ιδιότητα να διαθέτει παραπάνω από μία κοπτικές ακμές, αποσκοπώντας στην δημιουργία επίπεδων και μη επίπεδων επιφανειών στο τεμάχιο. (Στεργίου, 2009)

### 2.2.1 Λειτουργίες της Φρέζας

Τα κύρια χαρακτηριστικά του φρεζαρίσματος είναι τα ακόλουθα:

1. Το κοπτικό εργαλείο δεν βρίσκεται σε μία συνεχή επαφή με το προς κατεργασία τεμάχιο. Η επαφή αυτή είναι διακοπτόμενη, καθώς λόγω της γεωμετρίας του κοπτικού εργαλείου, η κάθε μία κοπτική ακμή έρχεται σε επαφή με το τεμάχιο μόνο μία φορά σε μία ολόκληρη περιστροφή του κοπτικού εργαλείου. Αποτέλεσμα αυτού είναι τα διακεκομμένα απόβλητα (γρέζια), σε αντίθεση με αυτά του τόννου τα οποία είναι συνεχόμενα εξαιτίας της συνεχόμενης επαφής του κοπτικού εργαλείου με το τεμάχιο.
2. Η πρόωση στη φρεζομηχανή μεταδίδεται από το τεμάχιο, μέσω της κίνησης του τραπέζιού το οποίο φέρει επάνω του την ιδιοσυσκευή συγκράτησης του τεμαχίου και το ίδιο το τεμάχιο.

Ο συνδυασμός των κινήσεων που μπορεί να πραγματοποιήσει το τραπέζι μίας φρεζομηχανής και η επιλογή του κατάλληλου κοπτικού εργαλείου, οδηγούν σε ένα



πλήθος κατεργασιών που μπορεί να κάνει μία φρεζομηχανή όπως αυτές αναφέρονται παρακάτω:

1. Δημιουργία επίπεδων και καμπύλων επιφανειών.
2. Δημιουργία ευθύγραμμων αυλακώσεων σε επίπεδες και κυλινδρικές επιφάνειες, όπως χελιδονοουρές, σφηνόδρομους, σφηνάλακες κ.λπ.
3. Δημιουργία ελικοειδών αυλακώσεων σε κυλινδρικές επιφάνειες.
4. Δημιουργία κανονικών πολυγωνικών μορφών, όπως τρίγωνα, τετράγωνα, πεντάγωνα κ.λπ.
5. Διάνοιξη σπειρωμάτων ακριβείας, τραπεζοειδή, τρίγωνα κ.λπ. σπειρώματα είτε με μία αρχή, είτε με περισσότερες αρχές.
6. Κατασκευή οδοντωτού κανόνα, όπως είναι η κρεμαγιέρα.
7. Κοπή οδόντων για τη δημιουργία οδοντωτών τροχών με ευθύγραμμη και κεκλιμένη οδόντωση.
8. Δημιουργία διαμορφώσεων σε ισαπέχουσες αποστάσεις μεταξύ τους και με συμμετρία ως προς τους άξονες του τεμαχίου, όπως η διάνοιξη οπών περιμετρικά σε μία φλάντζα.

Η ανάγκη για την πραγματοποίηση των παραπάνω κατεργασιών, αλλά και η απαίτηση για την κάλυψη των αναγκών της βιομηχανικής παραγωγής, τόσο στην ποιότητα του φρεζαρίσματος όσο και στην κατασκευή τεμαχίων με ανταγωνιστικό κόστος, οδήγησαν στην κατασκευή φρεζομηχανών διαφόρων τύπων. Η κατηγοριοποίησή τους γίνεται βάση της θέσης της κύριας ατράκτου η οποία φέρει το κοπτικό εργαλείο σε οριζόντιες, κατακόρυφες φρεζομηχανές και φρεζομηχανές γενικής χρήσης με περιστρεφόμενη ή τοποθετούμενη κεφαλή, ενώ παράλληλα βασικό στοιχείο διαφοροποίησής τους είναι και οι άξονες τους οποίους διαθέτουν. Δηλαδή, πόσες κινήσεις μπορεί να πραγματοποιήσει το τραπέζι αλλά και η κύρια άτρακτος. Έτσι, χωρίζονται σε φρεζομηχανές δύο αξόνων, τριών αξόνων, πέντε αξόνων και με την εξέλιξη της τεχνολογίας ο αριθμός των αξόνων αυξάνεται. (Singh, 2012) (Agariou, 2016)

### **2.2.2 Κύρια μέρη της Φρέζας**

Τα κύρια μέρη σε μία φρεζομηχανή δεν διαφέρουν από τον έναν τύπο στον άλλον, καθώς αποτελούν τον βασικό συνδυασμό για τη λειτουργία αυτής. Ακολούθως αναφέρονται τα κύρια μέρη και η λειτουργία του καθενός:

### 1. Βάση

Η Βάση, βρίσκεται στο κατώτατο μέρος της φρεζομηχανής. Έχει τη μορφή μιας άκαμπτης πλάκας με νευρώσεις και φέρει πάνω της το σώμα της φρεζομηχανής. Αρκετά συχνά και περισσότερο σε φρεζομηχανές μικρών διαστάσεων η βάση είναι ενοποιημένη με το κυρίως σώμα.

### 2. Σώμα (Κορμός)

Το Σώμα, είναι το μεγαλύτερο τμήμα της φρεζομηχανής, καθώς στο εσωτερικό του φέρει το σύστημα μετάδοσης ισχύος προς την κύρια άτρακτο και το τραπέζι.

Στο εμπρός του μέρος προσαρμόζεται το συγκρότημα του τραπέζιου, ενώ στο πίσω μέρος του βρίσκεται ο ηλεκτροκινητήρας ο οποίος είναι υπεύθυνος για την κύρια κίνηση.

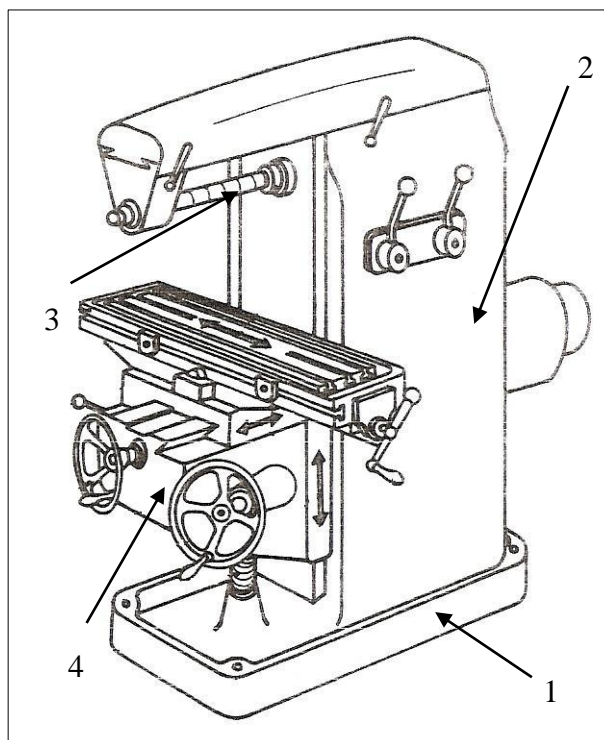
Στο επάνω μέρος του φέρει έναν βραχίονα υπό μορφή προβόλου στον οποίο τοποθετείται η κύρια άτρακτος.

### 3. Κύρια Άτρακτος

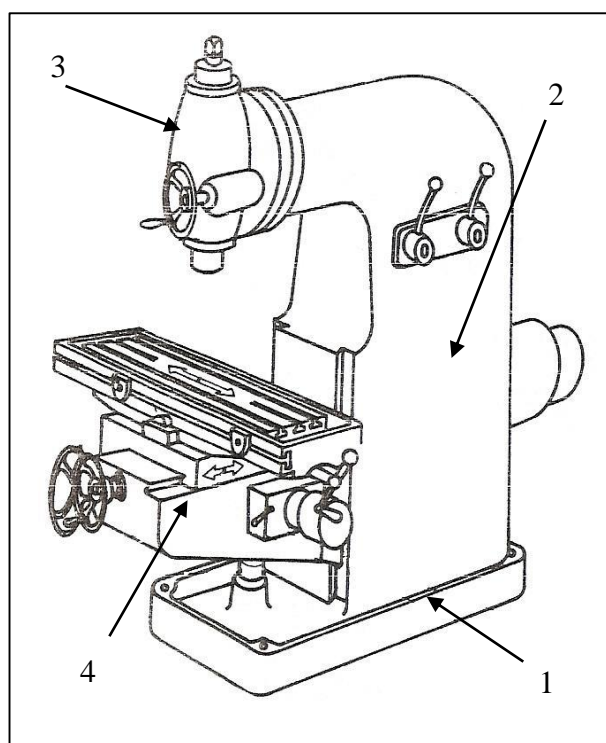
Η Κύρια Άτρακτος, είναι από τα σημαντικότερα μέρη μίας φρεζομηχανής, αφού σε αυτή καταλήγουν οι στροφές από τον κινητήρα, με αποτέλεσμα να περιστρέφει το κοπτικό εργαλείο που εφαρμόζεται σε αυτή και έτσι να πραγματοποιείται η αφαίρεση του υλικού.

### 4. Συγκρότημα Τραπεζιού

Το Συγκρότημα του Τραπεζιού συνήθως αποτελείται από τρία μέρη. Την κονσόλα ή πρόβολο με την οποία επιτυγχάνεται η κατακόρυφη κίνηση. Το φορείο για την εγκάρσια κίνηση. Το τραπέζι όπου στερεώνονται με τις ιδιοσυσκευές συγκράτησης τα προς κατεργασία τεμάχια. Η κίνηση του τραπεζιού



Εικόνα 2.2.2.1-Οριζόντια Φρεζομηχανή



Εικόνα 2.2.2.2-Κατακόρυφη Φρεζομηχανή

πραγματοποιείται, είτε χειροκίνητα με τη βοήθεια μοχλών είτε αυτόματα, επιτυγχάνοντας με αυτόν τον τρόπο την ταχύτητα πρόωσης και την ολοκλήρωση της λειτουργίας της φρεζομηχανής. (Στεργίου, 2009) (Δημοσθένους, 2004) (Clark, 2014)

### 2.2.3 CNC Φρέζα

Λόγω της αύξησης της παραγωγής διαφόρων προϊόντων που κατασκευάζονται από φρεζομηχανές, σε συνδυασμό με την απαίτηση για ανταγωνιστικό κόστος παραγωγής και καλύτερη ποιότητα, παρουσιάστηκε η ανάγκη για κατασκευή φρεζομηχανών, με σκοπό να ικανοποιούν τις προαναφερθείσες απαιτήσεις. Σημαντικό ρόλο σε αυτή τη μετάβαση αποτέλεσε η εξέλιξη της τεχνολογίας, μετατρέποντας την συμβατική φρεζομηχανή σε φρεζομηχανή με αυτόματα προγράμματα κατεργασίας, γνωστή ως CNC φρέζα.

Η διαφοροποίησή της από τη συμβατική φρεζομηχανή είναι η προσαρμογή σερβοκινητήρων και μιας μονάδας ηλεκτρονικού υπολογιστή (Personal Computer – PC).

Με τη βοήθεια των σερβοκινητήρων, οι κινήσεις της τράπεζας πραγματοποιούνται αυτόματα, ενώ με τη χρήση του ηλεκτρονικού υπολογιστή πραγματοποιούνται οι διαδικασίες από το στάδιο του ορισμού της πρώτης ύλης του τεμαχίου έως και την κατασκευή του. (Altintas, 2012) (Anotairai boon, 2007) Τόσο η λειτουργία των σερβοκινητήρων, όσο και η

δυνατότητα της σχεδίασης της διαδικασίας κατασκευής του εκάστοτε τεμαχίου, αναλύονται στο Κεφάλαιο 3: «Τεχνολογική Εξέλιξη των CNC Εργαλειομηχανών».



Εικόνα 2.2.3.1-CNC Φρέζα



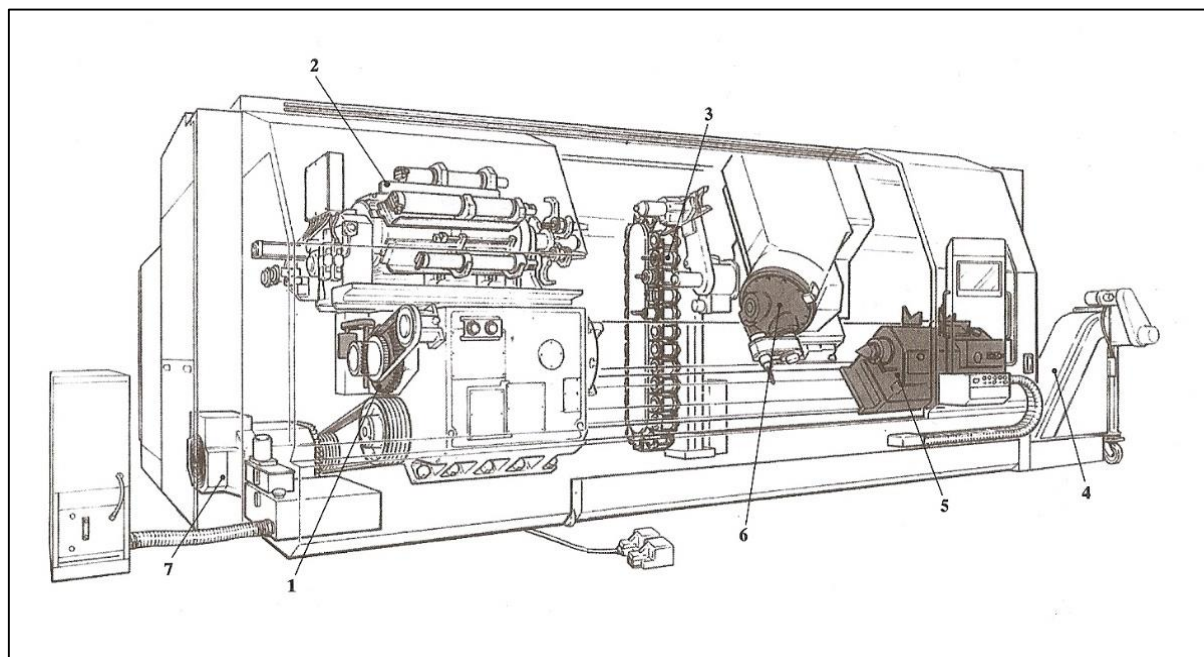
Εικόνα 2.2.3.2-CNC Φρέζα

## 2.3 ΤΑ ΠΡΩΤΑ ΚΕΝΤΡΑ ΚΑΤΕΡΓΑΣΙΑΣ

Ένας από τους βασικότερους παράγοντες στην κατασκευή ενός τεμαχίου είναι ο χρόνος. Όσο μικρότερος είναι ο χρόνος κατασκευής, τόσο αυξάνονται τα τεμάχια που κατασκευάζονται, με αποτέλεσμα να αυξάνεται η παραγωγική δυνατότητα της μηχανής, κάνοντας έτσι τις εταιρείες που τις κατέχουν πιο ανταγωνιστικές.

Λόγω των υψηλών απαιτήσεων της βιομηχανίας και του μεγάλου ανταγωνισμού για την ελάττωση του χρόνου κατεργασίας, προσαρμόστηκαν στις εργαλειομηχανές συστήματα αυτόματης αλλαγής κοπτικών εργαλείων. Αυτά τα συστήματα αποτελούνται από έναν ενσωματωμένο, στην εργαλειομηχανή, χώρο αποθήκευσης κοπτικών εργαλείων και βραχίονες οι οποίοι πραγματοποιούν την αλλαγή του κοπτικού εργαλείου αυτόματα όταν απαιτείται. Στην εικόνα (Εικόνα 2.3.1) φαίνεται ένα CNC κέντρο κατεργασίας εκ περιστροφής με αυτόματη αλλαγή κοπτικού εργαλείου. Βέβαια, η λογική των κέντρων κατεργασίας δεν έμεινε μόνο σε αυτό το σύστημα, αλλά η ένταξη πρόσθετων αξόνων, πέραν των βασικών, ήταν το επόμενο βήμα στην εξέλιξη των εργαλειομηχανών. (Στεργίου, 2009)

Πλέον, κέντρο κατεργασίας αποκαλείται μία εργαλειομηχανή, είτε φρέζα είτε τόρνος, η οποία μπορεί να πραγματοποιεί διάφορες μεμονωμένες λειτουργίες με ένα μόνο σετάρισμα (δηλ. ρύθμιση παραμέτρων και πορείας κοπτικού εργαλείου). Η δυνατότητα αυτή δίνεται, όπως προαναφέρθηκε, από το σύστημα αυτόματης αλλαγής κοπτικών εργαλείων αλλά και από τους πρόσθετους άξονες. (Smid, 2007)



Εικόνα 2.3.1 - Κέντρο κατεργασίας εκ περιστροφής αυτόματης αλλαγής κοπτικού εργαλείου. (1) Καθοδήγηση άξονα, (2) Μανέλες, (3) Αποθήκη κοπτικών εργαλείων, (4) Γρεζομεταφορέας, (5) Κεντροφορέας, (6) Κεφαλή με αυτόματη αλλαγή κοπτικών εργαλείων, (7) Κύριος κινητήρας

### 2.3.1 Κατηγορίες κέντρων κατεργασίας

Υπάρχουν δύο κατηγορίες κέντρων κατεργασίας. Η μία, στην οποία πραγματοποιούνται οι λειτουργίες μίας CNC φρέζας και ενός δραπεάνου και έχει επικρατήσει η ονομασία CNC κέντρο κατεργασίας. Η άλλη, η οποία πραγματοποιεί τις λειτουργίες ενός CNC τόρνου και κάποιες απλές λειτουργίες μίας CNC φρέζας και ονομάζεται CNC κέντρο κατεργασίας εκ περιστροφής.

Στην πρώτη κατηγορία, το χαρακτηριστικό που διαφοροποιεί μία απλή CNC φρέζα από ένα κέντρο κατεργασίας είναι οι άξονες κατεργασίας. Μία απλή CNC φρέζα διαθέτει, όπως αναλύεται και στην Υποενότητα 2.2.3: «CNC Φρέζα» του κεφαλαίου 2, 3 άξονες στους οποίους πραγματοποιούνται οι ευθύγραμμες κινήσεις του τραπεζίου και του κοπτικού εργαλείου. Το απλούστερο CNC κέντρο κατεργασίας αποτελείται από 5 άξονες. Οι δύο πρόσθετοι άξονες ευθύνονται για την περιστροφή του τραπεζίου· ο ένας ως προς τον κάθετο άξονα και ο άλλος ως προς τον έναν από τους οριζόντιους άξονες κίνησης του τραπεζίου. Με την εξέλιξη της τεχνολογίας ο αριθμός των αξόνων έχει αυξηθεί και υπάρχουν κέντρα κατεργασίας με 7, 9, ακόμη και με 11 άξονες κατεργασίας. Φυσικά, αυτοί οι άξονες δεν αφορούν μόνο την περιστροφή του τραπεζίου, αλλά και τις κινήσεις που μπορεί να πραγματοποιήσει η κεφαλή συγκράτησης του κοπτικού εργαλείου.

Ταυτόχρονα, όπως μία CNC φρέζα, έτσι και ένα CNC κέντρο κατεργασίας διαθέτει ένα λογισμικό για τον έλεγχο της ταχύτητας κοπής, των προώσεων, τη ζωή, την αλλαγή και την ανίχνευση σπασμένου κοπτικού εργαλείου καθώς επίσης και των μηχανισμών ελάττωσης του χρόνου. Υπάρχουν δύο ειδών κέντρα κατεργασίας. Τα κάθετα στα οποία κατασκευάζονται κατά κόρον επίπεδα τεμάχια και τα οριζόντια που είναι κατάλληλα για τη κατασκευή κυβοειδών τεμαχίων.

Έτσι, όλα αυτά τα χαρακτηριστικά καθιστούν τα κέντρα κατεργασίας ευέλικτα, ικανά να κατασκευάσουν τεμάχια πολύπλοκης γεωμετρίας, σε μικρούς χρόνους κατεργασίας, αυξάνοντας τον ανταγωνισμό.

Τεμάχια πολύπλοκης γεωμετρίας, όχι τόσο όσο αυτά των κέντρων κατεργασίας, τα οποία παίρνουν μορφή με βασικές λειτουργίες αυτές του τόρνου, μπορούν να κατασκευαστούν στην άλλη κατηγορία κέντρων κατεργασίας.

Το κύριο χαρακτηριστικό το οποίο διαφοροποιεί έναν CNC τόρνο από ένα CNC κέντρο κατεργασίας εκ περιστροφής, είναι η προσάρτηση σε αυτόν μερικών απλών λειτουργιών μίας φρεζομηχανής. Σε έναν τόρνο μεγαλύτερων διαστάσεων από έναν απλό, προσαρμόζονται ειδικά συστήματα τα οποία φέρουν κεφαλή συγκράτησης κοπτικών εργαλείων μίας φρέζας. Μέσω ενός λογισμικού, όπως αυτό των κέντρων κατεργασίας, ελέγχεται η στιγμή που θα επέμβει η κεφαλή της φρέζας για την πραγματοποίηση λειτουργιών, όπως για παράδειγμα τη διάνοιξη οπών περιμετρικά του τεμαχίου γύρω από τον άξονα περιστροφής του.

Τέλος, τόσο στα CNC κέντρα κατεργασίας όσο και στα CNC κέντρα κατεργασίας εκ περιστροφής, υπάρχει η δυνατότητα αυτόματης αλλαγής του τεμαχίου από την αποθήκη τεμαχίων ή αυτόματης τροφοδοσίας της πρώτης ύλης. Τότε, αυτά ονομάζονται κυψέλες κατεργασίας, στα οποία είναι δυνατή η κατασκευή όμοιων τεμαχίων δίχως την επέμβαση του χειριστή. Αυτό τα κάνει ακόμα πιο παραγωγικά και πιο ανταγωνιστικά στην αγορά. (Στεργίου, 2009) (Check, 1998)



### **3 ΤΕΧΝΟΛΟΓΙΚΗ ΕΞΕΛΙΞΗ ΤΩΝ CNC ΕΡΓΑΛΕΙΟΜΗΧΑΝΩΝ**

Η πρώτη τεχνολογία που εφαρμόστηκε στις συμβατικές εργαλειομηχανές ήταν η τεχνολογία του Αριθμητικού Ελέγχου ή αλλιώς NC (Numerical Control). Το έναυσμα για την ενσωμάτωση της τεχνολογίας αυτής στη βιομηχανία, ήταν η κατασκευή μίας NC εργαλειομηχανής το 1952 στο Πανεπιστήμιο Μ.Ι.Τ. της Μασαχουσέτης μετά από εμφάνιση της ανάγκης μιας αεροπορικής βιομηχανίας για κατασκευή εξαρτημάτων με πολύπλοκη γεωμετρία. Στη συνέχεια με τη βοήθεια των μεγαλύτερων εταιρειών κατασκευής αεροσκαφών, δημιουργήθηκαν τα απαραίτητα, για αυτή την τεχνολογία, προγράμματα βασισμένα στη γλώσσα προγραμματισμού APT (Automatic Programmed Tools). (Σκιττίδης, 2000)

Η χρήση της επέτρεπε παραμετρικές αναπαραστάσεις γεωμετριών που κυμαίνονται από ένα μόνο σημείο στο χώρο μέχρι και πολύπλοκες, τρισδιάστατες ανάγλυφες επιφάνειες. Βασικά στοιχεία για να δημιουργηθεί η διαδρομή του κοπτικού εργαλείου είναι η εισαγωγή στο πρόγραμμα της γεωμετρίας του κοπτικού εργαλείου και της γεωμετρίας του προς κατεργασία τεμαχίου ώστε το κοπτικό να διανύσει την επιθυμητή, για την κατεργασία του τεμαχίου, διαδρομή. Η υπολογιζόμενη διαδρομή του κοπτικού συντονίζεται και οι συνθήκες κοπής αποθηκεύονται σε ένα ηλεκτρονικό αρχείο με μία γενική τυποποιημένη μορφή, το οποίο μετατρέπεται αυτόματα σε συγκεκριμένο κώδικα χειρισμού για το επιλεγμένο κοπτικό εργαλείο CNC μηχανής. Ένα πρόγραμμα APT αποτελείται από εντολές που εντάσσονται στις ακόλουθες κατηγορίες:

- Εντολές καθορισμού
- Εντολές γεωμετρίας
- Εντολές κίνησης
- Εντολές μετεπεξεργασίας
- Βοηθητικές εντολές

Με αυτόν τον τρόπο μπορούσαν να πραγματοποιηθούν πιο εύκολα κατεργασίες επιφανειών πολύπλοκης γεωμετρίας. Επειδή όμως με την APT μπορούν να ελεγχθούν CNC μηχανές μέχρι πέντε αξόνων και οι απαιτήσεις της βιομηχανίας οδήγησαν στη δημιουργία CNC μηχανών με περισσότερους άξονες, η APT δεν χρησιμοποιείται πλέον. Έχει αντικατασταθεί από λογισμικά CAD/CAM πιο φιλικά προς τον χρήστη, τα οποία όμως χρησιμοποιούν ορισμένα βασικά στοιχεία της APT για την επεξεργασία των δεδομένων. (Altintas, 2012)

Ο πηγαίος κώδικας που παράγεται με τη χρήση της εκάστοτε γλώσσας προγραμματισμού, μεταγλωττίζεται για να δημιουργηθεί ένα αρχείο δεδομένων θέσεων κοπτικού (cutter location data file – CL data file), το οποίο αποτελεί μια λίστα που περιέχει τις μετακινήσεις του κοπτικού εργαλείου και τις βοηθητικές εντολές ελέγχου της εργαλειομηχανής, ανεξάρτητα από τον τύπο της.

### 3.1 ΤΕΧΝΟΛΟΓΙΑ NUMERICAL CONTROL (NC)

Βάσει της τεχνολογίας NC, μια εργαλειομηχανή μπορεί να εκτελέσει μία κατεργασία με τη βοήθεια αριθμητικών εντολών που εισάγονται σε αυτήν μέσω διάτρητης ταινίας ή δισκέτας και σερβοκινητήρων για την κίνηση του τραπεζίου της. Έχουν προσαρμοστεί σε αυτή μία μονάδα ηλεκτρονικού υπολογιστή, ο οποίος αποκαλείται Controller και αισθητήρες θέσης και ταχύτητας για κάθε μηχανισμό κίνησης. Ο χειριστής εισάγει το αριθμητικά ελεγχόμενο πρόγραμμα (NC) στον Controller, ο οποίος επεξεργάζεται τα στοιχεία και παράγει τις ιδιαίτερες αριθμητικές εντολές θέσης για κάθε τροφοδοσία και την εντολή ταχύτητας για την κίνηση των αξόνων. Οι εντολές αυτές περιέχουν πληροφορίες οι οποίες αφορούν την κίνηση της κεφαλής συγκράτησης του κοπτικού εργαλείου, βασισμένη σε συντεταγμένες, καθώς επίσης και πληροφορίες μέσω των οποίων ελέγχονται τα βοηθητικά συστήματα της εργαλειομηχανής, όπως για παράδειγμα η παροχή ψυκτικού υγρού ή η παύση της περιστροφής του κοπτικού εργαλείου. Αφού παραχθούν οι αριθμητικές εντολές μετατρέπονται σε τάση σημάτων ( $\pm 5V$  ή  $\pm 10 V$ ) και στέλνονται σε σερβοενισχυτές των αναλογικών κινήσεων, ή στέλνονται αριθμητικά στις ψηφιακές κινήσεις όπου επεξεργάζονται και ενισχύονται στα σήματα υψηλής τάσεως που απαιτούνται από τις μηχανές. Καθώς οι οδηγοί κινούνται, οι αισθητήρες μετρούν την ταχύτητα και τη θέση τους. Τέλος, ο Controller εκτελεί περιοδικά νόμους ψηφιακού ελέγχου σε σταθερά διαστήματα δειγματοληψίας που διατηρούν την ταχύτητα πρόωσης και την πορεία του εργαλείου σε προγραμματισμένους ρυθμούς με τη χρήση μετρήσεων από αισθητήρα ανάδρασης. (Altintas, 2012)

### 3.2 ΤΕΧΝΟΛΟΓΙΑ COMPUTER NUMERICAL CONTROL (CNC)

Με την πάροδο του χρόνου η τεχνολογία NC εξελίχθηκε στην τεχνολογία CNC (Computer Numerical Control), κατά την οποία αυξήθηκαν οι δυνατότητες των εργαλειομηχανών με τη χρήση μικροεπεξεργαστών. (Σκιττίδης, 2000) Η προσθήκη ηλεκτρονικού υπολογιστή (Personal Computer – PC) στην μονάδα ελέγχου της μηχανής (MCU – Machine Control Unit), εξυπηρέτησε αρκετές λειτουργίες της παραγωγικής διαδικασίας, όπως είναι ο σχεδιασμός μηχανολογικών εξαρτημάτων μέσω ηλεκτρονικών σχεδιαστικών προγραμμάτων CAD (Computer Aided Design), ο έλεγχος ποιότητας, ο σχεδιασμός της βέλτιστης διαδρομής του κοπτικού εργαλείου (toolpath) και η συγκέντρωση δεδομένων. (Σκιττίδης, 2000) (Anotairai boon, 2007)

Το λογισμικό μίας CNC εργαλειομηχανής πρέπει να εξάγει ένα πρόγραμμα σε μια μορφή μοναδική για κάθε μονάδα ελέγχου. Το πιο σημαντικό τμήμα της δημιουργίας της διαδρομής του κοπτικού εργαλείου είναι η ακεραιότητα των δεδομένων. Το πρόγραμμα που παράγεται από τον υπολογιστή πρέπει να είναι ακριβές και έτοιμο για εισαγωγή στην CNC εργαλειομηχανή. Αυτό σημαίνει ότι το ολοκληρωμένο πρόγραμμα δεν πρέπει να χρειάζεται επεξεργασία, βελτιστοποίηση, συγχώνευση με άλλα προγράμματα ή παρόμοιες δραστηριότητες χειρισμού. Τέτοιος στόχος μπορεί να



επιτευχθεί μόνο από ένα καλά ανεπτυγμένο στυλ προγραμματισμού και έναν σωστά ρυθμισμένο μετεπεξεργαστή (post processor) για κάθε διαφορετική CNC εργαλειομηχανή.

Ο μετεπεξεργαστής είναι ένα πρόγραμμα το οποίο προσαρμόζει τα δεδομένα εξόδου ενός επεξεργαστή σε ένα πρόγραμμα εργαλειομηχανής, για την παραγωγή ενός τεμαχίου με έναν συγκεκριμένο συνδυασμό του κοπτικού εργαλείου και του controller.

Ένας μετεπεξεργαστής υψηλής ποιότητας ίσως είναι το σημαντικότερο χαρακτηριστικό σε ένα λογισμικό CNC. Κατά την εισαγωγή των δεδομένων στο λογισμικό, ρυθμίσεις που περιγράφουν το σχήμα του τεμαχίου, τιμές κοπής, ταχύτητες αξόνων και πολλά άλλα δεδομένα, αποθηκεύονται για περαιτέρω επεξεργασία. Το λογισμικό αναλύει τα δεδομένα αυτά, τα ταξινομεί και δημιουργεί μια βάση δεδομένων, η οποία αντιπροσωπεύει τη γεωμετρία του τεμαχίου, την πορεία του κοπτικού εργαλείου και άλλες λειτουργίες.

Το CNC σύστημα δεν μπορεί να καταλάβει τα δεδομένα αυτά, ανεξαρτήτως της ακρίβειάς του. Επίσης, κάθε CNC σύστημα είναι διαφορετικό με αποτέλεσμα ορισμένοι κώδικες προγραμμάτων να είναι μοναδικοί για μία συγκεκριμένη εργαλειομηχανή, ενώ άλλοι είναι σχεδόν όμοιοι για πολλές εργαλειομηχανές. Ο σκοπός ενός μετεπεξεργαστή είναι να επεξεργάζεται τα πηγαία δεδομένα και να τα μετατρέπει σε κώδικα με μορφή κατανοητή για κάθε ξεχωριστή εργαλειομηχανή. (Check, 1998)

Με λίγα λόγια η διαδικασία κατασκευής ενός τεμαχίου ακολουθεί σε γενικές γραμμές τα παρακάτω βήματα:

- Εισαγωγή της γεωμετρίας του τεμαχίου από κάποιο πρόγραμμα CAD.
- Ορισμός της γεωμετρίας της πρώτης ύλης, του τρόπου συγκράτησης του τεμαχίου και του συστήματος συντεταγμένων
- Εισαγωγή των κατάλληλων κοπτικών εργαλείων, που απαιτούνται για την πραγματοποίηση της κατεργασίας.
- Χάραξη πορείας κοπτικού εργαλείου.
- Εισαγωγή της πορείας του κοπτικού εργαλείου και των συνθηκών κατεργασίας μέσω ενός μετεπεξεργαστή στην εργαλειομηχανή CNC
- Κατασκευή του τεμαχίου.

Αποτέλεσμα της εξέλιξης αυτής, είναι η μείωση του ανθρώπινου σφάλματος, καθώς επίσης και του χρόνου κατεργασίας αλλά και του κόστους. Ταυτόχρονα αυξήθηκαν τόσο η δυνατότητα παραγωγής εξαρτημάτων υψηλής ακρίβειας όσο και η παραγωγικότητα. (Anotairaiboon, 2007)

### **3.3 ΤΕΧΝΟΛΟΓΙΑ DISTRIBUTED NUMERICAL CONTROL (DNC)**

Βέβαια, η κατασκευή μικροϋπολογιστών και η ένταξη τους στον τομέα της βιομηχανίας, ώθησε ένα βήμα παραπέρα την τεχνολογία των εργαλειομηχανών CNC.

Πλέον, έχει προσαρμοστεί στις εργαλειομηχανές CNC η τεχνολογία του Άμεσης Διανομής Προγράμματος Αριθμητικού Ελέγχου, γνωστή ως DNC (Distributed Numerical Control). Σύμφωνα με αυτή την τεχνολογία υπάρχει μία κεντρική μονάδα ενός ηλεκτρονικού υπολογιστή, ο οποίος διαθέτει την ικανότητα να συνδεθεί με μία ομάδα CNC εργαλειομηχανών και να στέλνει εντολές και πληροφορίες είτε σε ορισμένες από αυτές είτε σε όλες ταυτόχρονα με τη δυνατότητα οι εντολές αυτές να εκτελούνται σε πραγματικό χρόνο. Παράλληλα, η κεντρική μονάδα παρουσιάζει το πλεονέκτημα να συλλέγει και να αποθηκεύει πληροφορίες σχετικά με το χρόνο και την απασχόληση της κάθε εργαλειομηχανής για περαιτέρω βελτιστοποίηση του συστήματος. (Altintas, 2012)

## 4 ΠΑΡΑΜΕΤΡΟΙ ΚΑΤΕΡΓΑΣΙΑΣ

Στο κεφάλαιο που ακολουθεί, θα παρατεθούν οι βασικές παράμετροι κατεργασίας ενός δοκιμίου, οι οποίες είναι οι συνθήκες κατεργασίας, το υλικό του δοκιμίου και τα κοπτικά εργαλεία.

### 4.1 ΣΥΝΘΗΚΕΣ ΚΑΤΕΡΓΑΣΙΑΣ

Στο κεφαλαίο που ακολουθεί παρατίθενται οι βασικές συνθήκες κατεργασίας μέσω των ορισμών τους. (Αγαρίου, 2016)

#### Ταχύτητα κοπής $V$ (Cutting Speed):

Η ταχύτητα κοπής στην περίπτωση του τόννου καθορίζεται από την περιστροφική ταχύτητα του άξονα  $N$  και την αρχική και τελική διάμετρο του δοκιμίου  $D_1 + D_2$  αντίστοιχα και δίνεται από την μαθηματική ισότητα  $V = \pi * N \frac{D_1 + D_2}{2} = \pi * N * D_{avg}, (m/min)$

Η ταχύτητα κοπής στην περίπτωση της φρέζας καθορίζεται από την περιστροφική ταχύτητα του άξονα  $N$  και τη διάμετρο του κοπτικού εργαλείου  $D$  και δίνεται από την μαθηματική ισότητα  $V = \pi * N * D, (m/min)$

#### Πρόωση $f$ (Feed):

Η πρόωση ( $f$ ) στην περίπτωση του τόννου, ορίζεται ως η μετατόπιση του κοπτικού εργαλείου ανά περιστροφή κατά μήκος της διαδρομής κοπής του σε (mm/rev). Η ταχύτητα πρόωσης ( $f_r$ ) είναι η ταχύτητα με την οποία το κοπτικό εργαλείο μετατοπίζεται κατά μήκος του δοκιμίου σε χιλιοστά ανά λεπτό (mm/min) και σχετίζεται με την πρόωση μέσω των στροφών.

Δίνεται από τη μαθηματική ισότητα  $f_r = f * N, (mm/min)$

Στην περίπτωση της φρέζας η πρόωση ( $f$ ) αντιστοιχεί στην πρόωση ανά δόντι( $f_t$ ) του κοπτικού εργαλείου και ορίζεται ως η μετατόπιση του κοπτικού εργαλείου ανά δόντι κατά μήκος της διαδρομής κοπής του σε (mm/tooth). Η ταχύτητα πρόωσης ( $f_r$ ) είναι η ταχύτητα με την οποία το κοπτικό εργαλείο μετατοπίζεται κατά μήκος του δοκιμίου σε χιλιοστά ανά λεπτό (mm/min) και σχετίζεται με την πρόωση μέσω των στροφών.

Δίνεται από τη μαθηματική ισότητα  $f_r = f * N = n_t * f_t * N (mm/min)$

### **Βάθος κοπής d (Depth of Cut):**

Το βάθος κοπής,  $d$ , στην περίπτωση του τόννου, ορίζεται ως το πάχος του υλικού που αφαιρείται από την επιφάνεια του δοκιμίου και δίνεται από τη μαθηματική ισότητα

$$d = \frac{D_1 - D_2}{2}, (mm)$$

Το βάθος κοπής,  $d$ , στην περίπτωση της φρέζας, ορίζεται ως το πάχος του υλικού που αφαιρείται από την επιφάνεια του δοκιμίου και εξαρτάται από το πάχος του υλικού που μπορεί να αφαιρέσει το εκάστοτε κοπτικό εργαλείο.

## **4.2 ΥΛΙΚΟ ΔΟΚΙΜΙΟΥ**

Οι διαφορετικές απαιτήσεις που εμφανίζονταν κατά την εξέλιξη της τεχνολογίας σε βιομηχανικές εφαρμογές, οδήγησαν στη δημιουργία διάφορων υλικών-κραμάτων με μία ποικιλία μικροδομής, μηχανικών και χημικών ιδιοτήτων, κατάλληλο το καθένα για κάθε μία εφαρμογή.

Ως κράμα ορίζεται μία ουσία η οποία έχει μεταλλικές ιδιότητες και αποτελείται από δύο ή περισσότερα χημικά στοιχεία από τα οποία το ένα τουλάχιστον είναι μέταλλο. (Davis, 1992)

Έτσι, τα κράματα που χρησιμοποιούνται στη βιομηχανία κατηγοριοποιούνται βάσει των παραπάνω χαρακτηριστικών. Σε κατασκευές όπου απαιτείται μεγάλη ποσότητα κραματικών υλικών αλλά και χαμηλό κόστος κατασκευής τους, χρησιμοποιούνται τα σιδηρούχα κράματα, όπως χάλυβες και χυτοσίδηροι στα οποία το μέταλλο με τη μεγαλύτερη περιεκτικότητα είναι ο σίδηρος, αφού οι ενώσεις στις οποίες περιέχονται βρίσκονται σε αφθονία στο φλοιό της γης και διαδικασίες όπως η εξόρυξη και η κραμάτωσή τους είναι σχετικά οικονομικές. Η βασική διαφορά μεταξύ αυτών των δύο σιδηρούχων κραμάτων είναι η περιεκτικότητά τους σε άνθρακα, με μεγαλύτερο ποσοστό στους χυτοσίδηρους. Για βιομηχανικές εφαρμογές στις οποίες απαιτείται υψηλή (ειδική) μηχανική αντοχή χρησιμοποιείται μία άλλη κατηγορία κραμάτων, αυτή των ελαφρών κραμάτων, στην οποία ανήκουν τα κράματα του αλουμινίου, του μαγνησίου και του τιτανίου. Σε βιομηχανικές κατασκευές οι οποίες εκτίθενται σε εξαιρετικά δυσμενείς συνθήκες, όπως έντονα διαβρωτικό περιβάλλον (καυσαέρια, χημικά υγρά, τηγμένα μέταλλα, άλατα κ.λπ.), χρησιμοποιούνται τα υπερκράματα στα οποία ανήκουν τα κράματα με βάση το σίδηρο και το νικέλιο, με βάση το νικέλιο και με βάση το κοβάλτιο, καθώς η φθορά τους λόγω οξειδωσης είναι η ελάχιστη δυνατή. Τέλος, σε εφαρμογές όπου είναι επιθυμητή η υψηλή ηλεκτρική αγωγιμότητα, χρησιμοποιούνται κράματα που έχουν ως βάση το χαλκό όπως για παράδειγμα οι ορείχαλκοι και οι μπρούντζοι. (Παντελής, 2008) (Βατάλης, 2009) (William D. Callister, 2015)

#### 4.2.1 Κράματα αλουμινίου

Στην παρούσα εργασία, το κράμα από το οποίο είναι κατασκευασμένο το τεμάχιο ανήκει στην κατηγορία των ελαφρών κραμάτων και πιο συγκεκριμένα στα κράματα του αλουμινίου.

Γενικά, τα κράματα του αλουμινίου χωρίζονται σε κράματα διαμόρφωσης και σε κράματα χύτευσης. Τόσο στη μία κατηγορία όσο και στην άλλη, διακρίνονται σε κράματα τα οποία είναι αδύνατον να υποστούν θερμική κατεργασία και σε κράματα τα οποία μπορούν να υποστούν θερμική κατεργασία.

Τα κράματα του αλουμινίου χαρακτηρίζονται από χαμηλή πυκνότητα, καλή θερμική και ηλεκτρική αγωγιμότητα και υψηλή αντοχή στη διάβρωση. Τα κύρια κραματοποιητικά στοιχεία αυτών είναι ο χαλκός(Cu), ο σίδηρος(Fe), το μαγγάνιο(Mn), το μαγνήσιο(Mg), το πυρίτιο(Si) και ο ψευδάργυρος(Zn).

Το κράμα αλουμινίου από το οποίο είναι κατασκευασμένο το τεμάχιο είναι το 2024-T3, το οποίο ανήκει στη σειρά κραμάτων αλουμινίου 2000. Η σειρά αυτή αναφέρεται σε κράματα αλουμινίου-χαλκού(Al-Cu) με ποσοστό χαλκού 2,6-6,3% και σε κράματα αλουμινίου-χαλκού-μαγνησίου(Al-Cu-Mg) με ποσοστό μαγνησίου 0,5-1,5%.

Σύμφωνα με την Aluminium Association (A.A.), η κωδικοποίηση των κραμάτων αλουμινίου αποτελείται από δύο μέρη τα οποία χωρίζονται μεταξύ τους με μία παύλα. Το πρώτο μέρος αποτελείται από τέσσερις αριθμούς από τους οποίους ο πρώτος υποδηλώνει το κύριο στοιχείο προσθήκης. Στην περίπτωση των κραμάτων διαμόρφωσης οι δύο τελευταίοι προσδιορίζουν την ειδική κατηγορία του κράματος της οικείας ομάδας. Στα κράματα χύτευσης ο προσδιορισμός αυτός γίνεται από τον δεύτερο και τον τρίτο αριθμό, ενώ ο τελευταίος αριθμός υποδηλώνει τη μορφολογία του προϊόντος της χύτευσης και χωρίζεται με μία τελεία από τους προηγούμενους αριθμούς. Το δεύτερο μέρος της κωδικοποίησης και για τις δύο κατηγορίες κραμάτων, δηλώνει την κατεργασία την οποία έχουν υποστεί.

Έτσι, στην περίπτωση του κράματος της παρούσας εργασίας με κωδικοποίηση 2024-T3, παρατηρούμε ότι πρόκειται για κράμα που ανήκει στη σειρά κραμάτων αλουμινίου 2000 με κύριο στοιχείο προσθήκης τον χαλκό και πρόκειται για κράμα διαμόρφωσης. Η κωδικοποίηση 2024 χρησιμοποιείται κυρίως στην αεροναυπηγική, σε σκελετούς οικοδομών, κοχλίες και αθλητικά είδη.(Παράρτημα Α, Εικόνες 14.1 – 14.3) (Παντελής, 2008)

Τέλος, σύμφωνα με το δεύτερο μέρος της ονομασίας, -T3, το κράμα έχει υποστεί θερμική κατεργασία ομογενοποίησης, βαφή, κατεργασία εν ψυχρώ και φυσική γήρανση. (Παντελής, 2008)

### 4.3 ΚΟΠΤΙΚΑ ΕΡΓΑΛΕΙΑ

Στα παρακάτω υποκεφάλαια θα γίνει περιγραφή των κοπτικών εργαλείων που χρησιμοποιούνται για κατεργασίες σε τόρνο και φρεζομηχανή, καθώς και ο τρόπος συγκράτησής τους.

#### 4.3.1 Κοπτικά εργαλεία τόρνου

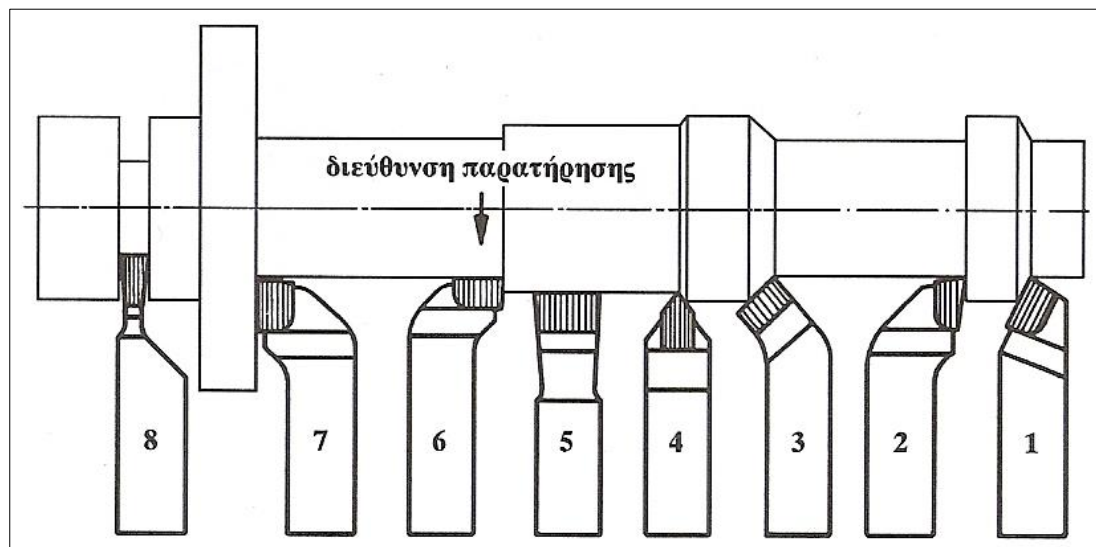
Βάσει του είδους της κατεργασίας που πρέπει να εκτελεστεί, τα κοπτικά εργαλεία χωρίζονται σε δύο κατηγορίες: τα εργαλεία εξωτερικής τόννευσης και τα εργαλεία εσωτερικής τόννευσης όπως αυτά απεικονίζονται στις εικόνες (Εικόνα 4.3.1.1) και (Εικόνα 4.3.1.2) αντίστοιχα.

Τόσο στη μία κατηγορία όσο και στην άλλη, το εργαλείο αποτελείται από δύο στοιχεία, το στοιχείο συγκράτησης και το στοιχείο κοπής. Όσον αφορά το στοιχείο κοπής, είναι ένα τυποποιημένο ένθετο πλακίδιο κατασκευασμένο από ταχυχάλυβα, σκληρομέταλλο, κεραμικό ή διαμάντι και προσαρμόζεται στο στοιχείο συγκράτησης είτε μέσω συγκόλλησης είτε μέσω κοχλία σύσφιξης.

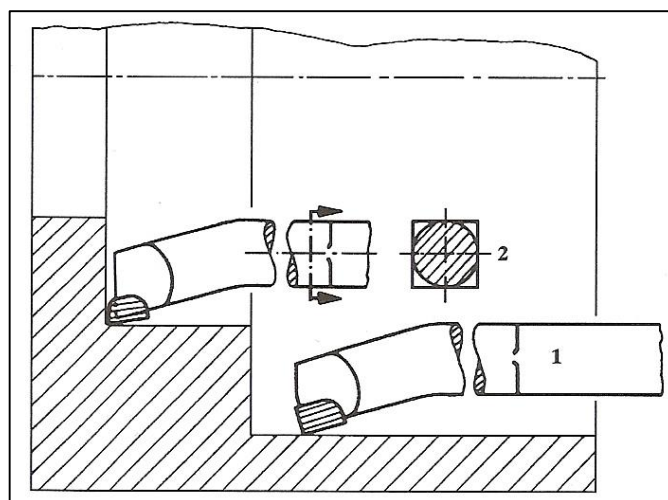
Ειδικότερα για τα εργαλεία εξωτερικής τόννευσης, υπάρχει διαφοροποίησή τους ανάλογα με τη διεύθυνση κοπής, σε δεξιά τα οποία κατεργάζονται το τεμάχιο από δεξιά προς τα αριστερά και σε αριστερά τα οποία κατεργάζονται το τεμάχιο από αριστερά προς τα δεξιά (Εικόνα 4.3.1.1).

Όσον αφορά το στοιχείο συγκράτησης, ονομάζεται μανέλα και είναι ορθογωνικής διατομής για εργαλεία εξωτερικής τόννευσης και κυκλικής διατομής για εργαλεία εσωτερικής τόννευσης.

Επιπλέον, η σύνδεση του κοπτικού εργαλείου με την εργαλειομηχανή γίνεται μέσω της συγκράτησής του στον εργαλειοδέτη. Στην περίπτωση των συμβατικών τόρνων, για εξοικονόμηση χρόνου μεταξύ της εναλλαγής των κοπτικών εργαλείων, ο εργαλειοδέτης μπορεί να είναι τεσσάρων σημείων ώστε να προσαρμόζονται σε αυτόν τέσσερα διαφορετικά κοπτικά εργαλεία. Στους CNC τόρνους, για τη συγκράτηση του κοπτικού εργαλείου χρησιμοποιούνται περιστρεφόμενες κεφαλές οι οποίες μπορούν να φέρουν ταυτόχρονα έναν μεγάλο αριθμό κοπτικών εργαλείων, τόσο σταθερά όσο και περιστρεφόμενα. (Στεργίου, 2009)



Εικόνα 4.3.1.1: Κοπτικά εργαλεία εξωτερικής τόννευσης  
(1)Ευθύ δεξιό, (2)Λυγισμένο αριστερό γωνίας, (3)Λυγισμένο δεξιό εκχόνδρισης, (4)Αιχμηρό, (5)Πεπλατισμένο, (6)Λυγισμένο αριστερό μετωπικό, (7)Λυγισμένο δεξιό πλευρικό, (8)Δεξιό απότμησης



Εικόνα 4.3.1.2: Κοπτικά εργαλεία εσωτερικής τόννευσης

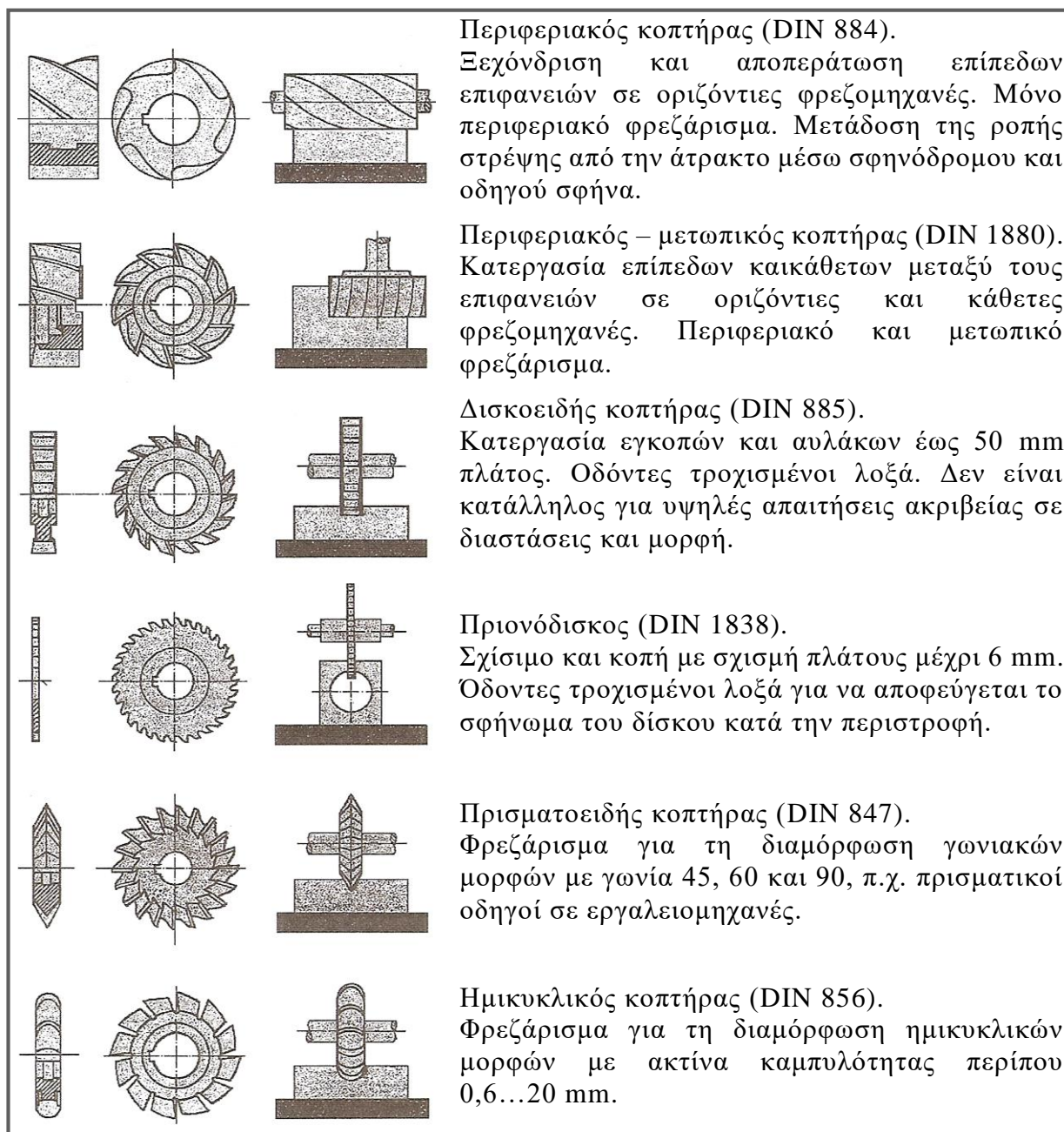
#### 4.3.2 Κοπτικά εργαλεία φρέζας

Βάσει του είδους της φρεζομηχανής που χρησιμοποιείται, τα κοπτικά εργαλεία διακρίνονται σε εργαλεία για οριζόντια φρεζομηχανή και εργαλεία για κατακόρυφη φρεζομηχανή.

Στην οριζόντια φρεζομηχανή, χρησιμοποιούνται κυλινδρικοί κοπτήρες για την κατεργασία επιφανειών και δισκοειδείς κοπτήρες για την δημιουργία αυλάκων διαφόρων τύπων, όπως παρουσιάζονται στην εικόνα (Εικόνα 4.3.2.1). Οι κυλινδρικοί

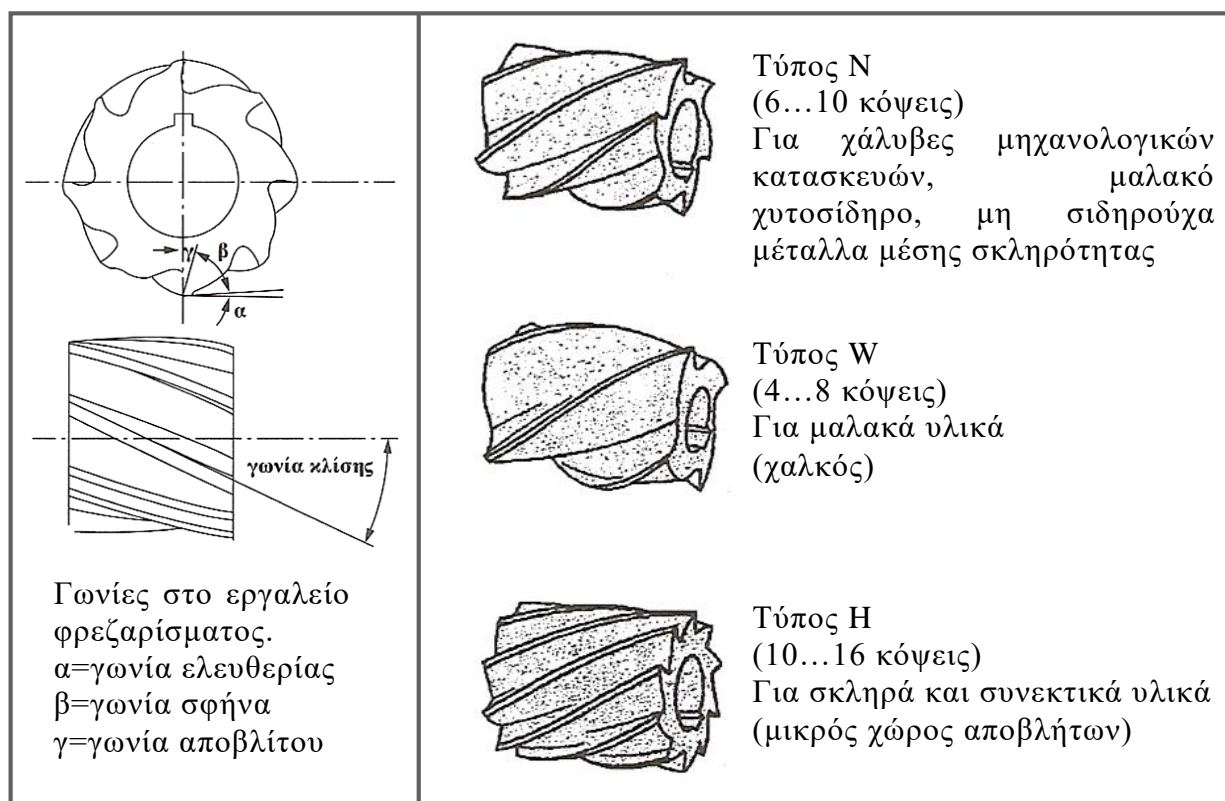
κοπτήρες, όπως φαίνονται στην εικόνα (Εικόνα 4.3.2.2), διακρίνονται σε τρεις τύπους ανάλογα με τη σκληρότητα του υλικού του προς κατεργασία τεμαχίου.

Η συγκράτηση και των δύο τύπων κοπτήρων στον άξονα κατεργασίας γίνεται ως εξής. Αρχικά τοποθετείται ο κοπτήρας στον άξονα, ο οποίος ασφαρίζεται έναντι περιστροφής με οδηγό σφήνα και οριοθετείται η θέση του μέσω των δακτυλίων απόστασης. Κατόπιν, τοποθετείται το έδρανο ολίσθησης στο ελεύθερο άκρο του άξονα. Τέλος, τοποθετείται το αριστερόστροφο περικόχλιο για την σύσφιξη των παραπάνω στοιχείων.



Εικόνα 4.3.2.1: Δισκοειδείς κοπτήρες φρεζαρίσματος





Εικόνα 4.3.2.2: Κυλινδρικοί κοπτήρες φρεζαρίσματος

Στην κατακόρυφη φρεζοκεφαλή, χρησιμοποιούνται κοπτήρες με στέλεχος για την δημιουργία ευθύγραμμων ή μορφής τόξου τμημάτων, αυλάκων, εσωτερικών και γωνιακών διαμορφώσεων και για κατεργασίες επαπτομενικά του δοκιμίου. Επίσης, χρησιμοποιούνται φρεζοκεφαλές με ένθετα πλακίδια για την κατεργασία μεγάλων επίπεδων επιφανειών.

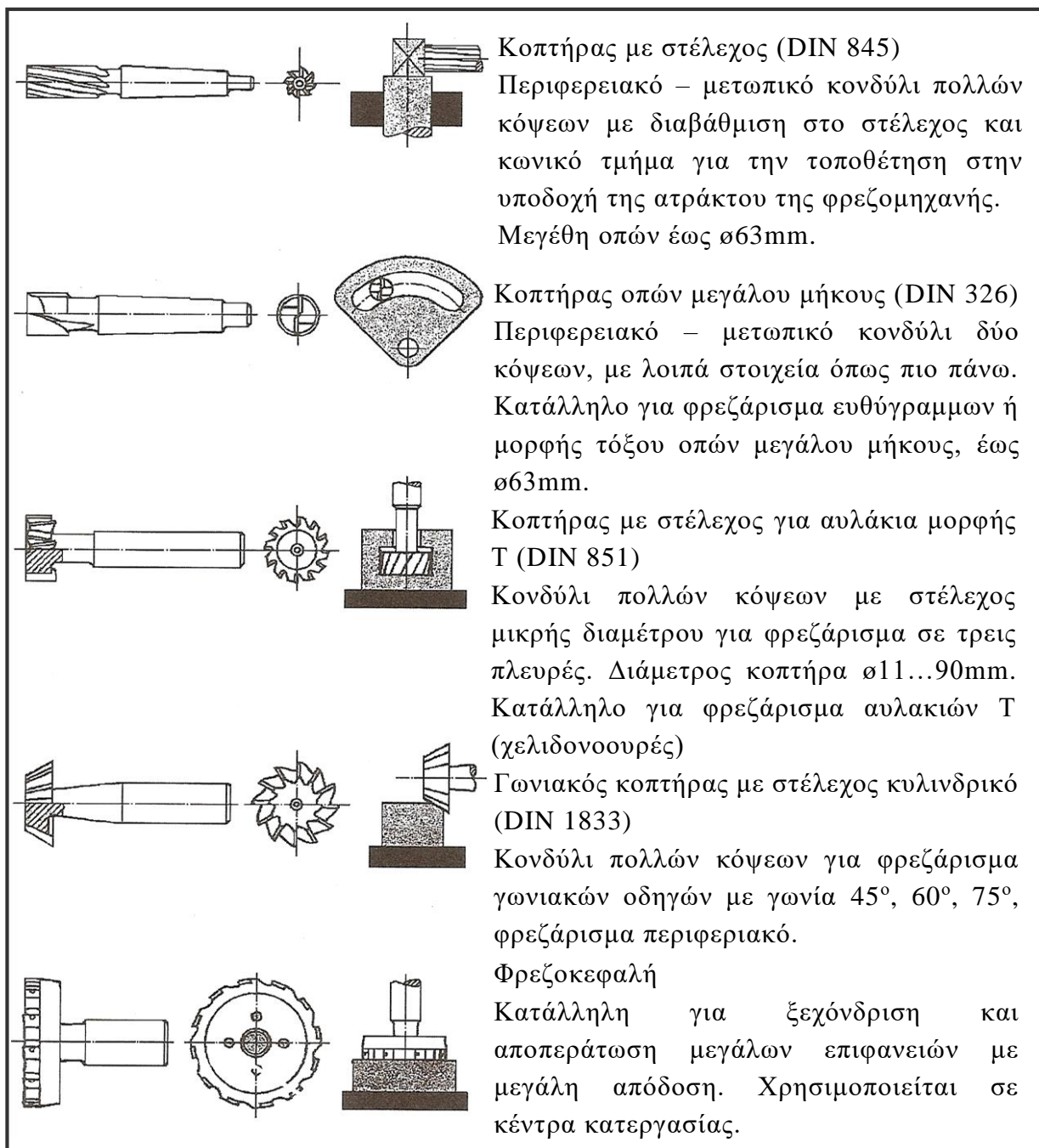
Η συγκράτηση αυτών των κοπτικών εργαλείων, επιτυγχάνεται με τα παρακάτω βήματα. Αρχικά, τοποθετείται στη εργαλειομηχανή το στοιχείο συγκράτησης ή αλλιώς Holder το οποίο καθορίζεται από τη γεωμετρία του κύριου άξονα της εργαλειομηχανής. Το τμήμα του Holder που συνδέεται με τον άξονα της εργαλειομηχανής κατηγοριοποιείται με συγκεκριμένα χαρακτηριστικά στην γεωμετρία του ώστε η επιλογή του να γίνεται πιο εύκολα και πιο σωστά για την ομαλή λειτουργία του. Παραδείγματα τέτοιων κατηγοριών είναι η BT, η CAT και η HSK. Η συγκράτηση του Holder με την εργαλειομηχανή πραγματοποιείται μέσω ενός εξαρτήματος το οποίο ονομάζεται Pull Stud. Αποτελείται από δύο τμήματα εκ των οποίων το ένα διαθέτει σπείρωμα για τη συγκράτησή του πάνω στο Holder. Το άλλο, διαμορφώνεται με τρόπο τέτοιο ώστε να θηλυκώνει στο εσωτερικό του άξονα της μηχανής και να προσφέρει ταυτόχρονα τη συγκράτηση του Holder στην εργαλειομηχανή αλλά και την εύκολη και όσο το δυνατόν γρηγορότερη αλλαγή του Holder. Ο τρόπος συγκράτησης του κονδυλίου με το Holder επιτυγχάνεται μέσω δύο εξαρτημάτων τα οποία ονομάζονται Collet και Clumping Nut. Το Collet, είναι ένα είδος χιτωνίου το οποίο τοποθετείται μέσα και στο κάτω τμήμα του Holder, έχοντας ως εξωτερική γεωμετρία την αντίστοιχη του Holder και εσωτερική την αντίστοιχη του κοπτικού εργαλείου. Φυσικά, για την

εύκολη και σωστή επιλογή του κατηγοριοποιείται βάσει των χαρακτηριστικών που αναφέρθηκαν. Για την εκπόνηση αυτής της εργασίας έχει επιλεγθεί η κατηγορία ER. Το Clumping Nut, είναι ένα περικόχλιο το οποίο βιδώνει πάνω στο Holder, αφού έχει τοποθετηθεί το κονδύλι, συσφίγγοντας το Collet για τη συγκράτηση του κοπτικού μέσω τριβής. Η επιλογή του γίνεται βάσει του σπειρώματος του Holder και της γεωμετρίας του Collet. Αντίθετα ο τρόπος συγκράτησης της φρεζοκεφαλής με το Holder πραγματοποιείται με έναν συγκεκριμένο τύπο κοχλία που ονομάζεται Clamp Screw. (Στεργίου, 2009)

Για τη μελέτη της κατεργασίας του δοκιμίου στην παρούσα εργασία χρησιμοποιήθηκαν κοπτικά εργαλεία για φρεζομηχανή και πιο συγκεκριμένα οι ακόλουθες κατηγορίες όπως φαίνονται και στην παρακάτω εικόνα(Εικόνα 4.3.2.3: Κοπτήρες με στέλεχος και φρεζοκεφαλές).

- 1) Φρεζοκεφαλή για την κατεργασία επίπεδων επιφανειών
- 2) Κονδύλια για τη δημιουργία αυλάκων

Η επιλογή αυτών αναλύεται στο Κεφάλαιο 8: «Επιλογή Κοπτικών Εργαλείων».



Εικόνα 4.3.2.3 – Κατηγορίες κοπτήρων για φρεζομηχανή

## 5 ΠΡΟΓΡΑΜΜΑΤΑ Η/Υ

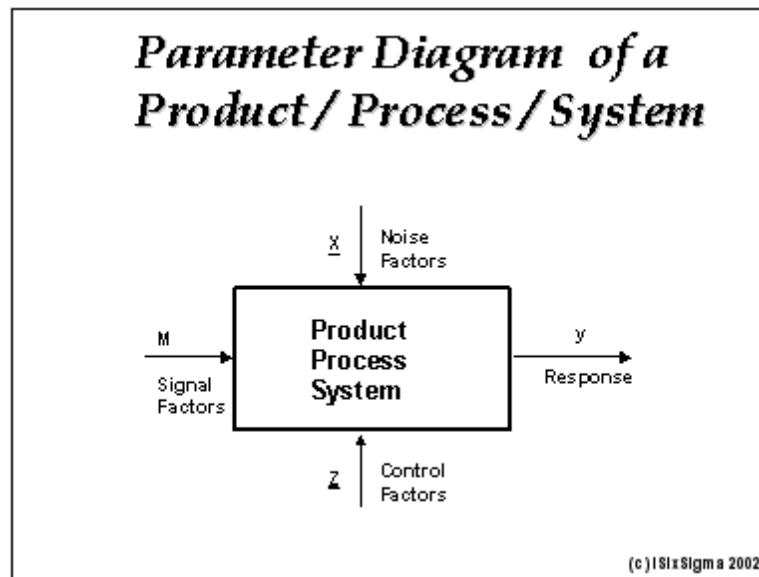
Για την εκπόνηση της παρούσας εργασίας χρησιμοποιήθηκε ένα πρόγραμμα ηλεκτρονικής σχεδίασης. Το πρόγραμμα αυτό είναι το Inventor Professional 2015 καθώς και ένα προσθετό πρόγραμμά του το Inventor HSM Pro 2015, τα οποία είναι της εταιρείας Autodesk. Παράλληλα, χρησιμοποιήθηκε το πρόγραμμα Minitab για την επιλογή του κοπτικού εργαλείου.

Το Inventor Professional αποτελεί ένα πρόγραμμα τρισδιάστατης (3D) σχεδίασης μηχανολογικών εξαρτημάτων, το οποίο επιτρέπει τη σχεδίαση μηχανολογικών εξαρτημάτων λαμβάνοντας υπόψιν πραγματικά χαρακτηριστικά όπως για παράδειγμα τις φυσικές ιδιότητες του υλικού. Το Inventor HSM Pro ως πρόσθετο πρόγραμμα του Inventor επιτρέπει την προσομοίωση της κατασκευής ενός μηχανολογικού εξαρτήματος από το στάδιο ορισμού της πρώτης ύλης έως το στάδιο της κατασκευής του και της παραγωγής του τελικού εξαρτήματος. Χρησιμοποιώντας τη γεωμετρία του τεμαχίου από ένα πρόγραμμα CAD δίνει τη δυνατότητα προσομοίωσης των φάσεων κατεργασίας για την κατασκευή του τελικού εξαρτήματος καθώς και της πορείας του κοπτικού εργαλείου (toolpath). Μέσω αυτού του προγράμματος παράγεται επίσης ο κώδικας ο οποίος θα χρησιμοποιηθεί από την εργαλειομηχανή για την κατασκευή του τεμαχίου. Με τη επέμβαση του προγραμματιστή στον κώδικα υπάρχει η δυνατότητα της βελτιστοποίησης της κατεργασίας του τεμαχίου, οδηγώντας έτσι σε μικρότερο χρόνο κατεργασίας ο οποίος αποτελεί σημαντικό παράγοντα στη βιομηχανία.

Το Minitab είναι ένα πρόγραμμα το οποίο παρέχει στον χρήστη εργαλεία για την επεξεργασία και τη στατιστική ανάλυση δεδομένων με σκοπό την βελτίωση της ποιότητας. Το περιβάλλον του αποτελείται από παράθυρα διαφορετικών τύπων τα οποία είναι: το παράθυρο συνεδρίασης (Session Window), το παράθυρο φύλλου εργασίας (Worksheet Window), το παράθυρο γραφημάτων (Graph Window) και το παράθυρο αναφοράς (Report Window). Μία από τις μεθόδους που χρησιμοποιεί για στατιστική ανάλυση είναι η Μέθοδος Taguchi μέσω της οποίας πραγματοποιήθηκε ένα μέρος της παρούσας μελέτης. Ακολουθώντας, σύμφωνα με απόσπασμα από το άρθρο «An Overview on Taguchi Method», το οποίο έχει μεταφραστεί, επεξηγείται η Μέθοδος Taguchi. (Sahai, 2012)

### «Μέθοδος Taguchi:

*Οι τεχνικές του Taguchi έχουν χρησιμοποιηθεί ευρέως στον σχεδιασμό της μηχανικής (Ross 1996 & Phadke 1989). Η μέθοδος Taguchi περιλαμβάνει σχεδιασμό συστήματος, σχεδιασμό παραμέτρων και διαδικασίες σχεδιασμού ανοχής για την επίτευξη μιας ισχυρής διαδικασίας και αποτελέσματος για την καλύτερη ποιότητα του προϊόντος (Taguchi 1987 & 1993). Η κύρια εμπιστοσύνη των τεχνικών του Taguchi είναι η χρήση του σχεδιασμού παραμέτρων (Ealey Lance A. 1994), η οποία είναι μια μηχανική μέθοδος σχεδιασμού προϊόντος ή διεργασίας που εστιάζει στον προσδιορισμό των ρυθμίσεων των παραμέτρων (παραγόντων) παράγοντας τα καλύτερα επίπεδα ενός χαρακτηριστικού*



ποιότητας (μέτρηση απόδοσης) με ελάχιστες διακυμάνσεις. Τα σχέδια Taguchi παρέχουν μια ισχυρή και αποτελεσματική μέθοδο για το σχεδιασμό διαδικασιών που λειτουργούν με συνέπεια και βέλτιστο τρόπο σε μια ποικιλία συνθηκών. Για να καθορίσει τον καλύτερο σχεδιασμό, απαιτεί τη χρήση ενός στρατηγικά σχεδιασμένου πειράματος, το οποίο εκθέτει τη διαδικασία σε διάφορα επίπεδα παραμέτρων σχεδιασμού.

Οι πειραματικές μέθοδοι σχεδιασμού αναπτύχθηκαν στα πρώτα χρόνια του 20ού αιώνα και έχουν μελετηθεί εκτενώς από τους στατιστικούς από τότε, αλλά δεν ήταν εύκολο να χρησιμοποιηθούν από τους επαγγελματίες (Phadke 1989). Η προσέγγιση του Taguchi στο σχεδιασμό πειραμάτων είναι εύκολο να υιοθετηθεί και να εφαρμοστεί σε χρήστες με περιορισμένη γνώση των στατιστικών. ως εκ τούτου, έχει αποκτήσει μεγάλη δημοτικότητα στη μηχανική και την επιστημονική κοινότητα. Ο Taguchi προσδιόρισε τρεις περιπτώσεις:

- Όσο μεγαλύτερο, τόσο καλύτερα (για παράδειγμα, γεωργική απόδοση)
- Όσο μικρότερο όσο καλύτερα (για παράδειγμα, εκπομπές διοξειδίου του άνθρακα)
- Ο στόχος, η ελάχιστη μεταβολή (για παράδειγμα, ένα ταιριαστό εξάρτημα σε μια συνδεσμολογία)

*Ο Taguchi χρησιμοποίησε το λόγο σήματος-θορύβου ( $S/N$ ) ως ποιοτικό χαρακτηριστικό της επιλογής. Ο λόγος σήματος-θορύβου  $S/N$  χρησιμοποιείται ως μετρήσιμη τιμή αντί για την τυπική απόκλιση λόγω του γεγονότος ότι, καθώς ο μέσος όρος μειώνεται, η τυπική απόκλιση μειώνεται επίσης και αντίστροφα.*

#### **Συνεισφορές των μεθόδων Taguchi:**

*Ο Taguchi συνέβαλε πολύ σημαντικά στις βιομηχανικές στατιστικές. Βασικά στοιχεία της ποιοτικής φιλοσοφίας του περιλαμβάνουν τα εξής:*

***Λειτουργία απώλειας του Taguchi (Ross 1996):** Χρησιμοποιείται για τη μέτρηση της οικονομικής απώλειας για την κοινωνία λόγω κακής ποιότητας.*

***Η φιλοσοφία του ελέγχου ποιότητας off-line (Logothetis and Wynn 1989):** σχεδιασμός προϊόντων και διαδικασιών έτσι ώστε να μην είναι ευαίσθητοι ("ισχυροί") σε παραμέτρους εκτός του ελέγχου του μηχανικού σχεδιασμού. και Καινοτομίες στο στατιστικό σχεδιασμό των πειραμάτων: Atkinson, Donev και Tobias, (2007), συγκεκριμένα η χρήση μιας εξωτερικής συστοιχίας για παράγοντες που είναι ανεξέλεγκτοι στην πραγματική ζωή, αλλά μεταβάλλονται συστηματικά στο πείραμα. Ο Taguchi πρότεινε μια τυπική διαδικασία 8 βημάτων για την εφαρμογή της μεθόδου του για βελτιστοποίηση οποιασδήποτε διαδικασίας.*

#### **Ο κανόνας του Taguchi για την Βιομηχανοποίηση:**

*Ο Taguchi συνειδητοποίησε ότι η καλύτερη ευκαιρία για την εξάλειψη της διακύμανσης είναι κατά τη διάρκεια του σχεδιασμού ενός προϊόντος και της διαδικασίας παραγωγής του. Κατά συνέπεια, ανέπτυξε μια στρατηγική για ποιοτική μηχανική που μπορεί να χρησιμοποιηθεί και στα δύο πλαίσια. Η διαδικασία έχει τρία στάδια:*

- I. Σχεδιασμός συστήματος
- II. Σχεδιασμός παραμέτρων
- III. Σχεδιασμός αντοχής

#### **Σχεδιασμός συστήματος**

*Πρόκειται για σχεδιασμό σε εννοιολογικό επίπεδο, που περιλαμβάνει τη δημιουργικότητα και την καινοτομία.*

#### **Σχεδιασμός παραμέτρων**

*Μόλις καθοριστεί η έννοια, πρέπει να οριστούν οι ονομαστικές τιμές των διαφόρων διαστάσεων και των παραμέτρων σχεδιασμού, η φάση σχεδιασμού λεπτομερειών της συμβατικής μηχανικής. Αυτό μερικές φορές ονομάζεται εξολόθρευση.*

#### **Σχεδιασμός αντοχής**

Με έναν επιτυχημένο σχεδιασμό παραμέτρων και την κατανόηση του αποτελέσματος που έχουν οι διάφορες παράμετροι στην απόδοση, οι πόροι μπορούν να εστιάσουν στη μείωση και στον έλεγχο της διακύμανσης στις ελάχιστες κρίσιμες διαστάσεις.

### **Οκτώ βήματα στη μεθοδολογία Taguchi:**

*Βήμα-1: Προσδιορισμός της κύριας λειτουργίας, των παρενεργειών και της λειτουργίας αποτυχίας.*

*Βήμα-2: Προσδιορισμός των παραγόντων θορύβου, των συνθηκών δοκιμής και των ποιοτικών χαρακτηριστικών.*

*Βήμα-3: Προσδιορισμός της αντικειμενικής λειτουργίας που πρέπει να βελτιστοποιηθεί.*

*Βήμα-4: Προσδιορισμός των παραγόντων ελέγχου και των επιπέδων τους.*

*Βήμα-5: Επιλογή του πειράματος μήτρας ορθογώνιας συστοιχίας.*

*Βήμα-6: Διεξαγωγή του πειράματος μήτρας*

*Βήμα-7: Ανάλυση των δεδομένων, πρόβλεψη των βέλτιστων επιπέδων και των επιδόσεων.*

*Βήμα-8: Εκτέλεση του πειράματος επαλήθευσης και προγραμματισμός της μελλοντικής ενέργειας.*

### **Μεθοδολογία που χρησιμοποιήθηκε: Τεχνικές Taguchi**

Οι αναλογίες σήματος προς θόρυβο ( $S/N$ ) του Dr. Taguchi, οι οποίες είναι λειτουργίες καταγραφής, βασίζονται σε πειράματα "ΟΡΘΟΓΩΝΙΚΗΣ ΣΥΣΤΟΙΧΙΑΣ", τα οποία δίνουν πολύ μειωμένη "διακύμανση" για το πείραμα με "βέλτιστες ρυθμίσεις" παραμέτρων ελέγχου. Έτσι το πάντρεμα του σχεδιασμού των πειραμάτων με τη βελτιστοποίηση των παραμέτρων ελέγχου για την επίτευξη των βέλτιστων αποτελεσμάτων επιτυγχάνεται στη μέθοδο Taguchi. Οι "ορθογώνιες συστοιχίες" (OA) παρέχουν μια σειρά καλά ισορροπημένων (ελάχιστων) πειραμάτων & επιθυμητών αποτελεσμάτων, χρησιμεύουν ως αντικειμενικές λειτουργίες βελτιστοποίησης, βοηθούν στην ανάλυση δεδομένων και στην πρόβλεψη βέλτιστων αποτελεσμάτων.

### **Μαθηματική μοντελοποίηση:**

Πειράματα «ορθογωνικής συστοιχίας» (ΟΣ)

Η χρήση ορθογωνικών συστοιχιών μειώνει σημαντικά τον αριθμό των πειραματικών διαμορφώσεων που πρέπει να μελετηθούν (Montgomery) 1991. Η επίδραση πολλών διαφορετικών παραμέτρων στο χαρακτηριστικό απόδοσης σε μια διαδικασία μπορεί να εξεταστεί χρησιμοποιώντας τον πειραματικό σχεδιασμό των ορθογωνικών συστοιχιών που προτάθηκε από τον Taguchi. Μόλις προσδιοριστούν οι παράμετροι που επηρεάζουν μια διαδικασία που μπορεί να ελεγχθεί, πρέπει να προσδιοριστούν τα επίπεδα στα οποία πρέπει να μεταβάλλονται αυτές οι παράμετροι. Ο προσδιορισμός των επιπέδων μιας μεταβλητής προς δοκιμή απαιτεί μια εις βάθος κατανόηση της διαδικασίας,

συμπεριλαμβανομένης της ελάχιστης, της μέγιστης και της τρέχουσας τιμής της παραμέτρου. Εάν η διαφορά μεταξύ της ελάχιστης και της μέγιστης τιμής μιας παραμέτρου είναι μεγάλη, οι τιμές που ελέγχονται μπορούν να διαχωριστούν περισσότερο ή μπορούν να ελεγχθούν περισσότερες τιμές. Εάν το εύρος μιας παραμέτρου είναι μικρό, τότε μπορούν να ελεγχθούν μικρότερες τιμές ή οι τιμές που θα ελεγχθούν να είναι πιο κοντά μεταξύ τους.

### Επιλογέας συστοιχίας

		Number of Parameters (P)																																
		2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16	17	18	19	20	21	22	23	24	25	26	27	28	29	30	31			
Number of Levels	2	L4	L4	L8	L8	L8	L8	L12	L12	L12	L12	L16	L16	L16	L16	L32	L32	L32	L32	L32	L32	L32	L32	L32	L32	L32	L32	L32	L32	L32	L32	L32	L32	
	3	L9	L9	L9	L18	L18	L18	L18	L27	L27	L27	L27	L27	L36	L36	L36	L36	L36	L36	L36	L36	L36	L36	L36	L36									
	4	L'16	L'16	L'16	L'16	L'32	L'32	L'32	L'32	L'32																								
	5	L25	L25	L25	L25	L25	L50	L50	L50	L50	L50	L50																						

Η μέθοδος Taguchi είναι ένα ισχυρό εργαλείο για το σχεδιασμό συστημάτων υψηλής ποιότητας. Για την αύξηση της πειραματικής απόδοσης, ο L18 μικτός ορθογώνιος πίνακας σε συνδυασμό με το σχεδιασμό ποιότητας Taguchi. Ross (1988), χρησιμοποιείται για τον προσδιορισμό των σημαντικών συντελεστών κατεργασίας. Στα πειράματα επιλέγουμε έξι σημαντικές παραμέτρους μηχανικής κατεργασίας, όπως εργαλεία κοπής διαφορετικών υλικών, βάθος κοπής, ταχύτητα κοπής, ταχύτητα τροφοδοσίας, θερμοκρασία εργασίας και υπερηχητική ισχύ, καθένα από τα οποία έχει τρία διαφορετικά επίπεδα (υψηλό, μεσαίο και χαμηλό επίπεδο).



Experiment	P1	P2	P3	P4	P5	P6	P7	P8
1	1	1	1	1	1	1	1	1
2	1	1	2	2	2	2	2	2
3	1	1	3	3	3	3	3	3
4	1	2	1	1	2	2	3	3
5	1	2	2	2	3	3	1	1
6	1	2	3	3	1	1	2	2
7	1	3	1	2	1	3	2	3
8	1	3	2	3	2	1	3	1
9	1	3	3	1	3	2	1	2
10	2	1	1	3	3	2	2	1
11	2	1	2	1	1	3	3	2
12	2	1	3	2	2	1	1	3
13	2	2	1	2	3	1	3	2
14	2	2	2	3	1	2	1	3
15	2	2	3	1	2	3	2	1
16	2	3	1	3	2	3	1	2
17	2	3	2	1	3	1	2	3
18	2	3	3	2	1	2	3	1

*Σχεδιασμός του πειράματος (Doe's) Απαιτεί προγραμματισμό:*

- I. Σχεδιασμός και επικοινωνία του στόχου:*
- II. Ορισμός της διαδικασίας:*
- III. Επιλογή ενός συστήματος απόκρισης και μέτρησης:*
- IV. Επιβεβαίωση ότι το σύστημα μέτρησης είναι επαρκές:*
- V. Επιλογή παραγόντων προς μελέτη:*
- VI. Επιλογή του πειραματικού σχεδιασμού:*
- VII. Ορισμός επιπέδων των παραγόντων:*
- VIII. Θεώρηση τελικού σχεδιασμού:*

***Ανάλυση και εξέταση του αποτελέσματος:***

- i. Προσδιορισμός της σημασίας παραμέτρων (ANOVA) - Ανάλυση διακύμανσης (Hafeez et.al 2002)*
- ii. Εκτέλεση ενός διαγράμματος ανάλυσης του κύριου αποτελέσματος για τον προσδιορισμό του βέλτιστου επιπέδου των παραγόντων ελέγχου.*
- iii. Εκτέλεση ανάλυσης του ρυθμού συνεισφοράς των παραγόντων.*
- iv. Επιβεβαίωση πειράματος και σχεδιασμός μελλοντικής εφαρμογής.»*

Συνεπώς, το αποτέλεσμα αυτής της μεθόδου είναι η επιλογή ενός κοπτικού εργαλείου έπειτα από την μελέτη μιας σειράς πειραμάτων με διαφορετικούς συνδυασμούς χαρακτηριστικών των κοπτικών εργαλείων.

## **ΜΕΛΕΤΗ ΚΑΤΑΣΚΕΥΗΣ ΔΟΚΙΜΙΟΥ**

Στην παρακάτω ενότητα παρουσιάζονται αναλυτικά όλα τα στάδια κατεργασίας του δοκιμίου με τη χρήση εικόνων από το πρόγραμμα ηλεκτρονικής σχεδίασης για την ευκολότερη κατανόηση της μελέτης. Αυτά είναι το σχεδιάγραμμα των φάσεων κατεργασίας, η επιλογή της εργαλειομηχανής και των κοπτικών εργαλείων και τέλος η μελέτη των φάσεων κατεργασίας.

Για τη σωστή διεξαγωγή της μελέτης έπρεπε να πραγματοποιηθούν ορισμένα πειράματα με συνδυασμό των χαρακτηριστικών των κοπτικών εργαλείων, ώστε να βρεθεί ο βέλτιστος συνδυασμός χαρακτηριστικών για την κατεργασία του δοκιμίου.

Έτσι λοιπόν, μετά την επιλογή των κοπτικών εργαλείων έγινε εισαγωγή των χαρακτηριστικών τους στο πρόγραμμα Minitab και στη συνέχεια με τη χρήση της μεθόδου Taguchi έγινε παραγωγή δεκαοκτώ πειραμάτων. Αφού πραγματοποιήθηκαν τα πειράματα αυτά, εισήχθη ο χρόνος κατεργασίας του κάθε πειράματος στο Minitab και χρησιμοποιώντας ξανά τη μέθοδο Taguchi βρέθηκαν τα δύο κοπτικά εργαλεία (φρεζοκεφαλή, κονδύλι) τα οποία αποδίδουν το βέλτιστο αποτέλεσμα στην κατεργασία του δοκιμίου.

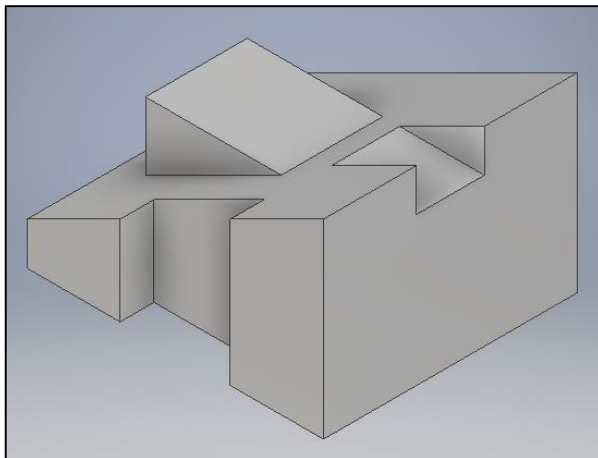
## 6 ΦΑΣΕΟΛΟΓΙΟ

Το φασεολόγιο που χρησιμοποιήθηκε για την κατεργασία του δοκιμίου σε τριαξονική φρεζομηχανή, παρουσιάζει ορισμένες διαφορές από το αρχικό φασεολόγιο. Η σύγκριση μπορεί να πραγματοποιηθεί ανατρέχοντας στο Παράρτημα Β (Εικόνες 15.1 – 15.10 και Εικόνες 15.11 – 15.16) όπου παρατίθενται και τα δύο φασεολόγια. Στη συνέχεια παρατίθεται μόνο το τροποποιημένο φασεολόγιο.

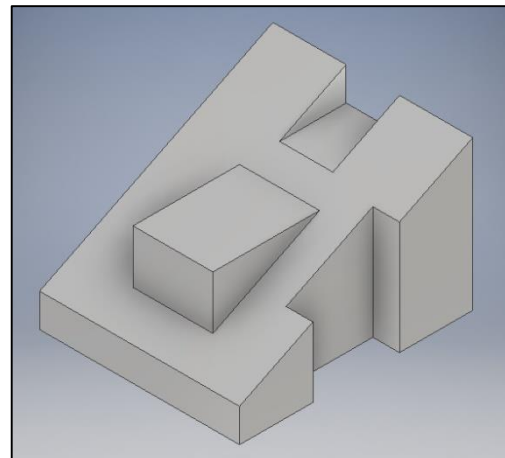
### Σχεδιασμός Εργασιών Κατεργασίας Δοκιμίου (Φασεολόγιο - Process Planning)

Καθηγητής: Βασίλειος Σαγιάς

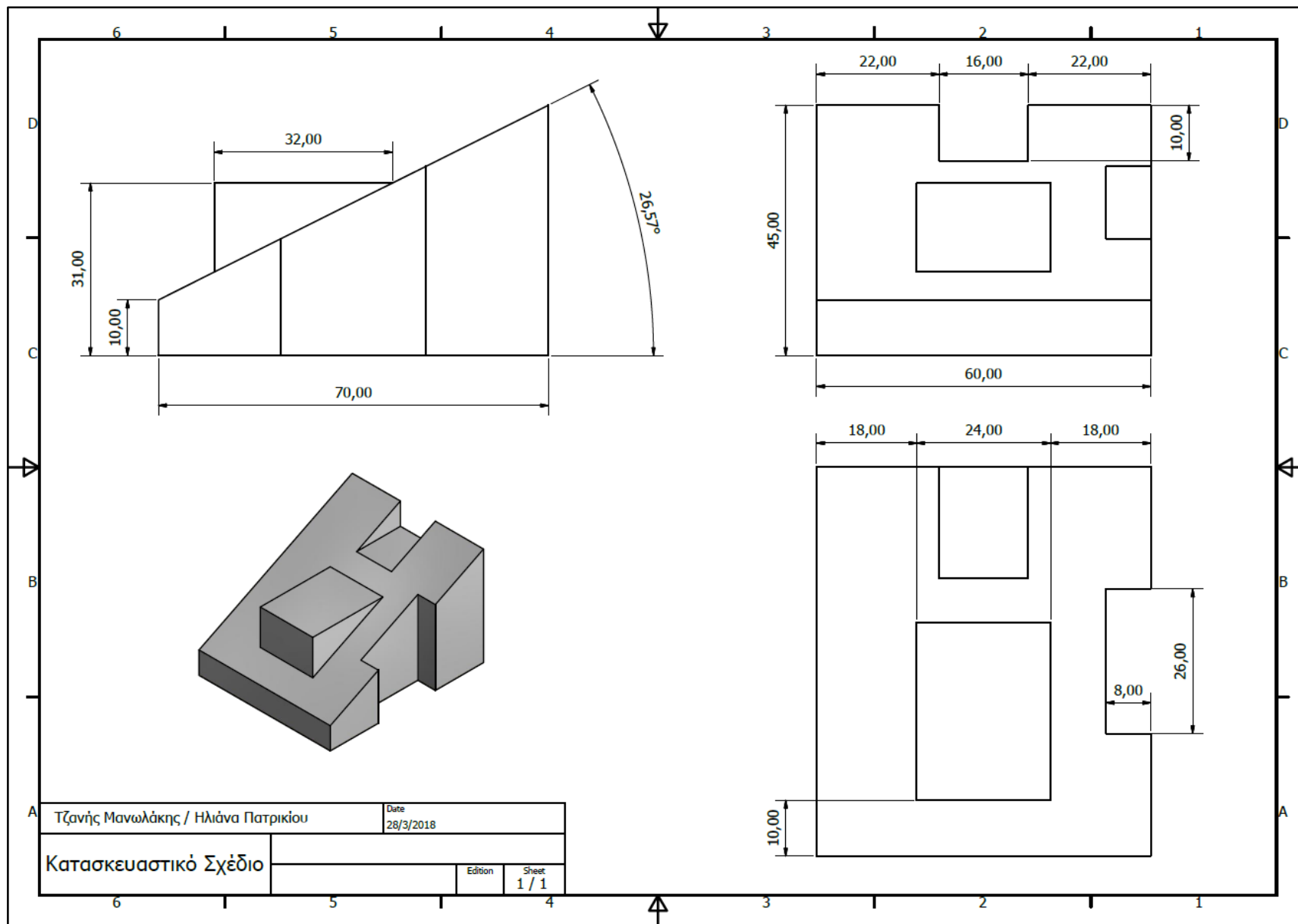
Όνομα δοκιμίου:	Part-1
Τύπος υλικού:	AL 2024-T3
Διαστάσεις πρώτης ύλης:	75mm X 65mm X 50mm
Βάρος υλικού πριν την κατεργασία:	0.66 Kgs
Βάρος υλικού μετά την κατεργασία:	0.31 Kgs
Αριθμός φάσεων κατεργασίας:	6
Εργαλειομηχανή:	Super Minimill - HAAS
Απαιτούμενα εργαλεία συγκράτησης:	1 μέγγενη με κοινά μάγουλα (με πατούρα) [Παράρτημα Β – Εικόνα 15.17] 4 σφιγκτήρες (φουρκέτες) για σύσφιξη της μέγγενης στην τράπεζα της εργαλειομηχανής 4 βίδες Allen για σύσφιξη της μέγγενης στους σφιγκτήρες 1 σετ ειδικών μάγουλων με πατούρα που έχει κλήση 26.57° για τη ΦΑΣΗ 6 [Παράρτημα Β – Εικόνα 15.18]



Εικόνα Φ1: 3D απεικόνιση δοκιμίου

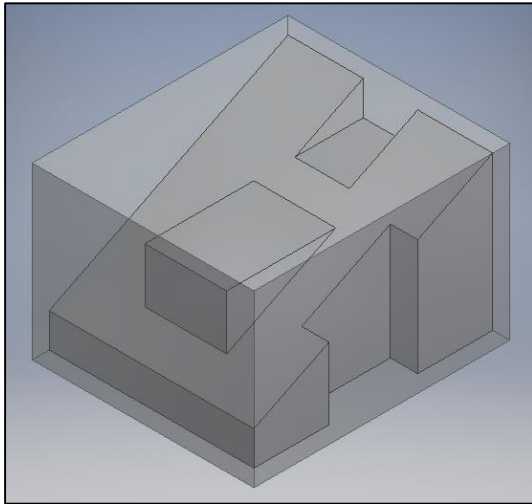


Εικόνα Φ2: 3D απεικόνιση  
δοκιμίου

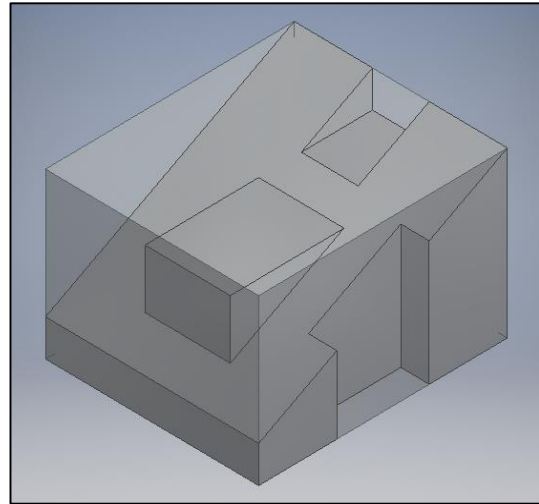


### ΦΑΣΗ ΚΑΤΕΡΓΑΣΙΑΣ-1

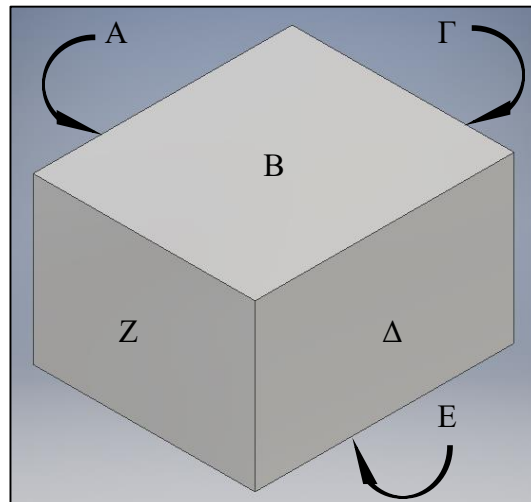
- 1) Κατεργασία όλων των πλευρών της πρώτης ύλης του δοκιμίου
- 2) Διαστάσεις πρώτης ύλης πριν την κατεργασία: 75mm x 65mm x 50mm
- 3) Διαστάσεις πρώτης ύλης μετά την κατεργασία: 70mm x 60mm x 45mm



Εικόνα Φ3: Πρώτη ύλη σε συσχέτιση με το δοκίμιο πριν την κατεργασία



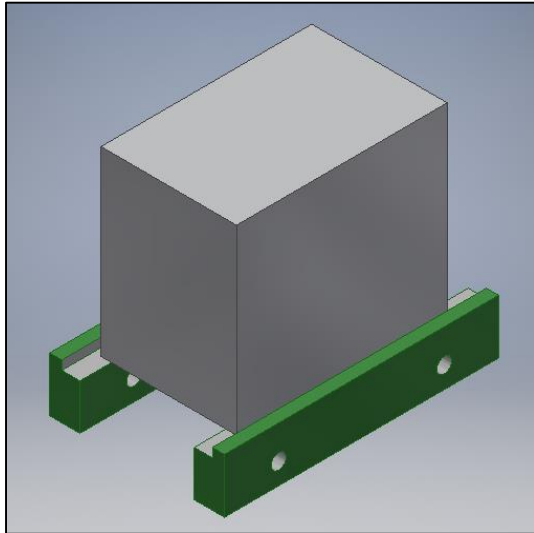
Εικόνα Φ4: Πρώτη ύλη σε συσχέτιση με το δοκίμιο μετά την κατεργασία



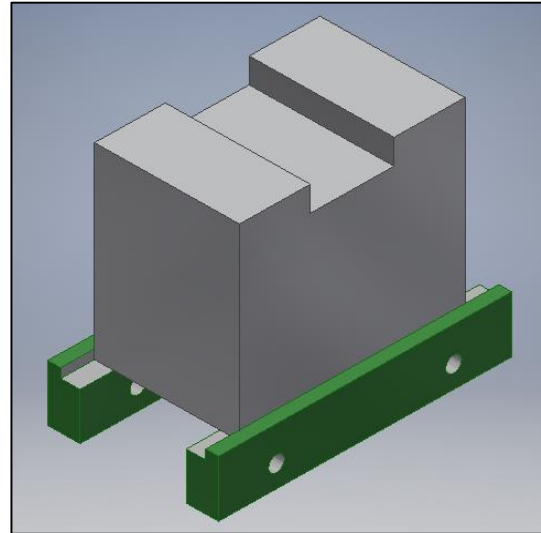
Εικόνα Φ5: Καθορισμός επιφανειών πρώτης ύλης

### **ΦΑΣΗ ΚΑΤΕΡΓΑΣΙΑΣ-2**

Διάνοιξη αυλακιού επιφάνειας Α διαστάσεων 26 mm x 8 mm



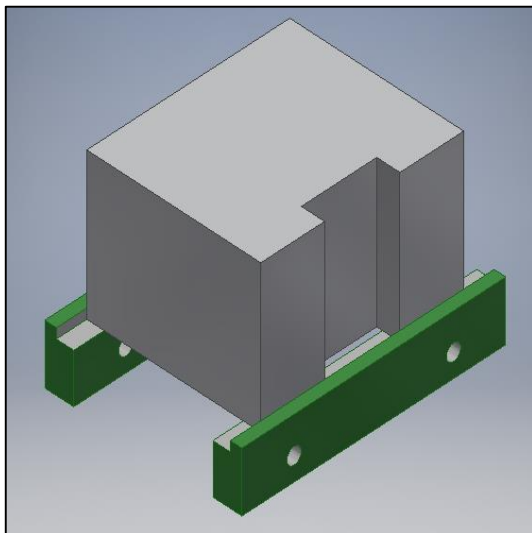
Εικόνα Φ6: Δοκίμιο πριν την κατεργασία



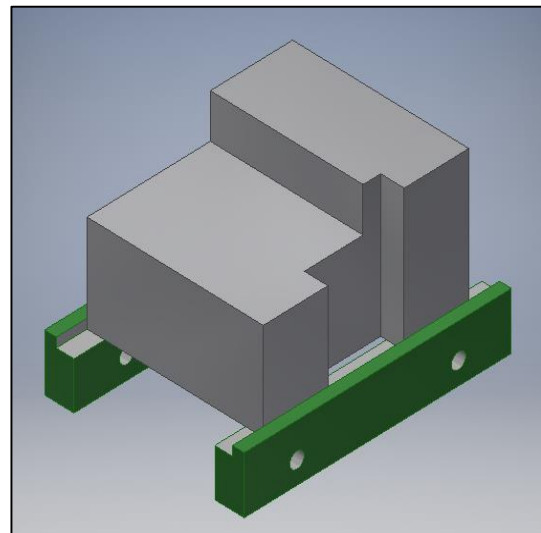
Εικόνα Φ7: Δοκίμιο μετά την κατεργασία

### **ΦΑΣΗ ΚΑΤΕΡΓΑΣΙΑΣ-3**

Διαμόρφωση 1ου σκαλοπατιού επιφάνειας Γ



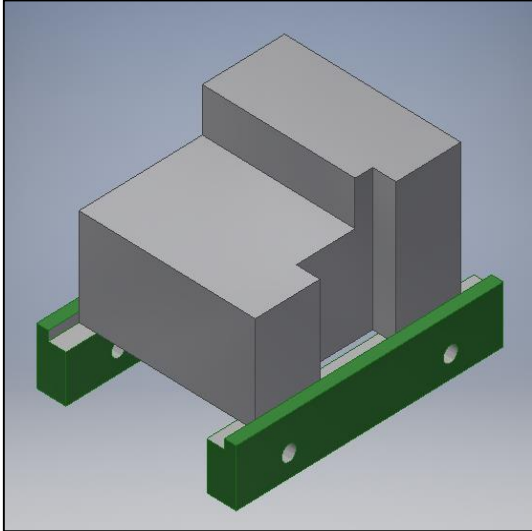
Εικόνα Φ8: Δοκίμιο πριν την κατεργασία



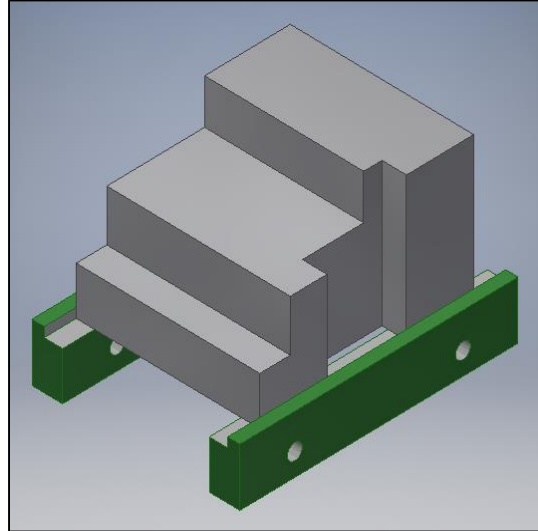
Εικόνα Φ9: Δοκίμιο μετά την κατεργασία

#### **ΦΑΣΗ ΚΑΤΕΡΓΑΣΙΑΣ-4**

Διαμόρφωση 2ου σκαλοπατιού επιφάνειας Γ



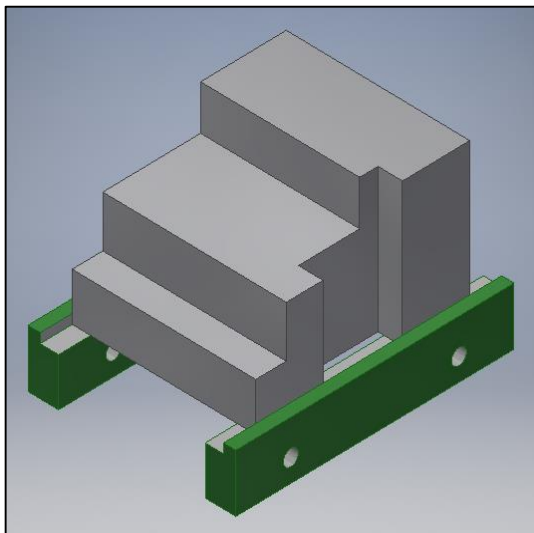
Εικόνα Φ10: Δοκίμιο πριν την κατεργασία



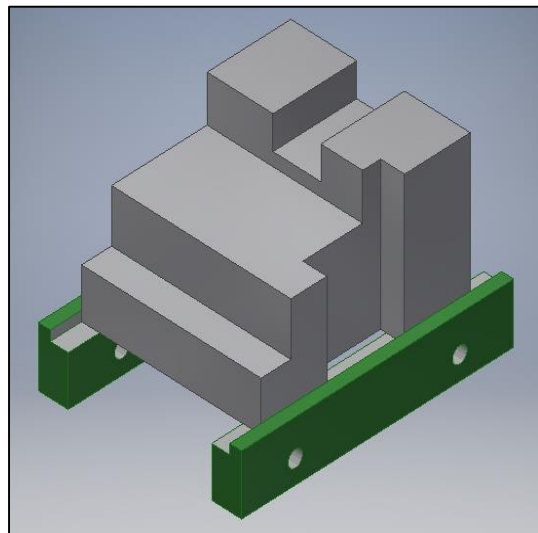
Εικόνα Φ11: Δοκίμιο μετά την κατεργασία

#### **ΦΑΣΗ ΚΑΤΕΡΓΑΣΙΑΣ-5**

Διάνοιξη αυλακιού επιφάνειας Γ διαστάσεων 16 mm x 10 mm



Εικόνα Φ12: Δοκίμιο πριν την κατεργασία



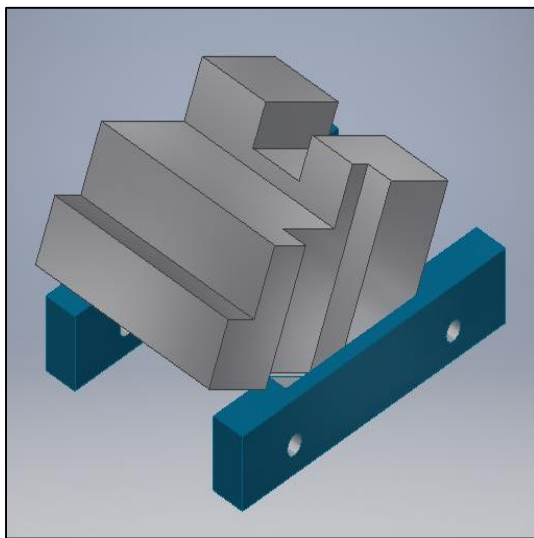
Εικόνα Φ13: Δοκίμιο μετά την κατεργασία



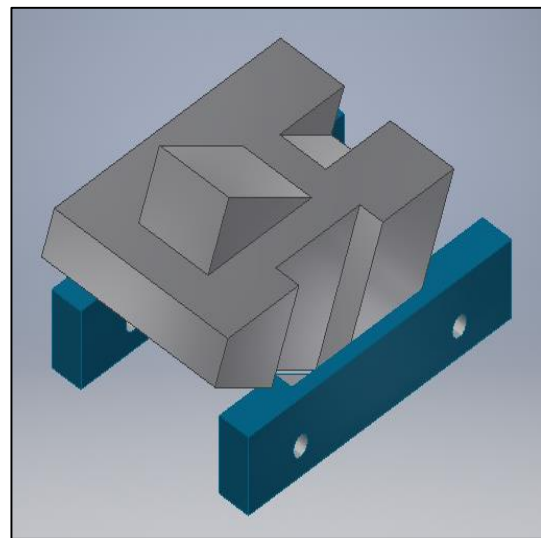
### ΦΑΣΗ ΚΑΤΕΡΓΑΣΙΑΣ-6

Διαμόρφωση κεκλιμένου επιπέδου με χρήση μέγγενης με ειδικά σχεδιασμένα μάγουλα με πατούρα κλίσης  $26,57^\circ$ .

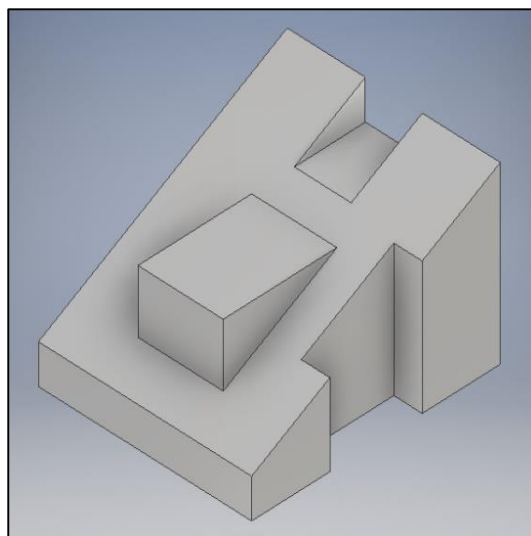
Σημείωση: Η πατούρα χρησιμοποιείται για τη συγκράτηση του δοκιμίου με τρόπο ώστε η επιφάνεια που δημιουργείται μετά το πέρας της κατεργασίας, να είναι παράλληλη με το τραπέζι της εργαλειομηχανής (ή κάθετη ως προς την άτρακτο και το κοπτικό εργαλείο).



Εικόνα Φ14: Δοκίμιο πριν την κατεργασία



Εικόνα Φ15: Δοκίμιο μετά την κατεργασία



Εικόνα Φ16: Δοκίμιο στην τελική του μορφή

## 7 ΕΠΙΛΟΓΗ ΕΡΓΑΛΕΙΟΜΗΧΑΝΗΣ

Για την επιλογή της κατάλληλης εργαλειομηχανής ορίστηκαν οι παρακάτω προϋποθέσεις:

- 1) Άξονες κατεργασίας της εργαλειομηχανής.
- 2) Συμβατότητα της εργαλειομηχανής με αντίστοιχο μετεπεξεργαστή που διαθέτει το πρόγραμμα.
- 3) Μέγιστες διαστάσεις μηχανής ως προς την κατεργασία δοκιμίων - Όγκος μηχανής.
- 4) Δυνατότητα αυτόματης αλλαγής κοπτικών εργαλείων.

Βάσει των προαναφερθέντων, προκύπτει ότι η εργαλειομηχανή θα πρέπει να διαθέτει τρεις άξονες κατεργασίας, διότι το δοκίμιο δεν έχει καμπύλες επιφάνειες αλλά επίπεδες, οι οποίες απαιτούν κατεργασίες σε μόνο τρεις άξονες ελευθερίας.

Παράλληλα, είναι απαραίτητο η εργαλειομηχανή να είναι συμβατή με έναν από τους μετεπεξεργαστές που διαθέτει το ηλεκτρονικό πρόγραμμα σχεδίασης, ώστε να είναι δυνατή η κατασκευή του δοκιμίου σε περίπτωση αγοράς της εργαλειομηχανής.

Ταυτόχρονα, λόγω του μικρού όγκου του δοκιμίου (70x60x45 mm) δεν είναι αναγκαίο η εργαλειομηχανή να μπορεί να κατεργάζεται δοκίμια μεγάλων διαστάσεων. Έτσι, θα πραγματοποιηθεί επιλογή εργαλειομηχανής για κατεργασία τεμαχίων μικρού όγκου. Ως απόρροια αυτού, η εργαλειομηχανή θα ανήκει στην κατηγορία μικρών εργαλειομηχανών (compact).

Τέλος, είναι σημαντικό για την ελάττωση του συνολικού χρόνου κατασκευής, η εργαλειομηχανή να διαθέτει αυτόματη αλλαγή κοπτικών εργαλείων. Με αυτόν τον τρόπο αποφεύγεται η χρονοβόρα χειροκίνητη αλλαγή των κοπτικών εργαλείων.

Στον παρακάτω πίνακα παρουσιάζονται οι τέσσερις εργαλειομηχανές οι οποίες αξιολογήθηκαν, ώστε να επιλεγεί η πιο κατάλληλη για την εκπόνηση της εργασίας και των οποίων τα χαρακτηριστικά παρατίθενται στο Παράρτημα Β (Εικόνες 15.19-15.26).

Πίνακας 7.1 – Αξιολόγηση εργαλειομηχανών

Α/Α	Εταιρεία	Εργαλειομηχανή	Απαιτήσεις			
			Άξονες κατεργασίας της εργαλειομηχανής.	Συμβατότητα της εργαλειομηχανής με αντίστοιχο μετεπεξεργαστή που διαθέτει το πρόγραμμα.	Μέγιστες διαστάσεις μηχανής ως προς την κατεργασία δοκιμίων - Όγκος μηχανής.	Δυνατότητα αυτόματης αλλαγής κοπτικών εργαλείων.
1	HAAS	SUPER MINIMILL	3 ( X - Y - Z )	NAI (haas.cps- Generic HAAS)	406x305x254 mm 2692x2311x2235mm	NAI
2	FADAL	VMC-2015HS-II	3 ( X - Y - Z )	NAI (fadal.cps-Generic Fadal)	508x381x381 mm 1524x2387,6x2362,2 mm	NAI
3	HURCO	VM5i	3 ( X - Y - Z )	NAI (hurco.cps-Generic HURCO)	457 x 356 x 356 mm 1633,2 x 2903,2 mm	NAI
4	INTELITEK	BenchMill 6100	3 ( X - Y - Z )	NAI (intelitek.cps-Generic Intelitek)	260 x 152 x 180 mm 1040 x 860 x 940 mm	-



Σύμφωνα με τα παραπάνω, η εργαλειομηχανή που επιλέχθηκε είναι η Super Minimill της εταιρείας HAAS και βάσει του τεχνικού φυλλαδίου της, το οποίο παρατίθεται στο Παράρτημα Β (Εικόνες 15.19 – 15.20), έχει τα εξής χαρακτηριστικά:

- 1) Τρεις άξονες κατεργασίας.
- 2) Συμβατή με τον μετεπεξεργαστή haas.cps- Generic HAAS της εταιρείας HAAS που διαθέτει το ηλεκτρονικό πρόγραμμα σχεδίασης.
- 3) Εργαλειομηχανή μικρών διαστάσεων (2692 x 2311 x 2235 mm) με διαστάσεις κατεργασίας δοκιμίου 406 x 305 x 254 mm.
- 4) Αυτόματη αλλαγή κοπτικών εργαλείων με δυνατότητα αποθήκευσης μέχρι και 10 εργαλείων.

## **8 ΕΠΙΛΟΓΗ ΚΟΠΤΙΚΩΝ ΕΡΓΑΛΕΙΩΝ**

Τα κοπτικά εργαλεία που χρησιμοποιήθηκαν για την κατεργασία του δοκιμίου ανήκουν σε δύο κατηγορίες όπως προαναφέρθηκε και στην Υποενότητα 4.3.2: «Κοπτικά εργαλεία φρέζας» του κεφαλαίου 4.

Βέβαια, για την επιλογή των κατάλληλων εργαλείων ορίστηκαν κάποια κριτήρια τα οποία και θα πρέπει να πληρούνται όλα μαζί ταυτόχρονα. Αυτά είναι τα ακόλουθα:

1. Υλικό του δοκιμίου
2. Φάσεις κατεργασίας
3. Διαστάσεις κοπτικού εργαλείου
4. Στροφές κατεργασιών

Βάσει των προαναφερθέντων, προκύπτει ότι τα κοπτικά εργαλεία πρώτα απ' όλα θα πρέπει να είναι κατασκευασμένα από υλικό σκληρότερο από του δοκιμίου. Μόνο τότε θα μπορεί να πραγματοποιηθεί κοπή και να έχει τα επιθυμητά αποτελέσματα. Διαφορετικά, το κοπτικό εργαλείο είτε θα ολισθαίνει στην επιφάνεια του δοκιμίου, είτε θα παραμορφώνεται αμέσως με την επαφή του με το δοκίμιο με αποτέλεσμα να καταστρέφεται.

Παράλληλα, το είδος του κοπτικού εργαλείου θα πρέπει να είναι το κατάλληλο για την εκάστοτε φάση κατεργασίας, σύμφωνα με το φασεολόγιο. Για παράδειγμα, εάν η φάση κατεργασίας απαιτεί το ξεχόνδρισμα μίας ολόκληρης επιφάνειας του δοκιμίου, τότε θα επιλεγεί μία φρεζοκεφαλή. Το γεγονός αυτό δεν περιορίζει τη χρήση ενός κονδυλιού για την κατεργασία, αλλά ο χρόνος της κατεργασίας θα ήταν μεγαλύτερος, καθώς η διάμετρος του είναι πολύ μικρότερη από αυτή της φρεζοκεφαλής, αφαιρώντας έτσι λιγότερο υλικό σε κάθε ένα πάσσο.

Ταυτόχρονα, οι διαστάσεις των κοπτικών εργαλείων θα πρέπει να συμφωνούν με τις διαστάσεις των διαμορφώσεων σε κάθε μία φάση κατεργασίας. Δηλαδή, δεν μπορεί να επιλεγεί κονδύλι διαμέτρου 20 χιλιοστών για τη διάνοιξη αυλάκωσης πλάτους 16 χιλιοστών. Σε αυτή την περίπτωση, η διάμετρος του κοπτικού εργαλείου θα πρέπει να είναι όχι μόνο ίδια με το πλάτος της αυλάκωσης, αλλά μικρότερη για να πραγματοποιηθεί η διάνοιξη με δύο πάσσα, ώστε να επιτευχθεί η ακριβής επιθυμητή διάσταση.

Τέλος, οι στροφές που έχουν υπολογιστεί (Παράρτημα Β, Σελίδες 310-333) για τις κατεργασίες αποτελούν το τελευταίο και εξίσου σημαντικό κριτήριο για την επιλογή των κοπτικών εργαλείων. Για τη σωστή χρήση τους αλλά και την κατεργασία του δοκιμίου θα πρέπει οι στροφές λειτουργίας των κοπτικών εργαλείων να είναι μεγαλύτερες από τις στροφές που χρειάζονται για την πραγματοποίηση της κάθε κατεργασίας. Σε περίπτωση που αυτό το κριτήριο δεν πληρείται, το κοπτικό εργαλείο δεν θα είναι ικανό να πραγματοποιήσει κοπή έχοντας τα ίδια αποτελέσματα με την μη πλήρωση του πρώτου κριτηρίου. Σαφώς, οι στροφές λειτουργίας των κοπτικών

εργαλείων δεν θα πρέπει να υπερβαίνουν το ανώτατο όριο στροφών λειτουργίας της εργαλειομηχανής.

Σε αυτό το σημείο σημειώνεται πως επειδή ένας από τους στόχους της εργασίας είναι η αναζήτηση κοπτικών εργαλείων με διαφορετικά χαρακτηριστικά μεταξύ τους, ώστε να συγκριθούν και να επιλεγθεί ο βέλτιστος συνδυασμός των χαρακτηριστικών, ορίστηκαν σαν χαρακτηριστικά τα εξής:

- Για τα κονδύλια
  - Διαφορετικό υλικό κατασκευής
  - Διαφορετική διάμετρος
  - Διαφορετικό πλήθος κοπτικών ακμών
  
- Για τις φρεζοκεφαλές
  - Διαφορετικό υλικό κατασκευής ένθετων πλακιδίων
  - Διαφορετική διάμετρος
  - Διαφορετικό πλήθος ένθετων πλακιδίων

Συνοψίζοντας τα παραπάνω, τα κοπτικά εργαλεία που επιλέχθηκαν παρουσιάζονται στον πίνακα που ακολουθεί και έχουν τα εξής χαρακτηριστικά:

1. Είναι κατασκευασμένα από Καρβίδια και Ταχυχάλυβα με Κοβάλτιο, τα οποία είναι σκληρότερα υλικά από τη σειρά αλουμινίου του δοκιμίου.
2. Το ένα είναι φρεζοκεφαλή για την κατεργασία των πλευρών του δοκιμίου με σκοπό την επίτευξη της μεταξύ τους καθετότητας και των επιθυμητών διαστάσεων του αρχικού όγκου.

Το άλλο είναι κονδύλι για τη διάνοιξη των αυλακώσεων, τη διαμόρφωση των διαβαθμίσεων (σκαλοπάτια) και τη δημιουργία του κεκλιμένου επιπέδου του δοκιμίου.

3. Οι φρεζοκεφαλές έχουν διάμετρο 100, 125 και 160 χιλιοστά αντίστοιχα, οι οποίες είναι μεγαλύτερες από τη μεγαλύτερη διάσταση των πλευρών του δοκιμίου (75 χιλιοστά) κατά την κατεργασία τους, για να πραγματοποιηθεί μόνο ένα πάσσο.

Τα κονδύλια έχουν διάμετρο 10, 12 και 14 χιλιοστά αντίστοιχα, τα οποία είναι μικρότερα από το πλάτος της μεγαλύτερης αυλάκωσης (16 χιλιοστά), για να επιτευχθεί η ακριβής επιθυμητή διάσταση.

4. Οι στροφές λειτουργίας είναι οι κατάλληλες τόσο για τις φάσεις κατεργασίας όσο και για την εργαλειομηχανή όπως μπορεί να διαπιστωθεί και στο παράρτημα (Παράρτημα Β, Σελίδες 279-333).

Ενδεικτικά, παρακάτω παρατίθεται ο τρόπος υπολογισμού των συνθηκών κατεργασίας για δύο τυχαία κοπτικά εργαλεία (φρεζοκεφαλή, κονδύλι). Με τον ίδιο τρόπο, υπολογίζονται οι συνθήκες κατεργασίας και των υπόλοιπων κοπτικών εργαλείων, οι οποίες παρουσιάζονται το ίδιο αναλυτικά στο παράρτημα (Παράρτημα Β, Σελίδες 310-333).

1. Φρεζοκεφαλή D100 / 6 ένθετα(λίγα) / Uncoated

Έστω  $P_z = 0,08 - 0,20$  [mm/tooth] και  $V_c = 250 - 320$  [m/min]

Τότε με γραμμική παρεμβολή για  $P_z = 0,12$  [mm/tooth] προκύπτει ότι:

0,08	250
0,12	x
0,20	320

$$\frac{0,20-0,08}{320-250} = \frac{0,20-0,12}{320-x} \Rightarrow x = 273,33$$

Επομένως,  $V_c = 273,33$  [m/min]

$$\text{Άρα } n = \frac{1000 \cdot 273,33^m / \text{min}}{\pi \cdot 100 \text{mm}} = 870,04 \text{ [rpm]}$$

$$\text{Οπότε: } p_n = 6 * 0,12 \text{ mm/tooth} * 870,04 \text{ rpm} = 626,43 \text{ [mm/min]}$$

2. Κονδύλι Ø14 / 3 κοπτικές ακμές / Carbide / διάνοιξη αυλάκωσης

Έστω  $V_c = 100$  [m/min]

$$\text{Άρα } n = \frac{1000 \cdot 100^m / \text{min}}{\pi \cdot 14 \text{mm}} = 2.273,64 \text{ [rpm]}$$

Έστω  $n = 2.273,64$  [rpm] και  $p_z = 0,09$  [mm/tooth]

$$\text{Άρα } p_n = 3 * 0,09 \text{ mm/tooth} * 2.273,64 \text{ rpm} = 613,88 \text{ [mm/min]}$$

3. Κονδύλι Ø14 / 3 κοπτικές ακμές / Carbide / δημιουργία διαβάθμισης

Έστω  $V_c = 130$  [m/min]

$$\text{Άρα } n = \frac{1000 \cdot 130^m / \text{min}}{\pi \cdot 14 \text{mm}} = 2.955,73 \text{ [rpm]}$$

Έστω  $n = 2.955,73$  [rpm] και  $p_z = 0,08$  [mm/tooth]



$$\text{Άρα } p_n = 3 * 0,08 \text{ mm/tooth} * 2.955,73 \text{ rpm} = 709,38 \text{ [mm/min]}$$

Στον πίνακα που ακολουθεί παρουσιάζονται τα κοπτικά εργαλεία που χρησιμοποιήθηκαν για την κατεργασία του δοκιμίου, τα χαρακτηριστικά των οποίων παρατίθενται στο Παράρτημα Β (Εικόνες 15.27 – 15.42).

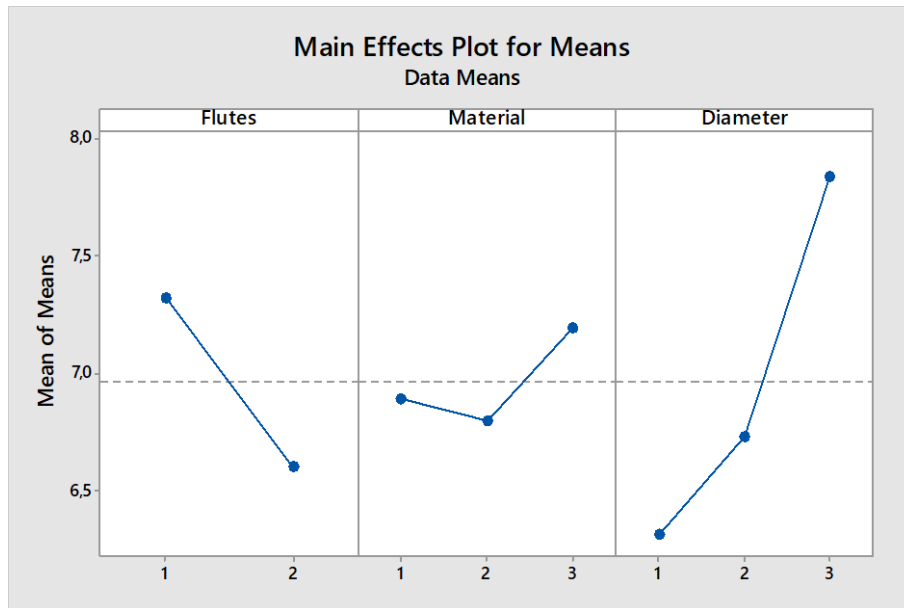
Πίνακας 8.1 – Κοπτικά εργαλεία

<b>Κοπτικά Εργαλεία</b>			
Τύπος	Υλικό	Διάμετρος (mm)	Κοπτικές ακμές
Κονδύλι	Carbide	10, 12, 14	2, 3, 4
Κονδύλι	HSS+Cobalt	10, 12, 14	2, 3, 4
	Υλικό ενθέτου	Διάμετρος	Πλήθος ενθέτων
Φρεζοκεφαλή	Cermet	100, 125, 160	6, 8, 10, 12
	Coated	100, 125, 160	6, 8, 10, 12
	Uncoated	100, 125, 160	6, 8, 10, 12

Στην συνέχεια παρατίθενται οι πίνακες με τα κοπτικά εργαλεία, μετά την ολοκλήρωση και των δεκαοκτώ πειραμάτων, όπως αυτά κωδικοποιήθηκαν για την εισαγωγή τους στο πρόγραμμα Minitab (Παράρτημα Β – Εικόνα 15.50) και την επεξεργασία τους με τη μέθοδο Taguchi.

Πίνακας 8.2 – Φρεζοκεφαλές για μέθοδο Taguchi

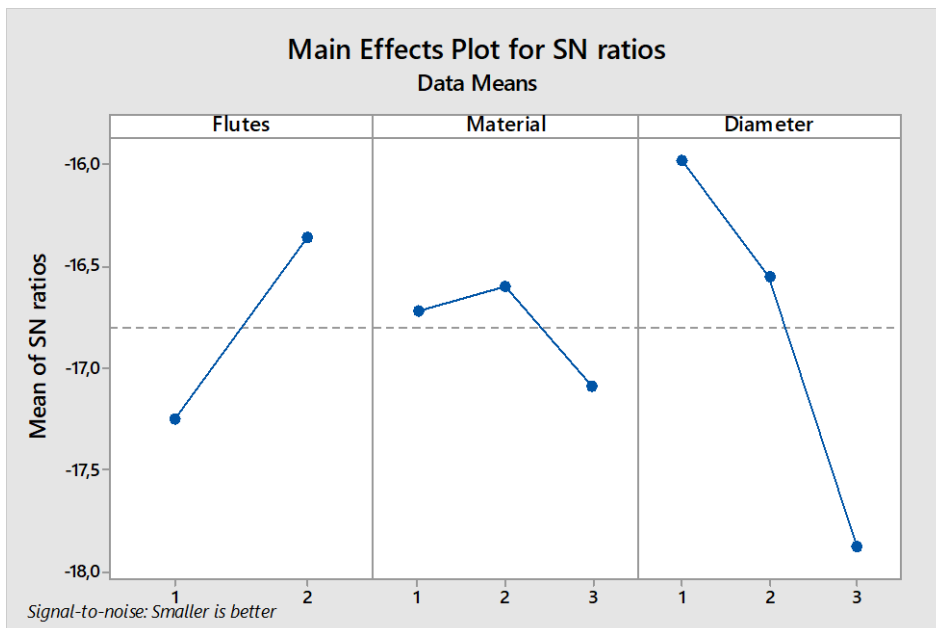
<b>Face Milling</b>					
<b>Experiment</b>	<b>Factor</b>			<b>Total Time (minutes)</b>	<b>Total Time (%)</b>
	1	2	3		
	<b>Values</b>				
1	1	1	1	6:40	6,67
2	1	1	2	7:04	7,07
3	1	1	3	8:04	8,07
4	1	2	1	6:34	6,57
5	1	2	2	6:58	6,67
6	1	2	3	8:04	8,07
7	1	3	1	6:54	6,9
8	1	3	2	7:22	7,37
9	1	3	3	8:28,2	8,47
10	2	1	1	5:49,8	5,83
11	2	1	2	6:20	6,33
12	2	1	3	7:22	7,37
13	2	2	1	5:49,8	5,83
14	2	2	2	6:20	6,33
15	2	2	3	7:20	7,33
16	2	3	1	6:04	6,07
17	2	3	2	6:38	6,63
18	2	3	3	7:44	7,73
<b>Explanation</b>	<b>Factors</b>	<b>Details</b>	<b>Values</b>	<b>Details</b>	
	1	Flutes	1	Few	
			2	Many	
	2	Material	1	Cermet	
			2	Coated	
			3	Uncoated	
	3	Diameter	1	100	
			2	125	
			3	160	



Διάγραμμα 8.1 – Χρόνος συναρτήσει των δεδομένων των παραγόντων

Response Table for Means

Level	Flutes	Material	Diameter
1	7,318	6,890	6,312
2	6,606	6,800	6,733
3		7,195	7,840
Delta	0,712	0,395	1,528
Rank	2	3	1



Διάγραμμα 8.2 – Χρόνος συναρτήσει των δεδομένων βάσει του λόγου σήματος προς θόρυβο

Response Table for Signal to Noise Ratios  
Smaller is better

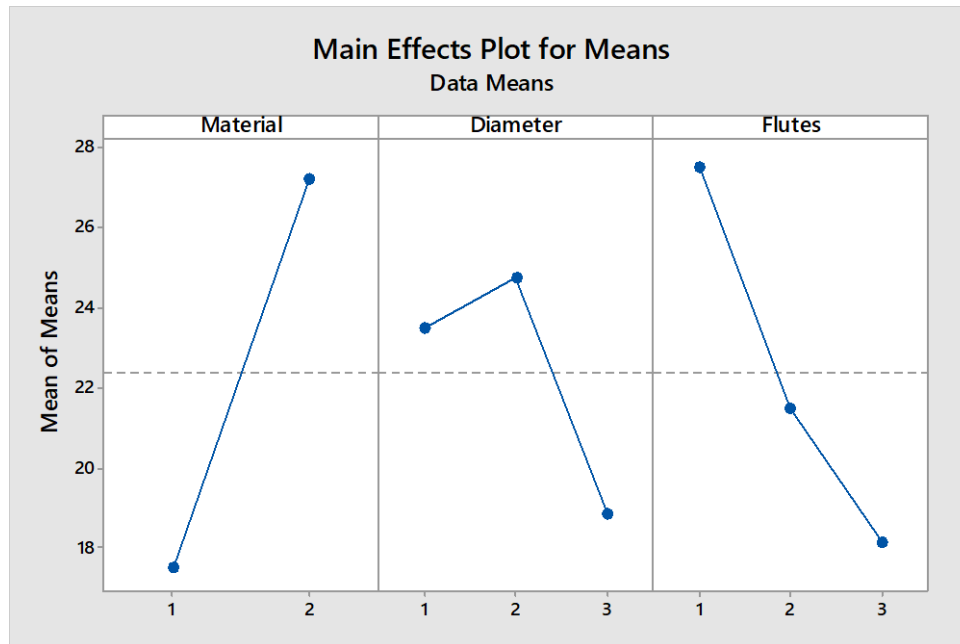
Level	Flutes	Material	Diameter
1	-17,25	-16,72	-15,98
2	-16,35	-16,60	-16,55

3		-17,09	-17,87
Delta	0,90	0,49	1,89
Rank	2	3	1

Επομένως, σύμφωνα με τα αποτελέσματα από τη μέθοδο Taguchi και τα παραπάνω διαγράμματα, η φρεζοκεφαλή η οποία διαθέτει τον βέλτιστο συνδυασμό χαρακτηριστικών είναι η ChaseOcto της εταιρείας Taegutec με κωδικό TFM3ZOFW-8100-32R-07 διαμέτρου 100 χιλιοστών. Φέρει 8 ένθετα πλακίδια με κωδικό OFCN 0704 TN-MR της εταιρείας Taegutec και υλικό Coated.

Πίνακας 8.3 – Κονδύλια για μέθοδο Taguchi

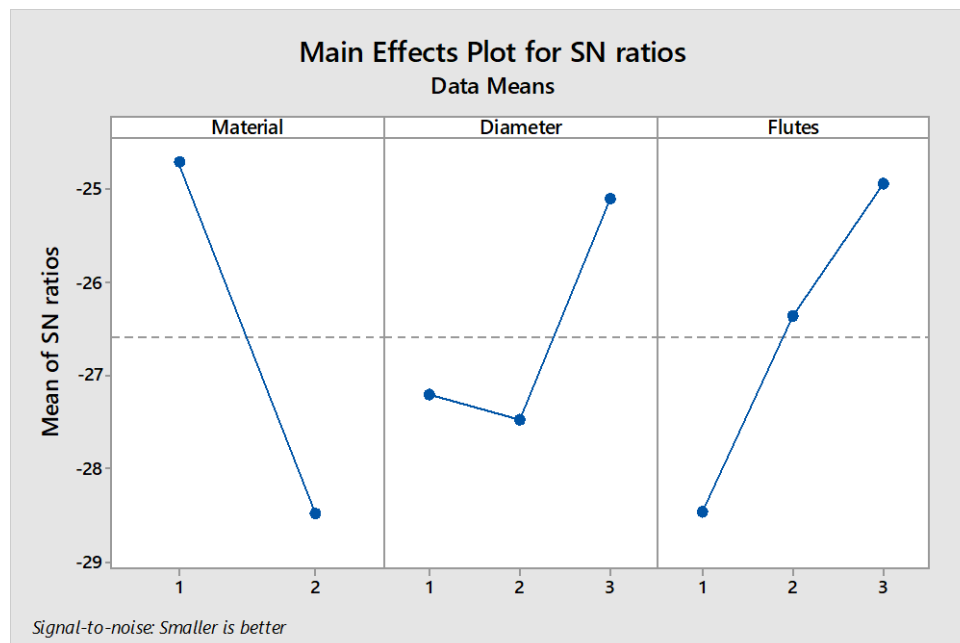
Endmills					
Experiment	Factor			Total Time (minutes)	Total Time (%)
	1	2	3		
	Values				
1	1	1	1	23:55,8	23,93
2	1	1	2	18:54	18,9
3	1	1	3	16:24	16,4
4	1	2	1	22:31,2	22,52
5	1	2	2	17:57	17,95
6	1	2	3	15:39	15,65
7	1	3	1	16:58,2	16,97
8	1	3	2	13:36	13,6
9	1	3	3	11:55	11,92
10	2	1	1	32:18	32,3
11	2	1	2	27:01	27,02
12	2	1	3	22:29	22,48
13	2	2	1	39:15	39,25
14	2	2	2	29:08	29,13
15	2	2	3	24:02	24,03
16	2	3	1	30:01	30,02
17	2	3	2	22:14	22,23
18	2	3	3	18:23	18,38
Explanation	Factors	Details	Values	Details	
	1	Material	1	Carbide	
			2	HSS + Cobalt	
	2	Diameter	1	10	
			2	12	
			3	14	
	3	Flutes	1	2	
			2	3	
			3	4	



Διάγραμμα 8.3 - Χρόνος συναρτήσει των δεδομένων των παραγόντων

Response Table for Means

Level	Material	Diameter	Flutes
1	17,54	23,50	27,50
2	27,20	24,75	21,47
3		18,85	18,14
Delta	9,67	5,90	9,36
Rank	1	3	2



Διάγραμμα 8.4 - Χρόνος συναρτήσει των δεδομένων βάσει του λόγου σήματος προς θόρυβο

Response Table for Signal to Noise Ratios  
Smaller is better


Level	Material	Diameter	Flutes
1	-24,69	-27,21	-28,47
2	-28,49	-27,47	-26,36
3		-25,09	-24,94
Delta	3,80	2,37	3,53
Rank	1	3	2

Επομένως, σύμφωνα με τα αποτελέσματα από τη μέθοδο Taguchi και τα παραπάνω διαγράμματα, το κονδύλι το οποίο διαθέτει τον βέλτιστο συνδυασμό χαρακτηριστικών είναι το CoroMill Plura της εταιρείας SANDVIK με κωδικό 1P240-1400-XA διαμέτρου 14 χιλιοστών. Διαθέτει 4 κοπτικές ακμές και το υλικό του είναι Carbide.

Βέβαια, για τη σωστή συγκράτηση των κοπτικών εργαλείων και την προσαρμογή τους στην εργαλειομηχανή, τηρούνται συγκεκριμένα βήματα. Αυτά είναι τα ακόλουθα:

1. Επιλογή στοιχείου συγκράτησης κοπτικού εργαλείου.


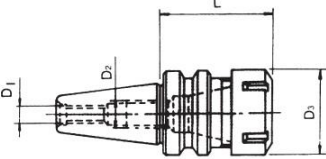

Σύμφωνα με το τεχνικό φυλλάδιο της εργαλειομηχανής που επιλέχθηκε, διαθέτει BT40. Έτσι επιλέχθηκαν, το Holder V-703A της εταιρείας VERTEX για τα κονδύλια και το Holder BT-SEM32x60 της εταιρείας TaeguTec για την φρεζοκεφαλή. (Παράρτημα Β – Εικόνες 15.43 και 15.44)



## ER Spring Collet Chuck System MAS403

**Collet Holders With BT Taper Shank (For CNC Machine Center) BT-SHANK**

**ER-32 ER-40**


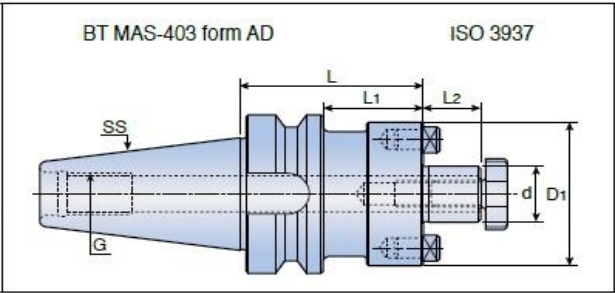





RDER NO.	TAPER	COLLET TYPE	D1	D2	D3	L	KGS	CODE NO.
V-700	BT30	ER32	M12	M12x1.75P	50	60	0.6	3031-303
V-703A		ER32	M16X2.0P	M22x1.5P	50	70	1.2	3032-305
V-703B	BT40	ER32	M16X2.0P	M22x1.5P	50	100	1.4	3032-306
V-704		ER40	M16X2.0P	M22x1.5P	63	80	2.0	3032-307
V-705		ER32	M24X3.0P	M28x1.5P	50	100	3.4	3033-305
V-706B	BT50	ER40	M24X3.0P	M28x1.5P	63	150	5.8	3033-307
V-707		ER50	M12	M36x1.5P	78	100	4.8	3033-308
V-710		ER11	M12	M12x1.75P	19	60	0.6	3033-311
V-711		ER11	M12	M12x1.75P	19	100	0.9	3033-312
V-712		ER11M	M12	M12x1.75P	16	100	0.9	3033-313
V-713		ER16	M12	M12x1.75P	28	100	0.9	3033-314

Εικόνα 8.1 – Holder για κονδύλια

### BT-SEM

Face mill arbor



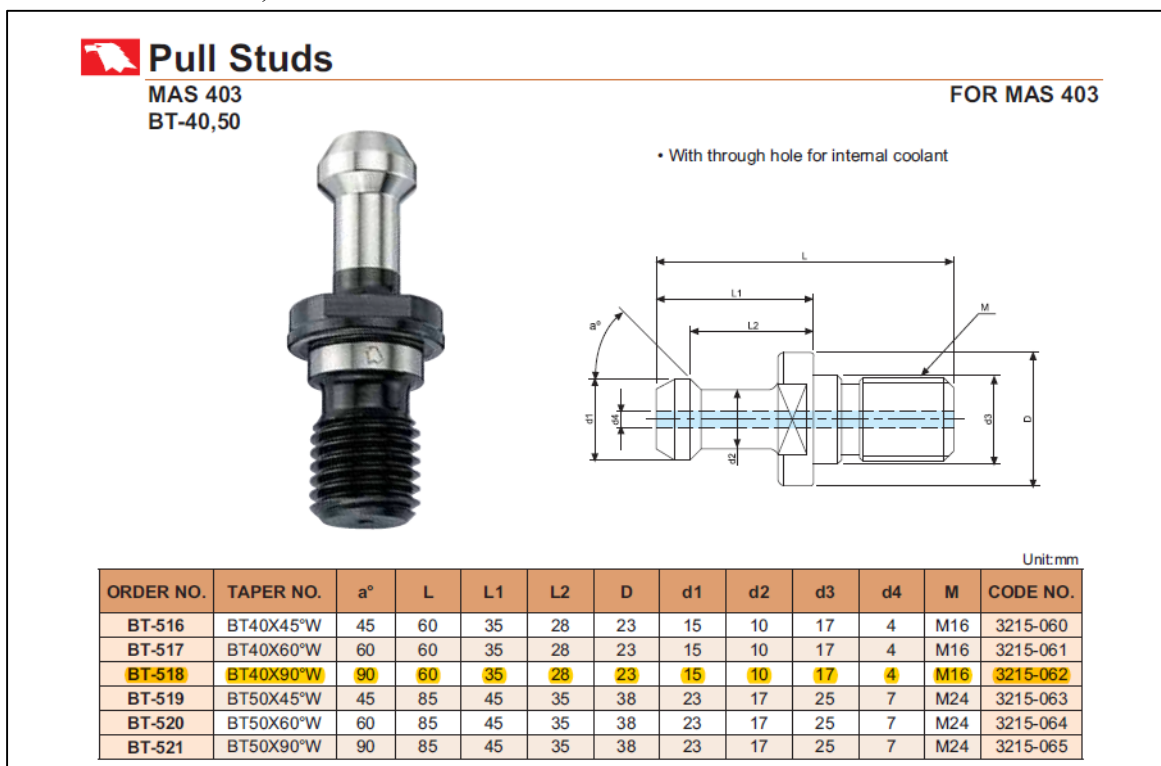
BT MAS-403 form AD

ISO 3937

Designation	Dimension (mm)						
	SS	d	D <sub>1</sub>	L	L <sub>1</sub>	L <sub>2</sub>	G
<b>BT30 SEM 16x60</b>	30	16	38	50	28	17	M12
SEM 22x60	30	22	47	50	28	19	M12
SEM 27x60	30	27	58	50	18	21	M12
<b>BT40 SEM 16x60</b>	40	16	38	60	33	17	M16
SEM 16x120	40	16	38	120	93	17	M16
SEM 22x60	40	22	47	60	33	19	M16
SEM 22x120	40	22	47	120	93	19	M16
SEM 27x46	40	27	58	45	18	21	M16
SEM 27x106	40	27	58	105	78	21	M16
<b>SEM 32x60</b>	40	32	65	60	23	24	M16
SEM 32x76	40	32	65	75	36	24	M16
<b>SEM 40x60</b>	40	40	82	60	23	27	M16
SEM 40x76	40	40	82	75	38	27	M16
<b>BT60 SEM 16x76</b>	50	16	38	75	37	17	M24
SEM 16x120	50	16	38	120	82	17	M24
SEM 22x60x220	50	22	50	220	182	19	M24

Εικόνα 8.2 – Holder για φρεζοκεφαλές

2. Επιλογή στοιχείου συγκράτησης του Holder με την εργαλειομηχανή.  
Βάσει των τεχνικών φυλλαδίων του Holder και της εργαλειομηχανής, το Pull Stud που επιλέχθηκε είναι το BT-518 της εταιρείας VERTEX για τα κονδύλια και το PS BT40 90 M16 MAS 3B για τη φρεζοκεφαλή. (Παράρτημα Β – Εικόνες 15.45 και 15.46)



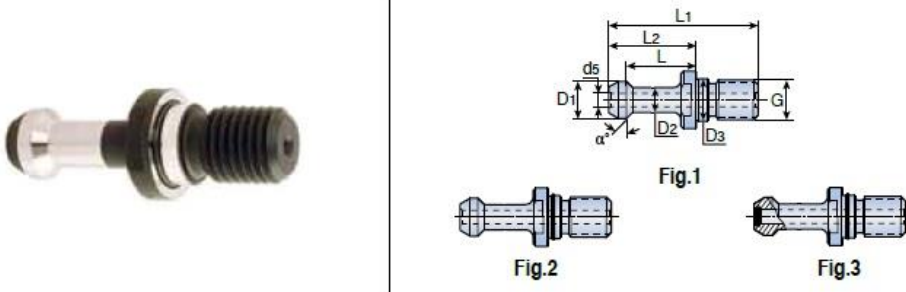
Εικόνα 8.3 – Pull Stud για κονδύλια



3. Α) Επιλογή στοιχείων συγκράτησης του κοπτικού εργαλείου (κονδύλι) με το Holder.

Για τη συγκράτηση των συγκεκριμένων κοπτικών εργαλείων επιλέχθηκαν το Collet ER32 της εταιρείας VERTEX και το ER Clumping Nut System V-804 της ίδιας εταιρείας. (Παράρτημα Β – Εικόνες 15.47 και 15.48)

**PS BT-MAS**  
Pull stud BT-MAS-metric

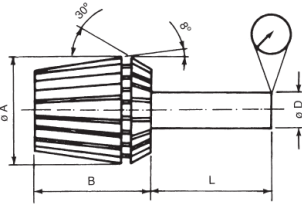


Designation	Dimension (mm)										Fig.
	G	D <sub>1</sub>	D <sub>2</sub>	D <sub>3</sub>	d <sub>5</sub>	L	L <sub>1</sub>	L <sub>2</sub>	α°		
PS BT30 45 M12 MAS1	M12	11	7	12.5	-	18	43	23	45	1	
	45 M12 MAS1 B	M12	11	7	12.5	3.0	18	43	23	45	1
	60 M12 MAS2	M12	11	7	12.5	-	18	43	23	30	1
PS BT40 45 M16 MAS1	M16	15	10	17.0	-	28	60	35	45	1	
	45 M16 MAS1 B	M16	15	10	17.0	5.5	28	60	35	45	1
	60 M16 MAS2	M16	15	10	17.0	-	28	60	35	30	1
	60 M16 MAS2 B	M16	15	10	17.0	5.5	28	60	35	30	1
	90 M16 MAS3	M16	15	10	17.0	-	28	60	35	90	1
90 M16 MAS3 B	M16	15	10	17.0	5.5	28	60	35	90	1	
PS BT50 45 M24 MAS1	M24	23	17	25.0	-	35	85	45	45	1	
	45 M24 MAS1 B	M24	23	17	25.0	6.0	35	85	45	45	1
	45 M24 MAS1 O B	M24	23	17	25.0	6.0	35	85	45	45	2
	45 M24 MAS1 O B O	M24	23	17	25.0	6.0	35	85	45	45	3

Εικόνα 8.4 – Pull Stud για φρεζοκεφαλή

 **ER Spring Collet Chuck System**

SUPER ULTRA PRECISION TYPE



Type	Dimension	
	D	H
ER08	8,5	13,5
ER11	11,5	18
ER16	17	27
ER20	21	31
ER25	26	35
ER32	33	40
ER40	41	46
ER50	52	60

L(MM)	Accuracy	
	øD(MM)	Ultra Precision(MM)
6	1,0-1,4	0,01
10	1,5-2,9	0,01
16	3,0-5,9	0,01
25	6,0-9,9	0,01
40	10,0-17,9	0,01
50	18,0-26,9	0,01
60	27,0-34,9	0,01

TYPE	ER-8		ER-11		ER-16		ER-20		ER-25		ER-32		ER-40		ER-50	
COMPLETE SET	9PCS/SET		7PCS/SET		10PCS/SET		12PCS/SET		15PCS/SET		18PCS/SET		23PCS/SET		12PCS/SET	
FULL SET	ORDER NO.	CAP. mm Ø	ORDER NO.	CAP. mm Ø	ORDER NO.	CAP. mm Ø	ORDER NO.	CAP. mm Ø	ORDER NO.	CAP. mm Ø	ORDER NO.	CAP. mm Ø	ORDER NO.	CAP. mm Ø	ORDER NO.	CAP. mm Ø
	CODE NO.		CODE NO.		CODE NO.		CODE NO.		CODE NO.		CODE NO.		CODE NO.		CODE NO.	
INDIVIDUAL UNIT	V08000S 3000-001	0,5-5,0	V11000S 3000-002	0,5-7,0	V16000S 3000-003	0,5-10,0	V20000S 3000-004	1-13	V25000S 3000-005	1-16	V32000S 3000-006	2-20	V40000S 3000-007	3-26	V50000S 3000-008	10-34
	V08010S 3000-010	1,0-0,5	V11010S 3000-020	1,0-0,5	V16010S 3000-040	1,0-0,5	V20020S 3000-060	2-1	V25020S 3000-090	2-1	V32030S 3000-110	3-2	V40040S 3000-130	4-3	V50120S 3000-160	12-10
	V08015S 3000-011	1,5-1,0	V11020S 3000-071	2,0-1,5	V16020S 3000-041	2,0-1,0	V20030S 3000-061	3-2	V25030S 3000-091	3-2	V32040S 3000-111	4-3	V40050S 3000-131	5-4	V50140S 3000-161	14-12

Εικόνα 8.5 - ER Collet



# Clamping Nuts & Wrench For Collets

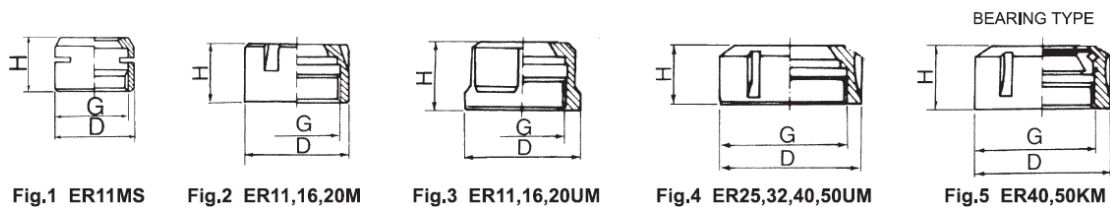
DIN 6499

## ER CLAMPING NUT SYSTEM



## CLAMPING NUTS

RDER	Fig.	COLLET TYPE	D	H	G		CODE NO.
V-800	3	ER11UM	19	13	M14X0.75P	0.01	3015-001
V-801	3	ER16UM	28	18	M22X1.5P	0.035	3015-002
V-802	3	ER20UM	34	21	M25X1.5P	0.06	3015-003
V-803	4	ER25UM	42	20	M32X1.5P	0.095	3015-004
V-804	4	ER32UM	50	23	M40X1.5P	0.15	3015-005
V-805	4	ER40UM	63	25	M50X1.5P	0.31	3015-006
V-806	4	ER50UM	78	35	M64X2.0P	0.58	3015-007
V-807	1	ER11MS	16	12	M13X0.75P	0.01	3015-008
V-808	2	ER16M	22	18	M19X1.0P	0.035	3015-009
V-809	2	ER20M	28	19	M24X1.0P	0.06	3015-010
V-810A	5	ER40KM	63	29	M50X1.5P	0.31	3015-011
V-810B	5	ER50KM	78	40	M64X2.0P	0.58	3015-012
V-810C	2	ER-11M	16	12	M13X0.75P	0.01	3015-013
V810D		ER-8M	12	10.8	M10X0.75P	0.01	3015-014



Εικόνα 8.6 - ER Clamping Nut System

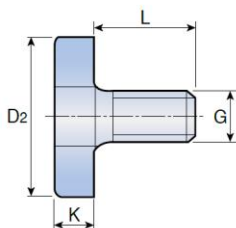
B) Επιλογή στοιχείων συγκράτησης του κοπτικού εργαλείου (φρεζοκεφαλή) με το Holder.

Για τη συγκράτηση των συγκεκριμένων κοπτικών εργαλείων επιλέχθηκαν τα M16 Clamp Screw SEM 32 και M20 Clamp Screw SEM 40 της εταιρείας TaeguTec. (Παράρτημα Β – Εικόνα 15.49)

## M-CLAMP SCREW SEM

Lock screw DIN6367 for face mill arbor

Designation	Dimension (mm)				
	S.M.C	G	D <sub>2</sub>	K	L
M8 CLAMP SCREW SEM 16	16	M8	20	6	16
M10 CLAMP SCREW SEM 22	22	M10	28	7	18
M12 CLAMP SCREW SEM 27	27	M12	35	8	22
M16 CLAMP SCREW SEM 32	32	M16	42	9	26
M20 CLAMP SCREW SEM 40	40	M20	52	10	30
M24 CLAMP SCREW SEM 50	50	M24	63	12	36



Εικόνα 8.7 - Clamp Screw

## 9 ΚΑΤΕΡΓΑΣΙΑ ΔΟΚΙΜΙΟΥ

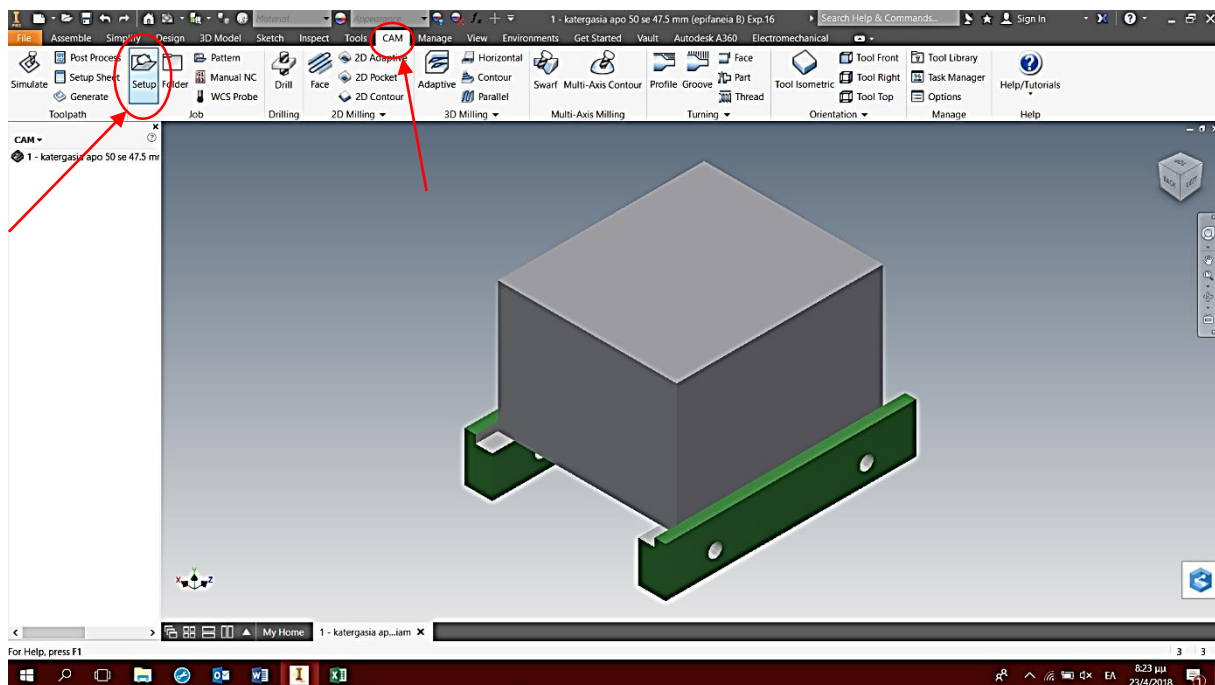
Στο σημείο αυτό αναλύονται ένα προς ένα τα βήματα για την κατασκευή του δοκιμίου με τα κοπτικά εργαλεία που προέκυψαν από τη μέθοδο Taguchi. Με την ίδια μεθοδολογία διεξήχθησαν και τα υπόλοιπα πειράματα.

### 9.1 ΦΑΣΗ ΚΑΤΕΡΓΑΣΙΑΣ - 1

Σκοπός	Διαμόρφωση του δοκιμίου στις επιθυμητές διαστάσεις και επίτευξη της καθετότητας των πλευρών μεταξύ τους.	
Τρόπος συγκράτησης	Μέγγενη με κοινά μάγουλα	
Κοπτικό εργαλείο	Φρεζοκεφαλή Ø100 mm	
Συνθήκες κατεργασίας	n= 965,53 rpm	f= 0,12 mm/tooth
	a= 2 mm	V <sub>c</sub> = 303,33 m/min

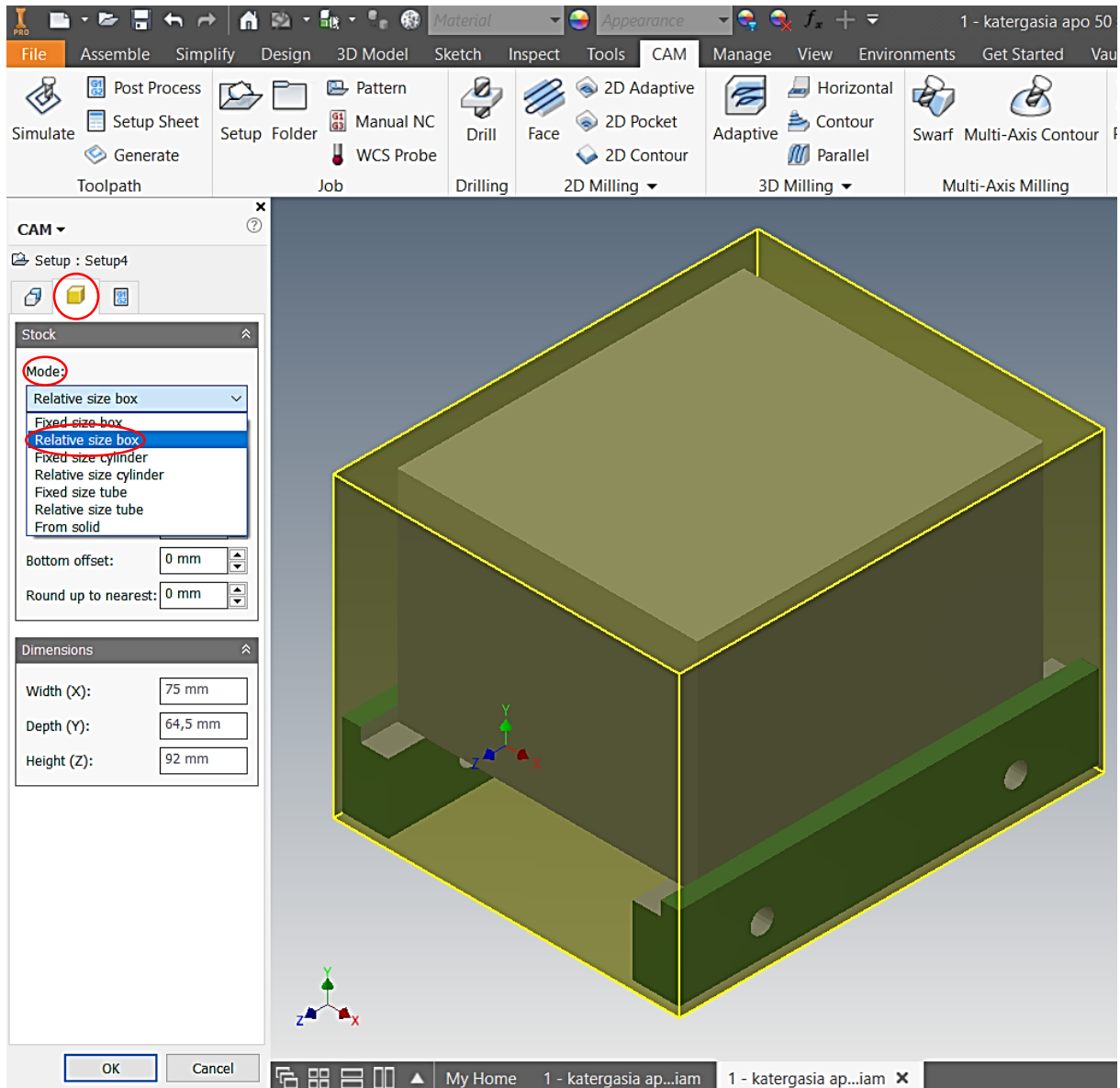
#### 9.1.1 Κατεργασία των πλευρών B & E.

##### 1. Ορισμός αρχικού όγκου και συστήματος συντεταγμένων.



Εικόνα 9.1.1.1 – Γραφικό περιβάλλον προγράμματος

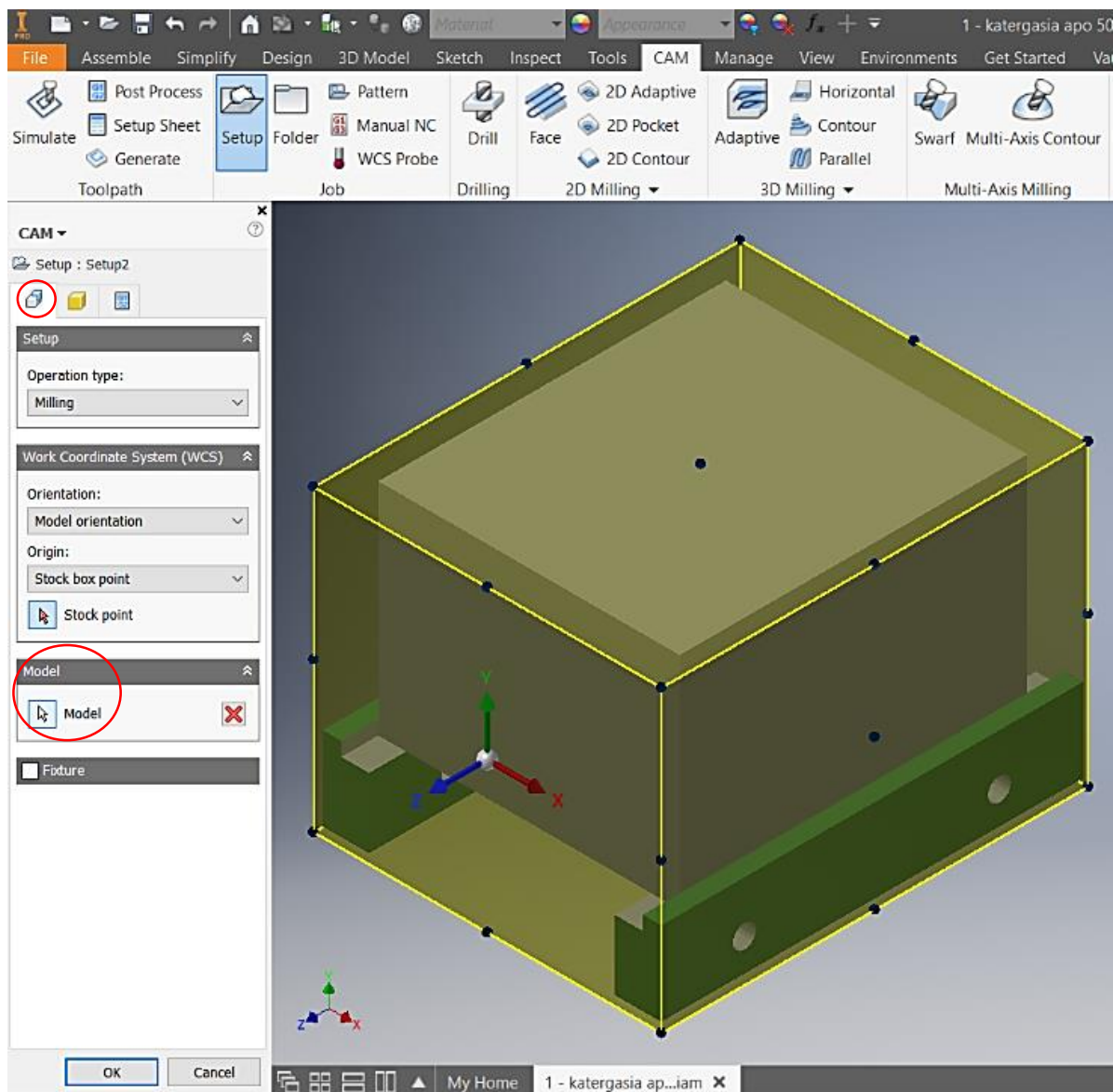
Παραπάνω απεικονίζεται το γραφικό περιβάλλον του προγράμματος κατά το άνοιγμα του αρχείου του δοκιμίου. Αρχικά γίνεται μετάβαση στην καρτέλα



Εικόνα 9.1.1.2 – Stock Mode

CAM και για τον ορισμό του αρχικού όγκου και του συστήματος συντεταγμένων επιλέγεται η εντολή Setup.

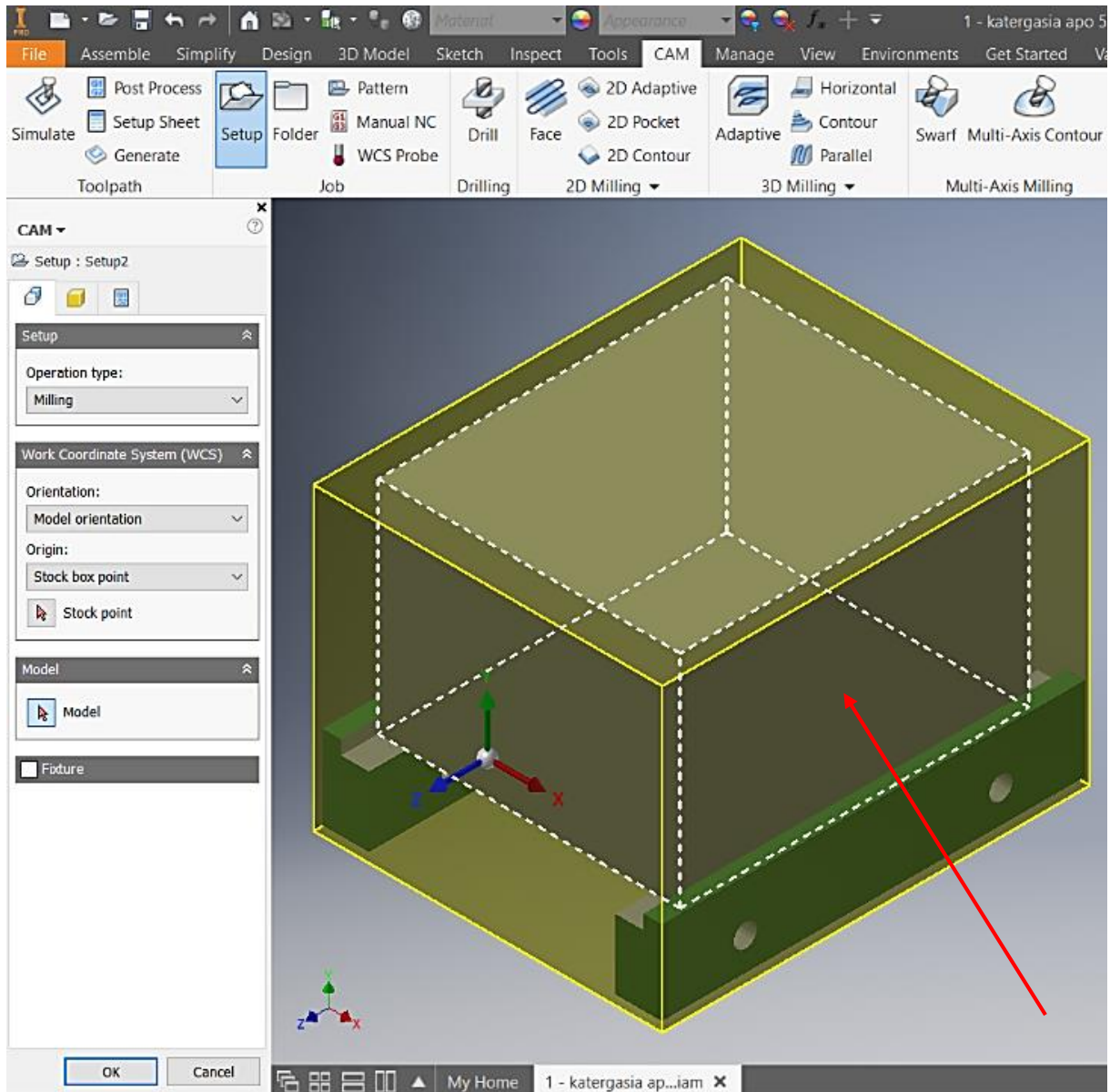
Στη δεύτερη καρτέλα του παραθύρου του Setup, στο Mode, γίνεται επιλογή του Relative size box ώστε να μπορούν να δωθούν διαστάσεις σε κάθε πλευρά του όγκου ξεχωριστά.



Εικόνα 9.1.1.3 – Ορισμός δοκιμίου ως αρχικός όγκος

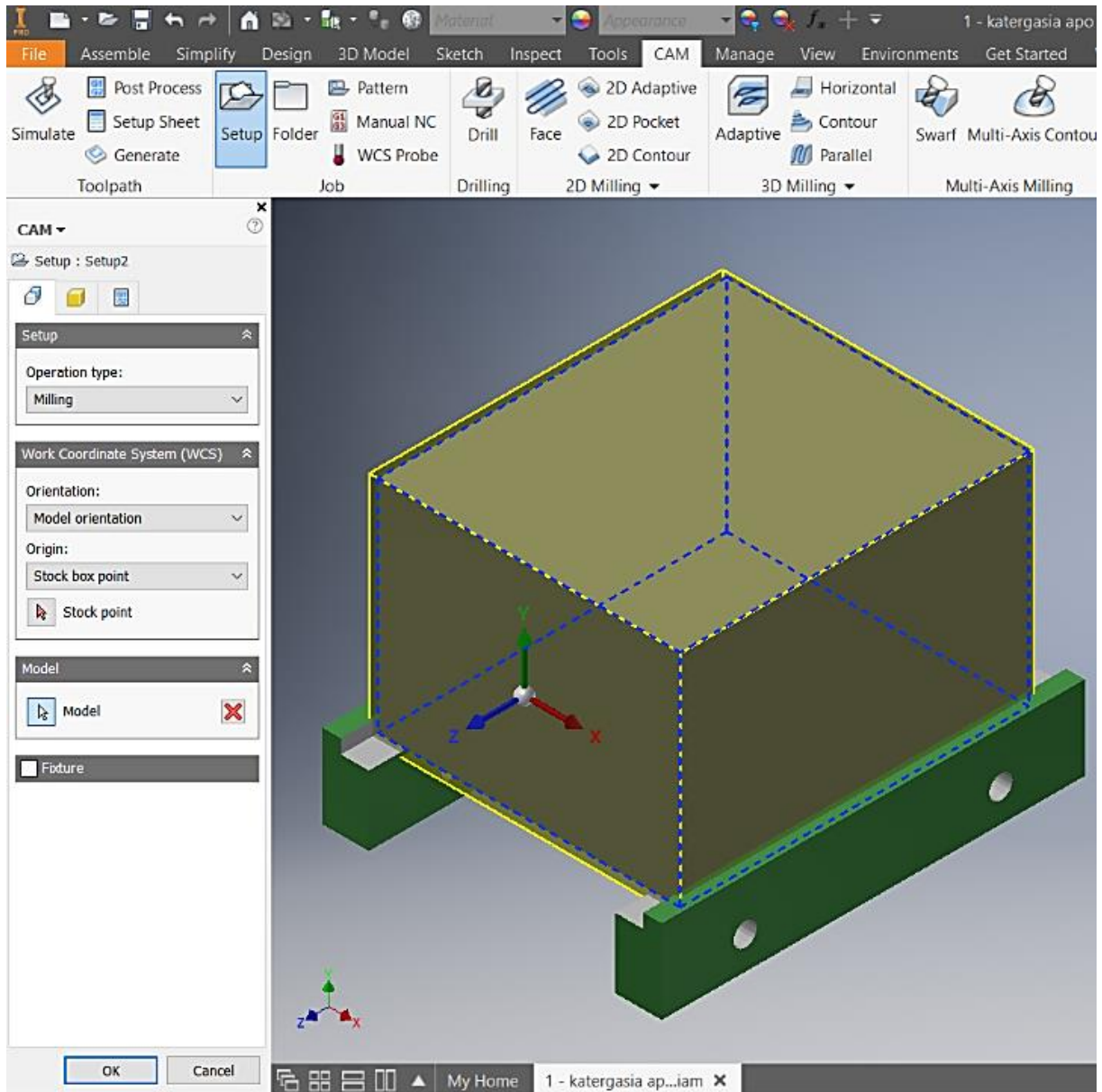
Επιστρέφοντας στην πρώτη καρτέλα του παραθύρου του Setup, επιλέγεται η εντολή Model, με σκοπό τον ορισμό μόνο του δοκιμίου ως αρχικό όγκο και όχι μαζί με τα μάγουλα της μέγγενης.



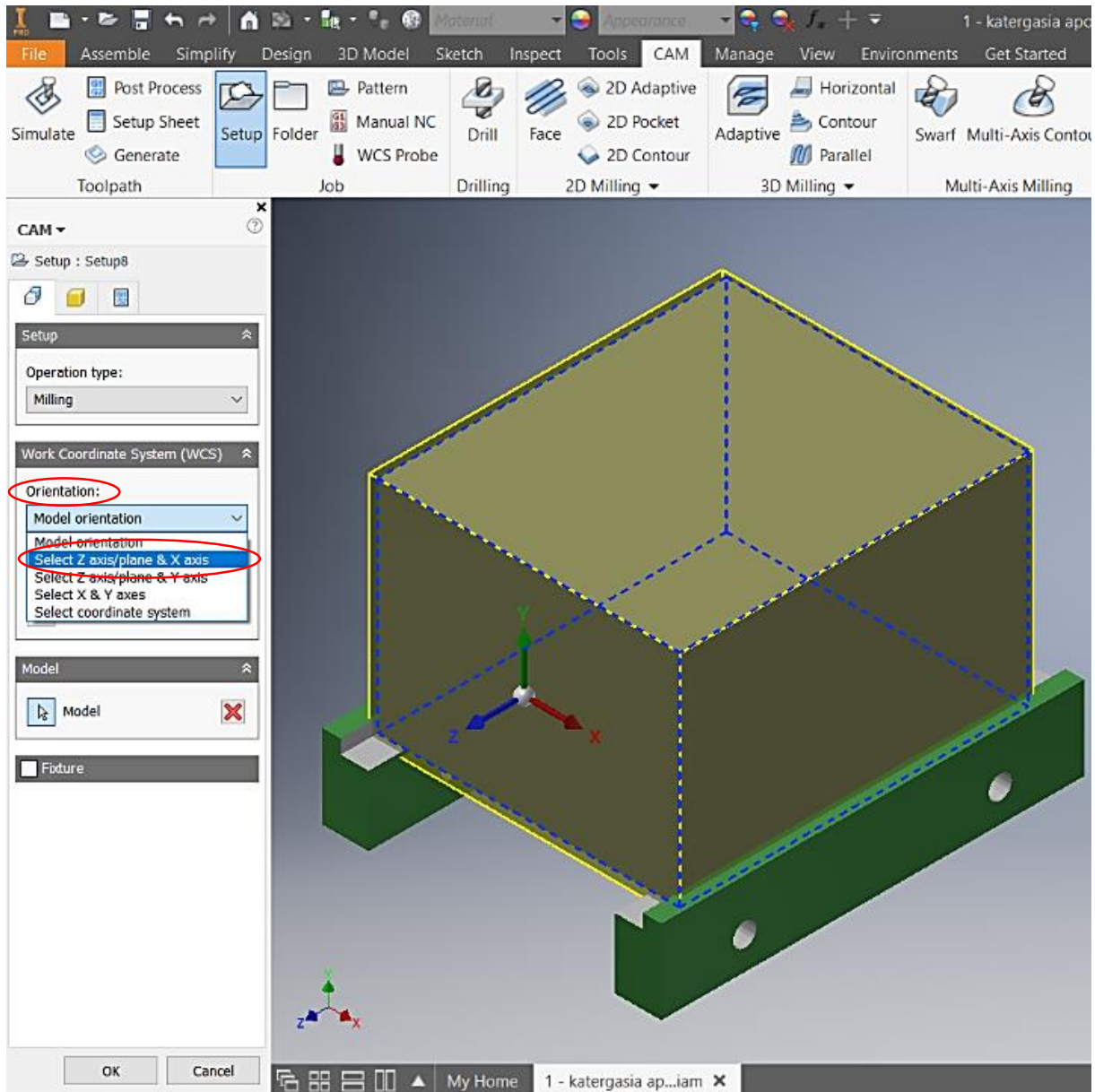


Εικόνα 9.1.1.4 – Επιλογή δοκιμίου

Επιλέγεται το δοκίμιο χωρίς όμως τα μάγουλα της μέγγενης.



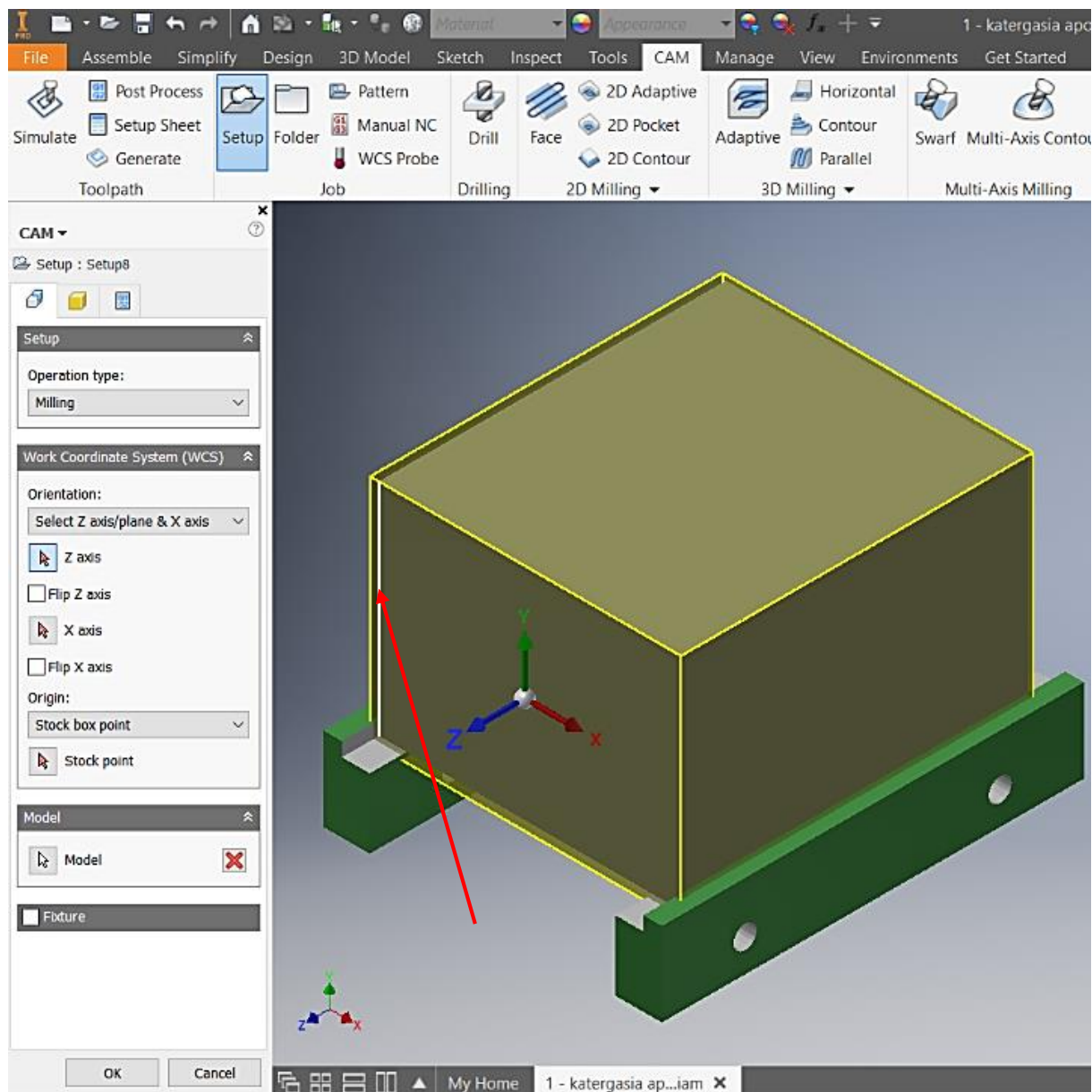
Εικόνα 9.1.1.5 – Ορισμός συστήματος συντεταγμένων



Εικόνα 9.1.1.6 – Ενότητα Orientation

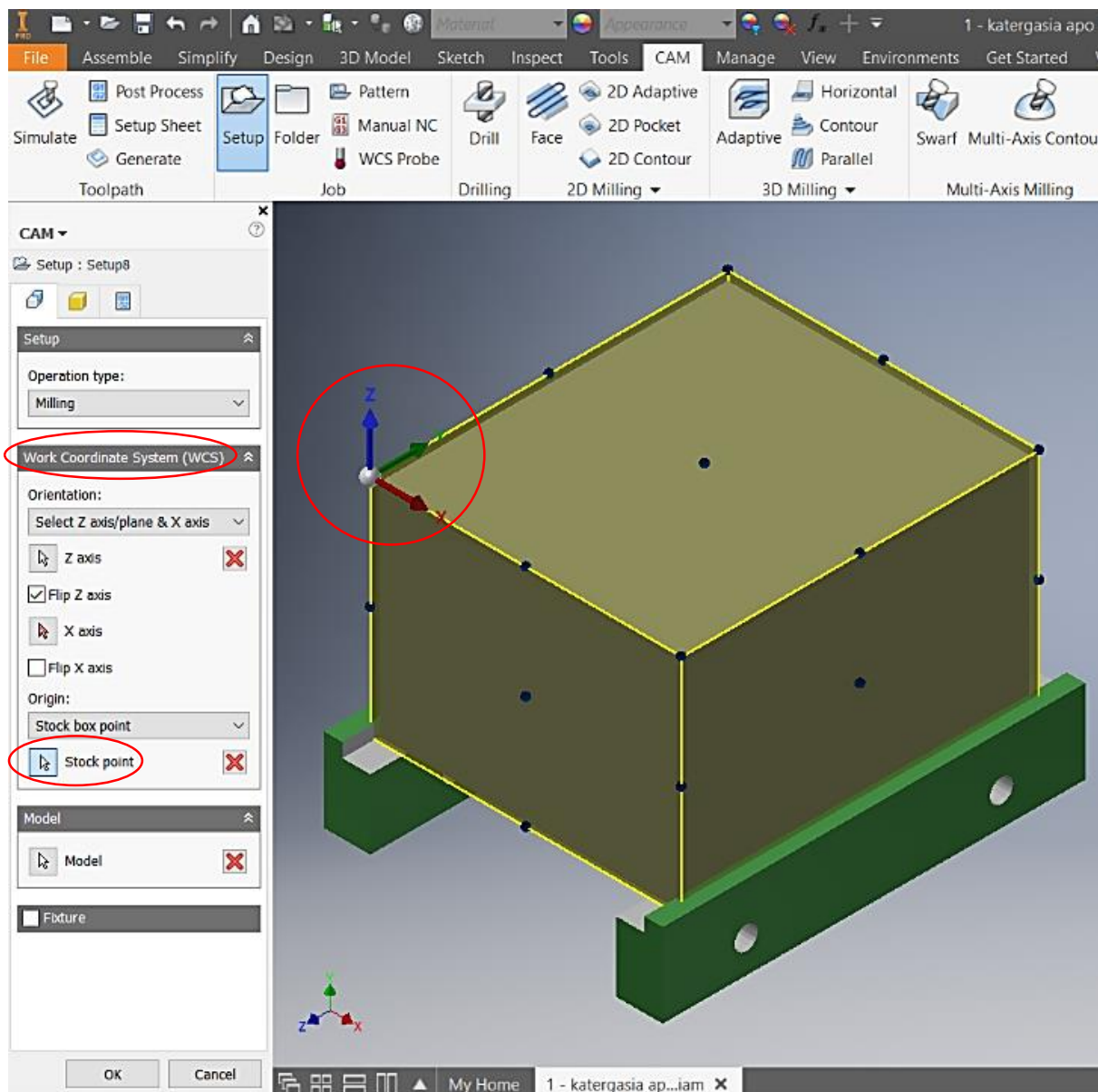
Στην ενότητα Orientation, επιλέγεται η εντολή Select Z axis/plane & X axis ώστε να οριστεί η κατεύθυνση του άξονα Z, ο οποίος καθορίζει την κίνηση του κοπτικού εργαλείου και επομένως το βάθος κοπής.





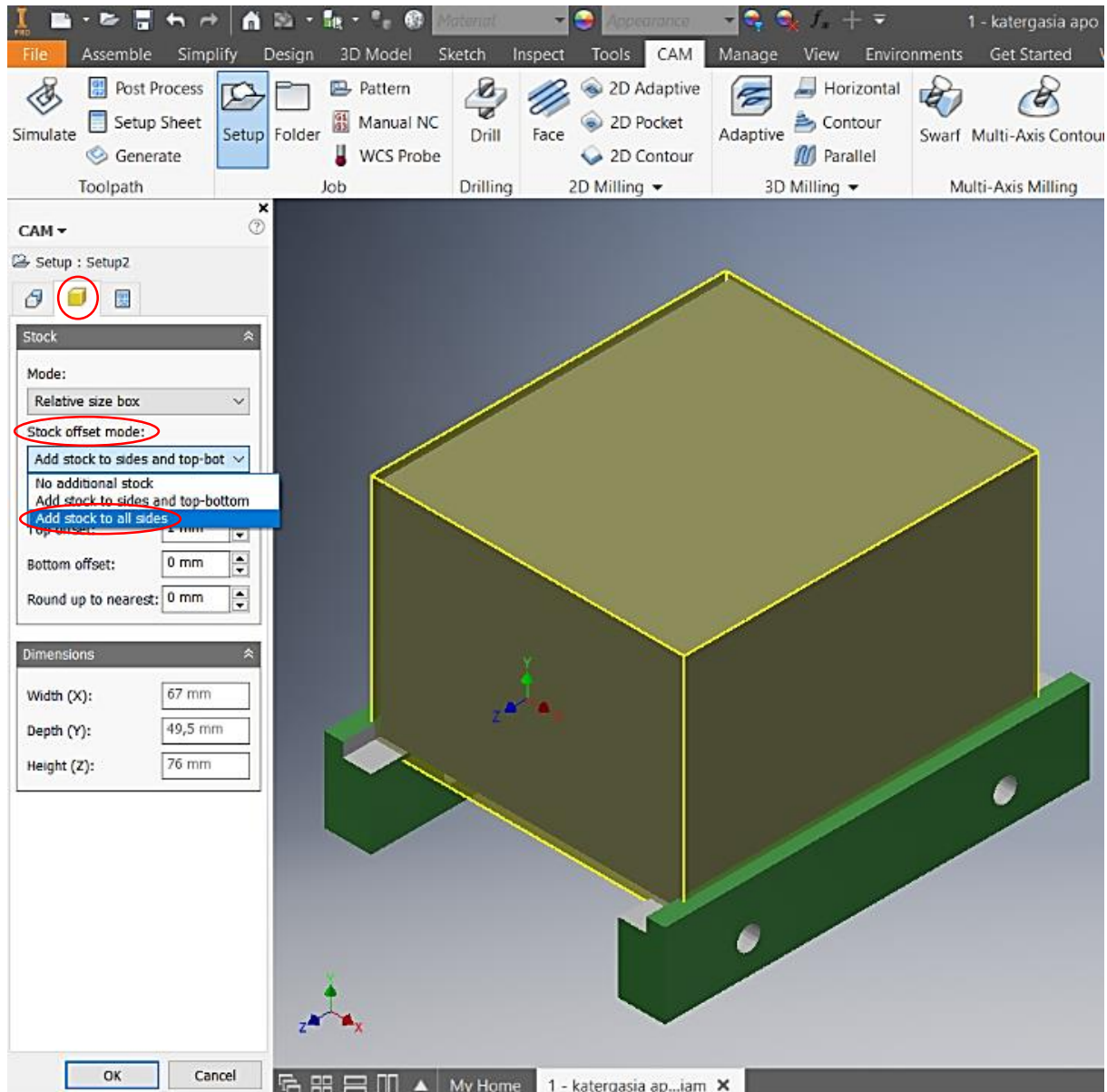
Εικόνα 9.1.1.7 – Κατεύθυνση άξονα Z

Επιλέγεται μια οποιαδήποτε ακμή η οποία θα ορίσει την κατεύθυνση του άξονα Z. Σε περίπτωση που ο άξονας Z δεν έχει την επιθυμητή φορά, τότε επιλέγοντας την άκρη του βέλους του άξονα αλλάζει η φορά του.



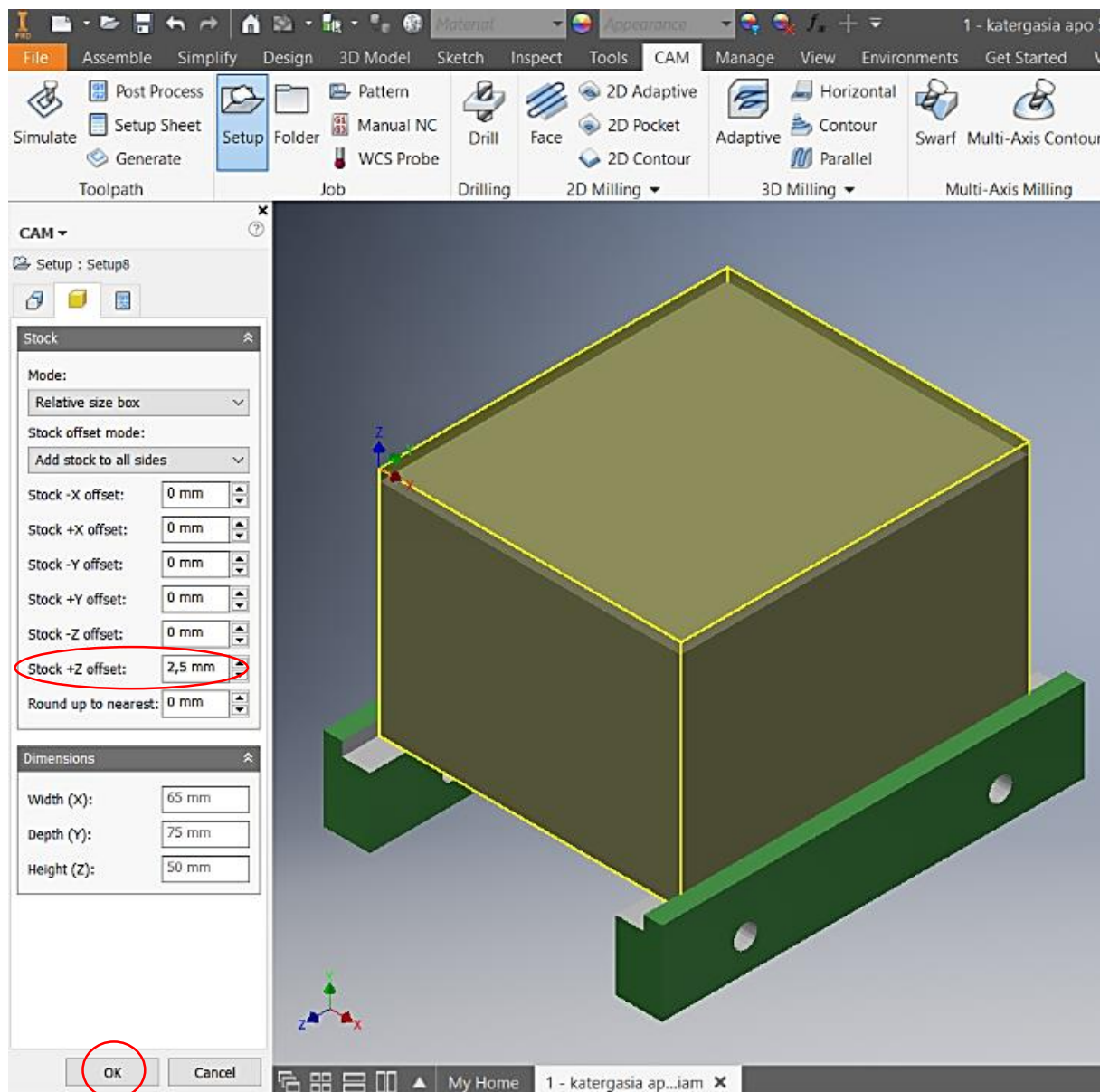
Εικόνα 9.1.1.8 – Εντολή Stock point

Στην ενότητα Work Coordinate System (WCS), γίνεται επιλογή της εντολής Stock Point. Μόλις εμφανιστούν τα διαθέσιμα σημεία όπως φαίνεται στην παραπάνω εικόνα (Εικόνα 9.1.1.8 – Εντολή Stock point), ορίζεται σε ένα από αυτά το σύστημα συντεταγμένων.



Εικόνα 9.1.1.9 – Ενότητα Stock offset mode

Μεταβαίνοντας πάλι στην δεύτερη καρτέλα του παραθύρου του Setup, στην ενότητα Stock offset mode, επιλέγεται το Add stock to all sides για να προστεθεί υλικό μόνο στην προς καταργασία πλευρά.

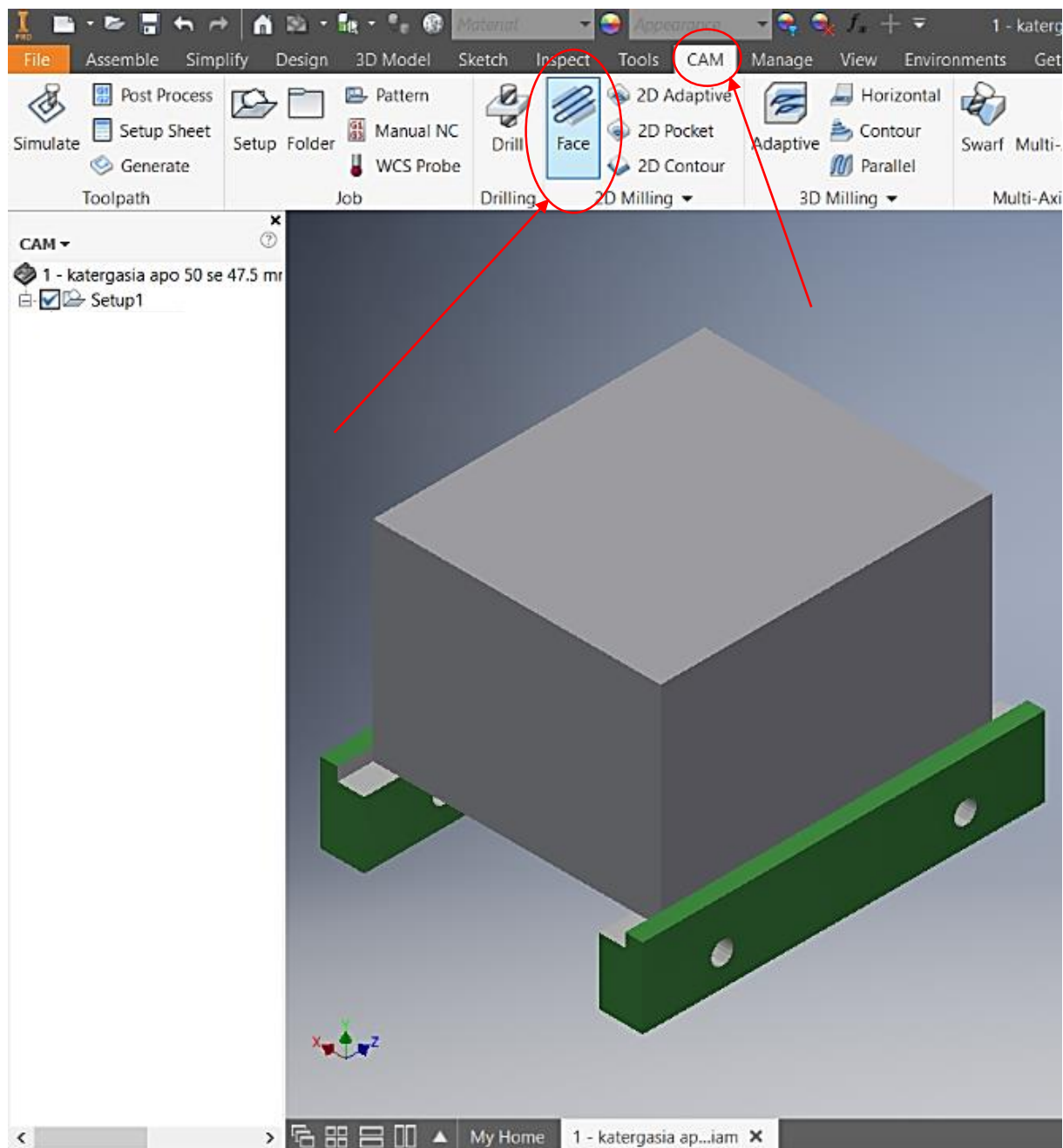


Εικόνα 9.1.1.10 – Ολοκλήρωση ορισμού αρχικού όγκου

Προσθέτουμε υλικό 2,5 mm μόνο προς την θετική κατεύθυνση του άξονα Z, διότι το δοκίμιο έχει τις διαστάσεις που προκύπτουν μετά την κατεργασία του σε αυτή τη φάση. Αυτό συμβαίνει διότι μόνο με αυτόν τον τρόπο το πρόγραμμα μπορεί να προγραμματίσει τον κώδικα για την πορεία του κοπτικού εργαλείου. Τέλος, πατώντας το κουμπί OK ολοκληρώνεται η διαδικασία του ορισμού του αρχικού όγκου και του συστήματος συντεταγμένων.

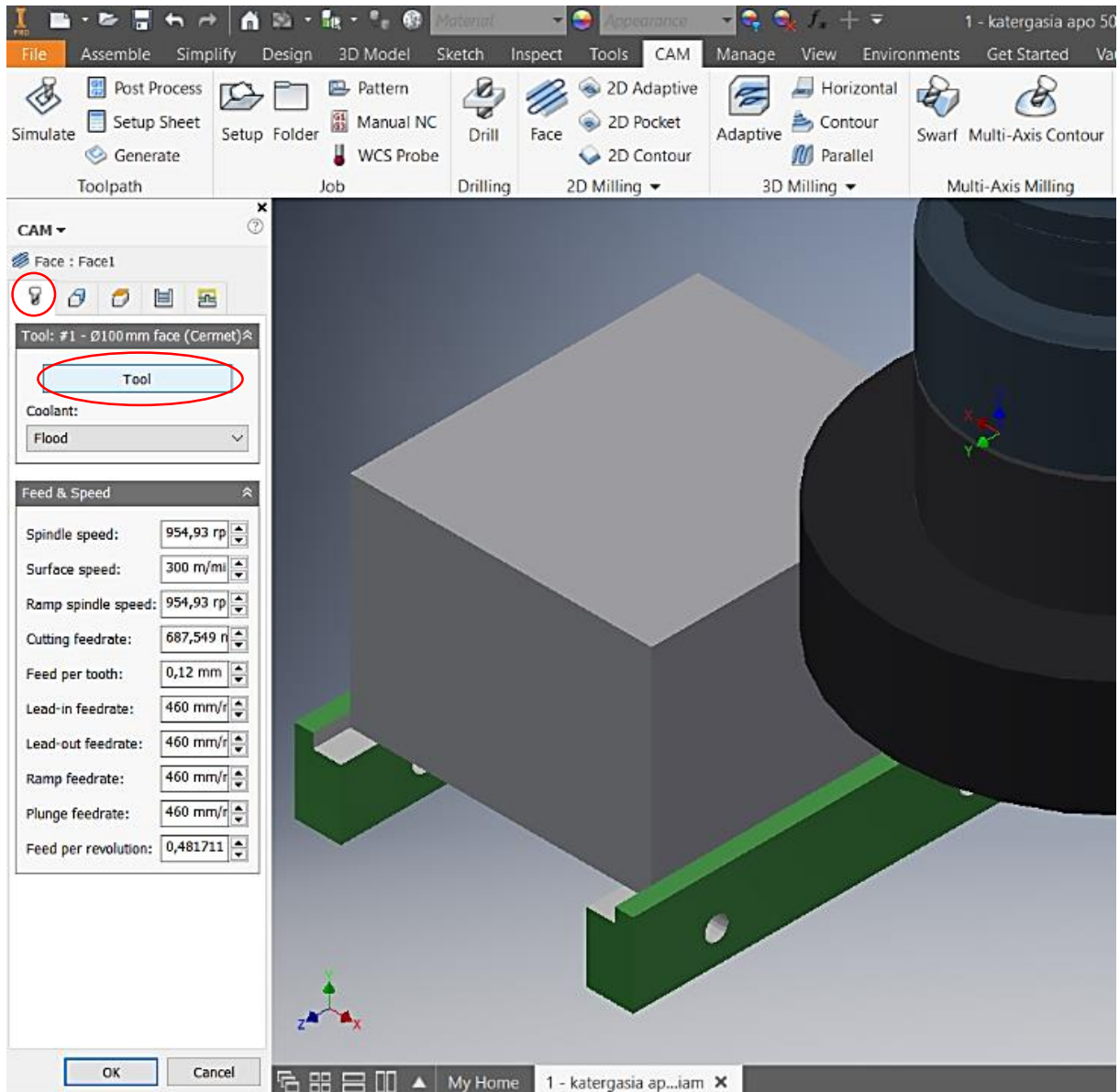


## 2. Επιλογή κοπτικού εργαλείου και παραγωγή της πορείας του.



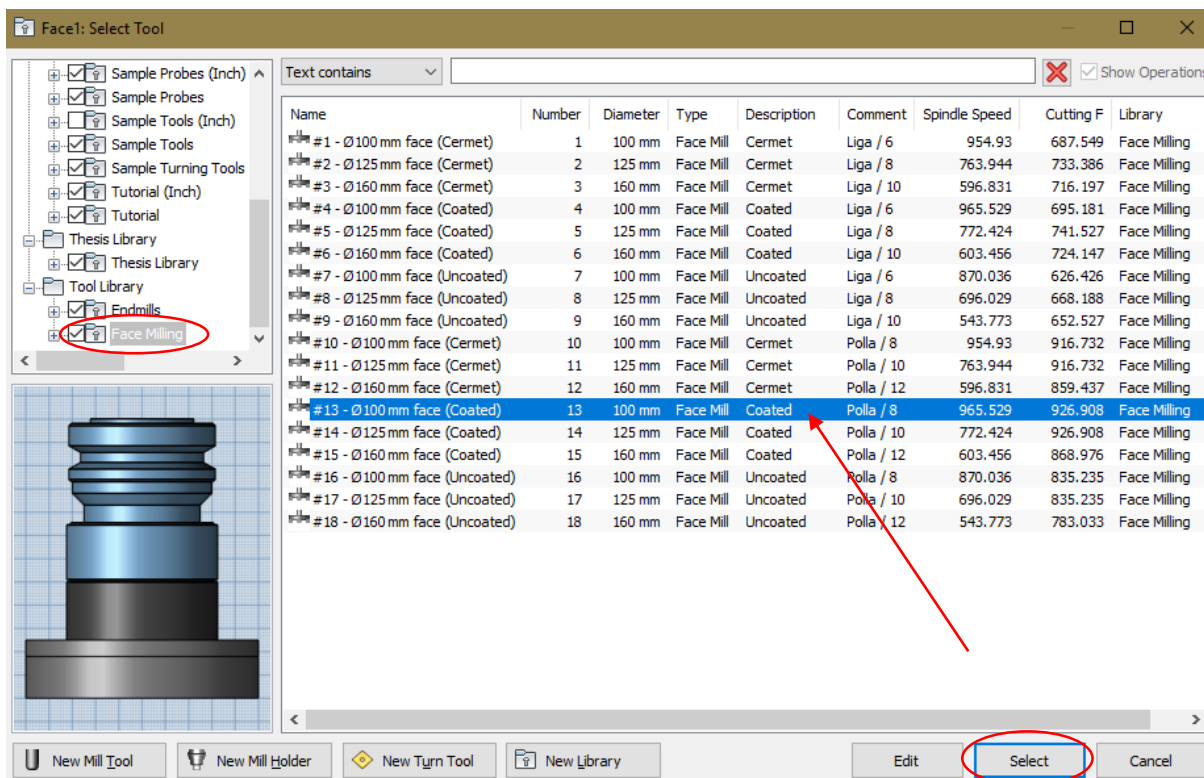
Εικόνα 9.1.1.11 - Επιλογή εντολής Face

Στην καρτέλα CAM του προγράμματος, επιλέγεται η εντολή Face για την επίπεδη κατεργασία της επιφάνειας.



Εικόνα 9.1.1.12 – Επιλογή κοπτικού εργαλείου

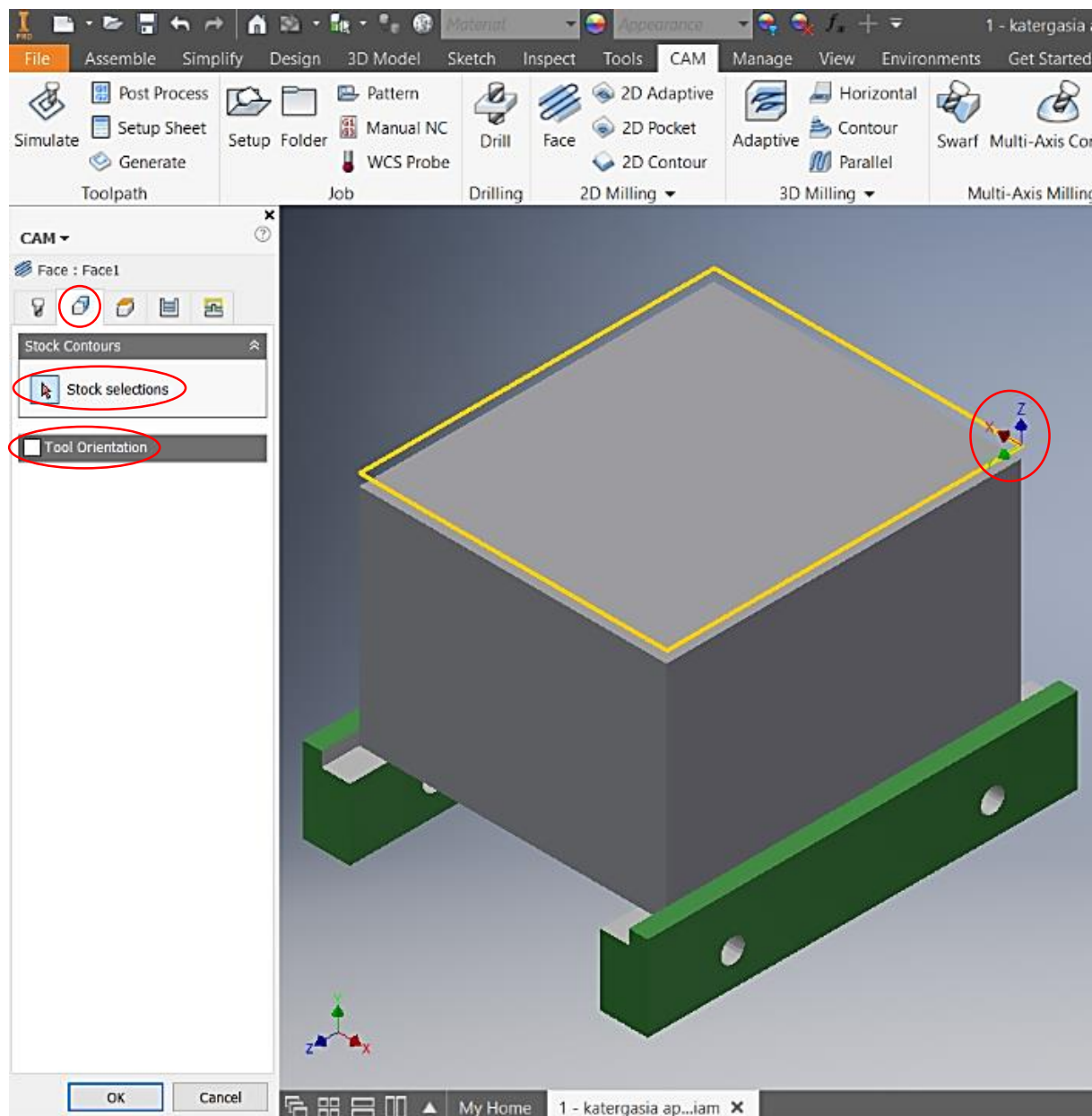
Στην πρώτη καρτέλα του παραθύρου της εντολής Face, επιλέγεται η εντολή Tool για την μετάβαση στην βιβλιοθήκη των κοπτικών εργαλείων.



Εικόνα 9.1.1.13 – Βιβλιοθήκη κοπτικών εργαλείων

Στο αναδυόμενο παράθυρο, επιλέγεται το κοπτικό εργαλείο. Στην συγκεκριμένη φάση κατεργασίας η φρεζοκεφαλή Νο 13.

Σε αυτό το σημείο πρέπει να αναφερθεί ότι έχει προηγηθεί η δημιουργία όλων των κοπτικών εργαλείων για την εκπόνηση της εργασίας.

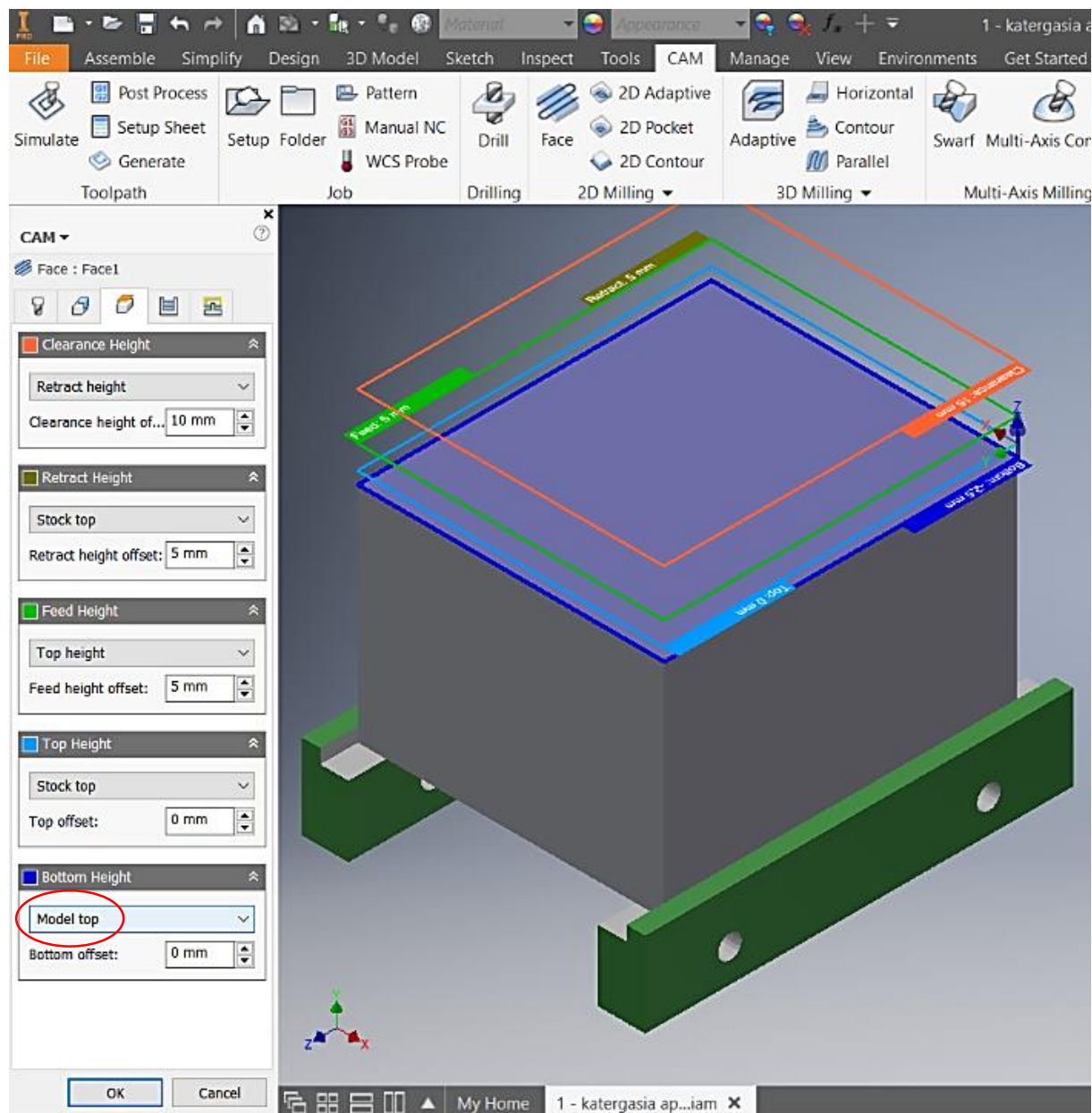


Εικόνα 9.1.1.14 – Ορισμός ορίων κατεργασίας της επιφάνειας

Στην δεύτερη καρτέλα, ορίζονται πρώτα τα όρια της προς κατεργασίας επιφάνειας και έπειτα το σύστημα συντεταγμένων του κοπτικού εργαλείου. Στο συγκεκριμένο πείραμα, λόγω της απλής γεωμετρίας της προς κατεργασίας επιφάνειας, δεν απαιτείται η επιλογή της. Όταν όμως η γεωμετρία γίνεται πιο πολύπλοκη, τότε η επιλογή της επιθυμητής επιφάνειας πραγματοποιείται με την επιλογή της εντολής Stock selections ακολουθούμενη από την επιλογή της επιφάνειας.

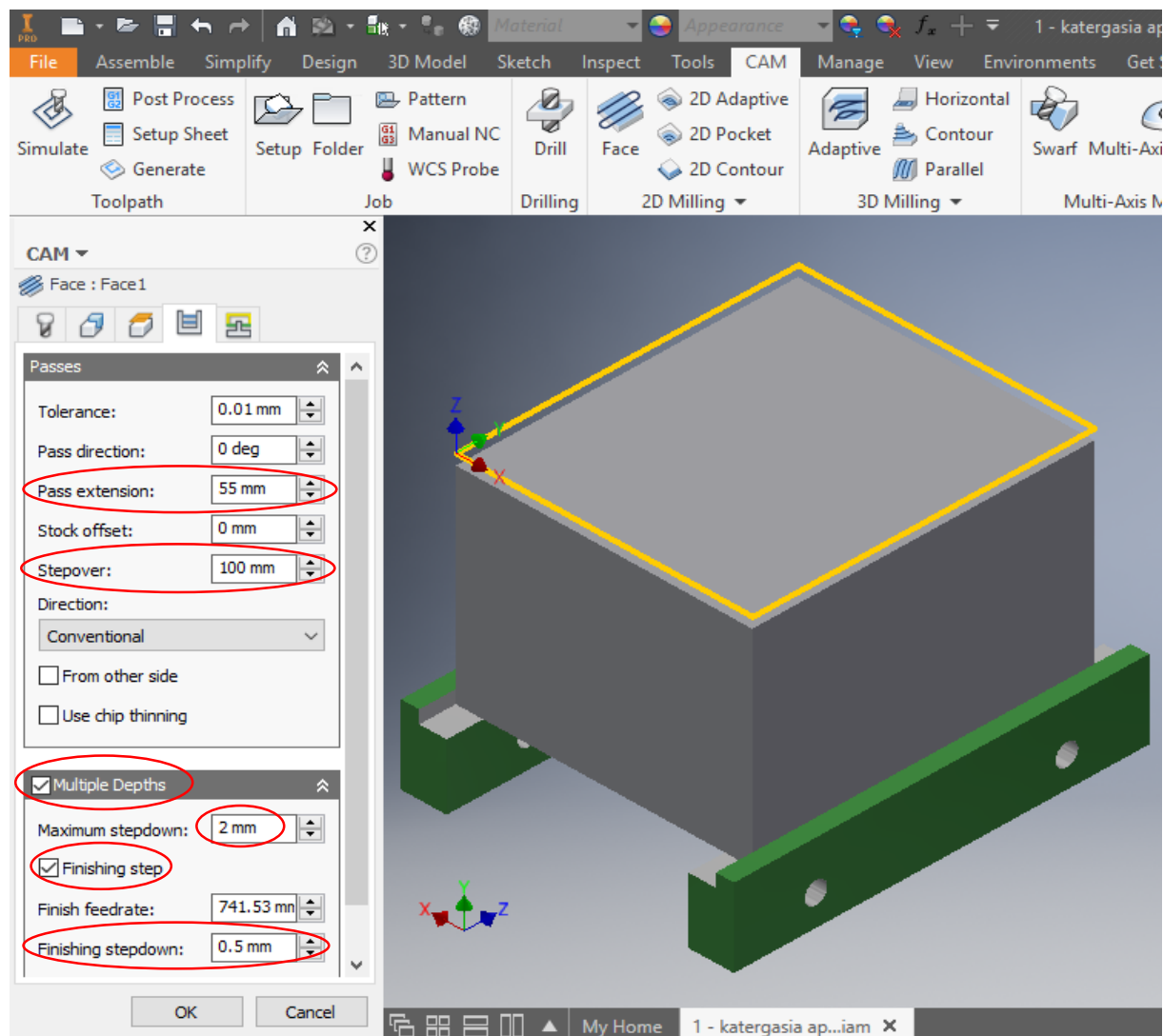
Επίσης, το σύστημα συντεταγμένων του κοπτικού εργαλείου, όπως αυτό προτείνεται από το πρόγραμμα, βρίσκεται στην επιθυμητή θέση και με την κατάλληλη διεύθυνση των αξόνων για την σωστή κατεργασία της επιφάνειας. Δηλαδή, ο άξονας Z (κατακόρυφη κίνηση κοπτικού εργαλείου) έχει κάθετη στην επιφάνεια διεύθυνση ώστε να μπορεί να οριστεί το βάθος κοπής. Σε περίπτωση που το προτεινόμενο σύστημα συντεταγμένων δεν είναι το επιθυμητό, επιλέγοντας την εντολή Tool Orientation, ορίζεται νέο σύστημα συντεταγμένων για το κοπτικό εργαλείο ακολουθώντας τα ίδια βήματα που εφαρμόζονται στην εντολή Setup.





Εικόνα 9.1.1.15 – Ορισμός επιπέδων κοπτικού εργαλείου

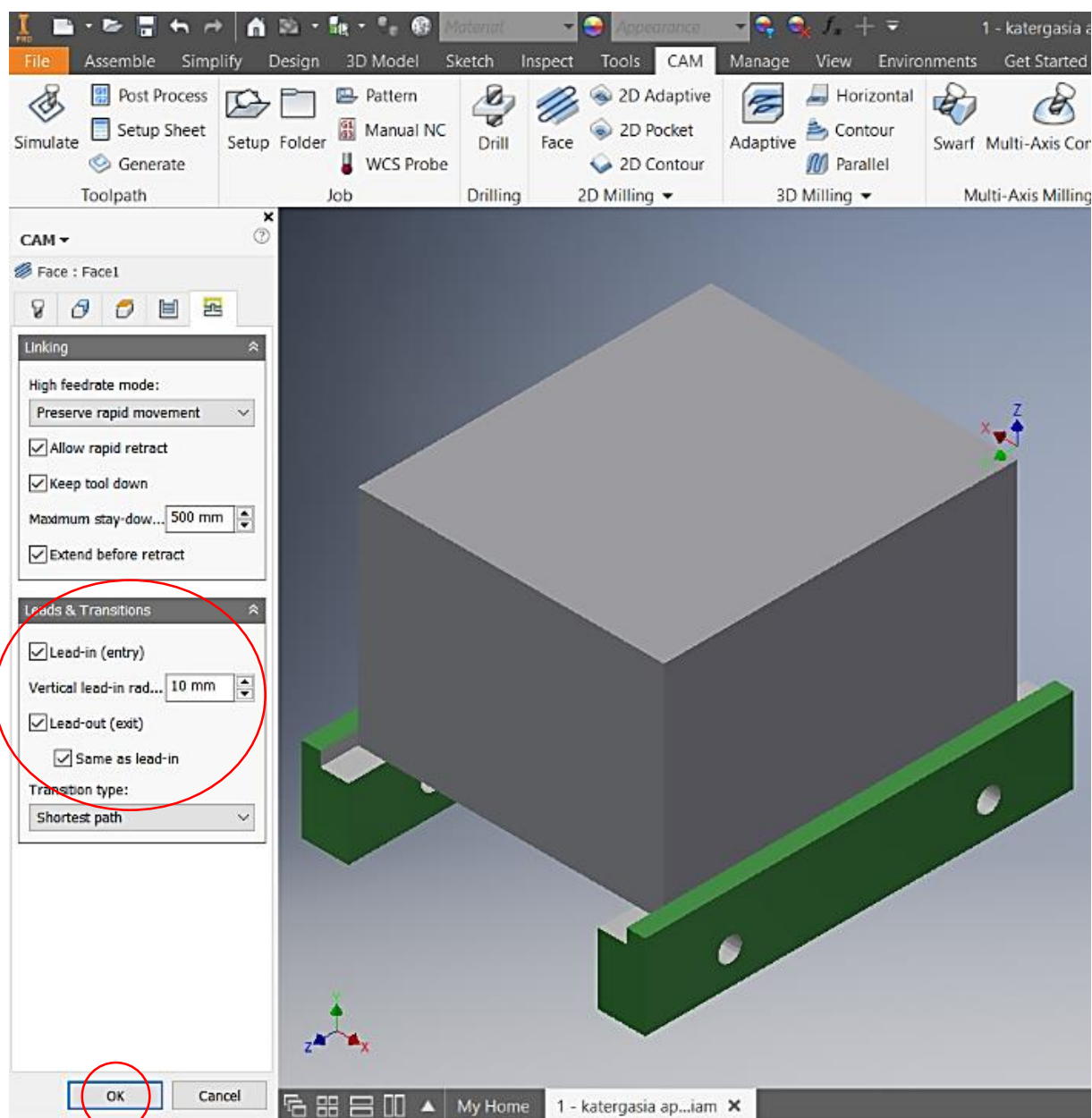
Στην τρίτη καρτέλα, καθορίζονται τα ύψη συναρτήσεως των συνθηκών κατεργασίας του κοπτικού εργαλείου. Στην προκειμένη περίπτωση, ορίζεται το ύψος του κατώτερου επιπέδου στο οποίο θα φτάσει το κοπτικό εργαλείο κατά την κατακόρυφη κίνησή του. Αυτό επιτυγχάνεται με την επιλογή της εντολής Model top ακολουθούμενη από την επιλογή της επιφάνειας.



Εικόνα 9.1.1.16 – Επεξεργασία πάσων

Στην τέταρτη καρτέλα, ορίζονται οι συνθήκες κατεργασίας για κάθε πάσσο. Αρχικά, ορίζεται το Pass extension, δηλαδή κατά πόσο θα εκτείνεται το κέντρο του κοπτικού εργαλείου από την ακμή της προς κατεργασίας επιφάνειας. Σε αυτό το πείραμα, η τιμή του είναι 55 mm, διότι χρησιμοποιείται μια φρεζοκεφαλή διαμέτρου 100 mm. Έπειτα, καθορίζεται το Stepover, δηλαδή κατά πόσο θα μετατοπίζεται στον οριζόντιο άξονα το κέντρο του κοπτικού εργαλείου ανάμεσα στα πάσσα. Στην συγκεκριμένη περίπτωση, επειδή η κατεργασία της επιφάνειας γίνεται με ένα πέρασμα, η τιμή του Stepover δεν επηρεάζει την πορεία του κοπτικού εργαλείου.

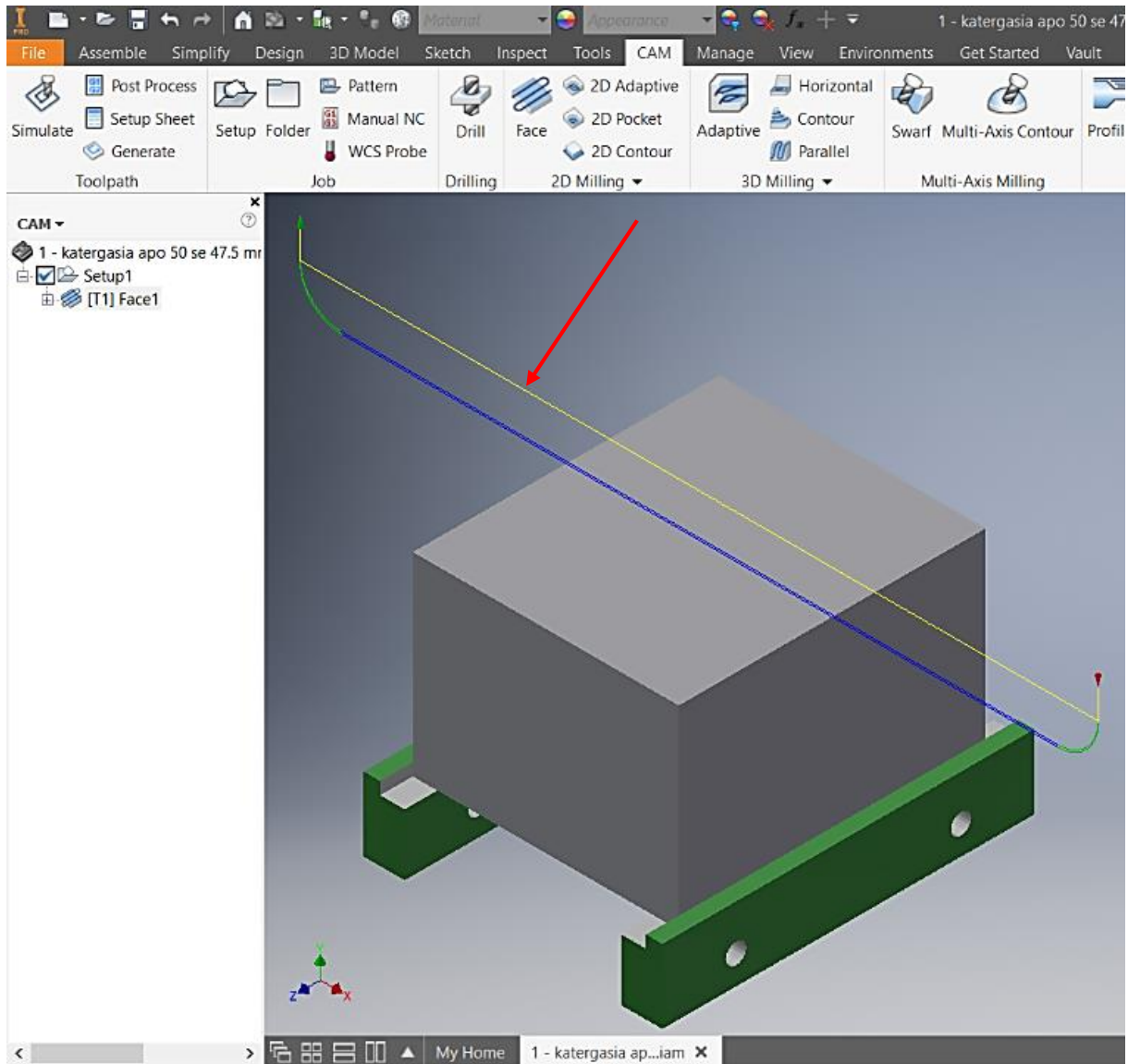
Κατόπιν, επιλέγεται η ενότητα Multiple Depths, με την οποία καθορίζεται πόσα πάσσα θα πραγματοποιηθούν για την πλήρη κατεργασία της επιφάνειας. Για να είναι σωστή η κατεργασία από άποψη ποιότητας της επιφάνειας, θα πρέπει να πραγματοποιηθούν τουλάχιστον δύο πάσσα, ένα ξεχονδρίσματος και ένα φινιρίσματος. Ο αριθμός των πάσων προκύπτει από το ολικό βάθος της προς κατεργασίας επιφάνειας και από το μέγιστο βάθος κοπής που διαθέτει το κοπτικό εργαλείο. Σε αυτή τη φάση κατεργασίας το ολικό βάθος της επιφάνειας είναι 2,5 mm και το μέγιστο βάθος κοπής του κοπτικού εργαλείου είναι 2 mm. Επομένως, η εντολή Maximum stepdown έχει τιμή 2 mm (πάσσο Ξεχονδρίσματος). Παράλληλα επιλέγεται και η εντολή Finishing step, ώστε να πραγματοποιηθεί και το πάσσο του φινιρίσματος με τιμή στο Finishing stepdown 0,5 mm.



Εικόνα 9.1.1.17 – Ολοκλήρωση εντολής Face

Στην πέμπτη και τελευταία καρτέλα, ορίζονται ποσοτικά κάποιες από τις κινήσεις του κοπτικού εργαλείου. Στην ενότητα Leads & Transitions επιλέγονται οι εντολές Lead-in (entry) και Lead-out (exit), με σκοπό τον προγραμματισμό της εισόδου και της εξόδου του κοπτικού εργαλείου με συγκεκριμένο τρόπο. Έτσι, εισάγεται η τιμή 10 mm στην εντολή Vertical lead-in radius, ώστε η εισαγωγή του κοπτικού να γίνεται πιο ομαλά, διαγράφοντας το κέντρο του κοπτικού μία ακτίνα των 10 mm. Για την εξαγωγή του κοπτικού εργαλείου από το δοκίμιο με τον ίδιο τρόπο, αρκεί να επιλεγθεί η εντολή Same as lead-in.

Τέλος, πατώντας το κουμπί OK ολοκληρώνεται η διαδικασία επιλογής του κοπτικού εργαλείου και ο ορισμός των συνθηκών κατεργασίας.



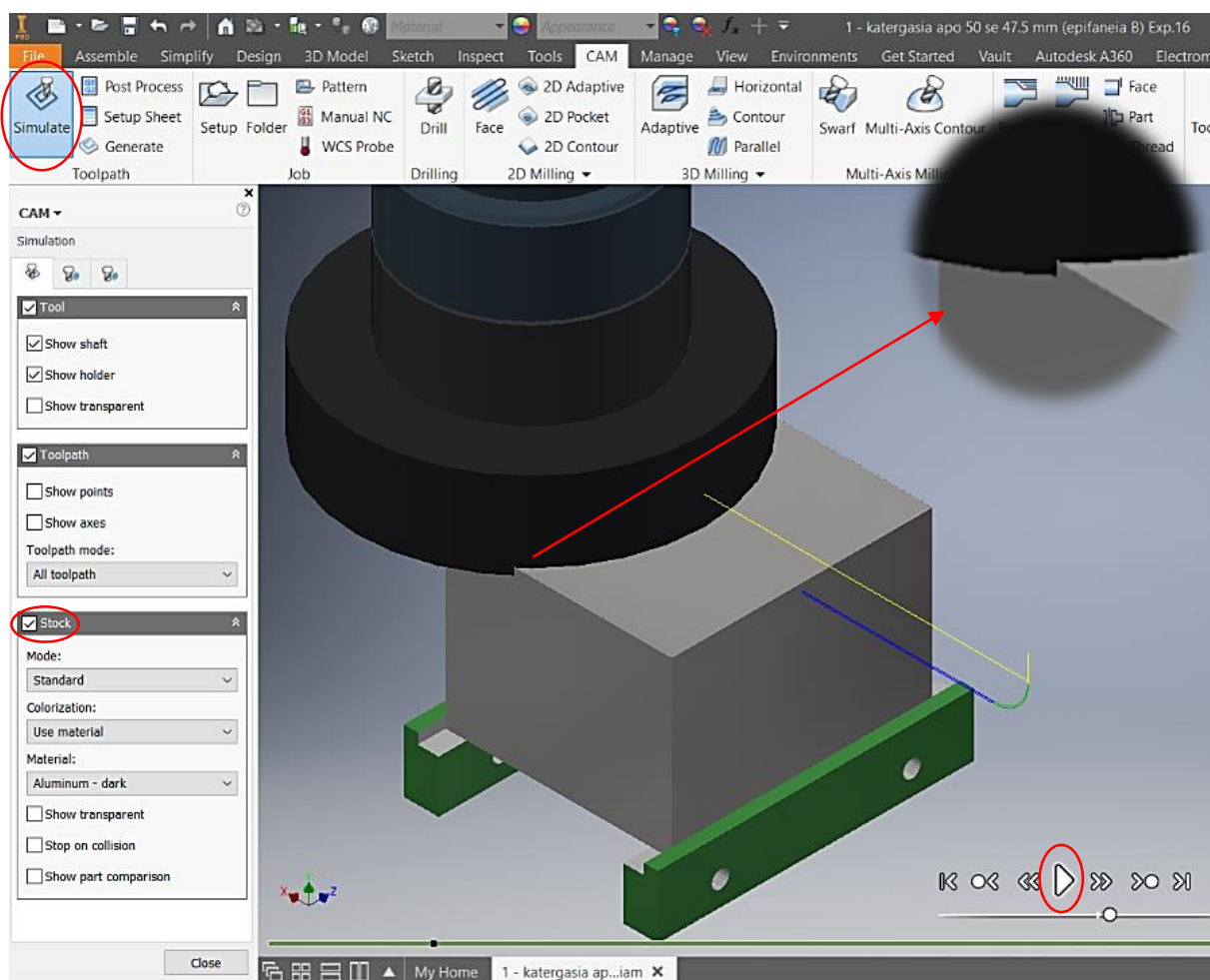
Εικόνα 9.1.1.18 – Πορεία κοπτικού εργαλείου

Αυτόματα, μόλις πατηθεί το κουμπί OK όπως προαναφέρθηκε, παράγεται η πορεία του κοπτικού εργαλείου, όπως φαίνεται στην παραπάνω εικόνα (Εικόνα 9.1.1.18 – Πορεία κοπτικού εργαλείου)



### 3. Προσομοίωση

### Κατεργασίας

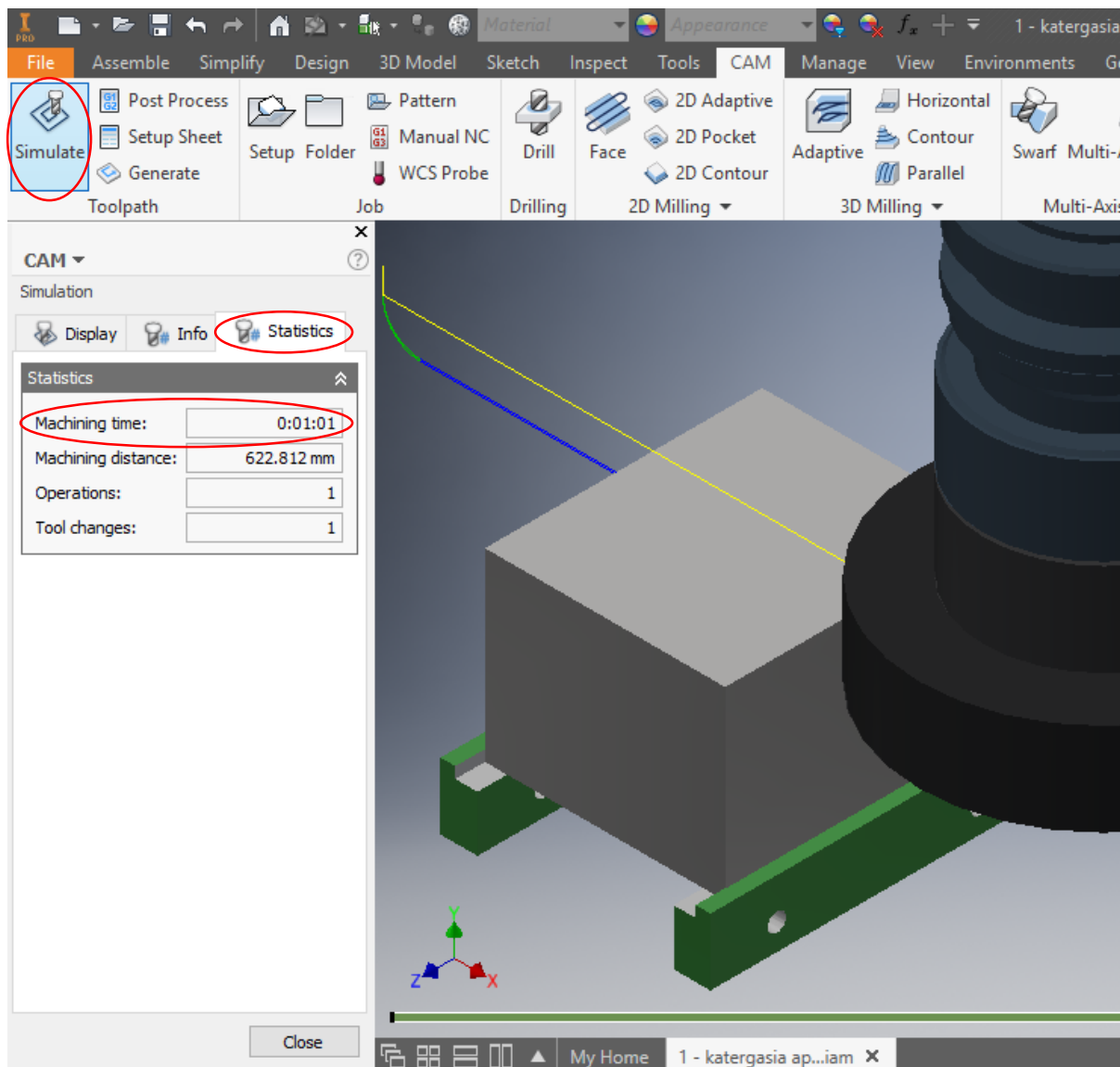


Εικόνα 9.1.1.19 – Προσομοίωση κατεργασίας

Στην καρτέλα CAM του προγράμματος, επιλέγεται η εντολή Simulate στο πάνω αριστερό τμήμα της οθόνης. Στην πρώτη καρτέλα της εντολής, ενεργοποιείται ο αρχικός όγκος (Stock), ώστε να γίνει αντιληπτή η αφαίρεση του επιθυμητού όγκου.

Έπειτα, με το πλήκτρο Play, ξεκινάει η προσομοίωση της πορείας του κοπτικού εργαλείου.

#### 4. Χρόνος κατεργασίας



Εικόνα 9.1.1.20 – Χρόνος κατεργασίας

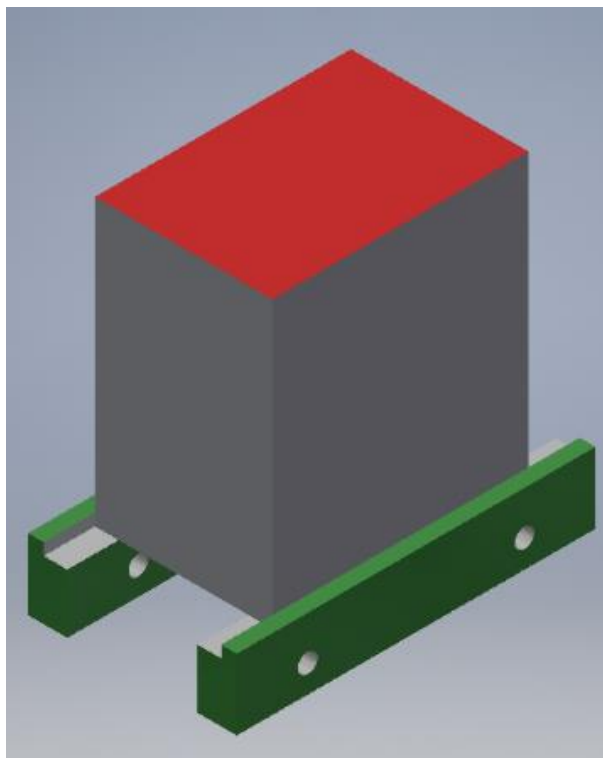
Κατόπιν, στην τρίτη καρτέλα (Statistics) της εντολής Simulate (πάνω αριστερά στην οθόνη), εμφανίζονται κάποια στοιχεία που απορρέουν από την κατεργασία. Ένα από αυτά είναι και ο χρόνος κατεργασίας, ο οποίος είναι 0:01:01 min.

Σημείωση: Με τα ίδια ακριβώς βήματα πραγματοποιείται η κατεργασία της επιφάνειας E, η οποία είναι «απέναντι» από την επιφάνεια B που μόλις κατεργάστηκε, με χρόνο κατεργασίας 0:01:01 min.

### 9.1.2 Κατεργασία των πλευρών Γ & Ζ.

Σε αυτό το στάδιο πραγματοποιείται η κατεργασία των πλευρών Γ και Ζ, ακολουθώντας τα ίδια βήματα και τις ίδιες συνθήκες κατεργασίας με την κατεργασία των πλευρών Β και Ε που αναφέρθηκαν παραπάνω.

Ο χρόνος κατεργασίας για κάθε πλευρά είναι 0:00:57 min.

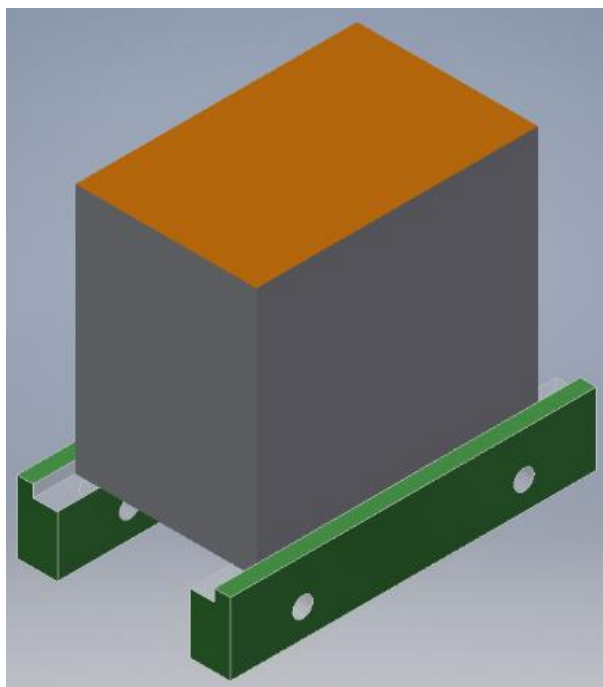


Εικόνα 9.1.2.1 – Επιφάνειες Γ & Ζ

### 9.1.3 Κατεργασία των πλευρών Α & Δ.

Σε αυτό το στάδιο πραγματοποιείται η κατεργασία των πλευρών Α και Δ, ακολουθώντας τα ίδια βήματα και τις ίδιες συνθήκες κατεργασίας με την κατεργασία των πλευρών Β και Ε που αναφέρθηκαν παραπάνω.

Ο χρόνος κατεργασίας για κάθε πλευρά είναι 0:00:57 min.

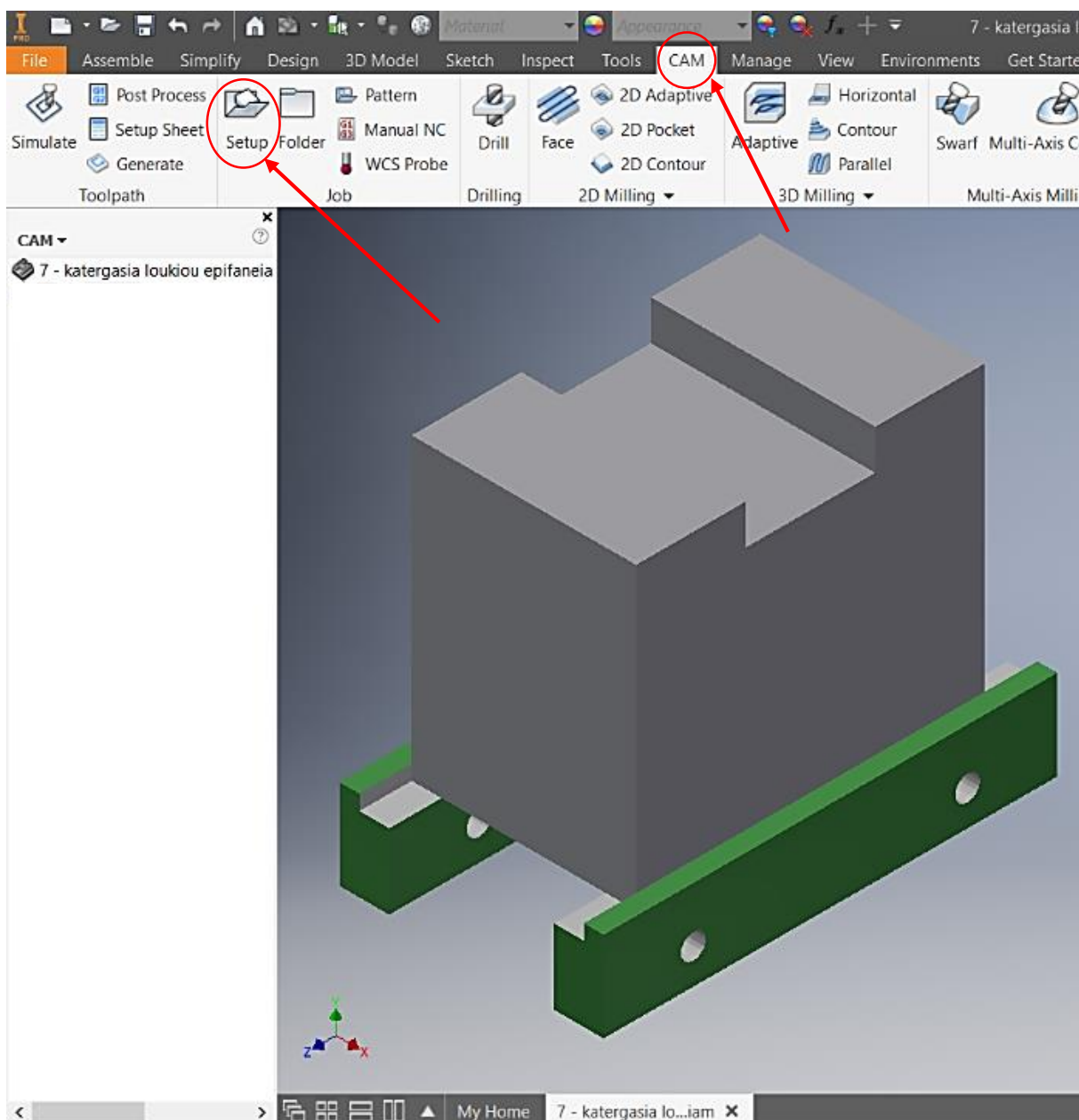


Εικόνα 9.1.3.1 – Επιφάνειες Α & Δ

## 9.2 ΦΑΣΗ ΚΑΤΕΡΓΑΣΙΑΣ - 2

Σκοπός	Διαμόρφωση αυλάκωσης διαστάσεων 26 mm x 8 mm στην επιφάνεια Δ.	
Τρόπος συγκράτησης	Μέγγενη με κοινά μάγουλα	
Κοπτικό εργαλείο	Κονδύλι Ø14 mm	
Συνθήκες κατεργασίας	n= 2273,64 rpm	f= 0,09 mm/tooth
	a= 7 mm	V <sub>c</sub> = 100 m/min

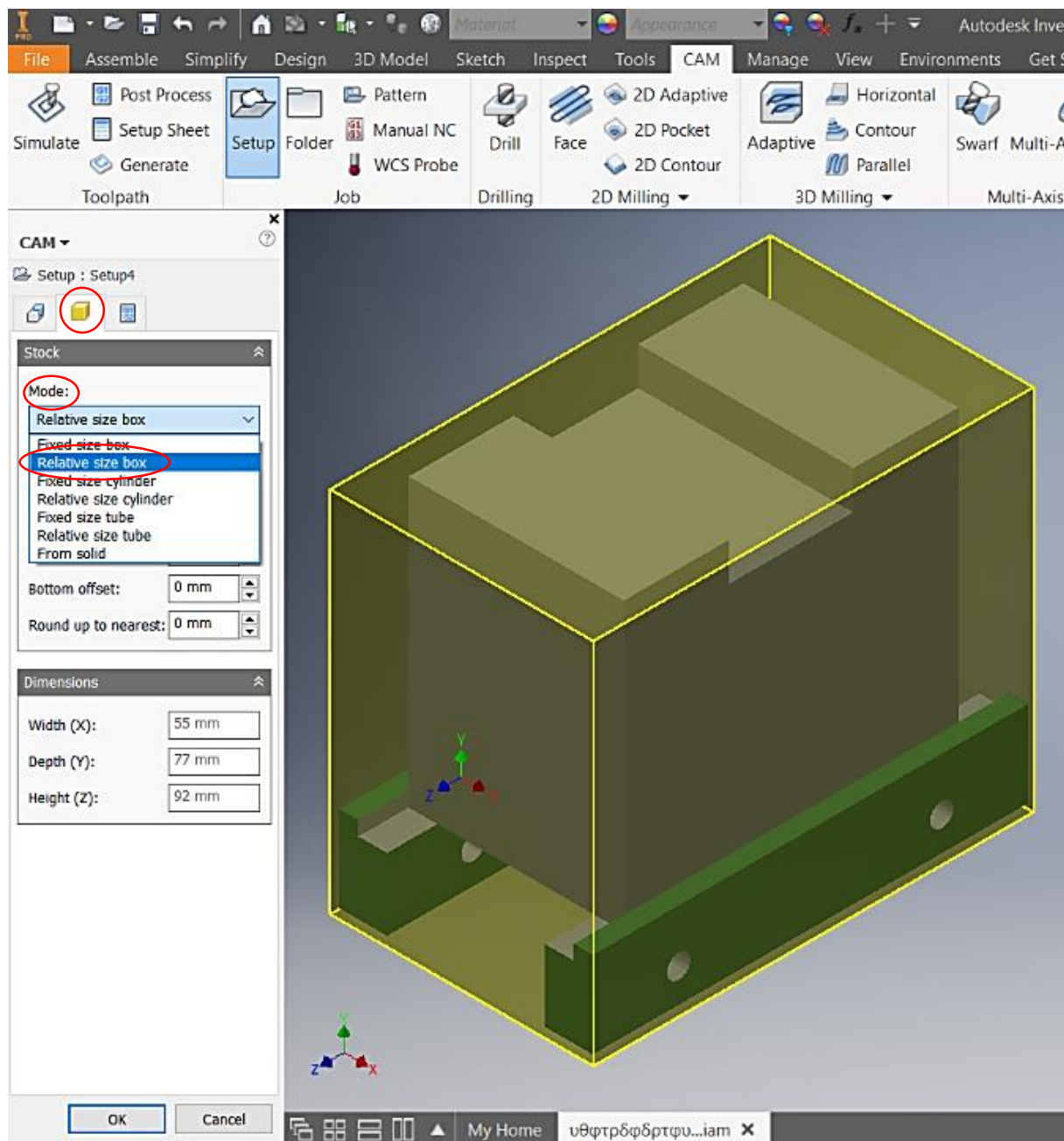
### 1. Ορισμός αρχικού όγκου και συστήματος συντεταγμένων.



Εικόνα 9.2.1 – Γραφικό περιβάλλον προγράμματος

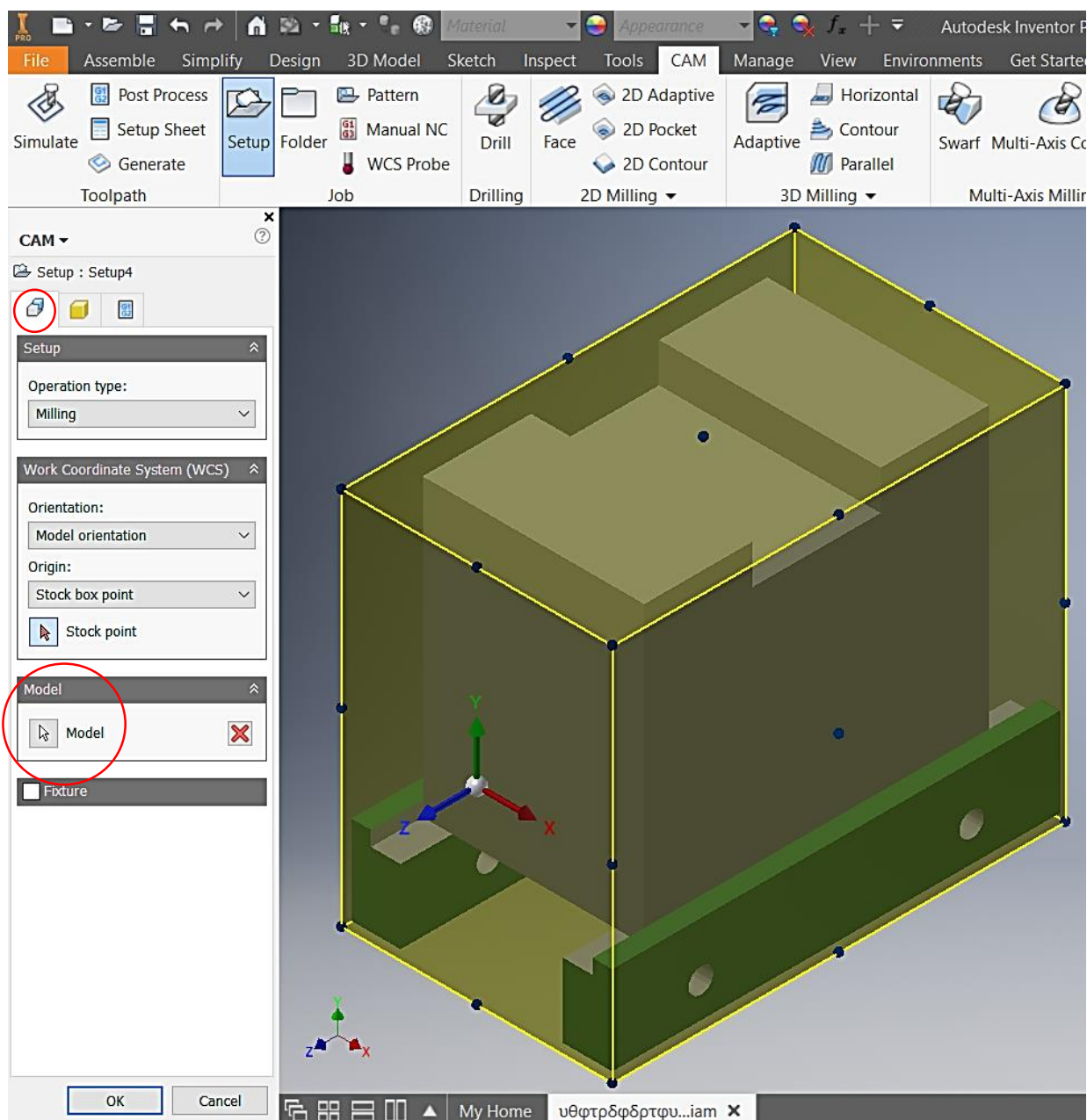


Παραπάνω απεικονίζεται το γραφικό περιβάλλον του προγράμματος κατά το άνοιγμα του αρχείου του δοκιμίου. Αρχικά γίνεται μετάβαση στην καρτέλα CAM και για τον ορισμό του αρχικού όγκου και του συστήματος συντεταγμένων επιλέγεται η εντολή Setup.



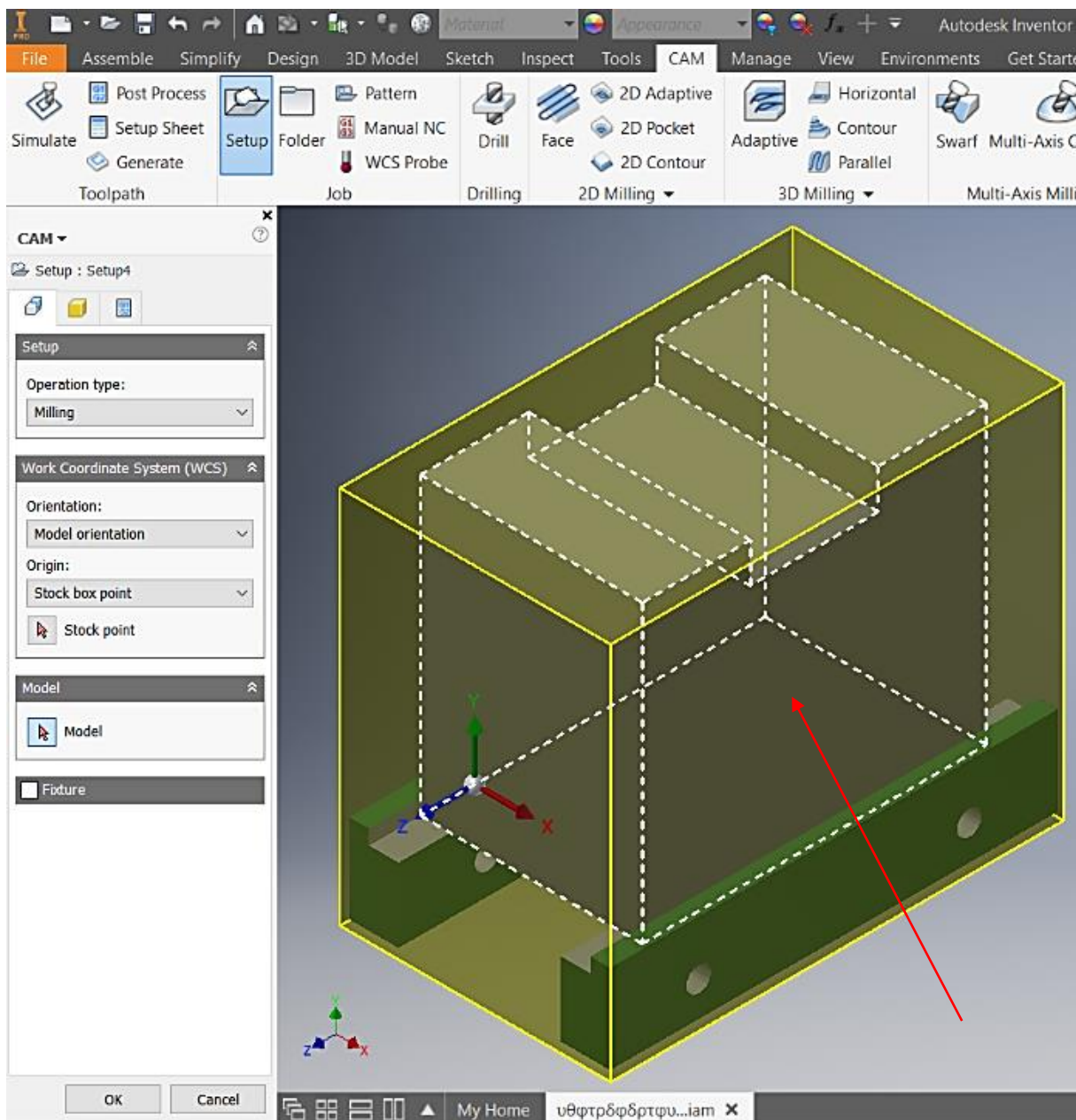
Εικόνα 9.2.2 – Stock Mode

Στη δεύτερη καρτέλα του παραθύρου του Setup, στο Mode, γίνεται επιλογή του Relative size box ώστε να μπορούν να δοθούν διαστάσεις σε κάθε πλευρά του όγκου ξεχωριστά

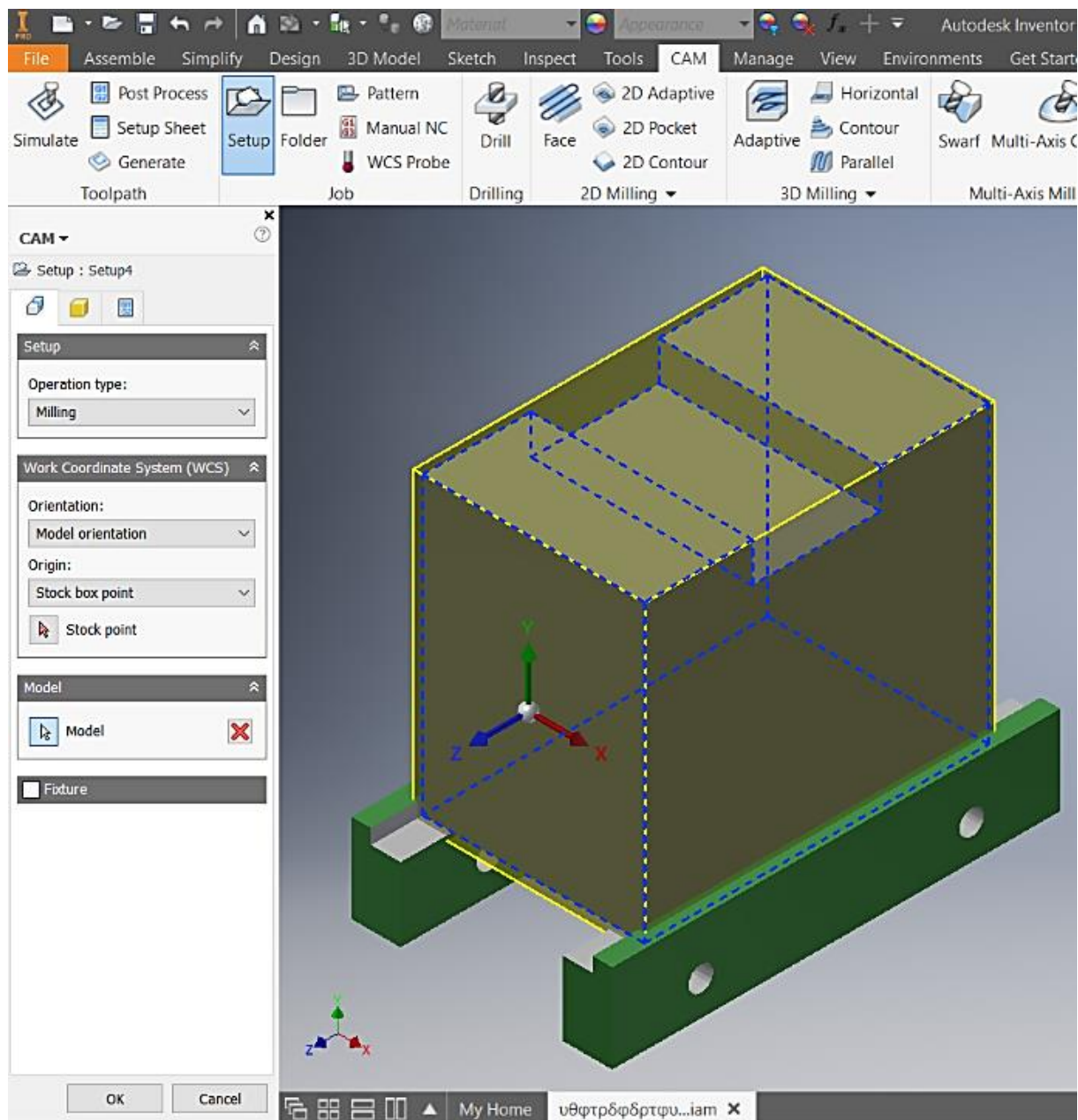


Εικόνα 9.2.3 – Ορισμός δοκιμίου ως αρχικός όγκος

Επιστρέφοντας στην πρώτη καρτέλα του παραθύρου του Setup, επιλέγεται η εντολή Model, με σκοπό τον ορισμό μόνο του δοκιμίου ως αρχικό όγκο και όχι μαζί με τα μάγουλα της μέγγενης.

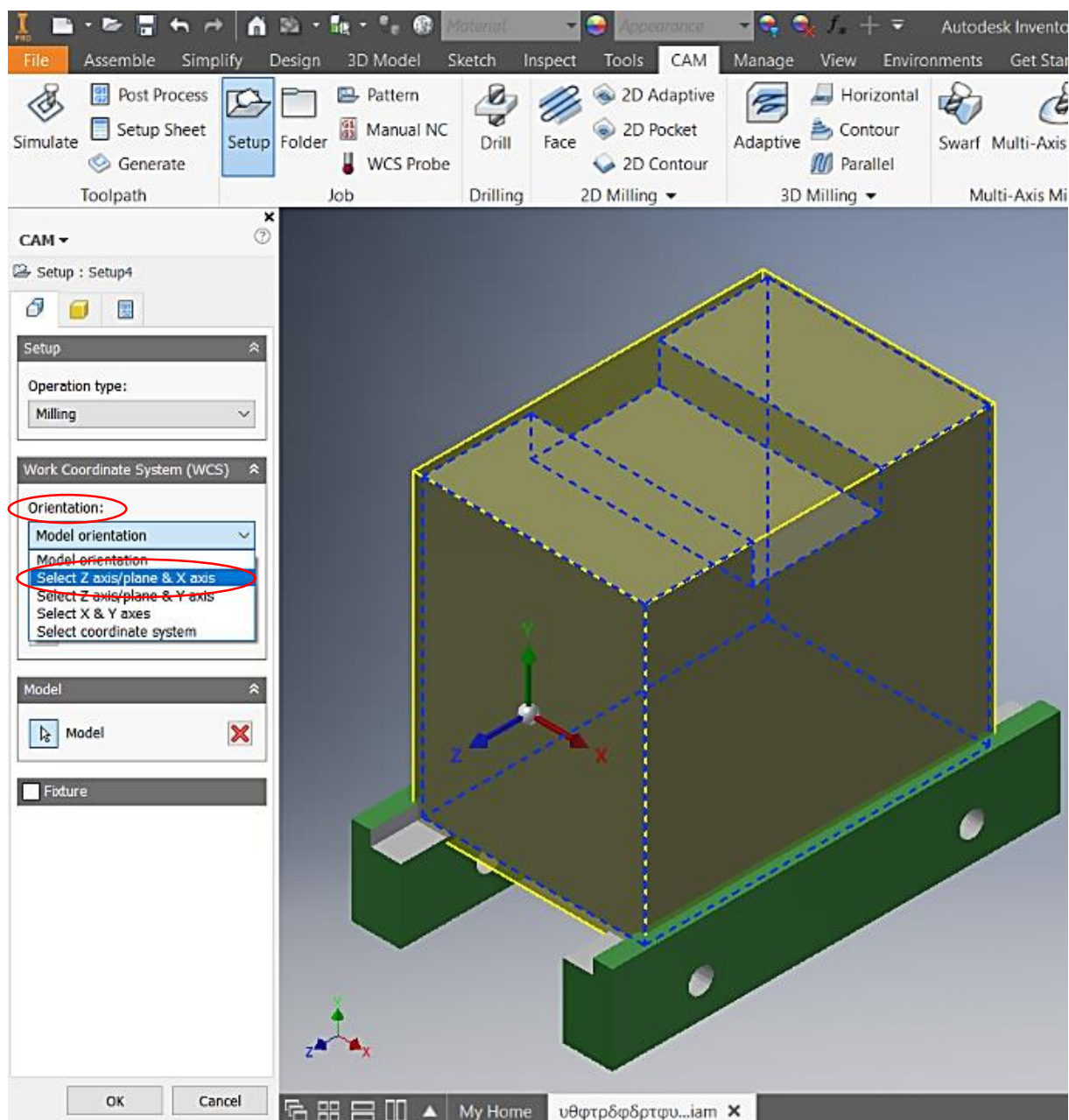


Εικόνα 9.2.4 – Επιλογή δοκιμίου



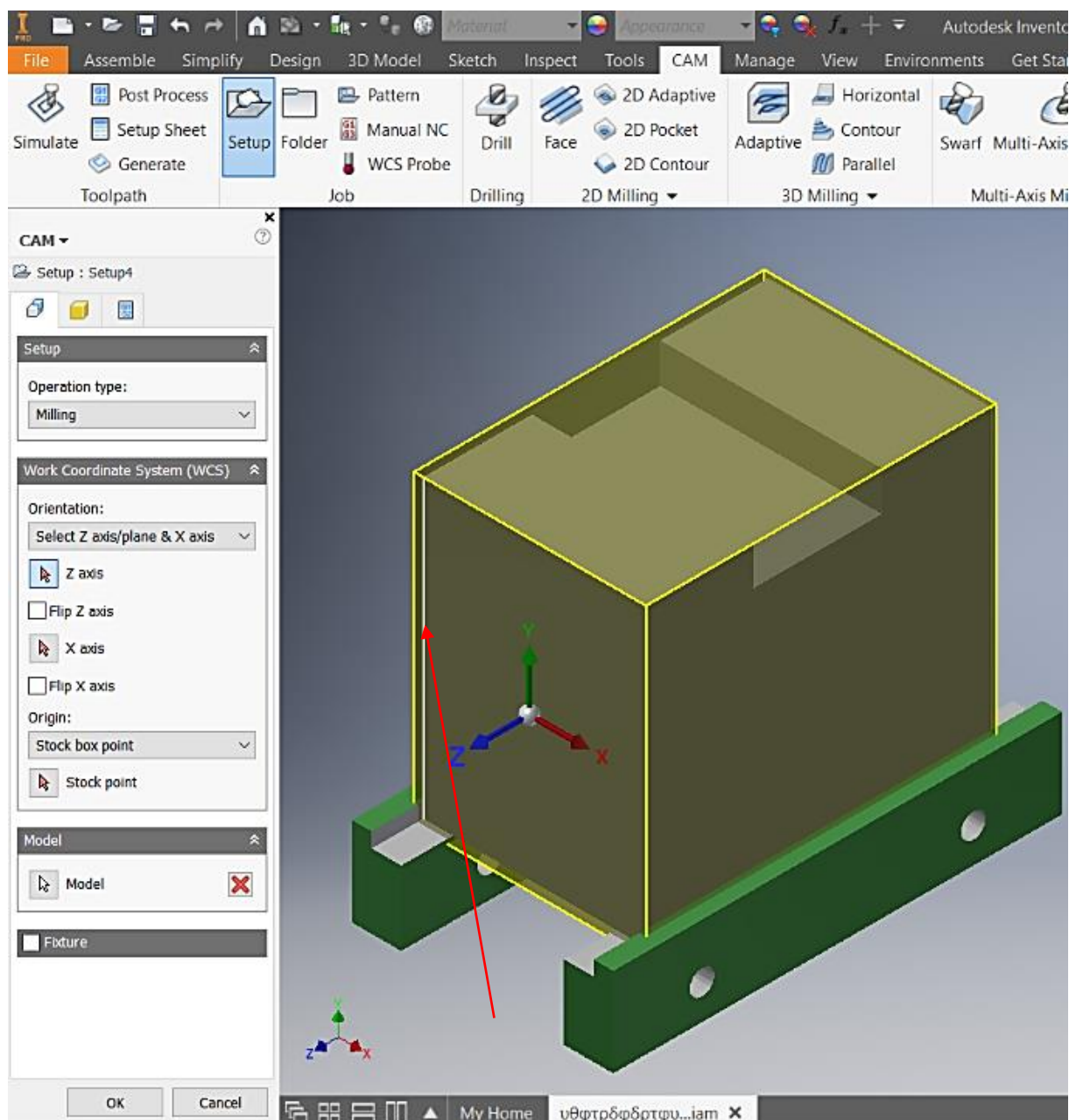
Εικόνα 9.2.5 – Ορισμός συστήματος συντεταγμένων





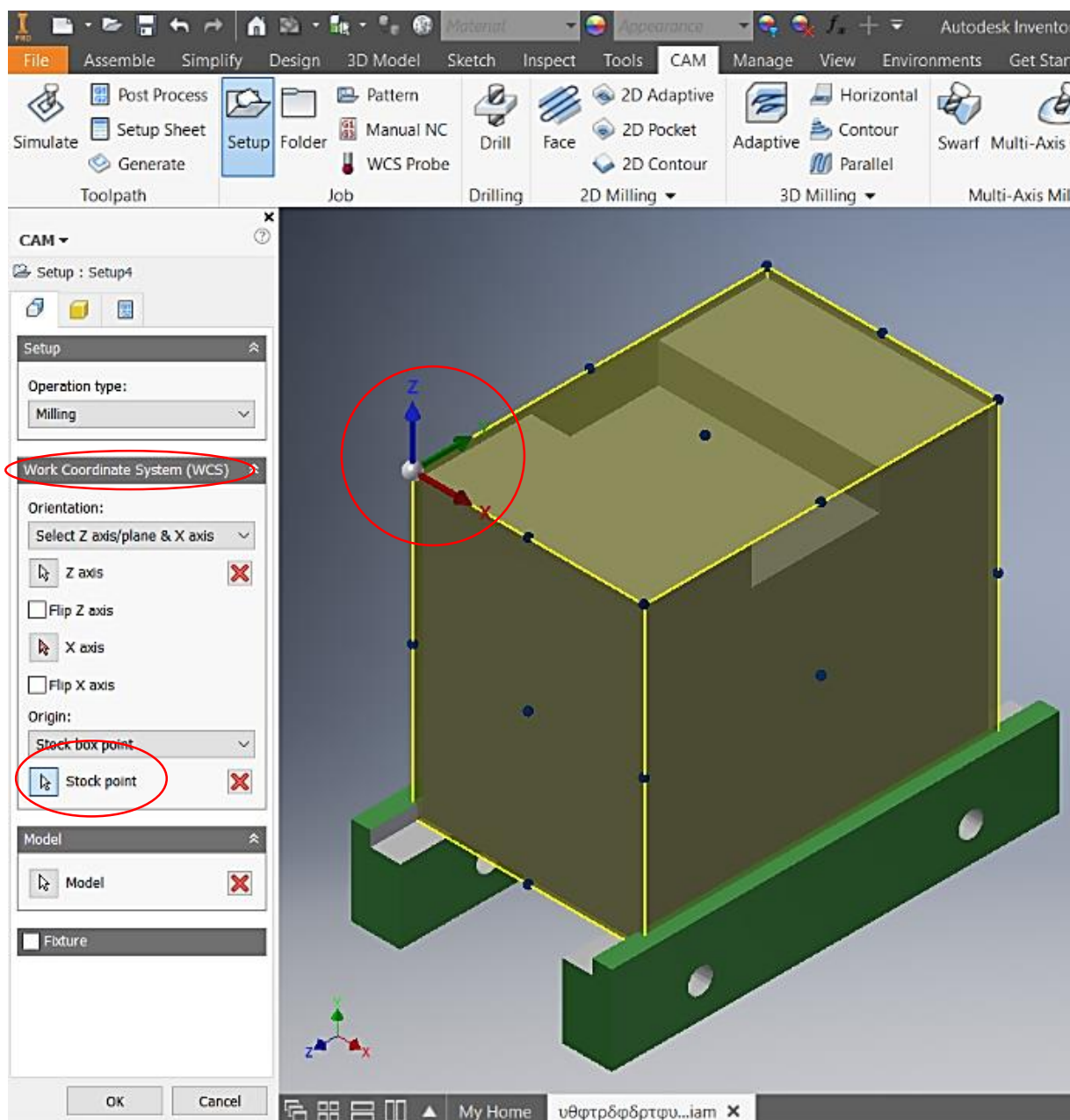
Εικόνα 9.2.6 – Ενότητα Orientation

Στην ενότητα Orientation, επιλέγεται η εντολή Select Z axis/plane & X axis ώστε να οριστεί η κατεύθυνση του άξονα Z, ο οποίος καθορίζει την κίνηση του κοπτικού εργαλείου και επομένως το βάθος κοπής.



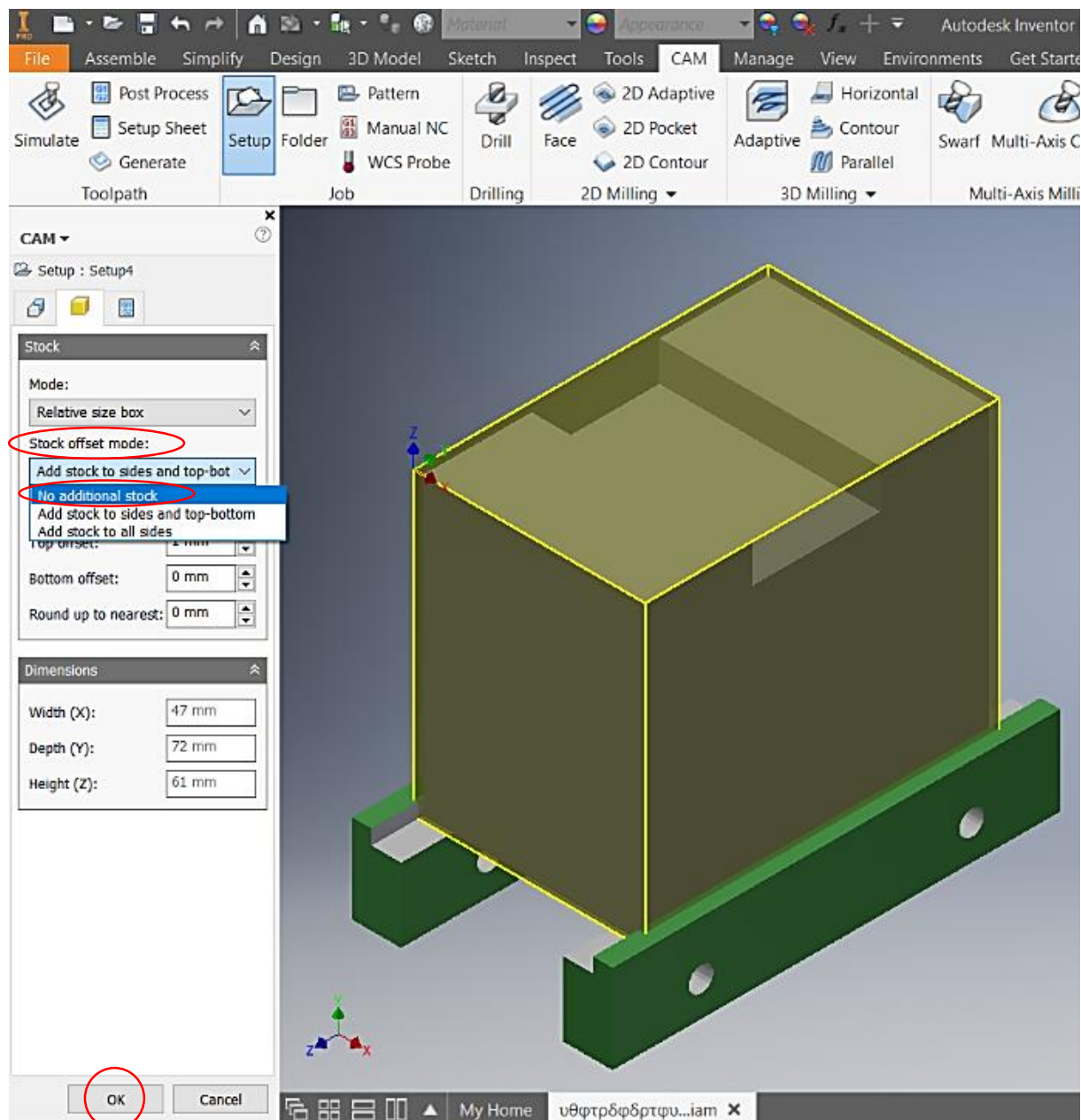
Εικόνα 9.2.7 – Κατεύθυνση άξονα Z

Επιλέγεται μια οποιαδήποτε ακμή η οποία θα ορίσει την κατεύθυνση του άξονα Z. Σε περίπτωση που ο άξονας Z δεν έχει την επιθυμητή φορά, τότε επιλέγοντας την άκρη του βέλους του άξονα αλλάζει η φορά του.



Εικόνα 9.2.8 – Εντολή Stock Point

Στην ενότητα Work Coordinate System (WCS), γίνεται επιλογή της εντολής Stock Point. Μόλις εμφανιστούν τα διαθέσιμα σημεία όπως φαίνεται στην παραπάνω εικόνα (Εικόνα 9.2.8 – Εντολή Stock point), ορίζεται σε ένα από αυτά το σύστημα συντεταγμένων.



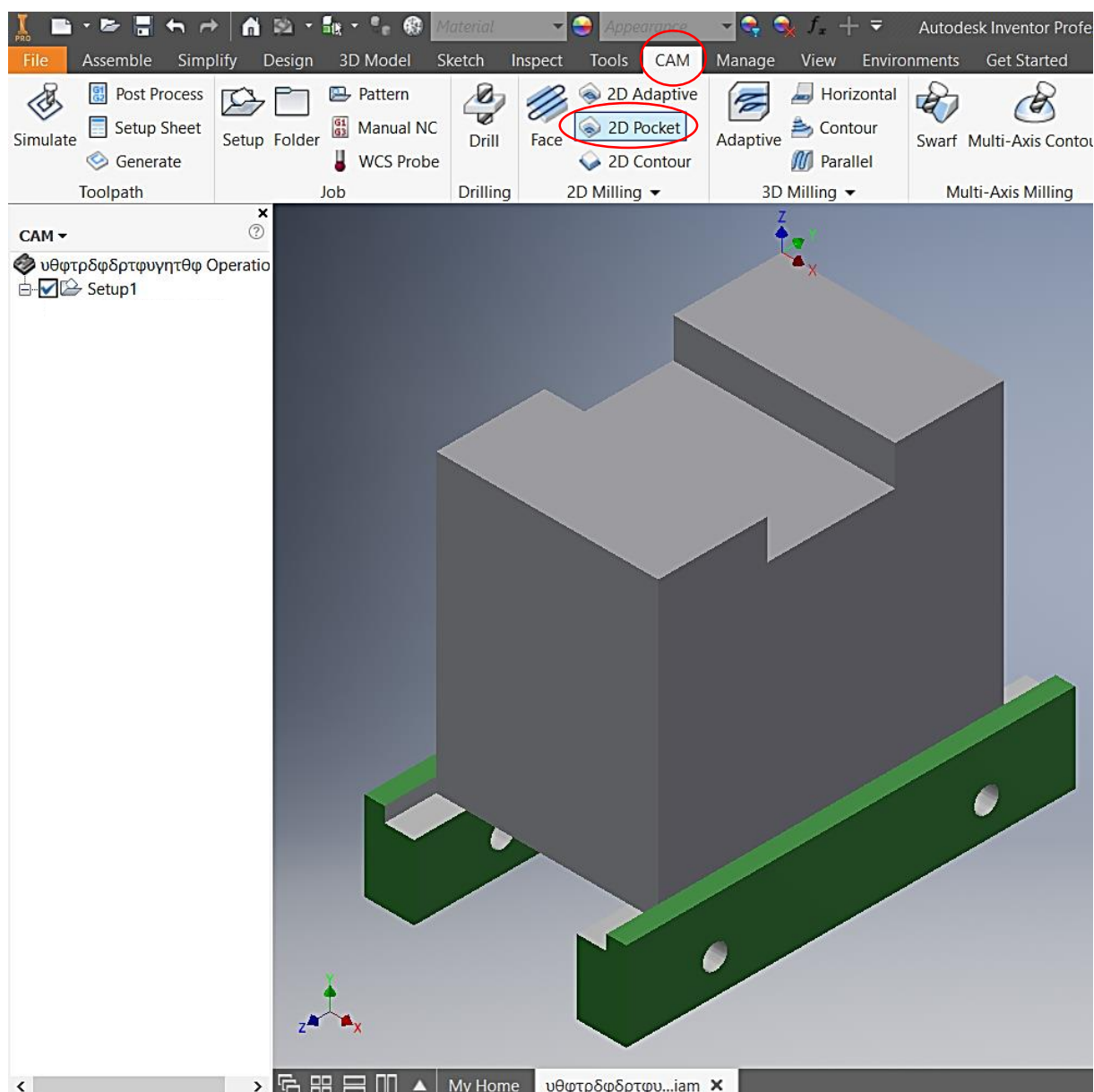
Εικόνα 9.2.9 – Ολοκλήρωση ορισμού αρχικού όγκου

Μεταβαίνοντας πάλι στην δεύτερη καρτέλα του παραθύρου του Setup, στην ενότητα Stock offset mode, επιλέγεται το No additional stock για να μην προστεθεί υλικό.

Τέλος, πατώντας το κουμπί OK ολοκληρώνεται η διαδικασία του ορισμού του αρχικού όγκου και του συστήματος συντεταγμένων.

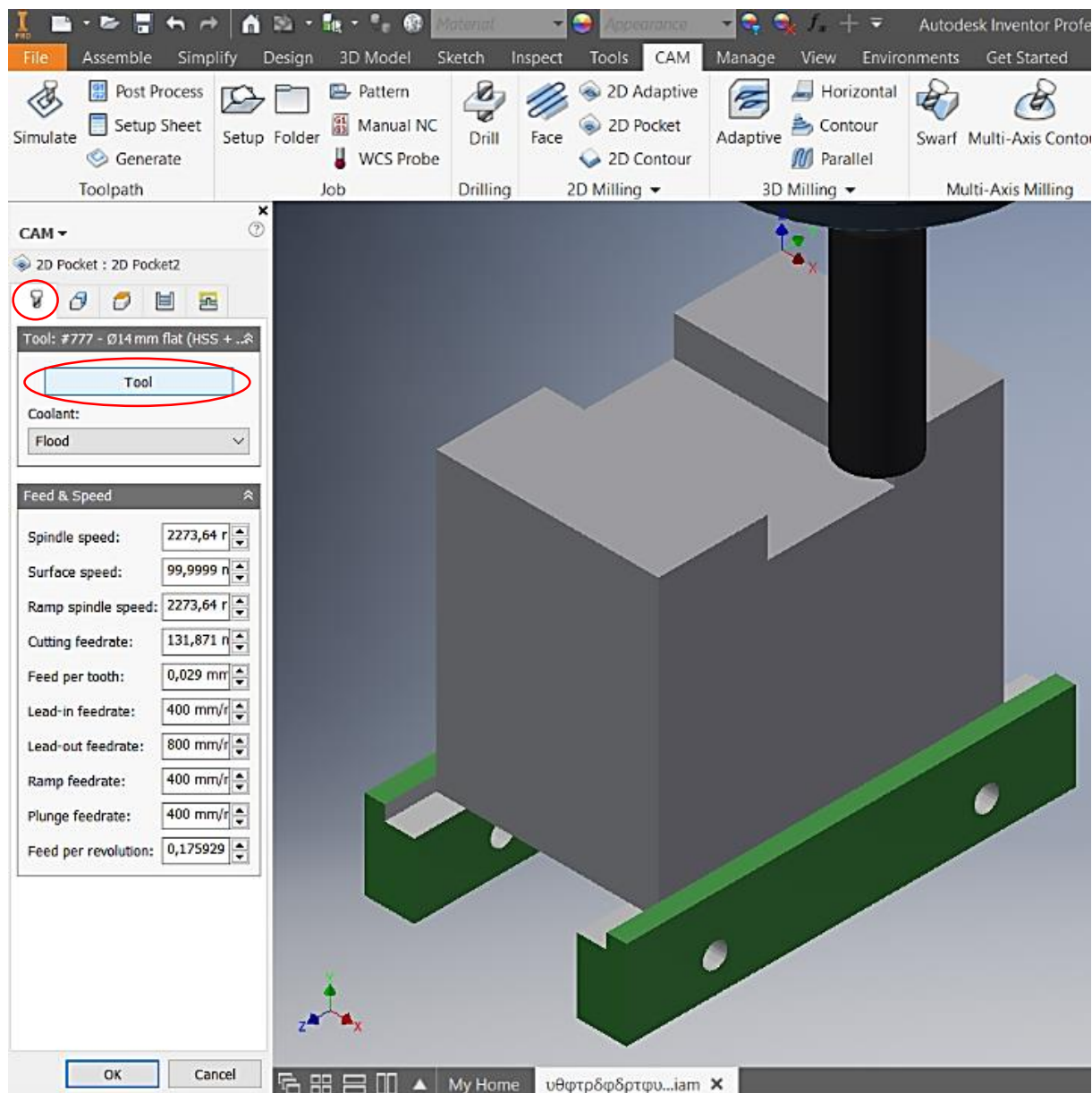


## 2. Επιλογή κοπτικού εργαλείου και παραγωγή της πορείας του.



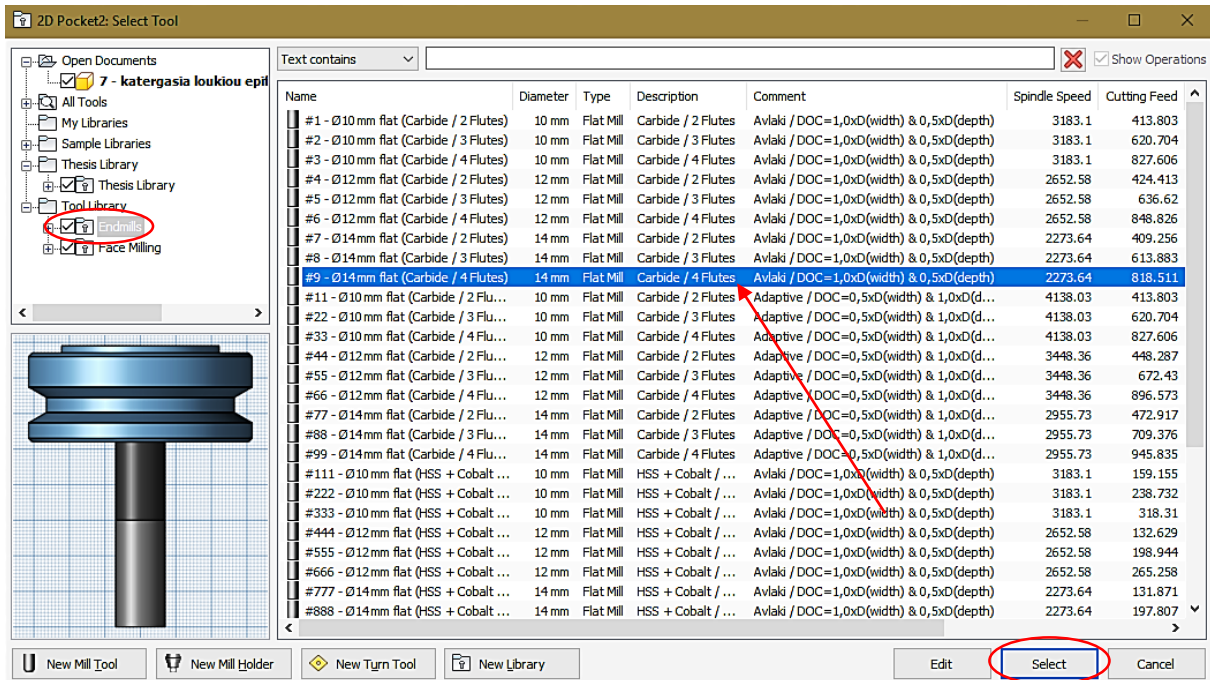
Εικόνα 9.2.10 – Επιλογή εντολής 2D Pocket

Στην καρτέλα CAM του προγράμματος, επιλέγεται η εντολή 2D Pocket για τη διάνοιξη της αυλάκωσης.



Εικόνα 9.2.11 – Επιλογή κοπτικού εργαλείου

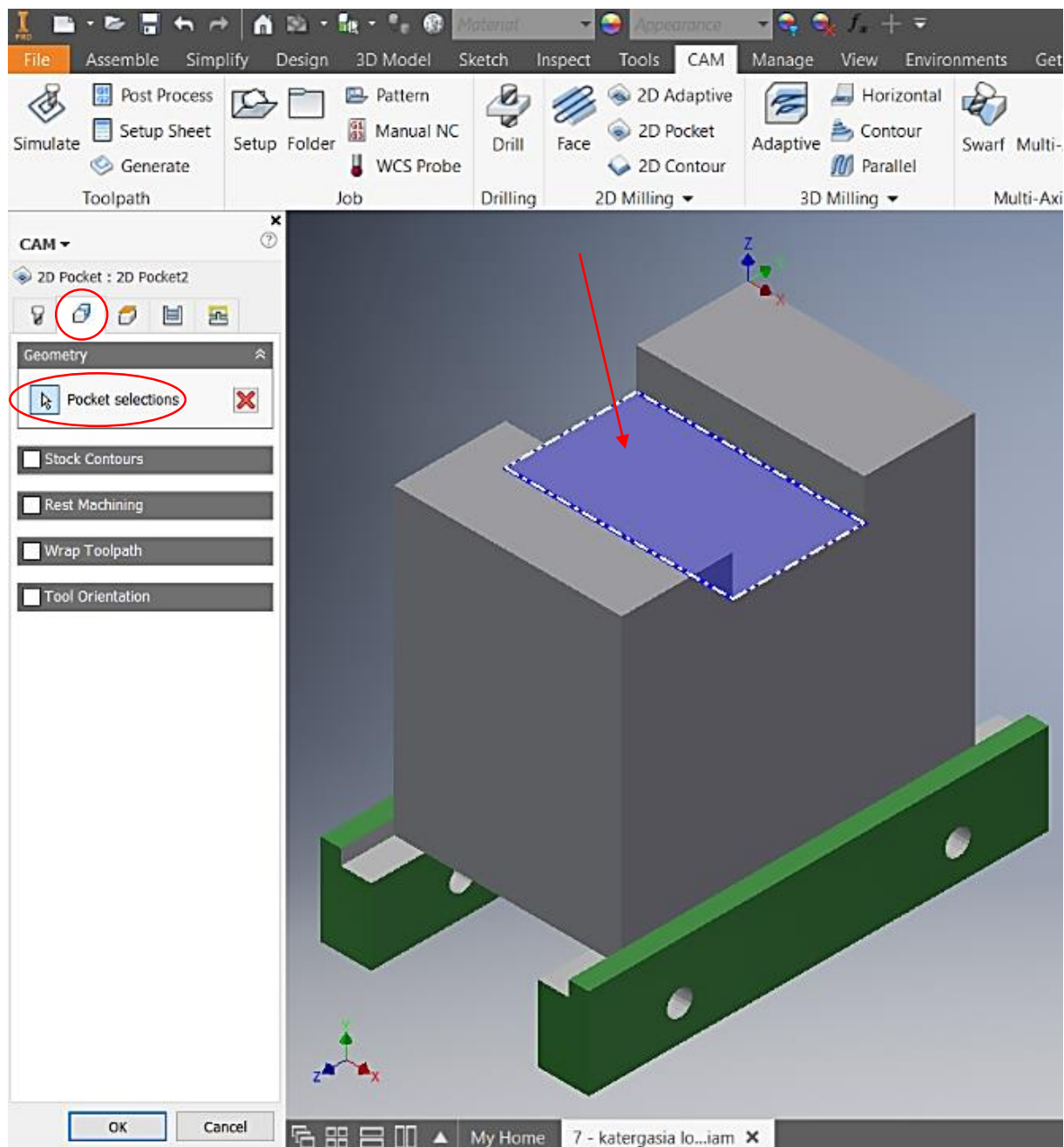
Στην πρώτη καρτέλα του παραθύρου της εντολής 2D Pocket, επιλέγεται η εντολή Tool για την μετάβαση στην βιβλιοθήκη των κοπτικών εργαλείων.



Εικόνα 9.2.12 – Βιβλιοθήκη κοπτικών εργαλείων

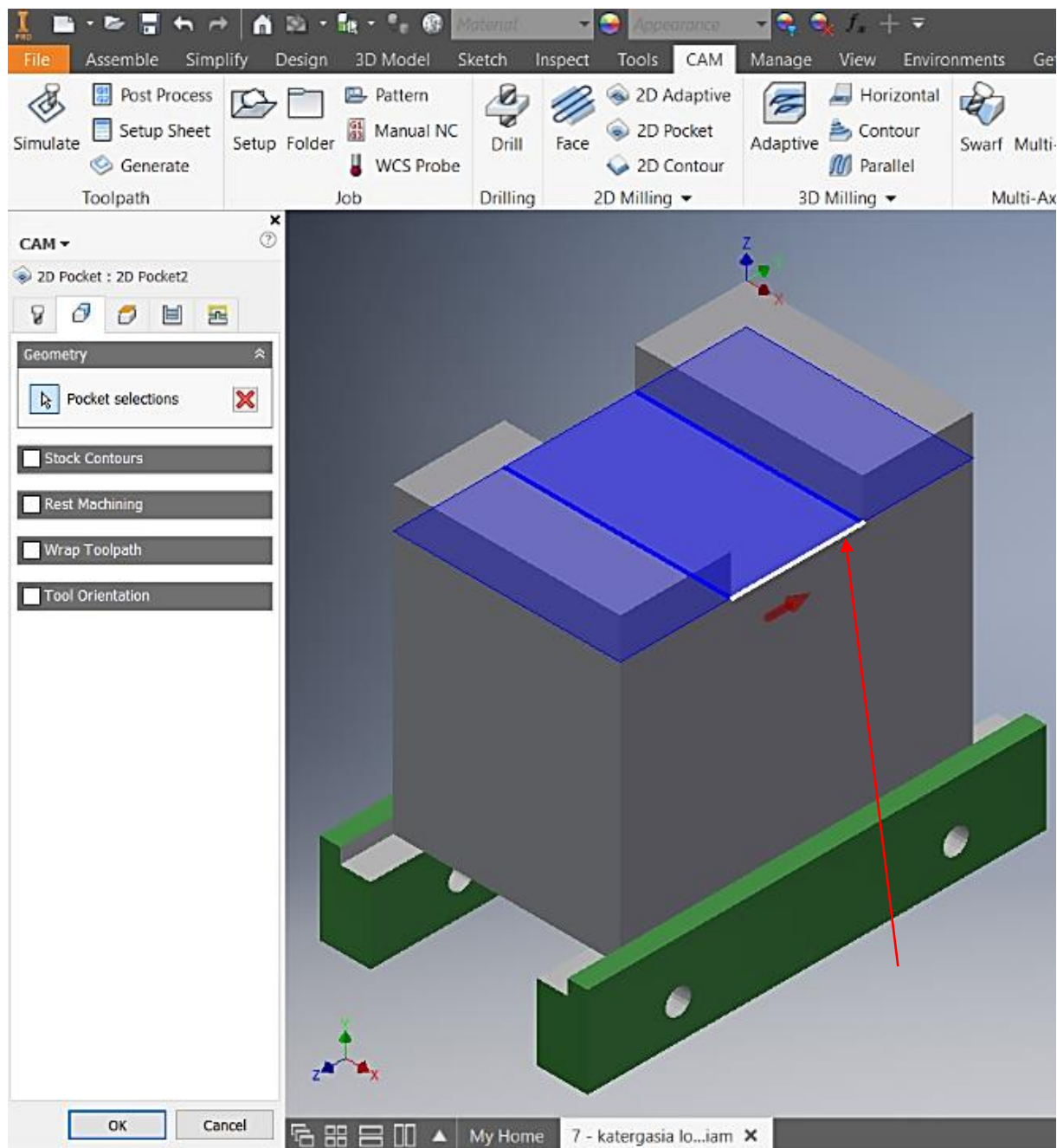
Στο αναδυόμενο παράθυρο, επιλέγεται το κοπτικό εργαλείο. Στην συγκεκριμένη φάση κατεργασίας το κονδύλι Νο 9.

Σε αυτό το σημείο πρέπει να αναφερθεί ότι έχει προηγηθεί η δημιουργία όλων των κοπτικών εργαλείων για την εκπόνηση της εργασίας.



Εικόνα 9.2.13 – Επιλογή επιφάνειας προς κατεργασία

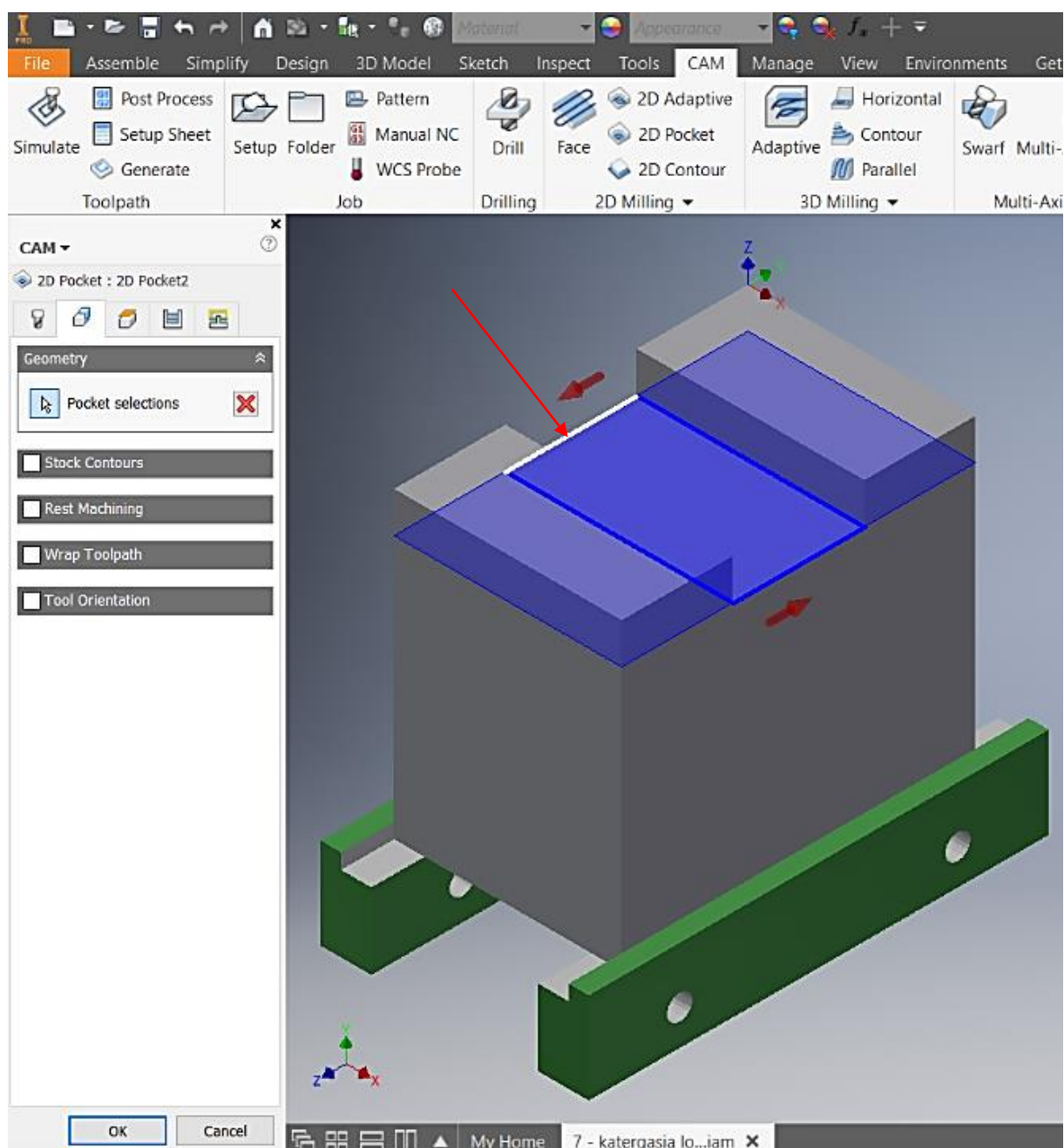
Στην δεύτερη καρτέλα, ορίζονται πρώτα τα όρια της προς κατεργασίας επιφάνειας και έπειτα το σύστημα συντεταγμένων του κοπτικού εργαλείου. Στην ενότητα Geometry, μέσω της εντολής Pocket selections, επιλέγεται η προς κατεργασία επιφάνεια.



Εικόνα 9.2.14 – Οριοθέτηση της προς κατεργασίας επιφάνειας

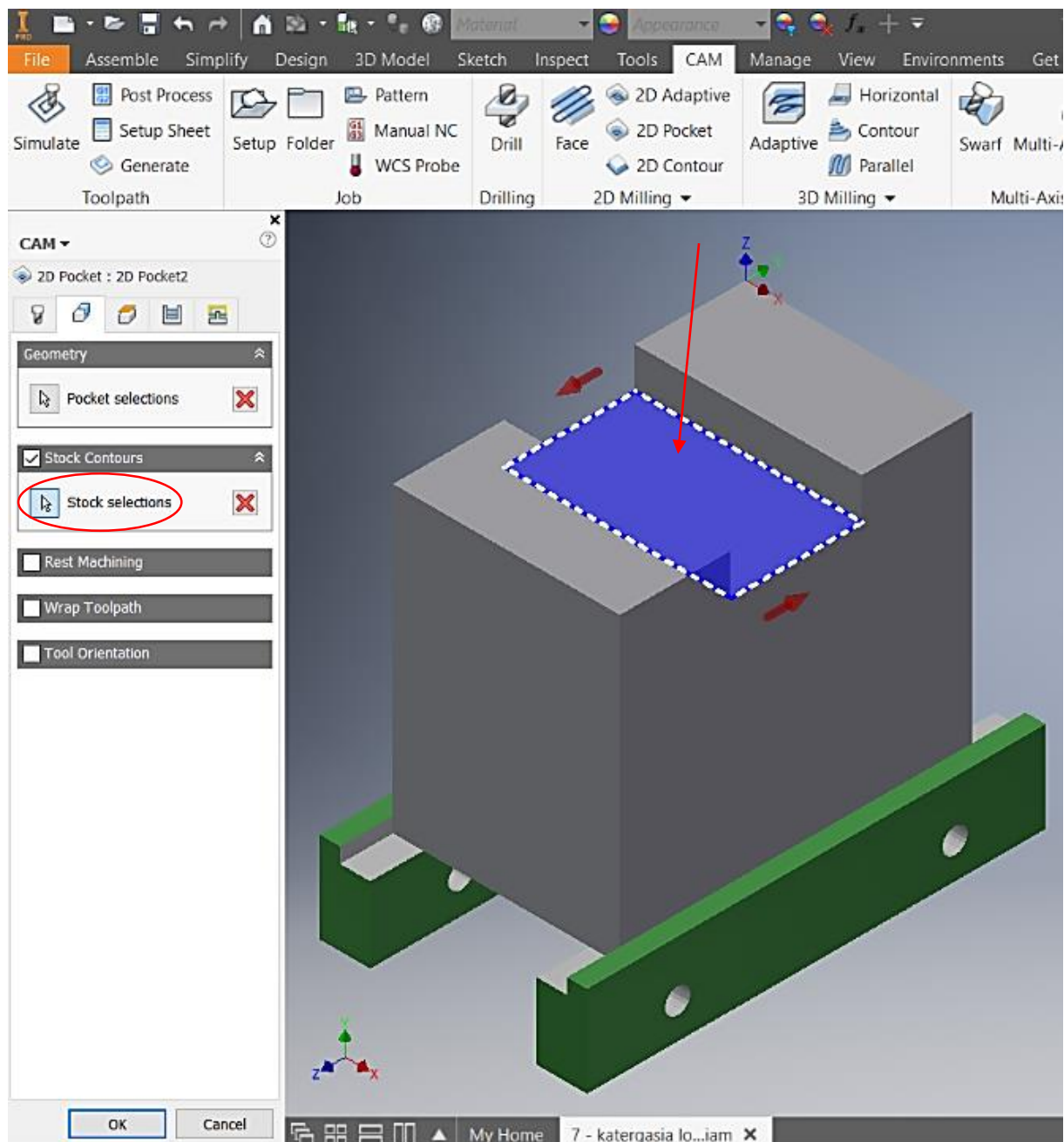
Σε περίπτωση που δεν έχουν επιλεγθεί αυτόματα όλες οι ακμές που οριοθετούν την επιφάνεια, τότε επιλέγονται μία προς μία.





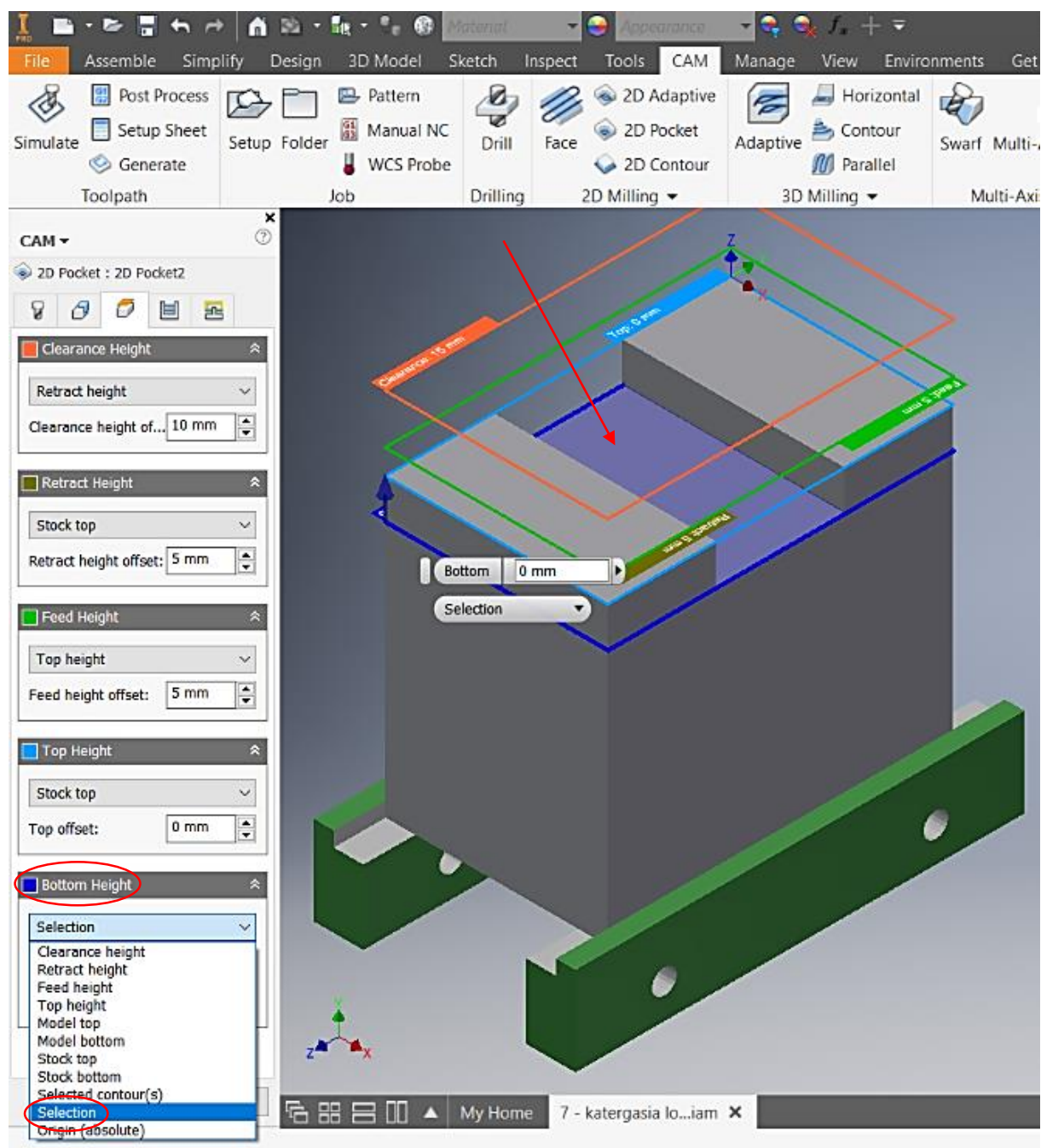
Εικόνα 9.2.15 - Οριοθέτηση της προς κατεργασίας επιφάνειας

Επίσης, το σύστημα συντεταγμένων του κοπτικού εργαλείου, όπως αυτό προτείνεται από το πρόγραμμα, βρίσκεται στην επιθυμητή θέση και με την κατάλληλη διεύθυνση των αξόνων για την σωστή κατεργασία της επιφάνειας. Δηλαδή, ο άξονας Z (κατακόρυφη κίνηση κοπτικού εργαλείου) έχει κάθετη στην επιφάνεια διεύθυνση ώστε να μπορεί να οριστεί το βάθος κοπής. Σε περίπτωση που το προτεινόμενο σύστημα συντεταγμένων δεν είναι το επιθυμητό, επιλέγοντας την εντολή Tool Orientation, ορίζεται νέο σύστημα συντεταγμένων για το κοπτικό εργαλείο ακολουθώντας τα ίδια βήματα που εφαρμόζονται στην εντολή Setup.



Εικόνα 9.2.16 – Απομόνωση όγκου κατεργασίας

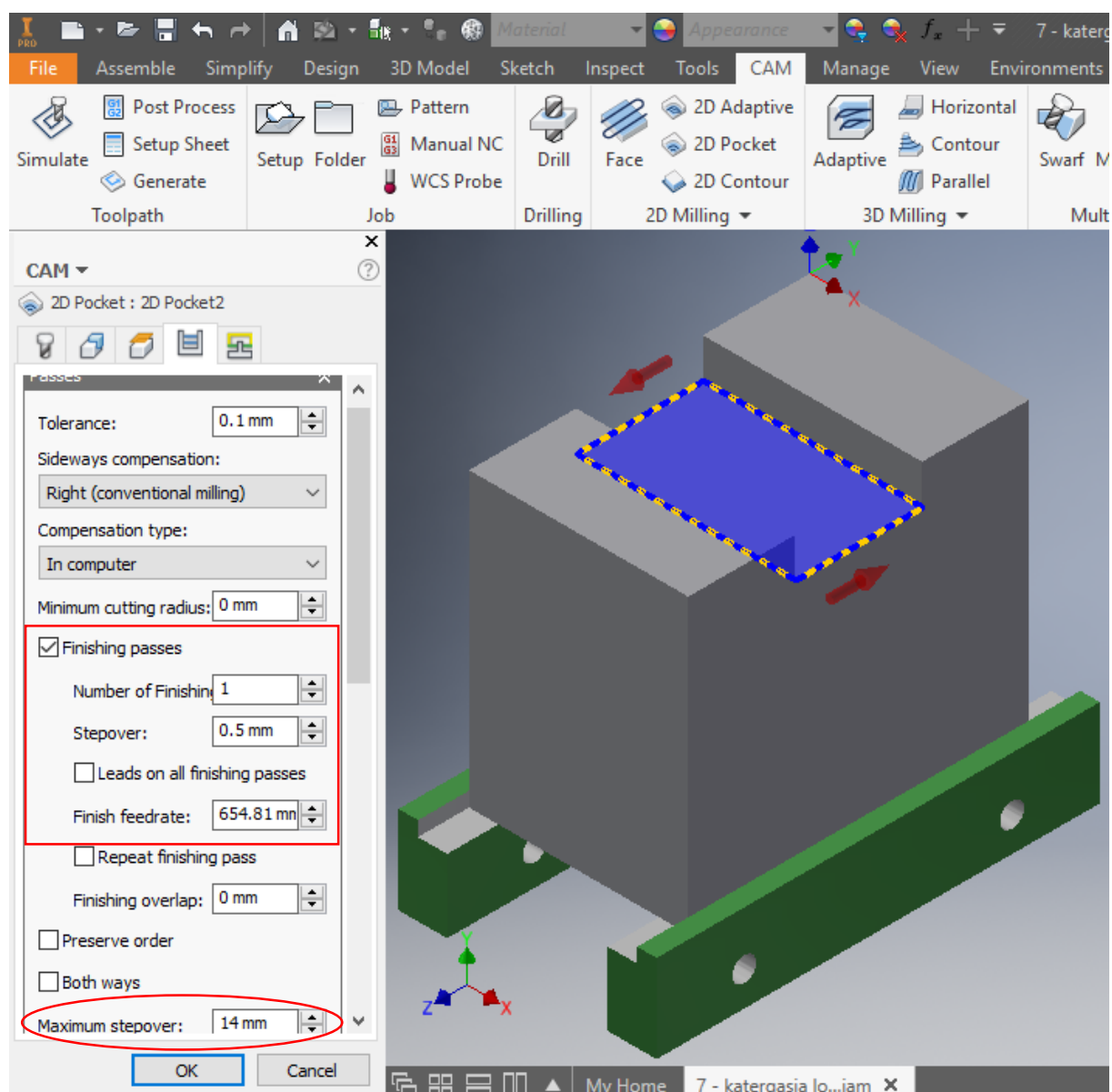
Στη συνέχεια, στην ενότητα Stock Contours, μέσω της εντολής Stock selections επιλέγεται ξανά η προς κατεργασία επιφάνεια για να οριστούν τα όρια του αρχικού όγκου της.



Εικόνα 9.2.17 – Ορισμός επιπέδων κοπτικού εργαλείου

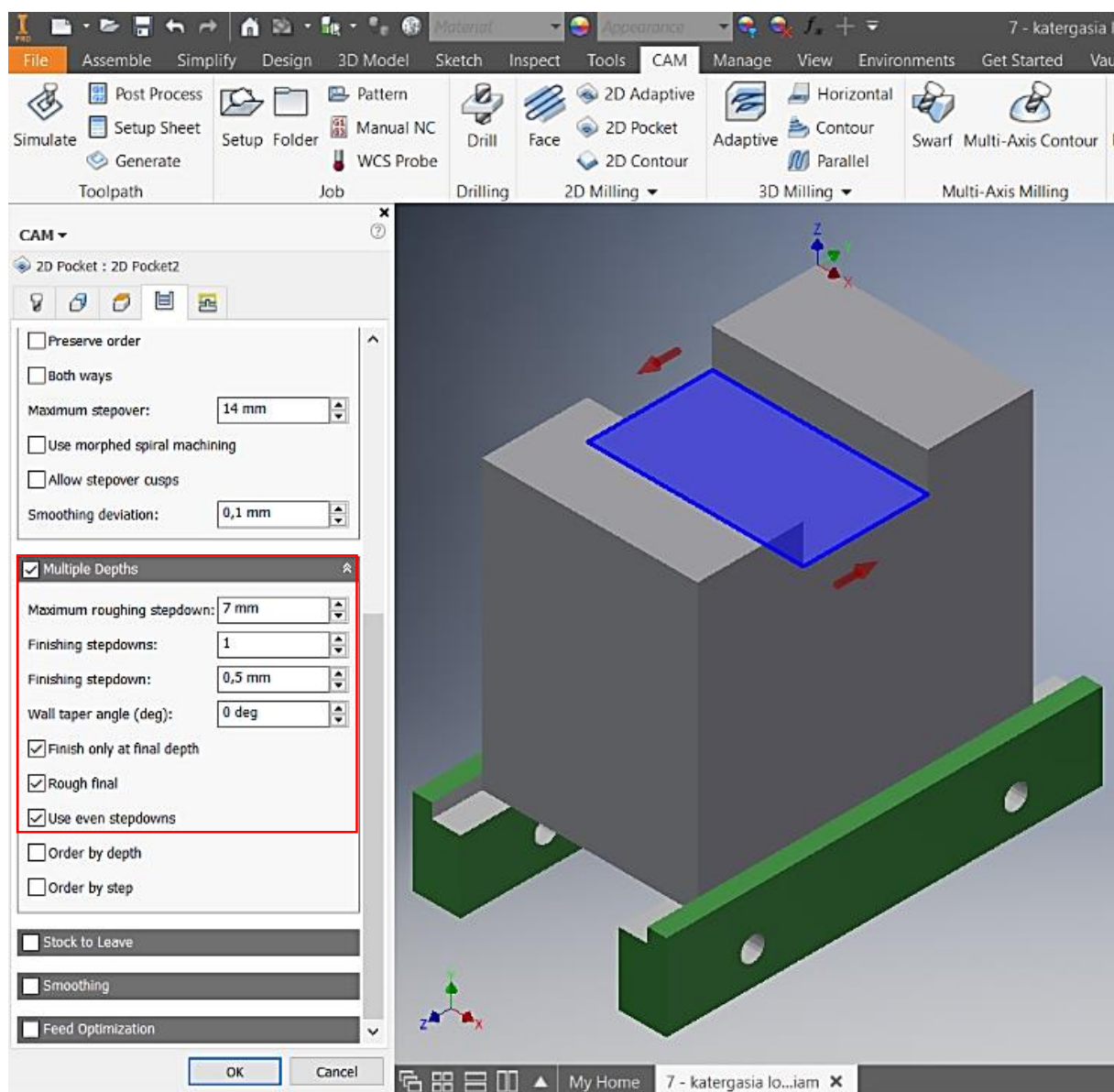
Στην τρίτη καρτέλα, καθορίζονται τα ύψη συναρτήσεως των συνθηκών κατεργασίας του κοπτικού εργαλείου. Στην προκειμένη περίπτωση, ορίζεται το ύψος του κατώτερου επιπέδου στο οποίο θα φτάσει το κοπτικό εργαλείο κατά την κατακόρυφη κίνησή του. Αυτό επιτυγχάνεται μέσω της εντολής Selection και της επιλογής της προς κατεργασία επιφάνειας.





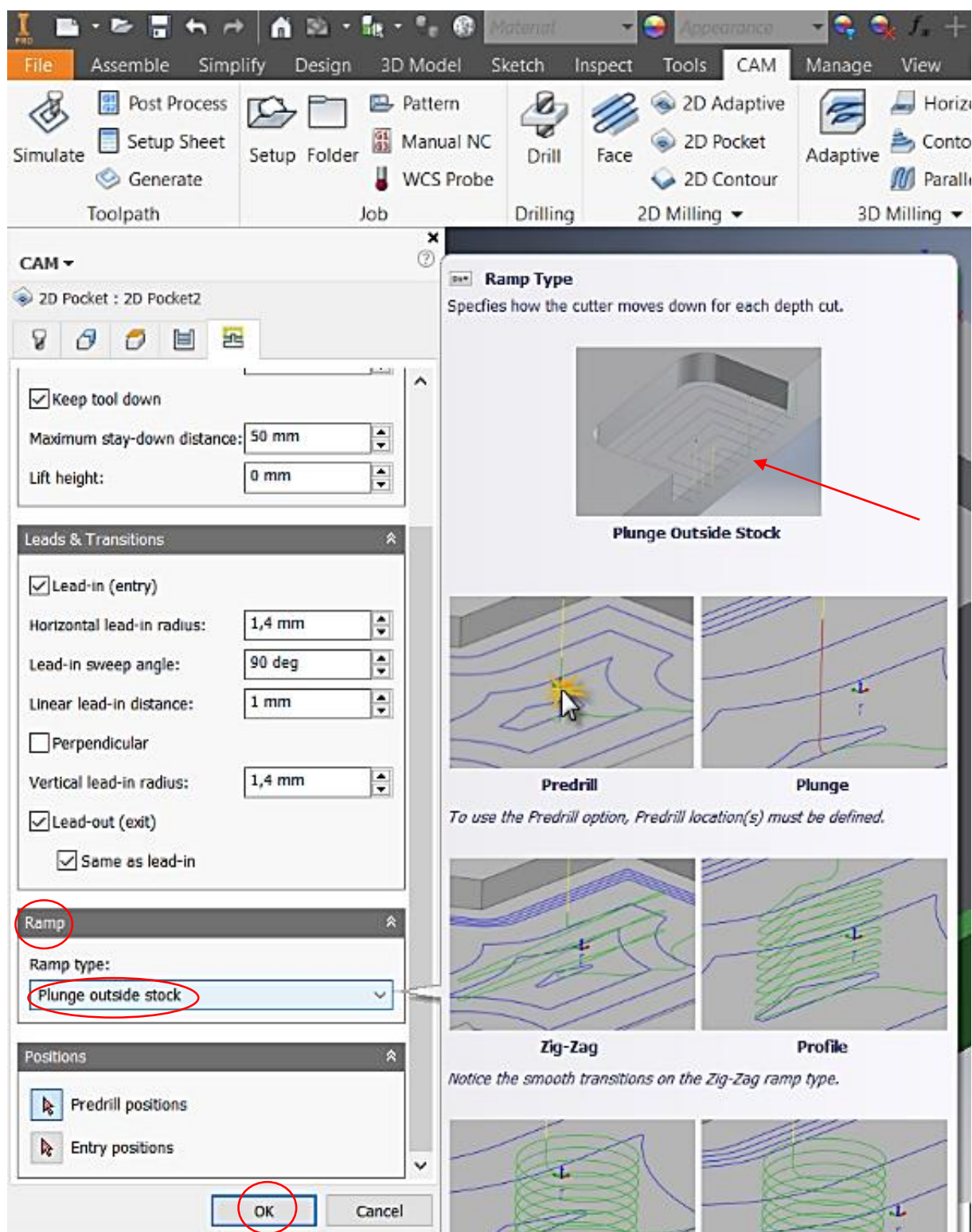
Εικόνα 9.2.18 – Επεξεργασία πάσων

Στην τέταρτη καρτέλα, ορίζονται οι συνθήκες κατεργασίας για κάθε πάσσο. Αρχικά, επιλέγεται η εντολή *Finishing passes*, με σκοπό να πραγματοποιηθεί φινιρίσμα πριν ολοκληρωθεί η κατεργασία. Το πάσσο του φινιρίσματος είναι ένα (*Number of Finishing passes*), το βάθος κοπής του είναι 0,5 mm (*Stepover*) και η πρόωσή του είναι κατά 20% μικρότερη της πρόωσης του ξεχονδρίσματος. Στη συγκεκριμένη περίπτωση προκύπτει ότι είναι 654,81 mm/min. Κατόπιν, επιλέγεται η μέγιστη μετατόπιση του κοπτικού εργαλείου στον οριζόντιο άξονα (*Maximum stepover*) στα 14 mm, το οποίο προκύπτει από τις τεχνικές προδιαγραφές του κοπτικού εργαλείου.



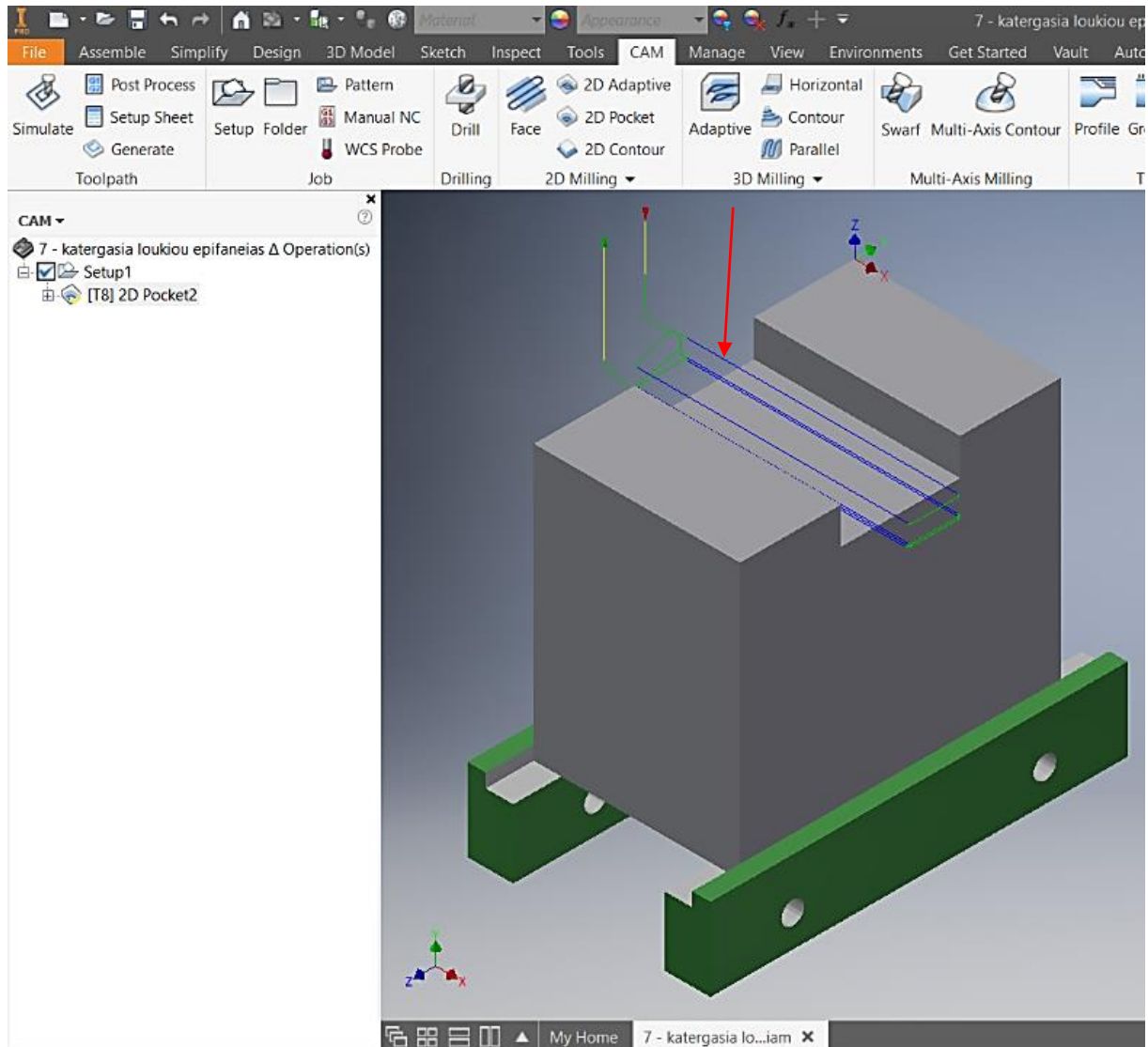
Εικόνα 9.2.19 - Επεξεργασία πάσων

Έπειτα, επιλέγεται η ενότητα Multiple Depths ώστε η κατεργασία να πραγματοποιηθεί με πολλαπλά πάσσα. Το μέγιστο βάθος κοπής για τα πάσσα του ξεχονδρίσματος (Maximum roughing stepdown) είναι 7 mm, το οποίο προκύπτει από τις τεχνικές προδιαγραφές του κοπτικού εργαλείου. Ξαναορίζονται τα πάσσα του φινιρίσματος με τα ίδια χαρακτηριστικά που ορίστηκαν παραπάνω. Επιλέγεται η εντολή Finish only at final depth ώστε το πάσσο του φινιρίσματος να γίνει μετά το πέρας όλων των πάσων του ξεχονδρίσματος, αλλιώς θα γινόταν μετά το πέρας κάθε πάσσου ξεχονδρίσματος. Τέλος, επιλέγεται η εντολή Use even stepdowns, ώστε με βάση το μέγιστο βάθος κοπής και το βάθος της αυλάκωσης να δημιουργηθούν αυτόματα πάσσα ξεχονδρίσματος με ίσο βάθος κοπής.



Εικόνα 9.2.20 – Επιλογή τρόπου εισαγωγής κοπτικού εργαλείου

Στην πέμπτη και τελευταία καρτέλα, ορίζεται ο τρόπος εισόδου του κοπτικού εργαλείου. Στην ενότητα Ramp επιλέγεται η εντολή Plunge outside stock, ώστε η είσοδος του κοπτικού εργαλείου να γίνει όπως φαίνεται στο παράδειγμα της εικόνας. Τέλος, πατώντας το κουμπί OK ολοκληρώνεται η διαδικασία επιλογής του κοπτικού εργαλείου και ο ορισμός των συνθηκών κατεργασίας.

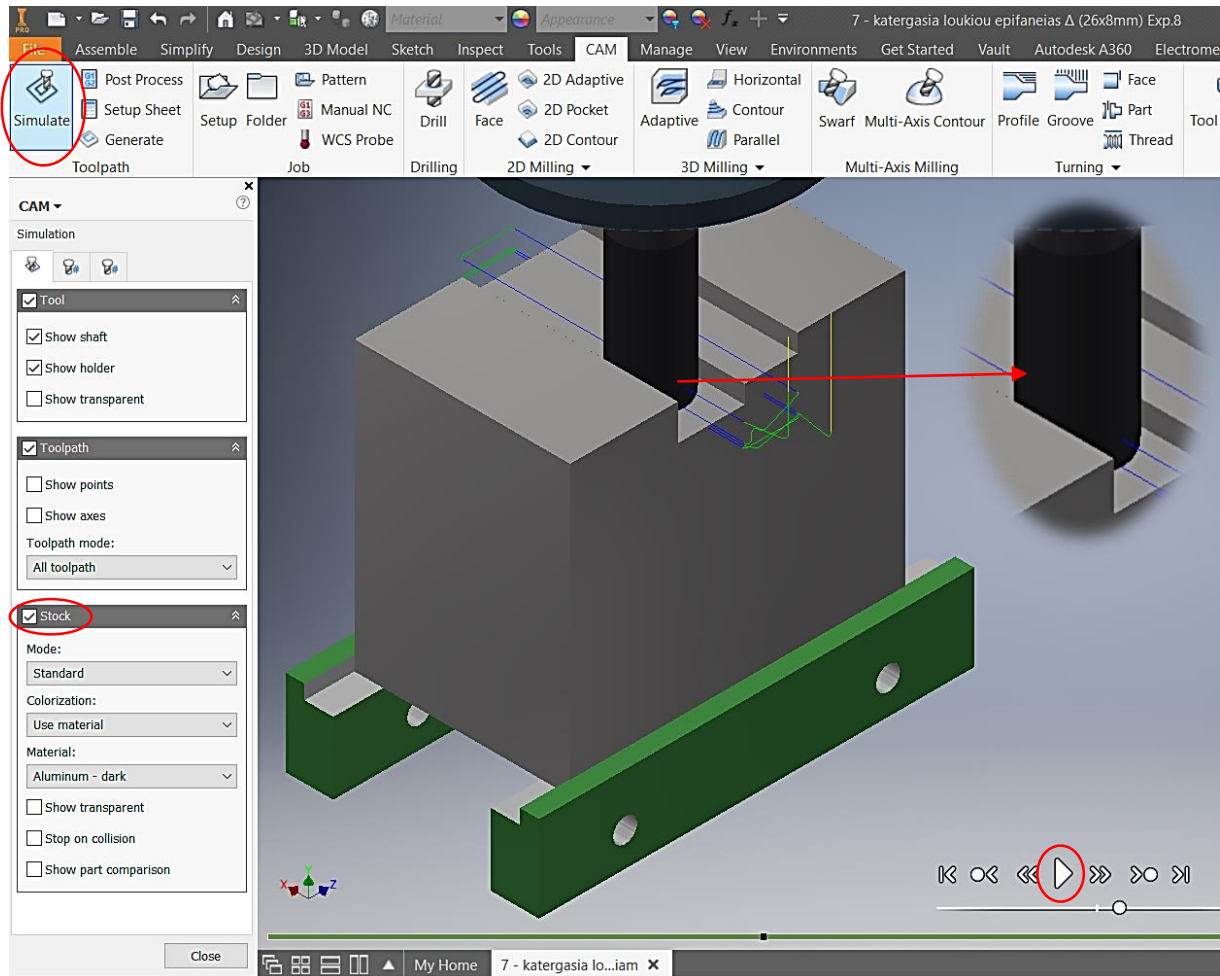


Εικόνα 9.2.21 – Πορεία κοπτικού εργαλείου

Αυτόματα, μόλις πατηθεί το κουμπί OK όπως προαναφέρθηκε, παράγεται η πορεία του κοπτικού εργαλείου, όπως φαίνεται στην παραπάνω εικόνα (Εικόνα 9.2.21 – Πορεία κοπτικού εργαλείου)



### 3. Προσομοίωση κατεργασίας

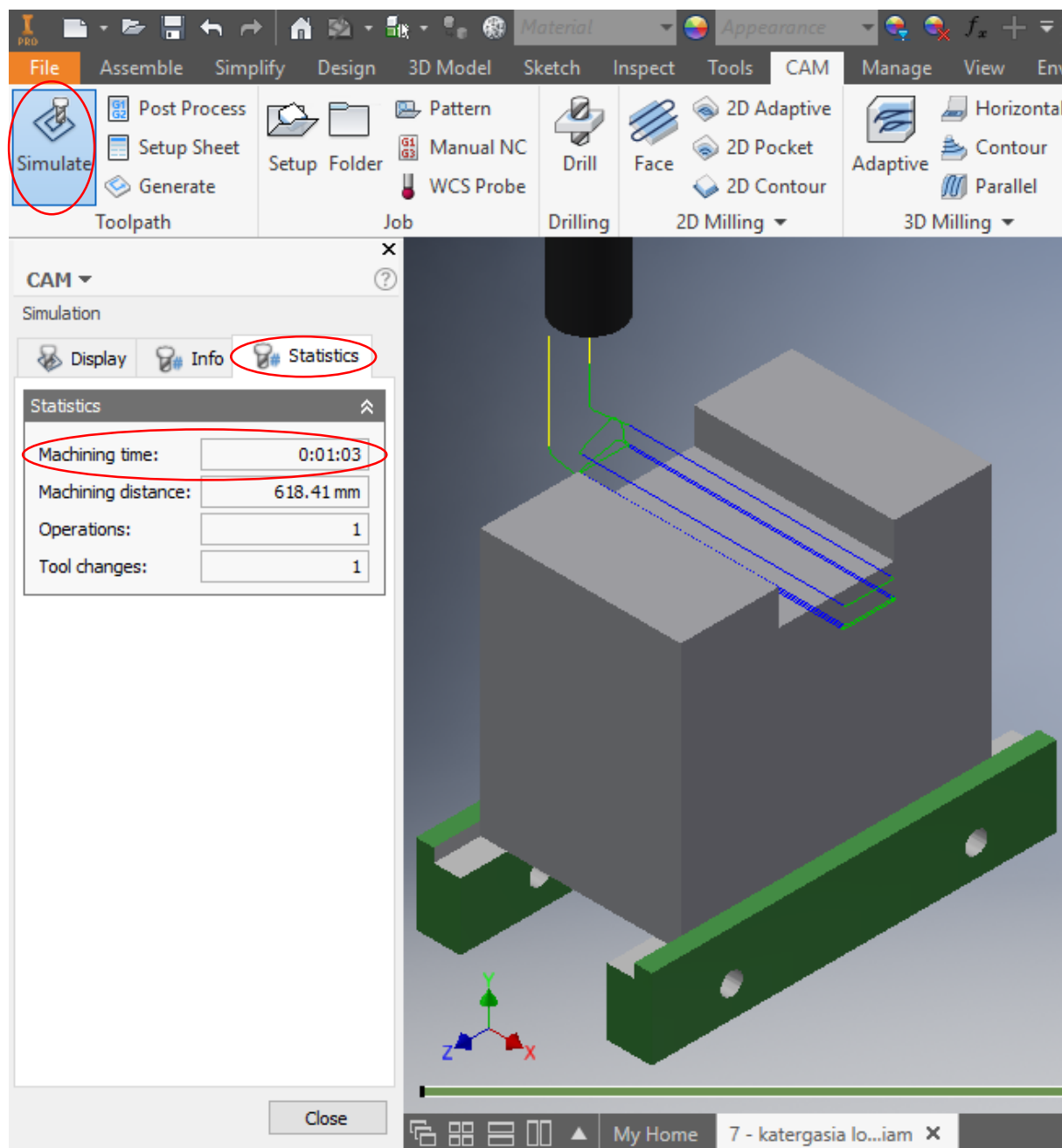


Εικόνα 9.2.22 – Προσομοίωση κατεργασίας

Στην καρτέλα CAM του προγράμματος, επιλέγεται η εντολή Simulate στο πάνω αριστερό τμήμα της οθόνης. Στην πρώτη καρτέλα της εντολής, ενεργοποιείται ο αρχικός όγκος (Stock), ώστε να γίνει αντιληπτή η αφαίρεση του επιθυμητού όγκου.

Έπειτα, με το πλήκτρο Play, ξεκινάει η προσομοίωση της πορείας του κοπτικού εργαλείου.

#### 4. Χρόνος κατεργασίας



Εικόνα 9.2.23 – Χρόνος κατεργασίας

Στην τρίτη καρτέλα (Statistics) της εντολής Simulate (πάνω αριστερά στην οθόνη), εμφανίζονται κάποια στοιχεία που απορρέουν από την κατεργασία. Ένα από αυτά είναι και ο χρόνος κατεργασίας, ο οποίος είναι 0:01:03 min.

### 9.3 ΦΑΣΗ ΚΑΤΕΡΓΑΣΙΑΣ - 3

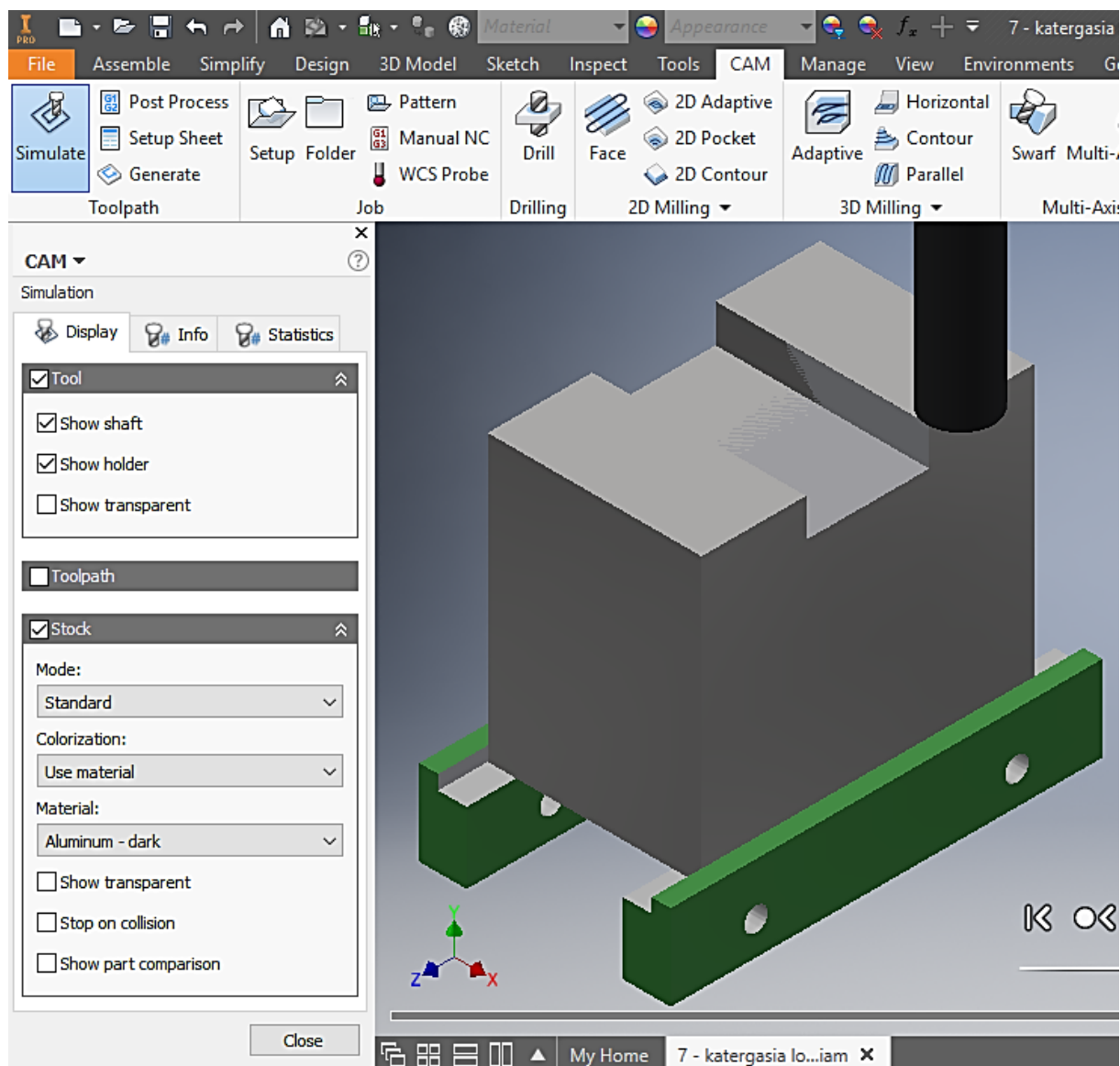
Σκοπός	Διαμόρφωση 1 <sup>ου</sup> σκαλοπατιού επιφάνειας Γ	
Τρόπος συγκράτησης	Μέγγενη με κοινά μάγουλα	
Κοπτικό εργαλείο	Κονδύλι Ø14 mm	
Συνθήκες κατεργασίας	n= 2955,73 rpm	f= 0,08 mm/tooth
	a= 14 mm	V <sub>c</sub> = 130 m/min

Σε αυτή τη φάση κατεργασίας, επειδή προέκυψε ένα πρόβλημα ορισμού του αρχικού όγκου, το οποίο αναλύεται στο Κεφάλαιο 10: «Προβλήματα και αντιμετώπιση», ακολουθείται μία διαφορετική διαδικασία.

Ο αρχικός όγκος ορίζεται μέσω ενός πρόσθετου προγράμματος, το Mesh Enabler, του οποίου τα βήματα παρουσιάζονται αναλυτικά παρακάτω.

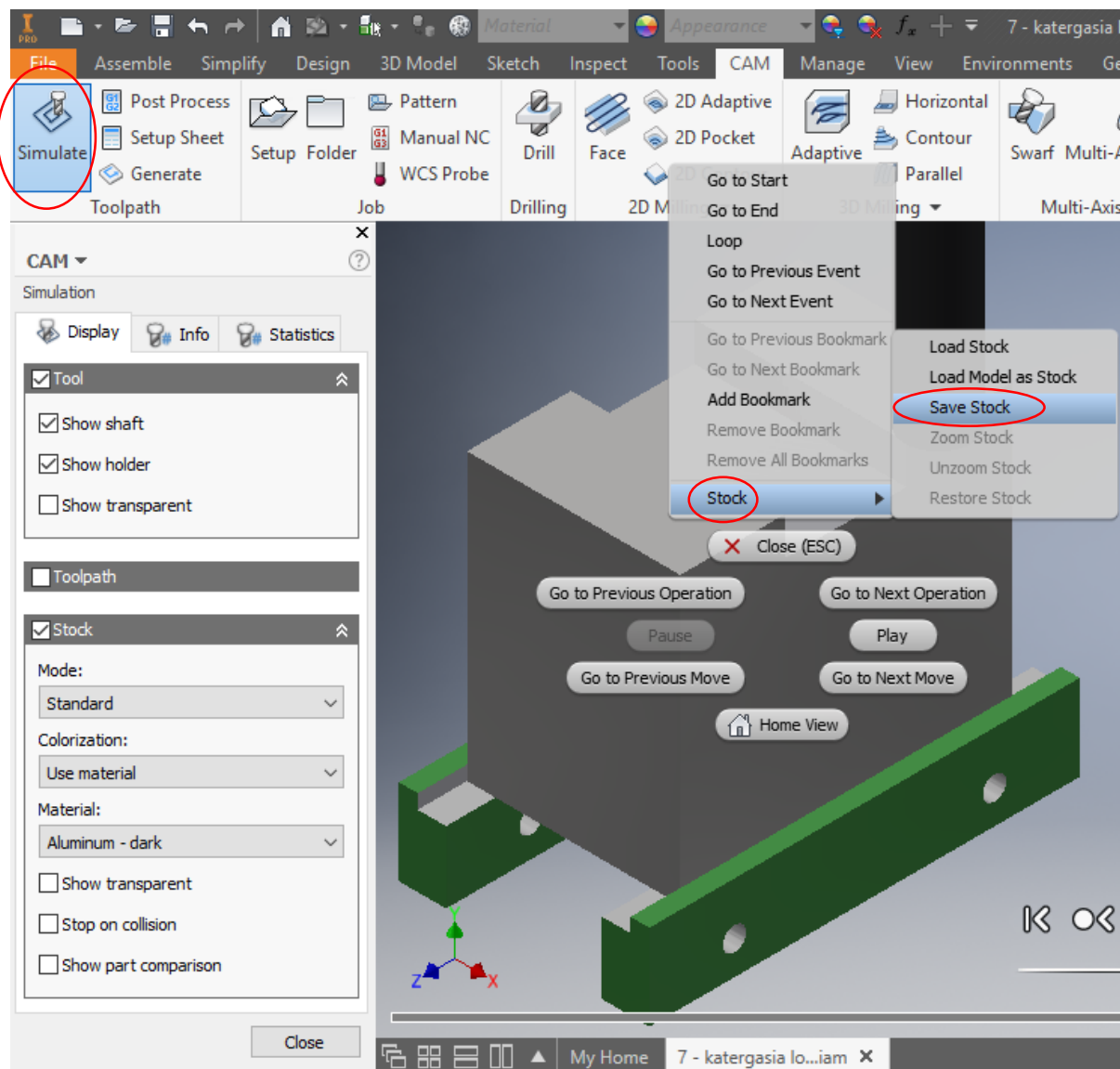


## 1. Ορισμός αρχικού όγκου και συστήματος συντεταγμένων



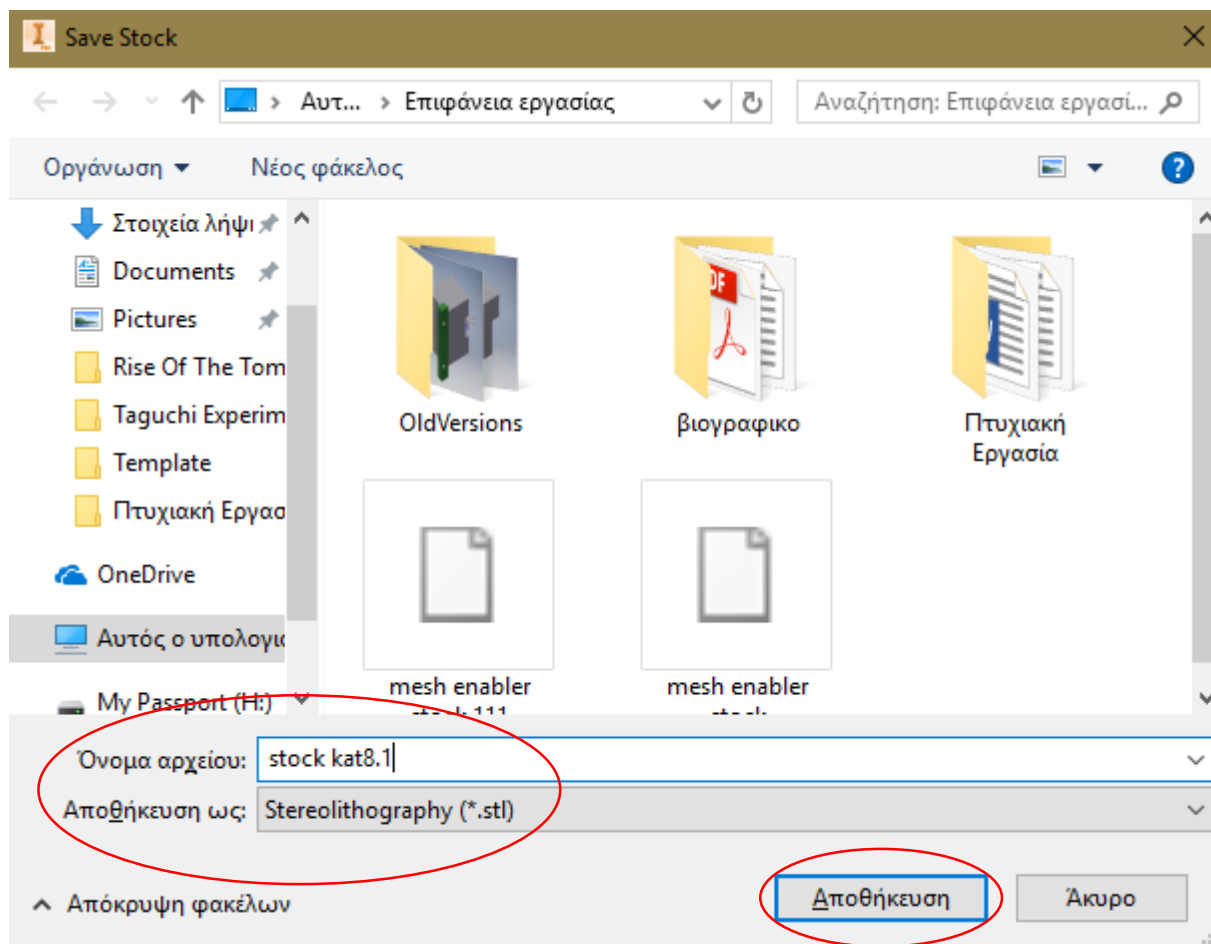
Εικόνα 9.3.1 – Τέλος προηγούμενης κατεργασίας

Λόγω της πολύπλοκης γεωμετρίας του δοκιμίου στη συγκεκριμένη φάση κατεργασίας, ο αρχικός όγκος θα πρέπει να οριστεί ως η γεωμετρία που προκύπτει μετά το πέρας της προηγούμενης φάσης κατεργασίας. Επομένως, γίνεται μετάβαση στο αρχείο της προηγούμενης φάσης κατεργασίας.



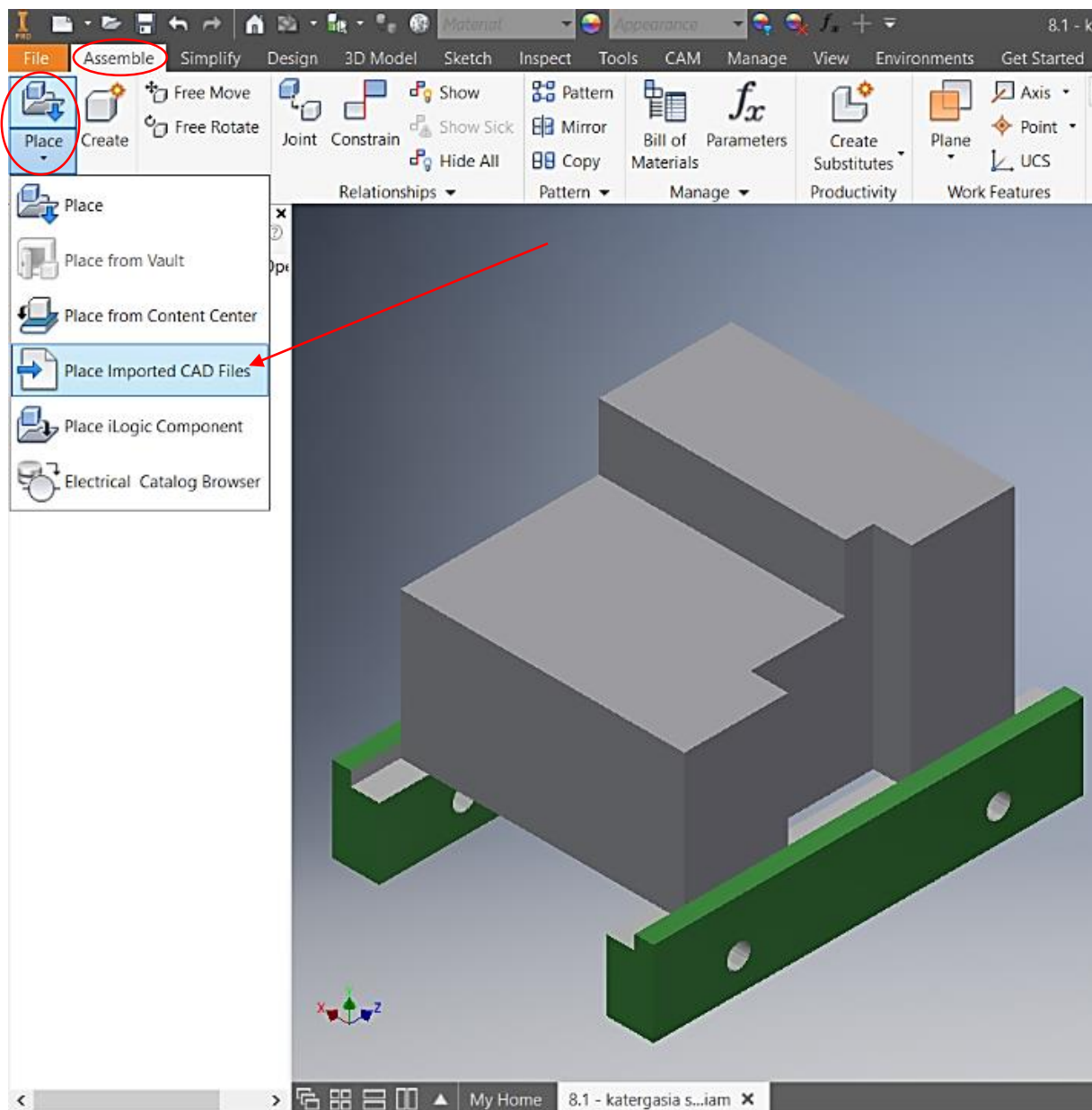
Εικόνα 9.3.2 – Αποθήκευση όγκου

Στην καρτέλα Simulate και αφού έχει πραγματοποιηθεί η προσομοίωση της κατεργασίας, ενεργοποιείται ένα ξεχωριστό μενού εντολών πατώντας δεξί κλικ πάνω στο δοκίμιο. Στην επιλογή Stock, επιλέγεται η εντολή Save Stock ώστε να αποθηκευτεί ο όγκος του δοκιμίου μετά την κατεργασία του, με μία άλλη μορφή αρχείου.



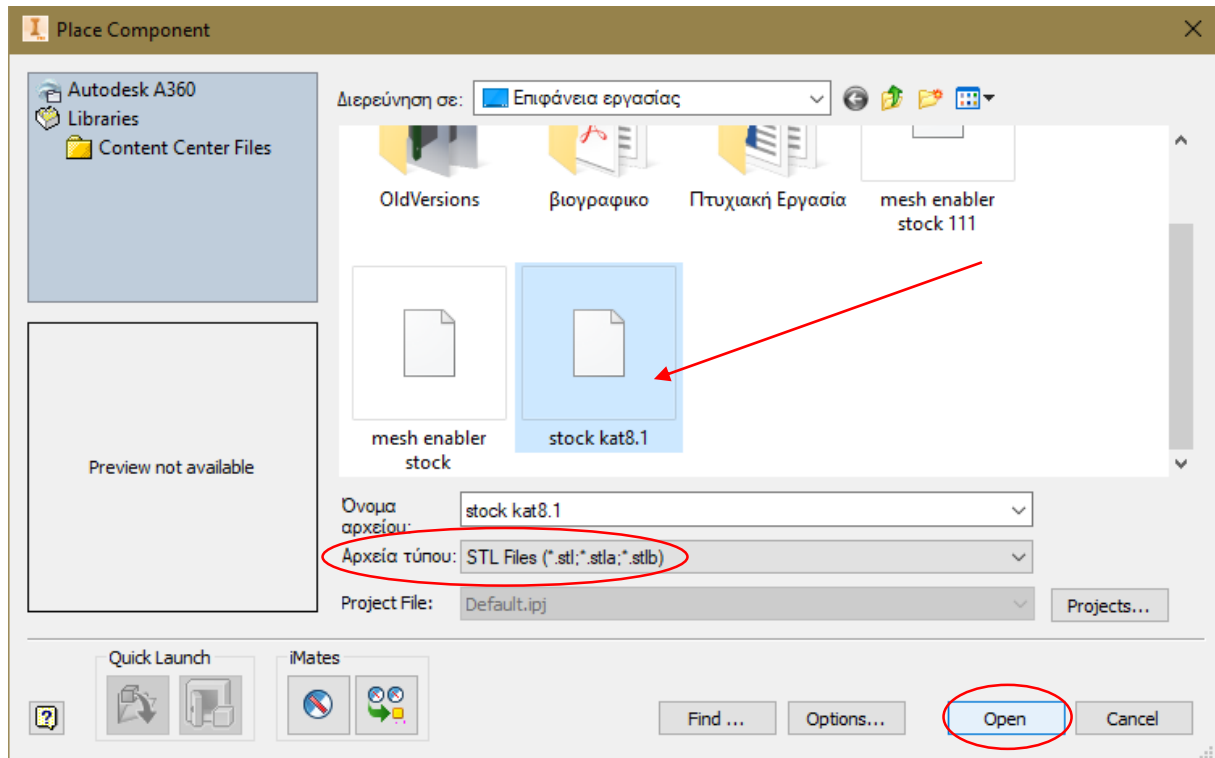
Εικόνα 9.3.3 – Αποθήκευση όγκου ως αρχείο STL

Στο αναδυόμενο παράθυρο ονομάζεται το αρχείο και αποθηκεύεται σε μορφή .stl όπως φαίνεται στην παράπανω εικόνα. Αυτό το αρχείο απεικονίζει τον όγκο του δοκιμίου με τη μορφή πλέγματος.



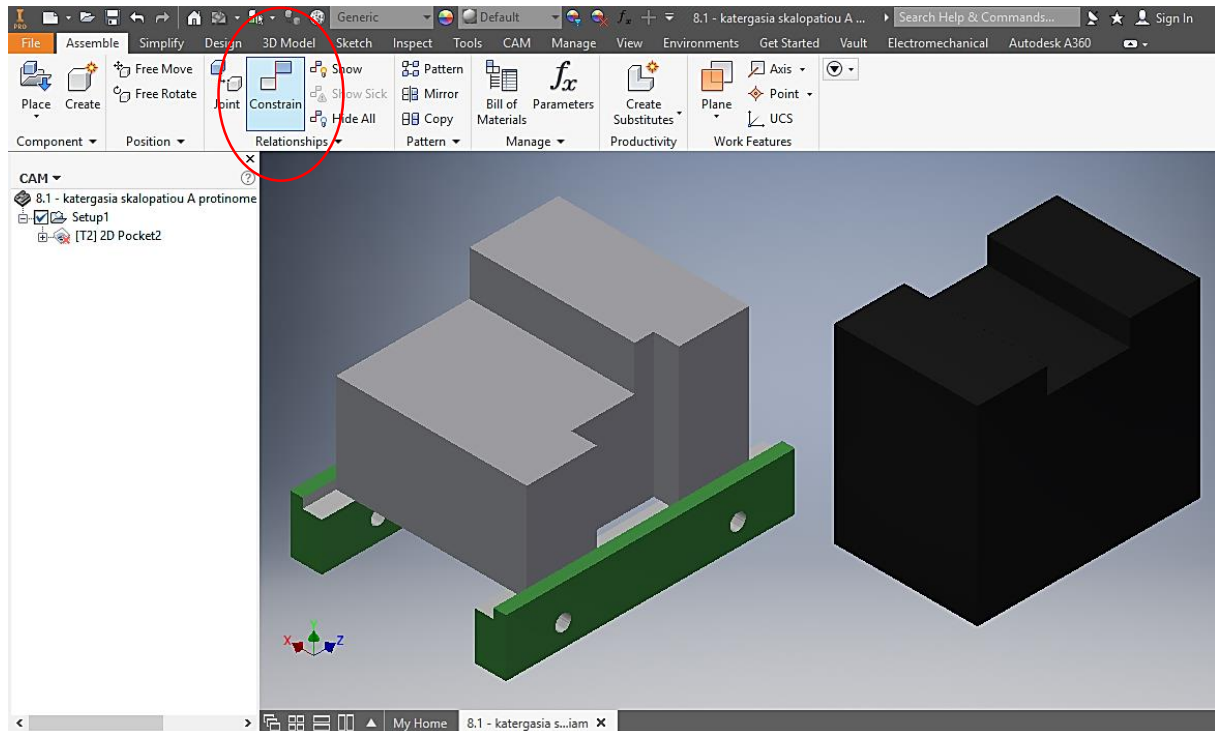
Εικόνα 9.3.4 – Εισαγωγή όγκου

Ανοίγοντας το αρχείο της επόμενης κατεργασίας (Φάση κατεργασίας 3 – Διαμόρφωση 1<sup>ου</sup> σκαλοπατιού επιφάνειας Γ), στην καρτέλα Assemble, στην εντολή Place επιλέγεται η εντολή Place Imported CAD Files.



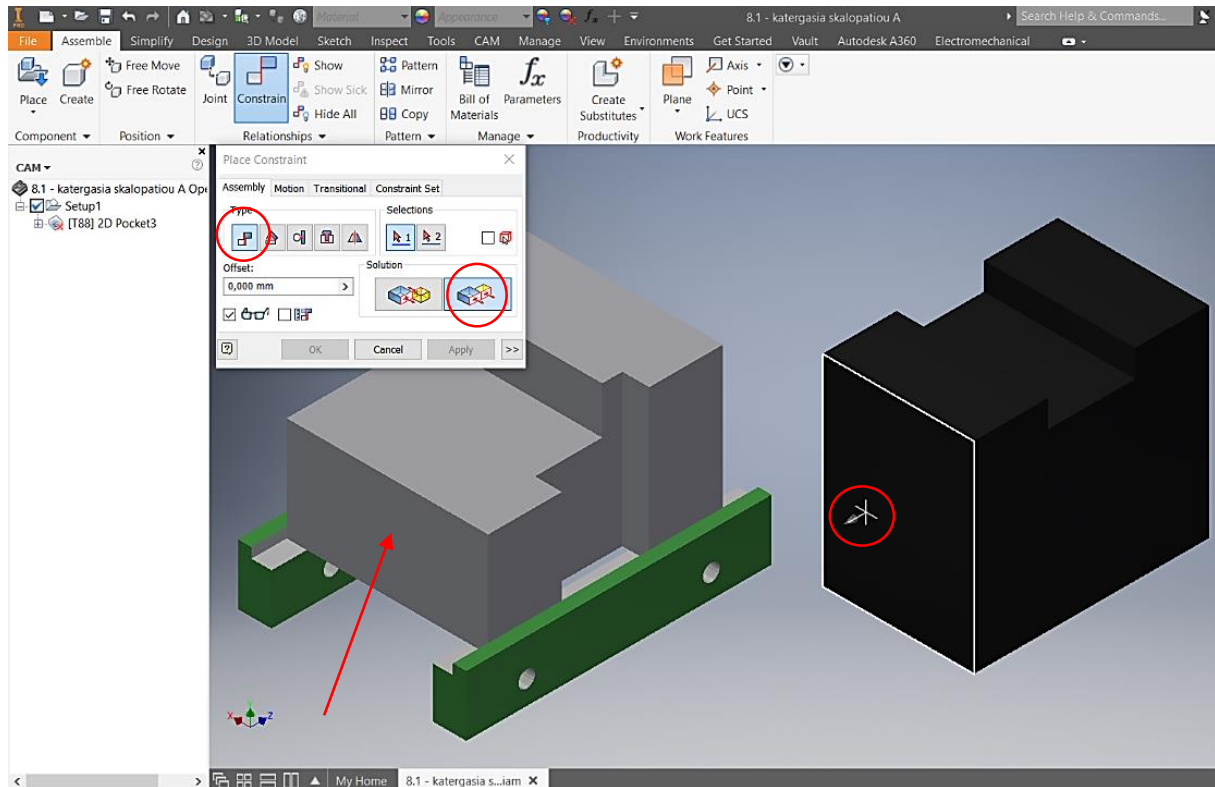
Εικόνα 9.3.5 – Επιλογή του όγκου για εισαγωγή

Στο αναδυόμενο παράθυρο, επιλέγεται να εμφανιστούν τα αρχεία τύπου STL, επιλέγεται το αρχείο που αποθηκεύθηκε σε προηγούμενο βήμα και τέλος, πατώντας το Open εισάγεται ο όγκος στο πρόγραμμα ηλεκτρονικής σχεδίασης.



Εικόνα 9.3.6 – Εντολή Constrain

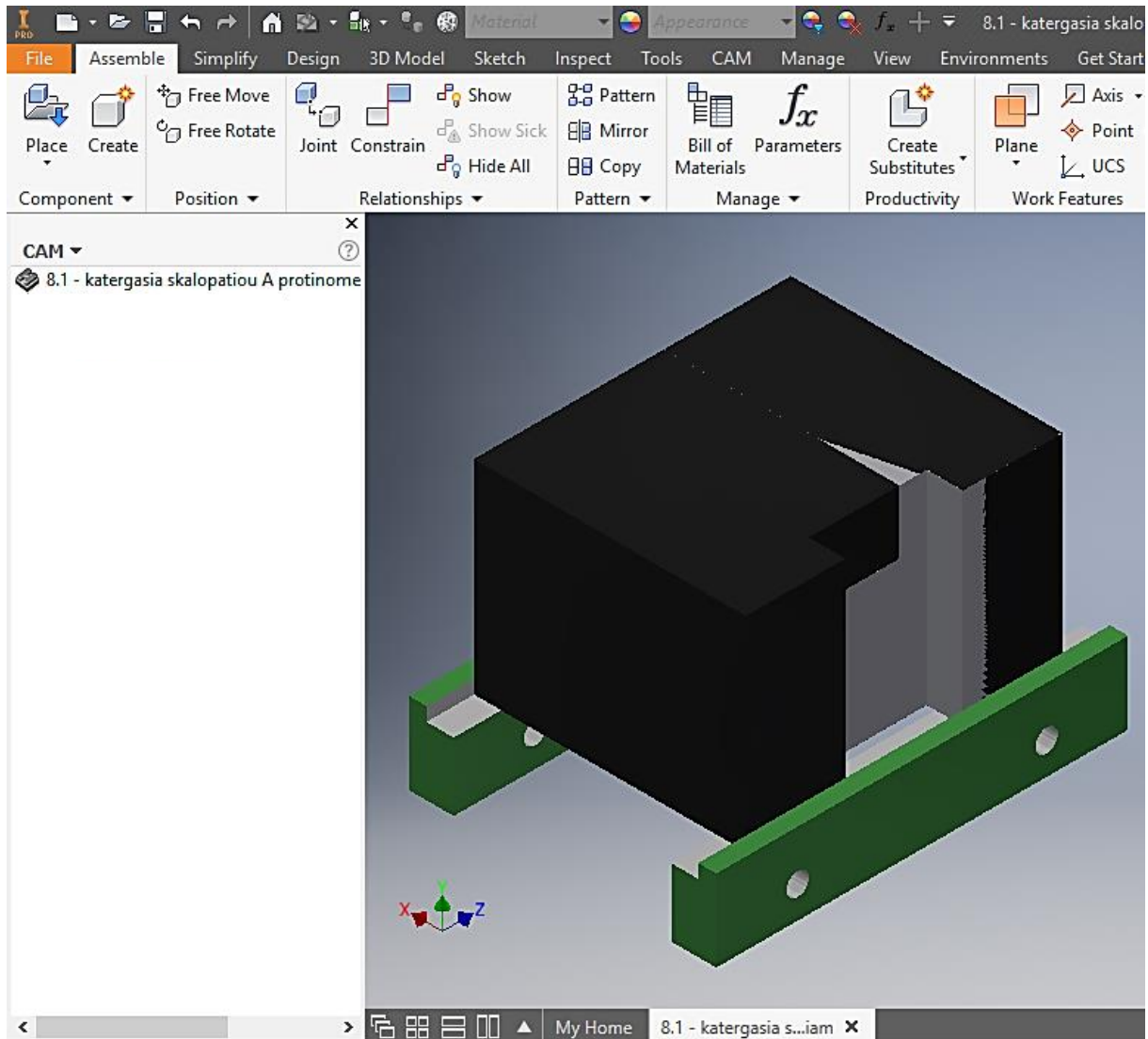
Αφού εισαχθεί το αρχείο στο πρόγραμμα, επιλέγεται η εντολή Constrain με σκοπό να οριστούν συνθήκες για να ενσωματωθεί ο όγκος του αρχείου .stl στον όγκο του δοκιμίου.



Εικόνα 9.3.7 – Συνθήκες εντολής Constrain

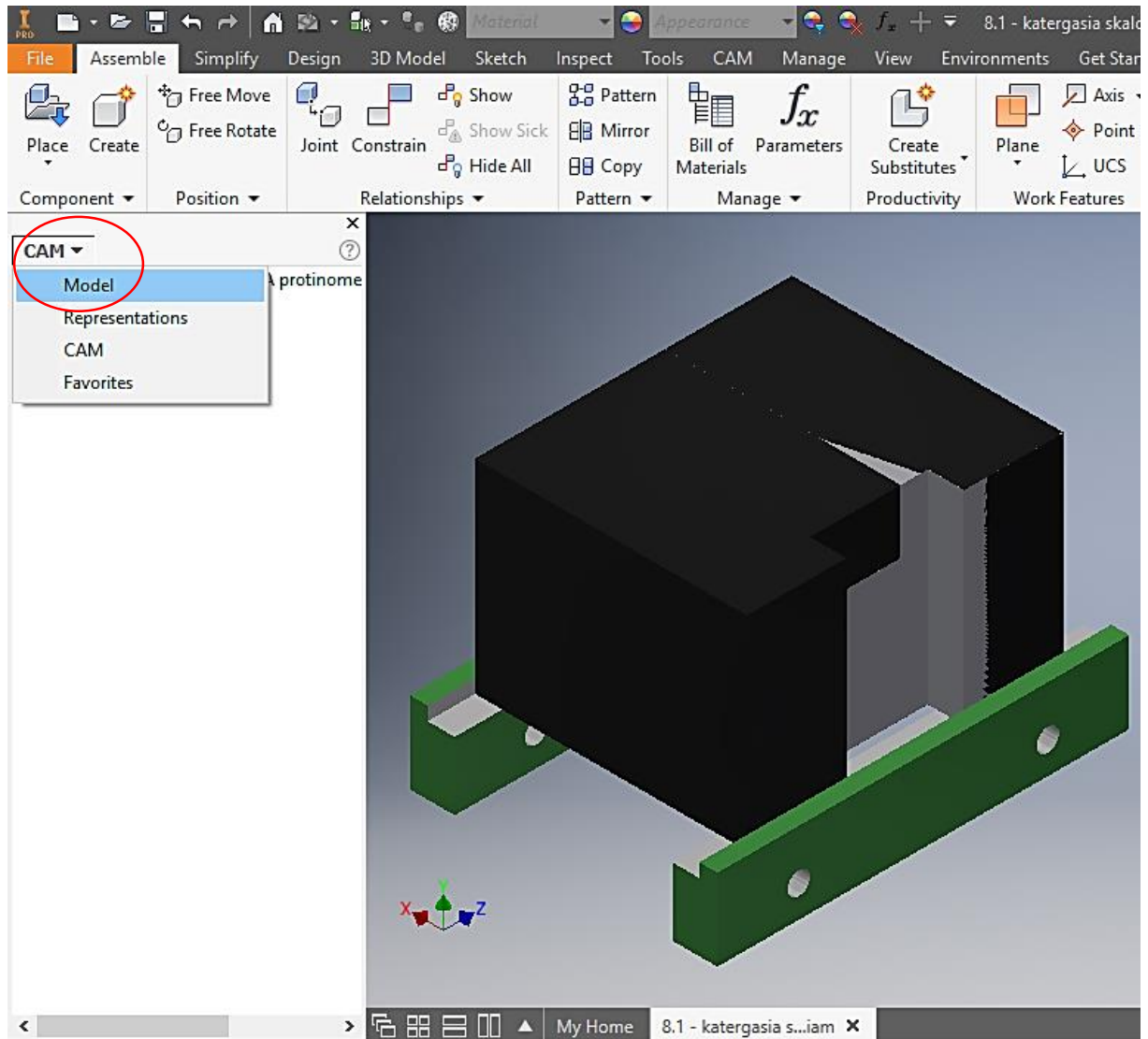
Στην πρώτη καρτέλα του αναδυόμενου παραθύρου επιλέγεται ο πρώτος τύπος συνθηκών, ο οποίος αφορά συνθήκες μεταξύ επίπεδων επιφανειών. Έπειτα, επιλέγονται οι επιθυμητές επιφάνειες για να οριστεί μία συνθήκη. Οι δύο επιφάνειες που έχουν επιλεγεί, όπως φαίνεται στην παραπάνω εικόνα, είναι η ίδια πλευρά και για τους δύο όγκους. Τέλος, επιλέγεται η εντολή κάτω δεξιά του αναδυόμενου παραθύρου, ώστε αυτές οι δύο πλευρές να είναι ομόρροπες μεταξύ τους και με την εντολή Apply οριστικοποιείται η συνθήκη.





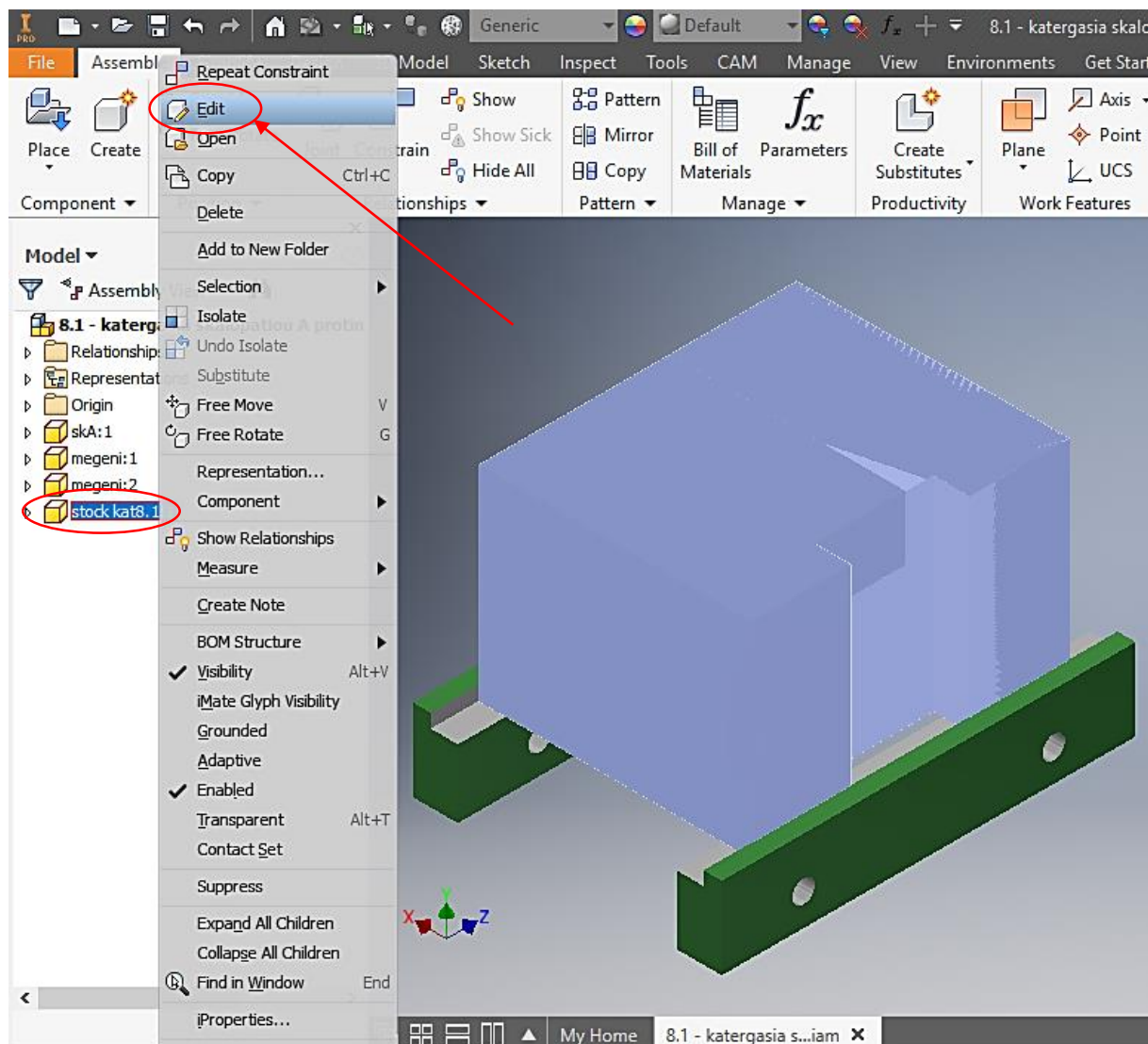
Εικόνα 9.3.8 – Συνδυασμός των δύο όγκων μετά την εντολή Constrain

Ακριβώς τα ίδια βήματα ακολουθούνται για να οριστούν οι συνθήκες των πλευρών Α και Β του δοκιμίου. Το αποτέλεσμα μετά από αυτές τις ενέργειες είναι ο συνδυασμός των δύο όγκων, όπως φαίνεται στην παραπάνω εικόνα.



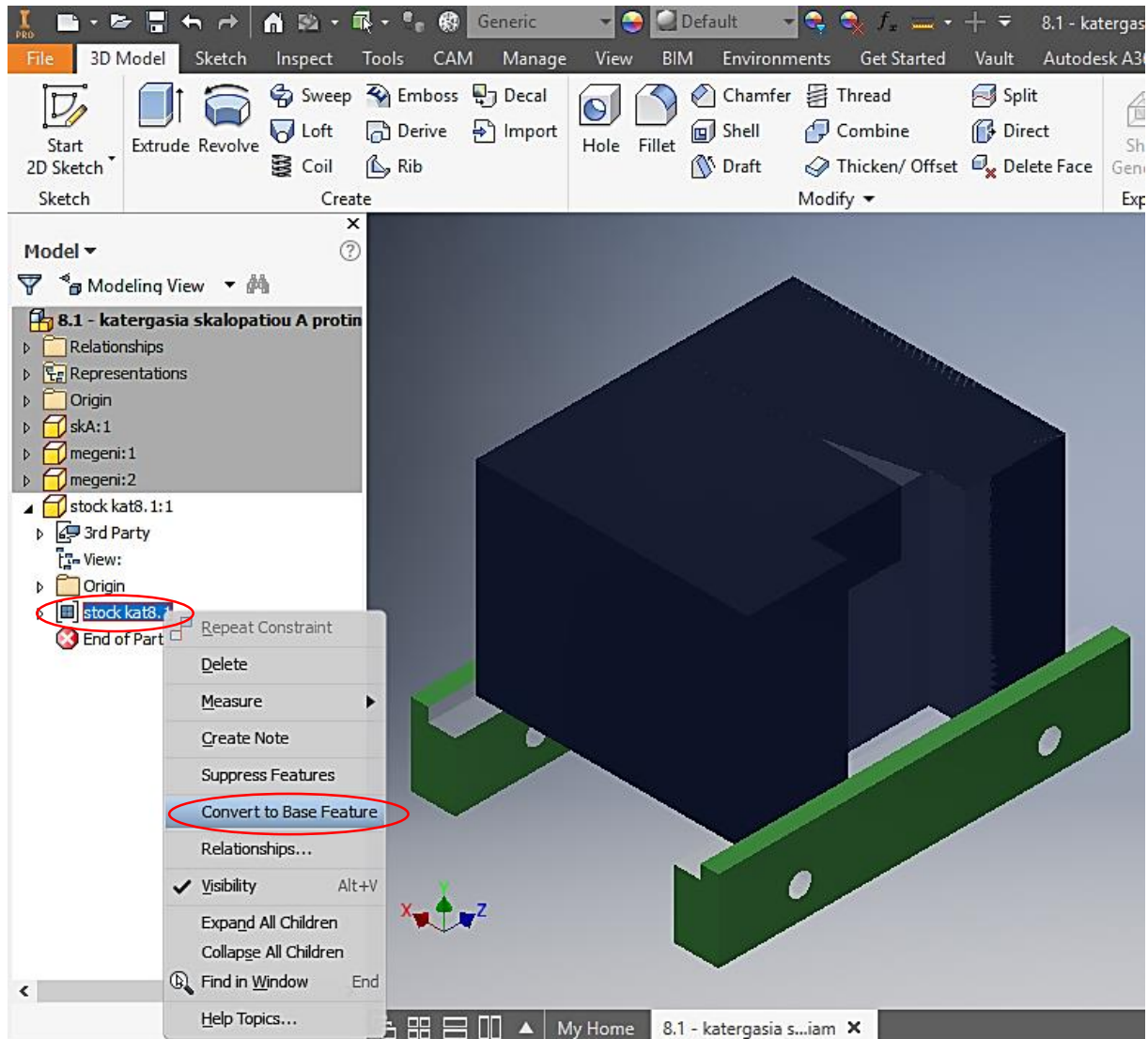
Εικόνα 9.3.9 – Μετάβαση στο περιβάλλον μοντελοποίησης του δοκιμίου

Στην ενότητα CAM, αριστερά στην οθόνη, επιλέγεται η ενότητα Model για τη μετάβαση στο περιβάλλον μοντελοποίησης του δοκιμίου.



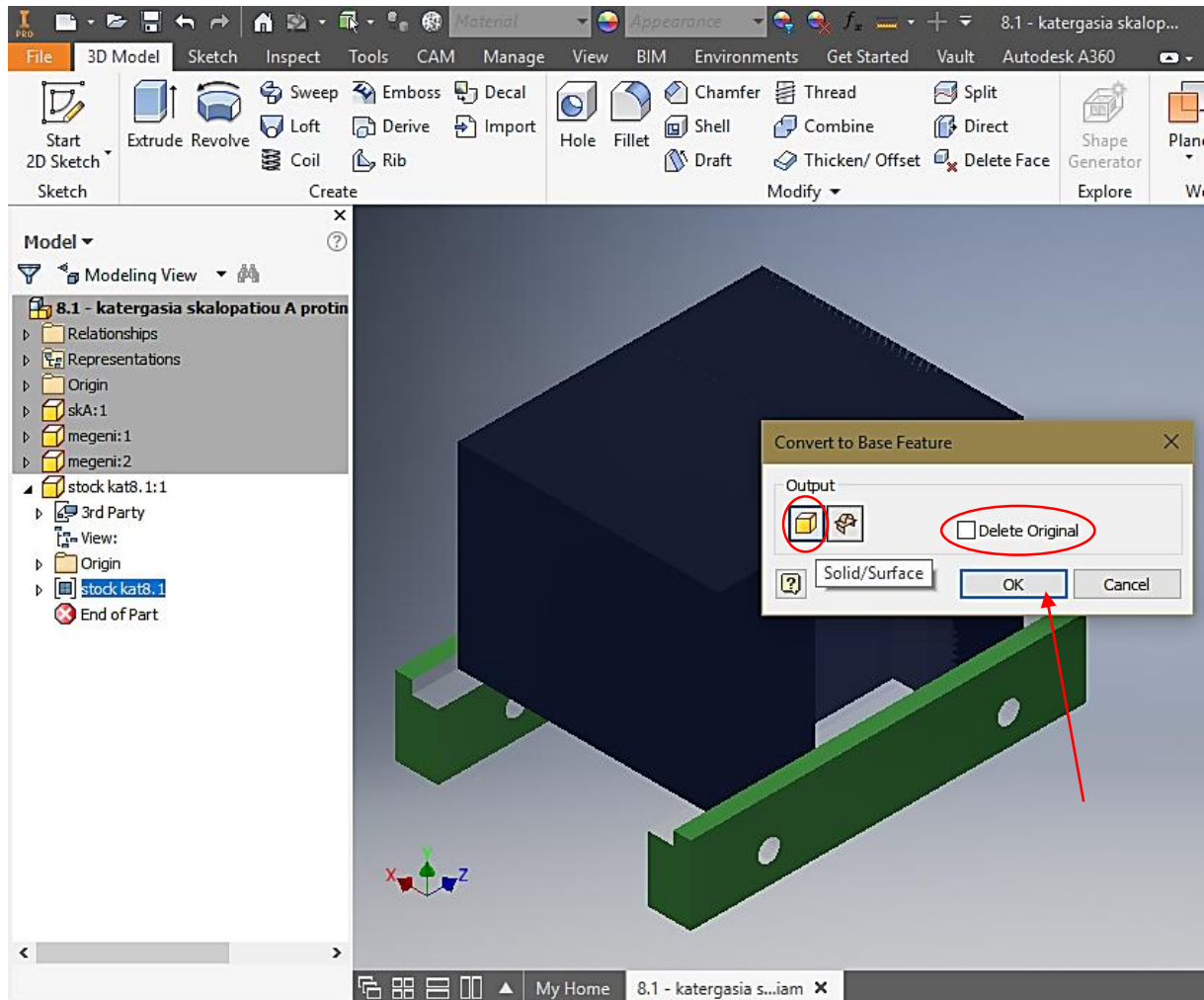
Εικόνα 9.3.10 – Επεξεργασία του πλέγματος του όγκου

Στο περιβάλλον μοντελοποίησης, στο αριστερό τμήμα της οθόνης όπου βρίσκονται τα τεμάχια της συναρμογής δοκιμίου-μέγγενης, επιλέγεται με δεξί κλικ ο όγκος του αρχείου .stl, για να εμφανιστεί ένα ειδικό μενού εντολών. Σε αυτό το μενού επιλέγεται η εντολή Edit για την επεξεργασία του.



Εικόνα 9.3.11 – Μετατροπή πλέγματος σε συμπαγή όγκο

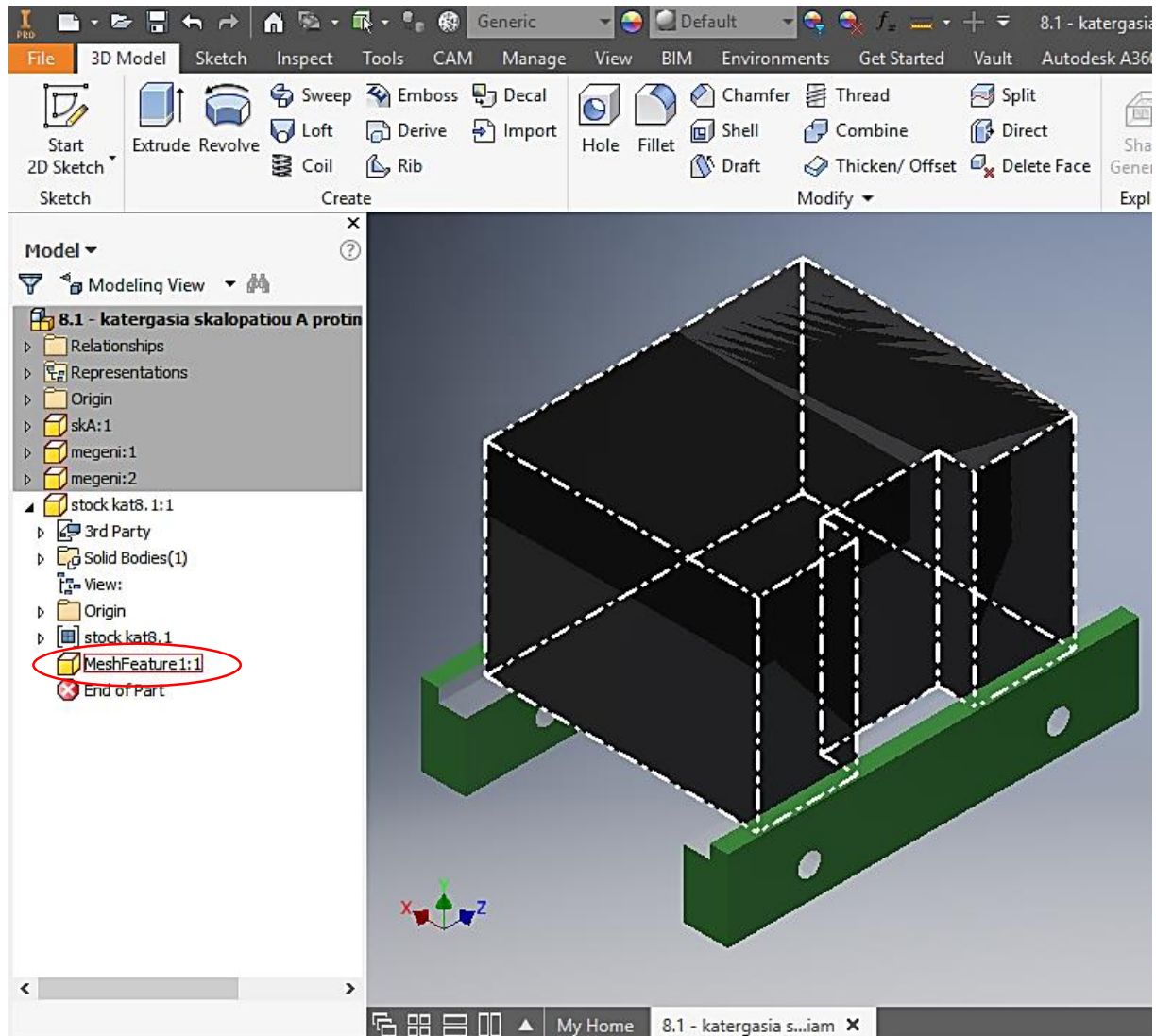
Στα περιεχόμενα του όγκου του αρχείου .stl, επιλέγεται με δεξί κλικ το πλέγμα ώστε να εμφανιστεί ένα ειδικό μενού. Σε αυτό το ειδικό μενού επιλέγεται η εντολή Convert to Base Feature, για την μετάβαση στο παράθυρο μετατροπής του πλέγματος.



Εικόνα 9.3.12 – Μετατροπή πλέγματος σε συμπαγή όγκο

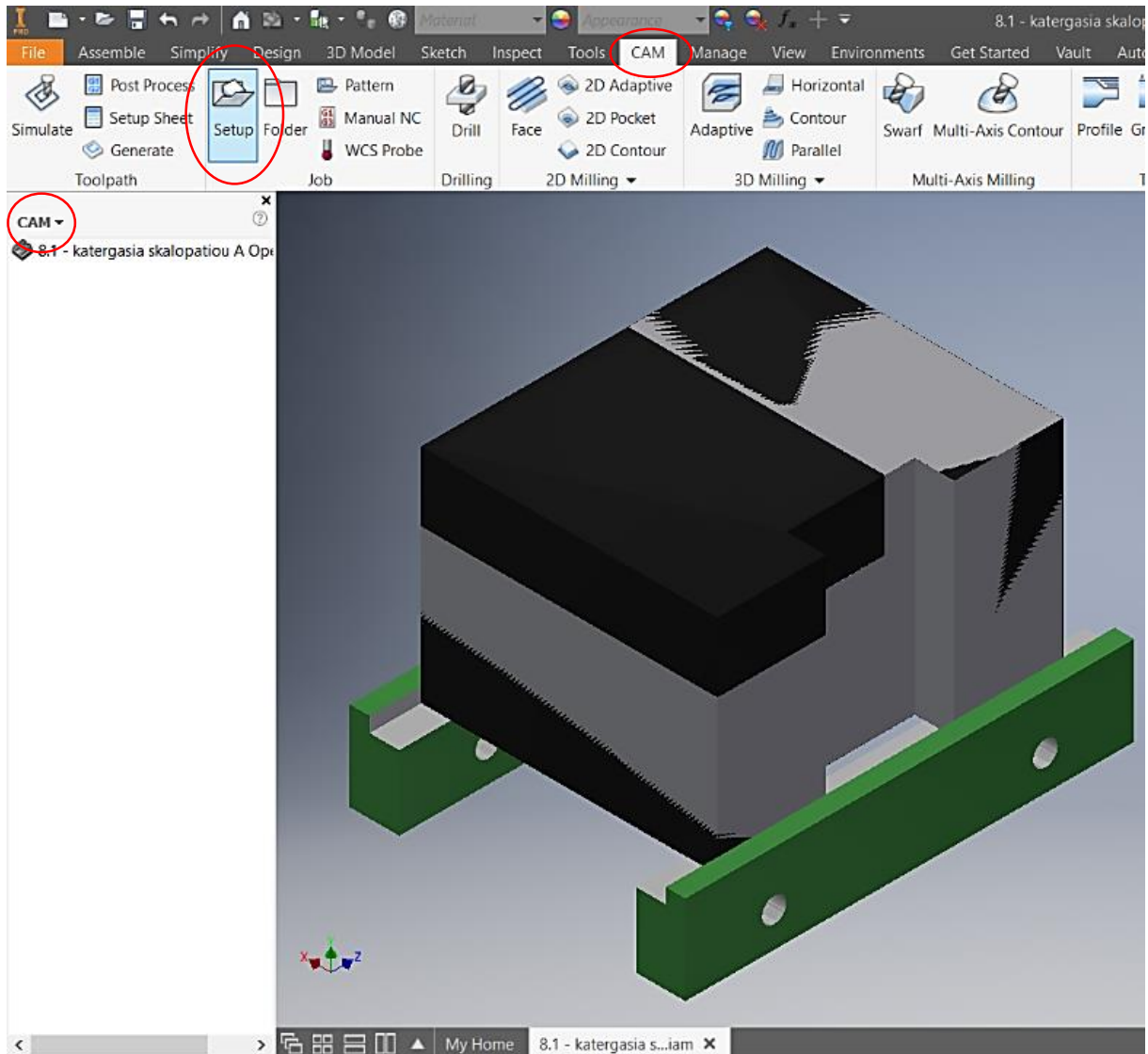
Στο αναδυόμενο παράθυρο αρχικά επιλέγεται η εντολή Solid/Surface, ώστε το πλέγμα να μετατραπεί σε όγκο οριοθετημένο από επιφάνειες. Έπειτα, επιλέγεται να μην διαγραφεί το αρχικό πλέγμα (Delete Original). Τέλος, με την εντολή OK πραγματοποιείται η μετατροπή του πλέγματος σε όγκο.





Εικόνα 9.3.13 – Εμφάνιση νέου όγκου

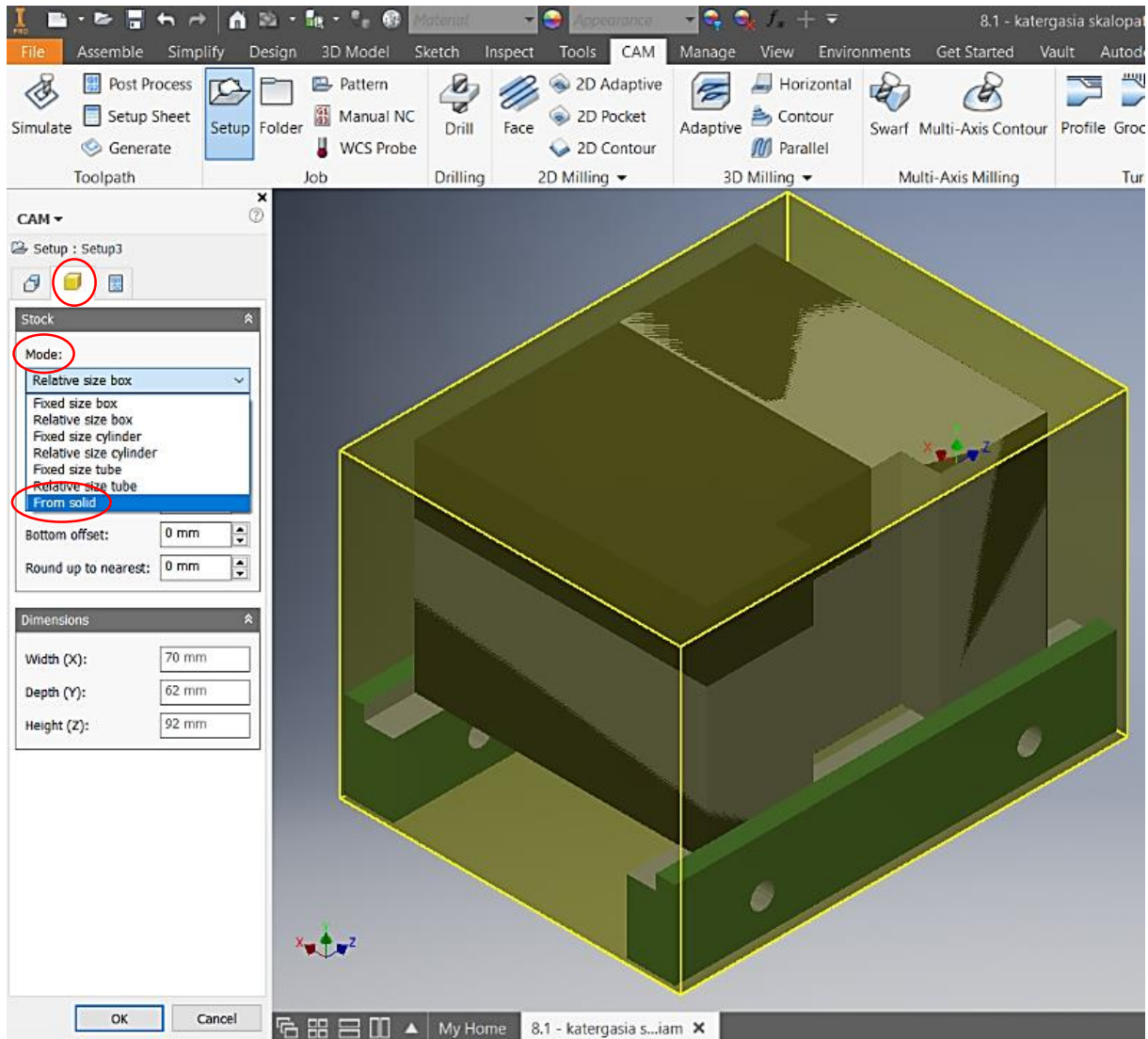
Μετά την ολοκλήρωση της μετατροπής του πλέγματος εμφανίζεται πλέον ο όγκος στο αριστερό μέρος της οθόνης με το όνομα MeshFeature1:1 και με τις ίδιες ιδιότητες που έχει το δοκίμιο της συγκεκριμένης κατεργασίας.



Εικόνα 9.3.14 – Επιλογή εντολής Setup

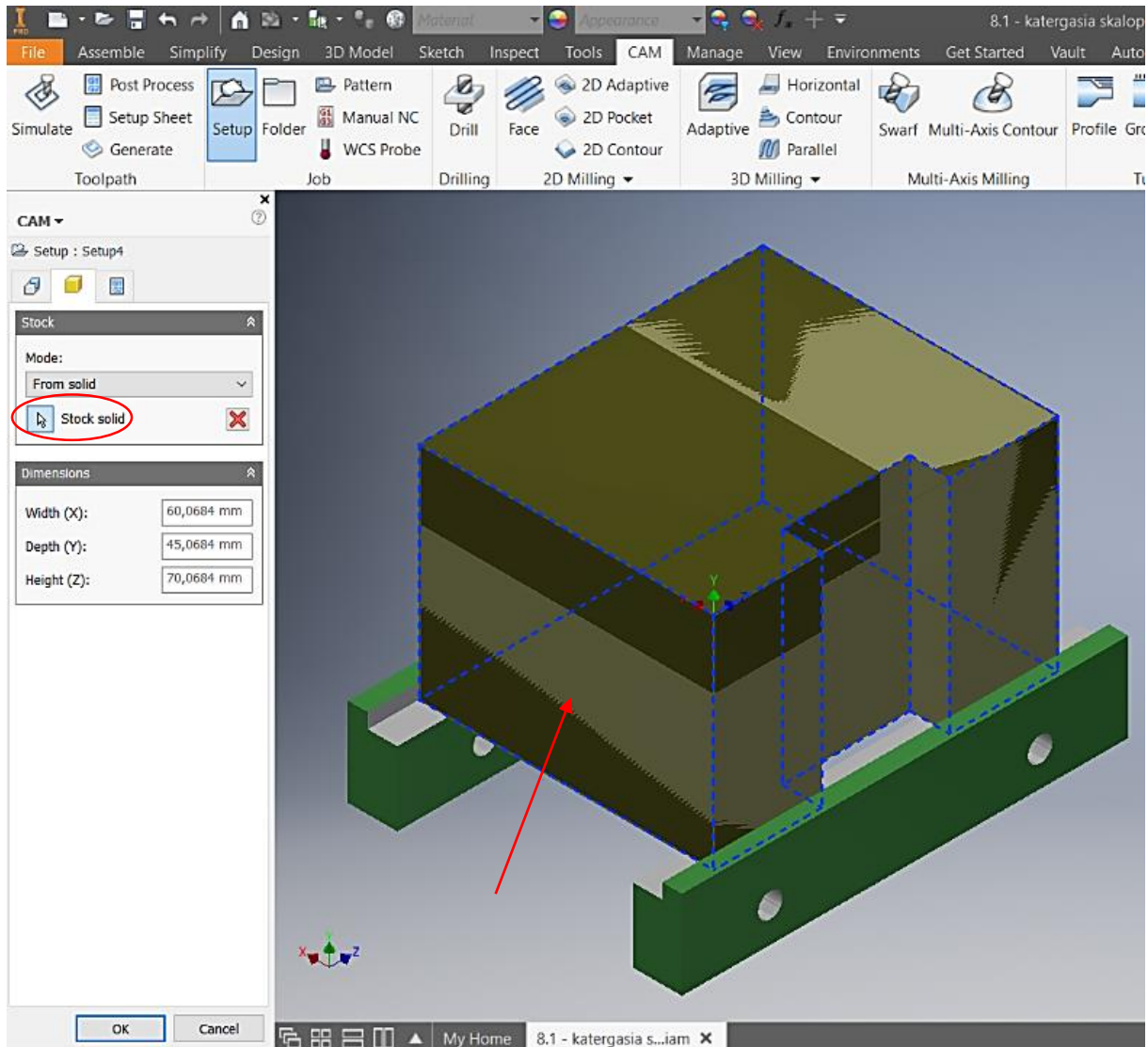
Πραγματοποιείται μετάβαση στο περιβάλλον προγραμματισμού των κοπτικών εργαλείων με τα ίδια βήματα που έγινε η μετάβαση στο περιβάλλον μοντελοποίησης του δοκιμίου. Έπειτα, στην καρτέλα CAM, επιλέγεται η εντολή Setup, για να οριστεί ο αρχικός όγκος.





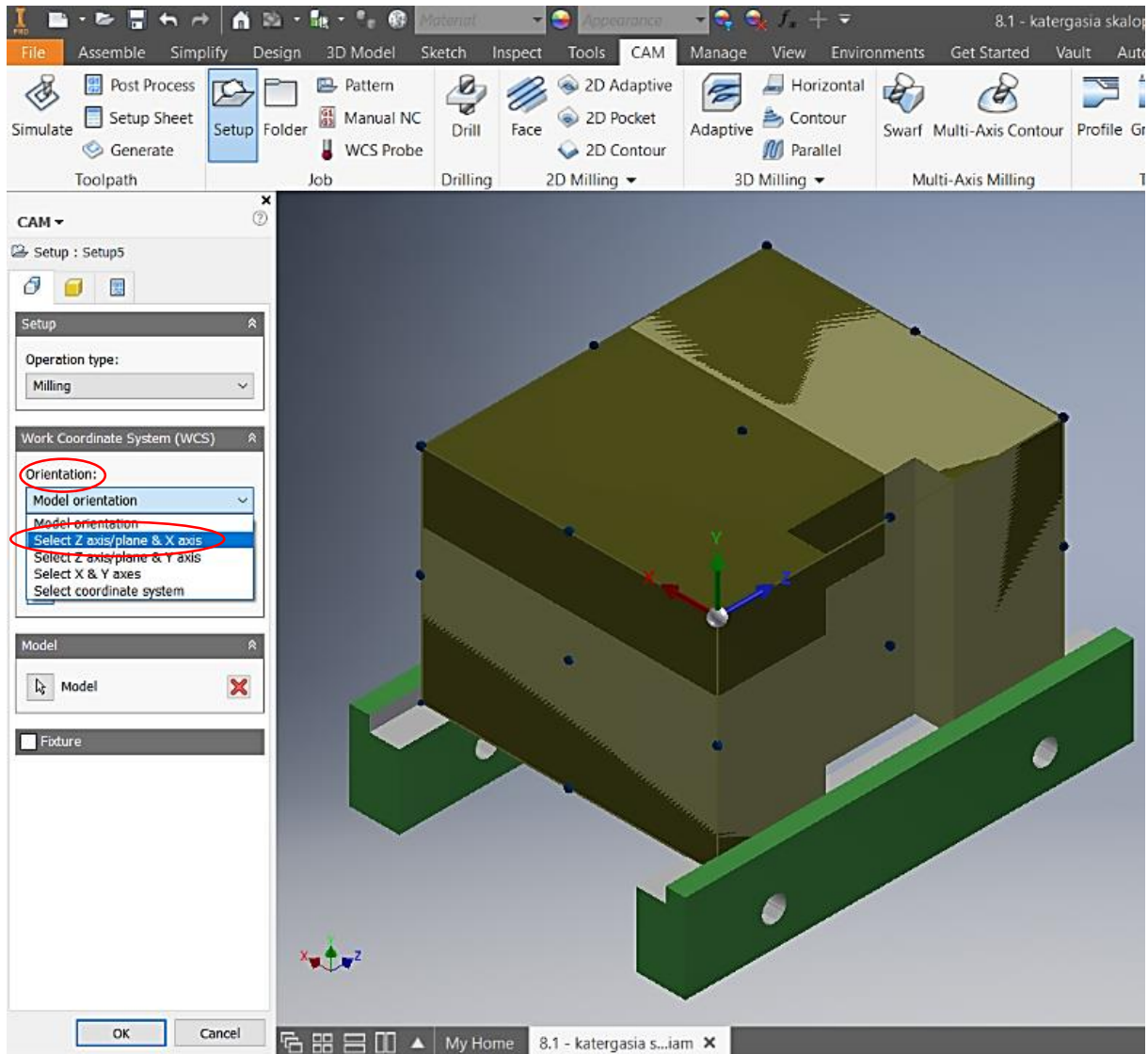
Εικόνα 9.3.15 – Επιλογή επιθυμητού όγκου

Στη δεύτερη καρτέλα του παραθύρου του Setup, στο Mode, γίνεται επιλογή του From solid ώστε να επιλεγεί ως αρχικός όγκος ο ένας από τους δύο όγκους που αποτελείται πλέον η συναρμογή.



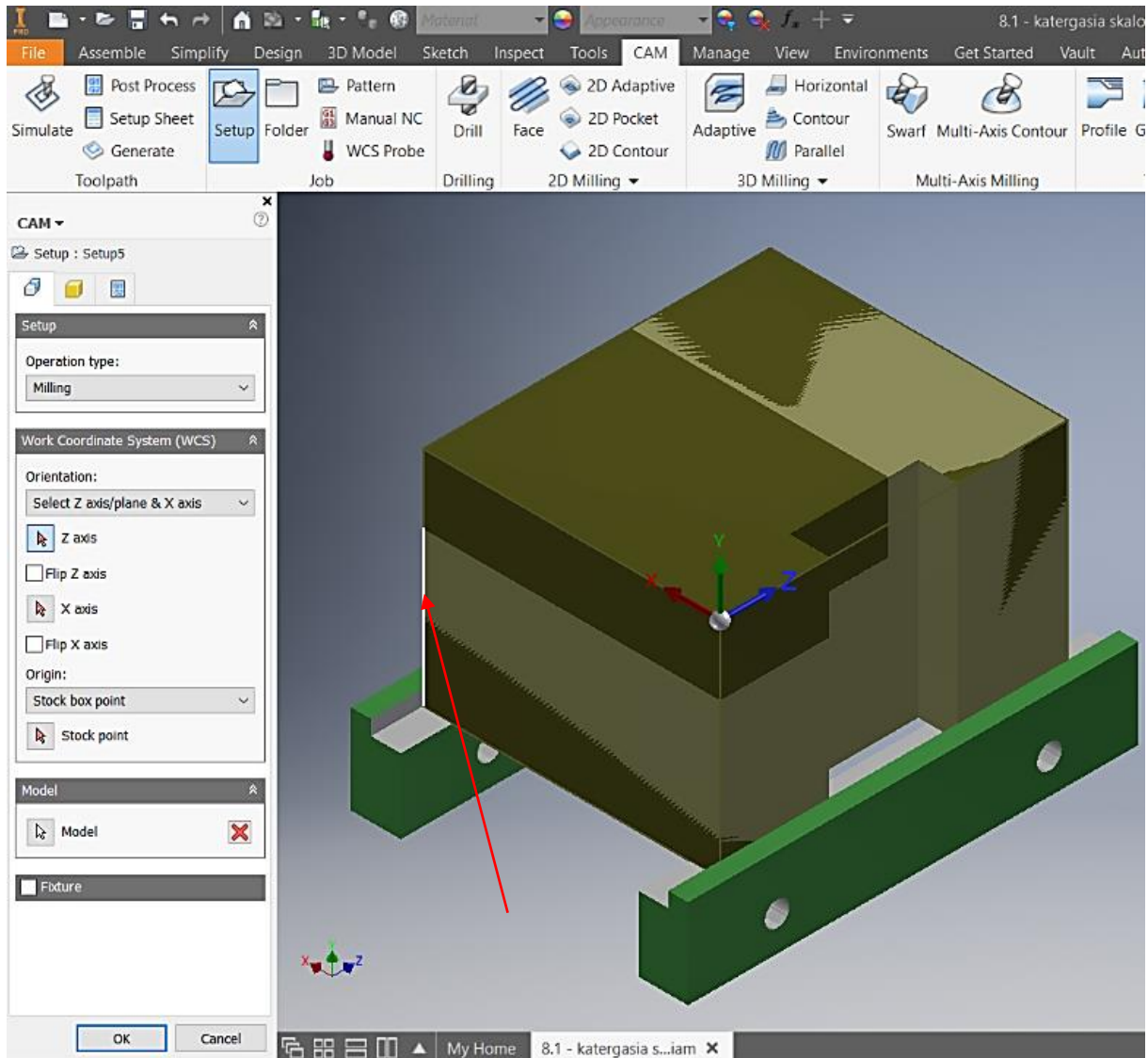
Εικόνα 9.3.16 – Επιλογή γεωμετρίας του αρχείου STL ως αρχικού όγκου

Μέσω της εντολής Stock solid επιλέγεται ο αρχικός όγκος. ΠΡΟΣΟΧΗ. Θα πρέπει να επιλεγθεί μόνο η γεωμετρία του αρχείου .stl, η οποία μετατράπηκε από πλέγμα σε όγκο και είναι ο όγκος μετά το πέρας της προηγούμενης κατεργασίας.



Εικόνα 9.3.17 – Ενότητα Orientation

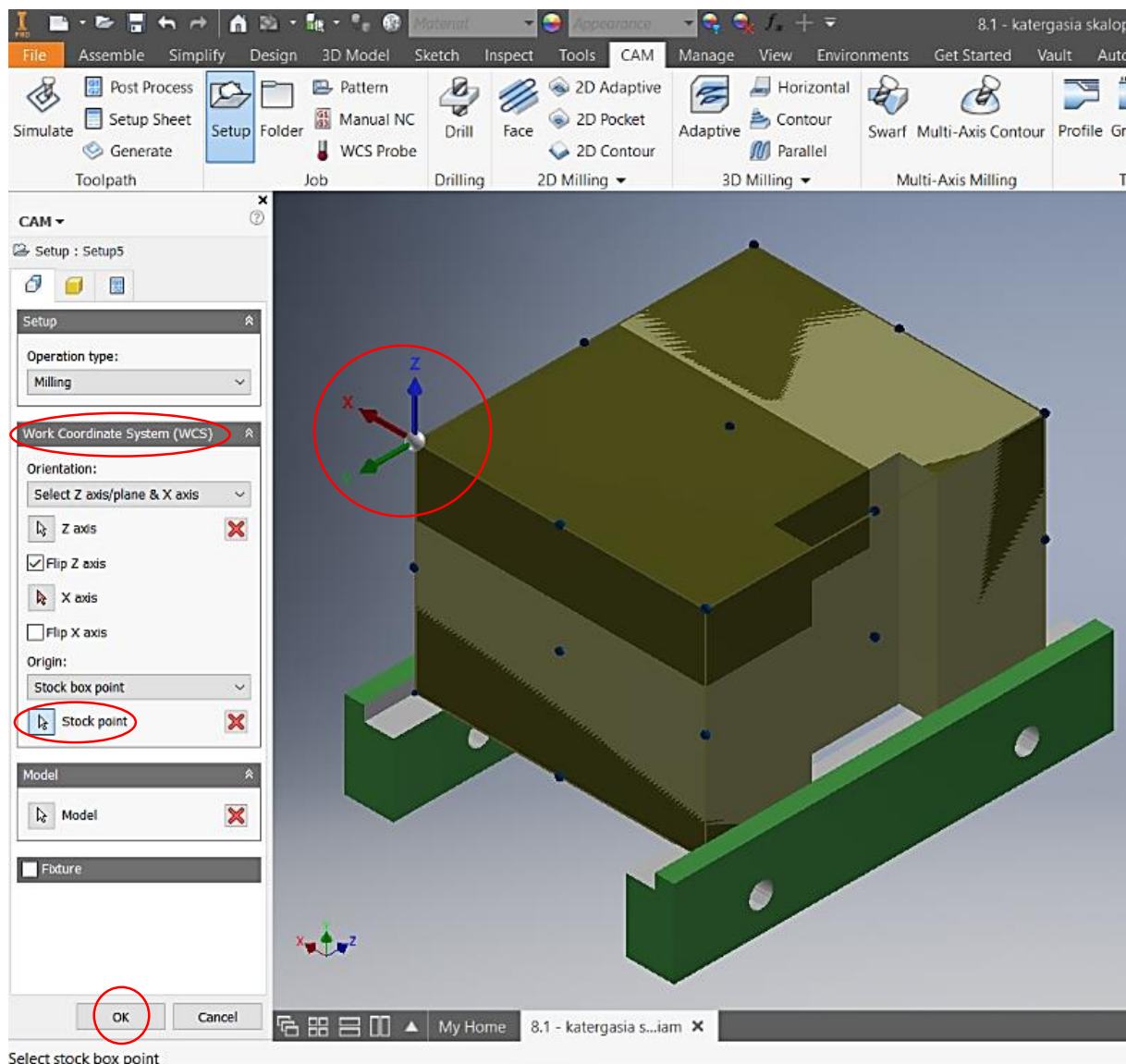
Στην ενότητα Orientation, επιλέγεται η εντολή Select Z axis/plane & X axis ώστε να οριστεί η κατεύθυνση του άξονα Z, ο οποίος καθορίζει την κίνηση του κοπτικού εργαλείου και επομένως το βάθος κοπής.



Εικόνα 9.3.18 – Κατεύθυνση άξονα Z

Επιλέγεται μια οποιαδήποτε ακμή η οποία θα ορίσει την κατεύθυνση του άξονα Z. Σε περίπτωση που ο άξονας Z δεν έχει την επιθυμητή φορά, τότε επιλέγοντας την άκρη του βέλους του άξονα αλλάζει η φορά του.



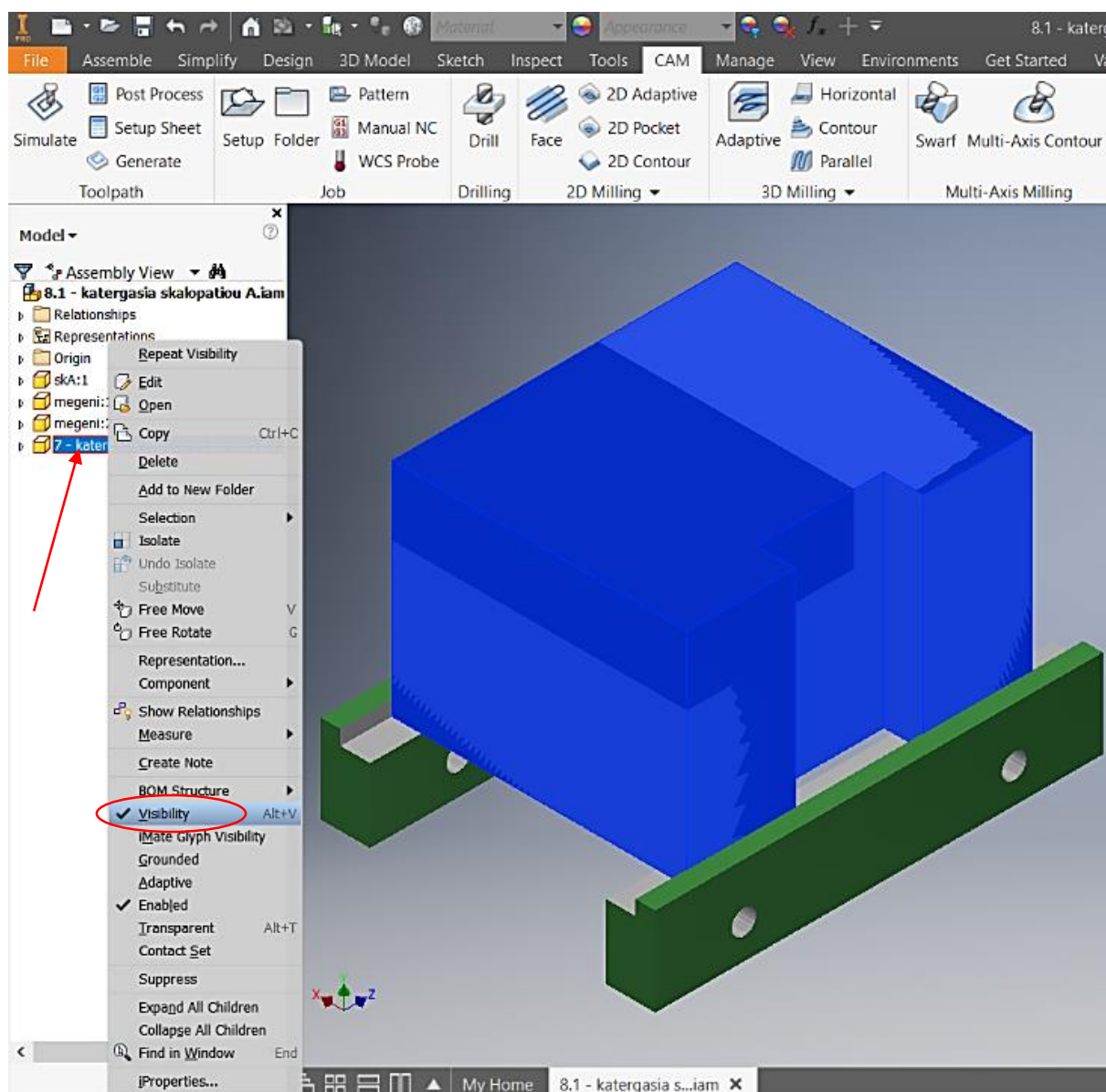


Εικόνα 9.3.19 – Εντολή Stock Point

Στην ενότητα Work Coordinate System (WCS), γίνεται επιλογή της εντολής Stock Point. Μόλις εμφανιστούν τα διαθέσιμα σημεία όπως φαίνεται στην παραπάνω εικόνα (Εικόνα 9.3.19 – Εντολή Stock point), ορίζεται σε ένα από αυτά το σύστημα συντεταγμένων.

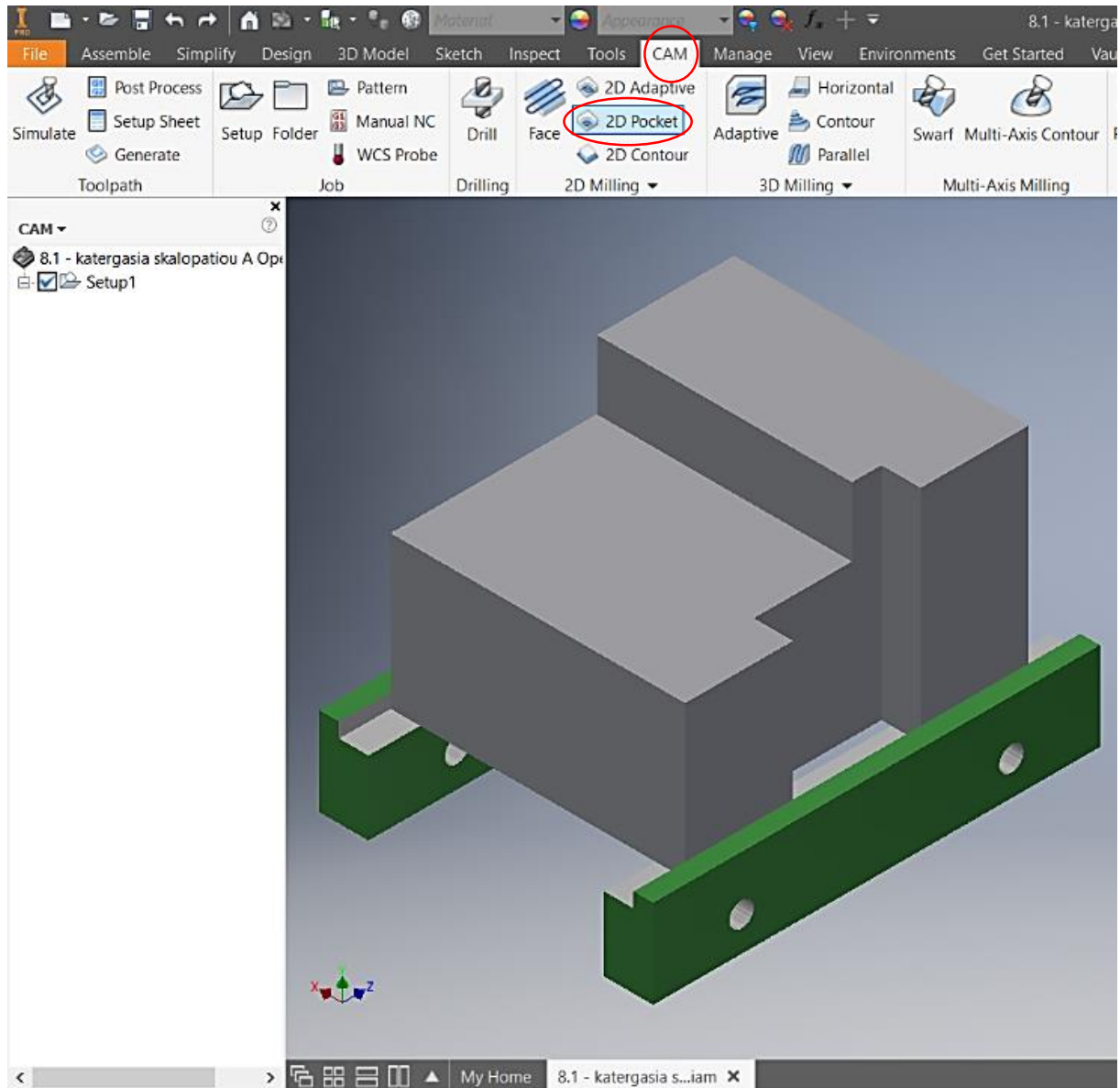
Τέλος, πατώντας το κουμπί OK ολοκληρώνεται η διαδικασία του ορισμού του αρχικού όγκου και του συστήματος συντεταγμένων.

## 2. Επιλογή κοπτικού εργαλείου και παραγωγή της πορείας του.



Εικόνα 9.3.20 – Κατάργηση ορατότητας όγκου

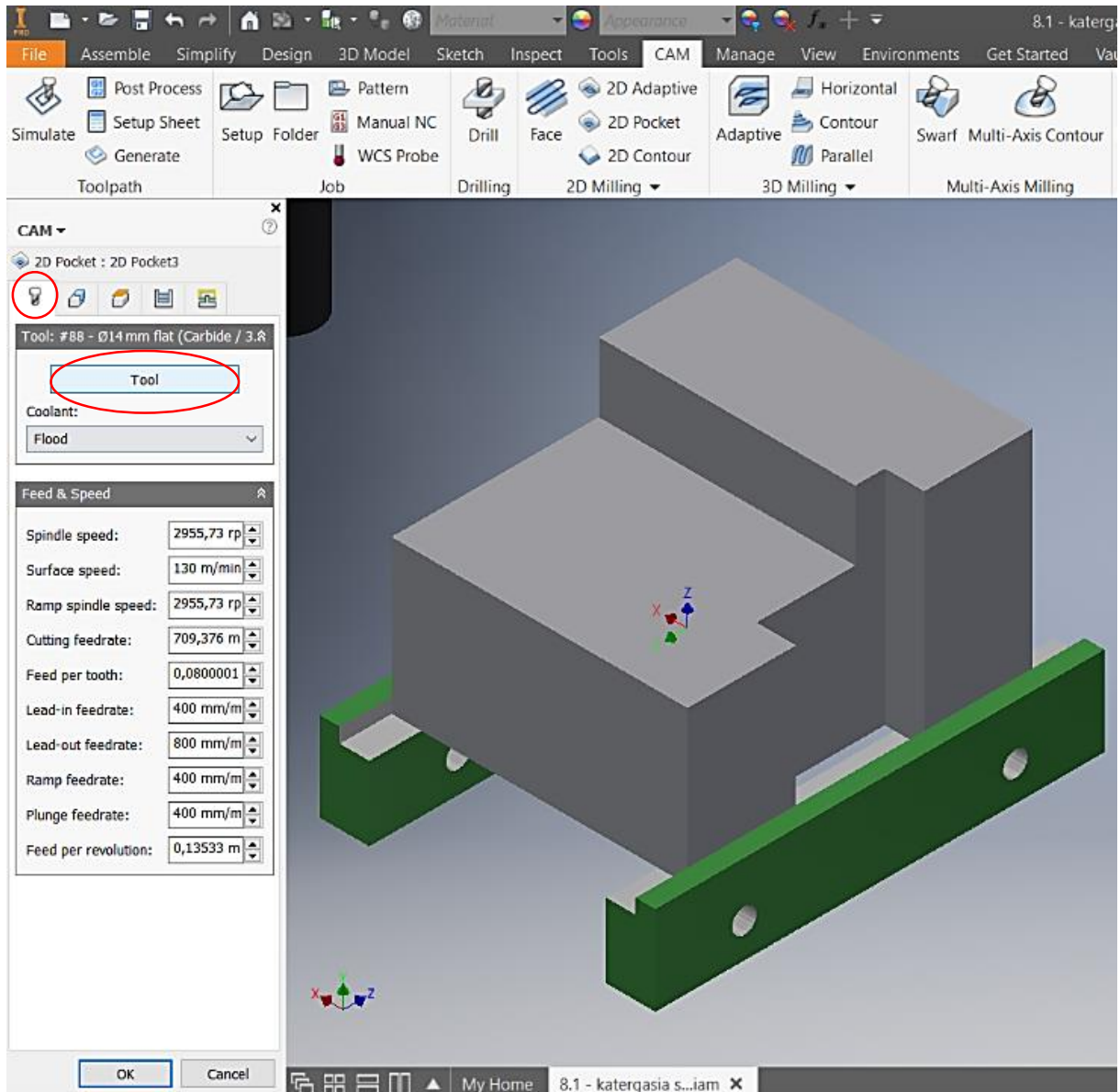
Πριν ξεκινήσει η επιλογή του κοπτικού εργαλείου γίνεται μία μετάβαση στο περιβάλλον μοντελοποίησης του δοκιμίου, όπως αυτή πραγματοποιήθηκε και σε προηγούμενα βήματα. Επιλέγεται ο νέος όγκος που προστέθηκε στο πρόγραμμα και με δεξί κλικ ανοίγει ένα ειδικό μενού. Σε αυτό το μενού επιλέγεται η εντολή Visibility για να γίνει αόρατος αυτός ο όγκος. Σκοπός αυτής της ενέργειας είναι ορατότητα της κάτω επιφάνειας αυτού του όγκου, ώστε να επιλεγθεί για τον προγραμματισμό της πορείας του κοπτικού εργαλείου.



Εικόνα 9.3.21 – Επιλογή εντολής 2D Pocket

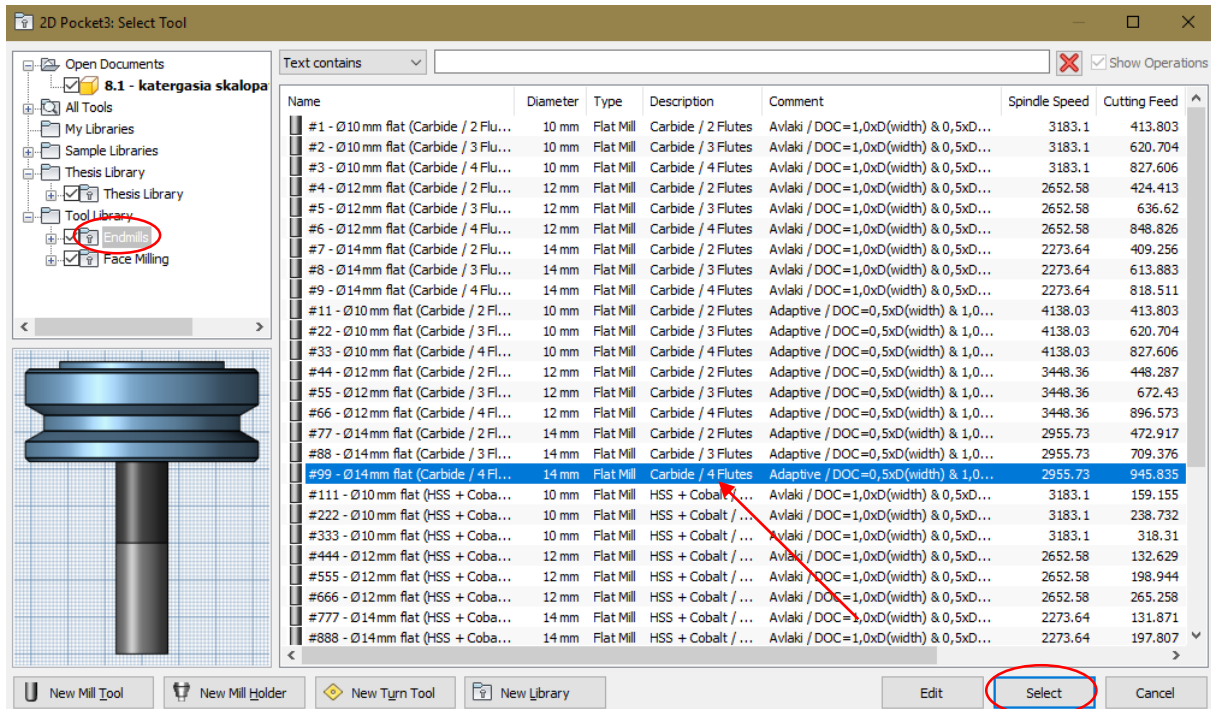
Έπειτα, γίνεται πάλι μετάβαση στο περιβάλλον προγραμματισμού των κοπτικών εργαλείων με τον ίδιο τρόπο. Στην καρτέλα CAM του προγράμματος, επιλέγεται η εντολή 2D Pocket για τη διαμόρφωση του πρώτου σκαλοπατιού.





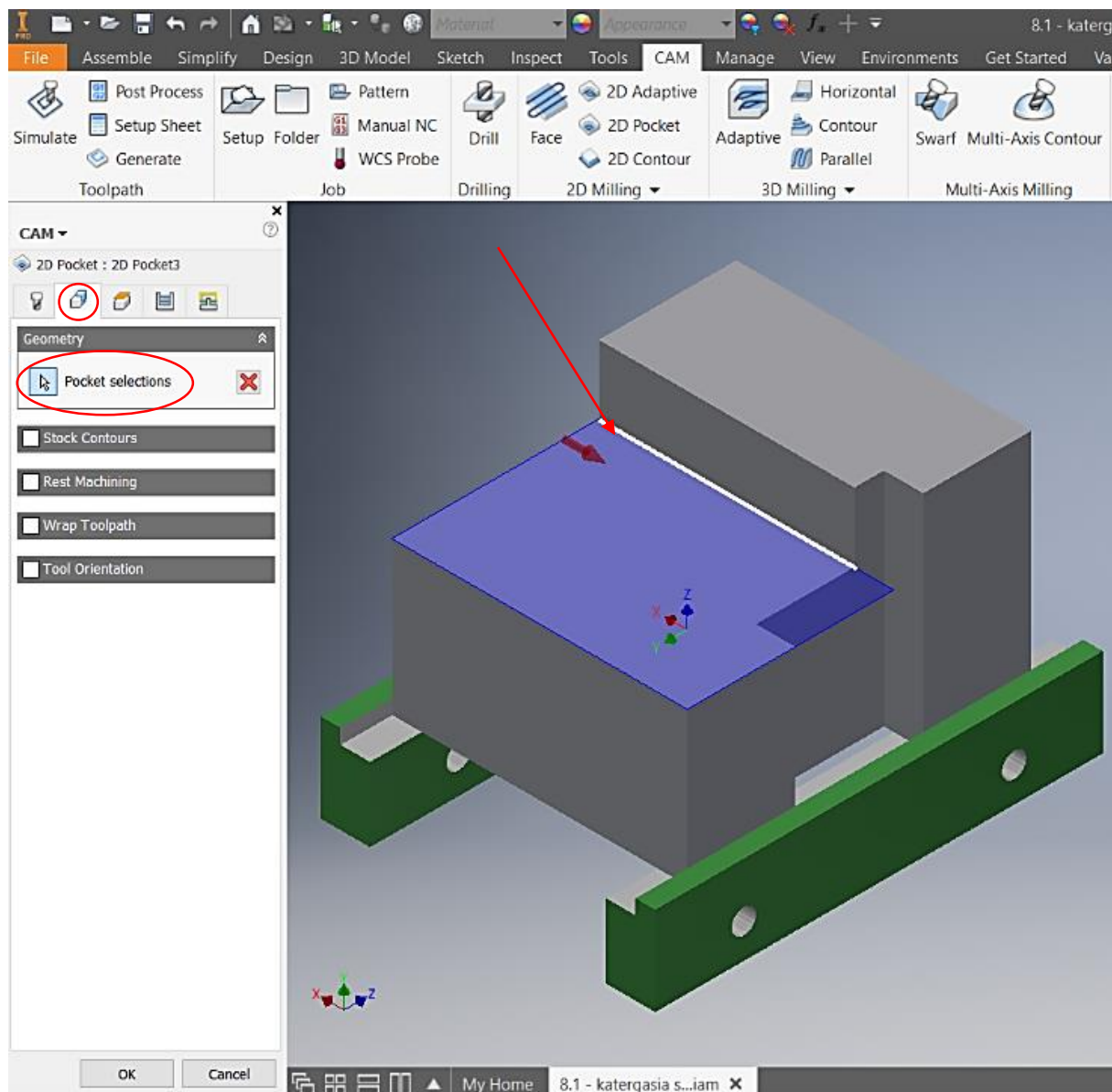
Εικόνα 9.3.22 – Επιλογή κοπτικού εργαλείου

Στην πρώτη καρτέλα του παραθύρου της εντολής 2D Pocket, επιλέγεται η εντολή Tool για την μετάβαση στην βιβλιοθήκη των κοπτικών εργαλείων.



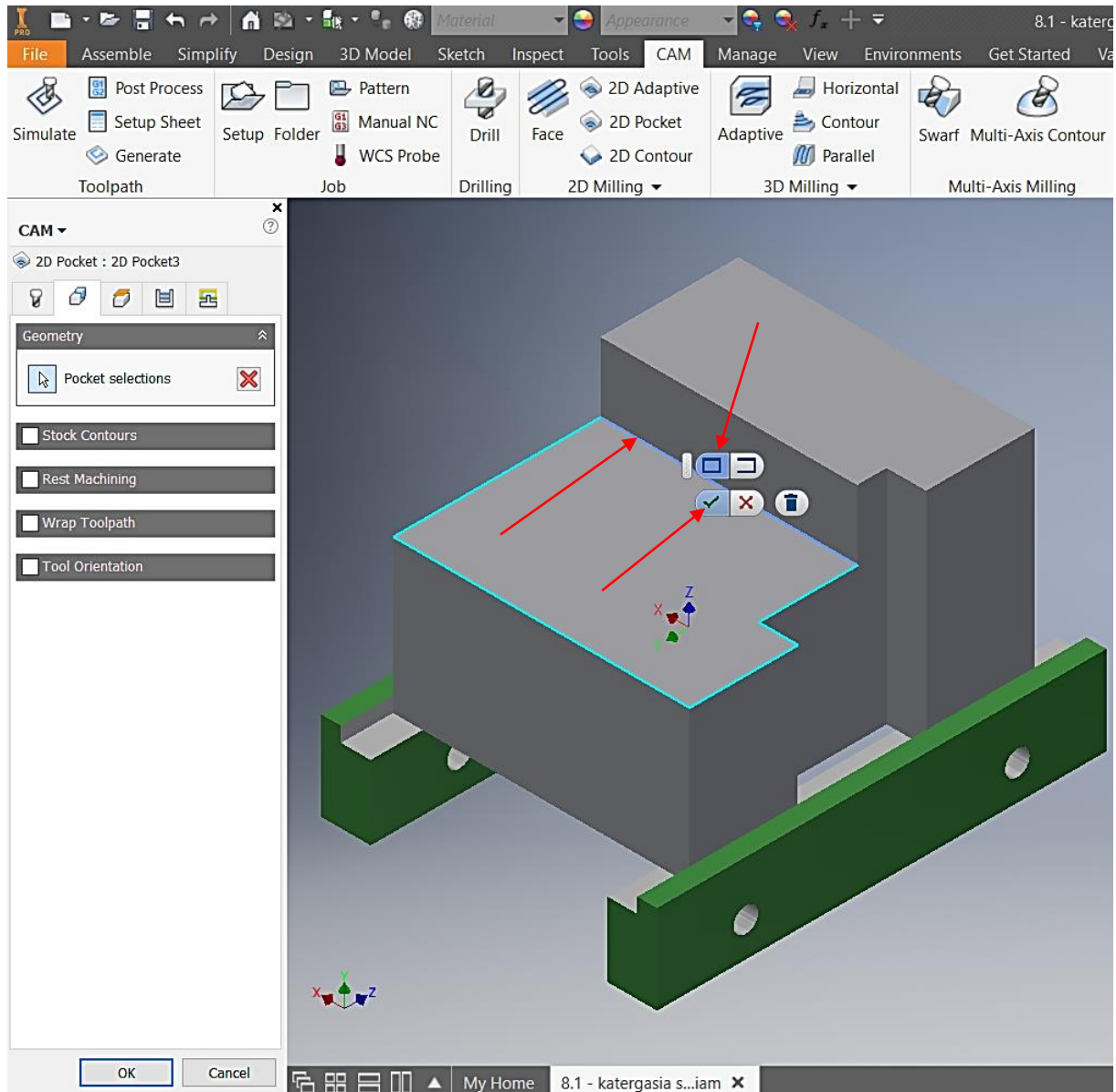
Εικόνα 9.3.23 – Βιβλιοθήκη κοπτικών εργαλείων

Στο αναδυόμενο παράθυρο, επιλέγεται το κοπτικό εργαλείο. Στην συγκεκριμένη φάση κατεργασίας το κονδύλι Νο 99.  
Σε αυτό το σημείο πρέπει να αναφερθεί ότι έχει προηγηθεί η δημιουργία όλων των κοπτικών εργαλείων για την εκπόνηση της εργασίας.



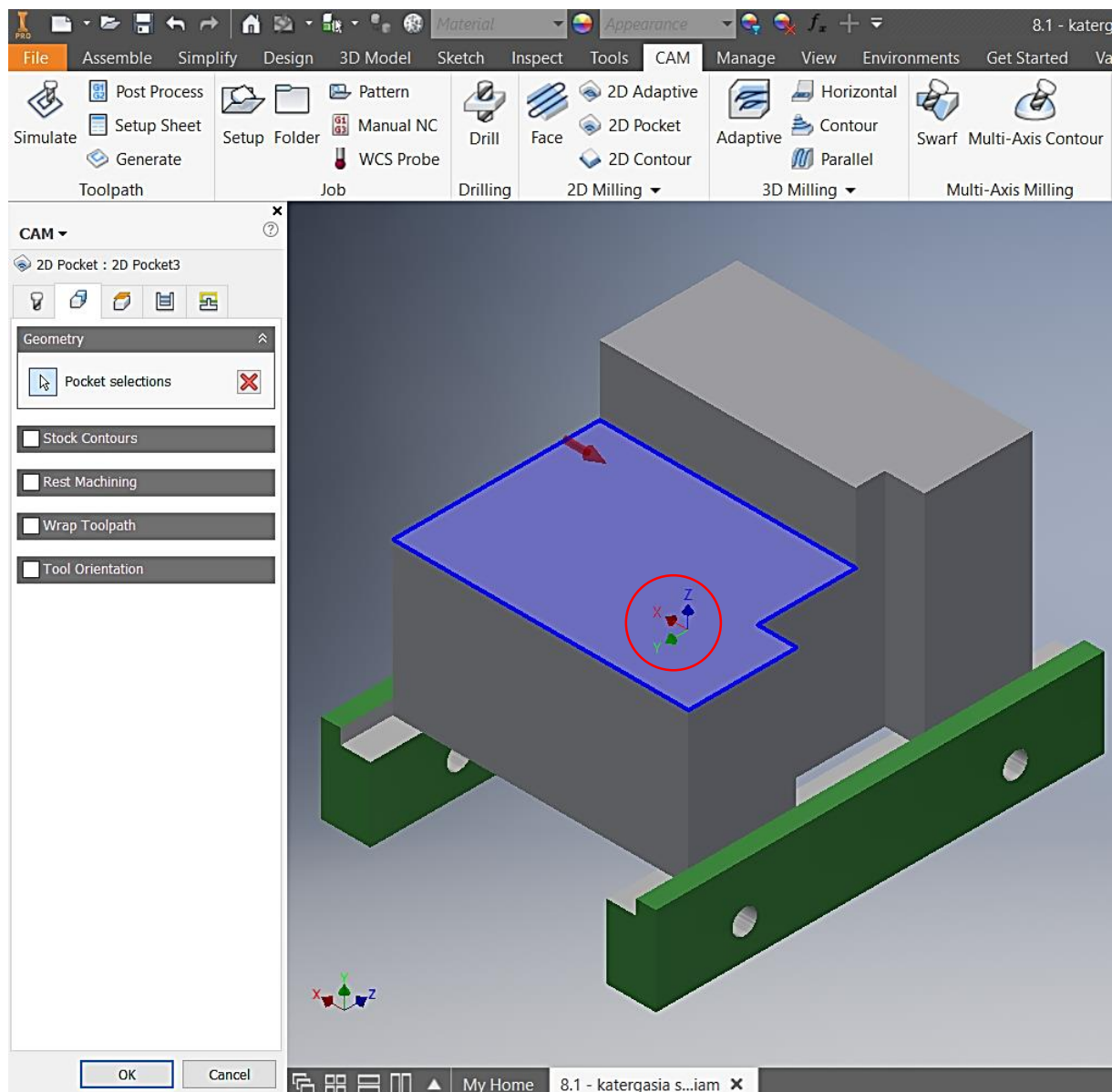
Εικόνα 9.3.24 – Επιλογή επιφάνειας προς κατεργασία

Στην δεύτερη καρτέλα, ορίζονται πρώτα τα όρια της προς κατεργασίας επιφάνειας και έπειτα το σύστημα συντεταγμένων του κοπτικού εργαλείου. Στην ενότητα Geometry, μέσω της εντολής Pocket selections, επιλέγεται η προς κατεργασία επιφάνεια.



Εικόνα 9.3.25 – Οριοθέτηση της προς κατεργασίας επιφάνειας

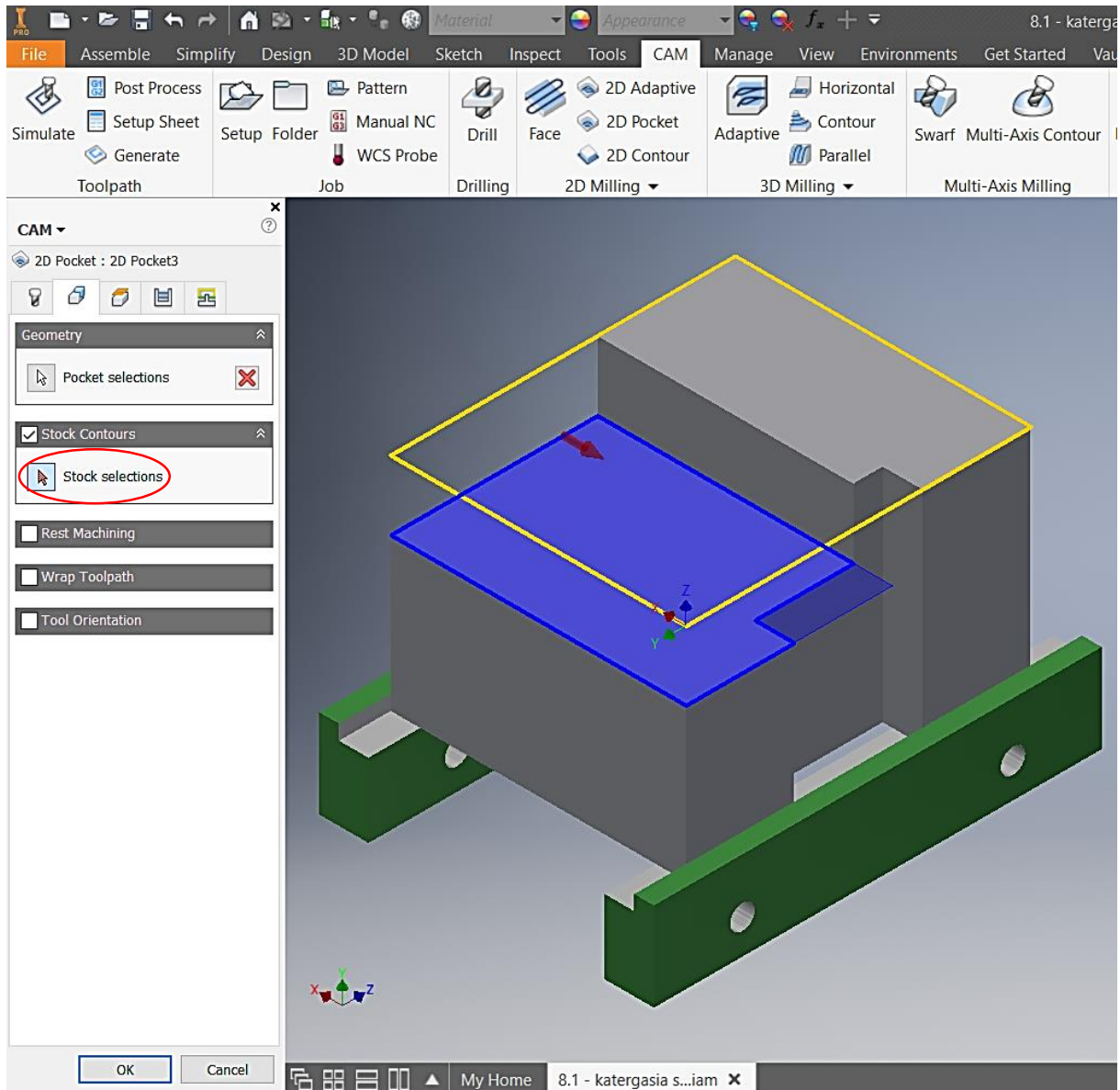
Σε περίπτωση που δεν έχουν επιλεγθεί αυτόματα όλες οι ακμές που οριοθετούν την επιφάνεια, τότε επιλέγεται ξανά η ίδια ακμή. Κατόπιν, επιλέγεται να οριστούν ως όρια της επιφάνειας αυτής ένα κλειστό περίγραμμα μέσω των ακμών της. Τέλος, οριστικοποιείται η επιλογή αυτή με την εντολή «ν».



Εικόνα 9.3.26 - Οριοθέτηση της προς κατεργασίας επιφάνειας

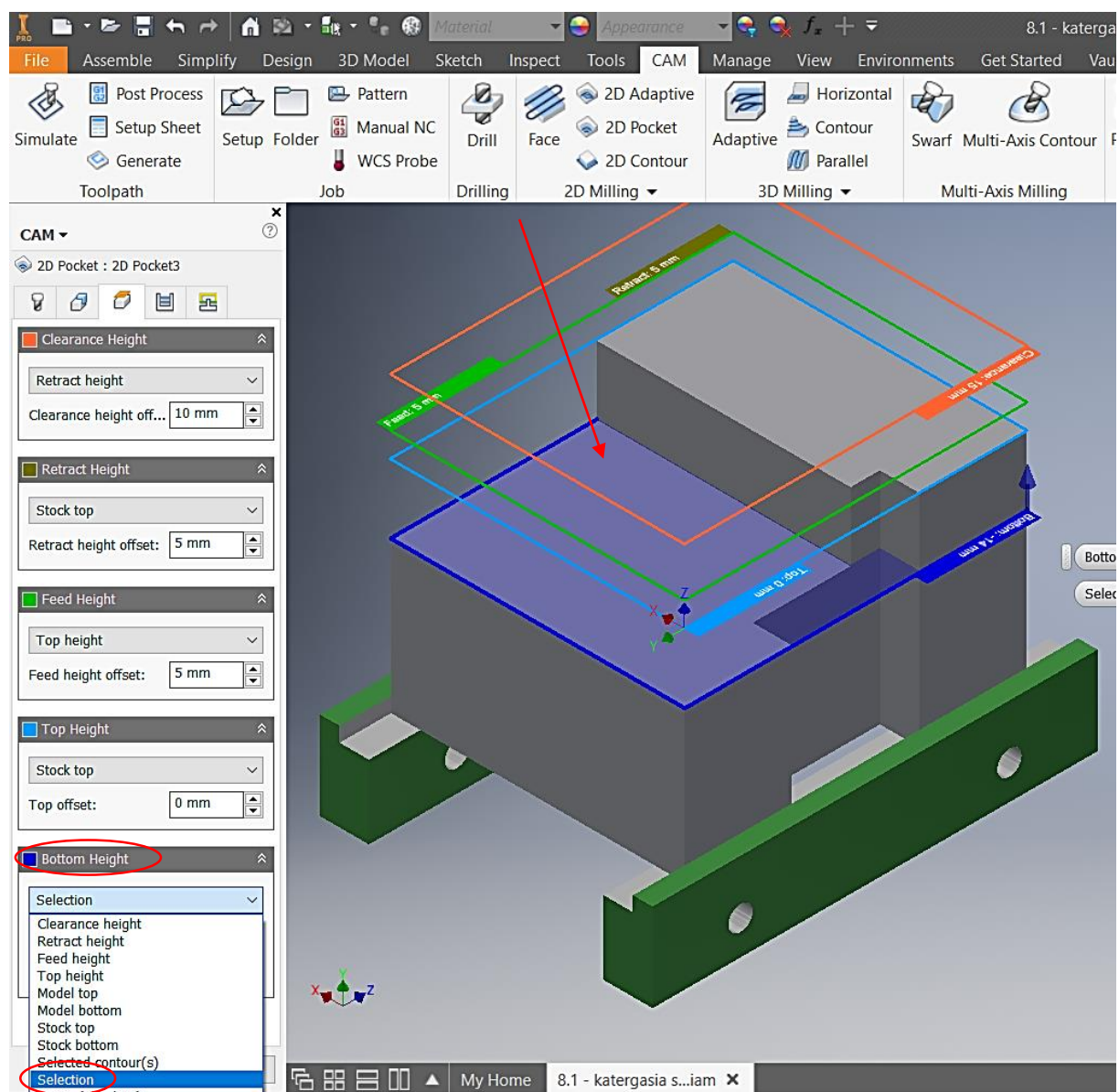
Επίσης, το σύστημα συντεταγμένων του κοπτικού εργαλείου, όπως αυτό προτείνεται από το πρόγραμμα, βρίσκεται στην επιθυμητή θέση. Στην συγκεκριμένη περίπτωση βρίσκεται σε γωνία του άορατου όγκου, για αυτό φαίνεται πως είναι εντός του δοκιμίου. Επίσης έχει και την κατάλληλη διεύθυνση των αξόνων για την σωστή κατεργασία της επιφάνειας. Δηλαδή, ο άξονας Z (κατακόρυφη κίνηση κοπτικού εργαλείου) έχει κάθετη στην επιφάνεια διεύθυνση ώστε να μπορεί να οριστεί το βάθος κοπής. Σε περίπτωση που το προτεινόμενο σύστημα συντεταγμένων δεν είναι το επιθυμητό, επιλέγοντας την εντολή Tool Orientation, ορίζεται νέο σύστημα συντεταγμένων για το κοπτικό εργαλείο ακολουθώντας τα ίδια βήματα που εφαρμόζονται στην εντολή Setup.





Εικόνα 9.3.27 – Απομόνωση όγκου κατεργασίας

Στη συνέχεια, στην ενότητα Stock Contours, μέσω της εντολής Stock selections ορίζονται τα όρια του αρχικού όγκου της. Παραμένει η προτεινόμενη από το πρόγραμμα επιφάνεια ως επιλογή για τον ορισμό των ορίων της.

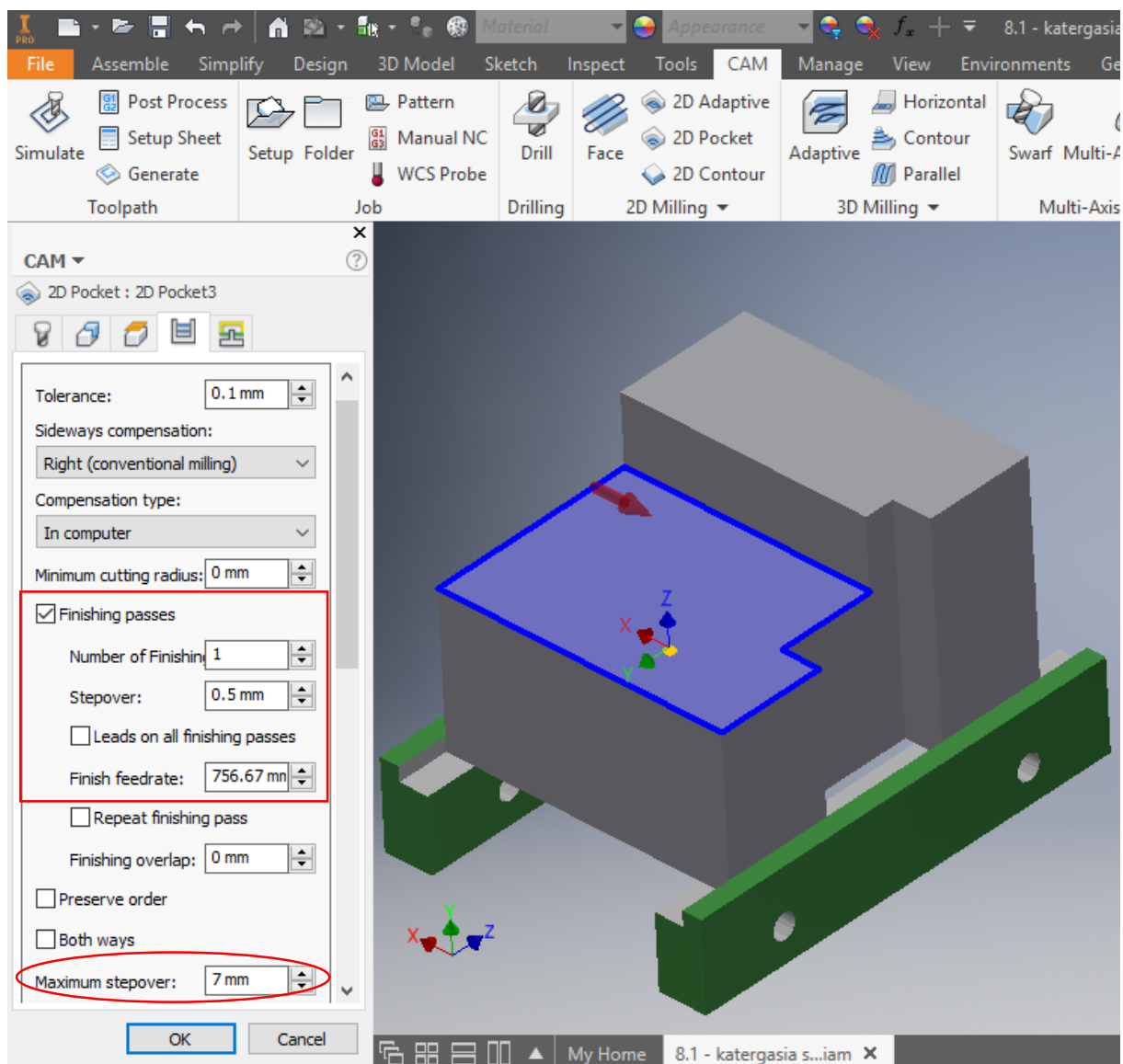


Εικόνα 9.3.28 – Ορισμός επιπέδων κοπτικού εργαλείου

Στην τρίτη καρτέλα, καθορίζονται τα ύψη συναρτήσεων των συνθηκών κατεργασίας του κοπτικού εργαλείου. Στην προκειμένη περίπτωση, ορίζεται το ύψος του κατώτερου επιπέδου στο οποίο θα φτάσει το κοπτικό εργαλείο κατά την κατακόρυφη κίνησή του.

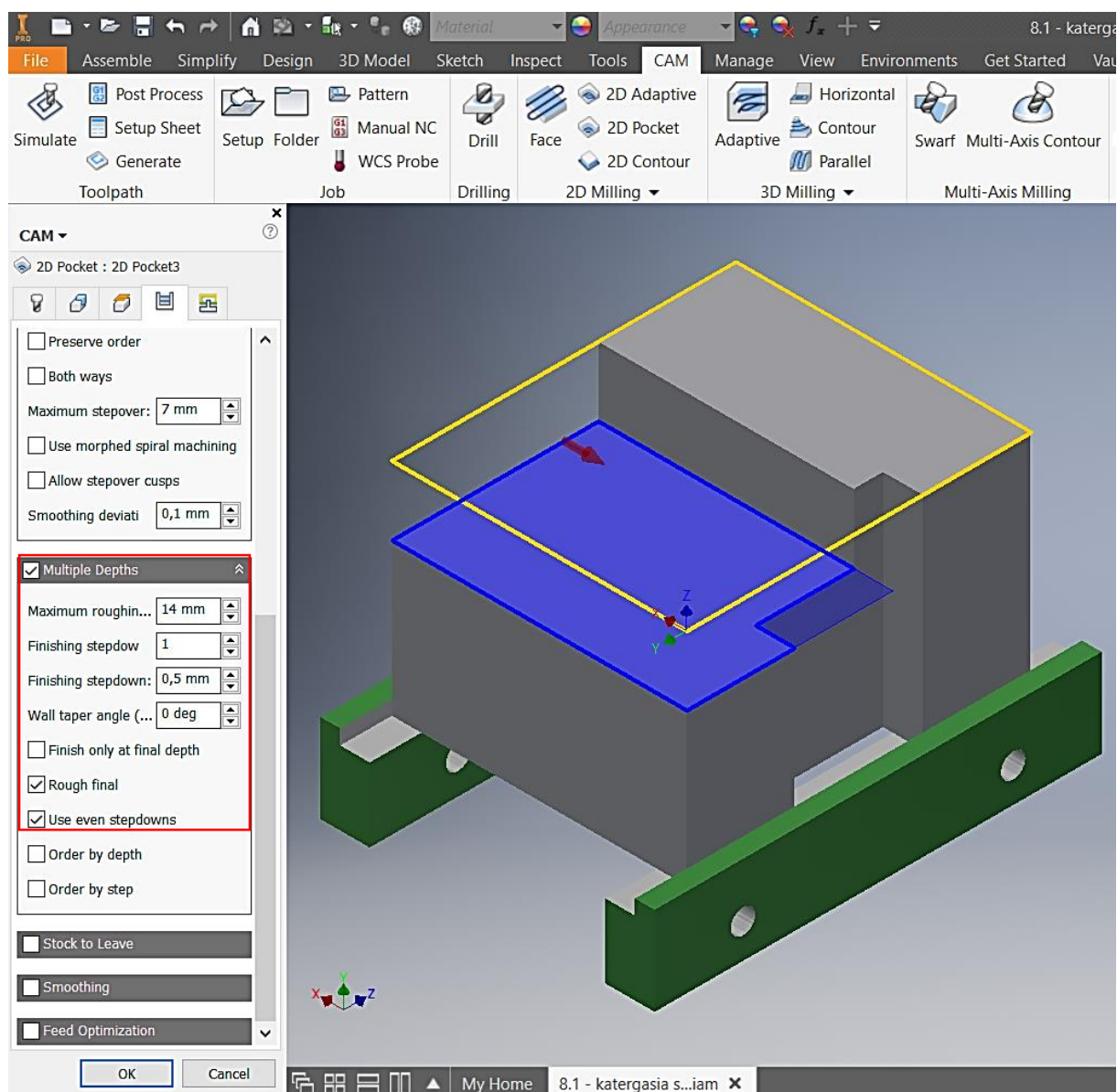
Αυτό επιτυγχάνεται μέσω της εντολής Selection και της επιλογής της προς κατεργασίας επιφάνειας.





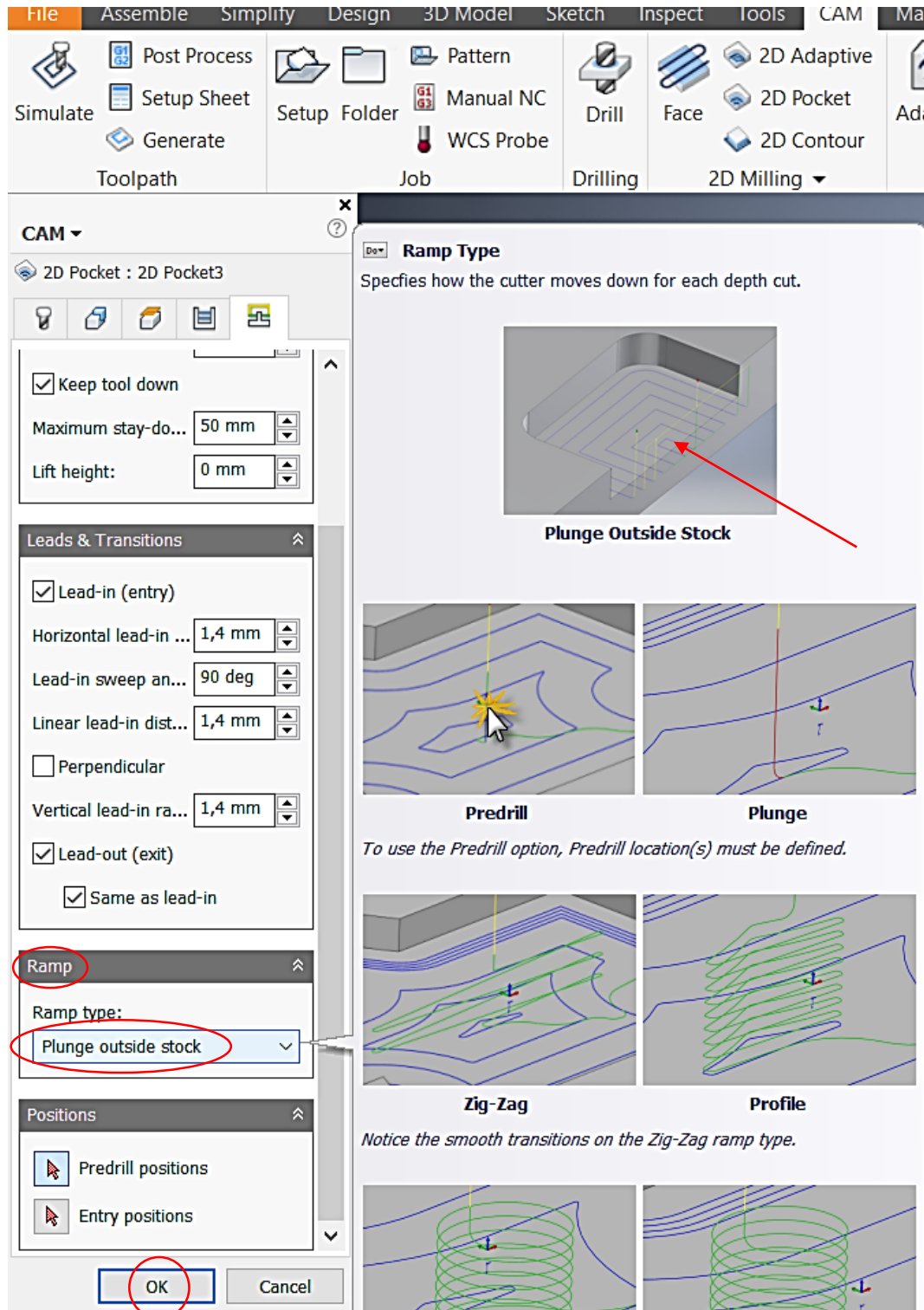
Εικόνα 9.3.29 – Επεξεργασία πάσων

Στην τέταρτη καρτέλα, ορίζονται οι συνθήκες κατεργασίας για κάθε πάσο. Αρχικά, επιλέγεται η εντολή *Finishing passes*, με σκοπό να πραγματοποιηθεί φινιρίσμα πριν ολοκληρωθεί η κατεργασία. Το πάσο του φινιρίσματος είναι ένα (*Number of Finishing passes*), το βάθος κοπής του είναι 0,5 mm (*Stepover*) και η πρόωσή του είναι κατά 20% μικρότερη της πρόωσης του ξεχονδρίσματος. Στη συγκεκριμένη περίπτωση προκύπτει ότι είναι 756,67 mm/min. Κατόπιν, επιλέγεται η μέγιστη μετατόπιση του κοπτικού εργαλείου στον οριζόντιο άξονα (*Maximum stepover*) στα 7 mm, το οποίο προκύπτει από τις τεχνικές προδιαγραφές του κοπτικού εργαλείου.



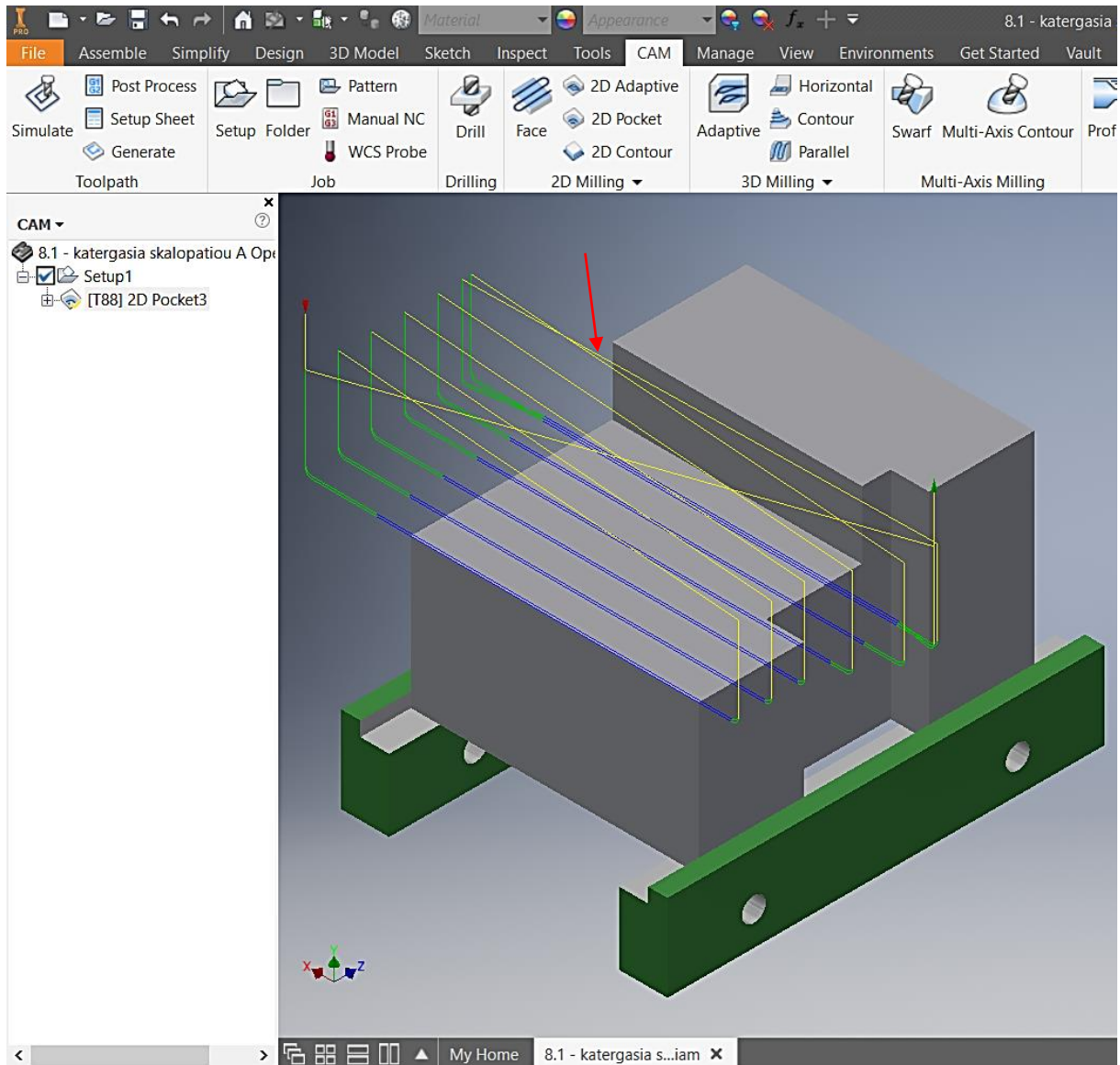
Εικόνα 9.3.30 – Επεξεργασία πάσων

Έπειτα, επιλέγεται η ενότητα *Multiple Depths* ώστε η κατεργασία να πραγματοποιηθεί με πολλαπλά πάσσα. Το μέγιστο βάθος κοπής για τα πάσσα του ξεχονδρίσματος (*Maximum roughing stepdown*) είναι 14 mm, το οποίο προκύπτει από τις τεχνικές προδιαγραφές του κοπτικού εργαλείου. Ξαναορίζονται τα πάσσα του φινιρίσματος με τα ίδια χαρακτηριστικά που ορίστηκαν παραπάνω. Τέλος, επιλέγεται η εντολή *Use even stepdowns*, ώστε με βάση το μέγιστο βάθος κοπής και το βάθος της αυλάκωσης να δημιουργηθούν αυτόματα πάσσα ξεχονδρίσματος με ίσο βάθος κοπής.



Εικόνα 9.3.31 – Επιλογή τρόπου εισαγωγής κοπτικού εργαλείου

Στην πέμπτη και τελευταία καρτέλα, ορίζεται ο τρόπος εισόδου του κοπτικού εργαλείου. Στην ενότητα Ramp επιλέγεται η εντολή Plunge outside stock, ώστε η είσοδος του κοπτικού εργαλείου να γίνει όπως φαίνεται στο παράδειγμα της εικόνας. Τέλος, πατώντας το κουμπί OK ολοκληρώνεται η διαδικασία επιλογής του κοπτικού εργαλείου και ο ορισμός των συνθηκών κατεργασίας.

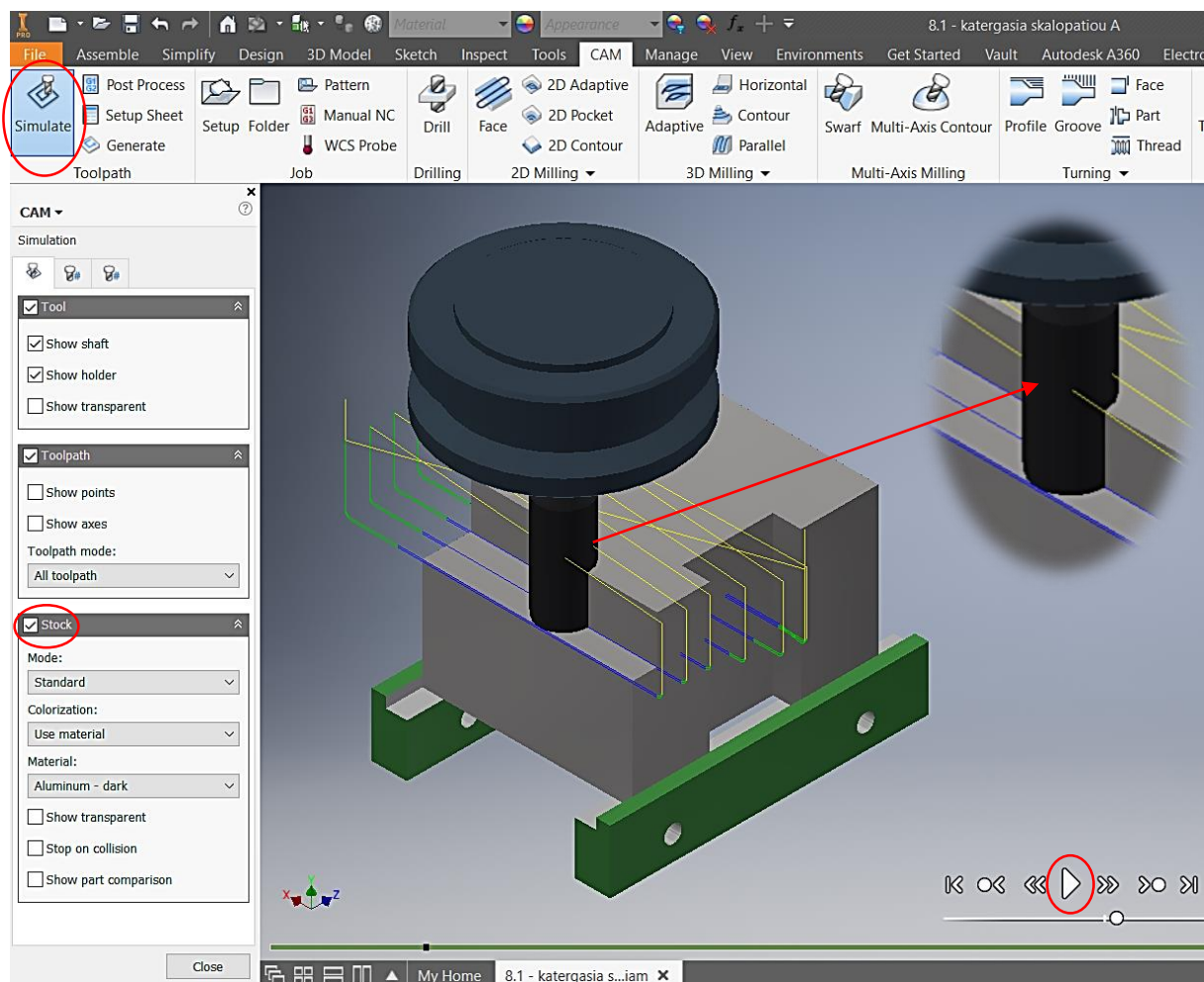


Εικόνα 9.3.32 – Πορεία κοπτικού εργαλείου

Αυτόματα, μόλις πατηθεί το κουμπί OK όπως προαναφέρθηκε, παράγεται η πορεία του κοπτικού εργαλείου, όπως φαίνεται στην παραπάνω εικόνα (Εικόνα 9.3.32 – Πορεία κοπτικού εργαλείου).



### 3. Προσομοίωση κατεργασίας

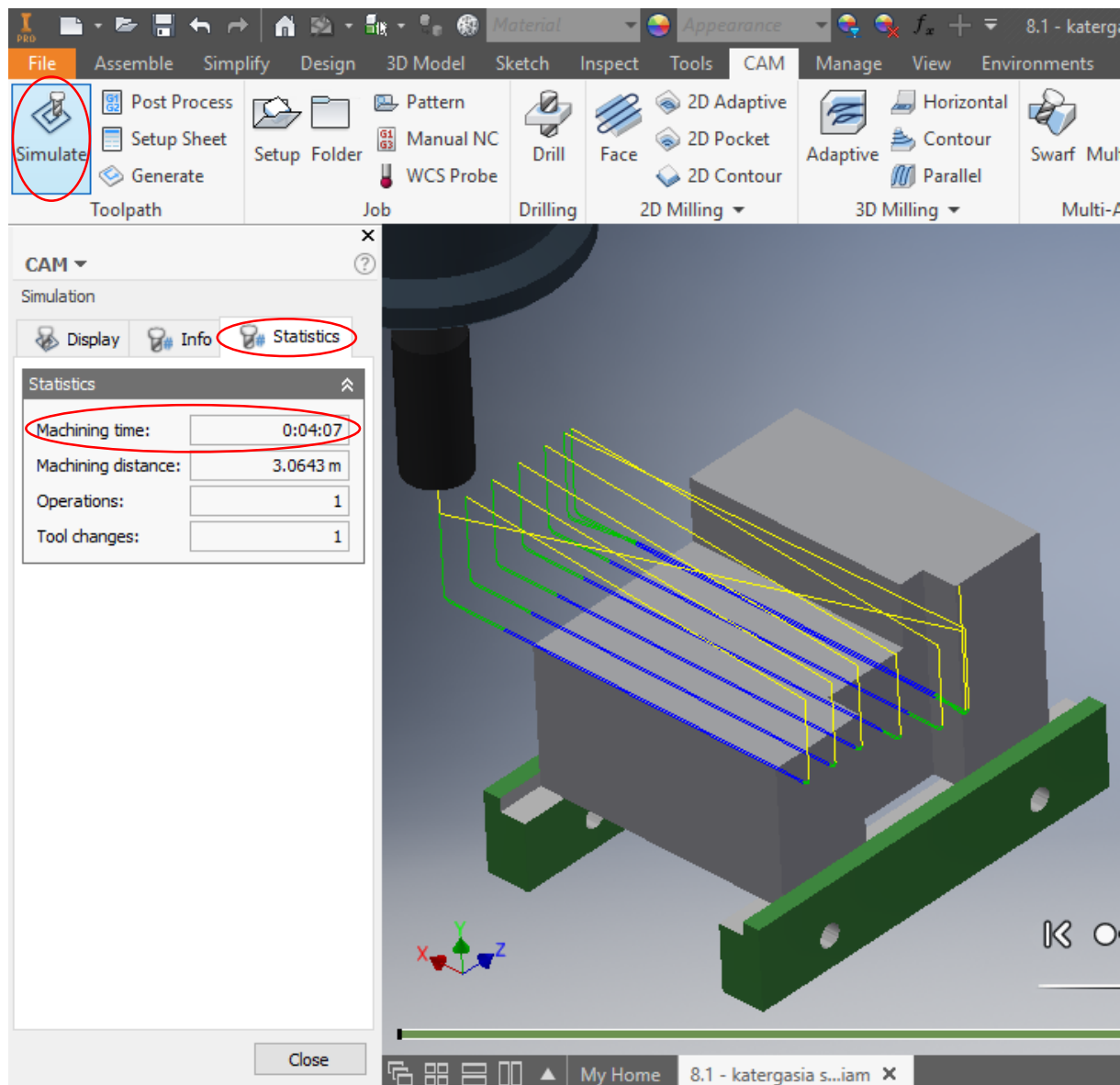


Εικόνα 9.3.33 – Προσομοίωση κατεργασίας

Στην καρτέλα CAM του προγράμματος, επιλέγεται η εντολή Simulate στο πάνω αριστερό τμήμα της οθόνης. Στην πρώτη καρτέλα της εντολής, ενεργοποιείται ο αρχικός όγκος (Stock), ώστε να γίνει αντιληπτή η αφαίρεση του επιθυμητού όγκου.

Έπειτα, με το πλήκτρο Play, ξεκινάει η προσομοίωση της πορείας του κοπτικού εργαλείου.

#### 4. Χρόνος κατεργασίας



Εικόνα 9.3.34 – Χρόνος κατεργασίας

Στην τρίτη καρτέλα (Statistics) της εντολής Simulate (πάνω αριστερά στην οθόνη), εμφανίζονται κάποια στοιχεία που απορρέουν από την κατεργασία. Ένα από αυτά είναι και ο χρόνος κατεργασίας, ο οποίος είναι 0:04:07 min.



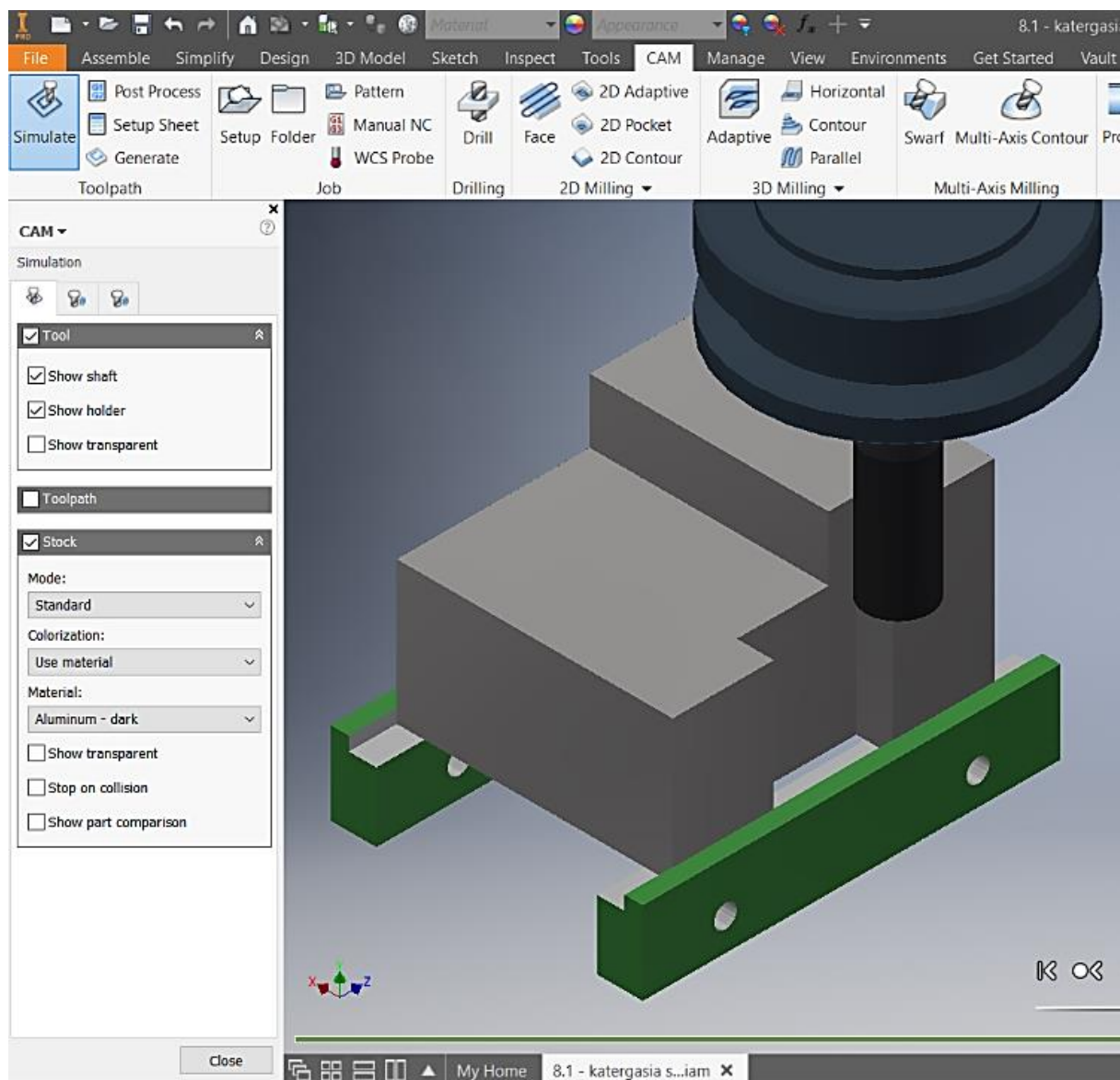
#### 9.4 ΦΑΣΗ ΚΑΤΕΡΓΑΣΙΑΣ - 4

Σκοπός	Διαμόρφωση 2 <sup>ου</sup> σκαλοπατιού επιφάνειας Γ	
Τρόπος συγκράτησης	Μέγγενη με κοινά μάγουλα	
Κοπτικό εργαλείο	Κονδύλι Ø14 mm	
Συνθήκες κατεργασίας	n= 2955,73 rpm	f= 0,08 mm/tooth
	a= 14 mm	V <sub>c</sub> = 130 m/min

Σε αυτή τη φάση κατεργασίας, επειδή προέκυψε ένα πρόβλημα ορισμού του αρχικού όγκου, το οποίο αναλύεται στο Κεφάλαιο 10: «Προβλήματα και αντιμετώπιση», ακολουθείται μία διαφορετική διαδικασία.

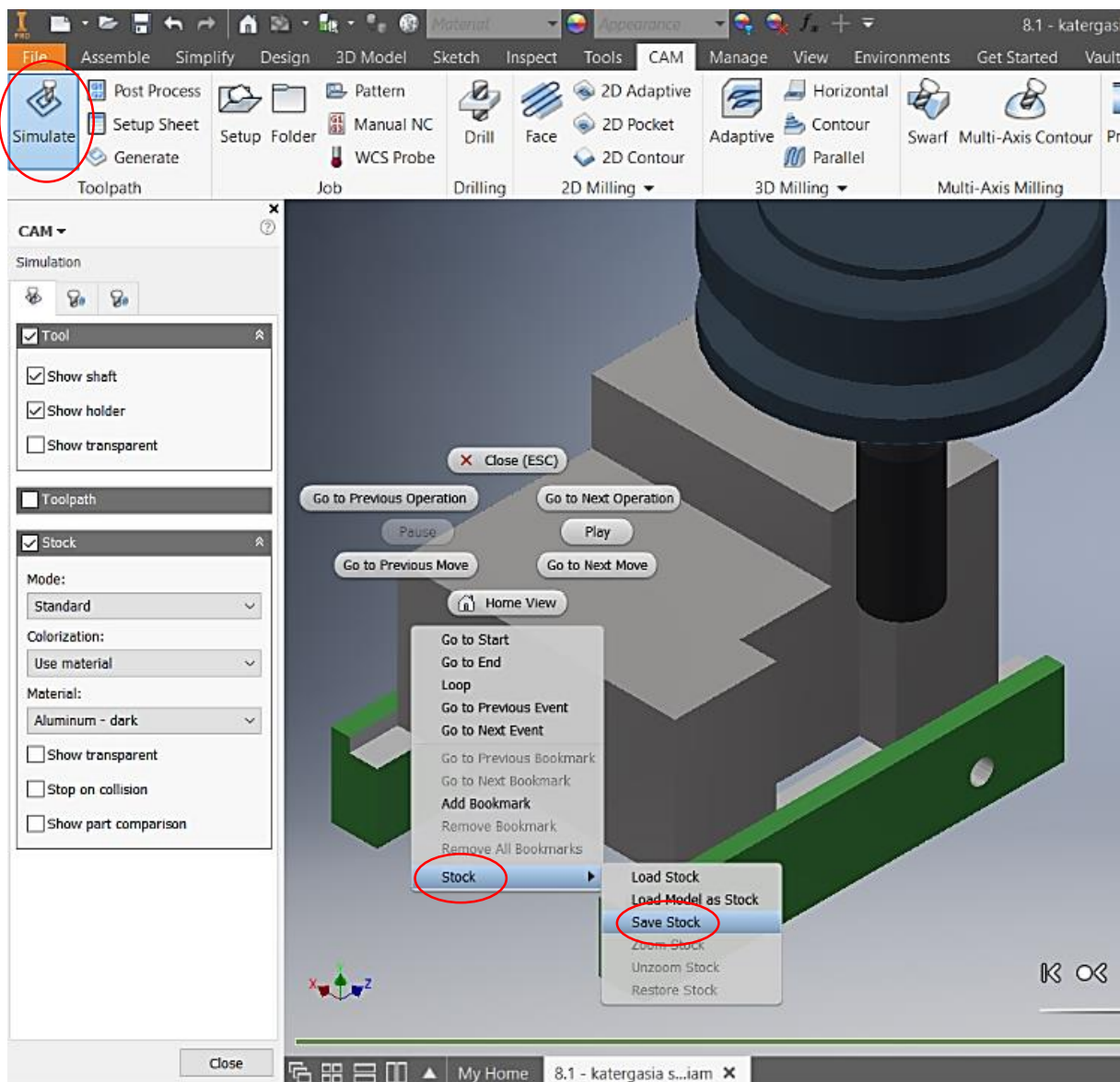
Ο αρχικός όγκος ορίζεται μέσω ενός πρόσθετου προγράμματος, το Mesh Enabler, του οποίου τα βήματα παρουσιάζονται αναλυτικά παρακάτω.

1. Ορισμός αρχικού όγκου και συστήματος συντεταγμένων.



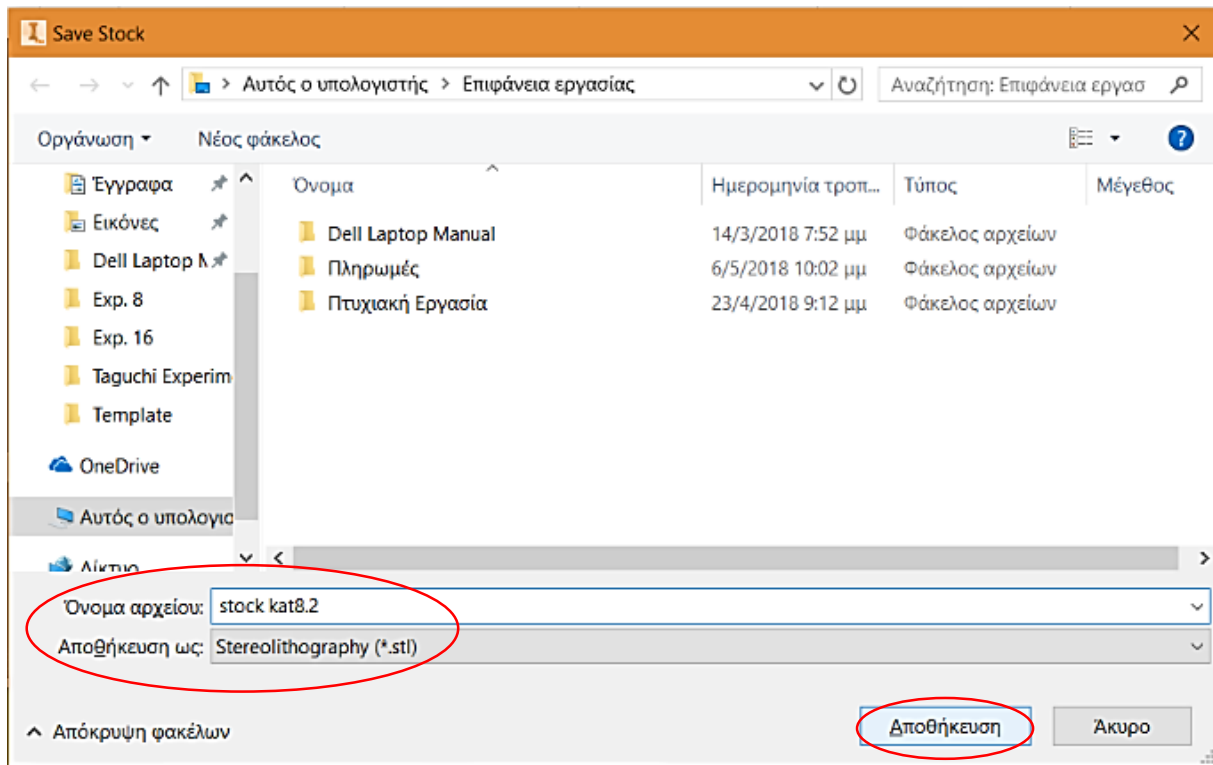
Εικόνα 9.4.1 – Τέλος προηγούμενης κατεργασίας

Λόγω της πολύπλοκης γεωμετρίας του δοκιμίου στη συγκεκριμένη φάση κατεργασίας, ο αρχικός όγκος θα πρέπει να οριστεί ως η γεωμετρία που προκύπτει μετά το πέρας της προηγούμενης φάσης κατεργασίας. Επομένως, γίνεται μετάβαση στο αρχείο της προηγούμενης φάσης κατεργασίας.



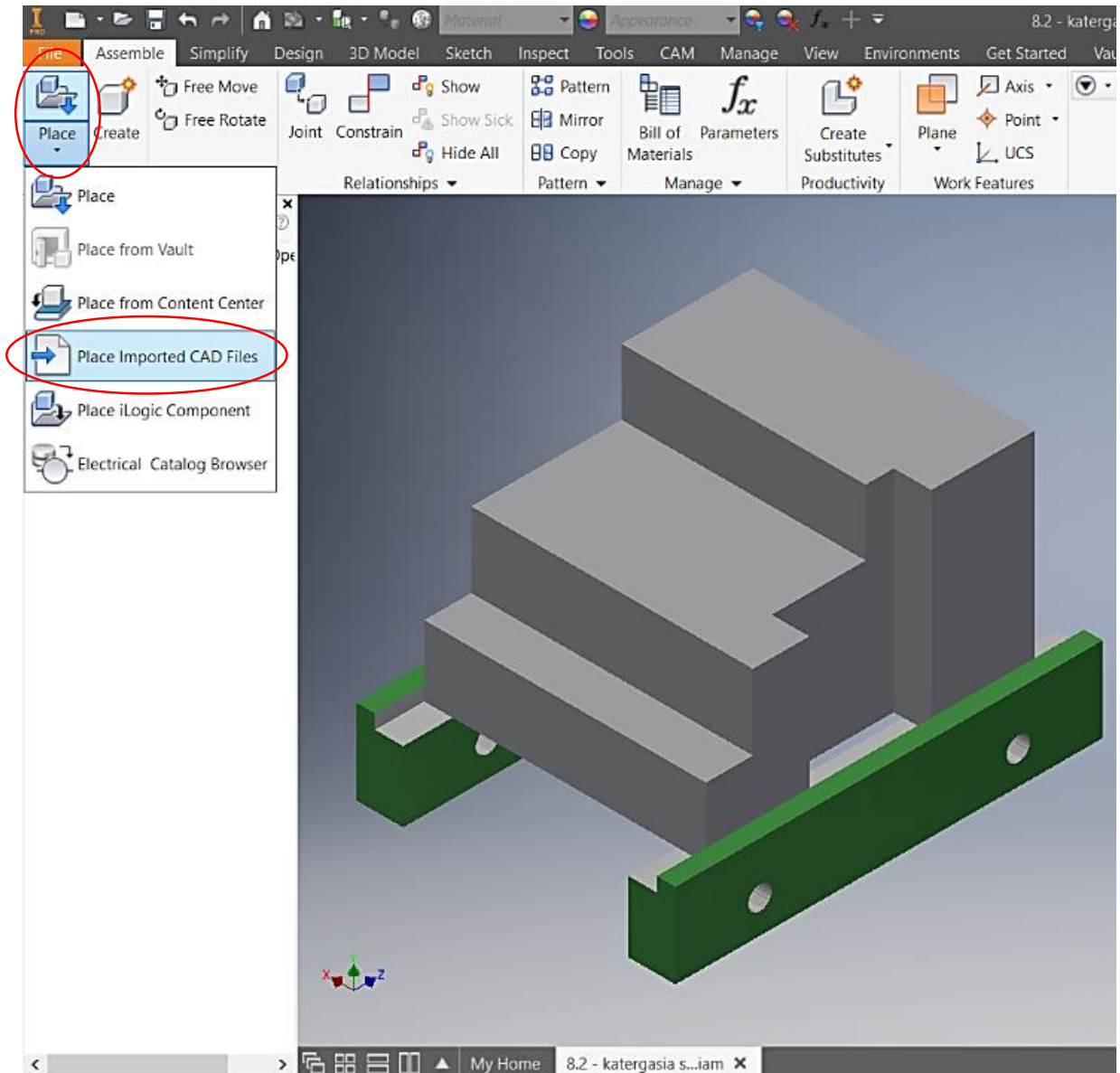
Εικόνα 9.4.2 – Αποθήκευση όγκου

Στην καρτέλα Simulate και αφού έχει πραγματοποιηθεί η προσομοίωση της κατεργασίας, ενεργοποιείται ένα ξεχωριστό μενού εντολών πατώντας δεξί κλικ πάνω στο δοκίμιο. Στην επιλογή Stock, επιλέγεται η εντολή Save Stock ώστε να αποθηκευτεί ο όγκος του δοκιμίου μετά την κατεργασία του, με μία άλλη μορφή αρχείου.



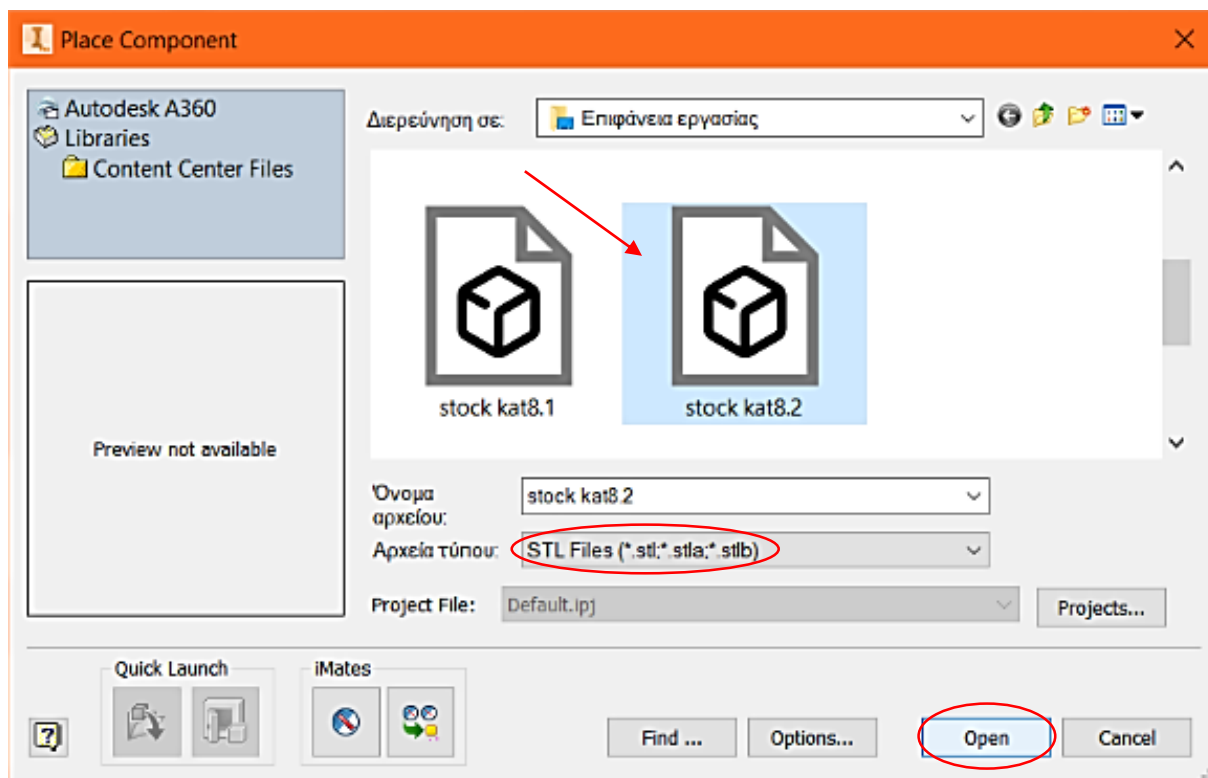
Εικόνα 9.4.3 – Αποθήκευση όγκου ως αρχείο STL

Στο αναδυόμενο παράθυρο ονομάζεται το αρχείο και αποθηκεύεται σε μορφή .stl όπως φαίνεται στην παράπάνω εικόνα. Αυτό το αρχείο απεικονίζει τον όγκο του δοκιμίου με τη μορφή πλέγματος.



Εικόνα 9.4.4 – Εισαγωγή όγκου

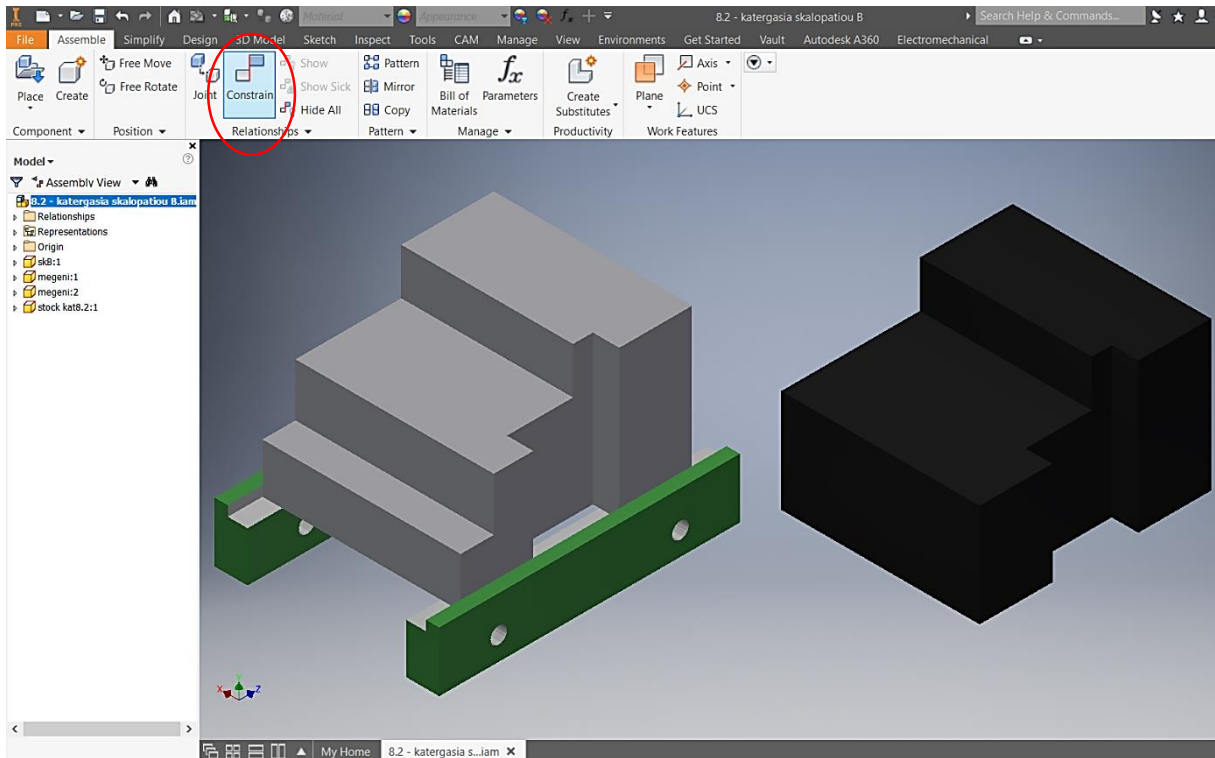
Ανοίγοντας το αρχείο της επόμενης κατεργασίας (Φάση κατεργασίας 4 – Διαμόρφωση 2ου σκαλοπατιού επιφάνειας Γ), στην καρτέλα Assemble, στην εντολή Place επιλέγεται η εντολή Place Imported CAD Files.



Εικόνα 9.4.5 – Επιλογή του όγκου για εισαγωγή

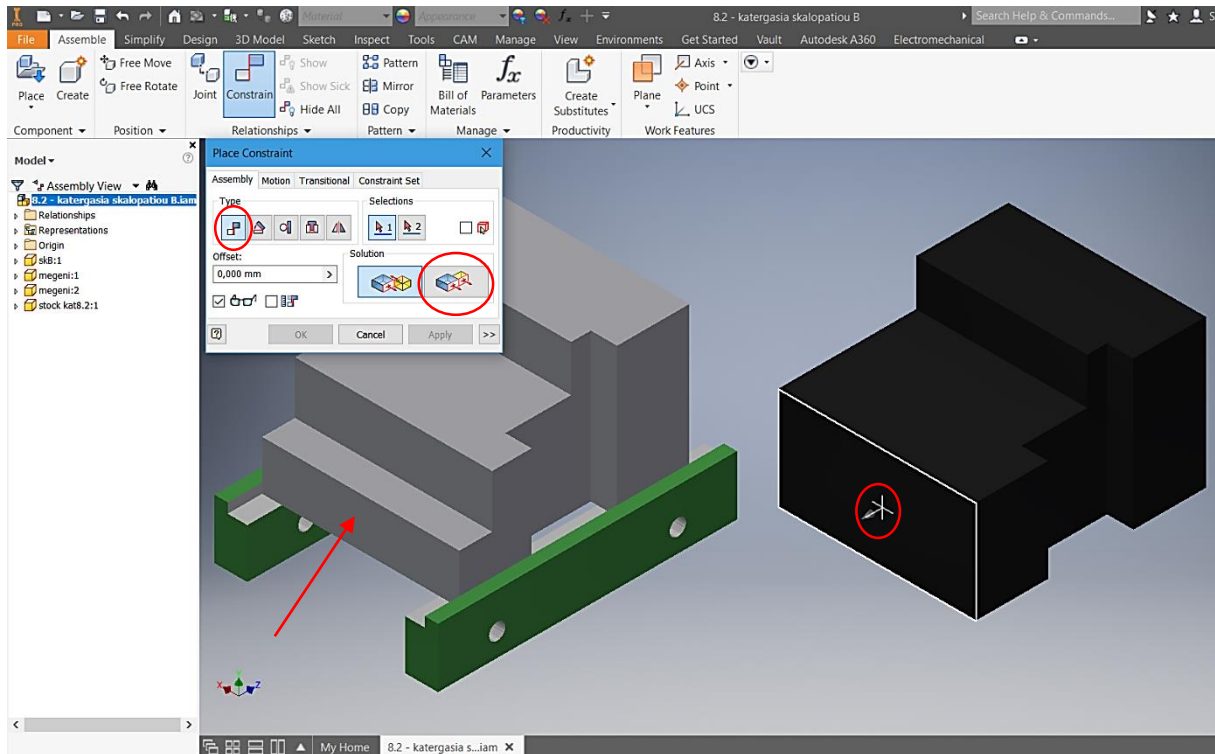
Στο αναδυόμενο παράθυρο, επιλέγεται να εμφανιστούν τα αρχεία τύπου STL, επιλέγεται το αρχείο που αποθηκεύθηκε σε προηγούμενο βήμα και τέλος, πατώντας το Open εισάγεται ο όγκος στο πρόγραμμα ηλεκτρονικής σχεδίασης.





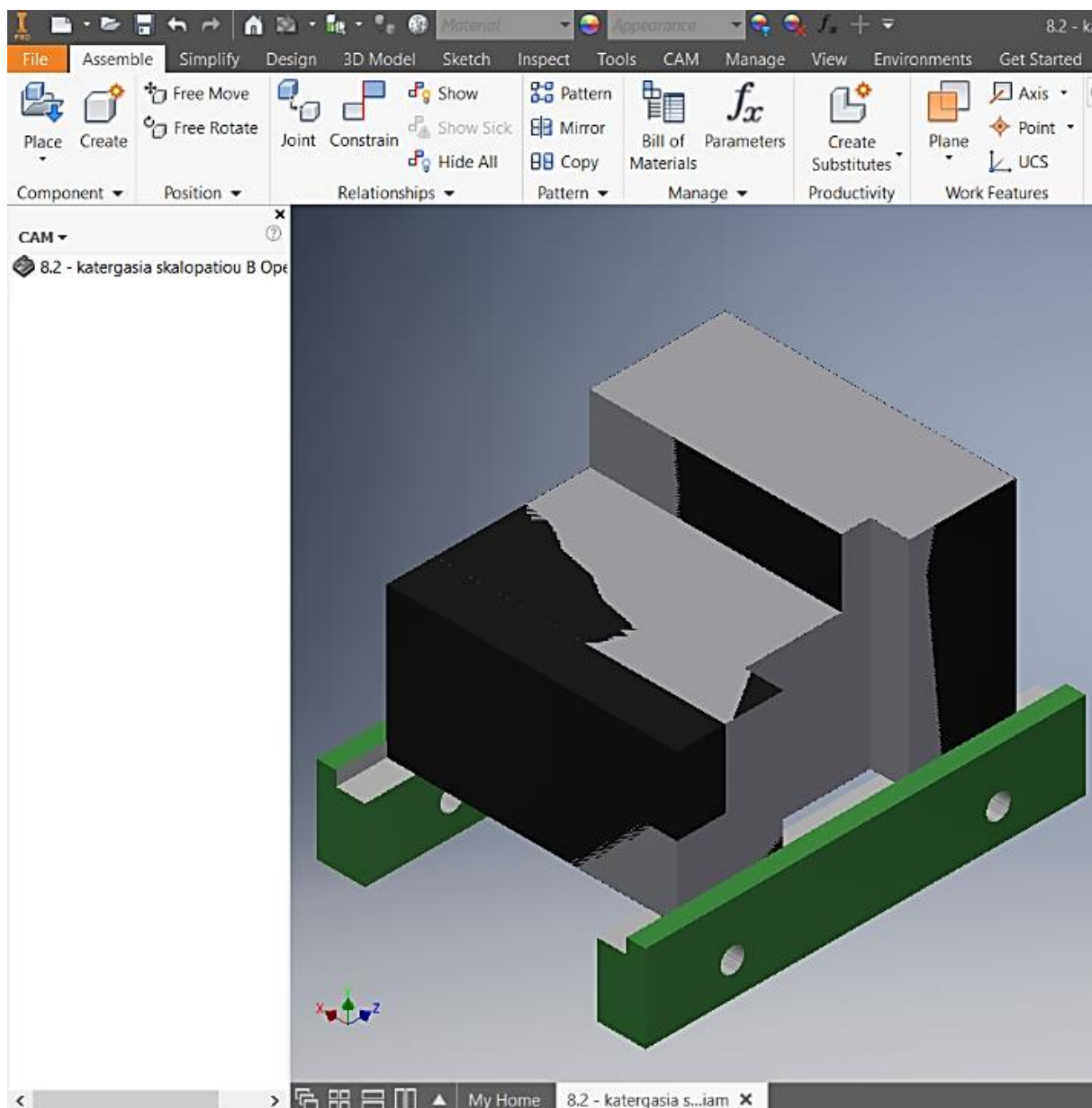
Εικόνα 9.4.6 – Εντολή Constrain

Αφού εισαχθεί το αρχείο στο πρόγραμμα, επιλέγεται η εντολή Constrain με σκοπό να οριστούν συνθήκες για να ενσωματωθεί ο όγκος του αρχείου .stl στον όγκο του δοκιμίου.



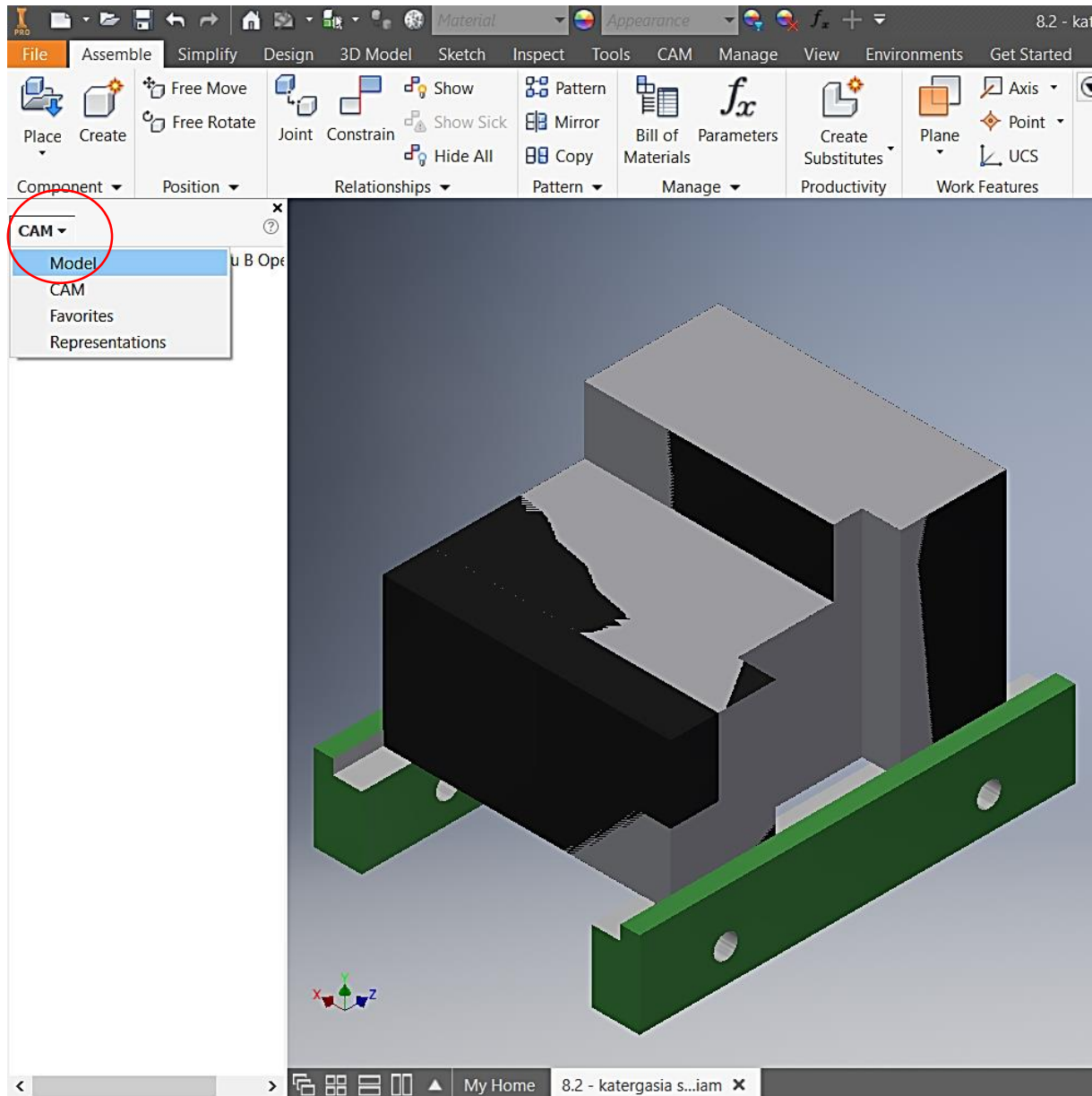
Εικόνα 9.4.7 – Συνθήκες εντολής Constrain

Στην πρώτη καρτέλα του αναδυόμενου παραθύρου επιλέγεται ο πρώτος τύπος συνθηκών, ο οποίος αφορά συνθήκες μεταξύ επίπεδων επιφανειών. Έπειτα, επιλέγονται οι επιθυμητές επιφάνειες για να οριστεί μία συνθήκη. Οι δύο επιφάνειες που έχουν επιλεγεί, όπως φαίνεται στην παραπάνω εικόνα, είναι η ίδια πλευρά και για τους δύο όγκους. Τέλος, επιλέγεται η εντολή κάτω δεξιά του αναδυόμενου παραθύρου, ώστε αυτές οι δύο πλευρές να είναι ομόρροπες μεταξύ τους και με την εντολή Apply οριστικοποιείται η συνθήκη.



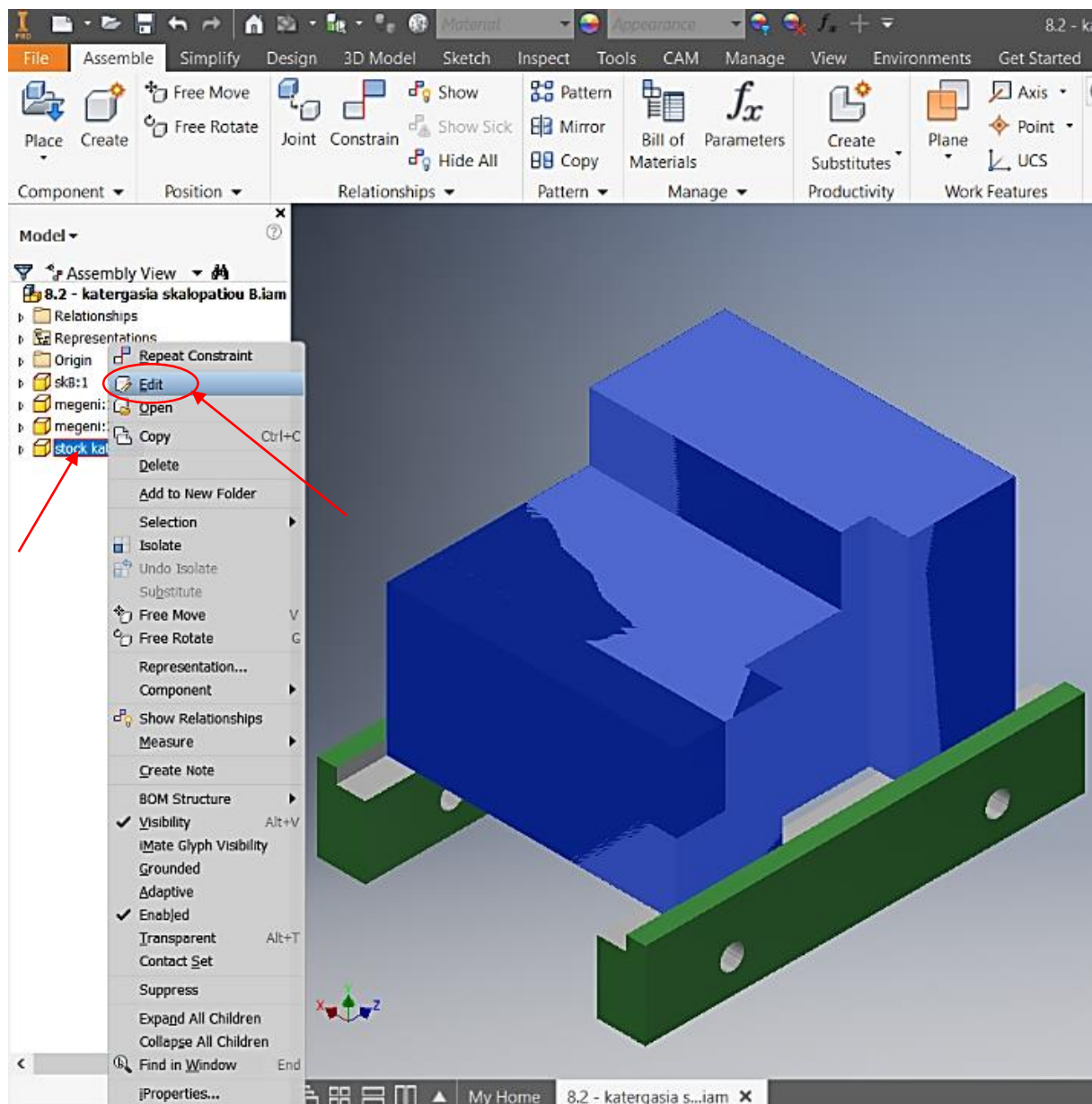
Εικόνα 9.4.8 – Συνδυασμός των δύο όγκων μετά την εντολή Constrain

Ακριβώς τα ίδια βήματα ακολουθούνται για να οριστούν οι συνθήκες των πλευρών Α και Β του δοκιμίου. Το αποτέλεσμα μετά από αυτές τις ενέργειες είναι ο συνδυασμός των δύο όγκων, όπως φαίνεται στην παραπάνω εικόνα.



Εικόνα 9.4.9 – Μετάβαση στο περιβάλλον μοντελοποίησης του δοκιμίου

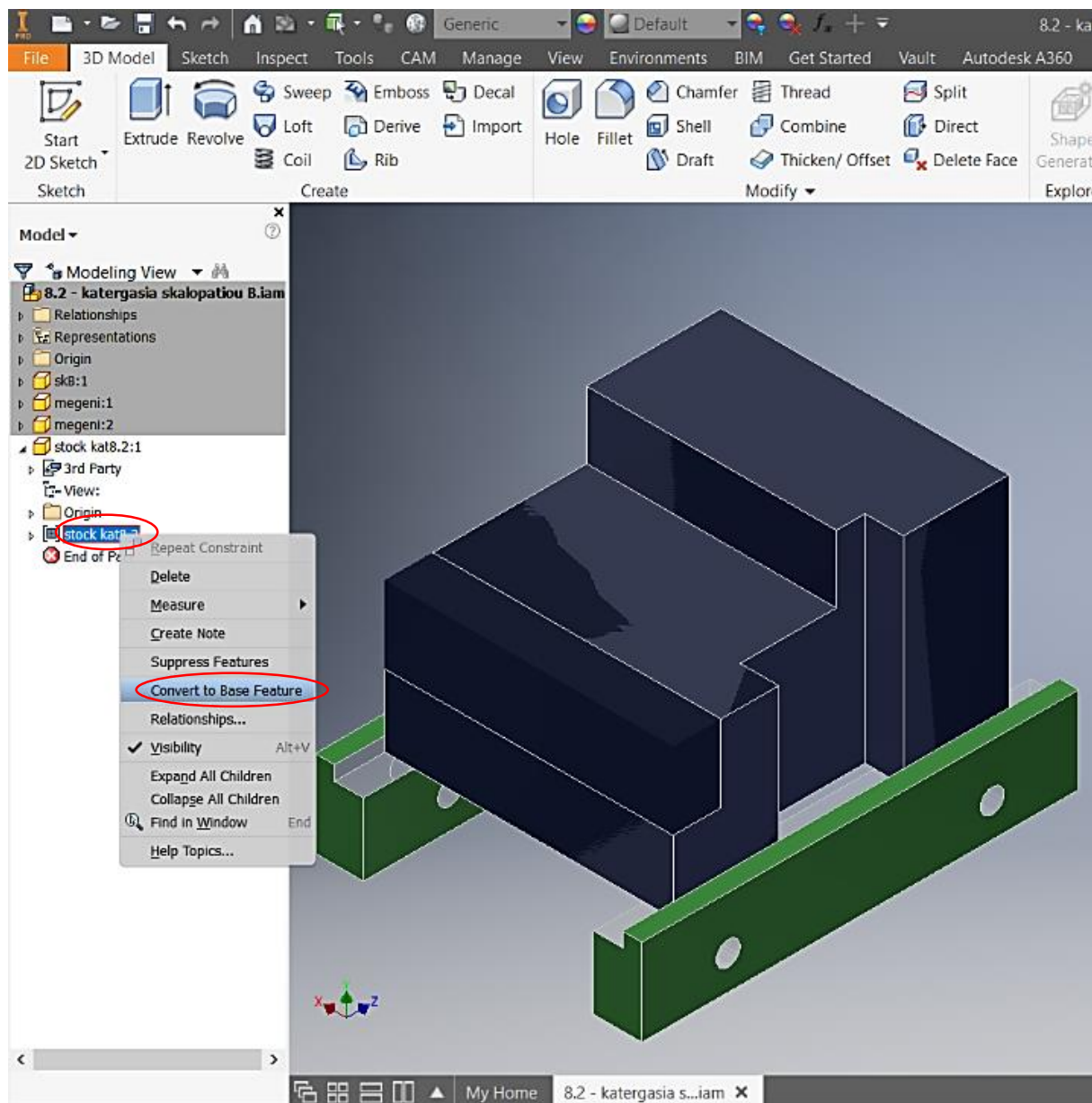
Στην ενότητα CAM, αριστερά στην οθόνη, επιλέγεται η ενότητα Model για τη μετάβαση στο περιβάλλον μοντελοποίησης του δοκιμίου.



Εικόνα 9.4.10 – Επεξεργασία του πλέγματος του όγκου

Στο περιβάλλον μοντελοποίησης, στο αριστερό τμήμα της οθόνης όπου βρίσκονται τα τεμάχια της συναρμογής δοκιμίου-μέγγενης, επιλέγεται με δεξιά κλικ ο όγκος του αρχείου .stl, για να εμφανιστεί ένα ειδικό μενού εντολών. Σε αυτό το μενού επιλέγεται η εντολή Edit για την επεξεργασία του.

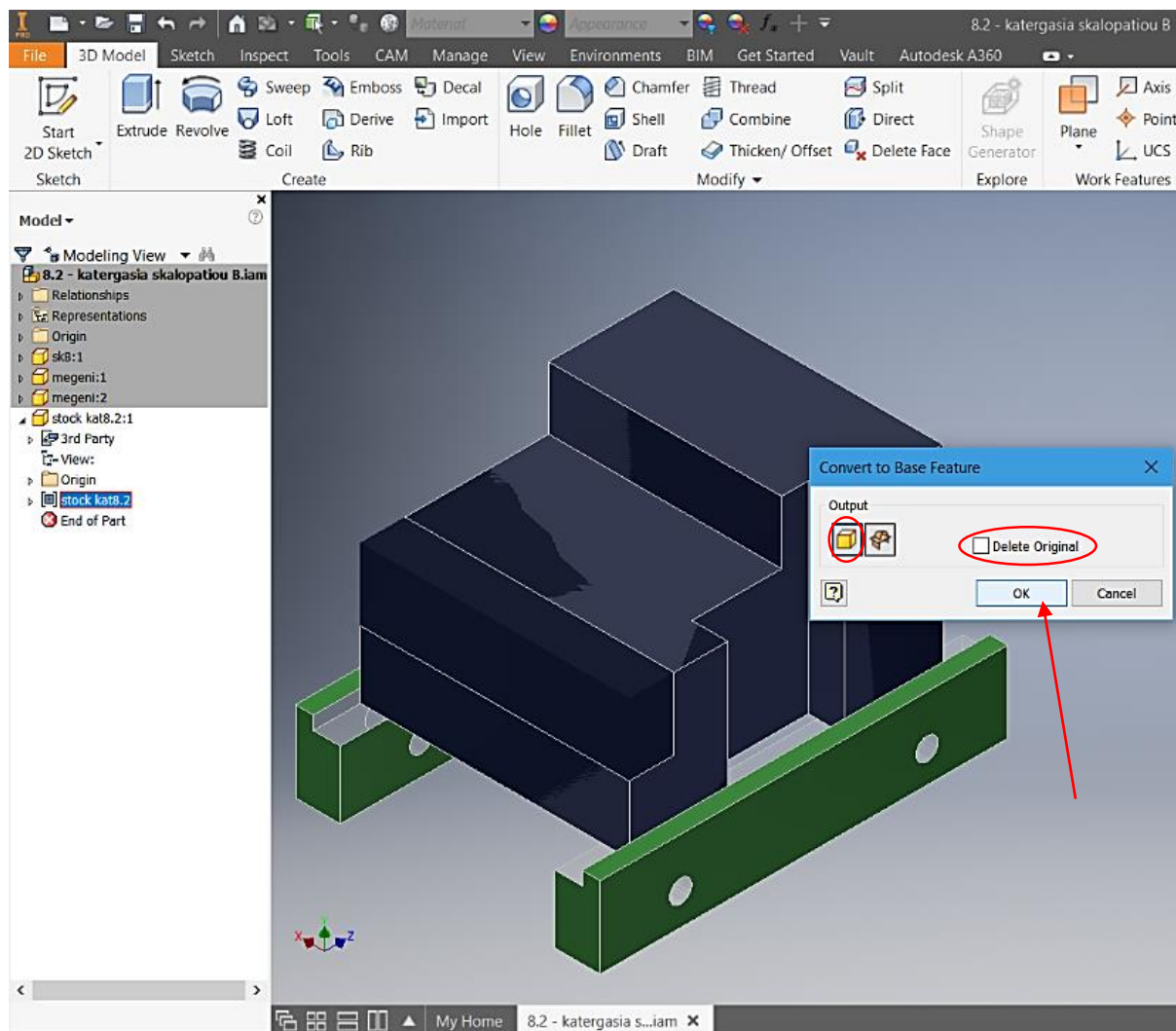




Εικόνα 9.4.11 – Μετατροπή πλέγματος σε συμπαγή όγκο

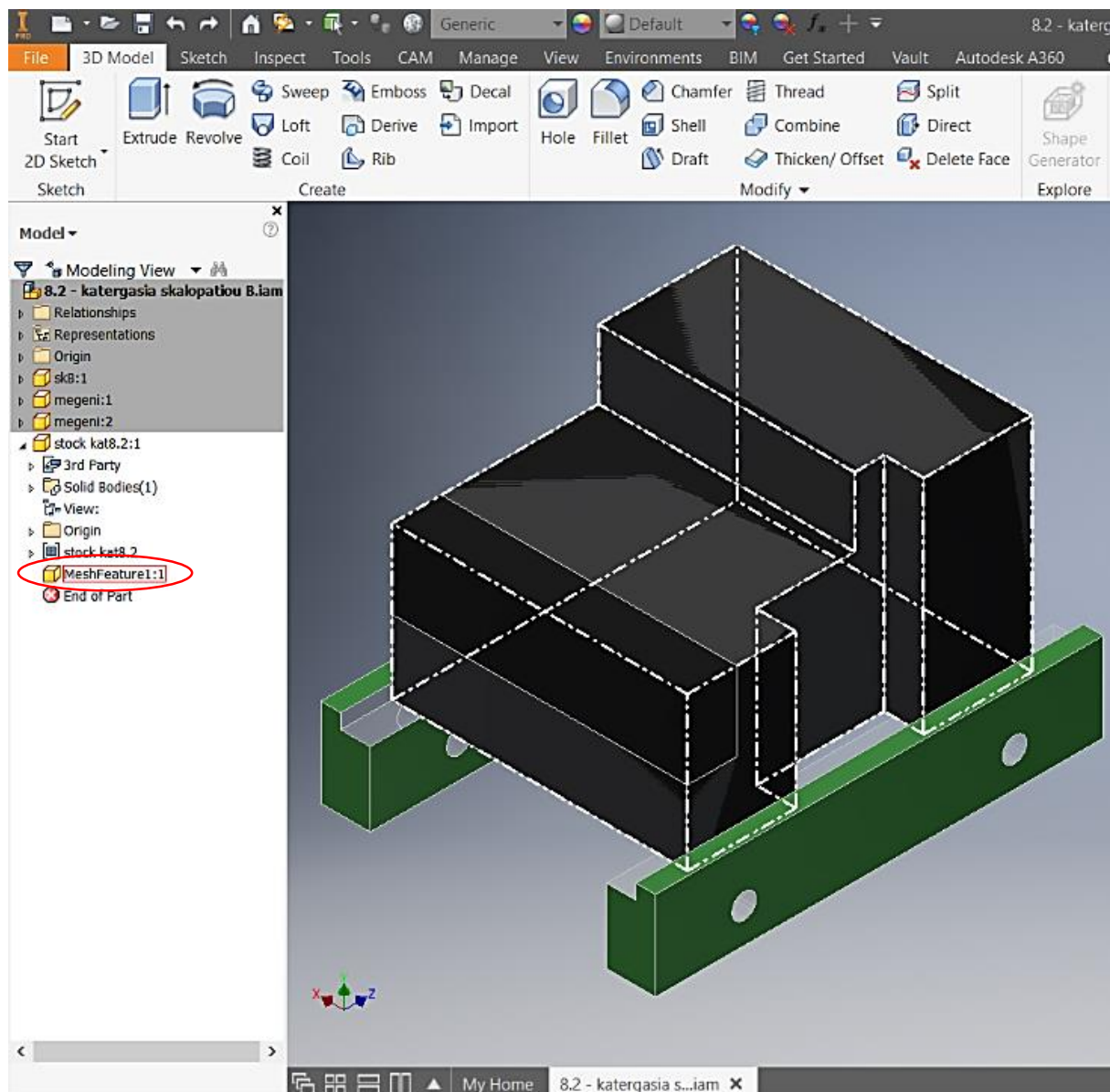
Στα περιεχόμενα του όγκου του αρχείου .stl, επιλέγεται με δεξί κλικ το πλέγμα ώστε να εμφανιστεί ένα ειδικό μενού. Σε αυτό το ειδικό μενού επιλέγεται η εντολή Convert to Base Feature, για την μετάβαση στο παράθυρο μετατροπής του πλέγματος.





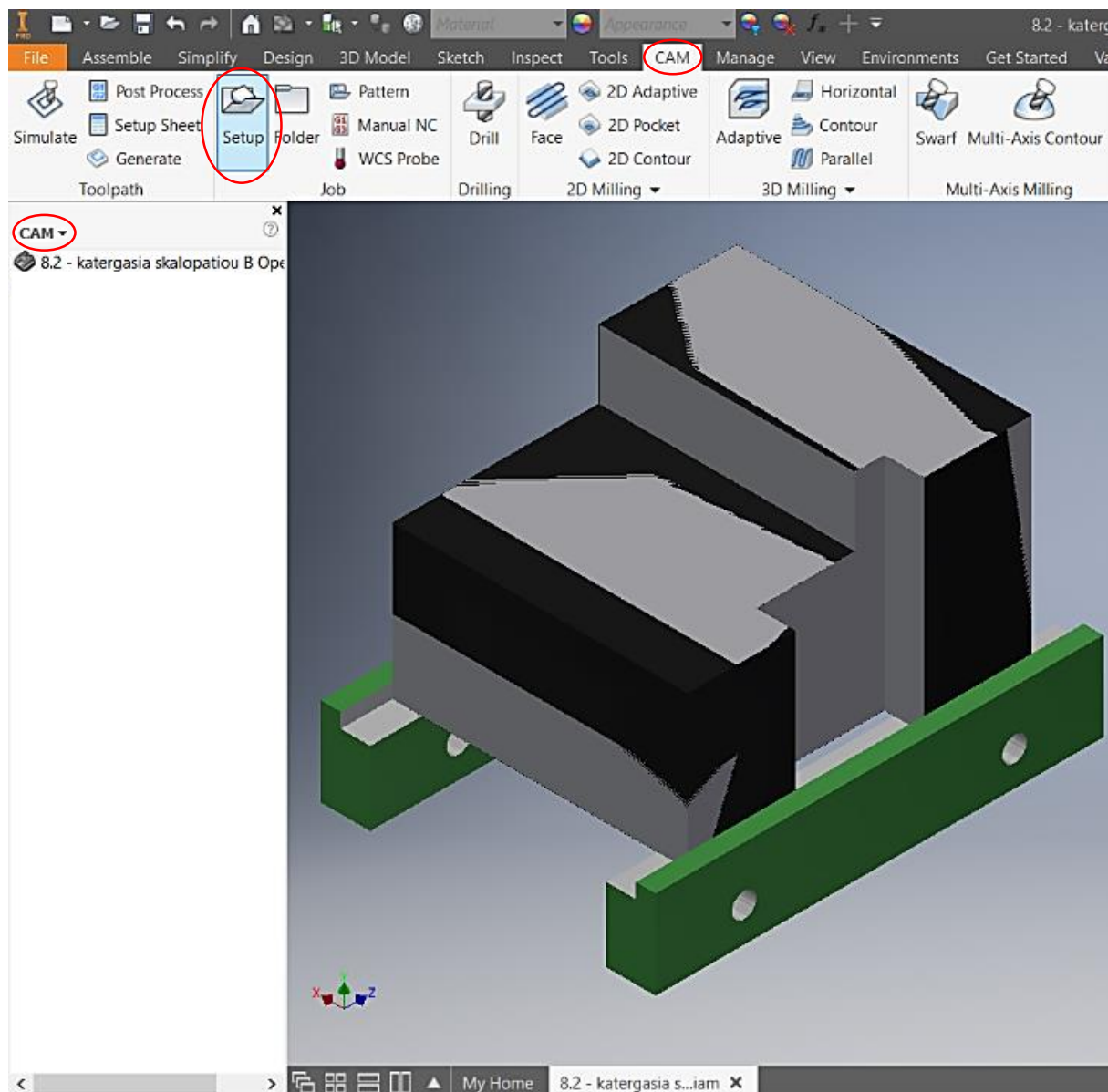
Εικόνα 9.4.12 – Μετατροπή πλέγματος σε συμπαγή όγκο

Στο αναδυόμενο παράθυρο αρχικά επιλέγεται η εντολή Solid/Surface, ώστε το πλέγμα να μετατραπεί σε όγκο οριοθετημένο από επιφάνειες. Έπειτα, επιλέγεται να μην διαγραφεί το αρχικό πλέγμα (Delete Original). Τέλος, με την εντολή OK πραγματοποιείται η μετατροπή του πλέγματος σε όγκο.



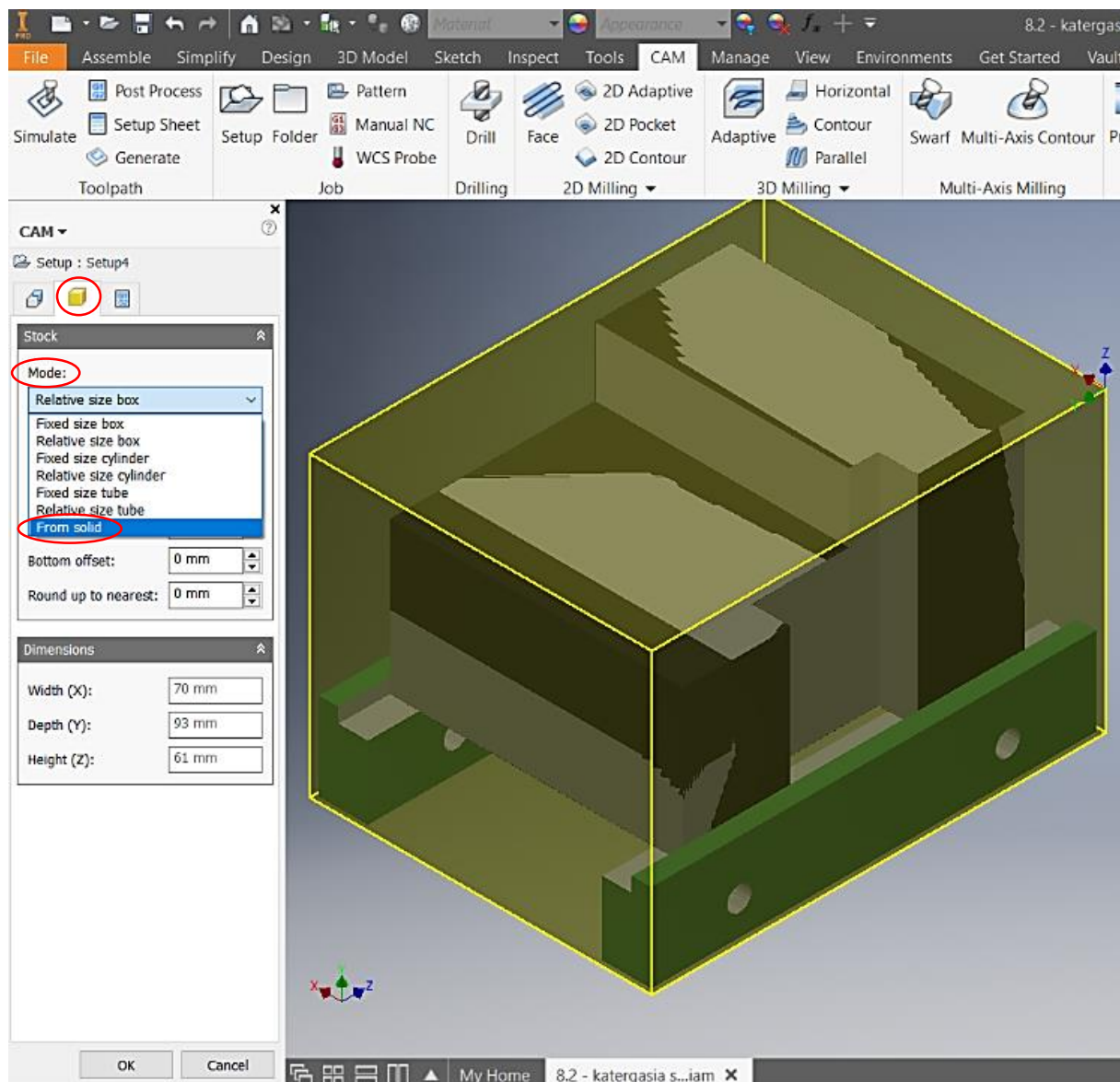
Εικόνα 9.4.13 – Εμφάνιση νέου όγκου

Μετά την ολοκλήρωση της μετατροπής του πλέγματος εμφανίζεται πλέον ο όγκος στο αριστερό μέρος της οθόνης με το όνομα MeshFeature1:1 και με τις ίδιες ιδιότητες που έχει το δοκίμιο της συγκεκριμένης κατεργασίας.



Εικόνα 9.4.14 – Επιλογή εντολής Setup

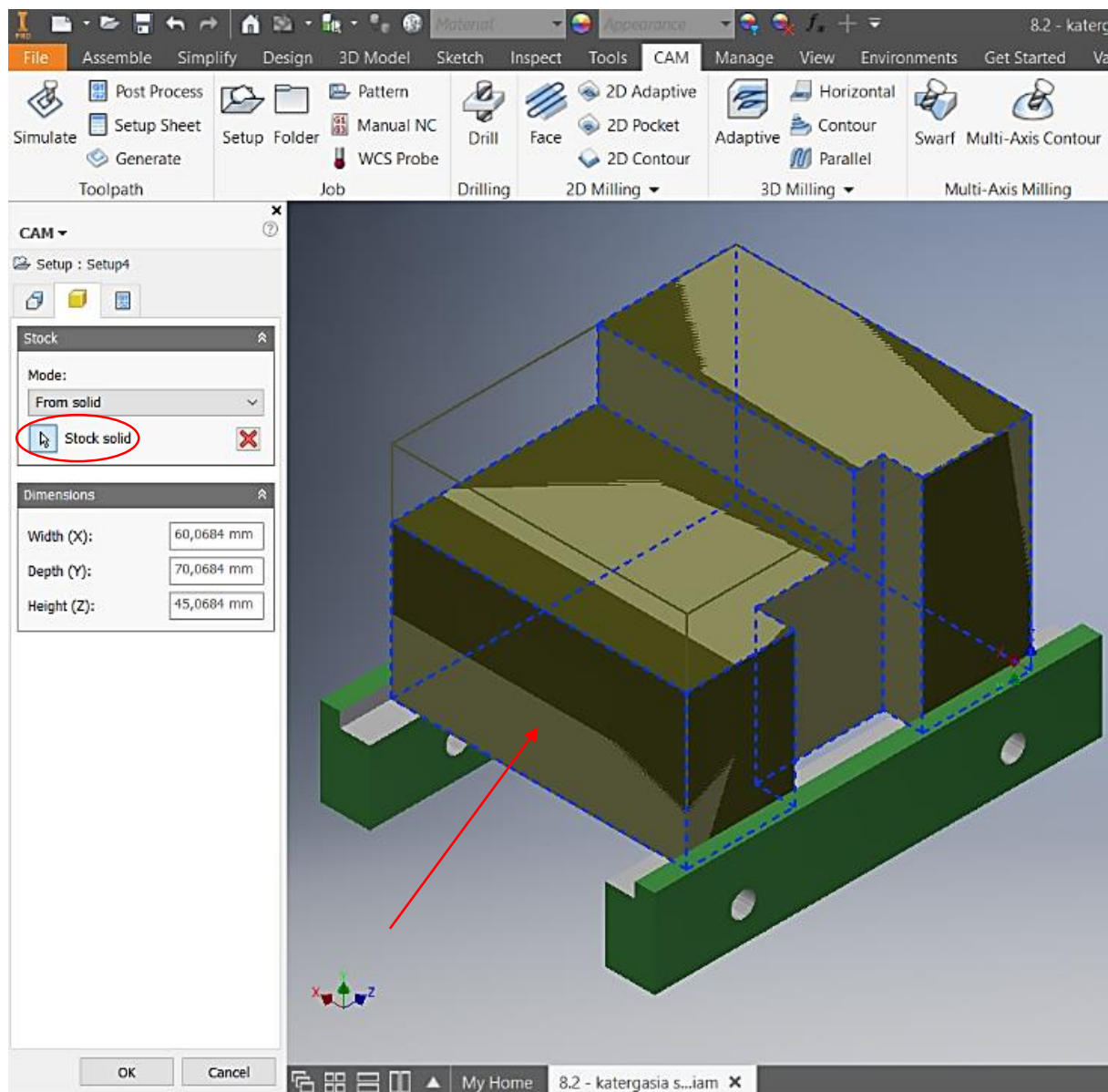
Πραγματοποιείται μετάβαση στο περιβάλλον προγραμματισμού των κοπτικών εργαλείων με τα ίδια βήματα που έγινε η μετάβαση στο περιβάλλον μοντελοποίησης του δοκιμίου. Έπειτα, στην καρτέλα CAM, επιλέγεται η εντολή Setup, για να οριστεί ο αρχικός όγκος.



Εικόνα 9.4.15 – Επιλογή επιθυμητού όγκου

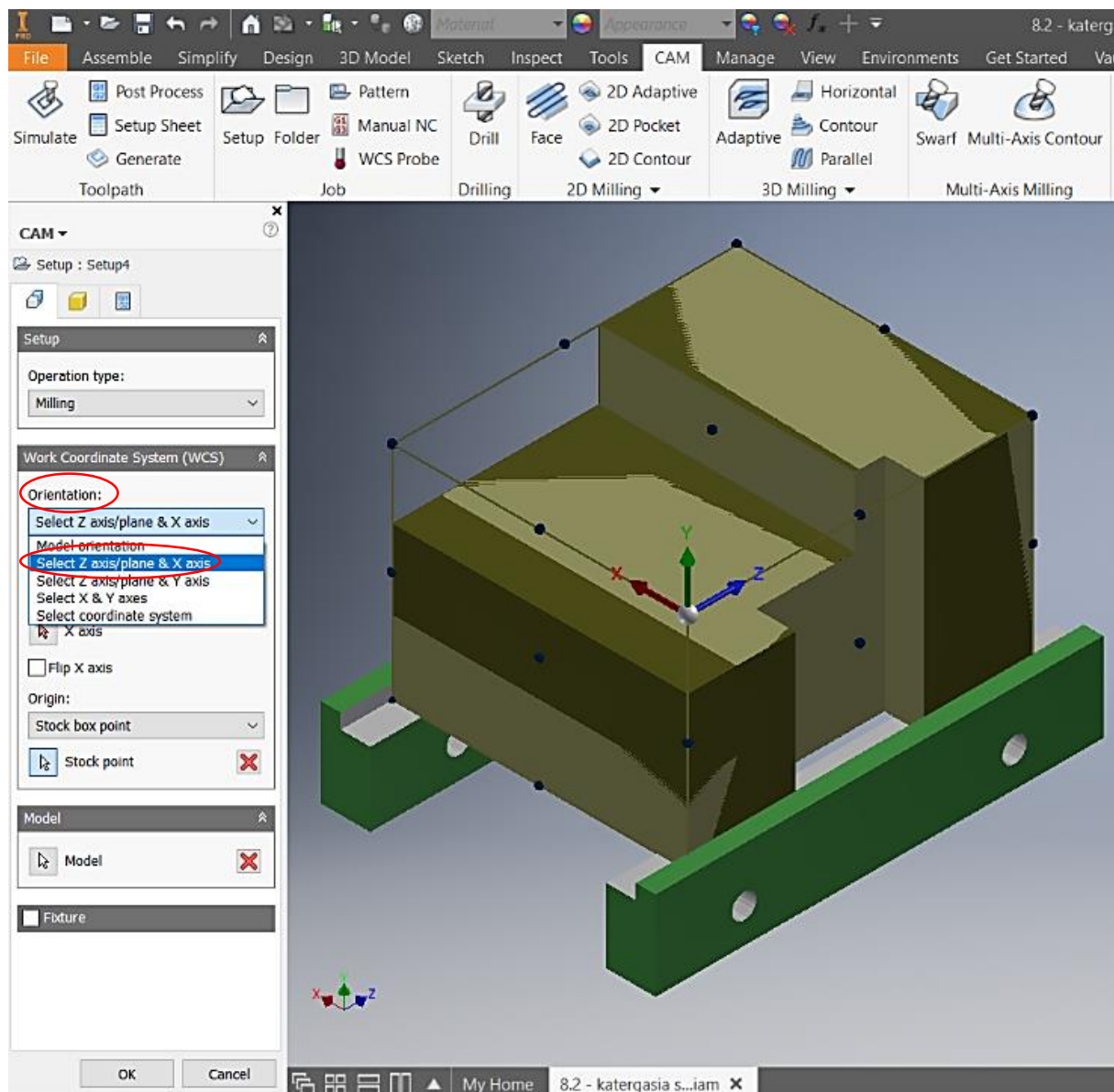
Στη δεύτερη καρτέλα του παραθύρου του Setup, στο Mode, γίνεται επιλογή του From solid ώστε να επιλεγθεί ως αρχικός όγκος ο ένας από τους δύο όγκους που αποτελείται πλέον η συναρμογή.





Εικόνα 9.4.16 – Επιλογή γεωμετρίας του αρχείου STL ως αρχικού όγκου

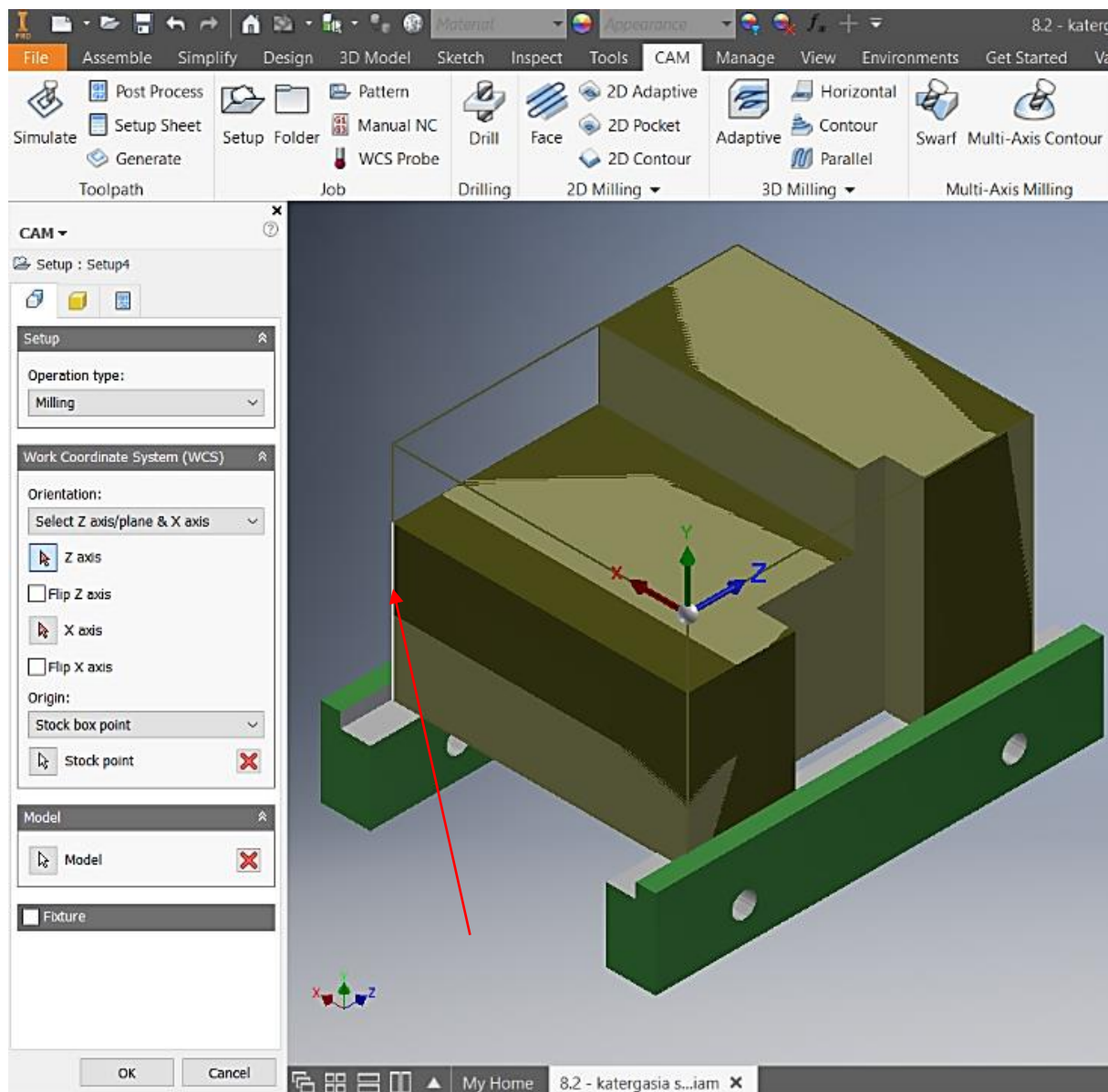
Μέσω της εντολής Stock solid επιλέγεται ο αρχικός όγκος. ΠΡΟΣΟΧΗ. Θα πρέπει να επιλεγθεί μόνο η γεωμετρία του αρχείου .stl, η οποία μετατράπηκε από πλέγμα σε όγκο και είναι ο όγκος μετά το πέρας της προηγούμενης κατεργασίας.



Εικόνα 9.4.17 – Ενότητα Orientation

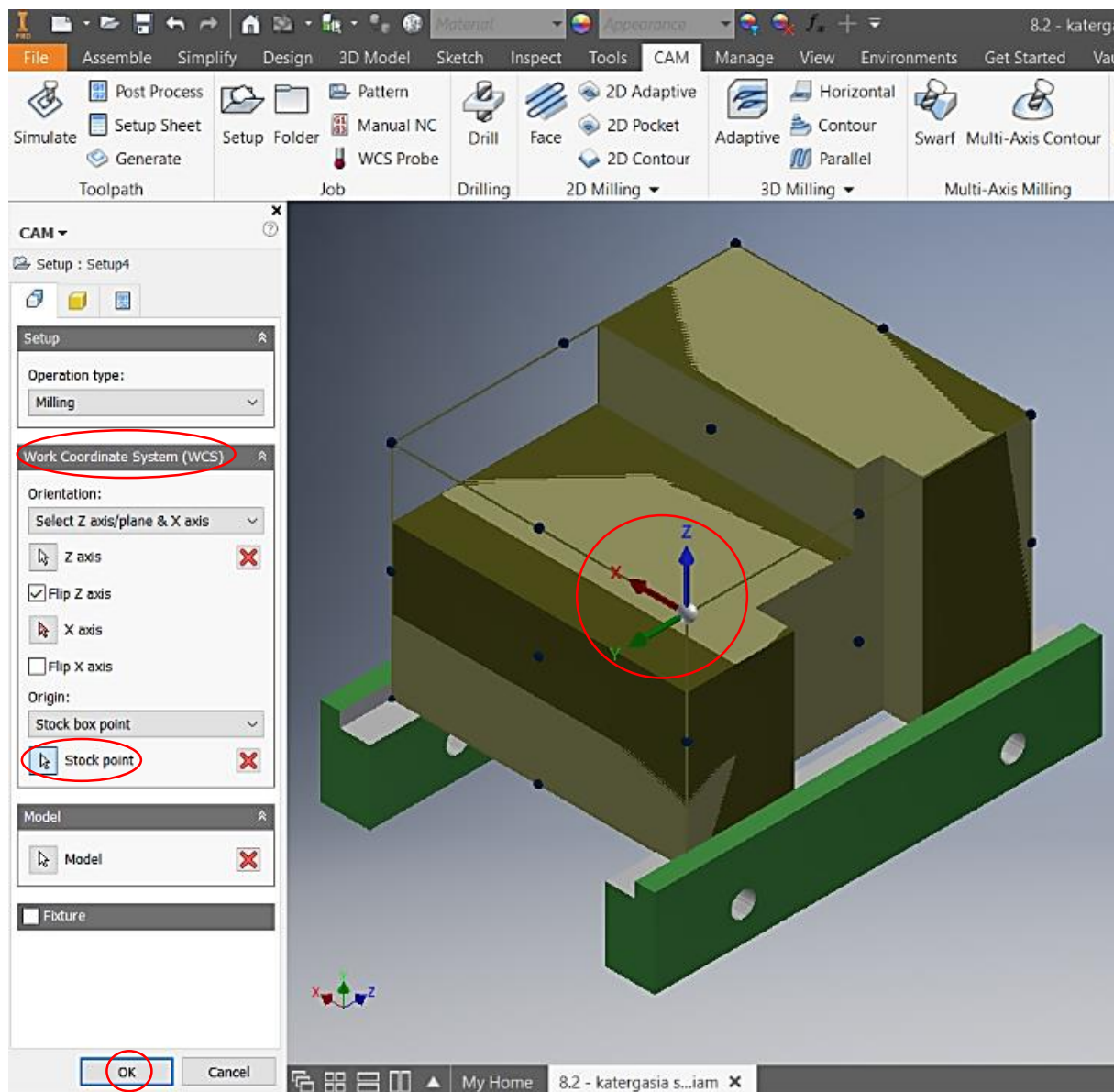
Στην ενότητα Orientation, επιλέγεται η εντολή Select Z axis/plane & X axis ώστε να οριστεί η κατεύθυνση του άξονα Z, ο οποίος καθορίζει την κίνηση του κοπτικού εργαλείου και επομένως το βάθος κοπής.





Εικόνα 9.4.18 – Κατεύθυνση άξονα Z

Επιλέγεται μία οποιαδήποτε ακμή η οποία θα ορίσει την κατεύθυνση του άξονα Z. Σε περίπτωση που ο άξονας Z δεν έχει την επιθυμητή φορά, τότε επιλέγοντας την άκρη του βέλους του άξονα αλλάζει η φορά του.

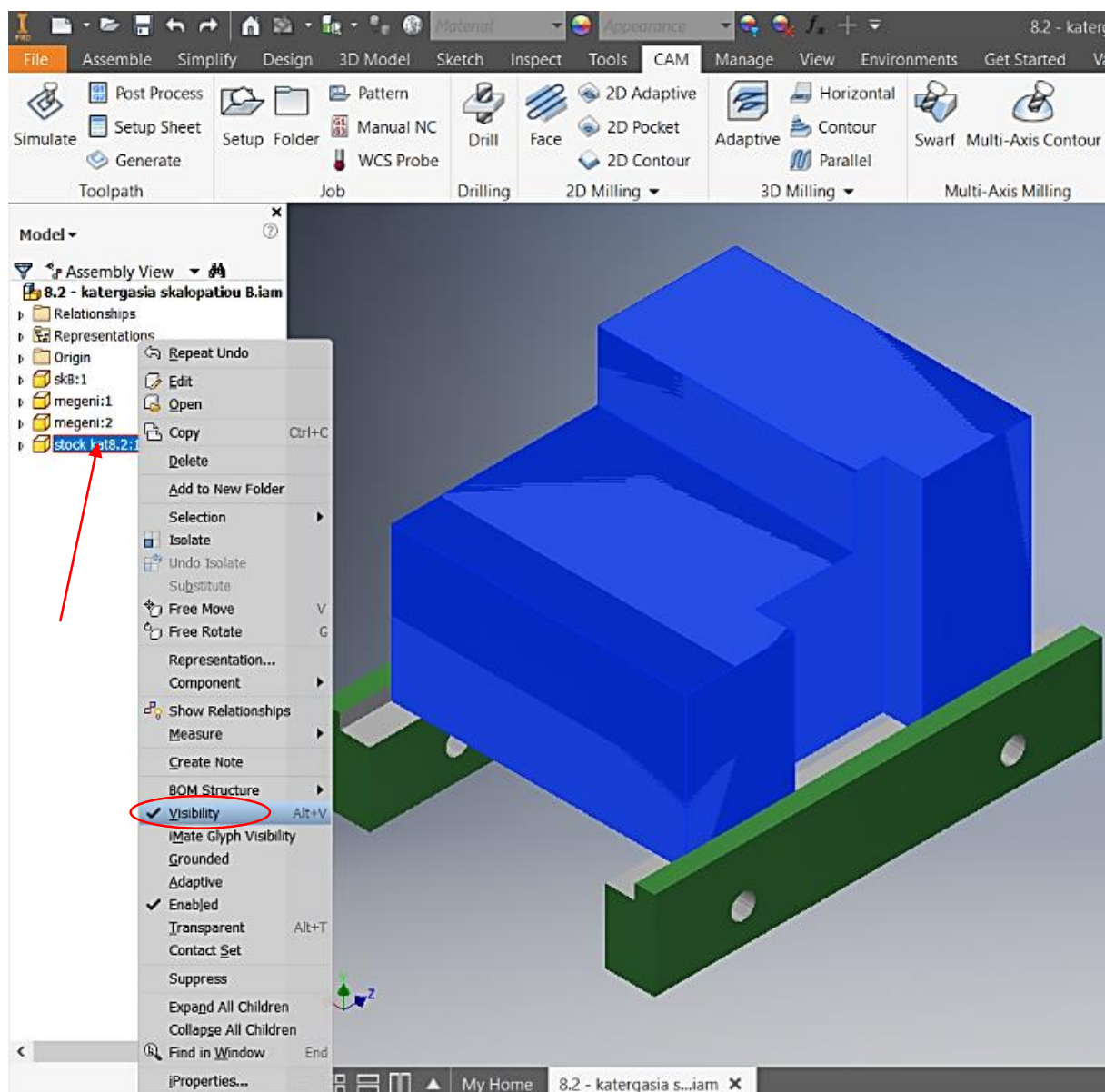


Εικόνα 9.4.19 – Εντολή Stock Point

Στην ενότητα Work Coordinate System (WCS), γίνεται επιλογή της εντολής Stock Point. Μόλις εμφανιστούν τα διαθέσιμα σημεία όπως φαίνεται στην παραπάνω εικόνα (Εικόνα 9.4.19 – Εντολή Stock Point), ορίζεται σε ένα από αυτά το σύστημα συντεταγμένων.

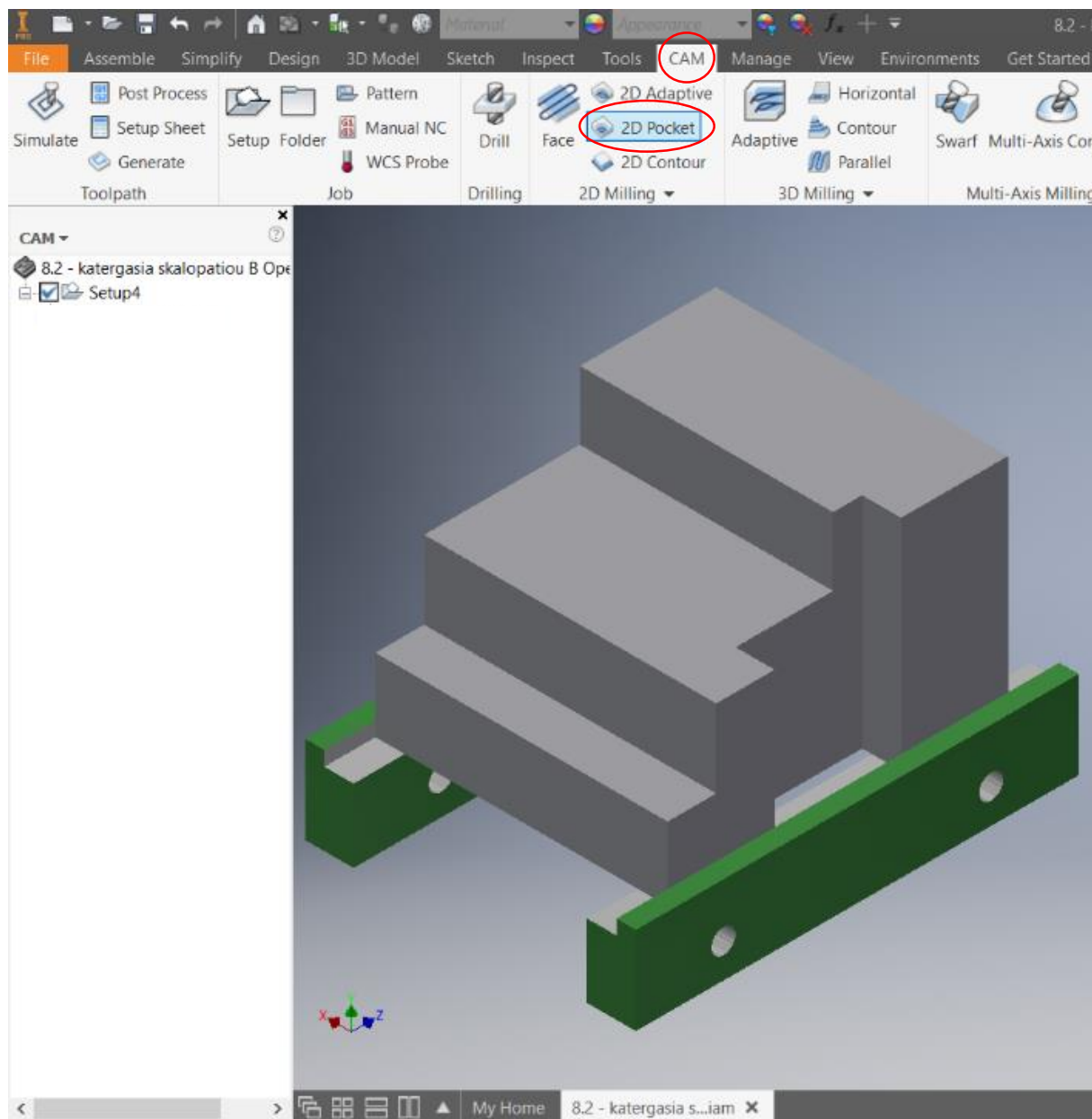
Τέλος, πατώντας το κουμπί OK ολοκληρώνεται η διαδικασία του ορισμού του αρχικού όγκου και του συστήματος συντεταγμένων.

## 2. Επιλογή κοπτικού εργαλείου και παραγωγή της πορείας του.



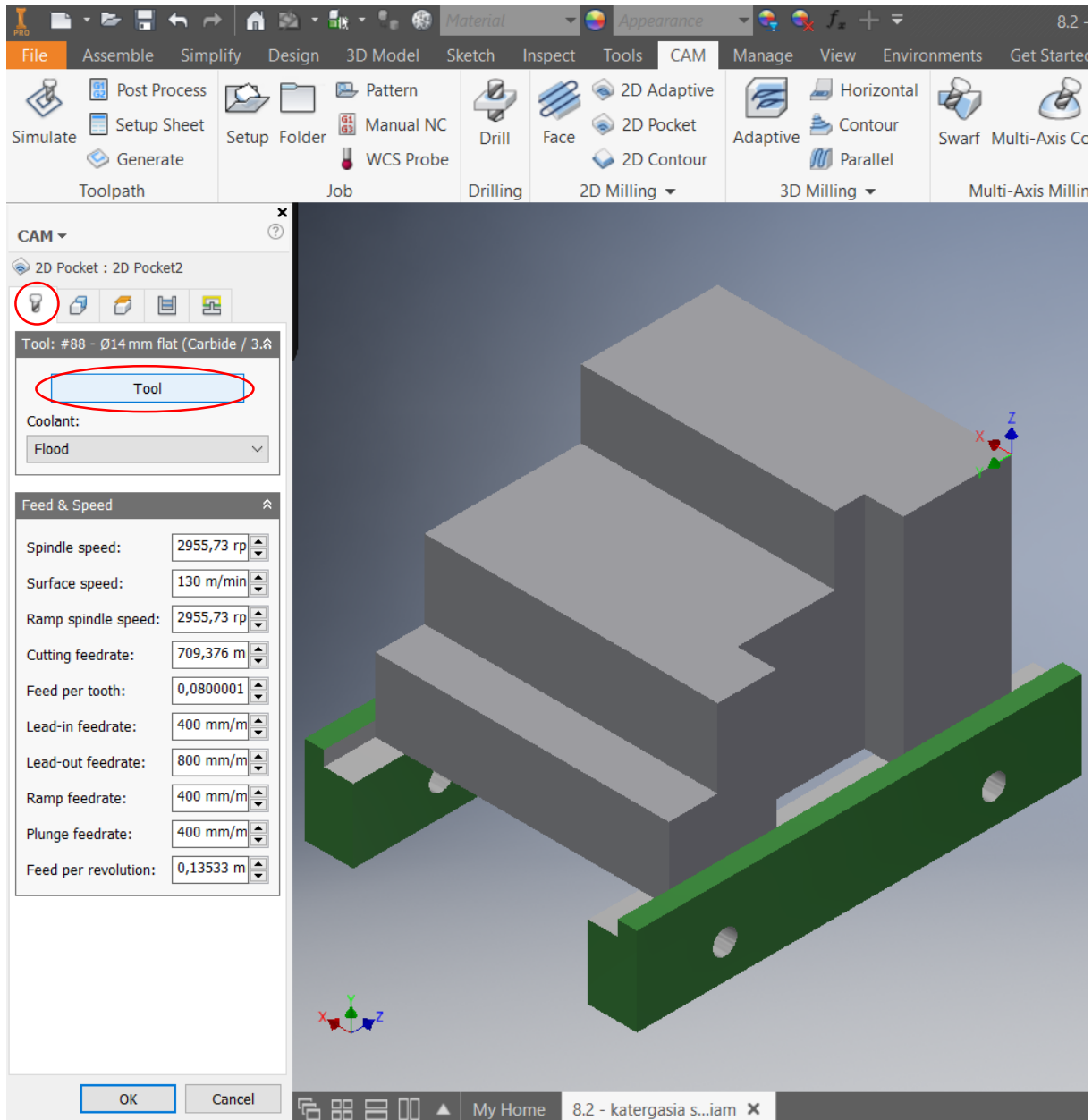
Εικόνα 9.4.20 – Κατάργηση ορατότητας όγκου

Πριν ξεκινήσει η επιλογή του κοπτικού εργαλείου γίνεται μία μετάβαση στο περιβάλλον μοντελοποίησης του δοκιμίου, όπως αυτή πραγματοποιήθηκε και σε προηγούμενα βήματα. Επιλέγεται ο νέος όγκος που προστέθηκε στο πρόγραμμα και με δεξιά κλικ ανοίγει ένα ειδικό μενού. Σε αυτό το μενού επιλέγεται η εντολή Visibility για να γίνει άορατος αυτός ο όγκος. Σκοπός αυτής της ενέργειας είναι ορατότητα της κάτω επιφάνειας αυτού του όγκου, ώστε να επιλεγθεί για τον προγραμματισμό της πορείας του κοπτικού εργαλείου.



Εικόνα 9.4.21 – Επιλογή εντολής 2D Pocket

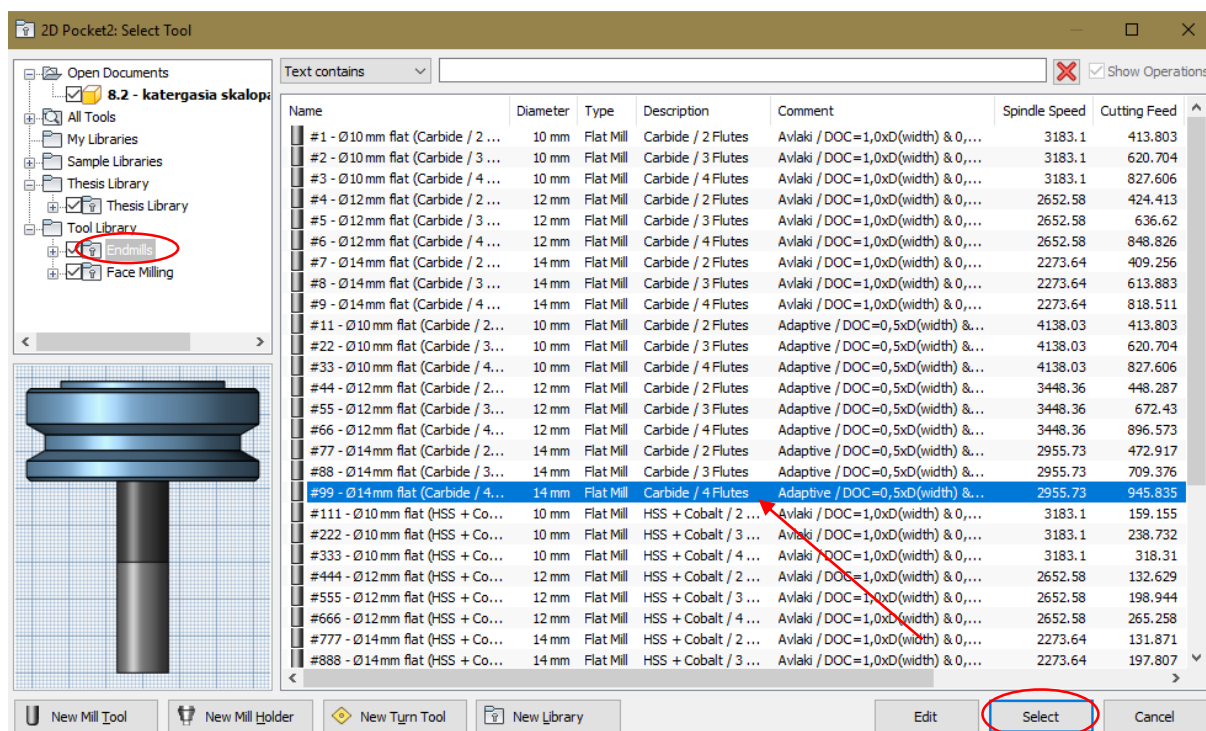
Έπειτα, γίνεται πάλι μετάβαση στο περιβάλλον προγραμματισμού των κοπτικών εργαλείων με τον ίδιο τρόπο. Στην καρτέλα CAM του προγράμματος, επιλέγεται η εντολή 2D Pocket για τη διαμόρφωση του πρώτου σκαλοπατιού.



Εικόνα 9.4.22 – Επιλογή κοπτικού εργαλείου

Στην πρώτη καρτέλα του παραθύρου της εντολής 2D Pocket, επιλέγεται η εντολή Tool για την μετάβαση στην βιβλιοθήκη των κοπτικών εργαλείων.

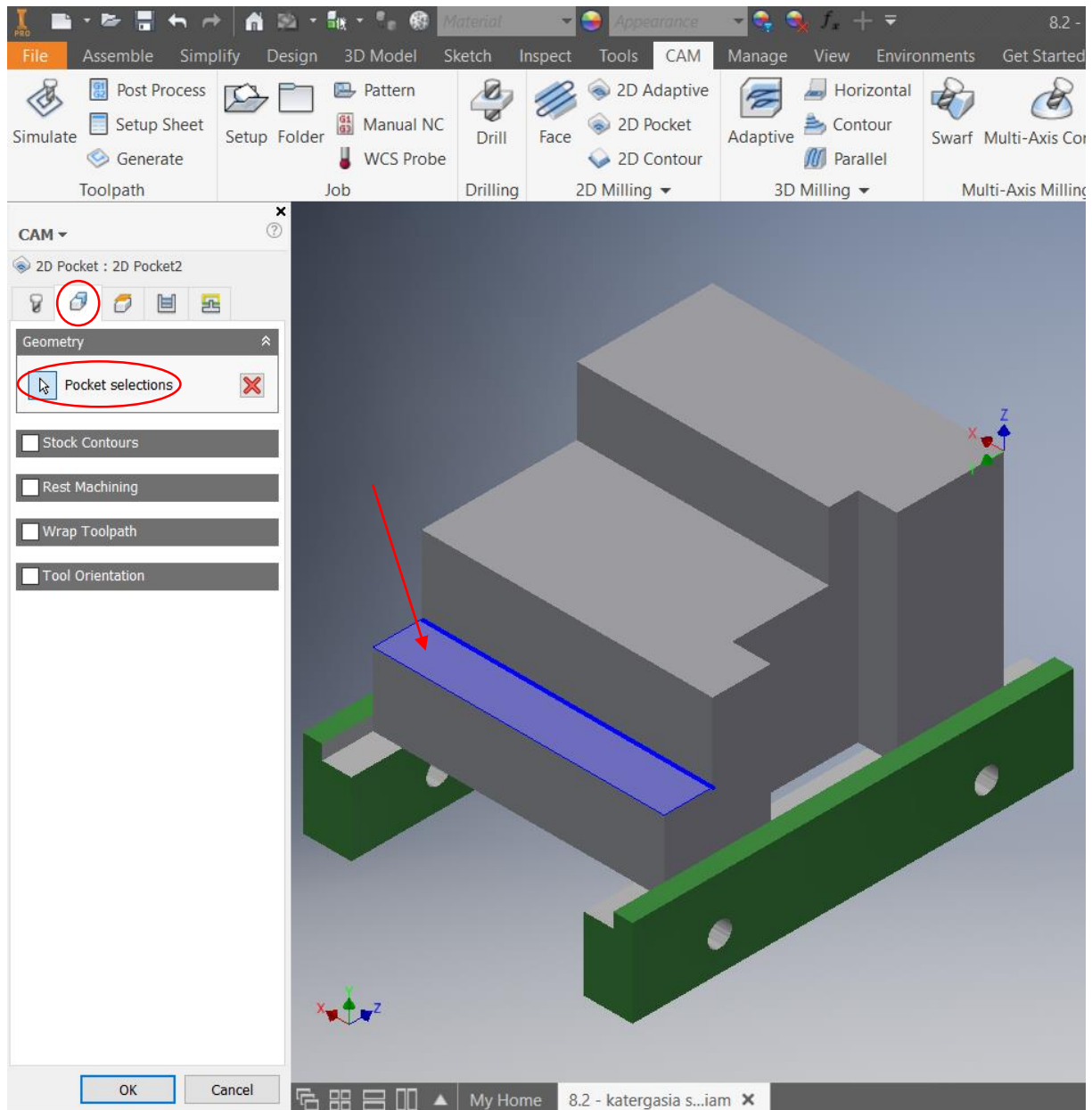




Εικόνα 9.4.23 – Βιβλιοθήκη κοπτικών εργαλείων

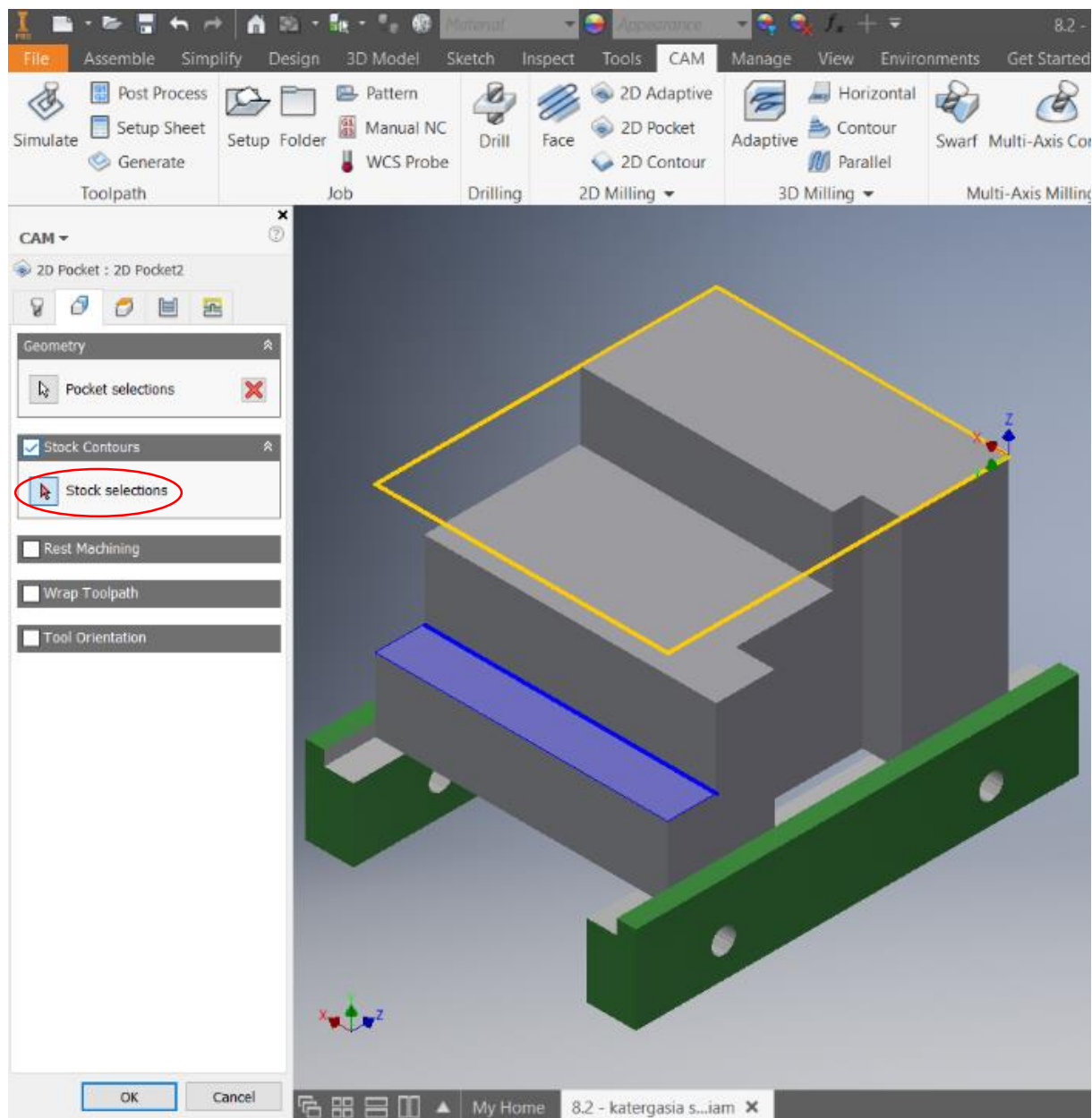
Στο αναδυόμενο παράθυρο, επιλέγεται το κοπτικό εργαλείο. Στην συγκεκριμένη φάση κατεργασίας το κονδύλι Νο 99.  
Σε αυτό το σημείο πρέπει να αναφερθεί ότι έχει προηγηθεί η δημιουργία όλων των κοπτικών εργαλείων για την εκπόνηση της εργασίας.





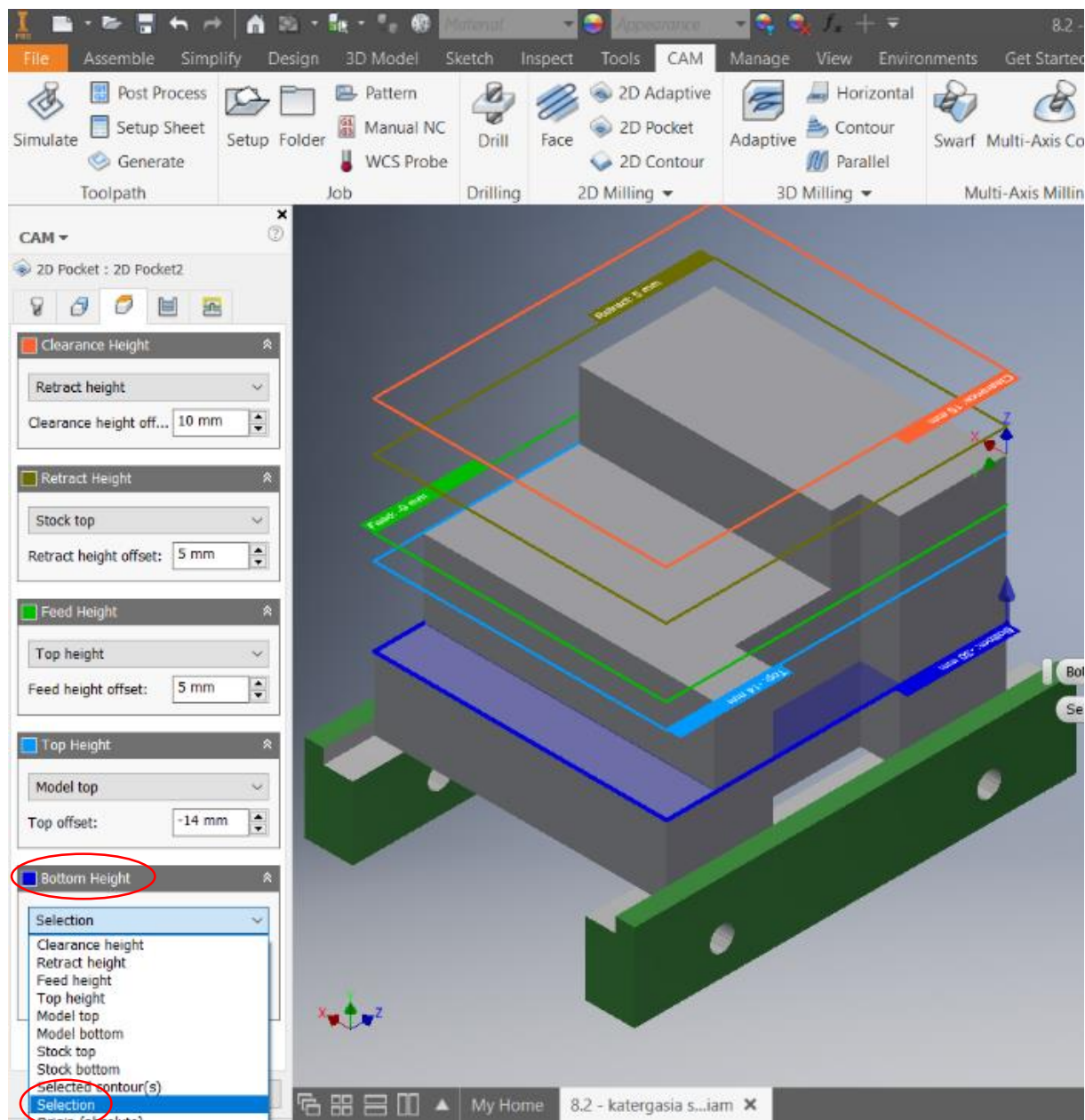
Εικόνα 9.4.24 – Επιλογή επιφάνειας προς κατεργασία

Στην δεύτερη καρτέλα, ορίζονται πρώτα τα όρια της προς κατεργασίας επιφάνειας και έπειτα το σύστημα συντεταγμένων του κοπτικού εργαλείου. Στην ενότητα Geometry, μέσω της εντολής Pocket selections, επιλέγεται η προς κατεργασία επιφάνεια. Στην δεύτερη καρτέλα, ορίζονται πρώτα τα όρια της προς κατεργασίας επιφάνειας και έπειτα το σύστημα συντεταγμένων του κοπτικού εργαλείου. Στην ενότητα Geometry, μέσω της εντολής Pocket selections, επιλέγεται η προς κατεργασία επιφάνεια.



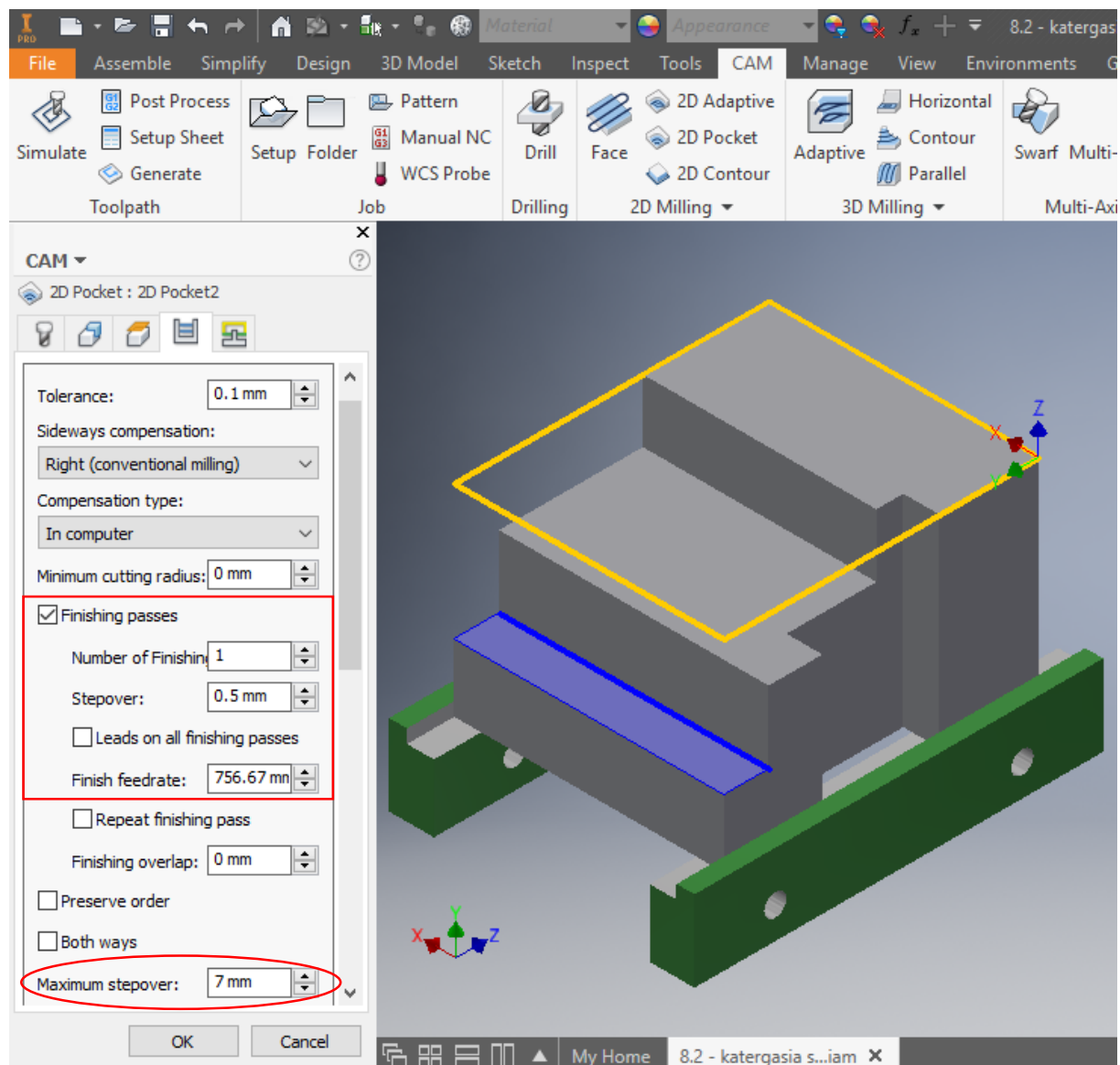
Εικόνα 9.4.25 – Απομόνωση όγκου κατεργασίας

Στη συνέχεια, στην ενότητα Stock Contours, μέσω της εντολής Stock selections ορίζονται τα όρια του αρχικού όγκου της. Παραμένει η προτεινόμενη από το πρόγραμμα επιφάνεια ως επιλογή για τον ορισμό των ορίων της.



Εικόνα 9.4.26 – Ορισμός επιπέδων κοπτικού εργαλείου

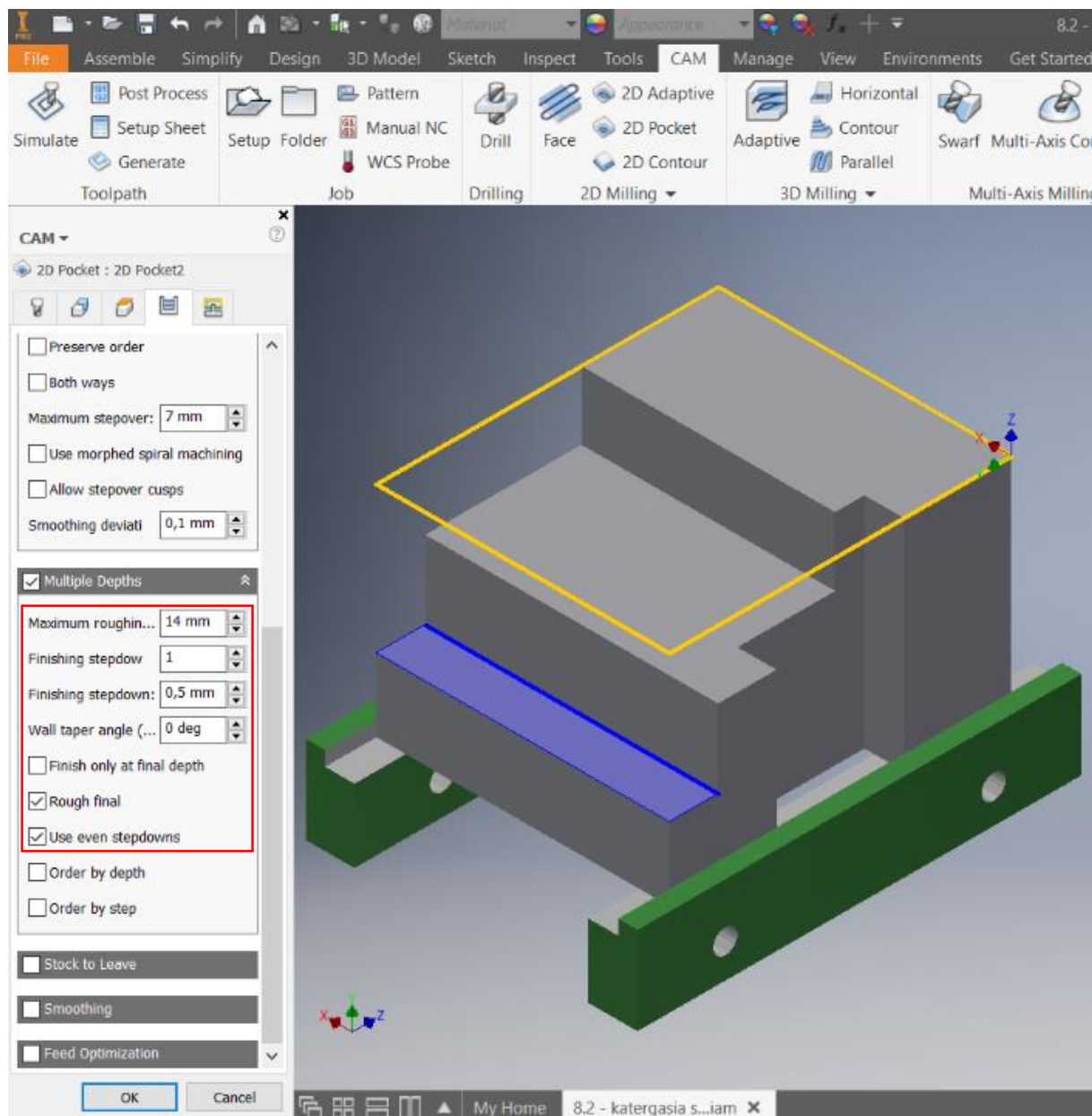
Στην τρίτη καρτέλα, καθορίζονται τα ύψη συναρτήσεων των συνθηκών κατεργασίας του κοπτικού εργαλείου. Στην προκειμένη περίπτωση, ορίζεται το ύψος του κατώτερου επιπέδου στο οποίο θα φτάσει το κοπτικό εργαλείο κατά την κατακόρυφη κίνησή του. Αυτό επιτυγχάνεται μέσω της εντολής Selection και της επιλογής της προς κατεργασία επιφάνειας.



Εικόνα 9.4.27 – Επεξεργασία πάσων

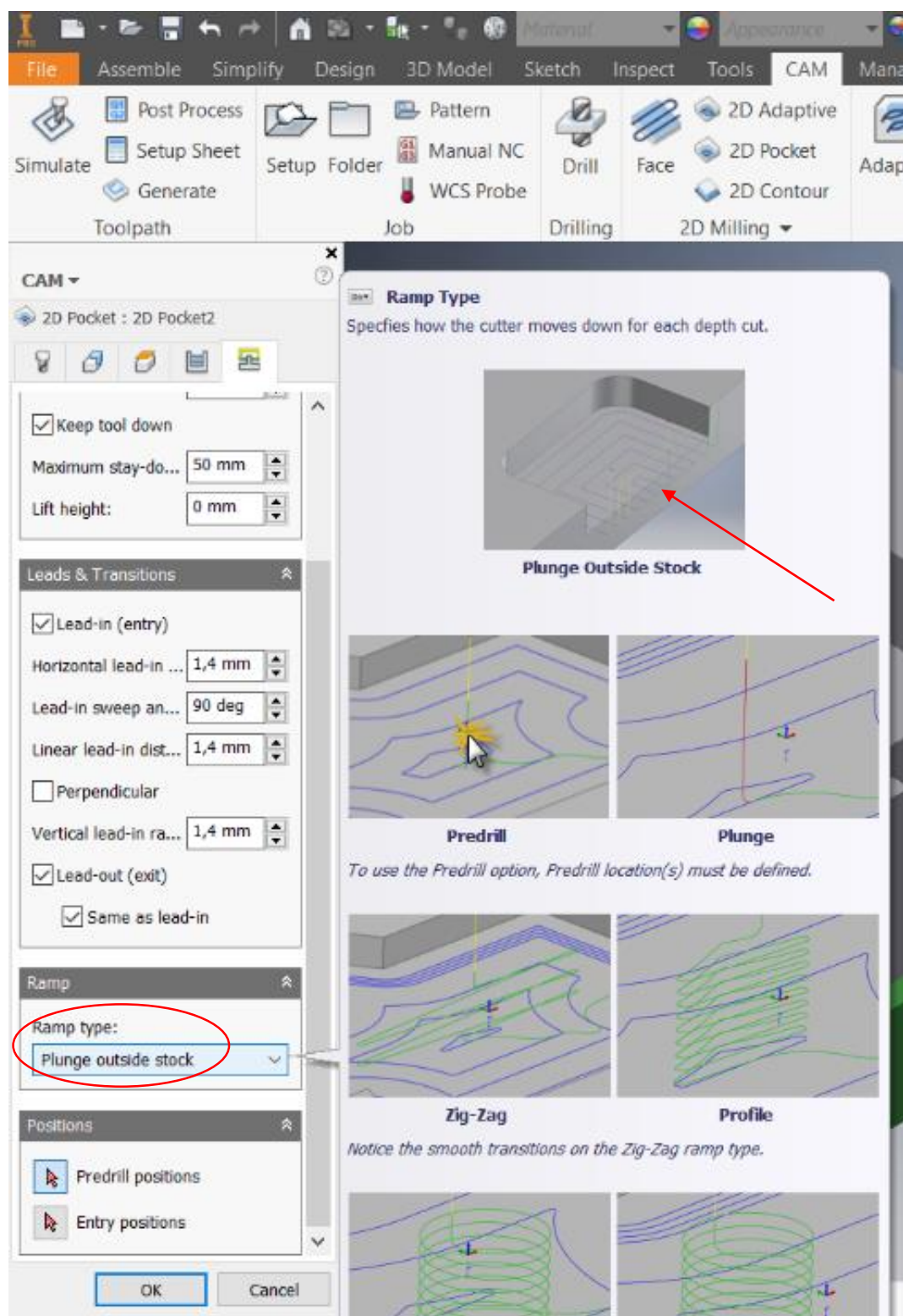
Στην τέταρτη καρτέλα, ορίζονται οι συνθήκες κατεργασίας για κάθε πάσσο. Αρχικά, επιλέγεται η εντολή *Finishing passes*, με σκοπό να πραγματοποιηθεί φινιρίσμα πριν ολοκληρωθεί η κατεργασία. Το πάσσο του φινιρίσματος είναι ένα (*Number of Finishing passes*), το βάθος κοπής του είναι 0,5 mm (*Stepover*) και η πρόωσή του είναι κατά 20% μικρότερη της πρόωσης του ξεχονδρίσματος. Στη συγκεκριμένη περίπτωση προκύπτει ότι είναι 756,67 mm/min. Κατόπιν, επιλέγεται η μέγιστη μετατόπιση του κοπτικού εργαλείου στον οριζόντιο άξονα (*Maximum stepover*) στα 7 mm, το οποίο προκύπτει από τις τεχνικές προδιαγραφές του κοπτικού εργαλείου.





Εικόνα 9.4.28 – Επεξεργασία πάσων

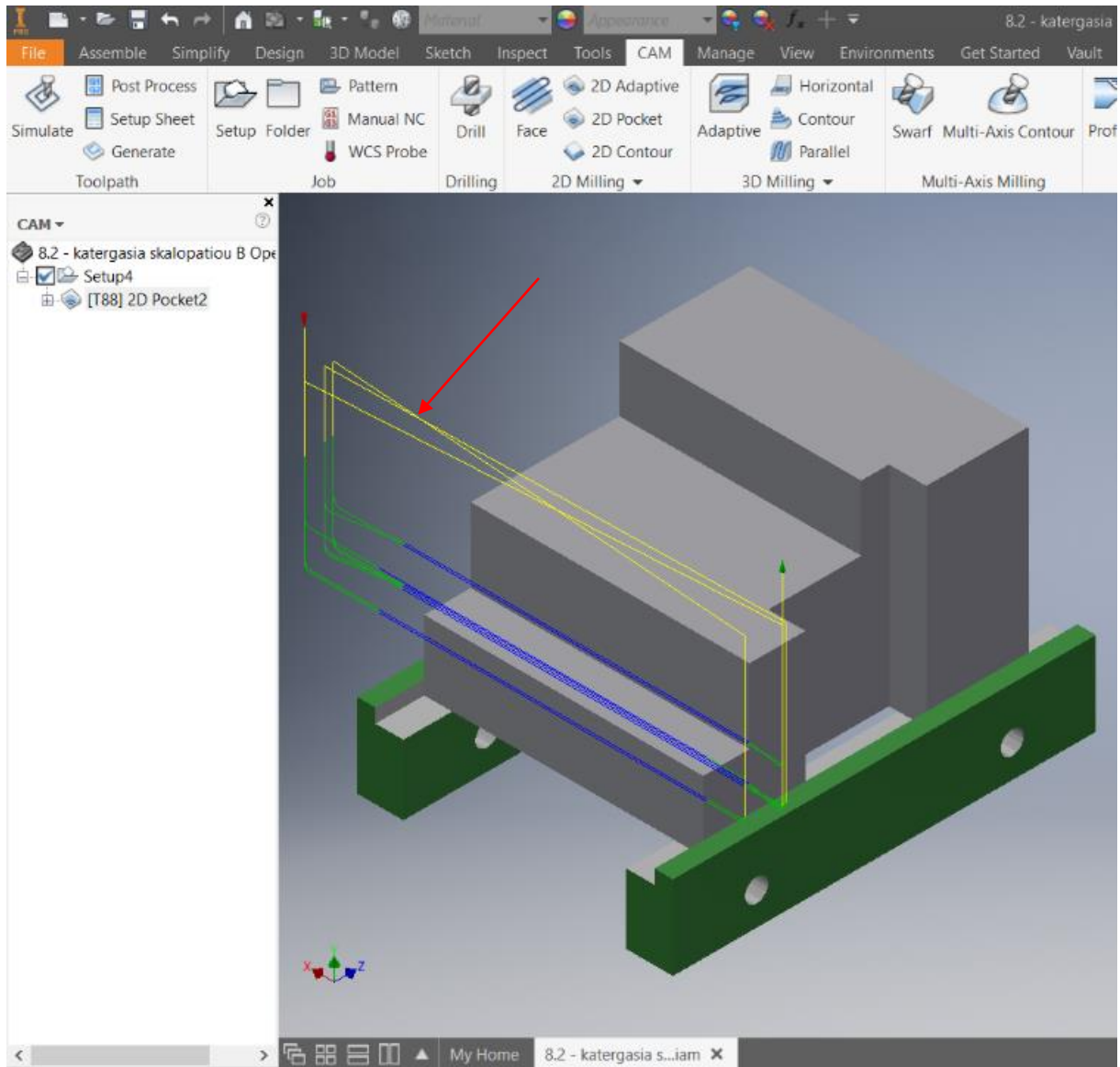
Έπειτα, επιλέγεται η ενότητα Multiple Depths ώστε η κατεργασία να πραγματοποιηθεί με πολλαπλά πάσσα. Το μέγιστο βάθος κοπής για τα πάσσα του ξεχονδρίσματος (Maximum roughing stepdown) είναι 14 mm, το οποίο προκύπτει από τις τεχνικές προδιαγραφές του κοπτικού εργαλείου. Ξαναορίζονται τα πάσσα του φινιρίσματος με τα ίδια χαρακτηριστικά που ορίστηκαν παραπάνω. Τέλος, επιλέγεται η εντολή Use even stepdowns, ώστε με βάση το μέγιστο βάθος κοπής και το βάθος της αυλάκωσης να δημιουργηθούν αυτόματα πάσσα ξεχονδρίσματος με ίσο βάθος κοπής.



Εικόνα 9.4.29 – Επιλογή τρόπου εισαγωγής κοπτικού εργαλείου

Στην πέμπτη και τελευταία καρτέλα, ορίζεται ο τρόπος εισόδου του κοπτικού εργαλείου. Στην ενότητα Ramp επιλέγεται η εντολή Plunge outside stock, ώστε η είσοδος του κοπτικού εργαλείου να γίνει όπως φαίνεται στο παράδειγμα της εικόνας. Τέλος, πατώντας το κουμπί OK ολοκληρώνεται η διαδικασία επιλογής του κοπτικού εργαλείου και ο ορισμός των συνθηκών κατεργασίας.

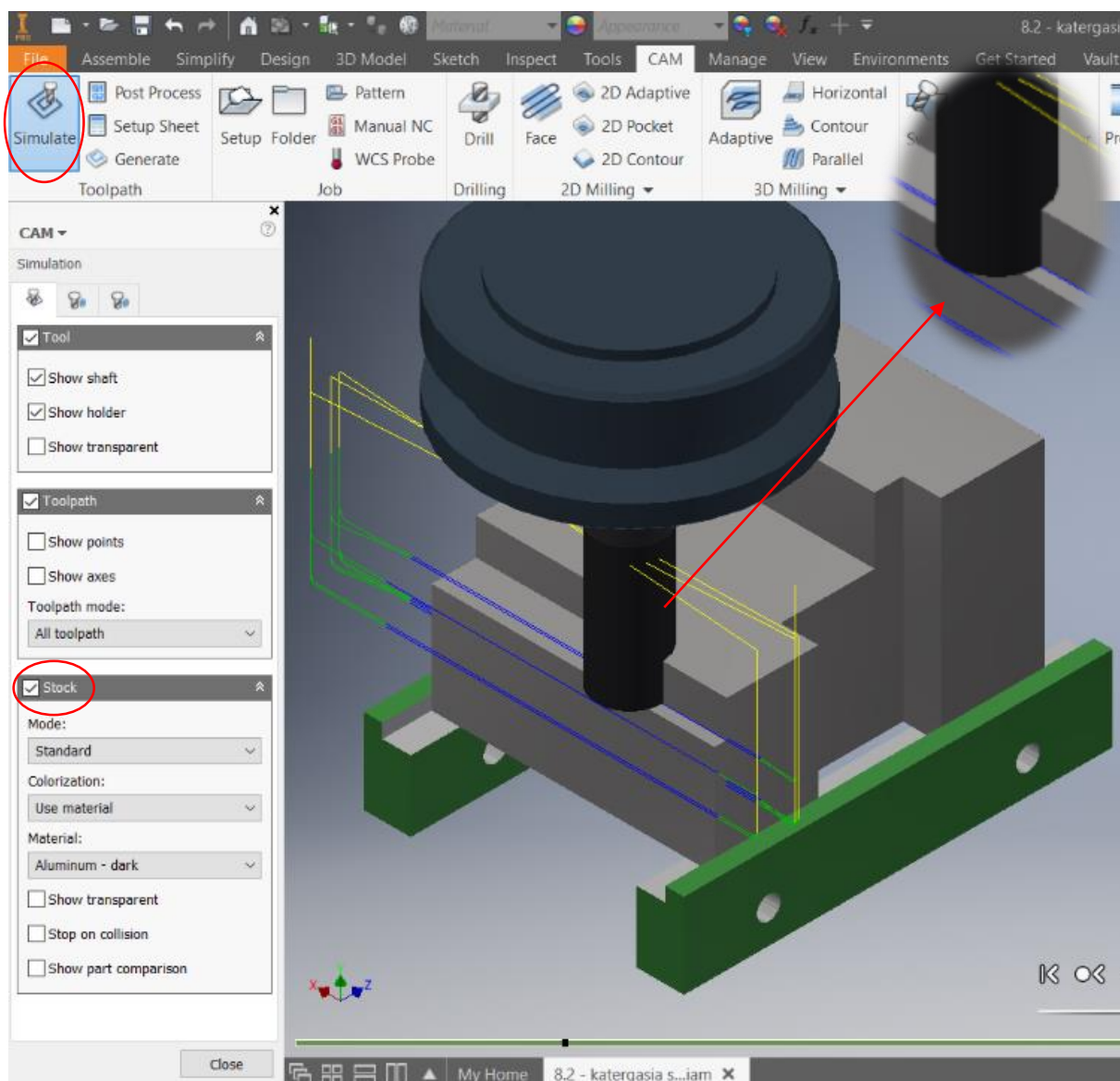




Εικόνα 9.4.30 – Πορεία κοπτικού εργαλείου

Αυτόματα, μόλις πατηθεί το κουμπί ΟΚ όπως προαναφέρθηκε, παράγεται η πορεία του κοπτικού εργαλείου, όπως φαίνεται στην παραπάνω εικόνα (Εικόνα 9.4.30 – Πορεία κοπτικού εργαλείου).

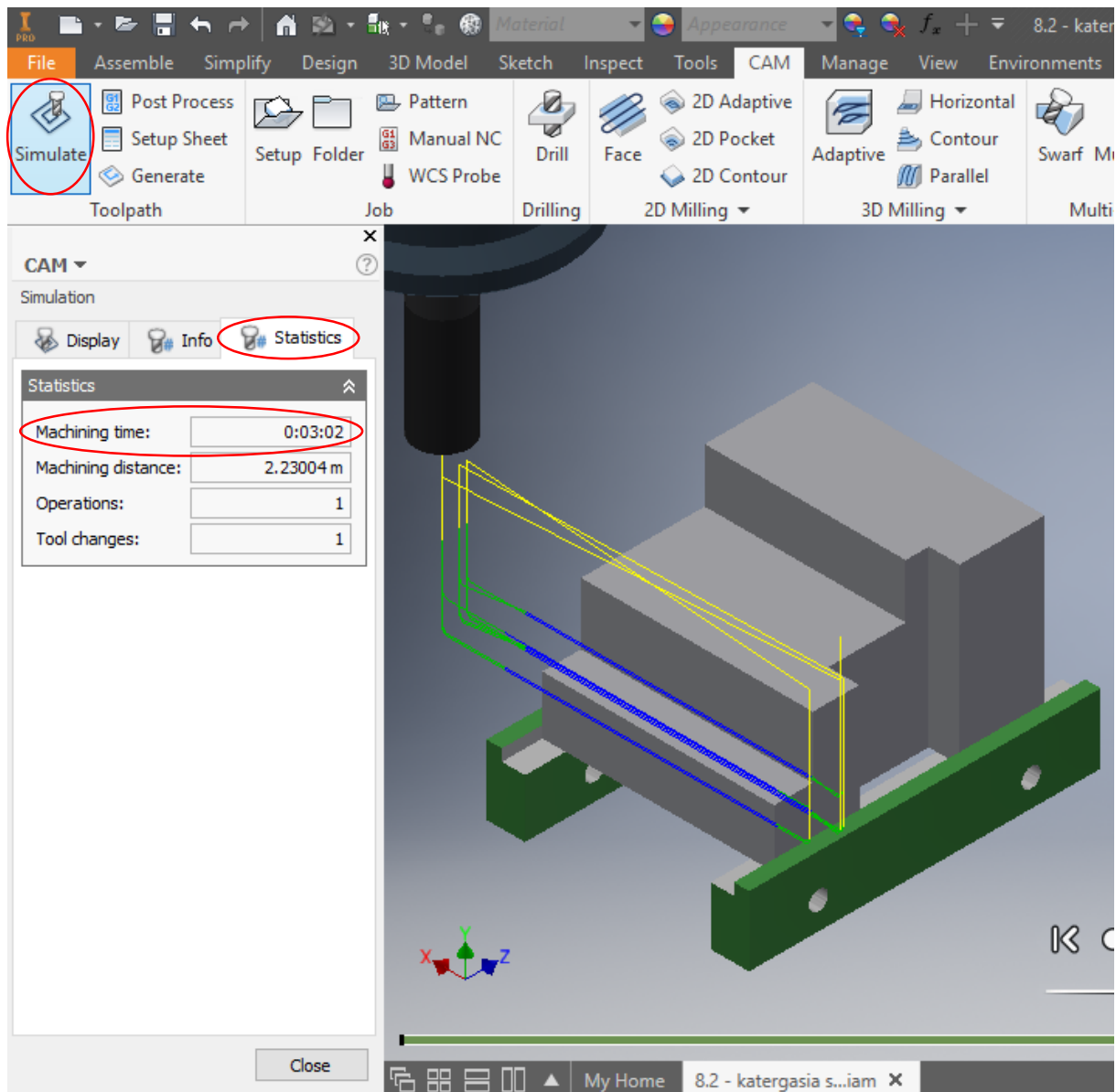
### 3. Προσομοίωση κατεργασίας.



Εικόνα 9.4.31 – Προσομοίωση κατεργασίας

Στην καρτέλα CAM του προγράμματος, επιλέγεται η εντολή Simulate στο πάνω αριστερό τμήμα της οθόνης. Στην πρώτη καρτέλα της εντολής, ενεργοποιείται ο αρχικός όγκος (Stock), ώστε να γίνει αντιληπτή η αφαίρεση του επιθυμητού όγκου. Έπειτα, με το πλήκτρο Play, ξεκινάει η προσομοίωση της πορείας του κοπτικού εργαλείου.

#### 4. Χρόνος κατεργασίας



Εικόνα 9.4.32 – Χρόνος κατεργασίας

Στην τρίτη καρτέλα (Statistics) της εντολής Simulate (πάνω αριστερά στην οθόνη), εμφανίζονται κάποια στοιχεία που απορρέουν από την κατεργασία. Ένα από αυτά είναι και ο χρόνος κατεργασίας, ο οποίος είναι 0:03:02 min.

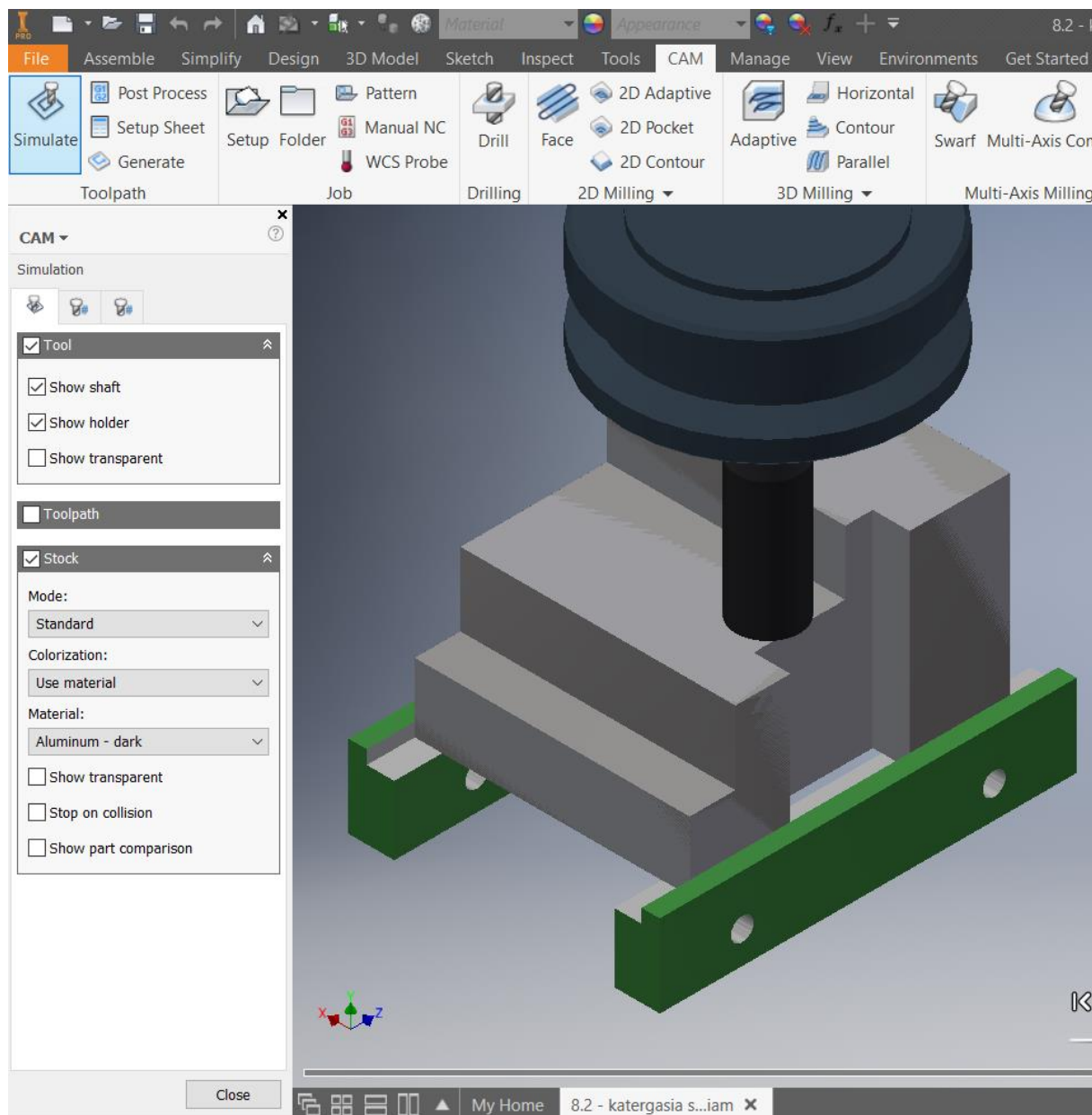
## 9.5 ΦΑΣΗ ΚΑΤΕΡΓΑΣΙΑΣ - 5

Σκοπός	Διαμόρφωση αυλάκωσης διαστάσεων 10 mm x 6 mm στην επιφάνεια Γ.	
Τρόπος συγκράτησης	Μέγγενη με κοινά μάγουλα	
Κοπτικό εργαλείο	Κονδύλι Ø14 mm	
Συνθήκες κατεργασίας	n= 2273,64 rpm	f= 0,09 mm/tooth
	a= 7 mm	V <sub>c</sub> = 100 m/min

Σε αυτή τη φάση κατεργασίας, επειδή προέκυψε ένα πρόβλημα ορισμού του αρχικού όγκου, το οποίο αναλύεται στο Κεφάλαιο 10: «Προβλήματα και αντιμετώπιση», ακολουθείται μία διαφορετική διαδικασία.

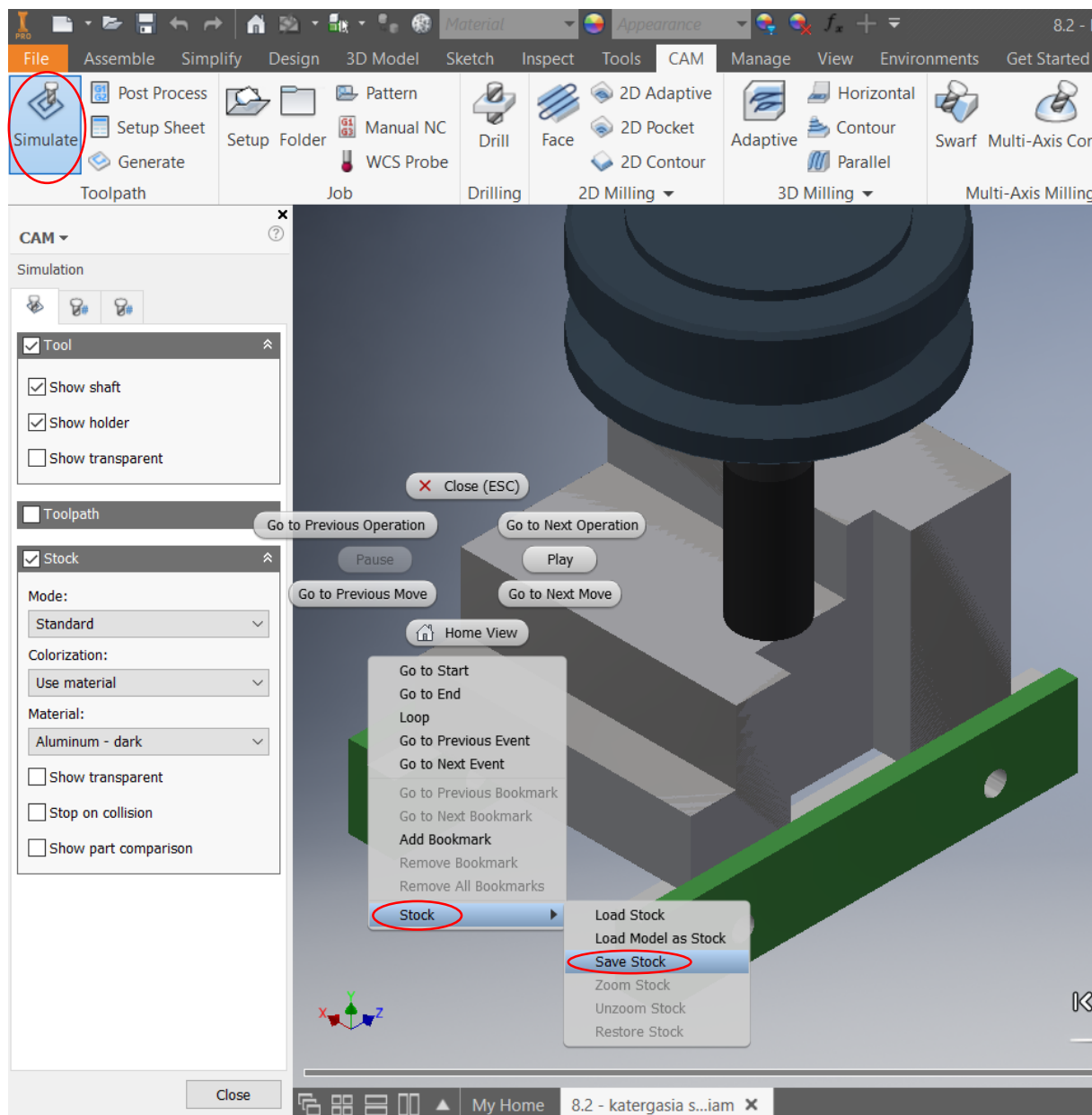
Ο αρχικός όγκος ορίζεται μέσω ενός πρόσθετου προγράμματος, το Mesh Enabler, του οποίου τα βήματα παρουσιάζονται αναλυτικά παρακάτω.

## 1. Ορισμός αρχικού όγκου και συστήματος συντεταγμένων.



Εικόνα 9.5.1 – Τέλος προηγούμενης κατεργασίας

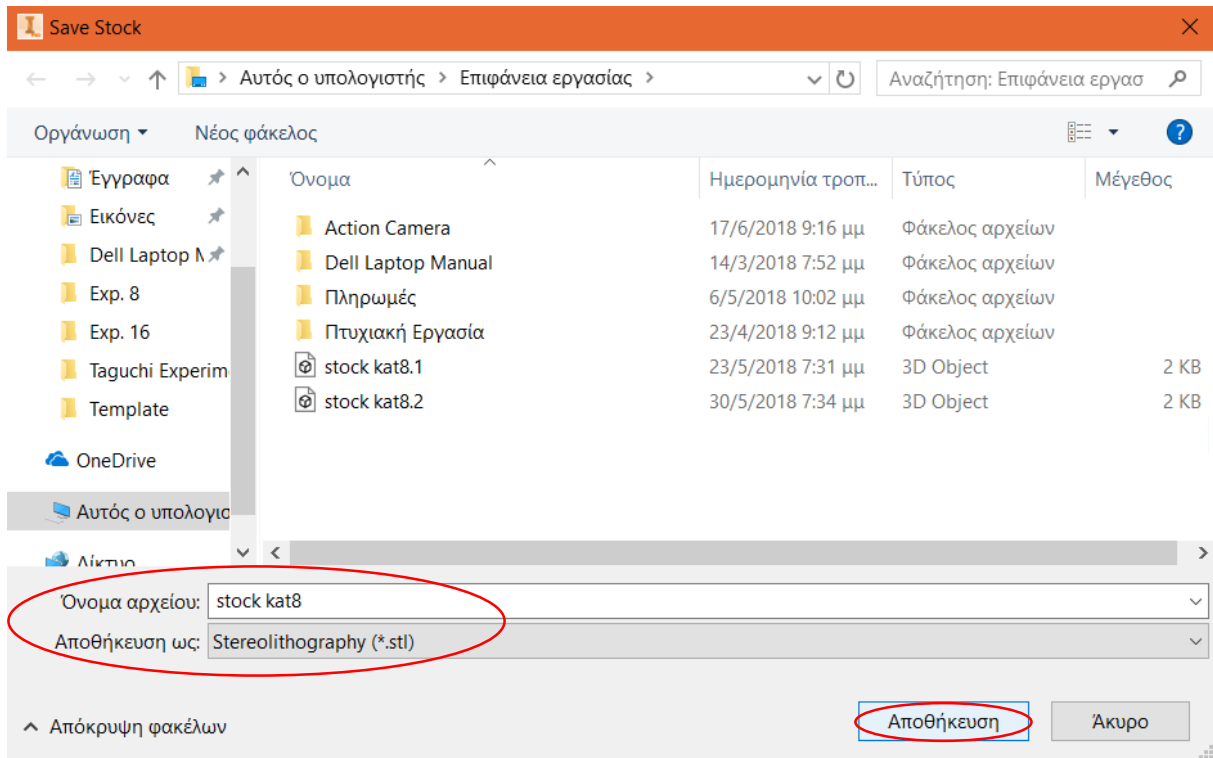
Λόγω της πολύπλοκης γεωμετρίας του δοκιμίου στη συγκεκριμένη φάση κατεργασίας, ο αρχικός όγκος θα πρέπει να οριστεί ως η γεωμετρία που προκύπτει μετά το πέρας της προηγούμενης φάσης κατεργασίας. Επομένως, γίνεται μετάβαση στο αρχείο της προηγούμενης φάσης κατεργασίας.



Εικόνα 9.5.2 – Αποθήκευση όγκου

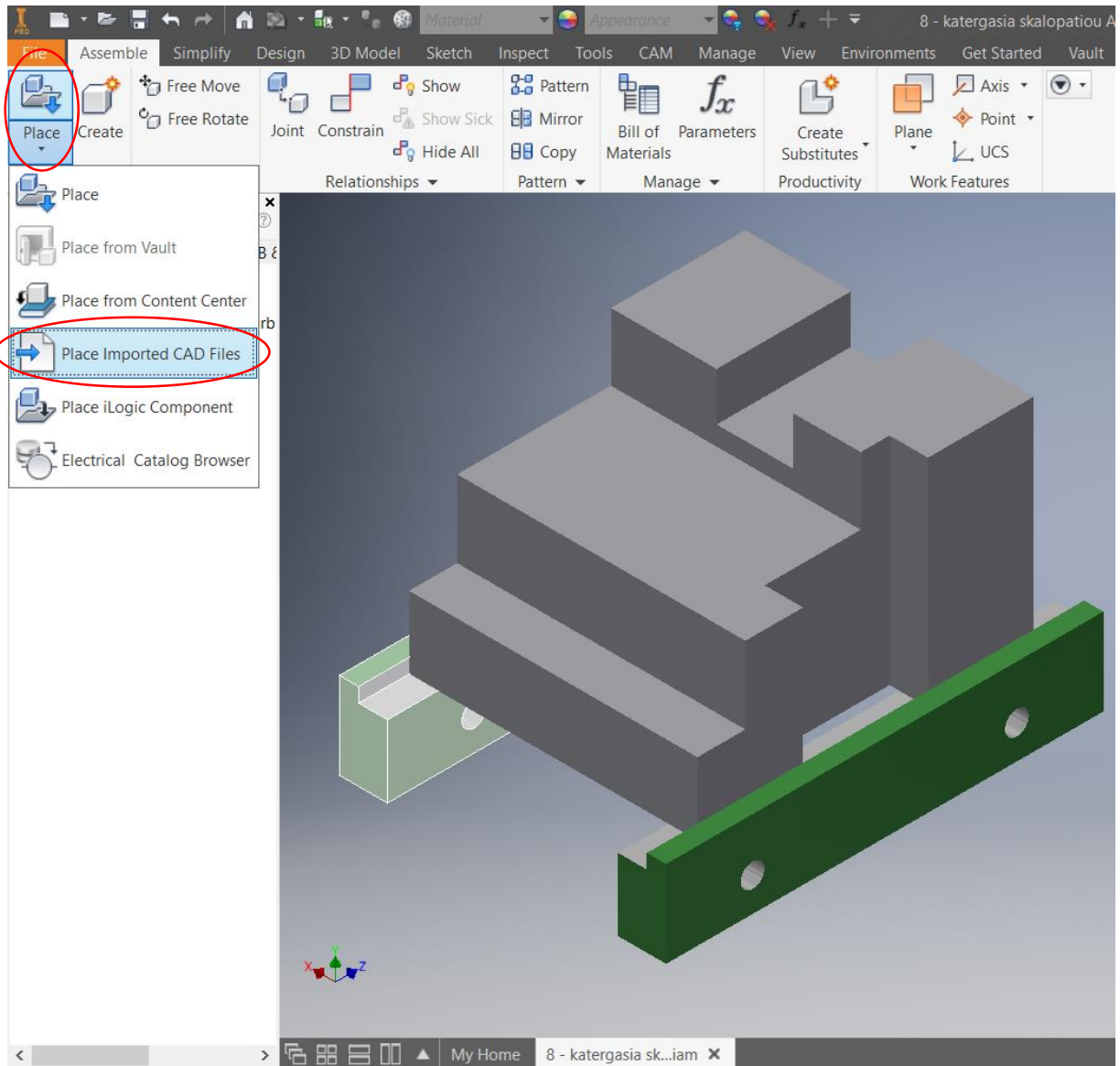
Στην καρτέλα Simulate και αφού έχει πραγματοποιηθεί η προσομοίωση της κατεργασίας, ενεργοποιείται ένα ξεχωριστό μενού εντολών πατώντας δεξί κλικ πάνω στο δοκίμιο. Στην επιλογή Stock, επιλέγεται η εντολή Save Stock ώστε να αποθηκευτεί ο όγκος του δοκιμίου μετά την κατεργασία του, με μία άλλη μορφή αρχείου.





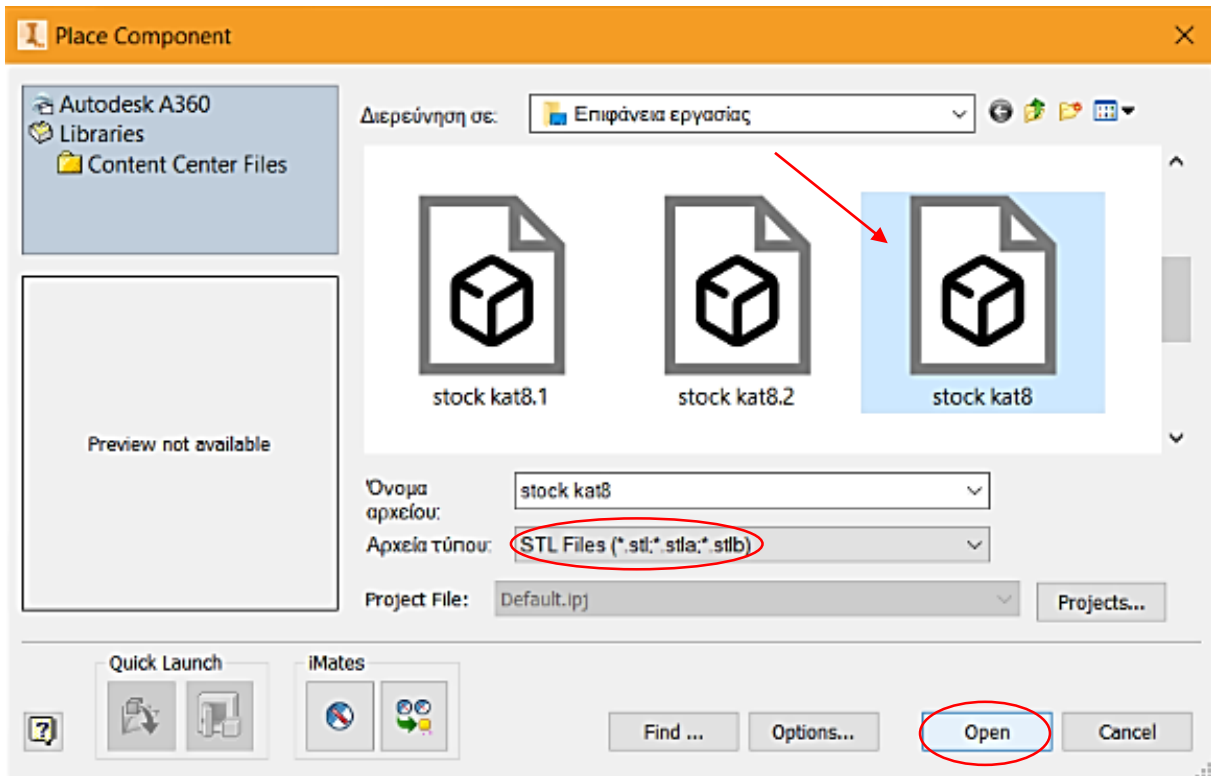
Εικόνα 9.5.3 – Αποθήκευση όγκου ως αρχείο STL

Στο αναδυόμενο παράθυρο ονομάζεται το αρχείο και αποθηκεύεται σε μορφή .stl όπως φαίνεται στην παράπανω εικόνα. Αυτό το αρχείο απεικονίζει τον όγκο του δοκιμίου με τη μορφή πλέγματος.



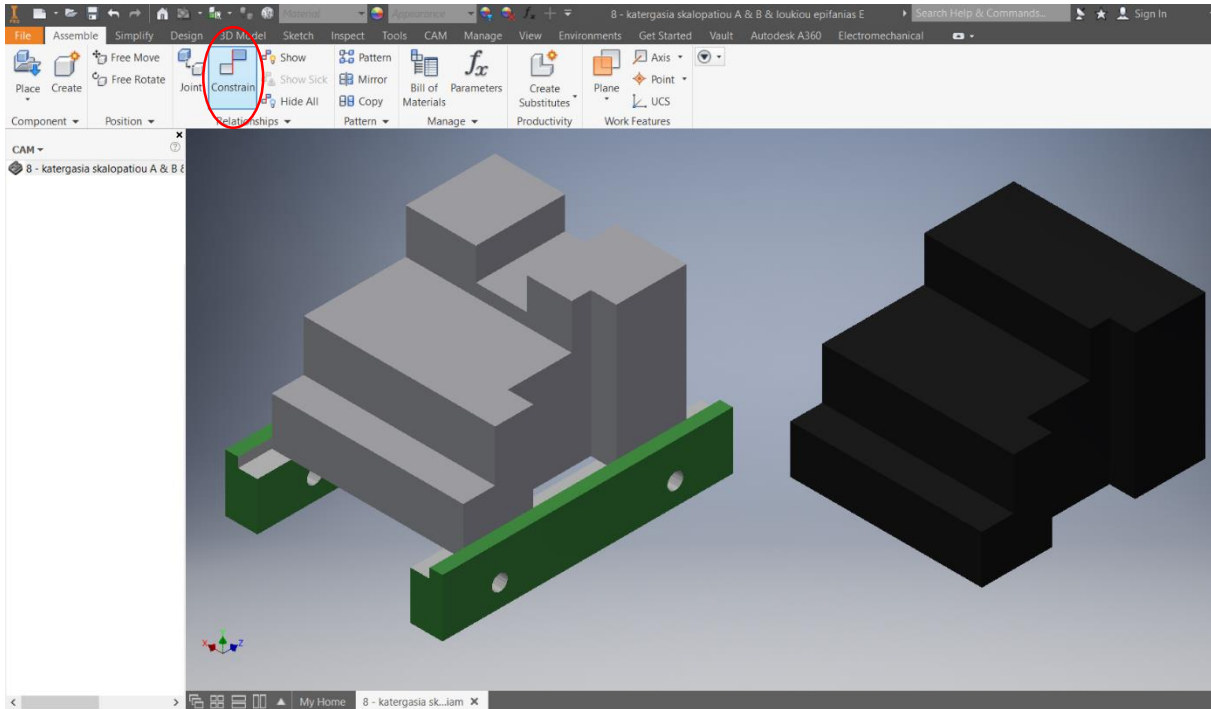
Εικόνα 9.5.4 – Εισαγωγή όγκου

Ανοίγοντας το αρχείο της επόμενης κατεργασίας (Φάση κατεργασίας 5 – Διαμόρφωση αυλάκωσης επιφάνειας Γ), στην καρτέλα Assemble, στην εντολή Place επιλέγεται η εντολή Place Imported CAD Files.



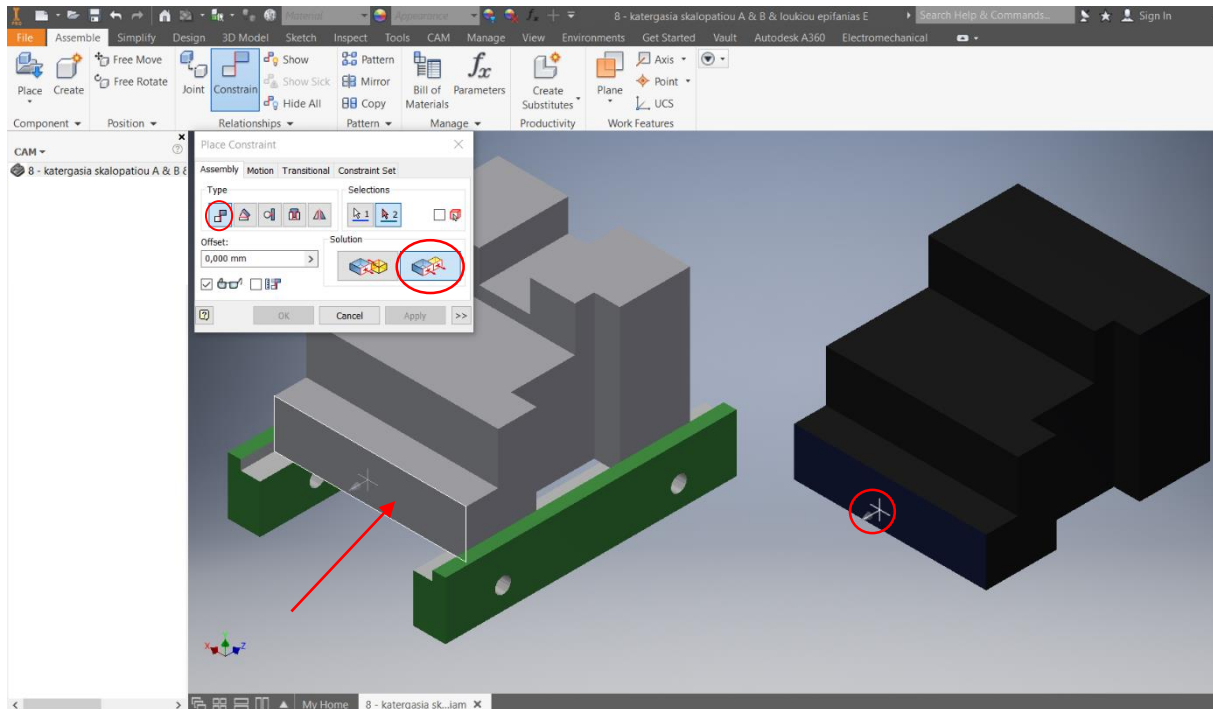
Εικόνα 9.5.5 – Επιλογή του όγκου για εισαγωγή

Στο αναδυόμενο παράθυρο, επιλέγεται να εμφανιστούν τα αρχεία τύπου STL, επιλέγεται το αρχείο που αποθηκεύθηκε σε προηγούμενο βήμα και τέλος, πατώντας το Open εισάγεται ο όγκος στο πρόγραμμα ηλεκτρονικής σχεδίασης.



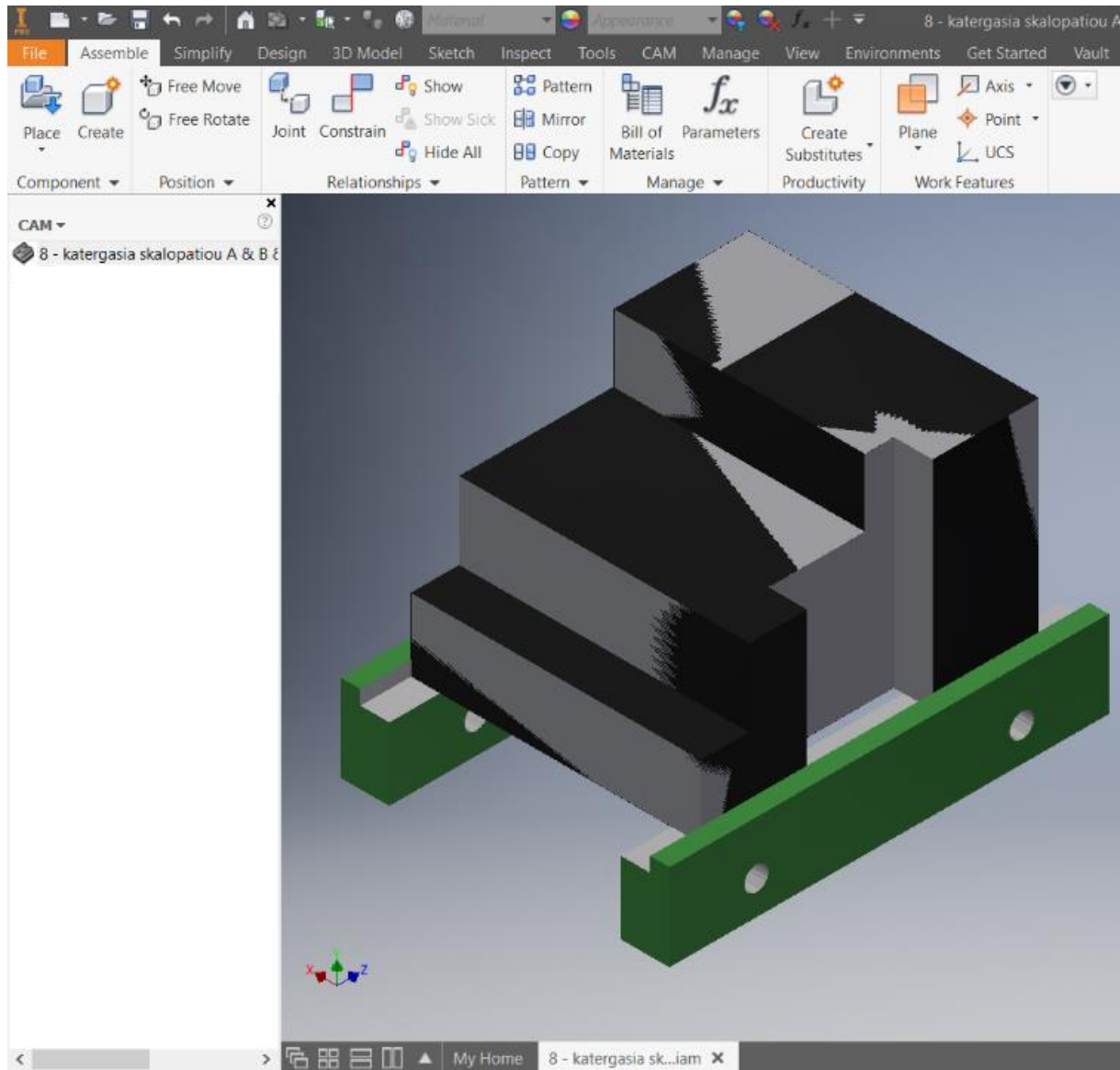
Εικόνα 9.5.6 – Εντολή Constrain

Αφού εισαχθεί το αρχείο στο πρόγραμμα, επιλέγεται η εντολή Constrain με σκοπό να οριστούν συνθήκες για να ενσωματωθεί ο όγκος του αρχείου .stl στον όγκο του δοκιμίου.



Εικόνα 9.5.7 – Συνθήκες εντολής Constrain

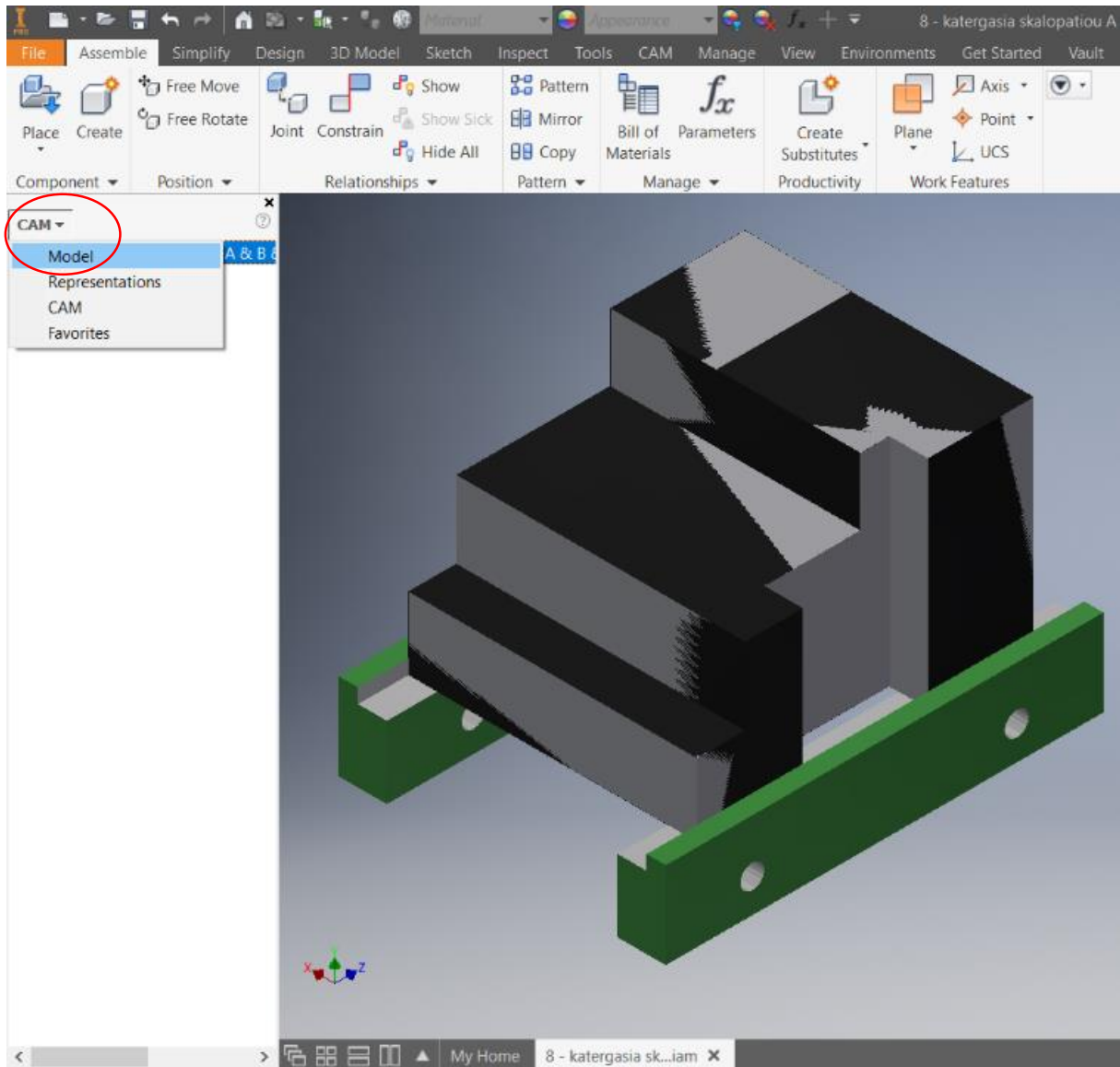
Στην πρώτη καρτέλα του αναδυόμενου παραθύρου επιλέγεται ο πρώτος τύπος συνθηκών, ο οποίος αφορά συνθήκες μεταξύ επίπεδων επιφανειών. Έπειτα, επιλέγονται οι επιθυμητές επιφάνειες για να οριστεί μία συνθήκη. Οι δύο επιφάνειες που έχουν επιλεγεί, όπως φαίνεται στην παραπάνω εικόνα, είναι η ίδια πλευρά και για τους δύο όγκους. Τέλος, επιλέγεται η εντολή κάτω δεξιά του αναδυόμενου παραθύρου, ώστε αυτές οι δύο πλευρές να είναι ομόρροπες μεταξύ τους και με την εντολή Apply οριστικοποιείται η συνθήκη.



Εικόνα 9.5.8 – Συνδυασμός των δύο όγκων μετά την εντολή Constrain

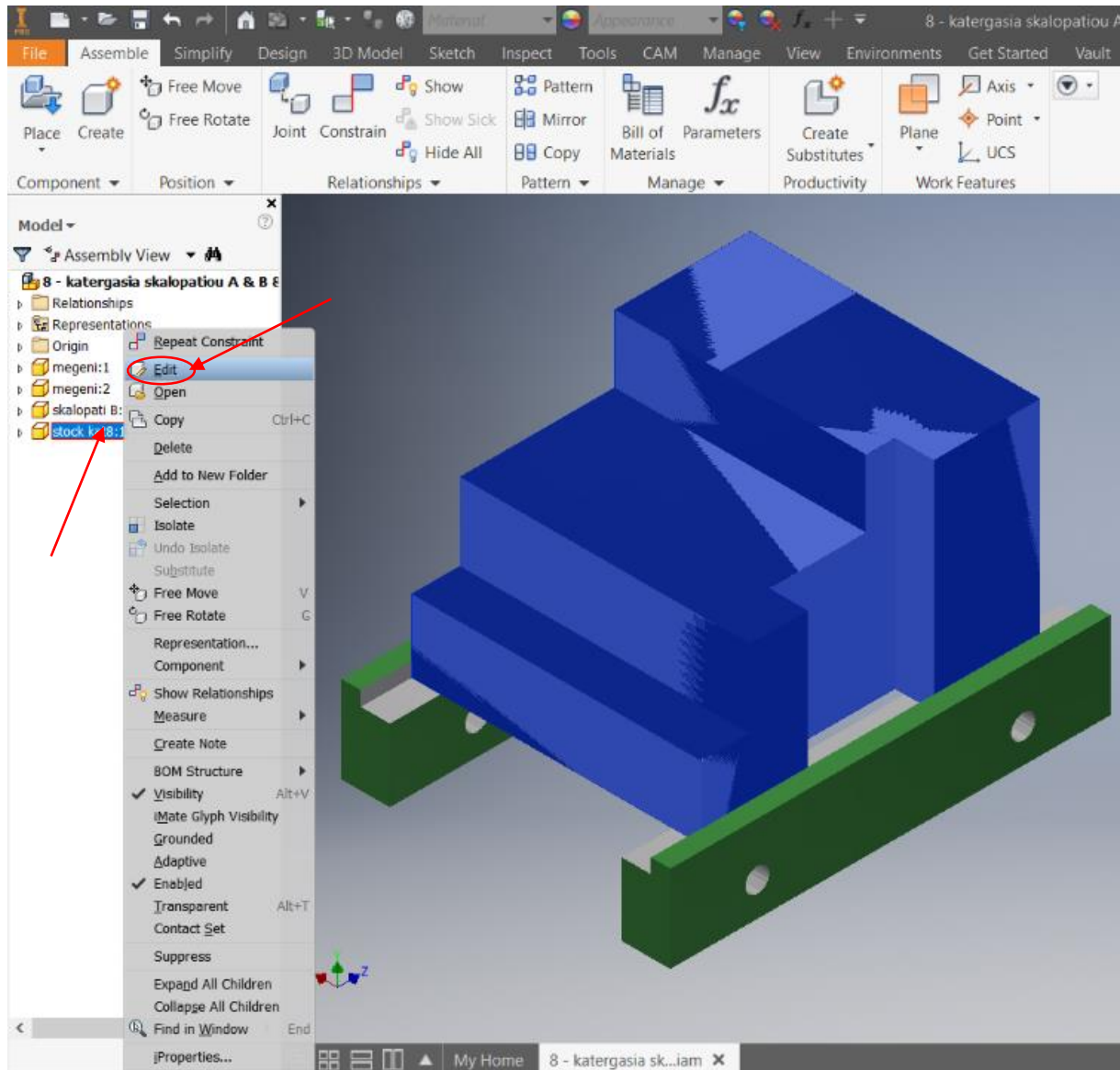
Ακριβώς τα ίδια βήματα ακολουθούνται για να οριστούν οι συνθήκες των πλευρών Α και Β του δοκιμίου. Το αποτέλεσμα μετά από αυτές τις ενέργειες είναι ο συνδυασμός των δύο όγκων, όπως φαίνεται στην παραπάνω εικόνα.





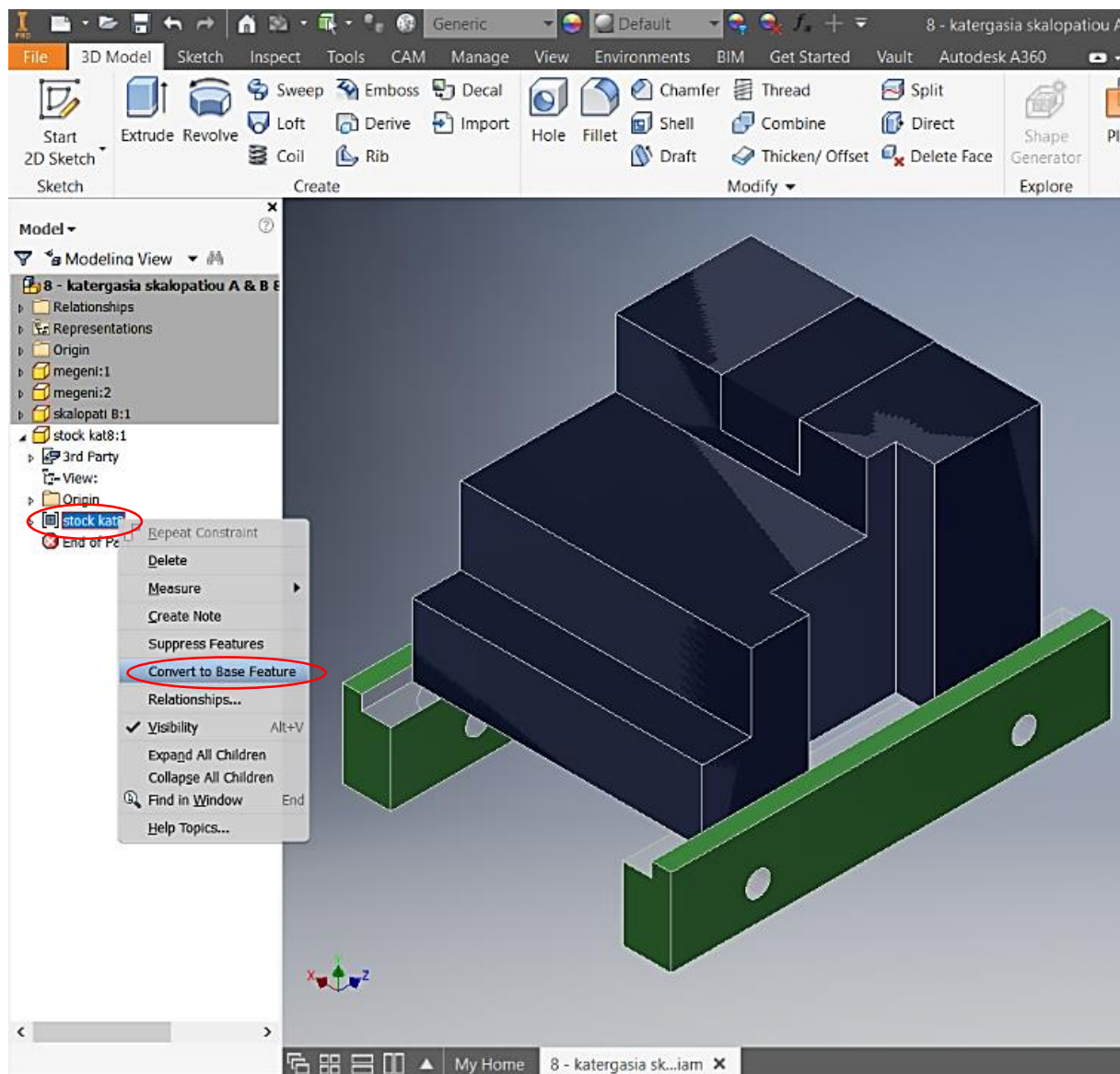
Εικόνα 9.5.9 – Μετάβαση στο περιβάλλον μοντελοποίησης του δοκιμίου

Στην ενότητα CAM, αριστερά στην οθόνη, επιλέγεται η ενότητα Model για τη μετάβαση στο περιβάλλον μοντελοποίησης του δοκιμίου.



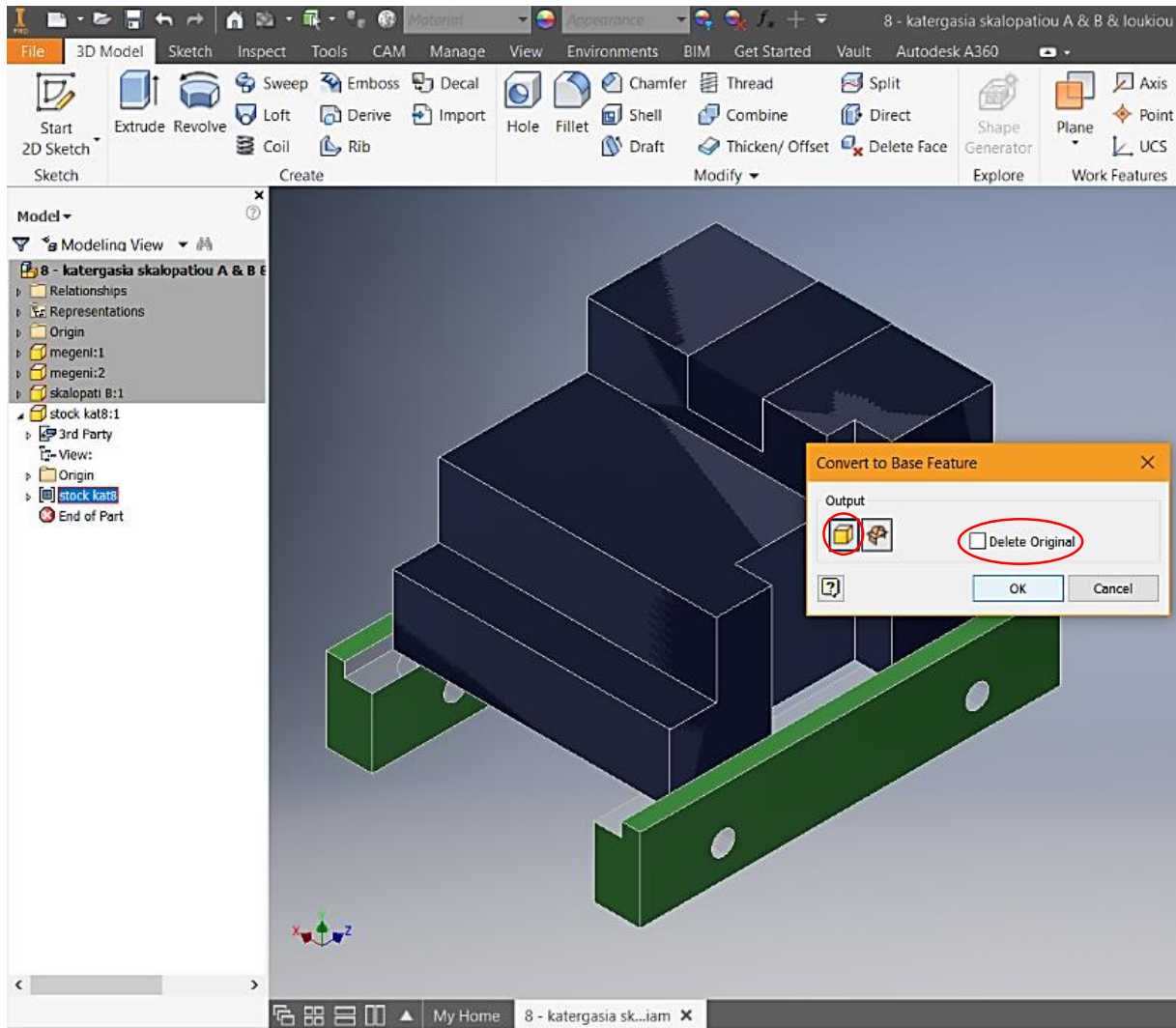
Εικόνα 9.5.10 – Επεξεργασία του πλέγματος του όγκου

Στο περιβάλλον μοντελοποίησης, στο αριστερό τμήμα της οθόνης όπου βρίσκονται τα τεμάχια της συναρμογής δοκιμίου-μέγγενης, επιλέγεται με δεξιά κλικ ο όγκος του αρχείου .stl, για να εμφανιστεί ένα ειδικό μενού εντολών. Σε αυτό το μενού επιλέγεται η εντολή Edit για την επεξεργασία του.



Εικόνα 9.5.11 – Μετατροπή πλέγματος σε συμπαγή όγκο

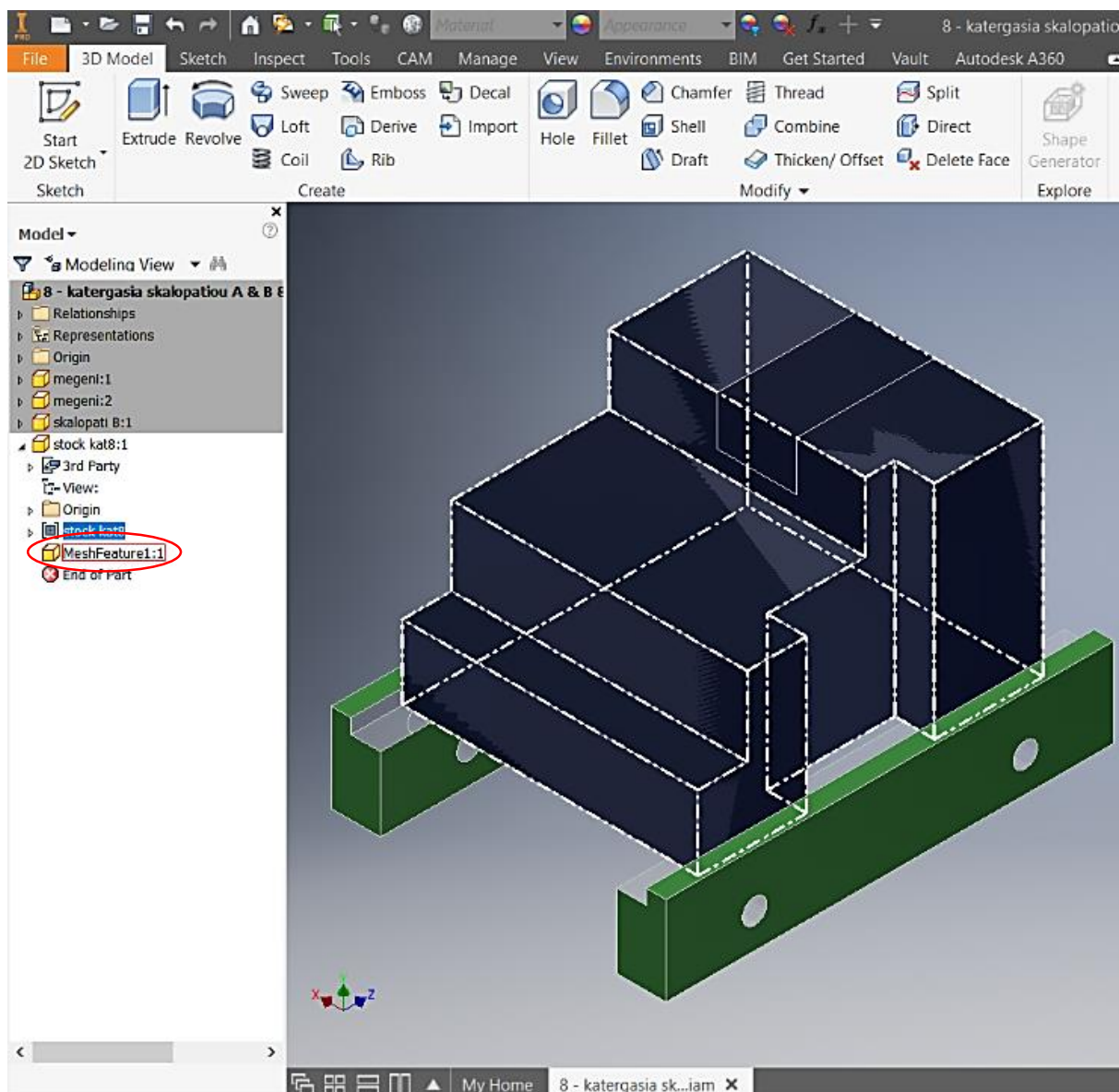
Στα περιεχόμενα του όγκου του αρχείου .stl, επιλέγεται με δεξί κλικ το πλέγμα ώστε να εμφανιστεί ένα ειδικό μενού. Σε αυτό το ειδικό μενού επιλέγεται η εντολή Convert to Base Feature, για την μετάβαση στο παράθυρο μετατροπής του πλέγματος.



Εικόνα 9.5.12 – Μετατροπή πλέγματος σε συμπαγή όγκο

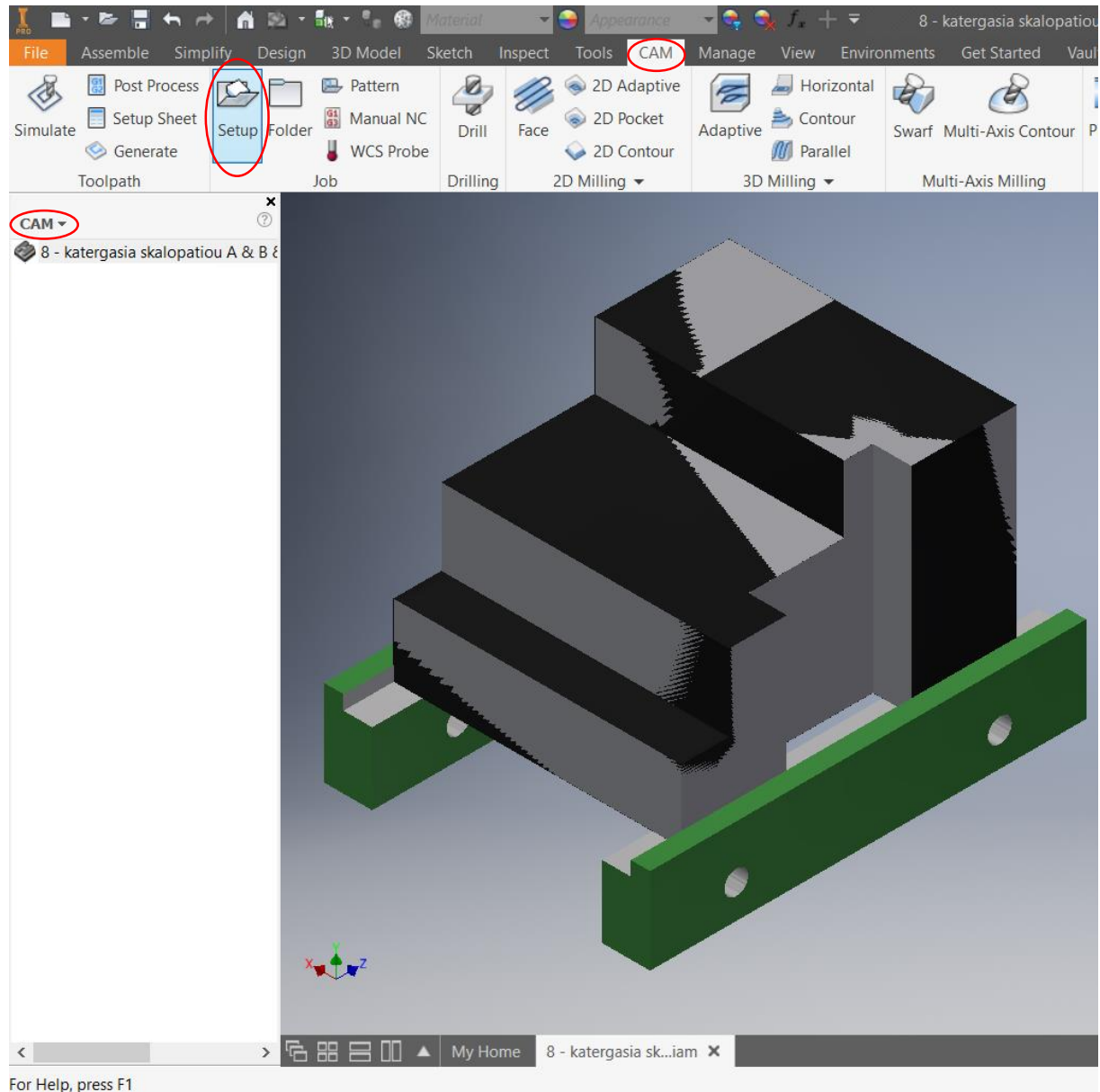
Στο αναδυόμενο παράθυρο αρχικά επιλέγεται η εντολή Solid/Surface, ώστε το πλέγμα να μετατραπεί σε όγκο οριοθετημένο από επιφάνειες. Έπειτα, επιλέγεται να μην διαγραφεί το αρχικό πλέγμα (Delete Original). Τέλος, με την εντολή OK πραγματοποιείται η μετατροπή του πλέγματος σε όγκο.





Εικόνα 9.5.13 – Εμφάνιση νέου όγκου

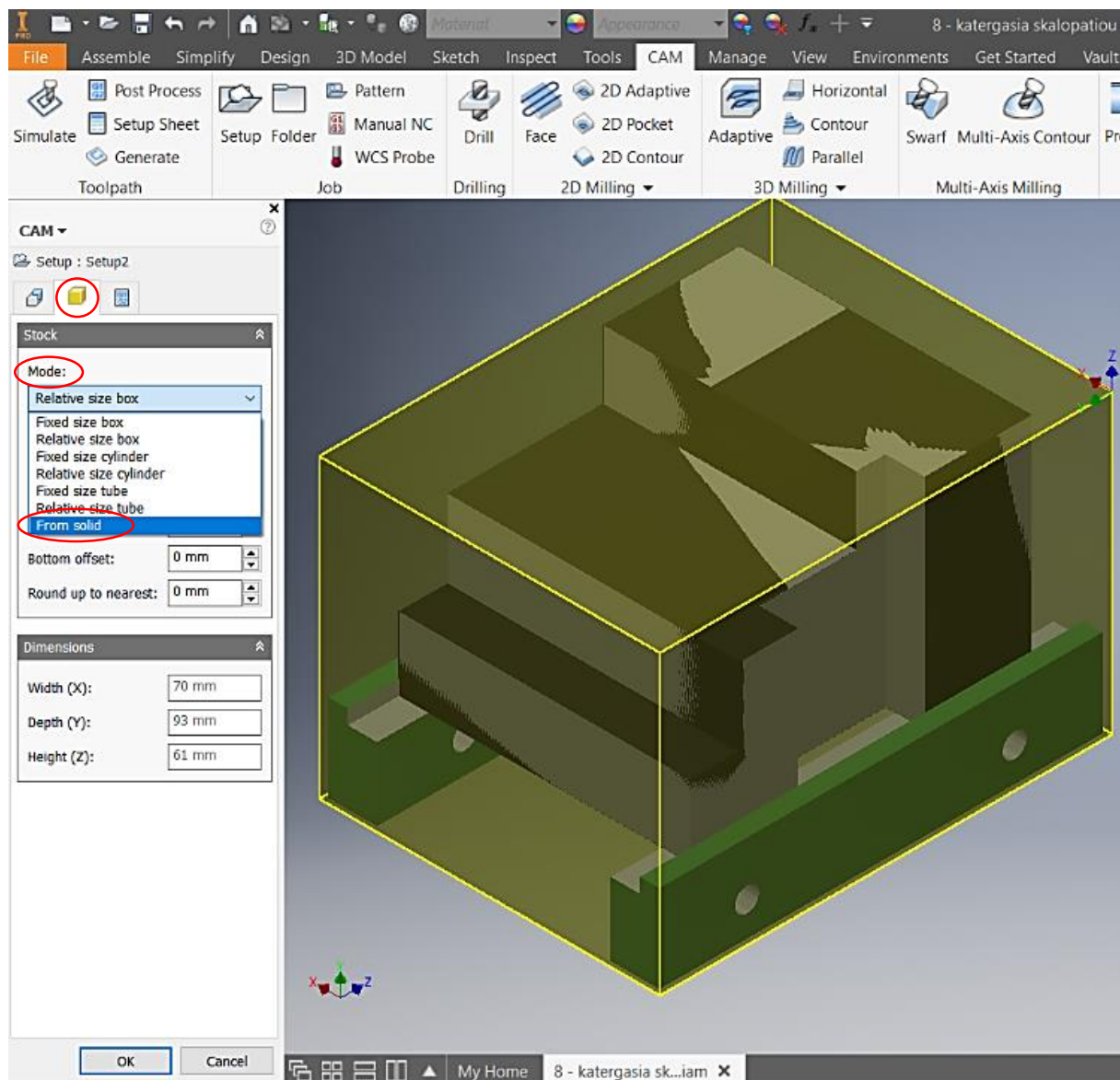
Μετά την ολοκλήρωση της μετατροπής του πλέγματος εμφανίζεται πλέον ο όγκος στο αριστερό μέρος της οθόνης με το όνομα MeshFeature1:1 και με τις ίδιες ιδιότητες που έχει το δοκίμιο της συγκεκριμένης κατεργασίας.



Εικόνα 9.5.14 – Επιλογή εντολής Setup

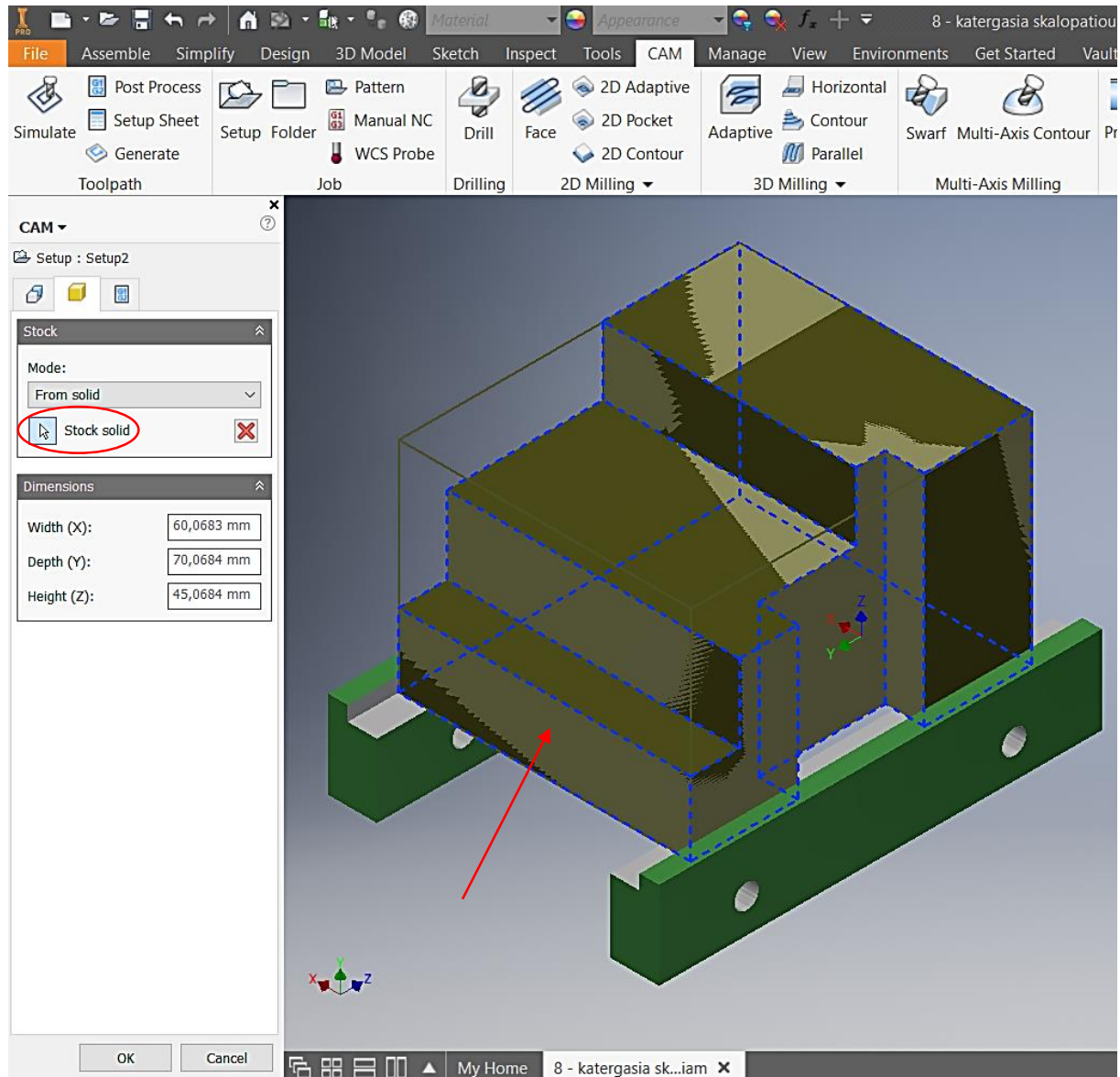
Πραγματοποιείται μετάβαση στο περιβάλλον προγραμματισμού των κοπτικών εργαλείων με τα ίδια βήματα που έγινε η μετάβαση στο περιβάλλον μοντελοποίησης του δοκιμίου. Έπειτα, στην καρτέλα CAM, επιλέγεται η εντολή Setup, για να ορισθεί ο αρχικός όγκος.





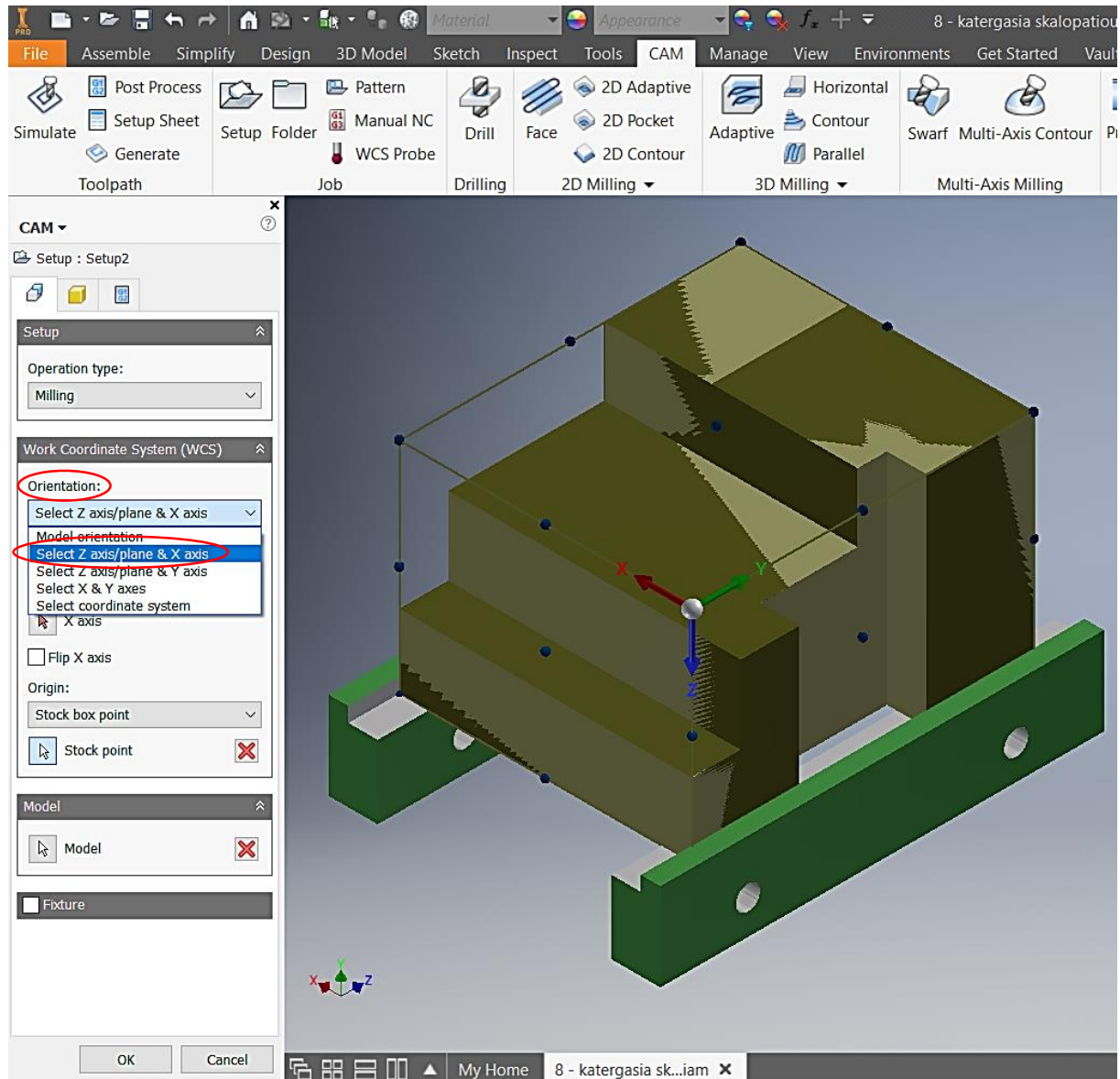
Εικόνα 9.5.15 – Επιλογή επιθυμητού όγκου

Στη δεύτερη καρτέλα του παραθύρου του Setup, στο Mode, γίνεται επιλογή του From solid ώστε να επιλεγθεί ως αρχικός όγκος ο ένας από τους δύο όγκους που αποτελείται πλέον η συναρμογή.



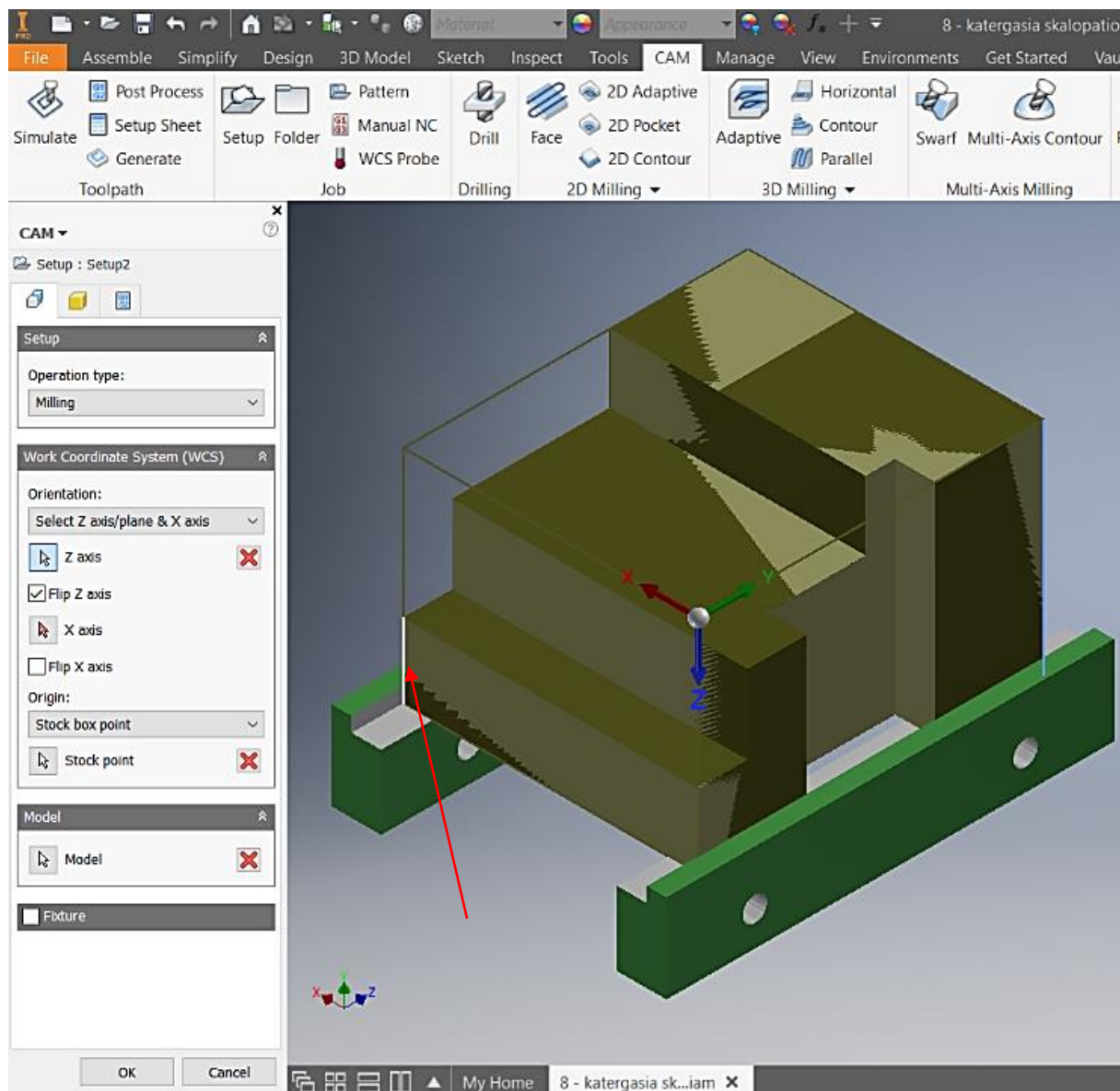
Εικόνα 9.5.16 – Επιλογή γεωμετρίας του αρχείου STL ως αρχικού όγκου

Μέσω της εντολής Stock solid επιλέγεται ο αρχικός όγκος. ΠΡΟΣΟΧΗ. Θα πρέπει να επιλεγθεί μόνο η γεωμετρία του αρχείου .stl, η οποία μετατράπηκε από πλέγμα σε όγκο και είναι ο όγκος μετά το πέρας της προηγούμενης κατεργασίας.



Εικόνα 9.5.17 – Ενότητα Orientation

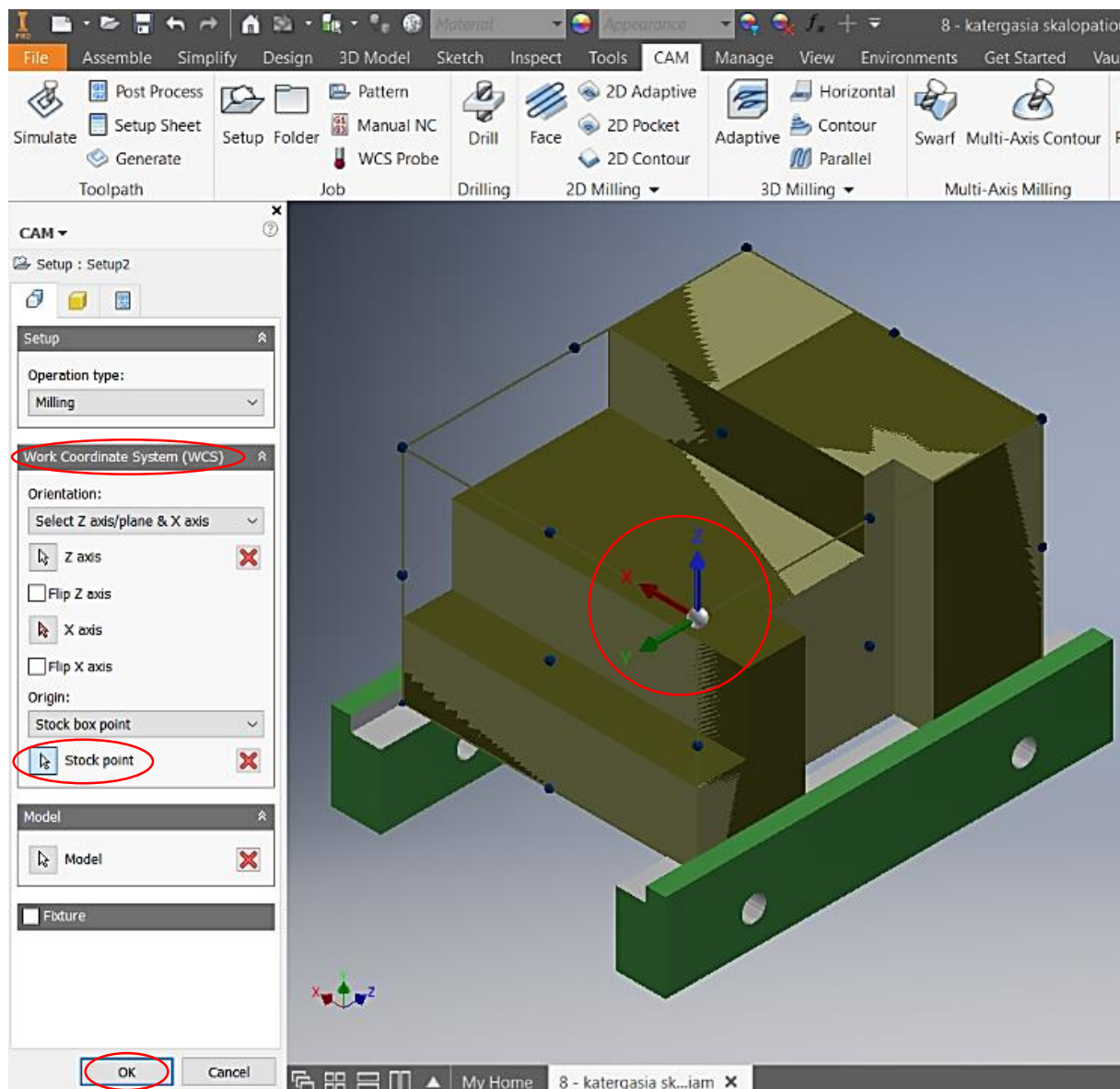
Στην ενότητα Orientation, επιλέγεται η εντολή Select Z axis/plane & X axis ώστε να οριστεί η κατεύθυνση του άξονα Z, ο οποίος καθορίζει την κίνηση του κοπτικού εργαλείου και επομένως το βάθος κοπής.



Εικόνα 9.5.18 – Κατεύθυνση άξονα Z

Επιλέγεται μία οποιαδήποτε ακμή η οποία θα ορίσει την κατεύθυνση του άξονα Z. Σε περίπτωση που ο άξονας Z δεν έχει την επιθυμητή φορά, τότε επιλέγοντας την άκρη του βέλους του άξονα αλλάζει η φορά του.



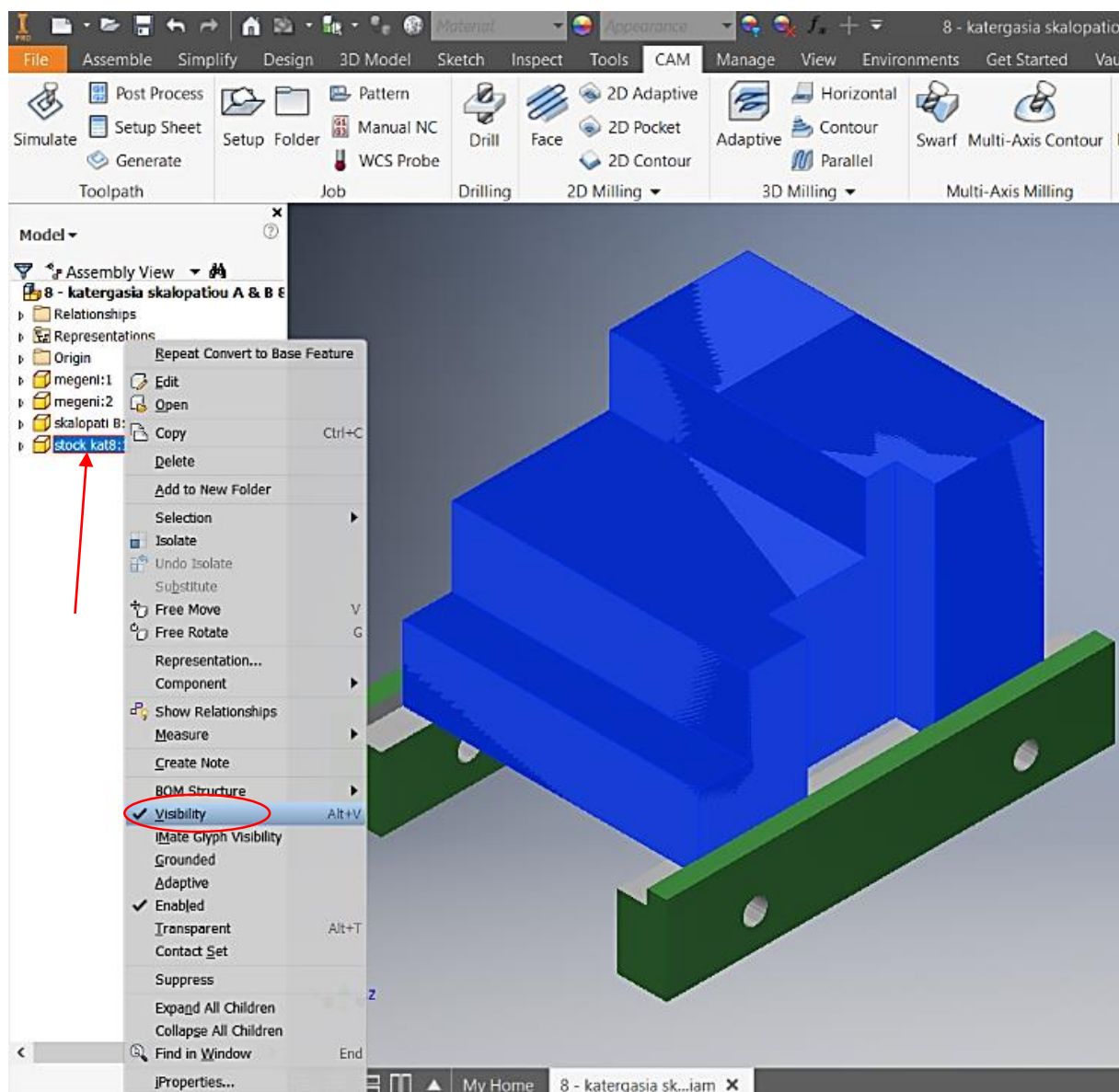


Εικόνα 9.5.19 – Εντολή Stock Point

Στην ενότητα Work Coordinate System (WCS), γίνεται επιλογή της εντολής Stock Point. Μόλις εμφανιστούν τα διαθέσιμα σημεία όπως φαίνεται στην παραπάνω εικόνα (Εικόνα 9.5.19 – Εντολή Stock Point), ορίζεται σε ένα από αυτά το σύστημα συντεταγμένων.

Τέλος, πατώντας το κουμπί OK ολοκληρώνεται η διαδικασία του ορισμού του αρχικού όγκου και του συστήματος συντεταγμένων.

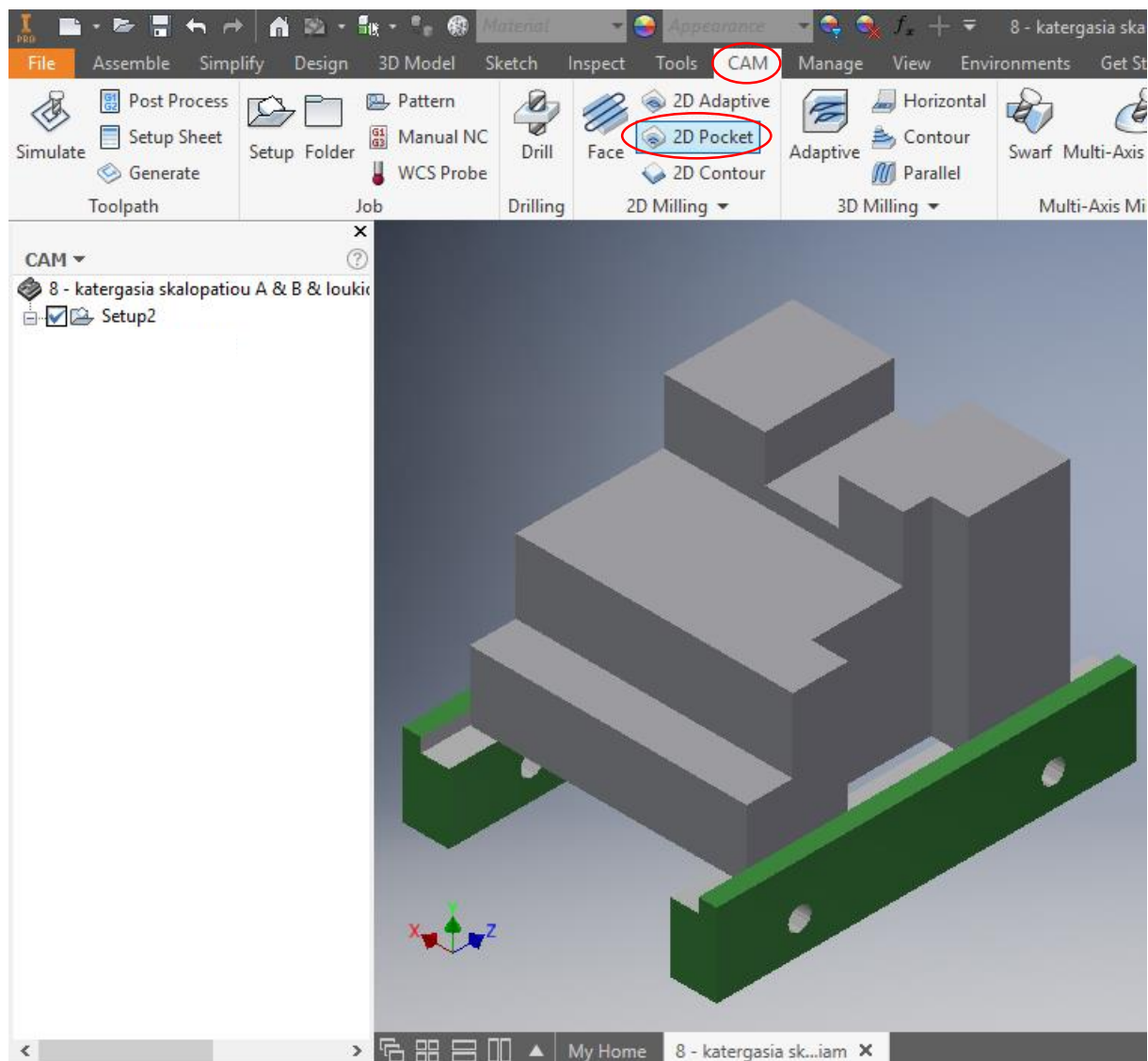
## 2. Επιλογή κοπτικού εργαλείου και παραγωγή της πορείας του.



Εικόνα 9.5.20 – Κατάργηση ορατότητας όγκου

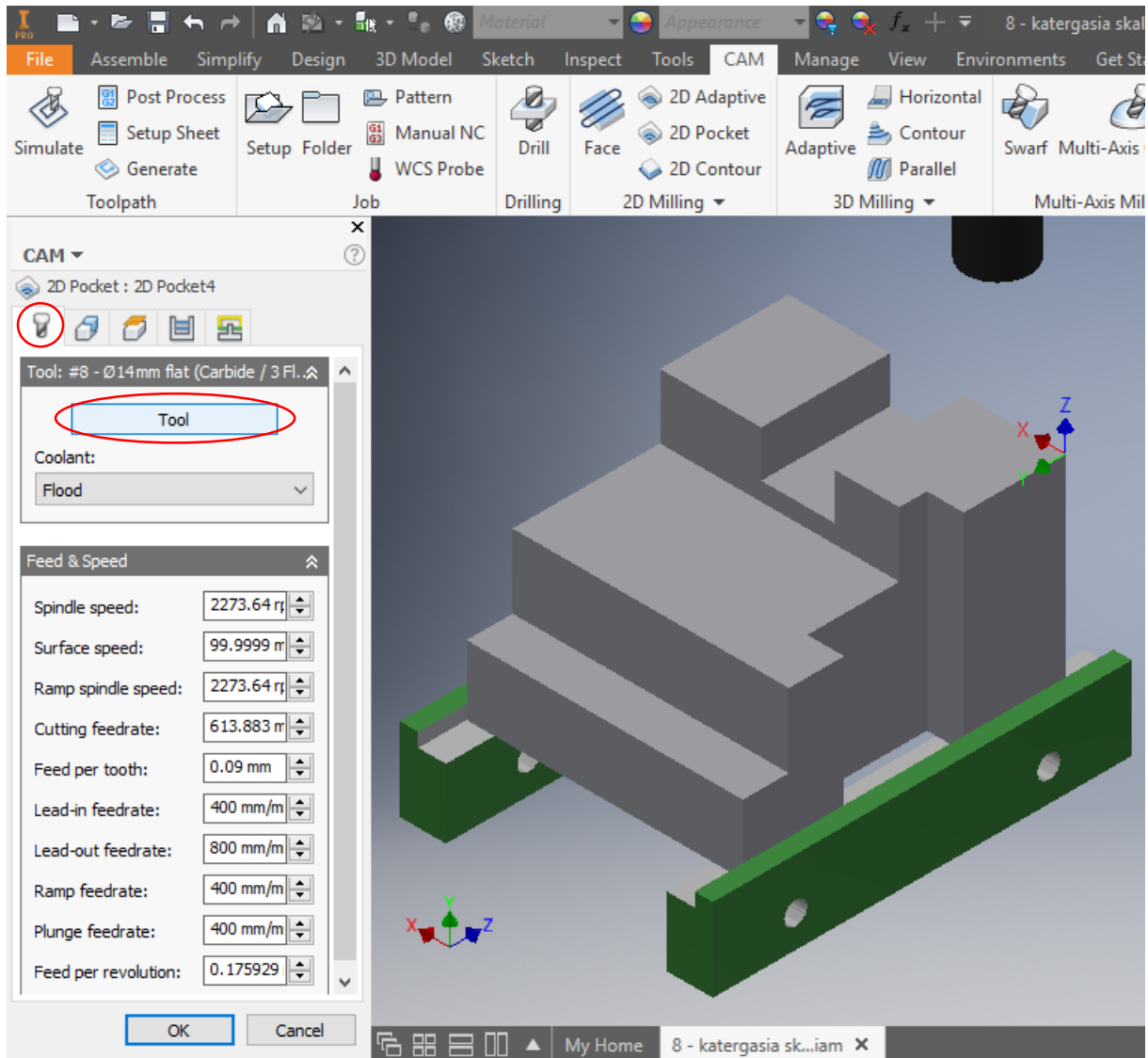
Πριν ξεκινήσει η επιλογή του κοπτικού εργαλείου γίνεται μία μετάβαση στο περιβάλλον μοντελοποίησης του δοκιμίου, όπως αυτή πραγματοποιήθηκε και σε προηγούμενα βήματα. Επιλέγεται ο νέος όγκος που προστέθηκε στο πρόγραμμα και με δεξί κλικ ανοίγει ένα ειδικό μενού. Σε αυτό το μενού επιλέγεται η εντολή Visibility για να γίνει αόρατος αυτός ο όγκος. Σκοπός αυτής της ενέργειας είναι ορατότητα της κάτω επιφάνειας αυτού του όγκου, ώστε να επιλεγθεί για τον προγραμματισμό της πορείας του κοπτικού εργαλείου.





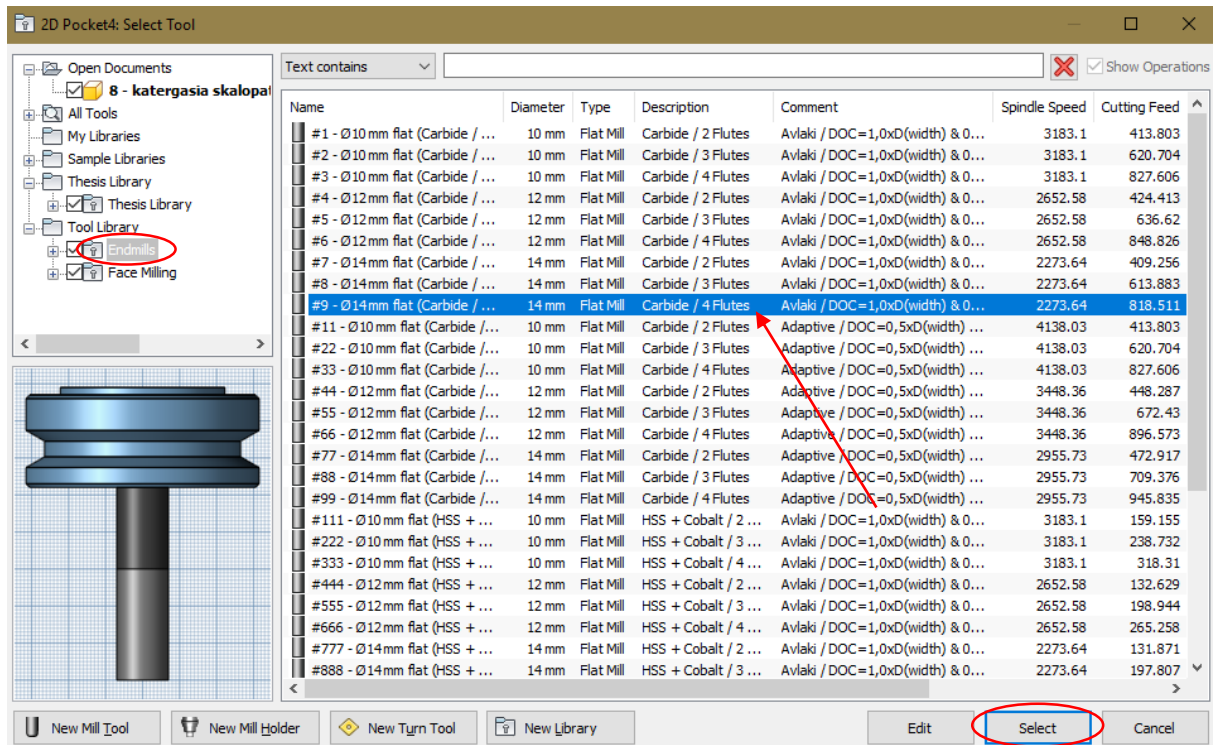
Εικόνα 9.5.21 – Επιλογή εντολής 2D Pocket

Έπειτα, γίνεται πάλι μετάβαση στο περιβάλλον προγραμματισμού των κοπτικών εργαλείων με τον ίδιο τρόπο. Στην καρτέλα CAM του προγράμματος, επιλέγεται η εντολή 2D Pocket για τη διαμόρφωση του πρώτου σκαλοπατιού.



Εικόνα 9.5.22 – Επιλογή κοπτικού εργαλείου

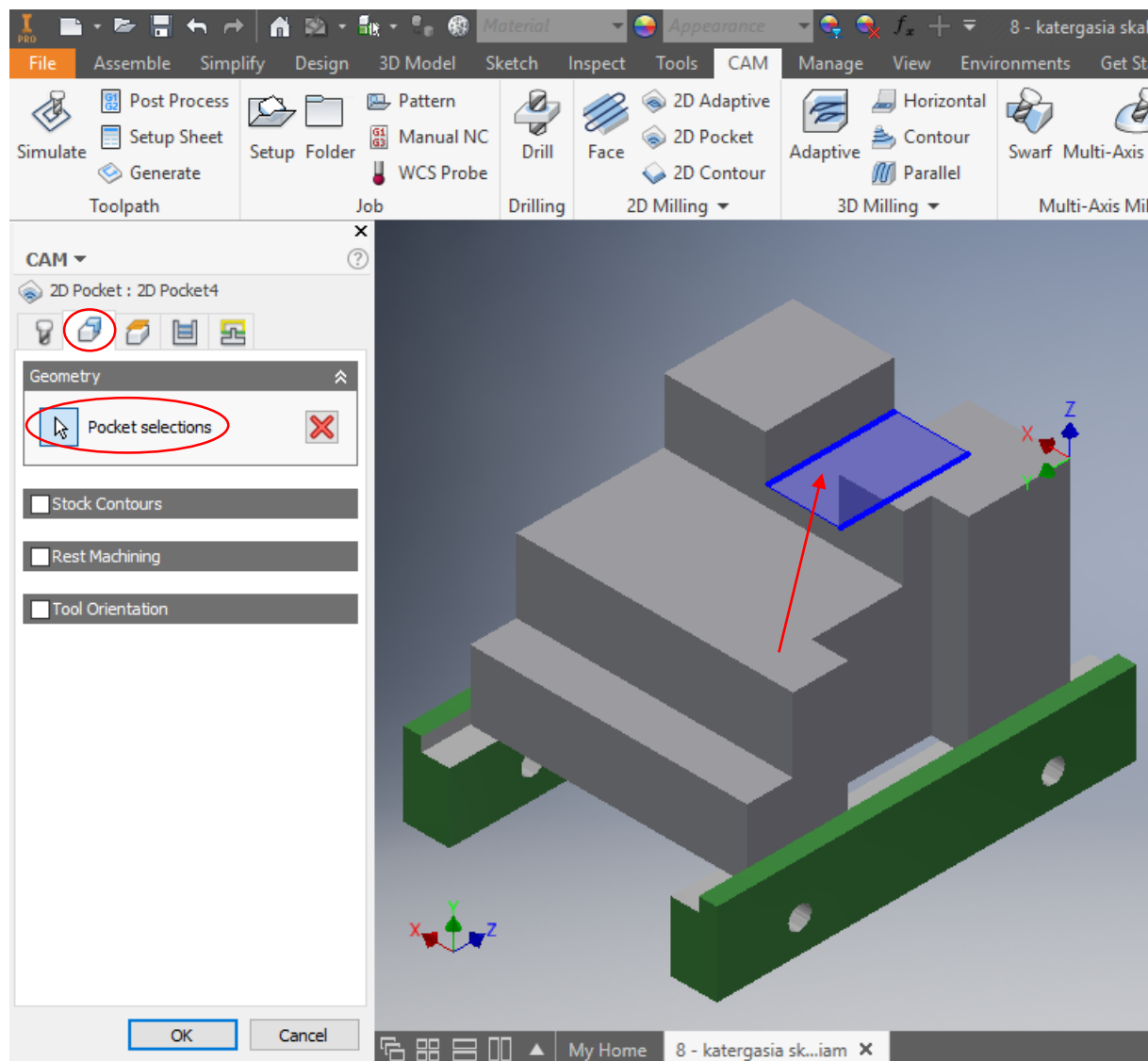
Στην πρώτη καρτέλα του παραθύρου της εντολής 2D Pocket, επιλέγεται η εντολή Tool για την μετάβαση στην βιβλιοθήκη των κοπτικών εργαλείων.



Εικόνα 9.5.23 – Βιβλιοθήκη κοπτικών εργαλείων

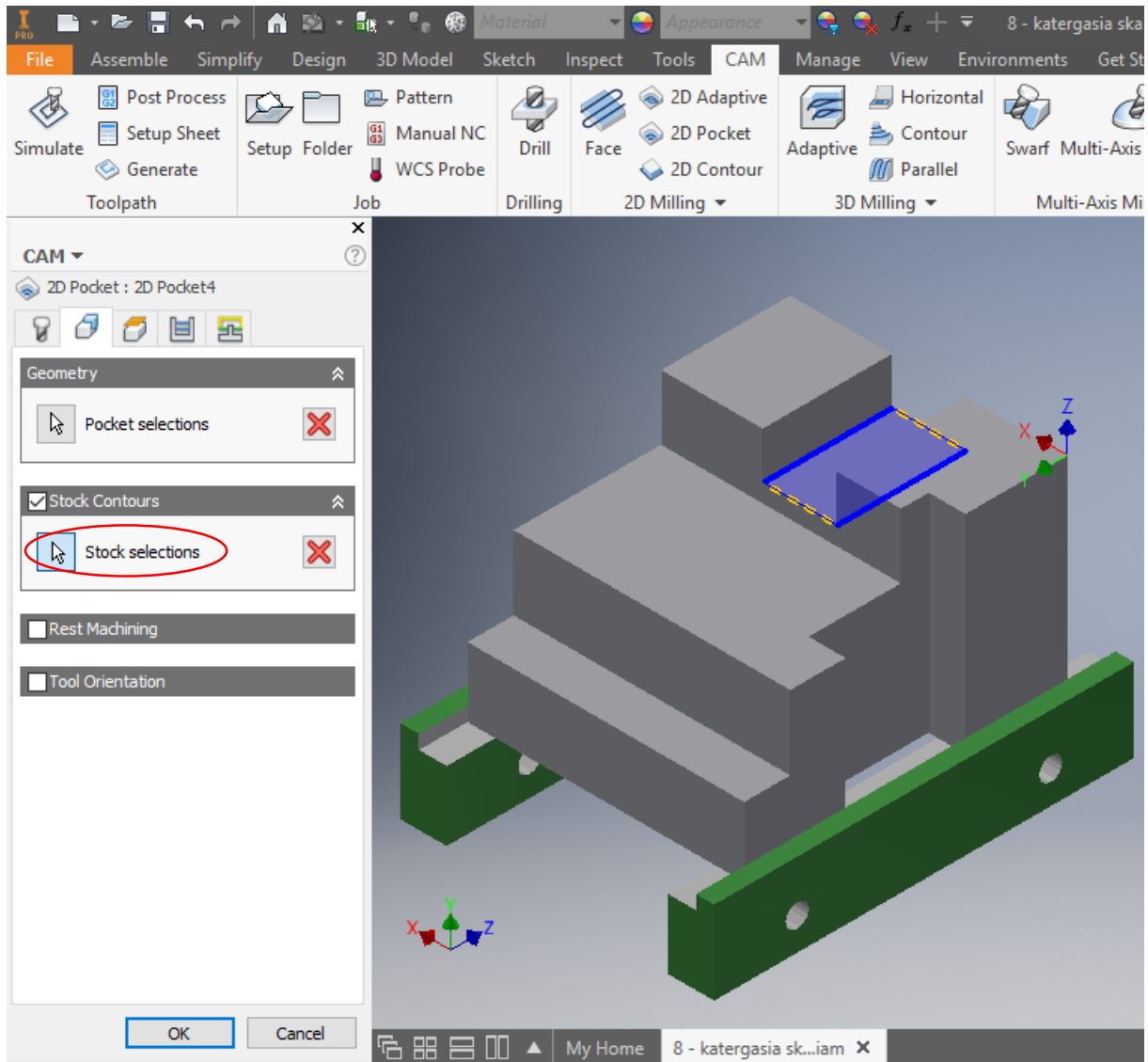
Στο αναδυόμενο παράθυρο, επιλέγεται το κοπτικό εργαλείο. Στην συγκεκριμένη φάση κατεργασίας το κονδύλι Νο 9.

Σε αυτό το σημείο πρέπει να αναφερθεί ότι έχει προηγηθεί η δημιουργία όλων των κοπτικών εργαλείων για την εκπόνηση της εργασίας.



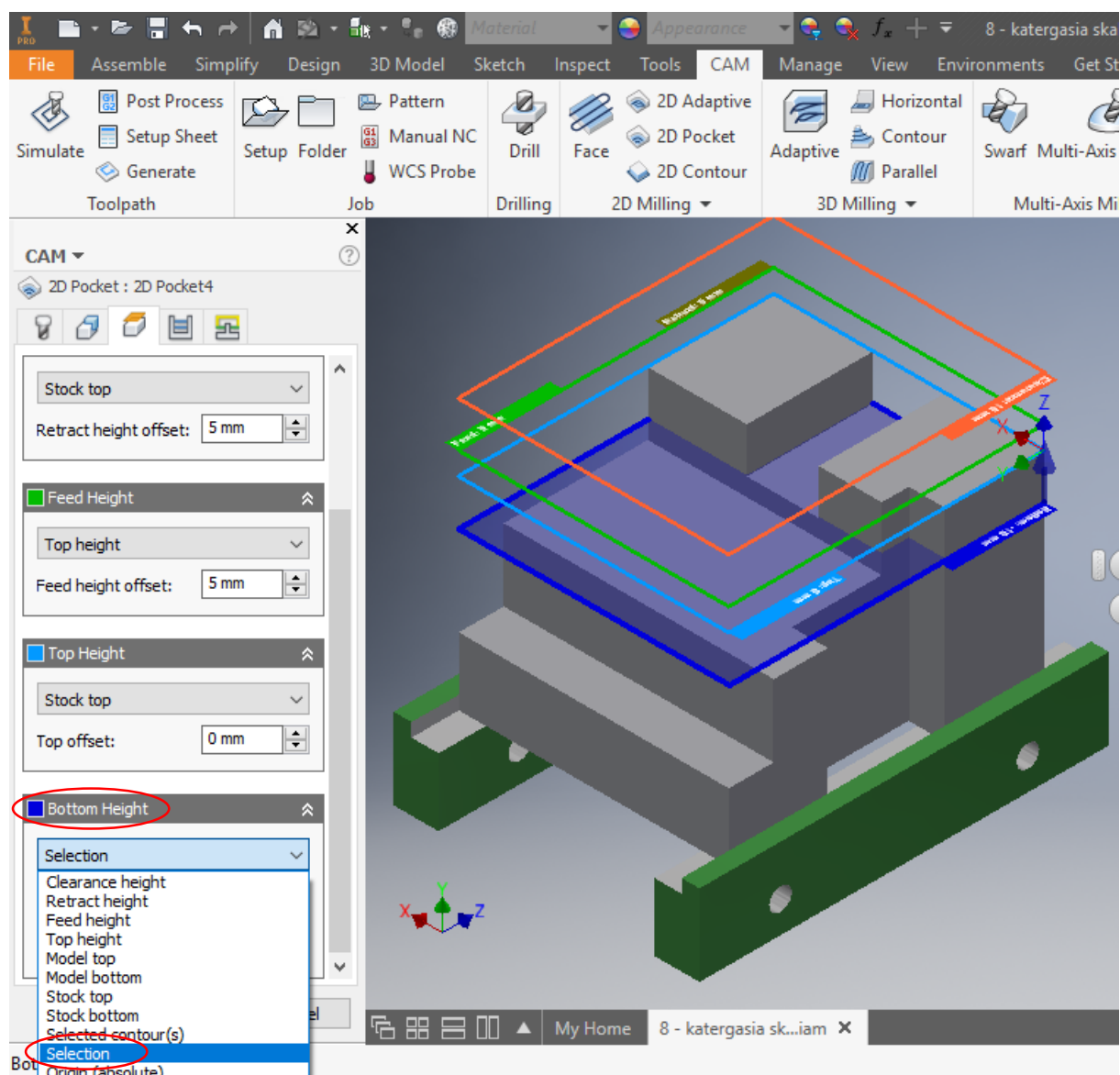
Εικόνα 9.5.24 – Επιλογή επιφάνειας προς κατεργασία

Στην δεύτερη καρτέλα, ορίζονται πρώτα τα όρια της προς κατεργασίας επιφάνειας και έπειτα το σύστημα συντεταγμένων του κοπτικού εργαλείου. Στην ενότητα Geometry, μέσω της εντολής Pocket selections, επιλέγεται η προς κατεργασία επιφάνεια. Στην δεύτερη καρτέλα, ορίζονται πρώτα τα όρια της προς κατεργασίας επιφάνειας και έπειτα το σύστημα συντεταγμένων του κοπτικού εργαλείου. Στην ενότητα Geometry, μέσω της εντολής Pocket selections, επιλέγεται η προς κατεργασία επιφάνεια.



Εικόνα 9.5.25 – Απομόνωση όγκου κατεργασίας

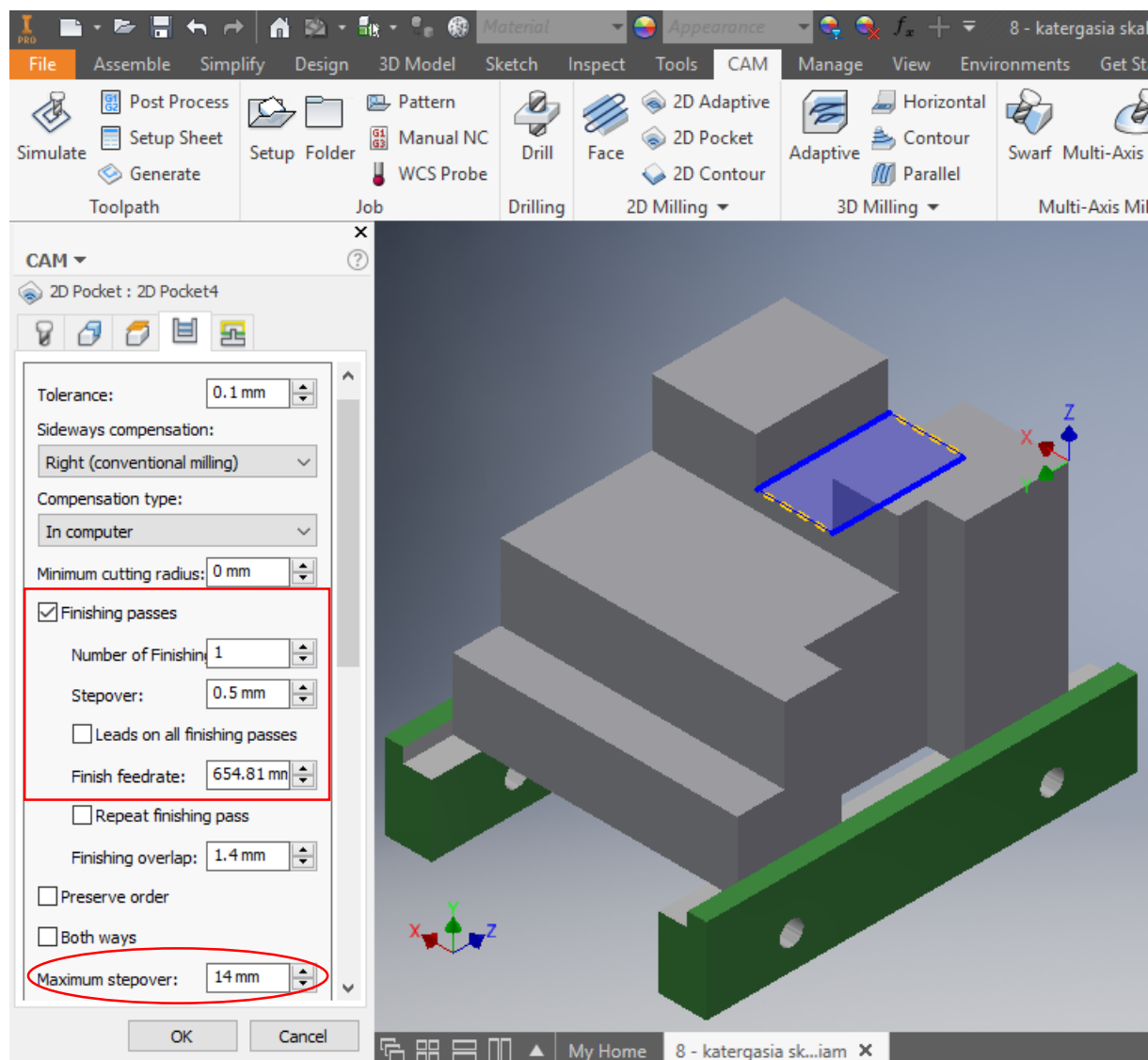
Στη συνέχεια, στην ενότητα Stock Contours, μέσω της εντολής Stock selections ορίζονται τα όρια του αρχικού όγκου της. Παραμένει η προτεινόμενη από το πρόγραμμα επιφάνεια ως επιλογή για τον ορισμό των ορίων της.



Εικόνα 9.5.26 – Ορισμός επιπέδων κοπτικού εργαλείου

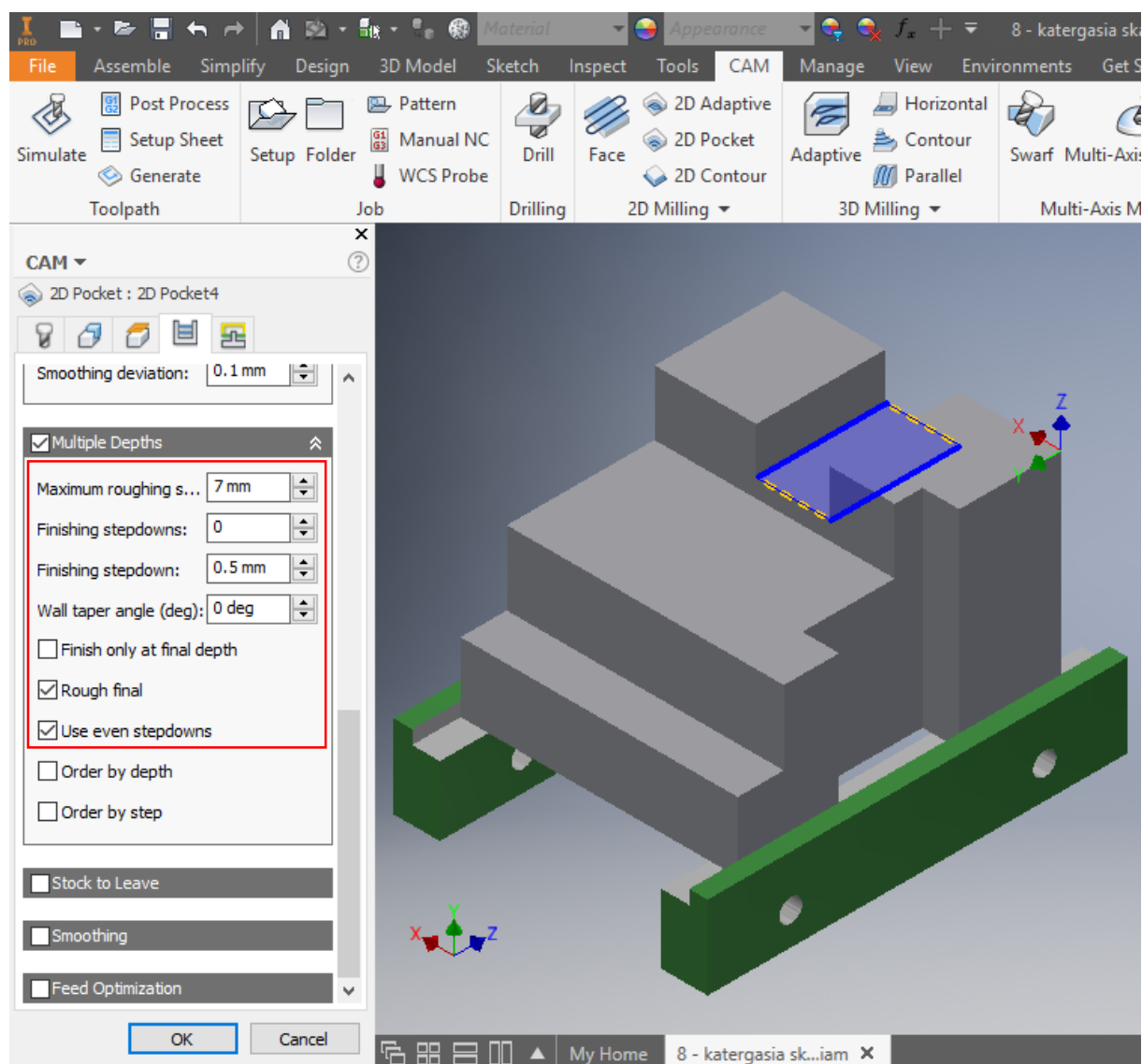
Στην τρίτη καρτέλα, καθορίζονται τα ύψη συναρτήσεων των συνθηκών κατεργασίας του κοπτικού εργαλείου. Στην προκειμένη περίπτωση, ορίζεται το ύψος του κατώτερου επιπέδου στο οποίο θα φτάσει το κοπτικό εργαλείο κατά την κατακόρυφη κίνησή του. Αυτό επιτυγχάνεται μέσω της εντολής Selection και της επιλογής της προς κατεργασία επιφάνειας.





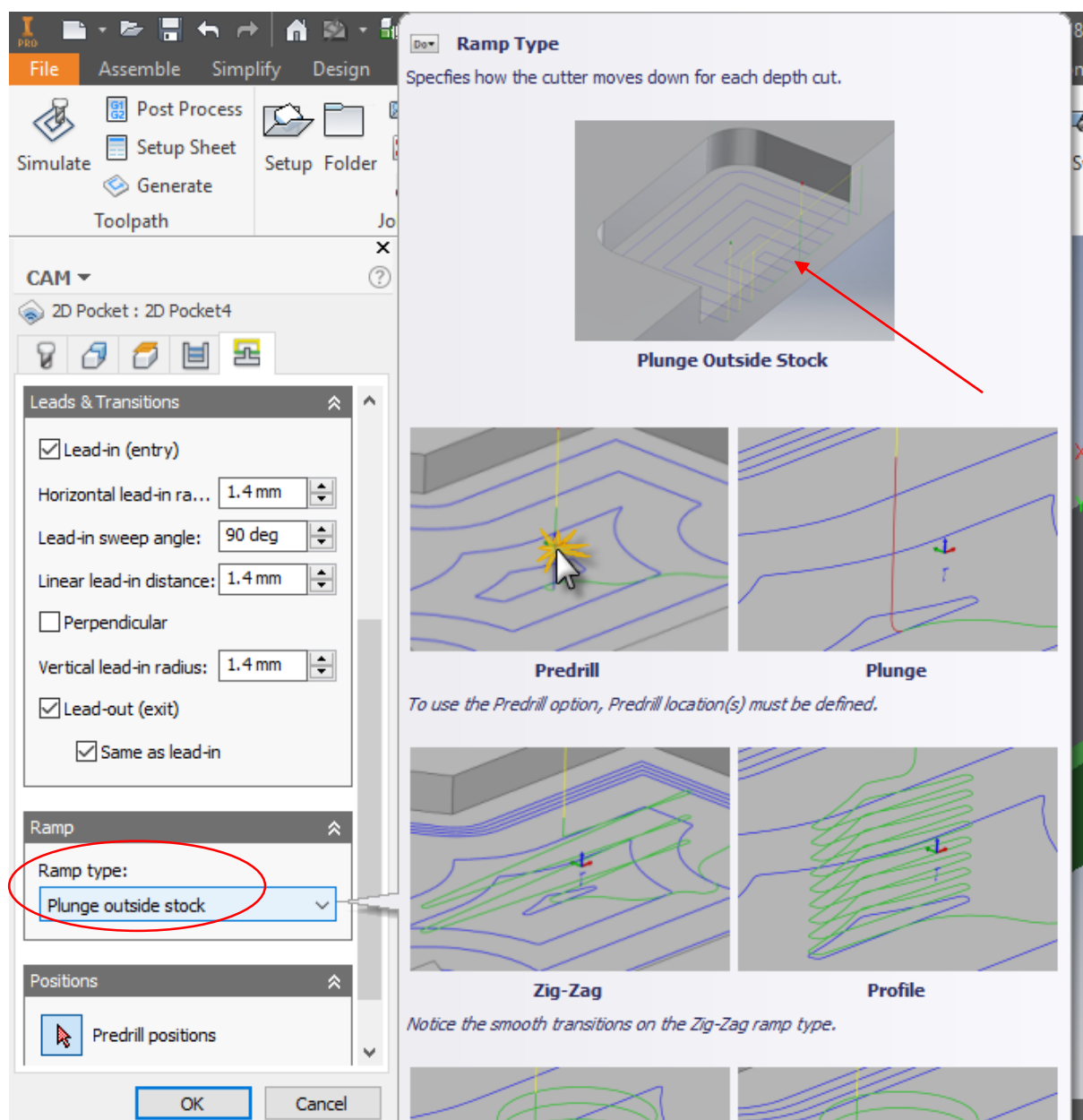
Εικόνα 9.5.27 – Επεξεργασία πάσων

Στην τέταρτη καρτέλα, ορίζονται οι συνθήκες κατεργασίας για κάθε πάσσο. Αρχικά, επιλέγεται η εντολή *Finishing passes*, με σκοπό να πραγματοποιηθεί φινιρίσμα πριν ολοκληρωθεί η κατεργασία. Το πάσσο του φινιρίσματος είναι ένα (*Number of Finishing passes*), το βάθος κοπής του είναι 0,5 mm (*Stepover*) και η πρόωσή του είναι κατά 20% μικρότερη της πρόωσης του ξεχονδρίσματος. Στη συγκεκριμένη περίπτωση προκύπτει ότι είναι 654,81 mm/min. Κατόπιν, επιλέγεται η μέγιστη μετατόπιση του κοπτικού εργαλείου στον οριζόντιο άξονα (*Maximum stepover*) στα 14 mm, το οποίο προκύπτει από τις τεχνικές προδιαγραφές του κοπτικού εργαλείου.



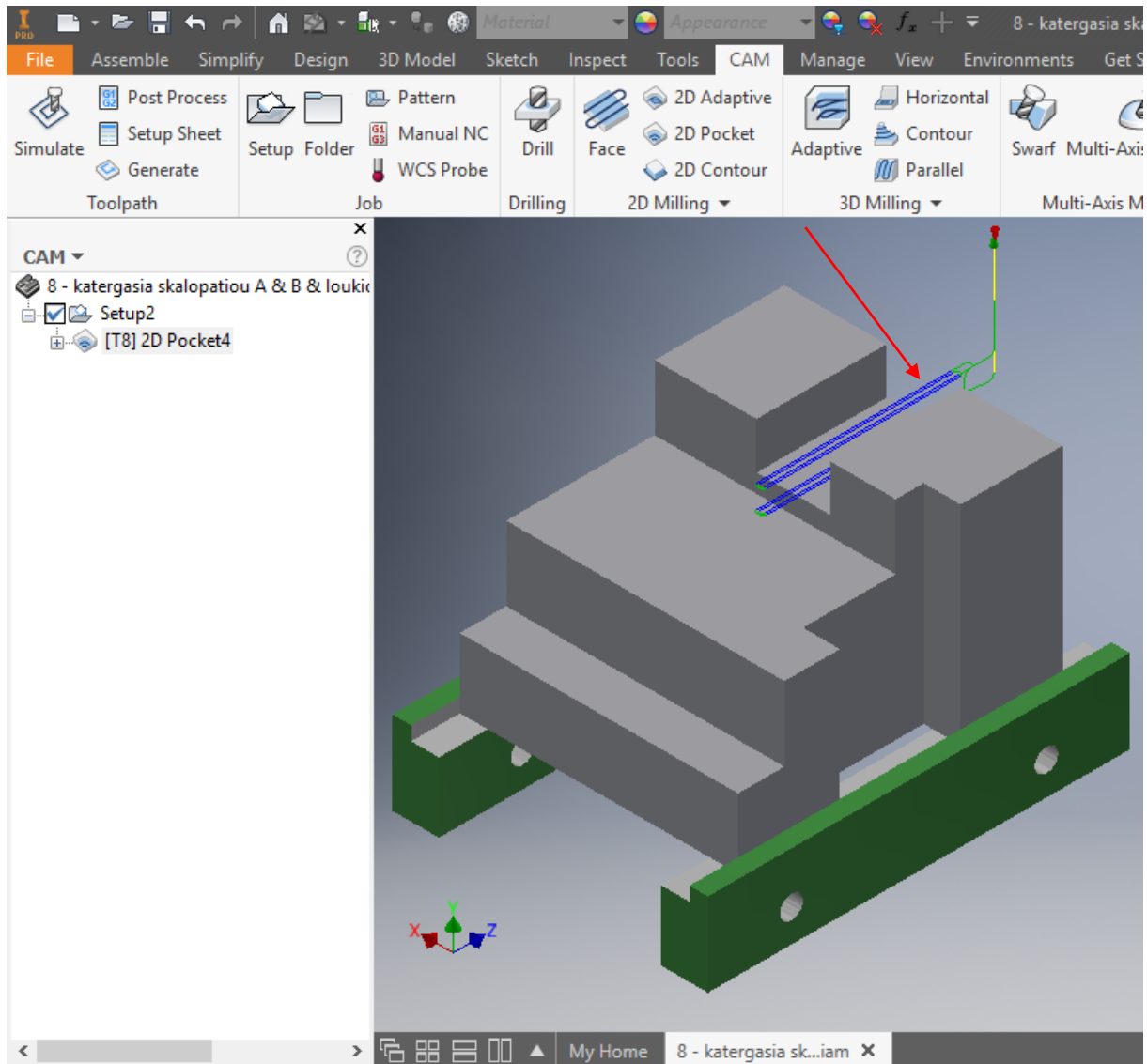
Εικόνα 9.5.28 – Επεξεργασία πάσων

Έπειτα, επιλέγεται η ενότητα Multiple Depths ώστε η κατεργασία να πραγματοποιηθεί με πολλαπλά πάσσα. Το μέγιστο βάθος κοπής για τα πάσσα του ξεχονδρίσματος (Maximum roughing stepdown) είναι 7 mm, το οποίο προκύπτει από τις τεχνικές προδιαγραφές του κοπτικού εργαλείου. Ξαναορίζονται τα πάσσα του φινιρίσματος με τα ίδια χαρακτηριστικά που ορίστηκαν παραπάνω. Τέλος, επιλέγεται η εντολή Use even stepdowns, ώστε με βάση το μέγιστο βάθος κοπής και το βάθος της αυλάκωσης να δημιουργηθούν αυτόματα πάσσα ξεχονδρίσματος με ίσο βάθος κοπής.



Εικόνα 9.5.29 – Επιλογή τρόπου εισαγωγής κοπτικού εργαλείου

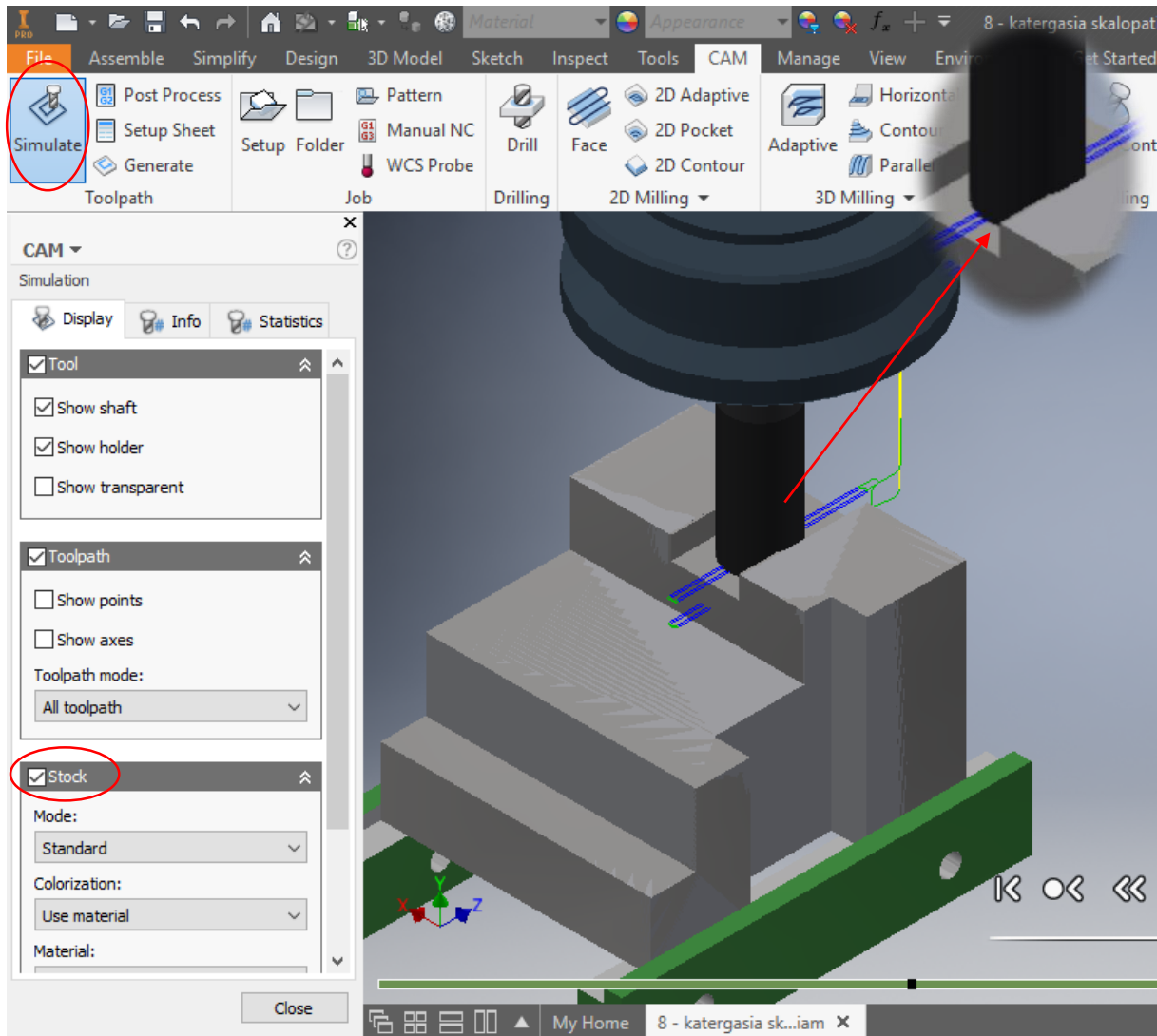
Στην πέμπτη και τελευταία καρτέλα, ορίζεται ο τρόπος εισόδου του κοπτικού εργαλείου. Στην ενότητα Ramp επιλέγεται η εντολή Plunge outside stock, ώστε η είσοδος του κοπτικού εργαλείου να γίνει όπως φαίνεται στο παράδειγμα της εικόνας. Τέλος, πατώντας το κουμπί OK ολοκληρώνεται η διαδικασία επιλογής του κοπτικού εργαλείου και ο ορισμός των συνθηκών κατεργασίας.



Εικόνα 9.5.30 – Πορεία κοπτικού εργαλείου

Αυτόματα, μόλις πατηθεί το κουμπί OK όπως προαναφέρθηκε, παράγεται η πορεία του κοπτικού εργαλείου, όπως φαίνεται στην παραπάνω εικόνα (Εικόνα 9.5.30 – Πορεία κοπτικού εργαλείου).

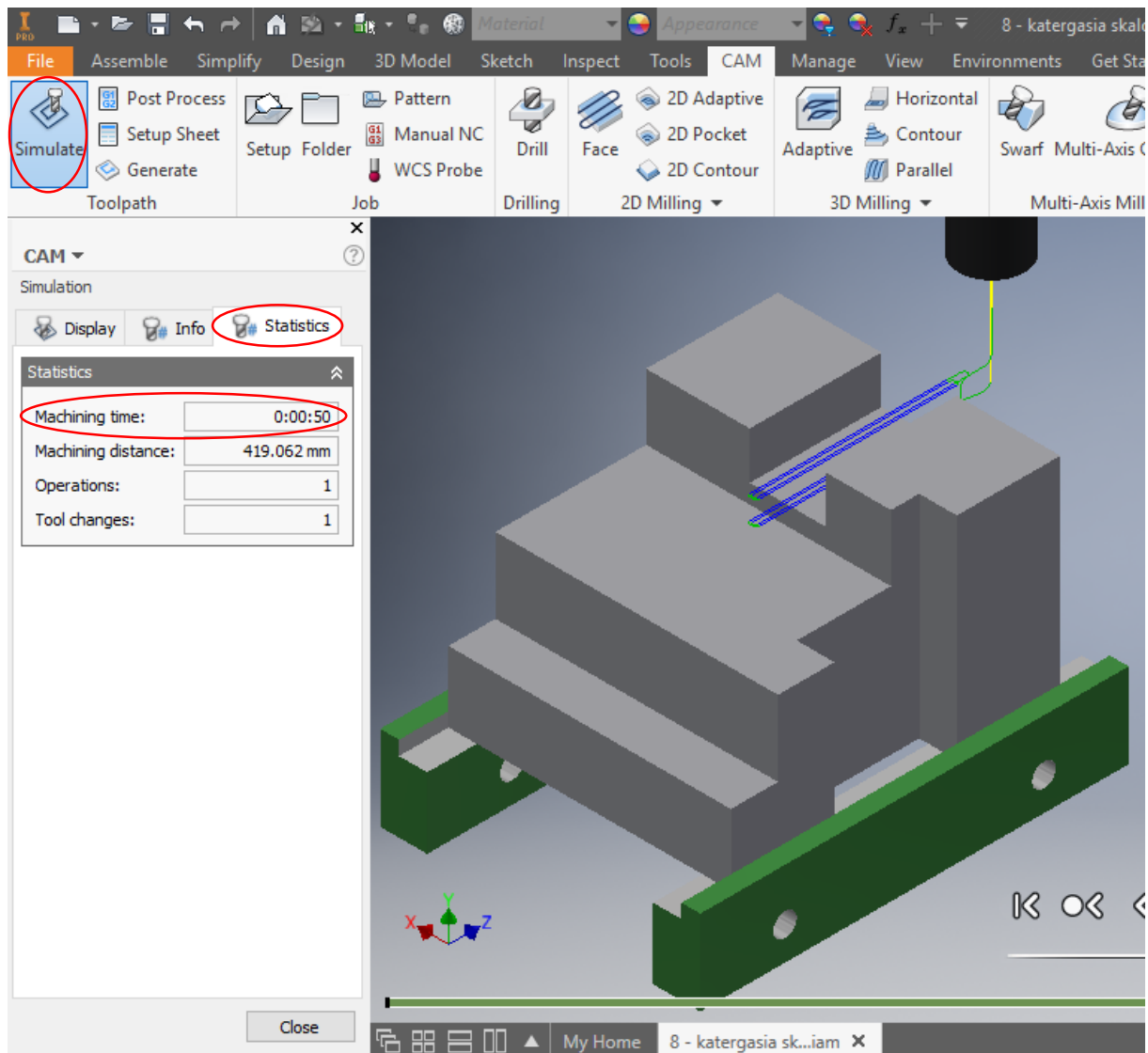
### 3. Προσομοίωση κατεργασίας.



Εικόνα 9.5.31 – Προσομοίωση κατεργασίας

Στην καρτέλα CAM του προγράμματος, επιλέγεται η εντολή Simulate στο πάνω αριστερό τμήμα της οθόνης. Στην πρώτη καρτέλα της εντολής, ενεργοποιείται ο αρχικός όγκος (Stock), ώστε να γίνει αντιληπτή η αφαίρεση του επιθυμητού όγκου. Έπειτα, με το πλήκτρο Play, ξεκινάει η προσομοίωση της πορείας του κοπτικού εργαλείου.

#### 4. Χρόνος κατεργασίας.



Εικόνα 9.5.32 – Χρόνος κατεργασίας

Στην τρίτη καρτέλα (Statistics) της εντολής Simulate (πάνω αριστερά στην οθόνη), εμφανίζονται κάποια στοιχεία που απορρέουν από την κατεργασία. Ένα από αυτά είναι και ο χρόνος κατεργασίας, ο οποίος είναι 0:00:50 min.



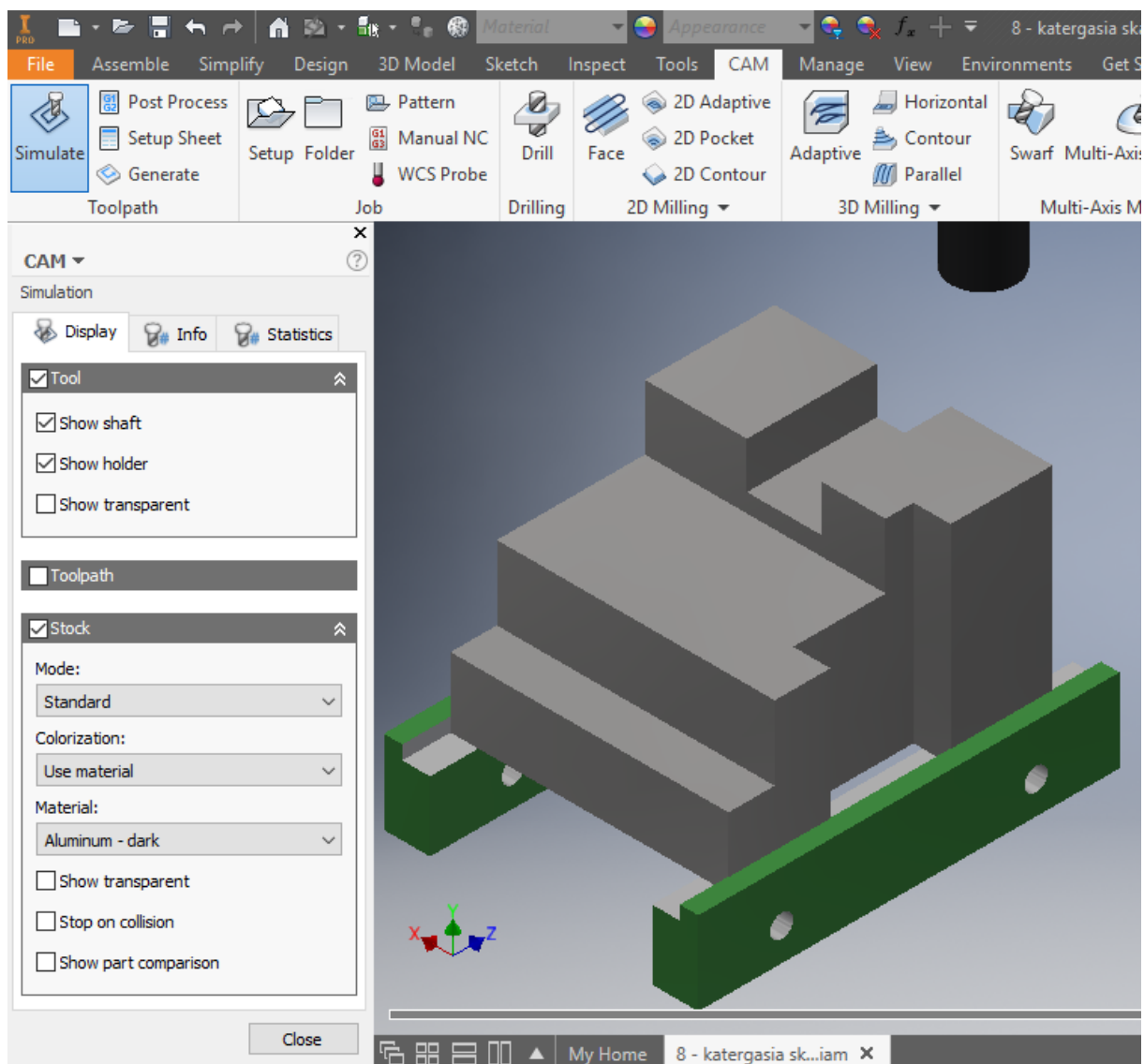
## 9.6 ΦΑΣΗ ΚΑΤΕΡΓΑΣΙΑΣ - 6

Σκοπός	Διαμόρφωση κεκλιμένης επιφάνειας	
Τρόπος συγκράτησης	Μέγγενη με κεκλιμένα μάγουλα	
Κοπτικό εργαλείο	Κονδύλι Ø14 mm	
Συνθήκες κατεργασίας	n= 2955,73 rpm	f= 0,08 mm/tooth
	a= 14 mm	V <sub>c</sub> = 130 m/min

Σε αυτή τη φάση κατεργασίας, επειδή προέκυψε ένα πρόβλημα ορισμού του αρχικού όγκου, το οποίο αναλύεται στο Κεφάλαιο 10: «Προβλήματα και αντιμετώπιση», ακολουθείται μία διαφορετική διαδικασία.

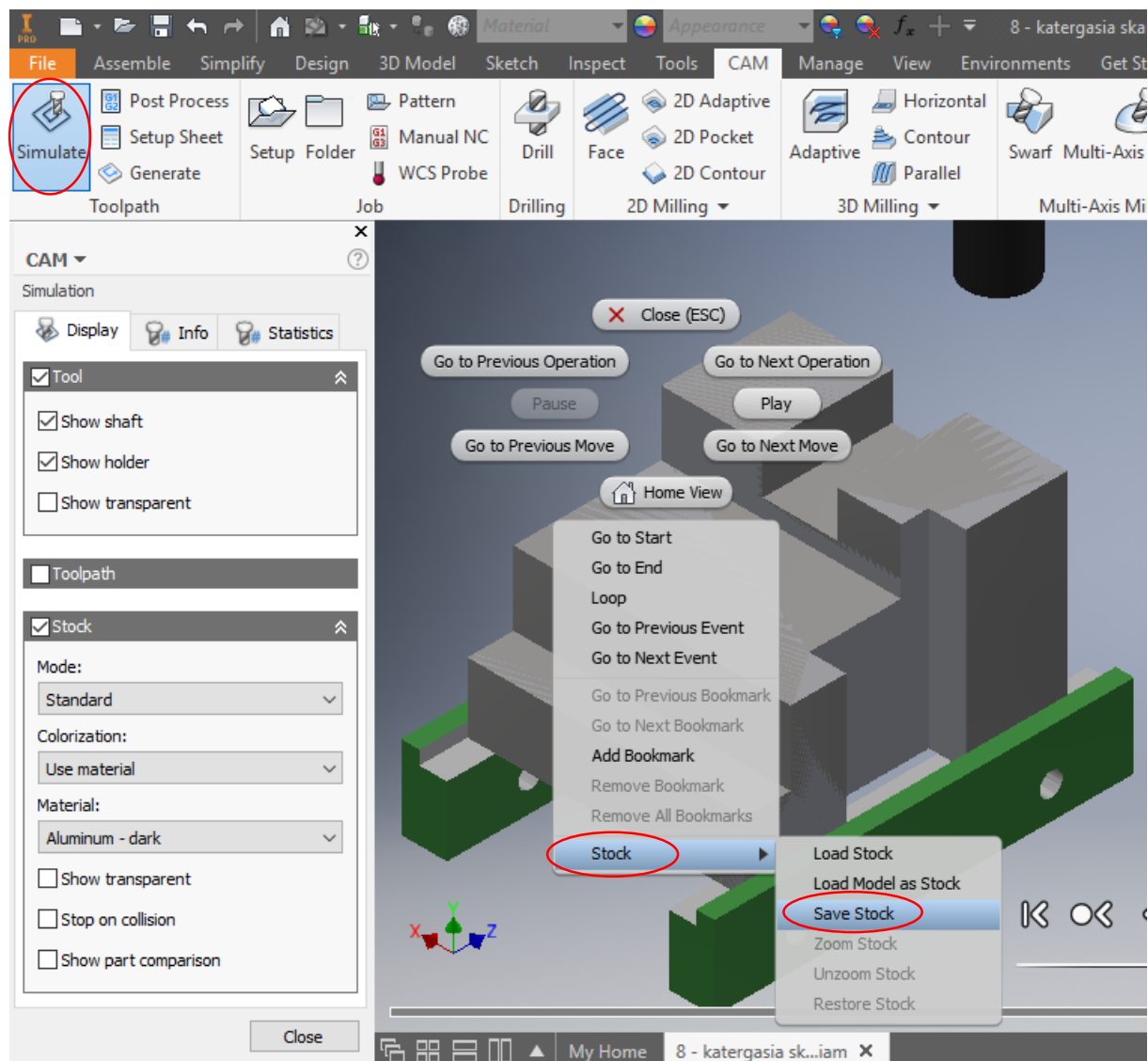
Ο αρχικός όγκος ορίζεται μέσω ενός πρόσθετου προγράμματος, το Mesh Enabler, του οποίου τα βήματα παρουσιάζονται αναλυτικά παρακάτω.

## 1. Ορισμός αρχικού όγκου και συστήματος συντεταγμένων.



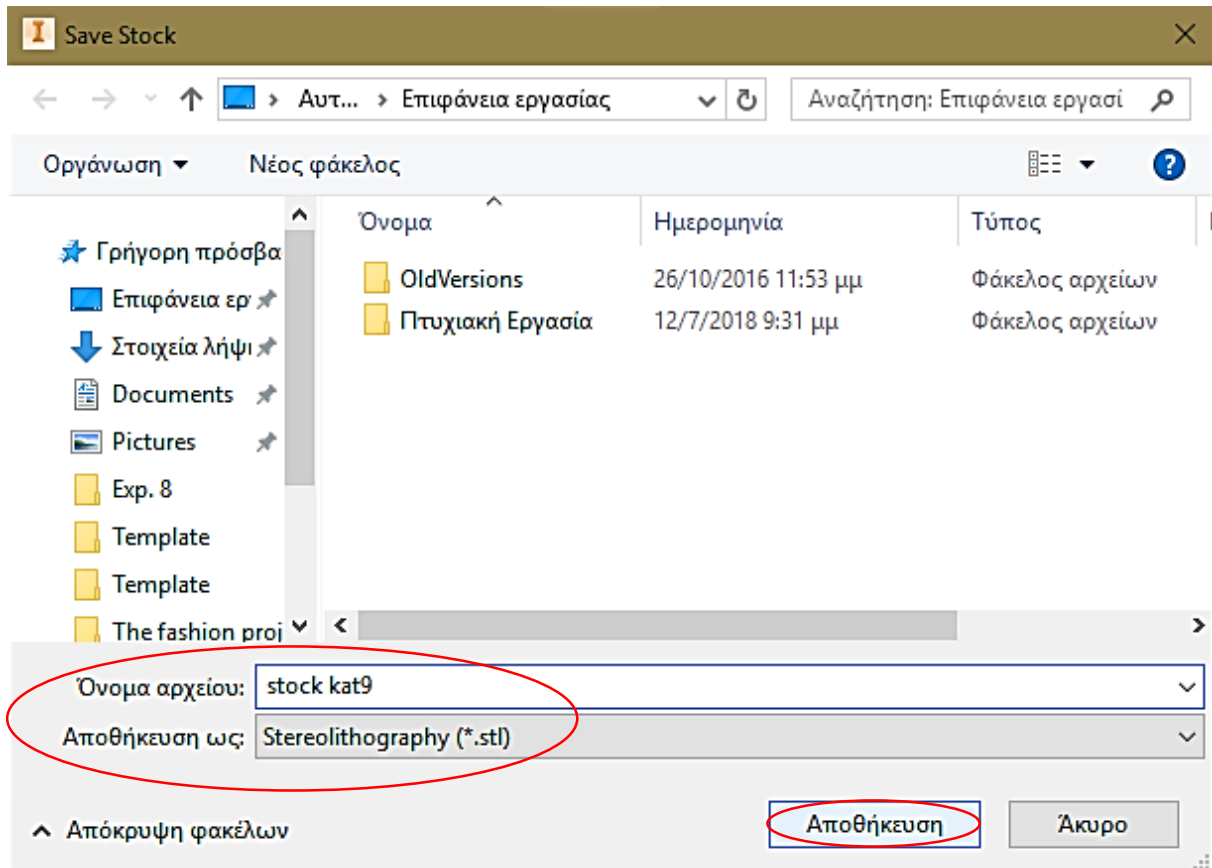
Εικόνα 9.6.1 – Τέλος προηγούμενης κατεργασίας

Λόγω της πολύπλοκης γεωμετρίας του δοκιμίου στη συγκεκριμένη φάση κατεργασίας, ο αρχικός όγκος θα πρέπει να οριστεί ως η γεωμετρία που προκύπτει μετά το πέρας της προηγούμενης φάσης κατεργασίας. Επομένως, γίνεται μετάβαση στο αρχείο της προηγούμενης φάσης κατεργασίας.



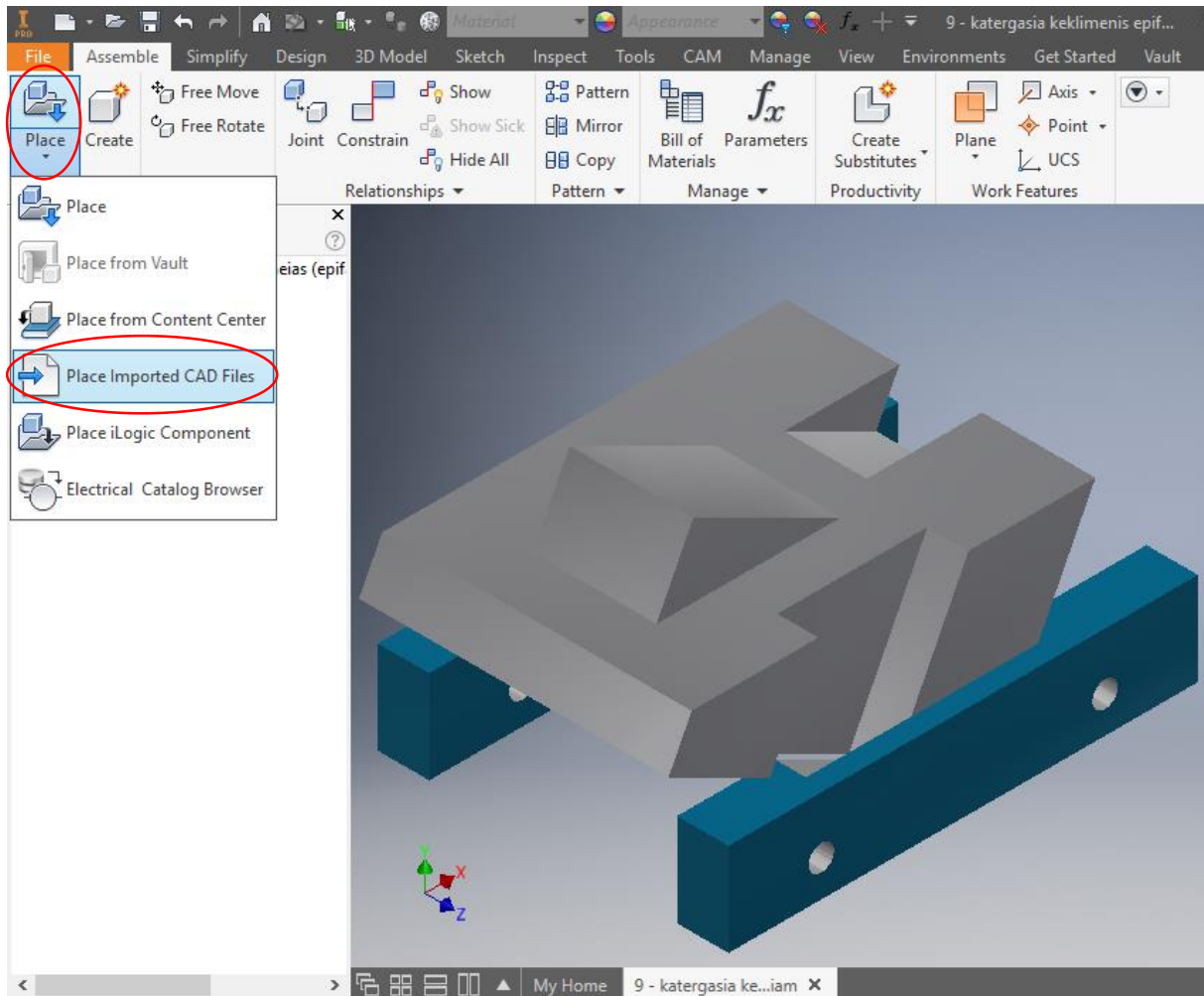
Εικόνα 9.6.2 – Αποθήκευση όγκου

Στην καρτέλα Simulate και αφού έχει πραγματοποιηθεί η προσομοίωση της κατεργασίας, ενεργοποιείται ένα ξεχωριστό μενού εντολών πατώντας δεξί κλικ πάνω στο δοκίμιο. Στην επιλογή Stock, επιλέγεται η εντολή Save Stock ώστε να αποθηκευτεί ο όγκος του δοκιμίου μετά την κατεργασία του, με μία άλλη μορφή αρχείου.



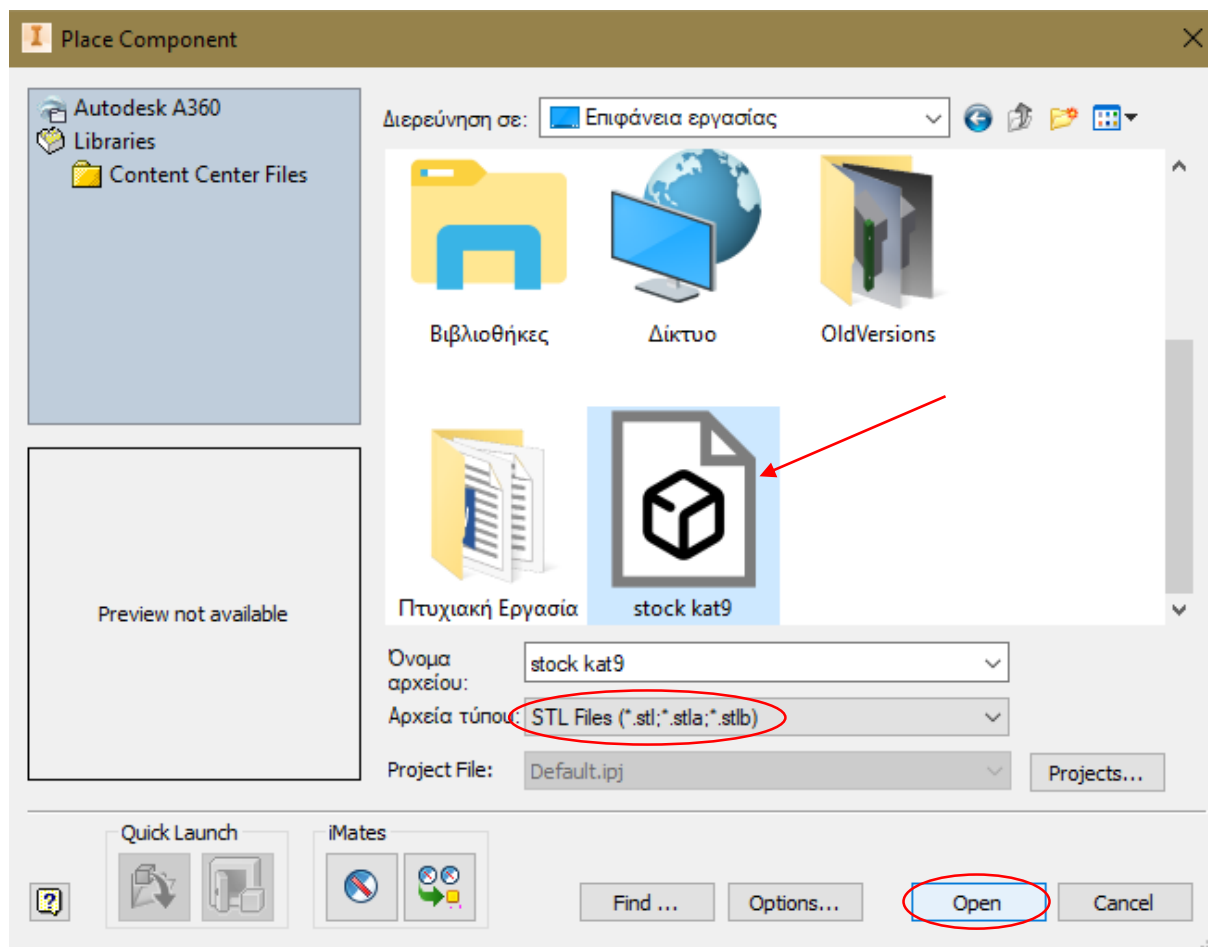
Εικόνα 9.6.3 – Αποθήκευση όγκου ως αρχείο STL

Στο αναδυόμενο παράθυρο ονομάζεται το αρχείο και αποθηκεύεται σε μορφή .stl όπως φαίνεται στην παράπανω εικόνα. Αυτό το αρχείο απεικονίζει τον όγκο του δοκιμίου με τη μορφή πλέγματος.



Εικόνα 9.6.4 – Εισαγωγή όγκου

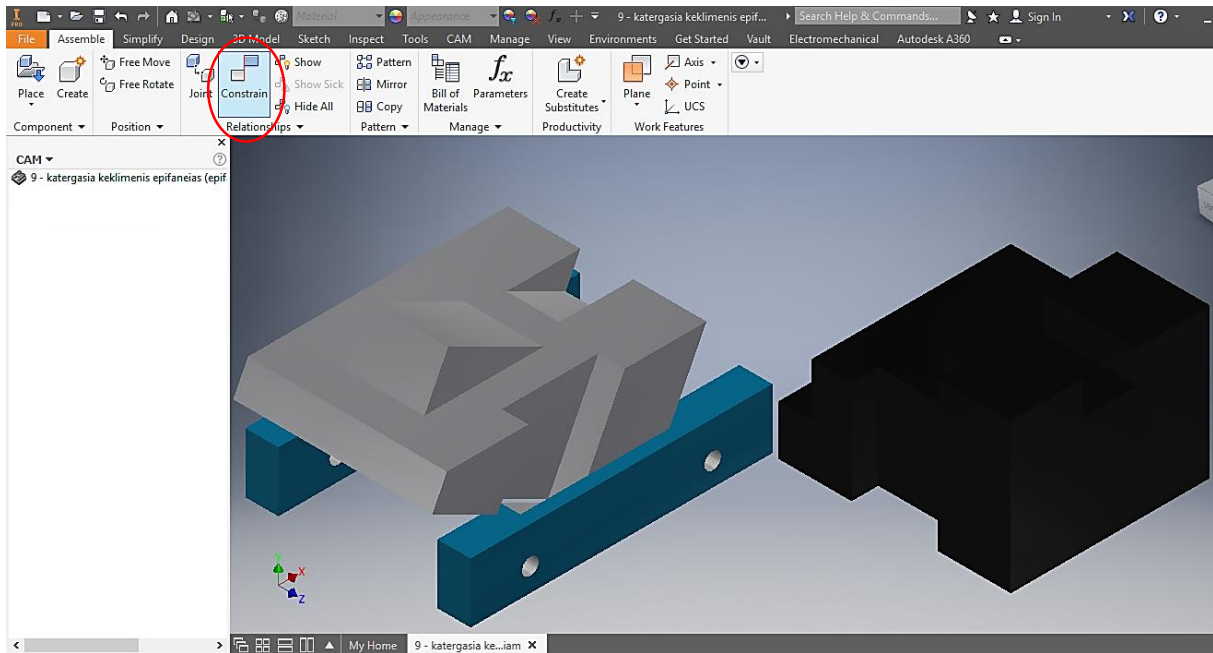
Ανοίγοντας το αρχείο της επόμενης κατεργασίας (Φάση κατεργασίας 6 – Διαμόρφωση κεκλιμένης επιφάνειας), στην καρτέλα Assemble, στην εντολή Place επιλέγεται η εντολή Place Imported CAD Files.



Εικόνα 9.6.5 – Επιλογή του όγκου για εισαγωγή

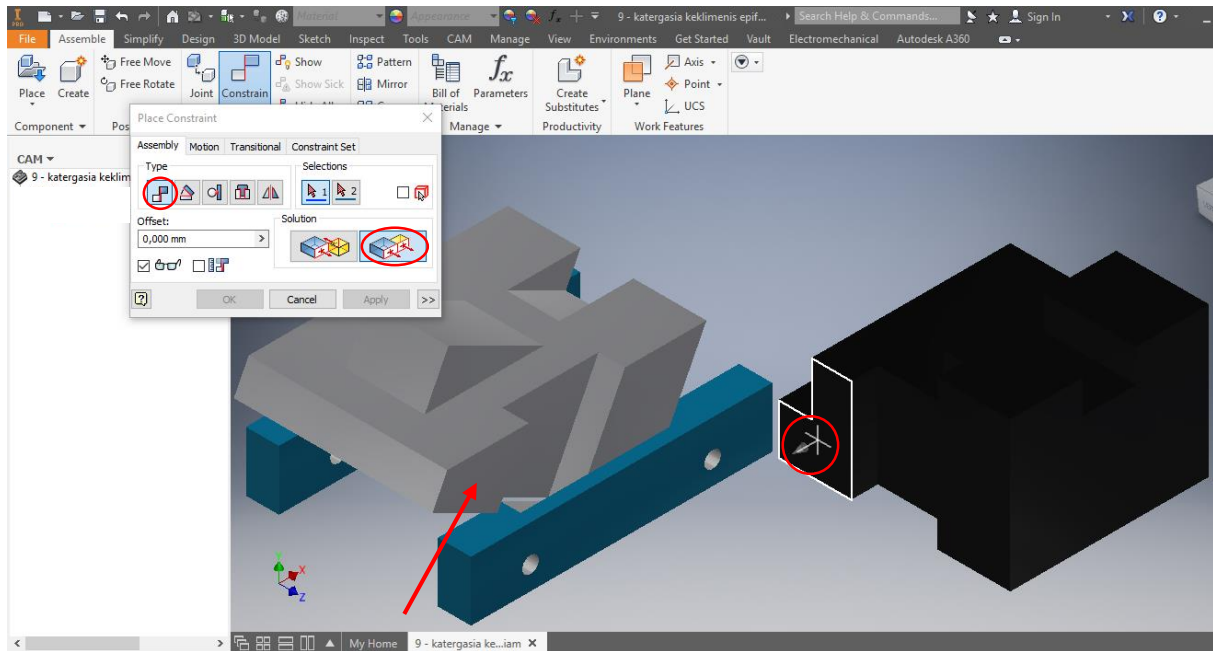
Στο αναδυόμενο παράθυρο, επιλέγεται να εμφανιστούν τα αρχεία τύπου STL, επιλέγεται το αρχείο που αποθηκεύθηκε σε προηγούμενο βήμα και τέλος, πατώντας το Open εισάγεται ο όγκος στο πρόγραμμα ηλεκτρονικής σχεδίασης.





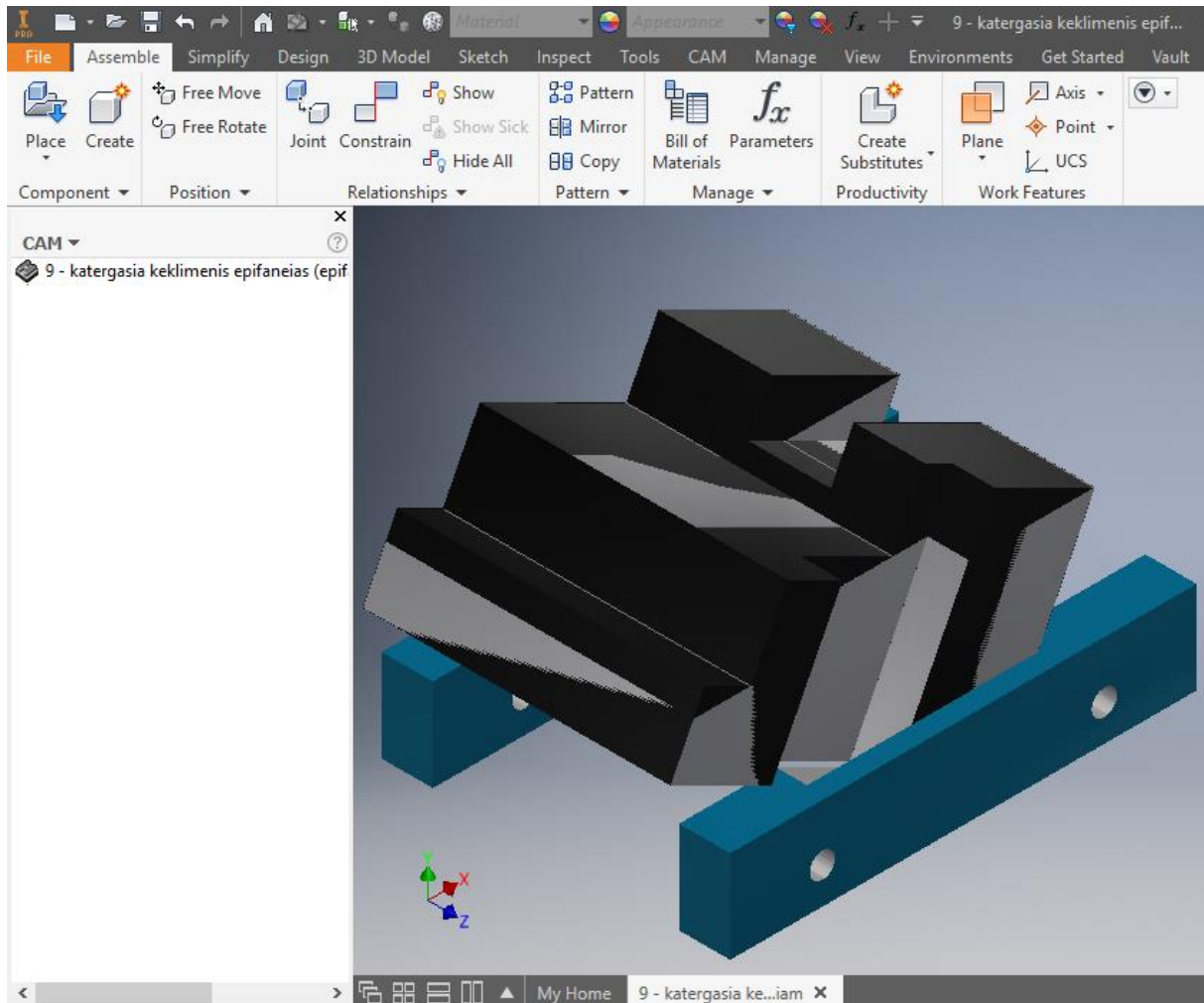
Εικόνα 9.6.6 – Εντολή Constrain

Αφού εισαχθεί το αρχείο στο πρόγραμμα, επιλέγεται η εντολή Constrain με σκοπό να οριστούν συνθήκες για να ενσωματωθεί ο όγκος του αρχείου .stl στον όγκο του δοκιμίου.



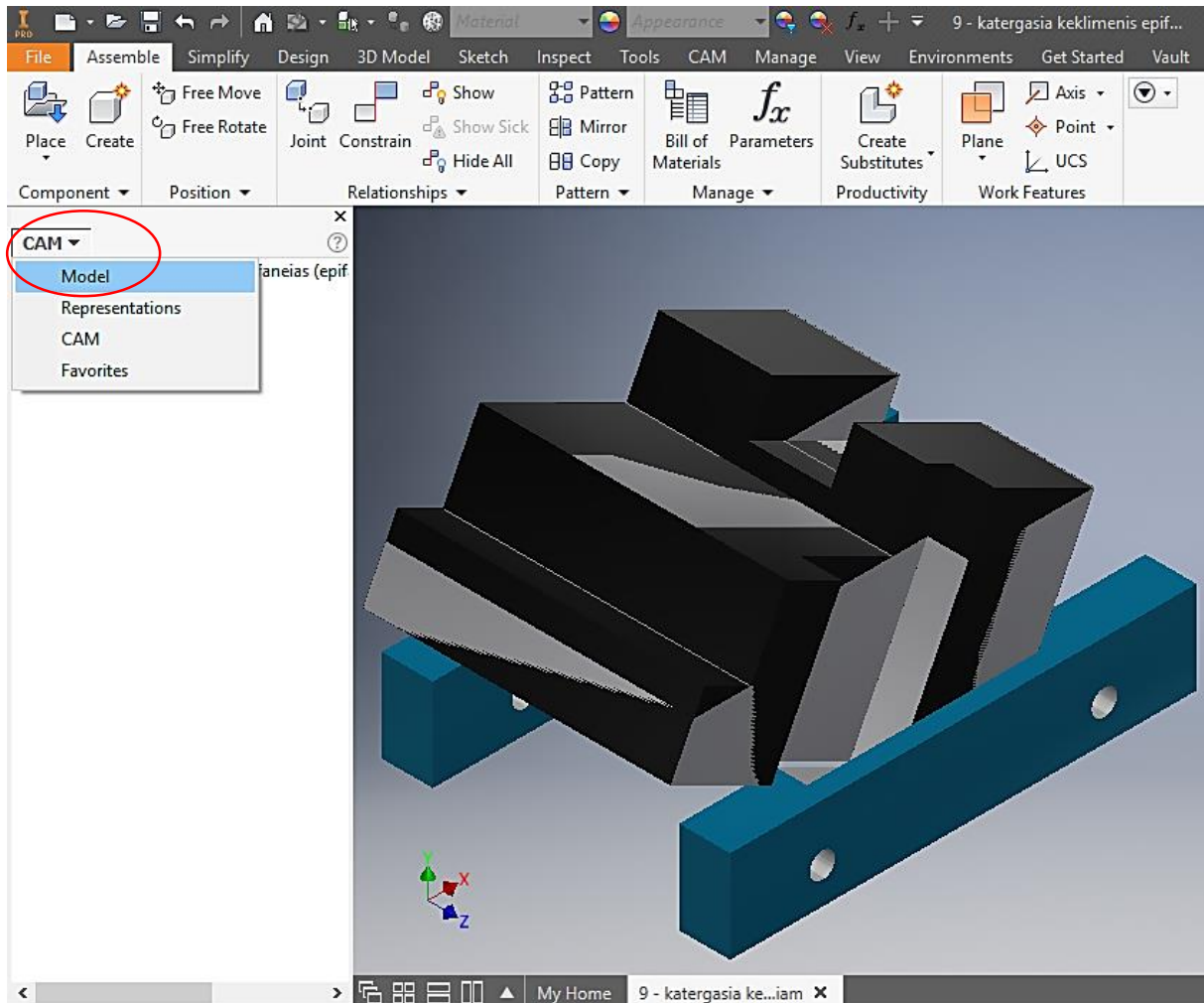
Εικόνα 9.6.7 – Συνθήκες εντολής Constrain

Στην πρώτη καρτέλα του αναδυόμενου παραθύρου επιλέγεται ο πρώτος τύπος συνθηκών, ο οποίος αφορά συνθήκες μεταξύ επίπεδων επιφανειών. Έπειτα, επιλέγονται οι επιθυμητές επιφάνειες για να οριστεί μία συνθήκη. Οι δύο επιφάνειες που έχουν επιλεγεί, όπως φαίνεται στην παραπάνω εικόνα, είναι η ίδια πλευρά και για τους δύο όγκους. Τέλος, επιλέγεται η εντολή κάτω δεξιά του αναδυόμενου παραθύρου, ώστε αυτές οι δύο πλευρές να είναι ομόρροπες μεταξύ τους και με την εντολή Apply οριστικοποιείται η συνθήκη.



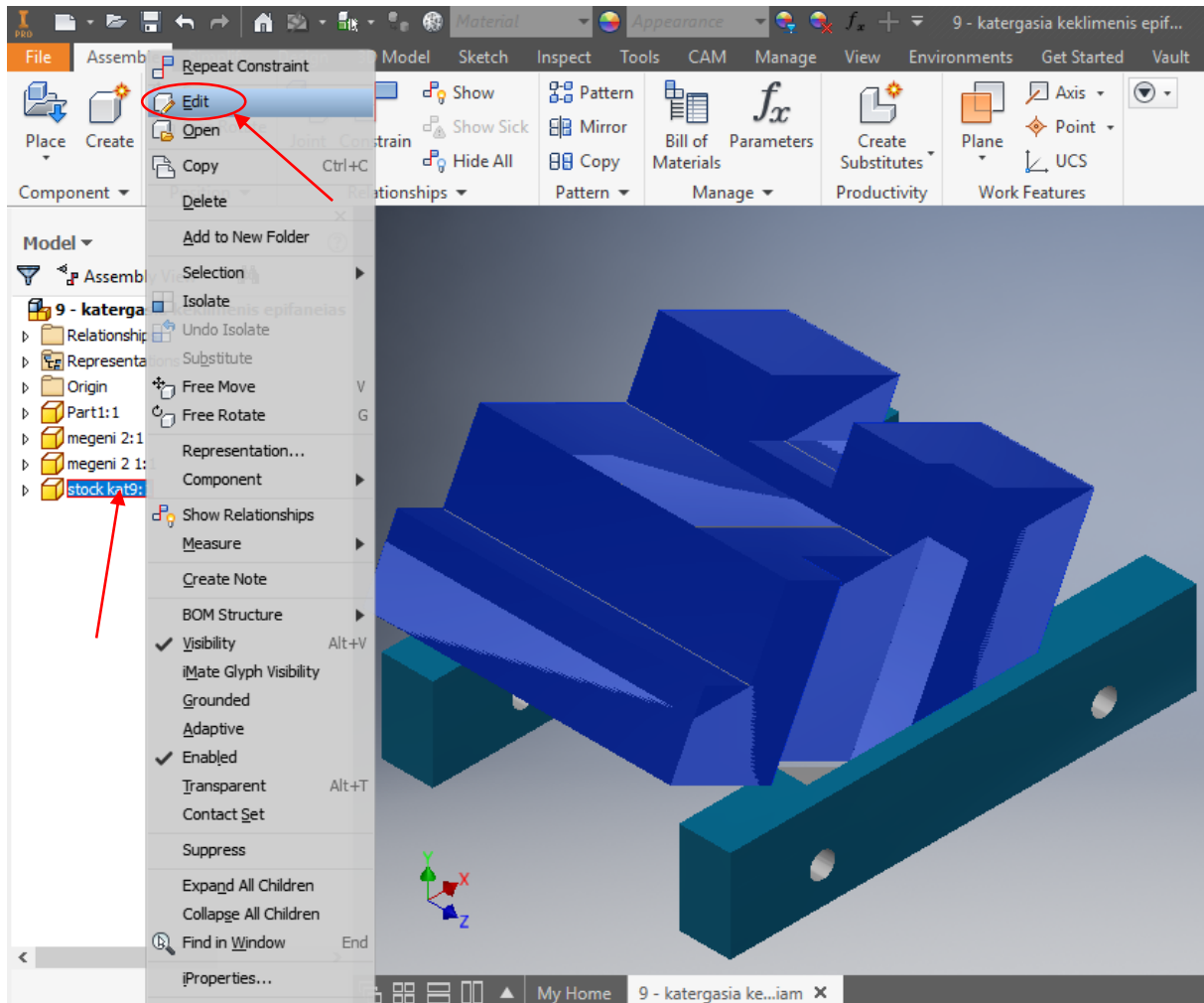
Εικόνα 9.6.8 – Συνδυασμός των δύο όγκων μετά την εντολή Constrain

Ακριβώς τα ίδια βήματα ακολουθούνται για να οριστούν οι συνθήκες των πλευρών Α και Β του δοκιμίου. Το αποτέλεσμα μετά από αυτές τις ενέργειες είναι ο συνδυασμός των δύο όγκων, όπως φαίνεται στην παραπάνω εικόνα.



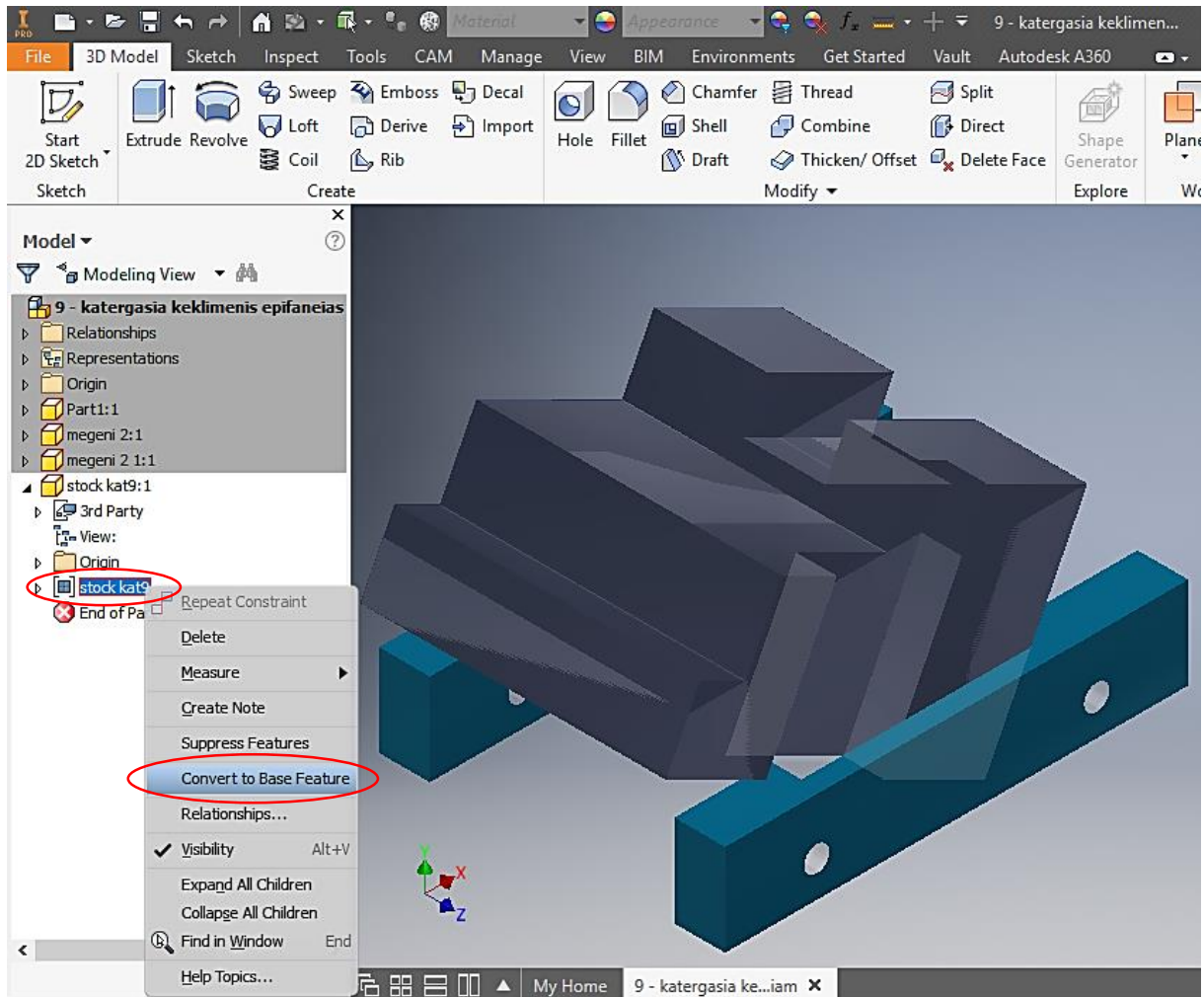
Εικόνα 9.6.9 – Μετάβαση στο περιβάλλον μοντελοποίησης του δοκιμίου

Στην ενότητα CAM, αριστερά στην οθόνη, επιλέγεται η ενότητα Model για τη μετάβαση στο περιβάλλον μοντελοποίησης του δοκιμίου.



Εικόνα 9.6.10 – Επεξεργασία του πλέγματος του όγκου

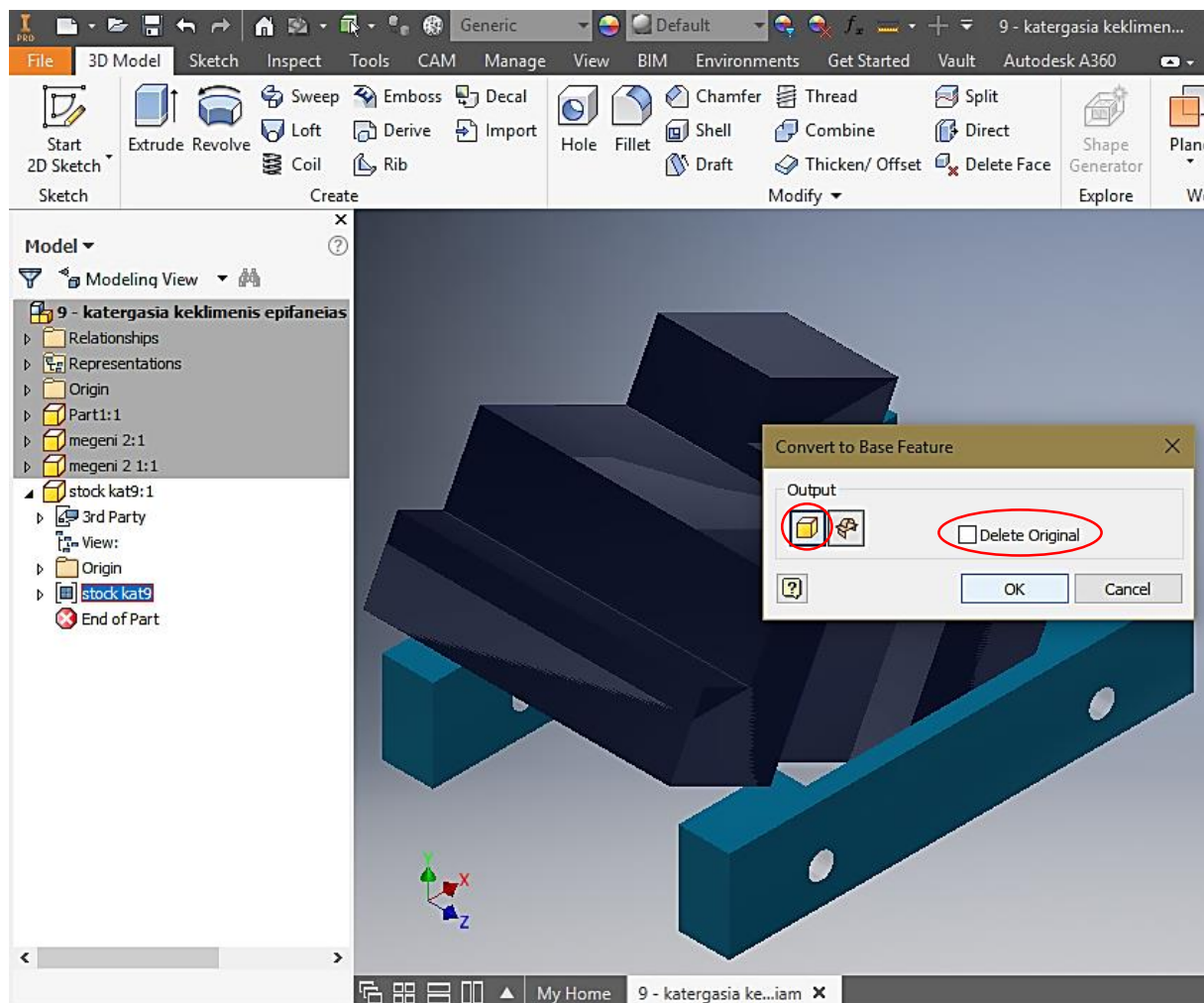
Στο περιβάλλον μοντελοποίησης, στο αριστερό τμήμα της οθόνης όπου βρίσκονται τα τεμάχια της συναρμογής δοκιμίου-μέγγενης, επιλέγεται με δεξιά κλικ ο όγκος του αρχείου .stl, για να εμφανιστεί ένα ειδικό μενού εντολών. Σε αυτό το μενού επιλέγεται η εντολή Edit για την επεξεργασία του.



Εικόνα 9.6.11 – Μετατροπή πλέγματος σε συμπαγή όγκο

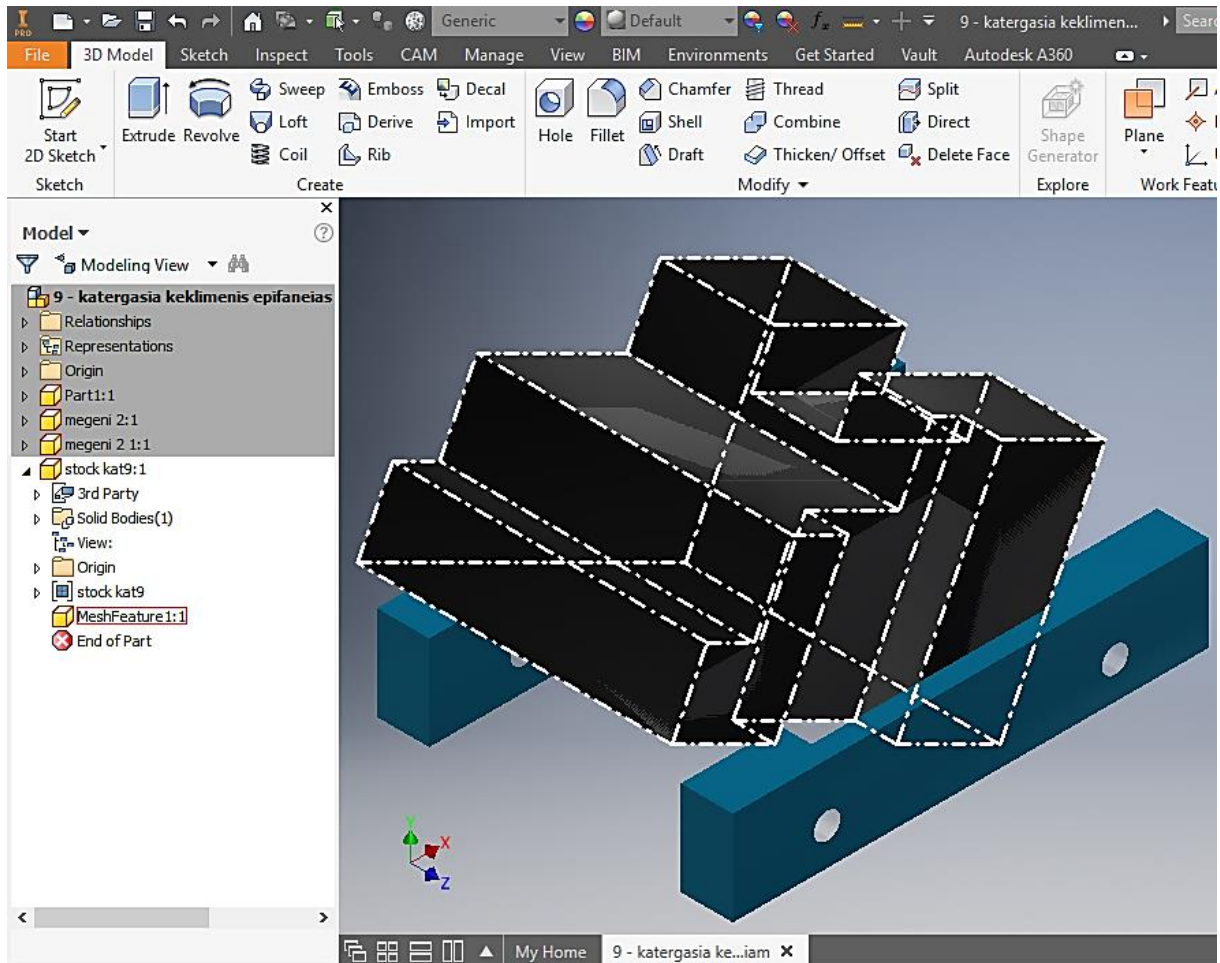
Στα περιεχόμενα του όγκου του αρχείου .stl, επιλέγεται με δεξί κλικ το πλέγμα ώστε να εμφανιστεί ένα ειδικό μενού. Σε αυτό το ειδικό μενού επιλέγεται η εντολή Convert to Base Feature, για την μετάβαση στο παράθυρο μετατροπής του πλέγματος.





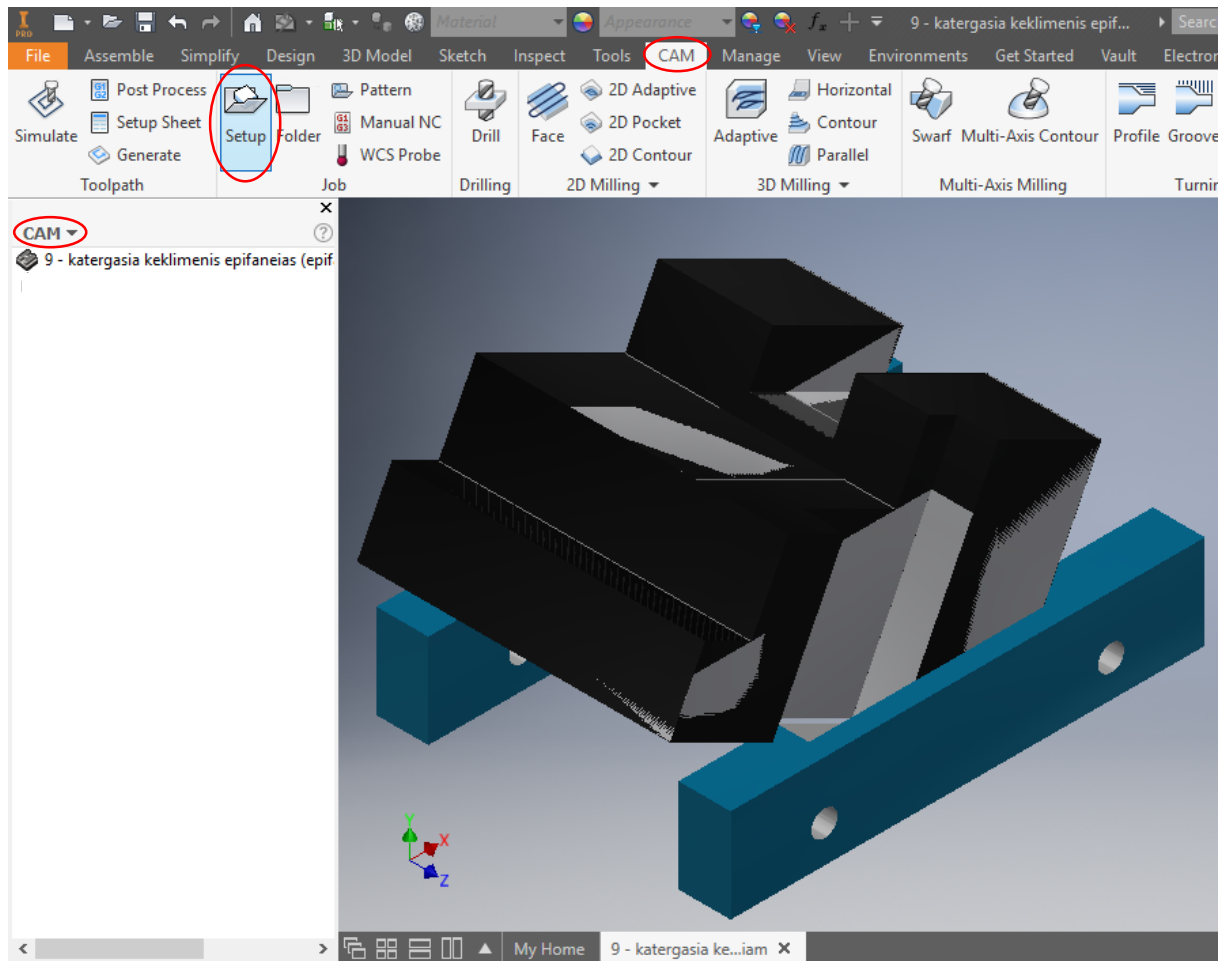
Εικόνα 9.6.12 – Μετατροπή πλέγματος σε συμπαγή όγκο

Στο αναδυόμενο παράθυρο αρχικά επιλέγεται η εντολή Solid/Surface, ώστε το πλέγμα να πετατραπεί σε όγκο οριοθετημένο από επιφάνειες. Έπειτα, επιλέγεται να μην διαγραφεί το αρχικό πλέγμα (Delete Original). Τέλος, με την εντολή OK πραγματοποιείται η μετατροπή του πλέγματος σε όγκο.



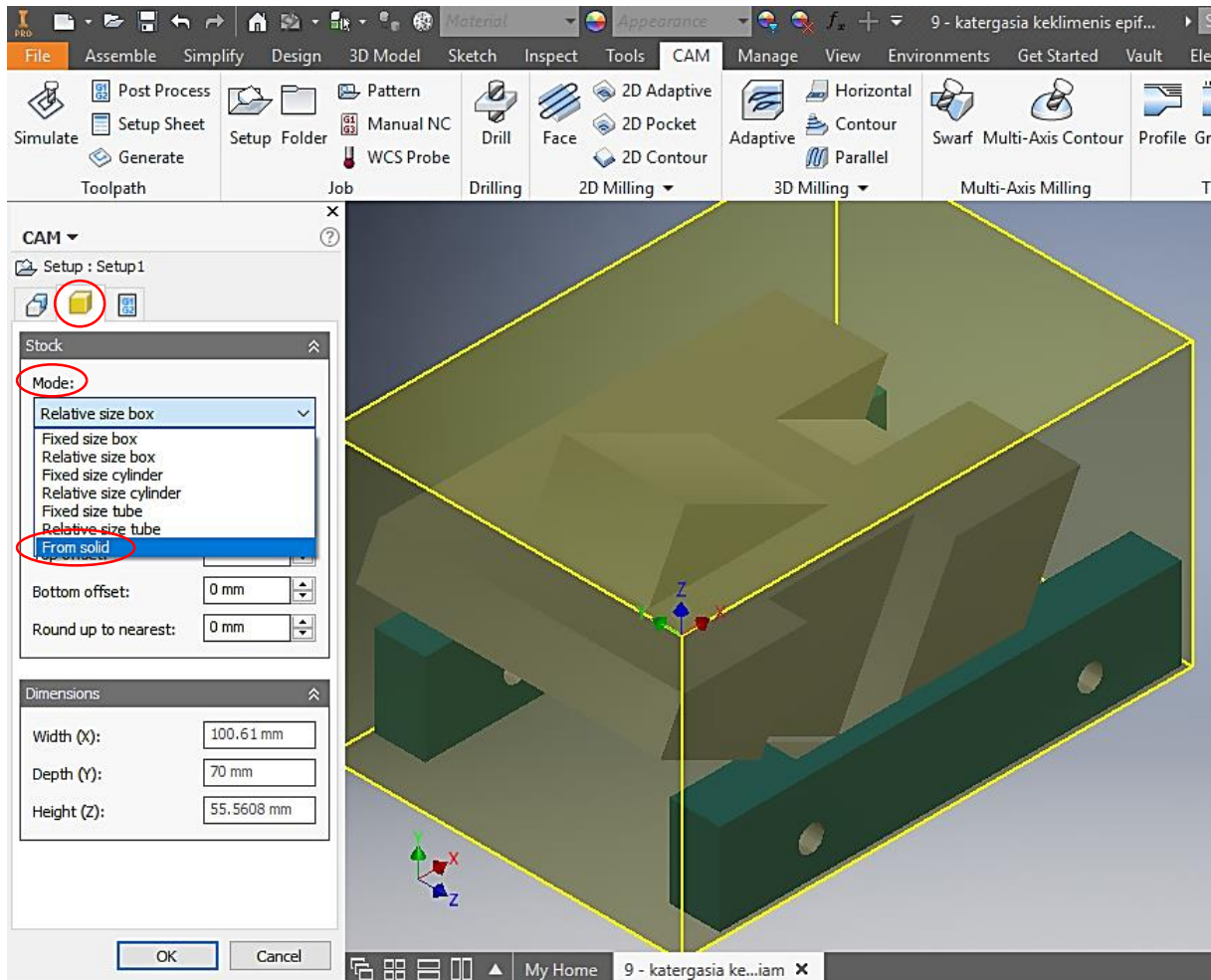
Εικόνα 9.6.13 – Εμφάνιση νέου όγκου

Μετά την ολοκλήρωση της μετατροπής του πλέγματος εμφανίζεται πλέον ο όγκος στο αριστερό μέρος της θόνης με το όνομα MeshFeature1:1 και με τις ίδιες ιδιότητες που έχει το δοκίμιο της συγκεκριμένης κατεργασίας.



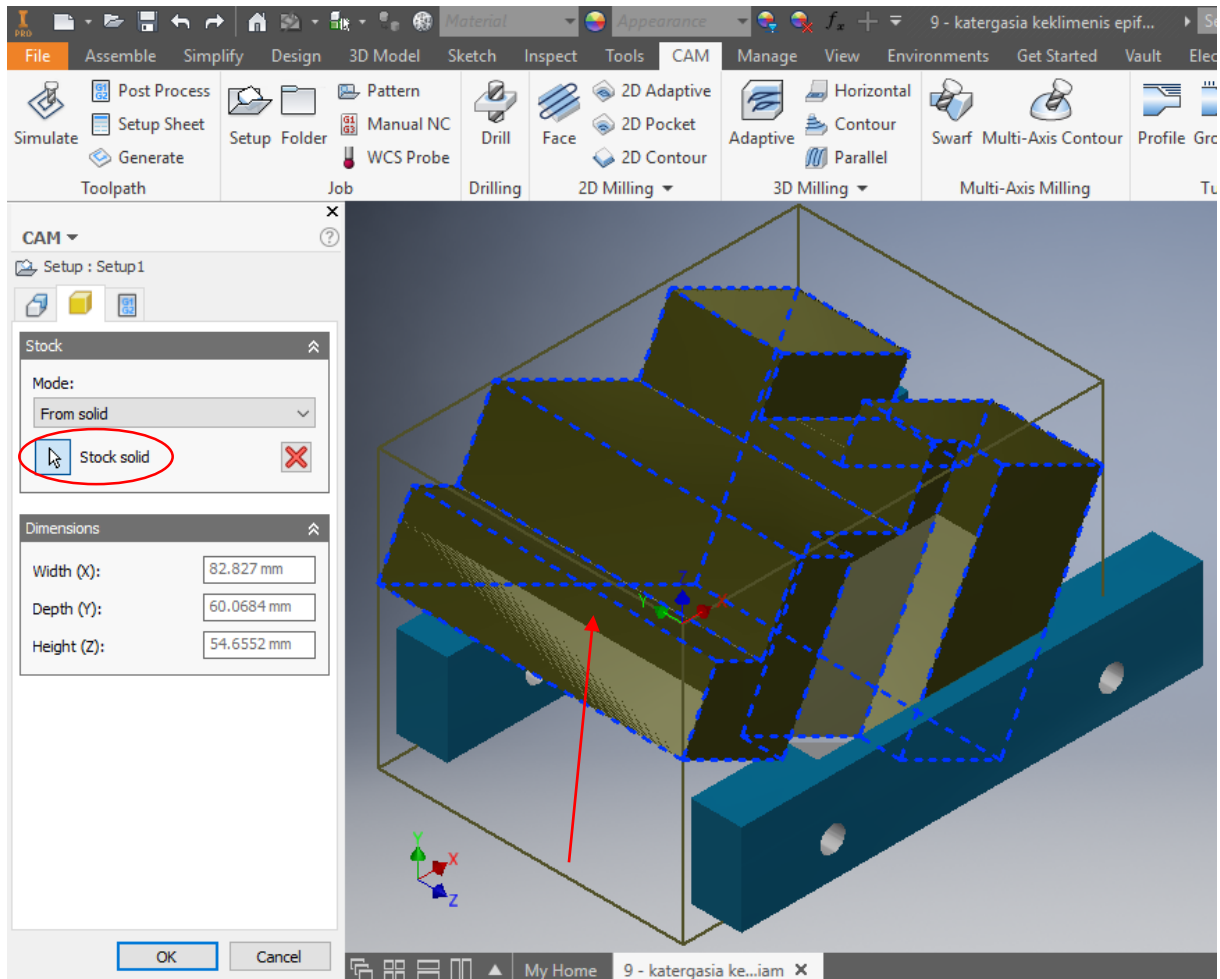
Εικόνα 9.6.14 – Επιλογή εντολής Setup

Πραγματοποιείται μετάβαση στο περιβάλλον προγραμματισμού των κοπτικών εργαλείων με τα ίδια βήματα που έγινε η μετάβαση στο περιβάλλον μοντελοποίησης του δοκιμίου. Έπειτα, στην καρτέλα CAM, επιλέγεται η εντολή Setup, για να οριστεί ο αρχικός όγκος.



Εικόνα 9.6.15 – Επιλογή επιθυμητού όγκου

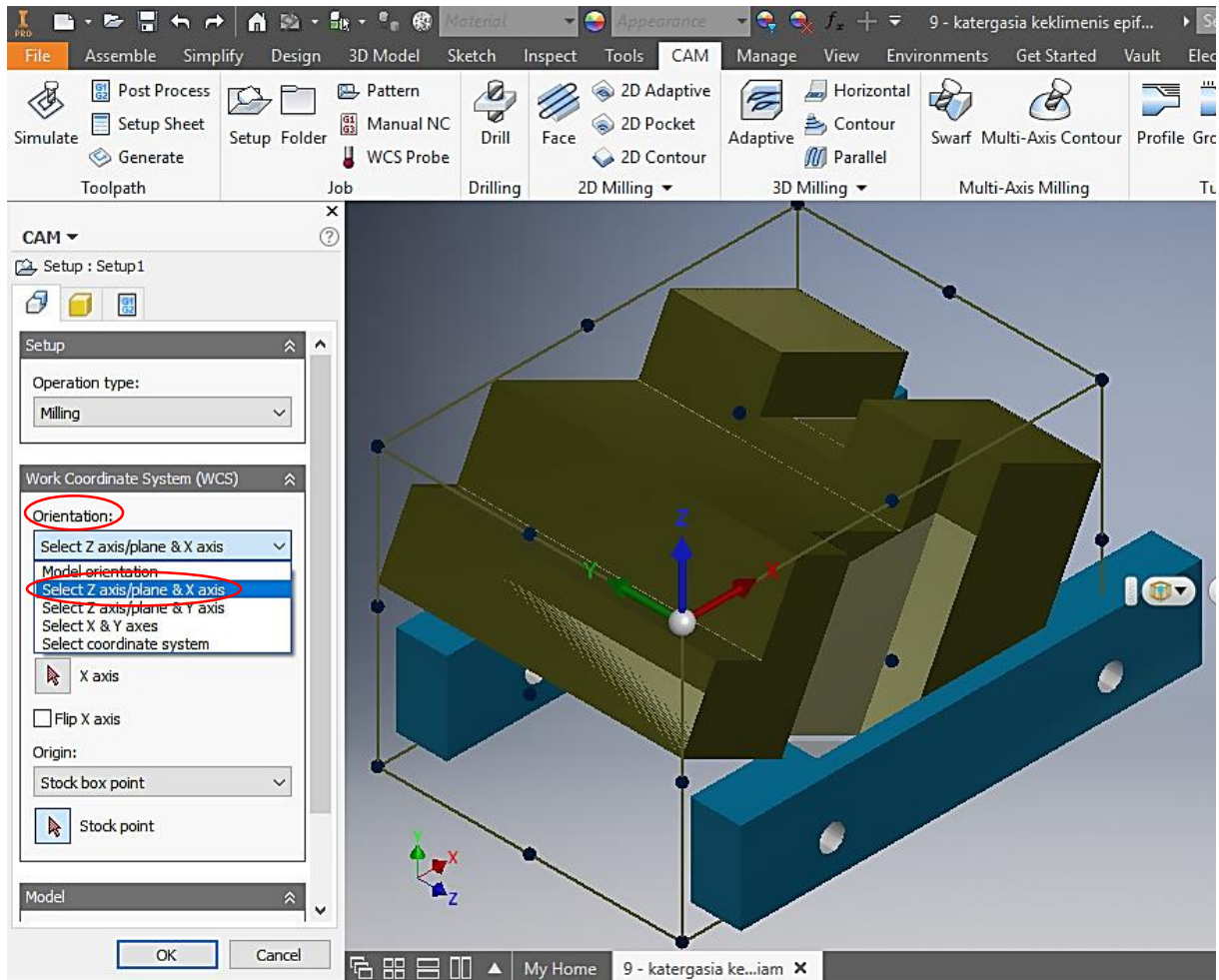
Στη δεύτερη καρτέλα του παραθύρου του Setup, στο Mode, γίνεται επιλογή του From solid ώστε να επιλεγθεί ως αρχικός όγκος ο ένας από τους δύο όγκους που αποτελείται πλέον η συναρμογή.



Εικόνα 9.6.16 – Επιλογή γεωμετρίας του αρχείου STL ως αρχικού όγκου

Μέσω της εντολής Stock solid επιλέγεται ο αρχικός όγκος. ΠΡΟΣΟΧΗ. Θα πρέπει να επιλεγθεί μόνο η γεωμετρία του αρχείου .stl, η οποία μετατράπηκε από πλέγμα σε όγκο και είναι ο όγκος μετά το πέρας της προηγούμενης κατεργασίας.

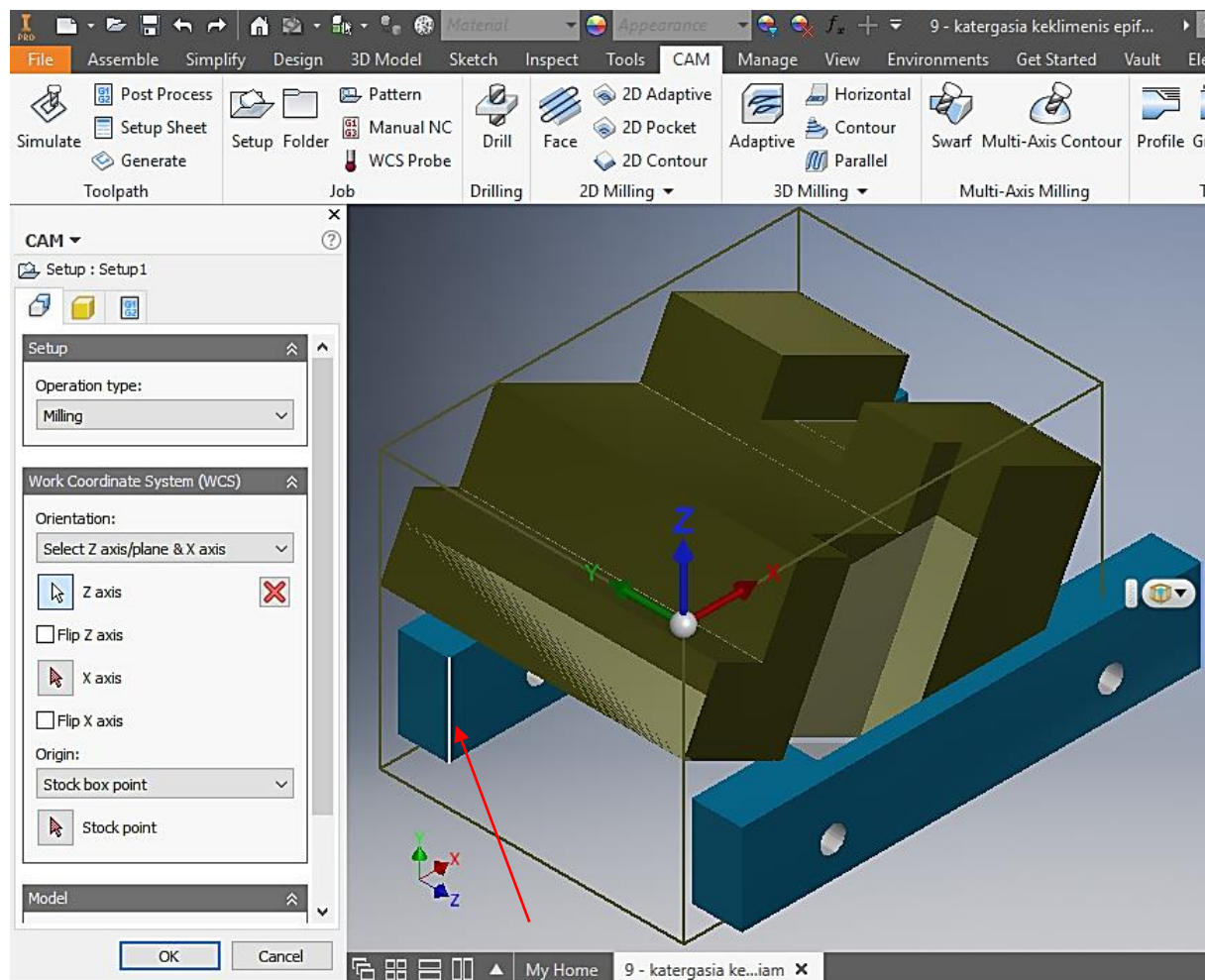




Εικόνα 9.6.17 – Ενότητα Orientation

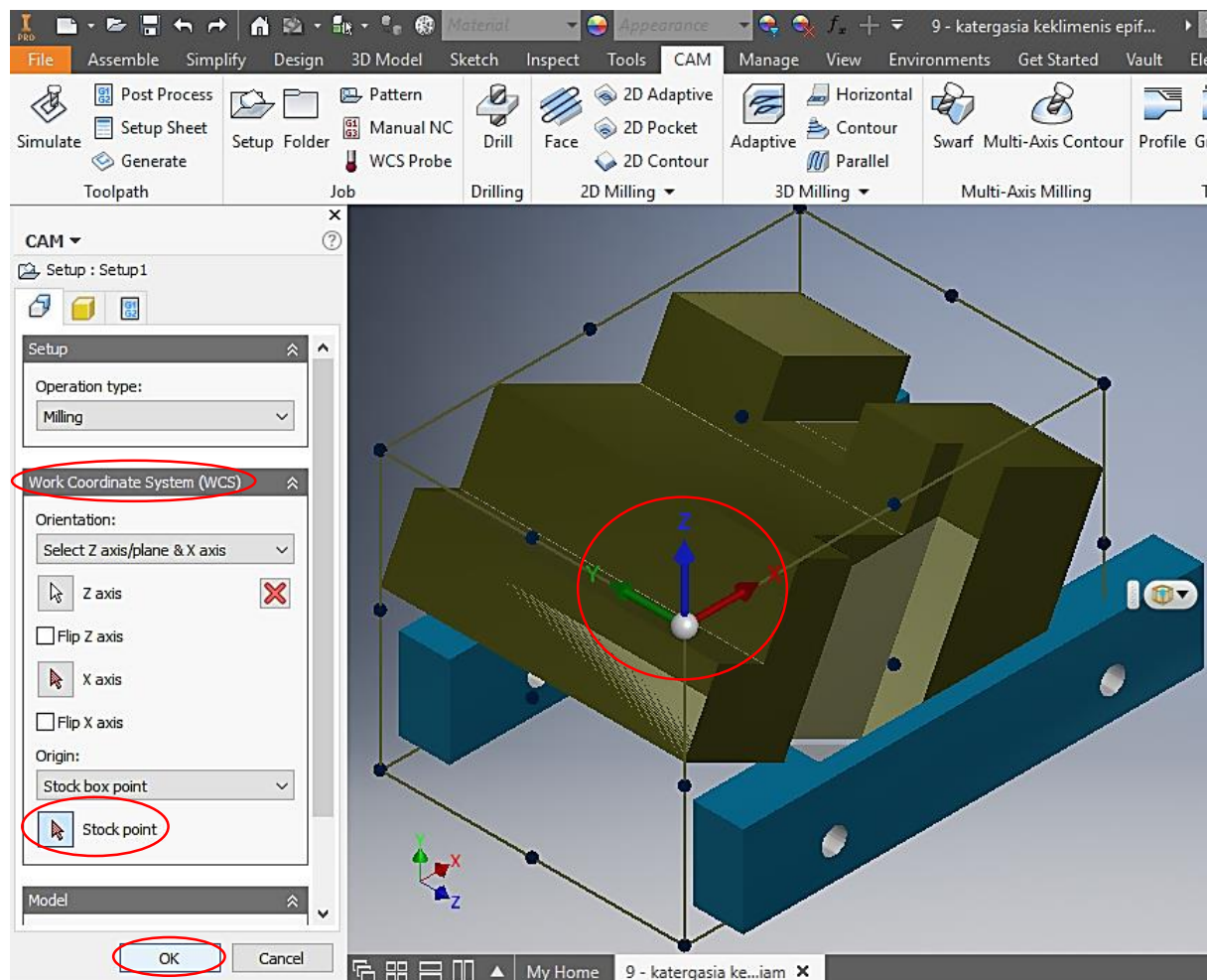
Στην ενότητα Orientation, επιλέγεται η εντολή Select Z axis/plane & X axis ώστε να οριστεί η κατεύθυνση του άξονα Z, ο οποίος καθορίζει την κίνηση του κοπτικού εργαλείου και επομένως το βάθος κοπής.





Εικόνα 9.6.18 – Κατεύθυνση άξονα Z

Επιλέγεται μία οποιαδήποτε ακμή η οποία θα ορίσει την κατεύθυνση του άξονα Z. Σε περίπτωση που ο άξονας Z δεν έχει την επιθυμητή φορά, τότε επιλέγοντας την άκρη του βέλους του άξονα αλλάζει η φορά του.

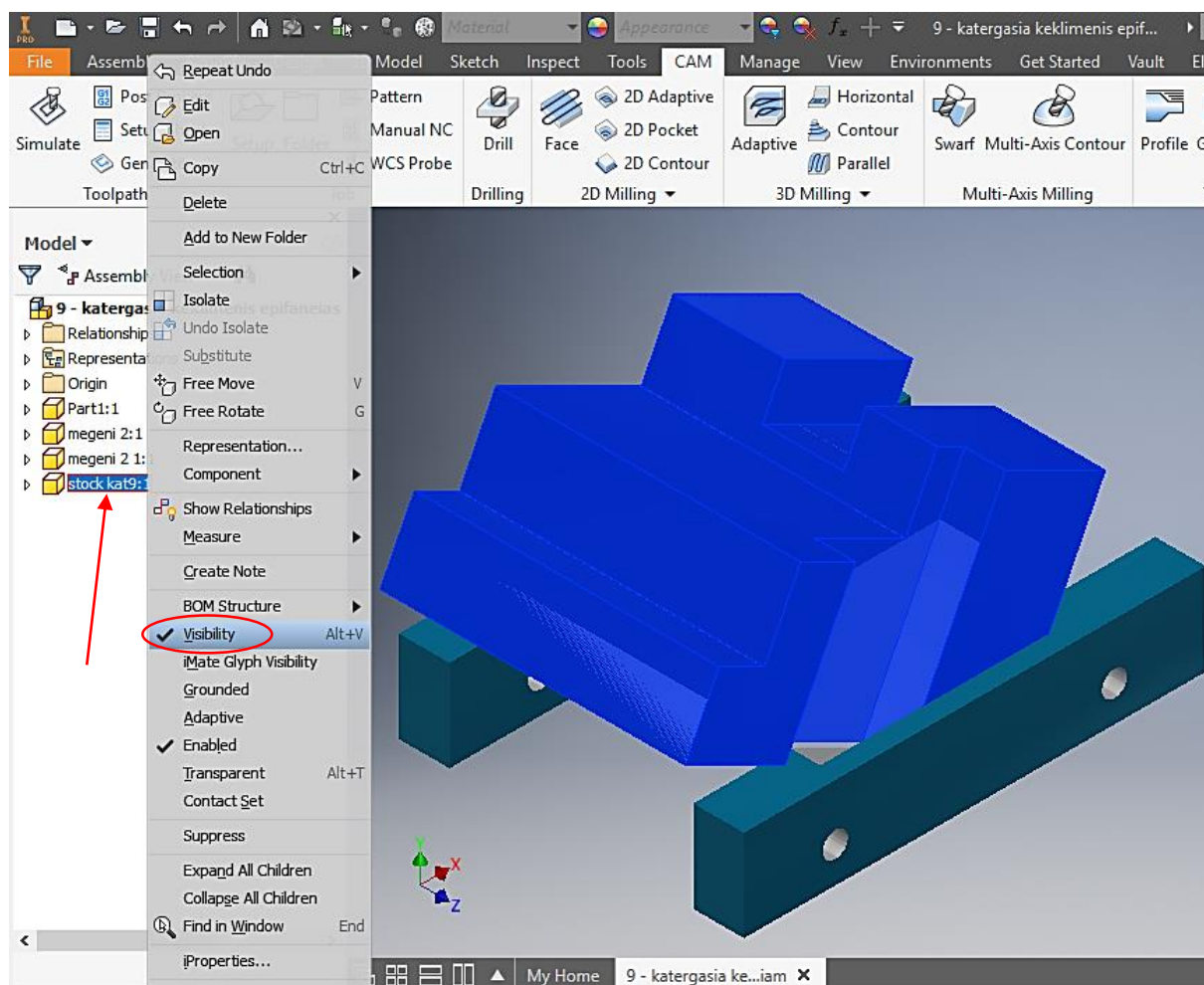


Εικόνα 9.6.19 – Εντολή Stock Point

Στην ενότητα Work Coordinate System (WCS), γίνεται επιλογή της εντολής Stock Point. Μόλις εμφανιστούν τα διαθέσιμα σημεία όπως φαίνεται στην παραπάνω εικόνα (Εικόνα 9.6.19 – Εντολή Stock point), ορίζεται σε ένα από αυτά το σύστημα συντεταγμένων.

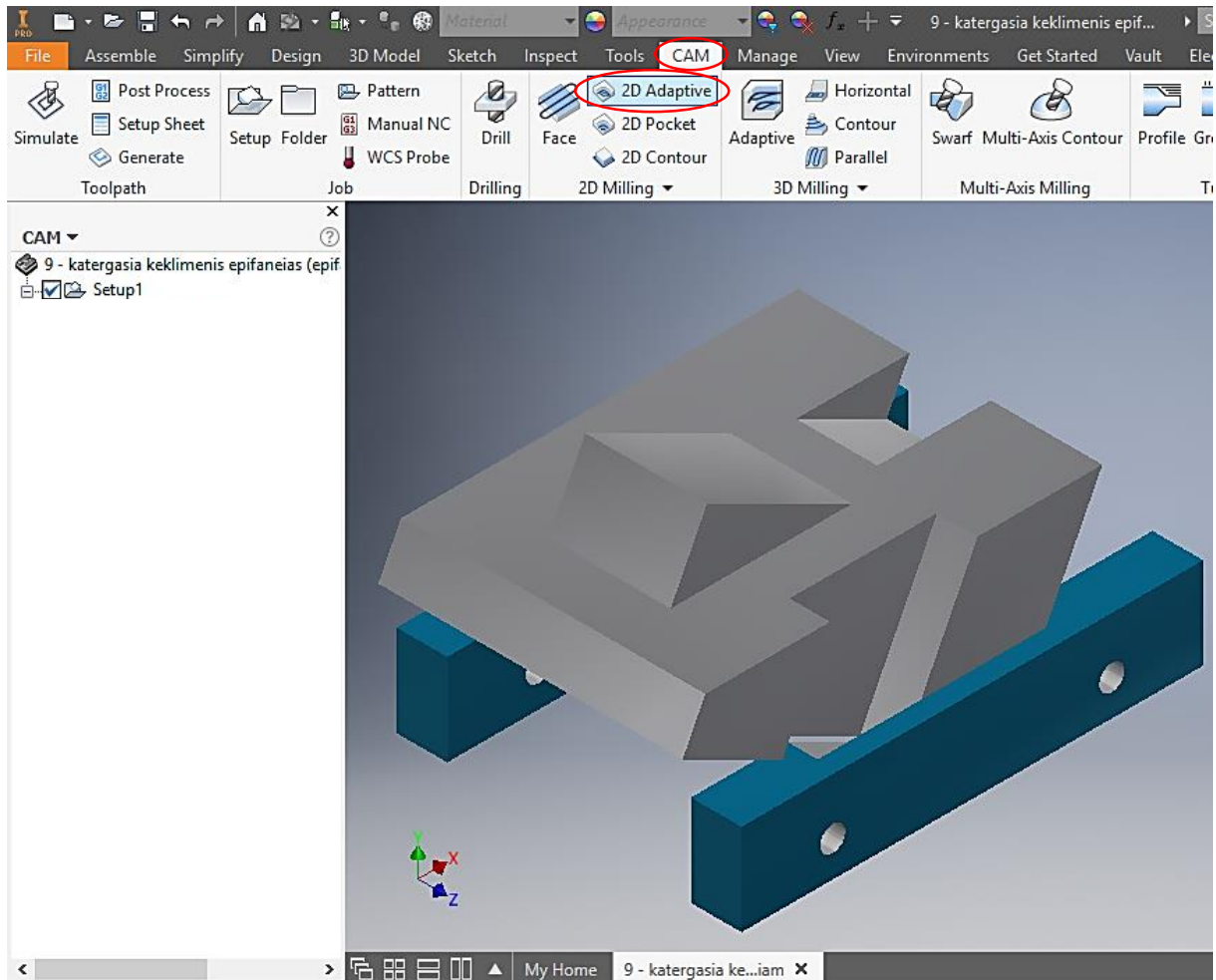
Τέλος, πατώντας το κουμπί OK ολοκληρώνεται η διαδικασία του ορισμού του αρχικού όγκου και του συστήματος συντεταγμένων.

## 2. Επιλογή κοπτικού εργαλείου και παραγωγή της πορείας του.



Εικόνα 9.6.20 – Κατάργηση ορατότητας όγκου

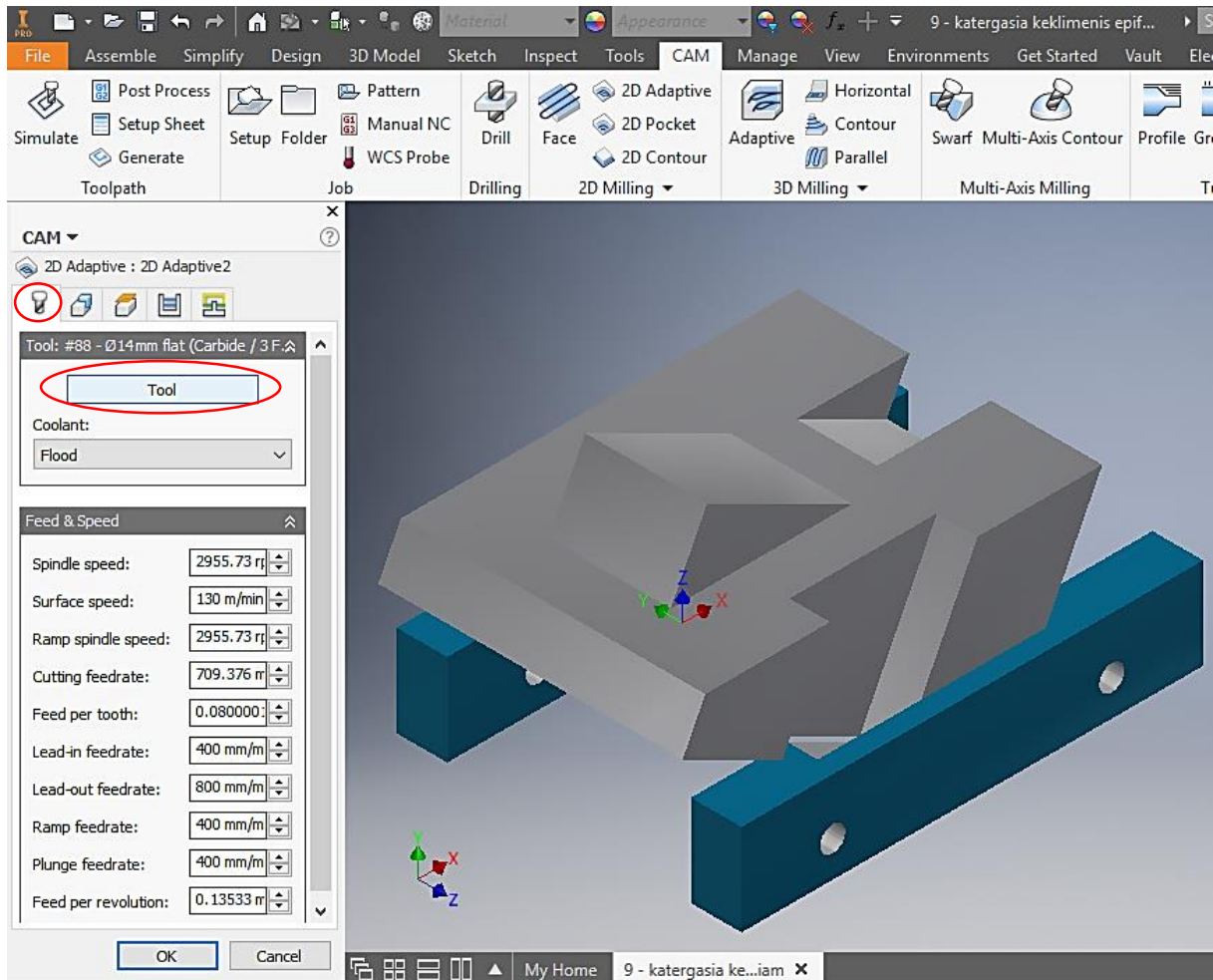
Πριν ξεκινήσει η επιλογή του κοπτικού εργαλείου γίνεται μία μετάβαση στο περιβάλλον μοντελοποίησης του δοκιμίου, όπως αυτή πραγματοποιήθηκε και σε προηγούμενα βήματα. Επιλέγεται ο νέος όγκος που προστέθηκε στο πρόγραμμα και με δεξιά κλικ ανοίγει ένα ειδικό μενού. Σε αυτό το μενού επιλέγεται η εντολή Visible για να γίνει αόρατος αυτός ο όγκος. Σκοπός αυτής της ενέργειας είναι ορατότητα της κάτω επιφάνειας αυτού του όγκου, ώστε να επιλεγεί για τον προγραμματισμό της πορείας του κοπτικού εργαλείου.



Εικόνα 9.6.21 – Επιλογή εντολής 2D Pocket

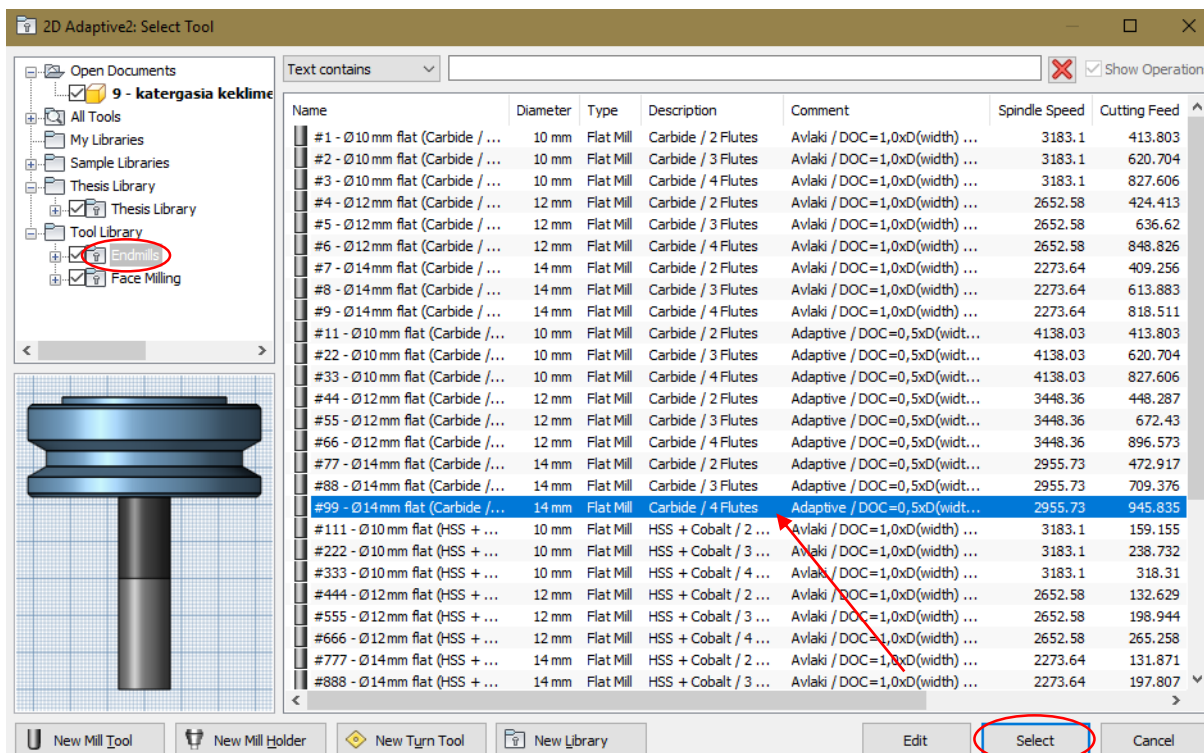
Έπειτα, γίνεται πάλι μετάβαση στο περιβάλλον προγραμματισμού των κοπτικών εργαλείων με τον ίδιο τρόπο. Στην καρτέλα CAM του προγράμματος, επιλέγεται η εντολή 2D Adaptive για τη διαμόρφωση του πρώτου σκαλοπατιού.





Εικόνα 9.6.22 – Επιλογή κοπτικού εργαλείου

Στην πρώτη καρτέλα του παραθύρου της εντολής 2D Adaptive, επιλέγεται η εντολή Tool για την μετάβαση στην βιβλιοθήκη των κοπτικών εργαλείων.

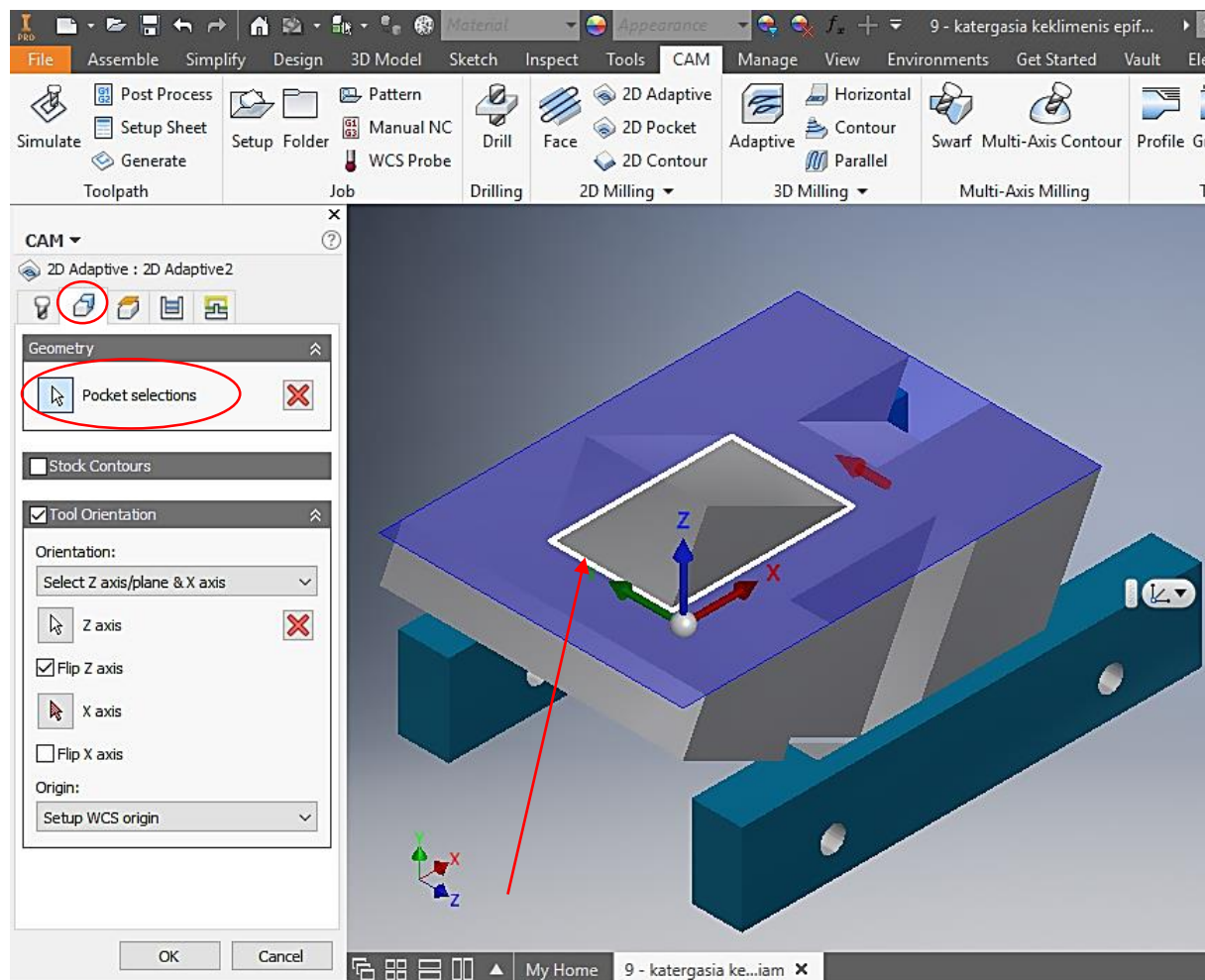


Εικόνα 6.9.23 – Βιβλιοθήκη κοπτικών εργαλείων

Στο αναδυόμενο παράθυρο, επιλέγεται το κοπτικό εργαλείο. Στην συγκεκριμένη φάση κατεργασίας το κονδύλι Νο 99.

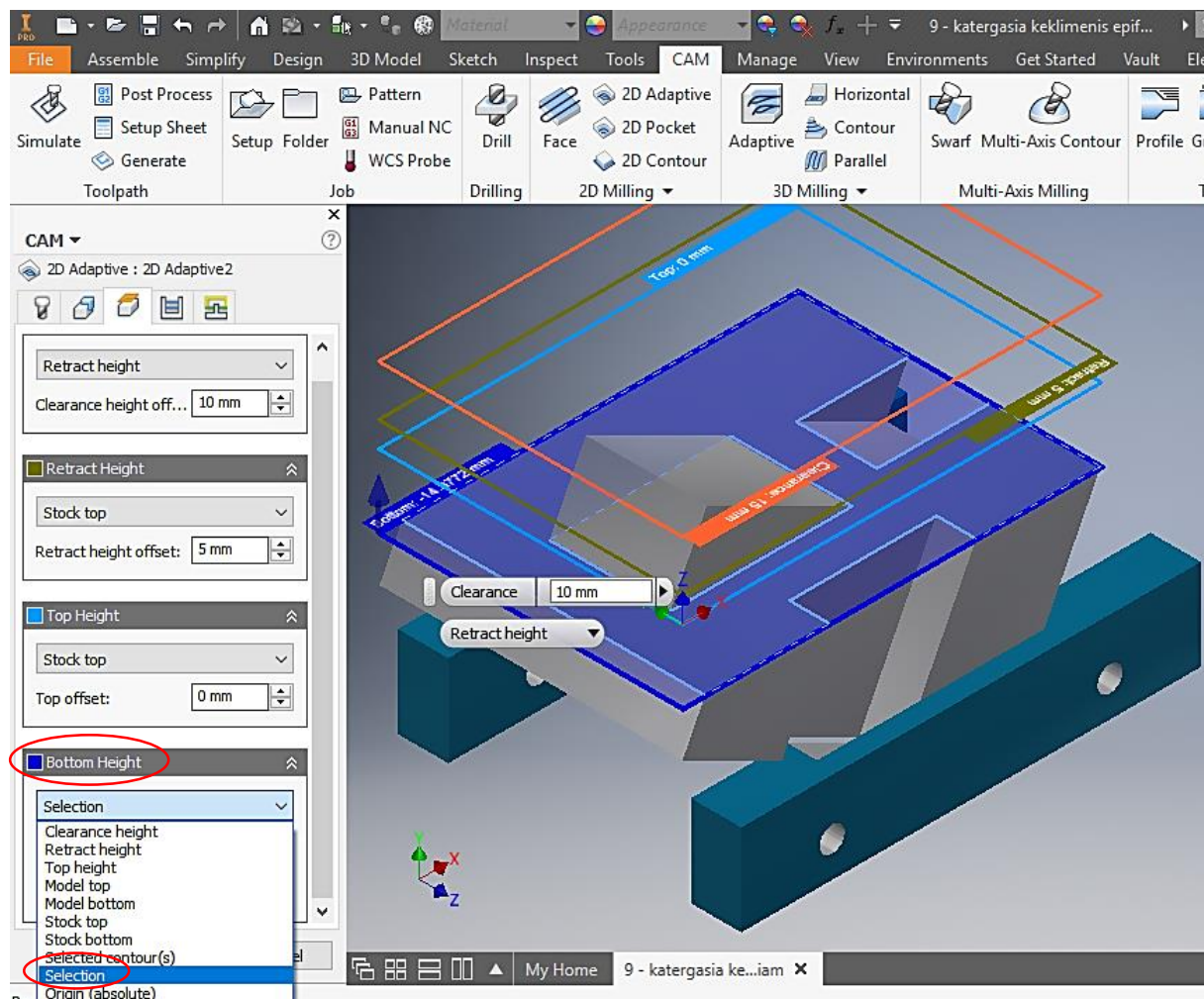
Σε αυτό το σημείο πρέπει να αναφερθεί ότι έχει προηγηθεί η δημιουργία όλων των κοπτικών εργαλείων για την εκπόνηση της εργασίας.





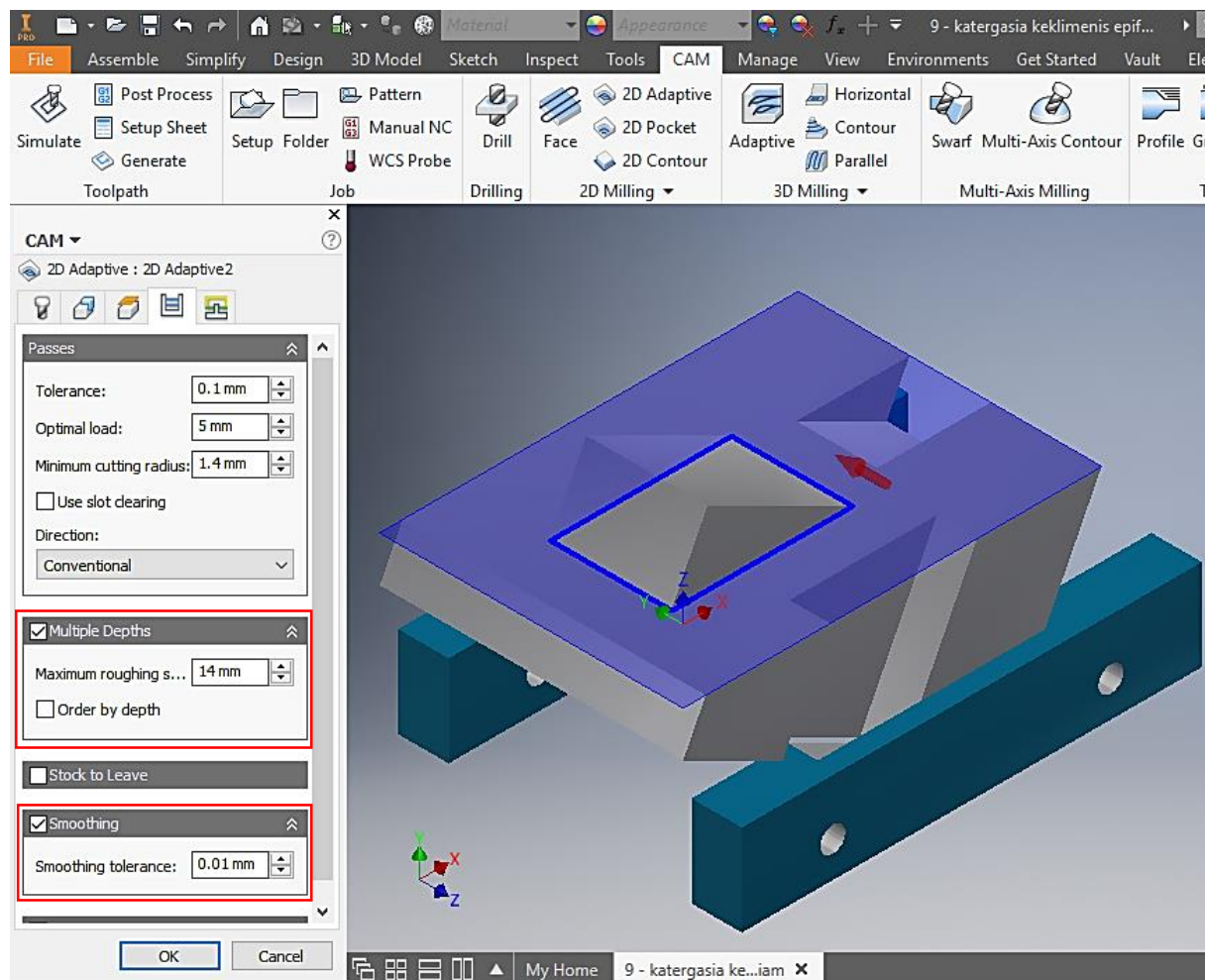
Εικόνα 9.6.24 – Επιλογή επιφάνειας προς κατεργασία

Στην δεύτερη καρτέλα, ορίζονται πρώτα τα όρια της προς κατεργασίας επιφάνειας και έπειτα το σύστημα συντεταγμένων του κοπτικού εργαλείου. Στην ενότητα Geometry, μέσω της εντολής Pocket selections, επιλέγεται η προς κατεργασία επιφάνεια. Στην δεύτερη καρτέλα, ορίζονται πρώτα τα όρια της προς κατεργασίας επιφάνειας και έπειτα το σύστημα συντεταγμένων του κοπτικού εργαλείου. Στην ενότητα Geometry, μέσω της εντολής Pocket selections, επιλέγεται η προς κατεργασία επιφάνεια.



Εικόνα 9.6.25 – Ορισμός επιπέδων κοπτικού εργαλείου

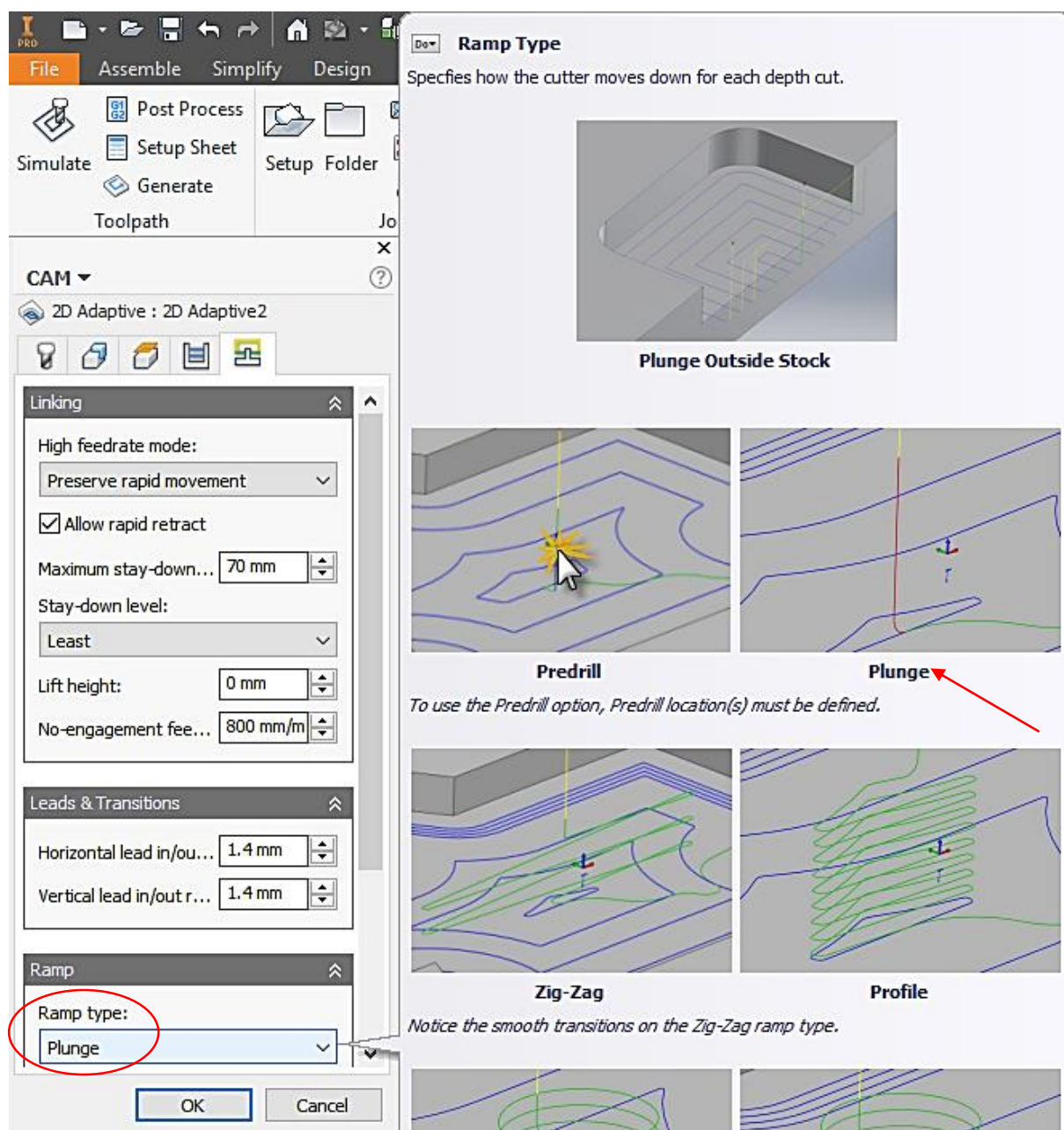
Στην τρίτη καρτέλα, καθορίζονται τα ύψη συναρτήσεων των συνθηκών κατεργασίας του κοπτικού εργαλείου. Στην προκειμένη περίπτωση, ορίζεται το ύψος του κατώτερου επιπέδου στο οποίο θα φτάσει το κοπτικό εργαλείο κατά την κατακόρυφη κίνησή του. Αυτό επιτυγχάνεται μέσω της εντολής Selection και της επιλογής της προς κατεργασία επιφάνειας.



Εικόνα 9.6.26 – Επεξεργασία πάσων

Στην τέταρτη καρτέλα, ορίζονται οι συνθήκες κατεργασίας για κάθε πάσσο. Αρχικά, επιλέγεται η ενότητα *Multiple Depths* ώστε η κατεργασία να πραγματοποιηθεί με πολλαπλά πάσσα. Κατόπιν, επιλέγεται η μέγιστη μετατόπιση του κοπτικού εργαλείου στον οριζόντιο άξονα (*Maximum roughing stepdown*) στα 14 mm, το οποίο προκύπτει από τις τεχνικές προδιαγραφές του κοπτικού εργαλείου. Έπειτα, επιλέγεται η ενότητα *Smoothing*, ώστε η ποιότητα της επιφάνειας μετά την κατεργασία να είναι όσο το δυνατόν πιο ομαλή. Έτσι, στην εντολή *Smoothing tolerance* εισάγεται η τιμή 0,01 mm.

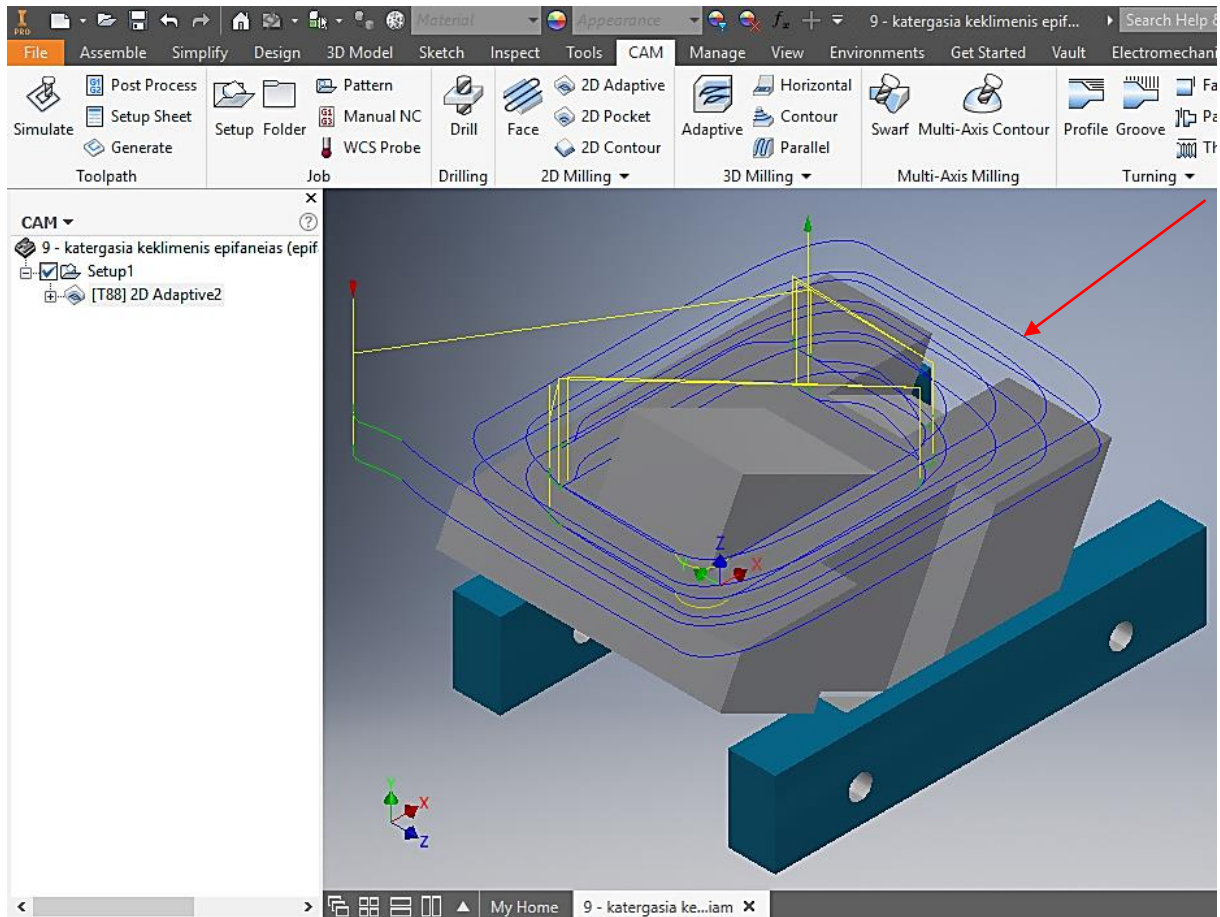




Εικόνα 9.6.27 – Επιλογή τρόπου εισαγωγής κοπτικού εργαλείου

Στην πέμπτη και τελευταία καρτέλα, ορίζεται ο τρόπος εισόδου του κοπτικού εργαλείου. Στην εντότητα Ramp επιλέγεται η εντολή Plunge, ώστε η είσοδος του κοπτικού εργαλείου να γίνει όπως φαίνεται στο παράδειγμα της εικόνας.

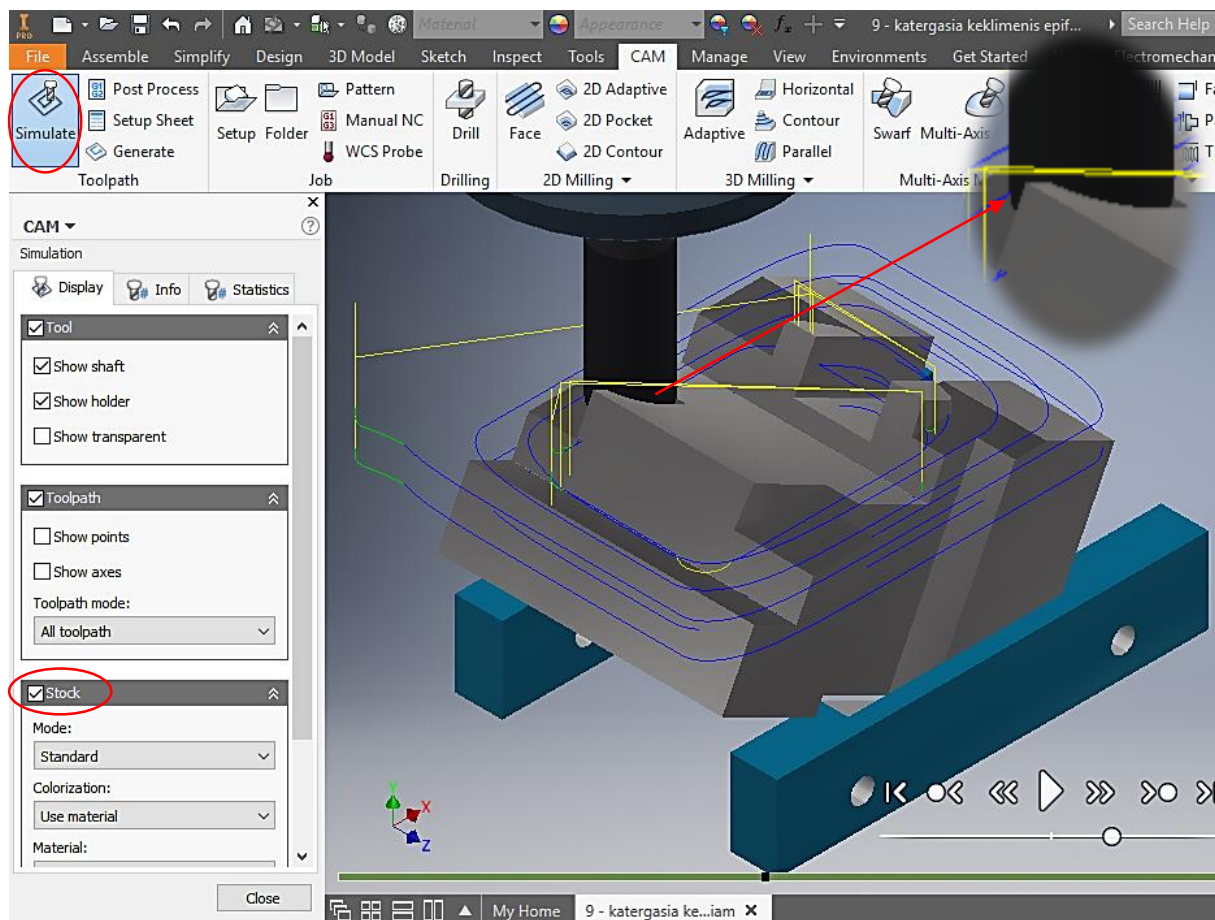
Τέλος, πατώντας το κουμπί OK ολοκληρώνεται η διαδικασία επιλογής του κοπτικού εργαλείου και ο ορισμός των συνθηκών κατεργασίας.



Εικόνα 9.6.28 – Πορεία κοπτικού εργαλείου

Αυτόματα, μόλις πατηθεί το κουμπί OK όπως προαναφέρθηκε, παράγεται η πορεία του κοπτικού εργαλείου, όπως φαίνεται στην παραπάνω εικόνα (Εικόνα 9.6.28 – Πορεία κοπτικού εργαλείου).

### 3. Προσομοίωση κατεργασίας.

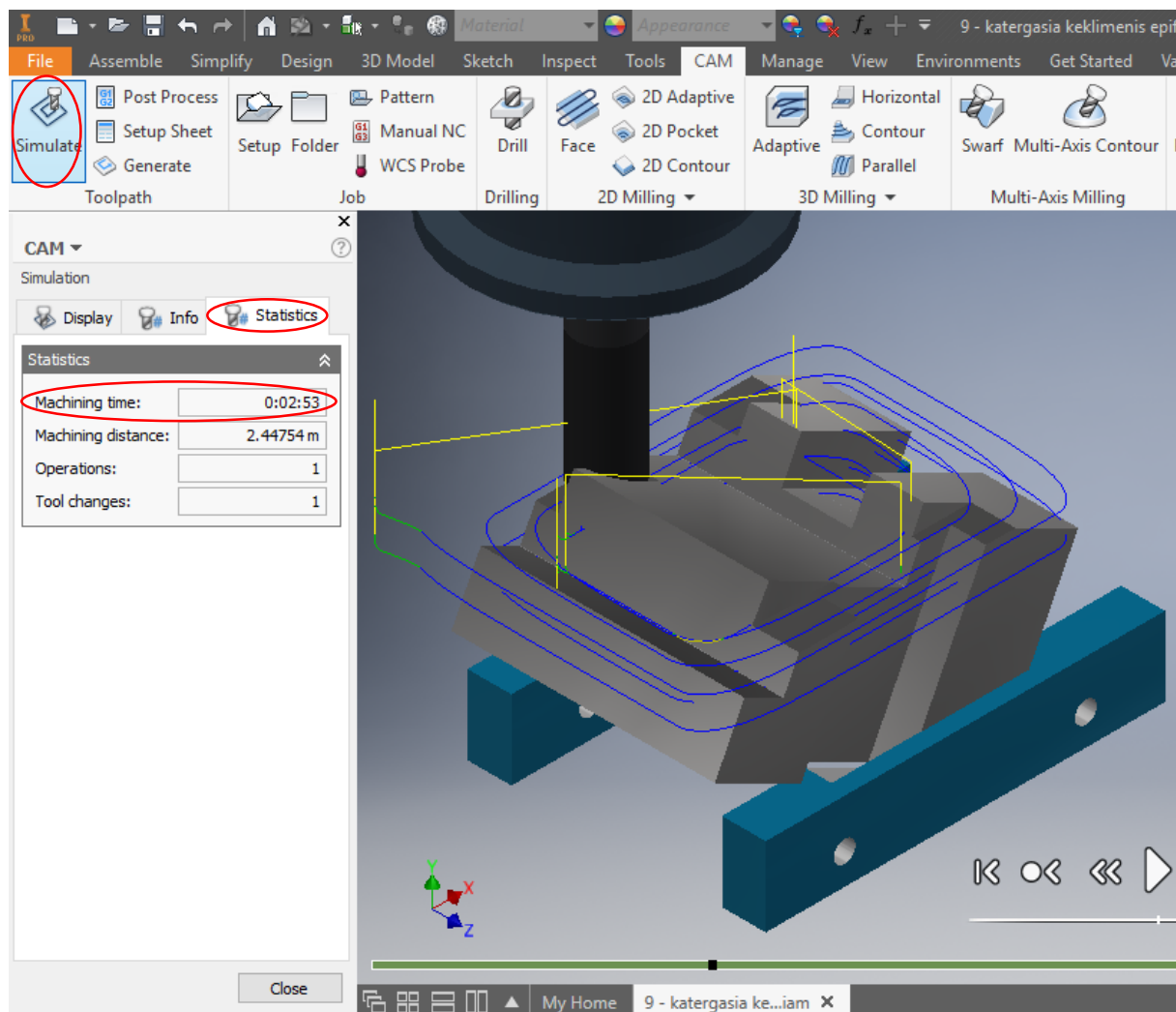


Εικόνα 9.6.29 – Προσομοίωση κατεργασίας

Στην καρτέλα CAM του προγράμματος, επιλέγεται η εντολή Simulate στο πάνω αριστερό τμήμα της οθόνης. Στην πρώτη καρτέλα της εντολής, ενεργοποιείται ο αρχικός όγκος (Stock), ώστε να γίνει αντιληπτή η αφαίρεση του επιθυμητού όγκου. Έπειτα, με το πλήκτρο Play, ξεκινάει η προσομοίωση της πορείας του κοπτικού εργαλείου.



#### 4. Χρόνος κατεργασίας.

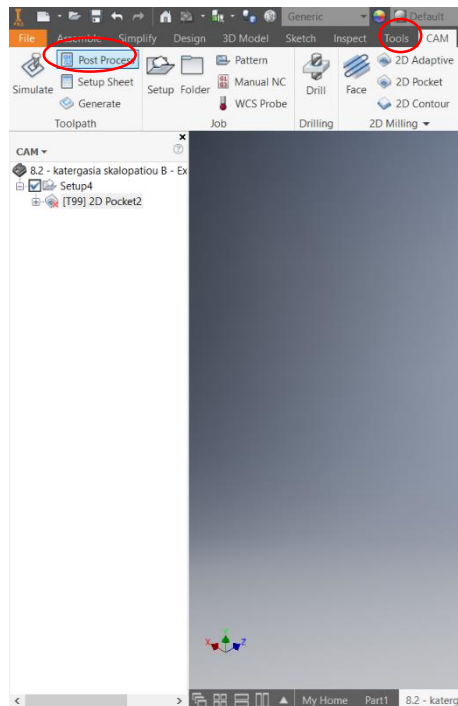


Εικόνα 9.6.30 – Χρόνος κατεργασίας

Στην τρίτη καρτέλα (Statistics) της εντολής Simulate (πάνω αριστερά στην οθόνη), εμφανίζονται κάποια στοιχεία που απορρέουν από την κατεργασία. Ένα από αυτά είναι και ο χρόνος κατεργασίας, ο οποίος είναι 0:02:53 min.

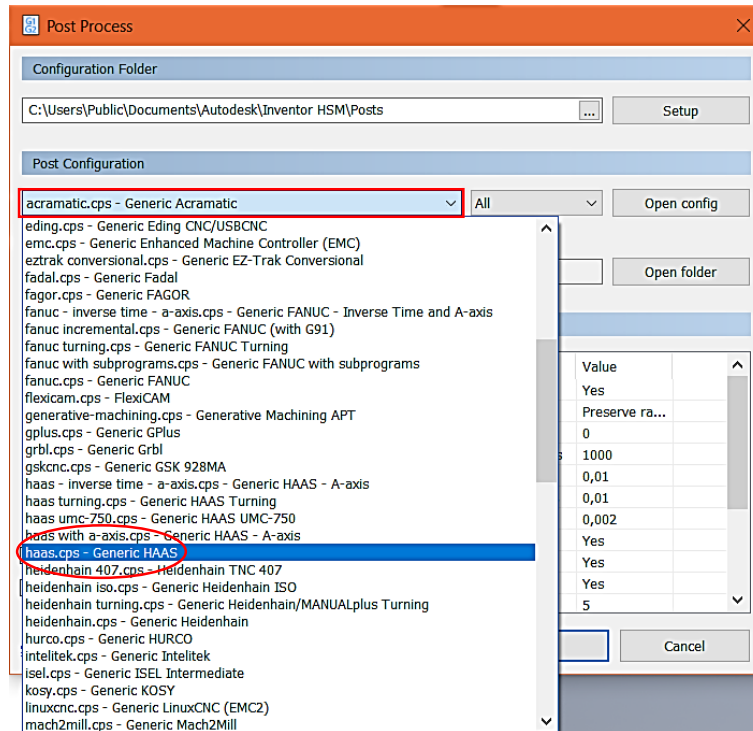
## 9.7 ΠΑΡΑΓΩΓΗ G-ΚΩΔΙΚΑ

Σε αυτό το κεφάλαιο θα γίνει μια αναφορά στην παραγωγή του κώδικα G όπως αυτός προκύπτει από την κατεργασία του δοκιμίου.



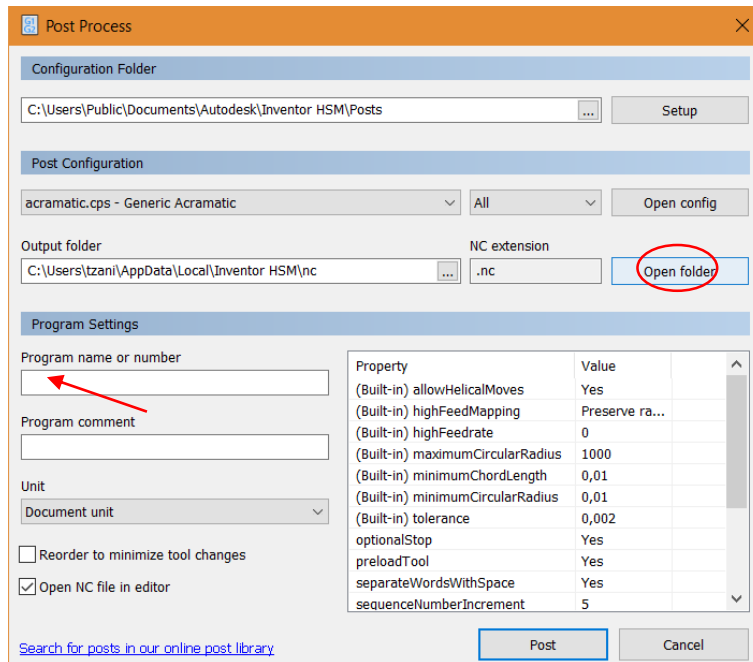
Εικόνα 9.7.1 – Άνοιγμα παραθύρου Post Process

Στην καρτέλα του CAM αριστερά στην οθόνη επιλέγεται η εντολή Post Process με σκοπό την παραγωγή του G κώδικα.



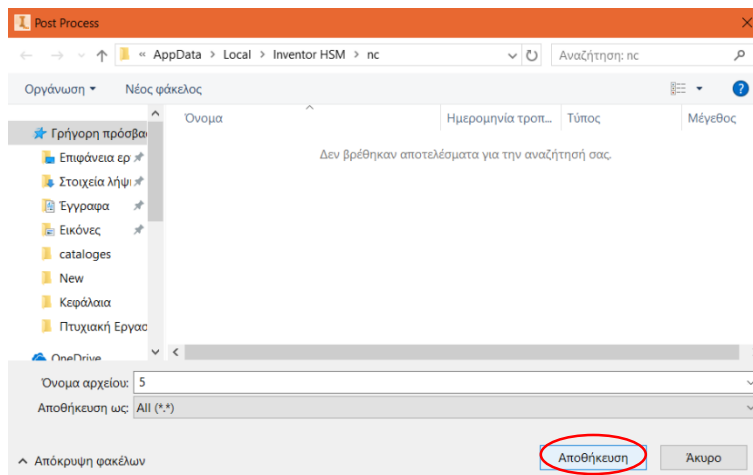
Εικόνα 9.7.2 – Επιλογή post processor

Στο αναδυόμενο παράθυρο έπειτα από αναζήτηση επιλέγεται ο κατάλληλος για την εκάστοτε εργαλειομηχανή μετεπεξεργαστής. Στην παρούσα εργασία και για την εργαλειομηχανή που έχει επιλεχθεί, αυτός είναι ο has.cps – Generic HAAS. Σημειώνεται πως είναι συμβατός με την εργαλειομηχανή.



Εικόνα 9.7.3 – Ονομασία προγράμματος

Στη συνέχεια, αφού δοθεί ένα όνομα στο πρόγραμμα, επιλέγεται η εντολή Open folder για να αποθηκευτεί ο G κώδικας σε αρχείο ώστε να μπορεί να εισαχθεί στον υπολογιστή της εργαλειομηχανής.

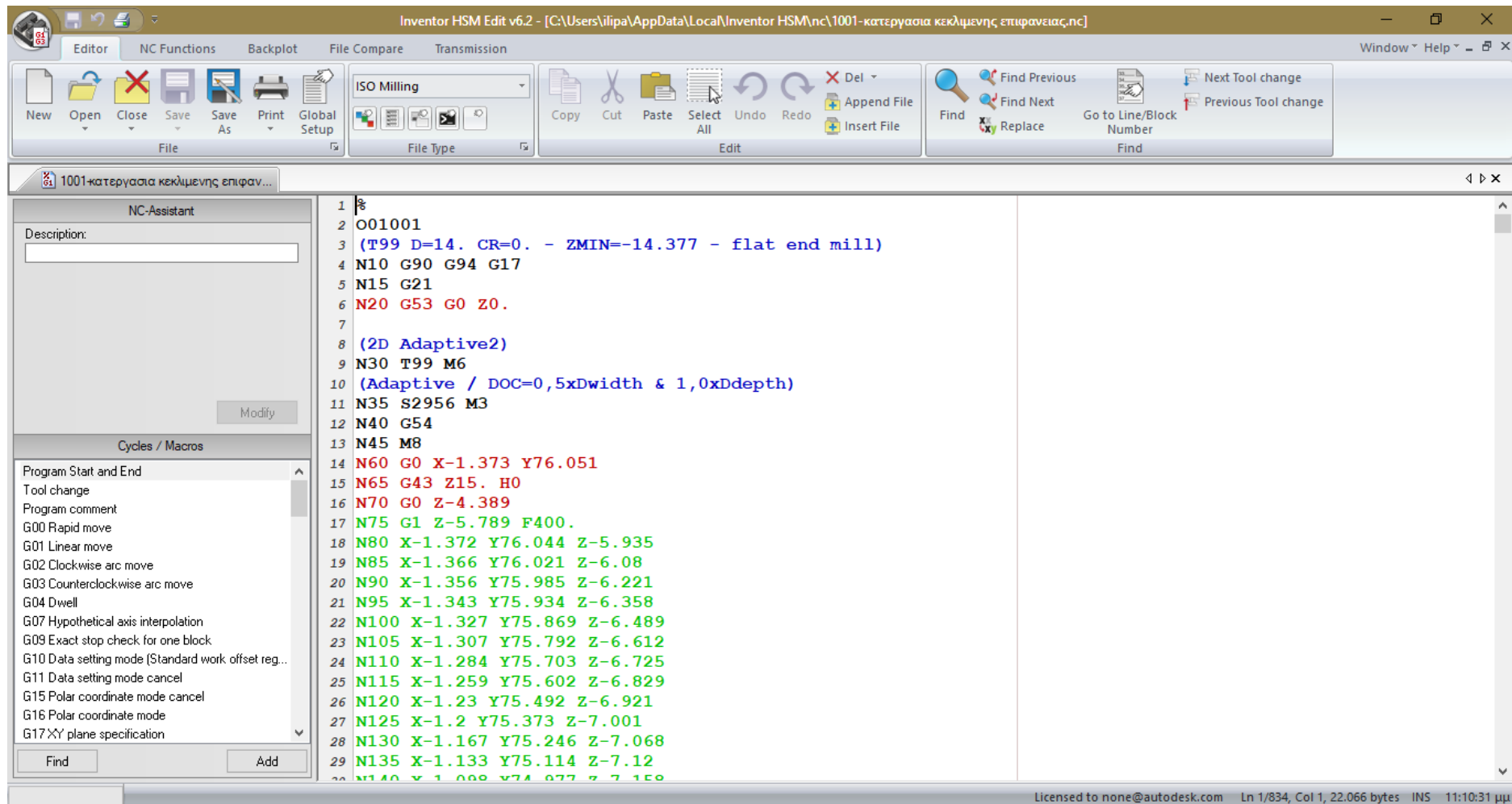


Εικόνα 9.7.4 – Αποθήκευση G-κώδικα

Τέλος, με την εντολή Αποθήκευση αποθηκεύεται το πρόγραμμα.



Στην παρακάτω εικόνα παρουσιάζεται ένα τμήμα του κώδικα G που αντιστοιχεί στην τελευταία κατεργασία του δοκιμίου, όπου δημιουργείται η κεκλιμένη επιφάνεια.



Εικόνα 9.7.5 – Τμήμα κώδικα G



## 9.8 ΧΡΟΝΟΣ ΚΑΤΑΣΚΕΥΗΣ ΔΟΚΙΜΙΟΥ

Έτσι, μετά το πέρας των κατεργασιών ο συνολικός χρόνος κατεργασίας του δοκιμίου είναι 17:44,8 λεπτά.

Όμως υπάρχει και ο συνολικός χρόνος κατασκευής του δοκιμίου ο οποίος κυμαίνεται από 23:02,6 έως 28:17,6 λεπτά.

Το εύρος του χρόνου προκύπτει ως εξής:

$$T_{\text{tot}} = T_1 + T_2 + T_3 \text{ όπου,}$$

$T_{\text{tot}}$  : Συνολικός Χρόνος Κατασκευής Δοκιμίου

$T_1$  : Συνολικός Χρόνος Κατεργασίας Δοκιμίου

$T_2$  : Χρόνος Αλλαγής Κοπτικού Εργαλείου (Σύμφωνα με το Εγχειρίδιο της εργαλειομηχανής).

$T_3$  : Χρόνος Αλλαγής Τρόπου Συγκράτησης Δοκιμίου (Προκύπτει από πειράματα που πραγματοποιήθηκαν από τρεις χειριστές, κυμαίνεται από 00:45 έως 01:30 λεπτά ανάλογα τον χειριστή και την ιδιομορφία της συσκευής συγκράτησης και πολλαπλασιάζεται με το 7 λόγω των έξι αλλαγών στον τρόπο συγκράτησης που πραγματοποιούνται κατά την κατασκευή του συγκεκριμένου δοκιμίου)

Επομένως,  $T_{\text{tot}} = 17:44,8 + 00:02,8 + [7 \times (00:45 - 01:30)] = 23:02,6 \text{ έως } 28:17,6 \text{ λεπτά.}$

## 10 ΠΡΟΒΛΗΜΑΤΑ ΚΑΙ ΑΝΤΙΜΕΤΩΠΙΣΗ

Στο συγκεκριμένο κεφάλαιο γίνεται ανάλυση των προβλημάτων που παρουσιάστηκαν κατά την εκπόνηση της παρούσας εργασίας, καθώς και του τρόπου με τον οποίο αυτά αντιμετωπίστηκαν.

- 1) Υπέρβαση ορίου στροφών της μηχανής – Αλλαγή μηχανής από Minimill σε Super Minimill.

Το πρώτο πρόβλημα που παρουσιάστηκε κατά την εκπόνηση της παρούσας εργασίας, αναφέρεται στην επιλογή της CNC εργαλειομηχανής για την μελλοντική κατασκευή του δοκιμίου. Όπως αναλύεται στο 5<sup>ο</sup> κεφάλαιο στην ενότητα Α2: «Επιλογή Μηχανής», για την επιλογή της μηχανής πρέπει να πληρούνται κάποια κριτήρια. Αρχικά είχε γίνει επιλογή της εργαλειομηχανής Minimill της εταιρείας HAAS. Στη συνέχεια, όταν υπολογίστηκαν οι συνθήκες κατεργασίας για κάθε φάση κατεργασίας, διαπιστώθηκε ότι οι στροφές της ατράκτου σε κάποιες φάσεις ξεπερνούσαν τις στροφές της ατράκτου της εργαλειομηχανής. Επομένως, επιλέχθηκε ένα άλλο μοντέλο της εταιρείας HAAS, η εργαλειομηχανή Super Minimill, η οποία έχει ακριβώς τα ίδια χαρακτηριστικά με την Minimill, τόσο σε όγκο κατεργασίας δοκιμίου όσο και σε ιδίον όγκο. Η μόνη διαφορά τους είναι ότι η Super Minimill διαθέτει μεγαλύτερο όριο στροφών ατράκτου.

- 2) Ένα αρχείο κατασκευής τεμαχίου με μέγγενη – Μεμονωμένα αρχεία κάθε κατεργασίας με μέγγενη.

Ένα από τα προβλήματα που προέκυψε, τόσο στο πρακτικό μέρος, όσο και στο μέρος της παρουσίασης με τα βίντεο των βημάτων της κατεργασίας του δοκιμίου, είναι η δημιουργία ενός μεμονωμένου αρχείου κατασκευής του δοκιμίου(από την πρώτη φάση κατεργασίας έως και την τελευταία). Όσον αφορά το πρακτικό μέρος, η συγκράτηση του δοκιμίου στη μέγγενη αλλάζει κατά τη διάρκεια της κατεργασίας. Ως αποτέλεσμα ήταν η αδυναμία ορισμού του αρχικού όγκου στην αρχή κάθε φάσης κατεργασίας, ο οποίος είναι η τελική μορφή του δοκιμίου μετά το πέρας της προηγούμενης κατεργασίας. Αυτό είχε ως συνέπεια, την αδυναμία δημιουργίας ενός ενιαίου βίντεο για την κατεργασία του δοκιμίου. Λύση σε αυτό το πρόβλημα αποτέλεσε η δημιουργία ξεχωριστών αρχείων, τα οποία περιλαμβάνουν την κάθε μία φάση κατεργασίας με τον ορισμό του σωστού αρχικού όγκου και την καταγραφή αυτής σε ξεχωριστό βίντεο.

- 3) Ορισμός αρχικού όγκου σε κάθε φάση κατεργασίας – Χρήση πρόσθετου προγράμματος Mesh Enabler.

Ένα από τα σημαντικότερα προβλήματα της εργασίας ήταν ο ορισμός του αρχικού όγκου στις φάσεις κατεργασίας και η αφαίρεση υλικού συγκεκριμένου όγκου.

Η ενέργεια αυτή πραγματοποιούταν είτε μέσω του ορισμού συνθηκών κατά τον προγραμματισμό της κατεργασίας του δοκιμίου είτε μέσω σχεδίασης του συμπληρωματικού όγκου που θα αφαιρούταν κατά την κατεργασία. Ενώ γινόταν

αυτό και δημιουργούταν η πορεία του κοπτικού εργαλείου, ο επιθυμητός όγκος δεν αφαιρούταν κατά τη διάρκεια της κατεργασίας. Για αυτό τον λόγο χρησιμοποιήθηκε ένα πρόσθετο του προγράμματος το οποίο ονομάζεται Mesh Enabler και είναι της εταιρείας Autodesk. Με τη βοήθεια αυτού του προγράμματος, υπάρχει η δυνατότητα αποθήκευσης του τελικού όγκου μίας κατεργασίας και η χρήση του ως αρχικού όγκου στην επόμενη κατεργασία. Δημιουργεί μέσω ενός πλέγματος τον όγκο ως στερεό κομμάτι, το οποίο αναγνωρίζεται από το πρόγραμμα και μπορεί να αφαιρεθεί.

4) Αδυναμία παραγωγής πορείας κοπτικού εργαλείου σε 3D κατεργασίες – Επικοινωνία μέσω forum της Autodesk

Ένα άλλο σημαντικό πρόβλημα που έπρεπε να αντιμετωπιστεί ήταν η αδυναμία παραγωγής πορείας κοπτικού εργαλείου όταν για την κατεργασία του δοκιμίου χρησιμοποιούνταν 3D εντολές. Αρχικά, για τον προγραμματισμό της κατεργασίας του δοκιμίου, χρησιμοποιήθηκαν 2D εντολές. Στην πορεία, εφόσον η εργαλειομηχανή που επιλέχθηκε διαθέτει τρεις άξονες κατεργασίας, αποφασίστηκε ο προγραμματισμός της κατεργασίας του δοκιμίου να πραγματοποιηθεί και με 3D εντολές. Όμως, ενώ ακολουθούνταν τα ίδια βήματα, το πρόγραμμα αδυνατούσε να παράγει πορεία για το κοπτικό εργαλείο. Ένα κριτήριο για αυτό το σφάλμα πιθανόν να ήταν το γεγονός ότι ο όγκος που δημιουργούσε το πρόσθετο πρόγραμμα Mesh Enabler, δεν αναγνωριζόταν από το πρόγραμμα κατά τη χρήση των 3D εντολών. Συνεπώς, πραγματοποιήθηκε επικοινωνία μέσω φόρουμ με την εταιρεία Autodesk, χωρίς όμως να βρεθεί μία λύση. Έτσι χρησιμοποιήθηκαν μόνο 2D εντολές για την κατεργασία του δοκιμίου.

5) Αποθήκευση προσομοίωσης κατεργασίας σε μορφή βίντεο – Χρήση εφαρμογής Xbox.

Το συγκεκριμένο πρόβλημα παρουσιάζεται στο πρακτικό μέρος και αφορά την αδυναμία αποθήκευσης της προσομοίωσης των κατεργασιών σε μορφή βίντεο. Σκοπός ήταν η καταγραφή των φάσεων κατεργασίας του δοκιμίου, ώστε να αποτελέσει μέρος της παρουσίασης. Το ίδιο το πρόγραμμα δεν διαθέτει κάποια εντολή ή κάποιο πρόσθετο πρόγραμμα για την πραγματοποίηση αυτής της ενέργειας.

Έτσι, χρησιμοποιήθηκε μια εφαρμογή που διαθέτει το λειτουργικό σύστημα του ηλεκτρονικού υπολογιστή στον οποίο εκπονήθηκε η εργασία. Η εφαρμογή αυτή είναι της εταιρείας Xbox και επιτρέπει την καταγραφή των εργασιών του χειριστή ενός προγράμματος όταν αυτό αναγνωριστεί ως παιχνίδι από την εφαρμογή. Ο τύπος του αρχείου που αποθηκεύεται το βίντεο είναι της μορφής .avi ώστε να είναι επεξεργάσιμο από τον χειριστή.

## 11 ΣΥΜΠΕΡΑΣΜΑΤΑ

Εδώ Στην παρούσα εργασία, πραγματοποιήθηκε μελέτη για τον σχεδιασμό, τις φάσεις κατεργασίας και την κατασκευή δοκιμίου βάσει πραγματικών συνθηκών κατεργασίας, σε σύγχρονη CNC εργαλειομηχανή. Έγινε έρευνα και επιλογή κοπτικών εργαλείων και εργαλειομηχανής, τα οποία είναι διαθέσιμα στην αγορά, ώστε βάσει των τεχνικών προδιαγραφών τους και των εγχειριδίων τους να πραγματοποιηθεί η προσομοίωση της παραγωγής του δοκιμίου. Τα συμπεράσματα που προκύπτουν από αυτή τη μελέτη είναι κυρίως ποιοτικά και είναι τα ακόλουθα.

1. Ο κύριος στόχος που τέθηκε κατά την έναρξη της εργασίας επιτεύχθηκε. Επιλέχθηκε CNC εργαλειομηχανή η οποία είναι συμβατή με μετεπεξεργαστή (post processor) που διέθετε το πρόγραμμα ηλεκτρονικής σχεδίασης, καθώς και τα κατάλληλα κοπτικά εργαλεία για να ταιριάζουν σε αυτήν. Έτσι, έγινε παραγωγή του κώδικα, ο οποίος αφού εισαχθεί στην συγκεκριμένη εργαλειομηχανή, μπορεί να κατασκευάσει το δοκίμιο της εργασίας.
2. Ο δευτερεύον στόχος ήταν η εύρεση και η ελαχιστοποίηση του χρόνου κατεργασίας συναρτήσει των βέλτιστων συνθηκών κατεργασίας. Η επίτευξή του πραγματοποιήθηκε μέσω της μεθόδου Taguchi, στην οποία αφού εισήχθησαν τα δεδομένα για τη γεωμετρία και το υλικό των κοπτικών εργαλείων, προέκυψε ο βέλτιστος δυνατός συνδυασμός για την κατασκευή του δοκιμίου. Επομένως, ο τελικός χρόνος κατεργασίας του δοκιμίου είναι 28:17,6 λεπτά και προκύπτει από την κατεργασία του δοκιμίου με τα κοπτικά εργαλεία που παρατίθενται στο αντίστοιχο Κεφάλαιο 8: «Επιλογή Κοπτικών Εργαλείων».
3. Με τη διατριβή σε αυτού του είδους τη μελέτη, έγινε γνωστή η μεθοδολογία που ακολουθείται για την ορθή επιλογή ενός κοπτικού εργαλείου. Αρχικά, το κοπτικό εργαλείο θα πρέπει να καλύπτει τις ανάγκες για την κάθε μία φάση κατεργασίας ξεχωριστά, αλλά ταυτόχρονα η συνολική κατεργασία του δοκιμίου να πραγματοποιείται μόνο με το συγκεκριμένο. Κατόπιν, η γεωμετρία του στελέχους του θα πρέπει να είναι η αντίστοιχη αυτής της εργαλειομηχανής που διατίθεται, ώστε να μπορεί να προσαρμοστεί σε αυτή απόλυτα. Στη συνέχεια, σωστό είναι να επιλεγθούν παραπάνω από ένα υλικά κατασκευής του κοπτικού εργαλείου, βάσει του υλικού του δοκιμίου φυσικά, για να πραγματοποιηθεί σύγκριση μεταξύ αυτών και επιλογή του βέλτιστου. Τέλος, είναι απαραίτητος ο σωστός σχεδιασμός του κοπτικού εργαλείου στο πρόγραμμα ηλεκτρονικής σχεδίασης και ο ορισμός των συνθηκών κοπής βάσει των υπολογισμών, όπως η πρόωση και το βάθος κοπής. Σκοπός αυτών είναι ο προγραμματισμός της κατεργασίας του δοκιμίου και η εξαγωγή του κώδικα χωρίς να προκαλέσει τόσο βλάβες στην εργαλειομηχανή όσο και καταστροφή του κοπτικού εργαλείου αλλά και του δοκιμίου.

4. Αποτέλεσμα της επιμελούς εκπόνησης της παρούσας εργασίας είναι και η κατάρτηση γνώσεων σχετικά με τον προγραμματισμό φάσεων κατεργασίας, βήμα προς βήμα, έως την πλήρη κατασκευή ενός δοκιμίου σε μία σύγχρονη CNC εργαλειομηχανή. Όπως παρατέθηκαν αναλυτικά στη μελέτη τα βήματα των φάσεων κατεργασίας, συμπεραίνεται ότι υπάρχουν πολλές παράμετροι τις οποίες θα πρέπει να προσέξει ο εκάστοτε προγραμματιστής κατά τον ορισμό τους, ώστε να υπάρξει το επιθυμητό αποτέλεσμα. Μία από αυτές τις παραμέτρους είναι ο ορισμός της κατάλληλης ταχύτητας κοπής. Πρώτα απ' όλα, θα πρέπει να υπολογιστεί σωστά βάσει της γεωμετρίας και των τεχνικών προδιαγραφών των κοπτικών εργαλείων. Έπειτα, θα πρέπει να δοθεί προσοχή κατά την πληκτρολόγησή της. Σε περίπτωση που κάποια από τις παραπάνω ενέργειες ή και οι δύο δεν εκτελεστούν σωστά, θα έχει ως αποτέλεσμα τα εξής. Εάν η ταχύτητα κοπής είναι μεγαλύτερη από αυτή που ενδύκνεται για την κατεργασία, τότε ελαχιστοποιείται η ζωή του κοπτικού εργαλείου, αλλά υπάρχει και κίνδυνος καταστροφής του. Εάν η ταχύτητα κοπής είναι μικρότερη από αυτή που ενδύκνεται για την κατεργασία, τότε θα αυξηθεί ο χρόνος κατεργασίας αλλά ταυτόχρονα υπάρχει κίνδυνος να σφηνώσει το κοπτικό εργαλείο στο δοκίμιο καταστρέφοντάς το. Τόσο στη μία περίπτωση όσο και στην άλλη, η ποιότητα της κατεργασμένης επιφάνειας δεν θα είναι η επιθυμητή.
5. Συνοψίζοντας τα δύο προηγούμενα συμπεράσματα, προκύπτει ότι η παρούσα μελέτη αποτέλεσε μία εμβάθυνση στο πρόγραμμα ηλεκτρονικής σχεδίασης, καθώς σε αυτό σχεδιάστηκε το δοκίμιο και ο τρόπος συγκράτησής του, δημιουργήθηκε η βιβλιοθήκη των κοπτικών εργαλείων με όλα τα απαραίτητα στοιχεία τους, προγραμματίστηκαν οι φάσεις κατεργασίας και τέλος παράχθηκε ο κώδικας για την κατεργασία του δοκιμίου στην επιλεγμένη εργαλειομηχανή.
6. Εκτός της εξοικείωσης με το πρόγραμμα σχεδίασης, η συγκεκριμένη εργασία αποτέλεσε μία δίοδο για την γνωριμία με νέες μεθόδους επεξεργασίας δεδομένων, όπως η μέθοδος Taguchi. Μέσω αυτής της μεθόδου, αφού εισήχθησαν σε έναν πίνακα το υλικό, η διάμετρος και οι κοπτικές ακμές των κοπτικών εργαλείων και ορίζοντας ως κριτήριο το χρόνο κατεργασίας, προέκυψε η βέλτιστη λύση από το συνδυασμό των παραπάνω.

7. Εν κατακλείδει, σημαντική συνεισφορά στη διεύρυνση του γνωστικού ορίζοντα ήταν η προσπάθεια αντιμετώπισης των προβλημάτων που εμφανίστηκαν κατά τη διάρκεια της εκπόνησης της εργασίας με μεθοδολογία. Ένα από αυτά τα προβλήματα και το πιο βασικό ήταν η αδυναμία ορισμού και αναγνώρισης από το πρόγραμμα του προς κατεργασία όγκου ως στερεό τεμάχιο, με αποτέλεσμα να μην αφαιρείται όγκος κατά την κατεργασία. Αρχικά, αφού αποκρίστηκε το ενδεχόμενο ανθρώπινου λάθους, πραγματοποιήθηκε έρευνα για την επίλυση του προβλήματος μέσω κάποιας άλλης εντολής του προγράμματος. Κατόπιν, εφόσον κάποια από τις εντολές δεν αποτέλεσε λύση, έγινε αναζήτηση κάποιου υποπρογράμματος της εταιρείας του προγράμματος ηλεκτρονικής σχεδίασης. Από την περιγραφή των υποπρογραμμάτων, βρέθηκε ένα το οποίο πιθανόν να ήταν η λύση του προβλήματος. Έτσι, έπειτα από την παρακολούθηση παρουσιάσεων με τη μεθοδολογία του, ακολούθησε η εγκατάστασή του. Εν τέλει, αποτέλεσε τη λύση για το πρόβλημα, καθώς ορίζει ως αρχικό όγκο τον κατεργασμένο όγκο από την προηγούμενη κατεργασία, και τον μετατρέπει σε στερεό τεμάχιο μέσω ενός πλέγματος.



## 12 FUTURE WORKS

Με το πέρας της παρούσας εργασίας, δίνονται κάποιες δυνατότητες για περαιτέρω επεξεργασία της. Οι δυνατότητες αυτές αναφέρονται τόσο σε πρακτικό όσο και σε θεωρητικό επίπεδο.

Όσον αφορά το πρακτικό επίπεδο, έχει παραχθεί ένας κώδικας με τον οποίο υπάρχει δυνατότητα να κατασκευαστεί το δοκίμιο της μελέτης. Αυτό είναι εφικτό με την προϋπόθεση ότι ο κώδικας θα εισαχθεί στην επιλεγμένη εργαλειομηχανή και εφόσον χρησιμοποιηθούν τα επιλεγμένα κοπτικά εργαλεία.

Το γεγονός αυτό, μπορεί να αποτελέσει βάση για μία νέα μελέτη η οποία θα είναι μία βελτιστοποίηση της υπάρχουσας. Δηλαδή, να πραγματοποιηθεί αναζήτηση και επιλογή μίας εργαλειομηχανής η οποία θα διαθέτει μεγαλύτερο αριθμό στροφών της ατράκτου, καθώς επίσης και άλλων κοπτικών εργαλείων με καλύτερες ιδιότητες, τα οποία θα είναι ικανά να αφαιρούν υλικό με μεγαλύτερες ταχύτητες κοπής. Αποτέλεσμα αυτών των ενεργειών, θα είναι η μείωση του χρόνου κατεργασίας του δοκιμίου.

Μία δεύτερη σκέψη για βελτιστοποίηση της συγκεκριμένης μελέτης, αφορά επίσης τη μείωση του χρόνου κατεργασίας, με διαφορετική όμως μεθοδολογία. Στην περίπτωση αυτή, μπορεί να πραγματοποιηθεί αλλαγή της πορείας των κοπτικών εργαλείων, όπου αυτό είναι εφικτό, με δύο προτεινόμενους τρόπους. Πρώτον, να γίνει παρέμβαση στις εντολές του ήδη υπάρχον κώδικα και δεύτερον, να χρησιμοποιηθούν διαφορετικές εντολές, όπως για παράδειγμα εντολές προγραμματισμού κέντρων κατεργασίας.

Μία άλλη πρόταση για βελτιστοποίηση της εργασίας, σχετίζεται με την επίτευξη συγκεκριμένης ποιότητας των επιφανειών του δοκιμίου. Αρχικά, να γίνει μία σχετική αναζήτηση για την ποιότητα της επιφάνειας που θα πρέπει να έχει το δοκίμιο σύμφωνα με τη θέση που βρίσκεται εντός του αεροσκάφους. Έπειτα, να ερευνηθεί εάν με τα δεδομένα αυτής της εργασίας μπορεί να επιτευχθεί η απαιτούμενη ποιότητα επιφανείας. Τέλος, εάν δεν είναι η επιθυμητή, με ποιους τρόπους (εργαλειομηχανή, κοπτικά εργαλεία και συνθήκες κοπής) μπορεί να επιτευχθεί.

Επίσης, μία άλλη σκέψη για μελλοντική επεξεργασία της εργασίας είναι ο προγραμματισμός της κατασκευής του δοκιμίου σε άλλα προγράμματα CAM ώστε να παραχθούν πιθανόν διαφορετικοί κώδικες. Αποτέλεσμα αυτού θα είναι πιθανόν οι διαφορετικοί χρόνοι κατεργασίας του δοκιμίου αποτελώντας έτσι μία συνθήκη για τη σύγκριση αυτών και την εύρεση των διαφορών τους.

Τέλος, όσον αφορά το θεωρητικό επίπεδο, η συγκεκριμένη εργασία μπορεί να αποτελέσει τη βάση για μια οικονομοτεχνική μελέτη, με σκοπό την εύρεση του κόστους παραγωγής του δοκιμίου τόσο μεμονωμένα όσο και σε μία γραμμή παραγωγής.

### 13 ΒΙΒΛΙΟΓΡΑΦΙΑ

Agapiou, D. A. S. & J. S., 2016. *Metal Cutting Theory And Practice*. Third Edition ed. s.l.:CRC Press.

Altintas, Y., 2012. *Manufacturing Automation*. Second Edition ed. USA: Cambridge University Press.

Anotaipaboon, S. S. M. & W., 2007. *Advanced Numerical Methods To Optimize Cutting Operations of Five-Axis Milling Machine*. First Edition ed. New York: Springer Berlin Heidelberg.

Check, S. F. K. & A. F., 1998. *Technology of Machine Tools*. Fifth Edition ed. s.l.:McGraw-Hill International Editions.

Clark, D. A., 2014. *Crowood Metalworking Guides - Milling*. First Edition ed. Ramsbury, Marlborough: The Crowood Press Ltd..

Davis, J. R., 1992. *AMS Materials Engineering Dictionary*. First Edition ed. United States of America: ASM International.

Rajput, R. K., 2005. *Comprehensive Manufacturing Practice*. New Delhi: Laxmi Publications (P) Ltd..

Sahai, S. K. K. & D. R., 2012. An Overview on Taguchi Method. *International Journal of Engineering and Mathematical Sciences*, I(1), pp. 11-18.

Sen, M., 2006. *Basic Mechanical Engineering*. First Edition ed. Baheriya: Laxmi Publications (P) Ltd..

Singh, D. S., 2010. *Principles Of Mechanical Engineering*. First Edition ed. New Delhi: S. Chand & Co Ltd..

Singh, D. S., 2012. *Basic Mechanical Engineering*. Revised Edition ed. New Delhi: S. Chand & Co Ltd..

Smid, P., 2007. *CNC Programming Handbook -A Comprehensive Guide To Practical CNC Programming*. Third Edition ed. s.l.:Industrial Press Inc..

William D. Callister, J., 2015. *Επιστήμη Και Τεχνολογία Των Υλικών*. Πέμπτη Έκδοση ed. Θεσσαλονίκη: Εκδόσεις Τζιόλα.

Βατάλης, Α. Σ., 2009. *Επιστήμη & Τεχνολογία Υλικών*. Δεύτερη Έκδοση ed. Θεσσαλονίκη: Εκδόσεις Ζήτη.

Δημοσθένους, Α. Κ. Μ. & Γ. Α., 2004. *Μηχανουργική Τεχνολογία-Διαμόρφωση Με Αποβολή Υλικού-Χύτευση-Συγκόλληση Και Πλαστική Παραμόρφωση*. Δεύτερη Έκδοση ed. Αθήνα: Εκδόσεις Πατάκη.

Παντελής, Γ. Δ. Χ. & Δ. Ι., 2008. *Επιστήμη Και Τεχνολογία Των Μεταλλικών Υλικών*. Δεύτερη Έκδοση ed. Αθήνα: Εκδόσεις Παπασωτηρίου.

Σκιττίδης, Δ. Φ. Χ., 2000. *Βασικές Αρχές Αριθμητικού Ελέγχου και Προγραμματισμός Εργαλειομηχανών CNC*. Πρώτη Έκδοση ed. Αθήνα: Σύγχρονη Εκδοτική Ε.Π.Ε..

Στεργίου, Κ. Ι. Σ. & Ι. Κ., 2009. *Τεχνολογία Κατεργασίας Μετάλλων*. Αθήνα: Σύγχρονη Εκδοτική Ε.Π.Ε..

## 14 ΠΑΡΑΡΤΗΜΑ Α: ΘΕΩΡΗΤΙΚΟ ΜΕΡΟΣ

Εδώ επισυνάπτονται τα ημερολόγια της εργασίας (εφόσον υπάρχουν).

**ΠΙΝΑΚΑΣ 15.19.** Κωδικοποίηση, κατά το σύστημα Α.Α., των κραμάτων διαμόρφωσης του αλουμινίου, ανάλογα με τα κύρια στοιχεία προσθήκης.

ΚΩΔΙΚΟΣ	ΚΥΡΙΑ ΠΡΟΣΘΗΚΗ
1XXX	Αλουμίνιο ελάχιστης καθαρότητας 99,00%
2XXX	Χαλκός
3XXX	Μαγγάνιο
4XXX	Πυρίτιο
5XXX	Μαγνήσιο
6XXX	Μαγνήσιο και πυρίτιο
7XXX	Ψευδάργυρος
8XXX	Άλλα στοιχεία
9XXX	Μη χρησιμοποιούμενη σειρά

Εικόνα 14.1 – Σειρά κράματος βάσει των κύριων στοιχείων προσθήκης

**ΠΙΝΑΚΑΣ 15.21.** Κωδικοποίηση, κατά το σύστημα A.A., των κραμάτων αλουμινίου, ανάλογα με τις κατεργασίες που έχουν υποστεί.

ΚΩΔΙΚΟΣ	ΚΑΤΕΡΓΑΣΙΑ
F	Προϊόν όπως παρήχθη, χωρίς μηχανική ή θερμική κατεργασία.
O	Ανόπτηση
H	Ενδοτράχυνση, μόνο για τα κράματα διαμόρφωσης
H1X	Μόνον ενδοτράχυνση, (το X αναφέρεται στο βαθμό ενδοτράχυνσης):
	H11: Κράμα ελάχιστης σκληρότητας
	H12: Κράμα σκληρυμένο κατά 25%
	H14: Κράμα σκληρυμένο κατά 50%
	H16: Κράμα σκληρυμένο κατά 75%
	H18: Κράμα σκληρυμένο κατά 100%
	H19: Υπέροκληρο κράμα
H2X	Ενδοτράχυνση ακολουθούμενη από ανόπτηση αποκατάστασης. Το X κυμαίνεται από 1 έως 8, υποδηλώνοντας το βαθμό σκλήρυνσης μετά την ανόπτηση.
H3X	Ενδοτράχυνση ακολουθούμενη από θερμική κατεργασία σταθεροποίησης σε χαμηλή θερμοκρασία, προκειμένου να αποφευχθεί σκλήρυνση λόγω γήρανσης. Το X κυμαίνεται από 1 έως 8, υποδηλώνοντας το βαθμό σκλήρυνσης πριν από τη σταθεροποίηση.
T	Θερμική κατεργασία σκλήρυνσης με γήρανση
T1	Βαφή από τη θερμοκρασία θερμής μορφοποίησης και φυσική γήρανση.
T2	Βαφή από τη θερμοκρασία θερμής μορφοποίησης, μηχανική κατεργασία εν ψυχρώ και φυσική γήρανση.
T3	Θερμική κατεργασία ομογενοποίησης, βαφή, κατεργασία εν ψυχρώ και φυσική γήρανση.
T4	Θερμική κατεργασία ομογενοποίησης, βαφή και φυσική γήρανση.
T5	Βαφή από τη θερμοκρασία θερμής μορφοποίησης και τεχνητή γήρανση, σε θερμοκρασία υψηλότερη αυτής του περιβάλλοντος.
T6	Θερμική κατεργασία ομογενοποίησης, βαφή και τεχνητή γήρανση, σε θερμοκρασία υψηλότερη αυτής του περιβάλλοντος.
T7	Θερμική κατεργασία ομογενοποίησης, βαφή, θερμική κατεργασία σταθεροποίησης.
T8	Θερμική κατεργασία ομογενοποίησης, βαφή, κατεργασία εν ψυχρώ και τεχνητή γήρανση.
T9	Θερμική κατεργασία ομογενοποίησης, βαφή, τεχνητή γήρανση και κατεργασία εν ψυχρώ.
T10	Βαφή από τη θερμοκρασία θερμής μορφοποίησης, κατεργασία εν ψυχρώ και τεχνητή γήρανση.
W	Θερμική κατεργασία ομογενοποίησης. Χρησιμοποιείται μόνο για τα κράματα, που υφίστανται σκλήρυνση με γήρανση.

Εικόνα 14.2 – Κωδικοποίηση κράματος βάσει των κατεργασιών που έχει υποστεί

**ΠΙΝΑΚΑΣ 15.23.** Μέσες τιμές μηχανικών ιδιοτήτων και κύριες χρήσεις κραμάτων ΑΙ που υπόκεινται σε σκλήρυνση δομής με θερμικές κατεργασίες.

ΚΩΔΙΚΟΣ ΚΡΑΜΑΤΟΣ	ΜΗΧΑΝΙΚΕΣ ΙΔΙΟΤΗΤΕΣ			ΑΝΤΟΧΗ ΣΕ ΚΟΠΩΣΗ*	ΧΡΗΣΕΙΣ
	$\sigma_{0,2}$ (MPa)	$\sigma_{TS}$ (MPa)	$\epsilon$ (%)		
2014-O	100	200	20	90	Δομικά στοιχεία αεροσκαφών και πλαισίων φορτηγών. Περιέχουν 4,4%Cu-0,5%Mg-0,8%Mn-0,8%Si.
2014-T4	290	420	18	140	
2014-T6	430	480	12	125	
2024-O	100	200	20	90	Στην αεροναυπηγική, σε σκελετούς οικοδομών, κοχλίες, αθλητικά είδη. Περιέχουν 4,4%Cu-1,5%Mg-0,6%Mn.
2024-T4	320	460	18	140	
2024-T6	390	475	10	125	
6061-O	55	125	25	50	Σε αμαξώματα αυτοκινήτων και φορτηγών, στην οικοδομική, σε πυλώνες και αγωγούς. Περιέχουν 1%Mg-0,6%Si-0,2%Cr-0,3% Cu.
6061-T4	150	245	22	90	
6061-T6	275	410	17	100	
6070-O70	145	20	65	100	Σε συγκολλητές κατασκευές και στη ναυπηγική. Περιέχουν 0,8%Mg-1,4%Si-0,7%Mn-0,3%Cu.
6070-T6	365	400	12		
7005-O	85	200	20	–	Για υλικά οδικών και σιδηροδρομικών μεταφορών. Περιέχουν 4,5%Zn-1,4%Mg-0,12%Cr-0,4%Mn-0,15%Zr.
7005-T6	295	360	13	155	
7075-O	105	230	17	–	Στην αεροναυπηγική, στην κατασκευή όπλων, βαλβίδων, αθλητικών ειδών. Περιέχουν 5,6%Zn-2,5%Mg-1,6%Cu-0,3%Cr.
7075-T6	500	570	11	160	

\* Σε  $5 \times 10^8$  κύκλους.

Εικόνα 14.3 – Χρήση κραμάτων αλουμινίου 2024



## Εισαγωγή στη μέθοδο Taguchi

*International Journal of Engineering and Mathematical Sciences*

**IJEMS**

*Jan.- June 2012, Volume 1, pp.11-18*

*ISSN (Print) - ..... (Online) - .....*

*All rights reserved ([www.ijems.org](http://www.ijems.org))*

### **An Overview on Taguchi Method**

**Shyam Kumar Karna**

Ph.D. Scholar, A.P. (Mech), ACME, Palwal

**Dr. Rajeshwar Sahai**

Associate Professor (Mech), MRIU, Faridabad

#### **Abstract**

Optimization of process parameters is done to have great control over quality, productivity and cost aspects of the process. Off-line quality control is considered to be an effective approach to improve product quality at a relatively low cost. Analysis of variance (ANOVA) is used to study the effect of process parameters on the machining process. The approach is based on Taguchi method, the signal-to-noise (S/N) ratio and the analysis of variance (ANOVA) are employed to study the performance characteristics.

**Keywords:** Taguchi method, P- diagram, orthogonal arrays, S/N ratio, DOE & ANOVA

#### **Introduction**

Taguchi methods are statistical methods developed by Genichi Taguchi to improve the quality of manufactured goods and more recently also applied to engineering (Rosa et al. 2009), biotechnology (Rao et al. 2008, Rao et al. 2004), marketing and advertising (Selden 1997). Professional statisticians have welcomed the goals and improvements brought about by Taguchi methods, particularly by Taguchi's development of designs for studying variation. After World War II, the Japanese manufacturers were struggling to survive with very limited resources. If it were not for the advancements of Taguchi the country might not have stayed afloat let alone flourish as it has. Taguchi revolutionized the manufacturing process in Japan through cost savings. He understood, like many other engineers, that all manufacturing processes are affected by outside influences, noise. However, Taguchi realized methods of identifying those noise sources, which have the greatest effects on product variability. His ideas have been adopted by successful manufacturers around the globe because of their results in creating superior production processes at much lower costs.

#### **Literature Review:**

"The enemy of mass production is variability. Success in reducing it will invariably simplify processes, reduce scrap, and lower costs" (Box and Bisgaard 1988). The main objective in the Taguchi method is to design robust systems that are reliable under uncontrollable conditions (Taguchi 1978, Byrne 1987 and Phadke 1989). The method aims to adjust the design parameters (known as the control

*An Overview On Taguchi Method*

factors) to their optimal levels, such that the system response is robust – that is, insensitive to noise factors, which are hard or impossible to control (Phadke1989). In the 1980s Genichi Taguchi (1985; 1986; 1993) received international attention for his ideas on variation reduction, starting with the translation of his work published in Taguchi and Wu (1979).

### **Process Optimization**

Process optimization is the discipline of adjusting a process to optimize some specified set of parameters without violating some constraint. The most common goals are minimizing cost, maximizing throughput, and/or efficiency. This is one of the major quantitative tools in industrial decision-making. When optimizing a process, the goal is to maximize one or more of the process specifications, while keeping all others within their constraints.

### **Process Optimization Tools**

Many relate process optimization directly to use of statistical techniques to identify the optimum solution. This is not true. Statistical techniques are definitely needed. However, a thorough understanding of the process is required prior to committing time to optimize it. Over the years, many methodologies have been developed for process optimization including Taguchi method, six sigma, lean manufacturing and others. All of these begin by an exercise to create the process map.

### **Taguchi's method:**

Taguchi's techniques have been used widely in engineering design (Ross 1996 & Phadke 1989). The Taguchi method contains system design, parameter design, and tolerance design procedures to achieve a robust process and result for the best product quality (Taguchi 1987 & 1993). The main trust of Taguchi's techniques is the use of parameter design (Ealey Lance A.1994), which is an engineering method for product or process design that focuses on determining the parameter (factor) settings producing the best levels of a quality characteristic (performance measure) with minimum variation. Taguchi designs provide a powerful and efficient method for designing processes that operate consistently and optimally over a variety of conditions. To determine the best design, it requires the use of a strategically designed experiment, which exposes the process to various levels of design parameters.

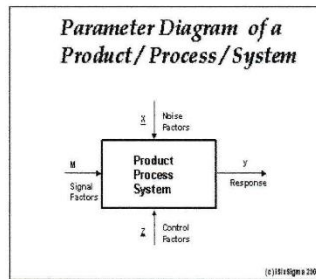
Experimental design methods were developed in the early years of 20th century and have been extensively studied by statisticians since then, but they were not easy to use by practitioners (Phadke 1989). Taguchi's approach to design of experiments is easy to be adopted and applied for users with limited knowledge of statistics; hence it has gained a wide popularity in the engineering and scientific community. Taguchi specified three situations:

- Larger the better (for example, agricultural yield);
- Smaller the better (for example, carbon dioxide emissions); and
- On-target, minimum-variation (for example, a mating part in an assembly).

Εικόνα 14.4 – Μέθοδος Taguchi

*Shyam Kumar Karna & Rajeshwar Sahai*

P-Diagram



Taguchi has used Signal-Noise (S/N) ratio as the quality characteristic of choice. S/N ratio is used as measurable value instead of standard deviation due to the fact that, as the mean decreases, the standard deviation also decreases and vice versa.

#### Contributions of Taguchi Methods:

Taguchi has made a very influential contribution to industrial statistics. Key elements of his quality philosophy include the following:

**Taguchi loss function** (Ross 1996): used to measure financial loss to society resulting from poor quality;

**The philosophy of off-line quality control** (Logothetis and Wynn 1989): designing products and processes so that they are insensitive ("robust") to parameters outside the design engineer's control; and Innovations in the statistical design of experiments: Atkinson, Donev, and Tobias, (2007), notably the use of an outer array for factors that are uncontrollable in real life, but are systematically varied in the experiment. Taguchi proposed a standard 8-step procedure for applying his method for optimizing any process.

#### Taguchi's Rule for Manufacturing:

Taguchi realized that the best opportunity to eliminate variation is during the design of a product and its manufacturing process. Consequently, he developed a strategy for quality engineering that can be used in both contexts. The process has three stages:

- I. System design
- II. Parameter design
- III. Tolerance design

Εικόνα 14.5 - Μέθοδος Taguchi

*An Overview On Taguchi Method*

**System design**

This is design at the conceptual level, involving creativity and innovation.

**Parameter design**

Once the concept is established, the nominal values of the various dimensions and design parameters need to be set, the detail design phase of conventional engineering. This is sometimes called robustification.

**Tolerance design**

With a successfully completed parameter design, and an understanding of the effect that the various parameters have on performance, resources can be focused on reducing and controlling variation in the critical few dimensions.

**Eight-Steps in Taguchi Methodology:**

- Step-1: Identify the main function, side effects, and failure mode
- Step-2: Identify the noise factors, testing conditions, and quality characteristics
- Step-3: Identify the objective function to be optimized
- Step-4: Identify the control factors and their levels
- Step-5: Select the orthogonal array matrix experiment
- Step-6: Conduct the matrix experiment
- Step-7: Analyze the data, predict the optimum levels and performance
- Step-8: Perform the verification experiment and plan the future action

**Methodology Used: Taguchi Techniques**

Dr. Taguchi's Signal-to-Noise ratios (S/N), which are log functions is based on "ORTHOGONAL ARRAY" experiments which gives much reduced "variance" for the experiment with "optimum settings" of control parameters. Thus the marriage of Design of Experiments with optimization of control parameters to obtain BEST results is achieved in the Taguchi Method. "Orthogonal Arrays" (OA) provide a set of well balanced (minimum)experiments & desired output, serve as objective functions for optimization, help in data analysis and prediction of optimum results.

**Mathematical modeling:**

"ORTHOGONAL ARRAYS" (OAs) experiments

Using OAs significantly reduces the number of experimental configurations to be studied Montgomery, (1991). The effect of many different parameters on the performance characteristic in a process can be examined by using the orthogonal array experimental design proposed by Taguchi. Once the parameters affecting a process that can be controlled have been determined, the levels at which these parameters should be varied must be determined. Determining what levels of a variable to test requires an in-depth understanding of the process, including the minimum, maximum, and

Εικόνα 14.6 - Μέθοδος Taguchi



*Shyam Kumar Karna & Rajeshwar Sahai*

current value of the parameter. If the difference between the minimum and maximum value of a parameter is large, the values being tested can be further apart or more values can be tested. If the range of a parameter is small, then less value can be tested or the values tested can be closer together.

**Array Selector**

		Number of Parameters (P)																															
		2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16	17	18	19	20	21	22	23	24	25	26	27	28	29	30	31		
Number of Levels	2	L4	L4	L8	L8	L8	L8	L8	L12	L12	L12	L12	L16	L16	L16	L32	L32	L32	L32	L32	L32	L32	L32	L32	L32	L32	L32	L32	L32	L32	L32	L32	
	3	L9	L9	L18	L18	L18	L18	L18	L27	L27	L27	L27	L27	L36	L36	L36	L36	L36	L36	L36	L36	L36	L36	L36	L36	L36	L36	L36	L36	L36	L36	L36	
	4	L'16	L'16	L'16	L'16	L'32	L'32	L'32	L'32	L'32	L'32	L'32	L'32	L'32	L'32	L'32	L'32	L'32	L'32	L'32	L'32	L'32	L'32	L'32	L'32	L'32	L'32	L'32	L'32	L'32	L'32	L'32	L'32
	5	L25	L25	L25	L25	L25	L50	L50	L50	L50	L50	L50	L50	L50	L50	L50	L50	L50	L50	L50	L50	L50	L50	L50	L50	L50	L50	L50	L50	L50	L50	L50	L50
	6	L25	L25	L25	L25	L25	L25	L25	L25	L25	L25	L25	L25	L25	L25	L25	L25	L25	L25	L25	L25	L25	L25	L25	L25	L25	L25	L25	L25	L25	L25	L25	L25

The Taguchi method is a powerful tool for designing high quality systems. To increase the experimental efficiency, the L18 mixed orthogonal table in the Taguchi quality design. Ross (1988) is used to determine the significant machining factors. In the experiments, we select six influential machining parameters, such as cutting tools of different materials, depth of cut, cutting speed, feed rate, working temperature and ultrasonic power, each of which has three different levels (high, medium and low levels).

Experiment	P1	P2	P3	P4	P5	P6	P7	P8
1	1	1	1	1	1	1	1	1
2	1	1	2	2	2	2	2	2
3	1	1	3	3	3	3	3	3
4	1	2	1	1	2	2	3	3
5	1	2	2	2	3	3	1	1
6	1	2	3	3	1	1	2	2
7	1	3	1	2	1	3	2	3
8	1	3	2	3	2	1	3	1
9	1	3	3	1	3	2	1	2
10	2	1	1	3	3	2	2	1
11	2	1	2	1	1	3	3	2
12	2	1	3	2	2	1	1	3
13	2	2	1	2	3	1	3	2
14	2	2	2	3	1	2	1	3
15	2	2	3	1	2	3	2	1
16	2	3	1	3	2	3	1	2
17	2	3	2	1	3	1	2	3
18	2	3	3	2	1	2	3	1

**Design of Experiment (Doe's) Requires Planning:**

- I. Design and Communicate the Objective:
- II. Define the Process:
- III. Select a Response and Measurement System:
- IV. Ensure that the Measurement System is Adequate:
- V. Select Factors to be studied:
- VI. Select the Experimental Design:
- VII. Set Factor Levels:
- VIII. Final Design Considerations:

Εικόνα 14.7 - Μέθοδος Taguchi

*An Overview On Taguchi Method*

**Analyzing and Examining Result:**

- (i) Determine the parameters signification (ANOVA)-Analysis of variance (Hafeez et.al 2002)
- (ii) Conduct a main effect plot analysis to determine the optimal level of the control factors.
- (iii) Execute a factor contribution rate analysis.
- (iv) Confirm experiment and plan future application

**Conclusion:**

Taguchi started to develop new methods to optimize the process of engineering experimentation. He believed that the best way to improve quality was to design and build it into the product. He developed the techniques which are now known as Taguchi Methods. His main contribution lies not in the mathematical formulation of the design of experiments, but rather in the accompanying philosophy. His concepts produced a unique and powerful quality improvement technique that differs from traditional practices. He developed manufacturing systems that were "robust" or insensitive to daily and seasonal variations of environment, machine wear and other external factors.

The Taguchi approach to quality engineering places a great deal of emphasis on minimizing variation as the main means of improving quality. The idea is to design products and processes whose performance is not affected by outside conditions and to build this in during the development and design stage through the use of experimental design. The method includes a set of tables that enable main variables and interactions to be investigated in a minimum number of trials.

Taguchi Method uses the idea of Fundamental Functionality, which will facilitate people to identify the common goal because it will not change from case to case and can provide a robust standard for widely and frequently changing situations. It is also pointed out that the Taguchi Method is also very compatible with the human focused quality evaluation approaches that are coming up.

**References:**

1. Atkinson, A. C. and Donev, A. N. and Tobias, R. D.: "Optimum Experimental Designs, with SAS", Oxford University Press, (2007).
2. Box, G. and S. Bisgaard: "Statistical Tools for Improving Designs", Mechanical Engineering, Vol. 110 No (1), pp. 32-40, (1988).
3. Byrne D. M. , S. Taguchi: "The Taguchi approach to parameter design, "Quality Progress, vol. 20 (12), pp. 19-26, (1987).
4. Ealey Lance A.: "Quality by design Taguchi methods and US industry". 2<sup>nd</sup> ed. Sidney: Irwin professional publishing and ASI Press; p. 189-207, (1994).
5. Hafeez K., H. Rowland, Kanji, S.Iqbal: "Design optimization using ANOVA", Journal of Applied Statistics, vol. 29, issue 6, pages 895-906, (2002).
6. Logothetis, N. and Wynn, H. P.: "Quality Through Design: Experimental Design, Off-line Quality Control, and Taguchi's Contributions". Oxford University Press, Oxford Science Publications, (1989).



*Shyam Kumar Karna & Rajeshwar Sahai*

7. Montgomery, D. C.: "Design and Analysis of Experiments," ed. John Wiley, New York, 1991.
8. Phadke, M.S., "Quality Engineering Using Robust Design". Englewood Cliffs, NJ: Prentice-Hall, (1989).
9. Ross, P.J.: "Taguchi Techniques for Quality Engineering: Loss Function, Orthogonal Experiments, Parameter and Tolerance Design - 2nd ed.", New York, NY: McGraw-Hill, (1996).
10. Rosa, Jorge Luiz; Robin, Alain; Silva, M. B.; Baldan, Carlos Alberto; Peres, Mauro Pedro: "Electrodeposition of copper on titanium wires: Taguchi experimental design approach." Journal of Materials Processing Technology, v. 209, p. 1181-1188, (2009).
11. Rao, R. Sreenivas; R.S. Prakasham, K. Krishna Prasad, S. Rajesham, P.N. Sarma, L. Venkateswar Rao: "Xylitol production by Candida sp.: parameter optimization using Taguchi approach". Process Biochemistry 39 (8): 951-956, (2004).
12. Rao, Ravella Sreenivas; C. Ganesh Kumar, R. Shetty Prakasham, Phil J. Hobbs: "The Taguchi methodology as a statistical tool for biotechnological applications: A critical appraisal". Biotechnology Journal 3 (4): 510-523, (2008).
13. Selden, Paul H.: "Sales Process Engineering: A Personal Workshop" Milwaukee, Wisconsin: ASQ Quality Press. p. 237, (1997).
14. Taguchi, G.: "Off-line and On-line Quality Control Systems," Proceeding of International Conference on Quality, Tokyo, Japan, (1978).
15. Taguchi, G. and Y. Wu: "Introduction to Off-Line Quality Control", Central Japan Quality Control Association, Nagoya, Japan, (1979).
16. Taguchi, G.: "Quality Engineering in Japan", Bulletin of the Japan Society of Precision Engineering, Vol 19 No (4), pp. 237-242, (1985).
17. Taguchi, G.: "Introduction to Quality Engineering - Designing Quality into Products and Processes", Asian Productivity Organization, Tokyo, (1986).
18. Taguchi, G.: "System of Experimental Design", Unipub/Kraus, International Publication, (1987).
19. Taguchi, G.: "Taguchi on Robust technology development methods". ASME Press, New York, 1-40, (1993).

## 15 ΠΑΡΑΡΤΗΜΑ Β: ΜΕΛΕΤΗ ΚΑΤΕΡΓΑΣΙΑΣ ΔΟΚΙΜΙΟΥ

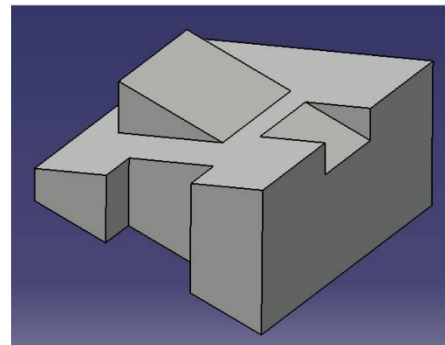
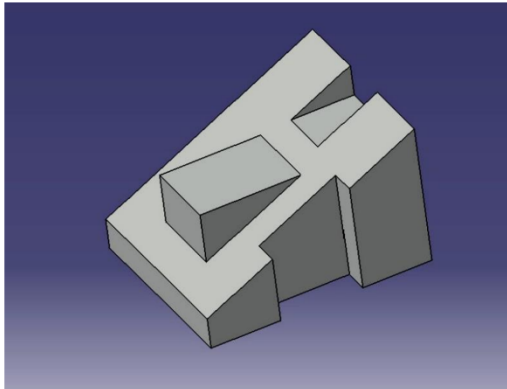
### Αρχικό Φασεολόγιο

#### Σχεδιασμός Εργασιών Κατεργασίας Δοκιμίου Part-1 (Φασεολόγιο - Process Planning)

Καθηγητής Φιλήμων Σκιττίδης

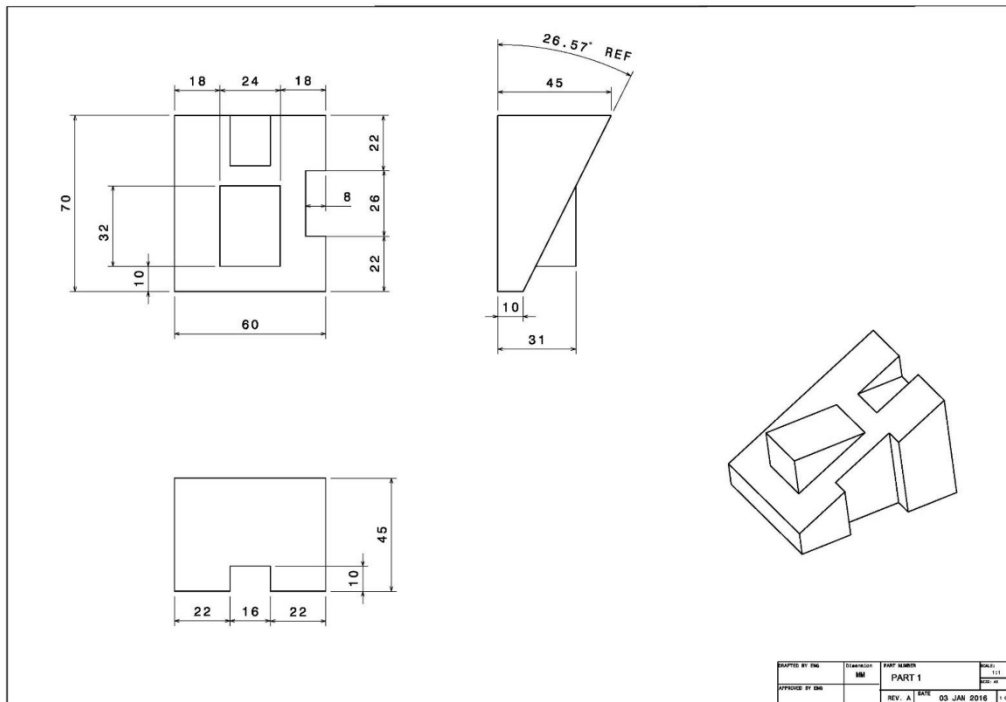
Όνομα δοκιμίου:	Part-1
Τύπος υλικού:	AL 2024-T3
Διαστάσεις πρώτης ύλης:	75mm X 65mm X 50mm
Βάρος υλικού πριν από την κατεργασία:	0.66 Kgs
Βάρος υλικού μετά από την κατεργασία:	0.31 Kgs
Αριθμός φάσεων κατεργασίας:	4
Εργαλειομηχανή:	Οποιοδήποτε τριαξονικό CNC κέντρο κατεργασίας
Απαιτούμενα εργαλεία συγκράτησης:	1 CNC μέγγενη με κοινά μάγουλα (με πατούρα) 4 σφιγκτήρες (φουρκέτες) για σύσφιξη της μέγγενης στο τραπέζι 4 Βίδες Allen για σύσφιξη της μέγγενης στο τραπέζι 1 σετ ειδικών μάγουλων με πατούρα που έχει κλίση 26.57° για τη ΦΑΣΗ 4

Οδηγός χρωμάτων: Γκρι = Υλικό μετά από την κατεργασία της ΦΑΣΗΣ-1 σε συμβατική φρέζα  
Γκρι = Κατεργασμένες επιφάνειες από προηγούμενες φάσεις  
Καφέ = Επιφάνειες ΜΟΝΟ κατά τη διάρκεια μιας κατεργασίας



3D σχέδιο δοκιμίου

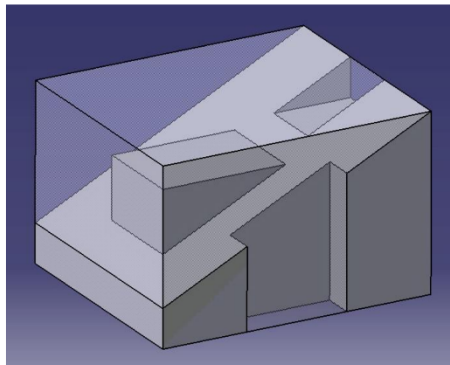
Εικόνα 15.1 - Φασεολόγιο



Κατασκευαστικό σχέδιο δοκιμίου (σχέδιο 1)

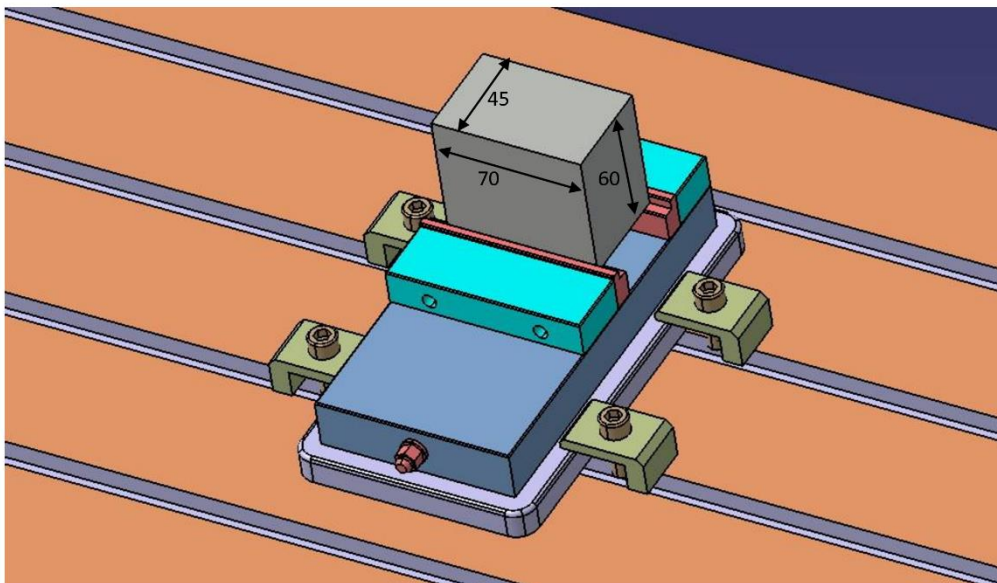
**ΦΑΣΗ ΚΑΤΕΡΓΑΣΙΑΣ-1 - Περιγραφή:**

- 1) Σε συμβατική φρέζα να γίνει κατεργασία όλων των πλευρών της πρώτης ύλης του δοκιμίου
- 2) Διαστάσεις πρώτης ύλης πριν από την κατεργασία: 75mm X 65mm X 50mm
- 3) Διαστάσεις πρώτης ύλης μετά από την κατεργασία: **70mm X 60mm X 45mm**
- 4) Σημαντικό: Η κατεργασία θα πρέπει να γίνει σε όλες τις πλευρές του υλικού



Εικόνα 15.2 - Φασεολόγιο

Το δοκίμιο μέσα στο υλικό ως «υάλινο κουτί» μετά από τη ΦΑΣΗ ΚΑΤΕΡΓΑΣΙΑΣ-1 (σχέδιο 2)  
**ΦΑΣΗ ΚΑΤΕΡΓΑΣΙΑΣ-2**

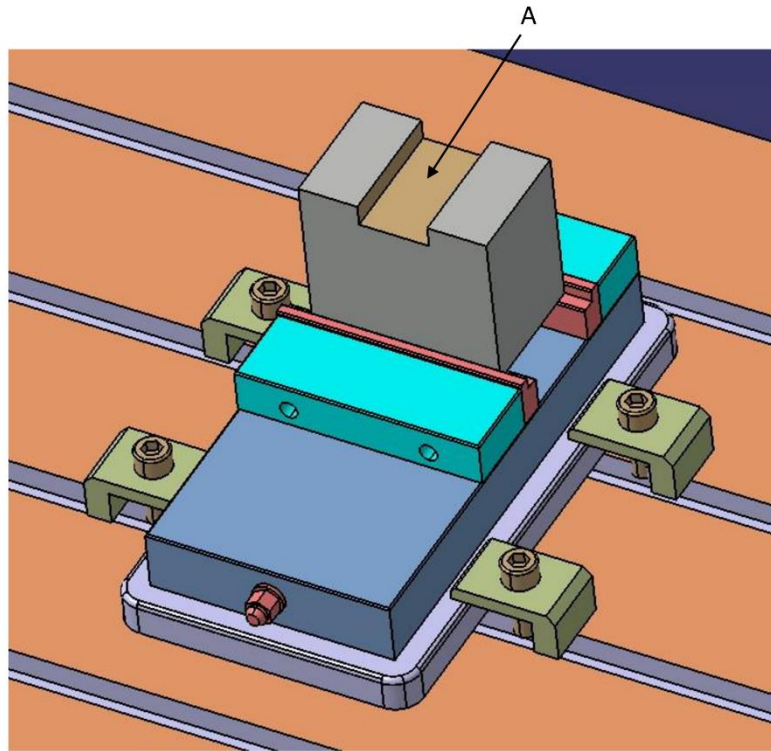


Το υλικό επάνω στη μέγγενη πριν από την έναρξη της κατεργασίας (σχέδιο 3)

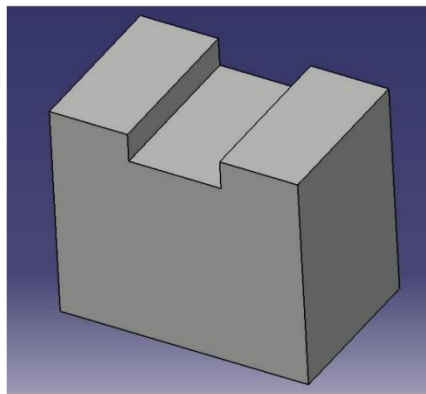
**ΠΕΡΙΓΡΑΦΗ ΦΑΣΗΣ:**

- 1) Κατεργασία λουκιού 26mm X 8mm (A)

Εικόνα 15.3 - Φασεολόγιο



Το υλικό επάνω στη μέγγενη μετά από την ολοκλήρωση της κατεργασίας στη ΦΑΣΗ-2 (σχέδιο 4)

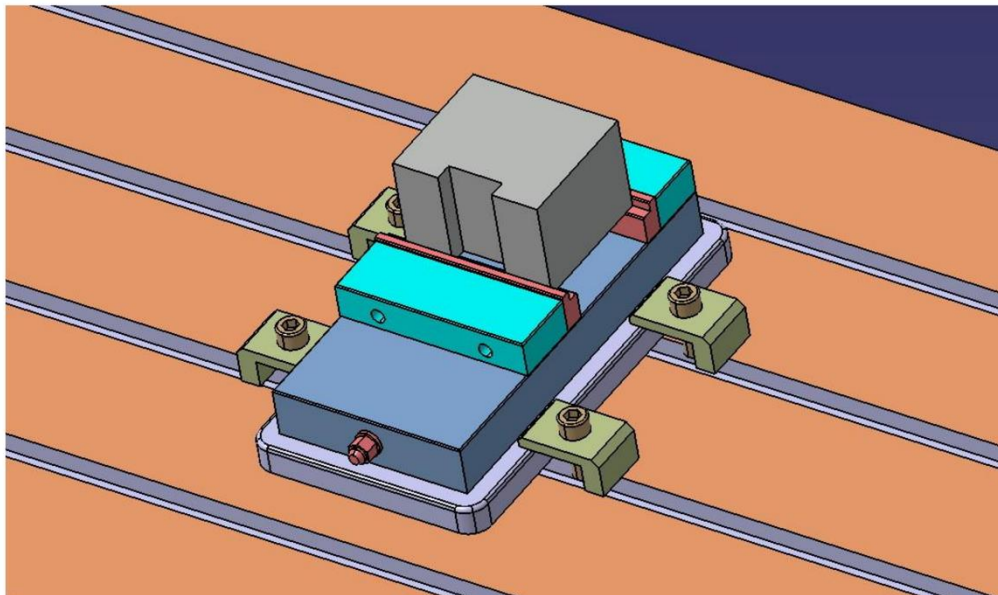


Το υλικό εκτός μέγγενης μετά από την ολοκλήρωση της κατεργασίας στη ΦΑΣΗ-2 (σχέδιο 5)

4

Εικόνα 15.4 - Φασεολόγιο

**ΦΑΣΗ ΚΑΤΕΡΓΑΣΙΑΣ-3**



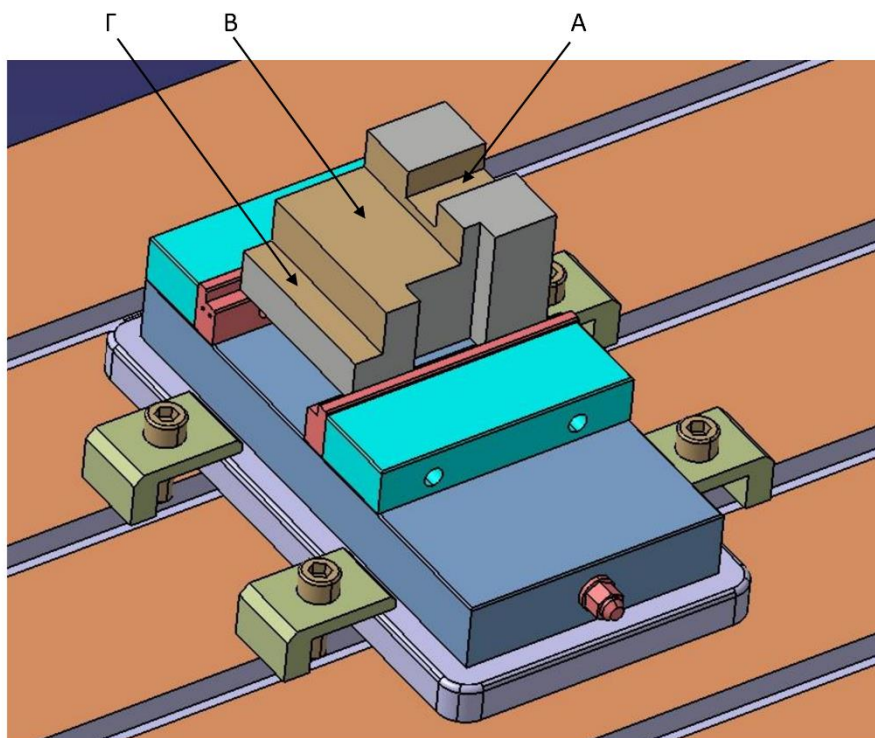
Το υλικό επάνω στη μέγγενη πριν από την έναρξη της κατεργασίας (σχέδιο 6)

**ΠΕΡΙΓΡΑΦΗ ΦΑΣΗΣ:**

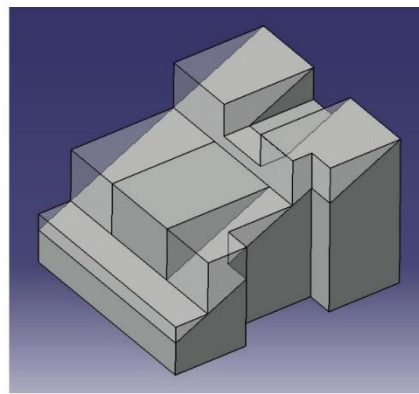
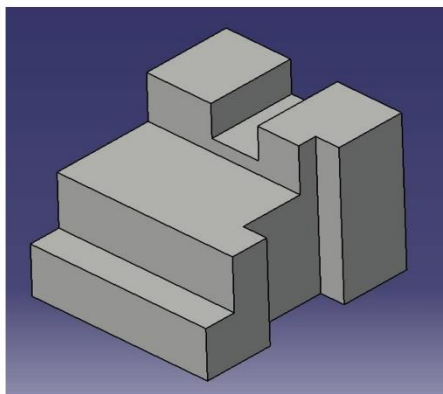
- 1) Κατεργασία λουκιού 16mm X 10mm βάθος (Α)
- 2) Κατεργασία σκαλοπατιού (Β)
- 3) Κατεργασία σκαλοπατιού (Γ)

Εικόνα 15.5 - Φασεολόγιο





Το υλικό επάνω στη μέγγενη μετά από την ολοκλήρωση της κατεργασίας στη ΦΑΣΗ-3 (σχέδιο 7)



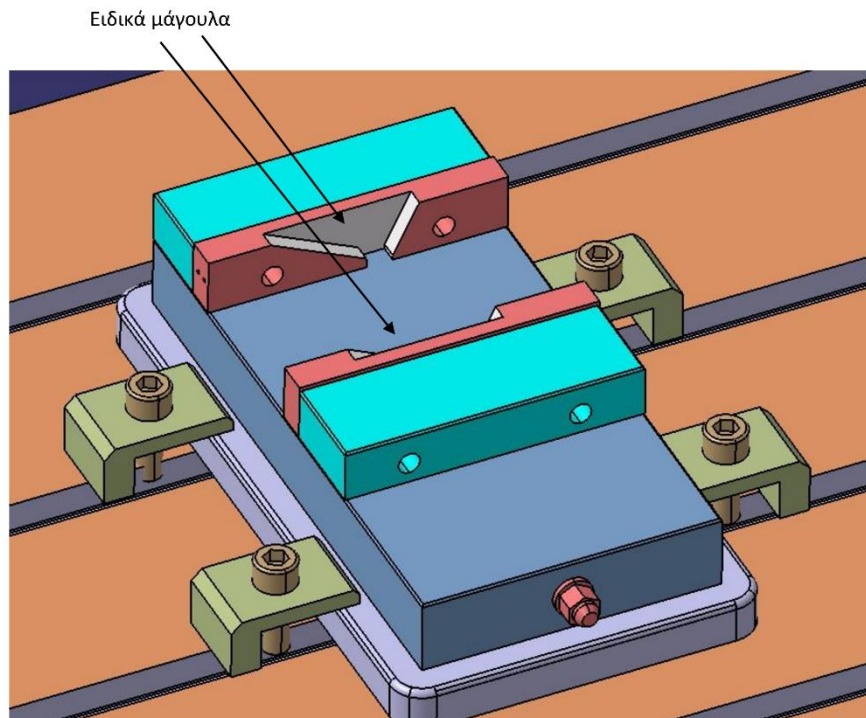
Το υλικό εκτός μέγγενης μετά από την ολοκλήρωση της κατεργασίας στη ΦΑΣΗ-3 (σχέδιο 8)

Εικόνα 15.6 - Φασεολόγιο

#### **ΦΑΣΗ ΚΑΤΕΡΓΑΣΙΑΣ-4**

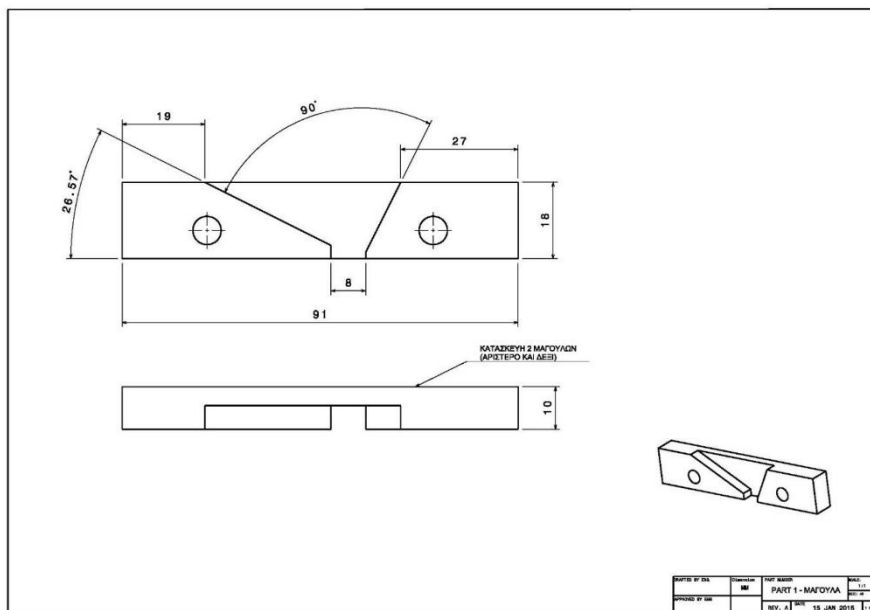
##### **Οδηγίες:**

1. Στη ΦΑΣΗ-4 θα χρησιμοποιήσουμε ειδικά σχεδιασμένα μάγουλα με μια πατούρα που έχει κλίση  $26.57^\circ$  (βλέπε σχέδιο 10). Η πατούρα χρησιμοποιείται για να συγκρατήσουμε το δοκίμιο με τρόπο ώστε η κεκλιμένη περιοχή που θα κατεργαστούμε να είναι παράλληλη με το τραπέζι της εργαλειομηχανής (ή κάθετη ως προς την άτρακτο και το εργαλείο κατεργασίας).

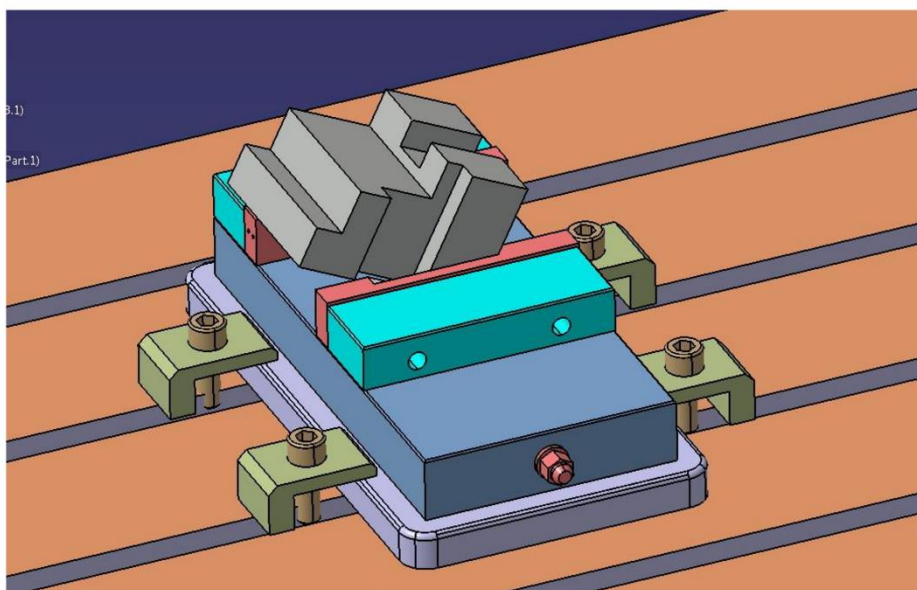


Η μέγγερνη με τα ειδικά μάγουλα πριν από την τοποθέτηση του δοκιμίου (σχέδιο 9)

Εικόνα 15.7 - Φασεολόγιο



Ειδικά μάγουλα συγκράτησης (σχέδιο 10)



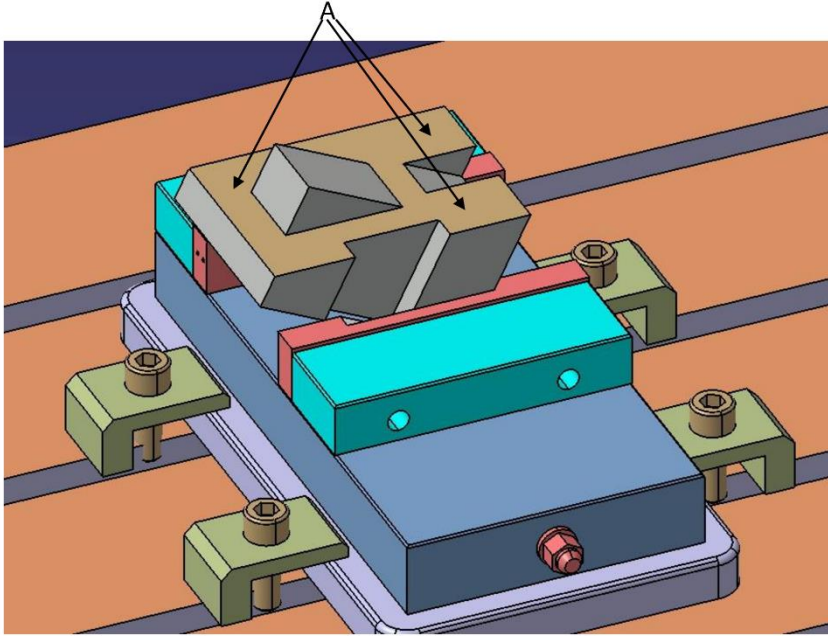
8

Εικόνα 15.8 - Φασεολόγιο

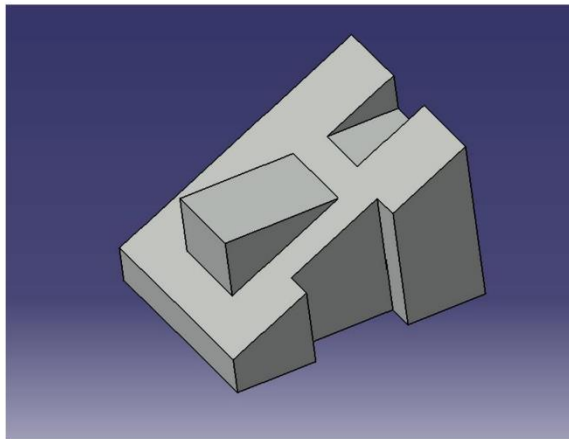
Το υλικό επάνω στα ειδικά μάγουλα πριν από την έναρξη της κατεργασίας (σχέδιο 11)

**ΠΕΡΙΓΡΑΦΗ ΦΑΣΗΣ:**

- 1) Κατεργασία περιοχής (A)



Τα μάγουλα με το υλικό επάνω στη μέγγενη μετά από την ολοκλήρωση της κατεργασίας στη ΦΑΣΗ-4 (σχέδιο 12)



Εικόνα 15.9 - Φασεολόγιο

Το υλικό εκτός μέγγενης μετά από την ολοκλήρωση της κατεργασίας στη ΦΑΣΗ-4 (Ολοκληρωμένο δοκίμιο)  
(σχέδιο 13)

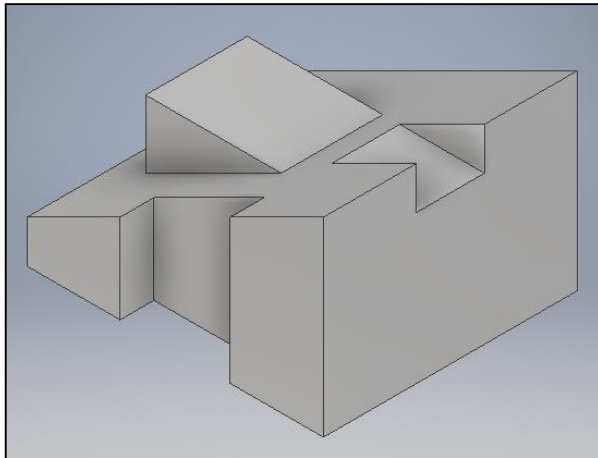
10

Εικόνα 15.10 - Φασεολόγιο

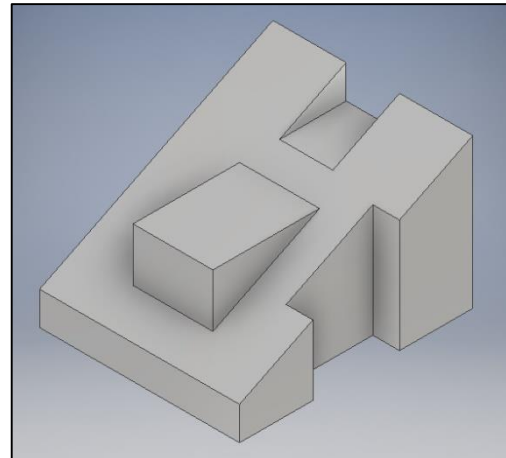
### Σχεδιασμός Εργασιών Κατεργασίας Δοκιμίου (Φασεολόγιο - Process Planning)

Καθηγητής: Βασίλειος Σαγιάς

Όνομα δοκιμίου:	Part-1
Τύπος υλικού:	AL 2024-T3
Διαστάσεις πρώτης ύλης:	75mm X 65mm X 50mm
Βάρος υλικού πριν την κατεργασία:	0.66 Kgs
Βάρος υλικού μετά την κατεργασία:	0.31 Kgs
Αριθμός φάσεων κατεργασίας:	6
Εργαλειομηχανή:	Super Minimill - HAAS
Απαιτούμενα εργαλεία συγκράτησης:	1 μέγγενη με κοινά μάγουλα (με πατούρα) 4 σφιγκτήρες (φουρκέτες) για σύσφιξη της μέγγены στην τράπεζα της εργαλειομηχανής 4 βίδες Allen για σύσφιξη της μέγγены στους σφιγκτήρες 1 σετ ειδικών μάγουλων με πατούρα που έχει κλίση 26.57° για τη ΦΑΣΗ 6



Εικόνα Φ1: 3D απεικόνιση δοκιμίου

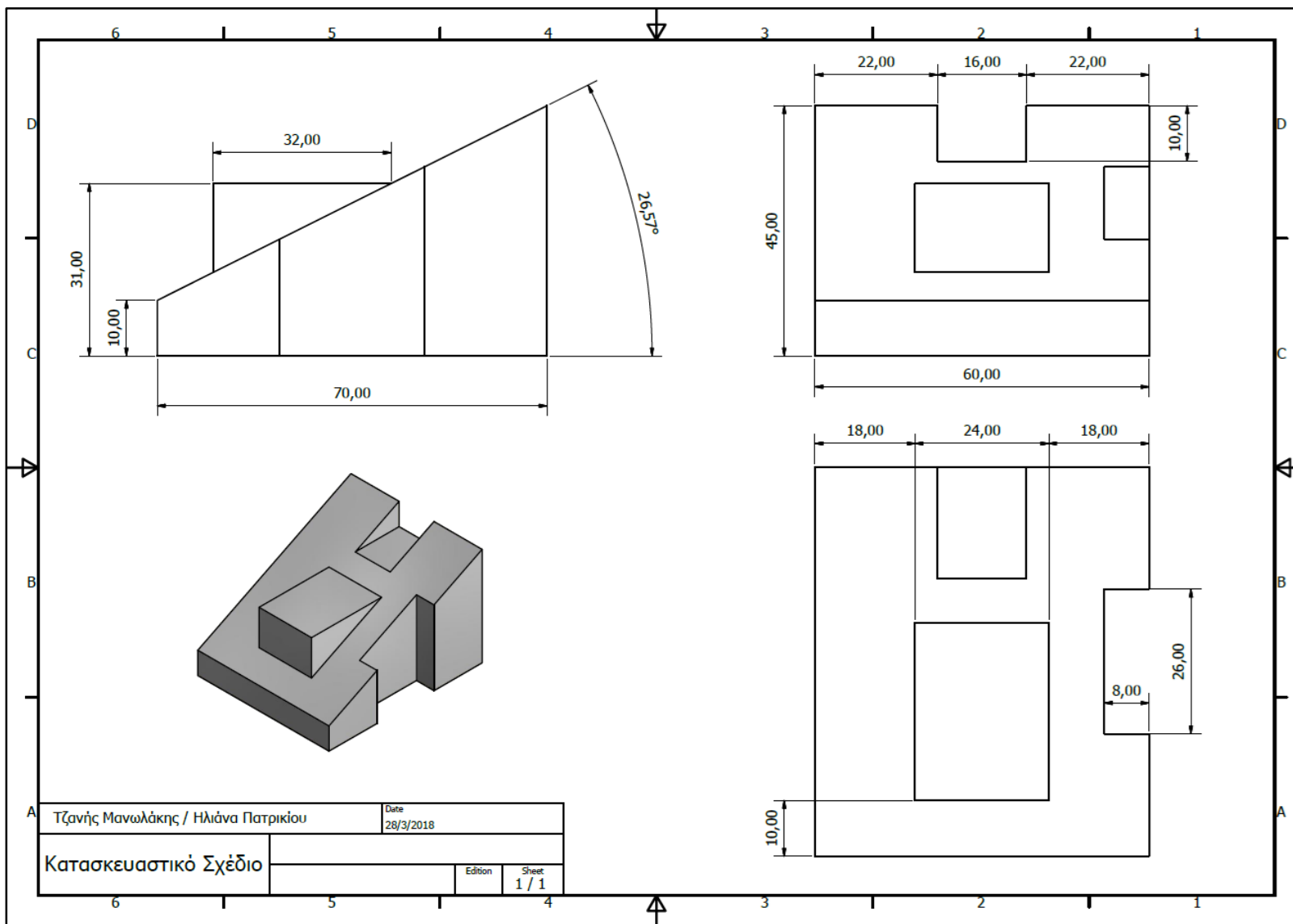


Εικόνα Φ2: 3D απεικόνιση δοκιμίου

Εικόνα 15.11 – Τροποποιημένο φασεολόγιο



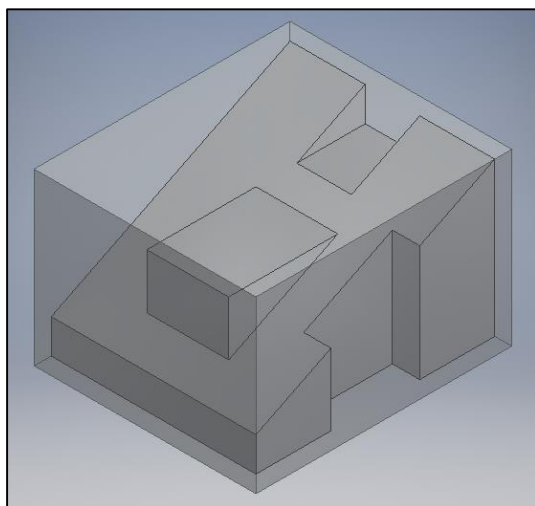




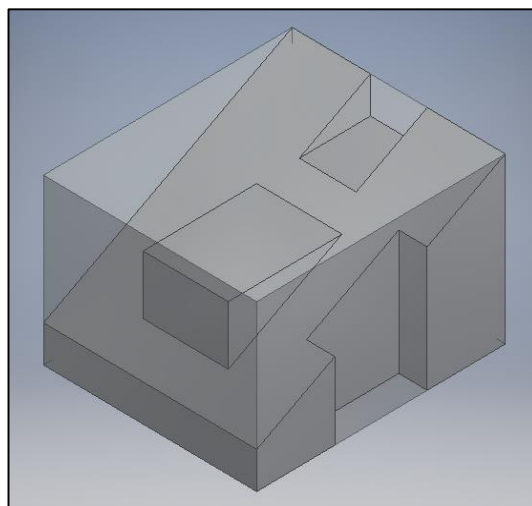
Εικόνα 15.12 – Τροποποιημένο φασεολόγιο

### ΦΑΣΗ ΚΑΤΕΡΓΑΣΙΑΣ-1

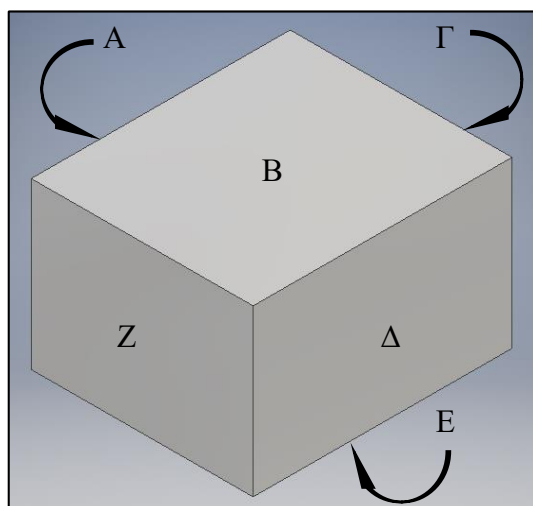
- 1) Κατεργασία όλων των πλευρών της πρώτης ύλης του δοκιμίου
- 2) Διαστάσεις πρώτης ύλης πριν την κατεργασία: 75mm x 65mm x 50mm
- 3) Διαστάσεις πρώτης ύλης μετά την κατεργασία: 70mm x 60mm x 45mm



Εικόνα Φ3: Πρώτη ύλη σε συσχέτιση με το δοκίμιο πριν την κατεργασία



Εικόνα Φ4: Πρώτη ύλη σε συσχέτιση με το δοκίμιο μετά την κατεργασία

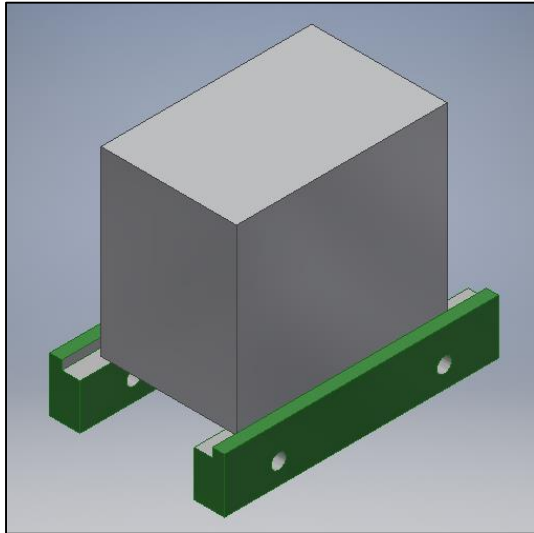


Εικόνα Φ5: Καθορισμός επιφανειών πρώτης ύλης

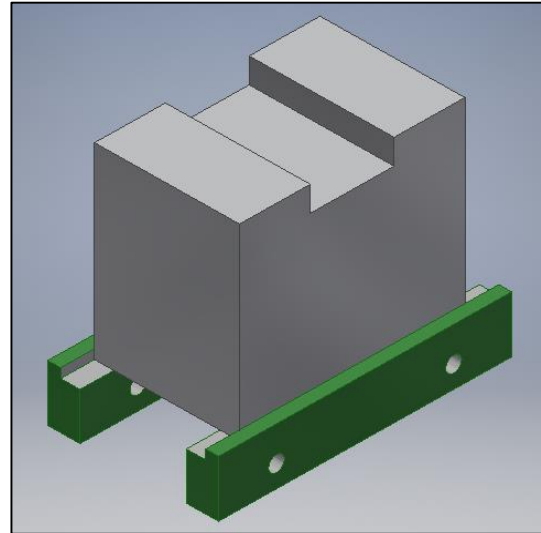
Εικόνα 15.13 – Τροποποιημένο φασεολόγιο

### **ΦΑΣΗ ΚΑΤΕΡΓΑΣΙΑΣ-2**

Διάνοιξη αυλακιού επιφάνειας Α διαστάσεων 26 mm x 8 mm



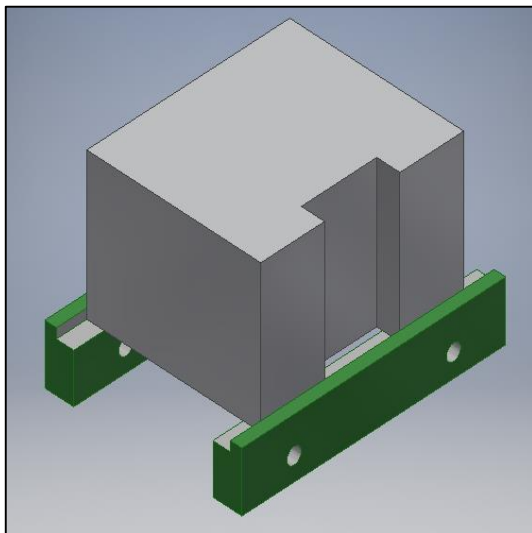
Εικόνα Φ6: Δοκίμιο πριν την κατεργασία



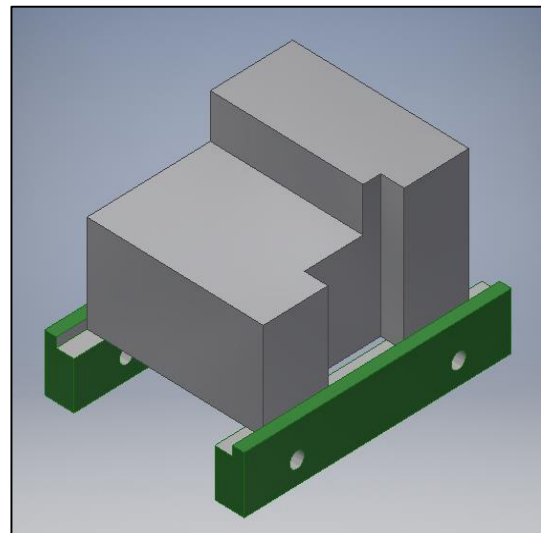
Εικόνα Φ7: Δοκίμιο μετά την κατεργασία

### **ΦΑΣΗ ΚΑΤΕΡΓΑΣΙΑΣ-3**

Διαμόρφωση 1ου σκαλοπατιού επιφάνειας Γ



Εικόνα Φ8: Δοκίμιο πριν την κατεργασία

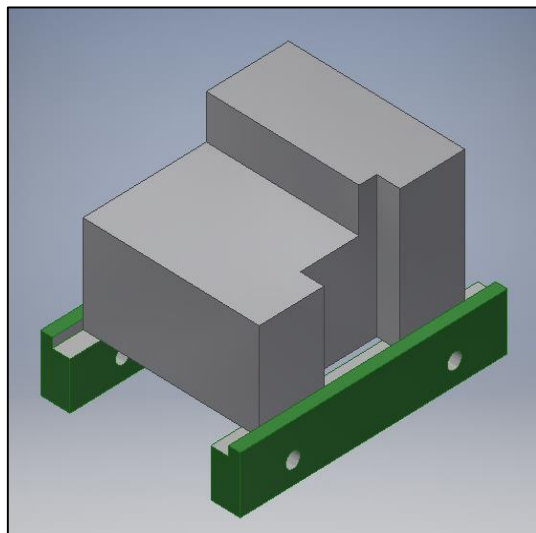


Εικόνα Φ9: Δοκίμιο μετά την κατεργασία

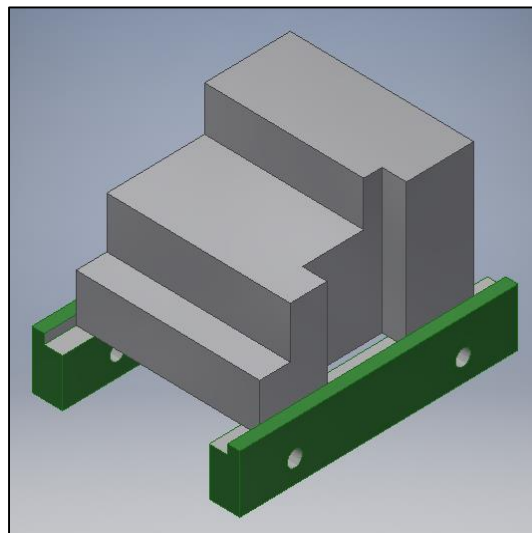
Εικόνα 15.14 – Τροποποιημένο φασεολόγιο

#### **ΦΑΣΗ ΚΑΤΕΡΓΑΣΙΑΣ-4**

Διαμόρφωση 2ου σκαλοπατιού επιφάνειας Γ



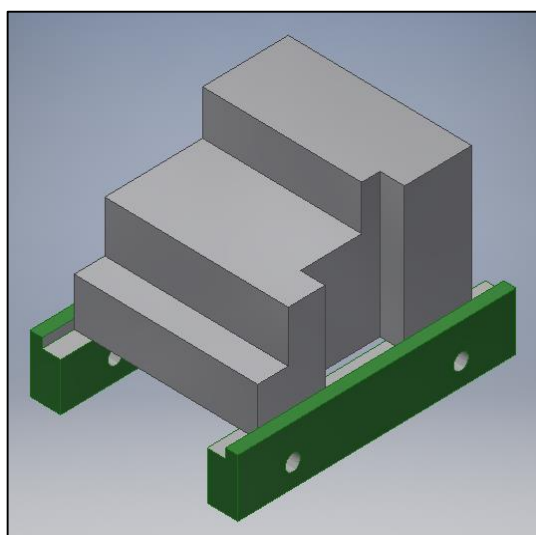
Εικόνα Φ10: Δοκίμιο πριν την κατεργασία



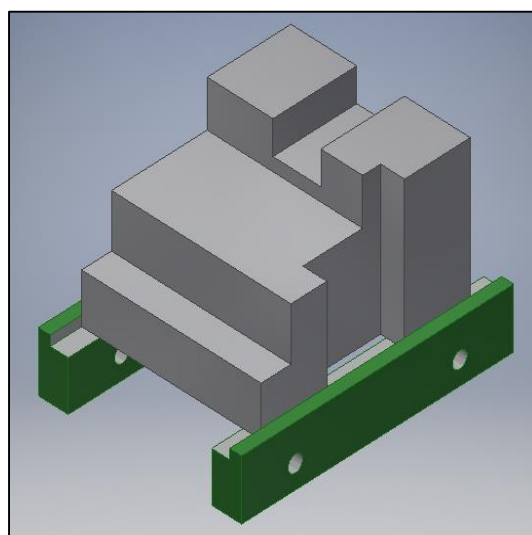
Εικόνα Φ11: Δοκίμιο μετά την κατεργασία

#### **ΦΑΣΗ ΚΑΤΕΡΓΑΣΙΑΣ-5**

Διάνοιξη αυλακιού επιφάνειας Γ διαστάσεων 16 mm x 10 mm



Εικόνα Φ12: Δοκίμιο πριν την κατεργασία



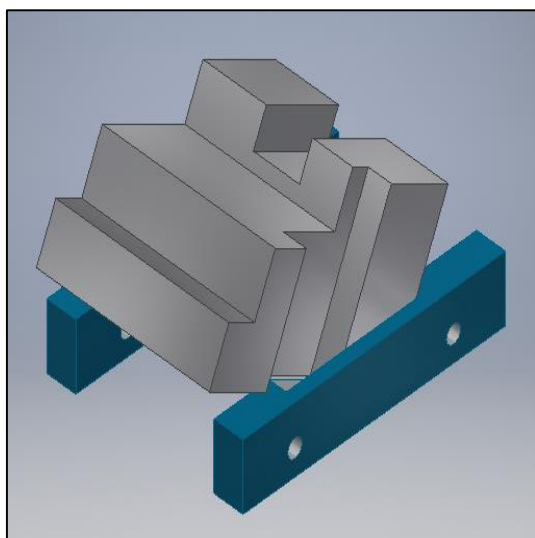
Εικόνα Φ13: Δοκίμιο μετά την κατεργασία

Εικόνα 15.15 – Τροποποιημένο φασεολόγιο

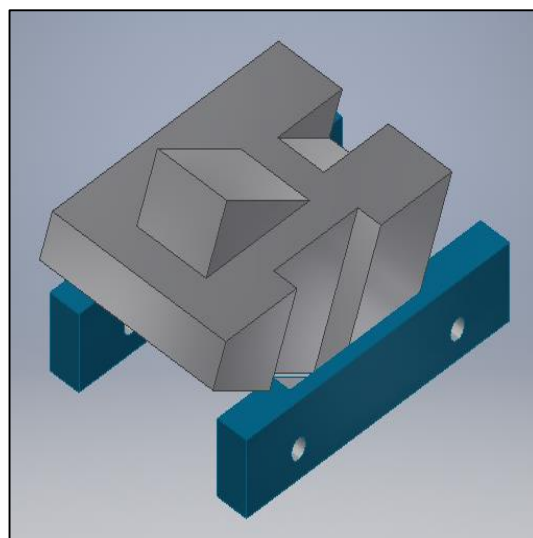
### **ΦΑΣΗ ΚΑΤΕΡΓΑΣΙΑΣ-6**

Διαμόρφωση κεκλιμένου επιπέδου με χρήση μέγγενης με ειδικά σχεδιασμένα μάγουλα με πατούρα κλήσης  $26,57^\circ$ .

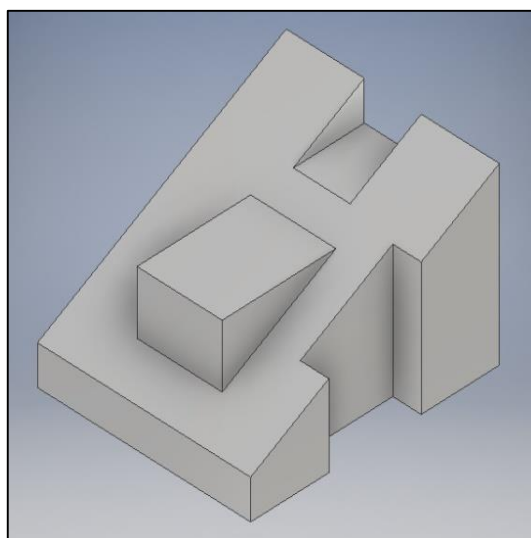
Σημείωση: Η πατούρα χρησιμοποιείται για τη συγκράτηση του δοκιμίου με τρόπο ώστε η επιφάνεια που δημιουργείται μετά το πέρας της κατεργασίας, να είναι παράλληλη με το τραπέζι της εργαλειομηχανής (ή κάθετη ως προς την άτρακτο και το κοπτικό εργαλείο).



Εικόνα Φ14: Δοκίμιο πριν την κατεργασία



Εικόνα Φ15: Δοκίμιο μετά την κατεργασία

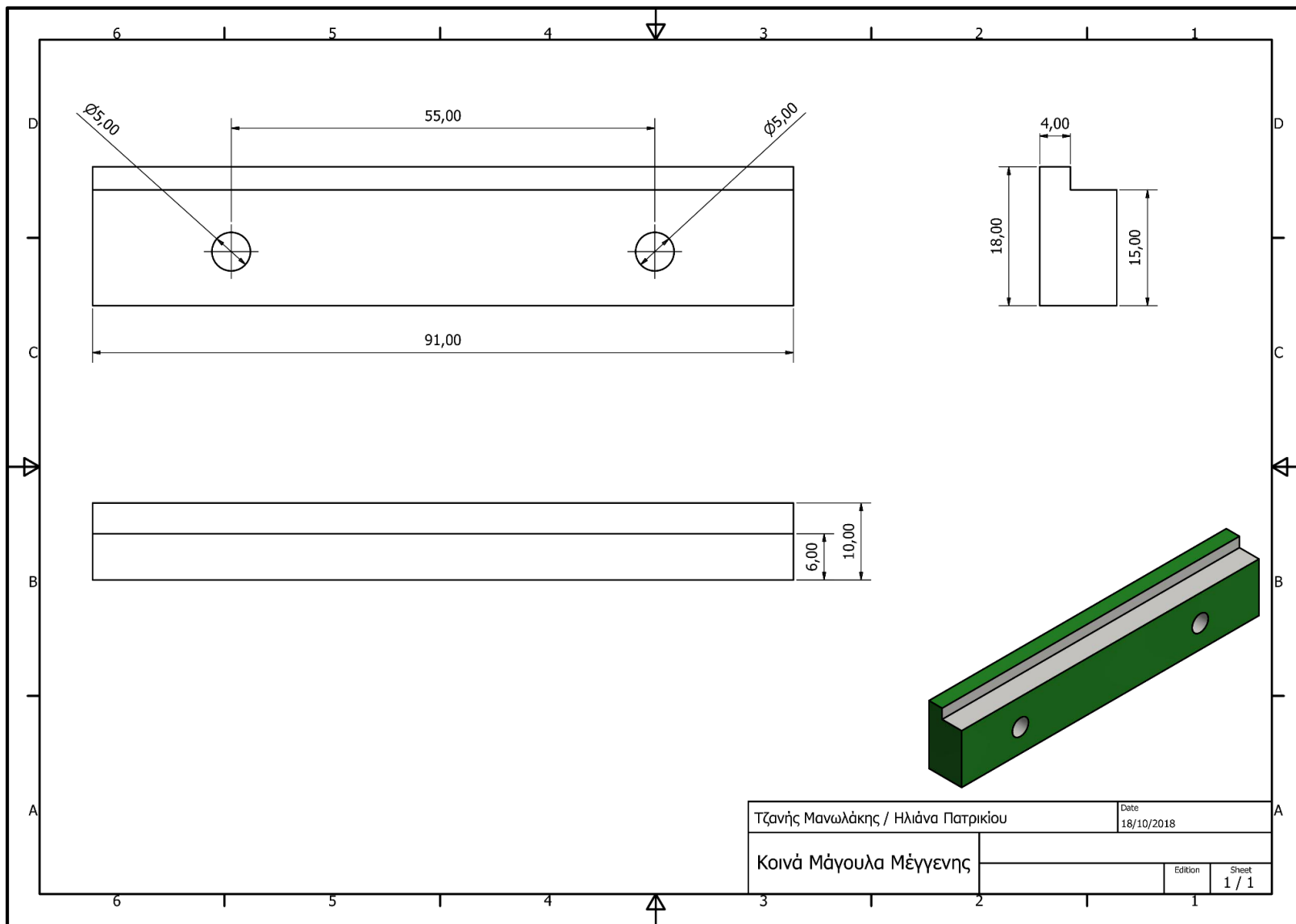


Εικόνα Φ16: Δοκίμιο στην τελική του μορφή

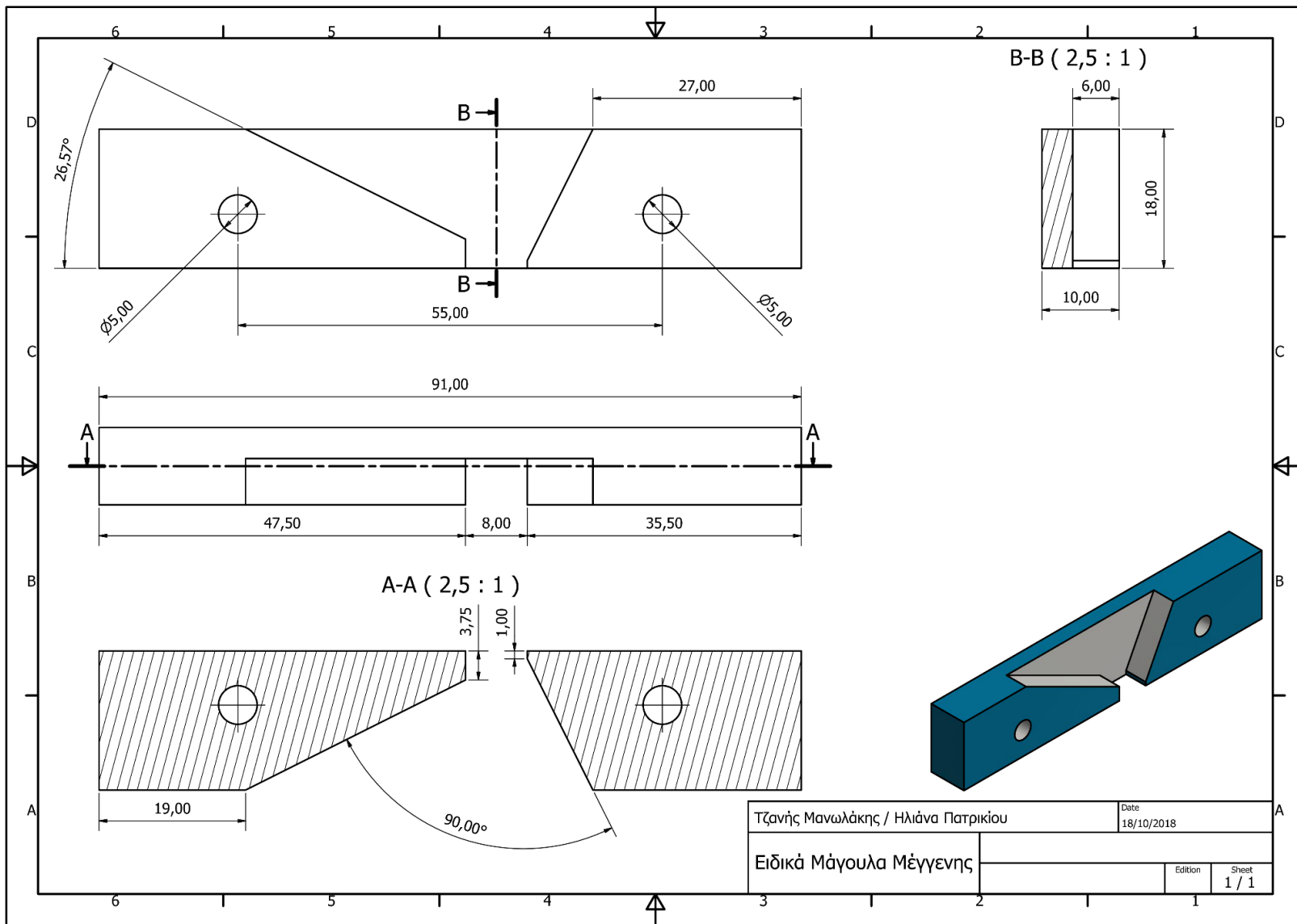
Εικόνα 15.16 – Τροποποιημένο φασειολόγιο







Εικόνα 15.17 – Κοινά μάγουλα μέγγηνης



Εικόνα 15.18 – Ειδικά μάγουλα μέγγνης

## Τεχνικά Φυλλάδια Εργαλειομηχανών

[ Special Series ]

# Haas MM Series

### The Mini Mill & Super Mini Mill

### Mini Mill

Automatic 10-pocket  
40-taper tool changer

6 000-rpm  
vector drive spindle

15,2 m/min rapids,  
12,7 m/min cutting feeds



### Super Mini Mill

**ENHANCED** High-speed 10-pocket  
automatic tool changer

**ENHANCED** 10 000 rpm vector drive  
spindle and rigid tapping

**ENHANCED** 30,5 m/min rapids  
and 21,2 m/min cutting feeds



Warranty: 1 Year Parts and Labor

[ Standard Features ]	[ Mini Mill ]	[ Options ] <i>partial list</i>
<ul style="list-style-type: none"><li>• Full VMC Capabilities</li><li>• Standard 40-Taper Tooling</li><li>• Direct Speed, Belt Drive</li><li>• 914 x 305 mm Table</li><li>• 38 cm Color LCD Monitor w/USB Port</li><li>• 406 x 305 x 254 mm (xyz) Travels</li><li>• Full Enclosure</li><li>• 10-Tool Capacity</li><li>• Led Work Light</li><li>• Power-failure detection module</li><li>• 1 GB Program Memory</li><li>• High Impact Safety Glass</li><li>• Made in the USA</li></ul>	<ul style="list-style-type: none"><li>• 6 000-rpm Vector Drive Spindle</li><li>• 15,2 m/min Rapids</li></ul> <p><b>[ Super Mini Mill ]</b></p> <ul style="list-style-type: none"><li>• 10 000-rpm Vector Drive Spindle</li><li>• 30,5 m/min Rapids</li><li>• Rigid Tapping</li><li>• High-Speed Tool Changer</li></ul> <p><sup>1</sup> Super Mini Mill only <sup>2</sup> Standard on SMM</p>	<ul style="list-style-type: none"><li>• 15 000-rpm Spindle <sup>1</sup></li><li>• Through-Spindle Coolant System <sup>1</sup></li><li>• Programmable Coolant Nozzle</li><li>• Chip Auger</li><li>• High Flow Coolant Pump</li><li>• 4th- and 5th-Axis Drives</li><li>• Wireless Intuitive Probing System</li><li>• Coordinate Rotation &amp; Scaling</li><li>• High-Speed Machining w/Look-Ahead</li><li>• User-Definable Macros</li><li>• Haas Visual Programming System</li><li>• Spindle Orientation</li><li>• WiFi Connection for the Haas Control</li><li>• Rigid Tapping <sup>2</sup></li></ul>



Haas Automation Europe | [www.HaasCNC.com](http://www.HaasCNC.com) | +32 2 522 99 05 | Made in U.S.A.

Specifications subject to change without notice. Not responsible for typographical errors. Machines shown with optional equipment. Actual product appearance may differ.

Εικόνα 15.19 – Τεχνικό φυλλάδιο HAAS Super Minimill

[ Technical Specifications ]

# Haas MM Series



## The Mini Mill & Super Mini Mill

Running a small job on a big machine can be inefficient, and may even cut into profits. Haas Mini Mills provide an economical solution for small parts machining in a compact package that is loaded with full-size features.

They are perfect for schools, start-up shops or as a first step into CNC machining. And they're a valuable addition for shops needing a "second-op" machine, or an additional spindle where space is limited.

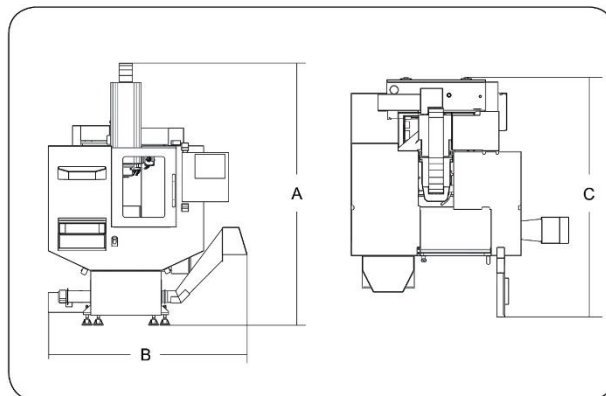


The Mini Mill and Super Mini Mill are perfect for machining the typical small parts found at many job shops. The 40-taper spindle is ideal for finish work and cutting aluminum.



The Mini Mill's 406 x 305 x 254 mm travels and 914 x 305 mm table make it ideal for most of the jobs a typical shop encounters. The small footprint saves space, and the machine's cost is very affordable.

*(Photos show optional coolant system)*



Operating Dimensions	MM/SMM
A. Max Height	2692 mm
B. Max Width	2311 mm
C. Max Depth*	2235 mm

\*With control swung forward. Additional 914 mm required to open rear service panel.

[ Specifications ]

Travels	Mini Mill	Super Mini Mill
X	406 mm	406 mm
Y	305 mm	305 mm
Z	254 mm	254 mm
Spindle Nose to Table Top (approx.)	102 - 356 mm	102 - 356 mm

Table	Mini Mill	Super Mini Mill
Length (total)	914 mm	914 mm
Length (work surface)	730 mm	730 mm
Width	305 mm	305 mm
Max Weight on Table	227 kg	227 kg

T-Slots	Mini Mill	Super Mini Mill
T-Slot Width		16 mm
Number of T-Slots		3
Center Distance		110 mm

Spindle	Mini Mill	Super Mini Mill
Taper Size	CT or BT 40	CT or BT 40
Speed	6000 rpm	10000 rpm
Drive System	Belt-Drive	Belt-Drive
Max Torque	45 Nm @ 1200 rpm	23 Nm @ 4600 rpm
Max Rating	5,6 kW	11,2 kW

Brushless Axis Motors	Mini Mill	Super Mini Mill
Max Thrust Rating		8896 N

Feedrates	Mini Mill	Super Mini Mill
Max Rapids	15,2 m/min	30,5 m/min
Max Cutting	12,7 m/min	21,2 m/min

Tool Changer	Mini Mill	Super Mini Mill
Capacity		10
Max Tool Diameter		89 mm
Max Tool Weight		5,4 kg
Tool to Tool	4,2 sec	2,8 sec
Chip to Chip	5,0 sec	3,8 sec

General	Mini Mill	Super Mini Mill
Machine Weight	1542 kg	1542 kg
Air Required	113 Lpm @ 6,9 bar	113 Lpm @ 6,9 bar
Power Required (min)		354 - 488 VAC 3-Phase



Specifications subject to change without notice. Not responsible for typographical errors. Machines shown with optional equipment. Actual product appearance may differ.

EN\_06/2016

Εικόνα 15.20 – Τεχνικό φυλλάδιο HAAS Super Minimill



Εικόνα 15.21 – Τεχνικό φυλλάδιο Fadal VMC-2015HS-II



## VMC 2015<sup>HS-II</sup>

CNC VERTICAL MACHINING CENTER  
with FADAL 64MP CNC CONTROLLER




### Specifications

TRAVEL	
X-axis Travel (in.)	20
Y-axis Travel (in.)	15
Z-axis Travel (in.)	16
Spindle nose to table (in.)	5.9-21.6
Spindle center to column (in.)	16.9
TABLE	
Table Dimensions (in.)	25.6 x 15
T-Slot Dimensions (in.)	(3) 3.94 x .709
Max. Table Load (lbs.)	440
SPINDLE	
Spindle Type	BT-30
Spindle Speed (RPM)	12,000/15,000*/20,000*
Spindle Torque (ft. lbs.)	43.5
Spindle Motor (HP) Peak	10/7.5*
FEED	
Rapid Traverse Rate X,Y & Z (IPM)	1,890
Ballscrew Diameter X,Y & Z Axis (mm)	32
ATC	
Tool Capacity	20
Tool Change Type	Dual Arm
Tool Change Time (sec.)	1.0 tool to tool
Max. Tool Weight (lbs.)	6.6
Max. Tool Diameter (in.) (with adjacent tool)	4 (2.4)
Max. Tool Length (in.)	7.9
Tool Selection Method	Random
OTHER	
Machine Dimensions L x W x H (in.)	60 x 94 x 94
Machine Weight (lbs.)	6,160

Specifications subject to change without notice \*Optional

#### STANDARD FEATURES

- Spindle Oil Cooler
- LED Work Lamp
- Fully Enclosed
- Spindle Air Blast
- Automatic PDI Lubrication System
- Operation Indication Lamp
- Rigid Tapping
- Chip Wash Down System
- Linear Roller Bearing Ways

#### OPTIONAL FEATURES


- 4th Axis Ready
- FR-5C Rotary Table
- 15K RPM Spindle
- 20K RPM Spindle
- 24K RPM Spindle

#### OPTIONAL PROBING

- Tool Pre-Setter (wired)
- Tool Pre-Setter (wireless)
- X, Y, Z Coordinate (wireless)

#### FADAL 64MP CONTROLLER

- Backward Compatible 88HS & MP
- Memory 256mb
- 2000 Blocks/sec Look Ahead
- Networking & USB Ports
- High Speed Machining

Fadal

ENGINEERING

For Machinists. By Machinists.

www.Fadal.com
844.323.2526

Εικόνα 15.22 - Τεχνικό φυλλάδιο Fadal VMC-2015HS-II



Εικόνα 15.23 - Τεχνικό φυλλάδιο HURCO VM5i



	VM5i	VM10i	VM10HSi	VM20i	VM30i
<b>Table</b>					
Table working surface (mm)	457 x 356	762 x 406	762 x 406	1,168 x 508	1,321 x 508
T-Slots (mm)	3 x 18 x 100	3 x 18 x 100	3 x 18 x 100	5 x 18 x 100	5 x 18 x 100
Max.load (Kg)	227	340	340	544	544
<b>Travels</b>					
X-Axis (mm)	457	660	660	1,016	1,270
Y-Axis (mm)	356	406	406	508	508
Z-Axis (mm)	356	508	508	508	508
<b>Spindle Motor</b>					
Spindle Power Max.(KW)	7.5	11	8.5	15	15
Torque (Nm) Max. @ (rpm)	49 @ 1,450	74 @ 1,450	5.9 @ 14,700	102 @ 1,450	102 @ 1,450
<b>Spindle</b>					
Taper	CAT/BT40	CAT/BT40	BT30	CAT/BT40	CAT/BT40
Spindle Nose to table (mm) Max	457	610	559	610	610
Spindle Speed Max. (rpm)	8,000	10,000	20,000/ 30,000*	10,000	10,000
<b>Toolchanger</b>					
Stations	16	20	20	20	20
Max. Tool Diameter (mm)	89	89	60	89	89
Max. Tool Length (mm)	200	250	250	250	250
Max. Tool Weight (Kg)	6.8	6.8	5	6.8	6.8
<b>Further Details</b>					
Rapid travel (m/min) X/Y/Z - Axis	19/19/19	24/24/24	24/24/24	24/24/24	24/24/24
Machine weight (Kg)	2,636	2,818	3,102	4,100	4,245

\* option

Further information and technical data on the product, see [www.hurco.co.uk](http://www.hurco.co.uk).  
Machines shown with options. Prices and information may change without notice.

Εικόνα 15.24 - Τεχνικό φυλλάδιο HURCO VM5i

**intelitek**

## BenchMill 6100 CNC Milling Center

The BenchMill 6100 is a versatile PC-based benchtop CNC machining center that enables you to deliver robust instruction in computer numerical control and advanced manufacturing for your students.

The BenchMill 6100 comes equipped with Ethernet-based motion control, 3-axis stepper motors, ball screws, a variable speed spindle motor, and ISO20 taper tooling.

This CNC system requires no assembly, arriving at your facility ready to run on an Ethernet port on a standard PC, and fits comfortably into any classroom, without sacrificing features. Like larger industrial machines, the BenchMill 6100 uses EIA, ISO, and FANUC™-compatible G&M code programs to cut parts in a variety of materials.



### Standard Features

- Ethernet-based control
- Brushless spindle motor
- Full enclosure with pneumatic shield
- Automatic diagnostics and power cut-off protection
- PC-based CNC software
- Coolant ready
- Jog pendant ready
- 4th-axis ready
- Pneumatic drawbar
- Pneumatic door opener
- Robotic integration ready with 6 inputs, 6 outputs
- No assembly required

### Included Accessories

- Pneumatic drawbar
- Pneumatic door opener
- Internal work light
- One-shot lubrication system
- BenchMill accessory package:
  - ◇ (1) 10-pc. Clamping kit
  - ◇ (1) 4-flute, HSS end mill - 3 mm
  - ◇ (1) 4-flute, HSS end mill - 1/8"
  - ◇ (1) ISO 20 tool holder
  - ◇ (1) ER16 collet - 4 mm
  - ◇ (1) ISO 20 Tool holder nut wrench
  - ◇ (1) Tool Holder wrench, 30mm
  - ◇ (1) Open-end wrench Set, 3-pc
  - ◇ (1) Allen wrench set, 6-pc
  - ◇ (1) 2M Ethernet cable
  - ◇ (1) Storage box
  - ◇ Misc. accessories

### Specifications

#### Axis Travel

X Axis, max	260 mm	10.24"
Y Axis, max	152 mm	6.00"
Z Axis	180 mm	7.09"

#### Work Area

Table Size	400x145 mm	16"x 5.70"
No. of T-Slots	3	
T-slot size	12 mm	0.47"
Max. table load	20 Kg	44 lbs

#### Spindle

Motor Type	Brushless	
Motor power	1.34 hp, 1000 w	
Spindle speed	100- 5000 RPM	
Spindle taper	ISO20	
Max. tool diam.	10 mm	0.375"
Throat	150 mm	5.900"

#### Accuracy

Position accuracy	0.038 mm	0.0015"
Repeatability	0.010 mm	0.0004"

#### Dimensions

##### Machine size

Width	1040 mm	41"
Depth	880 mm	35"
Height	940 mm	37"

##### Shipping size

Width	1170 mm	46"
Depth	960 mm	38"
Height	1100 mm	43.38"

#### Weight (approximate)

Machine weight	178 Kg	393 lbs
Shipping weight	218 Kg	480 lbs

#### Axis Drive Motors

Axis motor type	Stepper	
X axis	1.35 N-m	192 oz-in
Y axis	1.35 N-m	192 oz-in
Z axis	2.2 N-m	312 oz-in
Rapid feed rate	2000 mm/min	79 ipm
Feed rate	1000 mm/min	40 ipm

#### Air Supply Requirements

620 kPa (90 psi)  
1/4" NPT female connection provided

#### Control Software

EIA RS274-D standard G & M code compatible  
FANUC® compatible  
CAD/CAM compatible  
Advanced NC code editing  
Real-time or simulated graphic tool path verification

#### Computer System Requirements

Pentium 4 Dual Core 3 GHz  
Windows XP SP3/Windows 7 - 32 or 64 bit/  
Windows 10 - 32 or 64 bit  
1GB RAM (2GB for Windows 7/10)  
1GB available disk space  
CD ROM drive  
Separate RS-232 port for each hardware device that uses an RS-232 port  
\*Additional LAN port required if your computer requires wired network access

#### Power Requirements

115 VAC (+5%/-10%) 60 Hz, 20A  
or 230 VAC (+5%/-10%) 50 Hz, 8A

Εικόνα 15.25 - Τεχνικό φυλλάδιο Intelitek BenchMill 6100

## BenchMill 6100 CNC Milling Center

### Curriculum

CNC Milling w/BenchMill 6100, Virtual, Imperial	77-3140-0001
CNC Milling w/BenchMill 6100, Virtual, Metric	77-3140-0002
CNC Milling w/BenchMill 6100, Lab, Imperial	77-8140-0001
CNC Milling w/BenchMill 6100, Lab, Metric	77-8140-0002

### Hardware

BenchMill 6100 - 110 VAC	00-5505-N110
BenchMill 6100 - 220 VAC	00-5505-N220

### BenchMill 6100 Bundles

#### Starter Bundle, Imperial/Metric **CNC-6100-STRT**

- CNC BenchMILL 6100
- 4" Vise
- 58-pc. Clamping Kit
- ER16 Collet set, 8-pc
- Advanced End Mill Package
- LM7 Content, Vir, CNC Milling w/BenchMill 6100

#### Standard Bundle, Imperial **CNC-6100-STND-I**

- CNC BenchMill 6100, 110 VAC
- 4" Vise
- 58-pc. Clamping Kit
- ISO 20 Tool Holder
- Advanced End Mill Package, Imperial
- ER16 Collet set, 8-pc, Imperial
- Table-mounted ATC package
- Jog Pendant Handwheel
- Stock Package, Wax, 3" x 2" x 1.5" - 50 Pcs
- LM7 Content, Vir, CNC Milling w/BenchMill 6100

#### Advanced Bundle, Imperial **CNC-6100-ADV-I**

Includes all Standard Bundle items, plus:

- ER16 Collet set, 8-pc, Imperial
- Coolant System 27L 110V
- 80mm 3-jaw Chuck
- Engraving Package, Imperial
- 4th-Axis Rotary Worktable with Tailstock

#### Standard Bundle, Metric **CNC-6100-STND-M**

- CNC BenchMill 6100, 220 VAC
- 4" Vise
- 58-pc. Clamping Kit
- ISO 20 Tool Holder
- End Mill Package, Metric (2X 3,6,8,10 End, 4,6 Ball)
- ER16 Collet set, 8-pc (3,4,5,6,7,8,9,10mm)
- Table-mounted ATC package
- ER16 Collet set 2 x (3,6,8,10mm)
- Jog Pendant Handwheel
- Stock Package, Wax, 3" x 2" x 1.5" - 50 Pcs
- LM7 Content, Vir, CNC Milling w/BenchMill 6100(M)

#### Advanced Bundle, Metric **CNC-6100-ADV-M**

Includes all Standard Bundle items, plus:

- Coolant system 27L -220V
- 80mm 3-jaw Chuck
- 4th-Axis Rotary Worktable with Tailstock
- Engraving Package, Metric (1,1.5,2 mm End mill)
- Engraving Tool Set, 6mm

### Software

CNCBase for Intelitek CNC and Fanuc Emulator	
CNCMotion® for Intelitek CNC and Fanuc Emulator	63-6789-1000
SpectraCAD Engraver	63-6723-0000
SpectraCAM Milling	63-6733-0000

### Options and Accessories

Jog Pendant Handwheel	10-1111-1000
4" (100mm) Precision Vise	10-1111-6000
58-Piece Hold Down Set	10-1111-5000
ISO 20 Tool Holder with Nut	10-1111-9000
Tool Holder Set	10-1111-7000
Machinists Kit	10-5810-0000
End Mill Set, 3 Piece, Imperial	10-1113-3000
End Mill Set, 3 Piece, Metric	10-1113-2000
Advanced End Mill Set, 14 Piece, Imperial	10-1113-5000
Advanced End Mill Set, 12 Piece, Metric	10-1113-4000
Engraving Tool Set, 3 Piece, Imperial	10-1113-7000
Engraving Tool Set, 3 Piece, Metric	10-1113-6000
Engraving Tool Set, 7 Piece, Metric	10-1108-6000
ER16 Collet - 10mm	10-1113-0000
ER16 Collet - 4mm	10-1112-4000
ER16 Collet - 7mm	10-1112-7000
ER16 Collet Set - 8 Piece	10-1112-2000
ER16 Collet Set - 8 Piece	10-1115-0000
Table-mounted 4-station Automatic Tool Changer	10-1113-1000
Table-mounted ATC Package	10-1115-2000
4th-Axis Rotary Positioner with Tailstock	10-1108-8000
3" (80mm) 3-Jaw Chuck for Rotary Positioner	10-1109-3000
3" (80mm) 4-Jaw Chuck for Rotary Positioner	10-1106-3000
Dual-axis Pneumatic Vise	10-1110-7000
Single-axis Pneumatic Vise	10-1110-8000
Basic Air Compressor and Conditioning System	10-4526-0000
Quiet Operation Air Compressor / Cond System	10-4527-0000
Coolant System - 110 VAC	10-1108-1110
Coolant System - 220 VAC	10-1108-1220
Mobile Workbench with Storage Cabinet	10-5590-0000
Mobile Workbench with 3 Drawer Cabinet	10-5591-0000
Mobile Workbench with 3 Drawer Cabinet, 96"	10-5592-0000
Mobile Workbench 6Ft, Desk-style, Wood Top	10-5594-0000
100mm Vice with Angle Adjustment	10-1108-2000

### Projects

Project, 4-Cavity Mold	77-7022-0001
Project, Planetary Gearbox	77-7023-0001
Project kit, CO2 Car, 50 students	10-7016-1001
CO2 Car Consumables, 50 students	10-9301-0000
Project kit, Precision Measuring Device	10-7006-0001
Precision Measuring Device Consumables, 50 students	10-9304-0000
Project kit, Golf Putter	10-7007-1000
Golf Putter Consumables, 50 students	10-9302-0000
Project Kit, Yo-Yo	10-7001-1001
Project kit, Sterling Engine	10-9603-0000
Project kit, Brass Cannon	10-9307-0000



Toll Free: 800-221-2763  
Phone: 603-413-2600  
Fax: 603-437-2137

Email:  
info@intelitek.com  
www.intelitek.com

All specifications subject to change without notice. All trademarks are property of their respective owners. ©Intelitek 35-1006-7400 Rev-M

Εικόνα 15.26 - Τεχνικό φυλλάδιο Intelitek BenchMill 6100

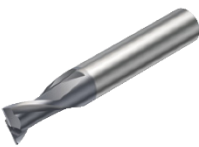


Τεχνικά Φυλλάδια Κοπτικών Εργαλείων

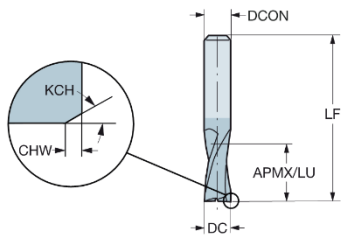
EN5
Solid milling tools - Versatile MILLING

### CoroMill® Plura solid carbide square shoulder end mill

Straight, center cut. Suitable for key slot tolerances. Hardness ≤ 48HRc  
Universal 30-35 degrees helix end mills












CNSC 1P220-XA  
FHA 0  
BSG 30°  
TCDC DIN 6527 K  
TCDCON e8  
h6



**Metric version**

DC	CZC <sub>MS</sub>	APMX	CHW	KCH	LU	ZFP	Ordering code	Dimensions, mm				DCON	LF
								P	M	K	S		
1.0	3	3.5			3.0	2	1P220-0100-XA	☆	☆	☆	☆	3.0	38.0
1.5	3	3.5			3.0	2	1P220-0150-XA	☆	☆	☆	☆	3.0	38.0
1.8	6	3.5			3.0	2	1P220-0180-XA	☆	☆	☆	☆	6.0	50.0
2.0	6	3.5			3.0	2	1P220-0200-XA	☆	☆	☆	☆	6.0	50.0
2.5	6	3.5	0.08	45°	3.0	2	1P220-0250-XA	☆	☆	☆	☆	6.0	50.0
2.8	6	4.5	0.08	45°	4.0	2	1P220-0280-XA	☆	☆	☆	☆	6.0	50.0
3.0	6	4.5	0.08	45°	4.0	2	1P220-0300-XA	☆	☆	☆	☆	6.0	50.0
3.5	6	4.5	0.08	45°	4.0	2	1P220-0350-XA	☆	☆	☆	☆	6.0	50.0
3.8	6	5.5	0.08	45°	5.0	2	1P220-0380-XA	☆	☆	☆	☆	6.0	54.0
4.0	6	5.5	0.13	45°	5.0	2	1P220-0400-XA	☆	☆	☆	☆	6.0	54.0
4.5	6	5.5	0.13	45°	5.0	2	1P220-0450-XA	☆	☆	☆	☆	6.0	54.0
4.8	6	6.5	0.13	45°	6.0	2	1P220-0480-XA	☆	☆	☆	☆	6.0	54.0
5.0	6	6.5	0.13	45°	6.0	2	1P220-0500-XA	☆	☆	☆	☆	6.0	54.0
5.8	6	7.5	0.13	45°	7.0	2	1P220-0575-XA	☆	☆	☆	☆	6.0	54.0
6.0	6	7.5	0.13	45°	7.0	2	1P220-0600-XA	☆	☆	☆	☆	6.0	54.0
6.8	8	8.5	0.13	45°	8.0	2	1P220-0675-XA	☆	☆	☆	☆	8.0	58.0
7.0	8	8.5	0.13	45°	8.0	2	1P220-0700-XA	☆	☆	☆	☆	8.0	58.0
7.8	8	9.5	0.13	45°	9.0	2	1P220-0775-XA	☆	☆	☆	☆	8.0	58.0
8.0	8	9.5	0.20	45°	9.0	2	1P220-0800-XA	☆	☆	☆	☆	8.0	58.0
9.0	10	10.5	0.20	45°	10.0	2	1P220-0900-XA	☆	☆	☆	☆	10.0	66.0
9.7	10	11.5	0.20	45°	11.0	2	1P220-0970-XA	☆	☆	☆	☆	10.0	66.0
10.0	10	11.5	0.20	45°	11.0	2	1P220-1000-XA	☆	☆	☆	☆	10.0	66.0
11.7	12	12.5	0.20	45°	12.0	2	1P220-1170-XA	☆	☆	☆	☆	12.0	73.0
12.0	12	12.5	0.20	45°	12.0	2	1P220-1200-XA	☆	☆	☆	☆	12.0	73.0
13.7	14	14.5	0.20	45°	14.0	2	1P220-1370-XA	☆	☆	☆	☆	14.0	75.0
14.0	14	14.5	0.20	45°	14.0	2	1P220-1400-XA	☆	☆	☆	☆	14.0	75.0
15.7	16	16.5	0.20	45°	16.0	2	1P220-1570-XA	☆	☆	☆	☆	16.0	82.0
16.0	16	16.5	0.20	45°	16.0	2	1P220-1600-XA	☆	☆	☆	☆	16.0	82.0
17.7	18	18.5	0.20	45°	18.0	2	1P220-1770-XA	☆	☆	☆	☆	18.0	84.0
18.0	18	18.5	0.20	45°	18.0	2	1P220-1800-XA	☆	☆	☆	☆	18.0	84.0
19.7	20	20.5	0.30	45°	20.0	2	1P220-1970-XA	☆	☆	☆	☆	20.0	92.0
20.0	20	20.5	0.30	45°	20.0	2	1P220-2000-XA	☆	☆	☆	☆	20.0	92.0



A 49

Εικόνα 15.27 – Κονδύλι καρβιδίου με δύο κοπτικές ακμές



Tool overview MILLING					
Square shoulder milling					
Versatile					
Universal 30-35 degrees helix end mills					
TSYC	1P220-XA	1P220-XB	1P230-XA	1P230-XB	1P250-XA
Page	A49	A50	A51	A52	A53
Material	Primary/Secondary 	Primary/Secondary 	Primary/Secondary 	Primary/Secondary 	Primary/Secondary 
Main operation					
DC mm	1.00 – 20.00	1.80 – 20.00	1.00 – 20.00	2.00 – 20.00	2.00 – 20.00
DC inch	.039 – .787	.071 – .787	.039 – .787	.079 – .787	.079 – .787
APMX/DC	1.0 – 1.5xDC	1.0 – 1.5xDC	1.4 – 4.0xDC	1.4 – 3.0xDC	1.8 – 4.8xDC
Face geometry					
FHA	30°	30°	30°	30°	30°
ZEFP	2	2	2	2	2
RE mm	-	-	-	-	-
RE inch	-	-	-	-	-
CHW mm	0.00 - 0.30	0.00 - 0.30	0.00 - 0.30	0.00 - 0.30	0.00 - 0.30
CHW inch	.000 - .012	.000 - .012	.000 - .012	.000 - .012	.000 - .012
Shank	Cylindrical	Weldon	Cylindrical	Weldon	Cylindrical
BSG	DIN 6527 K	DIN 6527 K	DIN 6527 L	DIN 6527 L	Coromant
Grade	1630	1630	1630	1630	1630
Internal coolant					
Other operations					

Explanation of operation symbols, see page A48

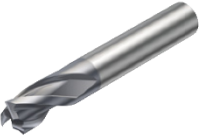


Εικόνα 15.28 - Κονδύλι καρβιδίου με δύο κοπτικές ακμές

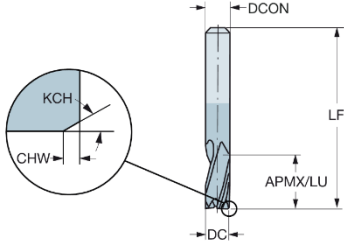
ENG
Solid milling tools - Versatile MILLING

### CoroMill® Plura solid carbide square shoulder end mill

Straight, center cut. Suitable for key slot tolerances. Hardness ≤ 48HRc  
Universal 30-35 degrees helix end mills





CNSC 1P221-XA  
FHA 0  
BSG 30°  
TCDC DIN 6527 K  
TCDCON e8  
h6





**Metric version**


							P	M	K	N	S	Dimensions, mm	
DC	CZC <sub>MS</sub>	APMX	CHW	KCH	LU	ZEFP	1630	1630	1630	1630	1630	DCON	LF
1.0	3	3.5			3.0	3	☆	☆	☆	☆	☆	3.0	38.0
1.5	3	3.5			3.0	3	☆	☆	☆	☆	☆	3.0	38.0
1.8	6	3.5			3.0	3	☆	☆	☆	☆	☆	6.0	50.0
2.0	6	3.5			3.0	3	☆	☆	☆	☆	☆	6.0	50.0
2.5	6	3.5	0.08	45°	3.0	3	☆	☆	☆	☆	☆	6.0	50.0
2.8	6	4.5	0.08	45°	4.0	3	☆	☆	☆	☆	☆	6.0	50.0
3.0	6	4.5	0.08	45°	4.0	3	☆	☆	☆	☆	☆	6.0	50.0
3.5	6	4.5	0.08	45°	4.0	3	☆	☆	☆	☆	☆	6.0	50.0
3.8	6	5.5	0.08	45°	5.0	3	☆	☆	☆	☆	☆	6.0	54.0
4.0	6	5.5	0.13	45°	5.0	3	☆	☆	☆	☆	☆	6.0	54.0
4.5	6	5.5	0.13	45°	5.0	3	☆	☆	☆	☆	☆	6.0	54.0
4.8	6	6.5	0.13	45°	6.0	3	☆	☆	☆	☆	☆	6.0	54.0
5.0	6	6.5	0.13	45°	6.0	3	☆	☆	☆	☆	☆	6.0	54.0
5.8	6	7.5	0.13	45°	7.0	3	☆	☆	☆	☆	☆	6.0	54.0
6.0	6	7.5	0.13	45°	7.0	3	☆	☆	☆	☆	☆	6.0	54.0
6.8	8	8.5	0.13	45°	8.0	3	☆	☆	☆	☆	☆	8.0	58.0
7.0	8	8.5	0.13	45°	8.0	3	☆	☆	☆	☆	☆	8.0	58.0
7.8	8	9.5	0.13	45°	9.0	3	☆	☆	☆	☆	☆	8.0	58.0
8.0	8	9.5	0.20	45°	9.0	3	☆	☆	☆	☆	☆	8.0	58.0
9.0	10	10.5	0.20	45°	10.0	3	☆	☆	☆	☆	☆	10.0	66.0
9.7	10	11.5	0.20	45°	11.0	3	☆	☆	☆	☆	☆	10.0	66.0
10.0	10	11.5	0.20	45°	11.0	3	☆	☆	☆	☆	☆	10.0	66.0
11.7	12	12.5	0.20	45°	12.0	3	☆	☆	☆	☆	☆	12.0	73.0
12.0	12	12.5	0.20	45°	12.0	3	☆	☆	☆	☆	☆	12.0	73.0
13.7	14	14.5	0.20	45°	14.0	3	☆	☆	☆	☆	☆	14.0	75.0
14.0	14	14.5	0.20	45°	14.0	3	☆	☆	☆	☆	☆	14.0	75.0
15.7	16	16.5	0.20	45°	16.0	3	☆	☆	☆	☆	☆	16.0	82.0
16.0	16	16.5	0.20	45°	16.0	3	☆	☆	☆	☆	☆	16.0	82.0
17.7	18	18.5	0.20	45°	18.0	3	☆	☆	☆	☆	☆	18.0	84.0
18.0	18	18.5	0.20	45°	18.0	3	☆	☆	☆	☆	☆	18.0	84.0
19.7	20	20.5	0.30	45°	20.0	3	☆	☆	☆	☆	☆	20.0	92.0
20.0	20	20.5	0.30	45°	20.0	3	☆	☆	☆	☆	☆	20.0	92.0


 E3


 A224


 A244


 ISO 13399

 G2

 CNSC CXSC





















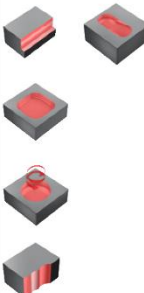
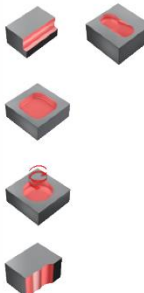




 G30

 G21



A 55

Εικόνα 15.29 - Κονδύλι καρβιδίου με τρεις κοπτικές ακμές


A	MILLING Tool overview					
	<b>Square shoulder milling</b> Versatile					
B	Universal 30-35 degrees helix end mills					
						
C	TSYC	1P250-XB	1P221-XA	1P221-XB	1P231-XA	1P231-XB
	Page	A54	A55	A56	A57	A58
D	Material	Primary/Secondary	Primary/Secondary	Primary/Secondary	Primary/Secondary	Primary/Secondary
						
E	Main operation					
	DC mm DC inch	2.00 – 20.00 .079 – .787	1.00 – 20.00 .039 – .787	1.80 – 20.00 .071 – .787	1.00 – 20.00 .039 – .787	2.00 – 20.00 .079 – .787
F	APMX/DC	1.8 – 4.8xDC	1.0 – 3.0xDC	1.0 – 3.0xDC	1.4 – 4.0xDC	1.4 – 3.0xDC
	Face geometry					
G	FHA	30°	30°	30°	30°	30°
	ZEP	2	3	3	3	3
A 4	RE mm RE inch	-	-	-	-	-
	CHW mm CHW inch	0.00 - 0.30 .000 - .012	0.00 - 0.30 .000 - .012	0.00 - 0.30 .000 - .012	0.00 - 0.30 .000 - .012	0.00 - 0.30 .000 - .012
A 4	Shank	Weldon	Cylindrical	Weldon	Cylindrical	Weldon
	BSG	Coromant	DIN 6527 K	DIN 6527 K	DIN 6527 L	DIN 6527 L
A 4	Grade	1630	1630	1630	1630	1630
	Internal coolant	✗	✗	✗	✗	✗
A 4	Other operations					
	Explanation of operation symbols, see page A48					
						

Εικόνα 15.30 - Κονδύλι καρβιδίου με τρεις κοπτικές ακμές

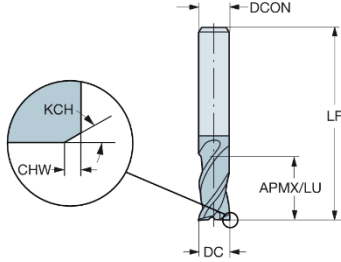
ENG
Solid milling tools - Versatile MILLING

### CoroMill® Plura solid carbide square shoulder end mill

Straight, centre cut. Hardness ≤ 48HRC  
Universal 30-35 degrees helix end mills





CNSC 1P240-XA  
FHA 0  
BSG 35°  
TCDC DIN 6527 L  
TCDCON h10  
          h6





#### Metric version


DC	CZC <sub>MS</sub>	APMX	CHW	KCH	LU	ZEFP	Ordering code	Dimensions, mm					
								P	M	K	N	S	DCON
2.0	6	7.5			7.0	4	1P240-0200-XA	☆	☆	☆	☆	6.0	57.0
3.0	6	8.5	0.08	45°	8.0	4	1P240-0300-XA	☆	☆	☆	☆	6.0	57.0
3.5	6	10.5	0.08	45°	10.0	4	1P240-0350-XA	☆	☆	☆	☆	6.0	57.0
4.0	6	11.5	0.13	45°	11.0	4	1P240-0400-XA	☆	☆	☆	☆	6.0	57.0
4.5	6	11.5	0.13	45°	11.0	4	1P240-0450-XA	☆	☆	☆	☆	6.0	57.0
5.0	6	13.5	0.13	45°	13.0	4	1P240-0500-XA	☆	☆	☆	☆	6.0	57.0
5.5	6	13.5	0.13	45°	13.0	4	1P240-0550-XA	☆	☆	☆	☆	6.0	57.0
6.0	6	13.5	0.13	45°	13.0	4	1P240-0600-XA	☆	☆	☆	☆	6.0	57.0
6.5	8	16.5	0.13	45°	16.0	4	1P240-0650-XA	☆	☆	☆	☆	8.0	63.0
7.0	8	16.5	0.13	45°	16.0	4	1P240-0700-XA	☆	☆	☆	☆	8.0	63.0
8.0	8	19.5	0.13	45°	19.0	4	1P240-0800-XA	☆	☆	☆	☆	8.0	63.0
9.0	10	19.5	0.13	45°	19.0	4	1P240-0900-XA	☆	☆	☆	☆	10.0	72.0
10.0	10	22.5	0.20	45°	22.0	4	1P240-1000-XA	☆	☆	☆	☆	10.0	72.0
12.0	12	26.5	0.20	45°	26.0	4	1P240-1200-XA	☆	☆	☆	☆	12.0	83.0
14.0	14	26.5	0.20	45°	26.0	4	1P240-1400-XA	☆	☆	☆	☆	14.0	83.0
16.0	16	32.5	0.20	45°	32.0	4	1P240-1600-XA	☆	☆	☆	☆	16.0	92.0
18.0	18	32.5	0.20	45°	32.0	4	1P240-1800-XA	☆	☆	☆	☆	18.0	92.0
20.0	20	38.5	0.30	45°	38.0	4	1P240-2000-XA	☆	☆	☆	☆	20.0	104.0
25.0	25	45.5	0.30	45°	45.0	4	1P240-2500-XA	☆	☆	☆	☆	25.0	121.0


 E3


 A224


 A244


 ISO 13399

 G2

 CNSC CXSC













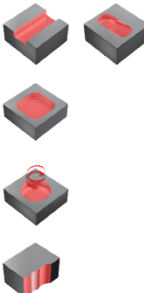
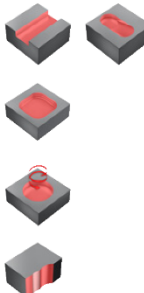


 G30

 G21



A 65

Εικόνα 15.31 - Κονδύλι καρβιδίου με τέσσερις κοπτικές ακμές

A	MILLING Tool overview				
	<b>Square shoulder milling</b> Versatile				
B	Universal 30-35 degrees helix end mills				
					
C	TSYC	1P222-XB	1P240-XA	1P240-XB	
	Page	A64	A65	A66	
D	Material	Primary/Secondary	Primary/Secondary	Primary/Secondary	
					
E	Main operation				
	DC mm DC inch	2.00 - 25.00 .079 - .984	2.00 - 25.00 .079 - .984	2.00 - 25.00 .079 - .984	
F	APMX/DC	1.3 - 2.0xDC	1.8 - 3.5xDC	1.8 - 3.5xDC	
	Face geometry				
G	FHA	35°	35°	35°	
	ZFEP	4	4	4	
A	RE mm RE inch	- -	- -	- -	
	CHW mm CHW inch	0.00 - 0.30 .000 - .012	0.00 - 0.30 .000 - .012	0.00 - 0.30 .000 - .012	
A	Shank	Weldon	Cylindrical	Weldon	
	BSG	DIN 6527 K	DIN 6527 L	DIN 6527 L	
A	Grade	1630	1630	1630	
	Internal coolant	✗	✗	✗	
A	Other operations				
	Explanation of operation symbols, see page A48				
A 6					
					

Εικόνα 15.32 - Κονδύλι καρβιδίου με τέσσερις κοπτικές ακμές

<b>A</b>	MILLING      Cutting data																																																																																																																																																																																																																																														
	<p><b>Cutting speed recommendations</b> CoroMill® Plura - Versatile</p>																																																																																																																																																																																																																																														
<b>B</b>	Universal 30-35 degrees helix end mills Universal 45 degrees helix end mills Chip breaker profile																																																																																																																																																																																																																																														
	$a_e = 1.0 \times DC$ $a_p = 0.5 \times DC$				$a_e = 0.5 \times DC$ $a_p = 1.0 \times DC$				$a_e = 0.1 \times DC$ $a_p = 1.5 \times DC$																																																																																																																																																																																																																																						
	<table border="1" style="width: 100%; border-collapse: collapse;"> <thead> <tr> <th>ISO</th> <th>MC No.</th> <th>CMC</th> <th>Material</th> <th>HB</th> <th><math>f_z^*</math></th> <th><math>v_c</math> m/min</th> <th><math>v_c</math> feet/min</th> <th><math>f_z^*</math></th> <th><math>v_c</math> m/min</th> <th><math>v_c</math> feet/min</th> <th><math>f_z^*</math></th> <th><math>v_c</math> m/min</th> <th><math>v_c</math> feet/min</th> </tr> </thead> <tbody> <tr> <td rowspan="3" style="background-color: #e0ffff; text-align: center;"><b>P</b></td> <td>P1.2.Z.AN</td> <td>01.2</td> <td>Unalloyed steel</td> <td>190</td> <td>F52</td> <td>145</td> <td>476</td> <td>F47</td> <td>175</td> <td>574</td> <td>F55</td> <td>290</td> <td>951</td> </tr> <tr> <td>P2.2.Z.AN</td> <td>02.2</td> <td>Low-alloyed steel</td> <td>240</td> <td>F52</td> <td>110</td> <td>361</td> <td>F47</td> <td>135</td> <td>443</td> <td>F55</td> <td>200</td> <td>656</td> </tr> <tr> <td>P3.0.Z.HT</td> <td>03.21</td> <td>High alloyed steel</td> <td>380</td> <td>F52</td> <td>80</td> <td>262</td> <td>F47</td> <td>100</td> <td>328</td> <td>F55</td> <td>170</td> <td>558</td> </tr> <tr> <td rowspan="3" style="background-color: #ffffe0; text-align: center;"><b>M</b></td> <td>P5.0.Z.AN</td> <td>05.11</td> <td>Ferritic/martensitic stainless steel</td> <td>200</td> <td>F52</td> <td>65</td> <td>213</td> <td>F47</td> <td>80</td> <td>262</td> <td>F55</td> <td>150</td> <td>492</td> </tr> <tr> <td>M1.0.Z.AQ</td> <td>05.21</td> <td>Austenitic stainless steel</td> <td>200</td> <td>F51</td> <td>65</td> <td>213</td> <td>F46</td> <td>80</td> <td>262</td> <td>F54</td> <td>120</td> <td>394</td> </tr> <tr> <td>M3.2.Z.AQ</td> <td>05.51</td> <td>Duplex (austenitic/ferritic) stainless steel</td> <td>260</td> <td>F51</td> <td>55</td> <td>180</td> <td>F46</td> <td>70</td> <td>230</td> <td>F54</td> <td>90</td> <td>295</td> </tr> <tr> <td rowspan="3" style="background-color: #ffe0e0; text-align: center;"><b>K</b></td> <td>K1.1.C.NS</td> <td>07.2</td> <td>Malleable cast iron</td> <td>200</td> <td>F52</td> <td>140</td> <td>459</td> <td>F47</td> <td>165</td> <td>541</td> <td>F55</td> <td>150</td> <td>492</td> </tr> <tr> <td>K2.1.C.UT</td> <td>08.2</td> <td>Grey cast iron</td> <td>180</td> <td>F52</td> <td>130</td> <td>427</td> <td>F47</td> <td>150</td> <td>492</td> <td>F55</td> <td>200</td> <td>656</td> </tr> <tr> <td>K3.2.C.UT</td> <td>09.2</td> <td>Nodular cast iron</td> <td>215</td> <td>F52</td> <td>125</td> <td>410</td> <td>F47</td> <td>145</td> <td>476</td> <td>F55</td> <td>155</td> <td>509</td> </tr> <tr> <td rowspan="4" style="background-color: #e0ffe0; text-align: center;"><b>N</b></td> <td>N1.2.Z.AG</td> <td>30.12</td> <td>Aluminium based alloys</td> <td>100</td> <td>F53</td> <td>680</td> <td>2231</td> <td>F50</td> <td>835</td> <td>2740</td> <td>F56</td> <td>950</td> <td>3117</td> </tr> <tr> <td>N1.3.C.UT</td> <td>30.21</td> <td>Aluminium based alloys</td> <td>75</td> <td>F53</td> <td>230</td> <td>755</td> <td>F50</td> <td>305</td> <td>1001</td> <td>F56</td> <td>410</td> <td>1345</td> </tr> <tr> <td>N1.4.C.NS</td> <td>30.42</td> <td>Aluminium based alloys</td> <td>130</td> <td>F53</td> <td>100</td> <td>328</td> <td>F50</td> <td>130</td> <td>427</td> <td>F56</td> <td>195</td> <td>640</td> </tr> <tr> <td>N3.2.C.UT</td> <td>33.2</td> <td>Copper and copper alloys</td> <td>90</td> <td>F53</td> <td>130</td> <td>427</td> <td>F50</td> <td>170</td> <td>558</td> <td>F56</td> <td>245</td> <td>804</td> </tr> <tr> <td rowspan="3" style="background-color: #ffe0e0; text-align: center;"><b>S</b></td> <td>S1.0.U.AG</td> <td>20.12</td> <td>Iron based superalloys</td> <td>280</td> <td>F51</td> <td>30</td> <td>98</td> <td>F46</td> <td>40</td> <td>131</td> <td>F54</td> <td>50</td> <td>164</td> </tr> <tr> <td>S2.0.Z.AG</td> <td>20.22</td> <td>Nickel based super alloys</td> <td>350</td> <td>F51</td> <td>30</td> <td>98</td> <td>F46</td> <td>40</td> <td>131</td> <td>F54</td> <td>60</td> <td>197</td> </tr> <tr> <td>S4.2.Z.AN</td> <td>23.22</td> <td>Titanium based alloys</td> <td>320</td> <td>F51</td> <td>40</td> <td>131</td> <td>F46</td> <td>50</td> <td>164</td> <td>F54</td> <td>100</td> <td>328</td> </tr> </tbody> </table>													ISO	MC No.	CMC	Material	HB	$f_z^*$	$v_c$ m/min	$v_c$ feet/min	$f_z^*$	$v_c$ m/min	$v_c$ feet/min	$f_z^*$	$v_c$ m/min	$v_c$ feet/min	<b>P</b>	P1.2.Z.AN	01.2	Unalloyed steel	190	F52	145	476	F47	175	574	F55	290	951	P2.2.Z.AN	02.2	Low-alloyed steel	240	F52	110	361	F47	135	443	F55	200	656	P3.0.Z.HT	03.21	High alloyed steel	380	F52	80	262	F47	100	328	F55	170	558	<b>M</b>	P5.0.Z.AN	05.11	Ferritic/martensitic stainless steel	200	F52	65	213	F47	80	262	F55	150	492	M1.0.Z.AQ	05.21	Austenitic stainless steel	200	F51	65	213	F46	80	262	F54	120	394	M3.2.Z.AQ	05.51	Duplex (austenitic/ferritic) stainless steel	260	F51	55	180	F46	70	230	F54	90	295	<b>K</b>	K1.1.C.NS	07.2	Malleable cast iron	200	F52	140	459	F47	165	541	F55	150	492	K2.1.C.UT	08.2	Grey cast iron	180	F52	130	427	F47	150	492	F55	200	656	K3.2.C.UT	09.2	Nodular cast iron	215	F52	125	410	F47	145	476	F55	155	509	<b>N</b>	N1.2.Z.AG	30.12	Aluminium based alloys	100	F53	680	2231	F50	835	2740	F56	950	3117	N1.3.C.UT	30.21	Aluminium based alloys	75	F53	230	755	F50	305	1001	F56	410	1345	N1.4.C.NS	30.42	Aluminium based alloys	130	F53	100	328	F50	130	427	F56	195	640	N3.2.C.UT	33.2	Copper and copper alloys	90	F53	130	427	F50	170	558	F56	245	804	<b>S</b>	S1.0.U.AG	20.12	Iron based superalloys	280	F51	30	98	F46	40	131	F54	50	164	S2.0.Z.AG	20.22	Nickel based super alloys	350	F51	30	98	F46	40	131	F54	60	197	S4.2.Z.AN	23.22	Titanium based alloys	320	F51	40	131	F46	50	164	F54	100
ISO	MC No.	CMC	Material	HB	$f_z^*$	$v_c$ m/min	$v_c$ feet/min	$f_z^*$	$v_c$ m/min	$v_c$ feet/min	$f_z^*$	$v_c$ m/min	$v_c$ feet/min																																																																																																																																																																																																																																		
<b>P</b>	P1.2.Z.AN	01.2	Unalloyed steel	190	F52	145	476	F47	175	574	F55	290	951																																																																																																																																																																																																																																		
	P2.2.Z.AN	02.2	Low-alloyed steel	240	F52	110	361	F47	135	443	F55	200	656																																																																																																																																																																																																																																		
	P3.0.Z.HT	03.21	High alloyed steel	380	F52	80	262	F47	100	328	F55	170	558																																																																																																																																																																																																																																		
<b>M</b>	P5.0.Z.AN	05.11	Ferritic/martensitic stainless steel	200	F52	65	213	F47	80	262	F55	150	492																																																																																																																																																																																																																																		
	M1.0.Z.AQ	05.21	Austenitic stainless steel	200	F51	65	213	F46	80	262	F54	120	394																																																																																																																																																																																																																																		
	M3.2.Z.AQ	05.51	Duplex (austenitic/ferritic) stainless steel	260	F51	55	180	F46	70	230	F54	90	295																																																																																																																																																																																																																																		
<b>K</b>	K1.1.C.NS	07.2	Malleable cast iron	200	F52	140	459	F47	165	541	F55	150	492																																																																																																																																																																																																																																		
	K2.1.C.UT	08.2	Grey cast iron	180	F52	130	427	F47	150	492	F55	200	656																																																																																																																																																																																																																																		
	K3.2.C.UT	09.2	Nodular cast iron	215	F52	125	410	F47	145	476	F55	155	509																																																																																																																																																																																																																																		
<b>N</b>	N1.2.Z.AG	30.12	Aluminium based alloys	100	F53	680	2231	F50	835	2740	F56	950	3117																																																																																																																																																																																																																																		
	N1.3.C.UT	30.21	Aluminium based alloys	75	F53	230	755	F50	305	1001	F56	410	1345																																																																																																																																																																																																																																		
	N1.4.C.NS	30.42	Aluminium based alloys	130	F53	100	328	F50	130	427	F56	195	640																																																																																																																																																																																																																																		
	N3.2.C.UT	33.2	Copper and copper alloys	90	F53	130	427	F50	170	558	F56	245	804																																																																																																																																																																																																																																		
<b>S</b>	S1.0.U.AG	20.12	Iron based superalloys	280	F51	30	98	F46	40	131	F54	50	164																																																																																																																																																																																																																																		
	S2.0.Z.AG	20.22	Nickel based super alloys	350	F51	30	98	F46	40	131	F54	60	197																																																																																																																																																																																																																																		
	S4.2.Z.AN	23.22	Titanium based alloys	320	F51	40	131	F46	50	164	F54	100	328																																																																																																																																																																																																																																		
*For feed recommendations, compare the $f_z$ code with the corresponding code on page A240 and A241																																																																																																																																																																																																																																															
<b>F</b>																																																																																																																																																																																																																																															
<b>G</b>																																																																																																																																																																																																																																															
A 224																																																																																																																																																																																																																																															

Εικόνα 15.33 – Συνθήκες κατεργασίας για κονδύλια καρβιδίου

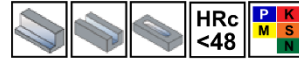




MELIN — THE PRODUCTIVITY PROS



**SERIES: A - CENTER CUTTING END MILLS - METRIC**  
**2 FLUTE, ALL LENGTHS**



TOOL	BRIGHT EDP	TICN EDP	LENGTH	MAT	DIA	SHK	LOC	OAL
A-M6M2	16339	46339	std	M42	2mm	6mm	7mm	57mm
A-M6M3	16340	46340	std	M42	3mm	6mm	8mm	57mm
A-M6M4	16341	46341	std	M42	4mm	6mm	11mm	57mm
A-M6M5	16342	46342	std	M42	5mm	6mm	13mm	57mm
A-M6M6	16343	46343	std	M42	6mm	6mm	13mm	57mm
A-M10M7	16344	46344	std	M42	7mm	10mm	16mm	69mm
A-M10M8	16345	46345	std	M42	8mm	10mm	19mm	69mm
A-M10M9	16346	46346	std	M42	9mm	10mm	19mm	69mm
A-M10M10	16347	46347	std	M42	10mm	10mm	22mm	72mm
A-M12M11	16348	46348	std	M42	11mm	12mm	22mm	79mm
A-M12M12	16349	46349	std	M42	12mm	12mm	26mm	83mm
A-M12M13	16350	46350	std	M42	13mm	12mm	26mm	83mm
A-M12M14	16351	46351	std	M42	14mm	12mm	26mm	83mm
A-M12M15	16352	46352	std	M42	15mm	12mm	26mm	83mm
A-M16M16	16353	46353	std	M42	16mm	16mm	32mm	92mm
A-M16M17	16354	46354	std	M42	17mm	16mm	32mm	92mm
A-M16M18	16355	46355	std	M42	18mm	16mm	32mm	92mm
A-M16M19	16356	46356	std	M42	19mm	16mm	32mm	92mm
A-M20M20	16357	46357	std	M42	20mm	20mm	38mm	104mm
A-M20M21	16358	46358	std	M42	21mm	20mm	38mm	104mm
A-M20M22	16359	46359	std	M42	22mm	20mm	38mm	104mm
A-M20M23	16360	46360	std	M42	23mm	20mm	38mm	104mm
A-M25M24	16361	46361	std	M42	24mm	25mm	45mm	121mm
A-M25M25	16362	46362	std	M42	25mm	25mm	45mm	121mm
A-M25M30	16363	46363	std	M42	30mm	25mm	45mm	121mm
A-M32M32	16364	46364	std	M42	32mm	32mm	53mm	133mm



GENERAL PURPOSE COBALIT & HSS END MILLS



**Melin Distributes Across the Globe**

Visit us online to find out more!

[www.melintool.com](http://www.melintool.com)



ICON GLOSSARY: Information Page 11  
SPEED & FEED: Information Page 198

SALES@MELINTOOL.COM • WWW.MELINTOOL.COM • SPECIALS@MELINTOOL.COM

155

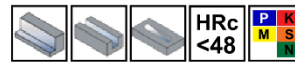
Εικόνα 15.34 – Κονδύλι κοβαλτίου με δύο κοπτικές ακμές



MELIN — THE PRODUCTIVITY PROS



**SERIES: E - CENTER CUTTING END MILLS**  
**3 FLUTE, ALL LENGTHS**



TOOL	BRIGHT EDP	TICN EDP	LENGTH	MAT	DIA	SHK	LOC	OAL
E-1203	12022	42022	std	M42	3/32	3/8	5/16	2-1/4
E-1204	12024	42024	std	M42	1/8	3/8	3/8	2-5/16
E-1205	12026	42026	std	M42	5/32	3/8	7/16	2-5/16
E-1206	12028	42028	std	M42	3/16	3/8	1/2	2-3/8
E-1206-L	12266	42266	long	M42	3/16	3/8	3/4	2-5/8
E-1207	12030	42030	std	M42	7/32	3/8	1/2	2-3/8
E-1207-L	12268	42268	long	M42	7/32	3/8	1-1/4	3-1/8
E-1208	12032	42032	std	M42	1/4	3/8	5/8	2-7/16
E-1208-L	12270	42270	long	M42	1/4	3/8	1-1/4	3-1/16
E-1209	12034	42034	std	M42	9/32	3/8	11/16	2-1/2
E-1209-L	12272	42272	long	M42	9/32	3/8	1-3/8	3-1/8
E-1210	12036	42036	std	M42	5/16	3/8	3/4	2-1/2
E-1210-L	12274	42274	long	M42	5/16	3/8	1-3/8	3-1/8
E-1211	12038	42038	std	M42	11/32	3/8	3/4	2-1/2
E-1211-L	12276	42276	long	M42	11/32	3/8	1-1/2	3-1/4
E-1212	12040	42040	std	M42	3/8	3/8	3/4	2-1/2
E-1212-L	12278	42278	long	M42	3/8	3/8	1-1/2	3-1/4
E-1213	12042	42042	std	M42	13/32	3/8	1	2-11/16
E-1214	12044	42044	std	M42	7/16	3/8	1	2-11/16
E-1614-L	12280	42280	long	M42	7/16	1/2	1-3/4	3-3/4
E-1615	12048	42048	std	M42	15/32	1/2	1-1/4	3-1/4
E-1216	12046	42046	std	M42	1/2	3/8	1	2-11/16
E-1616	12050	42050	std	M42	1/2	1/2	1-1/4	3-1/4
E-1616-L	12282	42282	long	M42	1/2	1/2	2	4
E-1617	12052	42052	std	M42	17/32	1/2	1-3/8	3-3/8
E-1618	12054	42054	std	M42	9/16	1/2	1-3/8	3-3/8
E-1619	12056	42056	std	M42	19/32	1/2	1-3/8	3-3/8
E-1620	12058	42058	std	M42	5/8	1/2	1-3/8	3-3/8
E-2020	12084	42084	std	M42	5/8	5/8	1-5/8	3-3/4
E-2020-L	12284	42284	long	M42	5/8	5/8	2-1/2	4-5/8
E-1621	12060	42060	std	M42	21/32	1/2	1-5/8	3-5/8
E-1622	12062	42062	std	M42	11/16	1/2	1-5/8	3-5/8
E-1623	12064	42064	std	M42	23/32	1/2	1-5/8	3-5/8
E-1624	12066	42066	std	M42	3/4	1/2	1-5/8	3-5/8
E-2024	12086	42086	std	M42	3/4	5/8	1-5/8	3-3/4
E-2424	12096	42096	std	M42	3/4	3/4	1-5/8	3-7/8
E-2424-L	12286	42286	long	M42	3/4	3/4	3	5-1/4
E-1625	12068	42068	std	M42	25/32	1/2	1-5/8	3-5/8
E-1626	12070	42070	std	M42	13/16	1/2	1-5/8	3-5/8



GENERAL PURPOSE COBALT & HSS END MILLS

SIZES CONTINUE ON NEXT PAGE



ICON GLOSSARY: Information Page 11  
SPEED & FEED: Information Page 198

SALES@MELINTOOL.COM • WWW.MELINTOOL.COM • SPECIALS@MELINTOOL.COM

161

Εικόνα 15.35 - Κονδύλι κοβαλτίου με τρεις κοπτικές ακμές



EXPERIENCE • TECHNOLOGY • PERFORMANCE • PRODUCTIVITY

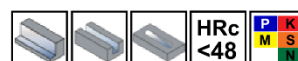


**SERIES: CC - CENTER CUTTING END MILLS - METRIC**  
**4 FLUTE, ALL LENGTHS**



TOOL	BRIGHT EDP	TICN EDP	LENGTH	MAT	DIA	SHK	LOC	OAL
CC-M6M2	16365	46365	std	M42	2mm	6mm	7mm	57mm
CC-M6M3	16366	46366	std	M42	3mm	6mm	8mm	57mm
CC-M6M4	16367	46367	std	M42	4mm	6mm	11mm	57mm
CC-M6M5	16368	46368	std	M42	5mm	6mm	13mm	57mm
CC-M6M6	16369	46369	std	M42	6mm	6mm	13mm	57mm
CC-M10M7	16370	46370	std	M42	7mm	10mm	16mm	69mm
CC-M10M8	16371	46371	std	M42	8mm	10mm	19mm	69mm
CC-M10M9	16372	46372	std	M42	9mm	10mm	19mm	69mm
CC-M10M10	16373	46373	std	M42	10mm	10mm	22mm	72mm
CC-M12M11	16374	46374	std	M42	11mm	12mm	22mm	79mm
CC-M12M12	16375	46375	std	M42	12mm	12mm	26mm	83mm
CC-M12M13	16376	46376	std	M42	13mm	12mm	26mm	83mm
CC-M12M14	16377	46377	std	M42	14mm	12mm	26mm	83mm
CC-M12M15	16378	46378	std	M42	15mm	12mm	26mm	83mm
CC-M16M16	16379	46379	std	M42	16mm	16mm	32mm	92mm
CC-M16M17	16380	46380	std	M42	17mm	16mm	32mm	92mm
CC-M16M18	16381	46381	std	M42	18mm	16mm	32mm	92mm
CC-M16M19	16382	46382	std	M42	19mm	16mm	32mm	92mm
CC-M20M20	16383	46383	std	M42	20mm	20mm	38mm	104mm

**SERIES: C - NON - CENTER CUTTING END MILLS - METRIC**  
**6 FLUTE, ALL LENGTHS**



TOOL	BRIGHT EDP	TICN EDP	LENGTH	MAT	DIA	SHK	LOC	OAL
C-M20M21	16384	46384	std	M42	21mm	20mm	38mm	104mm
C-M20M22	16385	46385	std	M42	22mm	20mm	38mm	104mm
C-M20M23	16386	46386	std	M42	23mm	20mm	38mm	104mm
C-M25M24	16387	46387	std	M42	24mm	25mm	45mm	121mm
C-M25M25	16388	46388	std	M42	25mm	25mm	45mm	121mm
C-M25M30	16389	46389	std	M42	30mm	25mm	45mm	121mm
C-M32M32	16390	46390	std	M42	32mm	32mm	53mm	133mm

**COATINGS:** Preferred coating listed for increased production output. To order tools with a different coating, add TiN, TiCN, or AlTiN after tool name or change first digit of Bright EDP to 2 for TiN, 4 for TiCN, or 5 for AlTiN.



Εικόνα 15.36 - Κονδύλι κοβαλτίου με τέσσερις κοπτικές ακμές

TECHNICAL INFORMATION > TECHNICAL INFORMATION > TECHNICAL INFORMATION

Cobalt HSS & HSS End Mills - Speed & Feed Recommendations  
Applications in Various Materials

MATERIAL	HEAT-RESISTANT COBALT BASE ALLOYS, HIGH TENSILE STEELS (50-55 C)		HEAT-RESISTANT AUSTENITIC ALLOYS, HIGH TENSILE STEELS (46-50 C)		HEAT-RESISTANT NICKEL BASE ALLOYS, HIGH STRENGTH STAINLESS STEELS, HIGH STRENGTH TITANIUM ALLOYS		HIGH STRENGTH STAINLESS STEELS, HIGH TENSILE STEELS (40-60 C)		HEAT RESISTANT FERRITIC BASE ALLOYS MEDIUM STRENGTH STAINLESS STEELS UNALLOYED TITANIUM TOOL STEELS (30-40 C)		MACHINE STEEL, HARD BRASS AND BRONZE, ELECTROLYTIC COPPER MILD STEEL FORGINGS (20-30 C)		CAST IRON, MILD STEEL, HALF-HARD BRASS AND BRONZE		BRASS, BRONZE, ALLOYED ALUMINUM, ABRASIVE PLASTICS		ALUMINUM, PLASTICS, WOOD	
	SPEED		SPEED		SPEED		SPEED		SPEED		SPEED		SPEED		SPEED		SPEED	
	5-10 SFM	FEED	10-15 SFM	FEED	15-20 SFM	FEED	20-40 SFM	FEED	40-60 SFM	FEED	60-80 SFM	FEED	80-100 SFM	FEED	100-200 SFM	FEED	200-600 SFM	FEED
DIA. OF END MILLS	RPM	CHIP LOAD PER TOOTH	RPM	CHIP LOAD PER TOOTH	RPM	CHIP LOAD PER TOOTH	RPM	CHIP LOAD PER TOOTH	RPM	CHIP LOAD PER TOOTH	RPM	CHIP LOAD PER TOOTH	RPM	CHIP LOAD PER TOOTH	RPM	CHIP LOAD PER TOOTH	RPM	CHIP LOAD PER TOOTH
1/16	-	-	-	-	-	-	1222-2444	.0002-.0005	2444-3667	.0002-.0005	3667-4888	.0002-.0005	4888-6111	.0002-.0005	6111-12222	.0002-.0005	12222 UP	.0002-.0005
3/32	-	-	-	-	611-815	.0002-.0005	815-1629	.0002-.0005	1629-2750	.0002-.0005	2750-3259	.0002-.0005	3259-4073	.0002-.0005	4073-8146	.0002-.0005	8146 UP	.0002-.0005
1/8	-	-	-	-	456-611	.0002-.0005	611-1222	.0002-.0005	1222-1833	.0002-.0005	1833-2440	.0002-.0005	2440-3056	.0002-.0005	3056-6112	.0002-.0005	6112 UP	.0002-.0005
3/16	-	-	204-306	.0002-.0005	306-407	.0002-.0005	407-815	.0002-.0005	815-1222	.0002-.0005	1222-1625	.0002-.0005	1625-2037	.0002-.0005	2037-4074	.0002-.0005	4074-12222	.0002-.0005
1/4	76-153	.0002-.001	153-230	.0002-.001	229-306	.0002-.001	306-611	.0002-.001	611-917	.0002-.001	917-1222	.0005-.002	1222-1528	.0005-.002	1528-3056	.0005-.002	3056-9168	.0005-.002
5/16	61-122	.0002-.001	122-183	.0002-.001	183-244	.0002-.001	244-489	.0002-.001	489-733	.0002-.001	733-978	.0005-.002	978-1222	.0005-.002	1222-2444	.0005-.002	2444-7332	.0005-.002
3/8	51-102	.0002-.001	102-153	.0002-.001	153-203	.0002-.001	203-407	.0005-.002	406-611	.0005-.002	611-815	.001-.003	815-1019	.001-.003	1019-2038	.0005-.003	2038-6114	.0005-.002
7/16	44-88	.0005-.001	88-132	.0005-.001	131-175	.0005-.002	175-349	.0005-.002	349-524	.0005-.002	524-698	.001-.003	698-873	.001-.003	873-1746	.0005-.003	1746-5238	.0005-.002
1/2	38-76	.0005-.001	76-115	.0005-.001	115-153	.0005-.002	153-306	.0005-.003	306-458	.001-.003	458-611	.001-.003	611-764	.001-.003	764-1528	.0005-.003	1528-4584	.0005-.002
9/16	34-68	.0005-.002	68-104	.0005-.002	104-136	.0005-.002	136-272	.0005-.003	272-412	.001-.003	412-543	.001-.004	543-678	.001-.004	678-1356	.0005-.004	1356-4071	.0005-.003
5/8	31-61	.0005-.002	61-92	.0005-.002	92-122	.0005-.002	122-244	.001-.004	244-367	.001-.004	367-489	.001-.004	489-611	.001-.004	611-1222	.0005-.004	1222-3666	.0005-.003
11/16	28-56	.0005-.002	56-84	.0005-.002	84-111	.0005-.002	111-222	.001-.004	222-337	.001-.004	337-444	.001-.004	444-555	.001-.004	555-1110	.0005-.004	1110-3330	.0005-.003
3/4	26-51	.0005-.002	51-76	.0005-.002	76-102	.001-.004	102-203	.001-.004	203-306	.001-.004	306-407	.001-.004	407-509	.002-.006	509-1018	.001-.006	1018-3054	.001-.004
13/16	24-47	.001-.003	47-71	.001-.003	71-94	.001-.004	94-189	.001-.004	189-284	.001-.004	284-379	.002-.006	379-469	.002-.006	469-938	.001-.006	938-2814	.001-.004
7/8	22-44	.001-.003	44-65	.001-.003	65-87	.001-.004	87-175	.001-.004	175-262	.002-.006	262-349	.002-.006	349-436	.002-.006	436-872	.001-.006	872-2616	.001-.004
15/16	20-40	.001-.003	40-62	.001-.003	62-81	.001-.004	81-163	.001-.004	163-246	.002-.006	246-326	.002-.006	326-407	.002-.006	407-814	.001-.006	814-2442	.001-.004
1	19-38	.001-.003	38-58	.001-.003	58-76	.001-.004	76-153	.002-.006	153-229	.002-.006	229-306	.002-.006	306-382	.002-.006	382-764	.002 UP	764-2292	.002 UP
1 1/8	34	.0015-.004	34-51	.0015-.004	51-68	.0015-.005	68-136	.002-.006	136-204	.002-.006	204-272	.002-.006	272-340	.003 UP	340-680	.002 UP	680-2040	.002 UP
1 1/4	31	.0015-.004	31-46	.0015-.004	46-61	.0015-.005	61-122	.002-.006	122-183	.002-.006	183-244	.003 UP	244-306	.003 UP	306-612	.002 UP	612-1836	.002 UP
1 3/8	28	.0015-.004	28-42	.0015-.004	42-55	.0015-.005	55-111	.002-.006	111-167	.003 UP	167-222	.003 UP	222-278	.003 UP	278-556	.002 UP	556-1668	.002 UP
1 1/2	26	.0015-.004	26-38	.0015-.004	38-51	.002 UP	51-102	.003 UP	102-153	.003 UP	153-204	.003 UP	204-255	.003 UP	255-510	.003 UP	510-1530	.002 UP
1 5/8	24	.002 UP	35	.002 UP	35-47	.002 UP	47-94	.003 UP	94-141	.003 UP	141-188	.003 UP	188-235	.003 UP	235-470	.003 UP	470-1410	.002 UP
1 3/4	22	.002 UP	32	.002 UP	32-43	.002 UP	43-87	.003 UP	87-131	.003 UP	131-175	.003 UP	175-218	.003 UP	218-436	.003 UP	436-1308	.002 UP
1 7/8	20	.002 UP	30	.002 UP	30-40	.003 UP	40-81	.003 UP	81-122	.003 UP	122-163	.003 UP	163-204	.003 UP	204-408	.003 UP	408-1224	.003 UP
2	19	.002 UP	29	.003 UP	29-38	.003 UP	38-76	.003 UP	76-115	.003 UP	115-153	.003 UP	153-191	.003 UP	191-382	.003 UP	382-1146	.003 UP
2 1/8	18	.003 UP	28	.003 UP	36	.003 UP	36-72	.003 UP	72-108	.003 UP	108-144	.003 UP	144-179	.003 UP	179-358	.003 UP	358-1074	.003 UP
2 1/4	17	.003 UP	26	.003 UP	34	.003 UP	34-68	.003 UP	68-102	.003 UP	103-136	.003 UP	136-170	.003 UP	170-340	.003 UP	340-1020	.003 UP
2 3/8	16	.003 UP	25	.003 UP	32	.003 UP	32-64	.003 UP	64-97	.003 UP	97-128	.003 UP	128-161	.003 UP	161-322	.003 UP	322-966	.003 UP
2 1/2	15	.003 UP	23	.003 UP	30	.003 UP	30-61	.003 UP	61-92	.003 UP	92-122	.003 UP	122-153	.003 UP	153-306	.003 UP	306-918	.003 UP
2 5/8	15	.003 UP	22	.003 UP	29	.003 UP	29-58	.003 UP	58-88	.003 UP	88-116	.003 UP	116-145	.003 UP	145-290	.003 UP	290-870	.003 UP
2 3/4	14	.003 UP	21	.003 UP	28	.003 UP	28-56	.003 UP	56-83	.003 UP	83-111	.003 UP	111-139	.003 UP	139-278	.003 UP	278-834	.003 UP
2 7/8	14	.003 UP	20	.003 UP	27	.003 UP	27-53	.003 UP	53-80	.003 UP	80-106	.003 UP	106-132	.003 UP	132-264	.003 UP	264-792	.003 UP
3	13	.003 UP	19	.003 UP	26	.003 UP	26-51	.003 UP	51-76	.003 UP	76-102	.003 UP	102-127	.003 UP	127-154	.003 UP	254-762	.003 UP

198

PHONE 216/362-4200 • 800/521-1078 • FAX 216/362-4230 • 800/521-1558



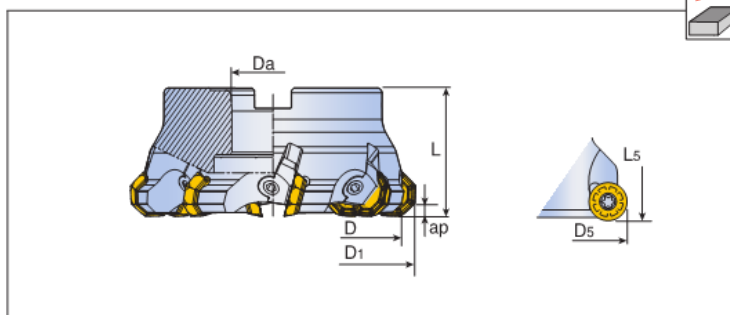
EXPERIENCE • TECHNOLOGY • PERFORMANCE • PRODUCTIVITY

Εικόνα 15.37 – Συνθήκες κατεργασίας για κονδύλια καρβιδίου

## TFM43ZOFW-07

CHASECTO

Face mill



Designation	Z	Dimension (mm)							Arbor style	Kg	Mounting bolt	Insert
		D	D <sub>1</sub>	D <sub>5</sub>	D <sub>a</sub>	L	L <sub>5</sub>	ap				
<b>TFM43ZOFW 463-22R-07</b>	4	63	75.1	76.9	22	40	40.7	5	A	0.5	LH M10x1.5x25	OFCN 0704...
<b>580-27R-07</b>	5	80	92.0	93.8	27	50	50.7	5	A	1.2	SH M12x1.75x35	OFCR 0704...
<b>6100-32R-07</b>	6	100	112.0	113.8	32	50	50.7	5	B	1.8	-	OFMR 0704 ...
<b>8100-32R-07</b>	8	100	112.0	113.8	32	50	50.7	5	B	1.8	-	RFMR 1904...
<b>8125-40R-07</b>	8	125	137.0	139.2	40	63	63.7	5	B	3.0	-	E214
<b>10125-40R-07</b>	10	125	137.0	139.2	40	63	63.7	5	B	3.0	-	
<b>10160-40R-07</b>	10	160	172.0	173.8	40	63	63.7	5	C	4.7	-	
<b>12160-40R-07</b>	12	160	172.0	173.8	40	63	63.7	5	C	4.7	-	
<b>12200-60R-07</b>	12	200	212.0	213.8	60	63	63.7	5	C	7.0	-	
<b>14200-60R-07</b>	14	200	212.0	213.8	60	63	63.7	5	C	7.0	-	
<b>TFM43ZOFW 6100-31.75R-07</b>	6	100	112.0	113.8	31.75	50	50.7	5	B	1.8	-	
<b>8125-38.1R-07</b>	8	125	137.0	139.2	38.1	63	63.7	5	B	3.0	-	
<b>10160-50.8R-07</b>	10	160	172.0	173.8	50.8	63	63.7	5	B	4.7	-	

### Spare parts

Designation	Wedge screw	Wedge	Wrench		
<b>TFM43ZOFW</b>	WS8, *WS8S, WS8M	WFO-8Z	T-TW4		



\*WS8S: For TFM43ZOFW-463...only

E241-E243

E244-E245

TaeguTec  
Member of the Group

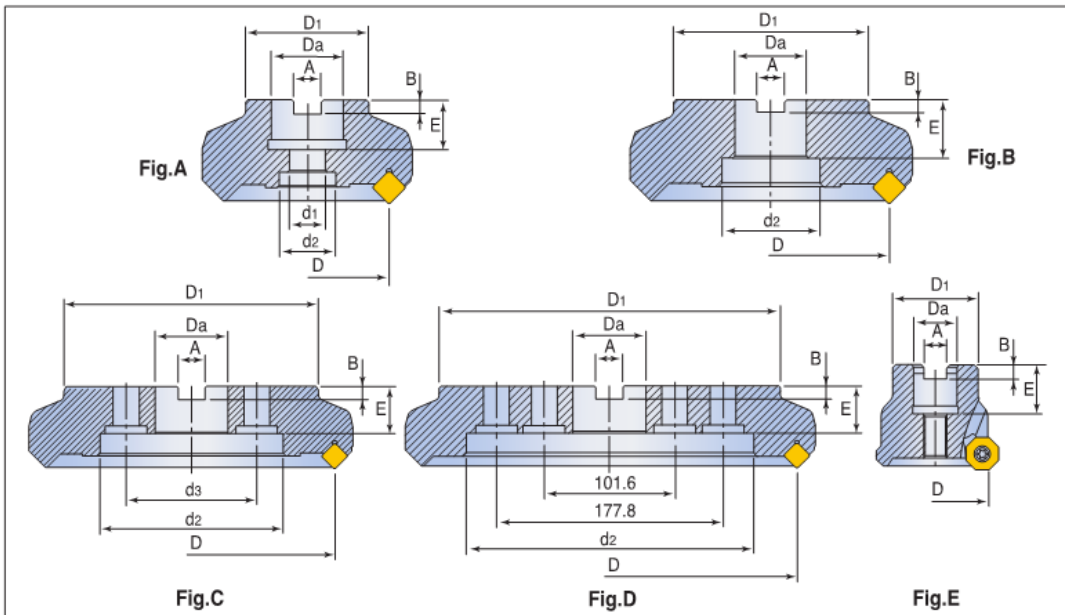
E  
85

Εικόνα 15.38 – Χαρακτηριστικά φρεζοκεφαλής (Cutter)



## Mounting Reference

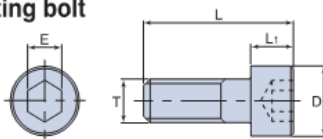
### Metric arbor style



Dimension (mm)										Fig.	Arbor
D	Da	A	B	E	D1		d1	d2	d3		
					For mold & die	For general					
32	16	8.4	5.6	20	30	-	-	-	-	E	SEM16
32	16	8.4	5.6	20	30	-	9	13.5	-	A	SEM16
40	16	8.4	5.6	20	38	-	9	13.5	-	A	SEM16
40	22	10.4	6.3	22	38	-	11	17	-	A	SEM22
50	22	10.4	6.3	22	40	45	11	17	-	A	SEM22
63	22	10.4	6.3	22	47	-	11	17	-	A	SEM22
80	27	12.4	7	28	58	70	13	22	-	A	SEM27
100	32	14.4	8	26	66	85	18	26	-	A	SEM32
100	32	14.4	8	26	66	85	-	46	-	B	SEM32
125	40	16.4	9	32	85	-	22	32	-	A	SEM40
125	40	16.4	9	32	85	-	-	56	-	B	SEM40
160	40	16.4	9	32	110	-	-	90	66.7	C	FM40
200	60	25.7	14	40	130	-	-	132	101.6	C	FM60
250	60	25.7	14	40	160	-	-	150	101.6	C	FM60
315	60	25.7	14	40	220	-	-	220	-	D	-

• For Face Mill arbors, please refer to TaeguTec tooling system(part G)

### Mounting bolt



#### SH type

Designation	Dimension (mm)					Cutter size
	D	L	L <sub>1</sub>	T	E	
SH M8x1.25x30(-C)	13	38	8	8	6	40
SH M10x1.5x30(-C)	16	40	10	10	8	50, 63
SH M12x1.75x35(-C)	18	47	12	12	10	80
SH M16x2x35(-C)	24	51	16	16	14	100

#### LH type

Designation	Dimension (mm)					Cutter size
	D	L	L <sub>1</sub>	T	E	
LH M10x1.5x25(-C)	16	31.5	6.5	10	8	50, 63
LH M12x1.75x30(-C)	18	36.9	6.9	12	8	80
LH M16x2x35(-C)	24	45	10	16	12	100

• "-C": Bolt with hole for internal coolant

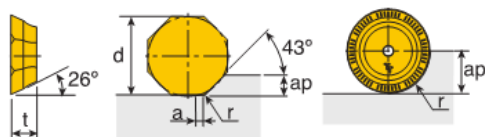
Εικόνα 15.39 – Τύπος φρεζοκεφαλής (Cutter)



# OFCN 07/OFMR 07/OFMR 07/RFMR 19

**CHASECTO**

Insert



RFMR

Size	Dimension (mm)				
	d	t	ap	a	r
OF.. 07	17.94	5.0-5.1	5.0	1.3-2.2	0.8
RFMR 19	19.00	5.3	9.5	-	9.5



Insert	Designation	Recommended machining conditions		Cermet	Coated							Uncoated	
		Feed (mm/tooth)	ap (mm)		CT7000	TT9080	TT9030	TT8080	TT8020	TT7800	TT7080		TT7515
	OFCN 0704 TN-MR	0.80-0.20	1.5-4.0	●				●		●	●	●	
	OFCN 0704 TN-EMR	0.08-0.15	1.5-4.0		●		●	●	●	●		●	
	OFMR 0704 AER-M	0.10-0.19	1.5-4.0		●	●	●	●	●	●	●	●	●
	OFMR 0704 TN-AL	0.08-0.15	1.5-4.0										●
	OFMR 0704 TN-ML	0.05-0.15	1.5-4.0					●		●		●	●
	OFMR 0704 TN-EML	0.08-0.15	1.5-4.0		●	●	●	●	●	●		●	
	RFMR 1904-M	0.07-0.14	2.5-8.0		●	●		●		●		●	

● : Standard items



E  
214



Εικόνα 15.40 – Χαρακτηριστικά ένθετων πλακιδίων φρεζοκεφαλής

## Recommended Cutting Conditions

### Machining data

Cutting Speed :Vc(m/min)

ISO	Material	Condition	Tensile strength (N/mm <sup>2</sup> )	Hardness HB	Material No.	Uncoated	
						K10	P30
P	Non-alloy steel, cast steel, free cutting steel	< 0.25%C	Annealed	420	125	1	60-170
		>= 0.25%C	Annealed	650	190	2	60-130
		< 0.55%C	Quenched and tempered	850	250	3	60-100
		>= 0.55%C	Annealed	750	220	4	60-120
			Quenched and tempered	1000	300	5	50-100
	Low alloy steel and cast steel (less than 5% of alloying elements)	Quenched and tempered	600	200	6	60-130	
			930	275	7	60-100	
			1000	300	8	50-100	
	High alloy steel, cast steel and tool steel	Annealed	680	200	10	60-130	
		Quenched and tempered	1100	325	11	50-100	
M	Stainless steel and cast steel	Ferritic / martensitic	680	200	12		
		Martensitic	820	240	13		
		Austenitic	600	180	14		
K	Gray cast iron (GG)	Ferritic		160	15	70-130	
		Pearlitic		250	16	50-110	
	Cast iron nodular (GGG)	Ferritic		180	17	45-90	
		Pearlitic		260	18	40-85	
Malleable cast iron	Ferritic		130	19	70-140		
	Pearlitic		230	20	55-115		
N	Aluminum - wrought alloy	Not cureable		60	21	550-700	
		Cured		100	22	600-750	
	Aluminum-cast, alloyed	<=12% Si	Not cureable		75	23	800-900
			Cured		90	24	650-800
	>12% Si	High temp.		130	25	250-320	
	Copper alloys	>1% Pb	Free cutting		110	26	300-400
			Brass		90	27	300-400
Non-metallic		Electrolytic copper		100	28	210-280	
		Duroplastics, fiber plastics			29		
S	High temp. alloys	Fe based	Annealed		200	31	50-70
			Cured		280	32	40-50
		Ni or Co based	Annealed		250	33	50-70
			Cured		350	34	35-40
	Titanium, Ti alloys	Cast			320	35	45-50
				Rm 400		36	120-145
			Alpha+beta alloys cured	Rm 1050		37	35-45
H	Hardened steel	Hardened		55HRC	38		
		Hardened		60HRC	39		
	Chilled cast iron	Cast		400	40		
	Cast iron nodular	Hardened		55HRC	41		

• For more information of material groups, see the materials & grades "material conversion table"

■ Steel   
 ■ Stainless steel   
 ■ Cast iron   
 ■ Nonferrous   
 ■ High temp. alloys   
 ■ Hardened steel

Εικόνα 15.41 – Συνθήκες κατεργασίας για φρεζοκεφαλή



Τεχνικά Φυλλάδια Στοιχείων Συγκράτησης Κοπτικών Εργαλείων

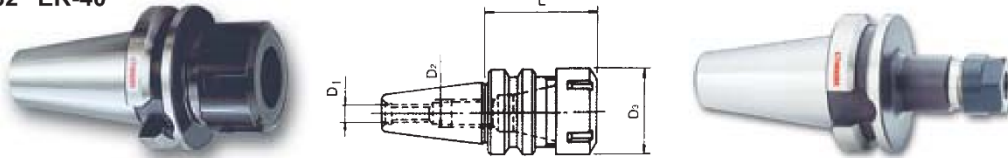


# ER Spring Collet Chuck System MAS403

Collet Holders With BT Taper Shank (For CNC Machine Center)

BT-SHANK

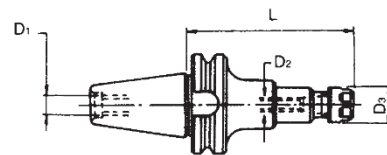
ER-32 ER-40



ORDER NO.	TAPER	COLLET TYPE	D1	D2	D3	L	KGS	CODE NO.	
V-700	BT30	ER32	M12	M12x1.75P	50	60	0.6	3031-303	
V-703A	BT40	ER32	M16X2.0P	M22x1.5P	50	70	1.2	3032-305	
V-703B		ER32	M16X2.0P	M22x1.5P	50	100	1.4	3032-306	
V-704	BT50	ER40	M16X2.0P	M22x1.5P	63	80	2.0	3032-307	
V-705		ER32	M24X3.0P	M28x1.5P	50	100	3.4	3033-305	
V-706B	BT30	ER40	M24X3.0P	M28x1.5P	63	150	5.8	3033-307	
V-707		ER50	M12	M36x1.5P	78	100	4.8	3033-308	
V-710		ER11	M12	M12x1.75P	19	60	0.6	3033-311	
V-711	BT40	ER11	M12	M12x1.75P	19	100	0.9	3033-312	
V-712		ER11M	M12	M12x1.75P	16	100	0.9	3033-313	
V-713		ER16	M12	M12x1.75P	28	100	0.9	3033-314	
V-714		ER16M	M12	M12x1.75P	22	100	0.9	3033-315	
V-715		ER20	M12	M12x1.75P	34	60	0.6	3033-316	
V-716		ER20	M12	M12x1.75P	34	100	0.9	3033-317	
V-717		ER20M	M12	M12x1.75P	28	100	0.9	3033-318	
V-718		ER25	M12	M12x1.75P	42	60	0.7	3033-319	
V-719		ER40	M12	M12x1.75P	63	70	0.9	3033-320	
V-720		BT30	ER11	M16	M22x11.5P	19	70	1	3033-321
V-721	ER11		M16	M22x11.5P	19	100	1.5	3033-322	
V-722A	ER11M		M16	M22x11.5P	16	100	1	3033-323	
V-723A	ER16M		M16	M22x11.5P	22	100	1.5	3033-324	
V-723B	ER16M		M16	M22x11.5P	22	150	1.6	3033-330	
V-724A	BT40		ER20M	M16	M22x11.5P	28	100	1.6	3033-325
V-724B			ER20M	M16	M22x11.5P	28	150	1.9	3033-331
V-725			ER25	M16	M22x11.5P	42	70	1.4	3033-326
V-726			ER25	M16	M22x11.5P	42	100	1.7	3033-327
V-727	ER50		M16	M22x11.5P	78	90	2	3033-328	

Collet Holders With Extension Type BT Taper Shank

ER-16, ER-20



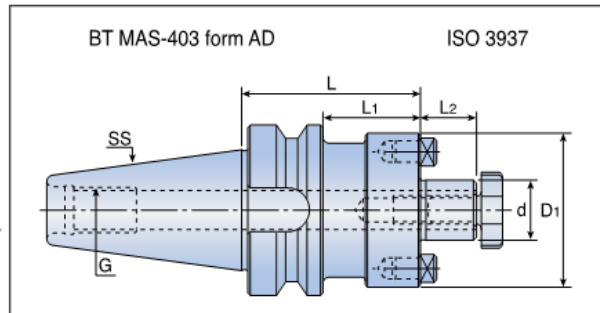
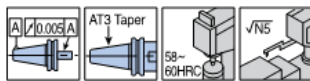
ORDER NO.	TAPER	COLLET TYPE	D3	L	D1	WEIGHT KGS	CODE NO.	
V-770	BT30	ER16	28	60	M12	0.6	3031-301	
V-772		ER16	28	70	M16	1.1	3032-301	
V-773		ER16	28	100	M16	1.5	3032-302	
V-774		ER20	34	70	M16	1.1	3032-303	
V-774A	BT40	ER16	28	150	M16	1	3032-308	
V-775		ER20	34	100	M16	1.5	3032-304	
V-775A		ER20	34	135	M16	1.6	3032-309	
V-775B		ER20	34	150	M16	1.7	3032-310	
V-775C		ER25	42	150	M16	1.9	3032-311	
V-733	BT50	ER32	50	150	M16	2	3033-354	
V-776		ER16	28	100	M24	4.3	3033-301	
V-777		ER16	28	150	M24	4.8	3033-302	
V-778		ER20	34	100	M24	4.3	3033-303	
V-779		ER20	34	150	M24	4.8	3033-304	
V-743A		BT50	ER16	28	200	M24	7.5	3033-364
V-735			ER20	34	200	M24	5	3033-356
V-736			ER25	42	100	M24	4.8	3033-357
V-737A			ER25	42	150	M24	5.8	3033-358
V-744A			ER25	42	200	M24	8	3033-365
V-738A	BT50		ER32	50	150	M24	5.8	3033-359
V-739A			ER32	50	200	M24	6.5	3033-360
V-740A			ER40	63	100	M24	5	3033-361
V-741A			ER40	63	200	M24	7.5	3033-362
V-742A			ER50	78	150	M24	6	3033-363

C13 TOOLING SYSTEM

Εικόνα 15.43 – Στοιχείο συγκράτησης για κονδύλια (Holder)

## BT-SEM

Face mill arbor



Designation	Dimension (mm)						
	SS	d	D1	L	L1	L2	G
<b>BT30 SEM 16x50</b>	30	16	38	50	28	17	M12
<b>SEM 22x50</b>	30	22	47	50	28	19	M12
<b>SEM 27x50</b>	30	27	58	50	18	21	M12
<b>BT40 SEM 16x60</b>	40	16	38	60	33	17	M16
<b>SEM 16x120</b>	40	16	38	120	93	17	M16
<b>SEM 22x60</b>	40	22	47	60	33	19	M16
<b>SEM 22x120</b>	40	22	47	120	93	19	M16
<b>SEM 27x45</b>	40	27	58	45	18	21	M16
<b>SEM 27x105</b>	40	27	58	105	78	21	M16
<b>SEM 32x60</b>	40	32	65	60	23	24	M16
<b>SEM 32x75</b>	40	32	65	75	36	24	M16
<b>SEM 40x60</b>	40	40	82	60	23	27	M16
<b>SEM 40x75</b>	40	40	82	75	38	27	M16
<b>BT50 SEM 16x75</b>	50	16	38	75	37	17	M24
<b>SEM 16x120</b>	50	16	38	120	82	17	M24
<b>SEM 22x50x220</b>	50	22	50	220	182	19	M24
<b>SEM 22x64x320</b>	50	22	64	320	282	19	M24
<b>SEM 22x75</b>	50	22	47	75	37	19	M24
<b>SEM 22x120</b>	50	22	47	120	82	19	M24
<b>SEM 27x60</b>	50	27	58	60	22	21	M24
<b>SEM 27x105</b>	50	27	58	105	67	21	M24
<b>SEM 32x48</b>	50	32	66	48	10	24	M24
<b>SEM 32x75</b>	50	32	66	75	37	24	M24
<b>SEM 40x48</b>	50	40	82	48	10	27	M24
<b>SEM 40x75</b>	50	40	82	75	37	27	M24



• Wrench not included

G  
80

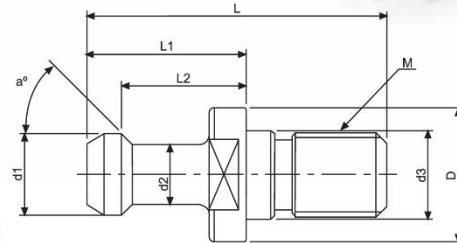
**TaeguTec**  
SOLUTIONS FOR METAL CUTTING

Εικόνα 15.44 – Στοιχείο συγκράτησης για φρεζοκεφαλή (Holder)

для заявок - inbox@itmash.ru

 **Pull Studs**  
BT 30, 40, 50

FOR MAS 403



THREAD GROUND

Unit:mm

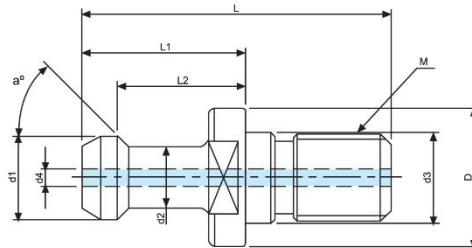
ORDER NO.	TAPER NO.	a°	L	L1	L2	D	d1	d2	d3	M	CODE NO.
BT-510	BT30X90°	90	43	23	18	16.5	11	7	12.5	M12	3215-007
BT-501	BT30X45°	45	43	23	18	16.5	11	7	12.5	M12	3215-008
BT-502	BT30X60°	60	43	23	18	16.5	11	7	12.5	M12	3215-009
BT-511	BT40X90°	90	60	35	28	23	15	10	17	M16	3215-010
BT-503	BT40X45°	45	60	35	28	23	15	10	17	M16	3215-011
BT-504	BT40X60°	60	60	35	28	23	15	10	17	M16	3215-012
BT-512	BT50X90°	90	85	45	35	38	23	17	25	M24	3215-013
BT-505	BT50X45°	45	85	45	35	38	23	17	25	M24	3215-014
BT-506	BT50X60°	60	85	45	35	38	23	17	25	M24	3215-015

 **Pull Studs**  
MAS 403  
BT-40,50

FOR MAS 403



• With through hole for internal coolant



Unit:mm

ORDER NO.	TAPER NO.	a°	L	L1	L2	D	d1	d2	d3	d4	M	CODE NO.
BT-516	BT40X45°W	45	60	35	28	23	15	10	17	4	M16	3215-060
BT-517	BT40X60°W	60	60	35	28	23	15	10	17	4	M16	3215-061
BT-518	BT40X90°W	90	60	35	28	23	15	10	17	4	M16	3215-062
BT-519	BT50X45°W	45	85	45	35	38	23	17	25	7	M24	3215-063
BT-520	BT50X60°W	60	85	45	35	38	23	17	25	7	M24	3215-064
BT-521	BT50X90°W	90	85	45	35	38	23	17	25	7	M24	3215-065

TOOLING SYSTEM C46

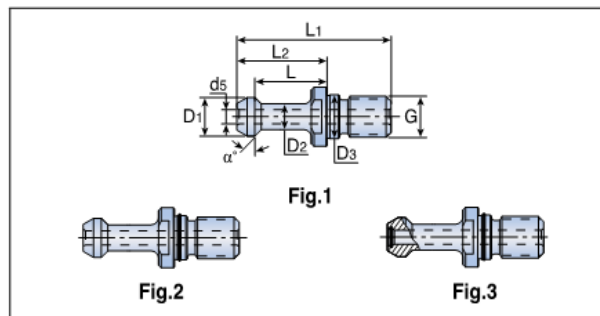
inbox@itmash.ru, www.itmash.ru  
+7(495)668-13-58

Εικόνα 15.45 – Στοιχείο συγκράτησης του Holder με την εργαλειομηχανή για κονδύλια (Pull stud)



# PS BT-MAS

Pull stud BT-MAS-metric



Designation	Dimension (mm)										Fig.
	G	D <sub>1</sub>	D <sub>2</sub>	D <sub>3</sub>	d <sub>5</sub>	L	L <sub>1</sub>	L <sub>2</sub>	α'		
<b>PS BT30</b>	<b>45 M12 MAS1</b>	M12	11	7	12.5	-	18	43	23	45	1
	<b>45 M12 MAS1 B</b>	M12	11	7	12.5	3.0	18	43	23	45	1
	<b>60 M12 MAS2</b>	M12	11	7	12.5	-	18	43	23	30	1
<b>PS BT40</b>	<b>45 M16 MAS1</b>	M16	15	10	17.0	-	28	60	35	45	1
	<b>45 M16 MAS1 B</b>	M16	15	10	17.0	5.5	28	60	35	45	1
	<b>60 M16 MAS2</b>	M16	15	10	17.0	-	28	60	35	30	1
	<b>60 M16 MAS2 B</b>	M16	15	10	17.0	5.5	28	60	35	30	1
	<b>90 M16 MAS3</b>	M16	15	10	17.0	-	28	60	35	90	1
	<b>90 M16 MAS3 B</b>	M16	15	10	17.0	5.5	28	60	35	90	1
	<b>PS BT50</b>	<b>45 M24 MAS1</b>	M24	23	17	25.0	-	35	85	45	45
	<b>45 M24 MAS1 B</b>	M24	23	17	25.0	6.0	35	85	45	45	1
	<b>45 M24 MAS1 O B</b>	M24	23	17	25.0	6.0	35	85	45	45	2
	<b>45 M24 MAS1 O B O</b>	M24	23	17	25.0	6.0	35	85	45	45	3
	<b>60 M24 MAS2</b>	M24	23	17	25.0	-	35	85	45	30	1
	<b>60 M24 MAS2 B</b>	M24	23	17	25.0	6.0	35	85	45	30	1
	<b>90 M24 MAS3</b>	M24	23	17	25.0	-	35	85	45	90	1
	<b>90 M24 MAS3 B</b>	M24	23	17	25.0	6.0	35	85	45	90	1

- Fig. 1: Coolant holes only in items with a "B" suffix
- Fig. 2: With external O-ring and coolant hole
- Fig. 3: With external and internal O-rings and coolant hole

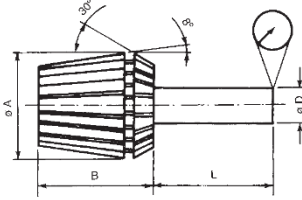
**G**  
170

Εικόνα 15.46 - Στοιχείο συγκράτησης του Holder με την εργαλειομηχανή για φρεζοκεφαλή (Pull Stud)



# ER Spring Collet Chuck System

SUPER ULTRA PRECISION TYPE



Dimension		
Type	D	H
ER08	8.5	13.5
ER11	11.5	18
ER16	17	27
ER20	21	31
ER25	26	35
ER32	33	40
ER40	41	46
ER50	52	60

Accuracy		
L(MM)	øD(MM)	Ultra Precision(MM)
6	1.0-1.4	0.01
10	1.5-2.9	0.01
16	3.0-5.9	0.01
25	6.0-9.9	0.01
40	10.0-17.9	0.01
50	18.0-26.9	0.01
60	27.0-34.9	0.01

TYPE	ER-8	ER-11	ER-16	ER-20	ER-25	ER-32	ER-40	ER-50
COMPLETE SET	9PCS/SET	7PCS/SET	10PCS/SET	12PCS/SET	15PCS/SET	18PCS/SET	23PCS/SET	12PCS/SET
FULL SET	ORDER NO.	ORDER NO.	ORDER NO.	ORDER NO.	ORDER NO.	ORDER NO.	ORDER NO.	ORDER NO.
	CAP. mm	CAP. mm	CAP. mm	CAP. mm	CAP. mm	CAP. mm	CAP. mm	CAP. mm
INDIVIDUAL UNIT	CODE NO.	CODE NO.	CODE NO.	CODE NO.	CODE NO.	CODE NO.	CODE NO.	CODE NO.
	Ø	Ø	Ø	Ø	Ø	Ø	Ø	Ø
	V08000S 3000-001	V11000S 3000-002	V16000S 3000-003	V20000S 3000-004	V25000S 3000-005	V32000S 3000-006	V40000S 3000-007	V50000S 3000-008
	0.5-5.0	0.5-7.0	0.5-10.0	1-13	1-16	2-20	3-26	10-34
	V08010S 3000-010	V11010S 3000-020	V16010S 3000-040	V20020S 3000-060	V25020S 3000-090	V32030S 3000-110	V40040S 3000-130	V50120S 3000-160
	1.0-0.5	1.0-0.5	1.0-0.5	2-1	2-1	3-2	4-3	12-10
	V08015S 3000-011	V11020S 3000-021	V16020S 3000-041	V20030S 3000-061	V25030S 3000-091	V32040S 3000-111	V40050S 3000-131	V50140S 3000-161
	1.5-1.0	2.0-1.5	2.0-1.0	3-2	3-2	4-3	5-4	14-12
	V08020S 3000-012	V11030S 3000-022	V16030S 3000-042	V20040S 3000-062	V25040S 3000-092	V32050S 3000-112	V40060S 3000-132	V50160S 3000-162
	2.0-1.5	3.0-2.5	3.0-2.0	4-3	4-3	5-4	6-5	16-14
	V08025S 3000-013	V11040S 3000-023	V16040S 3000-043	V20050S 3000-063	V25050S 3000-093	V32060S 3000-113	V40070S 3000-133	V50180S 3000-163
	2.5-2.0	4.0-3.5	4.0-3.0	5-4	5-4	6-5	7-6	18-16
	V08030S 3000-014	V11050S 3000-024	V16050S 3000-044	V20060S 3000-064	V25060S 3000-094	V32070S 3000-114	V40080S 3000-134	V50200S 3000-164
	3.0-2.5	5.0-4.5	5.0-4.0	6-5	6-5	7-6	8-7	20-18
	V08035S 3000-015	V11060S 3000-025	V16060S 3000-045	V20070S 3000-065	V25070S 3000-095	V32080S 3000-115	V40090S 3000-135	V50220S 3000-165
	3.5-3.0	6.0-5.5	6.0-5.0	7-6	7-6	8-7	9-8	22-20
	V08040S 3000-016	V11070S 3000-026	V16070S 3000-046	V20080S 3000-066	V25080S 3000-096	V32090S 3000-116	V40100S 3000-136	V50240S 3000-166
	4.0-3.5	7.0-6.5	7.0-6.0	8-7	8-7	9-8	10-9	24-22
	V08045S 3000-017	V11015S 3000-027	V16080S 3000-047	V20090S 3000-067	V25090S 3000-097	V32100S 3000-117	V40110S 3000-137	V50260S 3000-167
	4.5-4.0	1.5	8.0-7.0	9-8	9-8	10-9	11-10	26-24
	V08050S 3000-018	V11025S 3000-028	V16090S 3000-048	V20100S 3000-068	V25100S 3000-098	V32110S 3000-118	V40120S 3000-138	V50280S 3000-168
	5.0-4.5	2.5	9.0-8.0	10-9	10-9	11-10	12-11	28-26
		V11035S 3000-029	V16100S 3000-049	V20110S 3000-069	V25110S 3000-099	V32120S 3000-119	V40130S 3000-139	V50300S 3000-169
		3.5	10.0-9.0	11-10	11-10	12-11	13-12	30-28
		V11045S 3000-030	V16015S 3000-050	V20120S 3000-070	V25120S 3000-100	V32130S 3000-120	V40140S 3000-140	V50320S 3000-170
		4.5	1.5	12-11	12-11	13-12	14-13	32-30
		V11055S 3000-031	V16025S 3000-051	V20130S 3000-071	V25130S 3000-101	V32140S 3000-121	V40150S 3000-141	V50340S 3000-171
		5.5	2.5	13-12	13-12	14-13	15-14	34-32
		V11065S 3000-032	V16035S 3000-052	V2010S 3000-072	V25140S 3000-102	V32150S 3000-122	V40160S 3000-142	
		6.5	3.5	1.0	14-13	15-14	16-15	
			V16045S 3000-053	V20025S 3000-073	V25150S 3000-103	V32160S 3000-123	V40170S 3000-143	
			4.5	2.5	15-14	16-15	17-16	
			V16055S 3000-054	V20035S 3000-074	V25160S 3000-104	V32170S 3000-124	V40180S 3000-144	
			5.5	3.5	16-15	17-16	18-17	
			V16065S 3000-055	V20045S 3000-075		V32180S 3000-125	V40190S 3000-145	
			6.5	4.5		18-17	19-18	
			V16075S 3000-056	V20055S 3000-076		V32190S 3000-126	V40200S 3000-146	
			7.5	5.5		19-18	20-19	
			V16085S 3000-057	V20065S 3000-077		V32200S 3000-127	V40210S 3000-147	
			8.5	6.5		20-19	21-20	
			V16095S 3000-058	V20075S 3000-078			V40220S 3000-148	
			9.5	7.5			22-21	
				V20085S 3000-079			V40230S 3000-149	
				8.5			23-22	
				V20095S 3000-080			V40240S 3000-150	
				9.5			24-23	
				V20105S 3000-081			V40250S 3000-151	
				10.5			25-24	
				V20115S 3000-082			V40260S 3000-152	
				11.5			26-25	
				V20125S 3000-083				
				12.5				

C3 TOOLING SYSTEM

Εικόνα 15.47 - Στοιχείο συγκράτησης του κοπτικού εργαλείου (κονδύλι) με το Holder (Collet)



# Clamping Nuts & Wrench For Collets

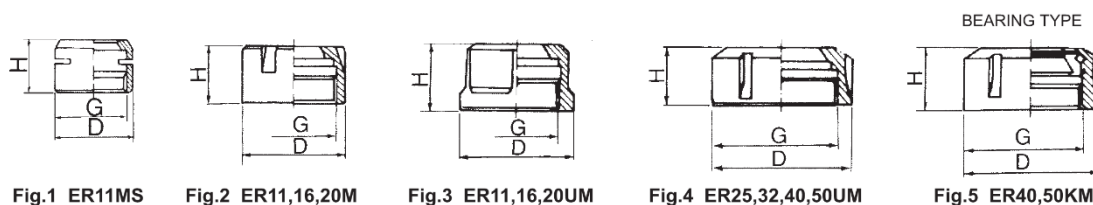
DIN 6499

## ER CLAMPING NUT SYSTEM



## CLAMPING NUTS

ORDER NO.	Fig.	COLLET TYPE	D	H	G	WEIGHT (KG)	CODE NO.
V-800	3	ER11UM	19	13	M14X0.75P	0.01	3015-001
V-801	3	ER16UM	28	18	M22X1.5P	0.035	3015-002
V-802	3	ER20UM	34	21	M25X1.5P	0.06	3015-003
V-803	4	ER25UM	42	20	M32X1.5P	0.095	3015-004
V-804	4	ER32UM	50	23	M40X1.5P	0.15	3015-005
V-805	4	ER40UM	63	25	M50X1.5P	0.31	3015-006
V-806	4	ER50UM	78	35	M64X2.0P	0.58	3015-007
V-807	1	ER11MS	16	12	M13X0.75P	0.01	3015-008
V-808	2	ER16M	22	18	M19X1.0P	0.035	3015-009
V-809	2	ER20M	28	19	M24X1.0P	0.06	3015-010
V-810A	5	ER40KM	63	29	M50X1.5P	0.31	3015-011
V-810B	5	ER50KM	78	40	M64X2.0P	0.58	3015-012
V-810C	2	ER-11M	16	12	M13X0.75P	0.01	3015-013
V810D		ER-8M	12	10.8	M10X0.75P	0.01	3015-014



## ER WRENCHES SYSTEM DIN 6499



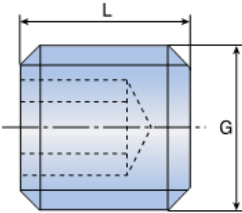
ORDER NO.	TYPE	A	L	KGS	CODE NO.
V-821	ER11MS	22	100	0.05	3015-101
V-822	ER11M	17	95	0.05	3015-102
V-823	ER16M	22.5	118	0.06	3015-103
V-815	ER16UM	44	140	0.08	3015-104
V-824	ER20M	28	130	0.08	3015-105
V-816	ER20UM	53	170	0.1	3015-106
V-811	ER25 UM	65	210	0.2	3015-107
V-812	ER32 UM	75	250	0.4	3015-108
V-813	ER40UM	90	290	0.5	3015-109
V-814	ER50	110	350	0.9	3015-110

TOOLING SYSTEM **C12**

Εικόνα 15.48 – Παξιμάδι σύσφιξης και κλειδί για collet

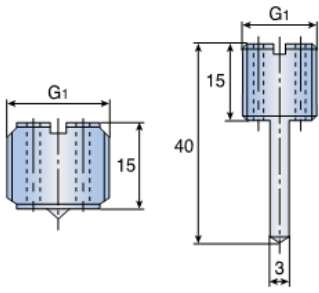
## SR-DIN

Lock screw DIN1835 B/E for end mill holder

	Designation	Dimension (mm)		
		G	L	Used for shanks
	<b>SR M6x10 DIN 1835-B</b>	M6	10	6
	<b>M8x10 DIN 1835-B</b>	M8	10	8
	<b>M10x12 DIN 1835-B</b>	M10	12	10
	<b>M12x16 DIN 1835-B</b>	M12	16	12, 14
	<b>M14x16 DIN 1835-B</b>	M14	16	16
	<b>M16x16 DIN 1835-B</b>	M16	16	20
	<b>M18x2x20 DIN 1835-B</b>	M18x2	20	25
	<b>M20x2x20 DIN 1835-B</b>	M20x2	20	32, 40
	<b>M24x2x25 DIN 1835-B</b>	M24x2	25	50

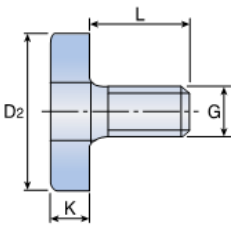
## PRESET ER-JET

Preset screw with oil hole for ER collet

	Designation	Dimension (mm)	Fig.
		G <sub>1</sub>	
	<b>PRESET ER-JET 8x1.25</b>	M8x1.25	1
	<b>10x1.5</b>	M10x1.5	1
	<b>12x1.75</b>	M12x1.75	1
	<b>12x1.75L</b>	M12x1.75	2
	<b>16x2</b>	M16x2	1
	<b>16x2L</b>	M16x2	2
	<b>18x1.5</b>	M18x1.5	1
	<b>18x1.5L</b>	M18x1.5	2
	<b>22x1.5</b>	M22x1.5	1
	<b>22x1.5L</b>	M22x1.5	2
	<b>28x1.5</b>	M28x1.5	1

## M-CLAMP SCREW SEM

Lock screw DIN6367 for face mill arbor

	Designation	Dimension (mm)				
		S.M.C	G	D <sub>2</sub>	K	L
	<b>M8 CLAMP SCREW SEM 16</b>	16	M8	20	6	16
	<b>M10 CLAMP SCREW SEM 22</b>	22	M10	28	7	18
	<b>M12 CLAMP SCREW SEM 27</b>	27	M12	35	8	22
	<b>M16 CLAMP SCREW SEM 32</b>	32	M16	42	9	26
	<b>M20 CLAMP SCREW SEM 40</b>	40	M20	52	10	30
	<b>M24 CLAMP SCREW SEM 50</b>	50	M24	63	12	36

Εικόνα 15.49 – Στοιχείο συγκράτησης κοπτικού εργαλείου (φρεζοκεφαλή) με το Holder (M-Clamp Screw)

### Τυπολόγιο φρέζας

- Ταχύτητα κοπής:  $V_c = \frac{\pi \cdot D \cdot n}{1000} [m/min]$
- Στροφές άξονα:  $n = \frac{1000 \cdot V_c}{\pi \cdot D} [rev/min]$
- Ταχύτητα πρόωσης:  $p_n = z \cdot p_z \cdot n [mm/min]$
- Πρόωση ανά δόντι:  $p_z = \frac{p_n}{z \cdot n} [mm/δόντι]$

### Υπολογισμός συνθηκών κατεργασίας

1. Κονδύλι Ø14 / 2 κοπτικές ακμές / Carbide / διάνοιξη αυλάκωσης

Έστω  $V_c = 100 [m/min]$

Άρα  $n = \frac{1000 \cdot 100 [m/min]}{\pi \cdot 14 [mm]} = 2.273,64 [rpm]$

Έστω  $n = 2.273,64 [rpm]$  και  $p_z = 0,09 [mm/tooth]$

Άρα  $p_n = 2 \cdot 0,09 [mm/δόντι] \cdot 2.273,64 [rpm] = 409,22 [mm/min]$

2. Κονδύλι Ø14 / 2 κοπτικές ακμές / Carbide / δημιουργία διαβάθμισης

Έστω  $V_c = 130 [m/min]$

Άρα  $n = \frac{1000 \cdot 130 [m/min]}{\pi \cdot 14 [mm]} = 2.955,73 [rpm]$

Έστω  $n = 2.955,73 [rpm]$  και  $p_z = 0,08 [mm/tooth]$  (μέγιστη τιμή)

Άρα  $p_n = 2 \cdot 0,08 [mm/δόντι] \cdot 2.955,73 [rpm] = 472,92 [mm/min]$

3. Κονδύλι Ø14 / 3 κοπτικές ακμές / Carbide / διάνοιξη αυλάκωσης

Έστω  $V_c = 100 [m/min]$

$$\text{Άρα } n = \frac{1000 \cdot 100^m / \text{min}}{\pi \cdot 14 \text{mm}} = 2.273,64 \text{ [rpm]}$$

Έστω  $n = 2.273,64 \text{ [rpm]}$  και  $p_z = 0,09 \text{ [mm/tooth]}$  (μέγιστη τιμή)

$$\text{Άρα } p_n = 3 \cdot 0,09 \text{ mm} / \text{δόντι} \cdot 2.273,64 \text{ rpm} = 613,88 \text{ [mm/min]}$$

4. Κονδύλι  $\varnothing 14 / 3$  κοπτικές ακμές / Carbide / δημιουργία διαβάθμισης

Έστω  $V_c = 130 \text{ [m/min]}$

$$\text{Άρα } n = \frac{1000 \cdot 130^m / \text{min}}{\pi \cdot 14 \text{mm}} = 2.955,73 \text{ [rpm]}$$

Έστω  $n = 2.955,73 \text{ [rpm]}$  και  $p_z = 0,08 \text{ [mm/tooth]}$  (μέγιστη τιμή)

$$\text{Άρα } p_n = 3 \cdot 0,08 \text{ mm} / \text{δόντι} \cdot 2.955,73 \text{ rpm} = 709,38 \text{ [mm/min]}$$

5. Κονδύλι  $\varnothing 14 / 4$  κοπτικές ακμές / Carbide / διάνοιξη αυλάκωσης

Έστω  $V_c = 100 \text{ [m/min]}$

$$\text{Άρα } n = \frac{1000 \cdot 100^m / \text{min}}{\pi \cdot 14 \text{mm}} = 2.273,64 \text{ [rpm]}$$

Έστω  $n = 2.273,64 \text{ [rpm]}$  και  $p_z = 0,09 \text{ [mm/tooth]}$  (μέγιστη τιμή)

$$\text{Άρα } p_n = 4 \cdot 0,09 \text{ mm} / \text{δόντι} \cdot 2.273,64 \text{ rpm} = 818,51 \text{ [mm/min]}$$

6. Κονδύλι  $\varnothing 14 / 4$  κοπτικές ακμές / Carbide / δημιουργία διαβάθμισης

Έστω  $V_c = 130 \text{ [m/min]}$

$$\text{Άρα } n = \frac{1000 \cdot 130^m / \text{min}}{\pi \cdot 14 \text{mm}} = 2.955,73 \text{ [rpm]}$$

Έστω  $n = 2.955,73 \text{ [rpm]}$  και  $p_z = 0,08 \text{ [mm/tooth]}$  (μέγιστη τιμή)

$$\text{Άρα } p_n = 4 \cdot 0,08 \text{ mm} / \text{δόντι} \cdot 2.955,73 \text{ rpm} = 945,83 \text{ [mm/min]}$$



1. Κονδύλι Ø12 / 2 κοπτικές ακμές / Carbide / διάνοιξη αυλάκωσης

$$\text{Έστω } V_c = 100[m/min]$$

$$\text{Άρα } n = \frac{1000 \cdot 100 m/min}{\pi \cdot 12 mm} = 2.652,58 [rpm]$$

$$\text{Έστω } n=2.652,58 [rpm] \text{ και } p_z = 0,065 [mm/tooth]$$

$$\text{Άρα } p_n = 2 * 0,065 \text{ mm} / \text{δόντι} * 2.652,58 rpm = 344,84 [mm/min]$$

2. Κονδύλι Ø12 / 2 κοπτικές ακμές / Carbide / δημιουργία διαβάθμισης

$$\text{Έστω } V_c = 130[m/min]$$

$$\text{Άρα } n = \frac{1000 \cdot 130 m/min}{\pi \cdot 12 mm} = 3.448,36 [rpm]$$

$$\text{Έστω } n=3.448,36 [rpm] \text{ και } p_z = 0,08 [mm/tooth] \text{ (μέγιστη τιμή)}$$

$$\text{Άρα } p_n = 2 * 0,08 \text{ mm} / \text{δόντι} * 3.448,36 rpm = 551,74 [mm/min]$$

3. Κονδύλι Ø12 / 3 κοπτικές ακμές / Carbide / διάνοιξη αυλάκωσης

$$\text{Έστω } V_c = 100[m/min]$$

$$\text{Άρα } n = \frac{1000 \cdot 100 m/min}{\pi \cdot 12 mm} = 2.652,58 [rpm]$$

$$\text{Έστω } n= 2.652,58 [rpm] \text{ και } p_z = 0,065 [mm/tooth] \text{ (μέγιστη τιμή)}$$

$$\text{Άρα } p_n = 3 * 0,065 \text{ mm} / \text{δόντι} * 2.652,58 rpm = 517,25 [mm/min]$$

4. Κονδύλι Ø12 / 3 κοπτικές ακμές / Carbide / δημιουργία διαβάθμισης

$$\text{Έστω } V_c = 130[m/min]$$

$$\text{Άρα } n = \frac{1000 \cdot 130 m/min}{\pi \cdot 12 mm} = 3.448,36 [rpm]$$

$$\text{Έστω } n = 3.448,36 [rpm] \text{ και } p_z = 0,08 [mm/tooth] \text{ (μέγιστη τιμή)}$$

$$\text{Άρα } p_n = 3 * 0,08 \text{ mm} / \text{δόντι} * 3.448,36 \text{ rpm} = 827,60 \text{ [mm/min]}$$

5. Κονδύλι Ø12 / 4 κοπτικές ακμές / Carbide / διάνοιξη αυλάκωσης

$$\text{Έστω } V_c = 100 \text{ [m/min]}$$

$$\text{Άρα } n = \frac{1000 * 100 \text{ m/min}}{\pi * 12 \text{ mm}} = 2.652,58 \text{ [rpm]}$$

$$\text{Έστω } n = 2.652,58 \text{ [rpm]} \text{ και } p_z = 0,065 \text{ [mm/tooth]} \text{ (μέγιστη τιμή)}$$

$$\text{Άρα } p_n = 4 * 0,065 \text{ mm} / \text{δόντι} * 2.652,58 \text{ rpm} = 689,67 \text{ [mm/min]}$$

6. Κονδύλι Ø12 / 4 κοπτικές ακμές / Carbide / δημιουργία διαβάθμισης

$$\text{Έστω } V_c = 130 \text{ [m/min]}$$

$$\text{Άρα } n = \frac{1000 * 130 \text{ m/min}}{\pi * 12 \text{ mm}} = 3.448,36 \text{ [rpm]}$$

$$\text{Έστω } n = 3.448,36 \text{ [rpm]} \text{ και } p_z = 0,08 \text{ [mm/tooth]} \text{ (μέγιστη τιμή)}$$

$$\text{Άρα } p_n = 4 * 0,08 \text{ mm} / \text{δόντι} * 3.448,36 \text{ rpm} = 1.103,48 \text{ [mm/min]}$$

1. Κονδύλι  $\varnothing 10 / 2$  κοπτικές ακμές / Carbide / διάνοιξη αυλάκωσης

$$\text{Έστω } V_c = 100[m/min]$$

$$\text{Άρα } n = \frac{1000 \cdot 100^m/min}{\pi \cdot 10mm} = 3.183,10 [rpm]$$

$$\text{Έστω } n = 3.183,10 [rpm] \text{ και } p_z = 0,050 [mm/tooth]$$

$$\text{Άρα } p_n = 2 * 0,050^{mm}/\delta\acute{o}\nu\tau\iota * 3.183,10 rpm = 318,31 [mm/min]$$

2. Κονδύλι  $\varnothing 10 / 2$  κοπτικές ακμές / Carbide / δημιουργία διαβάθμισης

$$\text{Έστω } V_c = 130[m/min]$$

$$\text{Άρα } n = \frac{1000 \cdot 130^m/min}{\pi \cdot 10mm} = 4.138,03 [rpm]$$

$$\text{Έστω } n = 4.138,03 [rpm] \text{ και } p_z = 0,065 [mm/tooth] \text{ (μέγιστη τιμή)}$$

$$\text{Άρα } p_n = 2 * 0,065^{mm}/\delta\acute{o}\nu\tau\iota * 4.138,03 rpm = 537,94 [mm/min]$$

3. Κονδύλι  $\varnothing 10 / 3$  κοπτικές ακμές / Carbide / διάνοιξη αυλάκωσης

$$\text{Έστω } V_c = 100[m/min]$$

$$\text{Άρα } n = \frac{1000 \cdot 100^m/min}{\pi \cdot 10mm} = 3.183,10 [rpm]$$

$$\text{Έστω } n = 3.183,10 [rpm] \text{ και } p_z = 0,065 [mm/tooth] \text{ (μέγιστη τιμή)}$$

$$\text{Άρα } p_n = 3 * 0,050^{mm}/\delta\acute{o}\nu\tau\iota * 3.183,10 rpm = 477,46 [mm/min]$$

4. Κονδύλι  $\varnothing 10 / 3$  κοπτικές ακμές / Carbide / δημιουργία διαβάθμισης

$$\text{Έστω } V_c = 130[m/min]$$

$$\text{Άρα } n = \frac{1000 \cdot 130^m/min}{\pi \cdot 10mm} = 4.138,03 [rpm]$$

$$\text{Έστω } n = 4.138,03 [rpm] \text{ και } p_z = 0,65 [mm/tooth] \text{ (μέγιστη τιμή)}$$

$$\text{Άρα } p_n = 3 * 0,65 \text{ mm} / \text{δόντι} * 4.138,03 \text{ rpm} = 806,92 \text{ [mm/min]}$$

5. Κονδύλι Ø10 / 4 κοπτικές ακμές / Carbide / διάνοιξη αυλάκωσης

$$\text{Έστω } V_c = 100 \text{ [m/min]}$$

$$\text{Άρα } n = \frac{1000 * 100 \text{ m/min}}{\pi * 10 \text{ mm}} = 3.183,10 \text{ [rpm]}$$

$$\text{Έστω } n = 3.183,10 \text{ [rpm]} \text{ και } p_z = 0,050 \text{ [mm/tooth]} \text{ (μέγιστη τιμή)}$$

$$\text{Άρα } p_n = 4 * 0,050 \text{ mm} / \text{δόντι} * 3.183,10 \text{ rpm} = 636,62 \text{ [mm/min]}$$

6. Κονδύλι Ø10 / 4 κοπτικές ακμές / Carbide / δημιουργία διαβάθμισης

$$\text{Έστω } V_c = 130 \text{ [m/min]}$$

$$\text{Άρα } n = \frac{1000 * 130 \text{ m/min}}{\pi * 10 \text{ mm}} = 4.138,03 \text{ [rpm]}$$

$$\text{Έστω } n = 4.138,03 \text{ [rpm]} \text{ και } p_z = 0,065 \text{ [mm/tooth]} \text{ (μέγιστη τιμή)}$$

$$\text{Άρα } p_n = 4 * 0,065 \text{ mm} / \text{δόντι} * 4.138,03 \text{ rpm} = 1.075,89 \text{ [mm/min]}$$

1. Κονδύλι Ø14 / 2 κοπτικές ακμές / HSS Cobalt / διάνοιξη αυλάκωσης

$$\text{Έστω } P_z = 0,0127 - 0,0635 \text{ [mm/tooth] και } V_c = 60,96 - 182,87 \text{ [m/min]}$$

Τότε με γραμμική παρεμβολή για  $V_c = 100 \text{ [m/min]}$  προκύπτει ότι:

60,96	0,0127
100	y
182,87	0,0635

$$\frac{182,87-60,96}{0,0635-0,0127} = \frac{182,87-100}{0,0635-y} \Rightarrow y = 0,028968$$

$$\text{Επομένως, } P_z = 0,029 \text{ [mm/tooth]}$$

$$\text{Άρα } n = \frac{1000 \cdot 100 \text{ m/min}}{\pi \cdot 14 \text{ mm}} = 2.273,64 \text{ [rpm]}$$

$$\text{Έστω } n=2.273,64 \text{ [rpm] και } p_z = 0,029 \text{ [mm/tooth]}$$

$$\text{Άρα } p_n = 2 * 0,029 \text{ mm/δόντι} * 2.273,64 \text{ rpm} = 131,87 \text{ [mm/min]}$$

2. Κονδύλι Ø14 / 2 κοπτικές ακμές / HSS Cobalt / δημιουργία διαβάθμισης

$$\text{Έστω } P_z = 0,0127 - 0,0635 \text{ [mm/tooth] και } V_c = 60,96 - 182,87 \text{ [m/min]}$$

Τότε με γραμμική παρεμβολή για  $V_c = 130 \text{ [m/min]}$  προκύπτει ότι:

60,96	0,0127
130	y
182,87	0,0635

$$\frac{182,87-60,96}{0,0635-0,0127} = \frac{182,87-130}{0,0635-y} \Rightarrow y = 0,04146903$$

$$\text{Επομένως, } P_z = 0,042 \text{ [mm/tooth]}$$

$$\text{Άρα } n = \frac{1000 \cdot 130 \text{ m/min}}{\pi \cdot 14 \text{ mm}} = 2.955,73 \text{ [rpm]}$$

$$\text{Έστω } n=2.955,73 \text{ [rpm] και } p_z = 0,042 \text{ [mm/tooth]}$$

$$\text{Άρα } p_n = 2 * 0,042 \text{ mm/δόντι} * 2.955,73 \text{ rpm} = 248,28 \text{ [mm/min]}$$

3. Κονδύλι Ø14 / 3 κοπτικές ακμές / HSS Cobalt / διάνοιξη αυλάκωσης

$$\text{Έστω } P_z = 0,0127 - 0,0635 \text{ [mm/tooth]} \text{ και } V_c = 60,96 - 182,87 \text{ [m/min]}$$

Τότε με γραμμική παρεμβολή για  $V_c = 100 \text{ [m/min]}$  προκύπτει ότι:

60,96	0,0127
100	y
182,87	0,0635

$$\frac{182,87-60,96}{0,0635-0,0127} = \frac{182,87-100}{0,0635-y} \Rightarrow y = 0,028968$$

$$\text{Επομένως, } P_z = 0,029 \text{ [mm/tooth]}$$

$$\text{Άρα } n = \frac{1000 \cdot 100 \text{ m/min}}{\pi \cdot 14 \text{ mm}} = 2.273,64 \text{ [rpm]}$$

$$\text{Έστω } n=2.273,64 \text{ [rpm]} \text{ και } p_z = 0,029 \text{ [mm/tooth]}$$

$$\text{Άρα } p_n = 3 \cdot 0,029 \text{ mm/δόντι} \cdot 2.273,64 \text{ rpm} = 197,81 \text{ [mm/min]}$$

4. Κονδύλι Ø14 / 3 κοπτικές ακμές / HSS Cobalt / δημιουργία διαβάθμισης

$$\text{Έστω } P_z = 0,0127 - 0,0635 \text{ [mm/tooth]} \text{ και } V_c = 60,96 - 182,87 \text{ [m/min]}$$

Τότε με γραμμική παρεμβολή για  $V_c = 130 \text{ [m/min]}$  προκύπτει ότι:

60,96	0,0127
130	y
182,87	0,0635

$$\frac{182,87-60,96}{0,0635-0,0127} = \frac{182,87-130}{0,0635-y} \Rightarrow y = 0,04146903$$

$$\text{Επομένως, } P_z = 0,042 \text{ [mm/tooth]}$$

$$\text{Άρα } n = \frac{1000 \cdot 130 \text{ m/min}}{\pi \cdot 14 \text{ mm}} = 2.955,73 \text{ [rpm]}$$

$$\text{Έστω } n=2.955,73 \text{ [rpm]} \text{ και } p_z = 0,042 \text{ [mm/tooth]}$$

$$\text{Άρα } p_n = 3 \cdot 0,042 \text{ mm/δόντι} \cdot 2.955,73 \text{ rpm} = 372,42 \text{ [mm/min]}$$



5. Κονδύλι Ø14 / 4 κοπτικές ακμές / HSS Cobalt / διάνοιξη αυλάκωσης

Έστω  $P_z = 0,0127 - 0,0635 [mm/tooth]$  και  $V_c = 60,96 - 182,87 [m/min]$

Τότε με γραμμική παρεμβολή για  $V_c = 100 [m/min]$  προκύπτει ότι:

$60,96$	$0,0127$
$100$	$y$
$182,87$	$0,0635$

$$\frac{182,87-60,96}{0,0635-0,0127} = \frac{182,87-100}{0,0635-y} \Rightarrow y = 0,028968$$

Επομένως,  $P_z = 0,029 [mm/tooth]$

$$\text{Άρα } n = \frac{1000 \cdot 100^m / min}{\pi \cdot 14 mm} = 2.273,64 [rpm]$$

Έστω  $n=2.273,64 [rpm]$  και  $p_z = 0,029 [mm/tooth]$

$$\text{Άρα } p_n = 4 * 0,029^{mm} / \deltaόντι * 2.273,64 rpm = 263,74 [mm/min]$$

6. Κονδύλι Ø14 / 3 κοπτικές ακμές / HSS Cobalt / δημιουργία διαβάθμισης

Έστω  $P_z = 0,0127 - 0,0635 [mm/tooth]$  και  $V_c = 60,96 - 182,87 [m/min]$

Τότε με γραμμική παρεμβολή για  $V_c = 130 [m/min]$  προκύπτει ότι:

$60,96$	$0,0127$
$130$	$y$
$182,87$	$0,0635$

$$\frac{182,87-60,96}{0,0635-0,0127} = \frac{182,87-130}{0,0635-y} \Rightarrow y = 0,04146903$$

Επομένως,  $P_z = 0,042 [mm/tooth]$

$$\text{Άρα } n = \frac{1000 \cdot 130^m / min}{\pi \cdot 14 mm} = 2.955,73 [rpm]$$

Έστω  $n=2.955,73 [rpm]$  και  $p_z = 0,042 [mm/tooth]$

$$\text{Άρα } p_n = 4 * 0,042^{mm} / \deltaόντι * 2.955,73 rpm = 496,56 [mm/min]$$

1. Κονδύλι Ø12 / 2 κοπτικές ακμές / HSS Cobalt / διάνοιξη αυλάκωσης

$$\text{Έστω } P_z = 0,0127 - 0,0508 \text{ [mm/tooth]} \text{ και } V_c = 60,96 - 182,87 \text{ [m/min]}$$

Τότε με γραμμική παρεμβολή για  $V_c = 100 \text{ [m/min]}$  προκύπτει ότι:

60,96	0,0127
100	y
182,87	0,0508

$$\frac{182,87-60,96}{0,0508-0,0127} = \frac{182,87-100}{0,0508-y} \Rightarrow y = 0,024901$$

$$\text{Επομένως, } P_z = 0,025 \text{ [mm/tooth]}$$

$$\text{Άρα } n = \frac{1000 \cdot 100 \text{ m/min}}{\pi \cdot 12 \text{ mm}} = 2.652,58 \text{ [rpm]}$$

$$\text{Έστω } n=2.652,58 \text{ [rpm]} \text{ και } p_z = 0,025 \text{ [mm/tooth]}$$

$$\text{Άρα } p_n = 2 * 0,025 \text{ mm/δόντι} * 2.652,58 \text{ rpm} = 132,63 \text{ [mm/min]}$$

2. Κονδύλι Ø12 / 2 κοπτικές ακμές / HSS Cobalt / δημιουργία διαβάθμισης

$$\text{Έστω } P_z = 0,0127 - 0,0508 \text{ [mm/tooth]} \text{ και } V_c = 60,96 - 182,87 \text{ [m/min]}$$

Τότε με γραμμική παρεμβολή για  $V_c = 130 \text{ [m/min]}$  προκύπτει ότι:

60,96	0,0127
130	y
182,87	0,0508

$$\frac{182,87-60,96}{0,0508-0,0127} = \frac{182,87-130}{0,0508-y} \Rightarrow y = 0,03427677$$

$$\text{Επομένως, } P_z = 0,034 \text{ [mm/tooth]}$$

$$\text{Άρα } n = \frac{1000 \cdot 130 \text{ m/min}}{\pi \cdot 12 \text{ mm}} = 3.448,36 \text{ [rpm]}$$

$$\text{Έστω } n=3.448,36 \text{ [rpm]} \text{ και } p_z = 0,034 \text{ [mm/tooth]}$$

$$\text{Άρα } p_n = 2 * 0,034 \text{ mm/δόντι} * 3.448,36 \text{ rpm} = 234,49 \text{ [mm/min]}$$

3. Κονδύλι Ø12 / 3 κοπτικές ακμές / HSS Cobalt / διάνοιξη αυλάκωσης

Έστω  $P_z = 0,0127 - 0,0508$  [mm/tooth] και  $V_c = 60,96 - 182,87$  [m/min]

Τότε με γραμμική παρεμβολή για  $V_c = 100$  [m/min] προκύπτει ότι:

$60,96$	$0,0127$
$100$	$y$
$182,87$	$0,0508$

$$\frac{182,87-60,96}{0,0508-0,0127} = \frac{182,87-100}{0,0508-y} \Rightarrow y = 0,024901$$

Επομένως,  $P_z = 0,025$  [mm/tooth]

$$\text{Άρα } n = \frac{1000 \cdot 100^m / \text{min}}{\pi \cdot 12 \text{mm}} = 2.652,58 \text{ [rpm]}$$

Έστω  $n=2.652,58$  [rpm] και  $p_z = 0,025$  [mm/tooth]

$$\text{Άρα } p_n = 3 * 0,025 \text{ mm} / \delta\acute{\omicron}\nu\tau\iota * 2.652,58 \text{ rpm} = 198,94 \text{ [mm/min]}$$

4. Κονδύλι Ø12 / 3 κοπτικές ακμές / HSS Cobalt / δημιουργία διαβάθμισης

Έστω  $P_z = 0,0127 - 0,0508$  [mm/tooth] και  $V_c = 60,96 - 182,87$  [m/min]

Τότε με γραμμική παρεμβολή για  $V_c = 130$  [m/min] προκύπτει ότι:

$60,96$	$0,0127$
$130$	$y$
$182,87$	$0,0508$

$$\frac{182,87-60,96}{0,0508-0,0127} = \frac{182,87-130}{0,0508-y} \Rightarrow y = 0,03427677$$

Επομένως,  $P_z = 0,034$  [mm/tooth]

$$\text{Άρα } n = \frac{1000 \cdot 130^m / \text{min}}{\pi \cdot 12 \text{mm}} = 3.448,36 \text{ [rpm]}$$

Έστω  $n=3.448,36$  [rpm] και  $p_z = 0,034$  [mm/tooth]

$$\text{Άρα } p_n = 3 * 0,034 \text{ mm} / \delta\acute{\omicron}\nu\tau\iota * 3.448,36 \text{ rpm} = 351,73 \text{ [mm/min]}$$

5. Κονδύλι Ø12 / 4 κοπτικές ακμές / HSS Cobalt / διάνοιξη αυλάκωσης

Έστω  $P_z = 0,0127 - 0,0508$  [mm/tooth] και  $V_c = 60,96 - 182,87$  [m/min]

Τότε με γραμμική παρεμβολή για  $V_c = 100$  [m/min] προκύπτει ότι:

60,96	0,0127
100	y
182,87	0,0508

$$\frac{182,87-60,96}{0,0508-0,0127} = \frac{182,87-100}{0,0508-y} \Rightarrow y = 0,024901$$

Επομένως,  $P_z = 0,025$  [mm/tooth]

$$\text{Άρα } n = \frac{1000 \cdot 100^m / \text{min}}{\pi \cdot 12 \text{mm}} = 2.652,58 \text{ [rpm]}$$

Έστω  $n=2.652,58$  [rpm] και  $p_z = 0,025$  [mm/tooth]

$$\text{Άρα } p_n = 4 * 0,025 \text{ mm} / \text{δόντι} * 2.652,58 \text{ rpm} = 265,26 \text{ [mm/min]}$$

6. Κονδύλι Ø12 / 4 κοπτικές ακμές / HSS Cobalt / δημιουργία διαβάθμισης

Έστω  $P_z = 0,0127 - 0,0508$  [mm/tooth] και  $V_c = 60,96 - 182,87$  [m/min]

Τότε με γραμμική παρεμβολή για  $V_c = 130$  [m/min] προκύπτει ότι:

60,96	0,0127
130	y
182,87	0,0508

$$\frac{182,87-60,96}{0,0508-0,0127} = \frac{182,87-130}{0,0508-y} \Rightarrow y = 0,03427677$$

Επομένως,  $P_z = 0,034$  [mm/tooth]

$$\text{Άρα } n = \frac{1000 \cdot 130^m / \text{min}}{\pi \cdot 12 \text{mm}} = 3.448,36 \text{ [rpm]}$$

Έστω  $n=3.448,36$  [rpm] και  $p_z = 0,034$  [mm/tooth]

$$\text{Άρα } p_n = 4 * 0,034 \text{ mm} / \text{δόντι} * 3.448,36 \text{ rpm} = 468,98 \text{ [mm/min]}$$

1. Κονδύλι Ø10 / 2 κοπτικές ακμές / HSS Cobalt / διάνοιξη αυλάκωσης

$$\text{Έστω } P_z = 0,0127 - 0,0508 \text{ [mm/tooth]} \text{ και } V_c = 60,96 - 182,87 \text{ [m/min]}$$

Τότε με γραμμική παρεμβολή για  $V_c = 100 \text{ [m/min]}$  προκύπτει ότι:

$60,96$	$0,0127$
$100$	$y$
$182,87$	$0,0508$

$$\frac{182,87-60,96}{0,0508-0,0127} = \frac{182,87-100}{0,0508-y} \Rightarrow y = 0,024901$$

$$\text{Επομένως, } P_z = 0,025 \text{ [mm/tooth]}$$

$$\text{Άρα } n = \frac{1000 \cdot 100^m / \text{min}}{\pi \cdot 10 \text{ mm}} = 3.183,10 \text{ [rpm]}$$

$$\text{Έστω } n=3.183,10 \text{ [rpm]} \text{ και } p_z = 0,025 \text{ [mm/tooth]}$$

$$\text{Άρα } p_n = 2 * 0,025 \text{ mm} / \delta\acute{\omicron}\nu\tau\iota * 3.183,10 \text{ rpm} = 159,16 \text{ [mm/min]}$$

2. Κονδύλι Ø10 / 2 κοπτικές ακμές / HSS Cobalt / δημιουργία διαβάθμισης

$$\text{Έστω } P_z = 0,0127 - 0,0508 \text{ [mm/tooth]} \text{ και } V_c = 60,96 - 182,87 \text{ [m/min]}$$

Τότε με γραμμική παρεμβολή για  $V_c = 130 \text{ [m/min]}$  προκύπτει ότι:

$60,96$	$0,0127$
$130$	$y$
$182,87$	$0,0508$

$$\frac{182,87-60,96}{0,0508-0,0127} = \frac{182,87-130}{0,0508-y} \Rightarrow y = 0,03427677$$

$$\text{Επομένως, } P_z = 0,034 \text{ [mm/tooth]}$$

$$\text{Άρα } n = \frac{1000 \cdot 130^m / \text{min}}{\pi \cdot 10 \text{ mm}} = 4.138,03 \text{ [rpm]}$$

$$\text{Έστω } n=4.138,03 \text{ [rpm]} \text{ και } p_z = 0,034 \text{ [mm/tooth]}$$

$$\text{Άρα } p_n = 2 * 0,034 \text{ mm} / \delta\acute{\omicron}\nu\tau\iota * 4.138,03 \text{ rpm} = 281,39 \text{ [mm/min]}$$

3. Κονδύλι Ø10 / 3 κοπτικές ακμές / HSS Cobalt / διάνοιξη αυλάκωσης

Έστω  $P_z = 0,0127 - 0,0508$  [mm/tooth] και  $V_c = 60,96 - 182,87$  [m/min]

Τότε με γραμμική παρεμβολή για  $V_c = 100$  [m/min] προκύπτει ότι:

$60,96$	$0,0127$
$100$	$y$
$182,87$	$0,0508$

$$\frac{182,87-60,96}{0,0508-0,0127} = \frac{182,87-100}{0,0508-y} \Rightarrow y = 0,024901$$

Επομένως,  $P_z = 0,025$  [mm/tooth]

$$\text{Άρα } n = \frac{1000 \cdot 100^m / \text{min}}{\pi \cdot 10 \text{mm}} = 3.183,10 \text{ [rpm]}$$

Έστω  $n=3.183,10$  [rpm] και  $p_z = 0,025$  [mm/tooth]

$$\text{Άρα } p_n = 3 * 0,025 \text{ mm} / \delta\acute{\omicron}\nu\tau\iota * 3.183,10 \text{ rpm} = 238,73 \text{ [mm/min]}$$

4. Κονδύλι Ø10 / 3 κοπτικές ακμές / HSS Cobalt / δημιουργία διαβάθμισης

Έστω  $P_z = 0,0127 - 0,0508$  [mm/tooth] και  $V_c = 60,96 - 182,87$  [m/min]

Τότε με γραμμική παρεμβολή για  $V_c = 130$  [m/min] προκύπτει ότι:

$60,96$	$0,0127$
$130$	$y$
$182,87$	$0,0508$

$$\frac{182,87-60,96}{0,0508-0,0127} = \frac{182,87-130}{0,0508-y} \Rightarrow y = 0,03427677$$

Επομένως,  $P_z = 0,034$  [mm/tooth]

$$\text{Άρα } n = \frac{1000 \cdot 130^m / \text{min}}{\pi \cdot 10 \text{mm}} = 4.138,03 \text{ [rpm]}$$

Έστω  $n=4.138,03$  [rpm] και  $p_z = 0,034$  [mm/tooth]

$$\text{Άρα } p_n = 3 * 0,034 \text{ mm} / \delta\acute{\omicron}\nu\tau\iota * 4.138,03 \text{ rpm} = 422,08 \text{ [mm/min]}$$



5. Κονδύλι Ø10 / 4 κοπτικές ακμές / HSS Cobalt / διάνοιξη αυλάκωσης

Έστω  $P_z = 0,0127 - 0,0508 [mm/tooth]$  και  $V_c = 60,96 - 182,87 [m/min]$

Τότε με γραμμική παρεμβολή για  $V_c = 100 [m/min]$  προκύπτει ότι:

$60,96$	$0,0127$
$100$	$y$
$182,87$	$0,0508$

$$\frac{182,87-60,96}{0,0508-0,0127} = \frac{182,87-100}{0,0508-y} \Rightarrow y = 0,024901$$

Επομένως,  $P_z = 0,025 [mm/tooth]$

$$\text{Άρα } n = \frac{1000 \cdot 100^m / min}{\pi \cdot 10 mm} = 3.183,10 [rpm]$$

Έστω  $n=3.183,10 [rpm]$  και  $p_z = 0,025 [mm/tooth]$

$$\text{Άρα } p_n = 4 * 0,025^{mm} / \deltaόντι * 3.183,10 rpm = 318,31 [mm/min]$$

6. Κονδύλι Ø10 / 4 κοπτικές ακμές / HSS Cobalt / δημιουργία διαβάθμισης

Έστω  $P_z = 0,0127 - 0,0508 [mm/tooth]$  και  $V_c = 60,96 - 182,87 [m/min]$

Τότε με γραμμική παρεμβολή για  $V_c = 130 [m/min]$  προκύπτει ότι:

$60,96$	$0,0127$
$130$	$y$
$182,87$	$0,0508$

$$\frac{182,87-60,96}{0,0508-0,0127} = \frac{182,87-130}{0,0508-y} \Rightarrow y = 0,03427677$$

Επομένως,  $P_z = 0,034 [mm/tooth]$

$$\text{Άρα } n = \frac{1000 \cdot 130^m / min}{\pi \cdot 10 mm} = 4.138,03 [rpm]$$

Έστω  $n=4.138,03 [rpm]$  και  $p_z = 0,034 [mm/tooth]$

$$\text{Άρα } p_n = 4 * 0,034^{mm} / \deltaόντι * 4.138,03 rpm = 562,77 [mm/min]$$

1. Φρεζοκεφαλή D100 / 6 ένθετα(λίγα) / Uncoated

Έστω  $P_z = 0,08 - 0,20$  [mm/tooth] και  $V_c = 250 - 320$  [m/min]

Τότε με γραμμική παρεμβολή για  $P_z = 0,12$  [mm/tooth] προκύπτει ότι:

0,08	250
0,12	x
0,20	320

$$\frac{0,20-0,08}{320-250} = \frac{0,20-0,12}{320-x} \Rightarrow x = 273,33$$

Επομένως,  $V_c = 273,33$  [m/min]

$$\text{Άρα } n = \frac{1000 \cdot 273,33 \text{ m/min}}{\pi \cdot 100 \text{ mm}} = 870,04 \text{ [rpm]}$$

$$\text{Οπότε: } p_n = 6 \cdot 0,12 \text{ mm/tooth} \cdot 870,04 \text{ rpm} = 626,43 \text{ [mm/min]}$$

2. Φρεζοκεφαλή D100 / 8 ένθετα(πολλά) / Uncoated

Έστω  $P_z = 0,08 - 0,20$  [mm/tooth] και  $V_c = 250 - 320$  [m/min]

Τότε με γραμμική παρεμβολή για  $P_z = 0,12$  [mm/tooth] προκύπτει ότι:

0,08	250
0,12	x
0,20	320

$$\frac{0,20-0,08}{320-250} = \frac{0,20-0,12}{320-x} \Rightarrow x = 273,33$$

Επομένως,  $V_c = 273,33$  [m/min]

$$\text{Άρα } n = \frac{1000 \cdot 273,33 \text{ m/min}}{\pi \cdot 100 \text{ mm}} = 870,04 \text{ [rpm]}$$

$$\text{Οπότε: } p_n = 8 \cdot 0,12 \text{ mm/tooth} \cdot 870,04 \text{ rpm} = 835,24 \text{ [mm/min]}$$

3. Φρεζοκεφαλή D100 / 6 ένθετα(λίγα) / Cermet

Έστω  $P_z = 0,08 - 0,20$  [mm/tooth] και  $V_c = 250 - 400$  [m/min]

Τότε με γραμμική παρεμβολή για  $P_z = 0,12$  [mm/tooth] προκύπτει ότι:

0,08	250
0,12	x
0,20	400

$$\frac{0,20-0,08}{400-250} = \frac{0,20-0,12}{400-x} \Rightarrow x = 300$$

Επομένως,  $V_c = 300$  [m/min]

$$\text{Άρα } n = \frac{1000 \cdot 300 \text{ m/min}}{\pi \cdot 100 \text{ mm}} = 954,93 \text{ [rpm]}$$

$$\text{Οπότε: } p_n = 6 \cdot 0,12 \text{ mm/tooth} \cdot 954,93 \text{ rpm} = 687,55 \text{ [mm/min]}$$

4. Φρεζοκεφαλή D100 / 8 ένθετα(πολλά) / Cermet

Έστω  $P_z = 0,08 - 0,20$  [mm/tooth] και  $V_c = 250 - 400$  [m/min]

Τότε με γραμμική παρεμβολή για  $P_z = 0,12$  [mm/tooth] προκύπτει ότι:

0,08	250
0,12	x
0,20	400

$$\frac{0,20-0,08}{400-250} = \frac{0,20-0,12}{400-x} \Rightarrow x = 300$$

Επομένως,  $V_c = 300$  [m/min]

$$\text{Άρα } n = \frac{1000 \cdot 300 \text{ m/min}}{\pi \cdot 100 \text{ mm}} = 954,93 \text{ [rpm]}$$

$$\text{Οπότε: } p_n = 8 \cdot 0,12 \text{ mm/tooth} \cdot 954,93 \text{ rpm} = 916,73 \text{ [mm/min]}$$

5. Φρεζοκεφαλή D100 / 6 ένθετα(λίγα) / Coated

Έστω  $P_z = 0,08 - 0,20$  [mm/tooth] και  $V_c = 250 - 410$  [m/min]

Τότε με γραμμική παρεμβολή για  $P_z = 0,12$  [mm/tooth] προκύπτει ότι:

0,08	250
0,12	x
0,20	410

$$\frac{0,20-0,08}{410-250} = \frac{0,20-0,12}{410-x} \Rightarrow x = 303,33$$

Επομένως,  $V_c = 303,33$  [m/min]

$$\text{Άρα } n = \frac{1000 \cdot 303,33 \text{ m/min}}{\pi \cdot 100 \text{ mm}} = 965,53 \text{ [rpm]}$$

$$\text{Οπότε: } p_n = 6 \cdot 0,12 \text{ mm/tooth} \cdot 965,53 \text{ rpm} = 695,18 \text{ [mm/min]}$$

6. Φρεζοκεφαλή D100 / 8 ένθετα(πολλά) / Coated

Έστω  $P_z = 0,08 - 0,20$  [mm/tooth] και  $V_c = 250 - 410$  [m/min]

Τότε με γραμμική παρεμβολή για  $P_z = 0,12$  [mm/tooth] προκύπτει ότι:

0,08	250
0,12	x
0,20	410

$$\frac{0,20-0,08}{410-250} = \frac{0,20-0,12}{410-x} \Rightarrow x = 303,33$$

Επομένως,  $V_c = 303,33$  [m/min]

$$\text{Άρα } n = \frac{1000 \cdot 303,33 \text{ m/min}}{\pi \cdot 100 \text{ mm}} = 965,53 \text{ [rpm]}$$

$$\text{Οπότε: } p_n = 8 \cdot 0,12 \text{ mm/tooth} \cdot 965,53 \text{ rpm} = 926,91 \text{ [mm/min]}$$

1. Φρεζοκεφαλή D125 / 8 ένθετα(λίγα) / Uncoated

Έστω  $P_z = 0,08 - 0,20$  [mm/tooth] και  $V_c = 250 - 320$  [m/min]

Τότε με γραμμική παρεμβολή για  $P_z = 0,12$  [mm/tooth] προκύπτει ότι:

0,08	250
0,12	x
0,20	320

$$\frac{0,20-0,08}{320-250} = \frac{0,20-0,12}{320-x} \Rightarrow x = 273,33$$

Επομένως,  $V_c = 273,33$  [m/min]

$$\text{Άρα } n = \frac{1000 \cdot 273,33 \text{ m/min}}{\pi \cdot 125 \text{ mm}} = 696,03 \text{ [rpm]}$$

$$\text{Οπότε: } p_n = 8 * 0,12 \text{ mm/tooth} * 696,03 \text{ rpm} = 668,19 \text{ [mm/min]}$$

2. Φρεζοκεφαλή D125 / 10 ένθετα(πολλά) / Uncoated

Έστω  $P_z = 0,08 - 0,20$  [mm/tooth] και  $V_c = 250 - 320$  [m/min]

Τότε με γραμμική παρεμβολή για  $P_z = 0,12$  [mm/tooth] προκύπτει ότι:

0,08	250
0,12	x
0,20	320

$$\frac{0,20-0,08}{320-250} = \frac{0,20-0,12}{320-x} \Rightarrow x = 273,33$$

Επομένως,  $V_c = 273,33$  [m/min]

$$\text{Άρα } n = \frac{1000 \cdot 273,33 \text{ m/min}}{\pi \cdot 125 \text{ mm}} = 696,03 \text{ [rpm]}$$

$$\text{Οπότε: } p_n = 10 * 0,12 \text{ mm/tooth} * 696,03 \text{ rpm} = 835,24 \text{ [mm/min]}$$

3. Φρεζοκεφαλή D125 / 8 ένθετα(λιγά) / Cermet

Έστω  $P_z = 0,08 - 0,20$  [mm/tooth] και  $V_c = 250 - 400$  [m/min]

Τότε με γραμμική παρεμβολή για  $P_z = 0,12$  [mm/tooth] προκύπτει ότι:

0,08	250
0,12	x
0,20	400

$$\frac{0,20-0,08}{400-250} = \frac{0,20-0,12}{400-x} \Rightarrow x = 300$$

Επομένως,  $V_c = 300$  [m/min]

$$\text{Άρα } n = \frac{1000 \cdot 300 \text{ m/min}}{\pi \cdot 125 \text{ mm}} = 763,94 \text{ [rpm]}$$

$$\text{Οπότε: } p_n = 8 * 0,12 \text{ mm/tooth} * 763,94 \text{ rpm} = 733,38 \text{ [mm/min]}$$

4. Φρεζοκεφαλή D125 / 10 ένθετα(πολλά) / Cermet

Έστω  $P_z = 0,08 - 0,20$  [mm/tooth] και  $V_c = 250 - 400$  [m/min]

Τότε με γραμμική παρεμβολή για  $P_z = 0,12$  [mm/tooth] προκύπτει ότι:

0,08	250
0,12	x
0,20	400

$$\frac{0,20-0,08}{400-250} = \frac{0,20-0,12}{400-x} \Rightarrow x = 300$$

Επομένως,  $V_c = 300$  [m/min]

$$\text{Άρα } n = \frac{1000 \cdot 300 \text{ m/min}}{\pi \cdot 125 \text{ mm}} = 763,94 \text{ [rpm]}$$

$$\text{Οπότε: } p_n = 10 * 0,12 \text{ mm/tooth} * 763,94 \text{ rpm} = 916,73 \text{ [mm/min]}$$



5. Φρεζοκεφαλή D125 / 8 ένθετα(λίγα) / Coated

Έστω  $P_z = 0,08 - 0,20$  [mm/tooth] και  $V_c = 250 - 410$  [m/min]

Τότε με γραμμική παρεμβολή για  $P_z = 0,12$  [mm/tooth] προκύπτει ότι:

0,08	250
0,12	x
0,20	410

$$\frac{0,20-0,08}{410-250} = \frac{0,20-0,12}{410-x} \Rightarrow x = 303,33$$

Επομένως,  $V_c = 303,33$  [m/min]

$$\text{Άρα } n = \frac{1000 \cdot 303,33 \text{ m/min}}{\pi \cdot 125 \text{ mm}} = 772,42 \text{ [rpm]}$$

$$\text{Οπότε: } p_n = 8 * 0,12 \text{ mm/tooth} * 772,42 \text{ rpm} = 741,52 \text{ [mm/min]}$$

6. Φρεζοκεφαλή D125 / 10 ένθετα(πολλά) / Coated

Έστω  $P_z = 0,08 - 0,20$  [mm/tooth] και  $V_c = 250 - 410$  [m/min]

Τότε με γραμμική παρεμβολή για  $P_z = 0,12$  [mm/tooth] προκύπτει ότι:

0,08	250
0,12	x
0,20	410

$$\frac{0,20-0,08}{410-250} = \frac{0,20-0,12}{410-x} \Rightarrow x = 303,33$$

Επομένως,  $V_c = 303,33$  [m/min]

$$\text{Άρα } n = \frac{1000 \cdot 303,33 \text{ m/min}}{\pi \cdot 125 \text{ mm}} = 772,42 \text{ [rpm]}$$

$$\text{Οπότε: } p_n = 10 * 0,12 \text{ mm/tooth} * 772,42 \text{ rpm} = 926,90 \text{ [mm/min]}$$

1. Φρεζοκεφαλή D160 / 10 ένθετα(λίγα) / Uncoated

Έστω  $P_z = 0,08 - 0,20$  [mm/tooth] και  $V_c = 250 - 320$  [m/min]

Τότε με γραμμική παρεμβολή για  $P_z = 0,12$  [mm/tooth] προκύπτει ότι:

0,08	250
0,12	x
0,20	320

$$\frac{0,20-0,08}{320-250} = \frac{0,20-0,12}{320-x} \Rightarrow x = 273,33$$

Επομένως,  $V_c = 273,33$  [m/min]

$$\text{Άρα } n = \frac{1000 \cdot 273,33 \text{ m/min}}{\pi \cdot 160 \text{ mm}} = 543,77 \text{ [rpm]}$$

$$\text{Οπότε: } p_n = 10 \cdot 0,12 \text{ mm/tooth} \cdot 543,77 \text{ rpm} = 652,52 \text{ [mm/min]}$$

2. Φρεζοκεφαλή D160 / 12 ένθετα(πολλά) / Uncoated

Έστω  $P_z = 0,08 - 0,20$  [mm/tooth] και  $V_c = 250 - 320$  [m/min]

Τότε με γραμμική παρεμβολή για  $P_z = 0,12$  [mm/tooth] προκύπτει ότι:

0,08	250
0,12	x
0,20	320

$$\frac{0,20-0,08}{320-250} = \frac{0,20-0,12}{320-x} \Rightarrow x = 273,33$$

Επομένως,  $V_c = 273,33$  [m/min]

$$\text{Άρα } n = \frac{1000 \cdot 273,33 \text{ m/min}}{\pi \cdot 160 \text{ mm}} = 543,77 \text{ [rpm]}$$

$$\text{Οπότε: } p_n = 12 \cdot 0,12 \text{ mm/tooth} \cdot 543,77 \text{ rpm} = 783,03 \text{ [mm/min]}$$

3. Φρεζοκεφαλή D160 / 10 ένθετα(λίγα) / Cermet

Έστω  $P_z = 0,08 - 0,20$  [mm/tooth] και  $V_c = 250 - 400$  [m/min]

Τότε με γραμμική παρεμβολή για  $P_z = 0,12$  [mm/tooth] προκύπτει ότι:

0,08	250
0,12	x
0,20	400

$$\frac{0,20-0,08}{400-250} = \frac{0,20-0,12}{400-x} \Rightarrow x = 300$$

Επομένως,  $V_c = 300$  [m/min]

$$\text{Άρα } n = \frac{1000 \cdot 300 \text{ m/min}}{\pi \cdot 160 \text{ mm}} = 596,83 \text{ [rpm]}$$

$$\text{Οπότε: } p_n = 10 \cdot 0,12 \text{ mm/tooth} \cdot 596,83 \text{ rpm} = 716,20 \text{ [mm/min]}$$

4. Φρεζοκεφαλή D160 / 12 ένθετα(πολλά) / Cermet

Έστω  $P_z = 0,08 - 0,20$  [mm/tooth] και  $V_c = 250 - 400$  [m/min]

Τότε με γραμμική παρεμβολή για  $P_z = 0,12$  [mm/tooth] προκύπτει ότι:

0,08	250
0,12	x
0,20	400

$$\frac{0,20-0,08}{400-250} = \frac{0,20-0,12}{400-x} \Rightarrow x = 300$$

Επομένως,  $V_c = 300$  [m/min]

$$\text{Άρα } n = \frac{1000 \cdot 300 \text{ m/min}}{\pi \cdot 160 \text{ mm}} = 596,83 \text{ [rpm]}$$

$$\text{Οπότε: } p_n = 12 \cdot 0,12 \text{ mm/tooth} \cdot 596,83 \text{ rpm} = 859,44 \text{ [mm/min]}$$

5. Φρεζοκεφαλή D160 / 10 ένθετα(λίγα) / Coated

Έστω  $P_z = 0,08 - 0,20$  [mm/tooth] και  $V_c = 250 - 410$  [m/min]

Τότε με γραμμική παρεμβολή για  $P_z = 0,12$  [mm/tooth] προκύπτει ότι:

0,08	250
0,12	x
0,20	410

$$\frac{0,20-0,08}{410-250} = \frac{0,20-0,12}{410-x} \Rightarrow x = 303,33$$

Επομένως,  $V_c = 303,33$  [m/min]

$$\text{Άρα } n = \frac{1000 \cdot 303,33 \text{ m/min}}{\pi \cdot 160 \text{ mm}} = 603,46 \text{ [rpm]}$$

$$\text{Οπότε: } p_n = 10 \cdot 0,12 \text{ mm/tooth} \cdot 603,46 \text{ rpm} = 724,15 \text{ [mm/min]}$$

6. Φρεζοκεφαλή D160 / 12 ένθετα(πολλά) / Coated

Έστω  $P_z = 0,08 - 0,20$  [mm/tooth] και  $V_c = 250 - 410$  [m/min]

Τότε με γραμμική παρεμβολή για  $P_z = 0,12$  [mm/tooth] προκύπτει ότι:

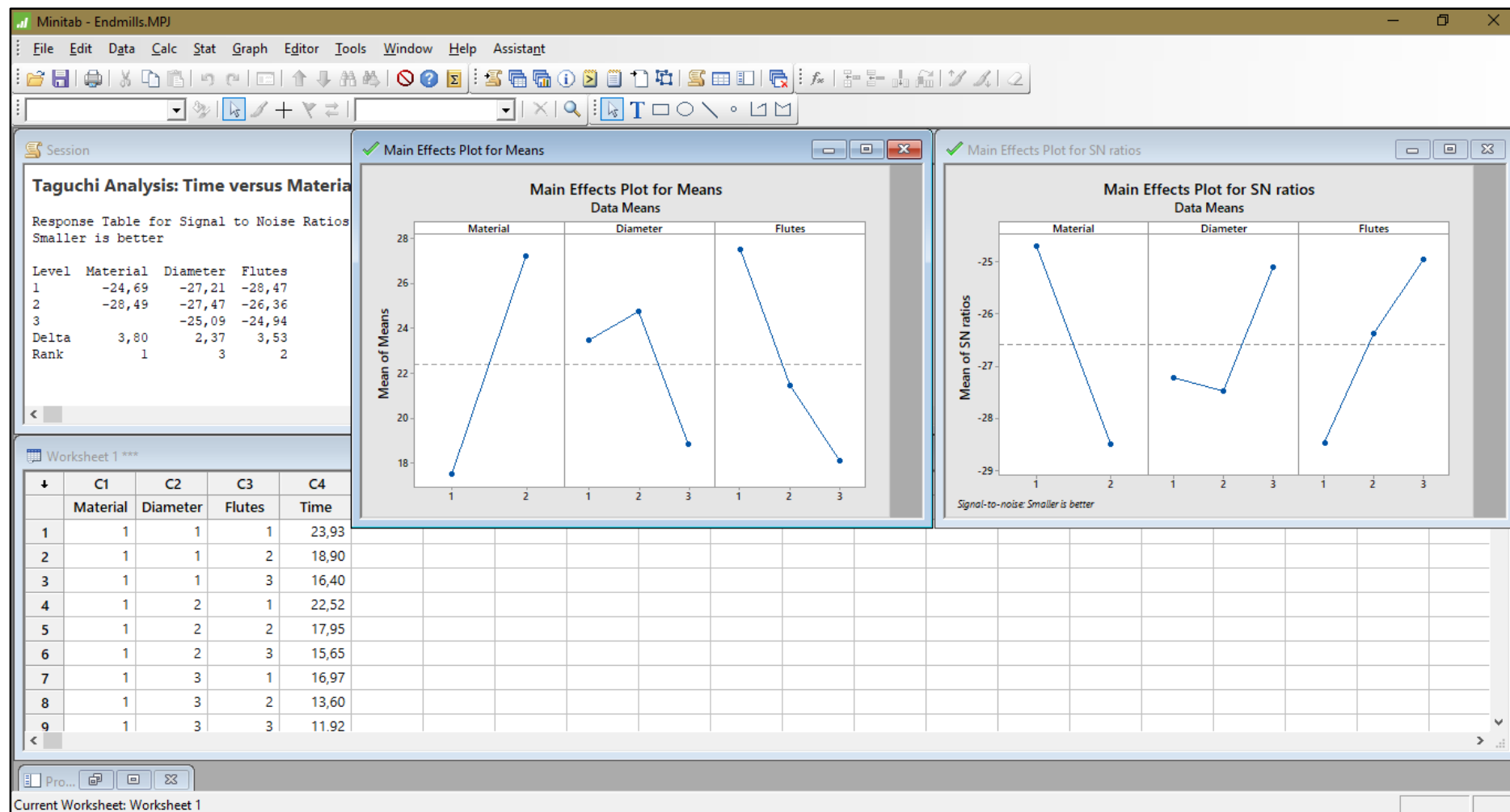
0,08	250
0,12	x
0,20	410

$$\frac{0,20-0,08}{410-250} = \frac{0,20-0,12}{410-x} \Rightarrow x = 303,33$$

Επομένως,  $V_c = 303,33$  [m/min]

$$\text{Άρα } n = \frac{1000 \cdot 303,33 \text{ m/min}}{\pi \cdot 160 \text{ mm}} = 603,46 \text{ [rpm]}$$

$$\text{Οπότε: } p_n = 12 \cdot 0,12 \text{ mm/tooth} \cdot 603,46 \text{ rpm} = 868,98 \text{ [mm/min]}$$



Εικόνα 15.50 – Περιβάλλον προγράμματος Minitab μετά την εισαγωγή των δεδομένων για τη χρήση της μεθόδου Taguchi

