

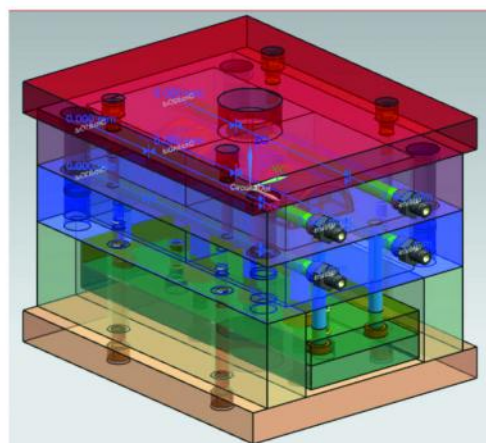


**ΠΟΛΥΤΕΧΝΕΙΟ ΚΡΗΤΗΣ**

**ΣΧΟΛΗ ΜΗΧΑΝΙΚΩΝ ΠΑΡΑΓΩΓΗΣ & ΔΙΟΙΚΗΣΗΣ**

**ΕΡΓΑΣΤΗΡΙΟ ΜΙΚΡΟΚΟΠΗΣ & ΚΑΤΑΣΚΕΥΑΣΤΙΚΗΣ ΠΡΟΣΟΜΟΙΩΣΗΣ**

## **ΣΧΕΔΙΟΜΕΛΕΤΗ & ΚΑΤΑΣΚΕΥΗ ΚΑΛΟΥΠΙΟΥ ΕΓΧΥΣΗΣ ΜΕ ΤΗΝ ΒΟΗΘΕΙΑ ΤΟΥ ΛΟΓΙΣΜΙΚΟΥ CAD/CAM NX**



## **ΘΕΟΔΟΣΙΟΥ ΔΗΜΗΤΡΙΟΣ**

**ΕΠΙΒΛΕΠΩΝ: ΑΡΙΣΤΟΜΕΝΗΣ ΑΝΤΩΝΙΑΔΗΣ  
ΚΑΘΗΓΗΤΗΣ**

**Στους προγόνους μου.**

Η ολοκλήρωση αυτής της διπλωματικής εργασίας σηματοδοτεί το τέλος του ταξιδιού μου. Ένα ταξίδι στο Πολυτεχνείο Κρήτης στο οποίο ήμουν μέλος της ακαδημαϊκής κοινότητας και υποψήφιος μηχανικός και είχε ως στόχο την απόκτηση εμπειριών και δεξιοτήτων. Αυτό το ταξίδι δεν θα ήταν όμως εφικτό χωρίς την βοήθεια ορισμένων ανθρώπων, τους οποίους οφείλω να ευχαριστήσω.

Πρωτίστως θα ήθελα να ευχαριστήσω τους γονείς μου, Ιωάννη και Βασιλική, για όσα μου προσέφεραν και μου προσφέρουν, άυλα και υλικά, όλα αυτά τα χρόνια. Έπειτα να ευχαριστήσω τον Γιώργο και την Ματίνα, τους δεύτερους γονείς μου κατά την διάρκεια της παραμονής μου στην Κρήτη, την οικογένειά μου και τους φίλους μου για την συμπαράστασή τους και τις συμβουλές τους.

Ένα τεράστιο ευχαριστώ στον καθηγητή μου, κ. Αριστομένη Αντωνιάδη, που δέχθηκε να εκπονήσω την διπλωματική μου εργασία στο εργαστήριο Μικροκοπής και Κατασκευαστικής Προσομοίωσης (m3) υπό την επίβλεψη και καθοδήγησή του. Οι συμβουλές του καθώς και η αντιμετώπιση των καταστάσεων υπήρξαν διαφωτιστικές καθόλη τη διάρκεια της παραμονής μου στο εργαστήριο, προσφέροντάς μου εμπειρία και εφόδια για την ζωή μου. Επίσης να ευχαριστήσω και το προσωπικό και τους υπόλοιπους φοιτητές του εργαστηρίου για την βοήθεια που προσέφεραν σε καθημερινή βάση κατά τον έναν χρόνο που δούλεψα στο εργαστήριο. Είμαι ευγνώμων που έτυχε να συνεργαστώ με άτομα παθιασμένα με αυτό που κάνουν και πρόθυμα να βοηθήσουν ανά πάσα στιγμή.

Τέλος θα ήθελα να ευχαριστήσω τον Στέλιο Γκιώνη και την εταιρεία Γκιώνης Πλαστικά για την παραχώρηση του καλουπιού έγχυσης για τις ανάγκες της διπλωματικής και την Αναστασία για την υπομονή της.

Δημήτριος Θεοδοσίου  
Χανιά, Σεπτέμβριος 2018

## ΠΕΡΙΕΧΟΜΕΝΑ

<b>1. ΕΙΣΑΓΩΓΗ</b>	<b>3</b>
<b>2. ΣΤΑΘΜΗ ΓΝΩΣΕΩΝ</b>	
2.1 Γενικά περί χύτευσης με έγχυση	4
2.2 Διαδικασία χύτευσης	4
2.3 Δομή καλουπιών	7
2.3.1 Προϊόντα χωρίς υποκοπές – τύποι εξολκέων	8
2.3.2 Προϊόντα με εξωτερικές υποκοπές	8
2.3.3 Προϊόντα με εσωτερικές υποκοπές	9
2.3.4 Προϊόντα με εσωτερικά ή εξωτερικά σπειρώματα	10
2.4 Συστήματα καναλιών	11
2.5 Τεχνικές κατασκευής καλουπιών	14
2.5.1 Rapid Tooling	14
2.5.2 Έμμεσες μέθοδοι Rapid Tooling	15
2.5.3 Άμεσες μέθοδοι Rapid Tooling	16
<b>3. ΣΧΕΔΙΟΜΕΛΕΤΗ ΚΑΛΟΥΠΙΟΥ</b>	
3.1 Πρωτότυπο καλούπι – Αποσυναρμολόγηση και παρατήρηση	17
3.2 Εκτίμηση κόστους καλουπιού	21
3.2.1 Ομάδα κόστους κοιλότητας	22
3.2.2 Ομάδα κόστους βασικού σχεδιασμού	24
3.2.3 Ομάδα κόστους λειτουργικών στοιχείων	25
3.3 Διερεύνηση πλήρωσης, δύναμης κλεισίματος και δύναμης εξαγωγής	26
<b>4. ΕΡΓΑΣΤΗΡΙΑΚΟΣ ΕΞΟΠΛΙΣΜΟΣ</b>	
4.1 Τεχνικός εξοπλισμός	30
4.2 Υλικά κατεργασιών	34
<b>5. ΣΧΕΔΙΑΣΗ ΣΤΟ ΛΟΓΙΣΜΙΚΟ CAD/CAM NX – ΟΔΗΓΟΣ ΧΡΗΣΗΣ NX MOLD WIZARD</b>	
5.1 Σχεδίαση στο περιβάλλον CAD	35
5.2 Οδηγός χρήση Mold Wizard	36
<b>6. ΚΑΤΕΡΓΑΣΙΑ ΚΑΛΟΥΠΙΟΥ ΕΓΧΥΣΗΣ</b>	
6.1 Προγραμματισμός κατεργασιών άνω πλάκας συγκράτησης	50
6.2 Προγραμματισμός κατεργασιών πλάκας κοιλοτήτων	52
6.3 Προγραμματισμός κατεργασιών ένθετου πυρήνα	55
6.4 Προγραμματισμός κατεργασιών πλάκας πυρήνων	59
6.5 Προγραμματισμός κατεργασιών πλάκας εξολκέων Α	60
6.6 Προγραμματισμός κατεργασιών πλάκας εξολκέων Β	61
6.7 Προγραμματισμός κατεργασίας πλακών υποστήριξης	62
6.8 Προγραμματισμός κατεργασιών κάτω πλάκας συγκράτησης	63
6.9 Προγραμματισμός κατεργασιών πείρων οδήγησης	63
6.10 Προγραμματισμός κατεργασιών πείρων πυρήνα και εξολκέων πείρων	65
6.11 Κατεργασμένα τεμάχια	66
6.12 Η Ζημιά	78
<b>7. ΣΥΝΟΨΗ</b>	<b>81</b>



<b>ΒΙΒΛΙΟΓΡΑΦΙΑ</b>	82
<b>ΠΑΡΑΡΤΗΜΑΤΑ</b>	
ΠΑΡΑΡΤΗΜΑ Α – Αναλυτικοί υπολογισμοί κόστους	83
ΠΑΡΑΡΤΗΜΑ Β – Αναφορές προσομοιώσεων πλήρωσης	83
ΠΑΡΑΡΤΗΜΑ Γ – Παράμετροι κοπής	84
ΠΑΡΑΡΤΗΜΑ Δ – Κατασκευαστικά μηχανολογικά σχέδια	85

## 1. ΕΙΣΑΓΩΓΗ

Στην παρούσα διπλωματική εργασία θα μελετηθούν τα καλούπια έγχυσης πλαστικών καθώς και η χρήση λογισμικού για τον κύκλο της σχεδίασης, δοκιμής, αναθεώρησης και κατασκευής.

Η σχεδίαση του τελικού τεμαχίου θα γίνει στο περιβάλλον CAD του λογισμικού NX.

Η συναρμολόγηση του καλουπιού θα υλοποιηθεί σε ξεχωριστό και εξειδικευμένο πακέτο για καλούπια του NX, το οποίο ονομάζεται Mold Wizard. Επίσης θα παραχθούν οι απαραίτητοι κώδικες μηχανής (g-codes) από το περιβάλλον CAM.

Τέλος θα παραχθεί αντίγραφο του καλουπιού σε κλίμακα 1:2.

Συγκεκριμένα:

στο **2<sup>ο</sup> κεφάλαιο** γίνεται μία σύντομη εισαγωγή στην τεχνική χύτευσης πλαστικών με έγχυση (injection molding), τα υλικά τα οποία είναι κατάλληλα για χύτευση, την δομή των μηχανών χύτευσης με έγχυση, τους τύπους καλουπιών χύτευσης με έγχυση, τις μεθόδους κατασκευής και τα μέρη από τα οποία απαρτίζεται ένα καλούπι.

Στο **3<sup>ο</sup> κεφάλαιο** γίνεται μία σύντομη μέλετη που θα επικεντρωθεί στα κόστη της κατασκευής ενός καλουπιού έγχυσης και στα μηχανικά χαρακτηριστικά που θα πρέπει να πληροί βάσει των περιορισμών που τίθενται από την υπάρχουσα μηχανή χύτευσης.

Στο **4<sup>ο</sup> κεφάλαιο** παρατίθεται ο εργαστηριακός εξοπλισμός που χρησιμοποιήθηκε για τις ανάγκες αυτής της εργασίας.

Στο **5<sup>ο</sup> κεφάλαιο** παρουσιάζεται συνοπτικά η διαδικασία μοντελοποίησης του τελικού τεμαχίου στο περιβάλλον CAD του λογισμικού NX 11 της Siemens και έπειτα ένας οδηγός για την χρήση του ειδικού λογισμικού της Siemens για καλούπια, του Mold Wizard, με μελέτη περίπτωσης το τεμάχιο που σχεδιάστηκε.

Το **6<sup>ο</sup> κεφάλαιο** πραγματεύεται την εισαγωγή των εκάστοτε τεμαχίων, που προέκυψαν από το πακέτο του Mold Wizard, στο περιβάλλον CAM για προγραμματισμό, προσομοίωση των κατεργασιών, την εξαγωγή των απαραίτητων κωδικών μηχανής (g-codes) και την παραγωγή των τελικών τεμαχίων.

Στο **7<sup>ο</sup> κεφάλαιο** γίνεται μία ανασκόπηση των αποτελεσμάτων της διαδικασίας σχεδίασης και παραγωγής των τεμαχίων, όπου παρουσιάζονται τα εμπόδια που ανέκυψαν, πως ξεπεράστηκαν, η εμπειρία και γνώση που αποκτήθηκε από αυτά τα εμπόδια.

## 2. ΣΤΑΘΜΗ ΓΝΩΣΕΩΝ

### 2.1 Γενικά περί χύτευσης με έγχυση

Η χύτευση με έγχυση (injection molding) είναι μία διαδικασία παραγωγής αντικειμένων, που συντελείται με την έγχυση υπό πίεση, λιωμένου πολυμερούς (πλαστικού) σε ένα καλούπι. Είναι η πιο ευρέως χρησιμοποιούμενη διαδικασία για την μαζική παραγωγή μεγάλου αριθμού πλαστικών προϊόντων. Τα φάσμα των προϊόντων που μπορούν να παραχθούν με αυτή την μέθοδο είναι ιδιαίτερα ευρύ και τα προϊόντα διαφέρουν σημαντικά ως προς το μέγεθός τους, την πολυπλοκότητά τους και την εφαρμογή που χρησιμοποιούνται. Το βάρος των προϊόντων κυμαίνεται από μερικά χιλιοστόγραμμα (mg) στο πεδίο της μικρο-έγχυσης (micro-injection molding) μέχρι μεγάλα αντικείμενα που ζυγίζουν πάνω από 50 κιλά. Η πολυπλοκότητα των αντικειμένων μπορεί να είναι από απλά πρισματικά ή εκ περιστροφής στερεά μέχρι επιφάνειες ελεύθερης μορφής, από συμπαγή τεμάχια μέχρι κοίλα και από απλές διαμορφώσεις οπών μέχρι γεωμετρίες νεύρων (ribs), εσωτερικών και εξωτερικών σπειρωμάτων, εσωτερικών και εξωτερικών υποκοπών (undercuts) και κουμπωτών συνδέσμων (snap fit), ενώ οι εφαρμογές που βρίσκουν χρήση περιλαμβάνουν από την καθημερινή ζωή και τα καταναλωτικά προϊόντα μέχρι εφαρμογές αεροδιαστημικής και ιατρικής.

### 2.2 Διαδικασία χύτευσης

Ο κύκλος της χύτευσης με έγχυση αποτελείται από τέσσερα στάδια:

1) Κλείσιμο καλουπιού (Clamping) – Πριν την έγχυση του πολυμερούς πρέπει τα δύο τμήματα του καλουπιού να ενωθούν και να ασφαλιστούν από την μονάδα συγκράτησης. Το ένα μέρος του καλουπιού μπορεί να ολισθαίνει σε ράβδους από την κίνηση που παρέχει η μονάδα συγκράτησης είτε απευθείας μέσω υδραυλικού εμβόλου είτε μέσω υδραυλικού εμβόλου υποβοηθούμενο από αρθρωτούς βραχίονες. Το άλλο μέρος είναι σταθερό πάνω στην μηχανή χύτευσης. Με το κλείσιμο του καλουπιού ασκείται και η απαραίτητη δύναμη σύσφιξης, ανάλογα με το μέγεθος του καλουπιού και των τεμαχίων που παράγει, ώστε να ασφαλιστεί και να στεγανοποιηθεί.

2) Έγχυση (Injection)– Το πολυμερές προς έγχυση εισέρχεται σε μορφή κόκκων (pellets) στην μονάδα πλαστικοποίησης όπου θερμαίνεται και τήκεται. Το λιωμένο πολυμερές εγχέεται στο καλούπι και με την ογκομετρική πλήρωση επέρχεται αύξηση της πίεσης. Η πίεση διατηρείται για κάποιο χρονικό διάστημα (φάση συμπίεσης – packing) συμπιέζοντας το τήγμα ούτως ώστε να επιτραπεί η μεταφορά, με μικρότερο ρυθμό, επιπλέον τήγματος στις περιοχές που έχουν ήδη στερεοποιηθεί εφόσον δεν έχουν φράξει οι πύλες από στερεοποιημένο πολυμερές. Η διατήρηση της πίεσης είναι απαραίτητη για να μειωθεί το φαινόμενο της συρρίκνωσης.

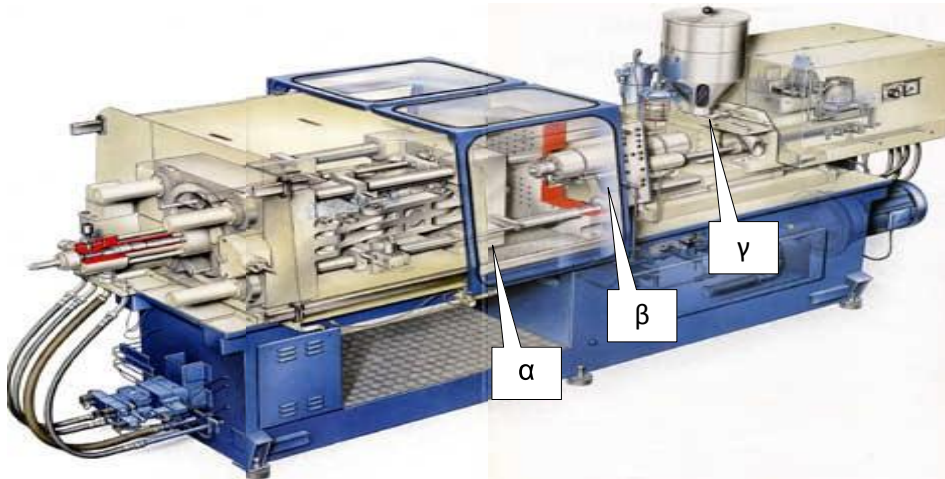
3) Ψύξη (Cooling) – Το πολυμερές ξεκινάει να ψύχεται μόλις έρθει σε επαφή με τα τοιχώματα του καλουπιού. Η χρονική διάρκεια της ψύξης είναι το άθροισμα των χρόνων διατήρησης πίεσης (packing) και του χρόνου στεγανοποίησης (sealing time) δηλαδή στερεοποίησης του δρομέα. Είναι σημαντικό ο χρόνος της συμπίεσης να είναι επαρκής για να ψυχθεί το πολυμερές στην πύλη και στον δρομέα προς αποφυγή διαρροής από την κοιλότητα προς την πλευρά του στομίου έγχυσης.

Ο χρόνος ψύξης εξαρτάται κατά ένα μέρος από το υλικό (συντελεστής θερμική αγωγιμότητας) και το πάχος των τοιχωμάτων και κατά κύριο λόγο από την ικανότητα ψύξης του καλουπιού.

4) Εξαγωγή (Ejection) – Στο τέλος της διαδικασίας της ψύξης εκτονώνεται η δύναμη σύσφιξης και το καλούπι ανοίγει. Στο κινητό μέρος του καλουπιού βρίσκονται οι εξολκείς. Το καλούπι πρέπει να έχει φτάσει στην ακραία θέση του προτού ενεργοποιηθούν οι εξολκείς για να

απομακρυνθούν τα τεμάχια ανεμπόδιστα. Τα τεμάχια λόγω συρρίκνωσης έχουν προσκολληθεί στα τοιχώματα του πυρήνα οπότε για να αφαιρεθούν χρειάζεται να ασκηθεί δύναμη μέσω των εξολκέν τέτοια ώστε να αποκολλήσει τα τεμάχια από τους πυρήνες. Για διευκόλυνση αυτής της διαδικασίας μπορεί να προστεθεί κάποιος παράγοντας πριν την χύτευση. Όταν ολοκληρωθεί η απομάκρυνση των τεμαχίων, το καλούπι ξανακλείνει και ο κύκλος επαναλαμβάνεται.

Η ποικιλία των προϊόντων αντικατοπτρίζεται σε μικρότερο βαθμό στην ποικιλία των μηχανών χύτευσης. Οι μηχανές χύτευσης χαρακτηρίζονται από την δύναμη συγκράτησης η οποία ασκείται στα δύο κομμάτια του καλουπιού ούτως ώστε να παραμείνουν ερμητικά κλειστά κατά τη διάρκεια της έγχυσης. Το εύρος των δυνάμεων ξεκινά από τα 50 μέχρι 100,000 kN, με πιο τυπικό το εύρος από 100 μέχρι 30,000 kN για το οποίο οι μηχανές κατασκευάζονται σε μικρές σειρές παραγωγής. Επίσης διακρίνονται σε οριζόντιας ή κάθετης διαρρύθμισης, με επικρατέστερη την πρώτη. Όλες οι μηχανές χύτευσης απαρτίζονται από τέσσερις διακριτές περιοχές οι οποίες είναι: η πηγή ισχύος, η μονάδα έγχυσης, το συγκρότημα του καλουπιού, και την μονάδα συγκράτησης.

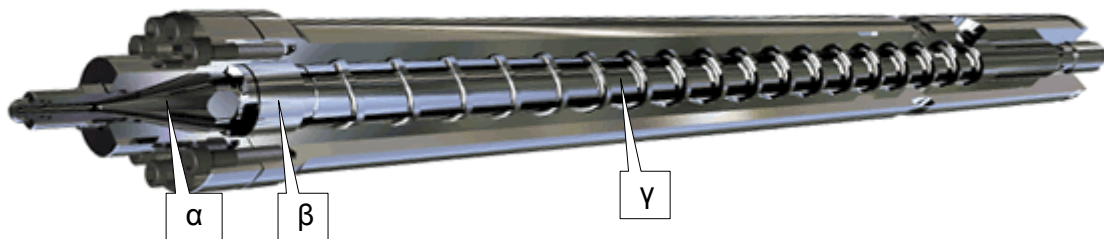


Σχήμα 2.1 Τυπική διάταξη μηχανής χύτευσης με έγχυση, τριών πλακών με την μονάδα συγκράτησης μηχανικά υποβοηθούμενη.  
α: Πλάκα εξολκέν, β: σταθερή πλάκα, γ: μονάδα έγχυσης με τον κύλινδρο πλαστικοποίησης και το ακροφύσιο αυτόματης διακοπής ροής.

Η μονάδα συγκράτησης επιτελεί την κίνηση του μισού καλουπιού το οποίο ονομάζεται κινούμενο μέρος ή ήμισυ σύσφιξης ή ήμισυ εξολκέν προς το ακίνητο ή σταθερό ήμισυ. Εκτός από την κίνηση του καλουπιού ασκεί την απαραίτητη δύναμη συγκράτησης ούτως ώστε να σφραγίσει τα δύο κομμάτια του καλουπιού και να υπερνικήσει της δυνάμεις που αναπτύσσονται κατά την έγχυση που τείνουν να ανοίξουν το καλούπι. Οι πιέσεις που αναπτύσσονται κατά την έγχυση είναι της τάξεως των 200 – 1200 bar, οπότε πρέπει να ληφθούν υπόψη κατά τον σχεδιασμό ενός καλουπιού για την εφαρμογή της απαραίτητης δύναμης συγκράτησης και τα απαραίτητα πάχη πλακών τα οποία είναι ικανά να αντέξουν τις δυνάμεις αυτές.

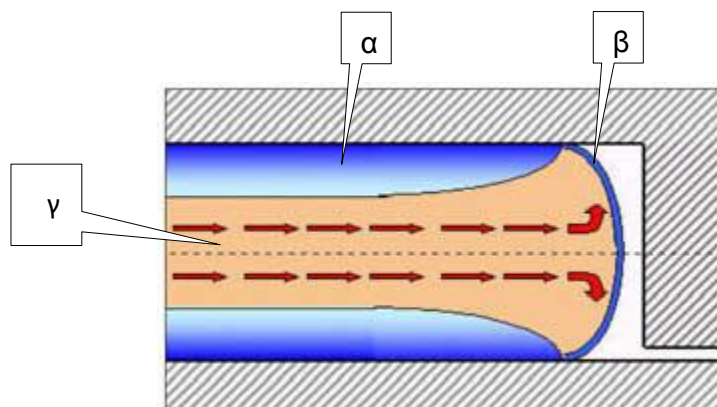
Η πρώτη ύλη για χύτευση με έγχυση είναι θερμοπλαστικά πολυμερή στην πλειονότητά τους αλλά και θερμοσκληρυνόμενα και ελαστομερή, τα οποία βρίσκονται σε μορφή κόκκων (pellet) πριν την τήξη. Οι κόκκοι εισέρχονται στο σιλό της μονάδας έγχυσης και έπειτα προωθούνται στον θερμαινόμενο κύλινδρο από τον ατέρμονα κοχλία. Ο ατέρμονας κοχλίας εκτός από την περιστροφή του μπορεί να κινείται αξονικά προς τα πίσω (προς τον κινητήρα και τον μειωτήρα) κατά την διαδικασία της τήξης του πολυμερούς και προς τα εμπρός (προς το ακροφύσιο) κατά

την διαδικασία της έγχυσης λειτουργώντας σαν μη περιστρεφόμενο έμβολο κατά την έγχυση και την διατήρηση της πίεσης. Οι κόκκοι τήκονται στον θερμαινόμενο κύλινδρο από τα θερμαντικά στοιχεία στην περιφέρεια του σωλήνα και κατά την περιστροφή του ατέρμονος από την αναπτυσσόμενη θερμότητα λόγω διατμητικών δυνάμεων τριβής. Με την περιστροφή του ατέρμονος κοχλία υπάρχει μεταφορά του λιωμένου πολυμερούς προς το κλειστό ακροφύσιο με ταυτόχρονη κίνηση του κοχλία προς τα πίσω. Για να είναι εφικτή η κίνηση του ατέρμονος προς το ακροφύσιο και για να επιτευχθεί καλύτερη ανάμειξη και εξαέρωση εφαρμόζεται η λεγόμενη δεύτερη πίεση ή πίεση σιδερώματος (back pressure) που τείνει να ωθήσει τον ατέρμονα προς το ακροφύσιο. Όταν ο ατέρμονας φτάσει την επιθυμητή μετατόπιση προς τα πίσω (metering stroke), τότε παύει η περιστροφή και είναι έτοιμο το τήγμα για χύτευση. Η κωνική απόληξη του ατέρμονος κοχλία λειτουργεί σαν έμβολο και ωθεί το τήγμα στο καλούπι μέχρι να πληρωθεί.



Σχήμα 2.2 Παλινδρομών κοχλίας  
α: κωνικό έμβολο, β: ανεπίστροφη βαλβίδα, γ: κοχλίας

Η ροή του θερμού τήγματος προς το ψυχρό καλούπι είναι τύπου «συντριβανιού», δηλαδή δημιουργείται ένα λεπτό στρώμα στερεοποιημένου πολυμερούς λόγω επαφής με τα τοιχώματα του καλουπιού και το τήγμα πρέπει να περάσει ανάμεσα. Μεγάλη έκταση των στερεοποιημένων στρωμάτων, μπορούν να οδηγήσουν σε φραγή, με αποτέλεσμα αποτυχημένη ή καθόλου πλήρωση του καλουπιού. Επίσης στο μέτωπο της ροής δημιουργείται ένα λεπτό στερεοποιημένο στρώμα που προσφέρει αυτο-στεγανοποίηση, για διάκενα από 10 μέχρι 30  $\mu\text{m}$  στο καλούπι, συντελώντας στην «αναπνοή» του καλουπιού δηλαδή την απαγωγή του αέρα από το εσωτερικό του καλουπιού κατά την έγχυση του πολυμερούς.



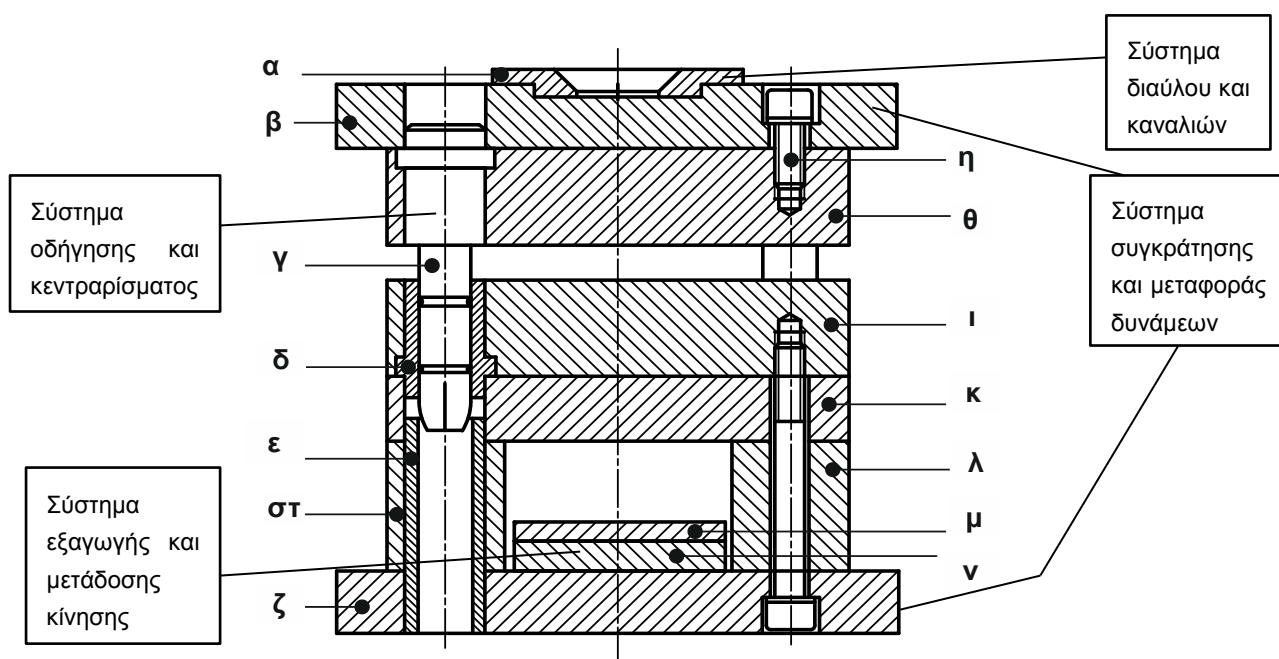
Σχήμα 2.3 Ροή τύπου συντριβανιού  
α: σταθερό στερεοποιημένο στρώμα, β: περιοχή πυρήνα χαμηλού ιξώδους  
γ: μέτωπο υψηλού ιξώδους

## 2.3 Δομή καλουπιών

Η παραγωγή απλών ή πολύπλοκων τεμαχίων σε ένα κύκλο παραγωγής απαιτεί την χρήση ενός καλουπιού που περιέχει μία ή πολλές κοιλότητες. Η βασική δομή των καλουπιών αποτελείται από δύο μέρη το σταθερό και το κινητό μέρος τα οποία με τη σειρά τους αποτελούνται από συναρμολογήσεις μεταλλικών πλακών. Οι κοιλότητες (θηλυκά) και οι πυρήνες (αρσενικά) διαμορφώνονται σε ένθετα τεμάχια τα οποία προσαρμόζονται σε αντίστοιχες εσοχές (φωλιές) στις μεταλλικές πλάκες. Σε μερικές περιπτώσεις όμως επιλέγεται η διαμόρφωση των κοιλοτήτων απευθείας πάνω στην μεταλλική πλάκα. Οι απαιτήσεις που πρέπει να εκπληρώνει ένα καλούπι είναι η κατανομή του τήγμενου πολυμερούς, η διαμόρφωση και ψύξη του υλικού ή πρόσδοση θερμότητας για ενεργοποίηση θερμοσληυνόμενων ή ελασμερών πολυμερών), η στερεοποίηση του τήγματος και η εξαγωγή των προϊόντων. Αυτές οι εργασίες επιτελούνται από τα παρακάτω λειτουργικά συστήματα:

- το σύστημα διαύλου και καναλιών (δρομέων)
- την κοιλότητα με την απαγωγή αερίων
- το σύστημα εναλλαγής θερμότητας
- το σύστημα εξαγωγής
- το σύστημα ευθυγράμμισης και τοποθέτησης
- την μεταφορά δυνάμεων
- την μετάδοση κίνησης.

Στο σχήμα 2.4 φαίνονται τα λειτουργικά συστήματα και τα μέρη από τα οποία αποτελείται ένα καλούπι.



Σχήμα 2.4 Τυπική δομή ενός καλουπιού

α: δακτύλιος κεντραρίσματος, β: άνω πλάκα συγκράτησης σταθερού μέρους, γ: οδηγός πείρος, δ: δακτύλιος οδήγησης, ε: δακτύλιος κεντραρίσματος, στ, λ: πλάκες υποστήριξης – αποστάτες περιοχής εξολκέων, ζ: κάτω πλάκα συγκράτησης, η: συναρμολόγηση πλακών με κοχλίες, θ: πλάκα τοποθέτησης ένθετων κοιλοτήτων, ι: πλάκα τοποθέτησης ένθετων πυρήνων, κ: πλάκα υποστήριξης, μ: πλάκα εξολκέων Α, ν: πλάκα εξολκέων Β

Εκτός από την μορφοποίηση του τεμαχίου το καλούπι πρέπει να επιτελεί μία ακόμα σημαντική λειτουργία, την εξαγωγή του προϊόντος. Από οικονομικής άποψης ο κύκλος παραγωγής θα

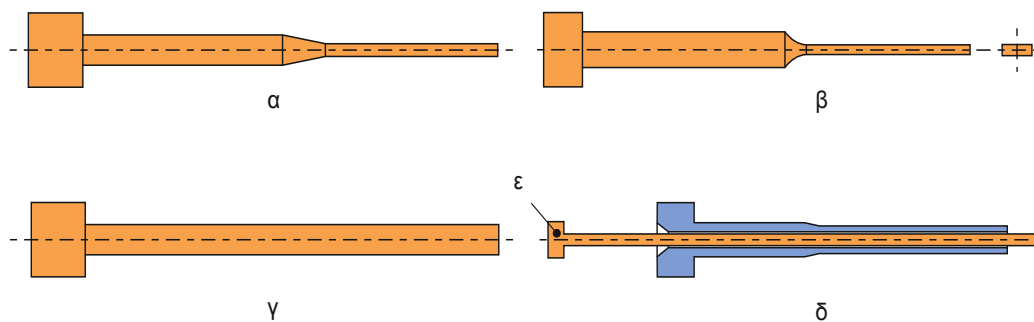


πρέπει να είναι όσο το δυνατόν συντομότερος αλλά από την πλευρά της ποιότητας η εξαγωγή, ειδικά πολύπλοκων τεμαχίων πρέπει να είναι αξιόπιστη χωρίς να προκαλεί ζημιές στο τεμάχιο ή στην κοιλότητα του καλουπιού. Οπότε το καλούπι καθορίζεται από την πολυπλοκότητα του τεμαχίου προς εξαγωγή και του συστήματος που απαιτείται για την εξαγωγή του. Αυτό έχει άμεσο αντίκτυπο στο κόστος αφού για πολύπλοκα αντικείμενα απαιτείται ειδικός εξοπλισμός. Ο σχεδιασμός λοιπόν του συστήματος εξαγωγής εξαρτάται από το αντικείμενο και διακρίνεται σε προϊόντα:

- χωρίς υποκοπές
- με εξωτερικές υποκοπές
- με εσωτερικές υποκοπές.

### 2.3.1 Προϊόντα χωρίς υποκοπές – τύποι εξολκείων

Τα προϊόντα χωρίς υποκοπές έχουν την πιο απλή διαρρύθμιση καλουπιού και πιο οικονομική αφού δεν χρειάζεται ειδικούς μηχανισμούς για την εξαγωγή του αντικείμενου. Αποτελείται από δύο μέρη το κινητό και το σταθερό, υπάρχει ένα επίπεδο διαχωρισμού, το άνοιγμα του καλουπιού γίνεται σε μία μόνο κατεύθυνση και η εξαγωγή γίνεται με εξολκείς. Οι εξολκείς που μπορούν να χρησιμοποιηθούν είναι οι πείροι, οι σωληνωτοί και οι μαχαιρωτοί. Στο σχήμα 2.5 φαίνονται οι τρεις τύποι.



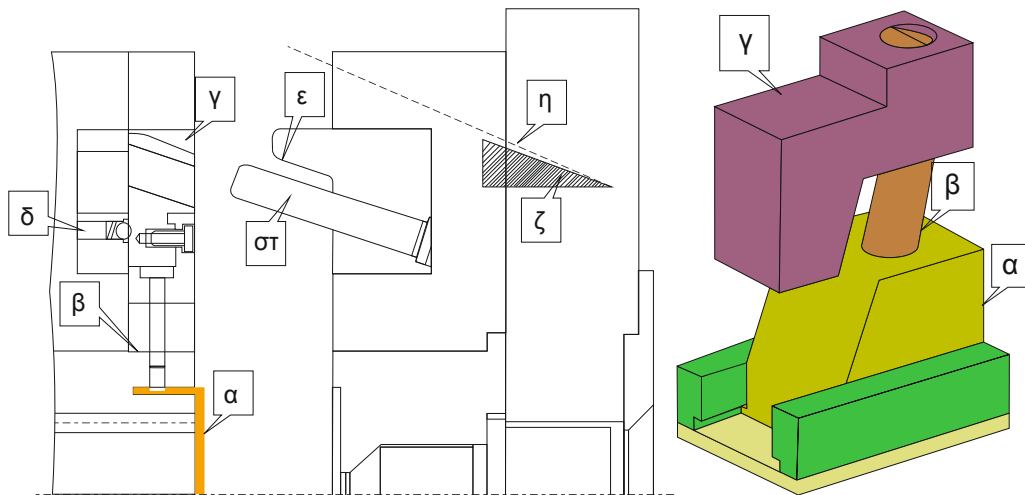
Σχήμα 2.5 Είδη εξολκείων

α: διαβαθμισμένος πείρος, β: μαχαιρωτός, γ: πείρος, δ: σωληνωτός, ε: πείρος πυρήνα

### 2.3.2 Προϊόντα με εξωτερικές υποκοπές

Υποκοπές ονομάζονται οι εσοχές ή προεξοχές στα αντικείμενα που προέρχονται από χύτευση με έγχυση. Οι διαμορφώσεις αυτές περιπλέκουν ή καθιστούν αδύνατη την εξαγωγή του αντικείμενου. Με την χρήση μηχανισμών ολίσθησης (ολισθητήρες – sliders) δημιουργούνται βοηθητικά επίπεδα διαχωρισμού που επιτρέπουν την εξαγωγή του τεμαχίου από το καλούπι. Ο πιο απλός και οικονομικός οδηγός είναι αυτός του κεκλιμένου πείρου ο οποίος στερεώνεται στο σταθερό μέρος τους καλουπιού και λειτουργεί σαν τον ακόλουθο ενός εκκέντρου. Ένας εναλλακτικός τρόπος τοποθέτησης των πείρων είναι σε ξεχωριστή πλάκα πριν την πλάκα συγκράτησης του σταθερού μέρους. Στο σχήμα 2.6.1 (δεξιά) μία αναπαράσταση ενός ολισθητήρα ενώ στο σχήμα 2.6.2 (αριστερά) φαίνεται η διάταξη ενός ολισθητήρα σε καλούπι. Η γωνία του πείρου (ζ) σχηματίζει 2 με 3 μοίρες μικρότερη κλίση από την γωνία της σφήνας (η). Αυτό εξασφαλίζει ότι στην τελευταία φάση του κλεισίματος η κίνηση εκτελείται από την επιφάνεια της σφήνας ενώ ο πείρος είναι ελεύθερος. Κατά το άνοιγμα του καλουπιού, ο πείρος σπρώχνει τον ολισθητήρα προς τα πάνω μέχρι να απελευθερωθεί η υποκοπή του τεμαχίου. Μία σφαίρα με ελατήριο (δ) συγκρατεί τον ολισθητήρα στην ανοικτή θέση ώστε κατά το κλείσιμο του καλουπιού να οδηγηθεί η τρύπα στον κεκλιμένο πείρο. Το αντικείμενο παραμένει στον πυρήνα μέχρι οι εξολκείς να το αφαιρέσουν. Κατά τον σχεδιασμό για χρήση ολισθητήρων πρέπει να λαμβάνεται υπόψιν ότι οι πείροι τοποθετούνται στο σταθερό μέρος και οι ολισθητήρες στο

κινητό. Μερικοί πρακτικοί κανόνες συνιστούν ο λόγος του μήκους οδήγησης προς το πάχος του ολισθητήρα να είναι από 0.5 μέχρι 0.7 και να η κλίση του πείρου να είναι 15-25°. Όσο μικρότερη κλίση τόσο μεγαλύτερη δύναμη κλεισίματος του ολισθητήρα. Εν αντιθέσει για την απαραίτητη κίνηση του ολισθητήρα απαιτείται μεγαλύτερη γωνία. Έτσι πρέπει να γίνει έναν συμβιβασμός ανάμεσα στις δύο παραμέτρους. Η επιφάνεια της σφήνας θα πρέπει να είναι 2-3ο υψηλότερα από την κλίση του πείρου ώστε να πιέζει και να ακινητοποιεί τον ολισθητήρα στην κλειστή θέση. Επίσης είναι προτιμότερο να χρησιμοποιούνται ολισθητήρες με έναν πείρο για την αποφυγή εμπλοκής. Τέλος αν χρειάζεται ένας ολισθητήρας μόνο στη μία πλευρά του καλούπιού πρέπει να υπάρχει επαρκής αντιστάθμιση.



Σχήμα 2.6.1 α: ολισθητήρας, β: κεκλιμένος πείρος, γ: σφήνα στήριξης κεκλιμένου πείρου

Σχήμα 2.6.2 α: προϊόν, β: τέλος διαδρομής ολισθητήρα, γ: ολισθητήρας, δ: κλουβί σφαίρας με ελατήριο, ε: επιφάνεια σφήνας, στ: κεκλιμένος πείρος, ζ: γωνία κλίσης πείρου, η: γωνία κλίσης επιφάνειας σφήνας

### 2.3.3 Προϊόντα με εσωτερικές υποκοπές

Οι εσωτερικές υποκοπές είναι διαμορφώσεις στις κοιλότητες των τεμαχίων οι οποίες δυσχεραίνουν την απομάκρυνση του τεμαχίου από το καλούπι. Για την απελευθέρωση του τεμαχίου χρησιμοποιούνται ανυψωτές μονοί ή διπλοί (lifters), εσωτερικοί ολισθητήρες εξωτερικά χειριζόμενοι (internal sliders) και πτυσσόμενοι πυρήνες (collapsible cores). Παρόλα αυτά, τεμάχια με πολύπλοκα εσωτερικά περιγράμματα είναι αδύνατο να παραχθούν με συνδυασμό πολλών από των παραπάνω εργαλείων που αναφέρθηκαν. Η λύση σε αυτό είναι με την μέθοδο του χαμένου πυρήνα που είναι παρόμοια με την μέθοδο χαμένου κεριού. Ο πυρήνας κατασκευάζεται από κάποια εύτηκτο κράμα μετάλλου και τοποθετείται στο καλούπι για να εγχυθεί γύρω του το πολυμερές. Βασική προϋπόθεση το πολυμερές να έχει μεγαλύτερη θερμοκρασία κατεργασίας από το σημείο τήξης του μεταλλικού πυρήνα. Αφότου εγχυθεί το πολυμερές και εξαχθεί το προϊόν, θερμαίνεται ώστε να λιώσει ο πυρήνας. Αυτή η τεχνική είναι διαδεδομένη στην κατασκευή πολλαπλών εισαγωγών για αυτοκίνητα. Μία άλλη τεχνική για σχετικά απλά και μικρά τεμάχια περιλαμβάνει την χρήση πτυσσόμενου πυρήνα. Αυτός μπορεί να είναι μεταλλικός και να συστέλλεται ή να διαστέλλεται με τη χρήση ενός πείρου. Το μειονέκτημα αυτής της τεχνικής είναι το υψηλό κόστος του πυρήνα και τα σημάδια που είναι σχεδόν αναπόφευκτα λόγω των διακένων ανάμεσα στα τμήματα του πυρήνα με αποτέλεσμα την μείωση της ποιότητας των τεμαχίων. Μια εναλλακτική πτυσσόμενου πυρήνα είναι με την χρήση πυρήνα από λάστιχο σιλικόνης προσαρμοσμένο πάνω σε μεταλλικό πείρο. Με την κίνηση του πείρου το λάστιχο συστέλλεται και οι υποκοπές ελευθερώνονται. Αυτή η λύση είναι πιο οικονομική από αυτή με τον μεταλλικό πυρήνα αλλά η διάρκεια ζωής των λάστιχων είναι περιορισμένη. Αυτό δεν αποτελεί πρόβλημα αφού τα ένθετα λάστιχα έχουν πολύ μικρό κόστος



και είναι εύκολο να αλλαχθούν. Ένα μειονέκτημα της μεθόδου είναι οι αυξημένοι χρόνοι κύκλων παραγωγής λόγω της μειωμένης δυνατότητας ψύξης.

### **2.3.4 Προϊόντα με εσωτερικά ή εξωτερικά σπειρώματα**

Τα εσωτερικά σπειρώματα αποτελούν εσωτερικές υποκοπές οι οποίες μπορούν να ελευθερωθούν με τις παραπάνω τεχνικές αν η ποιότητα των σπειρωμάτων και οι γραμμές διαχωρισμού που σχηματίζονται είναι αποδεκτά. Στην περίπτωση που απαιτείται υψηλής ποιότητας σπείρωμα και μεγάλους αριθμούς τεμαχίων τότε είναι απαραίτητη η χρήση μηχανισμών ξεβιδώματος. Σε αυτά τα καλούπια πρέπει να δωθεί ιδιαίτερη προσοχή στην ευθυγράμμιση των πυρήνων ή των φωλιών για αποφυγή μετατοπίσεων κατά την έγχυση και ενδεχόμενη εμπλοκή κατά την εξαγωγή. Οι διαδικασίες διακρίνονται σε διαδικασία έγχυσης βασιζόμενη στον χειριστή στην οποία ο χειριστής τοποθετεί τον σπειροτομημένο πυρήνα ή την σπειροτομημένη φωλιά και στο τέλος του κύκλου πρέπει να αφαιρέσει τον πυρήνα από το τεμάχιο και να επανατοποθετήσει τον πυρήνα στην μηχανή. Ειδικά χρησιμοποιείται διάταξη οδοντωτών τροχών που φέρουν τους πυρήνες, προσαρμόζεται πάνω στο καλούπι και το πινιόν συνδέεται με αλυσίδα ή ιμάντα και παίρνει κίνηση μέσω χειροστροφάλου από τον χειριστή. Στην αυτοματοποιημένη διαδικασία τα σπειρώματα ελευθερώνονται από την κίνηση της μηχανής κατά το άνοιγμα μέσω οδοντωτών κανόνων, μέσω κοχλίας ή με υδραλικούς, πνευματικούς ή ηλεκτρικούς επενεργητές που οδηγούνται από ξεχωριστές μονάδες ελέγχου.

Η χρήση οδοντωτών κανόνων περιορίζεται από την διάμετρο των τεμαχίων, την δύναμη της μηχανής και την διαδρομή του κανόνα. Η ενεργοποίηση γίνεται από την κίνηση κατά το άνοιγμα του καλουπιού ή από ξεχωριστό επενεργητή. Η λειτουργία τέτοιων καλουπιών γίνεται χωρίς ελαττώματα μόνο αν ο κανόνας έχει ακριβές βήμα και το πινιόν και ο κανόνας είναι ευθυγραμμισμένοι με οδηγούς και ένσφαιρους τριβείς (ρουλεμάν) ακριβείας αλλιώς μπορεί να πηδήξει δόντια. Ο κίνδυνος ενισχύεται όταν δεν μεταδίδεται απευθείας στον πυρήνα αλλά σε γωνία με κωνικούς οδοντωτούς τροχούς ή σε άλλον κανόνα. Αυτός ο σχεδιασμός έχει το πλεονέκτημα ότι τα σπειρώματα μπορούν ξεβιδωθούν όσο είναι κλειστό το καλούπι.

Οι κοχλίες αποτελούν τον πιο απλό και αξιόπιστο τρόπο οδήγησης για τους πυρήνες μορφοποίησης σπειρωμάτων. Μετατρέπουν την μεταφορική κίνηση της μηχανής σε περιστροφική που κινεί τους πυρήνες. Οι κοχλίες είναι διαθέσιμοι στην αγορά σε διάφορες διαμέτρους και βήματα, δεξιόστροφα ή αριστερόστροφα. Για να είναι δυνατή η μετατροπή της μεταφορικής κίνησης σε περιστροφική και με τον πιο αποδοτικό τρόπο απαιτείται μεγάλη γωνία έλικας ώστε να είναι μειωμένη η πίεση επαφής συντελώντας σε αυξημένη διάρκεια ζωής του κοχλίας και του περικοχλίου.

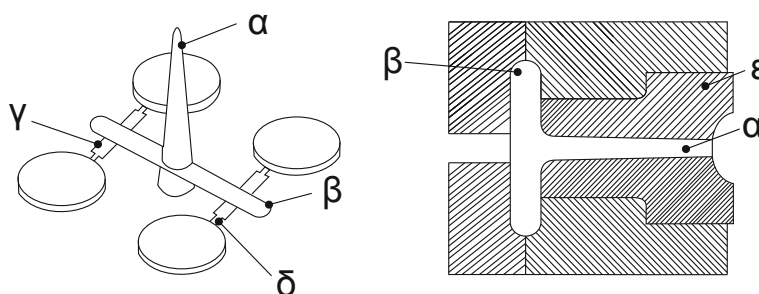
Οι παραπάνω τρόποι εξαρτώνται από την διαδρομή της μηχανής περιορίζοντας τον αριθμό των σπειρωμάτων που μπορούν να εξαχθούν. Πολλές φορές η εξαγωγή των σπειρωμάτων είναι απαραίτητη όσο είναι κλειστό το καλούπι όταν οι διαμορφώσεις είναι σε διαφορετικά επίπεδα ή γωνίες. Είναι απαραίτητη λοιπόν η χρήση μηχανισμών που είναι ανεξάρτητοι από την διαδρομή της μηχανής. Αυτοί μπορεί να κινούνται υδραυλικά, ηλεκτρικά ή πνευματικά με βασική απαίτηση την ακρίβεια κατά την ενεργοποίηση και απενεργοποίηση. Σε περίπτωση απενεργοποίησης προτού φτάσει ο πυρήνας την τελική του θέση θα δημιουργηθεί προέκταμα (flash) ενώ σε περίπτωση καθυστερημένης απενεργοποίησης ο πυρήνας θα δεχθεί όλη την ροπή του μηχανισμού, να κολλήσει και να προκληθεί ζημιά στον πυρήνα και στο καλούπι.

Όσο αφορά τα εξωτερικά σπειρώματα, αυτά μπορούν να παραχθούν με τους ίδιους τρόπους όπως τα εσωτερικά σπειρώματα.

Αξίζει να σημειωθεί ότι οι λύσεις που αναφέρθηκαν παραπάνω απαιτούν την μέγιστη ακρίβεια πράγμα που τις καθιστά οικονομικά ακριβές. Για αυτόν το λόγο θα πρέπει να επιστρατεύονται μόνο όταν απαιτούνται αντικείμενα πολύ μεγάλης ακρίβειας με εσωτερικά ή εξωτερικά σπειρώματα, για τα οποία δεν είναι επιτρεπτές οι ορατές γραμμές διαχωρισμού, και σε παρτίδες πολλών τεμαχίων για να είναι συμφέρουσα η επένδυση.

## 2.4 Συστήματα καναλιών

Το σύστημα του δρομέα (runner) ή καναλιών μεταφέρει το τηγμένο πολυμερές από την μονάδα πλαστικοποίησης και το οδηγεί στην κοιλότητα του καλουπιού. Η διάταξή του, οι διαστάσεις του και η σύνδεση με το τελικό τεμάχιο επηρεάζουν την διαδικασία πλήρωσης και κατ' επέκταση την ποιότητα των προϊόντων. Ένας σχεδιασμός βασισμένος στα οικονομικά στοιχεία (σύντομη στερεοποίηση και μικροί κύκλοι παραγωγής) δεν πληρούν συνήθως τις απαιτήσεις ποιότητας ειδικά για μηχανικά μέρη. Ένας σύστημα δρομέα αποτελείται από το α) τον διάυλο (sprue), β) τα κανάλια ή δρομείς (runners) και γ) τις πύλες (gates).



Σχήμα 2.7 Σύστημα δρομέα  
α: διάυλος, β: πρωτεύον κανάλι, γ: δευτερεύον κανάλι, δ: πύλη, ε: δακτύλιος διαύλου

Ο δακτύλιος του διαύλου (sprue bushing) ευθυγραμμίζει το ακροφύσιο (nozzle) του κοχλία, με τον διάυλο (sprue) και παραλαμβάνει το τηγμένο πολυμερές. Σε καλούπι με μία κοιλότητα δεν υπάρχουν δρομείς, οπότε ο διάυλος παίζει τον ρόλο και της πύλης (gate). Σε καλούπια με παραπάνω κοιλότητες ο διάυλος διοχετεύει το τήγμα στα κανάλια τα οποία συνδέονται με τις κοιλότητες με τις πύλες. Οι πύλες είναι διαμορφώσεις με μικρή διατομή που εξυπηρετούν στην αποκόλληση των τεμαχίων από το σύστημα καναλιών μετά το πέρας της στερεοποίησης, την θέρμανση του τήγματος μέσω διάτμησης πριν την είσοδο στην κοιλότητα και την εξισορρόπηση της ροής ώστε να είναι ομοιόμορφη η πλήρωση σε όλες τις κοιλότητες.

Τα κανάλια διακρίνονται ανάλογα με την ικανότητα ελέγχου της θερμοκρασίας σε τυπικό σύστημα καναλιών, σε θερμού καναλιού και ψυχρού καναλιού.

Στο σύστημα τυπικών καναλιών οι διαμορφώσεις κατεργάζονται απευθείας πάνω στην πλάκα του καλουπιού και δημιουργείται η κύρια γραμμή διαχωρισμού. Η θερμοκρασία είναι η ίδια με αυτή του καλουπιού. Το πολυμερές στερεοποιείται στα κανάλια και πρέπει να αφαιρεθεί μαζί με το τεμάχιο σε κάθε κύκλο παραγωγής. Τα θερμοπλαστικά μπορούν να αλεστούν και να ανακυκλωθούν σε αναλογία με προσθήκη παρθένου θερμοπλαστικού.

Τα συστήματα θερμού καναλιού αποτελούν μία αποθήκη τήγματος. Παραλαμβάνουν τηγμένο πολυμερές από την μονάδα πλαστικοποίησης και συνήθως με ηλεκτρικά θερμαντικά στοιχεία το διατηρούν στην υγρή φάση. Θερμομονωτικές πλάκες απομονώνουν το θερμό κανάλι από το ψυχρό καλούπι. Το θερμό κανάλι φέρει τον κεντρικό δακτύλιο διαύλου που συνδέεται με το ακροφύσιο της μονάδας πλαστικοποίησης, τα κανάλια και τις πύλες ή τα ακροφύσια. Τα συστήματα θερμού καναλιού πλεονεκτούν ως προς την οικονομία σε απορριπτόμενο υλικό με αποτέλεσμα λιγότερη κατανάλωση ενέργειας, ευκολότερη αυτοματοποιημένη λειτουργία και ανώτερης ποιότητας αντικείμενα επειδή το τήγμα μεταφέρεται απευθείας στις κοιλότητες στις βέλτιστες θέσεις για έγχυση. Παρά τα πλεονεκτήματα, αυτά τα συστήματα έχουν υψηλό κόστος και η μόνωση του θερμού καναλιού αποτελεί πρόβλημα.

Οι λειτουργίες και οι απαιτήσεις ενός συστήματος καναλιών συνοψίζονται στον πίνακα 2.1.

Λειτουργίες και απαιτήσεις	
1. Πλήρωση των κοιλοτήτων με ελάχιστες γραμμές ένωσης	6. Το μήκος όσο είναι τεχνικά δυνατό να είναι ελάχιστο για περιορισμό απωλειών πίεσης, θερμοκρασίας και υλικού
2. Ελαχιστοποίηση εμποδίων στη ροή	7. Η διατομή να είναι τόση ώστε ο χρόνος στερεοποίησης να ξεπερνά ελάχιστα τον χρόνο έγχυσης. Μόνο τότε η διατήρηση πίεσης – πίεση σιδερώματος έχει ισχύ μέχρι να στερεοποιηθεί το τεμάχιο
3. Ελάχιστο ποσοστό επί του συνολικού βάρους	8. Το σύστημα να έχει ελάχιστη επιρροή στο χρόνο του κύκλου
4. Ευκολία στην εξαγωγή	9. Η τοποθέτηση των πυλών να γίνεται στο πιο παχύ μέρος του τεμαχίου
5. Η εμφάνιση του τεμαχίου να μην επηρεάζεται	10. Η τοποθέτηση ή ο σχεδιασμός των πυλών να αποτρέπει την τυρβώδη ροή (jetting)

Πίνακας 2.1 Λειτουργίες και απαιτήσεις συστήματος καναλιών.

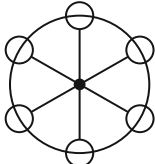
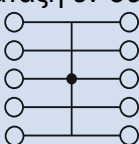
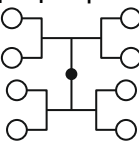
Επίσης τα συστήματα κατηγοριοποιούνται σε συστήματα με κανάλια τα οποία παραμένουν στο τεμάχιο και πρέπει να αποκοπούν έπειτα (1), σε κανάλια που αποκόπτονται αυτόματα από το τεμάχιο και εξάγονται ξεχωριστά (2) και κανάλια που αποκόπτονται αυτόματα αλλά παραμένουν στο καλούπι (3). Ανεξάρτητα σε ποια κατηγορία υπάγονται τα κανάλια, οι διατομές των καναλιών είναι κοινές. Η ιδανική διατομή για τα κανάλια είναι η κυκλική αφού έχει την μικρότερη επιφάνεια σε σχέση με την διατομή, οι απώλειες λόγω τριβής και οι θερμικές απώλειες είναι χαμηλές και η μετάδοση θερμότητας είναι αργή. Αυτό έχει σαν αποτέλεσμα το κέντρο του καναλιού να στερεοποιείται τελευταίο καθιστώντας αποτελεσματική την φάση της συμπίεσης – σιδερώματος. Η κατεργασία όμως των καναλιών κυκλικής διατομής και στα δύο μέρη του καλουπιού είναι δαπανηρή και δύσκολη για αυτό η καλύτερη προσέγγιση είναι αυτή της παραβολικής. Στην παραβολική διατομή γίνεται ένας συμβιβασμός ως προς την ευκολία στην κατεργασία αφού γίνεται στο ένα μέρος του καλουπιού και στις θερμικές απώλειες και στο απορριπτόμενο υλικό που αυξάνονται ελάχιστα. Εναλλακτική της παραβολικής διατομής είναι η τραπεζοειδής με μεγαλύτερες απώλειες και απορριπτόμενο υλικό από την παραβολική. Ο πίνακας 2.2 δείχνει τις εναλλακτικές επιλογές για συστήματα πύλης βάσει της παραπάνω κατηγοριοποίησης των καναλιών.

Συστήματα πυλών	
1	1. Απευθείας – πύλη διαύλου (sprue gate) 2. Πύλη ακμής – edge gate 3. Δισκοειδής πύλη – ring gate
2	5. Σηραγγοειδής πύλη – υποβρύχια πύλη / tunnel – submarine gate 6. Σημειακή πύλη – pinpoint gate
3	7. Σημειακή πύλη με ανεστραμμένο δίαυλο – reversed sprue pinpoint gate 8. Πύλες για πολυεπιπεδα καλούπια – stack molds 9. Πύλη για μονωμένο κανάλι – insulated runner 10. Πύλη για θερμή πολλαπλή εισαγωγή – hot manifold



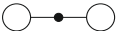

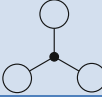

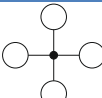
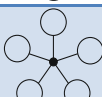
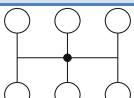
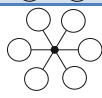
Πίνακας 2.2 Συστήματα πυλών

Οι πύλες συνδέουν τα κανάλια με τις κοιλότητες. Είναι τα τμήματα με την μικρότερη διατομή στο σύστημα των καναλιών. Κατά την ροή διαμέσου των πυλών του υλικό συναντά σημαντική αντίσταση. Μέρος της πίεσης έγχυσης καταναλώνεται και μετατρέπεται σε θερμότητα που ανεβάζει την θερμοκρασία του τήγματος βοηθώντας στην καλύτερη πλήρωση και αποτύπωση

της κοιλότητας και με την μετάδοση της θερμότητας στο μέταλλο η πύλη παραμένει ανοικτή για περισσότερο χρόνο κατά την συμπίεση. Σημαντικό είναι οι διαστάσεις των πυλών να μην προκαλούν απότομη πτώση πίεσης για επιτυγχάνεται ομοιόμορφη πλήρωση των κοιλοτήτων. Χρειάζεται λοιπόν υπολογισμός για την προσέγγιση των διαστάσεων των καναλιών. Σαν γενικός κανόνας είναι ότι τα κανάλια είναι 1 με 1.5 mm μεγαλύτερα από το μέγιστο πάχος τοιχώματος του τεμαχίου. Απαιτείται λοιπόν εξισορρόπηση στη ροή η οποία γίνεται με δοκιμές σε δοκιμαστικούς κύκλους παραγωγής. Αρχικά οι πύλες κατασκευάζονται πολύ πιο μικρές από τον σχεδιασμό τους και τροποποιούνται αναλόγως μέχρι να επιτευχθεί ομοιόμορφη πλήρωση. Η διατομή των πυλών μπορεί να είναι κυκλική, τετραγωνική ή ημικυκλική. Η τετραγωνική εξυπηρετεί καλύτερα όσο αφορά την ροή αλλά δυσχεραίνει την εξαγωγή ενώ η ημικυκλική είναι πιο εύκολο να εξαχθεί και να αποκοπεί από το τεμάχιο. Στο πίνακα 2.3 παρουσιάζονται πλεονεκτήματά και μειονεκτήματά τους ενώ στον πίνακα 2.4 παρουσιάζονται προτεινόμενες διατάξεις κοιλοτήτων ανάλογα με τον αριθμό τους.

<p>Κυκλική διάταξη</p> 	<p>Πλεονεκτήματα:</p> <p>Ίσα μήκη ροής σε όλες τις κοιλότητες, εύκολη εξαγωγή για τεμάχια που απαιτούν μηχανισμούς ξεβιδώματος</p>	<p>Μειονεκτήματα:</p> <p>Μπορεί να τοποθετηθεί περιορισμένος αριθμός κοιλοτήτων</p>
<p>Διάταξη εν σειρά</p> 	<p>Πλεονεκτήματα:</p> <p>Υπάρχει χώρος για περισσότερες κοιλότητες από την κυκλική διάταξη</p>	<p>Μειονεκτήματα:</p> <p>Άνισα μήκη ροής στην κάθε κοιλότητα, ομοιόμορφη πλήρωση μπορεί να επιτευχθεί με εξισορρόπηση καναλιών</p>
<p>Συμμετρική διάταξη</p> 	<p>Πλεονεκτήματα:</p> <p>Ίσα μήκη ροής σε όλες τις κοιλότητες χωρίς διόρθωση παρεμβάσεις στις πύλες</p>	<p>Μειονεκτήματα:</p> <p>Μεγαλύτερος όγκος καναλιών, πολύ απορριπτόμενο υλικό, γρήγορη ψύξη του τήγματος.</p>

Πίνακας 2.3 Διατάξεις κοιλοτήτων με μία γραμμή διαχωρισμού

Αριθμός κοιλοτήτων	Διάταξη εν σειρά	Κυκλική διάταξη
1		
2		
3	-	
4		
5	-	
6		

Πίνακας 2.4 Διατάξεις κοιλοτήτων βάσει των αριθμών τους

## 2.5 Τεχνικές κατασκευής καλουπιών

Τα καλούπια κατασκευάζονται από έναν μεγάλο αριθμό διαδικασιών και συνδυασμούς διαδικασιών. Η πληθώρα των διαδικασιών είναι αποτέλεσμα της συνεχούς προόδου στους τομείς των υλικών και των τεχνολογιών παραγωγής. Χαρακτηριστική είναι η είσοδος και η διάδοση της τριδιάστατης εκτύπωσης (3d printing) τόσο στη βιομηχανία, για ταχεία προτυποποίηση ή απευθείας παραγωγή προϊόντων. Το εύρος των εφαρμογών κυμαίνεται από καταναλωτικά προϊόντα μέχρι τεχνολογίες αιχμής και κρίσιμα εξαρτήματα μεγάλων μονάδων, παραδείγματος χάριν 3d εκτυπωμένα πτερύγια αεριοστροβιλικών μονάδων παραγωγής ενέργειας. Στην κατασκευή καλουπιών χρησιμοποιείται για τη γρήγορη δημιουργία απευθείας των ένθετων πυρήνων και κοιλοτήτων ή αποτελεί είσοδο σε αλυσίδες διαδικασιών με στόχο την παραγωγή των ένθετων πυρήνων και κοιλοτήτων. Η γρήγορη κατασκευή καλουπιών είναι γνωστή ως rapid tooling. Εκτός από τις σύγχρονες μεθόδους χρησιμοποιούνται και αναπτύσσονται συμβατικές τεχνικές, όπως οι κατεργασίες με αφαίρεση υλικού σε ψηφιακά καθοδηγούμενα κέντρα κατεργασίας και η ψηφιακά καθοδηγούμενη ηλεκτροδιάβρωση.

### 2.5.1 Rapid Tooling

Ο χρόνος και το κόστος είναι οι σημαντικότεροι παράγοντες στην ανάπτυξη νέων προϊόντων. Είναι απαραίτητο, λοιπόν, για την βιομηχανία να παράγει πρωτότυπα, τα οποία θα μπορούν να εισέλθουν στη φάση παραγωγής όσο το δυνατόν νωρίτερα. Με τη χρήση τεχνικών ταχείας προτυποποίησης (rapid prototyping) μπορούν να αντληθούν σημαντικές πληροφορίες για το προϊόν αλλά δεν μπορούν να προσδιοριστούν παράμετροι που καθορίζουν την παραγωγή προϊόντων με έγχυση. Αυτό το κενό καλύπτεται από τις τεχνικές rapid tooling, στις οποίες κατασκευάζεται καλούπι για την παραγωγή ενός ή μερικών δεκάδων, εκατοντάδων ή χιλιάδων πρωτοτύπων από το υλικό, το οποίο θα προκύψουν τα τελικά προϊόντα. Επιτρέπεται, έτσι, ο προσδιορισμός ιδιοτήτων, όπως η αντοχή και η παραμόρφωση σε πρώιμο στάδιο της ανάπτυξης του προϊόντος. Τα καλούπια μπορούν να είναι μεταλλικά, σιδηρούχα, μη σιδηρούχα ή πολυμερή.

Η επιλογή του υλικού αλλά και της μεθόδου rapid tooling που θα χρησιμοποιηθεί εξαρτάται από την ομάδα σχεδίασης και οδηγείται από τον απαιτούμενο χρόνο κατασκευής του πρωτότυπου και του καλουπιού, το πλήθος των πρωτοτύπων και το υλικό του τελικού προϊόντος.

Η εφαρμογή τεχνικών rapid tooling απαιτεί την ύπαρξη μοντέλου CAD, το οποίο θα μετατραπεί σε αρχείο με στοιχεία κλειστών όγκων. Το αρχείο κλειστών όγκων θα τεμαχιστεί σε διδιάστατα επίπεδα και κάθε επίπεδο θα φέρει την αποτύπωση της γεωμετρίας, ώστε να παραχθεί ένα πρωτότυπο με τεχνικές προσθετικής κατασκευής. Έπειτα, με κάποια τεχνική rapid tooling μπορεί να κατασκευαστεί το καλούπι, είτε με θετικό πρότυπο μοντέλο, δηλαδή τη γεωμετρία του προϊόντος, είτε με αρνητικό πρότυπο, δηλαδή τις κοιλότητες που απαιτούνται για να παραχθεί το αντικείμενο.

Η αλληλουχία μεταξύ διαδοχικών χυτεύσεων αποτελεί τις έμμεσες μεθόδους rapid tooling. Αξίζει να σημειωθεί ότι κατεργασίες ή συναρμολογήσεις των κοιλοτήτων δεν λογίζονται ως βήματα σε μια αλυσίδα έμμεσης μεθόδου rapid tooling. Μία αλυσίδα κρίνεται καλή από τον ελάχιστο αριθμό βημάτων για την επίτευξη της ζητούμενης ποιότητας του τελικού προϊόντος. Στον αντίποδα, αν δίνεται η δυνατότητα μετατροπής των δεδομένων του προϊόντος από το λογισμικό CAD σε αρνητικά πρότυπα, τότε μπορεί να χρησιμοποιηθεί μια τεχνική ταχείας προτυποποίησης για την απευθείας παραγωγή των κοιλοτήτων. Αυτή η προσέγγιση αποτελεί τις άμεσες μεθόδους rapid tooling.

### 2.5.2 Έμμεσες μέθοδοι Rapid Tooling

Οι έμμεσες μέθοδοι μπορούν να επιτευχθούν με την χρήση θετικού ή αρνητικού προτύπου για την κατασκευή του καλουπιού. Κοινή απαίτηση και των δύο μεθόδων είναι ότι πρέπει να δοθεί ιδιαίτερη προσοχή στις διαδοχικές χυτεύσεις αφού η ακρίβεια των τελικών διαστάσεων καθορίζεται από την ακρίβεια που παράγει κάθε προηγούμενη διαδικασία. Οι διαδοχικές χυτεύσεις είναι αναγκαίες για να μπορεί το καλούπι μετά το πέρας της αλυσίδας να αντέξει τις μηχανικές και θερμικές καταπονήσεις της έγχυσης. Οι μέθοδοι που χρησιμοποιούνται είναι του σιλικονούχου καλουπιού (RTV – Room Temperature Vulcanizing silicone), η επίστρωση με ψεκασμό μετάλλων, η ηλεκτροδιαμόρφωση (electroforming), η τεχνική το χαμένου κεριού, η Direct Shell Production Casting – DSPC, και η τεχνική 3d Keltool.

Η πιο απλή και συχνά χρησιμοποιούμενη μέθοδος είναι αυτή του σιλικονούχου καλουπιού. Το πρότυπο που έχει προέλθει από τεχνική ταχείας προτυποποίησης, συνήθως 3d printing, μαζί με πύλη και οχετούς εξαερισμού τοποθετείται σε δοχείο και καλύπτεται με σιλικόνη σε θάλαμο κενού. Η σιλικόνη στερεοποιείται σε χρονικό διάστημα που κυμαίνεται από 30 λεπτά μέχρι 40 ώρες. Έπειτα, αφαιρείται το πρότυπο και το καλούπι είναι έτοιμο για χρήση. Αυτή η τεχνική δεν μπορεί να παράξει αντικείμενα από το υλικό για το οποίο σχεδιάστηκε το αντικείμενο.

Η επίστρωση με ψεκασμό μετάλλων είναι κοινή εφαρμογή στις συμβατικές μεθόδους παραγωγής καλουπιών. Αυτή συντελείται με την τήξη του μετάλλου από φλόγα, ηλεκτρικό τόξο πλάσμα ή δέσμη laser και εξαερώνεται από δέσμη συμπιεσμένου αέρα. Τα τηγμένα σταγονίδια επικάθονται στην ψυχρή επιφάνεια προτύπου προερχόμενο από ταχεία προτυποποίηση, στερεοποιούνται και δημιουργούν ένα κέλυφος με πάχος από 1.5 - 5.0 mm. Το κέλυφος μετά το πέρας της επίστρωσης, πληρώνεται στην εσωτερική του πλευρά με ρητίνη για να υποστηρίξεται.

Μια άλλη τεχνική επίστρωσης είναι αυτή της ηλεκτροδιαμόρφωσης (electroforming). Η ηλεκτροδιαμόρφωση είναι η πιο ακριβής στην αναπαραγωγή υφής (texture) στις επιφάνειες μετάλλων. Για να επιτευχθεί η επίστρωση, η επιφάνεια του προτύπου πρέπει να είναι ηλεκτρικά αγωγίμη ή να γίνει αγωγίμη με επικάλυψη από γραφίτη ή ασήμι. Έπειτα, το πρότυπο τοποθετείται σε ηλεκτρολυτικό λουτρό και τα μέταλλα εναποτίθενται ηλεκτρολυτικά είτε ταυτόχρονα, είτε σε αλληπαλλήλες στρώσεις προοδευτικά. Το νικέλιο είναι ένα από τα μέταλλα που προτιμάται για ηλεκτροδιαμόρφωση αφού έχει καλή αντοχή και θερμική αγωγιμότητα. Με την ηλεκτροδιαμόρφωση, μπορούν να αναπαραχθούν λεπτομέρειες, με κόστος όμως, την παραμονή του τεμαχίου για αρκετές ημέρες στο λουτρό, ενώ υπάρχει περιορισμός στην απόδοση βαθέων και στενών σχισμών και οπών.

Οι μέθοδοι που αναφέρθηκαν μέχρι τώρα απαιτούν την ύπαρξη ενός θετικού προτύπου για την δημιουργία των αρνητικών. Με διαδοχικές χυτεύσεις μπορούν να παραχθούν οι κοιλότητες χωρίς τη χρήση θετικού προτύπου. Η διαδικασία του χαμένου κεριού βρίσκει και εδώ εφαρμογή, πέραν των χυτεύσεων μεταλλικών αντικειμένων, ξεκινώντας από τη γεωμετρία σε 3d περιβάλλον CAD και με χρήση τεχνικών ταχείας προτυποποίησης, με τις πιο συνηθισμένες να είναι η στερεολιθογραφία (SLA), η κατασκευή με επιλεκτική σύντηξη μετάλλου (selective laser sintering – SLS) και ο φωτοπολυμερισμός, να καταλήγει στη δημιουργία ενός αρχικού προτύπου του καλουπιού.

Στο αρχικό πρότυπο, δίνεται έμφαση στην εξωτερική επιφάνεια, ενώ το εσωτερικό του έχει κυψελωτή δομή για να είναι σύντομη η παραγωγή του και να έχει καλές μηχανικές αντοχές. Έπειτα, εμβαπτίζεται σε κεραμικό πολτό μέχρι να επιτευχθεί το απαιτούμενο πάχος τοιχώματος. Τα τεμάχια που προκύπτουν από τη μέθοδο αυτή, έχουν πολύ καλές μηχανικές ιδιότητες, πολύ

καλής ποιότητας επιφάνειες και μεγάλη διαστατική ακρίβεια. Το μειονέκτημα είναι το αργό στέγνωμα του κεραμικού κελύφους πριν την πυροσυσσωμάτωση.

Η τεχνική Direct Shell Production Casting - DSPC υποκαθιστά την ανάγκη ενός φυσικού αρνητικού μοντέλου με ένα αρνητικό μοντέλο CAD. Το μοντέλο CAD τέμνεται σε επίπεδα με την αντίστοιχη αποτύπωση του μοντέλου, τα οποία χτίζουν το κεραμικό κέλυφος με την επίστρωση σκόνης πυριτίου και ψεκασμό συνδετικού υλικού. Η περίσσεια σκόνης που δεν έχει χρησιμοποιηθεί απομακρύνεται και το κέλυφος επενδύεται με γύψο ή Duratec και λειαίνεται. Αυτή η τεχνική ενδείκνυται για μεγάλα αντικείμενα.

Τέλος, από τις πιο γρήγορες και αποδοτικές τεχνικές rapid tooling είναι η τεχνική 3d Keltool. Σε αυτή την τεχνική απαιτείται ένα τριδιάστατο μοντέλο CAD για την κοιλότητα και τον πυρήνα, τα οποία μετατρέπονται σε αρχεία στερεολιθογραφίας (STL) και κατασκευάζονται με τεχνική ταχείας προτυποποίησης. Έπειτα, δημιουργούνται ενδιάμεσα καλούπια από σιλικόνη, στα οποία χυτεύεται ένα μείγμα εποξικής ρητίνης (περιεκτικότητα 30%) με σκόνες από ατσάλι εργαλείων κλάσης A6 και καρβιδίου του βολφραμίου (περιεκτικότητα 70%). Μετά την σκλήρυνση της ρητίνης, το "πράσινο τεμάχιο" ψήνεται σε κλίβανο, πυροσυσσωματώνεται και εμποτίζεται με χαλκό, ώστε να κλείσουν οι πόροι. Το τελικό καλούπι keltool αποτελείται από 70% ατσάλι εργαλείων κλάσης A6 και καρβιδίου του βολφραμίου και 30% από χαλκό. Έχει μηχανικές ιδιότητες ίδιες με ατσάλι εργαλείων κλάσης A6 και σκληρότητα της τάξεως 46-50 Rockwell C, ενώ η περιεκτικότητα σε χαλκό αυξάνει την θερμική αγωγιμότητα.

### **2.5.3 Άμεσες μέθοδοι rapid tooling**

Οι άμεσες μέθοδοι συμπεριλαμβάνουν τις συμβατικές μεθόδους κατεργασίας, αλλά δίνεται έμφαση κυρίως στις μεθόδους προσθετικής κατασκευής. Οι μέθοδοι είναι η επιλεκτική σύντηξη με laser (SLS), κατασκευή με μεταλλικά ελάσματα (Laminated Object Manufacturing - LOM) ή χρήση συμβατικών μεθόδων επαυξημένων με προσθετική κατασκευή (ταχύ πρωτότυπο από laser – laser-generated RP, ελεγχόμενη εναπόθεση μετάλλου – controlled metal build-up).

Η μέθοδος SLS χρησιμοποιεί δέσμη laser για να τήξει λεπτές στρώσεις (0.1 - 0.4mm) μεταλλικής σκόνης για τη δημιουργία του καλουπιού διαδοχικά σε κάθε επίπεδο. Η τήξη μπορεί να επιτευχθεί έμμεσα ή άμεσα. Στην έμμεση τήξη, η μεταλλική σκόνη είναι επικαλυμμένη με συνδετικό υλικό, το οποίο τήκεται όπου προσβληθεί από τη δέσμη laser, με αποτέλεσμα σε κάθε επίπεδο να δημιουργείται η επιθυμητή γεωμετρία. Το καλούπι που προκύπτει πυροσυσσωματώνεται σε αδρανές περιβάλλον και η περίσσεια συνδετικού υλικού καίγεται. Οι πόροι που προκύπτουν από την καύση κλείνονται με χαλκό, κασσίτερο (καλάι) ή εποξική ρητίνη. Στην άμεση τήξη απουσιάζει το συνδετικό υλικό αποφεύγοντας, έτσι, την ανάγκη καύσης του για να απομακρυνθεί. Γενικά, μετά το πέρας της κατεργασίας χρειάζεται μια διεργασία αποπεράτωσης υπό την μορφή λείανσης.

Ο συνδυασμός των αρχών λειτουργίας της SLS και FDM δημιούργησε την τεχνική του πρωτότυπου από laser (laser-generated RP). Η λειτουργία του βασίζεται στην τήξη σκόνης μετάλλου σε κινούμενη κεφαλή. Η σκόνη διοχετεύεται συνεχώς στο ακροφύσιο, τήκεται από δέσμη laser και με πεπιεσμένο αέρα εναποτίθεται μικρές σφαίρες λιωμένου μετάλλου στην επιφάνεια, αρχικά, και στις προηγούμενες στρώσεις στην συνέχεια. Η εξέλιξη της προηγούμενης μεθόδου είναι η ελεγχόμενη εναπόθεση μετάλλου και βασίζεται στον συνδυασμό laser generated RP και στο φρεζάρισμα υψηλών ταχυτήτων κοπής (High Speed Cutting – HSC milling). Η κινούμενη κεφαλή του laser συνδυάζεται με μια άτρακτο υψηλών στροφών. Αφού αποθεθεί μια στρώση από υλικό από την κεφαλή του laser, γίνεται αλλαγή και αναλαμβάνεται κατεργασία φρεζαρίσματος ή άτρακτος, επιτυγχάνοντας, έτσι, διαστατική ακρίβεια που δεν μπορεί να επιτευχθεί από την laser-generated RP μόνη της. Μειονέκτημα αποτελεί η αδυναμία κατεργασίας υποκοπών από την άτρακτο.



Η τεχνική κατασκευής με χρήση ελασμάτων (LOM) χρησιμοποιεί μια δέσμη laser για να κόψει μικρού πάχους ελάσματα. Τα ελάσματα τροφοδοτούνται συνεχώς από ένα ρόλο στην πλατφόρμα κατασκευής. Η πλατφόρμα κατασκευής κινείται κάθετα όσο το πάχος του ελάσματος για κοπή κάθε επίπεδης διαμόρφωσης. Όλες οι διαμορφώσεις στο τέλος ενώνονται με κοχλίες. Το πλεονέκτημα της κοχλιοσύνδεσης είναι ότι μπορεί να τροποποιηθεί η γεωμετρία του αντικειμένου με την εναλλαγή ελασμάτων και δεν υπάρχει, θεωρητικά, κάποιος περιορισμός σε μέγεθος.

Τέλος, αξίζει να αναφερθεί η τεχνική από την οποία ξεκίνησε η ταχεία προτυποποίηση με προσθετική κατασκευή, την στερεολιθογραφία (SLA), η οποία χρησιμοποιείται και για rapid tooling. Η SLA βασίζεται στην σκλήρυνση υγρών φωτοπολυμερικών ρητινών από υπεριώδη ακτινοβολία (UV). Η δέσμη υπεριώδους ακτινοβολίας, οδηγούμενη από υπολογιστή, ακολουθεί το περίγραμμα στην επιφάνεια ενός λουτρού με φωτοπολυμερική ρητίνη. Με την ολοκλήρωση κάθε επιπέδου ένα έμβολο τραβάει προς τα κάτω το τεμάχιο και η διαδικασία επαναλαμβάνεται. Μετά το πέρας της δημιουργίας του τεμαχίου, αυτό σκληραίνεται περαιτέρω σε κλιβάνους υπεριώδους ακτινοβολίας.

Στην κατασκευή καλουπιών συνηθίζεται να κατασκευάζεται το κέλυφος με τις απαραίτητες διαμορφώσεις και να ενισχύεται με εποξικές ρητίνες, ούτως ώστε να τοποθετηθεί σε πλάκες καλουπιού. Τα καλούπια προερχόμενα από την τεχνική SLA, έχουν υψηλή διαστατική ακρίβεια και εξαιρετική ποιότητα επιφάνειας.

### **3. ΣΧΕΔΙΟΜΕΛΕΤΗ ΚΑΛΟΥΠΙΟΥ**

Η εταιρεία Γκιώνης Πλαστικά δραστηριοποιείται στον χώρο παραγωγής πλαστικών προϊόντων. Αποτελεί μία βιοτεχνία στην περιοχή των Μεγάρων η οποία παράγει κυρίως πλαστικές φιάλες και καπάκια καθώς και προπλάσματα (preforms) φιαλών. Η απόκρισή τους ήταν άμεση όταν ζητήθηκε ένα καλούπι για την υποστήριξη της παρούσας διπλωματικής εργασίας. Αρχικά έγινε μία ξενάγηση στο χώρο και παρουσιάστηκαν οι μηχανές έγχυσης από τον ιδιοκτήτη της εταιρείας. Έπειτα παρουσιάστηκαν οι πιθανές επιλογές από τα καλούπια που δεν βρίσκονταν τοποθετημένα σε κάποια από τις μηχανές.

Η επιλογή του καλουπιού έγινε βάσει μεγέθους, γεωμετρικής πολυπλοκότητας και λαμβάνοντας υπόψιν τις δυνατότητες σε χειρισμό των εργαλειομηχανών και των διαθέσιμων εργαλείων του εργαστηρίου. Το καλούπι που επιλέχθηκε για μελέτη παρήγαγε στο παρελθόν τεμάχια για επιτοίχιες βάσεις τηλεοράσεων. Το εξάρτημα προσαρμοζόταν στον βραχίονα της βάσης σε ημικυκλική θέση συνδέοντας τον βραχίονα με την επίπεδη βάση μέσω ενός κοχλίου. Εκτός από την σύνδεση βραχίονα και βάσης, το εξάρτημα επέτρεπε να δωθεί μία μικρή κλίση στην επίπεδη βάση που έφερε την τηλεόραση για λόγους διευκόλυνσης της παρακολούθησης.

Στο σχήμα 3.1 φαίνεται η μηχανή έγχυσης στην οποία ήταν τοποθετημένο το καλούπι, η μονάδα πλαστικοποίησης με το ακροφύσιο και η σύνδεση της σταθερής πλάκας του καλουπιού με την πλάκα στερέωσης της μηχανής (platen – πλατό) καθώς και οι ράβδοι (tie bars), οδηγοί για το κινούμενο μέρος. Οι μηχανές έγχυσης χαρακτηρίζονται από την πίεση έγχυσης και πίεση σύσφιξης (κλεισίματος).

Η σχεδιομέλετη που ακολουθεί βασίζεται στο αρχικό καλούπι και χωρίζεται στην αποσυναρμολόγηση και παρατήρηση των επιμέρους τμημάτων, στην εκτίμηση του κόστους παραγωγής του υπό κλίμακα καλουπιού και υπολογισμούς σημαντικών μεγεθών για τον σχεδιασμό καλουπιών που επηρεάζουν την διαδικασία έγχυσης.





Σχήμα 3.1 Η μηχανή έγχυσης της εταιρείας

### 3.1 Πρωτότυπο καλούπι – Αποσυναρμολόγηση και παρατήρηση

Το καλούπι είναι ένα απλό καλούπι δύο πλακών όπως φαίνεται από το σχήμα 3.1.2. Να σημειωθεί ότι το καλούπι δεν αποτελείται από στάνταρ εξαρτήματα εταιρειών που πωλούνται στο εμπόριο. Οι διαστάσεις του, μετρούμενο από τις πλάκες στερέωση είναι 220x174x175 mm (ΜxΠxΥ) σε κλειστή θέση ενώ 220x174x175 mm μετρούμενο στο κυρίως σώμα. Το υλικό από το οποίο είναι κατασκευασμένο είναι απλοί χάλυβες οι οποίοι έχουν υποστεί βάψιμο σε λουτρό λαδιού. Το καλούπι μπορεί να παράγει δύο τεμάχια σε κάθε εμβολισμό (shot), οι πυρήνες είναι ένθετοι σε αντίθεση με τις κοιλότητες και τα κανάλια που είναι κατεργασμένες επάνω στην σταθερή πλάκα. Η εξαγωγή των τεμαχίων γίνεται με δύο σωληνωτούς εξολκείς και έναν εξολκέα πείρο στο κέντρο, στην θέση του καναλιού (σχήμα 3.1.3). Η ψύξη συντελείται από ευθείς αγωγούς στις δύο πλάκες που ενώνονται με λάστιχο για να δημιουργείται κύκλωμα. Το ψυκτικό μέσο είναι το νερό

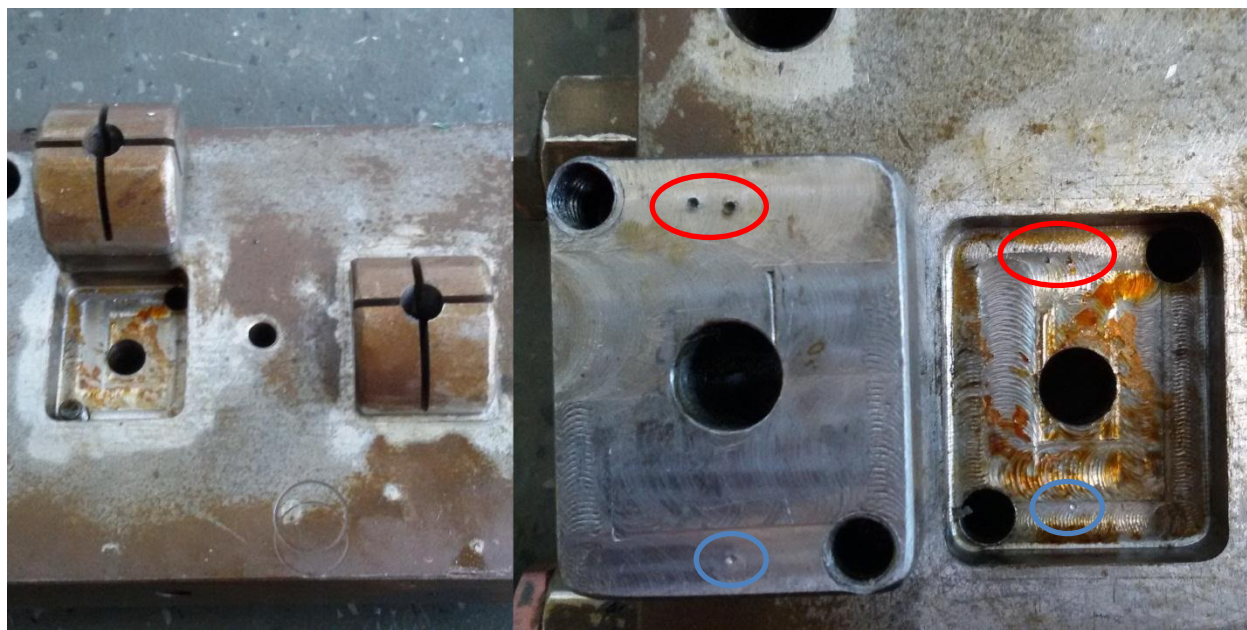


Σχήμα 3.1.2 Το πρωτότυπου καλούπι διαιρεμένο



Σχήμα 3.1.3 Ένθετος πυρήνας και εξολκείς

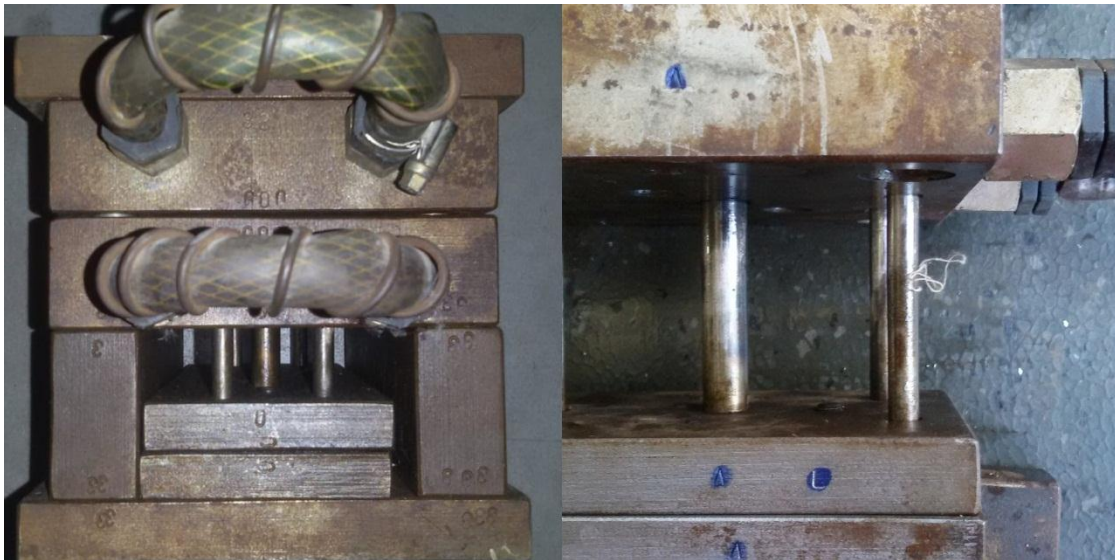
Παρατηρείται ότι οι ένθετοι πυρήνες συγκρατούνται στη θέση τους από δύο κοχλίες τύπου allen ενώ οι σπειροτομημένες οπές είναι οριακά τοποθετημένες. Επίσης παρατηρείται ανομοιομορφία στις χαραγές των πυρήνων πράγμα που σημαίνει ότι κατά την κατεργασία η τοποθέτηση δεν ήταν σωστή (σχήμα 3.1.4).



Σχήμα 3.1.4 Συγκράτηση ένθετων πυρήνων και μαρκάρισμα, με κόκκινο απεικονίζονται αυτά που έγιναν από τον κατασκευαστή και με μπλε αυτά που έγιναν κατά την αποσυναρμολόγηση στο εργαστήριο.

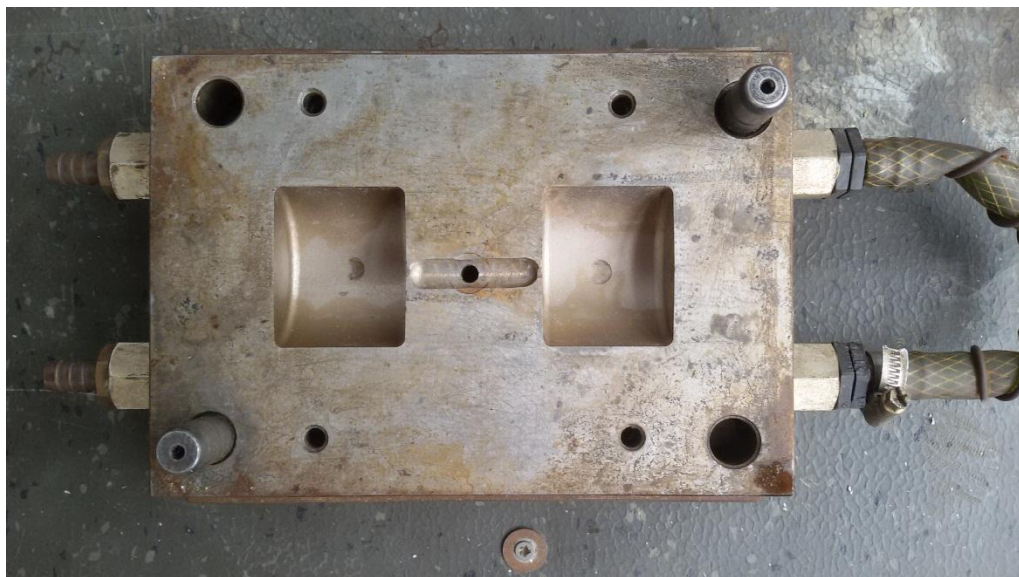
Παρατηρούνται σημάδια (μαρκάρисματα – πονταρισίες) για ευθυγράμμιση, σωστή τοποθέτηση των ένθετων πυρήνων αλλά και σωστή συνεργασία άλλων εξαρτημάτων. Αυτό αρχικά κρίνεται αναγκαίο για κάποιον που αποσυναρμολογεί το καλούπι για πρώτη φορά, ώστε να μπορέσει να το συναρμολογήσει πάλι. Επίσης υποδηλώνει ελλιπή ακρίβεια κατά την κατεργασία των επιμέρους κομματιών. Στο σχήμα 3.1.4 στα δεξιά, φαίνονται τα σημάδια που δημιουργήθηκαν από τον κατασκευαστή ή συντηρητή και αποσυναρμολόγηση στο εργαστήριο ενώ στο σχήμα 3.1.5 στα δεξιά φαίνονται τα σημάδια που έγιναν στο εργαστήριο κατά την αποσυναρμολόγηση και στα αριστερά η κωδικοποίηση από τον κατασκευαστή ή συντηρητή για σωστό προσανατολισμό και σωστή συναρμολόγηση.





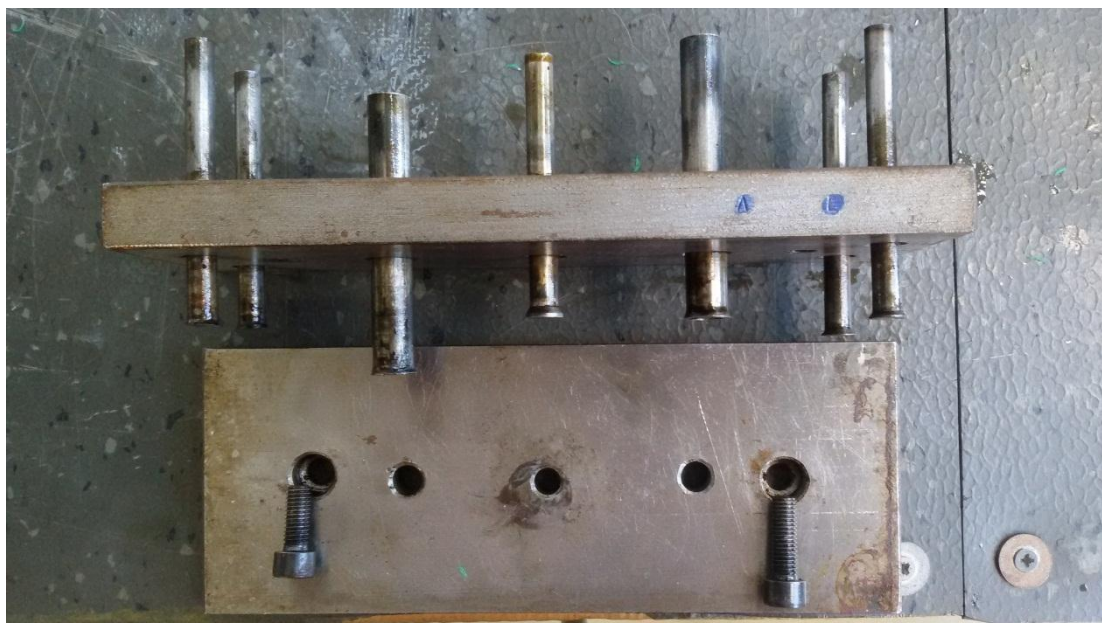
Σχήμα 3.1.5 Σημάδια συναρμολόγησης

Αξιοσημείωτη είναι η διαφορά ανάμεσα στην ποιότητα των επιφανειών της κοιλότητας και του πυρήνα. Αυτό δικαιολογείται από το γεγονός ότι η κοιλότητα θα παράξει την ορατή επιφάνεια του αντικειμένου ενώ ο πυρήνας την αόρατη. Αυτό έχει άμεσο οικονομικό αντίκτυπο αφού το μεγαλύτερο κόστος κατά την κατασκευή ενός καλουπιού είναι οι εργατοώρες για την αποπεράτωση των επιφανειών.



Σχήμα 3.1.6 Ποιότητα επιφάνειας κοιλότητας

Όπως αναφέρθηκε και παραπάνω το καλούπι δεν έχει κατασκευαστεί από προτυποποιημένα μέρη τα οποία κυκλοφορούν στο εμπόριο και αυτό φαίνεται ιδιαίτερα κατά την αποσυναρμολόγηση των πλακών των εξολκέων (σχήμα 3.17). Εκεί φαίνεται η εφευρετικότητα του κατασκευαστή για την στερέωση των εξολκέων. Όπως μπορεί να παρατηρηθεί οι σωληνωτοί εξολκείς είναι χαλύβδινοι σωλήνες οι οποίοι είτε με κρούση είτε με την άσκηση σταθερής πίεσης σε υδραυλική πρέσσα, απέκτησαν πεπλατυσμένα άκρα αποτρέποντας έτσι την ολίσθησή τους και την απομάκρυνσή τους από την πλάκα εξολκέων. Η ίδια διαδικασία ακολουθήθηκε και για τους πείρους.



Σχήμα 3.1.7 Πλάκες εξολκένων

Κλείνοντας θα πρέπει να αναφερθεί ότι δεν υπήρχε τρόπος να διερευνηθεί η ύπαρξη κωνικότητας του στομίου και των κοιλοτήτων. Ακόμα όμως και αν υπήρχε η γνώση ύπαρξης αυτών δεν υπήρχε τρόπος προσδιορισμού κάποιας τιμής τους πέραν από την προσέγγιση μέσω βιβλιογραφίας. Στο σχήμα 3.1.8 φαίνεται αποσυναρμολογημένο το καλούπι με τα μέρη που το απαρτίζουν.



Σχήμα 3.1.8 Αποσυναρμολογημένο καλούπι

### 3.2 Εκτίμηση κόστους καλουπιού

Τα καλούπια έγχυσης αποτελούν εργαλεία υψηλής ακρίβειας, για τα οποία επιδιώκεται να κατασκευάζεται ένα μοναδικό καλούπι για μια σειρά προϊόντων ή ο ελάχιστος απαιτούμενος αριθμός. Αυτό είναι απόρροια των χρονοβόρων και δαπανηρών διαδικασιών που απαιτούνται για την παραγωγή τους. Το κόστος ενός καλουπιού επηρεάζει την τιμή του τελικού προϊόντος. Ειδικά κατά την εισαγωγή ενός νέου προϊόντος στην αγορά, αν δεν δοθεί ιδιαίτερη προσοχή στα κόστη, μπορεί να θέσει απαγορευτική την παραγωγή ή διάθεσή του στο εμπόριο. Κρίνεται

απαραίτητη λοιπόν η προσέγγιση του κόστους παραγωγής ενός καλουπιού πριν την υλοποίηση του. Η διαδικασία που θα ακολουθηθεί από την βιβλιογραφία για την προσέγγιση του κόστους διαιρεί σε τέσσερις ομάδες τα κόστη, με την παραδοχή ότι τα χαρακτηριστικά του καλουπιού επηρεάζουν το κόστος. Αυτή η εξάρτηση εκφράζεται μαθηματικά μέσω συναρτήσεων κόστους. Οι τέσσερις ομάδες είναι: 1) κοιλότητας, 2) βασικού σχεδιασμού, 3) βασικών λειτουργικών στοιχείων και 4) ειδικών λειτουργικών στοιχείων. Στο Παράρτημα Α φαίνονται αναλυτικά οι πράξεις.

### 3.2.1 Ομάδα κόστους κοιλότητας

Ο υπολογισμός του κόστους για την κοιλότητα βασίζεται στο περίγραμμα της, την διαστατική ακρίβεια και την ποιότητα επιφάνειας. Υπολογίζεται από τον απαιτούμενο χρόνο για την παραγωγή της και τα ωρομίσθια. Εκφράζεται από τον τύπο:

$$C_C = (t_C + t_E) * S_{MW} + C_M$$

όπου

$C_C$	[€]	Κόστος κοιλότητας
$t_C$	[h]	Απαιτούμενος χρόνος για την κοιλότητα
$t_E$	[h]	Απαιτούμενος χρόνος σε ηλεκτροδιάβρωση
$S_{MW}$	[€/h]	Ωρομίσθιο
$C_M$	[€]	Επιπλέον κόστος υλικών

Στο καλούπι υπό κλίμακα που μελετάται δεν θα χρησιμοποιηθεί ηλεκτροδιάβρωση και δεν υπάρχουν επιπλέον κόστη υλικών.

Για τον υπολογισμό του χρόνου  $t_C$  χρησιμοποιείται ο κάτωθι τύπος:

$$t_C = [(C_M * (C_D + C_A)) * C_P * C_S + C_C] * C_T * C_{DD} * C_N \quad [3.1]$$

όπου

$C_M$	Συντελεστής κατεργασίας
$C_D$	Συντελεστής βάθους κοιλότητας
$C_A$	Συντελεστής επιφάνειας κοιλότητας
$C_P$	Συντελεστής μορφής γραμμής διαχωρισμού
$C_S$	Συντελεστής ποιότητα επιφάνειας
$C_C$	Συντελεστής αριθμών πυρήνων
$C_T$	Συντελεστής ανοχών
$C_{DD}$	Συντελεστής βαθμού δυσκολίας
$C_N$	Συντελεστής αριθμού κοιλοτήτων

Οι διάφορες κατεργασίες για την παραγωγή της κοιλότητας και του πυρήνα εκφράζονται σαν ποσοστά στον συντελεστή  $C_M$  και πολλαπλασιάζονται με τους συντελεστές  $f_M$  οι οποίοι έχουν προκύψει εμπειρικά και αντιπροσωπεύουν την ταχύτητα των κατεργασιών.

$$C_M = \sum_{i=1}^{n_M} f_{Mi} * a_i$$

και

$$\sum_{i=1}^{n_M} a_i = 1$$

όπου

$f_{Mi}$	Συντελεστής κατεργασίας
$a_i$	Ποσοστό αντίστοιχης κατεργασίας
$n_M$	Αριθμός κατεργασιών

Για την εξεταζόμενη περίπτωση για να παραχθεί μία κοιλότητα και ένας πυρήνας απαιτούνται οκτώ κατεργασίες φρεζαρίσματος και ελάχιστη χειροκίνητη λείανση οπότε προστίθεται άλλη μία εργασία και οι συντελεστές είναι 0.85 και 0.8 αντίστοιχα. Εδώ γίνεται επίσης η παραδοχή ότι οι κατεργασίες έχουν το ίδιο βάρος λόγω έλλειψης στατιστικών στοιχείων που να υποστηρίζουν οτιδήποτε διαφορετικό, οπότε  $\sum_{i=1}^9 a_i = \frac{1}{9}$  και

$$C_M = 0.85$$

Ο συντελεστής για το βάθος της κοιλότητας κάνει την διάκριση σε ανυψώσεις και βυθίσεις πάνω (1) και κάτω (2) από την γραμμή διαχωρισμού. Οι τύποι για ανύψωση και βύθιση για ένθετο πυρήνα είναι:

$$C_{D1} = \frac{\sum_{i=1}^{n_E} m_{Ei} * f_{EPi}}{m_R * n_E} = \frac{\sum_{i=1}^{n_D} m_{Di} * f_{DPi}}{m_R * 2 * n_D}$$

$C_{D1}$	Απαιτούμενος χρόνος για μία πλευρά κοιλότητας	[h]
$m_E$	Ύψος ανύψωσης	[mm]
$m_D$	Βάθος βυθίσεων	[mm]
$n_E$	Αριθμός ανυψώσεων	[-]
$n_D$	Αριθμός βυθίσεων	[-]
$m_R$	Μέσος ρυθμός αφαίρεσης υλικού	mm/h
$f_{EP}$	Λόγος επιφάνειας ανύψωσης και προβαλλόμενης επιφάνειας	
$f_{DP}$	Λόγος επιφάνειας βύθισης και προβαλλόμενης επιφάνειας	

Ο υπολογισμός του  $C_{D2}$  γίνεται ανάλογα και ο συνολικός χρόνος υπολογίζεται ως  $C_D = C_{D1} + C_{D2}$

Κοιτάζοντας πάνω από την γραμμή διαχωρισμού προκύπτουν ανυψώσεις με ύψος 11.5 mm. Για τον λόγο  $f_{EP}$  χρησιμοποιείται το μοντέλο CAD για τον προσδιορισμό των τιμών των επιφανειών.

$$f_{EP} = \frac{1681 \text{ mm}^2}{368 \text{ mm}^2} = 4.56$$

Εδώ θα χρησιμοποιηθούν δεδομένα από προηγούμενες κατεργασίες που έγιναν καθώς και από αυτές για την παραγωγή του καλουπιού για να προσδιοριστεί ο ωριαίος ρυθμός αφαίρεσης υλικού. Πρόκειται για την πιο απλοϊκή προσέγγιση, αυτή του μέσου όρου των ακραίων τιμών από την οποία προκύπτει ένας ρυθμός  $m_R = 30 \text{ mm/h}$ .

Οπότε προκύπτει

$$C_{D1} = 1.75 \text{ h}$$

Αντίστοιχα για το  $C_{D2}$  υπάρχει βύθιση και ο λόγος προκύπτει:

$$f_{DP} = \frac{1359 \text{ mm}^2}{503 \text{ mm}^2} = 2.7$$

και

$$C_{D2} = 0.57$$

και τελικά επειδή έχουμε δύο κοιλότητες

$$C_D = 4.64 \text{ h}$$

Ο συντελεστής για την επιφάνεια της κοιλότητας υπολογίζεται από τον τύπο:

$$C_A = f_A * A_M^{0.77}$$

με  $f_A = (1 - 0.5a_T) * 0.79 \text{ [h]}$  να αποτελεί τον συντελεστή για κατεργασία τορναρίσματος.

$C_A$	Απαιτούμενος χρόνος για την επιφάνεια της κοιλότητας	[h]
-------	--	-----



$A_M$	Επιφάνεια του τεμαχίου	$\text{mm}^2 * 10^{-2}$
$\alpha_T$	Τορνάρισμα σαν ποσοστό κατεργασίας	[-]

Για να παραχθεί η κοιλότητα δεν απαιτείται διαδικασία τορνάρισματος, οπότε  $\alpha_T = 0$ .

$$C_A = 5.8 \text{ h}$$

Ο συντελεστής για την γραμμή διαχωρισμού προκύπτει από πίνακα και είναι  $C_D = 1$  επειδή έχουμε μία γραμμή διαχωρισμού σε επίπεδη επιφάνεια.

Επίσης ο συντελεστής για την επιφανειακή τραχύτητα είναι  $C_S = 1$  πάλι από πίνακα που δίδεται από την βιβλιογραφία.

Ο συντελεστής για του πυρήνες υπολογίζεται από τον τύπο

$$C_C = \sum_{i=1}^j t_B * f_{CF} * n_i \text{ [h]}$$

όπου

$C_C$	Απαιτούμενος χρόνος για τους πυρήνες	[h]
$t_B$	Βάση χρόνου	1 h
$f_{CF}$	Συντελεστής περιγράμματος	[-]
n	Αριθμός πυρήνων με ίδια επιφάνεια	[-]
j	Αριθμός διαφορετικών περιοχών συναρμογής	[-]

Για την περίπτωση τετραγωνικών φωλιών για τους πυρήνες ο συντελεστής  $f_{CF} = 2$  και ο  $C_C = 8 \text{ h}$ .

Ο συντελεστής ανοχών προκύπτει από διάγραμμα και είναι  $C_T = 1$  ενώ ο συντελεστής δυσκολίας προκύπτει από πίνακα και είναι  $C_{DD} = 0.8$ . Τέλος ο συντελεστής για τον αριθμό των κοιλοτήτων προκύπτει από διάγραμμα και προσεγγιστικά είναι  $C_N = 1.84$ .

Οπότε σύμφωνα με την σχέση 3.1 έχουμε

$$t_C = 21.5 \text{ h}$$

Το κόστος για τις κοιλότητες δεδομένου ενός ωρομισθίου 3.06€/h διαμορφώνεται σε

$$C_C = 3.06 \frac{\text{€}}{\text{h}} * 21.5 \text{ h} = 65.79 \text{ €}$$

### 3.2.2 Ομάδα κόστους βασικού σχεδιασμού

Τα κόστη για αυτή την ομάδα συνήθως προκύπτουν από μία εκτενή έρευνα στους καταλόγους των προμηθευτών έτοιμων μερών για καλούπια έγχυσης. Επειδή όμως οι πλάκες προέρχονται από το απόθεμα του εργαστηρίου το κόστος θα προκύψει από μία μέση τιμή αγοράς αλουμινίου, την οποία βρέθηκε να είναι 2 €/kg. Για τον υπολογισμό του κόστους είναι απαραίτητη η ποσότητα αλουμινίου που θα πρέπει να αγοραστεί. Αυτή προκύπτει από τους όγκους και την πυκνότητα του κράματος αλουμινίου 5083 που είναι  $\rho = 2650 \text{ kg/m}^3$ .

Στις πλάκες έχει προστεθεί παραπάνω υλικό λόγω της αφαίρεσης υλικού που θα υποστούν ώστε να προκύψουν οι επιθυμητές διαστάσεις.

Ποσότητα	Μήκος (mm)	Πλάτος (mm)	Ύψος (mm)	Όγκος (mm <sup>3</sup> )	Τελικός όγκος (mm <sup>3</sup> )
1	130	110	34	486200	442368
1	130	110	29	414700	373248

2	130	130	22	371800	743600
2	130	50	20	130000	260000
2	130	28	25	91000	182000
<b>Αθροισμα</b>					2001216

Οπότε η τιμή αγοράς των πλακών θα είναι  $C = 0.02 \text{ m}^3 * 2650 \frac{\text{kg}}{\text{m}^3} * 2 \frac{\text{€}}{\text{kg}} = 10.61 \text{ €}$

### 3.2.3 Ομάδα κόστους λειτουργικών στοιχείων

Σε αυτήν την κατηγορία υπάγονται τα κόστη που αφορούν λειτουργικά στοιχεία κάθε καλουπιού τα οποία είναι το σύστημα καναλιών, το σύστημα εξαγωγής και το σύστημα μετάδοσης θερμότητας. Από αυτά δεν θα μελετηθεί το σύστημα μετάδοσης θερμότητας λόγω χρονικών περιορισμών που δεν επέτρεψαν την διερεύνηση αυτή της ενότητας.

Ο απαραίτητος χρόνος για την κατασκευή του συστήματος καναλιών εκφράζεται από τον τύπο

$$C_R = g_R * l_R * S_{MW}$$

όπου

$C_R$	Κόστος καναλιών	[€]
$g_R$	Συντελεστής διόρθωσης διαμέτρου καναλιών	[min/mm]
$l_R$	Μήκος καναλιών	[mm]
$S_{MW}$	Ωρομίσθιο	[€/h]

Οπότε

$$C_R = 0.18 \text{ €}$$

Σύμφωνα με πίνακα της βιβλιογραφίας, ο απαιτούμενος χρόνος κατεργασίας δύο πυλών είναι 50 λεπτά. Αυτό πιθανόν να συμπεριλαμβάνει και τις απαραίτητες διορθώσεις στο σύστημα πυλών για να επιτυγχάνεται ομοιόμορφη πλήρωση των κοιλοτήτων.

Τα κόστη για την κατεργασία των πλακών των εξολκίων και τυχόν διορθώσεων που απαιτούνται υπολογίζονται από τον τύπο:

$$C_{EM} = S_{MW} * \sum_{i=1}^n \frac{d_i - l_{Gi}}{1850 \frac{\text{mm}^2}{\text{h}}} + 0.8 * h * n_i * r_H$$

όπου

$d$	Διάμετρος εξολκία	[mm]
$l_G$	Οδηγούμενο μήκος εξολκία	[mm]
$n$	Αριθμός ίδιων εξολκίων	[-]
$r_H$	Συντελεστή δυσκολίας κατεργασίας οπών οδήγησης ( $r_H = 1$ ) για πείρους	[-]

$$\text{Άρα } C_{EM} = 3.2 \text{ €}$$

Συγκεντρωτικά η πρόβλεψη για τα κόστη του καλουπιού υπό κλίμακα είναι:



	65.79
	10.61
	0.18
	3.2
<b>Σύνολο</b>	<b>79.78 €</b>

Πίνακας 3.2.1 Συγκεντρωτικά οικονομικά στοιχεία

Σε αυτή τη φάση θα γίνει μία σύγκριση του κόστους με τις πραγματικές ώρες που απαιτήθηκαν για την κατεργασία του καλουπιού υπό κλίμακα. Οι ώρες θα μεταφραστούν σε χρηματικές μονάδες.

Συνολικά οι κατεργασίες διήρκησαν δώδεκα μέρες, με ωράριο περίπου 8 με 10 ωρών κάθε μέρα και κάποιες φορές να υπερβαίνει τις 10 ώρες. Για απλότητα θα επιλεγεί ότι μία εργάσιμη μέρα ήταν 9 ώρες. Θα προστεθούν επίσης τα κόστη υλικού για την κατασκευή των εξολκίων.

Εξαρτήματα και πλήθος	Διαστάσεις	Όγκος αρχικού κυλίνδρου διαμέτρου d=20 mm
3 επιτυχημένοι εξολκείς	3*45 mm	42390 mm <sup>3</sup>
3 αποτυχημένοι πείροι πυρήνα	3*74 mm	69708 mm <sup>3</sup>
2 επιτυχημένοι πείροι πυρήνα	2*74 mm	46472 mm <sup>3</sup>
		Σύνολο =158570 mm <sup>3</sup> =0.00016 m <sup>3</sup>

$$C_{\text{bar}} = 0.85 \text{ €}$$

Οπότε τα κόστη με ωρομίσθιο πάλι τα 3.06 €/h διαμορφώνονται ως εξής:

$$C = 108 \text{ h} * 3.06 \frac{\text{€}}{\text{h}} + 11.46 \text{ €} = 341.94 \text{ €}$$

Παρατηρείται λοιπόν ένα μεγάλο χάσμα στην προσέγγιση του κόστους με τα πραγματικά δεδομένα για την κατασκευή του καλουπιού. Αυτό μπορεί να δικαιολογηθεί εν μέρει από την απειρία του χειριστή των εργαλειομηχανών. Εκτός από την έλλειψη εμπειρίας είναι και η διαδικασία εκπαίδευσης που συντελέστηκε κατά τη διάρκεια των κατεργασιών με αποτέλεσμα την αύξηση του απαιτούμενου χρόνου για την παραγωγή των τεμαχίων.

Ένα άλλο αίτιο είναι η επιλογή για κατασκευή όλων των τεμαχίων. Παρόλο που σαν εκπαιδευτική διεργασία τα οφέλη είναι μέγιστα, σε πραγματικές συνθήκες είναι φρονιμότερο και οικονομικότερο να χρησιμοποιούνται προτυποποιημένα εξαρτήματα και όλος ο σχεδιασμός να γίνεται βάσει των έτοιμων προϊόντων που βρίσκονται στο εμπόριο.

### 3.3 Διερεύνηση πλήρωσης, δυνάμεων κλεισίματος και εξαγωγής

Η διερεύνηση της πλήρωσης κρίνεται απαραίτητη πριν την παραγωγή ενός καλουπιού. Βοηθά να προσδιοριστεί ο τρόπος με τον οποίο γεμίζει το καλούπι, αν η τοποθέτηση των πυλών είναι προβληματική και τον προσδιορισμό τυχόν αστοχιών στο προϊόν που σχετίζονται με την ροή του τήγματος. Επίσης προσδιορίζονται ή δοκιμάζονται και ελέγχονται οι παράμετροι της έγχυσης όπως πίεση και θερμοκρασία. Στην περίπτωση που μελετάται, θα γίνει μία διερεύνηση του υφιστάμενου καλουπιού και του υπό κλίμακα καλουπιού. Η διερεύνηση θα γίνει με την απεικόνιση του μοτίβου της ροής του τήγματος στην κοιλότητα.

Το μοτίβο ροής απεικονίζει το μέτωπο της ροής του τηγμένου πολυμερούς μέσα στην κοιλότητα και τα παραγόμενα στερεοποιημένα τμήματα. Τα μοτίβα που παράγονται μοιάζουν με τεμάχια που έχουν υποστεί ελλιπή πλήρωση διαφορετικού βαθμού καθώς το μέτωπο της ροής προελαύνει. Είναι απαραίτητη η ανάπτυξη της γεωμετρίας στο επίπεδο για να παραχθούν τα

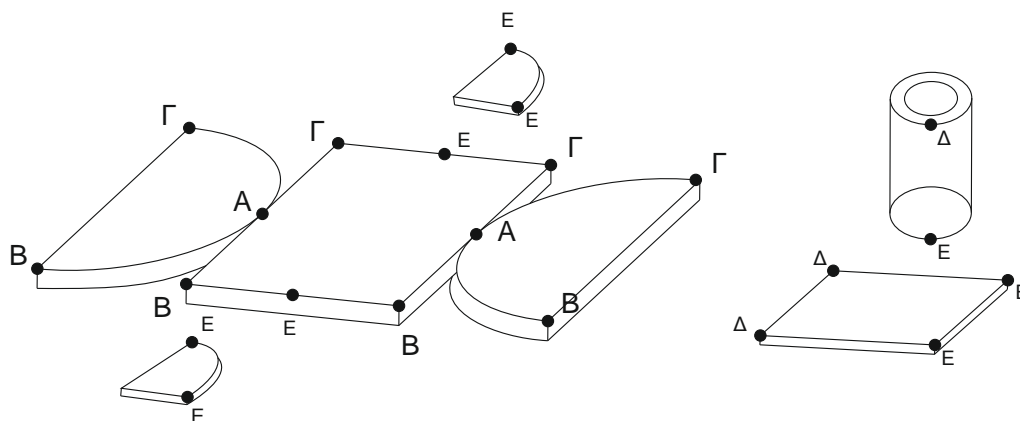
μοτίβα. Οι ενέργειες που γίνονται είναι η τομή μίας ακμής κατά μήκος της, η περιστροφή γύρω από ένα άξονα και η προβολή επιφανειών στο επίπεδο. Μέρη του στερεού που δεν μπορούν να προβληθούν και να αναπτυχθούν άμεσα στο επίπεδο μπορούν να αποκοπούν και να αναπτυχθούν πλησίον του τεμαχίου στο επίπεδο με σαφή ορισμένα σημεία τομής. Στο σχήμα 3.3.1 φαίνεται το ανάπτυσμα του τεμαχίου ενώ έχουν παραληφθεί να απεικονιστούν δύο ορθογώνια παραλληλεπίπεδα τμήματα και η οπή στο κέντρο του ορθογωνίου παραλληλεπίπεδου ΓΒΓ για λόγους διευκόλυνσης της ανάλυσης. Να σημειωθεί ότι θα παρουσιαστεί η διαδικασία της ανάλυσης καθώς οι απαιτούμενες πληροφορίες για τα χαρακτηριστικά της μηχανής δεν ήταν διαθέσιμα από την εταιρεία. Η ανάλυση βασίζεται στις εξισώσεις ροής Hagen-Poiseuille για κανάλια τύπου πλάκας:

$$\Delta p = 32 * \varphi * v_F * \frac{L * \eta}{H^2 * W}$$

όπου

$\Delta p$	Διαφορά πίεσης	[Pa]
$\varphi$	Συντελεστής για πραγματικά καλούπια	[-]
$v_F$	Ταχύτητα μετώπου ροής	[m/s]
$L$	Μήκος ροής	[m]
$W$	Πλάτος καναλιού	[m]
$H$	Ύψος καναλιού	[m]
$\eta$	Ιξώδες ρευστού	[kg/m*s]

Γνωρίζοντας την παροχή τήγματος μπορούν να υπολογιστούν οι διαφορές πίεσης για και με άθροιση να βρεθεί μία προσέγγιση για την απαιτούμενη πίεση έγχυσης.



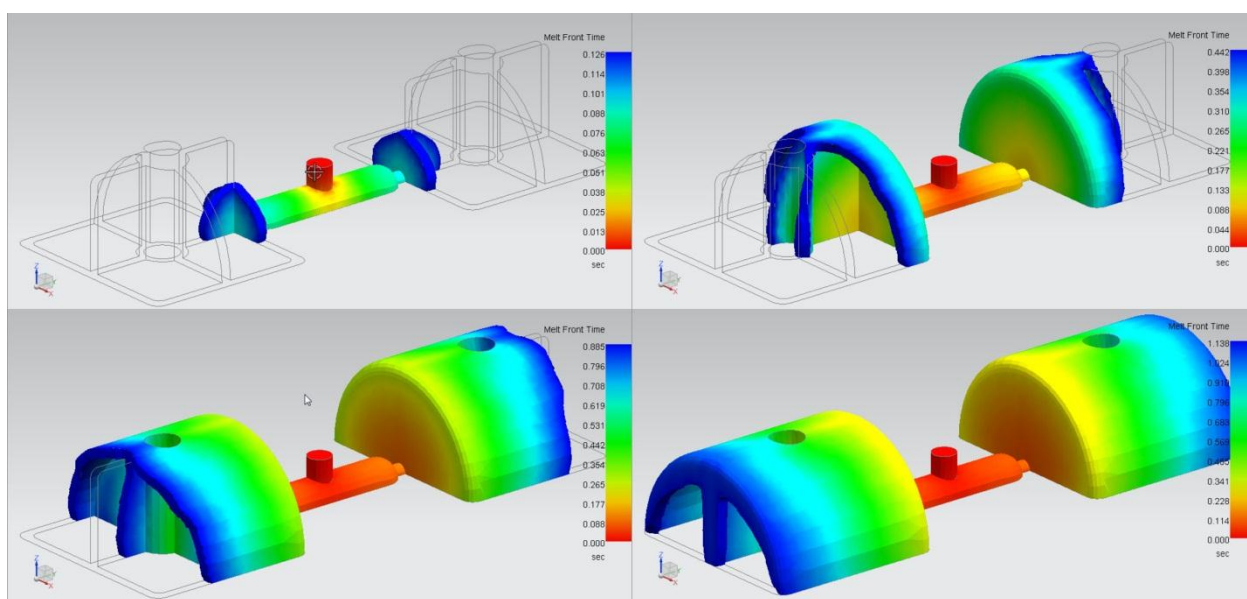
Σχήμα 3.3.1 Ανάπτυσμα τεμαχίου

Το λογισμικό που χρησιμοποιήθηκε για την οπτικοποίηση της πλήρωσης της κοιλότητας του καλούπιου είναι το Easy Fill Advanced του NX 11. Το λογισμικό Easy Fill χρησιμοποιεί κώδικες που έχουν αναπτυχθεί από την εταιρεία Moldex3D. Αφότου σχεδιασθεί το τεμάχιο, επιλέγεται το υλικό από την βάση δεδομένων του Easy Fill Advanced, προστίθενται τα κανάλια και οι πύλες είτε από γεωμετρικές καθορισμένες από τον σχεδιαστή είτε δημιουργούμενες από το λογισμικό, καθορίζεται η διεύθυνση εξαγωγής και αν υπάρχουν διαφορετικές συνθήκες θερμοκρασίας που θέλει να καθορίσει ο σχεδιαστής, εισάγονται και ξεκινάει η επίλυση. Στο σχήμα 3.3.2 φαίνεται η καρτέλα του λογισμικού.

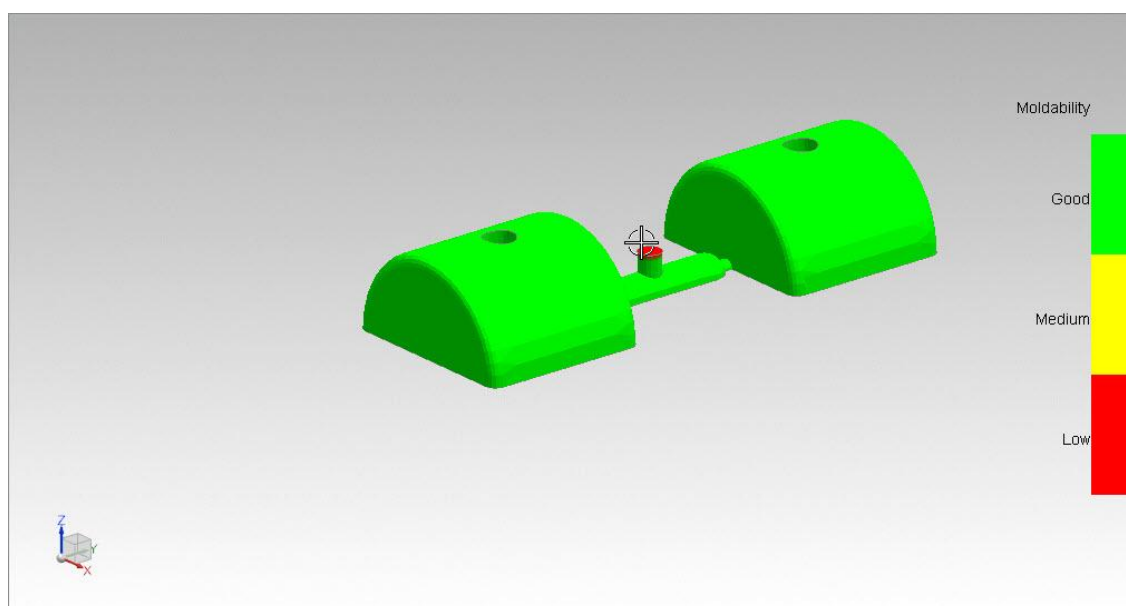


Σχήμα 3.3.2 Καρτέλα λογισμικού προσομοίωσης πλήρωσης κοιλότητας Easy Fill Advanced

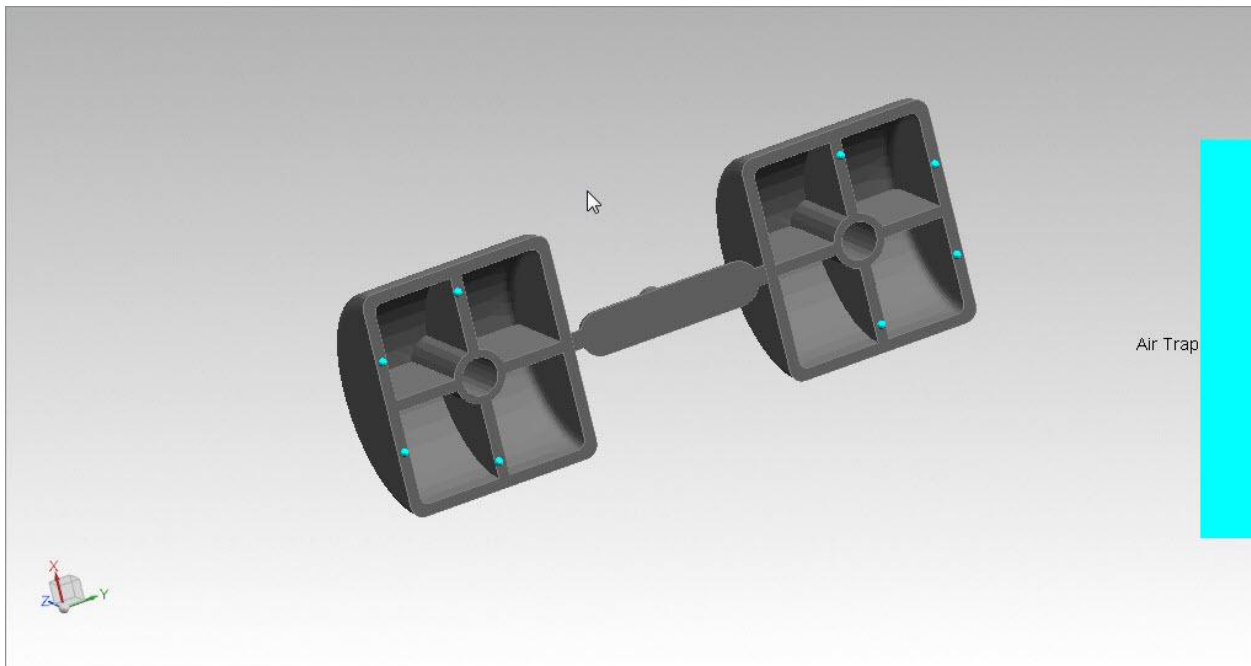
Οι συνθήκες που χρησιμοποιήθηκαν είναι οι προκαθορισμένες του υλικού και επιλέχθηκε πολυμερές το οποίο να ταιριάζει σε όσα ειπώθηκαν κατά την περιήγηση στην εταιρεία. Συγκεκριμένα είναι γνωστό ότι όλος ο κύκλος της παραγωγής των τεμαχίων διαρκούσε περίπου δέκα δευτερόλεπτα, οπότε στις προσομοιώσεις του αρχικού καλουπιού έγινε προσπάθεια ο χρόνος να συμπίπτει. Επίσης το καλούπι ψυχόταν δεν θερμαινόταν οπότε δεν μπορούσε να έχει θερμοκρασία παραπάνω από του περιβάλλοντος συν την προστιθέμενη από τον κύκλο της παραγωγής. Παρόλα αυτά δεν θα παρουσιαστούν δεδομένα εφόσον δεν υπάρχει τρόπος επαλήθευσης, άρα τα αποτελέσματα της προσομοίωσης θα χρησιμοποιηθούν μόνο για εποπτικούς σκοπούς πέραν της μέγιστης τιμής πίεσης έγχυσης για να χρησιμοποιηθεί στον υπολογισμό της δύναμης κλεισίματος. Στο παράρτημα Β παρατίθενται οι πίνακες με τις συνθήκες και τα αποτελέσματα για λόγους πληρότητας. Στο σχήμα 3.3.3 φαίνεται η διανομή του τήγματος με τον χρόνο. Το σχήμα 3.3.4 παρουσιάζει την ευκολία με την οποία μπορεί να μορφοποιηθεί το τεμάχιο, με κόκκινη την περιοχή της υποτυπώδους εισόδου τήγματος, να υποδεικνύει ότι δεν ενδείκνυται για αναπαραγωγή σε λειτουργική μονάδα ενώ το σχήμα 3.3.5 προειδοποιεί για πιθανές θέσεις δημιουργίας εγκλεισμάτων αερίων.



Σχήμα 3.3.3 Διανομή τήγματος με τον χρόνο



Σχήμα 3.3.4 Ικανότητα μορφοποίησης



Σχήμα 3.3.5 Πιθανές εγκλείσεις αερίων

Η δύναμη κλεισίματος υπολογίζεται από την προβαλλόμενη επιφάνεια της κοιλότητας στο επίπεδο επί την πίεση έγχυσης, δηλαδή  $F_{\text{clamping}} = P_{\text{injection}} * A_{\text{projected}}$

Η επιφάνεια της κοιλότητας είναι  $2287.26 \text{ mm}^2$  και η πίεση έγχυσης  $9 \text{ MPa}$  σύμφωνα με την προσομοίωση. Οπότε η δύναμη κλεισίματος είναι  $F_{\text{clamping}} = 2287.26 \text{ mm}^2 * 9 \text{ MPa} = 20585.34 \text{ N}$ .

Η απαιτούμενη δύναμη εξαγωγής προκύπτει από τον τύπο

$$F_{\text{ejection}} = \frac{\mu * E * A * \alpha * \Delta T}{\left(\frac{d}{2 * t} - \frac{d}{4 * t} * \nu\right)}$$

όπου

A	Διατομή	$[\text{mm}^2]$
d	Διάμετρος πυρήνα	$[\text{mm}]$
E	Μέτρο ελαστικότητας	$[\text{m/s}]$
t	Πάχος τεμαχίου	$[\text{mm}]$
$\alpha$	Συντελεστής θερμικής διαστολής	$[1/\text{K}]$
$\Delta T$	Διαφορά θερμοκρασίας	$[\text{K}]$
$\nu$	Λόγος Poisson	$[-]$
$\mu$	Συντελεστής τριβής	$[-]$

οπότε από την βάση δεδομένων του λογισμικού Easy Fill Advanced λαμβάνονται οι απαραίτητες πληροφορίες και η δύναμη εξαγωγής είναι:

$$F_{\text{ejection}} = 59254 \text{ N}$$

## 4. ΕΡΓΑΣΤΗΡΙΑΚΟΣ ΕΞΟΠΛΙΣΜΟΣ

Στο παρών κεφάλαιο παρουσιάζεται ο εξοπλισμός του εργαστηρίου Μικροκοπής και Κατασκευαστικής Προσομοίωσης (m3) που χρησιμοποιήθηκε για τις ανάγκες κατασκευής ενός καλουπιού για χύτευση με έγχυση (injection molding) υπό κλίμακα και τα απαραίτητα υλικά.

### 4.1 Τεχνικός εξοπλισμός

#### • Κέντρο κατεργασίας 3+2 αξόνων DMU 50 eco

Το διασυνδεδεμένο CNC κέντρο κατεργασίας γενικής χρήσης DMU 50 eco της DMG (σχήμα 4.1) διαθέτει :

- ισχυρή άτρακτο περιστροφικής ταχύτητας έως 8.000 rpm, ροπής 83 Nm , ισχύος 13 kW και ταχύτητας 12 m/min για γρήγορη μετατόπιση στους τρεις γραμμικούς άξονες X, Y και Z,
- εργαλειοφορέα 16 θέσεων υποδοχής κοπτικών και μετρητικών εργαλείων και αποσπώμενο χειριστήριο για απλοποίηση και διευκόλυνση της εκτέλεσης των διαφόρων κατεργασιών,
- θάλαμο εργασίας αρκετά ευρύχωρο στο εσωτερικό του οποίου υπάρχει περιστρεφόμενο τραπέζι εργασίας με υδραυλική σύσφιξη και περιοχή περιστροφής μέχρι τις 115° (-5° / +110°) κατά τους άξονες B (οριζόντιος άξονας στρεφόμενος περίξ του γραμμικού άξονα Y) και C (κατακόρυφος άξονας στρεφόμενος περίξ του γραμμικού άξονα Z) που επιτρέπει κλίσεις του μέχρι 20° για κατασκευή πολύ σύνθετων τεμαχίων κατεργασίας τόσο μικρής όσο και μεγαλύτερης κλίμακας,
- αντλία ψυκτικού υγρού αυτοματοποιημένης λειτουργίας που εξασφαλίζει τη συνεχή και με σταθερό ρυθμό παροχή ψυκτικού υγρού στις επιφάνειες κοπής των κατεργαζόμενων τεμαχίων ώστε να μειώνονται οι αναπτυσσόμενες τριβές κατά την κοπή,
- σκελετό συνειδητά κατασκευασμένο από χυτοσίδηρο για να διασφαλίζονται στο μέγιστο η ακρίβεια και η ποιότητα των τελικών επιφανειών των καλουπιών, των αντικειμένων και των εξαρτημάτων που παράγονται και
- εργονομική μονάδα ελέγχου DMG SLIMline® Panel με οθόνη TFT 15", εσωτερική μνήμη έως 4 MB, ελεγκτή SIEMENS , ψηφιακή καθοδήγηση Sinumerik 810D με λογισμικό ShopMill ώστε να συντάσσονται χειροκίνητα και άμεσα CNC προγράμματα για κατεργασίες μικρής ή μεσαίας πολυπλοκότητας και να παρέχεται η δυνατότητα προσομοίωσης των κατεργασιών μέσω διδιάστατων ή και τριδιάστατων γραφικών πριν την εκτέλεση των προγραμμάτων. Ο σκοπός της προσομοίωσης δεν είναι άλλος πέρα από τη σφαιρική και ακριβή θέαση των κατεργασιών προκειμένου να εντοπιστούν και να διορθωθούν τυχόν προγραμματιστικά λάθη ή να εξαλειφθούν άλλης φύσεως σφάλματα που οδηγούν σε παρέκκλιση από τις αρχικά προσδοκώμενες διαμορφώσεις του τεμαχίου εργασίας.

Σε αυτό το σημείο να υπογραμμιστεί ότι για περιπτώσεις CNC προγραμμάτων που αντιστοιχούν σε σύνθετες διαμορφώσεις, οι κώδικες εξάγονται από εμπορικά πακέτα λογισμικού συστήματος CAM και το μέγεθος των αντίστοιχων αρχείων υπερβαίνει το προαναφερθέν όριο της εσωτερικής μνήμης, η φόρτωση των αρχείων αυτών γίνεται αποκλειστικά και μόνο στην εσωτερική μνήμη του υπολογιστικού συστήματος της εξωτερικής συσκευής προρύθμισης των κοπτικών και μετρητικών εργαλείων ώστε από εκεί να γίνεται η μεταφορά τους στον ελεγκτή του CNC κέντρου κατεργασίας. Όταν συμβαίνει κάτι τέτοιο, ωστόσο, δεν είναι δυνατή η προσομοίωση των κατεργασιών στην οθόνη της μονάδας ελέγχου πριν την εκτέλεση των προγραμμάτων. Γι' αυτό, ο χειριστής επιβάλλεται να υλοποιήσει οπωσδήποτε την ανάλογη προσομοίωση εντός του συστήματος CAM στο οποίο εργάζεται και να προβεί στις πρέπουσες

διορθωτικές ενέργειες όπου κρίνεται αναγκαίο προτού εξαγει από αυτό τα αρχεία με τα CNC προγράμματα στην καταληκτική τους μορφή.



Σχήμα 4.1 Κέντρο κατεργασίας DMU 50 eco

#### • Ψηφιακά καθοδηγούμενος τóρνος CTX 310 eco

Ο ψηφιακά καθοδηγούμενος τóρνος CTX 310 eco της DMG (σχήμα 4.2) διαθέτει :

- άτρακτο υψηλής δυναμικής 16 kW, ροπής 166 Nm και μέγιστων στροφών ανά λεπτό 5000 rpm με δυνατότητα επίτευξης μέγιστων στροφών στα 5.8 δευτερόλεπτα
- εργαλειοφορέα 12 θέσεων τοποθετημένο σε ράγες ολίσθησης με κλίση 45° που επιτρέπουν μετακίνηση χωρίς σύγκρουση με τον κεντροφορέα και σύστημα συγκράτησης VDI 30
- δυνατότητα κατεργασίας τεμαχίων μέχρι 200 mm
- ακρίβεια τοποθέτησης στον άξονα X 0.014 mm και στον Z 0.016 mm η οποία επιτυγχάνεται από ψηφιακό έλεγχο και τους γραμμικούς οδηγούς
- εργονομική μονάδα ελέγχου DMG SLIMline® Panel με οθόνη 15" TFT, ελεγκτή SIEMENS, ψηφιακή καθοδήγηση SIEMENS 840D, λογισμικό Shop Turn Operate 4.5, 5 MB εσωτερική μνήμη, δυνατότητα σύνδεσης με εξωτερική μνήμη και θύρες USB. Η προσομοίωση αποτελεί την πιο εξελιγμένη αφού παρέχεται 3d προσομοίωση του τεμαχίου κατεργασίας, προγραμματισμό προσανατολισμένο στα μηχανουργεία με έτοιμους κύκλους κατεργασιών και 1.5 φορά ταχύτερη επεξεργασία τμημάτων κώδικα.



Σχήμα 4.2 Ψηφιακά καθοδηγούμενος τóρνος CTX 310 eco



### • Συσσκευή προρύθμισης εργαλείων MICROSET Uno 115 eco

Για μια κατεργασία υψηλής ακρίβειας, πριν την τοποθέτηση ενός κοπτικού εργαλείου στο κέντρο κατεργασίας, πρέπει πρώτα να τοποθετηθεί σε μια συσκευή προρύθμισης εργαλείων διότι είναι απαραίτητο να είναι γνωστές όλες οι διαστάσεις του, καθώς και το μέγεθος της φθοράς που έχει υποστεί. 21 Στην παρούσα εργασία χρησιμοποιήθηκε η MICROSET Uno 115 eco, η οποία λειτουργεί με το λογισμικό Microvision II IT και διαθέτει:

- Edge finger για τον γρήγορο εντοπισμό της ακμής του κοπτικού εργαλείου,
- βάση κατασκευασμένη από χυτοσίδηρο,
- πνευματική σύσφιξη και στους δύο άξονες για μεγαλύτερη ακρίβεια υπολογισμών,
- ελεύθερα κινούμενους γραμμικούς οδηγούς,
- CMOS ψηφιακή κάμερα με τηλεσκοπικούς φακούς και
- επιπρόσθετο σύστημα μέτρησης.

Με τη συγκεκριμένη συσκευή προρύθμισης υπολογίζεται με μεγάλη ακρίβεια, της τάξεως του δέκατου του χιλιοστού, το μήκος και η διάμετρος του κοπτικού εργαλείου. Τα δύο αυτά μεγέθη εισέρχονται στη μνήμη του κέντρου κατεργασίας και χρησιμοποιούνται για την αντιστάθμιση του εργαλείου σε μήκος και ακτίνα. Μόνο τότε τοποθετείται το εργαλείο εντός της εργαλειομηχανής και μπορεί να ξεκινήσει η κατεργασία. Στη συνέχεια παρουσιάζεται στο σχήμα 4.3 η συσκευή προρύθμισης εργαλείων MICROSET Uno 115 eco.



Σχήμα 4.3 Συσσκευή προρύθμισης εργαλείων MICROSET Uno 115 eco

### • Περιστροφικό πολύστροφο τσοκ μικροφρεζαρίσματος

Το περιστροφικό πολύστροφο τσοκ μικροφρεζαρίσματος IBAG HFK 95 (σχήμα 4.4) εξασφαλίζει πολύ μεγαλύτερες στροφές για την περιστροφή του κοπτικού εργαλείου κατά την κοπή συγκριτικά με το μέγιστο επιτρεπτό όριο των 8.000 rpm της ατράκτου που παρέχει το διασυνδεδεμένο CNC κέντρο κατεργασίας και οι οποίες φτάνουν μέχρι και τις 40.000 rpm με μέγιστη ισχύ το 1 kW. Η λειτουργία του επιτυγχάνεται με χρήση πρόσθετης πνευματικής πίεσης, δηλαδή με τη χρήση πρόσθετου αέρα υπό πίεση που παράγεται από κάποιον εξωτερικό αεροσυμπιεστή (κομπρεσέρ). Υπογραμμίζεται ότι οι υψηλές στροφές είναι ενδεδειγμένες ιδίως κατά την κατεργασία του φινιρίσματος μιας και δημιουργούν τις απαραίτητες προϋποθέσεις προκειμένου η ποιότητα της τελικής επιφάνειας, η διαστατική ακρίβεια και η λεπτομερειακή ανάλυση ενός τεμαχίου κατεργασίας να είναι αυξημένες.



Σχήμα 4.4 Περιστροφικό πολύστροφο τσοκ μικροφρεζαρίσματος

#### • Ρολόι μηδενισμού επαφής 3D – Haimer Universal 3D-Sensor

Το ρολόι μηδενισμού επαφής (σχήμα 4.5) επιτρέπει τον ορισμό του συστήματος συντεταγμένων του τεμαχίου προς κατεργασία. Προσαρμόζεται στην άτρακτο και ο χειριστής προσεγγίζει τις επιφάνειες, έρχεται σε επαφή και μόλις επιτευχθεί η επιθυμητή μετατόπιση του δείκτη, εισάγεται χειροκίνητα η διαφορά ανάμεσα στον άξονα της ατράκτου και την διάσταση της ακίδας ή ορίζεται το μηδέν. Η ακρίβειά που μπορεί να επιτευχθεί είναι της τάξεως των 0.01 mm. Το ρολόι χρησιμοποιείται εκτός για τον ορισμό του μηδέν του τεμαχίου για μετρήσεις πάνω στο τεμάχιο και την εξακρίβωση αποκλίσεων από τις ονομαστικές διαστάσεις.



Σχήμα 4.5 Ρολόι μηδενισμού επαφής 3D

Τα κοπτικά εργαλεία που χρησιμοποιήθηκαν χωρίζονται στις εξής κατηγορίες: α) τρυπάνια ταχυχάλυβα (HSS), β) κονδύλια (end mills), γ) κονδύλια σφαιρικής απόληξης (ball end mills), δ) φρεζοκεφαλές ένθετων πλακιδίων και για τις κατεργασίες στον τόρνο, ε) λάμα αποκοπής, στ) ανάποδο εργαλείο τórνευσης και ζ) και εργαλείο τórνευσης (σχήμα 4.6).





Σχήμα 4.6 Κοπτικά εργαλεία που χρησιμοποιήθηκαν για τις κατεργασίες

## 4.2 Υλικά κατεργασιών

Τα τεμάχια που χρησιμοποιήθηκαν για την κατασκευή του καλουπιού προέρχονταν από το απόθεμα σε πλάκες και κυλίνδρους αλουμινίου του εργαστηρίου Μικροκοπής και Κατασκευαστικής Προσομοίωσης (m3). Συγκεκριμένα το κράμα αλουμινίου που χρησιμοποιήθηκε ήταν το AL 5083 'Ο' H111 και η χημική του σύσταση φαίνεται στον παρακάτω πίνακα (πίνακας 4.1).

Στοιχείο	Μέγιστη Περιεκτικότητα (%κ.β)
Si	0.40
Fe	0.40
Cu	0.1
Mn	0.40 – 1
Mg	4.0 – 4.9
Cr	0.05 – 0.25
Zn	0.25
Ti	0.15
Άλλα	0.15
Al	Υπόλοιπο


Πίνακας 4.1 Χημική σύσταση AL 5083 'Ο' H111



Οι πλάκες ήταν ορθογωνικής διατομής αρχικών διαστάσεων  $X=150\text{ mm}$ ,  $Y=100$ ,  $Z=20\text{ mm}$  και τετραγωνικής διατομής  $120\text{ mm}$  και πάχους  $Z=24\text{ mm}$  ενώ οι κύλινδροι ήταν αρχικής διαμέτρου  $d=50\text{ mm}$  που είχαν μειωθεί από προηγούμενα πειράματα σε  $d=20\text{ mm}$ .


## 5. ΣΧΕΔΙΑΣΗ ΣΤΟ ΛΟΓΙΣΜΙΚΟ CAD/CAM NX – ΟΔΗΓΟΣ ΧΡΗΣΗΣ MOLD WIZARD

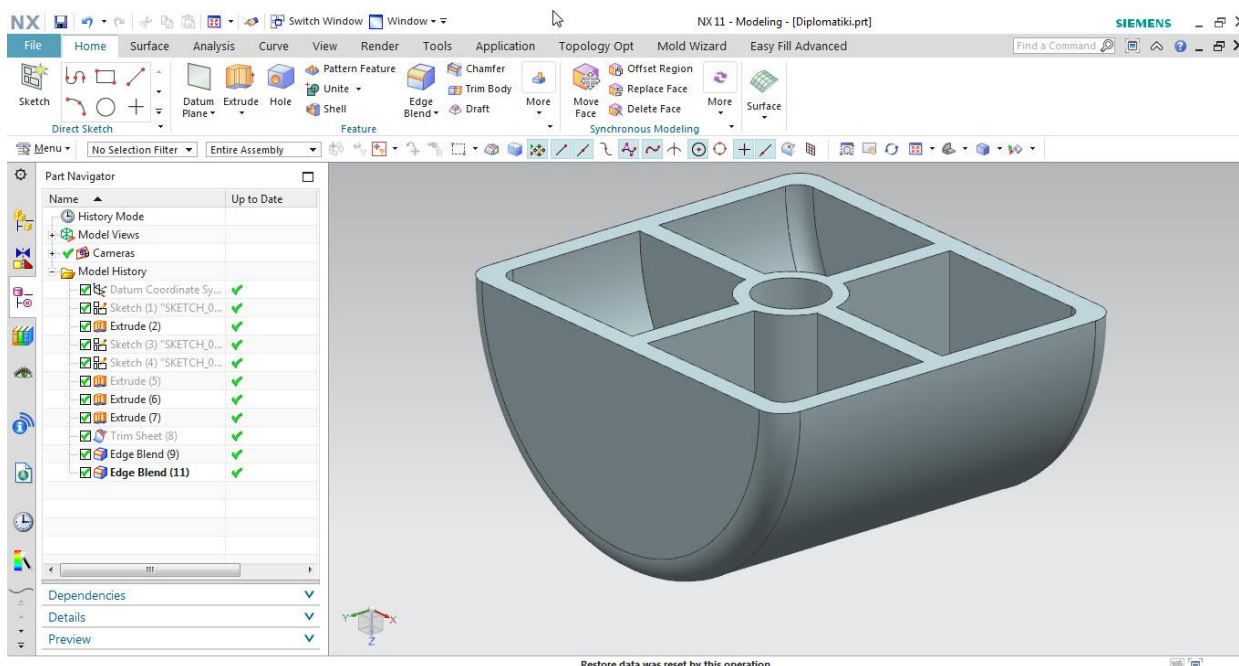
### 5.1 Σχεδίαση στο περιβάλλον CAD

Το NX είναι ένα ολοκληρωμένο CAD/CAM/CAE/PLM λογισμικό από την SIEMENS που στόχο έχει τη διευκόλυνση των διαφόρων κατασκευαστικών εταιρειών και συναφών επιχειρήσεων ως προς τον σχεδιασμό, την παραγωγή, την ανάλυση της μηχανικής συμπεριφοράς και τη μελέτη του κύκλου ζωής των νέων προϊόντων πριν την εισαγωγή τους στην παραγωγή και στην αγορά. Αποτελεί ένα λογισμικό παραμετρικού σχεδιασμού. Πρακτικά αυτό σημαίνει ότι οι γεωμετρικές διαστάσεις ενός αντικειμένου συνδέονται μεταξύ τους με διάφορες συναρτησιακές σχέσεις ούτως ώστε αν μεταβληθεί μία διάσταση από τον χρήστη, τότε να μπορούν αυτόματα να τροποποιούνται αναλόγως οποιαδήποτε χαρακτηριστικά του αντικειμένου συνδέονται άμεσα με αυτή.

Ο σχεδιασμός έγινε στην έκδοση NX 11. Αρχικό τεμάχιο δεν υπήρχε οπότε η αναπαραγωγή του αντικειμένου προέκυψε έπειτα από μέτρηση διαμορφώσεων του καλουπιού και εξαγωγή των διαστάσεων που συνθέταν το αντικείμενο. Στο [σχήμα 5.1.1](#) απεικονίζεται το αντικείμενο στο περιβάλλον CAD του NX σε ισομετρική προβολή από κάτω για να εμφανιστούν οι διαμορφώσεις των νεύρων (ribs) και της οπής. Η σχεδίαση ξεκίνησε με την δημιουργία ενός σχεδίου (sketch)  στο οποίο δημιουργήθηκε ένα ημικύκλιο με ακτίνα  $R=25.5\text{ mm}$ . Το

ημικύκλιο με εξώθηση (extrude)  παρήγαγε τον μισό κύλινδρο με μήκος  $45\text{ mm}$ . Έπειτα δημιουργήθηκαν σε άλλο σχέδιο (sketch) οι απαραίτητες διαμορφώσεις ώστε με εξώθηση και αφαίρεση δομικού υλικού (subtract) να προκύψουν τα νεύρα και η οπή. Το σχέδιο έγινε στην επίπεδη επιφάνεια του μισού κυλίνδρου. Για να επιτευχθεί η καμπυλότητα εσωτερικά και να δημιουργηθεί ομοιόμορφο πάχος τοιχώματος, δημιουργήθηκε μία επιφάνεια τερματισμού. Μία ημικυκλική γραμμή, που προέκυψε από παράλληλη μετατόπιση  $2.5\text{ mm}$  της αρχικής ημικυκλικής γραμμής ακτίνας  $25.5\text{ mm}$ , εξωθήθηκε και δημιουργήθηκε μία ημικυκλική επιφάνεια, η οποία στην εντολή εξώθησης επιλέγεται ως όριο στην εξώθηση. Έπειτα εξωθείται ο κύκλος και με αφαίρεση υλικού δημιουργείται η οπή. Σε αυτό το σημείο ήταν απαραίτητη η χρήση της εντολής Trim Sheet  για την διάτρηση της επιφάνειας τερματισμού από τον κυκλικό όγκο.

Τέλος με την εντολή Edge Blend  έγιναν οι στρογγυλεύσεις των ακμών, εξωτερικά με ακτίνα  $3\text{ mm}$  και εσωτερικά με ακτίνα  $2\text{ mm}$ . Οι στρογγυλεύσεις ακμών επιτελούν διπλό σκοπό, αφενός για βελτίωση της όψης και παρουσίασης του αντικειμένου και αφετέρου για την ευκολία εξαγωγής τους από το καλούπι.



Σχήμα 5.1.1 Το αντικείμενο στο περιβάλλον CAD

## 5.2 Οδηγός χρήσης Mold Wizard

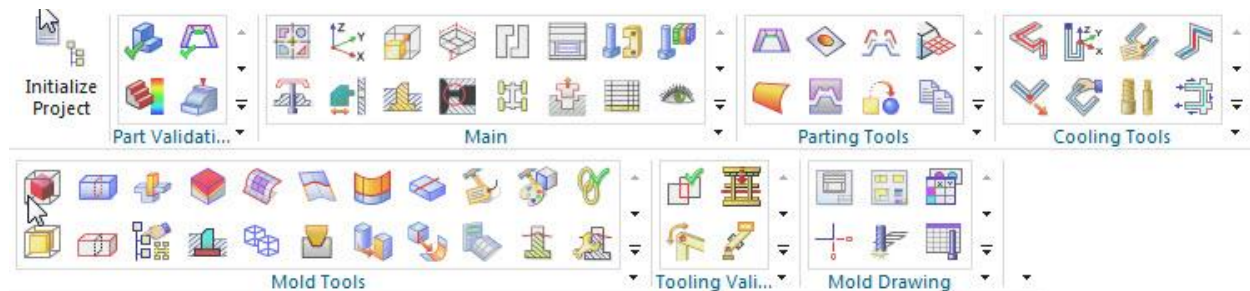
Το Mold Wizard αποτελεί ειδική επέκταση για σχεδίαση καλουπιών έγχυσης και προοδευτικών μητρών για ελάσματα. Με τη χρήση βελτιστοποιείται η διαδικασία σχεδίασης καλουπιών αυξάνοντας την παραγωγικότητα σε σημεία που ξεπερνά τα παραδοσιακά συστήματα CAD. Παρέχει μία δομημένη ροή εργασιών μέσα από διαδικασίες βήμα προς βήμα που θέτουν αποδοτικότερη την εκτέλεση εργασιών ενώ ενσωματώνει σε αυτοματοποιημένες διεργασίες πολύπλοκα στη σχεδίαση στοιχεία. Αυτά τα οφέλη στη σχεδίαση βασίζονται στις βέλτιστες πρακτικές ειδικών του χώρου έγχυσης, σε αυτοματισμούς για ειδικές εργασίες κατά τον σχεδιασμό καλουπιών και βιβλιοθήκη με προτυποποιημένα εξαρτήματα καλουπιών. Το Mold Wizard είναι χτισμένο πάνω στο NX, γεγονός που το καθιστά εξαιρετικά ευέλικτο. Οι δυνατότητες που προσφέρονται για χρήση εργαλείων για τροποποίηση της γεωμετρίας είτε έχει σχεδιαστεί στο NX είτε σε κάποιο άλλο λογισμικό, στη δημιουργία επιφανειών διαχωρισμού και την δυνατότητα αυτόματης ενημέρωσης της συναρμολόγησης, το κάνουν από τα πιο εύρωστα συστήματα που κυκλοφορούν στο εμπόριο. Μερικές από τις πιο σημαντικές του δυνατότητες είναι:

- πλήρης εισαγωγή δεδομένων με μεταφραστές για την εισαγωγή σχεδιαστικών αρχείων από άλλα λογισμικά,
- έλεγχος δυνατότητας κατασκευής και παραγωγής για τεμάχια από έγχυση,
- αυτόματη δημιουργία ένθετου πυρήνα και κοιλότητας,
- εναλλαγή μεταξύ μοντέλων, αυτόματη ενημέρωση και σύγκριση νέων εκδόσεων,
- υπολογισμός συστολής τεμαχίου και προσαρμογή διαστάσεων,
- βάση δεδομένων με καταλόγους εξαρτημάτων,
- μετεπεξεργασία εξολκίων, ολισθητήρων και ανυψωτών,
- σχεδίαση δικτύου μετάδοσης θερμότητας με αγωγούς και εξαρτήματα,
- αυτόματη δημιουργία καταλόγου υλικών (B.O.M – Bill Of Materials) και,
- αυτόματη δημιουργία μηχανολογικών σχεδίων.

Η απόκτηση και εγκατάσταση του Mold Wizard συνεπάγεται με την εμφάνιση μίας καρτέλας στην κορυφή του γραφικού περιβάλλοντος του NX όπως απεικονίζεται στο σχήμα 5.2.1.


Σχήμα 5.2.1 Η θέση της καρτέλας Mold Wizard

Με την επιλογή της καρτέλας Mold Wizard, ο χρήστης βλέπει ακριβώς από κάτω τα εργαλεία που διατίθενται χωρισμένα σε ομάδες. Η φιλοσοφία είναι ότι ξεκινάει κάποιος από αριστερά ολοκληρώνοντας τις εργασίες με τη χρήση των απαραίτητων εργαλείων και προχωρά προς τα δεξιά. Υπάρχουν οι εξής ομάδες εργαλείων όπως φαίνονται στο [σχήμα 5.2.2](#): Initialize Project (έναρξη πρότζεκτ), Part Validation (επαλήθευση τεμαχίου), Main (κύρια ομάδα), Parting Tools (εργαλεία διαχωρισμού), Cooling Tools (εργαλεία ψύξης), Mold Tools (εργαλεία καλουπιού), Tooling Validation (επαλήθευση καλουπιού), Mold Drawing (μηχανολογικά σχέδια καλουπιού).

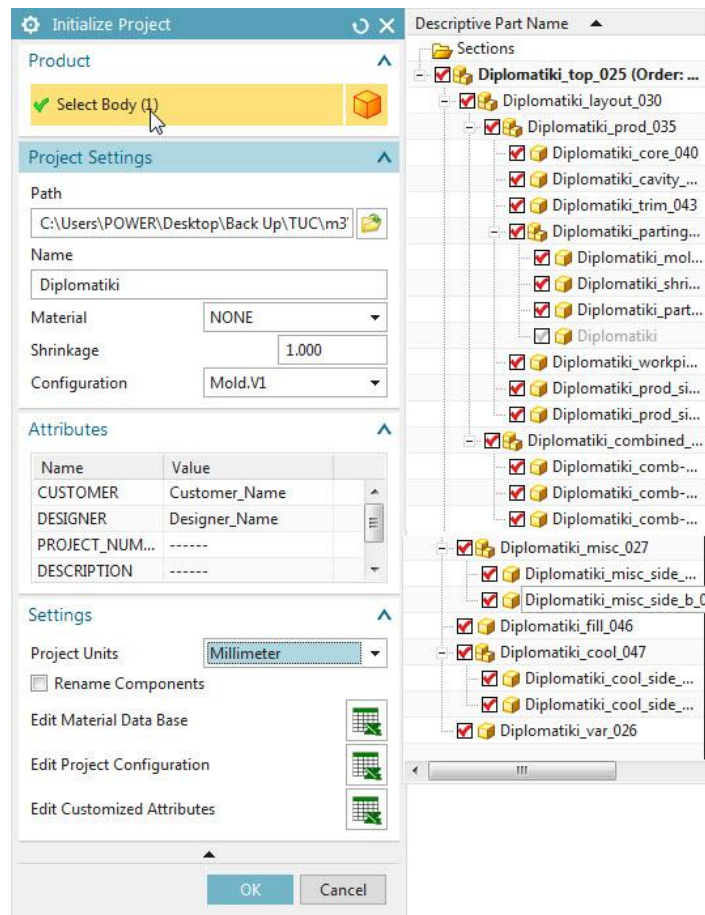


Σχήμα 5.2.2 Ομάδες εργαλείων και εργαλεία του Mold Wizard




Ο σχεδιασμός ξεκινάει με το αντικείμενο προς παραγωγή, σχεδιασμένο στο περιβάλλον CAD του NX. Αν προέρχεται από κάποιο άλλο λογισμικό (SolidWorks, Inventor, κ.α.) ή είναι μορφοποιημένο σαν αρχείο μεταφοράς δεδομένων CAD (STL, IGES, STEP), τότε το NX το μεταφράζει και δημιουργεί ένα αρχείο part (.prt) από τα δεδομένα. Έχοντας λοιπόν ανοικτό το αντικείμενο, ανοίγεται η καρτέλα Mold Wizard. Επιλέγεται το εικονίδιο Initialize Project για να γίνει έναρξη καινούργιας εργασίας. Στο παράθυρο που ανοίγει ζητείται η επιλογή του στερεού σώματος για το οποίο θα δημιουργηθεί καλούπι, το όνομα και τη διεύθυνση αποθήκευσης των αρχείων που θα δημιουργηθούν. Καλό είναι για κάθε εργασία να υπάρχει ένας ξεχωριστός φάκελος επειδή δημιουργούνται πολλά αρχεία για να περιγράψουν χαρακτηριστικά και λειτουργίες του καλουπιού έγχυσης. Μετά το όνομα και τη διεύθυνση ζητείται η επιλογή του υλικού από το οποίο θα κατασκευάζεται το αντικείμενο σε κάθε κύκλο παραγωγής και ανάλογα την επιλογή υπάρχει ένας προκαθορισμένος συντελεστής συρρίκνωσης - συστολής (shrinkage). Αυτός ο συντελεστής είναι η διαφορά μεταξύ των διαστάσεων της κοιλότητας και του τελικού τεμαχίου, που έχει συσταθεί κατά την ψύξη, και εκφράζεται ως ποσοστό επί τοις εκατό (%). Το Mold Wizard δίνει την δυνατότητα μέσω του συντελεστή συστολής να αντισταθμίσει αυτή την συστολή ούτως ώστε το αντικείμενο να έχει τις σωστές διαστάσεις. Ο χρήστης δύναται να μην επιλέξει αρχικά υλικό και να το προσθέσει με τον αντίστοιχο συντελεστή συστολής σε μεταγενέστερη φάση της διαδικασίας σχεδίασης. Παρακάτω από το υλικό δίνεται η επιλογή προσθήκης πληροφοριών, όπως το όνομα του σχεδιαστή, η επιλογή των μονάδων μέτρησης (αγγλοσαξωνικό σύστημα – ίντσες ή μετρικό – χιλιοστά) καθώς και η δυνατότητα αλλαγής των συντελεστών συστολής από το εικονίδιο που ανοίγει ένα αρχείο excel στο οποίο είναι αποθηκευμένες οι τιμές των συντελεστών και τα αντίστοιχα υλικά. Αφότου συμπληρωθούν οι απαραίτητες πληροφορίες ο χρήστης πατάει OK και το NX αρχίζει να δημιουργεί τα απαραίτητα αρχεία και την συναρμολόγηση που περιέχει αυτά τα αρχεία. Στο παράθυρο Assembly


Navigator  φαίνεται η δομή της κεντρικής συναρμολόγησης, των υπο-συναρμολογήσεων και των αρχείων που απαρτίζονται. Στο [σχήμα 5.2.3](#) φαίνεται στα αριστερά το παράθυρο διαλόγου Initialize Project και στα δεξιά τα αρχεία και οι αρχικές συναρμολογήσεις που αφορούν το καλούπι.

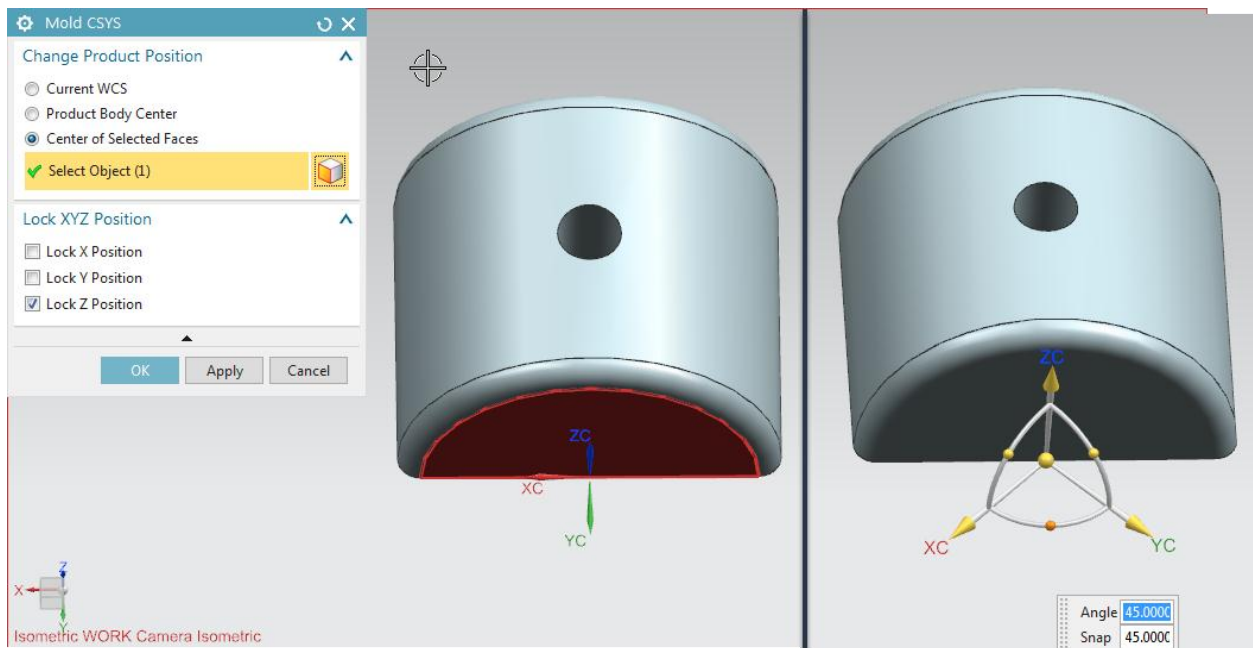




Σχήμα 5.2.3 Αριστερά: Παράθυρο διαλόγου Initialize Project. Δεξιά: Δέντρο συναρμολογήσεων και αρχείων καλουπιού.

Στην ομάδα εργαλείων Part Validation ο χρήστης μπορεί να κάνει έλεγχο για το πάχος των τοιχωμάτων του αντικειμένου με το εργαλείο Check Wall Thickness  ή να ετοιμάσει και να τρέξει προσομοίωση πλήρωσης, όπως παρουσιάστηκε στο προηγούμενο κεφάλαιο, από το εργαλείο Run Flow Analysis  ή να κάνει ανασκόπηση προηγούμενης προσομοίωσης με το Display Flow Analysis Results . Στην περίπτωση που μελετάται δεν θα γίνει κάποια περαιτέρω ανάλυση.

Ύστερα, πρέπει να οριστεί το σύστημα συντεταγμένων του καλουπιού. Το σύστημα συντεταγμένων του καλουπιού διαφέρει από αυτό του αντικειμένου ή των αντικειμένων. Οπότε επιλέγεται το εργαλείο Mold CSYS . Στο παράθυρο διαλόγου του Mold CSYS δίνονται τρεις επιλογές για τον ορισμό του συστήματος συντεταγμένων από τις οποίες επιλέγεται η Center of Selected Faces που εξυπηρετεί στην προκειμένη περίπτωση. Ακριβώς από κάτω δίνεται η δυνατότητα κλειδώματος του συστήματος συντεταγμένων. Η επιλογή της επιφάνειας είναι όπως φαίνεται στα αριστερά, στο [σχήμα 5.2.4](#). Η τοποθέτηση του συστήματος συντεταγμένων είναι σκόπιμο να γίνεται στο κέντρο του συστήματος των καναλιών και εφόσον είναι γνωστό που θα πρέπει να σχεδιαστεί το κανάλι, γίνεται μία περιστροφή του συστήματος κατά 90° και μεταφέρεται κατά 23.5 mm στην διεύθυνση XC όπως απεικονίζεται στα δεξιά στο [σχήμα 5.2.4](#).

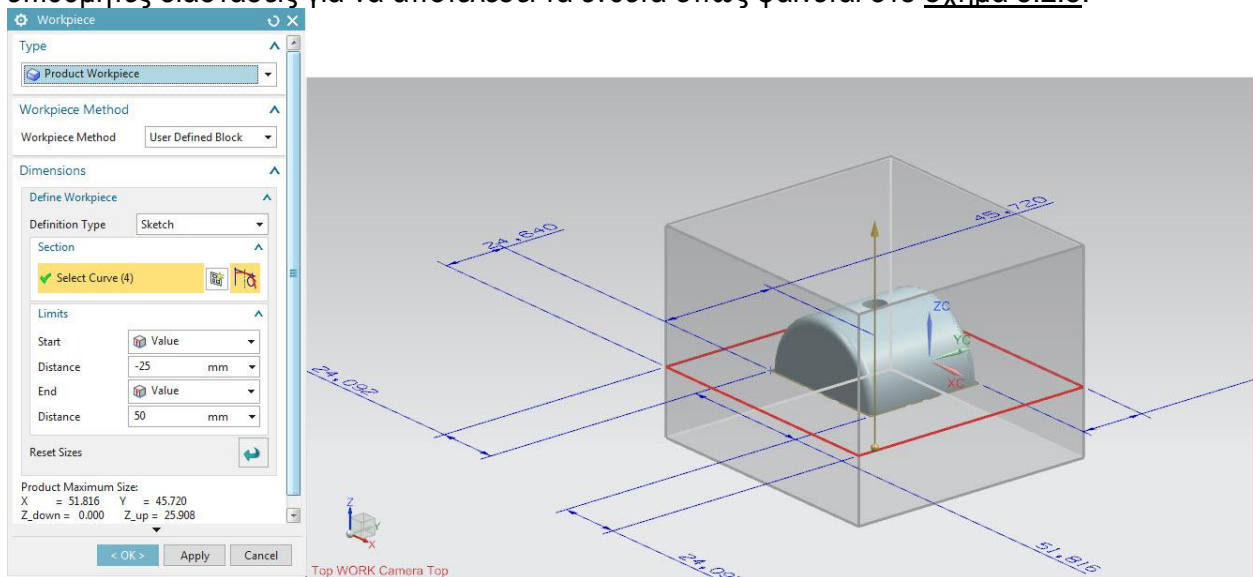


Σχήμα 5.2.4 Αριστερά: επιλογή επιφάνειας για τοποθέτηση του συστήματος συντεταγμένων. Δεξιά: Περιστροφή και μετατόπιση συστήματος συντεταγμένων

Αφότου οριστεί το σύστημα συντεταγμένων πρέπει να οριστεί το μέγεθος του αρχικού τεμαχίου πάνω στο οποίο μετά τον διαχωρισμό σε πυρήνα και κοιλότητα θα γίνει η κατερασία των διαμορφώσεων για να αποτελέσει ένθετο πυρήνα και κοιλότητα. Αυτό γίνεται με το εργαλείο



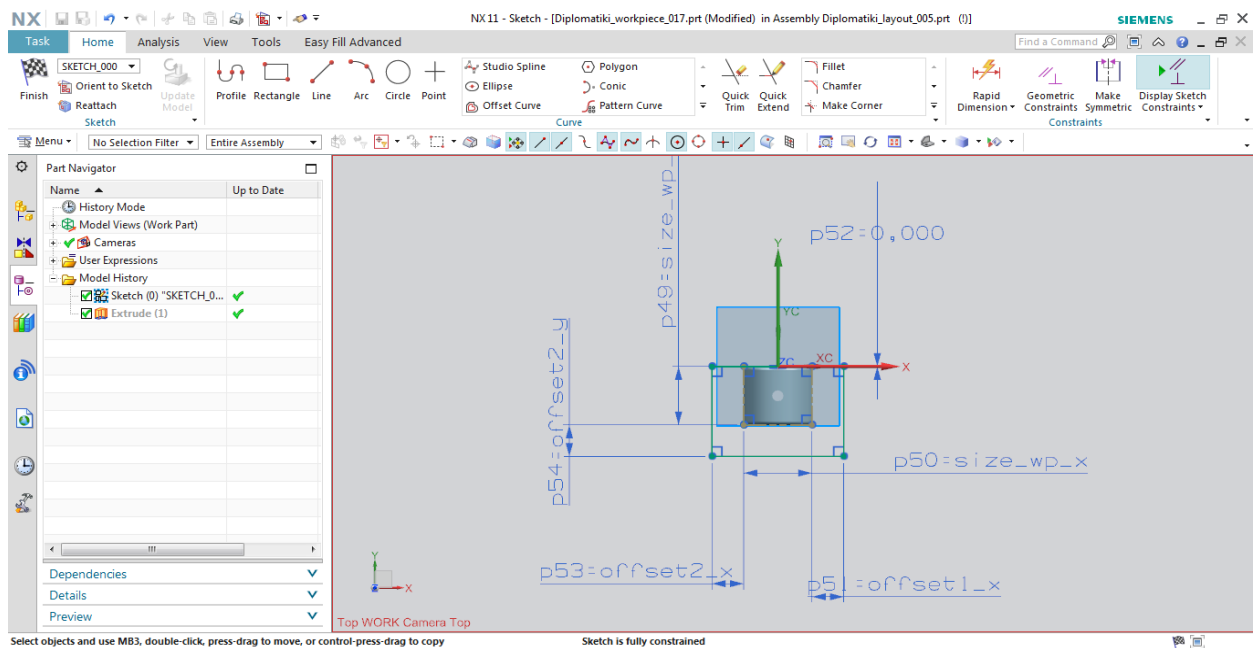
Workpiece, το οποίο δημιουργεί με την επιλογή User Defined Block έναν κύβο με τις επιθυμητές διαστάσεις για να αποτελέσει τα ένθετα όπως φαίνεται στο [σχήμα 5.2.5](#).




Σχήμα 5.2.5 Παράθυρο διαλόγου Workpiece

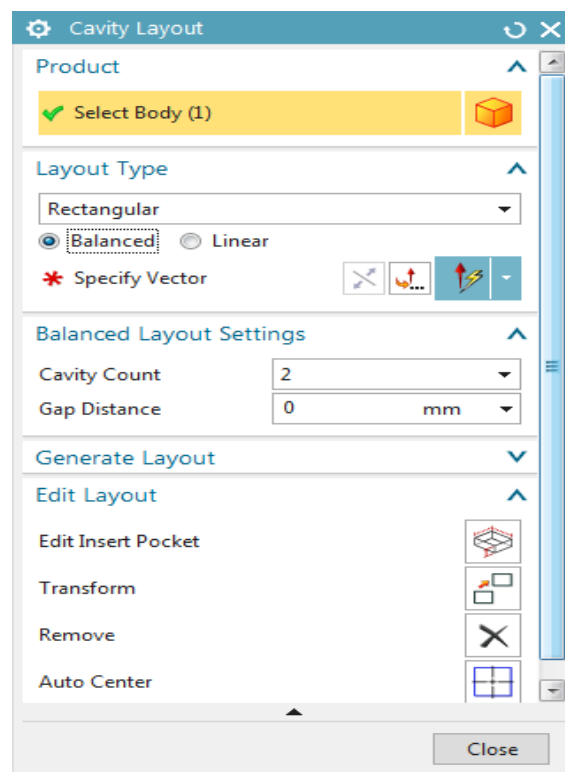
Οι διαστάσεις μπορούν να οριστούν για το ύψος του κύβου από το παράθυρο διαλόγου του Workpiece, ενώ για να τροποποιηθεί το σχήμα και οι διαστάσεις στο επίπεδο X-Y πρέπει να γίνει από το Sketch Section, το οποίο βρίσκεται στα δεξιά του Select Curve. Όταν επιλεγεί το Sketch Section, ο χρήστης μπορεί να παρέμβει στο σχέδιο όπως ακριβώς όταν χρησιμοποιεί την εντολή Sketch και τις εντολές που περιέχει, όπως φαίνεται στο [σχήμα 5.2.6](#).





Σχήμα 5.2.6 Περιβάλλον Sketch Section για τροποποίηση του προφίλ για τα ένθετα

Το καλούπι που μελετάται αποτελείται από δύο κοιλότητες οι οποίες παράγουν σε κάθε κύκλο παραγωγής δύο τεμάχια. Μέχρι στιγμής έχει σχεδιασθεί ένα τεμάχιο και έχει ορισθεί αρχικό τεμάχιο (workpiece). Με την εντολή Cavity Layout  μπορούν να δημιουργηθούν πανομοιότυπες κοιλότητες για να προκύψει η επιθυμητή διάταξη για χύτευση. Το παράθυρο διαλόγου φαίνεται στο σχήμα 5.2.7. Αρχικά ζητείται η επιλογή του στερεού σώματος που θα αντιγραφεί.




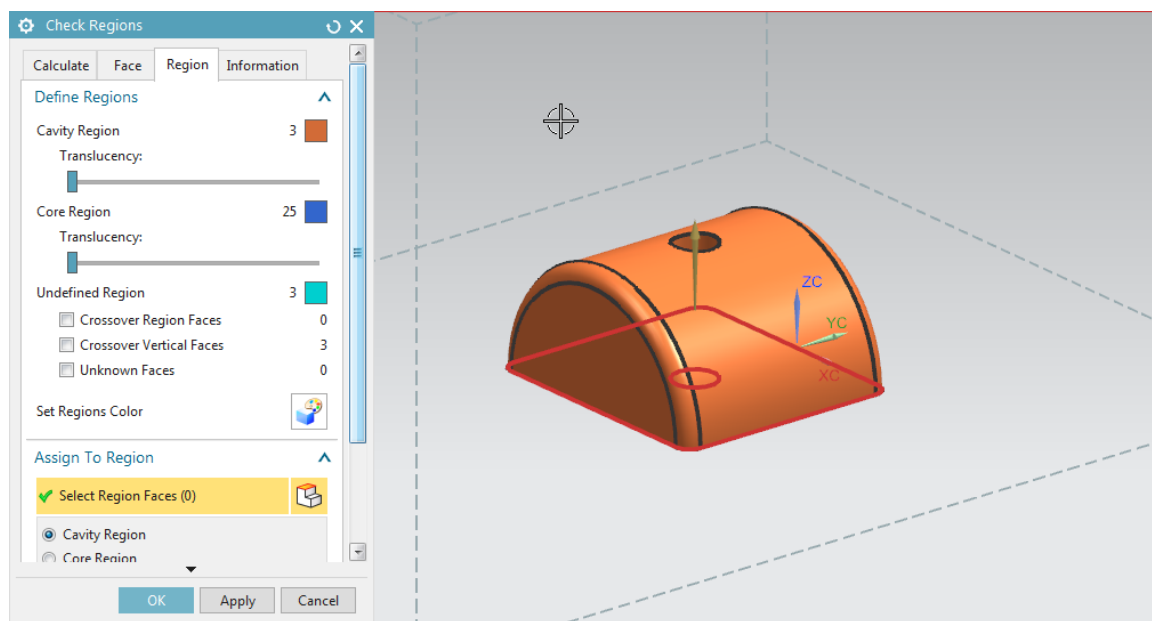
Σχήμα 5.2.7 Παράθυρο διαλόγου Cavity Layout

Έπειτα παρέχονται δύο επιλογές αντιγραφής και διάταξης, η τετραγωνική (rectangular) και η κυκλική (circular). Ο χρήστης μπορεί να επιλέξει για την τετραγωνική διάταξη να είναι

ισορροπημένη (balanced), που σημαίνει αν για δύο κοιλότητες, η μία βρίσκεται στο 1<sup>ο</sup> τεταρτημόριο, τότε σε ισορροπημένη διάταξη η άλλη βρίσκεται στο 3<sup>ο</sup> τεταρτημόριο. Εκτός από την ισορροπημένη δύναται η δυνατότητα ευθύγραμμης διάταξης (linear). Στην εξεταζόμενη περίπτωση το αρχικό καλούπι είχε διάταξη σε ευθεία γραμμή σε μία διεύθυνση, οπότε επιλέγεται η διάταξη linear και εισάγεται η απόσταση μεταξύ των κέντρων των κοιλότητων που συμπίπτουν με τα κέντρα των οπών. Με την ολοκλήρωση εισαγωγής των διαστάσεων, ο χρήστης πρέπει να πατήσει παράθυρο Generate Layout για να παραχθεί η διάταξη των κοιλότητων. Τέλος μπορεί να επεξεργαστεί την διάταξη με τα εργαλεία που παρέχονται στην καρτέλα Edit Layout.

Εφόσον επιτευχθεί η επιθυμητή διάταξη, γίνεται έλεγχος των περιοχών με το εργαλείο Check


Regions . Αυτό το εργαλείο αναλύει το αντικείμενο και συγκεκριμένα τις επιφάνειες από τις οποίες αποτελείται, για την ύπαρξη ή όχι γωνίας κλίσης, οπτικοποιεί με διαφορετικά χρώματα τις διάφορες κλίσεις. Προβληματικές επιφάνειες ή ακμές όπως υποκοπές ή επιφάνειες που επικαλύπτονται εντοπίζονται ενώ επιφάνειες που εκτείνονται πέραν της επιφάνειας διαχωρισμού εντοπίζονται και διαχωρίζονται. Επίσης γίνεται ο διαχωρισμός σε επιφάνειες κοιλότητας και πυρήνα ενώ όσες επιφάνειες δεν αναγνωρίζονται αυτόματα επιλέγονται από το χρήστη και ταξινομούνται είτε σαν κοιλότητα είτε σαν πυρήνας. Στο σχήμα 5.2.8 εικονίζεται το παράθυρο διαλόγου με τις επιφάνειες μετά από την ανάλυση. Για να γίνει η ανάλυση ο χρήστης πατάει το κουμπί Calculate και ανάλογα με την πολυπλοκότητα του τεμαχίου, απαιτείται και ανάλογος χρόνος. Στην καρτέλα Region υπάρχουν δύο μπάρες που αντιστοιχεί η μία στις επιφάνειες της κοιλότητας και η άλλη στις επιφάνειες του πυρήνα και ρυθμίζουν την ορατότητα των περιοχών αυτών. Στην τρίτη κατηγορία είναι οι επιφάνειες που δεν μπορούσαν να αναγνωριστούν ως κοιλότητα ή πυρήνας και πρέπει να δηλωθούν από τον χρήστη. Αυτές οι περιοχές για διευκόλυνση του χρήστη απεικονίζονται με διαφορετικά χρώματα.



Σχήμα 5.2.8 Παράθυρο διαλόγου Check Regions και πρώτη ανάλυση

Παρακάτω υπάρχει η περιοχή Assign Region για χαρακτηρισμό επιφανειών, αφού επιλεγθούν και ορισθούν ως Cavity Region ή Core Region και η διαδικασία ολοκληρώνεται πατώντας το κουμπί Apply. Οι τρεις περιοχές που εμφανίστηκαν στην ανάλυση παραπάνω αποτελούν τις δύο κάθετες πλαϊνές επιφάνειες και την οπή στο κέντρο του τεμαχίου. Οι δύο πλαϊνές θα προστεθούν στις επιφάνειες της κοιλότητας. Η οπή με μία γρήγορη και πρόχειρη σκέψη θα μπορούσε να χαρακτηριστεί είτε πυρήνας είτε κοιλότητα με τις δύο εναλλακτικές να καταλήγουν

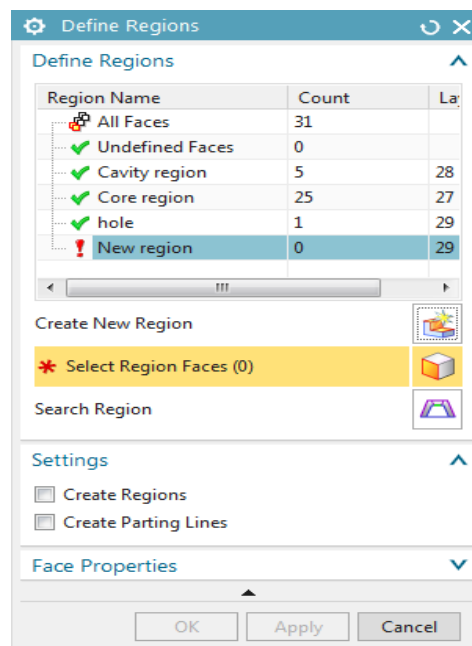
σε κοινό αποτέλεσμα, την δημιουργία ενός πείρου ενωμένου είτε με το ένθετο του πυρήνα είτε με της κοιλότητας. Από το αρχικό καλούπι είναι γνωστό πως ο πυρήνας για την δημιουργία της οπής είναι στερεωμένος στην κάτω πλάκα στήριξης και είναι σε συναρμογή με τον σωληνωτό εξολκέα. Παρόλα αυτά, εκτός από την αδυναμία εξαγωγής που θα προέκυπτε από τέτοια διαρύθμιση, υπάρχει και η κατασκευαστική δυσκολία μέχρι πλήρη αδυναμία να κατεργαστεί κάτι τέτοιο με συμβατικές μεθόδους, ειδικά στην περίπτωση που επιλεγεί η τοποθέτηση στο ένθετο του πυρήνα. Για να καταστεί εφικτός ο σχεδιασμός, η κατεργασία και η εναρμόνιση του σχεδίου με το αρχικό καλούπι πρέπει οι οπές να καλυφθούν ούτως ώστε να μην ληφθούν υπόψη από το λογισμικό κατά την διαδικασία της παραγωγής της κοιλότητας και του πυρήνα. Αυτό γίνεται με

την εντολή Edge Patch . Από το παράθυρο διαλόγου, στον τύπο επιλογής των βρόχων επιλέγεται η μέθοδος με τις επιφάνειες (faces) και επιλέγεται η καμπύλη επιφάνεια από την οποία προκύπτει ένας βρόχος (loop) και από την επίπεδη προκύπτουν πέντε βρόχοι από τους οποίους επιλέγεται μόνο εκείνο που καλύπτει την οπή και οι υπόλοιποι διαγράφονται. Οι αλλαγές ισχύουν με το πατημα του κουμπιού Apply.

Αφού καλυφθούν οι οπές, μπορούν να οριστούν οι περιοχές μέσω της εντολής Define Region




όπως φαίνεται στο σχήμα 5.2.9.

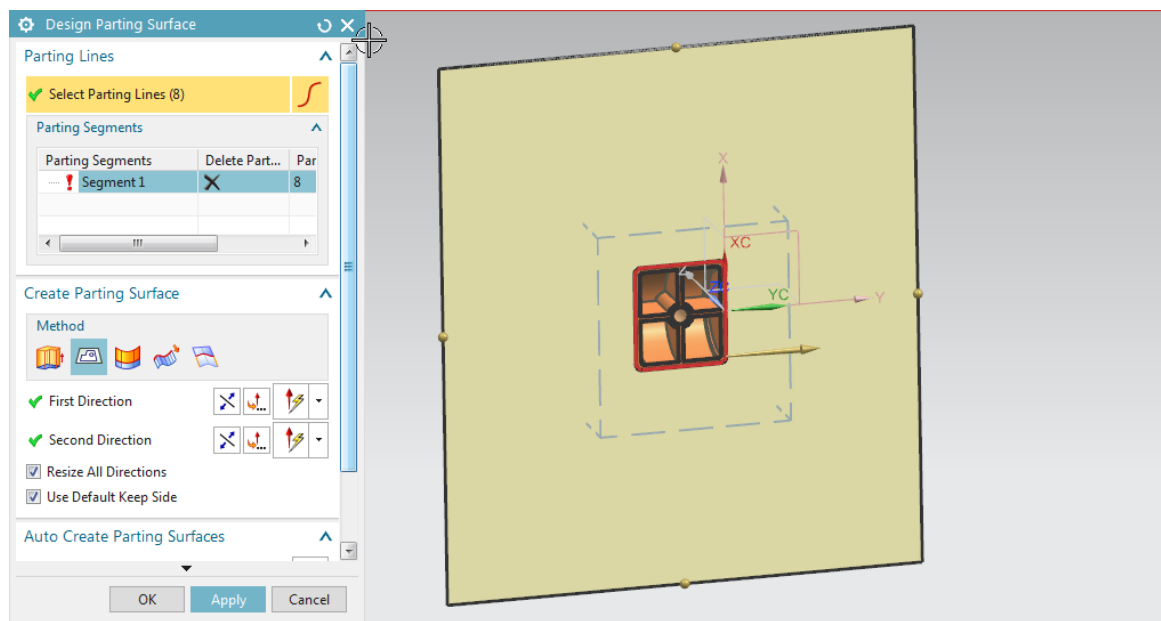


Σχήμα 5.2.9 Παράθυρο διαλόγου Define Regions κατόπιν επιτυχούς ορισμού περιοχών


Πρέπει να δωθεί ιδιαίτερη προσοχή το σημείο Undefined Faces (μη ορισμένες επιφάνειες) να είναι μηδέν, ειδάλλως δεν μπορεί να προχωρήσει η διαδικασία ορισμού πυρήνα και κοιλότητας. Στην περίπτωση που εξετάζεται ήταν απαραίτητο να δημιουργηθεί μία καινούργια περιοχή με την ονομασία hole για να συμπεριληφθεί η επιφάνεια της οπής. Στην καρτέλα Settings επιλέγονται τα κουτιά Create Regions για να δημιουργηθούν οι περιοχές και Create Parting Lines για να δημιουργηθούν γραμμές διαχωρισμού. Οι περιοχές δημιουργούνται με πάτημα του κουμπιού Apply. Με τον ορισμό των περιοχών μπορεί πλέον να δημιουργηθεί η επιφάνεια

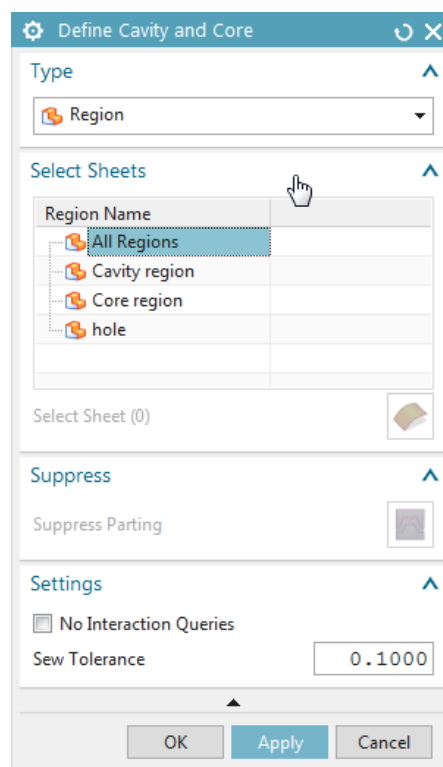
διαχωρισμού από το εικονίδιο Design Parting Surface  από τις γραμμές διαχωρισμού που δημιουργήθηκαν στο προηγούμενο βήμα. Οι μέθοδοι που παρέχονται για τον σχεδιασμό της επιφάνειας διαχωρισμού είναι πολλές, για να παρέχονται εναλλακτικές στον σχεδιαστή για όσο το δυνατόν περισσότερες περιπτώσεις σχεδίασης αντικειμένων με την πολυπλοκότητα που απαιτούν. Για τις ανάγκες του τεμαχίου που σχεδιάστηκε επιλέχθηκε η μέθοδος Bounded Plane

για δημιουργία επιφάνειας διαχωρισμού. Στο σχήμα 5.2.10 φαίνεται το παράθυρο διαλόγου με την αυτόματα ορισμένη επιφάνεια διαχωρισμού.



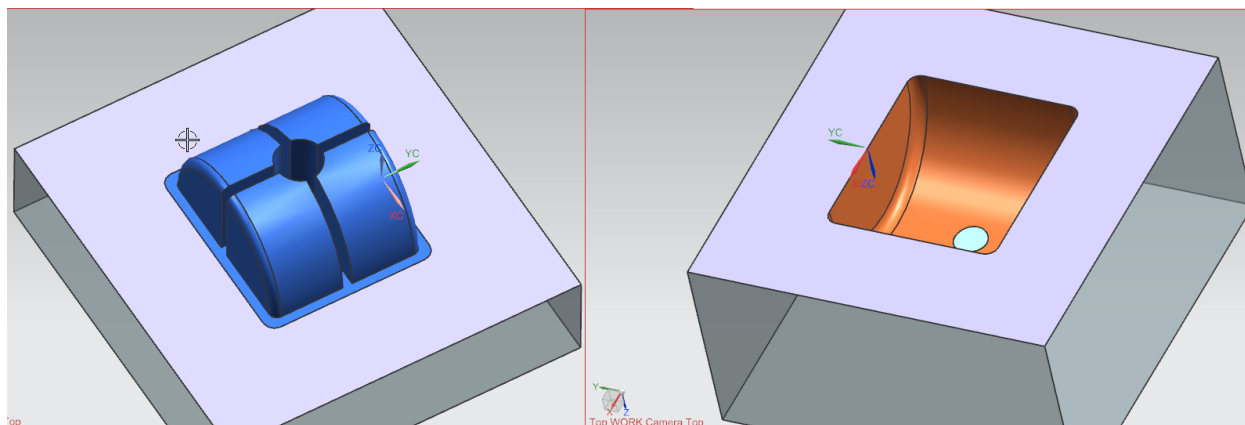
Σχήμα 5.2.10 Παράθυρο διαλόγου Design Parting Surface με την αντίστοιχη επιφάνεια διαχωρισμού

Εφόσον έχει δημιουργηθεί και η επιφάνεια διαχωρισμού μπορούν πλέον να δημιουργηθούν οι γεωμετρίες του ένθετου πυρήνα και του ένθετου της κοιλότητας από την εντολή Define Cavity and Core . Το παράθυρο διαλόγου φαίνεται στο σχήμα 5.2.11 και η δημιουργία συντελείται με την επιλογή Region από το πτυσσόμενο μενού.




Σχήμα 5.2.11 Παράθυρο διαλόγου Define Cavity and Core

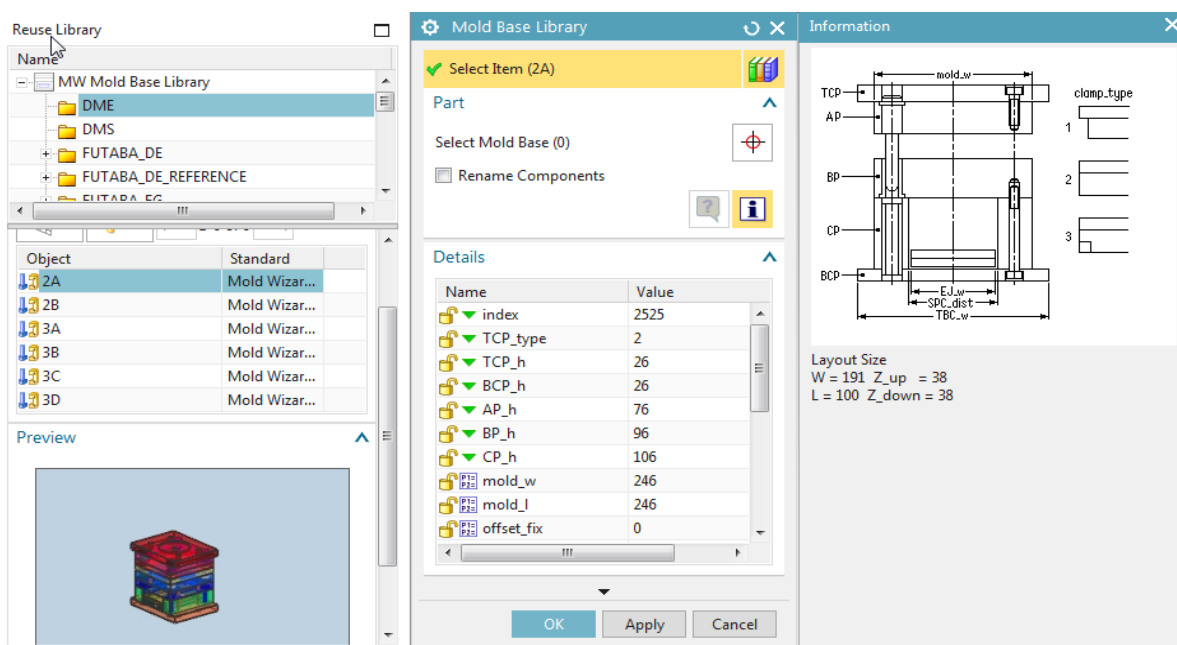
Η επιλογή Region εμφανίζει στο παράθυρο στην καρτέλα Select Sheets, τις περιοχές με τις επιφάνειες της κοιλότητας, του πυρήνα και όσων έχουν δημιουργηθεί από τον χρήστη. Με την επιλογή μίας περιοχής και πάτημα του κουμπιού Apply δημιουργείται το ένθετο βασισμένο στις επιφάνειες και στο μέγεθος του αρχικού τεμαχίου (workpiece) που είχε οριστεί σε προηγούμενα βήματα της σχεδίασης. Δίνεται επίσης η δυνατότητα παραγωγής όλων των περιοχών με την επιλογή All Regions. Σε κάθε δημιουργία όμως το Mold Wizard εμφανίζει τη γεωμετρία που παρήχθη και εμφανίζει μήνυμα αν είναι το επιθυμητό αποτέλεσμα ή όχι.



Σχήμα 5.2.12 Τα ένθετα πυρήνα και κοιλότητας μετά από την ολοκλήρωση της εντολής Define Cavity and Core


Με την δημιουργία των ένθετων τελειώνει η φάση σχεδίασης που απαιτεί εμπειρία από τον χρήστη ως προς την διαδικασία της έγχυσης και των ιδιοτεροτήτων κάθε γεωμετρίας. Μπορεί πλέον να εισαχθούν έτοιμες συναρμολογήσεις από κομμάτια που συνθέτουν το καλούπι ή εν συντομία καλουπιέρα (mold base). Αυτά τα κομμάτια αποτελούν έτοιμες πλάκες που πωλούνται στο εμπόριο από διάφορες εταιρείες. Ενδεικτικά αναφέρονται η DME, από όπου χρησιμοποιήθηκαν τα δεδομένα της για τον σχεδιασμό του καλουπιού που μελετάται, Meusburger, Fibro, Hasco και άλλες. Η βιβλιοθήκη με τις καλουπιέρες ανοίγει με την εντολή

Mold Base Library . Το παράθυρο διαλόγου φαίνεται στο [σχήμα 5.2.13](#).



Σχήμα 5.2.13 Παράθυρο διαλόγου Mold Base Library

Ο χρήστης μπορεί να επιλέξει διαφορετική εταιρεία αφού ανοίξει από την αριστερή κατακόρυφη

μπάρα το εικονίδιο Reuse Library  και αναπτύξει στα δεξιά τα παράθυρα Member Select για επιλογή του επιθυμητού στοιχείου και Preview για να εμφανίζεται η προεπισκόπηση του στοιχείου. Στο παράθυρο του Mold Base Library εκτός από την επιλογή της εταιρείας και την κατηγορία του καλουπιού, ένα μεγάλο μέρος πιάνει η καρτέλα Details που αναφέρεται στα χαρακτηριστικά του καλουπιού και τις βασικές διαστάσεις για τον ορισμό του και τον ορισμό των συσχετίσεων μέσω περιορισμών συναρμογής. Στο δεξί παράθυρο εμφανίζονται πληροφορίες για κάποια από τα ορίσματα που βρίσκονται στην καρτέλα Details. Στον πίνακα 5.2.1 παρουσιάζονται τα ορίσματα και τι περιγράφουν οι διαστάσεις για όσες ήταν δυνατό να προσδιοριστούν κατά την διάρκεια της μελέτης και του σχεδιασμού του καλουπιού.

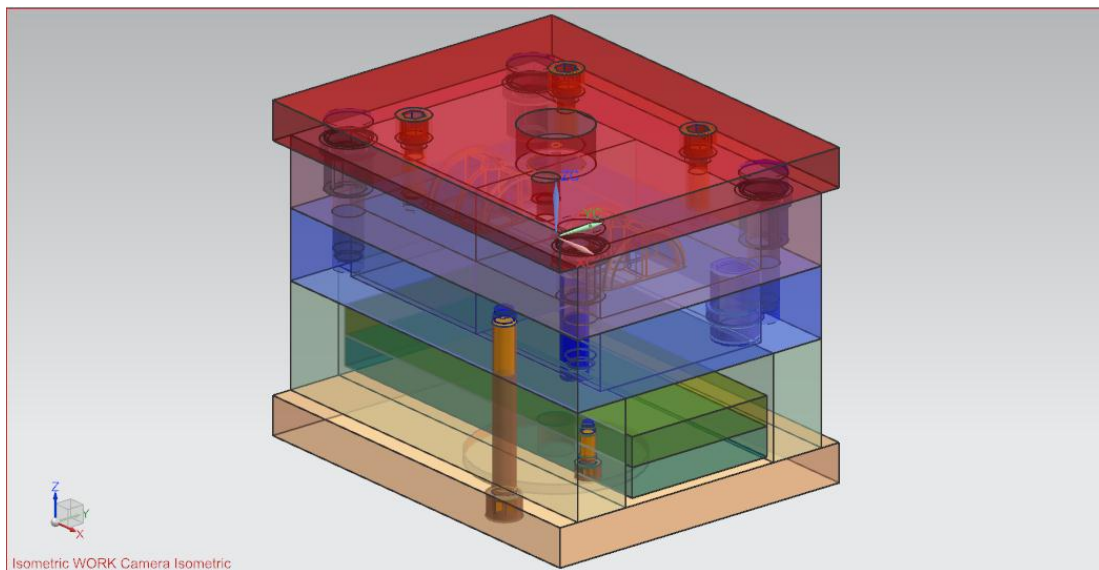
Όνομα	Τιμή	Επεξήγηση
index	2530	Κωδικός της εταιρείας για προτυποποιημένες καλουπιέρες
TCP_type	1	Τύπος συγκράτησης
TCP_h	21	Ύψος άνω πλάκας συγκράτησης
BCP_h	21	Ύψος κάτω πλάκας συγκράτησης
AP_h	38	Ύψος σταθερής πλάκας
BP_h	38	Ύψος κινούμενης πλάκας
CP_h	57	Ύψος πλακών υποστήριξης
mold_w	152	Πλάτος καλουπιού μετρούμενο στο κυρίως σώμα
mold_l	220	Μήκος καλουπιού
offset_fix	0	-
offset_move	0	-
TCP_w	174	Πλάτος άνω πλάκας συγκράτησης
CP_w	30	Πλάτος πλάκας υποστήριξης
EJA_h	16	Ύψος πλάκας εξολκέων Α
EJB_h	16	Ύψος πλάκας εξολκέων Β
EJ_w	84	Πλάτος πλακών εξολκέων
stp_D	16	-
gp_d	16	Διάμετρος οδηγών πείρων
scr_d	8	Διάμετρος κοχλιών
D1	8	-
DB	7	-

Πίνακας 5.2.1 Παράμετροι ορισμού στοιχείων καλουπιέρας

Επειδή το αρχικό καλούπι δεν ήταν κατασκευασμένο από προτυποποιημένα στοιχεία κάποιας εταιρείας, επιλέχθηκε η εταιρεία DME και από την βάση δεδομένων επιλέχθηκε ο κωδικός της καλουπιέρας που προσέγγιζε καλύτερα το αρχικό καλούπι. Έπειτα με οδηγό το αρχικό καλούπι εισήχθησαν όσες παράμετροι από τον παραπάνω πίνακα μπόρεσαν να προσδιοριστούν. Το αποτέλεσμα των τροποποιήσεων ήταν η δημιουργία του κάτωθι μοντέλου CAD ενός ολοκληρωμένου πλην όμως όχι σωστού καλουπιού (σχήμα 5.2.14). Ο λόγος που δεν είναι σωστό είναι η τροποποίηση των διαστάσεων σε τιμές εκτός των προκαθορισμένων. Απαιτείται λοιπόν περαιτέρω επεξεργασία των μερών του καλουπιού ώστε να αντικατοπτρίζουν τα αρχικά μέρη. Οπότε κάθε πλάκα του καλουπιού επεξεργάστηκε ξεχωριστά, «ανοίγοντας» κάθε αρχείο από την συναρμολόγηση με δεξί κλικ και επιλογή του Make Displayed Part. Για λόγους οικονομίας δεν θα δειχθούν οι τροποποιήσεις κάθε πλάκας ξεχωριστά παρά μόνο η διαδικασία συνοπτικά. Η τροποποίηση κάθε πλάκας συνιστούσε την διαγραφή στοιχείων τα οποία δεν χρειάζονταν στην περίπτωση που μελετάται, όπως επιπλέον δακτύλιοι οδήγησης των πείρων, και τροποποίηση των χαρακτηριστικών (features). Τα σχεδιαστικά χαρακτηριστικά αποτελούνται από οπές (holes), σπειροτμημένες οπές (threaded holes), εσοχές τετραγωνικής ή κυκλικής

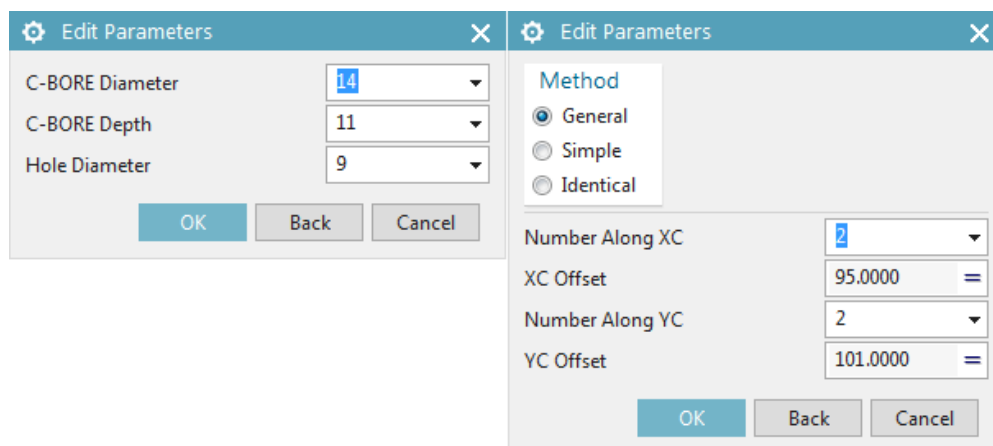


διαμόρφωσης (pockets), αυλάκια (grooves), και φραιζαριστές οπές (countersink ή counterbore holes).




Σχήμα 5.2.14 Το καλούπι μετά την εισαγωγή των τροποποιημένων παραμέτρων

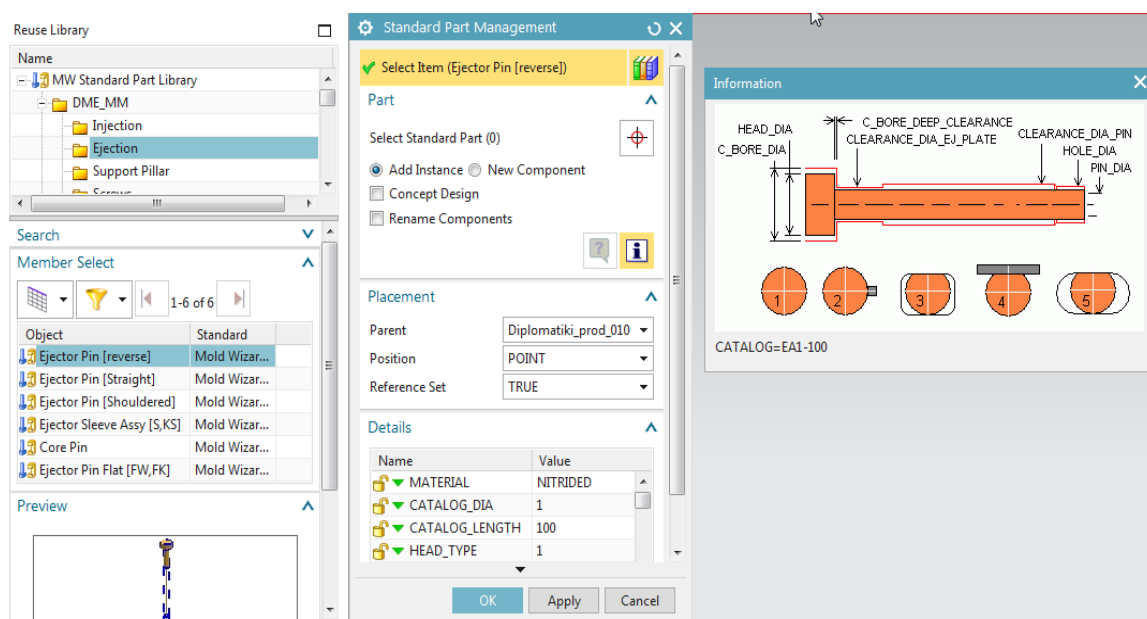
Ένα δείγμα της τροποποίησης των σχεδιαστικών χαρακτηριστικών φαίνεται στο σχήμα 5.2.15 στα αριστερά, συγκεκριμένα πρόκειται για τροποποίηση διαστάσεων φραιζαριστής οπής ενώ στα δεξιά φαίνεται η διαδικασία διόρθωσης της τοποθέτησης σχεδιαστικού χαρακτηριστικού πάνω στο τεμάχιο εισάγοντας τις σωστές διαστάσεις.



Σχήμα 5.2.14 Αριστερά: Τροποποίηση διαστάσεων φραιζαριστής οπής. Δεξιά: Διόρθωση τοποθέτησης σχεδιαστικού χαρακτηριστικού.


Σειρά έχει να προστεθούν οι εξολκείς. Από την καρτέλα Main, επιλέγεται το εικονίδιο Standard Part Library  και στο παράθυρο στα αριστερά επιλέγεται ο φάκελος Ejection. Για διευκόλυνση προτείνεται η απόκρυψη των πλακών του καλούπιού, επιλέγοντας τις πλάκες στο παράθυρο Assembly Navigator και με δεξί κλικ πάνω στο όνομα του αρχείου, να επιλέγεται Hide. Το παράθυρο διάλογου και οι πληροφορίες που παρέχονται για το κάθε εξάρτημα φαίνονται στο σχήμα 5.2.15. Οι επιλογές που παρέχονται είναι ευθείς εξολκείς, διαβαθμισμένοι, σωληνωτοί, μαχαιρωτοί ενώ υπάρχουν και πείροι πυρήνα για δημιουργία οπών. Επίσης στο παράθυρο επιλέγεται η εξάρτηση που θα έχουν από τα στοιχεία της συναρμολόγησης και η τοποθέτησή τους στην συναρμολόγηση από την καρτέλα Placement. Το αρχικό καλούπι έχει πέντε ευθείς πείρους και δύο σωληνωτούς. Αρχικά τοποθετούνται οι ευθείς στις θέσεις που


ορίζονται από το αρχικό καλούπι. Οπότε από το παράθυρο Member Select επιλέγεται ο φάκελος Ejector Pin [Straight]. Στο παράθυρο διαλόγου, στην καρτέλα Details, ορίζονται οι παράμετροι που αφορούν τον εξολκέα, όπως διάμετρος και μήκος. Η τοποθέτηση του εξολκέα γίνεται είτε με κλικ του ποντικού είτε από το παράθυρο Point Dialog στο οποίο ορίζονται οι συντεταγμένες του σημείου που θα τοποθετηθεί, είτε με την λειτουργία snap.



Σχήμα 5.2.15 Παράθυρο διαλόγου Standard Part Library για επιλογή εξολκεων

Η ίδια διαδικασία ακολουθείται για τους σωληνωτούς εξολκείς οι οποίοι τοποθετούνται με snap στα κέντρα των οπών. Αφού έχουν τοποθετηθεί οι πείροι είναι απαραίτητο να διαμορφωθούν στο σωστό μήκος και στην σωστή διαμόρφωση αν πρόκειται για καμπύλες επιφάνειες. Αυτό

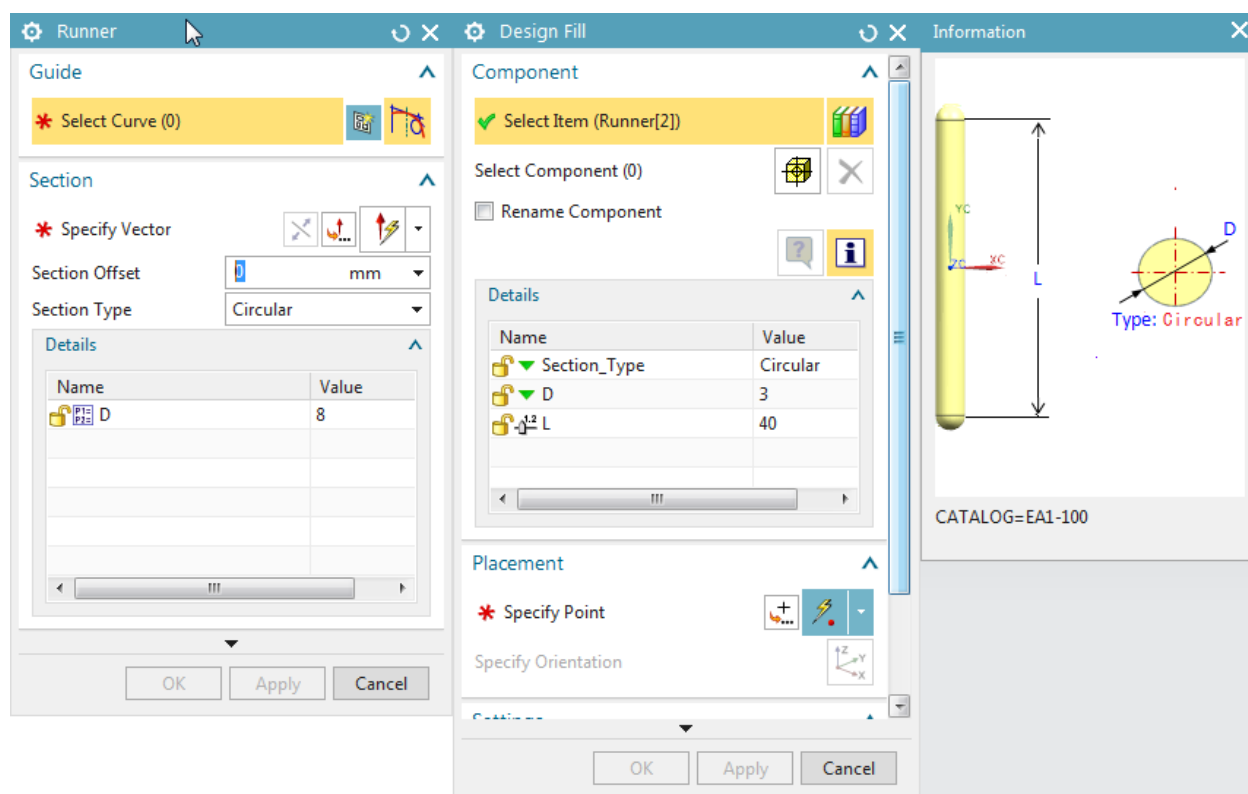
γίνεται με την εντολή Ejector Pin Post Processing . Στο παράθυρο διαλόγου εμφανίζεται ο επιθυμητός τύπος της επεξεργασίας ο οποίος περιλαμβάνει την περικοπή (Trim), την προσαρμογή μήκους (Adjust Length) και την αναίρεση περικοπής (Untrim). Τα εξαρτήματα που έχουν προστεθεί μέχρι στιγμής αποτελούν όγκους οι οποίοι διασταυρώνονται με τις πλάκες του

καλουπιού στο περιβάλλον του CAD. Με την εντολή Pocket  δημιουργούνται εσοχές από γεωμετρίες, έτσι στην περίπτωση των εξολκείων, δημιουργούνται οι εσοχές στήριξης και οι απαραίτητες οπές στις πλάκες.

Το επόμενο βήμα είναι η δημιουργία του δίαυλου, των καναλιών και των πυλών. Ο δίαυλος λόγω αδυναμίας προσδιορισμού αν πρόκειται για ένθετο θεωρήθηκε ότι είναι κατεργασμένος στην πλάκα της κοιλότητας. Οπότε για τον δίαυλο έγινε ένα σχέδιο ενός κύκλου το οποίο εξωθήθηκε στην προέκταση της πλάκας της κοιλότητας. Για την δημιουργία των καναλιών



υπάρχουν δύο εναλλακτικές, η εντολή Design Fill  ή η εντολή Runner . Και οι δύο εντολές χρησιμοποιούν γεωμετρίες που υπάρχουν στη βιβλιοθήκη του Mold Wizard. Στο σχήμα 5.2.16 φαίνεται το παράθυρο διαλόγου για την εντολή Design Fill και για την Runner. Όπως φαίνεται και από το σχήμα η εντολή Runner χρειάζεται έναν οδηγό (Guide) για να προσαρμόσει πάνω του την επιθυμητή διατομή (κυκλική, ημικυκλική, τραπεζοειδή, και τετραγωνική) και τις διαστάσεις ενώ η Design Fill το σημείο που θα τοποθετηθεί το κανάλι, την διατομή και τις διαστάσεις του. Στην περίπτωση που μελετάται, χρησιμοποιήθηκε η εντολή Design Fill με κανάλι ημικυκλικής διατομής διαμέτρου 5 mm. Οι πύλες από την οπτική εξέταση δεν εμφανίζουν κάποιο ιδιαίτερο χαρακτηριστικό πέραν ότι πρόκειται για διαμορφώσεις ημικυκλικής διατομής. Άρα η αποτύπωσή τους στο μοντέλο CAD θα γίνει με την προσθήκη δύο κυλίνδρων εκατέρωθεν


του καναλιού, με διαστάσεις όπως προέκυψαν από μέτρησή τους, δηλαδή 6 mm διάμετρος και 10 mm μήκος, οι οποίοι με την εντολή Trim Body τέμνονται στη μέση.

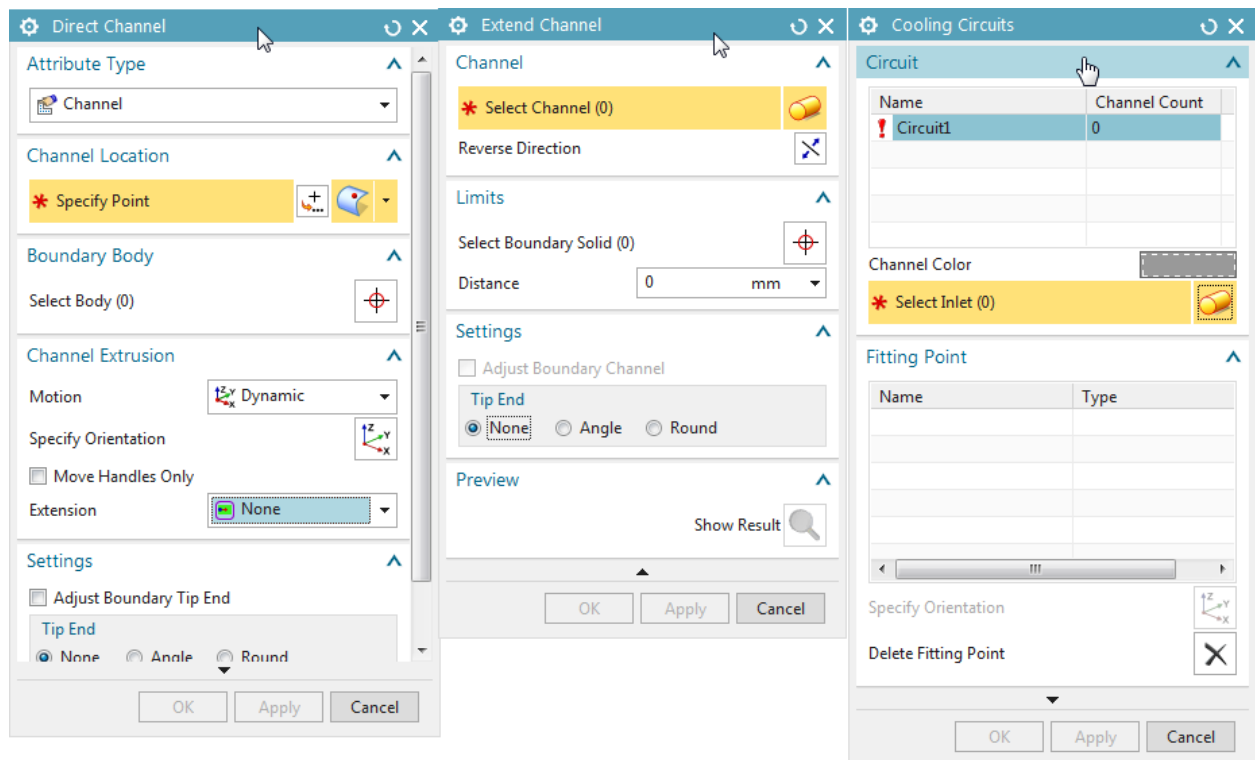


Σχήμα 5.2.16 Παράθυρα διαλόγου Runner και Design Fill

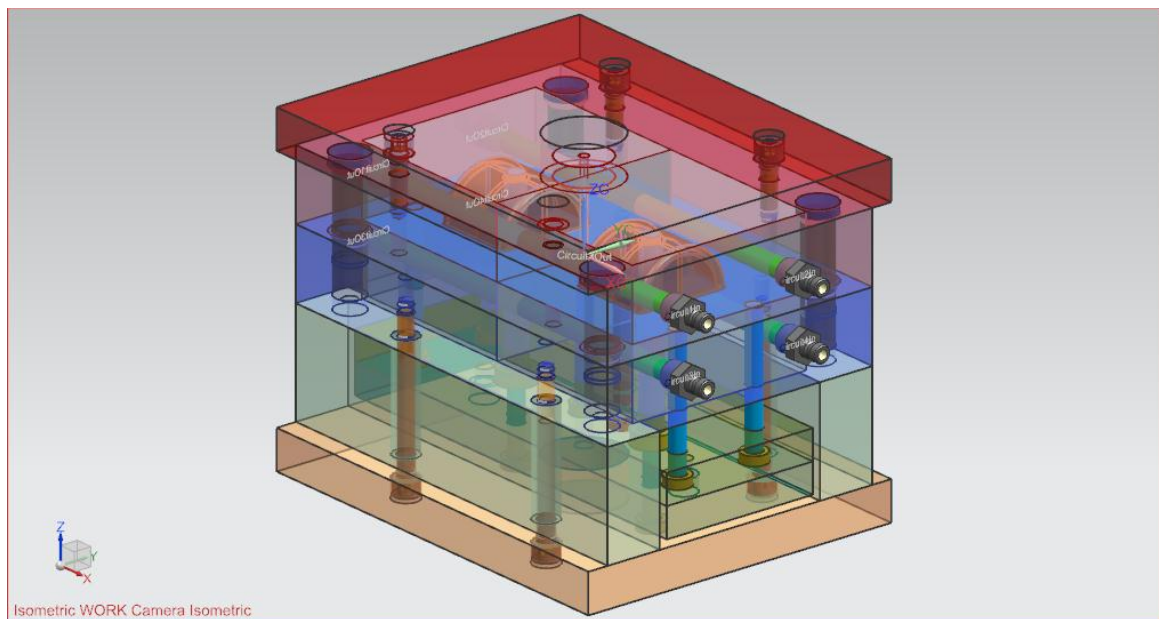
Τέλος θα προστεθούν οι αγωγοί ψύξης. Τα κανάλια στην συγκεκριμένη περίπτωση αποτελούν τα πιο απλά, δύο ευθύγραμμοι αγωγοί που συνδέονται εξωτερικά με λάστιχο για να δημιουργούν κύκλωμα. Τα κανάλια σχεδιάζονται από την καρτέλα Cooling Tools και για αυτό το

καλούπτι μπορούν να γίνουν από την εντολή Direct Channel . Η εντολή χρειάζεται μόνο τον προσδιορισμό ενός σημείου στο χώρο για την δημιουργία ευθύγραμμων καναλιών. Για την δημιουργία περισσότερων του ενός καναλιού, ο χρήστης πρέπει να πατήσει το κουμπί Apply και να συνεχίσει δημιουργώντας ευθύγραμμους αγωγούς μέχρι να επιτευχθεί η επιθυμητή διάταξη. Τις περισσότερες φορές οι αγωγοί προκύπτουν από ειδική διάτρηση (gun drilling) λόγω συχνά μεγάλων μηκών διάτρησης. Έχει νόημα τότε τα ευθύγραμμα κανάλια να έχουν μία είσοδο στις εξωτερικές επιφάνειες της πλάκας (να ξετρυπάνε). Αυτό επιτυγχάνεται με την εντολή Extend Channel  η οποία χρειάζεται την επιλογή ενός καναλιού και την επιφάνεια στην οποία

καταλήγει. Αφού ολοκληρωθεί η τροποποίηση των καναλιών με την εντολή Cooling Circuits  δημιουργείται και δηλώνεται το δίκτυο. Η εντολή χρειάζεται την δήλωση των καναλιών καθώς και τον ορισμό της εισόδου και εξόδου από το δίκτυο ενώ για κάθε κανάλι που επιλέγεται δίνεται η επιλογή για χρήση εξαρτημάτων όπως συνδέσμων, ταπών, θυσιαζόμενων ηλεκτροδίων για καθοδική προστασία και αποφυγή διάβρωσης και ανακλαστήρων (baffle). Στο [σχήμα 5.2.17](#) φαίνονται τα παράθυρα διαλόγου για τις εντολές Direct Channel, Extend Channel και Cooling Circuits. Με την προσθήκη των αγωγών ψύξης και των συνδέσμων στα άκρα τους, έχει ολοκληρωθεί η σχεδίαση του καλουπιού στο NX Mold Wizard και το αποτέλεσμα φαίνεται στο [σχήμα 5.2.18](#).




Σχήμα 5.2.17 Παράθυρα διαλόγου Direct Channel, Extend Channel, και Cooling Circuits



Σχήμα 5.2.18 Ολοκληρωμένο καλούπι

## 6. ΚΑΤΕΡΓΑΣΙΑ ΚΑΛΟΥΠΙΟΥ ΕΓΧΥΣΗΣ

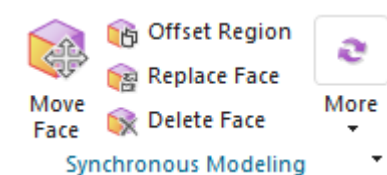
Το καλούπι που δημιουργήθηκε στην προηγούμενη ενότητα αποτελεί μία πιστή αναπαράσταση ,σε ηλεκτρονική μορφή, του αρχικού καλουπιού. Σε αυτή την ενότητα θα παρουσιαστεί η διαδικασία η μεταφορά δεδομένων από το περιβάλλον CAD στο περιβάλλον CAM (Computer Aided Manufacturing) με σκοπό την υλοποίηση του καλουπιού με κατεργασίες αφαίρεσης υλικού των επιμέρους τμημάτων από τα οποία απαρτίζεται. Το καλούπι θα κατασκευαστεί σε κλίμακα 1:2, οπότε απαιτείται μία λειτουργία ακόμα από το σύστημα CAD, αυτή της κλίμακας ενός στερεού σώματος, η οποία ονομάζεται Scale Body  . Η εντολή Scale Body έχει ένα

μειονέκτημα, αφορά μεμονωμένα στερεά σώματα και όχι συναρμολογήσεις. Οπότε με σμίκρυνση στο μισό των διαστάσεων χάθηκε η συνάφεια των περιορισμών. Κατά τη διάρκεια της μελέτης δεν βρέθηκε άλλος τρόπος σμίκρυνσης εκτός από τον προαναφερθέν. Επίσης έγιναν τροποποιήσεις σε κάθε τεμάχιο ως προς το μέγεθός του για να συμπίπτει με τα τεμάχια από το απόθεμα πλακών του εργαστηρίου και να είναι καλαίσθητο οπτικά.

Η τελική γεωμετρία, το αρχικό τεμάχιο και οι διαδρομές των κοπτικών και μετρητικών εργαλείων (toolpaths) που παράγονται στο περιβάλλον του CAM χρησιμοποιούν έναν εσωτερικό κώδικα επικοινωνίας, διαφορετικό για κάθε λογισμικό. Αυτός ο κώδικας είναι τελείως διαφορετικός από αυτόν που θα χρησιμοποιηθεί για την καθοδήγηση των εργαλείων και τελικά την κατεργασία του τεμαχίου. Οι τελικοί κώδικες διαφέρουν από εταιρεία σε εταιρεία αλλά και από έκδοση λογισμικού καθοδήγησης της ίδιας εταιρείας σε νεότερες εκδόσεις λογισμικού καθοδήγησης. Είναι απαραίτητη λοιπόν η χρήση του μετα-επεξεργαστή (post-processor) ο οποίος μεταφράζει τις κινήσεις των κοπτικών εργαλείων από τον εσωτερικό κώδικα του λογισμικού CAM σε πρόγραμμα ψηφιακά καθοδηγούμενης μηχανής (CNC). Ο κώδικας του προγράμματος CNC περιέχει όλες τις απαραίτητες κύριες και βοηθητικές εντολές καθώς και τα ορίσματα μορφοποιημένα κατάλληλα για την εκάστοτε CNC εργαλειομηχανή. Το NX έχει μία βιβλιοθήκη από μετα-επεξεργαστές αλλά λόγω των πολλών εργαλειομηχανών και των ελεγκτών που κυκλοφορούν στην αγορά δεν είναι δυνατό να υπάρχουν όλοι μέσα στη βιβλιοθήκη. Έτσι δίνεται η δυνατότητα στον χρήστη να δημιουργήσει καινούργιο μετα-επεξεργαστή ή τροποποιήσει έναν ήδη υπάρχον μέσα από το υποσύστημα Post Builder. Η εργαλειομηχανή DMU 50 eco του εργαστηρίου χρησιμοποιεί τον ελεγκτή Siemens Sinumerik 810D ο οποίος δεν υπάρχει στην βιβλιοθήκη του NX. Ακολουθώντας την διαδικασία που παρουσιάζεται σε προηγούμενη διπλωματική εργασία δημιουργήθηκε ένα πανομοιότυπος μετα-επεξεργαστής για τις ανάγκες αυτής της διπλωματικής. Ο λόγος που δημιουργήθηκε εκ νέου ήταν επειδή δεν υπήρχε ο μετα-επεξεργαστής στα αρχεία του εργαστηρίου και σε κάποια φάση των θα χρειαζόταν περιστροφή του τραπεζιού για την επίτευξη των κατεργασιών, οπότε έπρεπε να επιβεβαιωθεί ότι δεν θα προκληθεί κάποια σύγκρουση από λανθασμένη μετάφραση.


## 6.1 Προγραμματισμός κατεργασιών άνω πλάκας συγκράτησης

Αρχικά έχει εκτελεστεί η εντολή Scale Body, μειώνοντας τις διαστάσεις του τεμαχίου στο μισό. Πριν τον προγραμματισμό στο περιβάλλον CAM, θα γίνει τροποποίηση της γεωμετρίας από την καρτέλα Synchronous Modeling (σχήμα 6.1.1).



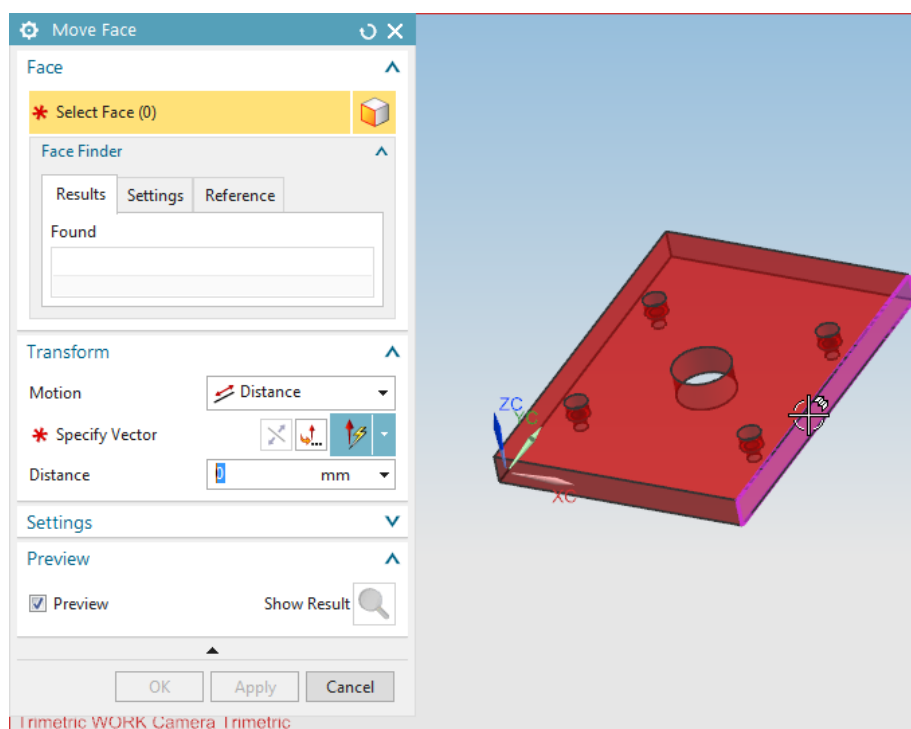
Σχήμα 6.1.1 Καρτέλα εντολών Synchronous Modeling

Συγκεκριμένα αφού μετρηθούν οι αποστάσεις από την καρτέλα Analysis→Measure Distance, γίνεται χρήση της εντολής Move Face από την καρτέλα Synchronous Modeling, επιλέγονται οι επιφάνειες προς επεξεργασία και εισάγεται η επιθυμητή μετατόπιση της επιφάνειας προς συγκεκριμένη κατεύθυνση για να προκύψει ένα τεμάχιο με διαστάσεις 120 x 120 mm. Στο σχήμα 6.1.2 φαίνεται το παράθυρο διαλόγου της εντολής Move Face. Επίσης ελέγχονται οι διαστάσεις των οπών και εξεργάζονται από την εντολή Resize Face. Έπειτα δημιουργείται από την εντολή


Bounding Body  ένα σώμα που ορίζεται από τις επιφάνειες του τελικού τεμαχίου, περικλείει το τελικό τεμάχιο και πρακτικά αποτελεί το αρχικό τεμάχιο από το οποίο θα αφαιρεθεί υλικό για να προκύψουν οι διαμορφώσεις. Αφού ολοκληρωθούν οι τροποποιήσεις των διαστάσεων του



τεμαχίου, από την καρτέλα Application→Manufacturing εισέρχεται ο χρήστης στο περιβάλλον CAM του NX.



Σχήμα 6.1.2 Παράθυρο διαλόγου Move Face

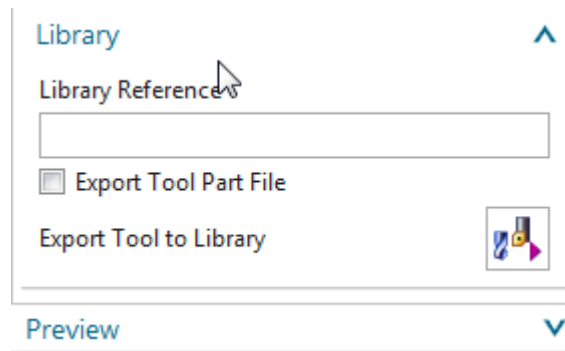
Από την καρτέλα Geometry View , με διπλό κλικ στο εικονίδιο MCS\_MILL ανοίγει το παράθυρο διαλόγου για ορισμό του σημείου μηδέν του τεμαχίου. Έπειτα με διπλό πάλι κλικ στο WORKPIECE ορίζονται οι γεωμετρίες του τελικού τεμαχίου από το Specify Part και του αρχικού τεμαχίου από το Specify Blank και επιλέγεται το σώμα που δημιουργήθηκε από την εντολή Bounding Body. Σειρά έχει ο ορισμός των εργαλείων και η αποθήκευσή τους για μεταγενέστερη χρήση στις κατεργασίες των υπόλοιπων τεμαχίων του καλουπιού. Οπότε από το εικονίδιο Create Tool θα δημιουργούνται τα κάτωθι εργαλεία του πίνακα 6.1.1

Όνομα εργαλείου	Τύπος Εργαλείου	Διάμετρος (mm)
DRILL45	Τρυπάνι	4.5
DRILL65	Τρυπάνι	6.5
MILL4	Κονδύλι	4
MILL6	Κονδύλι	6

Πίνακας 6.1.1 Κοπτικά εργαλεία για την κατεργασία της άνω πλάκας συγκράτησης

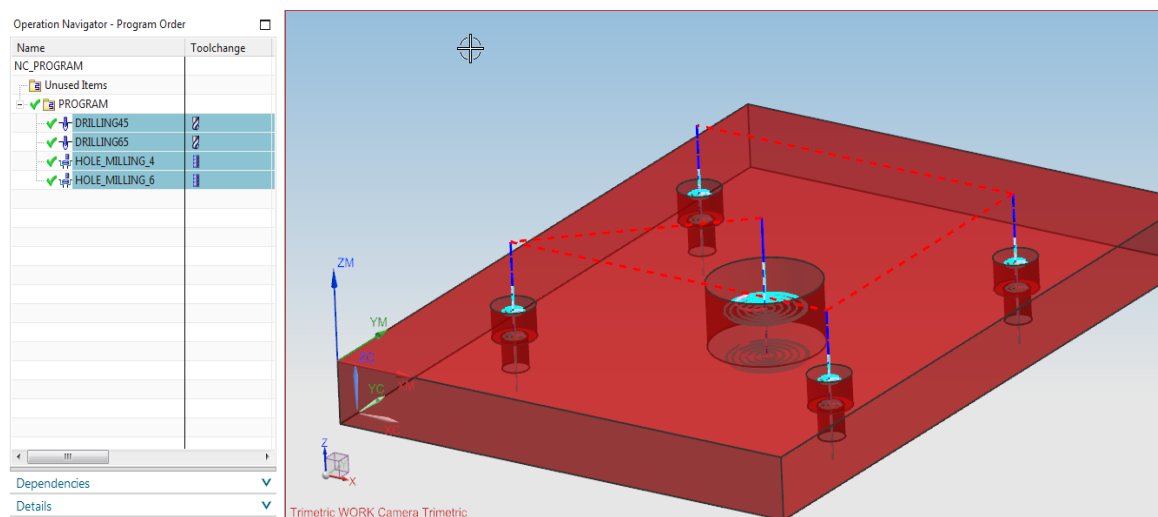
Όταν έχουν καταχωρηθεί οι επιθυμητές πληροφορίες για το εργαλείο, για να αποθηκευτεί στην βιβλιοθήκη, ο χρήστης επιλέγει την καρτέλα Library και από το εικονίδιο Export Tool to Library αποθηκεύεται στην βιβλιοθήκη (σχήμα 6.1.3).





Σχήμα 6.1.3 Καρτέλα δημιουργίας εργαλείου Milling Tool 5-Parameters, εξαγωγή εργαλείου στην βιβλιοθήκη

Αφού έχουν οριστεί τα εργαλεία, ορίζονται οι κατεργασίες από το εικονίδιο Create Operation. Για αυτό το τεμάχιο απαιτούνται δύο κατεργασίες διάτρησης, μία με το τρυπάνι 4.5 mm και μία με το τρυπάνι των 6.5 mm, και δύο φραιζαρίσματα, μία με το κονδύλι 4 mm και μία με το κονδύλι των 6 mm. Οι συνθήκες κοπής, ταχύτητα περιστροφής ατράκτου και πρόωση υπολογίζονται από τους τύπους που παρατίθενται στο παράρτημα Γ και από τα δεδομένα που παρέχονται από τους κατασκευαστές των εργαλείων. Στο σχήμα 6.1.4 φαίνονται οι κατεργασίες επάνω στο τεμάχιο.

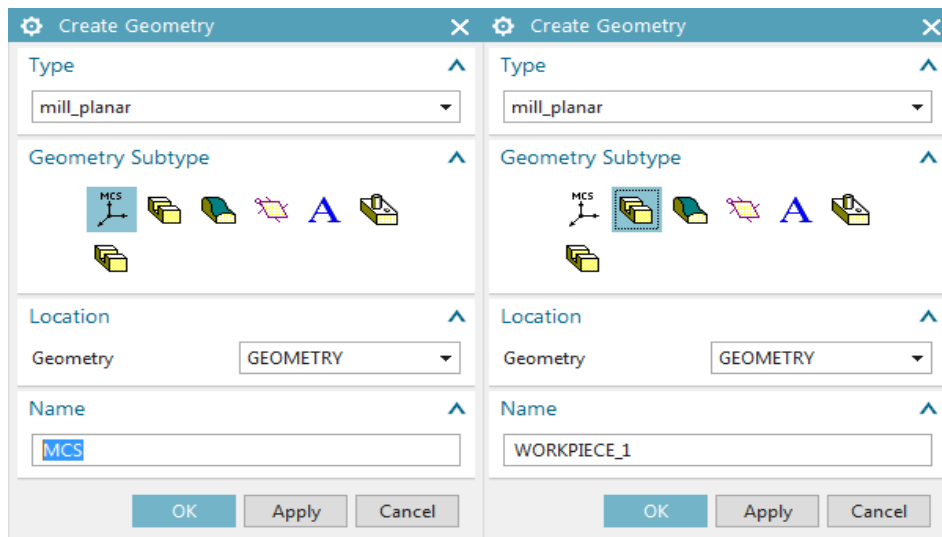


Σχήμα 6.1.4 Κατεργασίες και διαδρομές εργαλείων άνω πλάκας συγκράτησης

## 6.2 Προγραμματισμός κατεργασιών πλάκας κοιλοτήτων

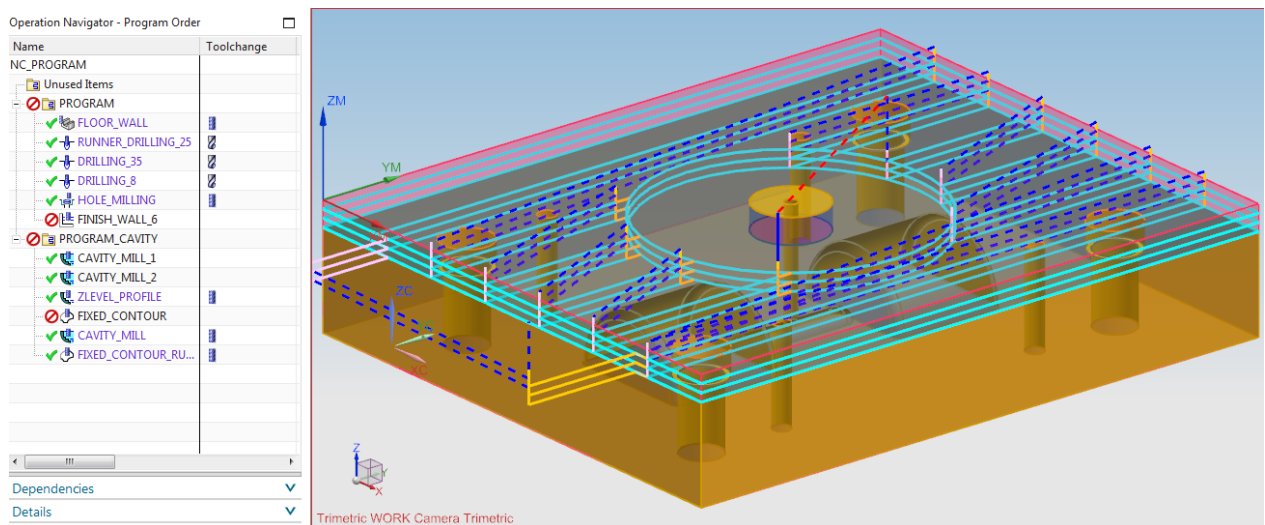
Η προεργασία για τον προγραμματισμό της πλάκας κοιλοτήτων είναι παρόμοια με αυτήν που περιγράφηκε παραπάνω με την διαφορά να έγκειται στις διαστάσεις και στην ενσωμάτωση των κοιλοτήτων στην πλάκα, αφού το αρχικό καλούπι δεν είχε ένθετες κοιλότητες. Η επεξεργασία έγινε από την καρτέλα Modeling, αφού αντιγράφηκε η διαμόρφωση της κοιλότητας από το ένθετο, επικολλήθηκε στο μοντέλο της πλάκας κοιλότητας και με την εντολή Mirror προέκυψε η δεύτερη διαμόρφωση.

Ως προς τον προγραμματισμό των κατεργασιών, το συγκεκριμένο κομμάτι έχει την ιδιαιτερότητα ότι χρειάζεται κατεργασία από δύο πλευρές, άρα και δύο συστήματα συντεταγμένων. Οπότε από το εικονίδιο Create Geometry, επιλέγεται η δημιουργία καινούργιου συστήματος συντεταγμένων. Επίσης είναι απαραίτητη η δημιουργία και ενός εικονικού εργοτεμαχίου, πάλι από την εντολή Create Geometry→Geometry Subtype→Workpiece. Τα παράθυρα διαλόγου φαίνονται στο σχήμα 6.2.1



Σχήμα 6.2.1 Παράθυρα διαλόγου δημιουργίας συστήματος συντεταγμένων και εργοτεμαχίου.

Προσοχή πρέπει να δοθεί στην τοποθέτηση των χαρακτηριστικών γεωμετρίας στο δέντρο του Geometry View ώστε τα δύο συστήματα συντεταγμένων που θα προκύψουν να είναι ανεξάρτητα το ένα από το άλλο. Στο σχήμα 6.2.2 φαίνεται η διάρθρωση των κατεργασιών για τις δύο πλευρές και η διαδρομή του εργαλείου για την δημιουργία της προεξοχής στο κέντρο της πλάκας.



Σχήμα 6.2.2 Δέντρο κατεργασιών και διαδρομή πρώτης κατεργασίας πλάκας κοιλότητας

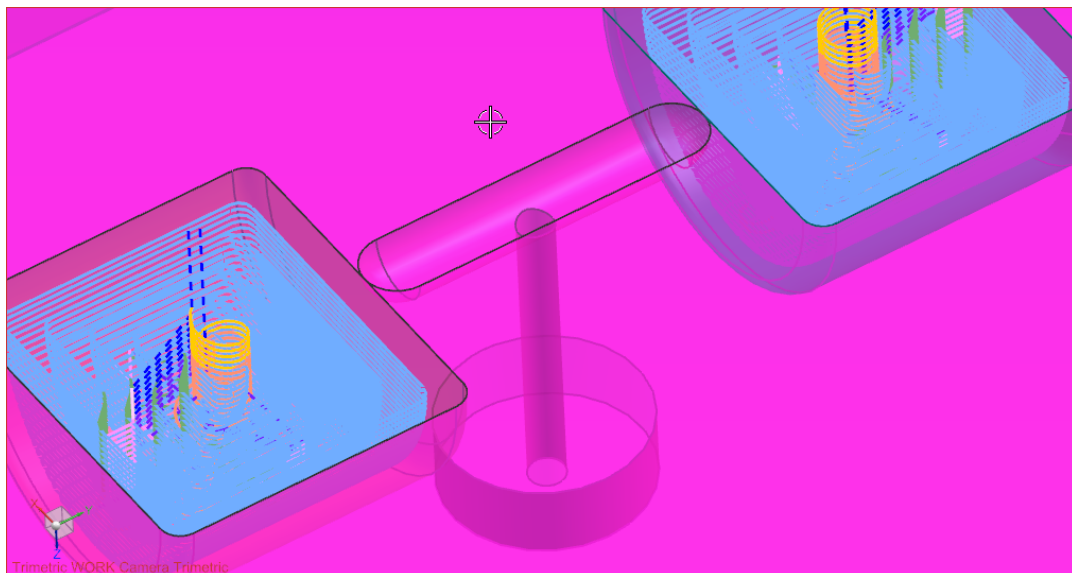
Τα εργαλεία που δημιουργήθηκαν για την κατεργασία της πλάκα των κοιλοτήτων φαίνονται στον πίνακα 6.2.1

Όνομα εργαλείου	Τύπος εργαλείου	Διάμετρος (mm)
MILL40	Φραιζοκεφαλή ένθετων πλακιδίων	40
DRILL25	Τρυπάνι	2.5
DRILL35	Τρυπάνι	3.5
DRILL8	Τρυπάνι	8
MILL4	Κονδύλι	4
MILL2	Κονδύλι	2
BALL2	Κονδύλι σφαιρικής απόληξης	2

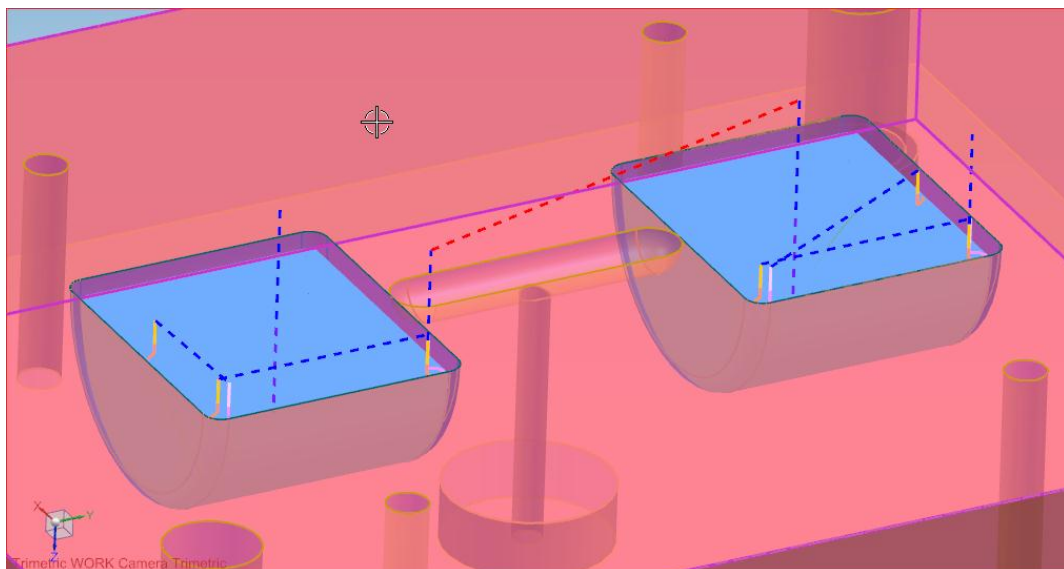
Πίνακας 6.2.1 Κοπτικά εργαλεία για την κατεργασία της πλάκας κοιλότητας

Η πλευρά με την προεξοχή αποφασίστηκε να κατεργαστεί με φραιζοκεφαλή διαμέτρου 40 mm για την συντόμευση της κατεργασίας λόγω της ποσότητας υλικού που απαιτούνταν να αφαιρεθεί. Οι υπόλοιπες κατεργασίες ήταν τρεις διατρήσεις και ένα φραιζάρισμα για την δημιουργία των εσοχών.

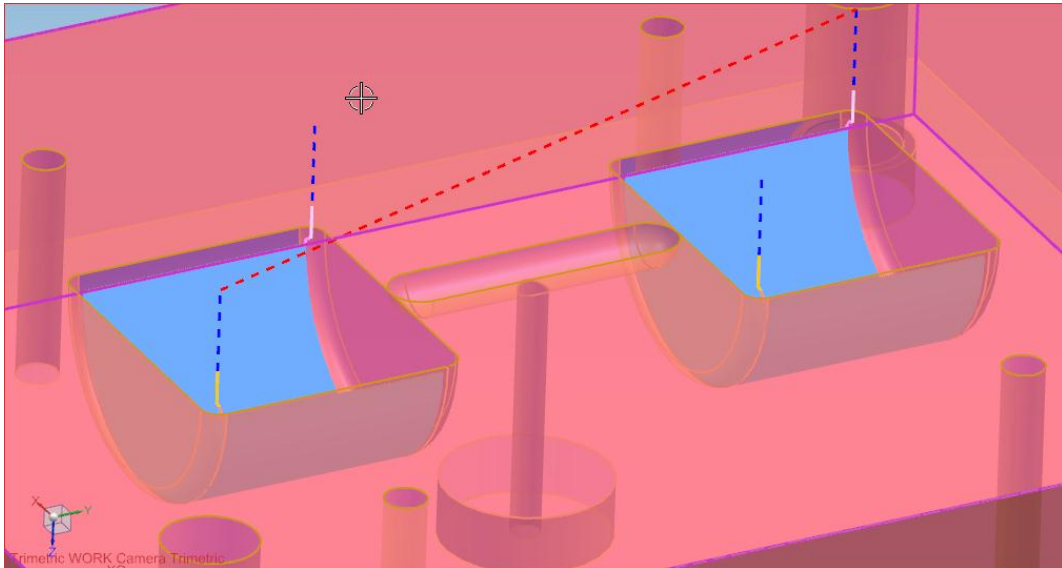
Για την κατεργασία των κοιλοτήτων χρησιμοποιούνται μία κατεργασία εκχόνδρισης και δύο κατεργασίες αποπεράτωσης. Οι δύο κατεργασίες αποπεράτωσης προέκυψαν από πειράματα που έγιναν με κονδύλι σφαιρικής απόληξης 4 mm και 2 mm με μακρύ στέλεχος με κύκλους κατεργασίας Z-Level και Fixed Contour. Η επιλογή για κονδύλι 2 mm με μακρύ στέλεχος προέκυψε από το βάθος της κοιλότητας και την μορφολογία των υπόλοιπων κονδυλίων που δεν επέτρεπαν την προσέγγιση των τοιχωμάτων. Το κριτήριο επιλογής ήταν η ποιότητα επιφάνειας που επιτυγχάνεται οπτικά. Το μέγιστο αξονικό βάθος κοπής για τον κύκλο Z-Level ήταν 0.04 mm και για τον κύκλο Fixed Contour το ακτινικό βάθος κοπής ορίστηκε στα 0.01 mm. Στο σχήμα 6.2.3 φαίνονται οι κατεργασίες εκχόνδρισης των κοιλοτήτων, στο σχήμα 6.2.4 φαίνονται οι κατεργασίες από τον κύκλο Z-Level και στο σχήμα 6.2.5 φαίνονται οι κατεργασίες από τον κύκλο Fixed Contour.



Σχήμα 6.2.3 Κατεργασίες εκχόνδρισης για την πλάκα κοιλοτήτων

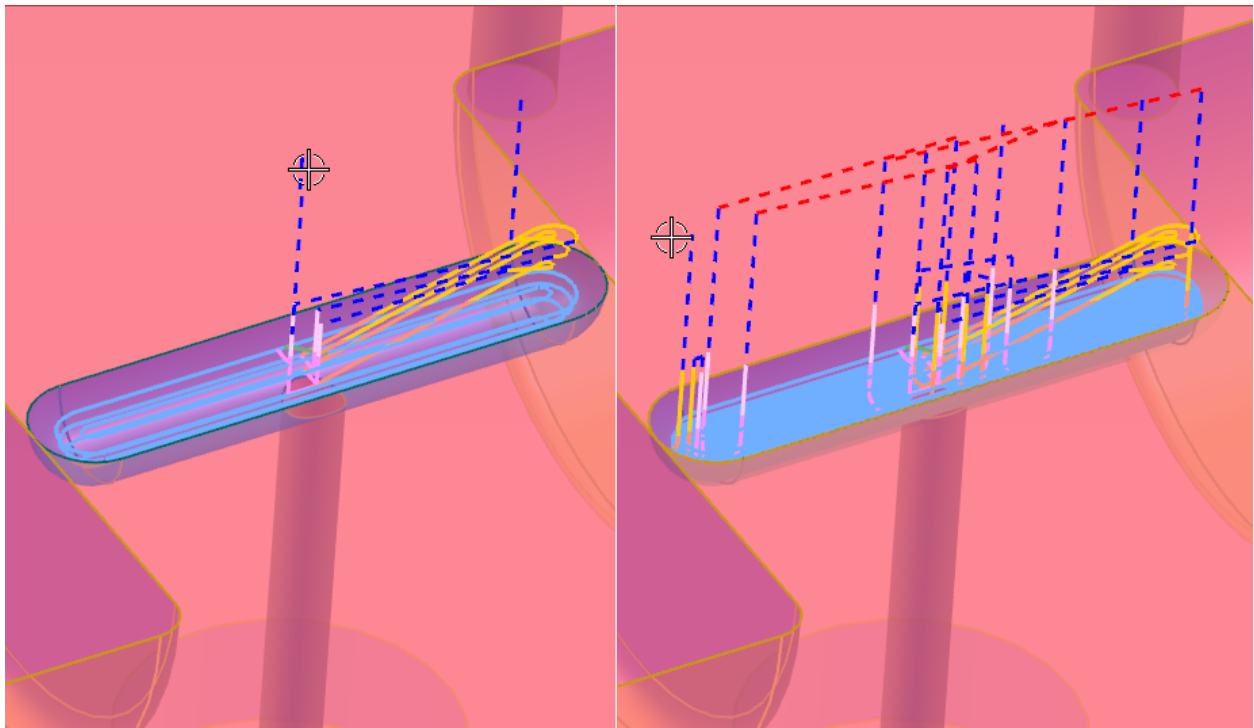


Σχήμα 6.2.4 Κατεργασίες αποπεράτωσης Z-Level για πλάκα κοιλοτήτων



Σχήμα 6.2.5 Κατεργασίες αποπεράτωσης Fixed Contour για πλάκα κοιλοτήτων

Το κανάλι κατεργάστηκε με μία κατεργασία εκχόνδρισης με κονδύλι 2 mm και κύκλο Cavity Mill (σχήμα 6.2.6 αριστερά) και αποπερατώθηκε με κονδύλι σφαιρικής απόληξης 2 mm με κύκλο Fixed Contour (σχήμα 6.2.6 δεξιά). Να σημειωθεί ότι οι πύλες δεν έχουν σχεδιασθεί και η κατεργασία τους θα πραγματοποιηθεί χειροκίνητα με την χρήση του κονδυλίου σφαιρικής απόληξης 2 mm.

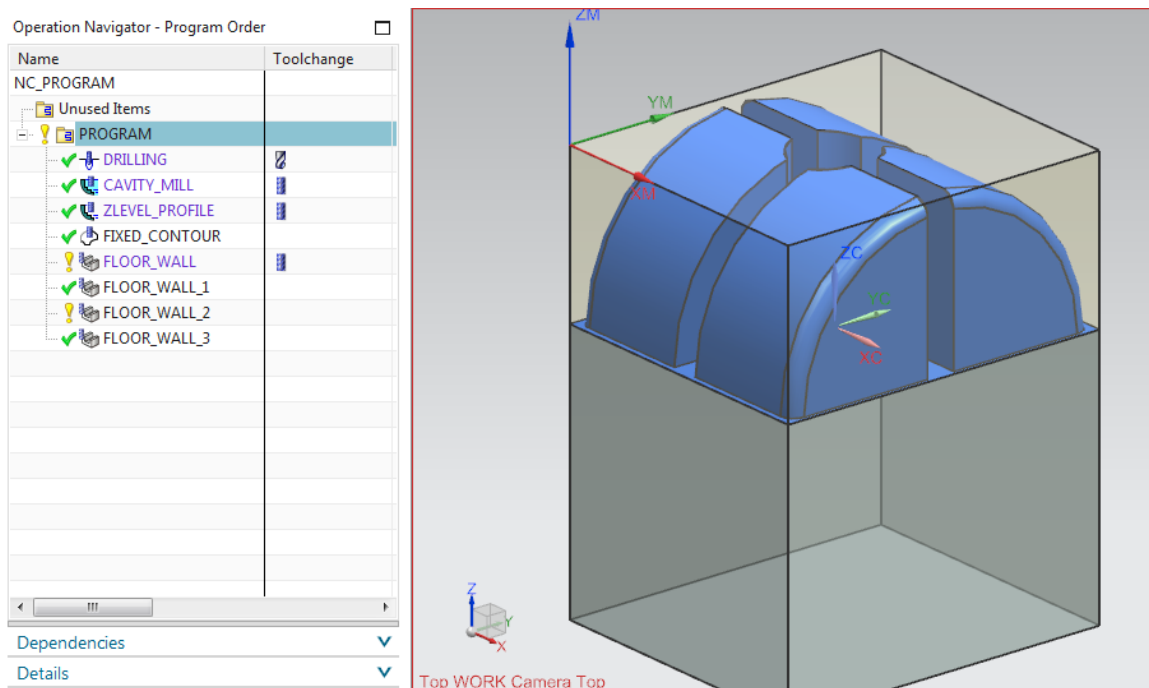


Σχήμα 6.2.6 Αριστερά: Κατεργασία εκχόνδρισης Cavity Mill καναλιού. Δεξιά: Κατεργασία αποπεράτωσης Fixed Contour καναλιού

### 6.3 Προγραμματισμός κατεργασιών ένθετου πυρήνα

Ο προγραμματισμός των κατεργασιών για τους ένθετους πυρήνες αποτέλεσε μία συνεχή εξέλιξη, με τροποποιήσεις στη γεωμετρία για να καταστούν εφικτές οι κατεργασίες με τα μέσα

που διέθετε το εργαστήριο, με διαφορετικούς τρόπους πρόσδεσης και προσέγγισης του αρχικού τεμαχίου και με κατεργασίες να αφαιρούνται και να προστίθενται καθώς καινούργιες πληροφορίες σχετικά με τις κατεργασίες και τις παραμέτρους τους αποκτούνταν μαζί με εμπειρία. Αρχικά, κατά την φάση του σχεδιασμού στο Mold Wizard δεν είχε γίνει αντιληπτός ο ρόλος της εντολής Workpiece και έτσι χρησιμοποιήθηκε η προτεινόμενη από το σύστημα λύση. Η λύση αυτή όμως δεν συμβάδιζε με το αρχικό καλούπι. Οπότε για να αποφευχθεί η επανάληψη όλου του σχεδιασμού, με αντίκτυπο μεγαλύτερη απαίτηση σε χρόνο, χρησιμοποιήθηκαν τα εργαλεία του Synchronous Modeling για να τροποποιηθεί η γεωμετρία καταλλήλως. Έτσι με την εντολή Move Face οι κάθετες πλευρές του ένθετου μειώθηκαν στο επιθυμητό μέγεθος. Η διαδικασία για την προετοιμασία της γεωμετρίας στο σύστημα CAM είναι η ίδια με τις προηγούμενες πλάκες, δηλαδή ορισμός του συστήματος συντεταγμένων, ορισμός της τελικής γεωμετρίας και ορισμός του εργοτεμαχίου. Στο σχήμα 6.3.1 φαίνεται ο ένθετος πυρήνας και οι κατεργασίες από τις οποίες δεν πραγματοποιήθηκαν όλες.



Σχήμα 6.3.1 Δέντρο κατεργασιών και γεωμετρία ένθετου πυρήνα

Τα εργαλεία που χρησιμοποιήθηκαν για την κατεργασία του ένθετου πυρήνα φαίνονται στον πίνακα 6.3.1.

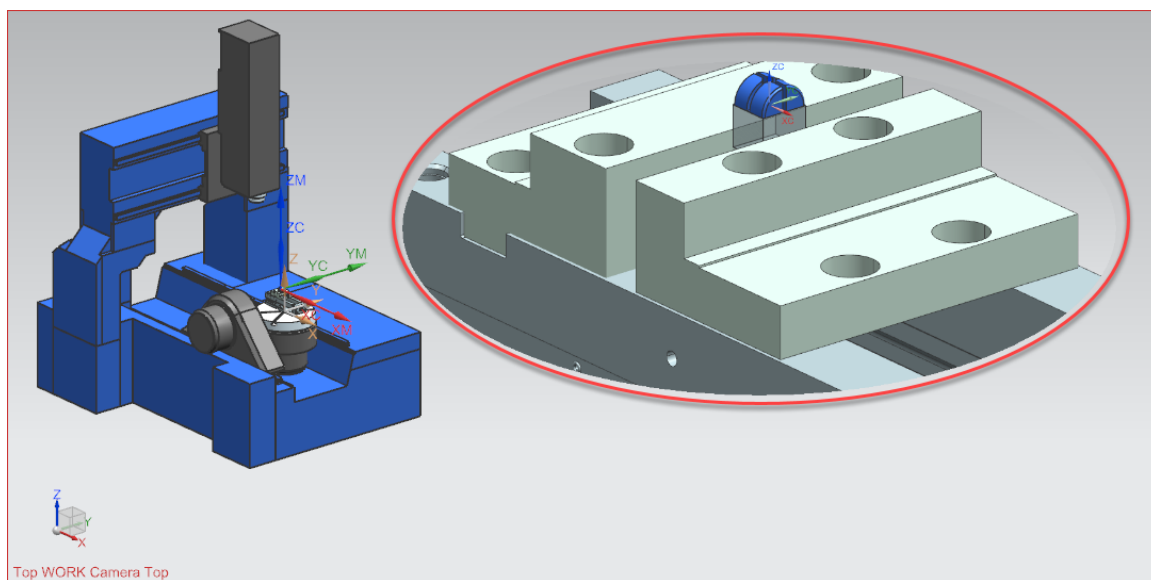
Όνομα εργαλείου	Τύπος εργαλείου	Διάμετρος (mm)
DRILL6	Τρυπάνι	6
MILL4	Κονδύλι	4
MILL2	Κονδύλι	2
BALL6	Κονδύλι σφαιρικής απόληξης	6

Πίνακας 6.3.1 Κοπτικά εργαλεία για την κατεργασία του ένθετου πυρήνα

Οι κατεργασίες για την δημιουργία του πυρήνα, πέραν από τον κύκλο διάτρησης (Drilling) για εκχόνδριση και αποπεράτωση ήταν προδιαγεγραμμένες ότι θα ήταν για εκχόνδριση ο κύκλος Cavity Mill και για αποπεράτωση ένας από τους δύο κύκλους Z-Level και Fixed Contour ή και οι δύο. Αυτό που δεν είχε προσδιοριστεί ήταν οι συνθήκες που θα απέδιδαν την καλύτερη ποιότητα επιφάνειας, το οποίο τελικά από την εμπειρία που αποκτήθηκε από άλλες κατεργασίες βρέθηκε. Η πρόκληση ήταν στην κατεργασία των χαραγών οι οποίες ήταν πολύ στενές και



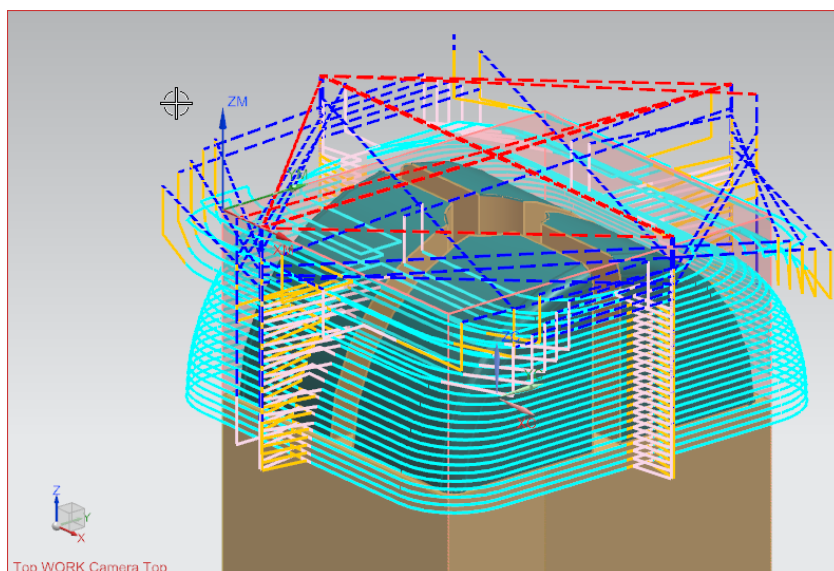
βαθιές. Μία αρχική προσέγγιση ήταν η χρήση δίσκου κοπής προσαρμοσμένου με ιδιοκατασκευές σε κώνο, τοποθέτηση στην άτρακτο του κέντρου κατεργασίας και εκμετάλλευση της περιστροφής του τραπεζιού. Δεν υλοποιήθηκε ποτέ όμως λόγω αμφιβολίας για την απαιτούμενη ροπή της ατράκτου σε χαμηλές στροφές που απαιτούν τα συγκεκριμένα εργαλεία. Η επόμενη επιλογή ήταν η χρήση κονδυλίου 2 mm με ευθύ στέλεχος με τον μέγιστο δυνατό πρόβολο στην πρόσδεσή του (overhang) και την περιστροφή των δύο αξόνων του τραπεζιού. Αυτή η λύση φαινόταν υποσχόμενη, με ελάχιστο ρίσκο, αν και επικίνδυνη δεδομένης της έλλειψης εμπειρίας σε τέτοιου είδους κατεργασίες. Για να περιοριστούν όλα όσα μπορούσαν να πάνε στραβά αφιερώθηκε μεγάλο χρονικό διάστημα στο περιβάλλον CAM, στις προσομοιώσεις του εργαλείου αλλά και στην απόπειρα προσομοίωσης της εργαλειομηχανής. Επίσης αφιερώθηκε σημαντικό μέρος χρόνου στον μετα-επεξεργαστή, ώστε να παράγει σωστό κώδικα για το κέντρο κατεργασίας και να αποφευχθούν τυχόν συγκρούσεις. Στο σχήμα 6.3.2 φαίνεται μία απόπειρα προσομοίωσης της εργαλειομηχανής από το περιβάλλον του CAM.



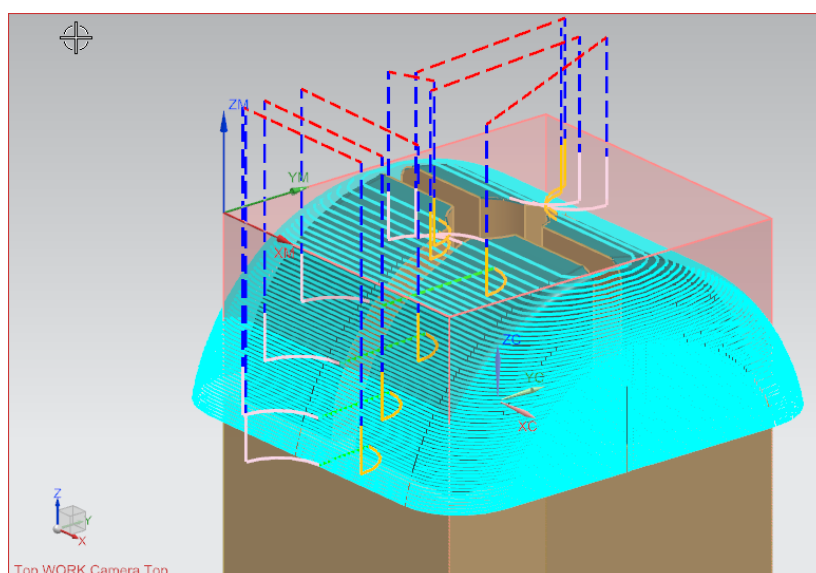
Σχήμα 6.3.2 Προσομοίωση κέντρου κατεργασίας από το περιβάλλον CAM

Για λόγους που δεν διερευνήθηκαν περισσότερο, η προσομοίωση του κέντρου κατεργασίας στο περιβάλλον CAM με χρήση του μετα-επεξεργαστή, ο οποίος είχε δοκιμαστεί με πείραμα ότι μεταφράζει σωστά τα δεδομένα, δεν παρήγαγε κάποιο ουσιαστικό αποτέλεσμα, δημιουργώντας λανθασμένους κώδικες που κατέληγαν σε σύγκρουση με το τραπέζι. Σε πολύ προσεκτικές δοκιμές που έγιναν με ένα ομοίωμα τεμαχίου στερεωμένο στη μέγγενη με περιστραμμένο το τραπέζι, βρέθηκε ότι η κατεργασία ήταν αδύνατο να πραγματοποιηθεί κατά αυτό τον τρόπο. Ο λόγος ήταν ότι για να γίνει η κατεργασία με ένα δέσιμο, το τεμάχιο θα έπρεπε να τοποθετηθεί κοντά στο μέσο της μέγγενης και με τις περιστροφές του τραπεζιού να είναι σχεδόν ίδιο το βύθισμα της ατράκτου. Το τεμάχιο όμως είναι αρκετά μικρό με αποτέλεσμα να ήταν πολύ κοντά στην μέγγενη ενώ για να προσεγγιστούν από την άτρακτο έπρεπε να φτάσει σχεδόν στα όρια μετατόπισής της. Εκτός των ορίων που διορθώνεται, το πρόβλημα παρουσιάστηκε στην απόσταση μεταξύ ατράκτου, μέγγενης και τραπεζιού, με κίνδυνο αν συνεχιζόταν η κατεργασία μέχρι τέλους να είχε προκληθεί σύγκρουση. Οπότε η κατεργασία των χαραγών αποφασίστηκε να απλουστευθεί και να γίνει χειροκίνητα με διαδοχικά περάσματα στον X και στον Y άξονα και σε βάθος το μέγιστο που μπορούσε να προσφέρει το κοπτικό εργαλείο. Στο σχήμα 6.3.3 φαίνεται ο κύκλος κατεργασίας Cavity Mill για εκχόνδριση του τεμαχίου, στο σχήμα 6.3.4 εμφανίζεται η κατεργασία αποπεράτωσης Z-Level και στο σχήμα 6.3.5 η κατεργασία αποπεράτωσης Fixed Contour η οποία δοκιμάστηκε στο πρώτο τεμάχιο και δεν απέδιδε τα επιθυμητά αποτελέσματα, οπότε δεν χρησιμοποιήθηκε στην κατεργασία του δεύτερου πυρήνα.

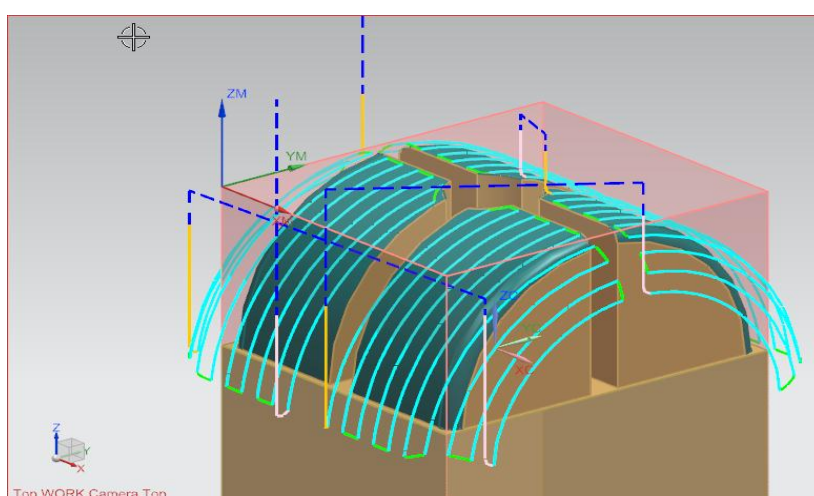




Σχήμα 6.3.3 Κατεργασία εκχόνδρισης Cavity Mill για τον πυρήνα



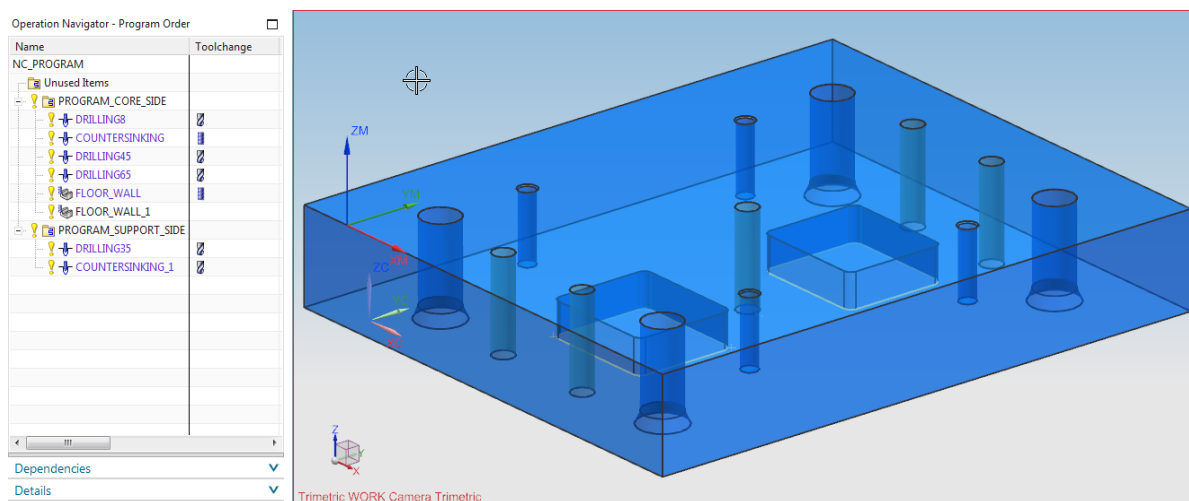
Σχήμα 6.3.4 Κατεργασία αποπεράτωσης Z-Level για τον πυρήνα



Σχήμα 6.3.5 Κατεργασία αποπεράτωσης Fixed Contour για τον πυρήνα

## 6.4 Προγραμματισμός κατεργασιών πλάκας πυρήνων

Η πλάκα που φέρει του ένθετους πυρήνες παρουσιάζει την ίδια απαίτηση για κατεργασία με δύο δεσίματα. Η διαδικασία είναι παρόμοια με παρόμοια αυτή της πλάκας των κοιλοτήτων τόσο για την τροποποίηση της γεωμετρίας όσο και για τον ορισμό του συστήματος συντεταγμένων και του αρχικού τεμαχίου για κάθε πλευρά. Στο περιβάλλον του CAD δημιουργείται ένα σχέδιο στο οποίο σχεδιάζονται δύο ορθογώνια 21 x 24 mm με στρογγύλευση ακμών ακτίνας R=1.5 mm τα οποία με εξώθηση και αφαίρεση υλικού θα δημιουργήσουν εσοχές, φωλιές, για τους ένθετους πυρήνες. Στο σχήμα 6.4.1 φαίνεται η γεωμετρία με το δέντρο των κατεργασιών για τις δύο πλευρές.



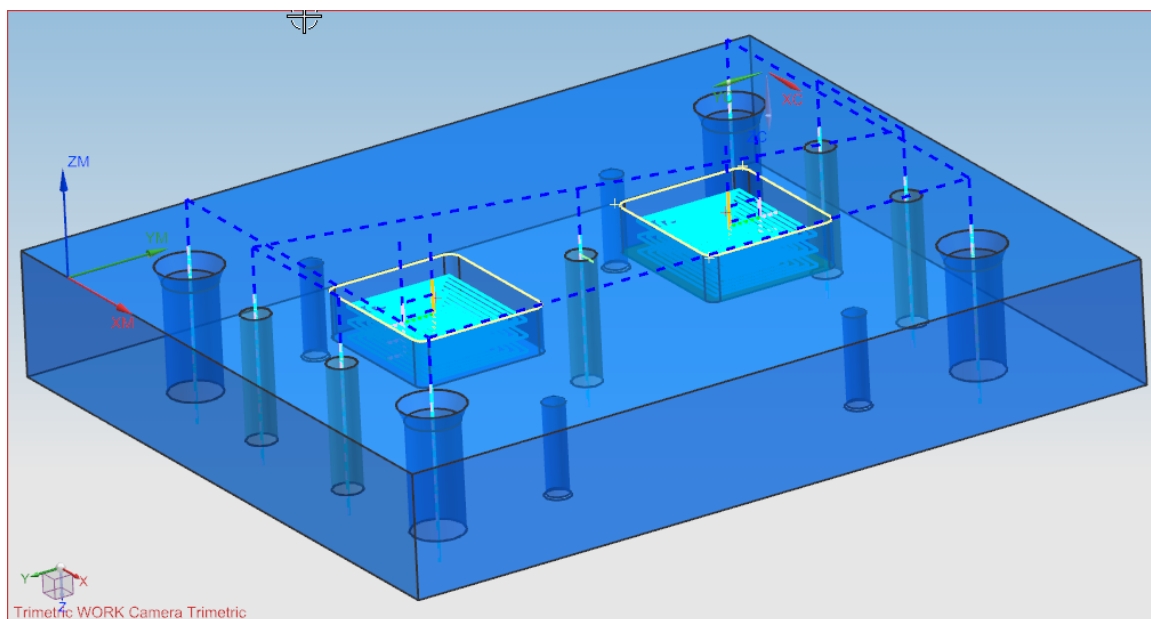
Σχήμα 6.4.1 Δέντρο κατεργασιών και γεωμετρία πλάκας πυρήνων

Για την κατεργασία της πλευράς που θα δεχθεί τους ένθετους πυρήνες απαιτείται μία κατεργασία διάτρησης με τρυπάνι διαμέτρου 8 mm, μία με τρυπάνι 4.5 mm και μία με τρυπάνι 6.5 mm, δύο πανομοιότυπες κατεργασίες φραιζαρίσματος με κονδύλι 4 mm και μία με κονδύλι μορφής 45° για τις λοξοτομημένες οπές. Για την αντίθετη πλευρά απαιτείται μία διάτρηση με διάμετρο τρυπανιού 3.5 mm και λοξοτομηση με τρυπάνι διαμέτρου 8 mm. Τα κοπτικά εργαλεία που χρησιμοποιήθηκαν φαίνονται στον πίνακα 6.4.1

Όνομα εργαλείου	Τύπος εργαλείου	Διάμετρος (mm)
DRILL8	Τρυπάνι	8
CHAMFER_MILL	Κονδύλι μορφής 45°	32 x 45°
DRILL35	Τρυπάνι	3.5
DRILL45	Τρυπάνι	4.5
DRILL65	Τρυπάνι	6.5
MILL4	Κονδύλι	4

Πίνακας 6.4.1 Κοπτικά εργαλεία για την κατεργασία της πλάκας πυρήνων

Στο σχήμα 6.4.2 φαίνονται οι διαδρομές των εργαλείων για τις κατεργασίες διάτρησης και φραιζαρίσματος στην πλάκα πυρήνων.



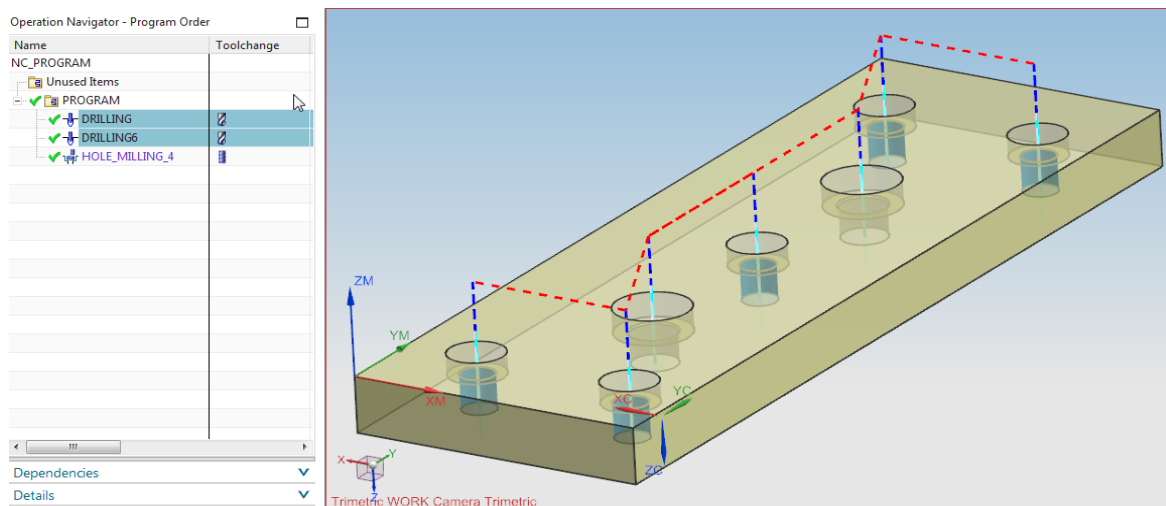
Σχήμα 6.4.2 Κατεργασίες διάτρησης και φραιζαρίσματος για την μία πλευρά της πλάκας πυρήνων

## 6.5 Προγραμματισμός κατεργασιών πλάκας εξολκένων Α

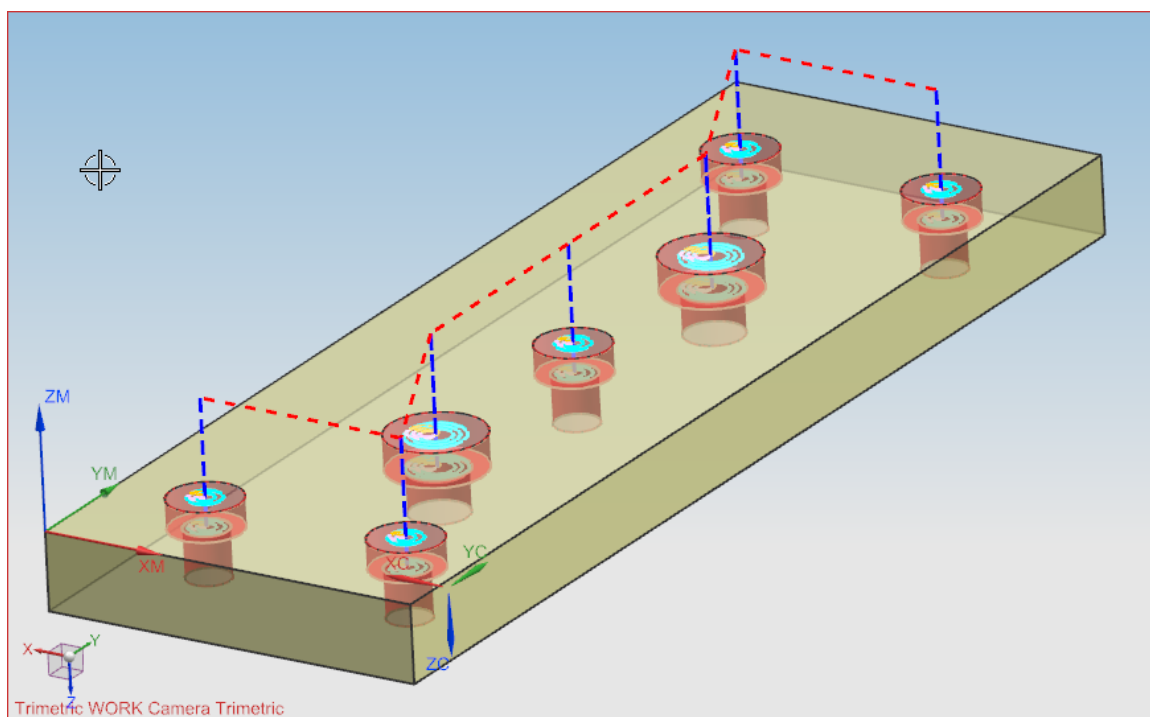
Η προετοιμασία για τον προγραμματισμό των κατεργασιών της πλάκας εξολκένων Α πριν την εισαγωγή στο περιβάλλον CAM συμπίπτει με την προετοιμασία των πλακών που έχουν αναφερθεί παραπάνω. Οι κατεργασίες περιλαμβάνουν δύο διατρήσεις, μία με τρυπάνι 4.5 mm και μία με τρυπάνι 6 mm και για την διάνοιξη των εσοχών για την στερέωση των πείρων απαιτείται μία κατεργασία φραιζαρίσματος οπής με κονδύλι 4 mm. Τα κοπτικά εργαλεία που απαιτούνται για τις κατεργασίες φαίνονται στον πίνακα 6.5.1, ενώ στο σχήμα 6.5.1 φαίνεται το δέντρο των κατεργασιών και η διαδρομή των τρυπανιών για τους κύκλους διάτρησης και στο σχήμα 6.5.2 φαίνεται η διαδρομή του κονδυλίου για το φραιζάρισμα των οπών.

Όνομα εργαλείου	Τύπος εργαλείου	Διάμετρος (mm)
DRILL45	Τρυπάνι	4.5
DRILL6	Τρυπάνι	6
MILL4	Κονδύλι	4

Πίνακας 6.5.1 Κοπτικά εργαλεία για την κατεργασία της πλάκας εξολκένων Α



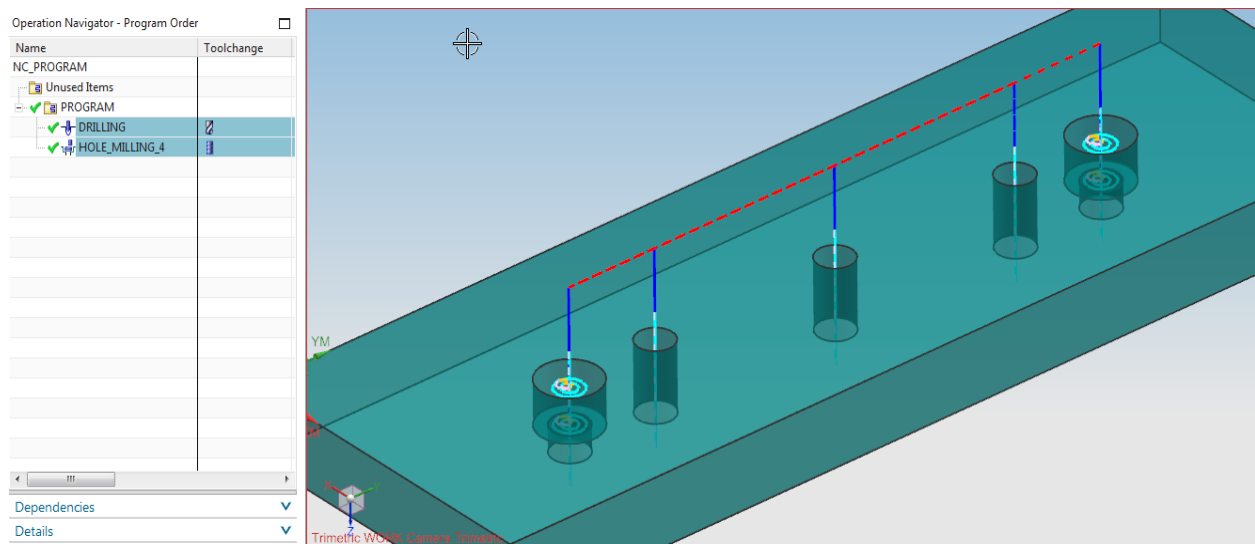
Σχήμα 6.5.1 Δέντρο κατεργασιών και διαδρομή τρυπανιών για την διάτρηση της πλάκας εξολκέν Α



Σχήμα 6.5.2 Κύκλος κατεργασίας φραιζαρίσματος οπών για την πλάκα εξολκέν Α

## 6.6 Προγραμματισμός κατεργασιών πλάκας εξολκέν Β

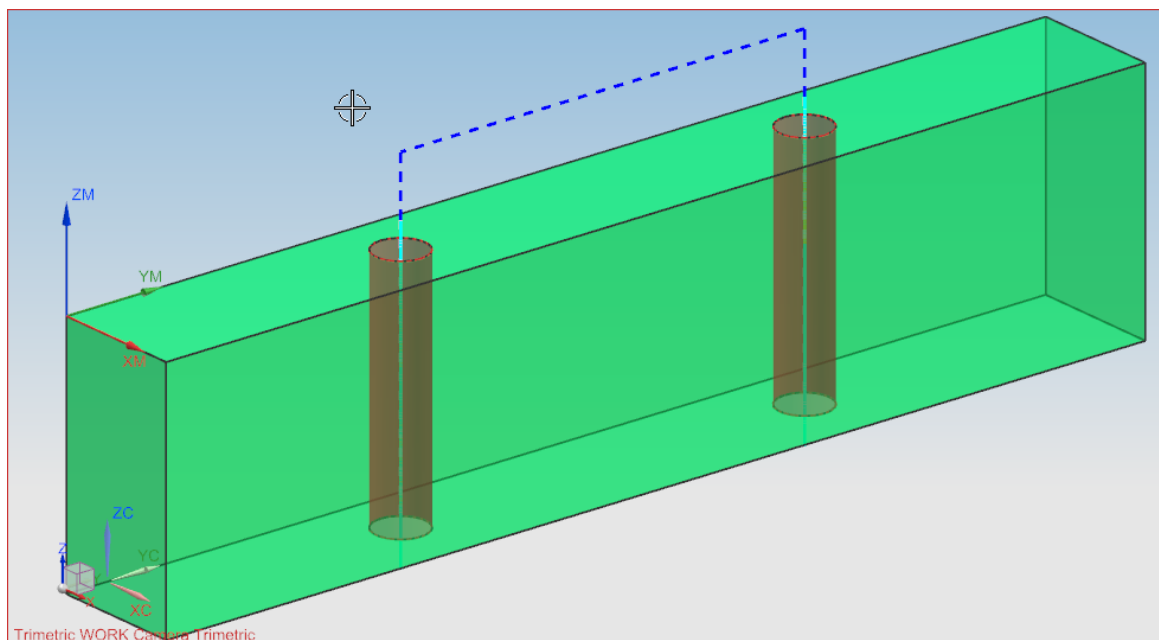
Η πλάκα εξολκέν Β είναι πανομοιότυπη με την πλάκα εξολκέν Α, με ίδιες απαιτήσεις σε προεργασία πριν την εισαγωγή στο περιβάλλον CAM, με μόνη διαφορά την προσαρμογή των διαμέτρων των οπών. Η πλάκα Β χρησιμεύει για την ασφάλιση των πείρων της πλάκας Α το οποίο επιτυγχάνεται με κοχλίες. Για την κατεργασία της πλάκας απαιτείται μία διάτρηση με τρυπάνι διαμέτρου 4.5 mm και μία κατεργασία φραιζαρίσματος των οπών με κονδύλι διαμέτρου 4 mm. Στο σχήμα 6.6.1 φαίνονται το δέντρο των κατεργασιών και οι διαδρομές των κοπτικών εργαλείων.



Σχήμα 6.6.1 Δέντρο κατεργασιών και διαδρομή κοπτικών εργαλείων για την κατεργασία της πλάκας εξολκέων B

## 6.7 Προγραμματισμός κατεργασίας πλακών υποστήριξης

Οι πλάκες υποστήριξης προτού εισέλθουν στο περιβάλλον CAM, επεξεργάζονται με τα εργαλεία του Synchronous Modeling και αφότου εισέλθουν, ακολουθείτε η διαδικασία ορισμού συστήματος συντεταγμένων, τελικής γεωμετρίας και αρχικού τεμαχίου όπως έχει ήδη αναπτυχθεί. Για την κατεργασία των πλακών υποστήριξης απαιτείται μόνο μία κατεργασία διάτρησης με τρυπάνι διαμέτρου 6 mm. Στο σχήμα 6.7.1 παρουσιάζεται το τεμάχιο με τη διαδρομή του τρυπανιού για την διάτρηση των οπών.



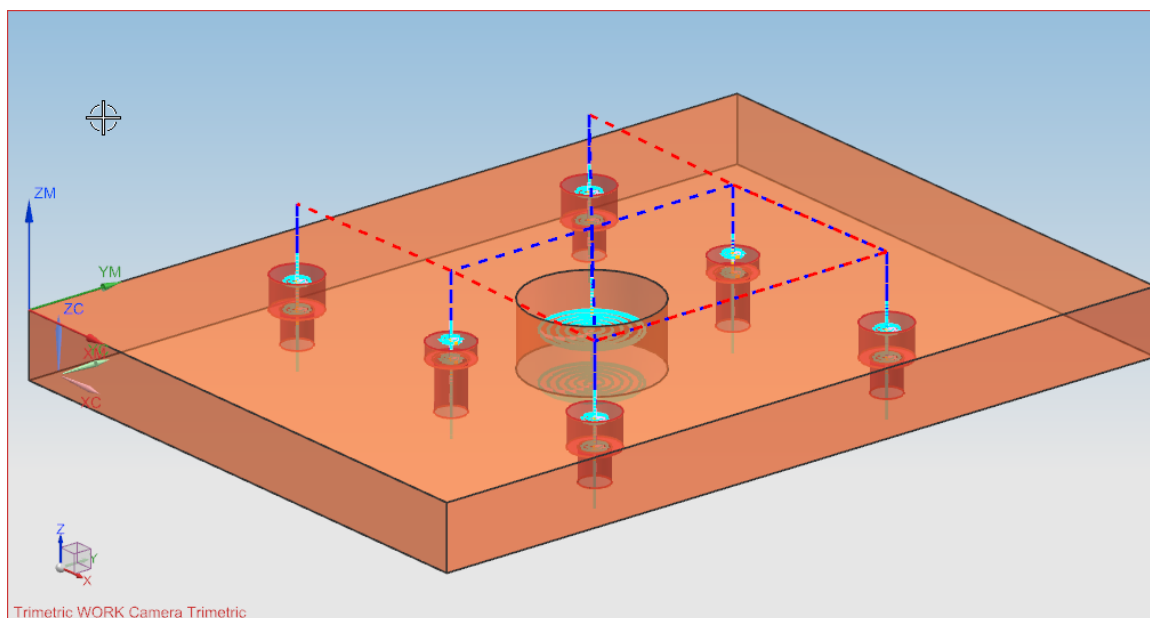
Σχήμα 6.7.1 Κατεργασία διάτρησης πλάκας υποστήριξης

## 6.8 Προγραμματισμός κατεργασιών κάτω πλάκας συγκράτησης

Η κάτω πλάκα συγκράτησης προετοιμάζεται πριν την εισαγωγή της στο περιβάλλον CAM κατά αντίστοιχο τρόπο όπως η άνω πλάκα συγκράτησης. Έπειτα ακολουθείται η ίδια διαδικασία για τον ορισμό του συστήματος συντεταγμένων, αρχικού τεμαχίου και τελικής γεωμετρίας. Οι κατεργασίες που απαιτούνται δύο κατεργασίες διάτρησης, μία με τρυπάνι διαμέτρου 4.5 mm και μία με τρυπάνι διαμέτρου 6.5 mm, και δύο κατεργασίες φραιζαρίσματος των οπών, μία με κονδύλι διαμέτρου 4 mm και μία με κονδύλι διαμέτρου 6 mm. Στον [πίνακα 6.8.1](#) παρουσιάζονται τα κοπτικά εργαλεία για την επίτευξη των κατεργασιών ενώ στο [σχήμα 6.8.1](#) φαίνεται η κάτω πλάκα συγκράτησης με τις διαδρομές των εργαλείων για του κύκλους της διάτρησης και του φραιζαρίσματος των οπών.

Όνομα εργαλείου	Τύπος εργαλείου	Διάμετρος (mm)
DRILL45	Τρυπάνι	4.5
DRILL6.5	Τρυπάνι	6.5
MILL4	Κονδύλι	4
MILL6	Κονδύλι	6

Πίνακας 6.8.1 Κοπτικά εργαλεία για την κατεργασία της κάτω πλάκας συγκράτησης



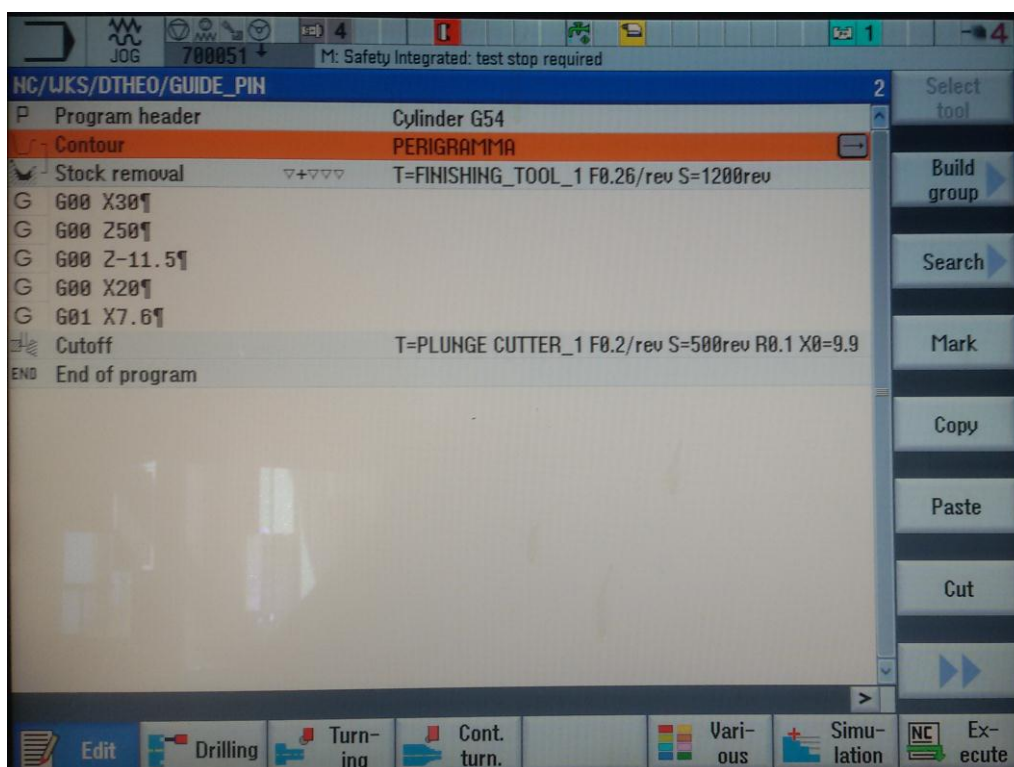
Σχήμα 6.8.1 Κατεργασίες διάτρησης και φραιζαρίσματος κάτω πλάκας συγκράτησης

## 6.9 Προγραμματισμός κατεργασιών πείρων οδήγησης

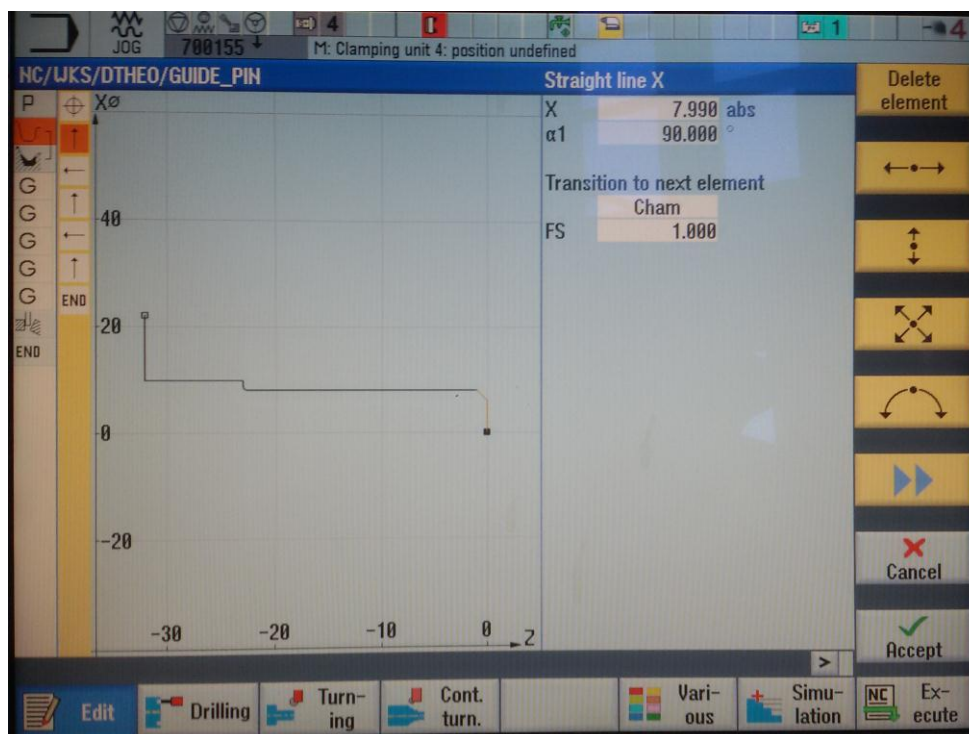
Οι πείροι οδήγησης παρότι σχεδιάστηκαν στο λογισμικό NX, δεν έγινε η εισαγωγή τους στο σύστημα CAM και η επεξεργασία τους ώστε να προκύψει ένα αρχείο CNC προγράμματος. Αντ'αυτού προτιμήθηκε ο χειροκίνητος προγραμματισμός των κατεργασιών μέσα από το λογισμικό Sinumerik 840D. Ο προγραμματισμός με τα αρχεία shopTurn του Sinumerik 840D, προσφέρει έτοιμους κύκλους κατεργασιών από μία βιβλιοθήκη, αλληλεπιδρώντας με τον χρήστη μέσα από ένα εύχρηστο και φιλικό προς το χρήστη γραφικό περιβάλλον. Με αυτό τον τρόπο μειώνεται ο απαραίτητος χρόνος για την παραγωγή ενός CNC προγράμματος σε σύγκριση με την παραδοσιακή γραφή CNC προγράμματος με εντολές g-code. Αρχικά ορίζεται η αρχική γεωμετρία, οι διαστάσεις, σημείο μηδέν και σημείο αλλαγής εργαλείου, καθώς και αποστάσεις ασφαλείας στο κουτί κώδικα (block) Cylinder G54. Έπειτα δημιουργείται το περίγραμμα (contour) και ανάλογα με την επιθυμία του προγραμματιστή οι απαραίτητες κατεργασίες για



επίτευξη αυτού. Σε ένα πρόγραμμα shopTurn μπορούν επίσης να ενσωματωθούν εντολές κώδικα g όπως φαίνεται στο σχήμα στο σχήμα 6.9.1 φαίνεται. Στο σχήμα 6.9.2 απεικονίζεται το περίγραμμα προς κατεργασία.



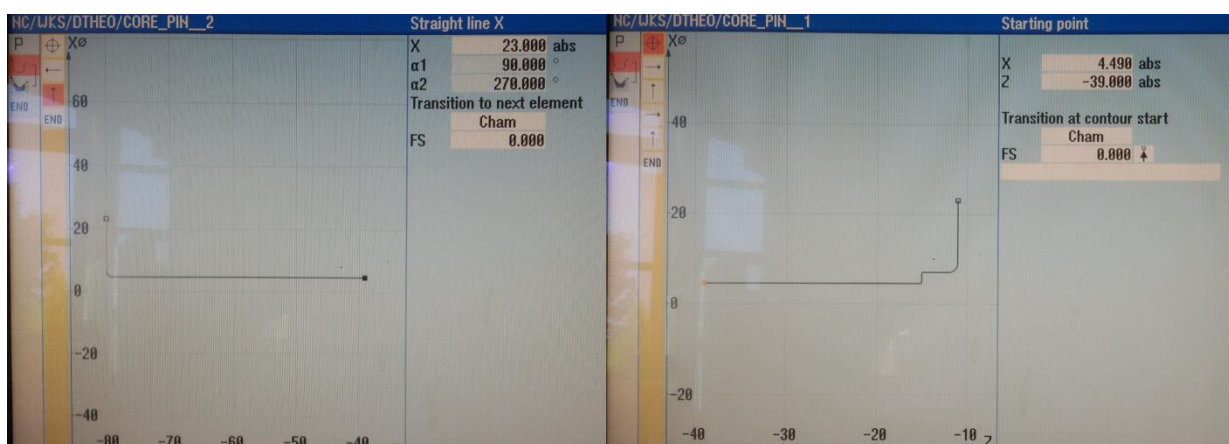
Σχήμα 6.9.1 Πρόγραμμα shopTurn για την κατεργασία των πείρων οδήγησης



Σχήμα 6.9.2 Προγραμματισμός περιγράμματος (contour)

## 6.10 Προγραμματισμός κατεργασιών πείρων πυρήνα και εξολκίων πείρων

Ο προγραμματισμός των πείρων πυρήνα και εξολκίων πείρων είναι πανομοιότυπος, με μόνη διαφορά το πάχος στην βάση τους και το μήκος τους, για αυτό θα μελετηθούν στο ίδιο υποκεφάλαιο. Όπως και για τους οδηγούς πείρους, έτσι και για τους πείρους πυρήνα και τους εξολκείς, ο προγραμματισμός τους έγινε μέσα από το λογισμικό shopTurn του CNC τórνου. Για την ολοκλήρωσή του απαιτήθηκαν τρεις κατεργασίες, μία κατεργασία αφαίρεσης υλικού με την λάμα αποκοπής για να μειωθεί η διάμετρος και να είναι οικονομικά χρονικά, μία κατεργασία με ανάποδο εργαλείο τórνευσης για ένα μέρος του τεμαχίου και μία με κανονικό εργαλείο τórνευσης για την άλλη πλευρά. Στο [σχήμα 6.10.1](#) φαίνονται ο προγραμματισμός των δύο περιγραμμάτων για της κατεργασίες τórνευσης. Το μήκος του τεμαχίου απαιτούσε την χρήση κεντροφορέα το οποίο απαιτούσε ιδιαίτερη προσοχή για την αποφυγή συγκρούσεων. Έτσι, επιλέχθηκε η στρατηγική της δημιουργίας τριών προγραμμάτων για την επίτευξη της κάθε κατεργασίας με τα προγράμματα να παρουσιάζονται στο [σχήμα 6.10.2](#).



Σχήμα 6.10.1 Προγραμματισμός περιγραμμάτων για της κατεργασίες τórνευσης

NC/WKS/DTHEO/CORE_PIN		1
P	Program header	Cylinder G54
G	Groove	T=PLUNGE CUTTER_1 F0.1/rev S=500rev X0=23
END	End of program	
NC/WKS/DTHEO/CORE_PIN__1		2
P	Program header	Cylinder G54
C	Contour	PER1
S	Stock removal	▽+▽▽▽ T=FINISHBACK F0.24/rev S=700rev
END	End of program	
NC/WKS/DTHEO/CORE_PIN__2		1
P	Program header	Cylinder G54
C	Contour	PER2
S	Stock removal	▽+▽▽▽ T=FINISHING_TOOL_1 F0.24/rev S=800rev
END	End of program	

Σχήμα 6.10.2 Τρία ξεχωριστά προγράμματα κατεργασιών για τους πείρους πυρήνα

## 6.11 Κατεργασμένα τεμάχια

Σε αυτό το υποκεφάλαιο θα παρουσιαστούν τα κατεργασμένα τεμάχια που προέκυψαν από τον προγραμματισμό μέσα από το σύστημα CAM του λογισμικού NX. Τα CNC προγράμματα γράφονται σε αρχεία g-code. Στο [σχήμα 6.11.1](#) φαίνεται ένα δείγμα κώδικα για την κατεργασία της πλάκας κοιλοτήτων από την πλευρά της προεξοχής.

N10 ;Start of Program	N270 Z1.333
N20 G54 G90 G17 G71	N280 G0 Y120.
N30 ;	N290 G1 Z-1.667
N40	N300 X71.429
N60 ;Start of Path	N310 Y77.236
N70 ;	N320 G2 Y42.764 I-21.429 J-17.236
N80 ;Operation : FLOOR_WALL	N330 G1 Y0.0
N90 ;	N340 X85.714
N100 G0 Z100.	N350 Z1.333
N110 G0 X100. Y100.	N360 G0 X71.429 Y120.
N120 M9	N370 G1 Z-1.667
N130 T="MILL40" M6	N380 X57.143
N140 M8	N390 Y86.556
N150 G0 Z100.	N400 G2 X71.429 Y77.236 I-7.143 J-26.556
N160 G0 X100. Y100.	N410 G1 Z1.333
N170 ;Initial Move	N420 G0 X57.143 Y120.
N180 G0 X82.714 Y-23. Z10. S1800 M3	N430 G1 Z-1.667
N190 Z1.333	N440 X42.857
N200 G1 Z-1.667 F700.	N450 Y86.556
N210 Y0.0	N460 G2 X57.143 I7.143 J-26.556
N220 X85.714	N470 G1 Z1.333
N230 X100.	N480 G0 X42.857 Y120.
N240 Y120.	N490 G1 Z-1.667
N250 X85.714	
N260 Y0.0	

Σχήμα 6.11.1 Απόσπασμα g-code

Πριν την εκκίνηση κάθε προγράμματος είναι απαραίτητη η ολοκλήρωση μίας σειράς από εργασίες που θα καταστήσουν την μηχανή και το τεμάχιο έτοιμα προς κατεργασία. Αυτές οι εργασίες περιλαμβάνουν την πρόσδεση και μέτρηση μήκους των εργαλείων, την μεταφορά των προγραμμάτων στην μνήμη του κέντρου κατεργασίας και τον ορισμό του συστήματος συντεταγμένων του τεμαχίου (μηδενισμός τεμαχίου). Προτού όμως καταστεί ένα τεμάχιο ικανό για κατεργασία απαιτείται να είναι στις τελικές διαστάσεις, το οποίο επιτυγχάνεται με διαδοχικά δεσίματα και κατεργασίες φραιζαρίσματος για την επίτευξη των επιθυμητών διαστάσεων σε κάθε κατεύθυνση. Όλα τα τεμάχια που κατεργάστηκαν στο κέντρο κατεργασίας DMU 50 eco, έχουν υποστεί κατεργασία face milling για να γίνουν οι επιφάνειες επίπεδες πριν γίνουν οι κατεργασίες που παρήγαγαν τις απαραίτητες διαμορφώσεις. Αυτές οι κατεργασίες δεν προγραμματίστηκαν μέσα από το περιβάλλον CAM, αλλά από την βιβλιοθήκη έτοιμων κύκλων κατεργασίας της εργαλειομηχανής. Στις περισσότερες πλάκες, για τις επίπεδες επιφάνειες χρησιμοποιήθηκε η φραιζοκεγαλή ένθετων πλακιδίων διαμέτρου 63 mm. Στο [σχήμα 6.11.2](#) φαίνεται η κοπή μπάρας τετραγωνικής διατομής 120 x 120 mm σε πλάκες οι οποίες μετά από κατεργασίες face milling θα προκύψουν οι επιθυμητές διαστάσεις και θα αποτελέσουν τις πλάκες κοιλότητας και πυρήνων. Αν παρατηρήσει κάποιος προσεκτικά θα δει ότι η μπάρα βρίσκεται οριακά προσδεμένη στο πριόνι κορδέλας. Η πλάκα που φαίνεται προοριζόταν για την πλάκα κοιλοτήτων. Στο [σχήμα 6.11.3](#) απεικονίζεται η αναγκαία χειροκίνητη κοπή της μπάρας που απέμεινε επειδή δεν μπορούσε να προσδεθεί στο πριόνι κορδέλας. Η συγκεκριμένη πλάκα θα αποτελούσε την κάτω πλάκα συγκράτησης. Στο [σχήμα 6.11.4](#) παρουσιάζεται το αποτέλεσμα της χειροκίνητης κοπής και των βοηθημάτων που συντέλεσαν στην ολοκλήρωση αυτής της εργασίας.





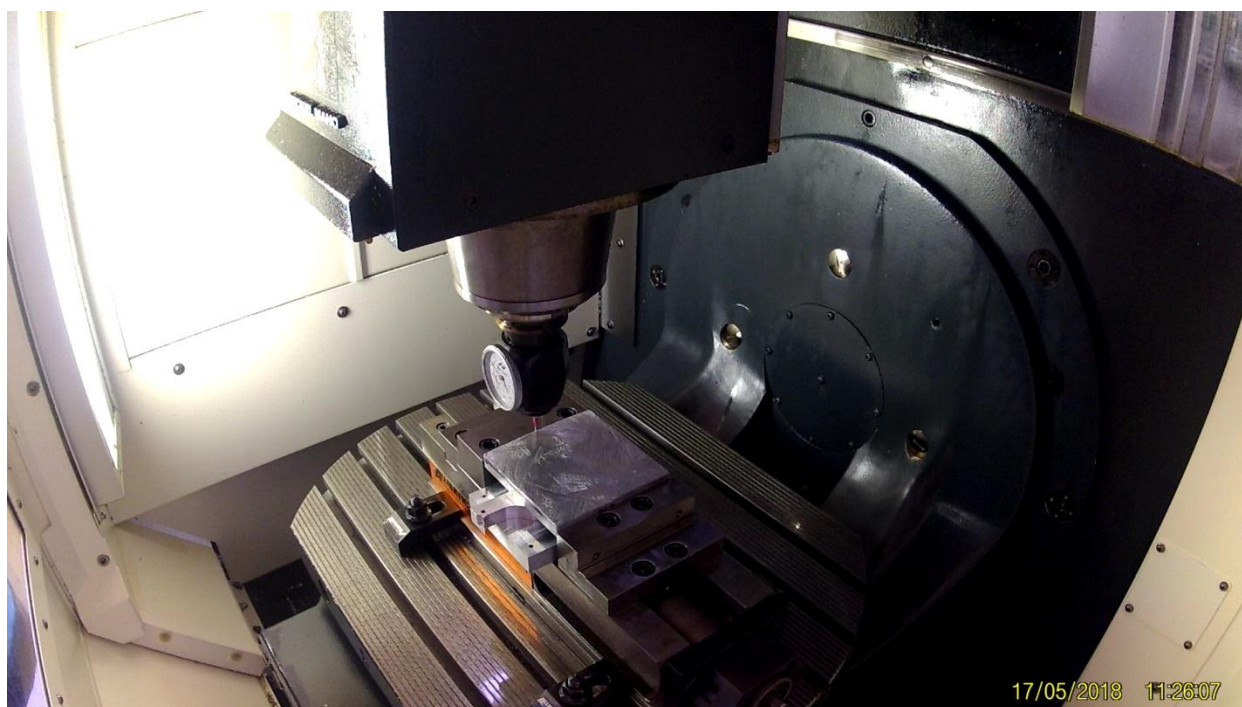
Σχήμα 6.11.3 Κοπή πλακών στο πριόνι κορδέλας



Σχήμα 6.11.4 Χειροκίνητη κοπή με σιδηροπρίονο της εναπομείνουσας πλάκας

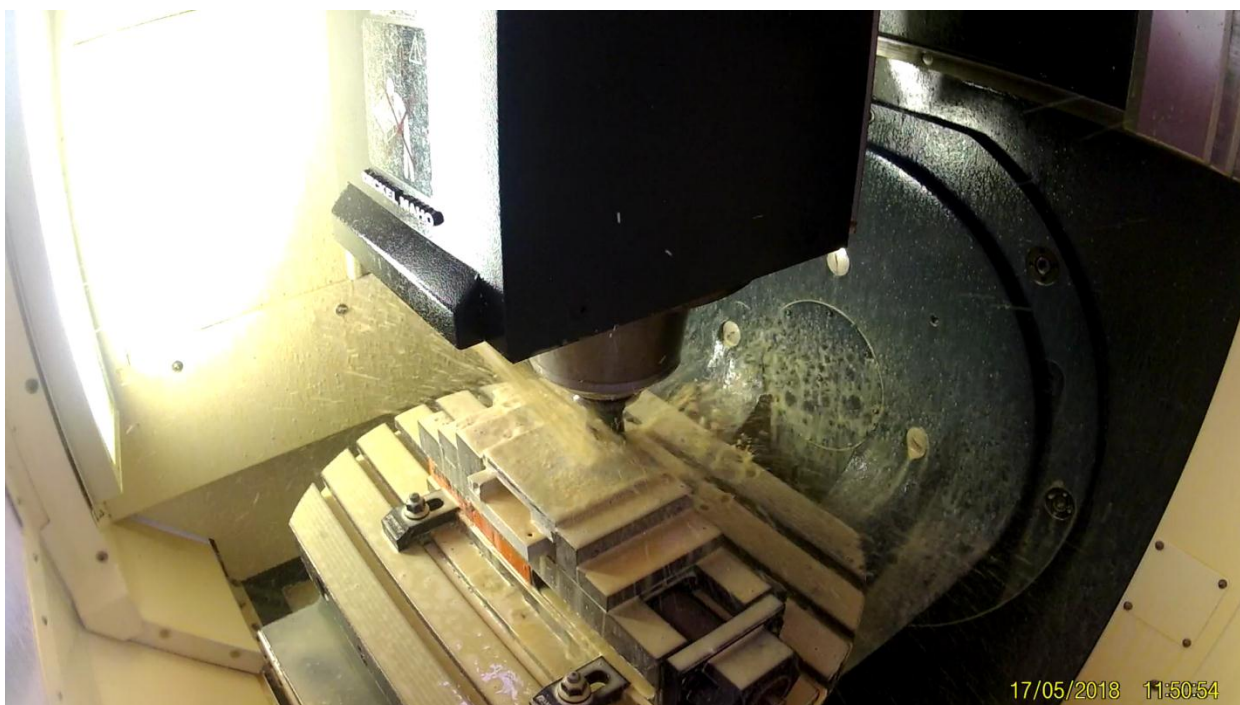


Σχήμα 6.11.5 Τελικό αποτέλεσμα χειροκίνητης κοπής



Σχήμα 6.11.6 Ορισμός συστήματος συντεταγμένων τεμαχίου (μηδενισμός τεμαχίου)





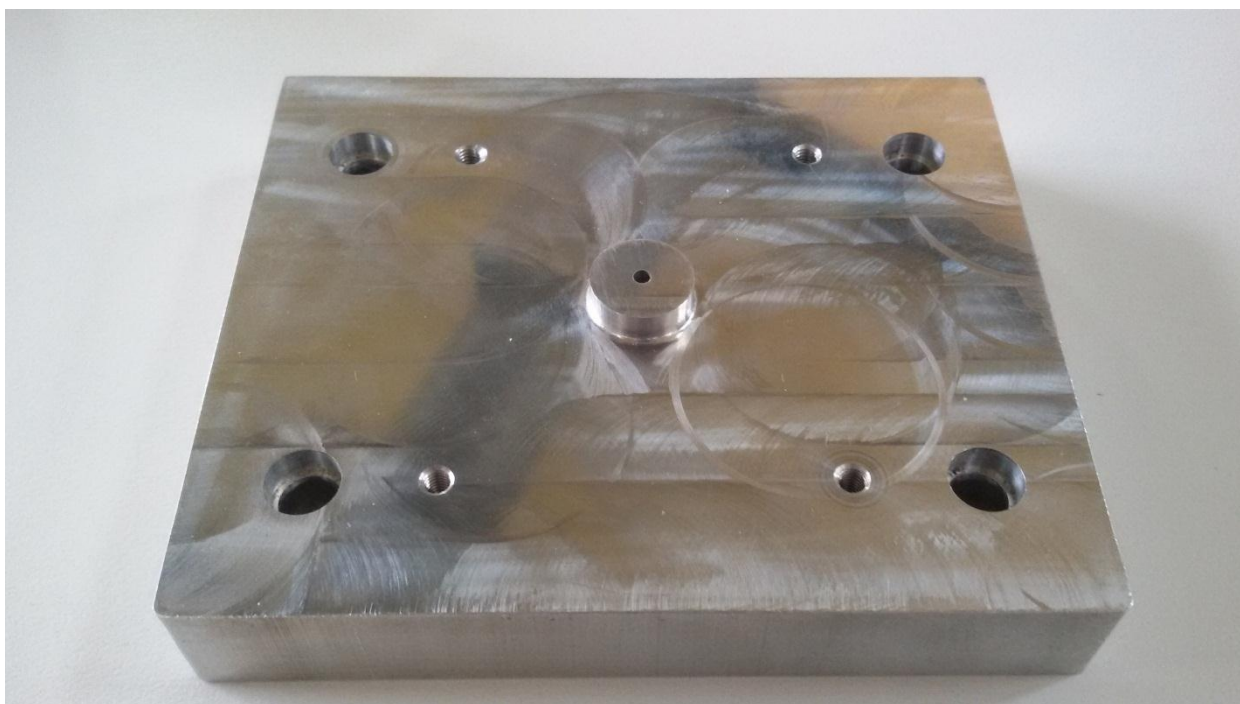
Σχήμα 6.11.7 Κατεργασία Face Milling για επίτευξη επίπεδων επιφανειών και τελικών διαστάσεων



Σχήμα 6.11.8 Κατεργασία φραιζαρίσματος για την δημιουργία της προεξοχής στην πλάκα κοιλοτήτων

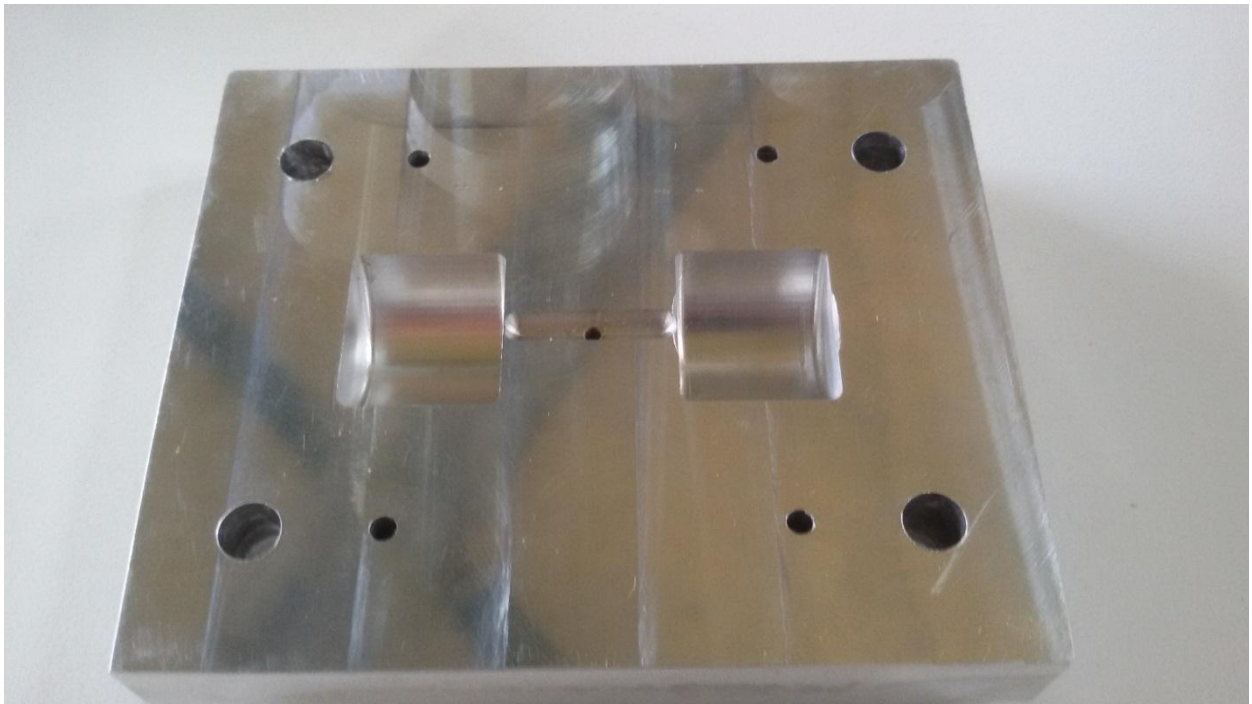


Σχήμα 6.11.9 Κατεργασμένη άνω πλάκα συγκράτησης

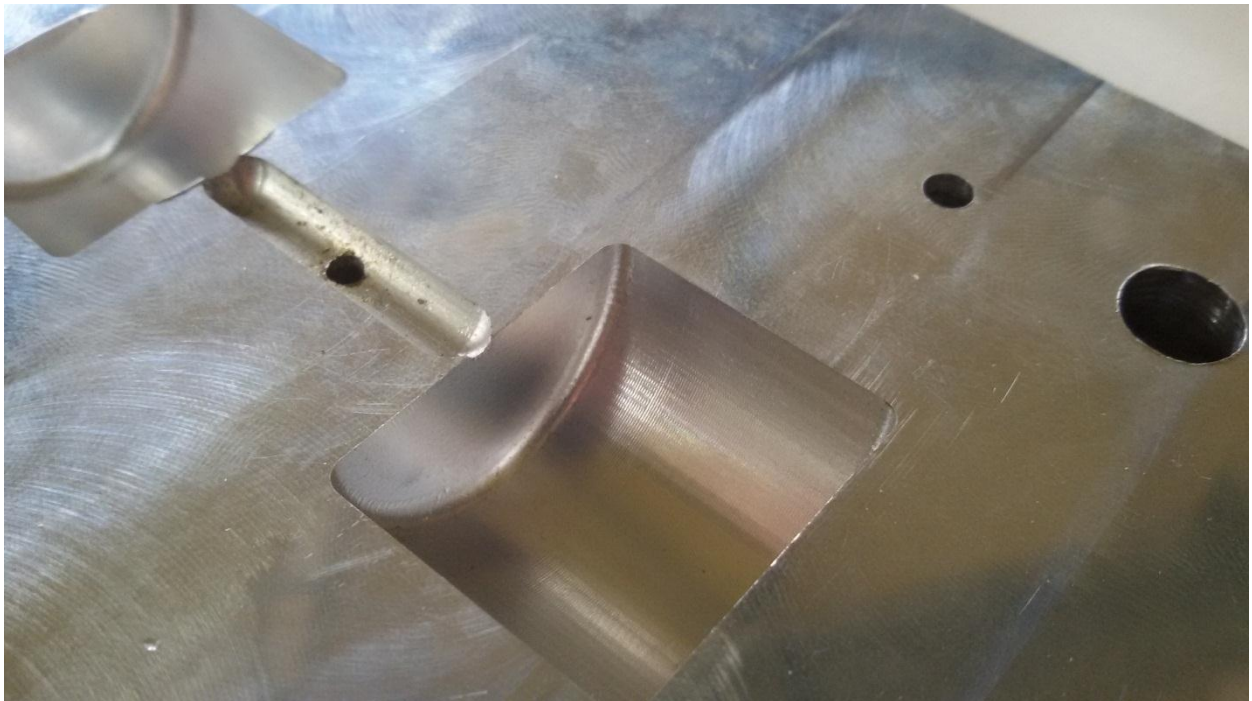


Σχήμα 6.11.10 Κατεργασμένη πλάκα κοιλοτήτων με σπειροτομημένες οπές για την σύνδεσή της με την άνω πλάκα συγκράτησης





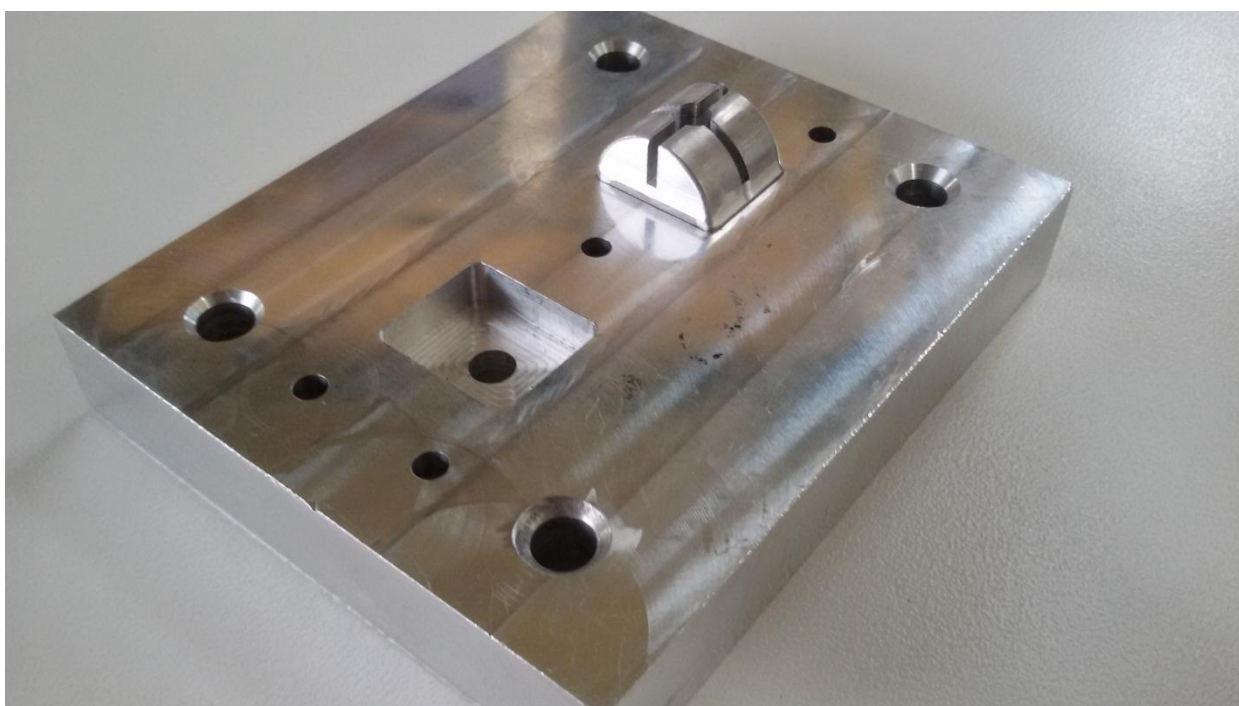
Σχήμα 6.11.11 Κατεργασμένη πλάκα κοιλοτήτων



Σχήμα 6.11.12 Λεπτομέρεια διαμορφώσεων καναλιού, πυλών και κοιλότητας στην πλάκα κοιλοτήτων. Στα αριστερά παρατηρείται λανθασμένη διαμόρφωση λόγω κωνικότητας μεταξύ αυλακώσεων και στελέχους του εργαλείου που δεν λήφθηκε υπόψιν πριν την έναρξη της κατεργασίας. Στα δεξιά διορθώθηκε με αλλαγή εργαλείου



Σχήμα 6.11.13 Κατεργασμένος ένθετος πυρήνας



Σχήμα 2.11.14 Κατεργασμένη πλάκα πυρήνων και ένθετος πυρήνας στερεωμένος με σφιχτή συναρμογή



Σχήμα 6.11.15 Κατεργασμένη πλάκα πυρήνων με σπειροτομημένες οπές, πλευρά πλευρά πλακών υποστήριξης



Σχήμα 6.11.16 Κατεργασμένες πλάκες εξολκείων Α και Β

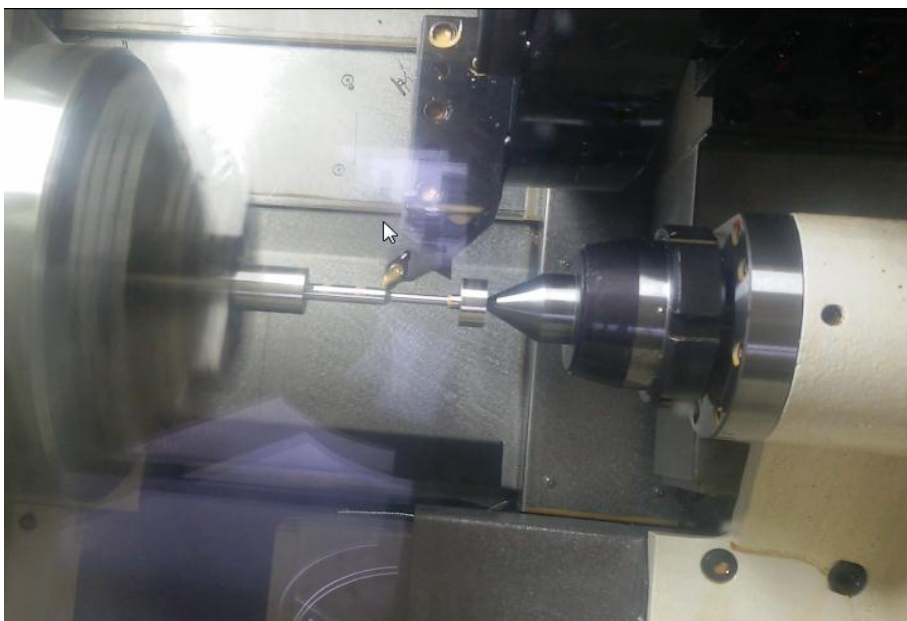




Σχήμα 5.11.17 Κατεργασμένη κάτω πλάκα συγκράτησης



Σχήμα 6.11.18 Κατεργασία πείρου πυρήνα με ανάποδο εργαλείο τórνευσης



Σχήμα 6.11.19 Κατεργασία τόννευσης πείρου πυρήνα



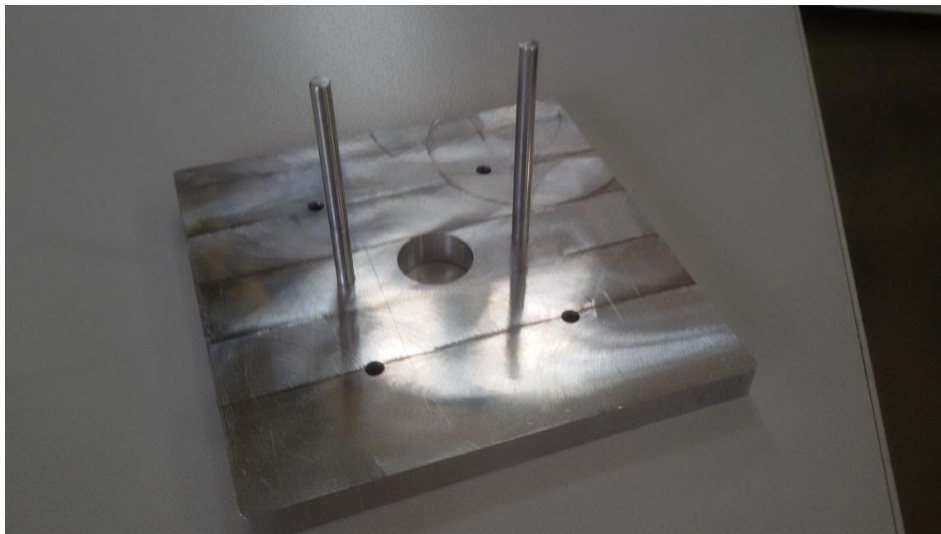
Σχήμα 6.11.20 Κατεργασμένος πείρος πυρήνα και εξολκέας



Σχήμα 6.11.21 Επεξεργασία μετά από τις κατεργασίες για επίτευξη ανοχών συναρμογής



Σχήμα 6.11.22 Κατεργασμένος οδηγός πείρος

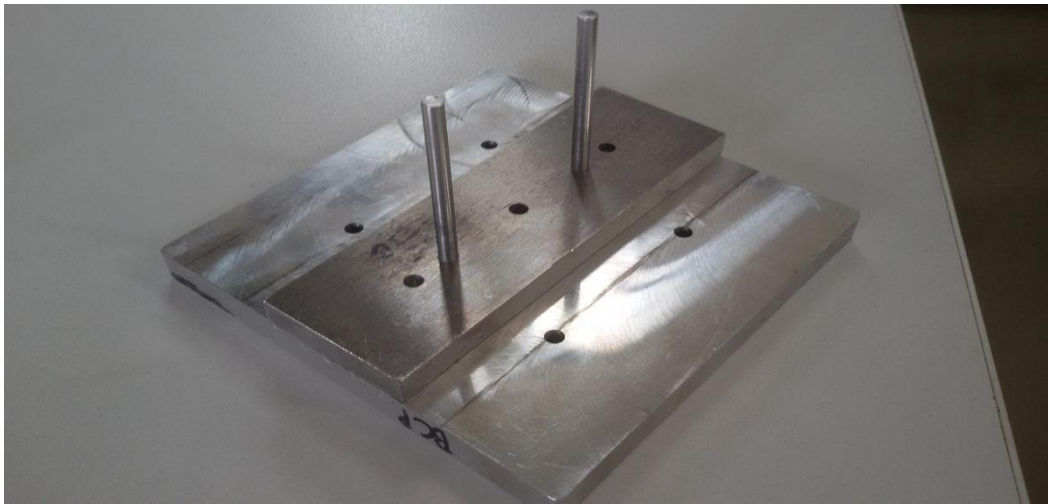


Σχήμα 6.11.23 Συναρμολόγηση κάτω πλάκας συγκράτησης και πείρων πυρήνα

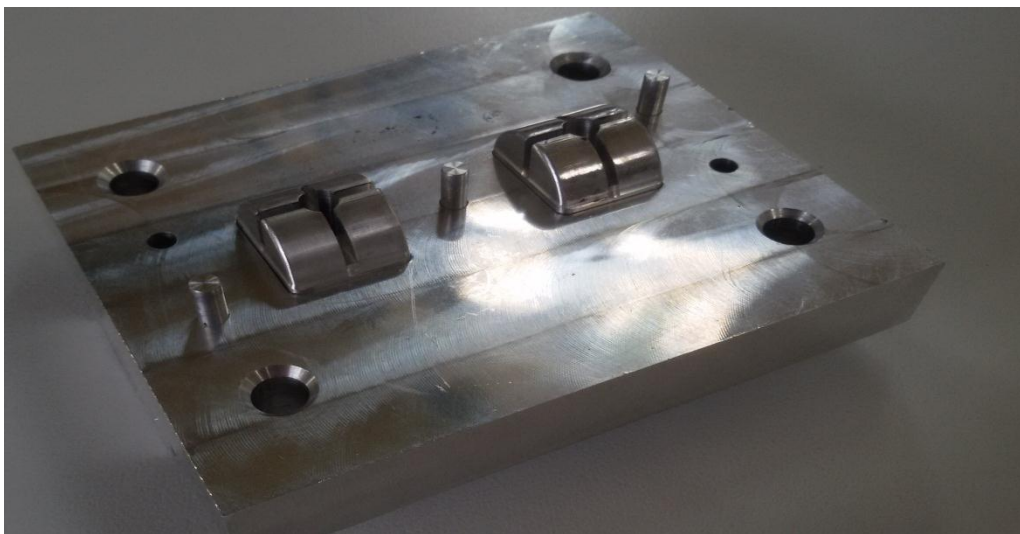


Σχήμα 6.11.24 Συναρμολόγηση εξολκίων πείρων με την την πλάκα εξολκίων Α

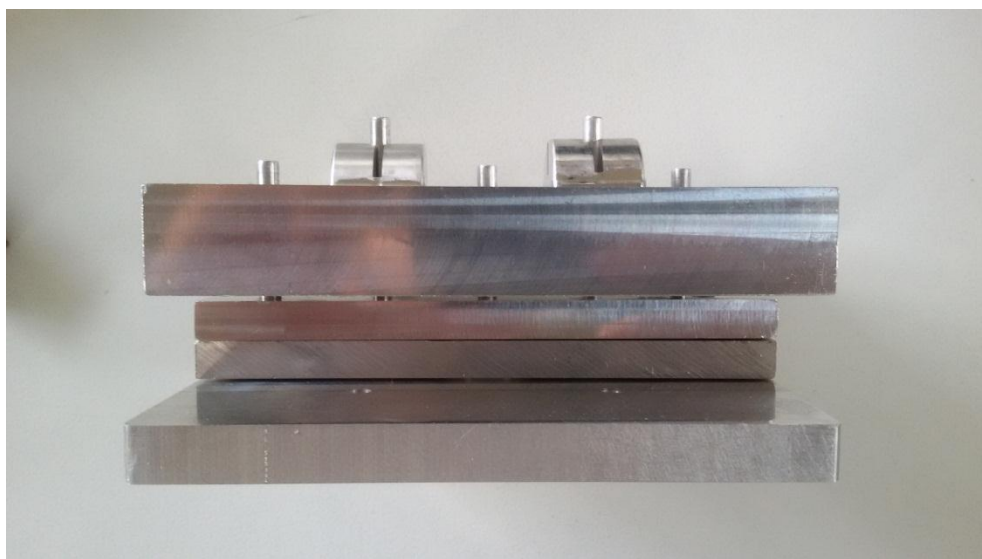




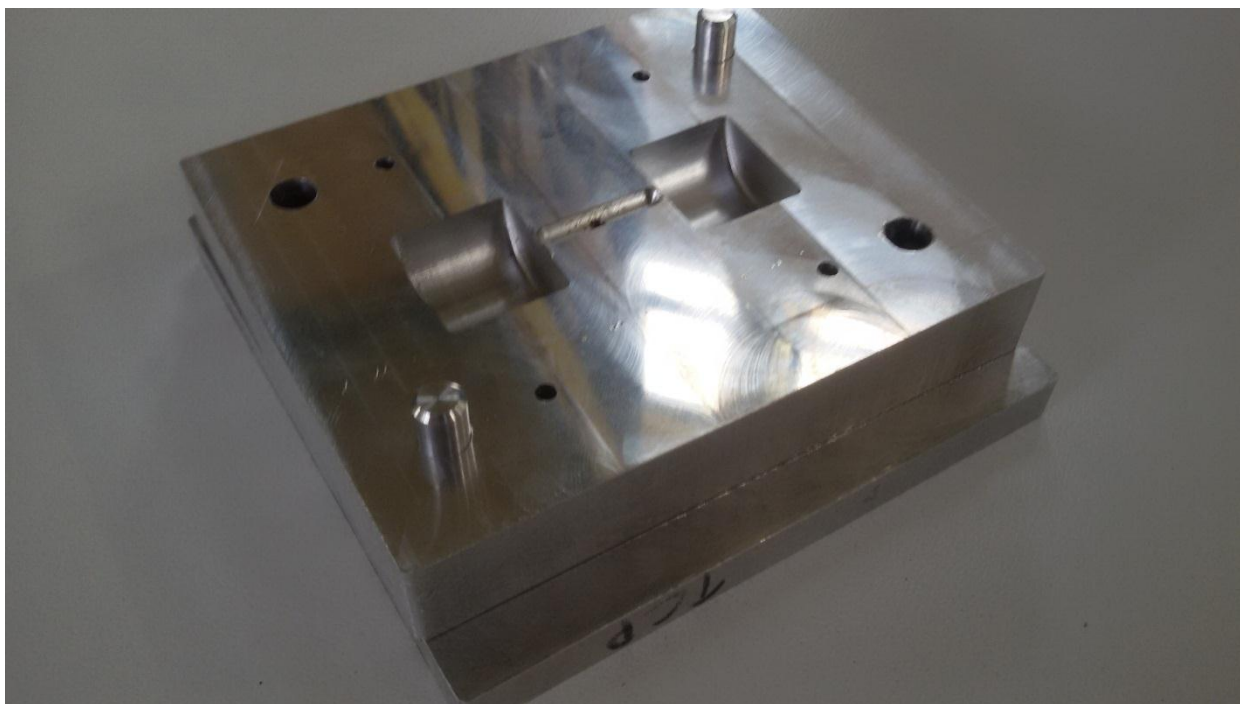
Σχήμα 6.11.25 Έλεγχος συναρμολόγησης πείρων πυρήνα και πλάκας εξολκέων Β



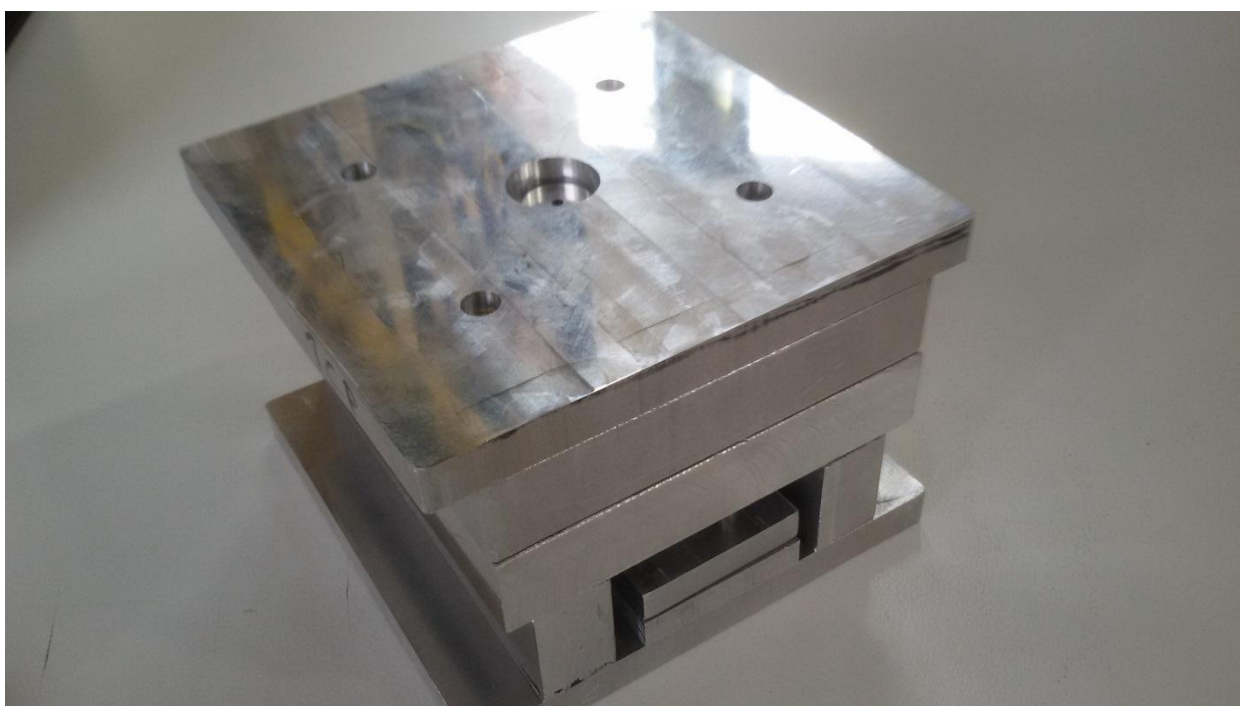
Σχήμα 6.11.26 Συναρμολόγηση πλακών εξολκέων, πλακας πυρήνων και εξολκέων πείρων



Σχήμα 6.11.27 Συναρμολόγηση κάτω πλάκας συγκράτησης, πλακών εξολκέων, πείρων πυρήνα, εξολκέων και πλάκας πυρήνων (χωρίς πλάκες υποστήριξης)



Σχήμα 6.11.28 Συναρμολόγηση σταθερού τμήματος καλουπιού



Σχήμα 6.11.29 Ολοκληρωμένη συναρμολόγηση καλουπιού

Σε αυτό το σημείο να σημειωθεί ότι δεν ήταν δυνατό να κατεργαστούν τα κανάλια ψύξης λόγω μεγάλου μήκους και μικρής διαμέτρου, όπως επίσης και οι σωληνωτοί εξολκείς λόγω πολύ λεπτών τοιχωμάτων.

## 6.12 Η Ζημιά

Σε αυτό το υποκεφάλαιο θα παρουσιαστούν οι ζημιές που έγιναν κατά την διάρκεια της κατασκευής του καλουπιού. Θεωρώ ότι είναι αναγκαίο να αναφερθούν οι ζημιές, οι αποτυχίες δηλαδή μέχρι την επίτευξη του στόχου, διότι αποτελούν έμφυτο και αναπόσπαστο κομμάτι οποιασδήποτε προσπάθειας και εργασίας του ανθρώπου. Αρχικά τα λάθη περιελάμβαναν



λανθασμένες τοποθετήσεις των τεμαχίων με αποτέλεσμα να αναλώνεται χρόνος για τον ορισμό του συστήματος συντεταγμένων του τεμαχίου. Αυτά παρόλο που δεν ήταν ζημιές με την έννοια της καταστροφής, επέφεραν κόστος αφού παράτειναν την διάρκεια των κατεργασιών. Με την παράταση των κατεργασιών η κούραση αυξανόταν και αυτό με την σειρά του δημιουργούσε συνθήκες γόνιμες για να προκύψει κάποιο συμβάν.

Αφότου ολοκληρώθηκαν οι κατεργασίες στο κέντρο κατεργασίας, σειρά είχε η κατασκευή των εξολκίων πείρων. Η πρώτη απόπειρα παρουσιάζεται στο σχήμα 6.12.1 και αποτελεί παράδειγμα ελλιπούς στήριξης και δημιουργία ταλαντώσεων κατά την τόννευση. Από τις ταλαντώσεις



Σχήμα 6.12.1 Ελλιπής στήριξη κατά την τόννευση

Η λύση σε αυτό πρόβλημα ήταν η χρήση του κεντροφορέα (κουκουβάγια) για πιο άρτια στήριξη. Η χρήση της κουκουβάγιας δημιουργεί μία δυσφορία και ανησυχία για πιθανή σύγκρουση στον χειριστή, ειδικά σε μη έμπειρο. Παρόλα αυτά με προσεκτικό προγραμματισμό των παραμέτρων των κύκλων κατεργασίας και προσομοιώσεις ελαχιστοποιείται η πιθανότητα κάτι να πάει στραβά. Στο σχήμα 6.12.2 φαίνεται η περίπτωση που δεν μπορεί να προσομοιωθεί από το λογισμικό του τόννου. Εδώ ενώ όλες οι κατεργασίες είχαν πραγματοποιηθεί επιτυχώς έπειτα από αρκετές ώρες κατεργασίας λόγω της μικρής διατομής του τεμαχίου, για μείωση του φόρτου σε χειρονακτική αποπεράτωση, έγινε λάθος υπόθεση και υπερεκτίμηση των δυνατοτήτων του χειριστή και του υλικού.



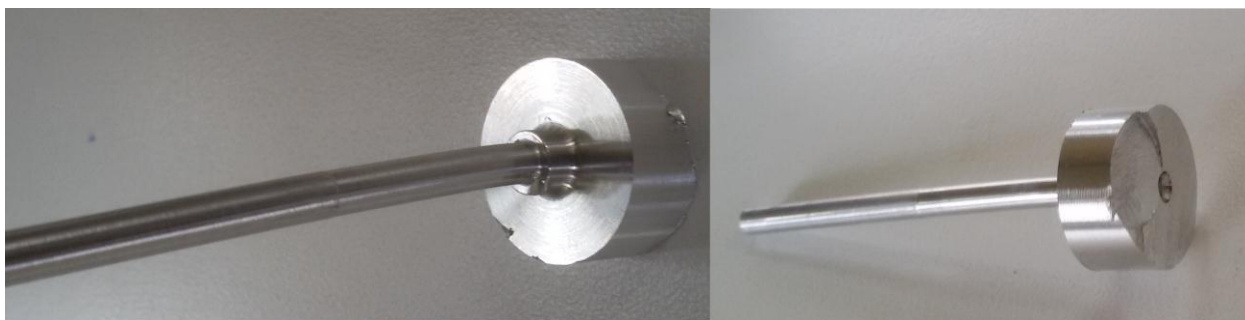
Σχήμα 6.12.2 Λάθος υποθέσεις και υπερεκτίμηση των δυνατοτήτων

Η λάθος υπόθεση ήταν ότι ο υδραυλικός κεντροφορέας κλειδώνει μηχανικά, αφότου «αισθανθεί» αντίσταση που εκφράζεται σε πίεση με αντίθετη φορά από αυτή που ορίζει ο χειριστής. Η υπερεκτίμηση ήρθε από την πεποίθηση ότι ο κεντροφορέας κλειδώνει. Η ιδέα ήταν να αφαιρεθεί υλικό για να διευκολυνθεί η απομάκρυνση και καλλωπισμός του τεμαχίου. Οπότε ενώ έχει αφαιρεθεί ένα σημαντικό μέρος υλικού, θεωρήθηκε σκόπιμο να αφαιρεθεί περισσότερο για ακόμα μεγαλύτερη μείωση του χρόνου χειρονακτικής αποπεράτωσης. Το αποτέλεσμα ήταν το υλικό να μην αντέξει την καταπόνηση που δεχόταν και να αστοχήσει σε στρέψη από την πλευρά του τσοκ. Το τεμάχιο μετακινήθηκε από την επιβολή της πίεσης του κεντροφορέα που τελικά δεν ασφάλιζε η θέση του μηχανικά. Το αποτέλεσμα ήταν η στρέβλωση του τεμαχίου και η ελαστική παραμόρφωση της λάμας αποκοπής η οποία επανήλθε όταν απομακρύνθηκε ο κεντροφορέας.

Ενώ λοιπόν τα προηγούμενα παθήματα έγιναν μαθήματα, η αναζήτηση τρόπων για ελάχιστη χειρονακτική αποπεράτωση και σχεδόν τέλεια αποτελέσματα συνεχίστηκε. Η ιδέα ήταν να δεθεί το τεμάχιο στο κέντρο κατεργασίας αφότου ολοκληρωθούν οι κατεργασίες στον τόρνο, και να φραιζαριστεί με κονδύλι και στο τέλος να μείνει μόνο ο πείρος. Ο κίνδυνος που υπήρχε από την πρώτη στιγμή και είχε αναγνωριστεί ήταν η επιφάνεια που ερχόταν σε επαφή με την μέγγενη και δεν ήταν άλλη παρά μία γραμμή που συγκρατούσε όλο το τεμάχιο. Το αποτέλεσμα ήταν, ενώ έχει επιτύχει για ένα τεμάχιο, στο δεύτερο να χαθεί η επαφή μεταξύ μέγγενης και τεμαχίου και κατά το δεύτερο πέρασμα το κονδύλι να παρασύρει – «δαγκώσει» το τεμάχιο να το στρεβλώσει και να σπάσουν δύο από τις τέσσερις κοπτικές ακμές του κοπτικού εργαλείου. Στο σχήμα 6.12.3 φαίνεται το κονδύλι με τις σπασμένες ακμές ενώ στο σχήμα 6.12.4 φαίνεται το τεμάχιο.



Σχήμα 6.12.3 Σπασμένες ακμές κοπτικού εργαλείου διαμέτρου 16 mm



Σχήμα 6.12.4 Κατεστραμμένο τεμάχιο

## 7. ΣΥΝΟΨΗ

Η παρούσα διπλωματική εργασία είχε σκοπό την σχεδίαση και την κατεργασία ενός καλουπιού έγχυσης χρησιμοποιώντας το CAD/CAM λογισμικό NX 11 για την σχεδίαση του τεμαχίου, τον προγραμματισμό των κατεργασιών, παραγωγή CNC προγραμμάτων και την χρήση του εργαλείου Mold Wizard που εξειδικεύεται για δημιουργία καλουπιών. Η διαδρομή μέχρι την ολοκλήρωση αυτής της εργασίας ήταν πλήρως εκπαιδευτική. Αρχικά δόθηκε η ευκαιρία για ενασχόληση με τον κόσμο των καλουπιών ο οποίος είναι ένας χώρος με προκλήσεις σε κάθε βήμα από τον σχεδιασμό μέχρι την λειτουργία. Έπειτα η καθημερινή ενασχόληση με τα συστήματα CAD και CAM προσέφερε πολύτιμη εμπειρία στην εκμάθηση, παρότι αργή, ενός νέου λογισμικού του Mold Wizard, την εμβάθυνση στο χειρισμό εργαλείων του συστήματος CAD και στον προγραμματισμό των κατεργασιών μέσα από το σύστημα CAM. Η χρήση αυτών των συστημάτων επιτάχυνε την σχεδίαση, τον προγραμματισμό της παραγωγής, τον έλεγχο για παραγωγή και τελικά κατέστησε εφικτή την παραγωγή ενός καλουπιού υπό κλίμακα. Επιγραμματικά όσα κατακτήθηκαν από την εκπόνηση αυτής της εργασίας είναι:

- Καθημερινή ενασχόληση με τα συστήματα CAD/CAM του λογισμικού NX 11
- Εκμάθηση του ειδικού λογισμικού Mold Wizard για σχεδίαση καλουπιών και συγγραφή ενός σύντομου οδηγού με μελέτη περίπτωσης
- Εισαγωγή και εξοικείωση με τον χώρο παραγωγής καλουπιών έγχυσης
- Πολύτιμες ώρες εμπειρίας σε δύο εργαλειομηχανές κατά την παραγωγή των τεμαχίων
- Ανεύρεση λύσεων σε όσες προκλήσεις ανέκυπταν
- Προγραμματισμός και διαχείριση χρόνου για την επίτευξη των στόχων
- Διαχείριση πόρων και υλικών

## 8. ΒΙΒΛΙΟΓΡΑΦΙΑ

- [1] Georg Menges, Walter Michaeli, Paul Mohren, 2001. "How to make injection molds", 3rd Edition, Hanser Publishers, Munich, Hanser Gardner Publications, Inc., Cincinnati
- [2] Günter Mennig, Klaus Stoeckhert, 2012. "Mold-making handbook", 3rd Edition, Hanser Publishers, Munich, Hanser Gardner Publications, Inc., Cincinnati
- [3] Αντωνιάδης Αριστομένης, 2014. Μηχανολογικό Σχέδιο, 2η έκδοση, εκδόσεις Τζιόλα.
- [4] Αριστομένης Θ, Αντωνιάδης. "Μηχανουργική Τεχνολογία τόμος Β' 2η Έκδοση ", Εκδόσεις Τζιόλα
- [5] Μπιλάλης Νικόλαος, "Διαφάνειες μαθήματος Μελέτη – Ανάπτυξη Προϊόντων, Rapid Tooling", Εργαστήριο CAD, Τμήμα Μηχανικών Παραγωγής και Διοίκησης, Πολυτεχνείο Κρήτης
- [6] Δ. Τζιάτζιος, 2016. "Δημιουργία τελικού επεξεργαστή για τη διασύνδεση της ψηφιακής καθοδήγησης Sinumerik 810D του κέντρου κατεργασίας DMU50 με το CAD/CAM λογισμικό NX", Διπλωματική Εργασία, Σχολή Μηχανικών Παραγωγής και Διοίκησης, Πολυτεχνείο Κρήτης
- [7] Ιάσωνας-Κωνσταντίνος Νανόπουλος, "Εγκατάσταση, λειτουργία & προγραμματισμός ψηφιακά καθοδηγούμενου κέντρου τόννευσης", Διπλωματική Εργασία, Σχολή Μηχανικών Παραγωγής και Διοίκησης, Πολυτεχνείο Κρήτης
- [8] Κωνσταντίνος Σοφιάκης, "Προγραμματισμός τεμαχίων τόννευσης με χρήση κώδικα ψηφιακής καθοδήγησης κατά ISO", Διπλωματική Εργασία, Σχολή Μηχανικών Παραγωγής και Διοίκησης, Πολυτεχνείο Κρήτης
- [9] Siemens, Programming Manual, Sinumerik 810D/FM – NC, Short Guide, 10.2000 Edition
- [10] <https://moulding.gr/lexiko-kaloupion/>
- [11] <https://moulding.gr/lexiko-kaloupion-2/>
- [12] <http://courseware.mech.ntua.gr/ml00001/mathimata/b-Extrusion-Injection%20Forming-1.pdf>
- [13] <https://www.slideshare.net/4ctechcenter/mold-wizard-design-process-4ctech-73819409>
- [14] <https://www.youtube.com/playlist?list=PLqAbM17IsOzO-i2qah8kBeBSCKoRS5NxX>
- [15] <https://www.mmsonline.com/zones/hsm>

## ΠΑΡΑΡΤΗΜΑΤΑ

### ΠΑΡΑΡΤΗΜΑ Α - Αναλυτικοί υπολογισμοί κόστους

$$C_M = 0.85 * \frac{8}{9} + 0.8 * \frac{1}{9} = 0.85$$

$$f_{EP} = \frac{1681 \text{ mm}^2}{368 \text{ mm}^2} = 4.56$$

$$C_D = 2 * (1.75 + 0.57) = 4.64 \text{ h}$$

$$t_c = \{(0.85 * (2.32 + 5.8))1 * 1 + 8\} * 1 * 0.8 * 1.8 = 21.5 \text{ h}$$

$$C_C = 3.06 \frac{\text{€}}{\text{h}} * 21.5 \text{ h} = 65.79 \text{ €}$$

$$C_R = \frac{0.14 \text{ min/min}}{60 \text{ min}} * 25 \text{ mm} * 3.06 \frac{\text{€}}{\text{h}} = 0.18 \text{ €}$$

$$C_{EM} = 3.06 * \left[ \left( \frac{4 * 19}{1850} + 0.8 * \frac{1}{6} * 5 \right) + \left( \frac{6 * 19}{1850} + 0.8 * \frac{1}{6} * 2 \right) \right] = 3.2 \text{ €}$$

$$C_{bar} = 0.00016 \text{ m}^3 * 2650 \frac{\text{kg}}{\text{m}^3} * 2 \frac{\text{€}}{\text{kg}} = 0.85 \text{ €}$$

$$F_{ejection} = \frac{0.5 * 2870 \text{ MPa} * 113.04 \text{ mm}^2 * 0.00015 \frac{1}{K} * 338.15 \text{ K}}{\left( \frac{6}{2 * 1.75} - \frac{6}{4 * 1.75} * 0.38 \right)} = 59253.89 \text{ N}$$

### ΠΑΡΑΡΤΗΜΑ Β - Αναφορές προσομοιώσεων πλήρωσης

Αρχικό καλούπι		Υπό κλίμακα καλούπι	
<b>Mesh</b>		<b>Mesh</b>	
Mesh Type	Coarse	Mesh Type	Coarse
Part Dimension	51.00x137.00x25.50 mm	Part Dimension	25.50x68.50x12.75 mm
Mold dimension	51.00x137.00x25.50 mm	Mold dimension	25.50x68.50x12.75 mm
Cavity (Part) volume	33106649.917 mm <sup>3</sup>	Cavity (Part) volume	4131.57 mm <sup>3</sup>
Cold Runner Volume	1699802.078 mm <sup>3</sup>	Cold Runner Volume	211.84 mm <sup>3</sup>
Number of elements	152802	Number of elements	152085
Number of part elements	152802	Number of part elements	152085
Number of part-insert elements	0	Number of part-insert elements	0
Number of nodes	144455	Number of nodes	143583
<b>Material</b>		<b>Material</b>	
Polymer type	PP	Polymer type	PP
Grade name	Borealis PP MB231U	Grade name	Borealis PP MB231U
Producer	Borealis AG	Producer	Borealis AG
Melt flow index	Unavailable	Melt flow index	Unavailable
Fiber Percent	0.00 %	Fiber Percent	0.00 %
Melt temperature range	200 ~ 260 oC	Melt temperature range	200 ~ 260 oC
Mold temperature range	20 ~ 50 oC	Mold temperature range	20 ~ 50 oC



Ejection temperature	90.000 oC	Ejection temperature	90.000 oC
Freeze Temperature	110 oC	Freeze Temperature	110 oC
<b>Process Condition</b>		<b>Process Condition</b>	
Filling Time	1.290 sec	Filling Time	0.14 sec
Melt Temperature	230.000 oC	Melt Temperature	230.000 oC
Mold Temperature	35.000 oC	Mold Temperature	35.000 oC
Maximum injection pressure(MPa)	140.000 N	Maximum injection pressure(MPa)	140.000 N
Packing time (sec.)	12.700 sec	Packing time (sec.)	5.14 sec
Maximum packing pressure(MPa)	140.000 N	Maximum packing pressure(MPa)	140.000 N
VP switch by filled volume (%)	98.000 %	VP switch by filled volume (%)	98.000 %
Mold Opening Time	5.000 sec	Mold Opening Time	5.000 sec
Ejection temperature	90.000 oC	Ejection temperature	90.000 oC
Air Temperature	25.000 oC	Air Temperature	25.000 oC

Αρχικό καλούπι		Υπό κλίμακα καλούπι	
Αποτελέσματα		Αποτελέσματα	
Filling time (sec.)	1.29 sec	Filling time (sec.)	0.14 sec
Max. Melt temperature	230.520 oC	Max. Melt temperature	230.000 oC
Min. Melt temperature	52.907 oC	Min. Melt temperature	53.000 oC
Max. Sprue pressure	10.552 MPa	Max. Sprue pressure	9.443 MPa
Max. Clamping force	10000.000 N	Max. Clamping force	5000.000 N
Max. Shear Stress	0.232 N	Max. Shear Stress	0.737 MPa
Max. Shear Rate	10249.401 1/sec	Max. Shear Rate	91794.354 1/sec
Short shot	No	Short shot	No

## ΠΑΡΑΡΤΗΜΑ Γ - Παράμετροι κοπής

$$n = \frac{V_c * 1000}{\pi * d}$$

$$V_f = n * z * f_z$$

$$f_n = \frac{V_f}{n}$$

$$Q = \frac{a_p * a_e * V_f}{1000}$$

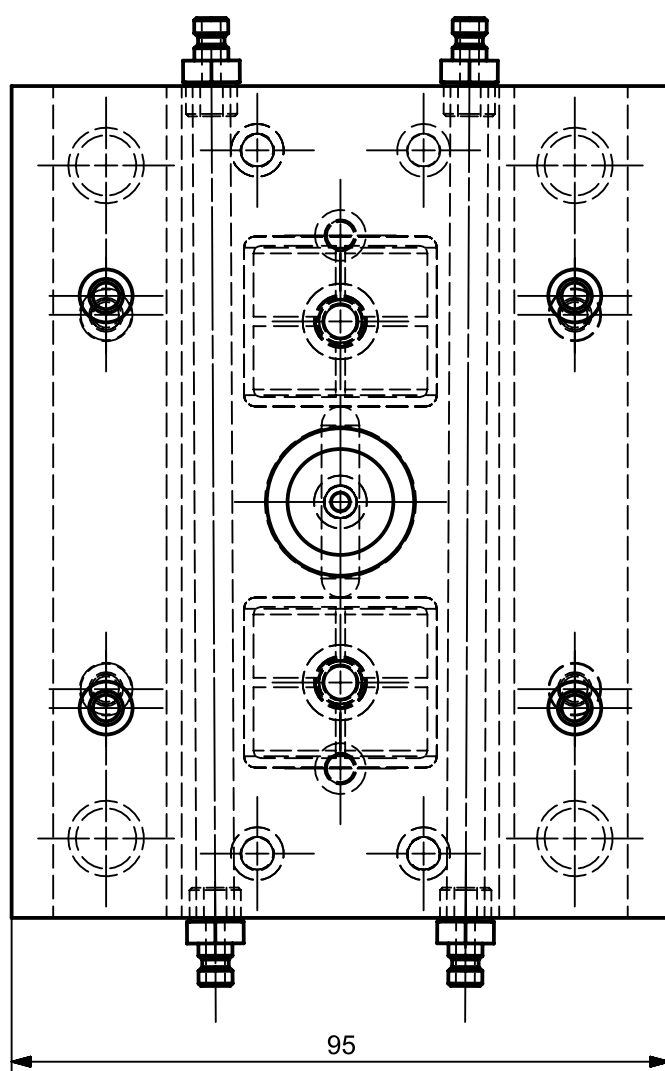
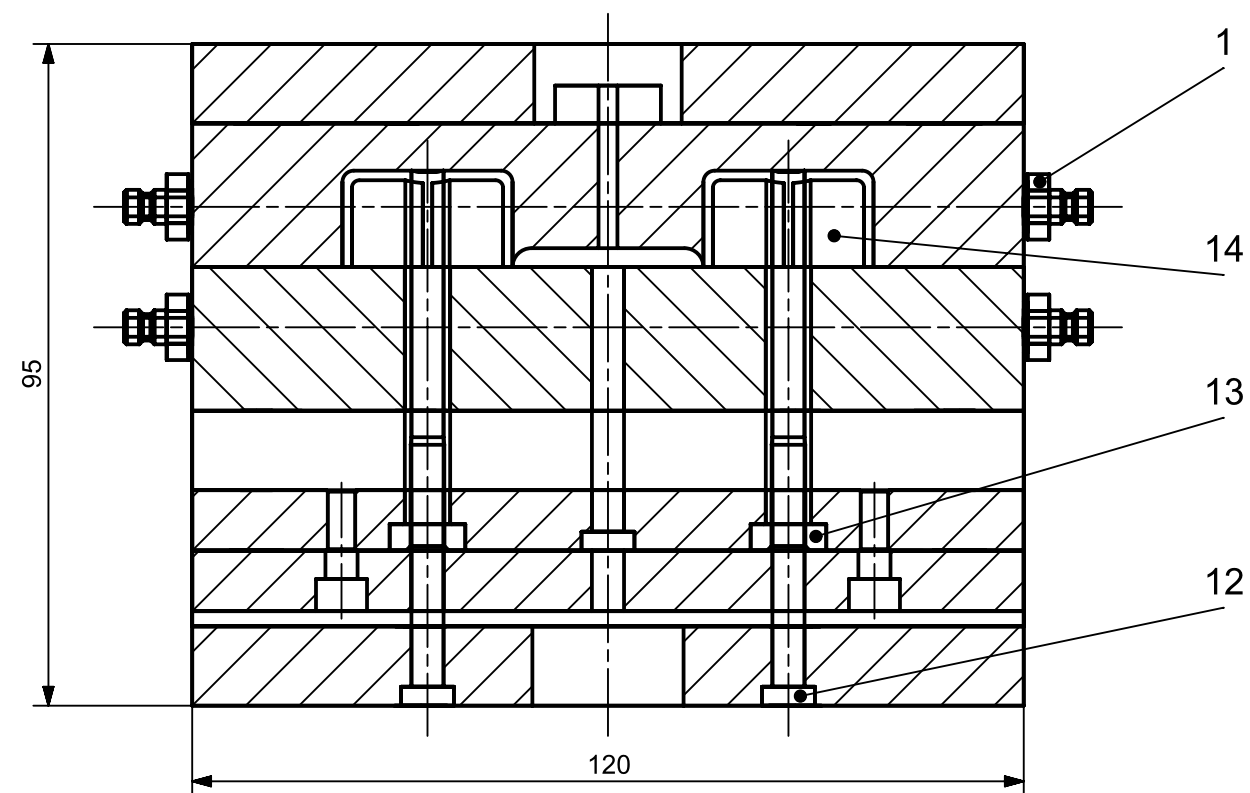
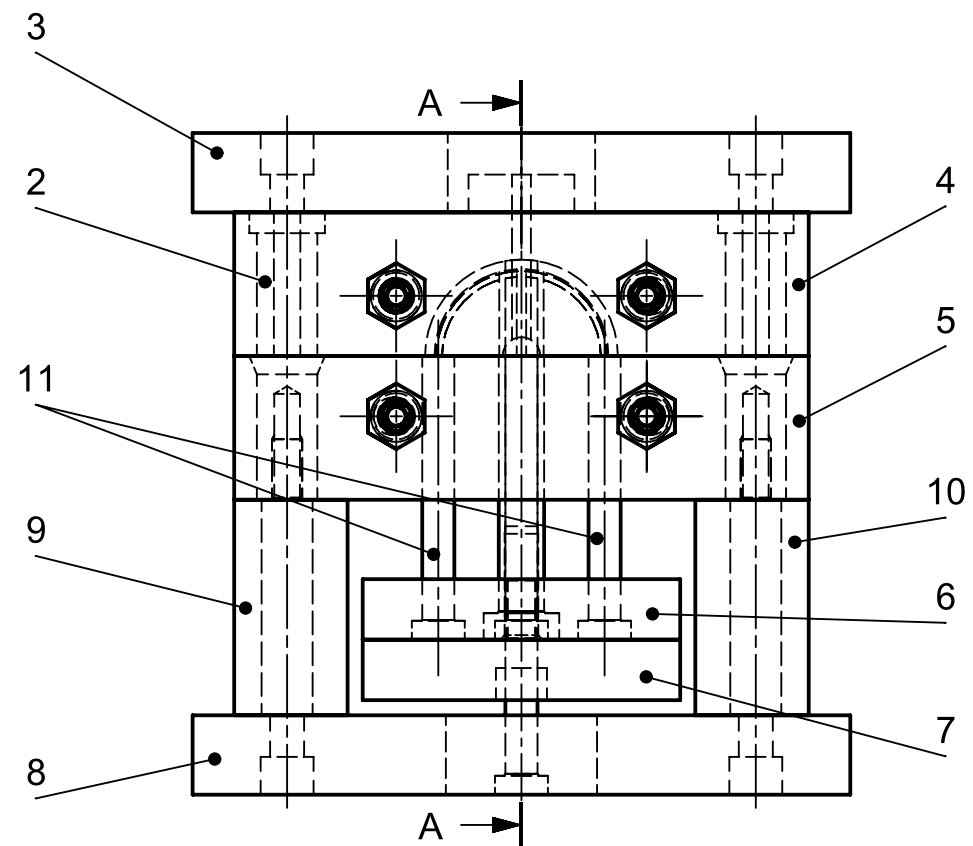
όπου

Σύμβολο	Φυσικό μέγεθος	Μονάδα μέτρησης
V <sub>c</sub>	Ταχύτητα κοπής	m/min
d	Διάμετρος κοπτικού εργαλείου	mm
n	Ταχύτητα περιστροφής	rev/min (rpm)
V <sub>f</sub>	Πρόωση	mm/min
z	Αριθμός δοντιών κοπτικού εργαλείου	-

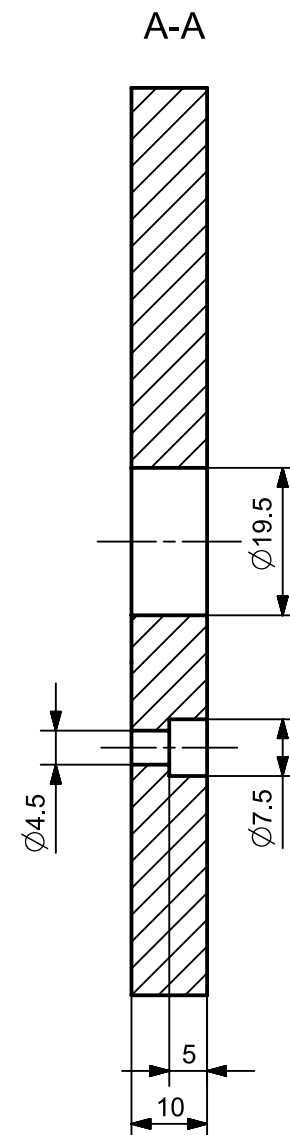
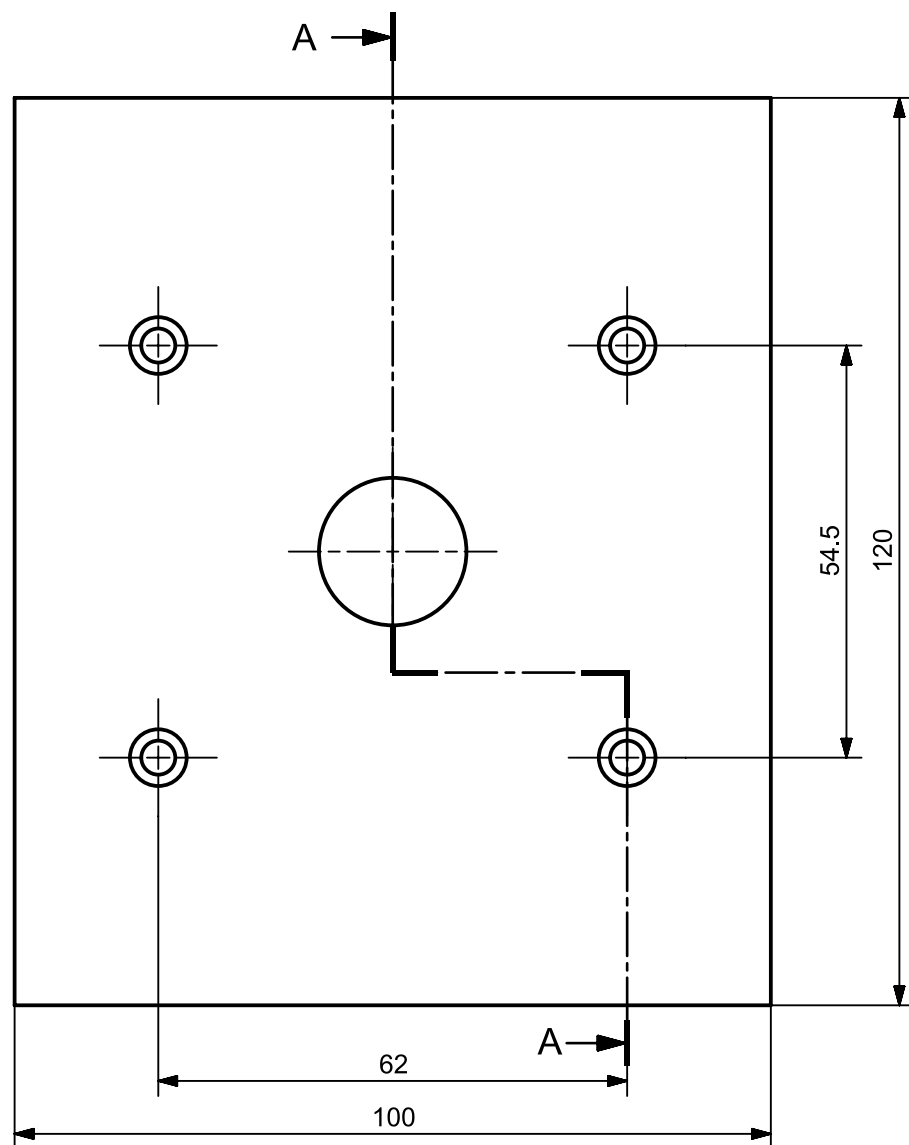
fz	Πρόωση ανά δόντι	mm/tooth
fn	Πρόωση ανά περιστροφή	mm/rev
Q	Ρυθμός αποβολής αποβλήτου	cm <sup>3</sup> /min
ap	Αξονικό βάθος κοπής	mm
ae	Ακτινικό βάθος κοπής	mm

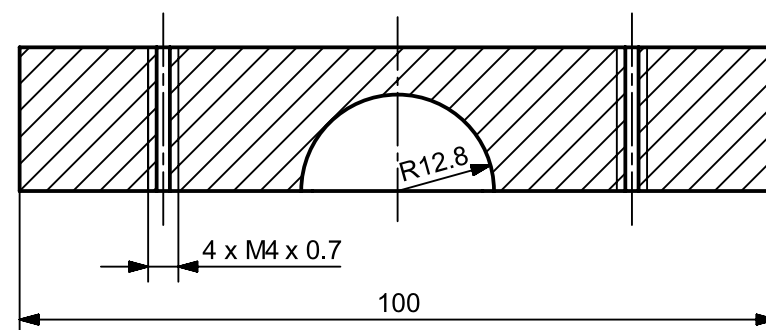
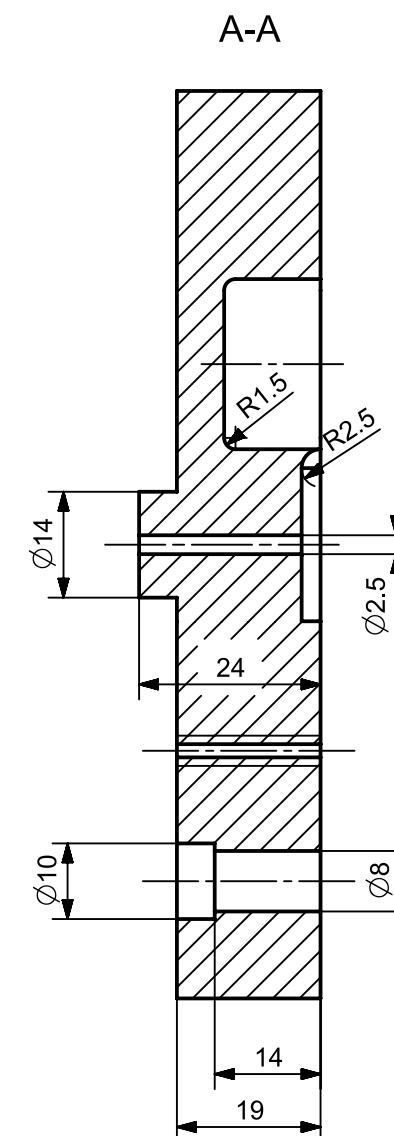
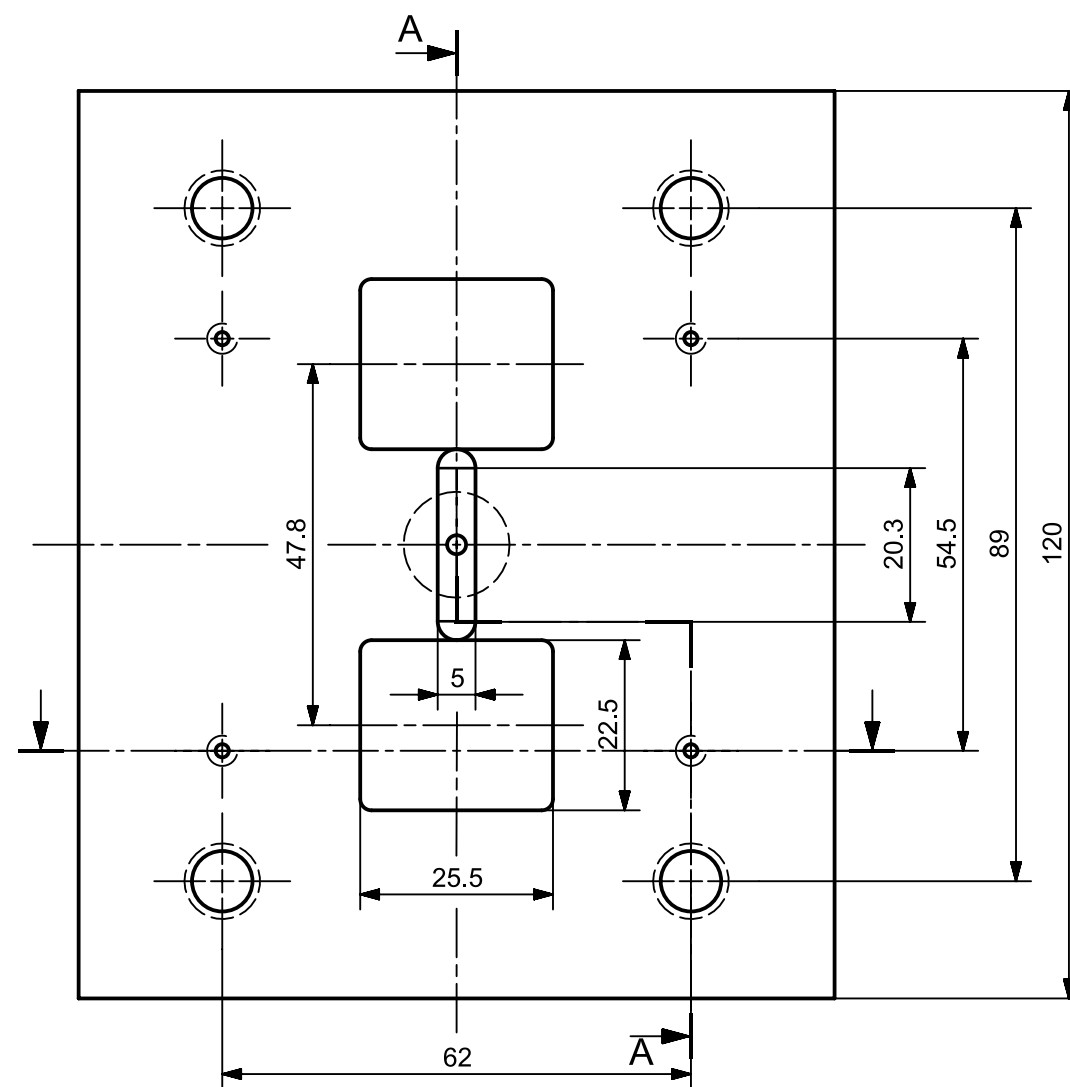
#### **ΠΑΡΑΡΤΗΜΑ Δ - Κατασκευαστικά μηχανολογικά σχέδια**

Τα σχέδια παρατίθενται στις παρακάτω σελίδες.

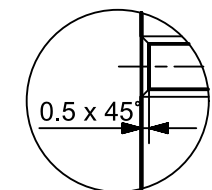
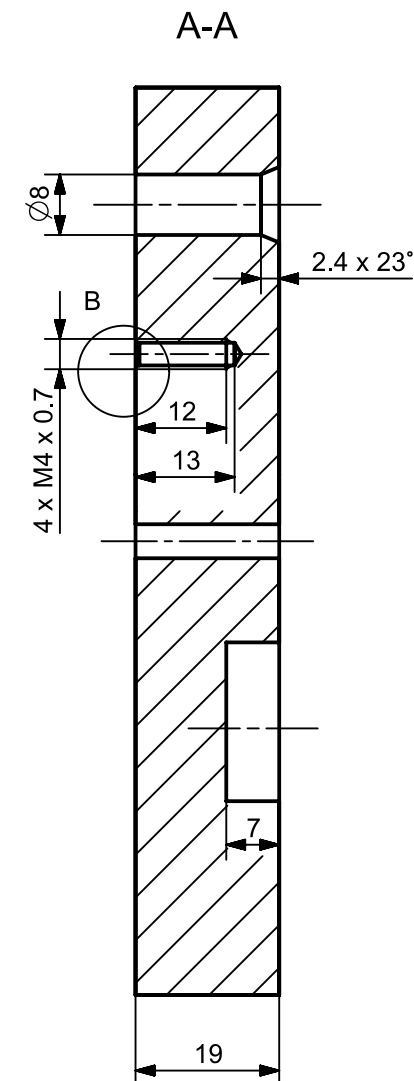
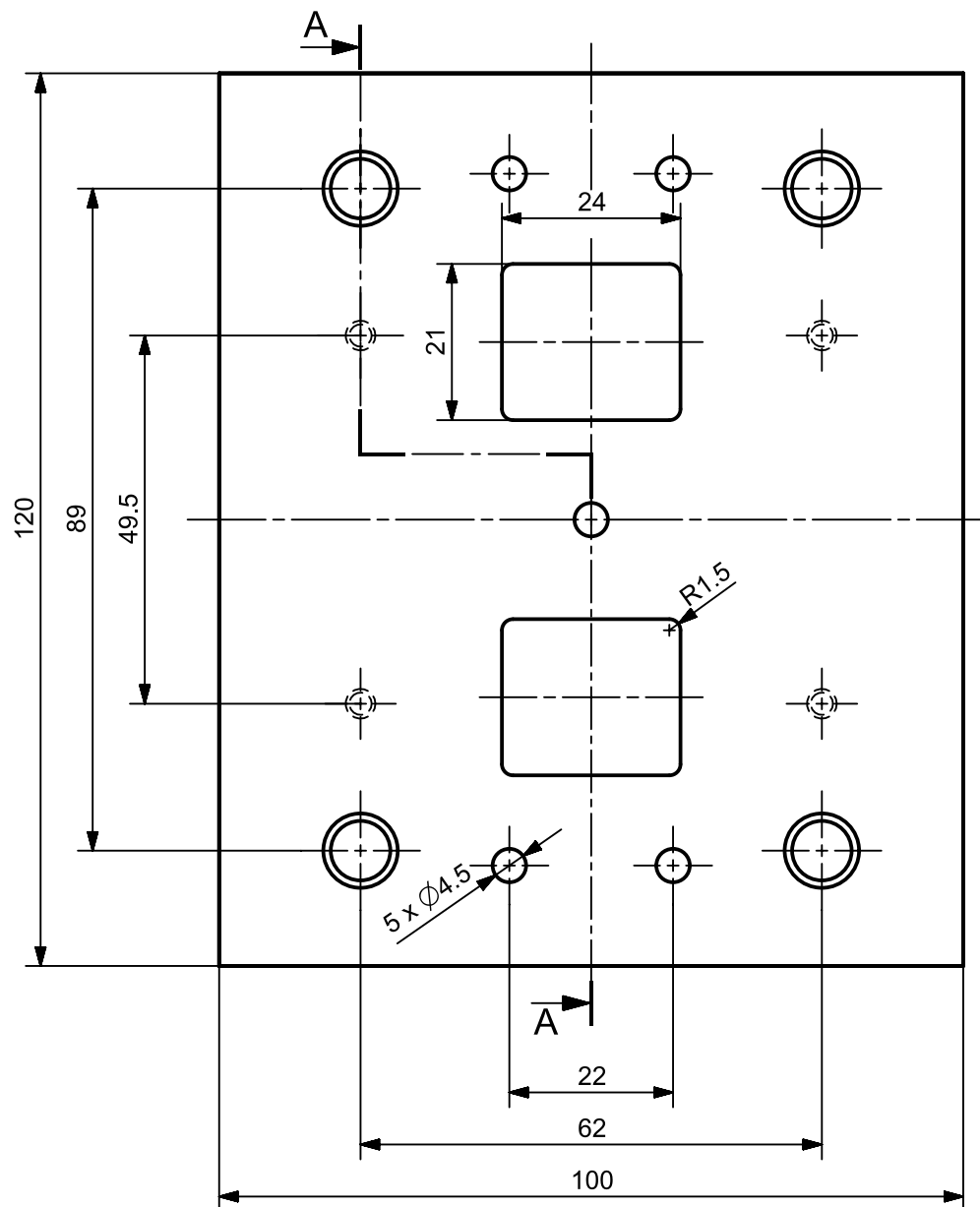


16	ALLEN BOLT M4 x 0.7 x 10	6
15	ALLEN BOLT M4 x 0.7 x 40	4
14	DIPLOMATIKI_CORE_015	2
13	DIPLOMATIKI_SLEEVE_EJ_088	2
12	DIPLOMATIKI_SLEEVE_PIN_087	2
11	DIPLOMATIKI_EJ_PIN_REVERSE_106	5
10	DIPLOMATIKI_SPC_L_069	1
9	DIPLOMATIKI_SPC_R_068	1
8	DIPLOMATIKI_BCP_063	1
7	DIPLOMATIKI_EJB_060	1
6	DIPLOMATIKI_EJA_061	1
5	DIPLOMATIKI_CRP_062	1
4	DIPLOMATIKI_CVP_073	1
3	DIPLOMATIKI_TCP_074	1
2	DIPLOMATIKI_GPA_079	4
1	DIPLOMATIKI_CONNECTOR_112	8
PC NO	PART NAME	QTY

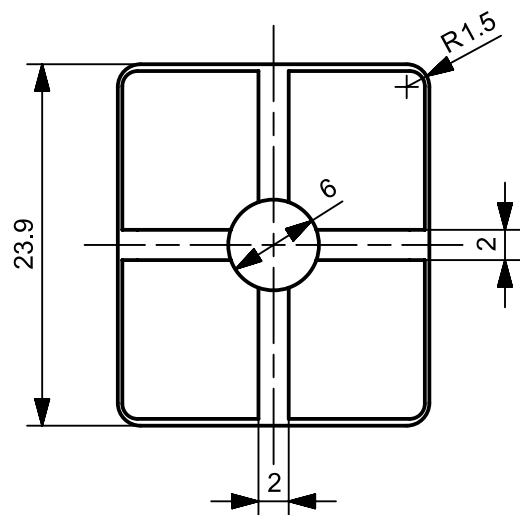
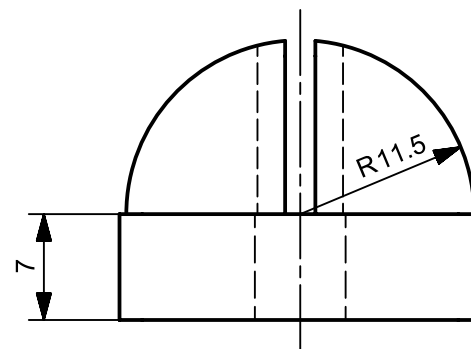
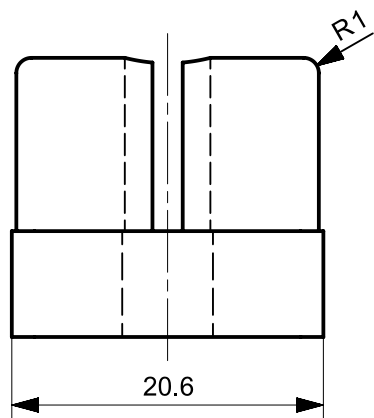


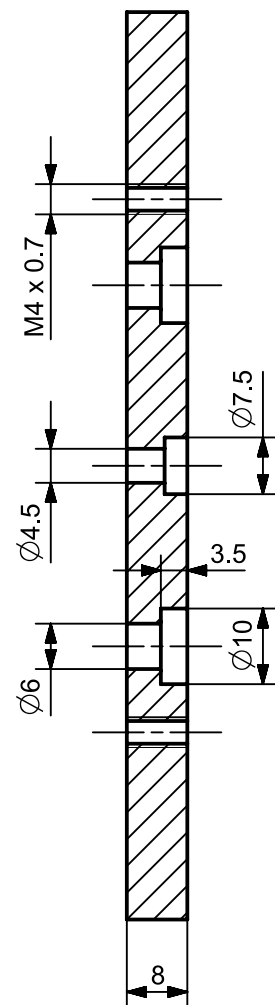
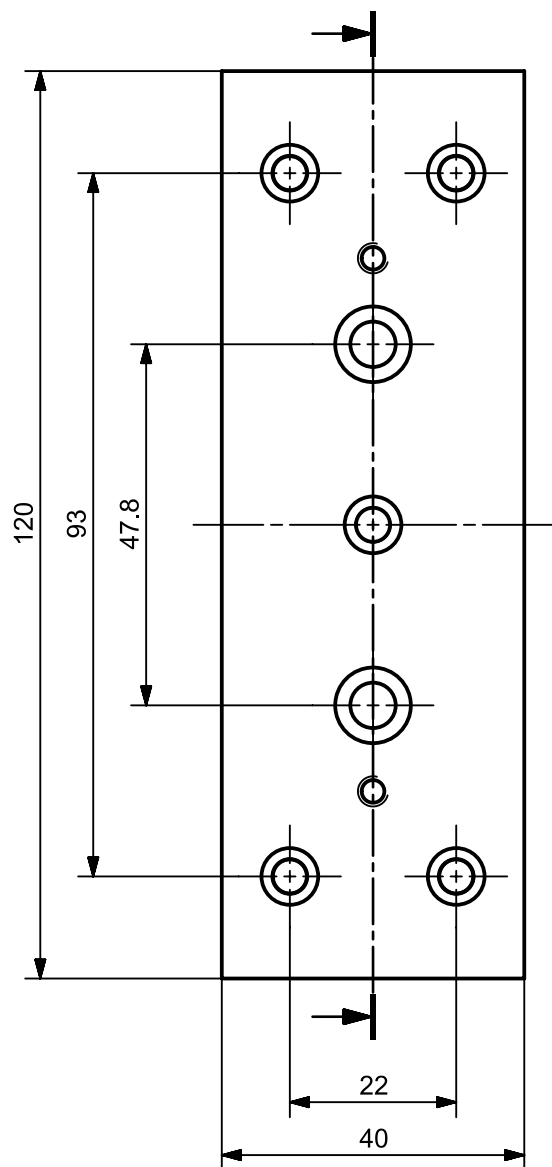


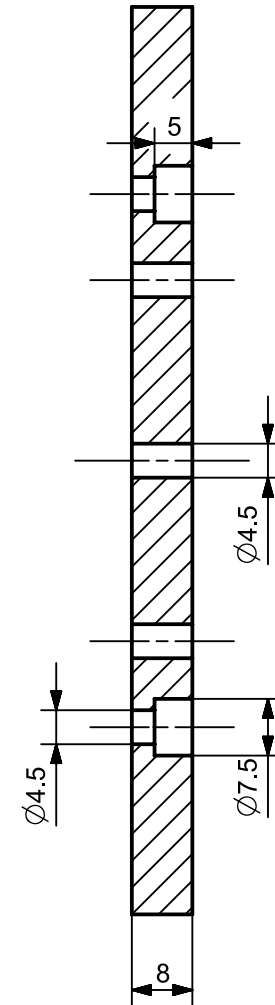
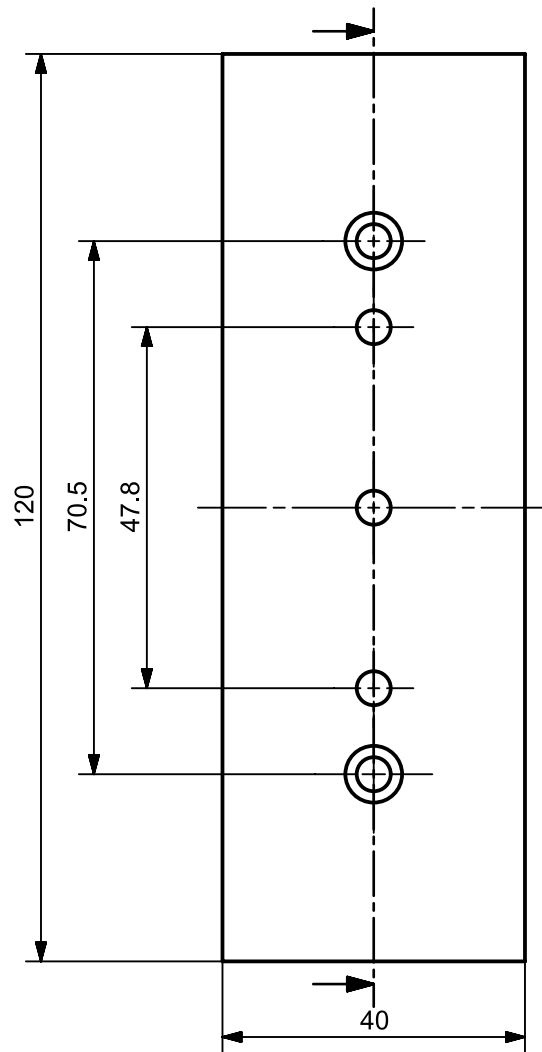


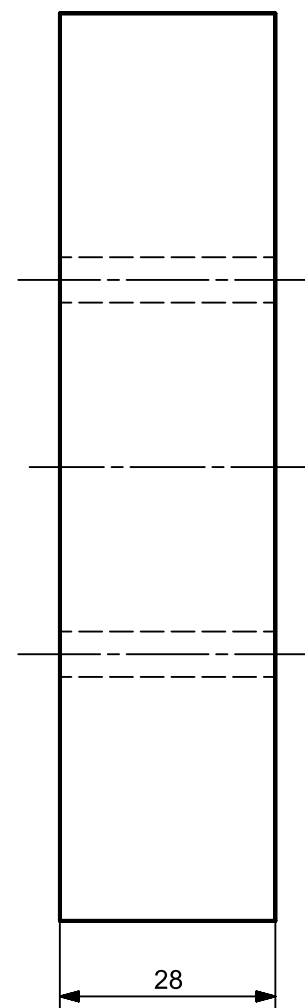
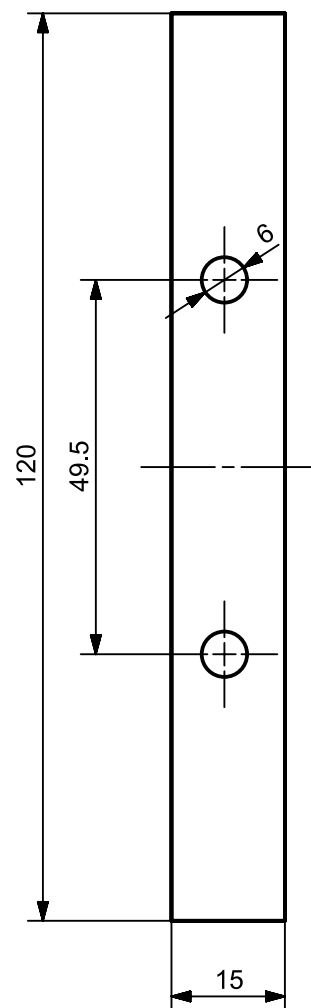


ΛΕΠΤΟΜΕΡΕΙΑ Β  
ΚΛΙΜΑΚΑ 2:1

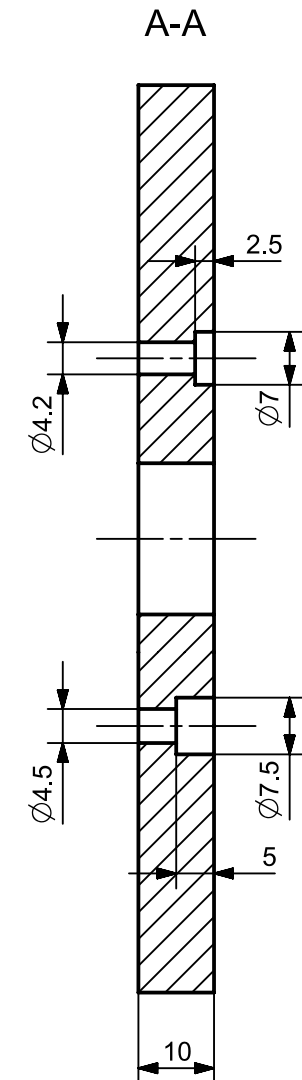
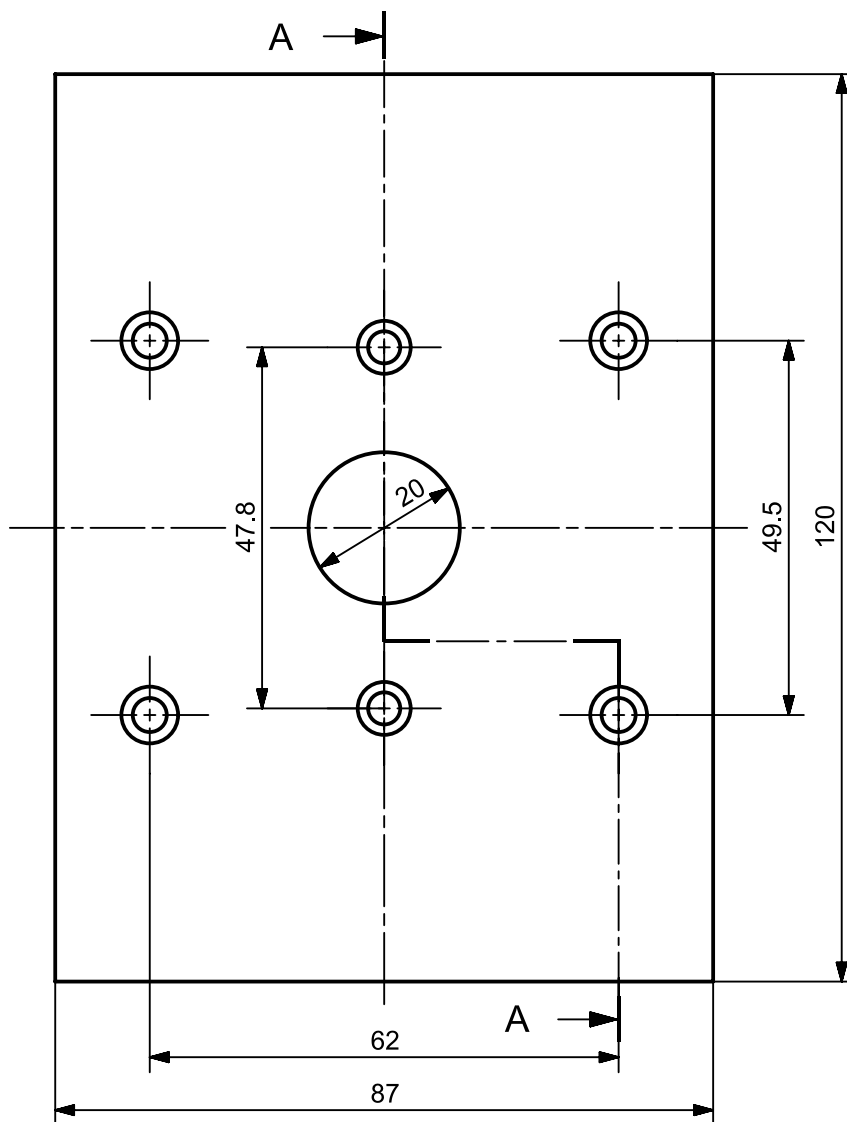


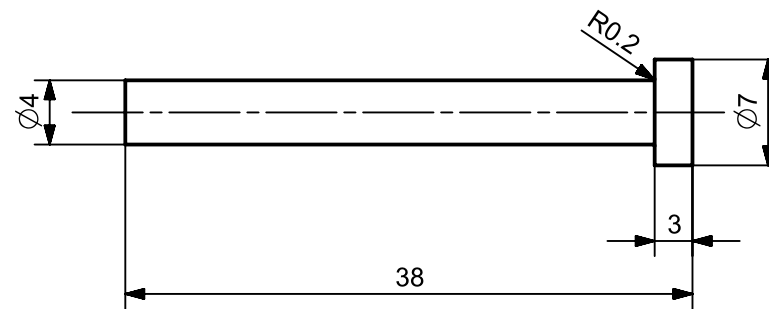


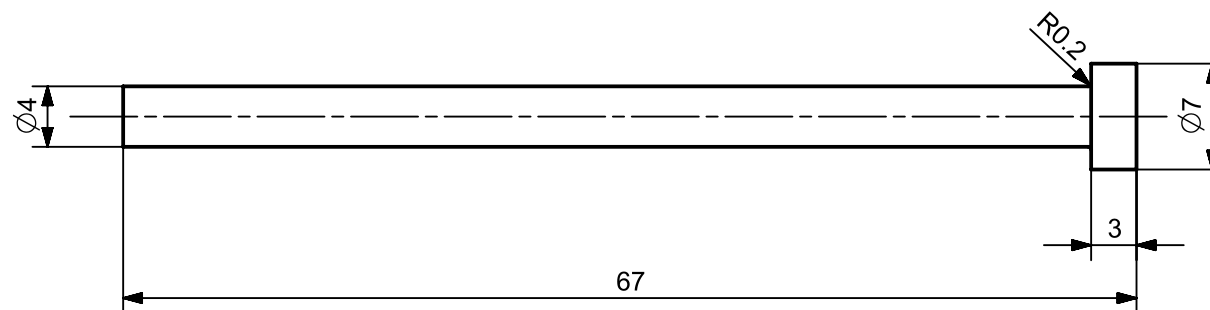


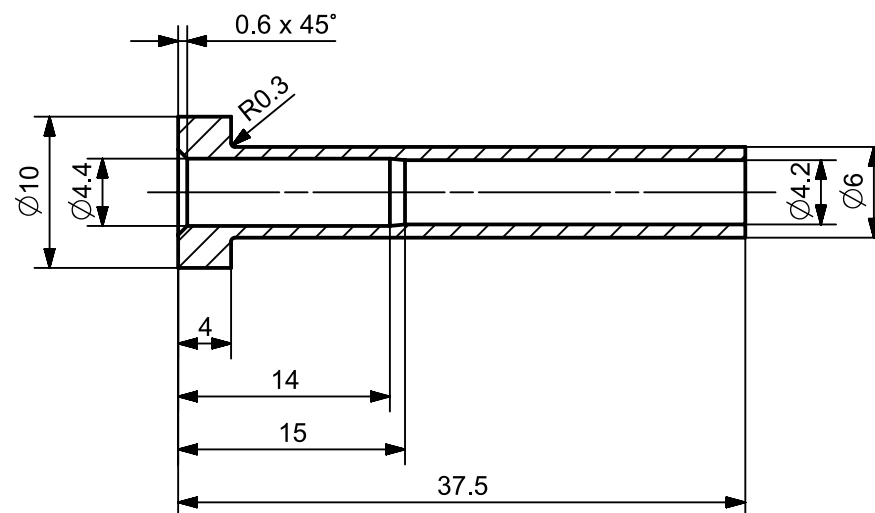


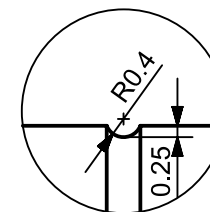












ΛΕΠΤΟΜΕΡΕΙΑ Α  
ΚΛΙΜΑΚΑ 6:1

