



**ΠΟΛΥΤΕΧΝΕΙΟ ΚΡΗΤΗΣ**

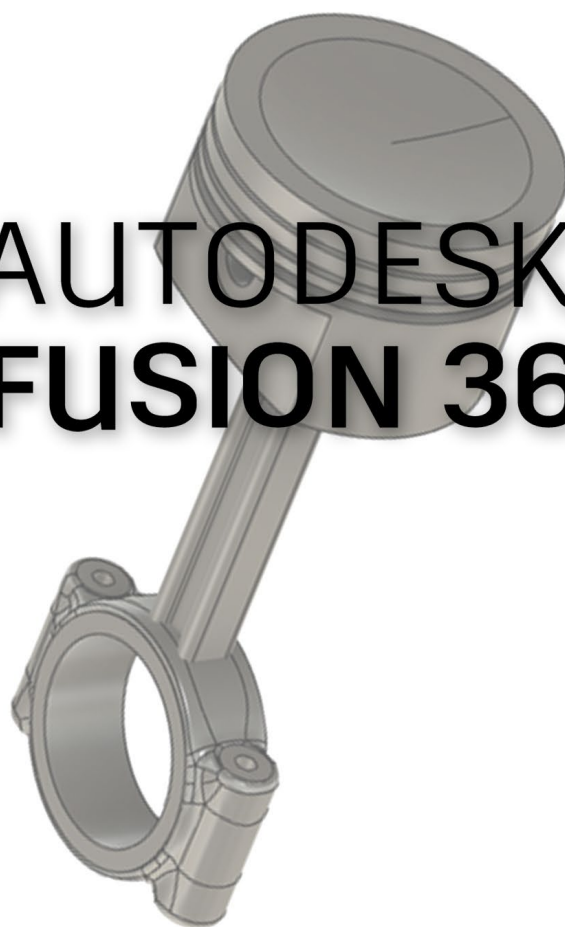
**ΣΧΟΛΗ ΜΗΧΑΝΙΚΩΝ ΠΑΡΑΓΩΓΗΣ & ΔΙΟΙΚΗΣΗΣ**

**ΕΡΓΑΣΤΗΡΙΟ ΜΙΚΡΟΚΟΠΗΣ & ΚΑΤΑΣΚΕΥΑΣΤΙΚΗΣ ΠΡΟΣΟΜΟΙΩΣΗΣ**

**ΚΑΤΕΡΓΑΣΙΕΣ ΑΦΑΙΡΕΣΗΣ  
ΥΛΙΚΟΥ ΜΕ ΤΗΝ ΒΟΗΘΕΙΑ ΤΟΥ  
ΛΟΓΙΣΜΙΚΟΥ CAD/CAM FUSION**



**AUTODESK®  
FUSION 360™**



**ΜΠΑΡΜΠΑΚΟΣ  
ΕΛΕΥΘΕΡΙΟΣ**

**ΕΠΙΒΛΕΠΩΝ ΚΑΘΗΓΗΤΗΣ:  
ΑΡΙΣΤΟΜΕΝΗΣ ΑΝΤΩΝΙΑΔΗΣ**



Στον πατέρα μου, Γεώργιο που μου δίδαξε την σημασία του επαγγελματισμού.  
Αντίο πατέρα!

Στην μητέρα μου, Κωνσταντία που κατάφερε και μεγάλωσε το πιο ατίθασο πλάσμα,  
εμένα.

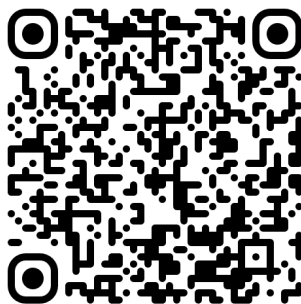
Στην αδελφή μου, Δανάη-Μαρία για την στήριξή της στην πιο δύσκολη στιγμή της ζωής  
μου, τον θάνατο του πατέρα. Σου εύχομαι επιτυχία και πρόοδο.

Στους φίλους που έκανα σ' αυτό το ταξίδι, Ιωάννα Κώτσου, Ξένιος Χριστοδούλου,  
Γεράσιμος Μπενάτος, Νίκη Γλαμπεδάκη, Αικατερίνη Μαντουράκη, Ρενάτο Τσαράι, Αθηνά  
Αγγέλη, Γεώργιο Πασσιά, Ευάγγελο Ντουσάκη, Σπύρο Λαϊνά και Ελένη Κουλαυτάκη. Δεν  
θα μπορούσα να έχω καλύτερους συνοδοιπόρους.

Στους καλύτερους, τα άτομα που μπορώ να εμπιστευτώ την καρδιά μου και να μοιραστώ  
τις μπύρες μου, Παναγιώτης Δημητρίου, Ελευθερία Ντόντου, Ευανθία Ντόντου, Αθανασία  
Καλογύρου, Ευσταθία Κελεπούρη, Γιαλαμά Απόστολο, Μουρογιάννη Απόστολο και Ελένη  
Μεγαγιάννη. Συνεχίστε να ομορφαίνεται τον κόσμο και τα βράδια μου.

Στον καθηγητή μου, Αριστομένη Αντωνιάδη για την βοήθεια, την γνώση και την αστείρευτη  
υπομονή του.

Σας ευχαριστώ όλους!







## Περιεχόμενα

1. Εισαγωγή
2. Θεωρία
3. Περιβάλλον Fusion 360
4. Design
  - 4.1 Create Sketch
  - 4.2 Solid
  - 4.3 Create Form
  - 4.4 Surface
  - 4.5 Assembly
5. Manufacture
  - 5.1 Setup
  - 5.2 Κοπτικά Εργαλεία και Βιβλιοθήκη Fusion 360
  - 5.3 2D Κατεργασίες
    - Face
    - 2D Adaptive Clearing
    - 2D Pocket
    - 2D Contour
    - Slot
    - Thread
    - Bore
    - Thread
    - Trace
    - Circular
    - Engrave
    - 2D Chamfer
  - 5.4 3D Κατεργασίες
    - 3D Adaptive Clearing
    - Pocket Clearing
    - Flat
    - Parallel
    - Scallop
    - Contour
    - Ramp
    - Horizontal
    - Pencil
    - Spiral
    - Radial
    - Morphed Spiral
    - Project
    - Morph
    - Flow
  - 5.5 Drilling
  - 5.6 Simulate
6. Συνδυαστική Κατασκευή
  - 6.1 Μοντελοποίηση Παραδείγματος
  - 6.2 Παραγωγή του Παραδείγματος
8. Σύνοψη
7. Βιβλιογραφία

## 1. Εισαγωγή

Η εν λόγω πτυχιακή εργασία είναι ένα εγχειρίδιο χρήσης του λογισμικού της Autodesk, Fusion 360. Για την καλύτερη κατανόηση του εγχειριδίου θα χρησιμοποιηθούν παραδείγματα για τις ανάγκες της κάθε κατεργασίας, ενώ στο τελευταίο κεφάλαιο θα σχεδιαστεί και θα κατεργαστεί και ένα αντικείμενο-παράδειγμα μέσω προσομοίωσης.

Αρχικά θα πραγματοποιηθεί μια εισαγωγή στην δημιουργία των πρώτων συστημάτων CAD και CAD/CAM, θα αναφερθούν και θα αναπτυχθούν οι τρόποι μοντελοποίησης που μπορεί να προσφέρει ένα σύγχρονο σύστημα, θα συζητηθεί το σύστημα που πρέπει να χρησιμοποιηθεί ανά περίπτωση αντικειμένου και τέλος θα δοθούν κάποιες πληροφορίες που αφορούν τα συστήματα CAM καθώς και το πως μπορεί να μειωθεί ο χρόνος κατεργασίας μέσω του ελέγχου.

Αφού η πρώτη εικόνα που θα συναντήσει κάποιος ανοίγοντας την εφαρμογή είναι το περιβάλλον του προγράμματος, η ανάλυση θα ξεκινήσει από αυτό. Είναι σημαντικό ο αναγνώστης να μπορεί να πλοηγηθεί στο πρόγραμμα με ευκολία πριν χρησιμοποιήσει οποιοδήποτε εργαλείο που παρέχει το Fusion 360.

Στην συνέχεια, στο κεφάλαιο Design θα αναλυθεί το σχεδιαστικό σκέλος του προγράμματος και θα αναφερθούν σε διαφορετικά υποκεφάλαια τα τρία διαφορετικά είδη σχεδίασης που θα συναντήσει ο αναγνώστης, καθώς και οι εντολές του κάθε είδους. Το κομμάτι της σχεδίασης κλείνει με το υποκεφάλαιο Assembly, όπου θα αναφερθούν οι εντολές συναρμολόγησης. Αξίζει να αναφερθεί πως ο σκοπός του Fusion δεν είναι τόσο η σχεδίαση όσο η παραγωγή αντικειμένων. Είναι πιθανό επομένως, το μέρος της σχεδίασης να φανεί ελλιπές στον αναγνώστη, αλλά στο τέλος της εργασίας θα κατανοήσει τόσο τους σκοπούς του προγράμματος όσο και την χρησιμότητά του.

Στο κεφάλαιο Manufacture όπως προαναφέρθηκε θα αναλυθούν σε βάθος οι τρόποι κατεργασίας ενός αντικειμένου. Ο αναγνώστης θα μπορεί να διαβάσει την κάθε κατεργασία ως αυτόνομο κομμάτι, αφού η κάθε εντολή αναλύεται κάθε φορά εκ νέου σύμφωνα με τα δεδομένα της κατεργασίας. Οι κατεργασίες έχουν καταταχθεί όπως ακριβώς τις ταξινομεί και το Fusion, δηλαδή σε δισδιάστατες και τρισδιάστατες κατεργασίες καθώς και σε κατεργασίες δημιουργίας οπών. Επιπροσθέτως, στο κεφάλαιο αυτό ο αναγνώστης μπορεί να βρει χρήσιμες πληροφορίες σχετικά με τα κοπτικά εργαλεία, όπως το πώς εντάσσεται ένα κοπτικό εργαλείο στην βιβλιοθήκη του Fusion. Τέλος, το υποκεφάλαιο Simulate αποτελεί μία απαραίτητη προσθήκη για την ασφαλή παραγωγή ενός αντικειμένου και την αποφυγή σφαλμάτων.

## 2. Θεωρία

### 2.1 Ιστορική αναδρομή σχεδίου και συστημάτων CAD/CAM

Η ανάγκη του ανθρώπου να σχεδιάζει και να παράγει αντικείμενα δεν είναι σύγχρονη. Από την αρχαιότητα έχουν παραστεί αντικείμενα με τη μορφή τεχνικού σχεδίου με σκοπό την ανταλλαγή πληροφοριών, δημιουργώντας έτσι μια γλώσσα επικοινωνίας μεταξύ του σχεδιαστή και του ανθρώπου που θα παράξει το αντίστοιχο αντικείμενο.



Εικόνα 2.1.1 Σχέδιο από τείχη οχύρωσης χαραγμένο στα πόδια του αγάλματος του πρίγκιπα Gudea – Μουσείο Λούβρου.

Αρχικά τα σχέδια πραγματοποιούνταν με την βοήθεια ξύλινων οργάνων και σχοινιών με κόμπους που χρησίμευαν ως όργανα μέτρησης. Αργότερα, τα σχέδια πραγματοποιούνταν πάνω σε πάπυρο, ξύλο ή και ύφασμα ενώ στην αρχαία Αίγυπτο ήδη σχεδιάζονταν η κάτοψη και πρόσοψη των κτηρίων. Κατά τον μεσαίωνα οι κατασκευαστές κτηρίων ήδη είχαν αποκτήσει εξοικείωση με γεωμετρικούς υπολογισμούς που τους βοηθούσαν στην επίλυση τεχνικών προβλημάτων.

Στη διάρκεια του 16<sup>ου</sup> και 17<sup>ου</sup> αιώνα οι κατασκευαστές ξεκίνησαν να χρησιμοποιούν πρότυπα μοντέλα

πριν το τελικό προϊόν, και στον 17<sup>ο</sup> αιώνα επικράτησαν τα σχέδια ως κύρια επιλογή μεταφοράς και καταγραφής των τεχνικών πληροφοριών. Οι ναυπηγοί του 18<sup>ου</sup> αιώνα χρησιμοποιούσαν τρεις όψεις στις οποίες φαινόταν οι διαστάσεις των σκαφών και στις τρεις κατευθύνσεις. Στα τέλη του 18<sup>ου</sup> αιώνα οδηγούμαστε στην προβολική σχεδίαση όπως την γνωρίζουμε σήμερα, χάρη στον Γάλλο μηχανικό Gaspard Monge. Τέλος τον 19<sup>ο</sup> αιώνα χρησιμοποιήθηκαν πιο σύγχρονες τεχνικές προβολών σχεδίασης, και σήμερα με την ύπαρξη των ηλεκτρονικών υπολογιστών η σχεδίαση με το χέρι δίνει την σκυτάλη στα ηλεκτρονικά συστήματα σχεδίασης.

Τα συστήματα σχεδίασης και παραγωγής με χρήση ηλεκτρονικού υπολογιστή, CAD/CAM ξεκίνησαν τη δεκαετία του '60, κυρίως από το πεδίο των αυτοκινητοβιομηχανιών, των αεροπορικών βιομηχανιών και των ηλεκτρονικών, αφού μόνο αυτές μπορούσαν να υποστηρίξουν την απαιτούμενη υπολογιστική ισχύ, κρατώντας παράλληλα την ανάπτυξή τους μυστική. Κύριος σκοπός της δημιουργίας αυτών των συστημάτων ήταν η μοντελοποίηση ελεύθερων επιφανειών και η κατεργασία τους σε μηχανές ψηφιακής καθοδήγησης. Το πρώτο σύστημα CAD με την ονομασία Sketchpad αναπτύχθηκε το 1963 από τον Ivan Sutherland στο MIT, στο οποίο χρησιμοποιείται για πρώτη φορά σύστημα πέννας φωτός και οθόνης καθοδικών ακτίνων ως μέσο επικοινωνίας με τον χρήστη.



Εικόνα 2.1.2 Το σύστημα Sketchpad σε χρήση.

Η ανάπτυξη όμως των υπολογιστών έφερε και την ανάπτυξη των συστημάτων σχεδίασης. Τα πρώτα συστήματα περιείχαν τη σχεδίαση δύο διαστάσεων και έως το 1980 επεκτάθηκαν και στην τρισδιάστατη απεικόνιση. Αξίζει να σημειωθεί πως σημαντικό στάδιο στην ανάπτυξη των συστημάτων ήταν και η εισαγωγή πυρήνων στερεάς μοντελοποίησης, ένα περιβάλλον δηλαδή που διαχειρίζεται την γεωμετρία και την τοπολογία των τρισδιάστατων αντικειμένων, όπως το Parasolid και το ACIS, συστήματα της δεκαετίας '80 και '90, που προήλθαν από την εργασία του Ivan Braid. Κάπου εδώ έρχεται και η δημιουργία της εταιρείας που ανέπτυξε το Fusion 360, Autodesk. Ιδρύθηκε 1982 από τον John Walker, και εισήγαγε το AutoCAD, σύστημα δύο διαστάσεων. Το Fusion 360 βγήκε στην αγορά το 2013, αποτελώντας ένα σύστημα CAD/CAM.

## 2.2 Μοντελοποίηση με συστήματα CAD

Τα πρώτα συστήματα CAD ήταν δύο διαστάσεων, στα οποία ο χρήστης σχεδίαζε τις όψεις όπως θα σχεδίαζε σε ένα φύλλο χαρτί. Έτσι η τρισδιάστατη μορφή του αντικειμένου υπάρχει μόνο στην σκέψη του σχεδιαστή και όχι στην βάση δεδομένων που καταχωρεί το σύστημα για το μοντέλο.

Τα αντικείμενα όμως είναι τριών διαστάσεων και τα μοντέλα χωρίζονται σε δύο κατηγορίες:

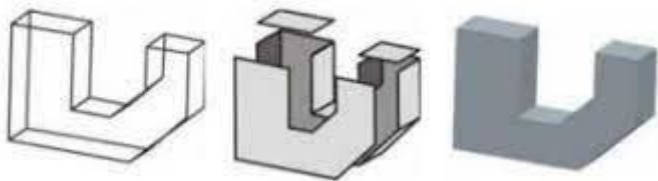
- **Τα μοντέλα  $2^{1/2}$  διαστάσεων**, τα οποία έχουν σταθερή διατομή και πάχος (όπως για παράδειγμα τα αξονοσυμμετρικά αντικείμενα) και δημιουργούνται εύκολα με εντολές τύπου extrude και revolve.
- **Τα μοντέλα 3 διαστάσεων** τα οποία δεν έχουν σταθερή διατομή ή ομοιόμορφο πάχος και δημιουργούνται από συνδυασμούς διαφόρων εντολών.

Για την μοντελοποίηση των τρισδιάστατων αντικειμένων αναπτύχθηκαν οι παρακάτω τύποι μοντέλων:

- **Μοντέλα ακμών ή σύρματος**: κατάλληλα για αντικείμενα τύπου  $2^{1/2}$  διαστάσεων. Όπως φαίνεται και στην εικόνα 2.2.1 το μοντέλο αποτελείται από κορυφές και ακμές. Είναι μια απλή μορφή απεικόνισης στο χώρο, και για αυτό είναι λιγότερο απαιτητικά σε εφαρμογή από υπολογιστική ισχύ, με περιορισμένο εύρος εφαρμογών. Χρησιμοποιούνται μόνο ως ενδιάμεσο στάδιο για τα παρακάτω μοντέλα.
- **Μοντέλα επιφανειών**: κατάλληλα για πιο πολύπλοκες μορφές αντικειμένων. Μοντελοποιείται το περίβλημα του αντικειμένου προβάλλοντας την εξωτερική μορφή του. Τα συγκεκριμένα μοντέλα καταχωρούν επιπλέον και τις επιφάνειες σε αντίθεση με τα μοντέλα ακμών. Αποδίδουν σχεδόν κάθε δυνατή μορφή ενός αντικειμένου ακόμα και αναπαραστάσεις ζώων, αλλά το τελικό μοντέλο ενδέχεται να περιέχει ατέλειες. Χρησιμοποιείται από την πλειοψηφία των χρηστών και είναι η πιο διαδεδομένη μέθοδος μοντελοποίησης στην βιομηχανία.
- **Μοντέλα στερεών**: κατάλληλα για πλήρη μοντέλα. Αποδίδονται ως μοναδιαία αναπαράσταση των αντικειμένων, αλλά παρά τις βελτιωμένες δυνατότητες των συστημάτων οι μορφές είναι περιορισμένες. Οι λειτουργίες δημιουργίας του μοντέλου είναι διαφορετικές απ' ότι στα άλλα δυο μοντέλα, ενώ η χρήση και η δημιουργία των στερεών μοντέλων είναι ευκολότερη.
- **Στερεά παραμετρικά μοντέλα με μορφολογικά χαρακτηριστικά**: κατάλληλα για ομάδα αντικειμένων. Καταχωρούν επιπλέον και την τοπολογία πέραν των κορυφών, ακμών και επιφανειών. Έχουν αντικαταστήσει τα απλά μοντέλα

στερεών. Οι διαστάσεις ορισμού του στερεού είναι παράμετροι που προσδιορίζονται από τον χρήστη και ο προσδιορισμός της μορφής γίνεται με χρήση πιο πολύπλοκων λειτουργιών απόδοσής της.

Ε



Εικόνα 2.2.1 Παράδειγμα συστημάτων τρισδιάστατης απεικόνισης. Αριστερά είναι μια αναπαράσταση μοντέλου ακμών, στην μέση ενός μοντέλου επιφανειών ενώ δεξιά ενός μοντέλου στερεού.

Παρατηρείται ότι περισσότερες πληροφορίες για το αντικείμενο παίρνουμε από τα στερεά μοντέλα και λιγότερες από τα μοντέλα επιφανειών. Τέλος τα μοντέλα ακμών παρέχουν ελάχιστες πληροφορίες για την μορφή του αντικειμένου.

### 2.2.1 Μοντέλα επιφανειών

Όπως προαναφέρθηκε, τα μοντέλα επιφανειών αποτελούν την πλειοψηφία των συστημάτων στον βιομηχανικό σχεδιασμό. Αποδίδουν την εξωτερική μορφή ενός αντικειμένου, μοντελοποιώντας ουσιαστικά τον φλοιό που περιβάλλει το αντικείμενο. Όμως, καθώς το πάχος του εξαρτήματος αδυνατεί να αποδοθεί, δεν μπορεί να γίνει αντιληπτή η εσωτερική δομή του αντικειμένου.

Πιο συγκεκριμένα τα πλεονεκτήματα της μεθόδου έναντι των άλλων μεθόδων μοντελοποίησης είναι:

- Ακριβής αναπαράσταση της τελικής μορφής του αντικειμένου.
- Δυνατότητα μοντελοποίησης σχεδόν κάθε αντικειμένου, όσο πολύπλοκο και εάν είναι.
- Δυνατότητα επιλογής της εμφάνισης του αντικειμένου, με δυνατότητες απόκρυψης μη ορατών ακμών και επιφανειών, και δημιουργία σκίασης και φωτορεαλισμού για καλύτερη παρουσίαση.
- Δυνατότητα χρήσης της μεθόδου για κάθετες εφαρμογές, όπως η δημιουργία της διαδρομής του κοπτικού εργαλείου για προγραμματισμό αριθμητικού ελέγχου οποιασδήποτε εργαλειομηχανής, ο υπολογισμός φυσικών ιδιοτήτων κλπ.

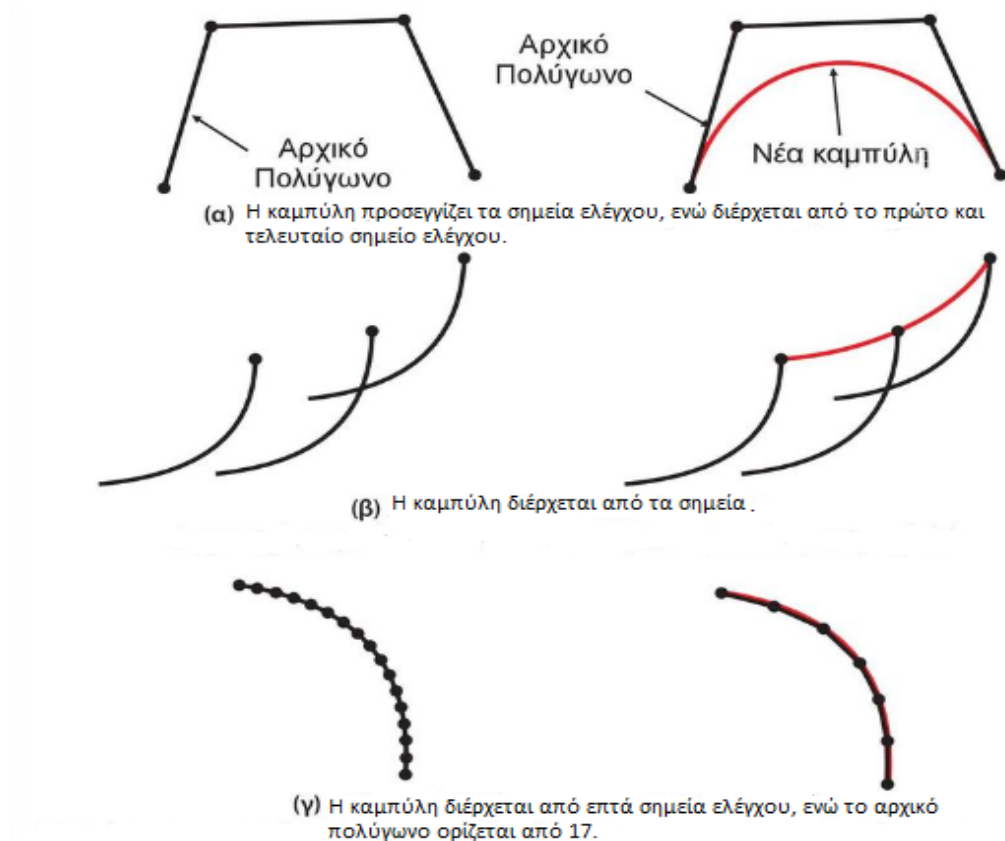
Σε αντίθεση με τις άλλες μεθόδους, παρουσιάζει και τα παρακάτω μειονεκτήματα:

- Δεν προβλέπεται για παραγωγή σχεδίων λόγω της χρονοβόρας διαδικασίας δημιουργίας των όψεων.
- Απαιτείται η γνώση της μαθηματικής αναπαράστασης των καμπυλών και των επιφανειών από τον χρήστη, ιδιαίτερα για τη διαχείριση επιφανειών ελεύθερης μορφής, με τις οποίες είναι δυνατή η αναπαράσταση των πολύπλοκης μορφής αντικειμένων. Τα πρώτα συστήματα στηρίχθηκαν στη μέθοδο Bezier, ακολούθησε η αναπαράσταση με B-Splines και σήμερα όλα τα συστήματα στηρίζονται στις ανομοιομορφες ρητές B-Splines (Non Uniform Rational B-Splines: NURBS).
- Συνήθως είναι πολύπλοκα μοντέλα, με μεγάλη απαίτηση επεξεργασίας και η πολυπλοκότητα αυτή εξαρτάται και από τη χρησιμοποιούμενη μέθοδο αναπαράστασης των καμπυλών και επιφανειών.
- Η δημιουργία του μοντέλου είναι αρκετά κουραστική και απαιτεί τη προεργασία κάποιου μοντέλου ακμών. Πάνω από το μοντέλο ακμών δημιουργούνται τα

διάφορα τμήματα επιφανειών. Αυτές οι επιφάνειες ενώνονται μεταξύ τους με την επιθυμητή συνέχεια και στο τέλος συνιστούν το φλοιό του εξαρτήματος.

Τα βασικά στοιχεία που χρησιμοποιούνται από την μέθοδο είναι τα σημεία, οι καμπύλες και οι επιφάνειες.

Οι καμπύλες μπορεί να είναι για παράδειγμα ευθύγραμμα τμήματα, τόξα, κύκλοι, πολύγωνα κλπ. Τμήματα καμπυλών μπορούν να ενωθούν μεταξύ τους για να σχηματίσουν μια σύνθετη καμπύλη. Στον ορισμό καμπυλών ελεύθερης μορφής έχουμε τρεις κατηγορίες για τον ορισμό τους:



Εικόνα 2.2.2 Τρεις κατηγορίες ορισμού καμπυλών ελεύθερας μορφής.

1. Στην πρώτη κατηγορία η καμπύλη προσεγγίζει τα σημεία του αρχικού πολυγώνου ελέγχου (τα σημεία του πολυγώνου γίνονται τα σημεία ελέγχου της καμπύλης). Ανάλογα με το είδος της, η καμπύλη θα διέρχεται από το πρώτο και το τελευταίο σημείο ελέγχου και θα προσεγγίζει τα υπόλοιπα.
2. Στη δεύτερη κατηγορία η καμπύλη διέρχεται απ' όλα τα σημεία, και το σύστημα δημιουργεί μια καμπύλη τύπου Spline. Είναι δύσκολο να κάνουμε την καμπύλη να διέρχεται απ' όλα τα σημεία που έχουν οριστεί και να έχει τις προβλεπόμενες ιδιότητες. Εάν υπάρχουν πολλά ανομοιόμορφα καταναμημένα σημεία, τότε σε ορισμένα τμήματα η καμπύλη θα απομακρύνεται και σε άλλα θα αλλάζει κυρτότητα. Σε μικρό αριθμό σημείων δεν προβλέπονται τέτοιες αστοχίες, αλλά σε περισσότερα είναι δύσκολο η καμπύλη να διατηρήσει την ομαλότητά της.
3. Η τρίτη κατηγορία περιλαμβάνει καμπύλες που προσεγγίζουν ή/και παρεμβάλλουν ορισμένα σημεία. Χρειάζονται πολύ λιγότερα σημεία ελέγχου



απ' ότι οι δυο άλλες κατηγορίες, ενώ η μέθοδος χρησιμοποιείται για περιπτώσεις που τα σημεία ορισμού είναι πάρα πολλά και υπάρχει σε αυτά κάποιο σφάλμα που προέρχεται από τον υπολογισμό τους.

Τα σύγχρονα συστήματα μοντελοποίησης με επιφάνειες στηρίζονται στη χρήση καμπυλών και επιφανειών τύπου NURBS. Οι καμπύλες τύπου NURBS ορίζονται από ένα σύνολο σημείων στο χώρο που ονομάζονται σημεία ελέγχου και όταν ενώνονται μεταξύ τους σχηματίζουν το πολύγωνο ελέγχου ή κέλυφος. Η καμπύλη προσεγγίζει το σχήμα του κελύφους και μπορεί να ξεκινάει από το πρώτο σημείο και να καταλήγει στο τελευταίο, ανεξαρτήτως του είδους της καμπύλης. Μια καμπύλη NURBS αποτελείται από ένα ή περισσότερα επιμέρους τμήματα καμπύλων και ανάλογα με τον αριθμό των επιμέρους τμημάτων η καμπύλη μπορεί να είναι τύπου Bezier ή B-spline.

Μια καμπύλη τύπου Bezier αποτελείται από ένα μόνο τμήμα και περνάει από τα ακραία σημεία ελέγχου. Μια καμπύλη τύπου B-spline περνάει από τα ακραία σημεία ελέγχου ανάλογα με τον τύπο παραμετροποίησης. Η τελευταία μπορεί να είναι δεσμευμένη ή ανοικτή, και η καμπύλη διέρχεται ή περνάει περιοδικά από τα σημεία ελέγχου. Στις καμπύλες Bezier όλη η καμπύλη επηρεάζεται από τη μετακίνηση ενός σημείου ελέγχου και κάθε σημείο πάνω στην καμπύλη/επιφάνεια μετακινείται πάντοτε λιγότερο από την αντίστοιχη μετακίνηση του σημείου ελέγχου.

Στις επιφάνειες, τα σημεία ελέγχου κατανέμονται σε πίνακα. Αναφορικά με τη μεταβολή της μορφής της επιφάνειας από αυτά, ισχύει ό,τι και στις καμπύλες. Όμως η μεταβολή της επιφάνειας μέσω ενός σημείου ελέγχου έχει το μειονέκτημα ότι δεν μπορεί άμεσα να προσδιοριστεί η τελική μορφή της, ενώ για τις καμπύλες το αποτέλεσμα είναι πιο προβλέψιμο.

Στα συστήματα μοντελοποίησης με επιφάνειες, οι τελευταίες αποτελούνται από επιμέρους τμήματα που ονομάζονται επιφανειακά τμήματα. Τα επιφανειακά τμήματα πρώτου και δευτέρου βαθμού είναι τα πιο συνήθη. Μερικά από αυτά είναι ο κώνος, κύλινδρος, η σφαίρα κλπ.

Οι τρόποι δημιουργίας ελεύθερων επιφανειών θα αναλυθούν αργότερα στο κύριο μέρος της εργασίας, στο κεφάλαιο του Design.

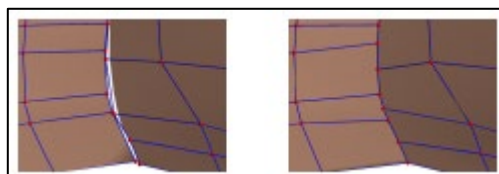
Το Fusion 360 χρησιμοποιεί πέραν αυτών και ένα είδος NURBS που λέγονται T-splines. Οι T-splines υποστηρίζουν πολλές πολύτιμες λειτουργίες μέσα σε ένα συνεχές πλαίσιο, όπως η βελτίωση του πλέγματος σε τοπικό επίπεδο, και η συγχώνευση πολλών B-splines



Εικόνα 2.2.3 Παράδειγμα κενού μεταξύ επιφανειών.

επιπέδων, που έχουν διαφορετικά διανύσματα στους κόμβους, σε ένα ενιαίο μοντέλο χωρίς κενό μεταξύ των επιφανειών. Τα σημεία ελέγχου μπορούν να εισαχθούν στο πλέγμα ελέγχου χωρίς την εξάπλωση ολόκληρης σειράς ή στήλης σημείων ελέγχου.

Οι T-splines μπορούν να χρησιμοποιηθούν για τη συγχώνευση μη ομοιόμορφων επιφανειών B-Spline που έχουν διαφορετικά διανύσματα στους κόμβους. Στην εικόνα 2.2.3 φαίνεται ένα μοντέλο χεριού που αποτελείται από επτά επιφάνειες B-spline. Η μικρή πράσινη περιοχή της εικόνας



Εικόνα 2.2.4 Επιδιόρθωση του κενού μεταξύ των επιφανειών με την βοήθεια των T-splines.

μεγεθύνεται στην εικόνα 2.2.4 για να αποκαλυφθεί μια τρύπα όπου οι γειτονικές επιφάνειες δεν ταιριάζουν ακριβώς. Η παρουσία τέτοιων κενών δυσκολεύει τους σχεδιαστές, οι οποίοι ενδέχεται να πρέπει να επιδιορθώσουν ένα διευρυμένο κενό κάθε φορά που το μοντέλο παραμορφώνεται. Στο δεξί μέρος της ίδιας εικόνας φαίνεται το μοντέλο μετά τη μετατροπή του σε μια T-spline, εξαλείφοντας έτσι την ανάγκη για επισκευή. Έτσι οι T-spline μπορούν να επισκευάσουν μοντέλα που αποτελούνται από πολλές μη ομοιόμορφες επιφάνειες B-spline.

## 2.2.2 Μοντέλα Στερεών

Τα μοντέλα στερεών αποτελούν τη σύγχρονη τάση των συστημάτων σχεδιομελέτης με χρήση ηλεκτρονικού υπολογιστή, ιδιαίτερα στις μηχανολογικές εφαρμογές και στις μελέτες συναρμολογήσεων. Τα μοντέλα στερεών, σε αντίθεση με τα μοντέλα επιφανειών και τα μοντέλα ακμών, περιγράφουν τα αντικείμενα με κλειστούς όγκους, γίνεται ταξινόμηση του χώρου και κάθε σημείο του χώρου κατατάσσεται ως εσωτερικό, εξωτερικό ή πάνω στο στερεό. Οι λειτουργίες δημιουργίας ενός στερεού μοντέλου είναι διαφορετικές απ' αυτές των άλλων μοντέλων, και συνήθως η χρήση και η εξοικείωση με το σύστημα είναι πιο εύκολη.

Τα στερεά μοντέλα παρέχουν πλήρη, έγκυρη και αναμφίβολη αναπαράσταση των αντικειμένων, η οποία επιτυγχάνεται με την καταχώρηση, τόσο των γεωμετρικών στοιχείων, όσο και των πληροφοριών τοπολογίας. Τα γεωμετρικά στοιχεία είναι κοινά με τα συστήματα επιφανειών. Τα τοπολογικά στοιχεία είναι οι ακμές, οι κορυφές, οι έδρες, οι βρόγχοι, τα κελύφη και τα στερεά που αποτελούν το αντικείμενο. Οι πληροφορίες που αφορούν τις σχέσεις μεταξύ αυτών των στοιχείων καταχωρούνται στη βάση δεδομένων τοπολογίας.

Αυτή ακριβώς είναι και η σημαντική διαφορά των μοντέλων στερεών με τα μοντέλα επιφανειών, τα οποία δεν παρέχουν πληροφορίες τοπολογίας παρά μόνο μέσω των αποκομμένων επιφανειών. Ο χρήστης χρειάζεται να δημιουργήσει μόνο τη γεωμετρία του στερεού, αλλά το σύστημα εσωτερικά δημιουργεί την τοπολογία και ελέγχει εάν οι διάφορες λειτουργίες διαχείρισης του στερεού δίνουν ένα έγκυρο τοπολογικό αντικείμενο.

Τα πρώτα συστήματα ακολούθησαν την ανάπτυξη του στερεού μοντέλου από τη δισδιάστατη γεωμετρία του. Ο χρήστης όριζε την ακριβή γεωμετρία του αντικειμένου, κάθε αλλαγή στις διαστάσεις και τη γεωμετρία ήταν χρονοβόρα και το στερεό μοντέλο ήταν μια πρόσθετη εφαρμογή που μπορούσε να ενεργοποιηθεί. Η σημερινή τάση στα συστήματα μηχανολογικής σχεδίασης είναι τα παραμετρικά μοντέλα με τη χρήση μορφολογικών χαρακτηριστικών. Η παραμετρική μοντελοποίηση εμφανίστηκε το 1987 από την εταιρία Parametric Technology, και από τότε όλοι οι προμηθευτές έχουν παρουσιάσει ένα αντίστοιχο προϊόν.

Όλα όμως τα σημερινά συστήματα στηρίζονται σε έναν περιορισμένο αριθμό πυρήνων στερεάς μοντελοποίησης. Ο πυρήνας αποτελεί σύστημα διαχείρισης της βάσης δεδομένων (γεωμετρία και τοπολογία) και εκτελεί τις περισσότερες από τις λειτουργίες της παραμετρικής στερεάς μοντελοποίησης. Συνεπώς, για τη δημιουργία του τελικού συστήματος μοντελοποίησης, από τον προγραμματιστή μηχανικό απαιτείται μόνο η παραγωγή λειτουργιών ανωτέρου επιπέδου. Οι πυρήνες με ορισμένα εμπορικά συστήματα φαίνονται και στον παρακάτω πίνακα:



Εταιρία	Προϊόν	Πυρήνας
Parametric Technology	Pro/ENGINEER	PTC
EDS	Unigraphics	Parasolid
EDS-Intergraph	Solid Edge	Parasolid
Bentley	MicrostationModeler	Parasolid
AUTODESK	Mechanical Desktop, Inventor, Fusion 360	ACIS
DASSAULT-Solidworks	Solidworks	Parasolid
DASSAULT	CATIA 5 και 6	CGM,GGCM και CDS
HP	HP Designer	ACIS

Πίνακας 2.1 Μερικά συστήματα και ο πυρήνας στερεάς μοντελοποίησης

Τα μορφολογικά χαρακτηριστικά δεν περιορίζονται στην πληροφόρηση που καταχωρούν στα γεωμετρικά στοιχεία, αλλά περιλαμβάνουν και πρόσθετη πληροφόρηση που είναι απαραίτητη για την εκάστοτε εφαρμογή. Τα μορφολογικά χαρακτηριστικά χρησιμοποιήθηκαν στην αρχή για μελέτη των κατεργασιών, ενώ στην συνέχεια αναπτύχθηκαν συστήματα αναγνώρισης μορφολογικών χαρακτηριστικών από τα γεωμετρικά στοιχεία. Ουσιαστικά, τα μορφολογικά χαρακτηριστικά αντιπροσωπεύουν μια ανώτερου επιπέδου απεικόνιση ομάδας γεωμετρικών στοιχείων και ιδιοτήτων του στερεού και έτσι, ανάλογα με την εφαρμογή προκύπτουν μορφολογικά στοιχεία για σχεδίαση, κατεργασία κλπ.. Στα σύγχρονα συστήματα CAD, κάθε γεωμετρικό στοιχείο που θα προστεθεί στο μοντέλο ή γενικά κάθε λειτουργία έχει ως αποτέλεσμα τη δημιουργία ενός μορφολογικού χαρακτηριστικού.

## 2.3 Συστήματα CAM

Η μελέτη και ο προγραμματισμός των κατεργασιών είναι ένα πολύ ουσιαστικό στάδιο στο οποίο αποφασίζεται σε σημαντικό βαθμό και η οικονομική ανταπόδοση της κατεργασίας. Αποτελεί το σύνδεσμο μεταξύ της μελέτης του προϊόντος και της παραγωγής και είναι κάτι αντίστοιχο με το στάδιο του βιομηχανικού σχεδιασμού, που μετουσιώνει την ιδέα για το προϊόν σε μορφή. Στην συγκεκριμένη φάση η μορφή του προϊόντος μετουσιώνεται σε πραγματικό προϊόν. Βασίζεται στις προδιαγραφές του προϊόντος, τη μορφή του και τα χαρακτηριστικά του, όπως διαστάσεις, ανοχές, τελική επιφάνεια και υλικό, για να δημιουργήσει την κατάλληλη ακολουθία κατεργασιών που πρέπει να εκτελεστούν. Η ακολουθία αυτή περιλαμβάνει για κάθε κατεργασία την προετοιμασία της μηχανής, την προετοιμασία της πρώτης ύλης, το σχεδιασμό των οδηγών και των σφιγκτήρων, τις συνθήκες κατεργασίας, τα εργαλεία που θα χρησιμοποιηθούν και τα στάδια συναρμολόγησης. Όλα αυτά προσδιορίζουν το χρόνο και το κόστος κατεργασίας. Το αποτέλεσμα είναι το πλάνο κατεργασίας του αντικειμένου που κωδικοποιείται στο φύλλο δρομολόγησης και στις οδηγίες για τον προγραμματισμό και το χειρισμό της εργαλειομηχανής CNC.

Για να συνθέσει ο μηχανικός τις κατεργασίες που απαιτούνται για την κατασκευή ενός εξαρτήματος, το χωρίζει σε στάδια. Για κάθε στάδιο προσδιορίζει τις μηχανές που θα χρησιμοποιηθούν, τα απαιτούμενα εργαλεία, οδηγούς, σφιγκτήρες και συσκευές ελέγχου.

Για κάθε στάδιο επίσης προσδιορίζει και τις επιφάνειες στις οποίες θα δεθεί το αντικείμενο στην εργαλειομηχανή. Η σύνθεση αυτή ξεκινάει από την ανάλυση του σχεδίου και των ανοχών διαστάσεων και μορφής του αντικειμένου. Οι ανοχές επηρεάζουν την επιλογή της κατεργασίας και της μεθόδου πρόσδεσης του αντικειμένου. Εάν οι ανοχές καθιστούν την κατεργασία του αντικειμένου πολύ δαπανηρή, ο μελετητής πρέπει να το κοινοποιήσει στο σχεδιαστή και να προτείνει πιθανές αλλαγές που μπορεί να επέλθουν για να μειώσουν το κόστος.

Η δημιουργία του πλάνου κατεργασίας για αντικείμενα τα οποία ανήκουν σε μια οικογένεια, γίνεται με ανάκληση παλαιότερων σχεδίων και τροποποίηση αυτών, ενώ για νέα αντικείμενα ο σχεδιαστής πρέπει να δημιουργήσει ένα νέο πλάνο κατεργασίας. Κάθε νέο πλάνο είναι υποκειμενικό, χρονοβόρο, κουραστικό και αποτελεί ένα σχετικά ανιαρό καθήκον. Ο μελετητής μηχανικός πρέπει να έχει καλή γνώση του εργοστασίου και του εξοπλισμού που υπάρχει σε αυτό. Η δημιουργία ενός πλάνου δεν είναι αυστηρά δομημένη διαδικασία, αλλά εν γένει περιλαμβάνει τα παρακάτω στάδια:

- **Κατανόηση του αντικειμένου:** Ποια είναι η δομή του και ποιες είναι οι πιθανές δυσκολίες παραγωγής, με ποιο τρόπο θα συγκρατηθεί στην εργαλειομηχανή κλπ.
- **Αναγνώριση ορίων αντικειμένου** με βάση τη μορφή και τις διαστάσεις του αντικειμένου για την επιλογή της πρώτης ύλης από την οποία θα γίνει η κατεργασία του τεμαχίου.
- **Επιλογή της πρώτης ύλης.**
- **Αναγνώριση των χαρακτηριστικών πάνω στο αντικείμενο:** Ονομάζονται και χαρακτηριστικά για παραγωγή. Όλη η φιλοσοφία της σχεδίασης με βάση τα χαρακτηριστικά ξεκίνησε ερευνητικά από τα χαρακτηριστικά για παραγωγή.
- **Πλάνο προετοιμασίας πρώτης ύλης:** Δημιουργείται η ακολουθία των κατεργασιών για την επεξεργασία των πλευρών της πρώτης ύλης, αρχίζοντας συνήθως για τις ορθογώνιες διατομές από τη μεγαλύτερη έδρα και συνεχίζοντας στις αμέσως μικρότερες.
- **Δημιουργία εναλλακτικών πλάνων** για κάθε κατεργασία κάθε χαρακτηριστικού. Για κάθε χαρακτηριστικό που αναγνωρίζεται σε προηγούμενο στάδιο μπορεί να υπάρχουν εναλλακτικοί τρόποι κατεργασίας. Ο βέλτιστος τρόπος εξαρτάται από το αντικείμενο και από τη στρατηγική. Δηλαδή, το αντικείμενο μπορεί να δεθεί με ακρίβεια και υπό γωνία για να γίνει η κατεργασία μιας πλαγιοτομής ή όχι. Το κατεργαζόμενο αντικείμενο είναι τμήμα ενός πρωτοτύπου, μιας μαζικής παραγωγής κλπ. Αυτό μπορεί να επηρεάσει την επιλογή του εργαλείου και τις συνθήκες κατεργασίας.
- **Αλληλεπίδραση χαρακτηριστικών:** Εξέταση της επίδρασης που η κατεργασία ενός χαρακτηριστικού μπορεί να έχει στην κατεργασία ενός άλλου χαρακτηριστικού. Η διαδικασία αυτή μπορεί να καταστρέψει μια επιφάνεια που απαιτείται για την πρόσδεση ενός αντικειμένου όταν θα ακολουθήσει η κατεργασία ενός άλλου χαρακτηριστικού.
- **Ένωση πλάνων κατεργασίας,** του πλάνου προετοιμασίας της πρώτης ύλης με αυτό της κατεργασίας των χαρακτηριστικών. Η ένωση αυτή θα μας δώσει ένα πιο δομημένο πλάνο κατεργασίας.
- **Τελικός έλεγχος του πλάνου κατεργασίας.** Αξιολογείται εάν οι διαδοχικές προσδέσεις είναι εφικτές και γίνεται ένας πρώτος έλεγχος παρεμβολής μεταξύ του εργαλείου, των σφιγκτήρων και των οδηγών.
- **Τελική επεξεργασία των πλάνων** ώστε να υπολογιστούν και οι συνθήκες κατεργασίας σε κάθε στάδιο.
- **Δημιουργία αναλυτικών σχεδίων και οδηγιών για το εργοστάσιο:** Αυτά περιλαμβάνουν τις κατεργασίες για κάθε μηχανή, μαζί με τα συνοδευτικά σκίτσα

για κάθε κατεργασία, καθώς και τις οδηγίες για τις συνθήκες κατεργασίας που απαιτούνται για την εκτέλεση κάθε σταδίου.

Αμέσως μετά την ολοκλήρωση μιας κατεργασίας ή στο τέλος του προγραμματισμού της εργαλειομηχανής γίνεται και ο έλεγχος της κατεργασίας εντός του συστήματος CAM. Σε πιο απαιτητικές εφαρμογές μπορεί να γίνει προσομοίωση όλης της εργαλειομηχανής για την επισκόπηση όλης της κατεργασίας στην οθόνη του υπολογιστή. Η λειτουργία του ελέγχου μπορεί να συνδυαστεί και με εικονική πραγματικότητα. Η απεικόνιση στη στερεά μοντελοποίηση γίνεται με την οπτικοποίηση της αλλαγής του στερεού μοντέλου κατά τη διάρκεια της κατεργασίας, υλοποιείται μέσω της δημιουργίας όγκων σάρωσης του κοπτικού εργαλείου κατά τη διάρκεια της κίνησης του και στη συνέχεια αφαιρούνται οι όγκοι από το στερεό μοντέλο. Η μέθοδος αυτή είναι πολύ απαιτητική σε υπολογισμούς. Αντ' αυτού χρησιμοποιούνται προσεγγιστικές μέθοδοι. Το αντικείμενο μπορεί να προσεγγιστεί με έναν ικανό αριθμό ορθογώνιων παραλληλεπιπέδων μικρού μεγέθους, ώστε να περιγράφεται με την επιθυμητή ακρίβεια. Το ύψος του κάθε ορθογωνίου αντιστοιχεί στο ύψος του στερεού μοντέλου και αναπροσαρμόζεται κάθε φορά ανάλογα με την κίνηση του κοπτικού εργαλείου.

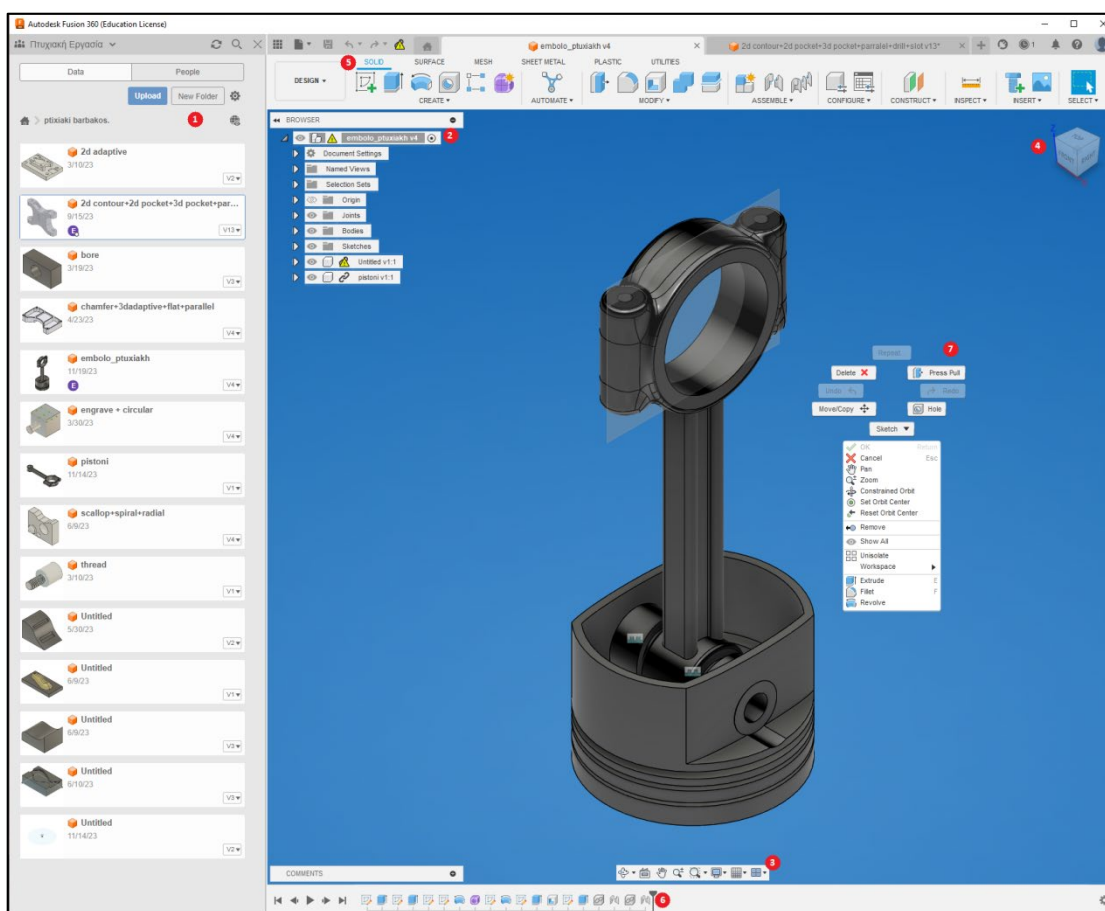
Σκοπός της προσομοίωσης της κίνησης είναι ο οπτικός έλεγχος για τυχόν προβλήματα στην κατεργασία όπως:

- Παρεμβολές μεταξύ του κοπτικού εργαλείου και των συστημάτων οδήγησης και συγκράτησης του εξαρτήματος ή του τραπεζιού της εργαλειομηχανής, ιδιαίτερα για τις κινήσεις του κοπτικού εργαλείου στις οποίες αυτό μετακινείται χωρίς να κόβει. Στην περίπτωση αυτή πρέπει να επιλεγεί κοπτικό εργαλείο μικρότερης διαμέτρου, με συνέπεια όμως την αύξηση της χρονικής διάρκειας της κατεργασίας. Συνεπώς, η τελευταία πρέπει να διαχωριστεί σε δυο στάδια.
- Ανάδειξη περιοχών στις οποίες δεν μπορεί να εισχωρήσει το εργαλείο με αποτέλεσμα να μην ολοκληρώνεται η κατεργασία ή περιοχές στις οποίες κόβει το κοπτικό εργαλείο χωρίς να πρέπει. Η παρεμβολή του χρήστη για να διορθώσει το πρόβλημα μπορεί να γίνει μεταθέτοντας την τελική θέση του κοπτικού εργαλείου.

Με τον τρόπο αυτό μειώνεται σημαντικά ο χρόνος δημιουργίας και επικύρωσης του προγράμματος CNC, επειδή δεν απαιτείται πλέον η δοκιμαστική κοπή σε μαλακότερα υλικά.

### 3. Περιβάλλον Fusion 360

Το πρώτο πράγμα που θα συναντήσουμε ανοίγοντας το Fusion είναι το περιβάλλον του Design. Ο χώρος εργασίας είναι εύχρηστος και παρόμοιος με άλλα προγράμματα σχεδίασης και παραγωγής. Το περιβάλλον εργασίας είναι παρόμοιο σ' όλους τους χώρους εργασίας του προγράμματος, όπως για παράδειγμα οι εντολές πλοήγησης, η περιήγηση και ο κύβος προβολών. Στο πάνω μέρος του παραθύρου θα βρούμε την γραμμή εντολών, ενώ στο κάτω μέρος υπάρχει η γραμμή ιστορικού, όπου δίνεται η δυνατότητα απόκρυψης ή και αφαίρεσης εντολών. Στο κάτω μέρος στο κέντρο της οθόνης θα βρούμε και τις εντολές πλοήγησης, ενώ πάνω και δεξιά εντοπίζουμε τον κύβο προβολών.



Εικόνα 3.1 Περιβάλλον Fusion 360 με επισημάνσεις με τα στοιχεία που θα αναλυθούν παρακάτω.

#### Επιφάνεια δεδομένων: No1

Εδώ βρίσκονται όλα τα project που έχει αποθηκεύσει ο χρήστης. Η επιφάνεια εμφανίζεται ή κρύβεται στον χρήστη με το πλήκτρο **Show/Hide Data Panel** που βρίσκεται πάνω αριστερά στο παράθυρο του προγράμματος. Πέραν των αποθηκευμένων project ο χρήστης μπορεί να βρει και έτοιμα αντικείμενα για εξάσκηση.

Εδώ ο χρήστης βλέπει αναλυτικά τις διαδικασίες και τις κατεργασίες που έχουν γίνει στο αντικείμενο του. Όλες οι ιδιότητες ενός σύνθετου μοντέλου βρίσκονται επίσης εδώ, για παράδειγμα οι συνδέσεις και τα μέρη ενός σύνθετου μοντέλου. Ανάλογα με την πορεία και πρόοδο που έχει κάνει ο χρήστης πάνω στο αντικείμενο, θα εντοπίσει πληροφορίες για το Design του αντικειμένου, όπως τα sketches, αλλά και όλες τις κατεργασίες στο Manufacture.

**Εργαλεία πλοήγησης: No3**

Η γραμμή πλοήγησης βρίσκεται στο κάτω μέρος της οθόνης και περιέχει όλα τα εργαλεία για την περιστροφή, τη μετάβαση και την αλλαγή του οπτικού στυλ ενός μοντέλου, την εμφάνιση ή απόκρυψη μιλιμετρέ στον χώρο εργασίας. Τα παρακάτω εργαλεία αφορούν όλους τους χώρους εργασίας:

- **Free Orbit:** Εμφανίζει έναν ελαφρώς διακριτό κύκλο στον χώρο εργασίας, και ο κέρσορας παίρνει την μορφή της αντίστοιχης εικόνας της εντολής. Ανάλογα με το σημείο που θα επιλεγθεί στον κύκλο, θα περιστραφεί και ο αντίστοιχος άξονας σύμφωνα με την απόσταση που θα διανύσει ο κέρσορας, διαφορετικά η επιφάνεια εργασίας θα περιστραφεί με τυχαίο τρόπο.
- **Look at:** Προβολή επιλεγμένης επιφάνειας.
- **Pan:** Μετακίνηση της επιφάνειας εργασίας με σταθερή γωνία εστίασης.
- **Zoom:** Μεγέθυνση και σμίκρυνση του χώρου εργασίας.
- **Zoom Window:** Μεγέθυνση ενός σημείου του χώρου εργασίας σε παράθυρο επιλεγμένων διαστάσεων.
- **Display Settings:** Περιέχει εντολές που αφορούν την εμφάνιση του χώρου εργασίας. Για παράδειγμα, στην κατηγορία **Visual Style** υπάρχουν επιλογές για την εμφάνιση του αντικειμένου, στην κατηγορία **Inviroment** υπάρχει η δυνατότητα αλλαγής του χρώματος του περιβάλλοντος, ενώ στην κατηγορία **Effects** υπάρχει ένα εύρος επιλογών οι οποίες αφορούν τις σκιές, τις αντανakλάσεις και τον τρόπο που φαίνεται μακροσκοπικά ο χώρος εργασίας.
- **Grid and Snaps:** Ομάδα εντολών που καθορίζουν την πυκνότητα του μιλιμετρέ ή την εμφάνισή του.
- **Viewports:** Αλλαγή του τρόπου θέασης του αντικειμένου, μεταξύ τρισδιάστατης προβολής ή πολλαπλών προβολών.

Επιπλέον, στον χώρο εργασίας του Manufacture γίνεται αντιληπτή και η προσθήκη των παρακάτω εργαλείων:

- **View orientation:** επιλογή της οπτικής γωνίας σε σχέση με το κοπτικό εργαλείο.
- **Toolpath visibility:** επιλογές που αφορούν την διαδρομή του κοπτικού εργαλείου. Μεταξύ άλλων εδώ βρίσκεται η εμφάνιση ή απόκρυψη της κοπτικής διαδρομής, η εμφάνιση κρίσιμων σημείων στην διαδρομή, η απόκρυψη ή η εμφάνιση της διαδρομής κατά την είσοδο και έξοδο του κοπτικού κ.α.
- **Synchronize active setup:** επανατοποθέτηση της οπτικής γωνίας ανάλογα με την επιλεγμένη εντολή και το setup που είναι επιλεγμένο στο **Browser**.
- **Stock visibility:** επιλογές εμφάνισης ή απόκρυψης αλλά και του τρόπου που φαίνεται το ακατέργαστο.
- **Machine visibility:** επιλογές εμφάνισης ή απόκρυψης αλλά και του τρόπου που φαίνεται η εργαλειομηχανή.

- **Tool visibility:** επιλογές εμφάνισης ή απόκρυψης του κοπτικού εργαλείου.
- **Turning profile visibility:** επιλογή της οπτικής γωνίας σε μια κατεργασία τórνευσης.

#### Κύβος προβολών: No4

Εκτός του εργαλείου **Free Orbit** και **View orientation** (που αφορά το κοπτικό εργαλείο), ο κύβος προβολών δίνει την δυνατότητα της περιήγησης στον χώρο εργασίας από κάθε επιθυμητή όψη. Ο κύβος προβολών βρίσκεται πάνω δεξιά στον χώρο εργασίας. Σε αντίθεση με το Free Orbit που η περιήγηση γίνεται εύκολα με τον κέρσορα, εδώ η κάμερα κλειδώνει στις γνωστές όψεις (πρόσωση, κάτοψη, πλάγια όψη κλπ.). Υπάρχει και η επιλογή των ενδιάμεσων όψεων, όπως για παράδειγμα αυτή ανάμεσα στην πρόσωση και την άνοψη ή αυτή ανάμεσα στην πρόσωση, την κάτοψη και την πλάγια όψη. Κάνοντας δεξί κλικ στον κύβο υπάρχει η επιλογή της επαναφοράς της κάμερας στην αρχική θέση (Go Home).

#### Γραμμή Εντολών: No5

Είναι λογικό η πρώτη περιήγηση του Fusion 360 να έχει εμφανώς περισσότερη δυσκολία από άλλα προγράμματα σχεδίασης και παραγωγής, γιατί μέχρι να αποκαλυφθεί η γραμμή αναζήτησης (Πατήστε το πλήκτρο **S** για να εμφανιστεί η αναζήτηση και τα **Shortcuts**) η περιήγηση μπορεί να γίνει μόνο στην γραμμή εντολών.

Η περιήγηση στην γραμμή εντολών είναι σχετικά εύκολη και ευχάριστη, καθώς όλες οι εντολές είναι χωρισμένες σε ομάδες, οπότε με το ανάλογο είδος κατεργασίας ως κριτήριο για την ομαδοποίηση των εντολών, μπορεί να βρεθεί και η αντίστοιχη εντολή. Κάτω από κάθε κατηγορία, όπως παρατηρείται και στην εικόνα, υπάρχει ένα χαρακτηριστικό βέλος που κατά το πάτημα εμφανίζει όλες τις εντολές της συγκεκριμένης κατηγορίας. Σέρνοντας τον κέρσορα στις εντολές θα παρατηρηθούν τρεις τελείες στο δεξί μέρος της εντολής, οι οποίες περιέχουν τις επιλογές για την προσθαφαίρεση της εντολής στην γραμμή εντολών (Pin to Toolbar), την προσθαφαίρεση της εντολής στα Shortcuts (Pin to Shortcuts), και την επιλογή των Hotkeys και της επεξεργασίας αυτών (Change Keyboard Shortcuts).



Εικόνα 3.2 Παράδειγμα κατηγορίας

Η αλλαγή του χώρου εργασίας μπορεί να γίνει στα δεξιά της γραμμής εντολών. Σε αυτό το εγχειρίδιο θα αναλυθούν οι χώροι εργασίας του Design και του Manufacture.

#### Ιστορικό: No6

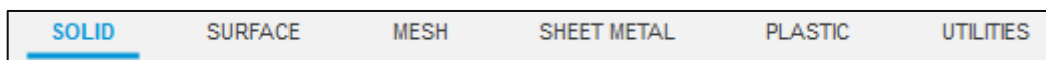
Εμφανίζει τις λειτουργίες που έχουν εκτελεστεί στο σχέδιο. Κάνοντας δεξί κλικ σε μία από τις λειτουργίες, ο χρήστης μπορεί να την τροποποιήσει ή με αριστερό για να σύρει για να αλλάξει θέση.

Κάνοντας δεξί κλικ στον χώρο εργασίας, ο χρήστης θα αντικρίσει ένα μενού που περιέχει τις πιο συχνές εντολές. Οι τελευταίες μπορούν να προσθαφαιρεθούν ανάλογα με τον τρόπο λειτουργίας του προγράμματος. Αξίζει να αναφερθεί πως ανάλογα με τον χώρο εργασίας, το μενού αλλάζει.



## 4. Design

Όπως αναφέρθηκε και σε προηγούμενο κεφάλαιο, ο χώρος εργασίας του Fusion είναι παρόμοιος με άλλα προγράμματα σχεδίασης, πράγμα το οποίο ισχύει και για το Design. Το σχεδιαστικό κομμάτι του Fusion 360 απαρτίζεται από μια γκάμα επιλογών που θα αναλυθούν στα παρακάτω υποκεφάλαια.



Εικόνα 4.1 Ομάδες εντολών Design

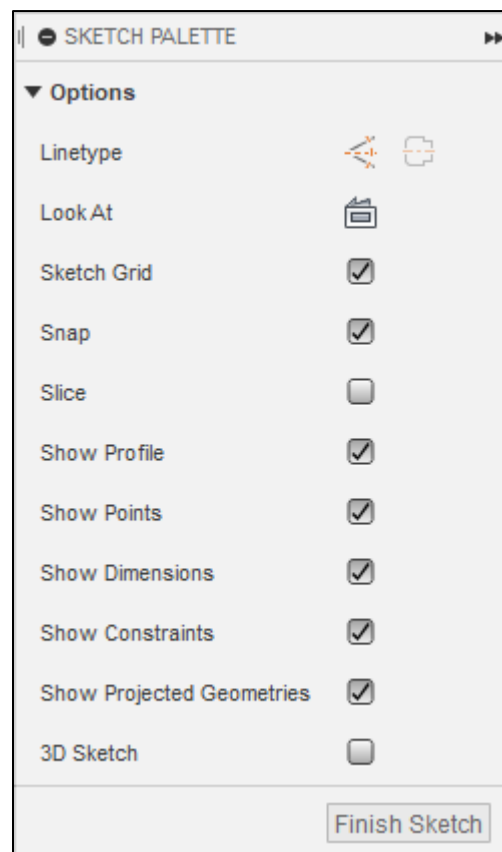
### 4.1 CREATE SKETCH



**Create Sketch:** Solid>Create>Sketch.

Πατώντας το κουμπί του Create Sketch, χρειάζεται να επιλεγθεί το επίπεδο στο οποίο θέλουμε να σχεδιάσουμε. Αφού επιλέξουμε μπαίνουμε σε ένα περιβάλλον με εντολές αποκλειστικά για το Sketch. Δεξιά εμφανίζεται το παράθυρο SKETCH PALETTE για μετατροπή του περιβάλλοντος και των εντολών του Sketch ανάλογα με την περίπτωση.

- **Linetype:** Επιλογή τύπου γραμμής του σκίτσου.
  - **Construction:** Μετατροπή της γραμμής σε διακεκομμένη.
  - **Centerline:** Μετατροπή της γραμμής σε αξονική.
- **Look At:** Επαναφέρει την κάμερα στο επίπεδο που εκτελείται η σχεδίαση.
- **Sketch Grip:** Εμφάνιση ή απόκρυψη του μιλιμετρέ πλέγματος.
- **Snap:** Ενεργοποίηση ή απενεργοποίηση της ικανότητας του κέρσρα να αγκιστρώνεται από το πλέγμα.
- **Slice:** Δημιουργία τομής στα σώματα που τέμνονται με το ενεργό επίπεδο σχεδίασης.
- **Show Profile:** Εμφάνιση ή απόκρυψη μιας ανεπαίσθητης μπλε σκιάς στα κλειστού τύπου σκίτσα.



Εικόνα 4.1.1 Sketch Palette

Όταν ενεργοποιείτε ο 3D σχεδιασμός, ο επίπεδος περιορισμός καταργείται αφήνοντας ελεύθερη την δημιουργία σκίτσου σε οποιαδήποτε θέση στον χώρο.

- **Show Points:**

Εμφάνιση ή απόκρυψη σημείων στο sketch.

- **Show Dimensions:** Εμφάνιση ή απόκρυψη διαστάσεων.
- **Show Constraints:** Εμφάνιση ή απόκρυψη των περιορισμών του σκίτσου (ορθή γωνία, μέση γραμμής κλπ.).



- **Show Projected Geometries:** Εμφάνιση ή απόκρυψη προβαλλόμενων γεωμετριών στο σκίτσο.
- **3D Sketch:** Ενεργοποίηση ή απενεργοποίηση της 3D σχεδίασης.

- Προτείνεται η 2D σχεδίαση για εντολές όπως Extrude και Revolve.
- Προτείνεται η 3D σχεδίαση για περιπτώσεις όπως η δημιουργία σωληνώσεων.

Τελειώνοντας το Sketch επιλέγουμε το **Finish Sketch**, το οποίο βρίσκεται στην γραμμή εντολών, στο κάτω μέρος του παραθύρου **Sketch Palette**, και η γραμμή εντολών επανέρχεται στην προηγούμενη κατάσταση της. Το Sketch ωστόσο φαίνεται στο επίπεδο με μπλε σκιά.



**Line:** Solid>Create>Sketch>Create>Line

**Περιγραφή:** Η εντολή Line επιτρέπει τη δημιουργία διαδοχικών γραμμών και τόξων. Για να οριστεί γραμμή, κάνετε κλικ για το πρώτο σημείο, και κλικ για το δεύτερο. Για δεύτερη γραμμή επιλέγετε και τρίτο σημείο αλλιώς σέρνετε πατώντας παρατεταμένα το αριστερό κλικ για την δημιουργία τόξου.

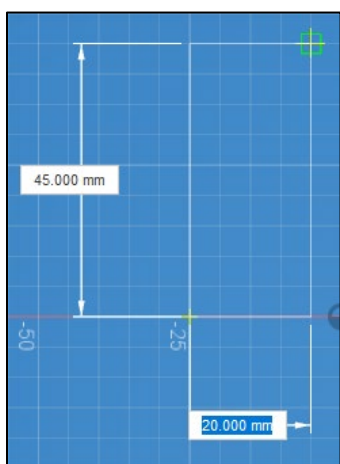


Εικόνα 4.1.2 Παράδειγμα εντολής Line



**2-Point Rectangle:** Solid>Create>Sketch>Create>2-Point Rectangle

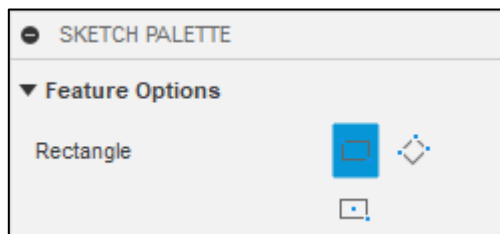
**Περιγραφή:** Με την εντολή **2-Point Rectangle** γίνεται δυνατή η δημιουργία ορθογώνιων παραλληλόγραμμων. Με το πάτημα της εντολής παρατηρείται ότι το παράθυρο του Sketch Palette επεκτείνεται κατά τρεις εντολές, δίνοντας



Εικόνα 4.1.4 Παράδειγμα εντολής 2-Point Rectangle

την δυνατότητα επιλογής του τρόπου δημιουργίας του παραλληλόγραμμου.

Με την προεπιλογή **2-Points Rectangle** αρκούν δυο σημεία για τη δημιουργία παραλληλόγραμμου. Για την εντολή **3-Point Rectangle** αρκούν τρία, και μάλιστα είναι ιδιαίτερα χρήσιμη αν θέλουμε διαφορετική γωνία στο παραλληλόγραμμο. Ενώ με την εντολή **Center Rectangle** απαιτείται το κέντρο του παραλληλόγραμμου και ένα ακόμα σημείο.

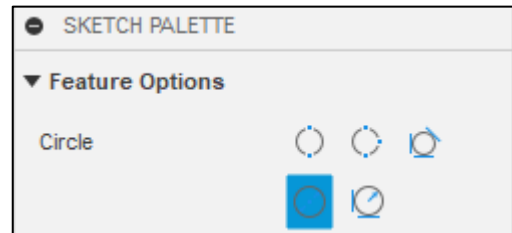


Εικόνα 4.1.3 Επέκταση Sketch Palette, Rectangle



**Center Diameter Circle:** Solid>Create>Sketch>Create>Center Diameter Circle.

Με την εντολή **Center Diameter Circle** γίνεται δυνατή η δημιουργία κύκλων. Όπως και με την εντολή 2-Point Rectangle έτσι και εδώ πατώντας την εντολή, το παράθυρο του Sketch Palette επεκτείνεται κατά 5 εντολές. Με την προεπιλογή **Center Diameter Circle** αρκεί να δοθεί το κέντρο και η ακτίνα του κύκλου.



Εικόνα 4.1.5 Επέκταση Sketch Palette, Circle

Για την εντολή **2-Point Circle** αρκούν δύο σημεία. Για την εντολή **3-Point Circle** αρκούν 3 σημεία. Για την εντολή **3-Tangent Circle** ζητούνται 3 εφαπτόμενες του κύκλου, ενώ στην εντολή **2-Tangent Circle** ζητούνται δύο εφαπτόμενες και η ακτίνα.

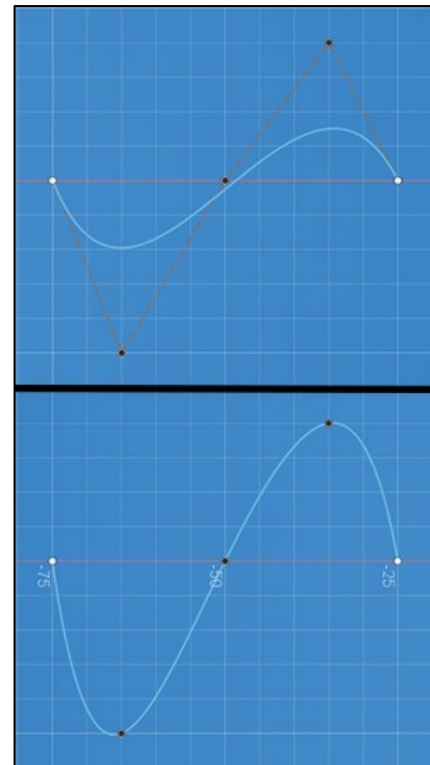


**Fit Point Spline:** Solid>Create>Sketch>Create>Fit Point Spline

Το πρόγραμμα δίνει την δυνατότητα επιλογής δυο ειδών Spline, την προεπιλογή στην γραμμή εργαλείων **Fit point Spline**, και την **Control Point Spline**. Για αρχή η **Fit Point Spline** δεν δίνει την δυνατότητα επέκτασης του παραθύρου Sketch Palette, ενώ η spline ορίζεται από τα σημεία που θα τοποθετήσουμε, απ' τα οποία θα διέρχεται. Σε αντίθεση με την **Control Point Spline**, που εκτός από το πρώτο και το τελευταίο, τα σημεία δηλώνουν την τάση της καμπύλης και όχι την διέλευσή της.

Επίσης, με την επιλογή της Control Point επεκτείνεται το παράθυρο Sketch Palette, με την δυνατότητα επιλογής του βαθμού της spline, μεταξύ τρίτου και πέμπτου βαθμού.

- **Degree 5:** αναφέρεται προεπιλογή της εντολής και καθιστά την καμπύλη πιο ομαλή.
- **Degree 3:** απαιτούν λιγότερα σημεία ελέγχου, που τις καθιστά ευκολότερες για εργασία, αλλά τεχνικά λιγότερο ομαλές από τις πέμπτου βαθμού.



Εικόνα 4.1.6 Control Point Spline πάνω, Fit Point Spline κάτω.



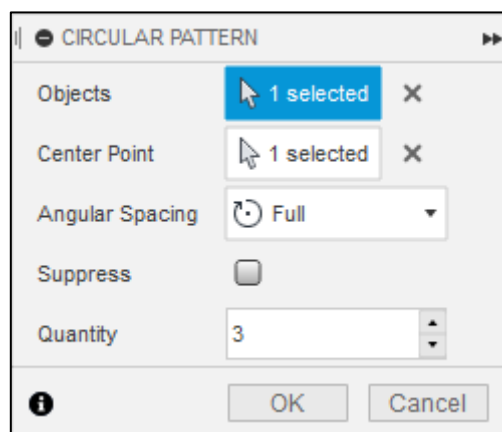
**Mirror:** Solid>Create>Sketch>Create>Mirror

Η εντολή **Mirror** δημιουργεί ένα αντίγραφο των επιλεγμένων εντολών, ως προς μια γραμμή του σκίτσου. Αν δεν υπάρχει γραμμή θα πρέπει να δημιουργηθεί μια. Το αποτέλεσμα θα είναι ένα αντίγραφο του επιλεγμένου σχεδίου στην αντίθετη πλευρά της γραμμής.

**Circular Pattern:** Solid>Create>Sketch>Create>Circular Pattern

Η εντολή **Circular Pattern** είναι παρόμοια με την mirror, γιατί δημιουργεί αντίγραφα γύρω από ένα κεντρικό σημείο. Με το πάτημα τις εντολής εμφανίζεται μια επέκτασή της, η οποία ζητάει το αντικείμενο που θέλουμε να αντιγράψουμε και το σημείο γύρω απ' το οποίο θα ισαπέχουν τα αντίγραφα.

- **Angular Spacing:** Επιλογή των μοιρών που θα γίνει η αντιγραφή.
- **Suppress:** Δυνατότητα επιλογής των αντιγράφων που χρειάζονται.
- **Quantity:** Πλήθος των αντιγράφων.



Εικόνα 4.1.7 Επέκταση Circular Pattern

**Rectangular Pattern:** Solid>Create>Sketch>Create>Rectangular Pattern

Παρόμοια εντολή με τις δυο προηγούμενες. Σε αντίθεση με τις προηγούμενες δυο εντολές, η εντολή rectangular pattern δημιουργεί αντίγραφα των sketch ως προς μια κατεύθυνση και όχι ως προς κάποιο σημείο ή ως προς μια γραμμή. Υπάρχει δυνατότητα επιλογής των αποστάσεων στα αντικείμενα, επιλογή των αντικειμένων με την εντολή **Suppress**, επιλογή του πλήθους των αντικειμένων και τέλος επιλογή των κατευθύνσεων που θα αντιγραφούν τα αντικείμενα.

**Circumscribed Polygon:** Solid>Create>Sketch>Create>Circumscribed Polygon

Με την εντολή αυτή γίνεται δυνατή η δημιουργία πολύγωνων σχημάτων. Υπάρχουν τρεις εντολές για την δημιουργία τους. Αυτή όπου αρκεί το κέντρο του πολύγωνου, το μέσο μιας πλευράς και ο αριθμός των γωνιών. Η εντολή **Edge Polygon** όπου ζητείται η μία πλευρά και ο αριθμός των γωνιών. Και η εντολή **Inscribed Polygon** όπου αρκούν το κέντρο, η μία γωνία και ο αριθμός των γωνιών.

Τέλος αξίζει να αναφερθούν επιγραμματικά μερικές εντολές της καρτέλας **Create** της εντολής **Create Sketch**.

- **Ellipse:** Δημιουργία μιας έλλειψης επιλέγοντας το κέντρο της, την μεγαλύτερη ή μικρότερη απόσταση, και ένα σημείο της περιμέτρου.
- **Point:** Επιλογή σημείων στο Sketch. Ιδιαίτερα χρήσιμη για την εντολή Circular Pattern αν δεν υπάρχει κεντρικό σημείο.
- **Text:** Δυνατότητα δημιουργίας κειμένου στο Sketch.
- **Sketch Dimension:** Δημιουργία διάστασης για έλεγχο συγκεκριμένης απόστασης. Ιδιαίτερα χρήσιμη για σταθεροποίηση κάποιων αποστάσεων αν είναι επιθυμητή η μετατροπή του σχεδίου.
- **Project/Include:** Ομάδα εντολών ιδιαίτερα χρήσιμη για 3D Sketches.

**Fillet:** Solid>Create>Sketch>Modify>Fillet

Η εντολή τροποποιεί μια γωνία σε τόξο συγκεκριμένης ακτίνας.

Εντολές **Chamfer:** Γενικότερα η εντολή Chamfer είναι μια λοξοτομή μιας γωνίας υπό επιλεγμένη κλίση. Η καρτέλα **Modify** δίνει την δυνατότητα τριών εντολών Chamfer:

- **Equal Distance Chamfer:** Κόβει την γωνία με κλίση 45 μοιρών. Το ιδιαίτερο με αυτή την εντολή είναι ότι κόβει ισόποσα τις πλευρές και δίνει την επιλογή της απόστασης της τομής από την γωνία.
- **Distance and Angle Chamfer:** Κόβει την γωνία με επιλεγμένη κλίση. Υπάρχει η επιλογή της τομής στην μία πλευρά μόνο.
- **Tow Distance Chamfer:** Κόβει τις πλευρές σε επιλεγμένη απόσταση.



**Trim:** Solid>Create>Sketch>Modify>Trim

Περικόπτει τα τμήματα μεταξύ τομών. Αν δεν υπάρχει τομή, το σκίτσο διαγράφεται. Χρήσιμη συμβουλή: για να περικοπούν πολλά τμήματα του σκίτσου κρατήστε πατημένο το αριστερό κλικ και σύρετε τον κέρσορα πάνω από τα τμήματα.



**Offset:** Solid>Create>Sketch>Modify>Offset

Η εντολή δημιουργεί ένα αντίγραφο ίδιας γεωμετρίας αλλά μεγαλύτερων ή μικρότερων διαστάσεων.



**Extend:** Solid>Create>Sketch>Modify>Extend

Η εντολή επεκτείνει μια επιλεγμένη καμπύλη μέχρι να συναντήσει την επόμενη ή τον εαυτό της.



**Break:** Solid>Create>Sketch>Modify>Break

Η εντολή δίνει την επιλογή απομόνωσης (σπάσιμο) των καμπυλών μεταξύ δύο κόμβων.



**Sketch Scale:** Solid>Create>Sketch>Modify>Sketch Scale

Αυξομείωση του μεγέθους ενός σχήματος. Πατώντας την εντολή ζητείται το σχήμα και ένα σημείο για αυξομειωθεί το σχήμα σύμφωνα με αυτό.



**Move/Copy:** Solid>Create>Sketch>Modify>Move/Copy

Είναι το κύριο εργαλείο μετακίνησης ενός sketch. Αφού επιλεγθεί το σχέδιο, μετακινείται είτε με τον κέρσορα είτε από το παράθυρο της εντολής γράφοντας μία τιμή για κάθε διάσταση. Αποτελεί ιδιαίτερα χρήσιμο εργαλείο για την περιστροφή του σχεδίου. Όπως και με την μετακίνηση έτσι και με την περιστροφή (Rotate), στο παράθυρο της εντολής υπάρχει η επιλογή του Rotate. Το αντικείμενο περιστρέφεται είτε πατώντας Rotate με τον κέρσορα είτε γράφοντας τις τιμές για την περιστροφή του. Στο τέλος του παραθύρου υπάρχει η επιλογή **Create Copy** για την δημιουργία αντιγράφων.

Ομάδα εντολών **Constraints:** Solid>Create>Sketch>Constraints

Περιέχει χρήσιμες εντολές που αφορούν τη συμπεριφορά των sketch. Οι παρακάτω εντολές περιορίζουν τα σκίτσα, επηρεάζοντας την θέση και την γεωμετρία τους.

- **Horizontal/Verical:** Η εντολή περιορίζει μια γραμμή ή δυο σημεία να βρεθούν είτε στον οριζόντιο είτε στον κατακόρυφο άξονα, σε όποιον απ' τους δύο είναι πιο κοντά.
- **Coincident:** Η εντολή περιορίζει τη θέση ενός σημείου ή γραμμής ή καμπύλης με ένα από τα παραπάνω. Ουσιαστικά ενώνει ένα σημείο μιας καμπύλης με ένα σημείο ή άλλη καμπύλη.
- **Tangent:** Η εντολή προκαλεί επαφή μιας καμπύλης με μια άλλη ώστε να ακουμπούν σε ένα σημείο, και να μην διασταυρώνονται μεταξύ τους.

- **Equal:** Η εντολή περιορίζει παρόμοια αντικείμενα έτσι ώστε να έχουν το ίδιο μέγεθος.
- **Parallel:** Η εντολή περιορίζει δύο γραμμές έτσι ώστε να έχουν την ίδια διεύθυνση και να μην τέμνονται.
- **Perpendicular:** Η εντολή περιορίζει δύο γραμμές έτσι ώστε να έχουν κάθετη διεύθυνση μεταξύ τους.
- **Fix/UnFix:** Η εντολή κλειδώνει ή ξεκλειδώνει το μέγεθος και τη θέση σημείου ή αντικειμένου.
- **MidPoint:** Η εντολή φέρνει ένα σημείο, ένα σκετς ή μια καμπύλη στο κέντρο ενός άλλου από τα παραπάνω.
- **Concentric:** Η εντολή περιορίζει δύο ή περισσότερα τόξα, κύκλους ή ελλείψεις στο ίδιο κεντρικό σημείο.
- **Collinear:** Η εντολή περιορίζει δύο ή περισσότερα αντικείμενα έτσι ώστε να μοιράζονται μια γραμμή.
- **Symmetry:** Η εντολή προσαρμόζει δύο ή περισσότερα αντικείμενα έτσι ώστε να είναι συμμετρικά ως προς έναν άξονα.
- **Curvature:** Η εντολή περιορίζει δύο ή περισσότερα αντικείμενα για να δημιουργήσει μια ομαλή και συνεχή καμπύλη μεταξύ τους.

## 4.2 SOLID

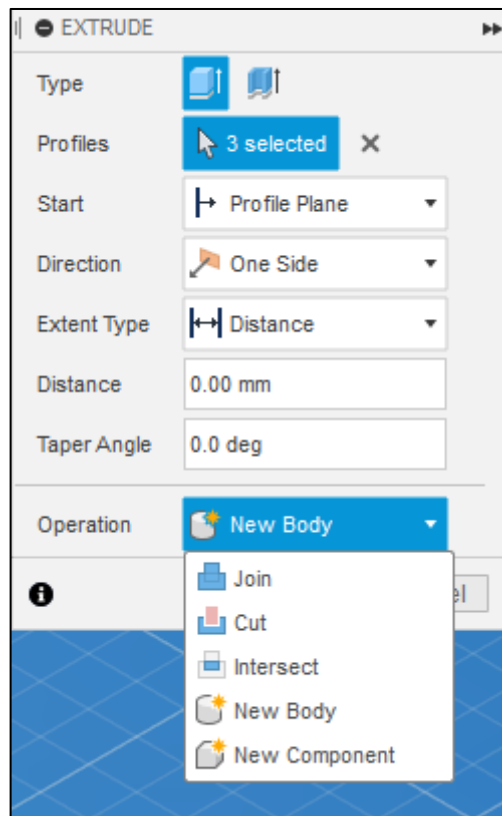
Η καρτέλα Solid περιέχει εργαλεία μοντελοποίησης συμπαγών αντικειμένων, δημιουργίας στερεών σωμάτων από σκίτσα ή πρότυπα σχήματα καθώς και εντολές τροποποίησης και επεξεργασίας των σχημάτων αυτών.



**Extrude:** Solid>Create>Extrude

Η εντολή **Extrude** ουσιαστικά κάνει εξώθηση στα επιλεγμένα sketch. Μόλις πατηθεί η εντολή εμφανίζεται το παράθυρο της εντολής.

- **Type:** Επιλογή του είδους εξώθησης που θα γίνει. Η απλή μορφή της εντολής δημιουργεί ένα συμπαγές αντικείμενο και απευθύνεται σε κλειστά sketches, ενώ η επιλογή **Thin Extrude** δημιουργεί ένα έλασμα με την γεωμετρία του σχεδίου και απευθύνεται και σε ανοιχτού τύπου sketches.
- **Profiles:** Επιλογή των sketch προς εξώθηση.
- **Start:** Επιλογή του σημείου εκκίνησης της εξώθησης μεταξύ του επιπέδου σχεδίασης (Profile Plane), ενός επιπέδου επιλεγμένης απόστασης από το επίπεδο σχεδίασης (Offset) και τέλος σε επιφάνεια ενός αντικειμένου (Object).
- **Direction:** Επιλογή της κατεύθυνσης που θα γίνει η εξώθηση. Υπάρχει η επιλογή της μονής κατεύθυνσης, της διπλής



Εικόνα 4.2.1 Παράθυρο Extrude

κατεύθυνσης με την επιλογή του μήκους κάθε κατεύθυνσης, και της διπλής κατεύθυνσης με συμμετρική επιμήκυνση.

- **Extent Type:** Επιλογή επιμήκυνσης ανάμεσα σε απόσταση. Δίνεται δηλαδή το μήκος πάνω σε αντικείμενο, έδρα ή επίπεδο, και η επιμήκυνση μέσα από αντικείμενα.
- **Distance:** Επιλογή μήκους.
- **Taper Angle:** Επιλογή γωνίας, ιδιαίτερα χρήσιμη επιλογή για κωνοειδή εξώθηση.
- **Wall Thickness:** Επιπλέον εντολή που απευθύνεται στην επιλογή **Thin Extrude**, και δίνει την δυνατότητα επιλογής του πάχους των τοιχωμάτων.
- **Operation:** Αν θέλουμε να δημιουργήσουμε ένα νέο σώμα η προεπιλογή **New Body** αρκεί για την περίπτωση. Ωστόσο υπάρχει η δυνατότητα ένωσης του αντικειμένου με κάποιο άλλο (**Join**), η επιλογή του αντικειμένου να κόψει τον όγκο από κάποιο άλλο αντικείμενο (**Cut**), η επιλογή της εμφάνισης μόνο της ένωσης των αντικειμένων (**Intersect**), και τέλος η επιλογή δημιουργίας ενός σώματος σε ένα νέο στοιχείο.



#### **Revolve:** Solid>Create>Revolve

Περιστροφή του επιλεγμένου sketch γύρω από έναν άξονα. Θα βοηθήσει ιδιαίτερα η δημιουργία ευθείας από το προηγούμενο βήμα (δημιουργία sketch), ώστε να επιλεγθεί ως άξονας. Όπως και στην προηγούμενη εντολή έτσι και εδώ, με το πάτημα της εντολής εμφανίζεται ένα παράθυρο για την ευκολότερη μεταχείρισή της. Οι περισσότερες επιλογές είναι παρόμοιες, εκτός από τις ακόλουθες:

**Type:** Επιλογή του ποσοστού που θα γίνει η περιστροφή, μεταξύ των επιλογών **Angle**, που αρκούν απλά οι μοίρες που θα γίνει η περιστροφή, **Full**, ώστε να γίνει πλήρης περιστροφή, και **To** όπου θα εκτελεστεί η περιστροφή μέχρι την επιλεγμένη επιφάνεια.



#### **Sweep:** Solid>Create>Sweep

Εξώθηση ενός επιλεγμένου sketch κατά μήκος μιας διαδρομής, δημιουργώντας ένα συμπαγές σώμα. Μπορεί να γίνει μέσω τριών επιλογών, **Single Path:** Πραγματοποιείται μέσω μιας διαδρομής όπου αρκεί να επιλεγθεί το sketch και η διαδρομή που θα ακολουθήσει. **Path + Guide Rail:** Θα χρειαστεί μια διαδρομή και μία ράγα οδήγησης. **Path + Guide Surface:** Θα χρειαστεί μια διαδρομή και μια επιφάνεια που θα οδηγεί το αντικείμενο. Η εντολή δίνει την επιλογή της περιστροφής κατά μήκος της διαδρομής, αρκεί να επιλεγθούν οι μοίρες στο πεδίο **Twist Angle**. Τέλος υπάρχει και η επιλογή του προσανατολισμού στο αντικείμενο (Orientation) με επιλογές: **Perpendicular:** όπου ο προσανατολισμός είναι κάθετος προς την διαδρομή και **Parallel:** όπου ο προσανατολισμός είναι παράλληλος με την διαδρομή.



#### **Loft:** Solid>Create>Loft

Εξώθηση μιας επιφάνειας σε μια άλλη μέσω μιας διαδρομής. Για την εντολή απαιτούνται το ελάχιστο δυο επιφάνειες και μία διαδρομή ή μια ράγα. Για παράδειγμα μπορούν να χρησιμοποιηθούν ένας κύκλος, ένα εξάπλευρο, και τέλος ένα τετράγωνο. Μέσω μιας διαδρομής η εντολή θα κρατήσει σταθερές τις γεωμετρίες στην θέση των σχημάτων, δημιουργώντας το ανάλογο σώμα.



#### **Rib:** Solid>Create>Rib

Δημιουργία νεύρων επιλέγοντας ένα κλειστό sketch. Αρκεί η τιμή του πάχους, η



κατεύθυνση του πάχους (μιας πλευράς ή συμμετρική) και το είδος επέκτασης του νεύρου. **To Next** εξωθεί το νεύρο από το προφίλ του σκίτσου προς τις πλησιέστερες όψεις του σώματος. **Distance**: εξωθεί το νεύρο από το προφίλ του σκίτσου σε επιλεγμένο βάθος.



**Web**: Solid>Create>Web

Δημιουργία πλέγματος σε ανοιχτού προφίλ sketches με κατεύθυνση κάθετη προς την πλησιέστερη όψη του αντικειμένου. Αρκεί η διαδρομή που θα ακολουθήσει το πλέγμα, το πάχος του πλέγματος, η κατεύθυνση του και το είδος επέκτασης που χωρίζεται όπως και στην προηγούμενη εντολή στα **To Next** και **Distance**.



**Emboss**: Solid>Create>Emboss

Δημιουργία ανάγλυφης επιφάνειας. Ιδιαίτερα χρήσιμη εντολή για την μετατροπή των sketch με γράμματα, σε ανάγλυφη μορφή. Η προέκταση μπορεί να γίνει είτε προς τα έξω σε μορφή βαθουλωμάτων (**Emboss**) είτε προς τα μέσα (**Deboss**). Χρήσιμη η εφαρμογή των επιλογών Alignment στην καρτέλα της εντολής, για την μετατόπιση ή την περιστροφή της ανάγλυφης επιφάνειας.



**Hole**: Solid>Create>Hole

Δημιουργία τρύπας σε στερεό συμπαγές σώμα. Η εντολή επιτρέπει τη δημιουργία μονής τρύπας ή πολλών με την βοήθεια sketch. Για την εκτέλεση της απαιτείται μια επιφάνεια αντικειμένου, και προαιρετικά η επιλογή αναφορών για την θέση της οπής.

Η εντολή είναι ιδιαίτερα βοηθητική απέναντι στο χρήστη, καθώς παρέχει ένα μεγάλο αριθμό εντολών για το σχήμα της οπής. Συγκεκριμένα επειδή το πρόγραμμα προορίζεται και για παραγωγή, πέρα από σχεδίαση, παρέχει εντολές ακόμα και για το άνοιγμα της τρύπας για μια υποτιθέμενη βίδα. Οι εντολές προσομοιώνουν ακόμα και το εργαλείο που θα χρησιμοποιηθεί για το άνοιγμα της τρύπας ή ζητούν το εργαλείο που θα ανοίξει την τρύπα.

Για απλά και γρήγορα εσωτερικά σπειρώματα προτείνεται η εντολή **Hole**. Για περισσότερες λεπτομέρειες συνιστάται η εντολή **Hole** για άνοιγμα οπής, και μετά η εντολή **Thread** για άνοιγμα σπειρώματος.

- **Hole type**: Επιλογή της γεωμετρίας της οπής.
- **Hole tap type**: Επιλογή του τρόπου ανοίγματος της τρύπας (π.χ. επιλογή για σπείρωμα)
- **Drill Point**: Επιλογή της μύτης του εργαλείου.

Ακόμα και αν δεν είναι γνωστό το εργαλείο που θα χρησιμοποιηθεί για το άνοιγμα της τρύπας, υπάρχει η δυνατότητα επιλογής των διαστάσεων αυτού.



**Thread**: Solid>Create>Thread

Δημιουργία εσωτερικού ή εξωτερικού σπειρώματος. Σε αντίθεση με την εντολή **Hole**, η εντολή **Thread** έχει περισσότερες επιλογές για σπειρώματα, όπως την κατεύθυνση του σπειρώματος (Direction) ή το βήμα του σπειρώματος (Designation).



**Mirror**: Solid>Create>Mirror

Η εντολή δημιουργεί ένα αντίγραφο επιλεγμένου αντικειμένου ως προς ένα επίπεδο. Αρκεί να επιλεγθεί το αντικείμενο, το επίπεδο, και η συνθήκη που θα αντιγραφεί (αν θα αντιγραφεί και θα ενωθεί με το προηγούμενο αντικείμενο ή θα αντιγραφεί ως ξεχωριστό αντικείμενο).



### **Rectangular Pattern:** Solid>Create>Rectangular Pattern

Η εντολή δημιουργεί αντίγραφα του επιλεγμένου αντικειμένου ως προς μια κατεύθυνση και είναι ίδια με την Rectangular Pattern για τα sketches. Αρκεί να επιλεχθεί η απόσταση που έχουν τα αντικείμενα μεταξύ τους, ο αριθμός των αντικειμένων, και η κατεύθυνση που θα αντιγράφουν τα αντικείμενα. Ιδιαίτερα χρήσιμη η επιλογή **Suppress**, που δίνει την δυνατότητα επιλογής των θέσεων που θα αντιγραφούν τα αντικείμενα.



### **Circular Pattern:** Solid>Create>Circular Pattern

Η εντολή **Circular Pattern** δημιουργεί αντίγραφα γύρω από ένα άξονα. Αρκεί να επιλεχθούν ο άξονας και οι μοίρες στις οποίες θα αντιγραφεί το αντικείμενο.



### **Pattern to Path:** Solid>Create>Pattern to Path

Η εντολή δημιουργεί αντίγραφα κατά μήκος μιας διαδρομής. Επιλέγοντας το αντικείμενο και την διαδρομή, το παράθυρο της εντολής επεκτείνεται δίνοντας τις επιλογές της απόστασης των αντικειμένων, της κατεύθυνσης, τον αριθμό των αντιγράφων καθώς και τον τρόπο αντιγραφής των αντικειμένων.



### **Thicken:** Solid>Create>Thicken

Μια εξαιρετικά χρήσιμη εντολή, ειδικά για την αυξομείωση του όγκου ενός τοιχώματος σε στερεό σώμα, ή στην δημιουργία ενός στερεού από επιφανειακό σώμα.

Εκτός από το **Create Sketch**, ένας τρόπος για δημιουργία κάποιων πρότυπων σχημάτων είναι οι εντολές της καρτέλας Create:

- **Box:** Επιλέγοντας το επίπεδο που θα δημιουργηθεί το αντικείμενο και δυο σημεία στο επίπεδο αυτό, εμφανίζεται ένα συμπαγές κουτί με την επιλογή των διαστάσεων του στο παράθυρο της εντολής.
- **Cylinder:** Ξεκινώντας και εδώ από το επίπεδο, αρκεί να οριστούν το κέντρο ενός κύκλου και η ακτίνα του, και εμφανίζεται ένας κύλινδρος με την επιλογή των διαστάσεων του στο παράθυρο της εντολής.
- **Sphere:** Αρκεί να οριστεί το κέντρο της σφαίρας, και εμφανίζεται το παράθυρο της εντολής με την επιλογή της διαμέτρου, και την επιλογή **Operation**.
- **Torus:** Δημιουργία δακτυλιδιού επιλέγοντας το κέντρο, την ακτίνα του δακτυλιδιού καθώς και την διάμετρο της τομής του.
- **Coil:** Για την δημιουργία σπειρωμάτων αρκεί να οριστούν το κέντρο και η ακτίνα ενός κύκλου, και εμφανίζεται ένα σπείρωμα τριών σπειρών. Από το παράθυρο της εντολής μπορούν να μεταβληθούν η διάμετρος του σπειρώματος, το πάχος, το ύψος, ακόμα και οι σπείρες. Επίσης, δίνεται την δυνατότητα αλλαγής της φοράς του ή και του είδους του σπειρώματος πέραν της προεπιλογής (π.χ. τριγωνικό, τετραγωνικό).
- **Pipe:** Πρόκειται για τη μόνη από αυτού του είδους τις εντολές που χρειάζεται μια προεργασία στο sketch. Για την δημιουργία σωληνώσεων απαιτείται μια διαδρομή και το πάχος της. Απ' το παράθυρο της εντολής μπορεί να αλλάξει και το είδος της σωλήνωσης.

## **AUTOMATE**



### **Automated Modeling:** Solid>Automate>Automated Modeling

Πρόκειται για την αυτοματοποιημένη μοντελοποίηση υπάρχουσών γεωμετριών.



Ουσιαστικά η εντολή είναι μια εναλλακτική λύση που δίνει το πρόγραμμα, δημιουργώντας ένα συμπαγές σώμα. Η εντολή προτείνει διαφορετικά γεωμετρικά σχήματα (π.χ. ομαλές ή αιχμηρές συνδέσεις) τα οποία μπορούν να χρησιμοποιηθούν για την ολοκλήρωση του σχεδίου ή την έμπνευση για το τελικό σχέδιο.

Για να ξεκινήσει η εντολή αρκεί να επιλεχθούν δύο ή περισσότερα πρόσωπα ώστε να συνδεθούν, και να δημιουργήσουν ένα νέο συμπαγές σώμα μεταξύ τους. Προαιρετικά υπάρχει η επιλογή αποφυγής στερεών σωμάτων που αντιπροσωπεύουν ανεπιθύμητες περιοχές για το νέο σώμα. Εάν οι επιλογές των προσώπων και των σωμάτων είναι συμμετρικές μεταξύ τους, τότε και το νέο στερεό σώμα θα είναι επίσης συμμετρικό.

Η εντολή προτείνει δύο εναλλακτικές σχεδίων:

- **Smooth Connections:** το νέο σώμα συνδέεται με τις επιλεγμένες όψεις, χρησιμοποιώντας στρογγυλεμένες συνδέσεις.
- **Sharp Connections:** το νέο σώμα συνδέεται με τις επιλεγμένες όψεις, χρησιμοποιώντας αιχμηρές συνδέσεις.

Στις εναλλακτικές που δημιουργούνται, υπάρχει η επιλογή αυξομείωσης του όγκου μέσω μιας συρόμενης μπάρας στο κάτω μέρος κάθε εναλλακτικής.

Όταν πραγματοποιηθεί εν τέλει η εντολή στο σχέδιο, εμφανίζεται μια ομάδα εντολών στην γραμμή ιστορικού με δυνατότητα επεξεργασίας της κάθε εντολής. Η ομάδα εντολών που θα εμφανιστεί, εξαρτάται από τον τύπο της Αυτοματοποιημένης Μοντελοποίησης, και είναι η ακόλουθη :



Εικόνα 4.2.2 Γραμμή Ιστορικού ανάλογα το είδος εναλλακτικού σχεδίου (αριστερά Sharp Connections, δεξιά Smooth Connections)

1. **Base Feature:** (Μόνο για αιχμηρές συνδέσεις) Δημιουργεί συμπαγή σώματα με βάση επιλεγμένα πρόσωπα.
2. **Form Feature:** Δημιουργεί ένα νέο σώμα T-Spline μεταξύ επιλεγμένων προσώπων.
3. **Boundary Fill Feature:** (Μόνο για αιχμηρές συνδέσεις) Δημιουργεί ένα νέο συμπαγές σώμα από την ένωση ή την αφαίρεση συγκεκριμένων όγκων. Αυτοί οι όγκοι μπορεί να έχουν δημιουργηθεί από επιφάνειες ή συμπαγή σώματα με βάση τα επιλεγμένα προς σύνδεση σώματα.
4. **Combine Feature:** Συνδυάζει ένα νέο συμπαγές σώμα με τα επιλεγμένα σώματα (στερεά σώματα που επιλέχτηκαν για σύνδεση ή αποφυγή), αφαιρώντας τις κοινές περιοχές από το νέο σώμα.

## MODIFY



**Press Pull:** Solid>Modify>Press Pull

Αλλάζει το μέγεθος των όψεων, των σωμάτων, των λοξοτομών κλπ.. Η ακριβής

συμπεριφορά της εντολής εξαρτάται από την επιλεγμένη γεωμετρία.



**Fillet:** Solid>Modify>Fillet

Μετατρέπει τις ακμές των στερεών σωμάτων σε στρογγυλεμένες άκρες, αφαιρώντας υλικό από τις εξωτερικές ή προσθέτοντας στις εσωτερικές.



**Chamfer:** Solid>Modify>Chamfer

Η εντολή λοξοτομεί τις ακμές ενός συμπαγούς σώματος, αφαιρώντας υλικό από τις εξωτερικές και προσθέτοντας στις εσωτερικές. Η εντολή περιέχει μια πληθώρα επιλογών για τον τρόπο εκτέλεσης, όπως οι μοίρες της λοξοτομής ή ο τύπος της γωνίας, όταν η λοξοτομή πραγματοποιηθεί σε παραπάνω από μια ακμές.



**Shell:** Solid>Modify>Shell

Δημιουργεί ένα συμπαγές σώμα με λεπτό τοίχωμα, αδειάζοντας το εσωτερικό του. Επί της ουσίας αφαιρεί υλικό από το εσωτερικό του σώματος. Προαιρετικά αφαιρεί και πρόσωπα, δημιουργώντας μια κοιλότητα, με το σώμα να αποκτά τοίχωμα συγκεκριμένου πάχους.



**Draft:** Solid>Modify>Draft

Μεταβάλλει την γωνία μεταξύ ενός συνόλου προσώπων και της προσκείμενης στο σύνολο επιφάνειας. Ανάλογα με την κατεύθυνση του κάθετου διανύσματος στην προσκείμενη επιφάνεια, η γωνία θα έχει και την αντίστοιχη μεταβολή. Επίσης η εντολή δίνει την δυνατότητα επιλογής διαχωριστικής γραμμής για το σύνολο των προσώπων (**Split Face**), με αποτέλεσμα την διαφορετική επεξεργασία του κάθε τμήματος που δημιουργείται



**Scale:** Solid>Modify>Scale

Αυξομειώνει το μέγεθος των στερεών σωμάτων.



**Combine:** Solid>Modify>Combine

Ενώνει, κόβει ή τέμνει στερεά σώματα.



**Offset Face:** Solid>Modify>Offset Face

Μετατοπίζει τα πρόσωπα σε ένα συμπαγές σώμα, με θετική ή αρνητική κατεύθυνση. Είναι μια εναλλακτική εντολή αντί για πιο περίπλοκες όπως η εντολή **Extrude**, και καθίσταται ιδανική για γρήγορες προσαρμογές σε ένα σχέδιο.



**Replace Face:** Solid>Modify>Replace Face

Αφαιρεί το πρόσωπο σε ένα στερεό σώμα, και στην συνέχεια κόβει ή επεκτείνει το σώμα σε νέες συνθήκες προσώπου.



**Split Face:** Solid>Modify>Split Face

Η εντολή διαιρεί τα πρόσωπα ενός συμπαγούς σώματος για την διαφορετική επεξεργασία τους.



**Split Body:** Solid>Modify>Split Body

Διαιρεί ένα στερεό σώμα σε δύο.



**Silhouette Split:** Solid>Modify>Silhouette Split

Χωρίζει το στερεό σώμα στο περίγραμμα της σιλουέτας του.



**Align:** Solid>Modify>Align

Ευθυγραμμίζει αντικείμενα χρησιμοποιώντας σημείο, γραμμή, επίπεδο ή σύστημα συντεταγμένων.



**Move/Copy:** Solid>Modify>Move/Copy

Μετακινεί, περιστρέφει ή αντιγράφει πρόσωπα, σώματα, στοιχεία ή αντικείμενα.

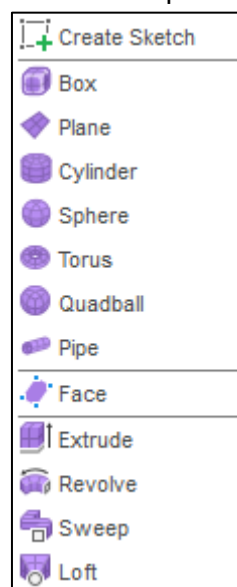
## 4.3 Create Form



**Create Form:** Solid>Create>Create Form

Δημιουργία T-Spline σωμάτων με την βοήθεια κάποιων πρότυπων αντικειμένων και εντολές για την επεξεργασία αυτών. Ανοίγει ένα περιβάλλον με διαφορετικό είδος σχεδίασης, όπως το Solid και το Surface, υπάγεται όμως στο Solid διότι, κατά την λήξη του Form το αντικείμενο που σχεδιάστηκε μετατρέπεται σε σχέδιο Solid.

Η περιήγηση στο νέο περιβάλλον θα ξεκινήσει από την ομάδα εντολών **Create** και όπως και στα άλλα δύο είδη σχεδίασης, έτσι και σ' αυτό η πρώτη εντολή είναι το Create Sketch, το οποίο έχει ήδη αναλυθεί στην αρχή αυτού του κεφαλαίου. Έχοντας το επιθυμητό sketch, μπορούν να χρησιμοποιηθούν οι γνωστές εντολές : Extrude, Revolve, Sweep, και Loft με την διαφορά της προσθήκης των προσώπων-επιφανειών. Όσο διαιρείται μια επιφάνεια σε περισσότερα πρόσωπα, τόσο μεγαλώνει η ανάλυση που μπορεί να έχει το αντικείμενο μετά την κατεργασία των προσώπων. Χρειάζεται όμως προσοχή, διότι όσο διαιρείται μια επιφάνεια, τόσο περισσότερη RAM και επεξεργαστική ισχύ καταναλώνει.



Στην συνέχεια στην ομάδα εντολών Create, βρίσκονται τα παρακάτω πρότυπα αντικείμενα με επιφάνειες T-Splines: **Box**, **Plane**, **Cylinder**, **Sphere**, **Torus**, **Quadball**, και **Pipe**. Αξίζει να αναλυθούν οι εντολές Quadball και Plane, τις οποίες βρίσκουμε πρώτη φορά:

Εικόνα 4.3.1 Ομάδα εντολών Create

- **Plane:** Δημιουργία επιπέδου T-spline. Αρκεί να οριστεί το επίπεδο που θα πραγματοποιηθεί η εντολή, το κέντρο, το μήκος και το πλάτος του επιπέδου. Όπως και στις προηγούμενες εντολές, υπάρχει η δυνατότητα επιλογής του αριθμού των προσώπων-επιπέδων που θα διαιρεθεί το επίπεδο προς σχεδίαση.
- **Quadball:** Δημιουργία κουτιού (παρόμοιο με την εντολή Box) επαυξημένης καμπυλότητας. Το συγκεκριμένο σχήμα βρίσκεται μεταξύ σφαίρας και κύβου. Όσο αυξάνονται τα πρόσωπα-επίπεδα, αυξάνεται και η καμπυλότητα του αντικειμένου, με αποτέλεσμα να μοιάζει περισσότερο με σφαίρα. Όσο μειώνονται τα πρόσωπα-επίπεδα το αντικείμενο μοιάζει περισσότερο με κύβο επαυξημένης καμπυλότητας.



**Face:** Solid>Create>Create Form>Create>Face

Και τέλος η εντολή για την δημιουργία T-spline προσώπου, ιδιαίτερα χρήσιμη για

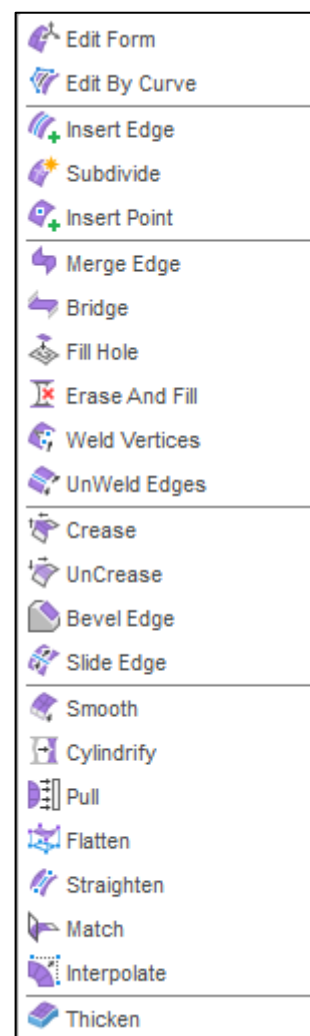
προσάρτηση σε ένα υπάρχον σώμα T-Spline. Υπάρχουν τρεις τρόποι εκτέλεσης της εντολής:

- **Simple:** Επιλογή των κορυφών του προσώπου. Υπάρχει η δυνατότητα επιλογής τεσσάρων ή και περισσότερων πλευρών επιλέγοντας την αντίστοιχη επιλογή **Number of Sides**.
- **Edge:** Επιλογή μιας ακμής ώστε να οριστούν δύο επιπλέον κορυφές.
- **Chain:** Επιλογή μιας σειράς συνδεδεμένων άκρων.

Ομάδα εντολών **Modify**: Solid>Create>Create Form>Modify

Αποτελείται από είκοσι πέντε εντολές που σχετίζονται με την μορφοποίηση των σωμάτων T-Spline.

1. **Edit Form:** Η εντολή μετακινεί, περιστρέφει και κλιμακώνει την επιλεγμένη T-spline. Η συμπεριφορά της εξαρτάται από την επιλεγμένη γεωμετρία. Αρκεί η επιλογή προσώπου, ακμής ή κορυφής για την ενεργοποίηση του χειρισμού ενώ για την επιλογή βρόχου απαιτείται διπλό κλικ σε πρόσωπο ή ακμή.
2. **Edit By Curve:** Η εντολή ελέγχει την επιλεγμένη T-spline μέσω μιας καμπύλης οδήγησης. Επιλέγοντας ένα σημείο ελέγχου της καμπύλης οδήγησης δίνεται η δυνατότητα αλλαγής της τάσης στην Spline.
3. **Insert Edge:** Η εντολή εισάγει μια νέα ακμή σε T-spline πρόσωπο χωρίς να αλλάξει το σχήμα του. Επιλέγοντας μια ακμή και την απόσταση, δημιουργείται μια νέα ακμή σε συγκεκριμένη απόσταση από την αρχική, σε μονή ή διπλή κατεύθυνση.
4. **Subdivide:** Η εντολή διαιρεί επιλεγμένα πρόσωπα σε επιθυμητό αριθμό προσώπων (αριστερό κλικ στο επιθυμητό πρόσωπο, ή κρατημένο το **Ctrl** για περισσότερα πρόσωπα).
5. **Insert Point:** Η εντολή εισάγει μια ακμή με την επιλογή δύο σημείων.
6. **Merge Edge:** Η εντολή συγχέει δυο διαφορετικά σύνολα επιλεγμένων ακμών.
7. **Bridge:** Η εντολή δημιουργεί ένα κανάλι (γέφυρα) μεταξύ ενός ή παραπάνω σωμάτων. Αρκεί να επιλεγούν τα δύο σύνολα των προσώπων και να καθοριστεί το διάστημα των συνόλων.
8. **Fill Hole:** Η εντολή γεμίζει μια εσωτερική τρύπα σε σώμα T-spline. Αρκεί να επιλεχθούν οι ακμές της οπής και να οριστεί ο τύπος πλήρωσης.
9. **Erase and Fill:** Η εντολή διαγράφει ένα μέρος της T-spline γεωμετρίας, και το γεμίζει με νέα πρόσωπα. Ιδιαίτερα χρήσιμη εντολή για την αφαίρεση αντηρίδων ή γεφυρών. Αρκεί να επιλεχθούν τα προς διαγραφή πρόσωπα, και να οριστεί ο τύπος πλήρωσης.
10. **Weld Vertices:** Η εντολή ενώνει δύο ή περισσότερες κορυφές.
11. **UnWeld Edges:** Η εντολή αποσυνδέει μια ή περισσότερες ακμές.
12. **Crease:** Η εντολή δημιουργεί μια “τσάκιση” μεταξύ των προσώπων.



Εικόνα 4.3.2 Ομάδα Εντολών Modify

13. **UnCrease**: Η εντολή επαναφέρει την “τσάκιση” στην αρχική της μορφή.
  14. **Bevel Edge**: Η εντολή αντικαθιστά μια ή παραπάνω ακμές με μια λοξοτομή. Αρκεί να επιλεχθούν οι ακμές, η θέση της λοξοτομής και τα πρόσωπα που θα αποτελούν τη λοξοτομή.
  15. **Slide Edge**: Η εντολή μετακινεί μια ή περισσότερες ακμές κατά μήκος του πλέγματος.
  16. **Smooth**: Η εντολή εξομαλύνει μια περιοχή μιας γεωμετρίας T-spline.
  17. **Cylindrify**: Η εντολή αυξάνει την καμπυλότητα σε ένα επιλεγμένο πρόσωπο μιας γεωμετρίας T-spline. Αν επιλεχτούν όλα τα πρόσωπα του βρόχου (η εντολή θα το κάνει από μόνη της με την επιλογή ενός προσώπου), ο βρόχος παίρνει κυλινδρικό σχήμα.
  18. **Pull**: Η εντολή μετακινεί επιλεγμένες κορυφές (επιφανειακά σημεία ή σημεία ελέγχου) στο κοντινότερο στερεό σώμα (με την εντολή **Target Select** γίνεται δυνατή η επιλογή του στερεού σώματος).
  19. **Flatten**: Η εντολή προβάλλει τα επιλεγμένα σημεία ελέγχου του πλέγματος σε μια θέση ομαλότερη για το σύνολο ενώ η T-spline θα αποκτήσει πιο επίπεδη δομή.
  20. **Straighten**: Χρησιμοποιώντας την εντολή, τα επιλεγμένα σημεία ελέγχου του πλέγματος τοποθετούνται σε μια γραμμή ή έχουν την τάση προς αυτή.
  21. **Match**: Η εντολή προσκολλά την άκρη ενός σώματος T-spline με ένα στερεό σώμα ή ένα sketch, δημιουργώντας μια μορφή που μοιάζει με αγωγό. Η εντολή μοιάζει αρκετά με την εντολή **Loft** με την διαφορά ότι εδώ επιμηκύνεται το ίδιο το σώμα T-spline προς το δεύτερο σώμα.
  22. **Interpolate**: Η εντολή αλλάζει την θέση στα σημεία ελέγχου του πλέγματος του επιλεγμένου σώματος ώστε να εξομαλύνει την επιφάνεια του.
  23. **Thicken**: Η εντολή αυξομειώνει τον όγκο του επιλεγμένου σώματος με αποτέλεσμα να συμπυκνώνει ή να αραιώνει τα σημεία ελέγχου στο πλέγμα. Μπορεί να δημιουργήσει επιφάνειες που δεν μπορούν να μετατραπούν μετέπειτα σε στερεό σώμα.
  24. **Freeze**: Η εντολή παγώνει τα πρόσωπα και τις ακμές του μοντέλου ώστε να αποτρέψει τυχαίες αλλαγές μιας κατεργασίας.
  25. **Unfreeze**: Ξεπαγώνει τα πρόσωπα και τις ακμές που έχουν παγώσει στο παρελθόν.
- Ομάδα εντολών **Symmetry**: Solid>Create>Create Form>Symmetry

Αποτελείται από έξι εντολές που σχετίζονται με την συμμετρική μορφοποίηση ενός αντικειμένου T-spline.

1. **Mirror – Internal**: Δημιουργία συμμετρικής διαφοροποίησης δυο προσώπων εντός της γεωμετρίας ενός σώματος T-spline.
  2. **Circular – Internal**: Δημιουργία αξονικής συμμετρίας εντός της γεωμετρίας ενός σώματος T-spline.
  3. **Mirror – Duplicate**: Δημιουργία αντίγραφου ενός σώματος T-spline, σε ίση απόσταση ως προς ένα επιλεγμένο επίπεδο.
  4. **Circular – Duplicate**: Δημιουργία αντιγράφων ενός σώματος T-spline γύρω από έναν άξονα.
  5. **Clear Symmetry**: Αφαίρεση συμμετρικών περιορισμών από ένα ή περισσότερα σώματα T-spline.
  6. **Isolate Symmetry**: Αποτροπή της εφαρμογής συμμετρικών περιορισμών σε επιλεγμένα πρόσωπα, ακμές ή κορυφές σε σώματα T-spline.
- Ομάδα εντολών **Utilities**: Solid>Create>Create Form>Utilities

Αποτελείται από πέντε εντολές που σχετίζονται με την μετατροπή και τον έλεγχο της εμφάνισης των σωμάτων T-spline.

1. **Display Mod:** Επιτρέπει την εναλλαγή μεταξύ τριών διαφορετικών εμφανίσεων: i) Box: εμφανίζει τα σημεία ελέγχου του σώματος. ii) Control Frame: εμφανίζει το πραγματικό σώμα T-spline με το πλαίσιο ελέγχου γύρω του. iii) Smooth: εμφανίζει το σώμα όπως σχεδιάστηκε.
2. **Repair Body:** Αναλύει και εμφανίζει πληροφορίες σχετικά με το πλέγμα και επιδιορθώνει βλάβες στους T-Κόμβους και στα T-Stars (κόμβοι με 3, 5 ή περισσότερες ευθείες να τέμνονται).
3. **Make Uniform:** Κάνει τις όψεις όσο το δυνατόν πιο ομοιόμορφες, μετατρέπει προαιρετικά όλους τους T-κόμβους σε T-stars και τέλος κατανέμει τους κόμπους στο σώμα ομοιόμορφα, αποσυμφορίζοντας έτσι τις ακμές της επιφάνειας με αποτέλεσμα την εξομάλυνσή της.
4. **Convert:** Μετατρέπει διαφορετικά σώματα από έναν τύπο σε άλλο.
  - BRep (συμπαγείς ή επιφανειακές) όψεις σε όψεις T-spline.
  - Σώμα T-spline σε BRep σώμα.
  - Σώμα τετραπλού πλέγματος σε σώμα T-spline.Τα BRep πρόσωπα, T-spline σώματα ή τα σώματα με πλέγμα μπορούν να φιλτραριστούν κατ' επιλογή, ανάλογα με το επιλεγμένο φίλτρο.
5. **Enable Better Performance:** Κάνει εναλλαγή μεταξύ καλύτερης απόδοσης ή καλύτερης προβολής για σώματα T-spline.
  - **Better Display:** Δείχνει τα σώματα στην υψηλότερη ποιότητα (συνθήκες G1 σε σημεία αστεριών)
  - **Better Performance:** Αυξάνει την τροποποιητική ικανότητα των σωμάτων εφαρμόζοντας συνθήκες G0.

## 4.4 SURFACE

Η καρτέλα Surface περιέχει εργαλεία μοντελοποίησης επιφανειών με χρησιμότητα στην δημιουργία επιφανειακών σωμάτων ή στην αναβάθμιση στερεών σωμάτων. Μια επιφάνεια είναι το εξωτερικό περίβλημα ενός μοντέλου, και δεν έχει πάχος. Γίνεται εύκολα αντιληπτή η χρωματική διαφορά των εντολών της καρτέλας, ενώ και κατά την πραγματοποίηση των εντολών παρατηρείται ότι τα αντικείμενα που δημιουργούνται είναι ποικίλα.

### CREATE

Πέραν των τριών παρακάτω εντολών, οι υπόλοιπες είναι κοινές με την ομάδα εντολών **CREATE** της καρτέλας **SOLID**, με την διαφορά ότι το περιβάλλον αυτής της καρτέλας προορίζεται για δημιουργία και επεξεργασία επιφανειών. Έχοντας το κατάλληλο sketch, μπορούν να χρησιμοποιηθούν οι γνωστές από προηγούμενο είδος σχεδίασης εντολές: Extrude, Revolve, Sweep και Loft. Μπορούν να βρεθούν πολύ εύκολα, ακολουθώντας την διαδρομή Surface>Create>.



**Patch:** Surface>Create>Patch

Δημιουργία επιφάνειας εντός των ορίων ενός κλειστού βρόχου. Ιδιαίτερα χρήσιμη



εντολή για την αντικατάσταση ενός προσώπου ή την δημιουργία ενός προσώπου σε κάποιο άνοιγμα ενός στερεού.



**Ruled:** Surface>Create>Ruled

Δημιουργεί μια επιφάνεια μέσω μιας διαδρομής από επιλεγμένες άκρες. Μοιάζει με την εντολή **Extrude**, με την διαφορά ότι εδώ μπορεί να χρησιμοποιηθεί και σε ανοιχτούς βρόχους.



**Offset:** Surface>Create>Offset

Δημιουργεί μια νέα επιφάνεια στην επιθυμητή απόσταση από επιλεγμένη όψη.

Τα επιφανειακά πρότυπα αντικείμενα είναι διαθέσιμα μόνο σε Direct Modeling mode. Στο συγκεκριμένο Mode μπαίνει το πρόγραμμα αυτόματα, όταν η μπάρα ιστορικού είναι απενεργοποιημένη.

## MODIFY

Τα εργαλεία στην ομάδα εντολών **Modify** επιτρέπουν την τροποποίηση, μετακίνηση και αντιγραφή των επιφανειών. Όπως και στην ομάδα του Create, έτσι και στην ομάδα του Modify κάποιες εντολές έχουν αναφερθεί σε προηγούμενο είδος σχεδίασης. Εντολές όπως Press Pull, Fillet, Chamfer, Scale, Split Face και Split Body έχουν εξηγηθεί σε προηγούμενο κεφάλαιο.



**Trim:** Surface>Modify>Trim

Χωρίζει τις τεμνόμενες επιφάνειες, και αφαιρεί ένα ή περισσότερα τμήματα μιας επιφάνειας.



**Untrim:** Surface>Modify>Untrim.

Επεκτείνει τις κομμένες επιφάνειες, και γεμίζει τις κενές περιοχές. Αρκεί να επιλεγθεί μια επιφάνεια και ο τύπος πληρότητας του κενού.



**Extend:** Surface>Modify>Extend

Επεκτείνει μια επιφάνεια επιλέγοντας μία ή περισσότερες άκρες, και απομακρύνοντάς τες.



**Stitch:** Surface>Modify>Stitch

Συνδέει επιφάνειες σε μία ενιαία. Αν οι επιφάνειες δημιουργήσουν ένα κλειστό αντικείμενο, τότε το αντικείμενο αυτό μετατρέπεται σε στερεό σώμα.



**Unstitch:** Surface>Modify>Unstitch

Διαχωρίζει τις όψεις ενός επιφανειακού σώματος σε ξεχωριστά επιφανειακά σώματα.



**Reverse Normal:** Surface>Modify>Reverse Normal

Μια επιφάνεια έχει δύο όψεις. Η συγκεκριμένη εντολή αντιστρέφει τις δυο αυτές όψεις μια επιφάνειας ή ενός επιφανειακού αντικειμένου.

Κάθε Assembly (συνδεσμολογία) είναι μια συλλογή στοιχείων που λειτουργούν ως ενιαίο μοντέλο. Κάθε μοντέλο που περιέχει δύο ή περισσότερα μέρη αποτελεί μια συνδεσμολογία Assembly. Στην ενότητα αυτή λοιπόν θα αναλυθεί η καρτέλα Assemble, καθώς και η δημιουργία συνδέσμων και ενιαίων αντικειμένων. Θα αναλυθούν οι σημαντικότερες εντολές της καρτέλας, εφόσον οι υπόλοιπες εμπεριέχονται μέσα στις παρακάτω.

**New Component: Solid>Assemble>New Component**

Η εντολή αυτή δημιουργεί ένα νέο εξάρτημα ενός σύνθετου ενιαίου μοντέλου. Το νέο αντικείμενο μπορεί να είναι είτε στερεό είτε μοντέλο επιφανειών, αφού στο παράθυρο της εντολής δίνεται η δυνατότητα επιλογής. Μόλις δημιουργηθεί το νέο εξάρτημα, το ενιαίο μοντέλο μετατρέπεται σε μοντέλο ακμών, ώστε να διευκολυνθεί η σχεδίαση του εξαρτήματος.

**Joint: Solid>Assemble>Joint**

Ορίζει την σύνδεση μεταξύ δύο εξαρτημάτων και στην συνέχεια δίνεται η επιλογή ορισμού σχετικής κίνησης μεταξύ αυτών. Στην καρτέλα Position του παραθύρου της εντολής αρχικά ορίζονται τα σημεία έλξης στο κάθε εξάρτημα, ώστε να επιλεχτεί η μεταξύ τους συσχέτιση (απόσταση, κατεύθυνση, γωνία). Στην καρτέλα Motion μπορεί να οριστεί ο τύπος κίνησης μεταξύ των εξαρτημάτων, τα όρια κίνησης και μπορεί να βρεθεί και η ανάλογη προεπισκόπηση της κίνησης.

**Duplicate With Joints: Solid>Assemble>Duplicate With Joints**

Η εντολή πολλαπλασιάζει ένα εξάρτημα και τις συνδέσεις μεταξύ των αντικειμένων. Αναλυτικά, επιλέγεται ένα εξάρτημα προς πολλαπλασιασμό, μετέπειτα επιλέγονται τα σημεία ορισμού που θα συσχετιστούν με κάθε πολλαπλό αντικείμενο, και τοποθετούνται στην επιθυμητή θέση.



## 5. Manufacture

Με την επιλογή του χώρου εργασίας Manufacture, μεταβαίνουμε σε ένα περιβάλλον που αφορά την παραγωγή του προϊόντος. Στο συγκεκριμένο κεφάλαιο θα αναλυθεί το Setup, ο προγραμματισμός των κινήσεων των εργαλείων, η προσομοίωση αυτών και τέλος η δημιουργία του G-κώδικα. Το Fusion 360 υποστηρίζει αρκετές μεθόδους παραγωγής, όπως το Milling, Turning, Additive κλπ.. Σε αυτή την εργασία θα αναλυθεί η μέθοδος Milling και θα υπάρξει παράδειγμα σε περιβάλλον DMU 50.

### 5.1 SETUP

Πρώτο βήμα για την παραγωγή ενός προϊόντος είναι η εγκατάσταση του (Setup) στην εργαλειομηχανή. Αποτελεί και έναν φάκελο με όλες τις κατεργασίες που θα πραγματοποιηθούν από την εργαλειομηχανή. Ένα προϊόν για να παραχθεί μπορεί να χρειαστεί πάνω από ένα Setups.

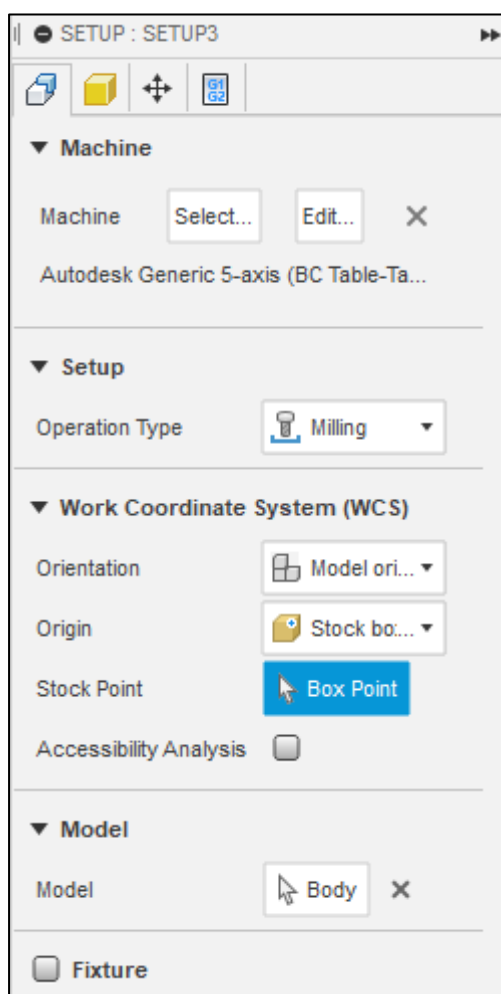


#### **New Setup:** Milling>Setup>New Setup

Όταν πατηθεί το κουμπί της εντολής, παρατηρείται ότι το αντικείμενο περιτριγυρίζεται από μια χακί χροιά, και στο δεξί μέρος της οθόνης εμφανίζεται το παράθυρο του Setup. Αρχικά θα πρέπει να επιλεχθεί η εργαλειομηχανή όπου θα κατασκευαστεί το αντικείμενο. Το Fusion έχει μια πολύ μεγάλη γκάμα από εργαλειομηχανές, και ασχέτως με την κατοχή οποιασδήποτε μηχανής, το πρόγραμμα έχει πολλές προτάσεις για εκμάθηση. Στο συγκεκριμένο παράδειγμα έχει επιλεχθεί μια πενταξονική.

Επόμενο βήμα για την εγκατάσταση του αντικειμένου είναι η επιλογή κατεργασίας. Αν και κατά την άποψή μου, η επιλογή κατεργασίας θα έπρεπε να είναι πριν την επιλογή της εργαλειομηχανής, άτυπα, επιλέγοντας καρτέλα πριν την έναρξη του Setup επιλέγεται αυτόματα και η κατεργασία. Το Fusion έχει διαθέσιμες τέσσερις κατεργασίες: 1) Milling, 2) Turning or Mill/Turning, 3) Cutting και 4) Additive. Όπως έχει προαναφερθεί, για την συγκεκριμένη εργασία θα επιλεχθεί το Milling.

Η οριοθέτηση ενός σημείου αναφοράς αποτελεί απαραίτητο βήμα για την ολοκλήρωση της εγκατάστασης του αντικειμένου. Είναι ένα κοινό σύστημα συντεταγμένων για την εργαλειομηχανή και το Fusion. Αρχικά θα πρέπει να οριοθετηθεί σε ποια θέση θα βρίσκεται το ίδιο το αντικείμενο σύμφωνα με το σύστημα συντεταγμένων.

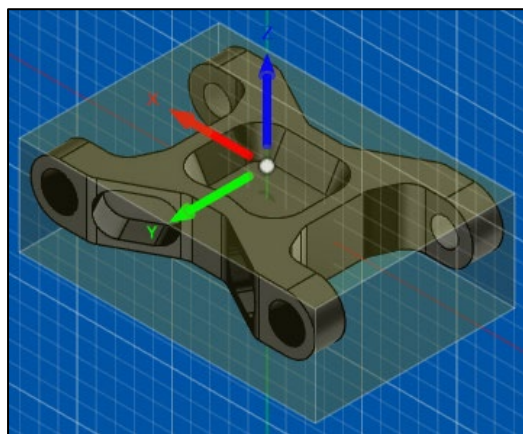


Εικόνα 5.1 Παράθυρο Setup

- **Orientation:** θα επιτρέψει στον χρήστη να επιλέξει το κατάλληλο σύστημα συντεταγμένων ανάλογα με την πολυπλοκότητα του αντικειμένου.
- **Origin:** η επιλογή του αντικειμένου που θα έχει πάνω του το σημείο αναφοράς. Αξίζει να αναφερθούν οι παρακάτω επιλογές : σημεία πάνω στο ακατέργαστο κομμάτι (**Stock Box Point**) και σημεία πάνω στα σχεδιασμένο αντικείμενο (**Selected Point** ή **Model Box Point**), οι οποίες θα χρησιμοποιηθούν στις περισσότερες των περιπτώσεων.
- **Accessibility Analysis:** θα βοηθήσει ιδιαίτερα για την επιλογή της σωστής οριοθέτησης του αντικειμένου. Επιλέγοντάς το, γίνονται εμφανή τα σημεία του αντικειμένου που δεν μπορούν να κατεργαστούν με την υπάρχουσα οριοθέτηση.

Τέλος υπάρχει η δυνατότητα επιλογής μεθόδου συγκράτησης του αντικειμένου από την εργαλειομηχανή (αν υπάρχει και έχει σχεδιαστεί), βοηθώντας έτσι στην στρατηγική των εντολών που θα ακολουθήσουν και στην διαχείριση των κινήσεων του εργαλείου (**Fixture**).

Η δεύτερη καρτέλα του παραθύρου του Setup αφορά το ακατέργαστο κομμάτι (**Stock**). Καλό θα ήταν το ακατέργαστο κομμάτι που θα σχεδιαστεί στο πρόγραμμα να είναι όσο πιο αντιπροσωπευτικό της πραγματικότητας γίνεται. Στο παράδειγμα της Εικόνας 5.2 παρατηρείται το ακατέργαστο κομμάτι με μια αχνή χρωματιστή χροιά. Έχει επιλεχθεί η λειτουργία **Relative Size Box**, ώστε οι πλευρές του ακατέργαστου μέρους να είναι πολύ κοντά στις διαστάσεις του σχεδιασμένου αντικείμενου, και προστέθηκαν κάποια έξτρα χιλιοστά με την επιλογή **Add stock to sides and top-bottom** (προστέθηκαν χιλιοστά κυρίως στο κάτω μέρος του ακατέργαστου, ώστε να μπορεί η συγκράτηση να το πιάσει και για να μην χτυπήσει το εργαλείο πάνω της).



Εικόνα 5.2 Παράδειγμα ακατέργαστου κομματιού κατά την διαδικασία του Setup



#### **NC Program:** Milling>Setup>NC Program

Η εντολή έχει μια πληθώρα ικανοτήτων. Η πιο σημαντική είναι η δημιουργία του G-Κώδικα για την εργαλειομηχανή. Ομαδοποιεί τις ρυθμίσεις σε ένα ενιαίο πρόγραμμα και δημιουργεί εγχειρίδια με τα Setups και τα εργαλεία που θα χρησιμοποιηθούν (ιδιαίτερα χρήσιμη ικανότητα αν ο χειριστής της εργαλειομηχανής δεν είναι και ο δημιουργός του προγράμματος).



#### **New Folder:** Milling>Setup>New Folder

Δημιουργία φακέλου για ομαδοποίηση των κατεργασιών.



#### **New Pattern:** Milling>Setup>New Pattern

Δημιουργία αντίγραφου της εντολής κατά ένα επίπεδο, είτε γύρω από έναν άξονα είτε ως προς μία ή δύο κατευθύνσεις, στο ίδιο ή σε περισσότερα αντικείμενα. Διευκολύνει πολύ τον χρήστη κατά την παραγωγή προγραμμάτων για συμμετρικά και πολύπλοκα αντικείμενα.



#### **Manual NC:** Milling>Setup>Manual NC

Εισχώρηση στον G-Κώδικα προσθέτοντας επιπλέον βοηθητικές εντολές (Μέτρηση κάποιου εργαλείου μετά από κατεργασία, παύση της κατεργασίας, καθαρισμός

κλπ.).



**Probe WCS:** Milling>Setup>Probe WCS

Κάλεσμα μετρητικού εργαλείου κατά την παραγωγή του αντικειμένου.

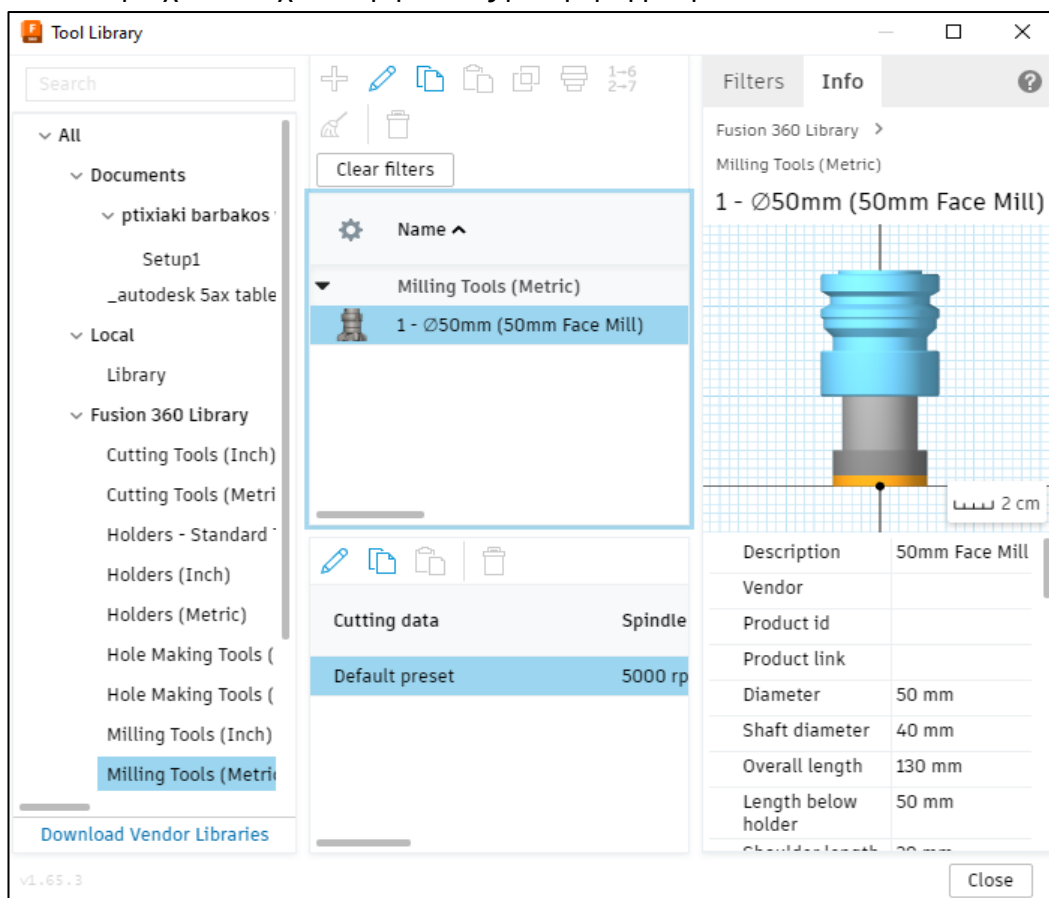
## 5.2 Κοπτικά Εργαλεία και Βιβλιοθήκη Fusion 360

Σε αυτή την ενότητα θα αναφερθούν οι κατηγορίες εργαλείων όπως τις χωρίζει το Fusion 360 ανάλογα με το είδος κατεργασίας, θα αναλυθούν οι κατηγορίες που αφορούν κατεργασίες φρεζαρίσματος και δημιουργίας οπών, και τέλος θα περιγραφεί η διαδικασία ένταξης ενός εργαλείου στην βιβλιοθήκη του Fusion.

Οι κατηγορίες στις οποίες χωρίζονται τα κοπτικά εργαλεία είναι οι εξής:

- **Milling:** Κατηγορία κοπτικών εργαλείων που προορίζονται για κατεργασίες φρεζαρίσματος. Αντίστοιχα η κατηγορία Milling χωρίζεται από το Fusion στους παρακάτω 14 τύπους εργαλείων:
  1. **Flat end Mill:** κονδυλοφόρο εργαλείο επίπεδης απόληξης και κυλινδρικού σχήματος με χρησιμότητα σε κατεργασίες ξεχονδρίσματος και φινιρίσματος, για επιφάνειες κάθετες ή παράλληλες με τις κοπτικές ακμές του εργαλείου.
  2. **Ball end Mill:** κονδυλοφόρο εργαλείο ημισφαιρικής απόληξης και κυλινδρικού σχήματος, ιδανικό για κατεργασίες φινιρίσματος. Κατάλληλο για επιφάνειες τόσο κάθετες στον άξονα περιστροφής όσο και υπό κλίση.
  3. **Bull nose end Mill:** κονδυλοφόρο εργαλείο με κυκλική απόληξη στα φτερά και κυλινδρικού σχήματος, ιδανικό για κατεργασίες ξεχονδρίσματος λόγω της ανθεκτικότητας του.
  4. **Face Mill:** κοπτικό εργαλείο με πλακίδια κοπής, το οποίο χρησιμοποιείται για αφαίρεση μεγάλου όγκου υλικού σε πολύ ικανοποιητικό χρόνο. Ιδανικό για κατεργασίες προσώπων και εκχόνδρισης επιφανειών.
  5. **Tapered Mill:** κονδυλοφόρο εργαλείο κωνικού σώματος και διαφόρων ειδών απόληξης. Ιδανικό για κοπές πλευρών ή αυλακώσεων με κλίση.
  6. **Radius Mill:** εργαλείο ακτινικής κόπης και προκαθορισμένης γεωμετρίας που προορίζεται για χρήση κοπής συγκεκριμένης γωνιακής ακτίνας.
  7. **Engrave/Chamfer Mill:** κονδυλοφόρο εργαλείο συγκεκριμένης κοπής που προορίζεται για χάραξη, λοξότμηση και κατεργασίες ακμών.
  8. **Dovetail Mill:** κονδυλοφόρο εργαλείο προκαθορισμένης γεωμετρίας, με χρησιμότητα στην διάνοιξη αυλακώσεων ίδιας γεωμετρίας με το εργαλείο.
  9. **Lollipop Mill:** κονδυλοφόρο εργαλείο σφαιρικής απόληξης και κυλινδρικού λεπτού σώματος με ικανότητα αφαίρεσης υλικού από δυσπρόσιτα σημεία.
  10. **Slot Mill:** δισκοειδές κοπτικό εργαλείο με χρησιμότητα στην διάνοιξη αυλακώσεων ή και αποκοπής του τεμαχίου.
  11. **Thread Mill:** κοπτικά εργαλεία σπειροτόμησης.
  12. **Form Mill:** κοπτικά εργαλεία προκαθορισμένης γεωμετρίας και σχήματος, με σκοπό την αποτύπωση της γεωμετρίας.
  13. **Spot Drill:** κοπτικό εργαλείο με σκοπό την διάνοιξη οπών μικρού σχετικά βάθους για την μετέπειτα εκμετάλλευσή τους από τρυπάνια ή κονδύλια.
  14. **Counter Sink:** κοπτικό εργαλείο κωνικού σχήματος με σκοπό την διάνοιξη κωνικών οπών, αντίθετης γεωμετρίας από τις βίδες με κωνικό κεφάλι.

- **Hole Making:** κατηγορία κοπτικών εργαλείων με προορισμό την διάνοιξη την διεύρυνση και την σπειροτόμηση οπών. Η κατηγορία Hole Making χωρίζεται από το Fusion στους παρακάτω 9 τύπους εργαλείων:
  1. **Boring Bar:** εργαλεία με κοπτικό πλακίδιο, που χρησιμεύουν στην αποπεράτωση οπών με μεγάλη ακρίβεια.
  2. **Counter Bore:** εργαλεία διάνοιξης ήδη υπάρχουσών οπών. Ο πιλότος του εργαλείου θα ακολουθεί την υπάρχουσα οπή ενώ το εργαλείο θα διευρύνει το χείλος της οπής.
  3. **Drill:** διατρητικά εργαλεία.
  4. **Center Drill:** εργαλεία διάνοιξης οδηγών-κέντρων για την μετέπειτα σταθερότερη διέλευση ενός διατρητικού.
  5. **Spot Drill**
  6. **Reamer:** ονομάζονται και γλύφανα. Έχουν σκοπό την λείανση ή την διεύρυνση και δίνουν ακριβές μέγεθος στην υπάρχουσα οπή.
  7. **Counter Sink**
  8. **Tap left hand:** αριστερόστροφοι σπειροτόμοι.
  9. **Tap right hand:** δεξιόστροφοι σπειροτόμοι.
- **Turning:** κατηγορία κοπτικών εργαλείων που προορίζονται για κατεργασίες τórνευσης.
- **Cutting:** κοπτικά εργαλεία για κατεργασίες τύπου water jet, laser και plasma cutters.
- **Probe:** περιέχει τα μετρητικά εργαλεία.
- **Holders:** περιέχει τα εξαρτήματα συγκράτησης των κοπτικών εργαλείων. Είναι αναγκαίο πολλές φορές να είναι γνωστό το σχήμα και το μέγεθος της φωλιάς ώστε να αποφευχθούν τυχόν συγκρούσεις με την μέγγενη.



Εικόνα 5.3 Παράδειγμα παραθύρου βιβλιοθήκης Fusion 360

Η βιβλιοθήκη του Fusion επιτρέπει την επιλογή προτεινόμενων εργαλείων από την ήδη υπάρχουσα (Fusion 360 Library), δημιουργία προσαρμοσμένη στα μέτρα του χρήστη. Τέλος δίνει την δυνατότητα εισόδου εξόδου ή και αντιγραφής εργαλείων. Ανοίγοντας το παράθυρο της βιβλιοθήκης των εργαλείων παρατηρείται ότι χωρίζεται σε τρία μέρη. Αριστερά παρατηρούνται οι βιβλιοθήκες εργαλείων (Documents, Local, Fusion 360 Library, Cloud και Vendor) ενώ τα εργαλεία χωρίζονται ανά τύπο διεργασίας (π.χ. Milling, Turning, Holders κλπ.). Στη μέση παρατηρείται η λίστα των εργαλείων της επιλεγμένης βιβλιοθήκης, ενώ οι ιδιότητες του εργαλείου εντοπίζονται στο κάτω μέρος της ενότητας.

Και τέλος, στα δεξιά υπάρχουν οι παρακάτω καρτέλες:

- **Filter:** περιέχει τα φίλτρα ανάλογα με τον τύπο εργαλείου, ώστε να περιοριστεί ο αριθμός των εργαλείων που εμφανίζεται στην κεντρική λίστα.
- **Info:** περιέχει προεπισκόπηση των επιλεγμένων εργαλείων και τις παραμέτρους του.

Ένταξη νέου εργαλείου στην βιβλιοθήκη του Fusion 360:

1. Επιλέξτε την βιβλιοθήκη που θέλετε να εμπεριέχει το νέο εργαλείο.
2. Κάντε κλικ στην εντολή **New Tool** στο πάνω μέρος του παραθύρου.
3. Επιλέξτε το είδος του εργαλείου.
4. Επιλέξτε τις παραμέτρους του εργαλείου σύμφωνα με τις προδιαγραφές του κατασκευαστή.

Το εργαλείο μπορεί να αποθηκευτεί είτε σε Cloud, είτε τυπικά στον υπολογιστή, είτε ακόμα και ως αρχείο.

Για την αντιγραφή του εργαλείου αρκεί να γίνει επιλογή του επιθυμητού εργαλείου, και είτε να πραγματοποιηθεί η επιλογή **Duplicate** για την αντιγραφή μέσα στην βιβλιοθήκη, είτε η επιλογή **Copy Tool**. Ακολουθεί το άνοιγμα της βιβλιοθήκης που θα καταλήξει το αντίγραφο, και το κλικ στην επιλογή **Paste Tool** για την επικόλληση.

Τέλος, για την τροποποίηση ενός εργαλείου, επιλέξτε το προς τροποποίηση εργαλείο και κάντε κλικ στην επιλογή **Edit**.

## 5.3 2D Κατεργασίες

Σε αυτή την ενότητα θα αναλυθούν οι δισδιάστατες κατεργασίες επιφανειών, η δημιουργία σπειρωμάτων, σύνθετων εσοχών καθώς και η χάραξη των αντικειμένων.

Με το κάλεσμα των κατεργασιών εμφανίζεται ένα παράθυρο, το οποίο περιέχει πέντε καρτέλες. Στο παράθυρο των 2D κατεργασιών οι καρτέλες που περιέχονται είναι οι ακόλουθες: **Tool**, **Geometry**, **Heights**, **Passes**, και **Linking**.

Στην καρτέλα Tool βρίσκονται επιλογές που αφορούν το εργαλείο της κατεργασίας. Εκεί γίνεται η επιλογή του εργαλείου, η επιλογή της ψύξης του εργαλείου και επιλογές που αφορούν την πρόωση, την ταχύτητα περιστροφής κλπ.

**Tool:** η κάθε κατεργασία έχει ανάγκη διαφορετικό εργαλείο ανάλογα με το είδος της. Οπότε στην επιλογή Tool: select γίνεται δυνατή η επιλογή του εργαλείου αυτού.

**Coolant:** επιλογή του τύπου ψύξης που θα χρησιμοποιηθεί από την εργαλειομηχανή. Δεν λειτουργούν όλοι οι τύποι σε όλες τις εργαλειομηχανές ή σε όλα τα εργαλεία. Οι επιλογές ψύξης που διαθέτει το πρόγραμμα είναι οι εξής:



- a) **Flood:** έκχυση ψυκτικού υγρού από ακροφύσια περί του εργαλείου.
- b) **Mist:** συνδυασμός αέρα και μικρής ποσότητας ψυκτικού. Ιδιαίτερα χρήσιμη μέθοδος για την απομάκρυνση του αποβλήτου και της ταυτόχρονης ψύξης του εργαλείου.
- c) **Through tool:** ροή ψυκτικού υγρού μέσα από το κοπτικό εργαλείο. Μόνο για ειδικές περιπτώσεις εργαλείων και εργαλειομηχανών, όταν εκείνα επιτρέπουν να περάσει υγρό από μέσα τους.
- d) **Air:** εκπνοή αέρα από ακροφύσιο με σκοπό την απομάκρυνση του αποβλήτου.
- e) **Air through tool:** εκπνοή αέρα μέσα από το κοπτικό εργαλείο με σκοπό την απομάκρυνση του αποβλήτου.
- f) **Suction:** απομάκρυνση αποβλήτου μέσω αναρρόφησης.
- g) **Flood and mist:** συνδυασμός της μεθόδου mist και flood.
- h) **Flood and through tool:** συνδυασμός ψύξης με ψυκτικό υγρό μέσα από το κοπτικό εργαλείο και προς το σημείο κατεργασίας από άλλη πηγή.

**Επιλογές Feed & speed:** πρόκειται για τα στοιχεία κοπής του εκάστοτε κοπτικού εργαλείου που ορίζονται από τον κατασκευαστή του. Κατά την προσθήκη ενός εργαλείου στην βιβλιοθήκη του Fusion απαιτείται να περαστούν οι τιμές αυτές, οπότε πέρα από κάποιες μικροδιορθώσεις που ίσως χρειαστούν, οι τιμές μπαίνουν αυτόματα κατά την επιλογή του εργαλείου.

Στην καρτέλα του Geometry θα επιλεγθεί η προς κατεργασία γεωμετρία. Είναι σημαντικό να επιλεγθεί η σωστή γεωμετρία για τον υπολογισμό των κινήσεων του εργαλείου.

Στην καρτέλα **Heights** θέτονται τα όρια των κινήσεων του κοπτικού εργαλείου στον άξονα **Z**. Τα όρια θα είναι κάποια από τα παρακάτω:

- **Clearance Height:** είναι το πρώτο ύψος που φτάνει γρήγορα το εργαλείο. Μέχρι αυτό το ύψος το εργαλείο κινείται με την μέγιστη ταχύτητα πρόωσης της εργαλειομηχανής, ενώ από εκεί και μετά το εργαλείο κινείται με την επιλεγμένη πρόωση (Πορτοκαλί).
- **Retract Height:** είναι το ύψος όπου το κοπτικό εργαλείο ανασύρεται μετά την κατεργασία ώστε να προετοιμαστεί για την επόμενη (Λαδί).
- **Feed Height:** σε αυτό το ύψος το κοπτικό εργαλείο αποκτά την επιθυμητή ταχύτητα περιστροφής πριν ξεκινήσει την κατεργασία και εισέλθει στο εξάρτημα (Λαχανί).
- **Top Heights:** είναι το άνω ύψος που ορίζει το πάνω μέρος της κοπής. Αποτελεί αναγκαία συνθήκη να είναι ρυθμισμένο πάνω από το κάτω μέρος της κοπής (Γαλάζιο).

Εικόνα 5.3.1 Καρτέλα Tool

- **Bottom Height:** είναι το κατώτερο ύψος, και ορίζεται από το βάθος της κατεργασίας (Μπλε).

Το πρόγραμμα δίνει τις ακόλουθες επιλογές ως σημεία αναφοράς, και σε συνδυασμό με το Offset καθορίζεται το αντίστοιχο ύψος. Ως σημεία αναφοράς μπορούν να οριστούν και τα αντίστοιχα ύψη που προαναφέρθηκαν: **Clearence Height**, **Retract Height**, **Feed Height**, **Top Height**, και **Bottom Height** ή μπορούν να οριστούν και οι παρακάτω επιλογές:

- **Model Top:** το άνω μέρος του μοντέλου.
- **Model Bottom:** το κάτω μέρος του μοντέλου.
- **Stock Top:** το υποτιθέμενο άνω άκρο του ακατέργαστου.
- **Stock Bottom:** το κάτω μέρος του ακατέργαστου τεμαχίου.
- **Selected Contour(s):** επιλογή ύψους σε επιλεγμένη περίμετρο.
- **Selection:** επιλογή ύψους από επιλεγμένο σημείο.
- **Origin:** επιλογή ύψους από την αρχή των αξόνων.
- **Disabled:** Απενεργοποίηση του συγκεκριμένου ύψους.

Η καρτέλα **Passes** περιέχει επιλογές που αφορούν την διαδρομή του κοπτικού εργαλείου, τα περάσματα που αυτό θα κάνει ώστε να υπάρξει το επιθυμητό αποτέλεσμα.

Η τελευταία καρτέλα του παραθύρου της εντολής ονομάζεται **Linking** και περιλαμβάνει επιλογές για την κατεύθυνση κοπής ή το βήμα κοπής. Παίζει σημαντικό ρόλο στον προγραμματισμό των κινήσεων της μηχανής κατά την διαδικασία κοπής του μοντέλου, και επηρεάζει το αποτέλεσμα σε σχέση με την ακρίβεια και τον χρόνο κοπής.

## Face



**Face:** Milling>2D>Face

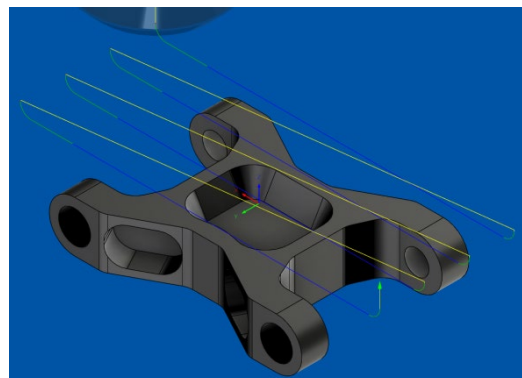
**Περιγραφή Κατεργασίας:** Κατεργασία αφαίρεσης του ακατέργαστου υλικού από την άνω επιφάνεια του εξαρτήματος. Είναι σημαντικό να γίνεται πολύ πρόωρα αυτή η κατεργασία διότι προετοιμάζει το προς κατασκευή εξάρτημα για περαιτέρω κατεργασία. Κατάλληλα εργαλεία για αυτή τη διαδικασία είναι τα Face mills και τα Flat end mills και σε κάποιες περιπτώσεις Bull nose end mills.

**Καρτέλα Tool:** Για το παράδειγμα, το εργαλείο που επιλέχθηκε είναι μία φρεζοκεφαλή διαμέτρου 50mm.

Για το παράδειγμα επιλέχτηκε η μέθοδος **Flood**.

**Καρτέλα Geometry:** Οι επιλογές για την οριοθέτηση της κατεργασίας είναι οι ακόλουθες:

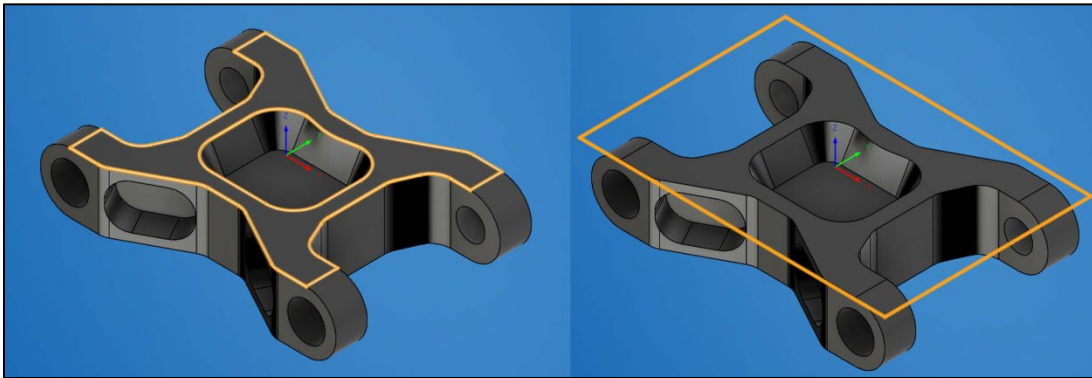
- **Stock Selection:** δίνεται η δυνατότητα επιλογής αυτής της γεωμετρίας. Στο παράδειγμα της εντολής έχει επιλεγθεί το περίγραμμα της άνω πλευράς του ακατέργαστου. Θα μπορούσε να γίνει η επιλογή ακόμα και του προσώπου του αντικειμένου ή του περιγράμματος του προσώπου του αντικειμένου επιλέγοντας μία μία τις ακμές.



Εικόνα 5.3.2 Παράδειγμα προσομοίωσης κατεργασίας Face μαζί με την διαδρομή που θα ακολουθήσει το κοπτικό εργαλείο.

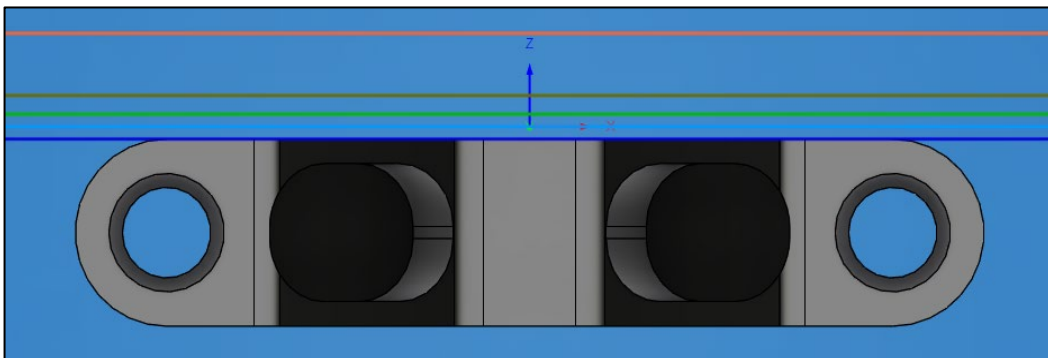


- **Tool Orientation** υπάρχει η δυνατότητα επιλογής συστήματος συντεταγμένων, διαφορετικό απ' αυτό που επιλέχθηκε στο **Setup**.



Εικόνα 5.3.3 Στα αριστερά παρατηρείτε η επιλεγμένη γεωμετρία σύμφωνα με το περίγραμμα του προσώπου, ενώ στα δεξιά σύμφωνα με την περίμετρο της άνω πλευράς του ακατέργαστου.

**Καρτέλα Heights:** Στο συγκεκριμένο παράδειγμα για το ύψος Clearance Height έχει επιλεγεί ως σημείο αναφοράς το ύψος του Retract Height, και Offset=10mm. Για το ύψος Retract Height έχει οριστεί ως σημείο αναφοράς το Stock Top με Offset=5mm ενώ στο ύψος (που τυγχάνει να ταυτίζονται) Feed Height ορίστηκε ως σημείο αναφοράς το Top Height με Offset=5mm. Τέλος στο άνω και κάτω ύψος (Top/Bottom) επιλέχθηκαν τα Stock Top και Model Top αντίστοιχα, με Offset=0.

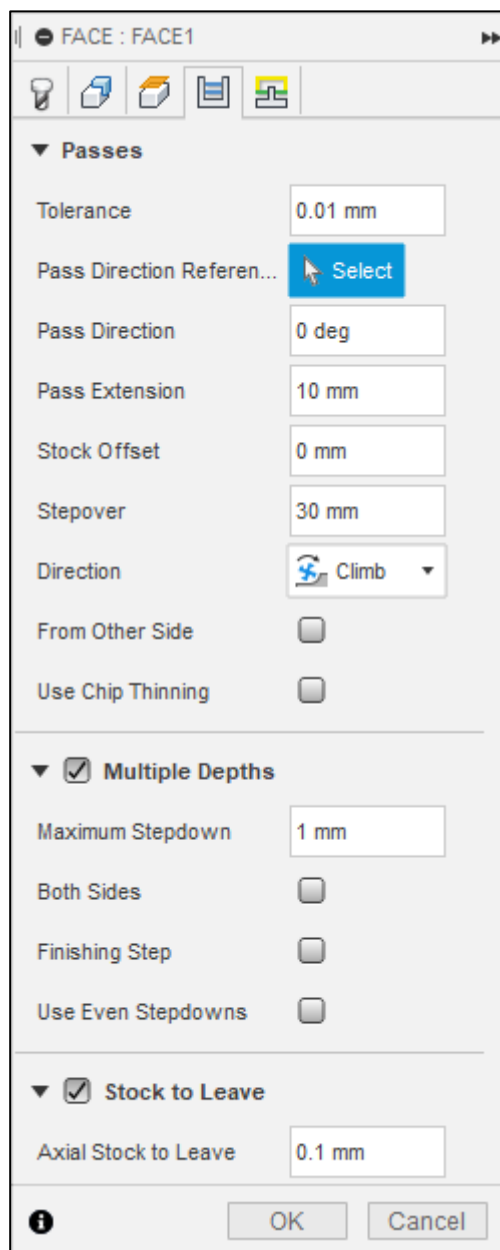


Εικόνα 5.3.4 Παράδειγμα των ορίων με τα χρώματά τους.

**Καρτέλα Passes:** οι επιλογές είναι οι εξής:

- **Tolerance:** επιλογή της διαστασιακής ακρίβειας. Στο συγκεκριμένο παράδειγμα η ακρίβεια έχει οριστεί στα 0.01mm.
- **Pass Direction:** επιλογή της κατεύθυνσης κοπής του εργαλείου. Μπορεί να επιλεγεί η επιθυμητή κατεύθυνση που θα ακολουθήσει το εργαλείο κατά την εκτέλεση της κατεργασίας. Στο συγκεκριμένο παράδειγμα το εργαλείο θα εισχωρήσει στο αντικείμενο με την διεύθυνση του x'x και 0 μοίρες.
- **Pass Extension:** επιλογή του μήκους της απόστασης που θα διατηρήσει το εργαλείο σε κάθε πέρασμα από το περίγραμμα της κατεργασίας. Στο συγκεκριμένο παράδειγμα ορίστηκε ως 10mm.
- **Stock Offset:** επιλογή της απόστασης του περιγράμματος της κατεργασίας από το ακατέργαστο. Όπως βλέπουμε και στην εικόνα, η τιμή ορίστηκε στο 0.
- **Stepover:** επιλογή της απόστασης μεταξύ των περασμάτων που θα κάνει το κοπτικό εργαλείο. Ουσιαστικά ορίζει την πυκνότητα των περασμάτων πάνω από το ακατέργαστο. Στο παράδειγμα έχει οριστεί έτσι ώστε τα περάσματα να απέχουν μεταξύ τους 30mm.

- **Direction:** η επιλογή επιτρέπει να οριστεί η φορά που θα πραγματοποιήσει την κοπή το κοπτικό εργαλείο σύμφωνα με την φορά περιστροφής του. Με την μέθοδο Climb το εργαλείο αφαιρεί υλικό με φορά που μοιάζει με κύλιση πάνω στο υλικό, ενώ με την συμβατική μέθοδο (Conventional) το εργαλείο κινείται αντίθετα. Η πρώτη μέθοδος τείνει να αφήνει καλύτερες επιφάνειες, να έχει λιγότερες ταλαντώσεις κατά την κατεργασία αλλά και λιγότερη φθορά στο εργαλείο. Ωστόσο, επιλέγοντας το εργαλείο να κινηθεί και με τις δύο φορές (Both Ways) μειώνεται σημαντικά ο χρόνος κατεργασίας. Εδώ επιλέχθηκε η μέθοδος **Climb**.
- **From Other Side:** επιτρέπει την έναρξη της κατεργασίας από την άλλη άκρη της διαδρομής του κοπτικού.
- **Use Chip Thinning:** ενεργοποίηση της μεθόδου **roll-on cut** για λεπτότερο απόβλητο.
- **Multiple Depths:** ενεργοποίηση της λειτουργίας αφαίρεσης υλικού με πολλαπλά βάθη. Στο συγκεκριμένο παράδειγμα η επιλογή θα παραμείνει ανενεργή, διότι δεν χρειάζεται. Το ακατέργαστο μπορεί να κατεργαστεί με ένα πέρασμα.
- **Maximum Stepdown:** καθορίζει το βήμα μεταξύ των πολλαπλών βαθών, ενώ το τελικό βήμα θα είναι ό,τι απέμεινε από το ακατέργαστο.
- **Both Side:** κατεργασία κατά άξονα Z και από τις δύο πλευρές. Όταν το εργαλείο τελειώσει μια στάθμη, θα συνεχίσει να κατεργάζεται προς άξονα Z από την ίδια πλευρά προς την άλλη, μέχρι να τελειώσει πάλι την στάθμη και να συνεχίσει. Μειώνει τον χρόνο κατεργασίας διότι δεν χρειάζεται να ξεκινήσει ξανά από το σημείο έναρξης της κατεργασίας.
- **Finish Stepdown:** επιλογή τελικού βήματος στην κατεργασία (Φινίρισμα). Με το πάτημα της επιλογής ζητείται από το πρόγραμμα η ταχύτητα πρόωσης και το ύψος του τελευταίου βήματος.
- **Use Even Stepdowns:** η επιλογή ουσιαστικά διαιρεί σε ίσα μήκη τα περάσματα. Για παράδειγμα, έχουμε ένα ακατέργαστο αντικείμενο και το εργαλείο πρέπει να κόψει 23 χιλιοστά πρόσωπο με maximum stepdown 10mm. Με την επιλογή κλικαρισμένη θα υπολογιστούν τρία περάσματα με πάχος -7.666mm.
- **Stock to Leave:** επιτρέπει την παράκαμψη των υψών για την επεξεργασία ενός ποσού ακατέργαστου, είτε έχοντας θετικό πρόσημο και συμβάλλει στην διατήρηση της ποιότητας και την περαιτέρω επεξεργασία του αντικείμενου είτε με αρνητικό πρόσημο θέτοντας σε επεξεργασία το αντικείμενο παραπάνω απ' το προβλεπόμενο. Ως προέκταση της εντολής, η παράμετρος **Axial Stock to Leave**



Εικόνα 5.3.5 Καρτέλα Passes εντολής Face.

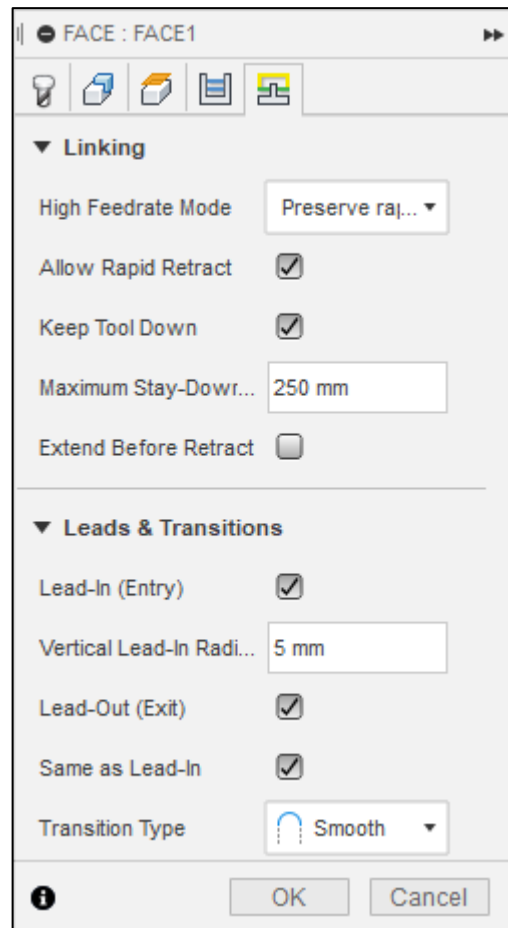
ελέγχει την ποσότητα αυτή κατά τη διάρκεια των αξονικών κατεργασιών. Στο συγκεκριμένο παράδειγμα θα παραμείνει ανενεργή η επιλογή.

**Καρτέλα Linking:** Οι τιμές και οι επιλογές των εντολών που χρησιμοποιήθηκαν για το παράδειγμα, φαίνονται στην εικόνα 5.3.6. Οι επιλογές της καρτέλας είναι οι εξής:

- **High Feedrate Mode:** καθορίζει το πότε το κοπτικό εργαλείο θα κινείται με την μέγιστη ταχύτητα πρόωσης της εργαλειομηχανής (G0) και πότε με ταχύτητα ορισμένης πρόωσης (G1). Η εντολή αυτή συμβάλλει στον περεταίρω έλεγχο των γρήγορων κινήσεων G0 παραμετροποιώντας τις σε G1 για την αποφυγή συγκρούσεων. Περιλαμβάνονται έξι επιλογές:
  - **Preserve rapid movement:** διατηρεί όλες τις γρήγορες κινήσεις ως G0.
  - **Preserve axial and radial rapid movement:** Οι γρήγορες κινήσεις που εκτελούνται αξονικά ή ακτινικά, διατηρούν G0.
  - **Preserve axial rapid movement:** Οι γρήγορες κινήσεις που εκτελούνται αξονικά, διατηρούν G0.
  - **Preserve radial rapid movement:** Οι γρήγορες κινήσεις που εκτελούνται ακτινικά, διατηρούν G0.
  - **Preserve single axis rapid movement:** Οι γρήγορες κινήσεις που εκτελούνται σε έναν άξονα (X, Y ή Z), διατηρούν G0.
  - **Always use high feed:** όλες οι γρήγορες κινήσεις αποκτούν ταχύτητα ορισμένης πρόωσης G01.

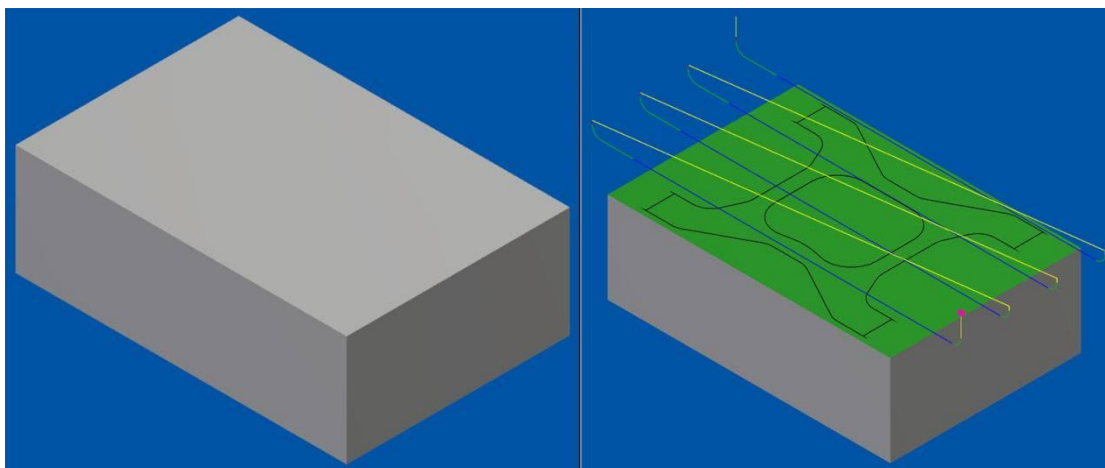
Στο παράδειγμα έχει επιλεγεί η επιλογή **Preserve rapid movement** καθώς δεν χρειάζεται περαιτέρω προσοχή για την συγκεκριμένη κατεργασία.

- **Allow Rapid Retract:** επιτρέπει στην γρήγορη ανάσυρση του εργαλείου με ταχύτητα G0.
- **Keep Tool Down:** η εντολή κρατάει το εργαλείο χαμηλά στην περιοχή της κοπής, αποφεύγοντας έτσι την πλήρη ανάκλιση, και δημιουργώντας μια ελάχιστη ανάσυρση του εργαλείου μικρότερου ύψους.
- **Maximum Stay-Down Distance:** καθορίζει την μέγιστη απόσταση ανάκλισης.
- **Extend Before Retract:** επεκτείνει την διαδρομή του εργαλείου εκτός περιγράμματος κατεργασίας πριν την ανάκλισή του.
- **Lead-In (Entry):** ομαλοποιεί την είσοδο του κοπτικού εργαλείου στο ακατέργαστο. Στο συγκεκριμένο παράδειγμα επιλέχθηκε η εντολή, για καλύτερη είσοδο του εργαλείου.
- **Vertical Lead-In Radius:** ακτίνα εισαγωγής του κοπτικού. Στο συγκεκριμένο παράδειγμα τέθηκε στα 5mm.



Εικόνα 5.3.6 Καρτέλα Linking εντολής Face.

- **Lead-Out (Exit):** ομαλοποιεί την έξοδο του κοπτικού εργαλείου από το ακατέργαστο.
- **Same as Lead-In:** καθορίζει ότι ο τρόπος εξαγωγής του κοπτικού από το ακατέργαστο, θα είναι ίδιος με τον τρόπο εισαγωγής. Αν η επιλογή δεν είναι επιλεγμένη, τότε εμφανίζεται μια παραπάνω επιλογή **Vertical Lead-Out Radius**, η οποία καθορίζει την ακτίνα εξόδου του κοπτικού.
- **Transition Type:** καθορίζει τον τύπο διαδρομής του κοπτικού εργαλείου μεταξύ των περασμάτων. Υπάρχουν τέσσερις επιλογές:
  - **No contact:** μεταξύ κάθε διαδρομής δεν υπάρχει σύνδεση, το κοπτικό ανασύρεται στο ύψος Retract Height και ξεκινάει το κάθε πέρασμα από την αρχή.
  - **Smooth:** ομαλοποιούνται οι συνδέσεις μεταξύ των περασμάτων. Η διαδρομή του κοπτικού εργαλείου εξομαλύνεται, με επίπτωση στον χρόνο.
  - **Straight line:** το κοπτικό εργαλείο θα συνδέει τα περάσματα με ευθείες γραμμές.
  - **Shortest path:** η διαδρομή μεταξύ των περασμάτων βελτιστοποιείται χρονικά και το κοπτικό εργαλείο αποκτά την συντομότερη διαδρομή.



Εικόνα 5.3.7 Αριστερά φαίνεται το ακατέργαστο αντικείμενο πριν την κατεργασία, ενώ δεξιά μετά την κατεργασία

**Ανάλυση της κατεργασίας:** Παρατηρούμε από την εικόνα 5.3.7 ότι στην προσομοίωση της κατεργασίας φαίνονται τα πάσα, στην συγκεκριμένη περίπτωση είναι τέσσερα. Φαίνεται η ομαλότητα με την οποία εισάγεται και εξάγεται το κοπτικό εργαλείο στο ακατέργαστο από την καμπύλη στην αρχή και στο τέλος της διαδρομής, όπως επίσης διαγράφεται το περίγραμμα του αντικείμενου στο πάνω μέρος του Stock.

## 2D Adaptive Clearing

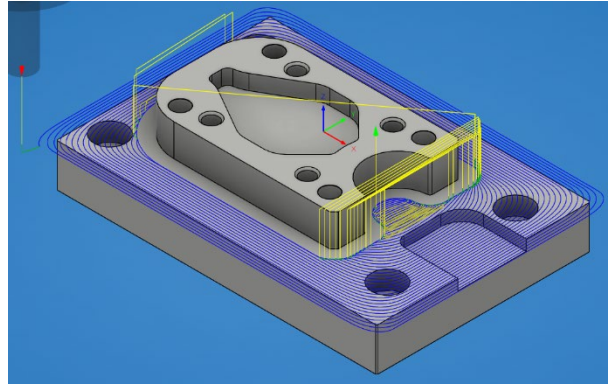


**2D Adaptive Clearing:** Milling>2D>2D Adaptive Clearing

**Περιγραφή κατεργασίας:** Είναι μια κατεργασία που ξεχονδρίζει υλικό, χρησιμοποιώντας μια σταθερή ροή στο εργαλείο αποφεύγοντας έτσι τις απότομες αλλαγές στην κατεύθυνση του. Μπορεί να καθαρίσει μια κοιλότητα ή μια εσοχή και γενικά καθαρίζει περιμετρικά το αντικείμενο από το επιπλέον υλικό.

**Καρτέλα Tool:** Για το παράδειγμα, το εργαλείο που επιλέχθηκε είναι ένα Flat end mill κονδύλι διαμέτρου 12mm και σχετικά ψηλό ώστε να μην βρίσκει η φωλιά στο αντικείμενο.

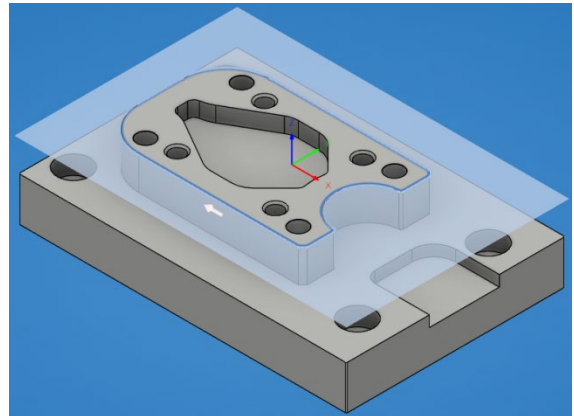
Για το παράδειγμα επιλέχθηκε η μέθοδος **Flood**.



Εικόνα 5.3.8 Παράδειγμα προσομοίωσης κατεργασίας 2D Adaptive Clearing

**Καρτέλα Geometry:** Οι επιλογές για την οριοθέτηση της κατεργασίας είναι οι παρακάτω:

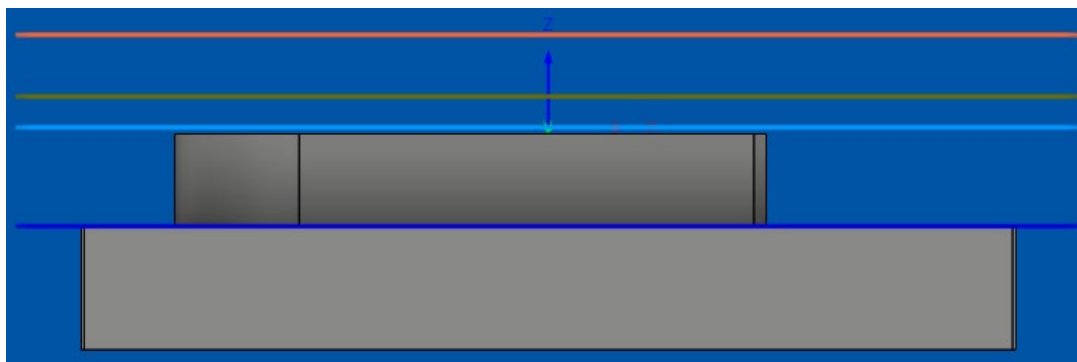
- **Pocket Selections:** επιλογή οποιουδήποτε προσώπου, άκρου ή σκίτσου για να οριστεί το όριο της κατεργασίας. Η διαδρομή του κοπτικού θα εξαρτηθεί από το επιλεγμένο όριο και την εξωτερική γεωμετρία του ακατέργαστου. Στην παρακάτω εικόνα του παραδείγματος διακρίνεται η επιλεγμένη γεωμετρία ως όριο κατεργασίας, με τη χρήση αυτής της εντολής.
- **Stock Contours:** επιλογή της περιμέτρου του ακατέργαστου ως όριο κατεργασίας.
- **Rest Machining:** περιορίζει την λειτουργία σε αφαίρεση μόνο υλικού που δεν μπόρεσαν προηγούμενα εργαλεία ή κατεργασίες να αφαιρέσουν. Για αυτό και οι πρόσθετες πληροφορίες που απαιτεί σχετίζονται με το εργαλείο που χρησιμοποιήθηκε προηγουμένως.
- **Wrap Toolpath:** θέτει την διαδρομή του κοπτικού εργαλείου γύρω από μια εσώκλειστη κυλινδρικής επιφάνειας.
- **Tool Orientation:** υπάρχει η δυνατότητα επιλογής συστήματος συντεταγμένων, διαφορετικό απ' αυτό που επιλέχτηκε στο **Setup**.



Εικόνα 5.3.9 Παράδειγμα ορίου κατεργασίας με την βοήθεια της επιλογής Pocket Selections.

**Καρτέλα Heights:** Στο συγκεκριμένο παράδειγμα για το ύψος Clearance Height έχει επιλεχτεί ως σημείο αναφοράς το ύψος του Retract Height, και Offset=10mm. Για το ύψος Retract Height έχει οριστεί ως σημείο αναφοράς το Stock Top με Offset=5mm. Τέλος στο άνω ύψος (Top) επιλέχθηκε το Stock Top με Offset=0, ενώ το Bottom Height οριοθετήθηκε με την επιλογή Selection, και επιλέχθηκε το πρόσωπο που θέλουμε να γίνει η κατεργασία.



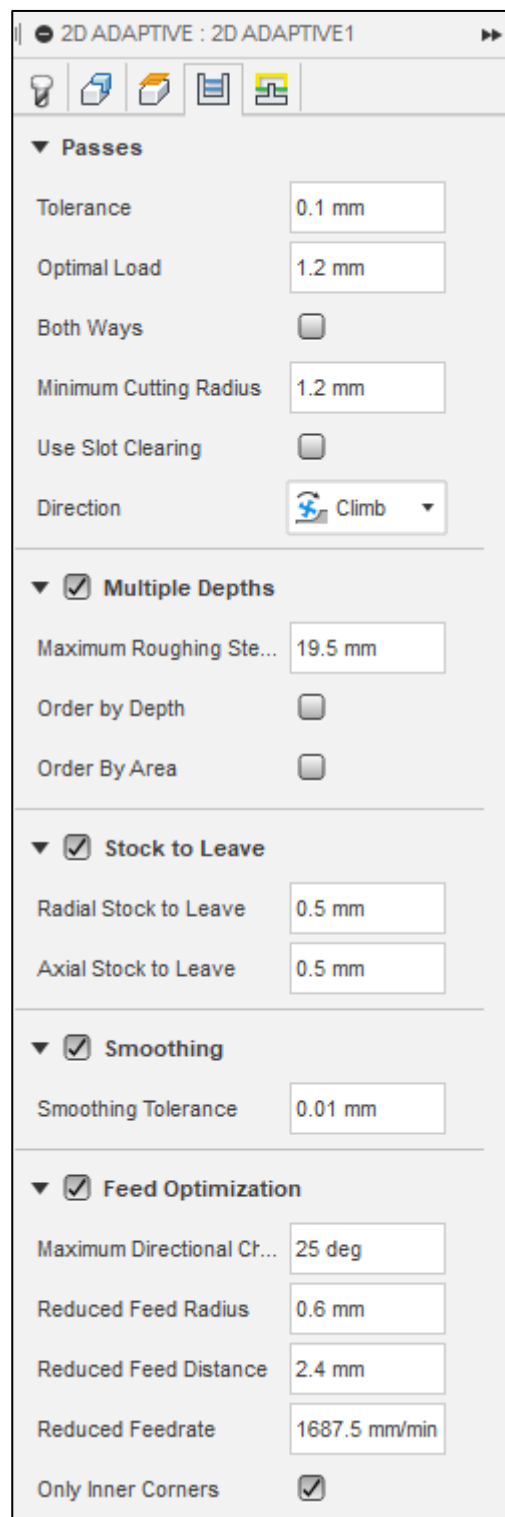


Εικόνα 5.3.10 Παράδειγμα υψών κατεργασίας 2D Adaptive Clearing.

**Καρτέλα Passes:** οι επιλογές είναι οι εξής:

- **Tolerance:** επιλογή της διαστασιακής ακρίβειας. Στο συγκεκριμένο παράδειγμα η ακρίβεια έχει οριστεί στα 0.1mm.
- **Optimal Load:** είναι το αντίστοιχο Stepper άλλων εντολών. Καθορίζει το φορτίο που θα δεχτεί το εργαλείο και θα μεταβληθεί ανάλογα η διαδρομή του.
- **Both Ways:** επιτρέπει το συνεχόμενο φρεζάρισμα και από τις δύο πλευρές, χωρίς το κοπτικό να επανατοποθετείται κάθε φορά και κάνει κατεργασία και με την μέθοδο του Climb και με την μέθοδο Conventional.
- **Minimum Cutting Radius:** καθορίζει τη μικρότερη ακτίνα στη διαδρομή που θα ακολουθήσει το κοπτικό. Θα δημιουργηθεί μια καμπύλη επιλεγμένης γωνίας σε όλες τις αιχμηρές εσωτερικές γωνίες, ώστε να κατεργαστούν αργότερα ή στο φινίρισμα.
- **Use Slot Clearing:** ενεργοποιεί μια αποτελεσματικότερη διαδρομή για την εκκαθάριση σχισμών, εσοχών ή κλειστών γεωμετριών. Αρχικά δημιουργεί μια σπειροειδή διαδρομή στο κέντρο της σχισμής, του οποίου το πλάτος καθορίζεται από το Slot Clearing Width.
- **Direction:** η επιλογή επιτρέπει να οριστεί η φορά κοπής που θα πραγματοποιήσει το κοπτικό εργαλείο σύμφωνα με την φορά περιστροφής του. Με την μέθοδο Climb το εργαλείο αφαιρεί υλικό με φορά που μοιάζει με κύλιση πάνω στο υλικό, ενώ με την συμβατική μέθοδο (Conventional) το εργαλείο κινείται αντίθετα. Η πρώτη μέθοδος τείνει να αφήνει καλύτερες επιφάνειες, να έχει λιγότερες ταλαντώσεις κατά την κατεργασία, αλλά και λιγότερη φθορά στο εργαλείο. Ωστόσο, επιλέγοντας το εργαλείο να κινηθεί και με τις δύο φορές (Both Ways) μειώνεται σημαντικά ο χρόνος κατεργασίας. Εδώ επιλέχθηκε η μέθοδος **Climb**.
- **Multiple Depths:** ενεργοποίηση της λειτουργίας αφαίρεσης υλικού με πολλαπλά βάθη. Στο συγκεκριμένο παράδειγμα θα παραμείνει ανενεργή η επιλογή, διότι δεν χρειάζεται. Το ακατέργαστο μπορεί να κατεργαστεί με ένα πέρασμα.
- **Maximum Roughing Stepdown:** καθορίζει το βήμα μεταξύ των πολλαπλών βαθών, ενώ το τελικό βήμα θα είναι ότι απέμεινε από το ακατέργαστο.
- **Order by Depth:** όταν είναι ενεργοποιημένο διατάσσει τα πολλαπλά περάσματα κατά άξονα Z.
- **Order by Area:** όταν είναι ενεργοποιημένο δίνει προτεραιότητα στον καθαρισμό της κοιλότητας ή του περιγράμματος και μετά προχωράει στο επόμενο βάθος.

- **Stock to Leave:** επιτρέπει την παράκαμψη των υψών για την επεξεργασία ενός ποσού ακατέργαστου, είτε έχοντας θετικό πρόσημο και συμβάλει στην διατήρηση της ποιότητας και την περαιτέρω επεξεργασία του αντικειμένου είτε με αρνητικό πρόσημο θέτοντας σε επεξεργασία το αντικείμενο πέρα απ' το προβλεπόμενο. Στο συγκεκριμένο παράδειγμα θα παραμείνει ανενεργή η επιλογή. Ως προέκταση της εντολής, η παράμετρος **Axial Stock to Leave** ελέγχει την ποσότητα αυτή κατά τη διάρκεια των αξονικών κατεργασιών, ενώ η παράμετρος **Radial Stock to Leave** ελέγχει την ποσότητα αυτή κατά τη διάρκεια των ακτινικών κατεργασιών.
- **Smoothing:** εξομαλύνει τη διαδρομή του εργαλείου αντικαθιστώντας τα πολύ μικρά τμήματα της διαδρομής, με μεγαλύτερα τόξα. Η ακρίβεια θα παραμείνει η ίδια, ενώ ο κώδικας θα μειωθεί κατά πολύ. Η εντολή δεν θα επιλεχθεί διότι είναι καθαρά υποκειμενική η χρήση της και δεν χρειάζεται για την συγκεκριμένη περίπτωση παραδείγματος.
- **Feed Optimization:** ελέγχει την τροφοδοσία στις γωνίες μειώνοντας τον ρυθμό αφαίρεσης υλικού με σκοπό την προστασία του εργαλείου. Η εντολή στο παραπάνω παράδειγμα δεν επιλέχθηκε καθώς το εργαλείο δεν έχει περίπλοκη τροχιά. Οι παρακάτω επιλογές ανήκουν στο πλαίσιο αυτής της εντολής:
  - **Maximum Directional Change:** καθορίζει τη μέγιστη γωνιακή αλλαγή προτού μειωθεί η τροφοδοσία.
  - **Reduced Feed Radius:** καθορίζει την ελάχιστη επιτρεπτή ακτίνα προτού μειωθεί η τροφοδοσία.
  - **Reduced Feed Distance:** καθορίζει την απόσταση προτού μειωθεί η τροφοδοσία κοντά σε μία γωνία.
  - **Reduced Feedrate:** καθορίζει την μειωμένη ταχύτητα πρόωσης που θα χρησιμοποιείται στις γωνίες.
  - **Only Inner Corners:** ενεργοποιείται ώστε να μειώνεται η τροφοδοσία μόνο στις εσωτερικές γωνίες



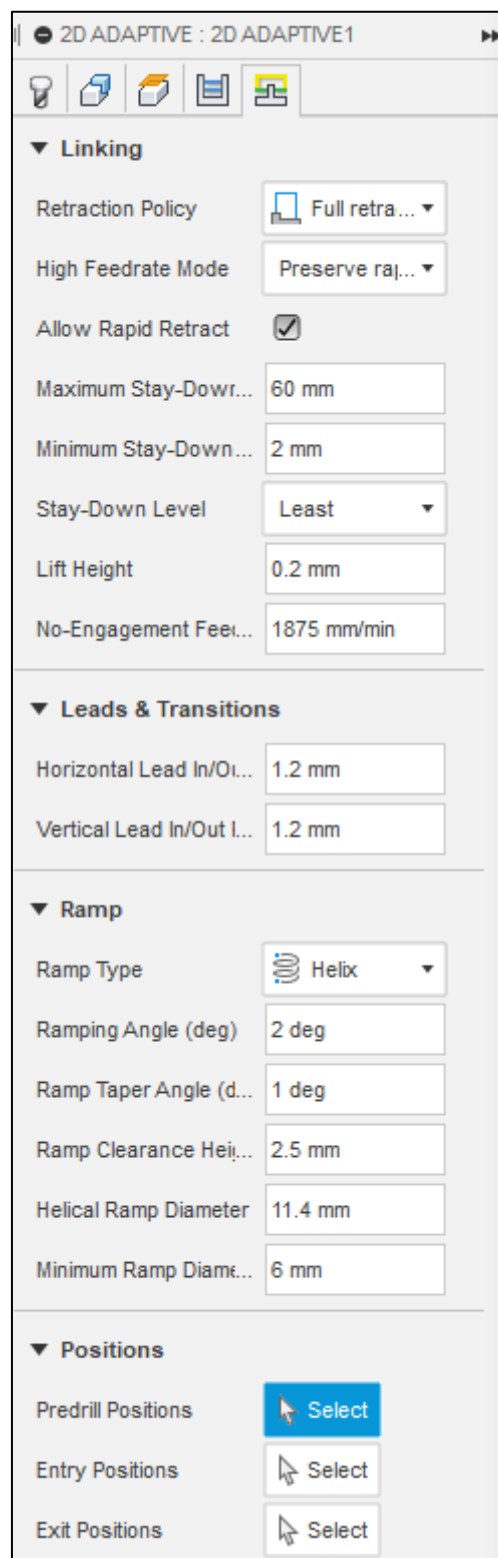
Εικόνα 5.3.11 Καρτέλα Passes εντολής 2D Adaptive Clearing



**Καρτέλα Linking:** Οι τιμές και οι επιλογές των εντολών που χρησιμοποιήθηκαν για το παράδειγμα φαίνονται στην Εικόνα 5.3.12. Οι επιλογές της καρτέλας είναι οι εξής:

- **Retraction Policy:** καθορίζει την στρατηγική που θα ακολουθηθεί στην κοπή κατά την ανάσυρση του κοπτικού εργαλείου.
- **High Feedrate Mode:** καθορίζει το πότε το κοπτικό εργαλείο θα κινείται με την μέγιστη ταχύτητα πρόωσης της εργαλειομηχανής (G0) και πότε με ταχύτητα ορισμένης πρόωσης (G1). Η εντολή αυτή συμβάλλει στον περαιτέρω έλεγχο των γρήγορων κινήσεων G0 παραμετροποιώντας τις σε G1 για την αποφυγή συγκρούσεων. Περιλαμβάνονται έξι επιλογές:
  - **Preserve rapid movement:** διατηρεί όλες τις γρήγορες κινήσεις ως G0.
  - **Preserve axial and radial rapid movement:** Οι γρήγορες κινήσεις που εκτελούνται αξονικά ή ακτινικά, διατηρούν G0.
  - **Preserve axial rapid movement:** Οι γρήγορες κινήσεις που εκτελούνται αξονικά, διατηρούν G0.
  - **Preserve radial rapid movement:** Οι γρήγορες κινήσεις που εκτελούνται ακτινικά, διατηρούν G0.
  - **Preserve single axis rapid movement:** Οι γρήγορες κινήσεις που εκτελούνται σε έναν άξονα (X, Y ή Z), διατηρούν G0.
  - **Always use high feed:** όλες οι γρήγορες κινήσεις αποκτούν ταχύτητα ορισμένης πρόωσης G01.

Στο παράδειγμα έχει επιλεγθεί η επιλογή **Preserve rapid movement** καθώς δεν χρειάζεται περαιτέρω προσοχή για την συγκεκριμένη κατεργασία.

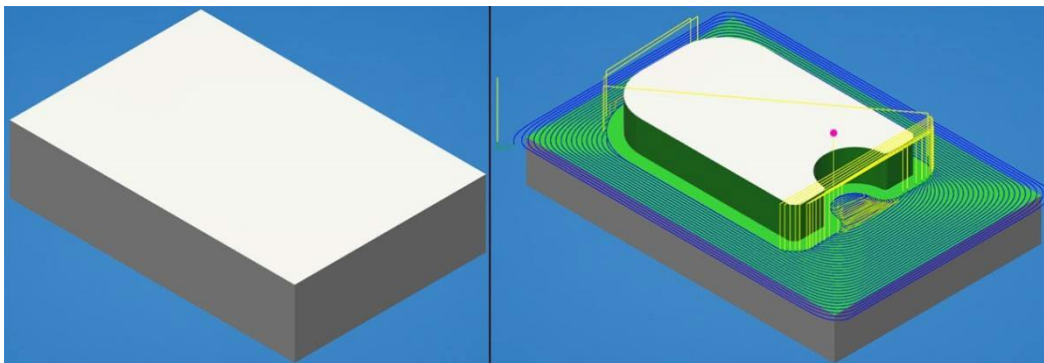


Εικόνα 5.3.12 Καρτέλα Linking εντολής 2D Adaptive Clearing

- **Allow Rapid Retract:** επιτρέπει την γρήγορη ανάσυρση του εργαλείου με ταχύτητα G0.
- **Maximum Stay-Down Distance:** καθορίζει την μέγιστη απόσταση ανάκλησης.
- **Minimum Stay-Down Distance:** καθορίζει την ελάχιστη απόσταση ανάκλησης.

- **Stay-Down Level:** η συγκεκριμένη εντολή ελέγχει την παραμονή του εργαλείου κοντά στο αντικείμενο απ' το να ανασύρεται. Ιδιαίτερα χρήσιμη εντολή αν η μηχανή CNC κάνει αργές ανασύψεις, και παίρνει τιμές από Least (κοπή με ανασύψεις) μέχρι Most (καθόλου ανασύψεις).
- **Lift Height:** καθορίζει το ύψος της ανασύψης κατά την κίνηση της επανατοποθέτησης.
- **No-Engagement Feedrate:** καθορίζει την ταχύτητα πρόωσης όταν το εργαλείο δεν είναι σε επαφή με το υλικό ούτε ανασύρεται.
- **Horizontal Lead In/Out Radius:** οριζόντια ακτίνα εισόδου/εξόδου του κοπτικού.
- **Vertical Lead In/Out Radius:** κάθετη ακτίνα εισόδου/εξόδου του κοπτικού.
- **Ramp Type:** καθορίζει τον τρόπο με τον οποίο κινείται το κοπτικό εργαλείο σε κατάσταση κοπής κατά άξονα Z.
- **Ramping Angle:** καθορίζει την γωνία που θα έχει το βήμα κατά άξονα Z.
- **Ramp Taper Angle:** δημιουργεί μια κωνική και ελικοειδή διαδρομή προς τα κάτω. Αρκεί να εισαχθεί η κλίση της κωνικής διαδρομής.
- **Ramp Clearance Height:** το ύψος από το οποίο θα ξεκινήσει η ελικοειδής κίνηση του κοπτικού.
- **Helical Ramp Diameter:** η μέγιστη διάμετρος της ελικοειδούς διαδρομής που θα ακολουθήσει το κοπτικό.
- **Minimum Ramp Diameter:** η μικρότερη αποδεκτή διάμετρος της ελικοειδούς διαδρομής.
- **Predrill Positions:** επιλογή σημείου όπου έχει γίνει διάνοιξη οπής με σκοπό την είσοδο του κοπτικού στο ακατέργαστο.
- **Entry Positions:** επιλογή γεωμετρίας απ' όπου μπορεί το κοπτικό εργαλείο να εισχωρήσει στο ακατέργαστο.
- **Exit Positions:** επιλογή σημείου για την επίδειξη της εξόδου του κοπτικού με σκοπό την ασφαλέστερη διαδρομή.

**Ανάλυση κατεργασίας:** Παρατηρούμε από την εικόνα 5.3.13 ότι στην προσομοίωση της κατεργασίας φαίνεται η τροχιά του κοπτικού. Στην εσοχή έχει μικρό ύψος ανασύψης, ενώ σε περιοχές κοντά στο περίγραμμα του αντικειμένου, η ανασύψη αποκτά το κανονικό της ύψος. Επίσης φαίνεται η ομαλότητα με την οποία εισάγεται και εξάγεται το κοπτικό εργαλείο στο ακατέργαστο από την καμπύλη στην αρχή και στο τέλος της διαδρομής.



Εικόνα 5.3.13 Αριστερά φαίνεται το ακατέργαστο αντικείμενο πριν την κατεργασία, ενώ δεξιά μετά την κατεργασία.



### 2D Pocket: Milling>2D>2D Pocket

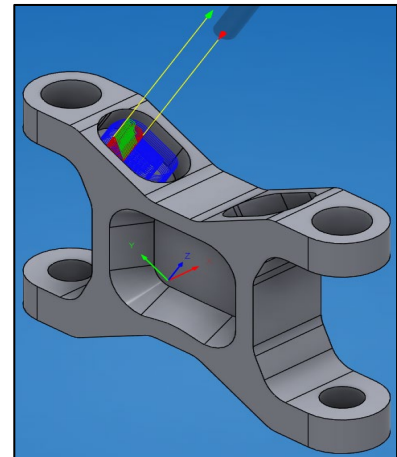
**Περιγραφή κατεργασίας:** Κατεργασία ξεχονδρίσματος εσοχών και κοιλοτήτων, και δημιουργία μιας διαδρομής για το κοπτικό εργαλείο παράλληλη με την γεωμετρία του αντικειμένου.

**Καρτέλα Tool:** Για το παράδειγμα το εργαλείο που επιλέχθηκε είναι ένα Flat end Mill κονδύλι διαμέτρου 8mm.

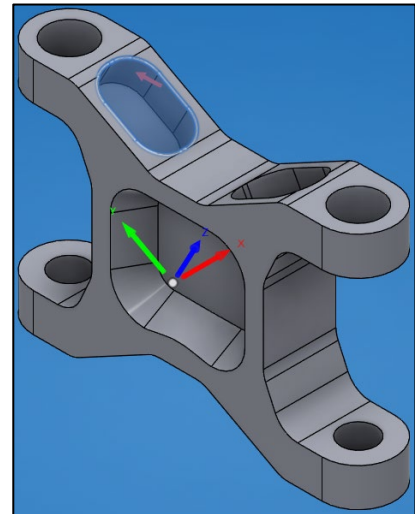
Για το παράδειγμα επιλέχθηκε η μέθοδος **Flood**.

**Καρτέλα Geometry:** Οι επιλογές για την οριοθέτηση της κατεργασίας είναι οι παρακάτω:

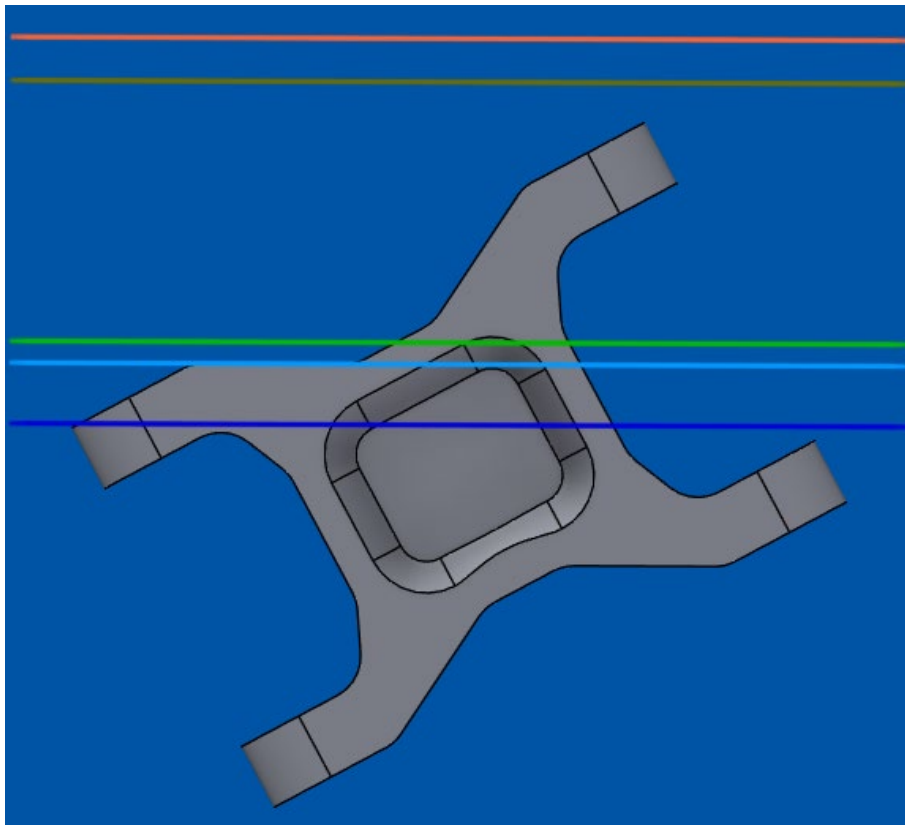
- **Pocket Selections:** επιλογή οποιουδήποτε προσώπου, άκρου ή σκίτσου για να οριστεί το όριο της κατεργασίας. Η διαδρομή του κοπτικού θα εξαρτηθεί από το επιλεγμένο όριο και την εξωτερική γεωμετρία του ακατέργαστου. Στην παρακάτω εικόνα του παραδείγματος διακρίνεται η επιλεγμένη γεωμετρία ως όριο κατεργασίας, με χρήση αυτής της εντολής.
- **Stock Contours:** επιλογή της περιμέτρου του ακατέργαστου ως όριο κατεργασίας.
- **Rest Machining:** περιορίζει την λειτουργία σε αφαίρεση μόνο υλικού που δεν μπόρεσαν προηγούμενα εργαλεία ή κατεργασίες, να αφαιρέσουν. Για αυτό και οι πρόσθετες πληροφορίες που απαιτεί αφορούν το εργαλείο που χρησιμοποιήθηκε προηγουμένως.
- **Wrap Toolpath:** θέτει την διαδρομή του κοπτικού εργαλείου περίξ μιας εσώκλειστης κυλινδρικής επιφάνειας.
- **Tool Orientation:** υπάρχει η δυνατότητα επιλογής συστήματος συντεταγμένων, διαφορετικό απ' αυτό που επιλέχθηκε στο **Setup**. Στο συγκεκριμένο παράδειγμα έγινε αναπροσανατολισμός των συντεταγμένων, καθώς η γεωμετρία της κοιλότητας έχει διαφορετικό προσανατολισμό από αυτόν των συντεταγμένων του **Setup**.



Εικόνα 5.3.14 Παράδειγμα προσομοίωσης κατεργασίας 2D Pocket.



Εικόνα 5.3.15 Παράδειγμα ορίου κατεργασίας με την βοήθεια της επιλογής Pocket Selections.



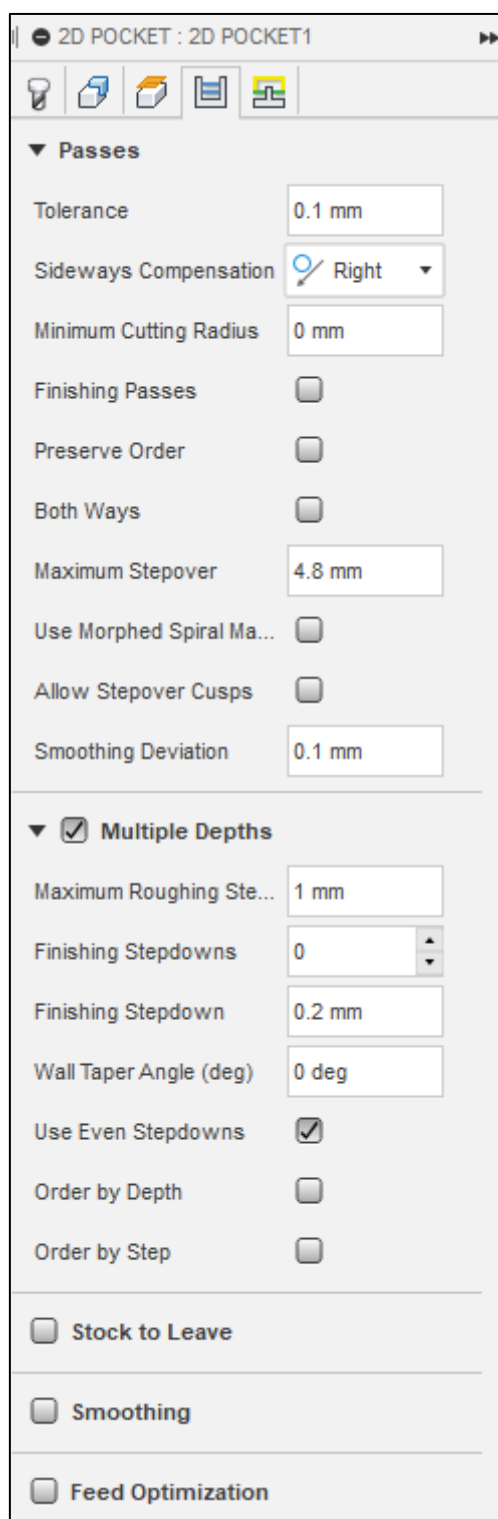
Εικόνα 5.3.16 Παράδειγμα υψών κατεργασίας 2D Pocket

**Καρτέλα Heights:** Στο συγκεκριμένο παράδειγμα για το ύψος Clearance Height έχει επιλεγθεί ως σημείο αναφοράς το ύψος του Retract Height, και Offset=10mm. Για το ύψος Retract Height έχει οριστεί ως σημείο αναφοράς το Stock Top με Offset=5mm, ενώ για το Feed Height ορίστηκε ως σημείο αναφοράς το Top Height με Offset=5mm. Τέλος το άνω ύψος (Top) οριοθετήθηκε με την επιλογή Selection, διαλέγοντας το πρόσωπο του αντικειμένου περιμετρικά της κοιλότητας, και με Offset=0, ενώ το Bottom Height οριοθετήθηκε με την επιλογή Selection, και επιλέχθηκε το πρόσωπο που δημιουργείται στο κάτω μέρος της κατεργασίας, και με Offset=0.

**Καρτέλα Passes:** οι επιλογές είναι οι εξής:

- **Tolerance:** επιλογή της διαστασιακής ακρίβειας. Στο συγκεκριμένο παράδειγμα η ακρίβεια έχει οριστεί στα 0.1mm.
- πρακτικά είναι η ίδια εντολή με το Direction, με την διαφορά ότι το κοπτικό εργαλείο εδώ έχει συνεχόμενη διαδρομή. Επιλογή της κατεύθυνσης της αντιστάθμισης του κοπτικού εργαλείου σύμφωνα με την φορά περιστροφής του. Εδώ επιλέχθηκε η μέθοδος **Right**.
- **Minimum Cutting Radius:** καθορίζει τη μικρότερη ακτίνα στη διαδρομή που θα ακολουθήσει το κοπτικό. Θα δημιουργηθεί μια καμπύλη επιλεγμένης γωνίας σε όλες τις αιχμηρές εσωτερικές γωνίες, ώστε να κατεργαστούν αργότερα ή στο φινίρισμα.
- **Finishing Passes:** ενεργοποιεί την εκτέλεση περασμάτων φινιρίσματος. Με το πάτημα της επιλογής εμφανίζονται επιπλέον επιλογές για την διευκρίνιση του φινιρίσματος (π.χ. Number of Finishing Passes: ο αριθμός των περασμάτων φινιρίσματος, ή Finish Feedrate: η ταχύτητα πρόωσης κατά το φινίρισμα).

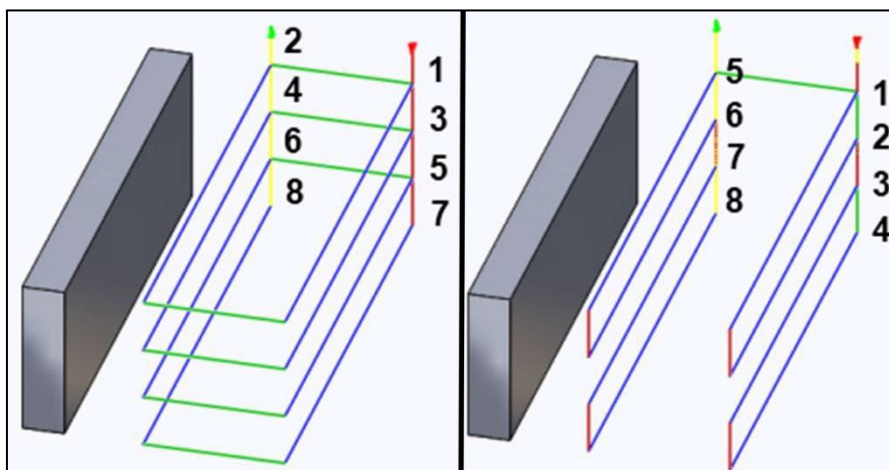
- **Preserve Order:** διευκρινίζει την σειρά που θα κατεργαστούν οι επιλεγμένες γεωμετρίες. Όταν δεν είναι επιλεγμένη τότε το Fusion βελτιστοποιεί την σειρά κοπής.
- **Both Ways:** επιτρέπει το συνεχόμενο φρεζάρισμα και από τις δύο πλευρές, χωρίς το κοπτικό να επανατοποθετείται κάθε φορά, και κάνει κατεργασία και με την μέθοδο του Climb και με την μέθοδο Conventional.
- **Maximum Stepover:** διευκρινίζει το μέγιστο οριζόντιο βήμα μεταξύ των πασών.
- **Use Morphed Spiral Machining:** επιτρέπει την δημιουργία ειδικής μορφοποιημένης σπειροειδούς διαδρομής για το κοπτικό, ειδικά διαμορφωμένης για την κοιλότητα.
- **Allow Stepover Cusps:** Όταν κατεργάζονται επίπεδες επιφάνειες με εργαλείο που έχει γωνιακή απόληξη, μπορεί να δημιουργηθούν ακμές μεταξύ των περασμάτων. Από προεπιλογή το πρόγραμμα αποτρέπει την δημιουργία τέτοιων ακμών. Η εντολή επιτρέπει τη δημιουργία τους.
- **Smothing Deviation:** εξομαλύνει την διαδρομή του κοπτικού κοντά σε αιχμηρές γωνίες.
- **Multiple Depths:** ενεργοποιεί τη λειτουργία αφαίρεσης υλικού με πολλαπλά βάθη. Στο συγκεκριμένο παράδειγμα η επιλογή πραγματοποιήθηκε, καθώς η γεωμετρία της κοιλότητας απαιτεί την χρήση πολλαπλών βαθών. Το ακατέργαστο δεν μπορεί να κατεργαστεί με ένα πέρασμα.
- **Maximum Roughing Stepdown:** καθορίζει το βήμα μεταξύ των πολλαπλών βαθών, ενώ το τελικό βήμα θα είναι ό, τι απέμεινε από το ακατέργαστο.
- **Finishing Stepdowns:** αριθμός των περασμάτων φινιρίσματος. Δεν επιλέχθηκε κάποιο βήμα για φινιρίσμα.
- **Finishing Stepdown:** το βήμα που θα κάνει το εργαλείο προς τα κάτω κατά το πέρασμα του φινιρίσματος.
- **Wall Taper Angle:** καθορίζει μια κλίση που μπορεί να χρησιμοποιηθεί για την κατεργασία κοιλοτήτων που έχουν τοιχώματα υπό κλίση. Ιδιαίτερα χρήσιμη εντολή καθώς υπό άλλες συνθήκες θα χρειαζόταν επιλογή μιας 3D κατεργασίας.



Εικόνα 5.3.17 Καρτέλα Passes εντολής 2D Pocket.



- **Use Even Stepdowns:** η επιλογή ουσιαστικά διαιρεί σε ίσα μήκη τα περάσματα. Για παράδειγμα, έχουμε ένα ακατέργαστο αντικείμενο και το εργαλείο πρέπει να κόψει 23 χιλιοστά πρόσωπο με maximum stepdown 10mm. Με την επιλογή κλικαρισμένη θα υπολογιστούν τρία περάσματα με πάχος -7.666mm. Η επιλογή έγινε για την διαίρεση των περασμάτων ώστε να μοιραστεί το φορτίο κατεργασίας ανά πέρασμα.
- **Order by Depth:** όταν είναι ενεργοποιημένη διατάσσει τα πολλαπλά περάσματα κατά άξονα Z.



Εικόνα 5.3.18 Παράδειγμα εντολής Order by Step. Στην δεξιά εικόνα η εντολή είναι επιλεγμένη, ενώ στην αριστερή απενεργοποιημένη.

- **Order by Step:** όταν είναι ενεργοποιημένη η επιλογή, η επισκόπηση των βημάτων γίνεται με προτεραιότητα βάθους. Η εικόνα 5.3.18 θα βοηθήσει στην καλύτερη κατανόηση της εντολής.
- **Stock to Leave:** επιτρέπει την παράκαμψη των υψών για την επεξεργασία ενός ποσού ακατέργαστου, είτε έχοντας θετικό πρόσημο και συμβάλλει στην διατήρηση της ποιότητας και την περαιτέρω επεξεργασία του αντικείμενου είτε με αρνητικό πρόσημο θέτοντας σε επεξεργασία το αντικείμενο πέρα απ' το προβλεπόμενο. Στο συγκεκριμένο παράδειγμα θα παραμείνει ανενεργή η επιλογή. Ως προέκταση της εντολής, η παράμετρος **Axial Stock to Leave** ελέγχει την ποσότητα αυτή κατά τη διάρκεια των αξονικών κατεργασιών, ενώ η παράμετρος **Radial Stock to Leave** ελέγχει την ποσότητα αυτή κατά τη διάρκεια των ακτινικών κατεργασιών.
- **Smoothing:** εξομαλύνει τη διαδρομή του εργαλείου αντικαθιστώντας τα πολύ μικρά τμήματα της διαδρομής, με μεγαλύτερα τόξα. Η ακρίβεια θα παραμείνει η ίδια, ενώ ο κώδικας θα μειωθεί κατά πολύ. Η εντολή δεν θα επιλεγθεί διότι είναι καθαρά υποκειμενική η χρήση του και δεν χρειάζεται για την συγκεκριμένη περίπτωση παραδείγματος.
- **Feed Optimization:** ελέγχει την τροφοδοσία στις γωνίες μειώνοντας τον ρυθμό αφαίρεσης υλικού με σκοπό την προστασία του εργαλείου. Η εντολή στο παραπάνω παράδειγμα δεν επιλέχθηκε καθώς το εργαλείο δεν έχει περίπλοκη τροχιά. Οι παρακάτω επιλογές ανήκουν στο πλαίσιο αυτής της εντολής:
  - **Maximum Directional Change:** καθορίζει τη μέγιστη γωνιακή αλλαγή προτού μειωθεί η τροφοδοσία.
  - **Reduced Feed Radius:** καθορίζει την ελάχιστη επιτρεπτή ακτίνα προτού μειωθεί η τροφοδοσία.
  - **Reduced Feed Distance:** καθορίζει την απόσταση προτού μειωθεί η τροφοδοσία κοντά σε μία γωνία.

- **Reduced Feedrate:** καθορίζει την μειωμένη ταχύτητα πρόωσης που θα χρησιμοποιείται στις γωνίες.
- **Only Inner Corners:** ενεργοποιείται ώστε να μειώνεται η τροφοδοσία μόνο στις εσωτερικές γωνίες

**Καρτέλα Linking:** Οι τιμές και οι επιλογές των εντολών που χρησιμοποιήθηκαν για το παράδειγμα, φαίνονται στην Εικόνα 5.3.19. Οι επιλογές της καρτέλας είναι οι εξής:

- **High Feedrate Mode:** καθορίζει το πότε το κοπτικό εργαλείο θα κινείται με την μέγιστη ταχύτητα πρόωσης της εργαλειομηχανής (G0) και πότε με ταχύτητα ορισμένης πρόωσης (G1). Η εντολή αυτή συμβάλλει στον περαιτέρω έλεγχο των γρήγορων κινήσεων G0 παραμετροποιώντας τις σε G1 για την αποφυγή συγκρούσεων. Περιλαμβάνονται έξι επιλογές:
  - **Preserve rapid movement:** διατηρεί όλες τις γρήγορες κινήσεις ως G0.
  - **Preserve axial and radial rapid movement:** Οι γρήγορες κινήσεις που εκτελούνται αξονικά ή ακτινικά, διατηρούν G0.
  - **Preserve axial rapid movement:** Οι γρήγορες κινήσεις που εκτελούνται αξονικά, διατηρούν G0.
  - **Preserve radial rapid movement:** Οι γρήγορες κινήσεις που εκτελούνται ακτινικά, διατηρούν G0.
  - **Preserve single axis rapid movement:** Οι γρήγορες κινήσεις που εκτελούνται σε έναν άξονα (X, Y ή Z), διατηρούν G0.
  - **Always use high feed:** όλες οι γρήγορες κινήσεις αποκτούν ταχύτητα ορισμένης πρόωσης G01.

Στο παράδειγμα έχει επιλεχθεί η επιλογή **Preserve rapid movement** καθώς δεν χρειάζεται περαιτέρω προσοχή για την συγκεκριμένη κατεργασία.

- **Allow Rapid Retract:** επιτρέπει την γρήγορη ανάσυρση του εργαλείου με ταχύτητα G0.
- **Safe Distance:** η ελάχιστη απόσταση μεταξύ του εργαλείου και των επιφανειών του προς κατεργασία εξαρτήματος κατά την ανάσυρση.
- **Keep Tool Down:** η εντολή κρατάει το εργαλείο χαμηλά στην περιοχή της κοπής, αποφεύγοντας έτσι την πλήρη ανάκλιση και δημιουργώντας μια ελάχιστη ανάσυρση του εργαλείου μικρότερου ύψους.
- **Maximum Stay-Down Distance:** καθορίζει την μέγιστη απόσταση ανάκλισης.
- **Lift Height:** καθορίζει το ύψος της ανάσυρσης κατά την κίνηση της επανατοποθέτησης.
- **Lead-In (Entry):** ομαλοποιεί την είσοδο του κοπτικού εργαλείου στο ακατέργαστο. Στο συγκεκριμένο παράδειγμα επιλέχθηκε η εντολή, για καλύτερη είσοδο του εργαλείου.
- **Horizontal Lead-In Distance:** οριζόντιο τόξο εισόδου του κοπτικού.
- **Lead-In Sweep Angle:** καθορίζει την γωνία εισόδου του κοπτικού εργαλείου.
- **Linear Lead-In Distance:** καθορίζει το μήκος της γραμμικής κίνησης που θα εκτελέσει το εργαλείο πριν ξεκινήσει την κοπή.



- **Perpendicular:** αντικαθιστά την διαδρομή με τόξα με μια κίνηση κάθετα στα τόξα. Ιδιαίτερα χρήσιμη κατεργασία οπών.
- **Vertical Lead-In Radius:** ακτίνα εισαγωγής του κοπτικού. Στο συγκεκριμένο παράδειγμα τέθηκε στα 0.8mm.
- **Lead-Out (Exit):** ομαλοποιεί την έξοδο του κοπτικού εργαλείου από το ακατέργαστο.
- **Same as Lead-In:** καθορίζει ότι ο τρόπος εισαγωγής του κοπτικού από το ακατέργαστο θα είναι ίδιος με τον τρόπο εισαγωγής. Αν η επιλογή δεν είναι επιλεγμένη, τότε εμφανίζεται μια παραπάνω επιλογή **Vertical Lead-Out Radius**, όπου καθορίζει την ακτίνα εξόδου του κοπτικού.
- **Ramp Type:** καθορίζει τον τρόπο με τον οποίο κινείται το κοπτικό εργαλείο σε κατάσταση κοπής κατά άξονα Z.
- **Ramping Angle:** καθορίζει την γωνία που θα έχει το βήμα κατά άξονα Z.
- **Maximum Ramp Stepdown:** καθορίζει το μέγιστο βήμα προς τα κάτω ανά περιστροφή της ελικοειδούς διαδρομής.
- **Ramp Clearance Height:** το ύψος από το οποίο θα ξεκινήσει η ελικοειδής κίνηση του κοπτικού.
- **Ramp Radial Clearance:** καθορίζει την ελάχιστη απόσταση από το περίγραμμα της κοιλότητας μέχρι την ελικοειδή διαδρομή εισόδου του κοπτικού.
- **Helical Ramp Diameter:** η μέγιστη διάμετρος της ελικοειδούς διαδρομής που θα ακολουθήσει το κοπτικό.
- **Minimum Ramp Diameter:** η μικρότερη αποδεκτή διάμετρος της ελικοειδούς διαδρομής.
- **Predrill Positions:** επιλογή σημείου όπου έχει γίνει διάνοιξη οπής με σκοπό την είσοδο του κοπτικού στο ακατέργαστο.
- **Entry Positions:** επιλογή γεωμετρίας απ' όπου μπορεί το κοπτικό εργαλείο να εισχωρήσει στο ακατέργαστο.

2D POCKET : 2D POCKET1

▼ Linking

High Feedrate Mode: Preserve raj... ▼

Allow Rapid Retract: ☒

Safe Distance: 2 mm

Keep Tool Down: ☒

Maximum Stay-Dowr...: 50 mm

Lift Height: 0 mm

▼ Leads & Transitions

Lead-In (Entry): ☒

Horizontal Lead-In Ri...: 0.8 mm

Lead-In Sweep Angle: 90 deg

Linear Lead-In Distar...: 0.8 mm

Perpendicular: ☐

Vertical Lead-In Radi...: 0.8 mm

Lead-Out (Exit): ☒

Same as Lead-In: ☒

▼ Ramp

Ramp Type: Helix ▼

Ramping Angle (deg): 2 deg

Maximum Ramp Step...: 1 mm

Ramp Clearance Hei...: 2.5 mm

Ramp Radial Clearan...: 0 mm

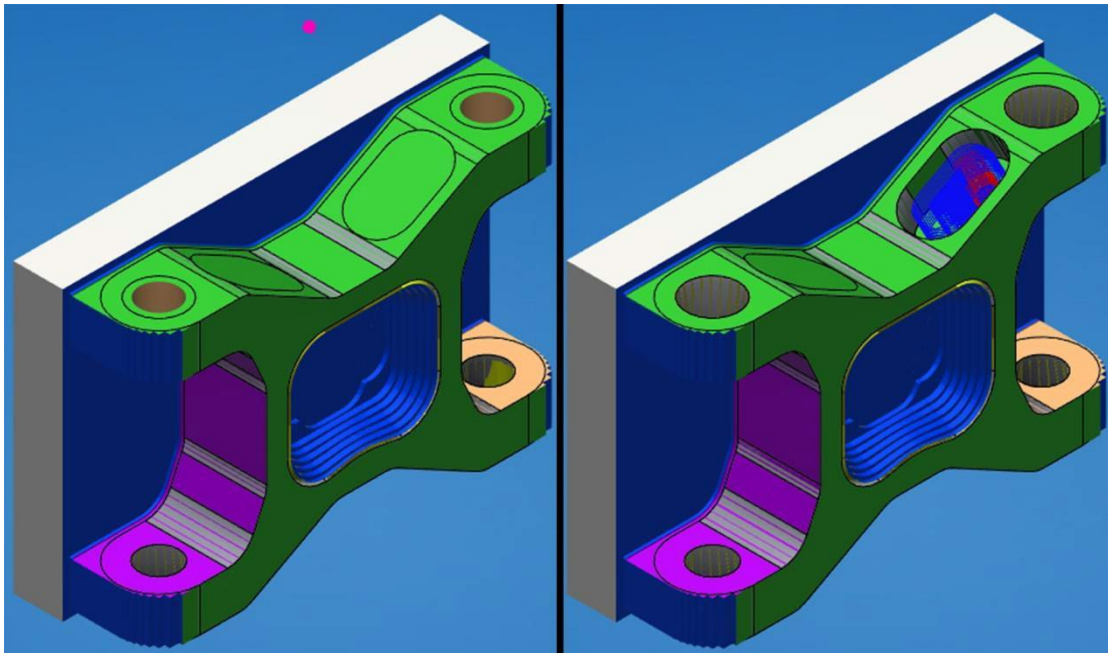
Helical Ramp Diameter: 7.6 mm

Minimum Ramp Diam...: 4 mm

► Positions

Εικόνα 5.3.19 Καρτέλα Linking εντολής 2D Pocket.

- **Exit Positions:** επιλογή σημείου για την επίδειξη της εξόδου του κοπτικού με σκοπό την ασφαλέστερη διαδρομή.



Εικόνα 5.3.20 Αριστερά φαίνεται το αντικείμενο πριν την κατεργασία 2D Pocket, ενώ δεξιά μετά την κατεργασία.

**Ανάλυση κατεργασίας:** Παρατηρούμε από την εικόνα 5.3.20 ότι στην προσομοίωση της κατεργασίας φαίνεται η τροχιά του κοπτικού, η τροχιά εισόδου με κόκκινο χρώμα, καθώς επίσης και τα πολλαπλά βάθη της κατεργασίας.

## 2D Contour



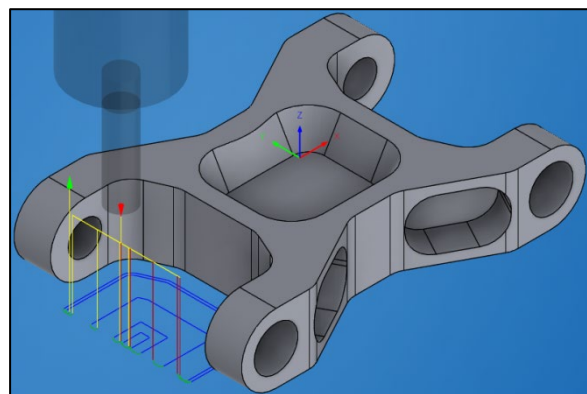
**2D Contour:** Milling>2D>2D Contour

### Περιγραφή κατεργασίας:

Περιμετρική κατεργασία του αντικείμενου. Η περιοχή κατεργασίας μπορεί να επιλεγεί από άκρες, σκίτσα ή συμπαγείς όψεις. Τυπικά είναι μια κατεργασία φινιρίσματος, αλλά μπορεί να χρησιμοποιηθεί και σε άλλες λειτουργίες.

**Καρτέλα Tool:** Για το παράδειγμα το εργαλείο που επιλέχθηκε είναι ένα Flat end Mill κονδύλι διαμέτρου 12mm και σχετικά ψηλό ώστε να μην βρίσκει η φωλιά στο αντικείμενο.

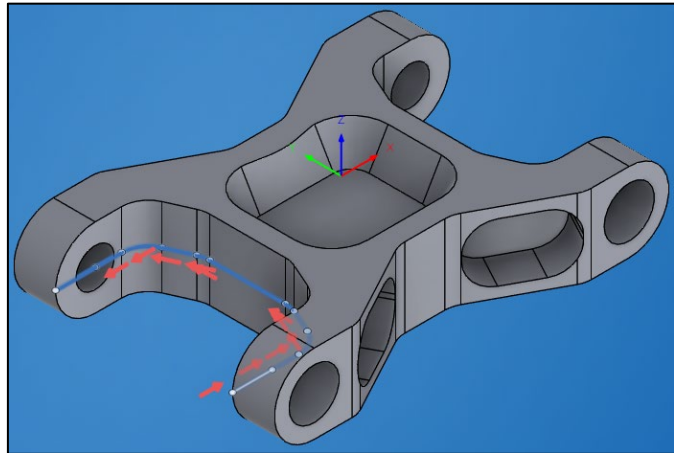
Για το παράδειγμα επιλέχθηκε η μέθοδος **Flood**.



Εικόνα 5.3.21 Παράδειγμα προσομοίωσης κατεργασίας 2D Contour

**Καρτέλα Geometry:** Οι επιλογές για την οριοθέτηση της κατεργασίας είναι οι παρακάτω:

- **Contour Selection:** επιλογή μιας περιμέτρου ως όριο κατεργασίας. Στο συγκεκριμένο παράδειγμα επιλέχθηκε μια ανοιχτή περίμετρος ως όριο, και υπολογίστηκε από το πρόγραμμα ο χώρος κατεργασίας μεταξύ της περιμέτρου και των ορίων του ακατέργαστου. Δείτε το παράδειγμα της εικόνας 5.3.22.
- **Stock Contours:** επιλογή της περιμέτρου του ακατέργαστου ως όριο κατεργασίας.
- **Tabs:** επιτρέπει την κατεργασία του περιγράμματος του τεμαχίου με την βοήθεια νεύρων. Ιδιαίτερα χρήσιμη εντολή για την κατεργασία λεπτών αντικειμένων.
- **Rest Machining:** περιορίζει την λειτουργία σε αφαίρεση μόνο υλικού που δεν μπόρεσαν να αφαιρέσουν προηγούμενα εργαλεία ή κατεργασίες. Για αυτό και οι πρόσθετες πληροφορίες που απαιτεί είναι σχετικές με το εργαλείο που χρησιμοποιήθηκε προηγουμένως.
- **Wrap Toolpath:** θέτει την διαδρομή του κοπτικού εργαλείου πέριξ μιας εσώκλειστης κυλινδρικής επιφάνειας.
- **Tool Orientation:** υπάρχει η δυνατότητα επιλογής συστήματος συντεταγμένων, διαφορετικό απ' αυτό που επιλέχτηκε στο **Setup**.



Εικόνα 5.3.22 Παράδειγμα ορίου κατεργασίας με την βοήθεια της επιλογής Contour Selections.



Εικόνα 5.3.23 Παράδειγμα υψών κατεργασίας 2D Contour.

**Καρτέλα Heights:** Στο συγκεκριμένο παράδειγμα για το ύψος Clearance Height έχει επιλεγθεί ως σημείο αναφοράς το ύψος του Retract Height, και Offset=10mm. Για το ύψος Retract Height έχει οριστεί ως σημείο αναφοράς το Stock Top με Offset=5mm, ενώ στο Feed Height ορίστηκε ως σημείο αναφοράς το Top Height με Offset=5mm. Τέλος για το άνω ύψος (Top) επιλέχθηκε το πάνω μέρος του Stock (Stock top) και Offset=0, ενώ το Bottom Height οριοθετήθηκε με την επιλογή Model bottom, και Offset=-1mm.

**Καρτέλα Passes:** οι επιλογές είναι οι εξής:

- **Tolerance:** επιλογή της διαστασιακής ακρίβειας. Στο συγκεκριμένο παράδειγμα η ακρίβεια έχει οριστεί στα 0.1mm.
- **Sideways Compensation:** πρακτικά είναι η ίδια εντολή με το Direction, με την διαφορά ότι το κοπτικό εργαλείο εδώ έχει συνεχόμενη διαδρομή. Επιλογή της κατεύθυνσης της αντιστάθμισης του κοπτικού εργαλείου σύμφωνα με την φορά περιστροφής του. Εδώ επιλέχθηκε η μέθοδος **Right**.
- **Compensation Type:** καθορίζει τον τύπο αντιστάθμισης.
  - **In Computer:** υπολογίζεται από το Fusion 360 με βάση τις παραμέτρους του εργαλείου.
  - **In Control:** μπορεί να οριστεί από την εργαλειομηχανή.
  - **Wear:** ορίζεται από το Fusion, αλλά υπάρχει δυνατότητα προσαρμογής και από την εργαλειομηχανή.
  - **Inverse Wear:** όπως και στην Wear, ορίζεται και από το Fusion και από την εργαλειομηχανή, με την διαφορά ότι η φθορά έχει θετική τιμή.
  - **Off:** απενεργοποίηση του υπολογισμού της αντιστάθμισης.
- **Minimum Cutting Radius:** καθορίζει τη μικρότερη ακτίνα στη διαδρομή που θα ακολουθήσει το κοπτικό. Θα δημιουργηθεί μια καμπύλη επιλεγμένης γωνίας σε όλες τις αιχμηρές εσωτερικές γωνίες, ώστε να κατεργαστούν αργότερα ή στο φινιρίσμα.
- **Finishing Smoothing Deviation:** εξομαλύνει την διαδρομή του τελευταίου περάσματος κοντά σε αιχμηρές γωνίες.
- **Multiple Finishing Passes:** ενεργοποιεί την εκτέλεση πολλαπλών περασμάτων φινιρίσματος. Με το πάτημα της επιλογής εμφανίζεται επιπλέον επιλογή για την διευκρίνιση του αριθμού περασμάτων φινιρίσματος.
- **Number of Finishing Passes:** ο αριθμός των περασμάτων φινιρίσματος.
- **Stepover:** επιλογή της απόστασης μεταξύ των περασμάτων που θα κάνει το κοπτικό εργαλείο. Ουσιαστικά ορίζει την πυκνότητα των περασμάτων πάνω από το

Εικόνα 5.3.24 Καρτέλα Passes εντολής 2D Contour.

ακατέργαστο. Στο παράδειγμα έχει οριστεί έτσι ώστε τα περάσματα να απέχουν μεταξύ τους 1.2mm.

- **Leads on all Finishing Passes:** ομαλοποιεί την είσοδο και την έξοδο του κοπτικού εργαλείου σε κάθε πέρασμα.
- **Finish Feedrate:** η ταχύτητα πρόωσης που χρησιμοποιείται για το φινίρισμα.
- **Repeat Finishing Pass:** επανάληψη του τελευταίου περάσματος ώστε να αφαιρέσει οτιδήποτε υλικό δεν πήρε κατά το πρώτο πέρασμα.
- **Finishing Overlap:** η είσοδος και η έξοδος του κοπτικού εργαλείου συνήθως ταυτίζονται σε συνθήκες μιας συνεχόμενης διαδρομής. Με την επιλογή Finishing Overlap η διαδρομή ταυτίζεται και στην διαδρομή που επικαλύπτεται αποκτά συνθήκες διπλοπεράσματος.
- **Lead End Distance:** διευκρινίζει το σημείο της διαδρομής που το κοπτικό εργαλείο αποκτά ταχύτητα πρόωσης εξόδου, προτού κάνει την έξοδο.
- **Outer Corner Mode:** επιτρέπει την επεξεργασία των εξωτερικών γωνιών με τρεις διαφορετικούς τρόπους:
  - **Roll around corner:** κρατάει συνέχεια επαφή κοντά στην γωνία.
  - **Keep sharp corner:** η τροχιά μιμείται την γωνία χάνοντας ελάχιστα την επαφή μαζί της αλλά κρατώντας την αιχμηρότητά της.
  - **Keep sharp corner with loop:** δημιουργεί στο σημείο της γωνίας μια μικρή λούπα στην τροχιά με σκοπό την διατήρηση της αιχμηρότητας.

Στο συγκεκριμένο παράδειγμα επιλέχθηκε η κατεργασία των γωνιών με Roll Around Corner.

- **Tangential Fragment Extension Distance:** επεκτείνει την αρχή και το τέλος μιας διαδρομής κρατώντας σταθερή κατεύθυνση εισόδου/εξόδου, ενώ προορίζεται για κατεργασία ανοιχτού περιγράμματος.
- **Preserve Order:** διευκρινίζει την σειρά που θα κατεργαστούν οι επιλεγμένες γεωμετρίες. Όταν δεν είναι επιλεγμένη τότε το Fusion βελτιστοποιεί την σειρά κοπής.
- **Both Ways:** επιτρέπει το συνεχόμενο φρεζάρισμα και από τις δύο πλευρές, χωρίς να επανατοποθετείται το κοπτικό κάθε φορά, και κάνει κατεργασία και με την μέθοδο του Climb και με την μέθοδο Conventional.
- **Roughing Passes:** ενεργοποιεί περάσματα εκχόνδρινσης.
- **Maximum Stepover:** διευκρινίζει το μέγιστο οριζόντιο βήμα μεταξύ των πασών.
- **Smoothing Deviation:** εξομαλύνει την διαδρομή του κοπτικού κοντά σε αιχμηρές γωνίες.
- **Number of Stepovers:** ο αριθμός των περασμάτων εκχόνδρινσης.
- **Multiple Depths:** ενεργοποιεί τη λειτουργία αφαίρεσης υλικού με πολλαπλά βάθη. Στο συγκεκριμένο παράδειγμα θα παραμείνει ανενεργή η επιλογή, διότι δεν χρειάζεται. Το ακατέργαστο μπορεί να κατεργαστεί με ένα πέρασμα.
- **Maximum Roughing Stepdown:** καθορίζει το βήμα μεταξύ των πολλαπλών βαθών, ενώ το τελικό βήμα θα είναι ό, τι απέμεινε από το ακατέργαστο.
- **Finishing Stepdowns:** αριθμός των περασμάτων φινιρίσματος. Δεν επιλέχθηκε κάποιο βήμα για φινίρισμα.
- **Finishing Stepdown:** το βήμα που θα κάνει το εργαλείο προς τα κάτω κατά το πέρασμα του φινιρίσματος.
- **Wall Taper Angle:** καθορίζει μια κλίση που μπορεί να χρησιμοποιηθεί για την κατεργασία κοιλοτήτων που έχουν τοιχώματα υπό κλίση. Ιδιαίτερα χρήσιμη εντολή καθώς υπό άλλες συνθήκες θα χρειαζόταν επιλογή μιας 3D κατεργασίας.
- **Approach Mode:** διευκρινίζει την προσέγγιση του κοπτικού σε έναν μεταβαλλόμενου πάχους τοίχο.



- **Finish Only at Final Depth:** επιτρέπει περάσματα φινιρίσματος μόνο στο τελικό βάθος στην διαδικασία ώστε να μην αφήσει σημάδια στους τοίχους.
- **Rough Final:** επιτρέπει το πέραςμα φινιρίσματος μετά από κάθε πέραςμα αποπεράτωσης όταν κάνει περάσματα σε πολλαπλά βάθη.
- **Use Even Stepdowns:** η επιλογή ουσιαστικά διαιρεί σε ίσα μήκη τα περάσματα. Για παράδειγμα, έχουμε ένα ακατέργαστο αντικείμενο και το εργαλείο πρέπει να κόψει 23 χιλιοστά πρόσωπο με maximum stepdown 10mm. Με την επιλογή κλικαρισμένη θα υπολογιστούν τρία περάσματα με πάχος -7.666mm. Η επιλογή δεν επιλέχθηκε για την διαίρεση των περασμάτων, καθώς δεν χρειάζεται.
- **Order by Depth:** όταν είναι ενεργοποιημένη διατάσσει τα πολλαπλά περάσματα κατά άξονα Z.
- **Order by Islands:** καθορίζει με ποια σειρά θα γίνουν οι περικοπές βάθους όταν υπάρχουν πολλαπλά προφίλ. Η χρήση της εντολής ελαχιστοποιεί τις ανασύρσεις και τις επανατοποθετήσεις του κοπτικού.
- **Order by Step:** όταν είναι ενεργοποιημένη η επιλογή, η επισκόπηση των βημάτων γίνεται με προτεραιότητα βάθους.
- **Use Thin Wall:** αυτή η επιλογή χρησιμοποιείται για την μείωση κραδασμών στην κατεργασία ενός πολύ λεπτού τοίχου, διασφαλίζοντας ότι και οι δυο πλευρές του τοίχου θα υποστούν επεξεργασία.
- **Stock to Leave:** επιτρέπει την παράκαμψη των υψών για την επεξεργασία ενός ποσού ακατέργαστου, είτε έχοντας θετικό πρόσημο και συμβάλλει στην διατήρηση της ποιότητας και την περαιτέρω επεξεργασία του αντικειμένου είτε με αρνητικό πρόσημο θέτοντας σε επεξεργασία το αντικείμενο πέρα απ' το προβλεπόμενο. Στο συγκεκριμένο παράδειγμα η επιλογή θα παραμείνει ανενεργή. Ως προέκταση της εντολής, η παράμετρος **Axial Stock to Leave** ελέγχει την ποσότητα αυτή κατά τη διάρκεια των αξονικών κατεργασιών, ενώ η παράμετρος **Radial Stock to Leave** ελέγχει την ποσότητα αυτή κατά τη διάρκεια των ακτινικών κατεργασιών.
- **Smoothing:** εξομαλύνει τη διαδρομή του εργαλείου αντικαθιστώντας τα πολύ μικρά τμήματα της διαδρομής, με μεγαλύτερα τόξα. Η ακρίβεια θα παραμείνει η ίδια, ενώ ο κώδικας θα μειωθεί κατά πολύ. Η εντολή δεν θα επιλεγεί διότι είναι καθαρά υποκειμενική η χρήση του και δεν χρειάζεται για την συγκεκριμένη περίπτωση παραδείγματος.
- **Feed Optimization:** ελέγχει την τροφοδοσία στις γωνίες μειώνοντας τον ρυθμό αφαίρεσης υλικού με σκοπό την προστασία του εργαλείου. Η εντολή στο παραπάνω παράδειγμα δεν επιλέχθηκε καθώς το εργαλείο δεν έχει περίπλοκη τροχιά. Οι παρακάτω επιλογές ανήκουν στο πλαίσιο αυτής της εντολής:
  - **Maximum Directional Change:** καθορίζει τη μέγιστη γωνιακή αλλαγή πρώτου μειωθεί η τροφοδοσία.
  - **Reduced Feed Radius:** καθορίζει την ελάχιστη επιτρεπτή ακτίνα προτού μειωθεί η τροφοδοσία.
  - **Reduced Feed Distance:** καθορίζει την απόσταση προτού μειωθεί η τροφοδοσία κοντά σε μία γωνία.
  - **Reduced Feedrate:** καθορίζει την μειωμένη ταχύτητα πρόωσης που θα χρησιμοποιείται στις γωνίες.
  - **Only Inner Corners:** ενεργοποιείται ώστε να μειώνεται η τροφοδοσία μόνο στις εσωτερικές γωνίες.

**Καρτέλα Linking:** Οι τιμές και οι επιλογές των εντολών που χρησιμοποιήθηκαν για το παράδειγμα, φαίνονται στην Εικόνα 5.3.25. Οι επιλογές της καρτέλας είναι οι εξής:

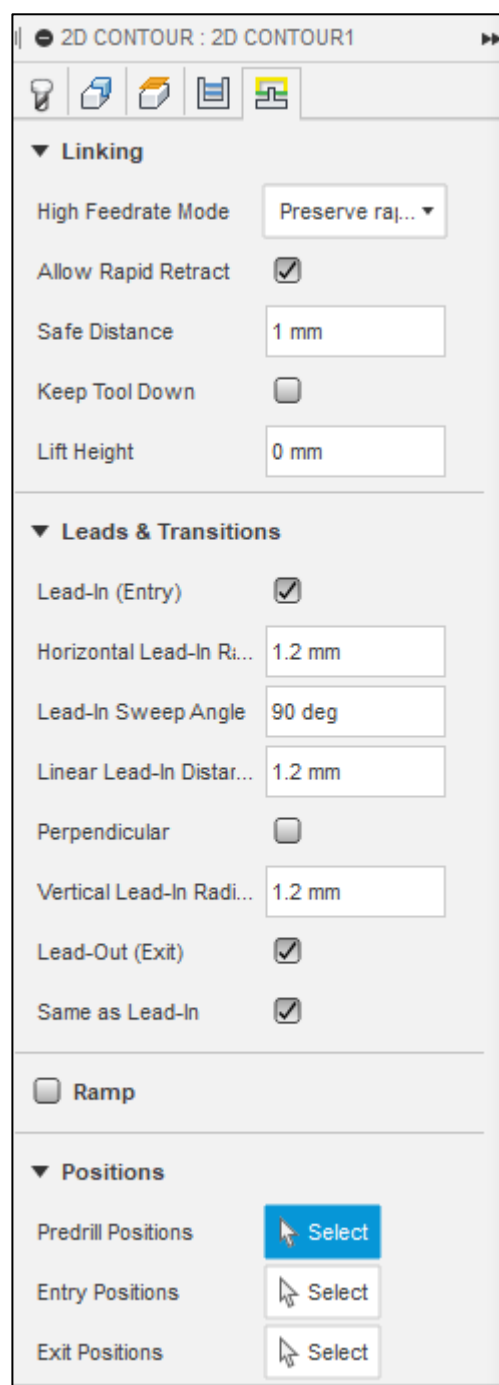
- **High Feedrate Mode:** καθορίζει το πότε το κοπτικό εργαλείο θα κινείται με την μέγιστη ταχύτητα πρόωσης της εργαλειομηχανής (G0) και πότε με ταχύτητα

ορισμένης πρόωσης (G1). Η εντολή αυτή συμβάλλει στον περεταίρω έλεγχο των γρήγορων κινήσεων G0 παραμετροποιώντας τις σε G1 για την αποφυγή συγκρούσεων. Περιλαμβάνονται έξι επιλογές:

- **Preserve rapid movement:** διατηρεί όλες τις γρήγορες κινήσεις ως G0.
- **Preserve axial and radial rapid movement:** Οι γρήγορες κινήσεις που εκτελούνται αξονικά ή ακτινικά, διατηρούν G0.
- **Preserve axial rapid movement:** Οι γρήγορες κινήσεις που εκτελούνται αξονικά, διατηρούν G0.
- **Preserve radial rapid movement:** Οι γρήγορες κινήσεις που εκτελούνται ακτινικά, διατηρούν G0.
- **Preserve single axis rapid movement:** Οι γρήγορες κινήσεις που εκτελούνται σε έναν άξονα (X, Y ή Z), διατηρούν G0.
- **Always use high feed:** όλες οι γρήγορες κινήσεις αποκτούν ταχύτητα ορισμένης πρόωσης G01.

Στο παράδειγμα έχει επιλεγθεί η επιλογή **Preserve rapid movement** καθώς δεν χρειάζεται περεταίρω προσοχή για την συγκεκριμένη κατεργασία.

- **Allow Rapid Retract:** επιτρέπει την γρήγορη ανάσυρση του εργαλείου με ταχύτητα G0.
- **Safe Distance:** ελάχιστη απόσταση μεταξύ του εργαλείου και των επιφανειών του προς κατεργασία εξαρτήματος κατά την ανάσυρση.
- **Keep Tool Down:** η εντολή κρατάει το εργαλείο χαμηλά στην περιοχή της κοπής, αποφεύγοντας έτσι την πλήρη ανάκλιση, και δημιουργώντας μια ελάχιστη ανάσυρση του εργαλείου μικρότερου ύψους.
- **Lift Height:** καθορίζει το ύψος της ανάσυρσης κατά την κίνηση της επανατοποθέτησης.
- **Lead-In (Entry):** ομαλοποιεί την είσοδο του κοπτικού εργαλείου στο ακατέργαστο. Στο συγκεκριμένο παράδειγμα επιλέχθηκε η εντολή, για καλύτερη είσοδο του εργαλείου.
- **Horizontal Lead In Radius:** οριζόντιο τόξο εισόδου του κοπτικού.
- **Lead-In Sweep Angle:** καθορίζει την γωνία εισόδου του κοπτικού εργαλείου.

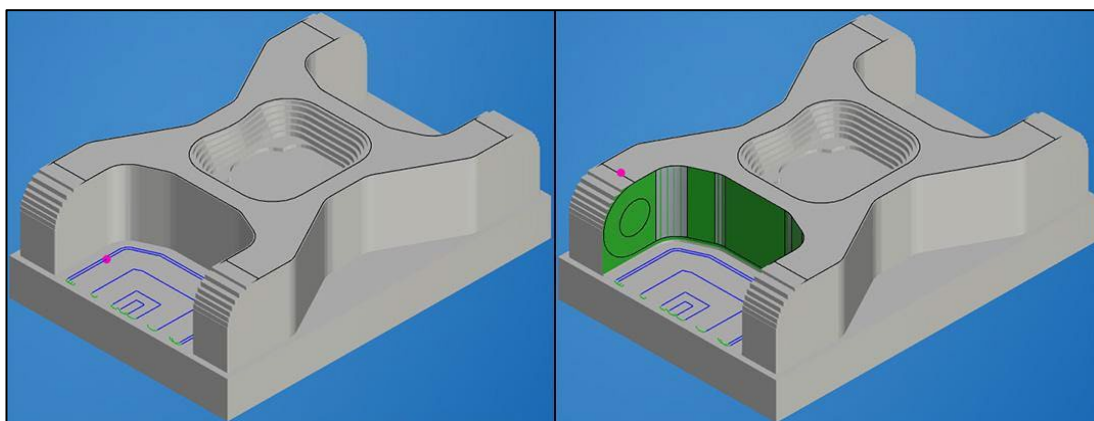


Εικόνα 5.3.25 Καρτέλα Linking εντολής 2D Contour.



- **Linear Lead-In Distance:** καθορίζει το μήκος της γραμμικής κίνησης που θα εκτελέσει το εργαλείο πριν ξεκινήσει την κοπή.
- **Perpendicular:** αντικαθιστά την διαδρομή με τόξα με μια κίνηση κάθετα σε αυτά. Ιδιαίτερα χρήσιμη για την κατεργασία οπών.
- **Vertical Lead-In Radius:** ακτίνα εισαγωγής του κοπτικού. Στο συγκεκριμένο παράδειγμα τέθηκε στα 1.2mm.
- **Lead-Out (Exit):** ομαλοποιεί την έξοδο του κοπτικού εργαλείου από το ακατέργαστο.
- **Same as Lead-In:** καθορίζει ότι ο τρόπος εξαγωγής του κοπτικού από το ακατέργαστο, θα είναι ίδιος με τον τρόπο εισαγωγής. Αν η επιλογή δεν είναι επιλεγμένη, τότε εμφανίζεται μια παραπάνω επιλογή **Vertical Lead-Out Radius**, όπου καθορίζει την ακτίνα εξόδου του κοπτικού.
- **Ramping Angle:** καθορίζει την γωνία που θα έχει το βήμα κατά άξονα Z.
- **Maximum Ramp Stepdown:** καθορίζει το μέγιστο βήμα προς τα κάτω ανά περιστροφή της ελικοειδούς διαδρομής.
- **Ramp Clearance Height:** το ύψος από το οποίο θα ξεκινήσει η ελικοειδής κίνηση του κοπτικού.
- **Exit Positions:** επιλογή σημείου για την επίδειξη της εξόδου του κοπτικού με σκοπό την ασφαλέστερη διαδρομή.
- **Predrill Positions:** επιλογή σημείου όπου έχει γίνει διάνοιξη οπής με σκοπό την είσοδο του κοπτικού στο ακατέργαστο.
- **Entry Positions:** επιλογή γεωμετρίας απ' όπου μπορεί το κοπτικό εργαλείο να εισχωρήσει στο ακατέργαστο.

**Ανάλυση κατεργασίας:** Παρατηρούμε από την εικόνα 5.3.26 ότι στην προσομοίωση της κατεργασίας φαίνεται η τροχιά του κοπτικού κατά την κατεργασία, τα πολλαπλά περάσματα της κατεργασίας, καθώς και το τελευταίο πέρασμα του φινιρίσματος. Η κατεργασία πραγματοποιήθηκε κυρίως για το φινίρισμα, και για την κατεργασία 1mm βάθους, καθώς το ξεχόνδρισμα είχε ήδη πραγματοποιηθεί (όπως φαίνεται και στην εικόνα πριν την πραγματοποίηση της κατεργασίας) από άλλη κατεργασία. Επίσης, ένας λόγος που δεν χρησιμοποιήθηκε η λειτουργία των πολλαπλών βαθών (**Multiple Depths**) ήταν και το προς κατεργασία υλικό, καθώς δεν ήταν μεγάλος ο φόρτος του κοπτικού.



Εικόνα 5.3.26 Αριστερά φαίνεται το αντικείμενο πριν την κατεργασία 2D Contour, ενώ δεξιά μετά την κατεργασία.

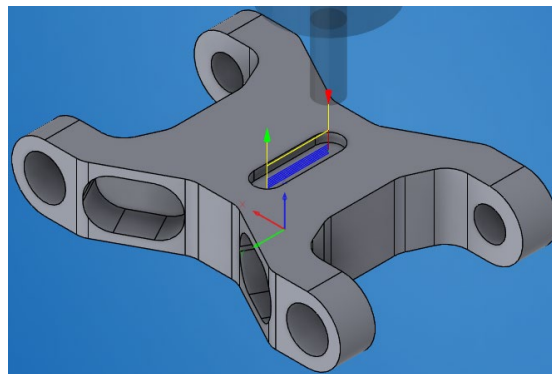


**Slot:** Milling>2D>Slot

### Περιγραφή

### Κατεργασίας:

Δημιουργία αυλάκωσης στο αντικείμενο με την βοήθεια ακρών ή σκίτσων. Το σχήμα της αυλάκωσης μπορεί να είναι ανοιχτό ή κλειστό, ίσιο ή κυκλικό ή να περιέχει οποιαδήποτε καμπύλωση, αλλά πρέπει να έχει σχήμα σχισμής ίσου πλάτους. Επίσης το εργαλείο που θα χρησιμοποιηθεί πρέπει να είναι στο πλάτος της αυλάκωσης ή μικρότερο.



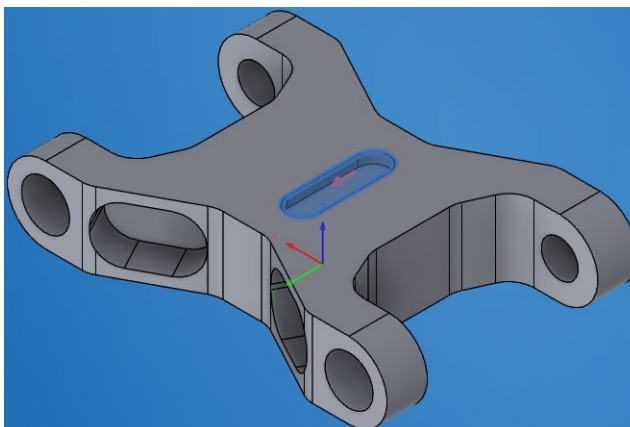
Εικόνα 5.3.27 Παράδειγμα προσομοίωσης κατεργασίας Slot.

**Καρτέλα Tool:** Για το παράδειγμα το εργαλείο που επιλέχθηκε είναι ένα Flat end Mill κονδύλι διαμέτρου 12mm.

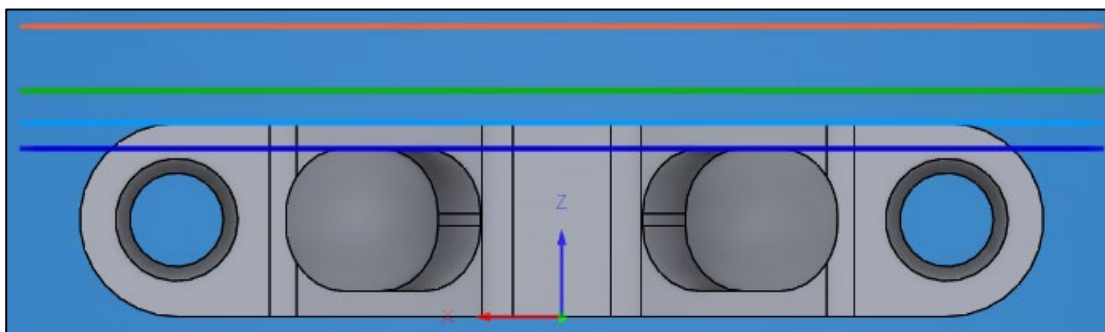
Για το παράδειγμα επιλέχθηκε η μέθοδος **Flood**.

**Καρτέλα Geometry:** Οι επιλογές για την οριοθέτηση της κατεργασίας είναι οι παρακάτω:

- **Pocket Selections:** επιλογή οποιουδήποτε προσώπου, άκρου ή σκίτσου για να οριστεί το όριο της κατεργασίας. Η διαδρομή του κοπτικού θα εξαρτηθεί από το επιλεγμένο όριο, και την εξωτερική γεωμετρία του ακατέργαστου. Στην παρακάτω εικόνα του παραδείγματος διακρίνεται η επιλεγμένη γεωμετρία ως όριο κατεργασίας, με τη χρήση αυτής της εντολής.
- **Wrap Toolpath:** θέτει την διαδρομή του κοπτικού εργαλείου περίξ μιας εσώκλειστης κυλινδρικής επιφάνειας.
- **Tool Orientation:** υπάρχει η δυνατότητα επιλογής συστήματος συντεταγμένων, διαφορετικό απ' αυτό που επιλέχθηκε στο **Setup**.



Εικόνα 5.3.28 Παράδειγμα όριου κατεργασίας με την βοήθεια της επιλογής Pocket Selections.

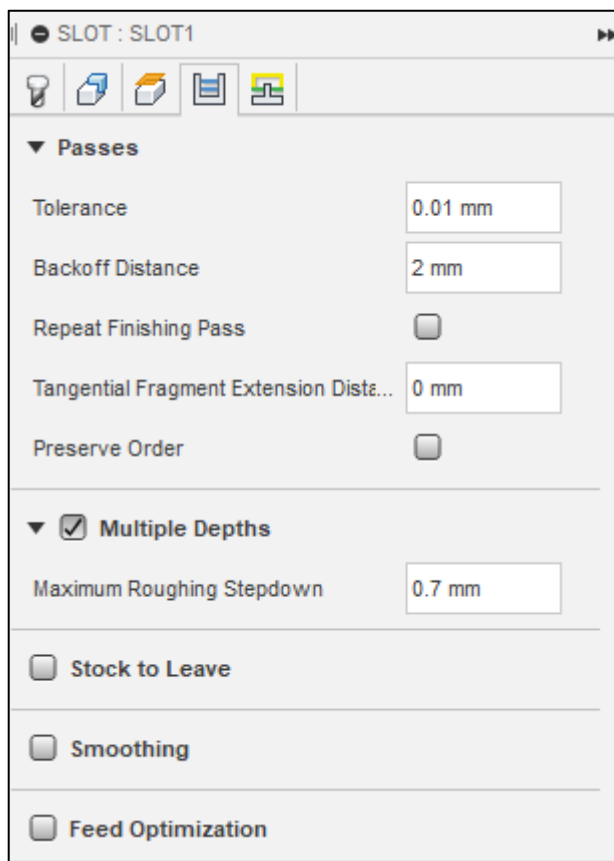


Εικόνα 5.3.29 Παράδειγμα υψών κατεργασίας Slot.

**Καρτέλα Heights:** Στο συγκεκριμένο παράδειγμα για το ύψος Clearance Height έχει επιλεγεί ως σημείο αναφοράς το ύψος του Retract Height, και Offset=10mm. Για το ύψος Retract Height έχει οριστεί ως σημείο αναφοράς το Stock Top με Offset=5mm, ενώ στο Feed Height ορίστηκε ως σημείο αναφοράς το Top Height με Offset=5mm. Τέλος το άνω ύψος (Top) οριοθετήθηκε με την επιλογή Selection, διαλέγοντας το πρόσωπο του αντικειμένου περιμετρικά της κοιλότητας, και με Offset=0, ενώ το Bottom Height οριοθετήθηκε με την επιλογή Selection και επιλέχθηκε το πρόσωπο που δημιουργείται στο κάτω μέρος της κατεργασίας, και με Offset=0.

**Καρτέλα Passes:** οι επιλογές είναι οι εξής:

- **Tolerance:** επιλογή της διαστασιακής ακρίβειας. Στο συγκεκριμένο παράδειγμα η ακρίβεια έχει οριστεί στα 0.01mm.
- **Backoff Distance:** απομάκρυνση του κοπτικού εργαλείου από τον τοίχο πριν την ανάσυρση. Ιδιαίτερα χρήσιμη εντολή αν επιθυμούμε καλή επιφάνεια στα τοιχώματα της εσοχής. Στο συγκεκριμένο παράδειγμα ορίστηκε στα 2mm.
- **Repeat Finishing Pass:** επανάληψη του τελευταίου περάσματος ώστε να αφαιρέσει οτιδήποτε υλικό δεν πήρε κατά το πρώτο πέρασμα.
- **Tangential Fragment Extension Distance:** επεκτείνει την αρχή και το τέλος μιας διαδρομής κρατώντας σταθερή κατεύθυνση εισόδου/εξόδου, ενώ προορίζεται για κατεργασία ανοιχτού περιγράμματος.
- **Preserve Order:** διευκρινίζει την σειρά που θα κατεργαστούν οι επιλεγμένες γεωμετρίες. Όταν δεν είναι επιλεγμένη τότε το Fusion βελτιστοποιεί την σειρά κοπής.
- **Multiple Depths:** ενεργοποιεί τη λειτουργία αφαίρεσης υλικού με πολλαπλά βάθη. Στο συγκεκριμένο παράδειγμα η επιλογή πραγματοποιήθηκε, καθώς η γεωμετρία της κοιλότητας απαιτεί την χρήση πολλαπλών βαθών. Το ακατέργαστο δεν μπορεί να κατεργαστεί με ένα πέρασμα.
- **Maximum Roughing Stepdown:** καθορίζει το βήμα μεταξύ των πολλαπλών βαθών, ενώ το τελικό βήμα θα είναι ό,τι απέμεινε από το ακατέργαστο. Στην συγκεκριμένη περίπτωση ορίστηκε στα 0.7mm.
- **Stock to Leave:** επιτρέπει την παράκαμψη των υψών για την επεξεργασία ενός ποσού ακατέργαστου, είτε έχοντας θετικό πρόσημο και συμβάλλει στην διατήρηση της ποιότητας και την περαιτέρω επεξεργασία του αντικειμένου είτε με αρνητικό πρόσημο θέτοντας σε επεξεργασία το αντικείμενο πέρα απ' το προβλεπόμενο. Στο



Εικόνα 5.3.30 Καρτέλα Passes εντολής Slot.

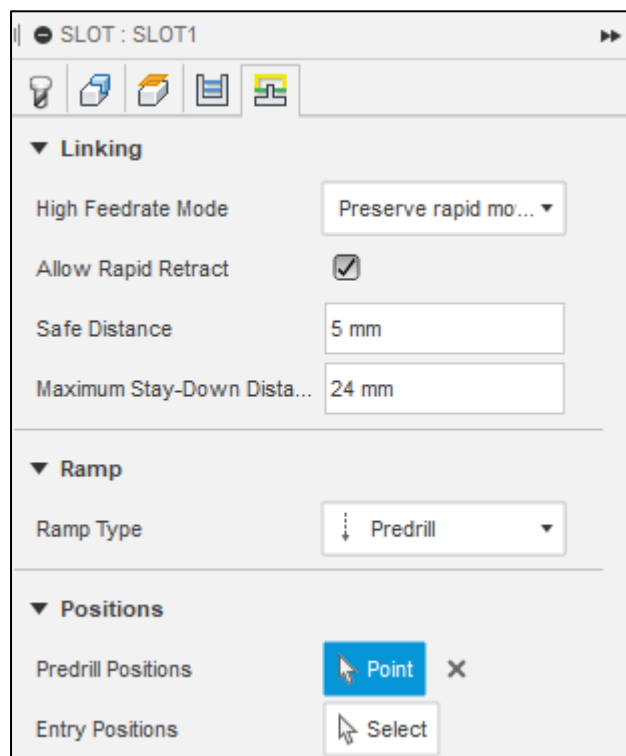
συγκεκριμένο παράδειγμα θα παραμείνει ανενεργή η επιλογή. Ως προέκταση της εντολής, η παράμετρος **Axial Stock to Leave** ελέγχει την ποσότητα αυτή κατά τη διάρκεια των αξονικών κατεργασιών.

- **Smoothing:** εξομαλύνει τη διαδρομή του εργαλείου αντικαθιστώντας τα πολύ μικρά τμήματα της διαδρομής, με μεγαλύτερα τόξα. Η ακρίβεια θα παραμείνει η ίδια, ενώ ο κώδικας θα μειωθεί κατά πολύ. Η εντολή δεν θα επιλεχθεί διότι είναι καθαρά υποκειμενική η χρήση του και δεν χρειάζεται για την συγκεκριμένη περίπτωση παραδείγματος.
- **Feed Optimization:** ελέγχει την τροφοδοσία στις γωνίες μειώνοντας το ρυθμό αφαίρεσης υλικού με σκοπό την προστασία του εργαλείου. Η εντολή στο παραπάνω παράδειγμα δεν επιλέχθηκε καθώς το εργαλείο δεν έχει περίπλοκη τροχιά. Οι παρακάτω επιλογές ανήκουν στο πλαίσιο αυτής της εντολής:
  - **Maximum Directional Change:** καθορίζει τη μέγιστη γωνιακή αλλαγή πρώτου μειωθεί η τροφοδοσία.
  - **Reduced Feed Radius:** καθορίζει την ελάχιστη επιτρεπτή ακτίνα προτού μειωθεί η τροφοδοσία.
  - **Reduced Feed Distance:** καθορίζει την απόσταση προτού μειωθεί η τροφοδοσία κοντά σε μία γωνία.
  - **Reduced Feedrate:** καθορίζει την μειωμένη ταχύτητα πρόωσης που θα χρησιμοποιείται στις γωνίες.
  - **Only Inner Corners:** ενεργοποιείται ώστε να μειώνεται η τροφοδοσία μόνο στις εσωτερικές γωνίες.

**Καρτέλα Linking:** Οι τιμές και οι επιλογές των εντολών που χρησιμοποιήθηκαν για το παράδειγμα, φαίνονται στην Εικόνα 5.3.31. Οι επιλογές της καρτέλας είναι οι εξής:

- **High Feedrate Mode:** καθορίζει το πότε το κοπτικό εργαλείο θα κινείται με την μέγιστη ταχύτητα πρόωσης της εργαλειομηχανής (G0) και πότε με ταχύτητα ορισμένης πρόωσης (G1). Η εντολή αυτή συμβάλλει στον περεταίρω έλεγχο των γρήγορων κινήσεων G0 παραμετροποιώντας τις σε G1 για την αποφυγή συγκρούσεων. Περιλαμβάνονται έξι επιλογές:

- **Preserve rapid movement:** διατηρεί όλες τις γρήγορες κινήσεις ως G0.
- **Preserve axial and radial rapid movement:** Οι γρήγορες κινήσεις που εκτελούνται αξονικά ή ακτινικά, διατηρούν G0.
- **Preserve axial rapid movement:** Οι γρήγορες κινήσεις που εκτελούνται αξονικά, διατηρούν G0.
- **Preserve radial rapid movement:** Οι γρήγορες κινήσεις που εκτελούνται ακτινικά, διατηρούν G0.



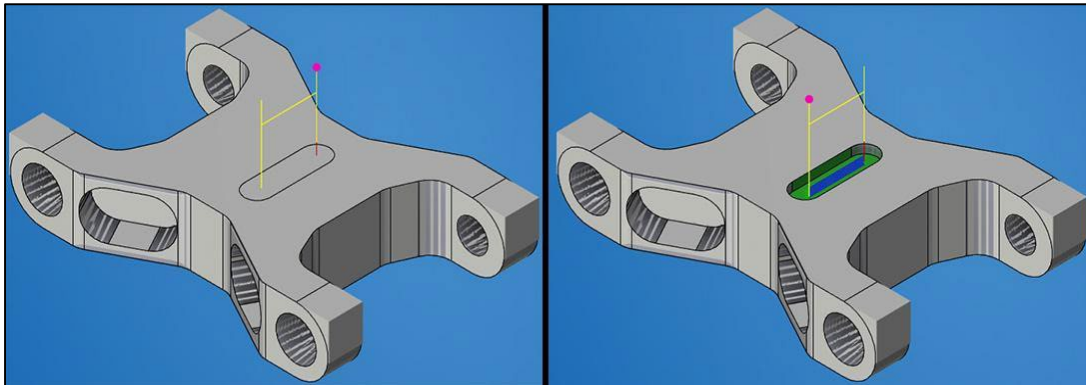
Εικόνα 5.3.31 Καρτέλα Linking εντολής Slot.

- **Preserve single axis rapid movement:** Οι γρήγορες κινήσεις που εκτελούνται σε έναν άξονα (X, Y ή Z), διατηρούν G0.
- **Always use high feed:** όλες οι γρήγορες κινήσεις αποκτούν ταχύτητα ορισμένης πρόωσης G01.

Στο παράδειγμα έχει επιλεγθεί η επιλογή **Preserve rapid movement** καθώς δεν χρειάζεται περαιτέρω προσοχή για την συγκεκριμένη κατεργασία.

- **Allow Rapid Retract:** επιτρέπει την γρήγορη ανάσυρση του εργαλείου με ταχύτητα G0.
- **Safe Distance:** ελάχιστη απόσταση μεταξύ του εργαλείου και των επιφανειών του προς κατεργασία εξαρτήματος κατά την ανάσυρση.
- **Maximum Stay-Down Distance:** καθορίζει την μέγιστη απόσταση ανάκλισης.
- **Ramp Type:** καθορίζει τον τρόπο με τον οποίο κινείται το κοπτικό εργαλείο σε κατάσταση κοπής κατά άξονα Z.
- **Predrill Positions:** επιλογή σημείου όπου έχει γίνει διάνοιξη οπής με σκοπό την είσοδο του κοπτικού στο ακατέργαστο.
- **Entry Positions:** επιλογή γεωμετρίας απ' όπου μπορεί το κοπτικό εργαλείο να εισχωρίσει στο ακατέργαστο.

**Ανάλυση κατεργασίας:** Παρατηρούμε στην εικόνα 5.3.32 ότι στην προσομοίωση της κατεργασίας φαίνεται η τροχιά του κοπτικού κατά την κατεργασία, τα πολλαπλά βάθη της κατεργασίας καθώς και το ότι πριν την ανάσυρση του, το κοπτικό κάνει δύο χιλιοστά προς τα πίσω ώστε να μπορέσει να ανασυρθεί με ασφάλεια.



Εικόνα 5.3.32 Αριστερά φαίνεται το αντικείμενο πριν την κατεργασία 2D Contour, ενώ δεξιά μετά την κατεργασία.

## Thread

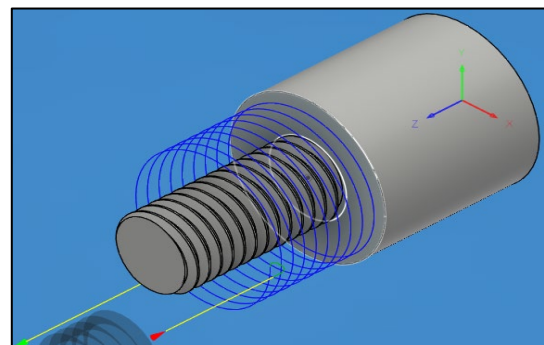


**Thread:** Milling>2D>Thread

### Περιγραφή

Δημιουργία σπειρωμάτων εσωτερικά και εξωτερικά, σε ίσια ή κωνικά τοιχώματα. Αρκεί να επιλεγθεί η επιθυμητή όψη, και το ύψος καθώς και το βάθος θα υπολογιστούν ανάλογα με το επιλεγμένο πρόσωπο.

### Κατεργασίας:



Εικόνα 5.3.33 Παράδειγμα προσομοίωσης κατεργασίας Thread.

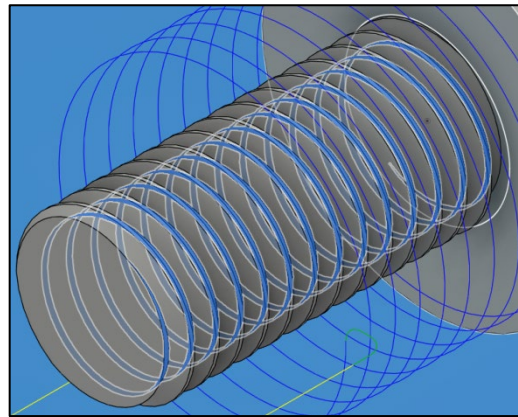


**Καρτέλα Tool:** Για το παράδειγμα το εργαλείο που επιλέχθηκε είναι ένας Thread Mill σπειροτόμος διαμέτρου 10mm και πέντε δοντιών.

Στο παράδειγμα εφαρμόστηκε η μέθοδος **Flood**.

**Καρτέλα Geometry:** Οι επιλογές για την οριοθέτηση της κατεργασίας είναι οι παρακάτω:

- **Selection Mode:** επιλογή του τύπου της προς κατεργασία γεωμετρίας. Μπορεί είτε να επιλεγθεί κάποιο πρόσωπο για κατεργασία είτε η διάμετρος της διαδρομής του εργαλείου. Αν επιλεγθεί το πρόσωπο που θα γίνει η κατεργασία (όπως και στο παράδειγμα) οι επιλογές του παραθύρου Geometry είναι οι παρακάτω:
- **Circular Face Selections:** επιλογή του προσώπου που θα γίνει η κατεργασία.
- **Select Same Diameter:** επιλογή όλων των προς κατεργασία οπών με την ίδια διάμετρο. Υπάρχουν δυο βοηθητικές εντολές για την επιλογή των οπών: **Only Same Hole Depth** για την επιλογή οπών με το ίδιο βάθος και **Only Same Z Top Height** για την επιλογή οπών που ανήκουν στο ίδιο ύψος κατεργασίας. Η επιλογή **Select Same Diameter** δεν επιλέχθηκε στην συγκεκριμένη κατεργασία καθώς η κατεργασία προορίζεται για εξωτερική σπειροτόμηση.



Εικόνα 5.3.34 Παράδειγμα όριου κατεργασίας που καλείται να σπειροτομηθεί.

Αν ωστόσο επιλεγθεί ο τύπος κατεργασίας που ορίζει την διάμετρο της διαδρομής του κοπτικού, τότε η ομάδα εντολών του παραθύρου Geometry θα είναι η ακόλουθη:

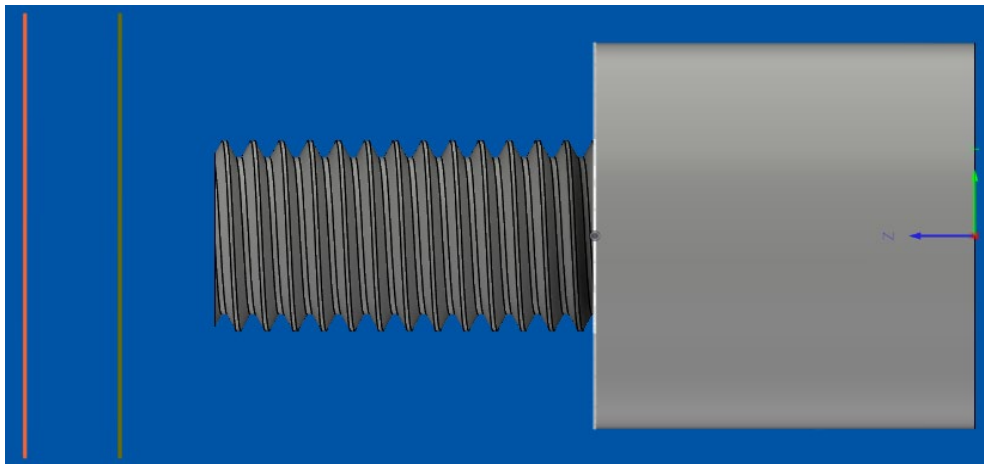
- **Feature Type:** επιλογή του τύπου κατεργασίας που θα γίνει. Οι επιλογές είναι μεταξύ των:
  - **Holes Only:** κατεργασία μόνο οπών.
  - **Bosses Only:** κατεργασία μόνο εξωτερικών γεωμετριών.
  - **Both:** κατεργασία και των δύο κατηγοριών.
- **Minimum Diameter:** διευκρινίζει την ελάχιστη διάμετρο που θα έχουν οι επιλεγμένες γεωμετρίες.
- **Maximum Diameter:** διευκρινίζει την μέγιστη διάμετρο που θα έχουν οι επιλεγμένες γεωμετρίες.
- **Containment Boundary:** χρησιμοποιείται για την επιλογή και ομαδοποίηση παρόμοιων προς κατεργασία γεωμετριών.

Οι παρακάτω επιλογές είναι κοινές και στις δύο μεθόδους.

- **Order by Depth:** όταν είναι ενεργοποιημένη διατάσσει τις κατεργασίες απ' αυτές με το μεγαλύτερο ύψος κατεργασίας σε αυτές με το χαμηλότερο. Η επιλογή **Order by Depth** δεν επιλέχθηκε στην συγκεκριμένη κατεργασία καθώς η κατεργασία προορίζεται για ένα μόνο πρόσωπο.
- **Order:** καθορίζει την σειρά κατεργασίας των οπών.
- **Reverse Order:** ενεργοποιείται για να αντιστρέψει την σειρά κατεργασίας των οπών.



- **Tool Orientation:** υπάρχει η δυνατότητα επιλογής συστήματος συντεταγμένων, διαφορετικό απ' αυτό που επιλέχτηκε στο **Setup**.



Εικόνα 5.3.35 Παράδειγμα υψών κατεργασίας Thread.

**Καρτέλα Heights:** Στο συγκεκριμένο παράδειγμα για το ύψος Clearance Height έχει επιλεγθεί ως σημείο αναφοράς το ύψος του Retract Height, και Offset=5mm. Για το ύψος Retract Height έχει οριστεί ως σημείο αναφοράς το Stock Top με Offset=5mm. Τέλος το άνω ύψος (Top) οριοθετήθηκε με την επιλογή Hole top, διαλέγοντας την αρχή της κυλινδρικής γεωμετρίας που θα κατεργαστεί, και με Offset=0, ενώ το Bottom Height οριοθετήθηκε με την επιλογή Hole Bottom, και επιλέχθηκε το τέλος της κυλινδρικής γεωμετρίας που θα κατεργαστεί, και με Offset=0.

**Καρτέλα Passes:** οι επιλογές είναι οι εξής:

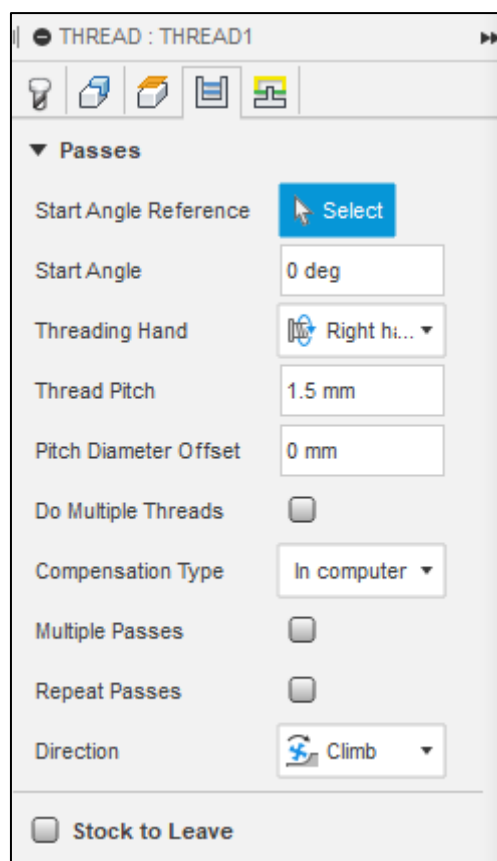
- **Start Angle Reference:** διευκρινίζει την κατεύθυνση της κατεργασίας.
- **Start Angle:** γωνία εισόδου του επιπέδου XY με μέτρηση από τον x'x.
- **Treading Hand:** δημιουργία δεξιόστροφου ή αριστερόστροφου σπειρώματος. Στην συγκεκριμένη κατεργασία επιλέχθηκε αριστερόστροφο σπείρωμα.
- **Thread Pitch:** η απόσταση μεταξύ των σπειρών (βήμα).
- **Pitch Diameter Offset:** το βάθος του σπειρώματος.
- **Do Multiple Threads:** δημιουργία πολλαπλών σπειρωμάτων.
- **Number of Threads:** ο αριθμός των σπειρωμάτων.
- **Compensation Type:** καθορίζει τον τύπο αντιστάθμισης.
  - **In Computer:** υπολογίζεται από το Fusion 360 με βάση τις παραμέτρους του εργαλείου.
  - **In Control:** μπορεί να οριστεί από την εργαλειομηχανή.
  - **Wear:** ορίζεται από το Fusion, αλλά υπάρχει δυνατότητα προσαρμογής και από την εργαλειομηχανή.
  - **Inverse Wear:** όπως και στην Wear, ορίζεται και από το Fusion και από την εργαλειομηχανή, με την διαφορά ότι η φθορά έχει θετική τιμή.
  - **Off:** απενεργοποιεί τον υπολογισμό της αντιστάθμισης.
- **Multiple Passes:** ενεργοποιεί πολλαπλά περάσματα. Αφήνει πολύ καλή επιφάνεια, αλλά αυξάνει τον χρόνο κατεργασίας.
- **Repeat Passes:** επανάληψη του τελευταίου περάσματος.
- **Direction:** η επιλογή επιτρέπει να οριστεί η φορά πραγματοποίησης της κοπής από το κοπτικό εργαλείο σύμφωνα με την φορά περιστροφής του. Με την μέθοδο Climb το εργαλείο αφαιρεί υλικό με φορά που μοιάζει με κύλιση πάνω στο υλικό, ενώ με την συμβατική μέθοδο (Conventional) το εργαλείο κινείται αντίθετα. Η πρώτη μέθοδος τείνει να αφήνει καλύτερες επιφάνειες, να έχει λιγότερες

ταλαντώσεις κατά την κατεργασία, αλλά και λιγότερη φθορά στο εργαλείο. Ωστόσο, επιλέγοντας το εργαλείο να κινηθεί και με τις δύο φορές (Both Ways) μειώνεται σημαντικά ο χρόνος κατεργασίας. Εδώ επιλέχθηκε η μέθοδος **Climb**.

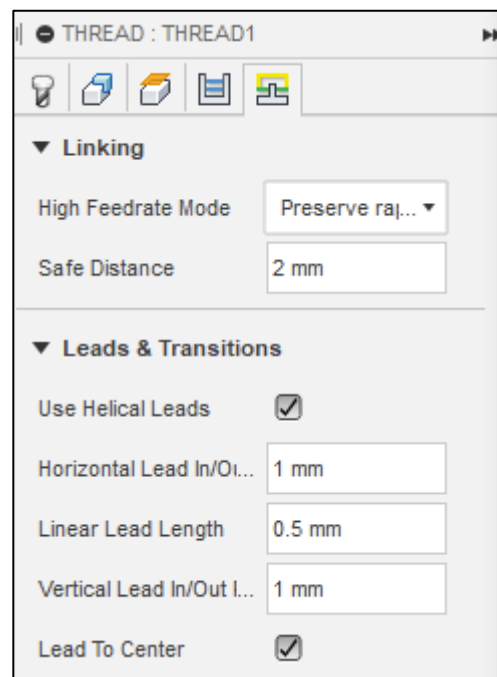
- **Stock to Leave:** επιτρέπει την παράκαμψη των υψών για την επεξεργασία ενός ποσού ακατέργαστου, είτε έχοντας θετικό πρόσημο και συμβάλλει στην διατήρηση της ποιότητας και την περαιτέρω επεξεργασία του αντικειμένου είτε με αρνητικό πρόσημο θέτοντας σε επεξεργασία το αντικείμενο πέρα απ' το προβλεπόμενο. Στο συγκεκριμένο παράδειγμα θα παραμείνει ανενεργή η επιλογή. Ως προέκταση της εντολής, η παράμετρος **Radial Stock to Leave** ελέγχει την ποσότητα αυτή κατά τη διάρκεια των ακτινικών κατεργασιών.

**Καρτέλα Linking:** Οι τιμές και οι επιλογές των εντολών που χρησιμοποιήθηκαν για το παράδειγμα, φαίνονται στην Εικόνα 5.3.37. Οι επιλογές της καρτέλας είναι οι εξής:

- **High Feedrate Mode:** καθορίζει το πότε το κοπτικό εργαλείο θα κινείται με την μέγιστη ταχύτητα πρόωσης της εργαλειομηχανής (G0) και πότε με ταχύτητα ορισμένης πρόωσης (G1). Η εντολή αυτή συμβάλλει στον περαιτέρω έλεγχο των γρήγορων κινήσεων G0 παραμετροποιώντας τις σε G1 για την αποφυγή συγκρούσεων. Περιλαμβάνονται έξι επιλογές:
  - **Preserve rapid movement:** διατηρεί όλες τις γρήγορες κινήσεις ως G0.
  - **Preserve axial and radial rapid movement:** Οι γρήγορες κινήσεις που εκτελούνται αξονικά ή ακτινικά, διατηρούν G0.
  - **Preserve axial rapid movement:** Οι γρήγορες κινήσεις που εκτελούνται αξονικά, διατηρούν G0.
  - **Preserve radial rapid movement:** Οι γρήγορες κινήσεις που εκτελούνται ακτινικά, διατηρούν G0.
  - **Preserve single axis rapid movement:** Οι γρήγορες κινήσεις που εκτελούνται σε έναν άξονα (X, Y ή Z), διατηρούν G0.



Εικόνα 5.3.36 Καρτέλα Passes εντολής Thread.



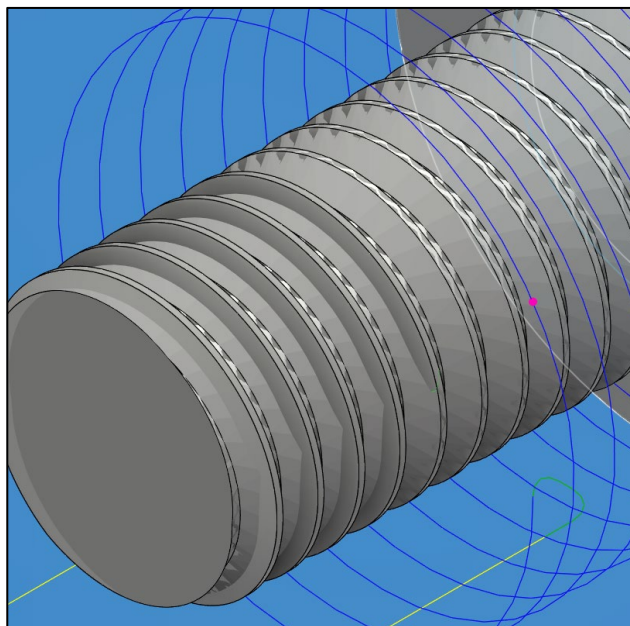
Εικόνα 5.3.37 Καρτέλα Linking εντολής Thread.

- **Always use high feed:** όλες οι γρήγορες κινήσεις αποκτούν ταχύτητα ορισμένης πρόωσης G01.

Στο παράδειγμα έχει επιλεγθεί η επιλογή **Preserve rapid movement** καθώς δεν χρειάζεται περαιτέρω προσοχή για την συγκεκριμένη κατεργασία.

- **Safe Distance:** ελάχιστη απόσταση μεταξύ του εργαλείου και των επιφανειών του προς κατεργασία εξαρτήματος κατά την ανάσυρση.
- **Use Helical Leads:** επιτρέπει την ελικοειδή κίνηση κατά την είσοδο και έξοδο του εργαλείου αντί για την κυκλική.
- **Horizontal Lead In/Out Radius:** οριζόντια ακτίνα εισόδου/εξόδου του κοπτικού.
- **Linear Lead Length:** διευκρινίζει την απόσταση της γραμμικής εισόδου του εργαλείου.
- **Vertical Lead In/Out Radius:** κάθετη ακτίνα εισόδου/εξόδου του κοπτικού.
- **Lead To Center:** διευκρινίζει ότι η κίνηση εισόδου και εξόδου του εργαλείου θα καταλήγει στο κέντρο της γεωμετρίας.

**Ανάλυση κατεργασίας:** Είναι χρήσιμο να αναφερθεί ότι η κατεργασία προοριζόταν για διεύρυνση και όχι για διάνοιξη σπειρώματος. Η διαδικασία όμως είναι παρόμοια. Στην εικόνα 5.3.38 γίνεται εμφανές το διευρυμένο σπείρωμα σε σχέση με το προϋπάρχον. Η ροζ τελεία θα βοηθήσει στην κατανόηση της διαφοράς, αφού θεωρητικά η αυτή είναι που δηλώνει την θεωρητική θέση του κοπτικού.



Εικόνα 5.3.38 Εικόνα κατεργασίας με εμφανή το σημείο του κοπτικού.

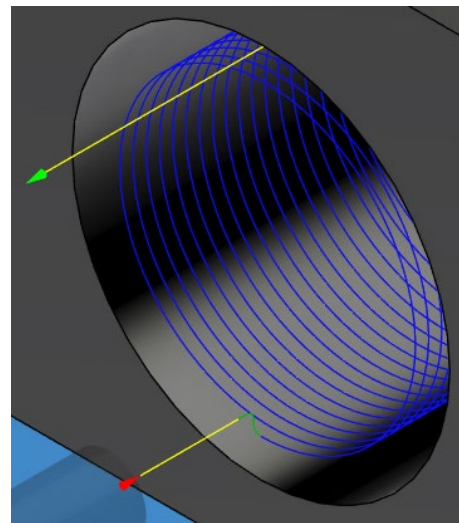


**Bore:** Milling>2D>Bore

**Περιγραφή Κατεργασίας:** Σπειροειδές ελικοειδές φρεζάρισμα σε τρύπα ή κύλινδρο, σε ίσια ή κωνικά τοιχώματα. Όπως και στην εντολή Thread, αρκεί να επιλεχθεί η επιθυμητή όψη, και το ύψος καθώς και το βάθος θα υπολογιστούν ανάλογα με το επιλεγμένο πρόσωπο.

**Καρτέλα Tool:** Για το παράδειγμα, το εργαλείο που επιλέχθηκε είναι ένα Flat end mill κονδύλι διαμέτρου 10mm και σχετικά ψηλό ώστε να μην βρίσκει η φωλιά στο αντικείμενο.

Για το παράδειγμα επιλέχθηκε η μέθοδος **Flood**.



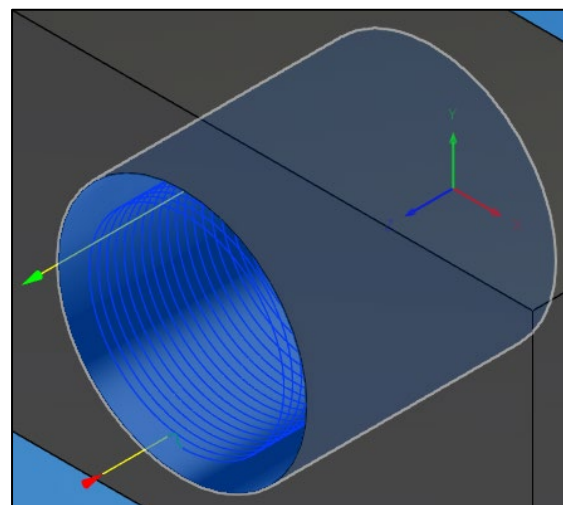
Εικόνα 5.3.39 Παράδειγμα προσομοίωσης κατεργασίας Bore.

**Καρτέλα Geometry:** Οι επιλογές για την οριοθέτηση της κατεργασίας είναι οι παρακάτω:

- **Selection Mode:** επιλογή του τύπου της προς κατεργασία γεωμετρίας. Μπορεί είτε να επιλεχθεί κάποιο πρόσωπο για κατεργασία είτε η διάμετρος της διαδρομής του εργαλείου. Αν επιλεχθεί το πρόσωπο που θα γίνει η κατεργασία (όπως και στο παράδειγμα) οι επιλογές του παραθύρου Geometry είναι οι παρακάτω:
- **Circular Face Selections:** επιλογή του προσώπου που θα γίνει η κατεργασία.
- **Select Same Diameter:** επιλογή όλων των προς κατεργασία οπών με την ίδια διάμετρο. Υπάρχουν δυο βοηθητικές εντολές για την επιλογή των οπών: **Only Same Hole Depth** για την επιλογή οπών με το ίδιο βάθος και **Only Same Z Top Height** για την επιλογή οπών που ανήκουν στο ίδιο ύψος κατεργασίας. Η επιλογή **Select Same Diameter** δεν επιλέχθηκε στην συγκεκριμένη κατεργασία καθώς η κατεργασία προορίζεται για εξωτερική σπειροτόμηση.

Αν ωστόσο επιλεχθεί ο τύπος κατεργασίας που ορίζει την διάμετρο της διαδρομής του κοπτικού τότε η ομάδα εντολών του παραθύρου Geometry θα είναι η ακόλουθη:

- **Feature Type:** επιλογή του τύπου κατεργασίας που θα γίνει. Οι επιλογές είναι μεταξύ των:
  - **Holes Only:** κατεργασία μόνο οπών.
  - **Bosses Only:** κατεργασία μόνο εξωτερικών γεωμετριών.
  - **Both:** κατεργασία και των δύο κατηγοριών.
- **Minimum Diameter:** διευκρινίζει την ελάχιστη διάμετρο που θα έχουν οι επιλεγμένες γεωμετρίες.



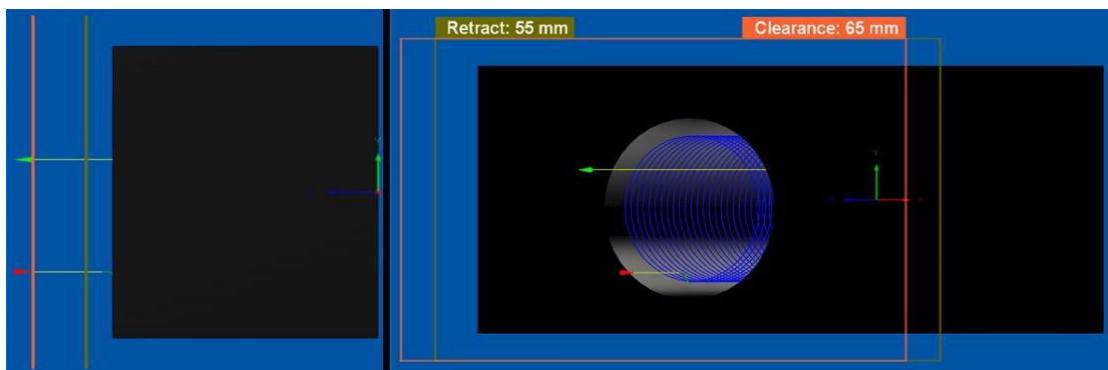
Εικόνα 5.3.40 Παράδειγμα της επιλεγμένης γεωμετρίας με την διαδικασία της επιλογής προσώπου.

- **Maximum Diameter:** διευκρινίζει την μέγιστη διάμετρο που θα έχουν οι επιλεγμένες γεωμετρίες.
- **Containment Boundary:** η εντολή χρησιμοποιείται για την επιλογή και ομαδοποίηση παρόμοιων προς κατεργασία γεωμετριών.

Οι παρακάτω επιλογές είναι κοινές και στις δύο μεθόδους.

- **Order by Depth:** όταν είναι ενεργοποιημένη διατάσσει τις κατεργασίες απ' αυτές με το μεγαλύτερο ύψος κατεργασίας, σε αυτές με το χαμηλότερο. Η επιλογή **Order by Depth** δεν επιλέχτηκε στην συγκεκριμένη κατεργασία καθώς η κατεργασία προορίζεται για ένα μόνο πρόσωπο.
- **Order:** καθορίζει την σειρά κατεργασίας των οπών.
- **Reverse Order:** ενεργοποιείται με σκοπό την αντιστροφή της σειράς κατεργασίας των οπών.
- **Tool Orientation:** υπάρχει η δυνατότητα επιλογής συστήματος συντεταγμένων, διαφορετικό απ' αυτό που επιλέχτηκε στο **Setup**.

**Καρτέλα Heights:** Στο συγκεκριμένο παράδειγμα για το ύψος Clearance Height έχει επιλεγεί ως σημείο αναφοράς το ύψος του Retract Height, και Offset=10mm. Για το ύψος Retract Height έχει οριστεί ως σημείο αναφοράς το Stock Top με Offset=5mm. Τέλος το άνω ύψος (Top) οριοθετήθηκε με την επιλογή Hole top, διαλέγοντας την αρχή της κυλινδρικής γεωμετρίας που θα κατεργαστεί, και με Offset=0, ενώ το Bottom Height οριοθετήθηκε με την επιλογή Hole Bottom, και επιλέχθηκε το τέλος της κυλινδρικής γεωμετρίας που θα κατεργαστεί, και με Offset=0.



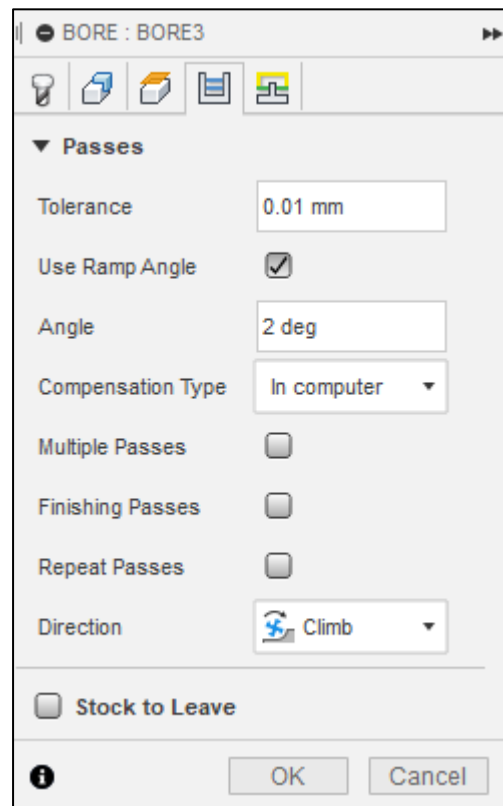
Εικόνα 5.3.41 Παράδειγμα υψών κατεργασίας Bore. Αριστερά της εικόνας φαίνεται η πλάγια όψη της κατεργασίας, ενώ δεξιά υπάρχει μια τρισδιάστατη αποτύπωση του αντικειμένου για την καλύτερη κατανόηση των υψών.

**Καρτέλα Passes:** οι επιλογές είναι οι εξής:

- **Tolerance:** επιλογή της διαστασιακής ακρίβειας. Στο συγκεκριμένο παράδειγμα η ακρίβεια έχει οριστεί στα 0.01mm.
- **Use Ramp Angle:** καθορίζει το αν η κατεργασία θα πραγματοποιηθεί με την βοήθεια της εντολής **Pitch** ή της εντολής **Angle**. Στην συγκεκριμένη περίπτωση η επιλογή επιλέχθηκε ώστε να γίνει η κατεργασία με την εντολή Angle.
- **Pitch:** καθορίζει την απόσταση του βήματος κατά άξονα Z. Η απόσταση αυτή θα ισούται με την απόσταση της διαδρομής ανά μια περιστροφή του κοπτικού.
- **Angle:** διευκρινίζει την κλίση της έλικας.
- **Compensation Type:** καθορίζει τον τύπο αντιστάθμισης. Στο συγκεκριμένο παράδειγμα επιλέχθηκε η In Computer επιλογή.
  - **In Computer:** υπολογίζεται από το Fusion 360 με βάση τις παραμέτρους του εργαλείου.
  - **In Control:** μπορεί να οριστεί από την εργαλειομηχανή.



- **Wear:** ορίζεται από το Fusion, αλλά υπάρχει δυνατότητα προσαρμογής και από την εργαλειομηχανή.
- **Inverse Wear:** όπως και στην Wear, ορίζεται και από το Fusion και από την εργαλειομηχανή, με την διαφορά ότι η φθορά έχει θετική τιμή.
- **Off:** απενεργοποίηση του υπολογισμού της αντιστάθμισης.
- **Multiple Passes:** ενεργοποιεί πολλαπλά περάσματα. Αφήνει πολύ καλή επιφάνεια, αλλά αυξάνει και το χρόνο κατεργασίας. Δεν επιλέχθηκε στην συγκεκριμένη περίπτωση, καθώς το υλικό που θα κατεργαστεί είναι ποσοτικά μικρό και δεν θα χρειαστεί πολλαπλά περάσματα.
- **Finishing Passes:** ενεργοποιεί την εκτέλεση περασμάτων φινιρίσματος. Με το πάτημα της επιλογής εμφανίζεται επιπλέον επιλογή για την διευκρίνιση του φινιρίσματος, **Stepover:** επιλογή της απόστασης μεταξύ των περασμάτων που θα κάνει το κοπτικό εργαλείο. Ουσιαστικά ορίζει την πυκνότητα των περασμάτων πάνω από το ακατέργαστο.
- **Repeat Passes:** επανάληψη του τελευταίου περάσματος.
- **Direction:** η επιλογή επιτρέπει να οριστεί η φορά που θα πραγματοποιήσει την κοπή το κοπτικό εργαλείο σύμφωνα με την φορά περιστροφής του. Με την μέθοδο Climb το εργαλείο αφαιρεί υλικό με φορά που μοιάζει με κύλιση πάνω στο υλικό, ενώ με την συμβατική μέθοδο (Conventional) το εργαλείο κινείται αντίθετα. Η πρώτη μέθοδος τείνει να αφήνει καλύτερες επιφάνειες, να έχει λιγότερες ταλαντώσεις κατά την κατεργασία, αλλά και λιγότερη φθορά στο εργαλείο. Ωστόσο, επιλέγοντας το εργαλείο να κινηθεί και με τις δύο φορές (Both Ways) μειώνεται σημαντικά ο χρόνος κατεργασίας. Εδώ επιλέχθηκε η μέθοδος **Climb**.
- **Stock to Leave:** επιτρέπει την παράκαμψη των υψών για την επεξεργασία ενός ποσού ακατέργαστου, είτε έχοντας θετικό πρόσημο και συμβάλλει στην διατήρηση της ποιότητας και την περαιτέρω επεξεργασία του αντικείμενου είτε με αρνητικό πρόσημο θέτοντας σε επεξεργασία το αντικείμενο πέρα απ' το προβλεπόμενο. Στο συγκεκριμένο παράδειγμα θα παραμείνει ανενεργή η επιλογή. Ως προέκταση της εντολής, η παράμετρος **Radial Stock to Leave** ελέγχει την ποσότητα αυτή κατά τη διάρκεια των ακτινικών κατεργασιών.



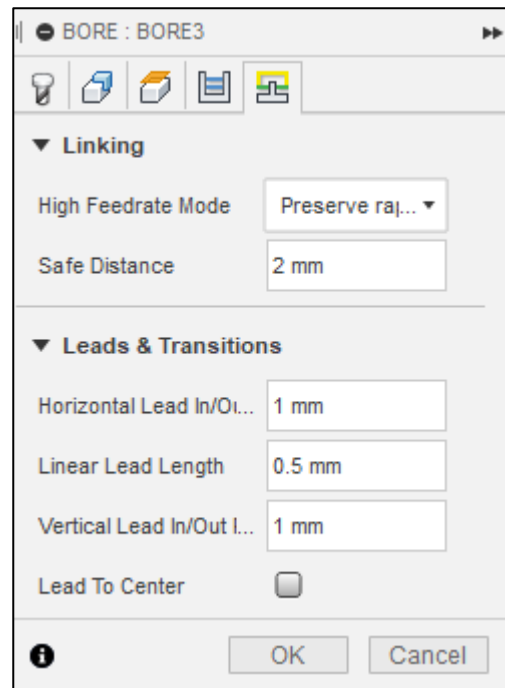
Εικόνα 5.3.42 Καρτέλα Passes εντολής Bore.

**Καρτέλα Linking:** Οι τιμές και οι επιλογές των εντολών που χρησιμοποιήθηκαν για το παράδειγμα φαίνονται στην Εικόνα 5.3.43. Οι επιλογές της καρτέλας είναι οι εξής:

- **High Feedrate Mode:** καθορίζει το πότε το κοπτικό εργαλείο θα κινείται με την μέγιστη ταχύτητα πρόωσης της εργαλειομηχανής (G0) και πότε με ταχύτητα ορισμένης πρόωσης (G1). Η εντολή αυτή συμβάλλει στον περεταίρω έλεγχο των γρήγορων κινήσεων G0 παραμετροποιώντας τες σε G1 για την αποφυγή συγκρούσεων. Περιλαμβάνονται έξι επιλογές:



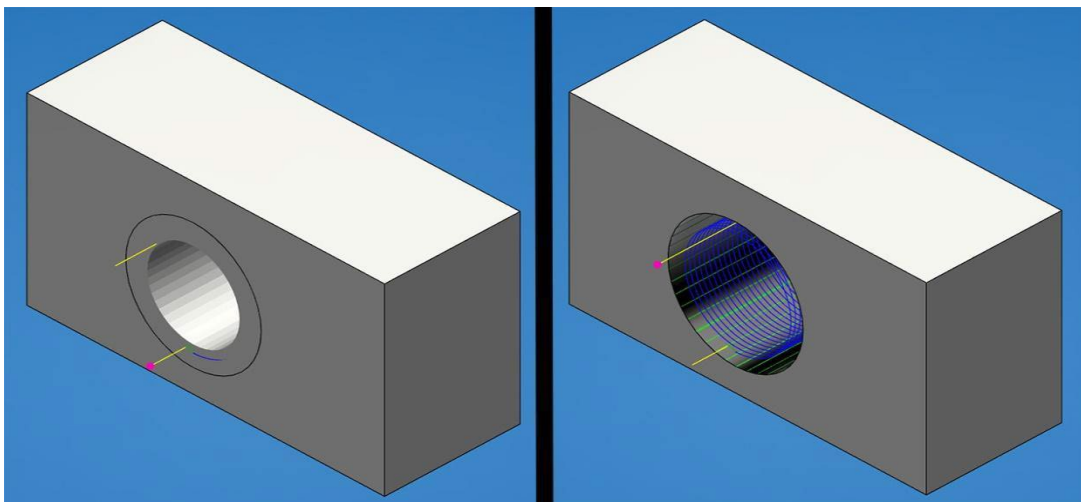
- **Preserve rapid movement:** διατηρεί όλες τις γρήγορες κινήσεις ως G0.
- **Preserve axial and radial rapid movement:** Οι γρήγορες κινήσεις που εκτελούνται αξονικά ή ακτινικά, διατηρούν G0.
- **Preserve axial rapid movement:** Οι γρήγορες κινήσεις που εκτελούνται αξονικά, διατηρούν G0.
- **Preserve radial rapid movement:** Οι γρήγορες κινήσεις που εκτελούνται ακτινικά, διατηρούν G0.
- **Preserve single axis rapid movement:** Οι γρήγορες κινήσεις που εκτελούνται σε έναν άξονα (X, Y ή Z), διατηρούν G0.
- **Always use high feed:** όλες οι γρήγορες κινήσεις αποκτούν ταχύτητα ορισμένης πρόωσης G01.



Εικόνα 5.3.43 Καρτέλα Linking εντολής Bore.

Στο παράδειγμα έχει επιλεχθεί η επιλογή **Preserve rapid movement** καθώς δεν χρειάζεται περαιτέρω προσοχή για την συγκεκριμένη κατεργασία.

- **Safe Distance:** ελάχιστη απόσταση μεταξύ του εργαλείου και των επιφανειών του προς κατεργασία εξαρτήματος κατά την ανάσχυση.
- **Horizontal Lead In/Out Radius:** οριζόντια ακτίνα εισόδου/εξόδου του κοπτικού.
- **Linear Lead Length:** διευκρινίζει την απόσταση της γραμμικής εισόδου του εργαλείου.
- **Vertical Lead In/Out Radius:** κάθετη ακτίνα εισόδου/εξόδου του κοπτικού.
- **Lead To Center:** διευκρινίζει ότι η κίνηση εισόδου και εξόδου του εργαλείου θα καταλήγει στο κέντρο της γεωμετρίας.



Εικόνα 5.3.44 Αριστερά φαίνεται το αντικείμενο πριν την κατεργασία Bore, ενώ δεξιά μετά την κατεργασία.

**Ανάλυση κατεργασίας:** Παρατηρούμε από την εικόνα 5.3.44 ότι στην προσομοίωση της κατεργασίας φαίνεται η τροχιά του κοπτικού κατά την κατεργασία, η ομαλή είσοδος του κοπτικού προς το ακατέργαστο και διακρίνεται η γωνία της σπείρας λόγω των εντολών **Use Ramp Angle** και **Angle**.

## Trace



**Trace:** Milling>2D>Trace

**Περιγραφή Κατεργασίας:** Δημιουργία χάραξης μιας επιφάνειας κατά μήκος ενός περιγράμματος μεταβαλλόμενου Z άξονα. Μπορεί να χρησιμοποιηθεί είτε για μονογραμμικές χαράξεις είτε για κείμενο. Ιδιαίτερα ικανή κατεργασία για δημιουργία οδοντώσεων σε Z άξονα μεταβλητών τιμών.

**Καρτέλα Tool:** Για το παράδειγμα το εργαλείο που επιλέχθηκε είναι ένα Ball end mill κονδύλι διαμέτρου 8mm.

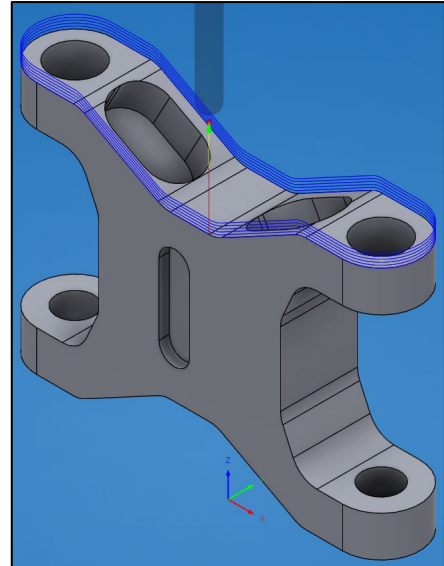
Για το παράδειγμα επιλέχθηκε η μέθοδος **Flood**.

**Καρτέλα Geometry:** Οι επιλογές για την οριοθέτηση της κατεργασίας είναι οι παρακάτω:

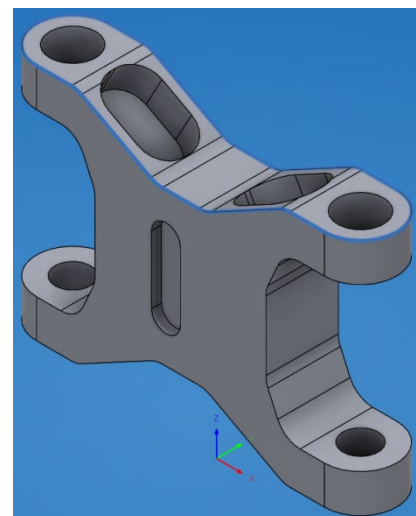
- **Curve Selections:** επιλογή οποιουδήποτε 3D Sketch ή καμπύλης για να οριστεί η διαδρομή της κατεργασίας. Η εντολή μπορεί να χρησιμοποιηθεί για την κοπή οδοντώσεων, χάραξη κειμένου ή κατεργασία άκρων (Chamfer). Στο παράδειγμα της εικόνας 5.3.46 διακρίνεται την επιλογή του περιγράμματος του αντικειμένου.
- **Tool Orientation:** υπάρχει η δυνατότητα επιλογής συστήματος συντεταγμένων, διαφορετικό απ' αυτό που επιλέχθηκε στο **Setup**.

**Καρτέλα Heights:** Στο συγκεκριμένο παράδειγμα για το ύψος Clearance Height έχει επιλεγθεί ως σημείο αναφοράς το ύψος του Retract Height, και Offset=10mm. Για το ύψος Retract Height έχει οριστεί ως σημείο αναφοράς το Stock Top με Offset=5mm, ενώ στο ύψος του Feed Height επιλέχθηκε ως σημείο αναφοράς το Model Top με Offset=5mm.

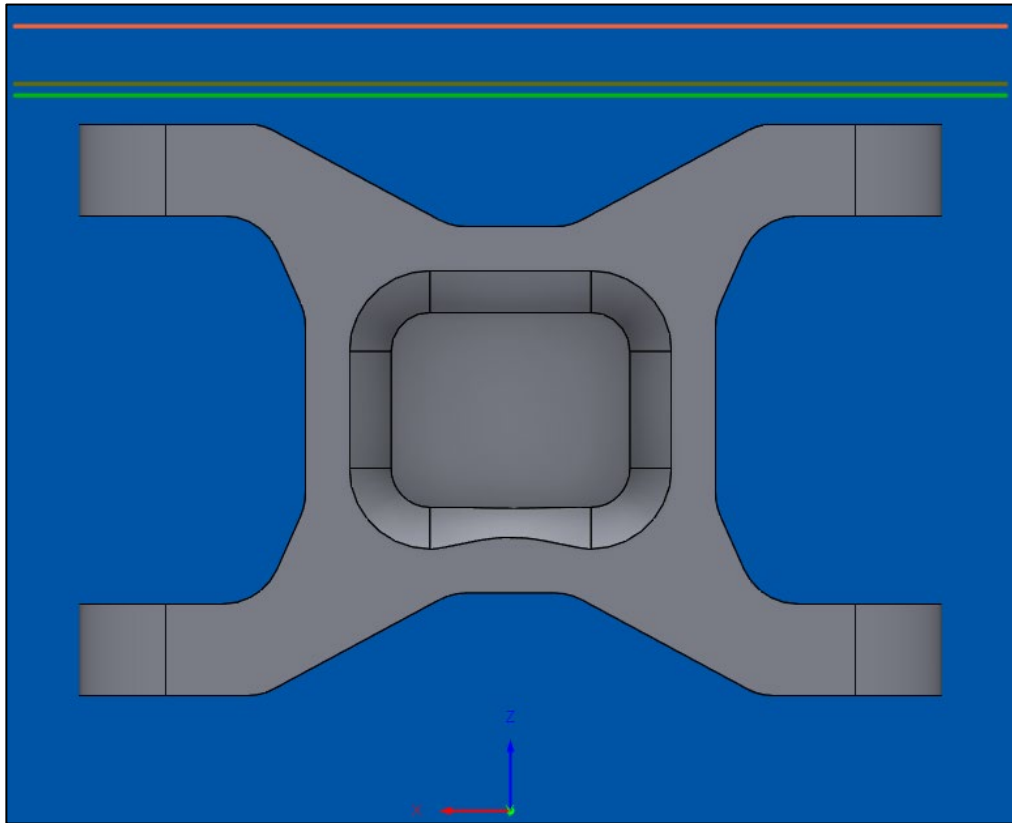
Παρατηρείται ότι στο παράδειγμα της εικόνας 5.3.47 δεν υπάρχουν τα ύψη **Top Height** και **Bottom Height** και αυτό γιατί το πάνω και το κάτω όριο της κατεργασίας ορίζονται από την τρισδιάστατη καμπύλη που θα ορίσει την κατεργασία.



Εικόνα 5.3.45 Παράδειγμα προσομοίωσης κατεργασίας Trace



Εικόνα 5.3.46 Παράδειγμα ορίου κατεργασίας με την βοήθεια της επιλογής Curve Selections.

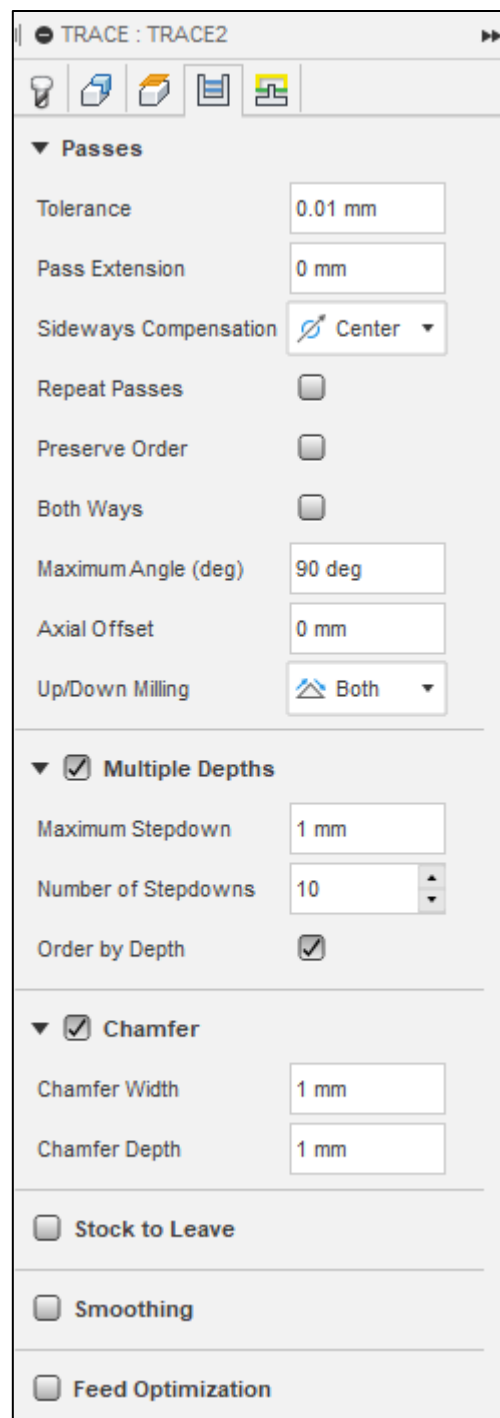


Εικόνα 5.3.47 Παράδειγμα υψών κατεργασίας Trace.

**Καρτέλα Passes:** οι επιλογές είναι οι εξής:

- **Tolerance:** επιλογή της διαστασιακής ακρίβειας. Στο συγκεκριμένο παράδειγμα η ακρίβεια έχει οριστεί στα 0.01mm.
- **Pass Extension:** επιλογή του μήκους της απόστασης που θα διατηρήσει το εργαλείο σε κάθε πέρασμα από το περίγραμμα της κατεργασίας. Στο συγκεκριμένο παράδειγμα ορίστηκε ως 10mm.
- **Sideways Compensation:** πρακτικά είναι η ίδια εντολή με το Direction, με την διαφορά ότι το κοπτικό εργαλείο εδώ έχει συνεχόμενη διαδρομή. Επιλέγεται η κατεύθυνση της αντιστάθμισης του κοπτικού εργαλείου σύμφωνα με την φορά περιστροφής του. Εδώ επιλέχτηκε η μέθοδος **Center**.
- **Repeat Passes:** επανάληψη του τελευταίου περάσματος.
- **Preserve Order:** διευκρινίζει την σειρά κατεργασίας των επιλεγμένων γεωμετριών. Όταν δεν είναι επιλεγμένη τότε το Fusion βελτιστοποιεί τη σειρά κοπής.
- **Both Ways:** επιτρέπει το συνεχόμενο φρεζάρισμα και από τις δύο πλευρές, χωρίς να επανατοποθετείται το κοπτικό κάθε φορά, και κάνει κατεργασία και με την μέθοδο του Climb και με την μέθοδο Conventional.
- **Maximum Angle (deg):** περιορίζει την διαδρομή του κοπτικού για περιπτώσεις που στο σημείο επαφής χρειάζεται μικρότερη γωνία από το καθορισμένο.
- **Axial Offset:** χρησιμοποιείται για την μετακίνηση της καμπύλης προς τα πάνω ή προς τα κάτω κατά άξονα.

- **Up/Down Milling:** χρησιμοποιείται για την τμηματοποίηση των περασμάτων, έτσι ώστε κάθε κομμάτι να δέχεται επεξεργασία από το κοπτικό μόνο προς τα πάνω ή μόνο προς τα κάτω. Στην συγκεκριμένη περίπτωση επιλέχθηκε το Both διότι το συγκεκριμένο κομμάτι δεν χρειάζεται κάποια ιδιαίτερη επεξεργασία ούτε κάποιο κοπτικό που να περιορίζεται η κινησιολογία του μόνο προς μια κατεύθυνση.
- **Multiple Depths:** ενεργοποιεί τη λειτουργία αφαίρεσης υλικού με πολλαπλά βάθη. Στο συγκεκριμένο παράδειγμα η εντολή επιλέχθηκε, καθώς το ακατέργαστο έχει μεγάλο βάθος σε κάποια σημεία της διαδρομής του κοπτικού.
- **Maximum Stepdown:** καθορίζει το βήμα μεταξύ των πολλαπλών βαθών, ενώ το τελικό βήμα θα είναι ό, τι απέμεινε από το ακατέργαστο. Στο συγκεκριμένο παράδειγμα επιλέχθηκε το όριο του 1mm.
- **Number of Stepdowns:** διευκρινίζει τον αριθμό των βημάτων. Στο συγκεκριμένο παράδειγμα επιλέχθηκαν 10 βήματα.
- **Order by Depth:** όταν είναι ενεργοποιημένη διατάσσει τα πολλαπλά περάσματα κατά άξονα Z. Στο συγκεκριμένο παράδειγμα η εντολή επιλέχθηκε ώστε η κατανομή των βημάτων να γίνει βήμα προς βήμα κατά άξονα Z.
- **Chamfer:** ιδανικά πρέπει να επιλεγθεί κάποιο εργαλείο Tapered ή Chamfer για την συγκεκριμένη λειτουργία. Επιλέγοντας την εντολή προστίθενται επιπλέον επιλογές στο παράθυρο της κατεργασίας, ιδανικές για την παραμετροποίηση της εντολής ώστε να πραγματοποιηθεί λοξότμηση μιας ακμής ή γεωμετρίας. Στην περίπτωση αυτή δεν υπάρχει ανάγκη λοξοτομής, οπότε δεν επιλέχθηκε.
- **Chamfer Width:** ορίζει το πάχος της λοξότμησης.
- **Chamfer Depth:** ορίζει το βάθος της λοξότμησης.
- **Stock to Leave:** επιτρέπει την παράκαμψη των υψών για την επεξεργασία ενός ποσού ακατέργαστου, είτε έχοντας θετικό πρόσημο και συμβάλλει στην διατήρηση της ποιότητας και την περαιτέρω επεξεργασία του αντικείμενου είτε με αρνητικό πρόσημο θέτοντας σε επεξεργασία το αντικείμενο πέρα απ' το προβλεπόμενο. Στο συγκεκριμένο παράδειγμα θα παραμείνει ανενεργή η επιλογή. Ως προέκταση της εντολής, η παράμετρος **Axial Stock to Leave** ελέγχει την ποσότητα αυτή κατά τη διάρκεια των αξονικών κατεργασιών, ενώ η παράμετρος **Radial Stock to Leave** ελέγχει την ποσότητα αυτή κατά τη διάρκεια των ακτινικών κατεργασιών.



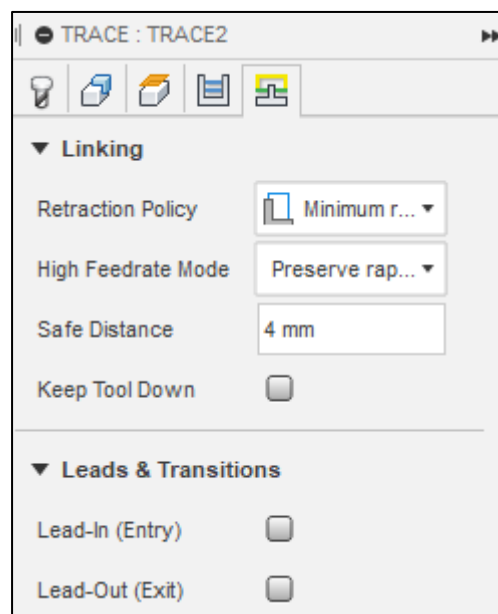
Εικόνα 5.3.48 Καρτέλα Passes εντολής Trace.

- **Smoothing:** εξομαλύνει τη διαδρομή του εργαλείου αντικαθιστώντας τα πολύ μικρά τμήματα της διαδρομής, με μεγαλύτερα τόξα. Η ακρίβεια θα παραμείνει η ίδια, ενώ ο κώδικας θα μειωθεί κατά πολύ. Η εντολή δεν θα επιλεγεί διότι είναι καθαρά υποκειμενική η χρήση της και δεν χρειάζεται για την συγκεκριμένη περίπτωση παραδείγματος.
- **Feed Optimization:** ελέγχει την τροφοδοσία στις γωνίες μειώνοντας τον ρυθμό αφαίρεσης υλικού με σκοπό την προστασία του εργαλείου. Η εντολή στο παραπάνω παράδειγμα δεν επιλέχθηκε καθώς το εργαλείο δεν έχει περίπλοκη τροχιά. Οι παρακάτω επιλογές ανήκουν στο πλαίσιο αυτής της εντολής:
  - **Maximum Directional Change:** καθορίζει τη μέγιστη γωνιακή αλλαγή προτού μειωθεί η τροφοδοσία.
  - **Reduced Feed Radius:** καθορίζει την ελάχιστη επιτρεπτή ακτίνα προτού μειωθεί η τροφοδοσία.
  - **Reduced Feed Distance:** καθορίζει την απόσταση προτού μειωθεί η τροφοδοσία κοντά σε μία γωνία.
  - **Reduced Feedrate:** καθορίζει την μειωμένη ταχύτητα πρόωσης που θα χρησιμοποιείται στις γωνίες.
  - **Only Inner Corners:** ενεργοποιείται ώστε να μειώνεται η τροφοδοσία μόνο στις εσωτερικές γωνίες.

**Καρτέλα Linking:** Οι τιμές και οι επιλογές των εντολών που χρησιμοποιήθηκαν για το παράδειγμα, φαίνονται στην Εικόνα 5.3.49. Οι επιλογές της καρτέλας είναι οι εξής:

- **Retraction Policy:** καθορίζει την στρατηγική που θα ακολουθηθεί στην κοπή κατά την ανάσυρση του κοπτικού εργαλείου.
- **High Feedrate Mode:** καθορίζει το πότε το κοπτικό εργαλείο θα κινείται με την μέγιστη ταχύτητα πρόωσης της εργαλειομηχανής (G0) και πότε με ταχύτητα ορισμένης πρόωσης (G1). Η εντολή αυτή συμβάλλει στον περεταίρω έλεγχο των γρήγορων κινήσεων G0 παραμετροποιώντας τις σε G1 για την αποφυγή συγκρούσεων. Περιλαμβάνονται έξι επιλογές:

- **Preserve rapid movement:** διατηρεί όλες τις γρήγορες κινήσεις ως G0.
- **Preserve axial and radial rapid movement:** Οι γρήγορες κινήσεις που εκτελούνται αξονικά ή ακτινικά, διατηρούν G0.
- **Preserve axial rapid movement:** Οι γρήγορες κινήσεις που εκτελούνται αξονικά, διατηρούν G0.
- **Preserve radial rapid movement:** Οι γρήγορες κινήσεις που εκτελούνται ακτινικά, διατηρούν G0.
- **Preserve single axis rapid movement:** Οι γρήγορες κινήσεις που εκτελούνται σε έναν άξονα (X, Y ή Z), διατηρούν G0.



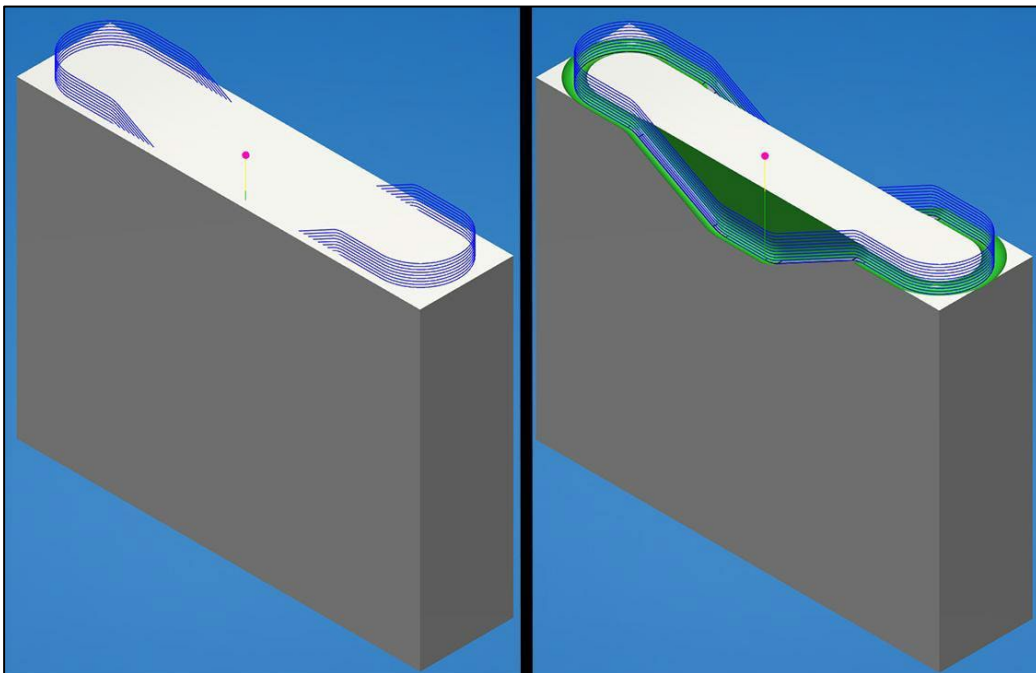
Εικόνα 5.3.49 Καρτέλα Linking εντολής Trace.

- **Always use high feed:** όλες οι γρήγορες κινήσεις αποκτούν ταχύτητα ορισμένης πρόωσης G01.

Στο παράδειγμα έχει επιλεγθεί η επιλογή **Preserve rapid movement** καθώς δεν χρειάζεται περαιτέρω προσοχή για την συγκεκριμένη κατεργασία.

- **Safe Distance:** ελάχιστη απόσταση μεταξύ του εργαλείου και των επιφανειών του πρὸς κατεργασία εξαρτήματος κατά την ανάσχυση.
- **Keep Tool Down:** η εντολή κρατάει το εργαλείο χαμηλά στην περιοχή της κοπής, αποφεύγοντας έτσι την πλήρη ανάκλιση, και δημιουργώντας μια ελάχιστη ανάσχυση του εργαλείου μικρότερου ύψους.
- **Lead-In (Entry):** ομαλοποιεί την είσοδο του κοπτικού εργαλείου στο ακατέργαστο.
- **Vertical Lead-In Radius:** ακτίνα εισαγωγής του κοπτικού.
- **Lead-Out (Exit):** ομαλοποιεί την έξοδο του κοπτικού εργαλείου από το ακατέργαστο.
- **Same as Lead-In:** καθορίζει ότι ο τρόπος εξαγωγής του κοπτικού από το ακατέργαστο, θα είναι ίδιος με τον τρόπο εισαγωγής. Αν η επιλογή δεν είναι επιλεγμένη, τότε εμφανίζεται μια παραπάνω επιλογή **Vertical Lead-Out Radius**, όπου καθορίζει την ακτίνα εξόδου του κοπτικού.

**Ανάλυση κατεργασίας:** Παρατηρούμε από την εικόνα 5.3.50 ότι στην προσομοίωση της κατεργασίας φαίνεται η τροχιά του κοπτικού κατά την κατεργασία, τα 10 βήματα κατά άξονα Z, καθώς και η κοίλη επιφάνεια που έχει αφήσει το Ball nose Κονδύλι.



Εικόνα 5.3.50 Αριστερά φαίνεται το αντικείμενο πριν την κατεργασία Trace, ενώ δεξιά μετά την κατεργασία.





**Circular:** Milling>2D>Circular

**Περιγραφή Κατεργασίας:** Κατεργασία φρεζαρίσματος κυλινδρικών οπών και προεξοχών. Μπορούν να επιλεχθούν μόνο κυλινδρικές όψεις με κάθετα τοιχώματα, ενώ το ύψος και το βάθος καθορίζεται από την επιλογή.

**Καρτέλα Tool:** Για το παράδειγμα το εργαλείο που επιλέχθηκε είναι ένα Flat end mill κονδύλι διαμέτρου 12mm.

Για το παράδειγμα επιλέχθηκε η μέθοδος **Flood**.

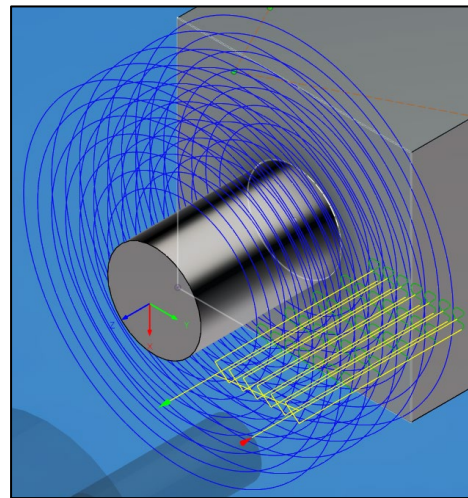
**Καρτέλα Geometry:** Οι επιλογές για την οριοθέτηση της κατεργασίας είναι οι παρακάτω:

**Selection Mode:** επιλογή του τύπου της προς κατεργασία γεωμετρίας. Μπορεί είτε να επιλεχθεί κάποιο πρόσωπο για κατεργασία είτε η διάμετρος της διαδρομής του εργαλείου. Αν επιλεχθεί το πρόσωπο που θα γίνει η κατεργασία (όπως και στο παράδειγμα) οι επιλογές του παραθύρου Geometry είναι οι παρακάτω:

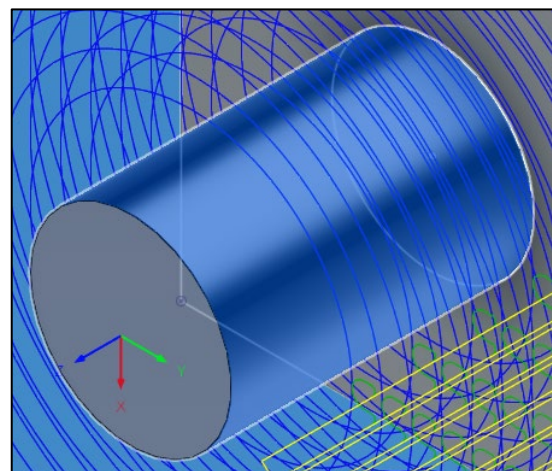
- **Circular Face Selections:** επιλογή του προσώπου που θα γίνει η κατεργασία.
- **Select Same Diameter:** επιλογή όλων των προς κατεργασία οπών με την ίδια διάμετρο. Υπάρχουν δυο βοηθητικές εντολές για την επιλογή των οπών: **Only Same Hole Depth** για την επιλογή οπών με το ίδιο βάθος και **Only Same Z Top Height** για την επιλογή οπών που ανήκουν στο ίδιο ύψος κατεργασίας. Η επιλογή **Select Same Diameter** δεν επιλέχθηκε στην συγκεκριμένη κατεργασία καθώς η κατεργασία προορίζεται για εξωτερική σπειροτόμηση.

Αν ωστόσο επιλεχθεί ο τύπος κατεργασίας που ορίζει την διάμετρο της διαδρομής του κοπτικού, τότε η ομάδα εντολών του παραθύρου Geometry θα είναι η ακόλουθη:

- **Feature Type:** επιλογή του τύπου κατεργασίας που θα γίνει. Οι επιλογές είναι μεταξύ των:
  - **Holes Only:** κατεργασία μόνο οπών.
  - **Bosses Only:** κατεργασία μόνο εξωτερικών γεωμετριών.
  - **Both:** κατεργασία και των δύο κατηγοριών.
- **Minimum Diameter:** διευκρινίζει την ελάχιστη διάμετρο που θα έχουν οι επιλεγμένες γεωμετρίες.
- **Maximum Diameter:** διευκρινίζει την μέγιστη διάμετρο που θα έχουν οι επιλεγμένες γεωμετρίες.



Εικόνα 5.3.51 Παράδειγμα προσομοίωσης κατεργασίας Circular

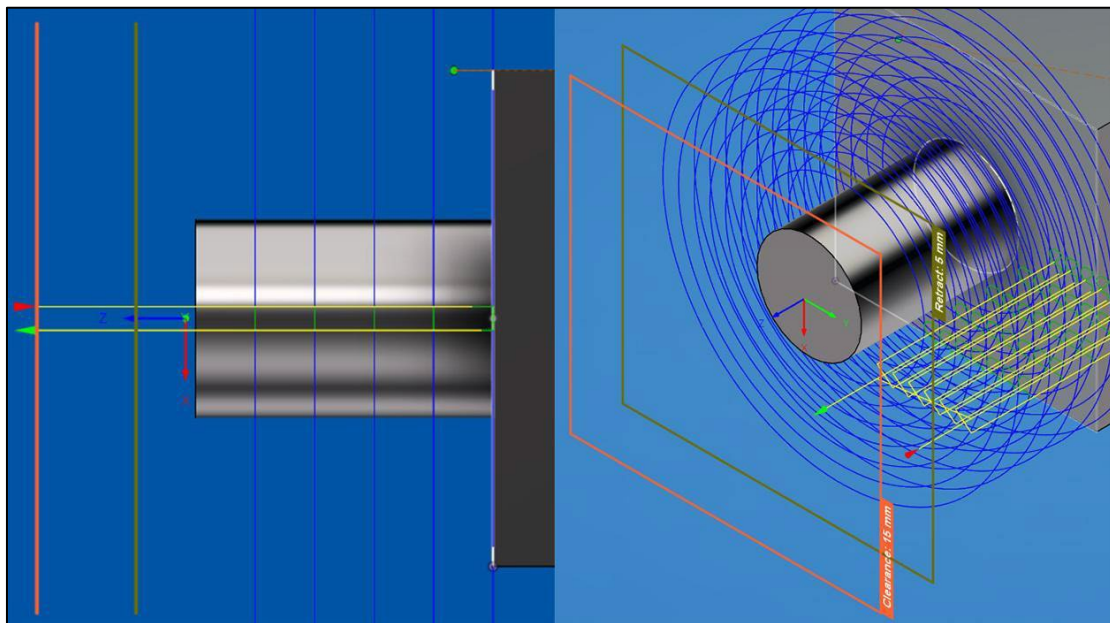


Εικόνα 5.3.52 Παράδειγμα της επιλεγμένης γεωμετρίας με την διαδικασία της επιλογής προσώπου.

- **Containment Boundary:** χρησιμοποιείται για την επιλογή και ομαδοποίηση παρόμοιων προς κατεργασία γεωμετριών.

Οι παρακάτω επιλογές είναι κοινές και στις δύο μεθόδους.

- **Order by Depth:** όταν είναι ενεργοποιημένη διατάσσει τις κατεργασίες απ' αυτές με το μεγαλύτερο ύψος κατεργασίας, σε αυτές με το χαμηλότερο. Η επιλογή **Order by Depth** δεν επιλέχθηκε στην συγκεκριμένη κατεργασία καθώς η κατεργασία προορίζεται για ένα μόνο πρόσωπο.
- **Order:** καθορίζει την σειρά κατεργασίας των οπών.
- **Reverse Order:** ενεργοποιείται για να αντιστρέψει την σειρά κατεργασίας των οπών.
- **Tool Orientation:** υπάρχει η δυνατότητα επιλογής συστήματος συντεταγμένων, διαφορετικό απ' αυτό που επιλέχθηκε στο **Setup**.



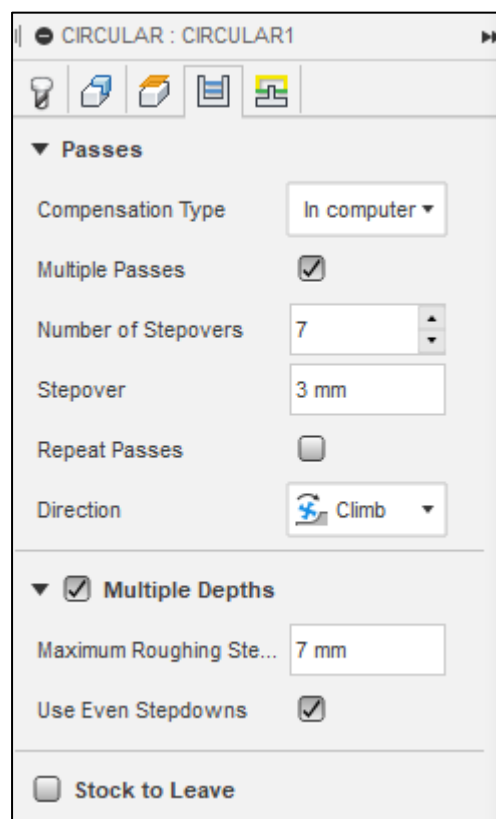
Εικόνα 5.3.53 Παράδειγμα υψών κατεργασίας Circular. Αριστερά της εικόνας φαίνεται η πλάγια όψη της κατεργασίας, ενώ δεξιά υπάρχει μια τρισδιάστατη αποτύπωση του αντικειμένου για την καλύτερη κατανόηση των υψών.

**Καρτέλα Heights:** Στο συγκεκριμένο παράδειγμα για το ύψος Clearance Height έχει επιλεγεί ως σημείο αναφοράς το ύψος του Retract Height, και Offset=10mm. Για το ύψος Retract Height έχει οριστεί ως σημείο αναφοράς το Stock Top με Offset=5mm. Τέλος το άνω ύψος (Top) οριοθετήθηκε με την επιλογή Hole top, διαλέγοντας την αρχή της κυλινδρικής γεωμετρίας που θα κατεργαστεί, και με Offset=0, ενώ το Bottom Height οριοθετήθηκε με την επιλογή Hole Bottom, και επιλέχθηκε το τέλος της κυλινδρικής γεωμετρίας που θα κατεργαστεί, και με Offset=0.

**Καρτέλα Passes:** οι επιλογές είναι οι εξής:

- **Compensation Type:** καθορίζει τον τύπο αντιστάθμισης. Στο συγκεκριμένο παράδειγμα επιλέχθηκε η In Computer επιλογή.
  - **In Computer:** υπολογίζεται από το Fusion 360 με βάση τις παραμέτρους του εργαλείου.
  - **In Control:** μπορεί να οριστεί από την εργαλειομηχανή.

- **Wear:** ορίζεται από το Fusion, αλλά υπάρχει δυνατότητα προσαρμογής και από την εργαλειομηχανή.
- **Inverse Wear:** όπως και στην Wear ορίζεται και από το Fusion και από την εργαλειομηχανή, με την διαφορά ότι η φθορά έχει θετική τιμή.
- **Off:** απενεργοποίηση του υπολογισμού της αντιστάθμισης.
- **Multiple Passes:** ενεργοποίηση πολλαπλών περασμάτων. Αφήνει πολύ καλή επιφάνεια, αλλά αυξάνει τον χρόνο κατεργασίας. Η εντολή επιλέχθηκε στην συγκεκριμένη περίπτωση, καθώς το υλικό που θα κατεργαστεί είναι ποσοτικά μεγάλο και θα χρειαστεί παραπάνω από ένα πέρασμα.
- **Number of Steppers:** επιλογή των περασμάτων εκχόνδρισης. Στο συγκεκριμένο παράδειγμα επιλέχτηκαν 7 περάσματα.
- **Stepover:** επιλογή της απόστασης μεταξύ των περασμάτων που θα κάνει το κοπτικό εργαλείο. Ουσιαστικά ορίζει την πυκνότητα των περασμάτων πάνω από το ακατέργαστο. Στο παράδειγμα έχει οριστεί ώστε τα περάσματα να απέχουν μεταξύ τους 3mm.
- **Repeat Passes:** επανάληψη των περασμάτων για καλύτερη επιφάνεια. Η επιλογή δεν επιλέχθηκε.
- **Direction:** η επιλογή επιτρέπει να οριστεί η φορά που θα πραγματοποιήσει την κοπή το κοπτικό εργαλείο σύμφωνα με την φορά περιστροφής του. Με την μέθοδο Climb το εργαλείο αφαιρεί υλικό με φορά που μοιάζει με κύλιση πάνω στο υλικό, ενώ με την συμβατική μέθοδο (Conventional) το εργαλείο κινείται αντίθετα. Η πρώτη μέθοδος τείνει να αφήνει καλύτερες επιφάνειες, να έχει λιγότερες ταλαντώσεις κατά την κατεργασία, αλλά και λιγότερη φθορά στο εργαλείο. Εδώ επιλέχθηκε η μέθοδος **Climb**.
- **Multiple Depths:** ενεργοποιεί τη λειτουργία αφαίρεσης υλικού με πολλαπλά βάθη. Στο συγκεκριμένο παράδειγμα η εντολή επιλέχθηκε, διότι έχει υλικό που χρειάζεται περισσότερο από ένα πέρασμα.
- **Maximum Roughing Stepdown:** καθορίζει το βήμα μεταξύ των πολλαπλών βαθών, ενώ το τελικό βήμα θα είναι ό, τι απέμεινε από το ακατέργαστο. Για το συγκεκριμένο παράδειγμα ορίστηκε στα 7mm.
- **Use Even Stepdowns:** η επιλογή ουσιαστικά διαιρεί σε ίσα μήκη τα περάσματα. Για παράδειγμα, έχουμε ένα ακατέργαστο αντικείμενο και το εργαλείο πρέπει να κόψει 23 χιλιοστά πρόσωπο με maximum stepdown 10mm. Με την επιλογή κλικαρισμένη θα υπολογιστούν τρία περάσματα με πάχος -7.666mm. Η επιλογή επιλέχθηκε για την διαίρεση των περασμάτων.
- **Stock to Leave:** επιτρέπει την παράκαμψη των υψών για την επεξεργασία ενός ποσού ακατέργαστου, είτε έχοντας θετικό πρόσημο και συμβάλλει στην διατήρηση της ποιότητας και την περαιτέρω επεξεργασία του αντικειμένου είτε με αρνητικό πρόσημο, θέτοντας σε επεξεργασία το αντικείμενο πέρα απ' το προβλεπόμενο.

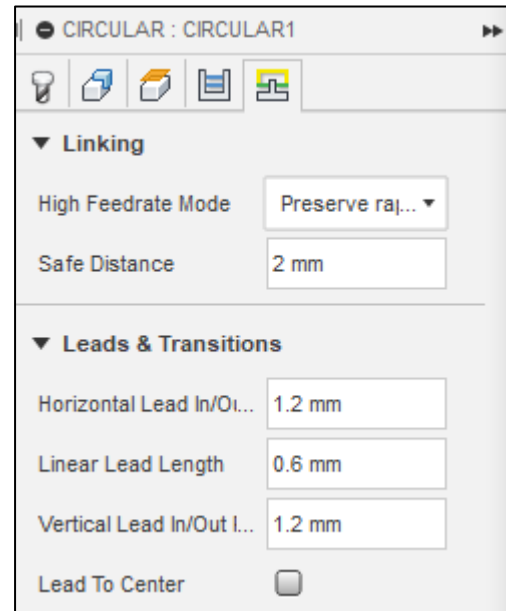


Εικόνα 5.3.54 Καρτέλα Passes εντολής Circular.

Στο συγκεκριμένο παράδειγμα θα παραμείνει ανενεργή η επιλογή. Ως προέκταση της εντολής, η παράμετρος **Radial Stock to Leave** ελέγχει την ποσότητα αυτή κατά τη διάρκεια των ακτινικών κατεργασιών.

**Καρτέλα Linking:** Τις τιμές και τις επιλογές των εντολών που χρησιμοποιήθηκαν για το παράδειγμα, φαίνονται στην Εικόνα 5.3.55. Οι επιλογές της καρτέλας είναι οι εξής:

- **High Feedrate Mode:** καθορίζει το πότε το κοπτικό εργαλείο θα κινείται με την μέγιστη ταχύτητα πρόωσης της εργαλειομηχανής (G0) και πότε με ταχύτητα ορισμένης πρόωσης (G1). Η εντολή αυτή συμβάλλει στον περεταίρω έλεγχο των γρήγορων κινήσεων G0 παραμετροποιώντας τις σε G1 για την αποφυγή συγκρούσεων. Περιλαμβάνονται έξι επιλογές:
  - **Preserve rapid movement:** διατηρεί όλες τις γρήγορες κινήσεις ως G0.
  - **Preserve axial and radial rapid movement:** Οι γρήγορες κινήσεις που εκτελούνται αξονικά ή ακτινικά, διατηρούν G0.
  - **Preserve axial rapid movement:** Οι γρήγορες κινήσεις που εκτελούνται αξονικά, διατηρούν G0.
  - **Preserve radial rapid movement:** Οι γρήγορες κινήσεις που εκτελούνται ακτινικά, διατηρούν G0.
  - **Preserve single axis rapid movement:** Οι γρήγορες κινήσεις που εκτελούνται σε έναν άξονα (X, Y ή Z), διατηρούν G0.
  - **Always use high feed:** όλες οι γρήγορες κινήσεις αποκτούν ταχύτητα ορισμένης πρόωσης G01.



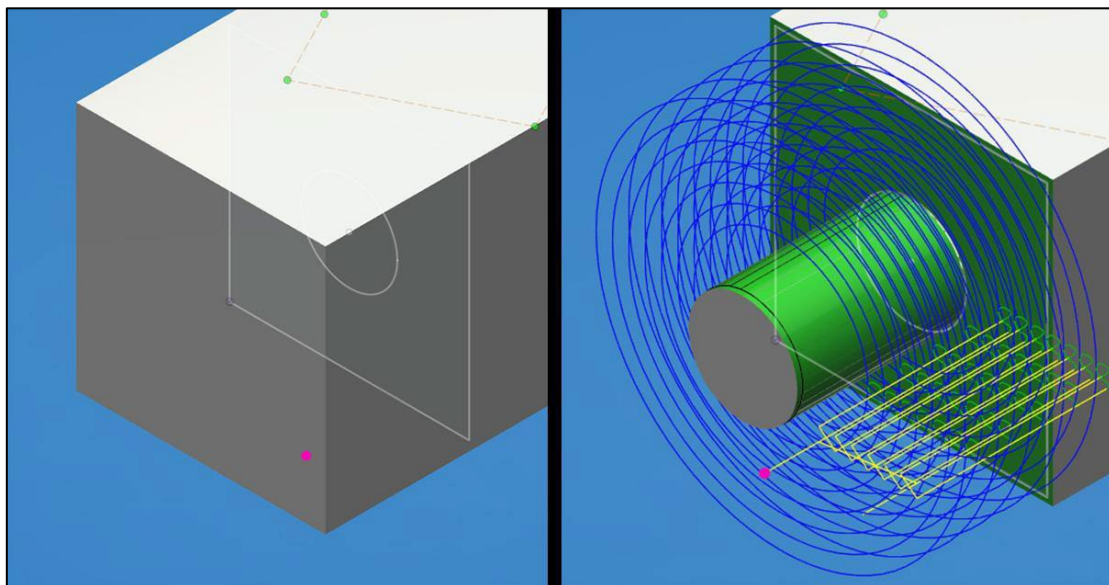
Εικόνα 5.3.55 Καρτέλα Linking εντολής Circular.

Στο παράδειγμα έχει επιλεγθεί η επιλογή **Preserve rapid movement** καθώς δεν χρειάζεται περεταίρω προσοχή για την συγκεκριμένη κατεργασία.

- **Safe Distance:** ελάχιστη απόσταση μεταξύ του εργαλείου και των επιφανειών του προς κατεργασία εξαρτήματος κατά την ανάσυρση.
- **Horizontal Lead In/Out Radius:** οριζόντια ακτίνα εισόδου/εξόδου του κοπτικού.
- **Linear Lead Length:** διευκρινίζει την απόσταση της γραμμικής εισόδου του εργαλείου.
- **Vertical Lead In/Out Radius:** κάθετη ακτίνα εισόδου/εξόδου του κοπτικού.
- **Lead To Center:** διευκρινίζει ότι η κίνηση εισόδου και εξόδου του εργαλείου θα καταλήγει στο κέντρο της γεωμετρίας.

**Ανάλυση κατεργασίας:** Παρατηρούμε από την εικόνα 5.3.56 ότι στην προσομοίωση της κατεργασίας φαίνεται η τροχιά του κοπτικού κατά την κατεργασία, η ομαλή είσοδος και έξοδος του κοπτικού προς το ακατέργαστο, ενώ εύκολα διακρίνονται τα πολλαπλά βάθη (πέντε σε αριθμό) και τα πολλαπλά περάσματα ανά βάθος (επτά σε αριθμό).





Εικόνα 5.3.56 Αριστερά φαίνεται το αντικείμενο πριν την κατεργασία Circular, ενώ δεξιά μετά την κατεργασία.

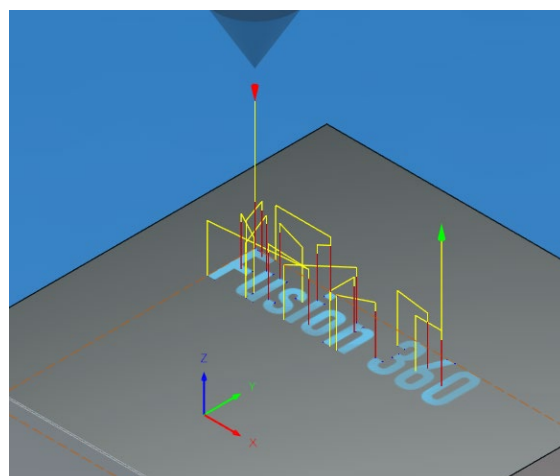
## Engrave



**Engrave:** Milling>2D>Engrave

**Περιγραφή Κατεργασίας:** Χάραξη μικρής ποσότητας υλικού από την επιφάνεια του αντικειμένου, κυρίως για την χάραξη γραμμάτων και σχεδίων. Χρησιμοποιούνται ως επί το πλείστον εργαλεία λοξοτομής σε σχήμα V.

**Καρτέλα Tool:** Για το παράδειγμα το εργαλείο που επιλέχθηκε είναι ένα Chamfer mill κονδύλι διαμέτρου 10mm και γωνίας 30 μοιρών.

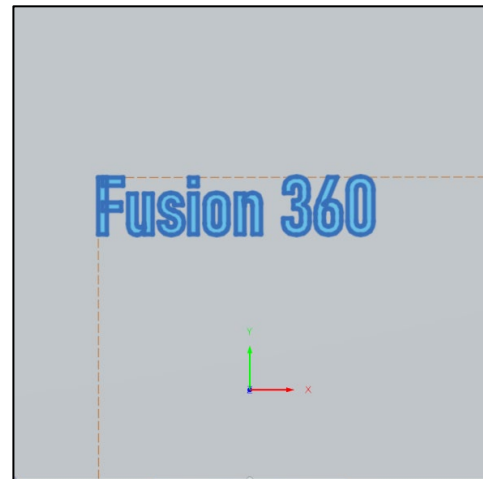


Εικόνα 5.3.57 Παράδειγμα προσομοίωσης κατεργασίας Engrave

Για το παράδειγμα επιλέχθηκε η μέθοδος **Flood**.

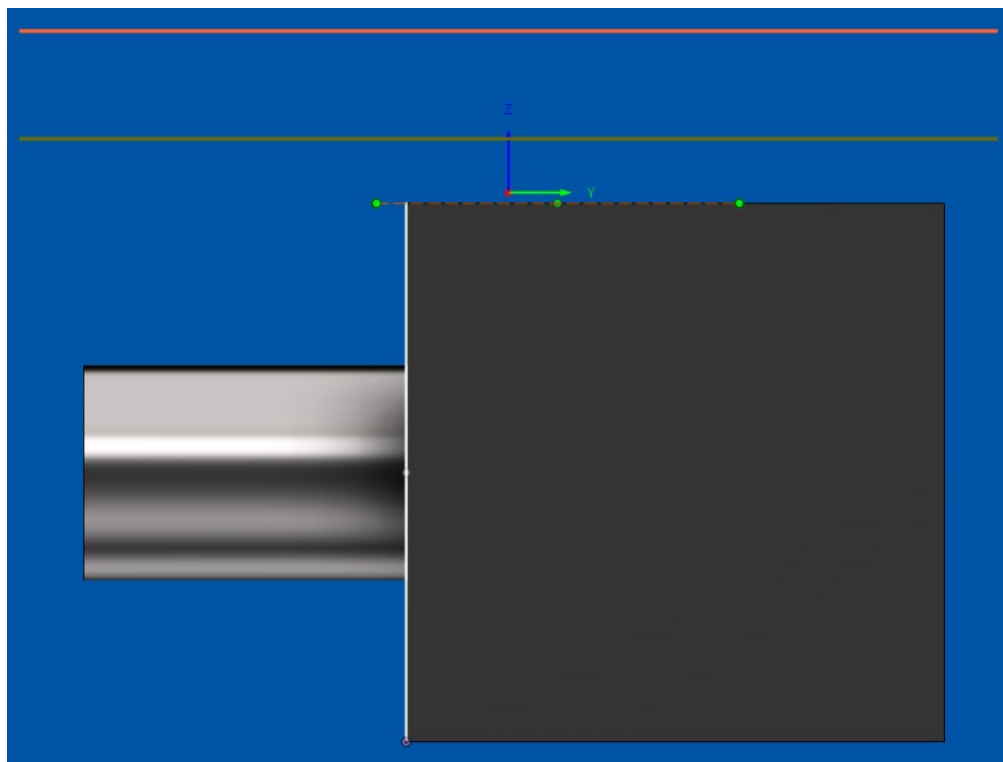
**Καρτέλα Geometry:** Οι επιλογές για την οριοθέτηση της κατεργασίας είναι οι παρακάτω:

- **Contour Selection:** επιλογή μιας περιμέτρου ως όριο κατεργασίας. Στο συγκεκριμένο παράδειγμα επιλέχθηκε ένα κείμενο ως όριο κατεργασίας, και υπολογίστηκε από το πρόγραμμα ο χώρος κατεργασίας. Δείτε το παράδειγμα της εικόνας 5.3.58.
- **Wrap Toolpath:** θέτει την διαδρομή του κοπτικού εργαλείου περίξ μιας εσώκλειστης κυλινδρικής επιφάνειας.
- **Tool Orientation:** υπάρχει η δυνατότητα επιλογής συστήματος συντεταγμένων, διαφορετικό απ' αυτό που επιλέχθηκε στο Setup



Εικόνα 5.3.58 Παράδειγμα όριου κατεργασίας με την βοήθεια της επιλογής Contour Selections.

**Καρτέλα Heights:** Στο συγκεκριμένο παράδειγμα για το ύψος Clearance Height έχει επιλεγθεί ως σημείο αναφοράς το ύψος του Retract Height, και Offset=10mm. Για το ύψος Retract Height έχει οριστεί ως σημείο αναφοράς το Stock Top με Offset=5mm, ενώ στο Feed Height ορίστηκε ως σημείο αναφοράς το Top Height με Offset=5mm. Τέλος το άνω ύψος (Top) οριοθετήθηκε με την επιλογή Selected contour, διαλέγοντας την γεωμετρία που θα κατεργαστεί, και με Offset=0, ενώ το Bottom Height οριοθετήθηκε με την επιλογή Top height, με Offset=-6,5mm.

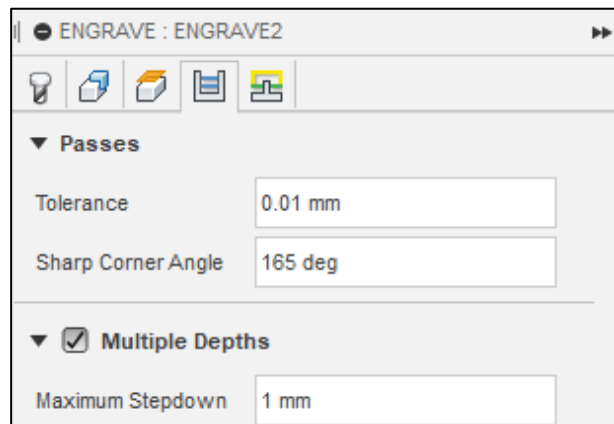


Εικόνα 5.3.59 Παράδειγμα υψών κατεργασίας Engrave.



**Καρτέλα Passes:** οι επιλογές είναι οι εξής:

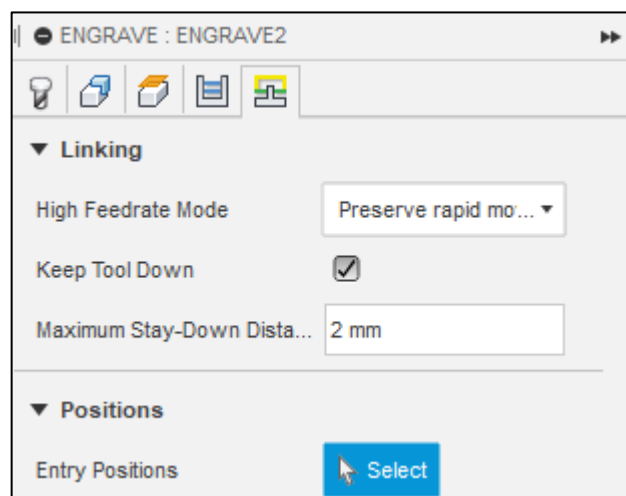
- **Tolerance:** επιλογή της διαστασιακής ακρίβειας. Στο συγκεκριμένο παράδειγμα η ακρίβεια έχει οριστεί στα 0.01mm.
- **Sharp Corner Angle:** Η επιλογή σχηματίζει αιχμηρές γωνίες στην σχισμή που δημιουργείται, μετακινώντας το κοπτικό παράλληλα στην γεωμετρία της γωνίας.
- **Multiple Depths:** ενεργοποιεί τη λειτουργία αφαίρεσης υλικού με πολλαπλά βάθη. Στο συγκεκριμένο παράδειγμα η εντολή δεν επιλέχθηκε, καθώς το αντικείμενο μπορεί να περαστεί με μόνο ένα πέρασμα.
- **Maximum Stepdown:** καθορίζει το βήμα μεταξύ των πολλαπλών βαθών, ενώ το τελικό βήμα θα είναι ό, τι απέμεινε από το ακατέργαστο.



Εικόνα 5.3.60 Καρτέλα Passes εντολής Engrave.

**Καρτέλα Linking:** Οι τιμές και οι επιλογές των εντολών που χρησιμοποιήθηκαν για το παράδειγμα, φαίνονται στην Εικόνα 5.3.61 Οι επιλογές της καρτέλας είναι οι εξής:

- **High Feedrate Mode:** καθορίζει το πότε το κοπτικό εργαλείο θα κινείται με την μέγιστη ταχύτητα πρόωσης της εργαλειομηχανής (G0) και πότε με ταχύτητα ορισμένης πρόωσης (G1). Η εντολή αυτή συμβάλλει στον περεταίρω έλεγχο των γρήγορων κινήσεων G0 παραμετροποιώντας τις σε G1 για την αποφυγή συγκρούσεων. Περιλαμβάνονται έξι επιλογές:
  - **Preserve rapid movement:** διατηρεί όλες τις γρήγορες κινήσεις ως G0.
  - **Preserve axial and radial rapid movement:** Οι γρήγορες κινήσεις που εκτελούνται αξονικά ή ακτινικά, διατηρούν G0.
  - **Preserve axial rapid movement:** Οι γρήγορες κινήσεις που εκτελούνται αξονικά, διατηρούν G0.
  - **Preserve radial rapid movement:** Οι γρήγορες κινήσεις που εκτελούνται ακτινικά, διατηρούν G0.
  - **Preserve single axis rapid movement:** Οι γρήγορες κινήσεις που εκτελούνται σε έναν άξονα (X, Y ή Z), διατηρούν G0.
  - **Always use high feed:** όλες οι γρήγορες κινήσεις αποκτούν ταχύτητα ορισμένης πρόωσης G01.

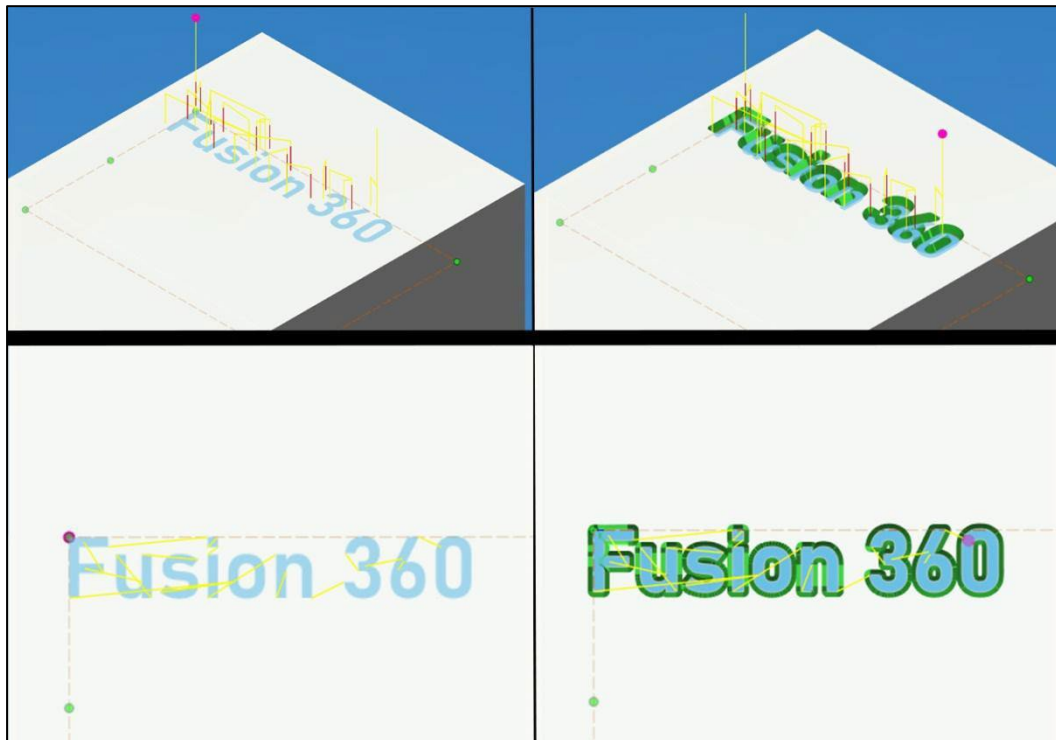


Εικόνα 5.3.61 Καρτέλα Linking εντολής Circular.

Στο παράδειγμα έχει επιλεγθεί η επιλογή **Preserve rapid movement** καθώς δεν χρειάζεται περαιτέρω προσοχή για την συγκεκριμένη κατεργασία.

- **Keep Tool Down:** η εντολή κρατάει το εργαλείο χαμηλά στην περιοχή της κοπής, αποφεύγοντας έτσι την πλήρη ανάκλιση, και δημιουργώντας μια ελάχιστη ανάσυρση του εργαλείου μικρότερου ύψους.
- **Maximum Stay-Down Distance:** καθορίζει την μέγιστη απόσταση ανάκλισης.
- **Entry Positions:** επιλογή γεωμετρίας απ' όπου μπορεί το κοπτικό εργαλείο να εισχωρήσει στο ακατέργαστο.

**Ανάλυση κατεργασίας:** Παρατηρούμε από την εικόνα 5.3.62 ότι στην προσομοίωση της κατεργασίας φαίνεται η τροχιά του κοπτικού κατά την κατεργασία, όπως επίσης εύκολα διακρίνεται το σχήμα V που κόβει το κοπτικό, δημιουργώντας έτσι μια ανάγλυφη γεωμετρία στην γραμματοσειρά.



Εικόνα 5.3.62 Αριστερά φαίνονται οι εικόνες του αντικειμένου πριν την κατεργασία Circular, ενώ δεξιά μετά την κατεργασία. Στο πάνω μέρος φαίνονται οι εικόνες μιας τρισδιάστατης όψης του αντικειμένου, ενώ κάτω η κάτοψή του.



### 2D Chamfer: Milling>2D>Engrave

#### Περιγραφή Κατεργασίας:

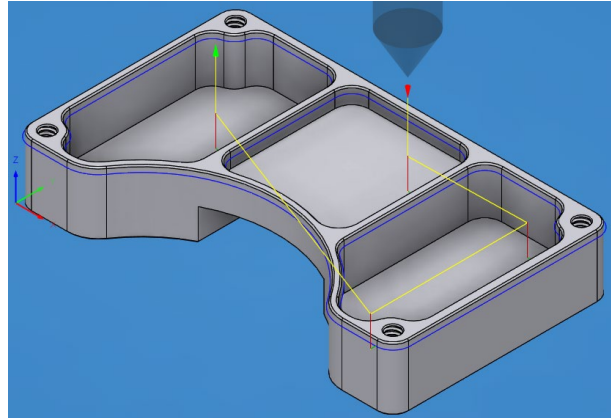
Αφαίρεση υλικού από το περίγραμμα του αντικειμένου, χρησιμοποιώντας κωνικά εργαλεία. Η εντολή ουσιαστικά δημιουργεί μια λοξοτομή σε κάθε επιλεγμένη ακμή.

**Καρτέλα Tool:** Για το παράδειγμα το εργαλείο που επιλέχθηκε είναι ένα Chamfer mill κονδύλι διαμέτρου 10mm και γωνίας 30 μοιρών.

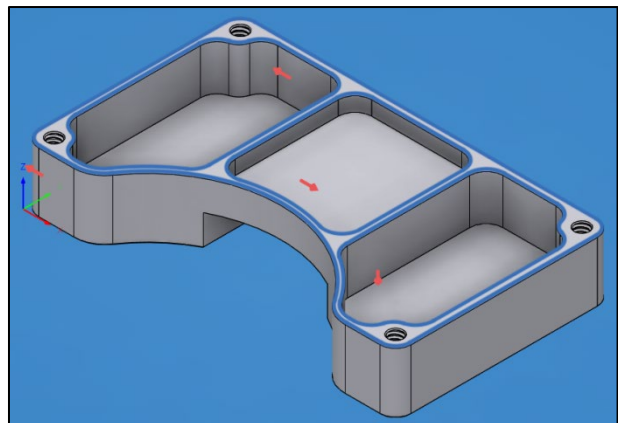
Για το παράδειγμα επιλέχθηκε η μέθοδος **Flood**.

**Καρτέλα Geometry:** Οι επιλογές για την οριοθέτηση της κατεργασίας είναι οι παρακάτω:

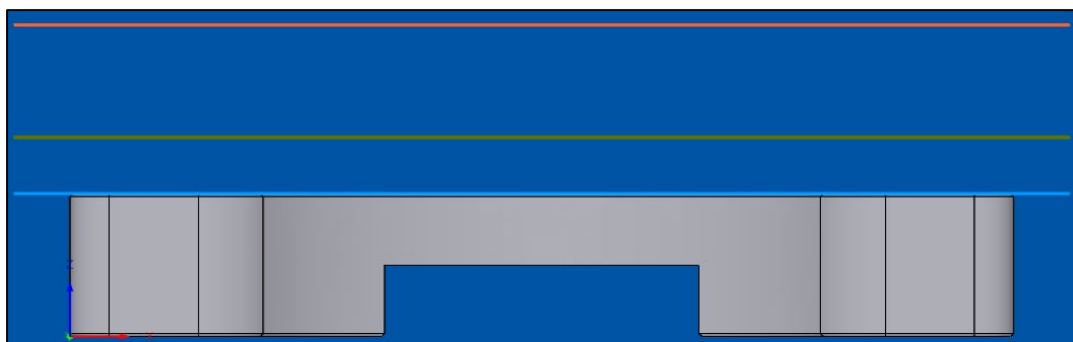
- **Contour Selection:** επιλογή μιας περιμέτρου ως όριο κατεργασίας. Στο συγκεκριμένο παράδειγμα επιλέχθηκε μια ανοιχτή περίμετρος ως όριο, και υπολογίστηκε από το πρόγραμμα ο χώρος κατεργασίας μεταξύ της περιμέτρου και των ορίων του ακατέργαστου. Δείτε το παράδειγμα της [εικόνας 5.3.64](#).
- **Tool Orientation:** υπάρχει η δυνατότητα επιλογής συστήματος συντεταγμένων, διαφορετικό απ' αυτό που επιλέχθηκε στο **Setup**.
- **Model:** επιλογή για να συμπεριληφθούν στον υπολογισμό της διαδρομής άλλα σώματα, πρόσωπα ή επιφάνειες εκτός της γεωμετρίας που ήδη έχει επιλεχθεί. Ένα παράδειγμα για την λειτουργία αυτής της εντολής είναι να συμπεριληφθούν επιφάνειες που καλύπτουν εσοχές και σταματούν το κοπτικό εργαλείο απ' το να κατεργαστεί το εσωτερικό των εσοχών που θα κατεργαστούν αργότερα στο **Setup** από κάποιο διατρητικό εργαλείο.



Εικόνα 5.3.63 Παράδειγμα προσομοίωσης κατεργασίας 2D Chamfer



Εικόνα 5.3.64 Παράδειγμα όριου κατεργασίας με την βοήθεια της επιλογής Contour Selections.

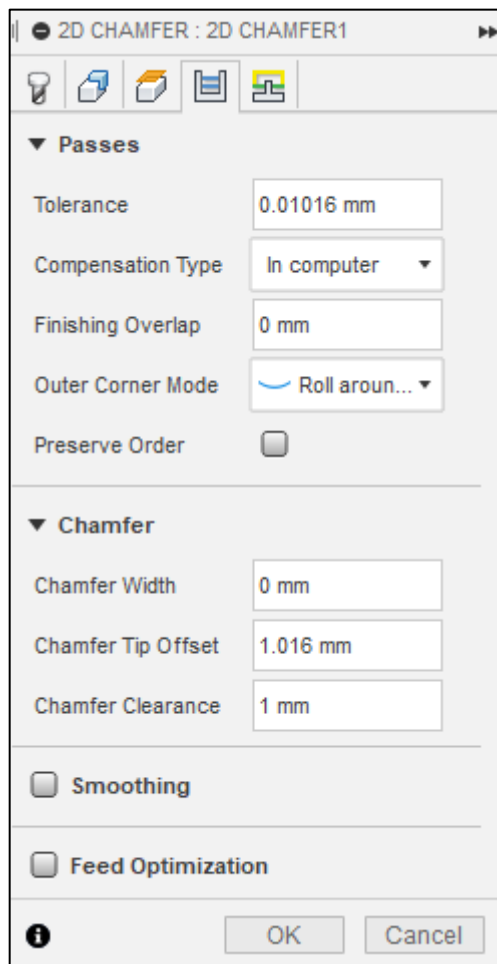


Εικόνα 5.3.65 Παράδειγμα υψών κατεργασίας 2D Chamfer.

**Καρτέλα Heights:** Στο συγκεκριμένο παράδειγμα για το ύψος Clearance Height έχει επιλεγεί ως σημείο αναφοράς το ύψος του Retract Height, και Offset=10mm. Για το ύψος Retract Height έχει οριστεί ως σημείο αναφοράς το Stock Top με Offset=5mm, ενώ στο Feed Height ορίστηκε ως σημείο αναφοράς το Top Height με Offset=5mm. Τέλος για το άνω ύψος (Top) επιλέχθηκε το πάνω μέρος του Stock (Stock top) και Offset=0, ενώ το Bottom Height οριοθετήθηκε με την επιλογή Selected Contours.

**Καρτέλα Passes:** οι επιλογές είναι οι εξής:

- **Tolerance:** επιλογή της διαστασιακής ακρίβειας. Στο συγκεκριμένο παράδειγμα η ακρίβεια έχει οριστεί στα 0.1mm.
- **Compensation Type:** καθορίζει τον τύπο αντιστάθμισης.
  - **In Computer:** υπολογίζεται από το Fusion 360 με βάση τις παραμέτρους του εργαλείου.
  - **In Control:** μπορεί να οριστεί από την εργαλειομηχανή.
  - **Wear:** ορίζεται από το Fusion, αλλά υπάρχει δυνατότητα προσαρμογής και από την εργαλειομηχανή.
  - **Inverse Wear:** όπως και στην Wear ορίζεται και από το Fusion και από την εργαλειομηχανή, με την διαφορά ότι η φθορά έχει θετική τιμή.
  - **Off:** απενεργοποίηση του υπολογισμού της αντιστάθμισης.
- **Finishing Overlap:** η είσοδος και η έξοδος του κοπτικού εργαλείου συνήθως ταυτίζονται σε συνθήκες μιας συνεχόμενης διαδρομής. Με την επιλογή Finishing Overlap η διαδρομή ταυτίζεται και σε αυτή που επικαλύπτεται αποκτά συνθήκες διπλοπεράσματος.
- **Outer Corner Mode:** επιτρέπει την επεξεργασία των εξωτερικών γωνιών με τρεις διαφορετικούς τρόπους:
  - **Roll around corner:** κρατάει συνέχεια επαφή κοντά στην γωνία.
  - **Keep sharp corner:** η τροχιά μιμείται την γωνία χάνοντας ελάχιστα την επαφή μαζί της αλλά κρατώντας την αιχμηρότητά της.
  - **Keep sharp corner with loop:** δημιουργεί στο σημείο της γωνίας μια μικρή λούπα στην τροχιά με σκοπό την διατήρηση της αιχμηρότητας.



Εικόνα 5.3.66 Καρτέλα Passes εντολής 2D Chamfer.

Στο συγκεκριμένο παράδειγμα επιλέχθηκε η κατεργασία των γωνιών με Roll Around Corner.

- **Preserve Order:** διευκρινίζει την σειρά που θα κατεργαστούν οι επιλεγμένες γεωμετρίες. Όταν δεν είναι επιλεγμένη τότε το Fusion βελτιστοποιεί την σειρά κοπής.
- **Chamfer Width:** ορίζει το πάχος της λοξότμησης. Για ακμές που δεν προορίζονται εξ αρχής για λοξοτομή η εντολή αυτή ορίζει το πάχος της, ενώ για ακμές που

προορίζονται, η εντολή λειτουργεί με παρόμοιο τρόπο με την **Radial Stock to Leave** (επιτρέπει την παράκαμψη των υψών για την επεξεργασία ενός ποσού ακατέργαστου κατά τη διάρκεια των ακτινικών κινήσεων του κοπτικού, είτε έχοντας θετικό πρόσημο και συμβάλλει στην διατήρηση της ποιότητας και την περαιτέρω επεξεργασία του αντικειμένου είτε με αρνητικό πρόσημο θέτοντας σε επεξεργασία το αντικείμενο πέρα απ' το προβλεπόμενο). Στην συγκεκριμένη περίπτωση ορίστηκε ως 0mm.

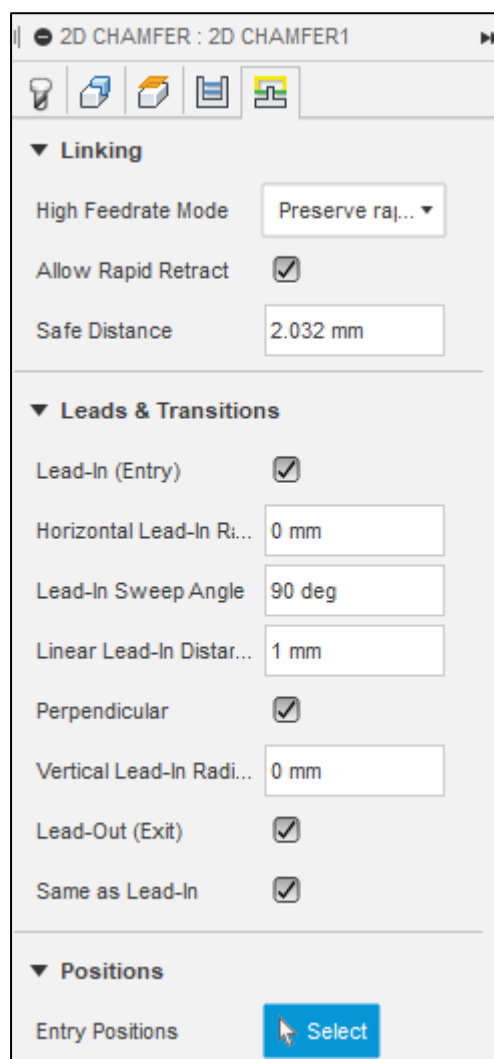
- **Chamfer Tip Offset:** ορίζει το βάθος της διαδρομής του κοπτικού. Ουσιαστικά διευκρινίζει την κατακόρυφη απόσταση του κάτω άκρου του κοπτικού με την επιλεγμένη ακμή. Για το παράδειγμα ορίστηκε στα 1mm.
- **Chamfer Clearance:** ορίζει την απόσταση του κοπτικού εργαλείου από τα σημεία του αντικειμένου που δεν θέλουμε να κατεργαστούν. Στην περίπτωση του παραδείγματος ορίστηκε στα 1mm.
- **Smoothing:** εξομαλύνει τη διαδρομή του εργαλείου αντικαθιστώντας τα πολύ μικρά τμήματα της διαδρομής, με μεγαλύτερα τόξα. Η ακρίβεια θα παραμείνει η ίδια, ενώ ο κώδικας θα μειωθεί κατά πολύ. Η εντολή δεν θα επιλεγθεί διότι είναι καθαρά υποκειμενική η χρήση του και δεν χρειάζεται για την συγκεκριμένη περίπτωση παραδείγματος.
- **Feed Optimization:** ελέγχει την τροφοδοσία στις γωνίες μειώνοντας τον ρυθμό αφαίρεσης υλικού με σκοπό την προστασία του εργαλείου. Η εντολή στο παραπάνω παράδειγμα δεν επιλέχθηκε καθώς το εργαλείο δεν έχει περίπλοκη τροχιά. Οι παρακάτω επιλογές ανήκουν στο πλαίσιο αυτής της εντολής:
  - **Maximum Directional Change:** καθορίζει τη μέγιστη γωνιακή αλλαγή προτού μειωθεί η τροφοδοσία.
  - **Reduced Feed Radius:** καθορίζει την ελάχιστη επιτρεπτή ακτίνα προτού μειωθεί η τροφοδοσία.
  - **Reduced Feed Distance:** καθορίζει την απόσταση προτού μειωθεί η τροφοδοσία κοντά σε μία γωνία.
  - **Reduced Feedrate:** καθορίζει την μειωμένη ταχύτητα πρόωσης που θα χρησιμοποιείται στις γωνίες.
  - **Only Inner Corners:** ενεργοποιείται ώστε να μειώνεται η τροφοδοσία μόνο στις εσωτερικές γωνίες.

**Καρτέλα Linking:** Οι τιμές και οι επιλογές των εντολών που χρησιμοποιήθηκαν για το παράδειγμα, φαίνονται στην Εικόνα 5.3.67. Οι επιλογές της καρτέλας είναι οι εξής:

- **High Feedrate Mode:** καθορίζει το πότε το κοπτικό εργαλείο θα κινείται με την μέγιστη ταχύτητα πρόωσης της εργαλειομηχανής (G0) και πότε με ταχύτητα ορισμένης πρόωσης (G1). Η εντολή αυτή συμβάλλει στον περαιτέρω έλεγχο των γρήγορων κινήσεων G0 παραμετροποιώντας τες σε G1 για την αποφυγή συγκρούσεων. Περιλαμβάνονται έξι επιλογές:
  - **Preserve rapid movement:** διατηρεί όλες τις γρήγορες κινήσεις ως G0.
  - **Preserve axial and radial rapid movement:** Οι γρήγορες κινήσεις που εκτελούνται αξονικά ή ακτινικά, διατηρούν G0.
  - **Preserve axial rapid movement:** Οι γρήγορες κινήσεις που εκτελούνται αξονικά, διατηρούν G0.
  - **Preserve radial rapid movement:** Οι γρήγορες κινήσεις που εκτελούνται ακτινικά, διατηρούν G0.
  - **Preserve single axis rapid movement:** Οι γρήγορες κινήσεις που εκτελούνται σε έναν άξονα (X, Y ή Z), διατηρούν G0.
  - **Always use high feed:** όλες οι γρήγορες κινήσεις αποκτούν ταχύτητα ορισμένης πρόωσης, G01.

Στο παράδειγμα έχει επιλεγθεί η επιλογή **Preserve rapid movement** καθώς δεν χρειάζεται περεταίρω προσοχή για την συγκεκριμένη κατεργασία.

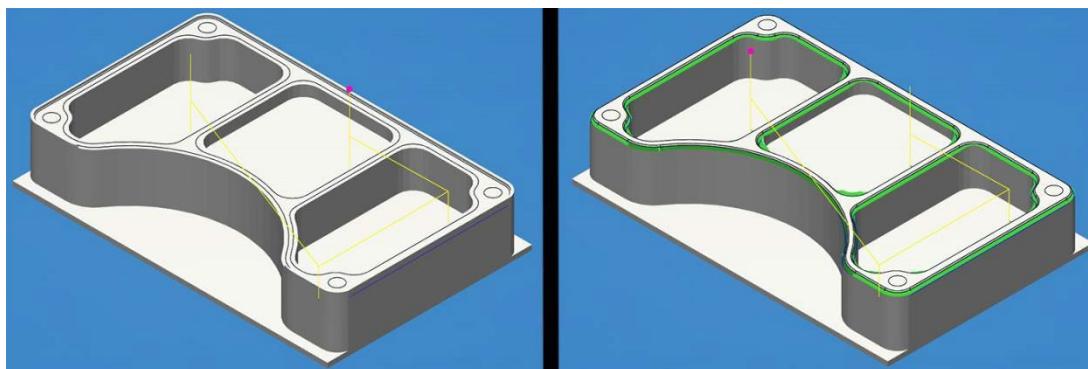
- **Allow Rapid Retract:** επιτρέπει την γρήγορη ανάσυρση του εργαλείου με ταχύτητα G0.
- **Safe Distance:** ελάχιστη απόσταση μεταξύ του εργαλείου και των επιφανειών του προς κατεργασία εξαρτήματος κατά την ανάσυρση.
- **Lead-In (Entry):** ομαλοποιεί την είσοδο του κοπτικού εργαλείου στο ακατέργαστο. Στο συγκεκριμένο παράδειγμα επιλέχθηκε η εντολή, για καλύτερη είσοδο του εργαλείου.
- **Horizontal Lead In Radius:** οριζόντιο τόξο εισόδου του κοπτικού.
- **Lead-In Sweep Angle:** καθορίζει την γωνία εισόδου του κοπτικού εργαλείου.
- **Linear Lead-In Distance:** καθορίζει το μήκος της γραμμικής κίνησης που θα εκτελέσει το εργαλείο πριν ξεκινήσει την κοπή.
- **Perpendicular:** αντικαθιστά τη διαδρομή με τόξα με μια κίνηση κάθετη σε αυτά. Ιδιαίτερα χρήσιμη για την κατεργασία οπών.
- **Vertical Lead-In Radius:** ακτίνα εισαγωγής του κοπτικού. Στο συγκεκριμένο παράδειγμα τέθηκε στα 0mm.
- **Lead-Out (Exit):** ομαλοποιεί την έξοδο του κοπτικού εργαλείου από το ακατέργαστο.
- **Same as Lead-In:** καθορίζει ότι ο τρόπος με τον οποίο θα βγει το κοπτικό από το ακατέργαστο, θα είναι ίδιος με τον τρόπο που μπήκε. Αν η επιλογή δεν είναι επιλεγμένη, τότε εμφανίζονται οι παραπάνω εντολές του τμήματος της καρτέλας **Leads & Transitions** με παραμέτρους που αφορούν την έξοδο του κοπτικού.
- **Entry Positions:** επιλογή γεωμετρίας απ' όπου μπορεί το κοπτικό εργαλείο να εισχωρήσει στο ακατέργαστο.



Εικόνα 5.3.67 Καρτέλα Linking εντολής 2D Chamfer.

**Ανάλυση κατεργασίας:** Παρατηρούμε από την εικόνα 5.3.68 ότι στην προσομοίωση της κατεργασίας φαίνεται η τροχιά του κοπτικού κατά την κατεργασία και διακρίνονται εύκολα οι πολλαπλές γεωμετρίες που επιλέχθηκαν, αφού από την τροχιά παρατηρείται ότι το κοπτικό κάνει πολλές ανασυρσεις. Τέλος, με μια πιο στοχευμένη ματιά διακρίνεται η ομαλή είσοδος και έξοδος του κοπτικού από το αντικείμενο.





Εικόνα 5.3.68 Αριστερά φαίνεται το αντικείμενο πριν την κατεργασία 2D Chamfer, ενώ δεξιά μετά την κατεργασία.

Στην ενότητα αυτή θα αναλυθούν οι 3D κατεργασίες, που αφορούν την τρισδιάστατη μοντελοποίηση και επεξεργασία των επιφανειών τόσο εκχόνδρισης όσο και φινιρίσματος.

Με το κάλεσμα των κατεργασιών εμφανίζεται ένα παράθυρο, το οποίο στις περισσότερες κατεργασίες θα περιέχει έξι καρτέλες. Δεν θα αναλυθεί η καρτέλα **Machine Inclined Flats**, οπότε οι καρτέλες που μας ενδιαφέρουν είναι οι: **Tool**, **Geometry**, **Heights**, **Passes**, και **Linking**.

Στην καρτέλα Tool βρίσκονται επιλογές που αφορούν το εργαλείο της κατεργασίας. Εκεί γίνεται η επιλογή του εργαλείου, η επιλογή της ψύξης του εργαλείου και επιλογές που αφορούν την πρόωση, την ταχύτητα περιστροφής κλπ.

**Tool:** η κάθε κατεργασία έχει ανάγκη διαφορετικό εργαλείο ανάλογα το είδος της. Οπότε στην επιλογή Tool: select γίνεται δυνατή η επιλογή του εργαλείου αυτού.

**Coolant:** επιλογή του τύπου ψύξης που θα χρησιμοποιηθεί από την εργαλειομηχανή. Δεν λειτουργούν όλοι οι τύποι σε όλες τις εργαλειομηχανές ή σε όλα τα εργαλεία. Οι επιλογές ψύξης που έχει το πρόγραμμα είναι οι εξής:

- Flood:** έκχυση ψυκτικού υγρού από ακροφύσια πέριξ του εργαλείου.
- Mist:** συνδυασμός αέρα και μικρής ποσότητας ψυκτικού. Ιδιαίτερα χρήσιμη μέθοδος για την απομάκρυνση του αποβλήτου και της ταυτόχρονης ψύξης του εργαλείου.
- Through tool:** ροή ψυκτικού υγρού μέσα από το κοπτικό εργαλείο. Μόνο για ειδικές περιπτώσεις εργαλείων και εργαλειομηχανών όταν εκείνα είναι ικανά να περάσει υγρό από μέσα τους.
- Air:** εκπνοή αέρα από ακροφύσιο με σκοπό την απομάκρυνση του αποβλήτου.
- Air through tool:** εκπνοή αέρα μέσα από το κοπτικό εργαλείο με σκοπό την απομάκρυνση του αποβλήτου.
- Suction:** απομάκρυνση αποβλήτου μέσω αναρρόφησης.
- Flood and mist:** συνδυασμός της μεθόδου mist και flood.

Εικόνα 5.4.1 Καρτέλα Tool και προέκταση Shaft & Holder

**h. Flood and through tool:** συνδυασμός ψύξης με ψυκτικό υγρό μέσα από το κοπτικό εργαλείο και προς το σημείο κατεργασίας από άλλη πηγή.

**Επιλογές Feed & speed:** πρόκειται για τα στοιχεία κοπής του εκάστοτε κοπτικού εργαλείου που ορίζονται από τον κατασκευαστή του. Κατά την προσθήκη ενός εργαλείου στην βιβλιοθήκη του Fusion απαιτείται να περαστούν οι τιμές αυτές, οπότε πέρα από κάποιες μικροδιορθώσεις που ίσως χρειαστούν, οι τιμές μπαίνουν αυτόματα κατά την επιλογή του εργαλείου.

Σε αντίθεση με τις κατεργασίες 2D, παρατηρείται μια προέκταση της καρτέλας **Tool**, την κατηγορία **Shaft & Holder**. Όταν η προέκταση είναι ενεργοποιημένη, παρέχεται ένας πρόσθετος έλεγχος για αποφυγή συγκρούσεων, τόσο για τον κορμό του εργαλείου όσο και για το εξάρτημα συγκράτησης. Στο συγκεκριμένο παράδειγμα η προέκταση δεν επιλέχθηκε, καθώς δεν υπάρχει κίνδυνος επαφής του κορμού του κοπτικού ή της φωλιάς με το αντικείμενο. Μπορούν να επιλεγθούν διάφοροι τρόποι λειτουργίας αυτής της προέκτασης ανάλογα με την στρατηγική που θα ακολουθηθεί. Οι επιλογές είναι οι ακόλουθες:

- **Disabled:** δεν υπολογίζεται τυχόν σύγκρουση.
- **Pull Away:** αλλάζει την διαδρομή του εργαλείου έτσι ώστε αυτό να βρίσκεται μακριά από το τεμάχιο σε μια ασφαλή απόσταση.
- **Detect Tool Length:** επεκτείνει το εργαλείο έξω από το εξάρτημα συγκράτησης ώστε να διατηρήσει την καθορισμένη απόσταση ασφαλείας.
- **Fail on Collision:** Ο υπολογισμός της διαδρομής του εργαλείου ματαιώνεται, και καταγράφεται ένα μήνυμα σφάλματος όταν παραβιάζεται η ασφαλής απόσταση.
- **Trimmed:** μειώνει τη διαδρομή της κοπής για αποφυγή σύγκρουσης του εξαρτήματος συγκράτησης.

Πέραν των λειτουργιών της προέκτασης, υπάρχουν και οι παρακάτω ρυθμίσεις:

- **Use Shaft:** ενεργοποίηση της εντολής ώστε να συμπεριλαμβάνεται ο κορμός του εργαλείου στον υπολογισμό αποφυγής συγκρούσεων.
- **Shaft Clearance:** ο κορμός του εργαλείου θα παραμένει πάντα σε αυτή την απόσταση από το αντικείμενο.
- **Use Holder:** ενεργοποίηση της εντολής ώστε να συμπεριλαμβάνεται το εξάρτημα συγκράτησης του εργαλείου στον υπολογισμό αποφυγής συγκρούσεων.
- **Holder Clearance:** το εξάρτημα συγκράτησης θα παραμένει πάντα σε αυτή την απόσταση από το αντικείμενο.

Στην καρτέλα του Geometry θα επιλεγθεί η προς κατεργασία γεωμετρία. Είναι σημαντικό να επιλεγθεί η σωστή γεωμετρία για τον υπολογισμό των κινήσεων του εργαλείου.

Στην καρτέλα **Heights** τίθενται τα όρια των κινήσεων του κοπτικού εργαλείου στον άξονα **Z**. Σε αντίθεση με τα όρια των διαστάσεων κατεργασιών τα οποία είναι πέντε, εδώ θα είναι κάποια από τα τέσσερα παρακάτω:

- **Clearance Height:** είναι το πρώτο ύψος που φτάνει γρήγορα το εργαλείο. Μέχρι αυτό το ύψος το εργαλείο κινείται με την μέγιστη ταχύτητα πρόωσης της εργαλειομηχανής, ενώ από εκεί και μετά το εργαλείο κινείται με την επιλεγμένη πρόωση (Πορτοκαλί).
- **Retract Height:** το ύψος όπου το κοπτικό εργαλείο ανασύρεται μετά την κατεργασία ώστε να προετοιμαστεί για την επόμενη (Λαδί).

- **Top Heights:** το άνω ύψος που ορίζει το πάνω μέρος της κοπής. Αναγκαία συνθήκη να είναι ρυθμισμένο πάνω από το κάτω μέρος της κοπής (Γαλάζιο).
- **Bottom Height:** το κατώτερο ύψος, και ορίζεται από το βάθος της κατεργασίας. (Μπλε).

Το πρόγραμμα δίνει τις ακόλουθες επιλογές ως σημεία αναφοράς, και σε συνδυασμό με το Offset καθορίζεται το αντίστοιχο ύψος. Ως σημεία αναφοράς μπορούν να οριστούν και τα αντίστοιχα ύψη που προαναφέρθηκαν: **Clearance Height**, **Retract Height**, **Top Height**, και **Bottom Height** ή μπορούν να οριστούν και οι παρακάτω επιλογές:

- **Model Top:** το άνω μέρος του μοντέλου.
- **Model Bottom:** το κάτω μέρος του μοντέλου.
- **Stock Top:** το υποτιθέμενο άνω άκρο του ακατέργαστου.
- **Stock Bottom:** το κάτω μέρος του ακατέργαστου τεμαχίου.
- **Selected Contour(s):** επιλογή ύψους σε επιλεγμένη περίμετρο.
- **Selection:** επιλογή ύψους από επιλεγμένο σημείο.
- **Origin:** επιλογή ύψους από την αρχή των αξόνων.
- **Disabled:** Απενεργοποίηση του συγκεκριμένου ύψους.

Η καρτέλα **Passes** περιέχει επιλογές που αφορούν την διαδρομή του κοπτικού εργαλείου, τα περάσματα που αυτό θα κάνει, ώστε να υπάρξει το επιθυμητό αποτέλεσμα.

Η τελευταία καρτέλα του παραθύρου της εντολής ονομάζεται **Linking** και περιλαμβάνει επιλογές για την κατεύθυνση κοπής ή το βήμα κοπής. Παίζει σημαντικό ρόλο στον προγραμματισμό των κινήσεων της μηχανής κατά την διαδικασία κοπής του μοντέλου και επηρεάζει το αποτέλεσμα σε σχέση με την ακρίβεια και τον χρόνο κοπής.

### 3D Adaptive Clearing

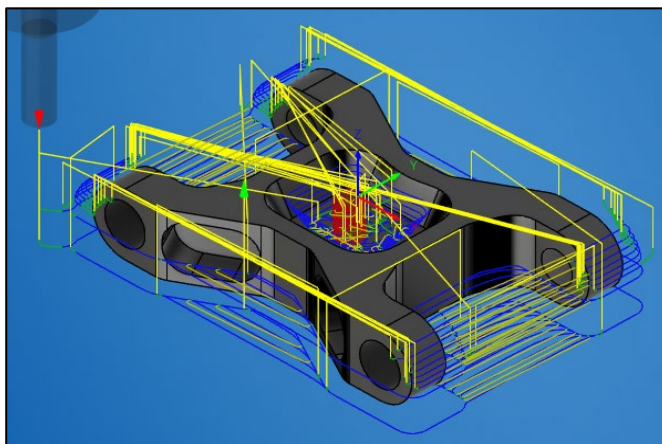


#### 3D Adaptive Clearing: Milling>3D>Adaptive Clearing

**Περιγραφή Κατεργασίας:** Κατεργασία ξεχονδρίσματος μεγάλων ποσοτήτων υλικού, καθιστά δυνατή την βαθιά κοπή και με την πλευρά του εργαλείου, με μικρό κίνδυνο θραύσης. Η στρατηγική που ακολουθεί δημιουργεί πρώτα μια σειρά σταθερών επιπέδων κατά τον Z άξονα και στην συνέχεια καθαρίζει σταδιακά από κάτω προς τα πάνω. Όπως φαίνεται και στο παράδειγμα της Εικόνας 5.4.3, το πρώτο βήμα της κατεργασίας θα έχει μεγάλο βάθος κοπής και στην συνέχεια θα καθαρίζει τα ενδιάμεσα στρώματα, αυξάνοντας έτσι και την αποτελεσματικότητα της χρήσης του εργαλείου.

**Καρτέλα Tool:** Για το παράδειγμα το εργαλείο που επιλέχθηκε είναι ένα Flat end mill κονδύλι διαμέτρου 12mm και σχετικά ψηλό ώστε να μην βρίσκει η φωλιά στο αντικείμενο.

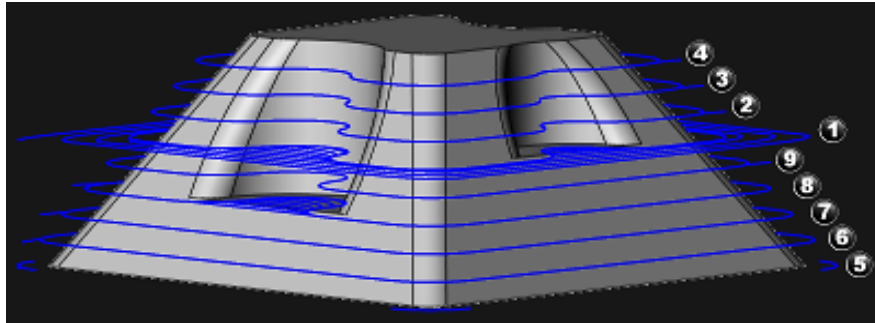
Για το παράδειγμα επιλέχθηκε η μέθοδος **Flood**.



Εικόνα 5.4.2 Παράδειγμα προσομοίωσης κατεργασίας 3D Adaptive Clearing μαζί με την διαδρομή που θα ακολουθήσει το κοπτικό εργαλείο.

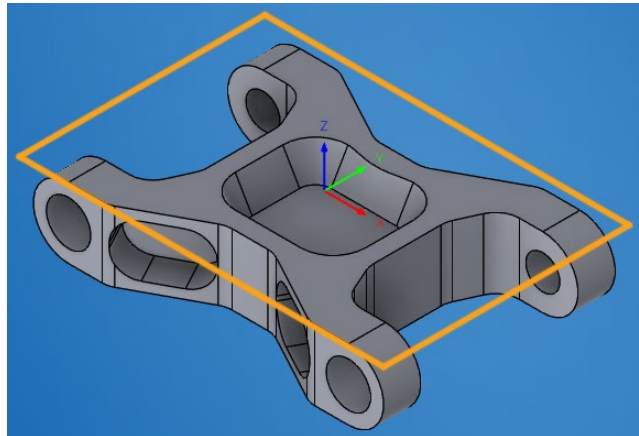
**Καρτέλα Geometry:** Οι επιλογές για την οριοθέτηση της κατεργασίας είναι οι παρακάτω:

- **Machining Boundary:** Ορίζει το όριο της διαδρομής του εργαλείου. Αν επιλεγθεί κάποια επιλογή εκτός της **None**, προστίθενται οι έξτρα επιλογές:

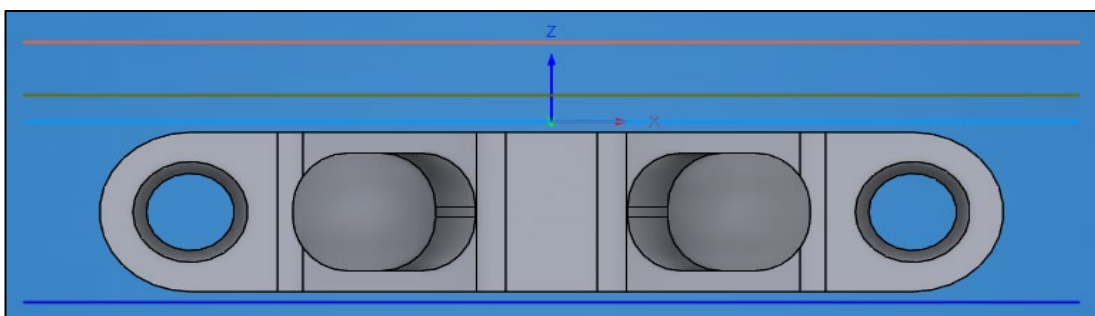


Εικόνα 5.4.3 Παράδειγμα της στρατηγικής που ακολουθεί η εντολή. Παρατηρείτε ότι το επίπεδο 1 είναι πιο κάτω των επιπέδων 2,3 και 4. Και το ίδιο παρατηρείτε και στο επίπεδο 5.

- **Tool Containment:** επιλογή του περιορισμού του εργαλείου σε σχέση με το επιλεγμένο όριο.
- **Additional Offset:** μεγέθυνση ή σμίκρυνση του ορίου κατεργασίας.
- **Stock Contours:** επιλογή της περιμέτρου του ακατέργαστου ως όριο κατεργασίας.
- **Rest Machining:** περιορίζει την λειτουργία σε αφαίρεση μόνο υλικού που δεν μπόρεσαν προηγούμενα εργαλεία ή κατεργασίες να αφαιρέσουν. Για αυτό και οι πρόσθετες πληροφορίες που απαιτεί αφορούν το εργαλείο που χρησιμοποιήθηκε προηγουμένως.
- **Tool Orientation:** υπάρχει η δυνατότητα επιλογής συστήματος συντεταγμένων, διαφορετικό απ' αυτό που επιλέχθηκε στο **Setup**.
- **Model:** επιλογή για να συμπεριληφθούν στον υπολογισμό της διαδρομής άλλα σώματα, πρόσωπα ή επιφάνειες εκτός της γεωμετρίας που ήδη έχει επιλεγθεί. Ένα παράδειγμα για τη λειτουργία αυτής της εντολής είναι να συμπεριληφθούν επιφάνειες που καλύπτουν εσοχές και σταματούν το κοπτικό εργαλείο να κατεργαστεί το εσωτερικό των εσοχών που θα κατεργαστούν αργότερα από κάποιο διατρητικό εργαλείο στο **Setup**.



Εικόνα 5.4.4 Παράδειγμα ορίου κατεργασίας με την βοήθεια της επιλογής Stock Contours.



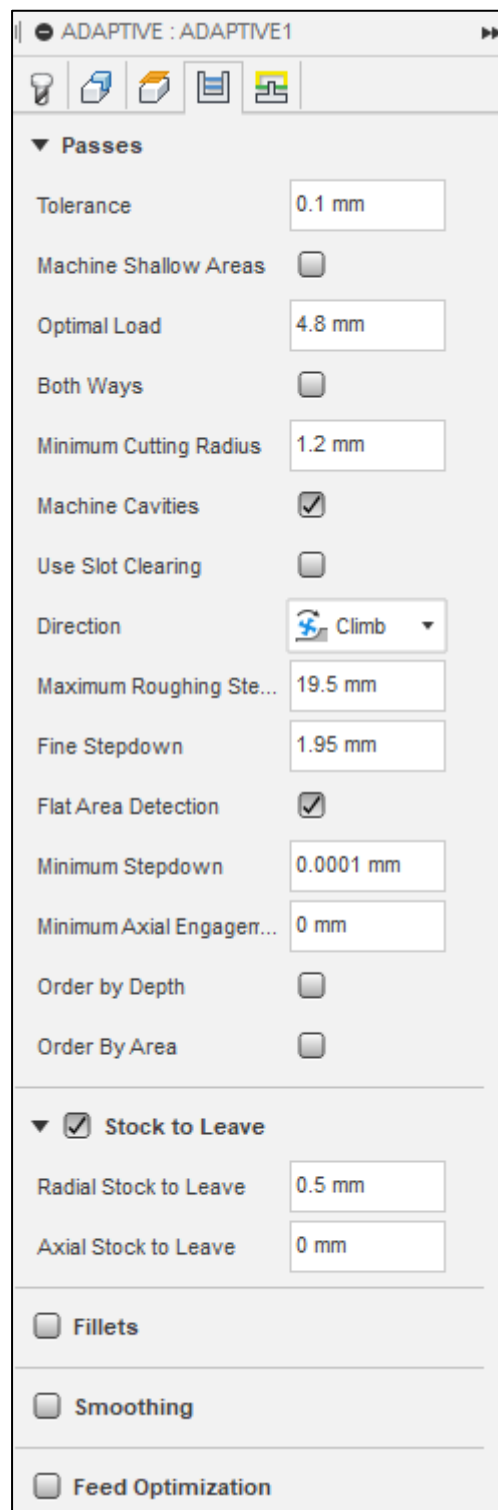
Εικόνα 5.4.5 Παράδειγμα υψών κατεργασίας 3D Adaptive Clearing



**Καρτέλα Heights:** Στο συγκεκριμένο παράδειγμα για το ύψος Clearance Height έχει επιλεχτεί ως σημείο αναφοράς το ύψος του Retract Height, και Offset=10mm. Για το ύψος Retract Height έχει οριστεί ως σημείο αναφοράς το Stock Top με Offset=5mm. Τέλος στο άνω ύψος (Top) επιλέχθηκε το Stock Top με Offset=0, ενώ το Bottom Height οριοθετήθηκε με την επιλογή Model Bottom με Offset=-2.

**Καρτέλα Passes:** οι επιλογές είναι οι εξής:

- **Tolerance:** επιλογή της διαστασιακής ακρίβειας. Στο συγκεκριμένο παράδειγμα η ακρίβεια έχει οριστεί στα 0.1mm.
- **Machine Shallow Areas:** προσθέτει έξτρα Z επίπεδα περασμάτων για περιοχές ή εσοχές που το κοπτικό συναντά περισσότερη ακατέργαστη ύλη. Πατώντας την εντολή εμφανίζονται οι παρακάτω επιπρόσθετες παράμετροι για την διευκρίνιση της κατεργασίας. Ωστόσο η εντολή θα παραμείνει ανενεργή.
  - **Minimum Shallow Stepdown:** η παράμετρος ελέγχει το ελάχιστο βήμα μεταξύ των περασμάτων σε συνθήκες που προβλέπεται να χρησιμοποιηθεί η εντολή **Machine Shallow Areas**.
  - **Maximum Shallow Stepdown:** η παράμετρος ελέγχει το μέγιστο βήμα μεταξύ των περασμάτων σε συνθήκες που προβλέπεται να χρησιμοποιηθεί η εντολή **Machine Shallow Areas**.
- **Optimal Load:** είναι το αντίστοιχο Stepper άλλων εντολών. Καθορίζει το φορτίο που θα δεχτεί το εργαλείο και θα μεταβληθεί ανάλογα η διαδρομή του. Στο συγκεκριμένο παράδειγμα τέθηκε στα 4,8mm.
- **Both Ways:** επιτρέπει το συνεχόμενο φρεζάρισμα και από τις δύο πλευρές, χωρίς το κοπτικό να επανατοποθετείται κάθε φορά και κάνει κατεργασία και με την μέθοδο του Climb και με την μέθοδο Conventional. Δεν επιλέχθηκε στο συγκεκριμένο παράδειγμα.
- **Minimum Cutting Radius:** καθορίζει τη μικρότερη ακτίνα στη διαδρομή που θα ακολουθήσει το κοπτικό. Θα δημιουργηθεί μια καμπύλη επιλεγμένης γωνίας σε όλες τις αιχμηρές εσωτερικές γωνίες, ώστε να κατεργαστούν αργότερα ή στο φινίρισμα. Στο συγκεκριμένο παράδειγμα τέθηκε στα 1,2mm.



Εικόνα 5.4.6 Καρτέλα Passes εντολής 3D Adaptive Clearing.



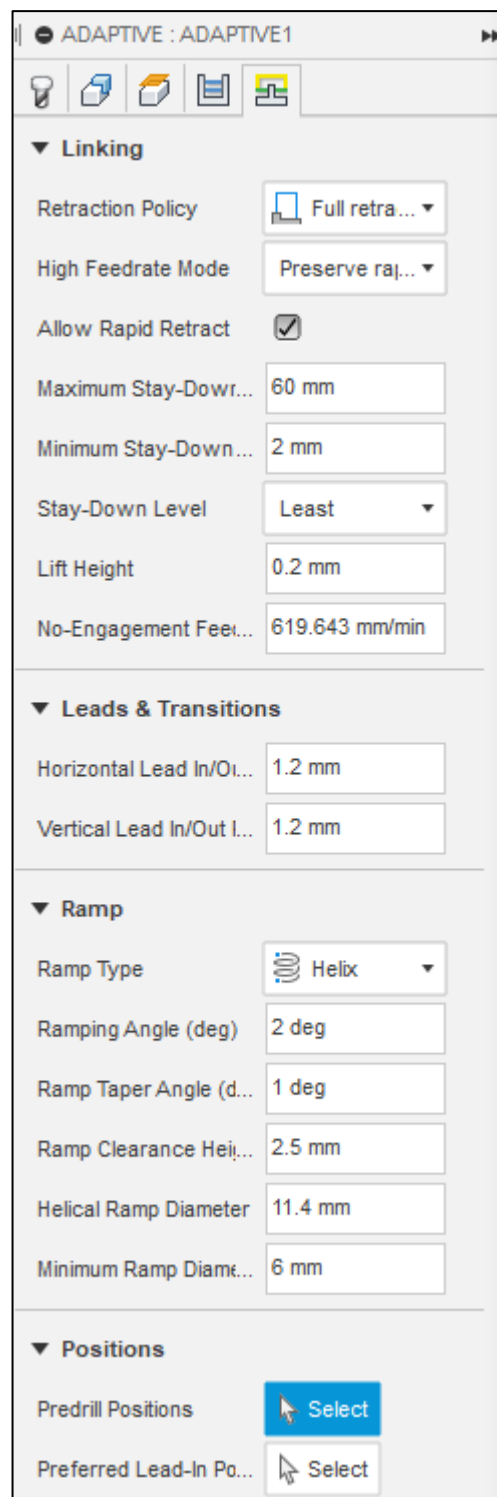
- **Machine Cavities:** αν η παράμετρος επιλεχθεί, τότε θα κατεργαστούν και οι τυχόν κοιλότητες, ενώ αν η παράμετρος παραμείνει ανενεργή, τότε η στρατηγική που θα ακολουθηθεί δεν θα εμπεριέχει τις κοιλότητες. Στο συγκεκριμένο παράδειγμα υπάρχουν πολλές κοιλότητες οι οποίες έχουν ανάγκη να ξεχονδριστούν, οπότε θα επιλεχθεί.
- **Use Slot Clearing:** ενεργοποιεί μια αποτελεσματικότερη διαδρομή για την εκκαθάριση σχισμών, εσοχών ή κλειστών γεωμετριών. Αρχικά δημιουργεί μια σπειροειδή διαδρομή στο κέντρο της σχισμής, του οποίου το πλάτος καθορίζεται από το Slot Clearing Width. Η παράμετρος θα παραμείνει ανενεργή.
- **Direction:** η επιλογή επιτρέπει να οριστεί η φορά που θα πραγματοποιήσει την κοπή το κοπτικό εργαλείο σύμφωνα με την φορά περιστροφής του. Με την μέθοδο Climb το εργαλείο αφαιρεί υλικό με φορά που μοιάζει με κύλιση πάνω στο υλικό, ενώ με την συμβατική μέθοδο (Conventional) το εργαλείο κινείται αντίθετα. Η πρώτη μέθοδος τείνει να αφήνει καλύτερες επιφάνειες, να έχει λιγότερες ταλαντώσεις κατά την κατεργασία αλλά και λιγότερη φθορά στο εργαλείο. Ωστόσο, επιλέγοντας το εργαλείο να κινηθεί και με τις δύο φορές (Both Ways) μειώνεται σημαντικά ο χρόνος κατεργασίας. Εδώ επιλέχτηκε η μέθοδος **Climb**.
- **Maximum Roughing Stepdown:** καθορίζει το βήμα μεταξύ των πολλαπλών μικρών βημάτων που θα κληθεί το κοπτικό να κάνει στην πορεία της κατεργασίας, ενώ το τελικό βήμα θα είναι ότι απέμεινε από το ακατέργαστο. Στην συγκεκριμένη περίπτωση τέθηκε στα 19.5mm.
- **Fine Stepdown:** καθορίζει τα ενδιάμεσα μικρά βήματα που θα γίνουν μεταξύ των μεγαλύτερων Maximum Roughing Stepdown βημάτων. Σε αντίθεση με τα μεγαλύτερα βήματα που έχουν κατεύθυνση προς τα κάτω, τα Fine Stepdowns έχουν κατεύθυνση προς τα πάνω. Στο συγκεκριμένο παράδειγμα η παράμετρος τέθηκε στα 1.95mm.
- **Flat Area Detection:** με την ενεργοποίηση της εντολής γίνεται δυνατός ο εντοπισμός των επίπεδων επιφανειών ή κορυφών, ώστε να κατεργαστούν με προτεραιότητα αυτά τα επίπεδα. Ως προέκταση της εντολής ακολουθούν οι δυο παρακάτω εντολές:
- **Minimum Stepdown:** το ελάχιστο δυνατό βήμα του κοπτικού κατά την κατεργασία των επίπεδων επιφανειών.
- **Minimum Axial Engagement:** εξασφαλίζει ότι όταν είναι ενεργοποιημένο τουλάχιστον ένα πτερύγιο του κοπτικού θα εμπλέκεται καθώς αυτό θα περιστρέφεται κατά την διάρκεια των ενδιάμεσων βημάτων.
- **Order by Depth:** όταν είναι ενεργοποιημένο διατάσσει τα πολλαπλά περάσματα κατά άξονα Z.
- **Order by Area:** όταν είναι ενεργοποιημένο δίνει προτεραιότητα στον καθαρισμό της κοιλότητας ή του περιγράμματος και μετά προχωρά στο επόμενο βάθος.
- **Stock to Leave:** επιτρέπει την παράκαμψη των υψών για την επεξεργασία ενός ποσού ακατέργαστου, είτε έχοντας θετικό πρόσημο και συμβάλλει στην διατήρηση της ποιότητας και την περαιτέρω επεξεργασία του αντικείμενου είτε με αρνητικό πρόσημο θέτοντας σε επεξεργασία το αντικείμενο πέρα απ' το προβλεπόμενο. Στο συγκεκριμένο παράδειγμα η επιλογή θα παραμείνει ανενεργή. Ως προέκταση της εντολής, η παράμετρος **Axial Stock to Leave** ελέγχει την ποσότητα αυτή κατά τη διάρκεια των αξονικών κατεργασιών, ενώ η παράμετρος **Radial Stock to Leave** ελέγχει την ποσότητα αυτή κατά τη διάρκεια των ακτινικών κατεργασιών.
- **Filletts:** ενεργοποίηση για στρογγυλοποίηση των γωνιών.
  - **Fillet Radius:** η ακτίνα της καμπύλης που θα αντικαταστήσει την γωνία.
- **Smoothing:** εξομαλύνει τη διαδρομή του εργαλείου αντικαθιστώντας τα πολύ μικρά τμήματα της διαδρομής, με μεγαλύτερα τόξα. Η ακρίβεια θα παραμείνει η

ίδια, ενώ ο κώδικας θα μειωθεί κατά πολύ. Η εντολή δεν θα επιλεγεί διότι είναι καθαρά υποκειμενική η χρήση του και δεν χρειάζεται για την συγκεκριμένη περίπτωση παραδείγματος.

- **Feed Optimization:** ελέγχει την τροφοδοσία στις γωνίες μειώνοντας τον ρυθμό αφαίρεσης υλικού με σκοπό την προστασία του εργαλείου. Η εντολή στο παραπάνω παράδειγμα δεν επιλέχθηκε καθώς το εργαλείο δεν έχει περίπλοκη τροχιά. Οι παρακάτω επιλογές ανήκουν στο πλαίσιο αυτής της εντολής:
  - **Maximum Directional Change:** καθορίζει τη μέγιστη γωνιακή αλλαγή προτού μειωθεί η τροφοδοσία.
  - **Reduced Feed Radius:** καθορίζει την ελάχιστη επιτρεπτή ακτίνα προτού μειωθεί η τροφοδοσία.
  - **Reduced Feed Distance:** καθορίζει την απόσταση προτού μειωθεί η τροφοδοσία κοντά σε μία γωνία.
  - **Reduced Feedrate:** καθορίζει την μειωμένη ταχύτητα πρόωσης που θα χρησιμοποιείται στις γωνίες.
  - **Only Inner Corners:** ενεργοποιείται ώστε να μειώνεται η τροφοδοσία μόνο στις εσωτερικές γωνίες

**Καρτέλα Linking:** Οι τιμές και οι επιλογές των εντολών που χρησιμοποιήθηκαν για το παράδειγμα, φαίνονται στην Εικόνα 5.4.7. Οι επιλογές της καρτέλας είναι οι εξής:

- **Retraction Policy:** καθορίζει την στρατηγική που θα ακολουθηθεί στην κοπή κατά την ανάσχυση του κοπτικού εργαλείου.
- **High Feedrate Mode:** καθορίζει το πότε το κοπτικό εργαλείο θα κινείται με την μέγιστη ταχύτητα πρόωσης της εργαλειομηχανής (G0) και πότε με ταχύτητα ορισμένης πρόωσης (G1). Η εντολή αυτή συμβάλλει στον περεταίρω έλεγχο των γρήγορων κινήσεων G0 παραμετροποιώντας τις σε G1 για την αποφυγή συγκρούσεων. Περιλαμβάνονται έξι επιλογές:
  - **Preserve rapid movement:** διατηρεί όλες τις γρήγορες κινήσεις ως G0.
  - **Preserve axial and radial rapid movement:** Οι γρήγορες κινήσεις που εκτελούνται αξονικά ή ακτινικά, διατηρούν G0.



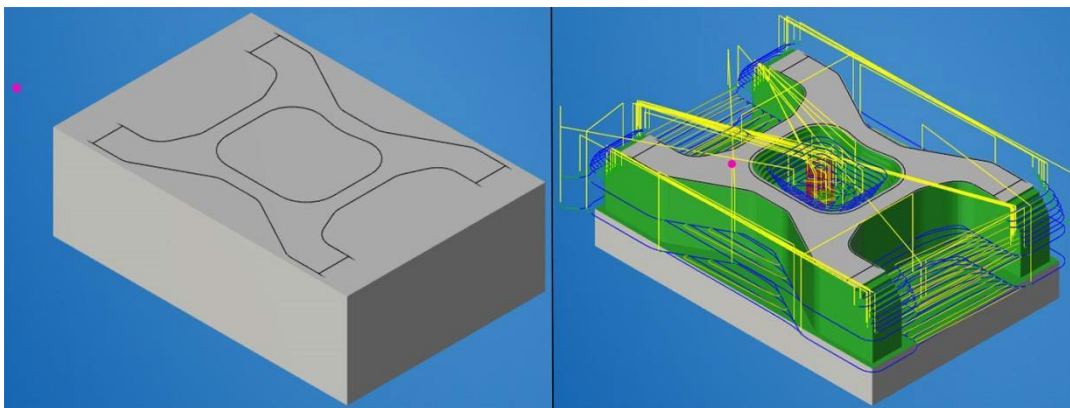
Εικόνα 5.4.7 Καρτέλα Linking εντολής 3D Adaptive Clearing.

- **Preserve axial rapid movement:** Οι γρήγορες κινήσεις που εκτελούνται αξονικά, διατηρούν G0.
- **Preserve radial rapid movement:** Οι γρήγορες κινήσεις που εκτελούνται ακτινικά, διατηρούν G0.
- **Preserve single axis rapid movement:** Οι γρήγορες κινήσεις που εκτελούνται σε έναν άξονα (X, Y ή Z), διατηρούν G0.
- **Always use high feed:** όλες οι γρήγορες κινήσεις αποκτούν ταχύτητα ορισμένης πρόωσης G01.

Στο παράδειγμα έχει επιλεγθεί η επιλογή **Preserve rapid movement** καθώς δεν χρειάζεται περαιτέρω προσοχή για την συγκεκριμένη κατεργασία.

- **Allow Rapid Retract:** επιτρέπει την γρήγορη ανάσυρση του εργαλείου με ταχύτητα G0.
- **Maximum Stay-Down Distance:** καθορίζει την μέγιστη απόσταση ανάκλισης.
- **Minimum Stay-Down Distance:** καθορίζει την ελάχιστη απόσταση ανάκλισης.
- **Stay-Down Level:** χρησιμοποιείται για τον έλεγχο της παραμονής του εργαλείου κοντά στο αντικείμενο και την αποφυγή ανασύρσής του. Ιδιαίτερα χρήσιμη εντολή αν η μηχανή CNC κάνει αργές ανασύρσεις, και παίρνει τιμές από Least (κοπή με ανασύρσεις) μέχρι Most (καθόλου ανασύρσεις).
- **Lift Height:** καθορίζει το ύψος της ανασύρσης κατά την κίνηση της επανατοποθέτησης.
- **No-Engagement Feedrate:** καθορίζει την ταχύτητα πρόωσης όταν το εργαλείο δεν είναι σε επαφή με το υλικό ούτε ανασύρεται.
- **Horizontal Lead In/Out Radius:** οριζόντιο τόξο εισόδου/εξόδου του κοπτικού.
- **Vertical Lead-In/Out Radius:** κάθετη ακτίνα εισόδου/εξόδου του κοπτικού.
- **Ramp Type:** καθορίζει τον τρόπο με τον οποίο κινείται το κοπτικό εργαλείο σε κατάσταση κοπής κατά άξονα Z.
- **Ramping Angle:** καθορίζει την γωνία που θα έχει το βήμα κατά άξονα Z.
- **Ramp Taper Angle:** δημιουργεί μια κωνική και ελικοειδή διαδρομή προς τα κάτω. Αρκεί να εισαχθεί η κλίση της κωνικής διαδρομής.
- **Ramp Clearance Height:** το ύψος από το οποίο θα ξεκινήσει η ελικοειδής κίνηση του κοπτικού.
- **Helical Ramp Diameter:** η μέγιστη διάμετρος της ελικοειδούς διαδρομής που θα ακολουθήσει το κοπτικό.
- **Minimum Ramp Diameter:** η μικρότερη αποδεκτή διάμετρος της ελικοειδούς διαδρομής.
- **Predrill Positions:** επιλογή σημείου όπου έχει γίνει διάνοιξη οπής με σκοπό την είσοδο του κοπτικού στο ακατέργαστο.
- **Preferred Lead-In Positions:** βοηθά στον προσδιορισμό των θέσεων απ' όπου το κοπτικό μπορεί να εισέλθει στο αντικείμενο. Εάν επιλεγθούν πολλές θέσεις, η θέση που είναι πιο κοντά στο περίγραμμα θα χρησιμοποιηθεί ως σημείο εισαγωγής του αντικειμένου.

**Ανάλυση κατεργασίας:** Παρατηρούμε από την εικόνα 5.4.8 ότι στην προσομοίωση της κατεργασίας φαίνεται η τροχιά του κοπτικού, τα δυο Maximum Roughing Stepdowns καθώς και τα ενδιάμεσα ύψη της διαδρομής του κοπτικού. Διακρίνεται επιπλέον, ότι στα ενδιάμεσα περάσματα η διαδρομή έχει μικρό ύψος ανασύρσης, ενώ σε περιοχές κοντά στο περίγραμμα του αντικειμένου, η ανασύρση αποκτά το κανονικό της ύψος. Επίσης φαίνεται η ομαλότητα εισαγωγής και εξαγωγής του κοπτικού εργαλείου στο ακατέργαστο από την καμπύλη στην αρχή και στο τέλος κάθε περάσματος.



Εικόνα 5.4.8 Αριστερά φαίνεται το ακατέργαστο αντικείμενο πριν την κατεργασία, ενώ δεξιά μετά την κατεργασία.

## Pocket Clearing



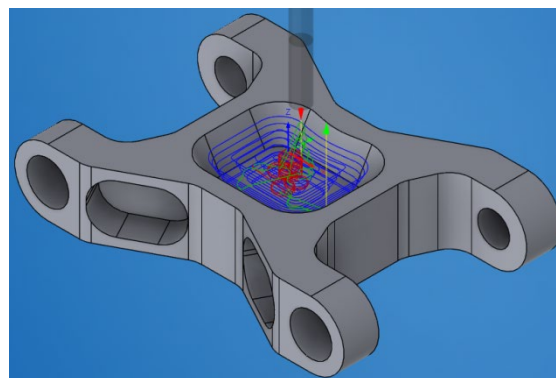
**Pocket Clearing:** Milling>3D>Pocket Clearing

**Περιγραφή Κατεργασίας:**

Κατεργασία ξεχόνδρισης με επίπεδα και εξομάλυνσης στις μεταβατικές κινήσεις του εργαλείου, κατάλληλη για κατεργασία υψηλής ταχύτητας. Δημιουργεί πρώτα μια σειρά επιπέδων στον Z άξονα, και στην συνέχεια διαγράφει το καθένα σε στάδια.

**Καρτέλα Tool:** Για το παράδειγμα το εργαλείο που επιλέχθηκε είναι ένα Flat end mill κονδύλι διαμέτρου 8mm.

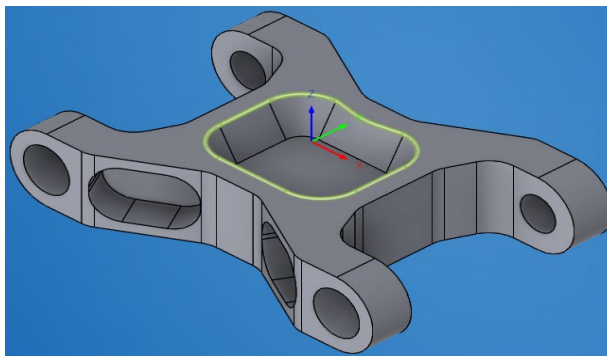
Για το παράδειγμα επιλέχθηκε η μέθοδος **Flood**.



Εικόνα 5.4.9 Παράδειγμα προσομοίωσης κατεργασίας Pocket Clearing

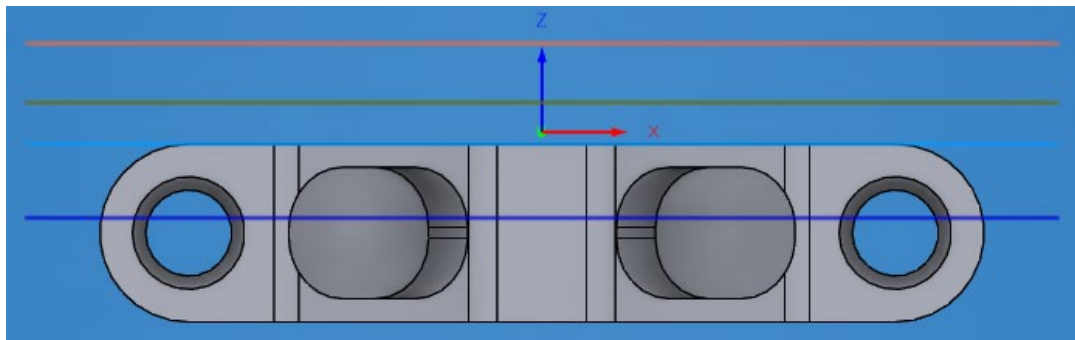
**Καρτέλα Geometry:** Οι επιλογές για την οριοθέτηση της κατεργασίας είναι οι παρακάτω:

- **Machining Boundary:** Ορίζει το όριο της διαδρομής του εργαλείου. Αν επιλεγθεί κάποια επιλογή εκτός της **None** προστίθενται οι έξτρα επιλογές:
  - **Tool Containment:** επιλογή του περιορισμού του εργαλείου σε σχέση με το επιλεγμένο όριο.
  - **Additional Offset:** μεγέθυνση ή σμίκρυνση του ορίου κατεργασίας.
- **Stock Contours:** επιλογή της περιμέτρου του ακατέργαστου ως όριο κατεργασίας.



Εικόνα 5.4.10 Παράδειγμα ορίου κατεργασίας με την βοήθεια της επιλογής Machining Boundary.

- **Rest Machining:** περιορίζει την λειτουργία σε αφαίρεση μόνο υλικού που δεν μπόρεσαν προηγούμενα εργαλεία ή κατεργασίες, να αφαιρέσουν. Για αυτό και οι πρόσθετες πληροφορίες που απαιτεί είναι σχετικές με το εργαλείο που χρησιμοποιήθηκε προηγουμένως.
- **Tool Orientation:** υπάρχει η δυνατότητα επιλογής συστήματος συντεταγμένων, διαφορετικό απ' αυτό που επιλέχθηκε στο **Setup**.
- **Model:** επιλογή για να συμπεριληφθούν στον υπολογισμό της διαδρομής άλλα σώματα, πρόσωπα ή επιφάνειες εκτός της γεωμετρίας που έχει ήδη επιλεγεί. Ένα παράδειγμα για την λειτουργία αυτής της εντολής είναι να συμπεριληφθούν επιφάνειες που καλύπτουν εσοχές και σταματούν το κοπτικό εργαλείο απ' το να κατεργαστεί το εσωτερικό των εσοχών που θα κατεργαστούν αργότερα από κάποιο διατρητικό εργαλείο στο **Setup**.



Εικόνα 5.4.11 Παράδειγμα υψών κατεργασίας Pocket Clearing.

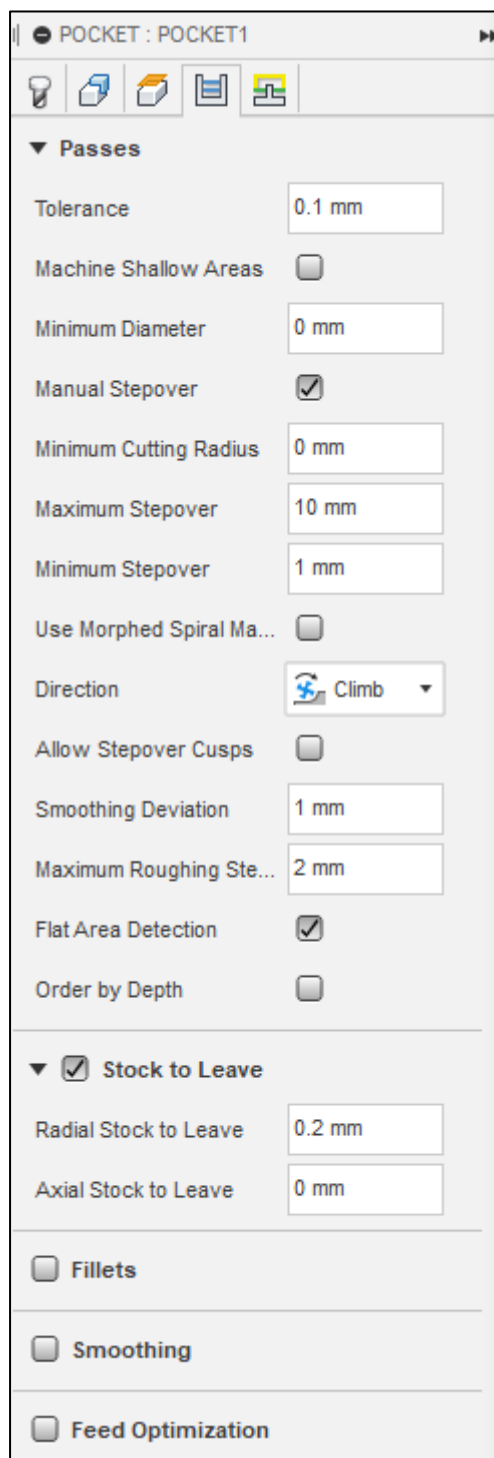
**Καρτέλα Heights:** Στο συγκεκριμένο παράδειγμα για το ύψος Clearance Height έχει επιλεγεί ως σημείο αναφοράς το ύψος του Retract Height, και Offset=10mm. Για το ύψος Retract Height έχει οριστεί ως σημείο αναφοράς το Stock Top με Offset=5mm. Τέλος το άνω ύψος (Top) επιλέχθηκε με το Selection με Offset=0 και ως σημείο αναφοράς έγινε η επιλογή του Top Reference, όπου επιλέχθηκε η πάνω πλευρά του αντικειμένου. Το Bottom Height οριοθετήθηκε με την επιλογή Selection με Offset=0 και ως σημείο αναφοράς τέθηκε η επιλογή του Bottom reference, όπου επιλέχθηκε η κάτω πλευρά της κοιλότητας.

**Καρτέλα Passes:** οι επιλογές είναι οι εξής:

- **Tolerance:** επιλογή της διαστασιακής ακρίβειας. Στο συγκεκριμένο παράδειγμα η ακρίβεια έχει οριστεί στα 0.1mm.
- **Machine Shallow Areas:** προσθέτει έξτρα Z επίπεδα περασμάτων για περιοχές ή εσοχές που το κοπτικό συναντά περισσότερη ακατέργαστη ύλη. Πατώντας την εντολή εμφανίζονται οι παρακάτω επιπρόσθετες παράμετροι για την διευκρίνιση της κατεργασίας. Ωστόσο η εντολή θα παραμείνει ανενεργή.
  - **Minimum Shallow Stepdown:** η παράμετρος ελέγχει το ελάχιστο βήμα μεταξύ των περασμάτων σε συνθήκες που προβλέπεται να χρησιμοποιηθεί η εντολή **Machine Shallow Areas**.
  - **Maximum Shallow Stepdown:** η παράμετρος ελέγχει το μέγιστο βήμα μεταξύ των περασμάτων σε συνθήκες που προβλέπεται να χρησιμοποιηθεί η εντολή **Machine Shallow Areas**.
- **Minimum Diameter:** ορίζει την μικρότερη κυλινδρική διάμετρο που μπορεί να κατεργαστεί. Όταν η τιμή τίθεται στο μηδέν, η διαδρομή του κοπτικού αποκτάει τροχιά τέτοια ώστε να φτάνει στα όρια όπου ορίζει η ασφάλεια. Στην συγκεκριμένη περίπτωση η τιμή τέθηκε στο 0mm.
- **Manual Stepover:** επιτρέπει την τακτοποίηση των περασμάτων χειροκίνητα.



- **Minimum Cutting Radius:** καθορίζει τη μικρότερη ακτίνα στη διαδρομή που θα ακολουθήσει το κοπτικό. Θα δημιουργηθεί μια καμπύλη επιλεγμένης γωνίας σε όλες τις αιχμηρές εσωτερικές γωνίες, ώστε να κατεργαστούν αργότερα ή στο φινίρισμα. Στο συγκεκριμένο παράδειγμα τέθηκε στα 0mm.
- **Maximum Stepover:** διευκρινίζει το μέγιστο οριζόντιο βήμα μεταξύ των πασών. Στην συγκεκριμένη περίπτωση τέθηκε στα 10mm.
- **Minimum Stepover:** διευκρινίζει το ελάχιστο οριζόντιο βήμα. Στο συγκεκριμένο παράδειγμα ορίστηκε στο 1mm.
- **Use Morphed Spiral Machining:** επιτρέπει την δημιουργία ειδικής μορφοποιημένης σπειροειδούς διαδρομής για το κοπτικό, ειδικά διαμορφωμένης για την κοιλότητα.
- **Direction:** η επιλογή επιτρέπει να οριστεί η φορά που θα πραγματοποιήσει την κοπή το κοπτικό εργαλείο σύμφωνα με την φορά περιστροφής του. Με την μέθοδο Climb το εργαλείο αφαιρεί υλικό με φορά που μοιάζει με κύλιση πάνω στο υλικό, ενώ με την συμβατική μέθοδο (Conventional) το εργαλείο κινείται αντίθετα. Η πρώτη μέθοδος τείνει να αφήνει καλύτερες επιφάνειες, να έχει λιγότερες ταλαντώσεις κατά την κατεργασία, αλλά και λιγότερη φθορά στο εργαλείο. Ωστόσο, επιλέγοντας το εργαλείο να κινηθεί και με τις δύο φορές (Both Ways) μειώνεται σημαντικά ο χρόνος κατεργασίας. Εδώ επιλέχθηκε η μέθοδος **Climb**.
- **Allow Stepover Cusps:** Όταν κατεργάζονται επίπεδες επιφάνειες με εργαλείο που έχει γωνιακή απόληξη, μπορεί να δημιουργηθούν ακμές μεταξύ των περασμάτων. Από προεπιλογή το πρόγραμμα αποτρέπει τη δημιουργία τέτοιων ακμών. Η εντολή επιτρέπει τη δημιουργία τέτοιων ακμών.
- **Smoothing Deviation:** εξομαλύνει την διαδρομή του κοπτικού κοντά σε αιχμηρές γωνίες.
- **Maximum Roughing Stepdown:** καθορίζει το βήμα μεταξύ των πολλαπλών μικρών βημάτων που θα κληθεί το κοπτικό να κάνει στην πορεία της κατεργασίας, ενώ το τελικό βήμα θα είναι ό, τι απέμεινε από το ακατέργαστο. Στην συγκεκριμένη περίπτωση τέθηκε στα 2mm.



Εικόνα 5.4.12 Καρτέλα Passes εντολής Pocket Clearing.



- **Flat Area Detection:** με την ενεργοποίηση της εντολής γίνεται δυνατός ο εντοπισμός των επίπεδων επιφανειών ή κορυφών ώστε να κατεργαστούν με προτεραιότητα αυτά τα επίπεδα.
- **Order by Depth:** όταν είναι ενεργοποιημένο διατάσσει τα πολλαπλά περάσματα κατά άξονα Z.
- **Stock to Leave:** επιτρέπει την παράκαμψη των υψών για την επεξεργασία ενός ποσού ακατέργαστου, είτε έχοντας θετικό πρόσημο και συμβάλλει στην διατήρηση της ποιότητας και την περαιτέρω επεξεργασία του αντικειμένου είτε με αρνητικό πρόσημο θέτοντας σε επεξεργασία το αντικείμενο πέρα απ' το προβλεπόμενο. Στο συγκεκριμένο παράδειγμα θα παραμείνει ανενεργή η επιλογή. Ως προέκταση της εντολής, η παράμετρος **Axial Stock to Leave** ελέγχει την ποσότητα αυτή κατά τη διάρκεια των αξονικών κατεργασιών, ενώ η παράμετρος **Radial Stock to Leave** ελέγχει την ποσότητα αυτή κατά τη διάρκεια των ακτινικών κατεργασιών.
- **Fillets:** ενεργοποίηση για στρογγυλοποίηση των γωνιών.
  - **Fillet Radius:** η ακτίνα της καμπύλης που θα αντικαταστήσει την γωνία.
- **Smoothing:** εξομαλύνει τη διαδρομή του εργαλείου αντικαθιστώντας τα πολύ μικρά τμήματα της διαδρομής, με μεγαλύτερα τόξα. Η ακρίβεια θα παραμείνει η ίδια, ενώ ο κώδικας θα μειωθεί κατά πολύ. Η εντολή δεν θα επιλεγθεί διότι είναι καθαρά υποκειμενική η χρήση της και δεν είναι απαραίτητη για την συγκεκριμένη περίπτωση παραδείγματος.
- **Feed Optimization:** ελέγχει την τροφοδοσία στις γωνίες μειώνοντας τον ρυθμό αφαίρεσης υλικού με σκοπό την προστασία του εργαλείου. Η εντολή στο παραπάνω παράδειγμα δεν επιλέχθηκε καθώς το εργαλείο δεν έχει περίπλοκη τροχιά. Οι παρακάτω επιλογές ανήκουν στο πλαίσιο αυτής της εντολής:
  - **Maximum Directional Change:** καθορίζει τη μέγιστη γωνιακή αλλαγή προτού μειωθεί η τροφοδοσία.
  - **Reduced Feed Radius:** καθορίζει την ελάχιστη επιτρεπτή ακτίνα προτού μειωθεί η τροφοδοσία.
  - **Reduced Feed Distance:** καθορίζει την απόσταση προτού μειωθεί η τροφοδοσία κοντά σε μία γωνία.
  - **Reduced Feedrate:** καθορίζει την μειωμένη ταχύτητα πρόωσης που θα χρησιμοποιείται στις γωνίες.
  - **Only Inner Corners:** ενεργοποιείται ώστε να μειώνεται η τροφοδοσία μόνο στις εσωτερικές γωνίες

**Καρτέλα Linking:** Οι τιμές και οι επιλογές των εντολών που χρησιμοποιήθηκαν για το παράδειγμα, φαίνονται στην Εικόνα 5.4.13. Οι επιλογές της καρτέλας είναι οι εξής:

- **Retraction Policy:** καθορίζει την στρατηγική που θα ακολουθηθεί στην κοπή κατά την ανάσυρση του κοπτικού εργαλείου.
- **High Feedrate Mode:** καθορίζει το πότε το κοπτικό εργαλείο θα κινείται με την μέγιστη ταχύτητα πρόωσης της εργαλειομηχανής (G0) και πότε με ταχύτητα ορισμένης πρόωσης (G1). Η εντολή αυτή συμβάλλει στον περαιτέρω έλεγχο των γρήγορων κινήσεων G0 παραμετροποιώντας τις σε G1 για την αποφυγή συγκρούσεων. Περιλαμβάνονται έξι επιλογές:
  - **Preserve rapid movement:** διατηρεί όλες τις γρήγορες κινήσεις ως G0.
  - **Preserve axial and radial rapid movement:** Οι γρήγορες κινήσεις που εκτελούνται αξονικά ή ακτινικά, διατηρούν G0.
  - **Preserve axial rapid movement:** Οι γρήγορες κινήσεις που εκτελούνται αξονικά, διατηρούν G0.
  - **Preserve radial rapid movement:** Οι γρήγορες κινήσεις που εκτελούνται ακτινικά, διατηρούν G0.

- **Preserve single axis rapid movement:** Οι γρήγορες κινήσεις που εκτελούνται σε έναν άξονα (X, Y ή Z), διατηρούν G0.
- **Always use high feed:** όλες οι γρήγορες κινήσεις αποκτούν ταχύτητα ορισμένης πρόωσης G01.

Στο παράδειγμα έχει επιλεχθεί η επιλογή **Preserve rapid movement** καθώς δεν χρειάζεται περαιτέρω προσοχή για την συγκεκριμένη κατεργασία.

- **Allow Rapid Retract:** επιτρέπει τη γρήγορη ανάσυρση του εργαλείου με ταχύτητα G0.
- **Safe Distance:** ελάχιστη απόσταση μεταξύ του εργαλείου και των επιφανειών του προς κατεργασία εξαρτήματος κατά την ανάσυρση.
- **Maximum Stay-Down Distance:** καθορίζει την μέγιστη απόσταση ανάκλησης.
- **Lift Height:** καθορίζει το ύψος της ανάσυρσης κατά την κίνηση της επανατοποθέτησης.
- **Horizontal Lead-In Radius:** οριζόντια ακτίνα εισόδου του κοπτικού.
- **Vertical Lead-In Radius:** κάθετη ακτίνα εισόδου του κοπτικού. Στο συγκεκριμένο παράδειγμα τέθηκε στα 0.8mm.
- **Horizontal Lead-Out Radius:** οριζόντιο τόξο εξόδου του κοπτικού.
- **Vertical Lead-Out Radius:** κάθετη ακτίνα εξόδου του κοπτικού. Στο συγκεκριμένο παράδειγμα τέθηκε στα 0.8mm.
- **Ramp Type:** καθορίζει τον τρόπο με τον οποίο κινείται το κοπτικό εργαλείο σε κατάσταση κοπής κατά άξονα Z.
- **Ramping Angle:** καθορίζει την γωνία που θα έχει το βήμα κατά άξονα Z.
- **Maximum Ramp Stepdown:** καθορίζει το μέγιστο βήμα προς τα κάτω ανά περιστροφή της ελικοειδούς διαδρομής.
- **Ramp Clearance Height:** το ύψος από το οποίο θα ξεκινήσει η ελικοειδής κίνηση του κοπτικού.
- **Ramp Radial Clearance:** καθορίζει την ελάχιστη απόσταση από το περίγραμμα της κοιλότητας μέχρι την ελικοειδή διαδρομή εισόδου του κοπτικού.
- **Helical Ramp Diameter:** η μέγιστη διάμετρος της ελικοειδούς διαδρομής που θα ακολουθήσει το κοπτικό.

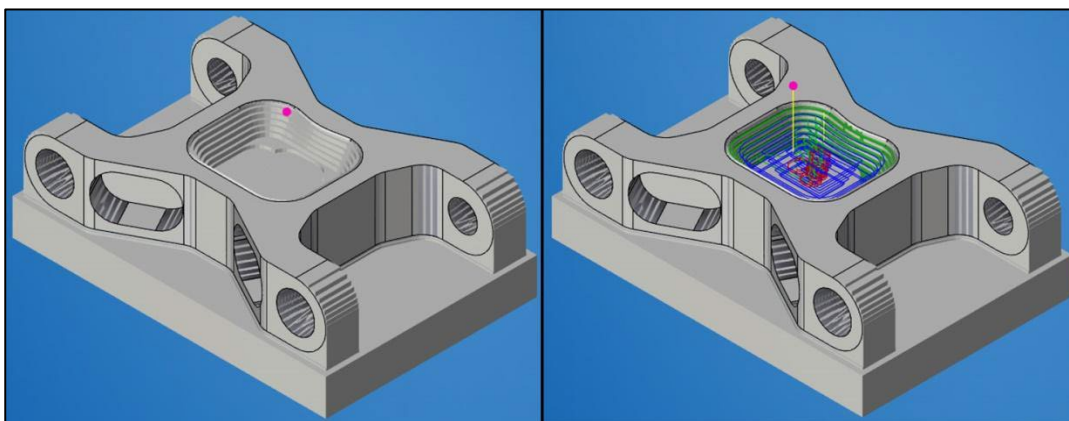
The screenshot shows the 'POCKET : POCKET1' window with the following settings:

- Linking:**
  - Retraction Policy: Full retraction
  - High Feedrate Mode: Preserve rapid movement
  - Allow Rapid Retract: ☒
  - Safe Distance: 3 mm
  - Maximum Stay-Down Distance: 40 mm
  - Lift Height: 0 mm
- Leads & Transitions:**
  - Horizontal Lead-In Radius: 0.8 mm
  - Vertical Lead-In Radius: 0.8 mm
  - Horizontal Lead-Out Radius: 0.8 mm
  - Vertical Lead-Out Radius: 0.8 mm
- Ramp:**
  - Ramp Type: Helix
  - Ramping Angle (deg): 2 deg
  - Maximum Ramp Stepdown: 2 mm
  - Ramp Clearance Height: 2.1 mm
  - Ramp Radial Clearance: 0 mm
  - Helical Ramp Diameter: 7.6 mm
  - Minimum Ramp Diameter: 4 mm
- Positions:**
  - Predrill Positions: Select
  - Preferred Lead-In Position: Select

Εικόνα 5.4.13 Καρτέλα Linking εντολής Pocket Clearing.

- **Minimum Ramp Diameter:** η μικρότερη αποδεκτή διάμετρος της ελικοειδούς διαδρομής.
- **Predrill Positions:** επιλογή σημείου όπου έχει γίνει διάνοιξη οπής με σκοπό την είσοδο του κοπτικού στο ακατέργαστο.
- **Preferred Lead-In Positions:** βοηθά στον προσδιορισμό των θέσεων απ' όπου το κοπτικό μπορεί να εισέλθει στο αντικείμενο. Εάν επιλεγθούν πολλές θέσεις, αυτή που είναι πιο κοντά στο περίγραμμα θα χρησιμοποιηθεί ως σημείο εισαγωγής του αντικειμένου.

**Ανάλυση κατεργασίας:** Παρατηρούμε από την εικόνα 5.4.14 ότι στην προσομοίωση της κατεργασίας φαίνεται η τροχιά του κοπτικού, τα τρία Stepovers, αν και το προς κατεργασία υλικό είναι μικρό για τον αριθμό αυτόν, όπως και τα πολλαπλά βάθη που εκτελεί το κοπτικό. Επίσης φαίνεται η ομαλότητα που εισάγεται και εξάγεται το κοπτικό εργαλείο στο ακατέργαστο από την καμπύλη στην αρχή και στο τέλος κάθε περάσματος.



Εικόνα 5.4.14 Αριστερά φαίνεται το ακατέργαστο αντικείμενο πριν την κατεργασία, ενώ δεξιά μετά την κατεργασία.

## Flat



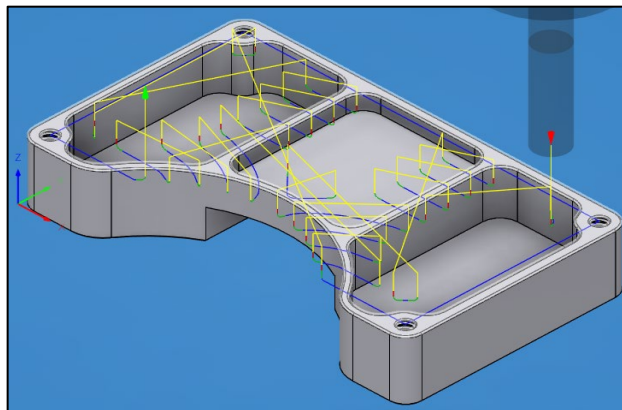
**Flat:** Milling>3D>Flat

**Περιγραφή Κατεργασίας:** κατεργασία φινιρίσματος που ανιχνεύει όλες τις επίπεδες περιοχές του εξαρτήματος, και τις καθαρίζει με μια στρατηγική παρόμοια με αυτή των εντολών **Pocket Clearing** και **2D Face**.

**Καρτέλα Tool:** Για το παράδειγμα το εργαλείο που επιλέχθηκε είναι ένα Flat end mill κονδύλι διαμέτρου 1/4in.

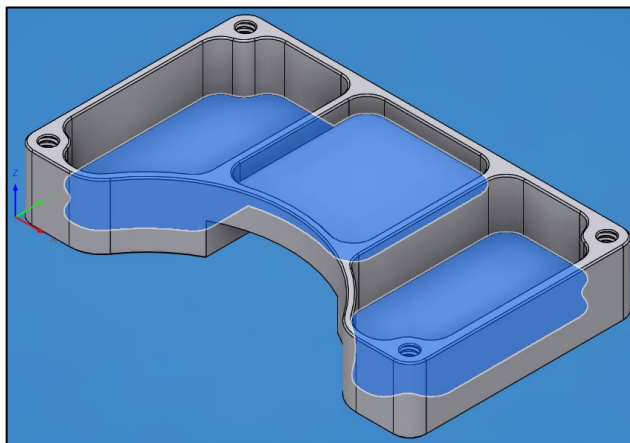
Για το παράδειγμα επιλέχθηκε η μέθοδος **Flood**.

**Καρτέλα Geometry:** Οι επιλογές για την οριοθέτηση της κατεργασίας είναι οι παρακάτω:



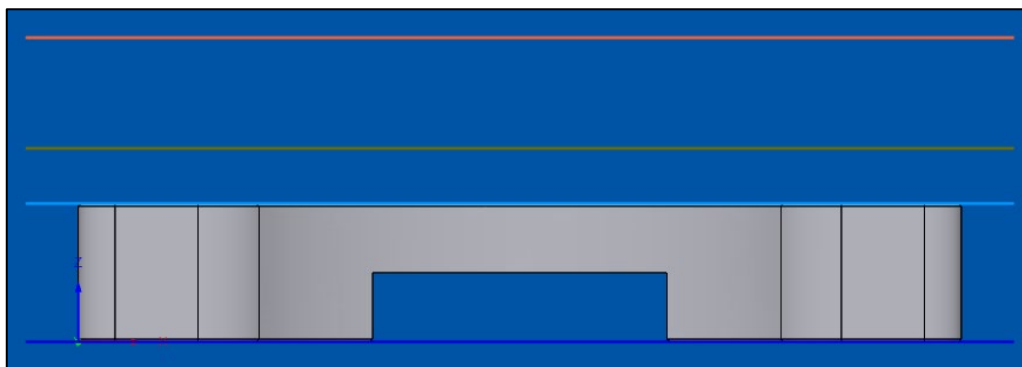
Εικόνα 5.4.15 Παράδειγμα προσομοίωσης κατεργασίας Flat

- **Machining Boundary:** Ορίζει το όριο της διαδρομής του εργαλείου. Αν επιλεγθεί κάποια επιλογή εκτός της **None** προστίθενται οι έξτρα επιλογές:
  - **Tool Containment:** επιλογή του περιορισμού του εργαλείου σε σχέση με το επιλεγμένο όριο.
  - **Additional Offset:** μεγέθυνση ή σμίκρυνση του ορίου κατεργασίας.
  - **Contact Point Boundary:** όταν η εντολή είναι ενεργοποιημένη επεκτείνει τα όρια κατεργασίας μέχρι το κοπτικό να σταματήσει να έχει επαφή με το αντικείμενο, αντί το κέντρο του αντικείμενου να φτάνει στο όριο κατεργασίας και να σταματάει εκεί η διαδρομή.
- **Rest Machining:** περιορίζει την λειτουργία σε αφαίρεση μόνο υλικού που δεν μπόρεσαν προηγούμενα εργαλεία ή κατεργασίες να αφαιρέσουν. Για αυτό και οι πρόσθετες πληροφορίες που απαιτεί είναι σχετικές με το εργαλείο που χρησιμοποιήθηκε προηγουμένως.
- **Tool Orientation:** υπάρχει η δυνατότητα επιλογής συστήματος συντεταγμένων διαφορετικό απ' αυτό που επιλέχθηκε στο **Setup**.
- **Model:** επιλογή για να συμπεριληφθούν στον υπολογισμό της διαδρομής άλλα σώματα, πρόσωπα ή επιφάνειες εκτός της γεωμετρίας που ήδη έχει επιλεγθεί. Ένα παράδειγμα για την λειτουργία αυτής της εντολής είναι να συμπεριληφθούν επιφάνειες που καλύπτουν εσοχές και σταματούν το κοπτικό εργαλείο απ' το να κατεργαστεί το εσωτερικό των εσοχών, που θα κατεργαστούν αργότερα από κάποιο διατρητικό εργαλείο στο **Setup**.
- **Avoid/Touch Surfaces:** Διευκρινίζει τις επιφάνειες που επιθυμούμε να αποφύγουμε ή να χειριστούμε. Όταν είναι ενεργοποιημένη η επιλογή, η διαδρομή του κοπτικού υπολογίζεται έτσι ώστε να αποφύγει ή να εμπεριέχει τις συγκεκριμένες επιφάνειες. Επίσης, με την ενεργοποίηση της επιλογής η καρτέλα επεκτείνεται με τις παρακάτω εντολές:
  - **Mode:** επιλογή αν επιθυμούμε να αποφευχθούν ή να εμπεριέχονται οι επιφάνειες στην διαδρομή του κοπτικού.
  - **Surfaces:** επιλογή των επιφανειών.
  - **Surface Clearance:** επιλογή της απόστασης από τις επιλεγμένες επιφάνειες.



Εικόνα 5.4.16 Παράδειγμα ορίου κατεργασίας με την βοήθεια της επιλογής Avoid/Touch Surfaces.

**Καρτέλα Heights:** Στο συγκεκριμένο παράδειγμα για το ύψος Clearance Height έχει επιλεγθεί ως σημείο αναφοράς το ύψος του Retract Height, και Offset=10.16mm. Για το ύψος Retract Height έχει οριστεί ως σημείο αναφοράς το Stock Top με Offset=5.08mm. Τέλος το άνω ύψος (Top) επιλέχθηκε με το Stock top με Offset=0 και το Bottom Height οριοθετήθηκε με την επιλογή Model Bottom με Offset=0.



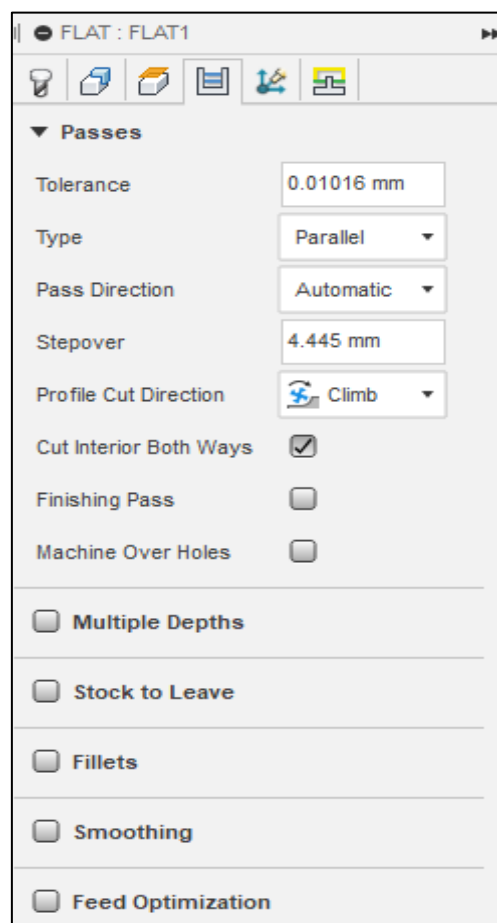
Εικόνα 5.4.17 Παράδειγμα υψών κατεργασίας Flat.

**Καρτέλα Passes:** οι επιλογές είναι οι εξής:

- **Tolerance:** επιλογή της διαστασιακής ακρίβειας. Στο συγκεκριμένο παράδειγμα η ακρίβεια έχει οριστεί στα 0.1016mm.
- **Type:** επιλογή της στρατηγικής που θα ακολουθήσει το κοπτικό εργαλείο κατά την κατεργασία. Χρειάζεται ιδιαίτερη προσοχή το συγκεκριμένο βήμα, καθώς ανάλογα την γεωμετρία του αντικειμένου θα ακολουθηθεί και διαφορετική στρατηγική και το παράθυρο της κατεργασίας θα διαμορφωθεί ανάλογα.
  - **Pocket:** χρήσιμο για την κατεργασία πιο σύνθετων γεωμετριών αποτελούμενων από κυκλικές περιοχές.
  - **Parallel:** χρήσιμο για την κατεργασία απλούστερων γεωμετριών αποτελούμενων από μακριές ορθογώνιες περιοχές.

Στο συγκεκριμένο παράδειγμα επιλέχθηκε η στρατηγική Parallel καθώς η γεωμετρία του αντικειμένου χαρακτηρίζεται από ορθογώνιες περιοχές. Ωστόσο, θα αναλυθούν και οι εντολές που εμφανίζονται αν επιλεγθεί η στρατηγική Pocket.

- **Pass Direction:** επιλογή της κατεύθυνσης κοπής του εργαλείου. Μπορεί να επιλεγθεί η επιθυμητή κατεύθυνση που θα ακολουθήσει το εργαλείο κατά την εκτέλεση της κατεργασίας.
- **Optimize Open Pockets:** εμφανίζεται μόνο αν επιλεγθεί η στρατηγική Pocket. Όταν η εντολή ενεργοποιηθεί, το κοπτικό εργαλείο θα προσεγγίζει το αντικείμενο έχοντας τις κοπτικές ακμές κάθετα με το αντικείμενο και θα το κατεργάζεται σε διαδρομή παράλληλη με την γεωμετρία της εσοχής. Όταν η εντολή παραμείνει απενεργοποιημένη, τότε το κοπτικό θα προσεγγίζει την περιοχή κοπής εξωτερικά του αντικειμένου.
- **Spiral:** εμφανίζεται μόνο αν επιλεγθεί η στρατηγική Pocket. Δημιουργεί μια σπειροειδούς τύπου διαδρομή, με



Εικόνα 5.4.18 Καρτέλα Passes εντολής Flat.



αποτέλεσμα μια καλύτερη επιφάνεια στο αντικείμενο.

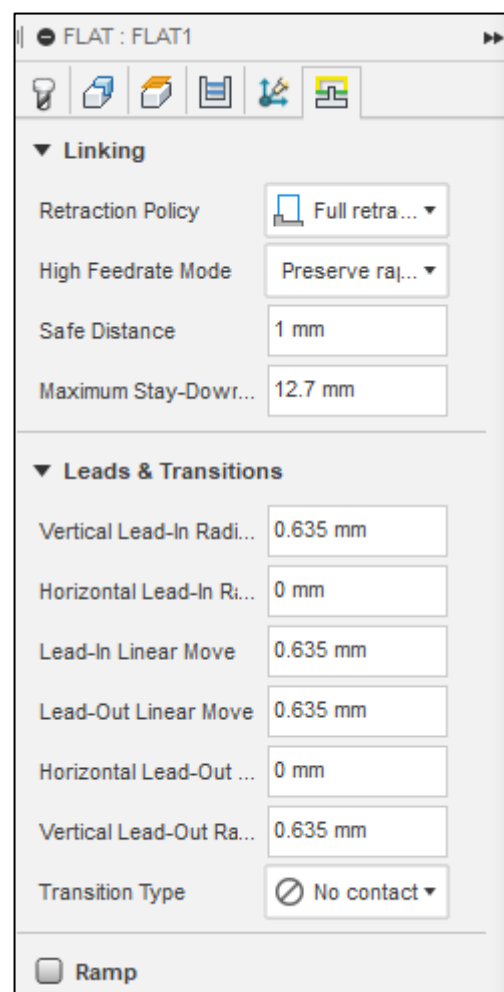
- **Stepover:** επιλογή της απόστασης μεταξύ των περασμάτων που θα κάνει το κοπτικό εργαλείο. Στην ουσία, ορίζει την πυκνότητα των περασμάτων πάνω από το ακατέργαστο. Στο παράδειγμα έχει οριστεί έτσι, ώστε τα περάσματα να απέχουν μεταξύ τους 4.445mm.
- **Smoothing Deviation (%):** εμφανίζεται μόνο αν επιλεγθεί η στρατηγική Pocket. Είναι μια ρυθμιστική κλίμακα που κυμαίνεται από το 0% έως το 25%, η οποία αντιπροσωπεύει μια απόκλιση της πραγματικής διαδρομής του κοπτικού εργαλείου κατά την διάρκεια της κατεργασίας. Αυτό δημιουργεί μια ομαλότερη κίνηση με σκοπό τη μείωση των αιχμηρών γωνιών. Η απόκλιση αυτή εφαρμόζεται μόνο στις εσωτερικές κοπές και δεν επηρεάζει την ακρίβεια.
- **Profile Cut Direction:** η επιλογή επιτρέπει να οριστεί η φορά με την οποία θα πραγματοποιήσει την κοπή το κοπτικό εργαλείο σύμφωνα με την φορά περιστροφής του. Με την μέθοδο Climb το εργαλείο αφαιρεί υλικό με φορά που μοιάζει με κύλιση πάνω στο υλικό, ενώ με τη συμβατική μέθοδο (Conventional) το εργαλείο κινείται αντίθετα. Η πρώτη μέθοδος τείνει να αφήνει καλύτερες επιφάνειες, να έχει λιγότερες ταλαντώσεις κατά την κατεργασία, αλλά και λιγότερη φθορά στο εργαλείο. Ωστόσο, επιλέγοντας το εργαλείο να κινηθεί και με τις δύο φορές (Both Ways) μειώνεται σημαντικά ο χρόνος κατεργασίας. Εδώ επιλέχθηκε η μέθοδος **Climb**.
- **Cut Interior Both Ways:** επιτρέπει το συνεχόμενο φρεζάρισμα και από τις δύο πλευρές, χωρίς το κοπτικό να επανατοποθετείται κάθε φορά και κάνει κατεργασία και με την μέθοδο του Climb και με την μέθοδο Conventional. Όταν η εντολή είναι απενεργοποιημένη, τότε την κατεύθυνση κοπής την ορίζει η εντολή Profile Cut Direction.
- **Finishing Pass:** ενεργοποιεί την εκτέλεση περάσματος φινιρίσματος. Με το πάτημα της επιλογής εμφανίζεται επιπλέον επιλογή για την διευκρίνιση του φινιρίσματος. Στο συγκεκριμένο παράδειγμα δεν επιλέχθηκε η εντολή.
  - **Finishing Stepover:** ορίζει την απόσταση μεταξύ των δύο τελευταίων περασμάτων. Η οποία τυπικά είναι μικρότερη από το μήκος του Stepover.
- **Machine Over Holes:** όταν η εντολή είναι επιλεγμένη, η διαδρομή του κοπτικού εργαλείου περνάει πάνω από οπές και ανοίγματα αντί να κάνει περιμετρικά την γεωμετρία της οπής. Στο συγκεκριμένο παράδειγμα δεν επιλέχθηκε.
- **Multiple Depths:** ενεργοποιεί τη λειτουργία αφαίρεσης υλικού με πολλαπλά βάθη. Στο συγκεκριμένο παράδειγμα η επιλογή θα παραμείνει ανενεργή, διότι δεν χρειάζεται. Το ακατέργαστο μπορεί να κατεργαστεί με ένα πέρασμα.
- **Number of Stepdowns:** διευκρινίζει τον αριθμό των βημάτων.
- **Maximum Stepdown:** καθορίζει το βήμα μεταξύ των πολλαπλών βαθών, ενώ το τελικό βήμα θα είναι ό, τι απέμεινε από το ακατέργαστο.
- **Finish Stepdown:** επιλογή τελικού βήματος στην κατεργασία (Φινίρισμα). Με το πάτημα της επιλογής ζητείται από το πρόγραμμα η ταχύτητα πρόωσης και το ύψος του τελευταίου βήματος.
- **Stock to Leave:** επιτρέπει την παράκαμψη των υψών για την επεξεργασία ενός ποσού ακατέργαστου, είτε έχοντας θετικό πρόσημο και συμβάλλει στην διατήρηση της ποιότητας και την περαιτέρω επεξεργασία του αντικειμένου είτε με αρνητικό πρόσημο θέτοντας σε επεξεργασία το αντικείμενο πέρα απ' το προβλεπόμενο. Στο συγκεκριμένο παράδειγμα η επιλογή θα παραμείνει ανενεργή. Ως προέκταση της εντολής, η παράμετρος **Axial Stock to Leave** ελέγχει την ποσότητα αυτή κατά τη διάρκεια των αξονικών κατεργασιών, ενώ η παράμετρος **Radial Stock to Leave** ελέγχει την ποσότητα αυτή κατά τη διάρκεια των ακτινικών κατεργασιών.
- **Filletts:** ενεργοποιείται για τη στρογγυλοποίηση των γωνιών.



- **Fillet Radius:** η ακτίνα της καμπύλης που θα αντικαταστήσει τη γωνία.
- **Smoothing:** εξομαλύνει τη διαδρομή του εργαλείου αντικαθιστώντας τα πολύ μικρά τμήματα της διαδρομής, με μεγαλύτερα τόξα. Η ακρίβεια θα παραμείνει η ίδια, ενώ ο κώδικας θα μειωθεί κατά πολύ. Η εντολή δεν θα επιλεγεί διότι είναι καθαρά υποκειμενική η χρήση της και δεν χρειάζεται για την συγκεκριμένη περίπτωση παραδείγματος.
- **Feed Optimization:** ελέγχει την τροφοδοσία στις γωνίες μειώνοντας το ρυθμό αφαίρεσης υλικού με σκοπό την προστασία του εργαλείου. Η εντολή στο παραπάνω παράδειγμα δεν επιλέχθηκε καθώς το εργαλείο δεν έχει περίπλοκη τροχιά. Οι παρακάτω επιλογές ανήκουν στο πλαίσιο αυτής της εντολής:
  - **Maximum Directional Change:** καθορίζει τη μέγιστη γωνιακή αλλαγή προτού μειωθεί η τροφοδοσία.
  - **Reduced Feed Radius:** καθορίζει την ελάχιστη επιτρεπτή ακτίνα προτού μειωθεί η τροφοδοσία.
  - **Reduced Feed Distance:** καθορίζει την απόσταση προτού μειωθεί η τροφοδοσία κοντά σε μία γωνία.
  - **Reduced Feedrate:** καθορίζει την μειωμένη ταχύτητα πρόωσης που θα χρησιμοποιείται στις γωνίες.
  - **Only Inner Corners:** ενεργοποιείται ώστε να μειώνεται η τροφοδοσία μόνο στις εσωτερικές γωνίες.

**Καρτέλα Linking:** Οι τιμές και οι επιλογές των εντολών που χρησιμοποιήθηκαν για το παράδειγμα, φαίνονται στην Εικόνα 5.4.19. Οι επιλογές της καρτέλας είναι οι εξής:

- **Retraction Policy:** καθορίζει την στρατηγική που θα ακολουθηθεί στην κοπή κατά την ανάσυρση του κοπτικού εργαλείου.
- **High Feedrate Mode:** καθορίζει το πότε το κοπτικό εργαλείο θα κινείται με την μέγιστη ταχύτητα πρόωσης της εργαλειομηχανής (G0) και πότε με ταχύτητα ορισμένης πρόωσης (G1). Η εντολή αυτή συμβάλλει στον περαιτέρω έλεγχο των γρήγορων κινήσεων G0 παραμετροποιώντας τις σε G1 για την αποφυγή συγκρούσεων. Περιλαμβάνονται έξι επιλογές:
  - **Preserve rapid movement:** διατηρεί όλες τις γρήγορες κινήσεις ως G0.
  - **Preserve axial and radial rapid movement:** Οι γρήγορες κινήσεις που εκτελούνται αξονικά ή ακτινικά διατηρούν G0.
  - **Preserve axial rapid movement:** Οι γρήγορες κινήσεις που εκτελούνται αξονικά διατηρούν G0.
  - **Preserve radial rapid movement:** Οι γρήγορες κινήσεις που εκτελούνται ακτινικά διατηρούν G0.

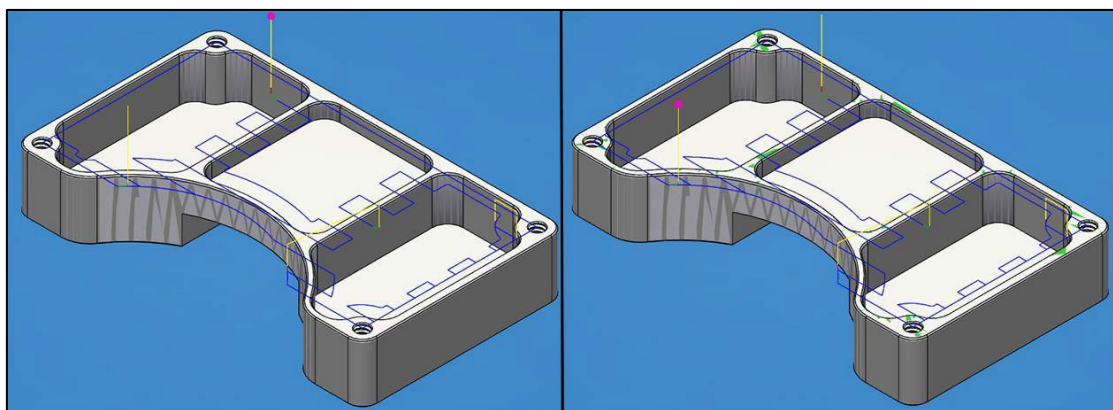


Εικόνα 5.4.19 Καρτέλα Linking εντολής Flat.

- **Preserve single axis rapid movement:** Οι γρήγορες κινήσεις που εκτελούνται σε έναν άξονα (X, Y ή Z) διατηρούν G0.
- **Always use high feed:** όλες οι γρήγορες κινήσεις αποκτούν ταχύτητα ορισμένης πρόωσης G01.

Στο παράδειγμα έχει επιλεγθεί η επιλογή **Preserve rapid movement** καθώς δεν χρειάζεται περεταίρω προσοχή για την συγκεκριμένη κατεργασία.

- **Safe Distance:** ελάχιστη απόσταση μεταξύ του εργαλείου και των επιφανειών του προς κατεργασία εξαρτήματος κατά την ανάσυρση.
- **Maximum Stay-Down Distance:** καθορίζει την μέγιστη απόσταση ανάκλισης.
- **Vertical Lead-In Radius:** κάθετη ακτίνα εισαγωγής του κοπτικού.
- **Horizontal Lead-In Radius:** οριζόντια ακτίνα εισόδου του κοπτικού.
- **Lead-In Linear Move:** γραμμική κίνηση εισόδου του κοπτικού. Πραγματοποιείται μεταξύ της κάθετης ακτινικής κίνησης εισόδου και της οριζόντιας ακτινικής κίνησης εισόδου.
- **Lead-Out Linear Move:** γραμμική κίνηση εξόδου του κοπτικού. Πραγματοποιείται μεταξύ της οριζόντιας ακτινικής κίνησης εξόδου και της κάθετης ακτινικής κίνησης εξόδου.
- **Horizontal Lead-Out Radius:** οριζόντια ακτίνα εξόδου του κοπτικού.
- **Vertical Lead-Out Radius:** κάθετη ακτίνα εξόδου του κοπτικού.
- **Transition Type:** διευκρινίζει την ενδιάμεση κίνηση του κοπτικού μεταξύ των περασμάτων.
- **Ramp Type:** καθορίζει τον τρόπο με τον οποίο κινείται το κοπτικό εργαλείο σε κατάσταση κοπής κατά άξονα Z.
- **Ramping Angle:** καθορίζει την γωνία που θα έχει το βήμα κατά άξονα Z.
- **Ramp Clearance Height:** το ύψος από το οποίο θα ξεκινήσει η ελικοειδής κίνηση του κοπτικού.
- **Helical Ramp Diameter:** η μέγιστη διάμετρος της ελικοειδούς διαδρομής που θα ακολουθήσει το κοπτικό.



Εικόνα 5.4.20 Αριστερά φαίνεται το ακατέργαστο αντικείμενο πριν την κατεργασία, ενώ δεξιά μετά την κατεργασία.

**Ανάλυση κατεργασίας:** Παρατηρούμε από την εικόνα 5.4.20 ότι στην προσομοίωση της κατεργασίας φαίνεται η τροχιά του κοπτικού και η στρατηγική που έχει ακολουθηθεί από την διαδρομή του κοπτικού. Επίσης παρατηρείται ότι κατά την κατεργασία δεν έχει κοπεί μεγάλη ποσότητα υλικού, καθώς η κατεργασία χρησιμοποιήθηκε για το φινίρισμα του αντικειμένου, εξού και το ένα πέρασμα. Επίσης φαίνεται η ομαλότητα που εισάγεται και

εξάγεται το κοπτικό εργαλείο στο ακατέργαστο από την καμπύλη στην αρχή και στο τέλος κάθε περάσματος.

## Parallel



**Parallel:** Milling>3D>Parallel

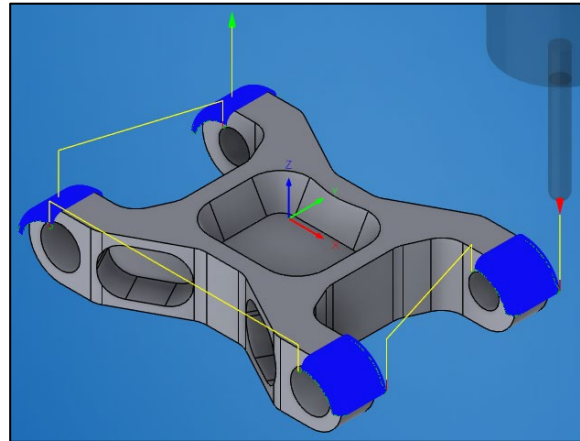
**Περιγραφή Κατεργασίας:** Κατεργασία φινιρίσματος, στην οποία τα περάσματα του εργαλείου είναι παράλληλα στο επίπεδο XY και ακολουθούν την επιφάνεια του αντικειμένου στην κατεύθυνση Z.

**Καρτέλα Tool:** Για το παράδειγμα το εργαλείο που επιλέχθηκε είναι ένα Ball end mill κονδύλι διαμέτρου 8mm.

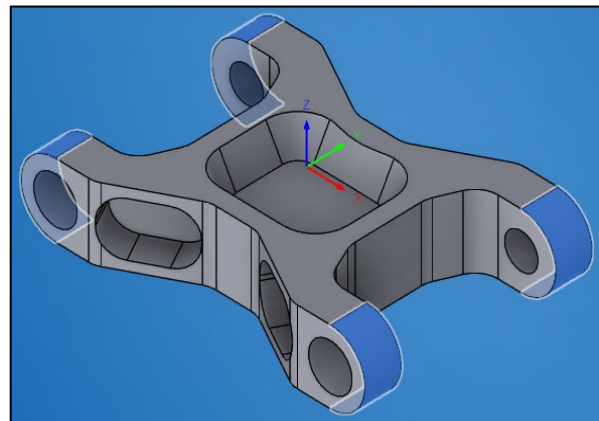
Για το παράδειγμα επιλέχθηκε η μέθοδος **Flood**.

**Καρτέλα Geometry:** Οι επιλογές για την οριοθέτηση της κατεργασίας είναι οι παρακάτω:

- **Machining Boundary:** Ορίζει το όριο της διαδρομής του εργαλείου. Αν επιλεχτεί κάποια επιλογή εκτός της **None**, προστίθενται οι έξτρα επιλογές:
  - **Tool Containment:** επιλογή του περιορισμού του εργαλείου σε σχέση με το επιλεγμένο όριο.
  - **Additional Offset:** μεγέθυνση ή σμίκρυνση του ορίου κατεργασίας.
  - **Contact Point Boundary:** όταν η εντολή είναι ενεργοποιημένη επεκτείνει τα όρια κατεργασίας μέχρι το κοπτικό να σταματήσει να έχει επαφή με το αντικείμενο αντί απλά το κέντρο του αντικειμένου να φτάνει στο όριο κατεργασίας και να σταματάει εκεί η διαδρομή.
- **Slope:** αυτή η επιλογή περιορίζει το εύρος της γωνίας που μπορεί να πάρει η τροχιά του κοπτικού εργαλείου. Ο περιορισμός της γωνιακής θέσης καθορίζεται από τις παρακάτω παραμέτρους:
  - **From Slope Angle:** η παράμετρος αυτή ορίζεται από το οριζόντιο επίπεδο και παίρνει τιμές από 0 μέχρι 90 μοίρες.
  - **To Slope Angle:** η παράμετρος αυτή ορίζεται από το κάθετο επίπεδο και παίρνει τιμές από 90 έως και 0 μοίρες.



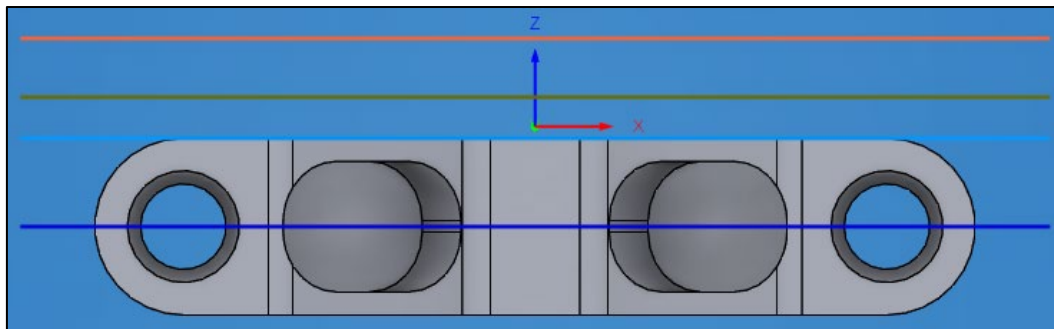
Εικόνα 5.4.21 Παράδειγμα προσομοίωσης κατεργασίας Parallel



Εικόνα 5.4.22 Παράδειγμα ορίου κατεργασίας με την βοήθεια της επιλογής Avoid/Touch Surfaces.

- **Rest Machining:** περιορίζει την λειτουργία σε αφαίρεση μόνο υλικού που δεν μπόρεσαν προηγούμενα εργαλεία ή κατεργασίες, να αφαιρέσουν. Για αυτό και οι πρόσθετες πληροφορίες που απαιτεί είναι σχετικές με το εργαλείο που χρησιμοποιήθηκε προηγουμένως.
- **Tool Orientation:** υπάρχει η δυνατότητα επιλογής συστήματος συντεταγμένων διαφορετικό απ' αυτό που επιλέχθηκε στο **Setup**.
- **Model:** επιλογή για να συμπεριληφθούν στον υπολογισμό της διαδρομής άλλα σώματα, πρόσωπα ή επιφάνειες εκτός της γεωμετρίας που ήδη έχει επιλεγθεί. Ένα παράδειγμα για την λειτουργία αυτής της εντολής είναι να συμπεριληφθούν επιφάνειες που καλύπτουν εσοχές και σταματούν το κοπτικό εργαλείο να κατεργαστεί το εσωτερικό των εσοχών που θα κατεργαστούν αργότερα από κάποιο διατρητικό εργαλείο στο **Setup**.
- **Avoid/Touch Surfaces:** Διευκρινίζει τις επιφάνειες που επιθυμούμε να αποφύγουμε ή να χειριστούμε. Όταν είναι ενεργοποιημένη η επιλογή, η διαδρομή του κοπτικού υπολογίζεται έτσι ώστε να αποφύγει ή να εμπεριέχει τις συγκεκριμένες επιφάνειες. Επίσης με την ενεργοποίησή της, η καρτέλα επεκτείνεται με τις παρακάτω εντολές:
  - **Mode:** επιλογή για να ρυθμίσουμε αν επιθυμούμε να αποφευχθούν ή να εμπεριέχονται οι επιφάνειες στην διαδρομή του κοπτικού.
  - **Surfaces:** επιλογή των επιφανειών.
  - **Surface Clearance:** επιλογή της απόστασης από τις επιλεγμένες επιφάνειες.

**Καρτέλα Heights:** Στο συγκεκριμένο παράδειγμα για το ύψος Clearance Height έχει επιλεγεί ως σημείο αναφοράς το ύψος του Retract Height, και Offset=10mm. Για το ύψος Retract Height έχει οριστεί ως σημείο αναφοράς το Stock Top με Offset=5mm. Τέλος το άνω ύψος (Top) επιλέχθηκε με το Model top με Offset=0 και το Bottom Height οριοθετήθηκε με την επιλογή Model top και η οριοθέτηση έγινε αυτόματα από το πρόγραμμα με Offset=-15.0495mm.

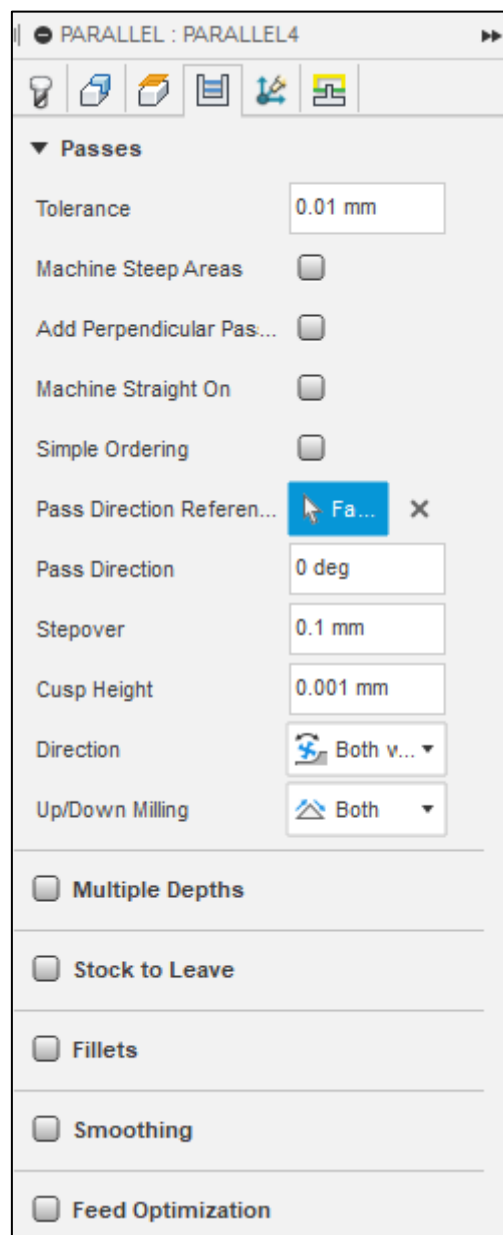


Εικόνα 5.4.23 Παράδειγμα υψών κατεργασίας Parallel.

**Καρτέλα Passes:** οι επιλογές είναι οι εξής:

- **Tolerance:** επιλογή της διαστασιακής ακρίβειας. Στο συγκεκριμένο παράδειγμα η ακρίβεια έχει οριστεί στα 0.01mm.
- **Machine Steep Areas:** ορίζει τα έξτρα περάσματα που μπορούν να προστεθούν όπου η επιφάνεια που κατεργάζεται το κοπτικό έχει απότομη κλίση. Η εντολή δεν επιλέχθηκε στο συγκεκριμένο παράδειγμα. Τα έξτρα περάσματα καθορίζονται από τις παρακάτω παραμέτρους:
  - **Minimum Steep Steepon:** διευκρινίζει το ελάχιστο οριζόντιο βήμα όταν είναι ενεργοποιημένη η εντολή **Machine Steep Areas**.

- **Maximum Steep Stepdown:** καθορίζει το μέγιστο βήμα μεταξύ των πολλαπλών βαθών όταν είναι ενεργοποιημένη η εντολή **Machine Steep Areas**.
- **Add Perpendicular Passes:** επιτρέπει την προσθήκη ενός συνόλου περασμάτων κάθετα στα προκαθορισμένα περάσματα, ώστε να αυξηθεί η ποιότητα και η ακρίβεια της επιφάνειας με κόστος τον χρόνο κατεργασίας. Η εντολή δεν επιλέχθηκε στο συγκεκριμένο παράδειγμα.
- **Machine Straight On:** αποφεύγει την κοπή κατά μήκος των απότομων περιοχών επιλέγοντας αυτόματα την καλύτερη κατεύθυνση για τα παράλληλα περάσματα. Η εντολή δεν επιλέχθηκε στο συγκεκριμένο παράδειγμα.
- **Simple Ordering:** ενεργοποιεί μια πιο απλή ταξινόμηση των περασμάτων κατά μήκος της κατεύθυνσης κοπής αντί της ταξινόμησης βάσει της συντομότερης απόστασης. Η λειτουργία αυτή είναι ιδιαίτερα χρήσιμη για την αποφυγή κάποιων σημαδιών στην επεξεργασμένη επιφάνεια, αλλά αυξάνει τον χρόνο κατεργασίας. Η εντολή δεν επιλέχθηκε στο συγκεκριμένο παράδειγμα.
- **Pass Direction:** επιλογή της κατεύθυνσης κοπής του εργαλείου. Μπορεί να επιλεχθεί η επιθυμητή κατεύθυνση που θα ακολουθήσει το εργαλείο κατά την εκτέλεση της κατεργασίας. Στο συγκεκριμένο παράδειγμα το εργαλείο θα εισχωρήσει στο αντικείμενο με την διεύθυνση του χ'x και 0 μοίρες.
- **Stepover:** επιλογή της απόστασης μεταξύ των περασμάτων που θα κάνει το κοπτικό εργαλείο. Ουσιαστικά ορίζει την πυκνότητα των περασμάτων πάνω από το ακατέργαστο. Στο παράδειγμα έχει οριστεί έτσι ώστε τα περάσματα να απέχουν μεταξύ τους 0.1mm.
- **Cusp Height:** ορίζει το επιθυμητό ύψος του προεξέχοντος ακατέργαστου που απομένει μεταξύ των περασμάτων για τον υπολογισμό του μήκους και του βάθους των περασμάτων.
- **Direction:** η επιλογή επιτρέπει να οριστεί η φορά που θα πραγματοποιήσει την κοπή το κοπτικό εργαλείο σύμφωνα με την φορά περιστροφής του. Με την μέθοδο Climb το εργαλείο αφαιρεί υλικό με φορά που μοιάζει με κύλιση πάνω στο υλικό, ενώ με την συμβατική μέθοδο (Conventional) το εργαλείο κινείται αντίθετα. Η πρώτη μέθοδος τείνει να αφήνει καλύτερες επιφάνειες, να έχει λιγότερες ταλαντώσεις κατά την κατεργασία, αλλά και λιγότερη φθορά στο εργαλείο. Ωστόσο, επιλέγοντας το



Εικόνα 5.4.24 Καρτέλα Passes εντολής Parallel.



εργαλείο να κινηθεί και με τις δύο φορές (Both Ways) μειώνεται σημαντικά ο χρόνος κατεργασίας. Εδώ επιλέχθηκε η μέθοδος **Both Ways**.

- **Up/Down Milling:** χρησιμοποιείται για την τμηματοποίηση των περασμάτων, έτσι ώστε κάθε κομμάτι να δέχεται επεξεργασία από το κοπτικό μόνο προς τα πάνω ή μόνο προς τα κάτω. Στην συγκεκριμένη περίπτωση επιλέχθηκε το Both διότι δεν χρειάζεται κάποια ιδιαίτερη επεξεργασία το συγκεκριμένο κομμάτι ούτε κάποιο κοπτικό που να περιορίζεται η κινησιολογία του μόνο προς μια κατεύθυνση.
- **Multiple Depths:** ενεργοποιεί τη λειτουργία αφαίρεσης υλικού με πολλαπλά βάθη. Στο συγκεκριμένο παράδειγμα θα παραμείνει ανενεργή η επιλογή, καθώς δεν κρίνεται απαραίτητη. Το ακατέργαστο θα κατεργαστεί σύμφωνα με την γεωμετρία της επιφάνειας, και δεν χρειάζονται πολλαπλά βάθη.
- **Number of Stepdowns:** διευκρινίζει τον αριθμό των βημάτων.
- **Maximum Stepdown:** καθορίζει το βήμα μεταξύ των πολλαπλών βαθών, ενώ το τελικό βήμα θα είναι ότι απέμεινε από το ακατέργαστο.
- **Order by Depth:** όταν είναι ενεργοποιημένο διατάσσει τα πολλαπλά περάσματα κατά άξονα Z.
- **Stock to Leave:** επιτρέπει την παράκαμψη των υψών για την επεξεργασία ενός ποσού ακατέργαστου, είτε έχοντας θετικό πρόσημο και συμβάλλει στην διατήρηση της ποιότητας και την περαιτέρω επεξεργασία του αντικείμενου είτε με αρνητικό πρόσημο θέτοντας σε επεξεργασία το αντικείμενο πέρα απ' το προβλεπόμενο. Στο συγκεκριμένο παράδειγμα θα παραμείνει ανενεργή η επιλογή. Ως προέκταση της εντολής, η παράμετρος **Axial Stock to Leave** ελέγχει την ποσότητα αυτή κατά τη διάρκεια των αξονικών κατεργασιών, ενώ η παράμετρος **Radial Stock to Leave** ελέγχει την ποσότητα αυτή κατά τη διάρκεια των ακτινικών κατεργασιών.
- **Filletts:** ενεργοποιείται για στρογγυλοποίηση των γωνιών.
  - **Fillet Radius:** η ακτίνα της καμπύλης που θα αντικαταστήσει την γωνία.
- **Smoothing:** εξομαλύνει τη διαδρομή του εργαλείου αντικαθιστώντας τα πολύ μικρά τμήματα της διαδρομής, με μεγαλύτερα τόξα. Η ακρίβεια θα παραμείνει η ίδια, ενώ ο κώδικας θα μειωθεί κατά πολύ. Η εντολή δεν θα επιλεγεί διότι είναι καθαρά υποκειμενική η χρήση του και δεν χρειάζεται για την συγκεκριμένη περίπτωση παραδείγματος.
- **Feed Optimization:** ελέγχει την τροφοδοσία στις γωνίες μειώνοντας τον ρυθμό αφαίρεσης υλικού με σκοπό την προστασία του εργαλείου. Η εντολή στο παραπάνω παράδειγμα δεν επιλέχθηκε καθώς το εργαλείο δεν έχει περίπλοκη τροχιά. Οι παρακάτω επιλογές ανήκουν στο πλαίσιο αυτής της εντολής:
  - **Maximum Directional Change:** καθορίζει τη μέγιστη γωνιακή αλλαγή προτού μειωθεί η τροφοδοσία.
  - **Reduced Feed Radius:** καθορίζει την ελάχιστη επιτρεπτή ακτίνα προτού μειωθεί η τροφοδοσία.
  - **Reduced Feed Distance:** καθορίζει την απόσταση προτού μειωθεί η τροφοδοσία κοντά σε μία γωνία.
  - **Reduced Feedrate:** καθορίζει την μειωμένη ταχύτητα πρόωσης που θα χρησιμοποιείται στις γωνίες.
  - **Only Inner Corners:** ενεργοποιείται ώστε να μειώνεται η τροφοδοσία μόνο στις εσωτερικές γωνίες.

**Καρτέλα Linking:** Οι τιμές και οι επιλογές των εντολών που χρησιμοποιήθηκαν για το παράδειγμα, φαίνονται στην Εικόνα 5.4.25 Οι επιλογές της καρτέλας είναι οι εξής:

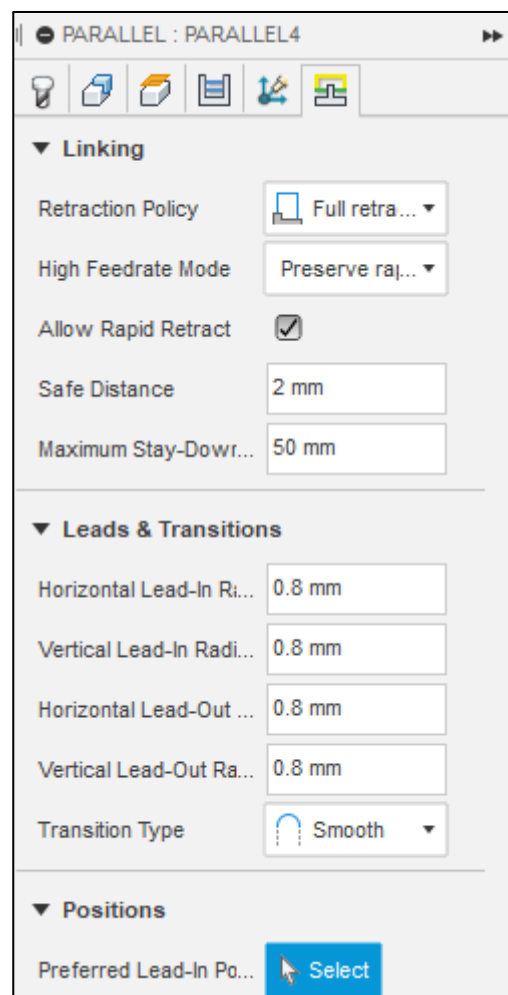
- **Retraction Policy:** καθορίζει την στρατηγική που θα ακολουθηθεί στην κοπή κατά την ανάσυρση του κοπτικού εργαλείου.



- **High Feedrate Mode:** καθορίζει το πότε το κοπτικό εργαλείο θα κινείται με την μέγιστη ταχύτητα πρόωσης της εργαλειομηχανής (G0) και πότε με ταχύτητα ορισμένης πρόωσης (G1). Η εντολή αυτή συμβάλλει στον περαιτέρω έλεγχο των γρήγορων κινήσεων G0 παραμετροποιώντας τες σε G1 για την αποφυγή συγκρούσεων. Περιλαμβάνονται έξι επιλογές:
  - **Preserve rapid movement:** διατηρεί όλες τις γρήγορες κινήσεις ως G0.
  - **Preserve axial and radial rapid movement:** Οι γρήγορες κινήσεις που εκτελούνται αξονικά ή ακτινικά, διατηρούν G0.
  - **Preserve axial rapid movement:** Οι γρήγορες κινήσεις που εκτελούνται αξονικά, διατηρούν G0.
  - **Preserve radial rapid movement:** Οι γρήγορες κινήσεις που εκτελούνται ακτινικά, διατηρούν G0.
  - **Preserve single axis rapid movement:** Οι γρήγορες κινήσεις που εκτελούνται σε έναν άξονα (X, Y ή Z), διατηρούν G0.
  - **Always use high feed:** όλες οι γρήγορες κινήσεις αποκτούν ταχύτητα ορισμένης πρόωσης G01.

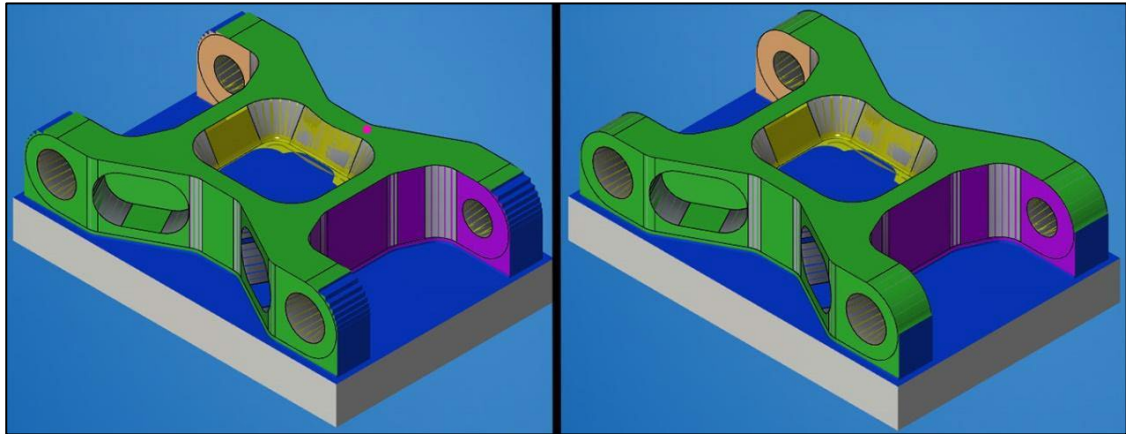
Στο παράδειγμα έχει επιλεχθεί η επιλογή **Preserve rapid movement** καθώς δεν χρειάζεται περαιτέρω προσοχή για την συγκεκριμένη κατεργασία.

- **Allow Rapid Retract:** επιτρέπει τη γρήγορη ανάσυρση του εργαλείου με ταχύτητα G0.
- **Safe Distance:** ελάχιστη απόσταση μεταξύ του εργαλείου και των επιφανειών του προς κατεργασία εξαρτήματος κατά την ανάσυρση.
- **Maximum Stay-Down Distance:** καθορίζει την μέγιστη απόσταση ανάκλισης.
- **Vertical Lead-In Radius:** κάθετη ακτίνα εισαγωγής του κοπτικού.
- **Horizontal Lead-In Radius:** οριζόντια ακτίνα εισόδου του κοπτικού.
- **Horizontal Lead-Out Radius:** οριζόντια ακτίνα εξόδου του κοπτικού.
- **Vertical Lead-Out Radius:** κάθετη ακτίνα εξόδου του κοπτικού.
- **Transition Type:** διευκρινίζει την ενδιαμέση κίνηση του κοπτικού μεταξύ των περασμάτων.
- **Preferred Lead-In Positions:** βοηθάει στον προσδιορισμό των θέσεων απ' όπου το κοπτικό μπορεί να εισέλθει στο αντικείμενο. Εάν επιλεγθούν πολλές θέσεις, η θέση που είναι πιο κοντά στο περίγραμμα θα χρησιμοποιηθεί ως σημείο εισαγωγής του αντικειμένου.



Εικόνα 5.4.25 Καρτέλα Linking εντολής Parallel.

**Ανάλυση κατεργασίας:** Παρατηρούμε από την εικόνα 5.4.26 ότι στην προσομοίωση της κατεργασίας δεν φαίνεται τόσο η τροχιά του κοπτικού, η οποία αφαιρέθηκε για να παρατηρηθεί καλύτερα η διαφορά των εικόνων, όσο και η ποιότητα της επιφάνειας. Εύκολα παρατηρείται ότι κατά την κατεργασία δεν έχει κοπεί μεγάλη ποσότητα υλικού, καθώς η κατεργασία χρησιμοποιήθηκε για το φινιρίσμα του αντικειμένου. Τέλος φαίνεται η ομαλότητα που εισάγεται και εξάγεται το κοπτικό εργαλείο στο ακατέργαστο από την καμπύλη στην αρχή και στο τέλος κάθε περάσματος.



Εικόνα 5.4.26 Αριστερά φαίνεται το ακατέργαστο αντικείμενο πριν την κατεργασία, ενώ δεξιά μετά την κατεργασία.

## Scallop



**Scallop:** Milling>3D>Scallop

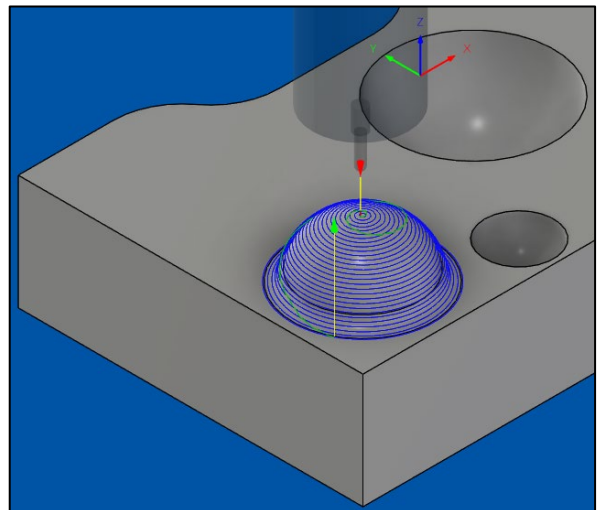
**Περιγραφή Κατεργασίας:** Κατεργασία φινιρίσματος που υπολογίζει τα περάσματα του εργαλείου σε σταθερή απόσταση το ένα από το άλλο, μετατοπίζοντάς τα προς τα μέσα κατά μήκος της επιφάνειας.

**Καρτέλα Tool:** Για το παράδειγμα το εργαλείο που επιλέχθηκε είναι ένα Ball end mill κονδύλι διαμέτρου 4mm.

Για το παράδειγμα επιλέχθηκε η μέθοδος **Flood**.

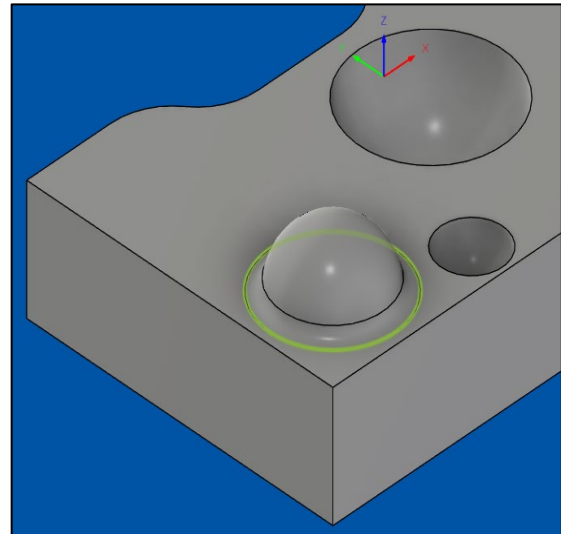
**Καρτέλα Geometry:** Οι επιλογές για την οριοθέτηση της κατεργασίας είναι οι παρακάτω:

- **Machining Boundary:** Ορίζει το όριο της διαδρομής του εργαλείου.  
Αν επιλεγθεί κάποια επιλογή εκτός της **None**, προστίθενται τα παρακάτω:
  - **Tool Containment:** επιλογή του περιορισμού του εργαλείου σε σχέση με το επιλεγμένο όριο.
  - **Additional Offset:** μεγέθυνση ή σμίκρυνση του ορίου κατεργασίας.



Εικόνα 5.4.27 Παράδειγμα προσομοίωσης κατεργασίας Scallop

- **Contact Point Boundary:** όταν η εντολή είναι ενεργοποιημένη επεκτείνει τα όρια κατεργασίας μέχρι το κοπτικό να σταματήσει να έχει επαφή με το αντικείμενο αντί απλά το κέντρο του αντικειμένου να φτάνει στο όριο κατεργασίας και να σταματάει εκεί η διαδρομή.
- **Contact Only:** Ελέγχει εάν δημιουργούνται ή όχι διαδρομές εργαλείου όταν το εργαλείο χάνει την επαφή με την επιφάνεια κατεργασίας. Όταν είναι απενεργοποιημένη η διαδρομή του εργαλείου παρατείνεται μέχρι τα όρια των περιορισμών, διασχίζοντας έτσι ακόμα και περιοχές χωρίς υλικό.
- **Machine Areas Using Boundaries:** όταν η εντολή είναι ενεργοποιημένη, η διαδρομή παράγεται σύμφωνα με όλους τους περιορισμούς που έχουν δοθεί, ενώ αν απενεργοποιηθεί, η διαδρομή παράγεται σύμφωνα με τα όρια κατεργασίας, με αποτέλεσμα να υπάρχει κίνδυνος να μην ακολουθείται η επιφάνεια του αντικειμένου.
- **Boundary Overlap:** όταν χρησιμοποιείται η εντολή **Slope** ή/και **Rest Machining** για την χρήση της κατεργασίας **Scallop**, τότε μπορεί να ενεργοποιηθεί η εντολή **Machine Areas Using Boundaries** για τον υπολογισμό της διαδρομής υπό τους περιορισμούς των **Slope** ή/και **Rest Machining**. Μέσα από τον περιορισμό αυτό υπάρχει η δυνατότητα καθορισμού των



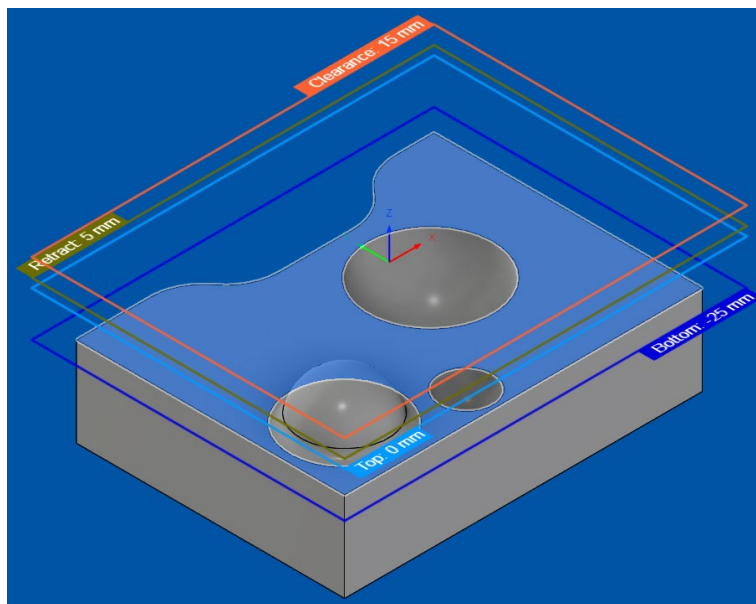
επικαλυπτόμενων ορίων έτσι ώστε τα όρια των **Slope** και **Rest Machining** να διαμορφωθούν ανάλογα.

Εικόνα 5.4.28 Παράδειγμα όριου κατεργασίας με την βοήθεια της επιλογής **Machining Boundary**.

- **Slope:** αυτή η επιλογή περιορίζει το εύρος της γωνίας που μπορεί να πάρει η τροχιά του κοπτικού εργαλείου. Ο περιορισμός της γωνιακής θέσης καθορίζεται από τις παρακάτω παραμέτρους:
  - **From Slope Angle:** η παράμετρος αυτή ορίζεται από το οριζόντιο επίπεδο και παίρνει τιμές από 0 μέχρι 90 μοίρες.
  - **To Slope Angle:** η παράμετρος αυτή ορίζεται από το κάθετο επίπεδο και παίρνει τιμές από 90 έως και 0 μοίρες.
- **Rest Machining:** περιορίζει τη λειτουργία σε αφαίρεση μόνο υλικού που δεν μπόρεσαν προηγούμενα εργαλεία ή κατεργασίες, να αφαιρέσουν. Για αυτό και οι πρόσθετες πληροφορίες που απαιτεί είναι σχετικές με το εργαλείο που χρησιμοποιήθηκε προηγουμένως.
- **Tool Orientation:** υπάρχει η δυνατότητα επιλογής συστήματος συντεταγμένων, διαφορετικό απ' αυτό που επιλέχθηκε στο **Setup**.
- **Model:** επιλογή για να συμπεριληφθούν στον υπολογισμό της διαδρομής άλλα σώματα, πρόσωπα ή επιφάνειες εκτός της γεωμετρίας που ήδη έχει επιλεγεί. Ένα παράδειγμα για την λειτουργία αυτής της εντολής είναι να συμπεριληφθούν επιφάνειες που καλύπτουν εσοχές και σταματούν το κοπτικό εργαλείο απ' το να κατεργαστεί το εσωτερικό των εσοχών που θα κατεργαστούν αργότερα από κάποιο διατρητικό εργαλείο στο **Setup**.

- **Avoid/Touch Surfaces:** Διευκρινίζει ποιες επιφάνειες επιθυμούμε να αποφύγουμε και ποιες να χειριστούμε. Όταν είναι ενεργοποιημένη η επιλογή, η διαδρομή του κοπτικού υπολογίζεται έτσι ώστε να αποφύγει ή να εμπεριέχει τις συγκεκριμένες επιφάνειες. Επίσης, με την ενεργοποίηση της επιλογής η καρτέλα επεκτείνεται με τις παρακάτω εντολές:
  - **Mode:** επιλογή αν επιθυμούμε να αποφευχθούν ή να εμπεριέχονται οι επιφάνειες στην διαδρομή του κοπτικού.
  - **Surfaces:** επιλογή των επιφανειών.
  - **Surface Clearance:** επιλογή της απόστασης από τις επιλεγμένες επιφάνειες.

**Καρτέλα Heights:** Στο συγκεκριμένο παράδειγμα για το ύψος Clearance Height έχει επιλεγθεί ως σημείο αναφοράς το ύψος του Retract Height, και Offset=10mm. Για το ύψος Retract Height έχει οριστεί ως σημείο αναφοράς το Stock Top με Offset=5mm. Τέλος το άνω ύψος (Top) επιλέχθηκε με το Model top με Offset=0 και το Bottom Height οριοθετήθηκε με την επιλογή Selection με Offset=0 και ως σημείο αναφοράς τέθηκε η επιλογή της επιφάνειας που φαίνεται στην εικόνα 5.4.29.

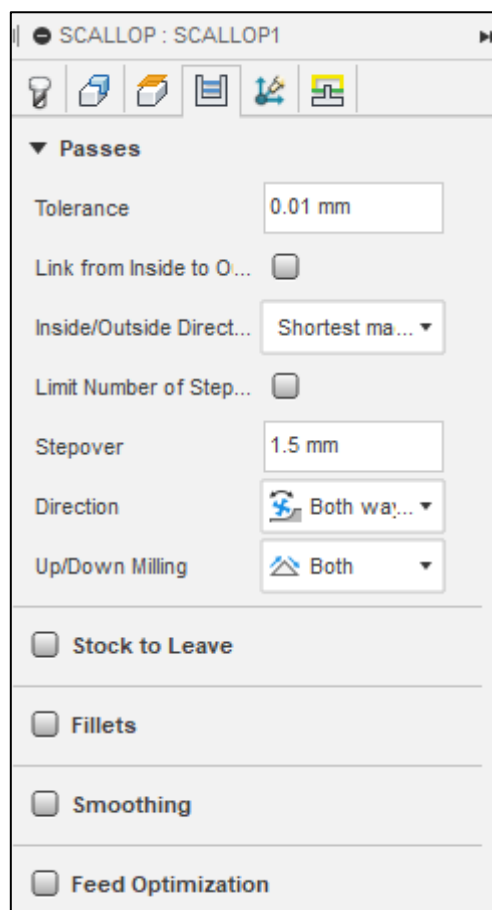


Εικόνα 5.4.29 Παράδειγμα υψών κατεργασίας Scallop.

**Καρτέλα Passes:** οι επιλογές είναι οι εξής:

- **Tolerance:** επιλογή της διαστασιακής ακρίβειας. Στο συγκεκριμένο παράδειγμα η ακρίβεια έχει οριστεί στα 0.01mm.
- **Link from Inside to Outside:** ενεργοποίηση της επιλογής για να καθοριστεί αν οι συνδέσεις μεταξύ των περασμάτων θα εκτελεστούν με συγκεκριμένη σειρά ή θα γίνουν από τα εσωτερικά προς τα εξωτερικά περάσματα.
- **Inside/Outside Direction:** καθορίζει αν η σειρά των περασμάτων θα πραγματοποιηθεί από το εσωτερικό προς το εξωτερικό ή αντίστροφα. Η επιλογή **Shortest Machining Distance** χρησιμοποιεί μια πιο σύντομη στρατηγική. Αυτή επιλέχθηκε στο συγκεκριμένο παράδειγμα.
- **Limit Number of Stepovers:** όταν είναι απενεργοποιημένη η εντολή, ο αριθμός των βημάτων είναι απεριόριστος και το αποτέλεσμα είναι ένα πολύ λεπτομερές φινίρισμα. Στο συγκεκριμένο παράδειγμα δεν επιλέχθηκε. Αν η εντολή ενεργοποιηθεί, ζητείται ο αριθμός των βημάτων.
- **Stepover:** επιλογή της απόστασης μεταξύ των περασμάτων που θα κάνει το κοπτικό εργαλείο. Ουσιαστικά ορίζει την πυκνότητα των περασμάτων πάνω από το ακατέργαστο. Στο παράδειγμα έχει οριστεί ώστε τα περάσματα να απέχουν μεταξύ τους 1.5mm.

- **Direction:** η επιλογή επιτρέπει να οριστεί η φορά που θα πραγματοποιήσει την κοπή το κοπτικό εργαλείο σύμφωνα με τη φορά περιστροφής του. Με την μέθοδο Climb το εργαλείο αφαιρεί υλικό με φορά που μοιάζει με κύλιση πάνω στο υλικό, ενώ με την συμβατική μέθοδο (Conventional) το εργαλείο κινείται αντίθετα. Η πρώτη μέθοδος τείνει να αφήνει καλύτερες επιφάνειες, να έχει λιγότερες ταλαντώσεις κατά την κατεργασία, αλλά και λιγότερη φθορά στο εργαλείο. Ωστόσο, επιλέγοντας το εργαλείο να κινηθεί και με τις δύο φορές (Both Ways) μειώνεται σημαντικά ο χρόνος κατεργασίας. Εδώ επιλέχθηκε η μέθοδος **Both Ways**.



Εικόνα 5.4.30 Καρτέλα Passes εντολής Scallop.

- **Up/Down Milling:** χρησιμοποιείται για την τμηματοποίηση των περασμάτων, έτσι ώστε κάθε κομμάτι να δέχεται επεξεργασία από το κοπτικό μόνο προς τα πάνω ή μόνο προς τα κάτω. Στην συγκεκριμένη περίπτωση επιλέχθηκε το Both διότι δεν χρειάζεται κάποια ιδιαίτερη επεξεργασία στο συγκεκριμένο κομμάτι ούτε κάποιο κοπτικό που να περιορίζεται η κινησιολογία του μόνο προς μια κατεύθυνση.
- **Stock to Leave:** επιτρέπει στην παράκαμψη των υψών για την επεξεργασία ενός ποσού ακατέργαστου, είτε έχοντας θετικό πρόσημο και συμβάλλει στην διατήρηση της ποιότητας και την περαιτέρω επεξεργασία του αντικείμενου είτε με αρνητικό πρόσημο θέτοντας σε επεξεργασία το αντικείμενο πέρα απ' το προβλεπόμενο. Στο συγκεκριμένο παράδειγμα θα παραμείνει ανενεργή η επιλογή. Ως προέκταση της εντολής, η παράμετρος **Axial Stock to Leave** ελέγχει την ποσότητα αυτή κατά τη διάρκεια των αξονικών κατεργασιών, ενώ η παράμετρος **Radial Stock to Leave** ελέγχει την ποσότητα αυτή κατά τη διάρκεια των ακτινικών κατεργασιών.
- **Fillets:** ενεργοποίηση για στρογγυλοποίηση των γωνιών.
  - **Fillet Radius:** η ακτίνα της καμπύλης που θα αντικαταστήσει την γωνία.
- **Smoothing:** εξομαλύνει τη διαδρομή του εργαλείου αντικαθιστώντας τα πολύ μικρά τμήματα της διαδρομής, με μεγαλύτερα τόξα. Η ακρίβεια θα παραμείνει η ίδια, ενώ ο κώδικας θα μειωθεί κατά πολύ. Η εντολή δεν θα επιλεγεί διότι είναι καθαρά υποκειμενική η χρήση του και δεν χρειάζεται για την συγκεκριμένη περίπτωση παραδείγματος.
- **Feed Optimization:** ελέγχει την τροφοδοσία στις γωνίες μειώνοντας τον ρυθμό αφαίρεσης υλικού με σκοπό την προστασία του εργαλείου. Η εντολή στο παραπάνω παράδειγμα δεν επιλέχθηκε καθώς το εργαλείο δεν έχει περίπλοκη τροχιά. Οι παρακάτω επιλογές ανήκουν στο πλαίσιο αυτής της εντολής:
  - **Maximum Directional Change:** καθορίζει τη μέγιστη γωνιακή αλλαγή προτού μειωθεί η τροφοδοσία.
  - **Reduced Feed Radius:** καθορίζει την ελάχιστη επιτρεπτή ακτίνα προτού μειωθεί η τροφοδοσία.

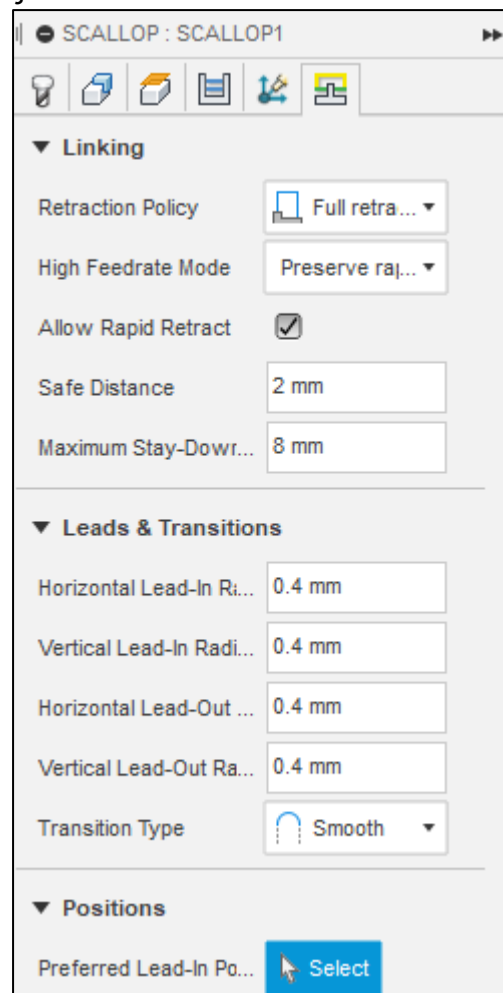


- **Reduced Feed Distance:** καθορίζει την απόσταση προτού μειωθεί η τροφοδοσία κοντά σε μία γωνία.
- **Reduced Feedrate:** καθορίζει την μειωμένη ταχύτητα πρόωσης που θα χρησιμοποιείται στις γωνίες.
- **Only Inner Corners:** ενεργοποιείται ώστε να μειώνεται η τροφοδοσία μόνο στις εσωτερικές γωνίες.

**Καρτέλα Linking:** Οι τιμές και οι επιλογές των εντολών που χρησιμοποιήθηκαν για το παράδειγμα, φαίνονται στην Εικόνα 5.4.31. Οι επιλογές της καρτέλας είναι οι εξής:

- **Retraction Policy:** καθορίζει την στρατηγική που θα ακολουθηθεί στην κοπή κατά την ανάσυρση του κοπτικού εργαλείου.
- **High Feedrate Mode:** καθορίζει το πότε το κοπτικό εργαλείο θα κινείται με την μέγιστη ταχύτητα πρόωσης της εργαλειομηχανής (G0) και πότε με ταχύτητα ορισμένης πρόωσης (G1). Η εντολή αυτή συμβάλλει στον περεταίρω έλεγχο των γρήγορων κινήσεων G0 παραμετροποιώντας τις σε G1 για την αποφυγή συγκρούσεων. Περιλαμβάνονται έξι επιλογές:
  - **Preserve rapid movement:** διατηρεί όλες τις γρήγορες κινήσεις ως G0.
  - **Preserve axial and radial rapid movement:** Οι γρήγορες κινήσεις που εκτελούνται αξονικά ή ακτινικά, διατηρούν G0.
  - **Preserve axial rapid movement:** Οι γρήγορες κινήσεις που εκτελούνται αξονικά, διατηρούν G0.
  - **Preserve radial rapid movement:** Οι γρήγορες κινήσεις που εκτελούνται ακτινικά, διατηρούν G0.
  - **Preserve single axis rapid movement:** Οι γρήγορες κινήσεις που εκτελούνται σε έναν άξονα (X, Y ή Z), διατηρούν G0.
  - **Always use high feed:** όλες οι γρήγορες κινήσεις αποκτούν ταχύτητα ορισμένης πρόωσης G01.

Στο παράδειγμα έχει επιλεχθεί η επιλογή **Preserve rapid movement** καθώς δεν χρειάζεται περεταίρω προσοχή για την συγκεκριμένη κατεργασία.

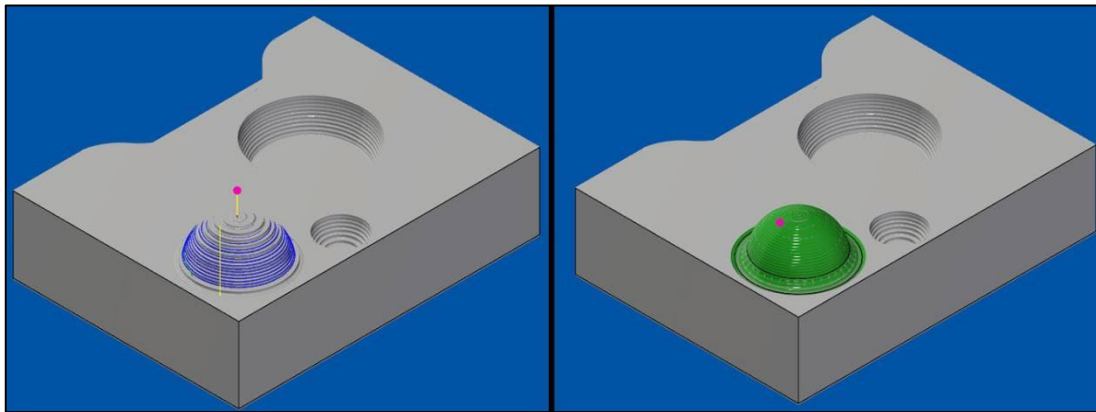


Εικόνα 5.4.31 Καρτέλα Linking εντολής Scallop.

- **Allow Rapid Retract:** επιτρέπει στην γρήγορη ανάσυρση του εργαλείου με ταχύτητα G0.
- **Safe Distance:** ελάχιστη απόσταση μεταξύ του εργαλείου και των επιφανειών του προς κατεργασία εξαρτήματος κατά την ανάσυρση.
- **Maximum Stay-Down Distance:** καθορίζει την μέγιστη απόσταση ανάκλισης.
- **Vertical Lead-In Radius:** κάθετη ακτίνα εισαγωγής του κοπτικού.
- **Horizontal Lead-In Radius:** οριζόντια ακτίνα εισόδου του κοπτικού.

- **Horizontal Lead-Out Radius:** οριζόντια ακτίνα εξόδου του κοπτικού.
- **Vertical Lead-Out Radius:** κάθετη ακτίνα εξόδου του κοπτικού.
- **Transition Type:** διευκρινίζει την ενδιάμεση κίνηση του κοπτικού μεταξύ το περασμάτων.
- **Preferred Lead-In Positions:** βοηθάει στον προσδιορισμό των θέσεων απ' όπου το κοπτικό μπορεί να εισέλθει στο αντικείμενο. Εάν επιλεγθούν πολλές θέσεις, η θέση που είναι πιο κοντά στο περίγραμμα θα χρησιμοποιηθεί ως σημείο εισαγωγής του αντικειμένου.

**Ανάλυση κατεργασίας:** Παρατηρούμε από την εικόνα 5.4.32 ότι στην προσομοίωση της κατεργασίας φαίνεται η τροχιά του κοπτικού στο αριστερό τμήμα της εικόνας (πριν την κατεργασία) και αυτό διότι στο δεξί τμήμα εικόνας (μετά την κατεργασία) θα ήταν καλό να διακρίνεται το υλικό που αφαιρέθηκε. Εύκολα παρατηρείται ότι κατά την κατεργασία δεν έχει κοπεί μεγάλη ποσότητα υλικού, καθώς η κατεργασία χρησιμοποιήθηκε για το φινίρισμα του αντικειμένου. Τέλος φαίνεται η ομαλότητα που εισάγεται και εξάγεται το κοπτικό εργαλείο στο ακατέργαστο από την καμπύλη στην αρχή και στο τέλος κάθε περάσματος.



Εικόνα 5.4.32 Αριστερά φαίνεται το ακατέργαστο αντικείμενο πριν την κατεργασία, ενώ δεξιά μετά την κατεργασία.

## Contour



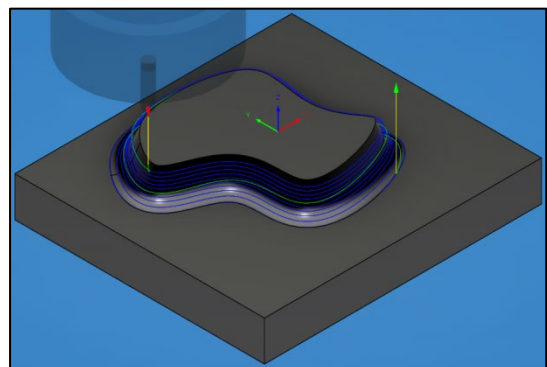
**Contour:** Milling>3D>Contour

**Περιγραφή Κατεργασίας:**

Κατεργασία φινιρίσματος των απότομων περιοχών του αντικειμένου με την διαδρομή του θα κατευθύνετε από το περίγραμμά του.

**Καρτέλα Tool:** Για το παράδειγμα το εργαλείο που επιλέχθηκε είναι ένα Ball end mill κονδύλι διαμέτρου 4mm.

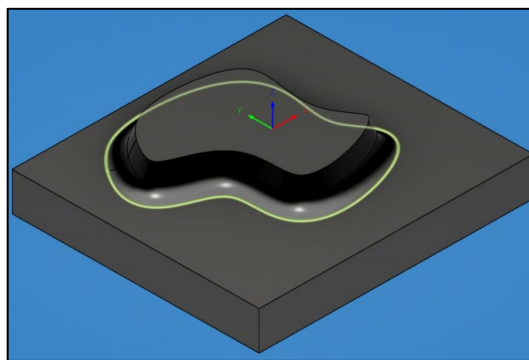
Για το παράδειγμα επιλέχθηκε η μέθοδος **Flood**.



Εικόνα 5.4.33 Παράδειγμα προσομοίωσης κατεργασίας Contour.

**Καρτέλα Geometry:** Οι επιλογές για την οριοθέτηση της κατεργασίας είναι οι παρακάτω:

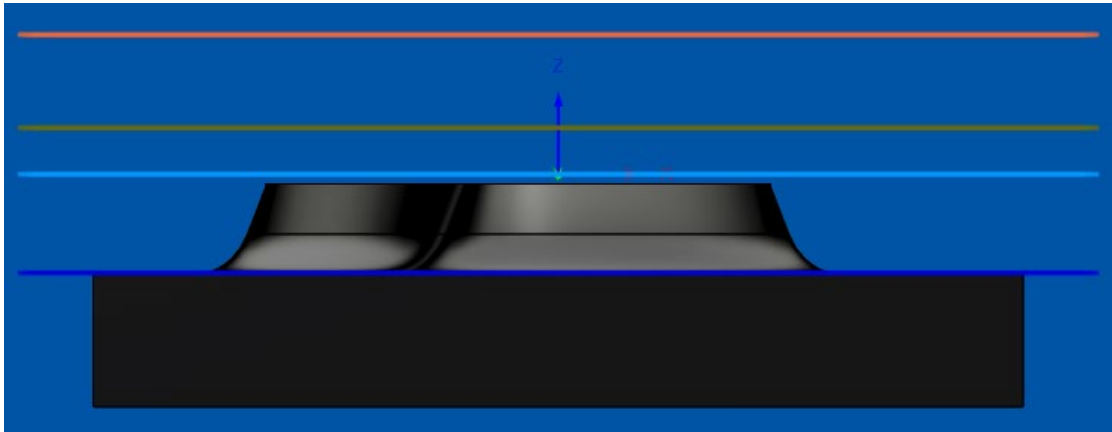
- **Machining Boundary:** Ορίζει το όριο της διαδρομής του εργαλείου. Αν επιλεγθεί κάποια επιλογή εκτός της επιλογής **None** προστίθενται οι έξτρα επιλογές:
  - **Tool Containment:** επιλογή του περιορισμού του εργαλείου σε σχέση με το επιλεγμένο όριο.
  - **Additional Offset:** μεγέθυνση ή σμίκρυνση του ορίου κατεργασίας.
  - **Contact Point Boundary:** όταν η εντολή είναι ενεργοποιημένη επεκτείνει τα όρια κατεργασίας μέχρι το κοπτικό να σταματήσει να έχει επαφή με το αντικείμενο αντί απλά το κέντρο του αντικειμένου να φτάνει στο όριο κατεργασίας και να σταματάει εκεί η διαδρομή.
  - **Contact Only:** Ελέγχει εάν δημιουργούνται ή όχι διαδρομές εργαλείου όταν το εργαλείο χάνει την επαφή με την επιφάνεια κατεργασίας. Όταν είναι απενεργοποιημένη η διαδρομή του εργαλείου παρατείνεται μέχρι τα όρια των περιορισμών διασχίζοντας έτσι ακόμα και περιοχές χωρίς υλικό.
- **Slope:** αυτή η επιλογή περιορίζει το εύρος της γωνίας που μπορεί να πάρει η τροχιά του κοπτικού εργαλείου. Ο περιορισμός της γωνιακής θέσης καθορίζεται από τις παρακάτω παραμέτρους:
  - **From Slop Angle:** η παράμετρος αυτή ορίζεται από το οριζόντιο επίπεδο και παίρνει τιμές από 0 μέχρι 90 μοίρες.
  - **To Slope Angle:** η παράμετρος αυτή ορίζεται από το κάθετο επίπεδο και παίρνει τιμές από 90 έως και 0 μοίρες.
- **Rest Machining:** περιορίζει την λειτουργία σε αφαίρεση μόνο υλικού που δεν μπόρεσαν προηγούμενα εργαλεία ή κατεργασίες, να αφαιρέσουν. Για αυτό και οι πρόσθετες πληροφορίες που απαιτεί είναι σχετικές με το εργαλείο που χρησιμοποιήθηκε προηγουμένως.
- **Tool Orientation:** υπάρχει η δυνατότητα επιλογής συστήματος συντεταγμένων, διαφορετικό απ' αυτό που επιλέχθηκε στο **Setup**.
- **Model:** επιλογή για να συμπεριληφθούν στον υπολογισμό της διαδρομής άλλα σώματα, πρόσωπα ή επιφάνειες εκτός της γεωμετρίας που ήδη έχει επιλεγθεί. Ένα παράδειγμα για την λειτουργία αυτής της εντολής είναι να συμπεριληφθούν επιφάνειες που καλύπτουν εσοχές και σταματούν το κοπτικό εργαλείο απ' το να κατεργαστεί το εσωτερικό των εσοχών που θα κατεργαστούν αργότερα από κάποιο διατρητικό εργαλείο στο **Setup**.
- **Avoid/Touch Surfaces:** Διευκρινίζει τις επιφάνειες που επιθυμούμε να αποφύγουμε ή να χειριστούμε. Όταν είναι ενεργοποιημένη η επιλογή, η διαδρομή του κοπτικού υπολογίζεται έτσι ώστε να αποφύγει ή να εμπεριέχει τις συγκεκριμένες επιφάνειες. Επίσης με την ενεργοποίηση της επιλογής η καρτέλα επεκτείνεται με τις παρακάτω εντολές:
  - **Mode:** επιλογή αν επιθυμούμε να αποφευχθούν ή να εμπεριέχονται οι επιφάνειες στην διαδρομή του κοπτικού.
  - **Surfaces:** επιλογή των επιφανειών.



Εικόνα 5.4.34 Παράδειγμα ορίου κατεργασίας με την βοήθεια της επιλογής Machining Boundary.

- **Surface Clearance:** επιλογή της απόστασης από τις επιλεγμένες επιφάνειες.

**Καρτέλα Heights:** Στο συγκεκριμένο παράδειγμα για το ύψος Clearance Height έχει επιλεγθεί ως σημείο αναφοράς το ύψος του Retract Height, και Offset=10mm. Για το ύψος Retract Height έχει οριστεί ως σημείο αναφοράς το Stock Top με Offset=5mm. Τέλος το άνω ύψος (Top) επιλέχθηκε με το Stock top με Offset=0 και το Bottom Height οριοθετήθηκε με την επιλογή Selection με Offset=0 και ως σημείο αναφοράς ορίστηκε η επιλογή της επιφάνειας που φαίνεται στην εικόνα 5.4.35.

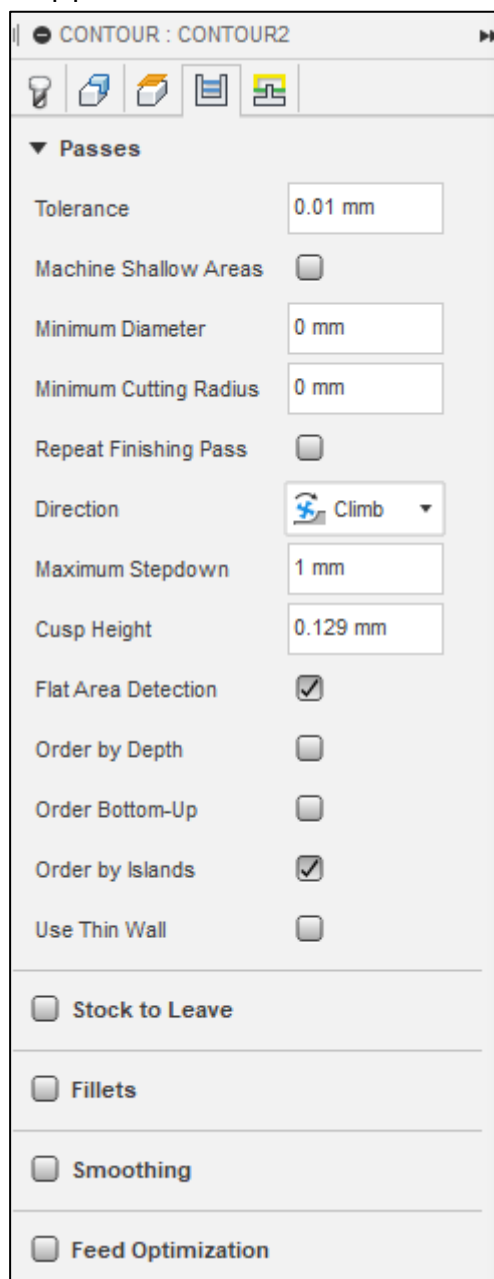


Εικόνα 5.4.35 Παράδειγμα υψών κατεργασίας Contour.

**Καρτέλα Passes:** οι επιλογές είναι οι εξής:

- **Tolerance:** επιλογή της διαστασιακής ακρίβειας. Στο συγκεκριμένο παράδειγμα η ακρίβεια έχει οριστεί στα 0.01mm.
- **Machine Shallow Areas:** προσθέτει έξτρα Z επίπεδα περασμάτων για περιοχές ή εσοχές που το κοπτικό συναντά περισσότερη ακατέργαστη ύλη. Πατώντας την εντολή εμφανίζονται οι παρακάτω επιπρόσθετες παράμετροι για την διευκρίνηση της κατεργασίας. Ωστόσο η εντολή θα παραμείνει ανενεργή.
  - **Minimum Shallow Stepdown:** η παράμετρος ελέγχει το ελάχιστο βήμα μεταξύ των περασμάτων σε συνθήκες που προβλέπεται να χρησιμοποιηθεί η εντολή **Machine Shallow Areas**.
  - **Maximum Shallow Stepdown:** η παράμετρος ελέγχει το μέγιστο βήμα μεταξύ των περασμάτων σε συνθήκες που προβλέπεται να χρησιμοποιηθεί η εντολή **Machine Shallow Areas**.
- **Minimum Diameter:** ορίζει την μικρότερη κυλινδρική διάμετρο που μπορεί να κατεργαστεί. Όταν η τιμή τίθεται στο μηδέν, η διαδρομή του κοπτικού αποκτά τροχιά τέτοια, ώστε να φτάνει στα όρια όπου ορίζει η ασφάλεια. Στην συγκεκριμένη περίπτωση η τιμή τέθηκε στο 0mm.
- **Minimum Cutting Radius:** καθορίζει τη μικρότερη ακτίνα στη διαδρομή που θα ακολουθήσει το κοπτικό. Θα δημιουργηθεί μια καμπύλη επιλεγμένης γωνίας σε όλες τις αιχμηρές εσωτερικές γωνίες, ώστε να κατεργαστούν αργότερα ή στο φινίρισμα. Στο συγκεκριμένο παράδειγμα τέθηκε στα 0mm.
- **Repeat Finishing Pass:** επανάληψη του τελευταίου περάσματος ώστε να αφαιρέσει οτιδήποτε υλικό δεν πήρε κατά το πρώτο πέρασμα.

- **Direction:** η επιλογή επιτρέπει να οριστεί η φορά που θα πραγματοποιήσει την κοπή το κοπτικό εργαλείο σύμφωνα με την φορά περιστροφής του. Με την μέθοδο Climb το εργαλείο αφαιρεί υλικό με φορά που μοιάζει με κύλιση πάνω στο υλικό, ενώ με την συμβατική μέθοδο (Conventional) το εργαλείο κινείται αντίθετα. Η πρώτη μέθοδος τείνει να αφήνει καλύτερες επιφάνειες, να έχει λιγότερες ταλαντώσεις κατά την κατεργασία, αλλά και λιγότερη φθορά στο εργαλείο. Ωστόσο, επιλέγοντας το εργαλείο να κινηθεί και με τις δύο φορές (Both Ways) μειώνεται σημαντικά ο χρόνος κατεργασίας. Εδώ επιλέχθηκε η μέθοδος **Climb**.
- **Maximum Stepdown:** καθορίζει το βήμα μεταξύ των πολλαπλών βαθών, ενώ το τελικό βήμα θα είναι ότι απέμεινε από το ακατέργαστο.
- **Cusp Height:** ορίζει το επιθυμητό ύψος του προεξέχοντος ακατέργαστου που απομένει μεταξύ των περασμάτων για τον υπολογισμό του μήκους και του βάθους των περασμάτων.
- **Flat Area Detection:** με την ενεργοποίηση της εντολής γίνεται δυνατός ο εντοπισμός των επιπέδων επιφανειών ή κορυφών ώστε να κατεργαστούν με προτεραιότητα αυτά τα επίπεδα.
- **Order by Depth:** όταν είναι ενεργοποιημένο διατάσσει τα πολλαπλά περάσματα κατά άξονα Z.
- **Order Bottom-Up:** ενεργοποίηση της εντολής για να ταξινομηθούν τα περάσματα από κάτω προς τα πάνω.
- **Order by Islands:** καθορίζει με ποια σειρά θα γίνουν οι περικοπές βάθους όταν υπάρχουν πολλαπλά προφίλ. Η χρήση της εντολής ελαχιστοποιεί τις ανασυρσεις και τις επανατοποθετήσεις του κοπτικού.
- **Use Thin Wall:** αυτή η επιλογή χρησιμοποιείται για την μείωση κραδασμών στην κατεργασία ενός πολύ λεπτού τοίχου, διασφαλίζοντας ότι και οι δυο πλευρές του τοίχου θα υποστούν επεξεργασία.
- **Stock to Leave:** επιτρέπει στην παράκαμψη των υψών για την επεξεργασία ενός ποσού ακατέργαστου, είτε έχοντας θετικό πρόσημο και συμβάλλει στην διατήρηση της ποιότητας



Εικόνα 5.4.36 Καρτέλα Passes εντολής Contour.

και την περαιτέρω επεξεργασία του αντικείμενου είτε με αρνητικό πρόσημο θέτοντας σε επεξεργασία το αντικείμενο πέρα απ' το προβλεπόμενο. Στο συγκεκριμένο παράδειγμα θα παραμείνει ανενεργή η επιλογή. Ως προέκταση της εντολής, η παράμετρος **Axial Stock to Leave** ελέγχει την ποσότητα αυτή κατά τη διάρκεια των αξονικών κατεργασιών, ενώ η παράμετρος **Radial Stock to Leave** ελέγχει την ποσότητα αυτή κατά τη διάρκεια των ακτινικών κατεργασιών.



- **Fillets:** ενεργοποίηση για στρογγυλοποίηση των γωνιών.
  - **Fillet Radius:** η ακτίνα της καμπύλης που θα αντικαταστήσει την γωνία.
- **Smoothing:** εξομαλύνει τη διαδρομή του εργαλείου αντικαθιστώντας τα πολύ μικρά τμήματα της διαδρομής, με μεγαλύτερα τόξα. Η ακρίβεια θα παραμείνει η ίδια, ενώ ο κώδικας θα μειωθεί κατά πολύ. Η εντολή δεν θα επιλεγεί διότι είναι καθαρά υποκειμενική η χρήση του και δεν χρειάζεται για την συγκεκριμένη περίπτωση παραδείγματος.
- **Feed Optimization:** ελέγχει την τροφοδοσία στις γωνίες μειώνοντας το ρυθμό αφαίρεσης υλικού με σκοπό την προστασία του εργαλείου. Η εντολή στο παραπάνω παράδειγμα δεν επιλέχθηκε καθώς το εργαλείο δεν έχει περίπλοκη τροχιά. Οι παρακάτω επιλογές ανήκουν στο πλαίσιο αυτής της εντολής:
  - **Maximum Directional Change:** καθορίζει τη μέγιστη γωνιακή αλλαγή προτού μειωθεί η τροφοδοσία.
  - **Reduced Feed Radius:** καθορίζει την ελάχιστη επιτρεπτή ακτίνα προτού μειωθεί η τροφοδοσία.
  - **Reduced Feed Distance:** καθορίζει την απόσταση προτού μειωθεί η τροφοδοσία κοντά σε μία γωνία.
  - **Reduced Feedrate:** καθορίζει την μειωμένη ταχύτητα πρόωσης που θα χρησιμοποιείται στις γωνίες.
  - **Only Inner Corners:** ενεργοποιείται ώστε να μειώνεται η τροφοδοσία μόνο στις εσωτερικές γωνίες.

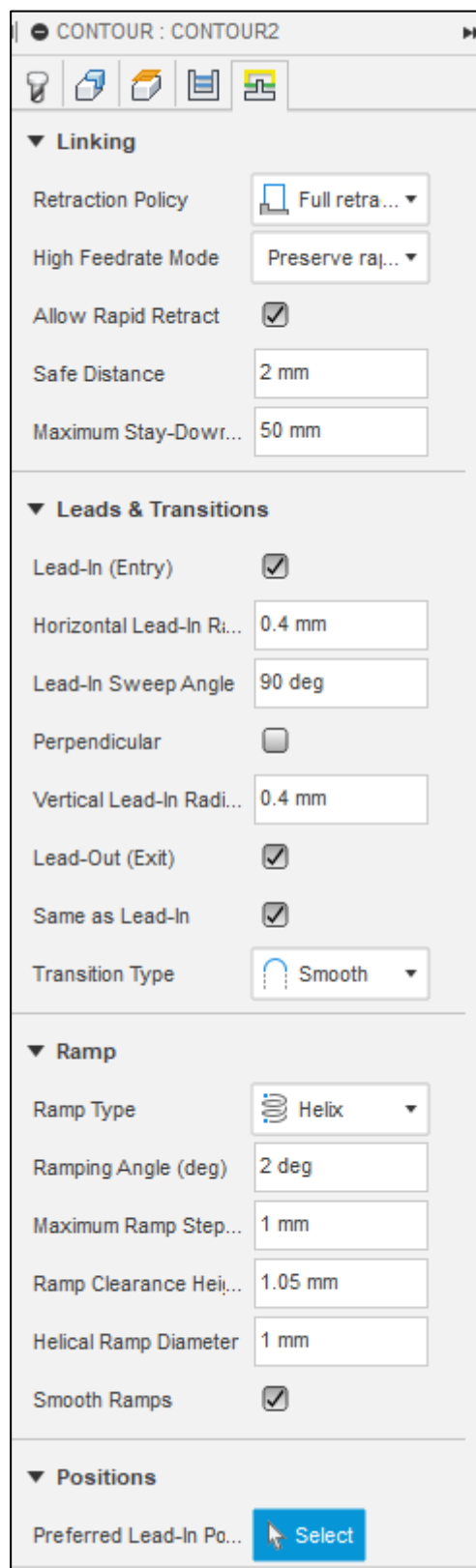
**Καρτέλα Linking:** Οι τιμές και οι επιλογές των εντολών που χρησιμοποιήθηκαν για το παράδειγμα φαίνονται στην Εικόνα 5.4.37. Οι επιλογές της καρτέλας είναι οι εξής:

- **Retraction Policy:** καθορίζει την στρατηγική που θα ακολουθηθεί στην κοπή κατά την ανάσυρση του κοπτικού εργαλείου.
- **High Feedrate Mode:** καθορίζει το πότε το κοπτικό εργαλείο θα κινείται με την μέγιστη ταχύτητα πρόωσης της εργαλειομηχανής (G0) και πότε με ταχύτητα ορισμένης πρόωσης (G1). Η εντολή αυτή συμβάλλει στον περαιτέρω έλεγχο των γρήγορων κινήσεων G0 παραμετροποιώντας τις σε G1 για την αποφυγή συγκρούσεων. Περιλαμβάνονται έξι επιλογές:
  - **Preserve rapid movement:** διατηρεί όλες τις γρήγορες κινήσεις ως G0.
  - **Preserve axial and radial rapid movement:** Οι γρήγορες κινήσεις που εκτελούνται αξονικά ή ακτινικά, διατηρούν G0.
  - **Preserve axial rapid movement:** Οι γρήγορες κινήσεις που εκτελούνται αξονικά, διατηρούν G0.
  - **Preserve radial rapid movement:** Οι γρήγορες κινήσεις που εκτελούνται ακτινικά, διατηρούν G0.
  - **Preserve single axis rapid movement:** Οι γρήγορες κινήσεις που εκτελούνται σε έναν άξονα (X, Y ή Z), διατηρούν G0.
  - **Always use high feed:** όλες οι γρήγορες κινήσεις αποκτούν ταχύτητα ορισμένης πρόωσης G01.

Στο παράδειγμα έχει επιλεγεί η επιλογή **Preserve rapid movement** καθώς δεν χρειάζεται περεταίρω προσοχή για την συγκεκριμένη κατεργασία.

- **Allow Rapid Retract:** επιτρέπει την γρήγορη ανάσυρση του εργαλείου με ταχύτητα G0.
- **Safe Distance:** ελάχιστη απόσταση μεταξύ του εργαλείου και των επιφανειών του προς κατεργασία εξαρτήματος κατά την ανάσυρση.
- **Maximum Stay-Down Distance:** καθορίζει την μέγιστη απόσταση ανάκλισης.

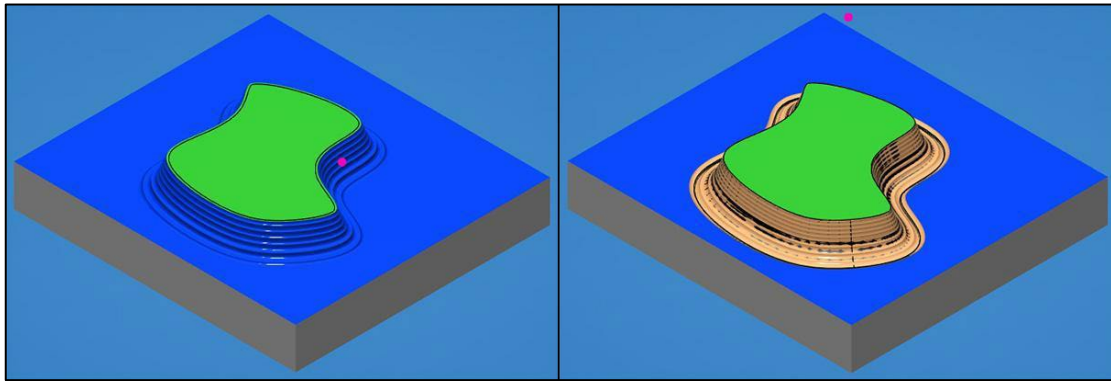
- **Lead-In (Entry):** ομαλοποιεί την είσοδο του κοπτικού εργαλείου στο ακατέργαστο. Στο συγκεκριμένο παράδειγμα επιλέχθηκε η εντολή, για καλύτερη είσοδο του εργαλείου.
- **Horizontal Lead In Radius:** οριζόντιο τόξο εισόδου του κοπτικού.
- **Lead-In Sweep Angle:** καθορίζει την γωνία εισόδου του κοπτικού εργαλείου.
- **Perpendicular:** αντικαθιστά την διαδρομή με τόξα με μια κίνηση κάθετα στα τόξα. Ιδιαίτερα χρήσιμη κατεργασία οπών.
- **Vertical Lead-In Radius:** ακτίνα εισαγωγής του κοπτικού. Στο συγκεκριμένο παράδειγμα τέθηκε στα 1.2mm.
- **Lead-Out (Exit):** ομαλοποιεί την έξοδο του κοπτικού εργαλείου από το ακατέργαστο.
- **Same as Lead-In:** καθορίζει ότι ο τρόπος εξαγωγής του κοπτικού από το ακατέργαστο, θα είναι ίδιος με τον τρόπο εισαγωγής. Αν η επιλογή δεν είναι επιλεγμένη, τότε εμφανίζεται μια παραπάνω επιλογή **Vertical Lead-Out Radius**, όπου καθορίζει την ακτίνα εξόδου του κοπτικού.
- **Transition Type:** διευκρινίζει την ενδιάμεση κίνηση του κοπτικού μεταξύ των περασμάτων.
- **Ramp Type:** καθορίζει τον τρόπο με τον οποίο κινείται το κοπτικό εργαλείο σε κατάσταση κοπής κατά άξονα Z.
- **Ramping Angle:** καθορίζει την γωνία που θα έχει το βήμα κατά άξονα Z.
- **Maximum Ramp Stepdown:** καθορίζει το μέγιστο βήμα προς τα κάτω ανά περιστροφή της ελικοειδούς διαδρομής.
- **Ramp Clearance Height:** το ύψος από το οποίο θα ξεκινήσει η ελικοειδής κίνηση του κοπτικού.
- **Helical Ramp Diameter:** η μέγιστη διάμετρος της ελικοειδούς διαδρομής που θα ακολουθήσει το κοπτικό.
- **Smooth Ramps:** όταν είναι ενεργοποιημένη η εντολή, η διαδρομή προγραμματίζεται έτσι ώστε η έναρξη και η λήξη της ελικοειδούς κίνησης να γίνεται εφαιπύμενη και στους τρεις άξονες.
- **Preferred Lead-In Positions:** βοηθάει στον προσδιορισμό των θέσεων απ' όπου το κοπτικό μπορεί να εισέλθει στο αντικείμενο. Εάν επιλεγθούν πολλές θέσεις, η



Εικόνα 5.4.37 Καρτέλα Linking εντολής Contour.

θέση που είναι πιο κοντά στο περίγραμμα θα χρησιμοποιηθεί ως σημείο εισαγωγής του αντικειμένου.

**Ανάλυση κατεργασίας:** Παρατηρούμε στην εικόνα 5.4.38 την διαφορά στην επιφάνεια πριν την κατεργασία Contour και μετά, καθώς η προηγούμενη εντολή ήταν κατεργασία με Bull nose 8mm ενώ στην κατεργασία επιλέχθηκε Ball nose 4mm. Δεν φαίνεται η τροχιά του κοπτικού καθώς αφαιρέθηκε για καλύτερη παρατήρηση της επιφάνειας. Τέλος παρατηρείται ότι κατά την κατεργασία δεν έχει κοπεί μεγάλη ποσότητα υλικού, καθώς η κατεργασία χρησιμοποιήθηκε για το φινιρίσμα του αντικειμένου.



Εικόνα 5.4.38 Αριστερά φαίνεται το αντικείμενο πριν την κατεργασία, ενώ δεξιά μετά την κατεργασία.

## Ramp

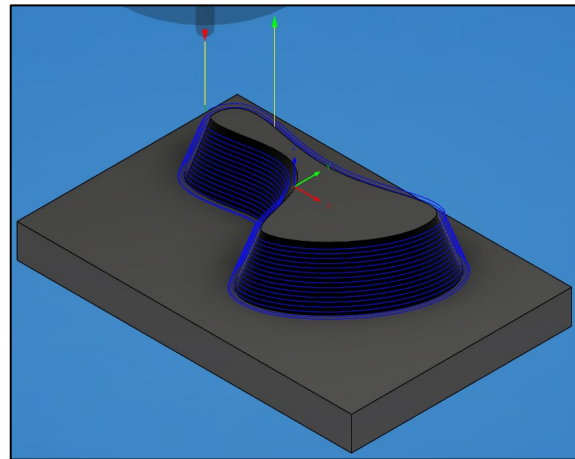


**Ramp:** Milling>3D>Ramp

### Περιγραφή

### Κατεργασίας:

Κατεργασία φινιρίσματος των απότομων περιοχών του αντικειμένου. Παρόμοια εντολή με την **Contour**, με την διαφορά ότι εδώ το κοπτικό εργαλείο έχει συνέχεια επαφή με το αντικείμενο, ακολουθώντας μια σπирάλ διαδρομή γύρω από την περίμετρο του αντικειμένου.



Εικόνα 5.4.39 Παράδειγμα προσομοίωσης κατεργασίας Ramp

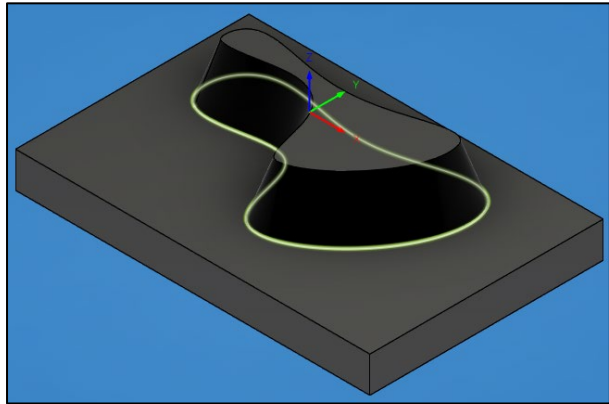
**Καρτέλα Tool:** Για το παράδειγμα το εργαλείο που επιλέχθηκε είναι ένα Ball end mill κονδύλι διαμέτρου 4mm.

Για το παράδειγμα επιλέχθηκε η μέθοδος **Flood**.

**Καρτέλα Geometry:** Οι επιλογές για την οριοθέτηση της κατεργασίας είναι οι παρακάτω:

- **Machining Boundary:** Ορίζει το όριο της διαδρομής του εργαλείου. Αν επιλεγθεί κάποια επιλογή εκτός της **None**, προστίθενται οι έξτρα επιλογές:
  - **Tool Containment:** επιλογή του περιορισμού του εργαλείου σε σχέση με το επιλεγμένο όριο.

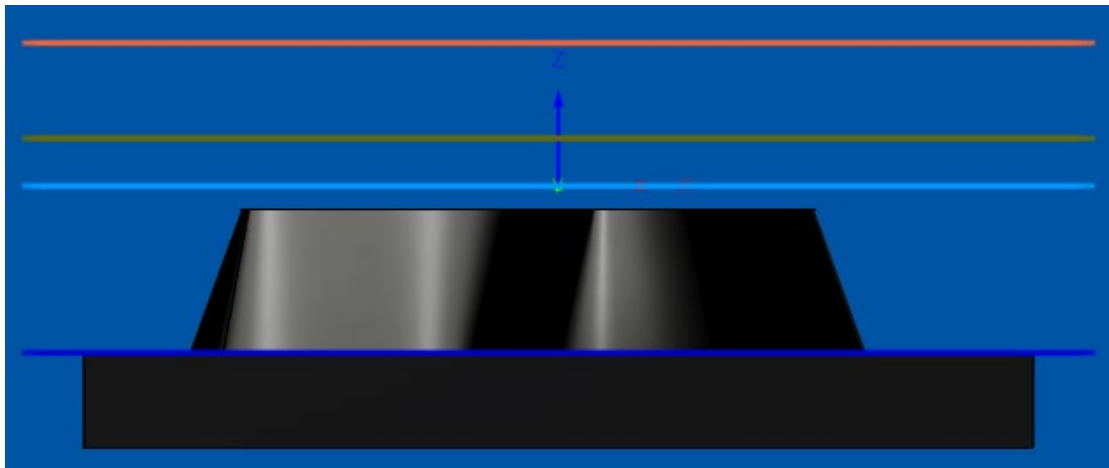
- **Additional Offset:** μεγέθυνση ή σμίκρυνση του ορίου κατεργασίας.
- **Contact Point Boundary:** όταν η εντολή είναι ενεργοποιημένη επεκτείνει τα όρια κατεργασίας μέχρι το κοπτικό να σταματήσει να έχει επαφή με το αντικείμενο αντί απλά το κέντρο του αντικειμένου να φτάνει στο όριο κατεργασίας και να σταματάει εκεί η διαδρομή.
- **Contact Only:** Ελέγχει εάν δημιουργούνται ή όχι διαδρομές εργαλείου όταν το εργαλείο χάνει την επαφή με την επιφάνεια κατεργασίας. Όταν είναι απενεργοποιημένη η διαδρομή του εργαλείου παρατείνεται μέχρι τα όρια των περιορισμών διασχίζοντας έτσι ακόμα και περιοχές χωρίς υλικό.



Εικόνα 5.4.40 Παράδειγμα ορίου κατεργασίας με την βοήθεια της επιλογής Machining Boundary.

- **Slope:** αυτή η επιλογή περιορίζει το εύρος της γωνίας που μπορεί να πάρει η τροχιά του κοπτικού εργαλείου. Ο περιορισμός της γωνιακής θέσης καθορίζεται από τις παρακάτω παραμέτρους:
  - **From Slope Angle:** η παράμετρος αυτή ορίζεται από το οριζόντιο επίπεδο και παίρνει τιμές από 0 μέχρι 90 μοίρες.
  - **To Slope Angle:** η παράμετρος αυτή ορίζεται από το κάθετο επίπεδο και παίρνει τιμές από 90 έως και 0 μοίρες.
- **Tool Orientation:** υπάρχει η δυνατότητα επιλογής συστήματος συντεταγμένων, διαφορετικό απ' αυτό που επιλέχθηκε στο **Setup**.
- **Model:** επιλογή για να συμπεριληφθούν στον υπολογισμό της διαδρομής άλλα σώματα, πρόσωπα ή επιφάνειες εκτός της γεωμετρίας που ήδη έχει επιλεγεί. Ένα παράδειγμα για την λειτουργία αυτής της εντολής είναι να συμπεριληφθούν επιφάνειες που καλύπτουν εσοχές και σταματούν το κοπτικό εργαλείο να κατεργαστεί το εσωτερικό των εσοχών που θα κατεργαστούν αργότερα από κάποιο διατρητικό εργαλείο στο **Setup**.

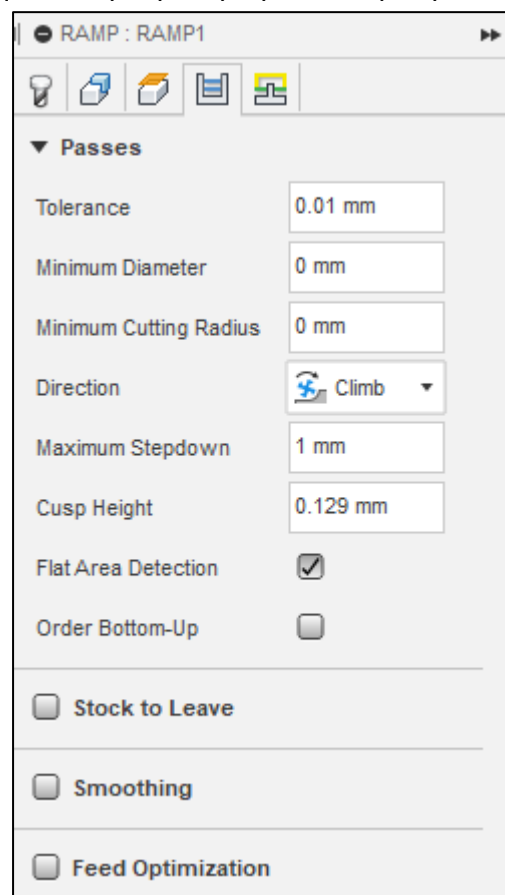
**Καρτέλα Heights:** Στο συγκεκριμένο παράδειγμα για το ύψος Clearance Height έχει επιλεγεί ως σημείο αναφοράς το ύψος του Retract Height, και Offset=10mm. Για το ύψος Retract Height έχει οριστεί ως σημείο αναφοράς το Stock Top με Offset=5mm. Τέλος το άνω ύψος (Top) επιλέχθηκε με το Stock top με Offset=0 και το Bottom Height οριοθετήθηκε με την επιλογή Selection με Offset=0 και ως σημείο αναφοράς τέθηκε επιλογή της επιφάνειας που φαίνεται στην εικόνα 5.4.41.



Εικόνα 5.4.41 Παράδειγμα υψών κατεργασίας Contour.

**Καρτέλα Passes:** οι επιλογές είναι οι εξής:

- **Tolerance:** επιλογή της διαστασιακής ακρίβειας. Στο συγκεκριμένο παράδειγμα η ακρίβεια έχει οριστεί στα 0.1mm.
- **Minimum Diameter:** ορίζει την μικρότερη κυλινδρική διάμετρο που μπορεί να κατεργαστεί. Όταν η τιμή τίθεται στο μηδέν, η διαδρομή του κοπτικού αποκτά τροχιά τέτοια, ώστε να φτάνει στα όρια όπου ορίζει η ασφάλεια. Στην συγκεκριμένη περίπτωση η τιμή τέθηκε στο 0mm.
- **Minimum Cutting Radius:** καθορίζει τη μικρότερη ακτίνα στη διαδρομή που θα ακολουθήσει το κοπτικό. Θα δημιουργηθεί μια καμπύλη επιλεγμένης γωνίας σε όλες τις αιχμηρές εσωτερικές γωνίες, ώστε να κατεργαστούν αργότερα ή στο φινίρισμα. Στο συγκεκριμένο παράδειγμα τέθηκε στα 0mm.
- **Direction:** η επιλογή επιτρέπει να οριστεί η φορά που θα πραγματοποιήσει την κοπή το κοπτικό εργαλείο σύμφωνα με την φορά περιστροφής του. Με την μέθοδο Climb το εργαλείο αφαιρεί υλικό με φορά που μοιάζει με κύλιση πάνω στο υλικό, ενώ με την συμβατική μέθοδο (Conventional) το εργαλείο κινείται αντίθετα. Η πρώτη μέθοδος τείνει να αφήνει καλύτερες επιφάνειες, να έχει λιγότερες ταλαντώσεις κατά την κατεργασία, αλλά και λιγότερη φθορά στο εργαλείο. Ωστόσο, επιλέγοντας το εργαλείο να κινηθεί και με τις δύο φορές (Both Ways) μειώνεται σημαντικά ο χρόνος κατεργασίας. Εδώ επιλέχθηκε η μέθοδος **Climb**.
- **Maximum Stepdown:** καθορίζει το βήμα μεταξύ των πολλαπλών βαθών, ενώ το τελικό βήμα θα είναι ότι απέμεινε από το ακατέργαστο.



Εικόνα 5.4.42 Καρτέλα Passes εντολής Ramp.



- **Cusp Height:** ορίζει το επιθυμητό ύψος του προεξέχοντος ακατέργαστου που απομένει μεταξύ των περασμάτων για τον υπολογισμό του μήκους και του βάθους των περασμάτων.
- **Flat Area Detection:** με την ενεργοποίηση της εντολής γίνεται δυνατός ο εντοπισμός των επίπεδων επιφανειών ή κορυφών ώστε να κατεργαστούν με προτεραιότητα αυτά τα επίπεδα.
- **Order Bottom-Up:** ενεργοποίηση της εντολής για να ταξινομηθούν τα περάσματα από κάτω προς τα πάνω.
- **Stock to Leave:** επιτρέπει την παράκαμψη των υψών για την επεξεργασία ενός ποσού ακατέργαστου, είτε έχοντας θετικό πρόσημο και συμβάλλει στην διατήρηση της ποιότητας και την περαιτέρω επεξεργασία του αντικείμενου είτε με αρνητικό πρόσημο θέτοντας σε επεξεργασία το αντικείμενο πέρα απ' το προβλεπόμενο. Στο συγκεκριμένο παράδειγμα θα παραμείνει ανενεργή η επιλογή. Ως προέκταση της εντολής, η παράμετρος **Axial Stock to Leave** ελέγχει την ποσότητα αυτή κατά τη διάρκεια των αξονικών κατεργασιών, ενώ η παράμετρος **Radial Stock to Leave** ελέγχει την ποσότητα αυτή κατά τη διάρκεια των ακτινικών κατεργασιών.
- **Smoothing:** εξομαλύνει τη διαδρομή του εργαλείου αντικαθιστώντας τα πολύ μικρά τμήματα της διαδρομής, με μεγαλύτερα τόξα. Η ακρίβεια θα παραμείνει η ίδια, ενώ ο κώδικας θα μειωθεί κατά πολύ. Η εντολή δεν θα επιλεγεί διότι είναι καθαρά υποκειμενική η χρήση της και δεν χρειάζεται για την συγκεκριμένη περίπτωση παραδείγματος.
- **Feed Optimization:** ελέγχει την τροφοδοσία στις γωνίες μειώνοντας το ρυθμό αφαίρεσης υλικού με σκοπό την προστασία του εργαλείου. Η εντολή στο παραπάνω παράδειγμα δεν επιλέχθηκε καθώς το εργαλείο δεν έχει περίπλοκη τροχιά. Οι παρακάτω επιλογές ανήκουν στο πλαίσιο αυτής της εντολής:
  - **Maximum Directional Change:** καθορίζει τη μέγιστη γωνιακή αλλαγή προτού μειωθεί η τροφοδοσία.
  - **Reduced Feed Radius:** καθορίζει την ελάχιστη επιτρεπτή ακτίνα προτού μειωθεί η τροφοδοσία.
  - **Reduced Feed Distance:** καθορίζει την απόσταση προτού μειωθεί η τροφοδοσία κοντά σε μία γωνία.
  - **Reduced Feedrate:** καθορίζει την μειωμένη ταχύτητα πρόωσης που θα χρησιμοποιείται στις γωνίες.
  - **Only Inner Corners:** ενεργοποιείται ώστε να μειώνεται η τροφοδοσία μόνο στις εσωτερικές γωνίες.

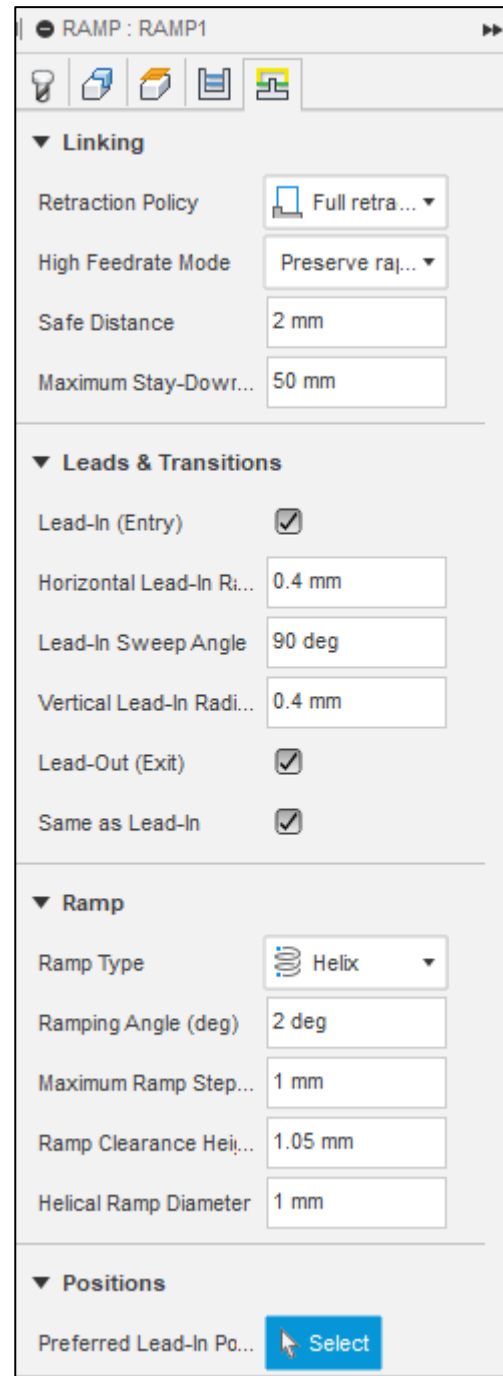
**Καρτέλα Linking:** Οι τιμές και οι επιλογές των εντολών που χρησιμοποιήθηκαν για το παράδειγμα, φαίνονται στην Εικόνα 5.4.43. Οι επιλογές της καρτέλας είναι οι εξής:

- **Retraction Policy:** καθορίζει την στρατηγική που θα ακολουθηθεί στην κοπή κατά την ανάσχυση του κοπτικού εργαλείου.
- **High Feedrate Mode:** καθορίζει το πότε το κοπτικό εργαλείο θα κινείται με την μέγιστη ταχύτητα πρόωσης της εργαλειομηχανής (G0) και πότε με ταχύτητα ορισμένης πρόωσης (G1). Η εντολή αυτή συμβάλλει στον περαιτέρω έλεγχο των γρήγορων κινήσεων G0 παραμετροποιώντας τις σε G1 για την αποφυγή συγκρούσεων. Περιλαμβάνονται έξι επιλογές:
  - **Preserve rapid movement:** διατηρεί όλες τις γρήγορες κινήσεις ως G0.
  - **Preserve axial and radial rapid movement:** Οι γρήγορες κινήσεις που εκτελούνται αξονικά ή ακτινικά, διατηρούν G0.

- **Preserve axial rapid movement:** Οι γρήγορες κινήσεις που εκτελούνται αξονικά, διατηρούν G0.
- **Preserve radial rapid movement:** Οι γρήγορες κινήσεις που εκτελούνται ακτινικά, διατηρούν G0.
- **Preserve single axis rapid movement:** Οι γρήγορες κινήσεις που εκτελούνται σε έναν άξονα (X, Y ή Z), διατηρούν G0.
- **Always use high feed:** όλες οι γρήγορες κινήσεις αποκτούν ταχύτητα ορισμένης πρόωσης G01.

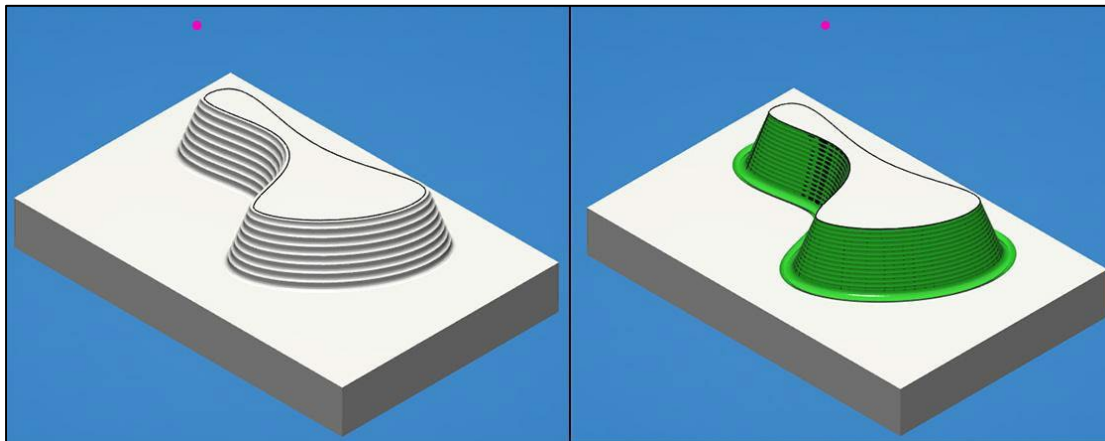
Στο παράδειγμα έχει επιλεγθεί η επιλογή **Preserve rapid movement** καθώς δεν χρειάζεται περαιτέρω προσοχή για την συγκεκριμένη κατεργασία.

- **Safe Distance:** ελάχιστη απόσταση μεταξύ του εργαλείου και των επιφανειών του προς κατεργασία εξαρτήματος κατά την ανάσχυση.
- **Maximum Stay-Down Distance:** καθορίζει την μέγιστη απόσταση ανάκλισης.
- **Lead-In (Entry):** ομαλοποιεί την είσοδο του κοπτικού εργαλείου στο ακατέργαστο. Στο συγκεκριμένο παράδειγμα επιλέχθηκε η εντολή, για καλύτερη είσοδο του εργαλείου.
- **Horizontal Lead-In Radius:** οριζόντιο τόξο εισόδου του κοπτικού.
- **Lead-In Sweep Angle:** καθορίζει την γωνία εισόδου του κοπτικού εργαλείου.
- **Vertical Lead-In Radius:** ακτίνα εισαγωγής του κοπτικού. Στο συγκεκριμένο παράδειγμα τέθηκε στα 1.2mm.
- **Lead-Out (Exit):** ομαλοποιεί την έξοδο του κοπτικού εργαλείου από το ακατέργαστο.
- **Same as Lead-In:** καθορίζει ότι ο τρόπος εξαγωγής του κοπτικού από το ακατέργαστο, θα είναι ίδιος με τον τρόπο εισαγωγής. Αν η επιλογή δεν είναι επιλεγμένη, τότε εμφανίζεται μια παραπάνω επιλογή **Vertical Lead-Out Radius**, όπου καθορίζει την ακτίνα εξόδου του κοπτικού.
- **Ramp Type:** καθορίζει τον τρόπο με τον οποίο κινείται το κοπτικό εργαλείο σε κατάσταση κοπής κατά άξονα Z.
- **Ramping Angle:** καθορίζει την γωνία που θα έχει το βήμα κατά άξονα Z.
- **Maximum Ramp Stepdown:** καθορίζει το μέγιστο βήμα προς τα κάτω ανά περιστροφή της ελικοειδούς διαδρομής.
- **Ramp Clearance Height:** το ύψος από το οποίο θα ξεκινήσει η ελικοειδής κίνηση του κοπτικού.



Εικόνα 5.4.43 Καρτέλα Linking εντολής Ramp.

- **Helical Ramp Diameter:** η μέγιστη διάμετρος της ελικοειδούς διαδρομής που θα ακολουθήσει το κοπτικό.
- **Preferred Lead-In Positions:** βοηθάει στον προσδιορισμό των θέσεων απ' όπου το κοπτικό μπορεί να εισέλθει στο αντικείμενο. Εάν επιλεχθούν πολλές θέσεις, η θέση που είναι πιο κοντά στο περίγραμμα θα χρησιμοποιηθεί ως σημείο εισαγωγής του αντικειμένου.



Εικόνα 5.4.44 Αριστερά φαίνεται το αντικείμενο πριν την κατεργασία, ενώ δεξιά μετά την κατεργασία.

**Ανάλυση κατεργασίας:** Παρατηρούμε στην εικόνα 5.4.44 την διαφορά στην επιφάνεια πριν την κατεργασία Contour και μετά, καθώς η προηγούμενη εντολή ήταν κατεργασία με Bull nose 8mm, ενώ στην κατεργασία επιλέχθηκε Ball nose 4mm. Δεν φαίνεται η τροχιά του κοπτικού καθώς αφαιρέθηκε για την καλύτερη παρατήρηση της επιφάνειας. Τέλος παρατηρείται ότι κατά την κατεργασία δεν έχει κοπεί μεγάλη ποσότητα υλικού, καθώς η κατεργασία χρησιμοποιήθηκε για το φινιρίσμα του αντικειμένου.

## Horizontal

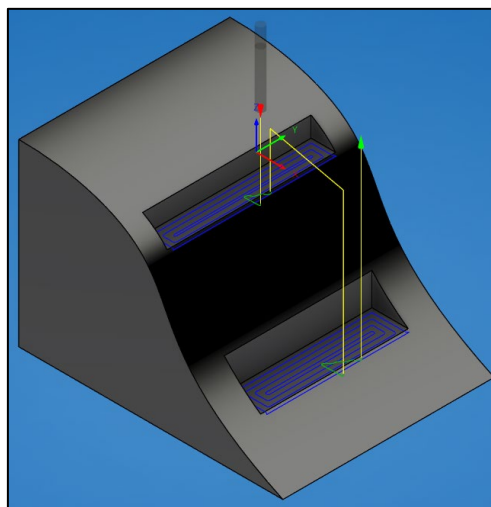


**Horizontal:** Milling>3D>Horizontal

**Περιγραφή Κατεργασίας:** Κατεργασία εκχόνδρισης και φινιρίσματος, εντοπίζει όλες τις επίπεδες περιοχές του εξαρτήματος, και τις καθαρίζει με μια διαδρομή, περίπου όπως η εντολή **Pocket Clearing**. Όταν μια επίπεδη περιοχή βρίσκεται σχεδόν περιτριγυρισμένη από υλικό, το εργαλείο θα ξεκινήσει την κατεργασία από πλευρά που δεν έχει υλικό.

**Καρτέλα Tool:** Για το παράδειγμα το εργαλείο που επιλέχθηκε είναι ένα Flat end mill κονδύλι διαμέτρου 4mm και σχετικά ψηλό ώστε να μην ακουμπάει ο εργαλειοδέτης στο αντικείμενο.

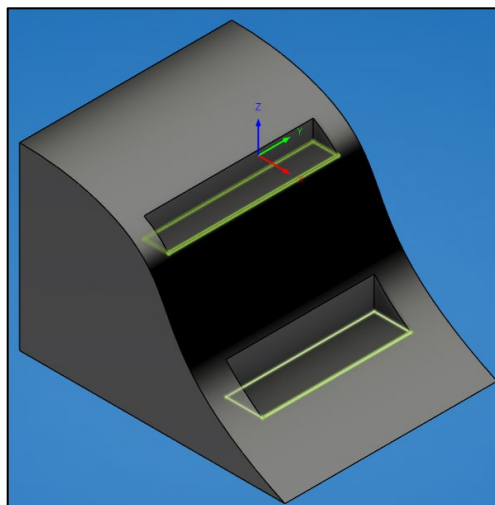
Για το παράδειγμα επιλέχθηκε η μέθοδος **Flood**.



Εικόνα 5.4.45 Παράδειγμα προσομοίωσης κατεργασίας Horizontal

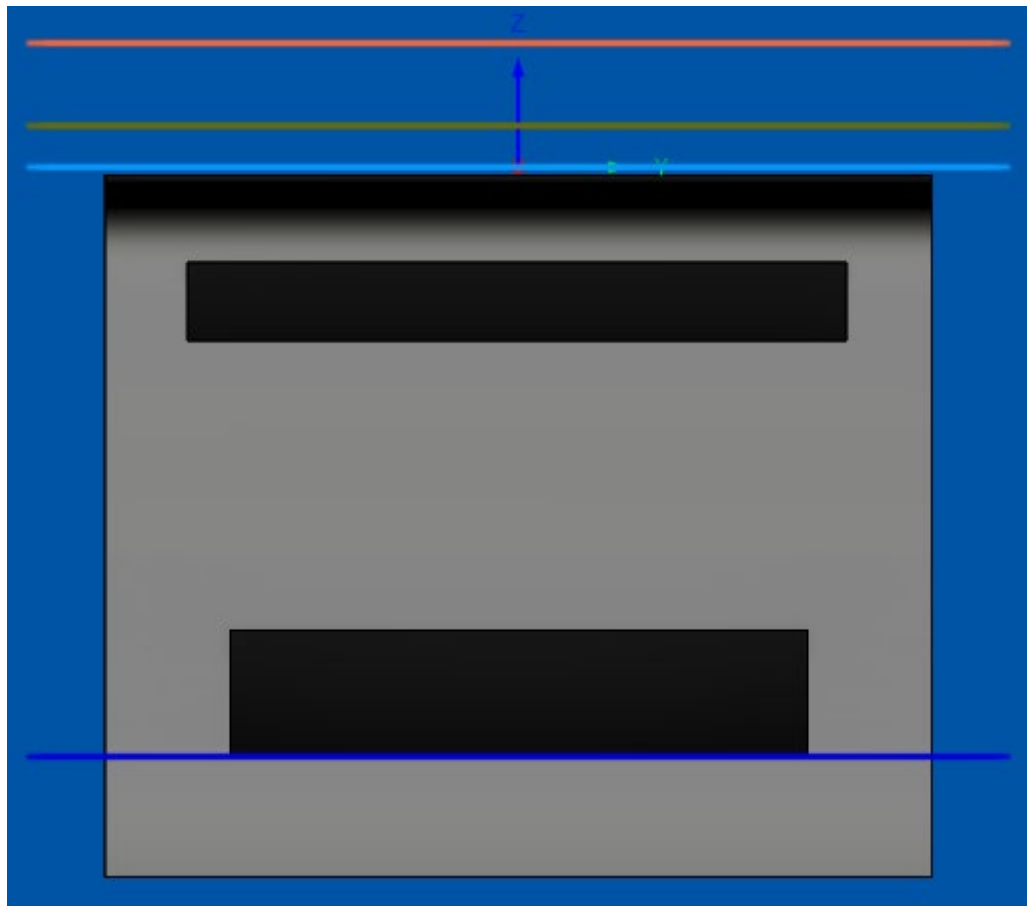
**Καρτέλα Geometry:** Οι επιλογές για την οριοθέτηση της κατεργασίας είναι οι παρακάτω:

- **Machining Boundary:** Ορίζει το όριο της διαδρομής του εργαλείου. Αν επιλεγθεί κάποια επιλογή εκτός της **None**, προστίθενται οι έξτρα επιλογές:
  - **Tool Containment:** επιλογή του περιορισμού του εργαλείου σε σχέση με το επιλεγμένο όριο.
  - **Additional Offset:** μεγέθυνση ή σμίκρυνση του ορίου κατεργασίας.
  - **Contact Point Boundary:** όταν η εντολή είναι ενεργοποιημένη επεκτείνει τα όρια κατεργασίας μέχρι το κοπτικό να σταματήσει να έχει επαφή με το αντικείμενο αντί απλά το κέντρο του αντικείμενου να φτάνει στο όριο κατεργασίας και να σταματά εκεί η διαδρομή.
  - **Contact Only:** Ελέγχει εάν δημιουργούνται ή όχι διαδρομές εργαλείου όταν το εργαλείο χάνει την επαφή με την επιφάνεια κατεργασίας. Όταν είναι απενεργοποιημένη η διαδρομή του εργαλείου παρατείνεται μέχρι τα όρια των περιορισμών διασχίζοντας έτσι ακόμα και περιοχές χωρίς υλικό.
- **Tool Orientation:** υπάρχει η δυνατότητα επιλογής συστήματος συντεταγμένων, διαφορετικό απ' αυτό που επιλέχθηκε στο **Setup**.
- **Model:** επιλογή για να συμπεριληφθούν στον υπολογισμό της διαδρομής άλλα σώματα, πρόσωπα ή επιφάνειες εκτός της γεωμετρίας που ήδη έχει επιλεγθεί. Ένα παράδειγμα για την λειτουργία αυτής της εντολής είναι να συμπεριληφθούν επιφάνειες που καλύπτουν εσοχές και σταματούν το κοπτικό εργαλείο απ' το να κατεργαστεί το εσωτερικό των εσοχών που θα κατεργαστούν αργότερα από κάποιο διατρητικό εργαλείο στο **Setup**.



Εικόνα 5.4.46 Παράδειγμα ορίου κατεργασίας με την βοήθεια της επιλογής **Machining Boundary**.

**Καρτέλα Heights:** Στο συγκεκριμένο παράδειγμα για το ύψος Clearance Height έχει επιλεγθεί ως σημείο αναφοράς το ύψος του Retract Height, και Offset=10mm. Για το ύψος Retract Height έχει οριστεί ως σημείο αναφοράς το Stock Top με Offset=5mm. Τέλος το άνω ύψος (Top) επιλέχθηκε με το Stock top με Offset=0 και το Bottom Height οριοθετήθηκε με την επιλογή Selection με Offset=0 και ως σημείο αναφοράς επιλέχτηκε το κάτω μέρος της δεύτερης προς κατεργασία γεωμετρίας, όπως φαίνεται και στην εικόνα 5.4.47.



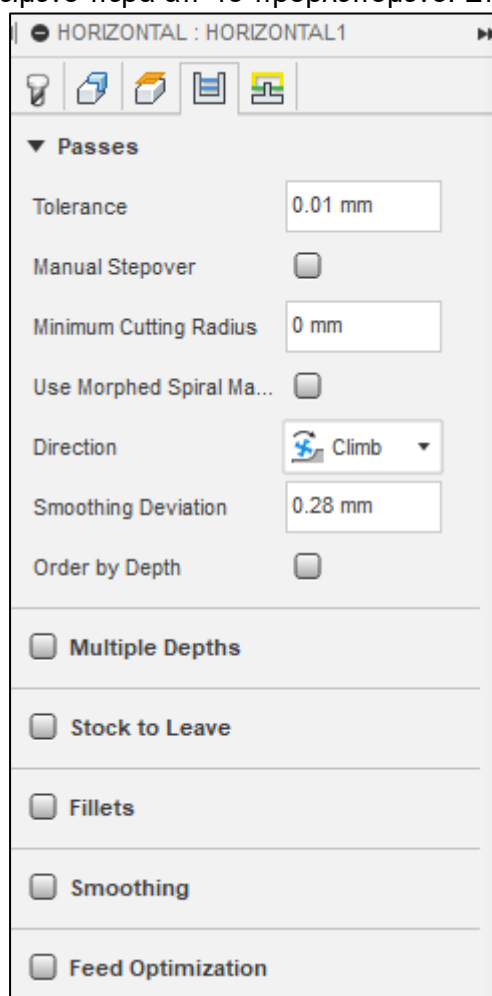
Εικόνα 5.4.47 Παράδειγμα υψών κατεργασίας Horizontal.

**Καρτέλα Passes:** οι επιλογές είναι οι εξής:

- **Tolerance:** επιλογή της διαστασιακής ακρίβειας. Στο συγκεκριμένο παράδειγμα η ακρίβεια έχει οριστεί στα 0.01mm.
- **Manual Stepover:** επιτρέπει την τακτοποίηση των περασμάτων χειροκίνητα.
- **Minimum Cutting Radius:** καθορίζει τη μικρότερη ακτίνα στη διαδρομή που θα ακολουθήσει το κοπτικό. Θα δημιουργηθεί μια καμπύλη επιλεγμένης γωνίας σε όλες τις αιχμηρές εσωτερικές γωνίες, ώστε να κατεργαστούν αργότερα ή στο φινίρισμα. Στο συγκεκριμένο παράδειγμα τέθηκε στα 0mm.
- **Use Morphed Spiral Machining:** επιτρέπει την δημιουργία ειδικής μορφοποιημένης σπειροειδούς διαδρομής για το κοπτικό, ειδικά διαμορφωμένης για την κοιλότητα.
- **Direction:** η επιλογή επιτρέπει να οριστεί η φορά που θα πραγματοποιήσει την κοπή το κοπτικό εργαλείο σύμφωνα με την φορά περιστροφής του. Με την μέθοδο Climb το εργαλείο αφαιρεί υλικό με φορά που μοιάζει με κύλιση πάνω στο υλικό, ενώ με την συμβατική μέθοδο (Conventional) το εργαλείο κινείται αντίθετα. Η πρώτη μέθοδος τείνει να αφήνει καλύτερες επιφάνειες, να έχει λιγότερες ταλαντώσεις κατά την κατεργασία, αλλά και λιγότερη φθορά στο εργαλείο. Ωστόσο, επιλέγοντας το εργαλείο να κινηθεί και με τις δύο φορές (Both Ways) μειώνεται σημαντικά ο χρόνος κατεργασίας. Εδώ επιλέχθηκε η μέθοδος **Climb**.
- **Smoother Deviation:** εξομαλύνει την διαδρομή του κοπτικού κοντά σε αιχμηρές γωνίες.



- **Order by Depth:** όταν είναι ενεργοποιημένο διατάσσει τα πολλαπλά περάσματα κατά άξονα Z.
- **Multiple Depths:** ενεργοποιεί τη λειτουργία αφαίρεσης υλικού με πολλαπλά βάθη. Στο συγκεκριμένο παράδειγμα θα παραμείνει ανενεργή η επιλογή διότι δεν χρειάζεται. Το ακατέργαστο θα κατεργαστεί σύμφωνα με την γεωμετρία της επιφάνειας και δεν χρειάζονται πολλαπλά βάθη.
- **Number of Stepdowns:** διευκρινίζει τον αριθμό των βημάτων.
- **Maximum Stepdown:** καθορίζει το βήμα μεταξύ των πολλαπλών βαθών, ενώ το τελικό βήμα θα είναι ότι απέμεινε από το ακατέργαστο.
- **Stock to Leave:** επιτρέπει την παράκαμψη των υψών για την επεξεργασία ενός ποσού ακατέργαστου, είτε έχοντας θετικό πρόσημο και συμβάλλει στην διατήρηση της ποιότητας και την περαιτέρω επεξεργασία του αντικείμενου είτε με αρνητικό πρόσημο θέτοντας σε επεξεργασία το αντικείμενο πέρα απ' το προβλεπόμενο. Στο συγκεκριμένο παράδειγμα θα παραμείνει ανενεργή η επιλογή. Ως προέκταση της εντολής, η παράμετρος **Axial Stock to Leave** ελέγχει την ποσότητα αυτή κατά τη διάρκεια των αξονικών κατεργασιών, ενώ η παράμετρος **Radial Stock to Leave** ελέγχει την ποσότητα αυτή κατά τη διάρκεια των ακτινικών κατεργασιών.
- **Fillets:** ενεργοποίηση για στρογγυλοποίηση των γωνιών.
  - **Fillet Radius:** η ακτίνα της καμπύλης που θα αντικαταστήσει την γωνία.
- **Smoothing:** εξομαλύνει τη διαδρομή του εργαλείου αντικαθιστώντας τα πολύ μικρά τμήματα της διαδρομής με μεγαλύτερα τόξα. Η ακρίβεια θα παραμείνει η ίδια, ενώ ο κώδικας θα μειωθεί κατά πολύ. Η εντολή δεν θα επιλεγεί διότι είναι καθαρά υποκειμενική η χρήση της και δεν χρειάζεται για την συγκεκριμένη περίπτωση παραδείγματος.
- **Feed Optimization:** ελέγχει την τροφοδοσία στις γωνίες μειώνοντας τον ρυθμό αφαίρεσης υλικού με σκοπό την προστασία του εργαλείου. Η εντολή στο παραπάνω παράδειγμα δεν επιλέχθηκε καθώς το εργαλείο δεν έχει περίπλοκη τροχιά. Οι παρακάτω επιλογές ανήκουν στο πλαίσιο αυτής της εντολής:
  - **Maximum Directional Change:** καθορίζει τη μέγιστη γωνιακή αλλαγή προτού μειωθεί η τροφοδοσία.
  - **Reduced Feed Radius:** καθορίζει την ελάχιστη επιτρεπτή ακτίνα προτού μειωθεί η τροφοδοσία.
  - **Reduced Feed Distance:** καθορίζει την απόσταση προτού μειωθεί η τροφοδοσία κοντά σε μία γωνία.
  - **Reduced Feedrate:** καθορίζει την μειωμένη ταχύτητα πρόωσης που θα χρησιμοποιείται στις γωνίες.



Εικόνα 5.4.48 Καρτέλα Passes εντολής Horizontal.

- **Only Inner Corners:** ενεργοποιείται ώστε να μειώνεται η τροφοδοσία μόνο στις εσωτερικές γωνίες.

**Καρτέλα Linking:** Οι τιμές και οι επιλογές των εντολών που χρησιμοποιήθηκαν για το παράδειγμα φαίνονται στην Εικόνα 5.4.49. Οι επιλογές της καρτέλας είναι οι εξής:

- **Retraction Policy:** καθορίζει την στρατηγική που θα ακολουθηθεί στην κοπή κατά την ανάσυρση του κοπτικού εργαλείου.
- **High Feedrate Mode:** καθορίζει το πότε το κοπτικό εργαλείο θα κινείται με την μέγιστη ταχύτητα πρόωσης της εργαλειομηχανής (G0) και πότε με ταχύτητα ορισμένης πρόωσης (G1). Η εντολή αυτή συμβάλλει στον περαιτέρω έλεγχο των γρήγορων κινήσεων G0 παραμετροποιώντας τις σε G1 για την αποφυγή συγκρούσεων. Περιλαμβάνονται έξι επιλογές:
  - **Preserve rapid movement:** διατηρεί όλες τις γρήγορες κινήσεις ως G0.
  - **Preserve axial and radial rapid movement:** Οι γρήγορες κινήσεις που εκτελούνται αξονικά ή ακτινικά, διατηρούν G0.
  - **Preserve axial rapid movement:** Οι γρήγορες κινήσεις που εκτελούνται αξονικά, διατηρούν G0.
  - **Preserve radial rapid movement:** Οι γρήγορες κινήσεις που εκτελούνται ακτινικά, διατηρούν G0.
  - **Preserve single axis rapid movement:** Οι γρήγορες κινήσεις που εκτελούνται σε έναν άξονα (X, Y ή Z), διατηρούν G0.
  - **Always use high feed:** όλες οι γρήγορες κινήσεις αποκτούν ταχύτητα ορισμένης πρόωσης G01.

Στο παράδειγμα έχει επιλεγθεί η επιλογή **Preserve rapid movement** καθώς δεν χρειάζεται περαιτέρω προσοχή για την συγκεκριμένη κατεργασία.

- **Allow Rapid Retract:** επιτρέπει στην γρήγορη ανάσυρση του εργαλείου με ταχύτητα G0.
- **Safe Distance:** ελάχιστη απόσταση μεταξύ του εργαλείου και των επιφανειών του προς

**HORIZONTAL : HORIZONTAL1**

**▼ Linking**

Retraction Policy: Full retraction

High Feedrate Mode: Preserve rapid movement

Allow Rapid Retract: ☒

Safe Distance: 1 mm

Maximum Stay-Down: 20 mm

Lift Height: 0 mm

**▼ Leads & Transitions**

Horizontal Lead-In Radius: 0.4 mm

Vertical Lead-In Radius: 0.4 mm

Horizontal Lead-Out: 0.4 mm

Vertical Lead-Out Radius: 0.4 mm

**▼ Ramp**

Ramp Type: Helix

Allow Plunging Outside: ☒

Ramping Angle (deg): 2 deg

Maximum Ramp Step: 22 mm

Ramp Clearance Height: 1.05 mm

Ramp Radial Clearance: 0 mm

Helical Ramp Diameter: 3.8 mm

Minimum Ramp Diameter: 3.8 mm

**▼ Positions**

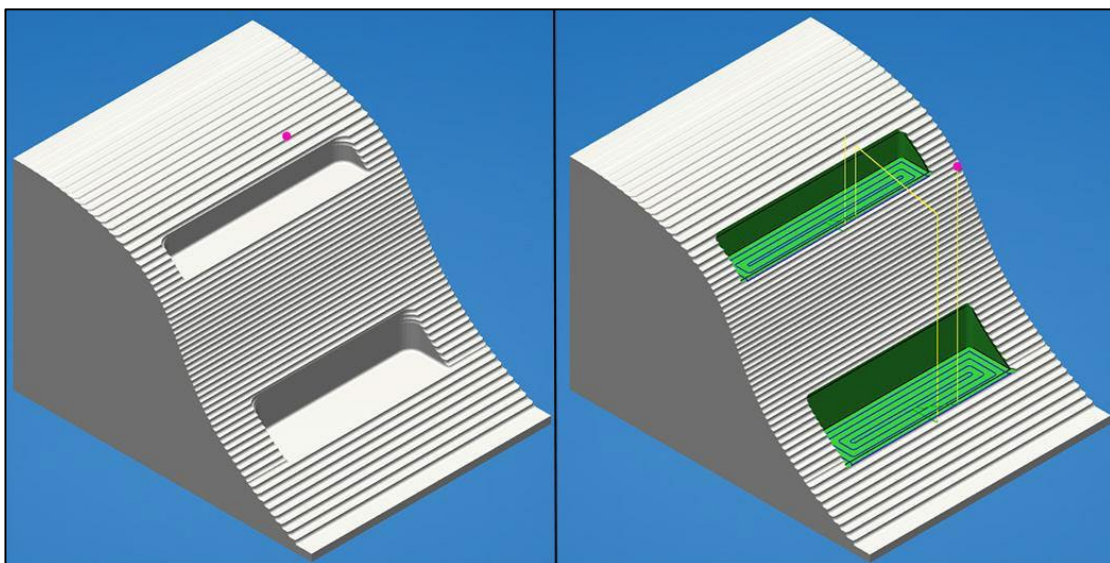
Predrill Positions:

Preferred Lead-In Position:

Εικόνα 5.4.49 Καρτέλα Linking εντολής Horizontal.

κατεργασία εξαρτήματος κατά την ανάσχυση.

- **Maximum Stay-Down Distance:** καθορίζει την μέγιστη απόσταση ανάκλισης.
- **Lift Height:** καθορίζει το ύψος της ανάσχυσης κατά την κίνηση της επανατοποθέτησης.
- **Vertical Lead-In Radius:** κάθετη ακτίνα εισαγωγής του κοπτικού.
- **Horizontal Lead-In Radius:** οριζόντια ακτίνα εισόδου του κοπτικού.
- **Horizontal Lead-Out Radius:** οριζόντια ακτίνα εξόδου του κοπτικού.
- **Vertical Lead-Out Radius:** κάθετη ακτίνα εξόδου του κοπτικού.
- **Ramp Type:** καθορίζει τον τρόπο με τον οποίο κινείται το κοπτικό εργαλείο σε κατάσταση κοπής κατά άξονα Z.
- **Allow Plunging Outside Stock:** αντί το κοπτικό να κατεργαστεί το υλικό μέσα στο περίγραμμα μιας επιλεγμένης περιοχής, με το πάτημα της εντολής γίνεται επιτρεπτή η κατεργασία και εκτός του περιγράμματος. Όταν είναι απενεργοποιημένη η εντολή γίνεται χρήση της αργής εισόδου (ανάλογα τι Ramp Type έχει επιλεγθεί) στο ακατέργαστο που υπάρχει.
- **Ramping Angle:** καθορίζει την γωνία που θα έχει το βήμα κατά άξονα Z.
- **Maximum Ramp Stepdown:** καθορίζει το μέγιστο βήμα προς τα κάτω ανά περιστροφή της ελικοειδούς διαδρομής.
- **Ramp Clearance Height:** το ύψος από το οποίο θα ξεκινήσει η ελικοειδής κίνηση του κοπτικού.
- **Ramp Radial Clearance:** καθορίζει την ελάχιστη απόσταση από το περίγραμμα της κοιλότητας μέχρι την ελικοειδή διαδρομή εισόδου του κοπτικού.
- **Helical Ramp Diameter:** η μέγιστη διάμετρος της ελικοειδούς διαδρομής που θα ακολουθήσει το κοπτικό.
- **Minimum Ramp Diameter:** η μικρότερη αποδεκτή διάμετρος της ελικοειδούς διαδρομής.
- **Predrill Positions:** επιλογή σημείου όπου έχει γίνει διάνοιξη οπής με σκοπό την είσοδο του κοπτικού στο ακατέργαστο.
- **Preferred Lead-In Positions:** βοηθάει στον προσδιορισμό των θέσεων απ' όπου το κοπτικό μπορεί να εισέλθει στο αντικείμενο. Εάν επιλεγθούν πολλές θέσεις, η θέση που είναι πιο κοντά στο περίγραμμα θα χρησιμοποιηθεί ως σημείο εισαγωγής του αντικειμένου.



Εικόνα 5.4.50 Αριστερά φαίνεται το αντικείμενο πριν την κατεργασία, ενώ δεξιά μετά την κατεργασία.

**Ανάλυση κατεργασίας:** Παρατηρούμε από την εικόνα 5.4.50 ότι στην προσομοίωση της κατεργασίας η διαφορά στην επιφάνεια είναι πολύ μικρή, διότι εντολή χρησιμοποιήθηκε για φινίρισμα. Η τροχιά του κοπτικού επιλέχθηκε να εμφανιστεί στο δεξιό τμήμα της εικόνας (μετά την κατεργασία) με σκοπό την παρατήρηση της διαφοράς της επιφάνειας στις δυο περιπτώσεις. Τέλος παρατηρείται η προσέγγιση του κοπτικού στην γεωμετρία, αφού, όπως αναφέρεται και στην περιγραφή, ιδιότητα της συγκεκριμένης μεθόδου κατεργασίας είναι ότι το εργαλείο θα ξεκινήσει την κατεργασία από πλευρά που δεν έχει υλικό όταν η γεωμετρία αυτή είναι περιτριγυρισμένη.

## Pencil

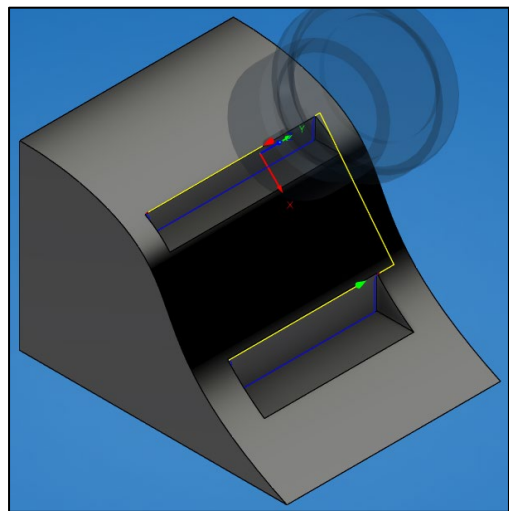


**Pencil:** Milling>3D>Pencil

**Περιγραφή Κατεργασίας:** Υπολογίζει τις διαδρομές των εργαλείων κατά μήκος των εσωτερικών γωνιών, με αποτέλεσμα να αφαιρεί υλικό σε περιοχές που άλλες κατεργασίες δεν μπορούν.

**Καρτέλα Tool:** Για το παράδειγμα το εργαλείο που επιλέχθηκε είναι ένα Ball end mill κονδύλι διαμέτρου 4mm.

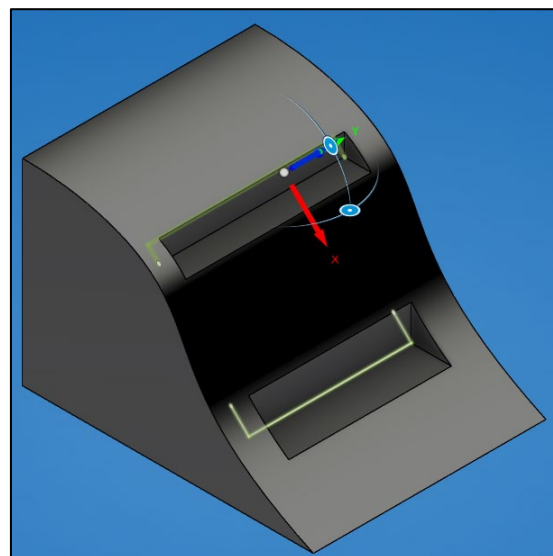
Για το παράδειγμα επιλέχθηκε η μέθοδος **Flood**.



Εικόνα 5.4.51 Παράδειγμα προσομοίωσης κατεργασίας Pencil.

**Καρτέλα Geometry:** Οι επιλογές για την οριοθέτηση της κατεργασίας είναι οι παρακάτω:

- **Machining Boundary:** Ορίζει το όριο της διαδρομής του εργαλείου. Αν επιλεγθεί κάποια επιλογή εκτός της **None**, προστίθενται οι έξτρα επιλογές:
  - **Tool Containment:** επιλογή του περιορισμού του εργαλείου σε σχέση με το επιλεγμένο όριο.
  - **Additional Offset:** μεγέθυνση ή σμίκρυνση του ορίου κατεργασίας.
  - **Contact Point Boundary:** όταν η εντολή είναι ενεργοποιημένη επεκτείνει τα όρια κατεργασίας μέχρι το κοπτικό να σταματήσει να έχει επαφή με το αντικείμενο αντί απλά το κέντρο του

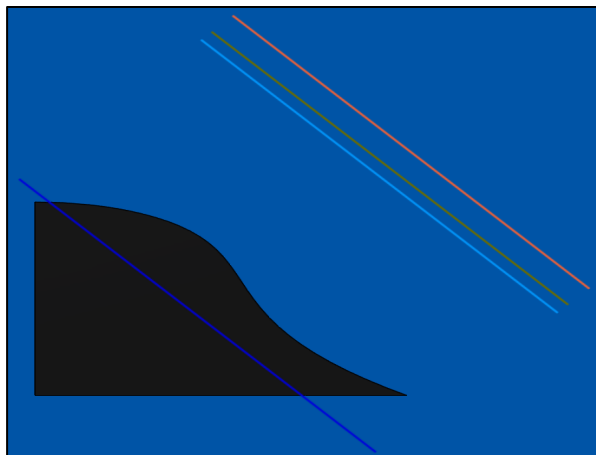


Εικόνα 5.4.52 Παράδειγμα ορίου κατεργασίας με την βοήθεια της επιλογής Machining Boundary και Tool Orientation.

αντικειμένου να φτάνει στο όριο κατεργασίας και να σταματάει εκεί η διαδρομή.

- **Contact Only:** Ελέγχει εάν δημιουργούνται ή όχι διαδρομές εργαλείου όταν το εργαλείο χάνει την επαφή με την επιφάνεια κατεργασίας. Όταν είναι απενεργοποιημένη, η διαδρομή του εργαλείου παρατείνεται μέχρι τα όρια των περιορισμών διασχίζοντας έτσι ακόμα και περιοχές χωρίς υλικό.
- **Slope:** αυτή η επιλογή περιορίζει το εύρος της γωνίας που μπορεί να πάρει η τροχιά του κοπτικού εργαλείου. Ο περιορισμός της γωνιακής θέσης καθορίζεται από τις παρακάτω παραμέτρους:
  - **From Slop Angle:** η παράμετρος αυτή ορίζεται από το οριζόντιο επίπεδο και παίρνει τιμές από 0 μέχρι 90 μοίρες.
  - **To Slope Angle:** η παράμετρος αυτή ορίζεται από το κάθετο επίπεδο και παίρνει τιμές από 90 έως και 0 μοίρες.
- **Rest Machining:** περιορίζει τη λειτουργία σε αφαίρεση μόνο υλικού που δεν μπόρεσαν προηγούμενα εργαλεία ή κατεργασίες να αφαιρέσουν. Για αυτό και οι πρόσθετες πληροφορίες που απαιτεί είναι σχετικές με το εργαλείο που χρησιμοποιήθηκε προηγουμένως.
- **Tool Orientation:** υπάρχει η δυνατότητα επιλογής συστήματος συντεταγμένων, διαφορετικό απ' αυτό που επιλέχθηκε στο **Setup**. Όπως για παράδειγμα στην περίπτωση αυτή, που χρησιμοποιήθηκε για λόγους προστασίας του αντικειμένου και του εργαλειοδέτη.
- **Model:** επιλογή για να συμπεριληφθούν στον υπολογισμό της διαδρομής άλλα σώματα, πρόσωπα ή επιφάνειες εκτός της γεωμετρίας που ήδη έχει επιλεχθεί. Ένα παράδειγμα για την λειτουργία αυτής της εντολής είναι να συμπεριληφθούν επιφάνειες που καλύπτουν εσοχές και σταματούν το κοπτικό εργαλείο να κατεργαστεί το εσωτερικό των εσοχών που θα κατεργαστούν αργότερα από κάποιο διατρητικό εργαλείο στο **Setup**.
- **Avoid/Touch Surfaces:** Διευκρινίζει ποιες επιφάνειες επιθυμούμε να αποφύγουμε και ποιες να χειριστούμε. Όταν είναι ενεργοποιημένη η επιλογή, η διαδρομή του κοπτικού υπολογίζεται έτσι ώστε να αποφύγει ή να εμπεριέχει τις συγκεκριμένες επιφάνειες. Επίσης με την ενεργοποίηση της επιλογής η καρτέλα επεκτείνεται με τις παρακάτω εντολές:
  - **Mode:** επιλογή αν επιθυμούμε να αποφευχθούν ή να εμπεριέχονται οι επιφάνειες στην διαδρομή του κοπτικού.
  - **Surfaces:** επιλογή των επιφανειών.
  - **Surface Clearance:** επιλογή της απόστασης από τις επιλεγμένες επιφάνειες.

**Καρτέλα Heights:** Στο συγκεκριμένο παράδειγμα για το ύψος Clearance Height έχει επιλεχθεί ως σημείο αναφοράς το ύψος του Retract Height, και Offset=10mm. Για το ύψος Retract Height έχει οριστεί ως σημείο αναφοράς το Stock Top με Offset=5mm. Τέλος το άνω ύψος (Top) επιλέχθηκε με το Model top με Offset=0 και το Bottom Height οριοθετήθηκε με την επιλογή Selection με



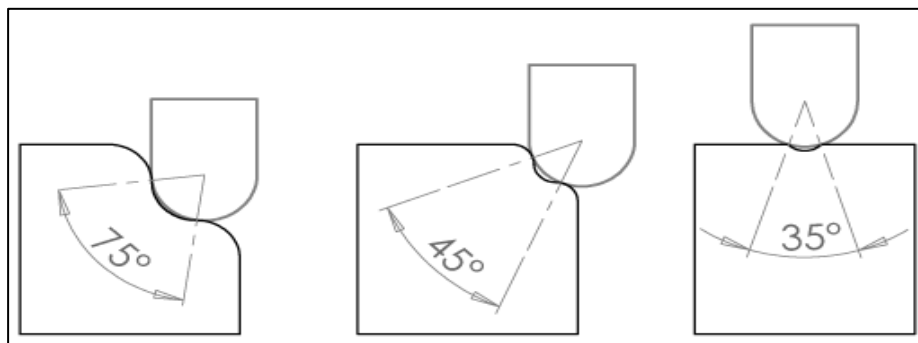
Εικόνα 5.4.53 Παράδειγμα υψών κατεργασίας Pencil.



Offstet=0 και ως σημείο αναφοράς τέθηκε η επιλογή της επιφάνειας που φαίνεται στην εικόνα 5.4.53.

**Καρτέλα Passes:** οι επιλογές είναι οι εξής:

- **Tolerance:** επιλογή της διαστασιακής ακρίβειας. Στο συγκεκριμένο παράδειγμα η ακρίβεια έχει οριστεί στα 0.1mm.
- **Overthickness:** επιπλέον πάχος που εφαρμόζεται στο εργαλείο για την ανίχνευση ακατέργαστου υλικού σε στρογγυλεμένες γωνίες με ακτίνα μεγαλύτερη από αυτή του κοπτικού.
- **Bitangency Angle:** η γωνία που δημιουργείται από τα δυο σημεία επαφής του σφαιροειδούς εργαλείου με το ακατέργαστο υλικό και το κέντρο της σφαίρας του εργαλείου και ορίζει την ανιχνευσιμότητα του ακατέργαστου υλικού που θα κατεργαστεί.

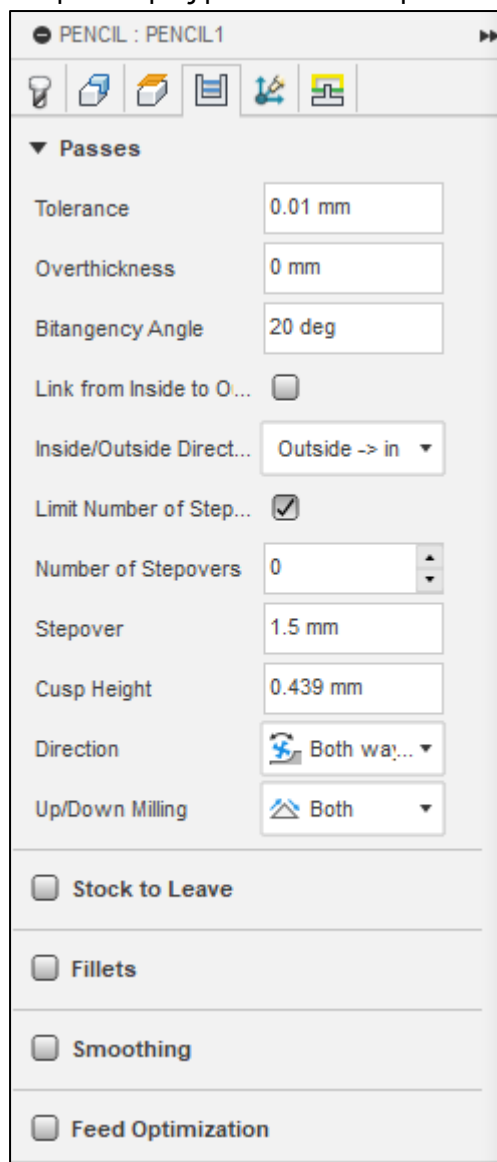


Εικόνα 5.4.54 Παράδειγμα εντολής Bitangency Angle.

- **Link from Inside to Outside:** ενεργοποίηση της επιλογής για να καθοριστεί αν θα είναι συγκεκριμένη η σειρά συνδέσεων μεταξύ των περασμάτων ή αν θα γίνουν από τα εσωτερικά προς τα εξωτερικά περάσματα.
- **Inside/Outside Direction:** καθορίζει αν η σειρά των περασμάτων θα πραγματοποιηθεί από το εσωτερικό προς το εξωτερικό ή αντίστροφα. Η επιλογή **Shortest Machining Distance** χρησιμοποιεί μια πιο σύντομη στρατηγική. Αυτή επιλέχθηκε στο συγκεκριμένο παράδειγμα.
- **Limit Number of Stepovers:** όταν είναι απενεργοποιημένη η εντολή, ο αριθμός των βημάτων είναι απεριόριστος και το αποτέλεσμα είναι ένα πολύ λεπτομερές φινίρισμα. Στο συγκεκριμένο παράδειγμα δεν επιλέχθηκε. Αν η εντολή ενεργοποιηθεί, ζητείται ο αριθμός των βημάτων.
- **Number of Stepovers:** επιλογή των περασμάτων εκχόνδρισης. Στο συγκεκριμένο παράδειγμα επιλέχθηκαν 7 περάσματα.
- **Stepover:** επιλογή της απόστασης μεταξύ των περασμάτων που θα κάνει το κοπτικό εργαλείο. Ουσιαστικά ορίζει την πυκνότητα των περασμάτων πάνω από το ακατέργαστο. Στο παράδειγμα έχει οριστεί έτσι, ώστε τα περάσματα να απέχουν μεταξύ τους 1.5mm.
- **Cusp Height:** ορίζει το επιθυμητό ύψος του προεξέχοντος ακατέργαστου που απομένει μεταξύ των περασμάτων για τον υπολογισμό του μήκους και του βάθους των περασμάτων.
- **Direction:** η επιλογή επιτρέπει να οριστεί η φορά που θα πραγματοποιήσει την κοπή το κοπτικό εργαλείο σύμφωνα με την φορά περιστροφής του. Με την μέθοδο Climb το εργαλείο αφαιρεί υλικό με φορά που μοιάζει με κύλιση πάνω στο υλικό, ενώ με την συμβατική μέθοδο (Conventional) το εργαλείο κινείται αντίθετα. Η πρώτη μέθοδος τείνει να αφήνει καλύτερες επιφάνειες, να έχει λιγότερες

ταλαντώσεις κατά την κατεργασία, αλλά και λιγότερη φθορά στο εργαλείο. Ωστόσο, επιλέγοντας το εργαλείο να κινηθεί και με τις δύο φορές (Both Ways) μειώνεται σημαντικά ο χρόνος κατεργασίας. Εδώ επιλέχθηκε η μέθοδος **Both Ways**.

- **Up/Down Milling:** χρησιμοποιείται για την τμηματοποίηση των περασμάτων, έτσι ώστε κάθε κομμάτι να δέχεται επεξεργασία από το κοπτικό μόνο προς τα πάνω ή μόνο προς τα κάτω. Στην συγκεκριμένη περίπτωση επιλέχθηκε το Both διότι δεν χρειάζεται κάποια ιδιαίτερη επεξεργασία στο συγκεκριμένο κομμάτι ούτε κάποιο κοπτικό που να περιορίζεται η κινησιολογία του μόνο προς μια κατεύθυνση.
- **Stock to Leave:** επιτρέπει την παράκαμψη των υψών για την επεξεργασία ενός ποσού ακατέργαστου, είτε έχοντας θετικό πρόσημο και συμβάλλει στην διατήρηση της ποιότητας και την περαιτέρω επεξεργασία του αντικειμένου είτε με αρνητικό πρόσημο θέτοντας σε επεξεργασία το αντικείμενο πέρα απ' το προβλεπόμενο. Στο συγκεκριμένο παράδειγμα θα παραμείνει ανενεργή η επιλογή. Ως προέκταση της εντολής, η παράμετρος **Axial Stock to Leave** ελέγχει την ποσότητα αυτή κατά τη διάρκεια των αξονικών κατεργασιών, ενώ η παράμετρος **Radial Stock to Leave** ελέγχει την ποσότητα αυτή κατά τη διάρκεια των ακτινικών κατεργασιών.
- **Fillets:** ενεργοποιείται για τη στογγυλοποίηση των γωνιών.
  - **Fillet Radius:** η ακτίνα της καμπύλης που θα αντικαταστήσει την γωνία.
- **Smoothing:** εξομαλύνει τη διαδρομή του εργαλείου αντικαθιστώντας τα πολύ μικρά τμήματα της διαδρομής, με μεγαλύτερα τόξα. Η ακρίβεια θα παραμείνει η ίδια, ενώ ο κώδικας θα μειωθεί κατά πολύ. Η εντολή δεν θα επιλεγεί διότι είναι καθαρά υποκειμενική η χρήση της και δεν χρειάζεται για την συγκεκριμένη περίπτωση παραδείγματος.
- **Feed Optimization:** ελέγχει την τροφοδοσία στις γωνίες μειώνοντας τον ρυθμό αφαίρεσης υλικού με σκοπό την προστασία του εργαλείου. Η εντολή στο παραπάνω παράδειγμα δεν επιλέχθηκε καθώς το εργαλείο δεν έχει περίπλοκη τροχιά. Οι παρακάτω επιλογές ανήκουν στο πλαίσιο αυτής της εντολής:
  - **Maximum Directional Change:** καθορίζει τη μέγιστη γωνιακή αλλαγή προτού μειωθεί η τροφοδοσία.
  - **Reduced Feed Radius:** καθορίζει την ελάχιστη επιτρεπτή ακτίνα προτού μειωθεί η τροφοδοσία.
  - **Reduced Feed Distance:** καθορίζει την απόσταση προτού μειωθεί η τροφοδοσία κοντά σε μία γωνία.

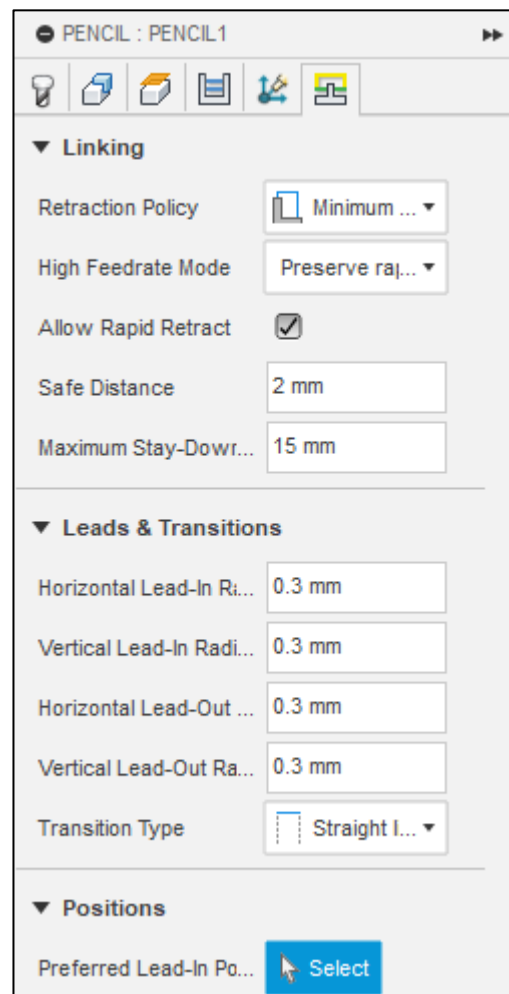


Εικόνα 5.4.55 Καρτέλα Passes εντολής Pencil.

- **Reduced Feedrate:** καθορίζει την μειωμένη ταχύτητα πρόωσης που θα χρησιμοποιείται στις γωνίες.
- **Only Inner Corners:** ενεργοποιείται ώστε να μειώνεται η τροφοδοσία μόνο στις εσωτερικές γωνίες.

**Καρτέλα Linking:** Οι τιμές και οι επιλογές των εντολών που χρησιμοποιήθηκαν για το παράδειγμα φαίνονται στην Εικόνα 5.4.56. Οι επιλογές της καρτέλας είναι οι εξής:

- **Retraction Policy:** καθορίζει την στρατηγική που θα ακολουθηθεί στην κοπή κατά την ανάσυρση του κοπτικού εργαλείου.
- **High Feedrate Mode:** καθορίζει το πότε το κοπτικό εργαλείο θα κινείται με την μέγιστη ταχύτητα πρόωσης της εργαλειομηχανής (G0) και πότε με ταχύτητα ορισμένης πρόωσης (G1). Η εντολή αυτή συμβάλλει στον περαιτέρω έλεγχο των γρήγορων κινήσεων G0 παραμετροποιώντας τις σε G1 για την αποφυγή συγκρούσεων. Περιλαμβάνονται έξι επιλογές:
  - **Preserve rapid movement:** διατηρεί όλες τις γρήγορες κινήσεις ως G0.
  - **Preserve axial and radial rapid movement:** Οι γρήγορες κινήσεις που εκτελούνται αξονικά ή ακτινικά, διατηρούν G0.
  - **Preserve axial rapid movement:** Οι γρήγορες κινήσεις που εκτελούνται αξονικά, διατηρούν G0.
  - **Preserve radial rapid movement:** Οι γρήγορες κινήσεις που εκτελούνται ακτινικά, διατηρούν G0.
  - **Preserve single axis rapid movement:** Οι γρήγορες κινήσεις που εκτελούνται σε έναν άξονα (X, Y ή Z), διατηρούν G0.
  - **Always use high feed:** όλες οι γρήγορες κινήσεις αποκτούν ταχύτητα ορισμένης πρόωσης G01.

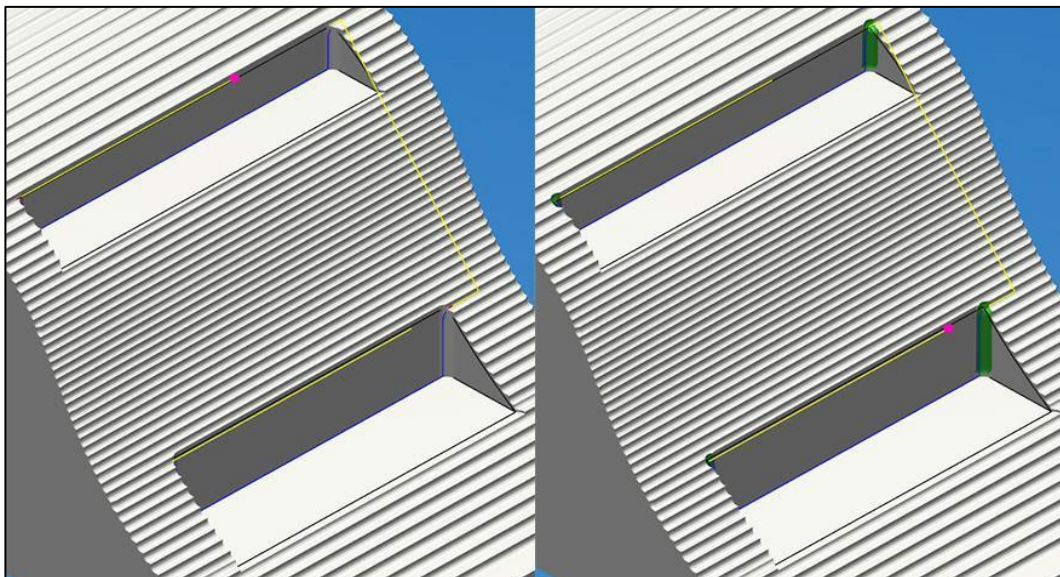


Εικόνα 5.4.56 Καρτέλα Linking εντολής Pencil.

Στο παράδειγμα έχει επιλεγθεί η επιλογή **Preserve rapid movement** καθώς δεν χρειάζεται περαιτέρω προσοχή για την συγκεκριμένη κατεργασία.

- **Allow Rapid Retract:** επιτρέπει τη γρήγορη ανάσυρση του εργαλείου με ταχύτητα G0.
- **Safe Distance:** ελάχιστη απόσταση μεταξύ του εργαλείου και των επιφανειών του προς κατεργασία εξαρτήματος κατά την ανάσυρση.
- **Maximum Stay-Down Distance:** καθορίζει την μέγιστη απόσταση ανάκλισης.
- **Vertical Lead-In Radius:** κάθετη ακτίνα εισαγωγής του κοπτικού.

- **Horizontal Lead-In Radius:** οριζόντια ακτίνα εισόδου του κοπτικού.
- **Horizontal Lead-Out Radius:** οριζόντια ακτίνα εξόδου του κοπτικού.
- **Vertical Lead-Out Radius:** κάθετη ακτίνα εξόδου του κοπτικού.
- **Transition Type:** διευκρινίζει την ενδιάμεση κίνηση του κοπτικού μεταξύ το περασμάτων.
- **Preferred Lead-In Positions:** βοηθάει στον προσδιορισμό των θέσεων απ' όπου το κοπτικό μπορεί να εισέλθει στο αντικείμενο. Εάν επιλεγθούν πολλές θέσεις, η θέση που είναι πιο κοντά στο περίγραμμα θα χρησιμοποιηθεί ως σημείο εισαγωγής του αντικειμένου.



Εικόνα 5.4.57 Αριστερά φαίνεται το αντικείμενο πριν την κατεργασία, ενώ δεξιά μετά την κατεργασία.

**Ανάλυση κατεργασίας:** Παρατηρούμε από την εικόνα 5.4.57 ότι στην προσομοίωση της κατεργασίας η διαφορά στην επιφάνεια είναι πολύ μικρή, διότι εντολή χρησιμοποιήθηκε για αφαίρεση υλικού σε πολύ δυσπρόσιτο σημείο και το πέρασμα ήταν μόνο ένα. Η τροχιά του κοπτικού φαίνεται και στις δυο φάσεις του αντικειμένου ενώ είναι παρατηρήσιμη και η γωνία του κοπτικού σε σχέση με το αντικείμενο, λόγω της εντολής **Tool Orientation**.

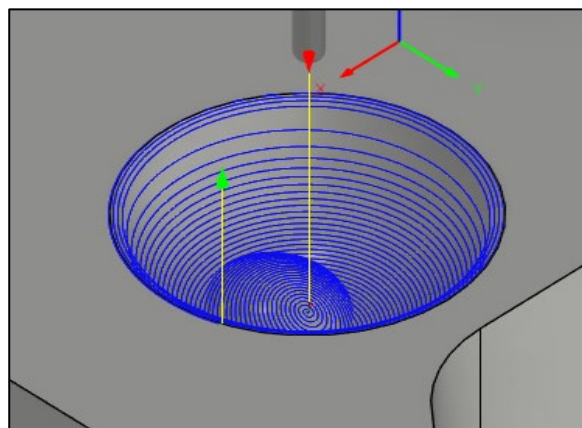
## Spiral



**Spiral:** Milling>3D>Spiral

**Περιγραφή Κατεργασίας:**

Δημιουργεί μια σπειροειδή διαδρομή για το εργαλείο γύρω από ένα κεντρικό σημείο, κρατώντας μια συνεχή επαφή με την επιφάνεια. Ιδιαίτερα βοηθητική εντολή για στρογγυλές και σχετικά επίπεδες επιφάνειες.



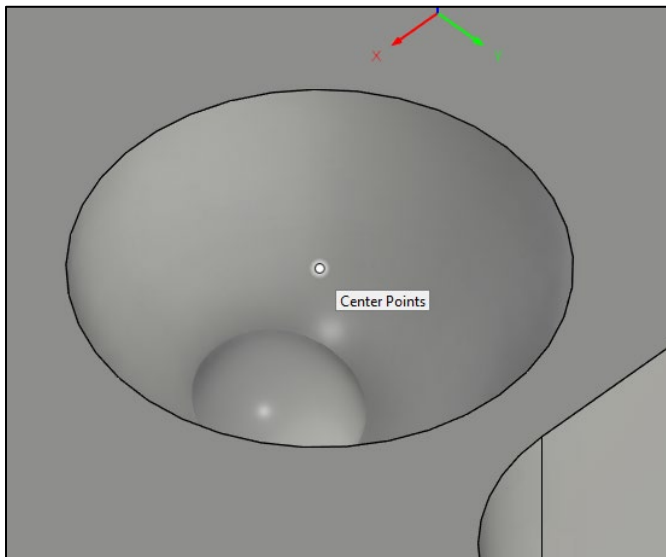
Εικόνα 5.4.58 Παράδειγμα προσομοίωσης κατεργασίας Spiral

**Καρτέλα Tool:** στο παράδειγμα το εργαλείο που επιλέχθηκε είναι ένα Ball end mill κονδύλι διαμέτρου 6mm.

Για το παράδειγμα επιλέχθηκε η μέθοδος **Flood**.

**Καρτέλα Geometry:** Οι επιλογές για την οριοθέτηση της κατεργασίας είναι οι παρακάτω:

- **Machining Boundary:** Ορίζει το όριο της διαδρομής του εργαλείου. Αν επιλεγθεί κάποια επιλογή εκτός της **None**, προστίθενται οι έξτρα επιλογές:
  - **Tool Containment:** επιλογή του περιορισμού του εργαλείου σε σχέση με το επιλεγμένο όριο.
  - **Additional Offset:** μεγέθυνση ή σμίκρυνση του ορίου κατεργασίας.
  - **Contact Point Boundary:** όταν η εντολή είναι ενεργοποιημένη επεκτείνει τα όρια κατεργασίας μέχρι το κοπτικό να σταματήσει να έχει επαφή με το αντικείμενο αντί απλά το κέντρο του αντικείμενου να φτάνει στο όριο κατεργασίας και να σταματά εκεί η διαδρομή.
  - **Center Points:** επιλογή κεντρικών σημείων της προς κατεργασία γεωμετρίας.
- **Slope:** αυτή η επιλογή περιορίζει το εύρος της γωνίας που μπορεί να πάρει η τροχιά του κοπτικού εργαλείου. Ο περιορισμός της γωνιακής θέσης καθορίζεται από τις παρακάτω παραμέτρους:
  - **From Slope Angle:** η παράμετρος αυτή ορίζεται από το οριζόντιο επίπεδο και παίρνει τιμές από 0 μέχρι 90 μοίρες.
  - **To Slope Angle:** η παράμετρος αυτή ορίζεται από το κάθετο επίπεδο και παίρνει τιμές από 90 έως και 0 μοίρες.
- **Rest Machining:** περιορίζει τη λειτουργία σε αφαίρεση μόνο υλικού που δεν μπόρεσαν προηγούμενα εργαλεία ή κατεργασίες, να αφαιρέσουν. Για αυτό και οι πρόσθετες πληροφορίες που απαιτεί είναι σχετικές με το εργαλείο που χρησιμοποιήθηκε προηγουμένως.
- **Tool Orientation:** υπάρχει η δυνατότητα επιλογής συστήματος συντεταγμένων, διαφορετικό απ' αυτό που επιλέχθηκε στο **Setup**.
- **Model:** επιλογή για να συμπεριληφθούν στον υπολογισμό της διαδρομής άλλα σώματα, πρόσωπα ή επιφάνειες εκτός της γεωμετρίας που ήδη έχει επιλεγθεί. Ένα παράδειγμα για την λειτουργία αυτής της εντολής είναι να συμπεριληφθούν επιφάνειες που καλύπτουν εσοχές και σταματούν το κοπτικό εργαλείο απ' το να κατεργαστεί το εσωτερικό των εσοχών που θα κατεργαστούν αργότερα από κάποιο διατρητικό εργαλείο στο **Setup**.

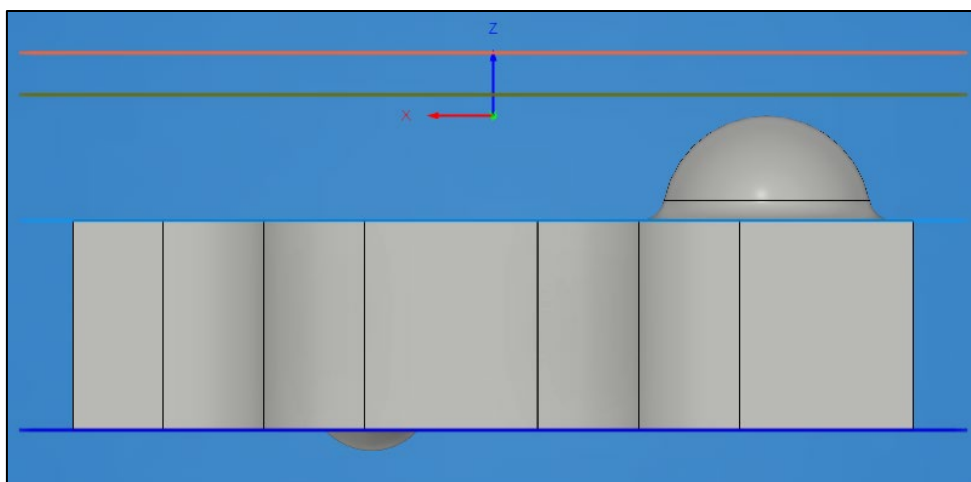


Εικόνα 5.4.59 Παράδειγμα ορίου κατεργασίας με την βοήθεια της επιλογής Machining Boundary επιλέγοντας το κεντρικό σημείο της γεωμετρίας (Center Points).



- **Avoid/Touch Surfaces:** Διευκρινίζει ποιες επιφάνειες επιθυμούμε να αποφύγουμε ή να χειριστούμε. Όταν είναι ενεργοποιημένη η επιλογή, η διαδρομή του κοπτικού υπολογίζεται έτσι ώστε να αποφύγει ή να εμπεριέχει τις συγκεκριμένες επιφάνειες. Επίσης με την ενεργοποίηση της επιλογής η καρτέλα επεκτείνεται με τις παρακάτω εντολές:
  - **Mode:** επιλογή αν επιθυμούμε να αποφευχθούν ή να εμπεριέχονται οι επιφάνειες στην διαδρομή του κοπτικού.
  - **Surfaces:** επιλογή των επιφανειών.
  - **Surface Clearance:** επιλογή της απόστασης από τις επιλεγμένες επιφάνειες.

**Καρτέλα Heights:** Στο συγκεκριμένο παράδειγμα για το ύψος Clearance Height έχει επιλεγεί ως σημείο αναφοράς το ύψος του Retract Height, και Offset=10mm. Για το ύψος Retract Height έχει οριστεί ως σημείο αναφοράς το Stock Top με Offset=5mm. Τέλος το άνω ύψος (Top) επιλέχθηκε με την επιλογή Selection με Offset=0 και ως σημείο αναφοράς τέθηκε η επιλογή της επιφάνειας που φαίνεται στην εικόνα 5.4.60, ενώ το Bottom Height οριοθετήθηκε με την επιλογή Model bottom και με Offset=0.

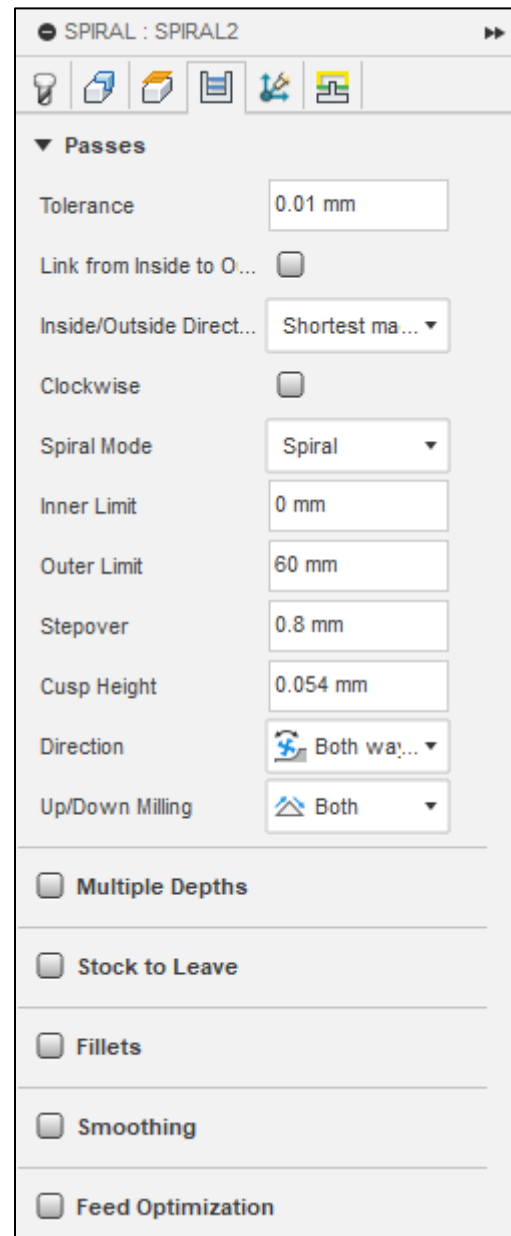


Εικόνα 5.4.60 Παράδειγμα υψών κατεργασίας Spiral.

**Καρτέλα Passes:** οι επιλογές είναι οι εξής:

- **Tolerance:** επιλογή της διαστασιακής ακρίβειας. Στο συγκεκριμένο παράδειγμα η ακρίβεια έχει οριστεί στα 0.1mm.
- **Link from Inside to Outside:** ενεργοποίηση της επιλογής για να καθοριστεί αν θα είναι συγκεκριμένη η σειρά εκτέλεσης των περασμάτων ή αν θα γίνουν από τα εσωτερικά προς τα εξωτερικά περάσματα.
- **Inside/Outside Direction:** καθορίζει αν η σειρά των περασμάτων θα πραγματοποιηθεί από από το εσωτερικό προς το εξωτερικό ή αντίστροφα. Η επιλογή **Shortest Machining Distance** χρησιμοποιεί μια πιο σύντομη στρατηγική. Αυτή επιλέχθηκε στο συγκεκριμένο παράδειγμα.
- **Clockwise:** καθορίζει ότι η σπειροειδής διαδρομή θα είναι δεξιόστροφη.
- **Spiral Mode:** επιλογή της σπειροειδούς τροχιάς του κοπτικού μεταξύ των παρακάτω επιλογών.
  - **Spiral:** δημιουργία μιας σπειροειδούς τροχιάς που ξεκινάει από κεντρικό σημείο της γεωμετρίας και καταλήγει στην μέγιστη διάμετρο.

- **Spiral with Circles:** δημιουργία τροχιάς με ομόκεντρους κύκλους, με το κοπτικό να ξεκινάει από τον εσωτερικό και να καταλήγει στην μέγιστη διάμετρο.
- **Concentric Circles:** σπειροειδής τροχιά που ξεκινά από τον κεντρικό μικρότερο κύκλο και καταλήγει στον κύκλο με την μέγιστη διάμετρο.
- **Inner Limit:** ορίζει το όριο ακτίνας στην έναρξη της σπειροειδούς τροχιάς του κοπτικού, θέτοντας όριο στην απόσταση του από το κέντρο της γεωμετρίας.
- **Outer Limit:** ορίζει το όριο ακτίνας στην λήξη της σπειροειδούς τροχιάς του κοπτικού, θέτοντας όριο στην απόσταση του από το κέντρο της γεωμετρίας.
- **Stepover:** επιλογή της απόστασης μεταξύ των περασμάτων που θα κάνει το κοπτικό εργαλείο. Ουσιαστικά ορίζει την πυκνότητα των περασμάτων πάνω από το ακατέργαστο. Στο παράδειγμα έχει οριστεί έτσι, ώστε τα περάσματα να απέχουν μεταξύ τους 1.5mm.
- **Cusp Height:** ορίζει το επιθυμητό ύψος του προεξέχοντος ακατέργαστου που απομένει μεταξύ των περασμάτων για τον υπολογισμό του μήκους και του βάθους των περασμάτων.
- **Direction:** η επιλογή επιτρέπει να οριστεί η φορά που θα πραγματοποιήσει την κοπή το κοπτικό εργαλείο σύμφωνα με την φορά περιστροφής του. Με την μέθοδο Climb το εργαλείο αφαιρεί υλικό με φορά που μοιάζει με κύλιση πάνω στο υλικό, ενώ με την συμβατική μέθοδο (Conventional) το εργαλείο κινείται αντίθετα. Η πρώτη μέθοδος τείνει να αφήνει καλύτερες επιφάνειες, να έχει λιγότερες ταλαντώσεις κατά την κατεργασία, αλλά και λιγότερη φθορά στο εργαλείο. Ωστόσο, επιλέγοντας το εργαλείο να κινηθεί και με τις δύο φορές (Both Ways) μειώνεται σημαντικά ο χρόνος κατεργασίας. Εδώ επιλέχθηκε η μέθοδος **Both Ways**.
- **Up/Down Milling:** χρησιμοποιείται για την τμηματοποίηση των περασμάτων, έτσι ώστε κάθε κομμάτι να δέχεται επεξεργασία από το κοπτικό μόνο προς τα πάνω ή μόνο προς τα κάτω. Στην συγκεκριμένη περίπτωση επιλέχθηκε το Both διότι δεν χρειάζεται κάποια ιδιαίτερη επεξεργασία στο συγκεκριμένο κομμάτι ούτε κάποιο κοπτικό που να περιορίζεται η κινησιολογία του μόνο προς μια κατεύθυνση.
- **Multiple Depths:** ενεργοποιεί τη λειτουργία αφαίρεσης υλικού με πολλαπλά βάθη. Στο συγκεκριμένο παράδειγμα η επιλογή θα παραμείνει ανενεργή, διότι δεν χρειάζεται. Το ακατέργαστο θα κατεργαστεί σύμφωνα με την γεωμετρία της επιφάνειας, και δεν χρειάζονται πολλαπλά βάθη.

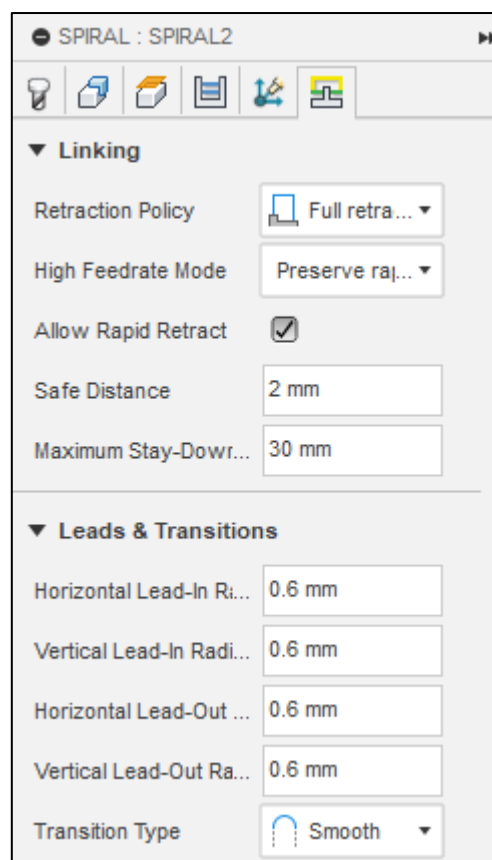


Εικόνα 5.4.61 Καρτέλα Passes εντολής Spiral.

- **Number of Stepdowns:** διευκρινίζει τον αριθμό των βημάτων.
- **Maximum Stepdown:** καθορίζει το βήμα μεταξύ των πολλαπλών βαθών, ενώ το τελικό βήμα θα είναι ό,τι απέμεινε από το ακατέργαστο.
- **Order by Depth:** όταν είναι ενεργοποιημένο διατάσσει τα πολλαπλά περάσματα κατά άξονα Z.
- **Stock to Leave:** επιτρέπει την παράκαμψη των υψών για την επεξεργασία ενός ποσού ακατέργαστου, είτε έχοντας θετικό πρόσημο και συμβάλλει στην διατήρηση της ποιότητας και την περαιτέρω επεξεργασία του αντικειμένου είτε με αρνητικό πρόσημο θέτοντας σε επεξεργασία το αντικείμενο πέρα απ' το προβλεπόμενο. Στο συγκεκριμένο παράδειγμα θα παραμείνει ανενεργή η επιλογή. Ως προέκταση της εντολής, η παράμετρος **Axial Stock to Leave** ελέγχει την ποσότητα αυτή κατά τη διάρκεια των αξονικών κατεργασιών, ενώ η παράμετρος **Radial Stock to Leave** ελέγχει την ποσότητα αυτή κατά τη διάρκεια των ακτινικών κατεργασιών.
- **Fillets:** ενεργοποιείται για τη στρογγυλοποίηση των γωνιών.
  - **Fillet Radius:** η ακτίνα της καμπύλης που θα αντικαταστήσει την γωνία.
- **Smoothing:** εξομαλύνει τη διαδρομή του εργαλείου αντικαθιστώντας τα πολύ μικρά τμήματα της διαδρομής, με μεγαλύτερα τόξα. Η ακρίβεια θα παραμείνει η ίδια, ενώ ο κώδικας θα μειωθεί κατά πολύ. Η εντολή δεν θα επιλεχθεί διότι είναι καθαρά υποκειμενική η χρήση του και δεν χρειάζεται για την συγκεκριμένη περίπτωση παραδείγματος.
- **Feed Optimization:** ελέγχει την τροφοδοσία στις γωνίες μειώνοντας τον ρυθμό αφαίρεσης υλικού με σκοπό την προστασία του εργαλείου. Η εντολή στο παραπάνω παράδειγμα δεν επιλέχθηκε καθώς το εργαλείο δεν έχει περίπλοκη τροχιά. Οι παρακάτω επιλογές ανήκουν στο πλαίσιο αυτής της εντολής:
  - **Maximum Directional Change:** καθορίζει τη μέγιστη γωνιακή αλλαγή προτού μειωθεί η τροφοδοσία.
  - **Reduced Feed Radius:** καθορίζει την ελάχιστη επιτρεπτή ακτίνα προτού μειωθεί η τροφοδοσία.
  - **Reduced Feed Distance:** καθορίζει την απόσταση προτού μειωθεί η τροφοδοσία κοντά σε μία γωνία.
  - **Reduced Feedrate:** καθορίζει την μειωμένη ταχύτητα πρόωσης που θα χρησιμοποιείται στις γωνίες.
  - **Only Inner Corners:** ενεργοποιείται ώστε να μειώνεται η τροφοδοσία μόνο στις εσωτερικές γωνίες.

**Καρτέλα Linking:** Οι τιμές και οι επιλογές των εντολών που χρησιμοποιήθηκαν για το παράδειγμα φαίνονται στην Εικόνα 5.4.62. Οι επιλογές της καρτέλας είναι οι εξής:

- **Retraction Policy:** καθορίζει τη στρατηγική που θα ακολουθηθεί στην κοπή κατά την ανάσυρση του κοπτικού εργαλείου.
- **High Feedrate Mode:** καθορίζει το πότε το κοπτικό εργαλείο θα κινείται με την



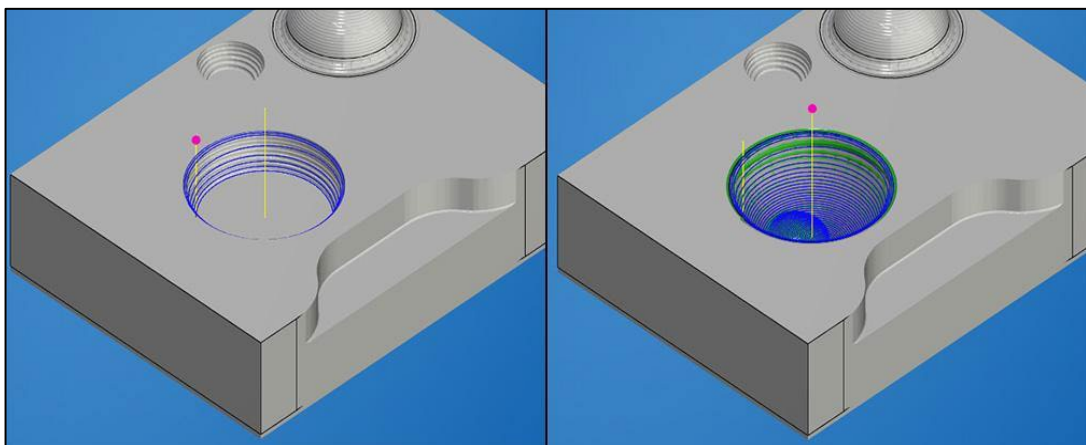
Εικόνα 5.4.62 Καρτέλα Linking εντολής Spiral.

μέγιστη ταχύτητα πρόωσης της εργαλειομηχανής (G0) και τότε με ταχύτητα ορισμένης πρόωσης (G1). Η εντολή αυτή συμβάλλει στον περαιτέρω έλεγχο των γρήγορων κινήσεων G0 παραμετροποιώντας τις σε G1 για την αποφυγή συγκρούσεων. Περιλαμβάνονται έξι επιλογές:

- **Preserve rapid movement:** διατηρεί όλες τις γρήγορες κινήσεις ως G0.
- **Preserve axial and radial rapid movement:** Οι γρήγορες κινήσεις που εκτελούνται αξονικά ή ακτινικά, διατηρούν G0.
- **Preserve axial rapid movement:** Οι γρήγορες κινήσεις που εκτελούνται αξονικά, διατηρούν G0.
- **Preserve radial rapid movement:** Οι γρήγορες κινήσεις που εκτελούνται ακτινικά, διατηρούν G0.
- **Preserve single axis rapid movement:** Οι γρήγορες κινήσεις που εκτελούνται σε έναν άξονα (X, Y ή Z), διατηρούν G0.
- **Always use high feed:** όλες οι γρήγορες κινήσεις αποκτούν ταχύτητα ορισμένης πρόωσης G01.

Στο παράδειγμα έχει επιλεγθεί η επιλογή **Preserve rapid movement** καθώς δεν χρειάζεται περαιτέρω προσοχή για την συγκεκριμένη κατεργασία.

- **Allow Rapid Retract:** επιτρέπει την γρήγορη ανάσυρση του εργαλείου με ταχύτητα G0.
- **Safe Distance:** ελάχιστη απόσταση μεταξύ του εργαλείου και των επιφανειών του πρὸς κατεργασία εξαρτήματος κατά την ανάσυρση.
- **Maximum Stay-Down Distance:** καθορίζει την μέγιστη απόσταση ανάκλισης.
- **Vertical Lead-In Radius:** κάθετη ακτίνα εισαγωγής του κοπτικού.
- **Horizontal Lead-In Radius:** οριζόντια ακτίνα εισόδου του κοπτικού.
- **Horizontal Lead-Out Radius:** οριζόντια ακτίνα εξόδου του κοπτικού.
- **Vertical Lead-Out Radius:** κάθετη ακτίνα εξόδου του κοπτικού.
- **Transition Type:** διευκρινίζει την ενδιάμεση κίνηση του κοπτικού μεταξύ των περασμάτων.



Εικόνα 5.4.63 Αριστερά φαίνεται το αντικείμενο πριν την κατεργασία, ενώ δεξιά μετά την κατεργασία.

**Ανάλυση κατεργασίας:** Παρατηρούμε από την εικόνα 5.4.63 ότι στην προσομοίωση της κατεργασίας, η τροχιά του κοπτικού γίνεται εμφανέστερη στο δεξιό τμήμα της εικόνας (μετά την κατεργασία) αφού καλύπτεται όπως φαίνεται αριστερά από ακατέργαστο. Η προηγούμενη κατεργασία άφησε το αντικείμενο με το ακατέργαστο που φαίνεται στο αριστερό μέρος της εικόνας, οπότε η κατεργασία Spiral χρησιμοποιήθηκε τόσο για σκοπούς αποπεράτωσης όσο και για σκοπούς φινιρίσματος. Επίσης παρατηρείται η

προσέγγιση του κοπτικού στην γεωμετρία, η οποία γίνεται από έξω προς τα μέσα και με φορά ρολογιού.

## Radial

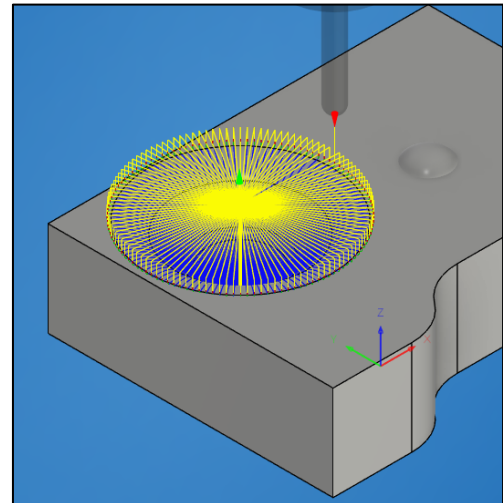


**Radial:** Milling>3D>Radial

**Περιγραφή Κατεργασίας:** Δημιουργεί περάσματα για το εργαλείο κατά μήκος των ακτίνων ενός τόξου οι οποίες έχουν κατεύθυνση προς τα κάτω στην επιφάνεια. Τα περάσματα έχουν την ιδιότητα να μπορούν να συνδεθούν σε ένα zigzag μοτίβο μεταξύ της εξωτερικής και εσωτερικής ακτίνας. Όπως και η **Spiral** είναι ιδιαίτερα βοηθητική εντολή για στρογγυλές και σχετικά επίπεδες επιφάνειες.

**Καρτέλα Tool:** Για το παράδειγμα το εργαλείο που επιλέχθηκε είναι ένα Ball end mill κονδύλι διαμέτρου 6mm.

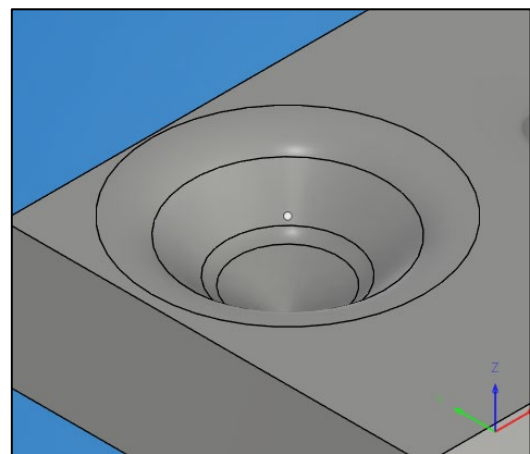
Για το παράδειγμα επιλέχθηκε η μέθοδος **Flood**.



Εικόνα 5.4.64 Παράδειγμα προσομοίωσης κατεργασίας Radial.

**Καρτέλα Geometry:** Οι επιλογές για την οριοθέτηση της κατεργασίας είναι οι παρακάτω:

- **Machining Boundary:** Ορίζει το όριο της διαδρομής του εργαλείου. Αν επιλεγθεί κάποια επιλογή εκτός της **None**, προστίθενται οι έξτρα επιλογές:
  - **Tool Containment:** επιλογή του περιορισμού του εργαλείου σε σχέση με το επιλεγμένο όριο.
  - **Additional Offset:** μεγέθυνση ή σμίκρυνση του ορίου κατεργασίας.
  - **Contact Point Boundary:** όταν η εντολή είναι ενεργοποιημένη επεκτείνει τα όρια κατεργασίας μέχρι το κοπτικό να σταματήσει να έχει επαφή με το αντικείμενο αντί απλά το κέντρο του αντικειμένου να φτάνει στο όριο κατεργασίας και να σταματάει εκεί η διαδρομή.
  - **Center Points:** επιλογή κεντρικών σημείων της προς κατεργασία γεωμετρίας.
- **Slope:** αυτή η επιλογή περιορίζει το εύρος της γωνίας που μπορεί να πάρει η τροχιά του κοπτικού εργαλείου. Ο περιορισμός της γωνιακής θέσης καθορίζεται από τις παρακάτω παραμέτρους:
  - **From Slop Angle:** η παράμετρος αυτή ορίζεται από το οριζόντιο επίπεδο και παίρνει τιμές από 0 μέχρι 90 μοίρες.

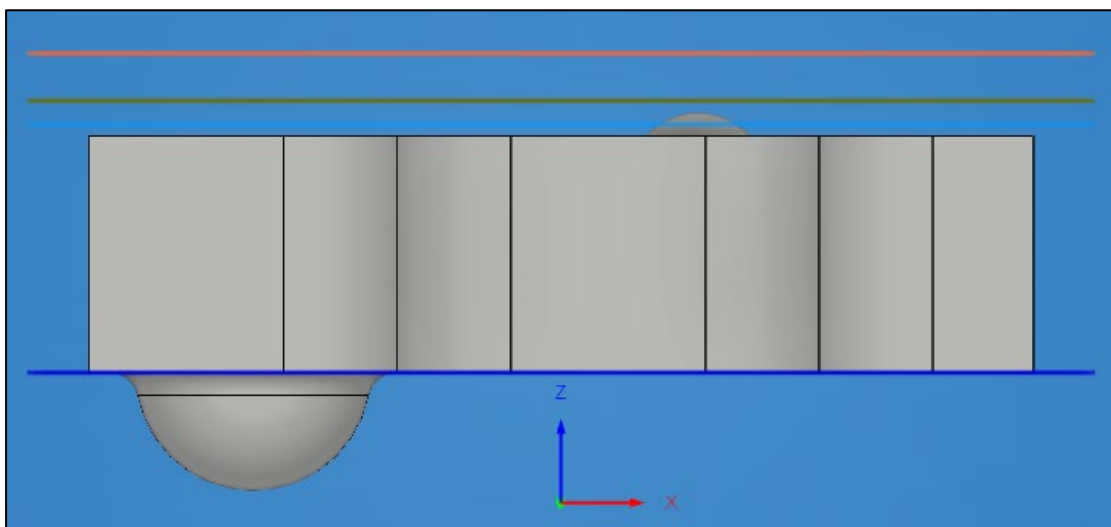


Εικόνα 5.4.65 Παράδειγμα ορίου κατεργασίας με την βοήθεια της επιλογής Machining Boundary επιλέγοντας το κεντρικό σημείο της γεωμετρίας (Center Points).



- **To Slope Angle:** η παράμετρος αυτή ορίζεται από το κάθετο επίπεδο και παίρνει τιμές από 90 έως και 0 μοίρες.
- **Rest Machining:** περιορίζει την λειτουργία σε αφαίρεση μόνο υλικού που δεν μπόρεσαν προηγούμενα εργαλεία ή κατεργασίες να αφαιρέσουν. Για αυτό και οι πρόσθετες πληροφορίες που απαιτεί είναι σχετικές με το εργαλείο που χρησιμοποιήθηκε προηγουμένως.
- **Tool Orientation:** υπάρχει η δυνατότητα επιλογής συστήματος συντεταγμένων, διαφορετικό απ' αυτό που επιλέχθηκε στο **Setup**.
- **Model:** επιλογή για να συμπεριληφθούν στον υπολογισμό της διαδρομής άλλα σώματα, πρόσωπα ή επιφάνειες εκτός της γεωμετρίας που ήδη έχει επιλεχθεί. Ένα παράδειγμα για την λειτουργία αυτής της εντολής είναι να συμπεριληφθούν επιφάνειες που καλύπτουν εσοχές και σταματούν το κοπτικό εργαλείο να κατεργαστεί το εσωτερικό των εσοχών που θα κατεργαστούν αργότερα από κάποιο διατρητικό εργαλείο στο **Setup**.
- **Avoid/Touch Surfaces:** Διευκρινίζει τις επιφάνειες που επιθυμούμε να αποφύγουμε ή να χειριστούμε. Όταν είναι ενεργοποιημένη η επιλογή, η διαδρομή του κοπτικού υπολογίζεται έτσι ώστε να αποφύγει ή να εμπεριέχει τις συγκεκριμένες επιφάνειες. Επίσης με την ενεργοποίηση της επιλογής η καρτέλα επεκτείνεται με τις παρακάτω εντολές:
  - **Mode:** επιλογή αν επιθυμούμε να αποφευχθούν ή να εμπεριέχονται οι επιφάνειες στην διαδρομή του κοπτικού.
  - **Surfaces:** επιλογή των επιφανειών.
  - **Surface Clearance:** επιλογή της απόστασης από τις επιλεγμένες επιφάνειες.

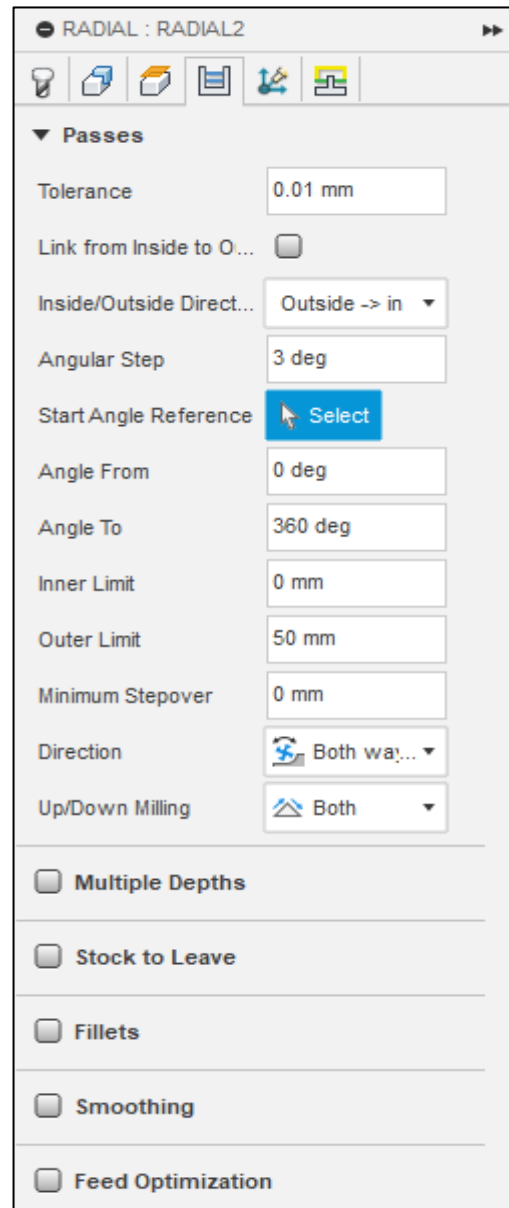
**Καρτέλα Heights:** Στο συγκεκριμένο παράδειγμα για το ύψος Clearance Height έχει επιλεχθεί ως σημείο αναφοράς το ύψος του Retract Height, και Offset=10mm. Για το ύψος Retract Height έχει οριστεί ως σημείο αναφοράς το Stock Top με Offset=5mm. Τέλος το άνω ύψος (Top) επιλέχθηκε με το Stock top με Offset=0 και το Bottom Height οριοθετήθηκε με την επιλογή Selection με Offset=0 και ως σημείο αναφοράς τέθηκε η επιλογή της επιφάνειας που φαίνεται στην εικόνα 5.4.66.



Εικόνα 5.4.66 Παράδειγμα υψών κατεργασίας Radial.

**Καρτέλα Passes:** οι επιλογές είναι οι εξής:

- **Tolerance:** επιλογή της διαστασιακής ακρίβειας. Στο συγκεκριμένο παράδειγμα η ακρίβεια έχει οριστεί στα 0.01mm.
- **Link from Inside to Outside:** ενεργοποίηση της επιλογής για να καθοριστεί αν οι συνδέσεις μεταξύ των περασμάτων θα εκτελεστούν με συγκεκριμένη σειρά ή θα γίνουν από τα εσωτερικά προς τα εξωτερικά περάσματα.
- **Inside/Outside Direction:** καθορίζει αν η σειρά των περασμάτων θα πραγματοποιηθεί από το εσωτερικό προς το εξωτερικό ή αντίστροφα ενώ η επιλογή **Shortest Machining Distance** χρησιμοποιεί μια πιο σύντομη στρατηγική.
- **Angular Step:** καθορίζει την γωνιακή απόκλιση μεταξύ των ακτινικών βημάτων.
- **Start Angle Reference:** καθορίζει την κατεύθυνση απ' όπου θα ξεκινήσουν τα βήματα. Αν δεν καθοριστεί κάποια κατεύθυνση τότε θα χρησιμοποιηθεί ο Χ'Χ ως αναγκτήρια κατεύθυνση των βημάτων.
- **Angle From:** ορίζει γωνιακή απόκλιση από την καθορισμένη κατεύθυνση ως όριο έναρξης της κοπτικής τροχιάς.
- **Angle To:** ορίζει γωνιακή απόκλιση από την καθορισμένη κατεύθυνση ως όριο λήξης της κοπτικής τροχιάς.
- **Inner Limit:** ορίζει όριο ακτίνας στην έναρξη της σπειροειδούς τροχιάς του κοπτικού, θέτοντας όριο στην απόσταση του από το κέντρο της γεωμετρίας.
- **Outer Limit:** ορίζει όριο ακτίνας στην λήξη της σπειροειδούς τροχιάς του κοπτικού, θέτοντας όριο στην απόσταση του από το κέντρο της γεωμετρίας.
- **Minimum Stepover:** διευκρινίζει το ελάχιστο οριζόντιο βήμα.
- **Direction:** η επιλογή επιτρέπει να οριστεί η φορά που θα πραγματοποιήσει την κοπή το κοπτικό εργαλείο σύμφωνα με την φορά περιστροφής του. Με την μέθοδο Climb το εργαλείο αφαιρεί υλικό με φορά που μοιάζει με κύλιση πάνω στο υλικό, ενώ με την συμβατική μέθοδο (Conventional) το εργαλείο κινείται αντίθετα. Η πρώτη μέθοδος τείνει να αφήνει καλύτερες επιφάνειες, να έχει λιγότερες ταλαντώσεις κατά την κατεργασία, αλλά και λιγότερη φθορά στο εργαλείο. Ωστόσο, επιλέγοντας το εργαλείο να κινηθεί και με τις δύο φορές (Both Ways) μειώνεται σημαντικά ο χρόνος κατεργασίας. Εδώ επιλέχθηκε η μέθοδος **Both Ways**.
- **Up/Down Milling:** χρησιμοποιείται για την τμηματοποίηση των περασμάτων, έτσι ώστε κάθε κομμάτι να δέχεται επεξεργασία από το κοπτικό μόνο προς τα πάνω ή μόνο προς τα κάτω. Στην συγκεκριμένη περίπτωση επιλέχθηκε το Both διότι δεν



Εικόνα 5.4.67 Καρτέλα Passes εντολής Radial.

χρειάζεται κάποια ιδιαίτερη επεξεργασία στο συγκεκριμένο κομμάτι ούτε κάποιο κοπτικό που να περιορίζεται η κινησιολογία του μόνο προς μια κατεύθυνση.

- **Multiple Depths:** ενεργοποίηση της λειτουργίας αφαίρεσης υλικού με πολλαπλά βάθη. Στο συγκεκριμένο παράδειγμα θα παραμείνει ανενεργή η επιλογή, διότι δεν χρειάζεται. Το ακατέργαστο θα κατεργαστεί σύμφωνα με την γεωμετρία της επιφάνειας, και δεν χρειάζονται πολλαπλά βάθη.
- **Number of Stepdowns:** διευκρινίζει τον αριθμό των βημάτων.
- **Maximum Stepdown:** καθορίζει το βήμα μεταξύ των πολλαπλών βαθών, ενώ το τελικό βήμα θα είναι ό, τι απέμεινε από το ακατέργαστο.
- **Order by Depth:** όταν είναι ενεργοποιημένο διατάσσει τα πολλαπλά περάσματα κατά άξονα Z.
- **Stock to Leave:** επιτρέπει την παράκαμψη των υψών για την επεξεργασία ενός ποσού ακατέργαστου, είτε έχοντας θετικό πρόσημο και συμβάλλει στην διατήρηση της ποιότητας και την περαιτέρω επεξεργασία του αντικείμενου είτε με αρνητικό πρόσημο θέτοντας σε επεξεργασία το αντικείμενο πέρα απ' το προβλεπόμενο. Στο συγκεκριμένο παράδειγμα θα παραμείνει ανενεργή η επιλογή. Ως προέκταση της εντολής, η παράμετρος **Axial Stock to Leave** ελέγχει την ποσότητα αυτή κατά τη διάρκεια των αξονικών κατεργασιών, ενώ η παράμετρος **Radial Stock to Leave** ελέγχει την ποσότητα αυτή κατά τη διάρκεια των ακτινικών κατεργασιών.
- **Fillets:** ενεργοποίηση για στρογγυλοποίηση των γωνιών.
  - **Fillet Radius:** η ακτίνα της καμπύλης που θα αντικαταστήσει τη γωνία.
- **Smoothing:** εξομαλύνει τη διαδρομή του εργαλείου αντικαθιστώντας τα πολύ μικρά τμήματα της διαδρομής, με μεγαλύτερα τόξα. Η ακρίβεια θα παραμείνει η ίδια, ενώ ο κώδικας θα μειωθεί κατά πολύ. Η εντολή δεν θα επιλεγθεί διότι είναι καθαρά υποκειμενική η χρήση του και δεν χρειάζεται για την συγκεκριμένη περίπτωση παραδείγματος.
- **Feed Optimization:** ελέγχει την τροφοδοσία στις γωνίες μειώνοντας τον ρυθμό αφαίρεσης υλικού με σκοπό την προστασία του εργαλείου. Η εντολή στο παραπάνω παράδειγμα δεν επιλέχθηκε καθώς το εργαλείο δεν έχει περίπλοκη τροχιά. Οι παρακάτω επιλογές ανήκουν στο πλαίσιο αυτής της εντολής:
  - **Maximum Directional Change:** καθορίζει τη μέγιστη γωνιακή αλλαγή προτού μειωθεί η τροφοδοσία.
  - **Reduced Feed Radius:** καθορίζει την ελάχιστη επιτρεπτή ακτίνα προτού μειωθεί η τροφοδοσία.
  - **Reduced Feed Distance:** καθορίζει την απόσταση προτού μειωθεί η τροφοδοσία κοντά σε μία γωνία.
  - **Reduced Feedrate:** καθορίζει την μειωμένη ταχύτητα πρόωσης που θα χρησιμοποιείται στις γωνίες.
  - **Only Inner Corners:** ενεργοποιείται ώστε να μειώνεται η τροφοδοσία μόνο στις εσωτερικές γωνίες.

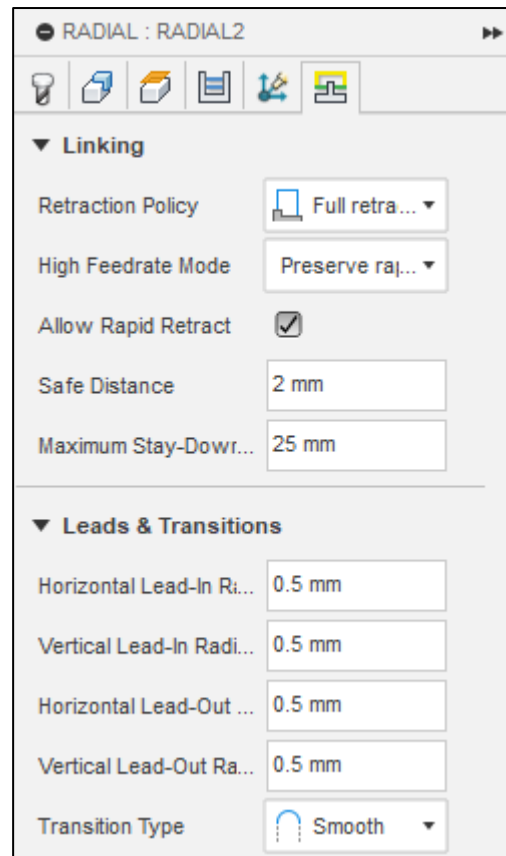
**Καρτέλα Linking:** Οι τιμές και οι επιλογές των εντολών που χρησιμοποιήθηκαν για το παράδειγμα φαίνονται στην Εικόνα 5.3.68 Οι επιλογές της καρτέλας είναι οι εξής:

- **Retraction Policy:** καθορίζει την στρατηγική που θα ακολουθηθεί στην κοπή κατά την ανάσχυση του κοπτικού εργαλείου.
- **High Feedrate Mode:** καθορίζει το πότε το κοπτικό εργαλείο θα κινείται με την μέγιστη ταχύτητα πρόωσης της εργαλειομηχανής (G0) και πότε με ταχύτητα ορισμένης πρόωσης (G1). Η εντολή αυτή συμβάλλει στον περαιτέρω έλεγχο των γρήγορων κινήσεων G0 παραμετροποιώντας τις σε G1 για την αποφυγή συγκρούσεων. Περιλαμβάνονται έξι επιλογές:
  - **Preserve rapid movement:** διατηρεί όλες τις γρήγορες κινήσεις ως G0.

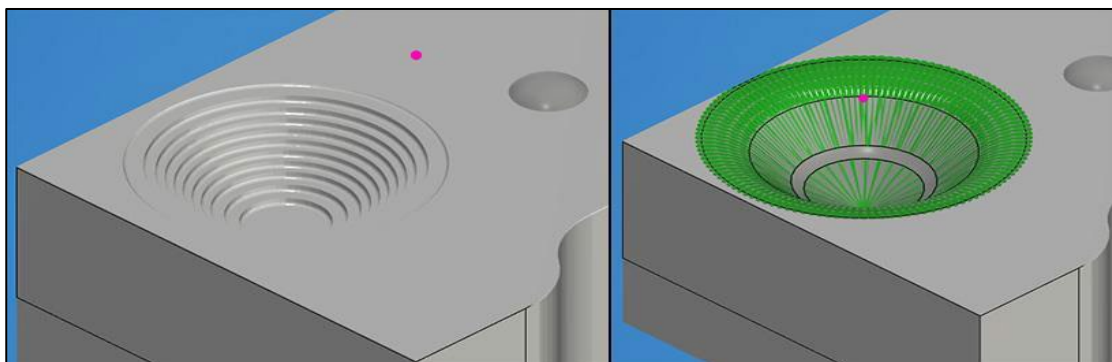
- **Preserve axial and radial rapid movement:** Οι γρήγορες κινήσεις που εκτελούνται αξονικά ή ακτινικά, διατηρούν G0.
- **Preserve axial rapid movement:** Οι γρήγορες κινήσεις που εκτελούνται αξονικά, διατηρούν G0.
- **Preserve radial rapid movement:** Οι γρήγορες κινήσεις που εκτελούνται ακτινικά, διατηρούν G0.
- **Preserve single axis rapid movement:** Οι γρήγορες κινήσεις που εκτελούνται σε έναν άξονα (X, Y ή Z), διατηρούν G0.
- **Always use high feed:** όλες οι γρήγορες κινήσεις αποκτούν ταχύτητα ορισμένης πρόωσης G01.

Στο παράδειγμα έχει επιλεγθεί η επιλογή **Preserve rapid movement** καθώς δεν χρειάζεται περαιτέρω προσοχή για την συγκεκριμένη κατεργασία.

- **Allow Rapid Retract:** επιτρέπει την γρήγορη ανάσυρση του εργαλείου με ταχύτητα G0.
- **Safe Distance:** ελάχιστη απόσταση μεταξύ του εργαλείου και των επιφανειών του πρὸς κατεργασία εξαρτήματος κατά την ανάσυρση.
- **Maximum Stay-Down Distance:** καθορίζει την μέγιστη απόσταση ανάκλισης.
- **Vertical Lead-In Radius:** κάθετη ακτίνα εισαγωγής του κοπτικού.
- **Horizontal Lead-In Radius:** οριζόντια ακτίνα εισόδου του κοπτικού.
- **Horizontal Lead-Out Radius:** οριζόντια ακτίνα εξόδου του κοπτικού.
- **Vertical Lead-Out Radius:** κάθετη ακτίνα εξόδου του κοπτικού.
- **Transition Type:** διευκρινίζει την ενδιάμεση κίνηση του κοπτικού μεταξύ το περασμάτων.



Εικόνα 5.4.68 Καρτέλα Linking εντολής Radial.



Εικόνα 5.4.69 Αριστερά φαίνεται το αντικείμενο πριν την κατεργασία, ενώ δεξιά μετά την κατεργασία.

**Ανάλυση κατεργασίας:** Παρατηρούμε στην εικόνα 5.4.69 ότι στην προσομοίωση της κατεργασίας η διαφορά στην επιφάνεια είναι πολύ μικρή διότι η εντολή χρησιμοποιήθηκε για φινιρίσμα. Η τροχιά του κοπτικού επιλέχθηκε να μην εμφανιστεί, με σκοπό την

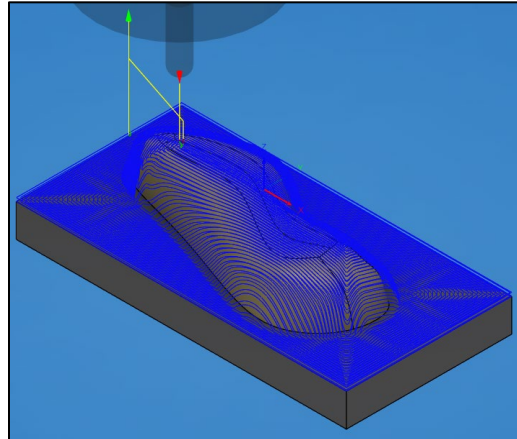
παρατήρηση της διαφοράς της επιφάνειας στις δυο περιπτώσεις. Επίσης παρατηρείται η επιφάνεια του αντικειμένου μετά την κατεργασία, η οποία έχει αποκτήσει μια ανάγλυφη υφή λόγω των περασμάτων.

## Morphed Spiral



**Morphed Spiral:** Milling>3D>Morphed Spiral

**Περιγραφή Κατεργασίας:** Η λειτουργία της συγκεκριμένης κατεργασίας είναι παρόμοια με της **Spiral**. Η εντολή δημιουργεί την σπείρα από επιλεγμένο όριο, σε αντίθεση με την **Spiral** που ξεκινάει τα περάσματα από το όριο της μηχανικής κατεργασίας. Ιδιαίτερα χρήσιμη κατεργασία σε ελεύθερες επιφάνειες, παρόλο που η εντολή **Scallop** είναι επίσης αποτελεσματική, η **Morphed Spiral** παρέχει μια πολύ πιο ομαλή διαδρομή στο εργαλείο.



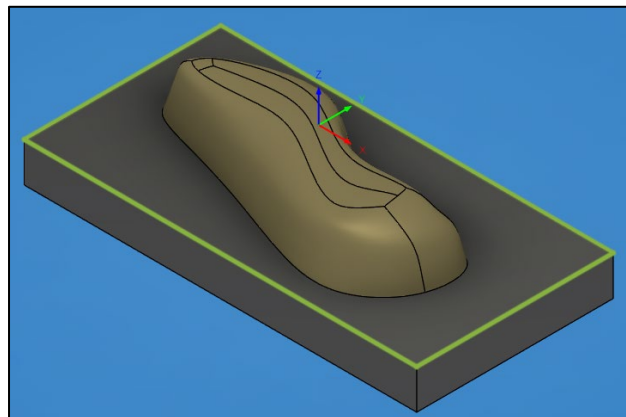
Εικόνα 5.4.70 Παράδειγμα προσομοίωσης κατεργασίας Morphed Spiral.

**Καρτέλα Tool:** Για το παράδειγμα το εργαλείο που επιλέχθηκε είναι ένα Ball end mill κονδύλι διαμέτρου 6mm.

Για το παράδειγμα επιλέχθηκε η μέθοδος **Flood**.

**Καρτέλα Geometry:** Οι επιλογές για την οριοθέτηση της κατεργασίας είναι οι παρακάτω:

- **Machining Boundary:** Ορίζει το όριο της διαδρομής του εργαλείου. Αν επιλεγθεί κάποια επιλογή εκτός της **None**, προστίθενται οι έξτρα επιλογές:
  - **Tool Containment:** επιλογή του περιορισμού του εργαλείου σε σχέση με το επιλεγμένο όριο.
  - **Additional Offset:** μεγέθυνση ή σμίκρυνση του ορίου κατεργασίας.
  - **Contact Point Boundary:** όταν η εντολή είναι ενεργοποιημένη επεκτείνει τα όρια κατεργασίας μέχρι το κοπτικό να σταματήσει να έχει επαφή με το αντικείμενο αντί απλά το κέντρο του αντικείμενου να φτάνει στο όριο κατεργασίας και να σταματάει εκεί η διαδρομή.
  - **Contact Only:** Ελέγχει εάν δημιουργούνται ή όχι διαδρομές εργαλείου όταν το εργαλείο χάνει την επαφή με την επιφάνεια κατεργασίας. Όταν είναι απενεργοποιημένη η διαδρομή του εργαλείου παρατείνεται μέχρι τα όρια των περιορισμών διασχίζοντας έτσι ακόμα και περιοχές χωρίς υλικό.
- **Slope:** αυτή η επιλογή περιορίζει το εύρος της γωνίας που μπορεί



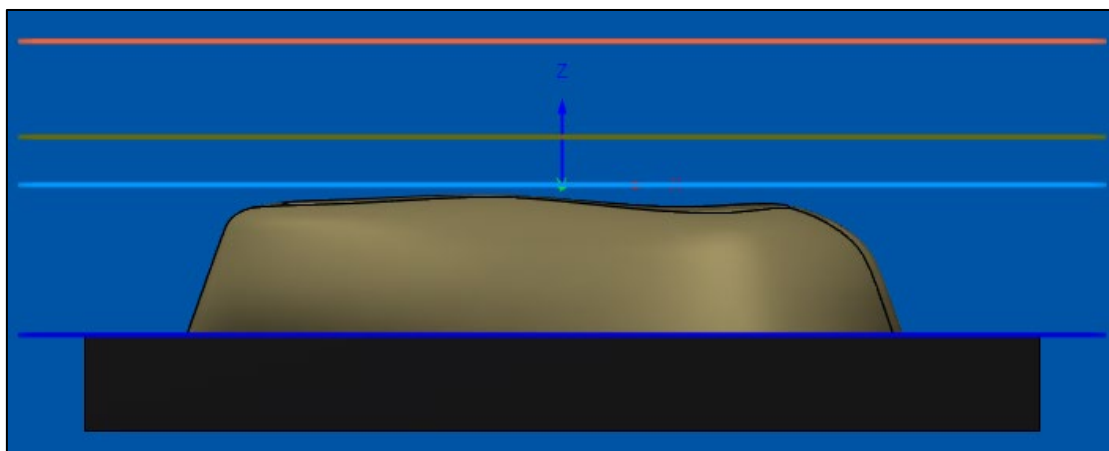
Εικόνα 5.4.71 Παράδειγμα ορίου κατεργασίας με την βοήθεια της επιλογής Machining Boundary



να πάρει η τροχιά του κοπτικού εργαλείου. Ο περιορισμός της γωνιακής θέσης καθορίζεται από τις παρακάτω παραμέτρους:

- **From Slop Angle:** η παράμετρος αυτή ορίζεται από το οριζόντιο επίπεδο και παίρνει τιμές από 0 μέχρι 90 μοίρες.
- **To Slope Angle:** η παράμετρος αυτή ορίζεται από το κάθετο επίπεδο και παίρνει τιμές από 90 έως και 0 μοίρες.
- **Rest Machining:** περιορίζει την λειτουργία σε αφαίρεση μόνο υλικού που δεν μπόρεσαν προηγούμενα εργαλεία ή κατεργασίες, να αφαιρέσουν. Για αυτό και οι πρόσθετες πληροφορίες που απαιτεί είναι σχετικές με το εργαλείο που χρησιμοποιήθηκε προηγουμένως.
- **Tool Orientation:** υπάρχει η δυνατότητα επιλογής συστήματος συντεταγμένων, διαφορετικό απ' αυτό που επιλέχθηκε στο **Setup**.
- **Model:** επιλογή για να συμπεριληφθούν στον υπολογισμό της διαδρομής άλλα σώματα, πρόσωπα ή επιφάνειες εκτός της γεωμετρίας που ήδη έχει επιλεγεί. Ένα παράδειγμα για την λειτουργία αυτής της εντολής είναι να συμπεριληφθούν επιφάνειες που καλύπτουν εσοχές και σταματούν το κοπτικό εργαλείο να κατεργαστεί το εσωτερικό των εσοχών που θα κατεργαστούν αργότερα από κάποιο διατρητικό εργαλείο στο **Setup**.
- **Avoid/Touch Surfaces:** Διευκρινίζει ποιες επιφάνειες επιθυμούμε να αποφύγουμε ή να χειριστούμε. Όταν είναι ενεργοποιημένη η επιλογή, η διαδρομή του κοπτικού υπολογίζεται έτσι, ώστε να αποφύγει ή να εμπεριέχει τις συγκεκριμένες επιφάνειες. Επίσης με την ενεργοποίηση της επιλογής η καρτέλα επεκτείνεται με τις παρακάτω εντολές:
  - **Mode:** επιλογή αν επιθυμούμε να αποφευχθούν ή να εμπεριέχονται οι επιφάνειες στην διαδρομή του κοπτικού.
  - **Surfaces:** επιλογή των επιφανειών.
  - **Surface Clearance:** επιλογή της απόστασης από τις επιλεγμένες επιφάνειες.

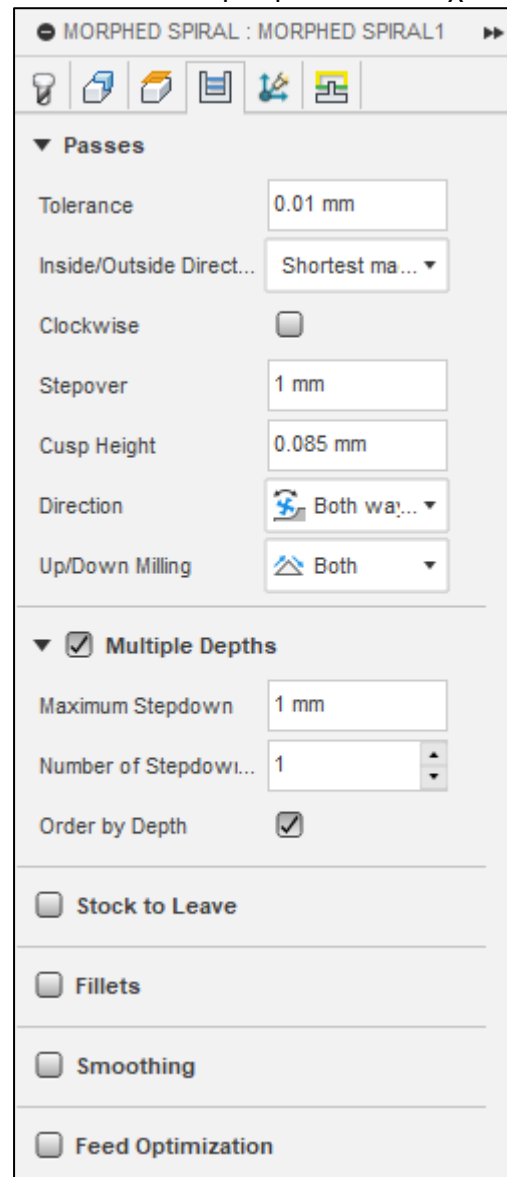
**Καρτέλα Heights:** Στο συγκεκριμένο παράδειγμα για το ύψος Clearance Height έχει επιλεγεί ως σημείο αναφοράς το ύψος του Retract Height, και Offset=10mm. Για το ύψος Retract Height έχει οριστεί ως σημείο αναφοράς το Stock Top με Offset=5mm. Τέλος το άνω ύψος (Top) επιλέχθηκε με το Stock top με Offset=0 και το Bottom Height οριοθετήθηκε με την επιλογή Selection με Offset=0 και ως σημείο αναφοράς τέθηκε η επιλογή της επιφάνειας που φαίνεται στην εικόνα 5.4.72.



Εικόνα 5.4.72 Παράδειγμα υψών κατεργασίας Morphed Spiral.

**Καρτέλα Passes:** οι επιλογές είναι οι εξής:

- **Tolerance:** επιλογή της διαστασιακής ακρίβειας. Στο συγκεκριμένο παράδειγμα η ακρίβεια έχει οριστεί στα 0.01mm.
- **Inside/Outside Direction:** καθορίζει αν η σειρά των περασμάτων θα πραγματοποιηθεί από το εσωτερικό προς το εξωτερικό ή αντίστροφα. Η επιλογή **Shortest Machining Distance** χρησιμοποιεί μια πιο σύντομη στρατηγική. Αυτό επιλέχθηκε στο συγκεκριμένο παράδειγμα.
- **Clockwise:** καθορίζει ότι η σπειροειδής διαδρομή θα είναι δεξιόστροφη.
- **Stepover:** επιλογή της απόστασης μεταξύ των περασμάτων που θα κάνει το κοπτικό εργαλείο. Ουσιαστικά ορίζει την πυκνότητα των περασμάτων πάνω από το ακατέργαστο. Στο παράδειγμα έχει οριστεί ώστε τα περάσματα να απέχουν μεταξύ τους 1mm.
- **Cusp Height:** ορίζει το επιθυμητό ύψος του προεξέχοντος ακατέργαστου που απομένει μεταξύ των περασμάτων για τον υπολογισμό του μήκους και του βάθους των περασμάτων.
- **Direction:** η επιλογή επιτρέπει να οριστεί η φορά που θα πραγματοποιήσει την κοπή το κοπτικό εργαλείο σύμφωνα με την φορά περιστροφής του. Με την μέθοδο Climb το εργαλείο αφαιρεί υλικό με φορά που μοιάζει με κύλιση πάνω στο υλικό, ενώ με την συμβατική μέθοδο (Conventional) το εργαλείο κινείται αντίθετα. Η πρώτη μέθοδος τείνει να αφήνει καλύτερες επιφάνειες, να έχει λιγότερες ταλαντώσεις κατά την κατεργασία, αλλά και λιγότερη φθορά στο εργαλείο. Ωστόσο, επιλέγοντας το εργαλείο να κινηθεί και με τις δύο φορές (Both Ways) μειώνεται σημαντικά ο χρόνος κατεργασίας. Εδώ επιλέχθηκε η μέθοδος **Both Ways**.
- **Up/Down Milling:** χρησιμοποιείται για την τμηματοποίηση των περασμάτων, έτσι ώστε κάθε κομμάτι να δέχεται επεξεργασία από το κοπτικό μόνο προς τα πάνω ή μόνο προς τα κάτω. Στην συγκεκριμένη περίπτωση επιλέχθηκε το Both διότι δεν χρειάζεται κάποια ιδιαίτερη επεξεργασία στο συγκεκριμένο κομμάτι ούτε κάποιο κοπτικό που να περιορίζεται η κινησιολογία του μόνο προς μια κατεύθυνση.
- **Multiple Depths:** ενεργοποιεί τη λειτουργία αφαίρεσης υλικού με πολλαπλά βάθη. Στο συγκεκριμένο παράδειγμα θα παραμείνει ανενεργή η επιλογή, διότι δεν χρειάζεται. Το ακατέργαστο θα κατεργαστεί σύμφωνα με την γεωμετρία της επιφάνειας, και δεν χρειάζονται πολλαπλά βάθη.
- **Number of Stepdowns:** διευκρινίζει τον αριθμό των βημάτων.

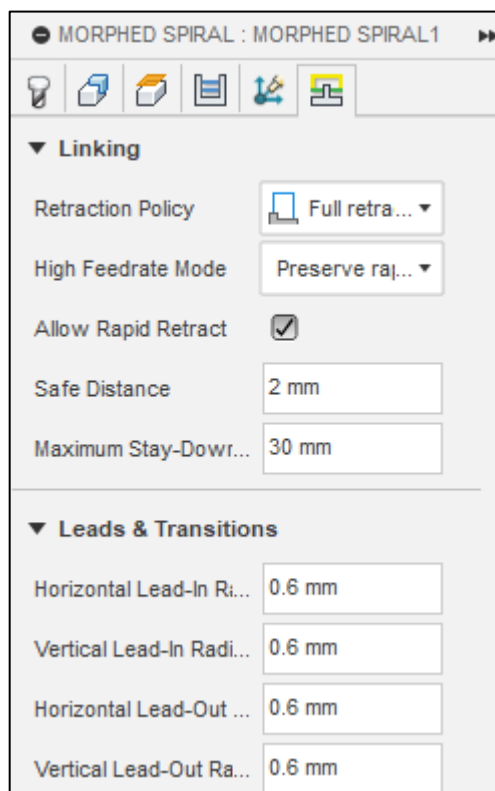


Εικόνα 5.4.73 Καρτέλα Passes εντολής Morphed Spiral.

- **Maximum Stepdown:** καθορίζει το βήμα μεταξύ των πολλαπλών βαθών, ενώ το τελικό βήμα θα είναι ότι απέμεινε από το ακατέργαστο.
- **Order by Depth:** όταν είναι ενεργοποιημένο διατάσσει τα πολλαπλά περάσματα κατά άξονα Z.
- **Stock to Leave:** επιτρέπει την παράκαμψη των υψών για την επεξεργασία ενός ποσού ακατέργαστου, είτε έχοντας θετικό πρόσημο και συμβάλλει στην διατήρηση της ποιότητας και την περαιτέρω επεξεργασία του αντικείμενου είτε με αρνητικό πρόσημο θέτοντας σε επεξεργασία το αντικείμενο πέρα απ' το προβλεπόμενο. Στο συγκεκριμένο παράδειγμα θα παραμείνει ανενεργή η επιλογή. Ως προέκταση της εντολής, η παράμετρος **Axial Stock to Leave** ελέγχει την ποσότητα αυτή κατά τη διάρκεια των αξονικών κατεργασιών, ενώ η παράμετρος **Radial Stock to Leave** ελέγχει την ποσότητα αυτή κατά τη διάρκεια των ακτινικών κατεργασιών.
- **Fillets:** ενεργοποιείται για τη στρογγυλοποίηση των γωνιών.
  - **Fillet Radius:** η ακτίνα της καμπύλης που θα αντικαταστήσει την γωνία.
- **Smoothing:** εξομαλύνει τη διαδρομή του εργαλείου αντικαθιστώντας τα πολύ μικρά τμήματα της διαδρομής, με μεγαλύτερα τόξα. Η ακρίβεια θα παραμείνει η ίδια, ενώ ο κώδικας θα μειωθεί κατά πολύ. Η εντολή δεν θα επιλεγθεί διότι είναι καθαρά υποκειμενική η χρήση της και δεν χρειάζεται για την συγκεκριμένη περίπτωση παραδείγματος.
- **Feed Optimization:** ελέγχει την τροφοδοσία στις γωνίες μειώνοντας τον ρυθμό αφαίρεσης υλικού με σκοπό την προστασία του εργαλείου. Η εντολή στο παραπάνω παράδειγμα δεν επιλέχθηκε καθώς το εργαλείο δεν έχει περίπλοκη τροχιά. Οι παρακάτω επιλογές ανήκουν στο πλαίσιο αυτής της εντολής:
  - **Maximum Directional Change:** καθορίζει τη μέγιστη γωνιακή αλλαγή προτού μειωθεί η τροφοδοσία.
  - **Reduced Feed Radius:** καθορίζει την ελάχιστη επιτρεπτή ακτίνα προτού μειωθεί η τροφοδοσία.
  - **Reduced Feed Distance:** καθορίζει την απόσταση προτού μειωθεί η τροφοδοσία κοντά σε μία γωνία.
  - **Reduced Feedrate:** καθορίζει την μειωμένη ταχύτητα πρόωσης που θα χρησιμοποιείται στις γωνίες.
  - **Only Inner Corners:** ενεργοποιείται ώστε να μειώνεται η τροφοδοσία μόνο στις εσωτερικές γωνίες.

**Καρτέλα Linking:** Οι τιμές και οι επιλογές των εντολών που χρησιμοποιήθηκαν για το παράδειγμα, φαίνονται στην Εικόνα 5.4.74. Οι επιλογές της καρτέλας είναι οι εξής:

- **Retraction Policy:** καθορίζει την στρατηγική που θα ακολουθηθεί στην κοπή κατά την ανάσυρση του κοπτικού εργαλείου.
- **High Feedrate Mode:** καθορίζει το πότε το κοπτικό εργαλείο θα κινείται με την μέγιστη ταχύτητα πρόωσης της εργαλειομηχανής (G0) και πότε με ταχύτητα ορισμένης πρόωσης (G1). Η εντολή



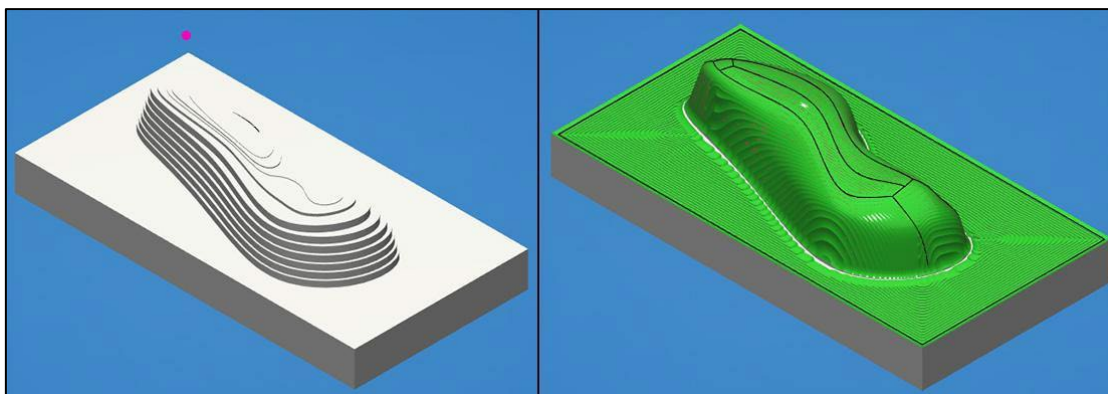
Εικόνα 5.4.74 Καρτέλα Linking εντολής Morphed Spiral.

αυτή συμβάλλει στον περαιτέρω έλεγχο των γρήγορων κινήσεων G0 παραμετροποιώντας τις σε G1 για την αποφυγή συγκρούσεων. Περιλαμβάνονται έξι επιλογές:

- **Preserve rapid movement:** διατηρεί όλες τις γρήγορες κινήσεις ως G0.
- **Preserve axial and radial rapid movement:** Οι γρήγορες κινήσεις που εκτελούνται αξονικά ή ακτινικά, διατηρούν G0.
- **Preserve axial rapid movement:** Οι γρήγορες κινήσεις που εκτελούνται αξονικά, διατηρούν G0.
- **Preserve radial rapid movement:** Οι γρήγορες κινήσεις που εκτελούνται ακτινικά, διατηρούν G0.
- **Preserve single axis rapid movement:** Οι γρήγορες κινήσεις που εκτελούνται σε έναν άξονα (X, Y ή Z), διατηρούν G0.
- **Always use high feed:** όλες οι γρήγορες κινήσεις αποκτούν ταχύτητα ορισμένης πρόωσης G01.

Στο παράδειγμα έχει επιλεγθεί η επιλογή **Preserve rapid movement** καθώς δεν χρειάζεται περαιτέρω προσοχή για την συγκεκριμένη κατεργασία.

- **Allow Rapid Retract:** επιτρέπει την γρήγορη ανάσυρση του εργαλείου με ταχύτητα G0.
- **Safe Distance:** ελάχιστη απόσταση μεταξύ του εργαλείου και των επιφανειών του προς κατεργασία εξαρτήματος κατά την ανάσυρση.
- **Maximum Stay-Down Distance:** καθορίζει την μέγιστη απόσταση ανάκλισης.
- **Vertical Lead-In Radius:** κάθετη ακτίνα εισαγωγής του κοπτικού.
- **Horizontal Lead-In Radius:** οριζόντια ακτίνα εισόδου του κοπτικού.
- **Horizontal Lead-Out Radius:** οριζόντια ακτίνα εξόδου του κοπτικού.
- **Vertical Lead-Out Radius:** κάθετη ακτίνα εξόδου του κοπτικού.



Εικόνα 5.4.75 Αριστερά φαίνεται το αντικείμενο πριν την κατεργασία, ενώ δεξιά μετά την κατεργασία.

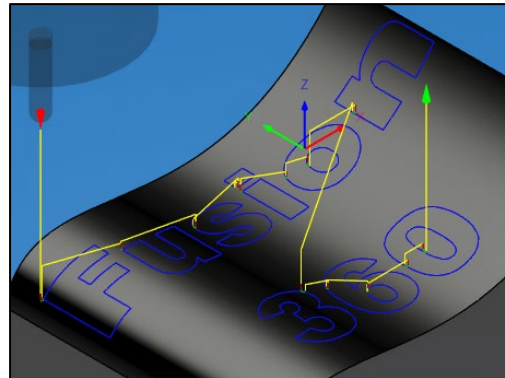
**Ανάλυση κατεργασίας:** Παρατηρούμε από την εικόνα 5.4.75 ότι στην προσομοίωση της κατεργασίας η διαφορά στην επιφάνεια είναι πολύ μικρή, διότι εντολή χρησιμοποιήθηκε για φινίρισμα. Η τροχιά του κοπτικού επιλέχθηκε να μην εμφανιστεί, αφού τα περάσματα είναι πολλά και δεν μπορεί να παρατηρηθεί η ποιότητα της επιφάνειας καθώς και η διαφορά πριν και μετά την κατεργασία. Πρέπει να αναφερθεί ότι η κατεργασία δημιουργεί μια πολύ ποιοτική επιφάνεια, αλλά είναι πολύ χρονοβόρα.



**Project:** Milling>3D>Project

**Περιγραφή Κατεργασίας:** Κατεργασία φινιρίσματος που επιτρέπει την επεξεργασία επιφανειών με το κέντρο του εργαλείου, με σκοπό την χάραξη κειμένων ή συμβόλων σε αυτές.

**Καρτέλα Tool:** για το παράδειγμα το εργαλείο που επιλέχθηκε είναι ένα Ball end mill κονδύλι διαμέτρου 4mm.

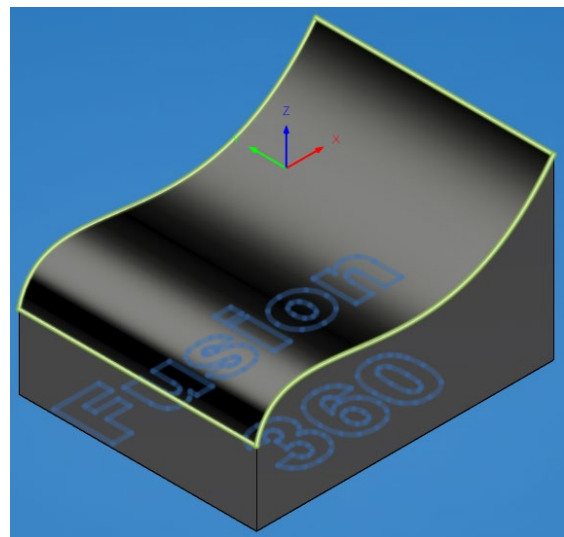


Εικόνα 5.4.76 Παράδειγμα προσομοίωσης κατεργασίας Project

Για το παράδειγμα επιλέχθηκε η μέθοδος **Flood**.

**Καρτέλα Geometry:** Οι επιλογές για την οριοθέτηση της κατεργασίας είναι οι παρακάτω:

- **Machining Boundary:** Ορίζει το όριο της διαδρομής του εργαλείου. Αν επιλεγθεί κάποια επιλογή εκτός της **None**, προστίθενται οι έξτρα επιλογές:
  - **Tool Containment:** επιλογή του περιορισμού του εργαλείου σε σχέση με το επιλεγμένο όριο.
  - **Additional Offset:** μεγέθυνση ή σμίκρυνση του ορίου κατεργασίας.
  - **Contact Point Boundary:** όταν η εντολή είναι ενεργοποιημένη επεκτείνει τα όρια κατεργασίας μέχρι το κοπτικό να σταματήσει να έχει επαφή με το αντικείμενο αντί απλά το κέντρο του αντικειμένου να φτάνει στο όριο κατεργασίας και να σταματάει εκεί η διαδρομή.
  - **Contact Only:** Ελέγχει εάν δημιουργούνται ή όχι διαδρομές εργαλείου όταν το εργαλείο χάνει την επαφή με την επιφάνεια κατεργασίας. Όταν είναι απενεργοποιημένη η διαδρομή του εργαλείου παρατείνεται μέχρι τα όρια των περιορισμών διασχίζοντας έτσι ακόμα και περιοχές χωρίς υλικό.
  - **Curve Selections:** επιλογή οποιουδήποτε 3D Sketch ή καμπύλης για να οριστεί η διαδρομή της κατεργασίας. Η εντολή μπορεί να χρησιμοποιηθεί για την κοπή οδοντώσεων, χάραξη κειμένου ή κατεργασία άκρων (Chamfer). Στο παράδειγμα της εικόνας 5.4.77 διακρίνεται την επιλογή του περιγράμματος του κειμένου που έγινε χάραξη.
- **Slope:** αυτή η επιλογή περιορίζει το εύρος της γωνίας που μπορεί να πάρει η τροχιά του κοπτικού εργαλείου. Ο περιορισμός της γωνιακής θέσης καθορίζεται από τις παρακάτω παραμέτρους:

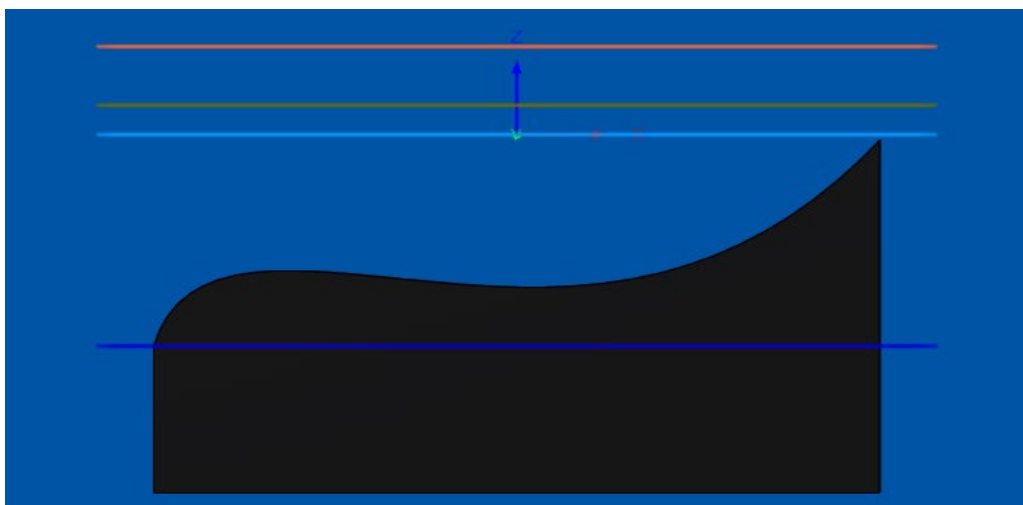


Εικόνα 5.4.77 Παράδειγμα ορίου κατεργασίας με την βοήθεια της επιλογής Curve Selections.



- **From Slop Angle:** η παράμετρος αυτή ορίζεται από το οριζόντιο επίπεδο και παίρνει τιμές από 0 μέχρι 90 μοίρες.
- **To Slope Angle:** η παράμετρος αυτή ορίζεται από το κάθετο επίπεδο και παίρνει τιμές από 90 έως και 0 μοίρες.
- **Rest Machining:** περιορίζει την λειτουργία σε αφαίρεση μόνο υλικού που δεν μπόρεσαν προηγούμενα εργαλεία ή κατεργασίες, να αφαιρέσουν. Για αυτό και οι πρόσθετες πληροφορίες που απαιτεί είναι σχετικές με το εργαλείο που χρησιμοποιήθηκε προηγουμένως.
- **Tool Orientation:** υπάρχει η δυνατότητα επιλογής συστήματος συντεταγμένων, διαφορετικό απ' αυτό που επιλέχθηκε στο **Setup**.
- **Model:** επιλογή για να συμπεριληφθούν στον υπολογισμό της διαδρομής άλλα σώματα, πρόσωπα ή επιφάνειες εκτός της γεωμετρίας που ήδη έχει επιλεχθεί. Ένα παράδειγμα για την λειτουργία αυτής της εντολής είναι να συμπεριληφθούν επιφάνειες που καλύπτουν εσοχές και σταματούν το κοπτικό εργαλείο να κατεργαστεί το εσωτερικό των εσοχών που θα κατεργαστούν αργότερα από κάποιο διατρητικό εργαλείο στο **Setup**.
- **Avoid/Touch Surfaces:** Διευκρινίζει τις επιφάνειες που επιθυμούμε να αποφύγουμε ή να χειριστούμε. Όταν είναι ενεργοποιημένη η επιλογή, η διαδρομή του κοπτικού υπολογίζεται έτσι ώστε να αποφύγει ή να εμπεριέχει τις συγκεκριμένες επιφάνειες. Επίσης με την ενεργοποίηση της επιλογής η καρτέλα επεκτείνεται με τις παρακάτω εντολές:
  - **Mode:** επιλογή αν επιθυμούμε να αποφευχθούν ή να εμπεριέχονται οι επιφάνειες στην διαδρομή του κοπτικού.
  - **Surfaces:** επιλογή των επιφανειών.
  - **Surface Clearance:** επιλογή της απόστασης από τις επιλεγμένες επιφάνειες.

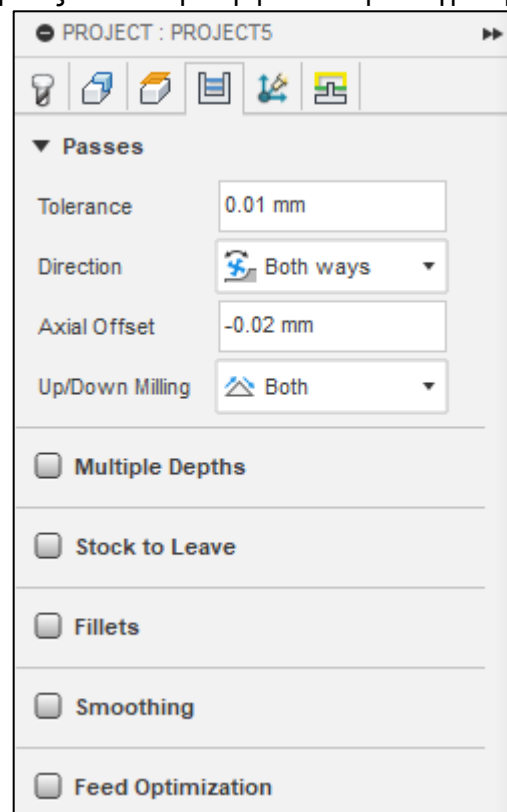
**Καρτέλα Heights:** Στο συγκεκριμένο παράδειγμα για το ύψος Clearance Height έχει επιλεχθεί ως σημείο αναφοράς το ύψος του Retract Height, και Offset=10mm. Για το ύψος Retract Height έχει οριστεί ως σημείο αναφοράς το Stock Top με Offset=5mm. Τέλος το άνω ύψος (Top) επιλέχθηκε με το Stock top με Offset=0 και το Bottom Height οριοθετήθηκε με την επιλογή Selection με Offset=0 και ως σημείο αναφοράς τέθηκε η επιλογή της επιφάνειας που φαίνεται στην εικόνα 5.4.78.



Εικόνα 5.4.78 Παράδειγμα υψών κατεργασίας Project.

**Καρτέλα Passes:** οι επιλογές είναι οι εξής:

- **Tolerance:** επιλογή της διαστασιακής ακρίβειας. Στο συγκεκριμένο παράδειγμα η ακρίβεια έχει οριστεί στα 0.01mm.
- **Direction:** η επιλογή επιτρέπει να οριστεί η φορά που θα πραγματοποιήσει την κοπή το κοπτικό εργαλείο σύμφωνα με την φορά περιστροφής του. Με την μέθοδο Climb το εργαλείο αφαιρεί υλικό με φορά που μοιάζει με κύλιση πάνω στο υλικό, ενώ με την συμβατική μέθοδο (Conventional) το εργαλείο κινείται αντίθετα. Η πρώτη μέθοδος τείνει να αφήνει καλύτερες επιφάνειες, να έχει λιγότερες ταλαντώσεις κατά την κατεργασία, αλλά και λιγότερη φθορά στο εργαλείο. Ωστόσο, επιλέγοντας το εργαλείο να κινηθεί και με τις δύο φορές (Both Ways) μειώνεται σημαντικά ο χρόνος κατεργασίας. Εδώ επιλέχθηκε η μέθοδος **Both Ways**.
- **Axial Offset:** χρησιμοποιείται για την μετακίνηση της καμπύλης προς τα πάνω ή προς τα κάτω κατά άξονα. Στο συγκεκριμένο παράδειγμα επιλέχθηκε τιμή στην μετακίνηση της καμπύλης ίση με -0.02mm.
- **Up/Down Milling:** χρησιμοποιείται για την τμηματοποίηση των περασμάτων, έτσι ώστε κάθε κομμάτι να δέχεται επεξεργασία από το κοπτικό μόνο προς τα πάνω ή μόνο προς τα κάτω. Στην συγκεκριμένη περίπτωση επιλέχθηκε το Both διότι δεν χρειάζεται κάποια ιδιαίτερη επεξεργασία στο συγκεκριμένο κομμάτι ούτε κάποιο κοπτικό που να περιορίζεται η κινησιολογία του μόνο προς μια κατεύθυνση.
- **Multiple Depths:** ενεργοποιεί τη λειτουργία αφαίρεσης υλικού με πολλαπλά βάθη. Στο συγκεκριμένο παράδειγμα θα παραμείνει ανενεργή η επιλογή, διότι δεν χρειάζεται. Το ακατέργαστο θα κατεργαστεί σύμφωνα με την γεωμετρία της επιφάνειας, και δεν χρειάζονται πολλαπλά βάθη.
- **Number of Stepdowns:** διευκρινίζει τον αριθμό των βημάτων.
- **Maximum Stepdown:** καθορίζει το βήμα μεταξύ των πολλαπλών βαθών, ενώ το τελικό βήμα θα είναι ότι απέμεινε από το ακατέργαστο.
- **Order by Depth:** όταν είναι ενεργοποιημένο διατάσσει τα πολλαπλά περάσματα κατά άξονα Z.
- **Stock to Leave:** επιτρέπει την παράκαμψη των υψών για την επεξεργασία ενός ποσού ακατέργαστου, είτε έχοντας θετικό πρόσημο και συμβάλλει στην διατήρηση της ποιότητας και την περαιτέρω επεξεργασία του αντικείμενου είτε με αρνητικό πρόσημο θέτοντας σε επεξεργασία το αντικείμενο πέρα απ' το προβλεπόμενο. Στο συγκεκριμένο παράδειγμα θα παραμείνει ανενεργή η επιλογή. Ως προέκταση της εντολής, η παράμετρος **Axial Stock to Leave** ελέγχει την ποσότητα αυτή κατά τη διάρκεια των αξονικών κατεργασιών, ενώ η παράμετρος **Radial Stock to Leave** ελέγχει την ποσότητα αυτή κατά τη διάρκεια των ακτινικών κατεργασιών.
- **Fillets:** ενεργοποιείται για τη στρογγυλοποίηση των γωνιών.
  - **Fillet Radius:** η ακτίνα της καμπύλης που θα αντικαταστήσει την γωνία.

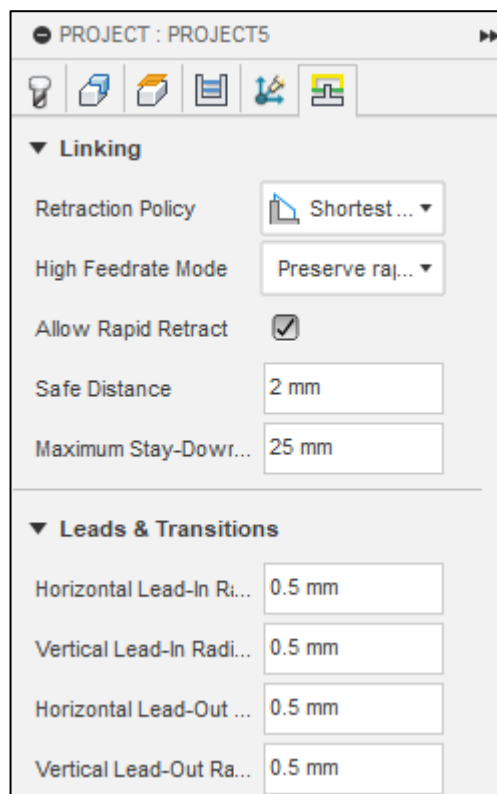


Εικόνα 5.4.79 Καρτέλα Passes εντολής Project.

- **Smoothing:** εξομαλύνει τη διαδρομή του εργαλείου αντικαθιστώντας τα πολύ μικρά τμήματα της διαδρομής, με μεγαλύτερα τόξα. Η ακρίβεια θα παραμείνει η ίδια, ενώ ο κώδικας θα μειωθεί κατά πολύ. Η εντολή δεν θα επιλεγεί διότι είναι καθαρά υποκειμενική η χρήση του και δεν χρειάζεται για την συγκεκριμένη περίπτωση παραδείγματος.
- **Feed Optimization:** ελέγχει την τροφοδοσία στις γωνίες μειώνοντας τον ρυθμό αφαίρεσης υλικού με σκοπό την προστασία του εργαλείου. Η εντολή στο παραπάνω παράδειγμα δεν επιλέχθηκε καθώς το εργαλείο δεν έχει περίπλοκη τροχιά. Οι παρακάτω επιλογές ανήκουν στο πλαίσιο αυτής της εντολής:
  - **Maximum Directional Change:** καθορίζει τη μέγιστη γωνιακή αλλαγή προτού μειωθεί η τροφοδοσία.
  - **Reduced Feed Radius:** καθορίζει την ελάχιστη επιτρεπτή ακτίνα προτού μειωθεί η τροφοδοσία.
  - **Reduced Feed Distance:** καθορίζει την απόσταση προτού μειωθεί η τροφοδοσία κοντά σε μία γωνία.
  - **Reduced Feedrate:** καθορίζει την μειωμένη ταχύτητα πρόωσης που θα χρησιμοποιείται στις γωνίες.
  - **Only Inner Corners:** ενεργοποιείται ώστε να μειώνεται η τροφοδοσία μόνο στις εσωτερικές γωνίες.

**Καρτέλα Linking:** Οι τιμές και οι επιλογές των εντολών που χρησιμοποιήθηκαν για το παράδειγμα, φαίνονται στην Εικόνα 5.4.80. Οι επιλογές της καρτέλας είναι οι εξής:

- **Retraction Policy:** καθορίζει την στρατηγική που θα ακολουθηθεί στην κοπή κατά την ανάσυρση του κοπτικού εργαλείου.
- **High Feedrate Mode:** καθορίζει το πότε το κοπτικό εργαλείο θα κινείται με την μέγιστη ταχύτητα πρόωσης της εργαλειομηχανής (G0) και πότε με ταχύτητα ορισμένης πρόωσης (G1). Η εντολή αυτή συμβάλλει στον περαιτέρω έλεγχο των γρήγορων κινήσεων G0 παραμετροποιώντας τις σε G1 για την αποφυγή συγκρούσεων. Περιλαμβάνονται έξι επιλογές:
  - **Preserve rapid movement:** διατηρεί όλες τις γρήγορες κινήσεις ως G0.
  - **Preserve axial and radial rapid movement:** Οι γρήγορες κινήσεις που εκτελούνται αξονικά ή ακτινικά, διατηρούν G0.
  - **Preserve axial rapid movement:** Οι γρήγορες κινήσεις που εκτελούνται αξονικά, διατηρούν G0.
  - **Preserve radial rapid movement:** Οι γρήγορες κινήσεις που εκτελούνται ακτινικά, διατηρούν G0.
  - **Preserve single axis rapid movement:** Οι γρήγορες κινήσεις που εκτελούνται σε έναν άξονα (X, Y ή Z), διατηρούν G0.

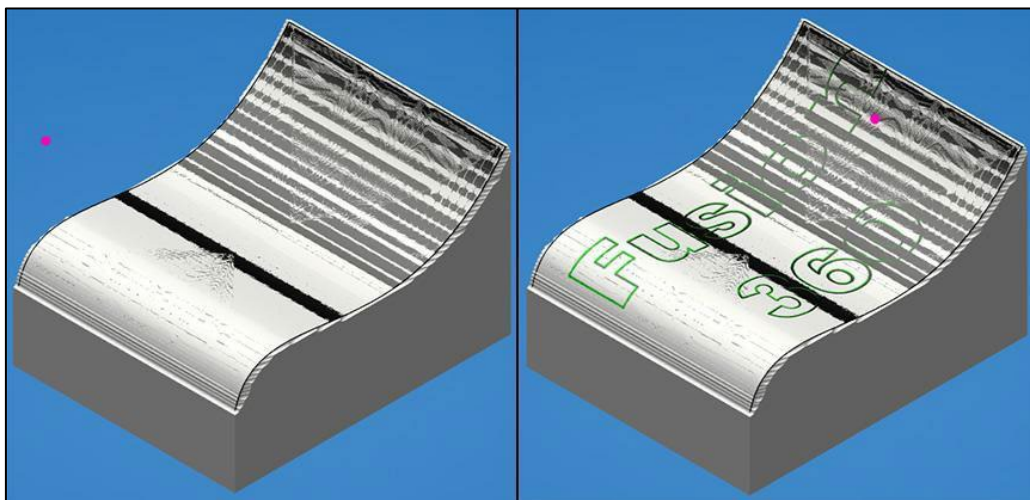


Εικόνα 5.4.80 Καρτέλα Linking εντολής Project.

- **Always use high feed:** όλες οι γρήγορες κινήσεις αποκτούν ταχύτητα ορισμένης πρόωσης G01.

Στο παράδειγμα έχει επιλεγθεί η επιλογή **Preserve rapid movement** καθώς δεν χρειάζεται περαιτέρω προσοχή για την συγκεκριμένη κατεργασία.

- **Allow Rapid Retract:** επιτρέπει την γρήγορη ανάσυρση του εργαλείου με ταχύτητα G0.
- **Safe Distance:** ελάχιστη απόσταση μεταξύ του εργαλείου και των επιφανειών του προς κατεργασία εξαρτήματος κατά την ανάσυρση.
- **Maximum Stay-Down Distance:** καθορίζει την μέγιστη απόσταση ανάκλισης.
- **Vertical Lead-In Radius:** κάθετη ακτίνα εισαγωγής του κοπτικού.
- **Horizontal Lead-In Radius:** οριζόντια ακτίνα εισόδου του κοπτικού.
- **Horizontal Lead-Out Radius:** οριζόντια ακτίνα εξόδου του κοπτικού.
- **Vertical Lead-Out Radius:** κάθετη ακτίνα εξόδου του κοπτικού.



Εικόνα 5.4.81 Αριστερά φαίνεται το αντικείμενο πριν την κατεργασία, ενώ δεξιά μετά την κατεργασία.

**Ανάλυση κατεργασίας:** Παρατηρούμε από την εικόνα 5.4.81 ότι στην προσομοίωση της κατεργασίας η διαφορά στην επιφάνεια είναι πολύ μικρή, διότι χρησιμοποιήθηκε εντολή για φινίρισμα. Η τροχιά του κοπτικού επιλέχθηκε να μην εμφανιστεί, αφού τα περάσματα είναι πολλά και δεν μπορεί να παρατηρηθεί η ποιότητα της επιφάνειας καθώς και η διαφορά πριν και μετά την κατεργασία. Πρέπει να αναφερθεί ότι η κατεργασία δημιουργεί μόνο χάραξη και είναι ιδανική για αυτή την περίπτωση, οπότε το παραπάνω παράδειγμα ίσως και να μην είναι το καταλληλότερο, είναι όμως αρκετό για την κατανόηση της κατεργασίας.



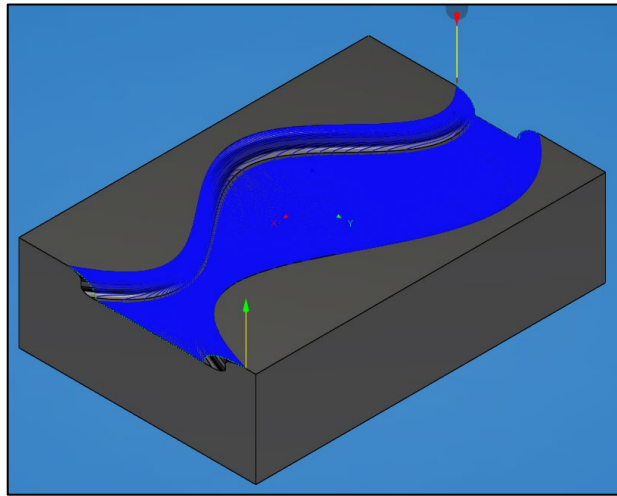
**Morph:** Milling>3D>Morph

#### Περιγραφή Κατεργασίας:

Κατεργασία φινιρίσματος ρηχών περιοχών που περικλείονται μεταξύ δύο καμπυλών. Η διαδρομή του εργαλείου καθοδηγείται από το βασικό σχήμα των καμπυλών.

**Καρτέλα Tool:** Για το παράδειγμα το εργαλείο που επιλέχθηκε είναι ένα Ball end mill κονδύλι διαμέτρου 5mm.

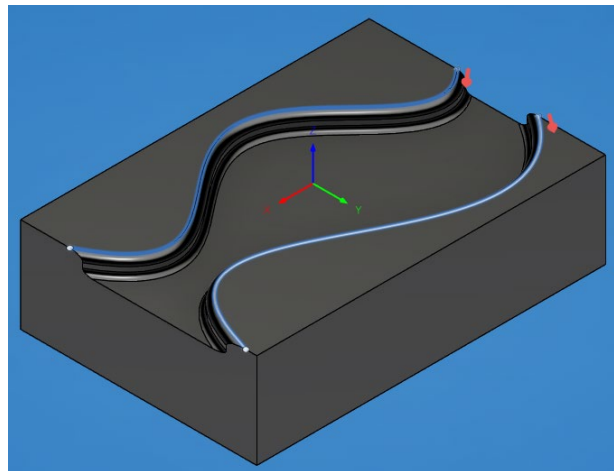
Για το παράδειγμα επιλέχθηκε η μέθοδος **Flood**.



Εικόνα 5.4.82 Παράδειγμα προσομοίωσης κατεργασίας Morph

**Καρτέλα Geometry:** Οι επιλογές για την οριοθέτηση της κατεργασίας είναι οι παρακάτω:

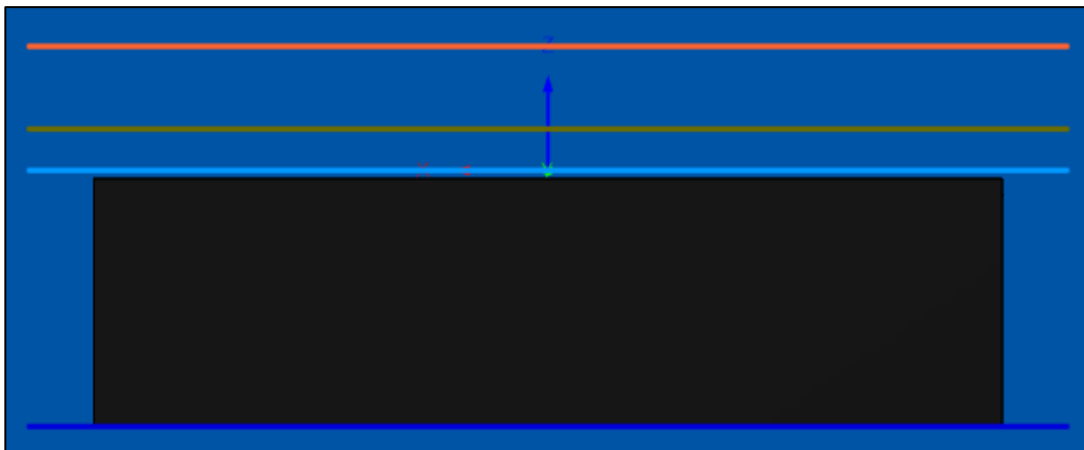
- **Machining Boundary:** Ορίζει το όριο της διαδρομής του εργαλείου. Αν επιλεγθεί κάποια επιλογή εκτός της **None**, προστίθενται οι έξτρα επιλογές:
  - **Tool Containment:** επιλογή του περιορισμού του εργαλείου σε σχέση με το επιλεγμένο όριο.
  - **Additional Offset:** μεγέθυνση ή σμίκρυνση του ορίου κατεργασίας.
  - **Contact Point Boundary:** όταν η εντολή είναι ενεργοποιημένη επεκτείνει τα όρια κατεργασίας μέχρι το κοπτικό να σταματήσει να έχει επαφή με το αντικείμενο αντί απλά το κέντρο του αντικειμένου να φτάνει στο όριο κατεργασίας και να σταματά εκεί η διαδρομή.
  - **Contact Only:** Ελέγχει εάν δημιουργούνται ή όχι διαδρομές εργαλείου όταν το εργαλείο χάνει την επαφή με την επιφάνεια κατεργασίας. Όταν είναι απενεργοποιημένη, η διαδρομή του εργαλείου παρατείνεται μέχρι τα όρια των περιορισμών διασχίζοντας έτσι ακόμα και περιοχές χωρίς υλικό.
  - **Curve Selections:** επιλογή οποιουδήποτε 3D Sketch ή καμπύλης για να οριστεί η διαδρομή της κατεργασίας. Η εντολή μπορεί να χρησιμοποιηθεί για την κοπή οδοντώσεων, χάραξη κειμένου ή κατεργασία άκρων (Chamfer). Στο παράδειγμα της εικόνας 5.4.83 διακρίνεται η επιλογή των δύο καμπυλών που περικλείουν την προς κατεργασία γεωμετρία.



Εικόνα 5.4.83 Παράδειγμα ορίου κατεργασίας με την βοήθεια της επιλογής Curve Selections.



- **Slope:** αυτή η επιλογή περιορίζει το εύρος της γωνίας που μπορεί να πάρει η τροχιά του κοπτικού εργαλείου. Ο περιορισμός της γωνιακής θέσης καθορίζεται από τις παρακάτω παραμέτρους:
  - **From Slope Angle:** η παράμετρος αυτή ορίζεται από το οριζόντιο επίπεδο και παίρνει τιμές από 0 μέχρι 90 μοίρες.
  - **To Slope Angle:** η παράμετρος αυτή ορίζεται από το κάθετο επίπεδο και παίρνει τιμές από 90 έως και 0 μοίρες.
- **Rest Machining:** περιορίζει την λειτουργία σε αφαίρεση μόνο υλικού που δεν μπόρεσαν προηγούμενα εργαλεία ή κατεργασίες, να αφαιρέσουν. Για αυτό και οι πρόσθετες πληροφορίες που απαιτεί είναι σχετικές με το εργαλείο που χρησιμοποιήθηκε προηγουμένως.
- **Tool Orientation:** υπάρχει η δυνατότητα επιλογής συστήματος συντεταγμένων, διαφορετικό απ' αυτό που επιλέχθηκε στο **Setup**.
- **Model:** επιλογή για να συμπεριληφθούν στον υπολογισμό της διαδρομής άλλα σώματα, πρόσωπα ή επιφάνειες εκτός της γεωμετρίας που ήδη έχει επιλεγεί. Ένα παράδειγμα για την λειτουργία αυτής της εντολής είναι να συμπεριληφθούν επιφάνειες που καλύπτουν εσοχές και σταματούν το κοπτικό εργαλείο να κατεργαστεί το εσωτερικό των εσοχών που θα κατεργαστούν αργότερα από κάποιο διατρητικό εργαλείο στο **Setup**.
- **Avoid/Touch Surfaces:** Διευκρινίζει τις επιφάνειες που επιθυμούμε να αποφύγουμε ή να χειριστούμε. Όταν είναι ενεργοποιημένη η επιλογή, η διαδρομή του κοπτικού υπολογίζεται έτσι ώστε να αποφύγει ή να εμπεριέχει τις συγκεκριμένες επιφάνειες. Επίσης με την ενεργοποίηση της επιλογής η καρτέλα επεκτείνεται με τις παρακάτω εντολές:
  - **Mode:** επιλογή αν επιθυμούμε να αποφευχθούν ή να εμπεριέχονται οι επιφάνειες στην διαδρομή του κοπτικού.
  - **Surfaces:** επιλογή των επιφανειών.
  - **Surface Clearance:** επιλογή της απόστασης από τις επιλεγμένες επιφάνειες

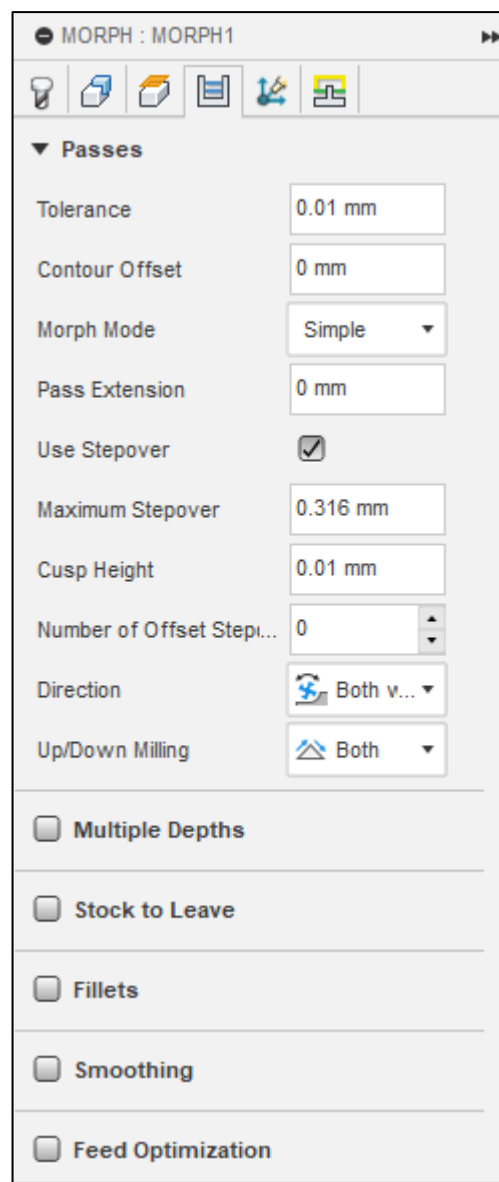


Εικόνα 5.4.84 Παράδειγμα υψών κατεργασίας Morph.

**Καρτέλα Heights:** Στο συγκεκριμένο παράδειγμα για το ύψος Clearance Height έχει επιλεγεί ως σημείο αναφοράς το ύψος του Retract Height, και Offset=10mm. Για το ύψος Retract Height έχει οριστεί ως σημείο αναφοράς το Stock Top με Offset=5mm. Τέλος το άνω ύψος (Top) επιλέχθηκε με το Stock top με Offset=0 ενώ το Bottom Height επιλέχθηκε με το Model bottom με Offset=0 όπως φαίνεται και στην εικόνα 5.4.84.

**Καρτέλα Passes:** οι επιλογές είναι οι εξής:

- **Tolerance:** επιλογή της διαστασιακής ακρίβειας. Στο συγκεκριμένο παράδειγμα η ακρίβεια έχει οριστεί στα 0.01mm.
- **Contour Offset:** χρησιμοποιείται για την διευκρίνιση της απόστασης του κοπτικού κέντρου από την διαδρομή που έχει υπολογιστεί από το πρόγραμμα.
- **Morph Mode:** αλλάζει τον τρόπο με τον οποίο συγχωνεύονται τα επιλεγμένα περιγράμματα μεταξύ τους. Υπάρχει η επιλογή **Simple** που αφορά περιγράμματα που έχουν ίδιο αριθμό τμημάτων. Και η επιλογή **Closest** όπου το πρόγραμμα θα βρεί την καλύτερη απόσταση μεταξύ των περιγραμμάτων.
- **Pass Extension:** επιλογή του μήκους της απόστασης που θα διατηρήσει το εργαλείο σε κάθε πέρασμα από το περίγραμμα της κατεργασίας. Στο συγκεκριμένο παράδειγμα ορίστηκε ως 10mm.
- **Use Stepover:** αν επιλεγθεί επιτρέπει την εκμετάλλευση της εντολής **Maximum Stepover**, ενώ αν δεν επιλεγθεί δίνεται η δυνατότητα επιλογής των βημάτων μέσω της εντολής **Number of Stepovers**.
- **Maximum Stepover:** διευκρινίζει το μέγιστο οριζόντιο βήμα μεταξύ των πασών. Στην συγκεκριμένη περίπτωση τέθηκε στα 10mm.
- **Cusp Height:** ορίζει το επιθυμητό ύψος του προεξέχοντος ακατέργαστου που απομένει μεταξύ των περασμάτων για τον υπολογισμό του μήκους και του βάθους των περασμάτων.
- **Number of Stepovers:** επιλογή των περασμάτων εκχόνδρισης. Στο συγκεκριμένο παράδειγμα επιλέχθηκαν 7 περάσματα.
- **Number of Offset Stepovers:** επιτρέπει την προσαρμογή του αριθμού των περασμάτων που θα δημιουργηθούν μεταξύ των επιλεγμένων καμπυλών της προς κατεργασία γεωμετρίας.
- **Direction:** η επιλογή επιτρέπει να οριστεί η φορά που θα πραγματοποιήσει την κοπή το κοπτικό εργαλείο σύμφωνα με την φορά περιστροφής του. Με την μέθοδο Climb το εργαλείο αφαιρεί υλικό με φορά που μοιάζει με κύλιση πάνω στο υλικό, ενώ με την συμβατική μέθοδο (Conventional) το εργαλείο κινείται αντίθετα. Η πρώτη μέθοδος τείνει να αφήνει καλύτερες επιφάνειες, να έχει λιγότερες ταλαντώσεις κατά την κατεργασία αλλά και λιγότερη φθορά στο εργαλείο. Ωστόσο, επιλέγοντας το εργαλείο να κινηθεί και με τις δύο φορές (Both Ways) μειώνεται σημαντικά ο χρόνος κατεργασίας. Εδώ επιλέχθηκε η μέθοδος **Both Ways**.



Εικόνα 5.4.85 Καρτέλα Passes εντολής Morph.

- **Up/Down Milling:** χρησιμοποιείται για την τμηματοποίηση των περασμάτων, έτσι ώστε κάθε κομμάτι να δέχεται επεξεργασία από το κοπτικό μόνο προς τα πάνω ή μόνο προς τα κάτω. Στην συγκεκριμένη περίπτωση επιλέχθηκε το Both διότι δεν χρειάζεται κάποια ιδιαίτερη επεξεργασία στο συγκεκριμένο κομμάτι ούτε κάποιο κοπτικό που να περιορίζεται η κινησιολογία του μόνο προς μια κατεύθυνση.
- **Multiple Depths:** ενεργοποίηση της λειτουργίας αφαίρεσης υλικού με πολλαπλά βάθη. Στο συγκεκριμένο παράδειγμα θα παραμείνει ανενεργή η επιλογή, διότι δεν χρειάζεται. Το ακατέργαστο θα κατεργαστεί σύμφωνα με την γεωμετρία της επιφάνειας, και δεν χρειάζονται πολλαπλά βάθη.
- **Number of Stepdowns:** διευκρινίζει τον αριθμό των βημάτων.
- **Maximum Stepdown:** καθορίζει το βήμα μεταξύ των πολλαπλών βαθών, ενώ το τελικό βήμα θα είναι ό, τι απέμεινε από το ακατέργαστο.
- **Order by Depth:** όταν είναι ενεργοποιημένο διατάσσει τα πολλαπλά περάσματα κατά άξονα Z.
- **Stock to Leave:** επιτρέπει την παράκαμψη των υψών για την επεξεργασία ενός ποσού ακατέργαστου, είτε έχοντας θετικό πρόσημο και συμβάλλει στην διατήρηση της ποιότητας και την περαιτέρω επεξεργασία του αντικείμενου είτε με αρνητικό πρόσημο θέτοντας σε επεξεργασία το αντικείμενο πέρα απ' το προβλεπόμενο. Στο συγκεκριμένο παράδειγμα θα παραμείνει ανενεργή η επιλογή. Ως προέκταση της εντολής, η παράμετρος **Axial Stock to Leave** ελέγχει την ποσότητα αυτή κατά τη διάρκεια των αξονικών κατεργασιών, ενώ η παράμετρος **Radial Stock to Leave** ελέγχει την ποσότητα αυτή κατά τη διάρκεια των ακτινικών κατεργασιών.
- **Fillets:** ενεργοποίηση για στρογγυλοποίηση των γωνιών.
  - **Fillet Radius:** η ακτίνα της καμπύλης που θα αντικαταστήσει την γωνία.
- **Smoothing:** εξομαλύνει τη διαδρομή του εργαλείου αντικαθιστώντας τα πολύ μικρά τμήματα της διαδρομής, με μεγαλύτερα τόξα. Η ακρίβεια θα παραμείνει η ίδια, ενώ ο κώδικας θα μειωθεί κατά πολύ. Η εντολή δεν θα επιλεγεί διότι είναι καθαρά υποκειμενική η χρήση της και δεν χρειάζεται για την συγκεκριμένη περίπτωση παραδείγματος.
- **Feed Optimization:** ελέγχει την τροφοδοσία στις γωνίες μειώνοντας τον ρυθμό αφαίρεσης υλικού με σκοπό την προστασία του εργαλείου. Η εντολή στο παραπάνω παράδειγμα δεν επιλέχθηκε καθώς το εργαλείο δεν έχει πολύπλοκη τροχιά. Οι παρακάτω επιλογές ανήκουν στο πλαίσιο αυτής της εντολής:
  - **Maximum Directional Change:** καθορίζει τη μέγιστη γωνιακή αλλαγή προτού μειωθεί η τροφοδοσία.
  - **Reduced Feed Radius:** καθορίζει την ελάχιστη επιτρεπτή ακτίνα προτού μειωθεί η τροφοδοσία.
  - **Reduced Feed Distance:** καθορίζει την απόσταση προτού μειωθεί η τροφοδοσία κοντά σε μία γωνία.
  - **Reduced Feedrate:** καθορίζει την μειωμένη ταχύτητα πρόωσης που θα χρησιμοποιείται στις γωνίες.
  - **Only Inner Corners:** ενεργοποίηση ώστε να μειώνεται η τροφοδοσία μόνο στις εσωτερικές γωνίες.

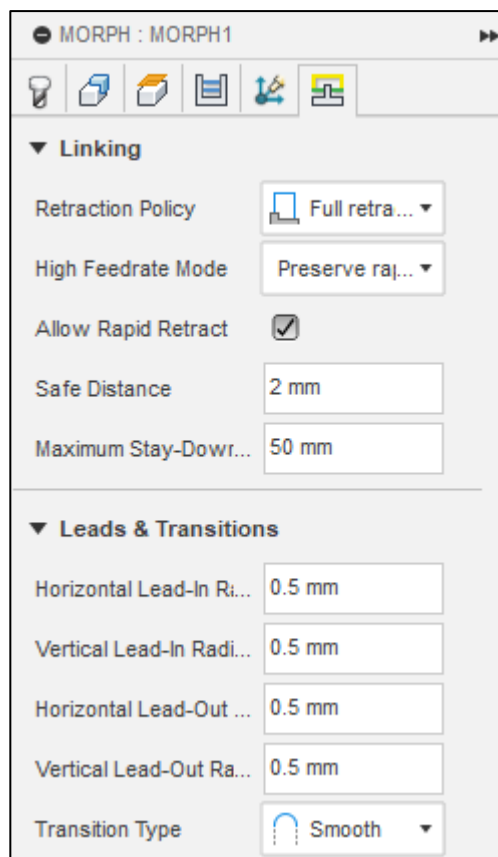
**Καρτέλα Linking:** Οι τιμές και οι επιλογές των εντολών που χρησιμοποιήθηκαν για το παράδειγμα φαίνονται στην Εικόνα 5.4.86 Οι επιλογές της καρτέλας είναι οι εξής:

- **Retraction Policy:** καθορίζει την στρατηγική που θα ακολουθηθεί στην κοπή κατά την ανάσυρση του κοπτικού εργαλείου.
- **High Feedrate Mode:** καθορίζει το πότε το κοπτικό εργαλείο θα κινείται με την μέγιστη ταχύτητα πρόωσης της εργαλειομηχανής (G0) και πότε με ταχύτητα ορισμένης πρόωσης (G1). Η εντολή αυτή συμβάλλει στον περαιτέρω έλεγχο των

γρήγορων κινήσεων G0 παραμετροποιώντας τις σε G1 για την αποφυγή συγκρούσεων. Περιλαμβάνονται έξι επιλογές:

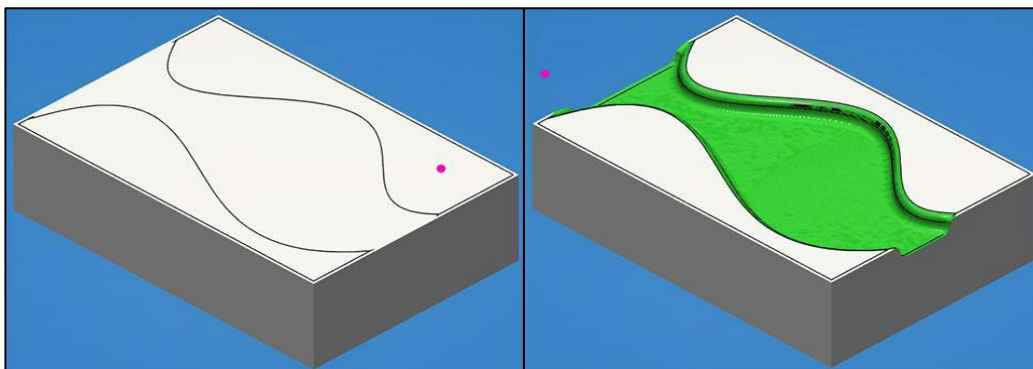
- **Preserve rapid movement:** διατηρεί όλες τις γρήγορες κινήσεις ως G0.
- **Preserve axial and radial rapid movement:** Οι γρήγορες κινήσεις που εκτελούνται αξονικά ή ακτινικά, διατηρούν G0.
- **Preserve axial rapid movement:** Οι γρήγορες κινήσεις που εκτελούνται αξονικά, διατηρούν G0.
- **Preserve radial rapid movement:** Οι γρήγορες κινήσεις που εκτελούνται ακτινικά, διατηρούν G0.
- **Preserve single axis rapid movement:** Οι γρήγορες κινήσεις που εκτελούνται σε έναν άξονα (X, Y ή Z), διατηρούν G0.
- **Always use high feed:** όλες οι γρήγορες κινήσεις αποκτούν ταχύτητα ορισμένης πρόωσης G01.

Στο παράδειγμα έχει επιλεχθεί η επιλογή **Preserve rapid movement** καθώς δεν χρειάζεται περαιτέρω προσοχή για την συγκεκριμένη κατεργασία.



Εικόνα 5.4.86 Καρτέλα Linking εντολής Morph.

- **Allow Rapid Retract:** επιτρέπει τη γρήγορη ανάσχυση του εργαλείου με ταχύτητα G0.
- **Safe Distance:** ελάχιστη απόσταση μεταξύ του εργαλείου και των επιφανειών του προς κατεργασία εξαρτήματος κατά την ανάσχυση.
- **Maximum Stay-Down Distance:** καθορίζει την μέγιστη απόσταση ανάκλισης.
- **Vertical Lead-In Radius:** κάθετη ακτίνα εισαγωγής του κοπτικού.
- **Horizontal Lead-In Radius:** οριζόντια ακτίνα εισόδου του κοπτικού.
- **Horizontal Lead-Out Radius:** οριζόντια ακτίνα εξόδου του κοπτικού.
- **Vertical Lead-Out Radius:** κάθετη ακτίνα εξόδου του κοπτικού.
- **Transition Type:** διευκρινίζει την ενδιάμεση κίνηση του κοπτικού μεταξύ το περασμάτων.



Εικόνα 5.4.87 Αριστερά φαίνεται το αντικείμενο πριν την κατεργασία, ενώ δεξιά μετά την κατεργασία.

**Ανάλυση κατεργασίας:** Παρατηρούμε στην εικόνα 5.4.87 ότι η κατεργασία χρησιμοποιήθηκε κυρίως για φινιρίσμα, καθώς το πάσο δεν ξεπερνούσε τα 5mm. Η τροχιά του κοπτικού επιλέχθηκε να μην εμφανιστεί, αφού τα περάσματα είναι πολλά και δεν μπορεί να παρατηρηθεί η ποιότητα της επιφάνειας καθώς και η διαφορά πριν και μετά την κατεργασία. Πρέπει να αναφερθεί ότι η κατεργασία δημιουργεί μια πολύ ποιοτική επιφάνεια, αλλά είναι πολύ χρονοβόρα λόγω των πολλαπλών περασμάτων.

## Flow



**Flow:** Milling>3D>Flow

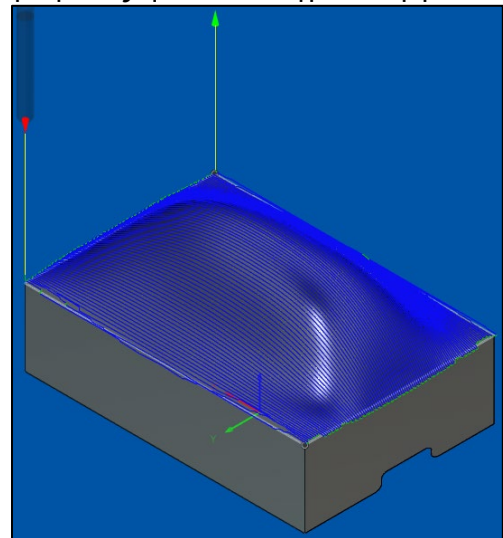
**Περιγραφή Κατεργασίας:** Κατεργασία φινιρίσματος η οποία οδηγεί το εργαλείο στις καμπύλες μιας επιφάνειας. Τα περάσματα, καθώς και γενικότερα τα σημεία της κοπτικής διαδρομής, είναι ομοιόμορφα κατανεμημένα και συστηματοποιημένα για να παρέχουν σταθερή κοπή πάνω σε ελεύθερα σχήματα.

**Καρτέλα Tool:** Για το παράδειγμα το εργαλείο που επιλέχθηκε είναι ένα Ball end mill κονδύλι διαμέτρου 4mm.

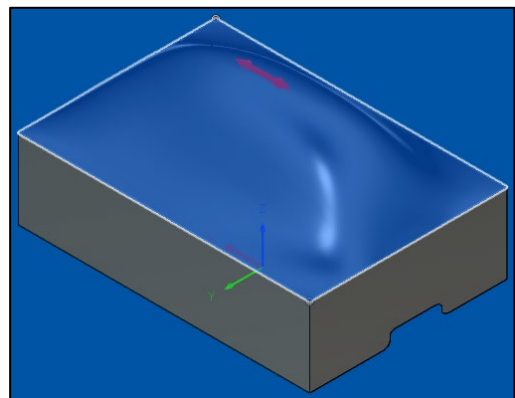
Για το παράδειγμα επιλέχθηκε η μέθοδος **Flood**.

**Καρτέλα Geometry:** Οι επιλογές για την οριοθέτηση της κατεργασίας είναι οι παρακάτω:

- **Geometry:** επιλογή μιας επιφάνειας για την εφαρμογή της διαδρομής του κοπτικού στην επιλεγμένη επιφάνεια. Μπορούν να επιλεγθούν και πάνω από μια επιφάνεια για την εφαρμογή της κατεργασίας.
- **Tool Orientation:** υπάρχει η δυνατότητα επιλογής συστήματος συντεταγμένων, διαφορετικό από αυτό που επιλέχθηκε στο **Setup**.
- **Model:** επιλογή για να συμπεριληφθούν στον υπολογισμό της διαδρομής άλλα σώματα, πρόσωπα ή επιφάνειες εκτός της γεωμετρίας που ήδη έχει επιλεγθεί. Ένα παράδειγμα για την λειτουργία αυτής της εντολής είναι να συμπεριληφθούν επιφάνειες που καλύπτουν εσοχές και σταματούν το κοπτικό εργαλείο να κατεργαστεί το εσωτερικό των εσοχών που θα κατεργαστούν αργότερα από κάποιο διατρητικό εργαλείο στο **Setup**.

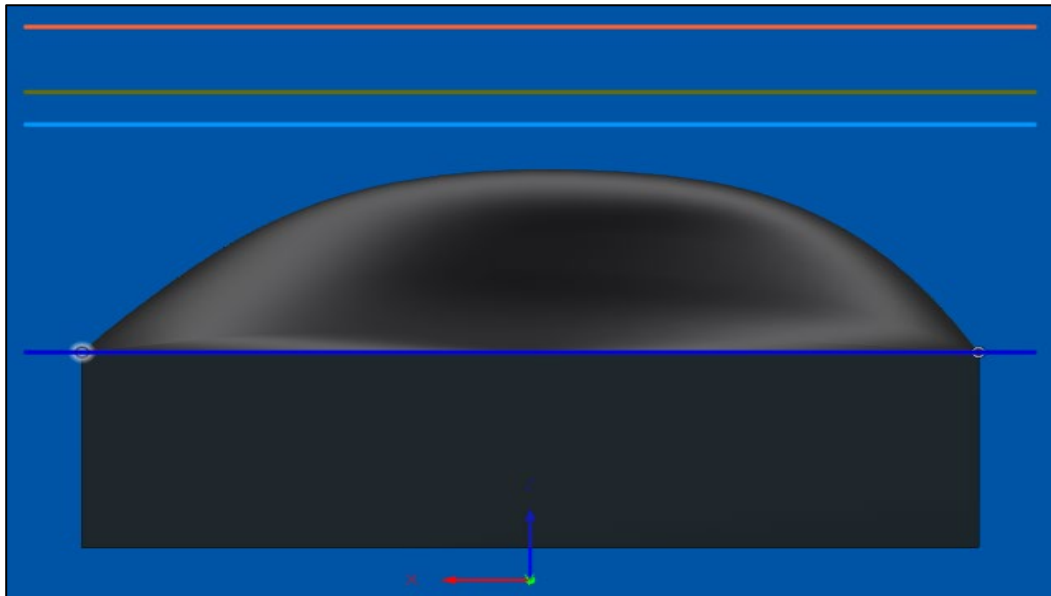


Εικόνα 5.4.88 Παράδειγμα προσομοίωσης κατεργασίας Flow



Εικόνα 5.4.89 Παράδειγμα προσομοίωσης με την επιλογή του προσώπου της επιφάνειας που θα κατεργαστεί.



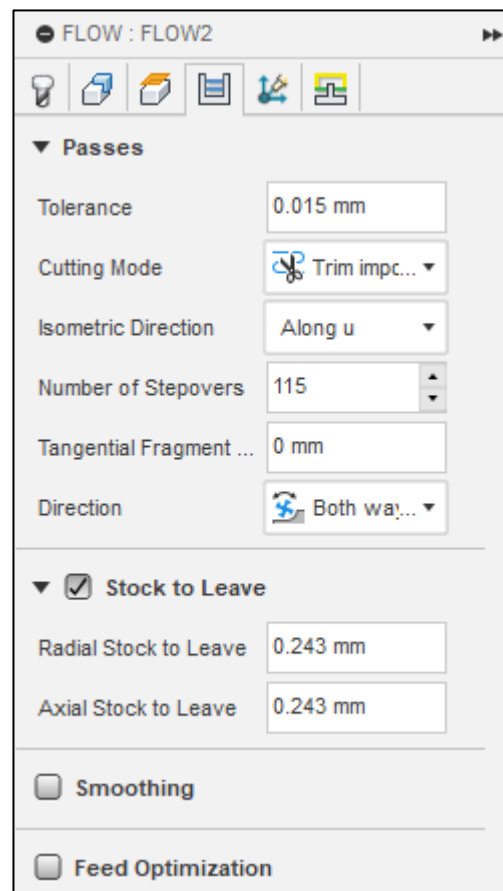


Εικόνα 5.4.90 Παράδειγμα υψών κατεργασίας Flow.

**Καρτέλα Heights:** Στο συγκεκριμένο παράδειγμα για το ύψος Clearance Height έχει επιλεγθεί ως σημείο αναφοράς το ύψος του Retract Height, και Offset=10mm. Για το ύψος Retract Height έχει οριστεί ως σημείο αναφοράς το Stock Top με Offset=5mm. Τέλος το άνω ύψος (Top) επιλέχθηκε με το Stock Top με Offset=0 και το Bottom Height οριοθετήθηκε με την επιλογή Selection με Offset=0 και ως σημείο αναφοράς επιλογή της επιφάνειας που φαίνεται στην εικόνα 5.4.90.

**Καρτέλα Passes:** οι επιλογές είναι οι εξής:

- **Tolerance:** επιλογή της διαστασιακής ακρίβειας. Στο συγκεκριμένο παράδειγμα η ακρίβεια έχει οριστεί στα 0.1mm.
- **Cutting Mode:** καθορίζει τον τρόπο με τον οποίο θα γίνει η επεξεργασία των επιλεγμένων επιφανειών κατά την κατεύθυνση των παραμετροποιημένων περασμάτων.
- **Isometric Direction:** διευκρινίζει την διεύθυνση των περασμάτων του κοπτικού.
- **Number of Stepovers:** επιλογή των περασμάτων εκχόνδρισης. Στο συγκεκριμένο παράδειγμα επιλέχθηκαν 7 περάσματα.
- **Tangential Fragment Extension Distance:** επεκτείνει την αρχή και το τέλος μιας διαδρομής κρατώντας σταθερή κατεύθυνση εισόδου/εξόδου, ενώ προορίζεται για κατεργασία ανοιχτού περιγράμματος.
- **Direction:** η επιλογή επιτρέπει να οριστεί



Εικόνα 5.4.91 Καρτέλα Passes εντολής Flow.

η φορά που θα πραγματοποιήσει την κοπή το κοπτικό εργαλείο σύμφωνα με την φορά περιστροφής του. Με την μέθοδο Climb το εργαλείο αφαιρεί υλικό με φορά που μοιάζει με κύλιση πάνω στο υλικό, ενώ με την συμβατική μέθοδο (Conventional) το εργαλείο κινείται αντίθετα. Η πρώτη μέθοδος τείνει να αφήνει καλύτερες επιφάνειες, να έχει λιγότερες ταλαντώσεις κατά την κατεργασία αλλά και λιγότερη φθορά στο εργαλείο. Ωστόσο, επιλέγοντας το εργαλείο να κινηθεί και με τις δύο φορές (Both Ways) μειώνεται σημαντικά ο χρόνος κατεργασίας. Εδώ επιλέχθηκε η μέθοδος **Both Ways**.

- **Stock to Leave:** επιτρέπει την παράκαμψη των υψών για την επεξεργασία ενός ποσού ακατέργαστου, είτε έχοντας θετικό πρόσημο και συμβάλλει στην διατήρηση της ποιότητας και την περαιτέρω επεξεργασία του αντικείμενου είτε με αρνητικό πρόσημο θέτοντας σε επεξεργασία το αντικείμενο πέρα απ' το προβλεπόμενο. Στο συγκεκριμένο παράδειγμα θα παραμείνει ανενεργή η επιλογή. Ως προέκταση της εντολής, η παράμετρος **Axial Stock to Leave** ελέγχει την ποσότητα αυτή κατά τη διάρκεια των αξονικών κατεργασιών, ενώ η παράμετρος **Radial Stock to Leave** ελέγχει την ποσότητα αυτή κατά τη διάρκεια των ακτινικών κατεργασιών.
- **Smoothing:** εξομαλύνει τη διαδρομή του εργαλείου αντικαθιστώντας τα πολύ μικρά τμήματα της διαδρομής, με μεγαλύτερα τόξα. Η ακρίβεια θα παραμείνει η ίδια, ενώ ο κώδικας θα μειωθεί κατά πολύ. Η εντολή δεν θα επιλεγεί διότι είναι καθαρά υποκειμενική η χρήση του και δεν χρειάζεται για την συγκεκριμένη περίπτωση παραδείγματος.
- **Feed Optimization:** ελέγχει την τροφοδοσία στις γωνίες μειώνοντας τον ρυθμό αφαίρεσης υλικού με σκοπό την προστασία του εργαλείου. Η εντολή στο παραπάνω παράδειγμα δεν επιλέχθηκε καθώς το εργαλείο δεν έχει πολύπλοκη τροχιά. Οι παρακάτω επιλογές ανήκουν στο πλαίσιο αυτής της εντολής:
  - **Maximum Directional Change:** καθορίζει τη μέγιστη γωνιακή αλλαγή προτού μειωθεί η τροφοδοσία.
  - **Reduced Feed Radius:** καθορίζει την ελάχιστη επιτρεπτή ακτίνα προτού μειωθεί η τροφοδοσία.
  - **Reduced Feed Distance:** καθορίζει την απόσταση προτού μειωθεί η τροφοδοσία κοντά σε μία γωνία.
  - **Reduced Feedrate:** καθορίζει την μειωμένη ταχύτητα πρόωσης που θα χρησιμοποιείται στις γωνίες.
  - **Only Inner Corners:** ενεργοποιείται ώστε να μειώνεται η τροφοδοσία μόνο στις εσωτερικές γωνίες.

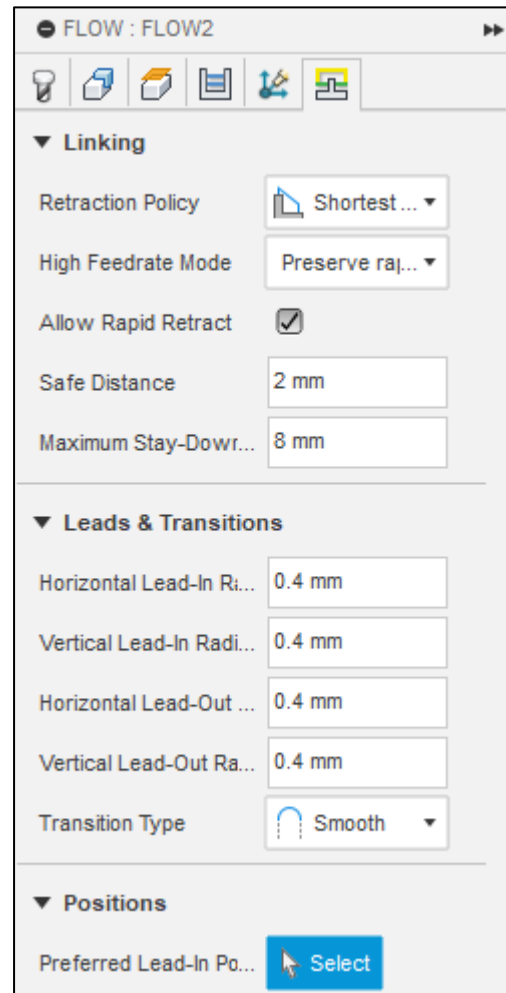
**Καρτέλα Linking:** Οι τιμές και οι επιλογές των εντολών που χρησιμοποιήθηκαν για το παράδειγμα, φαίνονται στην Εικόνα 5.4.92. Οι επιλογές της καρτέλας είναι οι εξής:

- **Retraction Policy:** καθορίζει την στρατηγική που θα ακολουθηθεί στην κοπή κατά την ανάσυρση του κοπτικού εργαλείου.
- **High Feedrate Mode:** καθορίζει το πότε το κοπτικό εργαλείο θα κινείται με την μέγιστη ταχύτητα πρόωσης της εργαλειομηχανής (G0) και πότε με ταχύτητα ορισμένης πρόωσης (G1). Η εντολή αυτή συμβάλλει στον περαιτέρω έλεγχο των γρήγορων κινήσεων G0 παραμετροποιώντας τις σε G1 για την αποφυγή συγκρούσεων. Περιλαμβάνονται έξι επιλογές:
  - **Preserve rapid movement:** διατηρεί όλες τις γρήγορες κινήσεις ως G0.
  - **Preserve axial and radial rapid movement:** Οι γρήγορες κινήσεις που εκτελούνται αξονικά ή ακτινικά, διατηρούν G0.

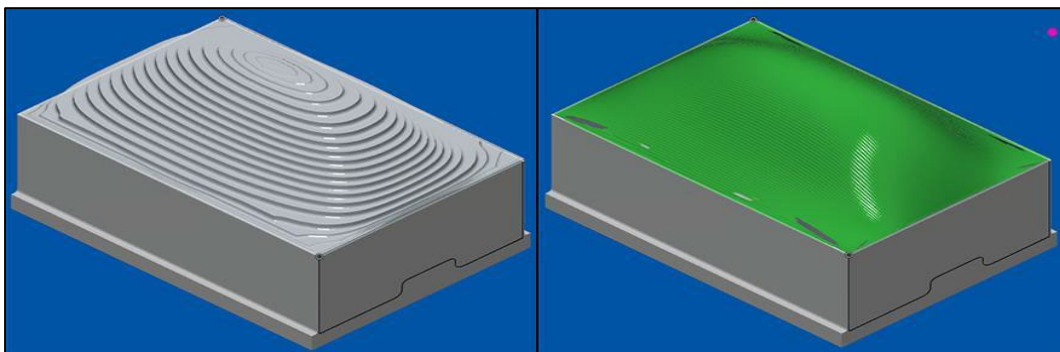
- **Preserve axial rapid movement:** Οι γρήγορες κινήσεις που εκτελούνται αξονικά, διατηρούν G0.
- **Preserve radial rapid movement:** Οι γρήγορες κινήσεις που εκτελούνται ακτινικά, διατηρούν G0.
- **Preserve single axis rapid movement:** Οι γρήγορες κινήσεις που εκτελούνται σε έναν άξονα (X, Y ή Z), διατηρούν G0.
- **Always use high feed:** όλες οι γρήγορες κινήσεις αποκτούν ταχύτητα ορισμένης πρόωσης G01.

Στο παράδειγμα έχει επιλεγθεί η επιλογή **Preserve rapid movement** καθώς δεν χρειάζεται περαιτέρω προσοχή για την συγκεκριμένη κατεργασία.

- **Allow Rapid Retract:** επιτρέπει την γρήγορη ανάσυρση του εργαλείου με ταχύτητα G0.
- **Safe Distance:** ελάχιστη απόσταση μεταξύ του εργαλείου και των επιφανειών του προς κατεργασία εξαρτήματος κατά την ανάσυρση.
- **Maximum Stay-Down Distance:** καθορίζει την μέγιστη απόσταση ανάκλισης.
- **Vertical Lead-In Radius:** κάθετη ακτίνα εισαγωγής του κοπτικού.
- **Horizontal Lead-In Radius:** οριζόντια ακτίνα εισόδου του κοπτικού.
- **Horizontal Lead-Out Radius:** οριζόντια ακτίνα εξόδου του κοπτικού.
- **Vertical Lead-Out Radius:** κάθετη ακτίνα εξόδου του κοπτικού.
- **Transition Type:** διευκρινίζει την ενδιάμεση κίνηση του κοπτικού μεταξύ των περασμάτων.
- **Preferred Lead-In Positions:** βοηθάει στον προσδιορισμό των θέσεων απ' όπου το κοπτικό μπορεί να εισέλθει στο αντικείμενο. Εάν επιλεγθεί πολλές θέσεις, η θέση που είναι πιο κοντά στο περίγραμμα θα χρησιμοποιηθεί ως σημείο εισαγωγής του αντικειμένου.



Εικόνα 5.4.92 Καρτέλα Linking εντολής Flow.



Εικόνα 5.4.93 Αριστερά φαίνεται το αντικείμενο πριν την κατεργασία, ενώ δεξιά μετά την κατεργασία.

**Ανάλυση κατεργασίας:** Παρατηρούμε στην εικόνα 5.4.93 ότι η κατεργασία χρησιμοποιήθηκε κυρίως για φινίρισμα. Η τροχιά του κοπτικού επιλέχθηκε να μην εμφανιστεί, αφού τα περάσματα είναι πολλά και δεν μπορεί να παρατηρηθεί η ποιότητα της επιφάνειας καθώς και η διαφορά πριν και μετά την κατεργασία. Πρέπει να αναφερθεί ότι η κατεργασία δημιουργεί μια πολύ ποιοτική επιφάνεια, αλλά είναι πολύ χρονοβόρα λόγω των πολλαπλών περασμάτων. Αξίζει επίσης να σημειωθεί ότι η συγκεκριμένη κατεργασία προορίζεται για πολύ συγκεκριμένες συμμετρικές γεωμετρίες, αλλά είναι πολύ βολική λόγω των λιγοστών παραμέτρων που χρειάζεται να ληφθούν υπόψιν.

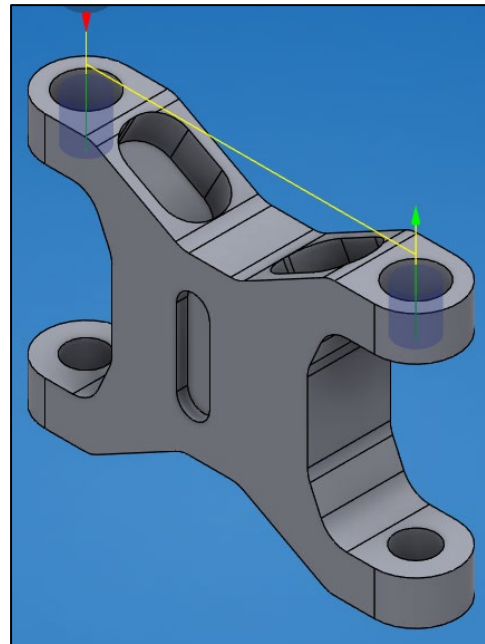
## 5.5 Drilling

Το Drilling είναι μια κοινή μηχανική εργασία δημιουργίας και κατεργασίας οπών. Η ενότητα του Drilling περιέχει μια εντολή η οποία απευθύνεται σε κατεργασίες οπών (διάνοιξη, διεύρυνση, σπειροτόμηση κλπ.).

Με το κάλεσμα της εντολής εμφανίζεται ένα παράθυρο, το οποίο περιέχει τέσσερις καρτέλες. Οι καρτέλες που περιέχονται είναι οι: **Tool**, **Geometry**, **Heights** και **Cycle**.

Στην καρτέλα Tool βρίσκονται επιλογές που αφορούν το εργαλείο της κατεργασίας, εκεί γίνεται η επιλογή του εργαλείου, η επιλογή της ψύξης του εργαλείου και επιλογές που αφορούν την πρόωση, την ταχύτητα περιστροφής κλπ.

**Tool:** η κάθε κατεργασία έχει ανάγκη διαφορετικό εργαλείο ανάλογα το είδος της. Οπότε στην επιλογή Tool: select γίνεται δυνατή η επιλογή του εργαλείου αυτού. Στο παράδειγμα το εργαλείο που επιλέχθηκε είναι ένα τρυπάνι 14mm.



Εικόνα 5.5.1 Παράδειγμα προσομοίωσης κατεργασίας Drilling.

**Coolant:** επιλογή του τύπου ψύξης που θα χρησιμοποιηθεί από την εργαλειομηχανή. Δεν λειτουργούν όλοι οι τύποι σε όλες τις εργαλειομηχανές ή σε όλα τα εργαλεία. Οι επιλογές ψύξης που έχει το πρόγραμμα είναι οι εξής:

- a) **Flood:** εγχυση ψυκτικού υγρού από ακροφύσια περί του εργαλείου.
- b) **Mist:** συνδυασμός από αέρα και μικρή ποσότητα ψυκτικού. Ιδιαίτερα χρήσιμη μέθοδος για την απομάκρυνση του αποβλήτου και της ταυτόχρονης ψύξης του εργαλείου.
- c) **Through tool:** ροή ψυκτικού υγρού μέσα από το κοπτικό εργαλείο. Μόνο για ειδικές περιπτώσεις εργαλείων και εργαλειομηχανών, όταν έχουν την ικανότητα να περάσει υγρό από μέσα τους.
- d) **Air:** εκπνοή αέρα από ακροφύσιο με σκοπό την απομάκρυνση του αποβλήτου.
- e) **Air through tool:** εκπνοή αέρα μέσα από το κοπτικό εργαλείο με σκοπό την απομάκρυνση του αποβλήτου.
- f) **Suction:** απομάκρυνση αποβλήτου μέσω αναρρόφησης.
- g) **Flood and mist:** συνδυασμός της μεθόδου mist και flood.

- h) **Flood and through tool**: συνδυασμός ψύξης με ψυκτικό υγρό μέσα από το κοπτικό εργαλείο και προς το σημείο κατεργασίας από άλλη πηγή.

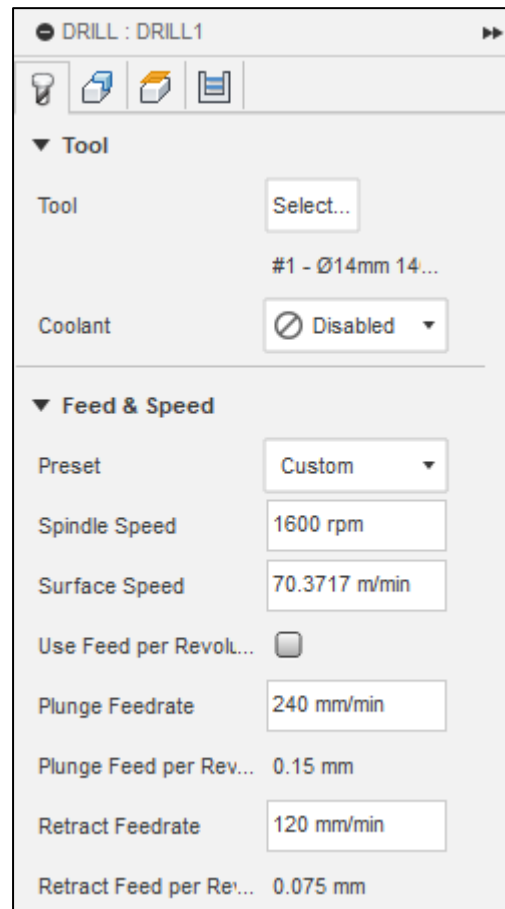
Για το παράδειγμα δεν επιλέχθηκε καμία μέθοδος, οπότε επιλέχθηκε το **Disabled**.

**Επιλογές Feed & speed**: είναι τα στοιχεία κοπής του εκάστοτε κοπτικού εργαλείου που ορίζονται από τον κατασκευαστή του. Κατά την προσθήκη ενός εργαλείου στην βιβλιοθήκη του Fusion απαιτείται να περαστούν οι τιμές αυτές, οπότε πέρα από κάποιες μικροδιορθώσεις που ίσως χρειαστούν, οι τιμές μπαίνουν αυτόματα κατά την επιλογή του εργαλείου. Σε σχέση με τις προηγούμενες ενότητες, το Drilling περιέχει λιγότερες επιλογές Feed & speed. Αρχικά περιέχει λιγότερα στοιχεία κοπής όσον αφορά τα εργαλεία, περιέχει όμως μια νέα εντολή:

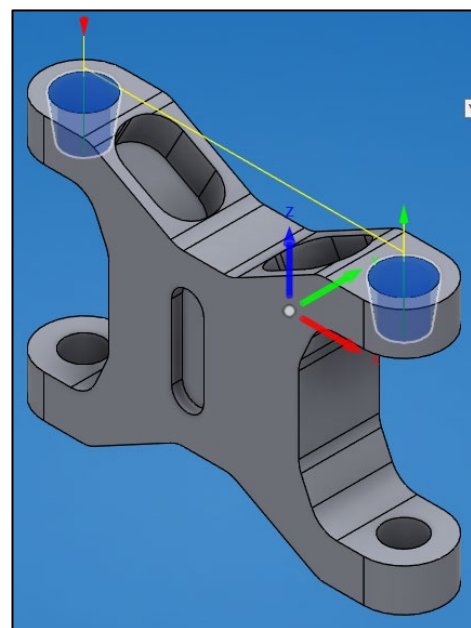
- **Use Feed per Revolution**: Ελέγχει την μονάδα μέτρησης της πρόωσης.

Στην καρτέλα του Geometry θα επιλεγθεί η προς κατεργασία γεωμετρία. Είναι σημαντικό να επιλεγθεί η σωστή γεωμετρία για τον υπολογισμό των κινήσεων του εργαλείου. Οι παρακάτω επιλογές θα βοηθήσουν ώστε να οριστεί αυτή η γεωμετρία:

- **Selection Mode**: επιλογή του τύπου της προς κατεργασία γεωμετρίας. Μπορεί είτε να επιλεγθεί κάποιο πρόσωπο για κατεργασία είτε να επιλεγθεί το κέντρο της τρύπας που θα κατεργαστεί ή ακόμα η διάμετρος της διαδρομής του εργαλείου. Αν επιλεγθεί το πρόσωπο που θα γίνει η κατεργασία (όπως και στο παράδειγμα), οι επιλογές του παραθύρου Geometry είναι οι παρακάτω:
- **Hole Faces**: επιλογή του κυλινδρικού προσώπου της τρύπας.
- **Select Same Diameter**: επιλογή όλων των προς κατεργασία οπών με την ίδια διάμετρο. Υπάρχουν τέσσερις βοηθητικές εντολές για την επιλογή των οπών:
  - **Only Same Hole Depth** για την επιλογή οπών με το ίδιο βάθος
  - **Only Same Z Top Height** για την επιλογή οπών που ανήκουν στο ίδιο ύψος κατεργασίας.
  - **Check for Occlusions**: ακυρώνει την επιλογή τυχόν οπών τις ίδιες διαμέτρου που δεν μπορούν να κατεργαστούν λόγω του



Εικόνα 5.5.2 Καρτέλα Tool.



Εικόνα 5.5.3 Παράδειγμα της επιλεγμένης γεωμετρίας με την διαδικασία της επιλογής προσώπου.

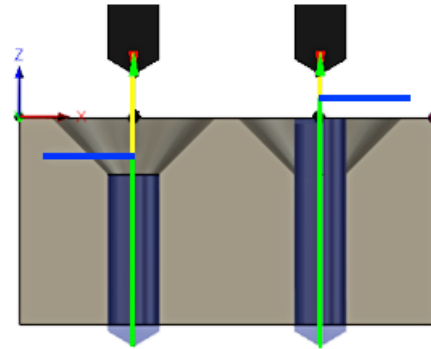


προσανατολισμού του εργαλείου ή λόγω ενδιάμεσων τμημάτων του αντικειμένου που εμποδίζουν την κατεργασία.

- **Containment Boundary:** χρησιμοποιείται για την επιλογή και ομαδοποίηση παρόμοιων προς κατεργασία γεωμετριών.

Η επιλογή **Select Same Diameter** δεν επιλέχθηκε στην συγκεκριμένη κατεργασία.

- **Auto-Merge Hole Segments:** όταν είναι ενεργοποιημένη η επιλογή, περιλαμβάνονται όλα τα τμήματα της οπής στην κατεργασία. Για παράδειγμα, αν σε μια τρύπα έχει ήδη γίνει κατεργασία τύπου Spot Drilled και είναι ενεργοποιημένη η επιλογή, τότε η επόμενη κατεργασία που επιθυμούμε θα γίνει σαν να είναι ακατέργαστη η περιοχή. Το παράδειγμα της εικόνας 5.5.4 θα βοηθήσει στην καλύτερη κατανόηση της επιλογής.



Εικόνα 5.5.4 Στα αριστερά η επιλογή είναι απενεργοποιημένη, ενώ στα δεξιά ενεργοποιημένη. Η μπλε γραμμή δείχνει το σημείο όπου θα ξεκινήσει η διάτρηση.

Αν ωστόσο επιλεγθεί ο τύπος κατεργασίας που ορίζει την διάμετρο της διαδρομής του κοπτικού τότε η ομάδα εντολών του παραθύρου Geometry θα είναι η ακόλουθη:

- **Check for Occlusions:** ακυρώνει την επιλογή οπών τις ίδιες διαμέτρου που δεν μπορούν να κατεργαστούν λόγω του προσανατολισμού του εργαλείου ή λόγω ενδιάμεσων τμημάτων του αντικειμένου που εμποδίζουν την κατεργασία.
- **Minimum Diameter:** διευκρινίζει την ελάχιστη διάμετρο που θα έχουν οι επιλεγμένες γεωμετρίες.
- **Maximum Diameter:** διευκρινίζει την μέγιστη διάμετρο που θα έχουν οι επιλεγμένες γεωμετρίες.
- **Containment Boundary:** χρησιμοποιείται για την επιλογή και ομαδοποίηση παρόμοιων προς κατεργασία γεωμετριών.

Οι παρακάτω επιλογές είναι κοινές και στις δύο μεθόδους.

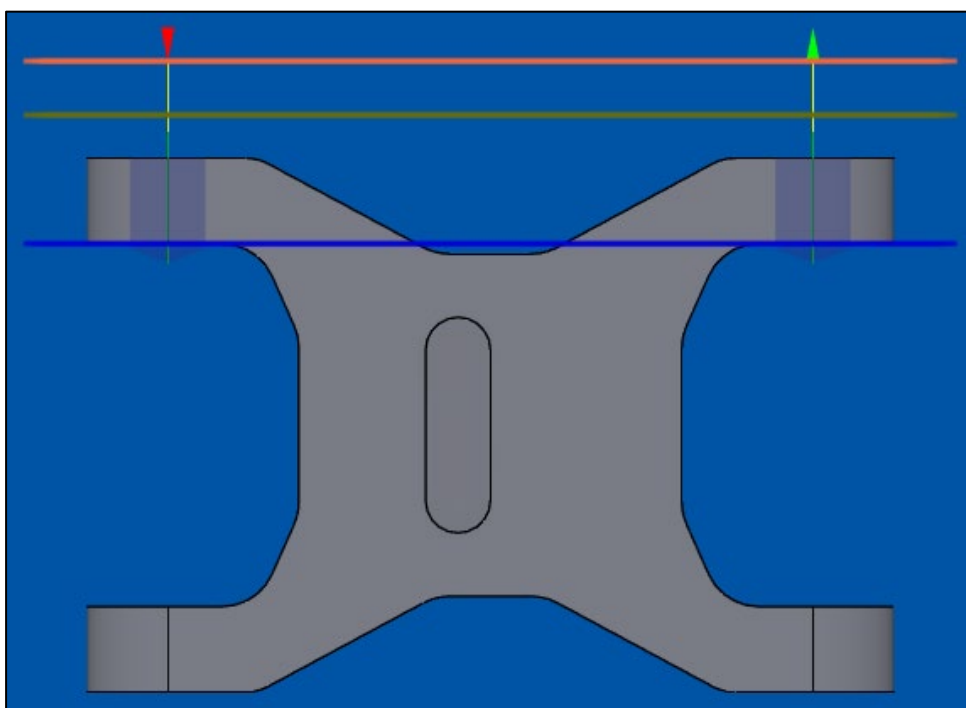
- **Order by Depth:** όταν είναι ενεργοποιημένη διατάσσει της κατεργασίες απ' αυτές με το μεγαλύτερο ύψος κατεργασίας, σε αυτές με το χαμηλότερο. Η επιλογή **Order by Depth** δεν επιλέχθηκε στην συγκεκριμένη κατεργασία καθώς η κατεργασία προορίζεται για ένα μόνο πρόσωπο.
- **Order:** καθορίζει την σειρά κατεργασίας των οπών.
- **Reverse Order:** ενεργοποιείται για να αντιστρέψει την σειρά κατεργασίας των οπών.
- **Tool Orientation:** υπάρχει η δυνατότητα επιλογής συστήματος συντεταγμένων, διαφορετικό απ' αυτό που επιλέχθηκε στο **Setup**.

Τέλος αν επιλεγθεί ο τύπος κατεργασίας που ορίζεται από το κέντρο της γεωμετρίας, τότε οι εντολές θα είναι ίδιες με την μέθοδο της επιλογής της γεωμετρίας εκτός από την **Auto-Merge Hole Segments** που δεν υπάρχει, και την **Hole Faces** που αλλάζει σε:

- **Hole Points:** επιλογή του σημείου του κέντρου της κατεργαζόμενης οπής.

Στην καρτέλα **Heights** τίθενται τα όρια των κινήσεων του κοπτικού εργαλείου στον άξονα **Z**. Τα όρια είναι τα παρακάτω:

- **Clearance Height:** είναι το πρώτο ύψος που φτάνει γρήγορα το εργαλείο. Μέχρι αυτό το ύψος το εργαλείο κινείται με την μέγιστη ταχύτητα πρόωσης της εργαλειομηχανής, ενώ από εκεί και μετά το εργαλείο κινείται με την επιλεγμένη πρόωση (Πορτοκαλί).
- **Retract Height:** είναι το ύψος όπου το κοπτικό εργαλείο ανασύρεται μετά την κατεργασία ώστε να προετοιμαστεί για την επόμενη (Λαδί).
- **Feed Height:** σε αυτό το ύψος το κοπτικό εργαλείο αποκτά την επιθυμητή ταχύτητα περιστροφής πριν ξεκινήσει την κατεργασία και εισέλθει στο εξάρτημα (Λαχανί).
- **Top Heights:** είναι το άνω ύψος που ορίζει το πάνω μέρος της κοπής. Αναγκαία συνθήκη να είναι ρυθμισμένο πάνω από το κάτω μέρος της κοπής (Γαλάζιο).
- **Bottom Height:** είναι το κατώτερο ύψος και ορίζεται από το βάθος της κατεργασίας (Μπλε).



Εικόνα 5.5.5 Παράδειγμα υψών κατεργασίας Drilling.

Το πρόγραμμα δίνει τις ακόλουθες επιλογές ως σημεία αναφοράς, και σε συνδυασμό με το Offset καθορίζεται το αντίστοιχο ύψος. Ως σημεία αναφοράς μπορούν να οριστούν και τα αντίστοιχα ύψη που προαναφέρθηκαν: **Clearance Height**, **Retract Height**, **Feed Height**, **Top Height**, και **Bottom Height** ή μπορούν να οριστούν και οι παρακάτω επιλογές:

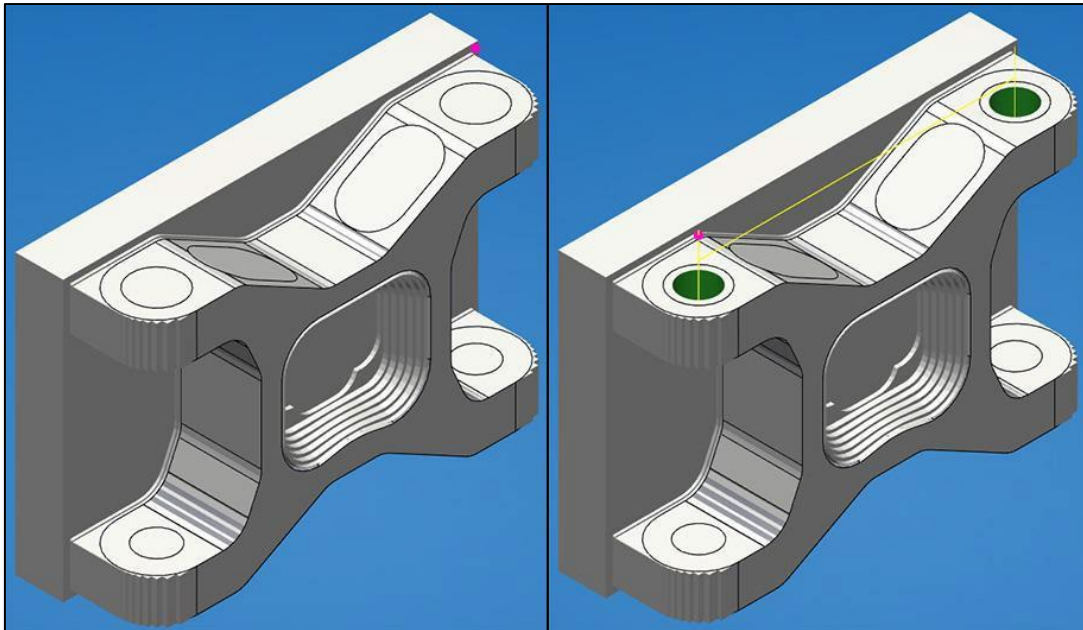
- **Model Top:** το άνω μέρος του μοντέλου.
- **Model Bottom:** το κάτω μέρος του μοντέλου.
- **Stock Top:** το υποτιθέμενο άνω άκρο του ακατέργαστου.
- **Stock Bottom:** το κάτω μέρος του ακατέργαστου τεμαχίου.
- **Hole Top:** επιλογή της αρχής μιας κυλινδρικής γεωμετρίας.
- **Hole Bottom:** επιλογή του τέλους μιας κυλινδρικής γεωμετρίας.
- **Selection:** επιλογή ύψους από επιλεγμένο σημείο.
- **Origin:** επιλογή ύψους από την αρχή των αξόνων.
- **Disabled:** Απενεργοποίηση του συγκεκριμένου ύψους.

Στο συγκεκριμένο παράδειγμα για το ύψος Clearance Height έχει επιλεχθεί ως σημείο αναφοράς το ύψος του Retract Height, και Offset=10mm. Για το ύψος Retract Height έχει οριστεί ως σημείο αναφοράς το Stock Top με Offset=5mm, ενώ για το Feed Height ορίστηκε ως σημείο αναφοράς το Top Height με Offset=5mm. Τέλος για το άνω ύψος (Top) επιλέχθηκε το πάνω μέρος της οπής (Hole top) και Offset=0, ενώ το Bottom Height οροθετήθηκε με την επιλογή Selection και επιλέχθηκε η έξοδος της οπής έχοντας ενεργοποιημένη πάντα την επιλογή **Drill Till Through Bottom** με **Break-Through Depth=1 mm**.

Η τέταρτη καρτέλα (**Cycle**) αφορά τον τύπο διάτρησης θέτοντας έτσι και τις παραμέτρους της κατεργασίας. Οι τύποι διάτρησης που διαθέτει το πρόγραμμα είναι οι εξής:

- **Drilling-rapid out:** διάτρηση σε προγραμματισμένο βάθος με γρήγορη έξοδο. Είναι και η μέθοδος που επιλέχθηκε στο συγκεκριμένο παράδειγμα
- **Counterboring-dwell and rapid out:** διάτρηση σε προγραμματισμένο βάθος, παραμονή για καθορισμένο χρόνο και γρήγορη έξοδο.
- **Chip breaking-partial retract:** διάτρηση με μικρές περιοδικές ανασύρσεις με σκοπό την απομάκρυνση του αποβλήτου από τον χώρο κατεργασίας και εισχώρησης του ψυκτικού υγρού.
- **Deep drilling-full retract:** παρόμοια κατεργασία με την **Chip breaking-partial retract** έχοντας όμως πλήρη ανάσχυση.
- **Break through:** κάνει δυνατή την μείωση της πρόωσης και της ταχύτητας περιστροφής πριν την διάνοιξη.
- **Guided deep drilling-gun drilling:** διάτρηση με κοπτικό εργαλείο τύπου **Boring Bar** που μοιάζει με τουφεκόβεργα, εξού και το gun drilling. Το συγκεκριμένο εργαλείο είναι πολύ μακρύ με αυλακώσεις στο σώμα του για την απομάκρυνση του αποβλήτου και την εισχώρηση του κοπτικού υγρού και διαθέτει μια κοπτική ακμή στην άκρη. Η συγκεκριμένη κατεργασία είναι ιδανική για βαθιές τρύπες, δημιουργώντας ιδιαίτερα ποιοτικές επιφάνειες λόγω του εργαλείου.
- **Tapping:** σπειροτόμηση οπής αριστερόστροφου ή δεξιόστροφου σπειρώματος.
- **Left tapping:** δημιουργία αριστερόστροφου σπειρώματος και έξοδος του κοπτικού με αντίθετη φορά.
- **Right tapping:** δημιουργία δεξιόστροφου σπειρώματος και έξοδος του κοπτικού με αντίθετη φορά.
- **Tapping with chip breaking:** σπειροτόμηση οπής με ανάσχυση.
- **Reaming-feed out:** κατεργασία γλύφανσης μέχρι το τελικό βάθος της οπής και άμεση ανάσχυση.
- **Boring-dwell and feed out:** κατεργασία γλύφανσης, παρόμοια με την **Reaming-feed out** αλλά με την διαφορά ότι εδώ υπάρχει παραμονή του κοπτικού στον πάτο της οπής.
- **Stop boring-stop and rapid out:** διάτρηση σε προγραμματισμένο βάθος και ανάσχυση του κοπτικού χωρίς περιστροφή.
- **Fine boring-shift:** διάτρηση σε προγραμματισμένο βάθος, παρόμοιας κατεργασίας με την **Stop boring-stop and rapid out** με την διαφορά ότι εδώ θα απομακρυνθεί η αιχμή του εργαλείου μακριά από τα τοιχώματα της οπής, προτού ανασυρθεί.
- **Back-boring:** έχοντας επιλέξει ένα εργαλείο διεύρυνσης οπών, κινείται σε ένα συγκεκριμένο βάθος εσωτερικά της τρύπας και σταματά, ο άξονας ξεκινά να περιστρέφεται και το εργαλείο αρχίζει να διευρύνει την οπή, ενώ μετακινείται από μέσα προς τα έξω.
- **Circular pocket milling:** χρησιμοποιείται για την δημιουργία πρότυπων drilling κατεργασιών για κατεργασίες τύπου Circular Pocketing.

- **Bore milling:** χρησιμοποιείται για την δημιουργία πρότυπων drilling κατεργασιών για κατεργασίες τύπου Bore Milling.
- **Thread milling:** χρησιμοποιείται για την δημιουργία πρότυπων drilling κατεργασιών για κατεργασίες τύπου Thread Milling.



Εικόνα 5.5.6 Αριστερά φαίνεται το αντικείμενο πριν την κατεργασία, ενώ δεξιά μετά την κατεργασία.

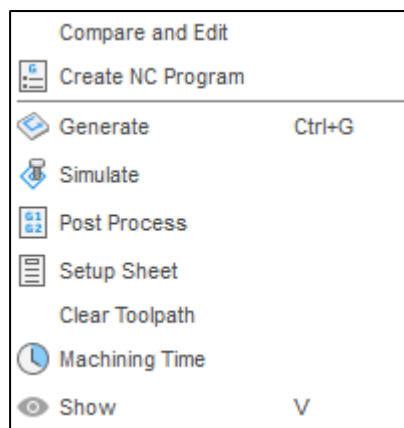
**Ανάλυση κατεργασίας:** Παρατηρούμε στην εικόνα 5.5.6 την τροχιά του κοπτικού στο δεξί τμήμα της εικόνας. Πρόκειται για μια απλή **Drilling-rapid out** κατεργασία, οπότε δεν είχε περαιτέρω παραμέτρους.

## 5.6 Simulate

Σε αυτή την ενότητα θα αναλυθεί η προσομοίωση των κατεργασιών. Είναι ένα πολύ σημαντικό κομμάτι του προγράμματος, ώστε να αποφευχθούν συγκρούσεις είτε του εργαλειοδέτη και του αντικειμένου είτε του εργαλείου σε περιοχές που δεν θέλουμε είτε να αποφευχθεί η οποιαδήποτε κίνηση μπορεί να κατανοήσει το εργαλείο ή να φέρει αντίθετο αποτέλεσμα από το επιθυμητό.

Για να μπορούμε στο περιβάλλον της προσομοίωσης μιας κατεργασίας πρέπει να ακολουθηθούν τα παρακάτω βήματα:

1. Αρχικά πρέπει να υπάρχει κατεργασία ώστε να δούμε την προσομοίωση της, οπότε επιλέγουμε τις επιθυμητές κατεργασίες και δεξί κλικ.
2. Τότε θα εμφανιστεί το παράθυρο της εικόνας 5.6.1, η επιλογή **Simulate**.
3. Ένας άλλος δρόμος που μπορεί να ακολουθηθεί είναι **Manufacture>Actions>Simulate**.



Εικόνα 5.6.1 Επιλογές μιας κατεργασίας.

Έχοντας εισέλθει στο περιβάλλον της προσομοίωσης, παρατηρείται ότι αλλάζει το Toolbar και εμφανίζεται το παράθυρο του Simulate.

Με μια γρήγορη ματιά, το Toolbar έχει ίδιες επιλογές με την πρώτη καρτέλα (Display) του παραθύρου της προσομοίωσης, εκτός της κατηγορίας Inspect. Η τελευταία περιλαμβάνει δυο βοηθητικές εντολές που βοηθούν στην περαιτέρω ανάλυση της κατεργασίας.



Εικόνα 5.6.2 Γραμμή εργαλείων του Simulate



### **Section Analysis:** Manufacture>Actions>Simulate>Section Analysis

Δημιουργεί μια οπτική κάνοντας τομή στο ακατέργαστο για την καλύτερη κατανόηση του αντικειμένου. Αρκεί η επιλογή ενός επιπέδου, και εμφανίζεται το παράθυρο της εντολής με βοηθητικές επιλογές όπως η γωνιακή απόκλιση της τομής από το επίπεδο που επιλέχθηκε ή η απόσταση της τομής από το επιλεγμένο επίπεδο.



### **Stock to Model:** Manufacture>Actions>Simulate>Stock to Model

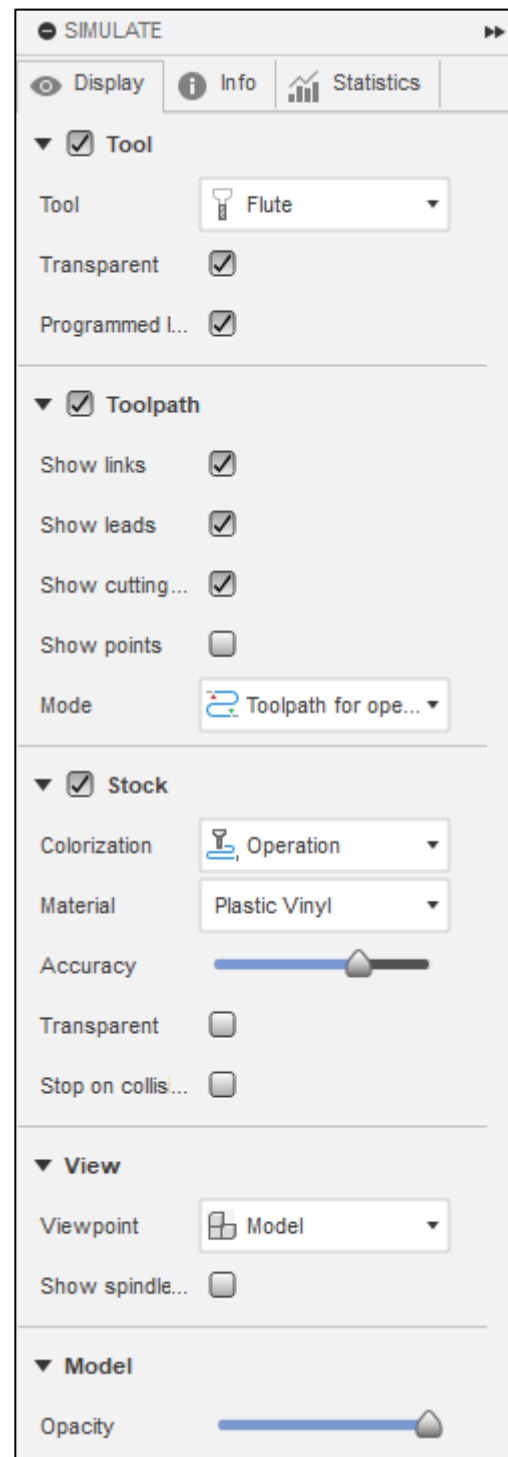
Εμφανίζει την απόσταση μεταξύ της επιφάνειας του αντικειμένου και του ακατέργαστου.

Λόγω περισσότερων επιλογών (εκτός των επιλογών **Section Analysis** και **Stock to Model**, όπως προαναφέρθηκε) υπάρχει προτίμηση χειρισμού της προσομοίωσης από το παράθυρο, και όχι από το Toolbar. Το παράθυρο απαρτίζεται από τρεις καρτέλες:

**Display:** Η συγκεκριμένη καρτέλα περιέχει ομάδες επιλογών που αφορούν την εμφάνιση και την οπτική του προσομοιωμένου χώρου εργασίας, του αντικειμένου καθώς και της τροχιάς του κοπτικού εργαλείου.



- **Tool:** Επιλογή για να γίνεται εμφανές το εργαλείο.
  - **Tool:** επιλογή των μερών του εργαλείου που θα εμφανίζονται. Επιλογή **Holder** για την εμφάνιση του εργαλείου με τον εργαλειοδέκτη, επιλογή **Shaft** για την εμφάνιση μόνο του εργαλείου, και **Flute** για την εμφάνιση μόνο του κοπτικού μέρους του εργαλείου.
  - **Transparent:** επιλογή για διαμπερή οπτική του κοπτικού.
  - **Programmed Point:** εμφάνιση μιας τελείας που ακολουθεί την κοπτική διαδρομή, ως την προγραμματιστική θέση του κοπτικού εργαλείου.
- **Toolpath:** Επιλογή για να γίνεται εμφανής η διαδρομή του κοπτικού.
  - **Show links:** εμφάνιση της διαδρομής ανάσυρσης του κοπτικού.
  - **Show leads:** εμφάνιση της διαδρομής εισχώρησης του κοπτικού στο αντικείμενο.
  - **Show cutting moves:** εμφάνιση της κοπτικής διαδρομής.
  - **Show points:** εμφάνιση των σημείων όπου το κοπτικό αλλάζει είδος διαδρομής ή κατεύθυνση.
  - **Mode:** επιλογή της κοπτικής διαδρομής που θα εμφανιστεί, **All toolpath** όπου εμφανίζεται όλη η διαδρομή, **Toolpath before position** για την εμφάνιση της διαδρομής πριν το σημείο του κοπτικού, **Toolpath after position** για την εμφάνιση της διαδρομής μετά το σημείο του κοπτικού, **Toolpath for operation** για την εμφάνιση της διαδρομής μόνο της κατεργασίας που έχει επιλεγθεί και **Tail** για την εμφάνιση της διαδρομής που έχει διανύσει το κοπτικό εργαλείο.
- **Stock:** Επιλογή για να γίνεται εμφανές το ακατέργαστο.
  - **Colorization:** καθορισμός του τρόπου που θα φαίνεται το αντικείμενο.
  - **Material:** επιλογή της αμφίεσης του αντικειμένου επιλέγοντας το υλικό από το οποίο αποτελείται.
  - **Accuracy:** επιλογή της ακρίβειας της εμφάνισης του αντικειμένου. Υψηλότερη ακρίβεια, που αυξάνει δραματικά το ρυθμό επεξεργασίας της προσομοίωσης.




Εικόνα 5.6.3 Παράθυρο Simulate με επιλεγμένη την καρτέλα Display.


- **Transparent:** επιλογή για διαμπερή εμφάνιση του ακατέργαστου και διαγραφή του σχεδιασμένου αντικειμένου μέσα σ' αυτό.
- **Stop on collision:** ενεργοποίηση για την διακοπή της προσομοίωσης της κατεργασίας σε περίπτωση ανίχνευσης σύγκρουσης ή επιπλέον αφαίρεσης υλικού από το υπολογιζόμενο.
- **View:**
  - **Viewpoint:** επιλογή της οπτικής της προσομοίωσης. Στην περίπτωση της επιλογής του **Model** η κάμερα εστιάζει στο αντικείμενο και το κοπτικό κινείται, ενώ στην επιλογή **Tool** η κάμερα εστιάζει στο κοπτικό και κινείται το αντικείμενο.
  - **Show spindle direction:** εμφάνιση πάνω από το αντικείμενο την φορά της ατράκτου.
- **Model:**
  - **Opacity:** επιλογή της διαφάνειας του σχεδιασμένου αντικειμένου.

**Info:** Στη συγκεκριμένη καρτέλα θα βρείτε πληροφορίες σχετικά με την κατεργασία που εκτελείται στην συγκεκριμένη φάση της προσομοίωσης, την θέση του κοπτικού τις στροφές του κοπτικού και άλλα δεδομένα που θα φανούν χρήσιμα για την παρατήρηση της προσομοίωσης.


**Statistics:** Η τελευταία και μικρότερη καρτέλα περιέχει στατιστικά δεδομένα σχετικά με τον εκτιμώμενο χρόνο κατεργασίας, την ολική απόσταση που θα διανύσει το κοπτικό στην συγκεκριμένη κατεργασία, τον αριθμό των κατεργασιών που θα εκτελεστούν σ' αυτή την προσομοίωση και τέλος πόσες φορές θα αλλαχθεί το κοπτικό εργαλείο.



Display



Info



Statistics

▼

Position

X position

118.571 mm

Y position

-57.15 mm

Z position

15.00 mm

Spindle speed

737.671 rpm CW

Feedrate

Rapid

Movement

Rapid

▼

Operation

Description

Face1

Type

Face

Tool

#20 - Ø63R0.3mm 45° ...

Work offset

#54

Setup

Setup1

Time

0:01:31 (7.7%) New ti...

►

Machine

▼

Verification

Collisions

None

Volume

536.195 cm^3 (62.9%)

Start volume

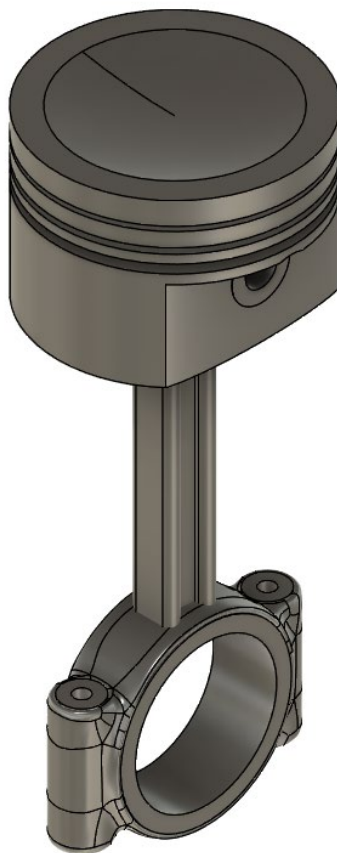
853.103 cm^3

Εικόνα 5.6.4 Καρτέλα Info.

Display	Info	Statistics
▼ <b>Statistics</b>		
Machining time	0:19:54	
Machining distance	18.89 m	
Operations	2	
Tool changes	2	

Εικόνα 5.6.5 Καρτέλα Statistics

## 6. Συνδυαστική Κατασκευή



Εικόνα 6.1 Μοντέλο πιστονιού μηχανής εσωτερικής καύσης.

Στο κεφάλαιο αυτό θα ακολουθήσει ένα παράδειγμα, στο οποίο θα εφαρμοστούν όσες περισσότερες εντολές γίνεται από το σύγγραμμα.

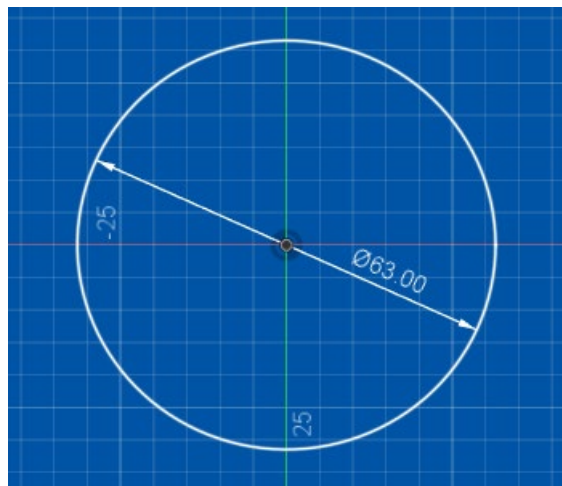
Το μοντέλο θα αναπαριστά ένα πιστόνι από κινητήρα εσωτερικής καύσης, και σκοπός του είναι να βοηθήσει τον αναγνώστη στην καλύτερη κατανόηση των εντολών μέσα από την εφαρμογή τους σε μια ολοκληρωμένη κατασκευή. Το πιστόνι θα είναι μια απλοποιημένη μορφή ενός εμπορικού πιστονιού από Smart και θα αποτελείται από τρία μέρη: το έμβολο, την περόνη και τον κορμό του. Δεν συνιστάται η κατεργασία ενός τέτοιου μοντέλου με κατεργασίες Milling, αλλά είναι ένα καλό μοντέλο για την ανάδειξη πολλών από τις κατεργασίες.

Αρχικά θα αναλυθεί η διαδικασία μοντελοποίησης του πιστονιού (υποκεφάλαιο 6.1), ενώ μετά θα πραγματοποιηθεί η παραγωγή του μοντέλου με εικόνες μέσα από την προσομοίωση της κάθε κατεργασίας.

## 6.1 Μοντελοποίηση Παραδείγματος

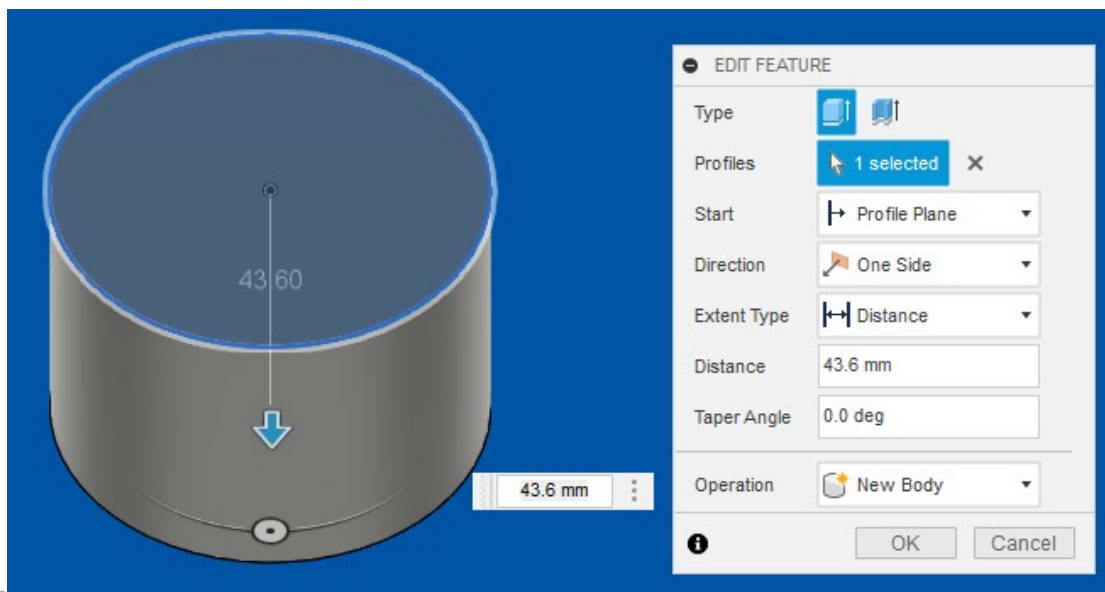
Όπως προαναφέρθηκε, το πιστόνι είναι μια απλοποιημένη μορφή ενός εμπορικού πιστονιού. Οπότε οι περισσότερες διαστάσεις πάρθηκαν από το πραγματικό μοντέλο. Έγιναν μόνο κάποιες προσαρμογές έτσι ώστε να μπορεί το αντικείμενο να κατεργαστεί μέσα από το πρόγραμμα.

1. Πρώτο βήμα για την δημιουργία του μοντέλου είναι η εντολή **Create Sketch** και η είσοδος στο περιβάλλον του. Το έμβολο θα έχει διάμετρο 63mm, οπότε αφού επιλέξουμε επίπεδο για τη εφαρμογή του σχεδίου, επιλέγουμε την εντολή **Center Diameter Circle**, και δημιουργούμε ένα κύκλος 63mm με κέντρο την αρχή των αξόνων.



Εικόνα 6.1.1 Create Sketch διάμετρος εμβόλου.

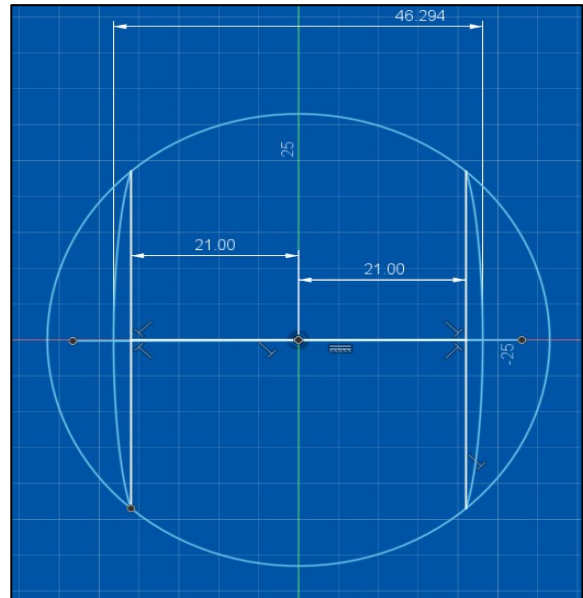
Επιλογή Finish Sketch για επιστροφή στο περιβάλλον του Design, και επιλογή της εντολής **Extrude** για την δημιουργία ενός κυλινδρικού στερεού σώματος με ύψος 43.6mm.



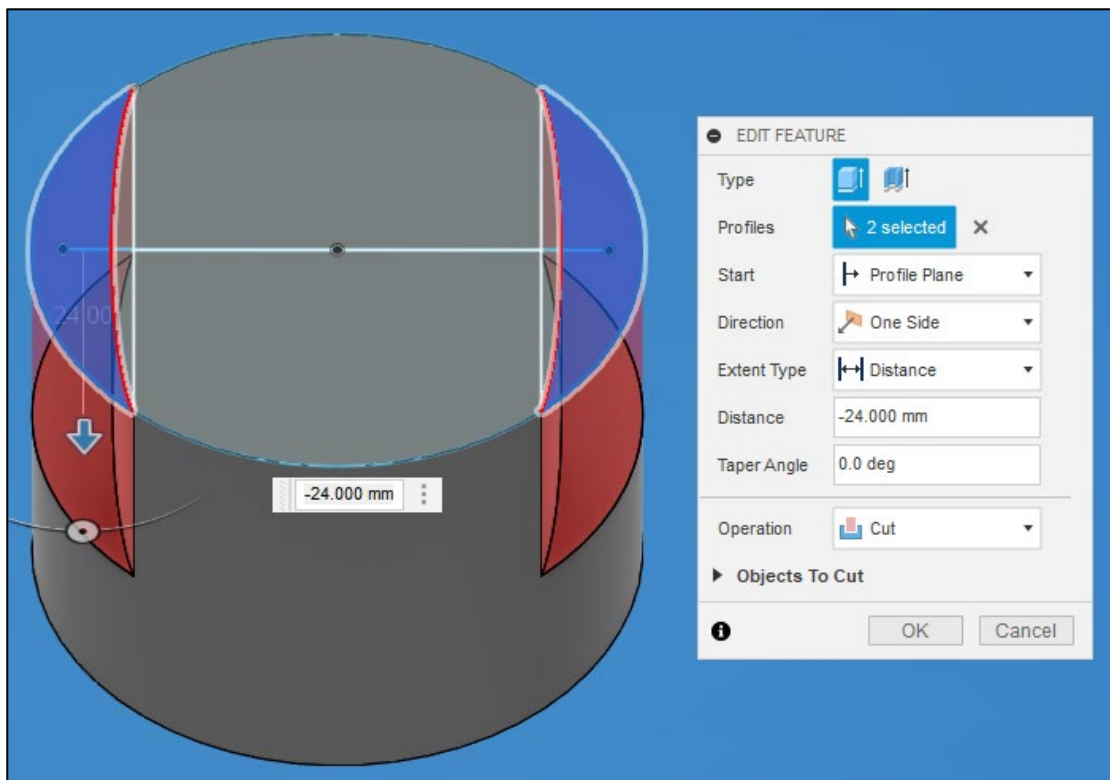
Εικόνα 6.1.2 Δημιουργία κυλινδρικού σώματος με την εντολή Extrude.

2. Στην συνέχεια της μορφοποίησης του εμβόλου, δημιουργούμε ένα δεύτερο **Sketch**, αυτή την φορά για να αφαιρέσουμε υλικό από τον κύλινδρο που δημιουργήσαμε προηγουμένως. Επιλέχθηκε η επιφάνεια του κυλίνδρου ως επίπεδο σχεδίασης και δημιουργείται το παρακάτω Sketch. Εδώ θέλει λίγη προσοχή διότι αρχικά δημιουργούμε έναν ίδιο κύκλο όπως το πρώτο Sketch και μετά τα τόξα, έτσι ώστε να δημιουργηθεί μια κλειστή γεωμετρία.

Επιλογή **Finish Sketch**, και επιλέγουμε πάλι την εντολή **Extrude**. Αυτή την φορά στην επιλογή **Operation** θα επιλεγθεί η επιλογή **Cut** αντί για την **New body** που επιλέχθηκε στο προηγούμενο βήμα. Στην επιλογή **Profiles** θα γίνει η επιλογή των δυο γεωμετριών μεταξύ των τόξων και του κύκλου, με βάθος 24mm.



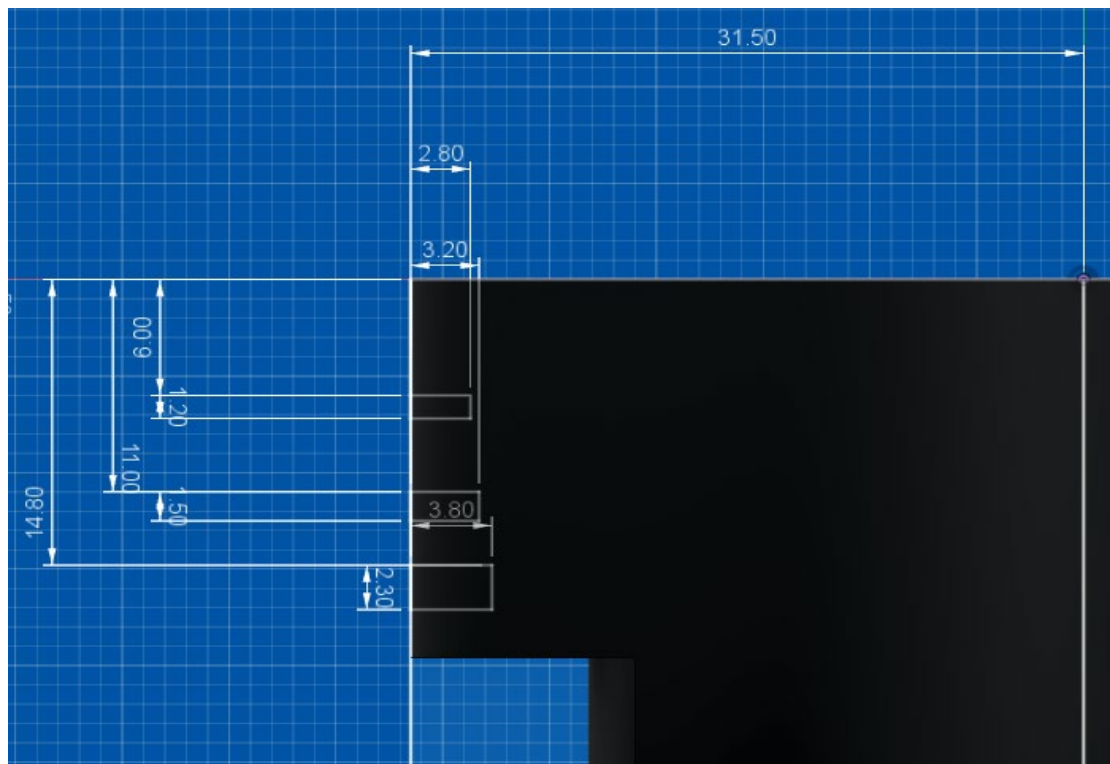
Εικόνα 6.1.3 Δημιουργία κλειστών γεωμετριών με σκοπό την αφαίρεση υλικού από τον αρχικό κύλινδρο.



Εικόνα 6.1.4 Extrude του δεύτερου Sketch με σκοπό την αφαίρεση υλικού.

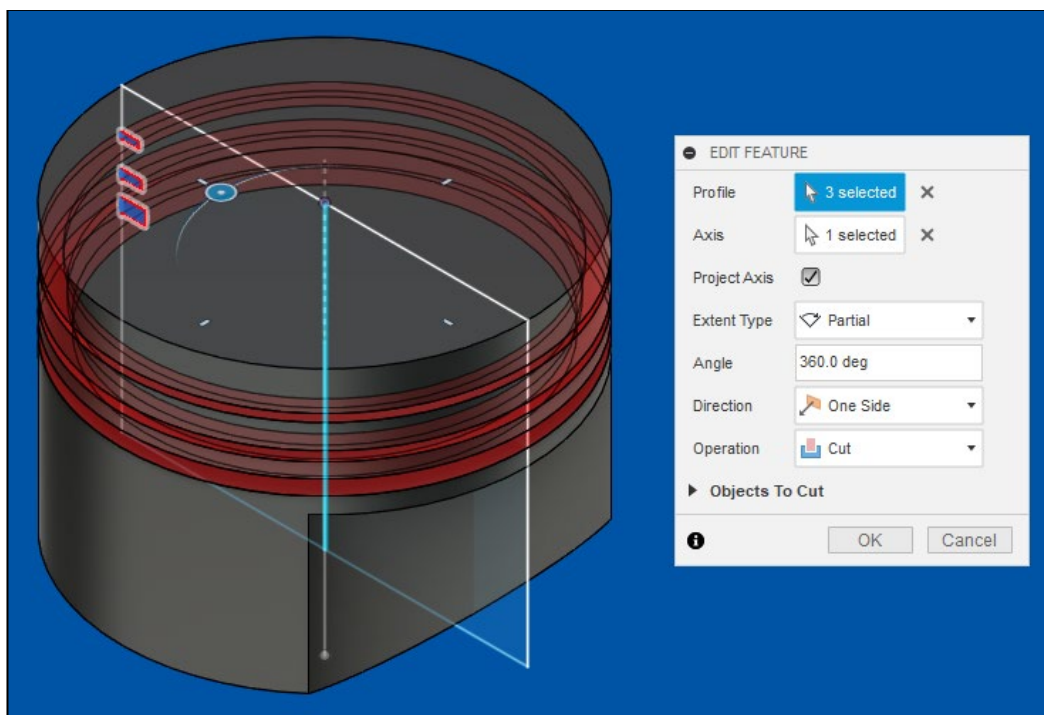
3. Άνοιγμα **Create Sketch** για την δημιουργία των εσοχών που θα μπουν τα δαχτυλίδια. Δημιουργούμε τρία ορθογώνια παραλληλόγραμμα με διαστάσεις 1.20mm η κάθετος και 2.80mm η παράλληλη για το πρώτο, 1.50mm η κάθετος και 3.20mm η παράλληλη για το δεύτερο, 2.30mm η κάθετος και 3.80mm η παράλληλη για το τρίτο. Φαίνονται αναλυτικότερα στην εικόνα 6.1.5.





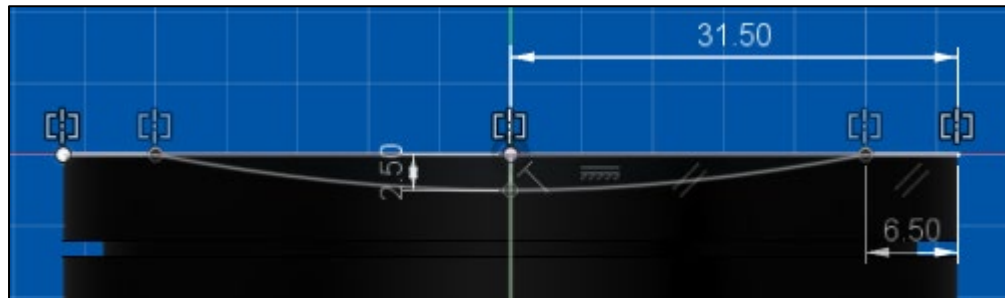
Εικόνα 6.1.5 Οι διαστάσεις των Ορθογώνιων παραλληλογράμμων για την δημιουργία των εσοχών για τα δακτυλίδια.

Επιλογή **Finish Sketch**, και επιλογή της εντολής **Revolve**, διότι το μοντέλο έχει κυλινδρικό σχήμα. Επιλέγουμε τα τρία παραλληλόγραμμα ως το σχέδιο που θα γίνει Revolve και αντίστοιχο άξονα που θα είναι από το κέντρο του κυλινδρικού μοντέλου καθώς και **Cut** για αφαίρεση υλικού.



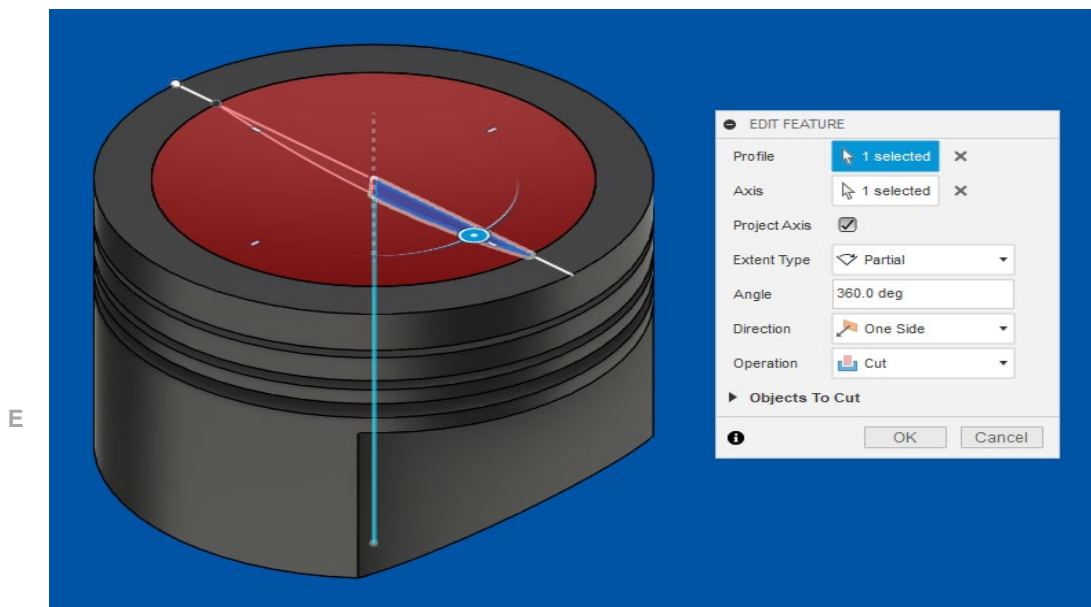
Εικόνα 6.1.6 Δημιουργία εσοχών για τα δακτυλίδια του εμβόλου.

4. Άνοιγμα Create Sketch και δημιουργία κωνικής καμπύλης με την εντολή Conic Curve. Σκοπός αυτού του βήματος είναι η σχεδίαση της καμπύλης στο πάνω μέρος του εμβόλου.



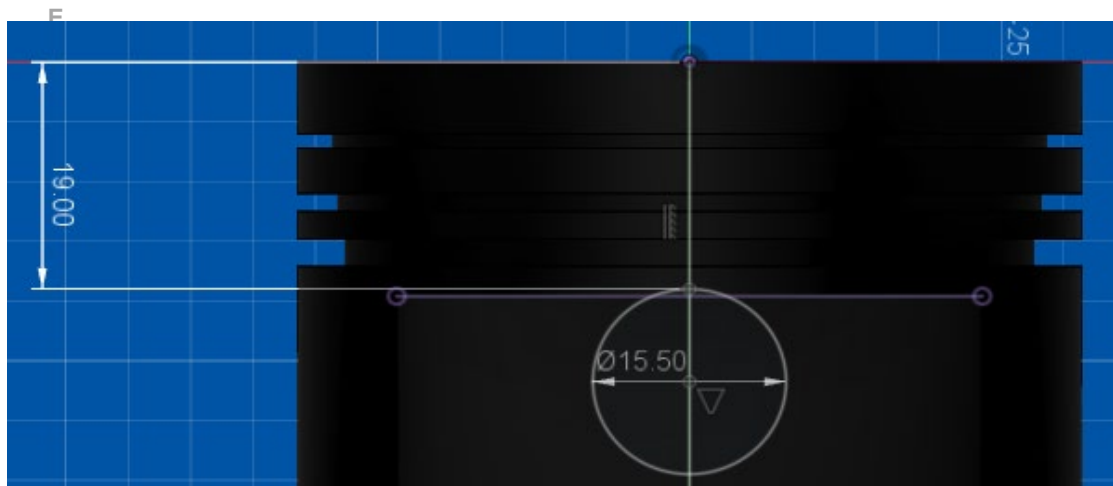
Εικόνα 6.1.7 Δημιουργία καμπύλης με Conic Curve.

Επιλογή **Finish Sketch** και επιλογή της εντολής **Revolve**. Επιλογή του χωρίου μεταξύ της καμπύλης, του κάθετου άξονα και της περιμέτρου του εμβόλου. Στην επιλογή Operation επιλέγουμε το Cut για αφαίρεση υλικού, και το αποτέλεσμα είναι το παρακάτω:



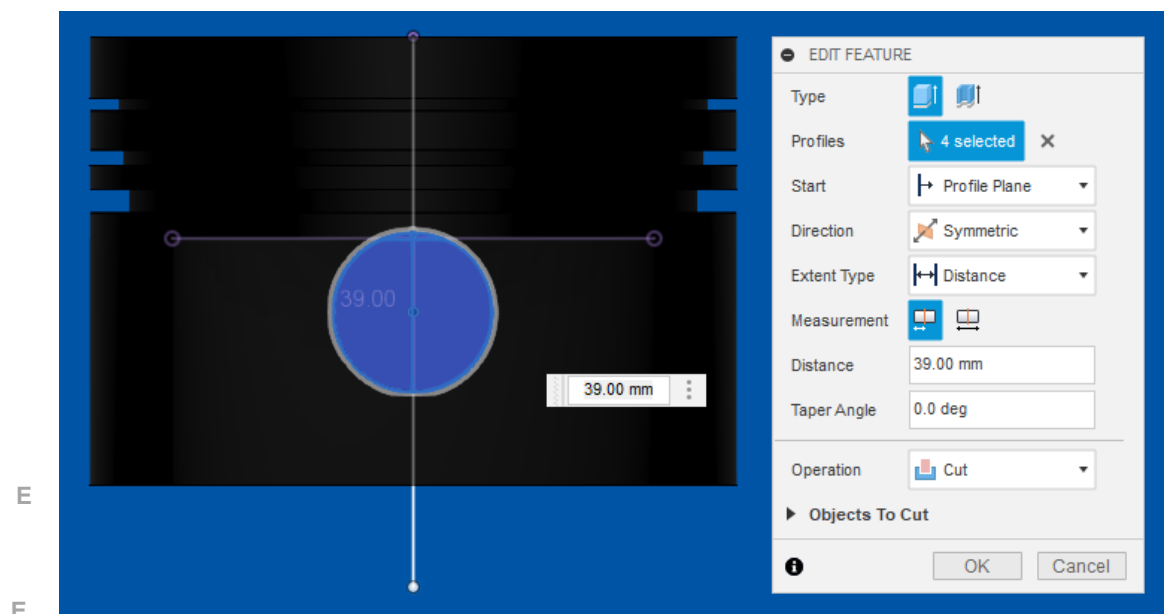
Εικόνα 6.1.8 Revolve χωρίου για την δημιουργία κοιλότητας στο πάνω μέρος του εμβόλου.

5. Άνοιγμα Create Sketch και δημιουργία κύκλου με κέντρο πάνω στον άξονα y, διάμετρο 15.50mm και απόσταση από το πάνω μέρος του εμβόλου 19mm. Σκοπός του βήματος είναι η δημιουργία οπής απ' όπου θα διέρχεται ο πείρος.



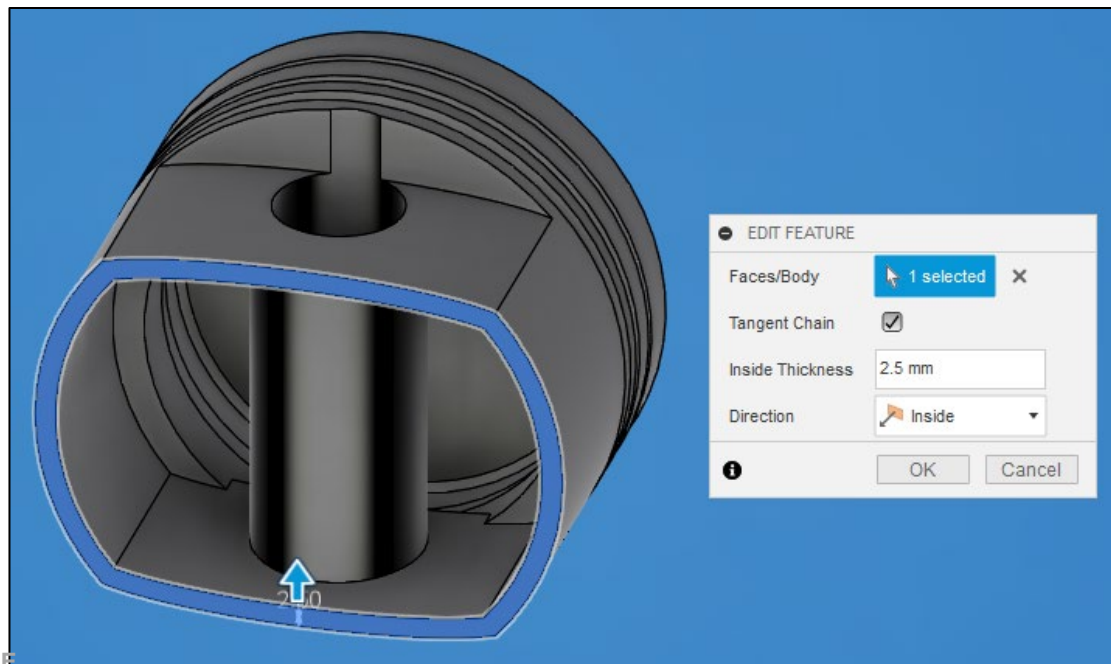
Εικόνα 6.1.9 Σχέδιο κύκλου οπής απ' όπου θα διέρχεται η περόνη.

Επιλογή **Finish Sketch** και επιλογή της εντολής **Revolve**. Επιλογή του χωρίου μεταξύ της καμπύλης, του κάθετου άξονα και της περιμέτρου του εμβόλου. Στην επιλογή Operation επιλέγουμε το Cut για αφαίρεση υλικού, και το αποτέλεσμα είναι το παρακάτω:



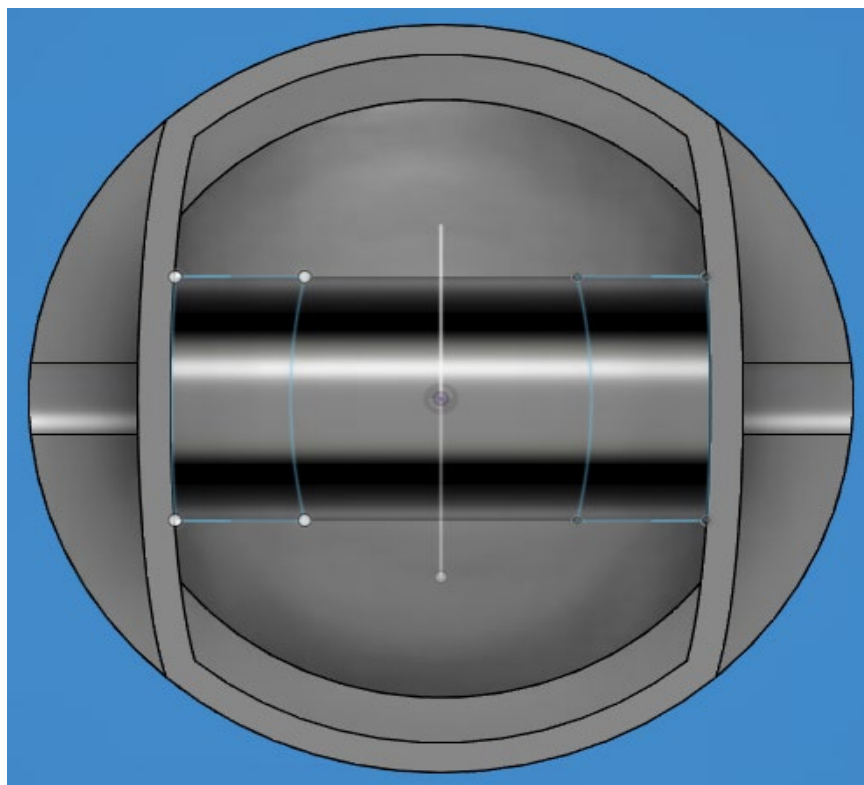
Εικόνα 6.1.10 Extrude κύκλου απ' όπου θα διέρχεται η περόνη.

6. Επιλογή της εντολής **Shell**: την εφαρμόζουμε στην πλευρά που βρίσκεται στο κάτω μέρος του εμβόλου. Επιλέγουμε την κατεύθυνση **Inside** και θέλουμε το πάχος των πλευρών να είναι 2.5mm.



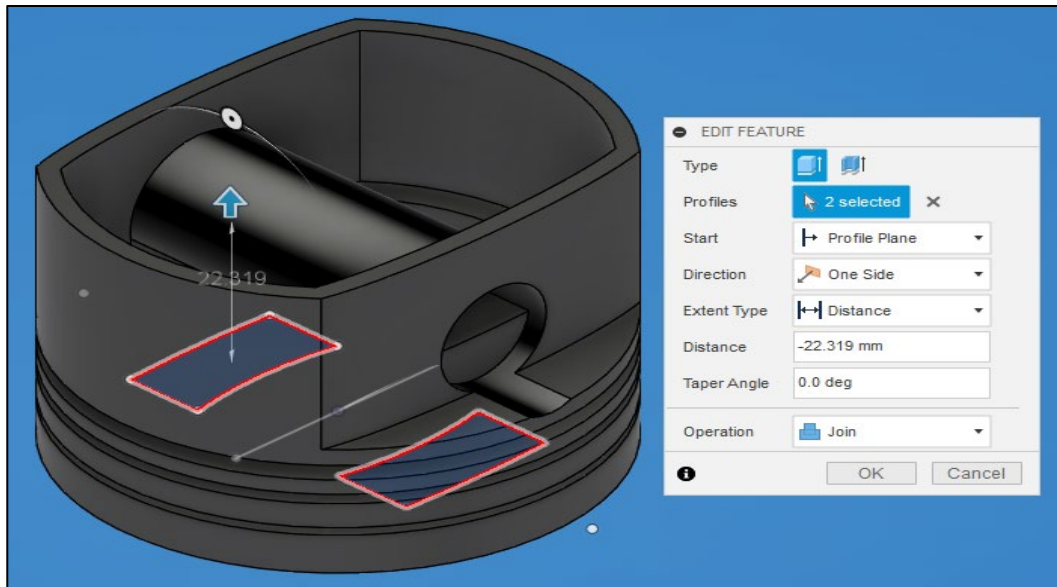
Εικόνα 6.1.11 Εφαρμογή της εντολής Shell στην κάτω πλευρά του εμβόλου.

7. Ανοίγουμε **Create Sketch** και δημιουργούμε τα υποστηρίγματα του οδηγού της περόνης. Είναι πολύ χρήσιμο να λαμβάνουμε πληροφορίες και από τα προηγούμενα Sketches καθώς το αποτέλεσμα θέλουμε να είναι ομοιόμορφο και να εφάπτεται ακριβώς με τα υπόλοιπα μέρη του μοντέλου. Επομένως, τονίζεται πως οι διαστάσεις πάρθηκαν από τα προηγούμενα Sketches ενώ οι καμπύλες των σημάτων είναι τόξα κύκλων που χρησιμοποιήθηκαν και παρακάτω στην σχεδίαση.



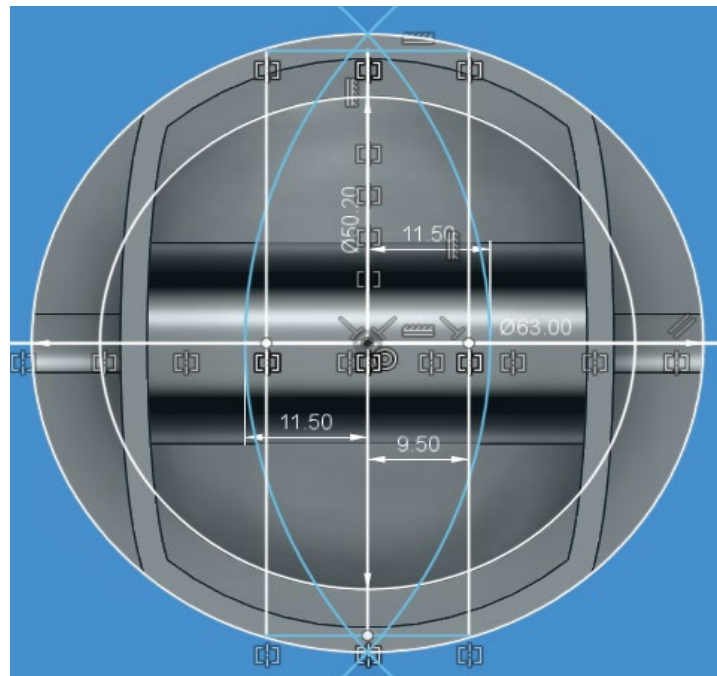
Εικόνα 6.1.12 Σχεδίαση των υποστηριγμάτων του οδηγού της περόνης.

Επιλογή **Finish Sketch** και επιλογή της εντολής **Extrude**. Επιλογή των δυο σχεδίων του Sketch, στην επιλογή Operation επιλέγουμε το **Join** ενώ η απόσταση θα επιλεγεί μέχρι το κέντρο του κυλίνδρου.



**Εικόνα 6.1.13 Extrude υποστηριγμάτων οδηγού της περόνης.**

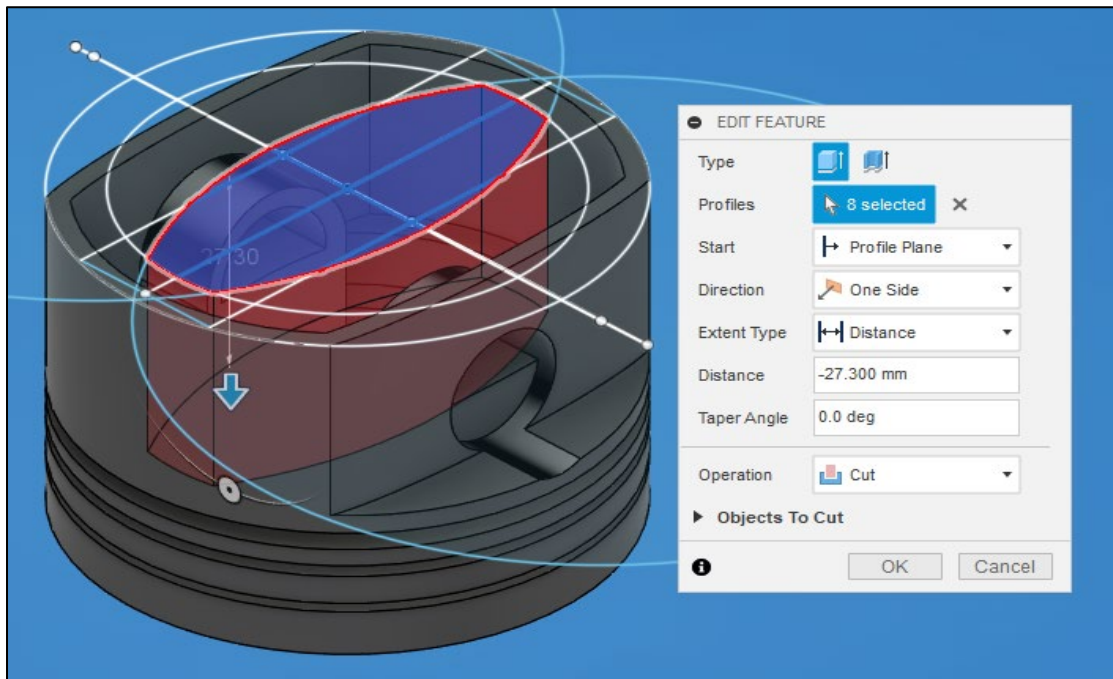
8. Ανοίγουμε **Create Sketch** και δημιουργούμε το σχέδιο ώστε να διαμορφωθεί ο οδηγός της περόνης. Χρησιμοποιήθηκαν τα τόξα του προηγούμενου βήματος ώστε να δημιουργηθεί ένα χωρίο, το οποίο θα κόψει τον οδηγό της περόνης.



Εικόνα 6.1.14 Χωρίο για διαμόρφωση του οδηγού της περόνης.

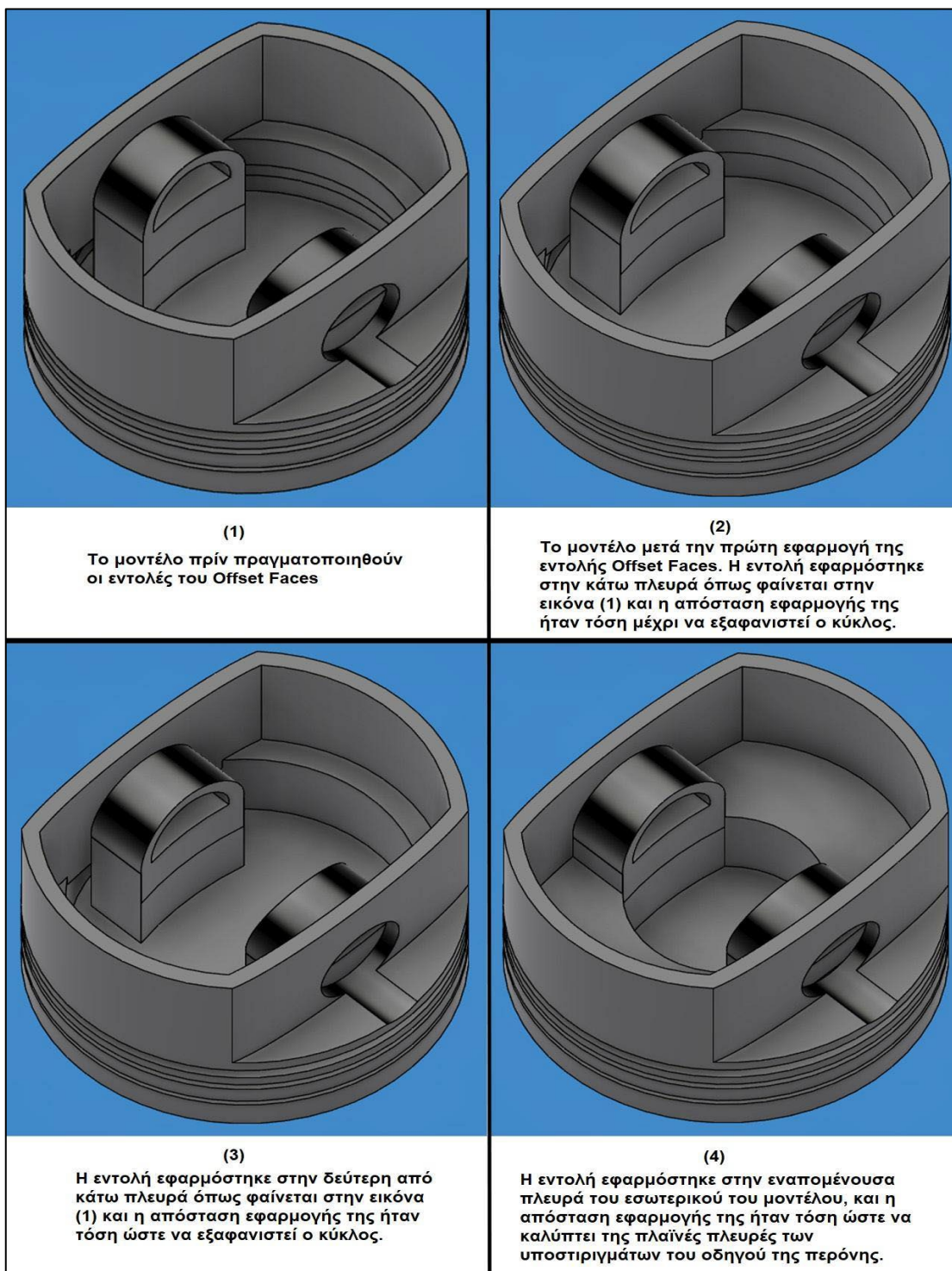


Επιλογή **Finish Sketch** και επιλογή της εντολής **Extrude**. Έπειτα επιλέγουμε το χωρίο που σχεδιάσαμε στο Sketch, και την απόσταση της εντολής τόσο, ώστε να κόψει τον οδηγό και επιλογή Operation, **Cut**.

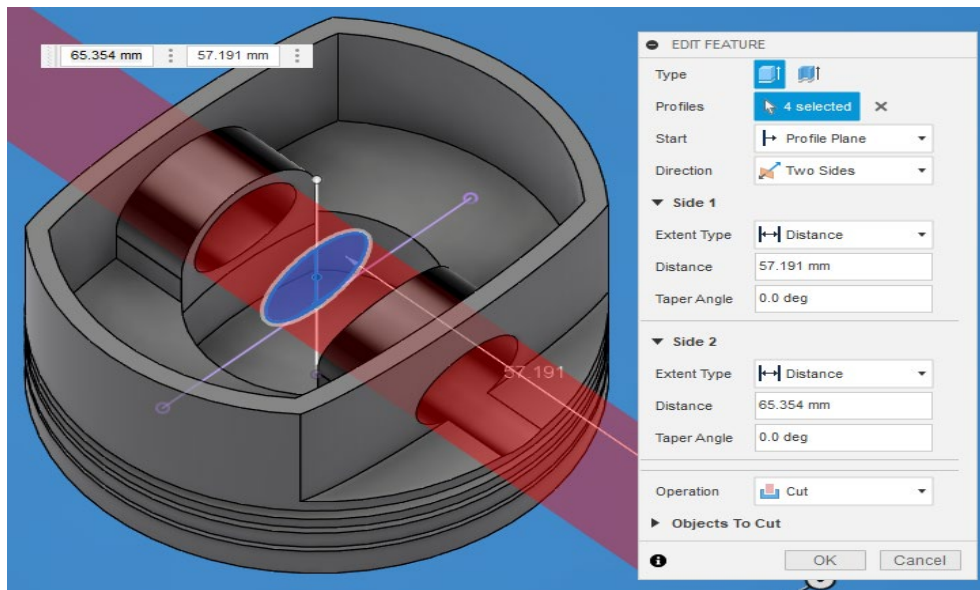


Εικόνα 6.1.15 Διαμόρφωση του οδηγού της περόνης.

9. Το συγκεκριμένο βήμα αφορά την διόρθωση κάποιων λαθών και την τροποποίηση του έτσι ώστε να μπορεί το μοντέλο να είναι κατεργάσιμο από την εργαλειομηχανή. Θα χρησιμοποιηθούν οι εντολές **Offset Faces** και **Extrude**. Στην εικόνα 6.1.16 παρατηρείται η πολλαπλή εφαρμογή της εντολής Offset Faces με σκοπό την διαμόρφωση του εσωτερικού του μοντέλου.



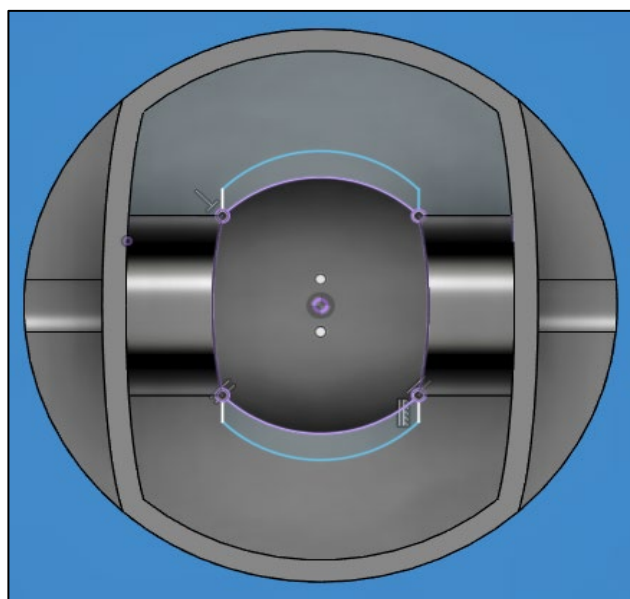
Εικόνα 6.1.16 Εφαρμογή της εντολής Offset Faces πολλαπλές φορές.



Εικόνα 6.1.17 Διόρθωση λάθους στον οδηγό της περόνης.

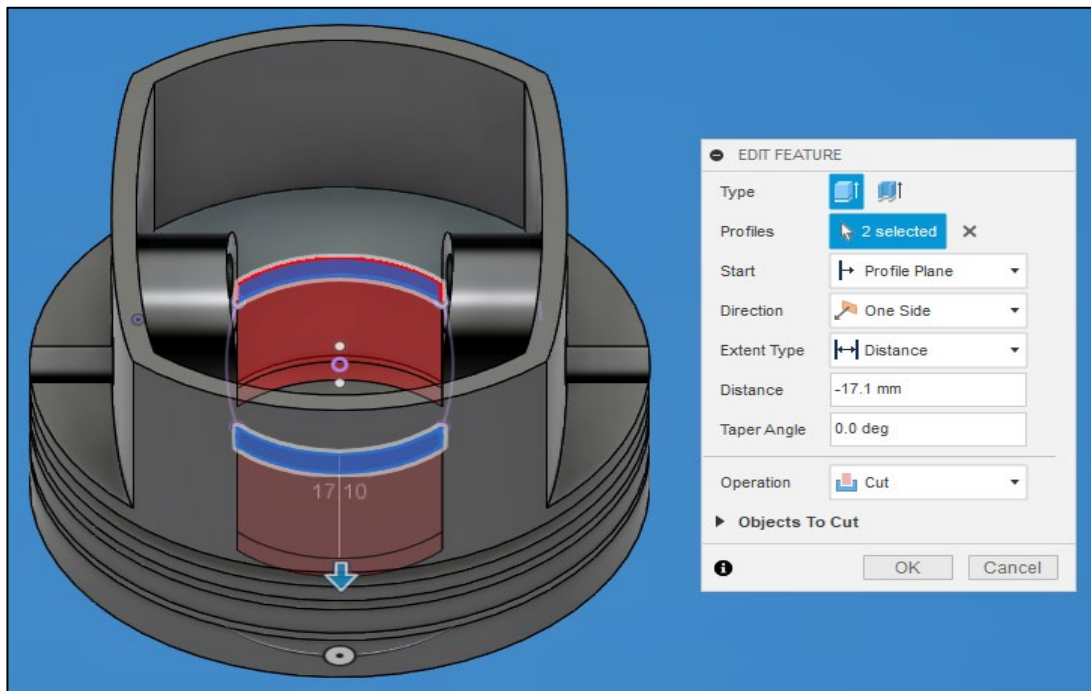
Στην συνέχεια του βήματος, θα γίνει για δεύτερη φορά εφαρμογή της εντολής **Extrude** για την διόρθωση του εσωτερικού του οδηγού του πείρου. Θα χρησιμοποιηθεί το Sketch του βήματος 5.

10. Σ' αυτό το βήμα θα γίνει η διεύρυνση του εσωτερικού του μοντέλου, ώστε να μπορεί να προσαρμοστεί και να κινούνται με ευκολία τα parts. Ανοίγουμε **Create Sketch** και δημιουργούμε το παρακάτω σχέδιο. Όπως παρατηρείται και στην παρακάτω εικόνα, η διεύρυνση αφορά την ήδη υπάρχουσα οπή στο εσωτερικό του μοντέλου.



Εικόνα 6.1.18 Sketch προσαρμοσμένο στην υπάρχουσα οπή με σκοπό την διεύρυνση της.

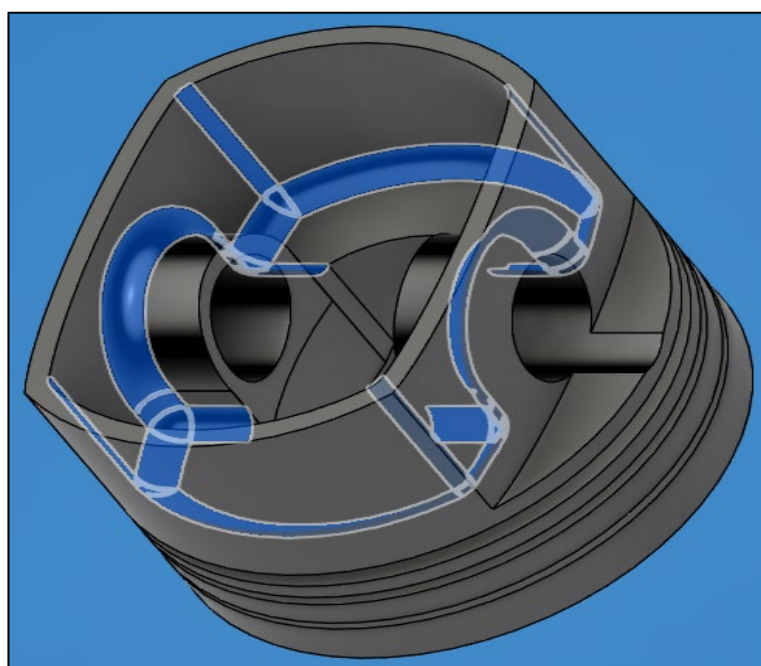
Επιλογή **Finish Sketch** και επιλογή της εντολής **Extrude**. Έπειτα επιλέγουμε το χωρίο που σχεδιάσαμε στο Sketch και την απόστασης της εντολής τόσο όσο το βάθος της οπής. Τέλος, επιλέγουμε Operation, **Cut**.



Εικόνα 6.1.19 Διεύρυνση οπής μοντέλου με Extrude.

Ε

11. Τελευταίο βήμα για το μοντέλο του εμβόλου είναι η τροποποίηση του εσωτερικού του μοντέλου με την εντολή **Fillet**. Όπως φαίνεται και στην εικόνα 6.1.20 οι ακμές που επιλέχθηκαν για τροποποίηση είναι αυτές που είναι δύσκολο να κατεργαστούν από κονδύλι με τις κατεργασίες που έχουν αναφερθεί στο κεφάλαιο του Manufacture.

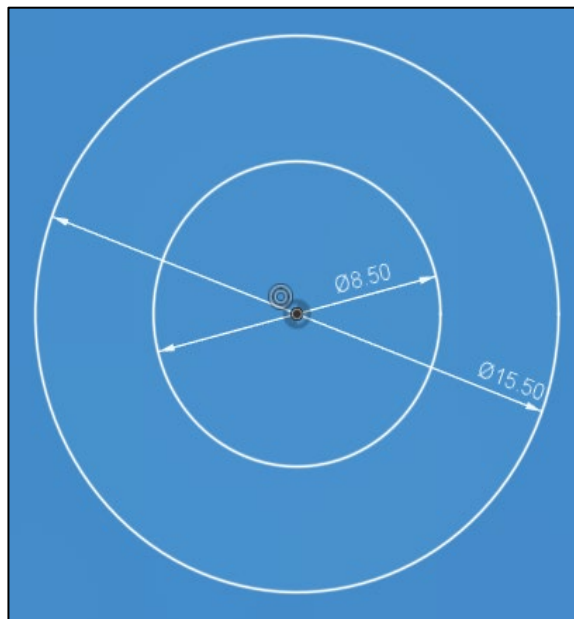


Εικόνα 6.1.20 Τροποποίηση ακμών με την εντολή Fillet.

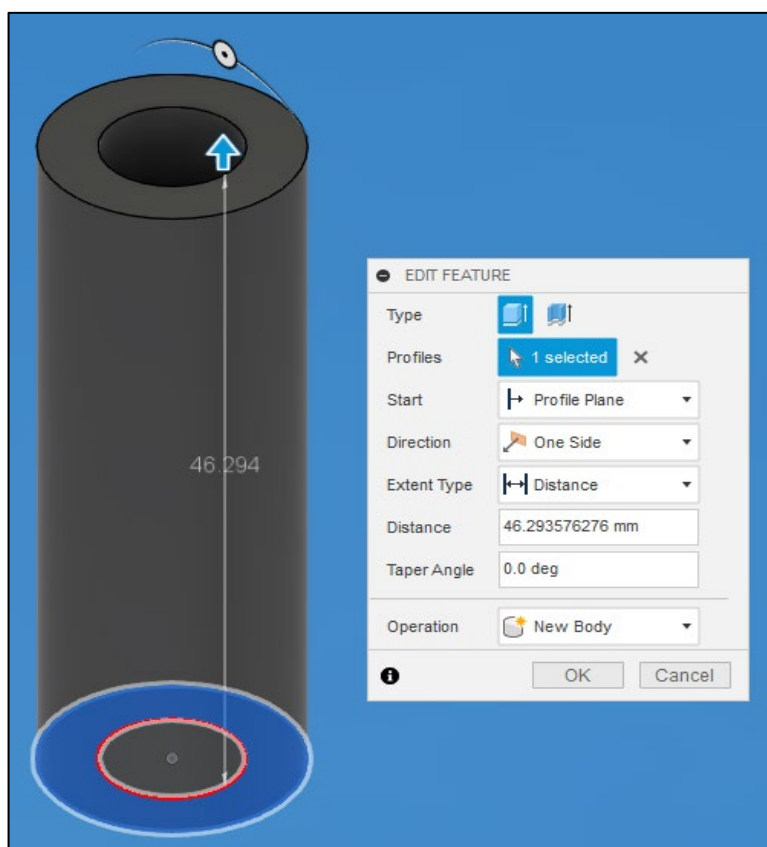


- Ε  
12. Για την δημιουργία του πείρου ανοίγουμε **Create Sketch** και δημιουργούμε τους δυο παρακάτω κύκλους 8.50mm ο μικρός και 15.5mm ο μεγάλος.

Ε  
Επιλογή **Finish Sketch** και επιλογή της εντολής **Extrude**. Έπειτα επιλέγουμε το χωρίο μεταξύ των δυο κύκλων, και Extrude 46.30mm.



Εικόνα 6.1.21 Sketch για την δημιουργία του πείρου.

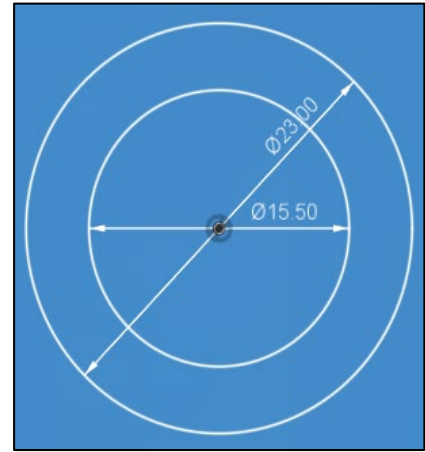


Εικόνα 6.1.22 Extrude και δημιουργία του πείρου.

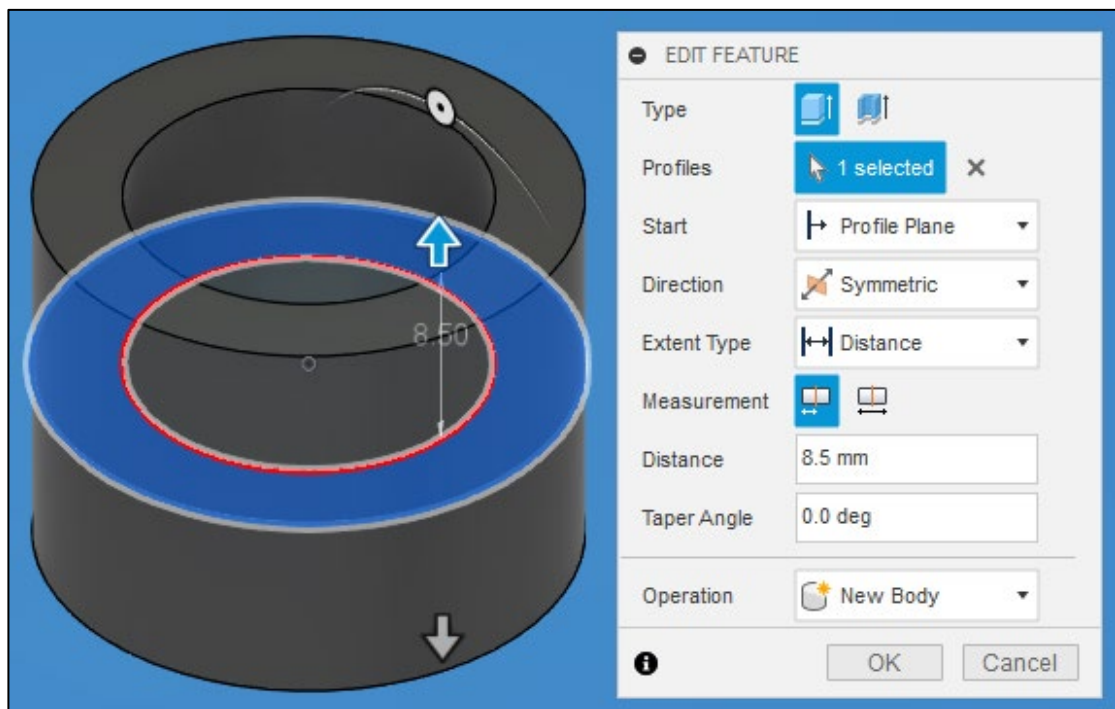
13. Στην συνέχεια, για να δημιουργήσουμε την μπιέλα του εμβόλου ξεκινάμε από **Create Sketch** και δημιουργούμε τους δυο παρακάτω κύκλους, 15.50mm ο μικρός και 23mm ο μεγάλος.



Επιλογή **Finish Sketch** και επιλογή της εντολής **Extrude**. Έπειτα επιλέγουμε το χωρίο μεταξύ των δυο κύκλων, και Extrude 8.50mm με διπλή κατεύθυνση.



Εικόνα 6.1.23 Δημιουργία σώματος μπίελας.



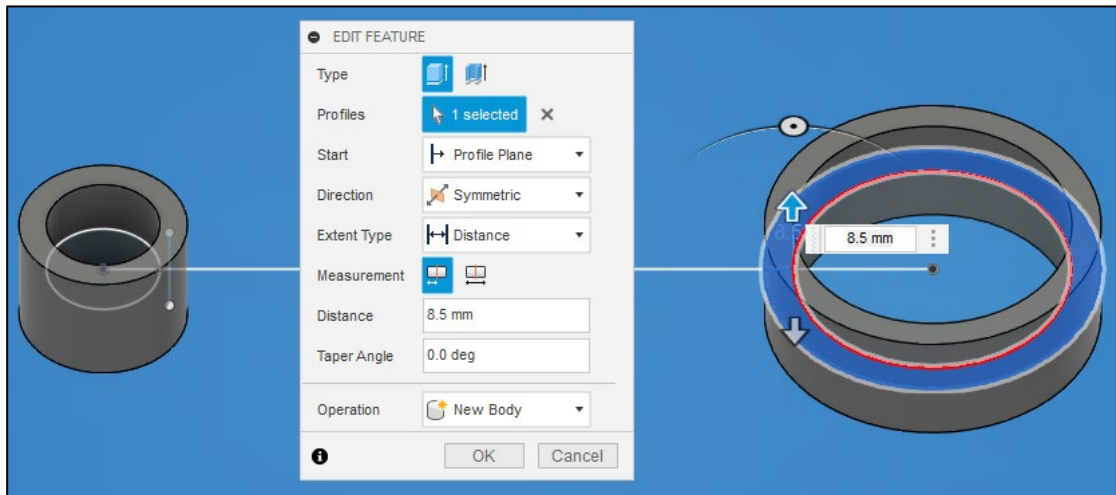
Εικόνα 6.1.24 Extrude πρώτου σώματος μπίελας.

14. Για την δημιουργία του δεύτερου στερεού του μοντέλου, ανοίγουμε **Create Sketch** και δημιουργούμε τους δυο παρακάτω κύκλους 38mm ο μικρός και 46mm ο μεγάλος, και οι δυο μικροί κύκλοι θα έχουν απόσταση 86.5mm.



Εικόνα 6.1.25 Sketch δεύτερου σώματος της μπίελας.

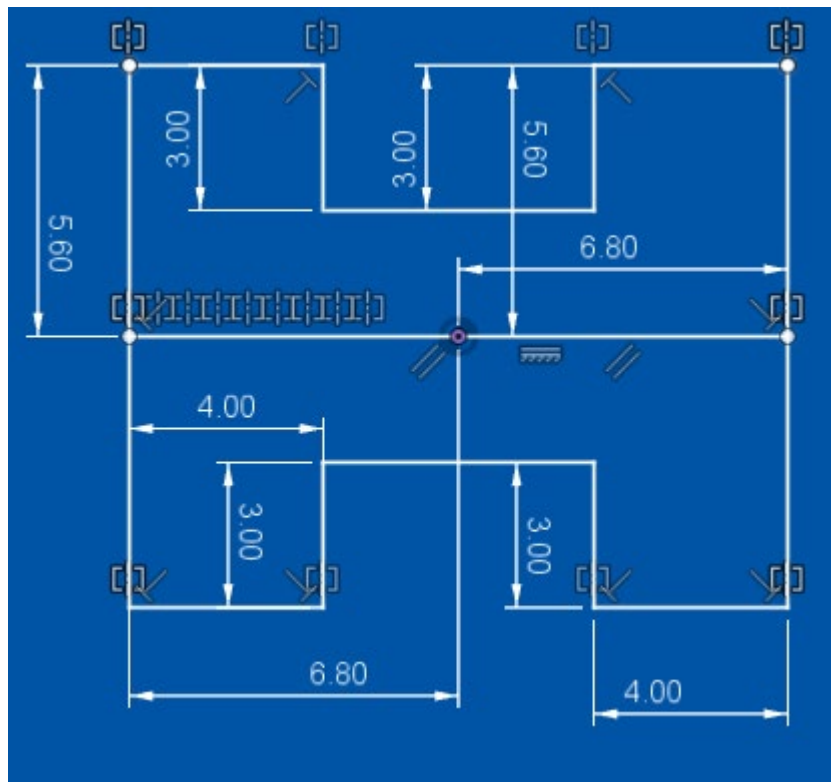
Επιλογή **Finish Sketch** και επιλογή της εντολής **Extrude**. Έπειτα επιλέγουμε το χωρίο μεταξύ των δυο κύκλων, και Extrude 8.50mm με διπλή κατεύθυνση.



Εικόνα 6.1.26 Extrude δεύτερου σώματος της μπίλας.

E

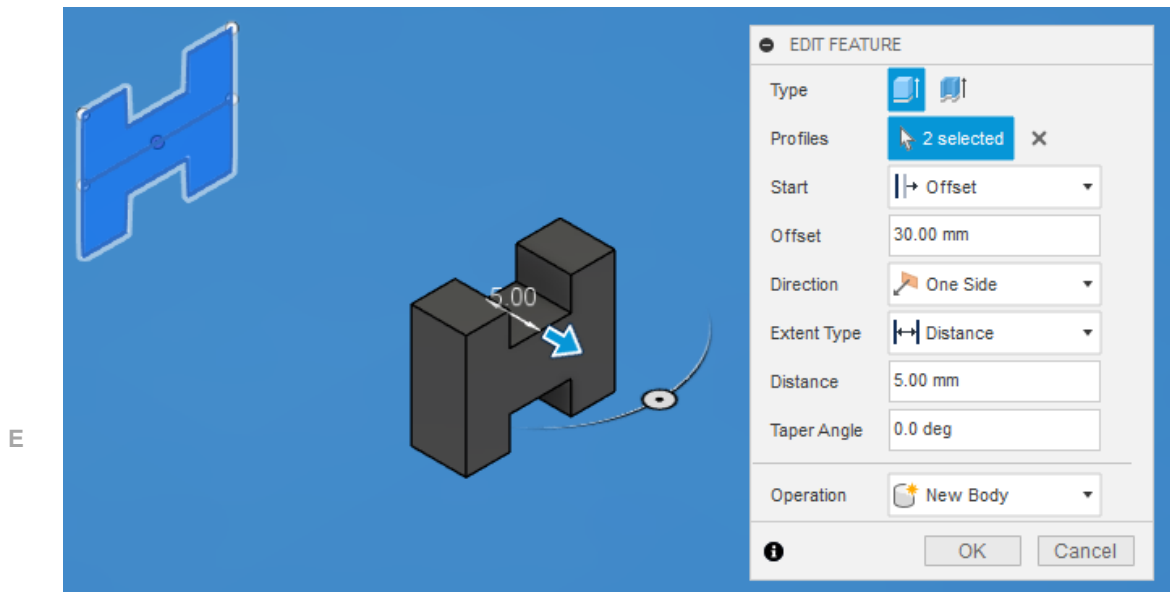
15. Ανοίγουμε **Create Sketch** και δημιουργούμε το συνδετικό νεύρο των δύο δακτυλιδιών. Επειδή οι διαστάσεις είναι πολλές για να αναφερθούν, θα τις βρείτε στην εικόνα 6.1.27



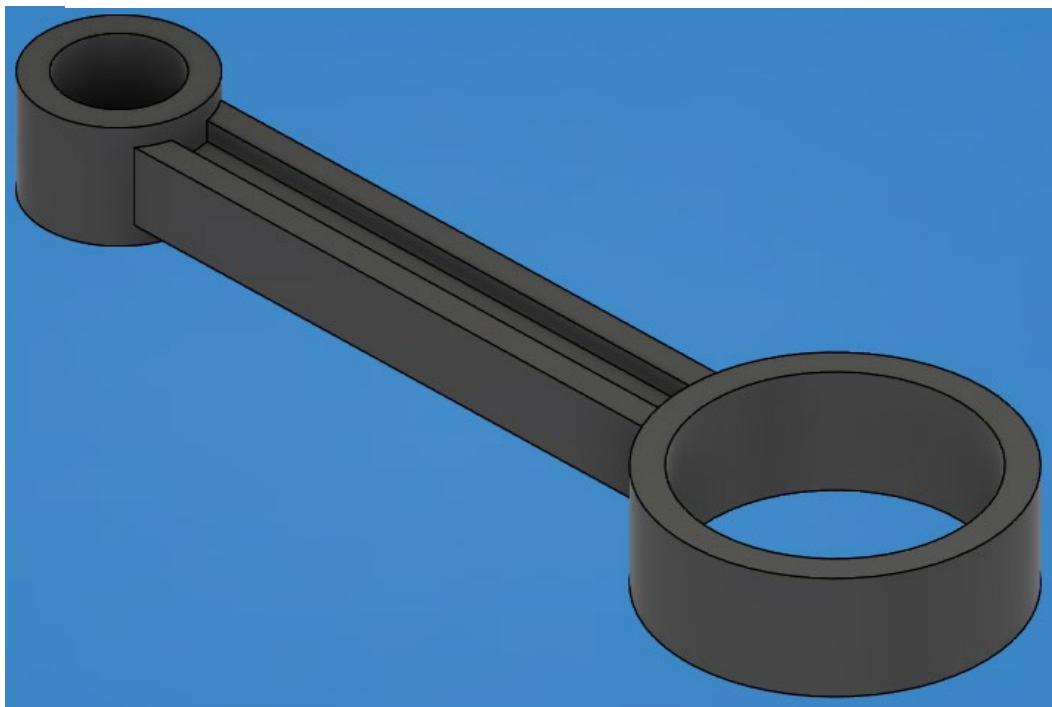
Εικόνα 6.1.27 Σχέδιο συνδετικού νεύρου δακτυλιδιών.

E

Επιλογή **Finish Sketch** και επιλογή της εντολής **Extrude**. Έπειτα επιλέγουμε το Sketch που μόλις δημιουργήσαμε και κάνουμε Extrude σε μήκος μικρότερου από της απόστασης των δυο δακτυλιδιών (εγώ έβαλα 5mm), και διαφορά από το σημείο του σχεδίου κατά 30mm.



Εικόνα 6.1.28 Extrude συνδετικού νεύρου.



Εικόνα 6.1.29 Αποτέλεσμα εντολής Replace Face.

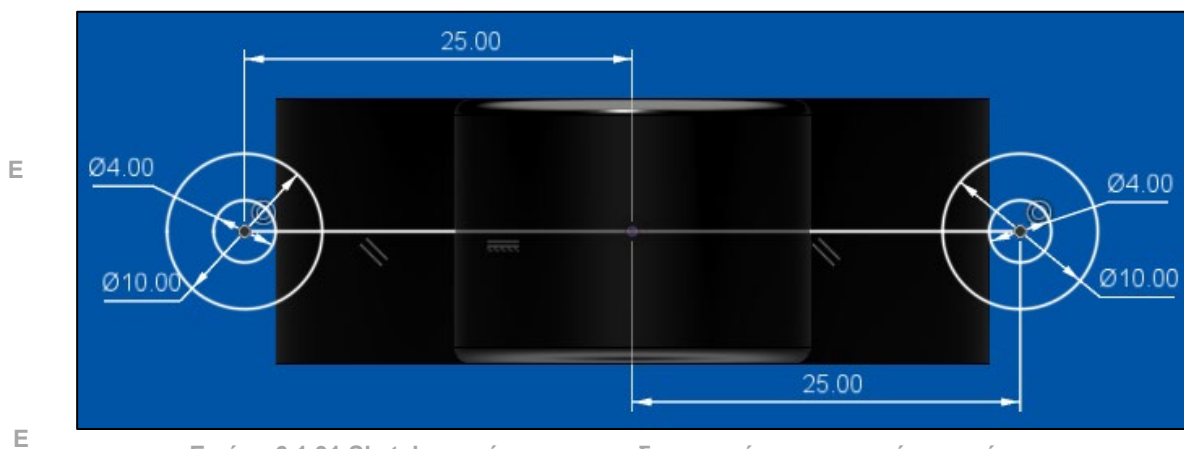
Στην συνέχεια αυτού του βήματος, χρησιμοποιούμε την εντολή **Replace Face** ώστε να γίνει προβολή της μιας πλευράς του προς κατασκευή συνδετικού νεύρου, με το ένα δακτυλίδι. Επαναλαμβάνουμε και στην επόμενη πλευρά με το αντίστοιχο δακτυλίδι και το αποτέλεσμα είναι αυτό στην εικόνα 6.1.29.

16. Μορφοποίηση του συνδετικού νεύρου και του μικρού δακτυλιδιού με την εντολή **Fillet**. Οπότε η μπιέλα αποκτά τη μορφή που βλέπετε στην εικόνα 6.1.30.



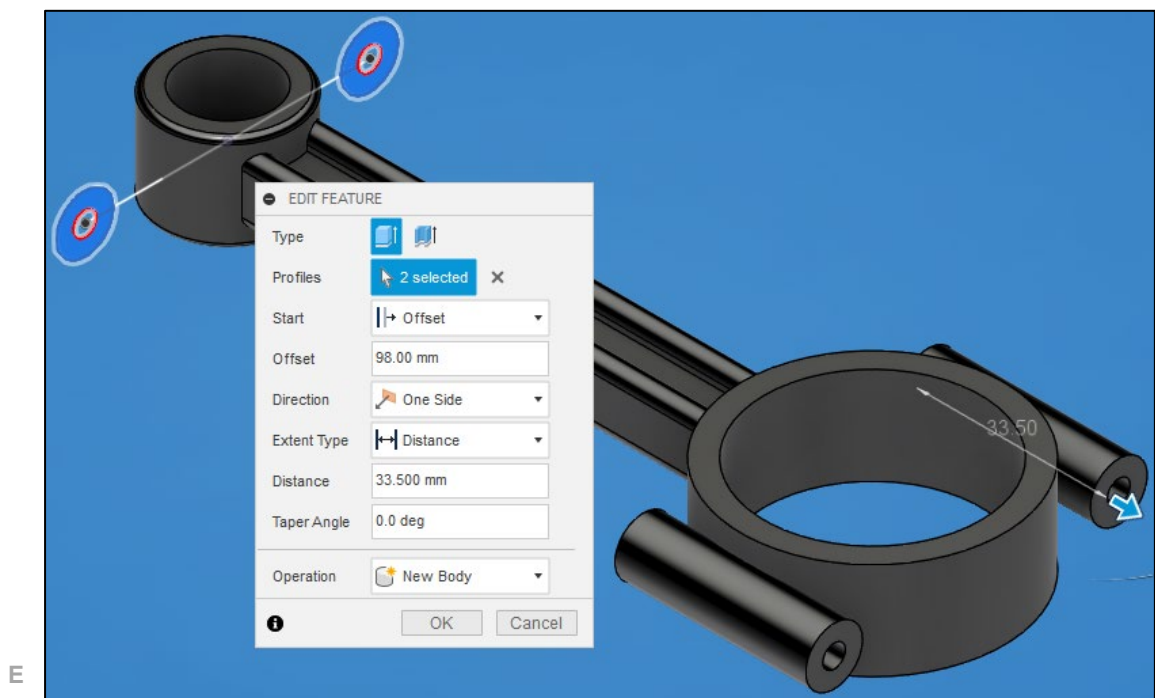
Εικόνα 6.1.30 Μορφοποίηση της μπιέλας με την εντολή **Fillet**.

17. Δημιουργία σωμάτων για την διαμόρφωση της μορφής της μπιέλας για μετέπειτα κατεργασία εσωτερικού σπειρώματος. Σύμφωνα με το πραγματικό μοντέλο του εμβόλου, η μπιέλα έχει δυο κυλινδρικά σώματα ένθεν και ένθεν του μεγάλου δακτυλιδιού. Ανοίγουμε **Create Sketch** και δημιουργούμε δυο ζευγάρια κύκλων. Οι μικροί 4mm ενώ οι μεγάλοι 10mm σε απόσταση 25mm από το κέντρο των αξόνων.



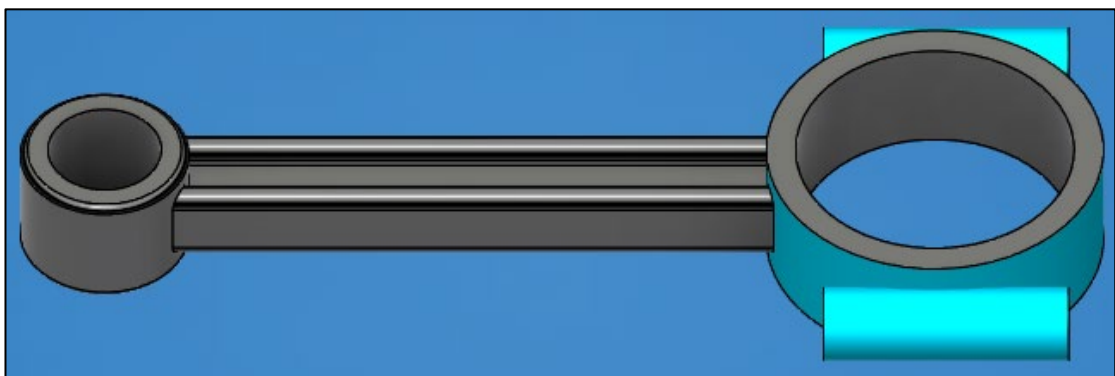
Εικόνα 6.1.31 Sketch σωμάτων για την δημιουργία εσωτερικού σπειρώματος.

Επιλογή **Finish Sketch** και επιλογή της εντολής **Extrude**. Έπειτα επιλέγουμε το Sketch που μόλις δημιουργήσαμε και κάνουμε Extrude με Offset 98mm από το σημείο του Sketch, και μήκος του σώματος 33.50mm.



Εικόνα 6.1.32 Extrude σωμάτων διαμόρφωσης μπιέλας.

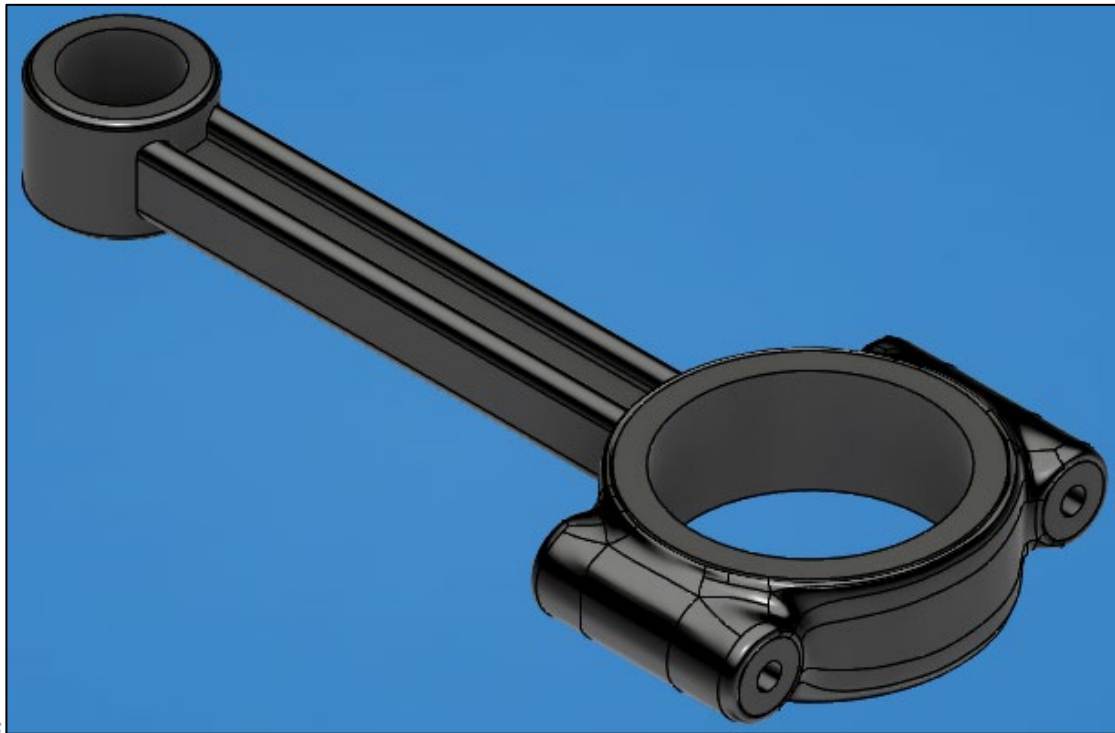
18. Τέλος επιλογή της εντολής **Automate** και επιλογή των τριών σωμάτων που φαίνονται στην εικόνα 6.1.33.



Εικόνα 6.1.33 Μορφοποίηση της μπιέλας με την εντολή Automate.

Επιλογή **Generate Shapes** και επιλογή της μορφής που μας βολεύει περισσότερο. Η τελική μορφή είναι αυτή της εικόνας 6.1.33. Αξίζει να σημειωθεί πως μετά το πέρας της εντολής, το στερεό που δημιουργείται και ενώνει τα αντικείμενα είναι σε μορφή Create Form και χρησιμοποιεί τις καμπύλες T-spline.

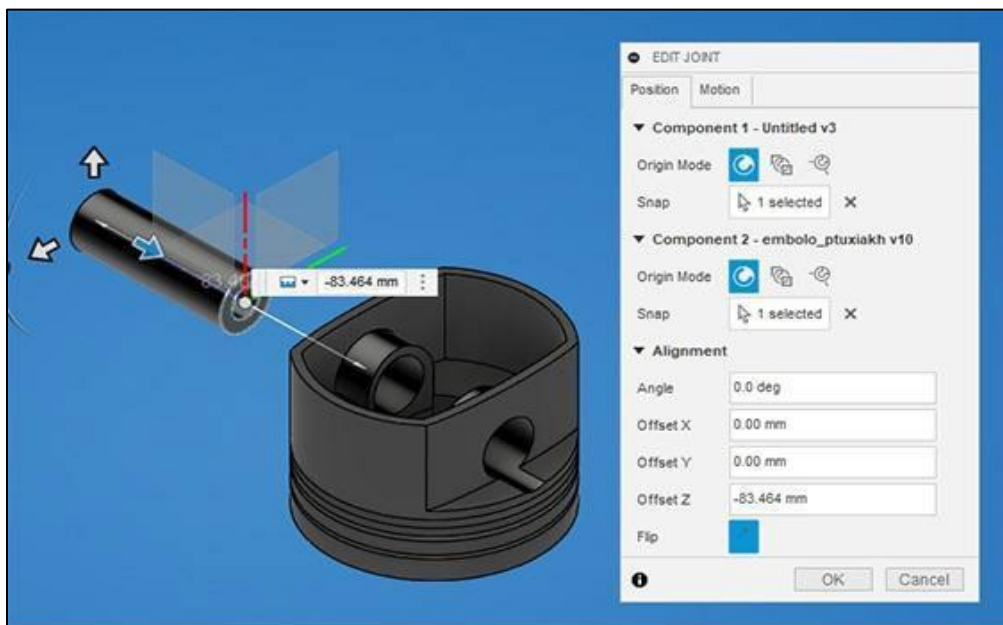




Ε

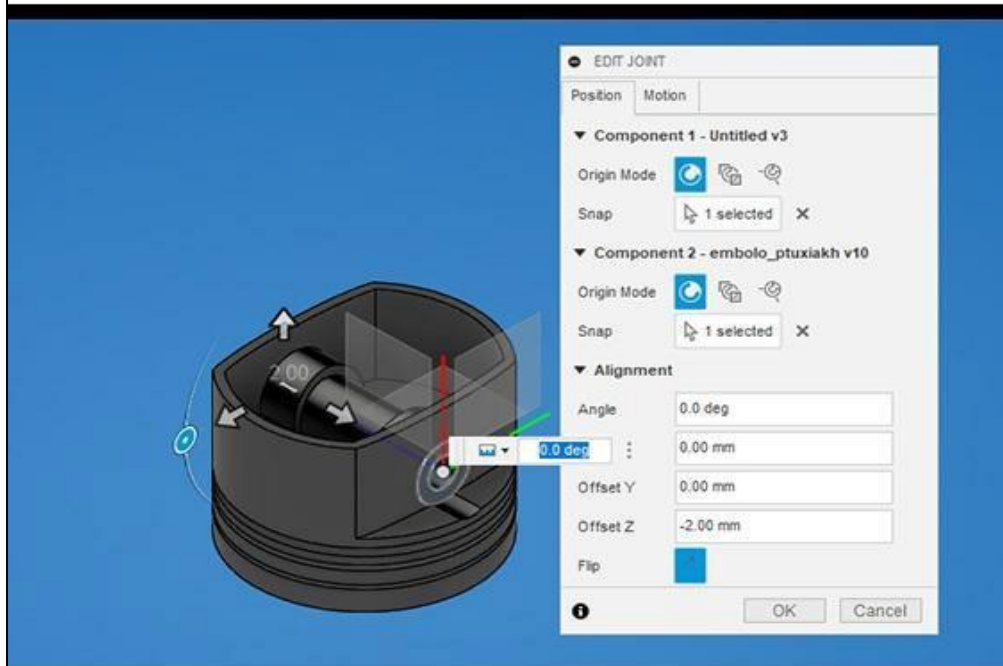
Εικόνα 6.1.33 Τελική μορφή μπιέλας.

19. Τέλος για την ολοκλήρωση του πιστονιού μένει η συνδεσμολογία. Αρχικά ανοίγουμε το αρχείο του εμβόλου από το Data Panel, επιλέγουμε την περόνη και την σέρνουμε στον χώρο εργασίας. Ανοίγουμε την εντολή **Joint**, επιλέγουμε το πρώτο μοντέλο και στη συνέχεια επιλέγουμε και το δεύτερο (δεν έχει σημασία η σειρά των μοντέλων). Επιλογή **Simple Joint** και στα δυο αντικείμενα, και βάζουμε τόσο Offset στον άξονα Z μέχρι να έρθει στο κέντρο του εμβόλου.



(1)

Πρίν την ένωση των δυο μοντέλων.

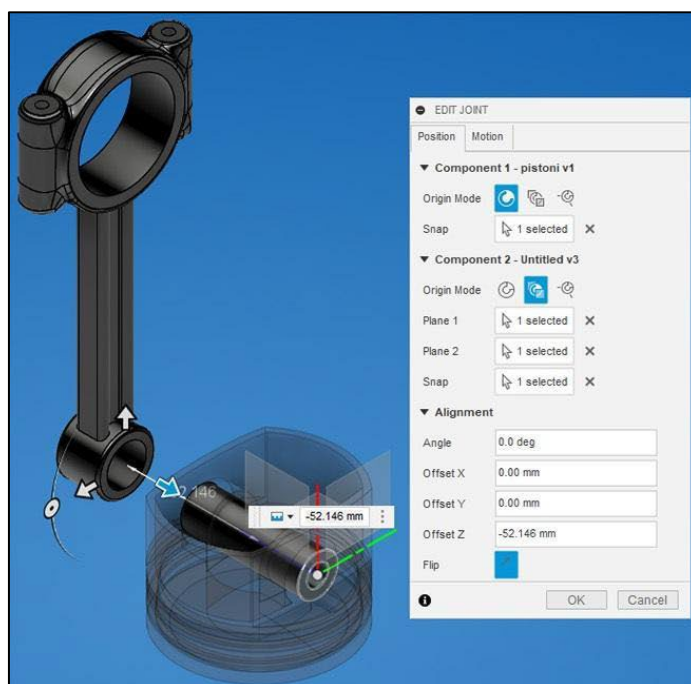


(2)

Μετά την ένωση των δυο μοντέλων.

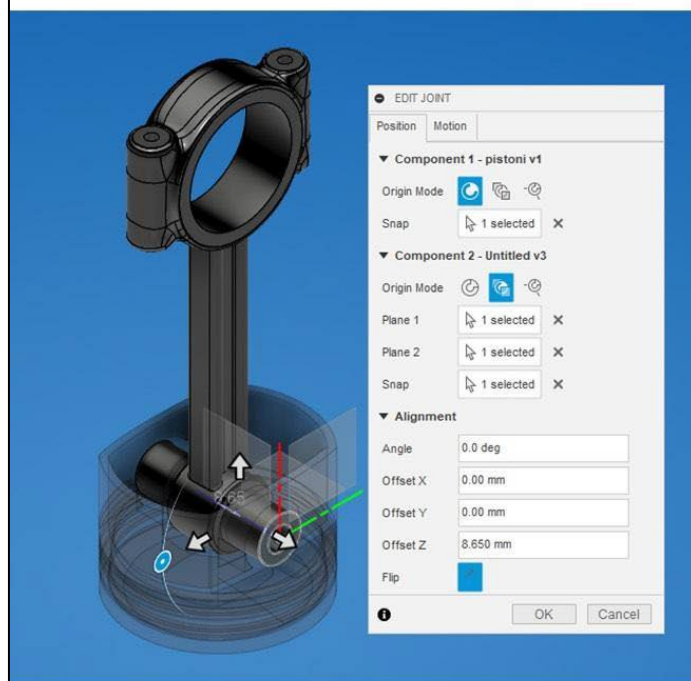
Εικόνα 6.1.34 Εφαρμογή της εντολής Joint.

Συνεχίζουμε με το να σύρουμε και την μπιέλα στον χώρο εργασίας. Ανοίγουμε την εντολή **Joint**, επιλέγουμε το πρώτο μοντέλο, επιλέγουμε και το δεύτερο μοντέλο. Επιλογή **Simple Joint** για την μπιέλα, ενώ **Between Two Faces** για το έμβολο, για το οποίο πέρα από το αντικείμενο θα επιλεχθούν και δυο πρόσωπα που θα οριοθετούν την τοποθέτηση της μπιέλας.



(1)

Πριν την ένωση των δύο μοντέλων.



(2)

Μετά την ένωση των δύο μοντέλων.

Ε  
Εικόνα 6.1.35 Εφαρμογή της εντολής Joint και δημιουργία του τελικού αποτελέσματος.

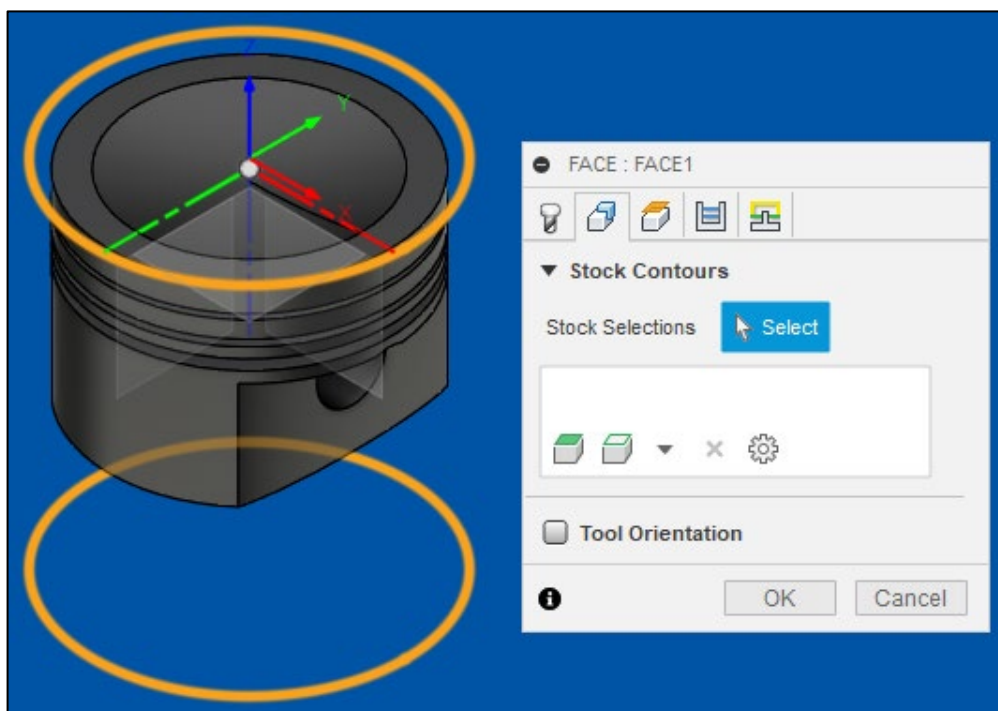
## 6.2 Παραγωγή του Παραδείγματος

Αφού μοντελοποιήθηκε το πιστόνι, το επόμενο βήμα για την παραγωγή του είναι ο προγραμματισμός της κατεργασίας του. Αναλυτικότερα, θα προγραμματιστεί η διαδρομή του κοπτικού εργαλείου, θα επισημανθούν τα εργαλεία που θα χρησιμοποιηθούν για την παραγωγή του αντικειμένου και γενικότερα θα γίνει ανάλυση της κατεργασίας μέσα από εικόνες της προσομοίωσής της. Η όλη κατεργασία θα αναλυθεί σε έξι βήματα, όσα και τα Setups που χρησιμοποιήθηκαν.

1. Το έμβολο επιλέχθηκε ως το πρώτο κομμάτι που θα κατεργαστεί. Ο καθένας μπορεί να ξεκινήσει με οποιαδήποτε σειρά. Αρχικά επιλέγουμε το αντικείμενο που θα κατεργαστούμε, απομονώνοντας όλα τα υπόλοιπα. Ανοίγουμε το χώρο εργασίας **Manufacture**, και επιλέγουμε την εντολή **Setup**.

Η μηχανή που επιλέχθηκε για την κατεργασία του πιστονιού είναι η DMG DMU 50. Ανήκει στις πενταξονικές CNC Milling μηχανές, με δυνατότητες ταχύτητας έως και 20,000rpm. Οπότε, στην επιλογή **Operation type** επιλέγουμε **Milling**. Επιλογή της αρχής αξόνων (καλό θα είναι ο άξονας Z να έχει την κατεύθυνση του κοπτικού εργαλείου) και επιλογή του αρχικού ακατέργαστου αντικειμένου. Λόγω του σχήματος του εμβόλου, επιλέχθηκε ένα κυλινδρικό ακατέργαστο, με διαστάσεις 70mm η διάμετρος, και ύψος 80mm. Επιλογή **OK** για να κλείσει το παράθυρο του Setup.

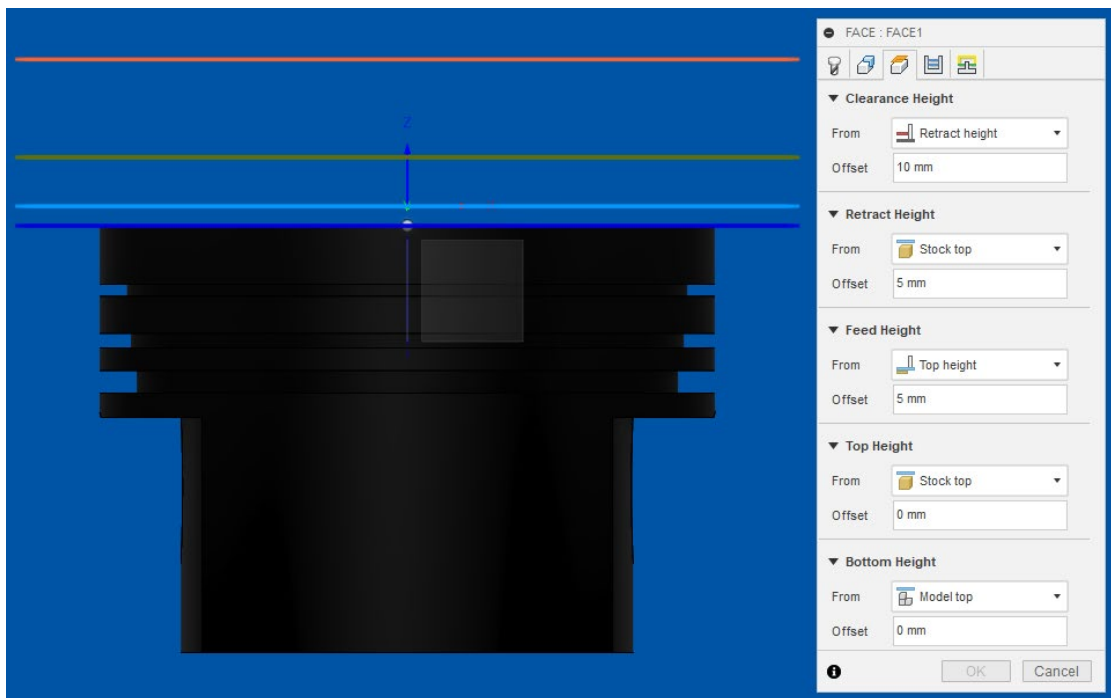
Η πρώτη κατεργασία του Setup θα είναι η κατεργασία προσώπου. Επιλογή της εντολής **Face**, ως εργαλείο επιλέχθηκε μια φρεζοκεφαλή 50mm και ως τρόπος ψύξης επιλέχθηκε η ροή ψυκτικού υγρού μέσα από το κοπτικό εργαλείο **Through Tool**. Όπως φαίνεται και στην εικόνα 6.2.1 η γεωμετρία που επιλέχθηκε για να επεξεργαστεί είναι η περίμετρος του ακατέργαστου.



Ε

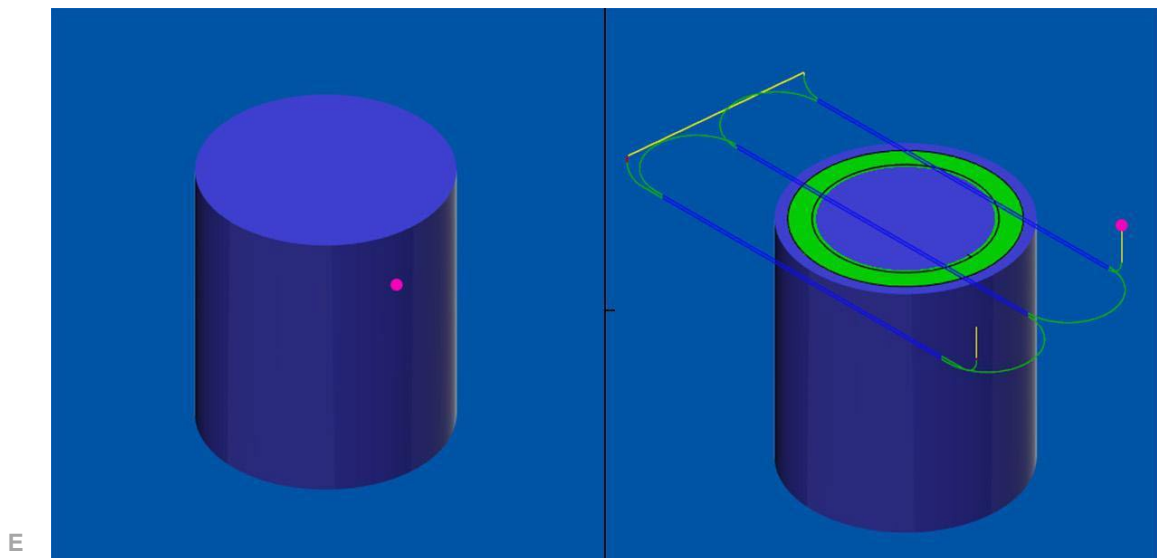
Εικόνα 6.2.1 Επιλογή της προς κατεργασία γεωμετρίας.

Για την καρτέλα των υψών μπορούμε να δούμε τις θέσεις τους και τις αποστάσεις από τα σημεία αναφοράς τους στην εικόνα 6.2.2.



Εικόνα 6.2.2 Τα ύψη της κατεργασίας Face για το κομμάτι του εμβόλου.

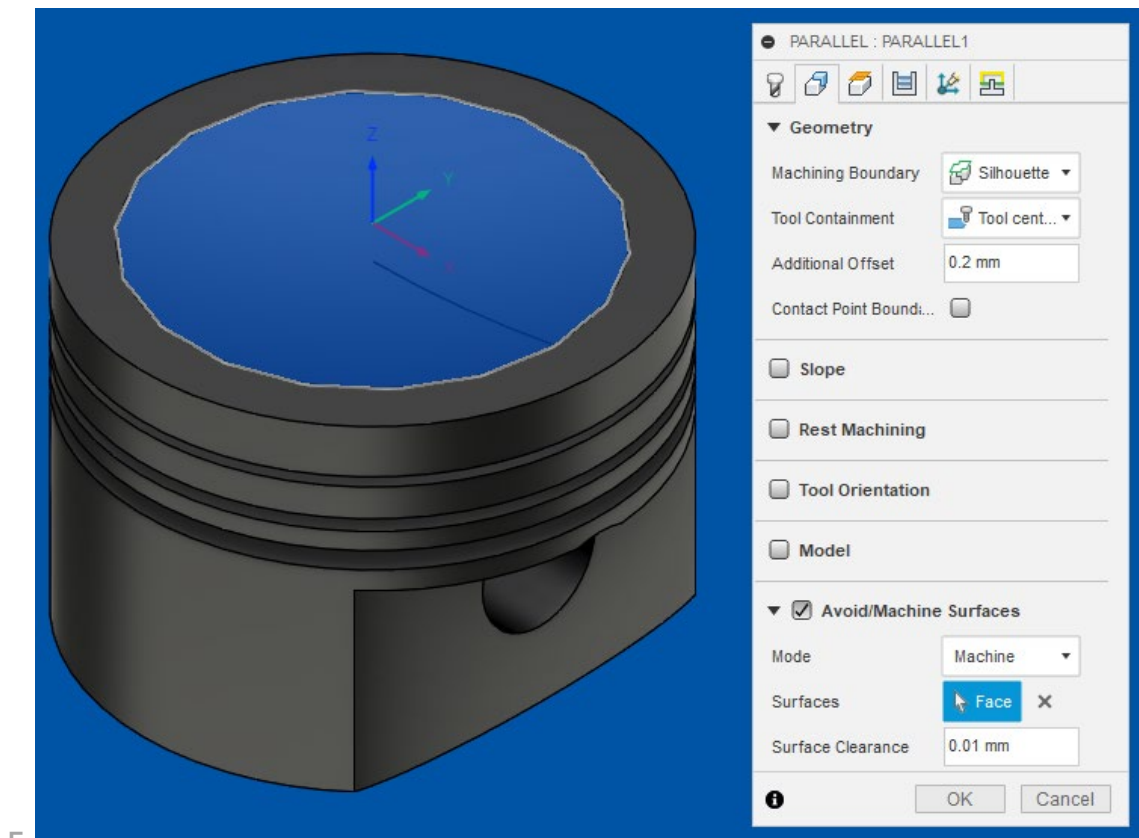
Στην καρτέλα **Passes** χρειάζεται προσοχή στα περάσματα. Οπότε, **Stepover** ορίστηκε στα 40mm, ενώ επιλέχθηκε και η επιλογή **Multiple Depths** με Maximum Stepdown 1mm. Τέλος στην καρτέλα **Linking** χρειάζεται να επιλεγεί η επιλογή **Keep Tool Down** με σκοπό την μείωση του χρόνου κατεργασίας.



Εικόνα 6.2.3 Αριστερά είναι το ακατέργαστο πριν την κατεργασία Face, ενώ δεξιά μετά.

Επιλογή OK και άνοιγμα της εντολής Parallel. Επιλογή ενός 8mm Ball Nose κονδύλι, και για ψύξη επιλογή Flood. Στην καρτέλα Geometry επιλογή της επιλογής Avoid/Machine Surfaces για να αποφύγει να αγγίξει την επιφάνεια, αφού την εντολή την θέλουμε καθαρά για εκχόνδριση. Επιλογή της επιφάνειας που φαίνεται στην εικόνα 6.2.4 και επιλογή Surface Clearance=0.01mm

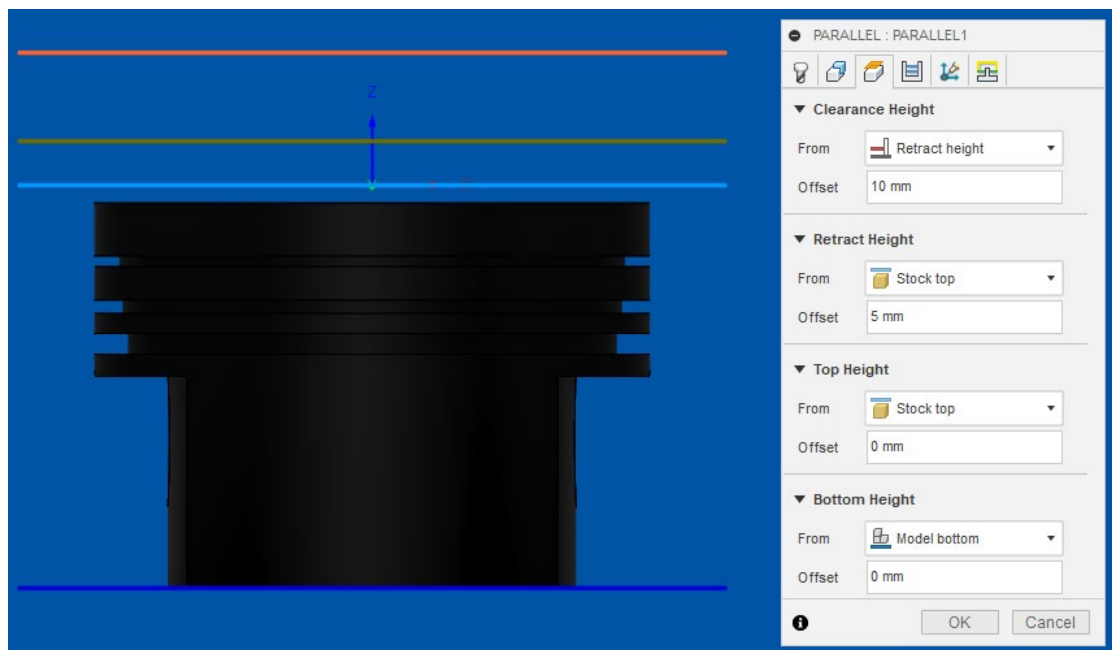




Ε

Εικόνα 6.2.4 Επιλογή της επιφάνειας κατεργασίας και αποφυγή επαφής με αυτή.

Στην καρτέλα των υψών θα επιλεγθούν τα ύψη που φαίνονται και στην [εικόνα 6.2.5](#). Δεν μας ενδιαφέρει πολύ το ύψος του Bottom Height, αρκεί η κατεργασία να γίνει ενδιάμεσα των Top και Bottom Heights.

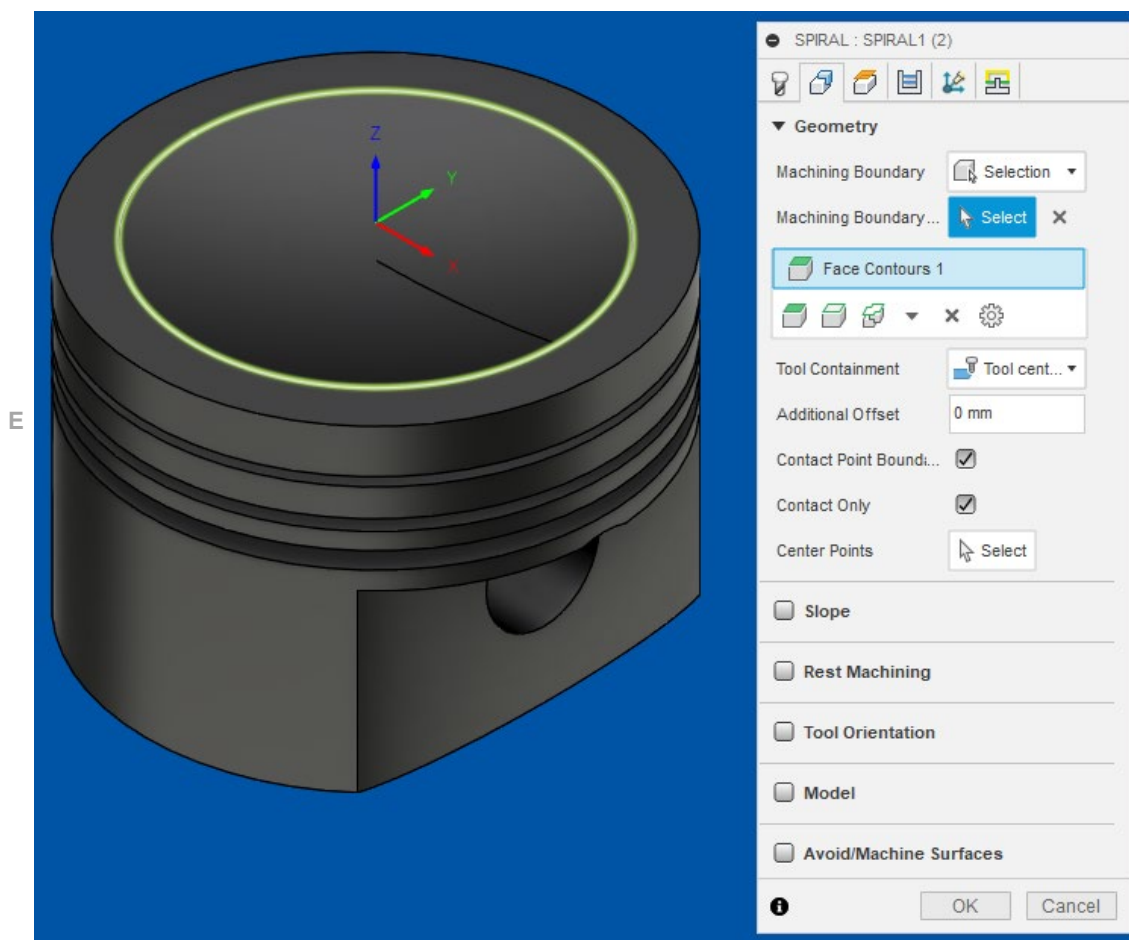


Εικόνα 6.2.5 Καρτέλα υψών.

Στην καρτέλα Passes προσοχή στην επιλογή Steponver. Θα οριστεί στα 1.6mm και επιλογή Multiple Depths με Maximum Stepdown 1mm. Τέλος, στην καρτέλα Linking θα αφήσουμε την προεπιλογή που προτείνει το πρόγραμμα.

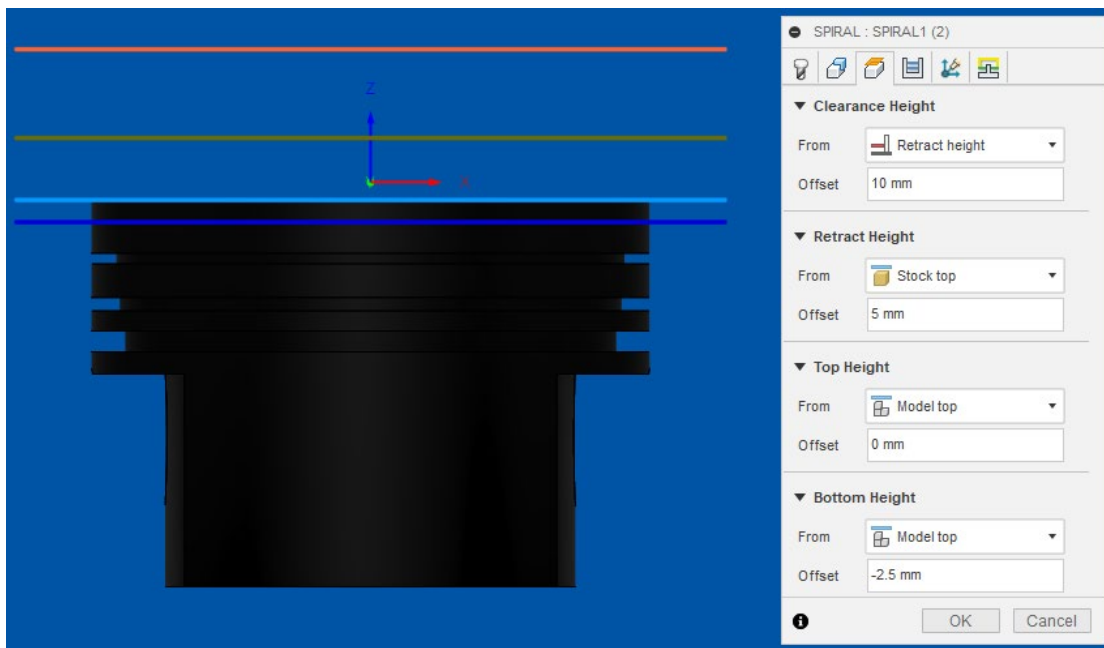
Τη διαφορά του πριν και μετά θα την βρείτε παρακάτω, στο τέλος της επόμενης εντολής. Επιλογή OK για να κλείσει το παράθυρο της εντολής Parallel και επιλογή της εντολής Spiral.

Επιλογή ενός 6mm Ball Nose κονδύλι, και για ψύξη επιλογή Flood. Στην καρτέλα Geometry επιλογή της επιφάνειας που θα γίνει κατεργασία με την βοήθεια της επιλογής Machining Boundary Selection.



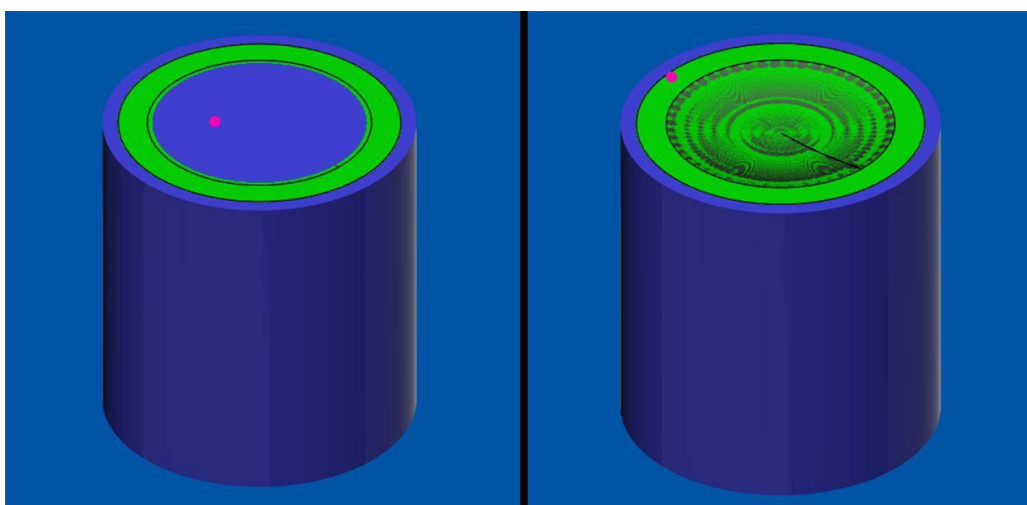
Εικόνα 6.2.6 Επιλογή των ορίων κατεργασίας.

Στην καρτέλα των υψών θα επιλεχθούν τα ύψη που φαίνονται και στην εικόνα 6.2.7, και ως Bottom Height θα επιλεχτεί ως σημείο αναφοράς Model Top με Offset -2.5mm.



Εικόνα 6.2.7 Επιλογή των υψών για την κατεργασία Spiral.

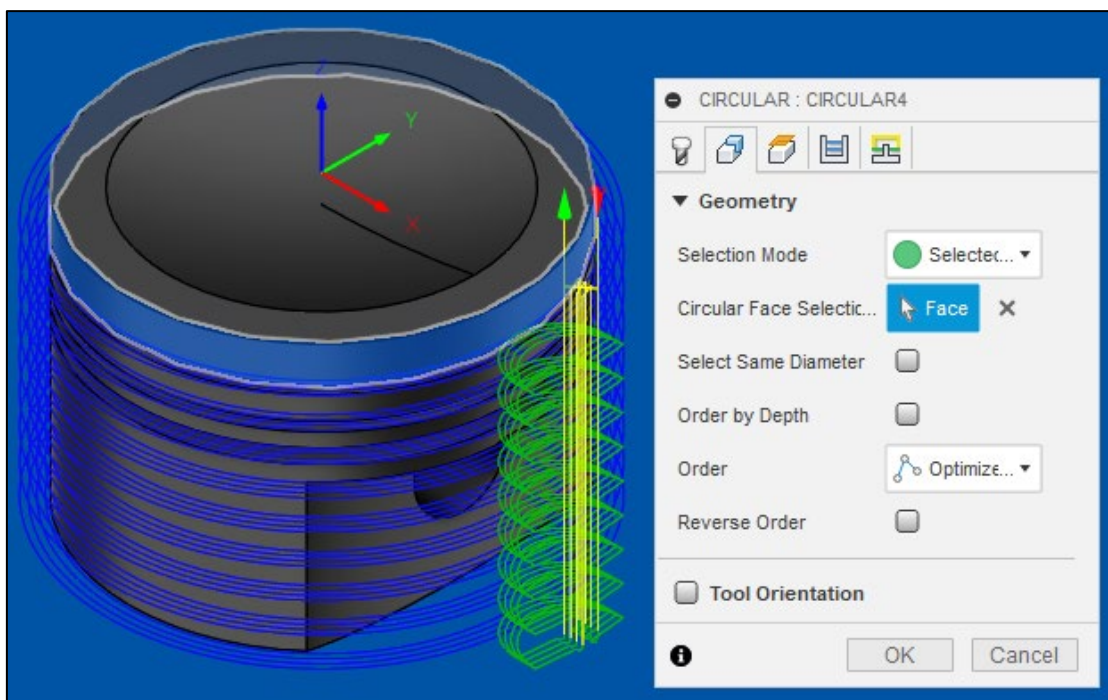
Στην καρτέλα Passes επιλέγουμε 0.14 στο Steponer, διότι θέλουμε πολύ καλή ποιότητα επιφάνειας. Δεν θα χρειαστεί Multiple Depths αφού κάναμε εκχόνδριση στην προηγούμενη κατεργασία. Επιλογή Cusp Height=0.002mm. Τέλος, στην καρτέλα Linking αφήνουμε τις προεπιλογές ως έχουν.



Εικόνα 6.2.8 Αριστερά το ακατέργαστο όπως είναι πριν τις εντολές Parallel και Spiral, ενώ δεξιά είναι μετά.

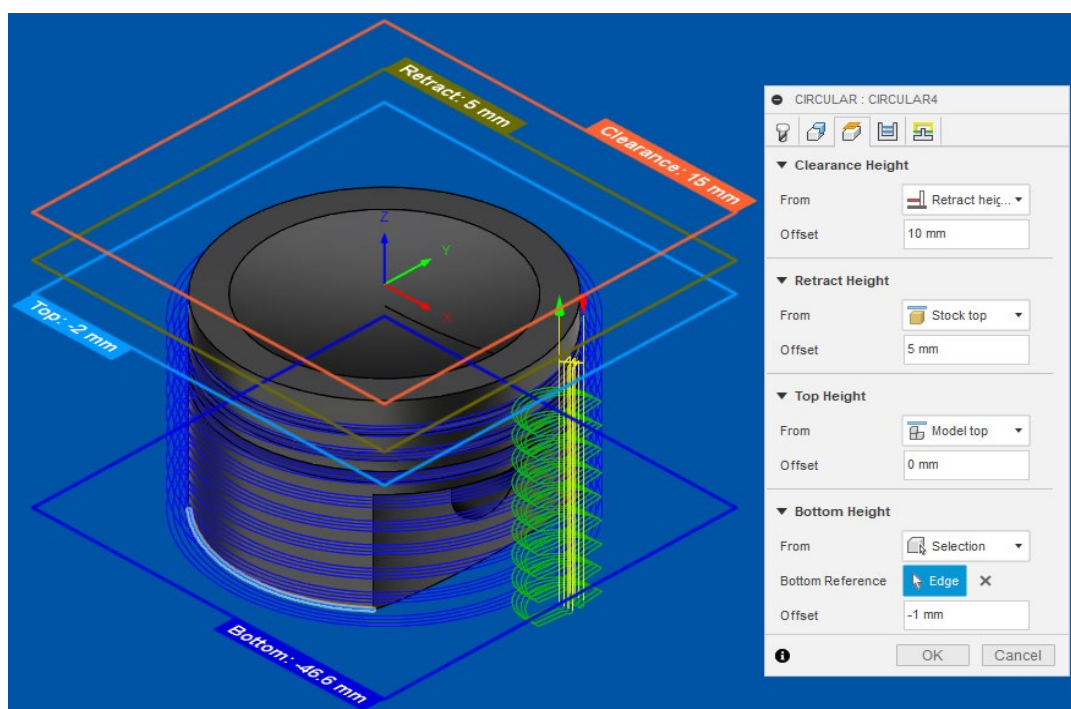
Ε

Στην επόμενη κατεργασία θα αφαιρεθεί το υλικό της περιμέτρου του αντικειμένου. Επίσης η διαφορά του πριν και του μετά θα φανεί παρακάτω, καθώς θα γίνουν δυο κατεργασίες για την περίμετρο. Για την κατεργασία της εκχόνδρισης θα χρησιμοποιηθεί η εντολή **Circular**. Το εργαλείο που επιλέχθηκε είναι ένα 12mm Flat end mill, ενώ ο τρόπος ψύξης που θα χρησιμοποιηθεί θα είναι **Flood**. Στην εικόνα 6.2.9 παρατηρείται και η επιλογή της προς κατεργασία επιφάνειας.



Ε Εικόνα 6.2.9 Καρτέλα γεωμετρίας εντολής Circular.

Στην καρτέλα των υψών θα επιλεγθούν τα ύψη που φαίνονται και στην [εικόνα 6.2.10](#), και ως Bottom Height θα επιλεγθεί ως σημείο αναφοράς μια από τις καμπύλες στον πάτο του αντικειμένου με Offset=-1mm.



Εικόνα 6.2.10 Καρτέλα υψών εντολής Circular. Με γαλάζιο χρώμα στο κάτω μέρος του αντικειμένου παρατηρείται και η καμπύλη που επιλέχτηκε ως σημείο αναφοράς για το Bottom Height.

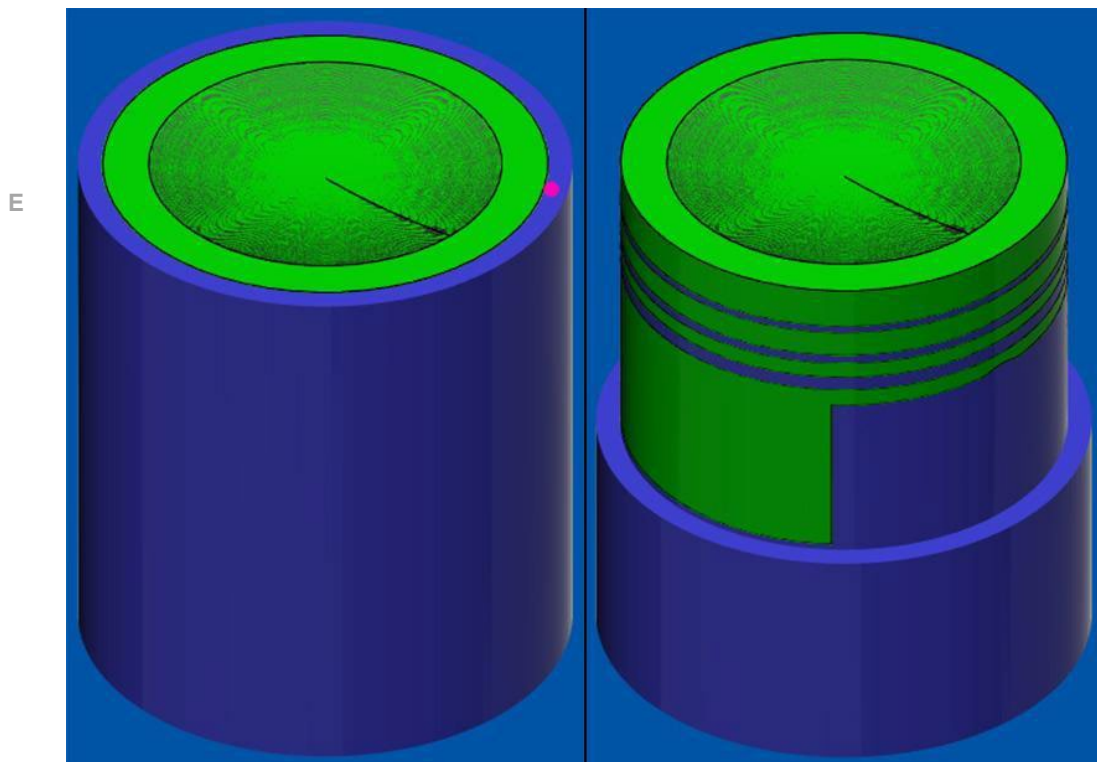
Στην καρτέλα Passes επιλέχθηκε και η επιλογή **Multiple Passes** αφού δεν θέλουμε να φορτώσουμε με πολλές δυνάμεις το κοπτικό. Επιλέχθηκαν να γίνουν τέσσερα περάσματα καθώς και η εντολή **Multiple Depths** με **Maximum Roughing Stepdown**= 5mm. Τέλος



στην καρτέλα Linking αφήνουμε τις προεπιλογές ως έχουν, εκτός της επιλογής **Safe Distance** που ορίστηκε ίσο με 2mm.

Για την κατεργασία φινιρίσματος επιλέχθηκε η εντολή **Bore** και το ίδιο κονδύλι (12mm Flat end mill). Για ψύξη επιλέχθηκε **Flood**. Επιλέγουμε την ίδια επιφάνεια με την εντολή Circular, ενώ και η καρτέλα των υψών θα παραμείνει ίδια. Ο λόγος που οι ρυθμίσεις παραμένουν ίδιες και στις δυο κατεργασίες είναι γιατί η εντολή Bore είναι ουσιαστικά το τελείωμα της εντολής Circular. Η εντολή Circular συστήνεται για κατεργασίες εκχόνδρισης σε κυλινδρικές γεωμετρίες, ενώ αντίστοιχα η εντολή Bore συστήνεται για κατεργασίες φινιρίσματος.

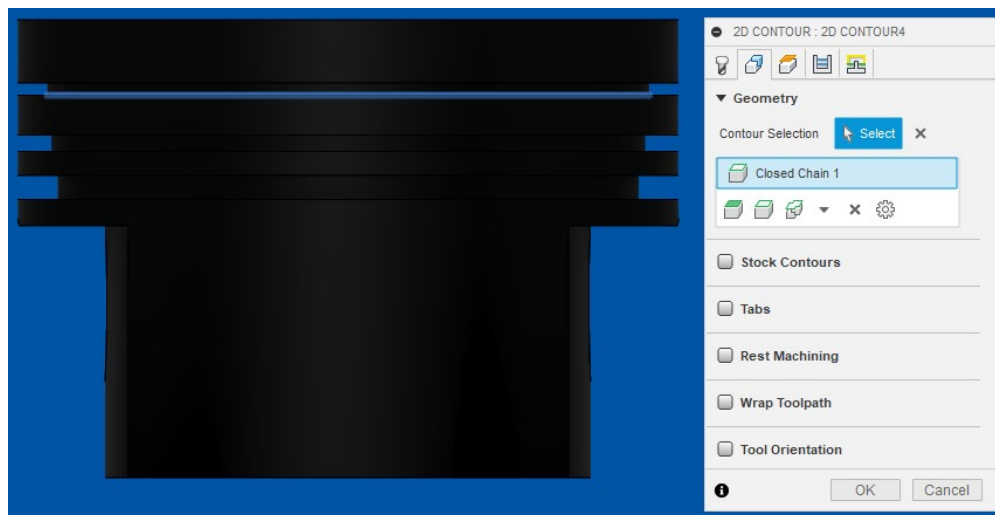
Στην καρτέλα Passes επιλέγουμε την επιλογή **Use Ramp Angle**, ενώ η γωνία καθόδου της ελικοειδούς διαδρομής θα έχει τιμή ίση με 1deg. Τέλος στην καρτέλα Linking αφήνουμε τις προεπιλογές ως έχουν, εκτός της επιλογής **Safe Distance** που ορίστηκε ίση με 2mm, όπως και στην εντολή Circular.



Εικόνα 6.2.11 Αριστερά το ακατέργαστο όπως είναι πριν τις εντολές Circular και Bore, ενώ δεξιά είναι μετά.

Η επόμενη σειρά κατεργασιών αποτελείται από τρεις ίδιες κατεργασίες **Contour**, με σκοπό την διάνοιξη των εσοχών που θα τοποθετηθούν τα δακτυλίδια του εμβόλου και θα αναλυθούν ταυτόχρονα. Οι εγκοπές έχουν διαφορετικό πάχος, αφού έχουν και διαφορετικά δακτυλίδια. Για αυτό το λόγο δημιουργήθηκαν τρία διαφορετικά εργαλεία, της κατηγορίας Slot mill, με πάχος 1.2mm, 1.5mm και 2.3mm αντίστοιχα της κάθε εσοχής. Ως ψύξη επιλέχθηκε το Flood, ενώ στην καρτέλα Geometry, στην επιλογή της περιμέτρου επιλέχθηκε η καμπύλη στο κάτω μέρος της εσοχής. Θα την παρατηρήσετε καλύτερα στην εικόνα 6.2.12 με γαλάζιο χρώμα.

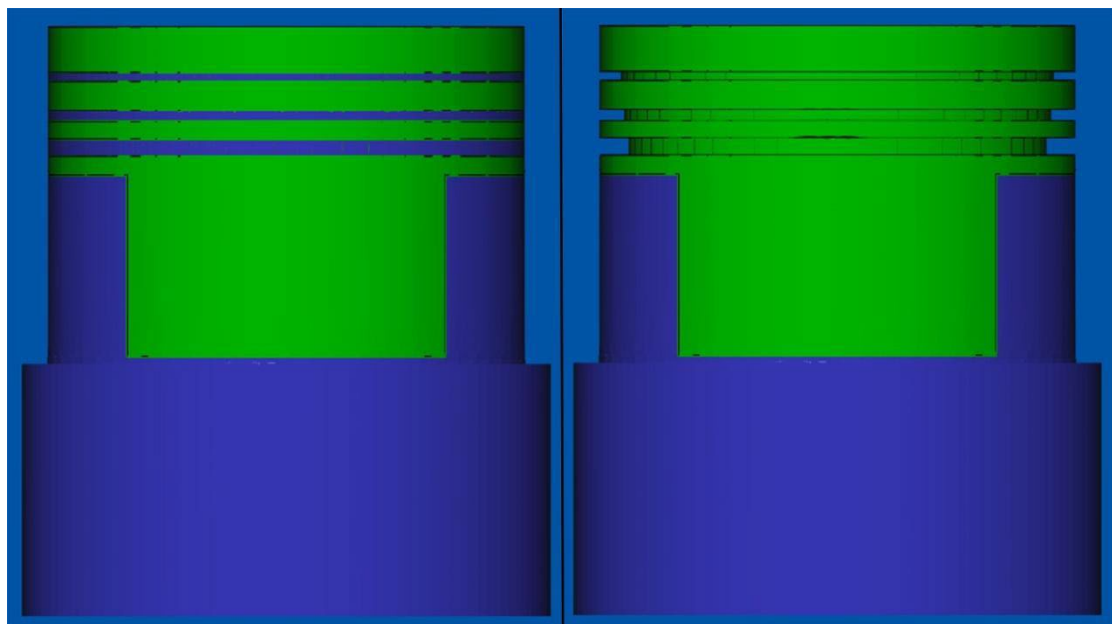




Εικόνα 6.2.12 Επιλογή της περιμέτρου της προς κατεργασία γεωμετρίας.

Στην καρτέλα των υψών, ως **Bottom Height** επιλέχθηκε η ίδια καμπύλη όπως και στην καρτέλα Geometry, ενώ τα υπόλοιπα ύψη παρέμειναν στην προεπιλογή που πρότεινε το πρόγραμμα.

Στην καρτέλα Passes προσοχή στην επιλογή **Roughing Passes**, αφού τα συγκεκριμένα εργαλεία δεν μπορούν να δεχτούν πολλές δυνάμεις. Οπότε θα οριστούν έξι Steppers. Στην καρτέλα Linking επιλέγουμε την εντολή **Lead-in** και ορίζουμε το **Horizontal** και **Linear Lead-in Distance** ίσο με 1.3mm. Επιλέγουμε επίσης τις επιλογές **Lead-out** και **Same as Lead-in**.

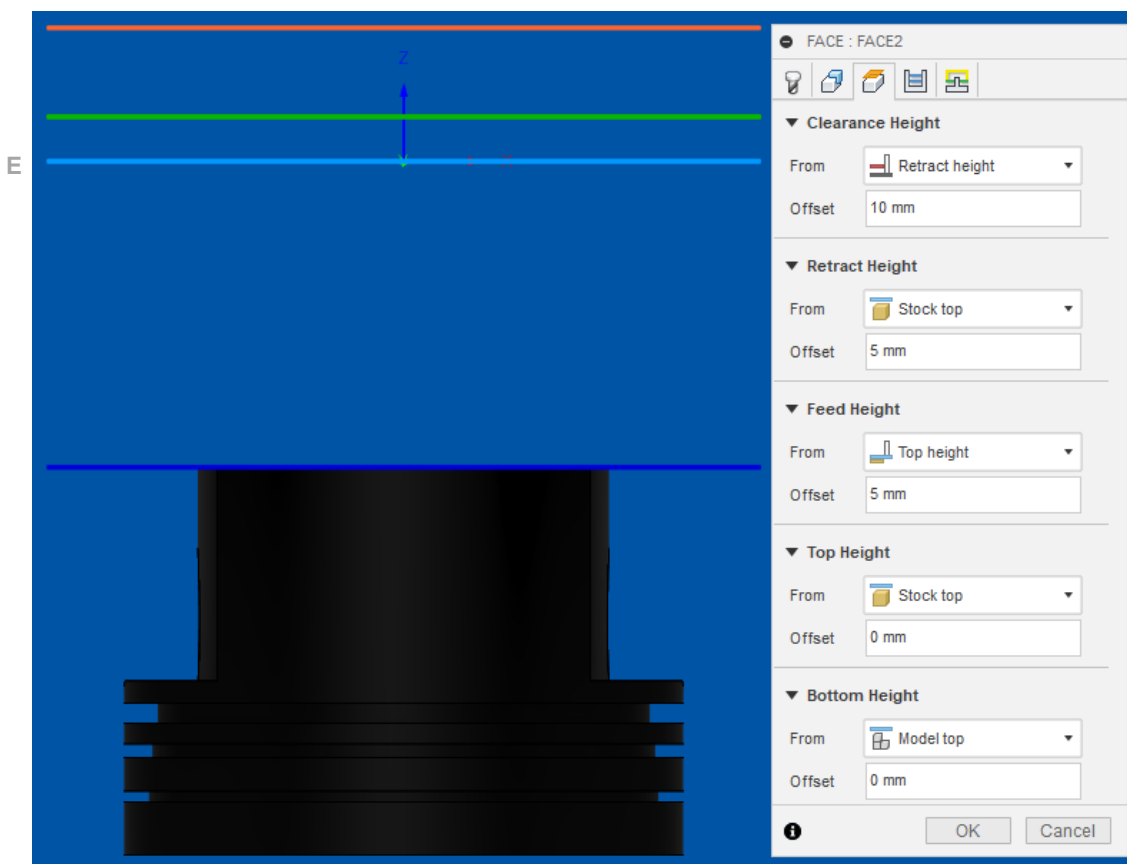


Εικόνα 6.2.13 Αριστερά το ακατέργαστο όπως είναι πριν τις εντολές Contour ενώ δεξιά είναι μετά.

- Επόμενο βήμα είναι να κατεργαστούμε το κάτω μέρος του εμβόλου. Ανοίγουμε νέο Setup, επιλέγουμε εργαλειομηχανή DMG DMU 5 και στην καρτέλα **Stock**, στην επιλογή Mode θα επιλέξουμε είτε **From Preceding Setup** είτε **From Solid** και στο τέλος του πρώτου Setup. Το ίδιο βήμα θα ισχύσει και στα επόμενα Setups. Τέλος, επιλέγουμε OK στο Setup μας.

Επιλέγουμε την εντολή **Face** και ως εργαλείο επιλέγουμε μια φρεζοκεφαλή 50mm. Για τρόπο ψύξης επιλέγουμε την ροή ψυκτικού υγρού μέσα από το κοπτικό εργαλείο **Through Tool**. Η γεωμετρία που επιλέχθηκε για να επεξεργαστεί, όπως και στο προηγούμενο Setup, είναι η περίμετρος του ακατέργαστου.

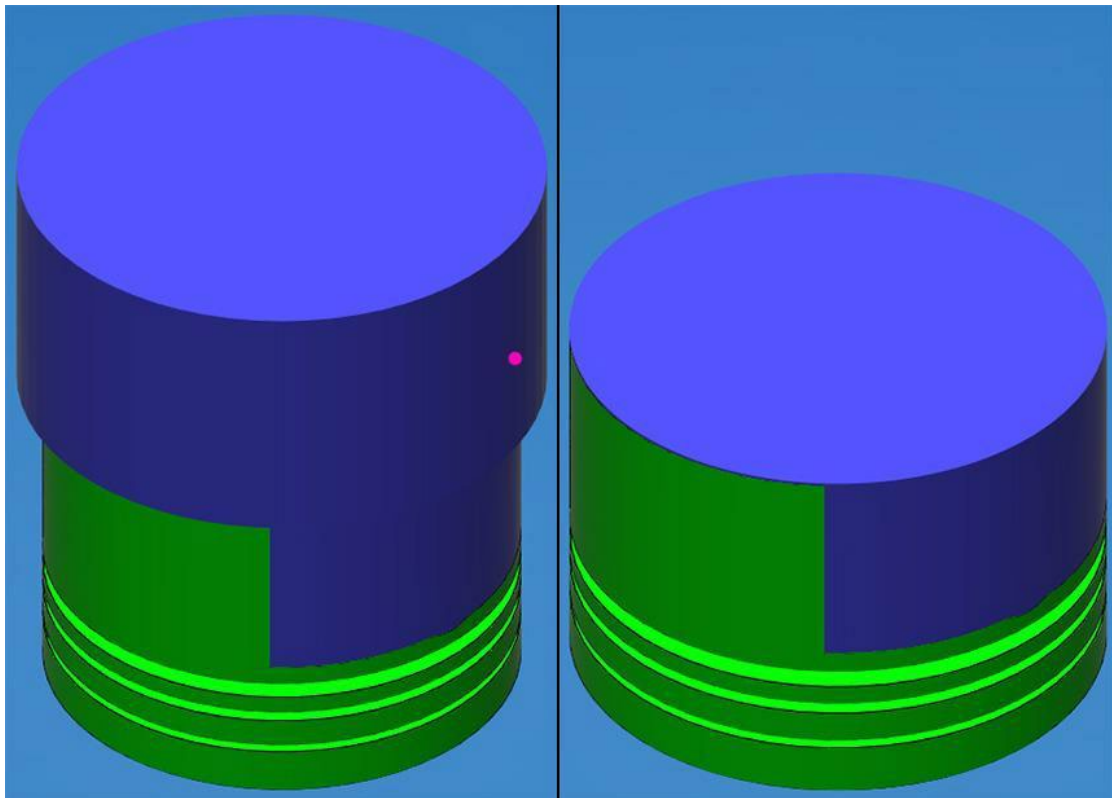
Για την καρτέλα των υψών μπορούμε να δούμε τις θέσεις και τις αποστάσεις από τα σημεία αναφοράς τους στην εικόνα 6.2.14.



Εικόνα 6.2.14 Καρτέλα υψών εντολής Face

Στην καρτέλα Passes θα οριστεί το Stepover στα 40mm και το **Pass Extension** στα 10mm. Επίσης θα επιλεγθεί η επιλογή **Multiple Depths** με **Maximum Stepdown** στα 2mm.

Τέλος στην καρτέλα Linking θα επιλεγθεί η εντολή **Keep Tool Down** για μείωση του χρόνου κατεργασίας.



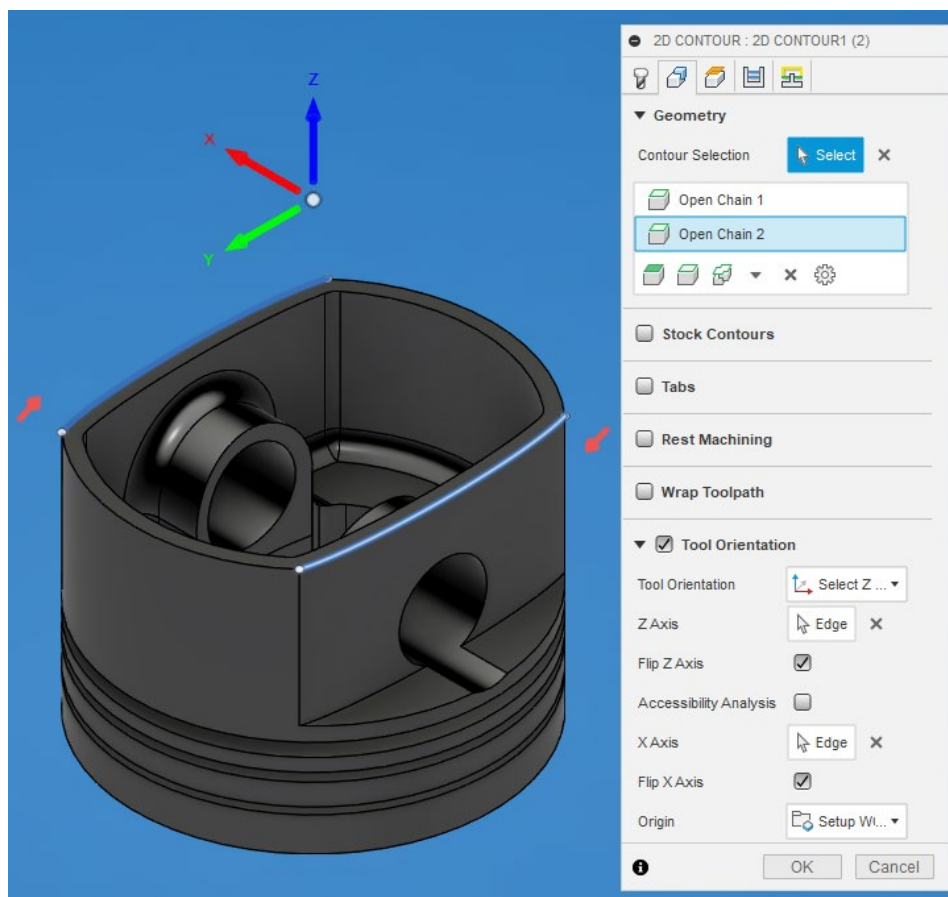
Εικόνα 6.2.15 Αριστερά είναι το ακατέργαστο πριν την κατεργασία Face, ενώ δεξιά μετά.

Στην συνέχεια επιλέγουμε την εντολή **Contour**, με σκοπό την αφαίρεση του υλικού από τα πλαϊνά τμήματα του εμβόλου. Το εργαλείο που επιλέχθηκε για την κατεργασία είναι ένα 12mm Flat end Mill και ο τρόπος ψύξης είναι Flood.

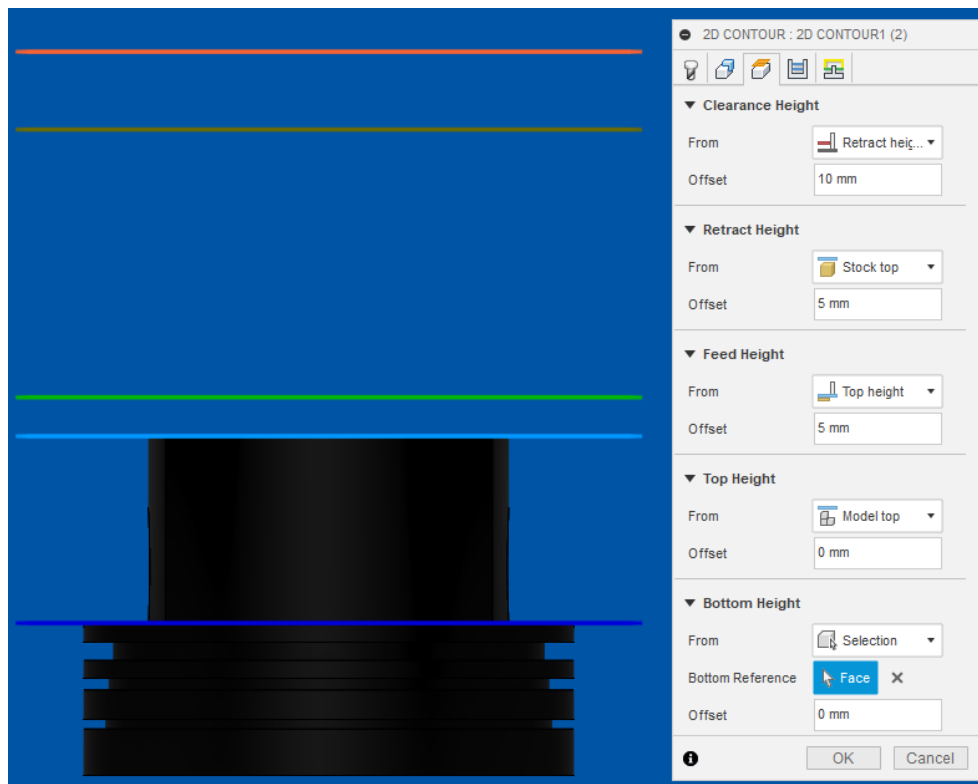
Στην καρτέλα Geometry επιλέχθηκαν οι περίμετροι που φαίνονται στην εικόνα 6.2.16 με γαλάζιο χρώμα ως οδηγός για την κατεργασία. Επίσης χρησιμοποιήθηκε και η εντολή **Tool Orientation** αφού χρειάστηκε να γίνει αλλαγή στη διεύθυνση του άξονα x και y.

Στον προγραμματισμό της καρτέλας των υψών θα ορίσουμε το Bottom Height στο κάτω μέρος της γεωμετρίας, ενώ τα υπόλοιπα ύψη θα παραμείνουν σύμφωνα με την προεπιλογή που προτείνει το πρόγραμμα. Τα ύψη φαίνονται στην εικόνα 6.2.17.

Ε



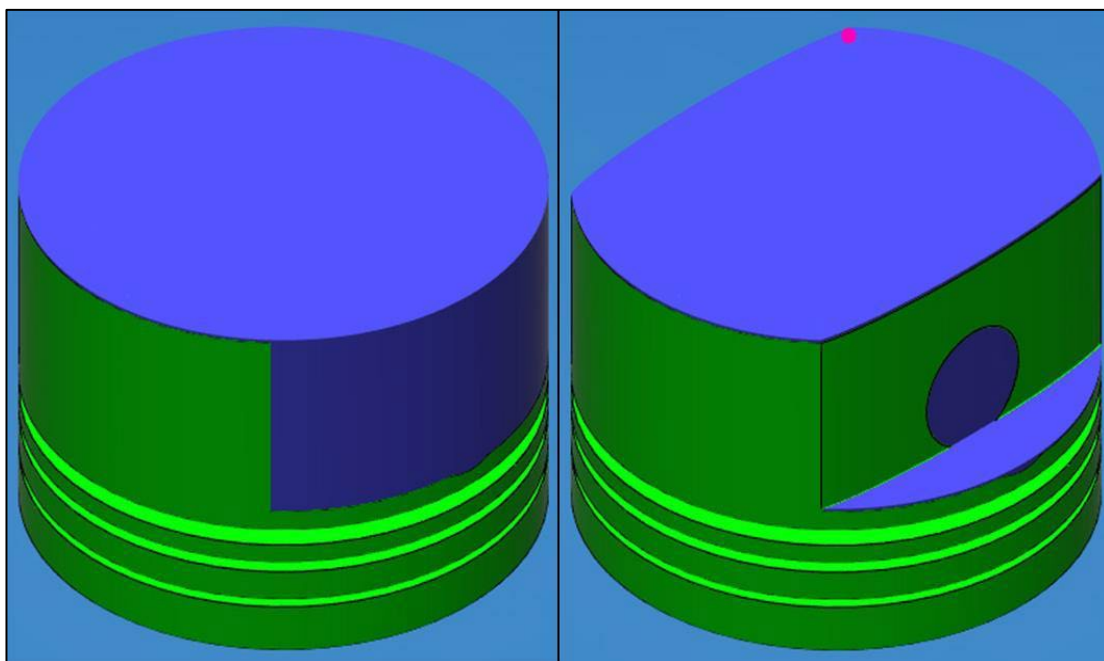
Εικόνα 6.2.16 Επιλογή των περιμέτρων και της φοράς των αξόνων για την κατεργασία.



Εικόνα 6.2.17 Καρτέλα υψών εντολής Contour.

Στην καρτέλα Passes θα επιλεχθεί η επιλογή **Multiple Finishing Passes**, ενώ ο αριθμός των τελικών περασμάτων θα είναι ίσος με 1. Ωστόσο, θα επιλεχθεί το **Repeat Finishing Pass** ώστε να επαναληφθεί το τελικό πέρασμα. Το **Stepover** θα οριστεί στα 2mm. Στην επιλογή **Roughing Passes** το **Maximum Stepover** θα οριστεί στα 2mm ενώ ο αριθμός των περασμάτων θα είναι ίσος με 5. Τέλος θα επιλεχθεί και η επιλογή **Multiple Depths** με **Maximum Roughing Stepdown** ίσο με 5mm. Στις υπόλοιπες επιλογές θα αφήσουμε το πρόγραμμα στην προεπιλογή. Αξίζει να αναφερθεί πως είναι μια κατεργασία που χρειάζεται προσοχή με τον αριθμό των περασμάτων και το βάθος κοπής, καθώς είναι αρκετό το υλικό που θα κατεργαστεί, ενώ ταυτόχρονα θα πρέπει να επιτευχθεί και τελικό πέρασμα για την βέλτιστη επιφάνεια του αντικειμένου.

Στην καρτέλα Linking δεν θα χρειαστεί να γίνει αλλαγή σε κάποια από τις προεπιλογές.

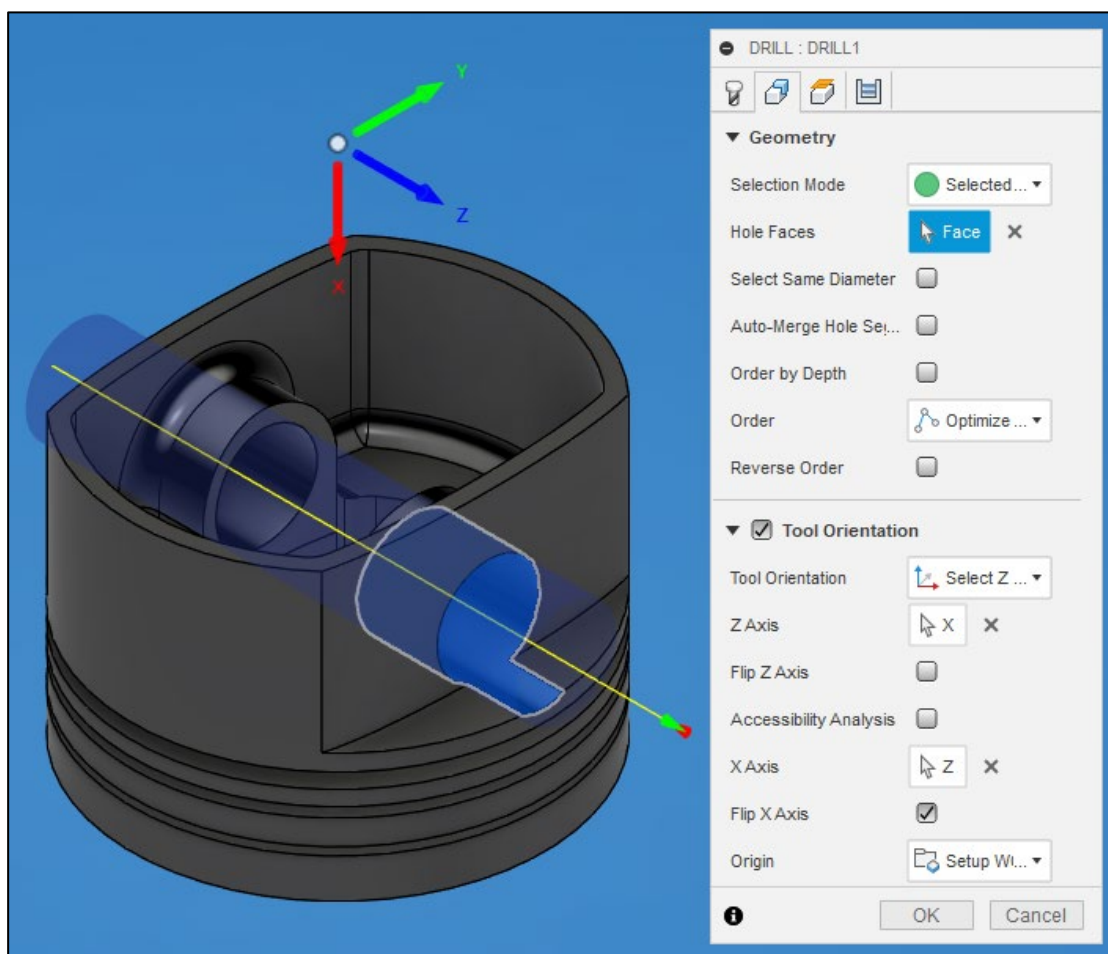


Εικόνα 6.2.18 Αριστερά είναι το ακατέργαστο πριν την κατεργασία Contour, ενώ δεξιά μετά.

Κλείνουμε την καρτέλα της εντολής Contour, και επιλέγουμε την εντολή **Drilling**. Θα χρησιμοποιήσουμε την εντολή για την διάνοιξη της οπής που θα διέρχεται ο πείρος. Επιλογή ενός 15.5mm Drill Tool και επιλογή Flood ως τρόπο ψύξης.



Στην καρτέλα Geometry επιλέγουμε την γεωμετρία της οπής. Η θέση όμως του κοπτικού αντικειμένου ως προς το αντικείμενο πρέπει να αλλάξει. Οπότε επιλέγουμε **Tool Orientation** και στρέφουμε τον άξονα Z σε παράλληλη διεύθυνση με την οπή, όπως στην εικόνα 6.2.19.

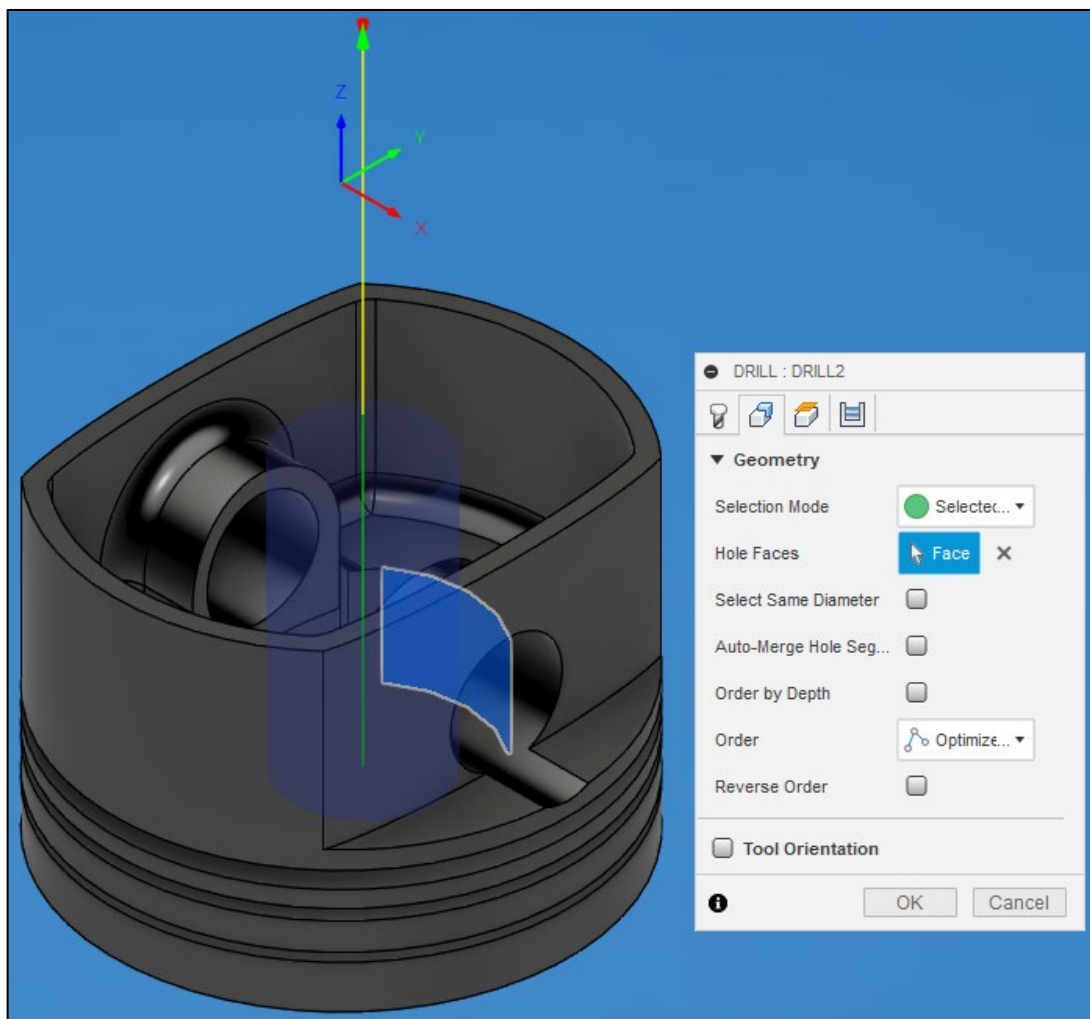


Εικόνα 6.2.19 Επιλογή της γεωμετρίας που θα γίνει η διάτρηση, και αλλαγή της θέσης του κοπτικού εργαλείου ως προς το αντικείμενο.

Στην καρτέλα των υψών θα αφήσουμε τις προεπιλογές του προγράμματος, ενώ το Bottom Height θα τοποθετηθεί έτσι ώστε να διέρχεται μέσα από όλο το αντικείμενο.

Τέλος στην καρτέλα Cycle θα επιλέγουμε **Drilling-Rapid Out**.

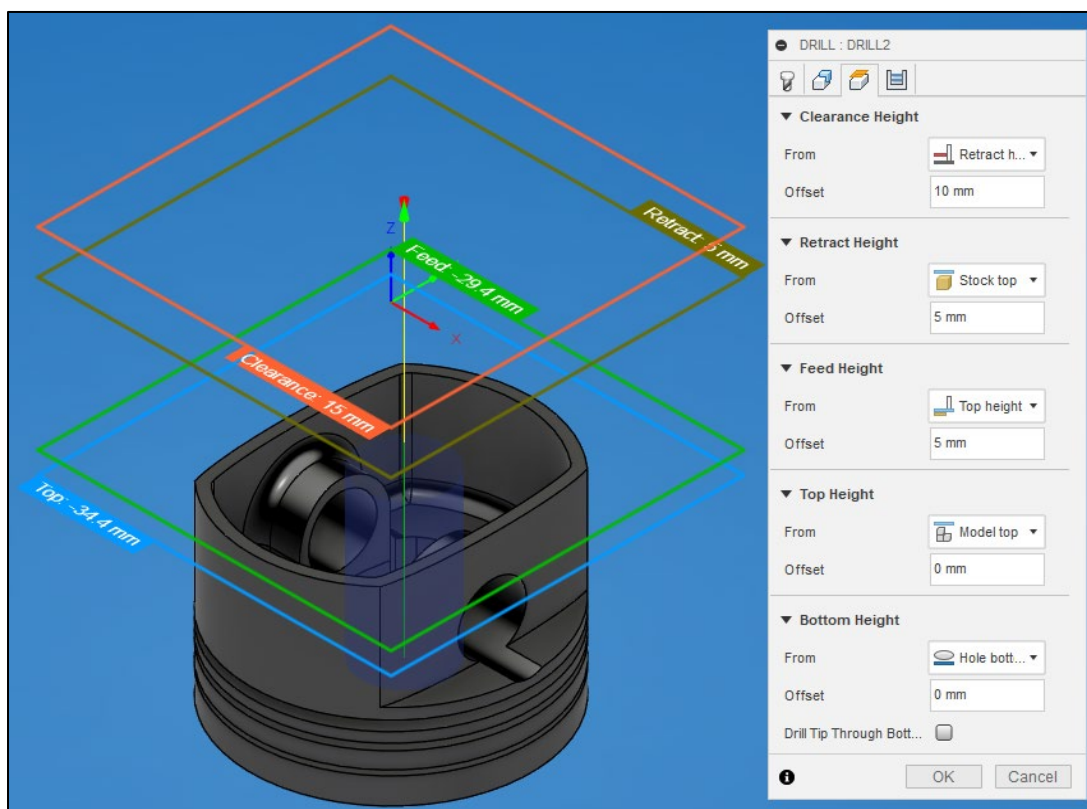
Κλείνουμε την κατεργασία, και επιλέγουμε ξανά την εντολή **Drilling**. Αυτή την φορά ο λόγος της κατεργασίας είναι η διάτρηση ενός μέρους του ακατέργαστου, ώστε να γίνει μετέπειτα η εισχώρηση κονδυλιού για μετέπειτα κατεργασία. Επιλέγουμε ένα 19mm Drill Tool, και τρόπο ψύξη **Through Tool**. Στην καρτέλα Geometry θα επιλέξουμε μια επιφάνεια παράλληλα στο ακατέργαστο, χωρίς να αλλάξουμε το Orientation. Φαίνεται καλύτερα και στην εικόνα 6.2.20.



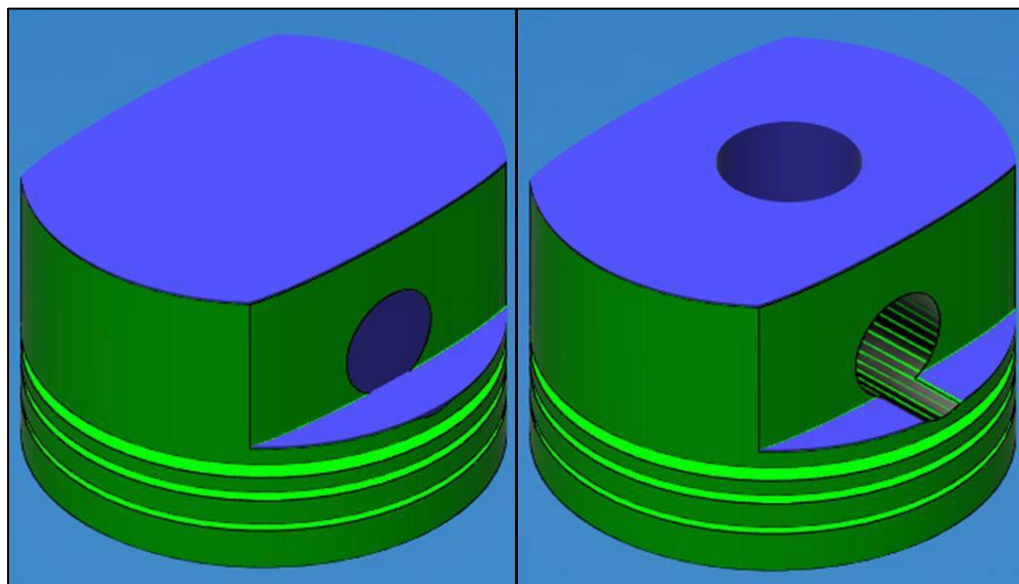
Εικόνα 6.2.20 Επιλογή της επιφάνειας για την οριοθέτηση της οπής που θα γίνει στο ακατέργαστο.

Στην καρτέλα των υψών θα αφήσουμε τις προεπιλογές του προγράμματος, ενώ το Bottom Height θα οριστεί στο κάτω μέρος της γεωμετρίας. Φαίνεται και στην [εικόνα 6.2.21](#). Τέλος στην καρτέλα Cycle, θα επιλέξουμε τον τύπο διάτρησης **Drilling-rapid Out**.

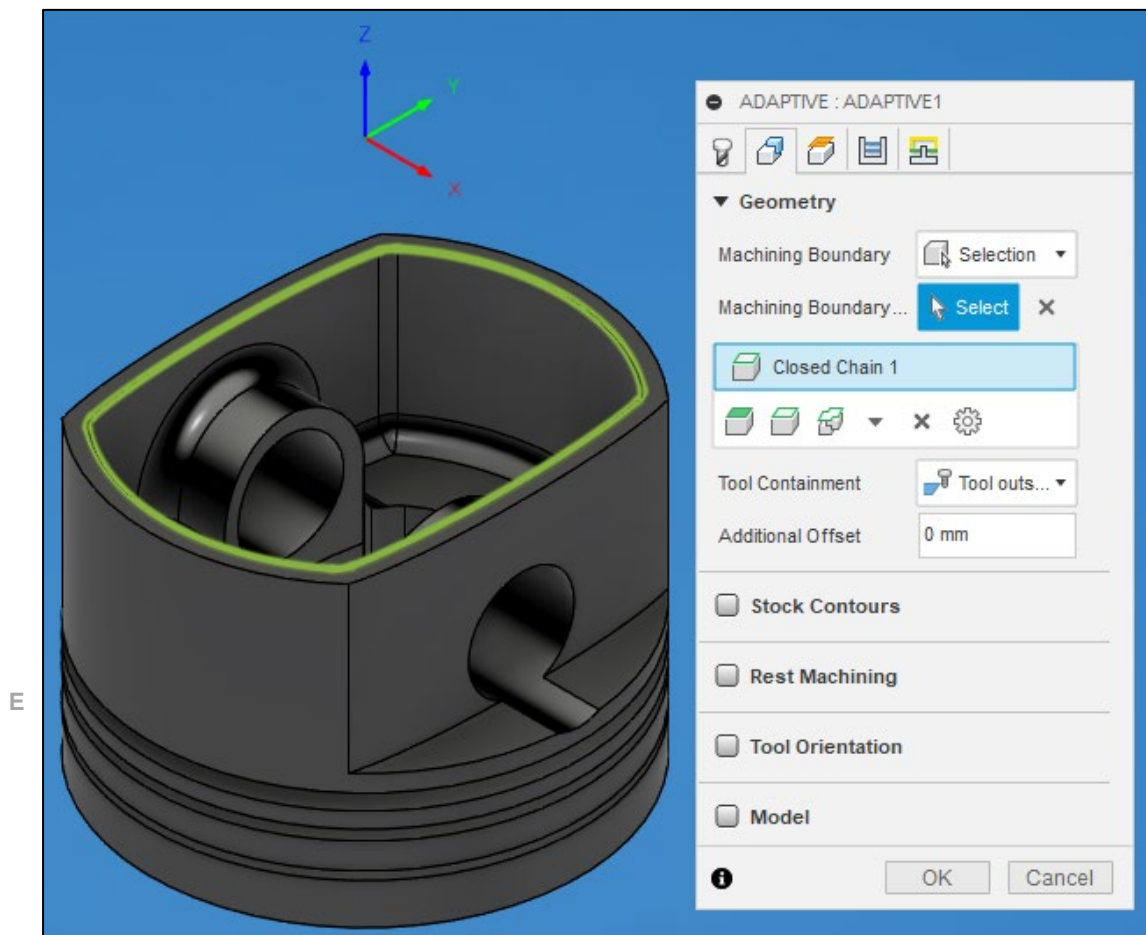
E



Εικόνα 6.2.21 Επιλογή των υψών της εντολής Drill.



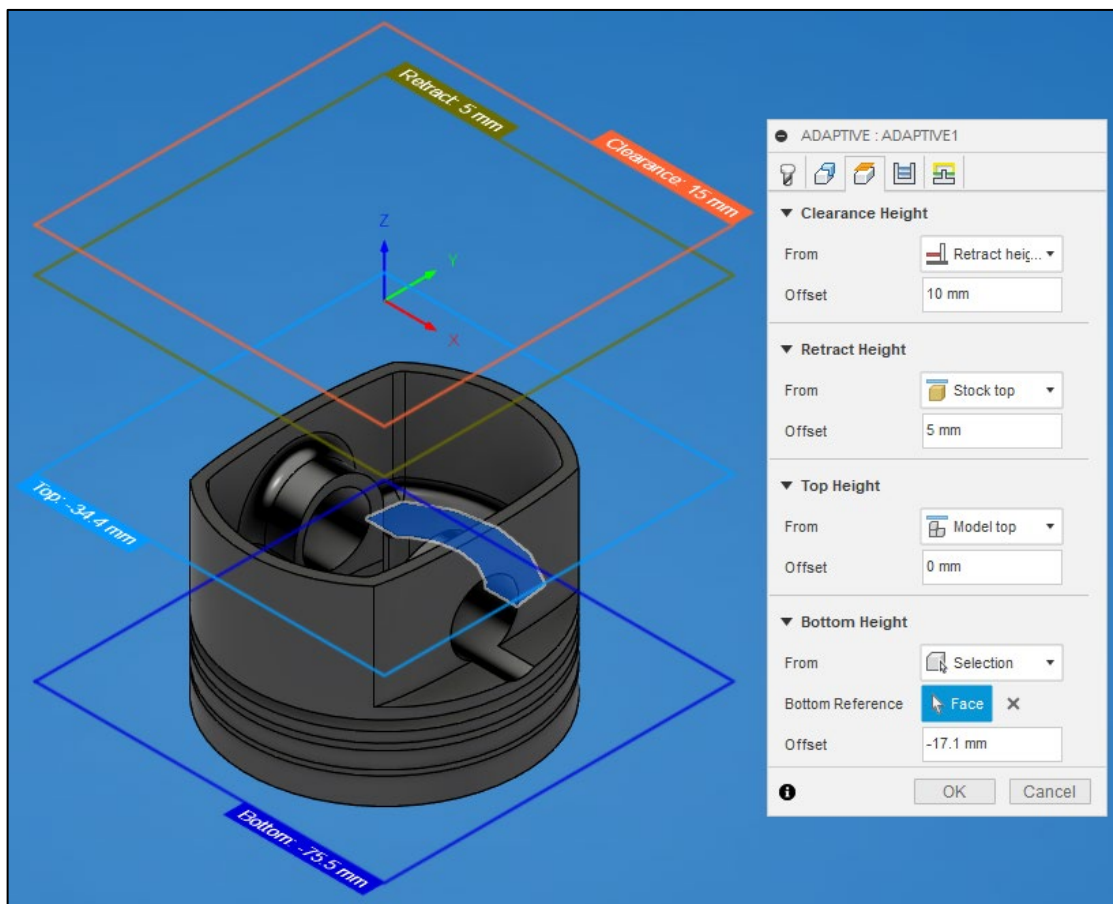
Εικόνα 6.2.22 Αριστερά είναι το αντικείμενο πριν τις δυο κατεργασίες διάτρησης, ενώ δεξιά μετά.



Εικόνα 6.2.23 Επιλογή της προς κατεργασία γεωμετρία.

Κλείνουμε τις κατεργασίες και στην συνέχεια επιλεγουμε την εντολή **Adaptive Clearing**. Το εργαλείο που θα επιλεγθεί είναι ένα 8mm Bullnose και ο τρόπος ψύξης είναι Flood. Στην καρτέλα Geometry θα επιλεγθεί η περίμετρος που φαίνεται και στην εικόνα 6.2.23.

Στην καρτέλα των υψών θα αφήσουμε τις προεπιλογές του προγράμματος ως έχουν, εκτός απ' το Bottom Height το οποίο θα οριστεί σύμφωνα με μια τυχαία επιφάνεια και θα μετακινηθεί, ορίζοντας τιμή στο Offset. Στο παράδειγμα επιλέχθηκε η επιφάνεια που φαίνεται στην εικόνα 6.2.24, και ορίστηκε Offset=-17.1mm.

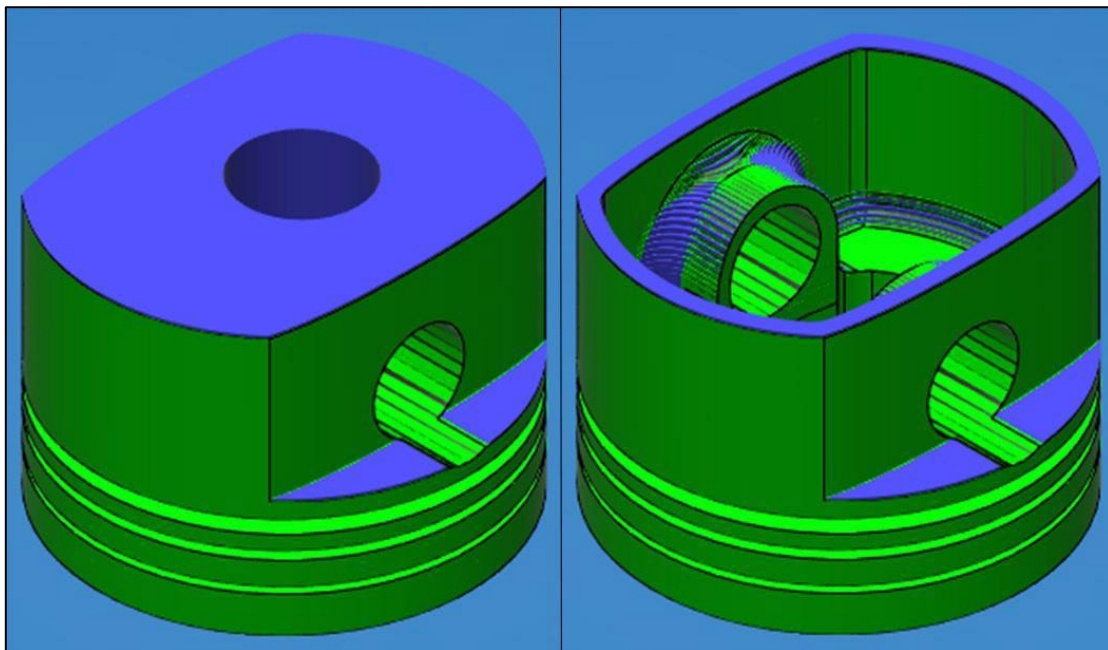


Εικόνα 6.2.24 Οριοθέτηση των υψών της εντολής Adaptive Clearing

Στην καρτέλα Passes επιλέγουμε την επιλογή **Machine Shallow Areas**, και οι τιμές των **Minimum Shallow Stepdown** και **Maximum Shallow Stepover** θα οριστούν στα 0.08mm και 0.8mm αντίστοιχα. Η τιμή του **Maximum Roughing Stepdown** θα οριστεί στα 8mm ενώ θα επιλεγεί και η επιλογή **Order by Depth**.

Στην καρτέλα Linking θα αφήσουμε τις προεπιλογές ως έχουν και θα επιλεγεί σημείο εισόδου το σημείο που έγινε πριν η διάτρηση του ακατέργαστου μέσα από την επιλογή **Predrill Positions**.





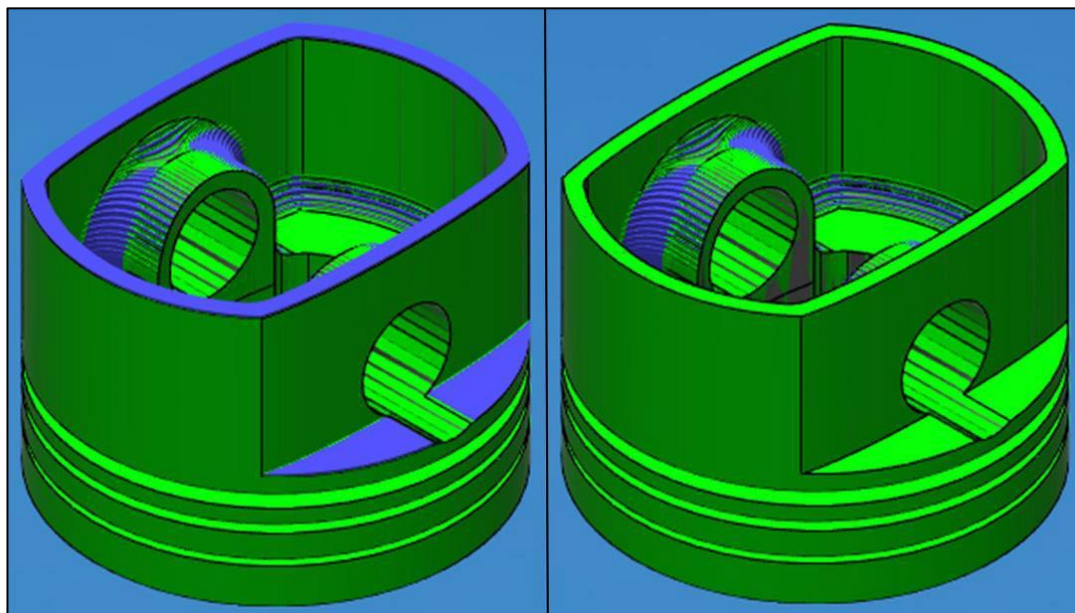
Εικόνα 6.2.25 Αριστερά είναι πριν την κατεργασία Adaptive Clearing, ενώ δεξιά μετά.

Στην συνέχεια επιλέγουμε την εντολή **Flat** για να κάνουμε το φινίρισμα των επιφανειών. Επιλέγουμε ένα 8mm Flat end mill και την επιλογή Flood για ψύξη.

Στην καρτέλα Geometry δεν χρειάζεται να επιλεγεί τίποτα, ενώ στην καρτέλα Heights αφήνουμε τις προεπιλογές, εκτός του Bottom Height, το οποίο θα οριστεί από επιφάνεια ή καμπύλη στο κάτω μέρος του αντικειμένου.

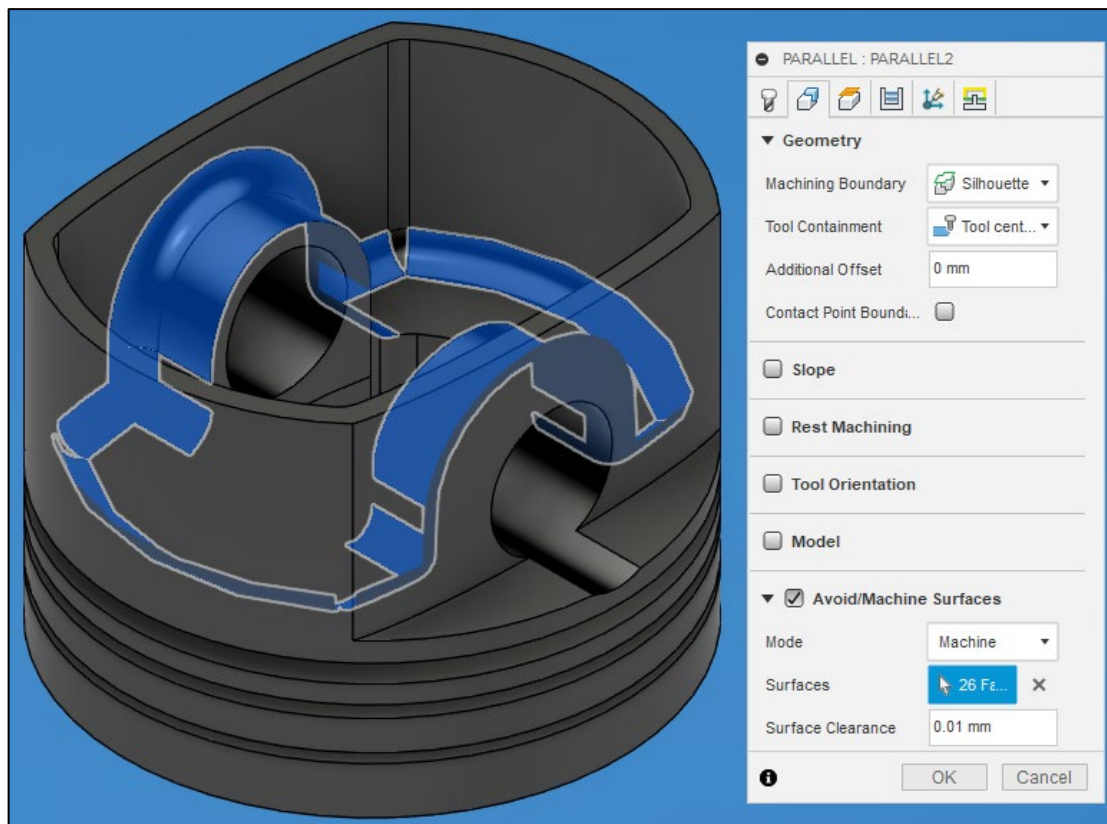
Στην καρτέλα Passes θα οριστεί το **Smoothing Deviation** στο 10%, ενώ το **Stepover** θα οριστεί στα 5.5mm.

Τέλος στην καρτέλα Linking θα αφήσουμε τις προεπιλογές που προτείνει το πρόγραμμα.



Εικόνα 6.2.26 Αριστερά είναι πριν την κατεργασία Flat, ενώ δεξιά μετά.

Τέλος, ως τελευταία εντολή του βήματος θα χρησιμοποιηθεί η **Parallel** για το φινίρισμα όλων των καμπύλων τμημάτων. Επιλέγουμε ένα 6mm Ballnose και Flood ως τρόπο ψύξης. Στην καρτέλα Geometry θα επιλεχθούν όλες οι καμπύλες επιφάνειες του εσωτερικού του εμβόλου, όπως φαίνεται και στην εικόνα 6.2.27.

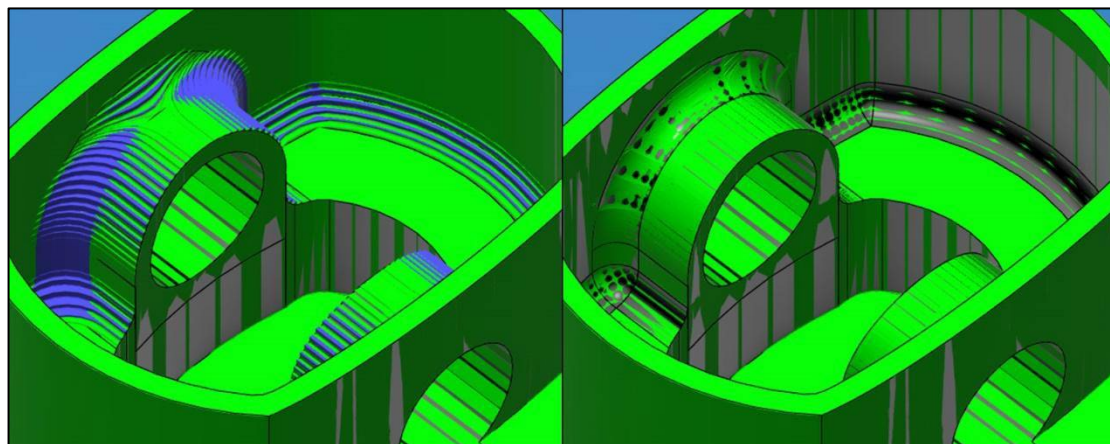


Ε **Εικόνα 6.2.27** Επιλογή των προς κατεργασία επιφανειών της εντολής Parallel.

Στην καρτέλα των υψών αφήνουμε όλες τις προεπιλογές που προτείνει το πρόγραμμα, ενώ το Bottom Height θα οριστεί από μια επιφάνεια στο ύψος ή πιο κάτω από τις επιλεγμένες επιφάνειες της καρτέλας Geometry.

Στην καρτέλα Passes το **Stepover** θα οριστεί στα 0.14mm και θα επιλεχθεί η επιλογή **Multiple Depths** με το **Maximum Stepdown** να ορίζεται στα 0.3mm. Είναι μια χρονοβόρα και λεπτομερής κατεργασία. Αυτός είναι και ο λόγος των μικρών πασών. Όμως το αποτέλεσμα θα μας δώσει πολύ ποιοτικές επιφάνειες.

Τέλος στην καρτέλα Linking θα αφήσουμε τις προεπιλογές που προτείνει το πρόγραμμα ως έχουν.



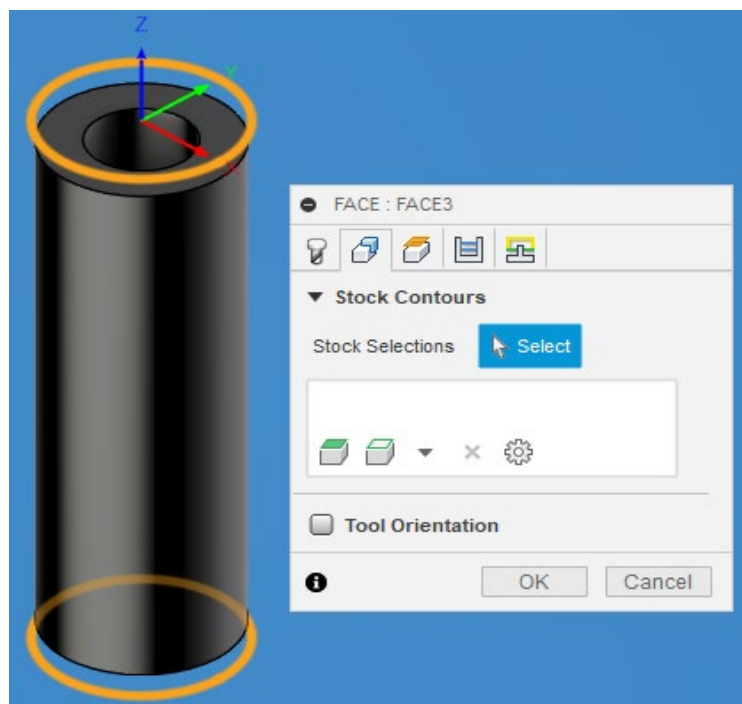
**Εικόνα 6.2.28** Αριστερά είναι η εικόνα πριν την κατεργασία Parallel, ενώ δεξιά μετά.

3. Στο επόμενο βήμα θα γίνει ο προγραμματισμός των κατεργασιών του πείρου. Όπως και στο προηγούμενο αντικείμενο, επιλέγουμε το αντικείμενο του πείρου και το απομονώνουμε από τα υπόλοιπα.

Επιλογή New Setup, και επιλέγουμε την DMG DMU 50 στην επιλογή της μηχανής. Στην καρτέλα Stock θα επιλέξουμε ως ακατέργαστο ένα **Fixed Size Cylinder** και στη συνέχεια επιλέγουμε το OK.

Η πρώτη κατεργασία του Setup θα είναι η κατεργασία προσώπου. Επιλέγουμε την εντολή **Face**. Ως εργαλείο επιλέχθηκε ένα κονδύλι 8mm Bullnose και ως τρόπος ψύξης η ροή ψυκτικού υγρού **Flood**. Όπως φαίνεται και στην εικόνα 6.2.29 η γεωμετρία που επιλέχθηκε για την επεξεργασία είναι η περίμετρος του ακατέργαστου.

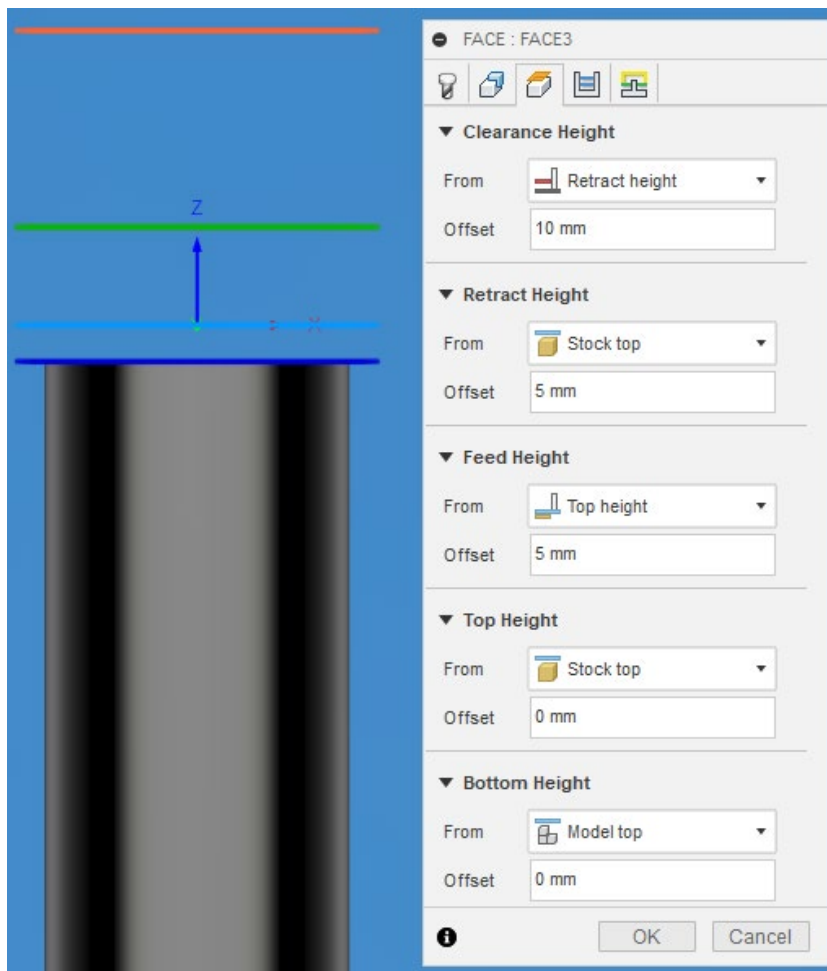
Ε



Εικόνα 6.2.29 Επιλογή της προς κατεργασία γεωμετρίας.

Λ

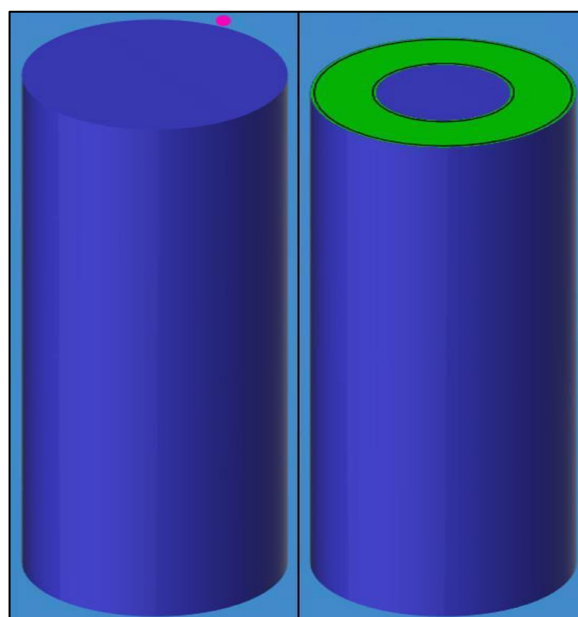
Όσον αφορά την καρτέλα των υψών, μπορούμε να δούμε τις θέσεις τους και τις αποστάσεις από τα σημεία αναφοράς τους στην εικόνα 6.2.30. Όπως παρατηρείται, το ύψος του Bottom Height είναι στο επίπεδο του αντικειμένου.



Εικόνα 6.2.30 Τα ύψη της κατεργασίας Face για το κομμάτι του Πύρου

Στην καρτέλα Passes θα ορίσουμε το **Stepover** στα 5.5mm ενώ το **Pass Extension** θα οριστεί στα 4mm. Η επιλογή **Multiple Depths** δεν θα χρειαστεί αφού ο όγκος του ακατέργαστου είναι μικρός.

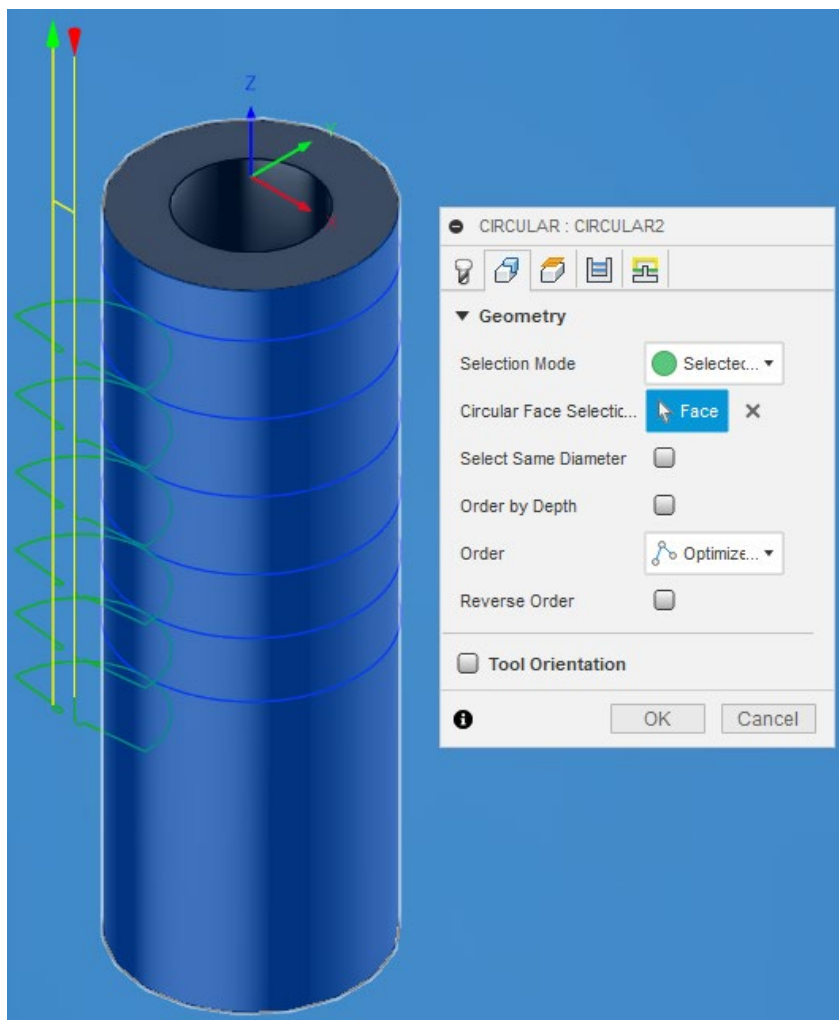
Τέλος στην καρτέλα Linking θα αφήσουμε τις προεπιλογές που προτείνει το πρόγραμμα ως έχουν.



Εικόνα 6.2.31 Αριστερά είναι το ακατέργαστο πριν την κατεργασία Face, ενώ δεξιά μετά.



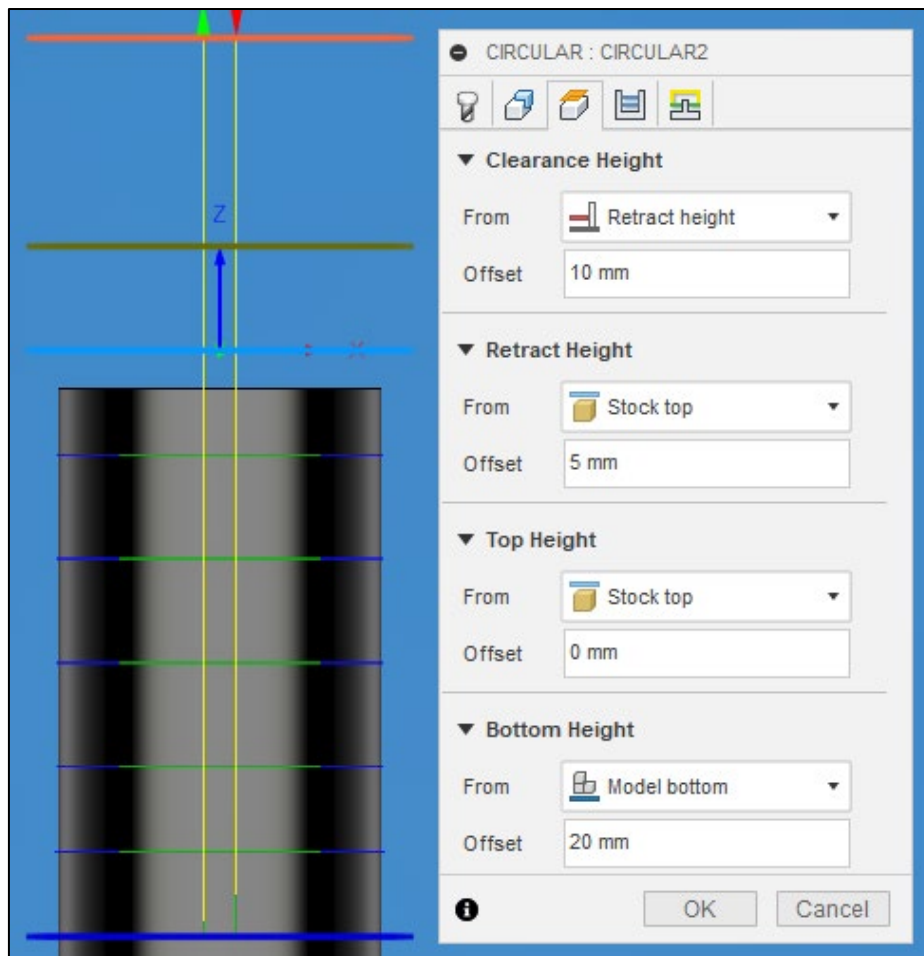
Στη συνέχεια θα επιλέξουμε την εντολή **Circular** ώστε να κατεργαστούμε την περίμετρο του αντικειμένου. Τη διαφορά του πριν και μετά θα την βρείτε παρακάτω, καθώς θα γίνουν δυο κατεργασίες για την περίμετρο. Στην προκειμένη περίπτωση θα γίνει κατεργασία του αντικειμένου με εκχόνδριση. Το εργαλείο που επιλέχθηκε είναι ένα 8mm Bullnose, ενώ ο τρόπος ψύξης που θα χρησιμοποιηθεί θα είναι **Flood**. Στην εικόνα 6.2.32 παρατηρείται και η επιλογή της προς κατεργασία επιφάνειας.



Εικόνα 6.2.32 Καρτέλα γεωμετρίας εντολής Circular.

Στην καρτέλα των υψών θα επιλεχθούν τα ύψη που φαίνονται και στην εικόνα 6.2.33, και στο Bottom Height θα επιλεχθεί ως σημείο αναφοράς Model Bottom με Offset +20mm. Δεν θα κατεργαστούμε όλο το αντικείμενο εφόσον το εργαλείο είναι δεμένο πάνω στην μέγγενη.





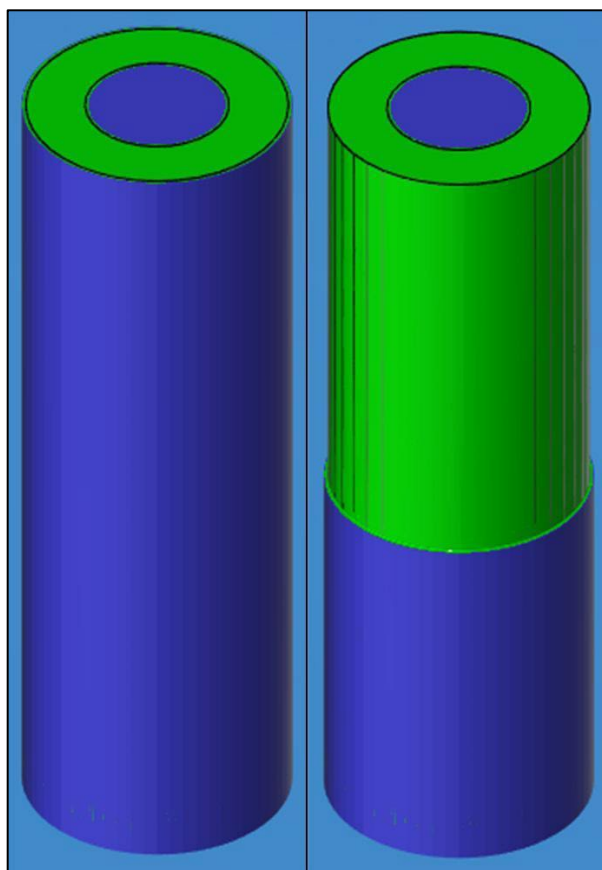
Εικόνα 6.2.33 Επιλογή των υψών για την κατεργασία Circular.

Στην καρτέλα Passes θα επιλεχθεί η επιλογή **Multiple Depths** με **Maximum Roughing Stepdown** να ορίζεται στα 5mm.

Τέλος στην καρτέλα Linking θα αφήσουμε τις προεπιλογές που προτείνει το πρόγραμμα ως έχουν.

Για την κατεργασία φινιρίσματος επιλέχθηκε η εντολή **Bore**, ενώ επιλέγουμε το ίδιο κονδύλι (8mm Bullnose) καθώς και **Flood** για την ψύξη. Επιλέγουμε την ίδια επιφάνεια με την εντολή Circular και η καρτέλα των υψών θα παραμείνει ίδια. Ο λόγος που οι ρυθμίσεις παραμένουν ίδιες και στις δυο κατεργασίες, είναι γιατί η εντολή Bore είναι ουσιαστικά το τελείωμα της εντολής Circular.

Στην καρτέλα Passes επιλέγουμε την επιλογή **Use Ramp Angle**, ενώ η γωνία καθόδου της ελικοειδούς διαδρομής θα έχει τιμή ίση με 5deg. Τέλος στην καρτέλα Linking αφήνουμε τις προεπιλογές ως έχουν, εκτός της επιλογής **Safe Distance** που ορίστηκε ίση με 2mm.



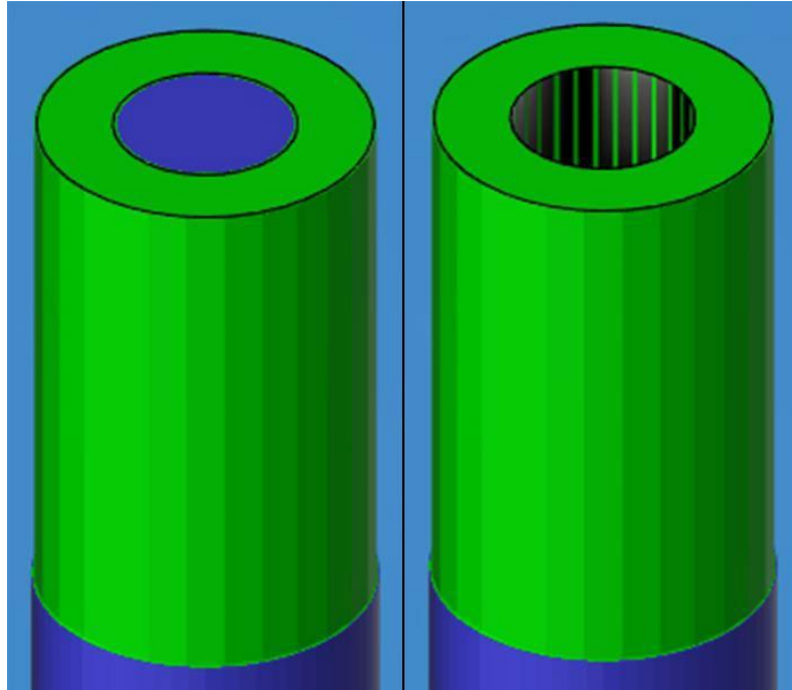
Εικόνα 6.2.34 Αριστερά το ακατέργαστο όπως είναι πριν τις εντολές Circular και Bore, ενώ δεξιά είναι μετά.

Ε

Τελευταία κατεργασία του βήματος είναι η διάνοιξη της οπής με την εντολή **Drilling**. Για τις ανάγκες της εντολής θα χρησιμοποιηθεί ένα 8.5mm Drill Tool με επιλογή τρόπου ψύξης Flood.

Στην καρτέλα Geometry επιλέγουμε την γεωμετρία της οπής, ενώ στην καρτέλα των υψών θα αφήσουμε τις προεπιλογές του προγράμματος. Το Bottom Height θα τοποθετηθεί έτσι ώστε να διέρχεται μέσα από όλο το αντικείμενο.

Τέλος στην καρτέλα Cycle θα επιλεχθεί η επιλογή **Drilling-Rapid Out**.

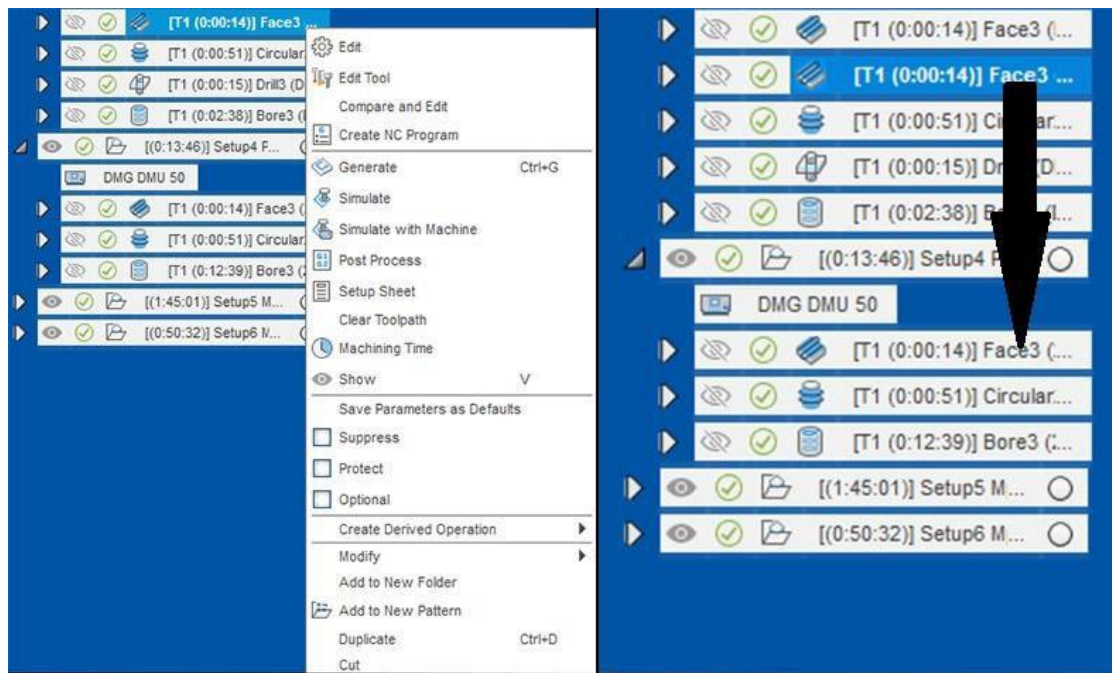


Εικόνα 6.2.35 Αριστερά είναι το αντικείμενο πριν την κατεργασία διάτρησης, ενώ δεξιά μετά.

4. Στο επόμενο βήμα θα κατεργαστούμε τον πείρο από την αντίθετη μεριά. Επιλογή New Setup και DMG DMU 50 στην επιλογή της μηχανής. Στην καρτέλα Stock είτε θα επιλέξουμε ως ακατέργαστο **From Preceding Setup** είτε θα γίνει η επιλογή του **From Solid** και θα επιλέξουμε το ακατέργαστο στο τέλος του τρίτου Setup.

Για την μείωση χρόνου του προγραμματισμού των κατεργασιών του Setup, και αφού το αντικείμενο είναι συμμετρικό, οι κατεργασίες θα αντιγραφούν από το προηγούμενο Setup. Οπότε το πριν και το μετά θα το βρείτε στην εικόνα 6.2.37 μετά το πέρας των κατεργασιών.

Επιλέγουμε την εντολή Face του προηγούμενου Setup, δεξί κλικ στην εντολή και επιλογή **Duplicate**. Σέρνουμε την εντολή από το τρίτο Setup σε αυτό που δημιουργήσαμε τώρα. Για να προγραμματιστεί η εντολή με τα δεδομένα του Setup, και για να γίνει σωστά το Tool Orientation κάνουμε δεξί κλικ στο αντίγραφο της εντολής και επιλέγουμε **Generate**.

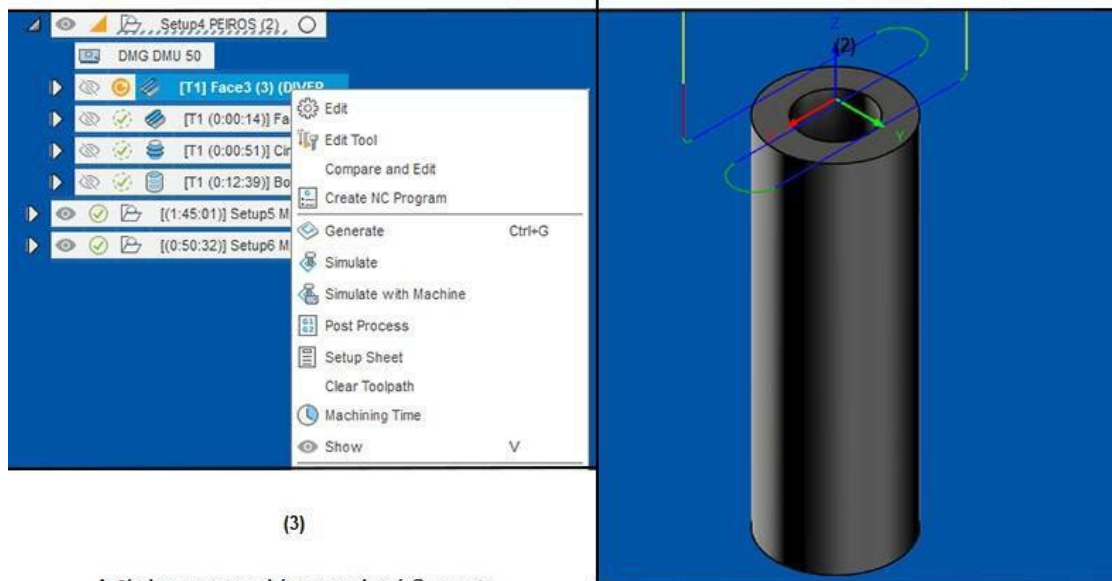


(1)

Επιλογή της εντολής Face με δεξί κλικ, και επιλογή Duplicate.

(2)

Επιλογή του αντιγράφου και το σύρουμε στο Setup 4.



(3)

Δεξί κλικ στην εντολή, και επιλογή Generate

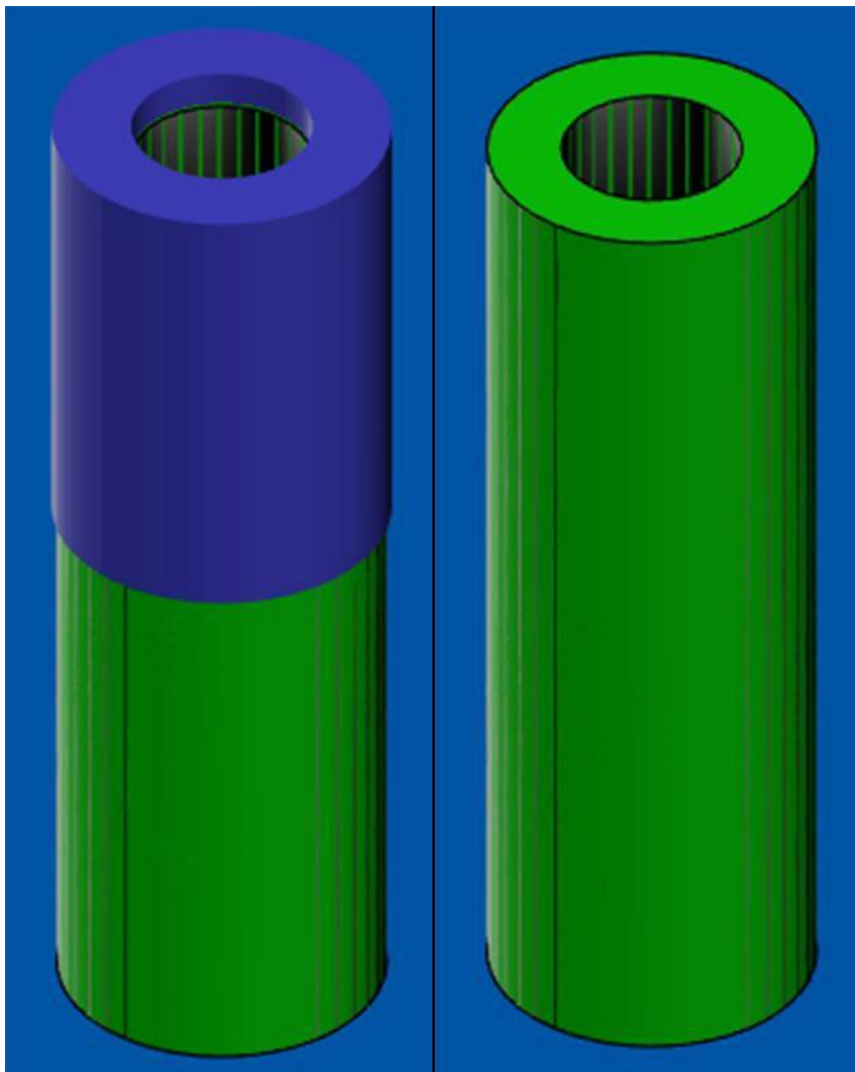
(4)

Όπως φαίνεται και στην εικόνα, η εντολή έχει προγραμματιστεί στα πλαίσια του Setup.

Εικόνα 6.2.36 Οδηγίες για την αντιγραφή εντολής και προσαρμογή αυτής στα πλαίσια του Setup.

Επιλογή και των εντολών **Circular** και **Bore** και επαναλαμβάνουμε το ίδιο.

Μετά τη διαδικασία αυτή, το τελικό αποτέλεσμα του πείρου θα είναι αυτό της εικόνας 6.2.37.



Εικόνα 6.2.37 Αριστερά είναι το αντικείμενο πριν τις κατεργασίες Face, Circular και Bore, ενώ δεξιά μετά.

Ε

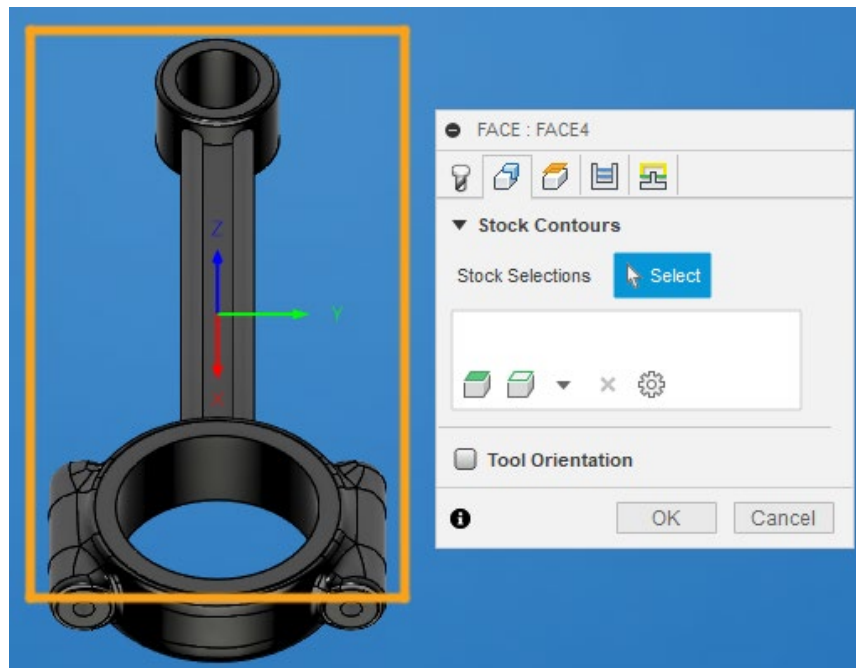
Ε

5. Στο επόμενο βήμα θα γίνει ο προγραμματισμός των κατεργασιών της μπιέλας. Όπως και στο προηγούμενο αντικείμενο, επιλέγουμε το αντικείμενο της μπιέλας, και το απομονώνουμε από τα υπόλοιπα.

Επιλογή New Setup και DMG DMU 50 στην επιλογή της μηχανής. Στην καρτέλα Stock θα επιλέξουμε ως ακατέργαστο ένα **Fixed Size Box** και επιλέγουμε το OK.

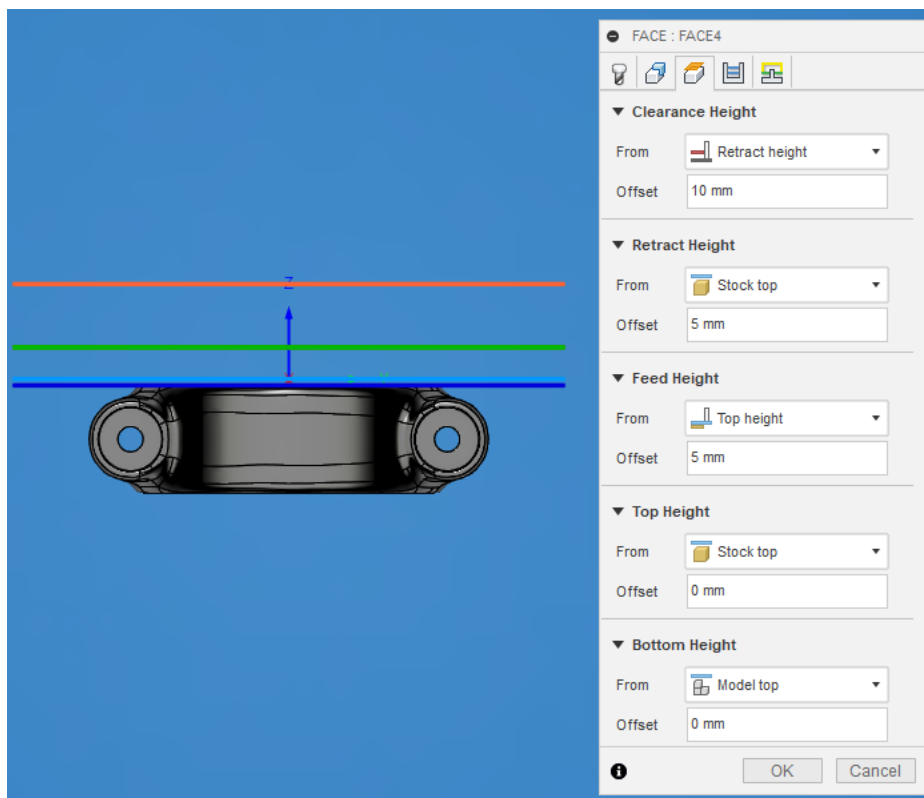


Επιλογή της εντολής **Face** και ως εργαλείο επιλέγουμε μια φρεζοκεφαλή 50mm. Ως τρόπο ψύξης επιλέγουμε τη ροή ψυκτικού υγρού μέσα από το κοπτικό εργαλείο **Through Tool**. Η γεωμετρία που επιλέχθηκε για να επεξεργαστεί, είναι η περίμετρος του ακατέργαστου και φαίνεται στην εικόνα 6.2.38.



Εικόνα 6.2.38 Επιλογή της προς κατεργασία γεωμετρίας.

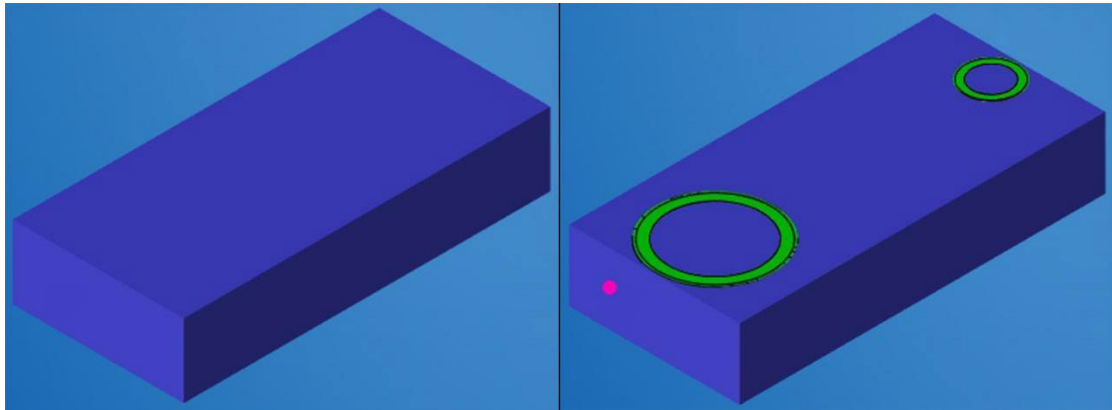
Για την καρτέλα των υψών μπορούμε να δούμε τις θέσεις τους και τις αποστάσεις από τα σημεία αναφοράς τους στην εικόνα 6.2.39.



Εικόνα 6.2.39 Επιλογή των υψών για την κατεργασία Face.

Στην καρτέλα Passes θα οριστεί το Stepover στα 40mm, ενώ το **Pass Extension** στα 25mm. Επίσης θα επιλεχθεί η επιλογή **Multiple Depths** με **Maximum Stepdown** στο 1mm.

Τέλος στην καρτέλα Linking θα επιλεχτεί η εντολή **Keep Tool Down** για μείωση του χρόνου κατεργασίας.



Εικόνα 6.2.40 Αριστερά είναι το ακατέργαστο πριν την κατεργασία Face, ενώ δεξιά μετά.

Κλείνουμε την καρτέλα της εντολής Face και επιλέγουμε την εντολή **Drilling**. Θα χρησιμοποιήσουμε την εντολή για την διάνοιξη της οπής που θα διέρχεται ο στροφαλοφόρος. Η διάτρηση θα γίνει, αλλά η οπή θα κατεργαστεί και μετέπειτα, αφού δεν αρκεί απλά ένα τρυπάνι για την διάνοιξη της. Επιλέγουμε ένα 19mm Drill Tool και Through tool ως τρόπο ψύξης.

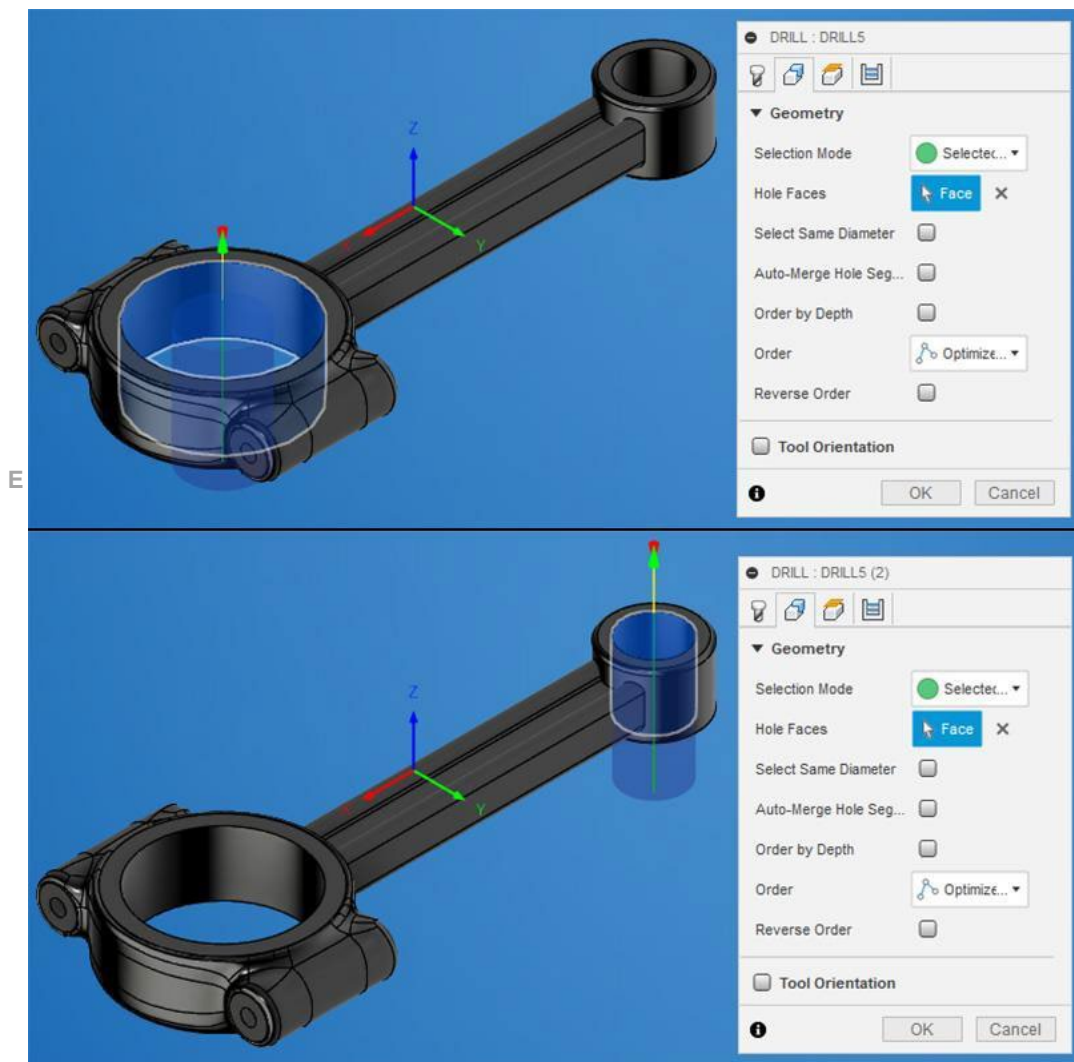
Στην καρτέλα Geometry επιλέγουμε την γεωμετρία της οπής, ενώ στην καρτέλα των υψών θα αφήσουμε τις προεπιλογές του προγράμματος. Το Bottom Height θα τοποθετηθεί έτσι **E** ώστε να διέρχεται μέσα από όλο το αντικείμενο.

Τέλος στην καρτέλα Cycle θα επιλεχθεί η επιλογή **Drilling-Rapid Out**.

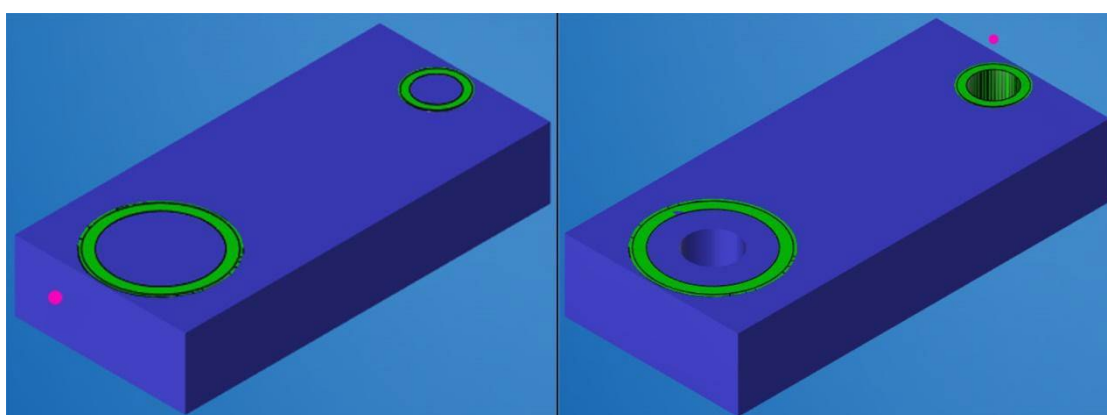
Κλείνουμε την καρτέλα της εντολής και επιλέγουμε την εντολή **Drilling** για την επόμενη οπή. Ουσιαστικά θα χρησιμοποιήσουμε την εντολή για την διάνοιξη της οπής που θα διέρχεται ο πείρος. Επιλέγουμε ένα 15.5mm Drill Tool και Flood ως τρόπο ψύξης.

Στην καρτέλα Geometry επιλέγουμε την γεωμετρία της οπής, ενώ στην καρτέλα των υψών θα αφήσουμε τις προεπιλογές του προγράμματος. Το Bottom Height θα τοποθετηθεί έτσι ώστε να διέρχεται μέσα από όλο το αντικείμενο.

Τέλος στην καρτέλα Cycle θα επιλεχθεί η επιλογή **Drilling-Rapid Out**.

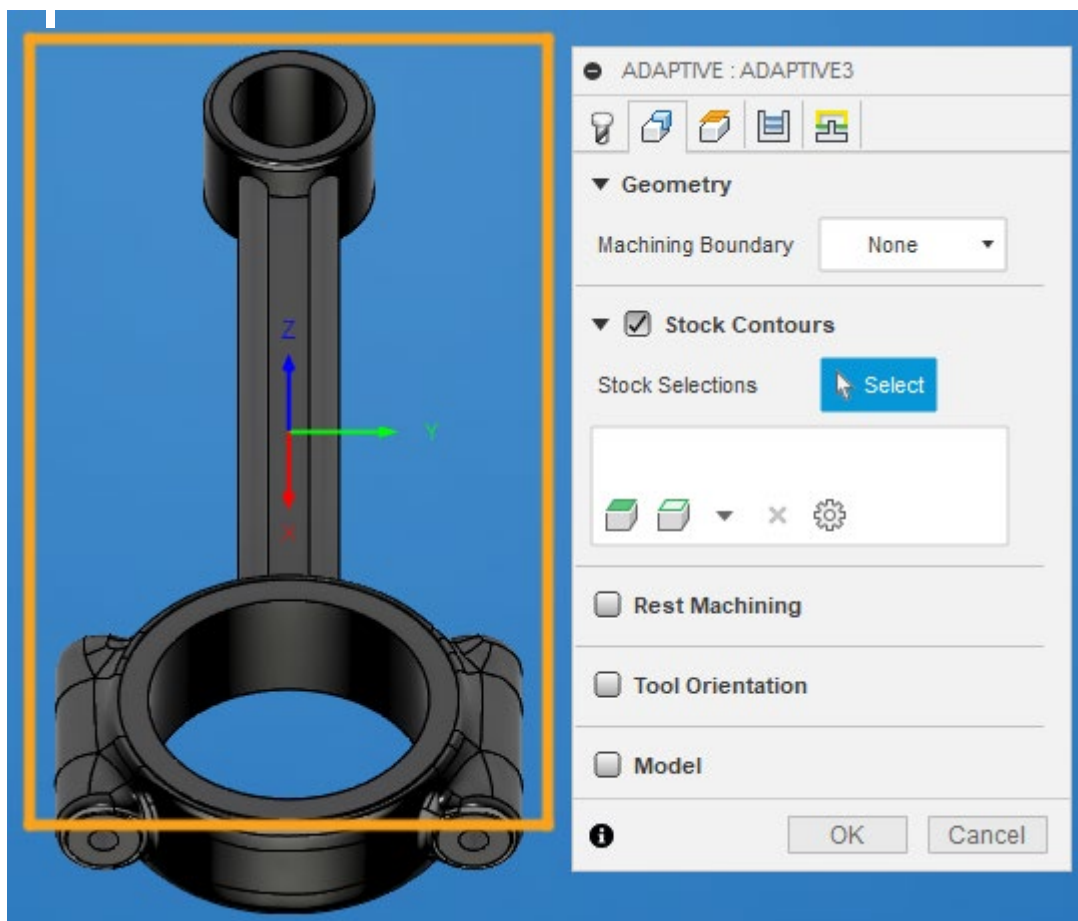


Εικόνα 6.2.41 Η πάνω εικόνα αφορά την επιλογή της γεωμετρίας της πρώτης διάτρησης, ενώ η κάτω εικόνα αφορά την επιλογή γεωμετρίας της δεύτερης διάτρησης.



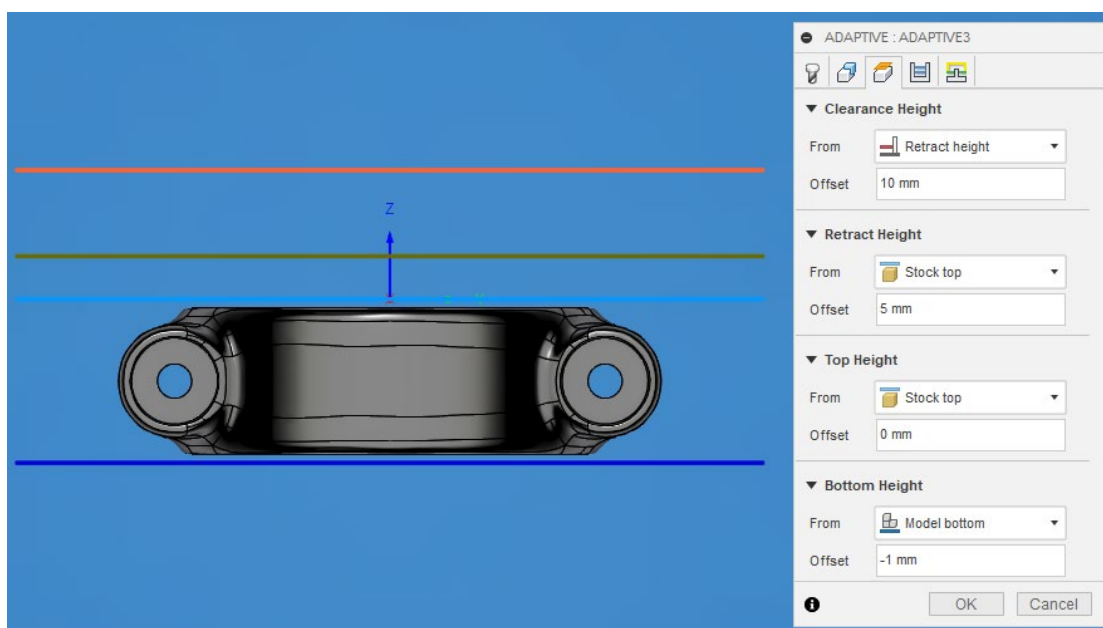
Εικόνα 6.2.42 Αριστερά είναι το αντικείμενο πριν τις δυο κατεργασίες διάτρησης, ενώ δεξιά μετά.

Κλείνουμε την κατεργασία Drill και στην συνέχεια επιλέγουμε την εντολή **Adaptive Clearing**. Το εργαλείο που θα επιλεγεί είναι ένα 3mm Flat End Mill και ο τρόπος ψύξης είναι Flood. Στην καρτέλα Geometry θα επιλεγεί η περίμετρος που φαίνεται και στην εικόνα 6.2.43 ώστε να γίνει η εκχόνδριση όλου του αντικειμένου.



Εικόνα 6.2.43 Επιλογή της προς κατεργασία γεωμετρίας της εντολής Adaptive Clearing.

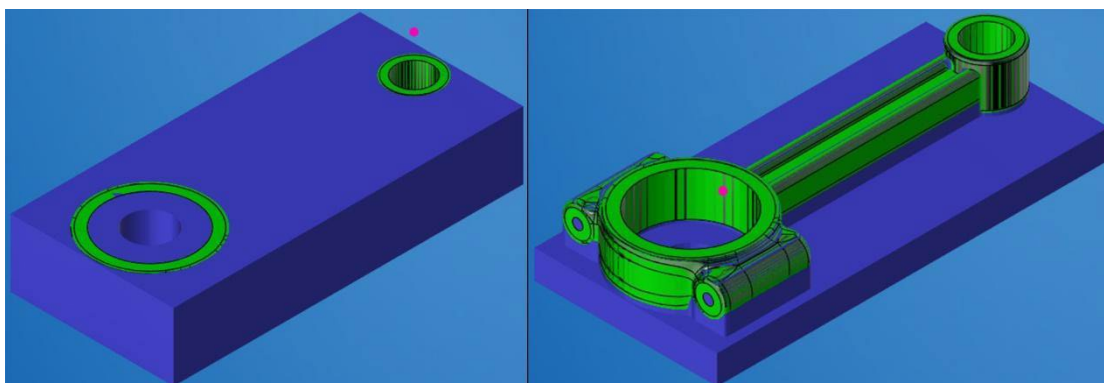
Στην καρτέλα των υψών θα αφήσουμε τις προεπιλογές του προγράμματος ως έχουν, εκτός του Bottom Height που θα οριστεί σύμφωνα με την επιλογή Modelo Bottom, και θα μετακινηθεί ορίζοντας τιμή στο Offset ίση με -1mm.



Εικόνα 6.2.44 Επιλογή των ορίων της κατεργασίας από την καρτέλα Heights.

Ε Στην καρτέλα Passes θα ορίσουμε την τιμή του **Maximum Roughing Stepdown** στα 5mm ενώ θα επιλέξουμε και την επιλογή **Machine Cavities** για την βέλτιστη εισχώρηση του κοπτικού στις κλειστές γεωμετρίες (όπως η σπή του στροφάλου).

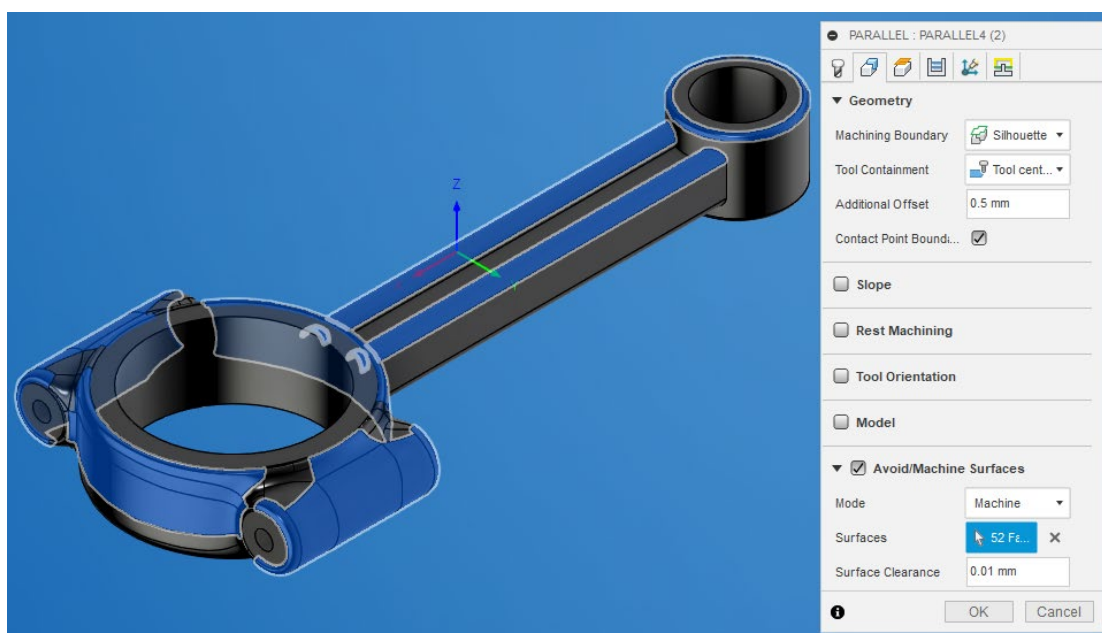
Τέλος, στην καρτέλα Linking θα αφήσουμε τις προεπιλογές ως έχουν.



Ε

Εικόνα 6.2.45 Αριστερά είναι πριν την κατεργασία Adaptive Clearing, ενώ δεξιά μετά.

Ε



Εικόνα 6.2.46 Επιλογή όλων των επιφανειών που θα φινιριστούν με την εντολή Parallel.

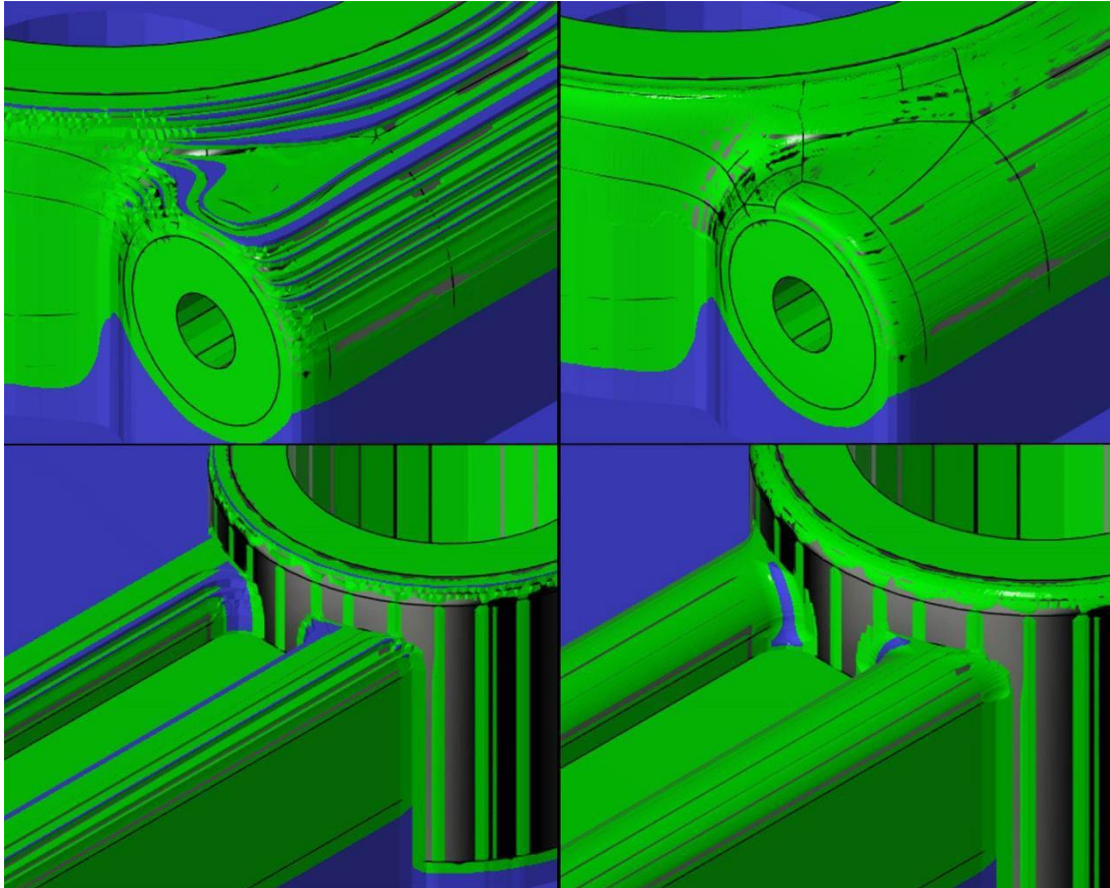
Επειδή το αντικείμενό μας έχει πολλές καμπύλες και τα κενά μεταξύ των πασών είναι μεγάλα, θα χρησιμοποιήσουμε την εντολή **Parallel** για την επίτευξη του φινιρίσματος. Επιλογή ενός 2mm Ballnose και Flood ως τρόπο ψύξης. Στην καρτέλα Geometry θα επιλέξουμε όλες τις καμπύλες επιφάνειες όπως φαίνεται και στην εικόνα 6.2.46.

Στην καρτέλα των υψών αφήνουμε όλες τις προεπιλογές που προτείνει το πρόγραμμα, ενώ το Bottom Height θα οριστεί από την επιλογή Model Top και θα οριστεί Offset=-8.5mm, που είναι περίπου το μισό πάχος του αντικειμένου.



Στην καρτέλα Passes το **Stepover** θα οριστεί στα 0.07mm ενώ το **Cusp Height** θα οριστεί στα 0.001mm. Ο λόγος των μικρών πασών είναι το φινίρισμα των επιφανειών και η επίτευξη ποιοτικών επιφανειών.

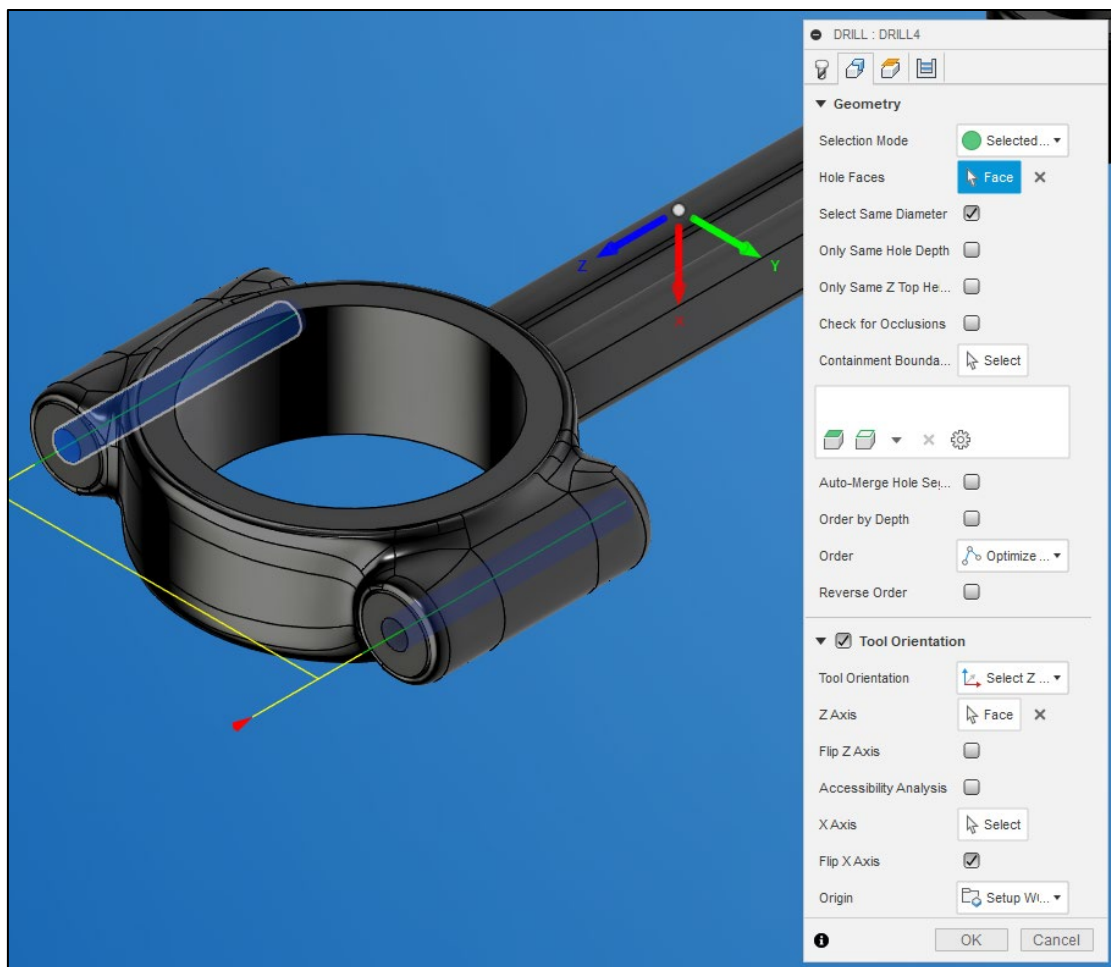
Τέλος στην καρτέλα Linking θα αφήσουμε τις προεπιλογές που προτείνει το πρόγραμμα ως έχουν.



Εικόνα 6.2.47 Οι εικόνες στα αριστερά απεικονίζουν την κατάσταση του αντικειμένου πριν την κατεργασία, ενώ στα δεξιά απεικονίζουν την κατάσταση του αντικειμένου μετά.

Τελευταία κατεργασία του βήματος είναι η διάνοιξη των οπών που συγκρατούν τον σφιγκτήρα με την εντολή **Drilling**. Για τις ανάγκες της εντολής θα χρησιμοποιηθεί ένα 4mm Drill Tool με επιλογή τρόπου ψύξης Flood.

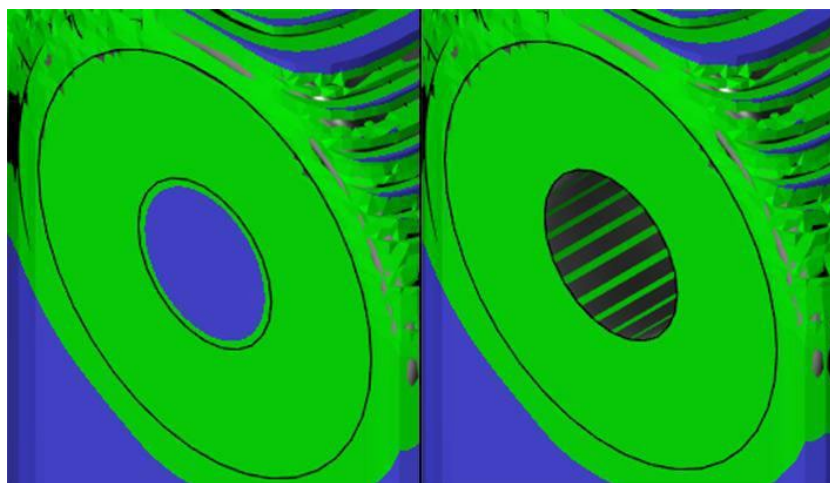
Στην καρτέλα Geometry επιλέγουμε τις γεωμετρίες των δύο οπών. Η θέση όμως του κοπτικού ως προς το αντικείμενο πρέπει να αλλάξει. Οπότε επιλέγουμε **Tool Orientation** και στρέφουμε τον άξονα Z σε παράλληλη διεύθυνση με τις οπές, όπως στην εικόνα 6.2.48.



Εικόνα 6.2.48 Επιλογή των γεωμετριών που θα γίνει η διάτρηση, και αλλαγή της θέσης του κοπτικού εργαλείου ως προς το αντικείμενο.

Στην καρτέλα των υψών θα αφήσουμε τις προεπιλογές του προγράμματος. Το Bottom Height θα τοποθετηθεί έτσι ώστε να διέρχεται μέσα από όλη την οπή.

Τέλος στην καρτέλα Cycle θα επιλέξουμε την επιλογή **Drilling-Rapid Out**.

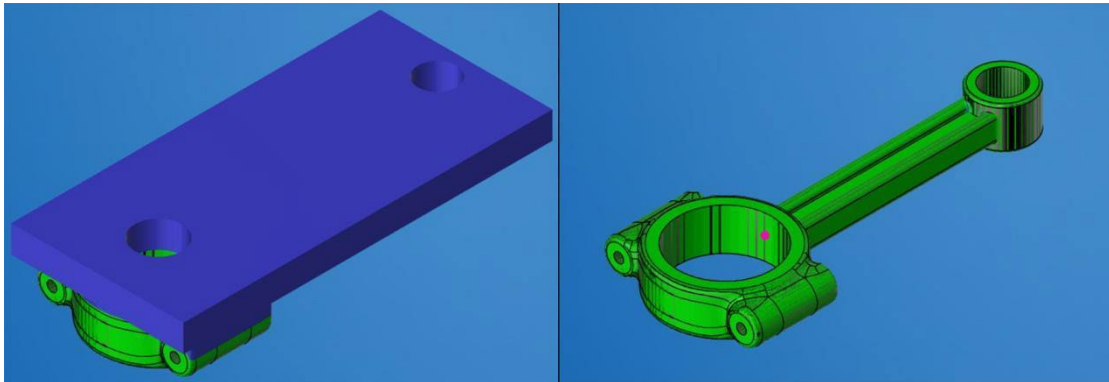


Εικόνα 6.2.49 Αριστερά φαίνεται το αντικείμενο πριν την κατεργασία της διάτρησης, ενώ δεξιά μετά.

6. Στο επόμενο βήμα θα γίνει η κατεργασία της μπιέλας από την αντίθετη πλευρά. Επιλέγουμε New Setup και DMG DMU 50 στην επιλογή της μηχανής. Στην καρτέλα Stock είτε θα επιλέξουμε ως ακατέργαστο **From Preceding Setup** είτε θα γίνει η επιλογή του **From Solid** και επιλέγουμε το ακατέργαστο στο τέλος του πέμπτου Setup.

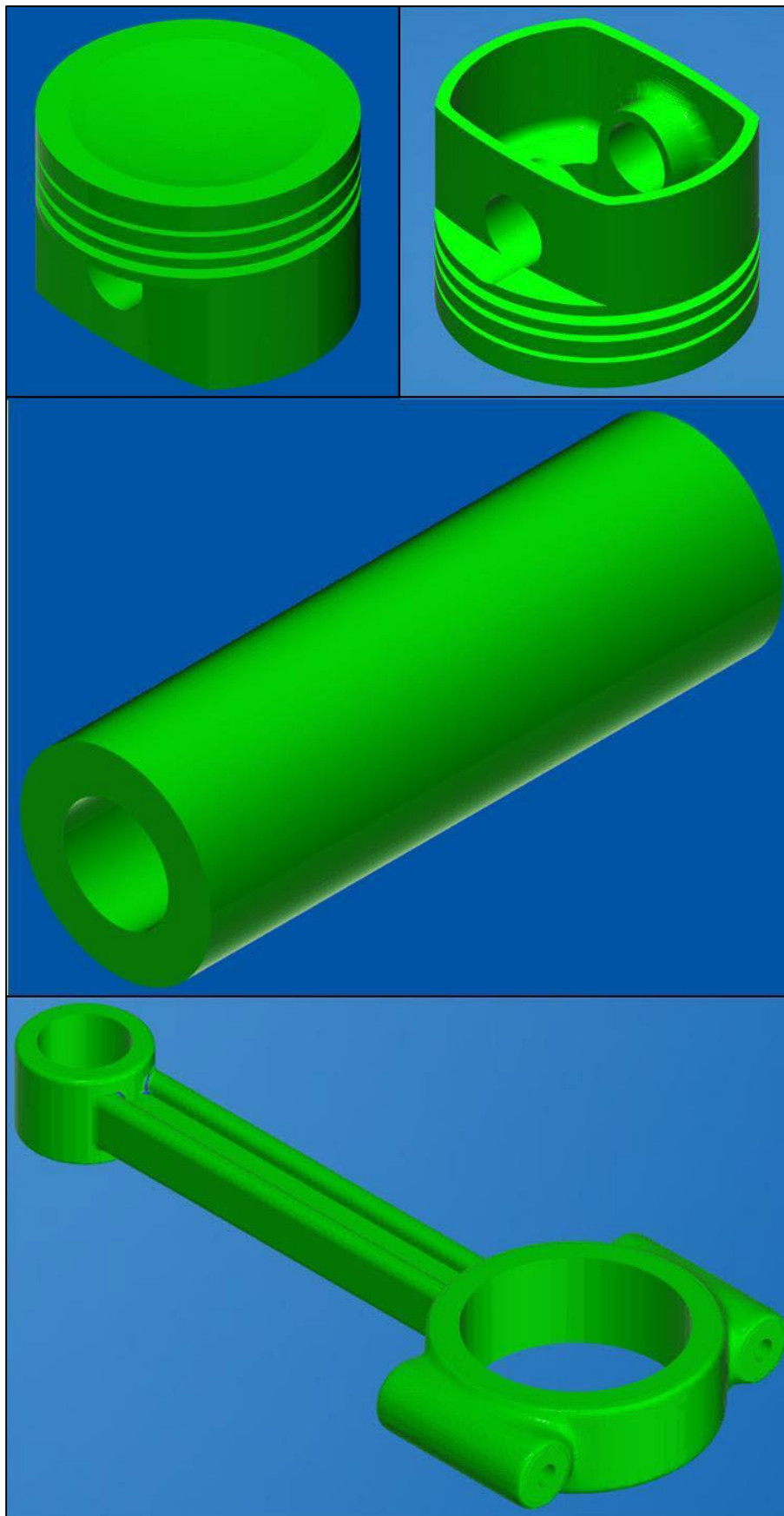
Επειδή όμως το αντικείμενο είναι συμμετρικό, δεν θα χρειαστεί ο επαναπρογραμματισμός των εντολών. Οπότε επιλέγουμε τις εντολές **Face**, **Adaptive Clearing** και **Parallel** του προηγούμενου Setup, δεξί κλικ πάνω στις εντολές, επιλογή της εντολής **Duplicate** και τις σέρνουμε στο τελευταίο Setup που μόλις δημιουργήσαμε. Οι εντολές θα εμφανίσουν μια πορτοκαλί ένδειξη την οποία θα αφαιρέσουμε αφού επιλέξουμε τα αντίγραφα των εντολών, πατήσουμε δεξί κλικ και έπειτα την εντολή **Generate**.

Το τελικό αντικείμενο φαίνεται στην εικόνα 6.2.50.



Ε Εικόνα 6.2.50 Δεξιά το αντικείμενο πριν τις εντολές Face, Adaptive Clearing και Parallel, ενώ δεξιά φαίνεται το τελικό αντικείμενο της μπιέλας.

Η κατεργασία του εμβόλου τελειώνει εδώ. Στην εικόνα 6.2.51 θα βρείτε κάποιες 3D όψεις από το ολοκληρωμένο αντικείμενο.



Εικόνα 6.2.51 Τα τρία αντικείμενα όπως φαίνονται μετά τις κατεργασίες τους. Στο πάνω μέρος φαίνεται το έμβολο, στην μέση ο πίκρος ενώ στο κάτω μέρος η μπιέλα.

## 7. Σύνοψη

Στην πτυχιακή αυτή παρουσιάστηκαν όλες οι εντολές σχεδίασης ώστε να μπορεί ο χρήστης να εκμεταλλευτεί τις δυνατότητες της και αναλύθηκαν σε βάθος όλες οι κατεργασίες του προγράμματος Fusion 360 στην κατηγορία Milling. Σκοπός της πτυχιακής ήταν η ανάδειξη των δυνατοτήτων του προγράμματος, αλλά και η ευκολότερη χρήση του για τον νέο χρήστη.

Ο χρήστης μετά την ανάγνωση αυτής της εργασίας μπορεί να περιηγηθεί στο πρόγραμμα, και με την βοήθεια του παραδείγματος να εφαρμόσει τη γνώση σε οποιοδήποτε αντικείμενο αλλά και να πειραματιστεί με τις εντολές των κατεργασιών.

Στο παράδειγμα πραγματοποιήθηκε η εφαρμογή των περισσότερων κατεργασιών που αναφέρθηκαν με σκοπό την κατανόηση ενός έργου, από την μοντελοποίησή του μέχρι και την προσομοίωση των κατεργασιών που πραγματοποιήθηκαν σε αυτό.

Τέλος, ως συγγραφέας αυτής της εργασίας, και χρήστης πολλών ωρών στο Fusion 360, η γνώμη μου για το πρόγραμμα είναι πως βοηθάει τον χρήστη να κατανοήσει τον εαυτό του. Και αυτό φαίνεται από το μήνυμα που εμφανίζεται όταν σύρει κάποιος τον κέρσορα πάνω σε μια εντολή. Το μήνυμα θα περιέχει χρήσιμες πληροφορίες για την εντολή καθώς και συμβουλές για την εφαρμογή της. Ακόμα και σε ένα Project ο χρήστης μπορεί μέσω του προγράμματος να κοινοποιήσει κάποιο μοντέλο σε άλλο χρήστη, χωρίς να χρειαστεί να γίνει εξαγωγή του αρχείου του μοντέλου.



## 8. Βιβλιογραφία

- [1] Αριστομένης Θ. Αντωνιάδης (εκδόσεις Τζιόλα 2014,2015): «Μηχανολογικό Σχέδιο, 2<sup>η</sup> έκδοση»
- [2] Αριστομένης Θ. Αντωνιάδης (εκδόσεις Τζιόλα 2018): «Μηχανουργική Τεχνολογία, 3<sup>η</sup> έκδοση»
- [3] Νικόλαος Μπιλάλης, Εμμανουήλ Μαραβελάκης (εκδόσεις Κριτική 2014): «Συστήματα CAD/CAM & Τρισδιάστατη Μοντελοποίηση 2<sup>η</sup> έκδοση»
- [4] <https://collections.louvre.fr>
- [5] Sketchpad Article: <https://www.cl.cam.ac.uk/techreports/UCAM-CL-TR-574.pdf>
- [6] <https://www.design-engineering.com/features/inside-fusion-360-design-eng/>
- [7] Πηγή πληροφοριών για τις T-splines: <https://scholarsarchive.byu.edu/cgi/viewcontent.cgi?article=2056&context=facpub>
- [8] Fusion 360 Core: <https://help.autodesk.com/view/SCDSE/2023/ENU/?guid=GUID-D9BA5939-0E71-4C43-818A-87569D888153>
- [9] Όλες οι πληροφορίες για τις εντολές του προγράμματος πάρθηκαν από το Forum του Fusion 360: <https://help.autodesk.com/view/fusion360/ENU/>
- [10] <https://en.dmgmori.com/products/machines/milling/5-axis-milling/dmu/dmu-50>
- Όλες οι εικόνες του συγγράμματος στα κεφάλαια των κατεργασιών και του παραδείγματος πάρθηκαν από το πρόγραμμα του Fusion 360.