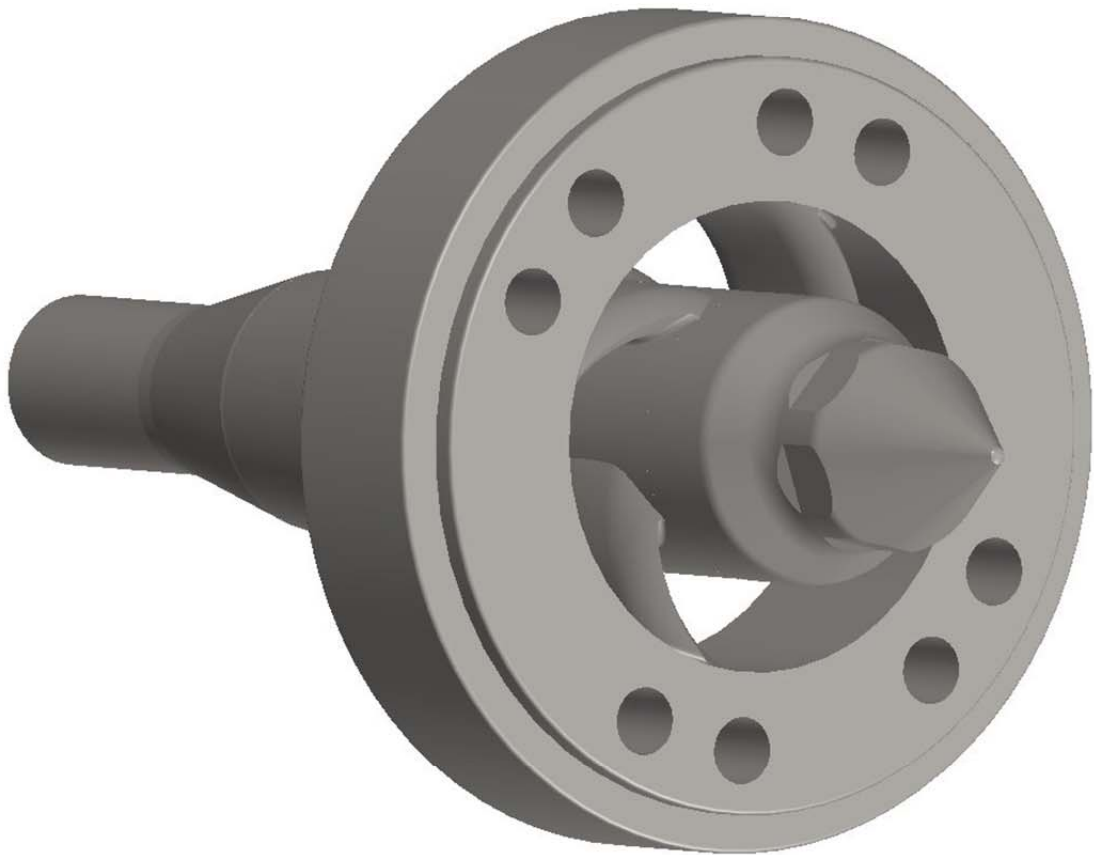




ΕΘΝΙΚΟ ΜΕΤΣΟΒΙΟ ΠΟΛΥΤΕΧΝΕΙΟ
ΤΜΗΜΑ ΜΗΧΑΝΟΛΟΓΩΝ ΜΗΧΑΝΙΚΩΝ
ΤΟΜΕΑΣ ΤΕΧΝΟΛΟΓΙΑΣ ΚΑΤΕΡΓΑΣΙΩΝ

ΔΙΠΛΩΜΑΤΙΚΗ ΕΡΓΑΣΙΑ

ΠΡΟΣΟΜΟΙΩΣΗ ΕΚΒΟΛΗΣ ΠΛΑΣΤΙΚΟΥ ΣΩΛΗΝΑ ΜΕ
ΤΗ ΜΕΘΟΔΟ ΤΩΝ ΠΕΠΕΡΑΣΜΕΝΩΝ ΣΤΟΙΧΕΙΩΝ



ΠΑΝΑΓΟΠΟΥΛΟΥ ΜΑΡΓΑΡΙΤΑ

ΕΠΙΒΛΕΠΩΝ
ΜΑΝΩΛΑΚΟΣ ΔΗΜΗΤΡΙΟΣ
ΚΑΘΗΓΗΤΗΣ Ε.Μ.Π.

ΠΙΝΑΚΑΣ ΠΕΡΙΕΧΟΜΕΝΩΝ

ΠΙΝΑΚΑΣ ΠΕΡΙΕΧΟΜΕΝΩΝ.....	2
ΚΕΦΑΛΑΙΟ 1: ΕΚΒΟΛΗ.....	3
1.1 ΠΟΛΥΜΕΡΗ	3
1.2 ΕΚΒΟΛΗ.....	6
1.3 ΜΗΤΡΑ ΕΚΒΟΛΗΣ ΜΕ ΚΕΦΑΛΗ ΑΡΑΧΝΗΣ	Error! Bookmark not defined.
1.4 ΜΗΤΡΑ ΕΚΒΟΛΗΣ ΕΡΓΑΣΤΗΡΙΟΥ	Error! Bookmark not defined.
ΚΕΦΑΛΑΙΟ 2: ΠΕΠΕΡΑΣΜΕΝΑ ΣΤΟΙΧΕΙΑ.....	ERROR! BOOKMARK NOT DEFINED.
2.1 ΓΕΝΙΚΑ	Error! Bookmark not defined.
2.2 ΟΡΙΣΜΟΣ CAD	Error! Bookmark not defined.
2.3 ΟΡΙΣΜΟΣ CAE.....	Error! Bookmark not defined.
2.4 ΜΕΘΟΔΟΣ ΤΩΝ ΠΕΠΕΡΑΣΜΕΝΩΝ ΣΤΟΙΧΕΙΩΝ.....	Error! Bookmark not defined.
ΚΕΦΑΛΑΙΟ 3: ΥΠΟΛΟΓΙΣΤΙΚΑ ΠΡΟΓΡΑΜΜΑΤΑ.....	41
3.1 SOLIDWORKS.....	41
3.2 COMSOL MULTIPHYSICS	57
ΚΕΦΑΛΑΙΟ 4: ΕΚΤΕΛΕΣΗ ΠΕΙΡΑΜΑΤΩΝ.....	69
4.1 ΣΤΟΧΟΣ ΤΗΣ ΒΕΛΤΙΣΤΟΠΟΙΗΣΗΣ	69
4.2 ΠΡΟΣΟΜΟΙΩΣΗ ΡΟΗΣ ΣΤΟΝ ΕΚΒΟΛΕΑ.....	70
4.3 ΓΕΩΜΕΤΡΙΑ ΤΟΥ ΠΟΔΙΟΥ ΤΗΣ ΑΡΑΧΝΗΣ.....	72
4.4 ΠΑΡΑΛΛΗΛΗ ΖΩΝΗ ΤΟΥ ΕΚΒΟΛΕΑ	73
4.5 ΣΧΕΔΙΑΣΜΟΣ ΜΗΤΡΑΣ.....	74
• 10 Βήμα	74
• 20 Βήμα	81
• 30 Βήμα	81
• 40 Βήμα	82
• 50 Βήμα	85
• 60 Βήμα	89
• 70 Βήμα	92
ΚΕΦΑΛΑΙΟ 5: ΑΠΟΤΕΛΕΣΜΑΤΑ – ΣΥΜΠΕΡΑΣΜΑΤΑ	96
ΒΙΒΛΙΟΓΡΑΦΙΑ.....	100

Κεφάλαιο 1: Εκβολή

1.1. Πολυμερή

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 χημικώς 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*

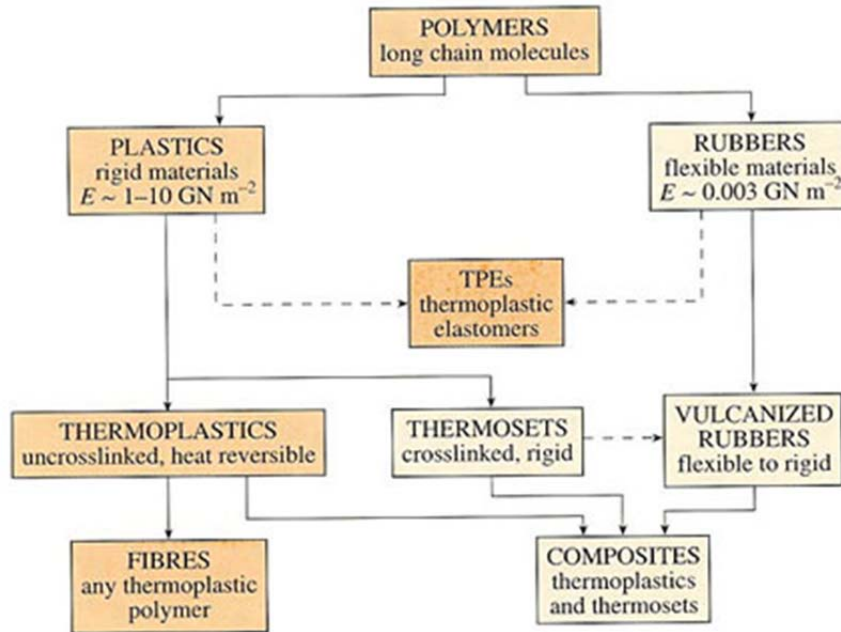
Κεφάλαιο 1: Εκβολή

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 μονοκρύσταλλοι 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)



Σχήμα 1.1 Τύποι πολυμερών

1.2. Εκβολή

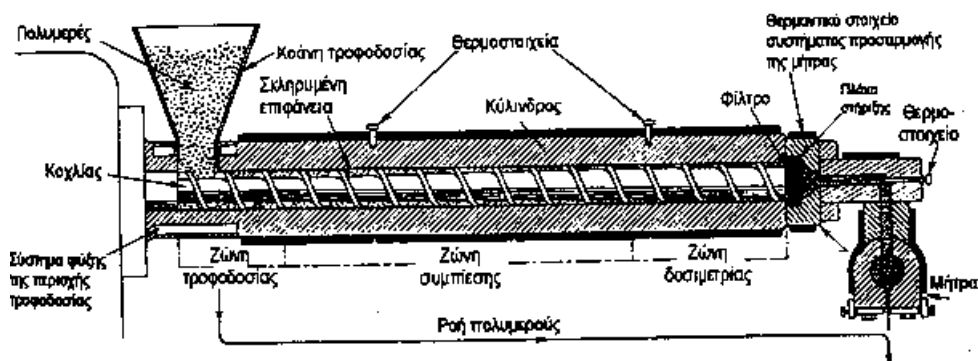
Η εκβολή αποτελεί μια από τις ευρύτερα χρησιμοποιούμενες τεχνικές τόσο για τη μορφοποίηση όσο και για την ανάμειξη πολυμερών. Περίπου το 60% των πλαστικών παγκοσμίως μορφοποιούνται με τη μέθοδο αυτή. Στα προϊόντα που μορφοποιούνται με εκβολή ανήκουν οι σωλήνες, ράβδοι, προφίλ (όπως πλαίσια σε παράθυρα),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



Κεφάλαιο 1: Εκβολή

Σχήμα 1.2 Κύρια τμήματα εκβολέα

Η λειτουργία των περισσότερων εκβολέων γίνεται με την κάθοδο των πολυμερών υπό μορφή κόκκων, σκόνης ή φολιδίων από τη χοάνη τροφοδοσίας στο άνοιγμα μεταξύ του περιστρεφόμενου κοχλίου (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 κοχλίου. 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 κοχλίου 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 κοχλίο (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

Κεφάλαιο 1: Εκβολή

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 κοχλίας.

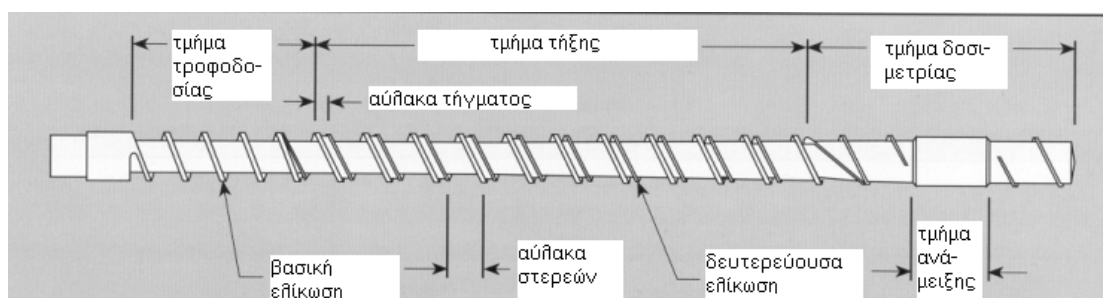
Εξοπλισμός του εκβολέα

- **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

Κεφάλαιο 1: Εκβολή

του πολυμερούς οφείλεται στην προοδευτική μείωση στο βάθος αύλακος του κοχλία 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 κοχλία συνήθως καλύπτονται με κάποιο σκληρό κράμα, για να βελτιώσουν την αντοχή σε φθορά. Ο σχεδιασμός του κοχλία 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 δύστηκτα πολυμερή. Στους περισσότερους κυλίνδρους ανοίγονται κάθετες οπές για θερμοστοιχεία (thermocouples)

Κεφάλαιο 1: Εκβολή

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 25HP.
- 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 2-35rpm, 10-90rpm, 15-150rpm, 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.Μήτρα εκβολής με κεφαλή αράχνης

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:

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

Στα παρακάτω σχήματα (Σχήμα 1.4, Σχήμα 1.5 και Σχήμα 1.6) βλέπουμε λίγα παραδείγματα της ποικιλίας των κεφαλών αράχνης που συναντάμε στην βιομηχανία.



Σχήμα 1.4 Διπλή κεφαλή αράχνης



Σχήμα 1.5 Μονή κεφαλή αράχνης

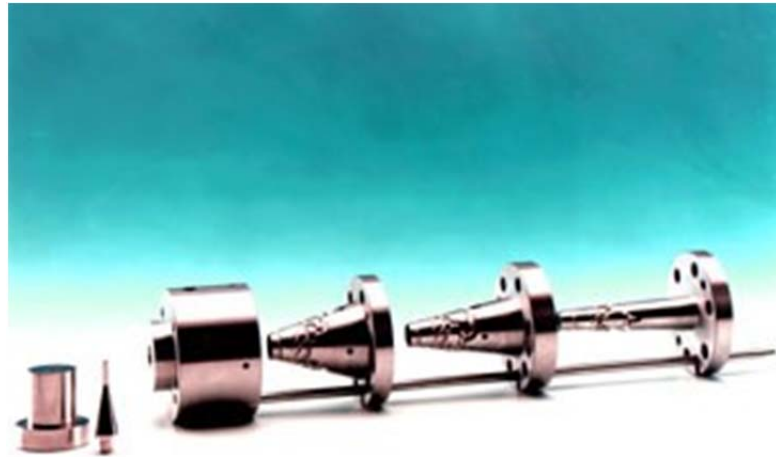


Σχήμα 1.6 Διάφορα μεγέθη κεφαλών αράχνης

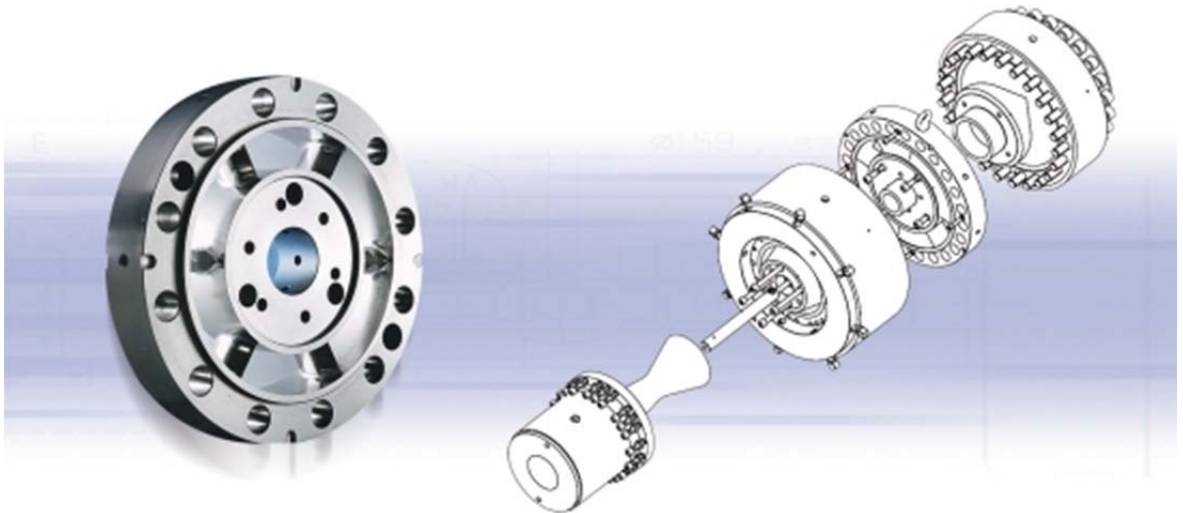
Επίσης, ποικίλουν τα μεγέθη και η γεωμετρία της ίδιας της μήτρας (Σχήμα 1.7 και Σχήμα 1.8).

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.



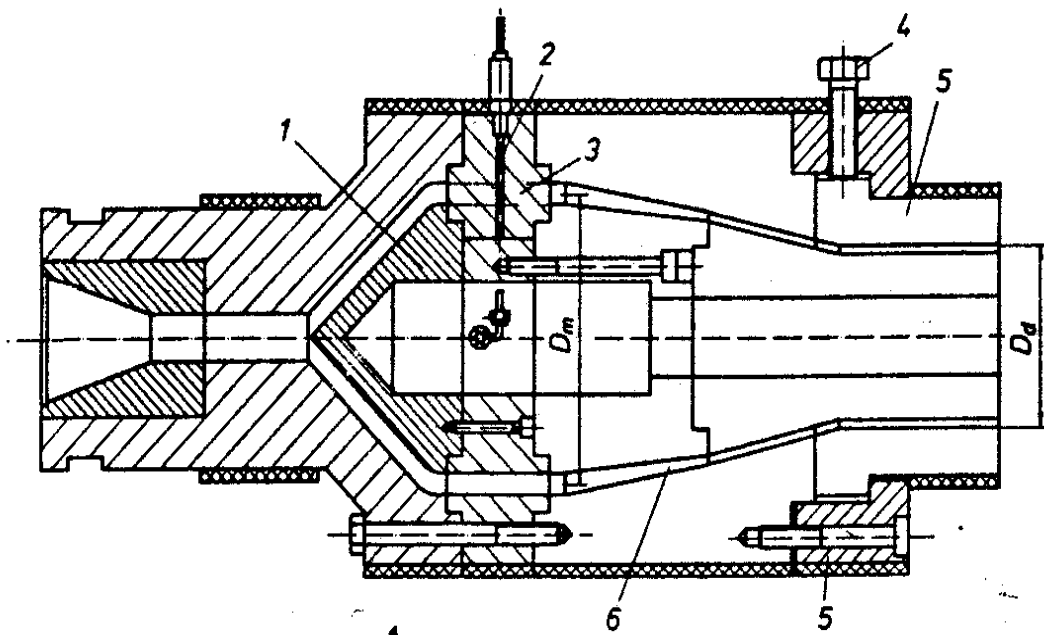
Σχήμα 1.7 Τμήματα μήτρας εκβολής πλαστικού σωλήνα με κεφαλή αράχνης



Σχήμα 1.8 Συναρμολόγηση μήτρας εκβολής πλαστικού σωλήνα με κεφαλή αράχνης

Κεφάλαιο 1: Εκβολή

Στο Σχήμα 1.9 φαίνεται μια κεφαλή κεντρικής τροφοδοσίας με αράχνη και ορισμένα μέρη της.



Σχήμα 1.9 Τομή κεφαλής κεντρικής τροφοδοσίας με αράχνη

- 1) κώνος αρσενικού κεφαλής,
- 2) αράχνη,
- 3) πόδι αράχνης,
- 4) κοχλίας κεντραρίσματος,
- 5) δακτύλιος συγκράτησης μήτρας,
- 6) ζώνη χαλάρωσης,

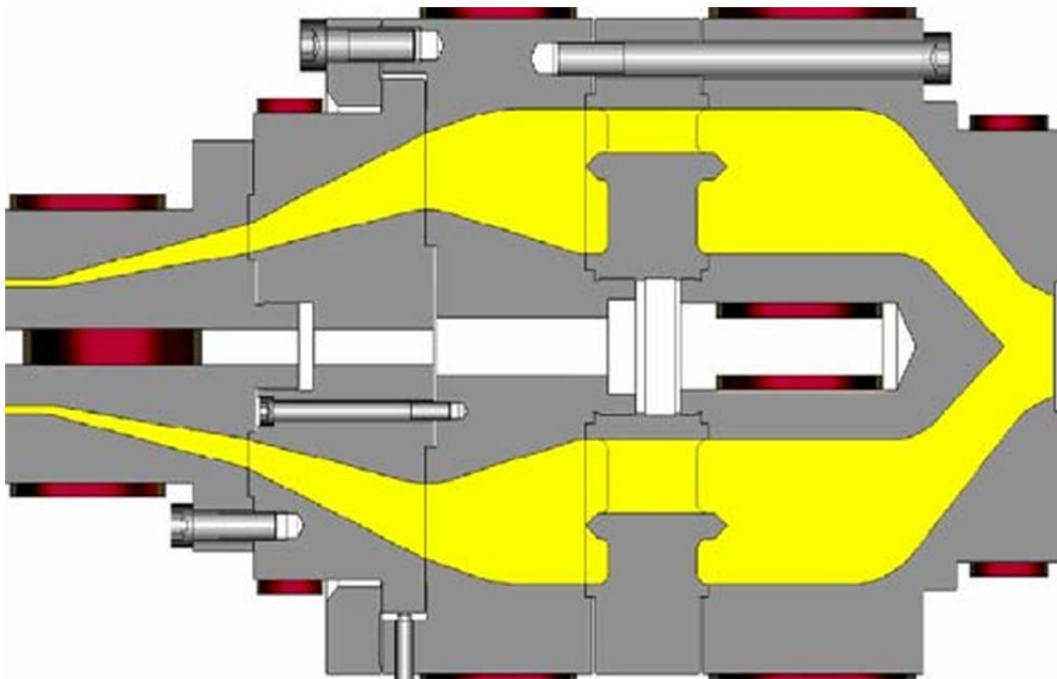
D_m : μέση διάμετρος της αράχνης,

D_d : εξωτερική διάμετρος της μήτρας

➤ Ροή υλικού μέσα από την μήτρα

Το ρεύμα του τήγματος που παρέχει ο εκβολέας σε ένα κυλινδρικό κανάλι ροής, μετασχηματίζεται σε μια δακτυλιοειδή ροή. Το τήγμα εκτρέπεται στη ζώνη της αράχνης σε ξεχωριστά ρεύματα και ρέει γύρω από τα πόδια της αράχνης. Ακολουθεί η συγκλίνουσα περιοχή του πυρήνα στην οποία τα ξεχωριστά ρεύματα ξαναενώνονται. Στο τέλος βρίσκεται η μήτρα με τα παράλληλα τοιχώματα. Ο λόγος της διαμέτρου της αράχνης προς τη διάμετρο εξόδου για κεφαλές σωλήνων είναι συνήθως 1,4-1,6 για PVC και 2 για PE, ωστόσο αυτές οι τιμές εξαρτώνται και από τη διάμετρο της μήτρας.

Τα βασικά τμήματα της κεφαλής, όπως η στήριξη της αράχνης και ο δακτύλιος εξόδου είναι γενικά εναλλάξιμα ώστε μια κεφαλή να μπορεί να χρησιμοποιηθεί για διάφορες γεωμετρίες. Προκειμένου να εξασφαλιστεί ομοιόμορφη ροή στη μήτρα, αυτή μπορεί να μετακινηθεί ακτινικά με τη βοήθεια κοχλιών κεντραρίσματος που είναι τοποθετημένοι περιφερειακά. Σε αυτή την περίπτωση χρησιμοποιείται ένας δακτύλιος στήριξης της μήτρας.



Σχήμα 1.10 Ροή πολυμερούς σε μήτρα εκβολής πλαστικού σωλήνα με κεφαλή αράχνης

Κεφάλαιο 1: Εκβολή

➤ Πλεονεκτήματα και μειονεκτήματα

Οι κεφαλές με αράχνη ήταν οι πιο ευρέως χρησιμοποιούμενες στο παρελθόν επειδή λόγω της κεντρικής τροφοδοσίας τους επιτρέπουν μια καλή διανομή του τήγματος ανεξάρτητα από τις συνθήκες λειτουργίας.

Ωστόσο έχουν το μειονέκτημα ότι τα πόδια της αράχνης αφήνουν σημάδια ροής. Αυτά δεν είναι πάντα εμφανή όπως τοπικές στενώσεις και ίχνη αλλά εξακολουθούν να υπάρχουν στη δομή του προϊόντος δημιουργώντας μηχανικά αδύναμες περιοχές.

Ο υψηλός βαθμός προσανατολισμού του τήγματος στην περιοχή των ποδιών της αράχνης είναι μεταξύ άλλων ένας λόγος για τη δημιουργία σημαδιών ροής. Ο προσανατολισμός δημιουργείται από της υψηλές κλίσεις της ταχύτητας όταν το τήγμα προσκολλάται στα τοιχώματα και ειδικά λόγω της μεγάλης επέκτασης μέρους του τήγματος κοντά στο τέλος των ποδιών της αράχνης.

Διαφορές στη πυκνότητα λόγω διαφορών στη θερμοκρασία του τήγματος και της αράχνης μπορούν επίσης να παίξουν έναν ρόλο.

Προκειμένου να μειώσουμε το σημάδια ροής, τα οποία είναι αναπόφευκτα με τη χρήση κεφαλών με αράχνη, υπάρχουν διάφορες τεχνικές.

- ✓ Αύξηση της θερμοκρασίας ή του χρόνου παραμονής της μάζας του υλικού στην κεφαλή.
- ✓ Ομοιόμορφη θερμοκρασιακή κατανομή στη ζώνη της αράχνης
- ✓ Δημιουργώντας μια ομοιόμορφη δομή σε ολόκληρη την περιφέρεια της κεφαλής προσανατολίζοντας τα μόρια κατά μήκος και ανάμεσα στα πόδια της αράχνης.
- ✓ Αλλαγή της γεωμετρίας των ποδιών της αράχνης.

Για να επιτευχθεί αυτό εφαρμόζονται διάφορες λύσεις, στην πράξη όμως, αυτό που γίνεται σχεδόν πάντα, είναι ο εξαναγκασμός του τήγματος να ακολουθήσει μια έντονα συγκλίνουσα ροή μετά από τα πόδια της αράχνης. Οι κεντρικά τροφοδοτούμενες κεφαλές με αράχνη πρέπει να αντέχουν σε πιέσεις άνω των 600bar διότι τα πολυμερικά τήγματα κάτω από κατάλληλες συνθήκες μπορούν να αναπτύξουν πιέσεις αυτής της τάξεως. Γι' αυτό τα πόδια της αράχνης πρέπει να διαστασιολογούνται έτσι ώστε να αντέχουν με ασφάλεια στις δυνάμεις που προκύπτουν από τις υψηλές πιέσεις. Από πλευρά μηχανικής αντοχής οι εξωτερικές διάμετροι των κεφαλών με αράχνη δεν πρέπει να ξεπερνούν τα 700mm.

Κεφάλαιο 1: Εκβολή

➤ Αρχές σχεδιασμού κεφαλής με αράχνη

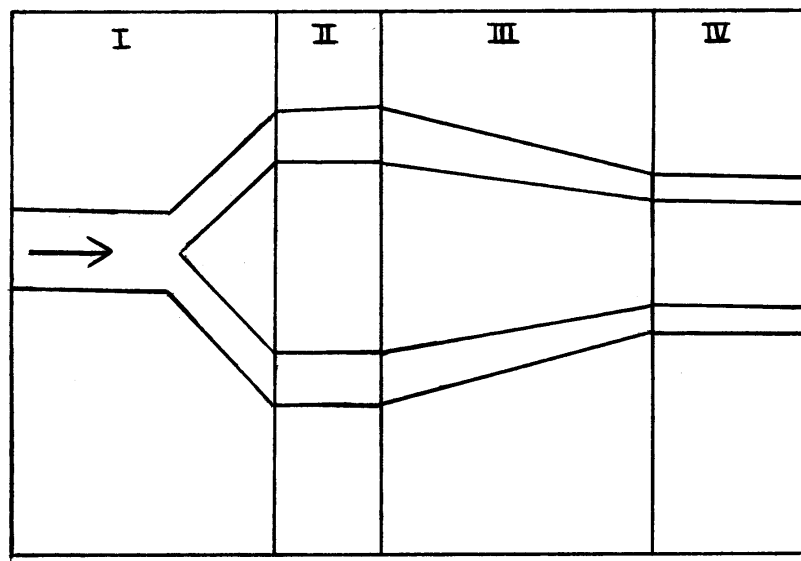
Στις κεφαλές με αράχνη υπάρχουν τέσσερις διαφορετικές ζώνες οι οποίες πρέπει να ληφθούν υπόψη κατά τον σχεδιασμό του καναλιού ροής της κεφαλής και φαίνονται στο Σχήμα 1.11:

α. Η ζώνη εκτροπής (I), στην οποία το τήγμα που εξέρχεται από τον εκβολέα, εκτρέπεται από τον άξονα εκβολής και διανέμεται μέσω μιας δακτυλιοειδής διατομής.

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.



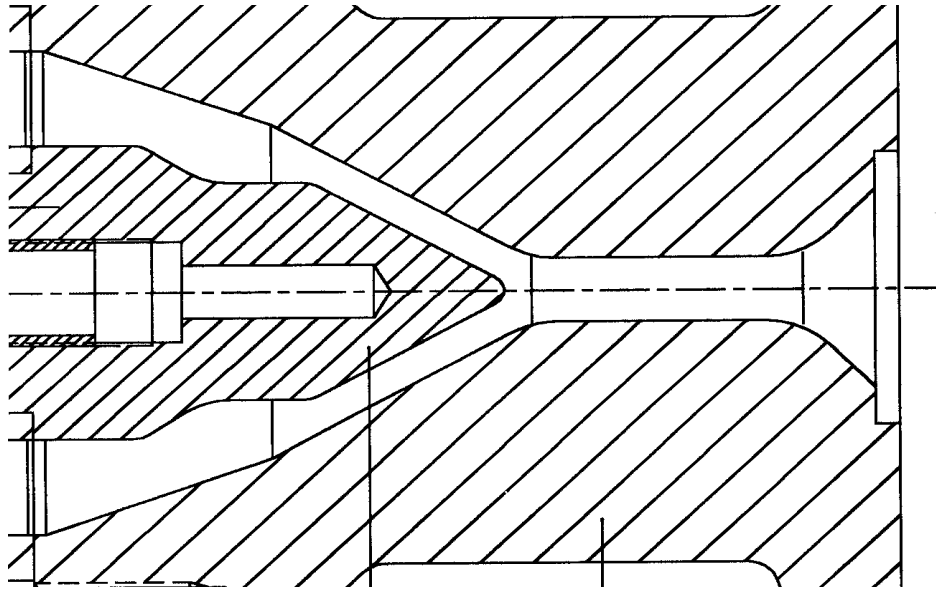
Σχήμα 1.11 Ζώνες του καναλιού ροής της κεφαλής

Η επιλογή των βασικών διαστάσεων της κεφαλής και της μήτρας εξαρτάται από το υλικό της κατεργασίας και από τις επιθυμητές διαστάσεις του τελικού προϊόντος.

✓ Η ζώνη εκτροπής του τήγματος περιλαμβάνει τον λαιμό της κεφαλής και τον κώνο του αρσενικού της κεφαλής. Πριν από τον κώνο το τήγμα διέρχεται από μια ευθύγραμμη περιοχή

Κεφάλαιο 1: Εκβολή

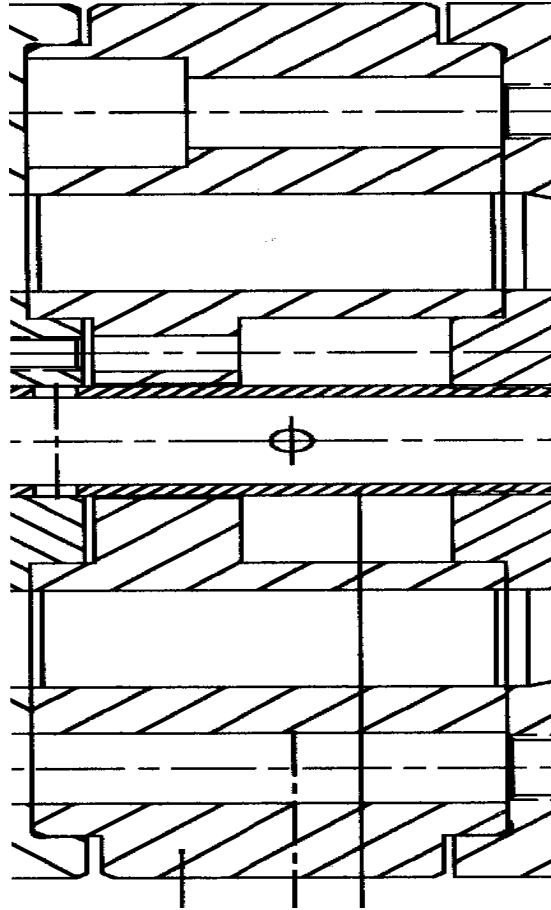
κυκλικής διατομής στον λαιμό της κεφαλής όπου του προσδίδεται θερμότητα, και οδηγείται ομαλά στον κώνο. Τέλος, στην άλλη άκρη της κεφαλής υπάρχει ένα κωνικό τμήμα που αποτελεί την είσοδο της κεφαλής.



Σχήμα 1.12 Ζώνη διανομής του τήγματος

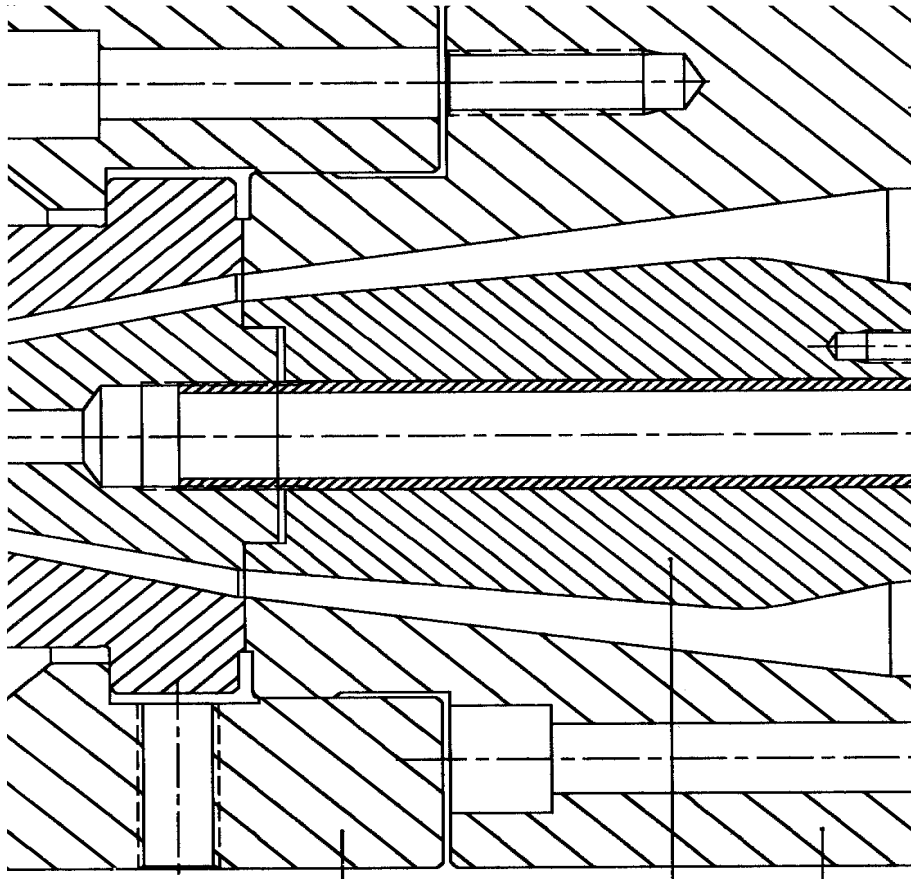
✓ Στις κεφαλές με αράχνη η διάμετρος D_m και η διατομή στην περιοχή της αράχνης σχεδιάζονται μεγαλύτερες από διάμετρο D_d της μήτρας και τη διατομή εξόδου. Αυτό επιτρέπει στο τήγμα που έχει χωριστεί στην περιοχή της αράχνης να επανενωθεί γιατί έτσι μόνο προκύπτει η συγκλίνουσα περιοχή. Επιπλέον με την ίδια κεφαλή μπορούμε να παράγουμε σωλήνες διαφορετικών διαμέτρων αλλάζοντας μόνο τη διάμετρο της μήτρας. Ο σκοπός στον σχεδιασμό αυτής της ζώνης είναι να γίνουν τα πόδια της αράχνης με τέτοιο τρόπο ώστε να αντέχουν στις δυνάμεις λόγω της πίεσης και στις διατμητικές τάσεις και να έχουν την ελάχιστη επίδραση στη ροή. Γι' αυτό οι ρεολογικοί και μηχανικοί παράγοντες είναι ιδιαίτερα διαπλεκόμενοι σε αυτή τη ζώνη. Έτσι τα πόδια της αράχνης :

- Δεν πρέπει να είναι μακρύτερα από 30-80mm,
- παχύτερα από 9-12mm και
- αριθμός τους να αυξάνεται περίπου με το τετράγωνο της διαμέτρου.



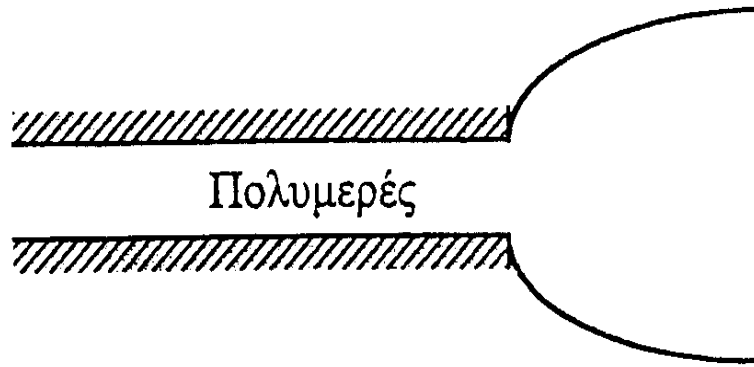
Σχήμα 1.13 Ζώνη διανομής του τήγματος

✓ Η ζώνη χαλάρωσης ξεκινά αμέσως μετά την αράχνη και καταλήγει στην παράλληλη περιοχή της μήτρας. Όπως προαναφέρθηκε η περιοχή αυτή πρέπει να είναι συγκλίνουσα. Στην πράξη η κλίση αυτή μπορεί να φτάσει τις 30° στην περιοχή της μήτρας στην περίπτωση εκβολής ΡΕ χωρίς να επηρεάζεται το υλικό.



Σχήμα 1.14 Ζώνη χαλάρωσης

✓ Στην παράλληλη ζώνη της μήτρας το τήγμα του πολυμερούς διογκώνεται εξερχόμενο από τη μήτρα (swelling) κυρίως σε πολυμερή με μεγάλο ιξώδες όπως φαίνεται στο Σχήμα 1.15.



Σχήμα 1.15 Διόγκωση του πολυμερούς κατά την έξοδό του από τη μήτρα

Το φαινόμενο αυτό οφείλεται στην ανακατανομή των ροϊκών γραμμών κατά την έξοδο του ρευστού (Νευτωνική διόγκωση, μέχρι 19%), στην επίδραση της μνήμης εξόδου, στην απελευθέρωση κάθετων τάσεων στην έξοδο και στη θερμική διόγκωση. Ωστόσο, η εξωτερική διατομή της μήτρας συνήθως σχεδιάζεται μεγαλύτερη από την επιθυμητή διατομή του σωλήνα, έτσι ώστε να αντισταθμίζεται η συρρίκνωση του υλικού.

➤ **Κριτήρια σωστού σχεδιασμού και υλικά για κεφαλές εκβολής**

Οι βασικές διαστάσεις του συνολικού καναλιού ροής μέσα στην κεφαλή οι οποίες μπορούν να ελεγχθούν, επιλέγονται με βάση τα παρακάτω κριτήρια:

- Επαρκής όγκος του καναλιού ροής για να αποφευχθούν εσωτερικές τάσεις στον σωλήνα εξασφαλίζοντας κατάλληλο χρόνο παραμονής του τήγματος μέσα στην κεφαλή. Εδώ πρέπει να ληφθεί υπόψη ο μέγιστος επιτρεπόμενος χρόνος παραμονής του συγκεκριμένου υλικού.
- Όταν επιλέγονται οι διαστάσεις δεν πρέπει να υπερβαίνονται οι μέγιστες αναλογίες των διατομών προκειμένου να αποφευχθούν υπερβολικές πιέσεις οπισθέλκουσας. Οι τελευταίες μειώνουν την παροχή και επομένως τον ρυθμό παραγωγής. Επίσης και το ελάχιστο αυτών των αναλογιών πρέπει να τηρείται αλλιώς θα δημιουργούνται ορατές γραμμές ροής.

- Απότομες αλλαγές της διαμέτρου του καναλιού ροής δημιουργούν περιοχές στροβιλισμού της ροής και πρέπει να αποφεύγονται. Επίσης πρέπει να αποφεύγονται ασυνέχειες, εμπόδια και ανωμαλίες στη ροή του υλικού.

➤ **Τα υλικά για κεφαλές εκβολής πρέπει να ικανοποιούν τις ακόλουθες απαιτήσεις**

- Να είναι εύκολα κατεργάσιμα
- Να είναι ανθεκτικά σε πίεση, θερμοκρασία και φθορά
- Να έχουν επαρκή αντοχή και στιβαρότητα
- Να έχουν επαρκή επιφανειακή σκληρότητα
- Να μπορούν εύκολα να φινιριστούν σε μια ικανοποιητική επιφάνεια (χωρίς πορώδες)
- Να ανταποκρίνονται επαρκώς σε μια απλή θερμική καταπόνηση
- Να έχουν ελάχιστη τάση στρέβλωσης και αλλαγής διαστάσεων κατά τη θερμική τους καταπόνηση
- Να είναι ανθεκτικά σε χημική διάβρωση
- Να παρέχουν δυνατότητα επιμετάλλωσης
- Να έχουν καλή θερμική αγωγιμότητα
- Να μην έχουν προέκταση από παραμένουσες τάσεις

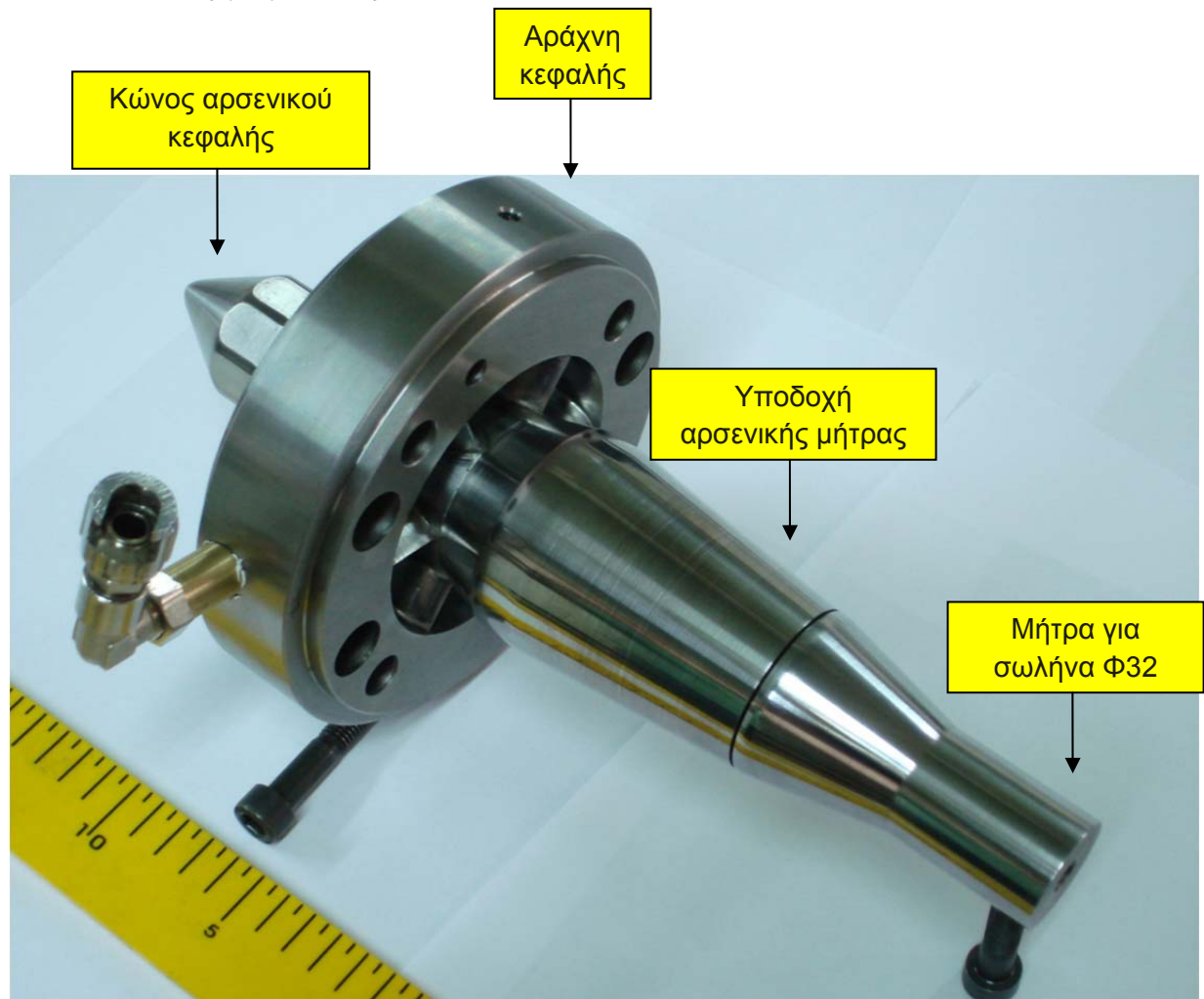
➤ **Επίσης, για να κάνουμε σωστή επιλογή πρέπει να λάβουμε υπόψη τα παρακάτω δεδομένα**

- Το υλικό της κατεργασίας και τον τύπο του πολυμερούς που θα μορφοποιηθεί με εκβολή
- Τη φύση και το μέγεθος των μηχανικών τάσεων που αναπτύσσονται κατά την εκβολή του πολυμερούς
- Τις κατεργασίες που θα πραγματοποιηθούν για την κατασκευή της μήτρας.
- Τις θερμικές κατεργασίες και καταπονήσεις που θα υποστεί το υλικό της μήτρας και κατά πόσο το επηρεάζουν.

1.4.Μήτρα εκβολής εργαστηρίου

Παρακάτω, παρουσιάζουμε τη γενική διάταξη της μήτρας εκβολής του εργαστηρίου όπου διακρίνονται τα μέρη:

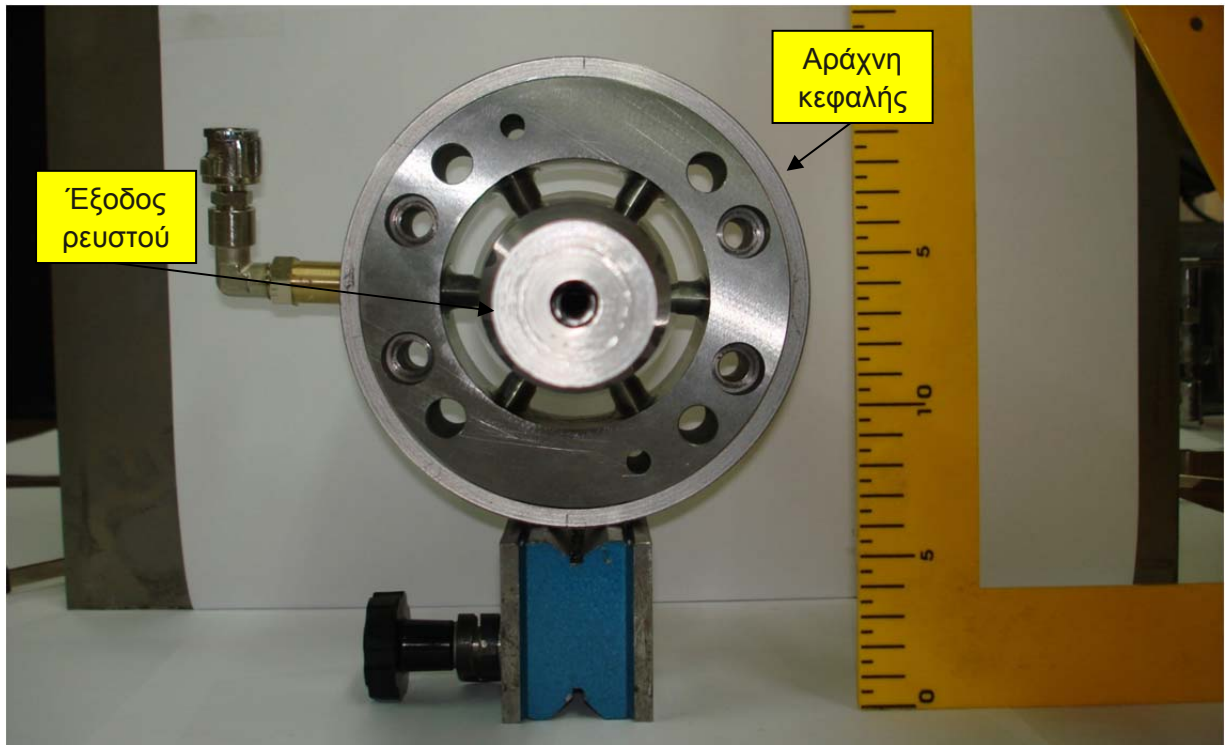
- Κώνος αρσενικού κεφαλής
- Αράχνη κεφαλής
- Υποδοχή αρσενικής μήτρας
- Μήτρα για σωλήνα Φ32



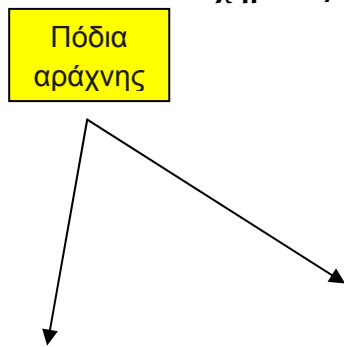
Σχήμα 1.16 Άποψη μήτρας από πίσω

Κεφάλαιο 1: Εκβολή

Παρακάτω, παραθέτουμε φωτογραφίες της μήτρας εκβολής του εργαστηρίου:



Σχήμα 1.17 Πλάγια όψη μήτρας εργαστηρίου





Σχήμα 1.18 Πόδια αράχνης κεφαλής της μήτρας

Κεφάλαιο 1: Εκβολή

Κεφάλαιο 2: Πεπερασμένα Στοιχεία

2.1. Γενικά

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.

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. Η κυρίαρχη μέθοδος CAE είναι αυτή των Πεπερασμένων Στοιχείων (Finite Element Method: FEM).

2.2. Ορισμός CAD

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).

Τα εργαλεία CAD μπορούν να ποικίλουν μεταξύ γεωμετρικών εργαλείων διαχείρισης σχημάτων (ένα άκρο), μέχρι εξειδικευμένα προγράμματα εφαρμογών όπως ανάλυση και βελτιστοποίηση (άλλο άκρο). Μεταξύ αυτών των δύο άκρων, τυπικά εργαλεία που είναι διαθέσιμα επί του παρόντος, περιλαμβάνουν ανάλυση ανοχών, υπολογισμούς ιδιοτήτων μάζας (κέντρα βάρους, ροπές αδρανείας, κλπ.), μοντελοποίηση με πεπερασμένα στοιχεία (FEM) και οπτικής απεικόνισης (visualization) των αποτελεσμάτων της ανάλυσης, μεταξύ άλλων. Ο σημαντικότερος ρόλος του CAD είναι ο καθορισμός της γεωμετρίας του υπό σχεδιασμού προϊόντος που είναι ουσιώδης σε όλες τις επόμενες φάσεις του κύκλου. Στη συνέχεια, η εν λόγω γεωμετρία αξιοποιείται από το CAE.

Κεφάλαιο 2: Πεπερασμένα Στοιχεία

2.3.Ορισμός CAE

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).

Επίσης, είναι διαθέσιμα πολλά εργαλεία βελτιστοποίησης σχεδιασμού. Παρόλο που τα εργαλεία βελτιστοποίησης μπορούν να θεωρηθούν σαν εργαλεία CAE, συνήθως ταξινομούνται με ξεχωριστό τρόπο. Διάφορες ερευνητικές προσπάθειες εξελίσσονται προς την κατεύθυνση αυτόματου σχεδιασμού με ολοκλήρωση των διαδικασιών βελτιστοποίησης και ανάλυσης. Σε αυτές τις προσεγγίσεις, γίνεται η παραδοχή ενός απλού αρχικού σχήματος σχεδιασμού, όπως ένα ορθογώνιο παραλληλόγραμμο για δισδιάστατο εξάρτημα που αποτελείται από μικρά στοιχεία διαφορετικών πυκνοτήτων. Κατόπιν, εκτελείται η διαδικασία βελτιστοποίησης προς υπολογισμό των βέλτιστων τιμών αυτών των πυκνοτήτων που αποβλέπει στην επίτευξη ενός στόχου με παράλληλη

Κεφάλαιο 2: Πεπερασμένα Στοιχεία

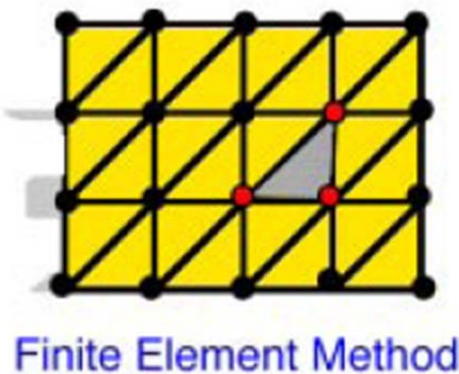
ικανοποίηση των συνθηκών τάσεων ή/και μετατοπίσεων. Συνήθως ο στόχος είναι η επίτευξη του ελάχιστου βάρους. Με βάση τις βέλτιστες τιμές πυκνοτήτων, το βέλτιστο σχήμα του σχεδιασμού λαμβάνεται με απαλοιφή των στοιχείων χαμηλής πυκνότητας.

Η γοητεία των μεθόδων ανάλυσης και βελτιστοποίησης είναι ότι επιτρέπουν στον μηχανικό να δει τον τρόπο με τον οποίο το προϊόν θα συμπεριφερθεί και του επιτρέπει να επισημάνει τα όποια λάθη έχουν γίνει μέχρι τη στιγμή εκείνη, προτού προχωρήσει σε χρονοβόρες και δαπανηρές διαδικασίες κατασκευής και ελέγχου φυσικών πρωτοτύπων. Επειδή το κόστος μελέτης μεταβάλλεται εκθετικά στα τελευταία στάδια ανάπτυξης και παραγωγής του προϊόντος, η πρώιμη βελτιστοποίηση και εξευγενισμός που επιτυγχάνεται από την ανάλυση CAE τελικά αποπληρώνεται με μείωση χρόνου και κόστους.

2.4. Μέθοδος των πεπερασμένων στοιχείων

Η FEM έχει την άριστη ευελιξία στη αντιμετώπιση σύνθετης γεωμετρίας και ανώμαλων ορίων, που είναι και το κύριο πλεονέκτημα της μεθόδου αυτής. Αυτή η μέθοδος απαιτεί τον διαχωρισμό της φυσικής περιοχής σε πεπερασμένα στοιχεία. Οι μεταβλητές τομέων αντιπροσωπεύονται με τις συναρτήσεις μορφής και τις κομβικές τιμές σε κάθε πεπερασμένο στοιχείο. Χρησιμοποίηση των υπόλοιπων τεχνικών ελαχιστοποίησης (ή, ισοδύναμα, 'variational' τεχνικές) όπως η μέθοδος Galerkin, οι διέπουσες εξισώσεις μετασχηματίζονται σε διακριτές μορφές. Για την τρισδιάστατη προσομοίωση της διαμόρφωσης με χύτευση, το ολικό σύστημα πινάκων που προκύπτει από τις αλγεβρικές εξισώσεις είναι συνήθως μεγάλο και σποραδικό, όποιος απαιτεί το μεγάλο υπολογιστική μνήμη και χρόνο CPU. Οι χρόνοι CPU μπορούν να υπολογιστούν ανάλογα με τον αριθμό πεπερασμένων στοιχείων στα πλέγματα και τους βαθμούς ελευθερίας (DOF) ανά κόμβο. Στα μεταβατικά προβλήματα, μια έκφραση πεπερασμένων στοιχείων για τα χρονικά παράγωγα χρησιμοποιείται χαρακτηριστικά από κοινού με τον διαχωρισμό πεπερασμένων στοιχείων.

Η μέθοδος πεπερασμένων στοιχείων είναι μια σχετικά νέα τεχνική που χρησιμοποιείται για την επίλυση των προβλημάτων ροής ρευστών. Έγινε ιδιαίτερα δημοφιλής στη δεκαετία του '60 μαζί με την εμφάνιση των ψηφιακών υπολογιστών τσέπης, η μέθοδος πεπερασμένων στοιχείων έχει γίνει η βάση για τα πιο εμπορικά δομικά δυναμικά προγράμματα και προγράμματα προσομοίωσης ροής ρευστών. Η FEM είναι μια μέθοδος με περιοχές στην οποία ολόκληρη η γεωμετρία που μοντελοποιείται πρέπει να διαχωρίζεται στους κόμβους και τα στοιχεία. Το πλέγμα που παρουσιάζεται στο Σχήμα 2.1 αντιπροσωπεύει τον διαχωρισμό που απαιτείται ώστε να μοντελοποιηθεί μια δισδιάστατη γεωμετρία με την FEM.



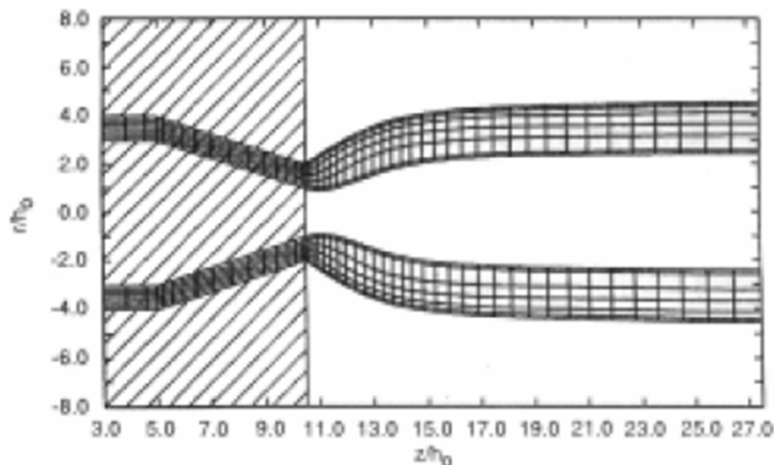
Σχήμα 2.1 Μέθοδος Πεπερασμένων Στοιχείων

Αν και αρκετές διαφορετικές μέθοδοι είναι διαθέσιμες για να ληφθούν οι τελικές εξισώσεις, η μέθοδος Galerkin των σταθμισμένων υπολοίπων προτιμάται συνήθως στα προβλήματα ροής ρευστών. Μόλις δημιουργηθεί το πλέγμα, οι διαφορικές εξισώσεις κατεύθυνσης εκφράζονται σε ακέραια μορφή και ενσωματώνονται αριθμητικά για να προκύψει ένα αλγεβρικό σύστημα εξισώσεων. Λόγω της φύσης της μεθόδου πεπερασμένων στοιχείων, έχει την δυνατότητα να μοντελοποιήσει πολύ πολύπλοκες μορφές. Μπορεί επίσης να παρέχει αρκετά ακριβείς λύσεις στις τοπικές μεταβλητές, όπως οι ταχύτητες ή οι πιέσεις των ρευστών, για μεγάλη ποικιλία προβλημάτων που περιλαμβάνουν μη γραμμικές ροές. Εντούτοις, οι υψηλότερης τάξης παράγωγες λύσεις, όπως οι κλίσεις της ταχύτητας, τείνουν να είναι λιγότερο ακριβείς. Χωρίς σύνθετες προσαρμοστικές τεχνικές πλέγματος, η FEM είναι επίσης δύσκολο να χρησιμοποιηθεί για προβλήματα με κινητά στερεά όρια. Δεδομένου ότι οι εξισώσεις κατεύθυνσης προσεγγίζονται με τη Galerkin μέθοδο, έχουν ένα ορισμένο ποσό εγγενούς λάθους, ακόμη και χωρίς να πραγματοποιηθούν αριθμητικά λάθη, γεγονός το οποίο επιδρά σε όλο τον υπολογισμό. Αυτό μπορεί να οδηγήσει να γίνει η FEM επισφαλής σε τελείως μη γραμμικές περιπτώσεις. Αν και αυτό μπορεί να αντιμετωπιστεί μερικώς από τις ειδικές 'upwinding' τεχνικές εν τούτοις αυξάνει το μέγεθος της υπολογιστικής προσπάθειας. Επιπλέον, δεδομένου ότι η λύση υπολογίζεται μόνο στους κόμβους και ο παράγων

Κεφάλαιο 2: Πεπερασμένα Στοιχεία

ταχύτητα πρέπει να ληφθεί υπόψη, η τροχιά των μορίων στην περιοχή ροής δεν επιτυγχάνεται εύκολα με την FEM.

Εντούτοις, η FEM χρησιμοποιείται εκτενώς κατά τη προσομοίωση διαδικασιών που δεν είναι καθόλου γραμμικές όπως η ροή των ιξωδοελαστικών υλικών. Παραδείγματος χάριν, στο Σχήμα 2.2 παρουσιάζεται η προβλεφθείσα διόγκωση κατά την εξώθηση του HDPE διαμέσου μιας συγκλίνουσας μήτρας. Ο Mitsoulis πρόβλεψε τη ροή διάφορων υλικών μέσω μητρών διαφορετικής γεωμετρίας χρησιμοποιώντας το μοντέλο K-BKZ. Τα αριθμητικά αποτελέσματά του προέκυψαν δεν αποκλίνουν σημαντικά από τα πειραματικά.



Σχήμα 2.2 Προβλεφθείσα διόγκωση κατά την εξώθηση του HDPE διαμέσου μιας συγκλίνουσας μήτρας.

Η μέθοδος πεπερασμένων στοιχείων έχει αποδειχθεί επίσης ιδανική για την προσομοίωση διαδικασιών πλήρωσης καλουπιών, προσανατολισμού ινών, συρρίκνωση και στρέβλωση λεπτών πλαστικών μερών. Η σημαντικότερη δυσκολία που προκύπτει κατά τη προσομοίωση διαδικασιών πλήρωσης καλουπιών (και άλλων διαδικασιών με κινούμενα όρια) είναι η απεικόνιση της παροδικά ελεύθερης επιφάνειας (ή στερεά κινούμενα όρια κατά τη μίξη). Το υλικό αλλάζει σχήμα συνεχώς καθώς ρέει και διαμορφώνεται μέσα στην κοιλότητα, καθιστώντας απαραίτητο να επαναπροσδιοριστεί η γεωμετρία της περιοχής ενδιαφέροντος μετά από κάθε διαδοχικό χρονικό βήμα. Ο επαναπροσδιορισμός του πλέγματος των πεπερασμένων στοιχείων ή του πλέγματος

Κεφάλαιο 2: Πεπερασμένα Στοιχεία

πεπερασμένων διαφορών είναι το πιο δύσκολο μέρος των προσομοιώσεων όσον αφορά προβλήματα κινούμενων ορίων και πολλές φορές καθιστά την προσομοίωση παράλογη.

Οι Kouba, Vlachopoulos, deLorenzi και Nied ανέπτυξαν μια τεχνική για να μοντελοποιήσουν την ‘membrane stretching’ κατά τη χύτευση με εμφύσηση και τη θερμοδιαμόρφωση. Αν και οι διαδικασίες είναι βασικά τρισδιάστατες, μπορούν να αντιπροσωπευθούν με δισδιάστατα στοιχεία σε μορφή ελάσματος προσανατολισμένα στον τρισδιάστατο χώρο.

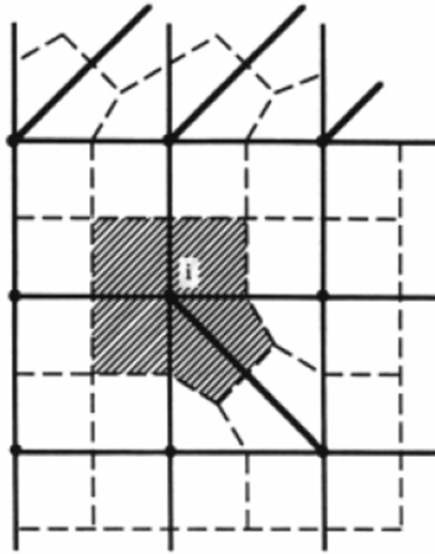
Οι Tadmor, Broyer και Gutfinger χρησιμοποίησαν μια χωρική διαμόρφωση πεπερασμένων διαφορών για να επιλύσουν δισδιάστατα προβλήματα ροής σε γεωμετρικά σύνθετες μορφές. Χρησιμοποιώντας μια Hele-Shaw διατύπωση για να προσομοιώσουν την ροή, η μέθοδος τους είναι εφαρμόσιμη σε ροές σε στενά διάκενα μεταβλητού πάχους, όπως η έγχυση σε καλούπια με λεπτά μέρη και ροών μέσα σε συγκεκριμένες μήτρες εξώθησης. Αυτή η τεχνική είναι γνωστή ως ανάλυση ροής δικτύων (FAN), και εφαρμόζεται επιτυχώς σε νευτώνεια και μη νευτώνεια ρευστά. Η μέθοδος χρησιμοποιεί ένα ‘Eulerian’ πλέγμα κελιών που καλύπτει την κοιλότητα ροής. Ένας παράγοντας πλήρωσης συνδέεται με κάθε κελί, δηλαδή ένας αριθμός που κυμαίνεται ανάμεσα στο μηδέν και στο ένα. Ένας μηδενικός παράγοντας πλήρωσης δηλώνει ένα άδειο κελί, και ένας παράγοντας πλήρωσης ίσος με ένα δηλώνει ένα κελί που είναι πλήρες με υλικό. δημιουργείται μια τοπική ισορροπία μάζας γύρω από κάθε κελί, που έχει ως αποτέλεσμα ένα σύνολο γραμμικών αλγεβρικών εξισώσεων με άγνωστες παραμέτρους τις πιέσεις στο κέντρο των κελιών. Η τοπική πίεση που προκύπτει από την επίλυση του συστήματος των εξισώσεων χρησιμοποιείται για να υπολογιστεί η διανομή της ροής ανάμεσα στα κελιά, που με την σειρά της χρησιμοποιείται για να αυξήσει τη ροή μέσα στην κοιλότητα ενημερώνοντας τους παράγοντες πλήρωσης των κελιών. Ένα σημαντικό μειονέκτημα αυτής της τεχνικής είναι ότι απαιτούνται σχετικά λεπτά πλέγματα, ειδικά εάν υπάρχουν καμπύλα όρια στη γεωμετρία. Αυτό το μειονέκτημα μπορεί να υπερνικηθεί με την χρήση τελεστών πεπερασμένων διαφορών, αλλά αυτό καθιστά την προσομοίωση απαιτητική και δύσκολη στη χρήση.

Κεφάλαιο 2: Πεπερασμένα Στοιχεία

Οι Osswald, Tucker, Wang και άλλοι τροποποίησαν την ανάλυση ροής δικτύων για να μοντελοποιήσουν την μη ισόθερμη ροή των μη νευτώνειων υγρών μέσα σε λεπτές τρισδιάστατες κοιλότητες χρησιμοποιώντας πεπερασμένα στοιχεία. Η τεχνική, η οποία είναι συνήθως γνωστή ως προσέγγιση ελέγχου όγκου (CVA), απαιτεί η τρισδιάστατη επιφάνεια σχηματοποίησης να διαιρείται σε πεπερασμένα στοιχεία τριών ή τεσσάρων κόμβων. Τα κελιά ή οι όγκοι ελέγχου προκύπτουν από τη σύνδεση του κέντρου μάζας των στοιχείων με το μέσο των πλευρών των στοιχείων. Κατά την εφαρμογή της ισορροπίας μάζας σε κάθε κελί, οι εξισώσεις που προκύπτουν είναι οι ίδιες με εκείνες που προκύπτουν από την εφαρμογή της μεθόδου Galerkin στην εξίσωση κατεύθυνσης για την πίεση. Αυτό επιτρέπει την χρήση των τυπικών τεχνικών συνδυασμού πεπερασμένων στοιχείων κατά την κατάστρωση του συστήματος των γραμμικών αλγεβρικών εξισώσεων.

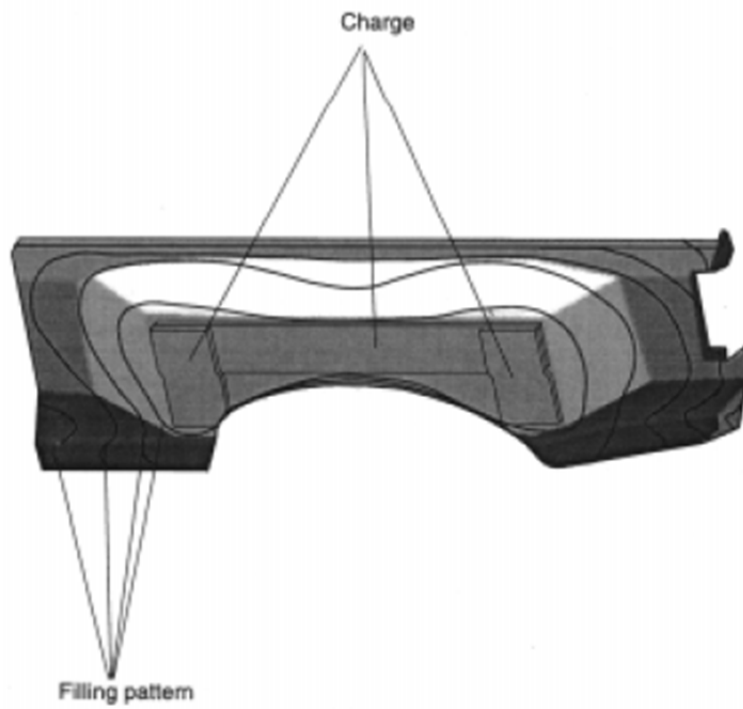
Μια χαρακτηριστική διαμόρφωση των στοιχείων και του κομβικού ελέγχου όγκου παρουσιάζεται στο Σχήμα 2.3. Στο σχέδιο οι συνεχόμενες γραμμές δηλώνουν πλευρές στοιχείων και οι διακεκομμένες γραμμές αντιπροσωπεύουν τα όρια ελέγχου όγκου. Το διαγραμμισμένο τμήμα αναπαριστά τον όγκο ελέγχου για τον κόμβο i . Αυτή η τεχνική παραμένει ο κυρίαρχος τρόπος διαμόρφωσης της μοντελοποίησης διαδικασιών πλήρωσης μητρών όπως η συμπίεση και η έγχυση σε καλούπια.

Τα εμπορικά διαθέσιμα πακέτα λογισμικού χρησιμοποιούν στο σύνολο τους αυτήν την τεχνική για να περιγράψουν τα μέτωπα της ροής κατά τη διάρκεια της πλήρωσης μητρών. Σαν παράδειγμα παρουσιάζεται στο Σχήμα 2.4 ένα σχέδιο πλήρωσης μητρών κατά τη πλήρωση με συμπίεση ενός κομματιού SMC που αναπαριστάται με το πλέγμα που παρουσιάζεται στο Σχήμα 2.5. Στο Σχήμα 2.6 παρουσιάζεται η κατανομή και ο προσανατολισμός των ινών μέσα στο φορμαρισμένο με συμπίεση τμήμα του προφυλακτήρα (φτερό) που παρουσιάζεται στο Σχήμα 2.4 και Σχήμα 2.5.

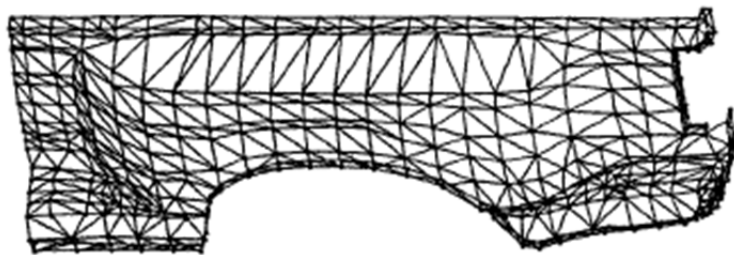


Σχήμα 2.3 Διαμόρφωση πεπερασμένων στοιχείων/ όγκου ελέγχου

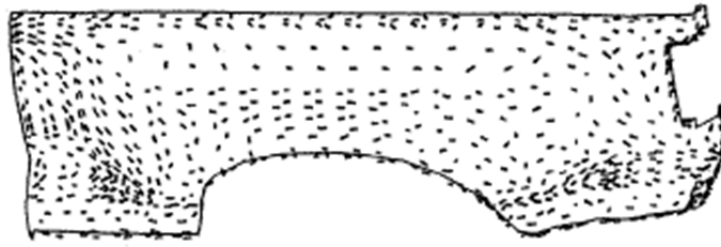
Τα προγράμματα προσομοίωσης πλήρωσης μητρών παρουσιάζουν συμφωνία σε μεγάλο βαθμό με τα πειραματικά αποτελέσματα. Απαιτείται ακόμα μεγάλη έρευνα για την πρόβλεψη της πλήρωσης μητρών με έγχυση πολύ λεπτών προϊόντων. Δεδομένου ότι η βιομηχανία μειώνει συνεχώς το πάχος των προϊόντων, αυτό το ζήτημα παραμένει μια κορυφαία ερευνητική προτεραιότητα στον τομέα της πλήρωσης με έγχυση.



Σχήμα 2.4 Προσομοίωση του σχεδίου πλήρωσης με συμπίεση μητρών κατά τη διάρκεια της σχηματοποίησης ενός φτερού SMC αυτοκινήτου



Σχήμα 2.5 Πλέγμα πεπερασμένων στοιχείων φτερού αυτοκινήτου



Σχήμα 2.6 Πρόβλεψη προσανατολισμού των ινών κατά την πλήρωση με συμπίεση της μήτρας του φτερού αυτοκινήτου

Κεφάλαιο 3: Υπολογιστικά Προγράμματα

3.1. Solidworks

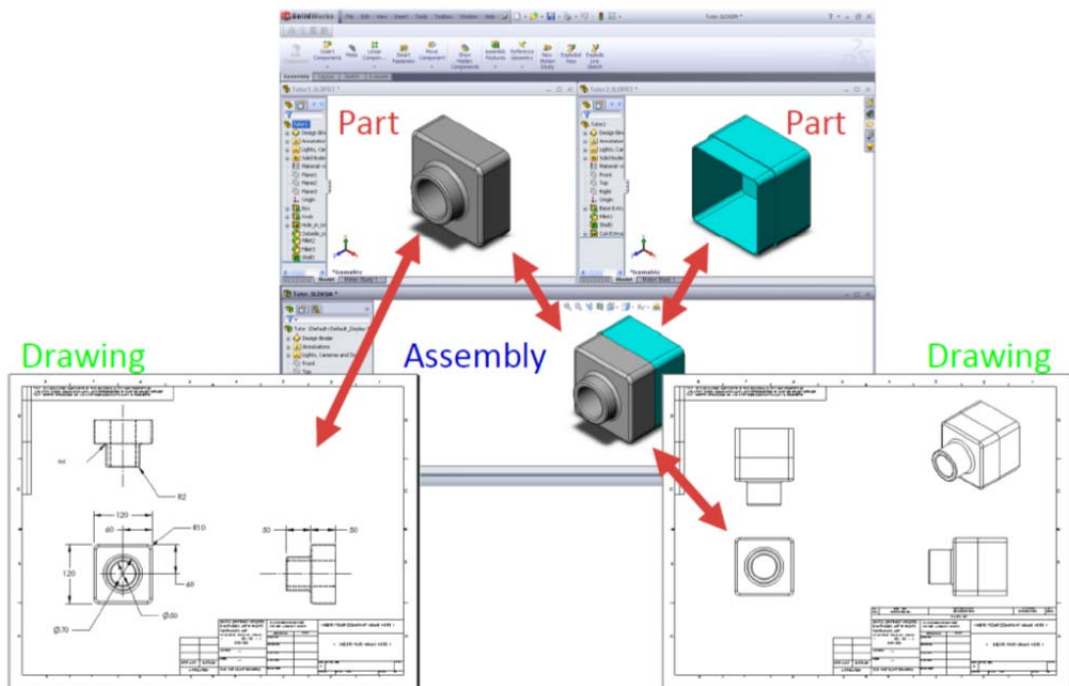
Το **SolidWorks** είναι ένα 3D σχεδιαστικό πρόγραμμα CAD για μηχανικούς που λειτουργεί στα Microsoft Windows το οποίο δημιουργήθηκε και αναπτύχθηκε από την εταιρία SolidWorks Corporation - σήμερα μια θυγατρική της Dassault Systems S.A. (Velizy, Γαλλία).



Σχήμα 3.1 SolidWorks 2011

Ιστορία

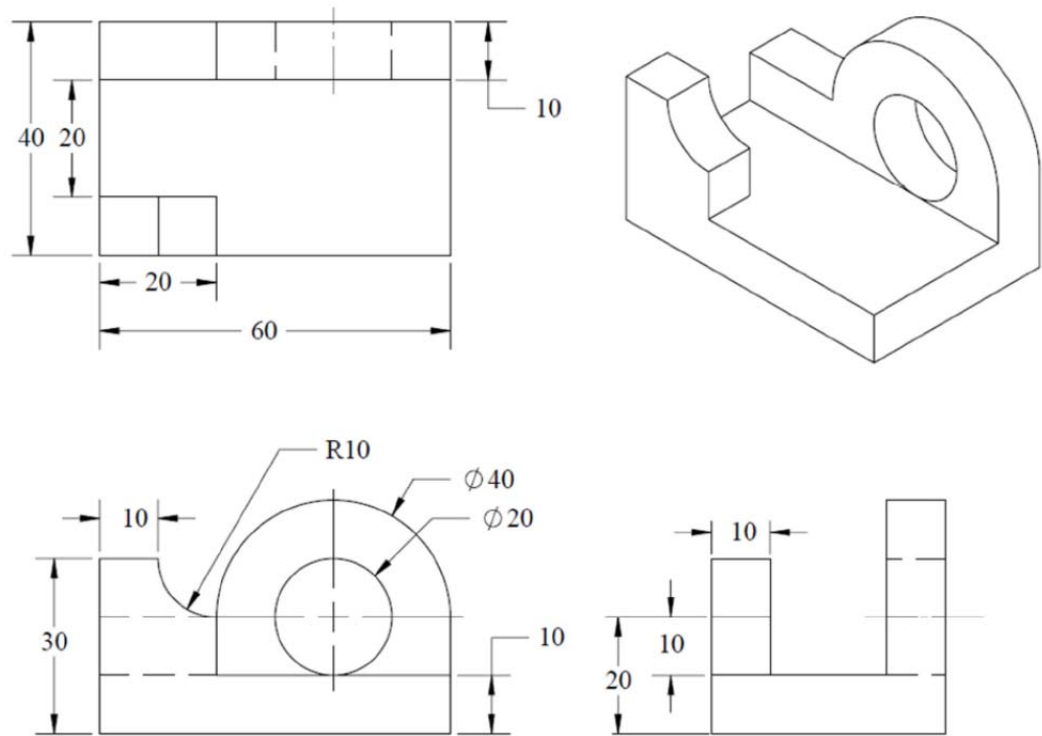
Η SolidWorks εισήχθη το 1995 σαν χαμηλού κόστους ανταγωνιστής σε προγράμματα CAD όπως Pro/ENGINEER, IDÉES DE SDRC, Unigraphics, AutoCAD και CATIA. Η εταιρία SolidWorks ιδρύθηκε το 1993 από τον Jon Hirschtick, με την έδρα του την Accord της Μασαχουσέτης, και λάνσαρε το πρώτο προϊόν της, SolidWorks 95, το 1995.



Σχήμα 3.2 3D σχεδίαση στο SolidWorks και 2D κατασκευαστικό σχέδιο στο Autocad

Αγορά

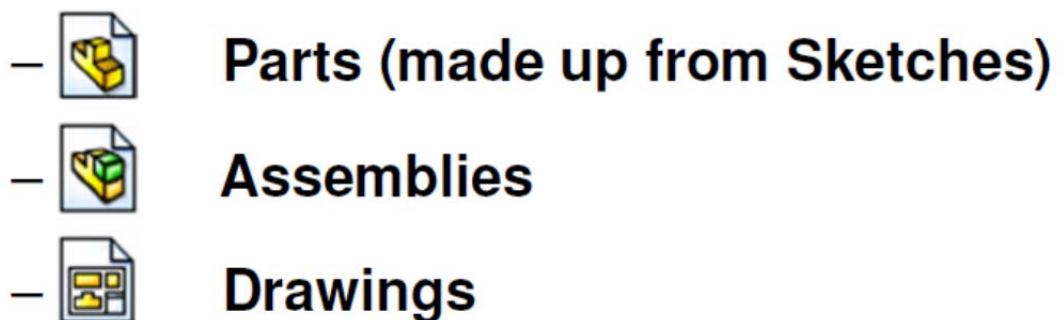
Το Solidworks χρησιμοποιείται παγκοσμίως από σχεδιαστές προϊόντων και μηχανολόγους μηχανικούς. Η βάση χρηστών της κυμαίνεται από ιδιώτες έως μεγάλες επιχειρήσεις, και καλύπτει μια πολύ ευρεία αγορά του τομέα των κατασκευής. Οι εμπορικές πωλήσεις πραγματοποιούνται μέσω μιας έμμεσης οδού, η οποία περιλαμβάνει εμπόρους και συνεργάτες σε όλο τον κόσμο. Στα άμεσα ανταγωνιστικά προϊόντα του SolidWorks περιλαμβάνονται τα Pro/ENGINEER, Bord Plein και Inventor.



Σχήμα 3.3 Απεικόνιση όψεων στο SolidWorks

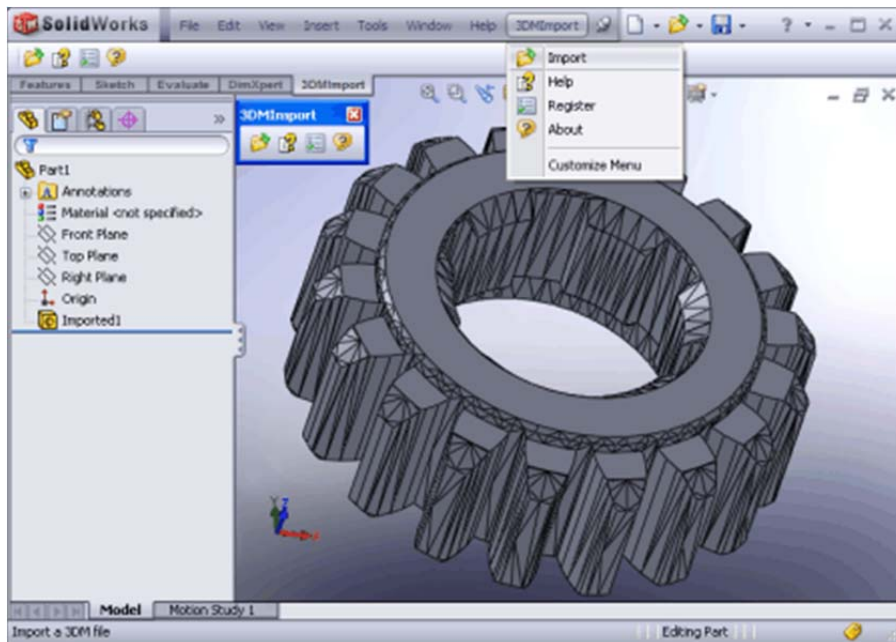
Προσέγγιση του SolidWorks

Το SolidWorks είναι ένας μοντελοποιητής στερεών σωμάτων που βασίζεται σε ένα πυρήνα γεωμετρικού μοντέλου, όπου χρησιμοποιεί μια προσέγγιση βασισμένος σε παραμετρικά χαρακτηριστικά για τη δημιουργία των προτύπων και των συναρμογών.



Σχήμα 3.4 Εικονίδια του μοντέλου SolidWorks

Οι παράμετροι αναφέρονται στους περιορισμούς των οποίων οι τιμές καθορίζουν τη μορφή ή τη γεωμετρία του προτύπου ή της συναρμογής. Οι παράμετροι μπορούν να είναι είτε αριθμητικές παράμετροι, όπως τα μήκη γραμμών ή οι διάμετροι κύκλων, είτε γεωμετρικές παράμετροι, όπως η εφαπτομένη, μια παράλληλη γραμμή, ένας ομόκεντρος κύκλος, μια οριζόντια είτε κάθετη γραμμή, κ.λπ. Οι αριθμητικές παράμετροι μπορούν να συνδεθούν η μια με την άλλη μέσω της χρήση συσχετισμών, οι οποίες τους επιτρέπει να πραγματοποιήσουν την πρόθεση σχεδίου.

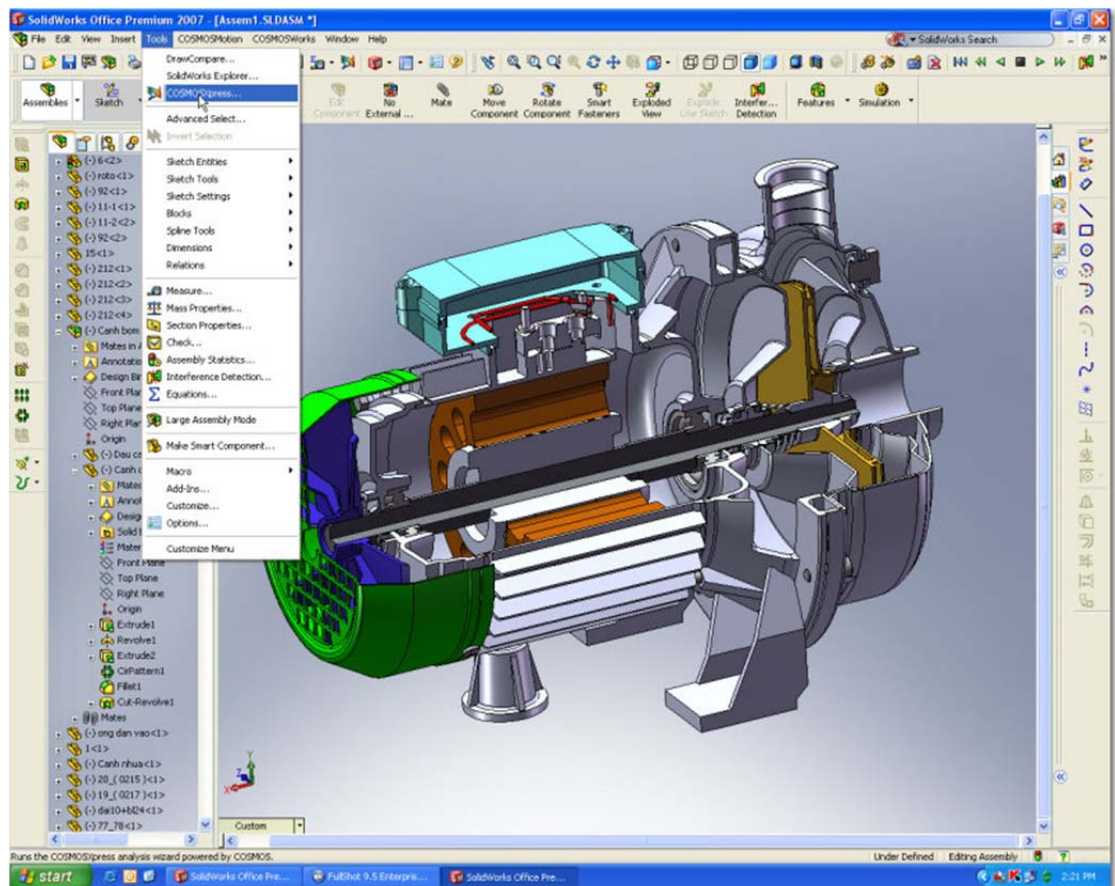


Σχήμα 3.5 Τροχός με ευθεία οδόντωση

Τα χαρακτηριστικά γνωρίσματα αναφέρονται στις δομικές μονάδες του προς σχεδιασμό τεμαχίου. Είναι οι μορφές και οι λειτουργίες που αποτελούν το τεμάχιο. Τα χαρακτηριστικά γνωρίσματα που είναι βασισμένα στη μορφή, δεν βασίζονται στο σχεδιασμό και περιλαμβάνουν τα χαρακτηριστικά γνωρίσματα τέτοιες λωρίδες, γωνίες, κελύφη και σχεδιάζονται στις επιφάνειες του τεμαχίου.

Κεφάλαιο 3:Υπολογιστικά Προγράμματα

Ο σχεδιασμός ενός προτύπου σε SolidWorks αρχίζει συνήθως με είτε ένα διδιάστατο είτε τρισδιάστατο σκίτσο. Το σκίτσο αποτελείται από τη γεωμετρία όπως οι γραμμές, τα τόξα, τις κωνικές προβολές και τα αυλακώματα. Οι διαστάσεις προστίθενται στο σκίτσο για να καθορίσουν το μέγεθος και τη θέση της γεωμετρίας. Οι συσχετισμοί χρησιμοποιούνται για να καθορίσουν τις ιδιότητες όπως την εφαπτομενικότητα, τον παραλληλισμό, την καθετοτητα, την ομοκεντρότητα κτλ. Η παραμετρική φύση του SolidWorks σημαίνει ότι οι διαστάσεις και οι συσχετισμοί καθοδηγούν τη γεωμετρία και όχι το αντίθετο. Οι διαστάσεις στο σκίτσο μπορούν να ελεγχθούν ανεξάρτητα, ή σε συσχέτιση με άλλες παραμέτρους μέσα ή έξω από το σχέδιο.



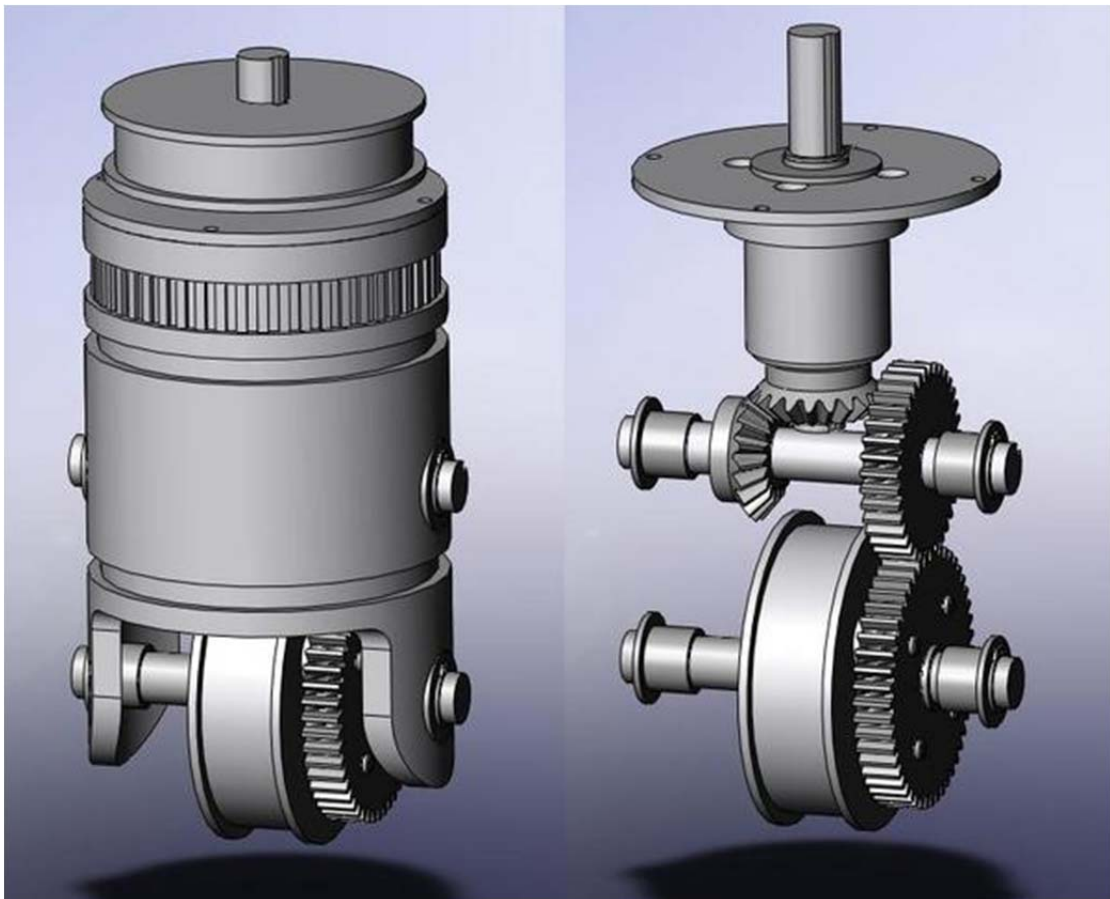
Σχήμα 3.6 Υδραυλική αντλία

Όπως συμβαίνει με όλα τα λογισμικά με γνωρίσματα βασισμένα στη στέρεα διαμόρφωση, το SolidWorks επιτρέπει στο χρήστη για να κυλήσει προς τα πίσω στο σχεδιασμό του τεμαχίου προκειμένου να γίνουν οι αλλαγές, να προστεθούν τα επιπλέον

Κεφάλαιο 3:Υπολογιστικά Προγράμματα

χαρακτηριστικά γνωρίσματα, ή να γίνει κάποια αλλαγή στην ακολουθία με την οποία εκτελούνται οι διαδικασίες .

Σε μια συναρμογή, το ανάλογο με τους συσχετισμούς των σχεδίων είναι η σύζευξη . Ακριβώς όπως και οι συσχετισμοί των σχεδίων καθορίζουν τους όρους όπως η εφαπτομενικότητα, ο παραλληλισμός, και η ομοκεντρικότητα , όσον αφορά τη γεωμετρία των σχεδίων, οι συζεύξεις των συναρμογών καθορίζουν τις ισοδύναμες σχέσεις των επιμέρους τμημάτων ή τα τεμαχίων, που επιτρέπουν την εύκολη κατασκευή των συναρμογών. Το SolidWorks περιλαμβάνει επίσης τα πρόσθετα προηγμένα χαρακτηριστικά γνωρίσματα σύζευξης όπως σύζευξη γραναζιών και δοντιών έκκεντρων, τα οποίοι επιτρέπουν στις διαμορφωμένες συναρμογές των γραναζιών να αναπαραγάγουν ακριβώς την περιστροφική κίνηση ενός πραγματικού ρου γραναζιών .



Σχήμα 3.7 Σύστημα τροχών μετάδοσης ισχύος

Κεφάλαιο 3:Υπολογιστικά Προγράμματα

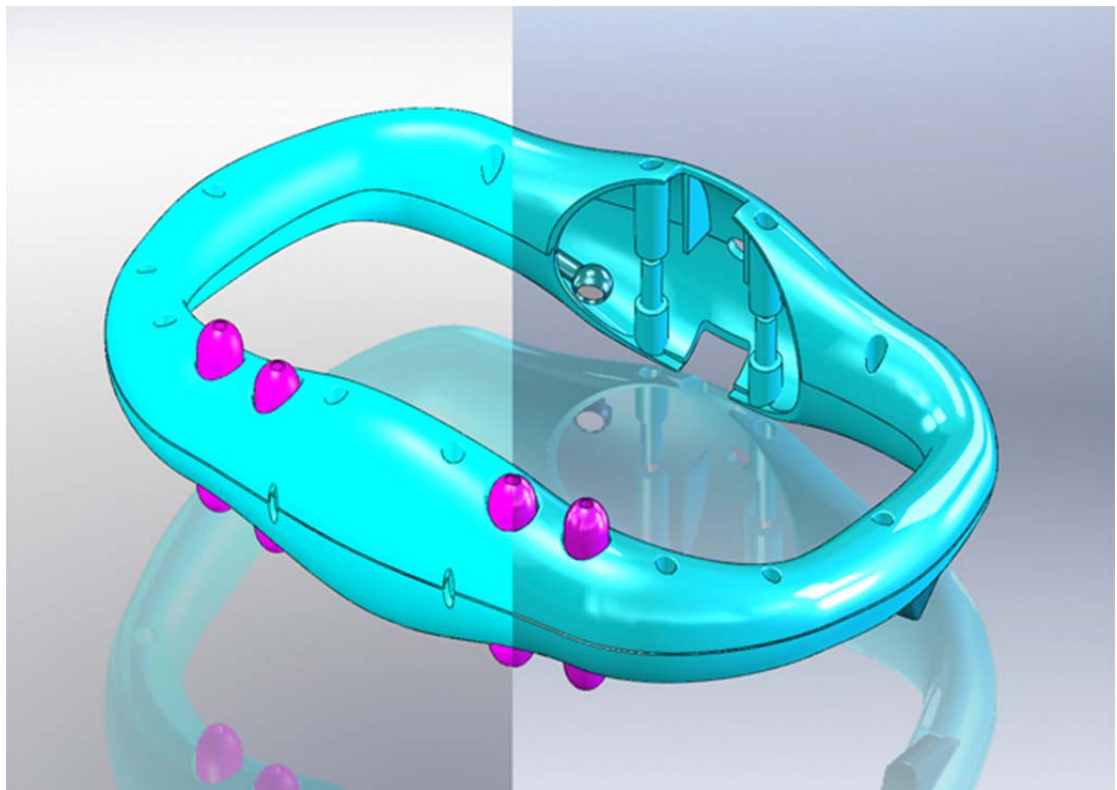
Τέλος, τα σχέδια μπορούν να δημιουργηθούν είτε από τα τεμάχια είτε από συναρμολογημένα σύνολα. Οι όψεις δημιουργούνται αυτόματα από το στερεό πρότυπο, και οι σημειώσεις, οι διαστάσεις και οι ανοχές μπορούν έπειτα να προστεθούν εύκολα στο σχέδιο όπως απαιτούνται. Η ενότητα σχεδίων περιλαμβάνει τα περισσότερα μεγέθη χαρτιού και πρότυπα (Ansi, ISO, DIN, GOST, JIS, BSI και MB).

Εκδόσεις

Το λογισμικό CAD SolidWorks είναι διαθέσιμο σε 3 εμπορικές εκδόσεις και 3 εκπαιδευτικές εκδόσεις.

Εμπορικά προϊόντα

- SolidWorks Standard
- SolidWorks Professional
- SolidWorks Premium



Σχήμα 3.8 Χειρολαβή-εξάρτημα(SolidWorks 2010 αριστερά-SolidWorks 2011 δεξιά)

Κεφάλαιο 3:Υπολογιστικά Προγράμματα

SolidWorks Standard

Το βασικό προϊόν του SolidWorks περιλαμβάνει εργαλεία για την τρισδιάστατη διαμόρφωση, τη συναρμολόγηση, το σχέδιο, και ακόμα χρήση μετάλλων σε φύλλα, συρραφή με συγκόλληση, ή και εμφάνιση χωρίς διαμόρφωση. Μπορεί να εισαγει πολυάριθμους τύπους αρχείων από άλλα διδιάστατα και τρισδιάστατα προγράμματα CAD. Έχει επίσης δυνατότητα για εξατομικευμένο προγραμματισμο και περιλαμβάνει ένα πρόγραμμα ανάλυσης πεπερασμένων στοιχείων σε επίπεδο εισαγωγής αποκαλούμενο CosmosXpress.

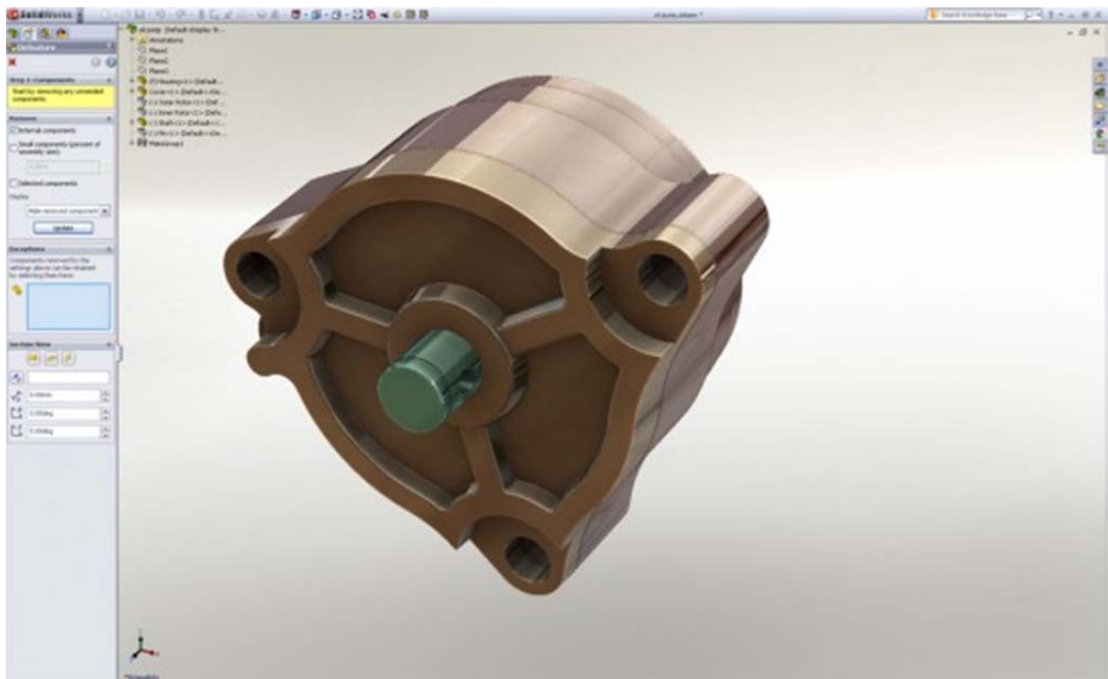
SolidWorks Professional

Το πακέτο SolidWorks Professional περιλαμβάνει το βασικό προϊόν SolidWorks συν αρκετά επιπρόσθετα προγράμματα. Αυτα περιλαμβάνουν:

- Animation (δημιουργεί animation AVI ενός προτύπου στην κίνηση)
- Ελεγκτής σχεδίου (σημειώσεις ελέγχων, διαστάσεις και άλλες τοποθετήσεις στα σχέδια που είναι καθορισμένα στα πρότυπα της επιχείρησης)
- Επαγγελματικό eDrawings (προσθέτει τη σήμανση και μέτρηση των ικανοτήτων του ελεύθερου θεατή eDrawings)
- FeatureWorks (προσθέτει τα χαρακτηριστικά γνωρίσματα στη εισαγόμενη γεωμετρία)
- Ομάδα εργασίας PDMWorks (πρόγραμμα διαχείρισης εγγράφων σε επιπέδων ομάδων εργασίας A για να ρυθμιστούν τα αρχεία SolidWorks καθώς επίσης και άλλοι τύποι αρχείου)
- PhotoWorks (ρεαλιστική φωτογραφία)
- Χρονοπρογραμματιστής στόχου (το σχέδιο στο SolidWorks συσσωρεύει την τυπωμένη ύλη, αρχεία εισαγωγών/εξαγωγής, και δημιουργει τα eDrawings)

Κεφάλαιο 3:Υπολογιστικά Προγράμματα

- Εργαλειοθήκη (συλλογή Α των κοινού συνδέσμων και του υλικού, των βιδών, των παξιμαδιών κ.λπ.)
- Utilitie (πρόσθετα εργαλεία για τα χαρακτηριστικά γνωρίσματα και τη γεωμετρία)
- Τρισδιάστατος ιστοχώρο (έκδοση HTML των εγγράφων SolidWorks, των eDrawings)



Σχήμα 3.9 Αντλία λαδιού

SolidWorks Premium

Το πακέτο SolidWorks Premium περιλαμβάνει όλες τις δυνατότητες του SolidWorks Profesional καθώς επίσης και μια σειρά σχεδιασμού εργαλείων επιπροσθετων SolidWorks συν τα εξής:

- Σχεδιαστή CosmosWorks (πεπερασμένη ανάλυση στοιχείων)

Κεφάλαιο 3:Υπολογιστικά Προγράμματα

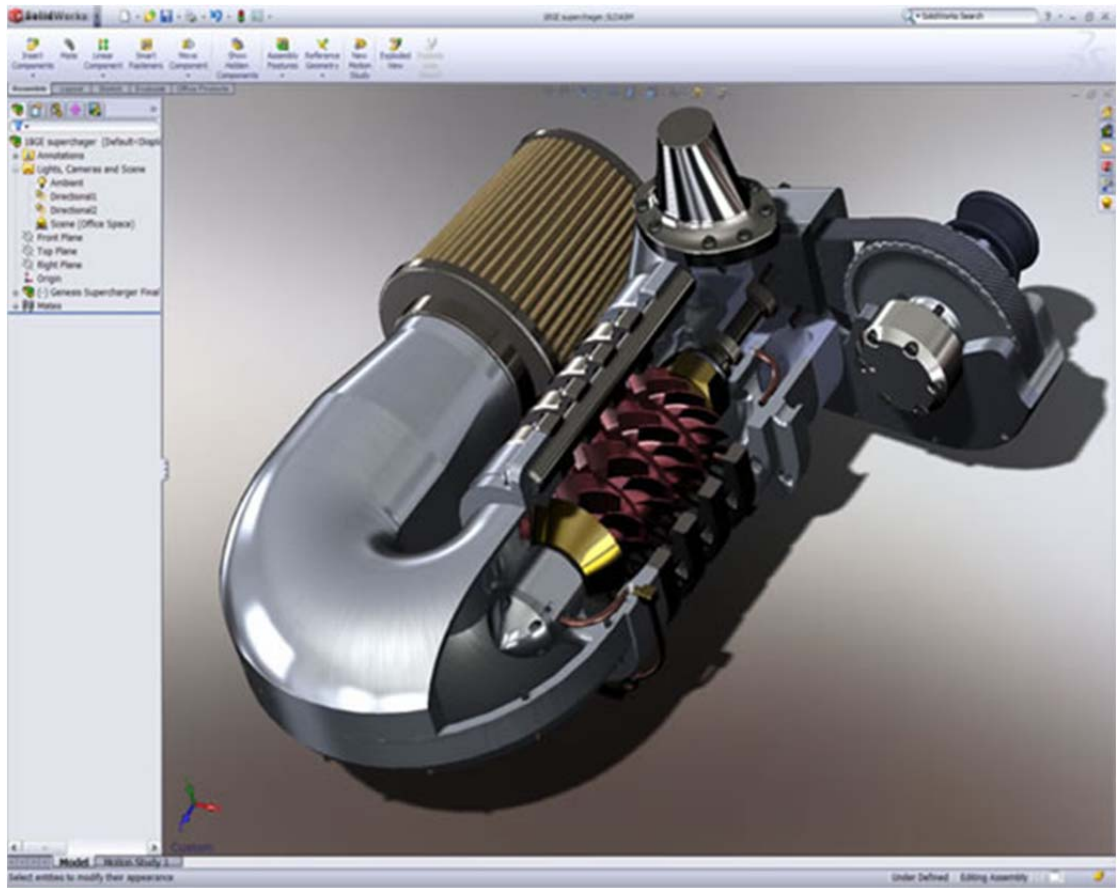
- CosmosMotion (ανάλυση κινήσεων)
- Δρομολόγηση (διοχέτευση με σωλήνες, σωλήνωση, συν την καλωδίωση και το σχεδιάγραμμα λουριών)
- ScanTo3D (χρήση για τη μετατροπή των ανιχνευμένων στοιχείων στα στερεά πρότυπα)
- TolAnalyst (η ανοχή GD&T αναλύει το εργαλείο)
- CircuitWorks

Εκπαιδευτικά προϊόντα

- Εκμάθηση σχεδίου σπουδαστών SolidWorks
- Έκδοση εκπαίδευσης SolidWorks
- Έκδοση σπουδαστών SolidWorks

Εκμάθηση σχεδίου σπουδαστών SolidWorks

Η εκμάθηση σχεδίου σπουδαστών SolidWorks είναι μια δοκιμαστική έκδοση περιορισμένης έκδοσης της έκδοσης εκπαίδευσης SolidWorks. Δεν περιλαμβάνει όλα τα χαρακτηριστικά γνωρίσματα της εξουσιοδοτημένης έκδοσης.



Σχήμα 3.10 Υπερπληρωτής

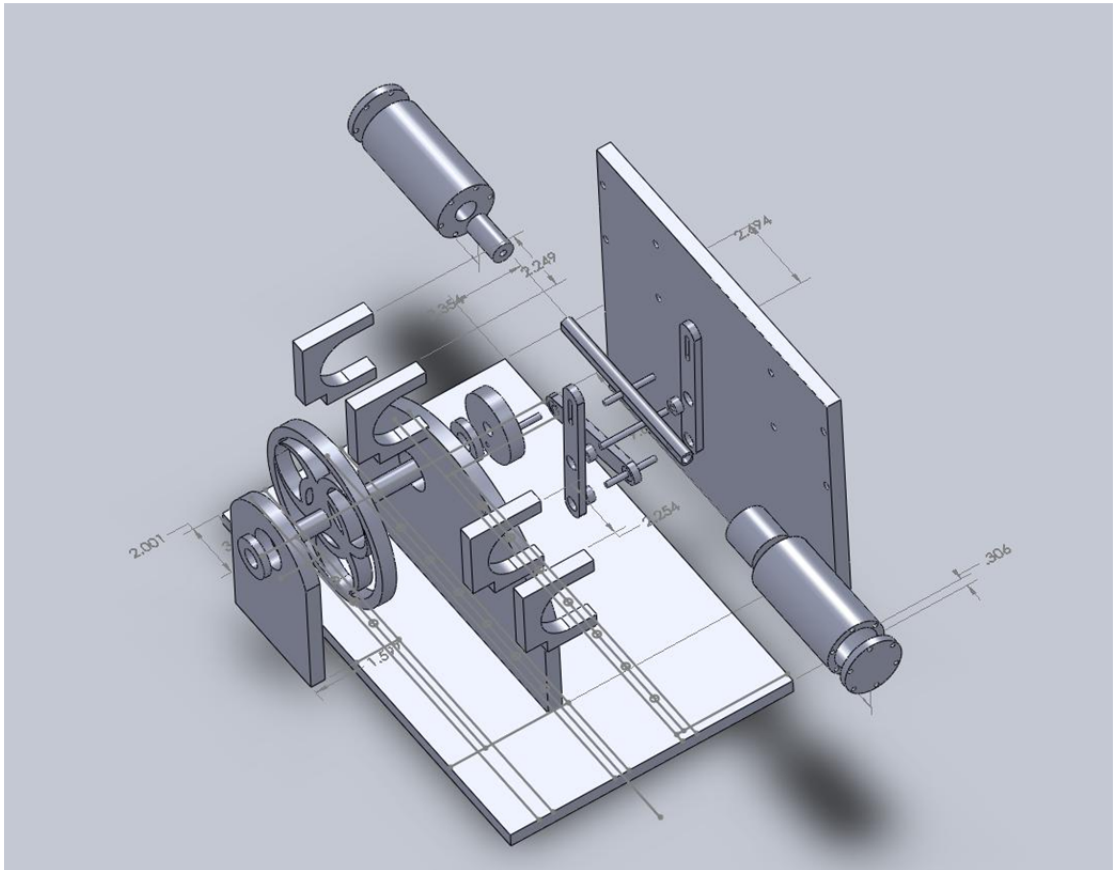
Έκδοση εκπαίδευσης SolidWorks

Η έκδοση εκπαίδευσης SolidWorks είναι μια εξουσιοδοτημένη έκδοση SolidWorks. Προορίζεται για την εκπαίδευση των σπουδαστων στα σχολεία πρωτοβάθμιας εκπαίδευσης, της δευτεροβάθμιας εκπαίδευσης, των επαγγελματικές σχολές, τα κολλέγια, και τα πανεπιστήμια. Περιλαμβάνει επίσης CosmosXpress Η εκπαιδευτική έκδοση είναι πάντα 1 έτος πίσω από την έκδοση βιομηχανίας. Εντούτοις, αυτό το καθιστά σημαντικό για την εκμάθηση solidworks.

Κεφάλαιο 3:Υπολογιστικά Προγράμματα

Έκδοση SolidWorks για σπουδαστές

Η έκδοση σπουδαστών SolidWorks προορίζεται για τη μεμονωμένη χρήση σπουδαστών έξω από την τάξη. Περιλαμβάνει τα ίδια χαρακτηριστικά γνωρίσματα με την έκδοση εκπαίδευσης SolidWorks.



Σχήμα 3.11 Εξαρτήματα συναρμολογημένου τεμαχίου

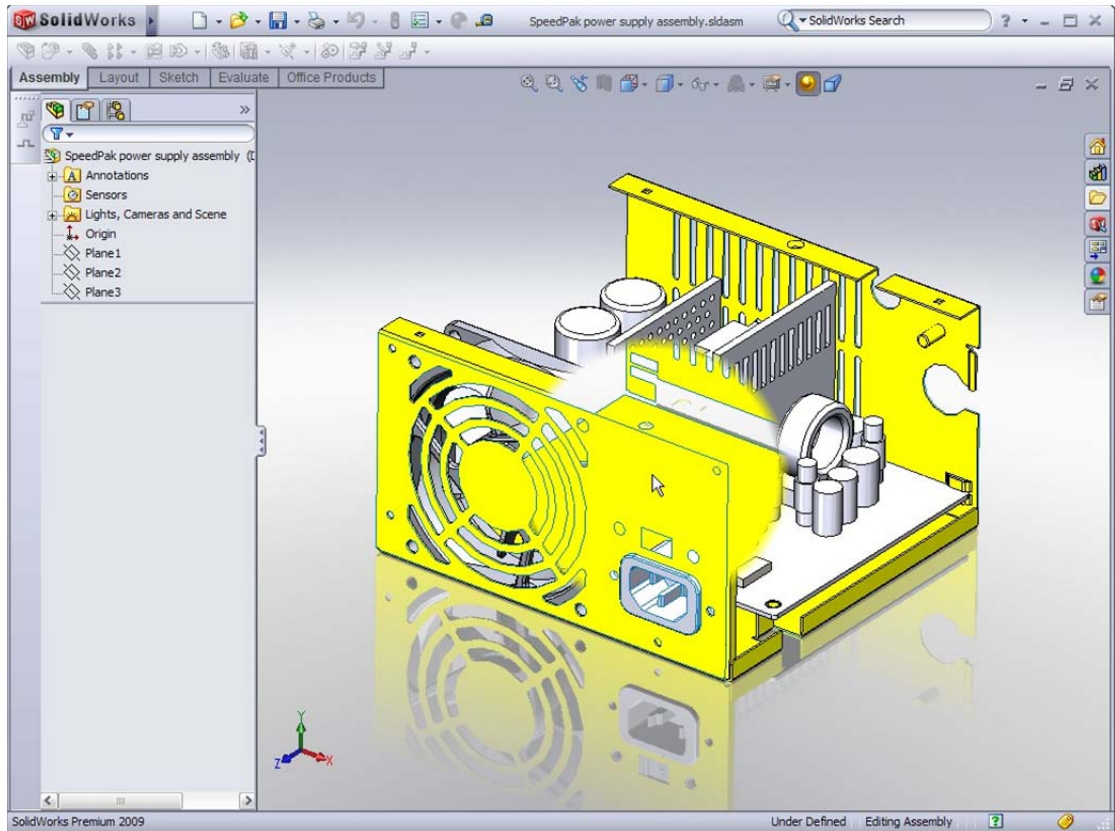
Επιπρόσθετα προϊόντα

Το SolidWorks επιτρέπει τη συνεχή ολοκλήρωση επιπρόσθετων ενότητων . Μερικές από αυτές τις ενότητες είναι μικρές και εισάγουν ένα δευτερεύον χαρακτηριστικό γνώρισμα, όπως η παραγωγή μιας πρόσθετης διαμορφωμένης οπής, ενώ άλλες είναι ολοκληρωμένο πρόγραμμα. Με τη βοήθεια υπολογιστή κατασκευάζονται προϊόντα που χρησιμοποιούν το SolidWorks ως κατάλληλη γραφική πλατφόρμα.

Κεφάλαιο 3:Υπολογιστικά Προγράμματα

Με τη βοήθεια υπολογιστή κατασκευάζονται τα προϊόντα

- SolidCAM
- CAMWorks



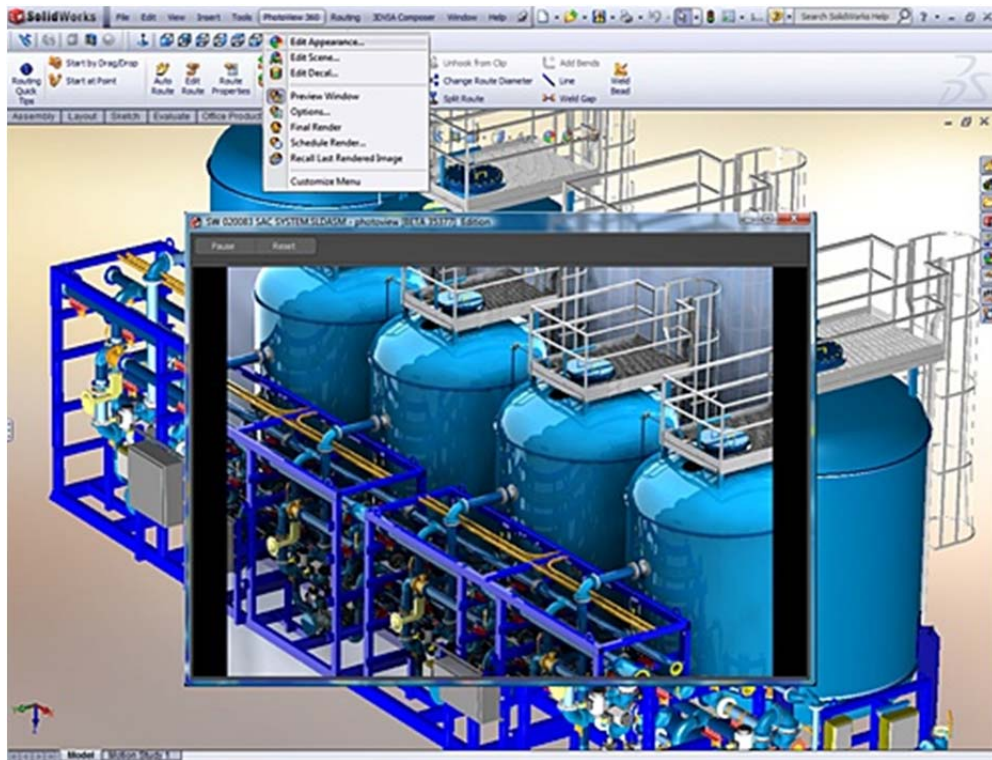
Σχήμα 3.12 Εξάρτημα γεννήτριας

Εργαλειοθήκη

Η εργαλειοθήκη SolidWorks είναι η βιβλιοθήκη των προκαθορισμένων συνδέσμων, εργαλείων, έκκεντρων, βιδών και άλλων εξαρτημάτων, βασισμένων στις πληροφορίες που βρίσκονται στο εγχειρίδιο των μηχανημάτων. Η βιβλιοθήκη είναι μια προκαθορισμένη βάση δεδομένων η οποία όμως μπορεί να τροποποιηθεί. Επίσης καθορισμένα από το χρήστη τυποποιημένα μέρη μπορούν να δημιουργηθούν και να προστεθούν στην εργαλειοθήκη για την εκ νέου χρήση σε άλλα προγράμματα.

Κεφάλαιο 3:Υπολογιστικά Προγράμματα

Η εργαλειοθήκη SolidWorks επιτρέπει να την αύξηση ή τη μείωση των εισαγόμενων συνδέσμων στα συναρμολογημένα σύνολα. Είναι επίσης ενσωματωμένη με τεχνολογία SolidWorks στη «SmartFastener» για να επιτρέψει τον αυτόματο ταίριασμα των χαρακτηριστικών γνωρισμάτων οπών με τους κατάλληλους συνδέσμους.



Σχήμα 3.13 Απεικόνιση τμήματος βιομηχανικής μονάδας

Μελέτη κινήσεων (προηγουμένως αποκαλούμενη animation)

Ο εμπυχωτής SolidWorks έχει την ικανότητα να δημιουργεί συναρμολογημένα σύνολα και ζωντανεύει τον τρόπο που τα επιμέρους τμήματα ενώνονται μεταξύ τους.

Στηρίζεται στο τυποποιημένο kinematics SolidWorks, αλλά μπορεί επίσης να δεχτεί τα αποτελέσματα προσομοίωσης κινήσεων από COSMOSMotion, καθώς επίσης και έναν λεπτομερή χειρισμό από το χρήστη, επίσης μπορεί να παράγει την τηλεοπτική παραγωγή και υποστηρίζει τις κινήσεις χρησιμοποιώντας PhotoWorks.

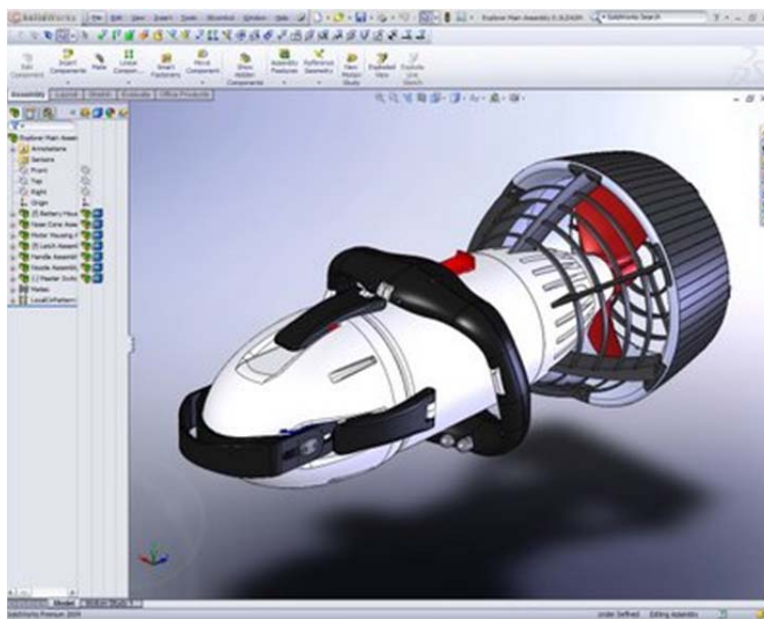
Κεφάλαιο 3:Υπολογιστικά Προγράμματα

FeatureWorks

Αυτή η ενότητα αναγνωρίζει τα διαφορετικά χαρακτηριστικά σχεδιασμού (ολωρίδες, οπές) στα εισαγόμενα πρότυπα. Οι ελλοχεύουσες μέθοδοι για την αναγνώριση των διαφορετικών χαρακτηριστικών γνωρισμάτων στο στερεό προσδιορίζονται κυρίως απο τεχνολογίες CAD/CAM αναγνώρισης χαρακτηριστικών γνωρισμάτων στη βιομηχανία.

ScanTo3D

Αυτή η ενότητα εκτελεί αντίστροφη εφαρμοσμένη μηχανική, ξεκινώντας από το σημείο-σύννεφο ή από αρχεία STL/VRML, καθώς επίσης και χρησιμοποιώντας τρισδιάστατη ανίχνευση. Συμπεριλαμβάνεται στο πακέτο SolidWorks, από την έκδοση του 2007.



Σχήμα 3.14 Σχεδίαση ατομικού ανεμιστήρα

API

Το SolidWorks περιλαμβάνει επίσης Διεπαφή προγραμματισμού εφαρμογής (API) για τη μακροεντολή και την ανάπτυξη τρίτων.

Κεφάλαιο 3:Υπολογιστικά Προγράμματα

Σχήμα αρχείων

Τα αρχεία SolidWorks χρησιμοποιούν το δομημένο αποθηκευτικό σχήμα αρχείων της Microsoft. Αυτό σημαίνει ότι υπάρχουν διάφορα αρχεία που ενσωματώνονται μέσα σε κάθε SLDDRW, SLDPRT, αρχείο SLDASM, συμπεριλαμβανομένων των δυαδικών αρχείων εικόνας πρόβλεψης και των δευτερευόντων αρχείων δεδομένων. Διάφορα εργαλεία τρίτων μπορούν να χρησιμοποιηθεί για να εξαγάγει αυτά τα δευτερεύοντα αρχεία, αν και τα δευτερεύοντα αρχεία χρησιμοποιούν σε πολλές περιπτώσεις τα ιδιόκτητα δυαδικά σχήματα αρχείων.



Σχήμα 3.15 Ατομικός ανεμιστήρας

3.2. Comsol

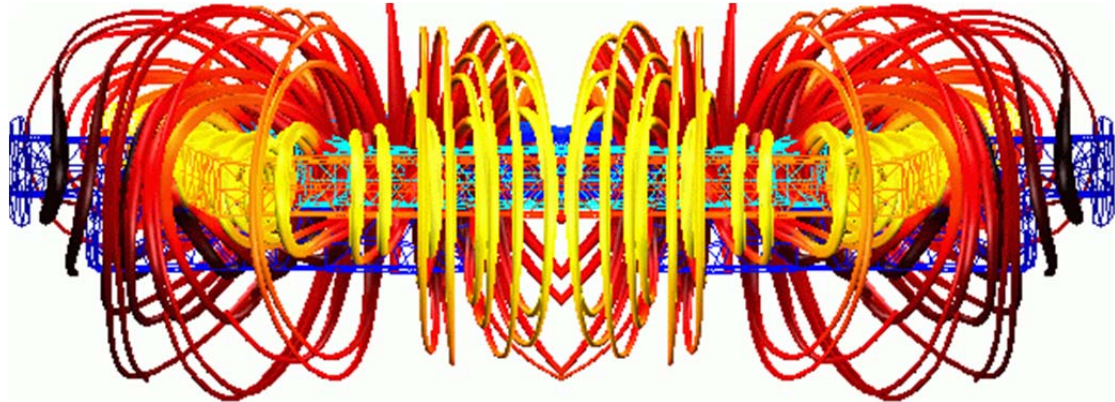
Το **COMSOL Multiphysics** (στο παρελθόν **FEMLAB**) είναι ένα πακέτο λογισμικού προσομοίωσης ανάλυσης και επίλυσης πεπερασμένων στοιχείων που χρησιμοποιείται σε διάφορες εφαρμογές της φυσικής και της εφαρμοσμένης μηχανικής, ιδιαιτέρως φαινόμενα μεταφοράς, ή multiphysics. Το COMSOL Multiphysics προσφέρει επίσης μια εκτενή και καλά ρυθμισμένη διεπαφή MATLAB και τις εργαλειοθήκες του για μια μεγάλη ποικιλία προγραμματισμών και δυνατότητες προεπεξεργασίας μετα-επεξεργασίας. Τα πακέτα του προσφέρονται για διάφορα λειτουργικά συστήματα (Windows, MAC, Linux, Unix.) Εκτός από συμβατικά φυσική-βασισμένα χαρακτηριστικά, το COMSOL Multiphysics επιτρέπει επίσης την εισαγωγή των συζευγμένων συστημάτων μερικών διαφορικών εξισώσεων (PDEs). Το PDEs μπορεί να εισαχθεί άμεσα ή χρησιμοποιώντας την αποκαλούμενη weak form.



Σχήμα 3.16 Comsol Multiphysics

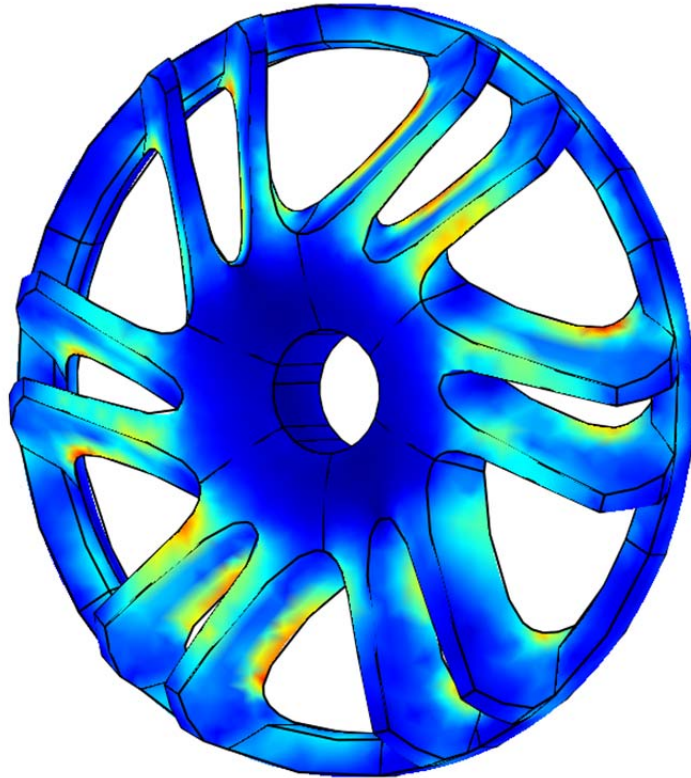
Κεφάλαιο 3:Υπολογιστικά Προγράμματα

Το COMSOL άρχισε από τους τελειόφοιτους σπουδαστές του Germund Dahlquist και βασίστηκε στους κώδικες που αναπτύχθηκαν για μια σειρά μαθημάτων στο Royal Institute of Technology (KTH)στη Στοκχόλμη της Σουηδία.



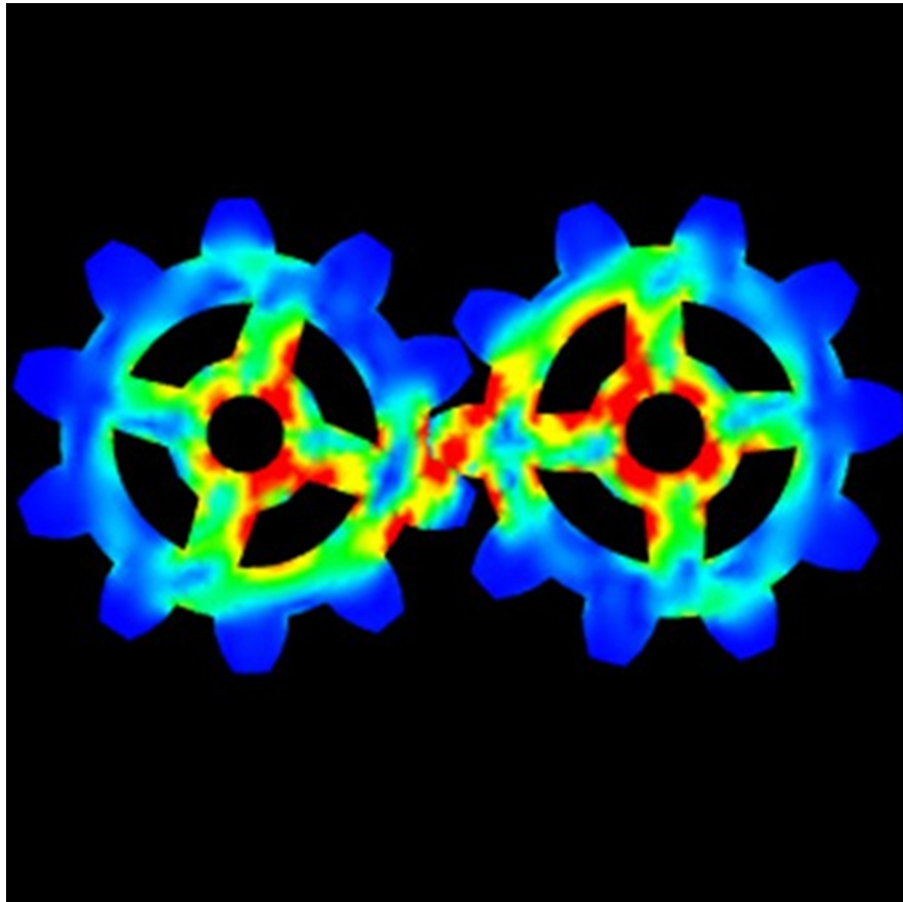
Σχήμα 3.17 Σύστημα θέρμανσης με επαγωγή.

Το COMSOL Multiphysics είναι ένα ισχυρό διαδραστικό περιβάλλον για τη μοντελοποίηση και την επίλυση όλων των ειδών επιστημονικών και τεχνικών προβλημάτων που περιγράφονται από μερικές διαφορικές εξισώσεις (ΜΔΕ). Οι μερικές διαφορικές εξισώσεις αποτελούν τη βάση για πολλούς από τους νόμους της επιστήμης και της φυσικής και παρέχουν τη βάση για τη μοντελοποίηση ευρέος φάσματος φαινομένων στις επιστήμες της φυσικής και της μηχανικής. Κατά την επίλυση των ΜΔΕ, το COMSOL Multiphysics χρησιμοποιεί την ιδιαίτερα επιτυχημένη και διαδεδομένη μέθοδο των πεπερασμένων στοιχείων (FEM). Σημαντικό πλεονέκτημα του COMSOL είναι η δυνατότητα αλληλεπίδρασής του με το MATLAB πράγμα που μας διευκολύνει πάρα πολύ, καθώς είναι εφικτή η αποθήκευση ενός υπολογιστικού μοντέλου σε μορφή κώδικα, στον οποίο μπορεί εύκολα να γίνονται αλλαγές και τροποποιήσεις.



Σχήμα 3.18 Πεδίο τάσης στην κεντρική πλήμη αλουμινένιου τροχού 3 κομματιών

Η μέθοδος FEM είναι μια αριθμητική τεχνική για τη λύση προβλημάτων τα οποία περιγράφονται από PDEs. Το αντικείμενο πάνω στο οποίο εργαζόμαστε αναπαρίσταται σαν ένα άθροισμα πεπερασμένων στοιχείων. Προσεγγιστικές σχέσεις των πεπερασμένων αυτών στοιχείων προσδιορίζονται με βάση τις κομβικές τιμές (*nodal value*) ενός φυσικού πεδίου που παρατηρείται. Ένα συνεχές φυσικό πρόβλημα μετατρέπεται σε ένα διακριτοποιημένο πρόβλημα πεπερασμένων αντικειμένων με άγνωστες τιμές στους κόμβους των στοιχείων. Οι τιμές μέσα στα πεπερασμένα στοιχεία ανακτώνται χρησιμοποιώντας τις τιμές των κόμβων. Η τεχνική FEM διαιρεί το πρόβλημα πεδίου σε τμηματικές πολυωνυμικές συναρτήσεις και αυτό προσφέρει αρκετά μεγάλη ακρίβεια. Επίσης εξαιτίας της τοπικής υποστήριξης των βασικών συναρτήσεων οδηγούμαστε σε αραιά συστήματα για ένα διακριτοποιημένο πρόβλημα, αυτό βοηθάει στο να λύσουμε ένα πρόβλημα με πολύ μεγάλο αριθμό αγνώστων.



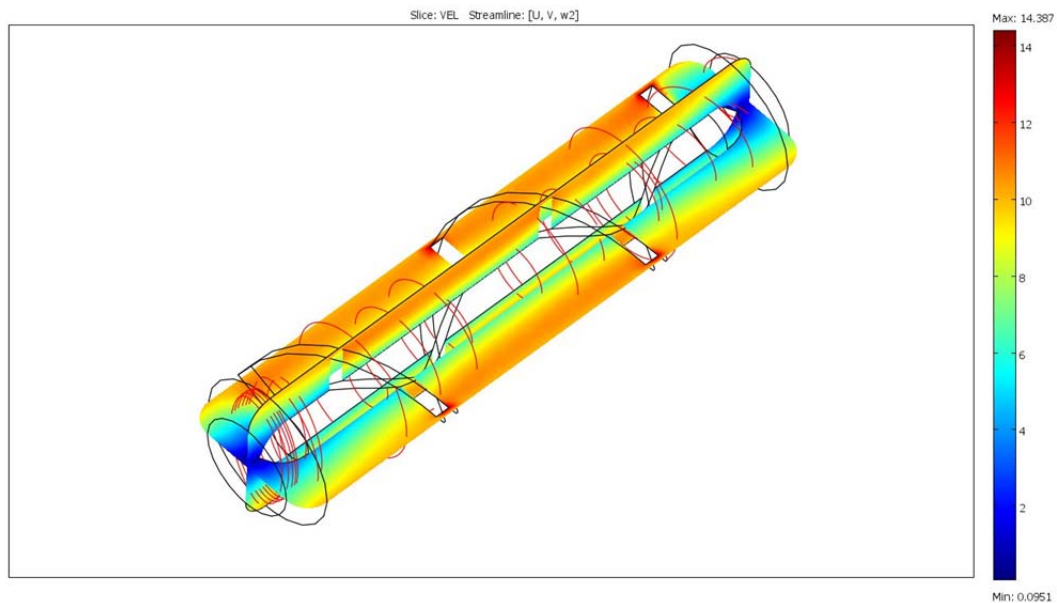
Σχήμα 3.19 Ανάλυση της δύναμης εμπλοκής συνεργαζόμενων τροχών

Εν γένει, η αναλυτική λύση των εξισώσεων με τις οποίες περιγράφονται τα διάφορα τεχνικά προβλήματα είναι δυνατόν να πραγματοποιηθεί μόνο σε ορισμένες περιπτώσεις, όπου τα προβλήματα είναι πάρα πολύ απλής μορφής. Όμως, η ανάγκη επίλυσης προβλημάτων πιο σύνθετης μορφής οδήγησε στην ανάπτυξη διαφόρων προσεγγιστικών μεθόδων, μία εκ των οποίων είναι και η μέθοδος των πεπερασμένων στοιχείων. Πιο συγκεκριμένα, η μέθοδος των πεπερασμένων στοιχείων μπορεί να είναι προσεγγιστική αλλά μπορεί να δώσει αξιόπιστα αποτελέσματα και να εφαρμοστεί σε πολύ μεγαλύτερο εύρος προβλημάτων, ανεξαρτήτως γεωμετρικής πολυπλοκότητας. Το μόνο μειονέκτημα που έχει είναι οι αυξημένες απαιτήσεις σε υπολογιστική ισχύ, ιδίως όταν εφαρμόζεται σε σύνθετα προβλήματα, κάτι το οποίο έχει μειωθεί στο ελάχιστο λόγω της αξιοσημείωτης ανάπτυξης των ηλεκτρονικών υπολογιστών. Η εφαρμογή της μεθόδου των πεπερασμένων στοιχείων απαιτεί τα ακόλουθα στάδια:

Κεφάλαιο 3:Υπολογιστικά Προγράμματα

- Εισάγεται η γεωμετρία της υπό μελέτη κατασκευής σε ένα πρόγραμμα, όπως π.χ. το COMSOL Multiphysics 3.4, και δημιουργείται ένα τρισδιάστατο μοντέλο αυτής.
- Χωρίζεται το μοντέλο σε πεπερασμένα στοιχεία, δημιουργείται το πλέγμα, επιλέγεται ο τρόπος επίλυσης και εισάγονται τα επιπλέον δεδομένα που απαιτούνται.
- Όταν είναι έτοιμα τα δεδομένα για επίλυση, εισάγονται στο πρόγραμμα που θα επιλύσει το πρόβλημα.

Μετά το πέρας της επίλυσης του προβλήματος, χρησιμοποιείται ένα πρόγραμμα ώστε να είναι δυνατή η απεικόνιση των αποτελεσμάτων και η ανάγνωσή τους από τον μελετητή.



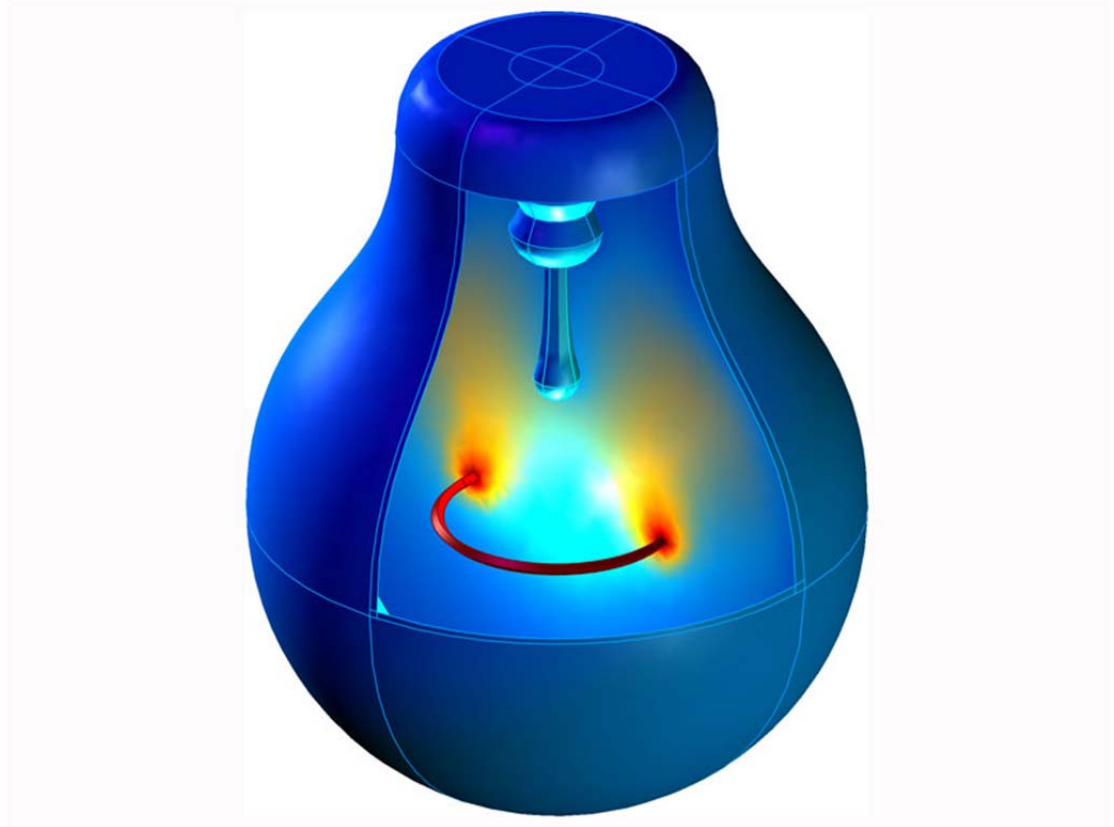
Σχήμα 3.20 Πεδίο ροής σε ελικοειδή αντλία αίματος

Ενότητες

Διάφορες ιδιαίτερες εφαρμοσμένες ενότητες είναι διαθέσιμες για COMSOL Multiphysics:

Κεφάλαιο 3:Υπολογιστικά Προγράμματα

- AC/DC ενότητα
- Ενότητα ακουστικής
- Ενότητα εισαγωγών CAD
- Ενότητα μηχανικής χημικών αντιδράσεων
- Ενότητα επιστήμης της γης
- Ενότητα μεταφοράς θερμότητας
- Βιβλιοθήκη υλικών
- Ενότητα MEMS
- Ενότητα RF
- Δομική ενότητα μηχανικών
- LiveLink for Inventor
- LiveLink for MATLAB
- LiveLink for Pro/ENGINEER
- LiveLink for SolidWorks



Σχήμα 3.21 Ελεύθερη συναγωγή θερμότητας σε λαμπτήρα

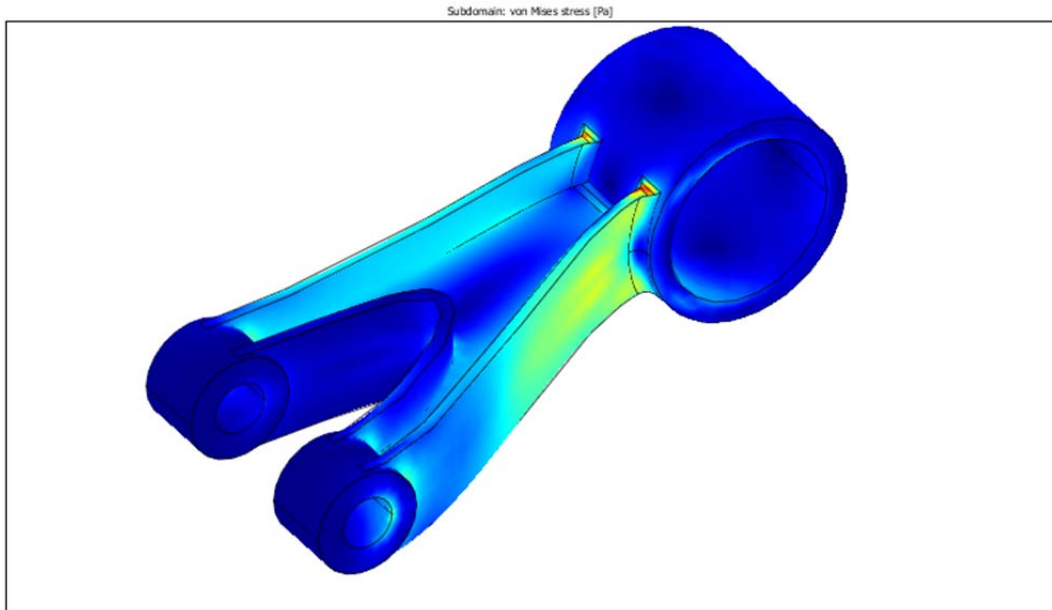
AC/DC ενότητα

Μιμείται τα ηλεκτρικά στοιχεία και τις συσκευές που εξαρτώνται από ηλεκτροστατικές, μαγνητοστατικές και ηλεκτρομαγνητικές εφαρμογές σχεδόν-στατικής, που συνδέονται ιδιαίτερα με άλλα είδη φυσικής. Αποτελείται από τις συγκεκριμένες διεπαφές για την εναλλαγή εφαρμογών μηχανημάτων και την εισαγωγή κυκλωμάτων SPICE.

Κεφάλαιο 3:Υπολογιστικά Προγράμματα

Ενότητα ακουστικής

Περιέχει ενσωματωμένους τρόπους εφαρμογής και τις τοποθετήσεις ορίου για τη διαμόρφωση της ακουστικής διάδοσης στα στερεά και τα στάσιμα ρευστά. Επίσης διαμορφώνει τις αεροακουστικές εφαρμογές στην κίνηση των ρευστών.



Σχήμα 3.22 Πεδίο τάσης σε ρυμουλκούμενο βραχίονα αυτοκίνητου του γκολφ

Ενότητα εισαγωγών CAD

Διευκολύνει την ανάγνωση των περισσότερων τυποποιημένων από τη βιομηχανία σχημάτων CAD. Περιλαμβάνει επιπρόσθετα πακέτα που υποστηρίζουν μορφές αρχείων για προγράμματα CAD ιδιαίτερης γεωμετρίας

Κεφάλαιο 3:Υπολογιστικά Προγράμματα

Ενότητα μηχανικής χημικών αντιδράσεων

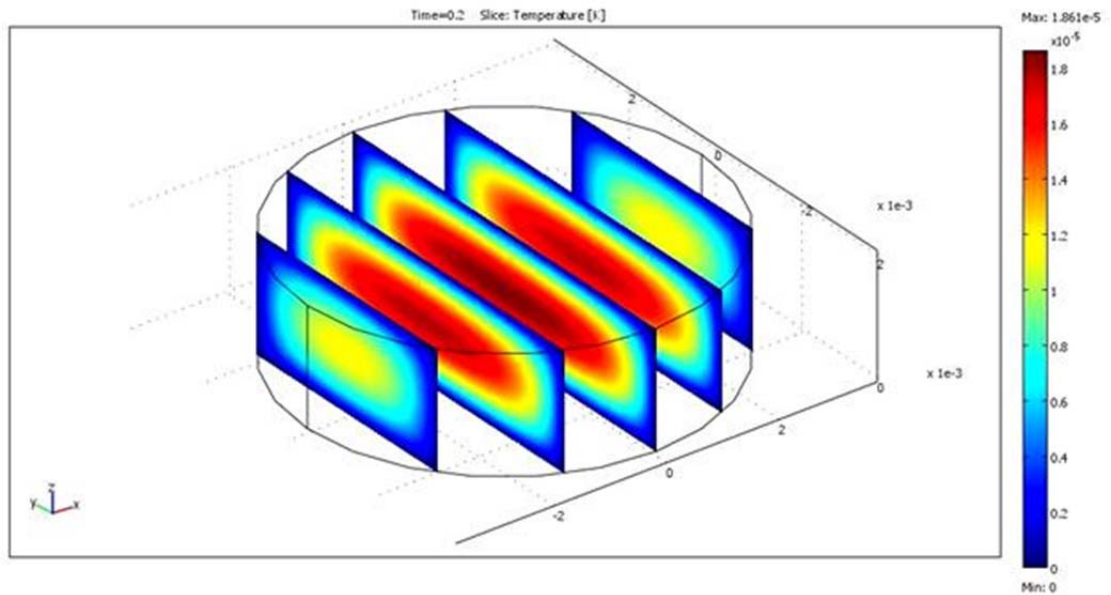
Αναλύει τις ισορροπίες CFD και μάζας και ενέργειας που συνδέονται με την κινηματική των χημικών αντιδράσεων. Ενσωματώνει έναν μεγάλο αριθμό προτύπων εφαρμογής για τον τομέα των φαινομένων μεταφορών συμπεριλαμβανομένης της ιοντικής μεταφοράς και της πολυσυστατικής διάχυσης.

Ενότητα επιστήμης της γης

Μοντελοποιεί μεμονωμένες και συνδεδεμένες διαδικασίες για τα γεωλογικά και περιβαλλοντικά φαινόμενα που βασίζονται ιδιαίτερα στη ροή κάτω από την επιφάνεια. Ιδανικό την ροή πορώδων μέσων που συνδέονται με άλλες μορφές φυσικής όπως οι εφαρμογές ποροελαστικότητας.

Ενότητα μεταφοράς θερμότητας

Αποτελείται από προηγμένους τρόπους εφαρμογής για την ανάλυση της μεταφοράς θερμότητας με αγωγή, συναγωγή και ακτινοβολία. Συγκεκριμένα για βιομηχανικές εφαρμογές όπως η ψύξη ηλεκτρονικών συστημάτων και οι διαδικασίες εφαρμοσμένης μηχανικής.



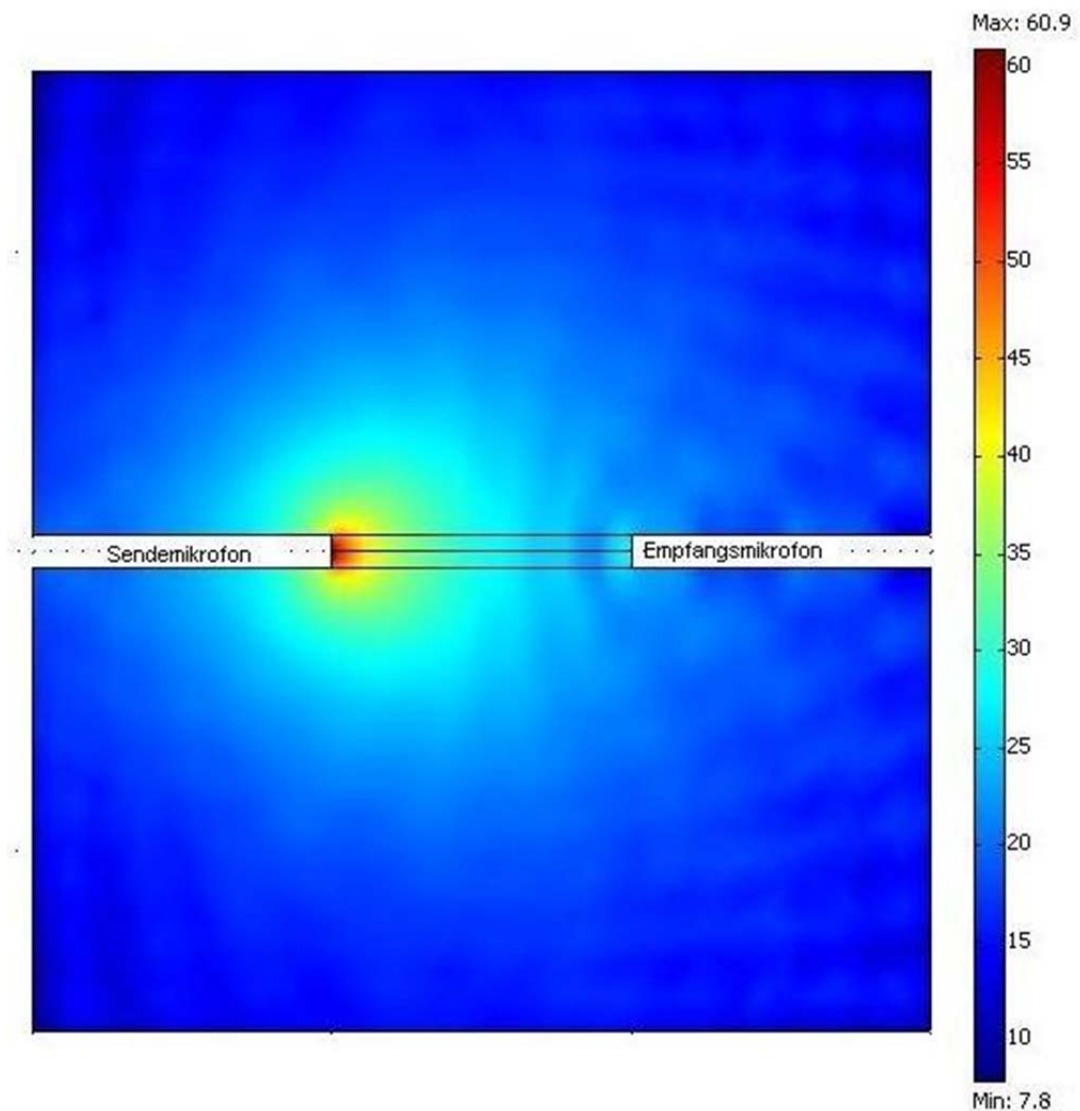
Σχήμα 3.23 Θερμοκρασιακή αλλαγή σταθερής κατάστασης σε τυπικό φωτοακουστικό κελί

Βιβλιοθήκη υλικών

Η βιβλιοθήκη υλικών είναι βάση δεδομένων εσωτερικών ιδιοτήτων υλικών και αποτελείται από περισσότερα από 2500 υλικά και 20000 ιδιότητες. Η βάση δεδομένων περιέχει την εξάρτηση της θερμοκρασίας των ηλεκτρικών, θερμικών, και δομικών ιδιοτήτων των στερεών υλικών. Η βιβλιοθήκη υλικών μπορεί επίσης να δεχτεί τα αρχεία που προέρχονται από τη βάση δεδομένων ιδιοτήτων υλικών ιδιοκτησίας MatWeb. Αυτό είναι μια βάση δεδομένων αναζήτησης με πάνω από 59.000 σελίδες με πληροφορίες των υλικών, συμπεριλαμβανομένων των πληροφοριών ιδιοτήτων για τα θερμοπλαστικά και thermoset πολυμερή σώματα, τα μέταλλα, και άλλα υλικά εφαρμοσμένης μηχανικής. Το MatWeb είναι τμήμα των, Automation Creations Inc. (ACI) του Blacksburg της Βιρτζίνια.

Ενότητα MEMS

Αφορά τις συνθετές διαδικασίες στις microelectromechanical και microfluidic συσκευές. Ενσωματώνει συγκεκριμένες συζεύξεις multiphysics για τις εφαρμογές όπως η ηλεκτροοσμωτική ροή, η απόσβεση ταινιών, ο πιεζοηλεκτρισμός και η αλληλεπίδραση ρευστοδομών.



Σχήμα 3.24 Κατανομή πίεσης του ήχου σε μια επιφάνεια από 2 μικρόφωνα σε συχνότητα 10000 Hz

Ενότητα RF

Κεφάλαιο 3:Υπολογιστικά Προγράμματα

Χαρακτηρίζει ηλεκτρομαγνητικούς τομείς, τα ρεύματα και τα κύματα για το RF, τις οπτικές και άλλες υψηλής συχνότητας συσκευές μικροκυμάτων. Επιτρέπει την εκτενή μετα-επεξεργασία όπως οι υπολογισμοί S-παραμέτρου και τις απομακρυσμένες αναλύσεις.

Δομική ενότητα μηχανικών

Εκτελεί την κλασσική stress-strain ανάλυση με τις πλήρεις ικανότητες multiphysics. Περιλαμβάνει μη γραμμικά πρότυπα υλικών, μεγάλες παραμόρφωση και δυνατότητες επαφών, όλα ελεύθερα να συνδεθούν με άλλα είδη φυσικής.

Κεφάλαιο 4: Εκτέλεση Πειραμάτων

4.1. Στόχος της βελτιστοποίησης

Ένα από τα βασικότερα προβλήματα της παραγωγικής διαδικασίας πλαστικού σωλήνα με μήτρα που φέρει κεφαλή αράχνης, είναι η ύπαρξη ανωμαλιών στην επιφάνεια του τελικού προϊόντος. Αυτό οφείλεται στην ύπαρξη των ποδιών της αράχνης που επιβαρύνει το πεδίο ταχύτητας εξόδου του ρευστού από την μήτρα. Στόχος μας είναι να εντοπίσουμε τον βαθμό επιρροής της γεωμετρίας των ποδιών της αράχνης στην ταχύτητα εξόδου του ρευστού.

Το πολυμερές το οποίο διαμορφώνεται στην μήτρα επιλέγεται να είναι το πολυαιθυλένιο, λόγω της ευρείας χρήσης του στην βιομηχανία, με ιδιότητες που φαίνονται στον επόμενο πίνακα :

- Ιδιότητες πολυαιθυλενίου:

Μη Νευτώνειο ρευστό	
Πυκνότητα (Kg/m^3)	1200
Μέγιστο δυναμικό ιξώδες ($\text{Pa}\cdot\text{s}$)	565
Ελάχιστο δυναμικό ιξώδες ($\text{Pa}\cdot\text{s}$)	364

Πίνακας 4.1 Ιδιότητες πολυαιθυλενίου

Κεφάλαιο 4: Εκτέλεση Πειραμάτων

4.2. Προσομοίωση ροής στον εκβολέα

Οι αρχικές και οριακές συνθήκες της ροής είναι :

- Αρχικές συνθήκες ροής:

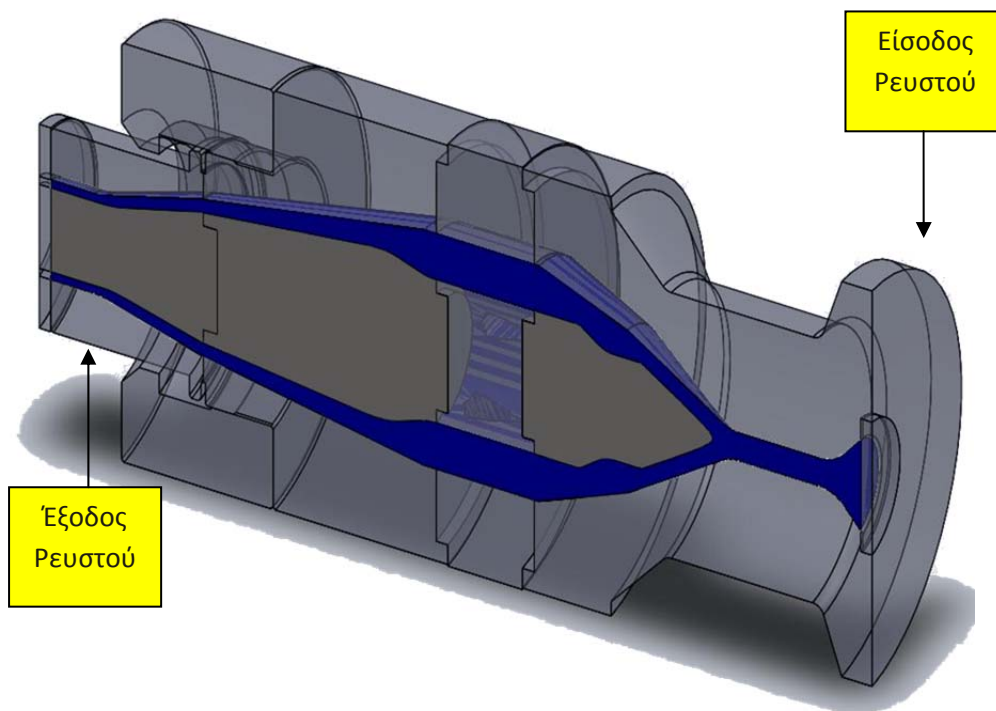
Θερμοκρασία (°K)	467
Πίεση (bar)	1,013 (ατμοσφαιρική)

Πίνακας 4.2 Αρχικές συνθήκες προσομοίωσης ροής

- Οριακές συνθήκες ροής:

	Είσοδος Ρευστού	Έξοδος Ρευστού
Πίεση (bar)	100 (στατική)	1,013 (ατμοσφαιρική)

Πίνακας 4.3 Οριακές συνθήκες προσομοίωσης ροής

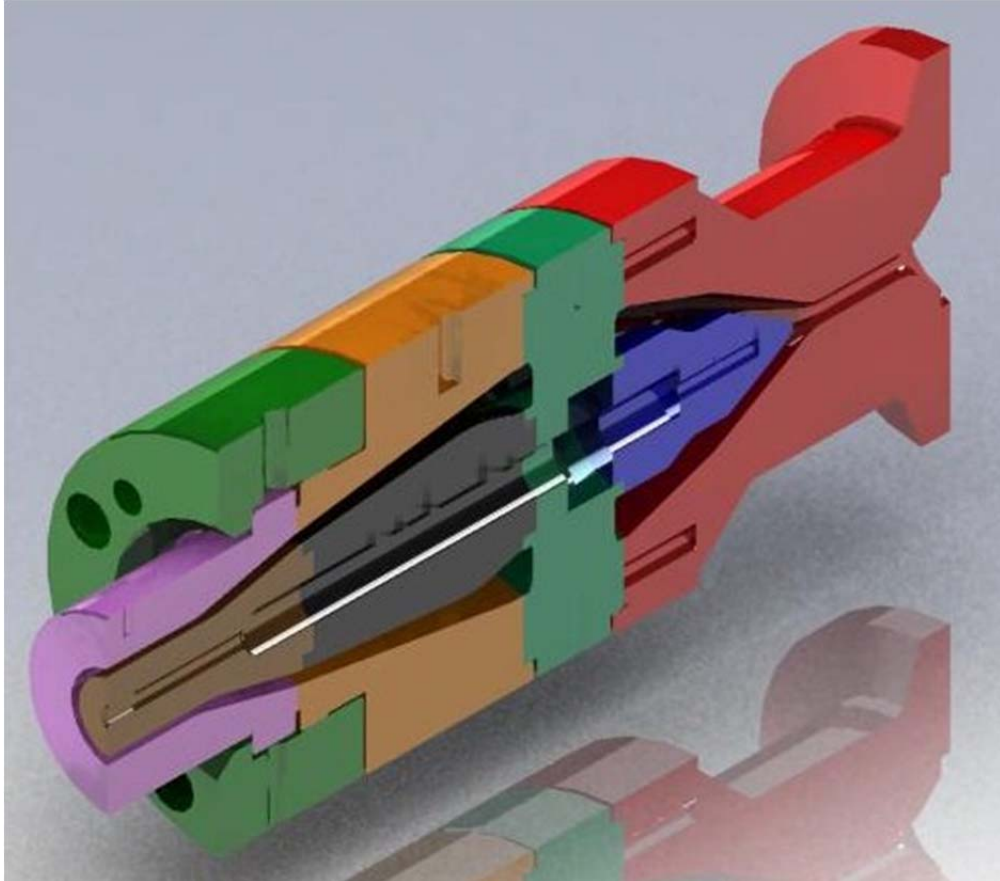


Σχήμα 4.1 Είσοδος -Έξοδος ρευστού από την μήτρα

Κεφάλαιο 4: Εκτέλεση Πειραμάτων

Οι οριακές συνθήκες ροής επιλέχθηκαν να μην είναι ακραίες, ώστε να μην επηρεάσουν τα αποτελέσματα των μετρήσεών μας και για να έχουμε ένα σημείο αναφοράς ώστε να εκτιμήσουμε την συμπεριφορά του φαινομένου σε διαφορετικές συνθήκες.

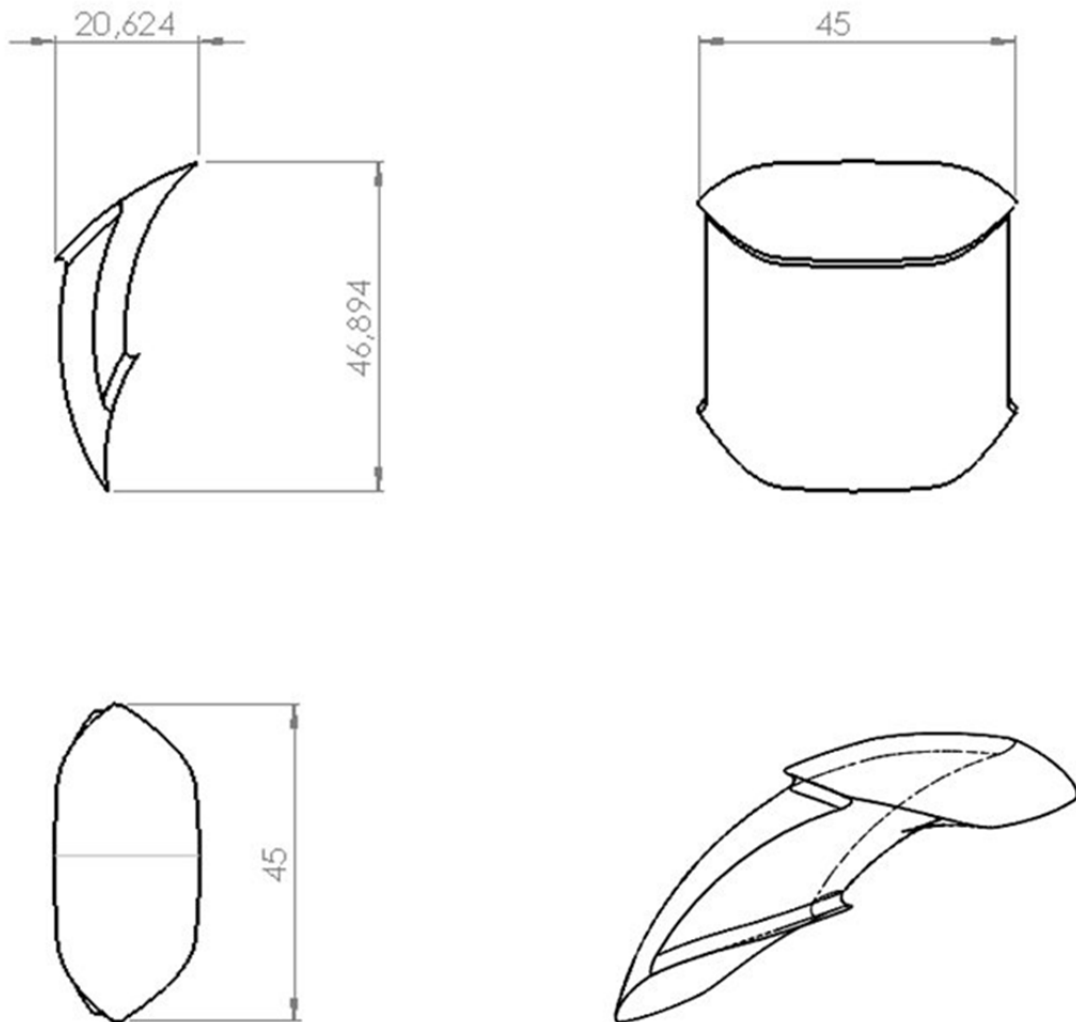
Στο σχήμα που ακολουθεί βλέπουμε την τομή του μήτρας που θα βελτιστοποιήσουμε :



Σχήμα 4.2 Σχηματική τομή μήτρας

4.3. Γεωμετρία του ποδιού της αράχνης

Η γεωμετρία του ποδιού της αράχνης στην μήτρα που θα βελτιστοποιήσουμε φαίνεται στο επόμενο σχήμα.

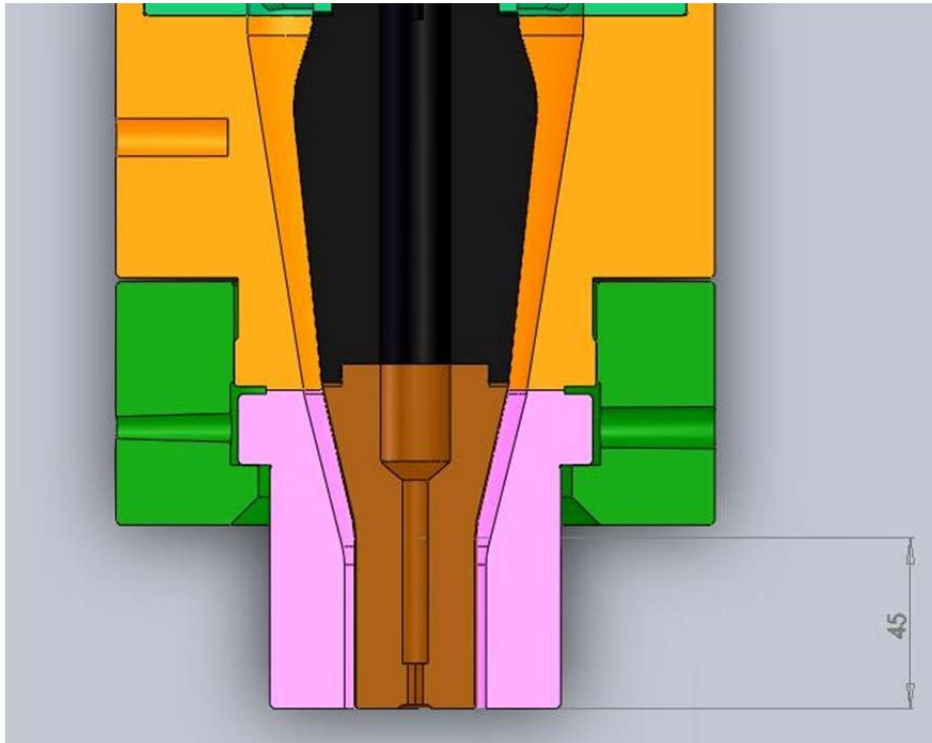


Σχήμα 4.3 Πόδι αράχνης

Παρατηρούμε ότι το πόδι αποτελείται από μία καμπύλη με βάση τα βιομηχανικά σχέδια από την εταιρία Πετζετάκη ΑΕ.

4.4. Παράλληλη ζώνη του εκβολέα

Όπως προαναφέρθηκε, το μήκος εξόδου του εκβολέα ομαλοποιεί την ροή. Όμως, το μεγάλο μήκος αυξάνει τον χρόνο παραμονής του πολυμερούς στην μήτρα με αρνητικά αποτελέσματα. Έτσι, θα πρέπει να εξετάσουμε την επιρροή αυτού του παράγοντα στις μεταβλητές που προαναφέραμε. Η παράλληλη ζώνη και το μήκος της στην μήτρα που θα βελτιστοποιήσουμε φαίνονται στο επόμενο σχήμα.

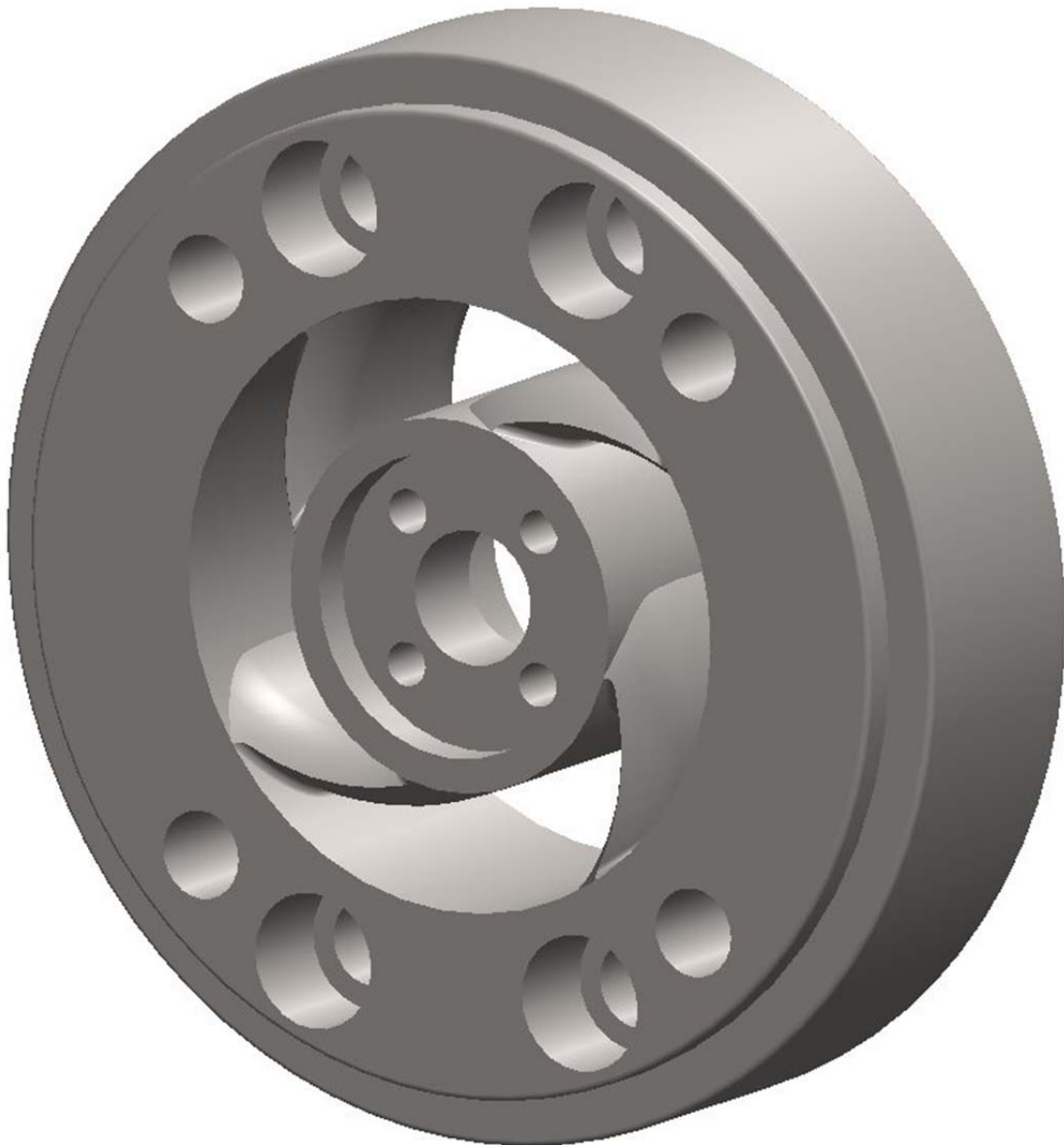


Σχήμα 4.4 Μήκος εξόδου του εκβολέα

4.5. Σχεδιασμός μήτρας

- **1^ο Βήμα**

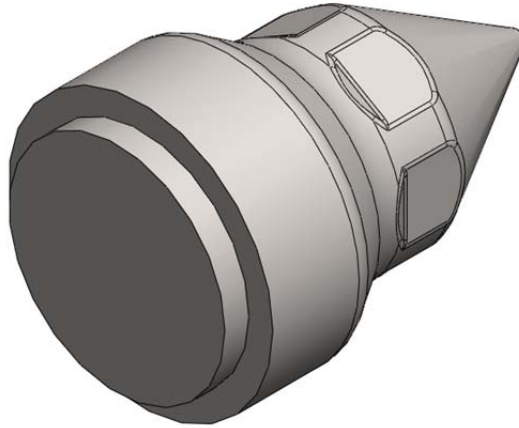
Χρησιμοποιώντας το σχεδιαστικό πρόγραμμα SolidWorks® κατασκευάζουμε την κεφαλή της αράχνης, με τη βοήθεια των τιμών της καμπύλης SPLINE και τις διαστάσεις της μήτρας του εργαστηρίου. Έτσι, έχουμε:



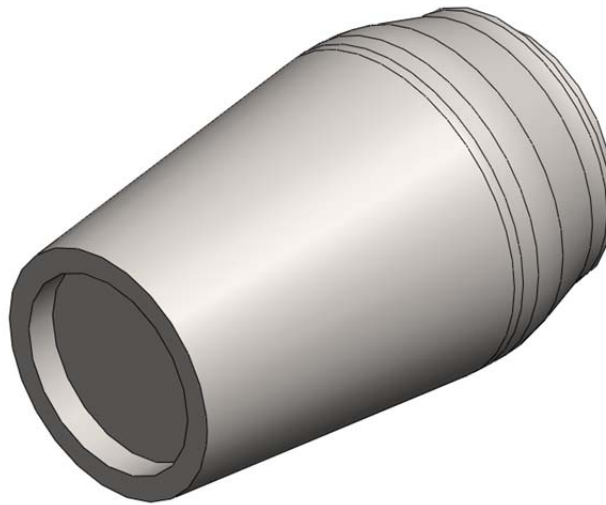
Σχήμα 4.5 Κεφαλής αράχνης της 1^{ης} προσομοίωσης

Κεφάλαιο 4: Εκτέλεση Πειραμάτων

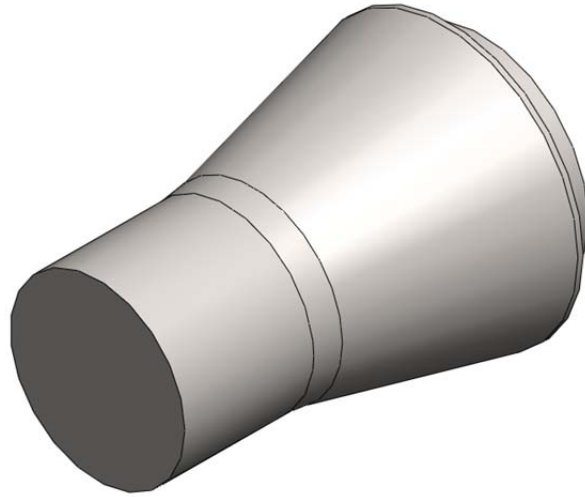
Στη συνέχεια, κατασκευάζουμε τα υπόλοιπα μέρη της μήτρας χρησιμοποιώντας την τιμή της πρώτης γραμμής του πίνακα των παραμέτρων της 1^{ης} προσομοίωσης (**Error! Reference source not found.**) και τις διαστάσεις της μήτρας του εργαστηρίου. Έτσι, έχουμε:



Σχήμα 4.6 Πίσω τμήμα του κυρίως σώματος



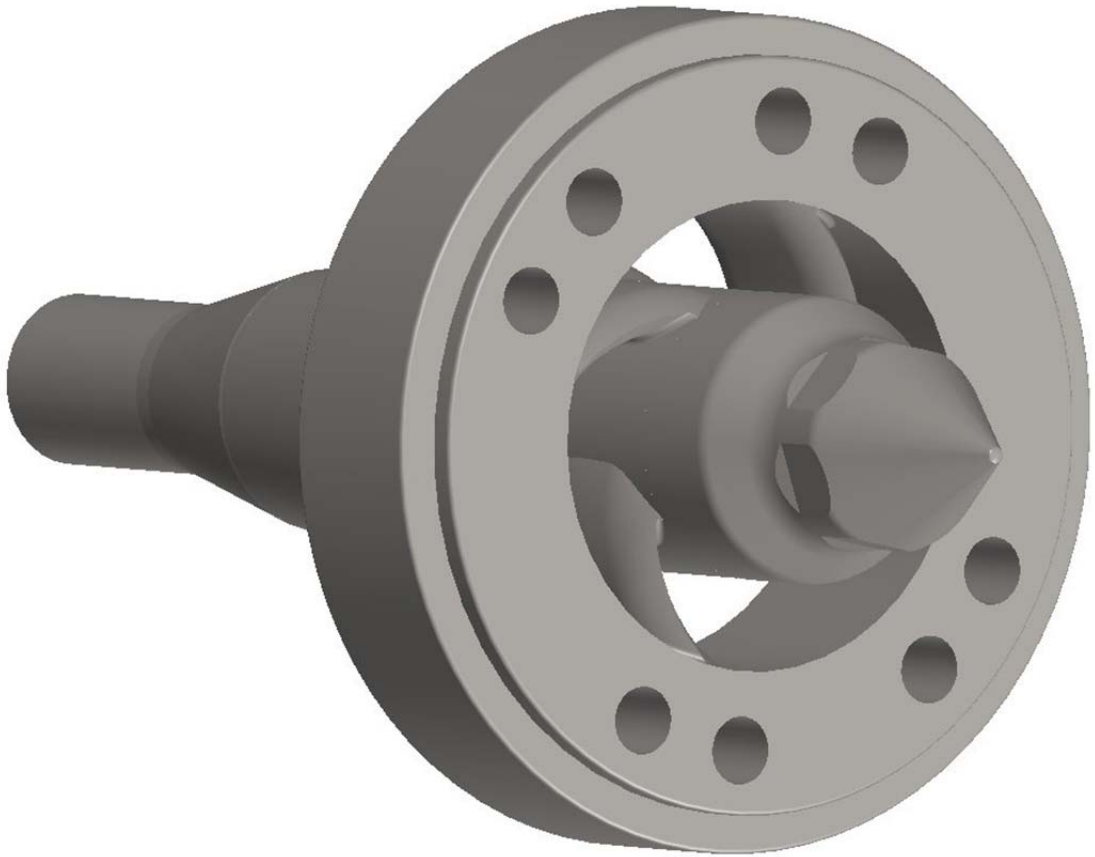
Σχήμα 4.7 Μέσο τμήμα του κυρίως σώματος



Σχήμα 4.8 Μπροστά τμήμα του κυρίως σώματος

Κεφάλαιο 4: Εκτέλεση Πειραμάτων

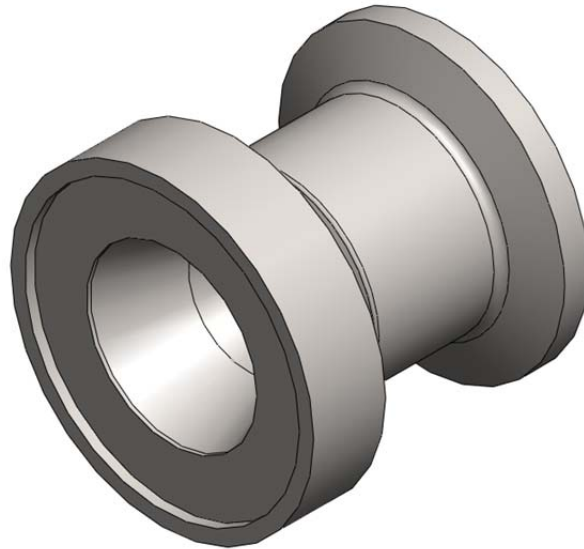
Από τα παραπάνω τμήματα (4.6 -4.8) κατασκευάζουμε το κυρίως σώμα της μήτρας:



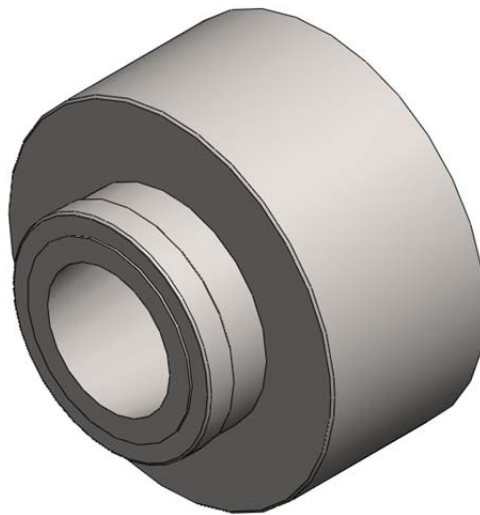
Σχήμα 4.9 Κυρίως σώμα της μήτρας εκβολής

Κεφάλαιο 4: Εκτέλεση Πειραμάτων

Στη συνέχεια, κατασκευάζουμε τα μέρη του κελύφους της μήτρας με τη βοήθεια των διαστάσεων της μήτρας του εργαστηρίου. Έτσι, έχουμε:



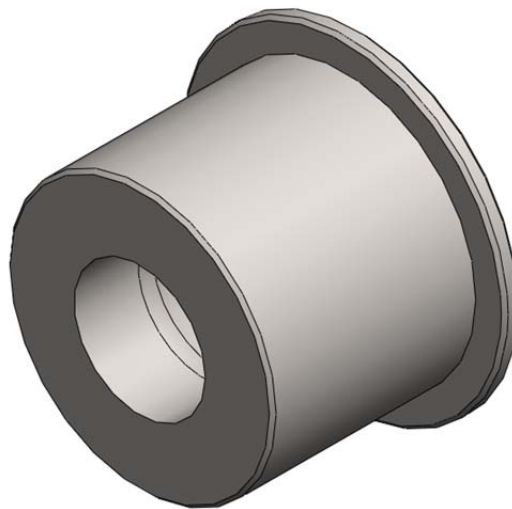
Σχήμα 4.10 Πίσω τμήμα του κελύφους



Σχήμα 4.11 Μέσο - πίσω τμήμα του κελύφους



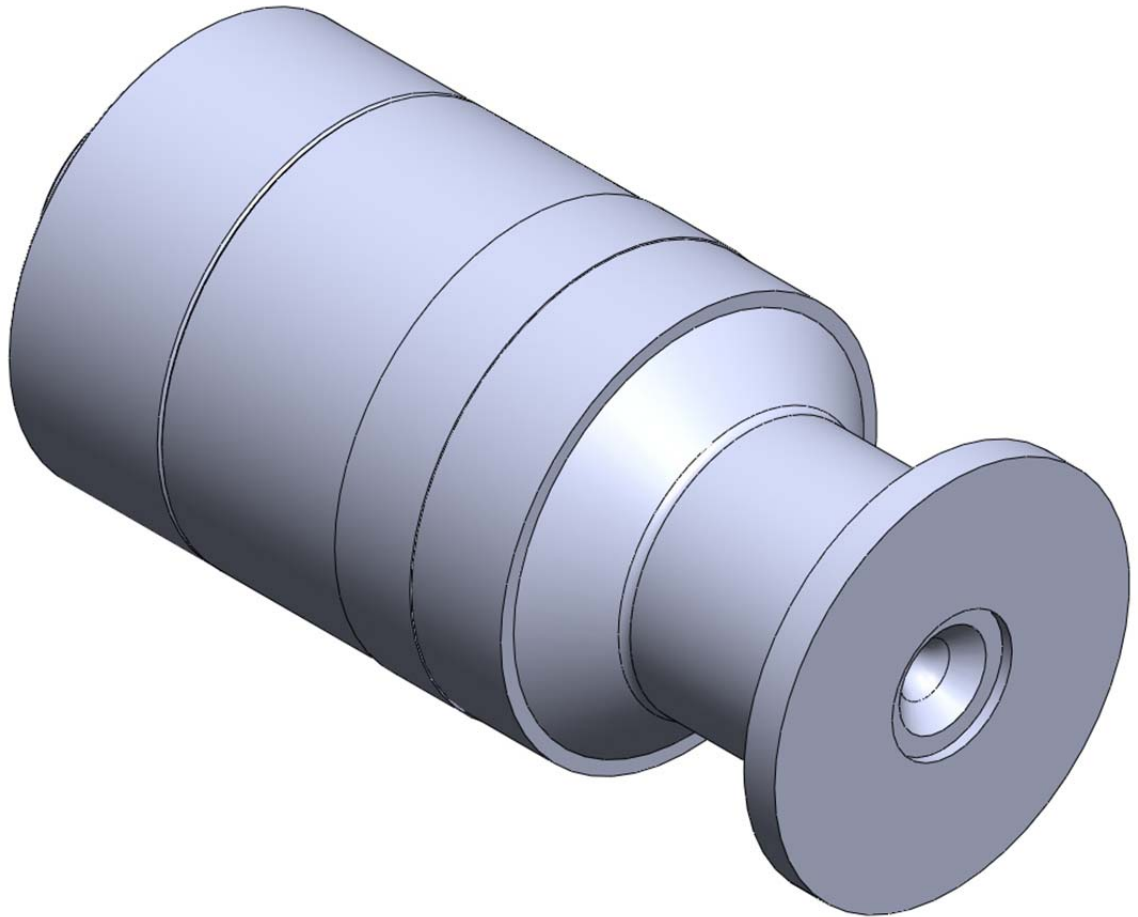
Σχήμα 4.12 Μέσο - μπροστά τμήμα του κελύφους



Σχήμα 4.13 Μπροστά τμήμα του κελύφους

Κεφάλαιο 4: Εκτέλεση Πειραμάτων

Από τα παραπάνω τμήματα (Σχήμα 4.10 - Σχήμα 4.13) και το κυρίως μέρος της μήτρας (Σχήμα 4.9), κατασκευάζουμε ολόκληρη τη μήτρα εκβολής της πρώτης προσομοίωσης:



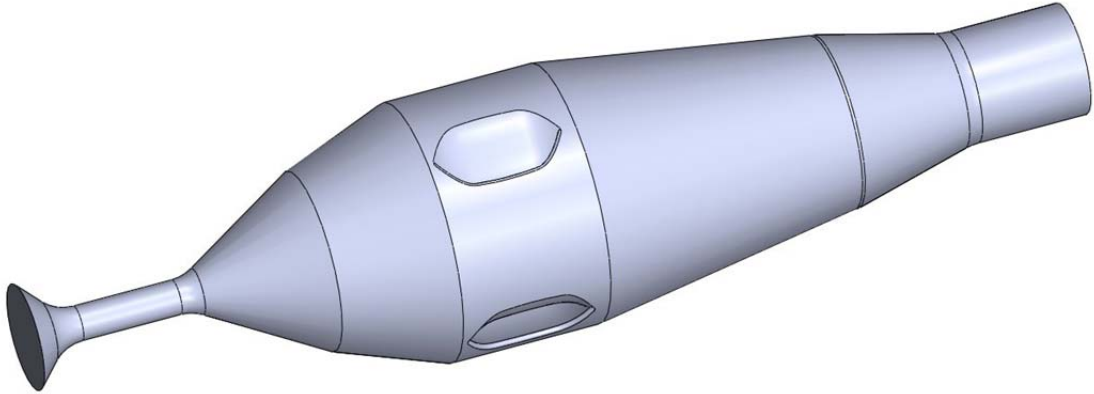
Σχήμα 4.14

Μήτρα εκβολής

Κεφάλαιο 4: Εκτέλεση Πειραμάτων

- 2^ο Βήμα

Χρησιμοποιώντας το σχεδιαστικό πρόγραμμα SolidWorks® απομονώνουμε τον κενό χώρο της μήτρας για περαιτέρω μελέτη του ρευστού. Έτσι, έχουμε:



Σχήμα 4.15 Κενός χώρος της μήτρας (ρευστό)

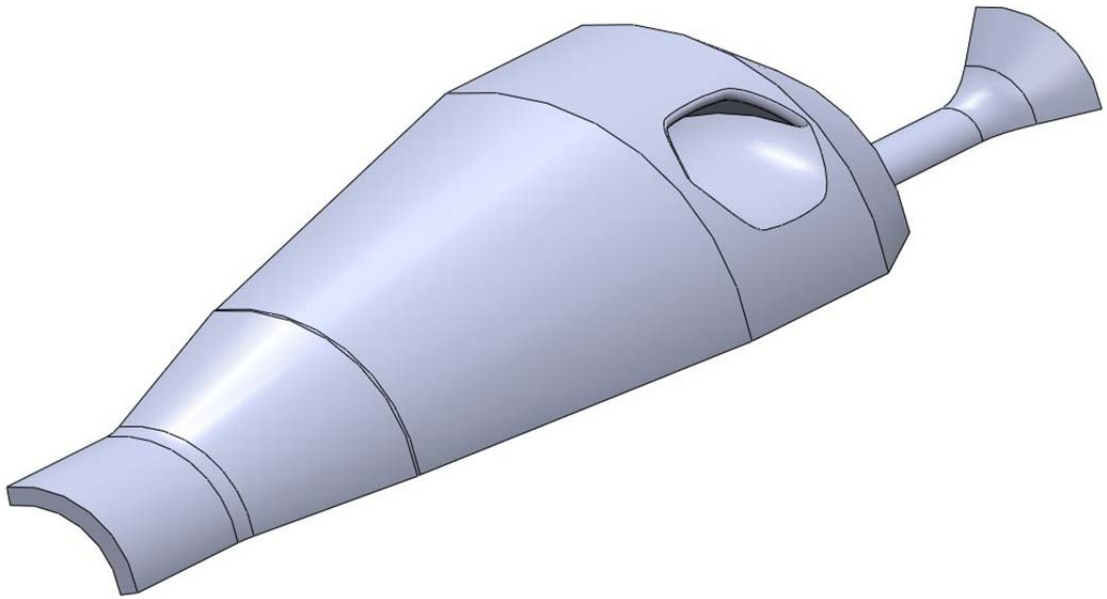
- 3^ο Βήμα

Παρατηρούμε ότι στο παραπάνω σχήμα, ότι τα 4 «πόδια αράχνης» (4 υποστηρίγματα) είναι συμμετρικά τοποθετημένα στον ροϊκό σωλήνα και έχουν συμμετρία στη μορφή.

Άρα, η γωνία συμμετρίας είναι:

$$\phi = \frac{360^\circ}{4 \cdot 2} = 45^\circ$$

Άρα, μπορούμε να εκμεταλλευτούμε το γεγονός αυτό και με τη βοήθεια του SolidWorks®, να απομονώσουμε το 1/8 του συνολικού κενού χώρου για να συνεχίσουμε την μελέτη του ρευστού.

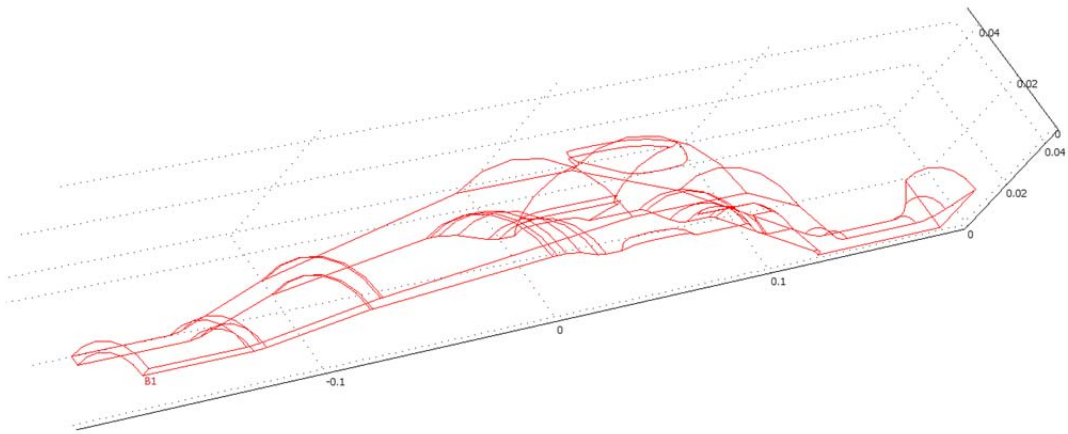


Σχήμα 4.16 Κενός χώρος της μήτρας εκβολής (ρευστό) “κομμένος” κατά 45°

Το μοντέλο αυτό αποθηκεύεται σε μορφή .IGES για να εισάγουμε την γεωμετρία του στο πρόγραμμα πεπερασμένων στοιχείων Comsol[®] και να το επιλύσουμε.

- **4^ο Βήμα**

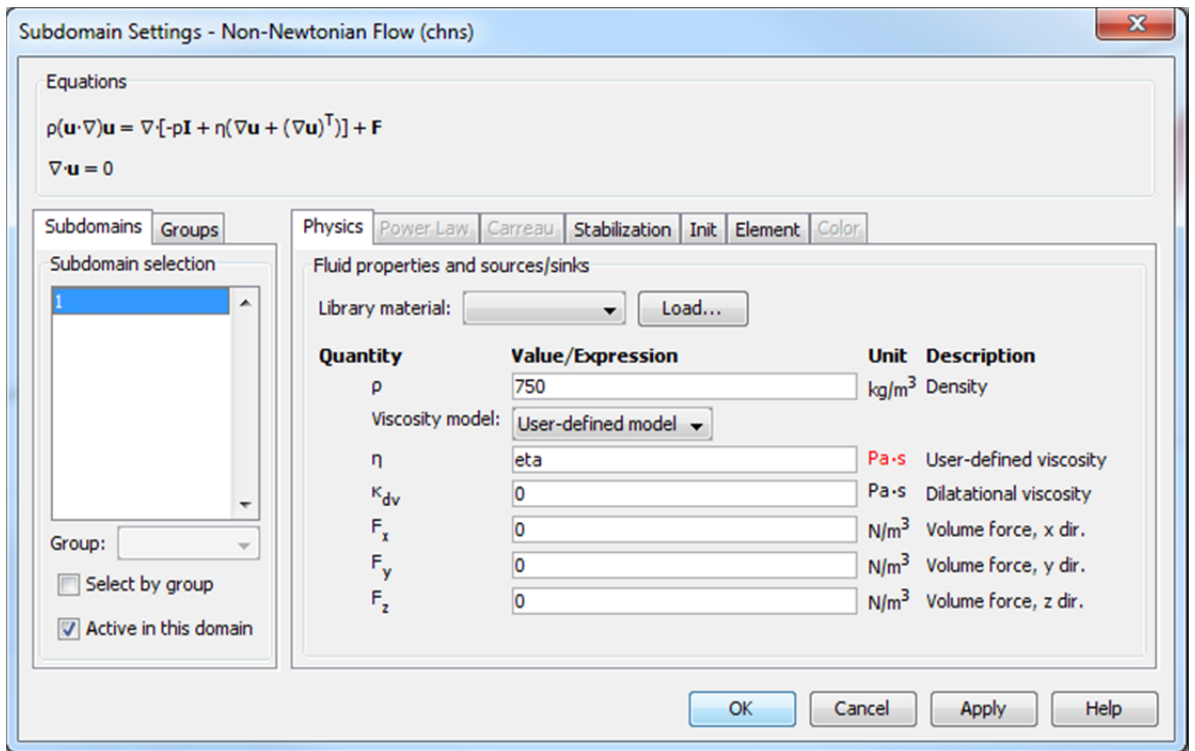
Στη συνέχεια εισάγουμε το μοντέλο του παραπάνω βήματος στο πρόγραμμα πεπερασμένων στοιχείων Comsol[®]:



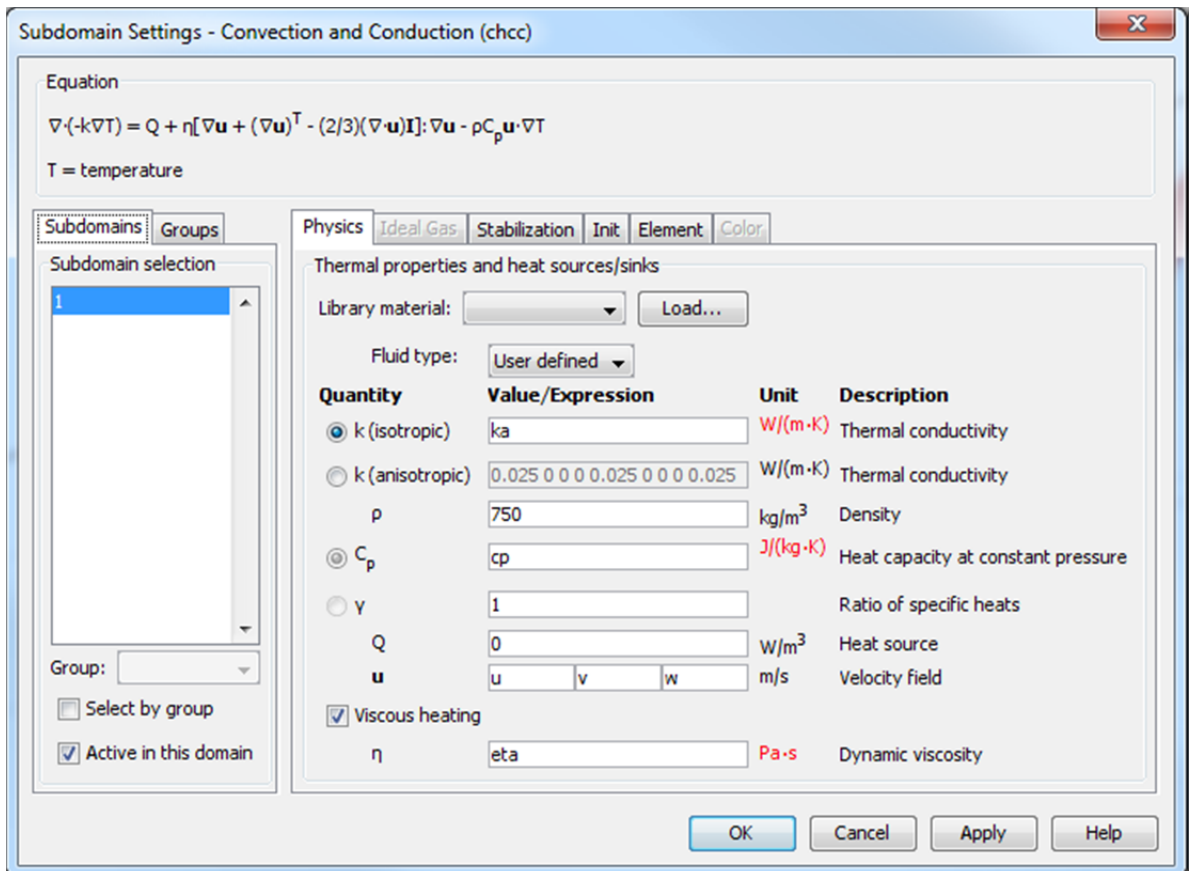
Σχήμα 4.17 Εισαγωγή γεωμετρίας στο Comsol®

και γίνεται ο καθορισμός των ιδιοτήτων του πολυμερικού τήγματος, το οποίο θεωρείται μη νευτωνικό ρευστό. Ο καθορισμός των ιδιοτήτων αφορά τόσο τις ιδιότητες του ρευστού όσο και αυτές του θερμικού προβλήματος:

Κεφάλαιο 4: Εκτέλεση Πειραμάτων



Σχήμα 4.18 Ιδιότητες μη νευτωνικού ρευστού

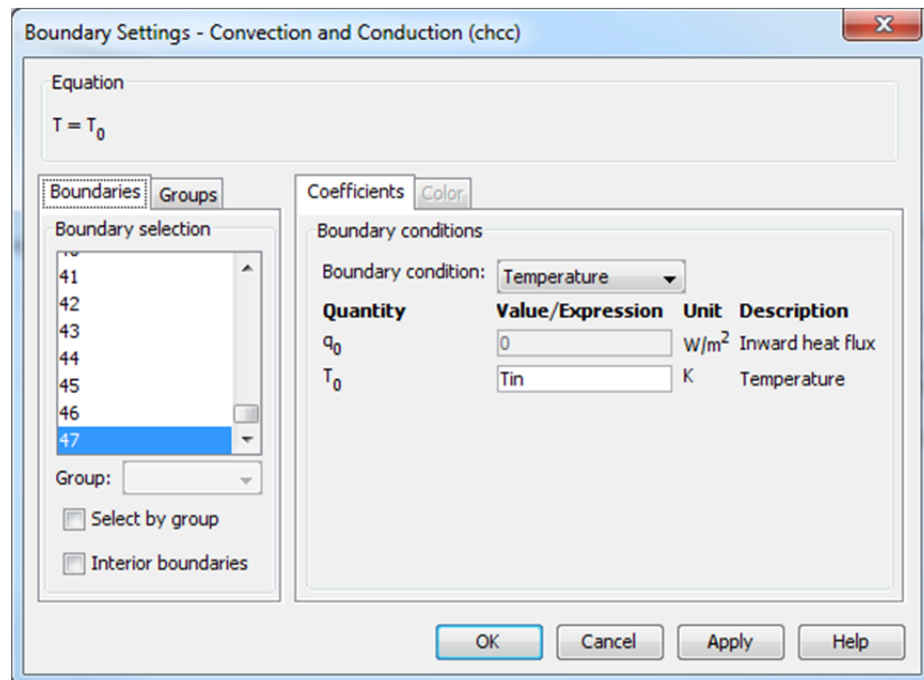


Σχήμα 4.19 Θερμικές ιδιότητες του ρευστού στο πρόβλημα

Κεφάλαιο 4: Εκτέλεση Πειραμάτων

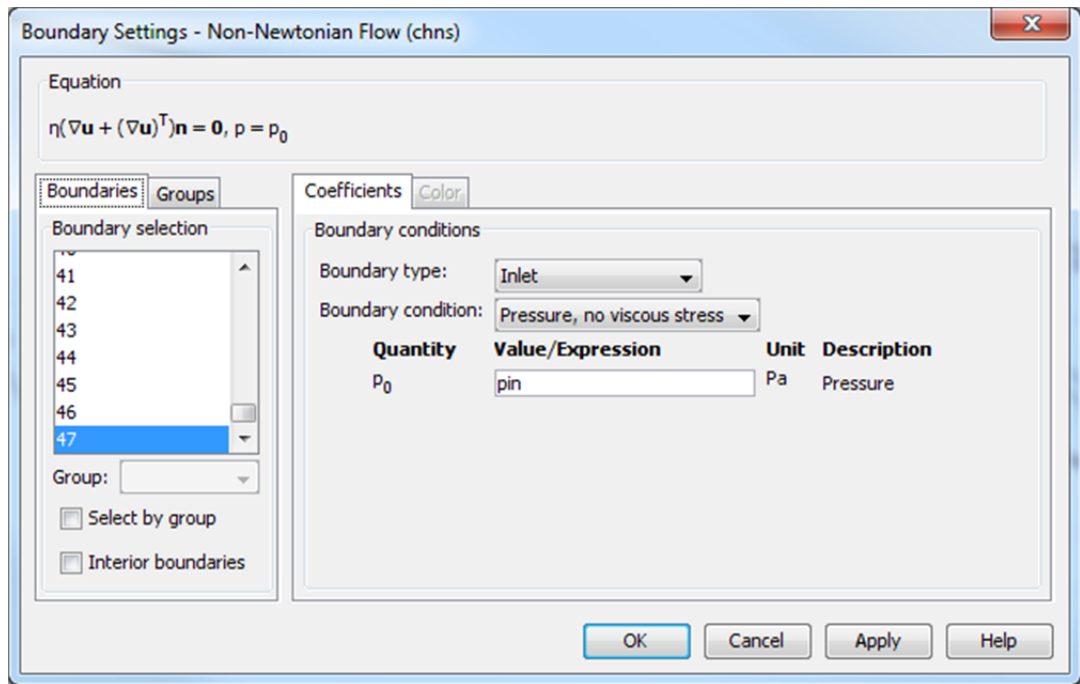
- 5^ο Βήμα

Στη συνέχεια, ορίζουμε τις οριακές συνθήκες στο μοντέλο με παράδειγμα τη θερμοκρασία εισόδου και την πίεση εισόδου και εξόδου. Μια σημαντική οριακή συνθήκη είναι το γεγονός ότι η ταχύτητα ενός ρευστού κοντά σε στερεό τοίχωμα είναι ίση με την ταχύτητα του τοιχώματος. Στη συγκεκριμένη εφαρμογή, επειδή το τοίχωμα είναι ακίνητο (τοιχώμα μήτρας) η ταχύτητα είναι μηδέν πάνω στα τοιχώματα (συνθήκη μη ολίσθησης - no slip). Τέλος, βάζουμε συμμετρία (symmetry) στις επιφάνειες που έχουμε “κόψει” λόγω της συμμετρίας των 45°.

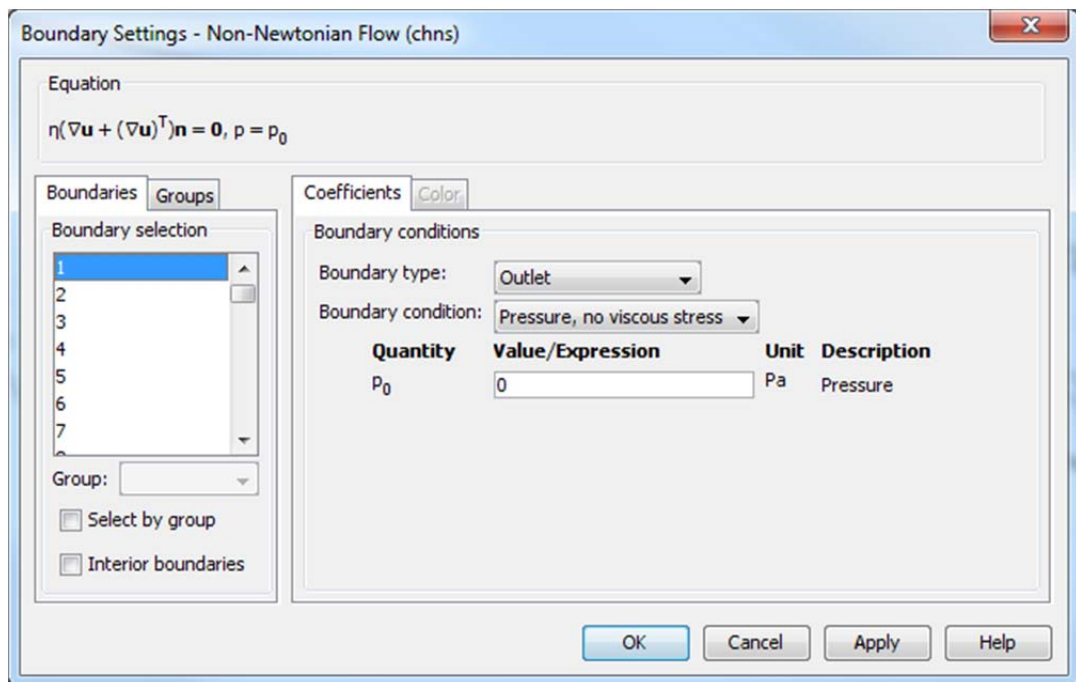


Σχήμα 4.20 Προσδιορισμός θερμοκρασίας εισόδου

Κεφάλαιο 4: Εκτέλεση Πειραμάτων

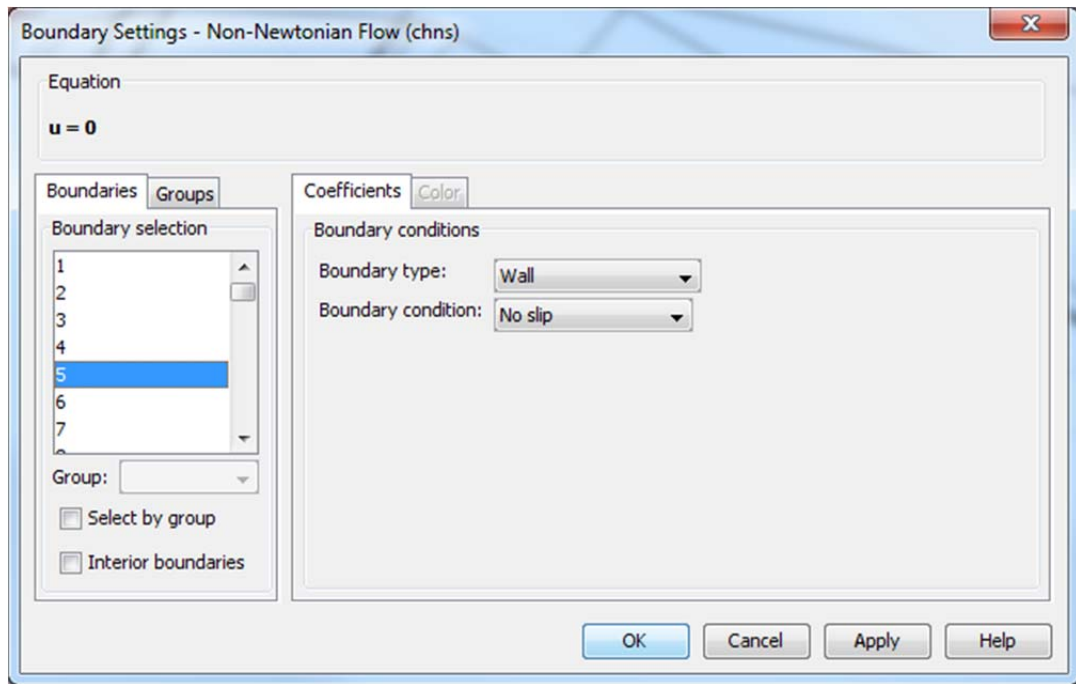


Σχήμα 4.21 Προσδιορισμός πίεσης εισόδου

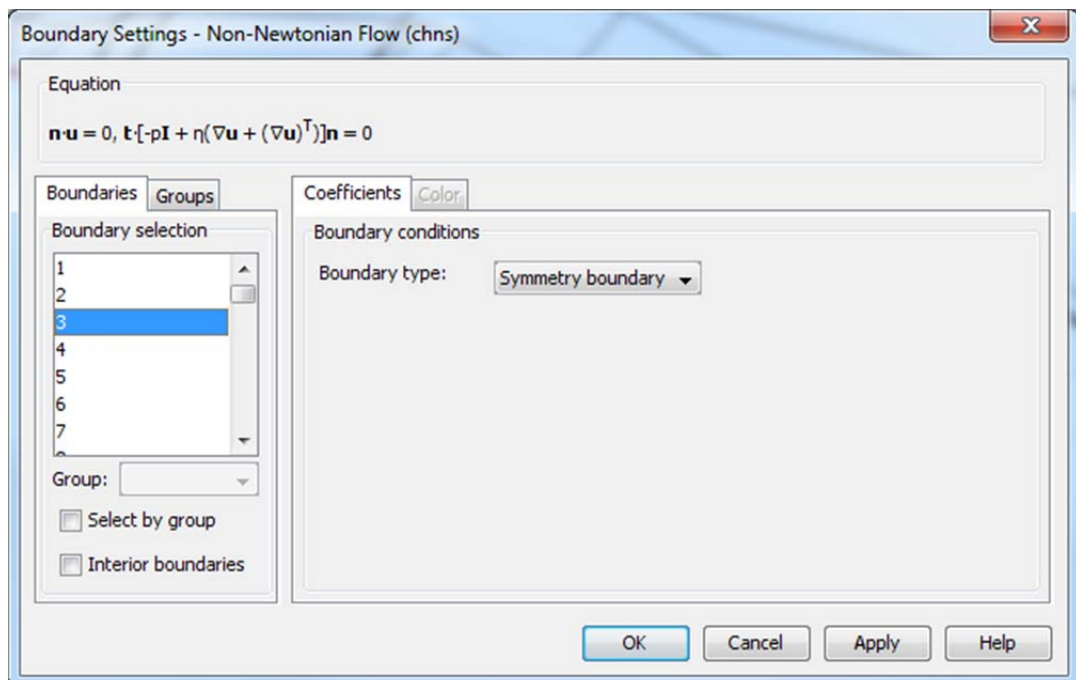


Σχήμα 4.22 Προσδιορισμός πίεσης εξόδου (μανομετρικές πιέσεις, δηλαδή σχετικές ως προς την ατμοσφαιρική)

Κεφάλαιο 4: Εκτέλεση Πειραμάτων



Σχήμα 4.23 Εφαρμογή συνθήκης μη ολίσθησης

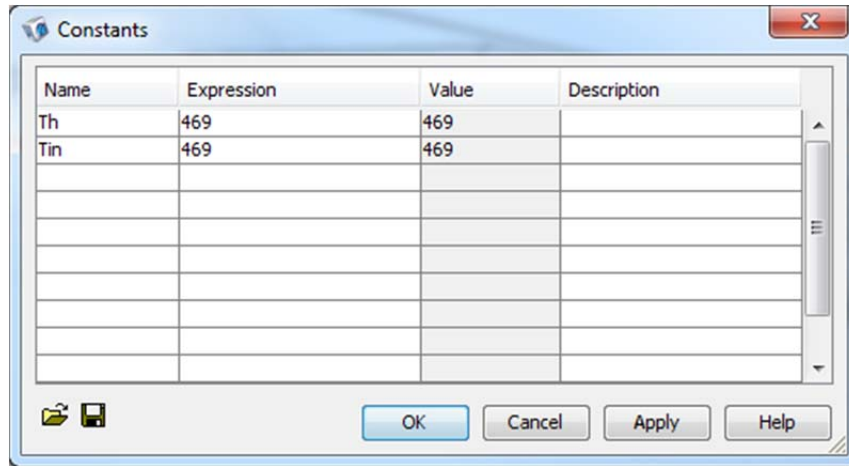


Σχήμα 4.24 Εφαρμογή συνθήκης συμμετρίας

Κεφάλαιο 4: Εκτέλεση Πειραμάτων

Καθορίζουμε επίσης και ορισμένες σταθερές του προβλήματος, είτε ως αριθμούς, όπως η θερμοκρασία στην είσοδο, είτε με μαθηματικές εκφράσεις που τις περιγράφουν, όπως το ιξώδες ή η ειδική θερμοχωρητικότητα του ρευστού υπό σταθερή πίεση (c_p) και η ειδική αγωγιμότητα (k_a). Οι δύο τελευταίες θερμικές σταθερές καθορίζονται ως πολυώνυμα της θερμοκρασίας, ενώ το ιξώδες (μ , όπως το έχουμε ορίσει στο σχήμα 4.21) ακολουθεί το μοντέλο των Carreau και όχι τον εκθετικό νόμο. Σύμφωνα με το συγκεκριμένο μοντέλο το ιξώδες του υλικού (πολυαιθυλένιο) υπολογίζεται από την παρακάτω σχέση (όπου $\mu_\infty=0$):

$$\mu = \mu_\infty + (\mu_0 - \mu_\infty) \cdot (1 + \lambda \cdot \dot{\gamma})^{\frac{\mu-1}{2}} = \mu_0 \cdot (1 + \lambda \cdot \dot{\gamma})^{\frac{\mu-1}{2}}$$

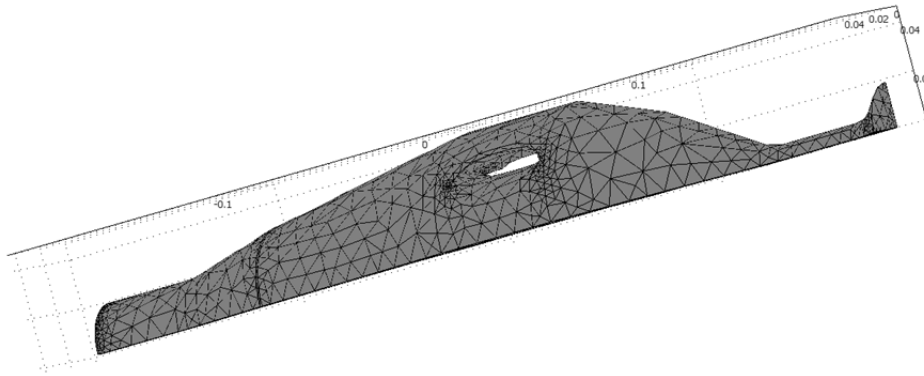


Σχήμα 4.25 Καθορισμός σταθεράς θερμοκρασίας

Κεφάλαιο 4: Εκτέλεση Πειραμάτων

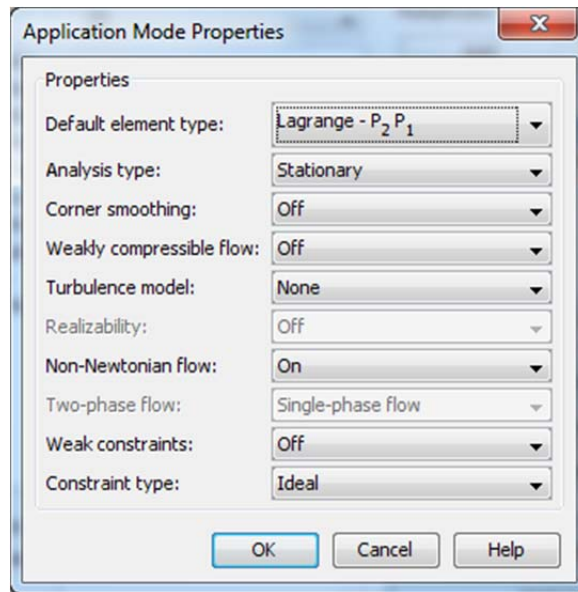
- 6^ο Βήμα

Στη συνέχεια παρατίθεται το πλέγμα των πεπερασμένων στοιχείων που δημιουργήθηκε για την επίλυση των μερικών διαφορικών εξισώσεων που διέπουν τη ροή του πολυμερούς.

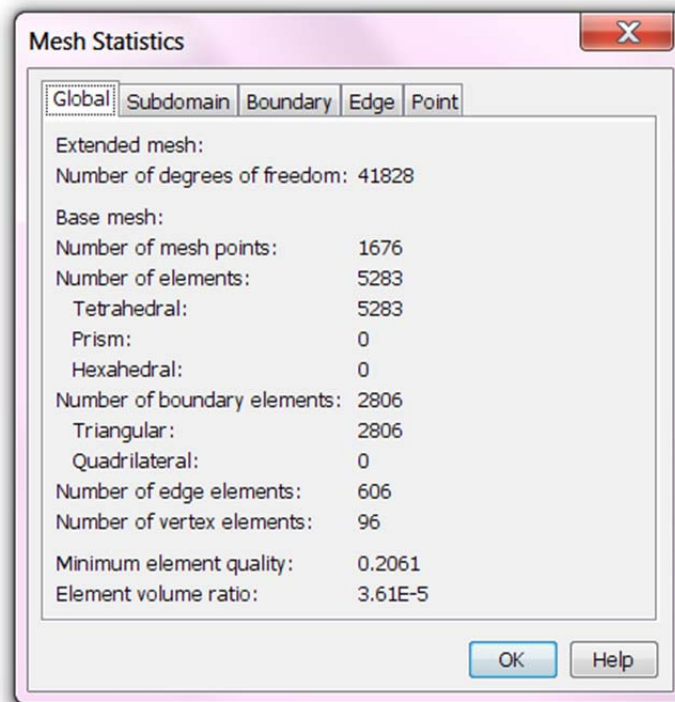


Σχήμα 4.26 Καθορισμός πλέγματος πεπερασμένων στοιχείων

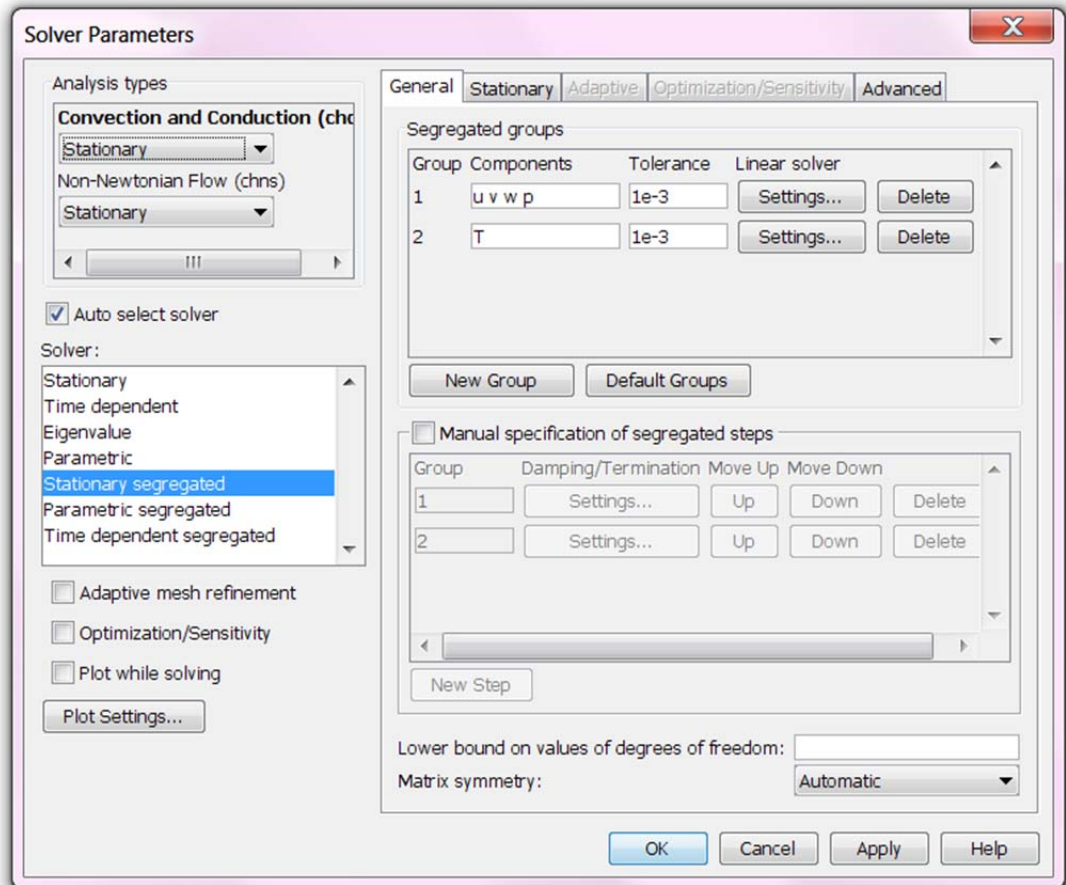
Στις επόμενες εικόνες αναλύεται ο τρόπος ορισμού των πεπερασμένων στοιχείων, το είδος που χρησιμοποιήθηκε (Lagrange - P2 P1, τετραεδρικά) και ο αλγόριθμος (GMRES - επίλυση αραιών μητρώων) που ακολουθήθηκε για την επίλυση των αλγεβρικών συστημάτων που προέκυψαν κατά την εφαρμογή της μεθόδου των ΠΣ.



Σχήμα 4.27 Ιδιότητες της εφαρμογής



Σχήμα 4.28 Στατιστικά του πλέγματος

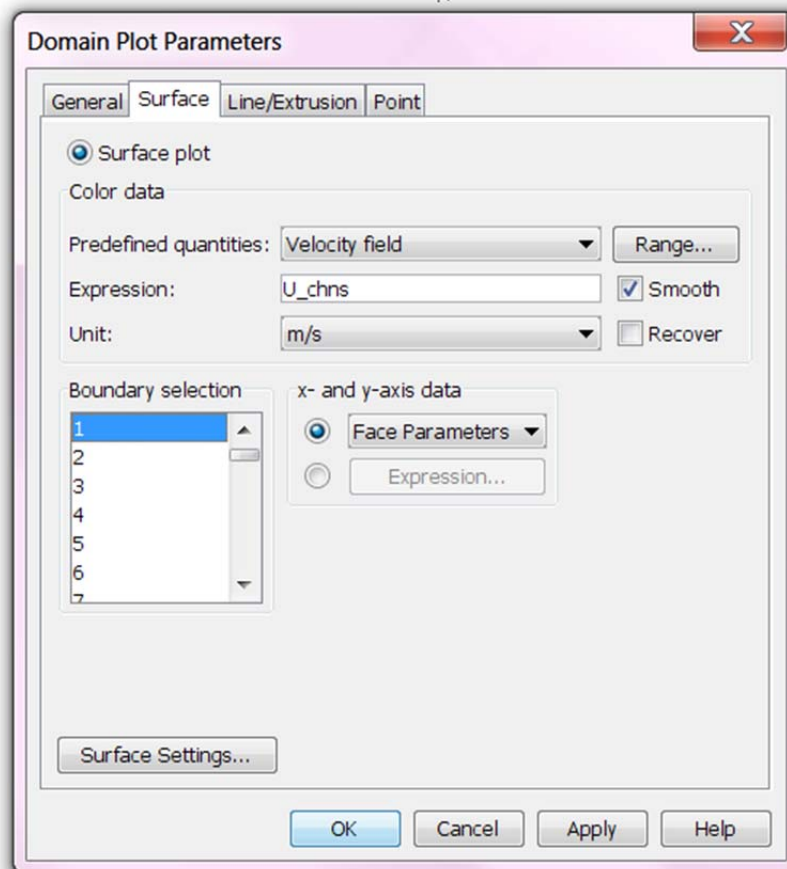


Σχήμα 4.29 Καθορισμός παραμέτρων πεπερασμένων στοιχείων

Κεφάλαιο 4: Εκτέλεση Πειραμάτων

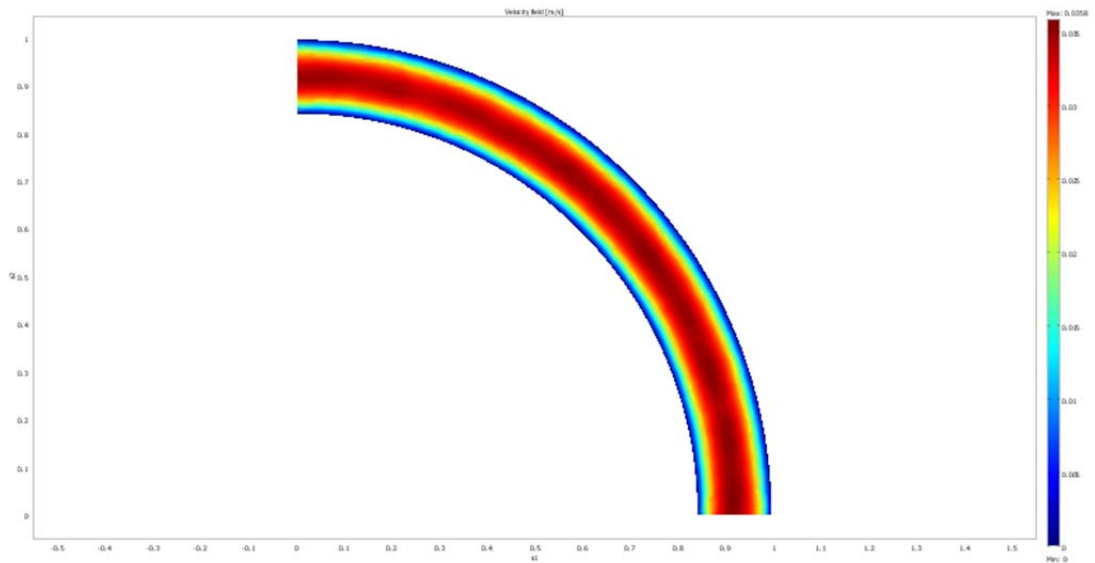
- 7^ο Βήμα

Τέλος, παρουσιάζεται ο τρόπος εξαγωγής των αποτελεσμάτων που μας ενδιαφέρουν, δηλαδή το προφίλ της ταχύτητας εξόδου και η κατανομή των ταχυτήτων κατά μήκος της μήτρας. Με την βοήθεια της εντολής domain plot parameters επιτυγχάνουμε τα παρακάτω:

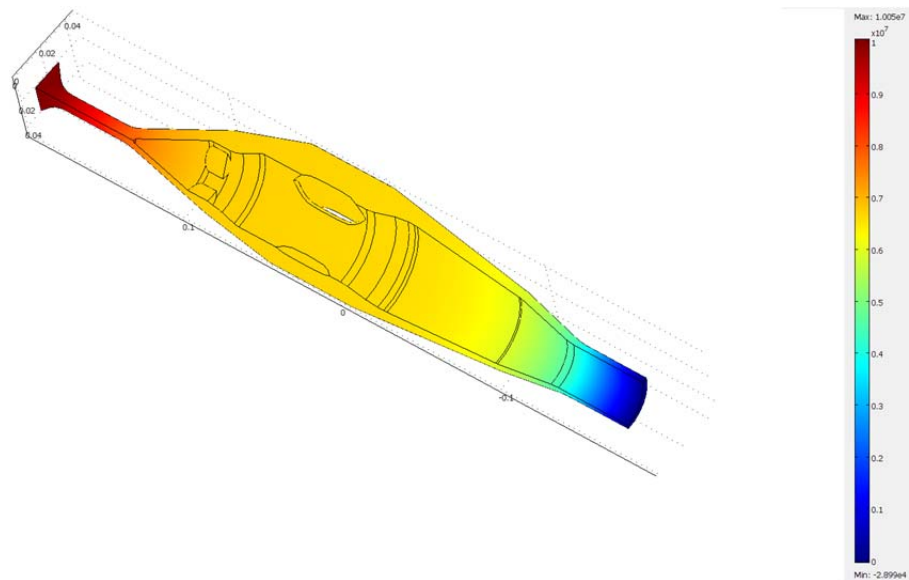


Σχήμα 4.30 Καθορισμός παραμέτρων γραφήματος προφίλ ταχύτητας

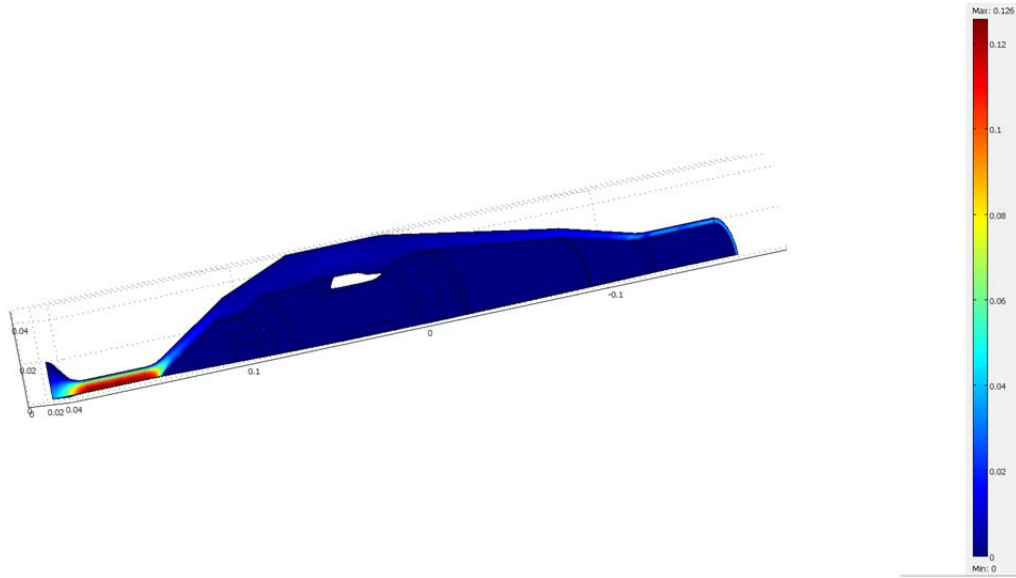
Κεφάλαιο 4: Εκτέλεση Πειραμάτων



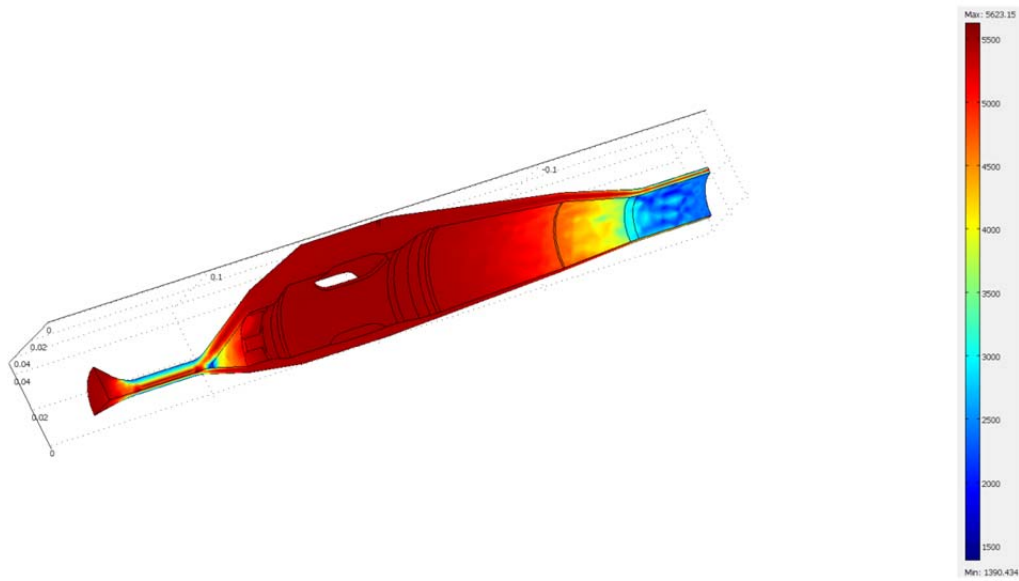
Σχήμα 4.31 Προφίλ ταχύτητας στην έξοδο της μήτρας της 1^{ης} προσομοίωσης



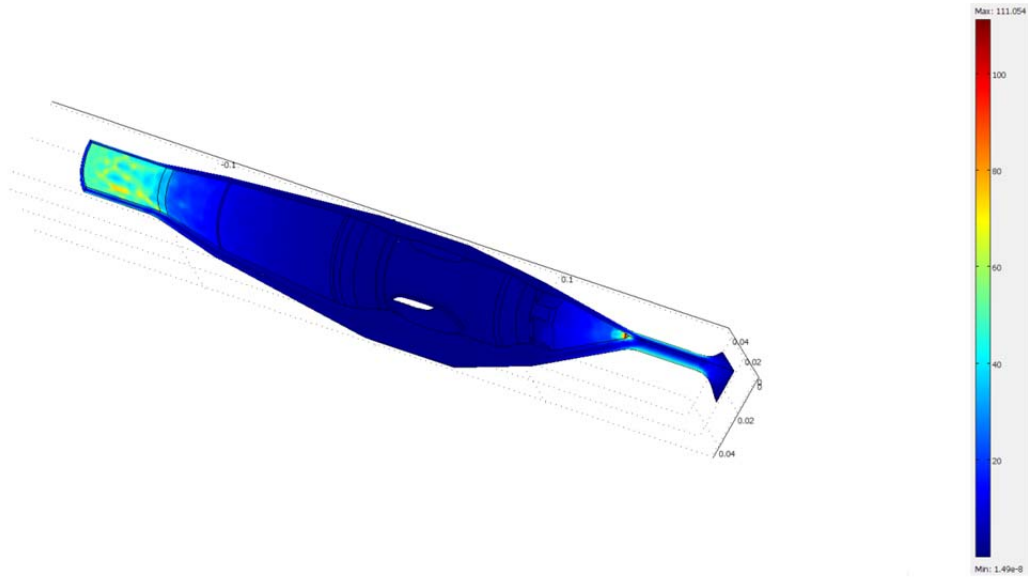
Σχήμα 4.32 Πίεση



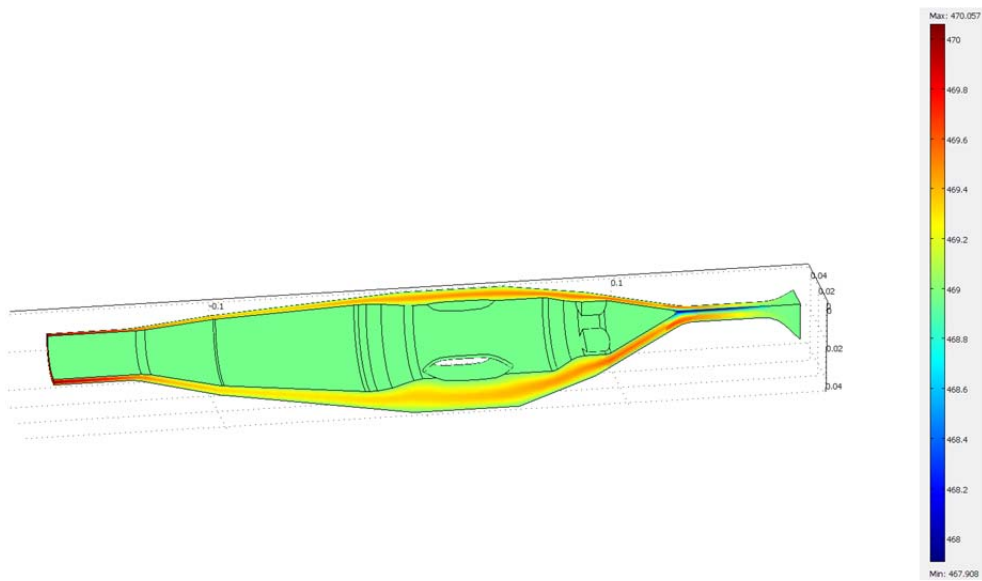
Σχήμα 4.33 Πεδίο ταχύτητας



Σχήμα 4.34 Δυναμικό ξώδες



Σχήμα 4.35 Τάση διάτμησης



Σχήμα 4.36 Θερμοκρασία

Κεφάλαιο 5: Αποτελέσματα-Συμπεράσματα

Όπως προαναφέρθηκε, ένα από τα βασικότερα προβλήματα της παραγωγικής διαδικασίας πλαστικού σωλήνα με μήτρα που φέρει κεφαλή αράχνης, είναι η ύπαρξη ανωμαλιών στην επιφάνεια του τελικού προϊόντος. Αυτό οφείλεται στην ύπαρξη των ποδιών της αράχνης που επιβαρύνει το πεδίο ταχύτητας εξόδου του ρευστού από την μήτρα. Στόχος μας είναι να εντοπίσουμε τον βαθμό επιρροής της γεωμετρίας των ποδιών της αράχνης στην ταχύτητα εξόδου του ρευστού.

Η ποιότητα πρέπει να επιτυγχάνεται με τον σχεδιασμό ενός προϊόντος και όχι να προκύπτει από αυτό. Αυτό διασφαλίζεται μέσω μίας συστηματικής διαδικασίας σχεδιασμού και ελέγχου της μορφής, των παραμέτρων και των ανοχών του προϊόντος. Η ποιότητα που εξετάζεται σε ένα προϊόν σημαίνει ότι τα παραχθέντα προϊόντα που αποκλίνουν σημαντικά του αποδεκτού μέσου όρου, απλά απορρίπτονται.

Η ποιότητα επιτυγχάνεται με την ελαχιστοποίηση της απόκλισης από έναν στόχο. Το προϊόν πρέπει να σχεδιαστεί έτσι ώστε να είναι ανεπηρέαστο από τους ανεξέλεγκτους εξωτερικούς παράγοντες. Με άλλα λόγια, ο λόγος του σήματος (ποιότητα των προϊόντων) προς τον θόρυβο (ανεξέλεγκτοι παράγοντες) πρέπει να είναι υψηλό.

Το κόστος της ποιότητας πρέπει να ελέγχεται σαν συνάρτηση της απόκλισης από τα αποδεκτά πρότυπα που προκύπτουν από τον βέλτιστο σχεδιασμό με την εξίσωση απώλειας. Η χαμηλή ποιότητα με όφελος στο κόστος παραγωγής έχει επιπτώσεις στον αγοραστή του προϊόντος και άρα στην κοινωνία. Επειδή ο παραγωγός είναι επίσης μέλος της κοινωνίας και επειδή η δυσαρέσκεια πελατών θα αποθαρρύνει τη μελλοντική εμπιστοσύνη στα προϊόντα του, αυτό το κόστος στον πελάτη και την κοινωνία θα επιστρέψει στον παραγωγό. Η μέθοδος Taguchi καθορίζει την εξίσωση "απώλειας" (I) ως τη διαφορά μεταξύ του βέλτιστου στόχου μιας διαδικασίας (τ) και της μετρούμενης τιμής (y).

$$I(y) = k_c \cdot (y - \tau)^2$$

Η σταθερά k_c μπορεί να καθοριστεί με την εξέταση των προδιαγραφών ή ενός αποδεκτού διαστήματος τιμών Δ .

$$k_c = \frac{C}{\Delta^2}$$

Κεφάλαιο 5: Αποτελέσματα-Συμπεράσματα

Συνήθως είναι δύσκολος ο καθορισμός των παραπάνω σταθερών και στην περίπτωση που στόχος μας είναι η ελαχιστοποίηση της μετρούμενης εξόδου, η παραπάνω εξίσωση γίνεται:

$$l(y) = k_c \cdot y^2, \text{ όπου } \tau = 0$$

Στην περίπτωση που στόχος μας είναι η μεγιστοποίηση της μετρούμενης εξόδου, η εξίσωση γίνεται:

$$l(y) = \frac{k_c}{y^2}$$

Κατά τον Δρ. Taguchi, βέλτιστο και ποιοτικό είναι ένα προϊόν του οποίου τα βασικά χαρακτηριστικά έχουν την ελάχιστη δυνατή επιρροή από εξωτερικούς, μη ελεγχόμενους παράγοντες.

Από τα αριθμητικά αποτελέσματα που προέκυψαν από το Comsol Multiphysics, υπολογίζονται η μέση τιμή και η τυπική απόκλιση της ταχύτητας εξόδου του πολυμερούς ρευστού στην έξοδο της μήτρας.

Από τα μεγέθη αυτά υπολογίζεται ο λόγος σήματος προς θόρυβο (Signal to Noise Ratio – SNR) της ταχύτητας εξόδου με αντικειμενική συνάρτηση

$$SNR_U = 10 \cdot \log_{10} \left(\frac{U_m^2}{U_s^2} \right)$$

όπου

U_m : η μέση της ταχύτητας εξόδου

U_s : η τυπική απόκλιση της ταχύτητας εξόδου.

	SNR
Αρχική Μήτρα	6,082
Βέλτιστη Μήτρα I	7,499
Βέλτιστη Μήτρα II	6,552

Πίνακας 5.1 Τιμές SNR

Κεφάλαιο 5: Αποτελέσματα-Συμπεράσματα

Είναι γνωστό ότι για μεγαλύτερες τιμές του SNR, η ροή είναι πιο ομοιόμορφη και ο σωλήνας έχει καλύτερες μηχανικές ιδιότητες.

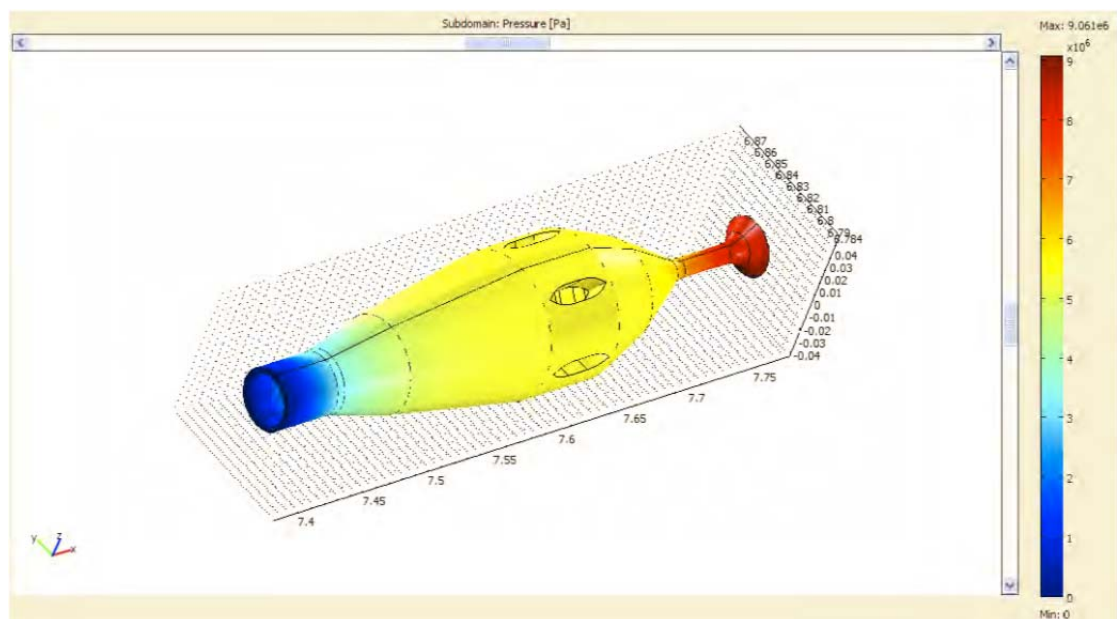
Η τιμή του SNR της βέλτιστης μήτρας I σε σχέση με την τιμή του SNR της αρχικής μήτρας αυξήθηκε κατά 23,3%.

Η τιμή του SNR της βέλτιστης μήτρας II σε σχέση με την τιμή του SNR της αρχικής μήτρας αυξήθηκε κατά 7,33%.

Η βέλτιστη μήτρα II διαφέρει από την βέλτιστη μήτρα I στον αριθμό ποδιών της αράχνης (4 η βέλτιστη II, 6 η βέλτιστη I) και στη γεωμετρία τους εν μέρει, αφού στην καινούρια μήτρα τα πόδια της αράχνης έχουν σχεδιαστεί με συστροφή. Επίσης το μήκος εξόδου της βέλτιστης μήτρας II είναι 45mm, ενώ της βέλτιστης I 24mm.

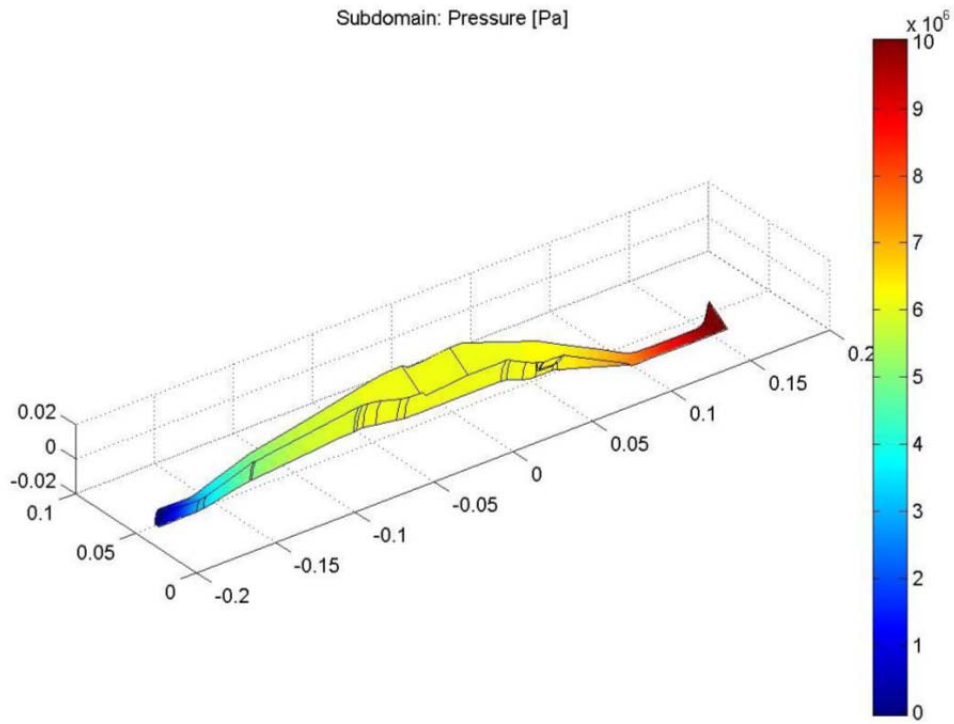
Για ακόμα καλύτερα αποτελέσματα (μεγαλύτερη τιμή του SNR) για μια νέα μήτρα με επίσης συστραμμένα πόδια αράχνης προτείνονται οι παρακάτω βελτιώσεις:

1. Μείωση του μήκους εξόδου (αφού έχει διαπιστωθεί ότι μικρότερο μήκος δίνει καλύτερα αποτελέσματα).
2. Απόδοση κατάλληλου βελτιστοποιημένου σχήματος στο πόδι και αλλαγή μήκους, ύψους, πάχους.
3. Νέος αριθμός ποδιών.
4. Διερεύνηση συμφέρουσας κατεργασίας και κόστος κατασκευής της μήτρας.

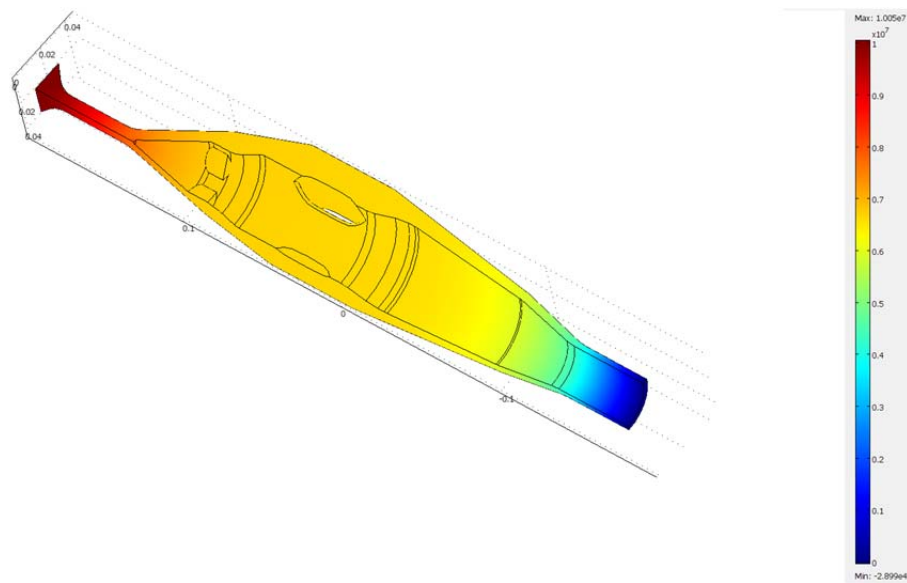


Σχήμα 5.1 Αρχική μήτρα (πίεση)

Κεφάλαιο 5: Αποτελέσματα-Συμπεράσματα



Σχήμα 5.2 Βέλτιστη Μήτρα I (πίεση)



Σχήμα 5.3 Βέλτιστη Μήτρα II (πίεση)

Βιβλιογραφία

1. C. L. Tucker III, «Fundamentals of Computer Modelling for Polymer Processing», Hasner, Munich, 1989
2. P. J. Ross, «Taguchi Techniques for Quality Engineering», McGraw-Hill, Second Edition
3. R. K. Roy, «A primer on the Taguchi method», SME (Society of Manufacturing Engineers), Dearborn, Michigan
4. S. Levy and J.F. Carley, “Plastics Extrusion Technology Handbook”, 2nd Ed., Industrial Press, 1989 (ISBN: 0-8311-1185-2)
5. 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)
6. ww.buau.com.au/english/p_3072.html
7. <http://en.wikipedia.org>
8. Michaeli, W. Monoextrusion dies for thermoplastics. In Extrusion Dies for Plastics and Rubber, 2nd Ed.; Hanser, (1992).
9. Tadmor, Z.; Gogos C.G. Die forming. In Principles of Polymer Processing, John Wiley & Sons, (1979).
10. Rosato, D.V. Die design and performance. Extruding Plastics; Chapman & Hall, (1998).
11. Rauwendaal, C. Die forming. In Understanding Extrusion; Hanser, (1998).
12. Levy, S.; Carley, J.F. Extrusion dies for specific product lines. In Plastics Extrusion Technology Handbook, 2nd Ed.; Industrial Press, Inc., (1989).
13. plasticpipe.org/pdf/chapter04.pdf
14. enr.bd.psu.edu/extrusion.htm
15. www.ril.com/downloads/pdf/extrusion%20principles.pdf
16. www.pitfallsinmolding.com/extrusion1.html
17. Giles, Harold F.; Wagner, John R.; Mount, Eldridge M. Extrusion: The definitive processing guide and handbook, William Andrew, (2005).
18. Todd, Robert H.; Allen, Dell K.; Alting, Leo, Manufacturing Processes Reference Guide, Industrial Press Inc, (1994).
19. Hensen, “Plastics Extrusion Technology”, 2nd Ed., Hanser, (1997).
20. J. F. T Pittman, G. P Whitham, I. A. Farah, Wall Thickness Uniformity in Plastic Pipes: Computer Simulations of the Effectiveness of Die Mandrel Offsetting and Pipe Rotation in Combating Sag, Polym. Eng. Sci., 35, 921-928, (1995).

Βιβλιογραφία

21. Woei-Shyong, L.; Hsueh-Yu, H., J. Polym. Eng. Sci. 40, 1085-1094. (2000).
22. Kamp, W., & H. D. Kurz., Kunststoffe 70, pp. 257-263, (1980).
23. Dietz, W., Polym. Eng. Sci. 18, 1030-1036, (1978).
24. Sheehy P., Tanguy P. A., Blouin D., Polym. Eng. Sci., 34, 650-656, (1994).
25. Szarvasy, Simulation of Complex PVC Window Profile Cooling During Calibration with Particular Focus on Internal Heat Exchange, 3rd ESAFORM Conference on Material Forming, Stuttgart, Germany, (2000).
26. Pittman J. F. T, Whitham G. P, Beech S., Gwynn D., Cooling and Wall Thickness Uniformity in Plastic Pipe Manufacture, Intern. Polymer Processing, IX, 130-140, (1994).