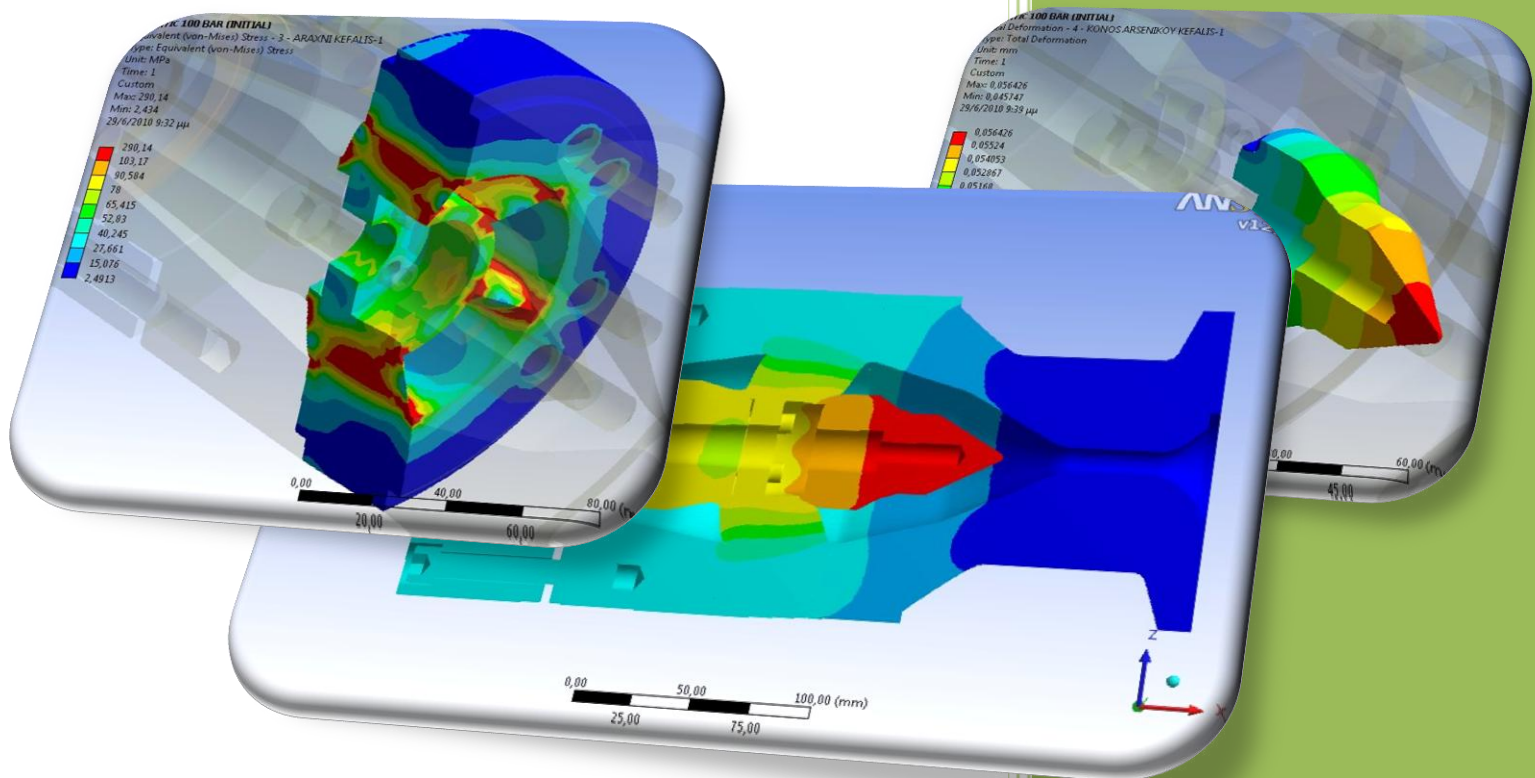




ΔΙΠΛΩΜΑΤΙΚΗ ΕΡΓΑΣΙΑ

ΕΛΕΓΧΟΣ ΑΝΤΟΧΗΣ ΜΗΤΡΑΣ ΕΚΒΟΛΗΣ ΠΛΑΣΤΙΚΟΥ ΣΩΛΗΝΑ



ΠΟΓΙΑΤΖΗΣ ΓΕΩΡΓΙΟΣ

ΕΠΙΒΛΕΠΩΝ

ΜΑΝΩΛΑΚΟΣ ΔΗΜΗΤΡΙΟΣ

ΚΑΘΗΓΗΤΗΣ Ε.Μ.Π.

ΑΘΗΝΑ 2010

.....

Γεώργιος Πογιατζής

Μηχανολόγος Μηχανικός Ε.Μ.Π.

Θα ήθελα να εκφράσω τις θερμές ευχαριστίες μου προς τον Καθηγητή κ. Δ. Μανωλάκο για την εμπιστοσύνη που έδειξε στο πρόσωπό μου αναθέτοντάς μου τη μελέτη και τη διεκπεραίωση της διπλωματικής αυτής εργασίας, αλλά και για την πολύτιμη και ουσιαστική συμβολή του καθ' όλη τη διάρκεια της εκπόνησής της.

Επιπλέον, θα ήθελα να ευχαριστήσω τον Υποψήφιο Διδάκτορα κ. Γεώργιο Κούζιλο για την καθοδήγηση και την άμεση βοήθειά του, καθώς και την παροχή επιστημονικού υλικού απαραίτητου για τη συγγραφή της παρούσας εργασίας.

Γεώργιος Πογιατζής

Μηχανολόγος Μηχανικός Ε.Μ.Π.

ΠΕΡΙΛΗΨΗ

Η εκβολή αποτελεί μια από τις ευρύτερα χρησιμοποιούμενες τεχνικές τόσο για τη μορφοποίηση όσο και για την ανάμιξη πολυμερών. Κύριο τμήμα της γραμμής παραγωγής προϊόντων με την μέθοδο της εκβολής είναι η μήτρα του εκβολέα. Η μήτρα που μελετάται και επιχειρείται **ελεχθεί ως προς την αντοχή της** στην παρούσα εργασία φέρει μονή κεφαλή τύπου αράχνης.

Στο πρώτο κεφάλαιο γίνεται μια αναφορά στην εκβολή, τα είδη των πολυμερών και τις ιδιότητές τους, ενώ δίνεται ιδιαίτερη έμφαση στη μήτρα εκβολής με κεφαλή αράχνης που χρησιμοποιούμε και στην παρούσα εργασία.

Στο δεύτερο κεφάλαιο περιγράφεται ο εκβολέας του εργαστηρίου του Τομέα των Κατεργασιών καθώς και η μήτρα εκβολής πλαστικού σωλήνα Φ32 που υπάρχει επίσης στο εργαστήριο. Αναφέρονται τα μέρη και το υλικό από το οποίο αποτελείται η μήτρα και τέλος γίνεται παρουσίαση συναρμολόγησης της μήτρας και πρόσδεσής της με τους κοχλίες συγκράτησης.

Στο τρίτο κεφάλαιο περιγράφεται η μέθοδος των πεπερασμένων στοιχείων, αναφέρονται οι τύποι πλέγματος και στοιχείων που υπάρχουν και χρησιμοποιούνται στις αναλύσεις, καθώς και τα είδη των αναλύσεων που μπορούν να πραγματοποιηθούν με τη συγκεκριμένη μέθοδο. Τέλος γίνεται μια αναφορά στο λογισμικό πακέτο ANSYS Workbench το οποίο χρησιμοποιείται στο επόμενο κεφάλαιο για τον έλεγχο της αντοχής της μήτρας εκβολής.

Στο τέταρτο κεφάλαιο προχωρούμε στον έλεγχο της αντοχής τόσο της μήτρας του εργαστηρίου όσο και μιας βελτιστοποιημένης μήτρας που έχει σχεδιασθεί σε άλλη μελέτη. Προχωρούμε σε έλεγχο με διάφορες τιμές πίεσης εισόδου του ρευστού στη μήτρα από 100 έως και 600 bar. Για να γίνει πιο κατανοητή η όλη διαδικασία περιγράφουμε τον έλεγχο που πραγματοποιήθηκε στη μήτρα του εργαστηρίου για 100 bar πίεση εισόδου. Πρώτα κάνουμε προσομοίωση της ροής του ρευστού για να υπολογίσουμε την πίεση στα τοιχώματα του ρευστού και στη συνέχεια κάνουμε στατική ανάλυση όπου λαμβάνουμε υπόψην τη πίεση, τη θερμοκρασία και τη βαρύτητα για να υπολογίσουμε ισοδύναμες τάσεις και παραμορφώσεις τόσο ολόκληρης της μήτρας όσο των επιμέρους τμημάτων της.

Στο πέμπτο κεφάλαιο, δείχνουμε τις γεωμετρικές διαφορές των δύο μητρών που αναλύσαμε (εργαστηρίου και βελτιστοποιημένη), συγκεντρώνουμε τα αποτελέσματα των στατικών αναλύσεων και συγκρίνουμε τις μέγιστες ισοδύναμες τάσεις με το όριο διαρροής του χάλυβα IMPAX για να βρούμε τα όρια των πιέσεων που μπορούν να δεχθούν οι μήτρες. Τέλος εξάγουμε χρήσιμα συμπεράσματα από την ανάλυσή μας.

Τέλος στο έκτο κεφάλαιο, δείχνονται τα κατασκευαστικά σχέδια της μήτρας εκβολής, οι ιδιότητες του χάλυβα IMPAX από τον οποίο αποτελείται η μήτρα εκβολής και του πολυαιθυλενίου HDPE που είναι το ρευστό. Επίσης παρουσιάζονται κάποια reports των αναλύσεων που πραγματοποιήθηκαν καθώς και η βιβλιογραφία που χρησιμοποιήθηκε.

ΠΙΝΑΚΑΣ ΠΕΡΙΕΧΟΜΕΝΩΝ

ΠΕΡΙΛΗΨΗ	4
ΠΙΝΑΚΑΣ ΠΕΡΙΕΧΟΜΕΝΩΝ	5
ΚΕΦΑΛΑΙΟ 1: ΕΚΒΟΛΗ	7
1.1 ΠΟΛΥΜΕΡΗ	7
1.2 ΕΚΒΟΛΗ.....	9
1.3 ΜΗΤΡΑ ΕΚΒΟΛΗΣ ΜΕ ΚΕΦΑΛΗ ΑΡΑΧΝΗΣ	15
ΚΕΦΑΛΑΙΟ 2: ΕΚΒΟΛΕΑΣ ΕΡΓΑΣΤΗΡΙΟΥ	17
2.1 ΔΙΑΤΑΞΗ ΕΚΒΟΛΕΑΣ ΕΡΓΑΣΤΗΡΙΟΥ	17
2.2 ΜΗΤΡΑ ΕΚΒΟΛΗΣ ΕΡΓΑΣΤΗΡΙΟΥ	22
2.3 ΜΕΡΗ - ΥΛΙΚΟ ΜΗΤΡΑΣ ΕΚΒΟΛΗΣ	25
2.4 ΣΥΝΑΡΜΟΛΟΓΗΣΗ ΜΗΤΡΑΣ ΕΚΒΟΛΗΣ.....	27
ΚΕΦΑΛΑΙΟ 3: ΜΕΘΟΔΟΣ ΤΩΝ ΠΕΠΕΡΑΣΜΕΝΩΝ ΣΤΟΙΧΕΙΩΝ	33
3.1 ΓΕΝΙΚΑ.....	33
3.2 ΜΕΘΟΔΟΣ ΤΩΝ ΠΕΠΕΡΑΣΜΕΝΩΝ ΣΤΟΙΧΕΙΩΝ	34
3.4.1 ΜΟΝΤΕΛΟΠΟΙΗΣΗ – ΤΥΠΟΙ ΠΕΠΕΡΑΣΜΕΝΩΝ ΣΤΟΙΧΕΙΩΝ	35
3.4.2 ΑΥΤΟΜΑΤΗ ΓΕΝΕΣΗ ΠΛΕΓΜΑΤΟΣ	38
3.4.3 ΕΙΔΗ ΑΝΑΛΥΣΗΣ ΠΕΠΕΡΑΣΜΕΝΩΝ ΣΤΟΙΧΕΙΩΝ	40
3.3 ΛΟΓΙΣΜΙΚΟ ANSYS WORKBENCH	42
ΚΕΦΑΛΑΙΟ 4: ΡΟΪΚΗ ΚΑΙ ΣΤΑΤΙΚΗ ΑΝΑΛΥΣΗ ΜΗΤΡΑΣ ΕΚΒΟΛΗΣ	44
4.1 ΓΕΝΙΚΑ.....	44
4.2 ΕΙΣΑΓΩΓΗ ΓΕΩΜΕΤΡΙΑΣ.....	45
4.3 ΠΡΟΣΟΜΟΙΩΣΗ ΡΟΗΣ	48
4.4 ΣΤΑΤΙΚΗ ΑΝΑΛΥΣΗ	67
ΚΕΦΑΛΑΙΟ 5: ΑΠΟΤΕΛΕΣΜΑΤΑ - ΣΥΜΠΕΡΑΣΜΑΤΑ	82
5.1 ΑΡΧΙΚΗ ΚΑΙ ΒΕΛΤΙΣΤΟΠΟΙΗΜΕΝΗ ΜΗΤΡΑ ΕΚΒΟΛΗΣ	82
5.2 ΣΥΓΚΕΝΤΡΩΣΗ ΑΠΟΤΕΛΕΣΜΑΤΩΝ.....	84
5.2.1 ΣΥΓΚΕΝΤΡΩΣΗ ΑΠΟΤΕΛΕΣΜΑΤΩΝ ΣΤΑΤΙΚΗΣ ΑΝΑΛΥΣΗΣ.....	88
5.3 ΑΝΑΛΥΣΗ ΑΠΟΤΕΛΕΣΜΑΤΩΝ	95
ΑΡΧΙΚΗ ΜΗΤΡΑ ΕΚΒΟΛΗΣ ΕΡΓΑΣΤΗΡΙΟΥ	95
ΒΕΛΤΙΣΤΟΠΟΙΗΜΕΝΗ ΜΗΤΡΑ ΕΚΒΟΛΗΣ	100
5.4 ΣΥΜΠΕΡΑΣΜΑΤΑ	105
ΠΑΡΑΡΤΗΜΑΤΑ	106
ΠΑΡΑΡΤΗΜΑ Α: ΚΑΤΑΣΚΕΥΑΣΤΙΚΑ ΣΧΕΔΙΑ ΜΗΤΡΑΣ ΕΚΒΟΛΗΣ	106
ΠΑΡΑΡΤΗΜΑ Β: ΑΝΑΛΥΤΙΚΕΣ ΙΔΙΟΤΗΤΕΣ ΧΑΛΥΒΑ ΙΜΡΑΧ	119
ΠΑΡΑΡΤΗΜΑ Γ: ΑΝΑΛΥΤΙΚΕΣ ΙΔΙΟΤΗΤΕΣ ΠΟΛΥΑΙΘΥΛΑΙΝΙΟΥ ΗDΡΕ.....	125
ΠΑΡΑΡΤΗΜΑ Δ: REPORT ΡΟΪΚΗΣ ΑΝΑΛΥΣΗΣ.....	127

Contents.....	127
1. File Report.....	128
2. Mesh Report.....	128
3. Physics Report	128
4. User Data	129
ΠΑΡΑΡΤΗΜΑ Ε: REPORT ΣΤΑΤΙΚΗΣ ΑΝΑΛΥΣΗΣ.....	131
Project.....	131
Contents.....	132
Units.....	132
Model (I3)	132
Geometry	132
Coordinate Systems	138
Symmetry	139
Connections	139
Mesh	144
Named Selections	145
Static Structural (I4).....	145
Solution (I5).....	149
Material Data.....	178
Structural Steel.....	178
IMPAX.....	180
ΠΑΡΑΡΤΗΜΑ ΣΤ: ΒΙΒΛΙΟΓΡΑΦΙΑ.....	182
ΕΛΛΗΝΙΚΗ ΒΙΒΛΙΟΓΡΑΦΙΑ.....	182
ΞΕΝΟΓΛΩΣΣΗ ΒΙΒΛΙΟΓΡΑΦΙΑ	182

ΚΕΦΑΛΑΙΟ 1: ΕΚΒΟΛΗ

1.1 ΠΟΛΥΜΕΡΗ

Τα πολυμερή που απαντώνται στη φύση είναι αυτά που προέρχονται από φυτά και ζώα. Τα υλικά αυτά περιλαμβάνουν το ξύλο, το καουτσούκ, το βαμβάκι, το μαλλί, το δέρμα και το μετάξι. Άλλα φυσικά πολυμερή όπως οι πρωτεΐνες τα ένζυμα, το άμυλο κι η κυτταρίνη (κελλουλόζη), είναι σημαντικά στις βιολογικές και φυσιολογικές διεργασίες στα φυτά και τα ζώα. Σύγχρονα επιστημονικά ερευνητικά εργαλεία έχουν κάνει δυνατή την εξακρίβωση της μοριακής δομής αυτής ομάδας υλικών και την ανάπτυξη πολυάριθμων πολυμερών, τα οποία συντίθενται από μικρά οργανικά μόρια. Στην πραγματικότητα, από τη λήξη του Δευτέρου Παγκοσμίου Πολέμου, στο πεδίο των υλικών έχει ουσιαστικά σημειωθεί επανάσταση με την άφιξη των συνθετικών πολυμερών. Τα συνθετικά, μπορούν να παραχθούν φθηνά, και οι ιδιότητες τους είναι εύκολο να ελεγχθούν σε βαθμό που πολλά να είναι ανώτερα από τα αντίστοιχα φυσικά. Σε πολλές εφαρμογές εξαρτήματα από μέταλλο και ξύλο έχουν αντικατασταθεί από πλαστικά, τα οποία έχουν ικανοποιητικές ιδιότητες και μπορούν να παραχθούν με χαμηλό κόστος. Όπως με τα μέταλλα και τα κεραμικά, οι ιδιότητες των πολυμερών είναι περίπλοκα συνδεδεμένες με τα δομικά στοιχεία του υλικού.

Τα περισσότερα πολυμερή αποτελούνται από πολύ μεγάλα μόρια - αλυσίδες ατόμων άνθρακα, στα οποία συνδέονται διάφορα άτομα ή ρίζες. Τα μακρομόρια αυτά μπορούν να γίνουν αντιληπτά ότι αποτελούνται από ομάδες μονομερών, μικρότερες δομικές μονάδες, οι οποίες επαναλαμβάνονται κατά μήκος της αλυσίδας. Παρουσιάστηκε η δομή μερικών από τα χημικά απλά πολυμερή (π.χ. πολυαιθυλένιο, πολυβινυλοχλωρίδιο και πολυπροπυλένιο).

Τα μοριακά βάρη για υψιπολυμερή μπορούν να ξεπερνούν το ένα εκατομμύριο. Εφόσον όλα τα πολυμερή δεν είναι όλα του ίδιου μεγέθους, υπάρχει μια κατανομή μοριακών βαρών. Το μήκος των αλυσίδων μπορεί επίσης να διευκρινιστεί με το βαθμό πολυμερισμού, τον αριθμό ομάδων μονομερών ανά μέσο μόριο.

Συζητήθηκαν αρκετά μοριακά χαρακτηριστικά που έχουν επίδραση στις ιδιότητες των πολυμερών. Η μοριακή διαπλοκή συμβαίνει όταν οι αλυσίδες λαμβάνουν συνεστραμμένα, περιελιγμένα, ή έκκεντρα σχήματα ή περιγράμματα (contours). Αναφορικά με τη μοριακή δομή, πλέον των ισοτακτικών, συνδιοτακτικών και ατακτικών στερεοϊσομερών και των *cis* και *trans* γεωμετρικών ισομερών, είναι δυνατές οι γραμμικές, διακλαδωμένες, διασταυρωμένες, και δικτυωμένες δομές. Στα είδη συμπολυμερών περιλαμβάνονται τα τυχαίας δομής και τα εναλλασσόμενης δομής, τα μπλοκ και τα συμπολυμερή εμβολιασμού.

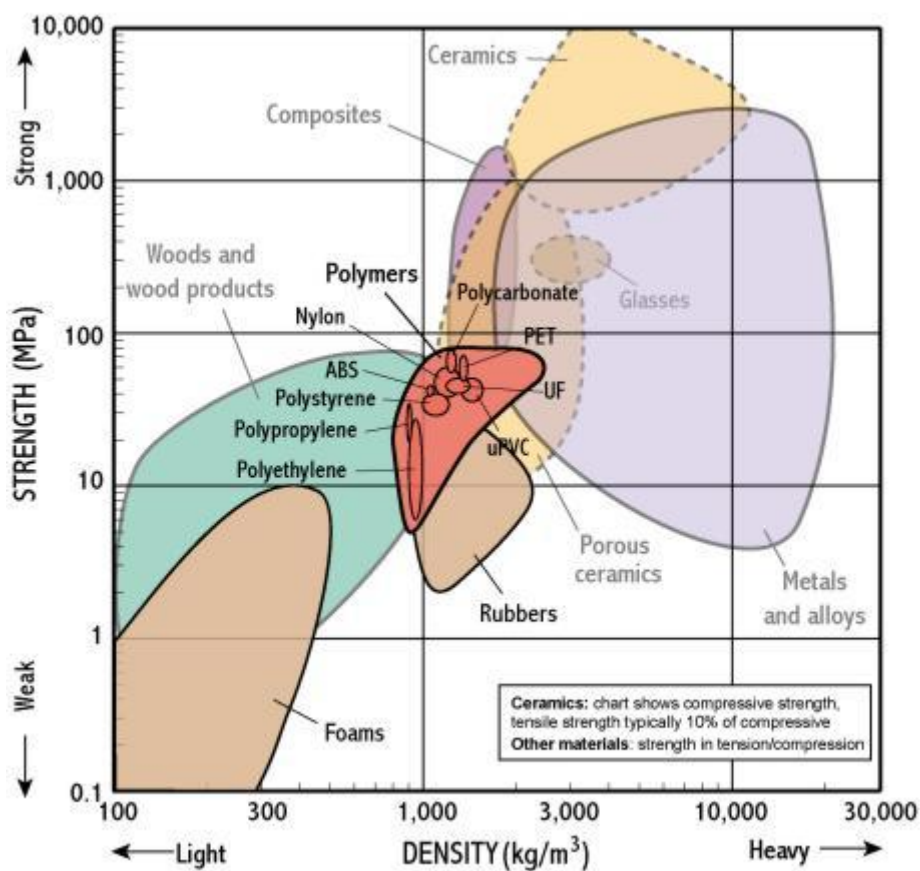
Όταν η συσσώρευση (πακετάρισμα) των μοριακών αλυσίδων είναι τέτοιο ώστε να παράγει μια τακτική ατομική διαμόρφωση, λέμε ότι υπάρχει η συνθήκη της κρυσταλλικότητας. Εκτός από τα πλήρως άμορφα, τα πολυμερή μπορούν να εμφανίζουν ουσιαστικά πλήρη και μερική κρυσταλλικότητα. Στη δεύτερη περίπτωση, οι κρυσταλλικές περιοχές διασπείρονται μεταξύ

των άμορφων περιοχών. Η κρυσταλλικότητα διευκολύνεται στα απλά από χημικής πλευράς πολυμερή που έχουν κανονική και συμμετρική δομή αλυσίδας. Οι μονοκρυσταλλοί πολυμερών μπορούν να αναπτύσσονται από αραιά διαλύματα σαν λεπτά πλακίδια που έχουν δομή αναδιπλωμένης αλυσίδας. Πολλά ημι-κρυσταλλικά πολυμερή σχηματίζουν σφαιρουλίτες. Κάθε σφαιρουλίτης αποτελείται από ένα σύνολο κρυσταλλιτών που σχηματίζουν ταινιοειδείς φυλλώδεις δομές αναδιπλωμένης αλυσίδας, οι οποίες αναπτύσσονται ακτινωτά από το κέντρο προς τα έξω.

Τα πολυμερή ανάλογα με τον τρόπο μορφοποίησής τους διακρίνονται σε:

- ✓ **Θερμοπλαστικά ή πλαστομερή ή πλαστικά (thermoplastics)**
- ✓ **Θερμοσκληρυνόμενα ή θερμοσταθερά (thermosettings)**
- ✓ **Ελαστομερή ή ελαστικά (elastomers ή rubbers)**

Στο παρακάτω σχήμα παρουσιάζονται διάφορα είδη πολυμερών συναρτήσει της αντοχής και της πυκνότητάς τους.



Σχήμα 1.1 Τύποι πολυμερών

1.2 ΕΚΒΟΛΗ

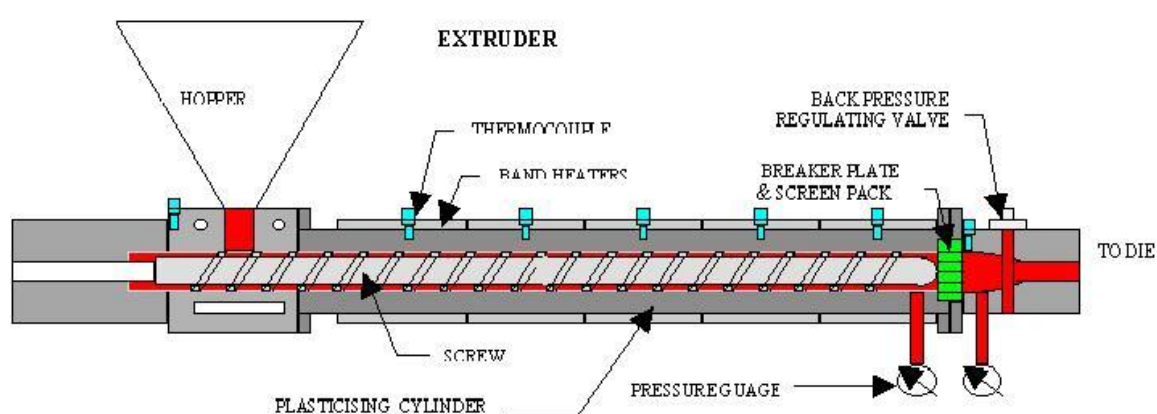
Η εκβολή αποτελεί μια από τις ευρύτερα χρησιμοποιούμενες τεχνικές τόσο για τη μορφοποίηση όσο και για την ανάμειξη πολυμερών. Περίπου το 60% των πλαστικών παγκοσμίως μορφοποιούνται με τη μέθοδο αυτή. Στα προϊόντα που μορφοποιούνται με εκβολή ανήκουν οι σωλήνες, ράβδοι, προφίλ (όπως πλαίσια σε παράθυρα), φιλμ, ίνες, μονωμένα καλώδια για ηλεκτρικές εφαρμογές.

Η λειτουργία ενός εκβολέα συνίσταται στη μετατροπή των στερεών κόκκων του πολυμερούς τροφοδοσίας σε ομογενές τήγμα το οποίο στη συνέχεια προωθείται με ομοιόμορφο ρυθμό σε μια μήτρα. Διακρίνουμε συστήματα εκβολής **ενός κοχλίου** και **δύο κοχλίων**.

Διάταξη του εκβολέα

Ο εκβολέας είναι η μονάδα παροχής τήγματος στη διαδικασία της εκβολής. Παρέχει τήγμα του πολυμερούς σε ομοιόμορφη θερμοκρασία και σύσταση με έναν σταθερό και ελεγχόμενο ρυθμό. Οι μηχανές αυτές εξελίχθηκαν, από τις πρώτες διατάξεις που κάποτε μετέτρεψαν τους εκβολείς ελαστικών, στις σύνθετες μονάδες παραγωγής τήγματος που χρησιμοποιούνται τώρα. Οι περισσότεροι εκβολείς που είναι σε χρήση είναι μονοκόχλιοι (single-screw extruders). Οι μηχανές με δύο (twin-screw) ή πολλαπλούς κοχλίες (multiple-screw) είναι πιο πρόσφατη εξέλιξη.

Επίσης υπάρχουν εκβολείς για πιο ειδικές εφαρμογές όπως ο εκβολέας ελαστικού τήγματος (elastic melt extruder) και η γριναζωτή αντλία (gear pump).



Σχήμα 1.2 Κύρια τμήματα εκβολέα

Η λειτουργία των περισσότερων εκβολέων γίνεται με την κάθοδο των πολυμερών υπό μορφή κόκκων, σκόνης ή φοιιδίων από τη χοάνη τροφοδοσίας στο άνοιγμα μεταξύ του περιστρεφόμενου κοχλίας (screw) και του θερμαινόμενου κυλίνδρου (barrel). Το πολυμερές μεταφέρεται προς τα εμπρός, συμπιέζεται και τήκεται και τελικά υπό μορφή τήγματος περνά μέσα από τη μήτρα εκβολής όπου παίρνει το κατάλληλο σχήμα προτού εξέλθει και στερεοποιηθεί με ψύξη στην ατμόσφαιρα.

Ο κοχλίας περιστρέφεται από το σύστημα μετάδοσης κίνησης που αποτελείται από ένα κινητήρα (motor) και ένα κιβώτιο ταχυτήτων (gear box) για τον έλεγχο των στροφών του κοχλίας. Το σύστημα μετάδοσης κίνησης εξασφαλίζει τις απαιτήσεις της διάταξης σε μηχανική ενέργεια. Η απαιτούμενη μηχανική ενέργεια μιας διάταξης εκβολής αυξάνεται όταν:

- Αυξάνεται η ογκομετρική παροχή εξόδου
- Αυξάνεται η διάμετρος του κυλινδρικού σώματος
- Αυξάνεται το μήκος του κοχλίας και
- Απαιτείται υψηλή ογκομετρική παροχή εξόδου σε υψηλές θερμοκρασίες.

Οι απαιτήσεις σε μηχανική ενέργεια επίσης εξαρτώνται από τον τύπο της πολυμερικής ρητίνης και το σχεδιασμό της μήτρας. Το σύστημα μεταφοράς θερμότητας αποτελείται από θερμαντικά στοιχεία ηλεκτρικής αντίστασης (heating elements), σύστημα ψύξης στην περιοχή της τροφοδοσίας και έναν αριθμό θερμοστοιχείων. Τα θερμοστοιχεία είναι συνδεδεμένα με τους ρυθμιστές θερμοκρασίας οι οποίοι ενεργοποιούν τα θερμαντικά ή ψυκτικά στοιχεία ώστε να διατηρηθεί το επιθυμητό θερμοκρασιακό προφίλ του εκβολέα. Κατά την περιστροφή του ο κοχλίας δέχεται μια ώθηση από το πολυμερικό τήγμα προς το πίσω μέρος του εκβολέα. Για το λόγο αυτό υπάρχουν τα έδρανα αντίθλιψης (thrust bearing) που λειτουργούν για την απόσβεση αυτής της δράσης. Το κύριο σώμα της διάταξης εκβολής αποτελείται από τον κύλινδρο (barrel) και τον κοχλίας (screw).

Ο κύλινδρος είναι κατασκευασμένος από ανοξείδωτο χάλυβα και η εσωτερική επιφάνεια είναι ειδικά επεξεργασμένη για να έχει αντίσταση στην τριβή και στη διάβρωση. Η εσωτερική διάμετρος του κυλίνδρου είναι μια σημαντική παράμετρος που καθορίζει το μέγεθος και τη δυναμικότητα του εκβολέα. Με τη βοήθεια του ηλεκτροκινητήρα (motor) ο κοχλίας περιστρέφεται αξονικά μέσα στον κύλινδρο, προωθώντας το πολυμερές που τροφοδοτείται μέσω της χοάνης τροφοδοσίας (hopper).

Κατά τη διαδρομή προς την έξοδο το προϊόν τήκεται. Το τήγμα οδηγείται σε μια πλάκα όπου βρίσκονται στερεωμένα μεταλλικά δισκία με διάφορα ανοίγματα, που παίζουν το ρόλο του φίλτρου. Συγκρατούν δηλαδή ακαθαρσίες και ξένα σώματα που μπορεί να βρίσκονται μέσα στο πολυμερές. Μετά το φίλτρο, το τήγμα του πολυμερούς οδηγείται στην κεφαλή του εκβολέα και στη συνέχεια βγαίνει από τη μήτρα (die), έχοντας πάρει τη μορφή που επιθυμούμε να κατασκευάσουμε. Πρέπει να σημειωθεί ότι, μετά την έξοδο από τον εκβολέα, το μορφοποιημένο τήγμα του πολυμερούς πρέπει να σταθεροποιηθεί.

Η τήξη συντελείται από τους ακόλουθους μηχανισμούς:

- Με τη μεταφορά θερμότητας από τα θερμαντικά στοιχεία
- Με την διάτμηση η οποία προκαλείται από την κίνηση του κοχλίου.

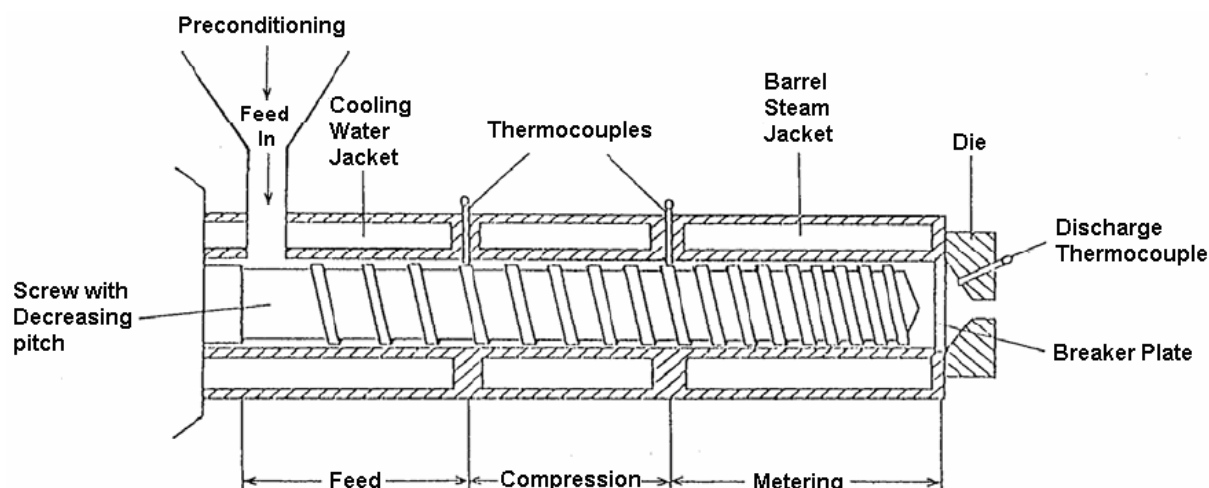
Εξοπλισμός του εκβολέα

- **Κοχλίας**

Ο κοχλίας εκτελεί σημαντικές λειτουργίες όπως:

- Η μεταφορά ρητίνης μέσα στον εκβολέα
- Η μετάδοση της μηχανικής ενέργειας η οποία αποτελεί τμήμα της διαδικασίας τήξης
- Η ανάμειξη των διαφορετικών πρώτων υλών
- Η ανάπτυξη πίεσης στον εκβολέα έτσι ώστε η ρητίνη να εξωθηθεί στη μήτρα

Στο δοσιμετρικό κοχλία ενός εκβολέα διακρίνουμε τρία τμήματα: το τμήμα τροφοδοσίας (**feed section**), το τμήμα συμπίεσης ή τήξης (**compression section**) και το τμήμα δοσιμετρίας (**metering section**). Η ακριβής λειτουργία των τμημάτων αυτών αναλύεται παρακάτω.



Σχήμα 1.3 Τμήματα δοσιμετρικού κοχλίου

Τμήμα Τροφοδοσίας

Η λειτουργία του τμήματος αυτού έχει ως σκοπό την προθέρμανση του πολυμερούς και την μεταφορά του στο επόμενο τμήμα. Το τμήμα τροφοδοσίας χαρακτηρίζεται από σταθερό και σχετικά μεγάλο βάθος αύλακος. Προσοχή πρέπει να δοθεί ώστε το υλικό να μην υπερθερμανθεί πολύ γρήγορα γιατί στην περίπτωση αυτή η ρητίνη θα κολλήσει στον κοχλία και απλώς θα περιστρέφεται χωρίς να μεταφέρεται στο επόμενο τμήμα. Το τμήμα αυτό σχεδιάζεται με τέτοιο τρόπο ώστε να έχει τη μεγαλύτερη δυνατότητα μεταφοράς στα επόμενα τμήματα του κοχλίου και να μην παρουσιασθεί έλλειψη του υλικού.

Τμήμα Συμπίεσης ή Τήξης

Κατά μήκος του τμήματος αυτού το βάθος της αύλακας του κοχλίου μειώνεται βαθμιαία, με αποτέλεσμα το τήγμα να συμπιέζεται και να εξαναγκάζεται ο εγκλωβισμένος από το πλαστικό αέρας και άλλες πτητικές ουσίες να εξέλθουν από το πολυμερές.

Τμήμα Δοσιμετρίας

Στο τμήμα αυτό ο κοχλίας χαρακτηρίζεται από σταθερό και πολύ μικρό βάθος αύλακος. Το μικρό βάθος αύλακος επιφέρει την ανάπτυξη υψηλών διατμητικών τάσεων στην ρητίνη με αποτέλεσμα την ολοκλήρωση της τήξης του πολυμερούς. Η ανάπτυξη υψηλών διατμηματικών τάσεων στο τμήμα αυτό οδηγεί στην ανάπτυξη πίεσης στο πολυμερικό τήγμα ούτως ώστε να εξωθηθεί προς την έξοδο του εκβολέα. Το τήγμα ομογενοποιείται και με ομοιόμορφη σύσταση, θερμοκρασία και πίεση οδηγείται με σταθερή παροχή στην μήτρα εκβολής. Η συμπίεση του πολυμερούς οφείλεται στην προοδευτική μείωση στο βάθος αύλακος του κοχλίου κατά μήκος του εκβολέα. Μια σημαντική παράμετρος ενός συστήματος εκβολής είναι ο **λόγος συμπίεσης** (compression ratio) που ορίζεται ως ο λόγος του βάθους της αύλακος στο τμήμα τροφοδοσίας προς το βάθος της αύλακος στο τμήμα δοσιμετρίας.

Ο κοχλίας συνήθως κατασκευάζεται από κραματωμένο χάλυβα (π.χ. SAE 4140), με μεγάλη σκληρότητα στις θερμοκρασίες τήξης του υλικού. Οι άκρες των ελικώσεων του κοχλίου συνήθως καλύπτονται με κάποιο σκληρό κράμα, για να βελτιώσουν την αντοχή σε φθορά. Ο σχεδιασμός του κοχλίου καθορίζεται από τον ρυθμό παραγωγής που απαιτείται και από το εκβαλλόμενο πολυμερές.

- **Κύλινδρος του εκβολέα**

Η εσωτερική κυλινδρική επιφάνεια του σώματος ενός εκβολέα αποτελεί αφ' ενός μια επιφάνεια για ανάπτυξη διάτμησης και αφ' ετέρου για μετάδοση θερμότητας. Ο λόγος του μήκους προς τη διάμετρο (L/D) είναι μια σημαντική παράμετρος σχεδιασμού. Σαν μήκος θεωρείται το ενεργό, δηλαδή, η απόσταση από το χωνί τροφοδοσίας μέχρι το φίλτρο, ενώ σαν διάμετρος θεωρείται η εσωτερική διάμετρος του κυλίνδρου. Ο λόγος L/D είναι ενδεικτικός της διατιθέμενης επιφάνειας για εναλλαγή θερμότητας και ανάμειξης που πρέπει να υποστεί το πολυμερές. Οι συνηθισμένοι λόγοι L/D σε εκβολείς για θερμοπλαστικά υλικά κυμαίνονται από 16/1 μέχρι 24/1. Το σώμα ενός εκβολέα μπορεί να θερμαίνεται με ηλεκτρικές αντιστάσεις ή με επαγωγικό ρεύμα, είναι όμως δυνατό να θερμαίνεται και μέσω κελύφους που κυκλοφορεί λάδι ή άλλο θερμαντικό ρευστό. Η ηλεκτρική θέρμανση έχει το πλεονέκτημα της γρήγορης απόκρισης, του θερμοκρασιακού ελέγχου κατά ζώνες και δεν συνεπάγεται περιορισμούς ως προς το ύψος της επιθυμητής θερμοκρασίας όπως συμβαίνει με το ρευστό. Επιπλέον τα ηλεκτρικά στοιχεία θέρμανσης μπορούν να κατασκευασθούν σε μεγάλη ποικιλία μεγεθών, σχημάτων και ηλεκτρικής ισχύος.

Οι εκβολείς που θερμαίνονται με ηλεκτρικά στοιχεία μπορούν να ψύχονται με κυκλοφορία αέρα ή νερού. Η απομάκρυνση θερμότητας είναι βασική απαίτηση, όταν υπάρχουν κίνδυνοι από την υπερθέρμανση της ρητίνης λόγω τριβών. Οι μηχανές με μεγαλύτερο μήκος έχουν και μεγαλύτερη επιφάνεια ανταλλαγής θερμότητας και προτιμώνται για πιο δύσπηκτα πολυμερή. Στους περισσότερους κυλίνδρους ανοίγονται κάθετες οπές για θερμοστοιχεία (thermocouples) που ανιχνεύουν και ελέγχουν τη θερμοκρασία τους. Οι κύλινδροι σχεδιάζονται για ελάχιστη διαστολή στη μέγιστη πίεση λειτουργίας τους, η οποία είναι 5000psi (34,45MPa), και έχουν ελάχιστη πίεση θραύσης 10000psi (68,9MPa). Οι ακριανές φλάντζες μπορούν να προσαρμοστούν στον κύλινδρο με βίδες ή με shrink and wedge συνδέσμους σχεδιασμένους να παραλαμβάνουν την εσωτερική πίεση των κυλίνδρων. Οι κύλινδροι κατασκευάζονται από χοντρό κραματωμένο χάλυβα. Είναι πλέον καθιερωμένο ο κύλινδρος να επενδύεται με σκληρό κράμα με βάση το κοβάλτιο, για να τον κάνει ανθεκτικό στην τριβή και στις χημικές αντιδράσεις. Υπάρχουν μερικοί κύλινδροι που φτιάχνονται ακόμα από χάλυβα που μπορεί να σκληρυνθεί με νιτριδίωση (εναζώτωση). Οι νιτριδιωμένοι κύλινδροι έχουν μικρότερη διάρκεια ζωής από τους επιμεταλλωμένους. Μερικά υλικά είναι πολύ διαβρωτικά και απαιτούν κυλίνδρους από ειδικά κράματα όπως Hastelloy ή Z-nickel. Οι απαιτήσεις ακρίβειας του κυλίνδρου είναι ότι το ολικό σφάλμα ευθυγράμμισης μετά από όλες τις μηχανουργικές κατεργασίες πρέπει να είναι μικρότερο από το μισό της απόστασης κυλίνδρου-κοχλία. Αυτό κυμαίνεται από 0,002 για μηχανές 2 ιντσών (5,08 cm) έως 0,010 για μηχανές 6 ιντσών (15,24cm). Στις σύγχρονες μηχανές οι κύλινδροι είναι εξοπλισμένοι με έναν αεραγωγό για να εξαερίζεται το πολυμερές. Ο αεραγωγός μπορεί να ταπώνεται όταν ο εξαερισμός δεν είναι απαραίτητος.

- **Κινητήρας**

Ένας εκβολέας πρέπει να περιλαμβάνει έναν κινητήρα ρυθμιζόμενης ταχύτητας περιστροφής, εφ' όσον απαιτείται λειτουργία με διαφορετικούς ρυθμούς παραγωγής και πολυμερή διαφόρων χαρακτηριστικών επεξεργασίας. Για την ρύθμιση της ταχύτητας εφαρμόζονται τόσο μηχανικά όσο και ηλεκτρικά συστήματα.

- Μηχανικά: Για μηχανική ρύθμιση μπορούν να χρησιμοποιηθούν συστήματα τροχαλίας-ιμάντα. Η μηχανική ρύθμιση εφαρμόζεται σε εκβολείς που απαιτούν ισχύ κινητήρα άνω των 25 HP.
- Ηλεκτρικά: υπάρχουν δύο τρόποι ηλεκτρικής ρύθμισης της ταχύτητας. Ο ένας εφαρμόζει κινητήρα συνεχούς ρεύματος μεταβλητής ταχύτητας και ο άλλος κινητήρας εναλλασσόμενου σε συνδυασμό με μια μαγνητική αρπάγη.

Και οι δύο παραπάνω τρόποι δίνουν ακρίβεια στη ρύθμιση για μεγαλύτερο εύρος ταχυτήτων απ' ό,τι οι μηχανικά ρυθμιζόμενοι κινητήρες.

- **Κιβώτιο ταχυτήτων**

Τα κιβώτια ταχυτήτων που χρησιμοποιούνται στους μονοκόχλιους εκβολείς είναι εδώ και πολλά χρόνια, σχεδόν αποκλειστικά, μονάδες άμεσης μετάδοσης (direct-drive units) παρά μειωτήρες ατέρμονα κοχλία (wormgear reducers). Τα γρανάζια έχουν είτε ελικοειδή οδόντωση, είτε τύπου ψαροκόκαλου (herringbone type) για ελάχιστη φθορά κατά τη μέγιστη μεταφορά ροπής. Τα κιβώτια ταχυτήτων είναι σταθερά ρυθμισμένα καθώς οι εκβολείς λειτουργούν γενικά για βδομάδες χωρίς διακοπή. Οι σχέσεις μετάδοσης των κιβωτίων κυμαίνονται από 6:1 έως 12:1 ανάλογα και με τη βασική ταχύτητα του κινητήρα και τις απαιτήσεις ροπής για το κατεργαζόμενο πολυμερές. Τυπικές κλίμακες ταχύτητας του κοχλία είναι 2-35 rpm, 10-90rpm, 15-150 rpm, ενώ υπάρχουν και άλλες για ειδικές περιπτώσεις. Μηχανές που είναι σχεδιασμένες για να λειτουργούν με ποικιλία πολυμερών έχουν εναλλάξιμα κιβώτια ταχυτήτων. Αλλάζοντας θέση ή αντικαθιστώντας τα γρανάζια, η σχέση μετάδοσης μπορεί να αλλάξει από μια τιμή που παρέχει υψηλές ταχύτητα και μέτρια ροπή σε μια που δίνει χαμηλές ταχύτητες και υψηλή ροπή. Είναι πάντα ευνοϊκότερο να χρησιμοποιείται το κιβώτιο ταχυτήτων στην κλίμακα όπου ο κινητήρας λειτουργεί σε υψηλότερες ταχύτητες, τόσο για καλύτερο έλεγχο, όσο και για πιο αποδοτική λειτουργία του κινητήρα.

- **Πίνακας ελέγχου**

Τα όργανα ελέγχου για τον κινητήρα και για τη θερμοκρασία του κυλίνδρου είναι τοποθετημένα σε μια καμπίνα (control cabinet). Μερικές φορές η καμπίνα είναι ανεξάρτητη μονάδα τοποθετημένη κοντά στον εκβολέα, αλλά τελευταία συνηθίζεται να προσαρμόζεται στην ίδια βάση με τον εκβολέα. Τα χειριστήρια ελέγχου της θερμοκρασίας μπορούν να επιλεγθούν ανάμεσα σε διάφορους τύπους ανάλογα με τις ανάγκες της μηχανής και τον βαθμό πολυπλοκότητας της εγκατάστασης παραγωγής.

1.3 ΜΗΤΡΑ ΕΚΒΟΛΗΣ ΜΕ ΚΕΦΑΛΗ ΑΡΑΧΝΗΣ

Στην βιομηχανία παραγωγής πλαστικών σωλήνων συναντάμε πολλούς τύπους κεφαλών αράχνης. Τα χαρακτηριστικά που καθορίζουν τον τύπο της κεφαλής αναφέρονται κυρίως στα πόδια της αράχνης και έχουν να κάνουν με:

- Τη γεωμετρία των ποδιών
- Τον αριθμό των ποδιών
- Τον αριθμό των δακτυλίων που βρίσκονται τα πόδια
- Το μέγεθος των δακτυλίων της αράχνης

Στο παρακάτω σχήμα (Σχήμα 1.4 **Error! Reference source not found.**) βλέπουμε λίγα παραδείγματα της ποικιλίας των κεφαλών αράχνης που συναντάμε στην βιομηχανία.



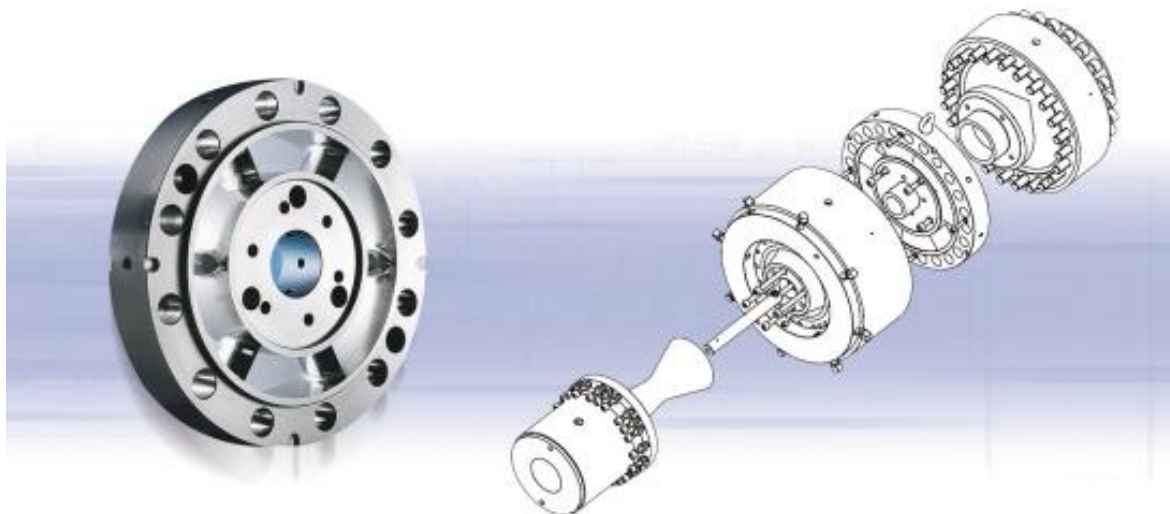
Σχήμα 1.4 Διάφορα μεγέθη κεφαλών αράχνης

Επίσης, ποικίλουν τα μεγέθη και η γεωμετρία της ίδιας της μήτρας εκβολής.

Αυτό συμβαίνει κυρίως για δύο λόγους:

- a) Έχουμε διαφορετικές απαιτήσεις κάθε φορά στο μέγεθος και την ποιότητα του παραγόμενου προϊόντος.
- b) Προσπάθεια αντιμετώπισης των προβλημάτων που προκύπτουν κατά την παραγωγική διαδικασία. Αυτά έχουν να κάνουν κυρίως με την αντοχή της μήτρας και με τις ατέλειες που προκύπτουν στο παραγόμενο προϊόν λόγω της ύπαρξης της κεφαλής αράχνης.

Αμέσως παρακάτω, παρουσιάζεται η συναρμολόγηση των τμημάτων μιας εργοστασιακής μήτρας εκβολής.



Σχήμα 1.5 Συναρμολόγηση μήτρας εκβολής πλαστικού σωλήνα με κεφαλή αράχνης

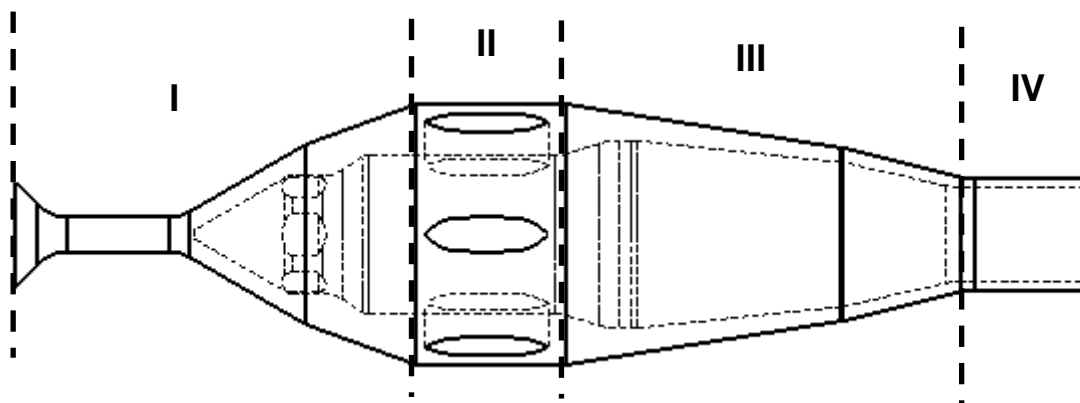
Στις κεφαλές με αράχνη υπάρχουν τέσσερις διαφορετικές ζώνες οι οποίες πρέπει να ληφθούν υπόψη κατά τον σχεδιασμό του καναλιού ροής της κεφαλής και φαίνονται στο Σχήμα 1.6.

α. Η ζώνη εκτροπής (I), στην οποία το τήγμα που εξέρχεται από τον εκβολέα, εκτρέπεται από τον άξονα εκβολής και διανέμεται μέσω σε μια δακτυλιοειδή διατομή.

β. Η ζώνη της αράχνης (II), στην οποία το αρσενικό της μήτρας συγκρατείται από τα πόδια της αράχνης.

γ. Η ζώνη χαλάρωσης (III), όπου η ροή γίνεται ομοιόμορφη κατά μήκος του καναλιού ροής.

δ. Η παράλληλη ζώνη της μήτρας (IV), όπου το εκβαλλόμενο προϊόν διαμορφώνεται στις επιθυμητές διαστάσεις.



Σχήμα 1.6 Ζώνες του καναλιού ροής της κεφαλής

ΚΕΦΑΛΑΙΟ 2: ΕΚΒΟΛΕΑΣ ΕΡΓΑΣΤΗΡΙΟΥ

2.1 ΔΙΑΤΑΞΗ ΕΚΒΟΛΕΑΣ ΕΡΓΑΣΤΗΡΙΟΥ

Ο εκβολέας που χρησιμοποιείται στο εργαστήριό του τομέα Τεχνολογίας των Κατεργασιών είναι ένας μονοκόχλιος εκβολέας της εταιρίας Johnson Plastics Machinery τα χαρακτηριστικά του οποίου φαίνονται στα παρακάτω σχήματα.



Σχήμα 2.1 Εταιρία κατασκευής εκβολέα

Τα τεχνικά χαρακτηριστικά του εκβολέα του εργαστηρίου είναι τα παρακάτω:

EXTRUDER SERIAL NUMBER	6606-57
REF. SERIAL NUMBER	HB74-43348A
BARREL SERIAL NUMBER	303-P7196-4
BARREL BORE AND L/D RATIO	1 ½ 24.1
REDUCER GEAR	11.32

Σχήμα 2.2 Χαρακτηριστικά εκβολέα εργαστηρίου

Η διάταξη του εκβολέα απαρτίζεται από το κύριο σώμα του εκβολέα και τον κεντρικό πίνακα ελέγχου. Ο κεντρικός πίνακας ελέγχου φέρει τον κεντρικό διακόπτη του ρεύματος, καθώς επίσης ένα στροφόμετρο και ένα αμπερόμετρο τα οποία μετρούν τις στροφές και το ρεύμα του ηλεκτροκινητήρα του εκβολέα, αντίστοιχα. Διαιρώντας την ένδειξη του στροφόμετρου με την τελική σχέση μετάδοσης υπολογίζονται οι στροφές του κοχλία. Η ένδειξη του αμπερομέτρου χρησιμεύει κυρίως για λόγους πρόληψης και προστασίας έναντι εργατικών ατυχημάτων και βλαβών του ηλεκτροκινητήρα.



(α)



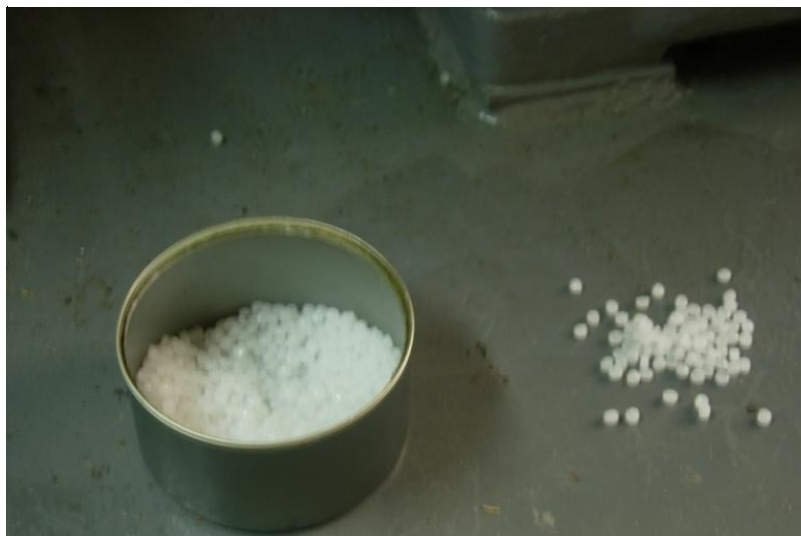
(β)

Σχήμα 2.3 (α),(β) Ο εκβολέας του εργαστηρίου



Σχήμα 2.4 Πίνακας ελέγχου του εκβολέα

Επίσης υπάρχουν πέντε θερμομέτρα οι ενδείξεις των οποίων (σε βαθμούς °F) επιτρέπουν τη ρύθμιση της θερμοκρασίας συγκεκριμένων τμημάτων του εκβολέα κατά τη διάρκεια της παραγωγής τους θερμοπλαστικού πολυμερούς. Με τα θερμομέτρα αυτά ρυθμίζεται η επιθυμητή θερμοκρασία που πρέπει να έχουν συγκεκριμένες περιοχές του εκβολέα κατά τη διάρκεια της παραγωγικής διαδικασίας. Κατά μήκος του εκβολέα υπάρχουν επίσης τέσσερις ηλεκτρικές αντιστάσεις, τρεις στο σώμα και μία στη μήτρα. Σε κάθε αντίσταση είναι ενσωματωμένο ένα θερμοστοιχείο που οδηγεί το σήμα σε καθένα από τα θερμομέτρα που προαναφέραμε. Όταν η μετρούμενη θερμοκρασία γίνει ίση με την επιθυμητή, τότε σταματάει αυτόματα το ρεύμα προς τις αντιστάσεις και έτσι επιτυγχάνεται ο έλεγχος της θερμοκρασίας κατά την παραγωγική διαδικασία. Όταν ο εκβολέας είναι σε κατάσταση αναμονής όλα τα θερμομέτρα πρέπει να έχουν ένδειξη 100 °F. Κάτω από κάθε θερμομέτρο υπάρχει ένας δείκτης που δείχνει κατά πόσο η αντίσταση έχει την επιθυμητή θερμοκρασία (η ένδειξη είναι μηδέν τότε ο η αντίσταση έχει την σωστή θερμοκρασία). Οι στροφές του κοχλία ρυθμίζονται σύμφωνα με την ένδειξη ενός μανόμετρου. Η μέγιστη ένδειξη στο μανόμετρο είναι 5000 ενώ κατά την εκκίνηση του εκβολέα δεν πρέπει η ένδειξη να ξεπεράσει τις 2500 κι αυτό γιατί πρέπει κατά την εκκίνηση και το σταμάτημα του εκβολέα να έχουμε φροντίσει ο κοχλίας να στρέφεται με λίγες στροφές. Στο τέλος της διεργασίας, ένα άλλο πιο μαλακό, ειδικό πλαστικό χρησιμοποιείται για τον καθαρισμό του εκβολέα, χωρίς βέβαια αυτό να μας εξασφαλίζει την μη ύπαρξη ενός λεπτού στρώματος πλαστικού στις επιφάνειες του εκβολέα. Ο εκβολέας του εργαστηρίου μας έχει δύο κυκλώματα ψύξης που χρησιμοποιούν φιλτραρισμένο νερό από το δίκτυο. Η τροφοδοσία αρχικού υλικού, υπό τη μορφή κόκκων, στον εκβολέα γίνεται μέσω ενός χωνιού.



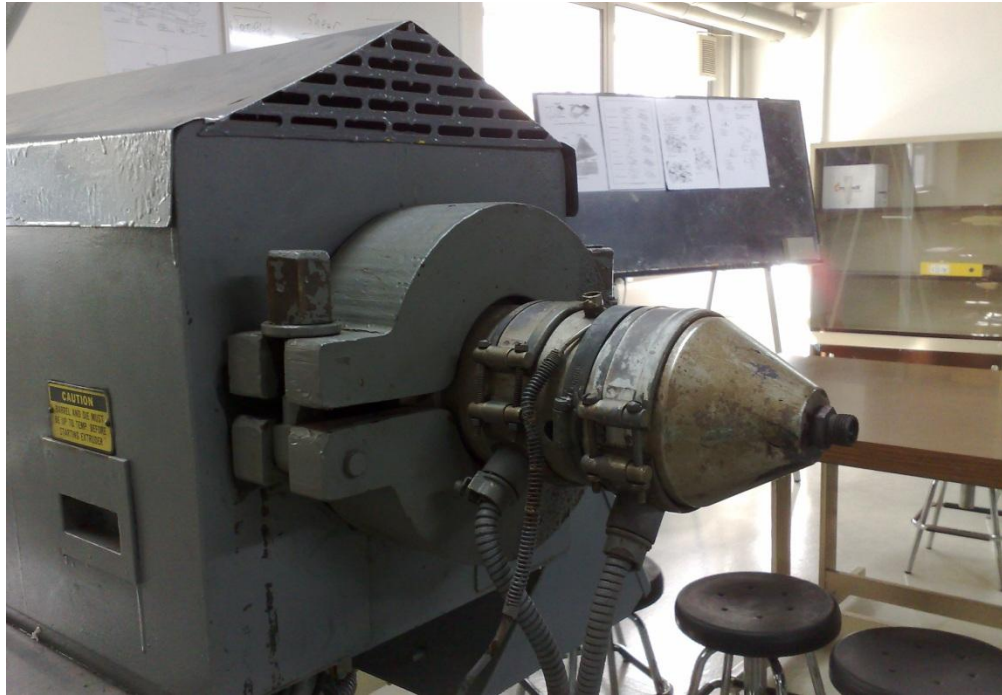
Σχήμα 2.5 Οι κόκκοι του αρχικού υλικού

Η υπάρχουσα μήτρα του εκβολέα έχει την δυνατότητα παραγωγής ράβδου ενώ με τη νέα μήτρα θα υπάρχει δυνατότητα παραγωγής σωλήνων HDPE DN32. Τέλος, στην είσοδο του καλουπιού υπάρχει μανόμετρο το οποίο ώστε να έχουμε τις απαραίτητες ενδείξεις πίεσης κατά την παραγωγή των σωλήνων.

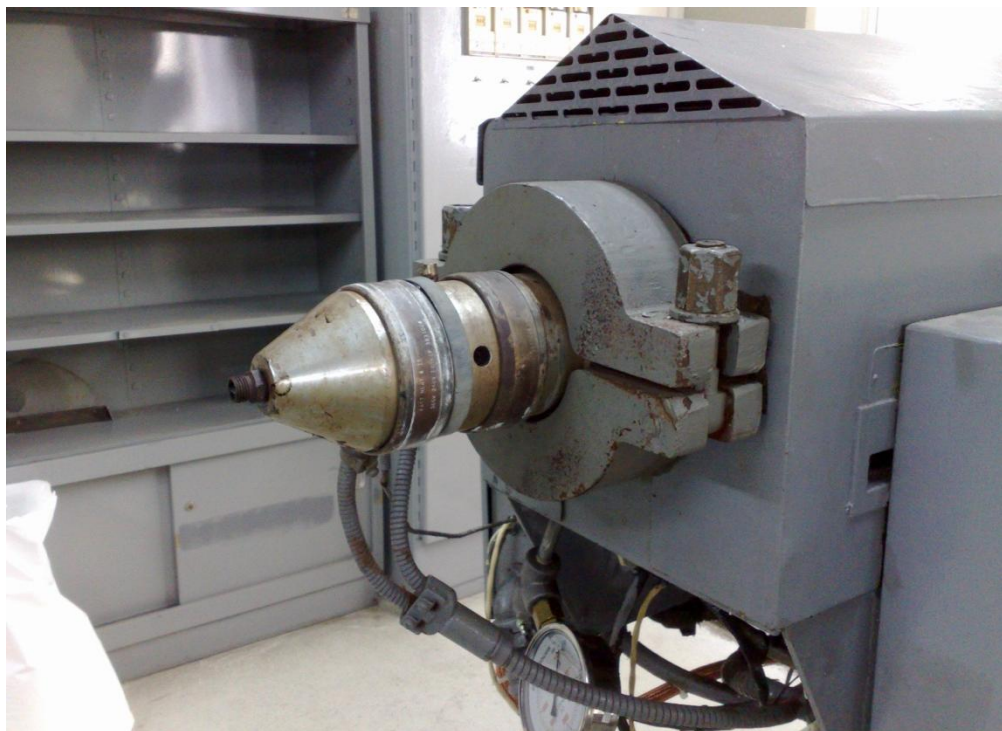


Σχήμα 2.6 Η μορφή του παραγόμενου προϊόντος

Μερικές φωτογραφίες του εκβολέα με την υπάρχουσα μήτρα, παρουσιάζονται αμέσως παρακάτω:



(α)

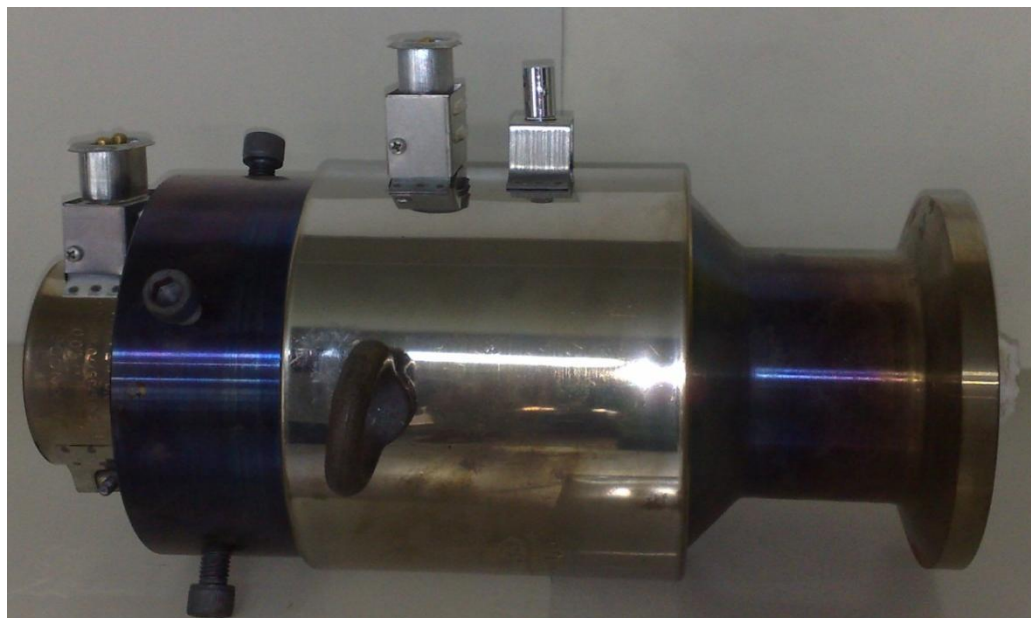


(β)

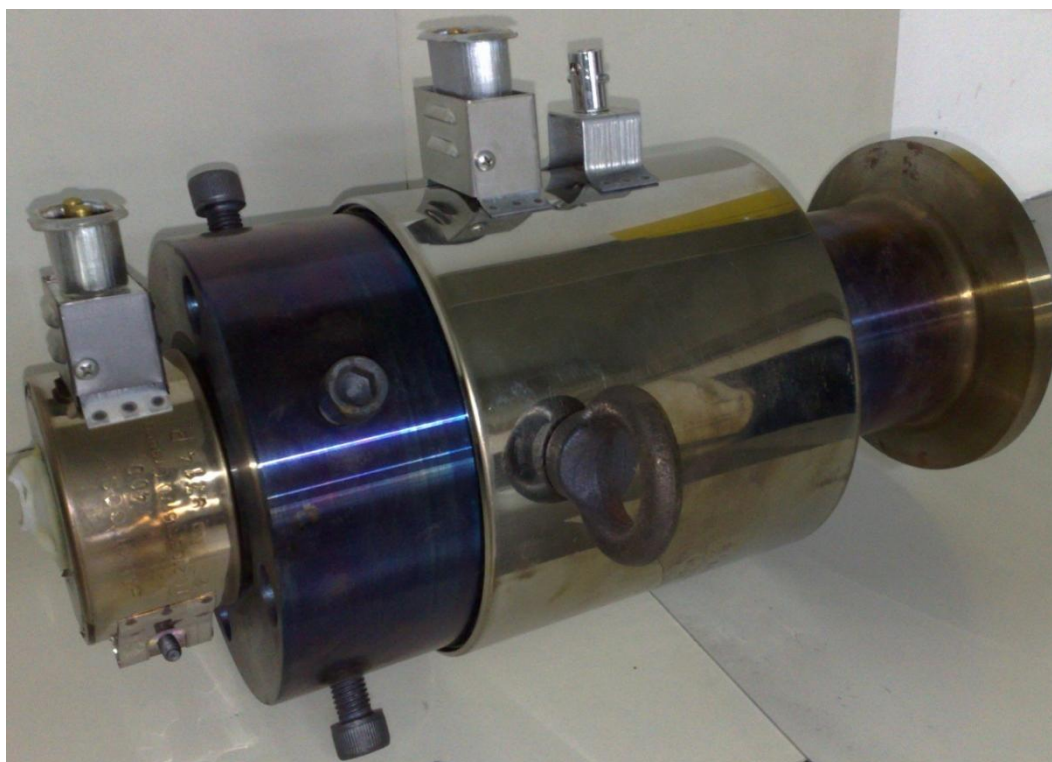
Σχήμα 2.7 (α),(β) Η υπάρχουσα κεφαλή του εκβολέα

2.2 ΜΗΤΡΑ ΕΚΒΟΛΗΣ ΕΡΓΑΣΤΗΡΙΟΥ

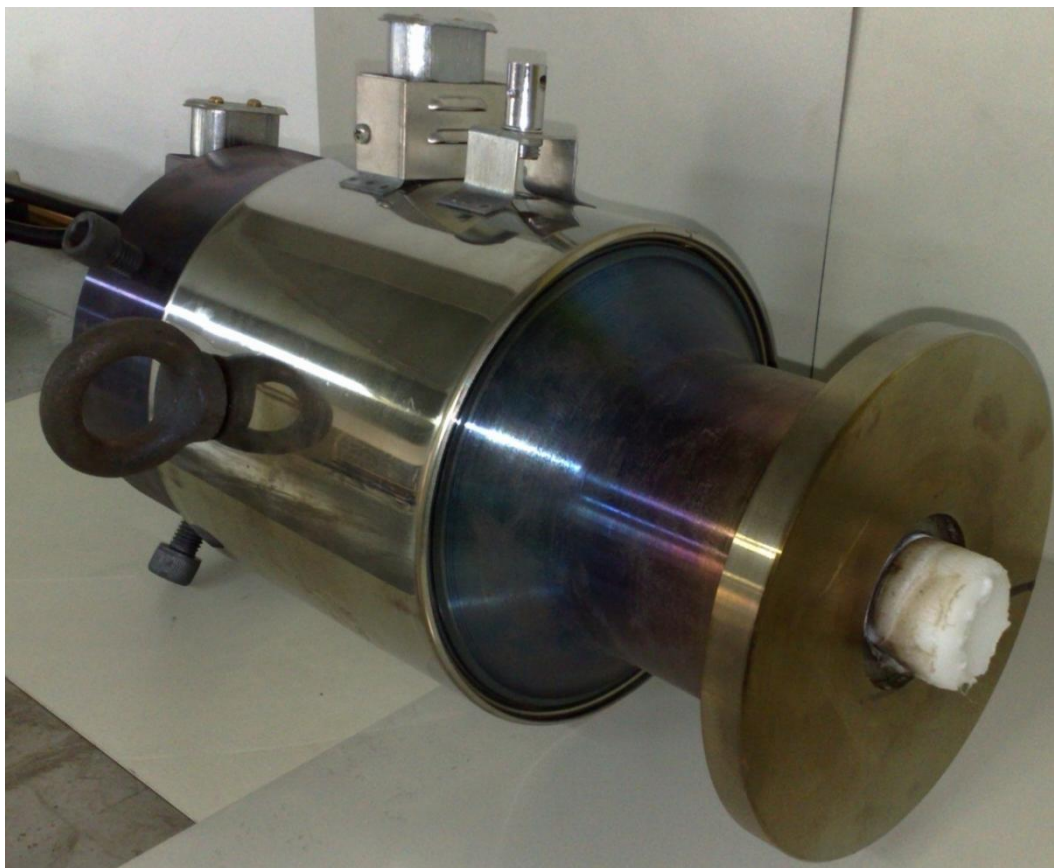
Παρακάτω, παρουσιάζουμε φωτογραφίες της γενικής διάταξης της μήτρας εκβολής του εργαστηρίου:



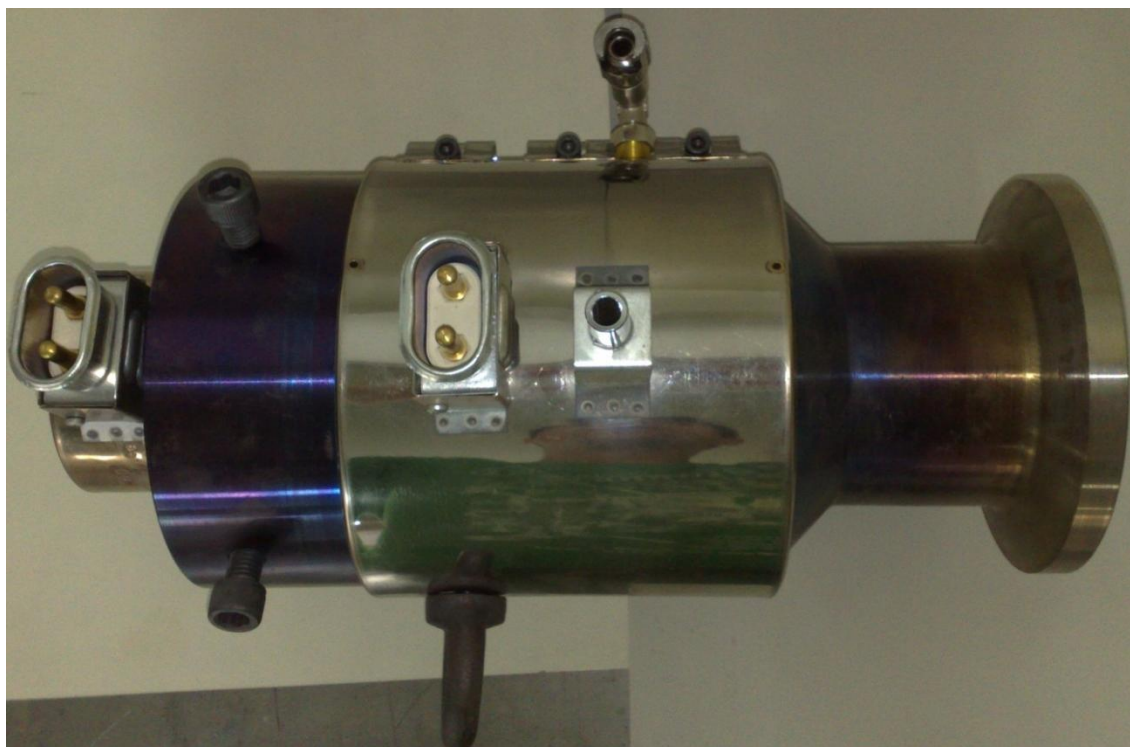
Σχήμα 2.8 Πρόοψη της μήτρας του εργαστηρίου



Σχήμα 2.9 Συνολική άποψη μήτρας στην έξοδο του ρευστού



Σχήμα 2.10 Συνολική άποψη στην είσοδο του ρευστού



Σχήμα 2.11 Κάτοψη της μήτρας του εργαστηρίου



Σχήμα 2.12 Άποψη της μήτρας χωρίς τα εξωτερικά τμήματα, στην έξοδο του ρευστού

Τα κατασκευαστικά σχέδια της μήτρας εκβολής του εργαστηρίου, παρουσιάζονται στο «Παράρτημα Α» σχεδιασμένα με το πρόγραμμα SolidWorks μαζί με τις απαραίτητες διαστάσεις.

2.3 ΜΕΡΗ - ΥΛΙΚΟ ΜΗΤΡΑΣ ΕΚΒΟΛΗΣ

Τα επιμέρους τμήματα από τα οποία αποτελείται η συναρμολογημένη μήτρα εκβολής του εργαστηρίου είναι:

- Μονή αράχνη κεφαλής με έξι πόδια
- Υποδοχή αρσενικής μήτρας
- Εσωτερικό τμήμα μήτρας για σωλήνα Ø32
- Κώνος αρσενικού κεφαλής
- Λαιμός κεφαλής
- Σώμα κεφαλής
- Εξωτερικό τμήμα μήτρας για σωλήνα Ø32
- Δακτύλιος συγκράτησης μήτρας

Το υλικό με το οποίο είναι κατασκευασμένα τα επιμέρους τμήματα της μήτρας εκβολής του εργαστηρίου είναι ο χάλυβας IMPAX, οι βασικές ιδιότητες του οποίου αναφέρονται αμέσως παρακάτω, ενώ οι αναλυτικές ιδιότητες του υλικού παρατίθενται στο «Παράρτημα Β».

Properties of Outline Row 3: IMPAX			
	A	B	C
1	Property	Value	Unit
2	Density	7850	kg m ⁻³ ▼
3	Isotropic Secant Coefficient of Thermal Expansion		
4	Coefficient of Thermal Expansion	1,3E-07	C ⁻¹ ▼
5	Reference Temperature	22	C ▼
6	Isotropic Elasticity		
7	Derive from	Young's Modulus and Poisson's Ratio ▼	
8	Young's Modulus	2,005E+11	Pa ▼
9	Poisson's Ratio	0,33	
10	Bulk Modulus	1,9657E+11	Pa
11	Shear Modulus	7,5376E+10	Pa
12	Alternating Stress Mean Stress	Tabular	
16	Strain-Life Parameters		
17	Display Curve Type	Strain-Life ▼	
18	Strength Coefficient	9,2E+08	Pa ▼
19	Strength Exponent	-0,106	
20	Ductility Coefficient	0,213	
21	Ductility Exponent	-0,47	
22	Cyclic Strength Coefficient	1E+09	Pa ▼
23	Cyclic Strain Hardening Exponent	0,2	
24	Tensile Yield Strength	8,96E+08	Pa ▼
25	Compressive Yield Strength	9,5E+08	Pa ▼
26	Tensile Ultimate Strength	1,01E+09	Pa ▼
27	Compressive Ultimate Strength	0	Pa ▼

Σχήμα 2.13 Βασικές ιδιότητες του χάλυβα IMPAX (ANSYS Workbench)

Για την σύνδεση των παραπάνω τμημάτων χρησιμοποιούνται κοχλίες άλλεν (Socket Head Cap Screw) τύπου DIN 912, οι οποίοι είναι οι ακόλουθοι.

- 4 x DIN 912 Ø6 x 25 mm --- 25 N
- 4 x DIN 912 Ø10 x 50 mm --- 50 N
- 4 x DIN 912 Ø12 x 80 mm --- 80 N
- 4 x DIN 912 Ø12 x 120 mm --- 120 N

Το υλικό με το οποίο είναι κατασκευασμένοι οι κοχλίες σύνδεσης είναι ανοξείδωτο ατσάλι (Structural Steel) οι βασικές ιδιότητες του οποίου αναφέρονται αμέσως παρακάτω.

Properties of Outline Row 4: Structural Steel			
	A	B	C
1	Property	Value	Unit
2	Density	7850	kg m ⁻³
3	Isotropic Secant Coefficient of Thermal Expansion		
4	Coefficient of Thermal Expansion	1,2E-05	C ⁻¹
5	Reference Temperature	22	C
6	Isotropic Elasticity		
7	Derive from	Young's Modulus and Poisson's Ratio	
8	Young's Modulus	2E+11	Pa
9	Poisson's Ratio	0,3	
10	Bulk Modulus	1,6667E+11	Pa
11	Shear Modulus	7,6923E+10	Pa
12	Alternating Stress Mean Stress	Tabular	
16	Strain-Life Parameters		
17	Display Curve Type	Strain-Life	
18	Strength Coefficient	9,2E+08	Pa
19	Strength Exponent	-0,106	
20	Ductility Coefficient	0,213	
21	Ductility Exponent	-0,47	
22	Cyclic Strength Coefficient	1E+09	Pa
23	Cyclic Strain Hardening Exponent	0,2	
24	Tensile Yield Strength	2,5E+08	Pa
25	Compressive Yield Strength	2,5E+08	Pa
26	Tensile Ultimate Strength	4,6E+08	Pa
27	Compressive Ultimate Strength	0	Pa

Σχήμα 2.14 Βασικές ιδιότητες του μετάλλου Structural Steel (ANSYS Workbench)

Για τον σχεδιασμό της μήτρας εκβολής χρησιμοποιήθηκε το σχεδιαστικό πακέτο SolidWorks και τα κατασκευαστικά σχέδια της μήτρας εκβολής του εργαστηρίου παρατίθενται στο «Παράρτημα Α».

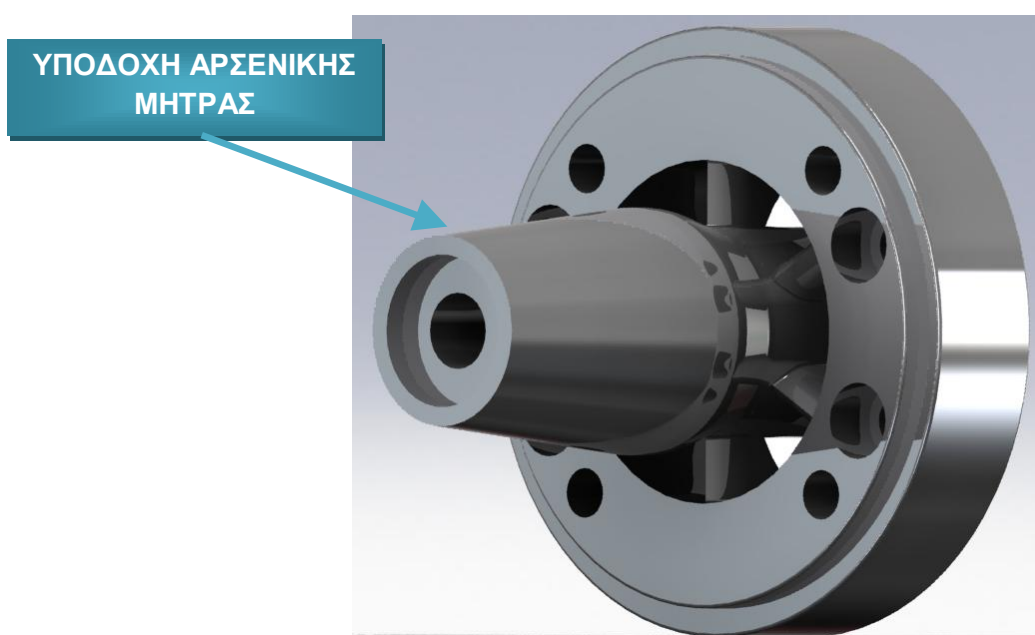
2.4 ΣΥΝΑΡΜΟΛΟΓΗΣΗ ΜΗΤΡΑΣ ΕΚΒΟΛΗΣ

Στη συνέχεια θα δείξουμε πως συναρμολογείται η μήτρα εκβολής με τη βοήθεια των κοχλιών συγκράτησης. Κατ' αρχήν έχουμε την κεφαλή αράχνης όπως φαίνεται στο ακόλουθο σχήμα.

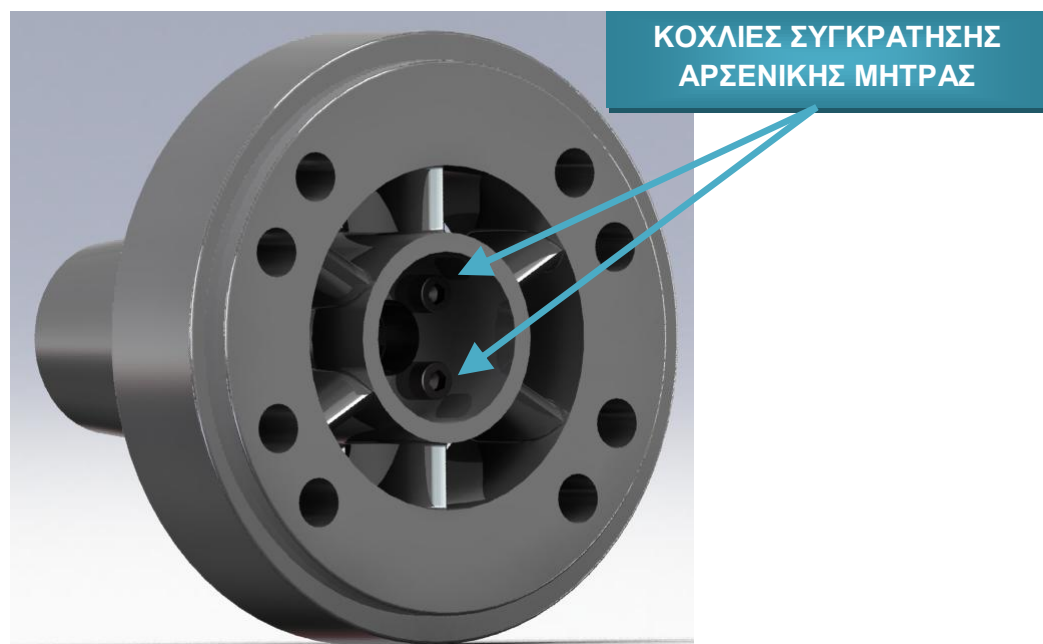


Σχήμα 2.1 Κεφαλή αράχνης

Έπειτα, με τη βοήθεια τεσσάρων κοχλιών DIN912 M6 x 25 προσδένεται η υποδοχή αρσενικής μήτρας όπως φαίνεται στα ακόλουθα σχήματα.



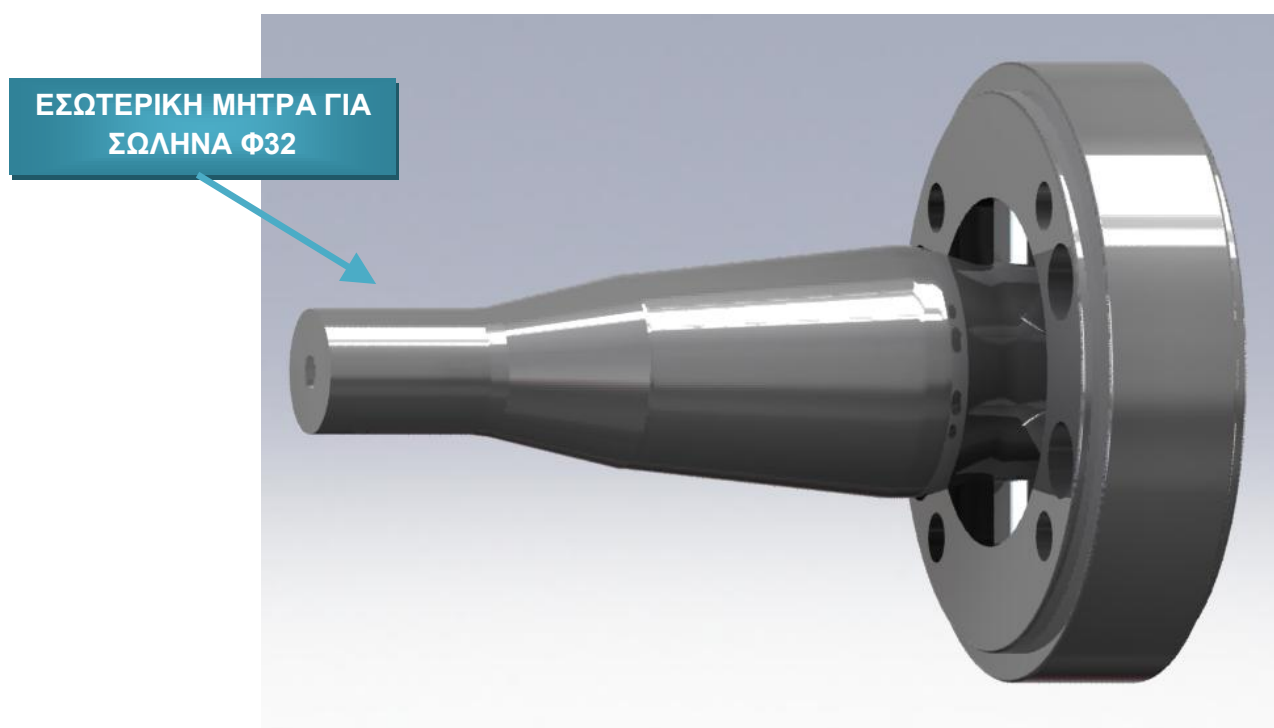
(α)



(β)

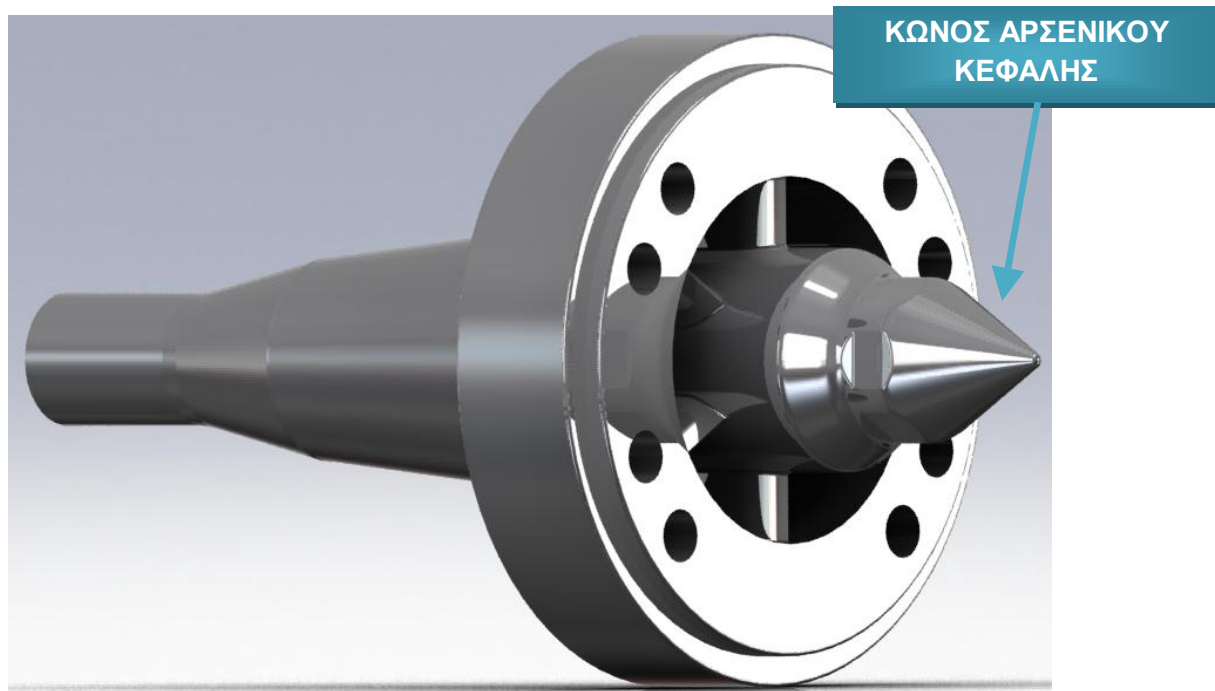
Σχήμα 2.2 (α), (β) Κεφαλή αράχνης & Υποδοχή αρσενικής μήτρας

Μετά, προσδένεται πάνω στην υποδοχή της αρσενικής μήτρας, η εσωτερική μήτρα για σωλήνα Φ32, όπως φαίνεται στο ακόλουθο σχήμα.



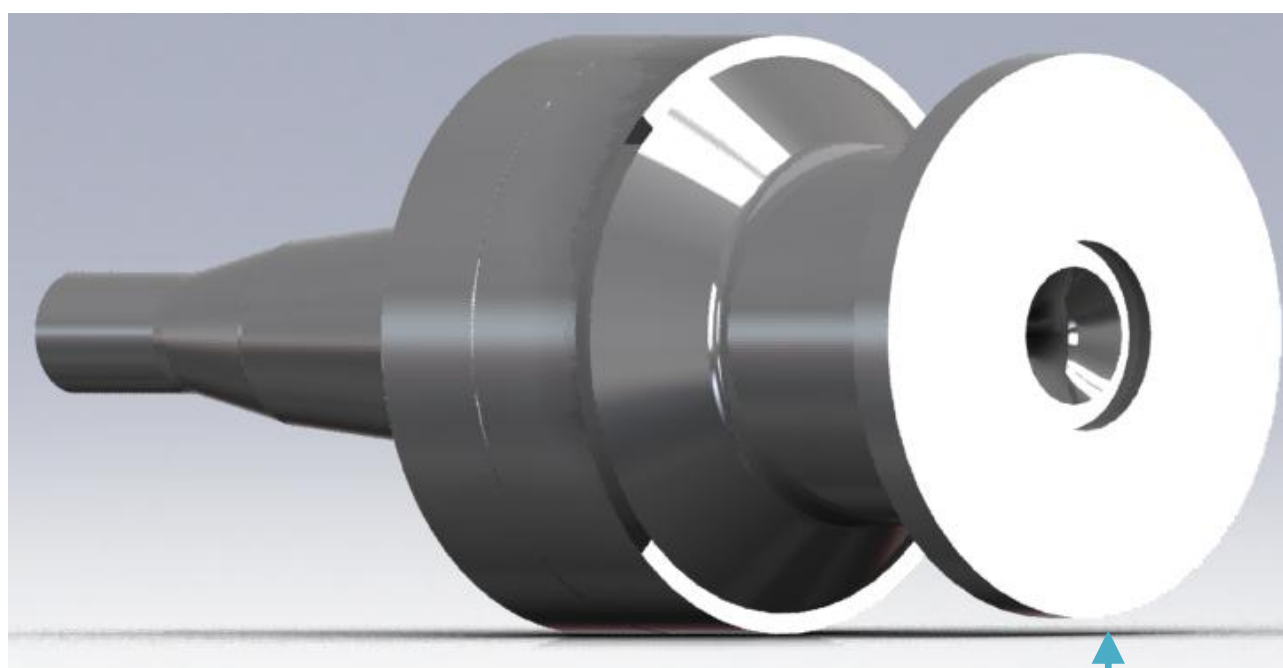
Σχήμα 2.3 Προσθήκη εσωτερικής μήτρας για σωλήνα Φ32

Στην άλλη μεριά της αράχνης κεφαλής προσδένεται ο κώνος αρσενικού κεφαλής όπως φαίνεται στο παρακάτω σχήμα.



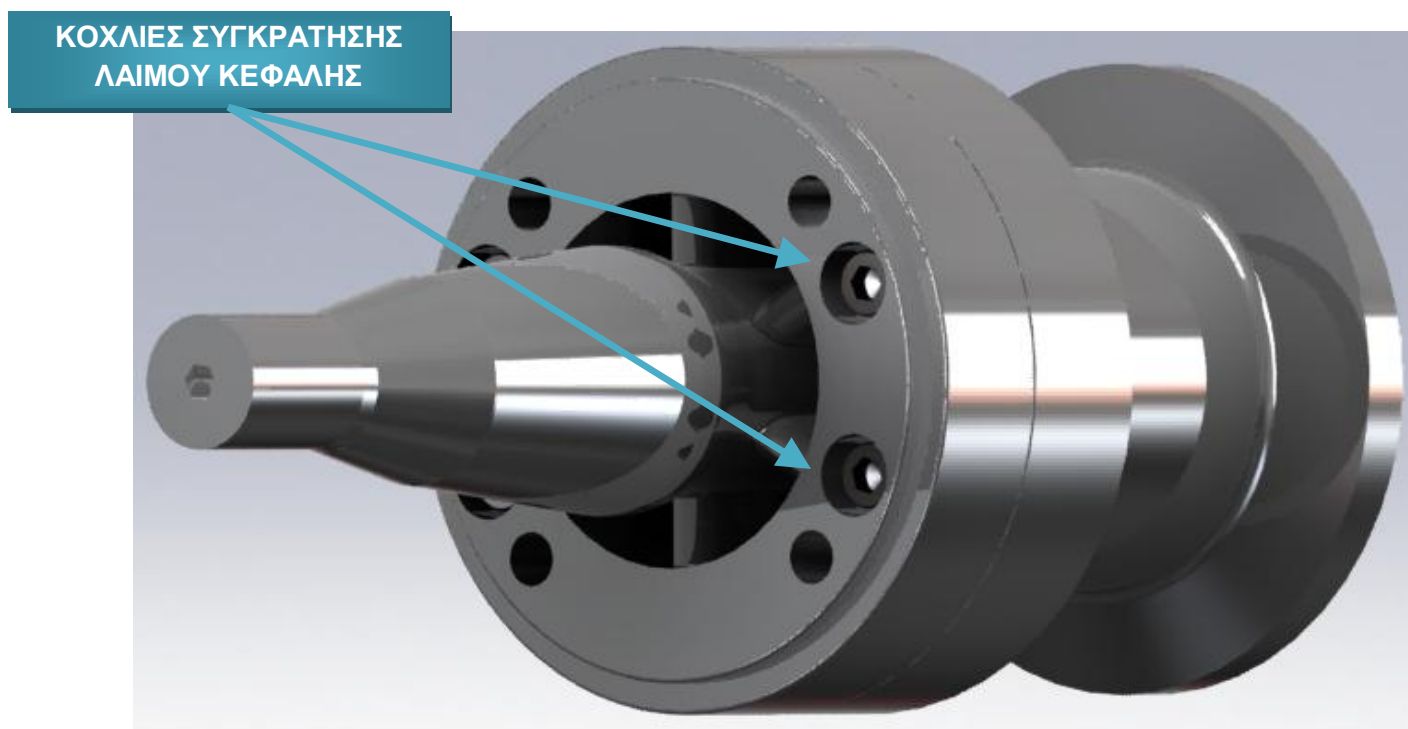
Σχήμα 2.4 Προσθήκη κώνου αρσενικού κεφαλής

Έπειτα, με τη βοήθεια τεσσάρων κοχλιών DIN912 M10 x 50 προσδένεται ο λαιμός κεφαλής πάνω στη κεφαλή αράχνης, όπως φαίνεται στα ακόλουθα σχήματα.



(α)

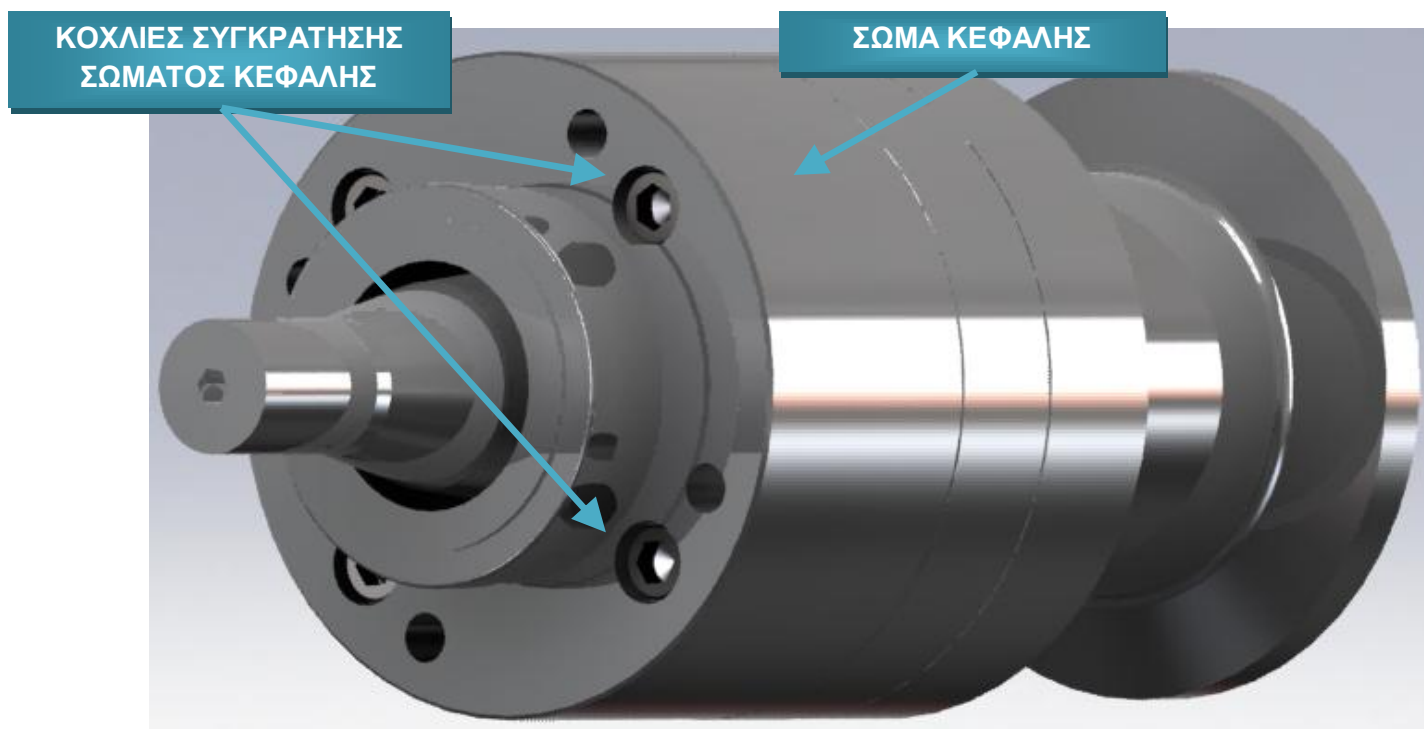
ΛΑΙΜΟΣ ΚΕΦΑΛΗΣ



(β)

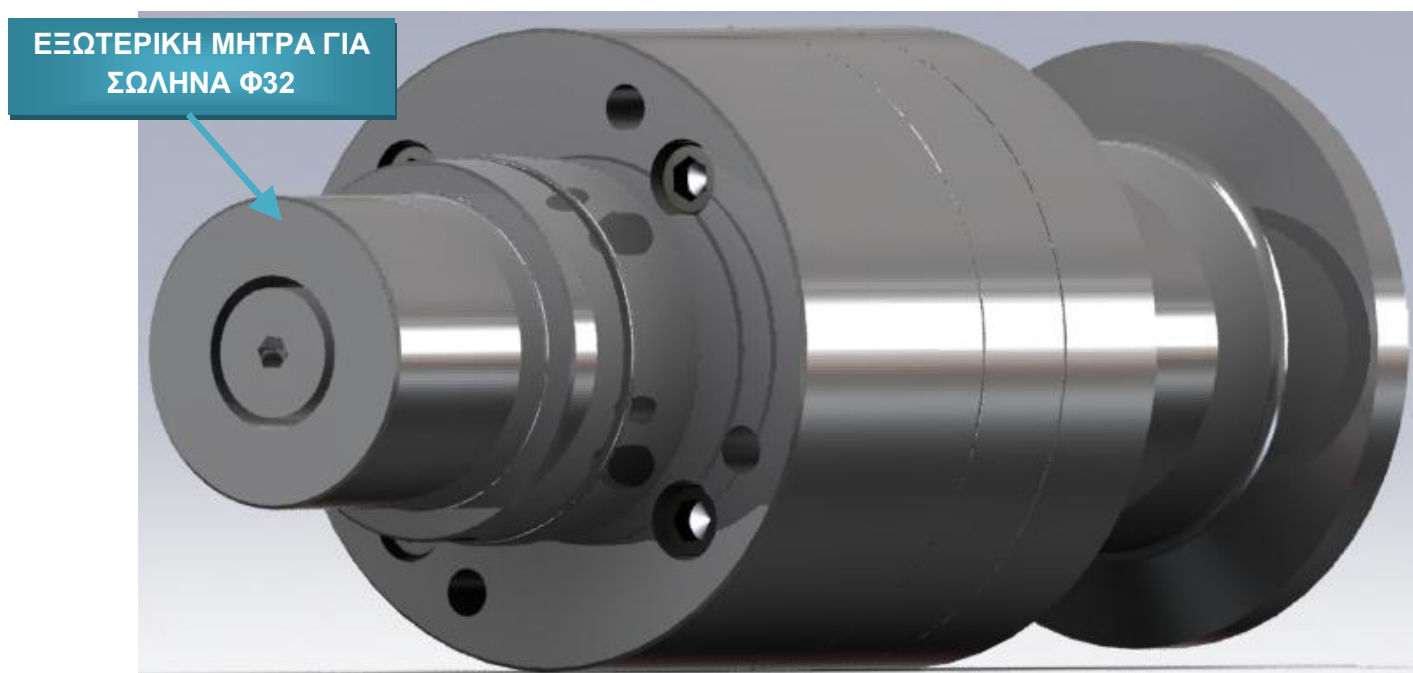
Σχήμα 2.5 (α), (β) Πρόσδεση λαιμού κεφαλής στην κεφαλή αράχνης

Το επόμενο βήμα είναι η πρόσδεση του σώματος της κεφαλής πάνω στο λαιμό κεφαλής με τη βοήθεια τεσσάρων κοχλιών DIN912 M12 x 120 όπως φαίνεται στο παρακάτω σχήμα.

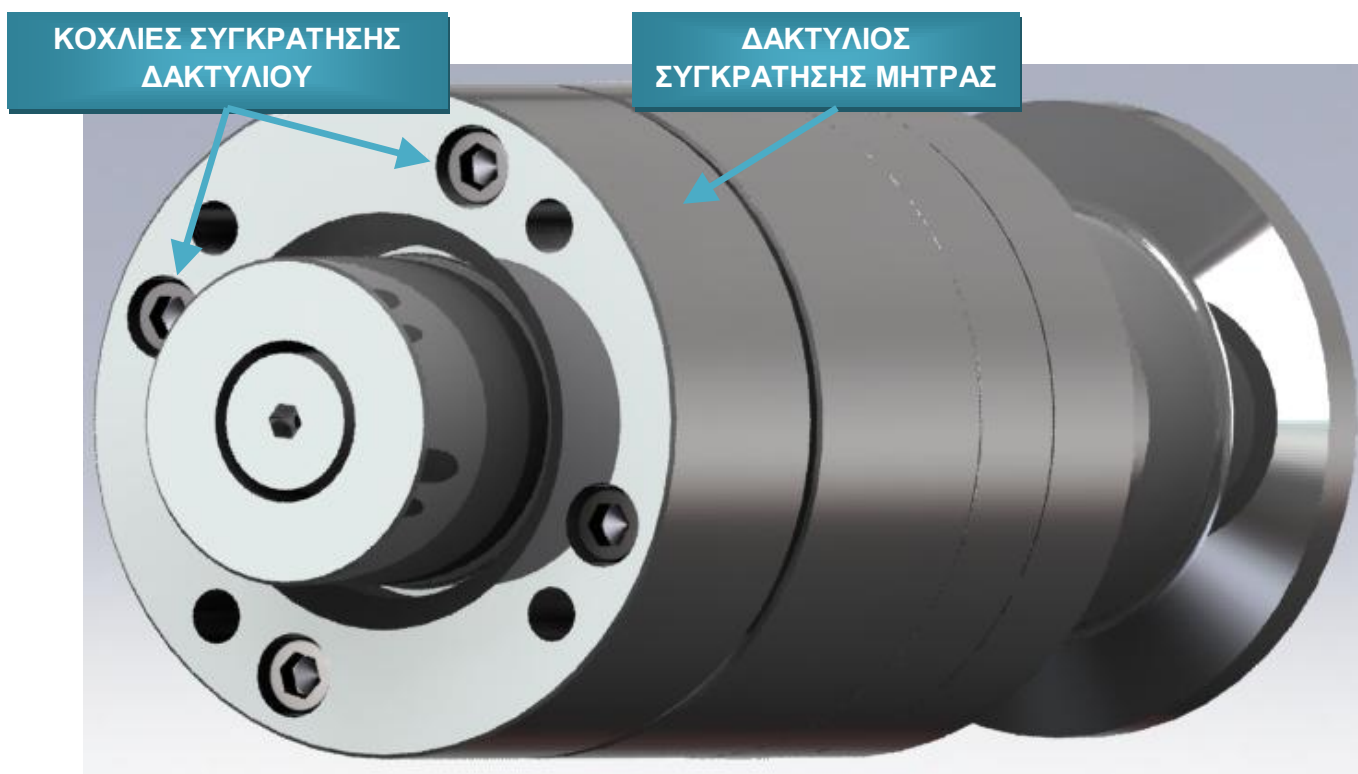


Σχήμα 2.6 Πρόσδεση του σώματος της κεφαλής στο λαιμό κεφαλής

Στη συνέχεια, τοποθετούμε την εξωτερική μήτρα για σωλήνα Φ32, η οποία συγκρατείται μέσω του δακτυλίου συγκράτησης της μήτρας με τη βοήθεια τεσσάρων κοχλιών DIN912 M12 x 80 όπως φαίνεται στα παρακάτω σχήματα.

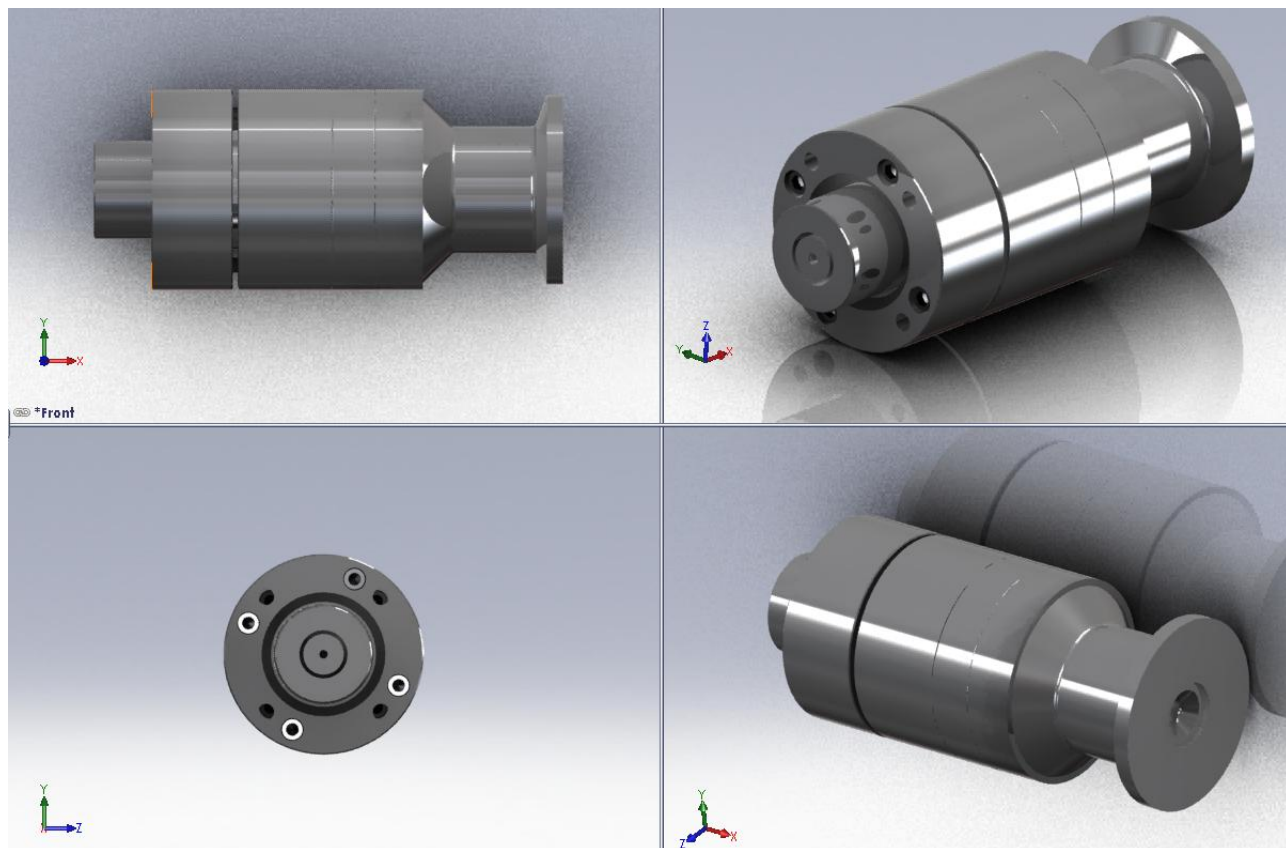


Σχήμα 2.7 Τοποθέτηση της εξωτερικής μήτρας για σωλήνα Φ32

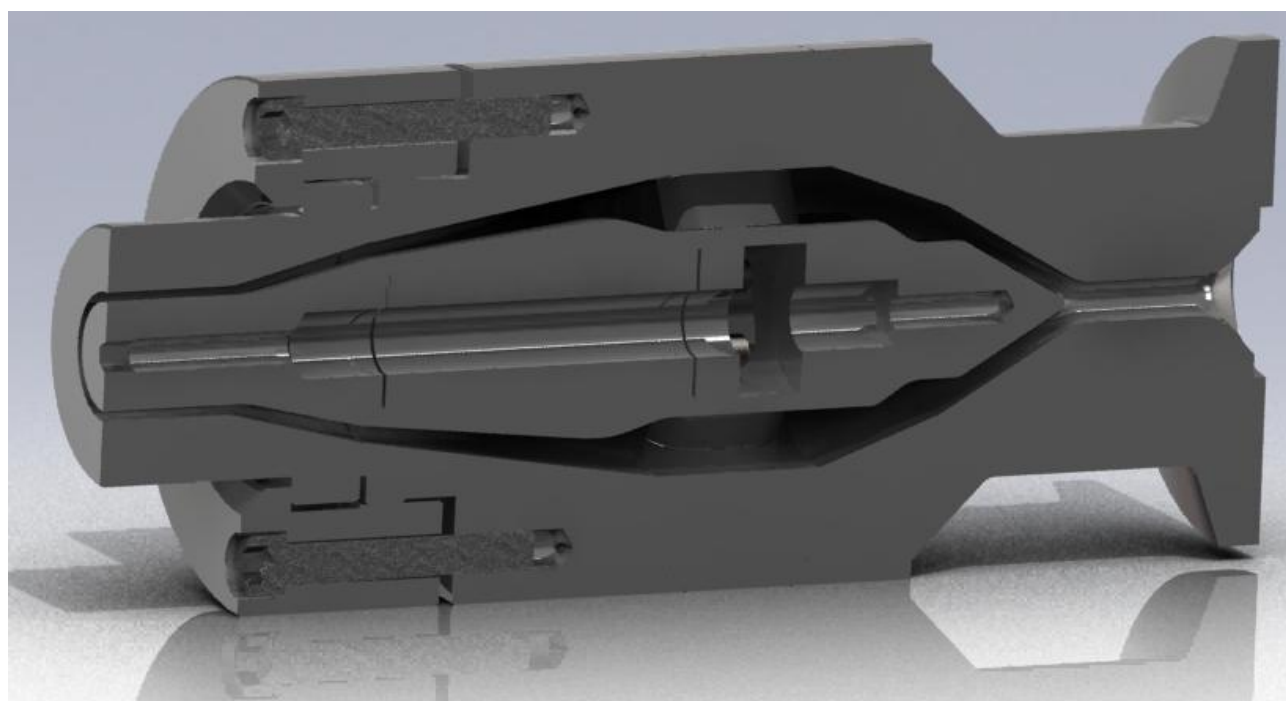


Σχήμα 2.8 Πρόσδεση του δακτυλίου συγκράτησης της μήτρας πάνω στο σώμα της κεφαλής

Τέλος παρουσιάζουμε την τελική μήτρα σε διάφορες όψεις, καθώς και την τρισδιάστατη τομή της όπου μπορούμε να παρατηρήσουμε το εσωτερικό της, στα παρακάτω σχήματα.



Σχήμα 2.9 Τελική μήτρα εκβολής σε διάφορες όψεις



Σχήμα 2.10 Τομή μήτρας εκβολής

ΚΕΦΑΛΑΙΟ 3: ΜΕΘΟΔΟΣ ΤΩΝ ΠΕΠΕΡΑΣΜΕΝΩΝ ΣΤΟΙΧΕΙΩΝ**3.1 ΓΕΝΙΚΑ**

Η ραγδαία εξέλιξη των τελευταίων ετών στη Μηχανολογία οφείλεται, χωρίς αμφιβολία, στην εισαγωγή των ηλεκτρονικών υπολογιστών σε όλους τους επιμέρους τομείς της. Σε σχέση με τις κατασκευαστικές επιστήμες, η δυνατότητα “απεικόνισης” της γεωμετρίας μιας μηχανολογικής κατασκευής στον ηλεκτρονικό υπολογιστή, καθώς και η δυνατότητα “προσομοίωσης” της στατικής, δυναμικής, θερμικής, ρευστοδυναμικής, κλπ. συμπεριφοράς της, αποτελούν επιτεύγματα των τελευταίων ετών και αλλάζουν σημαντικά τόσο την εκπαίδευση όσο και την επαγγελματική πράξη του μηχανολόγου μηχανικού.

Η σχεδίαση με τη βοήθεια Η/Υ (**Computer-Aided Design: CAD**) είναι μια τεχνολογία που χρησιμοποιεί Η/Υ για την υποβοήθηση της δημιουργίας, τροποποίησης και βελτιστοποίησης ενός σχεδιασμού. Με τον όρο CAD εννοούμε τη δημιουργία γεωμετρικών απεικονίσεων στον ηλεκτρονικό υπολογιστή. Προφανώς δεν περιοριζόμαστε στην γνωστή διαδικασία αντικατάστασης του drafting, δηλ. του δισδιάστατου (2-D) παραδοσιακού σχεδίου του μηχανικού, αλλά κυρίως στην περίπτωση τρισδιάστατης (3-D) απεικόνισης κατασκευών ή δομών, όπου χρησιμοποιούνται αυτοματοποιημένες διαδικασίες προσέγγισης επιφανειών (μέσω των παρεμβολών Coons, Bezier και Nurbs) ή/και όγκων. Έτσι, είναι πολύ ευκολότερη και ελέγξιμη η αλλαγή της γεωμετρίας ενός μηχανολογικού εξαρτήματος μέχρις ότου ο μελετητής καταλήξει σε μία καταρχήν αποδεκτή κατασκευαστική λύση. Επιπλέον, όλα τα συστήματα CAD διαθέτουν κατάλληλα φίλτρα – interfaces (DXF, IGES, STEP) που δίνουν τη δυνατότητα μεταφοράς της γεωμετρικής πληροφορίας από το ένα σύστημα στο άλλο (εναλλαξιμότητα).

Η ανάλυση με τη βοήθεια Η/Υ (**Computer-Aided Engineering: CAE**) είναι μια τεχνολογία που ασχολείται με την χρήση υπολογιστικών συστημάτων για την ανάλυση γεωμετρίας CAD, που επιτρέπει στον σχεδιαστή να προσομοιώσει και μελετήσει τον τρόπο με τον οποίο θα συμπεριφερθεί το προϊόν έτσι ώστε ο σχεδιασμός να επιδέχεται εύκολα αποπεράτωση και βελτιστοποίηση. Τα εργαλεία CAE διατίθενται σε ευρεία κλίμακα αναλύσεων. Κινηματικά προγράμματα, για παράδειγμα, μπορούν να χρησιμοποιηθούν για την ανάλυση λειτουργίας μηχανών. Προγράμματα δυναμικής ανάλυσης μεγάλων μετατοπίσεων μπορούν να χρησιμοποιηθούν στην προσομοίωση σύνθετων συναρμολογημένων δομών όπως λ.χ. τα οχήματα ή συσκευασιών σε πτώση επί του εδάφους. Μεταξύ των πλέον διαδεδομένων μεθόδων ανάλυσης είναι η Μέθοδος των Πεπερασμένων Στοιχείων (Finite Element Method: FEM) που επιτρέπει τη στατική και δυναμική ανάλυση τάσεων και μετατοπίσεων, θερμική ανάλυση, ρευστομηχανική και αεροδυναμική ανάλυση, ακουστική ανάλυση, κατανομή μαγνητικού πεδίου ή και άλλων πεδίων. Η εφαρμογή της FEM απαιτεί τη χρήση ενός απλουστευμένου αφαιρετικού μοντέλου που πρέπει να γεννηθεί είτε με αλληλεπίδραση του χρήστη ή και αυτόματα. Το λογισμικό που καθιστά δυνατή την κατασκευή του αφαιρετικού μοντέλου και τη γένεση των πεπερασμένων στοιχείων αποτελεί τους προ-επεξεργαστές (pre-processors). Μετά την εκτέλεση της ανάλυσης σε κάθε στοιχείο, ο Η/Υ συγκεντρώνει τα αποτελέσματα και τα εμφανίζει με ευανάγνωστο οπτικό τρόπο. Περιοχές υψηλών τάσεων μπορεί να παριστάνονται με κόκκινο χρώμα για παράδειγμα. Το λογισμικό τέτοιων απεικονίσεων αποτελεί τους λεγόμενους μετα-επεξεργαστές (post-processors).

3.2 ΜΕΘΟΔΟΣ ΤΩΝ ΠΕΠΕΡΑΣΜΕΝΩΝ ΣΤΟΙΧΕΙΩΝ

Ένα από τα πρώτα μελήματα του μηχανικού όταν αυτός αναλάβει την ανάπτυξη ενός μοντέλου είναι η επιλογή των κατάλληλων πεπερασμένων στοιχείων. Ακόμη και σε δισδιάστατες κατασκευές η χρήση τριγωνικών στοιχείων τριών κόμβων και τετραπλευρικών στοιχείων τεσσάρων κόμβων δεν είναι η μόνη επιλογή του, ανάλογα με τις δυνατότητες του διαθέσιμου λογισμικού. Πράγματι, μια από τις κρισιμότερες αποφάσεις είναι η επιλογή των κατάλληλων στοιχείων με τον κατάλληλο αριθμό κόμβων από την διαθέσιμη βιβλιοθήκη στοιχείων. Επιπρόσθετα, το πλήθος των στοιχείων (με άλλα λόγια το μέσο μέγεθος των στοιχείων) που πρέπει να χρησιμοποιηθούν για την επίλυση ενός συγκεκριμένου προβλήματος είναι αποτέλεσμα της κρίσης του μηχανικού. Σαν γενικός κανόνας, όσο μεγαλύτερο είναι το πλήθος των κόμβων και των στοιχείων (στην *h version*) ή όσο μεγαλύτερος ο βαθμός πολυωνύμου της συνάρτησης μορφής (στην *p version*), τόσο ακριβέστερη είναι η λύση των πεπερασμένων στοιχείων, αλλά επίσης τόσο πιο δαπανηρή είναι η επίλυση. Οι διάφοροι τύποι πεπερασμένων στοιχείων εισάγονται παρακάτω. Ένα άλλο σημαντικό πρόβλημα είναι η γένεση πλέγματος του υπό ανάλυση αντικειμένου, ειδικά όταν έχει περίπλοκο γεωμετρικό σχήμα. Η δημιουργία τρισδιάστατων πλεγμάτων είναι μια διαδικασία που απαιτεί πολλές εργατοώρες και είναι επιρρεπής σε σφάλματα. Γίνονται πολλές προσπάθειες αυτόματης γένεσης πλεγμάτων που να συνδέονται με συστήματα μοντελοποίησης όγκου (*solid modeling*).

Στην κλασική μέθοδο (στην *h version*) εάν n είναι το πλήθος των κόμβων τότε το πλήθος των βαθμών ελευθερίας είναι $2n$ και $3n$ για δισδιάστατα και τρισδιάστατα μοντέλα, αντίστοιχα.

Σημειώσεις:

- Στην κλασική μορφή των πεπερασμένων στοιχείων που ονομάζεται *h-version*, χρησιμοποιούνται πολυώνυμα ορισμένου βαθμού οπότε η αύξηση της ακρίβειας επιτυγχάνεται με μείωση της μέσης διάστασης (π.χ. της ακτίνας, h , του περιγεγραμμένου κύκλου) των στοιχείων, με άλλα λόγια με αύξηση του πλήθους των αυτών (πύκνωση πλέγματος).
- Στην λεγόμενη *p-version*, χρησιμοποιείται ένα σταθερό πλέγμα αλλά επιτρέπεται η αύξηση του πολυωνυμικού βαθμού p της συνάρτησης μορφής. Στην *p-version*, οι συντελεστές του εν λόγω υψηλού βαθμού πολυωνύμου είναι επίσης άγνωστοι που υπολογίζονται σαν τμήμα της διαδικασίας επίλυσης.

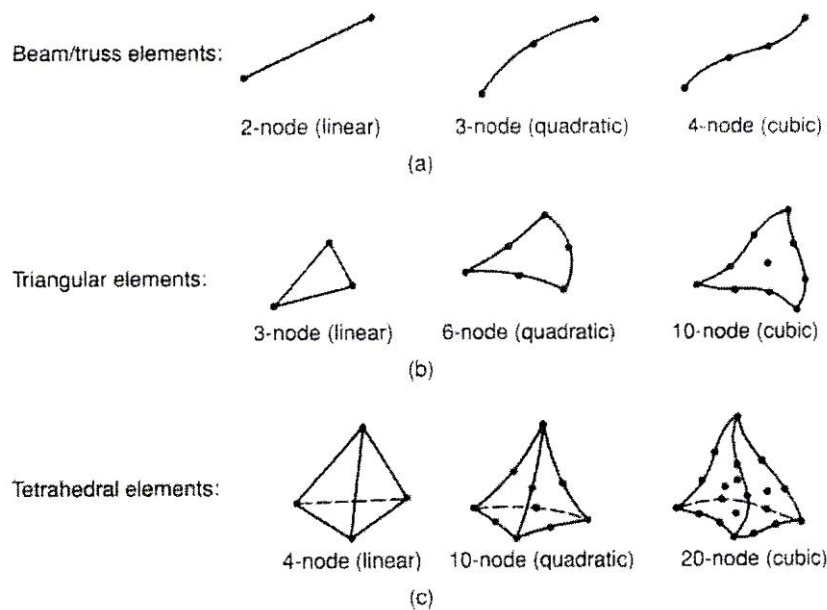
3.4.1 ΜΟΝΤΕΛΟΠΟΙΗΣΗ – ΤΥΠΟΙ ΠΕΠΕΡΑΣΜΕΝΩΝ ΣΤΟΙΧΕΙΩΝ

Το σύνολο των απαραίτητων διαδικασιών για την ανάπτυξη ενός πλήρους μοντέλου πεπερασμένων στοιχείων, δηλ. η εισαγωγή της γεωμετρίας, η γένεση του πλέγματος, η επιβολή στηρίξεων και φόρτισης αποτελούν αυτό που συνοπτικά ονομάζεται μοντελοποίηση πεπερασμένων στοιχείων (finite-element modeling), η οποία συνήθως εκτελείται με τη βοήθεια κατάλληλου προ-επεξεργαστή. Πολύ παλαιότερα, η εισαγωγή των δεδομένων δινόταν με γραμμές εντολών με τη βοήθεια ενός αυτόνομου αρχείου δεδομένων (batch file).

Ο προ-επεξεργαστής (pre-processor) ξεκινάει από τη γεωμετρία του αντικείμενου ή του πεδίου ορισμού του προβλήματος. Παραδοσιακά συστήματα FEA (Finite Element Analysis) είχαν μόνο στοιχειώδεις λειτουργίες μοντελοποίησης, αλλά σήμερα τα περισσότερα είτε προσφέρουν προηγμένες δυνατότητες ή έχουν στενούς δεσμούς με συστήματα CAD (μερικές φορές και τα δύο). Συστήματα που στηρίζονται σε γεωμετρική μοντελοποίηση CAD είτε εργάζονται απευθείας με το μοντέλο CAD ή μεταφράζουν και εισάγουν τη γεωμετρία. Η απευθείας σύνδεση με CAD κερδίζει όλο και μεγαλύτερο έδαφος διότι εξαλείφει τα βήματα μετάφρασης την απώλεια δεδομένων και μικραίνει τον κύκλο σχεδιασμού-ανάλυσης-αλλαγής. Περαιτέρω, η χρήση συστήματος CAD διευκολύνει τη μοντελοποίηση και παρέχει πιο ισχυρές λειτουργίες δημιουργίας και αλλαγής σύνθετης γεωμετρίας. Πράγματι, σήμερα τα περισσότερα υβριδικά συστήματα μοντελοποίησης (με ολοκληρωμένη μοντελοποίηση όγκου, επιφάνειας και wireframe, και παραμετρικών μεθόδων που στηρίζονται σε features) μπορούν να κτίσουν οποιαδήποτε γεωμετρία απαιτείται για ανάλυση. Τα περισσότερα συστήματα FEA δίνουν επίσης έμφαση στη δυνατότητα που έχουν να εισάγουν τη γεωμετρία, είτε μέσω τυποποιήσεων όπως το IGES ή απευθείας από συγκεκριμένα συστήματα CAD. Ωστόσο, η απευθείας χρήση δεν είναι πάντα άμεσα εφαρμόσιμη. Το μοντέλο μπορεί να φαίνεται στο μάτι ότι είναι τέλειο αλλά μπορεί στην πραγματικότητα να έχει σφάλματα που αποκαλύπτονται στο σύστημα FEA, κυρίως κατά την διαδικασία γένεσης πλέγματος. Μερικά συστήματα προσφέρουν λειτουργίες που μπορούν να «καθαρίσουν» την εισαγόμενη γεωμετρία. Επιπλέον, ακόμη και αν η γεωμετρία CAD δεν περιέχει σφάλματα, η ανάλυση δεν απαιτεί όλες τις λεπτομέρειές του, οπότε μερικές από αυτές (π.χ. ένα fillet) θα μπορούσαν να απαλειφθούν. Μερικά συστήματα διαθέτουν τέτοιες αυτόματες δυνατότητες απενεργοποίησης γεωμετρικών οντοτήτων.

Το επόμενο στάδιο είναι η δημιουργία πλέγματος και κατανομής κόμβων. Όταν σε κάθε πλέγμα αποδίδονται κόμβοι, τότε αυτό μετατρέπεται σε πεπερασμένο στοιχείο. Η γένεση πλέγματος είναι το πλέον σημαντικό και δύσκολο στάδιο της μοντελοποίησης πεπερασμένων στοιχείων. Για τη διευκόλυνση αυτού του σταδίου, σήμερα όλα τα συστήματα προσφέρουν δυνατότητες αυτόματης γένεσης πλέγματος. Η τυπική προσέγγιση είναι να προσφέρουν αυτόματο πλέγμα τετραεδρικών στοιχείων για στερεή γεωμετρία και τετραπλευρικά ή τριγωνικά στοιχεία για επιφάνεια στον τρισδιάστατο χώρο (κελύφη, επίπεδη εντατική ή επίπεδη παραμορφωσιακή κατάσταση). Πολλά συστήματα επιτρέπουν στους χρήστες να επέμβουν στις παραμέτρους αυτόματης γένεσης πλέγματος όπως η πυκνότητα πλέγματος. Αυτές επιπλέον επιτρέπουν τοπική επέμβαση σε κρίσιμες περιοχές. Πολλά συστήματα επιτρέπουν τη διασύνδεση πλέγματος με τη γεωμετρία έτσι ώστε κάθε αλλαγή αυτής να αντανakλάται αυτόματα στο πλέγμα.

Τα διάφορα στοιχεία που υποστηρίζονται από ένα σύστημα ανάλυσης πεπερασμένων στοιχείων αποτελούν τη λεγόμενη βιβλιοθήκη στοιχείων (element library). Όσο πιο μεγάλο το είδος των στοιχείων τόσο περισσότερα είδη προβλημάτων μπορούν να επιλυθούν. Το παρακάτω σχήμα δείχνει τυπικά πεπερασμένα στοιχεία που υποστηρίζονται από τους περισσότερους κώδικες. Να σημειωθεί ότι το ίδιο πλέγμα μπορεί να αντιστοιχεί σε διαφορετικά πεπερασμένα στοιχεία ανάλογα με τον αριθμό κόμβων που αποδίδονται σε αυτό. Τέλος, οι ζώνες στις οποίες αναμένεται απότομη μεταβολή στη συμπεριφορά των προς επίλυση αγνώστων (όπως συγκέντρωση τάσεων γύρω από οπές) πρέπει να διακριτοποιηθούν από στοιχεία μεγαλύτερης πυκνότητας πλέγματος από εκείνες που εμφανίζουν προοδευτική μεταβολή.



Σχήμα 3.1 Τύποι πεπερασμένων στοιχείων για (a) μονοδιάστατα, (b) δισδιάστατα και (c) τρισδιάστατα προβλήματα

Μια διαφορετική προσέγγιση στο δίλημμα του πλέγματος είναι η χρήση της *p-version* μεθόδου πεπερασμένων στοιχείων. Αυτή στηρίζεται σε ένα απλούστερο, αυτόματα γεννημένο πλέγμα, αλλά κατόπιν μεταβάλλει αυτόματα τον πολυωνυμικό βαθμό των συναρτήσεων μορφής. Παρόλο που σήμερα είναι διαθέσιμα πολλά τέτοια προγράμματα FEA, δύο προγράμματα (PTC's Pro/MECHANICA και CADSI's PolyFEM) σχεδιάστηκαν ειδικά για ανάλυση τύπου *p-version*. Επιπλέον από το εύκολο πλέγμα, τα πλεονεκτήματα αυτής της προσέγγισης είναι η ικανότητα να καθορίσουν όρια ακρίβειας και πλησιέστερης προσέγγισης της γεωμετρίας του μοντέλου CAD. Χρησιμοποιώντας χαμηλότερο επίπεδο ακρίβειας, ο σχεδιαστής μπορεί να πάρει γρήγορα αποτελέσματα ανάλυσης στο προκαταρκτικό στάδιο σχεδιασμού.

Αφού επιλεγεί η διάταξη των στοιχείων, καθορίζεται ο τύπος της ανάλυσης (π.χ., στατική ή δυναμική, γραμμική ή μη-γραμμική, επίπεδη εντατική κατάσταση, και επίπεδη παραμορφωσιακή κατάσταση). Επίσης, οι άγνωστοι ή αλλιώς οι βαθμοί ελευθερίας συσχετίζονται με τους κόμβους. Οι άγνωστοι περιέχουν μετατοπίσεις, περιστροφές,

θερμοκρασία, ροή θερμότητας, κ.ο.κ. Κατόπιν καθορίζονται οι οριακές συνθήκες. Οριακές συνθήκες όπως μετατοπίσεις, δυνάμεις, και θερμοκρασίες συνήθως είναι γνωστές για το συνεχές τμήμα του συνόρου του αντικειμένου. Αυτές οι οριακές συνθήκες πρέπει να εκφραστούν σαν ένα σύνολο τιμών μετατοπίσεων, δυνάμεων, ή θερμοκρασιών σε συγκεκριμένους κόμβους των πεπερασμένων στοιχείων. Ωστόσο, μερικές φορές τα πεπερασμένα στοιχεία πρέπει να γεννηθούν χωρίς να έχουν οριακές συνθήκες. Εάν πρόκειται να εισαχθούν σημειακά φορτία, πρέπει να δημιουργηθούν κόμβοι στα αντίστοιχα σημεία εφαρμογής τους. Τα περισσότερα συστήματα που είναι συνδεδεμένα με CAD επιτρέπουν στο χρήστη να ορίσει τις οριακές συνθήκες στη γεωμετρία CAD, και σε αυτή την περίπτωση οι οριακές συνθήκες μετατρέπονται σε ισοδύναμες οριακές συνθήκες στους κόμβους του πλέγματος από το ίδιο το σύστημα. Οι περισσότεροι μοντελοποιητές πεπερασμένων στοιχείων επίσης παρέχουν έναν αριθμό τρόπων εύκολου καθορισμού των φορτίσεων και των οριακών συνθηκών για το χειρισμό ευρείας κλίμακας προβλημάτων και ρεαλιστικών συνθηκών.

Σε κάθε πεπερασμένο στοιχείο πρέπει επίσης να αποδοθούν ιδιότητες υλικού. Αυτές οι ιδιότητες είναι τυπικά το μέτρο ελαστικότητας του Young, και ο λόγος του Poisson (για ελαστικές κατασκευές). Το πάχος στοιχείων κελύφους και πλακών διαχειρίζεται περισσότερο σαν ιδιότητα του υλικού παρά σαν γεωμετρική ιδιότητα για την αποφυγή επίλυσης του προβλήματος στις τρεις διαστάσεις. Άλλες ιδιότητες υλικών περιλαμβάνουν θερμικές ιδιότητες (ειδική θερμότητα, συντελεστής αγωγιμότητας, λανθάνουσα θερμότητα, κλπ), ιξωδοελαστικότητα, κλπ, για άλλου τύπου προβλήματα. Γίνεται μόνο μια απλή παραδοχή: σε διαφορετικές περιοχές στοιχείων αποδίδονται διαφορετικές ιδιότητες υλικών. Αυτό λ.χ. δίνει τη δυνατότητα στο χρήστη να αναλύσει ένα αντικείμενο κατασκευασμένο από σύνθετο υλικό. Ένα κρίσιμο ζήτημα στην ανάλυση σύνθετων υλικών είναι η διαχείριση της διεπιφάνειας μεταξύ των στρώσεων προκειμένου να υπολογισθεί η αποκόλληση (delamination).

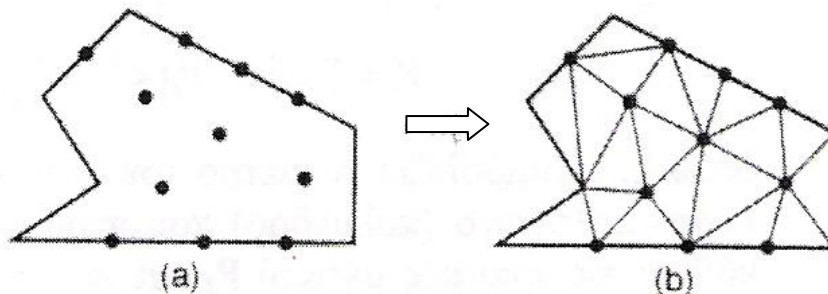
Από τη στιγμή που ορισθεί το μοντέλο των πεπερασμένων στοιχείων επιλέγοντας όλες τις παραμέτρους του πλέγματος, το μοντέλο εισάγεται στον κώδικα που εκτελεί την ανάλυση πεπερασμένων στοιχείων. Μετά την αριθμητική επίλυση, τα αποτελέσματα απεικονίζονται σε ένα στάδιο που παραδοσιακά ονομάζεται μετα-επεξεργαστής (post-processor). Τα περισσότερα πακέτα προσφέρουν ποικίλους τρόπους καταλογοποίησης, εκτίμησης και απεικόνισης των αποτελεσμάτων, τα οποία τυπικά περιλαμβάνουν τάσεις, παραμορφώσεις, και παραμορφωμένο σχήμα της κατασκευής. Ο παραδοσιακός τρόπος είναι υπό μορφή ζωνών «ισοτασικών» επιφανειών κυρίως με χρήση χρωματικής κλίμακας. Στην περίπτωση δυναμικής ανάλυσης όλα τα πακέτα διαθέτουν animation, τόσο για την εποπτεία των ιδιόμορφων ταλάντωσης όσον και για την προσφερόμενη χρονική ολοκλήρωση που είναι το μοναδικό εργαλείο στην περίπτωση μη-γραμμικών αναλύσεων. Επίσης, πολλά συστήματα διαθέτουν τη δυνατότητα εξαγωγής αποτελεσμάτων σε μορφή που μπορούν να αξιοποιηθούν περαιτέρω, σαν κείμενα, παρουσιάσεις, videos, e-mail, ή αποστολή στο διαδίκτυο.

3.4.2 ΑΥΤΟΜΑΤΗ ΓΕΝΕΣΗ ΠΛΕΓΜΑΤΟΣ

Η γένεση πλέγματος συνεπάγεται τη δημιουργία κομβικών συντεταγμένων και στοιχείων. Περιλαμβάνει επίσης την αυτόματη αρίθμηση των κόμβων και στοιχείων βασισμένων στην ελάχιστη αλληλεπίδραση με τον χρήστη. Έτσι, υποτίθεται ότι οι μέθοδοι αυτόματης γένεσης πλέγματος απαιτούν μόνο το γεωμετρικό μοντέλο (γεωμετρία και τοπολογία) του προς διακριτοποίηση αντικειμένου, τα χαρακτηριστικά του πλέγματος όπως πυκνότητα πλέγματος και τύπος στοιχείου, και τις οριακές συνθήκες, περιλαμβάνοντας σαν είσοδο συνθήκες φόρτισης. Άλλες μέθοδοι που απαιτούν πρόσθετη είσοδο, όπως υποδιαίρεση του αντικειμένου σε υποχωρία ή υποπεριοχές, ταξινομούνται σαν ημιαυτόματες μέθοδοι.

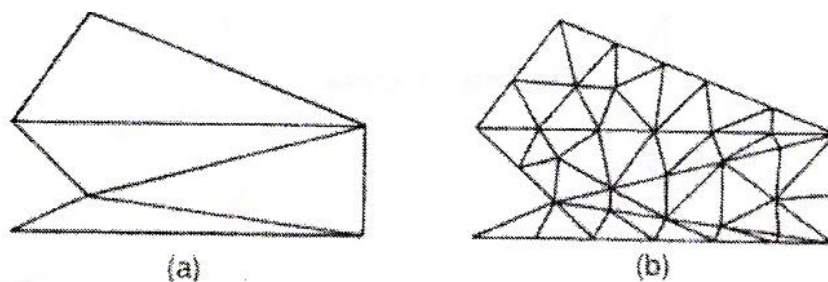
Αμέσως παρακάτω, παραθέτουμε ονομαστικά τις μεθόδους γένεσης πλέγματος με βάση την ταξινόμηση που πρότεινε ο Ho-Le (1988).

- Μέθοδος Σύνδεσης Κόμβων (N.C.A.)



Σχήμα 3.2 Μέθοδος σύνδεσης κόμβων

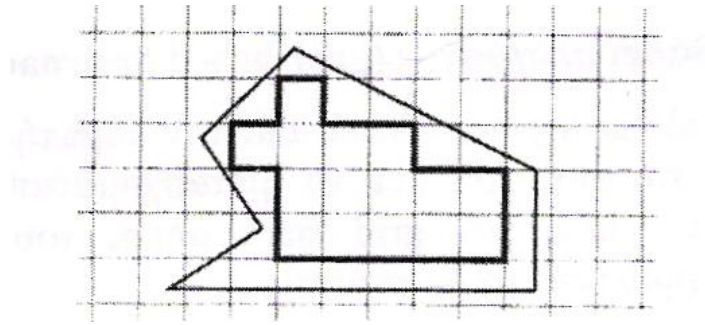
- Μέθοδος Αποσύζευξης Τοπολογίας (T.D.A.)



Σχήμα 3.3 Παράδειγμα μεθόδου τοπολογικής αποσύζευξης

- Μέθοδος Αποσύζευξης Γεωμετρίας (G.D.A.)

- Μέθοδος Βάσει Πλέγματος (G.B.A.)



Σχήμα 3.4 Χρήση ορθογωνικού grid για τη μέθοδο “grid-based”

3.4.3 ΕΙΔΗ ΑΝΑΛΥΣΗΣ ΠΕΠΕΡΑΣΜΕΝΩΝ ΣΤΟΙΧΕΙΩΝ

Οι δυνατότητες των πακέτων πεπερασμένων στοιχείων είναι πολλές. Εκτός από τις τετριμμένες ελαστικές αναλύσεις, σε πολλά από αυτά τα πακέτα υπάρχουν δυνατότητες επίλυσης ποικίλων άλλων προβλημάτων σε μεγάλο τμήμα των εξισώσεων που διέπουν τα φυσικά φαινόμενα: θερμικά, ακουστικά, ηλεκτρικά, μαγνητικά (δινορεύματα: eddy-current), ηλεκτρομαγνητικά, υδροδυναμικά, ρευστομηχανικά, περιγραφής διάβρωσης υλικών, κλπ. Το σύνολο αυτό των δυνατοτήτων συνήθως αποδίδεται με τον όρο “Multi-Physics”, δηλαδή επίλυση των ποικίλων εξισώσεων της Φυσικής.

- **Καθορισμός του Είδους Ανάλυσης**

Παρόλο που δεν είναι δυνατόν να κωδικοποιήσουμε τον τρόπο ανάλυσης, στη συνέχεια θα δώσουμε κάποιες γενικές κατευθύνσεις.

Η πλέον αρχική επιλογή είναι ο καθορισμός του φυσικού φαινομένου, το οποίο καλείται ο μελετητής να προσομοιώσει. Για παράδειγμα, ελαστική ανάλυση (elastic analysis) ή πρόβλημα δυναμικού (potential problem). Τα προβλήματα δυναμικού αφορούν την επίλυση των εξισώσεων Laplace και Poisson που διέπουν τη μηχανική αττιβούς ρευστού, μετάδοση θερμότητας, κοκ.

Μια δεύτερη επιλογή που καλείται να κάνει ο μελετητής είναι ο καθορισμός του προβλήματος σαν:

Στατικό πρόβλημα (static analysis), δηλαδή μη-εξαρτημένο από το χρόνο, ή

Δυναμικό πρόβλημα (dynamic analysis), δηλαδή χρονικά εξαρτώμενο. Παραδείγματα είναι η ταλάντωση μιας μηχανής, ο ερπυσμός και η χαλάρωση, η διάδοση ήχου στον αέρα ή σε άλλο μέσον, κλπ.

Μια άλλη κατάταξη αφορά στο εάν το πρόβλημα είναι γραμμικό (linear) ή μη-γραμμικό (nonlinear)

Γραμμικό λέγεται ένα πρόβλημα στο οποίο εάν διπλασιασθεί το μέγεθος των εξωτερικών δράσεων (π.χ. δυνάμεων) τότε διπλασιάζεται το μέγεθος του αποτελέσματος (π.χ. μετατοπίσεων). Τα περισσότερα προβλήματα της πράξης είναι (ή μάλλον θεωρούνται) γραμμικά.

Μη γραμμικό λέγεται ένα πρόβλημα στο οποίο δεν ισχύει η αναλογία που αναφέρθηκε προηγούμενα. Σε «ελαστικά» προβλήματα η μη-γραμμικότητα μπορεί να οφείλεται στο ελαστοπλαστικό υλικό (material nonlinearity) ή στην μεταβαλλόμενη επαφή μεταξύ δύο ή περισσότερων σωμάτων (geometrical nonlinearity). Και στις δύο αυτές περιπτώσεις, το μητρώο δυσκαμψίας δεν είναι σταθερό αλλά είναι συνάρτηση των μετατοπίσεων. Μη-γραμμικότητες υπάρχουν και σε προβλήματα δυναμικού, π.χ. όταν ο συντελεστής μετάδοσης θερμότητας είναι συνάρτηση της θερμοκρασίας.

• **Στάδια Ανάλυσης Πεπερασμένων Στοιχείων**

Για τη μοντελοποίηση μιας κατασκευής με πεπερασμένα στοιχεία διακρίνουμε τα ακόλουθα στάδια:

1^ο Στάδιο → Κατασκευή της γεωμετρίας.

2^ο Στάδιο → Επιλογή του είδους των πεπερασμένων στοιχείων και διακριτοποίηση της γεωμετρίας σε πεπερασμένα στοιχεία.

3^ο Στάδιο → Ορισμός των μηχανικών και φυσικών ιδιοτήτων των υλικών (μπορεί να γίνει και σε προηγούμενο στάδιο) και επιβολή των οριακών συνθηκών.

4^ο Στάδιο → Επιλογή του τρόπου επίλυσης (γραμμικό – μη γραμμικό μεταβατικό – υπολογισμός ιδιοσυχνοτήτων κ.α.) και επίλυση.

5^ο Στάδιο → Ανάγνωση των αποτελεσμάτων και γραφική αναπαράστασή τους.

• **Είδος Πεπερασμένων Στοιχείων**

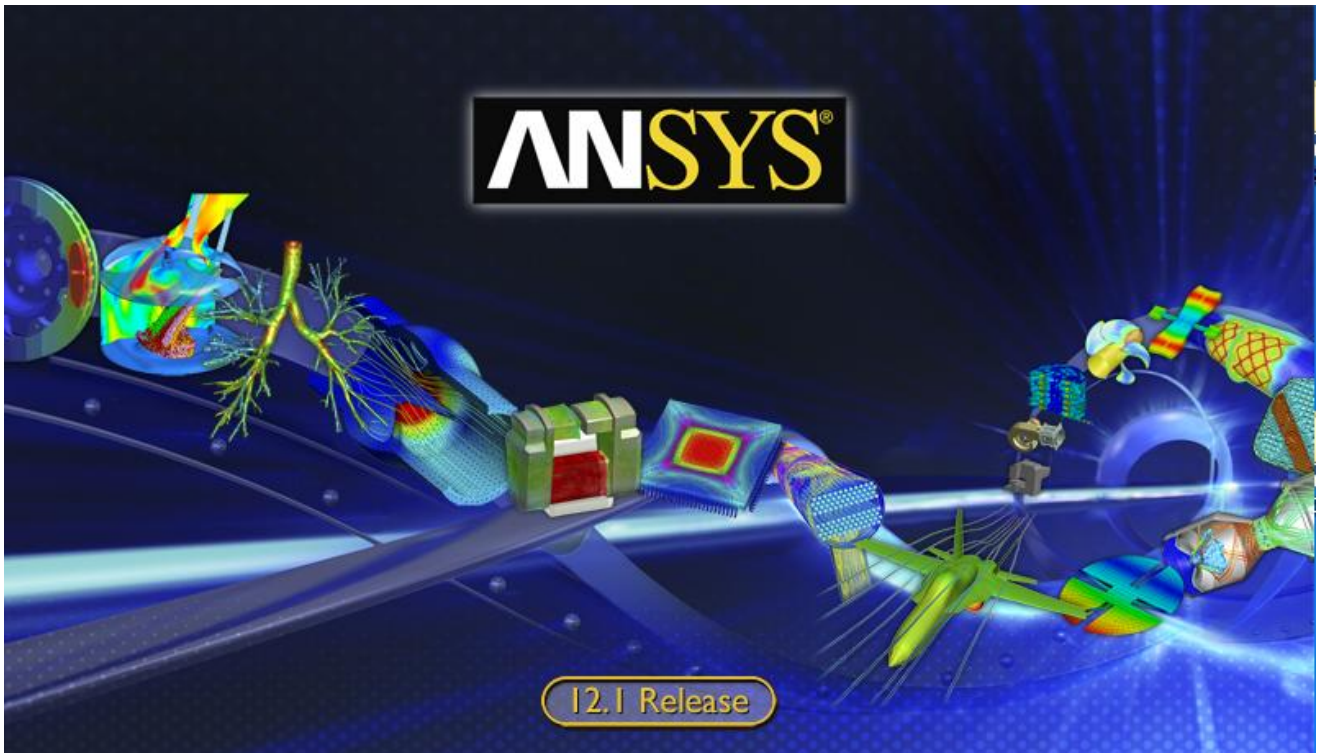
Τα βασικά πεπερασμένα στοιχεία είναι:

- Ράβδος (2 κόμβοι)
- Σύρμα – σχοινί
- Δοκός (2 κόμβοι)
- Επίπεδη εντατική καταπόνηση (3 μέχρι 9 κόμβοι)
- Επίπεδη παραμορφωσιακή κατάσταση (3 μέχρι 9 κόμβοι)
- Αξονοσυμμετρικό με αξονοσυμμετρική φόρτιση (3 μέχρι 9 κόμβοι)
- Αξονοσυμμετρικό με τυχαία φόρτιση (που αναλύεται σε αρμονικές)
- Πλάκα (3 μέχρι 9 κόμβοι)
- Μembrάνη
- Κέλυφος
- Ορθοτροπικό – πολυστρωματικό υλικό
- Τετράεδρο (3 κόμβοι)
- Πρίσμα (π.χ. 6 κόμβοι)
- Εξάεδρο (8 κόμβοι)

Ανάλογα με το είδος του προβλήματος, το πλήθος των βαθμών ελευθερίας ανά κόμβο ποικίλει.

3.3 ΛΟΓΙΣΜΙΚΟ ANSYS WORKBENCH

Το πακέτο λογισμικού ANSYS Workbench, είναι ένα ολοκληρωμένο σύστημα CAD – CAE το οποίο υπολογίζει τις καταπονήσεις και παραμορφώσεις κατασκευών & συστημάτων που βρίσκονται σε φόρτιση.



Η προσομοίωση με ANSYS Workbench - FEA (Finite Element Analysis) προσφέρει την ιδανική λύση για το σχεδιασμό και τη βελτιστοποίηση προϊόντων, αυξάνοντας την παραγωγικότητα και ελαχιστοποιώντας την ανάγκη για δημιουργία πρωτοτύπων. Με το ANSYS Workbench - FEA αντιμετωπίζονται τα πραγματικά προβλήματα ανάλυσης, καθιστώντας την ανάπτυξη προϊόντος λιγότερο δαπανηρή και πιά αξιόπιστη. Το πακέτο προσομοίωσης ANSYS Workbench - FEA περιλαμβάνει μια σειρά από: στοιχεία (elements), επαφές (contacts), υλικά, λύτες (solvers), ενώ εκτός της δομικής ανάλυσης αντιμετωπίζει ταυτόχρονα και μεταφορά θερμότητας, ηλεκτρομαγνητισμό και ροή ρευστών (συζευγμένη φυσική - multiphysics).

Το ANSYS Workbench μπορεί να χρησιμοποιηθεί:

- Στον αρχικό σχεδιασμό (μελέτη σκοπιμότητας) μίας κατασκευής/προϊόντος.
- Στην ανεύρεση & εντοπισμό προβλημάτων (troubleshooting).
- Αναπαράγοντας την πραγματικότητα στο εικονικό περιβάλλον του Η/Υ, αναπαράγεται και το πρόβλημα, οπότε το επόμενο βήμα είναι η λύση του.
- Στη λεπτομερή ανάπτυξη του προϊόντος, όπου εξετάζουμε με λεπτομέρεια το προϊόν και τη συμπεριφορά του σε συνθήκες λειτουργίας όπως και σε ακραίες καταστάσεις.
- Στη βελτιστοποίηση του προϊόντος, με αλληπάλληλες επιλύσεις διαφορετικών σεναρίων, ώστε να δούμε ποιοι παράγοντες (διαστάσεις, υλικά, συνθήκες) είναι οι πιο επιδραστικοί.

Τα είδη ανάλυσης που μπορεί να επιλύσει το ANSYS Workbench είναι:

- Γραμμική στατική & δυναμική φόρτιση.
- Ρευστο-μηχανική ανάλυση.
- Εύρεση ιδιοσυχνοτήτων.
- Αρμονική ή τυχαία ταλάντωση.
- Θερμική ανάλυση (υπολογισμός θερμικών τάσεων).
- Λυγισμός.
- Αποκοπή υλικού (μεταλλικές κατεργασίες) και σύντομα γεγονότα (crash, drop).

ΚΕΦΑΛΑΙΟ 4: ΡΟΪΚΗ ΚΑΙ ΣΤΑΤΙΚΗ ΑΝΑΛΥΣΗ ΜΗΤΡΑΣ ΕΚΒΟΛΗΣ

4.1 ΓΕΝΙΚΑ

Στο παρόν κεφάλαιο, θα πραγματοποιήσουμε στατική ανάλυση στη μήτρα εκβολής για να υπολογίσουμε τάσεις, μετατοπίσεις και παραμορφώσεις που οφείλονται στη πίεση του ρευστού, στη θερμοκρασία του ρευστού και της μήτρας, καθώς και στη βαρύτητα και να αποφανθούμε για την αντοχή της.

Το λογισμικό που θα χρησιμοποιηθεί είναι το ANSYS Workbench, το οποίο έχουμε προαναφέρει, ενώ οι μήτρες εκβολής που θα αναλυθούν είναι:

- η **αρχική** μήτρα εκβολής του εργαστηρίου του Τομέα των Κατεργασιών
- η **βέλτιστη** μήτρα εκβολής που σχεδιάστηκε από τον φοιτητή της σχολής Μηχανολόγων Μηχανικών Ε.Μ.Π., Δουλιγέρη Ηλία, στα πλαίσια της διπλωματικής του εργασίας με θέμα «Βελτιστοποίηση ποδιών αράχνης κεφαλής μήτρας εκβολής πλαστικού σωλήνα».

Θα πραγματοποιηθούν 6 προσομοιώσεις για κάθε μήτρα εκβολής (σύνολο 12, 6 για κάθε μήτρα), στις οποίες θα μεταβάλλεται η πίεση στην είσοδο του ρευστού, ενώ η θερμοκρασία ρευστού και στερεού θα θεωρηθεί σταθερή στους 196 °C, όπως φαίνεται στον ακόλουθο πίνακα:

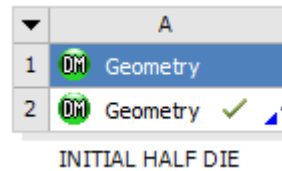
α/α	ΘΕΡΜΟΚΡΑΣΙΑ (°C)	ΠΙΕΣΗ (bar)
1	196	100
2	196	200
3	196	300
4	196	400
5	196	500
6	196	600

Πίνακας 4.1 Βασικά χαρακτηριστικά προσομοιώσεων

Αμέσως παρακάτω θα περιγράψουμε τη διαδικασία που πραγματοποιήθηκε κατά την προσομοίωση σε 100 bar πίεση στην είσοδο του ρευστού στην μήτρα εκβολής του εργαστηρίου. Η διαδικασία που ακολουθήθηκε στις άλλες προσομοιώσεις είναι παρόμοια.

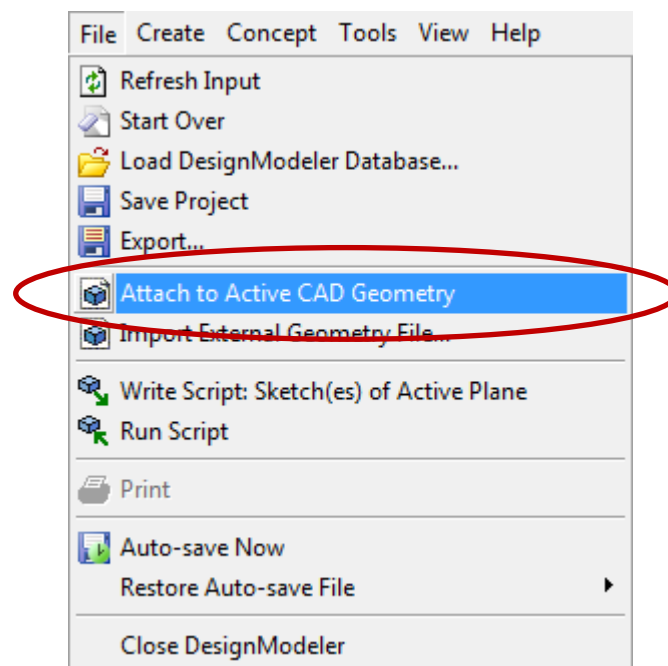
4.2 ΕΙΣΑΓΩΓΗ ΓΕΩΜΕΤΡΙΑΣ

Κατ' αρχήν, ανοίγουμε το περιβάλλον του ANSYS Workbench, όπου εισάγουμε ένα μπλοκ γεωμετρίας, όπως φαίνεται στο παρακάτω σχήμα.



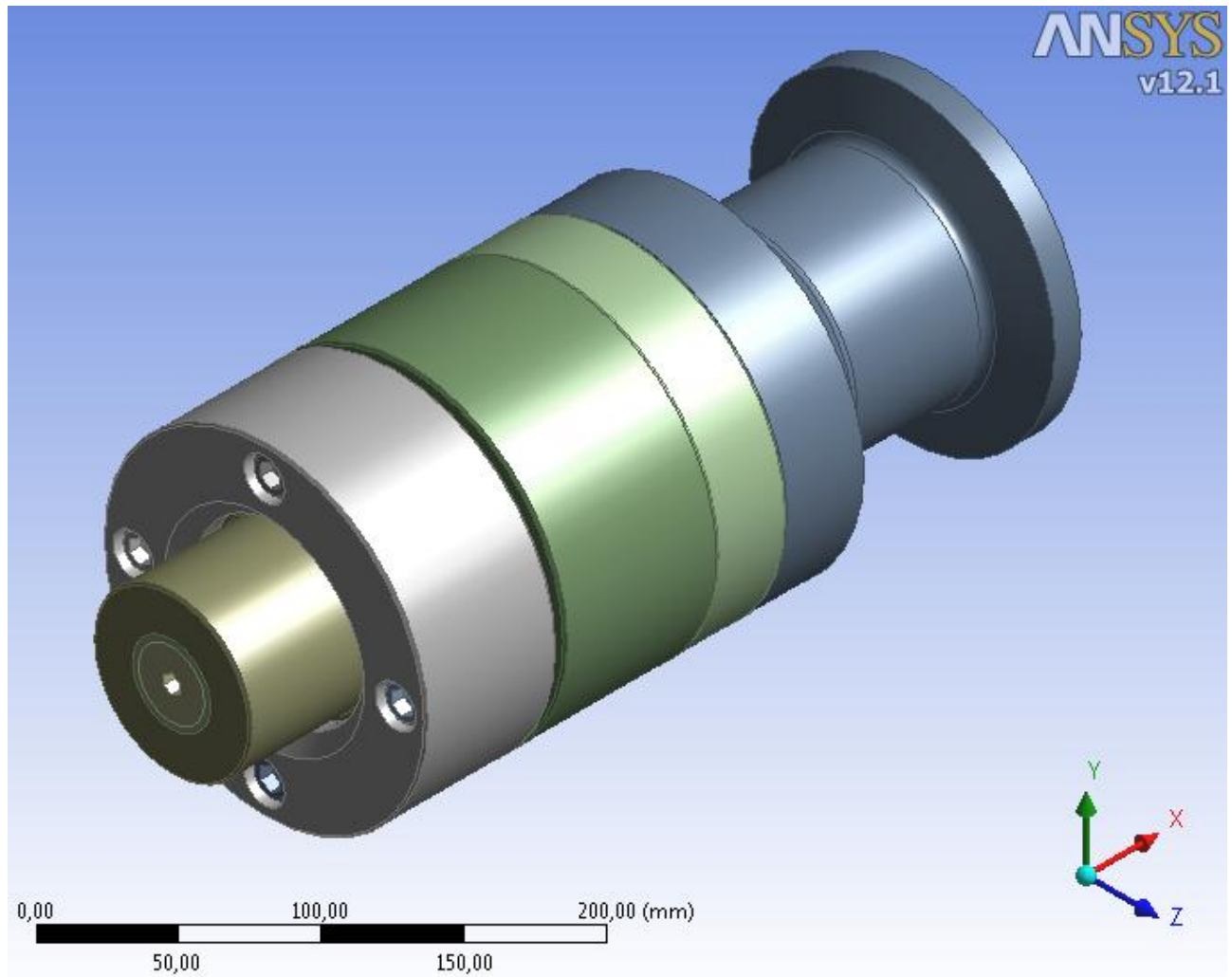
Σχήμα 4.1 Εισαγωγή μπλοκ γεωμετρίας στο ANSYS Workbench

Στη συνέχεια, εισερχόμαστε στο περιβάλλον της γεωμετρίας (DesignModeler) όπου εισάγουμε την γεωμετρία που έχουμε δημιουργήσει στο σχεδιαστικό πρόγραμμα SolidWorks χρησιμοποιώντας το menu: Attach to Active CAD Geometry, μιας και τα δύο προγράμματα, έχουν άμεση αλληλεπίδραση.



Σχήμα 4.2 Εισαγωγή γεωμετρίας από το SolidWorks

Έτσι, εισάγεται η γεωμετρία της μήτρας, όπου όλα τα μέρη της μήτρας ορίζονται ως στερεά (solid), ενώ ορίζουμε και το ρευστό (fluid), όπως στο παρακάτω σχήμα:

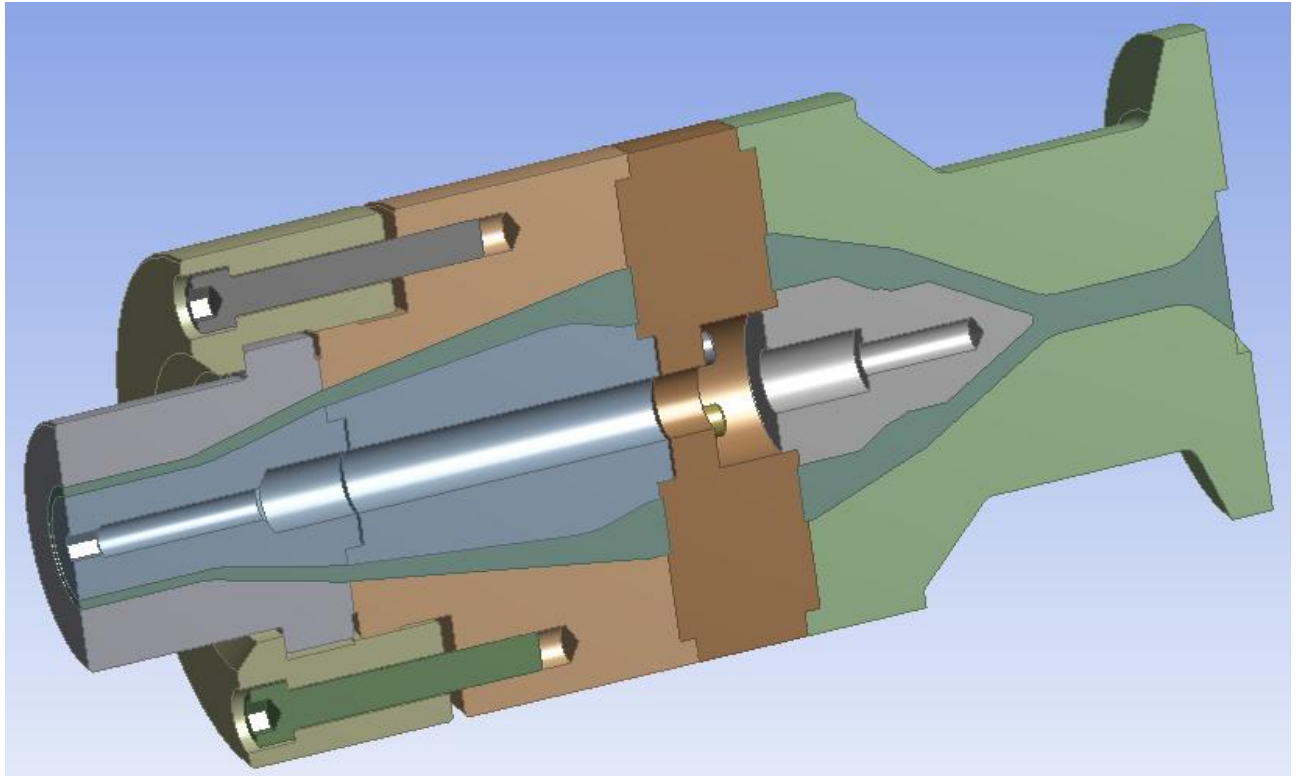


Σχήμα 4.3 Γεωμετρία της μήτρας στο Ansys

Παρατηρούμε ότι έχουμε πλήρη συμμετρία κατά το $\frac{1}{2}$ της μήτρας. Για λόγους εξοικονόμησης μνήμης του υπολογιστή, αλλά και ταχύτητας κατά τις προσομοιώσεις, θα αναλύσουμε το $\frac{1}{2}$ της μήτρας. Έτσι, θέτοντας Symmetry half κατά το ZX επίπεδο, όπως φαίνεται στο ακόλουθο σχήμα, παίρνουμε την συμμετρική γεωμετρία.

Details View	
Details of Symmetry	
Symmetry	Symmetry
Number of Planes	1
Symmetry Plane1	ZXPlane
Model Type	Full Model
Target Bodies	All Bodies

Σχήμα 4.4 Ορισμός συμμετρίας κατά το ήμισυ στη μήτρα

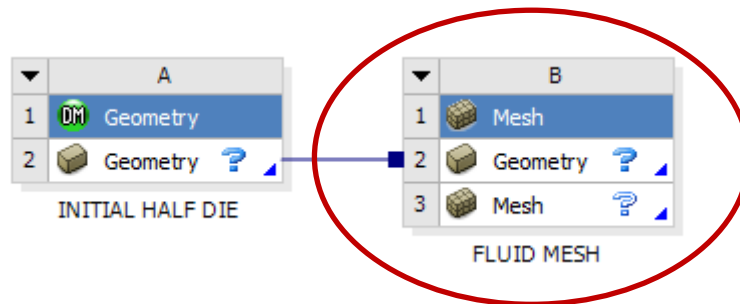


Σχήμα 4.5 Συμμετρικό μοντέλο κατά το $\frac{1}{2}$

Αφού ολοκληρώθηκε η εισαγωγή της γεωμετρίας και ο ορισμός του συμμετρικού μοντέλου που θα αναλυθεί, κλείνουμε το περιβάλλον του DesignModeler, επιστρέφουμε στο βασικό menu του ANSYS Workbench και προχωρούμε στην ανάλυση της ροής, όπως παρακάτω.

4.3 ΠΡΟΣΟΜΟΙΩΣΗ ΡΟΗΣ

Το πρόσθετο που θα χρησιμοποιηθεί για την προσομοίωση της ροής προκειμένου να υπολογίσουμε τις πιέσεις στα τοιχώματα της μήτρας εκβολής, είναι το Fluent (Fluid Flow). Πριν όμως από αυτό, θα δημιουργήσουμε κατάλληλο πλέγμα. Έτσι, εισάγουμε μπλοκ πλέγματος στο περιβάλλον του ANSYS Workbench και το συνδέουμε με το μπλοκ της γεωμετρίας, όπως στο παρακάτω σχήμα.

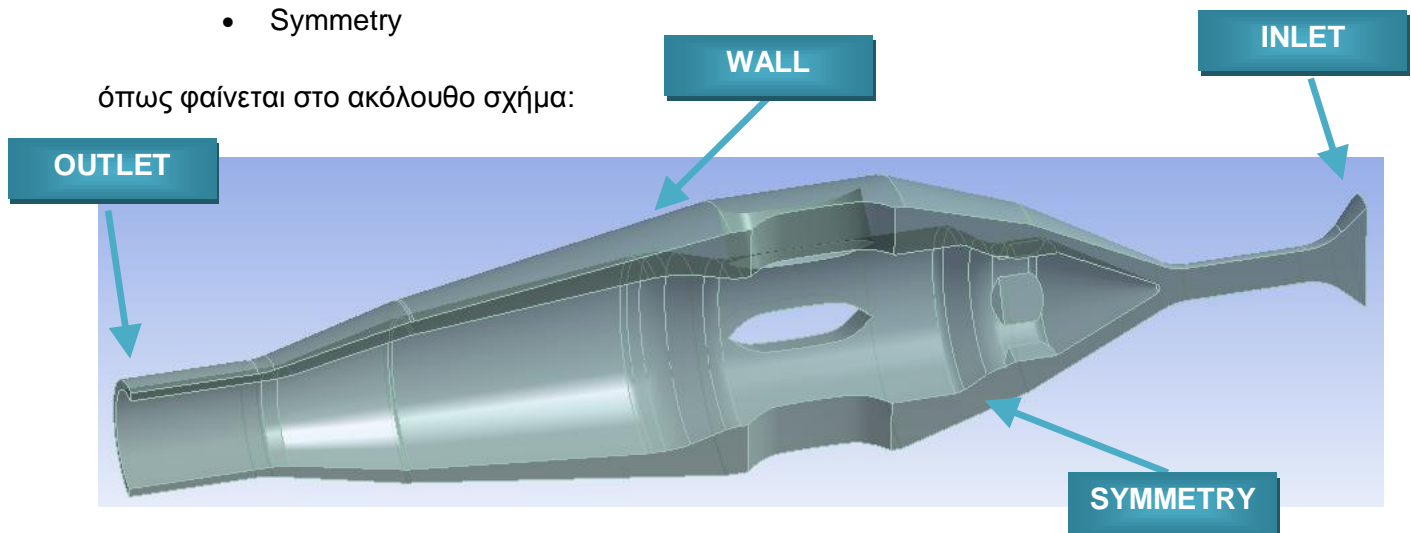


Σχήμα 4.6 Εισαγωγή μπλοκ πλέγματος στο ANSYS Workbench

Στη συνέχεια, εισερχόμαστε στο περιβάλλον του πλέγματος (Meshing [ANSYS ICED CFD]) από το menu → Mesh, όπου απομονώνουμε το ρευστό κάνοντας suppress στα στερεά τμήματα της μήτρας εκβολής (solid), και ορίζουμε τις διάφορες επιφάνειες του ρευστού:

- Inlet
- Outlet
- Wall
- Symmetry

όπως φαίνεται στο ακόλουθο σχήμα:



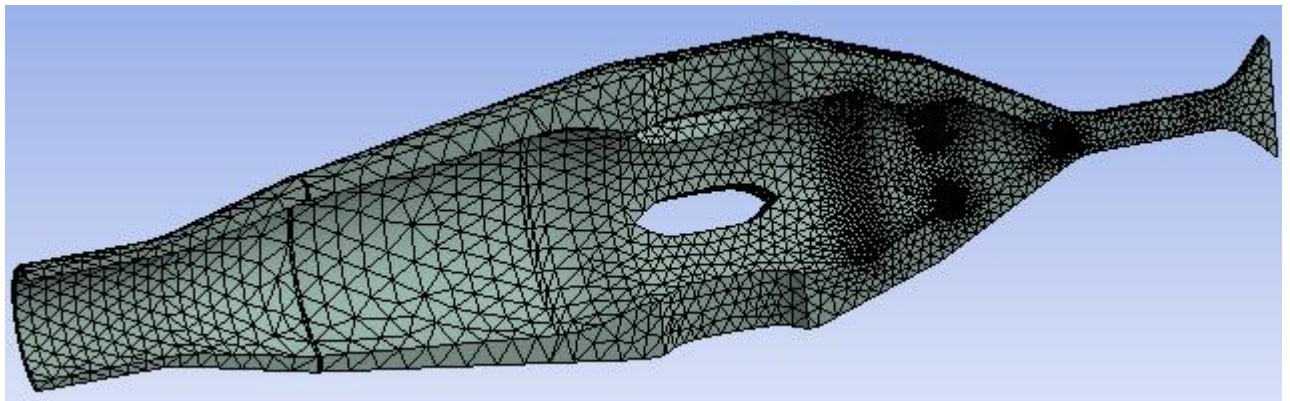
Σχήμα 4.7 Απομόνωση της γεωμετρίας του ρευστού

Έτσι, δημιουργούμε πλέγμα του οποίου τα χαρακτηριστικά φαίνονται στο ακόλουθο σχήμα. Αξίζει να αναφέρουμε ότι χρησιμοποιούμε βελτίωση πλέγματος στις δύσκολες γεωμετρίες για να έχουμε πιο αξιόπιστα αποτελέσματα.

Details of "Mesh"	
[-] Defaults	
Physics Preference	CFD
Solver Preference	Fluent
Relevance	0
[-] Sizing	
Use Advanced Si...	On: Curvature
Relevance Center	Coarse
Initial Size Seed	Active Assembly
Smoothing	Medium
Transition	Slow
Span Angle Center	Fine
Curvature Norma...	Default (18,0 °)
Min Size	Default (1,8763e-004 m)
Max Face Size	Default (1,8763e-002 m)
Max Tet Size	Default (3,7525e-002 m)
Growth Rate	Default (1,20)
Minimum Edge L...	4,6542e-006 m

Σχήμα 4.8 Ιδιότητες πλέγματος του ρευστού

Το πλέγμα που δημιουργήθηκε, φαίνεται αμέσως παρακάτω:

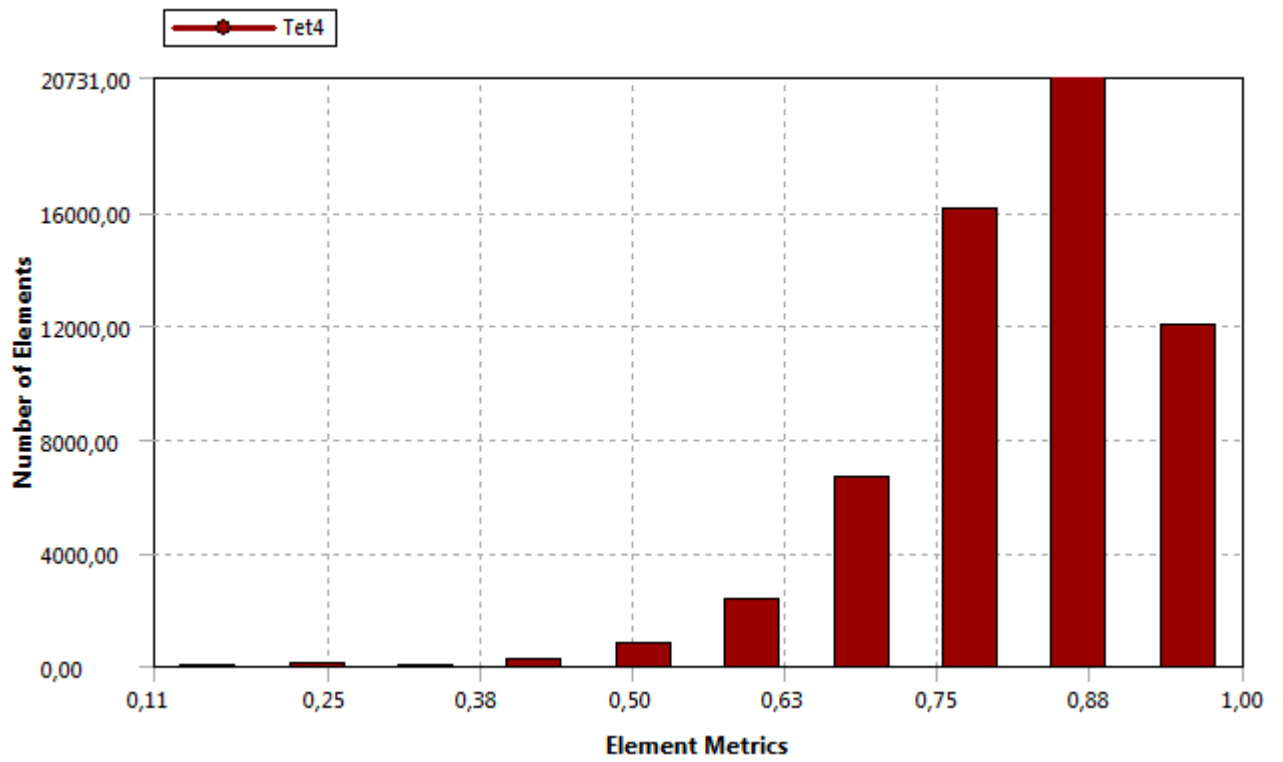


Σχήμα 4.9 Πλέγμα πεπερασμένων στοιχείων του ρευστού

Όπως μπορούμε να παρατηρήσουμε, το πλέγμα έχει δημιουργηθεί αποκλειστικά για το Fluent, ενώ αποτελείται από:

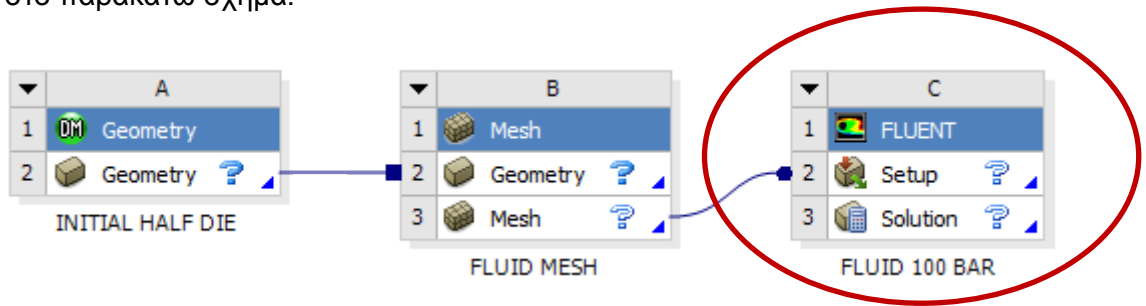
- 12369 κόμβους (Nodes)
- 58842 τετραεδρικά πεπερασμένα στοιχεία (Elements)

Στατιστικά στοιχεία σχετικά με τον αριθμό και το είδος των πεπερασμένων στοιχείων παρουσιάζονται στο παρακάτω σχήμα:



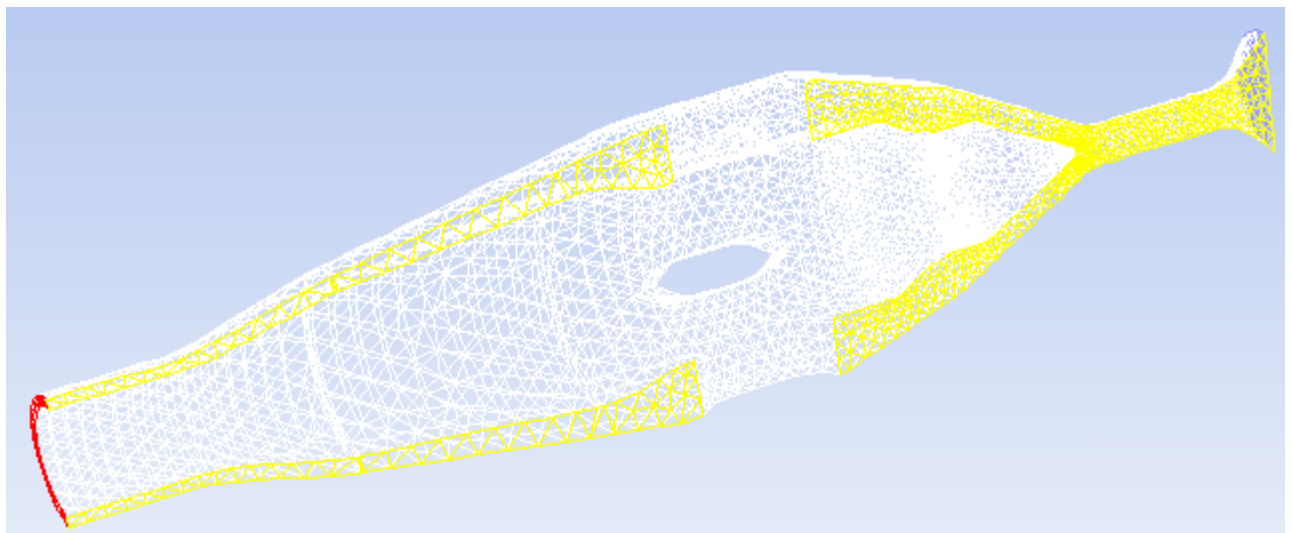
Σχήμα 4.10 Στατιστικά στοιχεία των πεπερασμένων στοιχείων του ρευστού

Στη συνέχεια, εξερχόμαστε από το περιβάλλον του Modeling και στο περιβάλλον του ANSYS Workbench, εισάγουμε το μπλοκ του Fluent και το συνδέουμε με το μπλοκ του πλέγματος, όπως στο παρακάτω σχήμα:



Σχήμα 4.11 Εισαγωγή μπλοκ Fluent στο ANSYS Workbench

Στη συνέχεια, εισερχόμαστε στο περιβάλλον του Fluent από το menu → Setup όπου εισάγεται αυτόματα το πλέγμα που είχε δημιουργηθεί όπως φαίνεται στο ακόλουθο σχήμα:



Σχήμα 4.12 Πλέγμα του ρευστού που έχει εισαχθεί στο Fluent

Κατά την εισαγωγή του πλέγματος, παίρνουμε τα παρακάτω δεδομένα:

```

Welcome to ANSYS FLUENT 12.1.2

Copyright 2009 ANSYS Inc.
All Rights Reserved. Unauthorized use, distribution or duplication
is prohibited. ANSYS and FLUENT are trademarks or registered trademarks
of ANSYS, Inc. or its subsidiaries in the United States or other countries.

Loading "C:\PROGRA~1\ANSYSI~1\v121\fluent\fluent12.1.2\lib\fl_s1119-64.dmp"
Done.

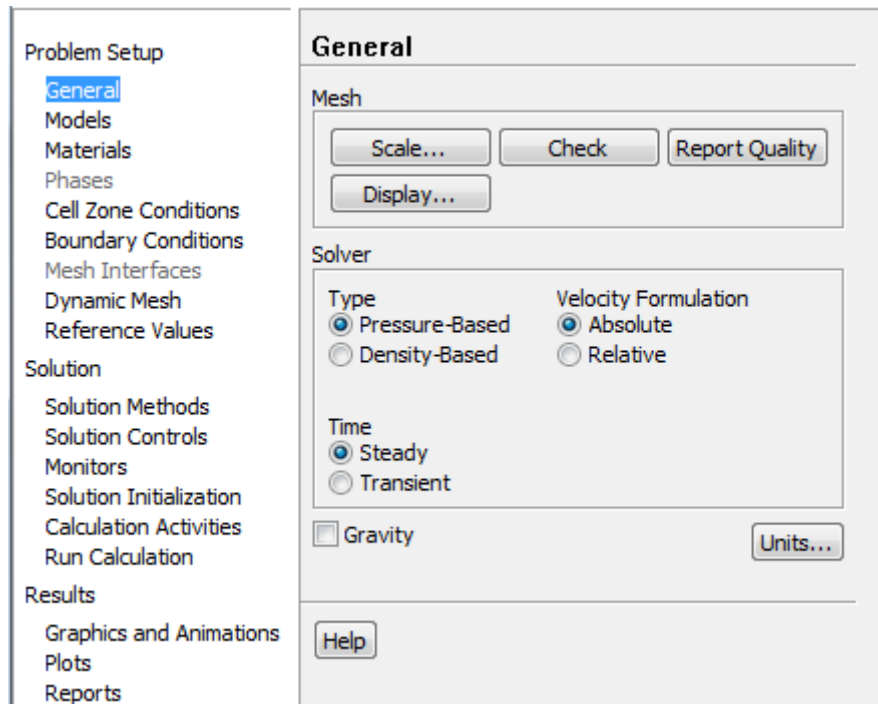
> Reading "\ | gunzip -c "C:\Users\Giorgos\Desktop\ANALYSH MHTRAS - SIMPLE\ANALYSH
MHTRAS - SIMPLE_files\dp0\FLU\Fluent\SYS.1-3.cas.gz\""...
58842 tetrahedral cells, zone 2, binary.
112842 triangular interior faces, zone 1, binary.
1094 triangular symmetry faces, zone 5, binary.
52 triangular pressure-inlet faces, zone 6, binary.
22 triangular pressure-outlet faces, zone 7, binary.
8516 triangular wall faces, zone 8, binary.
12369 nodes, binary.
12369 node flags, binary.

Building...
mesh
materials,
interface,
domains,
mixture
zones,
wall
outlet
symmetry:zxplane
interior-zone9_-_reysto-1
inlet
zone9_-_reysto-1
Done.
    
```

Πίνακας 4.2 Δεδομένα κατά την είσοδο του πλέγματος στο Fluent

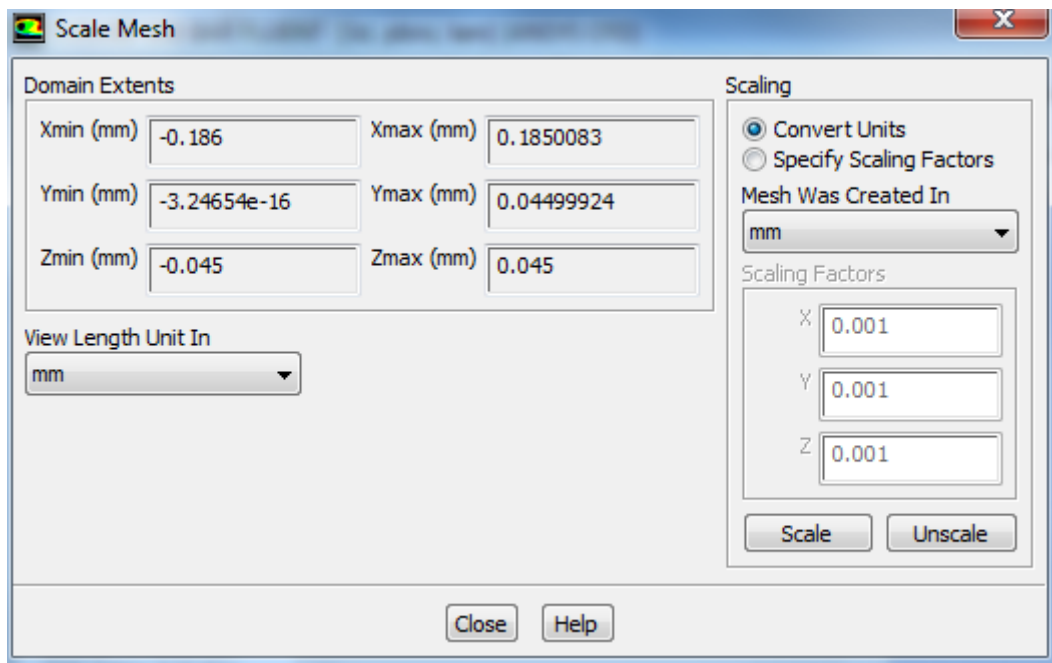
Τα στοιχεία που διακρίνουμε είναι η προέλευση του πλέγματος, ο αριθμός των τετραδρικών πεπερασμένων στοιχείων, η είσοδος και έξοδος του ρευστού, η συμμετρία και η επιφάνεια στο τοίχωμα της μήτρας.

Έπειτα, ορίζουμε τα βασικά χαρακτηριστικά της ανάλυσης, όπως φαίνονται στο παρακάτω σχήμα:



Σχήμα 4.13 Βασικές ρυθμίσεις του Fluent

Στο submenu → Scale, ορίζουμε την μονάδα μέτρησης του πλέγματος (mm) όπως φαίνεται στο παρακάτω σχήμα:



Σχήμα 4.14 Ορισμός mm ως μονάδας μέτρησης

Στο submenu → Check κάνουμε τους απαραίτητους ελέγχους του πλέγματος και του μοντέλου και παίρνουμε τα εξής αποτελέσματα:

Domain Extents:
 x-coordinate: min (m) = -1.860000e-004, max (m) = 1.850083e-004
 y-coordinate: min (m) = -3.246545e-019, max (m) = 4.499924e-005
 z-coordinate: min (m) = -4.500000e-005, max (m) = 4.500000e-005
Volume statistics:
 minimum volume (m3): 7.396141e-021
 maximum volume (m3): 1.326417e-016
 total volume (m3): 2.592741e-013
Face area statistics:
 minimum face area (m2): 6.155495e-014
 maximum face area (m2): 5.340889e-011
 Checking number of nodes per cell.
 Checking number of faces per cell.
 Checking thread pointers.
 Checking number of cells per face.
 Checking face cells.
 Checking cell connectivity.
 Checking bridge faces.
 Checking right-handed cells.
 Checking face handedness.
 Checking face node order.
 Checking closed cells.
 Checking contact points.
 Checking element type consistency.
 Checking boundary types.
 Checking face pairs.
 Checking wall distance.
 Checking node count.
 Checking nosolve cell count.
 Checking nosolve face count.
 Checking face children.
 Checking cell children.
 Checking storage.
 Done.

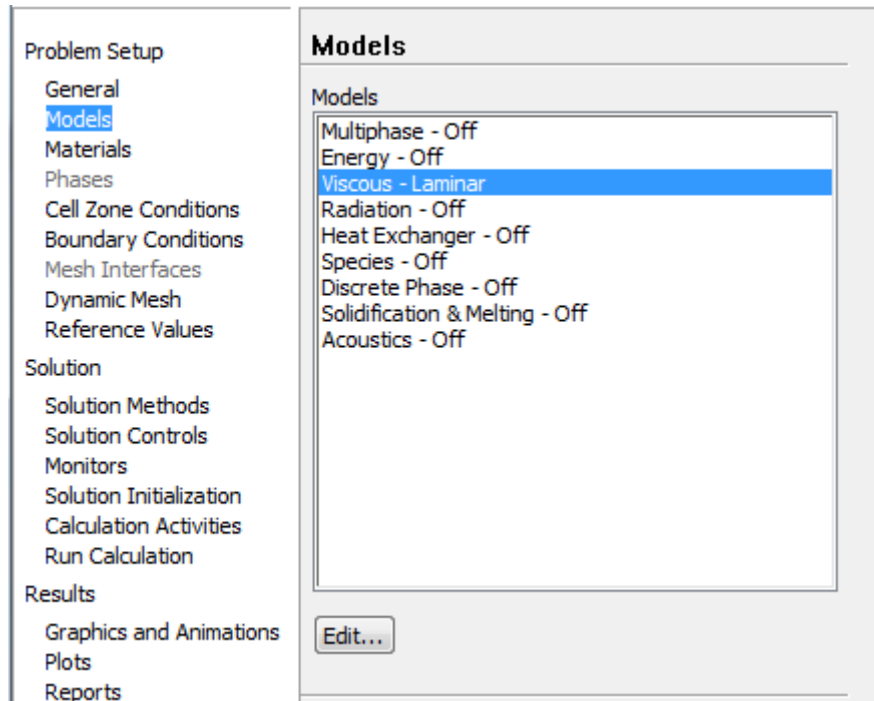
Πίνακας 4.3 Έλεγχος του πλέγματος

Στο submenu → Report Quality βλέπουμε την ποιότητα του πλέγματος και παίρνουμε τα εξής αποτελέσματα:

Mesh Quality:
 Applying quality criteria for tetrahedra/mixed cells.
 Maximum cell squish = 8.16671e-001
 Maximum cell skewness = 9.02963e-001
 Maximum aspect ratio = 2.53697e+001

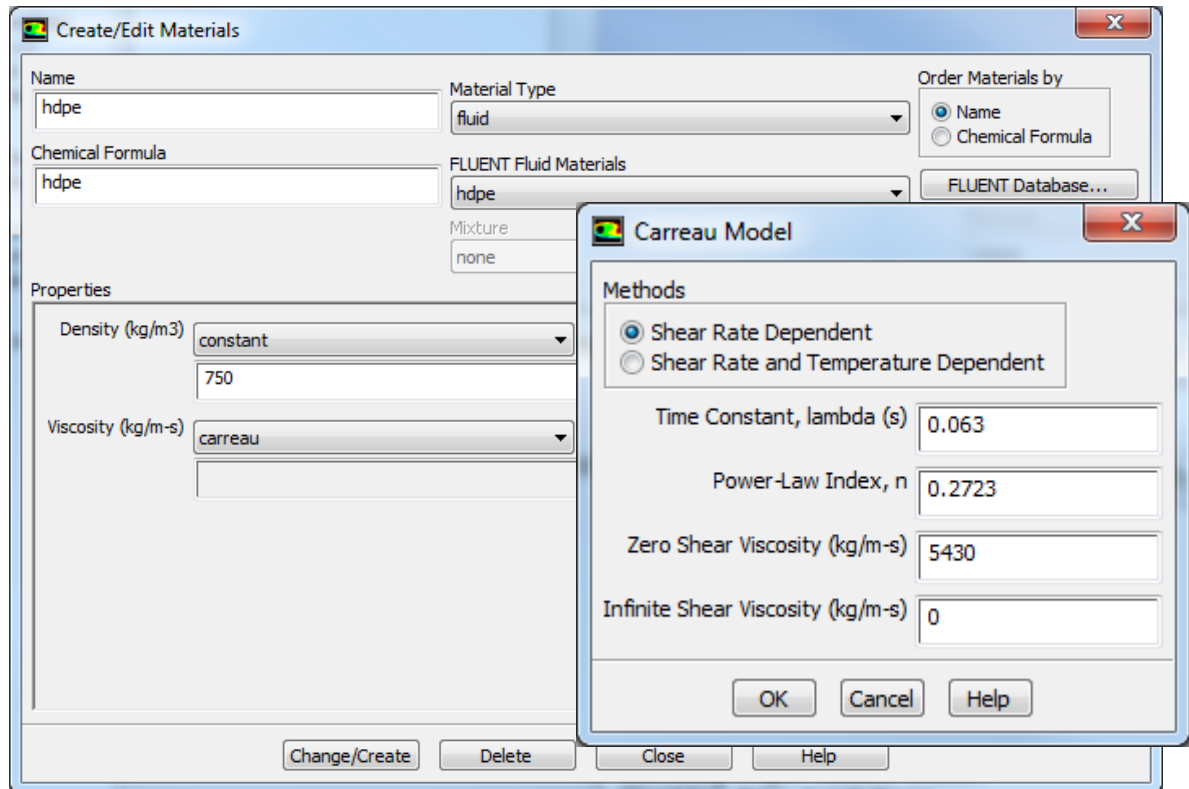
Πίνακας 4.4 Ποιότητα του πλέγματος

Στη συνέχεια, ορίζουμε το είδος του προβλήματος, το οποίο είναι ροή μη νευτωνιακού ρευστού, ενώ δεν θα λάβουμε υπόψη μας τη θερμοκρασία, μιας και μας ενδιαφέρει να υπολογίσουμε μόνο τις πιέσεις του ρευστού και η θερμοκρασία θα λυφθεί σταθερή στο στατικό μοντέλο ίση με 196 °C, όπως φαίνεται στο παρακάτω σχήμα:



Σχήμα 4.15 Ορισμός του είδους του προβλήματος

Έπειτα ορίζουμε τις ιδιότητες του ρευστού που είναι το πολυαιθυλένιο (HDPE) το οποίο έχει σταθερή πυκνότητα ενώ ακολουθεί το μοντέλο Carreau όπως φαίνεται στο ακόλουθο σχήμα:



Σχήμα 4.16 Ιδιότητες του πολυαιθυλενίου (HDPE)

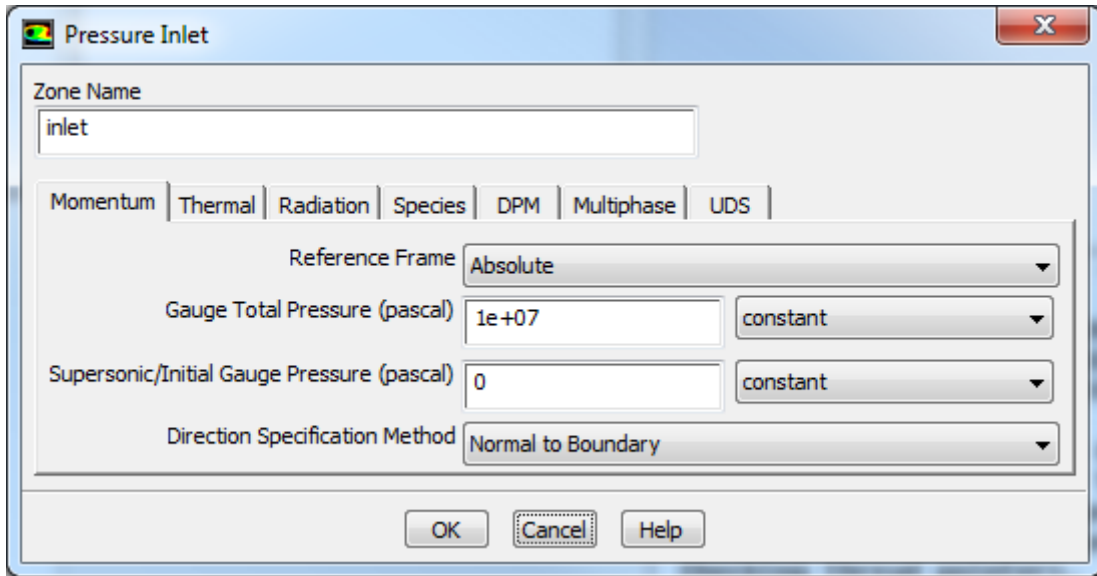
Οι αναλυτικές ιδιότητες του πολυαιθυλενίου (HDPE) παρατίθενται στο «Παράρτημα Γ».

Αμέσως μετά, ορίζουμε τις οριακές συνθήκες του προβλήματος, οι οποίες αναφέρονται στον παρακάτω πίνακα:

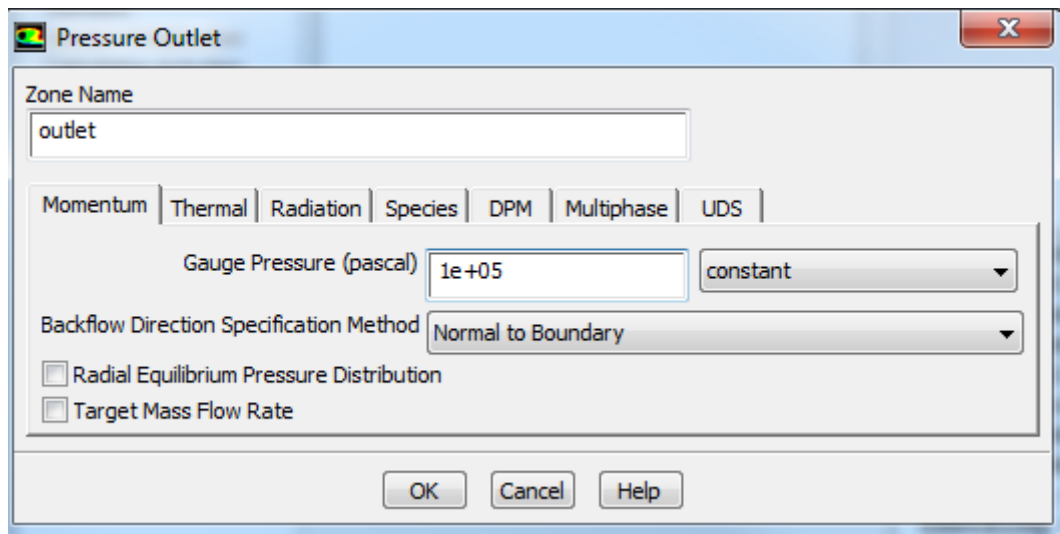
ΕΙΔΟΣ ΕΠΙΦΑΝΕΙΑΣ		ΟΡΙΑΚΗ ΣΥΝΘΗΚΗ
Είσοδος	Inlet	Πίεση: 100 bar
Έξοδος	Outlet	Πίεση: 1 bar
Επίπεδο ZX	ZX Plane	Συμμετρία (Symmetry)
Τοίχωμα	Wall	Μη ολίσθηση (No Slip)

Πίνακας 4.5 Οριακές συνθήκες προβλήματος

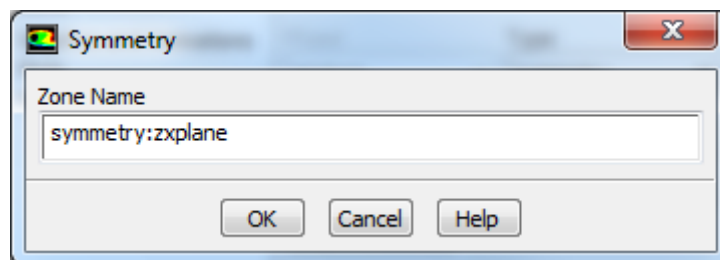
Αναλυτικά, οι οριακές συνθήκες που ορίσαμε φαίνονται στα παρακάτω σχήματα:



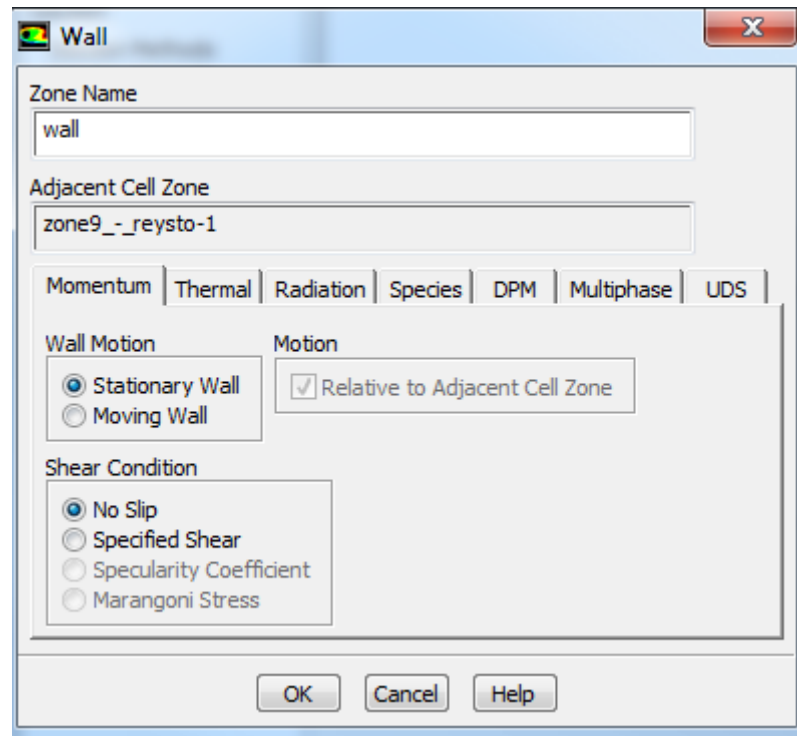
Σχήμα 4.17 Οριακή συνθήκη στην είσοδο του ρευστού



Σχήμα 4.18 Οριακή συνθήκη στην έξοδο του ρευστού

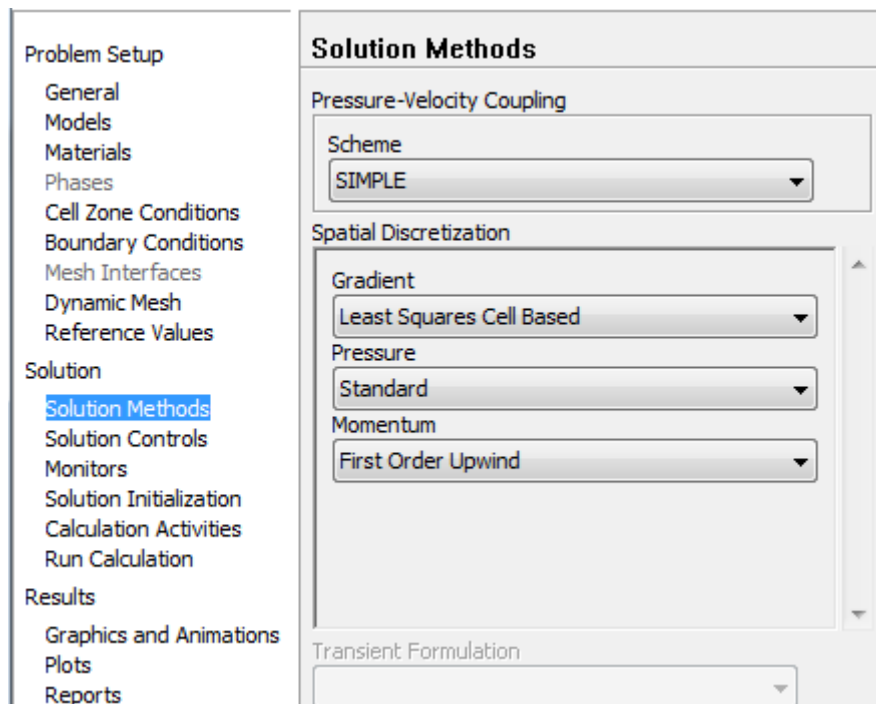


Σχήμα 4.19 Οριακή συνθήκη στην συμμετρία του ρευστού



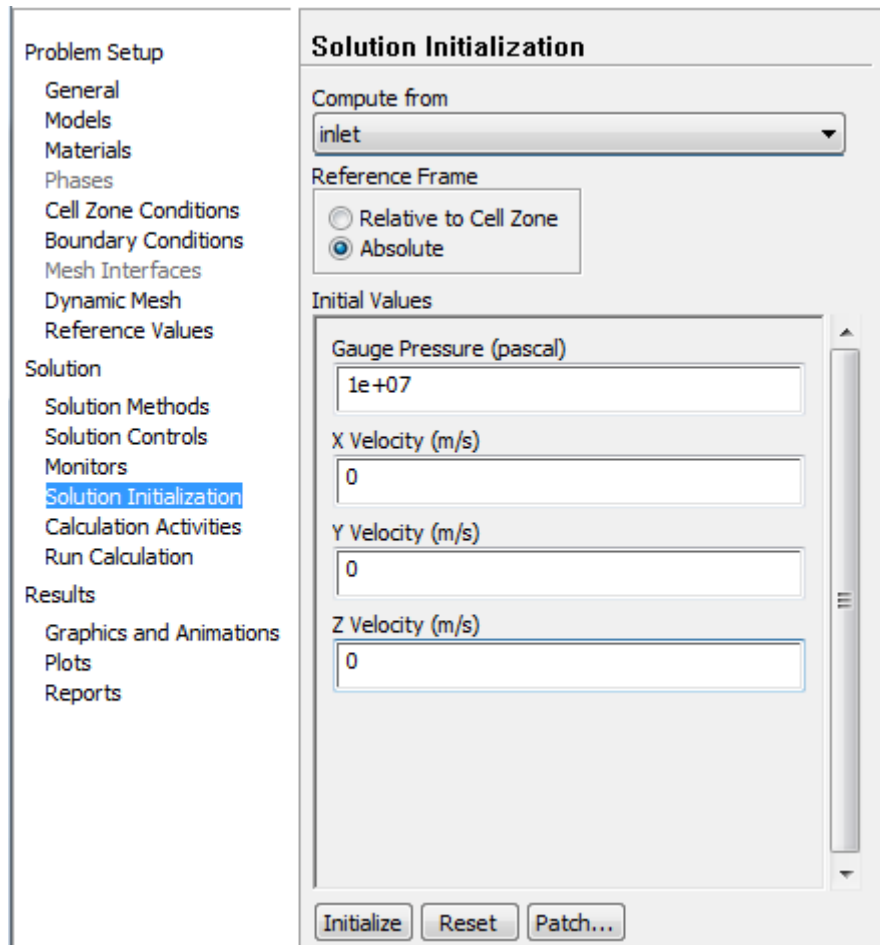
Σχήμα 4.20 Οριακή συνθήκη στο τοίχωμα του ρευστού

Στη συνέχεια, ορίζουμε τις ρυθμίσεις επίλυσης του προβλήματος, όπως φαίνεται στο παρακάτω σχήμα:



Σχήμα 4.21 Ρυθμίσεις επίλυσης του προβλήματος

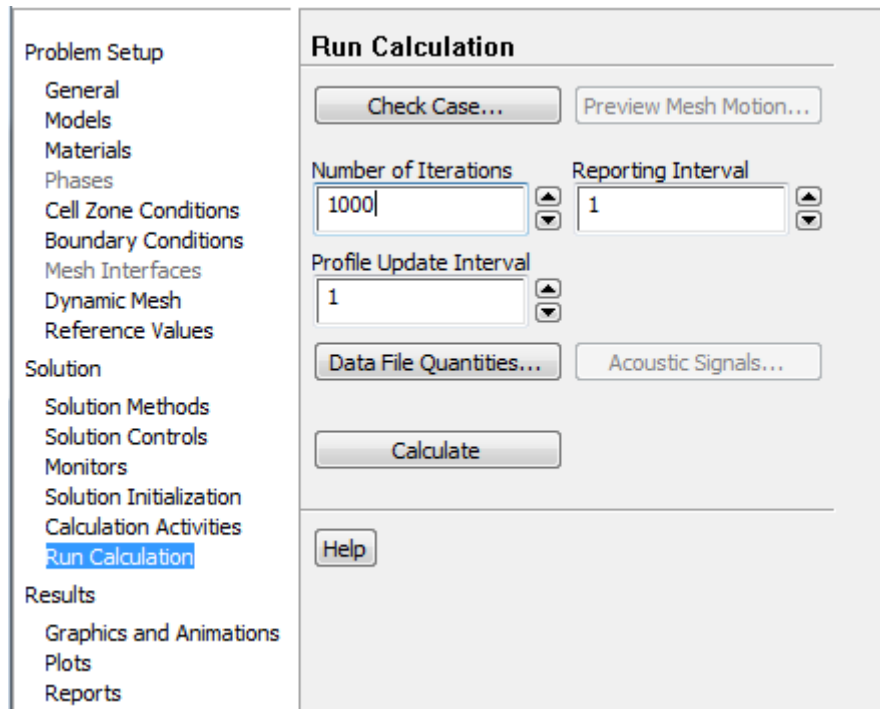
Αμέσως μετά, ορίζουμε τις αρχικές συνθήκες της επίλυσης, οι οποίες υπολογίζονται από την είσοδο του ρευστού και παρουσιάζονται αμέσως παρακάτω:



Σχήμα 4.22 Ορισμός αρχικών συνθηκών επίλυσης από την είσοδο του ρευστού

Ορίζουμε την αρχική ταχύτητα ίση με το μηδέν, πράγμα το οποίο θα διαφοροποιηθεί μετά την εκτέλεση των επαναλήψεων από τον Solver.

Λίγο πριν γίνει η επίλυση, ορίζουμε τον μέγιστο αριθμό των επαναλήψεων, ίσο με 1000 και στη συνέχεια επιλέγουμε το → Calculate:



Σχήμα 4.23 Ορισμός του αριθμού των επαναλήψεων του Solver

Τέλος, επιλύουμε το πρόβλημα και παίρνουμε τα παρακάτω αποτελέσματα:

```

iter continuity x-velocity y-velocity z-velocity pressure_inl pressure_out time/iter
  1 0.0000e+00 1.6745e-03 0.0000e+00 0.0000e+00 9.9998e+06 3.3493e+06 0:16:39 999
reversed flow in 7 faces on pressure-outlet 7.
  2 0.0000e+00 5.1609e-01 8.1829e-02 8.5412e-02 9.9998e+06 2.1920e+06 0:13:18 998
reversed flow in 12 faces on pressure-outlet 7.
  3 0.0000e+00 2.4933e-01 3.9773e-02 4.2068e-02 9.9997e+06 1.4234e+06 0:13:57 997
reversed flow in 12 faces on pressure-outlet 7.
  4 0.0000e+00 1.6128e-01 2.2122e-02 2.3149e-02 9.9995e+06 9.4192e+05 0:14:29 996
reversed flow in 12 faces on pressure-outlet 7.
  5 0.0000e+00 1.0788e-01 1.6404e-02 1.7631e-02 9.9994e+06 6.2754e+05 0:11:34 995
reversed flow in 12 faces on pressure-outlet 7.
  6 7.7293e-11 8.1331e-02 1.2373e-02 1.3194e-02 9.9994e+06 4.2491e+05 0:12:34 994
reversed flow in 12 faces on pressure-outlet 7.
  7 6.0153e-11 6.1719e-02 1.0178e-02 1.0793e-02 9.9993e+06 2.8752e+05 0:10:02 993
reversed flow in 15 faces on pressure-outlet 7.
    
```

```

8 3.9138e-11 4.8336e-02 8.5922e-03 8.8953e-03 9.9991e+06 1.8903e+05 0:11:20 992
reversed flow in 18 faces on pressure-outlet 7.
9 2.8061e-11 3.7263e-02 7.8592e-03 7.9892e-03 9.9971e+06 9.1011e+04 0:09:03 991
reversed flow in 22 faces on pressure-outlet 7.
10 3.9368e-11 7.5882e-02 4.3592e-02 4.5556e-02 9.9984e+06 1.5430e+05 0:10:32 990
reversed flow in 2 faces on pressure-outlet 7.
11 3.8215e-11 9.6209e-02 3.5521e-02 3.7894e-02 9.9981e+06 1.0276e+05 0:08:25 989
reversed flow in 2 faces on pressure-outlet 7.
iter continuity x-velocity y-velocity z-velocity pressure_inl pressure_out time/iter
12 2.8793e-11 9.6093e-02 2.0022e-02 2.1734e-02 9.9974e+06 3.6258e+04 0:10:01 988
reversed flow in 22 faces on pressure-outlet 7.
13 1.9328e-11 6.3003e-02 2.9080e-02 2.9519e-02 9.9989e+06 1.5705e+05 0:08:01 987
14 2.1839e-11 4.6099e-02 3.0650e-02 3.1500e-02 9.9988e+06 8.8115e+04 0:09:41 986
15 1.6568e-11 2.8610e-02 9.7969e-03 1.0221e-02 9.9994e+06 5.7356e+04 0:07:45 985
16 1.7321e-11 3.4130e-02 1.2209e-02 1.2089e-02 1.0000e+07 9.5518e+04 0:09:28 984
17 1.8885e-11 3.1125e-02 1.0896e-02 1.0850e-02 9.9999e+06 7.9856e+04 0:07:34 983
18 1.4938e-11 2.6530e-02 5.9291e-03 5.7568e-03 9.9997e+06 6.6950e+04 0:09:19 982
19 1.1271e-11 2.1579e-02 5.4624e-03 5.6422e-03 9.9995e+06 7.9709e+04 0:07:27 981
20 9.5241e-12 1.4581e-02 6.0788e-03 6.1542e-03 9.9995e+06 7.2371e+04 0:09:13 980
21 7.1015e-12 1.2113e-02 2.9180e-03 3.0134e-03 9.9995e+06 7.8152e+04 0:07:22 979
22 6.1937e-12 9.5808e-03 2.3880e-03 2.4263e-03 9.9995e+06 7.6319e+04 0:09:09 978
iter continuity x-velocity y-velocity z-velocity pressure_inl pressure_out time/iter
23 5.0230e-12 8.7345e-03 1.5477e-03 1.5768e-03 9.9995e+06 7.4964e+04 0:07:19 977
24 4.1445e-12 8.1505e-03 1.5071e-03 1.5364e-03 9.9996e+06 7.6951e+04 0:09:06 976
25 3.8901e-12 8.1689e-03 1.7621e-03 1.7744e-03 9.9996e+06 7.5763e+04 0:07:16 975
26 3.2910e-12 7.8655e-03 1.4274e-03 1.4195e-03 9.9996e+06 7.8128e+04 0:09:03 974
27 3.4644e-12 7.7418e-03 1.6275e-03 1.6451e-03 9.9996e+06 7.7184e+04 0:07:14 973
28 2.9991e-12 7.3477e-03 1.2873e-03 1.2803e-03 9.9996e+06 7.8767e+04 0:09:01 972
29 3.0953e-12 6.8835e-03 1.3852e-03 1.3846e-03 9.9996e+06 7.7928e+04 0:07:13 971
30 2.6986e-12 6.5714e-03 1.1577e-03 1.1454e-03 9.9997e+06 8.0230e+04 0:09:00 970
31 2.7944e-12 6.1510e-03 1.2167e-03 1.2236e-03 9.9997e+06 7.9229e+04 0:07:11 969
32 2.4491e-12 5.9046e-03 1.0257e-03 1.0187e-03 9.9997e+06 8.1070e+04 0:08:58 968
33 2.6345e-12 5.6876e-03 1.1570e-03 1.1574e-03 9.9997e+06 8.0235e+04 0:07:10 967
iter continuity x-velocity y-velocity z-velocity pressure_inl pressure_out time/iter
34 2.3061e-12 5.4581e-03 9.6047e-04 9.5423e-04 9.9997e+06 8.2071e+04 0:08:57 966
35 2.4474e-12 5.1222e-03 1.0255e-03 1.0354e-03 9.9997e+06 8.1264e+04 0:07:09 965
36 2.1419e-12 4.9447e-03 8.6163e-04 8.5985e-04 9.9997e+06 8.1652e+04 0:08:56 964
37 1.9904e-12 4.6816e-03 8.4455e-04 8.4076e-04 9.9997e+06 8.1355e+04 0:07:08 963
38 1.7993e-12 4.4252e-03 8.3136e-04 8.2902e-04 9.9997e+06 8.4218e+04 0:08:55 962
39 2.4260e-12 4.2723e-03 1.0966e-03 1.0953e-03 9.9997e+06 8.2953e+04 0:07:07 961
40 2.0601e-12 4.2463e-03 8.0982e-04 8.0676e-04 9.9998e+06 8.5074e+04 0:08:53 960
41 2.3150e-12 4.2397e-03 9.1628e-04 9.4114e-04 9.9998e+06 8.4309e+04 0:07:06 959
42 1.9916e-12 4.0879e-03 7.2146e-04 7.3055e-04 9.9998e+06 8.4320e+04 0:08:52 958
43 1.7939e-12 3.8407e-03 7.1569e-04 7.1816e-04 9.9998e+06 8.4359e+04 0:07:05 957
44 1.6355e-12 3.6505e-03 6.4577e-04 6.4437e-04 9.9998e+06 8.5721e+04 0:08:51 956
iter continuity x-velocity y-velocity z-velocity pressure_inl pressure_out time/iter
45 1.9497e-12 3.4089e-03 8.0608e-04 8.1204e-04 9.9998e+06 8.5166e+04 0:10:15 955

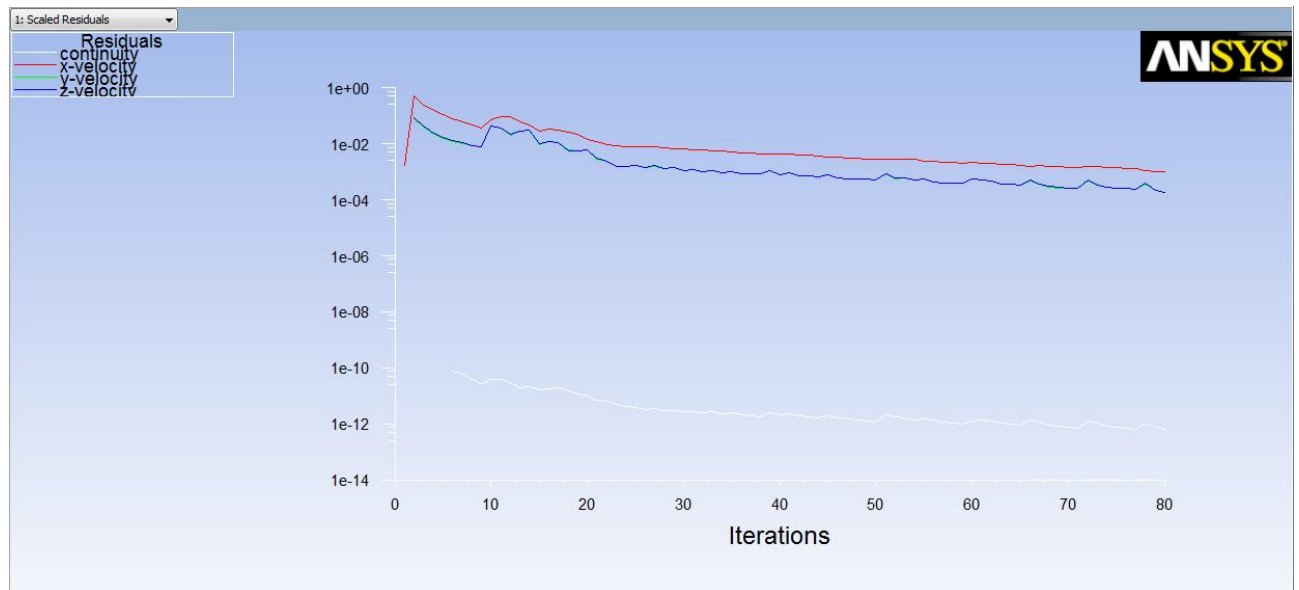
```

46	1.6637e-12	3.3184e-03	6.1232e-04	6.0893e-04	9.9998e+06	8.5517e+04	0:08:12	954
47	1.5035e-12	3.1482e-03	5.6340e-04	5.6325e-04	9.9998e+06	8.5400e+04	0:09:44	953
48	1.3524e-12	2.9919e-03	5.4825e-04	5.4912e-04	9.9998e+06	8.5439e+04	0:07:46	952
49	1.2407e-12	2.8518e-03	5.4006e-04	5.4231e-04	9.9998e+06	8.5454e+04	0:09:23	951
50	1.1588e-12	2.7334e-03	5.2873e-04	5.3162e-04	9.9998e+06	8.8136e+04	0:07:30	950
51	2.1275e-12	2.7549e-03	8.6357e-04	8.7296e-04	9.9998e+06	8.6784e+04	0:09:09	949
52	1.7371e-12	2.7915e-03	5.8526e-04	5.8666e-04	9.9998e+06	8.8044e+04	0:07:19	948
53	1.5914e-12	2.8036e-03	5.8848e-04	6.0212e-04	9.9998e+06	8.6982e+04	0:09:00	947
54	1.3892e-12	2.7368e-03	5.2786e-04	5.3693e-04	9.9999e+06	8.8694e+04	0:07:12	946
55	1.5704e-12	2.4408e-03	5.7920e-04	5.8298e-04	9.9999e+06	8.7931e+04	0:08:54	945
iter continuity x-velocity y-velocity z-velocity pressure_inl pressure_out time/iter								
56	1.3327e-12	2.4035e-03	4.4394e-04	4.4220e-04	9.9999e+06	8.8104e+04	0:07:07	944
57	1.1916e-12	2.2783e-03	4.0905e-04	4.0851e-04	9.9999e+06	8.8122e+04	0:08:50	943
58	1.0774e-12	2.1704e-03	4.0404e-04	4.0697e-04	9.9999e+06	8.8140e+04	0:07:03	942
59	9.9901e-13	2.0741e-03	3.8725e-04	3.9123e-04	9.9998e+06	8.8167e+04	0:08:46	941
60	1.2964e-12	2.1358e-03	5.5887e-04	5.7206e-04	9.9999e+06	8.9131e+04	0:10:09	940
61	1.3270e-12	2.1046e-03	5.1031e-04	5.1451e-04	9.9999e+06	8.8704e+04	0:08:06	939
62	1.2359e-12	1.9818e-03	4.5823e-04	4.6060e-04	9.9999e+06	8.9386e+04	0:09:36	938
63	1.0942e-12	1.9107e-03	3.6955e-04	3.7217e-04	9.9999e+06	8.9002e+04	0:07:41	937
64	9.6112e-13	1.8090e-03	3.5650e-04	3.6064e-04	9.9999e+06	8.9114e+04	0:09:15	936
65	8.6914e-13	1.7293e-03	3.2912e-04	3.3114e-04	9.9999e+06	9.0666e+04	0:07:24	935
66	1.3529e-12	1.6126e-03	4.9395e-04	4.9839e-04	9.9999e+06	8.9797e+04	0:09:01	934
iter continuity x-velocity y-velocity z-velocity pressure_inl pressure_out time/iter								
67	1.1194e-12	1.6719e-03	3.5573e-04	3.5993e-04	9.9999e+06	9.0103e+04	0:07:13	933
68	9.1432e-13	1.5774e-03	2.9314e-04	2.9590e-04	9.9999e+06	9.0107e+04	0:08:52	932
69	8.3505e-13	1.5199e-03	2.6853e-04	2.7172e-04	9.9999e+06	9.0126e+04	0:07:05	931
70	7.6493e-13	1.4537e-03	2.6262e-04	2.6590e-04	9.9999e+06	9.0146e+04	0:08:46	930
71	7.0936e-13	1.3999e-03	2.6060e-04	2.6434e-04	9.9999e+06	9.1335e+04	0:07:00	929
72	1.2529e-12	1.5820e-03	4.9225e-04	4.9546e-04	9.9999e+06	9.0829e+04	0:08:41	928
73	1.0365e-12	1.5657e-03	3.3091e-04	3.3037e-04	9.9999e+06	9.0930e+04	0:06:57	927
74	8.5438e-13	1.4758e-03	2.8575e-04	2.8612e-04	9.9999e+06	9.0939e+04	0:08:38	926
75	7.7948e-13	1.4110e-03	2.6051e-04	2.6176e-04	9.9999e+06	9.0950e+04	0:06:54	925
76	7.1501e-13	1.3379e-03	2.5157e-04	2.5337e-04	9.9999e+06	9.0964e+04	0:08:36	924
77	6.6557e-13	1.2722e-03	2.4538e-04	2.4813e-04	9.9999e+06	9.1526e+04	0:06:52	923
iter continuity x-velocity y-velocity z-velocity pressure_inl pressure_out time/iter								
78	9.8180e-13	1.1209e-03	3.7269e-04	3.8472e-04	9.9999e+06	9.1315e+04	0:08:34	922
79	7.8131e-13	1.0417e-03	2.1709e-04	2.1960e-04	9.9999e+06	9.1348e+04	0:06:51	921
! 80 solution is converged								
80	6.5303e-13	9.8390e-04	1.8311e-04	1.8478e-04	9.9999e+06	9.1371e+04	0:08:32	920

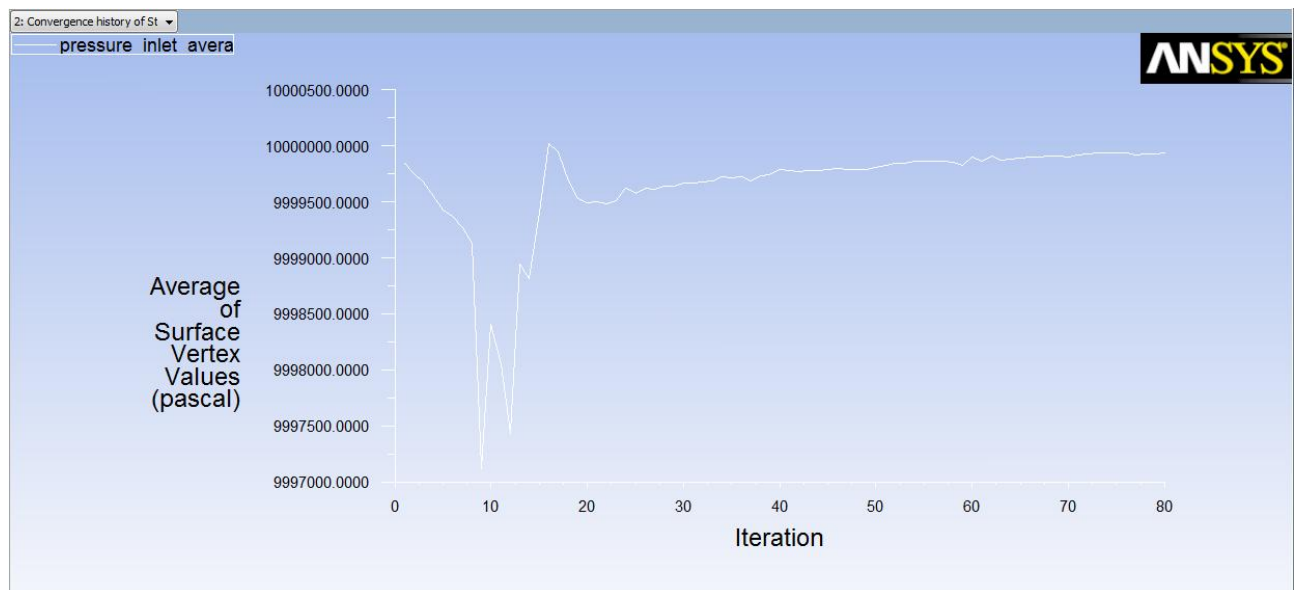
Πίνακας 4.6 Επίλυση του προβλήματος

Από τα παραπάνω, μπορούμε να διακρίνουμε τις τιμές της ταχύτητας και της πίεσης από την αρχή έως και το τέλος της επίλυσης.

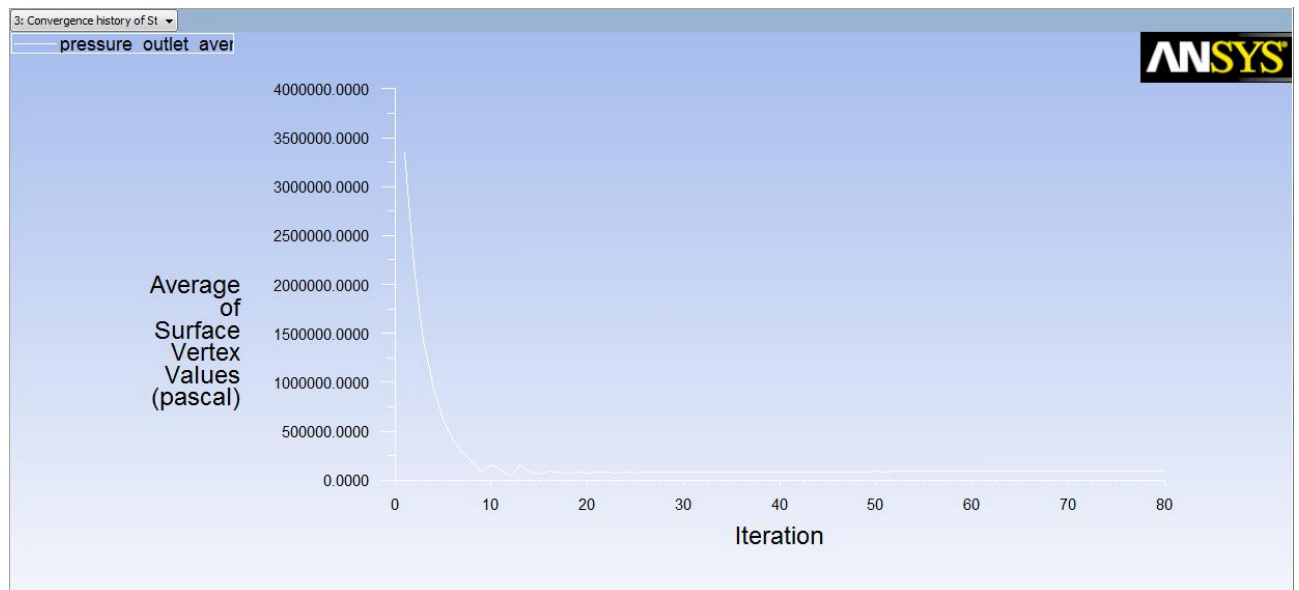
Παρατηρούμε ότι η επίλυση γίνεται στις 80 επαναλήψεις και παίρνουμε τα παρακάτω αποτελέσματα:



Σχήμα 4.24 Αριθμός επαναλήψεων συναρτήσει της ταχύτητας

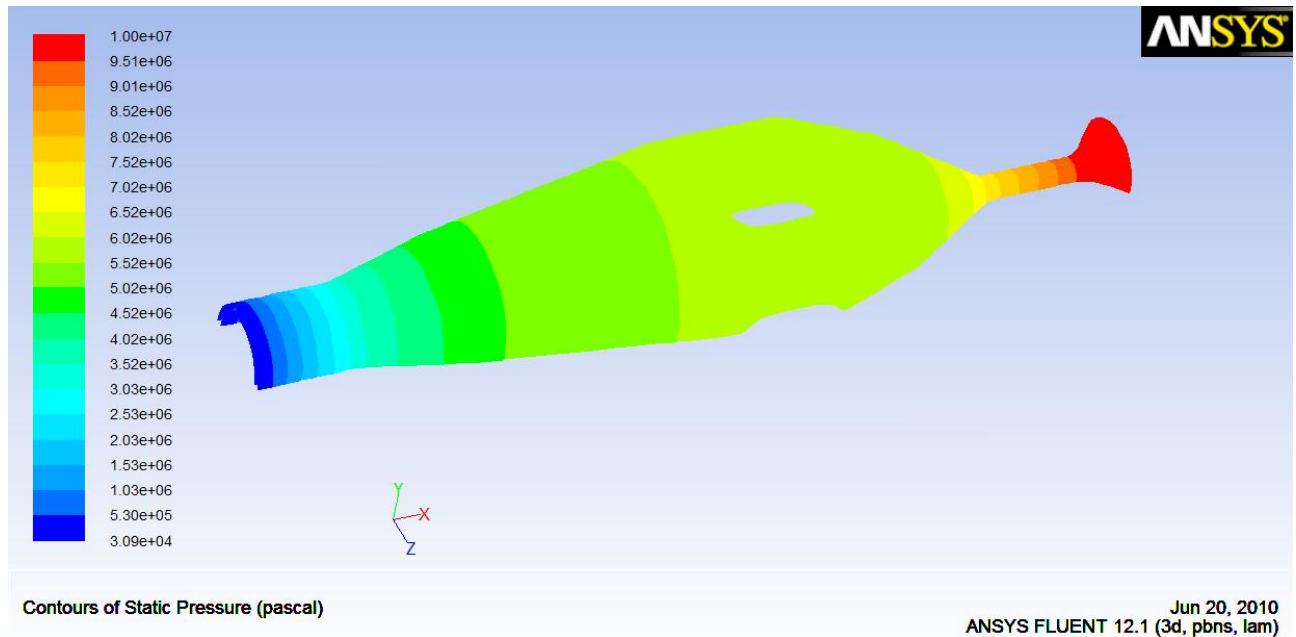


Σχήμα 4.25 Αριθμός επαναλήψεων συναρτήσει της μέσης πίεσης στην είσοδο



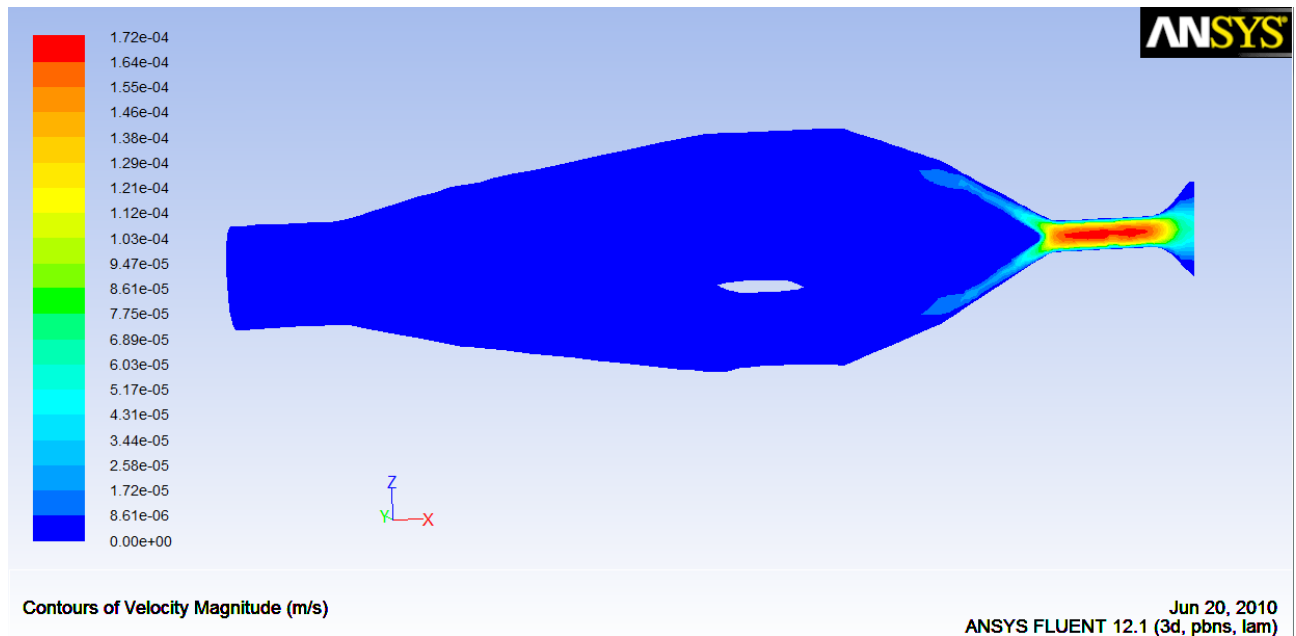
Σχήμα 4.26 Αριθμός επαναλήψεων συναρτήσει της μέσης πίεσης στην έξοδο

Τέλος, παίρνουμε και γραφικά τις πιέσεις στα τοιχώματα του ρευστού, όπως φαίνεται στο παρακάτω σχήμα:



Σχήμα 4.27 Πιέσεις στα τοιχώματα του ρευστού

Καθώς επίσης και τις ταχύτητες στη συμμετρία και στα τοιχώματα του ρευστού όπως φαίνεται στο ακόλουθο σχήμα:



Σχήμα 4.28 Ταχύτητες στα τοιχώματα και τη συμμετρία του ρευστού

Αφού επιλύθηκε το μοντέλο της ροής, εξερχόμαστε από το περιβάλλον του Fluent και επιστρέφουμε στο βασικό menu του ANSYS Workbench όπου εισάγουμε το μπλοκ → Results το οποίο συνδέουμε με το → Solution του Fluent, για να μπορέσουμε να επεξεργαστούμε καλύτερα τα αποτελέσματα που μας έδωσε, όπως στο παρακάτω σχήμα:



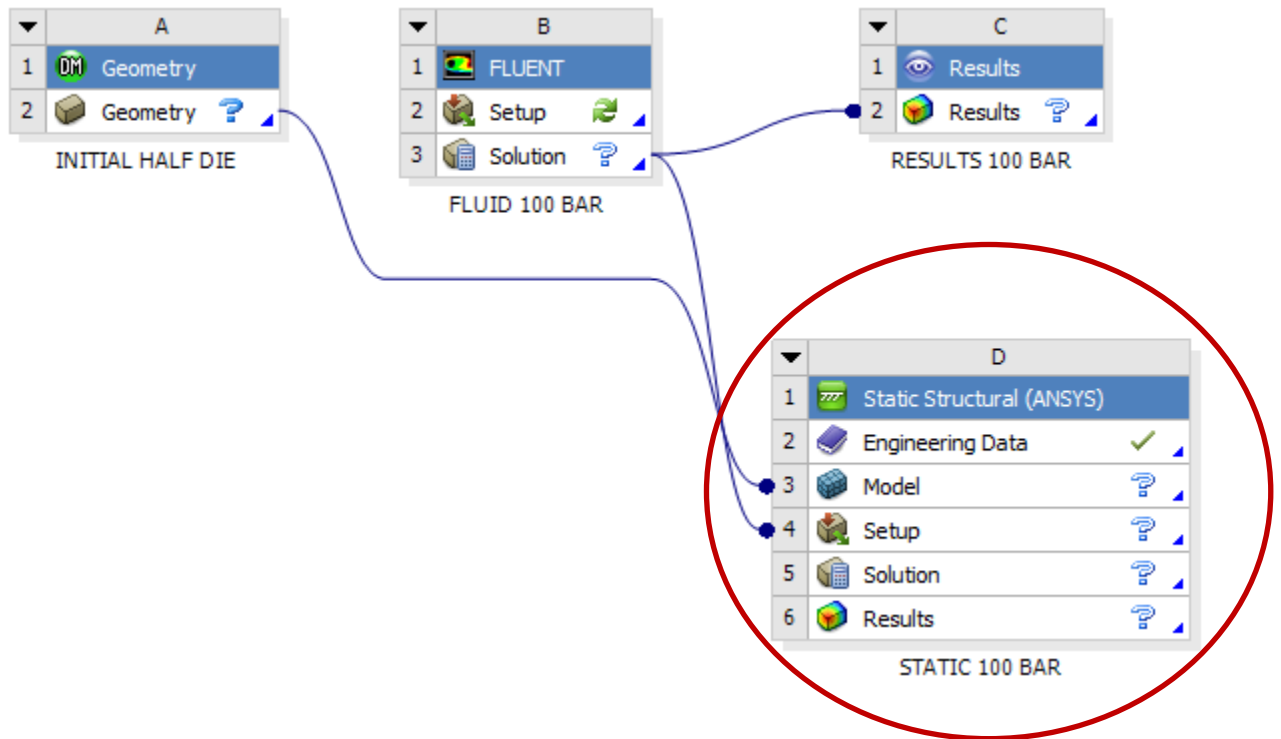
Σχήμα 4.29 Εισαγωγή μπλοκ αποτελεσμάτων στο ANSYS Workbench

Τα αποτελέσματα από το μπλοκ → Results θα συγκεντρωθούν στο 5^ο Κεφάλαιο για να μπορέσουμε να εξάγουμε συγκριτικά συμπεράσματα από όλες τις πιέσεις.

Τέλος, το menu → Results έχει τη δυνατότητα να δημιουργήσει ένα πλήρες Report με όλα τα χαρακτηριστικά της ανάλυσης της ροής, παράδειγμα του οποίου παρατίθεται στο «Παράρτημα Δ» για την πίεση των 100 bar.

4.4 ΣΤΑΤΙΚΗ ΑΝΑΛΥΣΗ

Αφού ολοκληρώσαμε την προσομοίωση της ροής και υπολογίσαμε τις πιέσεις που δημιουργούνται από το ρευστό στα τοιχώματα της μήτρας εκβολής, θα προχωρήσουμε σε στατική ανάλυση εισάγοντας το μπλοκ → Static Structural (ANSYS) όπως φαίνεται στο παρακάτω σχήμα:



Σχήμα 4.30 Εισαγωγή μπλοκ στατικής ανάλυσης στο ANSYS Workbench

Στη συνέχεια, θα επιλέξουμε το menu → Engineering Data όπου θα ορίσουμε το υλικό από το οποίο αποτελούνται τα βασικά μέρη της μήτρας και οι κοχλίες στήριξης.

Όπως προαναφέραμε στο 2^ο Κεφάλαιο, το υλικό με το οποίο είναι κατασκευασμένα τα επιμέρους τμήματα της μήτρας εκβολής του εργαστηρίου είναι ο χάλυβας IMPAX, οι βασικές ιδιότητες του οποίου αναφέρονται αμέσως παρακάτω, ενώ οι αναλυτικές ιδιότητες του υλικού παρατίθενται στο «Παράρτημα Β».

Outline of Schematic O2: Engineering Data			
	A	B	C
1	Contents of Engineering Data		Source
2	Material		Description
3	IMPAX	<input type="checkbox"/>	C:\Users\Manos\Desktop\ANALYSH MHTRAS - SIMPLE\ANALYSH MHTRAS - ... Fatigue Data at zero mean stress comes from 1998 ASME BPV Code, Section 8, Div 2, Table 5-110.1
4	Structural Steel	<input type="checkbox"/>	C:\Users\Manos\Desktop\ANALYSH MHTRAS - SIMPLE\ANALYSH MHTRAS - ... Fatigue Data at zero mean stress comes from 1998 ASME BPV Code, Section 8, Div 2, Table 5-110.1
*	Click here to add a new material		

Properties of Outline Row 3: IMPAX		
	A	B
1	Property	Value
2	Density	7850
3	Isotropic Secant Coefficient of Thermal Expansion	
4	Coefficient of Thermal Expansion	1,3E-07
5	Reference Temperature	22
6	Isotropic Elasticity	
7	Derive from	Young's Modulus and Poisson's Ratio
8	Young's Modulus	2,005E+11
9	Poisson's Ratio	0,33
10	Bulk Modulus	1,9657E+11
11	Shear Modulus	7,5376E+10
12	Alternating Stress Mean Stress	Tabular
16	Strain-Life Parameters	
17	Display Curve Type	Strain-Life
18	Strength Coefficient	9,2E+08
19	Strength Exponent	-0,106
20	Ductility Coefficient	0,213
21	Ductility Exponent	-0,47
22	Cyclic Strength Coefficient	1E+09
23	Cyclic Strain Hardening Exponent	0,2
24	Tensile Yield Strength	8,96E+08
25	Compressive Yield Strength	9,5E+08
26	Tensile Ultimate Strength	1,01E+09
27	Compressive Ultimate Strength	0

Πίνακας 4.7 Βασικές ιδιότητες του χάλυβα IMPAX (ANSYS Workbench)

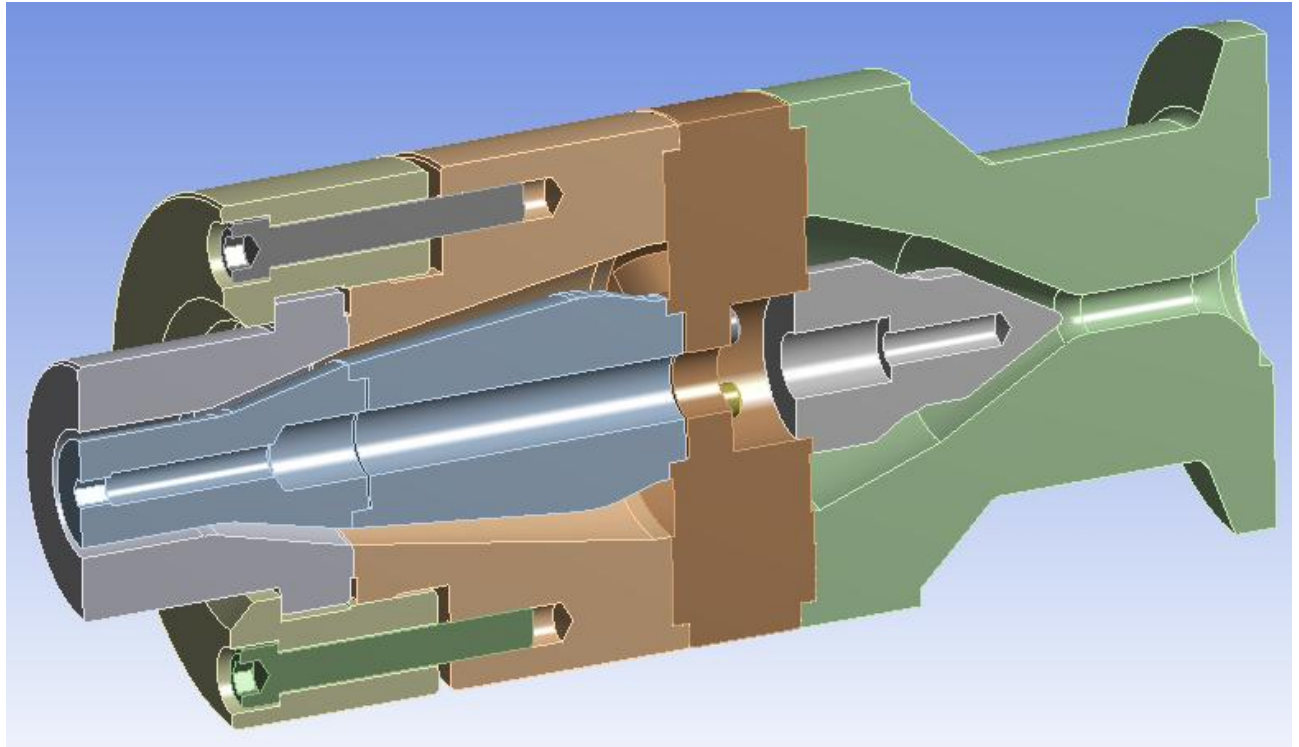
Το υλικό με το οποίο είναι κατασκευασμένοι οι κοχλίες σύνδεσης είναι ανοξειδωτο ατσάλι (Structural Steel) οι βασικές ιδιότητες του οποίου αναφέρονται αμέσως παρακάτω.

Outline of Schematic O2: Engineering Data			
	A	B	D
1	Contents of Engineering Data		Source
2	Material		Description
3	IMPAX	<input type="checkbox"/>	C:\Users\Manos\Desktop\ANALYSH MHTRAS - SIMPLE\ANALYSH MHTRAS - ... Fatigue Data at zero mean stress comes from 1998 ASME BPV Code, Section 8, Div 2, Table 5-110.1
4	Structural Steel	<input type="checkbox"/>	C:\Users\Manos\Desktop\ANALYSH MHTRAS - SIMPLE\ANALYSH MHTRAS - ... Fatigue Data at zero mean stress comes from 1998 ASME BPV Code, Section 8, Div 2, Table 5-110.1
*	Click here to add a new material		

Properties of Outline Row 4: Structural Steel			
	A	B	C
1	Property	Value	Unit
2	Density	7850	kg m ⁻³
3	Isotropic Secant Coefficient of Thermal Expansion		
4	Coefficient of Thermal Expansion	1,2E-05	C ⁻¹
5	Reference Temperature	22	C
6	Isotropic Elasticity		
7	Derive from	Young's Modulus and Poisson's Ratio	
8	Young's Modulus	2E+11	Pa
9	Poisson's Ratio	0,3	
10	Bulk Modulus	1,6667E+11	Pa
11	Shear Modulus	7,6923E+10	Pa
12	Alternating Stress Mean Stress	Tabular	
16	Strain-Life Parameters		
17	Display Curve Type	Strain-Life	
18	Strength Coefficient	9,2E+08	Pa
19	Strength Exponent	-0,106	
20	Ductility Coefficient	0,213	
21	Ductility Exponent	-0,47	
22	Cyclic Strength Coefficient	1E+09	Pa
23	Cyclic StrainHardening Exponent	0,2	
24	Tensile Yield Strength	2,5E+08	Pa
25	Compressive Yield Strength	2,5E+08	Pa
26	Tensile Ultimate Strength	4,6E+08	Pa
27	Compressive Ultimate Strength	0	Pa

Πίνακας 4.8 Βασικές ιδιότητες του μετάλλου Structural Steel (ANSYS Workbench)

Αφού ολοκληρώσαμε τον ορισμό των υλικών που θα χρησιμοποιήσουμε επιστρέφουμε στο βασικό μενού του ANSYS Workbench, όπου εισερχόμαστε στο περιβάλλον της στατικής ανάλυσης (Mechanical [ANSYS Multiphysics]) από το μενού → Setup, όπου κατ' αρχήν αφαιρούμε το ρευστό από την ανάλυση, κάνοντάς το suppress, και παίρνοντας το παρακάτω σχήμα:



Σχήμα 4.31 Συμμετρική γεωμετρία της μήτρας εκβολής χωρίς το ρευστό

Αμέσως μετά ορίζουμε το υλικό για κάθε επιμέρους τμήμα της μήτρας εκβολής, σύμφωνα με το παρακάτω πίνακα:

ΤΜΗΜΑ	ΥΛΙΚΟ
Μονή αράχνη κεφαλής με έξι πόδια	Χάλυβας IMPAX
Υποδοχή αρσενικής μήτρας	Χάλυβας IMPAX
Εσωτερικό τμήμα μήτρας για σωλήνα Ø32	Χάλυβας IMPAX
Κώνος αρσενικού κεφαλής	Χάλυβας IMPAX
Λαιμός κεφαλής	Χάλυβας IMPAX
Σώμα κεφαλής	Χάλυβας IMPAX
Εξωτερικό τμήμα μήτρας για σωλήνα Ø32	Χάλυβας IMPAX
Δακτύλιος συγκράτησης μήτρας	Χάλυβας IMPAX
DIN 912 Ø6 x 25 mm --- 25 N	Ατσάλι (Structural Steel)
DIN 912 Ø10 x 50 mm --- 50 N	Ατσάλι (Structural Steel)
DIN 912 Ø12 x 80 mm --- 80 N	Ατσάλι (Structural Steel)
DIN 912 Ø12 x 120 mm --- 120 N	Ατσάλι (Structural Steel)

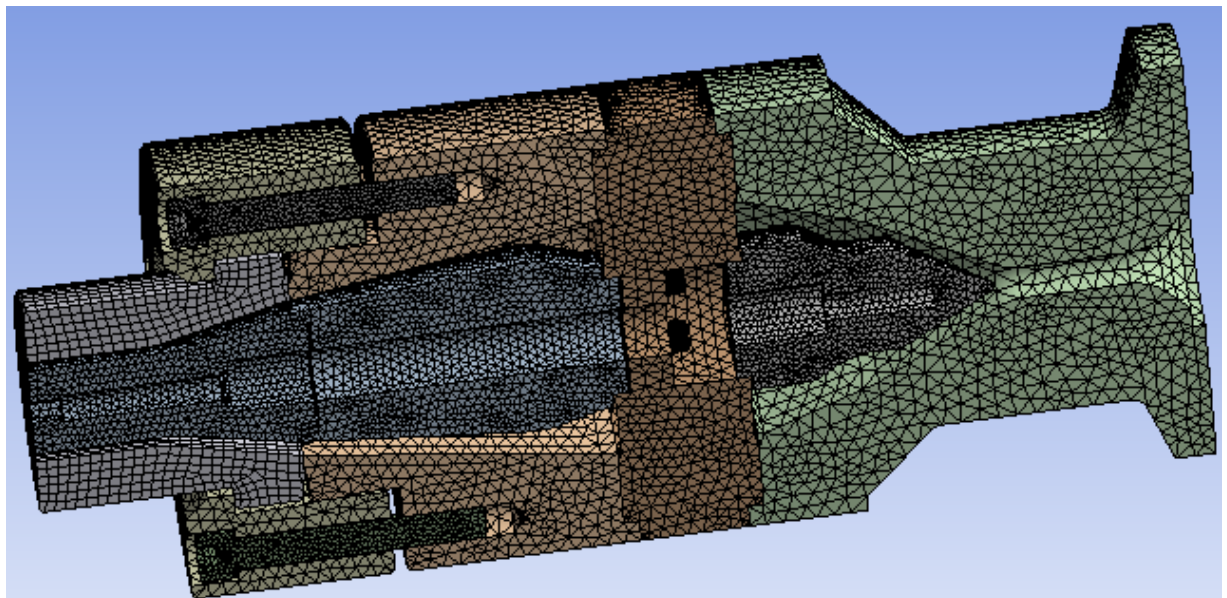
Πίνακας 4.9 Ορισμός υλικών των τμημάτων

Έτσι, δημιουργούμε πλέγμα του οποίου τα χαρακτηριστικά φαίνονται στο ακόλουθο σχήμα. Αξίζει να αναφέρουμε ότι χρησιμοποιούμε βελτίωση πλέγματος στις δύσκολες γεωμετρίες για να έχουμε πιο αξιόπιστα αποτελέσματα.

Details of "Mesh"	
[-] Defaults	
Physics Preference	Mechanical
Relevance	0
[-] Sizing	
Use Advanced Si...	On: Curvature
Relevance Center	Medium
Initial Size Seed	Active Assembly
Smoothing	Medium
Transition	Fast
Span Angle Center	Coarse
Curvature Norma...	Default (70,3950 °)
Min Size	Default (0,103550 mm)
Max Face Size	Default (10,3550 mm)
Max Tet Size	Default (20,710 mm)
Growth Rate	Default (1,850)
Minimum Edge L...	0,942480 mm

Σχήμα 4.32 Ιδιότητες πλέγματος των στερεών τμημάτων της μήτρας εκβολής

Το πλέγμα που δημιουργήθηκε, φαίνεται αμέσως παρακάτω:

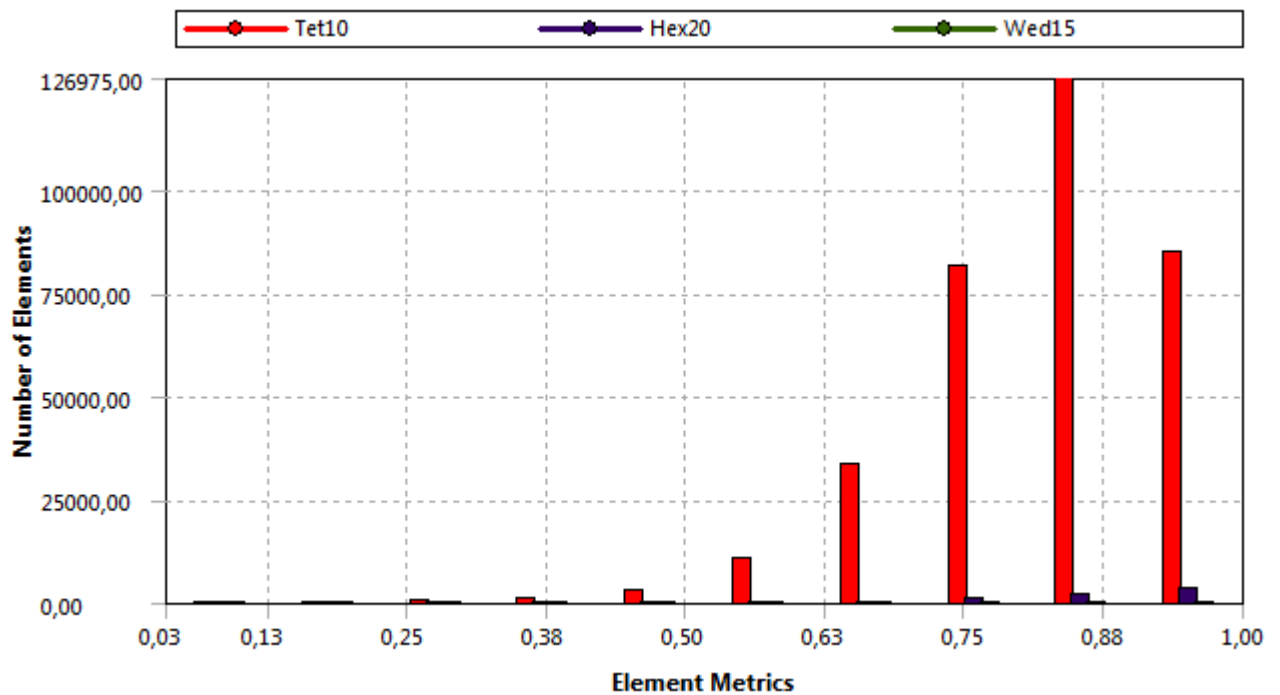


Σχήμα 4.33 Πλέγμα πεπερασμένων στοιχείων της μήτρας εκβολής

Όπως μπορούμε να παρατηρήσουμε, το πλέγμα έχει δημιουργηθεί αποκλειστικά για το ANSYS Mechanical, ενώ αποτελείται από:

- 557265 κόμβους (Nodes)
- 348744 τετραεδρικά πεπερασμένα στοιχεία (Elements)

Στατιστικά στοιχεία σχετικά με τον αριθμό και το είδος των πεπερασμένων στοιχείων παρουσιάζονται στο παρακάτω σχήμα:



Σχήμα 4.34 Στατιστικά στοιχεία των πεπερασμένων στοιχείων των στερεών τμημάτων

Αφού ορίσαμε το πλέγμα των πεπερασμένων στοιχείων σε όλα τα τμήματα της μήτρας, στη συνέχεια, θα ορίσουμε τις συνδέσεις μεταξύ των τμημάτων της. Έχουμε επιλέξει, όλα τα μέρη της μήτρας εκβολής να είναι συνδεδεμένα ‘σφικτά’ (Bonded connection) μεταξύ τους όπως φαίνεται στο παρακάτω σχήμα:

Details of "Bonded - 3 - ARAXNI KEFALIS-1 To 4 - KONOS ARSENIKOY KEFALIS-1"	
Scope	
Scoping Method	Geometry Selection
Contact	2 Faces
Target	2 Faces
Contact Bodies	3 - ARAXNI KEFALIS-1
Target Bodies	4 - KONOS ARSENIKOY KEFALIS-1
Definition	
Type	Bonded
Scope Mode	Automatic
Behavior	Symmetric
Suppressed	No
Advanced	
Formulation	Pure Penalty
Normal Stiffness	Program Controlled
Update Stiffness	Never
Pinball Region	Program Controlled

Σχήμα 4.35 Παράδειγμα σύνδεσης μεταξύ της αράχνης και του κώνου αρσενικού κεφαλής

Παρακάτω δείχνονται όλες οι συνδέσεις που πραγματοποιήθηκαν:

Connections	
✓	Bonded - DIN 912 M12 x 80 --- 36N-1 To 7 - DAKTYLIOS SYGKRATISIS MITRAS-1
✓	Bonded - DIN 912 M12 x 80 --- 36N-1 To 2 - SOMA KEFALIS-1
✓	Bonded - DIN 912 M12 x 80 --- 36N-2 To 7 - DAKTYLIOS SYGKRATISIS MITRAS-1
✓	Bonded - DIN 912 M12 x 80 --- 36N-2 To 2 - SOMA KEFALIS-1
✓	Bonded - 7 - DAKTYLIOS SYGKRATISIS MITRAS-1 To 2 - SOMA KEFALIS-1
✓	Bonded - 7 - DAKTYLIOS SYGKRATISIS MITRAS-1 To DIN 912 M12 x 80 --- 36N-4
✓	Bonded - 7 - DAKTYLIOS SYGKRATISIS MITRAS-1 To 9 - MITRA GIA SOLINA (EKSOTERIKO)-1
✓	Bonded - 2 - SOMA KEFALIS-1 To 3 - ARAXNI KEFALIS-1
✓	Bonded - 2 - SOMA KEFALIS-1 To DIN 912 M12 x 120 --- 36N-1
✓	Bonded - 2 - SOMA KEFALIS-1 To DIN 912 M12 x 120 --- 36N-3
✓	Bonded - 2 - SOMA KEFALIS-1 To DIN 912 M12 x 80 --- 36N-4
✓	Bonded - 2 - SOMA KEFALIS-1 To 9 - MITRA GIA SOLINA (EKSOTERIKO)-1
✓	Bonded - 3 - ARAXNI KEFALIS-1 To DIN 912 M10 x 50 --- 32N-2
✓	Bonded - 3 - ARAXNI KEFALIS-1 To DIN 912 M10 x 50 --- 32N-1
✓	Bonded - 3 - ARAXNI KEFALIS-1 To DIN 912 M6 x 25 --- 25N-4
✓	Bonded - 3 - ARAXNI KEFALIS-1 To 4 - KONOS ARSENIKOY KEFALIS-1
✓	Bonded - 3 - ARAXNI KEFALIS-1 To 1 - LAIMOS KEFALIS-1
✓	Bonded - 3 - ARAXNI KEFALIS-1 To DIN 912 M6 x 25 --- 25N-1
✓	Bonded - 3 - ARAXNI KEFALIS-1 To 5 - YPODOXI ARSENIKIS MITRAS-1
✓	Bonded - DIN 912 M10 x 50 --- 32N-2 To 1 - LAIMOS KEFALIS-1
✓	Bonded - DIN 912 M10 x 50 --- 32N-1 To 1 - LAIMOS KEFALIS-1
✓	Bonded - DIN 912 M6 x 25 --- 25N-4 To 5 - YPODOXI ARSENIKIS MITRAS-1
✓	Bonded - DIN 912 M12 x 120 --- 36N-1 To 1 - LAIMOS KEFALIS-1
✓	Bonded - DIN 912 M12 x 120 --- 36N-3 To 1 - LAIMOS KEFALIS-1
✓	Bonded - 8 - MITRA GIA SOLINA (ESOTERIKO)-1 To 5 - YPODOXI ARSENIKIS MITRAS-1
✓	Bonded - DIN 912 M6 x 25 --- 25N-1 To 5 - YPODOXI ARSENIKIS MITRAS-1

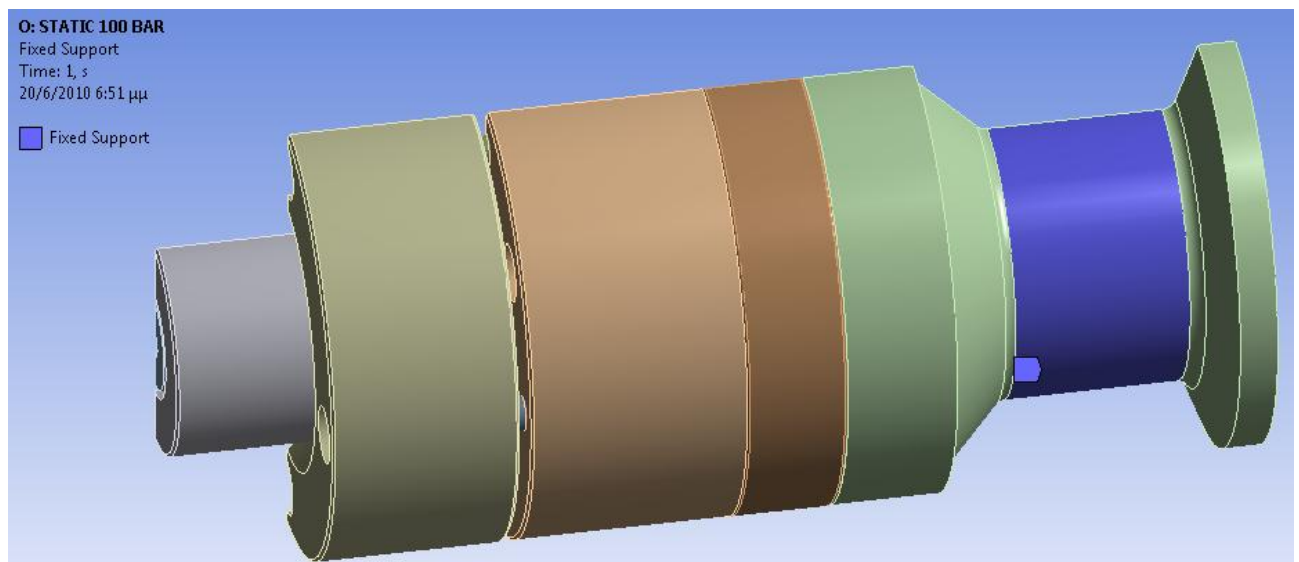
Σχήμα 4.36 Σύνολο συνδέσεων μεταξύ των τμημάτων της μήτρας εκβολής

Στη συνέχεια, θα ορίσουμε τις οριακές συνθήκες του στατικού προβλήματος. Κατ' αρχήν, τοποθετούμε πάκτωση (Fixed Support) στο λαιμό κεφαλής, όπως φαίνεται στο παρακάτω σχήμα:

Details of "Fixed Support"	
[-] Scope	
Scoping Method	Geometry Selection
Geometry	1 Face
[-] Definition	
Type	Fixed Support
Suppressed	No

Σχήμα 4.37 Λεπτομέρειες ορισμού πάκτωσης στο λαιμό της κεφαλής

Στο επόμενο σχήμα, δείχνεται με μπλε χρώμα η επιφάνεια την οποία πακτώνουμε:



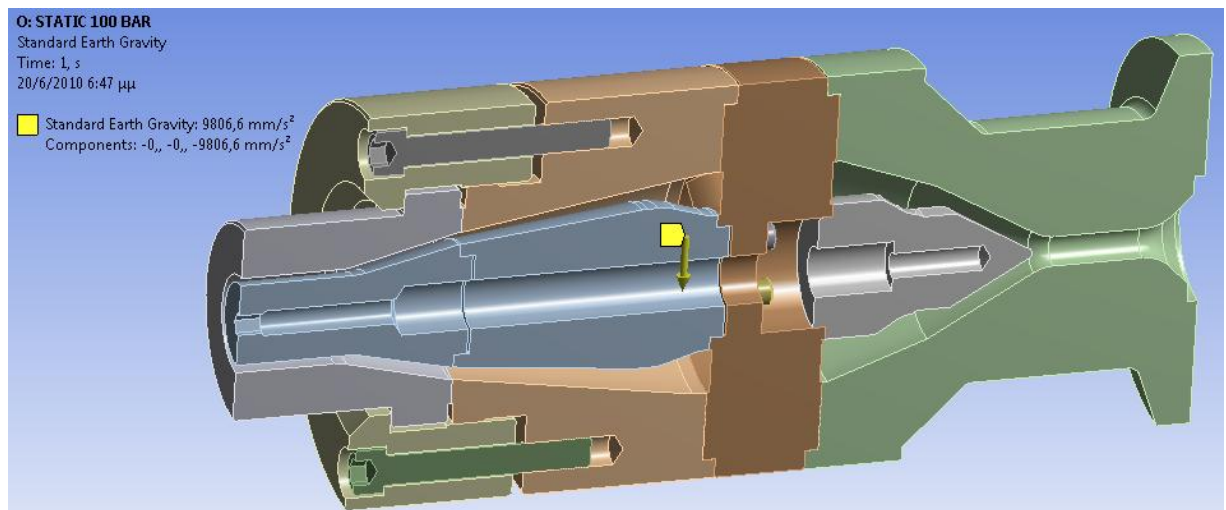
Σχήμα 4.38 Πάκτωση στο λαιμό της κεφαλής

Αμέσως μετά τοποθετούμε τη βαρύτητα (Standard Earth Gravity) ως φόρτιση στη μήτρα εκβολής όπως φαίνεται στο ακόλουθο σχήμα:

Details of "Standard Earth Gravity" ☒	
[-] Scope	
Geometry	All Bodies
[-] Definition	
Coordinate System	Global Coordinate System
X Component	-0, mm/s ² (ramped)
Y Component	-0, mm/s ² (ramped)
Z Component	-9806,6 mm/s ² (ramped)
Suppressed	No
Direction	-Z Direction

Σχήμα 4.39 Λεπτομέρειες ορισμού βαρύτητας στη μήτρα εκβολής

Στο επόμενο σχήμα, δείχνεται με κίτρινο βελάκι η βαρύτητα κατά τον άξονα -Z:



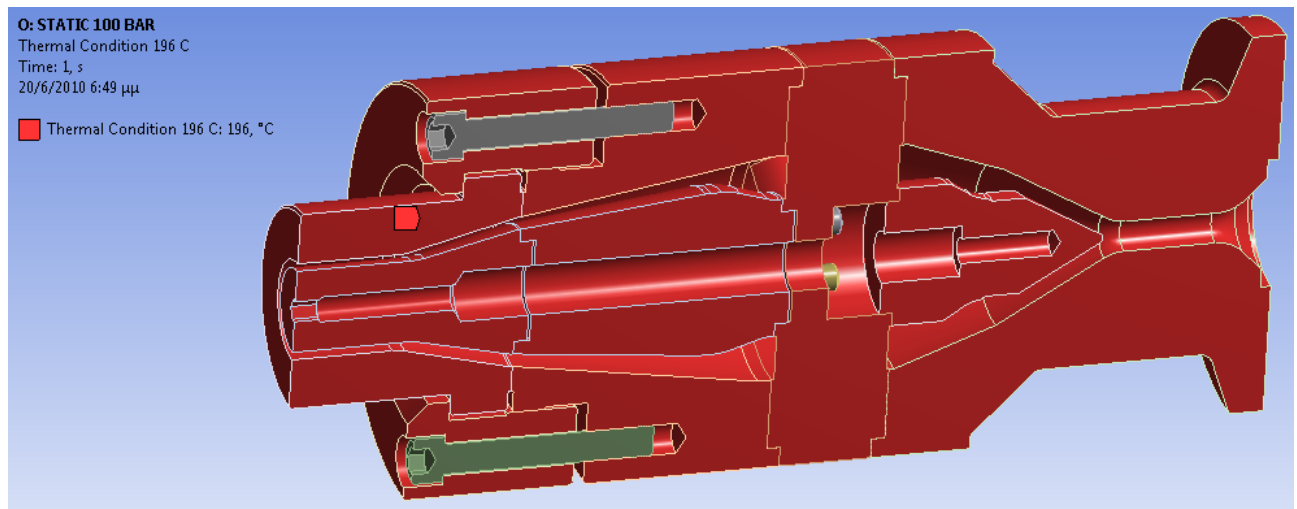
Σχήμα 4.40 Ορισμός βαρύτητας μήτρας εκβολής

Έπειτα, επειδή το πρόβλημά μας είναι και θερμικό, ορίζουμε θερμότητα (Thermal Condition) στα τμήματα της μήτρας εκβολής ίση με 196 °C, όπως φαίνεται στο παρακάτω σχήμα:

Details of "Thermal Condition 196 C"	
[-] Scope	
Scoping Method	Geometry Selection
Geometry	8 Bodies
[-] Definition	
Type	Thermal Condition
<input type="checkbox"/> Magnitude	196, °C (ramped)
Suppressed	No

Σχήμα 4.41 Λεπτομέρειες ορισμού θερμοκρασίας στα επιμέρους τμήματα της μήτρας εκβολής

Στο επόμενο σχήμα, δείχνονται με κόκκινο χρώμα τα τμήματα που έχουν θερμοκρασία ίση με 196 °C:



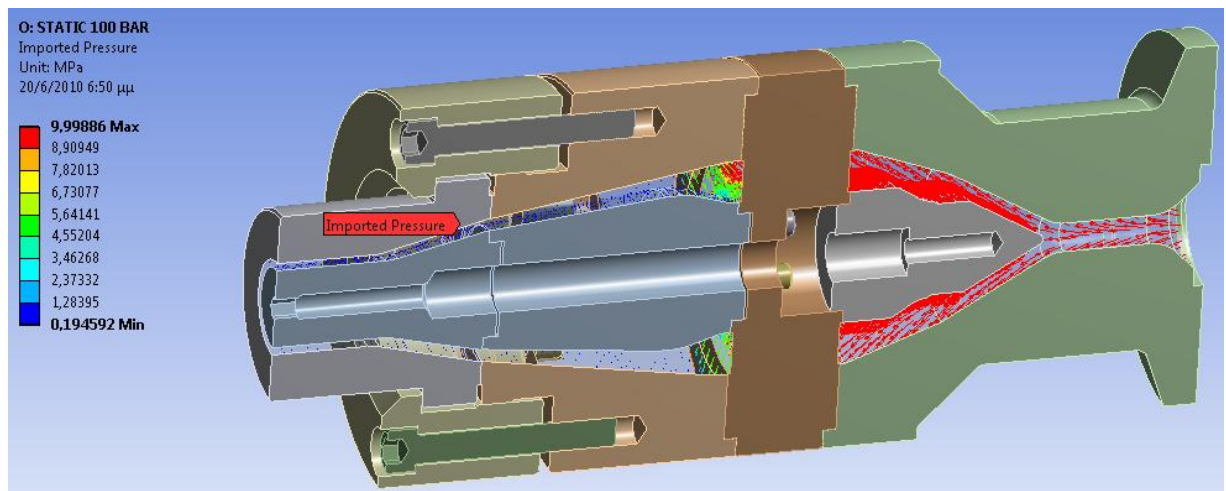
Σχήμα 4.42 Ορισμός θερμοκρασίας στη μήτρα εκβολής

Τέλος, εισάγουμε την πίεση που έχουμε υπολογίσει από Fluent, επιλέγοντας σαν επιφάνεια επαφής το τοίχωμα του ρευστού με το τοίχωμα του στερεού όπως φαίνεται στο παρακάτω σχήμα:

Details of "Imported Pressure"	
[-] Scope	
Scoping Method	Named Selection
Named Selection	Wall
[-] Definition	
Type	Imported Pressure
Suppressed	No
[-] Transfer Definition	
CFD Surface	wall
[-] CFD Data	
CFD Results File	C:\DIE ANALYSIS\ANALYSIS_files\dp0\SY...

Σχήμα 4.43 Λεπτομέρειες εισαγωγής της πίεσης του ρευστού στα τοιχώματα της μήτρας εκβολής

Στο επόμενο σχήμα, δείχνεται η πίεση στα τοιχώματα του ρευστού, με τις αντίστοιχες τιμές της στην αριστερή μπάρα:



Σχήμα 4.44 Πίεση τοιχωμάτων στη μήτρα εκβολής

Στο παρακάτω πίνακα, συνοψίζονται τα αποτελέσματα της εισόδου της πίεσης από τα τοιχώματα του ρευστού στα τοιχώματα του στερεού:

<p>CFD Load Transfer Summary</p> <p>CFD Computed Forces from CFD Results File C:\Users\Giorgos\Desktop\ANALYSH MHTRAS - SIMPLE\ANALYSH MHTRAS - SIMPLE_files\dp0\SYS-3\MECH\Solution\SYS.1-3-00080.dat.gz</p> <p>X-component = -5,2445e-003 N Y-component = 3,0082e-002 N Z-component = 6,3912e-007 N</p> <p>Mechanical Mapped Forces for Mechanical Surface File C:\Users\Giorgos\Desktop\ANALYSH MHTRAS - SIMPLE\ANALYSH MHTRAS - SIMPLE_files\dp0\SYS-3\MECH\Import_ANSYS_190.cdb</p> <p>X-component = -1,7776e+005 N Y-component = 1,2703e+005 N Z-component = -573,66 N</p> <p>100% of Mechanical nodes were mapped to the CFD surface.</p>
--

Πίνακας 4.10 Λεπτομέρειες εισαγωγής πίεσης στα τοιχώματα

Αφού εισάγαμε τις οριακές συνθήκες του προβλήματος, προχωρούμε στη ανάλυσή του, ορίζοντας τις ιδιότητες που φαίνονται στο παρακάτω σχήμα:

Details of "Analysis Settings"	
[-] Step Controls	
Number Of Steps	1,
Current Step Number	1,
Step End Time	1, s
Auto Time Stepping	Program Controlled
[-] Solver Controls	
Solver Type	Program Controlled
Weak Springs	Program Controlled
Large Deflection	Off
Inertia Relief	Off
[-] Nonlinear Controls	
Force Convergence	Program Controlled
Moment Convergence	Program Controlled
Displacement Conve...	Program Controlled
Rotation Convergen...	Program Controlled
Line Search	Program Controlled

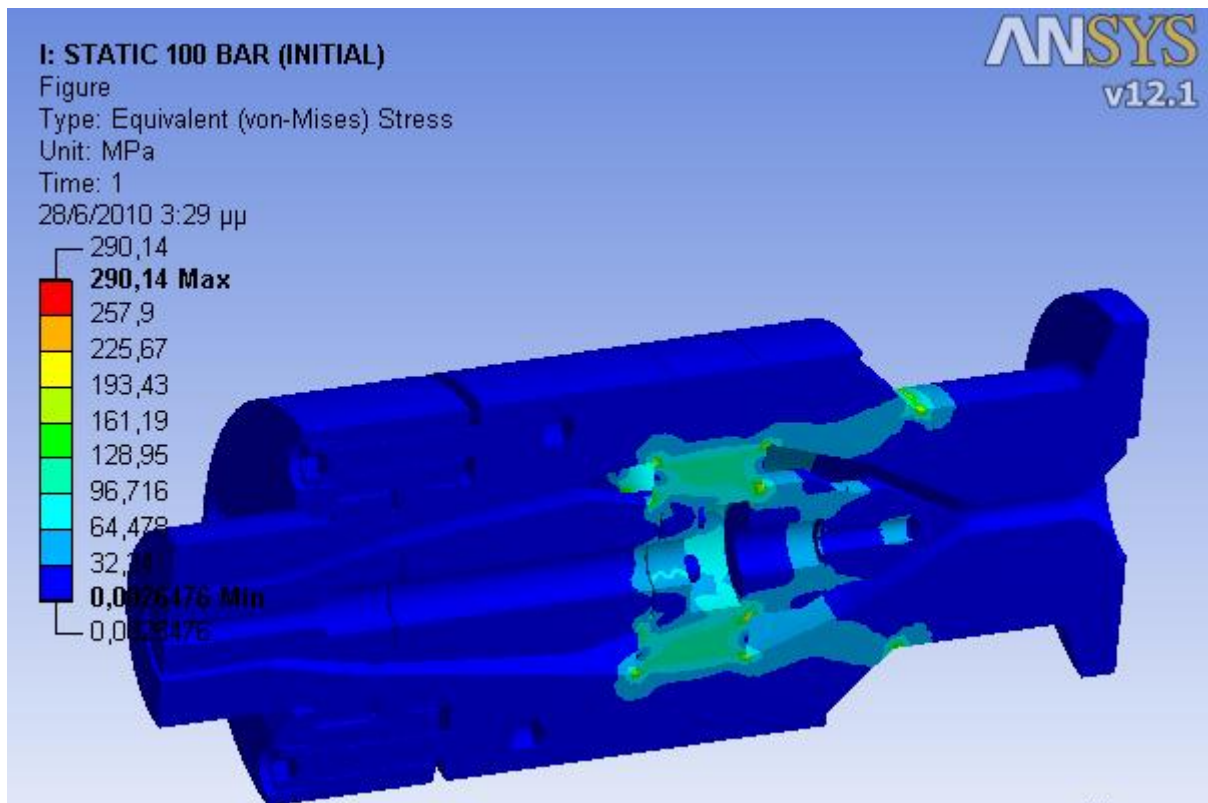
Σχήμα 4.45 Ρυθμίσεις της ανάλυσης του προβλήματος

Τέλος, επιλύουμε το πρόβλημα και παίρνουμε τα ζητούμε γραφικά αποτελέσματα τα οποία μας ενδιαφέρουν. Παρακάτω παρουσιάζουμε ορισμένα αποτελέσματα της συνολικής μήτρας για την πίεση των 100 bar, αλλά συγκεντρωτικά θα αναλύσουμε τα αποτελέσματα στη παράγραφο 5.2.

- ✓ Πρώτον, η ισοδύναμη τάση της μήτρας κατά von-Mises σε MPa, όπως φαίνεται στα παρακάτω δύο σχήματα:

Details of "Equivalent (von-Mises) Stress"	
[-] Scope	
Scoping Method	Geometry Selection
Geometry	All Bodies
[-] Definition	
Type	Equivalent (von-Mises) Stress
By	Time
Display Time	Last
Calculate Time History	Yes
Identifier	
[-] Integration Point Results	
Display Option	Averaged

Σχήμα 4.46 Ορισμός ισοδύναμης τάσης κατά von-Mises

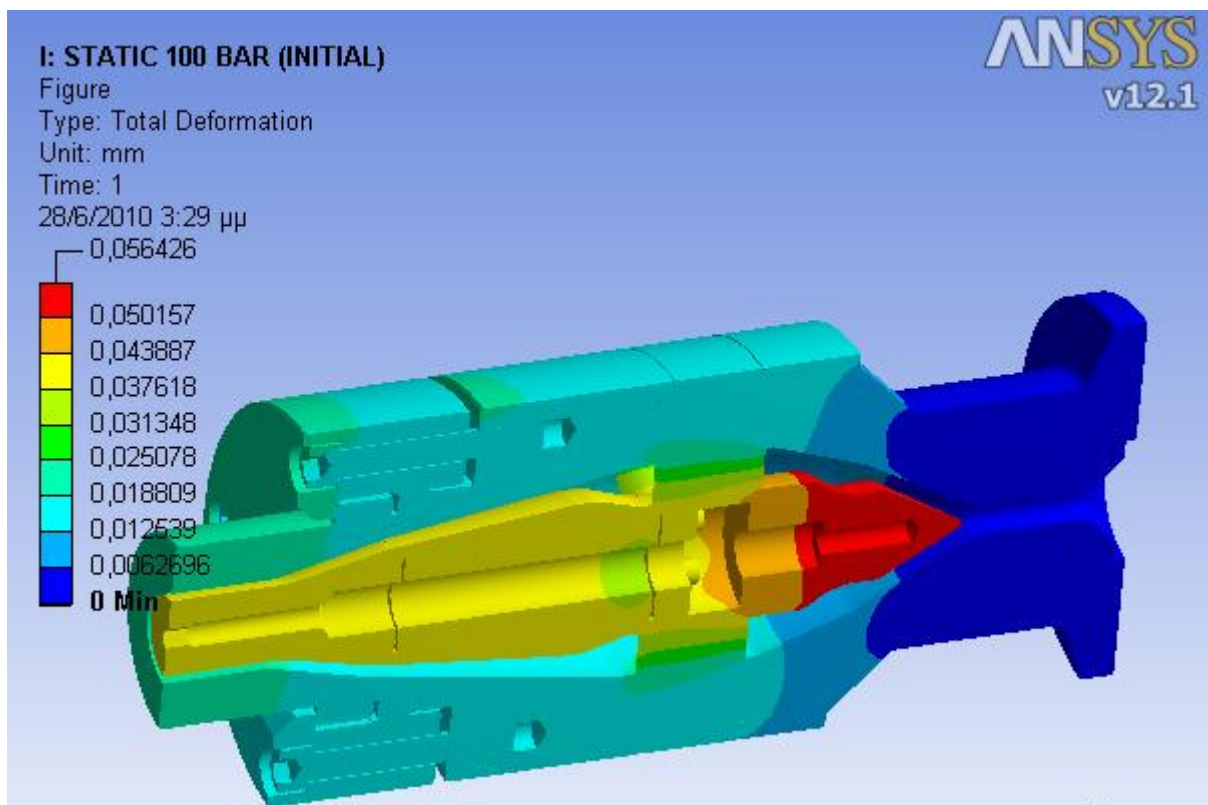


Σχήμα 4.47 Γραφική απεικόνιση ισοδύναμης τάσης κατά von-Mises

- ✓ Δεύτερον, η ολική παραμόρφωση της μήτρας σε mm, όπως φαίνεται στα παρακάτω δύο σχήματα:

Details of "Total Deformation"	
[-] Scope	
Scoping Method	Geometry Selection
Geometry	All Bodies
[-] Definition	
Type	Total Deformation
By	Time
Display Time	Last
Calculate Time History	Yes
Identifier	

Σχήμα 4.48 Ορισμός ολικής παραμόρφωσης

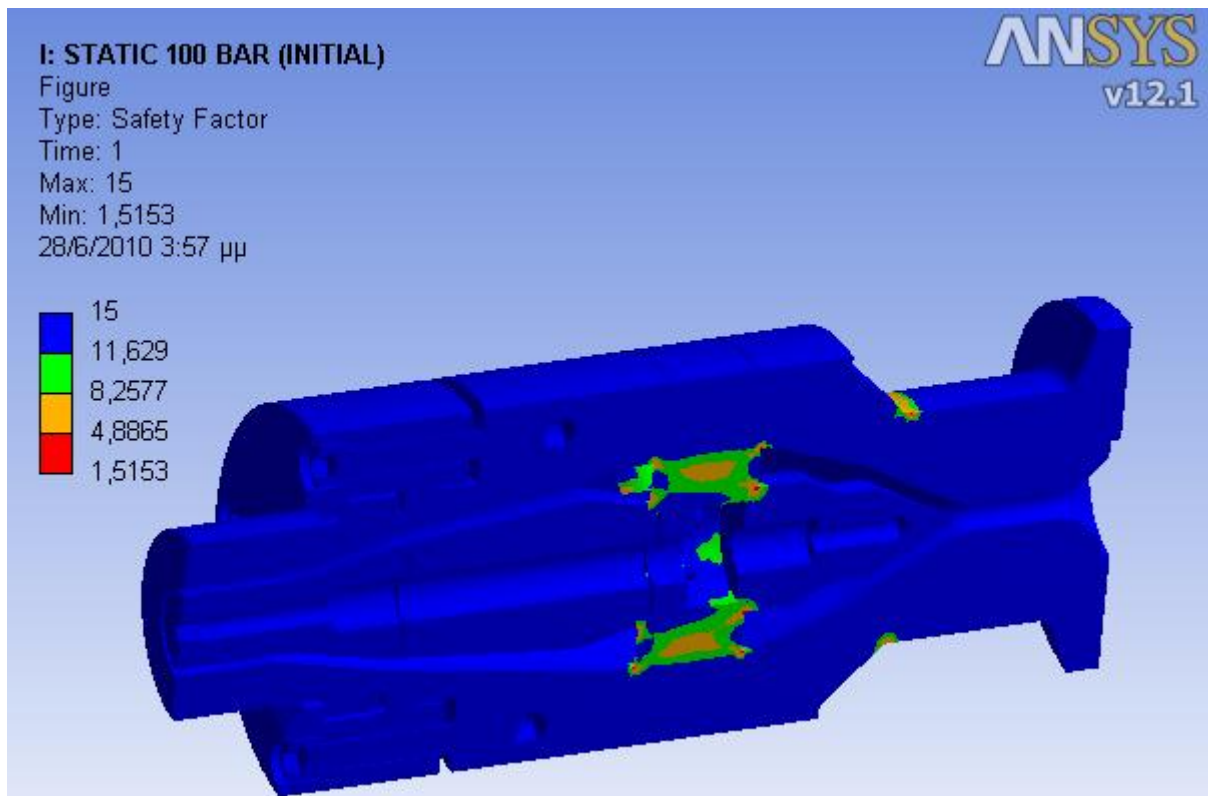


Σχήμα 4.49 Γραφική απεικόνιση ολικής παραμόρφωσης

- ✓ Τρίτον, ο συντελεστής ασφαλείας της μήτρας κατά von-Mises, όπως φαίνεται στα παρακάτω δύο σχήματα:

Details of "Safety Factor"	
[-] Scope	
Scoping Method	Geometry Selection
Geometry	All Bodies
[-] Definition	
Type	Safety Factor
By	Time
Display Time	Last
Calculate Time History	Yes
Identifier	
[-] Integration Point Results	
Display Option	Averaged

Σχήμα 4.50 Ορισμός συντελεστή ασφαλείας κατά von-Mises



Σχήμα 4.51 Γραφική απεικόνιση του συντελεστή ασφαλείας κατά von-Mises

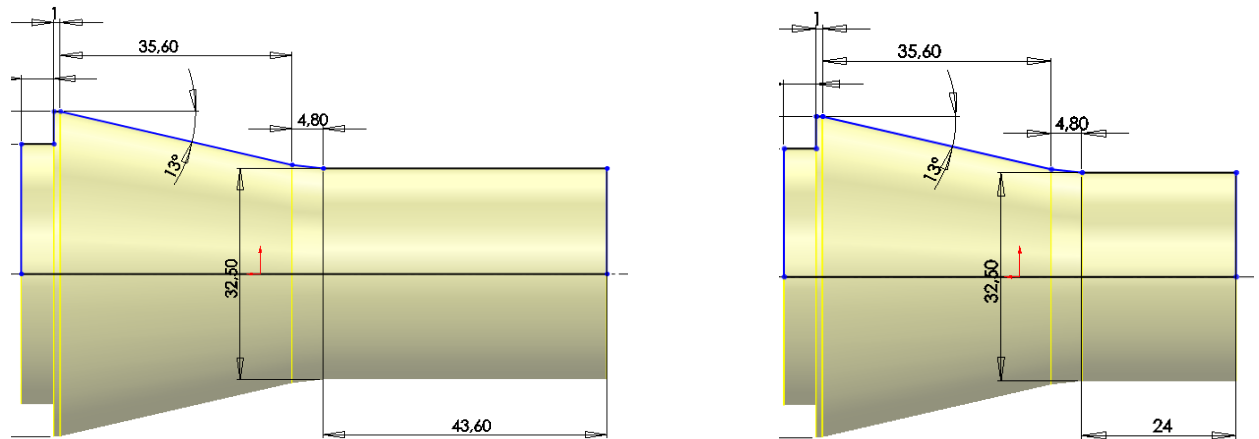
Τέλος, το menu → Results έχει τη δυνατότητα να δημιουργήσει ένα πλήρες Report με όλα τα χαρακτηριστικά της στατικής, παράδειγμα του οποίου παρατίθεται στο «Παράρτημα Ε» για την πίεση των 100 bar.

ΚΕΦΑΛΑΙΟ 5: ΑΠΟΤΕΛΕΣΜΑΤΑ - ΣΥΜΠΕΡΑΣΜΑΤΑ

5.1 ΑΡΧΙΚΗ ΚΑΙ ΒΕΛΤΙΣΤΟΠΟΙΗΜΕΝΗ ΜΗΤΡΑ ΕΚΒΟΛΗΣ

Όπως έχουμε προαναφέρει, τα κατασκευαστικά σχέδια της μήτρας εκβολής του εργαστηρίου παρουσιάζονται στο «Παράρτημα Α». Η βέλτιστη μήτρα διαφέρει από την αρχική μήτρα του εργαστηρίου στα τμήματα της κεφαλής αράχνης και στη μήτρα για σωλήνα Φ32 (εσωτερικό & εξωτερικό τμήμα).

Συγκεκριμένα το μήκος εξόδου της μήτρας του εργαστηρίου είναι 43,6 mm ενώ το μήκος εξόδου της βελτιστοποιημένης μήτρας εκβολής είναι 24 mm, όπως φαίνεται στο ακόλουθο σχήμα:

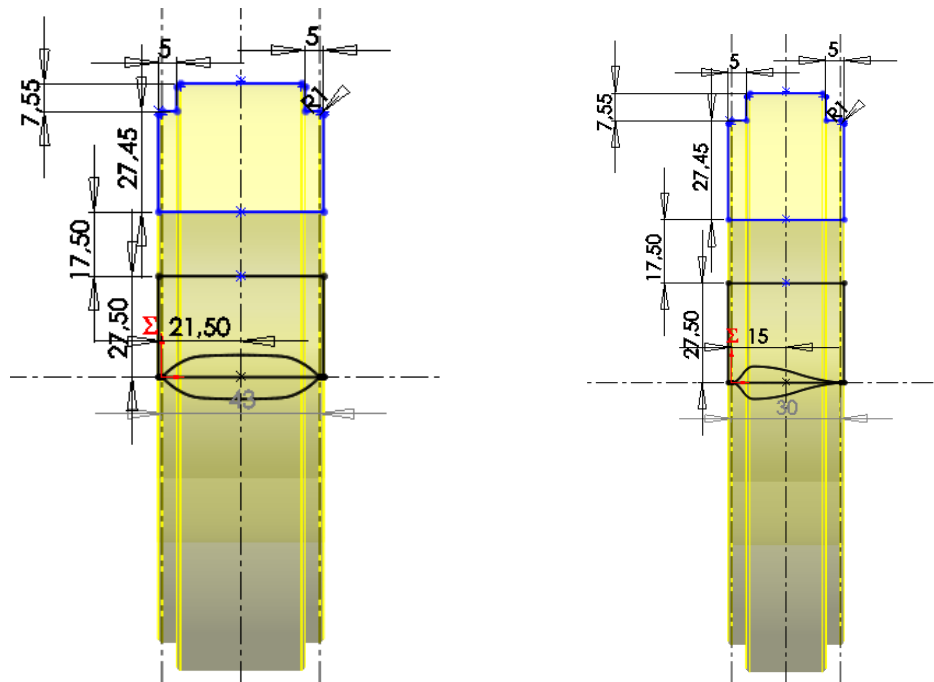


(α) Μήτρα εργαστηρίου

(β) Βελτιστοποιημένη μήτρα

Σχήμα 5.1 (α), (β) Σύγκριση του μήκους εξόδου των δύο μητρών εκβολής

Ομοίως, στην κεφαλή αράχνης αλλάζει η γεωμετρία των ποδιών της με αποτέλεσμα να έχουμε αλλαγή στο πλάτος ολόκληρης της της κεφαλής, όπως φαίνεται στο ακόλουθο σχήμα:

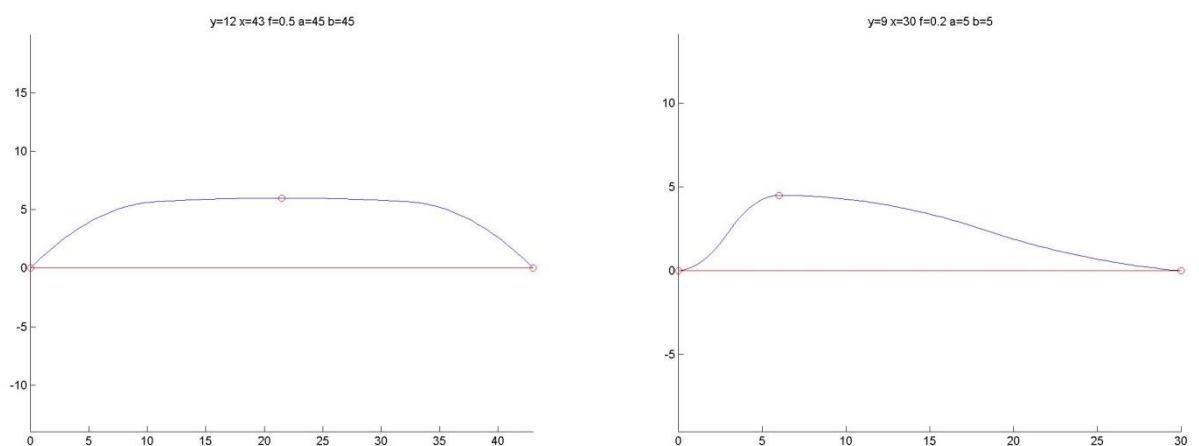


(α) Μήτρα εργαστηρίου

(β) Βελτιστοποιημένη μήτρα

Σχήμα 5.2 (α), (β) Σύγκριση της κεφαλής αράχνης των δύο μητρών εκβολής

Τέλος, για να δούμε λεπτομερέστερα τις διαφορές των καμπυλών splines, παραθέτουμε τα γραφήματά τους που έχουν κατασκευασθεί με κώδικα Matlab και χρειάστηκαν για την κατασκευή των μητρών εκβολής στο SolidWorks.



(α) Spline μήτρας εργαστηρίου

(β) Spline βελτιστοποιημένης μήτρας

Σχήμα 5.3 (α), (β) Σύγκριση των splines των δύο μητρών εκβολής

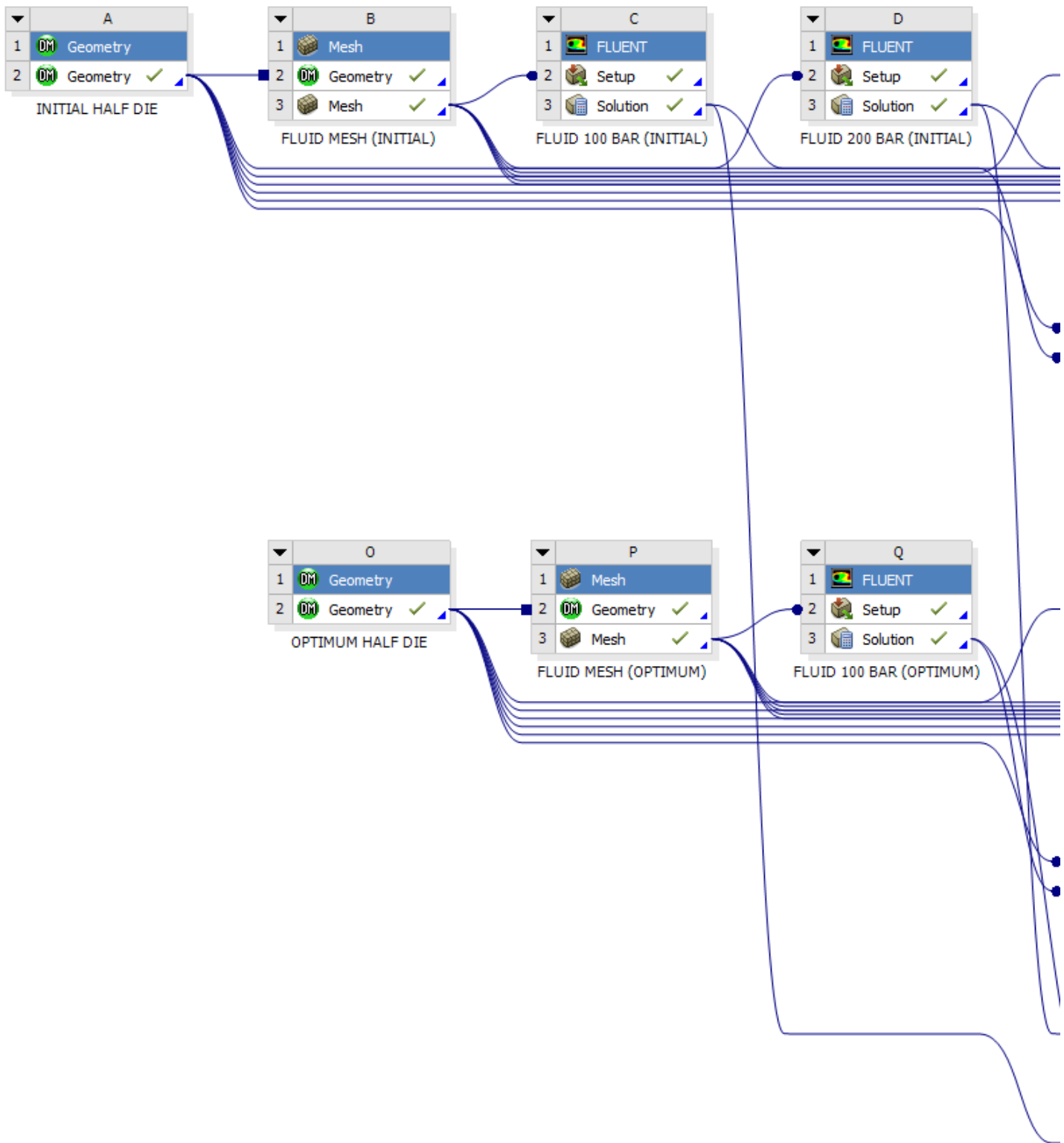
5.2 ΣΥΓΚΕΝΤΡΩΣΗ ΑΠΟΤΕΛΕΣΜΑΤΩΝ

Αμέσως παρακάτω, συγκεντρώνουμε όλα τα μπλοκ που χρησιμοποιήθηκαν κατά τις αναλύσεις μας (ροϊκή & στατική) στο ANSYS Workbench και στο παρακάτω πίνακα αναφέρουμε τις λειτουργίες του καθενός:

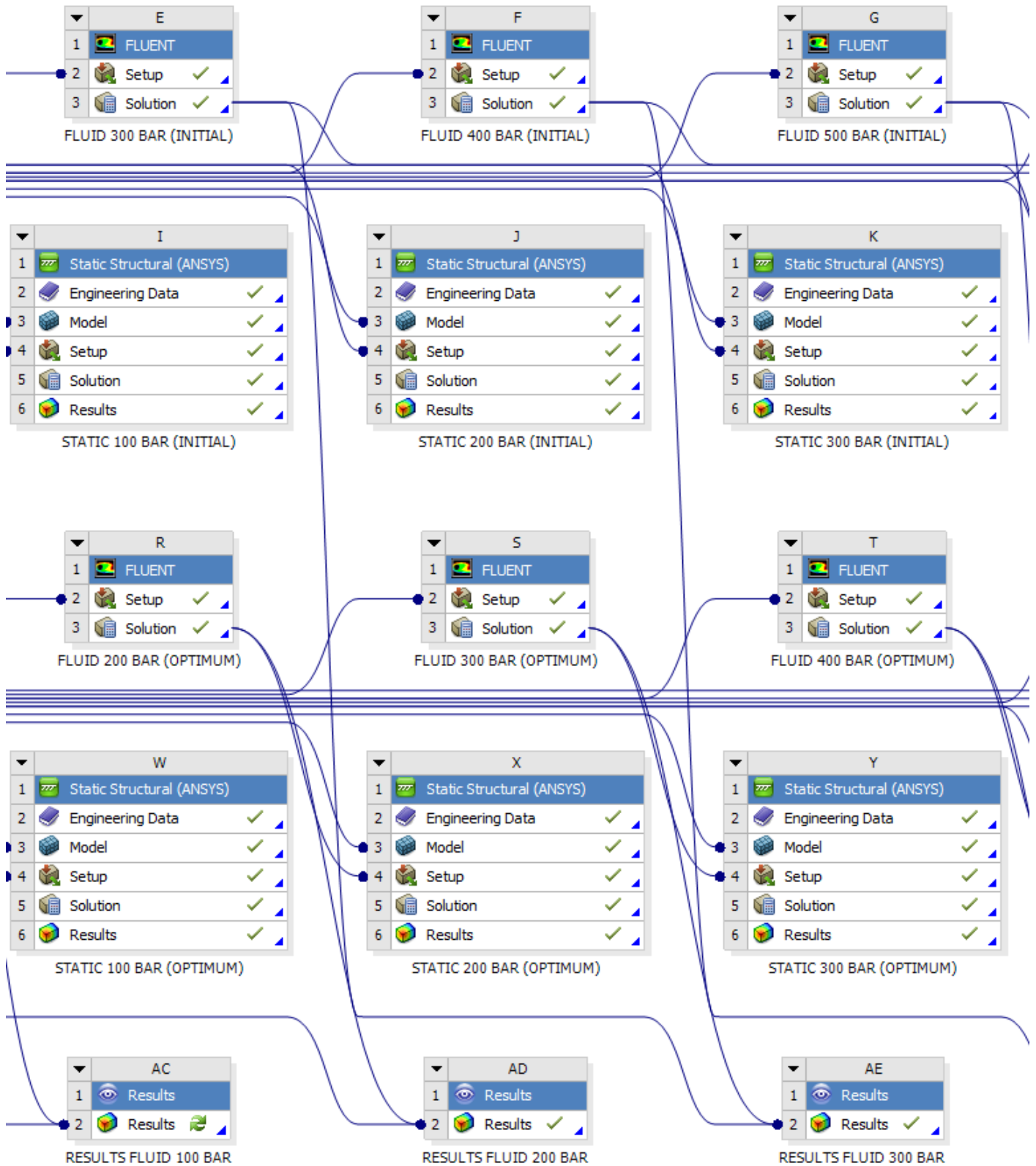
ΜΠΛΟΚ	ΛΕΙΤΟΥΡΓΙΑ	ΜΠΛΟΚ	ΛΕΙΤΟΥΡΓΙΑ
A	ΓΕΩΜΕΤΡΙΑ ΑΡΧΙΚΗΣ ΜΗΤΡΑΣ	R	ΠΡΟΣΟΜΟΙΩΣΗ ΡΟΗΣ 200 BAR ΒΕΛΤΙΣΤΟΠΟΙΗΜΕΝΗΣ ΜΗΤΡΑΣ
B	ΠΛΕΓΜΑ ΡΕΥΣΤΟΥ ΑΡΧΙΚΗΣ ΜΗΤΡΑΣ	S	ΠΡΟΣΟΜΟΙΩΣΗ ΡΟΗΣ 300 BAR ΒΕΛΤΙΣΤΟΠΟΙΗΜΕΝΗΣ ΜΗΤΡΑΣ
C	ΠΡΟΣΟΜΟΙΩΣΗ ΡΟΗΣ 100 BAR ΑΡΧΙΚΗΣ ΜΗΤΡΑΣ	T	ΠΡΟΣΟΜΟΙΩΣΗ ΡΟΗΣ 400 BAR ΒΕΛΤΙΣΤΟΠΟΙΗΜΕΝΗΣ ΜΗΤΡΑΣ
D	ΠΡΟΣΟΜΟΙΩΣΗ ΡΟΗΣ 200 BAR ΑΡΧΙΚΗΣ ΜΗΤΡΑΣ	U	ΠΡΟΣΟΜΟΙΩΣΗ ΡΟΗΣ 500 BAR ΒΕΛΤΙΣΤΟΠΟΙΗΜΕΝΗΣ ΜΗΤΡΑΣ
E	ΠΡΟΣΟΜΟΙΩΣΗ ΡΟΗΣ 300 BAR ΑΡΧΙΚΗΣ ΜΗΤΡΑΣ	V	ΠΡΟΣΟΜΟΙΩΣΗ ΡΟΗΣ 600 BAR ΒΕΛΤΙΣΤΟΠΟΙΗΜΕΝΗΣ ΜΗΤΡΑΣ
F	ΠΡΟΣΟΜΟΙΩΣΗ ΡΟΗΣ 400 BAR ΑΡΧΙΚΗΣ ΜΗΤΡΑΣ	W	ΣΤΑΤΙΚΗ ΑΝΑΛΥΣΗ 100 BAR ΒΕΛΤΙΣΤΟΠΟΙΗΜΕΝΗΣ ΜΗΤΡΑΣ
G	ΠΡΟΣΟΜΟΙΩΣΗ ΡΟΗΣ 500 BAR ΑΡΧΙΚΗΣ ΜΗΤΡΑΣ	X	ΣΤΑΤΙΚΗ ΑΝΑΛΥΣΗ 200 BAR ΒΕΛΤΙΣΤΟΠΟΙΗΜΕΝΗΣ ΜΗΤΡΑΣ
H	ΠΡΟΣΟΜΟΙΩΣΗ ΡΟΗΣ 600 BAR ΑΡΧΙΚΗΣ ΜΗΤΡΑΣ	Y	ΣΤΑΤΙΚΗ ΑΝΑΛΥΣΗ 300 BAR ΒΕΛΤΙΣΤΟΠΟΙΗΜΕΝΗΣ ΜΗΤΡΑΣ
I	ΣΤΑΤΙΚΗ ΑΝΑΛΥΣΗ 100 BAR ΑΡΧΙΚΗΣ ΜΗΤΡΑΣ	Z	ΣΤΑΤΙΚΗ ΑΝΑΛΥΣΗ 400 BAR ΒΕΛΤΙΣΤΟΠΟΙΗΜΕΝΗΣ ΜΗΤΡΑΣ
J	ΣΤΑΤΙΚΗ ΑΝΑΛΥΣΗ 200 BAR ΑΡΧΙΚΗΣ ΜΗΤΡΑΣ	AA	ΣΤΑΤΙΚΗ ΑΝΑΛΥΣΗ 500 BAR ΒΕΛΤΙΣΤΟΠΟΙΗΜΕΝΗΣ ΜΗΤΡΑΣ
K	ΣΤΑΤΙΚΗ ΑΝΑΛΥΣΗ 300 BAR ΑΡΧΙΚΗΣ ΜΗΤΡΑΣ	AB	ΣΤΑΤΙΚΗ ΑΝΑΛΥΣΗ 600 BAR ΒΕΛΤΙΣΤΟΠΟΙΗΜΕΝΗΣ ΜΗΤΡΑΣ
L	ΣΤΑΤΙΚΗ ΑΝΑΛΥΣΗ 400 BAR ΑΡΧΙΚΗΣ ΜΗΤΡΑΣ	AC	ΑΠΟΤΕΛΕΣΜΑΤΑ ΠΡΟΣΟΜΟΙΩΣΗΣ ΡΟΗΣ 100 BAR
M	ΣΤΑΤΙΚΗ ΑΝΑΛΥΣΗ 500 BAR ΑΡΧΙΚΗΣ ΜΗΤΡΑΣ	AD	ΑΠΟΤΕΛΕΣΜΑΤΑ ΠΡΟΣΟΜΟΙΩΣΗΣ ΡΟΗΣ 200 BAR
N	ΣΤΑΤΙΚΗ ΑΝΑΛΥΣΗ 600 BAR ΑΡΧΙΚΗΣ ΜΗΤΡΑΣ	AE	ΑΠΟΤΕΛΕΣΜΑΤΑ ΠΡΟΣΟΜΟΙΩΣΗΣ ΡΟΗΣ 300 BAR
O	ΓΕΩΜΕΤΡΙΑ ΒΕΛΤΙΣΤΟΠΟΙΗΜΕΝΗΣ ΜΗΤΡΑΣ	AF	ΑΠΟΤΕΛΕΣΜΑΤΑ ΠΡΟΣΟΜΟΙΩΣΗΣ ΡΟΗΣ 400 BAR
P	ΠΛΕΓΜΑ ΡΕΥΣΤΟΥ ΒΕΛΤΙΣΤΟΠΟΙΗΜΕΝΗΣ ΜΗΤΡΑΣ	AG	ΑΠΟΤΕΛΕΣΜΑΤΑ ΠΡΟΣΟΜΟΙΩΣΗΣ ΡΟΗΣ 500 BAR
Q	ΠΡΟΣΟΜΟΙΩΣΗ ΡΟΗΣ 100 BAR ΒΕΛΤΙΣΤΟΠΟΙΗΜΕΝΗΣ ΜΗΤΡΑΣ	AH	ΑΠΟΤΕΛΕΣΜΑΤΑ ΠΡΟΣΟΜΟΙΩΣΗΣ ΡΟΗΣ 600 BAR

Πίνακας 4.11 Χαρακτηρισμός όλων των μπλοκ που χρησιμοποιήθηκαν στο ANSYS Workbench

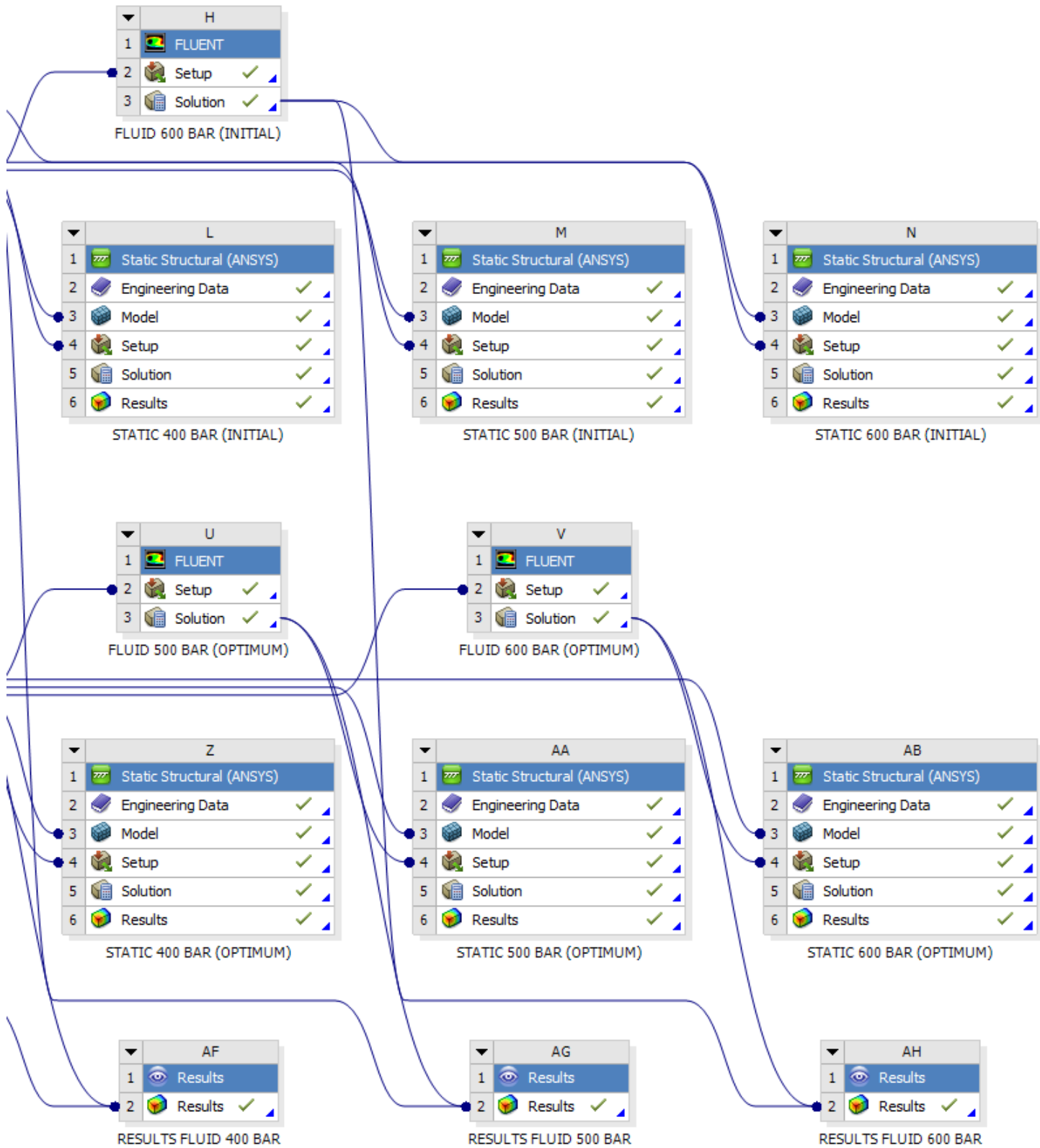
Στα παρακάτω σχήματα (Σχήμα 5.4 – 5.6), παρουσιάζεται όλη η ανάλυσή μας στο βασικό περιβάλλον του ANSYS Workbench:



Σχήμα 5.4 Συγκεντρωτική ανάλυση στο ANSYS Workbench (Μέρος I)



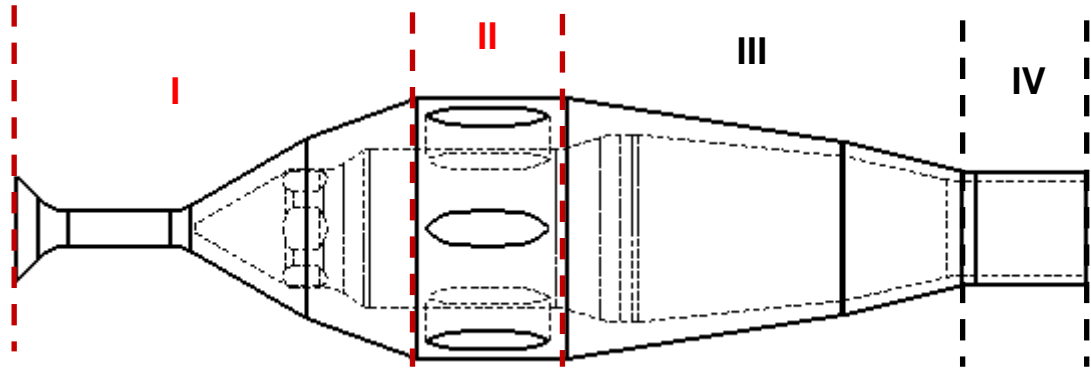
Σχήμα 5.5 Συγκεντρική ανάλυση στο ANSYS Workbench (Μέρος II)



Σχήμα 5.6 Συγκενρωτική ανάλυση στο ANSYS Workbench (Μέρος III)

5.2.1 ΣΥΓΚΕΝΤΡΩΣΗ ΑΠΟΤΕΛΕΣΜΑΤΩΝ ΣΤΑΤΙΚΗΣ ΑΝΑΛΥΣΗΣ

Όπως μπορούμε να παρατηρήσουμε από την στατική ανάλυση που πραγματοποιήσαμε, καθώς και από τα αποτελέσματα των προσομοιώσεων της ροής, τα τμήματα της μήτρας εκβολής που μας ενδιαφέρουν είναι αυτά που βρίσκονται στις ζώνες (I) και (II), δηλαδή στη ζώνη εκτροπής και στη ζώνη της αράχνης, όπως φαίνεται στο παρακάτω σχήμα:



Σχήμα 5.7 Ζώνες του καναλιού ροής της κεφαλής

Δηλαδή, τα τμήματα που ενδέχεται να παρουσιάσουν πρόβλημα είναι ο λαιμός κεφαλής και ο κώνος αρσενικού κεφαλής, τα οποία ανήκουν στη ζώνη εκτροπής (Ζώνη I) και η κεφαλή της αράχνης (Ζώνη II).

Αμέσως παρακάτω παραθέτουμε συγκεντρωτικά όλους τους πίνακες με τις τιμές των ισοδύναμων τάσεων και παραμορφώσεων για τα τμήματα που μας ενδιαφέρουν, από 100 έως και 600 bar και για τις δύο μήτρες εκβολής (εργαστηρίου και βελτιστοποιημένη).

		ΑΡΧΙΚΗ ΜΗΤΡΑ			ΙΜΡΑΧ
100 BAR	ΣΥΝΟΛΙΚΗ ΜΗΤΡΑ	ΙΣΟΔΥΝΑΜΗ ΤΑΣΗ	MAX (MPa)	ΑΡΑΧΝΗ ΚΕΦΑΛΗΣ	290,14
		ΣΥΝΟΛΙΚΗ ΠΑΡΑΜΟΡΦΩΣΗ	MAX (μm)	ΚΩΝΟΣ ΑΡΣΕΝΙΚΟΥ ΚΕΦΑΛΗΣ	56,426
	ΑΡΑΧΝΗ ΚΕΦΑΛΗΣ	ΙΣΟΔΥΝΑΜΗ ΤΑΣΗ	MAX (MPa)		290,14
		ΣΥΝΟΛΙΚΗ ΠΑΡΑΜΟΡΦΩΣΗ	MAX (μm)		47,7
	ΚΩΝΟΣ ΑΡΣΕΝΙΚΟΥ ΚΕΦΑΛΗΣ	ΙΣΟΔΥΝΑΜΗ ΤΑΣΗ	MAX (MPa)		172,13
		ΣΥΝΟΛΙΚΗ ΠΑΡΑΜΟΡΦΩΣΗ	MAX (μm)		56,426
	ΛΑΙΜΟΣ ΚΕΦΑΛΗΣ	ΙΣΟΔΥΝΑΜΗ ΤΑΣΗ	MAX (MPa)		203,41
		ΣΥΝΟΛΙΚΗ ΠΑΡΑΜΟΡΦΩΣΗ	MAX (μm)		17,605

Πίνακας 4.12 Μέγιστες τιμές τάσεων και παραμορφώσεων στα 100 bar (αρχική μήτρα)

		ΑΡΧΙΚΗ ΜΗΤΡΑ			ΙΜΡΑΧ
200 BAR	ΣΥΝΟΛΙΚΗ ΜΗΤΡΑ	ΙΣΟΔΥΝΑΜΗ ΤΑΣΗ	MAX (MPa)	ΑΡΑΧΝΗ ΚΕΦΑΛΗΣ	579,45
		ΣΥΝΟΛΙΚΗ ΠΑΡΑΜΟΡΦΩΣΗ	MAX (μm)	ΚΩΝΟΣ ΑΡΣΕΝΙΚΟΥ ΚΕΦΑΛΗΣ	112,64
	ΑΡΑΧΝΗ ΚΕΦΑΛΗΣ	ΙΣΟΔΥΝΑΜΗ ΤΑΣΗ	MAX (MPa)		579,45
		ΣΥΝΟΛΙΚΗ ΠΑΡΑΜΟΡΦΩΣΗ	MAX (μm)		93,372
	ΚΩΝΟΣ ΑΡΣΕΝΙΚΟΥ ΚΕΦΑΛΗΣ	ΙΣΟΔΥΝΑΜΗ ΤΑΣΗ	MAX (MPa)		344,14
		ΣΥΝΟΛΙΚΗ ΠΑΡΑΜΟΡΦΩΣΗ	MAX (μm)		112,64
	ΛΑΙΜΟΣ ΚΕΦΑΛΗΣ	ΙΣΟΔΥΝΑΜΗ ΤΑΣΗ	MAX (MPa)		385,69
		ΣΥΝΟΛΙΚΗ ΠΑΡΑΜΟΡΦΩΣΗ	MAX (μm)		33,344

Πίνακας 4.13 Μέγιστες τιμές τάσεων και παραμορφώσεων στα 200 bar (αρχική μήτρα)

		ΑΡΧΙΚΗ ΜΗΤΡΑ			ΙΜΡΑΧ
300 BAR	ΣΥΝΟΛΙΚΗ ΜΗΤΡΑ	ΙΣΟΔΥΝΑΜΗ ΤΑΣΗ	MAX (MPa)	ΑΡΑΧΝΗ ΚΕΦΑΛΗΣ	868,44
		ΣΥΝΟΛΙΚΗ ΠΑΡΑΜΟΡΦΩΣΗ	MAX (μm)	ΚΩΝΟΣ ΑΡΣΕΝΙΚΟΥ ΚΕΦΑΛΗΣ	168,81
	ΑΡΑΧΝΗ ΚΕΦΑΛΗΣ	ΙΣΟΔΥΝΑΜΗ ΤΑΣΗ	MAX (MPa)		868,44
		ΣΥΝΟΛΙΚΗ ΠΑΡΑΜΟΡΦΩΣΗ	MAX (μm)		138,98
	ΚΩΝΟΣ ΑΡΣΕΝΙΚΟΥ ΚΕΦΑΛΗΣ	ΙΣΟΔΥΝΑΜΗ ΤΑΣΗ	MAX (MPa)		516,12
		ΣΥΝΟΛΙΚΗ ΠΑΡΑΜΟΡΦΩΣΗ	MAX (μm)		168,81
	ΛΑΙΜΟΣ ΚΕΦΑΛΗΣ	ΙΣΟΔΥΝΑΜΗ ΤΑΣΗ	MAX (MPa)		568,07
		ΣΥΝΟΛΙΚΗ ΠΑΡΑΜΟΡΦΩΣΗ	MAX (μm)		49,079

Πίνακας 4.14 Μέγιστες τιμές τάσεων και παραμορφώσεων στα 300 bar (αρχική μήτρα)

		ΑΡΧΙΚΗ ΜΗΤΡΑ			ΙΜΡΑΧ
400 BAR	ΣΥΝΟΛΙΚΗ ΜΗΤΡΑ	ΙΣΟΔΥΝΑΜΗ ΤΑΣΗ	MAX (MPa)	ΑΡΑΧΝΗ ΚΕΦΑΛΗΣ	1157,1
		ΣΥΝΟΛΙΚΗ ΠΑΡΑΜΟΡΦΩΣΗ	MAX (μm)	ΚΩΝΟΣ ΑΡΣΕΝΙΚΟΥ ΚΕΦΑΛΗΣ	224,92
	ΑΡΑΧΝΗ ΚΕΦΑΛΗΣ	ΙΣΟΔΥΝΑΜΗ ΤΑΣΗ	MAX (MPa)		1157,1
		ΣΥΝΟΛΙΚΗ ΠΑΡΑΜΟΡΦΩΣΗ	MAX (μm)		184,52
	ΚΩΝΟΣ ΑΡΣΕΝΙΚΟΥ ΚΕΦΑΛΗΣ	ΙΣΟΔΥΝΑΜΗ ΤΑΣΗ	MAX (MPa)		688,02
		ΣΥΝΟΛΙΚΗ ΠΑΡΑΜΟΡΦΩΣΗ	MAX (μm)		224,92
	ΛΑΙΜΟΣ ΚΕΦΑΛΗΣ	ΙΣΟΔΥΝΑΜΗ ΤΑΣΗ	MAX (MPa)		750,43
		ΣΥΝΟΛΙΚΗ ΠΑΡΑΜΟΡΦΩΣΗ	MAX (μm)		64,805

Πίνακας 4.15 Μέγιστες τιμές τάσεων και παραμορφώσεων στα 400 bar (αρχική μήτρα)

		ΑΡΧΙΚΗ ΜΗΤΡΑ			ΙΜΡΑΧ
500 BAR	ΣΥΝΟΛΙΚΗ ΜΗΤΡΑ	ΙΣΟΔΥΝΑΜΗ ΤΑΣΗ	MAX (MPa)	ΑΡΑΧΝΗ ΚΕΦΑΛΗΣ	1446
		ΣΥΝΟΛΙΚΗ ΠΑΡΑΜΟΡΦΩΣΗ	MAX (μm)	ΚΩΝΟΣ ΑΡΣΕΝΙΚΟΥ ΚΕΦΑΛΗΣ	281,09
	ΑΡΑΧΝΗ ΚΕΦΑΛΗΣ	ΙΣΟΔΥΝΑΜΗ ΤΑΣΗ	MAX (MPa)		1446
		ΣΥΝΟΛΙΚΗ ΠΑΡΑΜΟΡΦΩΣΗ	MAX (μm)		230,12
	ΚΩΝΟΣ ΑΡΣΕΝΙΚΟΥ ΚΕΦΑΛΗΣ	ΙΣΟΔΥΝΑΜΗ ΤΑΣΗ	MAX (MPa)		860,05
		ΣΥΝΟΛΙΚΗ ΠΑΡΑΜΟΡΦΩΣΗ	MAX (μm)		281,09
	ΛΑΙΜΟΣ ΚΕΦΑΛΗΣ	ΙΣΟΔΥΝΑΜΗ ΤΑΣΗ	MAX (MPa)		932,96
		ΣΥΝΟΛΙΚΗ ΠΑΡΑΜΟΡΦΩΣΗ	MAX (μm)		80,551

Πίνακας 4.16 Μέγιστες τιμές τάσεων και παραμορφώσεων στα 500 bar (αρχική μήτρα)

		ΑΡΧΙΚΗ ΜΗΤΡΑ			ΙΜΡΑΧ
600 BAR	ΣΥΝΟΛΙΚΗ ΜΗΤΡΑ	ΙΣΟΔΥΝΑΜΗ ΤΑΣΗ	MAX (MPa)	ΑΡΑΧΝΗ ΚΕΦΑΛΗΣ	1735,3
		ΣΥΝΟΛΙΚΗ ΠΑΡΑΜΟΡΦΩΣΗ	MAX (μm)	ΚΩΝΟΣ ΑΡΣΕΝΙΚΟΥ ΚΕΦΑΛΗΣ	337,33
	ΑΡΑΧΝΗ ΚΕΦΑΛΗΣ	ΙΣΟΔΥΝΑΜΗ ΤΑΣΗ	MAX (MPa)		1735,3
		ΣΥΝΟΛΙΚΗ ΠΑΡΑΜΟΡΦΩΣΗ	MAX (μm)		275,78
	ΚΩΝΟΣ ΑΡΣΕΝΙΚΟΥ ΚΕΦΑΛΗΣ	ΙΣΟΔΥΝΑΜΗ ΤΑΣΗ	MAX (MPa)		1032,2
		ΣΥΝΟΛΙΚΗ ΠΑΡΑΜΟΡΦΩΣΗ	MAX (μm)		337,33
	ΛΑΙΜΟΣ ΚΕΦΑΛΗΣ	ΙΣΟΔΥΝΑΜΗ ΤΑΣΗ	MAX (MPa)		1115,6
		ΣΥΝΟΛΙΚΗ ΠΑΡΑΜΟΡΦΩΣΗ	MAX (μm)		96,317

Πίνακας 4.17 Μέγιστες τιμές τάσεων και παραμορφώσεων στα 600 bar (αρχική μήτρα)

		ΒΕΛΤΙΣΤΟΠΟΙΗΜΕΝΗ ΜΗΤΡΑ			ΙΜΡΑΧ
100 BAR	ΣΥΝΟΛΙΚΗ ΜΗΤΡΑ	ΙΣΟΔΥΝΑΜΗ ΤΑΣΗ	MAX (MPa)	ΑΡΑΧΝΗ ΚΕΦΑΛΗΣ	776,81
		ΣΥΝΟΛΙΚΗ ΠΑΡΑΜΟΡΦΩΣΗ	MAX (μm)	ΚΩΝΟΣ ΑΡΣΕΝΙΚΟΥ ΚΕΦΑΛΗΣ	94,724
	ΑΡΑΧΝΗ ΚΕΦΑΛΗΣ	ΙΣΟΔΥΝΑΜΗ ΤΑΣΗ	MAX (MPa)		776,81
		ΣΥΝΟΛΙΚΗ ΠΑΡΑΜΟΡΦΩΣΗ	MAX (μm)		85,979
	ΚΩΝΟΣ ΑΡΣΕΝΙΚΟΥ ΚΕΦΑΛΗΣ	ΙΣΟΔΥΝΑΜΗ ΤΑΣΗ	MAX (MPa)		236,86
		ΣΥΝΟΛΙΚΗ ΠΑΡΑΜΟΡΦΩΣΗ	MAX (μm)		94,724
	ΛΑΙΜΟΣ ΚΕΦΑΛΗΣ	ΙΣΟΔΥΝΑΜΗ ΤΑΣΗ	MAX (MPa)		184,68
		ΣΥΝΟΛΙΚΗ ΠΑΡΑΜΟΡΦΩΣΗ	MAX (μm)		15,27

Πίνακας 4.18 Μέγιστες τιμές τάσεων και παραμορφώσεων στα 100 bar (βελτιστοποιημένη μήτρα)

		ΒΕΛΤΙΣΤΟΠΟΙΗΜΕΝΗ ΜΗΤΡΑ			ΙΜΡΑΧ
200 BAR	ΣΥΝΟΛΙΚΗ ΜΗΤΡΑ	ΙΣΟΔΥΝΑΜΗ ΤΑΣΗ	MAX (MPa)	ΑΡΑΧΝΗ ΚΕΦΑΛΗΣ	1548,5
		ΣΥΝΟΛΙΚΗ ΠΑΡΑΜΟΡΦΩΣΗ	MAX (μm)	ΚΩΝΟΣ ΑΡΣΕΝΙΚΟΥ ΚΕΦΑΛΗΣ	188,78
	ΑΡΑΧΝΗ ΚΕΦΑΛΗΣ	ΙΣΟΔΥΝΑΜΗ ΤΑΣΗ	MAX (MPa)		1548,5
		ΣΥΝΟΛΙΚΗ ΠΑΡΑΜΟΡΦΩΣΗ	MAX (μm)		169,55
	ΚΩΝΟΣ ΑΡΣΕΝΙΚΟΥ ΚΕΦΑΛΗΣ	ΙΣΟΔΥΝΑΜΗ ΤΑΣΗ	MAX (MPa)		471,98
		ΣΥΝΟΛΙΚΗ ΠΑΡΑΜΟΡΦΩΣΗ	MAX (μm)		188,78
	ΛΑΙΜΟΣ ΚΕΦΑΛΗΣ	ΙΣΟΔΥΝΑΜΗ ΤΑΣΗ	MAX (MPa)		348,9
		ΣΥΝΟΛΙΚΗ ΠΑΡΑΜΟΡΦΩΣΗ	MAX (μm)		81,182

Πίνακας 4.19 Μέγιστες τιμές τάσεων και παραμορφώσεων στα 200 bar (βελτιστοποιημένη μήτρα)

		ΒΕΛΤΙΣΤΟΠΟΙΗΜΕΝΗ ΜΗΤΡΑ			ΙΜΡΑΧ
300 BAR	ΣΥΝΟΛΙΚΗ ΜΗΤΡΑ	ΙΣΟΔΥΝΑΜΗ ΤΑΣΗ	MAX (MPa)	ΑΡΑΧΝΗ ΚΕΦΑΛΗΣ	2315,6
		ΣΥΝΟΛΙΚΗ ΠΑΡΑΜΟΡΦΩΣΗ	MAX (μm)	ΚΩΝΟΣ ΑΡΣΕΝΙΚΟΥ ΚΕΦΑΛΗΣ	282,67
	ΑΡΑΧΝΗ ΚΕΦΑΛΗΣ	ΙΣΟΔΥΝΑΜΗ ΤΑΣΗ	MAX (MPa)		2315,6
		ΣΥΝΟΛΙΚΗ ΠΑΡΑΜΟΡΦΩΣΗ	MAX (μm)		252,94
	ΚΩΝΟΣ ΑΡΣΕΝΙΚΟΥ ΚΕΦΑΛΗΣ	ΙΣΟΔΥΝΑΜΗ ΤΑΣΗ	MAX (MPa)		707,45
		ΣΥΝΟΛΙΚΗ ΠΑΡΑΜΟΡΦΩΣΗ	MAX (μm)		282,67
	ΛΑΙΜΟΣ ΚΕΦΑΛΗΣ	ΙΣΟΔΥΝΑΜΗ ΤΑΣΗ	MAX (MPa)		513,24
		ΣΥΝΟΛΙΚΗ ΠΑΡΑΜΟΡΦΩΣΗ	MAX (μm)		41,942

Πίνακας 4.20 Μέγιστες τιμές τάσεων και παραμορφώσεων στα 300 bar (βελτιστοποιημένη μήτρα)

		ΒΕΛΤΙΣΤΟΠΟΙΗΜΕΝΗ ΜΗΤΡΑ			ΙΜΡΑΧ
400 BAR	ΣΥΝΟΛΙΚΗ ΜΗΤΡΑ	ΙΣΟΔΥΝΑΜΗ ΤΑΣΗ	MAX (MPa)	ΑΡΑΧΝΗ ΚΕΦΑΛΗΣ	3080,6
		ΣΥΝΟΛΙΚΗ ΠΑΡΑΜΟΡΦΩΣΗ	MAX (μm)	ΚΩΝΟΣ ΑΡΣΕΝΙΚΟΥ ΚΕΦΑΛΗΣ	376,46
	ΑΡΑΧΝΗ ΚΕΦΑΛΗΣ	ΙΣΟΔΥΝΑΜΗ ΤΑΣΗ	MAX (MPa)		3080,6
		ΣΥΝΟΛΙΚΗ ΠΑΡΑΜΟΡΦΩΣΗ	MAX (μm)		336,23
	ΚΩΝΟΣ ΑΡΣΕΝΙΚΟΥ ΚΕΦΑΛΗΣ	ΙΣΟΔΥΝΑΜΗ ΤΑΣΗ	MAX (MPa)		942,97
		ΣΥΝΟΛΙΚΗ ΠΑΡΑΜΟΡΦΩΣΗ	MAX (μm)		376,46
	ΛΑΙΜΟΣ ΚΕΦΑΛΗΣ	ΙΣΟΔΥΝΑΜΗ ΤΑΣΗ	MAX (MPa)		677,53
		ΣΥΝΟΛΙΚΗ ΠΑΡΑΜΟΡΦΩΣΗ	MAX (μm)		55,3

Πίνακας 4.21 Μέγιστες τιμές τάσεων και παραμορφώσεων στα 400 bar (βελτιστοποιημένη μήτρα)

		ΒΕΛΤΙΣΤΟΠΟΙΗΜΕΝΗ ΜΗΤΡΑ			ΙΜΡΑΧ
500 BAR	ΣΥΝΟΛΙΚΗ ΜΗΤΡΑ	ΙΣΟΔΥΝΑΜΗ ΤΑΣΗ	MAX (MPa)	ΑΡΑΧΝΗ ΚΕΦΑΛΗΣ	3849,1
		ΣΥΝΟΛΙΚΗ ΠΑΡΑΜΟΡΦΩΣΗ	MAX (μm)	ΚΩΝΟΣ ΑΡΣΕΝΙΚΟΥ ΚΕΦΑΛΗΣ	470,5
	ΑΡΑΧΝΗ ΚΕΦΑΛΗΣ	ΙΣΟΔΥΝΑΜΗ ΤΑΣΗ	MAX (MPa)		3849,1
		ΣΥΝΟΛΙΚΗ ΠΑΡΑΜΟΡΦΩΣΗ	MAX (μm)		419,76
	ΚΩΝΟΣ ΑΡΣΕΝΙΚΟΥ ΚΕΦΑΛΗΣ	ΙΣΟΔΥΝΑΜΗ ΤΑΣΗ	MAX (MPa)		1178,7
		ΣΥΝΟΛΙΚΗ ΠΑΡΑΜΟΡΦΩΣΗ	MAX (μm)		470,5
	ΛΑΙΜΟΣ ΚΕΦΑΛΗΣ	ΙΣΟΔΥΝΑΜΗ ΤΑΣΗ	MAX (MPa)		842,12
		ΣΥΝΟΛΙΚΗ ΠΑΡΑΜΟΡΦΩΣΗ	MAX (μm)		68,68

Πίνακας 4.22 Μέγιστες τιμές τάσεων και παραμορφώσεων στα 500 bar (βελτιστοποιημένη μήτρα)

		ΒΕΛΤΙΣΤΟΠΟΙΗΜΕΝΗ ΜΗΤΡΑ			ΙΜΡΑΧ
600 BAR	ΣΥΝΟΛΙΚΗ ΜΗΤΡΑ	ΙΣΟΔΥΝΑΜΗ ΤΑΣΗ	MAX (MPa)	ΑΡΑΧΝΗ ΚΕΦΑΛΗΣ	4618,4
		ΣΥΝΟΛΙΚΗ ΠΑΡΑΜΟΡΦΩΣΗ	MAX (μm)	ΚΩΝΟΣ ΑΡΣΕΝΙΚΟΥ ΚΕΦΑΛΗΣ	564,57
	ΑΡΑΧΝΗ ΚΕΦΑΛΗΣ	ΙΣΟΔΥΝΑΜΗ ΤΑΣΗ	MAX (MPa)		4618,4
		ΣΥΝΟΛΙΚΗ ΠΑΡΑΜΟΡΦΩΣΗ	MAX (μm)		503,33
	ΚΩΝΟΣ ΑΡΣΕΝΙΚΟΥ ΚΕΦΑΛΗΣ	ΙΣΟΔΥΝΑΜΗ ΤΑΣΗ	MAX (MPa)		1414,4
		ΣΥΝΟΛΙΚΗ ΠΑΡΑΜΟΡΦΩΣΗ	MAX (μm)		564,57
	ΛΑΙΜΟΣ ΚΕΦΑΛΗΣ	ΙΣΟΔΥΝΑΜΗ ΤΑΣΗ	MAX (MPa)		1006,7
		ΣΥΝΟΛΙΚΗ ΠΑΡΑΜΟΡΦΩΣΗ	MAX (μm)		82,058

Πίνακας 4.23 Μέγιστες τιμές τάσεων και παραμορφώσεων στα 600 bar (βελτιστοποιημένη μήτρα)

Όπως περιμέναμε, η μέγιστη τάση δημιουργείται στα πόδια της αράχνης κεφαλής, τα οποία δέχονται αρκετή πίεση από το ρευστό ενώ παράλληλα στηρίζουν και τα εσωτερικά τμήματα της μήτρας εκβολής.

Επίσης, μεγάλη τιμή στην ισοδύναμη τάση έχουμε στο λαιμό της κεφαλής και συγκεκριμένα στο σημείο στήριξης της μήτρας με τον υπόλοιπο εκβολέα.

Τέλος, η μέγιστη παραμόρφωση παρατηρείται στον κώνο αρσενικού κεφαλής ο οποίος δέχεται και την μεγαλύτερη πίεση από το ρευστό.

Περαιτέρω ανάλυση των παραπάνω αποτελεσμάτων θα πραγματοποιηθεί στη παράγραφο 5.3 του παρόντος κεφαλαίου.

5.3 ΑΝΑΛΥΣΗ ΑΠΟΤΕΛΕΣΜΑΤΩΝ

Στη συνέχεια, προχωρούμε σε έλεγχο αντοχής τόσο στην αρχική μήτρα του εργαστηρίου, όσο και στη βελτιστοποιημένη μήτρα την οποία αναλύσαμε. Θα ελέγξουμε αν η μέγιστη ισοδύναμη τάση που εμφανίζεται στις μήτρες που έχουν αναλυθεί στις διάφορες πιέσεις, ξεπερνά ή όχι το όριο διαρροής του υλικού των τμημάτων της μήτρας το οποίο για τον χάλυβα IMPAX είναι 896 MPa.

Στόχος της ανάλυσής μας είναι ο υπολογισμός των ορίων των πιέσεων που μπορεί να δεχθεί καθεμιά από τις δύο μήτρες που έχουν σχεδιασθεί.

Όπως παρατηρήσαμε από τη συγκέντρωση των αποτελεσμάτων των στατικών αναλύσεων στη προηγούμενη παράγραφο, παρατηρούμε ότι η μέγιστη ισοδύναμη τάση της μήτρας εκβολής παρατηρείται στη κεφαλή της αράχνης και συγκεκριμένα στα πόδια της. Έτσι, θα ελέγξουμε αν η ισοδύναμη τάση που εμφανίζεται στην κεφαλή αράχνης ξεπερνάει το όριο διαρροής του χάλυβα IMPAX και έχουμε αστοχία του υλικού.

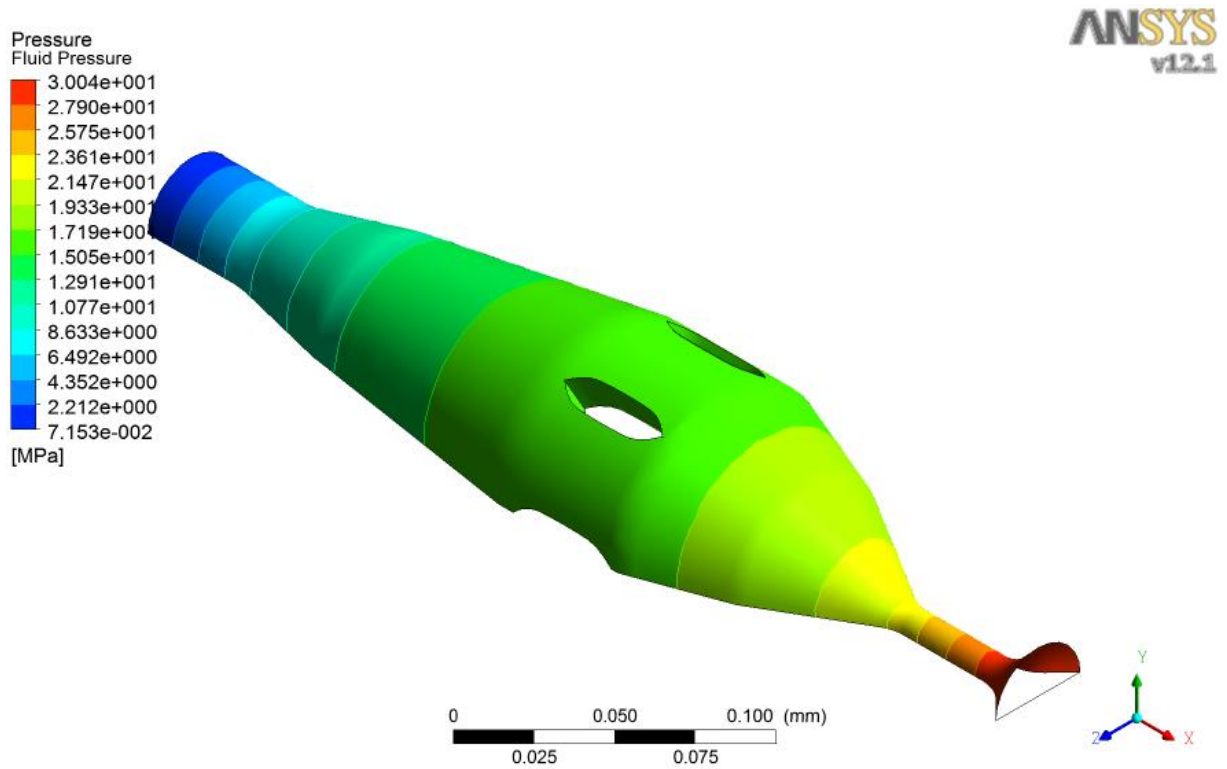
Έτσι, έχουμε αναλυτικά για τις δύο μήτρες εκβολής:

ΑΡΧΙΚΗ ΜΗΤΡΑ ΕΚΒΟΛΗΣ ΕΡΓΑΣΤΗΡΙΟΥ

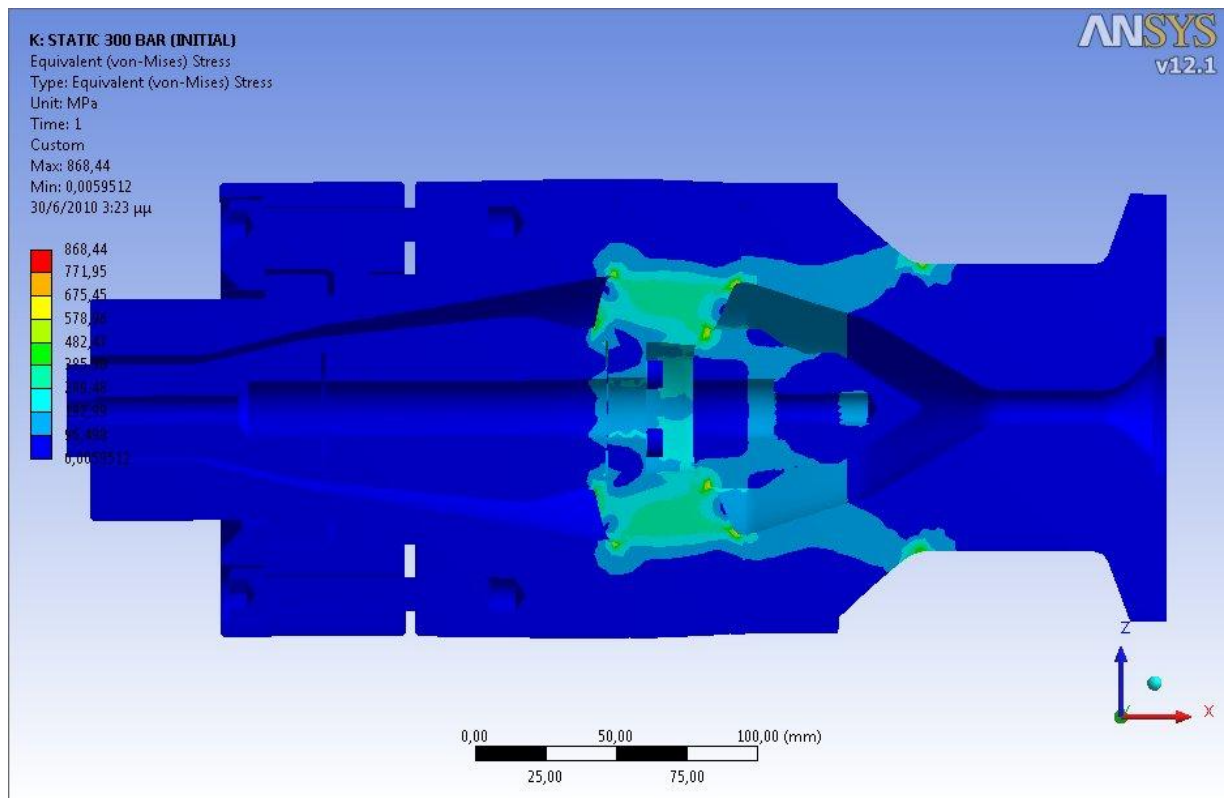
ΑΡΧΙΚΗ ΜΗΤΡΑ				IMPAX	ΟΡΙΟ ΔΙΑΡΡΟΗΣ
100 BAR	ΙΣΟΔΥΝΑΜΗ ΤΑΣΗ	MAX (MPa)	ΑΡΑΧΝΗ ΚΕΦΑΛΗΣ	290,14	896
200 BAR	ΙΣΟΔΥΝΑΜΗ ΤΑΣΗ	MAX (MPa)	ΑΡΑΧΝΗ ΚΕΦΑΛΗΣ	579,45	896
300 BAR	ΙΣΟΔΥΝΑΜΗ ΤΑΣΗ	MAX (MPa)	ΑΡΑΧΝΗ ΚΕΦΑΛΗΣ	868,44	896
400 BAR	ΙΣΟΔΥΝΑΜΗ ΤΑΣΗ	MAX (MPa)	ΑΡΑΧΝΗ ΚΕΦΑΛΗΣ	1157,1	896
500 BAR	ΙΣΟΔΥΝΑΜΗ ΤΑΣΗ	MAX (MPa)	ΑΡΑΧΝΗ ΚΕΦΑΛΗΣ	1446	896
600 BAR	ΙΣΟΔΥΝΑΜΗ ΤΑΣΗ	MAX (MPa)	ΑΡΑΧΝΗ ΚΕΦΑΛΗΣ	1735,3	896

Πίνακας 4.24 Μέγιστες τιμές των ισοδύναμων τάσεων στην αρχική μήτρα

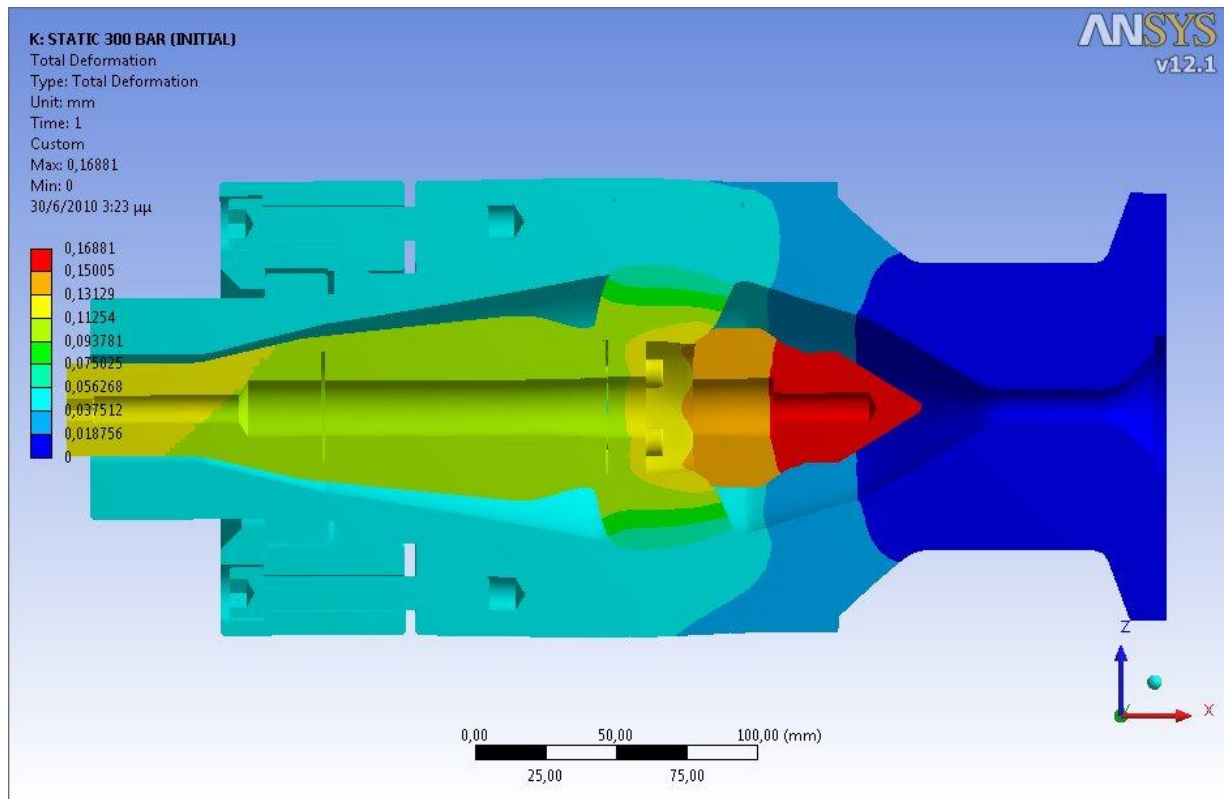
Παρατηρούμε ότι στην αρχική μήτρα εκβολής του εργαστηρίου, η μέγιστη πίεση που μπορεί να δεχθεί από το ρευστό ώστε να μην ξεπερνά η μέγιστη ισοδύναμη τάση των ποδιών της αράχνης το όριο διαρροής είναι τα 300 bar. Αμέσως παρακάτω, παρουσιάζονται οι γραφικές απεικονίσεις των τάσεων και παραμορφώσεων ολόκληρης της μήτρας εκβολής, αλλά και της κεφαλής αράχνης.



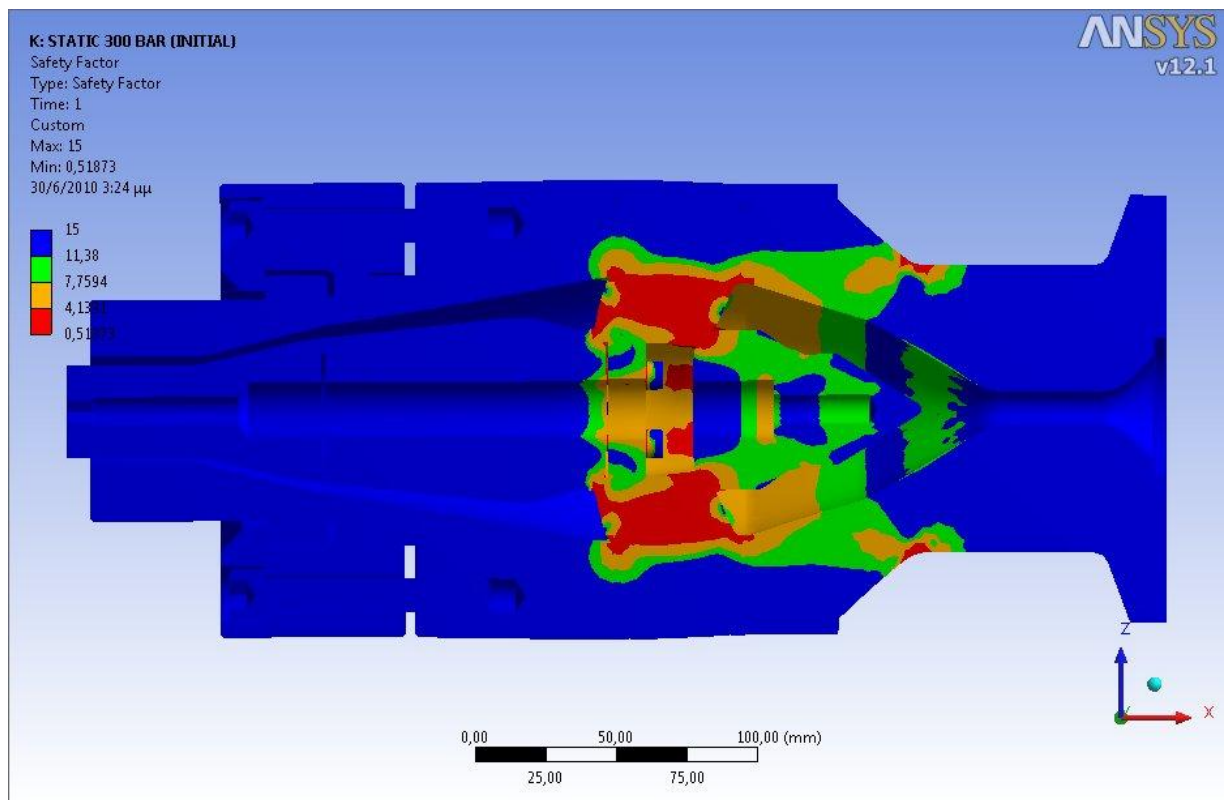
Σχήμα 5.8 Πίεσεις των τοιχωμάτων του ρευστού στην αρχική πίεση των 300 bar



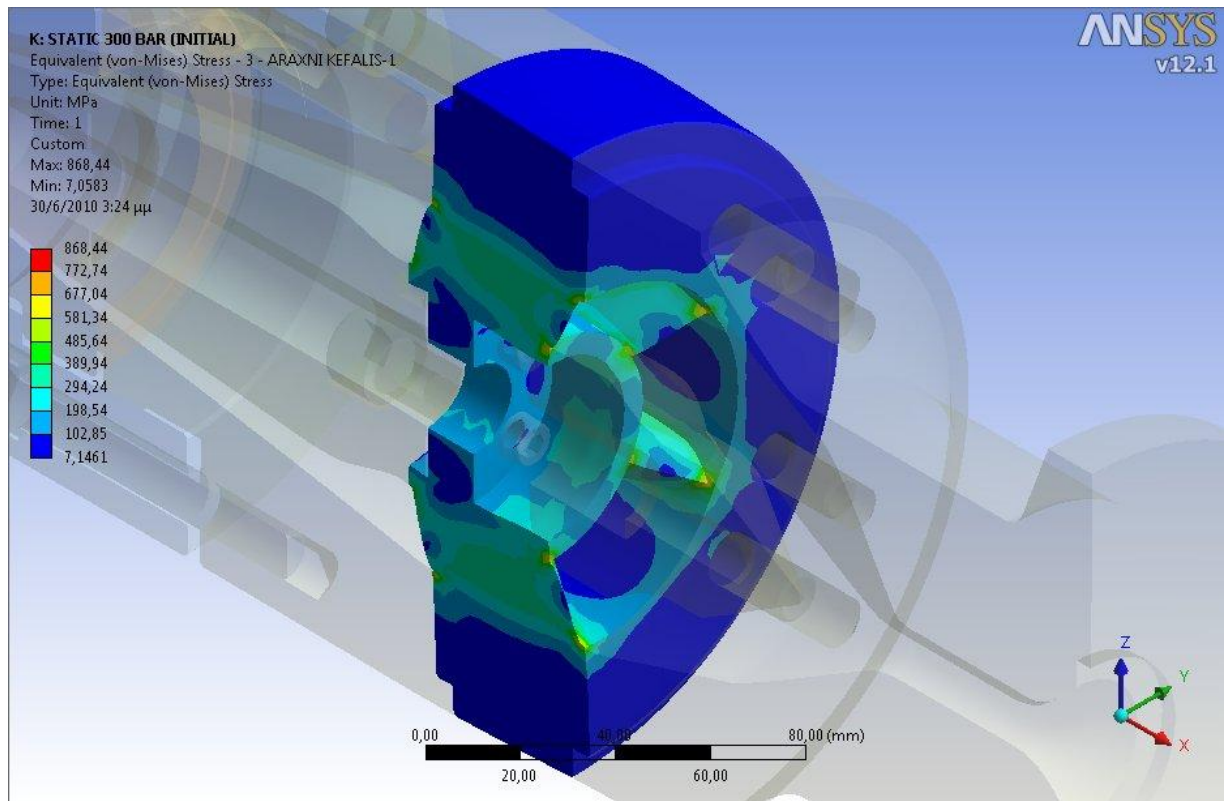
Σχήμα 5.9 Γραφική απεικόνιση της ισοδύναμης τάσης κατά von-Mises στην πίεση των 300 bar



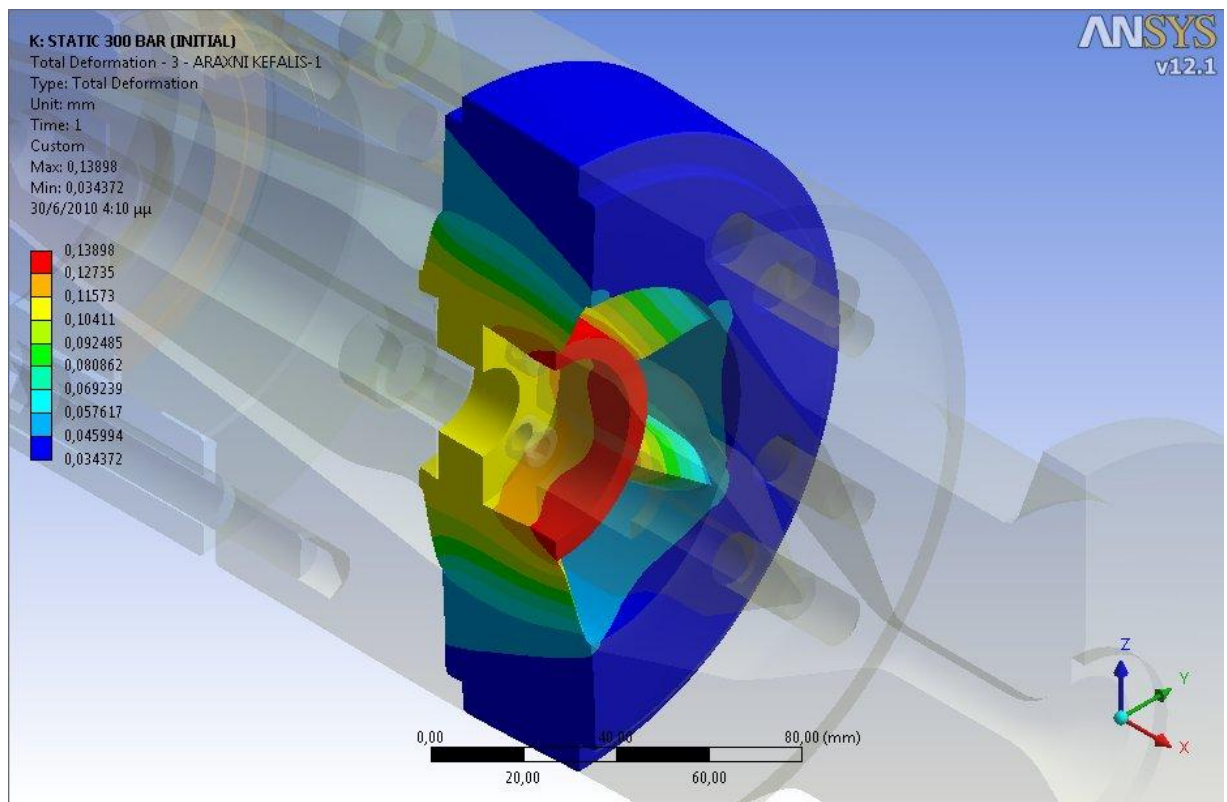
Σχήμα 5.10 Γραφική απεικόνιση της ολικής παραμόρφωσης στην πίεση των 300 bar



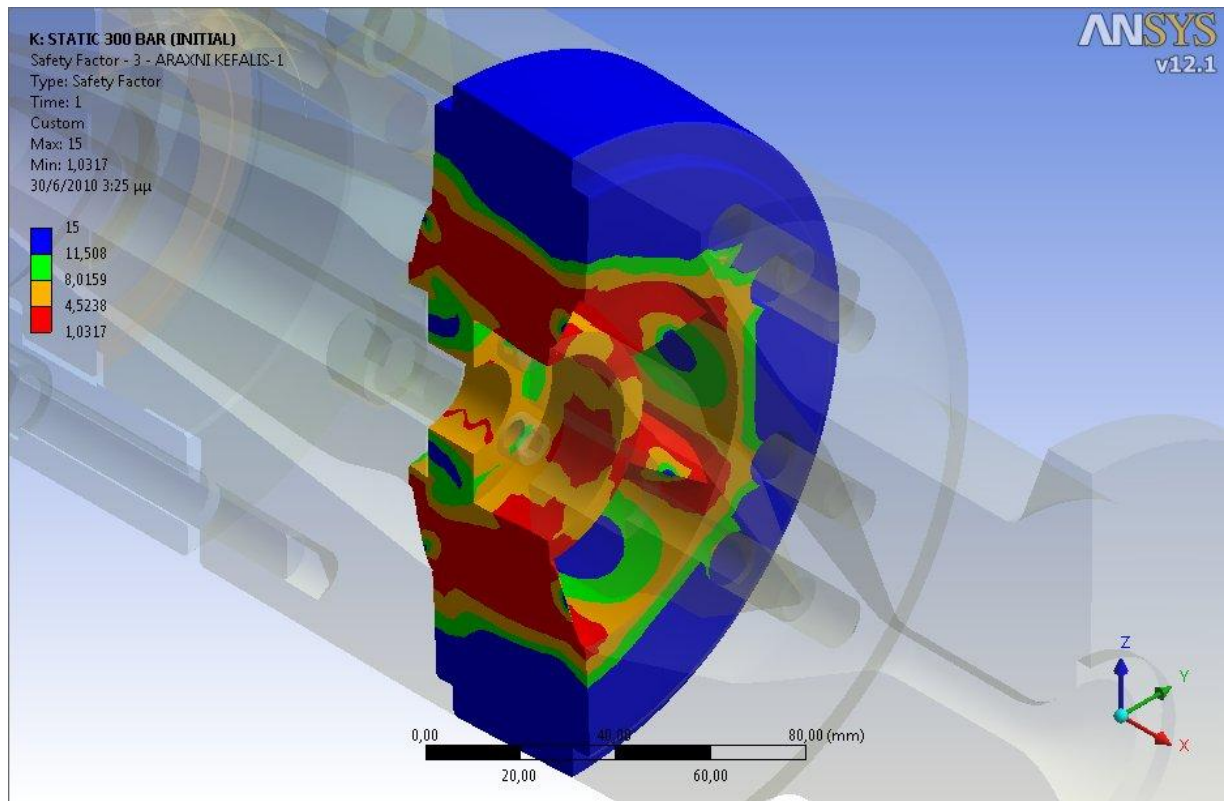
Σχήμα 5.11 Γραφική απεικόνιση του συντελεστή ασφαλείας στην πίεση των 300 bar



Σχήμα 5.12 Γραφική απεικόνιση της ισοδύναμης τάσης κατά von-Mises στην πίεση των 300 bar



Σχήμα 5.13 Γραφική απεικόνιση της ολικής παραμόρφωσης στην πίεση των 300 bar



Σχήμα 5.14 Γραφική απεικόνιση του συντελεστή ασφαλείας στην πίεση των 300 bar

Αμέσως παρακάτω, συγκεντρώνουμε σε ένα πίνακα, τη μέγιστη ισοδύναμη τάση, τη συνολική παραμόρφωση και τον συντελεστή ασφαλείας της μήτρας εκβολής του εργαστηρίου, καθώς και τα τμήματα στα οποία παρουσιάζονται:

		ΑΡΧΙΚΗ ΜΗΤΡΑ			ΙΜΡΑΧ	ΟΡΙΟ ΔΙΑΡΡΟΗΣ
300 BAR	ΣΥΝΟΛΙΚΗ ΜΗΤΡΑ	ΙΣΟΔΥΝΑΜΗ ΤΑΣΗ	MAX (MPa)	ΑΡΑΧΝΗ ΚΕΦΑΛΗΣ	868,44	896
		ΣΥΝΟΛΙΚΗ ΠΑΡΑΜΟΡΦΩΣΗ	MAX (μm)	ΚΩΝΟΣ ΑΡΣΕΝΙΚΟΥ ΚΕΦΑΛΗΣ	168,81	
		ΣΥΝΤΕΛΕΣΤΗΣ ΑΣΦΑΛΕΙΑΣ	MIN	ΑΡΑΧΝΗ ΚΕΦΑΛΗΣ	1,0317	

Πίνακας 4.25 Μέγιστες τιμές τάσεων και παραμορφώσεων στα 300 bar (αρχική μήτρα)

ΒΕΛΤΙΣΤΟΠΟΙΗΜΕΝΗ ΜΗΤΡΑ ΕΚΒΟΛΗΣ

ΒΕΛΤΙΣΤΟΠΟΙΗΜΕΝΗ ΜΗΤΡΑ				ΙΜΡΑΧ	ΟΡΙΟ ΔΙΑΡΡΟΗΣ
100 BAR	ΙΣΟΔΥΝΑΜΗ ΤΑΣΗ	MAX (MPa)	ΑΡΑΧΝΗ ΚΕΦΑΛΗΣ	776,81	896
200 BAR	ΙΣΟΔΥΝΑΜΗ ΤΑΣΗ	MAX (MPa)	ΑΡΑΧΝΗ ΚΕΦΑΛΗΣ	1548,5	896
300 BAR	ΙΣΟΔΥΝΑΜΗ ΤΑΣΗ	MAX (MPa)	ΑΡΑΧΝΗ ΚΕΦΑΛΗΣ	2315,6	896
400 BAR	ΙΣΟΔΥΝΑΜΗ ΤΑΣΗ	MAX (MPa)	ΑΡΑΧΝΗ ΚΕΦΑΛΗΣ	3080,6	896
500 BAR	ΙΣΟΔΥΝΑΜΗ ΤΑΣΗ	MAX (MPa)	ΑΡΑΧΝΗ ΚΕΦΑΛΗΣ	3849,1	896
600 BAR	ΙΣΟΔΥΝΑΜΗ ΤΑΣΗ	MAX (MPa)	ΑΡΑΧΝΗ ΚΕΦΑΛΗΣ	4618,4	896

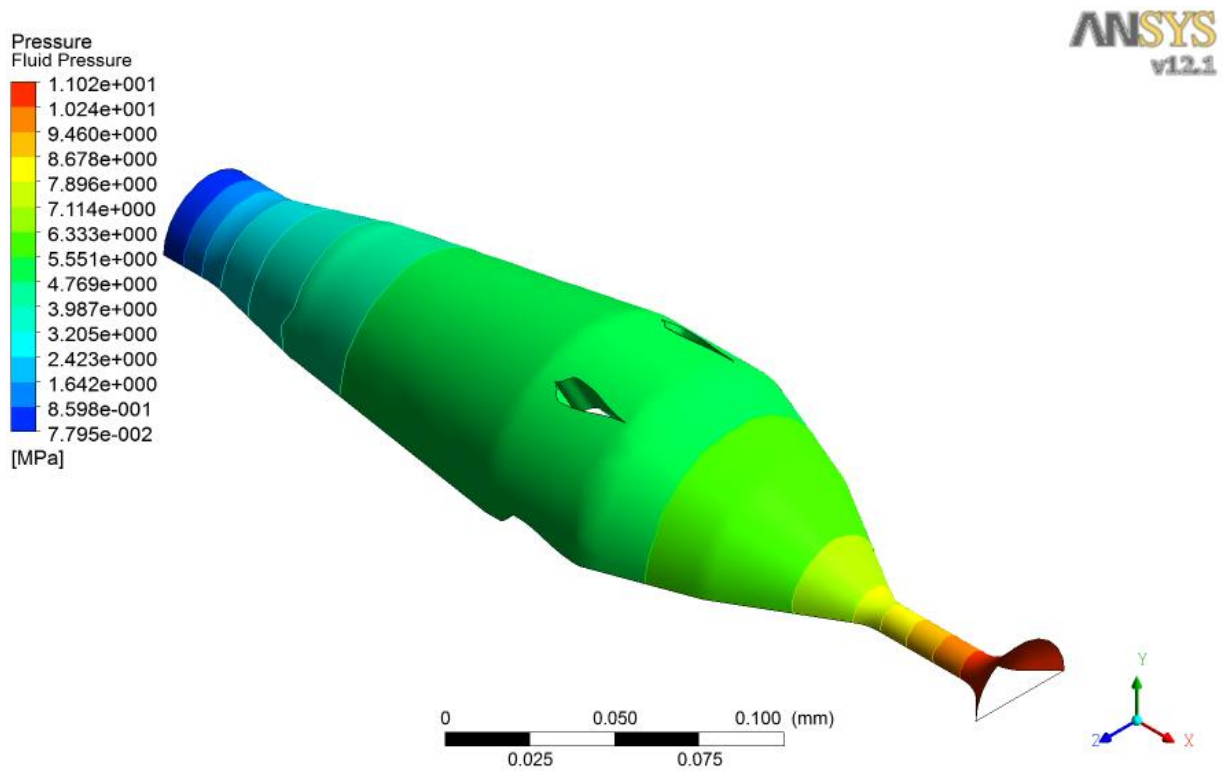
Πίνακας 4.26 Μέγιστες τιμές των ισοδύναμων τάσεων στην βελτιστοποιημένη μήτρα

Παρατηρούμε ότι στη βελτιστοποιημένη μήτρα εκβολής, η μέγιστη πίεση που μπορεί να δεχθεί από το ρευστό ώστε να μην ξεπερνά η μέγιστη ισοδύναμη τάση των ποδιών της αράχνης το όριο διαρροής είναι τα 100 bar. Παρατηρούμε όμως ότι υπάρχει μια διαφορά περίπου των 100 MPa από το όριο διαρροής του υλικού όποτε με δοκιμές στο ANSYS Workbench ότι η μέγιστη πίεση που μπορεί να δεχθεί η βελτιστοποιημένη μήτρα εκβολής είναι τα 110 bar, και στον επόμενο πίνακα παραθέτουμε συγκεντρωτικά τις τιμές των ισοδύναμων τάσεων και παραμορφώσεων για τα τμήματα που μας ενδιαφέρουν.

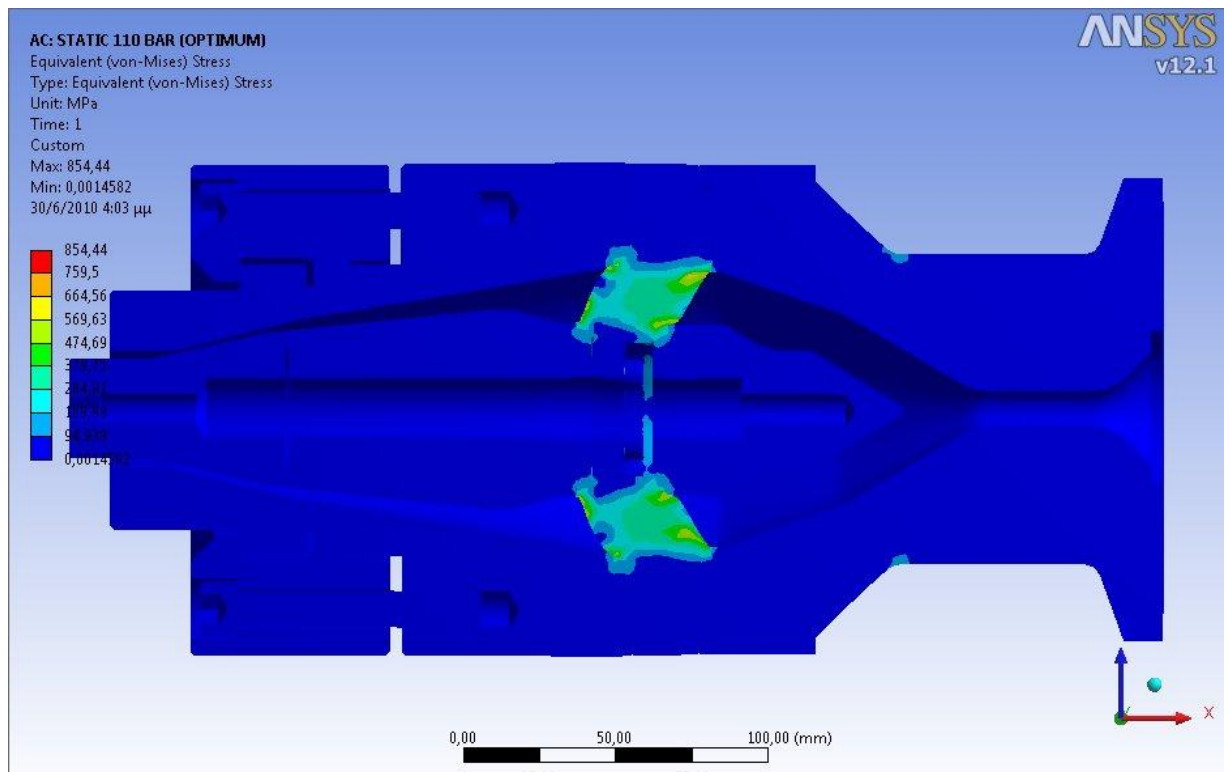
ΒΕΛΤΙΣΤΟΠΟΙΗΜΕΝΗ ΜΗΤΡΑ					ΙΜΡΑΧ
110 BAR	ΣΥΝΟΛΙΚΗ ΜΗΤΡΑ	ΙΣΟΔΥΝΑΜΗ ΤΑΣΗ	MAX (MPa)	ΑΡΑΧΝΗ ΚΕΦΑΛΗΣ	845,44
		ΣΥΝΟΛΙΚΗ ΠΑΡΑΜΟΡΦΩΣΗ	MAX (μm)	ΚΩΝΟΣ ΑΡΣΕΝΙΚΟΥ ΚΕΦΑΛΗΣ	104,16
	ΑΡΑΧΝΗ ΚΕΦΑΛΗΣ	ΙΣΟΔΥΝΑΜΗ ΤΑΣΗ	MAX (MPa)		845,44
		ΣΥΝΟΛΙΚΗ ΠΑΡΑΜΟΡΦΩΣΗ	MAX (μm)		94,362
	ΚΩΝΟΣ ΑΡΣΕΝΙΚΟΥ ΚΕΦΑΛΗΣ	ΙΣΟΔΥΝΑΜΗ ΤΑΣΗ	MAX (MPa)		260,38
		ΣΥΝΟΛΙΚΗ ΠΑΡΑΜΟΡΦΩΣΗ	MAX (μm)		104,16
	ΛΑΙΜΟΣ ΚΕΦΑΛΗΣ	ΙΣΟΔΥΝΑΜΗ ΤΑΣΗ	MAX (MPa)		201,12
		ΣΥΝΟΛΙΚΗ ΠΑΡΑΜΟΡΦΩΣΗ	MAX (μm)		16,602

Πίνακας 4.27 Μέγιστες τιμές τάσεων και παραμορφώσεων στα 110 bar (βελτιστοποιημένη μήτρα)

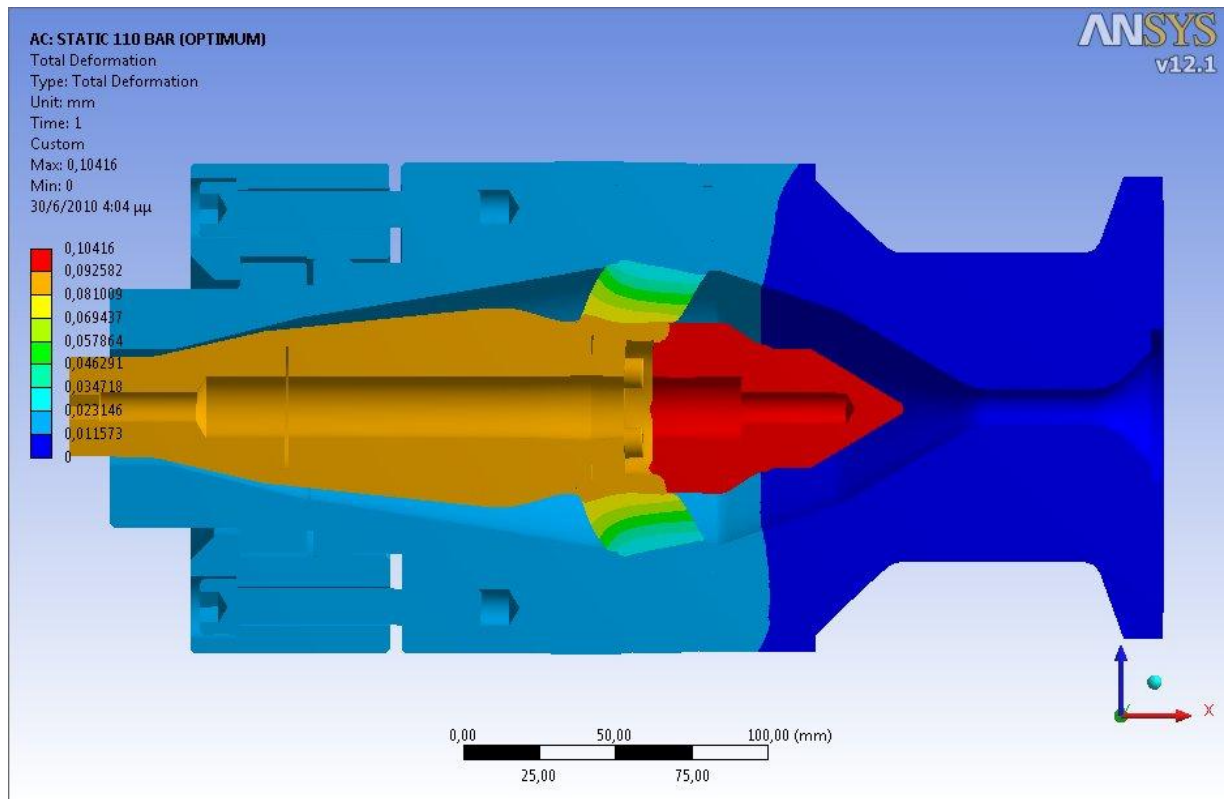
Αμέσως παρακάτω, παρουσιάζονται οι γραφικές απεικονίσεις των τάσεων και παραμορφώσεων ολόκληρης της μήτρας εκβολής, αλλά και της κεφαλής αράχνης.



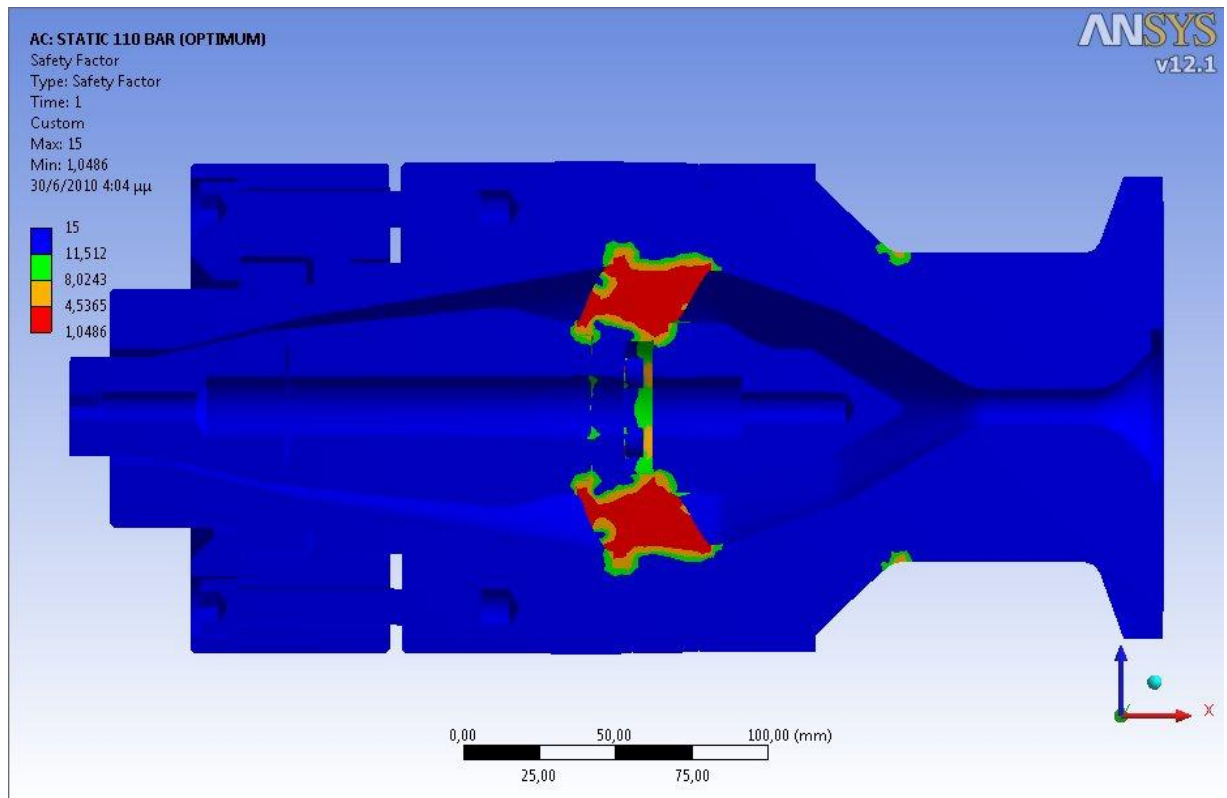
Σχήμα 5.15 Πιέσεις των τοιχωμάτων του ρευστού στην αρχική πίεση των 110 bar



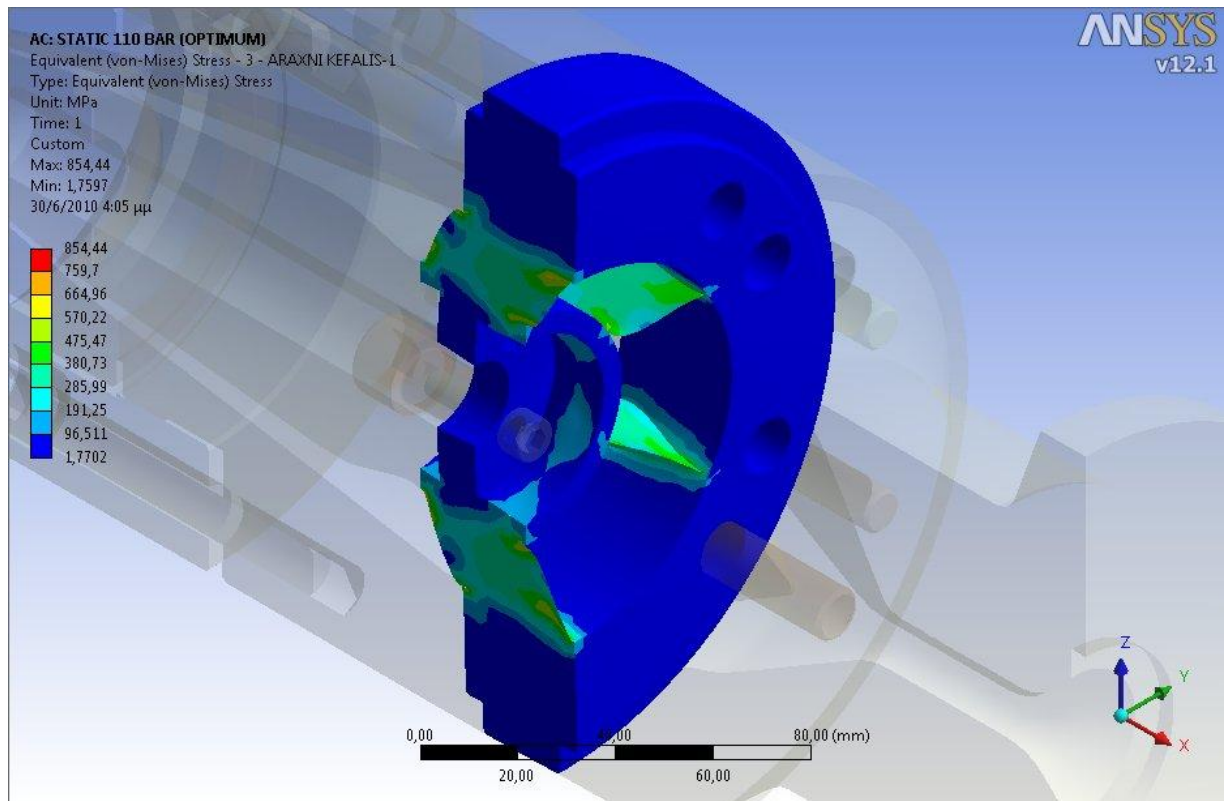
Σχήμα 5.16 Γραφική απεικόνιση της ισοδύναμης τάσης κατά von-Mises στην πίεση των 110 bar



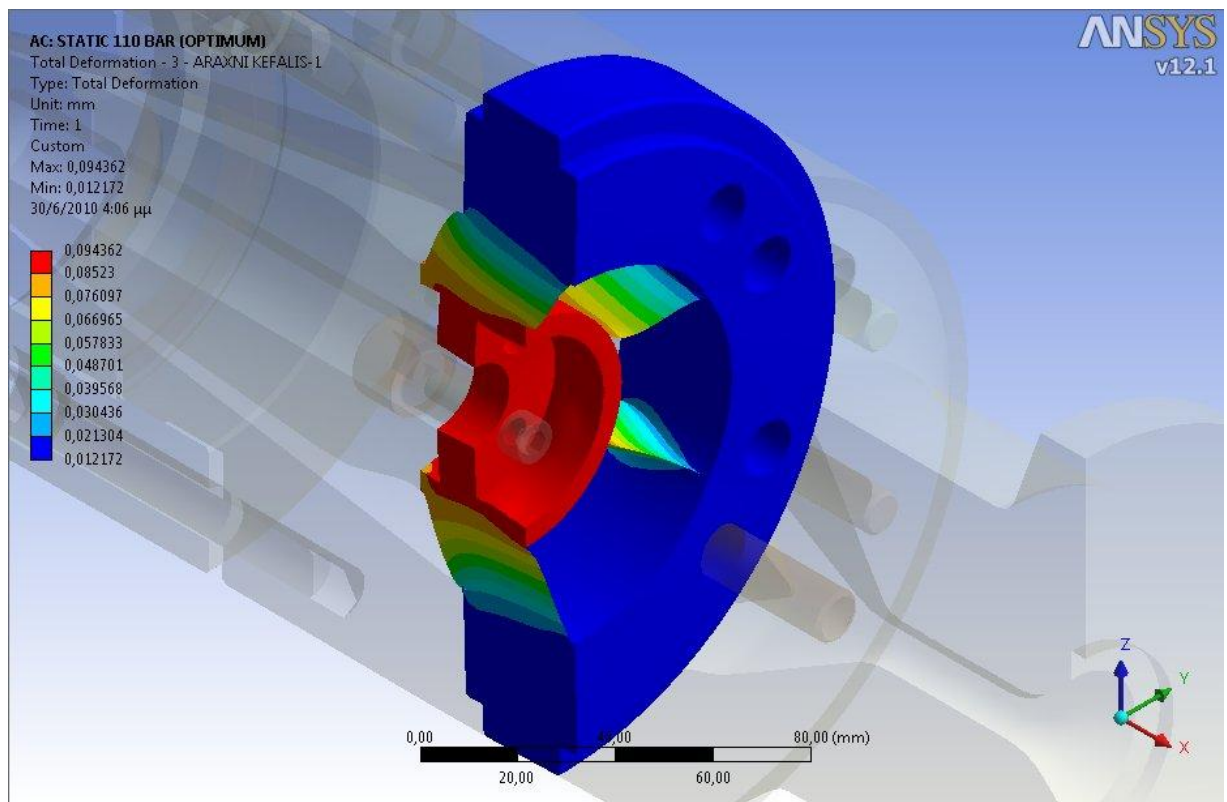
Σχήμα 5.17 Γραφική απεικόνιση της ολικής παραμόρφωσης στην πίεση των 110 bar



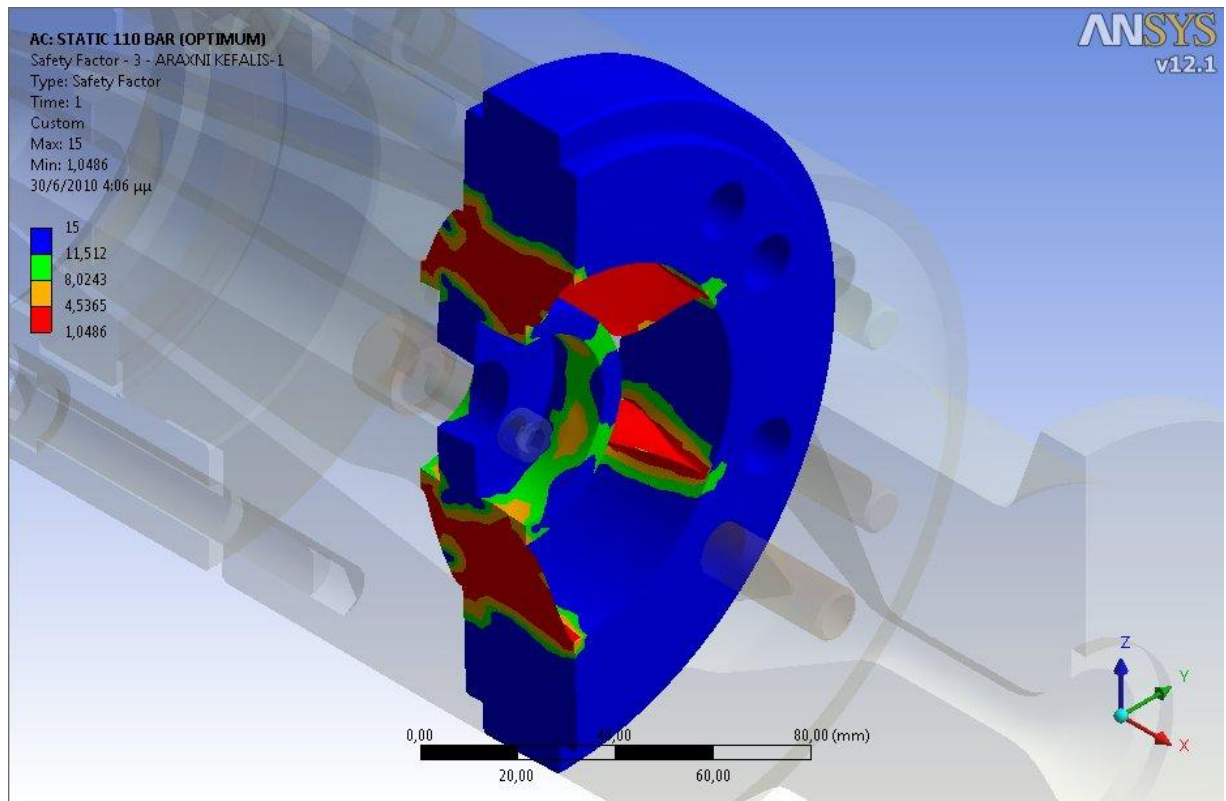
Σχήμα 5.18 Γραφική απεικόνιση του συντελεστή ασφαλείας στην πίεση των 110 bar



Σχήμα 5.19 Γραφική απεικόνιση της ισοδύναμης τάσης κατά von-Mises στην πίεση των 300 bar



Σχήμα 5.20 Γραφική απεικόνιση της ολικής παραμόρφωσης στην πίεση των 110 bar



Σχήμα 5.21 Γραφική απεικόνιση του συντελεστή ασφαλείας στην πίεση των 110 bar

Αμέσως παρακάτω, συγκεντρώνουμε σε ένα πίνακα, τη μέγιστη ισοδύναμη τάση, τη συνολική παραμόρφωση και τον συντελεστή ασφαλείας της μήτρας εκβολής του εργαστηρίου, καθώς και τα τμήματα στα οποία παρουσιάζονται:

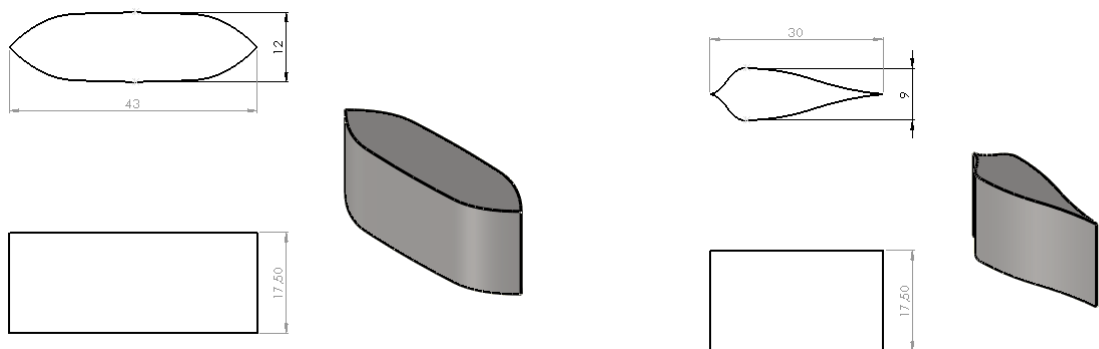
		ΒΕΛΤΙΣΤΟΠΟΙΗΜΕΝΗ ΜΗΤΡΑ			ΙΜΡΑΧ	ΟΡΙΟ ΔΙΑΡΡΟΗΣ
110 BAR	ΣΥΝΟΛΙΚΗ ΜΗΤΡΑ	ΙΣΟΔΥΝΑΜΗ ΤΑΣΗ	MAX (MPa)	ΑΡΑΧΝΗ ΚΕΦΑΛΗΣ	845,44	896
		ΣΥΝΟΛΙΚΗ ΠΑΡΑΜΟΡΦΩΣΗ	MAX (μm)	ΚΩΝΟΣ ΑΡΣΕΝΙΚΟΥ ΚΕΦΑΛΗΣ	104,16	
		ΣΥΝΤΕΛΕΣΤΗΣ ΑΣΦΑΛΕΙΑΣ	MIN	ΑΡΑΧΝΗ ΚΕΦΑΛΗΣ	1,0486	

Πίνακας 4.28 Μέγιστες τιμές τάσεων και παραμορφώσεων στα 110 bar (βελτιστοποιημένη μήτρα)

5.4 ΣΥΜΠΕΡΑΣΜΑΤΑ

Από την ανάλυση των αποτελεσμάτων της προηγούμενης παραγράφου συμπεραίνουμε ότι η βελτιστοποιημένη μήτρα εκβολής παρουσιάζει μικρότερη αντοχή σε υψηλές πιέσεις σε σχέση με την αρχική μήτρα εκβολής του εργαστηρίου. Όπως εξάλλου παρατηρήσαμε, η μέγιστη πίεση του ρευστού που αντέχει η βελτιστοποιημένη μήτρα είναι τα 110 bar, ενώ αντίστοιχα η μήτρα του εργαστηρίου αντέχει και στα 300 bar πίεσης.

Αυτό είναι φυσιολογικό, γιατί τα πόδια της αράχνης της βελτιστοποιημένης μήτρας είναι λεπτότερα και μικρότερα σε μήκος, σε σχέση με τη μήτρα του εργαστηρίου, ενώ και το σχήμα της καμπύλης spline δημιουργεί προβλήματα αντοχής, όπως φαίνεται στο παρακάτω σχήμα:



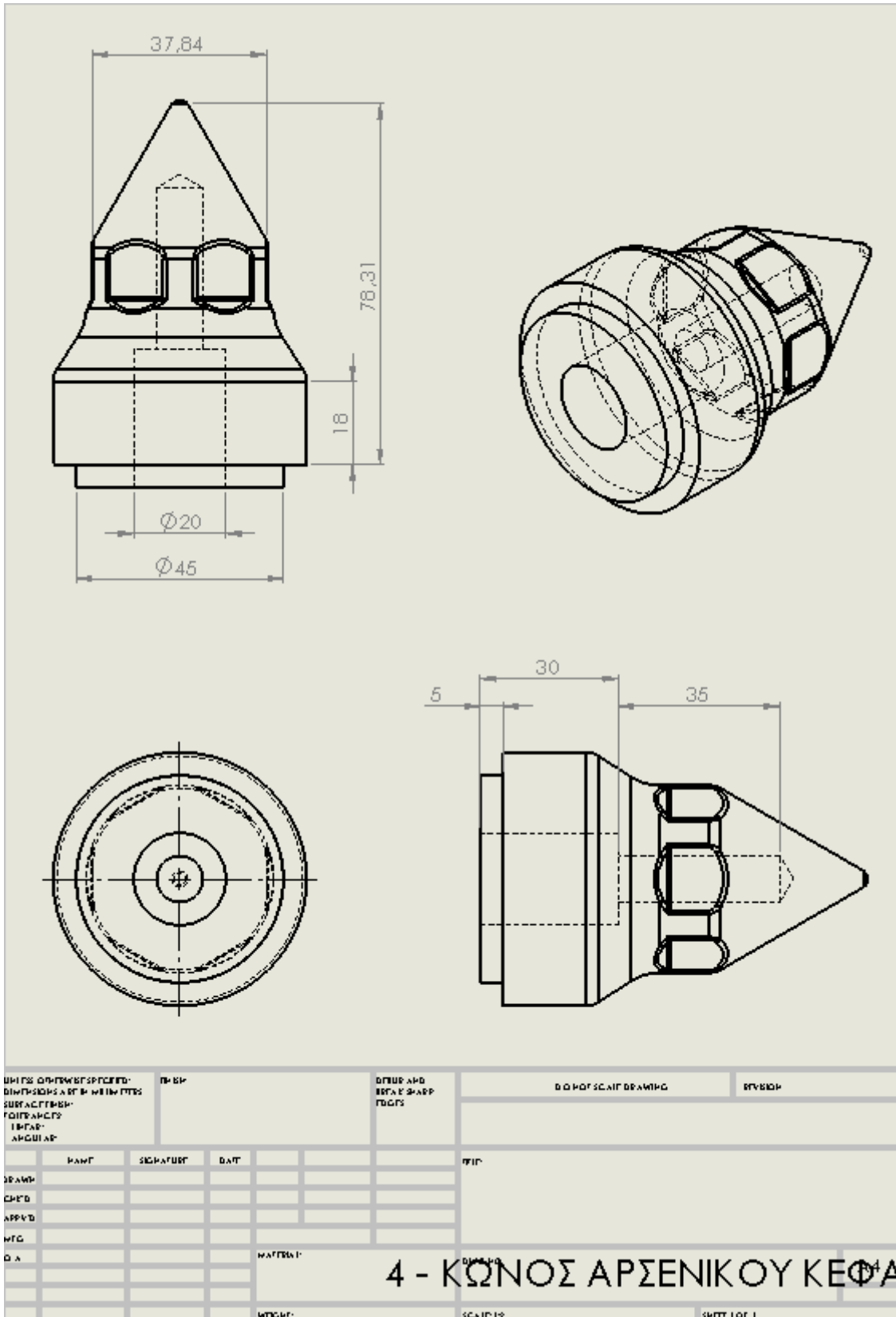
(α) Μήτρα εργαστηρίου

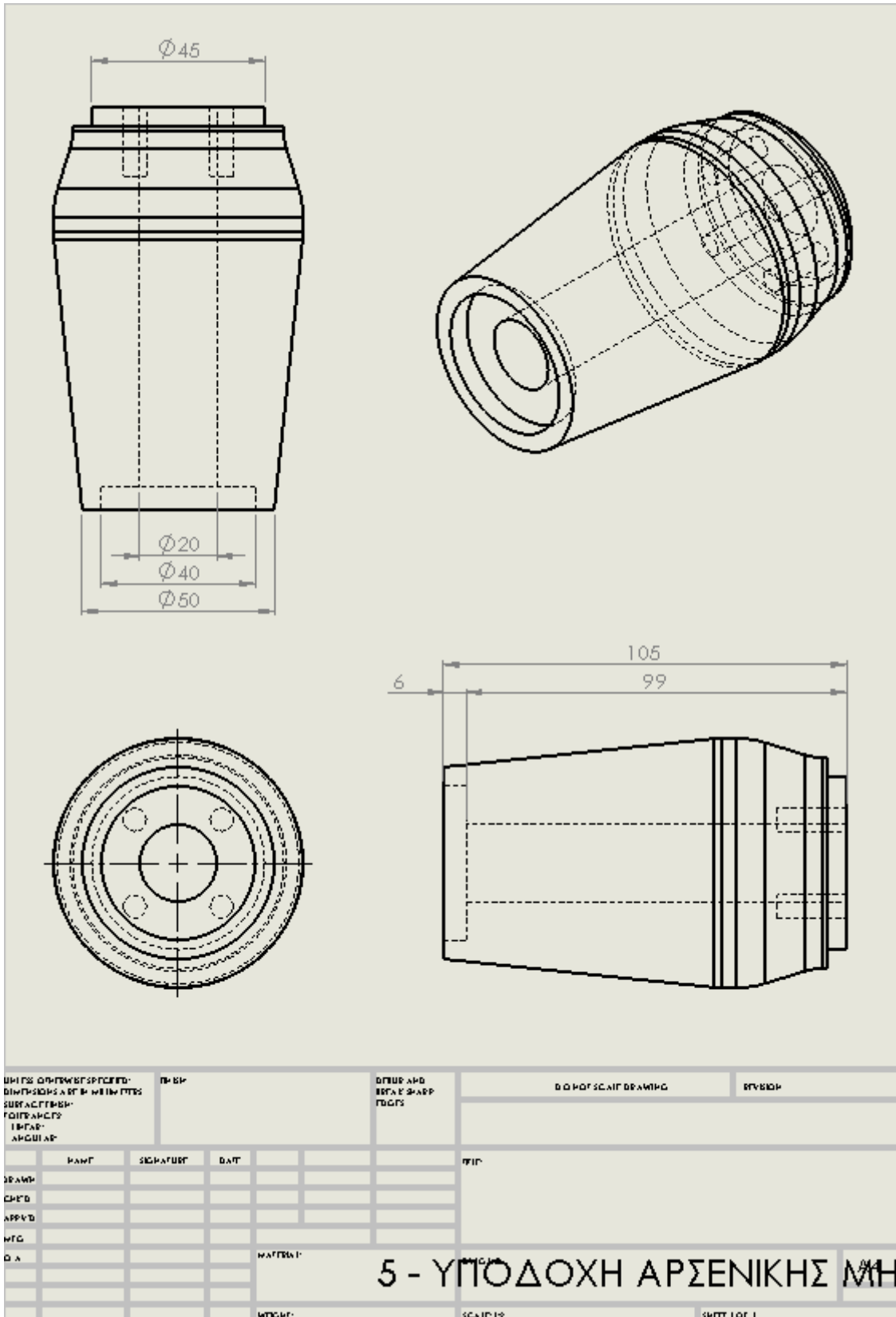
(β) Βελτιστοποιημένη μήτρα

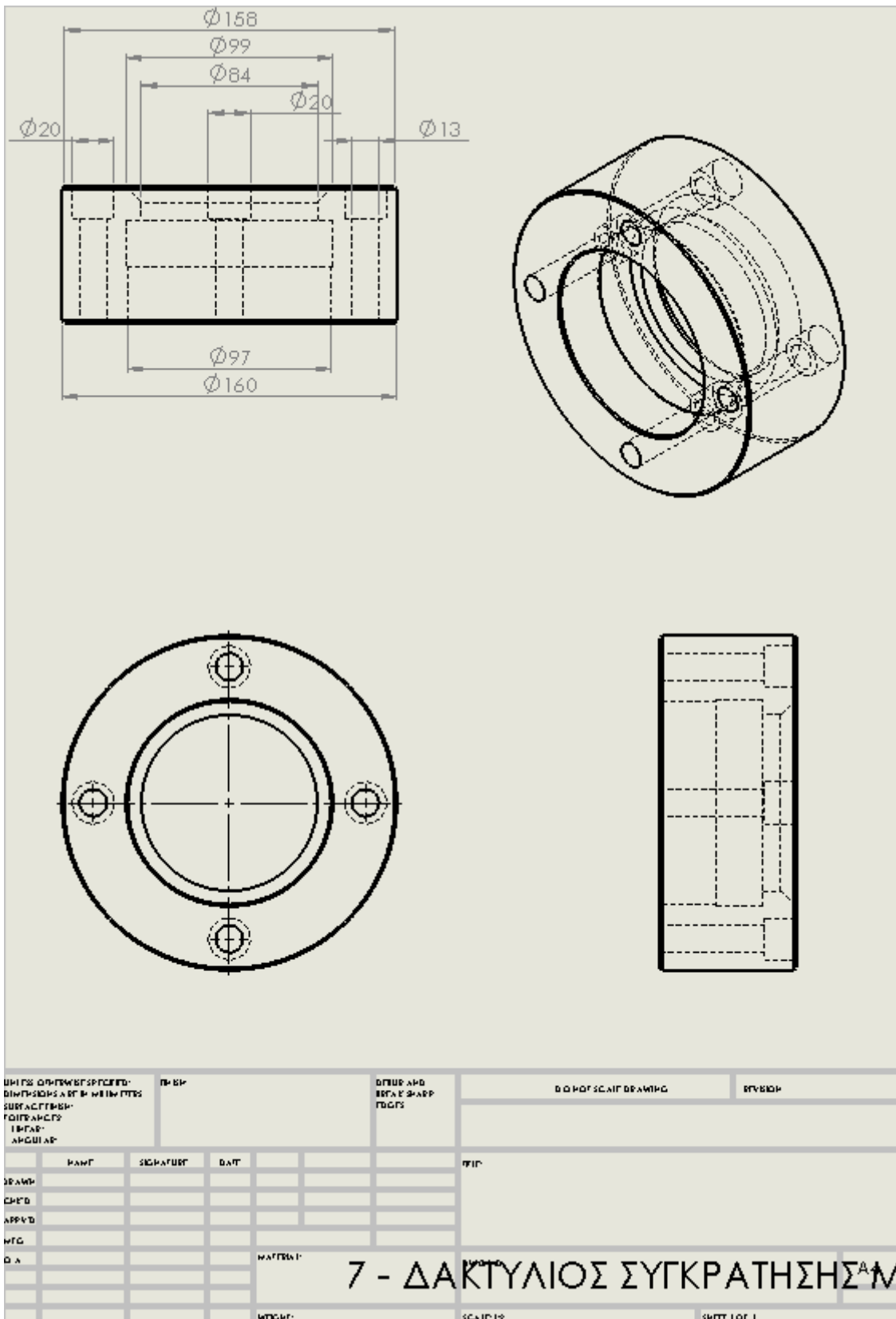
Σχήμα 5.22 (α), (β) Σύγκριση μεταξύ των ποδιών της αράχνης των δύο μητρών εκβολής

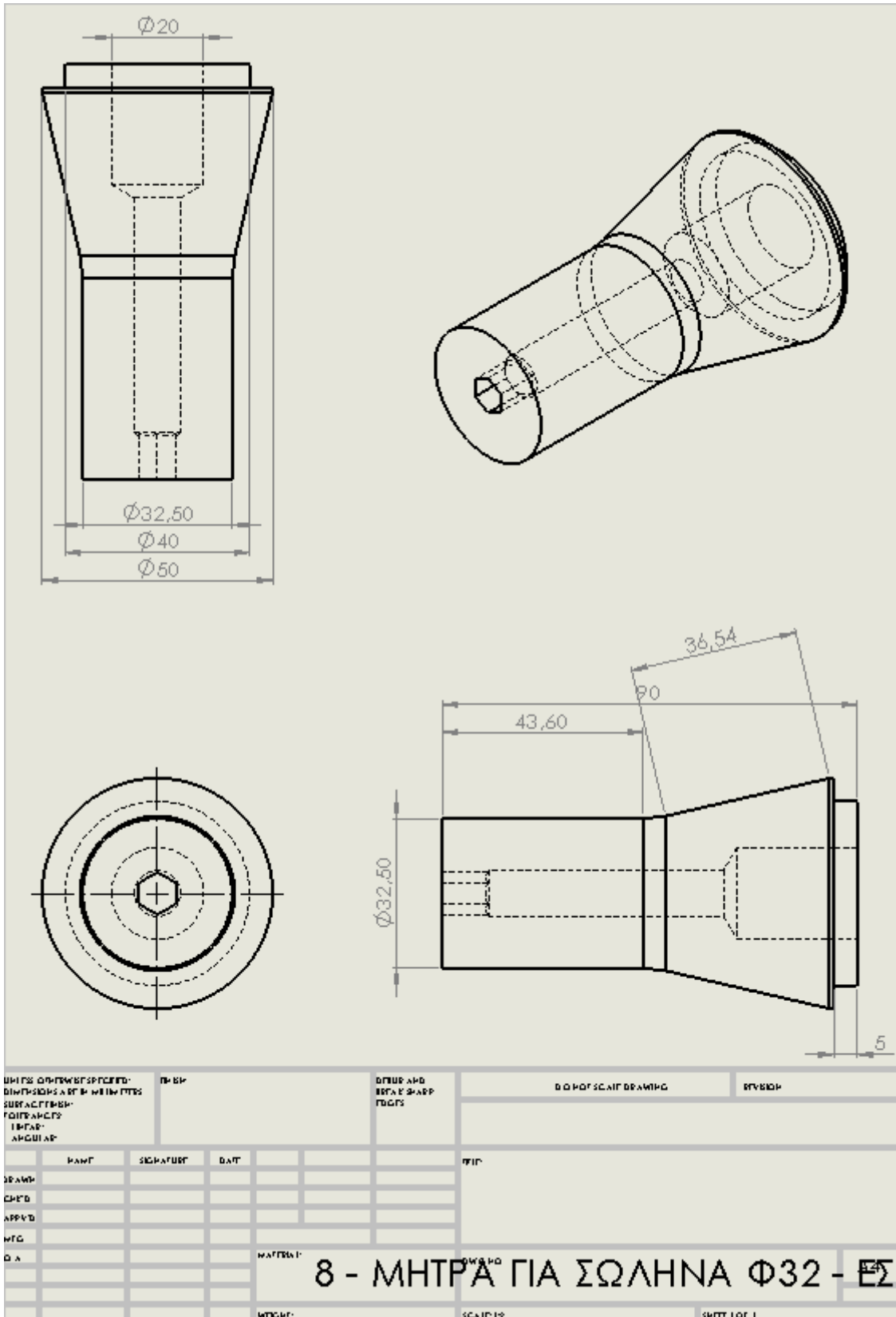
Αξίζει να παρατηρήσουμε ότι οι τυπικές πιέσεις που δίνονται από τη βιομηχανία είναι από 80 έως 100 bar για το πολυαιθυλένιο και το πολυπροπυλένιο για μήτρες εκβολής σωληνών Φ32 – Φ100. Επίσης, αποφεύγονται οι υψηλές πιέσεις, ώστε να μην δημιουργούνται προβλήματα στους εκβολείς αλλά και για να επιτυγχάνεται ομαλοποιημένη ροή.

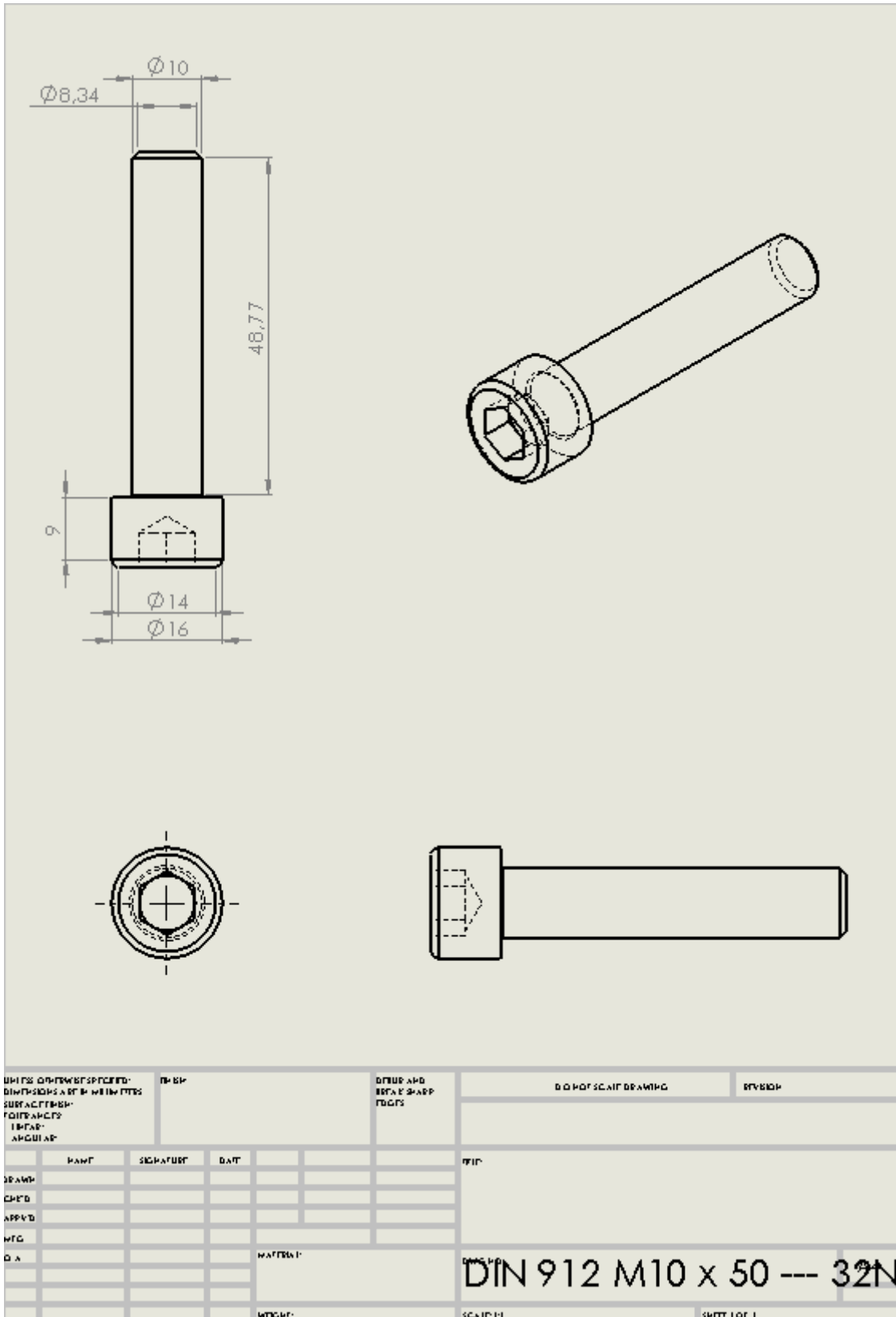
Τέλος, συμπεραίνουμε ότι θα ήταν σωστό για τη βελτιστοποίηση της μήτρας εκβολής, στην αντικειμενική συνάρτηση να εισαχθεί ένας περιοριστικός παράγοντας, ο οποίος θα είναι η αντοχή της μήτρας στις πιέσεις.

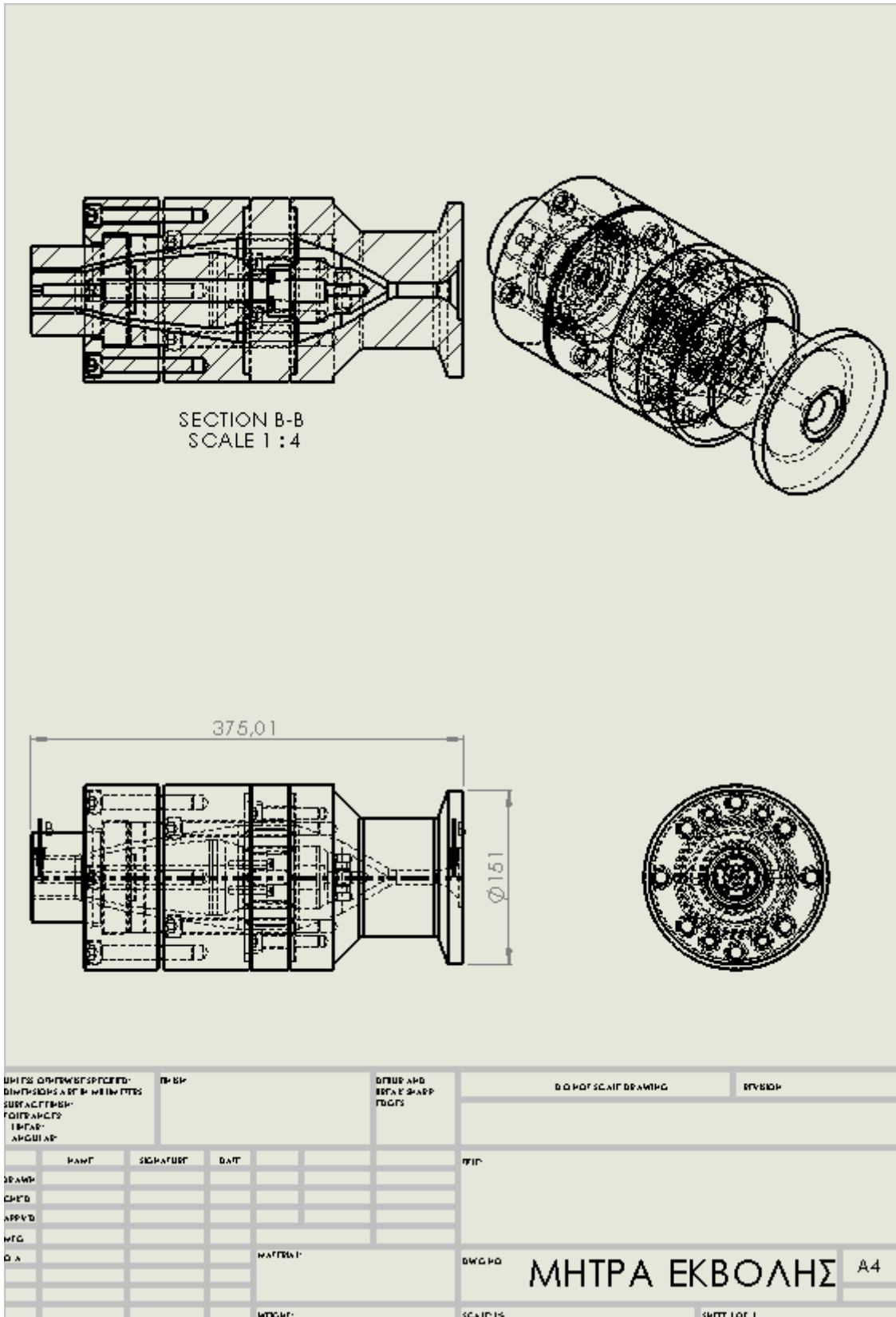








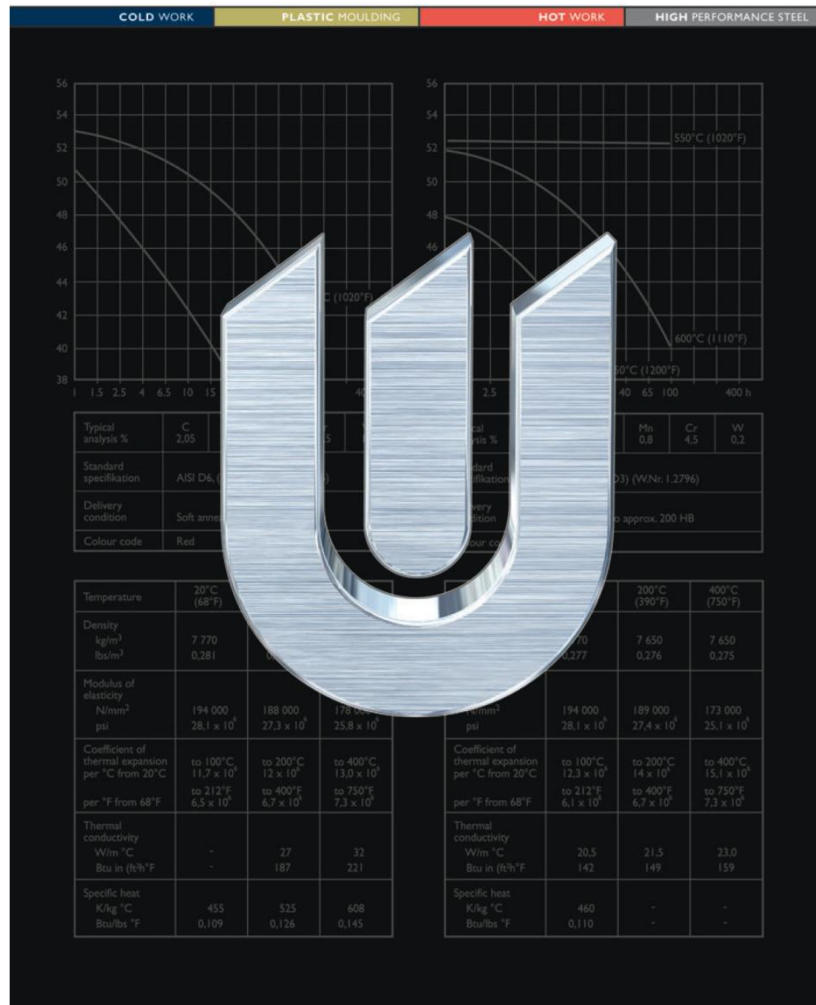




ΠΑΡΑΡΤΗΜΑ Β: ΑΝΑΛΥΤΙΚΕΣ ΙΔΙΟΤΗΤΕΣ ΧΑΛΥΒΑ IMPAX

IMPAX[®] SUPREME

Prehardened mould steel



General

Impax Supreme is a premium-quality vacuum-degassed Cr-Ni-Mo-alloyed steel which is supplied in the hardened and tempered condition, offering the following benefits:

- No hardening risks
- No hardening costs
- Time saving, e.g. no waiting for heat treatment
- Lower tool cost (e.g. no distortion to rectify)
- Modifications easily carried out
- Can be subsequently nitrided to increase surface wear resistance or locally flame hardened to reduce surface damage.

Impax Supreme is manufactured to consistently high quality standards with a very low sulphur content, giving a steel with the following characteristics:

- Good polishing and photo-etching properties
- Good machinability
- High purity and good homogeneity
- Uniform hardness

Note: Impax Supreme is 100% ultrasonic tested.

Heavier sections are supplied premachined which offers the following advantages compared with un-machined material:

- Saving of weight
- Non-decarburized surface
- Exact nominal size (plus tolerance)
- Less machining
- Absence of scale minimizes machine and tool wear

Approx. analysis %	C	Si	Mn	Cr	Ni	Mo	S
	0,37	0,3	1,4	2,0	1,0	0,2	<0,010
Standard spec.	AISI P20 modified						
Delivery condition	Hardened and tempered to 290–330 HB						
Colour code	Yellow/green						



Applications

- Injection moulds for thermoplastics
- Extrusion dies for thermoplastics
- Blow moulds
- Forming tools, press-brake dies (possibly flame hardened or nitrided)
- Aluminium die casting prototype dies
- Structural components, shafts

Properties

PHYSICAL DATA

Hardened and tempered to 310 HB.

Temperature	20°C (68°F)	200°C (390°F)
Density, kg/m ³ lbs/in ³	7 800 0,282	7 750 0,280
Coefficient of thermal expansion per °C from 20° per °F from 68°F	– –	12,7 x 10 ⁻⁶ 7,0 x 10 ⁻⁶
Thermal conductivity W/m °C Btu in/ft ² h °F	29 202	30 205
Modulus of elasticity N/mm ² tsi psi	205 000 13 280 29,7 x 10 ⁶	200 000 12 960 29,0 x 10 ⁶
Specific heat capacity J/kg °C Btu/lb°F	460 0,110	– –

MECHANICAL PROPERTIES

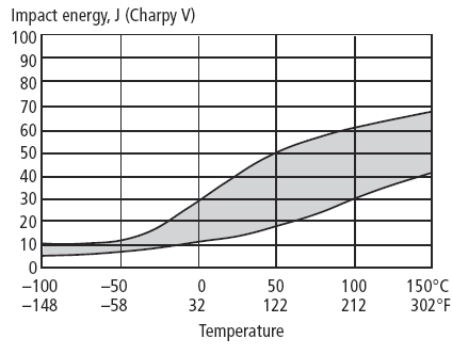
Impact strength, tensile strength and the compressive strength depends on the hardness in the delivered condition.

Impact strength

The energy absorption at impact testing depends on the test material (bar size and delivered hardness), testing temperature and the specimen (type, location, and orientation in the bar).

IMPAX SUPREME

The graph below shows how the impact energy changes as a function of the test temperature and hardness variation within the delivery hardness range.

**Tensile strength**

Approx. values. Samples were taken from a flat bar, 90 x 300 mm (3,5" x 11,8"). Hardness: 325 HB.

Testing temperature	20°C (68°F)	200°C (390°F)
Ultimate tensile strength R_m N/mm ²	1020	930
Yield strength $R_{p0,2}$ N/mm ²	900	800

Compressive strength

Compressive yield strength $R_{c0,2}$ N/mm ²	850–1000
---	----------

*Large mould to produce laundry-baskets.
Suitable grade for this moulding tool is Impax Supreme.*

Heat treatment

Impax Supreme is intended for use in the hardened and tempered condition, i.e. the delivery condition. When, however, the steel is to be heat treated to a higher hardness or case hardened, the following instructions may be helpful.

SOFT ANNEALING

Protect the steel and heat through to 700°C (1300°F). Then cool in the furnace at 10°C (50°F) per hour to 600°C (1110°F), then freely in air.

STRESS-RELIEVING

After rough machining the tool should be heated through to 550°C (1020°F), holding time 2 hours. Cool slowly to room temperature.

HARDENING

Note: The steel should be fully soft annealed before hardening.

Preheating temperature: 500–600°C (930–1110°F).

Austenitizing temperature: 850°C (1560°F).

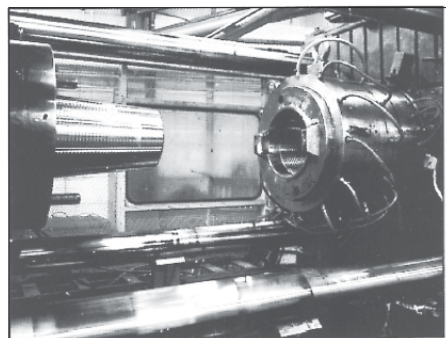
The steel should be heated through to the austenitizing temperature and held at temperature for 30 minutes.

Protect the tool against decarburization and oxidation during the hardening process.

QUENCHING MEDIA

- High speed gas/circulating atmosphere. (Only suitable for small dimensions)
- Oil (60–80°C/140–175°F)
- Martempering bath 300°C (570°F) max. 4 minutes, then air.

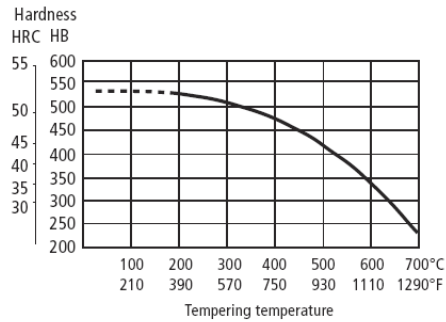
Note: Temper immediately tool reaches 50–70°C (120–160°F).



TEMPERING GRAPH

Choose the tempering temperature according to the hardness required by reference to the tempering graph. Temper twice with intermediate cooling to room temperature. Lowest tempering temperature 180°C (360°F) for small inserts, but preferred minimum is 250°C (480°F). Holding time at temperature minimum 2 hours.

The diagram is valid for small samples 15 x 15 x 40 mm (0,6 x 0,6 x 1,6 in.) austenitized 30 min. at 850°C (1560°F), quenched in air and tempered 2 + 2 hours.

**FLAME AND INDUCTION HARDENING**

Impax Supreme can be flame or induction hardened to a hardness of approx. 50 HRC. Cooling in air is preferable.

Further information can be obtained from the Uddeholm Technical Services Report "Flame-hardening of Impax Supreme".

NITRIDING AND NITROCARBURIZING

Nitriding gives a hard surface which is very resistant to wear and erosion. A nitrided surface also increases the corrosion resistance.

For best result the following steps should be followed:

1. Rough machining
2. Stress tempering at 550°C (1020°F)
3. Grinding
4. Nitriding.

Following surface hardness and nitriding depths will be achieved after nitriding:

	Temperature		Time h	Surface hardness HV ₁	Depth of case,	
	°C	°F			mm	inch
Gas nitriding	525	977	20	650	0,30	0,012
	525	977	30	650	0,35	0,013
Ion-nitriding	480	896	24	700	0,30	0,012
	480	896	48	700	0,40	0,016
Nitrocarburizing	570	1058	2	700	0,10	0,004

Machining recommendations

The cutting data below are to be considered as guiding values which must be adapted to existing local conditions. More information can be found in our technical information "Cutting data recommendations".

TURNING

Cutting data parameters	Turning with carbide		Turning with high speed steel Fine turning
	Rough turning	Fine turning	
Cutting speed (v _c) m/min. f.p.m.	120–170 394–558	170–220 558–722	15–20 49–66
Feed (f) mm/r i.p.r.	0,2–0,4 0,008–0,016	0,05–0,2 0,002–0,008	0,05–0,3 0,002–0,012
Depth of cut (a _p) mm inch	2–4 0,08–0,16	0,5–2 0,02–0,08	0,5–3 0,02–0,12
Carbide designation, ISO	P20–P30 Coated carbide	P10 Coated carbide or Cermet	–

DRILLING**High speed steel twist drill**

Drill diameter	Cutting speed (v _c)		Feed (f)	
	mm	inch	m/min	f.p.m.
–5	–3/16	14–16*	46–52	0,08–0,15
5–10	3/16–3/8	14–16*	46–52	0,15–0,25
10–15	3/8–5/8	14–16*	46–52	0,25–0,30
15–20	5/8–3/4	14–16*	46–52	0,30–0,35

* For coated HSS drill v_c = 24–26 m/min. (79–85 f.p.m.)

IMPAX SUPREME

Carbide drill

Cutting data parameters	Type of drill		
	Indexable insert	Solid carbide	Brazed carbide ¹⁾
Cutting speed (v _c) m/min. f.p.m.	180–200 600–656	120–150 394–492	60–80 197–262
Feed (f) mm/r i.p.r.	0,05–0,25 ²⁾ 0,002–0,01 ²⁾	0,10–0,25 ²⁾ 0,004–0,01 ²⁾	0,15–0,25 ²⁾ 0,006–0,01 ²⁾

¹⁾ Drill with internal cooling channels and brazed carbide tip.

²⁾ Depending on drill diameter.

GRINDING

A general grinding wheel recommendation is given below. More information can be found in the Uddeholm brochure "Grinding of Tool Steel".

Type of grinding	Wheel recommendation
Face grinding straight wheel	A 46 HV
Face grinding segments	A 24 GV
Cylindrical grinding	A 60 LV
Internal grinding	A 46 JV
Profile grinding	A 100 LV

MILLING

Face and square shoulder face milling

Cutting data parameters	Milling with carbide	
	Rough milling	Fine milling
Cutting speed, (v _c) m/min. f.p.m.	80–150 265–492	150–190 492–623
Feed, (f _z) mm/tooth inch/tooth	0,2–0,4 0,008–0,016	0,1–0,2 0,004–0,008
Depth of cut, (a _p) mm inch	2–4 0,08–0,16	–2 –0,08
Carbide designation ISO	P20–P40 Coated carbide	P10–P20 Coated carbide or Cermet

Welding

Good results when welding tool steel can be achieved if proper precautions are taken during welding (elevated working temperature, joint preparation, choice of consumables and welding procedure). If the tool is to be polished or photo-etched, it is necessary to work with an electrode type of matching composition.

Welding method	TIG	MMA (SMAW)
Working temperature	200–250°C (390–480°F)	200–250°C (390–480°F)
Consumables	IMPAX TIG-WELD	IMPAX WELD
Hardness after welding	320–350 HB	320–350 HB

Further information is given in the Uddeholm brochure "Welding of Tool Steel".

End milling

Cutting data parameters	Milling cutter		
	Solid carbide	Carbide indexable insert	High speed steel
Cutting speed (v _c) m/min. f.p.m.	70–110 230–361	80–120 262–394	15–20 ¹⁾ 49–66 ¹⁾
Feed (f _z) mm/tooth inch/tooth	0,03–0,20 ²⁾ 0,001–0,008 ²⁾	0,08–0,20 ²⁾ 0,003–0,008 ²⁾	0,05–0,35 ²⁾ 0,002–0,014 ²⁾
Carbide designation ISO	–	P20–P40	–

¹⁾ For coated HSS end mill v_c = 35–40 m/min. (115–131 f.p.m.)

²⁾ Depending on radial depth of cut and cutter diameter.

Electrical-discharge machining

If spark-erosion, EDM, is performed in the as delivered condition, the tool should then be given an additional temper at approx. 550°C (1020°F). If the steel has been rehardened, the additional tempering temperature should be 25°C (50°F) lower than the last tempering temperature used.

Further information can be obtained from the Uddeholm brochure "EDM of tool steel".

Hard-chromium-plating

After hard-chromium-plating, the tool should be tempered for approx. 4 hours at 180°C (350°F) within 4 hours of plating in order to avoid hydrogen embrittlement.

Photo-etching

Impax Supreme is particularly suitable for texturing by the photo-etching process. Its very low sulphur content ensures accurate and consistent pattern reproduction.

For heavy sections an extra tempering at 550°C (1020°F) before photo-etching is recommended.

Polishing

Impax Supreme has good polishability in the hardened and tempered condition.

After grinding, polishing is undertaken with aluminium oxide or diamond paste.

Note: Each steel grade has an optimum polishing time which largely depends on hardness and polishing technique. Overpolishing can lead to a poor surface finish (e.g. an "orange peel" effect). Further information is given in the Uddeholm publication "Polishing of mould steel".

Further information

Contact your local Uddeholm office for further information on the selection, heat treatment, application and availability of Uddeholm tool steels, including the publication "Steels for moulds".

ΠΑΡΑΡΤΗΜΑ Γ: ΑΝΑΛΥΤΙΚΕΣ ΙΔΙΟΤΗΤΕΣ ΠΟΛΥΑΙΘΥΛΑΙΝΙΟΥ HDPE

**SABIC® HDPE B5823**

High density polyethylene for Pipe extrusion

Description.

SABIC® HDPE B5823 is developed for blow moulding consumer packaging up to 5 l, combining high stiffness and a good ESCR level. This grade is suitable for packaging the majority of detergents, cleaners, shampoos and cosmetics.

Typical data.

Revision 20070911

Properties	Units SI	Values	Test methods
Polymer properties			
Melt flow rate (MFR)			ISO 1133
at 190 °C and 2.16 kg	g/10 min	0.16	
at 190 °C and 5 kg	g/10 min	0.89	
at 190 °C and 21.6 kg	g/10 min	23	
Density	kg/m ³	958	ISO 1183
Mechanical properties			
Tensile test			
stress at yield	MPa	28	ISO 527-2
stress at break	MPa	22	
strain at break	%	> 1000	
tensile modulus	MPa	1150	
Izod impact notched			
at 23 °C	kJ/m ²	12	ISO 180/A
at -30 °C	kJ/m ²	6	
Hardness Shore D			
ESCR	h	63	ISO 868
Thermal properties			
Heat deflection temperature			
at 1.80 MPa (HDT/A)	°C	48	ISO 75-2
at 0.45 MPa (HDT/B)	°C	85	
Vicat softening temperature			
at 10 N (VST/A)	°C	128	ISO 306
at 50 N (VST/B)	°C	79	
DSC test			
melting point	°C	133	DIN 53765
enthalpy change	J/g	215	

1) Compression moulding of test specimen according to ISO 1872-2

2) Conditioning of test specimen: temp. 23 °C, relative humidity 50 %, 24 hours

3) Speed of testing: 50 mm/min

4) Test specimen according to ISO 527-2 type 1BA, thickness 2 mm

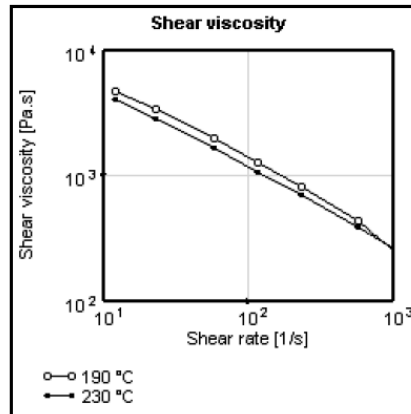
5) Determined in Rhodacal-DS10 at 75 °C, 3 MPa, thickness 1 mm

All information supplied by or on behalf of the SABIC Europe companies in relation to its products, whether in the nature of data, recommendations or otherwise, is supported by research and believed reliable, but the relevant SABIC Europe company assumes no liability whatsoever in respect of application, processing or use made of the above-mentioned information or products, or any consequence thereof. The user undertakes all liability in respect of the application, processing or use of the above-mentioned information or product, whose quality and other properties he shall verify, or any consequence thereof. No liability whatsoever shall attach to any of the SABIC Europe companies for any infringement of the rights owned or controlled by a third party in intellectual, industrial or other property by reason of the application, processing or use of the above-mentioned information or products by the user.



SABIC® HDPE B5823

High density polyethylene for Pipe extrusion



General information. The SABIC® HDPE product range for blow moulding and extrusion is produced in a slurry – or gasphase process using a Cr catalyst. The primary characteristic of SABIC® HDPE grades is a broad molecular weight distribution, which ensures excellent behaviour during extrusion.

Additional characteristics are a high purity, excellent stability during processing and a high intrinsic toughness. The carefully balance of environmental stress crack resistance and stiffness is becoming visible on grade level.

Typical application area: bottles, cans, containers and technical articles, sheet and thermoforming, profiles and tubes for pressure less applications.

Health, Safety and Food Contact regulations. Detailed information is provided in the relevant Material Safety Datasheet and or Standard Food Declaration, available on the Internet (www.SABIC-europe.com). Additional specific information can be requested via your local Sales Office.

Quality. SABIC Europe is fully certified in accordance with the internationally accepted quality standard ISO 9001-2000. It is SABIC Europe's policy to supply materials that meet customers specifications and needs and to keep up its reputation as a pre-eminent, reliable supplier of e.g. polyethylenes.

Storage and handling. Polyethylenes resins (in pelletised or powder form) should be stored in such a way that it prevents exposure to direct sunlight and/or heat, as this may lead to quality deterioration. The storage location should also be dry, dust free and the ambient temperature should not exceed 50 °C. Not complying with these precautionary measures can lead to a degradation of the product which can result in colour changes, bad smell and inadequate product performance. It is also advisable to process polyethylene resins (in pelletised or powder form) within 6 months after delivery, this because also excessive aging of polyethylene can lead to a deterioration in quality.

Environment and recycling. The environmental aspects of any packaging material do not only imply waste issues but have to be considered in relation with the use of natural resources, the preservations of foodstuffs, etc. SABIC Europe considers polyethylene to be an environmentally efficient packaging material. Its low specific energy consumption and insignificant emissions to air and water designate polyethylene as the ecological alternative in comparison with the traditional packaging materials. Recycling of packaging materials is supported by SABIC Europe whenever ecological and social benefits are achieved and where a social infrastructure for selective collecting and sorting of packaging is fostered. Whenever 'thermal' recycling of packaging (i.e. incineration with energy recovery) is carried out, polyethylene -with its fairly simple molecular structure and low amount of additives- is considered to be a trouble-free fuel.

internet www.SABIC-europe.com
email TCC.TM-PE@SABIC-europe.com

ΠΑΡΑΡΤΗΜΑ Δ: REPORT ΡΟΪΚΗΣ ΑΝΑΛΥΣΗΣ

Αμέσως παρακάτω, παραθέτουμε την έκθεση της ανάλυσης της ροής για την αρχική μήτρα εκβολής με 100 bar πίεση εισόδου:



Title

ΑΡΧΙΚΗ ΜΗΤΡΑ ΕΚΒΟΛΗΣ

Author

ΠΟΓΙΑΤΖΗΣ ΓΕΩΡΓΙΟΣ

Date

2010/06/28 14:26:37

Contents

[1. File Report](#)

[Table 1](#) File Information for FLUID 100 BAR INITIAL

[2. Mesh Report](#)

[Table 2](#) Mesh Information for FLUID 100 BAR INITIAL

[Table 3](#) Mesh Statistics for FLUID 100 BAR INITIAL

[3. Physics Report](#)

[Table 4](#) Domain Physics for FLUID 100 BAR INITIAL

[Table 5](#) Boundary Physics for FLUID 100 BAR INITIAL

[4. User Data](#)

[Figure 1](#)

[Figure 2](#)

[Figure 3](#)

1. File Report

Table 1. File Information for FLUID 100 BAR INITIAL

Case	FLUID 100 BAR INITIAL
File Path	C:\DIE ANALYSIS\ANALYSIS_files\dp0\FLU\Fluent\SYS-5-00080.dat.gz
File Date	28 Ιουνίου 2010
File Time	01:10:38 μμ
File Type	FLUENT
File Version	12.1.2

2. Mesh Report

Table 2. Mesh Information for FLUID 100 BAR INITIAL

Domain	Nodes	Elements	Tetrahedra
zone6__reysto 1	12369	58842	58842

Table 3. Mesh Statistics for FLUID 100 BAR INITIAL

Domain	Minimum Face Angle	Maximum Face Angle	Maximum Edge Length Ratio	Maximum Element Volume Ratio	Connectivity Range	
zone6__reysto 1	6.4591 [degree]	125.993 [degree]	8.88933	29.1547	1	38

3. Physics Report

Table 4. Domain Physics for FLUID 100 BAR INITIAL

Domain - zone6__reysto 1	
Type	cell

Table 5. Boundary Physics for FLUID 100 BAR INITIAL

Domain	Boundaries	
zone6__reysto 1	Boundary - inlet	
	Type	PRESSURE-INLET
	Boundary - outlet	
	Type	PRESSURE-OUTLET
	Boundary - symmetry zxplane	

	Type	SYMMETRY
	Boundary - wall	
	Type	WALL

4. User Data

Figure 1.

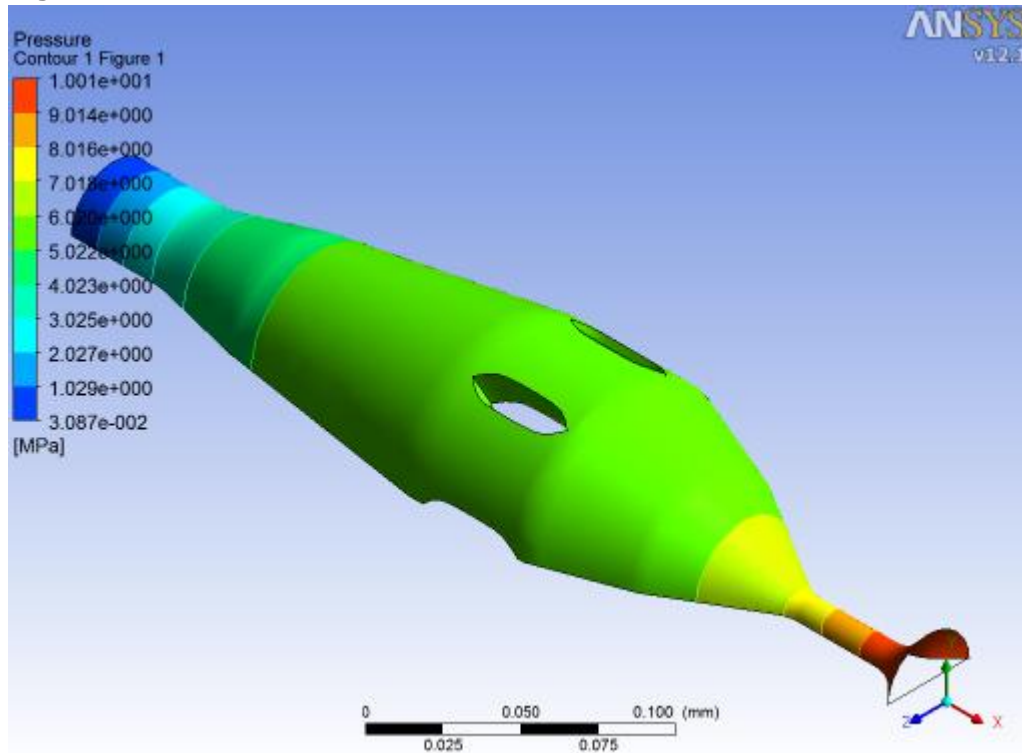


Figure 2.

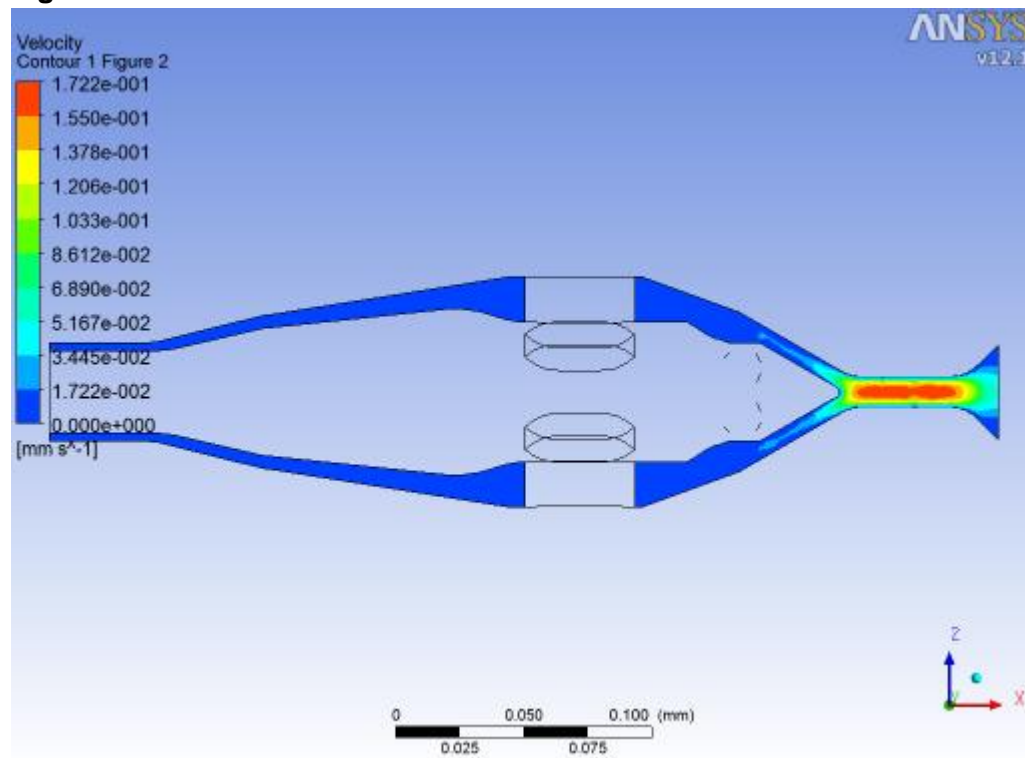
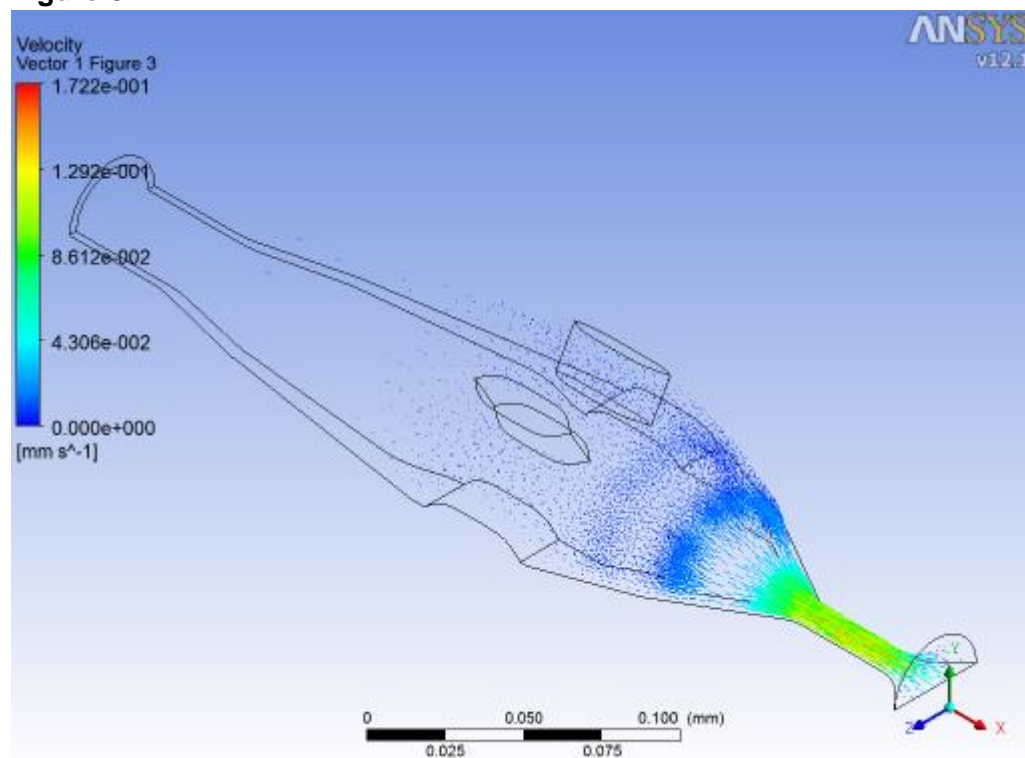


Figure 3.



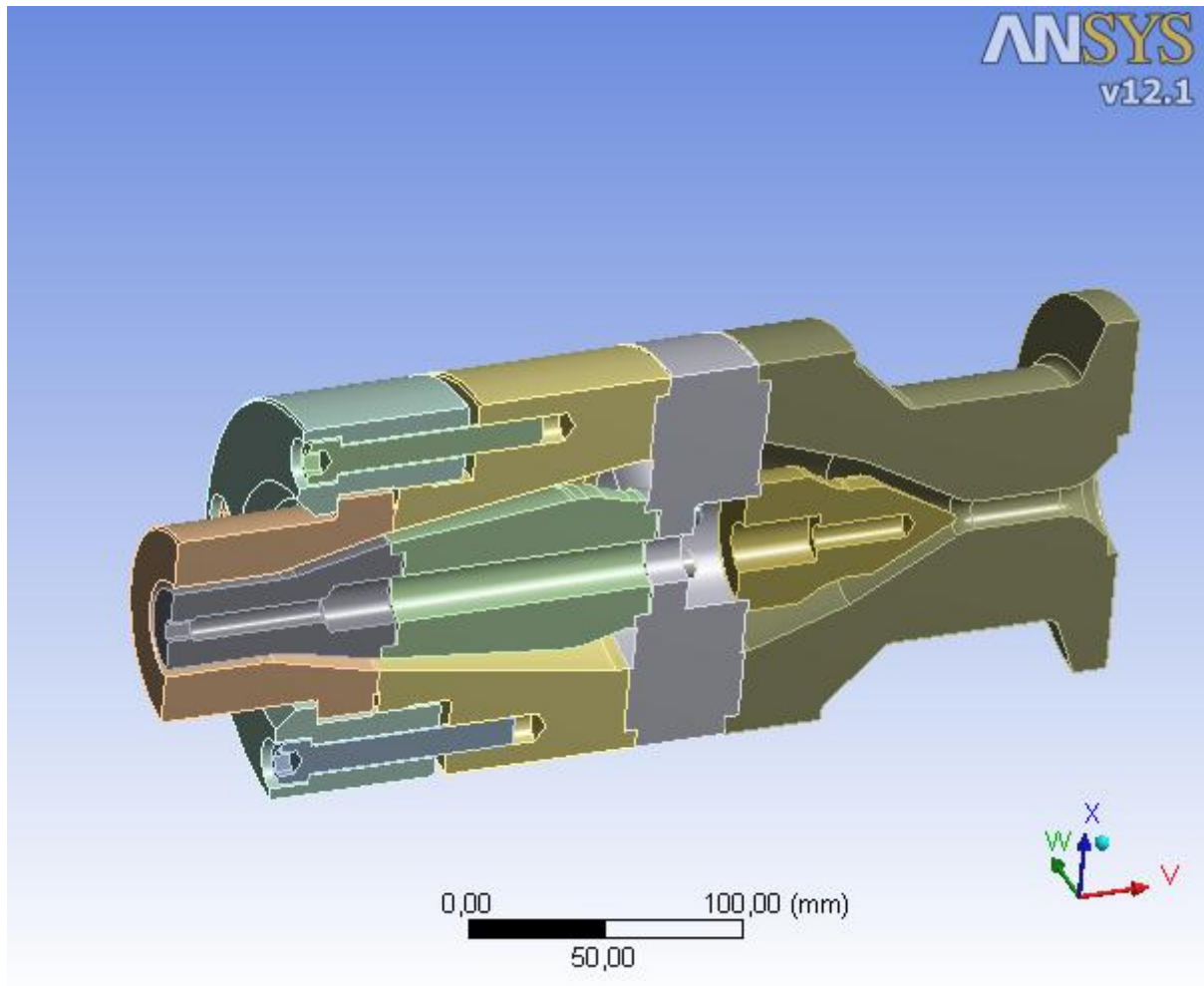
ΠΑΡΑΡΤΗΜΑ Ε: REPORT ΣΤΑΤΙΚΗΣ ΑΝΑΛΥΣΗΣ

Αμέσως παρακάτω, παραθέτουμε την έκθεση της στατικής ανάλυσης για την αρχική μήτρα εκβολής με 100 bar πίεση εισόδου:



Project

Author	ΠΟΓΙΑΤΖΗΣ ΓΕΩΡΓΙΟΣ
Subject	ΑΡΧΙΚΗ ΜΗΤΡΑ ΕΚΒΟΛΗΣ
Prepared for	ΣΧΟΛΗ ΜΗΧΑΝΟΛΟΓΩΝ ΜΗΧΑΝΙΚΩΝ
First Saved	Saturday, June 19, 2010
Last Saved	Monday, June 28, 2010
Product Version	12.1 Release



Contents

- [Units](#)
- [Model \(I3\)](#)
 - [Geometry](#)
 - [Parts](#)
 - [Coordinate Systems](#)
 - [Symmetry](#)
 - [Symmetry Region](#)
 - [Connections](#)
 - [Contact Regions](#)
 - [Mesh](#)
 - [Named Selections](#)
 - [Static Structural \(I4\)](#)
 - [Analysis Settings](#)
 - [Standard Earth Gravity](#)
 - [Loads](#)
 - [Fluid Pressure 100 Bar](#)
 - [Imported Pressure](#)
 - [Solution \(I5\)](#)
 - [Solution Information](#)
 - [Results](#)
 - [Stress Tool](#)
 - [Results](#)
- [Material Data](#)
 - [Structural Steel](#)
 - [IMPAX](#)

Units

TABLE 1

Unit System	Metric (mm, kg, N, s, mV, mA) Degrees rad/s Celsius
Angle	Degrees
Rotational Velocity	rad/s
Temperature	Celsius

Model (I3)

Geometry

TABLE 2
Model (I3) > Geometry

Object Name	<i>Geometry</i>
State	Fully Defined
Definition	
Source	C:\DIE ANALYSIS\ANALYSIS_files\dp0\Geom\DM\Geom.agdb

Type	DesignModeler
Length Unit	Millimeters
Element Control	Program Controlled
Display Style	Part Color
Bounding Box	
Length X	375,01 mm
Length Y	80, mm
Length Z	160, mm
Properties	
Volume	2,4927e+006 mm ³
Mass	19,567 kg
Scale Factor Value	1,
Statistics	
Bodies	18
Active Bodies	17
Nodes	557406
Elements	348844
Mesh Metric	Element Quality
Min	3,30003435853457E-02
Max	0,999987849817422
Average	0,824090742696525
Standard Deviation	0,108552629120345
Preferences	
Import Solid Bodies	Yes
Import Surface Bodies	Yes
Import Line Bodies	No
Parameter Processing	Yes
Personal Parameter Key	DS
CAD Attribute Transfer	No
Named Selection Processing	No
Material Properties Transfer	No
CAD Associativity	Yes
Import Coordinate Systems	No
Reader Save Part File	No
Import Using Instances	Yes
Do Smart Update	No
Attach File Via Temp File	Yes
Temporary Directory	C:\Users\Giwrgos\AppData\Roaming\Ansys\v121
Analysis Type	3-D
Mixed Import Resolution	None
Enclosure and Symmetry Processing	Yes

TABLE 3
Model (I3) > Geometry > Parts

Object Name	<i>DIN 912 M12 x 80 --- 36N-1</i>	<i>DIN 912 M12 x 80 --- 36N-2</i>	<i>7 - DAKTYLIOS SYGKRATISIS MITRAS-1</i>	<i>2 - SOMA KEFALIS-1</i>	<i>3 - ARAXNI KEFALIS-1</i>
-------------	-----------------------------------	-----------------------------------	---	---------------------------	-----------------------------

State	Meshed				
Graphics Properties					
Visible	Yes				
Transparenc y	1				
Definition					
Suppress ed	No				
Stiffness Behavior	Flexible				
Coordinat e System	Default Coordinate System				
Referenc e Temperature	By Environment				
Material					
Assignme nt	Structural Steel		IMPAX		
Nonlinear Effects	Yes				
Thermal Strain Effects	Yes				
Bounding Box					
Length X	92, mm		65, mm	105, mm	45, mm
Length Y	9, mm	18, mm	80, mm		
Length Z	18, mm		160, mm		
Properties					
Volume	5736,2 mm ³	11472 mm ³	3,9772e+005 mm ³	5,5867e+005 mm ³	3,0904e+005 mm ³
Mass	4,503e-002 kg	9,0059e-002 kg	3,1221 kg	4,3856 kg	2,4259 kg
Centroid X	-94,694 mm		-107,73 mm	-41,11 mm	21,518 mm
Centroid Y	2,8919 mm	65,001 mm	41,788 mm	38,227 mm	35,906 mm
Centroid Z	65, mm	-1,2128e-007 mm	2,3987e-005 mm	8,3767e-005 mm	-7,6637e-005 mm
Moment of Inertia Ip1	0,69124 kg·mm ²	2,1518 kg·mm ²	7986,9 kg·mm ²	10014 kg·mm ²	5733,6 kg·mm ²
Moment of Inertia Ip2	34,758 kg·mm ²	69,503 kg·mm ²	7807,7 kg·mm ²	11130 kg·mm ²	4958, kg·mm ²
Moment of Inertia Ip3	34,373 kg·mm ²	69,504 kg·mm ²	2380,1 kg·mm ²	4614, kg·mm ²	1489,9 kg·mm ²
Statistics					
Nodes	10183	18177	48841	59838	74546
Elements	6108	11539	32567	39097	46255

Mesh Metric	Element Quality				
	Min	0,2673384626 34434	0,2477638960 61363	0,2091304819 77799	0,1742720627 07797
Max	0,9999163641 65044	0,9998781025 87053	0,9999837095 20609	0,9999589199 21528	0,9999878498 17422
Average	0,8116044205 20942	0,8200585742 63775	0,8327687115 83496	0,8196330204 61134	0,7967216577 99025
Standard Deviation	0,1151421104 78989	0,1132599464 80669	0,1069843560 48433	0,1112390199 74614	0,1172272670 09982

TABLE 4
Model (I3) > Geometry > Parts

Object Name	<i>DIN 912 M10 x 50 --- 32N-2</i>	<i>DIN 912 M10 x 50 --- 32N-1</i>	<i>DIN 912 M6 x 25 --- 25N-4</i>	<i>DIN 912 M12 x 120 --- 36N-1</i>	6 - REYSTO- 1
State	Meshed				Suppressed
Graphics Properties					
Visible	Yes				No
Transparency	1				
Definition					
Suppressed	No				Yes
Stiffness Behavior	Flexible				
Coordinate System	Default Coordinate System				
Reference Temperature	By Environment				
Material					
Assignment	Structural Steel				
Nonlinear Effects	Yes				
Thermal Strain Effects	Yes				
Bounding Box					
Length X	60, mm	31, mm	132, mm	371,01 mm	
Length Y	16, mm	10, mm	18, mm	45, mm	
Length Z	16, mm	10, mm	18, mm	90, mm	
Properties					
Volume	5600,1 mm ³	1098,2 mm ³	15996 mm ³	2,5942e+005 mm ³	
Mass	4,3961e-002 kg	8,6212e-003 kg	0,12557 kg		
Centroid X	30,075 mm	11,995 mm	-6,0219 mm	3,4474 mm	

Centroid Y	55,433 mm		11,314 mm	42,427 mm	20,678 mm
Centroid Z	-22,961 mm	22,961 mm	11,314 mm	42,426 mm	-1,945e-004 mm
Moment of Inertia Ip1	0,85396 kg·mm ²		6,7972e-002 kg·mm ²	2,7847 kg·mm ²	
Moment of Inertia Ip2	14,874 kg·mm ²		0,78265 kg·mm ²	197,1 kg·mm ²	
Moment of Inertia Ip3	14,874 kg·mm ²		0,78264 kg·mm ²	197,11 kg·mm ²	
Statistics					
Nodes	26981	26768	30100	11557	0
Elements	17608	17458	19792	7052	0
Mesh Metric	Element Quality				
Min	4,66293530511745E-02	3,67074504465378E-02	0,06757278439843	0,255708662731368	0
Max	0,999968768070778	0,999949978540289	0,999980732641957	0,999854485418086	0
Average	0,822005814997205	0,820348409899089	0,829014394308114	0,801831492478056	0
Standard Deviation	0,110522658298969	0,110695888379901	0,10600234991474	0,131406090509904	0

TABLE 5
Model (I3) > Geometry > Parts

Object Name	<i>DIN 912 M12 x 120 --- 36N-3</i>	<i>4 - KONOS ARSENIKOY KEFALIS-1</i>	<i>8 - MITRA GIA SOLINA (ESOTERIKO)-1</i>	<i>1 - LAIMOS KEFALIS-1</i>	<i>DIN 912 M6 x 25 --- 25N-1</i>
State	Meshed				
Graphics Properties					
Visible	Yes				
Transparency	1				
Definition					
Suppressed	No				
Stiffness Behavior	Flexible				
Coordinate System	Default Coordinate System				
Reference Temperature	By Environment				
Material					
Assignment	Structural Steel	IMPAX			Structural Steel
Nonlinear Effects	Yes				

Thermal Strain Effects	Yes				
Bounding Box					
Length X	132, mm	84, mm	90, mm	150,01 mm	31, mm
Length Y	18, mm	27,5 mm	25, mm	80, mm	10, mm
Length Z	18, mm	55, mm	50, mm	160, mm	10, mm
Properties					
Volume	15996 mm ³	48328 mm ³	42342 mm ³	7,8813e+005 mm ³	1098,2 mm ³
Mass	0,12557 kg	0,37938 kg	0,33239 kg	6,1868 kg	8,6212e-003 kg
Centroid X	-6,0219 mm	67,625 mm	-135,56 mm	113,63 mm	11,995 mm
Centroid Y	42,427 mm	10,738 mm	8,9037 mm	30,834 mm	11,314 mm
Centroid Z	-42,426 mm	2,0605e-005 mm	2,2288e-007 mm	-8,7097e-006 mm	-11,313 mm
Moment of Inertia Ip1	2,7847 kg·mm ²	74,328 kg·mm ²	43,779 kg·mm ²	10304 kg·mm ²	6,7972e-002 kg·mm ²
Moment of Inertia Ip2	197,1 kg·mm ²	187,99 kg·mm ²	263,82 kg·mm ²	21817 kg·mm ²	0,78265 kg·mm ²
Moment of Inertia Ip3	197,11 kg·mm ²	142,58 kg·mm ²	236,87 kg·mm ²	15749 kg·mm ²	0,78264 kg·mm ²
Statistics					
Nodes	11964	36255	29387	54566	30476
Elements	7309	24219	19303	36192	20030
Mesh Metric	Element Quality				
Min	0,160629678095068	0,357213118969127	0,188747345274652	0,230967196797135	3,30003435853457E-02
Max	0,999976265185034	0,999979955610113	0,999878612361522	0,999949610621963	0,999838315999227
Average	0,805157644723	0,838544409673182	0,836750931897366	0,83065539284011	0,828261773968399
Standard Deviation	0,130988539187498	9,50012527626598E-02	9,76723551475356E-02	0,09940493069111	0,106104220422986

TABLE 6
Model (I3) > Geometry > Parts

Object Name	<i>DIN 912 M12 x 80 --- 36N-4</i>	<i>5 - YPODOXI ARSENIKIS MITRAS-1</i>	<i>9 - MITRA GIA SOLINA (EKSOTERIKO)-1</i>
State	Meshed		
Graphics Properties			
Visible	Yes		
Transparency	1		
Definition			
Suppressed	No		

Stiffness Behavior	Flexible		
Coordinate System	Default Coordinate System		
Reference Temperature	By Environment		
Material			
Assignment	Structural Steel	IMPAX	
Nonlinear Effects	Yes		
Thermal Strain Effects	Yes		
Bounding Box			
Length X	92, mm	105, mm	85, mm
Length Y	9, mm	32,5 mm	47,5 mm
Length Z	18, mm	65, mm	95, mm
Properties			
Volume	5736,2 mm ³	1,1862e+005 mm ³	1,6148e+005 mm ³
Mass	4,503e-002 kg	0,93115 kg	1,2676 kg
Centroid X	-94,694 mm	-45,465 mm	-141,75 mm
Centroid Y	2,8919 mm	13,648 mm	21, mm
Centroid Z	-65, mm	-2,7257e-006 mm	8,7536e-009 mm
Moment of Inertia Ip1	0,69124 kg·mm ²	283,07 kg·mm ²	865,84 kg·mm ²
Moment of Inertia Ip2	34,758 kg·mm ²	911,01 kg·mm ²	1507,9 kg·mm ²
Moment of Inertia Ip3	34,373 kg·mm ²	738,05 kg·mm ²	944,85 kg·mm ²
Statistics			
Nodes	9843	47831	30093
Elements	5878	32082	6355
Mesh Metric	Element Quality		
Min	0,222307641882469	0,290116861705037	0,585569890238096
Max	0,999880672408516	0,999985042856914	0,999344492451153
Average	0,813819599828125	0,835243658879158	0,881898541665549
Standard Deviation	0,114384748303016	9,73699402324894E-02	8,16012395253454E-02

Coordinate Systems

TABLE 7
Model (I3) > Coordinate Systems > Coordinate System

Object Name	<i>Global Coordinate System</i>	<i>ZXPlane</i>
State	Fully Defined	
Definition		
Type	Cartesian	
Ansys System Number	0,	
Ansys System		Program Controlled
Origin		

Origin X	0, mm	
Origin Y	0, mm	
Origin Z	0, mm	
Define By		Global Coordinates
Location		Defined
Directional Vectors		
X Axis Data	[1, 0, 0,]	[0, 0, 1,]
Y Axis Data	[0, 1, 0,]	[1, 0, 0,]
Z Axis Data	[0, 0, 1,]	[0, 1, 0,]
Principal Axis		
Axis		X
Define By		Fixed Vector
Orientation About Principal Axis		
Axis		Y
Define By		Fixed Vector
Transformations		
Base Configuration		Absolute
Transformed Configuration		[0, 0, 0,]

Symmetry

TABLE 8
Model (I3) > Symmetry

Object Name	<i>Symmetry</i>
State	Fully Defined

TABLE 9
Model (I3) > Symmetry > Symmetry Region

Object Name	<i>Symmetry Region</i>
State	Fully Defined
Scope	
Scoping Method	Named Selection
Named Selection	Symmetry:ZXPlane
Definition	
Scope Mode	Automatic
Type	Symmetric
Coordinate System	ZXPlane
Symmetry Normal	Z Axis
Suppressed	No

Connections

TABLE 10
Model (I3) > Connections

Object Name	<i>Connections</i>
State	Fully Defined
Auto Detection	
Generate Contact On Update	Yes

Tolerance Type	Value
Tolerance Value	0,2 mm
Face/Face	Yes
Face/Edge	No
Edge/Edge	No
Priority	Include All
Group By	Bodies
Search Across	Bodies
Revolute Joints	Yes
Fixed Joints	Yes
Transparency	
Enabled	Yes

TABLE 11
Model (I3) > Connections > Contact Regions

Object Name	<i>Bonded - DIN 912 M12 x 80 --- 36N-1 To 7 - DAKTYLIOS SYGKRATISIS MITRAS-1</i>	<i>Bonded - DIN 912 M12 x 80 -- - 36N-1 To 2 - SOMA KEFALIS-1</i>	<i>Bonded - DIN 912 M12 x 80 --- 36N-2 To 7 - DAKTYLIOS SYGKRATISIS MITRAS-1</i>	<i>Bonded - DIN 912 M12 x 80 -- - 36N-2 To 2 - SOMA KEFALIS-1</i>	<i>Bonded - 7 - DAKTYLIOS SYGKRATISIS MITRAS-1 To 2 - SOMA KEFALIS-1</i>
State	Fully Defined				
Scope					
Scoping Method	Geometry Selection				
Contact	2 Faces	1 Face	2 Faces	1 Face	
Target	1 Face				2 Faces
Contact Bodies	DIN 912 M12 x 80 --- 36N-1		DIN 912 M12 x 80 --- 36N-2		7 - DAKTYLIOS SYGKRATISIS MITRAS-1
Target Bodies	7 - DAKTYLIOS SYGKRATISIS MITRAS-1	2 - SOMA KEFALIS-1	7 - DAKTYLIOS SYGKRATISIS MITRAS-1	2 - SOMA KEFALIS-1	
Definition					
Type	Bonded				
Scope Mode	Automatic				
Behavior	Symmetric				
Suppressed	No				
Advanced					
Formulation	Pure Penalty				
Normal Stiffness	Program Controlled				
Update Stiffness	Never				
Pinball Region	Program Controlled				

TABLE 12
Model (I3) > Connections > Contact Regions

Object Name	<i>Bonded - 7 - DAKTYLIOS SYGKRATISIS MITRAS-1 To DIN 912 M12 x 80 --- 36N-4</i>	<i>Bonded - 7 - DAKTYLIOS SYGKRATISIS MITRAS-1 To 9 - MITRA GIA SOLINA (EKSOTERIKO)-1</i>	<i>Bonded - 2 - SOMA KEFALIS-1 To 3 - ARAXNI KEFALIS-1</i>	<i>Bonded - 2 - SOMA KEFALIS-1 To DIN 912 M12 x 120 - -- 36N-1</i>	<i>Bonded - 2 - SOMA KEFALIS-1 To DIN 912 M12 x 120 - -- 36N-3</i>
State	Fully Defined				
Scope					
Scoping Method	Geometry Selection				
Contact	1 Face		3 Faces	1 Face	
Target	2 Faces	1 Face	5 Faces	2 Faces	
Contact Bodies	7 - DAKTYLIOS SYGKRATISIS MITRAS-1		2 - SOMA KEFALIS-1		
Target Bodies	DIN 912 M12 x 80 --- 36N-4	9 - MITRA GIA SOLINA (EKSOTERIKO)-1	3 - ARAXNI KEFALIS-1	DIN 912 M12 x 120 - -- 36N-1	DIN 912 M12 x 120 - -- 36N-3
Definition					
Type	Bonded				
Scope Mode	Automatic				
Behavior	Symmetric				
Suppressed	No				
Advanced					
Formulation	Pure Penalty				
Normal Stiffness	Program Controlled				
Update Stiffness	Never				
Pinball Region	Program Controlled				

TABLE 13
Model (I3) > Connections > Contact Regions

Object Name	<i>Bonded - 2 - SOMA KEFALIS-1 To DIN 912 M12 x 80 --- 36N-4</i>	<i>Bonded - 2 - SOMA KEFALIS-1 To 9 - MITRA GIA SOLINA (EKSOTERIKO)-1</i>	<i>Bonded - 3 - ARAXNI KEFALIS-1 To DIN 912 M10 x 50 --- 32N-2</i>	<i>Bonded - 3 - ARAXNI KEFALIS-1 To DIN 912 M10 x 50 --- 32N-1</i>	<i>Bonded - 3 - ARAXNI KEFALIS-1 To DIN 912 M6 x 25 --- 25N-4</i>
State	Fully Defined				
Scope					
Scoping Method	Geometry Selection				
Contact	1 Face				
Target	1 Face				2 Faces
Contact Bodies	2 - SOMA KEFALIS-1		3 - ARAXNI KEFALIS-1		
Target Bodies	DIN 912 M12 x 80 --- 36N-4	9 - MITRA GIA SOLINA (EKSOTERIKO)-1	DIN 912 M10 x 50 --- 32N-2	DIN 912 M10 x 50 --- 32N-1	DIN 912 M6 x 25 --- 25N-4

Definition	
Type	Bonded
Scope Mode	Automatic
Behavior	Symmetric
Suppressed	No
Advanced	
Formulation	Pure Penalty
Normal Stiffness	Program Controlled
Update Stiffness	Never
Pinball Region	Program Controlled

TABLE 14
Model (I3) > Connections > Contact Regions

Object Name	<i>Bonded - 3 - ARAXNI KEFALIS-1 To 4 - KONOS ARSENIKOY KEFALIS-1</i>	<i>Bonded - 3 - ARAXNI KEFALIS-1 To 1 - LAIMOS KEFALIS-1</i>	<i>Bonded - 3 - ARAXNI KEFALIS-1 To DIN 912 M6 x 25 --- 25N-1</i>	<i>Bonded - 3 - ARAXNI KEFALIS-1 To 5 - YPODOXI ARSENIKIS MITRAS-1</i>	<i>Bonded - DIN 912 M10 x 50 --- 32N-2 To 1 - LAIMOS KEFALIS-1</i>
State	Fully Defined				
Scope					
Scoping Method	Geometry Selection				
Contact	2 Faces	5 Faces	1 Face	2 Faces	1 Face
Target	2 Faces	3 Faces	2 Faces		1 Face
Contact Bodies	3 - ARAXNI KEFALIS-1				DIN 912 M10 x 50 --- 32N-2
Target Bodies	4 - KONOS ARSENIKOY KEFALIS-1	1 - LAIMOS KEFALIS-1	DIN 912 M6 x 25 --- 25N-1	5 - YPODOXI ARSENIKIS MITRAS-1	1 - LAIMOS KEFALIS-1
Definition					
Type	Bonded				
Scope Mode	Automatic				
Behavior	Symmetric				
Suppressed	No				
Advanced					
Formulation	Pure Penalty				
Normal Stiffness	Program Controlled				
Update Stiffness	Never				
Pinball Region	Program Controlled				

TABLE 15
Model (I3) > Connections > Contact Regions

Object Name	<i>Bonded - DIN 912 M10 x 50 --- 32N-1 To 1 - LAIMOS KEFALIS-1</i>	<i>Bonded - DIN 912 M6 x 25 --- 25N-4 To 5 - YPODOXI ARSENIKIS MITRAS-1</i>	<i>Bonded - DIN 912 M12 x 120 --- 36N-1 To 1 - LAIMOS KEFALIS-1</i>	<i>Bonded - DIN 912 M12 x 120 --- 36N-3 To 1 - LAIMOS KEFALIS-1</i>	<i>Bonded - 8 - MITRA GIA SOLINA (ESOTERIKO)-1 To 5 - YPODOXI ARSENIKIS MITRAS-1</i>
State	Fully Defined				
Scope					
Scoping Method	Geometry Selection				
Contact	1 Face				2 Faces
Target	1 Face				2 Faces
Contact Bodies	DIN 912 M10 x 50 --- 32N-1	DIN 912 M6 x 25 --- 25N-4	DIN 912 M12 x 120 --- 36N-1	DIN 912 M12 x 120 --- 36N-3	8 - MITRA GIA SOLINA (ESOTERIKO)-1
Target Bodies	1 - LAIMOS KEFALIS-1	5 - YPODOXI ARSENIKIS MITRAS-1	1 - LAIMOS KEFALIS-1		5 - YPODOXI ARSENIKIS MITRAS-1
Definition					
Type	Bonded				
Scope Mode	Automatic				
Behavior	Symmetric				
Suppressed	No				
Advanced					
Formulation	Pure Penalty				
Normal Stiffness	Program Controlled				
Update Stiffness	Never				
Pinball Region	Program Controlled				

TABLE 16
Model (I3) > Connections > Contact Regions

Object Name	<i>Bonded - DIN 912 M6 x 25 --- 25N-1 To 5 - YPODOXI ARSENIKIS MITRAS-1</i>
State	Fully Defined
Scope	
Scoping Method	Geometry Selection
Contact	1 Face
Target	1 Face
Contact Bodies	DIN 912 M6 x 25 --- 25N-1
Target Bodies	5 - YPODOXI ARSENIKIS MITRAS-1
Definition	
Type	Bonded
Scope Mode	Automatic

Behavior	Symmetric
Suppressed	No
Advanced	
Formulation	Pure Penalty
Normal Stiffness	Program Controlled
Update Stiffness	Never
Pinball Region	Program Controlled

Mesh

TABLE 17
Model (I3) > Mesh

Object Name	<i>Mesh</i>
State	Solved
Defaults	
Physics Preference	Mechanical
Relevance	0
Sizing	
Use Advanced Size Function	On: Curvature
Relevance Center	Medium
Initial Size Seed	Active Assembly
Smoothing	Medium
Transition	Fast
Span Angle Center	Coarse
Curvature Normal Angle	Default (70,3950 °)
Min Size	Default (0,103550 mm)
Max Face Size	Default (10,3550 mm)
Max Tet Size	Default (20,710 mm)
Growth Rate	Default (1,850)
Minimum Edge Length	0,942480 mm
Inflation	
Use Automatic Tet Inflation	None
Inflation Option	Smooth Transition
Transition Ratio	0,272
Maximum Layers	5
Growth Rate	1,2
Inflation Algorithm	Pre
View Advanced Options	No
Advanced	
Shape Checking	Standard Mechanical
Element Midside Nodes	Program Controlled
Straight Sided Elements	No
Number of Retries	0
Rigid Body Behavior	Dimensionally Reduced
Mesh Morphing	Disabled
Pinch	

Pinch Tolerance	Default (9,3193e-002 mm)
Generate on Refresh	No
Statistics	
Nodes	557406
Elements	348844
Mesh Metric	Element Quality
Min	3,30003435853457E-02
Max	0,999987849817422
Average	0,824090742696525
Standard Deviation	0,108552629120345

Named Selections

TABLE 18
Model (I3) > Named Selections > Named Selections

Object Name	<i>Symmetry:ZXPlane</i>	<i>Wall</i>
State	Fully Defined	
Scope		
Geometry	19 Faces	52 Faces
Definition		
Send to Solver	Yes	
Visible	Yes	
Include in Program Controlled Inflation	No	
Statistics		
Type	Imported	Manual
Total Selection	22 Faces	52 Faces
Suppressed	3 Faces	0
Hidden	3 Faces	0

Static Structural (I4)

TABLE 19
Model (I3) > Analysis

Object Name	<i>Static Structural (I4)</i>
State	Solved
Definition	
Physics Type	Structural
Analysis Type	Static Structural
Solver Target	ANSYS Mechanical
Options	
Environment Temperature	22, °C
Generate Input Only	No

TABLE 20
Model (I3) > Static Structural (I4) > Analysis Settings

Object Name	<i>Analysis Settings</i>
State	Fully Defined
Step Controls	

Number Of Steps	1,
Current Step Number	1,
Step End Time	1, s
Auto Time Stepping	Program Controlled
Solver Controls	
Solver Type	Program Controlled
Weak Springs	Program Controlled
Large Deflection	Off
Inertia Relief	Off
Nonlinear Controls	
Force Convergence	Program Controlled
Moment Convergence	Program Controlled
Displacement Convergence	Program Controlled
Rotation Convergence	Program Controlled
Line Search	Program Controlled
Output Controls	
Calculate Stress	Yes
Calculate Strain	Yes
Calculate Contact	No
Calculate Results At	All Time Points
Analysis Data Management	
Solver Files Directory	C:\DIE ANALYSIS\ANALYSIS_files\dp0\SYS-3\MECH\
Future Analysis	None
Scratch Solver Files Directory	
Save ANSYS db	No
Delete Unneeded Files	Yes
Nonlinear Solution	No
Solver Units	Active System
Solver Unit System	nmm

TABLE 21
Model (I3) > Static Structural (I4) > Accelerations

Object Name	<i>Standard Earth Gravity</i>
State	Fully Defined
Scope	
Geometry	All Bodies
Definition	
Coordinate System	Global Coordinate System
X Component	-0, mm/s ² (ramped)
Y Component	-0, mm/s ² (ramped)
Z Component	-9806,6 mm/s ² (ramped)
Suppressed	No
Direction	-Z Direction

FIGURE 1
Model (I3) > Static Structural (I4) > Standard Earth Gravity

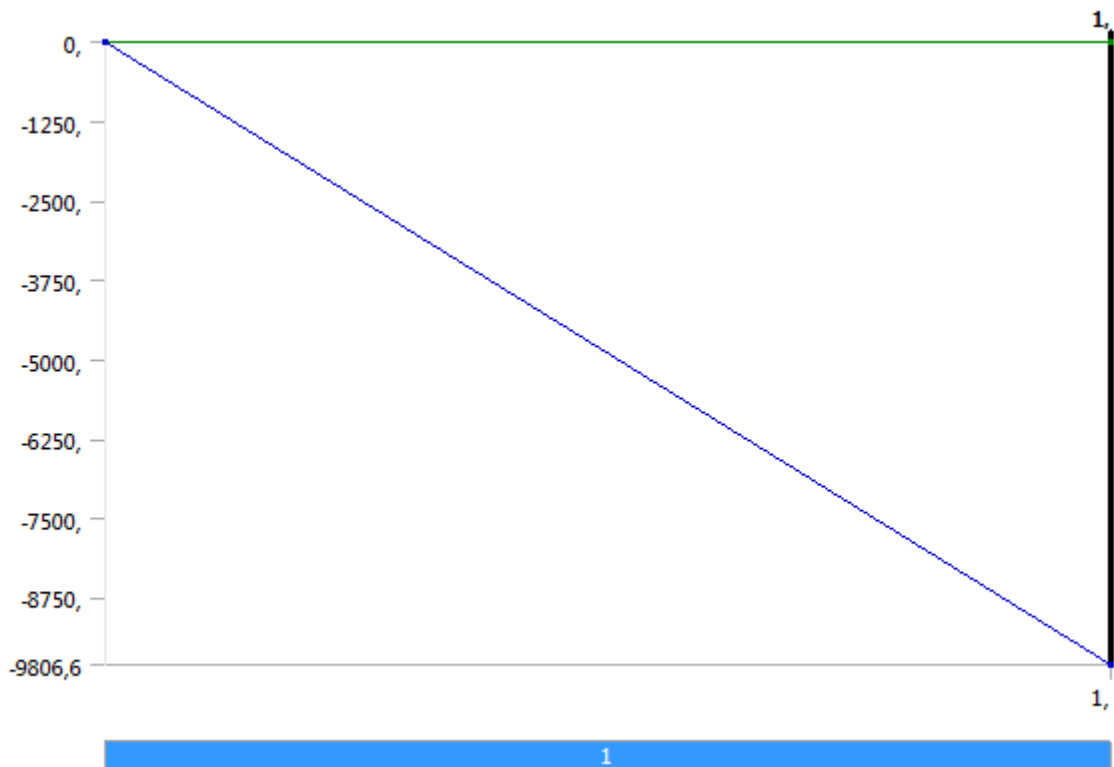


TABLE 22
Model (I3) > Static Structural (I4) > Loads

Object Name	<i>Fixed Support</i>	<i>Thermal Condition 196 C</i>
State	Fully Defined	
Scope		
Scoping Method	Geometry Selection	
Geometry	1 Face	8 Bodies
Definition		
Type	Fixed Support	Thermal Condition
Suppressed	No	
Magnitude		196, °C (ramped)

FIGURE 2
Model (I3) > Static Structural (I4) > Thermal Condition 196 C

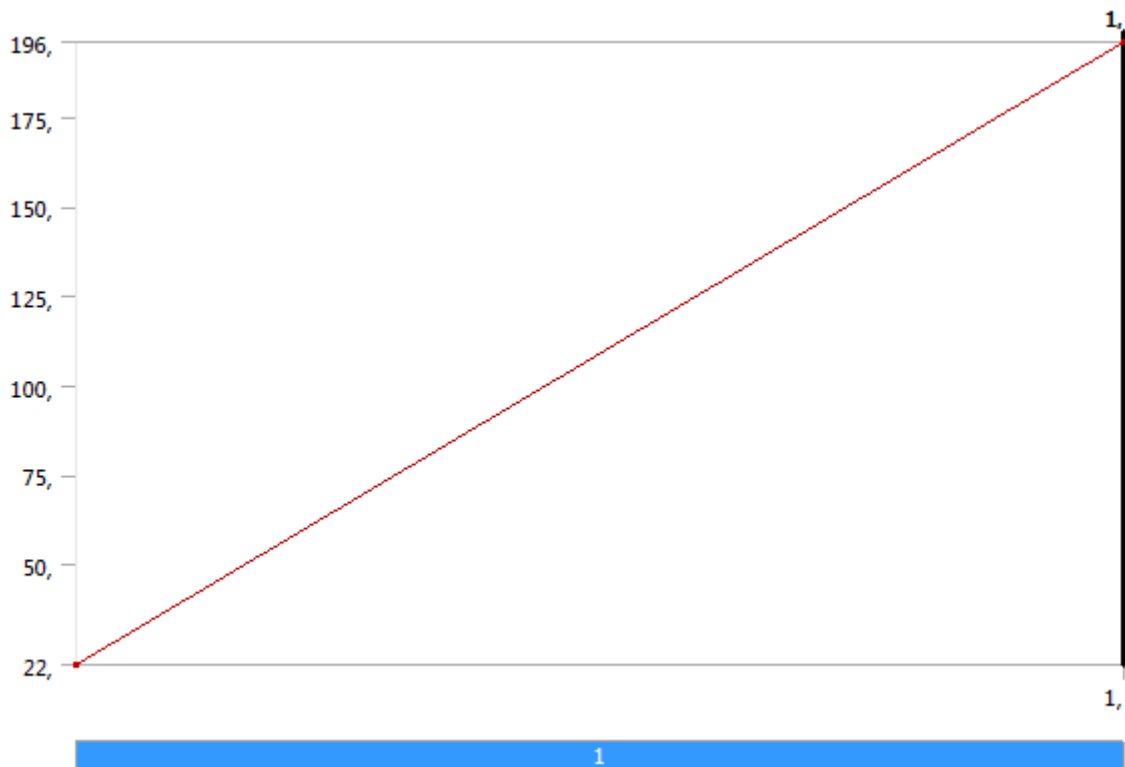


TABLE 23
Model (I3) > Static Structural (I4) > Fluid Pressure 100 Bar

Object Name	<i>Fluid Pressure 100 Bar</i>
State	Fully Defined
Definition	
Type	Imported Data
Interpolation Type	CFD Results Interpolator
Suppressed	No

TABLE 24
Model (I3) > Static Structural (I4) > Fluid Pressure 100 Bar > Imported Pressure

Object Name	<i>Imported Pressure</i>
State	Solved
Scope	
Scoping Method	Named Selection
Named Selection	Wall
Definition	
Type	Imported Pressure
Suppressed	No
Transfer Definition	
CFD Surface	wall
CFD Data	
CFD Results File	C:\DIE ANALYSIS\ANALYSIS_files\dp0\SYS-3\MECH\Solution\SYS-5-00080.dat.gz

Model (I3) > Static Structural (I4) > Fluid Pressure 100 Bar > Imported Pressure

	Source Time (s)	Source Time Step	Analysis Time (s)	Scale	Offset (MPa)
1	0,	-1,	1	1	0

Model (I3) > Static Structural (I4) > Fluid Pressure 100 Bar > Imported Pressure > Imported Load Transfer Summary

CFD Load Transfer Summary

CFD Computed Forces from CFD Results File C:\DIE

ANALYSIS\ANALYSIS_files\dp0\SYS-3\MECH\Solution\SYS-5-00080.dat.gz

X-component = -5,2445e-003 N

Y-component = 3,0082e-002 N

Z-component = 6,3912e-007 N

Mechanical Mapped Forces for Mechanical Surface File C:\DIE

ANALYSIS\ANALYSIS_files\dp0\SYS-3\MECH\Import_ANSYS_190.cdb

X-component = -1,7776e+005 N

Y-component = 1,2703e+005 N

Z-component = -573,66 N

100% of Mechanical nodes were mapped to the CFD surface, remaining nodes mapped to closest edge or node.

Solution (I5)

TABLE 25

Model (I3) > Static Structural (I4) > Solution

Object Name	<i>Solution (I5)</i>
State	Solved
Adaptive Mesh Refinement	
Max Refinement Loops	1,
Refinement Depth	2,

TABLE 26

Model (I3) > Static Structural (I4) > Solution (I5) > Solution Information

Object Name	<i>Solution Information</i>
State	Solved
Solution Information	
Solution Output	Solver Output
Newton-Raphson Residuals	0
Update Interval	2,5 s
Display Points	All

TABLE 27

Model (I3) > Static Structural (I4) > Solution (I5) > Results

Object Name	<i>Equivalent (von-Mises) Stress</i>	<i>Total Deformation</i>	<i>Equivalent (von-Mises) Elastic Strain</i>	<i>Equivalent (von-Mises) Stress - 3 - ARAXNI KEFALIS-1</i>	<i>Total Deformation - 3 - ARAXNI KEFALIS-1</i>

State	Solved				
Scope					
Scoping Method	Geometry Selection				
Geometry	All Bodies			1 Body	
Definition					
Type	Equivalent (von-Mises) Stress	Total Deformation	Equivalent (von-Mises) Elastic Strain	Equivalent (von-Mises) Stress	Total Deformation
By	Time				
Display Time	Last				
Calculate Time History	Yes				
Identifier					
Integration Point Results					
Display Option	Averaged		Averaged		
Results					
Minimum	2,6476e-003 MPa	0, mm	1,3205e-008 mm/mm	2,434 MPa	1,2748e-002 mm
Maximum	290,14 MPa	5,6426e-002 mm	1,4471e-003 mm/mm	290,14 MPa	4,77e-002 mm
Minimum Occurs On	7 - DAKTYLIOS SYGKRATISIS MITRAS-1	1 - LAIMOS KEFALIS-1	7 - DAKTYLIOS SYGKRATISIS MITRAS-1		
Maximum Occurs On	3 - ARAXNI KEFALIS-1	4 - KONOS ARSENIKOY KEFALIS-1	3 - ARAXNI KEFALIS-1		
Information					
Time	1, s				
Load Step	1				
Substep	1				
Iteration Number	1				

FIGURE 3
Model (I3) > Static Structural (I4) > Solution (I5) > Equivalent (von-Mises) Stress > Figure

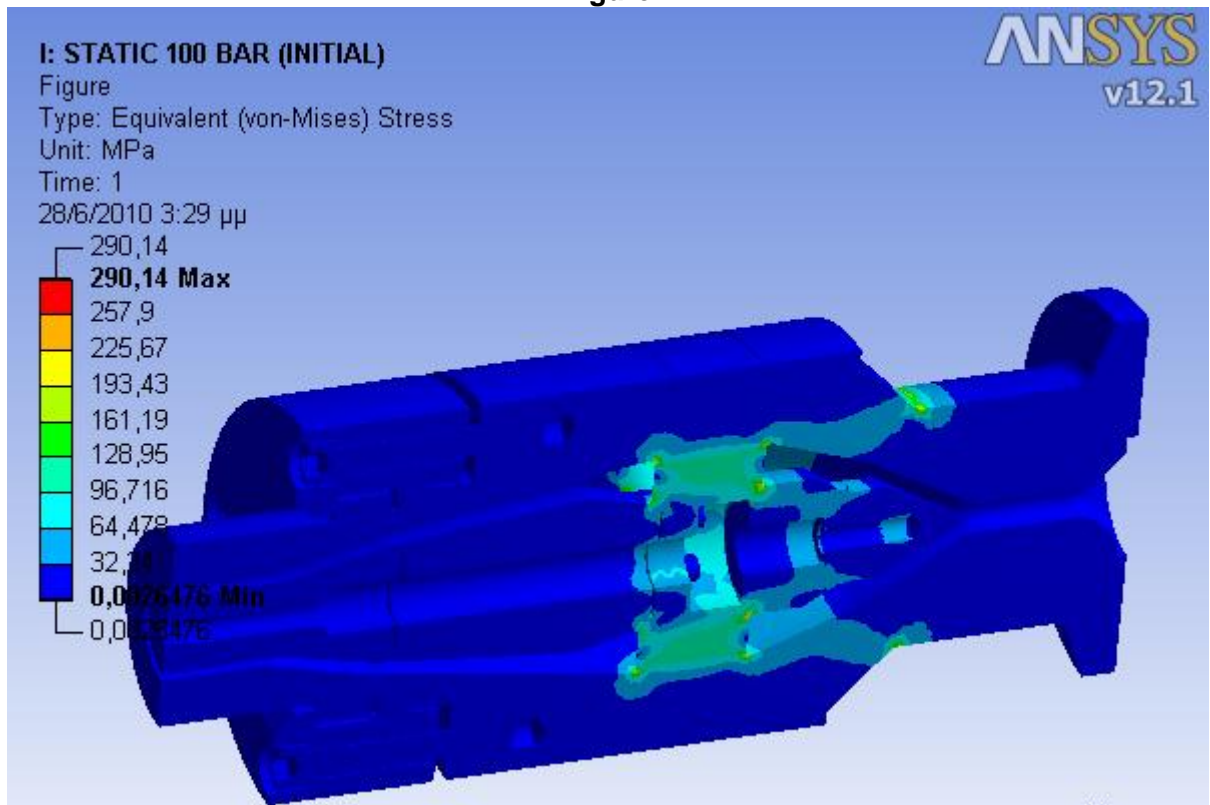


FIGURE 4
Model (I3) > Static Structural (I4) > Solution (I5) > Total Deformation > Figure

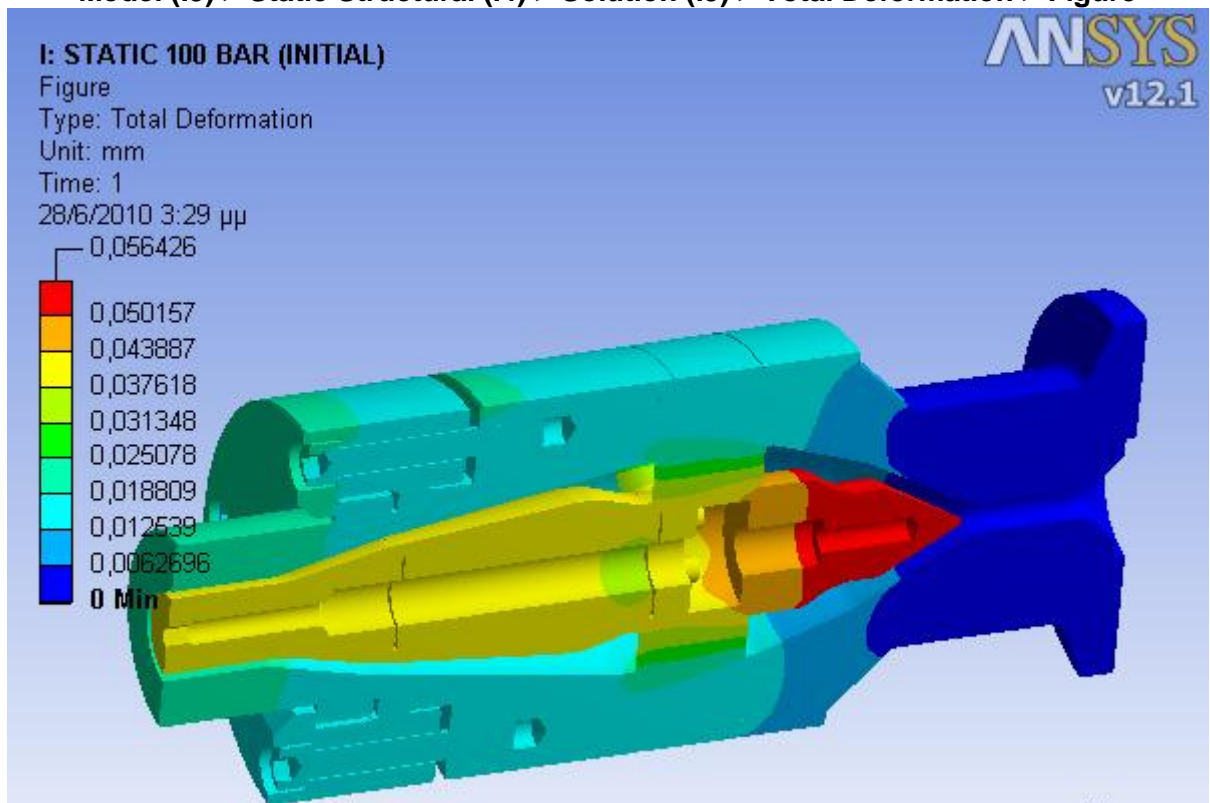


FIGURE 5
Model (I3) > Static Structural (I4) > Solution (I5) > Equivalent (von-Mises) Elastic Strain
> Figure

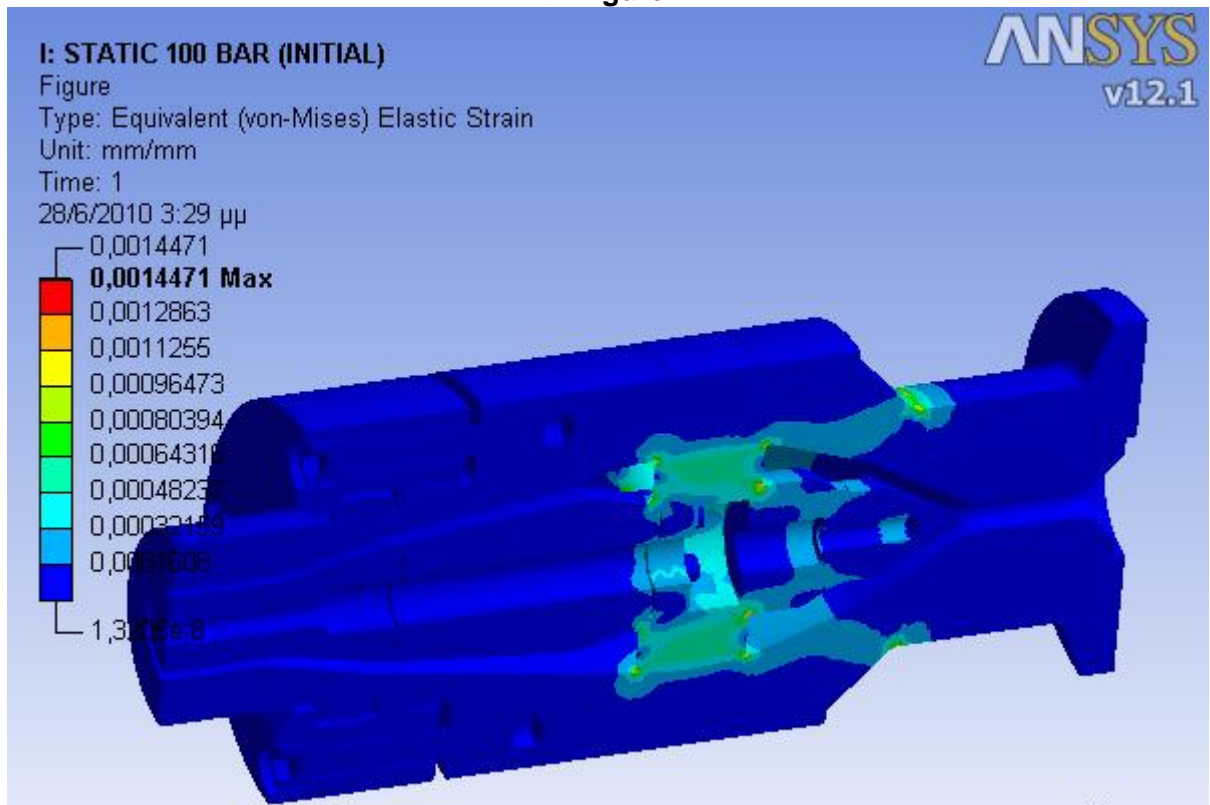


FIGURE 6
Model (I3) > Static Structural (I4) > Solution (I5) > Equivalent (von-Mises) Stress - 3 -
ARAXNI KEFALIS-1 > Figure

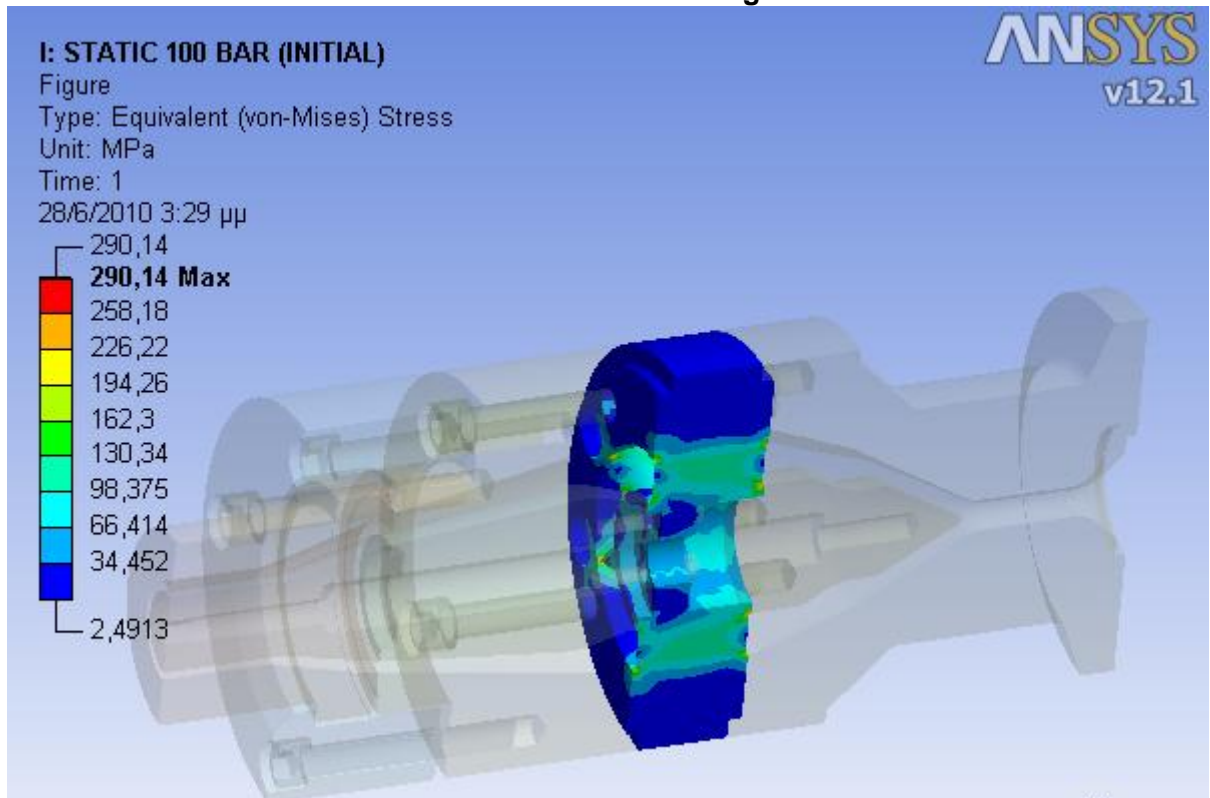


FIGURE 7
Model (I3) > Static Structural (I4) > Solution (I5) > Total Deformation - 3 - ARAXNI
KEFALIS-1 > Figure

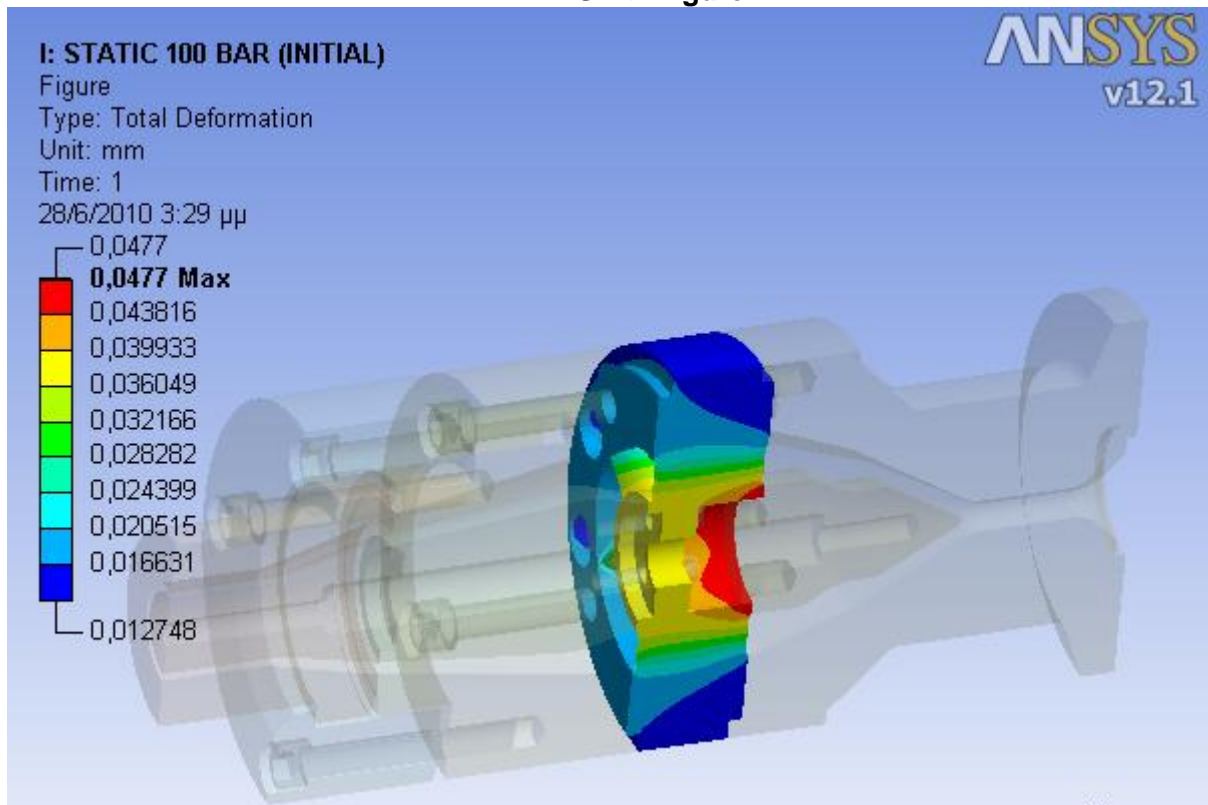


TABLE 28
Model (I3) > Static Structural (I4) > Solution (I5) > Results

Object Name	<i>Equivalent (von-Mises) Elastic Strain - 3 - ARAXNI KEFALIS-1</i>	<i>Equivalent (von-Mises) Stress - 4 - KONOS ARSENIKOY KEFALIS-1</i>	<i>Total Deformation - 4 - KONOS ARSENIKOY KEFALIS-1</i>	<i>Equivalent (von-Mises) Elastic Strain - 4 - KONOS ARSENIKOY KEFALIS-1</i>	<i>Equivalent (von-Mises) Stress - 5 - YPODOXI ARSENIKIS MITRAS-1</i>
State	Solved				
Scope					
Scoping Method	Geometry Selection				
Geometry	1 Body				
Definition					
Type	Equivalent (von-Mises) Elastic Strain	Equivalent (von-Mises) Stress	Total Deformation	Equivalent (von-Mises) Elastic Strain	Equivalent (von-Mises) Stress
By	Time				
Display Time	Last				
Calculate Time History	Yes				
Identifier					
Integration Point Results					

Display Option	Averaged		Averaged		
Results					
Minimum	1,214e-005 mm/mm	4,7453 MPa	4,5747e-002 mm	2,3667e-005 mm/mm	4,7189e-002 MPa
Maximum	1,4471e-003 mm/mm	172,13 MPa	5,6426e-002 mm	8,5852e-004 mm/mm	95,849 MPa
Information					
Time	1, s				
Load Step	1				
Substep	1				
Iteration Number	1				

FIGURE 8
Model (I3) > Static Structural (I4) > Solution (I5) > Equivalent (von-Mises) Elastic Strain
- 3 - ARAXNI KEFALIS-1 > Figure

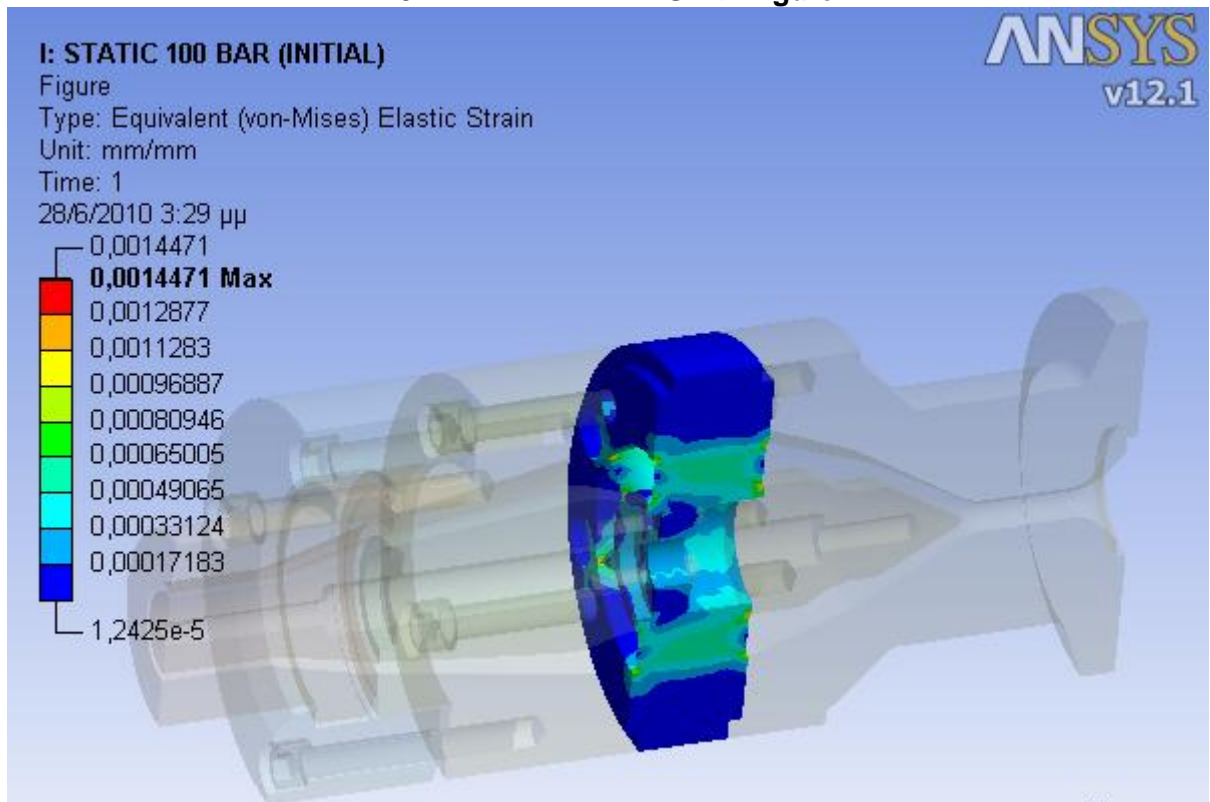


FIGURE 9
Model (I3) > Static Structural (I4) > Solution (I5) > Equivalent (von-Mises) Stress - 4 - KONOS ARSENIKOY KEFALIS-1 > Figure

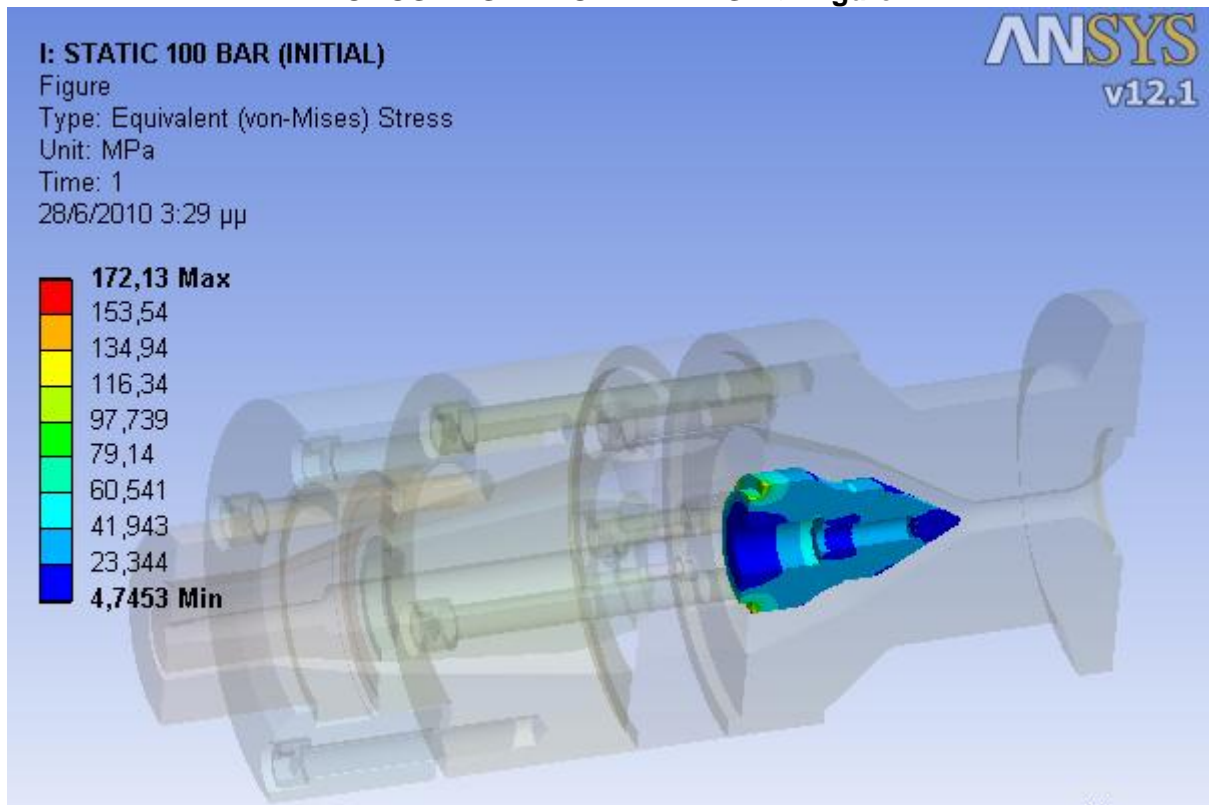


FIGURE 10
Model (I3) > Static Structural (I4) > Solution (I5) > Total Deformation - 4 - KONOS ARSENIKOY KEFALIS-1 > Figure

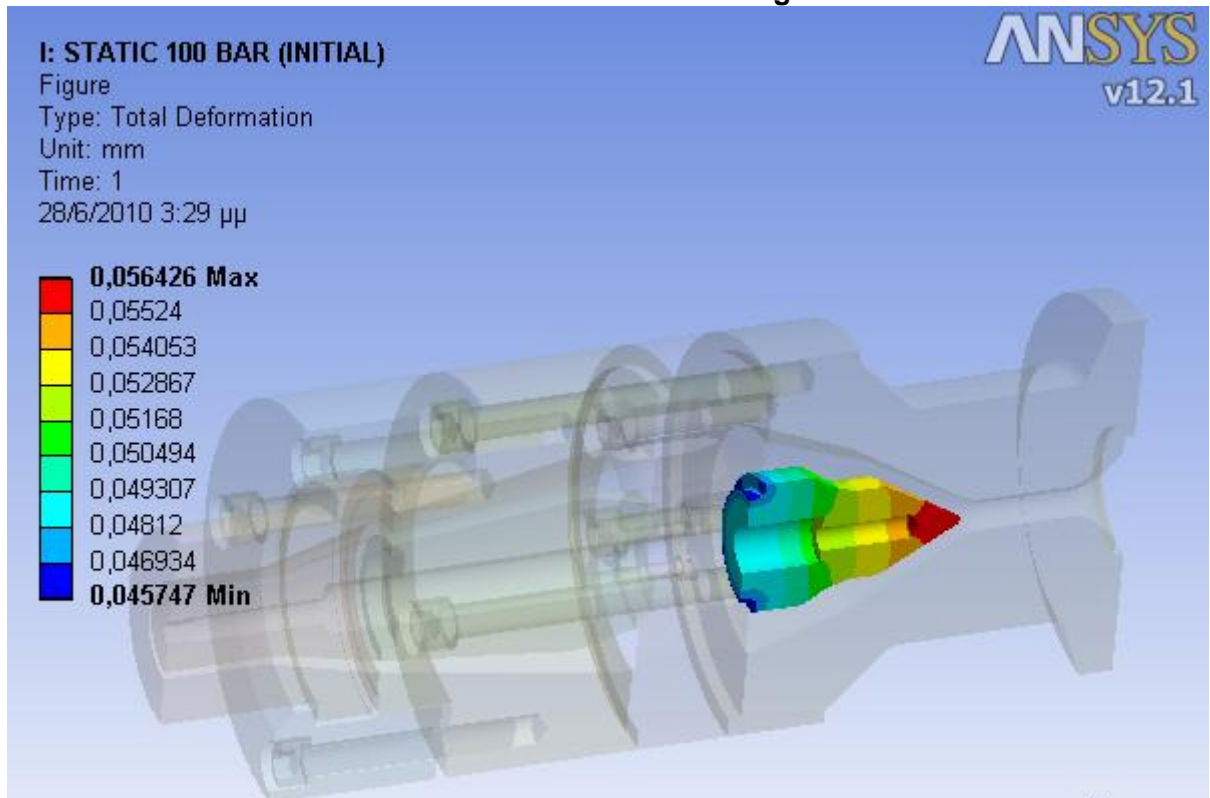


FIGURE 11

Model (I3) > Static Structural (I4) > Solution (I5) > Equivalent (von-Mises) Elastic Strain - 4 - KONOS ARSENIKOY KEFALIS-1 > Figure

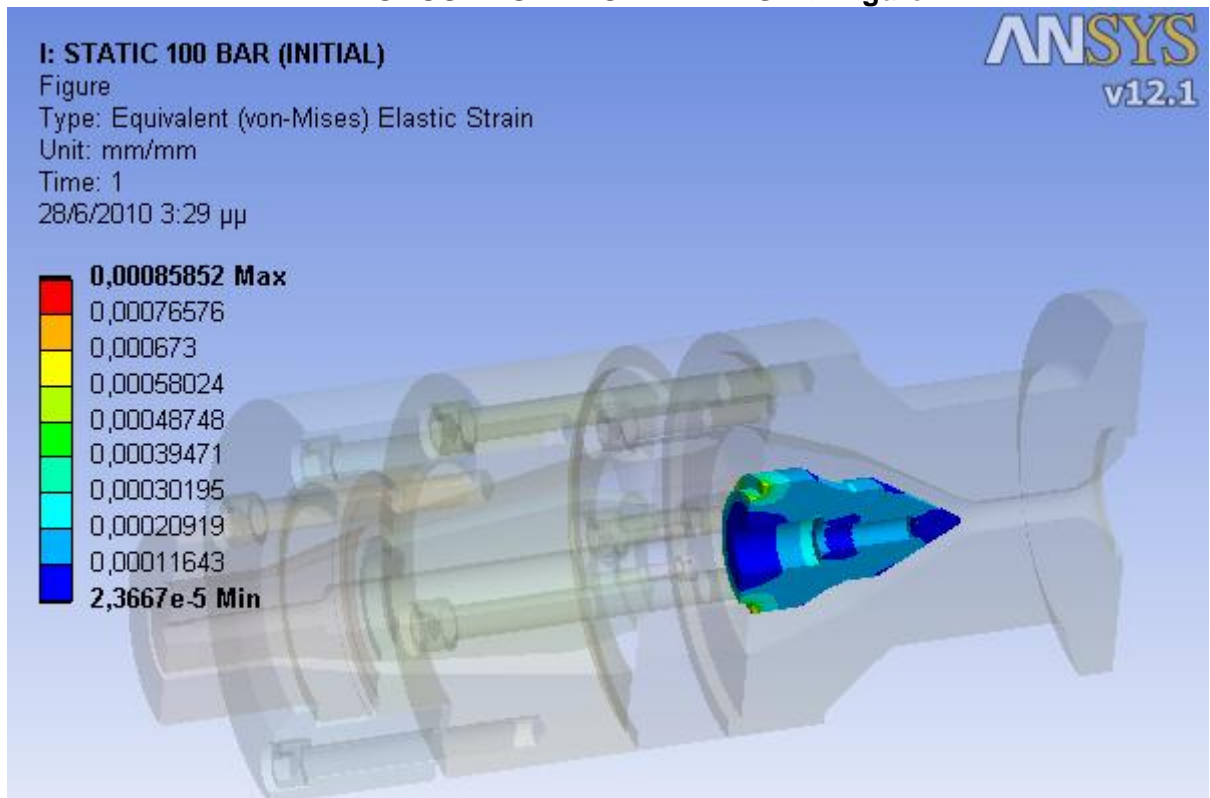


FIGURE 12

Model (I3) > Static Structural (I4) > Solution (I5) > Equivalent (von-Mises) Stress - 5 - YPODOXI ARSENIKIS MITRAS-1 > Figure

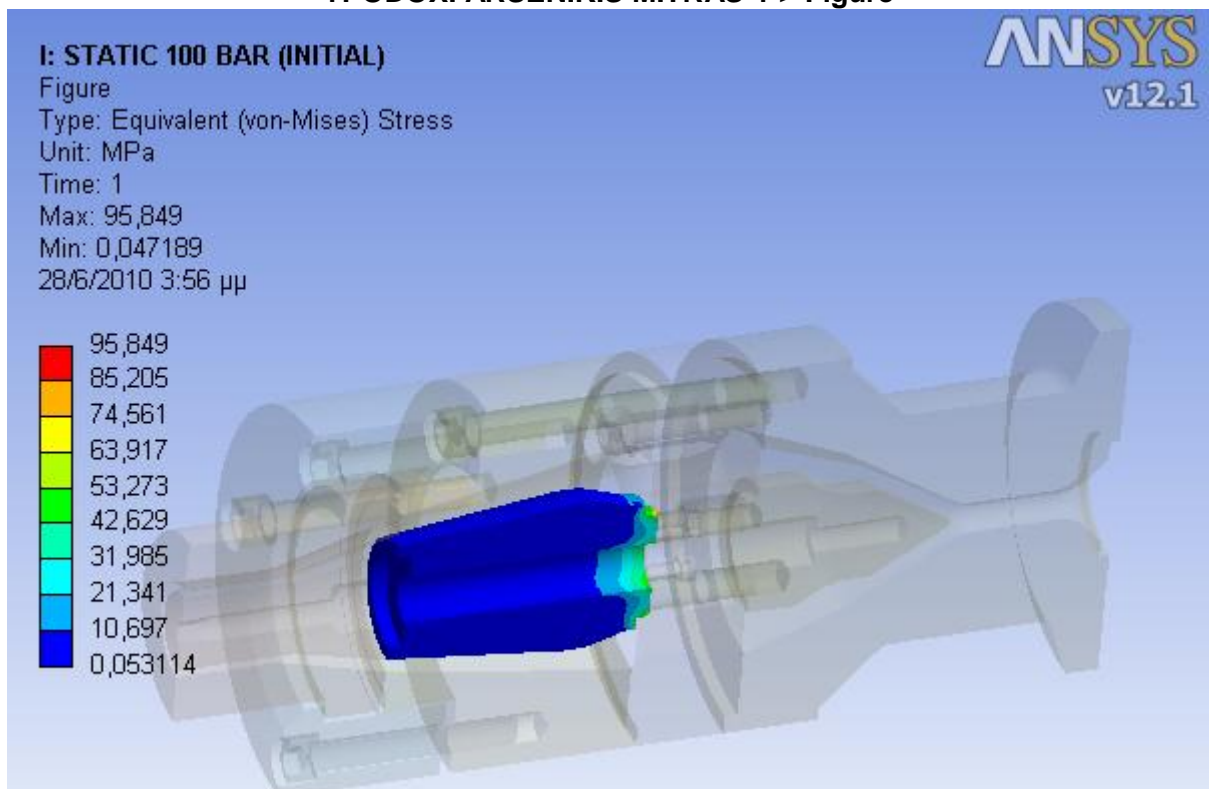


TABLE 29
Model (I3) > Static Structural (I4) > Solution (I5) > Results

Object Name	<i>Total Deformation - 5 - YPODOXI ARSENIKIS MITRAS-1</i>	<i>Equivalent (von-Mises) Elastic Strain - 5 - YPODOXI ARSENIKIS MITRAS-1</i>	<i>Equivalent (von-Mises) Stress - 8 - MITRA GIA SOLINA (ESOTERIKO)-1</i>	<i>Total Deformation - 8 - MITRA GIA SOLINA (ESOTERIKO)-1</i>	<i>Equivalent (von-Mises) Elastic Strain - 8 - MITRA GIA SOLINA (ESOTERIKO)-1</i>
State	Solved				
Scope					
Scoping Method	Geometry Selection				
Geometry	1 Body				
Definition					
Type	Total Deformation	Equivalent (von-Mises) Elastic Strain	Equivalent (von-Mises) Stress	Total Deformation	Equivalent (von-Mises) Elastic Strain
By	Time				
Display Time	Last				
Calculate Time History	Yes				
Identifier					
Results					
Minimum	3,7209e-002 mm	2,3536e-007 mm/mm	3,7988e-003 MPa	4,0495e-002 mm	1,8947e-008 mm/mm
Maximum	4,1105e-002 mm	4,7805e-004 mm/mm	3,3609 MPa	4,3239e-002 mm	1,6763e-005 mm/mm
Information					
Time	1, s				
Load Step	1				

Substep	1		
Iteration Number	1		
Integration Point Results			
Display Option		Averaged	Averaged

FIGURE 13
Model (I3) > Static Structural (I4) > Solution (I5) > Total Deformation - 5 - YPODOXI ARSENIKIS MITRAS-1 > Figure

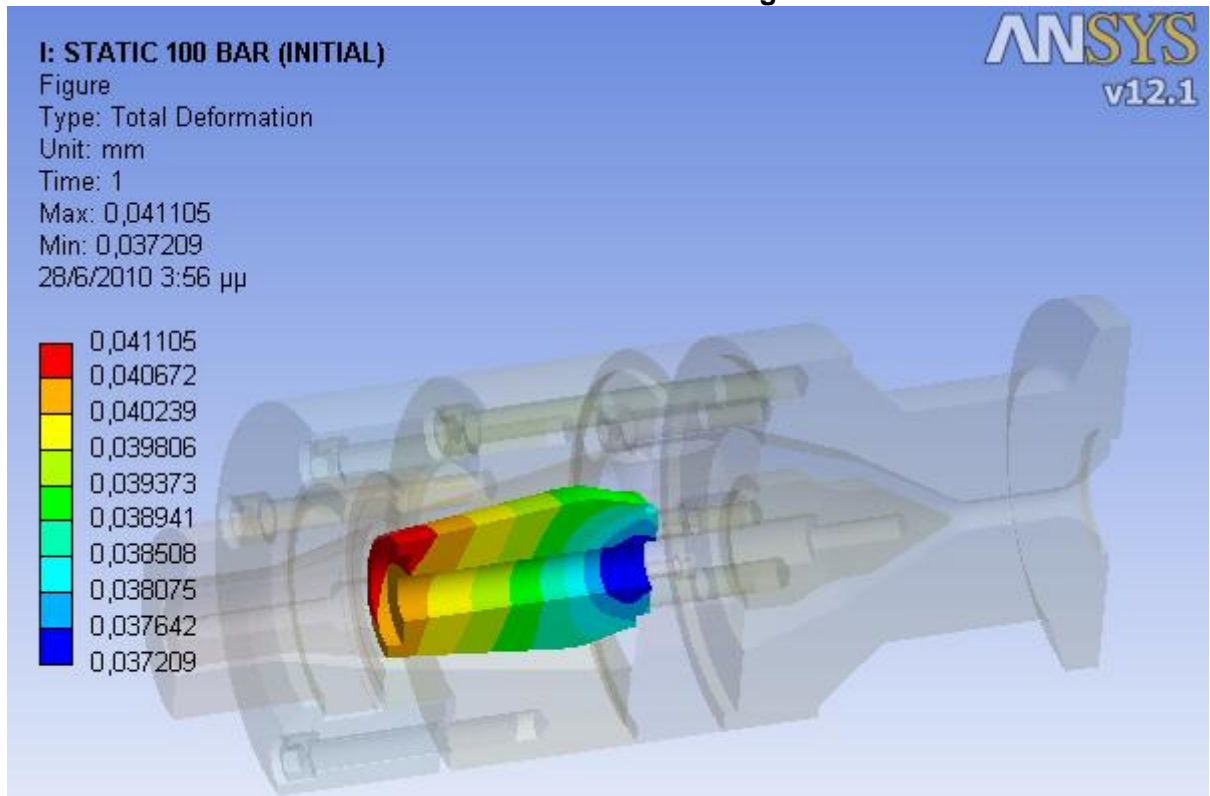


FIGURE 14
Model (I3) > Static Structural (I4) > Solution (I5) > Equivalent (von-Mises) Elastic Strain
- 5 - YPODOXI ARSENIKIS MITRAS-1 > Figure

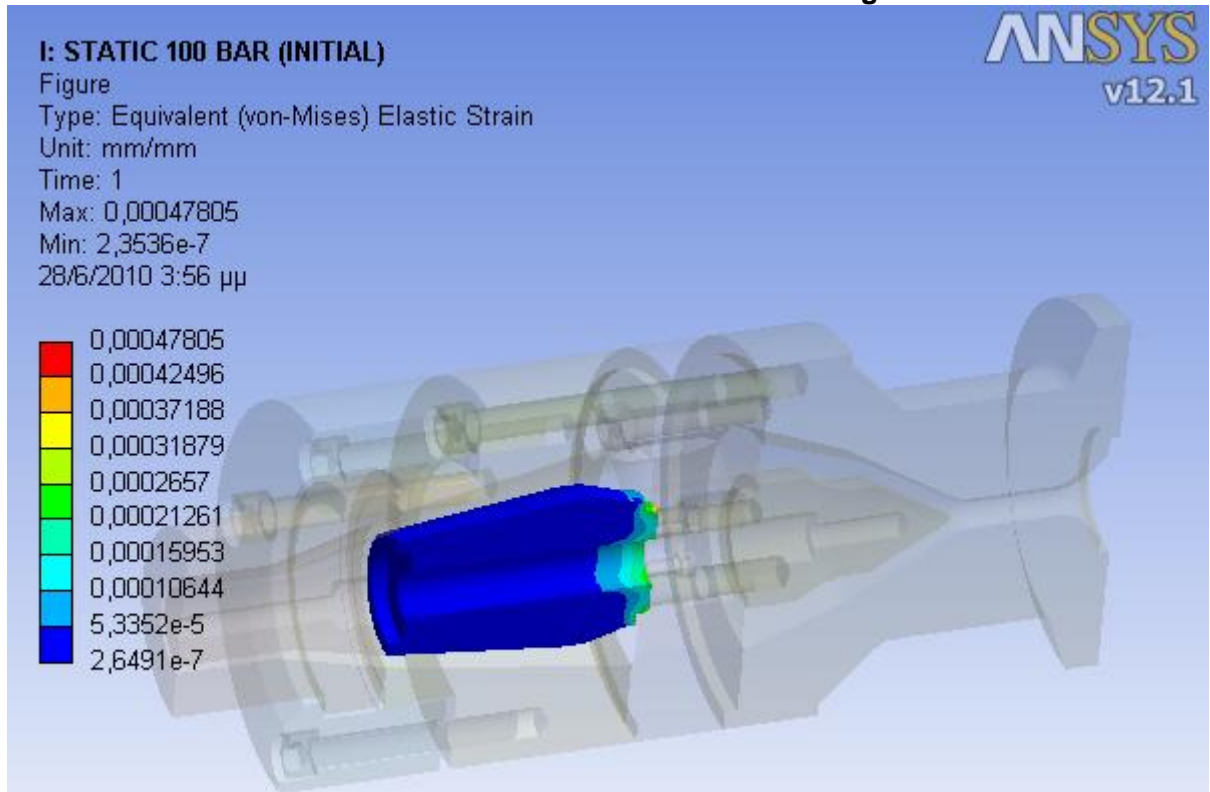


FIGURE 15
Model (I3) > Static Structural (I4) > Solution (I5) > Equivalent (von-Mises) Stress - 8 -
MITRA GIA SOLINA (ESOTERIKO)-1 > Figure

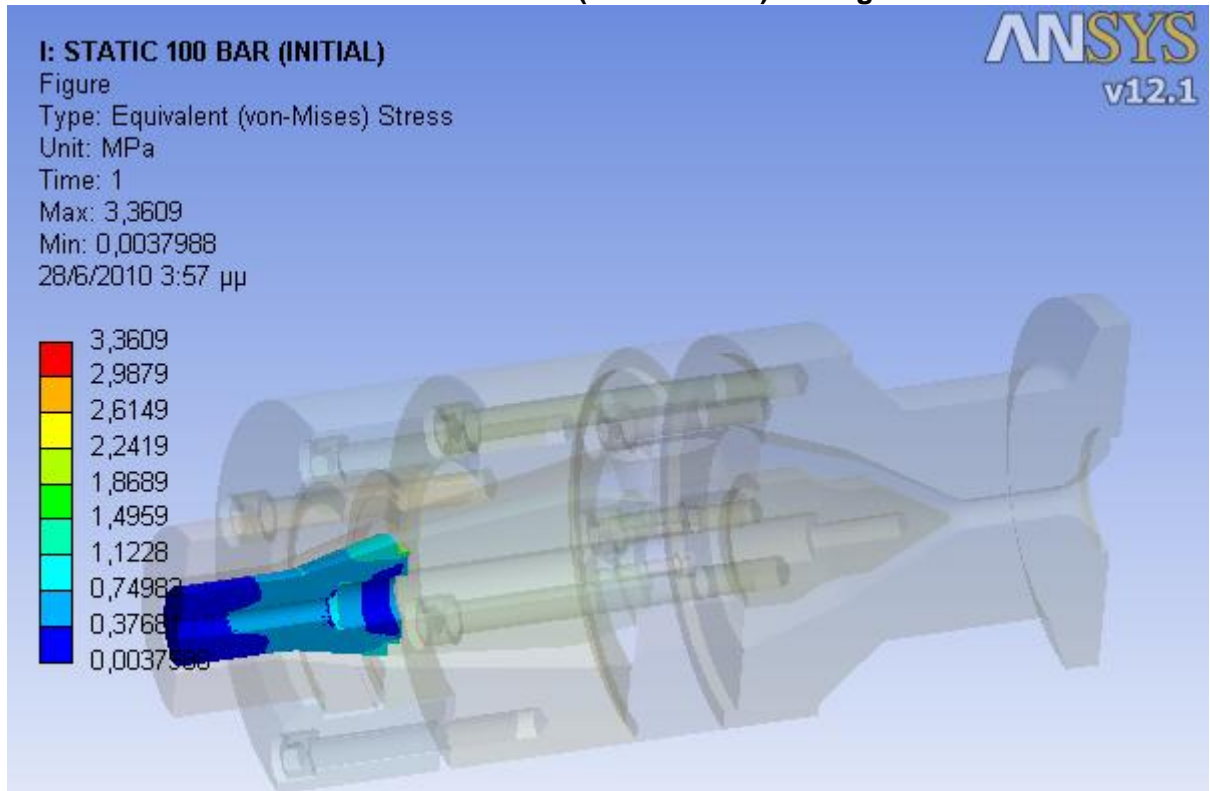


FIGURE 16

Model (I3) > Static Structural (I4) > Solution (I5) > Total Deformation - 8 - MITRA GIA SOLINA (ESOTERIKO)-1 > Figure

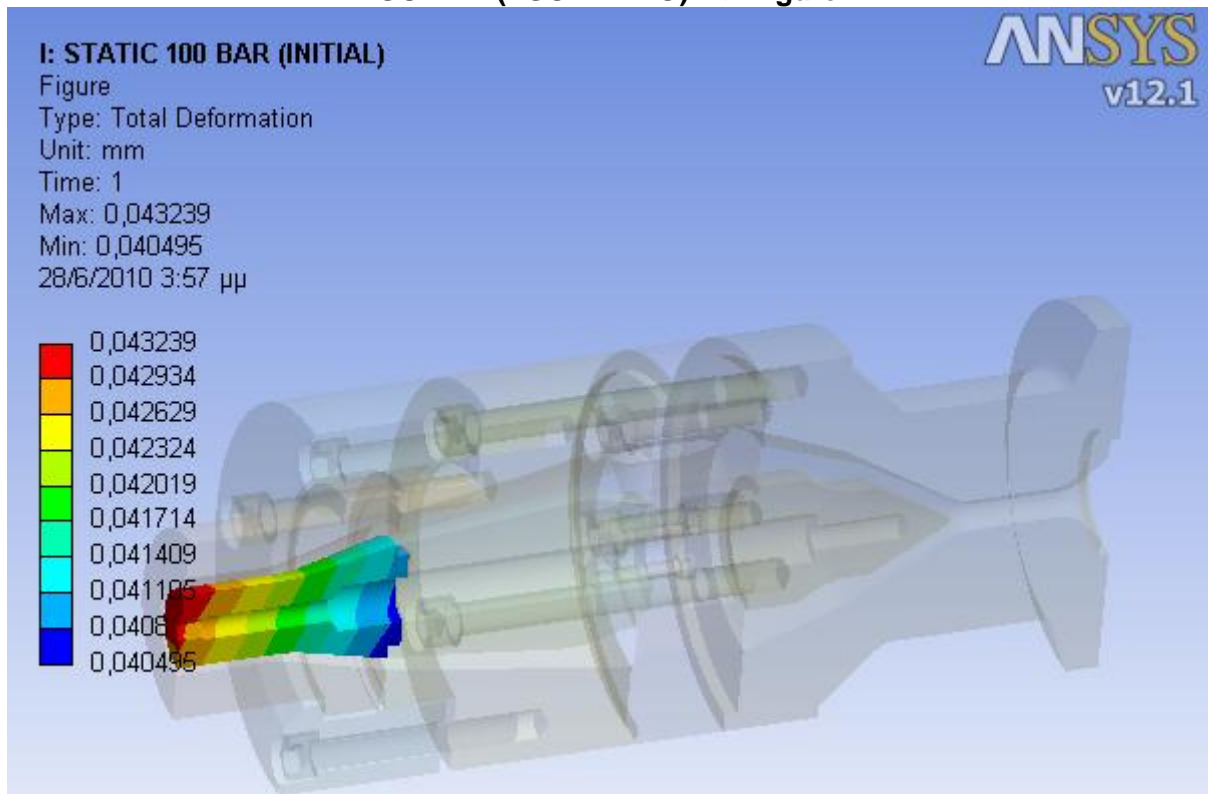


FIGURE 17

Model (I3) > Static Structural (I4) > Solution (I5) > Equivalent (von-Mises) Elastic Strain - 8 - MITRA GIA SOLINA (ESOTERIKO)-1 > Figure

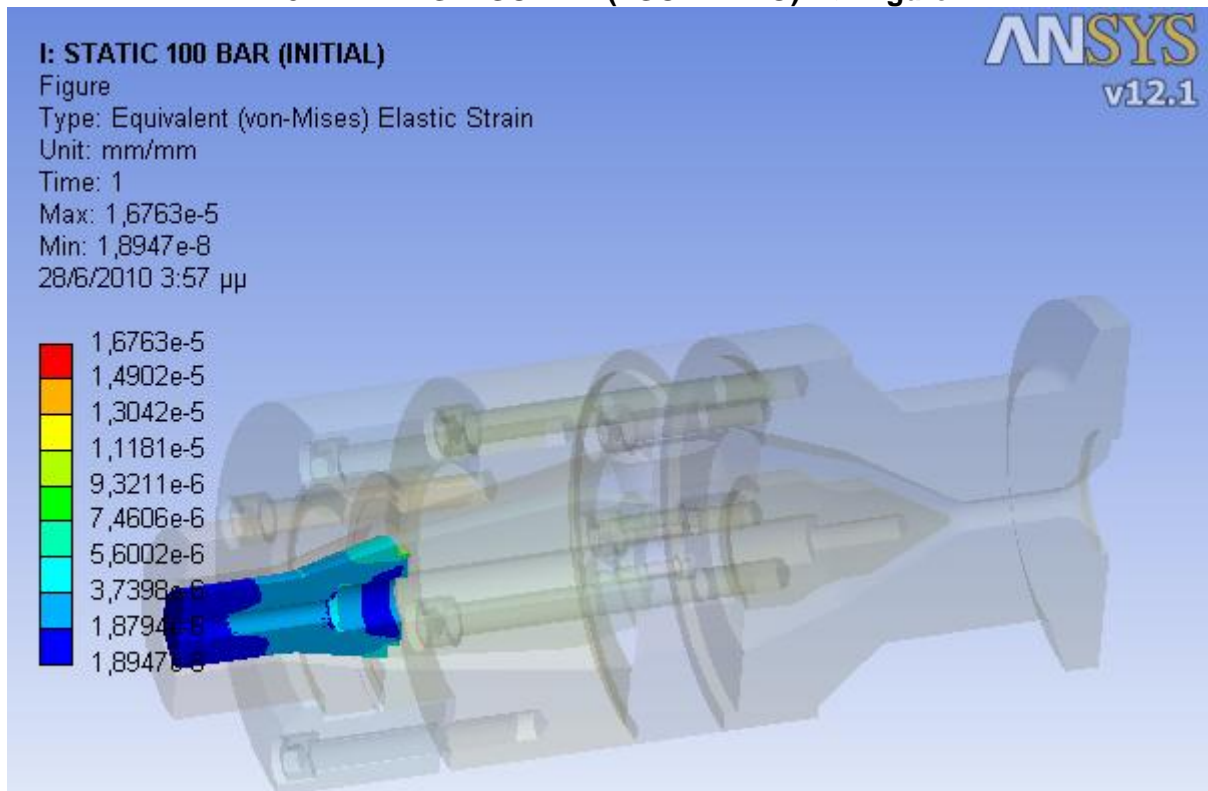


TABLE 30
Model (I3) > Static Structural (I4) > Solution (I5) > Results

Object Name	<i>Equivalent (von-Mises) Stress - 9 - MITRA GIA SOLINA (EKSOTERIKO) -1</i>	<i>Total Deformation - 9 - MITRA GIA SOLINA (EKSOTERIKO) -1</i>	<i>Equivalent (von-Mises) Elastic Strain - 9 - MITRA GIA SOLINA (EKSOTERIKO) -1</i>	<i>Equivalent (von-Mises) Stress - 7 - DAKTYLIOS SYGKRATISI S MITRAS-1</i>	<i>Total Deformation - 7 - DAKTYLIOS SYGKRATISI S MITRAS-1</i>
State	Solved				
Scope					
Scoping Method	Geometry Selection				
Geometry	1 Body				
Definition					
Type	Equivalent (von-Mises) Stress	Total Deformation	Equivalent (von-Mises) Elastic Strain	Equivalent (von-Mises) Stress	Total Deformation
By	Time				
Display Time	Last				
Calculate Time History	Yes				
Identifier					
Integration Point Results					
Display Option	Averaged		Averaged		
Results					
Minimum	1,4339e-002 MPa	1,7883e-002 mm	7,1516e-008 mm/mm	2,6476e-003 MPa	1,7096e-002 mm
Maximum	1,0992 MPa	2,0263e-002 mm	5,4823e-006 mm/mm	4,1724 MPa	1,9357e-002 mm

Information	
Time	1, s
Load Step	1
Substep	1
Iteration Number	1

FIGURE 18
Model (I3) > Static Structural (I4) > Solution (I5) > Equivalent (von-Mises) Stress - 9 -
MITRA GIA SOLINA (EKSOTERIKO)-1 > Figure

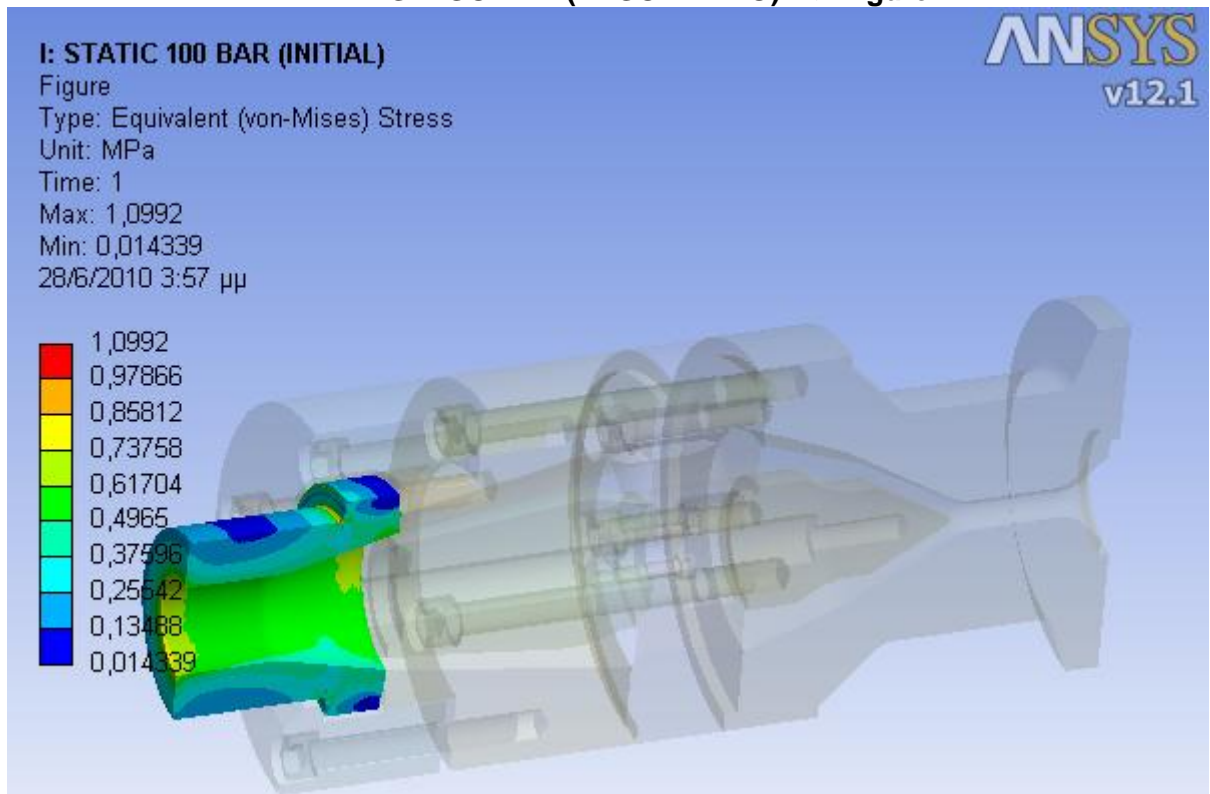


FIGURE 19
Model (I3) > Static Structural (I4) > Solution (I5) > Total Deformation - 9 - MITRA GIA SOLINA (EKSOTERIKO)-1 > Figure

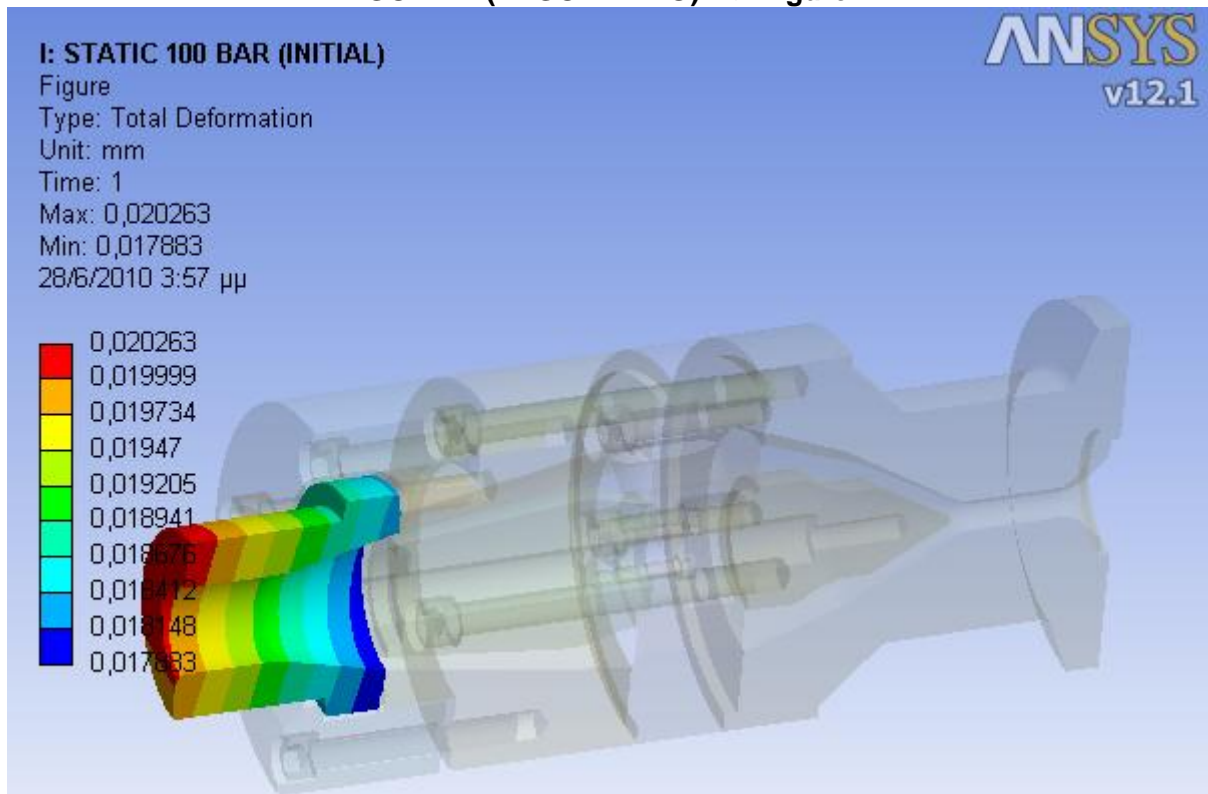


FIGURE 20
Model (I3) > Static Structural (I4) > Solution (I5) > Equivalent (von-Mises) Elastic Strain - 9 - MITRA GIA SOLINA (EKSOTERIKO)-1 > Figure

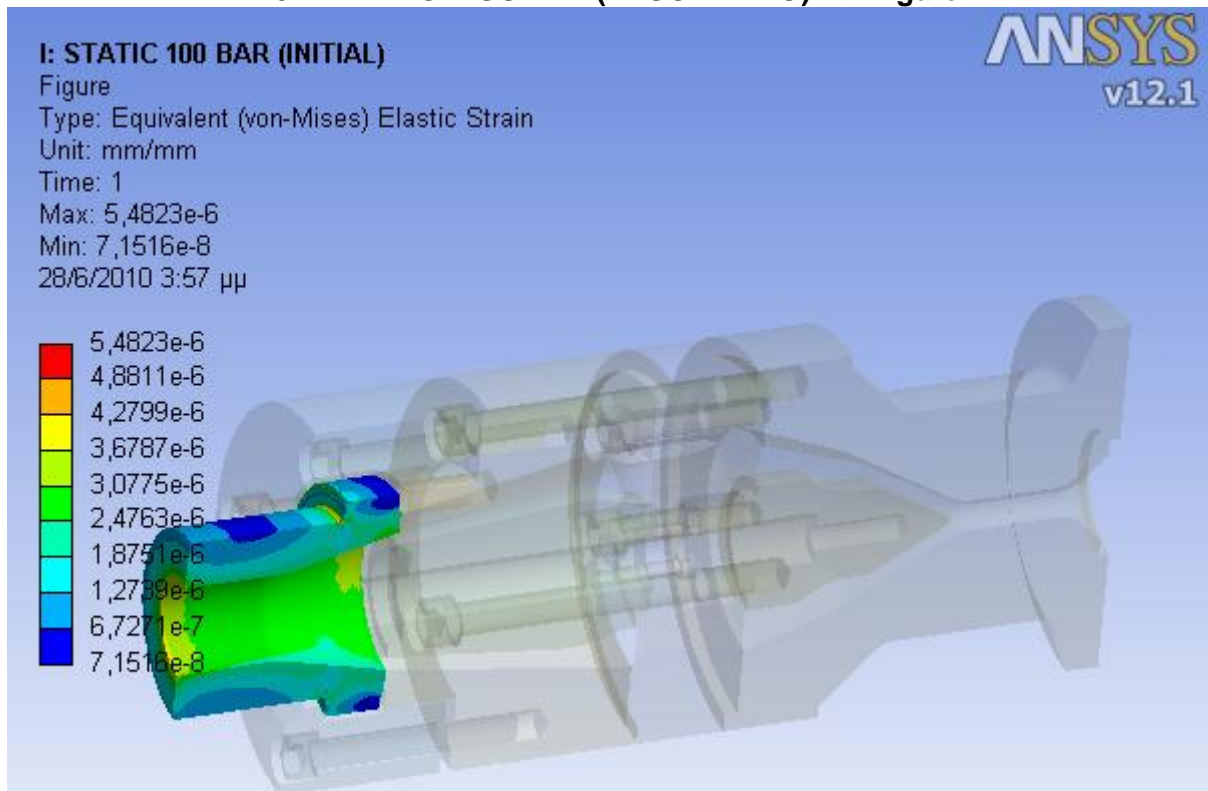


FIGURE 21

Model (I3) > Static Structural (I4) > Solution (I5) > Equivalent (von-Mises) Stress - 7 - DAKTYLIOS SYGKRATISIS MITRAS-1 > Figure

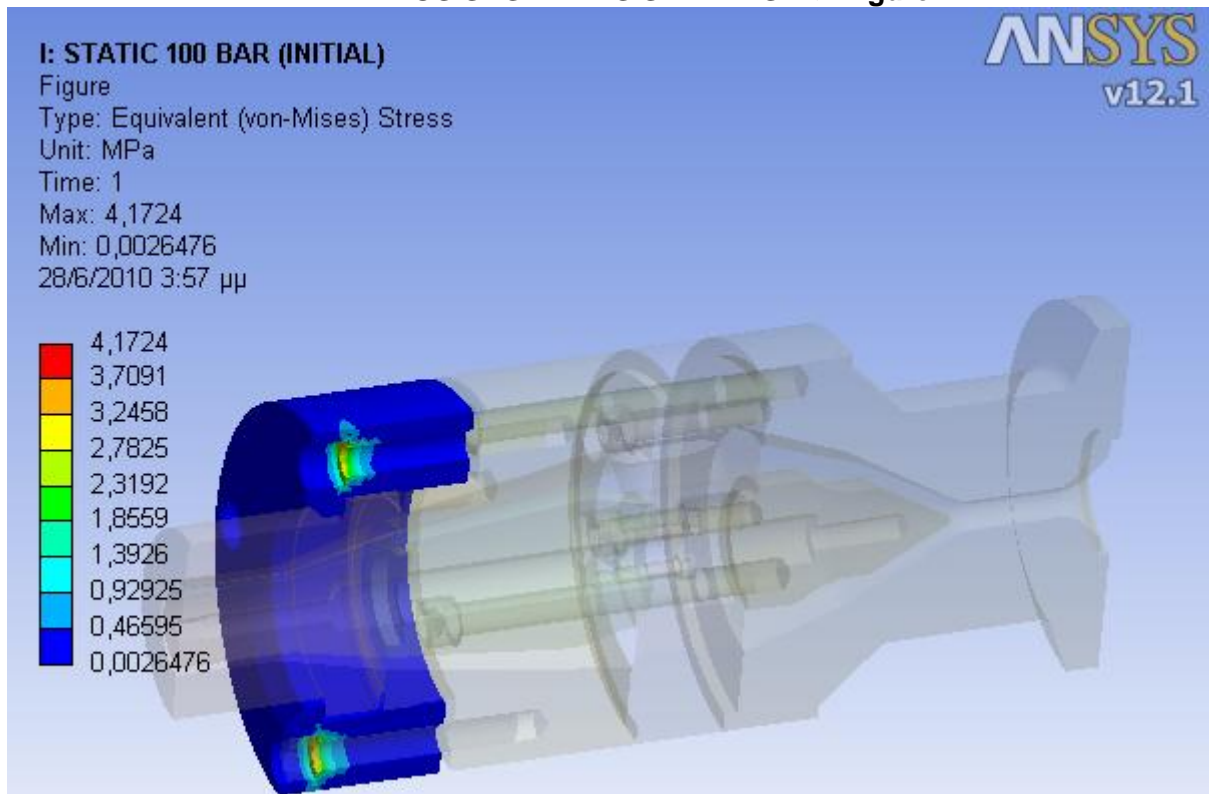


FIGURE 22

Model (I3) > Static Structural (I4) > Solution (I5) > Total Deformation - 7 - DAKTYLIOS SYGKRATISIS MITRAS-1 > Figure

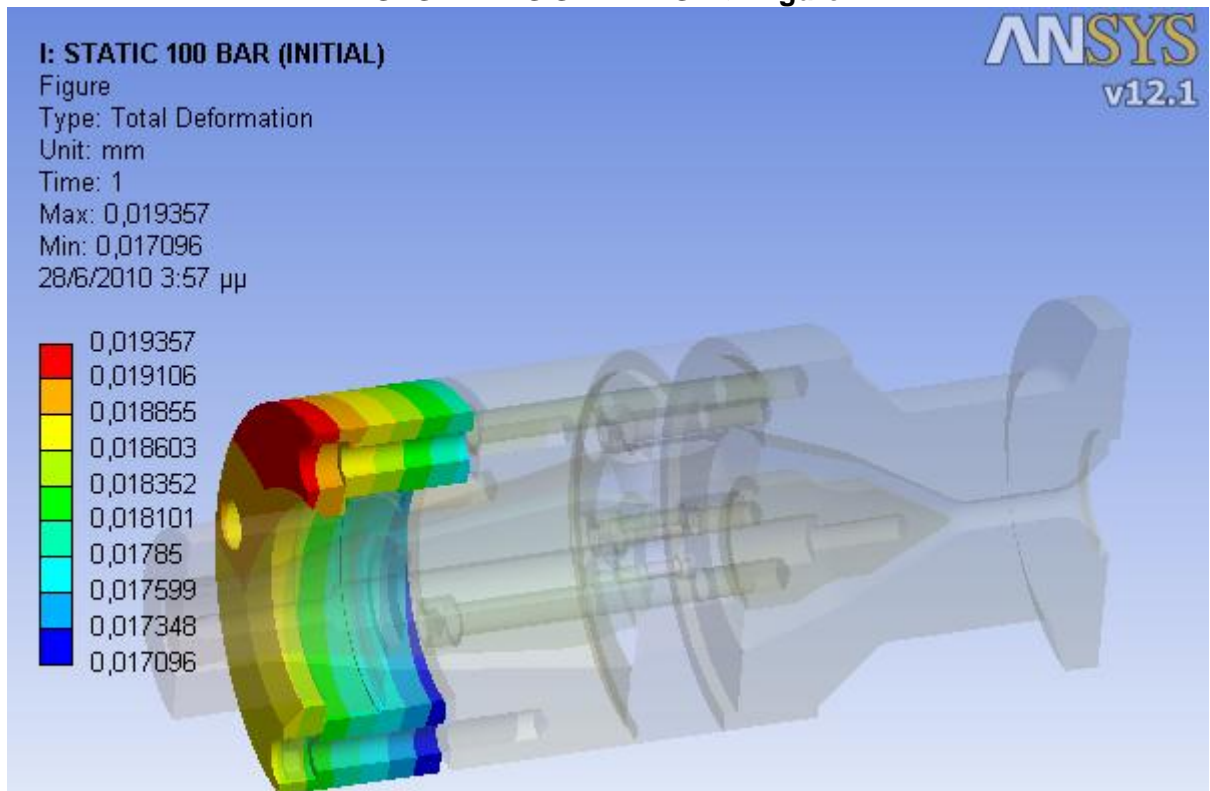


TABLE 31
Model (I3) > Static Structural (I4) > Solution (I5) > Results

Object Name	<i>Equivalent (von-Mises) Elastic Strain - 7 - DAKTYLIOS SYGKRATISIS MITRAS-1</i>	<i>Equivalent (von-Mises) Stress - 2 - SOMA KEFALIS-1</i>	<i>Total Deformation - 2 - SOMA KEFALIS-1</i>	<i>Equivalent (von-Mises) Elastic Strain - 2 - SOMA KEFALIS-1</i>	<i>Equivalent (von-Mises) Stress - 1 - LAIMOS KEFALIS-1</i>
State	Solved				
Scope					
Scoping Method	Geometry Selection				
Geometry	1 Body				
Definition					
Type	Equivalent (von-Mises) Elastic Strain	Equivalent (von-Mises) Stress	Total Deformation	Equivalent (von-Mises) Elastic Strain	Equivalent (von-Mises) Stress
By	Time				
Display Time	Last				
Calculate Time History	Yes				
Identifier					
Integration Point Results					
Display Option	Averaged			Averaged	
Results					
Minimum	1,3205e-008 mm/mm	1,462e-002 MPa	1,6011e-002 mm	7,2917e-008 mm/mm	0,61081 MPa
Maximum	2,081e-005 mm/mm	99,249 MPa	2,0165e-002 mm	4,9501e-004 mm/mm	203,41 MPa
Information					

Time	1, s
Load Step	1
Substep	1
Iteration Number	1

FIGURE 23

Model (I3) > Static Structural (I4) > Solution (I5) > Equivalent (von-Mises) Elastic Strain
- 7 - DAKTYLIOS SYGKRATISIS MITRAS-1 > Figure

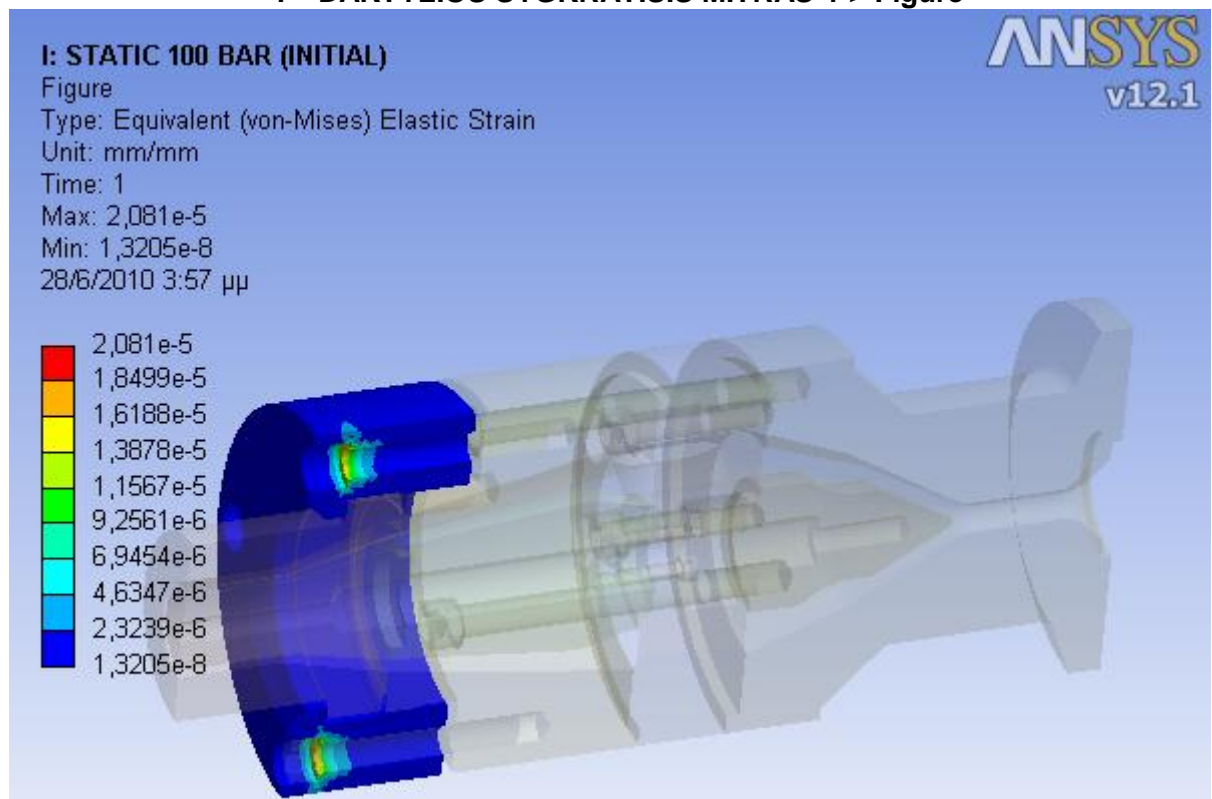


FIGURE 24
Model (I3) > Static Structural (I4) > Solution (I5) > Equivalent (von-Mises) Stress - 2 - SOMA KEFALIS-1 > Figure

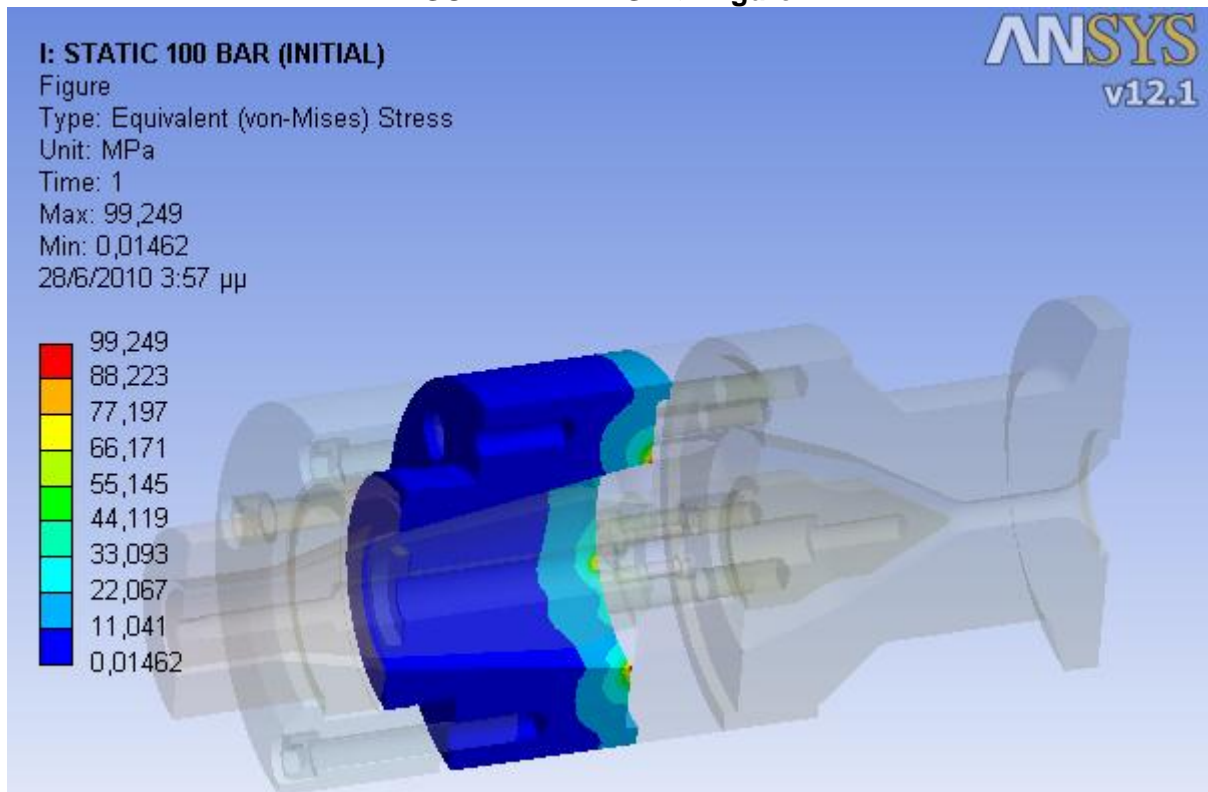


FIGURE 25
Model (I3) > Static Structural (I4) > Solution (I5) > Total Deformation - 2 - SOMA KEFALIS-1 > Figure

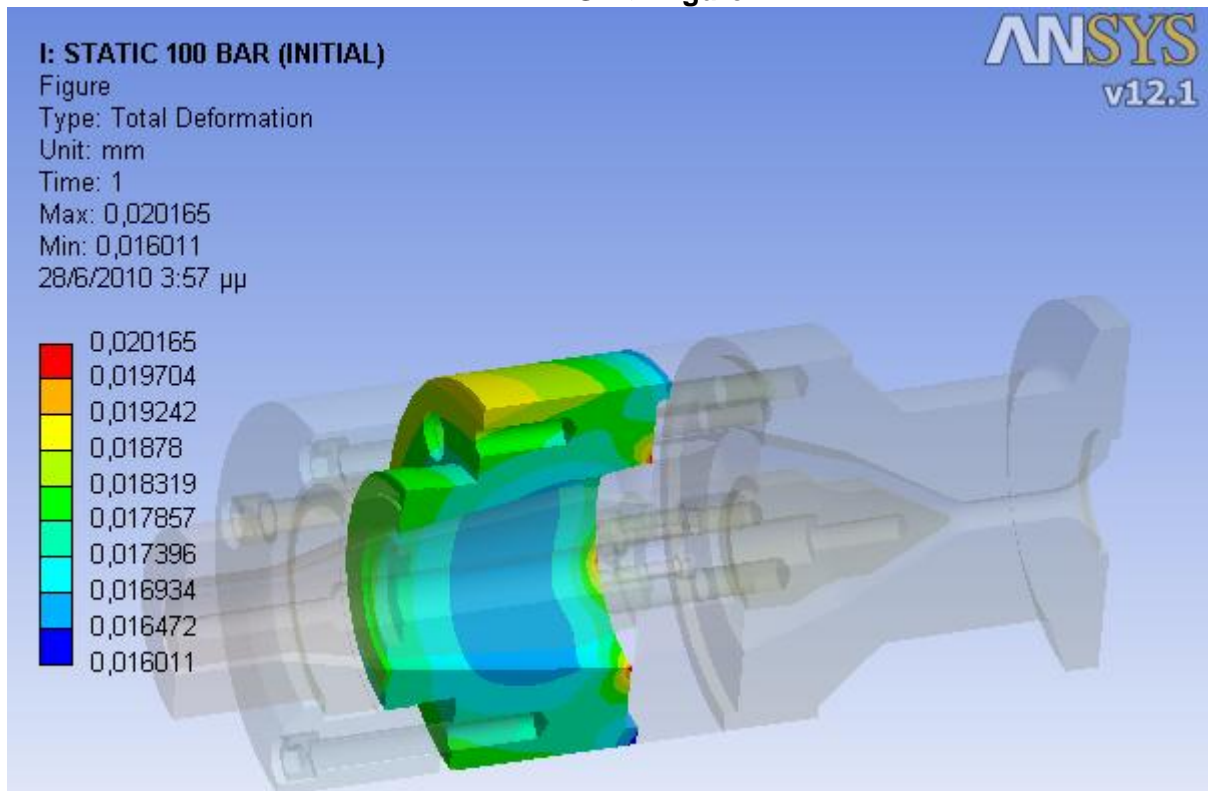


FIGURE 26

Model (I3) > Static Structural (I4) > Solution (I5) > Equivalent (von-Mises) Elastic Strain - 2 - SOMA KEFALIS-1 > Figure

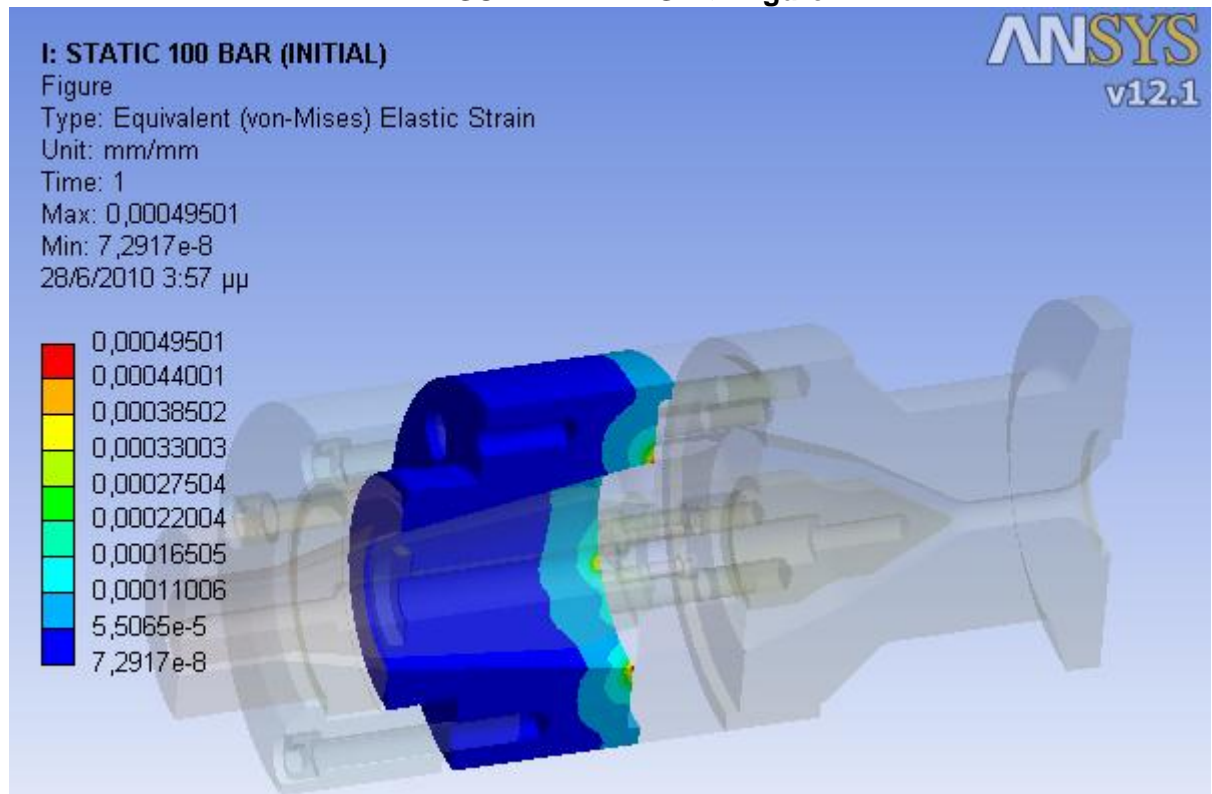


FIGURE 27

Model (I3) > Static Structural (I4) > Solution (I5) > Equivalent (von-Mises) Stress - 1 - LAIMOS KEFALIS-1 > Figure

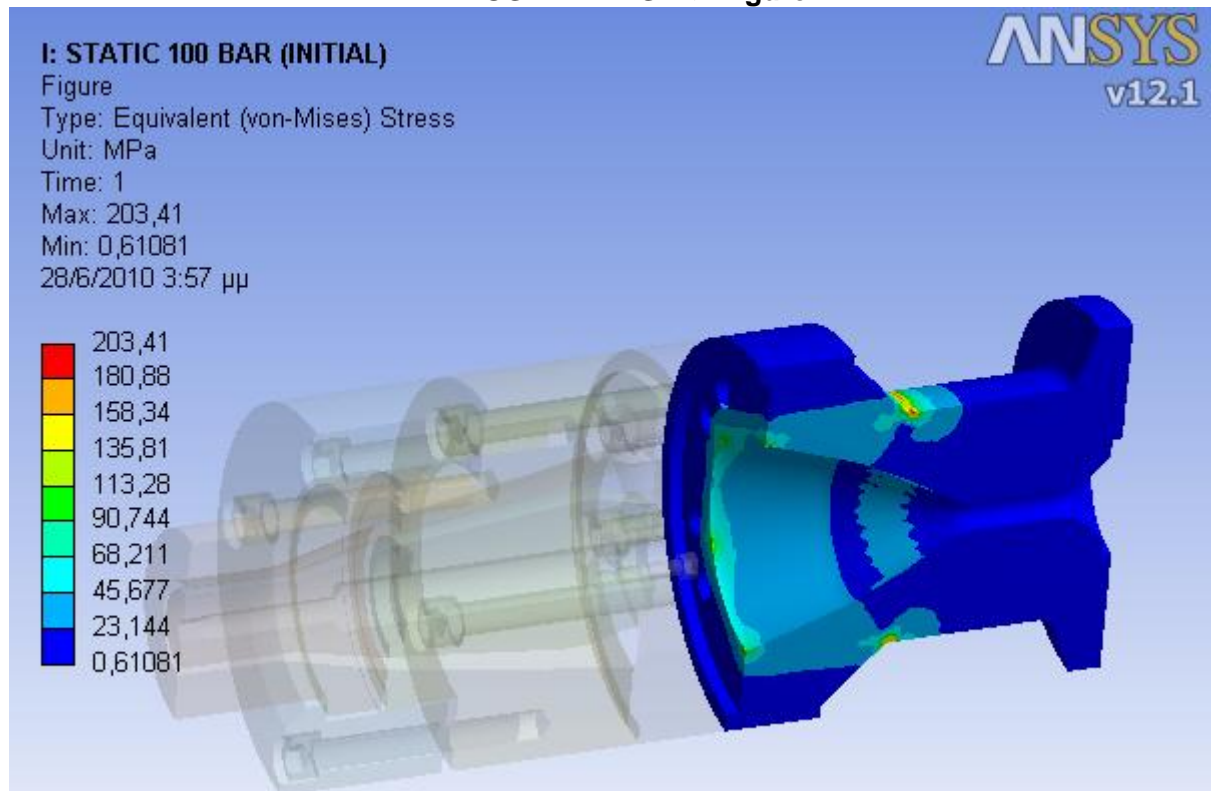


TABLE 32
Model (I3) > Static Structural (I4) > Solution (I5) > Results

Object Name	<i>Total Deformation - 1 - LAIMOS KEFALIS-1</i>	<i>Equivalent (von-Mises) Elastic Strain - 1 - LAIMOS KEFALIS-1</i>
State	Solved	
Scope		
Scoping Method	Geometry Selection	
Geometry	1 Body	
Definition		
Type	Total Deformation	Equivalent (von-Mises) Elastic Strain
By	Time	
Display Time	Last	
Calculate Time History	Yes	
Identifier		
Results		
Minimum	0, mm	3,0465e-006 mm/mm
Maximum	1,7605e-002 mm	1,0145e-003 mm/mm
Information		
Time	1, s	
Load Step	1	
Substep	1	
Iteration Number	1	
Integration Point Results		
Display Option	Averaged	

FIGURE 28
Model (I3) > Static Structural (I4) > Solution (I5) > Total Deformation - 1 - LAIMOS
KEFALIS-1 > Figure

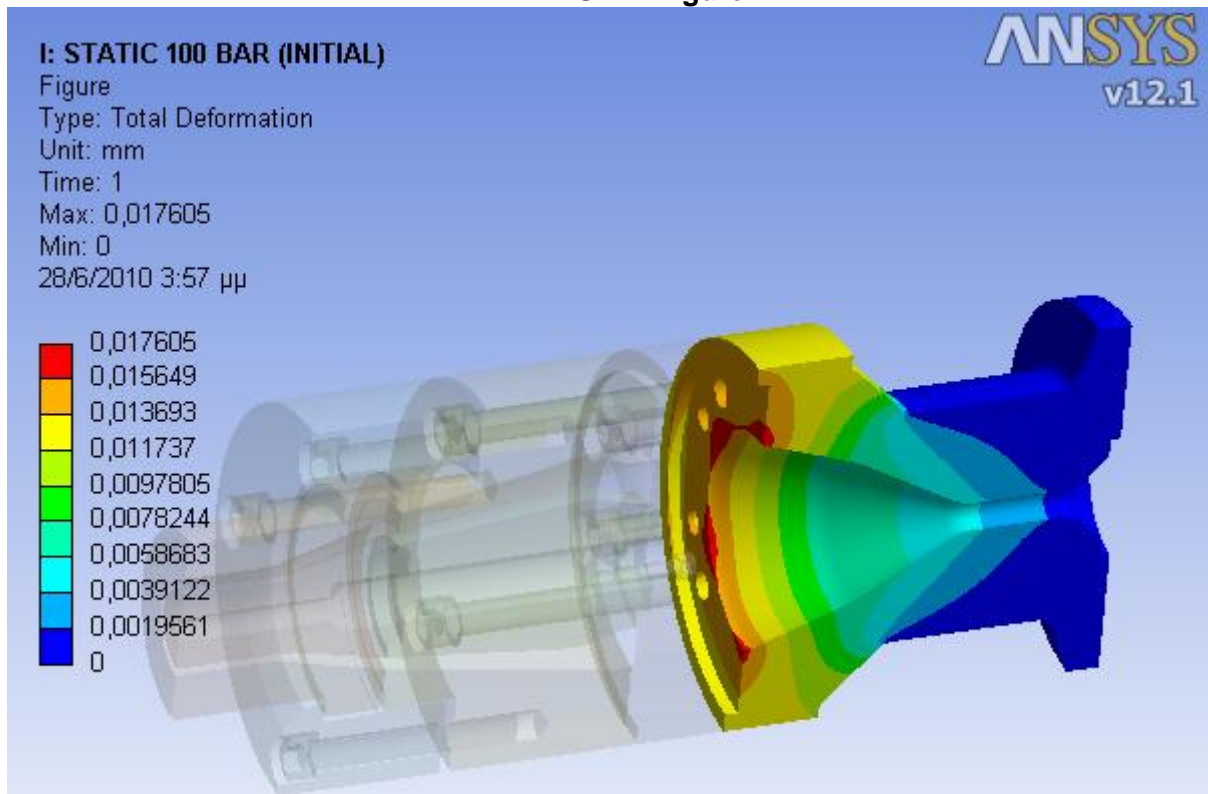


FIGURE 29
Model (I3) > Static Structural (I4) > Solution (I5) > Equivalent (von-Mises) Elastic Strain
- 1 - LAIMOS KEFALIS-1 > Figure

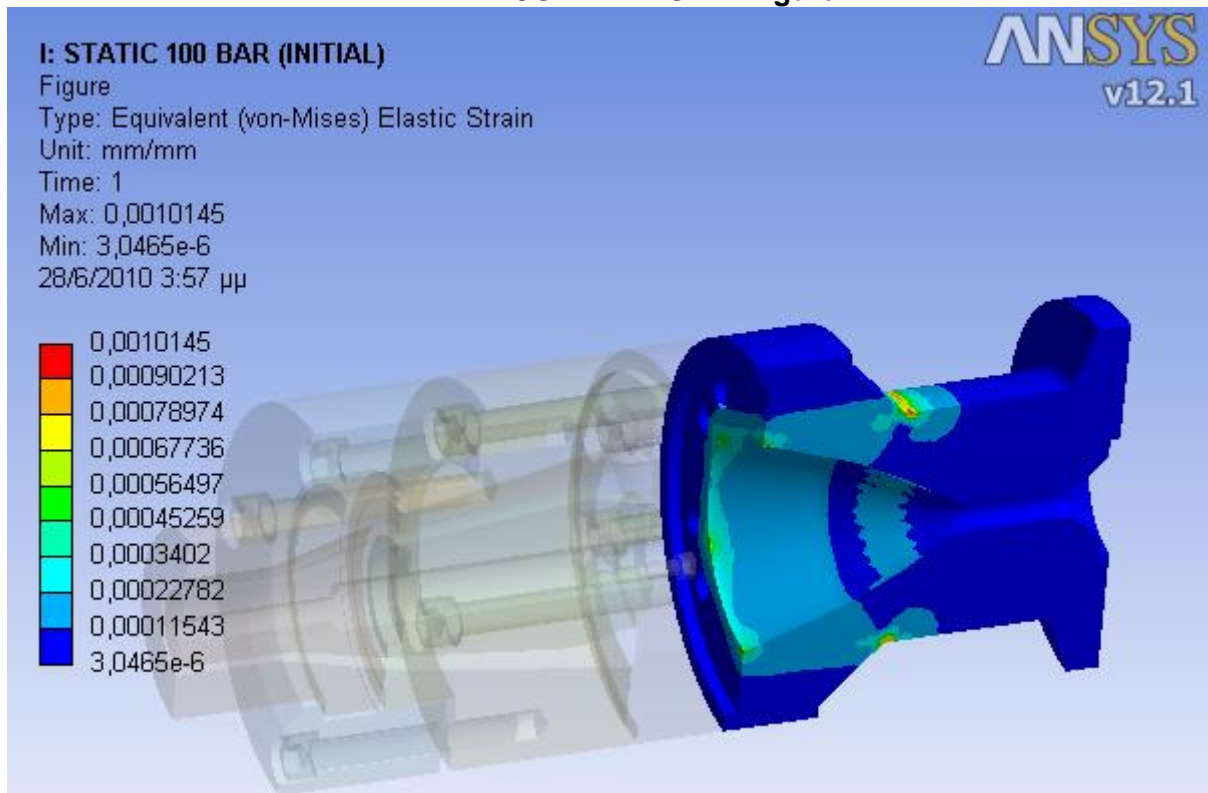


TABLE 33
Model (I3) > Static Structural (I4) > Solution (I5) > Stress Safety Tools

Object Name	<i>Stress Tool</i>
State	Solved
Definition	
Theory	Max Equivalent Stress
Stress Limit Type	Tensile Yield Per Material

TABLE 34
Model (I3) > Static Structural (I4) > Solution (I5) > Stress Tool > Results

Object Name	<i>Safety Factor</i>	<i>Safety Factor - 3 - ARAXNI KEFALIS-1</i>	<i>Safety Factor - 4 - KONOS ARSENIKOY KEFALIS-1</i>	<i>Safety Factor - 5 - YPODOXI ARSENIKIS MITRAS-1</i>	<i>Safety Factor - 8 - MITRA GIA SOLINA (ESOTERIKO)-1</i>
State	Solved				
Scope					
Scoping Method	Geometry Selection				
Geometry	All Bodies	1 Body			
Definition					
Type	Safety Factor				
By	Time				
Display Time	Last				
Calculate Time History	Yes				
Identifier					
Integration Point Results					
Display Option	Averaged				
Results					

Minimum	1,5153	3,0881	5,2053	9,348	> 10
Minimum Occurs On	DIN 912 M6 x 25 --- 25N-4				
Information					
Time	1, s				
Load Step	1				
Substep	1				
Iteration Number	1				

FIGURE 30
Model (I3) > Static Structural (I4) > Solution (I5) > Stress Tool > Safety Factor > Figure

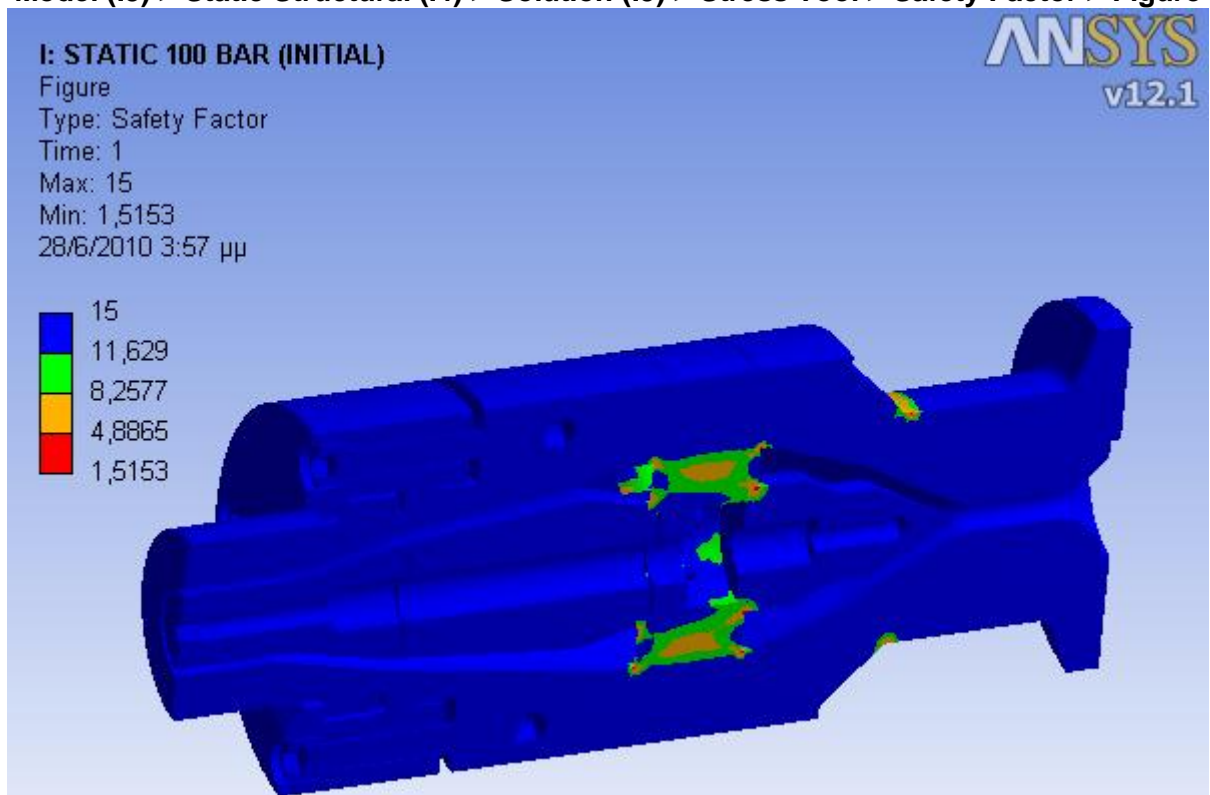


FIGURE 31
Model (I3) > Static Structural (I4) > Solution (I5) > Stress Tool > Safety Factor - 3 -
ARAXNI KEFALIS-1 > Figure

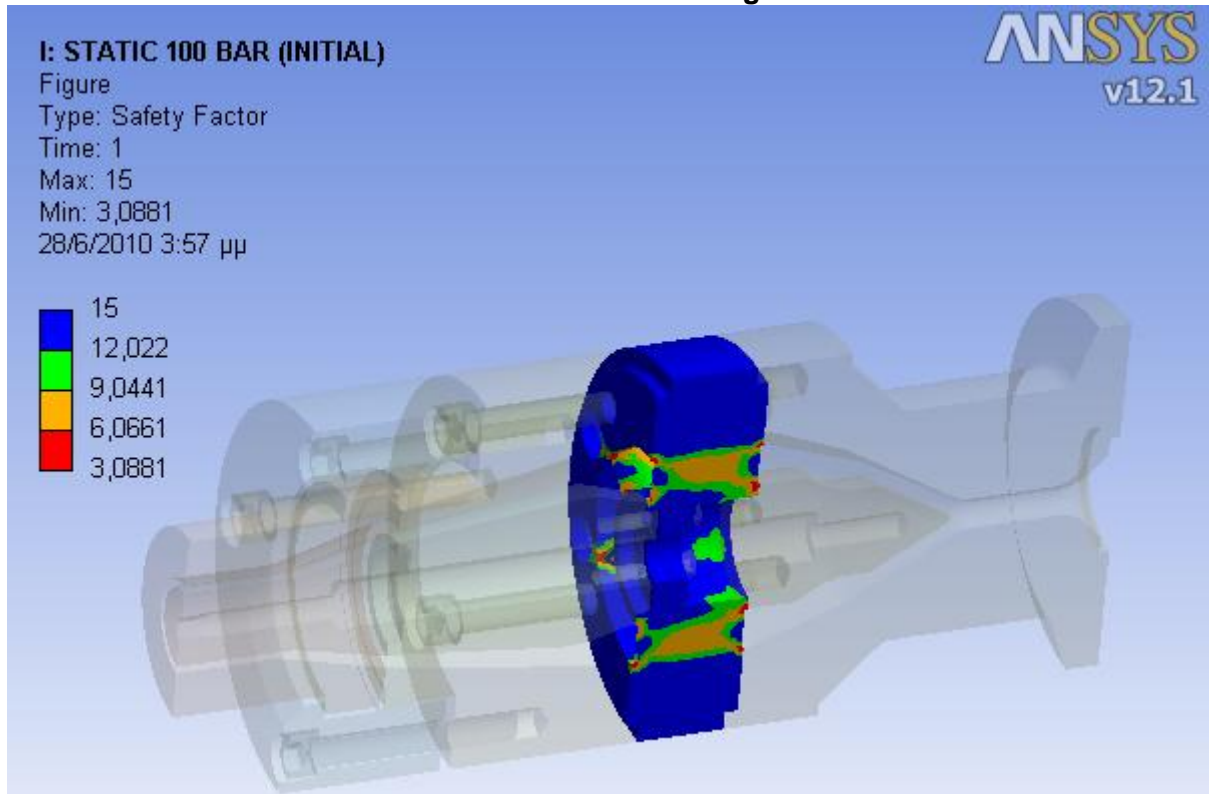


FIGURE 32
Model (I3) > Static Structural (I4) > Solution (I5) > Stress Tool > Safety Factor - 4 -
KONOS ARSENIKOY KEFALIS-1 > Figure

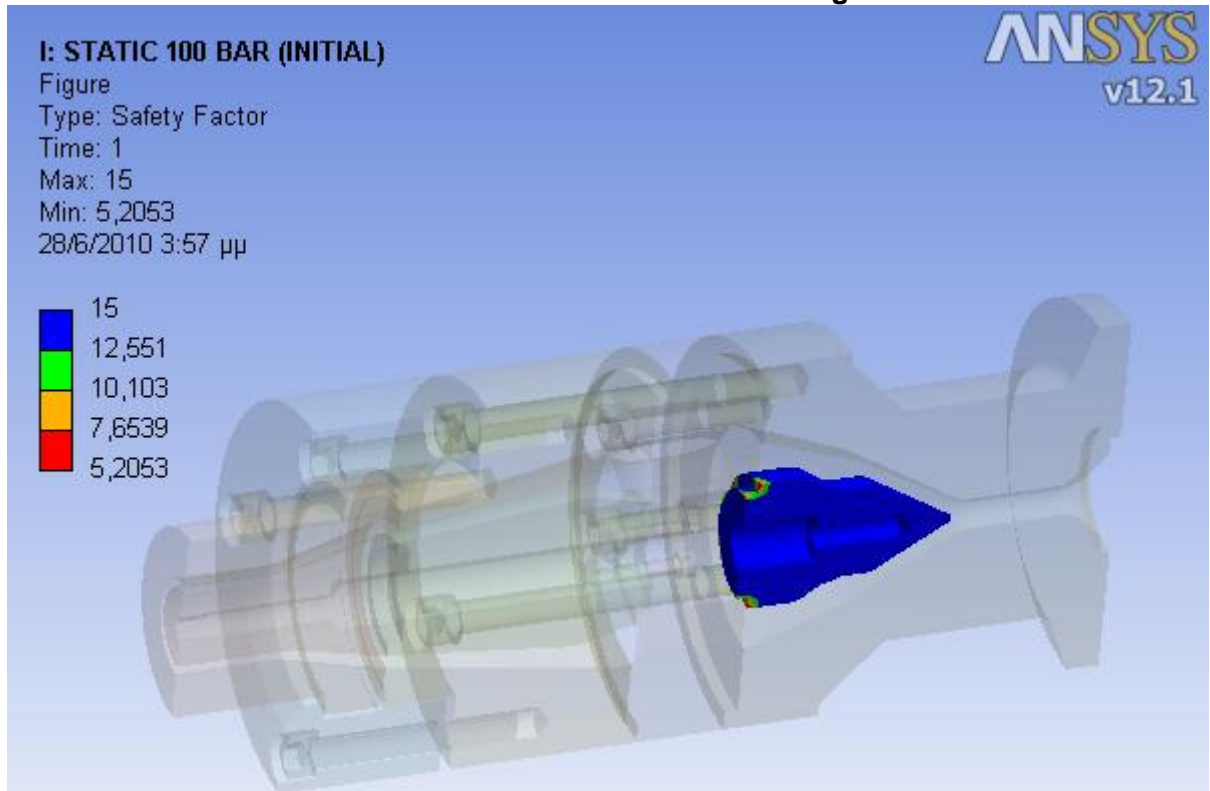


FIGURE 33
Model (I3) > Static Structural (I4) > Solution (I5) > Stress Tool > Safety Factor - 5 -
YPODOXI ARSENIKIS MITRAS-1 > Figure

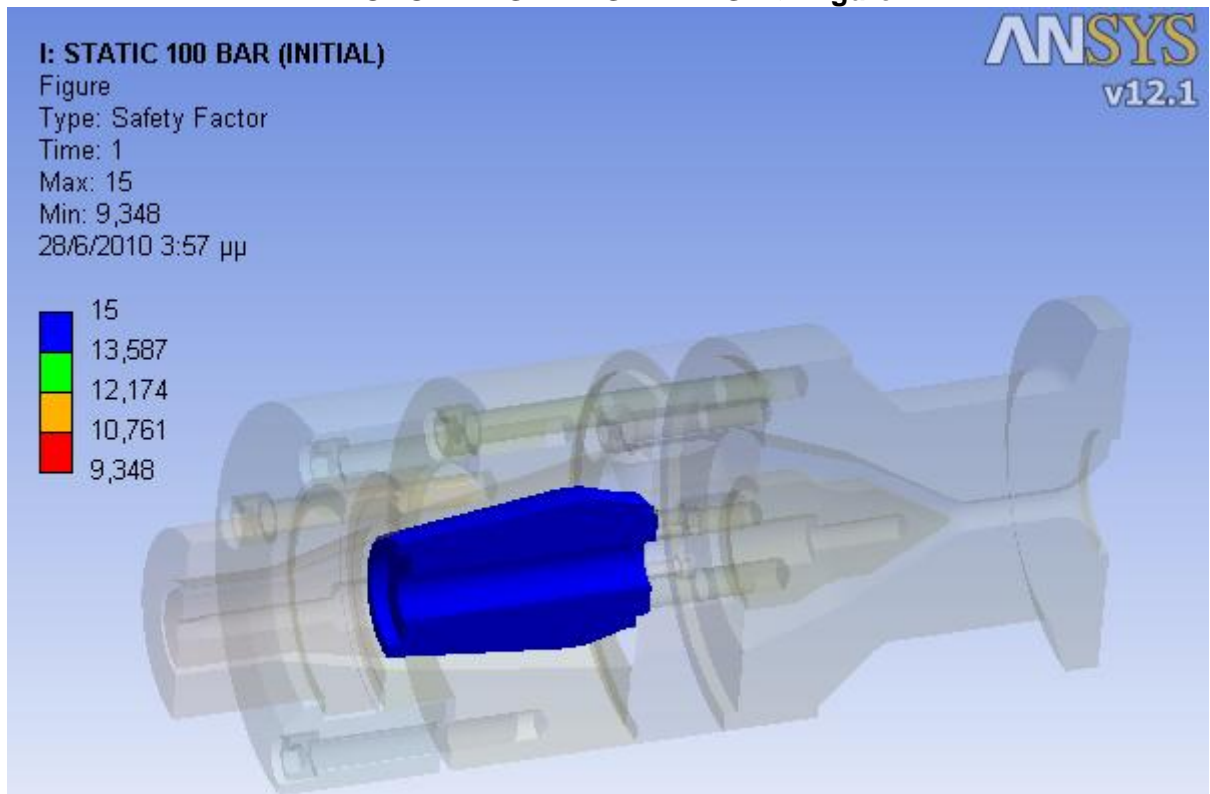


FIGURE 34
Model (I3) > Static Structural (I4) > Solution (I5) > Stress Tool > Safety Factor - 8 -
MITRA GIA SOLINA (ESOTERIKO)-1 > Figure

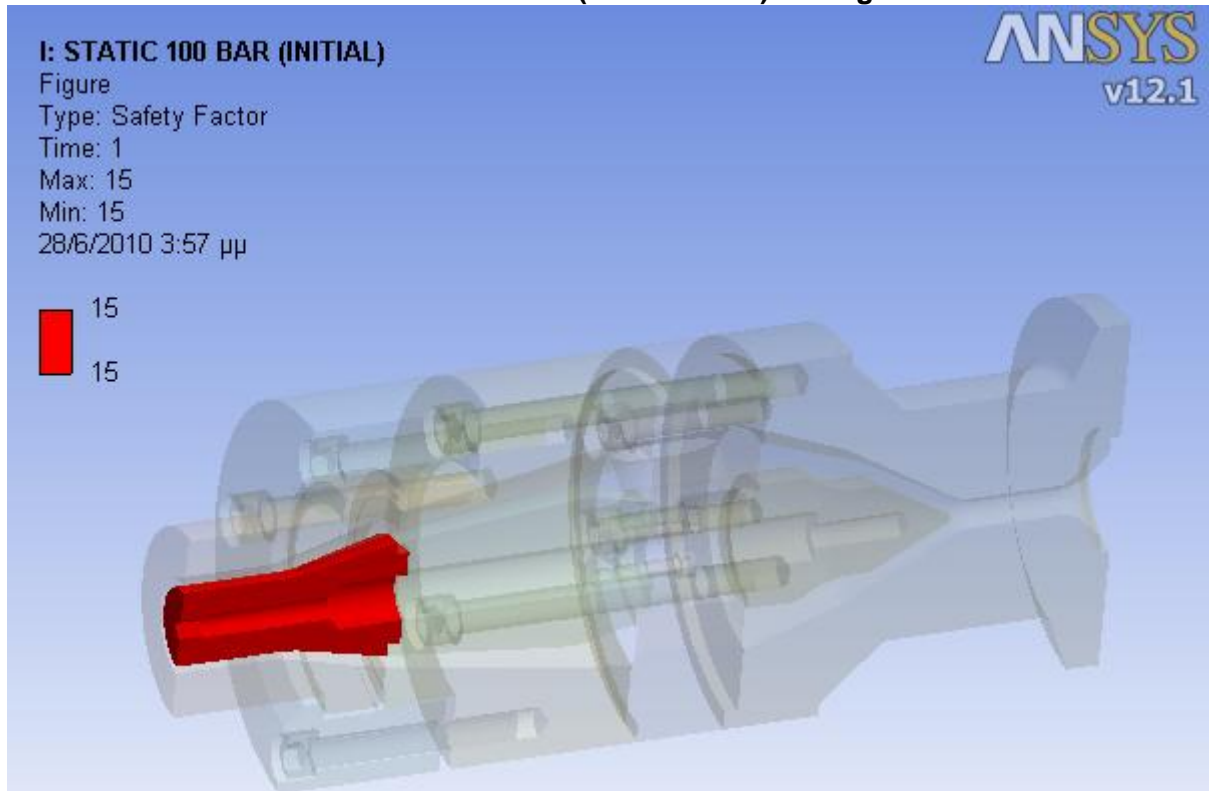


TABLE 35
Model (I3) > Static Structural (I4) > Solution (I5) > Stress Tool > Results

Object Name	<i>Safety Factor - 9 - MITRA GIA SOLINA (EKSOTERIKO)-1</i>	<i>Safety Factor - 7 - DAKTYLIOS SYGKRATISIS MITRAS-1</i>	<i>Safety Factor - 2 - SOMA KEFALIS-1</i>	<i>Safety Factor - 1 - LAIMOS KEFALIS-1</i>
State	Solved			
Scope				
Scoping Method	Geometry Selection			
Geometry	1 Body			
Definition				
Type	Safety Factor			
By	Time			
Display Time	Last			
Calculate Time History	Yes			
Identifier				
Integration Point Results				
Display Option	Averaged			
Results				
Minimum	> 10		9,0278	4,4049
Information				
Time	1, s			
Load Step	1			
Substep	1			
Iteration Number	1			

FIGURE 35
Model (I3) > Static Structural (I4) > Solution (I5) > Stress Tool > Safety Factor - 9 -
MITRA GIA SOLINA (EKSOTERIKO)-1 > Figure

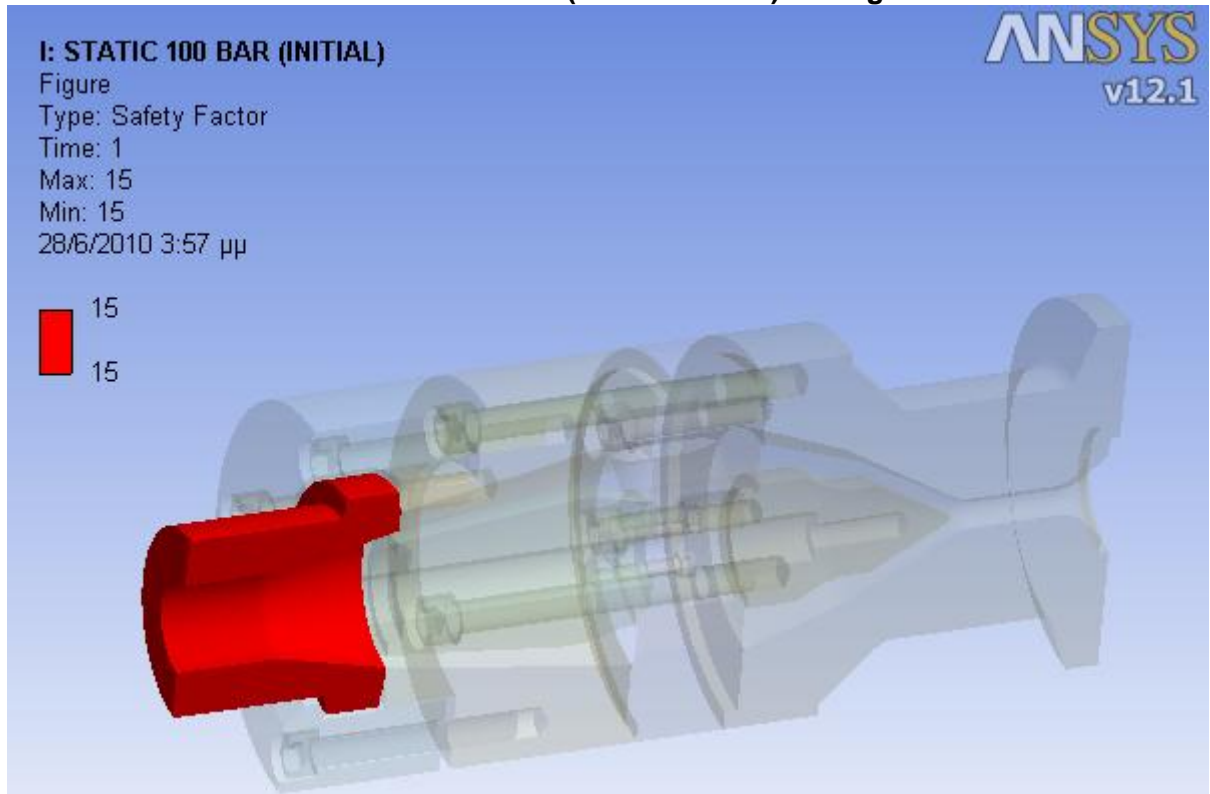


FIGURE 36
Model (I3) > Static Structural (I4) > Solution (I5) > Stress Tool > Safety Factor - 7 -
DAKTYLIOS SYGKRATISIS MITRAS-1 > Figure

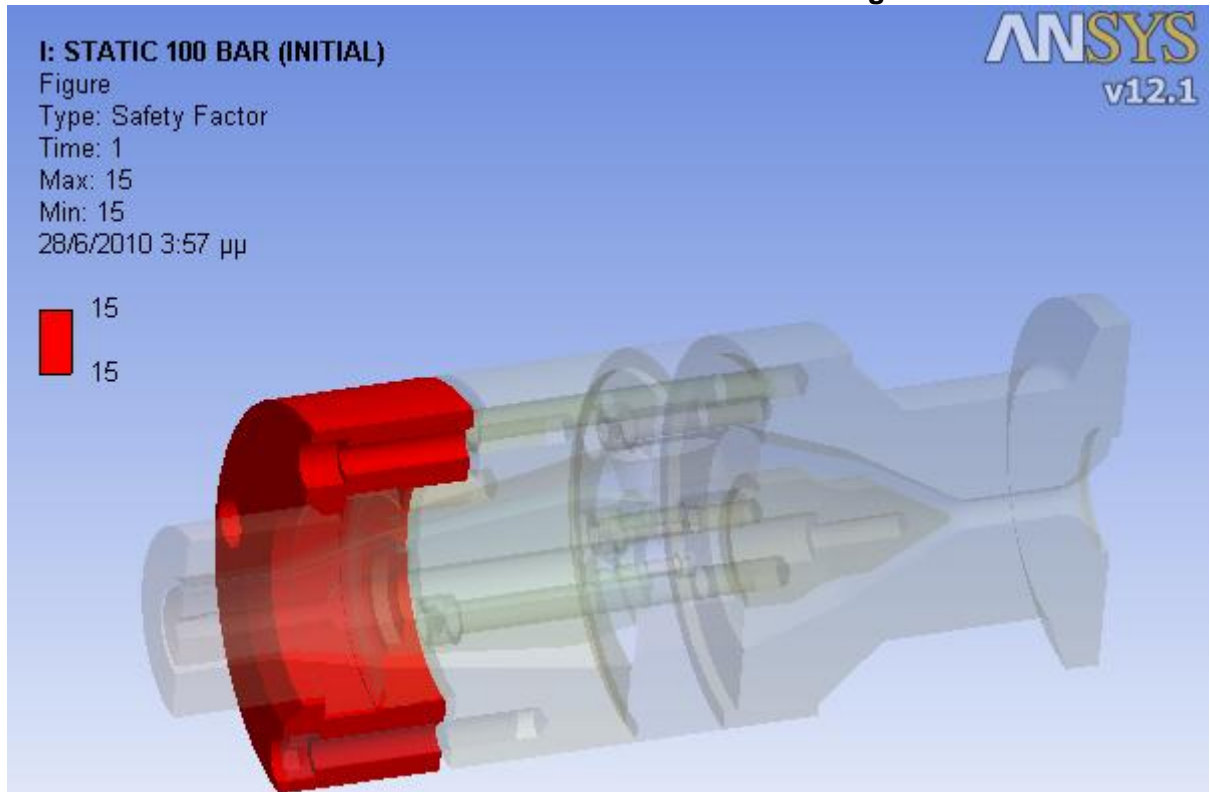


FIGURE 37
Model (I3) > Static Structural (I4) > Solution (I5) > Stress Tool > Safety Factor - 2 - SOMA KEFALIS-1 > Figure

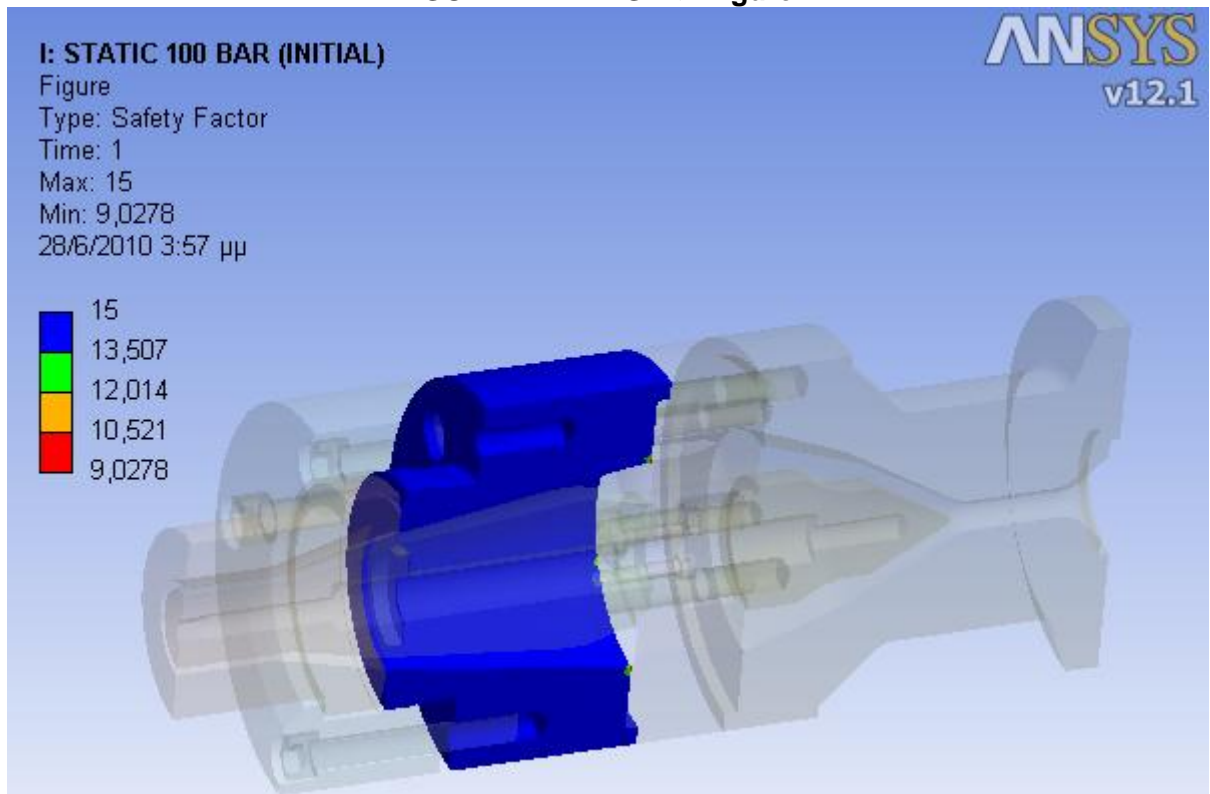
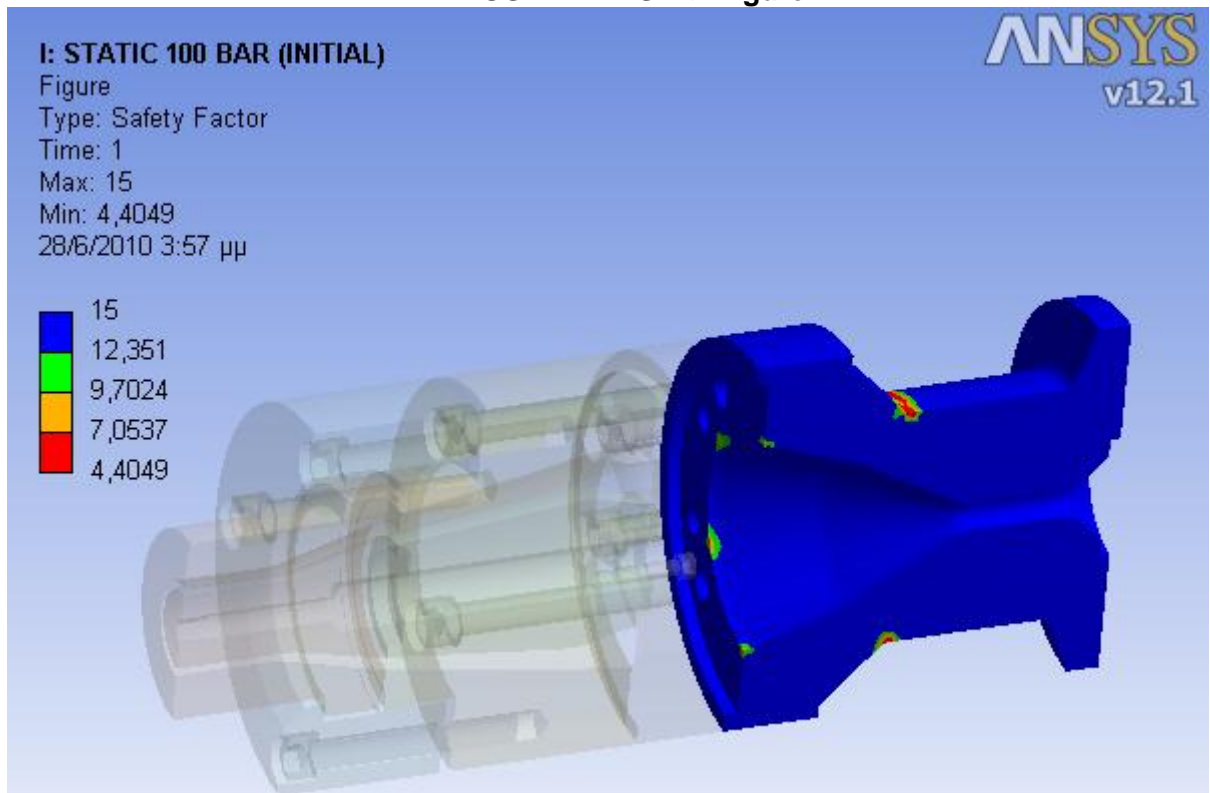


FIGURE 38
Model (I3) > Static Structural (I4) > Solution (I5) > Stress Tool > Safety Factor - 1 - LAIMOS KEFALIS-1 > Figure



Material Data

Structural Steel

TABLE 36
Structural Steel > Constants

Density	7.85e-006 kg mm ⁻³
Coefficient of Thermal Expansion	1.2e-005 C ⁻¹
Specific Heat	4.34e+005 mJ kg ⁻¹ C ⁻¹
Thermal Conductivity	6.05e-002 W mm ⁻¹ C ⁻¹
Resistivity	1.7e-004 ohm mm

TABLE 37
Structural Steel > Compressive Ultimate Strength

Compressive Ultimate Strength MPa
0

TABLE 38
Structural Steel > Compressive Yield Strength

Compressive Yield Strength MPa
250

TABLE 39
Structural Steel > Tensile Yield Strength

Tensile Yield Strength MPa
250

TABLE 40
Structural Steel > Tensile Ultimate Strength

Tensile Ultimate Strength MPa
460

TABLE 41
Structural Steel > Isotropic Secant Coefficient of Thermal Expansion

Reference Temperature C
22

TABLE 42
Structural Steel > Alternating Stress Mean Stress

Alternating Stress MPa	Cycles	Mean Stress MPa
3999	10	0
2827	20	0
1896	50	0
1413	100	0
1069	200	0
441	2000	0
262	10000	0
214	20000	0
138	1.e+005	0
114	2.e+005	0
86.2	1.e+006	0

TABLE 43
Structural Steel > Strain-Life Parameters

Strength Coefficient MPa	Strength Exponent	Ductility Coefficient	Ductility Exponent	Cyclic Strength Coefficient MPa	Cyclic Strain Hardening Exponent
920	-0.106	0.213	-0.47	1000	0.2

TABLE 44
Structural Steel > Isotropic Elasticity

Temperature C	Young's Modulus MPa	Poisson's Ratio	Bulk Modulus MPa	Shear Modulus MPa
	2.e+005	0.3	1.6667e+005	76923

TABLE 45
Structural Steel > Isotropic Relative Permeability

Relative Permeability
10000

IMPAX

TABLE 46
IMPAX > Constants

Density	7.85e-006 kg mm ⁻³
Coefficient of Thermal Expansion	1.3e-007 C ⁻¹
Specific Heat	4.34e+005 mJ kg ⁻¹ C ⁻¹
Thermal Conductivity	6.05e-002 W mm ⁻¹ C ⁻¹
Resistivity	1.7e-004 ohm mm

TABLE 47
IMPAX > Compressive Ultimate Strength

Compressive Ultimate Strength MPa
0

TABLE 48
IMPAX > Compressive Yield Strength

Compressive Yield Strength MPa
950

TABLE 49
IMPAX > Tensile Yield Strength

Tensile Yield Strength MPa
896

TABLE 50
IMPAX > Tensile Ultimate Strength

Tensile Ultimate Strength MPa
1010

TABLE 51
IMPAX > Isotropic Secant Coefficient of Thermal Expansion

Reference Temperature C
22

TABLE 52
IMPAX > Alternating Stress Mean Stress

Alternating Stress MPa	Cycles	Mean Stress MPa
3999	10	0
2827	20	0
1896	50	0
1413	100	0
1069	200	0
441	2000	0
262	10000	0
214	20000	0
138	1.e+005	0
114	2.e+005	0
86.2	1.e+006	0

TABLE 53
IMPAX > Strain-Life Parameters

Strength Coefficient MPa	Strength Exponent	Ductility Coefficient	Ductility Exponent	Cyclic Strength Coefficient MPa	Cyclic Strain Hardening Exponent
920	-0.106	0.213	-0.47	1000	0.2

TABLE 54
IMPAX > Isotropic Elasticity

Temperature C	Young's Modulus MPa	Poisson's Ratio	Bulk Modulus MPa	Shear Modulus MPa
	2.005e+005	0.33	1.9657e+005	75376

TABLE 55
IMPAX > Isotropic Relative Permeability

Relative Permeability
10000

ΠΑΡΑΡΤΗΜΑ ΣΤ: ΒΙΒΛΙΟΓΡΑΦΙΑ**ΕΛΛΗΝΙΚΗ ΒΙΒΛΙΟΓΡΑΦΙΑ**

- 1.Α. Γ. Μάμαλης, «Τεχνολογία των Κατεργασιών των Υλικών: Μεταλλικά Τεχνικά Υλικά», εκδόσεις «ΦΟΙΒΟΣ», Αθήνα, 1996
- 2.Δ. Πρίγκιπας, «Επίδραση πίεσης και θερμοκρασίας στη παραγωγή πλαστικών σωλήνων», Διπλωματική Εργασία, Ε.Μ.Π., Αθήνα, 2009
- 3.Ε. Β. Μίσσου, «Αναλυτική και αριθμητική προσομοίωση εκβολής πλαστικών σωλήνων», Διπλωματική Εργασία, Ε.Μ.Π., Αθήνα, 2008
- 4.Ι. Σιμιτζής, «Τεχνολογία Πολυμερών», Ε.Μ.Π., 1999
- 5.Κ. Πάσσαρης, «Βελτιστοποίηση μήτρας εκβολής πλαστικού σωλήνα με τη μέθοδο Taguchi», Διπλωματική Εργασία, Ε.Μ.Π., Αθήνα, 2009
- 6.Μ. Καμπούρης, «Επεξεργασία Πολυμερών», Ε.Μ.Π., 1983
- 7.Η. Δουλγέρης, «Βελτιστοποίηση ποδιών κεφαλής αράχνης μήτρας εκβολής πλαστικού σωλήνα, Διπλωματική Εργασία, Ε.Μ.Π., Αθήνα, Ιούλιος 2010
- 8.Π. Κ. Πισινάρας, «Μελέτη της μορφοποίησης πολυμερούς με τη μέθοδο της εκβολής», Ε.Μ.Π., Αθήνα, 2006
9. Χρ. Προβατίδης, Α. Κανάραχος, «Πεπερασμένα Στοιχεία στη Μηχανολογία», Εκδόσεις Παπασωτηρίου, 2000
10. Χρ. Προβατίδης, Ι. Αντωνιάδης, «Υπολογιστικές Μέθοδοι στις Κατασκευές», Εκδόσεις Ε.Μ.Π., Αθήνα 2004.

ΞΕΝΟΓΛΩΣΣΗ ΒΙΒΛΙΟΓΡΑΦΙΑ

11. C. L. Tucker III, «Fundamentals of Computer Modelling for Polymer Processing», Hanser, Munich, 1989
12. S. Levy and J.F. Carley, "Plastics Extrusion Technology Handbook", 2nd Ed., Industrial Press, 1989 (ISBN: 0-8311-1185-2)
13. Walter Michaeli, "Extrusion dies for plastics and rubber; Design and engineering computations", 2nd Ed., Hanser Press (ISBN: 3-446-16190-2) or Oxford University Press (ISBN: 0-19-520910-9)