

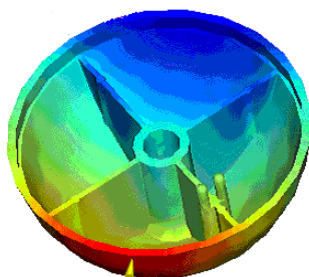


Πολυτεχνείο Κρήτης

Τμήμα μηχανικών παραγωγής και διοίκησης

Διπλωματική εργασία με τίτλο

*‘‘Η προσομοίωση της διαδικασίας χύτευσης υπό πίεση και
η εφαρμογή της σε πραγματικό προϊόν’’*



Επιβλέπων Καθηγητής:
Μπιλάλης Νικολαος

Εξεταστική επιτροπή:
Μπιλάλης Νικολαος
Νικολός Ιωάννης
Τζουρβελούδης Νικόλαος

Χανιά 2004
Παπαδόπουλος Φώτης

**Αφιερώνεται στους
γονείς μου**

1. Πρόλογος

Η παρούσα εργασία έχει ως αντικείμενο την μοντελοποίησης της χύτευσης υπό πίεση με χρήση αριθμητικών μεθόδων. Συγκεκριμένα χρησιμοποιήθηκε το λογισμικό PLASTIC ADVISOR, το οποίο χρησιμοποιεί τη μέθοδο συνοριακών στοιχείων για να μοντελοποιήσει τη ροή του πλαστικού εντός του καλουπιού. Στα πλαίσια της εργασίας, έγινε εκμάθηση του παραπάνω λογισμικού, το οποίο στη συνέχεια χρησιμοποιήθηκε για την ανάλυση της χύτευσης συγκεκριμένου αντικειμένου από πλαστικό, το οποίο χαρακτηρίζεται από πολύ δύσκολα τμήματα (λεπτά τοιχώματα).

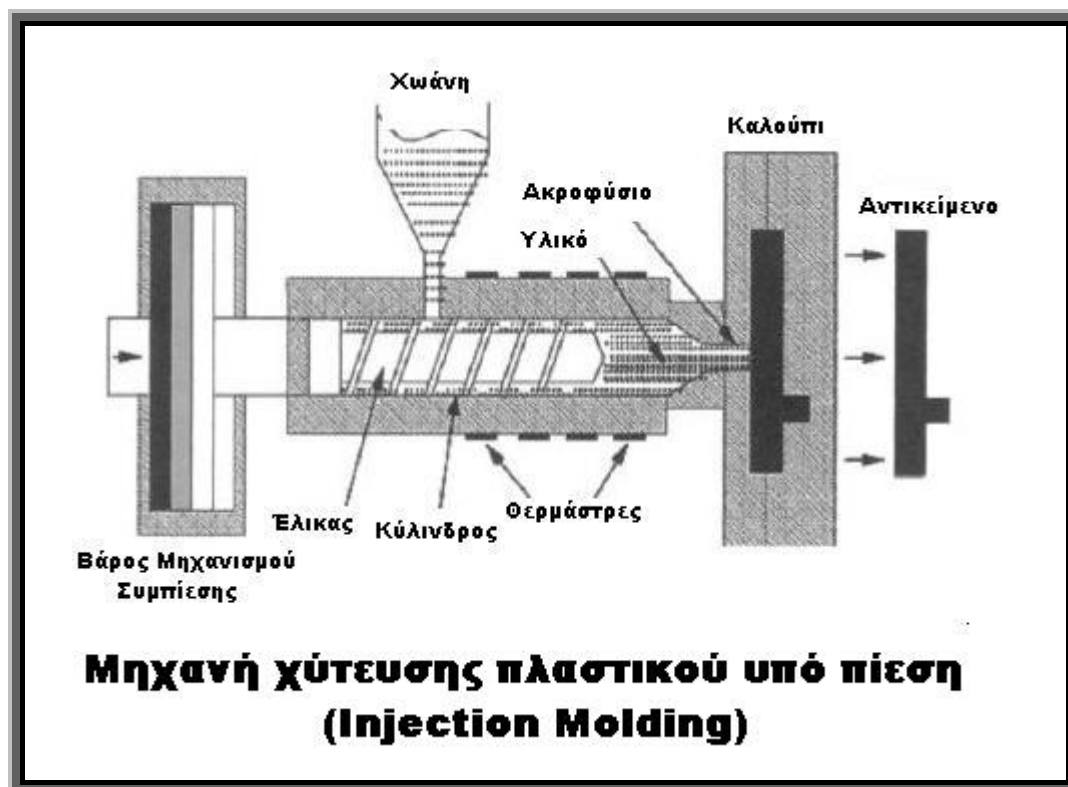
Στο δεύτερο κεφάλαιο παρουσιάζεται η διαδικασία χύτευσης υπό πίεση και τα πιθανά προβλήματα που προκύπτουν σε αντικείμενα, κατά την δημιουργία τους με τη συγκεκριμένη μέθοδο. Ακολουθεί στο τρίτο κεφάλαιο μια μικρή αναφορά στις αριθμητικές μεθόδους προσομοίωσης ροής πλαστικών και η παρουσίαση του λογισμικού που χρησιμοποιήσαμε για την μελέτη και ανάλυση του συγκεκριμένου αντικειμένου. Στο τέταρτο κεφάλαιο καταγράφονται τα αποτελέσματα της ανάλυσής μας για συγκεκριμένο χυτό υπό πίεση, ενώ στο πέμπτο κεφάλαιο περιέχονται τα συμπεράσματα που προκύπτουν από τη χρήση του λογισμικού προσομοίωσης ροής πλαστικών.

Από την πλευρά ενός χρήστη υπολογιστών, που αρχικά δεν είχε καμία σχέση με τη διαδικασία χύτευσης υπό πίεση και τη χρήση λογισμικού ανάλυσης ροής, πρέπει να αναφερθεί ότι η εκμάθηση των παραμέτρων της διαδικασίας, η χρήση ενός τέτοιου προγράμματος και η εφαρμογή του σε πραγματικό προϊόν ήταν ιδιαίτερα διδακτική και αποκαλυπτική των δυνατοτήτων που δίνουν οι Η/Υ στην προσομοίωση πολύπλοκων διεργασιών. Επίσης σημαντική αποδείχθηκε η ευκολία με την οποία μπορεί να μοντελοποιηθεί η όλη διαδικασία και τα ακριβή αποτελέσματα της ανάλυσης σε σύντομο χρονικό διάστημα. Η σύγκρισή τους με το πραγματικό αντικείμενο δίνει ενθαρρυντικά συμπεράσματα ως προς την αποτελεσματικότητα με την οποία τα προγράμματα ανάλυσης ροής προσομοιώνουν τη διαδικασία, γεγονός που τα καθιστά απαραίτητο εργαλείο για τον μηχανικό που αναπτύσσει κάποιο αντίστοιχο προϊόν.

2. Η Μορφοποίηση Πλαστικών με Χύτευση υπό πίεση (Injection Molding)

Η μορφοποίηση πλαστικών με χύτευση υπό πίεση χρησιμοποιείται σε πάρα πολλές βιομηχανίες, συμβάλλοντας αποφασιστικά στην δημιουργία ολοκληρωμένων ποιοτικά προϊόντων με πολύ μικρό κόστος. Το συγκριτικό της πλεονέκτημα είναι η μορφοποίηση ουσιαστικά οποιουδήποτε αντικειμένου, όσο πολύπλοκο και αν είναι. Επιπλέον πλεονέκτημα αποτελεί η δυνατότητα επιλογής των φυσικών ιδιοτήτων (σκληρότητα, ευλυγισία, αντοχή στη διάβρωση) του αντικειμένου με την αντίστοιχη επιλογή του κατάλληλου πολυμερούς.

Στη διαδικασία αυτή χρησιμοποιούνται άμορφα, κρυσταλλικά θερμοσταθερά πολυμερή τα οποία θερμαίνονται σε μια σταθερή θερμοκρασία και στη συνέχεια συμπιέζονται σε ένα καλούπι. Στην εικόνα 2.1 παρουσιάζεται γραφικά η διαδικασία.



Εικόνα 2.1... Σχηματοποιημένη παρουσίαση διαδικασίας χύτευσης υπό πίεση.

Το πολυμερές υπό μορφή σκόνης τροφοδοτείται στη χοάνη και στη συνέχεια εισαγάζεται μέσα στον ελικοφόρο μηχανισμό, όπου θερμαίνεται. Το πολυμερές λειώνει και αποκτά μια σταθερή θερμοκρασία, στην οποία είναι παχύρρευστο και συνεπώς μπορεί να εγχυθεί μέσα στο καλούπι. Στη συνέχεια αφήνεται να κρυώσει για ένα προκαθορισμένο χρόνο πριν ανοιχτεί το καλούπι και εξαχθεί το αντικείμενο. Με την κατεργασία αυτή μπορούν να παραχθούν από απλά μέχρι πολύ σύνθετα αντικείμενα σε ελάχιστο χρόνο όπως κινητά τηλέφωνα, καρέκλες βεράντας και περιβλήματα υπολογιστών.

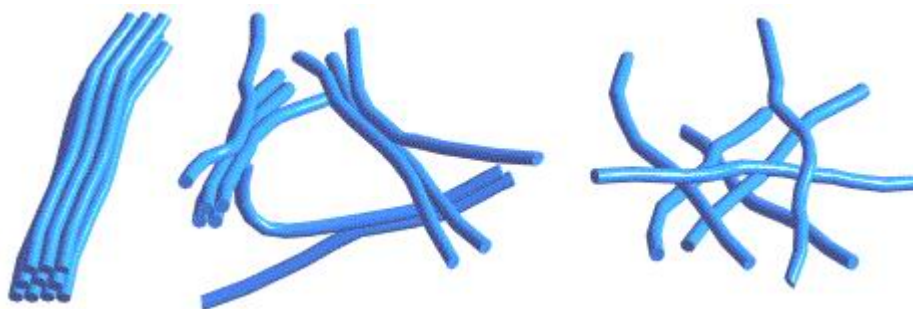
Παρόλα αυτά η χύτευση υπό πίεση έχει υψηλό αρχικό κόστος προετοιμασίας. Σε αυτό συμπεριλαμβάνονται ο σχεδιασμός του καλουπιού, οι εργαλειομηχανές και το πολυμερές που θα χρησιμοποιηθούν. Έτσι η διαδικασία κρίνεται ιδανική για μεγάλη παραγωγή όπου το κόστος των καλουπιών αποσβένεται από τη πληθώρα των παραγόμενων αντικειμένων.

Το υψηλό αρχικό κόστος του καλουπιού έφερε στο προσκήνιο την ανάγκη για ανάλυση των παραγόμενων αντικειμένων στην αρχική φάση της παραγωγής, προκειμένου να περιοριστεί το κόστος. Για το σκοπό αυτό αναπτύχθηκαν τα αντίστοιχα λογισμικά, που αναλαμβάνουν την προσομοίωση της χύτευσης υπό πίεση και ακολούθως την ανάλυση των αποτελεσμάτων από ειδικευμένους μηχανικούς, οι οποίοι και θα δώσουν λύσεις στις αστοχίες και τα προβλήματα που πιθανώς θα παρουσιαστούν.

2.1 Η διαδικασία πλήρωσης ενός καλουπιού με πολυμερές και οι παράμετροι που τη διέπουν

2.1.1 Θεωρία της Κρυσταλλικότητας

Τα μόρια των πλαστικών είναι μεγάλες αλυσίδες ατόμων. Όπως φαίνεται στην εικόνα 2.2, οι αλυσίδες μακρομορίων μπορούν να διαταχθούν συμμετρικά (κρυσταλλικά), τυχαία (άμορφα), ή να περιέχουν τμήματα των δύο προηγούμενων διατάξεων (ημι-κρυσταλλικά).



Εικόνα 2.2... Συμμετρική, άμορφη και ημικρυσταλλική διάταξη μακρομορίων πλαστικού

Εάν ένα αντικείμενο συρρικνωθεί ομοιόμορφα προς όλες τις κατευθύνσεις τότε δεν υπάρχει πιθανότητα να παραμορφωθεί. Ενώ ένα αντικείμενο με ανομοιόμορφη συρρίκνωση πιθανότατα θα παραμορφωθεί.

Τα ημικρυσταλλικά υλικά έχουν την τάση προς κρυσταλλοποίηση, αλλά ο βαθμός κρυσταλλοποίησης στη μορφοποίηση σε καλούπι επηρεάζεται από το ρυθμό ψύξης του τήγματος. Όσο ταχύτερα ψυχθεί το τήγμα τόσο μικρότερη θα είναι η κρυσταλλοποίηση του πλαστικού και το αντίθετο. Εάν κάποια τμήματα του αντικειμένου ψύχονται με μικρότερο ρυθμό, τότε αυτά θα αποκτήσουν υψηλότερη κρυσταλλική δομή, και ως εκ τούτου μεγαλύτερο βαθμό συρρίκνωσης.

Δύο είναι οι κυριότεροι παράγοντες που επιδρούν στο ρυθμό ψύξης του τήγματος:

- Θερμοκρασία του καλουπιού

Όσο υψηλότερη η θερμοκρασία του καλουπιού τόσο περισσότερο θα διαρκέσει η ψύξη του τήγματος.

- Γεωμετρία του καλουπιού

Πολύ συχνά οι λεπτότερες περιοχές του αντικειμένου ψύχονται σχετικά γρήγορα και έτσι έχουν μικρότερο βαθμό συρρίκνωσης σε σχέση με τις παχύτερες περιοχές που ψύχονται πιο σιγά. Στα θερμοπρεσαριστά αντικείμενα οι παχύτερες περιοχές έχουν την τάση να ψύχονται πιο σιγά από τις λεπτότερες και έτσι αποκτούν

υψηλότερη κρυσταλλική συνοχή, άρα και υψηλότερη ογκομετρική συστολή. Αντίθετα τα λεπτά τμήματα ψύχονται πολύ γρήγορα και έτσι έχουν μικρότερη κρυσταλλική συνοχή και μικρότερη ογκομετρική συστολή από αυτή που προβλέπονταν.

2.1.2 Τα στάδια της πλήρωσης ενός καλουπιού με πολυμερές

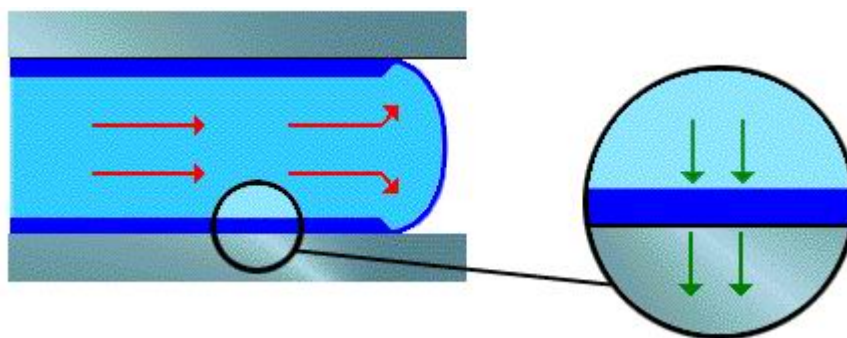
Η χύτευση υπό πίεση μπορεί να διαχωριστεί σε τρεις φάσεις:

- Πλήρωση του καλουπιού
- Πίεση του υλικού
- Φάση Αντιστάθμισης

Καθεμία από αυτές έχει σημαντική σπουδαιότητα ως προς την ποιότητα του παραγόμενου αντικειμένου και το χρόνο παραγωγής του και για αυτό παρουσιάζονται αναλυτικά στη συνέχεια.

Φάση Πλήρωσης

Κατά τη διάρκεια της φάσης πλήρωσης του καλουπιού, το πλαστικό ωθείται στην κοιλότητα, έως ότου την γεμίσει πλήρως. Κατά το σχεδιασμό ενός αντικειμένου που παράγεται με τη διαδικασία μορφοποίησης με έγχυση, η σημαντικότερη φάση είναι η φάση της πλήρωσης. Καθώς το πλαστικό ρέει στην κοιλότητα του καλουπιού, η επιφάνειά του, που έρχεται σε επαφή με το τοίχωμα, παγώνει γρήγορα. Αυτό το γεγονός δημιουργεί ένα ψυχρότερο στρώμα πλαστικού μεταξύ του καλουπιού και του λειωμένου πλαστικού. Το ακόλουθο διάγραμμα της εικόνας 2.3 δείχνει πώς το μέτωπο ροής επεκτείνεται καθώς το υλικό ωθείται προς τα εμπρός. Οι άκρες του μετώπου ροής έρχονται σε επαφή με το καλούπι και την ψυχρή του επιφάνεια. Τα μόρια στο παγωμένο στρώμα δεν είναι επομένως ιδιαίτερα προσανατολισμένα, και μόλις παγώσει εντελώς, ο προσανατολισμός δεν θα αλλάξει.



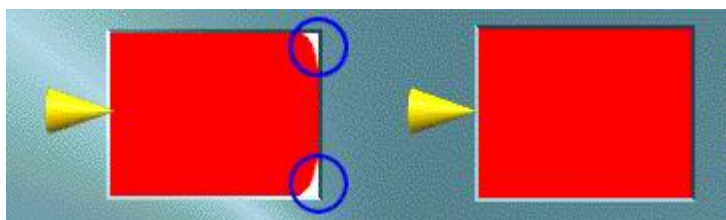
Εικόνα 2.3... Ροή πλαστικού κατά τη φάση της πλήρωσης

Τα κόκκινα βέλη στην εικόνα 2.3 παρουσιάζουν την κατεύθυνση ροής του λειωμένου πλαστικού. Τα σκούρα μπλε στρώματα σε επαφή με τα τοιχώματα παρουσιάζουν τα στρώματα του ψυχρότερου πλαστικού. Τα πράσινα βέλη δείχνουν την κατεύθυνση της ροής θερμότητας από το λειωμένο πολυμερές στα τοιχώματα. Το παγωμένο στρώμα κερδίζει θερμότητα όσο περισσότερο λειωμένο πλαστικό ρέει μέσα στη κοιλότητα, και απάγει θερμότητα στο καλούπι. Όταν το παγωμένο στρώμα φθάνει σε ένα ορισμένο πάχος, επιτυγχάνεται ισορροπία. Αυτό φυσιολογικά συμβαίνει στην αρχή της διαδικασίας μορφοποίησης με έγχυση, μετά από μερικά δέκατα του δευτερολέπτου.

Φάση Πίεσης του υλικού

Η φάση της πίεσης αρχίζει αφού γεμίσει το καλούπι. Αν και σε αυτό το στάδιο θα έπρεπε να έχουν γεμίσει όλες οι κοιλότητες του καλουπιού, ενδέχεται οι άκρες και οι γωνίες της κοιλότητας να μην περιέχουν το πλαστικό. Για να συμπληρωθούν εντελώς τα κενά, πρόσθετο πλαστικό ωθείται στην κοιλότητα κατά τη διάρκεια της φάσης πίεσης.

Το ακόλουθο διάγραμμα της εικόνας 2.4 παρουσιάζει τη διαφορά μεταξύ του τέλους της φάσης πλήρωσης (αριστερή εικόνα) και του τέλους της φάσης πίεσης (δεξιά εικόνα). Παρατηρήστε τις ασυμπλήρωτες γωνίες (μέσα στους μπλε κύκλους) που υπάρχουν στο τέλος της φάσης της πλήρωσης.



Εικόνα 2.4... Φάση πίεσης πλαστικού υλικού

Η θέση έγχυσης του πλαστικού υποδεικνύεται από τον κίτρινο κώνο και το πλαστικό με κόκκινο χρώμα.

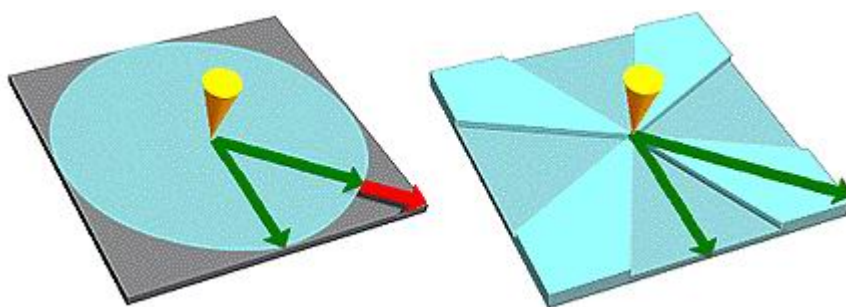
Φάση αντιστάθμισης

Το πρόσθετο πολυμερές προστίθεται και για έναν ακόμα λόγο, την αντιστάθμιση της συρρίκνωσης του πλαστικού κατά την ψύξη του, έτσι ώστε το αντικείμενο να εξαχθεί χωρίς παραμορφώσεις και ατέλειες. Τα πλαστικά έχουν μια υψηλή ογκομετρική συστολή, περίπου 25% μεταξύ της μέσης θερμοκρασία λειωμένου πλαστικού και της

θερμοκρασίας στερεοποίησης. Επομένως περισσότερο υλικό πρέπει να εγχυθεί στην κοιλότητα για να αντισταθμίσει τη συρρίκνωση του πλαστικού καθώς αυτό ψύχεται. Η φάση αυτή καλείται φάση αντιστάθμισης.

2.1.3 Επίδραση των τοιχωμάτων στη ροή του πλαστικού

Ένας **οδηγός ροής** είναι μια αύξηση στο πάχος κατά μήκος μιας κατεύθυνσης ροής, προκειμένου να αυξηθεί το ποσοστό ροής κατά μήκος εκείνης της κατεύθυνσης. Ένας **ανακλαστήρας ροής** είναι μια μείωση στο πάχος κατά μήκος μιας κατεύθυνσης ροής για να μειωθεί το ποσοστό ροής κατά μήκος εκείνης της κατεύθυνσης. Οι οδηγοί και οι ανακλαστήρες ροής μπορούν να χρησιμοποιηθούν για να εξασφαλίσουν ότι όλες οι διαδρομές της ροής μέσα στην κοιλότητα γεμίζουν συγχρόνως (ισορροπημένες τροχιές ροής). Συχνά η καταλληλότερη θέση έγχυσης του πολυμερούς δεν καθορίζει ίσες τροχιές ροής, ενώ και η χρήση πολλαπλάσιων θέσεων έγχυσης πολυμερούς δημιουργεί ανεπιθύμητες **γραμμές σύνδεσης**. Επομένως η αλλαγή πάχους μέσα στις προδιαγραφές του σχεδίου είναι ο πιο κατάλληλος τρόπος να ισορροπηθούν οι τροχιές ροής. Ένα απλό παράδειγμα για να οπτικοποιηθεί η ροή δίδεται στην εικόνα 2.5 που αφορά σε ένα τετραγωνικό πιάτο ομοιόμορφου πάχους με μια θέση εγχύσεως πολυμερούς, που βρίσκεται στο κέντρο. Το αριστερό σκέλος της εικόνας δείχνει ότι ένα τέτοιο αντικείμενο παρουσιάζει ακτινωτή ροή. Το πρόβλημα με αυτό το σχέδιο ροής είναι ότι παράγει έναν πολλαπλών κατευθύνσεων μοριακό προσανατολισμό. Από δομική άποψη αυτού του είδους η ακτινωτή ροή ευθύνεται για την κακή ποιότητα των αντικειμένων.



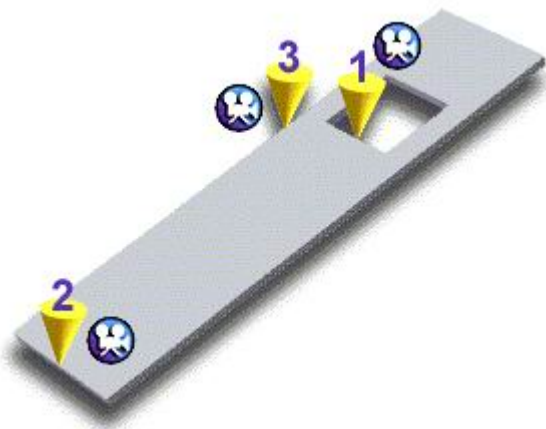
Εικόνα 2.5... Οδηγοί και ανακλαστήρες ροής

Στο δεξί σκέλος της εικόνας 2.5 το πάχος του πιάτου έχει αυξηθεί από το κέντρο στις γωνίες του κομματιού, μειώνοντας την αντίσταση ροής σε αυτές τις κατευθύνσεις. Η εικόνα δείχνει πώς η αλλαγή του πάχους σε ένα μέρος του αντικειμένου μπορεί να δημιουργήσει ένα ισορροπημένο καλούπι από την άποψη της

ροής. Οι οδηγοί, ανακλαστήρες ροής θα συμβάλουν στην επίτευξη ενός χρόνου πλήρωσης που πλησιάζει αυτόν σε συνθήκες ισορροπημένων ροών. Αν το αποτέλεσμα δεν μας ικανοποιεί, επιπλέον επεξεργασία θα μπορούσε να γίνει για την βελτίωση της ροής του πλαστικού. Για αυτό το λόγο, κατά τη δημιουργία του καλουπιού, όπου είναι δυνατόν πρέπει να προτιμάται η χρήση ανακλαστήρων ροής αντί των οδηγών ροής γιατί έτσι θα μειωθεί το τελικό βάρος του αντικειμένου.

2.1.4 Θέσεις Έγχυσης Πολυμερούς

Η τοποθεσία από όπου το πολυμερές εγχέεται στην κοιλότητα του καλουπιού, ονομάζεται θέση έγχυσης. Από κάθε θέση έγχυσης πολυμερούς θα εγχυθεί πλαστικό με την ίδια πίεση. Η πίεση του εγχυόμενου πλαστικού αυξάνει εκθετικά κατά τη διάρκεια της διαδικασίας. Ένας από τους στόχους κατά τη διάρκεια επιλογής των θέσεων εγχύσεως είναι η εξασφάλιση του ότι όλες οι κοιλότητες ροής στο καλούπι θα γεμίζουν ταυτόχρονα (ισορροπημένες τροχιές ροής). Έτσι αποτρέπεται η υπερπλήρωση με πλαστικό στις τροχιές ροής που γεμίζουν πρώτες. Οι τρεις πιθανές θέσεις εγχύσεως στο ακόλουθο παράδειγμα της εικόνας 2.6 δείχνουν πώς η θέση εγχύσεως του πολυμερούς μπορεί να χρησιμοποιηθεί ώστε να βοηθήσει στην εξισορρόπηση των ροών.

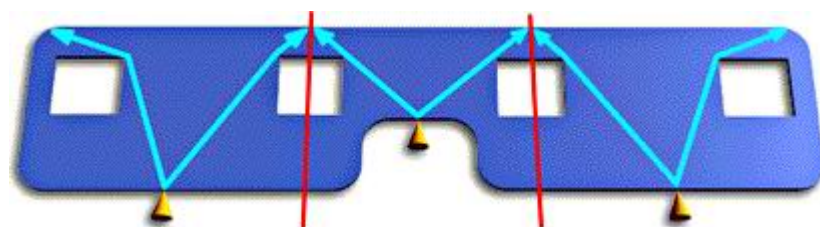


Εικόνα 2.6... Αλλαγή θέσης εγχύσεως

Η αλλαγή της θέσης εγχύσεως μπορεί επίσης να χρησιμοποιηθεί για να αλλάξει τη θέση των γραμμών σύνδεσης και των παγίδων αέρα και να περιορίσει την επιβράδυνση της ροής ή άλλα προβλήματα μορφοποίησης. Στο ανωτέρω παράδειγμα, οι θέσεις εγχύσεως 1 και 2 δημιουργούν μια γραμμή σύνδεσης στα δεξιά του

αντικειμένου, ενώ η θέση εγχύσεως 3 δημιουργεί μια γραμμή σύνδεσης στο κατώτατο δεξί τμήμα του αντικειμένου.

Σε μερικές περιπτώσεις μπορεί να είναι καλύτερη η ύπαρξη περισσότερων από μίας θέσεων εγχύσεως πολυμερούς. Στην περίπτωση που αντιμετωπίζεται η κατασκευή αντικειμένου όπως στην εικόνα 2.7, το αντικείμενο χωρίζεται νοητά σε επιμέρους τμήματα, σε κάθε ένα από τα οποία τοποθετείται με μία θέση εγχύσεως πολυμερούς (δηλ. η κοιλότητα του καλουπιού θεωρούμε ότι αποτελείται από περισσότερα από ένα τμήματα, και μεταχειριζόμαστε κάθε τμήμα χωριστά όπως φαίνεται στο παράδειγμα της εικόνας 2.7). Κάθε διαδρομή ροής, σε κάθε επιμέρους τμήμα πρέπει να γεμίζει ταυτόχρονα.

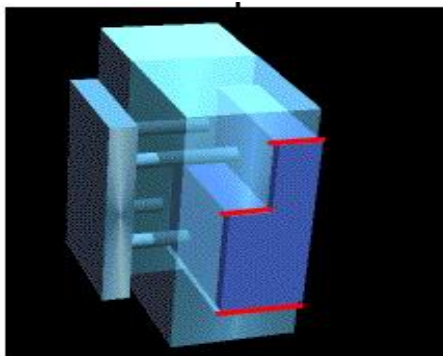


Εικόνα 2.7... Πολλαπλές θέσεις Εγχύσεως

Κατά γενικό κανόνα, καλό είναι να τοποθετούνται οι θέσεις εγχύσεων πολυμερούς στις παχύτερες περιοχές του αντικειμένου.

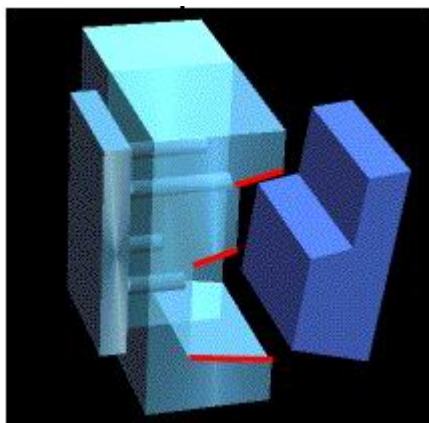
2.1.5 Δημιουργία κεκλιμένων τοιχωμάτων στο καλούπι

Για να εξασφαλιστεί ότι το πλαστικό αντικείμενο μπορεί να εξαχθεί από το καλούπι μόλις ψυχθεί ικανοποιητικά, κάποιες επιφάνειες του καλουπιού πρέπει να υποστούν μια επεξεργασία. Κατά τη διάρκεια της επεξεργασίας αυτής, οι διάμετροι ορισμένων τοιχωμάτων του καλουπιού πρέπει να μικραίνουν σταδιακά.. Στην εικόνα 2.8 παρουσιάζεται ένα πλαστικό αντικείμενο μέσα στο καλούπι, ενώ οι ακίδες εκβολής το σπρώχνουν έξω από το καλούπι. Τα τοιχώματα του καλουπιού με κόκκινο χρώμα δεν έχουν κεκλιμένη μορφή. Όταν οι ακίδες εκβολής σπρώχνουν το αντικείμενο έξω από το καλούπι η δύναμη που εφαρμόζεται πρέπει να υπερνικήσει την τριβή μεταξύ του τοιχώματος του καλουπιού και του πλαστικού αντικειμένου.



Εικόνα 2.8... Καλούπι χωρίς κεκλιμένα τοιχώματα

Επειδή τα τοιχώματα του καλούπιού δεν έχουν υποστεί την παραπάνω επεξεργασία, η αντίσταση τριβής μεταξύ των τοιχωμάτων του καλούπιού και του πλαστικού αντικειμένου υφίσταται μέχρι και την έξοδό του. Πλαστικά αντικείμενα, τα οποία δεν διαθέτουν κεκλιμένα τοιχώματα, ίσως καταστεί αδύνατο να εξαχθούν από το καλούπι, ή, κατά τη διάρκεια της εξαγωγής, η επιφάνεια του αντικειμένου μπορεί να γδαρθεί και το κομμάτι να απορριφθεί ως οπτικά μη αποδεκτό.



Εικόνα 2.9... Καλούπι με κεκλιμένα τοιχώματα

Τα τοιχώματα του καλούπιού της εικόνας 2.9, με κόκκινο χρώμα, είναι κεκλιμένα. Πρακτικά αυτό σημαίνει ότι η αντίσταση εξαιτίας της τριβής μειώνεται αρχικά και μηδενίζεται όταν το αντικείμενο αρχίσει να κινείται.

Συνήθως η επιλογή μιας γωνίας περίπου μίας μοίρας είναι αρκετή ώστε να επιτρέψει την εύκολη και χωρίς φθορές εξαγωγή του αντικειμένου από το καλούπι.

2.2 Προβλήματα κατά τη χύτευση πλαστικών και τρόποι αντιμετώπισής τους

Η διαδικασία χύτευσης πλαστικών υπό πίεση παρουσιάζει ορισμένα προβλήματα, τα οποία μπορούν να αντιμετωπιστούν είτε με μικρές αλλαγές στη γεωμετρία του αντικειμένου, είτε με αλλαγή των παραμέτρων της διαδικασίας της χύτευσης, όπως η αλλαγή στη θέση εγχύσεως ή του χρόνου της χύτευσης. Στις επόμενες παραγράφους παρουσιάζονται διεξοδικά τα προβλήματα αυτά και οι τρόποι αντιμετώπισής τους σε κάθε περίπτωση. Για την περίπτωση που οι λύσεις σε κάθε πρόβλημα είναι αντικρουόμενες, ο μηχανικός είναι αυτός που θα πρέπει να αποφασίσει ποια είναι η λύση η οποία δίνει τα καλύτερα αποτελέσματα και ισορροπεί ανάμεσα στις προτεινόμενες λύσεις και τα προβλήματα που δημιουργούν.

2.2.1 Υπερβολικό βάρος αντικειμένου

Στις περισσότερες περιπτώσεις το υπερβολικό βάρος του αντικειμένου είναι ένα ανεπιθύμητο χαρακτηριστικό της μορφοποίησης. Αυξάνει το κόστος παραγωγής, εξαιτίας της αύξησης της χρησιμοποιούμενης πρώτης ύλης. Το υπερβολικό βάρος συνήθως οφείλεται σε υπερβολικά παχιά τοιχώματα, τα οποία συνήθως δεν απαιτείται να έχουν το αντίστοιχο πάχος. Ως εκ τούτου, για τη μείωση του υπερβολικού βάρους με παράλληλη διατήρηση της σταθερότητάς της μορφής του:

- Θα πρέπει να χρησιμοποιηθούν λεπτότερα τοιχώματα με νευρώσεις.
- Να σχεδιαστεί κατάλληλα το αντικείμενο για διαμόρφωση σε καλούπι με τη βοήθεια πίεσης.

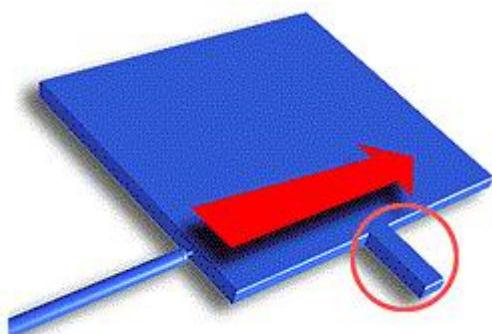
Παχιά τοιχώματα πρέπει να χρησιμοποιούνται μόνο εκεί όπου απαιτείται περισσότερο πλαστικό για την σταθερότητα της κατασκευής και δεν μπορεί να ενισχυθεί διαφορετικά.

Όταν επιχειρείται η εξισορρόπηση των ροών με μεταβολή του πάχους γύρω από συγκεκριμένες διαδρομές ροής, καλό θα είναι να χρησιμοποιούνται ανακλαστήρες ροής αντί οδηγών ροής, έτσι ώστε να μην αυξηθεί το βάρος του αντικειμένου.

2.2.2 Υστέρηση ροής

Υστέρηση ροής είναι το φαινόμενο κατά το οποίο η ροή υλικού σταματάει ή επιβραδύνεται κατά μήκος μιας συγκεκριμένης τροχιάς ροής. Όταν κατά την πλήρωση με πλαστικό της κοιλότητας του καλουπιού υπάρχουν στην ίδια περιοχή ένα λεπτό και ένα παχύ τμήμα, τότε το πλαστικό θα τείνει να γεμίσει το παχύτερο τμήμα πρώτα, δεδομένου ότι αυτή η διαδρομή προσφέρει τη λιγότερη αντίσταση στη ροή. Αυτό το φαινόμενο θα ενισχυθεί εάν η διεύθυνση της ροής σε εκείνο το σημείο ασκεί μεγαλύτερη πίεση στην κατεύθυνση της παχύτερης διαδρομής. Με τη σειρά του, μπορεί να προκαλέσει στο πλαστικό που βρίσκεται στο λεπτό τμήμα σταμάτημα της ροής του ή την επιβράδυνση της.

Υστέρηση ροής μπορεί να εμφανιστεί στα πλευρά και στο λεπτό τμήμα των αντικειμένων που έχουν σημαντικές αλλαγές στο πάχος των τοιχωμάτων. Στην ακόλουθη εικόνα 2.10, το εξόγκωμα (που περικλείεται στον κόκκινο κύκλο)



προσφέρει μια υψηλότερη αντίσταση στη ροή, επειδή είναι πολύ λεπτότερο από το υπόλοιπο αντικείμενο. Επίσης, η διεύθυνση της ροής ασκεί μικρή πίεση στην κατεύθυνση που απαιτείται για να γεμίσει το εξόγκωμα.

Εικόνα 2.10... Υστέρηση της ροής

Η υστέρηση της ροής μπορεί να μειώσει την ποιότητα των παραγόμενων αντικειμένων, λόγω μεταβλητότητας στην εμφάνιση της επιφάνειας, ελαττωματικής τοποθέτησης, υψηλής πίεσης και ανομοιομορφου προσανατολισμού των μορίων πλαστικού. Εναλλακτικά, εάν το φαινόμενο οδηγήσει το μέτωπο ροής στην ολοκληρωτική του ψύξη, μέρος της κοιλότητας μπορεί να παραμείνει ασυμπλήρωτο.

Με τη βοήθεια λογισμικού προσομοίωσης και ανάλυσης της ροής του πλαστικού μπορούν να εξαχθούν χρήσιμα συμπεράσματα για τις αιτίες του φαινομένου. Η εξέταση των αποτελεσμάτων χρόνου και θερμοκρασίας πλήρωσης μπορεί να ερμηνεύσει τη δημιουργία υστέρησης της ροής. Παρατηρώντας δηλαδή το χρονικό διάγραμμα της πλήρωσης θα φανεί ότι η υστέρηση της πλήρωσης παρουσιάζεται με ένα πολύ στενό διάστημα στις ισόχρονες γραμμές πλήρωσης. Ενώ

το διάγραμμα θερμοκρασίας θα παρουσιάσει την υστέρηση της πλήρωσης ως μια μεγάλη διαφορά θερμοκρασίας.

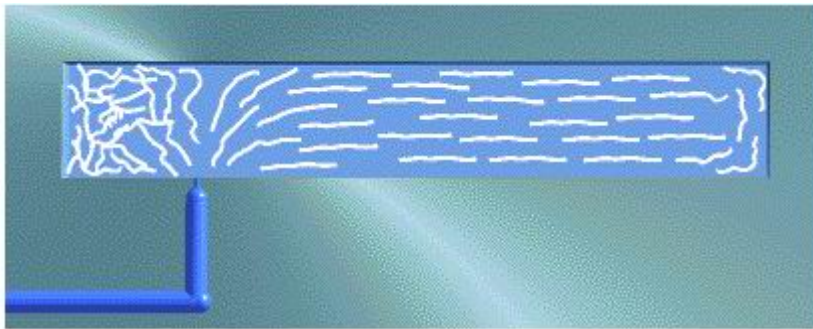
Τρόποι αντιμετώπισης

- Μετακινώντας τη θέση εγχύσεως πολυμερούς μακριά από την περιοχή υστέρησης της πλήρωσης. Έτσι θα μειωθεί ο χρόνος υστέρησης της πλήρωσης του πολυμερούς.
- Κινώντας τη θέση εγχύσεως πολυμερούς προς τον παχύτερο τομέα του αντικειμένου.
- Κινώντας τη θέση εγχύσεως πολυμερούς προς μια θέση που θα δημιουργήσει μεγαλύτερη πίεση στο σημείο που εμφανίζεται η υστέρηση. Είναι χρήσιμη η ύπαρξη ραβδώσεων και οδηγών στο τελευταίο σημείο της πλήρωσης, έτσι ώστε όλη η πίεση εγχύσεως να εφαρμόζεται σε αυτό το σημείο.
- Αυξάνοντας το πάχος των τοιχωμάτων εκεί που εμφανίστηκε η υστέρηση, για να μειωθεί η αντίσταση στη ροή.
- Χρησιμοποιώντας ένα υλικό με μικρότερο ιξώδες.

2.2.3 Υπερπλήρωση

Υπερπλήρωση είναι το φαινόμενο κατά το οποίο περισσότερο από όσο υλικό χρειάζεται συμπιέζεται σε μια διαδρομή ροής, ενώ οι άλλες διαδρομές συνεχίζουν την πλήρωσή τους. Η Υπερπλήρωση εμφανίζεται όταν οι ευκολότερες προς πλήρωση (κοντύτερες, παχύτερες) διαδρομές ροής γεμίσουν πρώτες. Όταν αυτές οι διαδρομές ροής γεμίσουν θα βρεθούν κάτω από συνεχόμενη πίεση αφού επιπλέον πλαστικό διοχετεύεται από τη θέση εγχύσεως μέσα στο καλούπι για να γεμίσει τα εναπομείναντα κενά. Αυτή η πίεση θα σπρώξει όλο και περισσότερο υλικό μέσα στον ήδη γεμάτο τομέα προκαλώντας αύξηση της πυκνότητας και μειωμένη συρρίκνωση από ότι σε άλλες περιοχές του αντικειμένου. Στη συνέχεια, ο υπερπληρωμένος τομέας θα παγώσει κάτω από αυτή την πίεση.

Το κύριο εργαλείο ανάλυσης, που χρησιμοποιείται στην πιστοποίηση της ύπαρξης υπερπλήρωσης, είναι το διάγραμμα του χρόνου πλήρωσης. Ο εντοπισμός της επιτυγχάνεται προβάλλοντας το τελικό διάγραμμα του χρόνου πλήρωσης και ψάχνοντας ποιες διαδρομές ροής δεν τελειώνουν σε σκούρο μπλε.

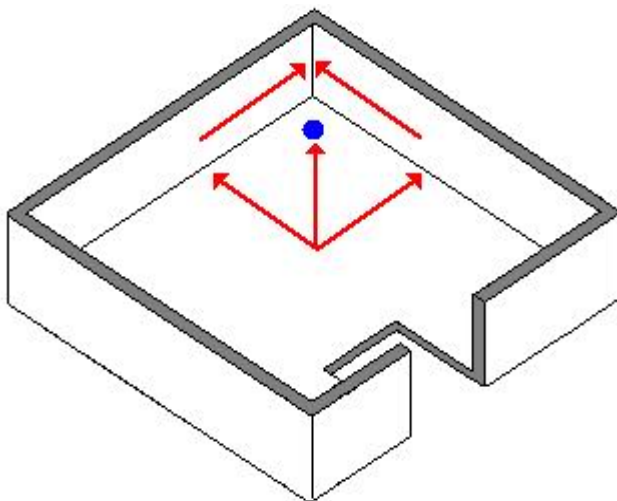


Εικόνα 2.11... Υπερπλήρωση πλαστικού

Στο παραπάνω διάγραμμα της εικόνας 2.11, η θέση εγχύσεως του πολυμερούς αναπαριστάται με τον γαλάζιο σωλήνα που καταλήγει σε κώνο και η ροή του πλαστικού με άσπρες γραμμές. Σημειώστε ότι οι διαδρομές ροής δεν είναι εξισορροπημένες και ως εκ τούτου θα εμφανιστεί υπερπλήρωση στην αριστερή πλευρά του αντικειμένου. Η υπερπλήρωση λαμβάνει χώρα γενικά στους τομείς με τον μικρότερο χρόνο πλήρωσης. Αποτέλεσμα της είναι η δημιουργία προβλημάτων όπως αυξημένο βάρος αντικειμένου και ανομοιόμορφη κατανομή της πυκνότητας στο αντικείμενο.

Για την επίλυση των προβλημάτων που προκαλούνται από την υπερπλήρωση, πρέπει να εξισορροπηθούν οι διαδρομές ροής με τους ακόλουθους τρόπους:

- Αυξομειώνοντας το πάχος τμημάτων του αντικειμένου που μπορούν να λειτουργήσουν ως οδηγοί ροής και ανακλαστήρες ροής.
- Τοποθετώντας τη θέση έγχυσης σε μια θέση η οποία θα καθορίσει ίδιου μήκους διαδρομές ροής.
- Χωρίζοντας το καλούπι σε φανταστικούς τομείς και χρησιμοποιώντας μια θέση έγχυσης για κάθε τομέα.
- Απομακρύνοντας αχρείαστες εισόδους έγχυσης.

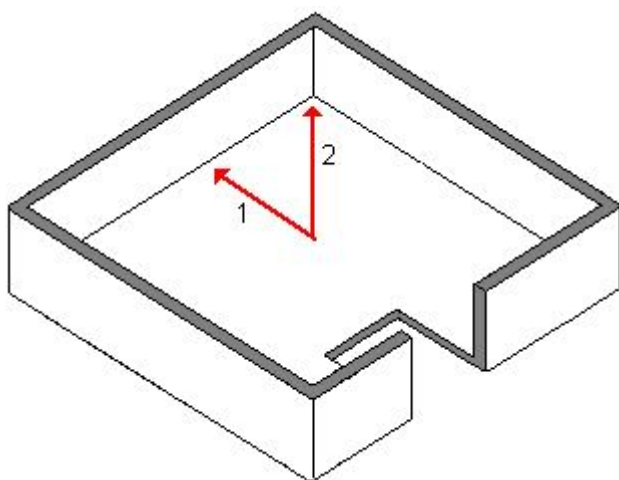


Εικόνα 2.12... Φαινόμενο του ιπποδρόμου

2.2.4 Το φαινόμενο του Ιπποδρόμου

Το φαινόμενο του ιπποδρόμου εμφανίζεται όταν οι διαδρομές του πλαστικού, που ρέει διαμέσου των χοντρών τομέων του καλουπιού, ανταγωνίζονται μεταξύ τους σε ταχύτητα πλήρωσης, ενώ την ίδια στιγμή τα λεπτότερα τμήματά του στερούνται υλικού πλήρωσης και αυτό γιατί τα χοντρά τμήματα προκαλούν λιγότερη αντίσταση στη ροή από ότι τα λεπτότερα. Το φαινόμενο του ιπποδρόμου δηλώνει ανισορροπία στις διαδρομές ροής και μπορεί να προκαλέσει περιττές γραμμές συγκόλλησης και φυσαλίδες αέρα. Η εικόνα 2.12 παρουσιάζει ένα αντικείμενο με χοντρό χείλος. Οι ροές του πλαστικού (κόκκινα βέλη) διαγωνίζονται γύρω από το άκρο παγιδεύοντας μία φυσαλίδα αέρα (μπλε κύκλος).

Η μεγάλη διαφορά στο πάχος των τοιχωμάτων ενός αντικειμένου μπορεί να προκαλέσει πολλά προβλήματα. Παρόλα αυτά στο προηγούμενο παράδειγμα το φαινόμενο του Ιπποδρόμου δεν είναι το πραγματικό πρόβλημα. Το αληθινό πρόβλημα είναι η ανισόρροπη ροή η οποία επιτρέπει την εμφάνιση του φαινομένου. Εάν το πλαστικό έφθανε στη παχιά άκρη από όλες τις κατευθύνσεις και στον ίδιο χρόνο το φαινόμενο του ιπποδρόμου δεν θα εμφανιζόταν.

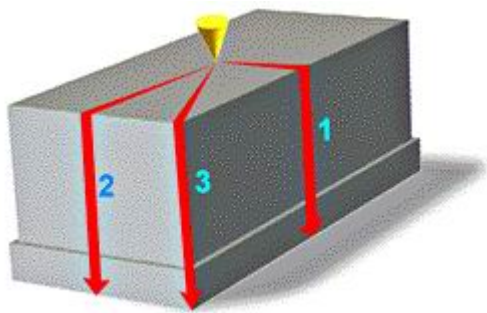


Εικόνα 2.13... Ανισόρροπη ροή και το φαινόμενο του υποδρόμου

Η διαδρομή ροής 1 της εικόνας 2.13 είναι κοντύτερη από την διαδρομή ροής 2. Παρόλα αυτά με μια μικρή αύξηση του πάχους στη διαδρομή 2 ή λεπταίνοντας τη διαδρομή 1 (βλέπε οδηγούς ροής και ανακλαστήρες ροής), το πλαστικό θα αναγκαζόταν να φθάσει στο παχύ χείλος από όλες τις κατευθύνσεις και στον ίδιο χρόνο, εξισορροπώντας έτσι τις ροές. Το παραπάνω παράδειγμα του φαινομένου του υποδρόμου σε ένα συμμετρικό αντικείμενο με παχύ χείλος είναι σχετικά απλό να επιλυθεί. Σε πιο πολύπλοκα αντικείμενα τα χοντρά τοιχώματα ίσως να χρειαστούν λέπτυνση, η θέση εισόδου του πολυμερούς ίσως να πρέπει να μεταβληθεί ή να χρησιμοποιηθούν πολλαπλές θέσεις εγχύσεως πολυμερούς.

2.2.5 Ανισόρροπη Ροή

Ανισόρροπη ροή είναι το φαινόμενο κατά το οποίο πλαστικό γεμίζει ορισμένες διαδρομές ροής στο καλούπι γρηγορότερα από κάποιες άλλες. Η ανισόρροπη ροή μπορεί να γίνει αιτία για πολλά προβλήματα μορφοποίησης όπως αστραπιαία ατμοποίηση, σημεία στα οποία δεν φθάνει υλικό, διαφορά πυκνότητας μέσα στο υλικό, στρέβλωση, φυσαλίδες και γραμμές σύνδεσης. Η ροή είναι ισορροπημένη όταν όλα τα άκρα του καλουπιού γεμίσουν στον ίδιο χρόνο. Για την αναγνώριση της ανισορροπίας στη ροή θα πρέπει να αναγνωριστούν οι διάφορες διαδρομές ροής στο καλούπι. Δηλαδή οι τροχιές που ακολουθεί το πλαστικό στο καλούπι. Το ακόλουθο αντικείμενο της εικόνας 2.14 περιέχει τρεις βασικές διαδρομές ροής (περιγράφονται από τα κόκκινα βέλη).



Εικόνα 2.14... Ανισόρροπη ροή

Κάθε διαδρομή ροής είναι διαφορετικού μήκους. Για αυτό, εάν το αντικείμενο έχει ομοιόμορφο πάχος, η διαδρομή ροής 1 θα γεμίσει πρώτη ακολουθούμενη από την διαδρομή 2 και τελικά από την διαδρομή 3.

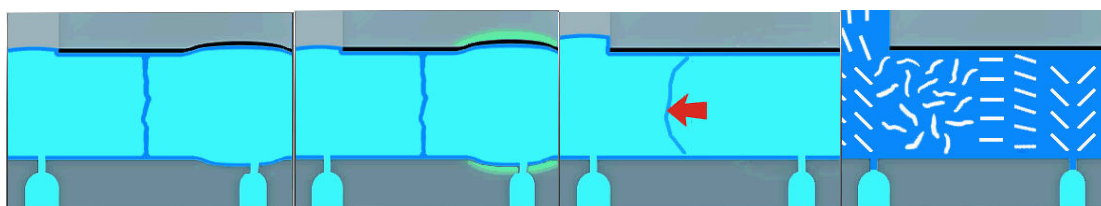
Μεταβάλλοντας το πάχος περιοχών μέσα στο αντικείμενο η ροή μπορεί να επιταχυνθεί ή να επιβραδυνθεί προς ορισμένες κατευθύνσεις, βοηθώντας έτσι στην εξισορρόπηση των ροών. Στο παραπάνω διάγραμμα η επίλυση του προβλήματος είναι η μείωση του πάχους της διαδρομής ροής 1 και η αύξηση του πάχους της διαδρομής 3. Σε άλλα παραδείγματα είναι απαραίτητη η εξέταση της θέσης ή των θέσεων εγχύσεως του πολυμερούς. Ως παράδειγμα, εάν επιλεγθεί μία θέση εισόδου που καθορίζει μερικές διαδρομές ροής τρεις και τέσσερις φορές μεγαλύτερες από το μήκος κάποιων άλλων, τότε είναι σχεδόν αδύνατο να εξισορροπηθούν οι ροές. Η εξισορρόπηση μπορεί να επιτευχθεί μετακινώντας την θέση εισόδου του πολυμερούς σε σημείο το οποίο καθορίζει ίδιου μήκους διαδρομές ροής. Ή εναλλακτικά, χωρίζοντας το καλούπι σε νοητά μικρότερα τμήματα που είναι εύκολο να επεξεργαστούν και χρησιμοποιώντας πολλαπλές θέσεις εγχύσεως πλαστικού, μια σε κάθε τμήμα.

Το κυριότερο αποτέλεσμα της ανάλυσης που βοηθάει στην πιστοποίηση της ανισόρροπης ροής είναι ο χρόνος πλήρωσης.

2.2.6 Υποροή

Υποροή είναι το φαινόμενο κατά το οποίο ένα μέτωπο ροής αναστρέφει κατεύθυνση. Η υποροή εμφανίζεται όταν δύο μέτωπα ροής, που έρχονται από διαφορετικές διευθύνσεις, συναντώνται, σταματούν στιγμιαία και το ένα από τα δύο αλλάζει διεύθυνση ροής προς τα πίσω, κινούμενο μέσα στα εξωτερικά ψυχρότερα στρώματα. Όταν η ροή αναστρέφει διεύθυνση το ψυχρό στρώμα ξαναλειώνει μερικά,

εξαιτίας της θερμότητας που αναπτύσσεται λόγω τριβής. Στην εικόνα 2.15 η είσοδος στο κέντρο έχει πολύ μικρότερο όγκο να γεμίσει σε σχέση με τις άλλες δύο. Όταν ο χώρος πλήρωσης της κεντρικής εισόδου γεμίσει, οι υπόλοιποι χώροι ακόμα δέχονται υλικό, συνεπώς το μέτωπο ροής της αριστερή εισόδου ασκεί μικρότερη πίεση από αυτό της κεντρικής. Έτσι, όταν τα δύο μέτωπα ροής συναντηθούν, το αριστερό μέτωπο αλλάζει διεύθυνση. Στο παρακάτω παράδειγμα το βέλος δείχνει τη διεύθυνση της υποροής. Η αναστροφή στο μέτωπο ροής μειώνει την ποιότητα του αντικειμένου τόσο από άποψη επιφανειακής εμφάνισης όσο και από δομικής κατασκευής.

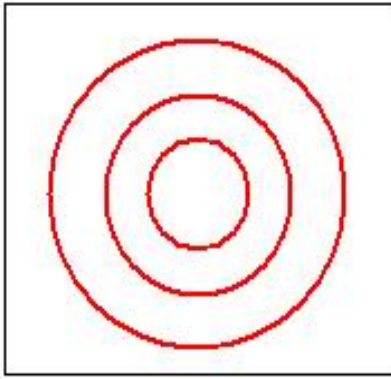


Εικόνα 2.15... Δημιουργία υποροής

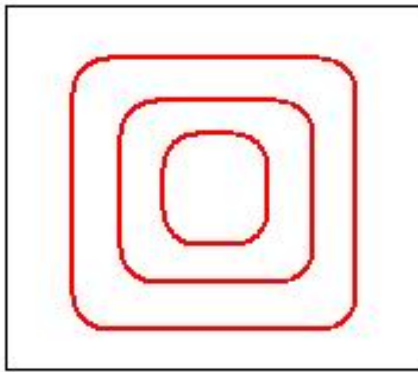
Ο μοναδικός τρόπος αντιμετώπισης του φαινομένου είναι να εξασφαλίσουμε ότι τα μέτωπα ροής θα συναντηθούν μόνο στο τέλος της πλήρωσης.

2.2.7 Μονής διεύθυνσης Ροή

Η μονής διεύθυνσης ροή λαμβάνει χώρα όταν το πλαστικό ρέει σε μία διεύθυνση με ίσιο μέτωπο ροής. Ένα απλό παράδειγμα για να καταδειχθεί αυτή η ροή είναι ένα τετράγωνο ομοιόμορφου πάχους με μια θέση εγχύσεως πολυμερούς στο κέντρο του, όπως στην εικόνα 2.16. Η εικόνα 2.16 δείχνει ότι ένα τέτοιο αντικείμενο θα είχε κυκλικό μέτωπο ροής. Το πρόβλημα με αυτό το μέτωπο ροής είναι ότι παράγει μοριακό προσανατολισμό πολλών διευθύνσεων, που από δομική άποψη είναι επιβλαβές για την ποιότητα του αντικειμένου.



Εικόνα 2.16... Διεύθυνση ροής σε αντικείμενο με ομοιόμορφο πάχος



Εικόνα 2.17... Διεύθυνση ροής σε αντικείμενο με ανομοιόμορφο πάχος

Στο παράδειγμα της εικόνας 2.17 το πάχος του αντικειμένου αυξάνεται σταδιακά από το κέντρο στις γωνίες του, μειώνοντας την αντίσταση ροής σε αυτή την κατεύθυνση. Το παραπάνω διάγραμμα μονής διεύθυνσης ροής δημιουργεί ένα ικανοποιητικό μοριακό προσανατολισμό.

Κατά την εξισορρόπηση των ροών πρέπει επίσης να βεβαιωθούμε ότι τα μέτρα που λαμβάνονται συμβάλουν και στη δημιουργία μοτίβου μονής διεύθυνσης ροής.

2.2.8 Έγχυση σε λεπτό τμήμα

Όταν επιλεγθεί ένα λεπτό τμήμα για τη θέση εγχύσεως πολυμερούς, τη στιγμή που υπάρχουν στο αντικείμενο παχύτερα τμήματα, τότε είναι πολύ πιθανό το λεπτό τμήμα να ψυχθεί πρώτο. Σε αυτή την περίπτωση δεν θα εφαρμοστεί πίεση στα λεπτότερα τμήματα καθώς θα ψύχονται, δημιουργώντας έτσι μειωμένη πυκνότητα υλικού στις συγκεκριμένες επιφάνειες. Σε ακραίες καταστάσεις το αντικείμενο λόγω μειωμένης αντοχής σε αυτές τις επιφάνειες μπορεί να σπάσει και να αχρηστευθεί.

Η Μειωμένη πυκνότητα μπορεί να οδηγήσει σε ανακοπή ροής, κοιλότητες, διαφορετικό βαθμό συρρίκνωσης και στρέβλωση. Οι κοιλότητες που δημιουργούνται στην επιφάνεια πλαστικών αντικειμένων είναι πολύ μικρές, παρόλα αυτά είναι ορατές, εξαιτίας του τρόπου που αντανακλούν το φως. Όλα τα πολυμερή συρρικνώνονται κατά τη διάρκεια της ψύξης. Αν ένα αντικείμενο συρρικνώνεται ομοιόμορφα προς όλες τις διευθύνσεις και σε όλα τα τμήματα του τότε δεν θα παραμορφωθεί.

Τρόποι αντιμετώπισης

- Μετακινώντας τη θέση εγχύσεως σε ένα άλλο σημείο του αντικειμένου, το οποίο δεν είναι τόσο λεπτό. Συνίσταται η έγχυση να γίνεται από παχύτερα τμήματα σε λεπτότερα
- Αυξάνοντας το πάχος των τοιχωμάτων γύρω από τη θέση εγχύσεως.

2.2.9 Υλικό που υπόκειται σε στρέβλωση (Material Subject to Warpage)

Όλα τα πολυμερή συρρικνώνονται καθώς ψύχονται, παρόλα αυτά αν το αντικείμενο συρρικνωθεί κατά διαφορετικό ποσοστό στα διάφορα τμήματά του τότε μπορεί κάλλιστα να στρεβλωθεί.

Τρόποι αντιμετώπισης

1. Μειώνοντας τη θερμοκρασία του καλουπιού.

Η συρρίκνωση και η στρέβλωση αυξάνεται καθώς η θερμοκρασία του καλουπιού αυξάνεται, γιατί η υψηλή θερμοκρασία χύτευσης μειώνει το βαθμό ψύξης του υλικού. Δηλαδή θα χρειαστεί περισσότερος χρόνος για να ψυχθεί το αντικείμενο, γεγονός που οδηγεί στην αύξηση της κρυσταλλικής συνοχής και αναλογίας.

2. Μειώνοντας το πάχος των τοιχωμάτων.

Η συρρίκνωση αυξάνει καθώς το πάχος των τοιχωμάτων αυξάνει. Το φαινόμενο αυτό είναι παρόμοιο με εκείνο που παρουσιάζεται με την μείωση της θερμοκρασίας χύτευσης. Καθώς το πάχος των τοιχωμάτων αυξάνεται το τμήμα αυτό χρειάζεται περισσότερο χρόνο για κρυώσει και να ψυχθεί. Αυτή η αργή ψύξη αυξάνει την κρυσταλλική συνοχή, επιδεινώνοντας την συρρίκνωση

και τη στρέβλωση. Επομένως, για την αποφυγή του φαινομένου, είναι χρήσιμη η λέπτυνση των τοιχωμάτων.

3. Επιλογή διαφορετικού υλικού.

Εάν η γεωμετρία του αντικειμένου είναι τέτοια που αυτό σίγουρα θα στρεβλωθεί, τότε η χρησιμοποίηση ενός ημικρυσταλικού υλικού θα επιδεινώσει το φαινόμενο. Ορισμένα υλικά έχουν από τη φύση τους υψηλότερο βαθμό συρρίκνωσης και ειδικότερα τα ημικρυσταλλικά υλικά έχουν υψηλότερο βαθμό συρρίκνωσης από τα άμορφα.

3. Αριθμητικές μέθοδοι προσομοίωσης και Παρουσίαση του τρόπου λειτουργίας του λογισμικού

3.1 Αριθμητικές μέθοδοι προσομοίωσης

Με τον όρο αριθμητικές ή υπολογιστικές μέθοδοι εννοούμε την αριθμητική επίλυση των καταστατικών εξισώσεων που διέπουν το πρόβλημα, για τις ίδιες οριακές συνθήκες του πραγματικού προβλήματος. Η αριθμητική επίλυση ενός προβλήματος προκύπτει διακριτοποιώντας τον όγκο αναφοράς του συστήματος σε μικρότερα τμήματα. Σε κάθε τμήμα υπολογίζονται αριθμητικά οι λύσεις στις ζητούμενες εξισώσεις. Ο συνδυασμός των μερικών λύσεων από τα τμήματα του συστήματος δίνει μια προσεγγιστική λύση στο πρόβλημα. Όποια διαδικασία ακολουθηθεί, συνήθως καταλήγει στην επίλυση ενός γραμμικού συστήματος εξισώσεων (σπανιότερα και μη γραμμικού), του οποίου το μέγεθος εξαρτάται από τον τρόπο διακριτοποίησης του αρχικού πεδίου και από τον επιθυμητό βαθμό ακρίβειας κατά την επίλυση του προβλήματος. Οι βασικές αριθμητικές μέθοδοι είναι:

- Η μέθοδος των πεπερασμένων διαφορών (Finite Difference Method, FDM)
- Η μέθοδος των συνοριακών στοιχείων (Boundary Element Method, BEM)
- Η μέθοδος των πεπερασμένων στοιχείων (Finite Element Method, FEM)

Η μέθοδος των πεπερασμένων διαφορών

Στη μέθοδο των πεπερασμένων διαφορών, ο υπό μελέτη χώρος διαιρείται σε ένα κάνναβο δομημένου πλέγματος, σχηματίζοντας κελιά του ίδιου ή διαφορετικού μεγέθους. Η διαφορική εξίσωση εκφράζεται με βάση την τιμή της συνάρτησης σε κάθε σημείο του πλέγματος, καθώς και τις παραγώγους της συνάρτησης γύρω από κάθε κόμβο του πλέγματος. Οι μέθοδοι των πεπερασμένων διαφορών διακρίνονται ανάλογα με τον τρόπο υπολογισμού των παραγώγων σε κάθε σημείο του πλέγματος (forward, backward, κ.λπ). Οι άγνωστες ποσότητες υπολογίζονται σε κάθε κόμβο του πλέγματος με την επίλυση του αντίστοιχου αλγεβρικού συστήματος εξισώσεων. Η συγκεκριμένη μέθοδος είναι δύσκολο να χρησιμοποιηθεί για πολύπλοκες γεωμετρίες και οριακές συνθήκες.

Η μέθοδος των συνοριακών συνθηκών

Στη μέθοδο των συνοριακών στοιχείων, το σύνορο κάθε ομοιογενούς περιοχής του υπό μελέτη χώρου (boundary) διαιρείται σε γραμμικά ή επιφανειακά στοιχεία για δισδιάστατα και τρισδιάστατα προβλήματα αντίστοιχα. Η μέθοδος εφαρμόζεται κυρίως για επίλυση προβλημάτων με γραμμική συμπεριφορά των υλικών. Σε μη γραμμικές περιπτώσεις πρέπει να γίνει επιπλέον διακριτοποίηση του χώρου, ενώ η εφαρμογή της είναι δύσκολη για διαφορετικά υλικά ή τύπους στοιχείων. Οι άγνωστες ποσότητες υπολογίζονται συνήθως στο κέντρο βάρους κάθε συνοριακού στοιχείου και στη συνέχεια με κατάλληλες σχέσεις υπολογίζονται στα εσωτερικά σημεία του μέσου.

Η μέθοδος των πεπερασμένων στοιχείων

Στη μέθοδο των πεπερασμένων στοιχείων (ΜΠΣ), ο υπό μελέτη χώρος (domain) διαιρείται σε επιμέρους τμήματα (πεπερασμένα στοιχεία). Το κάθε στοιχείο αποτελείται από κόμβους και σε αυτούς ζητείται ο υπολογισμός άγνωστων μεγεθών. Ο αριθμός των διαστάσεων των στοιχείων είναι συνήθως αντίστοιχος με τον αριθμό των διαστάσεων του υπό μελέτη χώρου. Για παράδειγμα η μελέτη μιας επιφάνειας γίνεται με δισδιάστατα στοιχεία. Υπάρχουν όμως και περιπτώσεις όπου η διάσταση του στοιχείου διαφέρει από τη διάσταση του χώρου, όπως για παράδειγμα όταν η μελέτη ενός τρισδιάστατου δικτυώματος γίνεται με μονοδιάστατα στοιχεία. Η συμπεριφορά του κάθε τμήματος περιγράφεται μέσα από διαφορικές εξισώσεις. Εξασφαλίζοντας τις απαιτήσεις συνέχειας και ισορροπίας μεταξύ των στοιχείων αυτών μπορεί να ληφθεί μια μοναδική λύση από το γραμμικό σύστημα των αλγεβρικών εξισώσεων που προκύπτουν. Η μέθοδος των πεπερασμένων στοιχείων ανήκει στις διαφορικές μεθόδους. Οι άγνωστες ποσότητες υπολογίζονται στους κόμβους του πλέγματος των πεπερασμένων στοιχείων και μέσω γραμμικών ή μη γραμμικών συναρτήσεων παρεμβολής υπολογίζονται στα υπόλοιπα σημεία του μέσου.

3.2 Παρουσίαση του λογισμικού Plastic Advisor

Για την μείωση του κόστους εγκατάστασης η Moldflow σε συνεργασία με την Parametric Technology Corporation σχεδίασε ένα λογισμικό μοντελοποίησης της διαδικασίας χύτευσης υπό πίεσης, που ονομάζεται ProPlastic Advisor. Με τη βοήθειά του αναλύεται η μορφοποίηση του αντικειμένου και βελτιώνεται ο σχεδιασμός του καλουπιού πριν την τελική δημιουργία του, αποφεύγοντας περιττά κόστη και αστοχίες. Η συγκεκριμένη έκδοση είναι υποδεέστερη του επίσημου εμπορικού προγράμματος της Moldflow, του Moldflow Plastic Advisor, χωρίς η διαφορά αυτή να το καθιστά λιγότερο χρήσιμο για την προσομοίωση χύτευσης πλαστικών.

Το Plastic Advisor επιτρέπει τη δημιουργία ενός προτύπου του πλαστικού κομματιού προς κατασκευή σε ένα πρόγραμμα CAD, και την εισαγωγή του στο Plastic Advisor. Κατόπιν πρέπει να εισαχθούν κάποιες πληροφορίες, συμπεριλαμβανομένου του τύπου του πολυμερούς και των θέσεων εγχύσεως. Άλλες παράμετροι, όπως η θερμοκρασία του υλικού και η πίεση, επιλέγονται αυτόματα σύμφωνα με τις ιδιότητες του υλικού, αλλά μπορούν να προσαρμοστούν κατά βούληση.

Αφότου έχει τελειώσει η ανάλυση, μπορεί να ελεγχθεί η ποιότητα της πλήρωσης (Confidence of Fill), η οποία εξαρτάται από τον χρόνο πλήρωσης (Fill Time), την πίεση εγχύσεως (Injection Pressure), την πτώση πίεσης (Pressure Drop)

και την κατανομή της θερμοκρασιακής ροής (Flow Front Temperature). Στην εικόνα 3.1 η πράσινη περιοχή έχει υψηλή εκτίμηση εμπιστοσύνης, η κίτρινη αντιστοιχεί σε μια μέση εκτίμηση εμπιστοσύνης, ενώ η κόκκινη αντιστοιχεί σε χαμηλή εκτίμηση εμπιστοσύνης.



Εικόνα 3.1... Εμπιστοσύνη της πλήρωσης

Παρέχεται η δυνατότητα βελτίωσης ενός μέσου ή χαμηλού αποτελέσματος μέσω της βοήθειας του Advisor. Εάν η εμπιστοσύνη του αποτελέσματος πλήρωσης δείχνει προβλήματα στην έκχυση, εξετάζοντας άλλα αποτελέσματα μπορεί να βρεθεί ο λόγος για τη χαμηλή ή μέση εμπιστοσύνη της πλήρωσης.

Εάν η εμπιστοσύνη του αποτελέσματος πλήρωσης παρουσιάζει οποιαδήποτε προβλήματα σχηματοποίησης, εξετάζοντας τα αποτελέσματα πίεσης και θερμοκρασίας μπορεί να προσδιοριστεί από που προέρχεται το πρόβλημα. Μετά από την εξέταση της εμπιστοσύνης της πλήρωσης, πρέπει να μελετηθούν οι παγίδες αέρα καθώς και οι γραμμές σύνδεσης για να βρεθούν άλλα πιθανά προβλήματα σχηματοποίησης.

Παρέχεται επίσης η δυνατότητα αναθεώρησης των παραμέτρων εισαγωγής και η προσπάθεια επίλυσης οποιονδήποτε προβλημάτων. Οι περιοχές στο μέρος που παρουσιάζουν χαμηλή ή μέση εμπιστοσύνη πλήρωσης ίσως πρέπει να επανασχεδιαστούν ή ένα νέο υλικό πρέπει να επιλεγεί για το αντικείμενο.

Ακρίβεια

Κατά την προβολή της ανάλυσης των παγίδων αέρα και γραμμών σύνδεσης, είναι χρήσιμη η παρακολούθηση της προσομοίωσης πλήρωσης, για την επιβεβαίωση της ύπαρξης αυτών των χαρακτηριστικών στοιχείων. Παραδείγματος χάριν, εάν μια γραμμή σύνδεσης παρουσιάζεται εκεί όπου τα μέτωπα ροής δεν συναντιούνται, τότε η γραμμή σύνδεσης πρέπει να μην ληφθεί υπόψη. Γενικά, η προτεινόμενη προσέγγιση είναι η εξέταση όλων των αποτελεσμάτων και ο έλεγχος για την ρεαλιστική απεικόνισή τους πριν οποιοσδήποτε αλλαγή στο μοντέλο.

Περαιτέρω ανάλυση

Εάν το πρότυπο χρειάζεται λεπτομερέστερη ανάλυση, μπορούμε να το σώσουμε ως αρχείο .mfl, το οποίο μπορεί να αναλυθεί από τα προϊόντα του προγράμματος Moldflow Plastics Insight όπως το MPI/FLOW, MPI/OPTIM ή MPI/COOL. Αυτές οι αναλύσεις παρέχουν περισσότερες λεπτομερείς πληροφορίες για το πώς το αντικείμενο μορφοποιείται.

Εάν θελήσουμε να διατηρήσουμε τη θέση εγχύσεως που επιλέξαμε στο Plastic Advisor, μπορούμε να την σώσουμε ως αρχείο .bf3, το οποίο το Moldflow Plastics Insight μπορεί επίσης να αναγνωρίσει.

3.2.1 Τρόπος λειτουργίας του προγράμματος

Το πρόγραμμα χρησιμοποιεί αλγορίθμους που παράγουν αυτόματα το πλέγμα των πεπερασμένων στοιχείων του αντικειμένου από το στερεό μοντέλο. Εκτός από

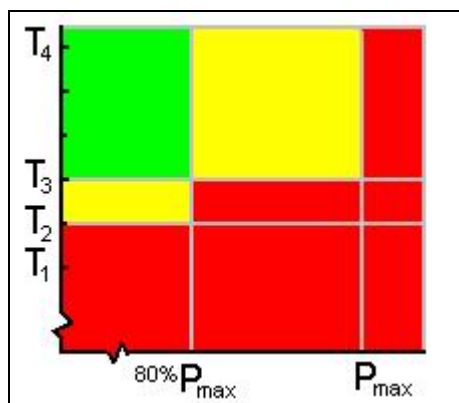
την δημιουργία του πλέγματος πεπερασμένων στοιχείων το πρόγραμμα εισαγάγει ταυτόχρονα επιπλέον στοιχεία για να εξασφαλίσει ότι το δημιουργούμενο καλούπι έχει λογική και φυσιολογική δομή. Αυτός ο τρόπος προσέγγισης ονομάζεται Τεχνολογία Διπλής Κατάστασης (**Dual Domain Technology**) γιατί εφαρμόζει την ανάλυση και στις δύο πλευρές των στοιχείων του αντικειμένου.

Πριν την εισαγωγή από την Moldflow αυτής της τεχνολογίας η ανάλυση γινόταν από ειδικούς με πολύ καλή γνώση των λογισμικών και της θεωρίας της χύτευσης υπό πίεση. Η εν λόγω τεχνολογία απλοποίησε αρκετά την όλη διαδικασία, έτσι ώστε να είναι δυνατή η ανάλυση ενός αντικειμένου στα αρχικά στάδια του σχεδιασμού, εξοικονομώντας χρόνο και χρήμα. Επιπροσθέτως, λόγω της πολυδιάστατης φύσης της ανάλυσης ενός αντικειμένου, κρίθηκε αναγκαία μια βελτιωμένη προσέγγιση στη δομή των αποτελεσμάτων της ανάλυσης. Για παράδειγμα η επιλογή του αριθμού των εισόδων εγχύσεως, η επιλογή του πολυμερούς και του πάχους των τοιχωμάτων έχουν άμεση σχέση με την πίεση που απαιτείται για την μορφοποίηση του αντικειμένου. Αυτή με τη σειρά της εξαρτάται από τη θερμοκρασία του υλικού, τις συνθήκες κατεργασίας, τη θέση των εισόδων και τη γεωμετρία του αντικειμένου.

Πιο συγκεκριμένα, δόθηκε μεγάλη έμφαση στην απλούστερη παρουσίαση των αποτελεσμάτων, εξαιτίας του ότι ο χρήστης μπορεί να είναι άπειρος στο σχεδιασμό και την ανάλυση πλαστικών κομματιών. Εκεί όπου παρουσιάζονταν μόνο το αποτέλεσμα της πτώσης της πίεσης και της θερμοκρασίας, τώρα ήρθε να προστεθεί μια καινούργια παρουσίαση, που προέκυψε από το συνδυασμό των δύο προηγούμενων. Η νέα προβολή ονομάστηκε **‘Εμπιστοσύνη της Πλήρωσης’** (**Confidence of Fill**) και καθιστά πολύ ευκολότερη την κατανόηση των αποτελεσμάτων της ανάλυσης απ’ ότι με την ταυτόχρονη παρακολούθηση της πτώσης της πίεσης και της θερμοκρασίας.

3.2.2 Πώς προκύπτει η αναφορά ‘Εμπιστοσύνη της πλήρωσης’

Η ανάλυση εμπιστοσύνης της πλήρωσης υπολογίζεται από τα αποτελέσματα ανάλυσης της θερμοκρασίας και της πίεσης. Σε περίπτωση που ένα αντικείμενο έχει κίτρινες και κόκκινες περιοχές στο αποτέλεσμα εμπιστοσύνης της πλήρωσης, τότε θα πρέπει να εξεταστούν προσεκτικά τα αποτελέσματα της ανάλυσης πίεσης και θερμοκρασίας για να εντοπιστεί το πρόβλημα. Η αλληλεπίδραση πίεσης και θερμοκρασίας παρουσιάζεται στο παρακάτω διάγραμμα της εικόνας 3.2.

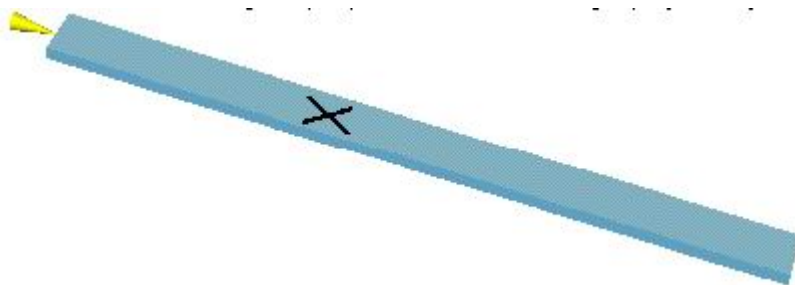


Εικόνα 3.2... Σχέση Θερμοκρασίας - πίεσης στην αναφορά "Έμπιστοσύνης της πλήρωσης"

Στην εικόνα 3.2 με T_1 συμβολίζεται η θερμοκρασία του ψυχθέντος πολυμερούς, ενώ με T_4 συμβολίζεται η θερμοκρασία του εγχεόμενου πολυμερούς. Οι θερμοκρασίες στο διάγραμμα ορίζονται χρησιμοποιώντας τις δύο ακραίες θερμοκρασίες του πολυμερούς T_1 , T_4 . Οι άλλες δύο θερμοκρασίες προκύπτουν από τη διαφορά των T_1 , T_4 . Αυτή η διαφορά χωρίζεται σε τέσσερα ίσα μέρη όπως φαίνεται στο διάγραμμα. Δηλαδή η T_2 είναι 20% υψηλότερη από την T_1 και η T_3 20% ψηλότερη από την T_2 . Πρέπει να τονίσουμε ότι οι άξονες δείχνουν αναλογία και όχι πραγματικές θερμοκρασίες ή πιέσεις, ενώ οι πέντε υποδιαιρέσεις του άξονα χρόνου είναι ίσες.

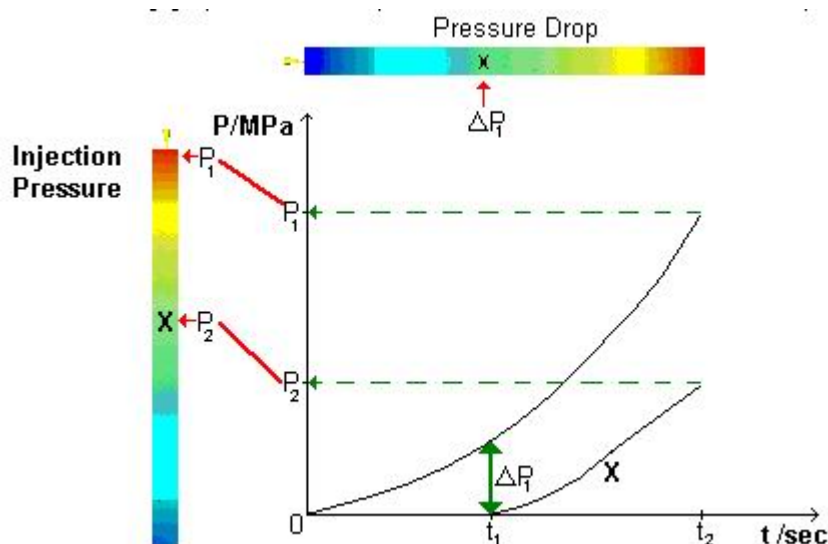
3.2.3 Παραγωγή της αναφοράς Αποτελεσμάτων της Πίεσης

Καθώς ένα αντικείμενο γεμίζει με πλαστικό, κάθε σημείο του θα έχει και μια χαρακτηριστική καμπύλη πίεσης. Αυτό σημαίνει ότι για κάθε σημείο του αντικείμενου μπορεί να σχεδιαστεί ένα γράφημα για να καταδειχθεί το πώς αλλάζει η πίεση σε αυτό το σημείο με τη πάροδο του χρόνου. Σκεφτείτε το αντικείμενο της εικόνας 3.3, που έχει μια μόνο θέση εγχύσεως πολυμερούς στην άκρη.



Εικόνα 3.3... Πολυμερές με μία θέση εγχύσεως

Το ακόλουθο γράφημα της εικόνας 3.4 δείχνει πώς μεταβάλλεται η πίεση στο χρόνο τόσο στη θέση εγχύσεως όσο και στο σημείο που προσδιορίζεται με το σύμβολο X.



Εικόνα 3.4... Διάγραμμα μεταβολής της πίεσης στη θέση εγχύσεως και σε ένα τυχαίο σημείο X

Το παραπάνω γράφημα προβάλλει το πώς υπολογίζει το Plastic Advisor τα αποτελέσματα. Το αποτέλεσμα Πίεσης Εγχύσεως φαίνεται στο τέλος της πλήρωσης (δηλαδή στο χρόνο t_2) και για κάθε σημείο του αντικειμένου. Η πίεση στο τέλος της πλήρωσης και στη θέση που είναι σημειωμένη με X είναι P_2 . Το αποτέλεσμα της πίεσης εγχύσεως σημειώνεται με έντονο χρώμα και μετριέται σε MPa.

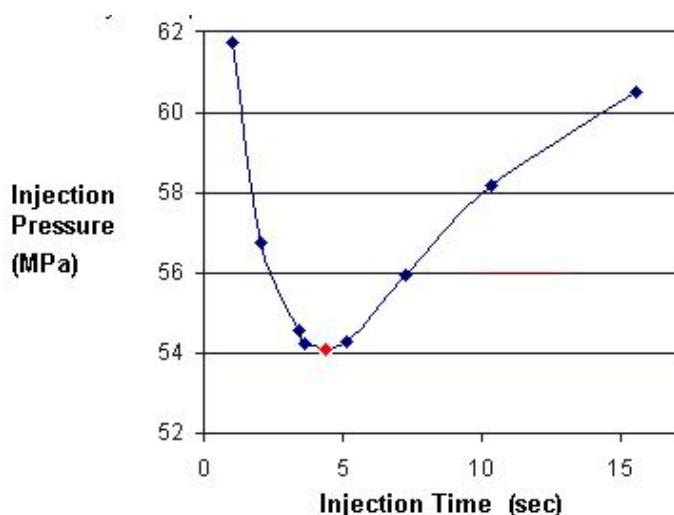
Το αποτέλεσμα πτώσης πίεσης μπορεί να διαβαστεί μετακινώντας το δρομέα στο αντίστοιχο σημείο του αντικειμένου. Η διαφορά πίεσης ΔP_1 μεταξύ του σημείου X και της θέσης εγχύσεως του πολυμερούς καθώς προχωράει η διαδικασία φαίνεται στο αποτέλεσμα πτώσης πίεσης. Η αριθμητική τιμή είναι υπογραμμισμένη με χρώμα και η πίεση είναι σε MPa. Όπως γίνεται αντιληπτό, η πτώση πίεσης στη θέση εγχύσεως είναι πάντα μηδέν.

3.2.4 Αυτόματος Χρόνος Πλήρωσης

Ο χρόνος πλήρωσης είναι ο χρόνος που χρειάζεται για να γεμίσει το καλούπι. Εκτελώντας την ανάλυση σε ένα αντικείμενο υπάρχει η δυνατότητα επιλογής μέσα από το πρόγραμμα έτσι ώστε αυτό να υπολογίζει αυτόματα το χρόνο πλήρωσης ή να ορίσουμε εμείς ένα συγκεκριμένο χρόνο για το τέλος της κατεργασίας. Το πρόγραμμα

έχει προεπιλεγμένη την επιλογή του αυτόματου χρόνου πλήρωσης. Εάν επιλεγθεί ο Αυτόματος Υπολογισμός Χρόνου Πλήρωσης (Auto Injection Time) στο παράθυρο Ορισμού Υλικών (Specify Materials dialog), το πρόγραμμα θα υπολογίσει το χρόνο πλήρωσης προκειμένου η πίεση εξώθησης του πλαστικού να είναι όσο το δυνατόν μικρότερη.

Το γράφημα της εικόνας 3.5 παρουσιάζει τα αποτελέσματα από εννέα αναλύσεις στο ίδιο αντικείμενο. Τα μπλε σημεία αναπαριστούν τις αναλύσεις για τις οποίες ορίστηκε συγκεκριμένος χρόνος πλήρωσης. Το κόκκινο σημείο δείχνει το αποτέλεσμα της ανάλυσης με επιλεγμένο τον Αυτόματο Υπολογισμό Χρόνου Πλήρωσης και δείχνει καθαρά τη χαμηλότερη πίεση εξώθησης για το συγκεκριμένο αντικείμενο.



Εικόνα 3.5... Διάγραμμα πίεσης εγχύσεως-χρόνου εγχύσεως

Η σχέση της πίεσης εξώθησης και του χρόνου πλήρωσης έχει δύο παραμέτρους. Αρχικά, καθώς ο χρόνος πλήρωσης αυξάνεται, η πίεση που απαιτείται για να εξαναγκάσει το λιωμένο πλαστικό να κινηθεί μέσα στο καλούπι μειώνεται. Δεύτερον καθώς ο χρόνος πλήρωσης αυξάνεται ένας άλλος παράγοντας επιδρά στην καμπύλη. Καθώς ο βαθμός ροής του λιωμένου πλαστικού μειώνεται, μειώνεται και η θερμοκρασία του. Αυτό συμβαίνει γιατί, όταν η ροή επιβραδύνεται, μειώνεται η θέρμανση λόγω τριβής. Η μείωση στη θερμοκρασία του πλαστικού αυξάνει επίσης το ιξώδες του, που με τη σειρά του μειώνει τη ρευστότητα του υλικού, απαιτώντας τελικά περισσότερη πίεση για την πλήρωση του αντικειμένου. Αναλύοντας ένα

αντικείμενο με επιλεγμένο τον Αυτόματο Χρόνο Πλήρωσης, το Plastic Advisor βρίσκει το χρόνο πλήρωσης που ελαχιστοποιεί την πίεση εξώθησης. Εάν επιλεχθεί συγκεκριμένος χρόνος πλήρωσης, η αναφορά των αποτελεσμάτων θα δίνει ένα πραγματικό χρόνο πλήρωσης ο οποίος είναι ελαφρά μεγαλύτερος. Ο επιπλέον χρόνος χρειάζεται για να υπολογιστεί η συμπιεστότητα του πλαστικού στο καλούπι.

3.2.5 Αποδεκτή γεωμετρία μοντέλου

Το λογισμικό του Plastic Advisor είναι αποτελεσματικότερο όταν η γεωμετρία του μοντέλου αποτελείται κατά κύριο λόγο από επίπεδες και λεπτές επιφάνειες. Κατά γενικό κανόνα, καλό είναι να αποφεύγονται τα μοντέλα που αποτελούνται από στερεούς κώνους, στερεούς κυλίνδρους, κ.λπ. Εντούτοις, δεν υπάρχει καμία ανάγκη να τροποποιηθεί ένα μοντέλο που περιέχει μερικά τέτοια χαρακτηριστικά γνωρίσματα, εφ' όσον δεν αποτελούν την πλειονότητα του μοντέλου.

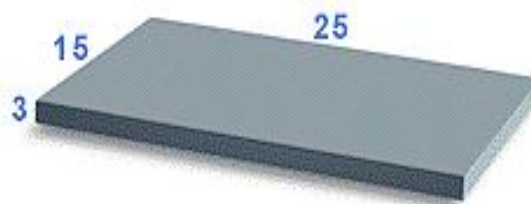
Το λογισμικό μιμείται την ροή πλαστικού του μοντέλου (που αντιπροσωπεύει την κοιλότητα του χυτού αντικειμένου) και υπολογίζει τις διάφορες παραμέτρους σε όλο το μοντέλο. Οι αλγόριθμοι που χρησιμοποιούνται είναι ακριβείς και αποτελεσματικοί μόνο εάν οι τοίχοι είναι λεπτοί. Ο ακριβής καθορισμός του πάχους εξαρτάται από το μέγεθος και τη μορφή του μοντέλου. Ο ακόλουθος γενικός κανόνας δίνει ικανοποιητικά αποτελέσματα:

1. Εξετάζοντας τον μέσο όρο του μήκους και του πλάτους μιας τοπικής περιοχής.

Στην εικόνα 3.6, ο μέσος όρος του 15 και του 25 είναι το 20.

2. Εξασφαλίζοντας ότι το πάχος είναι

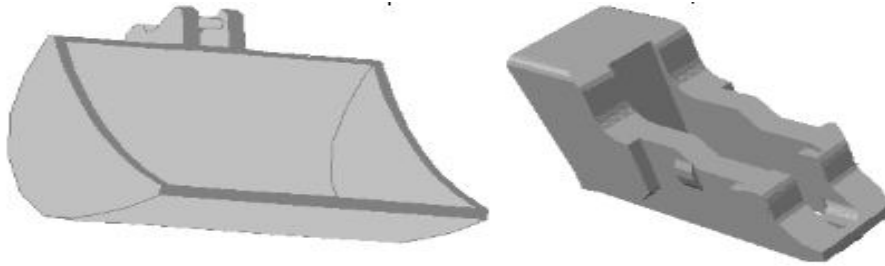
μικρότερο από το ένα τέταρτο αυτού του μέσου όρου. Έτσι στην ίδια εικόνα το 3 είναι μικρότερο από το ένα τέταρτο του 20 και το μοντέλο είναι αποδεκτό.



Εικόνα 3.6...Αποδεκτή Γεωμετρική αναλογία

Για τα πραγματικά αντικείμενα, είναι χρονοβόρα η εφαρμογή του ανωτέρω κανόνα σε κάθε τοίχωμα. Εντούτοις, είναι δυνατή η εξέταση ολόκληρου του μοντέλου για να αποφασιστεί ή όχι εάν είναι κατάλληλο να επεξεργαστεί μέσω του λογισμικού. Παραδείγματος χάριν, στην εικόνα 3.7 είναι προφανές ότι το μοντέλο

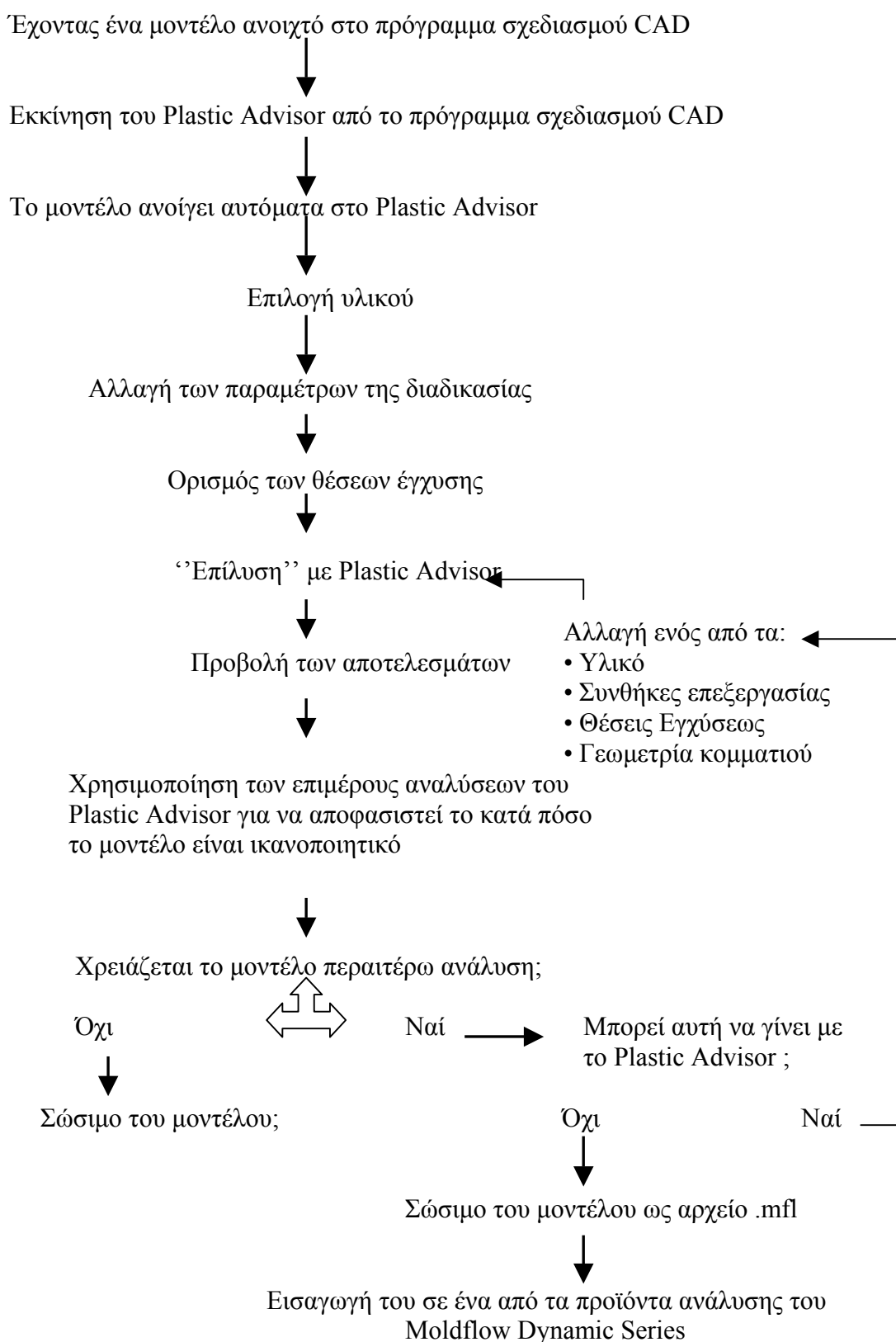
στα αριστερά έχει αποδεκτά πάχη τα τοιχωμάτων σε αντίθεση με το μοντέλο στα δεξιά.



Εικόνα 3.7... Γεωμετρική αναλογία αποδεκτού και μη μοντέλου

3.2.6 Σχεδιάγραμμα πραγματοποίησης μιας Ανάλυσης

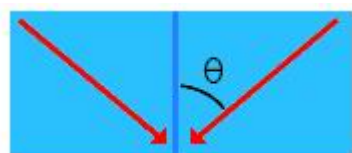
Το παρακάτω σχεδιάγραμμα παρουσιάζει την συνήθη σειρά με την οποία θα πρέπει να πραγματοποιείται μια ανάλυση στο Plastic Advisor.



3.3 Τα Αποτελέσματα της Ανάλυσης

3.3.1 Γραμμές Σύνδεσης

Το αποτέλεσμα αυτό της ανάλυσης δηλώνει την παρουσία και τη θέση γραμμών ένωσης λιωμένου υλικού στο αντικείμενο. Οι γραμμές αυτές εντοπίζονται σε περιοχές όπου συγκλίνουν δύο μέτωπα ροής και η παρουσία τους δηλώνει αδυναμία ή ελαττωματική παραμόρφωση του αντικειμένου.

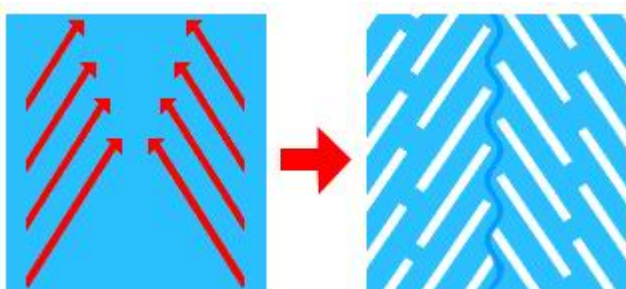


Εικόνα 3.8... Γωνίες σύγκλισης μετώπων ροής και δημιουργία γραμμών ένωσης (weld lines)

Ο όρος (weld line) γραμμές ένωσης σημαίνει ταυτόχρονα και γραμμές συγκόλλησης και γραμμές συγχώνευσης. Η διαφορά τους προσδιορίζεται απλώς από την γωνία με την οποία συναντώνται τα δύο μέτωπα ροής. Στην εικόνα 3.8 φαίνονται τα δύο μέτωπα ροής (δηλώνονται με κόκκινο χρώμα) που συναντώνται. Αν τώρα η γωνία θ είναι μικρότερη από 45° σχηματίζεται μια γραμμή συγχώνευσης, ενώ αν είναι μεγαλύτερη από 45° σχηματίζεται γραμμή συγκόλλησης.

Γραμμές Συγκόλλησης

Όταν σχηματίζεται μια γραμμή συγκόλλησης, τα λεπτά ψυχρότερα στρώματα των μετώπων ροής συναντώνται λιώνουν και τελικά ξανακρυνώνουν μαζί με το υπόλοιπο πολυμερές. Για αυτό ο προσανατολισμός του πλαστικού στη θέση συγκόλλησης είναι κάθετος στη διεύθυνση ροής. Η εικόνα 3.9 παρουσιάζει τη διατομή σε ένα αντικείμενο στο οποίο σχηματίζεται μια γραμμή συγκόλλησης.



Εικόνα 3.9... Δημιουργία γραμμών συγκόλλησης

Το κόκκινο χρώμα δείχνει ροή πλαστικού και το άσπρο τον προσανατολισμό των μορίων πλαστικού μετά το σχηματισμό της γραμμής συγχώνευσης. Οι γραμμές συγχώνευσης είναι συνήθως ισχυρότερες από τις γραμμές συγκόλλησης και λιγότερο ορατές.

Χρησιμοποιώντας τα αποτελέσματα της ανάλυσης.

Οι γραμμές συγκόλλησης και συγχώνευσης σε ένα πλαστικό αντικείμενο μπορούν να προκαλέσουν δομικά προβλήματα και να το καταστήσουν οπτικά μη αποδεκτό. Μπορεί να εμφανιστεί μια γραμμή, ρωγμή ή χρωματική αλλαγή στη συγκεκριμένη επιφάνεια). Γι αυτό η εμφάνισή τους είναι ανεπιθύμητη.(δημιουργούνται όταν το καλούπι έχει ανισόρροπες διαδρομές ροής). Αν δεν είναι δυνατή η αποφυγή δημιουργίας αυτών των γραμμών, θα πρέπει να τοποθετηθούν στη λιγότερο ευαίσθητη περιοχή του αντικειμένου. Ειδικότερα, καλύτερα να αποφεύγεται η δημιουργία τους σε περιοχές που θα υποστούν φόρτιση ή που πρέπει εμφανισιακά να είναι λείες. Αυτό επιτυγχάνεται αλλάζοντας τη θέση έγχυσης του πολυμερούς ή αυξομειώνοντας το πάχος των τοιχωμάτων, έτσι ώστε να αλλάξει ο χρόνος πλήρωσης. Όταν μεταβάλλεται ο χρόνος πλήρωσης τα μέτωπα ροής θα συναντηθούν σε διαφορετική θέση, άρα θα μετακινηθεί και η γραμμή ένωσης.

Για την ελάττωση της εμφάνισης γραμμών συγκόλλησης και συγχώνευσης θα πρέπει να:

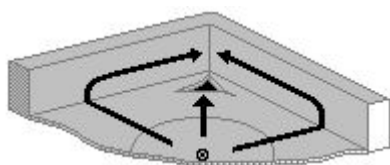
1. Εξετάσουμε τις περιοχές του αντικειμένου οι οποίες είναι ευαίσθητες σε φόρτιση και πρέπει να είναι λείες.
2. Προσδιορίσουμε την θέση των γραμμών συγχώνευσης και συγκόλλησης.
3. Βελτιώσουμε το σχέδιο, μετατοπίζοντας τις γραμμές σε μια αποδεκτή περιοχή (πιθανόν μετακινώντας την θέση εγχύσεως του πολυμερούς).

Οι συνθήκες κατεργασίας βοηθούν στον προσδιορισμό της ποιότητας της γραμμής συγκόλλησης ή συγχώνευσης που δημιουργήθηκε. Αποδεκτές γραμμές δημιουργούνται όταν η θερμοκρασία τήξης δεν είναι μικρότερη από 20° C της θερμοκρασίας έγχυσης. Συνεπώς, ένα μεγάλο μέρος της ευθύνης επαφίεται στον υπεύθυνο χύτευσης.

3.3.2 Παγίδες Αέρα

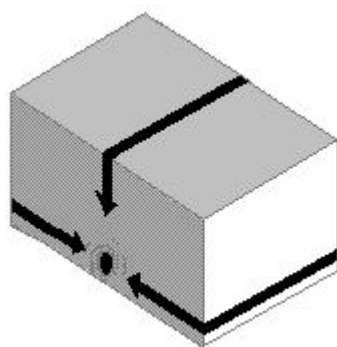
Η αναφορά των παγίδων αέρα υποδεικνύει τις περιοχές όπου το ρευστό σταματάει στη σύγκλιση δύο μετώπων ροής ή στο τελευταίο σημείο της πλήρωσης, εκεί όπου μια φυσαλίδα αέρα παγιδεύεται. Οι φωτισμένες περιοχές στην αναφορά είναι θέσεις πιθανών παγίδων αέρα.

Οι παγίδες αέρα εμφανίζονται όταν τα συγκλίνοντα μέτωπα ροής περικυκλώνουν και παγιδεύουν μια φυσαλίδα αέρα. Αυτό συνήθως συμβαίνει όταν υπάρχουν ανισόρροπες διαδρομές ροής. Το φαινόμενο του υποδρόμου μπορεί να αυξήσει τον ανταγωνισμό των μετώπων ροής μέσα στα λεπτά τοιχώματα, παγιδεύοντας μια ποσότητα αέρα. Στο ακόλουθο παράδειγμα της εικόνας 3.10, το πλαστικό ρέει γύρω από την λεπτή ακμή, παγιδεύοντας μια ποσότητα αέρα στη γωνία του αντικειμένου.



Εικόνα 3.10... Δημιουργία φυσαλίδας αέρα στην ακμή ενός αντικειμένου

Ένα άλλο πρόβλημα, που μπορεί να δημιουργήσει παγίδες αέρα, είναι η επιβράδυνση της ροής του πλαστικού όταν αυτό ρέει σε μια λεπτή διαδρομή. Στο ακόλουθο παράδειγμα της εικόνας 3.11, το ανώτατο τοίχωμα είναι λεπτό, επιβραδύνοντας τη ροή του πλαστικού κατά μήκος αυτής της διαδρομής, με αποτέλεσμα την παγίδευση μιας ποσότητας αέρα στο κέντρο του μπροστινού τοιχώματος.



Εικόνα 3.11... Δημιουργία φυσαλίδας αέρα λόγω ανισόρροπης ροής

Για την ύπαρξη ανισόρροπης ροής δεν είναι αναγκαία η εμφάνιση επιβράδυνσης της ροής ή του φαινομένου του υποδρόμου. Σε ένα αντικείμενο με

ομοιόμορφο πάχος, οι διαστάσεις του αντικειμένου και ιδιαίτερα το μήκος των διαδρομών ροής ευθύνονται πολύ συχνά για την εμφάνιση των παγίδων αέρα. Ακόμα και σε ένα αντικείμενο με εξισορροπημένες ροές μπορούν να εμφανιστούν παγίδες αέρα, λόγω ανεπαρκή εξαερισμού στο τέλος των διαδρομών ροής.

Οι παγίδες αέρα μπορούν να προκαλέσουν ατελή πλήρωση και φάσεις υπερπίεσης, που ευθύνονται για επιφανειακές ατέλειες στο τελικό αντικείμενο. Ο αέρας που έχει παγιδευτεί μπορεί να συμπιεστεί, να ζεσταθεί και να δημιουργήσει στάμπες.

Για την αποτροπή εμφάνισης παγίδων αέρα θα πρέπει να εξισορροπήσουμε τις διαδρομές ροής :

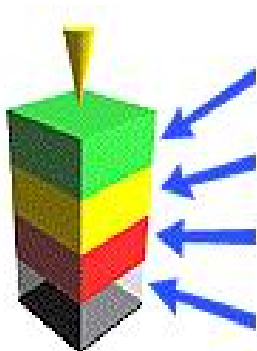
- Χρησιμοποιώντας οδηγούς ροής ή ανακλαστήρες ροής.
- Αλλάζοντας το πάχος των τοιχωμάτων.
- Αλλάζοντας τις θέσεις εγχύσεως του πολυμερούς.

Εάν οι παγίδες αέρα εξακολουθούν να υφίστανται, τότε πρέπει να τοποθετηθούν σε περιοχές όπου είναι εύκολος ο αερισμός τους ή εκεί όπου μπορούν να εισαχθούν βελόνες εξαγωγής έτσι ώστε ο αέρας να απομακρυνθεί.

3.3.3 Εμπιστοσύνη της πλήρωσης

Η αναφορά της ανάλυσης εμπιστοσύνης της πλήρωσης φανερώνει την πιθανότητα να γεμίσει μια περιοχή του καλουπιού με πλαστικό. Το αποτέλεσμα αυτό απορρέει από τα αποτελέσματα της πίεσης και της θερμοκρασίας.

Η κατάταξη γίνεται μέσω πολύχρωμης αναπαράστασης περιοχών του πλαστικού. Τα χρώματα που χρησιμοποιούνται στην αναφορά της εμπιστοσύνης της πλήρωσης παρουσιάζονται με την ακόλουθη σειρά και ερμηνεία.



Αυτή η περιοχή θα γεμίσει σίγουρα.

Αυτή η περιοχή ίσως παρουσιάσει προβλήματα στη πλήρωση ή πιθανότατα θα εμφανιστούν ποιοτικά προβλήματα.

Αυτή η περιοχή θα παρουσιάσει προβλήματα στη πλήρωση ή θα παρουσιάσει ποιοτικά προβλήματα.

Αυτό το τμήμα δεν θα πληρωθεί.

Εικόνα 3.12... Χρωματική απεικόνιση εμπιστοσύνης της πλήρωσης

Ο τρόπος με τον οποίο αυτά τα χρώματα χρησιμοποιούνται αναλύεται εκτενέστερα στον σχολιασμό της παραγωγής της **αναφοράς εμπιστοσύνης της πλήρωσης**. Εάν το καλούπι δεν γεμίσει, θα πρέπει να γίνουν αλλαγές στο σχέδιο, στην θέση έγχυσης, στην επιλογή του πλαστικού ή στις συνθήκες κατεργασίας. Παρόλα αυτά, για την εξασφάλιση της ποιότητας του αντικειμένου, το καλούπι πρέπει πληρωθεί επαρκώς με πλαστικό.

Χρησιμοποιώντας αυτές τις πληροφορίες το Plastic Advisor κατατάσσει τις επικίνδυνες περιοχές του αντικειμένου κλιμακωτά.

- **Ολόκληρο πράσινο** Το αντικείμενο χυτεύεται εύκολα και η ποιότητα του είναι αποδεκτή.
- **Λίγο κίτρινο** Το αντικείμενο ίσως χυτεύεται δύσκολα ή η ποιότητά του πιθανόν δεν είναι αποδεκτή. Καθώς το ποσοστό του κίτρινου αυξάνεται η δυσκολία χύτευσης του αντικειμένου αυξάνεται και παράλληλα μειώνεται η ποιότητα του αντικειμένου.
- **Λίγο κίτρινο και κόκκινο** Το αντικείμενο είναι πολύ δύσκολο να χυτευθεί ή η ποιότητά θα είναι μη αποδεκτή. Καθώς το ποσοστό του κίτρινου και κόκκινου αυξάνεται η δυσκολία χύτευσης του αντικειμένου αυξάνεται και παράλληλα μειώνεται η ποιότητα του αντικειμένου.
- **Ημιδιαφανές** Το αντικείμενο δεν μπορεί να χυτευθεί γιατί θα παρουσιαστεί κενό στη πλήρωση.

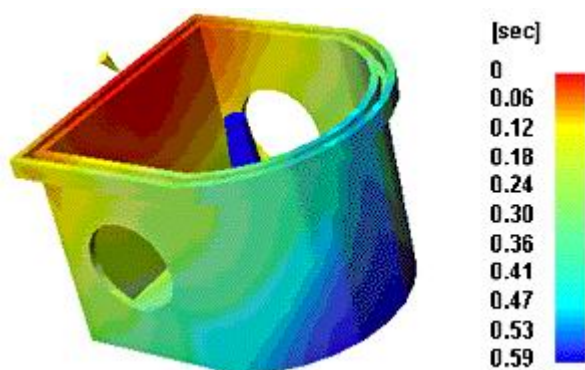
Μπορούμε να επιλέξουμε ποια επίπεδα της αναφοράς εμπιστοσύνης της πλήρωσης θα παρουσιάζει το πρόγραμμα χρησιμοποιώντας τον κατάλογο επιλογής (δεξί κλικ στο κυρίως παράθυρο).

3.3.4 Χρόνος πλήρωσης.

Αυτή η αναφορά παρουσιάζει τη διαδρομή ροής του πλαστικού μέσα στο καλούπι. Κάθε χρώμα αντιπροσωπεύει τα τμήματα του αντικειμένου που γεμίζουν στον ίδιο χρόνο. Μια ανολοκλήρωτη κατεργασία (ένα κομμάτι του αντικειμένου που δεν γεμίζει) θα παρουσιαστεί ως διαφανές.

Αναφορά χρόνου πλήρωσης

Στη συγκεκριμένη αναφορά χρησιμοποιείται μια ποικιλία χρωμάτων για να υποδειχθεί η πρώτη κατά σειρά περιοχή πλήρωσης (με κόκκινο χρώμα) μέχρι την τελευταία (μπλε χρώμα), όπως στην εικόνα 3.13.



Εικόνα 3.13... Χρωματική αναπαράσταση του χρόνου πλήρωσης

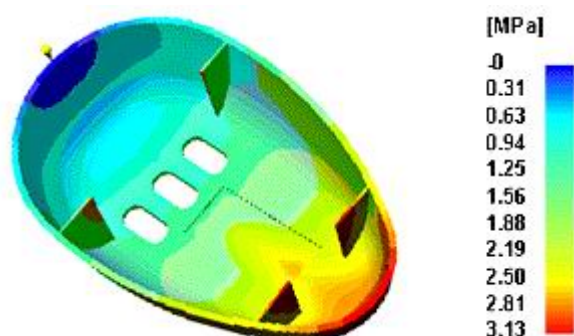
Η πρωταρχική χρήση της αναφοράς χρόνου πλήρωσης έγκειται στην εξέταση του αν όλες οι διαδρομές ροής γεμίζουν ταυτόχρονα. (εξισορροπημένα μονοπάτια ροής). Η αναφορά βοηθάει επίσης στην κατανόηση του πώς σχηματίζονται οι γραμμές συγκόλλησης και οι φυσαλίδες αέρα. Αρχικά προσδιορίζουμε τη θέση των γραμμών συγκόλλησης και των φυσαλίδων αέρα και στη συνέχεια προβάλλουμε την αναφορά χρόνου πλήρωσης. Έτσι μπορούμε να παρατηρήσουμε τα μέτωπα ροής που ενώνονται για το σχηματισμό γραμμών συγκόλλησης ή τα μέτωπα ροής που περικυκλώνουν μια περιοχή του καλουπιού, παγιδεύοντας μια ποσότητα αέρα. Για την παρατήρηση μόνο του μετώπου ροής μπορούμε να επιλέξουμε το Single Contour Tool, το οποίο μειώνει το εύρος των χρωματικών εναλλαγών που χρησιμοποιούνται

στην αναφορά του χρόνου πλήρωσης. Αρκετά προβλήματα που παρουσιάζονται κατά τη διάρκεια της πλήρωσης μπορούν να επιλυθούν, προβάλλοντας την αναφορά χρόνου πλήρωσης:

- Υστέρηση ροής
- Υπερπλήρωση
- Φαινόμενο του υποδρόμου
- Υποροή

3.3.5 Αναφορά ανάλυσης πτώσης της πίεσης

Το χρώμα σε κάθε τομέα του αντικειμένου αναπαριστά την πτώση πίεσης από τη θέση εγχύσεως μέχρι το συγκεκριμένο σημείο, τη χρονική στιγμή που γέμισε με πλαστικό. Η αναφορά πτώσης πίεσης χρησιμοποιεί ένα εύρος από χρώματα για να υποδείξει τις περιοχές με την υψηλότερη πτώση πίεσης (χρωματισμένες με κόκκινο) μέχρι τις περιοχές με τη χαμηλότερη πτώση πίεσης (χρωματισμένες μπλε), όπως στην εικόνα 3.14.



Εικόνα 3.14... Χρωματική αναπαράσταση της πτώσης πίεσης

Η πτώση πίεσης είναι ένας παράγοντας που χρησιμοποιείται για να εξαχθεί το αποτέλεσμα της εμπιστοσύνης της πλήρωσης. Εάν η πτώση της πίεσης είναι μεγαλύτερη του 80% της ισχύουσας πίεσης εγχύσεως, τότε η εμπιστοσύνη της πλήρωσης θα είναι πολύ υψηλή και θα χρωματίζεται με κίτρινο. Όταν η πτώση πίεσης φθάσει το 100% της ισχύουσας πίεσης εγχύσεως, τότε η εμπιστοσύνη της πλήρωσης θα κυμαίνεται σε μέτριο επίπεδο και θα χρωματίζεται με κόκκινο. Υπάρχουν ωστόσο ορισμένες μεταβλητές που προσφέρονται για την βελτίωση του αποτελέσματος:

- Αυξάνοντας την μέγιστη πίεση εγχύσεως.

- **Μεταβάλλοντας τη θέση εγχύσεως του πολυμερούς.**

Για να αυξηθεί η πιθανότητα σωστής πλήρωσης ενός αντικειμένου, μπορεί να μετακινηθούν οι θέσεις εγχύσεως πολυμερούς κοντά στην προβληματική περιοχή ή να προστεθούν επιπλέον θέσεις εγχύσεως.

- **Μεταβάλλοντας τη γεωμετρία του αντικειμένου.**

Εάν το αντικείμενο αποτελείται από πολύπλοκα και λεπτά τμήματα, τότε μπορεί να προκληθούν δυσκολίες στην πλήρωση η οποία θα απαιτεί τότε υψηλές πιέσεις για την περάτωσή της. Εάν η μεταβολή της πίεσης εγχύσεως δεν είναι εφικτή, τότε αντί αυτής πρέπει να αλλάξει η γεωμετρία του αντικειμένου.

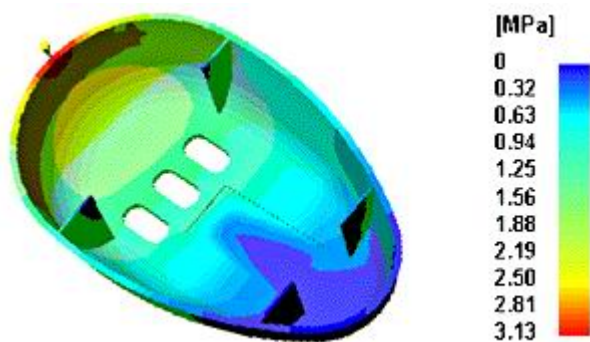
- **Διαλέγοντας διαφορετικό υλικό.**

Με την επιλογή διαφορετικού υλικού με υψηλότερο βαθμό ροής ως τήγμα, θα χρειαστεί χαμηλότερη θερμοκρασία για την πλήρωση του αντικειμένου.

Η εμπιστοσύνη της πλήρωσης προσδιορίζεται και από την πτώση της πίεσης και από τη θερμοκρασία του λυομένου πλαστικού. Για αυτό ίσως να χρειαστεί η μεταβολή και των δύο μεταβλητών της κατεργασίας, προκειμένου να επιτευχθεί ικανοποιητική εμπιστοσύνη της πλήρωσης.

3.3.6 Πίεση εγχύσεως

Το χρώμα σε κάθε τμήμα του αντικειμένου αναπαριστά την πίεση στο συγκεκριμένο σημείο κατά τη στιγμή της πλήρωσης του με πλαστικό. Η αναφορά είναι το φωτογραφικό στιγμιότυπο της πίεσης στο αντικείμενο μέχρι το τέλος της πλήρωσης. Η αναφορά πίεσης της έγχυσης χρησιμοποιεί ένα εύρος χρωμάτων για να καταδείξει τις περιοχές χαμηλής πίεσης (χρωματισμένες μπλε) μέχρι τις περιοχές υψηλής πίεσης (χρωματισμένες κόκκινες), όπως στην εικόνα 3.15.



Εικόνα 3.15... Χρωματική αναπαράσταση της πίεσης εγχύσεως

Η πίεση εγχύσεως μπορεί να χρησιμοποιηθεί παράλληλα με το αποτέλεσμα πτώσης της πίεσης. Για παράδειγμα, ακόμα και όταν ένα τμήμα του αντικειμένου έχει αποδεκτή πτώση πίεσης, η πραγματική πίεση εγχύσεως στην ίδια περιοχή μπορεί να είναι πολύ υψηλή. Το οποίο με τη σειρά του μπορεί να οδηγήσει σε υπερπλήρωση.

Παρόλα αυτά υπάρχουν ορισμένες επιλογές για τη βελτίωση του αποτελέσματος:

- **Για τη βελτίωση της εμπιστοσύνης της πλήρωσης, η πίεση εγχύσεως μπορεί να αυξηθεί.**
- **Μεταβάλλοντας τη θέση εγχύσεως του πολυμερούς.**

Για να αυξηθεί η πιθανότητα σωστής πλήρωσης ενός αντικειμένου, μπορεί να μετακινηθούν οι θέσεις εγχύσεως κοντά στην προβληματική περιοχή ή να προστεθούν επιπλέον θέσεις εγχύσεως.

- **Μεταβάλλοντας τη γεωμετρία του αντικειμένου.**

Εάν το αντικείμενο αποτελείται από πολύπλοκα και λεπτά τμήματα, τότε μπορεί να προκληθούν δυσκολίες στην πλήρωση η οποία θα απαιτεί τότε υψηλές πιέσεις για την περάτωσή της. Εάν η μεταβολή της πίεσης εγχύσεως δεν είναι εφικτή, τότε αντί αυτής πρέπει να αλλάξει η γεωμετρία του αντικειμένου.

- **Διαλέγοντας διαφορετικό υλικό.**

Με την επιλογή διαφορετικού υλικού με υψηλότερο βαθμό ροής ως τήγμα, θα χρειαστεί χαμηλότερη θερμοκρασία για την πλήρωση του αντικειμένου.

3.3.7 Θερμοκρασία Μετώπων Ροής

Τα χρώματα αναπαριστούν τη θερμοκρασία του υλικού σε κάθε σημείο κατά τη στιγμή της πλήρωσης. Το αποτέλεσμα δείχνει τις αλλαγές στη θερμοκρασία του μετώπου ροής κατά τη διάρκεια της πλήρωσης. Η αναφορά της θερμοκρασίας μετώπου ροής χρησιμοποιεί ένα εύρος χρωμάτων για να δηλώσει την περιοχή με τη χαμηλότερη θερμοκρασία (βαμμένη μπλε) μέχρι την περιοχή με την υψηλότερη θερμοκρασία (βαμμένη κόκκινη), όπως στην εικόνα 3.16.



Εικόνα 3.16... Χρωματική αναπαράσταση θερμοκρασιών μετώπου ροής

Εάν η θερμοκρασία του μετώπου ροής είναι πολύ χαμηλή σε μια λεπτή περιοχή του αντικειμένου, τότε μπορεί να εμφανιστεί παύση της ροής ή επιβράδυνσή ροής. Εάν η θερμοκρασία είναι πολύ χαμηλή σε μια περιοχή όπου υπάρχουν γραμμές συγκόλλησης τότε είναι πολύ πιθανό να επιδεινωθεί το πρόβλημα. Σε περιοχές που η θερμοκρασία του μετώπου ροής είναι υψηλή μπορεί να εμφανιστεί εκφυλισμός του υλικού και επιφανειακές αστοχίες ενώ η θερμοκρασία του μετώπου ροής θα πρέπει να είναι πάντα μέσα στο προτεινόμενο εύρος θερμοκρασιών για το πολυμερές που θα χρησιμοποιηθεί. Η θερμοκρασία του μετώπου ροής είναι ένας στοιχείο το οποίο βοηθάει στον προσδιορισμό του αποτελέσματος της Εμπιστοσύνης της Πλήρωσης. Χαμηλές θερμοκρασίες ροής θα προκαλέσουν κίτρινο ή κόκκινο αποτέλεσμα στην Εμπιστοσύνη της Πλήρωσης. Το τι μπορεί να γίνει εάν η εμπιστοσύνη της πλήρωσης είναι κίτρινη ή κόκκινη αναλύεται στη συνέχεια.

Υπάρχουν διαθέσιμες αρκετές επιλογές για την βελτίωση του αποτελέσματος. Κάθε αλλαγή θα έχει πολλαπλές επιδράσεις, για αυτό μετά από κάθε αλλαγή θα πρέπει να εκλεχθεί το αν έχουν προκληθεί άλλα προβλήματα. Η Εμπιστοσύνη της Πλήρωσης προσδιορίζεται τόσο από τη θερμοκρασία λυομένου υλικού όσο και από τη πίεση εγχύσεως. Πιθανόν να χρειαστεί η μεταβολή και των δύο αυτών μεταβλητών

της κατεργασίας προκειμένου να εξαχθεί ένα ικανοποιητικό αποτέλεσμα Εμπιστοσύνης της Πλήρωσης.

Χαμηλή Θερμοκρασία	Πιθανά Προβλήματα
1 Αυξήστε τη θερμοκρασία λυομένου υλικού.	Μπορεί να προκληθεί εκφυλισμός του υλικού. Κρατήστε τη θερμοκρασία μέσα στα προτεινόμενα όρια υλικού.
2 Αυξήστε τη θερμοκρασία του καλουπιού.	Μπορεί να αυξηθεί ο χρόνος περάτωσης της κατεργασίας
3 Μειώστε το χρόνο έγχυσης.	Μπορεί να αυξηθεί ο χρόνος περάτωσης της κατεργασίας
4 Αυξήστε το πάχος στην περιοχή προκειμένου να επιτραπεί η ροή.	Μπορεί να αναπτυχθούν μεγάλες δυνάμεις συνάφειας στην είσοδο, που οδηγούν σε εκφυλισμό του υλικού και επιφανειακά ελαττώματα.
5 Για την επιβράδυνση της ροής σε λεπτά εξογκώματα μειώστε ελαφρά τη γωνία του σχήματος.	Μπορεί να δημιουργηθεί λειτουργικό πρόβλημα στο σχέδιο.
6 Μετατοπίστε την είσοδο μακριά από τη περιοχή επιβράδυνσης του υλικού.	Μπορεί να δημιουργηθεί λειτουργικό πρόβλημα στο σχέδιο.
7 Επιλέξτε ένα υλικό με υψηλότερο ροή κατά την τήξη του.	Μπορεί να προκληθεί επιβράδυνση της ροής του υλικού ή άλλα προβλήματα κάπου στο αντικείμενο.
Υψηλή θερμοκρασία	Πιθανά Προβλήματα
1 Αυξήστε το πάχος του αντικειμένου για να μειωθεί η θερμότητα λόγω τριβής.	Μπορεί να δημιουργηθεί λειτουργικό πρόβλημα στο σχέδιο.
2 Αυξήστε το χρόνο έγχυσης.	

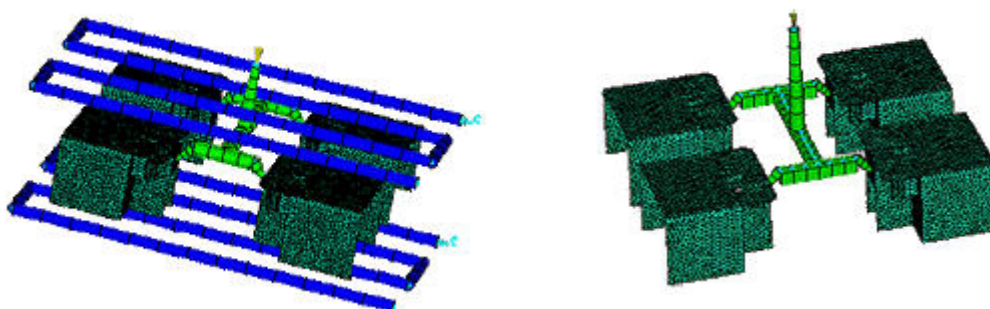
Πίνακας 3.1... Προβλήματα και προτεινόμενες λύσεις κατά τη χύτευση

3.4 Συνεργασία και συμβατότητα του Plastic Advisor με άλλα λογισμικά

3.4.1 Εξάγοντας τα αποτελέσματα στο Moldflow Plastic Insight (MPI)

Το Advisor προσφέρει χρήσιμες σχεδιαστικές συμβουλές και δίνει τη δυνατότητα προσδιορισμού της βέλτιστης θέσης εγχύσεως και του υλικού προς χρήση. Σε μερικές περιπτώσεις ωστόσο το πρόγραμμα δεν θα μπορέσει να επιλύσει όλα τα προβλήματα σχηματοποίησης. Στην περίπτωση που είναι αναγκαία μια περισσότερο λεπτομερής ανάλυση ενός αντικειμένου προς έγχυση, τότε μπορούμε να το εξαγάγουμε στο πρόγραμμα ανάλυσης Moldflow Plastic Insight (MPI).

Στο συγκεκριμένο λογισμικό δίνεται η δυνατότητα προσθήκης θέσεων εγχύσεως, καναλιών εγχύσεως υλικού και κυκλωμάτων ψύξης, προκειμένου να επιτευχθεί μια σε βάθος ανάλυση. Θα πρέπει το σχέδιο του αντικειμένου να σωθεί σε μορφή αρχείου .mfl, έτσι ώστε το πρόγραμμα MPI να μπορεί να το αναγνωρίσει. Μπορούμε επίσης να σώσουμε τις υπάρχουσες θέσεις εγχύσεως σε μορφή .bf3 που επίσης αναγνωρίζονται από το MPI. Δυστυχώς δεν υπάρχει η δυνατότητα μεταφοράς των ιδιοτήτων των υλικών.



Εικόνα 3.17... Χύτευση πολλαπλών αντικειμένων και κύκλωμα ψύξης στο MPI

3.4.2 Υποστηριζόμενες διαδικασίες χύτευσης υπό πίεση και διαφορετικών τύπων πλεγμάτων

Ο επόμενος πίνακας παρουσιάζει τις υποστηριζόμενες από το MPI αναλύσεις, για τις διάφορες διαδικασίες χύτευσης υπό πίεση, τα υλικά και τους τύπους πλεγμάτων.

Διαδικασία, Υλικό, Τύπος ανάλυσης	Τύπος πλέγματος		
Χύτευση υπό πίεση πλαστικών			
Fill	Midplane	Fusion	3D
Flow	Midplane	Fusion	3D
Cool	Midplane	Fusion	3D
Fiber	Midplane	Fusion	
Warp	Midplane	Fusion	3D
Stress	Midplane		
Shrink	Midplane	Fusion	
Process Optimization	Midplane	Fusion	
Design of Experiments	Midplane	Fusion	
Molding Window	Midplane	Fusion	
Gate Location	Midplane	Fusion	
Runner Balance	Midplane	Fusion	
Υπερπλήρωση πλαστικών			
Fill			3D
Flow			3D
Overmolding			3D
Χύτευση με υποβοήθηση υπό πίεση πλαστικών			
Flow	Midplane		
Cool	Midplane		
Fiber	Midplane		
Warp	Midplane		
Stress	Midplane		
Χύτευση με υποβοήθηση αερίου			
Flow	Midplane		
Cool	Midplane		
Fiber	Midplane		
Warp	Midplane		
Stress	Midplane		
Χύτευση υπό πίεση και συμπίεση του πλαστικού			
Flow	Midplane		

Cool	Midplane		
Fiber	Midplane		
Warp	Midplane		
Stress	Midplane		
Μικροκρυσταλλική συμπύκνωση			
Flow	Midplane	Fusion	3D
Wire Sweep	Midplane	Fusion	3D
Paddle Shift	Midplane	Fusion	3D
Runner Balance	Midplane	Fusion	
Χύτευση πλαστικών με αντίδραση			
Flow	Midplane	Fusion	3D
Runner Balance	Midplane	Fusion	
Multiple Injection Barrel Flow	Midplane		
RTM/SRIM			
Flow	Midplane	Fusion	
Runner Balance	Midplane	Fusion	
Ανεπαρκή συμπύκνωση			
Flow	Midplane	Fusion	3D

Πίνακας 3.2... Τύποι πλεγμάτων ανά διεργασία

Υπάρχει επίσης η δυνατότητα αλλαγής παραμέτρων της ανάλυσης όπως του είδους της μηχανής χύτευσης υπό πίεση και του υλικού από το οποίο είναι κατασκευασμένη η μήτρα

3.4.3 Διασύνδεση με άλλα συστήματα σχεδιομελέτης – MDL (Moldflow Design Link)

Το λογισμικό του Plastic Advisor χρησιμοποιεί ένα ενδιάμεσο πρόγραμμα για τη διασύνδεσή του με άλλα συστήματα σχεδιομελέτης. Το πρόγραμμα αυτό ονομάζεται MDL - Moldflow Design Link το οποίο δίνει τη δυνατότητα στο χρήστη της απ' ευθείας εισαγωγής δεδομένων από οποιοδήποτε σύστημα σχεδιομελέτης και το πλεονέκτημα της διαχείρισης των πρωτογενών δεδομένων από συστήματα βασισμένα σε πυρήνα στερεάς μοντελοποίησης Granite One από την PTC – Parametric Technology Corporation και Parasolid από την Unigraphics Solutions.

Το πρόγραμμα διατίθεται σε δύο εκδόσεις:

- MDL/Parasolid για την εισαγωγή αρχείων Parasolid, IGES και STEP
- MDL/Pro/Engineer για την εισαγωγή αρχείων Pro/Engineer, IGES και STEP

Δυνατότητες του λογισμικού διασύνδεσης

- Όταν το MDL χρησιμοποιείται με το Plastic Advisor, το στερεό μοντέλο μετατρέπεται αυτόματα σε αρχείο τύπου .mpa
- Όταν το MDL χρησιμοποιείται με το Moldflow plastic Insight- MPI, το στερεό μοντέλο μπορεί να μετατραπεί αυτόματα σε αρχείο πλέγματος τύπου MPI ή οι επιφάνειες μπορούν να εισαχθούν και να πλεγματοποιηθούν χειροκίνητα με το λογισμικό MPI/Synergy.
 - Η εισαχθείσα γεωμετρία αναπαρίσταται στο MPI/Synergy ως trimmed NURBS αποκομμένες επιφάνειες NURBS.
 - Αυτές οι επιφάνειες μπορούν να προβληθούν, ομαδοποιηθούν και να πλεγματοποιηθούν ανεξάρτητα.
 - Οι επιφάνειες NURBS υποστηρίζονται από τα συστήματα Parasolid, Pro/Engineer, IGES και STEP.
- Υποστήριξη αρχείων Parasolid και οποιουδήποτε συμβατού συστήματος σχεδιομελέτης όπως SolidWorks, Unigraphics, Solid Edge, IronCAD, SolidMAN, Solid Builder, VISI-CAD, MicroStation, True SolidMaster, ICAD, CAXA, Anvil Express και TopCad.
- Υποστήριξη αρχείων Pro/Engineer και πρωτογενών δεδομένων μοντέλου Pro/E.
- Υποστήριξη αρχείων STEP- STEP AP203 και μοντέλων STEP AP214 ClassII, ClassIII,IV,V καθώς και μοντέλων-συναρμολογήσεων ClassVI.
- Υποστήριξη αρχείων IGES με μια εκτεταμένη λίστα υποστηριζόμενων καμπυλών και στοιχείων στερεάς μοντελοποίησης.

3.5 Υποστηριζόμενα πολυμερή

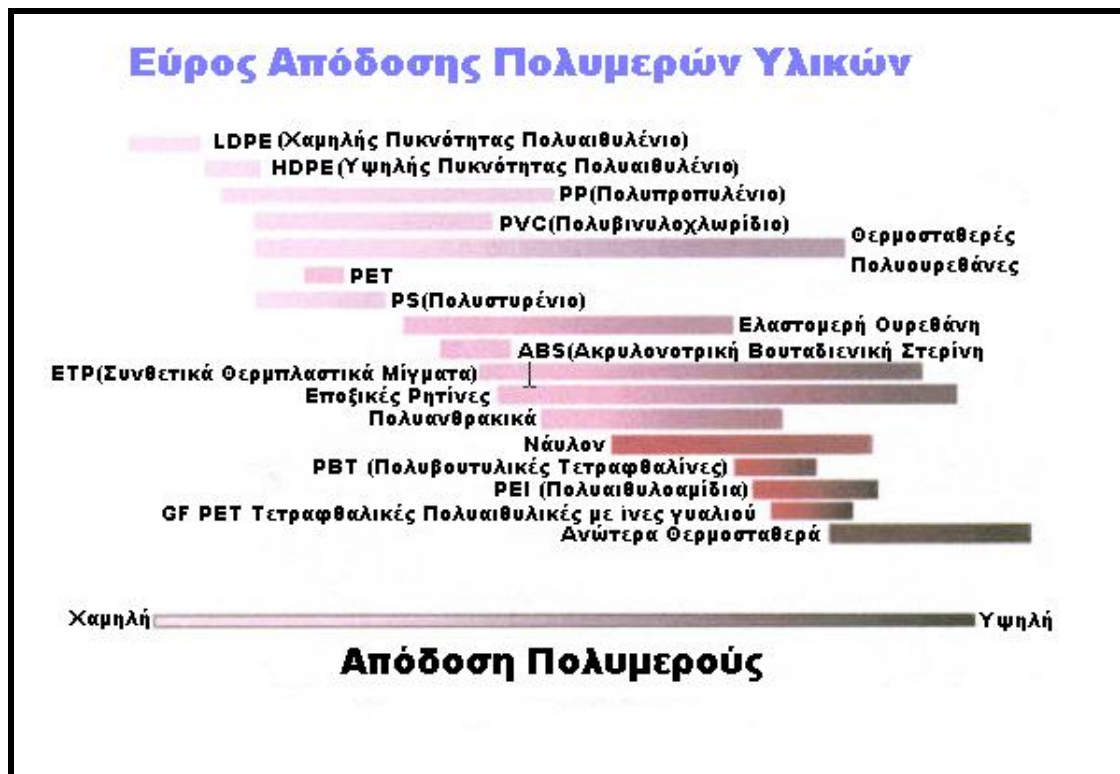
Το πρόγραμμα περιέχει μια βάση δεδομένων με στοιχεία για πάνω από 4000 πολυμερή. Υπάρχουν δύο τρόποι εντοπισμού ενός υλικού στη βάση. Μπορούμε:

- Να ορίσουμε το υλικό σύμφωνα με τον προμηθευτή και την εμπορική του ονομασία.
- Να ψάξουμε το υλικό σύμφωνα με τις ιδιότητές του.

Υπάρχει επίσης η δυνατότητα προσθήκης ενός υλικού στη βάση. Τώρα γιατί θα πρέπει να οριστεί το υλικό; Το Plastic Advisor δεν μπορεί να αναλύσει ένα αντικείμενο εάν δεν επιλεγθεί πρωτύτερα το υλικό εγχύσεως. Όταν το πρόγραμμα αναλύει ένα μοντέλο, προσομοιώνει τη ροή ενός λυομένου πολυμερούς μέσα στη κοιλότητα, χρησιμοποιώντας τις ιδιότητες του επιλεγμένου υλικού. Το αποτέλεσμα της ανάλυσης θα διέφερε αν το υλικό ήταν διαφορετικό.

Το πρόγραμμα προσδιορίζει αυτόματα τις συνθήκες μορφοποίησης, έτσι ώστε το μόνο που χρειάζεται είναι ο ορισμός της γεωμετρίας του μοντέλου, το πλαστικό υλικό και τη θέση εγχύσεως υλικού. Ο χρόνος της κατεργασίας επίσης, επιλέγεται αυτόματα. Το λογισμικό προσδιορίζει αυτόματα το χρόνο κατεργασίας που ελαχιστοποιεί την πίεση εγχύσεως και διατηρεί τη θερμοκρασία του μετώπου ροής μέχρι 10 βαθμούς Κελσίου κάτω από τη θερμοκρασία τήξης.

Στο ακόλουθο διάγραμμα της εικόνας 3.18 φαίνεται το εύρος απόδοσης κάθε κατηγορίας πολυμερών.



Εικόνα 3.18... Απόδοση πολυμερών υλικών σε χύτευση υπό πίεση

3.5.1 Παράδειγμα αρχείου ASCII

Στη συνέχεια περιγράφεται ένα αρχείο ASCII, το οποίο απαιτείται για να εισαχθούν οι ιδιότητες ενός υλικού στο Plastic Advisor. Παρατηρείστε τις επτά γραμμές που περιέχουν μια διπλή υπογράμμιση. Αυτή η δομή είναι απαραίτητη προκειμένου το αρχείο .asc να “διαβαστεί” από το Plastic Advisor.

Για να δημιουργήσουμε καινούργια αρχεία υλικών μπορούμε να αντιγράψουμε το παράδειγμα και να το συμπληρώσουμε με τις ιδιότητες του καινούργιου υλικού. Έτσι θα διατηρηθεί η σωστή δομή του αρχείου. Ειδικότερα:

- Θα πρέπει να χρησιμοποιηθεί το κατάλληλο κείμενο για τον προμηθευτή, την ονομασία και το αρχείο επικεφαλίδων. Ειδικότερα η ονομασία θα πρέπει να αρχίζει με ένα γράμμα του αλφαβήτου.
- Το ευρετήριο που μας δίνει πληροφορίες για την ροή μπορεί να σωθεί ως μάζα προς χρόνο ((g/10min (D1238)) ή φορτίο προς χρόνο (cu.cm/10min (iso1133)).

Για την εισαγωγή του αρχείου ιδιοτήτων ενός υλικού

- 1 Πατάμε **Adviser → Molding Parameters**.
- 2 Πατάμε το **Import Material**.
- 3 Πατάμε το κουμπί **Browse** και διαλέγουμε το αρχείο **.asc** προς εισαγωγή.
- 4 Πατάμε το κουμπί **Import Data**.

Supplier : SAMYANG
“Προμηθευτής”
 Grade : SY002
“Ονομασία”
 Header : PBT TRIBIT 1500GN30 30%GF SAM YANG VI(240)163 VMF JAN95
“Αρχείο Επικεφαλίδων”
 Conductivity 0.200000 W/m/degC
“Αγωγιμότητα”
 Specific_Heat 1447.000122 J/kg/degC
“Ειδική Θερμότητα”
 Melt_Density 1466.500000 kg/cu.m
“Πυκνότητα τήγματος”
 Ejection_Temperature 180.000000 deg.C
“Θερμοκρασία Εξαγωγής”
 No_Flow_Temperature 205.600006 deg.C
“Θερμοκρασία παύσης της ροής”
 Viscosity **“Ιξώδες”**

Temperature “Θερμοκρασία” deg.C	Shear_Rate 1/s	Viscosity “Ιξώδες” Pa.s
220.000	1000.000	283.399994
240.000	100.000	331.799957
240.000	1000.000	163.399979
240.000	10000.000	80.400002
260.000	100.000	176.100006
260.000	1000.000	94.199997

 Melt__Temperature_Minimum 245.000000 deg.C
“Ελάχιστη Θερμοκρασία τηγμένου πολυμερούς”
 Melt__Temperature_Maximum 285.000000 deg.C
“Μέγιστη Θερμοκρασία τηγμένου πολυμερούς”
 Melt__Temperature_Suggested 265.000000 deg.C
“Προτεινόμενη Θερμοκρασία τηγμένου πολυμερούς”
 Mold__Temperature_Minimum 60.000000 deg.C
“Ελάχιστη Θερμοκρασία καλουπιού”
 Mold__Temperature_Maximum 80.000000 deg.C
“Μέγιστη Θερμοκρασία καλουπιού”
 Mold__Temperature_Suggested 70.000000 deg.C
“Προτεινόμενη Θερμοκρασία καλουπιού”
 Melt__Temperature_Absolute_Maximum 305.000000 deg.C
“Απόλυτη Μέγιστη Θερμοκρασία τηγμένου πολυμερούς”
 Material_Family "PBT" **“Κατηγορία Πολυμερούς”**
 Melt_Flow_Rate "41 g/10min (D1238)" **“Ρυθμός ροής”**

 Fillers "Glass(30)"
 Trade_Name "Tribit 1500GN30" **“Εμπορική ονομασία”**
 Manufacturer "Sam Yang Company" **“Κατασκευαστής”**

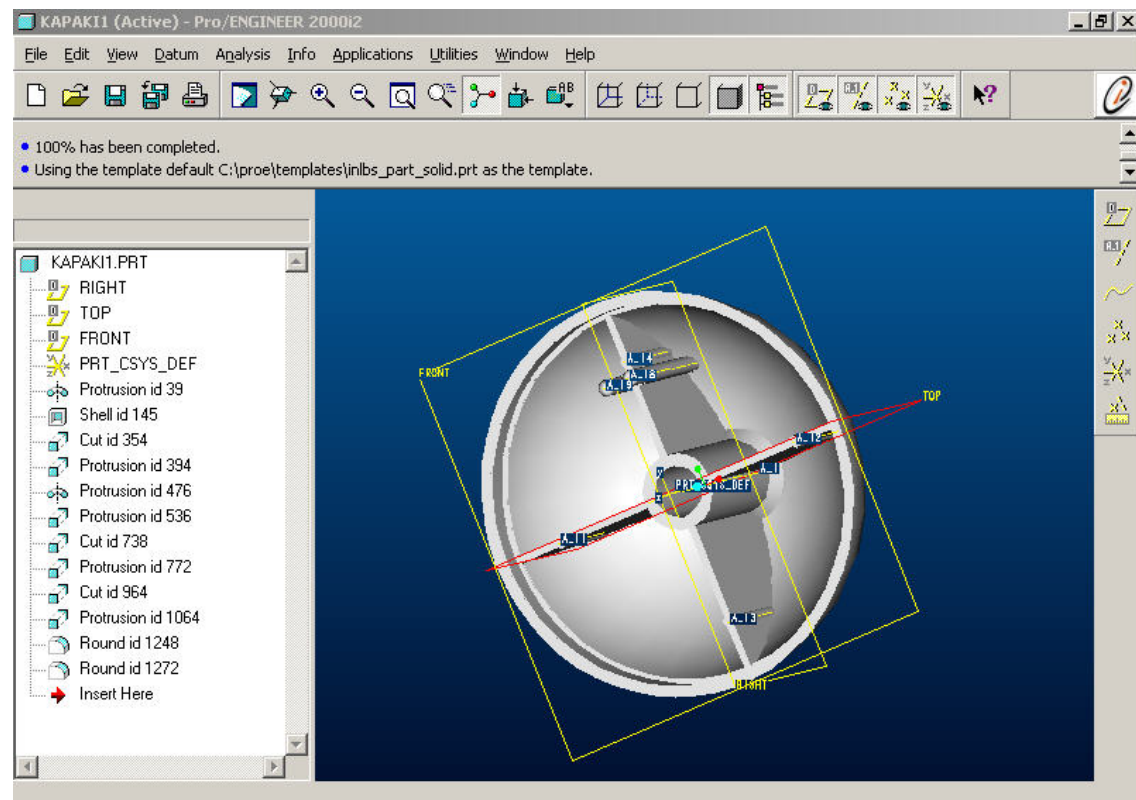
Πίνακας 3.3... Δομή αρχείου ASCII

4. Εφαρμογή και περιγραφή του Interface του λογισμικού

4.1 Προετοιμασία για την ανάλυση

4.1.1 Εισαγωγή της γεωμετρίας

Αρχικά σχεδιάστηκε στο Pro/Engineer το καπάκι ενός ελαιοραβδιστικού σε τρεις διαστάσεις. Στη συνέχεια για να το εισαγάγουμε στο πρόγραμμα ανάλυσης Plastic Advisor πατάμε **Applications→Plastic Advisor** όπου μας ζητείται η υπόδειξη της θέσης ή των θέσεων εγχύσεως. Παρακάμπτουμε αυτή την επιλογή με **done sel** και μεταφερόμαστε στο παράθυρο του προγράμματος **Plastic Advisor**.



Εικόνα 4.1... Το παράθυρο του Pro Engineer πριν την εισαγωγή του αντικειμένου στο Plastic advisor

4.1.2 Εργαλειοθήκη προσδιορισμού παραμέτρων της ανάλυσης

Μετά της εισαγωγή της γεωμετρίας στο Plastic Advisor θα πρέπει να ορίσουμε τις παραμέτρους της ανάλυσης, πριν θέσουμε σε λειτουργία τον επιλυτή του λογισμικού. Σε αυτό θα μας βοηθήσει η κύρια εργαλειοθήκη του προγράμματος, της οποίας οι λειτουργίες παρουσιάζονται παρακάτω.

Ορισμός παραμέτρων της μορφοποίησης.

Ορισμός θέσεων εγχύσεως.


Πραγματοποίηση της ανάλυσης.

Σταμάτημα της ανάλυσης

Παροχή συμβουλών για συγκεκριμένα σημεία.



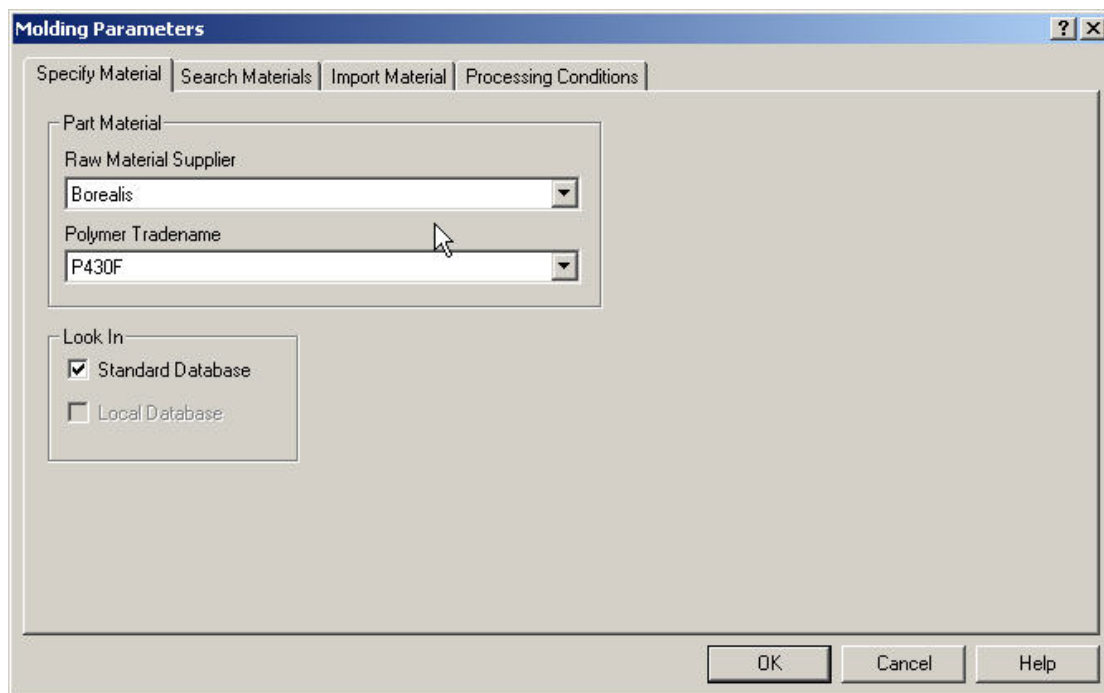
4.1.3 Θέση εγχύσεως και επιλογή πολυμερούς

Το πρώτο πράγμα που πρέπει να κάνει κάποιος είναι να ορίσει τη θέση εγχύσεως του πολυμερούς. Αυτό γίνεται με το κουμπί  και πατώντας στη συνέχεια πάνω σε ένα σημείο του αντικείμενου. Ακολούθως, πρέπει να επιλεγθεί ένα κατάλληλο πολυμερές από το οποίο θα αποτελείται το αντικείμενό μας. Όπως έχει προαναφερθεί, το πολυμερές αυτό μπορεί να επιλεγθεί από τη βάση δεδομένων του προγράμματος που αποτελείται από 4000 διαφορετικά πολυμερή ή εισάγοντας τα δεδομένα ενός άλλου πολυμερούς.

Η επιλογή αυτή γίνεται από το **Adviser → Molding Parameters...** απ' όπου ανοίγει το παράθυρο **Molding Parameters**. Σε αυτό μπορούμε να επιλέξουμε ανάμεσα σε τέσσερα διαφορετικά πεδία.

- Στο πρώτο ορίζουμε το πολυμερές βάση της εταιρείας παραγωγής και της εμπορικής του ονομασίας. Η επιλογή γίνεται από τη βάση δεδομένων του προγράμματος ή από την τοπική βάση δεδομένων που έχει δημιουργηθεί από τα δοθέντα πολυμερή και τις ιδιότητες τους.

- Στο δεύτερο πεδίο υπάρχει η δυνατότητα εντοπισμού του πολυμερούς, δίνοντας την οικογένεια πολυμερών στην οποία ανήκει, τον προμηθευτή, τον συντελεστή ροής και τη μορφή του πολυμερούς.
- Στο τρίτο πεδίο μπορούμε να ορίσουμε ένα αρχείο ascii, στη μορφή που έχουμε περιγράψει, το οποίο έχει τα δεδομένα του πολυμερούς που μας ενδιαφέρει.
- Στο τέταρτο πεδίο μπορούμε να αλλάξουμε τις ιδιότητες της μορφοποίησης, όπως τη θερμοκρασία του καλουπιού (σε βαθμούς Κελσίου), τη θερμοκρασία τήξης του υλικού (σε βαθμούς Κελσίου), τη μέγιστη πίεση εγχύσεως (σε MPa), καθώς και να επιλέξουμε ή όχι τον υπολογισμό του βέλτιστου χρόνου εγχύσεως. Αν απορρίψουμε την αυτόματη εύρεση του χρόνου εγχύσεως χρειάζεται να δώσουμε εμείς την τιμή του σε δευτερόλεπτα.



Εικόνα 4.2... Παράθυρο ορισμού του πολυμερούς σύμφωνα με την εμπορική του ονομασία και τον κατασκευαστή του

Match Criteria				
Polymer Family	Supplier	Melt Flow Rate	Type of Filler	% Filler
None	x	x	x	x %

Εικόνα 4.3... Παράθυρο εύρεσης του πολυμερούς σύμφωνα με την εμπορική του ονομασία τον προμηθευτή, το συντελεστή ροής ή τη μορφή του πολυμερούς

Specify Material	Search Materials	Import Material	Processing Conditions
Material Properties Mold Temp [20:60] deg.C: <input type="text" value="40"/> <input type="button" value="Default"/> Melt Temp [225:265] deg.C: <input type="text" value="245"/> <input type="button" value="Default"/>			
Maximum Injection Pressure Limit Default :[10:500] MPa: <input type="text" value="70"/> <input type="button" value="Default"/> Current :[10:500] MPa: <input type="text" value="70"/> <input type="button" value="Default"/>		Machine Injection Time <input type="checkbox"/> Auto injection time Time (sec) : <input type="text" value="0.1"/>	
		<input type="button" value="OK"/> <input type="button" value="Cancel"/> <input type="button" value="Help"/>	


Εικόνα 4.4... Παράθυρο εισαγωγής των παραμέτρων της χύτευσης

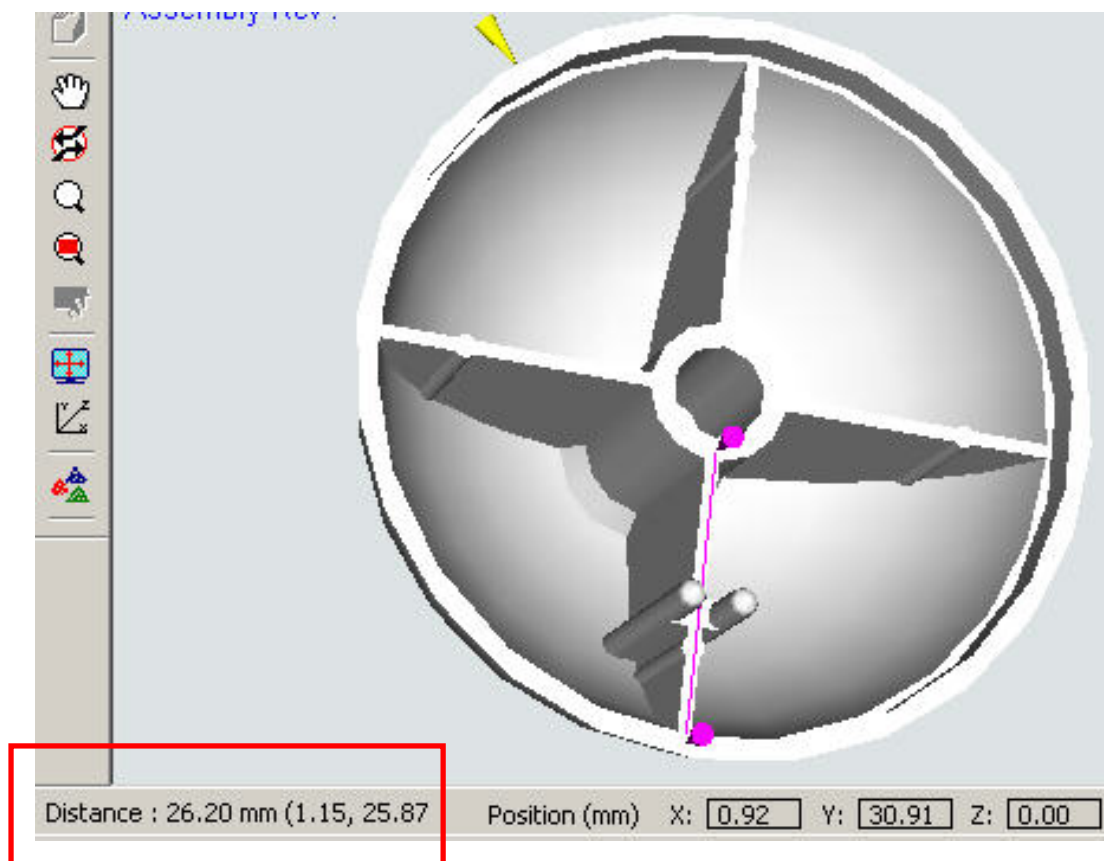
4.1.4 Επιλογές εμφάνισης του αντικειμένου

Μέσω της εργαλειοθήκης που υπάρχει στα πλάγια μπορούμε να επιτελέσουμε διάφορες ενέργειες όπως





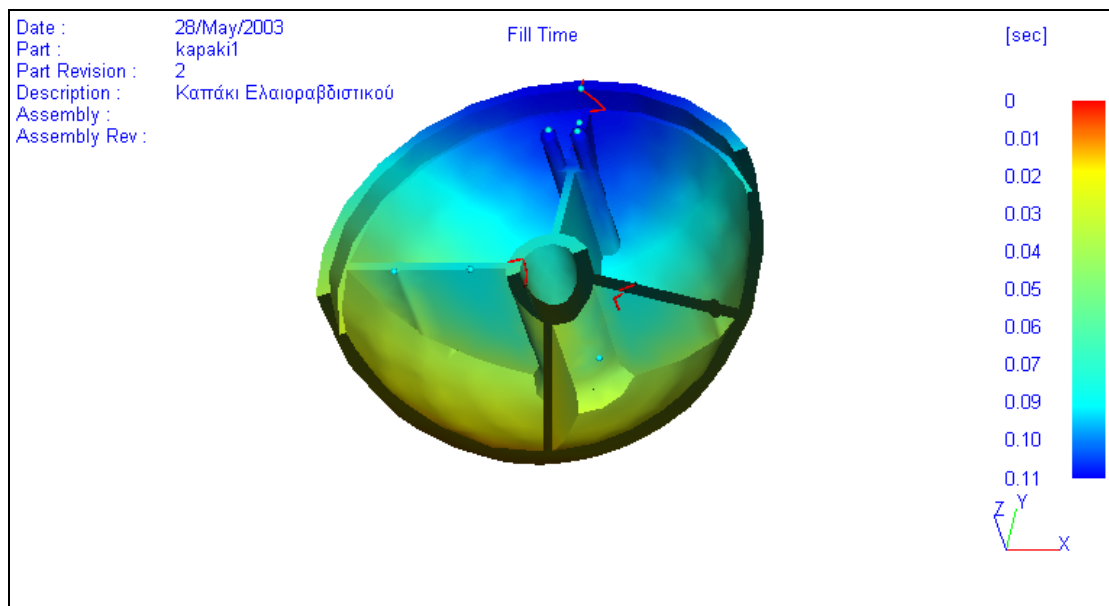
Πιο συγκεκριμένα, για τη μέτρηση μιας απόστασης πάνω στο αντικείμενο

πατάμε το εικονίδιο . Έτσι ενεργοποιείται η λειτουργία μέτρησης. Πατώντας πάνω στο αντικείμενο βλέπουμε τις συντεταγμένες του σημείου στη γραμμή κατάστασης. Κρατώντας πατημένο το κουμπί και σύροντας σε ένα άλλο σημείο βλέπουμε στη γραμμή κατάστασης την απόσταση από το πρώτο σημείο και τις συντεταγμένες του.



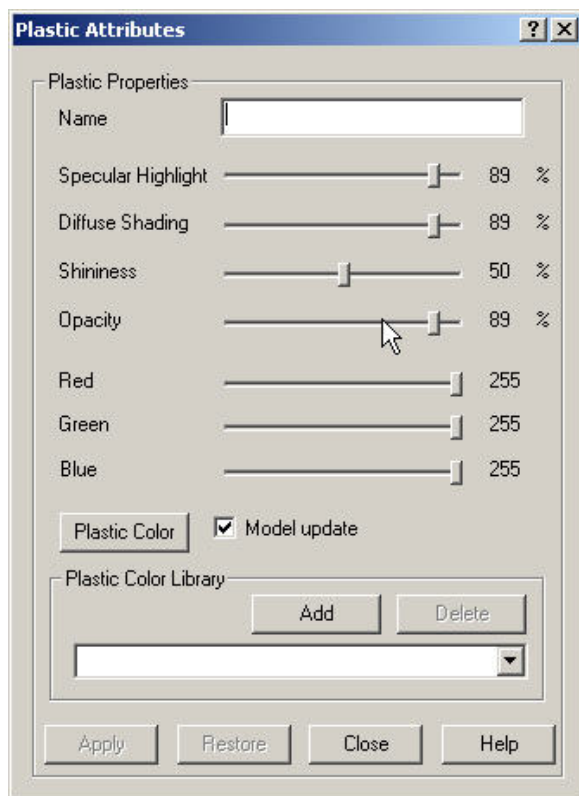
Εικόνα 4.5... Μέτρηση απόστασης στο Plastic Advisor

Έχοντας ενεργοποιημένο το επίπεδο αποκοπής  πατάμε το κουμπί μετακίνησης του επιπέδου αποκοπής . Μετακινώντας κάθετα το δείκτη μπορούμε να αλλάξουμε το επίπεδο αποκοπής (βρίσκεται κάθετα στην οθόνη και ‘κόβει’ το αντικείμενο ώστε να μπορούμε να δούμε εσωτερικές περιοχές του).



Εικόνα 4.6... Το αντικείμενο σε “αποκομμένη” προβολή

Παράθυρο Ιδιοτήτων Πλαστικού



Εικόνα 4.7... Παράθυρο ορισμού της εμφάνισης του αντικειμένου



Με την εντολή **Display → Plastic Attributes** εμφανίζεται το παράθυρο της εικόνας 4.7, όπου και εισαγάγουμε τις παραμέτρους εμφάνισης του αντικειμένου. Αυτό το παράθυρο ρυθμίζει την εμφάνιση του αντικειμένου στο Plastic Advisor

Μέσω αυτού μπορεί να αλλαχθεί το όνομα, το χρώμα, ο κατοπτρικός φωτισμός, η διάχυση, η φωτοσκίαση, η λαμπρότητα και η αδιαφάνεια και στη συνέχεια η εφαρμογή των αλλαγών στο προβαλλόμενο αντικείμενο. Μπορεί κάποιος να σώσει τις αλλαγές αυτές στην βιβλιοθήκη χρωμάτων του προγράμματος Plastic Color Library για τη χρήση τους σε άλλα μοντέλα αντικειμένων.

Βιβλιοθήκη χρωμάτων πλαστικού

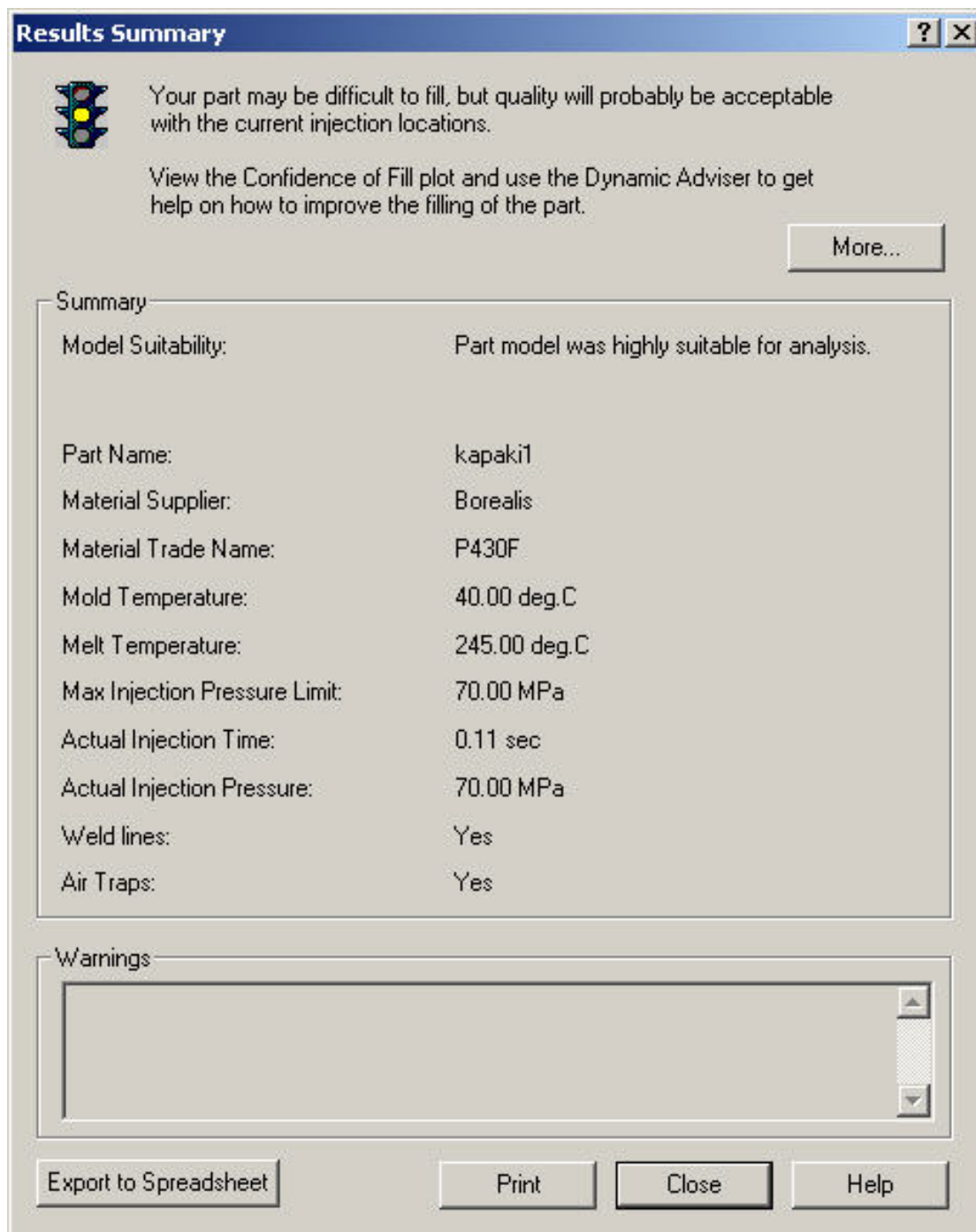
Για το σώσιμο ιδιοτήτων του πλαστικού στη βάση δεδομένων του προγράμματος πατάμε **Add**, ενώ για την εισαγωγή τους σε άλλο αντικείμενο επιλέγουμε από την πτυσσόμενη λίστα.

4.2 Προβολή των αποτελεσμάτων

4.2.1 Παράθυρο Σύνοψης των αποτελεσμάτων

Μετά το τέλος της ανάλυσης του αντικειμένου εμφανίζεται η σύνοψη των αποτελεσμάτων, όπου στο πάνω μέρος προβάλλονται με χρωματική εναλλαγή η ικανότητα πλήρωσης του αντικειμένου και η περίληψη του αποτελέσματος. Λίγο πιο κάτω αναφέρονται λεπτομέρειες όπως το όνομα του αντικειμένου, ο προμηθευτής του υλικού, η εμπορική του ονομασία του πολυμερούς, οι θερμοκρασίες εγχύσεως, ο χρόνος εγχύσεως, η πίεση εγχύσεως, η ύπαρξη γραμμών σύνδεσης, η ύπαρξη φυσαλίδων αέρα, καθώς και προειδοποιήσεις (αν υπάρχουν).

Τέλος υπάρχει η δυνατότητα εξαγωγής των δεδομένων της ανάλυσης σε κάποιο λογιστικό φύλλο όπως το Excel.

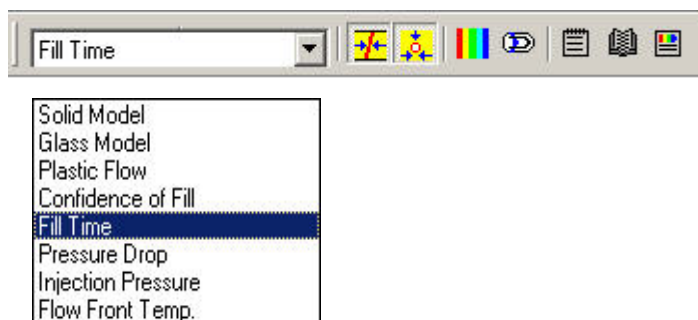



Εικόνα 4.8... Σύνοψη των αποτελεσμάτων της ανάλυσης


4.2.2 Εργαλειοθήκη αποτελεσμάτων


Η εργαλειοθήκη αποτελεσμάτων (Results) εμφανίζεται από το **View→Toolbars→Results** και δίνει τη δυνατότητα εμφάνισης της γραφικής αναπαράστασης: του στερεού, του μοντέλου από γυαλί, της ροής του πλαστικού, της

εμπιστοσύνης της πλήρωσης, του χρόνου πλήρωσης, της πτώσης της πίεσης, της πίεσης εγχύσεως και της θερμοκρασίας του μετώπου ροής.



Το κουμπί  παρουσιάζει τις γραμμές σύνδεσης.

Το κουμπί  παρουσιάζει τις εγκλωβισμένες φυσαλίδες.

Το κουμπί  παρουσιάζει το αντικείμενο με όσο το δυνατόν λιγότερες χρωματικές εναλλαγές.

Το κουμπί  παρουσιάζει το αντικείμενο με μια χρωματική εναλλαγή

Το κουμπί  ανοίγει το παράθυρο εισαγωγής σημειώσεων.

Το κουμπί  ανοίγει το παράθυρο αναφοράς της σύνοψης.

Το κουμπί  ανοίγει το παράθυρο δημιουργίας της αναφοράς

4.2.3 Αναφορά των αποτελεσμάτων

Ειδικά για την αναφορά των αποτελεσμάτων υπάρχει ειδική φόρμα, στην οποία επιλέγουμε τα τμήματα των αποτελεσμάτων που θέλουμε να περιλαμβάνονται σε αυτή. Η αναφορά δημιουργείται σε HTML και προβάλλεται στον Internet Explorer ή στον φυλλομετρητή (Browser) της επιλογής μας.

Συγκεκριμένα δίνεται η δυνατότητα εισαγωγής επικεφαλίδας της αναφοράς, το όνομα του δημιουργού και επικεφαλίδα του δημιουργού. Υπάρχουν προεπιλεγμένα όλα τα στοιχεία και οι προβολές που αποτελούν το αποτέλεσμα της ανάλυσης, ενώ μπορούμε να επιλέξουμε αν θα εμφανίζεται ο κώδικας VRML, η προσομοίωση της πλήρωσης και οι σημειώσεις κάθε προβολής.

Report Generator [?] [X]

Details

Report Title :

Author :

Authors Title :

Include

<input checked="" type="checkbox"/> Introduction		<input type="button" value="Notes..."/>
<input checked="" type="checkbox"/> Results Summary		<input type="button" value="Notes..."/>
<input checked="" type="checkbox"/> Glass Model	<input type="checkbox"/> VrmI	<input type="button" value="Notes..."/>
<input checked="" type="checkbox"/> Solid Model	<input type="checkbox"/> VrmI	<input type="button" value="Notes..."/>
<input checked="" type="checkbox"/> Fill Time	<input type="checkbox"/> VrmI <input type="checkbox"/> Animation	<input type="button" value="Notes..."/>
<input checked="" type="checkbox"/> Confidence of Fill	<input type="checkbox"/> VrmI	<input type="button" value="Notes..."/>
<input checked="" type="checkbox"/> Injection Pressure	<input type="checkbox"/> VrmI	<input type="button" value="Notes..."/>
<input checked="" type="checkbox"/> Pressure Drop	<input type="checkbox"/> VrmI	<input type="button" value="Notes..."/>
<input checked="" type="checkbox"/> Flow Front Temperature	<input type="checkbox"/> VrmI	<input type="button" value="Notes..."/>
<input checked="" type="checkbox"/> Weld Lines	<input type="checkbox"/> VrmI	<input type="button" value="Notes..."/>
<input checked="" type="checkbox"/> Air Traps	<input type="checkbox"/> VrmI	<input type="button" value="Notes..."/>
<input checked="" type="checkbox"/> Conclusion		<input type="button" value="Notes..."/>

Εικόνα 4.9... Παράθυρο ορισμού των παραμέτρων της αναφοράς των αποτελεσμάτων

4.3 Επιπλέον δυνατότητες του λογισμικού

4.3.1 Εργαλειοθήκη προβολών



Με τη επιλογή της προβολής **Fill Time** ενεργοποιείται η γραμμή εργαλείων προβολής όπου πατώντας το:



Play μπορούμε να δούμε την πλήρωση βήμα-βήμα.

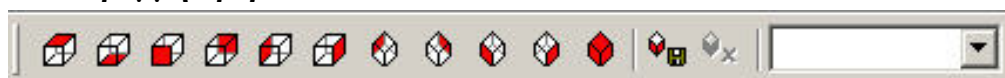



Loop επαναλαμβάνεται συνεχώς η προβολή.



Flap Playback επαναλαμβάνεται συνεχώς η προβολή από την αρχή στο τέλος και το αντίστροφο.

4.3.2 Γραμμή προβολών



Μέσω της γραμμής προβολών μπορούμε να δούμε το αντικείμενο από έντεκα προεπιλεγμένες γωνίες λήψης και απ' όποια άλλη έχουμε σώσει με το κουμπί  στη βάση δεδομένων του προγράμματος.



Με το κουμπί αυτό μπορούμε να πάρουμε φωτογραφία το αντικείμενό μας στην γωνία λήψης που βρίσκεται και να το επικολλήσουμε σε επεξεργαστή κειμένου ή σε επεξεργαστή εικόνας.

4.3.3 Παράμετροι εμφάνισης και λειτουργίας του MPA

Για την πρόσβαση του πατάμε **File→ Preferences**. Στο παράθυρο αυτό ορίζονται οι προτιμήσεις του χρήστη για τον τρόπο εμφάνισης και λειτουργίας του λογισμικού MPA.

1. **Display**..... Στο πρώτο πεδίο ορίζεται η επιλογή εμφάνισης ή όχι

- των συμβουλών εργαλείων (Display Tool Tips)
- του αντικειμένου με προοπτική (Display Perspective)
- των πληροφοριών του αντικειμένου (Display Part Information)
- των αξόνων περιστροφής (Display Rotation Axes)

- εμφάνισης της κλίμακας του αντικειμένου (Display Scale)
- στιγμιαία περιστροφή (Velocity Spin)
- δυναμική περιστροφή μεταξύ των διαφόρων οπτικών γωνιών (Dynamic View Change)

Επίσης δίνεται η δυνατότητα επιλογής του χρώματος κειμένου (Text Color) καθώς και του χρώματος του φόντου (Background Color).

2. Background..... Στο δεύτερο πεδίο μπορούμε να επιλέξουμε αν το φόντο θα είναι μονόχρωμο (Plain), βαθμωτό (Gradient) με τέσσερα χρώματα της επιλογής μας ή μια εικόνα (Image) της οποίας ορίζουμε τη θέση στον υπολογιστή.

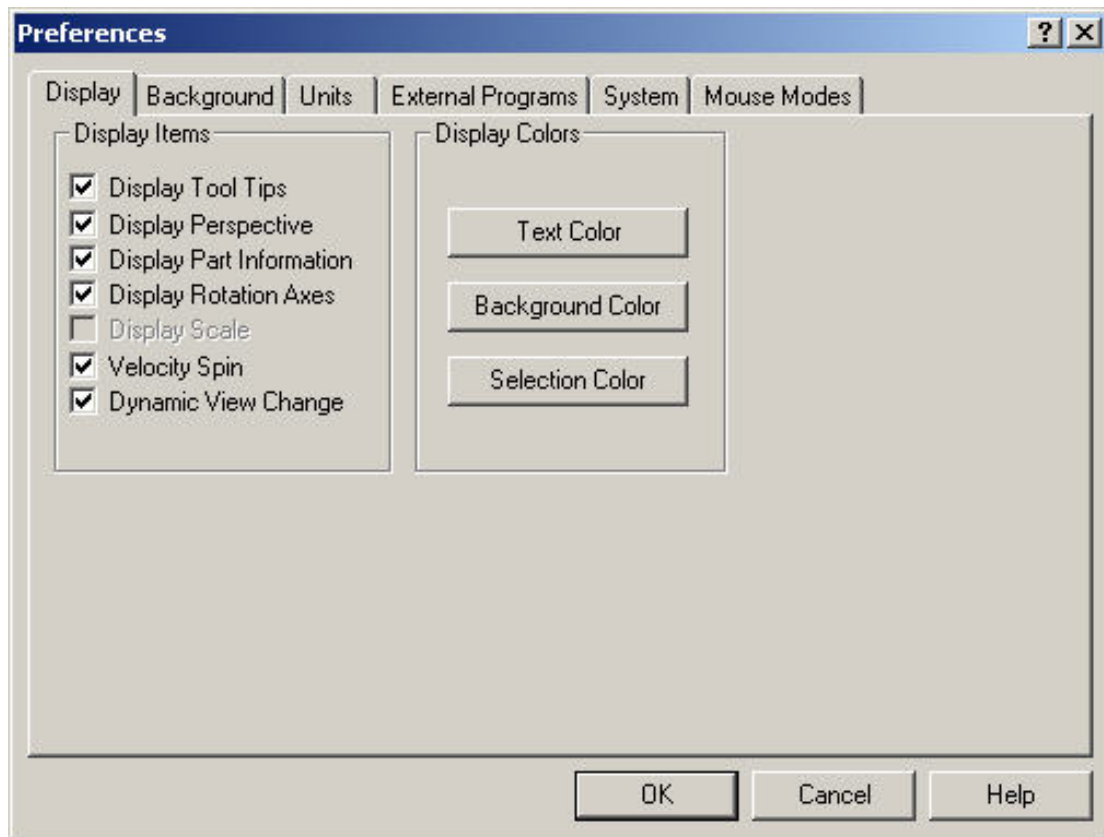
3. Units Στο τρίτο πεδίο ορίζεται ο τρόπος εμφάνισης των μονάδων μέτρησης της ημερομηνίας και του μήκους.

4. External Programs.... Στο τέταρτο πεδίο ορίζονται οι θέσεις στον υπολογιστή μας του προγράμματος φυλλομέτρησης ιστοσελίδων και του λογιστικού φύλου που θέλουμε να χρησιμοποιήσουμε για την εξαγωγή των αποτελεσμάτων της ανάλυσης.

5. System Στο πέμπτο πεδίο ορίζονται ορισμένοι παράμετροι του συστήματος όπως:

- ο αριθμός προβαλλομένων στιγμιότυπων κατά τη δυναμική προσομοίωση (όσο μεγαλύτερος είναι αυτός ο αριθμός τόσο μεγαλύτερα θα είναι τα αρχεία Gif που δημιουργούνται, αλλά και τόσο καλύτερη η αναπαράσταση της μορφοποίησης).
- ο χρόνος παρουσίασης της προσομοίωσης στο διαδίκτυο.
- ο αριθμός βημάτων προς αναίρεση που αποθηκεύονται στη μνήμη του υπολογιστή (όσο περισσότερα είναι τόσο μεγαλύτερος χώρος καταλαμβάνεται στη μνήμη, οπότε καλή θα ήταν η αποφυγή μεγάλων τιμών).

6. Mouse Modes..... Στο έκτο πεδίο ορίζονται οι συνδυασμοί κουμπιών του ποντικού και του πληκτρολογίου για την συντομευμένη εκτέλεση κάποιων λειτουργιών.



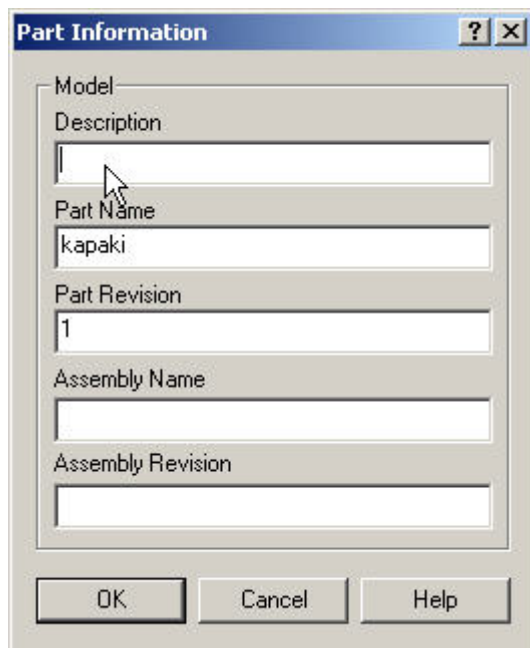
Εικόνα 4.10... Παράθυρο εισαγωγής παραμέτρων λειτουργίας και εμφάνισης του Plastic Advisor

4.3.4 Παράθυρο Ιδιοτήτων Αντικειμένου

Αυτό το παράθυρο επιτρέπει την καταγραφή πληροφοριών για το αντικείμενο όπως το όνομα του αντικειμένου, μια περιγραφή καθώς και πληροφορίες για την επανεξέταση και την συναρμολόγηση. Οι πληροφορίες του αντικειμένου, επειδή “σώζονται” μέσα στο ίδιο το αρχείο, αποτελούν ένα χρήσιμο τρόπο καταγραφής περιεκτικών πληροφοριών για το αντικείμενο.

Για να προβάλλονται αυτές οι πληροφορίες στην οθόνη μαζί με το μοντέλο πατάμε **File→ Preferences→ Display tab** και σιγουρευόμαστε ότι είναι επιλεγμένο το **Display Part Information**.

Για την εισαγωγή των πληροφοριών πατάμε **Edit→Part Information** και “Ανοίγει” το εν λόγω παράθυρο.




Εικόνα 4.11... Παράθυρο πληροφοριών του αντικειμένου

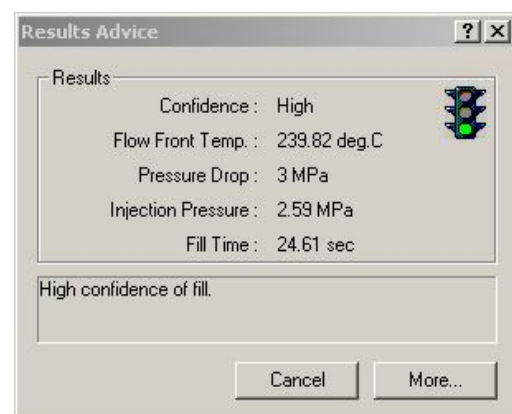
4.3.4 Χρησιμοποιώντας το HELP

Σε αυτή την ενότητα θα επεξηγηθεί πως μπορεί κάποιος να χρησιμοποιήσει το HELP του Plastic Advisor και τις διαθέσιμες πληροφορίες του διαδικτύου που βοηθούν στην κατανόηση και την ερμηνεία των αποτελεσμάτων της ανάλυσης.

Ερμηνεύοντας τα αποτελέσματα μέσω των ενότητων του Advisor

Πατώντας το εικονίδιο  του Advisor και κάνοντας δεξί κλικ πάνω στο αντικείμενο ή σε μια χαρακτηριστική περιοχή του (όπως μια γραμμή σύνδεσης ή η θέση εγχύσεως) εμφανίζονται λεπτομέρειες στο ειδικό παράθυρο. Ενώ για περισσότερες λεπτομέρειες και συμβουλές πατάμε στο κουμπί **More**.

Το παράθυρο σύνοψης του αποτελέσματος εμφανίζεται αυτόματα στο τέλος της ανάλυσης ή μέσω της επιλογής **Results→Summary...**



Εικόνα 4.12... Παράθυρο Αποτελεσμάτων της Ανάλυσης

Πατώντας **More** εμφανίζεται η καταλληλότερη σελίδα της βοήθειας σε σχέση με το αποτέλεσμα της ανάλυσης. Για την εμφάνιση άλλων θεμάτων στη βοήθεια πατάμε **Browse**.

Τα βοηθητικά κουμπιά στα παράθυρα αλληλεπίδρασης

Τα περισσότερα από τα παράθυρα αλληλεπίδρασης έχουν ένα κουμπί βοήθειας. Πατώντας πάνω σε αυτό εμφανίζεται ένα θέμα στη βοήθεια με πληροφορίες για το συγκεκριμένο παράθυρο αλληλεπίδρασης στο οποίο βρισκόμασταν.

Η εντολή (What's This?)

Η εντολή “Τι είναι;” (What's This?) περιγράφει τη λειτουργία των περισσότερων κουμπιών, μενού επιλογών, πεδίων και άλλων αντικειμένων του προγράμματος. Με την ενεργοποίηση του εμφανίζεται ένα πλαίσιο κειμένου το οποίο περιέχει μια επεξήγηση της λειτουργίας του αντικειμένου και μπορεί να προσπελαστεί με τρεις διαφορετικούς τρόπους.



Από την κύρια εργαλειοθήκη του Advisor πατώντας το What's This? και μετά κάνοντας κλικ στο αντικείμενο για το οποίο χρειαζόμαστε πληροφορίες.



Στα υπόλοιπα παράθυρα πατώντας το ερωτηματικό στην κορφή τους και μετά κάνοντας κλικ στο αντικείμενο για το οποίο χρειαζόμαστε πληροφορίες.

F1

Τοποθετώντας το βέλος κύλισης πάνω από το αντικείμενο ή την περιοχή οποιουδήποτε παραθύρου και πατώντας το ειδικό πλήκτρο F1.

4.4 Αποτελέσματα Εφαρμογής και ανάλυσή τους

4.4.1 Αυτόματος χρόνος χύτευσης

Η εφαρμογή περιλαμβάνει την εισαγωγή του αντικειμένου από ένα πρόγραμμα τρισδιάστατης μοντελοποίησης όπως το Pro/E στο Plastic Advisor. Μετά την εισαγωγή του είναι απαραίτητος ο ορισμός των παραμέτρων της έγχυσης.

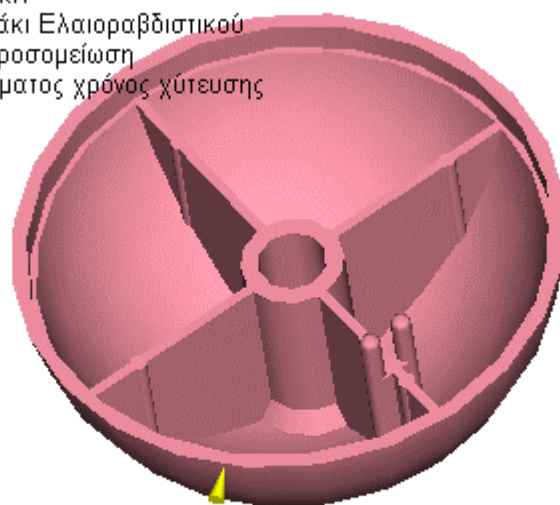
Όπως βλέπουμε και στη σύνοψη των αποτελεσμάτων στον πίνακα που ακολουθεί, χρησιμοποιήσαμε το πολυαιθυλένιο P430F της εταιρείας Borealis, με χρόνο έγχυσης 0,75 sec, πίεση εγχύσεως 15,47 MPa, μέγιστη πίεση εγχύσεως 70 MPa, θερμοκρασία τηγμένου υλικού 245 βαθμούς Κελσίου και θερμοκρασία καλουπιού 40 βαθμούς αντίστοιχα. Πρέπει να τονίσουμε ότι ο χρόνος εγχύσεως σε αυτή τη πρώτη προσομοίωση υπολογίστηκε αυτόματα από το πρόγραμμα.

Στη συνέχεια ορίστηκε η θέση εγχύσεως του πολυμερούς. Επιλέχθηκε μια ακραία ακμή προκειμένου να επιτευχθούν ομαλά μέτωπα ροής του υλικού και είναι αυτή που φαίνεται στην εικόνα 4.13.

PLASTIC Advisor Release Level:	3.20
Part Name:	kapaki1
Description:	Καπάκι Ελαιοραβδιστικού
Part Revision:	2
Material Supplier:	Borealis
Material Grade:	P430F
Mold Temperature:	40.00 deg.C
Melt Temperature:	245.00 deg.C
Max Injection Pressure:	70.00 MPa
Injection Time:	0.75 sec
Injection Pressure:	15.47 MPa
Weld Lines:	Yes
Air Traps:	Yes

Πίνακας 4.1... Αναφορά παραμέτρων χύτευσης με αυτόματο υπολογισμό του χρόνου εγχύσεως

Date : 11/October/2003
 Part : karaki1
 Part Revision : Καπάκι Ελαιοραβδιστικού
 Description : 1ή Προσομείωση
 Assembly : Αυτόματος χρόνος χύτευσης
 Assembly Rev :

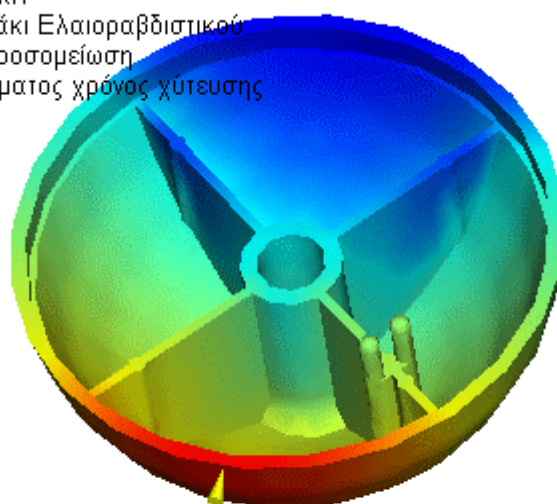


Εικόνα 4.13... Στερεό μοντέλο - 1^η προσομοίωση

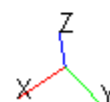
Date : 11/October/2003
 Part : karaki1
 Part Revision : Καπάκι Ελαιοραβδιστικού
 Description : 1ή Προσομείωση
 Assembly : Αυτόματος χρόνος χύτευσης
 Assembly Rev :

Fill Time

[sec]

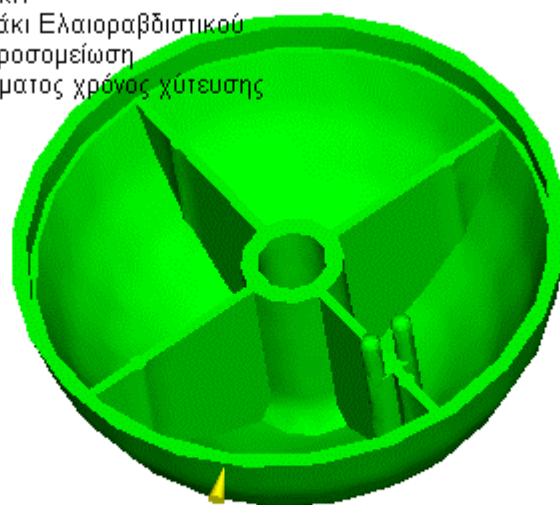


0
 0.08
 0.17
 0.25
 0.34
 0.42
 0.51
 0.59
 0.68
 0.76
 0.84



Εικόνα 4.14... Χρόνος πλήρωσης - 1^η προσομοίωση

Date : 11/October/2003
Part : karaki1
Part Revision : Καπάκι Ελαιοραβδιστικού
Description : 1^η Προσομείωση
Assembly : Αυτόματος χρόνος χύτευσης
Assembly Rev :

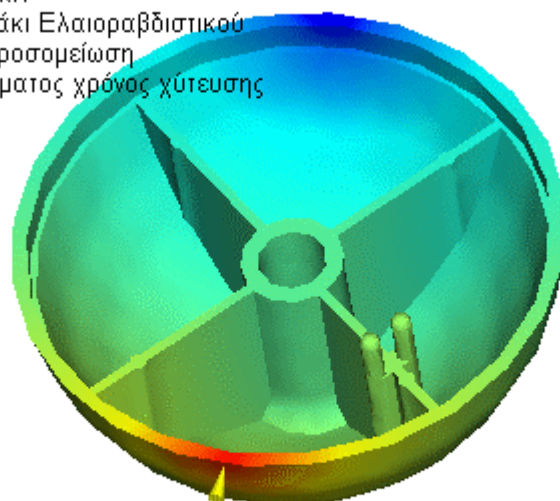


High



Εικόνα 4.15... Εμπιστοσύνη της πλήρωσης – 1^η προσομοίωση

Date : 11/October/2003
Part : karaki1
Part Revision : Καπάκι Ελαιοραβδιστικού
Description : 1^η Προσομείωση
Assembly : Αυτόματος χρόνος χύτευσης
Assembly Rev :

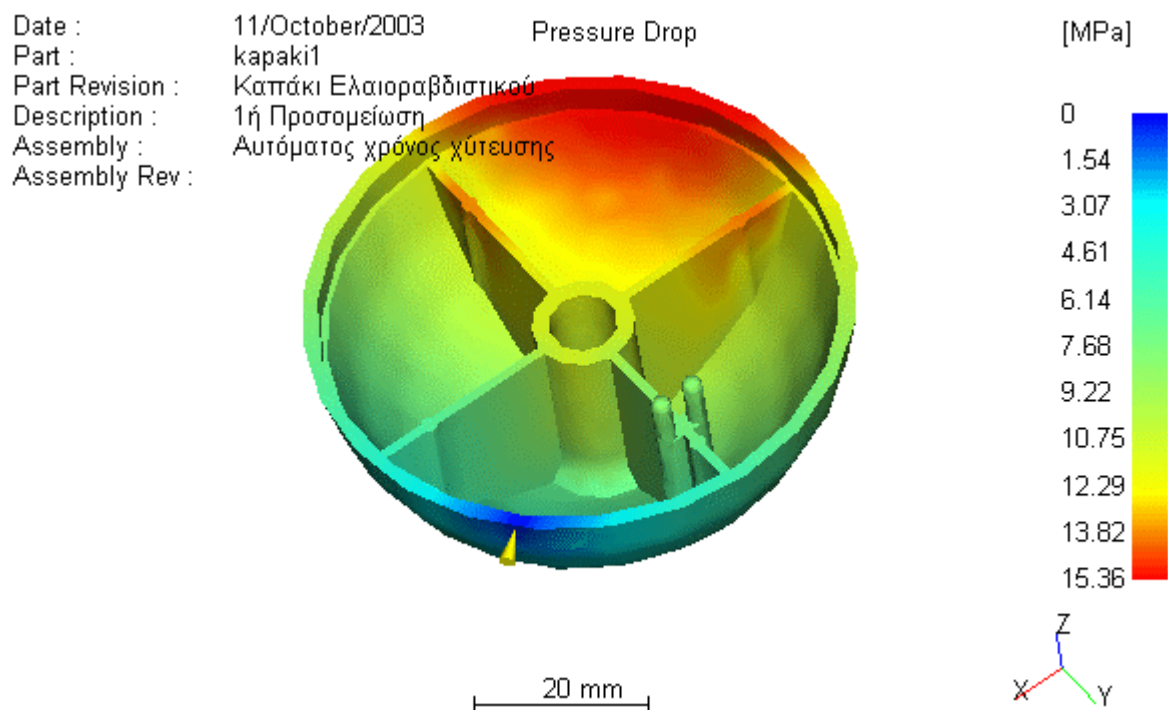


[MPa]

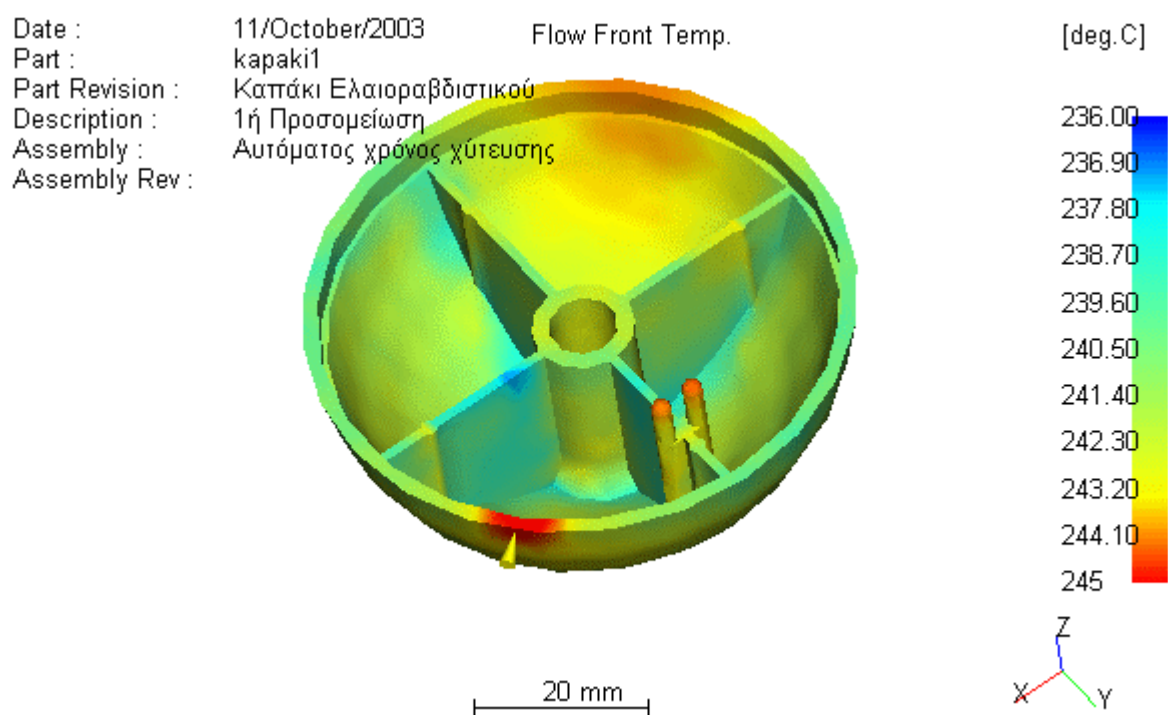
0
1.54
3.07
4.61
6.14
7.68
9.22
10.75
12.29
13.82
15.36



Εικόνα 4.16... Πίεση εγχύσεως – 1^η προσομοίωση

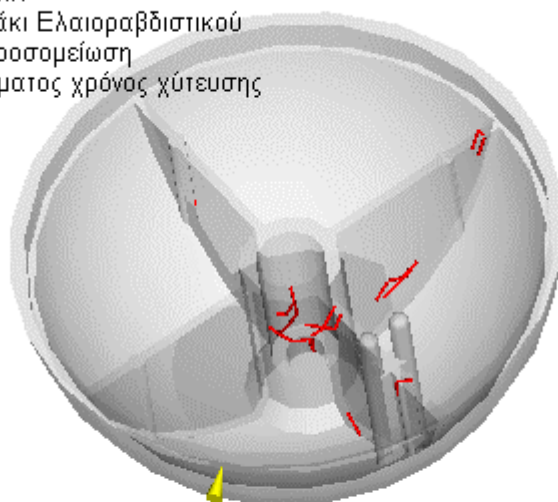


Εικόνα 4.17... Πτώση πίεσης - 1^η προσομοίωση



Εικόνα 4.18... Θερμοκρασία μετώπου ροής – 1^η προσομοίωση

Date : 11/October/2003
 Part : karaki1
 Part Revision : Καπάκι Ελαιοραβδιστικού
 Description : 1^η Προσομείωση
 Assembly : Αυτόματος χρόνος χύτευσης
 Assembly Rev :

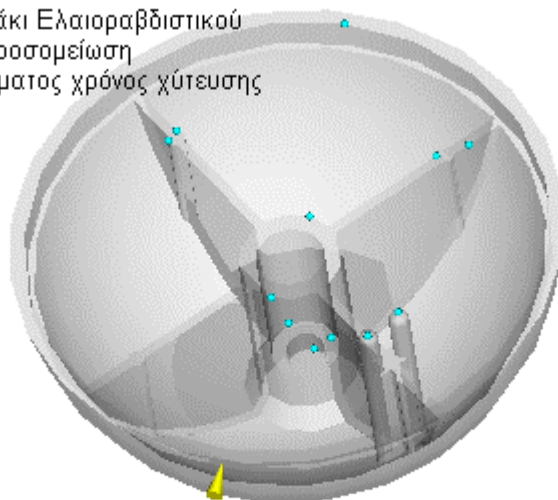


20 mm



Εικόνα 4.19... Γραμμές σύνδεσης – 1^η προσομοίωση

Date : 11/October/2003
 Part : karaki1
 Part Revision : Καπάκι Ελαιοραβδιστικού
 Description : 1^η Προσομείωση
 Assembly : Αυτόματος χρόνος χύτευσης
 Assembly Rev :



20 mm



Εικόνα 4.20... Φυσαλίδες Εγκλωβισμένου Αέρα – 1^η προσομοίωση

Σε αυτή τη δοκιμή μπορούμε να παρατηρήσουμε ότι σε γενικές γραμμές υπάρχει μια βεβαιότητα ότι η πλήρωση με υλικό θα πραγματοποιηθεί σε όλη την επιφάνεια του αντικειμένου, όπως φαίνεται άλλωστε από το διάγραμμα εμπιστοσύνης της πλήρωσης (εικόνα 4.15).

Θα δημιουργηθούν κάποιες φυσαλίδες εγκλωβισμένου αέρα, ενώ σε σύγκριση με το δοκίμιο (εικόνα 4.20) μπορούμε πράγματι να παρατηρήσουμε ότι το πρόγραμμα προβλέπει σωστά τις φυσαλίδες στις προεξοχές στο σταυροειδές και τη φυσαλίδα στο εσωτερικό της πλευρικής επιφάνειας. Το πλέον ανησυχητικό φαινόμενο είναι αυτό της δημιουργίας γραμμών συγκόλλησης στην εσωτερική πλευρά του σταυροειδούς.

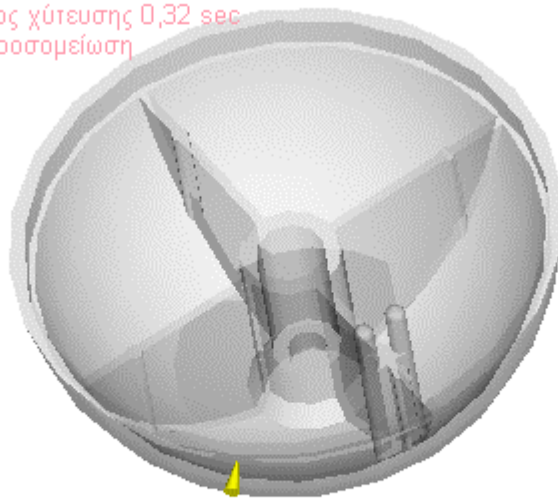
4.4.2 Δεύτερη προσομοίωση με αλλαγή του χρόνου εγχύσεως

Σε αυτή τη δοκιμή μειώθηκε εσκεμμένα ο χρόνος έγχυσης σε 0,32 δευτερόλεπτα, σχεδόν στο μισό του χρόνου που υπολόγισε το πρόγραμμα, για να μπορέσουμε να δούμε τις επιπτώσεις που έχει μια τέτοια μεταβολή στα αποτελέσματα της έγχυσης. Το όφελος σε περίπτωση μικρών αλλαγών στα αποτελέσματα θα είναι αρκετά μεγάλο, αφού με τη μείωση του χρόνου εξοικονομούνται πόροι και μειώνεται το κόστος παραγωγής. Οι υπόλοιποι παράμετροι της προσομοίωσης κρατήθηκαν οι ίδιοι.

PLASTIC Advisor Release Level:	3.20
Part Name:	kapaki1
Description:	6η Προσομείωση
Part Revision:	Χρόνος χύτευσης 0,32 sec
Material Supplier:	Borealis
Material Grade:	P430F
Mold Temperature:	40.00 deg.C
Melt Temperature:	245.00 deg.C
Max Injection Pressure:	70.00 MPa
Injection Time:	0.32 sec
Injection Pressure:	17.48 MPa
Weld Lines:	Yes
Air Traps:	Yes

Πίνακας 4.2... Αναφορά παραμέτρων χύτευσης με χρόνο εγχύσεως 0.32 sec

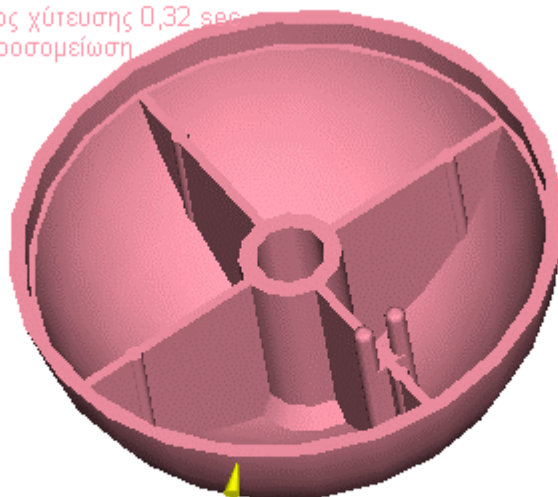
Date : 20/October/2003
 Part : kapaki1
 Part Revision : Χρόνος χύτευσης 0,32 sec
 Description : 6η Προσομείωση
 Assembly :
 Assembly Rev :



20 mm



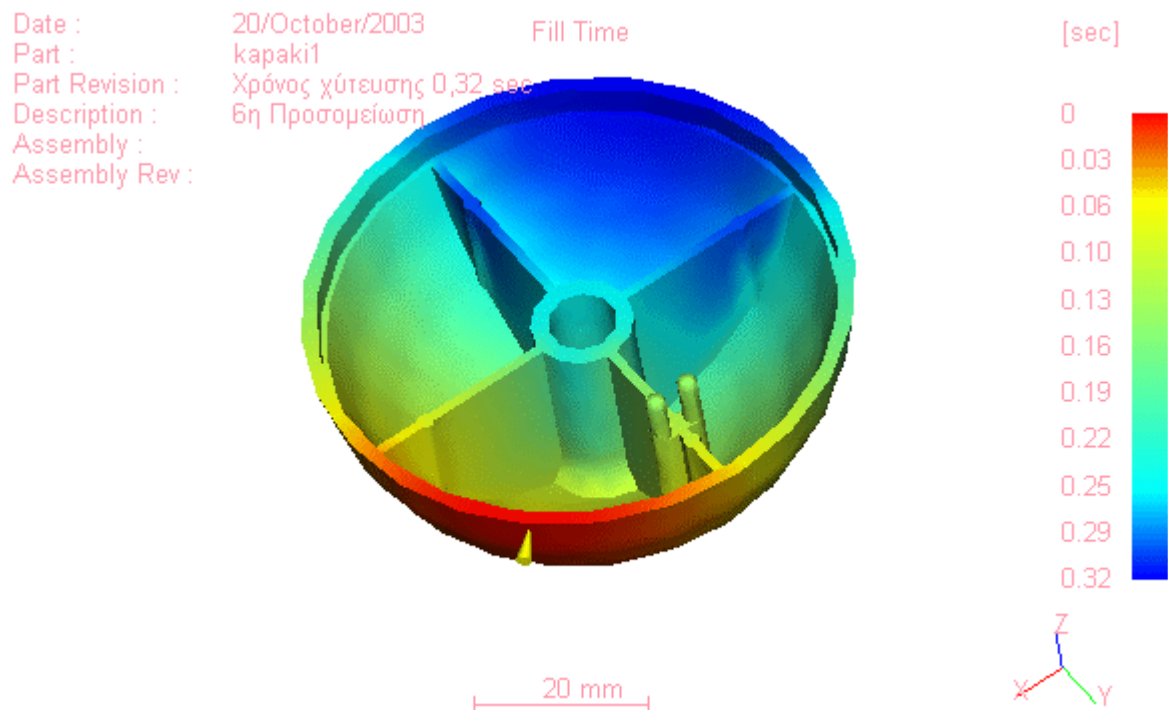
Date : 20/October/2003
 Part : kapaki1
 Part Revision : Χρόνος χύτευσης 0,32 sec
 Description : 6η Προσομείωση
 Assembly :
 Assembly Rev :



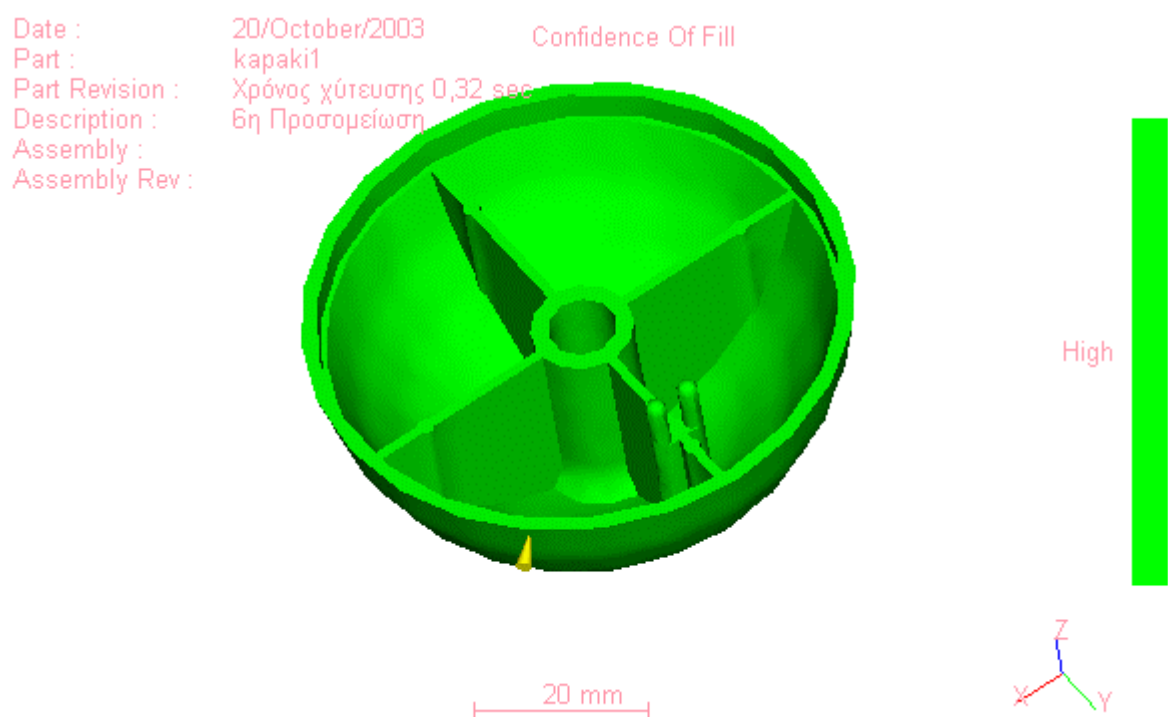
20 mm



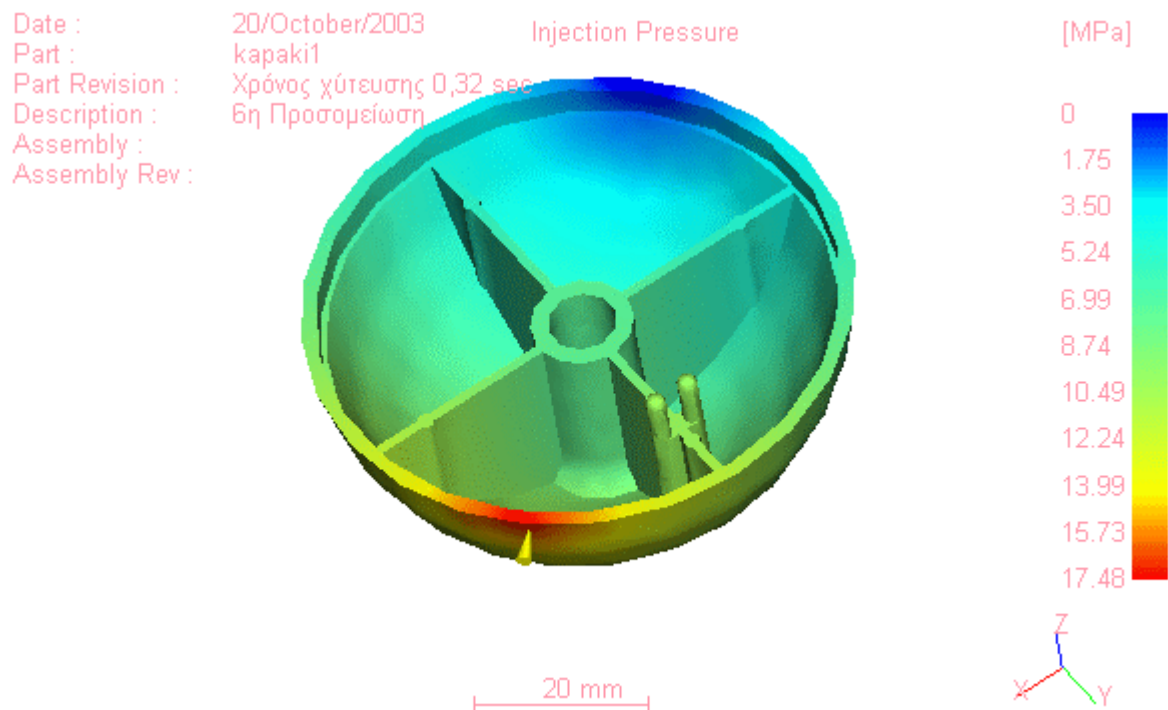
Εικόνα 4.21... Διάφανη και κανονική προβολή - 2^η προσομοίωση



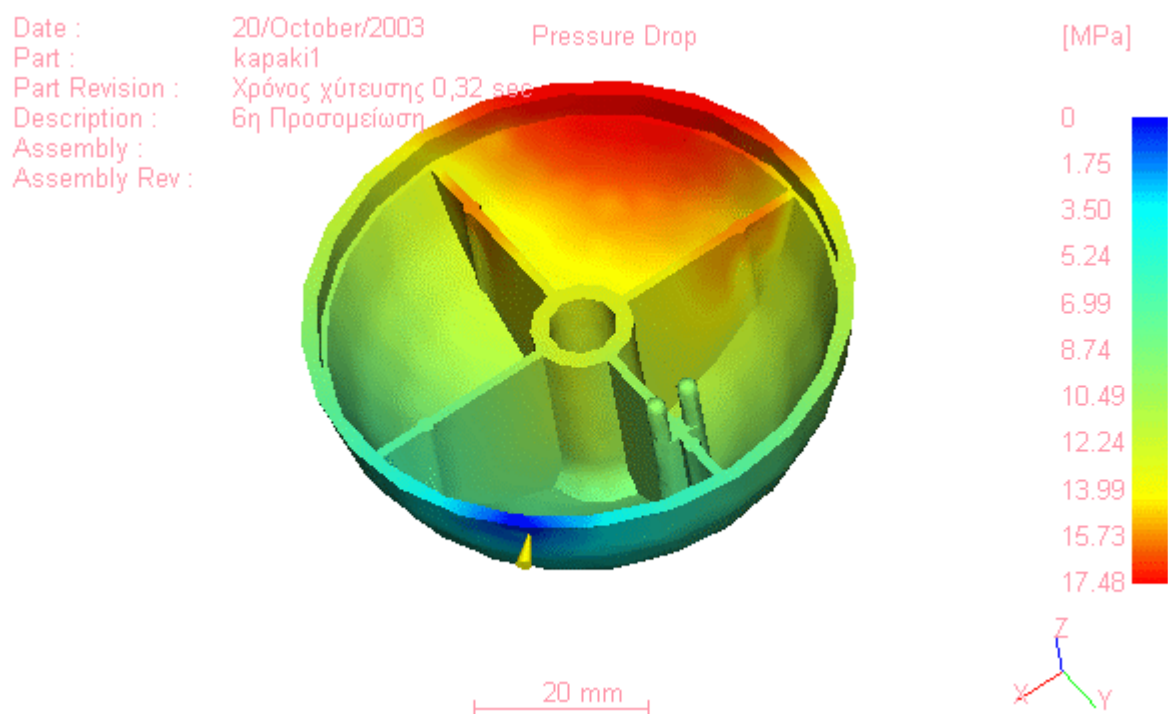
Εικόνα 4.22... Χρόνος πλήρωσης – 2^η προσομοίωση



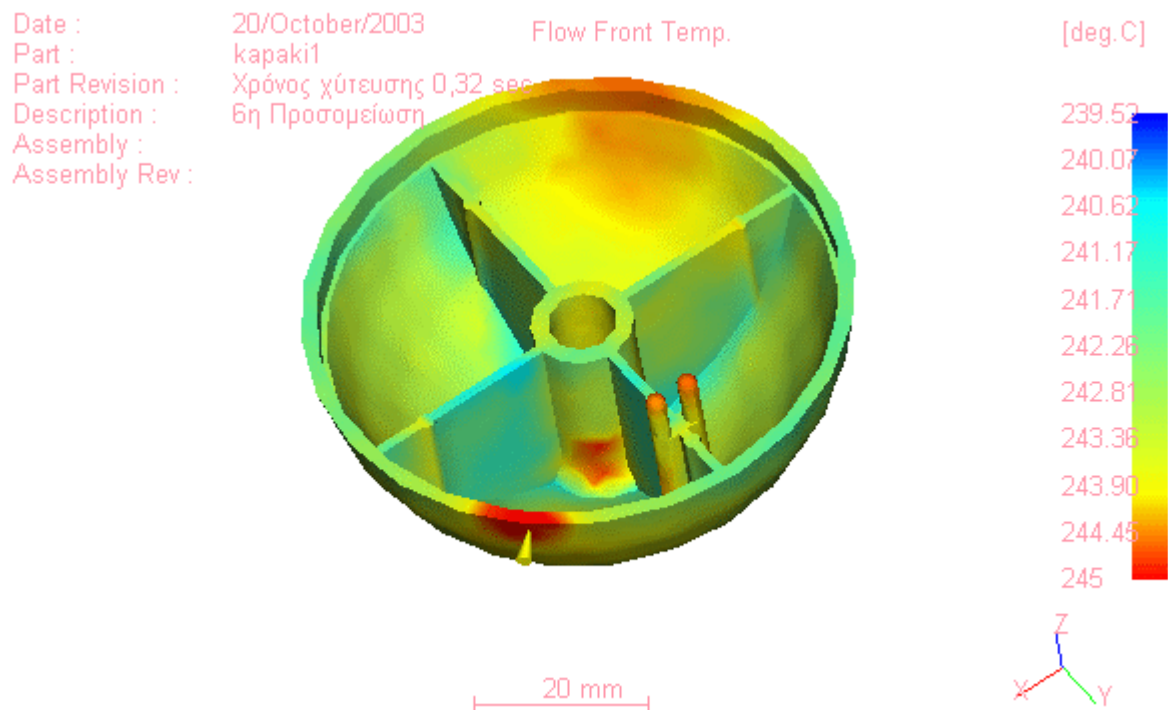
Εικόνα 4.23... Εμπιστοσύνη της πλήρωσης – 2^η προσομοίωση



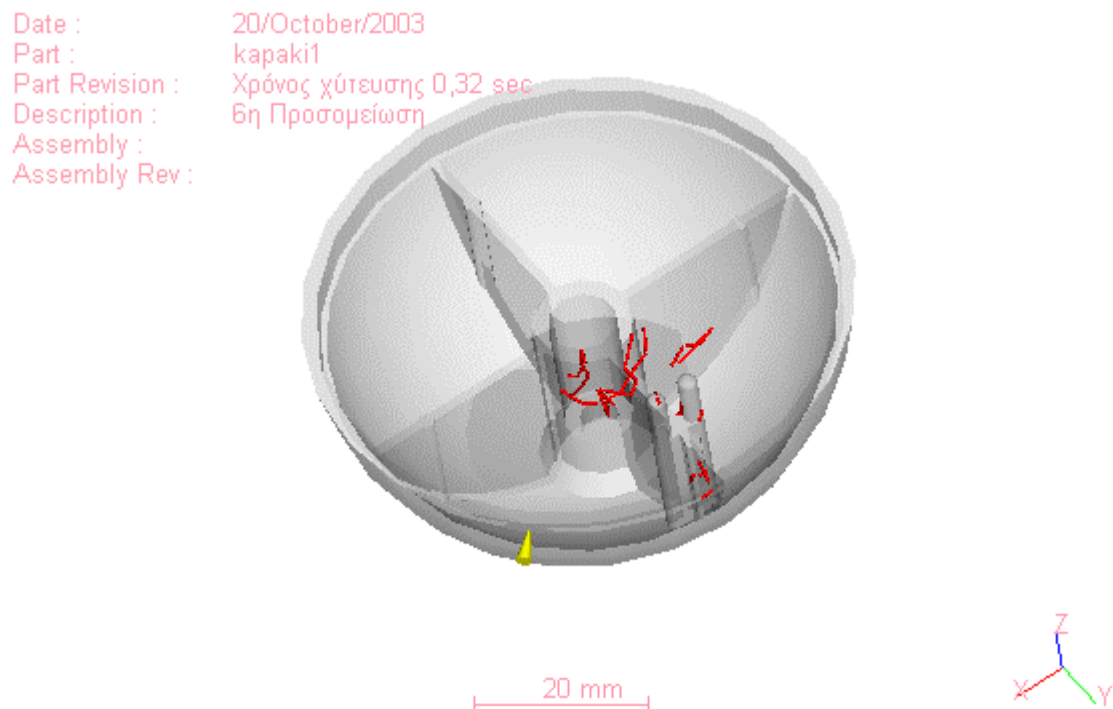
Εικόνα 4.24... Πίεση χύτευσης – 2^η προσομοίωση



Εικόνα 4.25... Πτώση Πίεσης – 2^η προσομοίωση

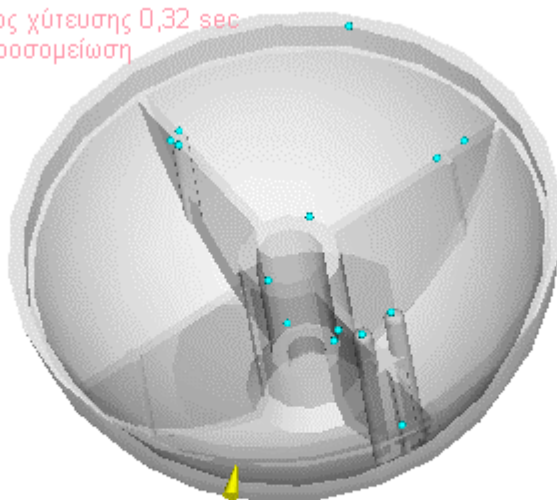


Εικόνα 4.26... Θερμοκρασία μετώπου ροής – 2^η προσομοίωση



Εικόνα 4.27... Γραμμές σύνδεσης – 2^η προσομοίωση

Date : 20/October/2003
Part : kapaki1
Part Revision : Χρόνος χύτευσης 0,32 sec
Description : 6η Προσομοίωση
Assembly :
Assembly Rev :



20 mm



Εικόνα 4.28... Φυσαλίδες αέρα – 2^η προσομοίωση

Σε αυτή τη δοκιμή μπορούμε να παρατηρήσουμε ότι σε γενικές γραμμές υπάρχει μια βεβαιότητα ότι η πλήρωση με υλικό θα πραγματοποιηθεί σε όλη την επιφάνεια του αντικειμένου όπως φαίνεται άλλωστε από το διάγραμμα εμπιστοσύνης της πλήρωσης (εικόνα 4.23).

Θα δημιουργηθούν κάποιες φυσαλίδες εγκλωβισμένου αέρα αλλά είναι μικρές σε αριθμό και δεν λαμβάνονται υπόψη στην ανάλυση μας. Είναι όμως ορατές οι γραμμές σύνδεσης που δημιουργούνται στην εσωτερική κυλινδρική επιφάνεια του αντικειμένου, περιοχή που καταπονείται ιδιαίτερα λόγω της σύνδεσής της σε αυτό το σημείο με τα υπόλοιπα εξαρτήματα (εικόνα 4.27).

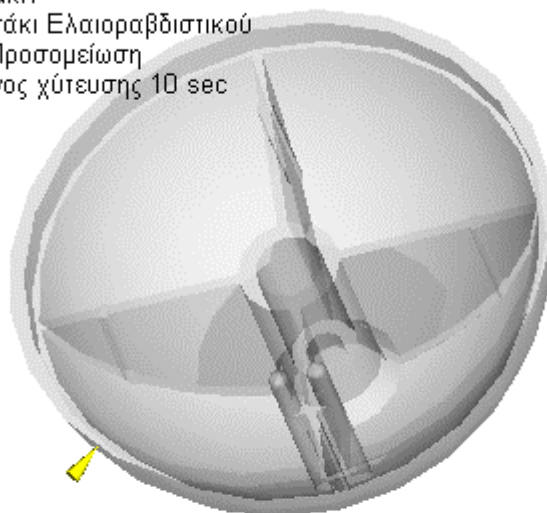
4.4.3 Τρίτη Προσομοίωση με χρόνο χύτευσης 10 sec

Η αλλαγή του χρόνου χύτευσης σε 10 sec αποσκοπεί στην εξέταση του κατά πόσο ο μεγάλος χρόνος μορφοποίησης επιδρά στην ποιότητα του αντικειμένου. Όπως θα φανεί από τα συμπεράσματα της προσομοίωσης ο χρόνος αυτός εκτός από το κόστος στην όλη διαδικασία δημιουργεί πολλά προβλήματα στο εξερχόμενο αντικείμενο.

PLASTIC Advisor Release Level:	3.20
Part Name:	kapaki1
Description:	3η Προσομείωση
Part Revision:	Καπάκι Ελαιοραβδιστικού
Assembly Name:	Χρόνος χύτευσης 10 sec
Material Supplier:	Borealis
Material Grade:	P430F
Mold Temperature:	40.00 deg.C
Melt Temperature:	245.00 deg.C
Max Injection Pressure:	70.00 MPa
Injection Time:	10.56 sec
Injection Pressure:	28.29 MPa
Weld Lines:	Yes
Air Traps:	Yes

Πίνακας 4.3... Αναφορά παραμέτρων χύτευσης με χρόνο εγχύσεως 10 sec

Date : 11/October/2003
 Part : karaki1
 Part Revision : Καπάκι Ελαιοραβδιστικού
 Description : 3η Προσομείωση
 Assembly : Χρόνος χύτευσης 10 sec
 Assembly Rev :

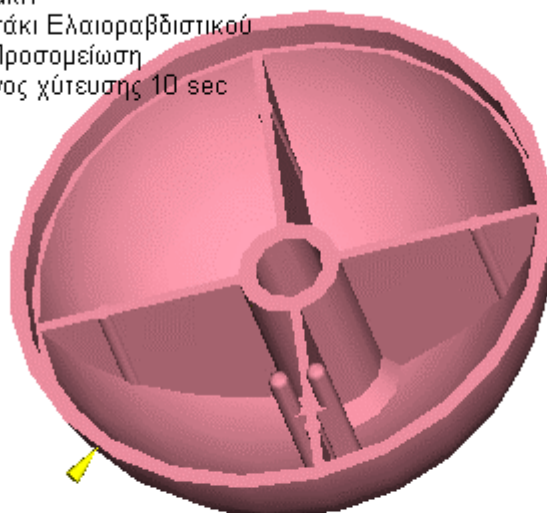


20 mm

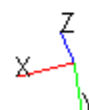


Εικόνα 4.29... Διαφανή προβολή – 3^η προσομοίωση

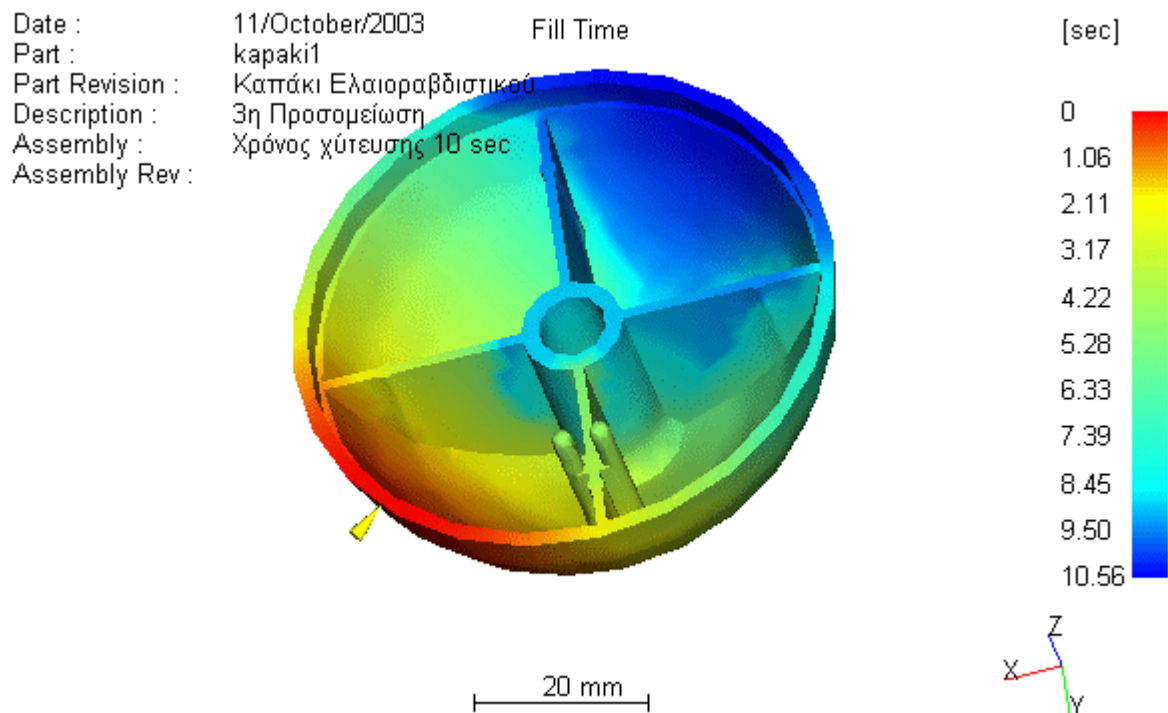
Date : 11/October/2003
 Part : karaki1
 Part Revision : Καπάκι Ελαιοραβδιστικού
 Description : 3η Προσομείωση
 Assembly : Χρόνος χύτευσης 10 sec
 Assembly Rev :



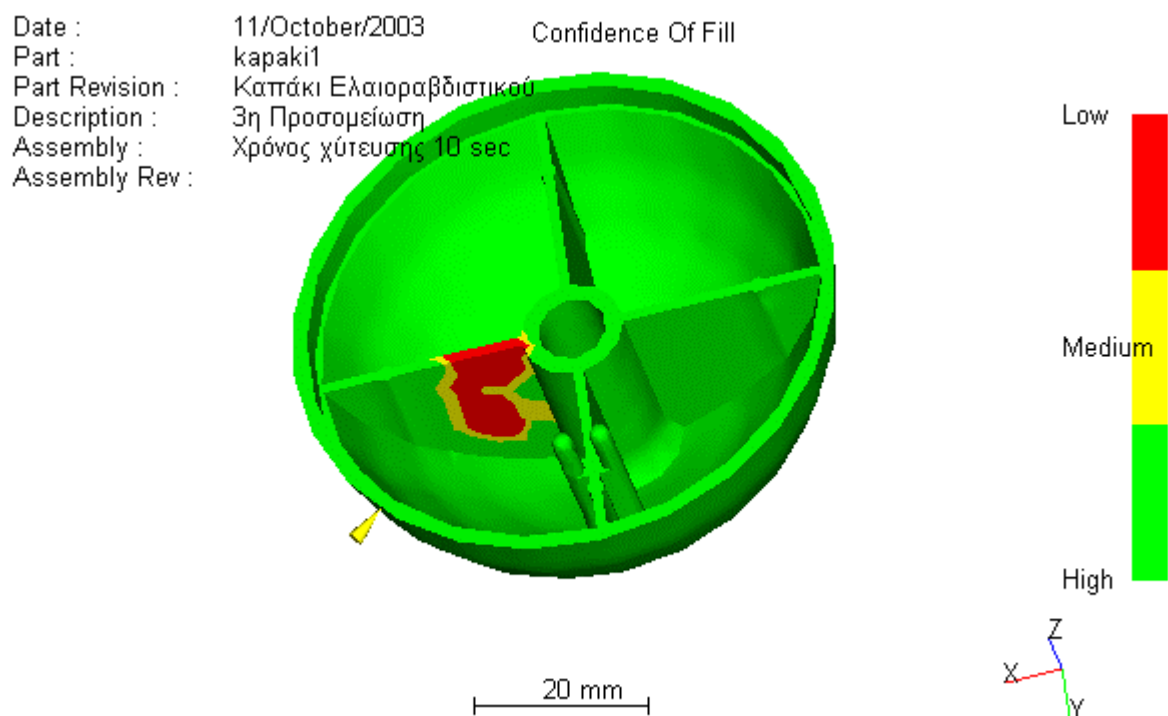
20 mm



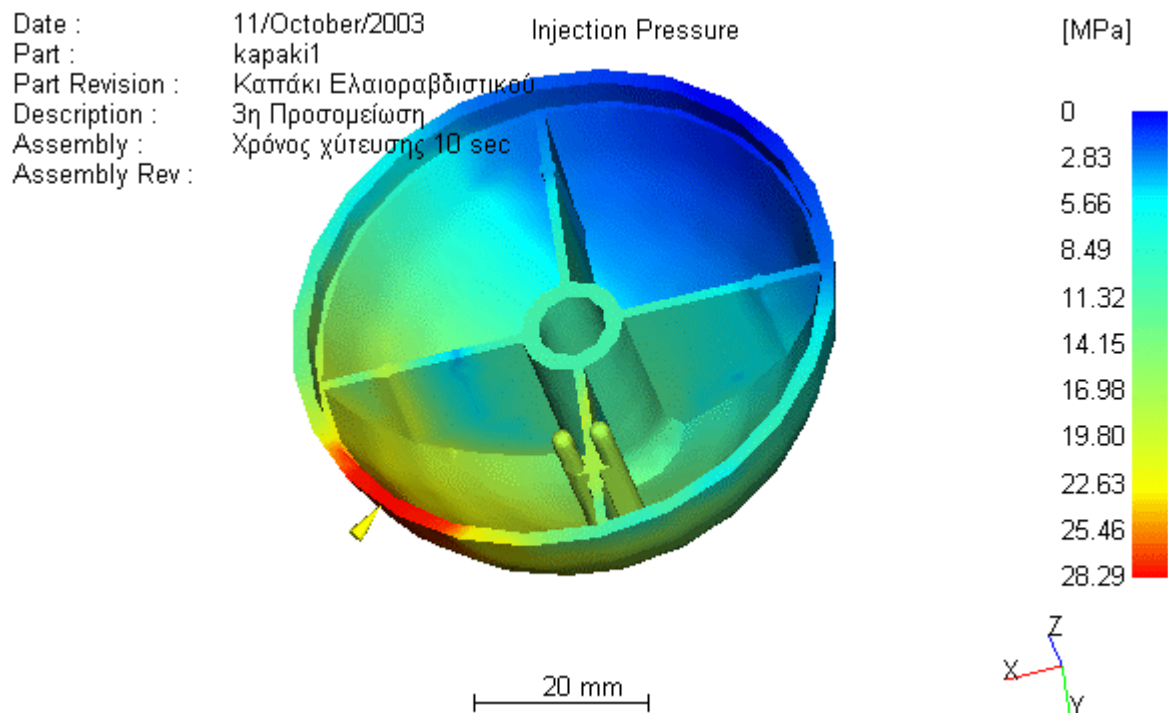
Εικόνα 4.30... Στερεό μοντέλο - 3^η προσομοίωση



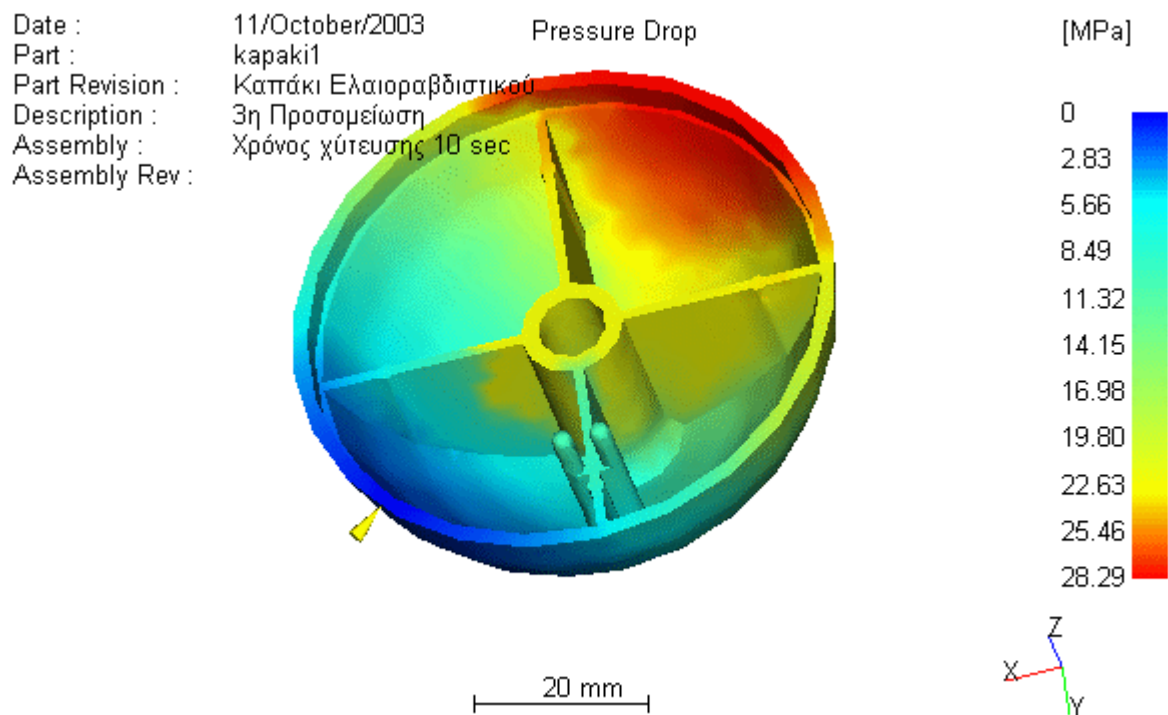
Εικόνα 4.31... Χρόνος πλήρωσης - 3^η προσομοίωση



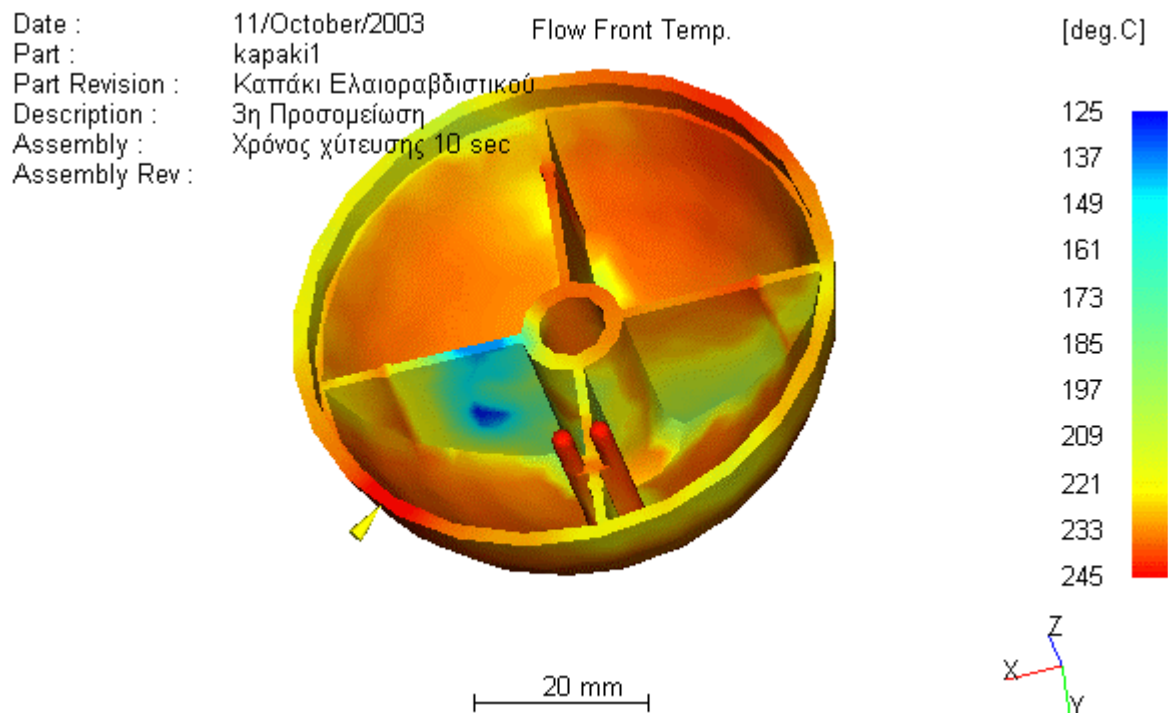
Εικόνα 4.32... Εμπιστοσύνη της πλήρωσης – 3^η προσομοίωση



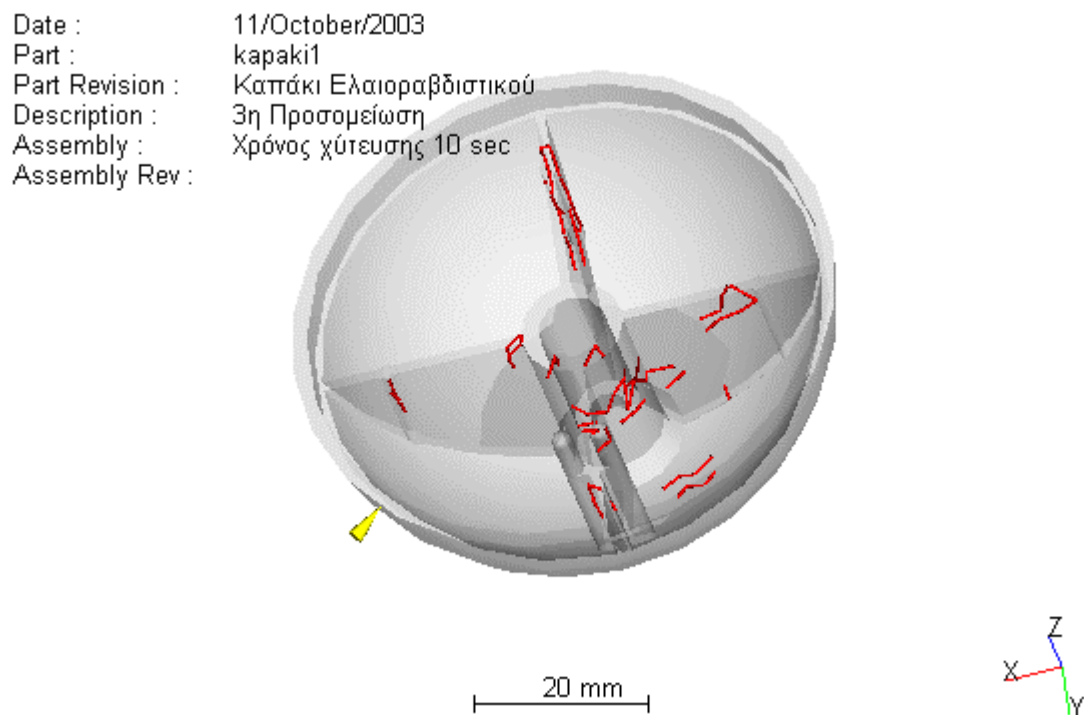
Εικόνα 4.33... Πίεση Εγχύσεως – 3^η προσομοίωση



Εικόνα 4.34... Πτώση της πίεσης – 3^η προσομοίωση

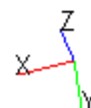
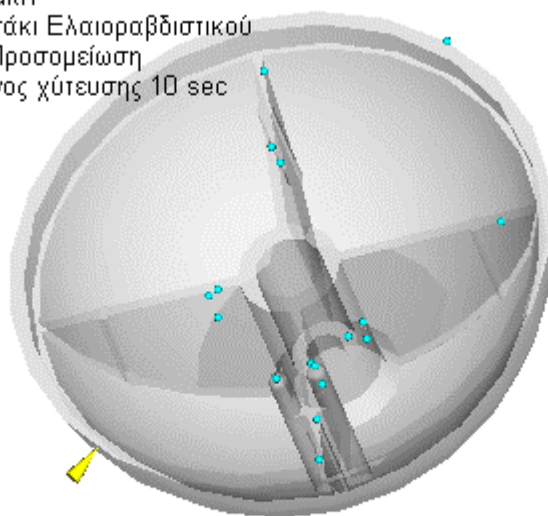


Εικόνα 4.35... θερμοκρασία μετώπου ροής – 3^η προσομοίωση



Εικόνα 4.36... Γραμμές σύνδεσης – 3^η προσομοίωση

Date : 11/October/2003
 Part : kapaki1
 Part Revision : Καπάκι Ελαιοραβδιστικού
 Description : 3η Προσομείωση
 Assembly : Χρόνος χύτευσης 10 sec
 Assembly Rev :



Εικόνα 4.37... Φουσαλίδες αέρα – 3^η προσομοίωση

Όπως γίνεται αντιληπτό από την προσομοίωση με χρόνο πλήρωσης 10 sec δημιουργούνται πάρα πολλά προβλήματα στη μορφοποίηση του αντικειμένου, εξαιτίας της ψύξης του πολυμερούς υλικού σε περιοχές με μικρό πάχος. Η αστοχία αυτή παρουσιάζεται στην εικόνα 4.32, όπου φαίνεται με κόκκινο η έλλειψη εμπιστοσύνης της πλήρωσης καθώς και από την εικόνα 4.35, όπου στην ίδια περιοχή η θερμοκρασία του μετώπου ροής είναι πολύ μικρή, της τάξης των 125 °C , θερμοκρασία κατά πολύ μικρότερη της προτεινόμενης ως ελάχιστης 225 °C για τη μορφοποίηση πολυμερούς υπό πίεση.

Επιπροσθέτως ο αριθμός των γραμμών σύνδεσης (εικόνα 4.36) είναι υπερβολικά υψηλός και σε περιοχές του αντικειμένου που καταπονούνται ιδιαίτερα, γεγονός που θα έχει ως αποτέλεσμα την εύκολη φθορά του στο χρόνο και την αποτυχία της όλης κατεργασίας.

Mold surface temperature	40	C
Melt temperature	245	C
Mold temperature range (recommended)		
Minimum	20	C
Maximum	60	C
Melt temperature range (recommended)		
Minimum	225	C
Maximum	265	C
Absolute maximum melt temperature	285	C
Ejection temperature	85	C

Εικόνα 4.38... Προτεινόμενες θερμοκρασίες μορφοποίησης υπό πίεση

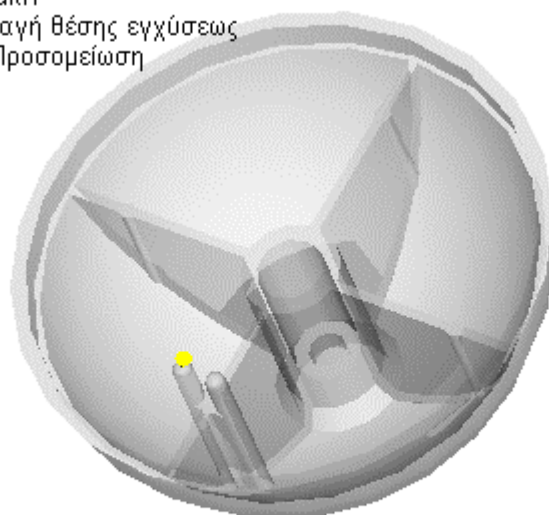
4.4.4 Τέταρτη Προσομοίωση με αλλαγή θέσης εγχύσεως

Η αλλαγή στη θέση εγχύσεως έγινε προκειμένου να εξετάσουμε το κατά πόσο θα δημιουργηθεί φυσαλίδα αέρα στην ακμή του αντικειμένου. Η θέση αυτή επιλέχθηκε λόγω της κεντρικής της θέσης στο αντικείμενο και των ισορροπημένων μετώπων ροής που αυτή θα δημιουργούσε. Μειονέκτημα της είναι η τοποθέτησή της σε εσωτερική πλευρά του αντικειμένου, η οποία θα εμποδίζει την ομαλή τοποθέτηση της μήτρας.

PLASTIC Advisor Release Level:	3.20
Part Name:	kapaki1
Description:	4η Προσομείωση
Part Revision:	Αλλαγή θέσης εγχύσεως
Material Supplier:	Borealis
Material Grade:	P430F
Mold Temperature:	40.00 deg.C
Melt Temperature:	245.00 deg.C
Max Injection Pressure:	70.00 MPa
Injection Time:	0.74 sec
Injection Pressure:	14.55 MPa
Weld Lines:	Yes
Air Traps:	Yes

Πίνακας 4.4... Αναφορά παραμέτρων χύτευσης με αλλαγή θέσης εγχύσεως

Date : 11/October/2003
Part : kapaki1
Part Revision : Αλλαγή θέσης εγχύσεως
Description : 4η Προσομείωση
Assembly :
Assembly Rev :

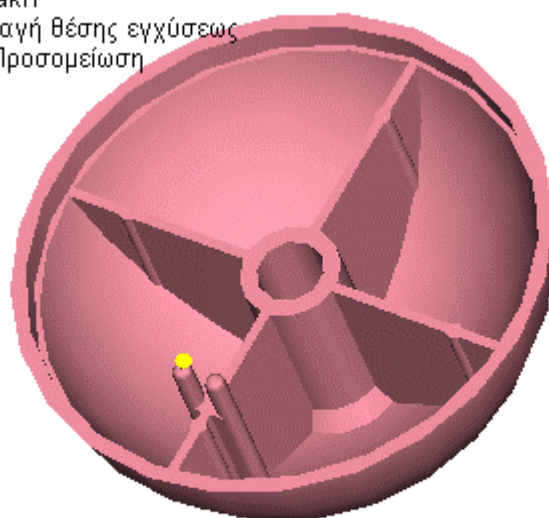


20 mm

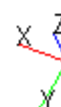


Εικόνα 4.39... Διαφανής προβολή – 4^η προσομοίωση

Date : 11/October/2003
 Part : kapaki1
 Part Revision : Αλλαγή θέσης εγχύσεως
 Description : 4η Προσομείωση
 Assembly :
 Assembly Rev :



20 mm

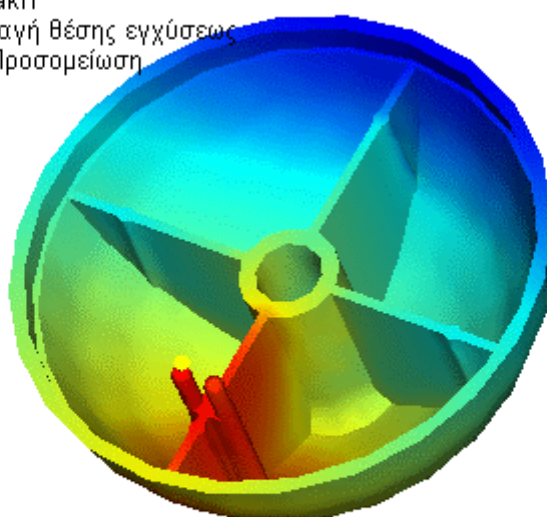


Εικόνα 4.40... Στερεό μοντέλο – 4^η προσομοίωση

Date : 11/October/2003
 Part : kapaki1
 Part Revision : Αλλαγή θέσης εγχύσεως
 Description : 4η Προσομείωση
 Assembly :
 Assembly Rev :

Fill Time

[sec]



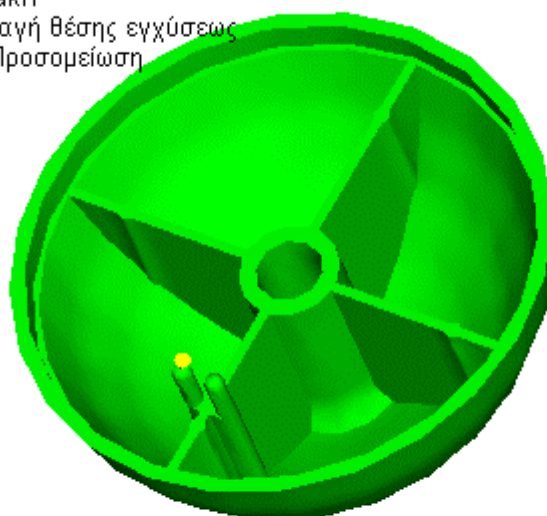
0
 0.07
 0.15
 0.22
 0.30
 0.37
 0.45
 0.52
 0.59
 0.67
 0.74

20 mm



Εικόνα 4.41... Χρόνος Χύτευσης – 4^η προσομοίωση

Date : 11/October/2003 Confidence Of Fill
 Part : kapaki1
 Part Revision : Αλλαγή θέσης εγχύσεως
 Description : 4η Προσομείωση
 Assembly :
 Assembly Rev :

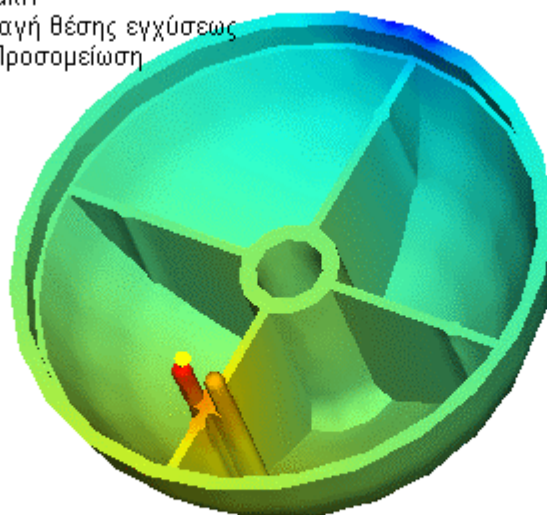


High



Εικόνα 4.42... Εμπιστοσύνη της πλήρωσης – 4^η προσομοίωση

Date : 11/October/2003 Injection Pressure
 Part : kapaki1
 Part Revision : Αλλαγή θέσης εγχύσεως
 Description : 4η Προσομείωση
 Assembly :
 Assembly Rev :

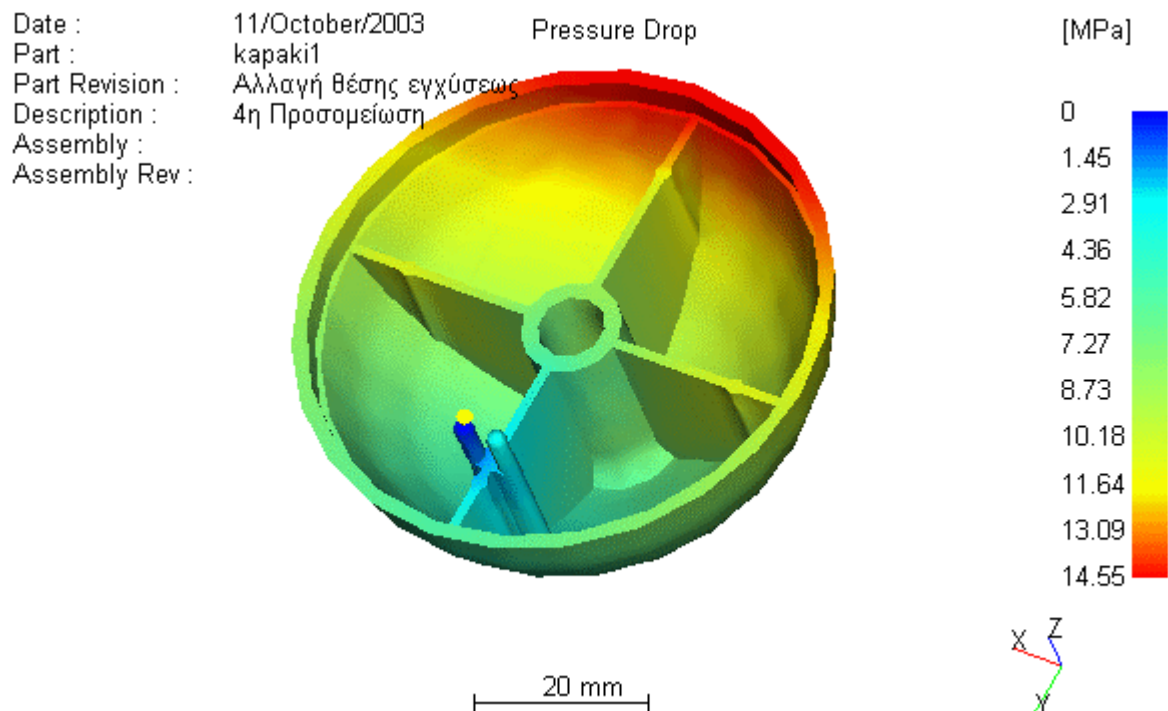


[MPa]

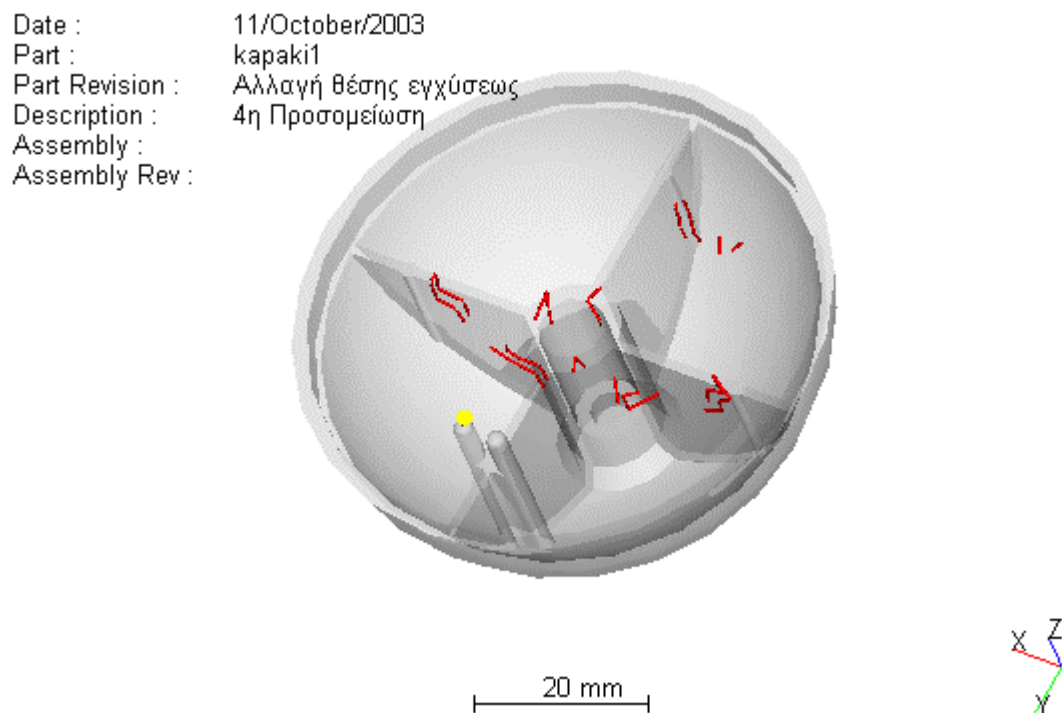
0
 1.45
 2.91
 4.36
 5.82
 7.27
 8.73
 10.18
 11.64
 13.09
 14.55



Εικόνα 4.43... Πίεση εγχύσεως – 4^η προσομοίωση

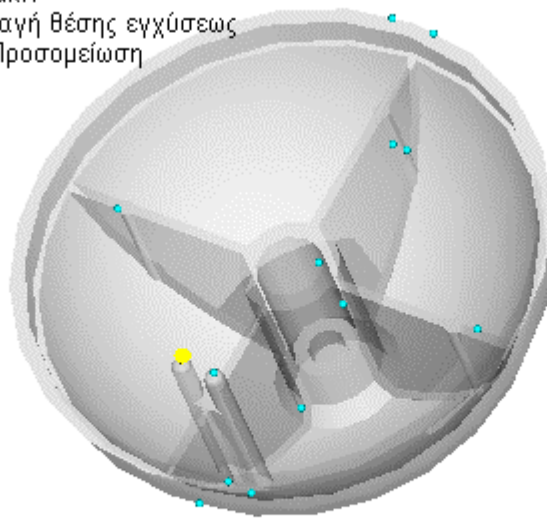


Εικόνα 4.44... Πτώση της πίεσης – 4^η προσομοίωση



Εικόνα 4.45... Γραμμές σύνδεσης – 4^η προσομοίωση

Date : 11/October/2003
Part : kapaki1
Part Revision : Αλλαγή θέσης εγχύσεως
Description : 4η Προσομοίωση
Assembly :
Assembly Rev :



20 mm



Εικόνα 4.46... Φουσαλίδες αέρα – 4^η προσομοίωση

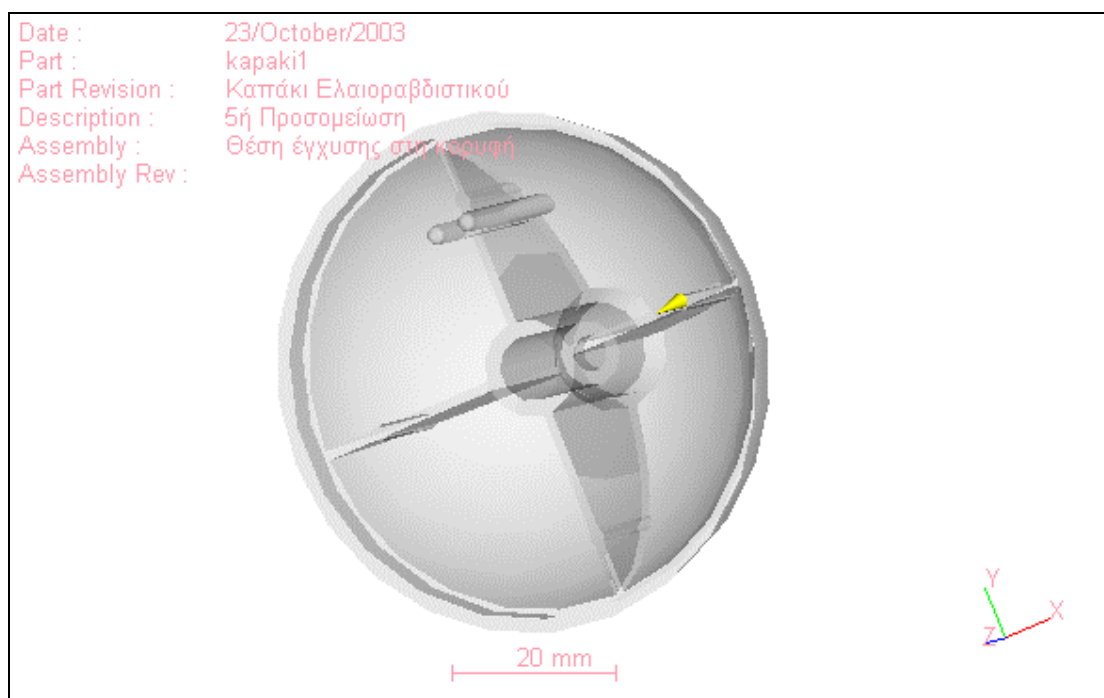
Πράγματι, σε αυτή τη θέση οι φουσαλίδες εξωθούνται στην εξωτερική πλευρά του καλουπιού, όπου μέσω των εγκοπών της μήτρας μπορούν να διαφύγουν και να μην εγκλειστούν στο αντικείμενο. Απ' την άλλη δημιουργούνται πολλές γραμμές σύνδεσης οι οποίες μπορούν όταν φορτιστούν από τάσεις να καταστρέψουν τοπικά το αντικείμενο (εικόνες 4.45, 4.46).

4.4.5 Πέμπτη προσομοίωση με τη θέση εγχύσεως στη κορυφή

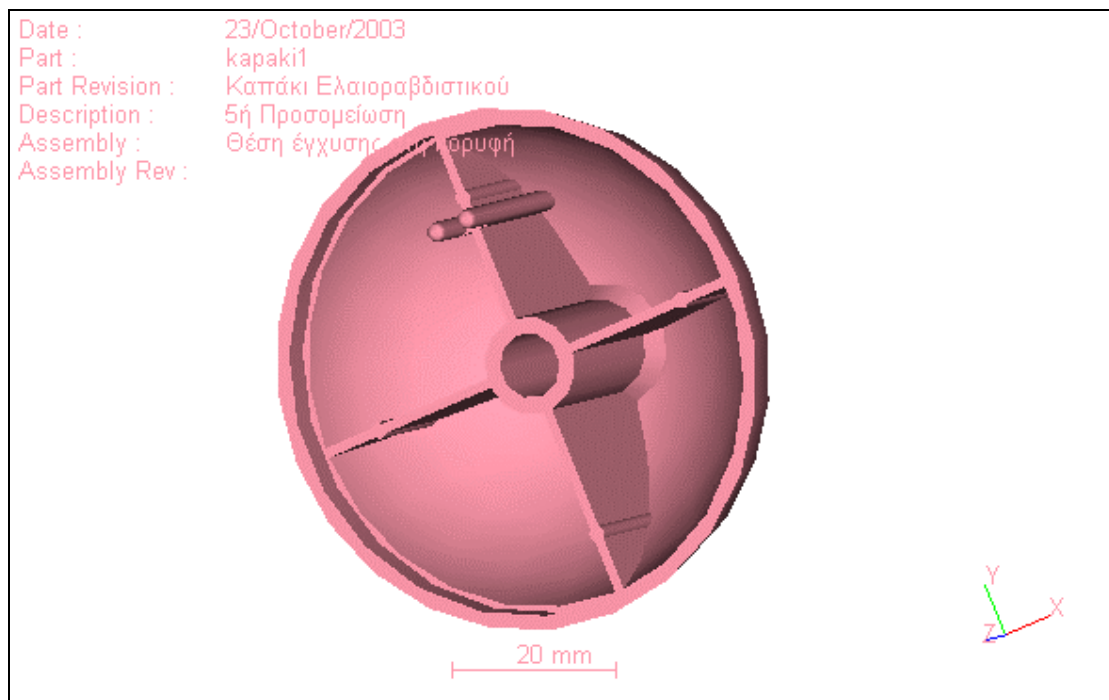
Σε αυτή την προσομοίωση η θέση εγχύσεως έχει τοποθετηθεί στην εξωτερική κορυφή του αντικειμένου. Οι υπόλοιπες συνθήκες είναι ίδιες με της προηγούμενης προσομοίωσης. Θα προσπαθήσουμε να εξετάσουμε κατά πόσο η συγκεκριμένη θέση διαφοροποιεί τα αποτελέσματα σε σχέση με τις προηγούμενες.

PLASTIC Advisor Release Level:	3.20
Part Name:	karaki1
Description:	5ή Προσομείωση
Part Revision:	Καπάκι Ελαιοραβδιστικού
Assembly Name:	Θέση έγχυσης στη κορυφή
Material Supplier:	Borealis
Material Grade:	P430F
Mold Temperature:	40.00 deg.C
Melt Temperature:	245.00 deg.C
Max Injection Pressure:	70.00 MPa
Injection Time:	0.74 sec
Injection Pressure:	9.57 MPa
Weld Lines:	Yes
Air Traps:	Yes

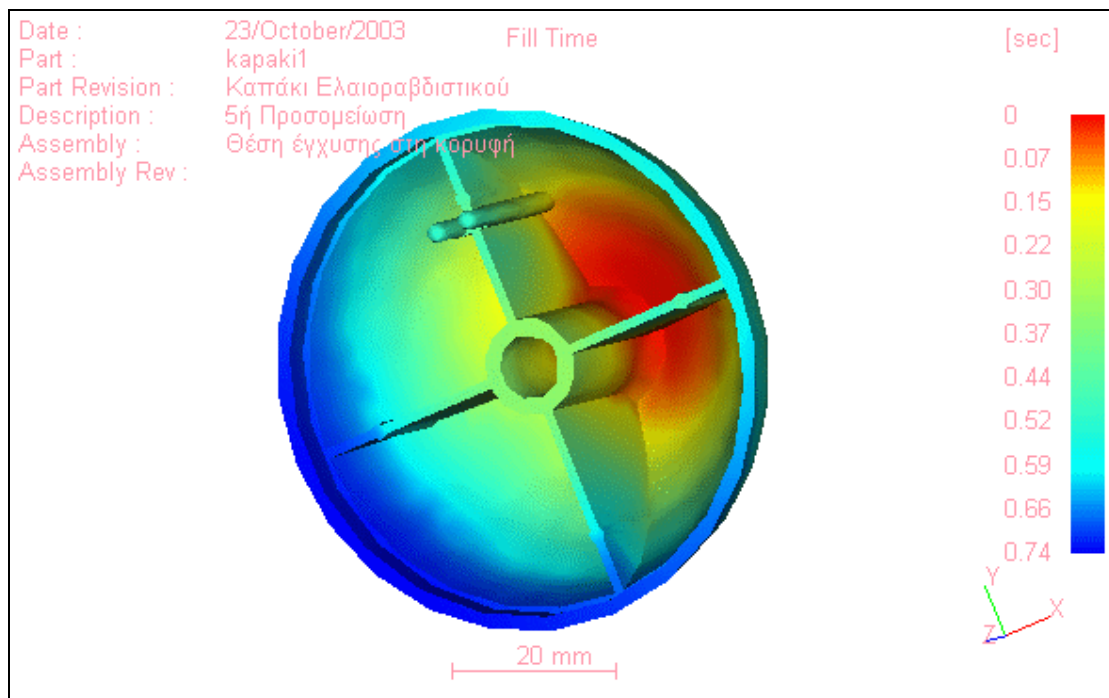
Πίνακας 4.5... Αναφορά παραμέτρων χύτευσης με αλλαγή θέσης εγχύσεως



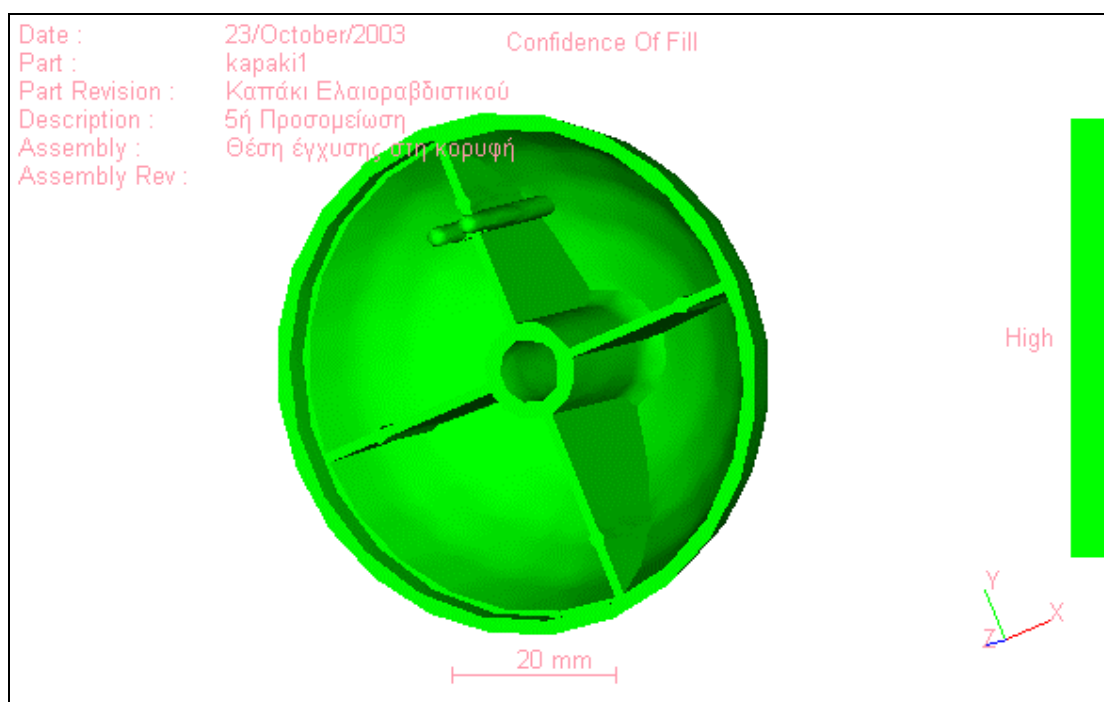
Εικόνα 4.47... Διαφανές μοντέλο – 5^η προσομοίωση



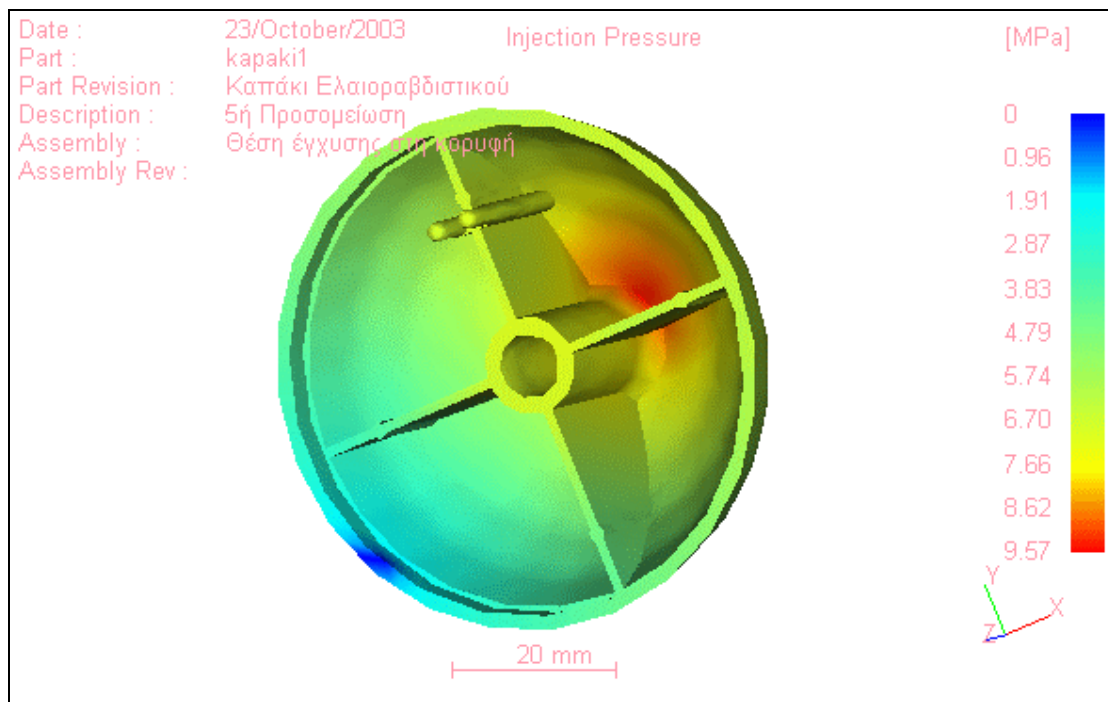
Εικόνα 4.48... Στερεό μοντέλο – 5^η προσομοίωση



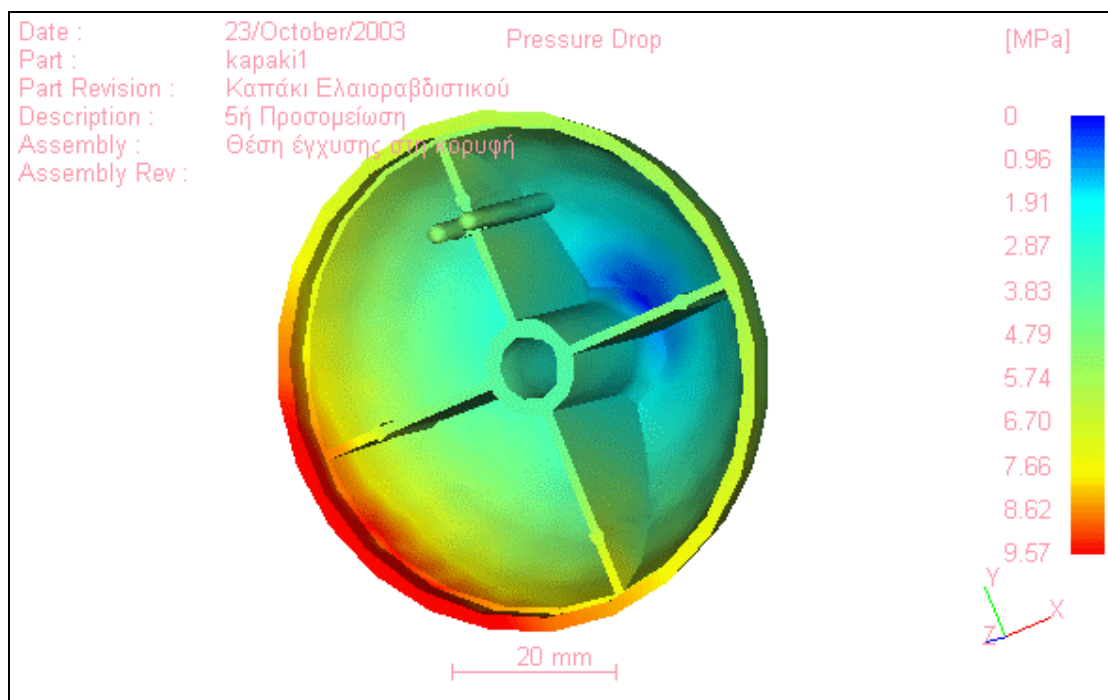
Εικόνα 4.49... Χρόνος Χύτευσης - 5^η προσομοίωση



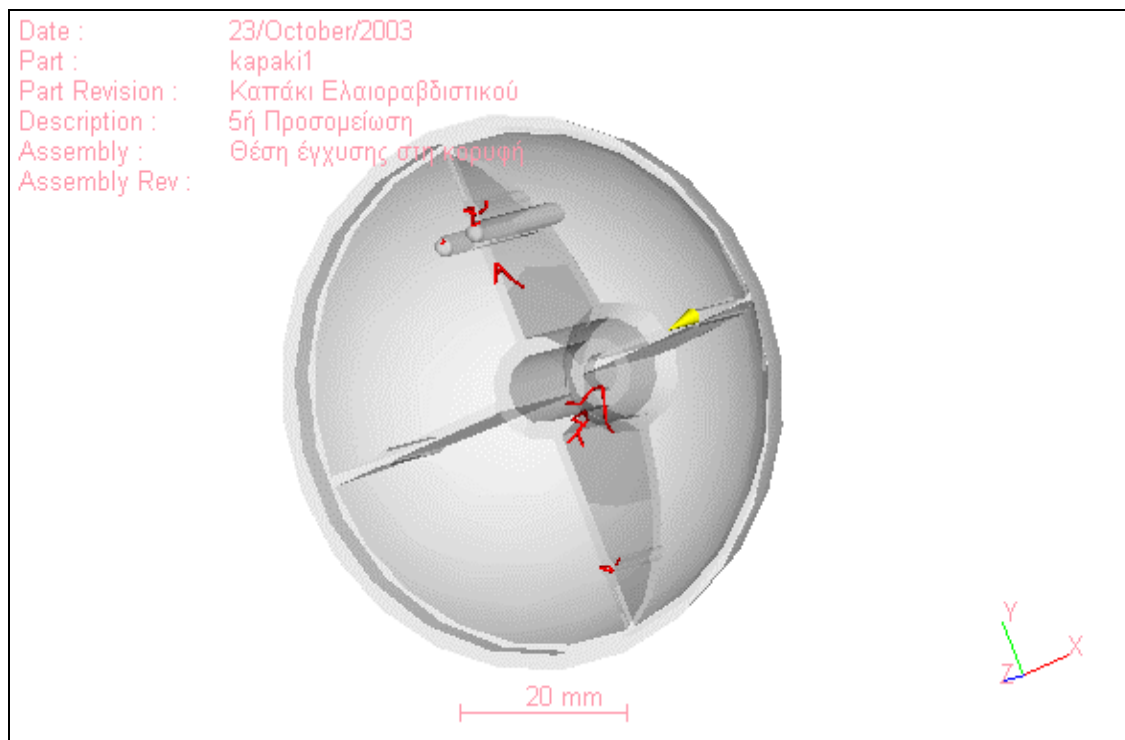
Εικόνα 4.50... Εμπιστοσύνη της πλήρωσης – 5^η προσομοίωση



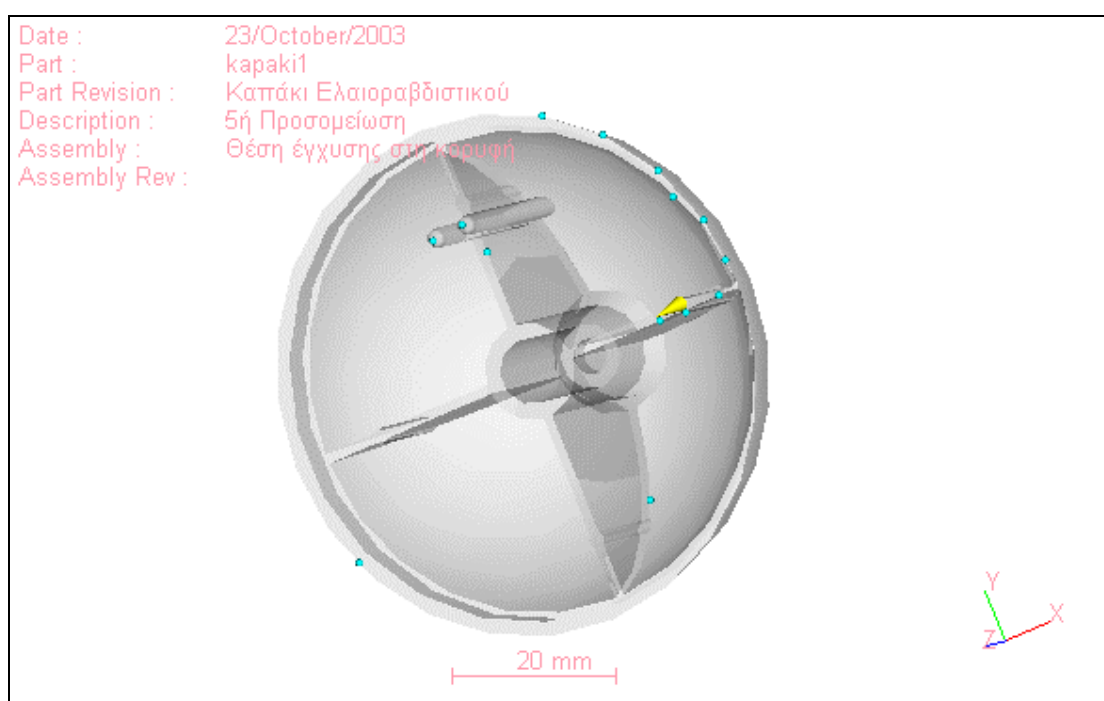
Εικόνα 4.51... Πίεση εγχύσεως – 5^η προσομοίωση



Εικόνα 4.52... Πτώση της πίεσης – 5^η προσομοίωση



Εικόνα 4.53... Γραμμές σύνδεσης – 5^η προσομοίωση



Εικόνα 4.54... Φυσαλίδες αέρα – 5^η προσομοίωση

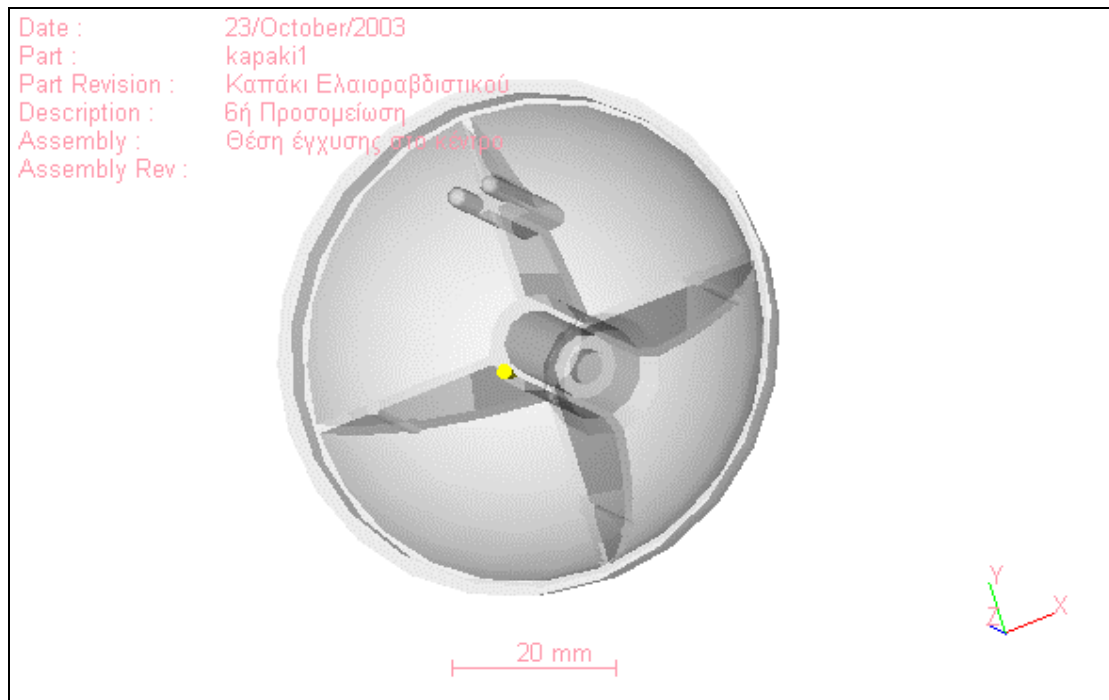
Στη προσομοίωση αυτή τα αποτελέσματα είναι ικανοποιητικά, καθώς όλες οι αναλύσεις δείχνουν ότι η χύτευση θα είναι ομαλή σε όλο το αντικείμενο (εικόνα 4.50). Επίσης, οι φυσαλίδες που δημιουργούνται βρίσκονται στην εξωτερική πλευρά του αντικειμένου (εικόνα 4.54) , οπότε μπορούν να διαφύγουν από τις εγχοπές της μήτρας. Το μόνο αρνητικό σε αυτή τη μοντελοποίηση είναι η δημιουργία γραμμών σύνδεσης πάνω στο σταυροειδές (εικόνα 4.53), που είναι αυτό το οποίο καταπονείται ιδιαίτερα από φορτίσεις. Γενικά η θέση αυτή είναι η καλύτερη σύμφωνα με τα αποτελέσματα των αναλύσεών μας και θα ήταν αυτή που θα επιλέγαμε για την κατασκευή του αντικειμένου.

4.4.6 Έκτη προσομοίωση με τη θέση εγχύσεως στη κορυφή

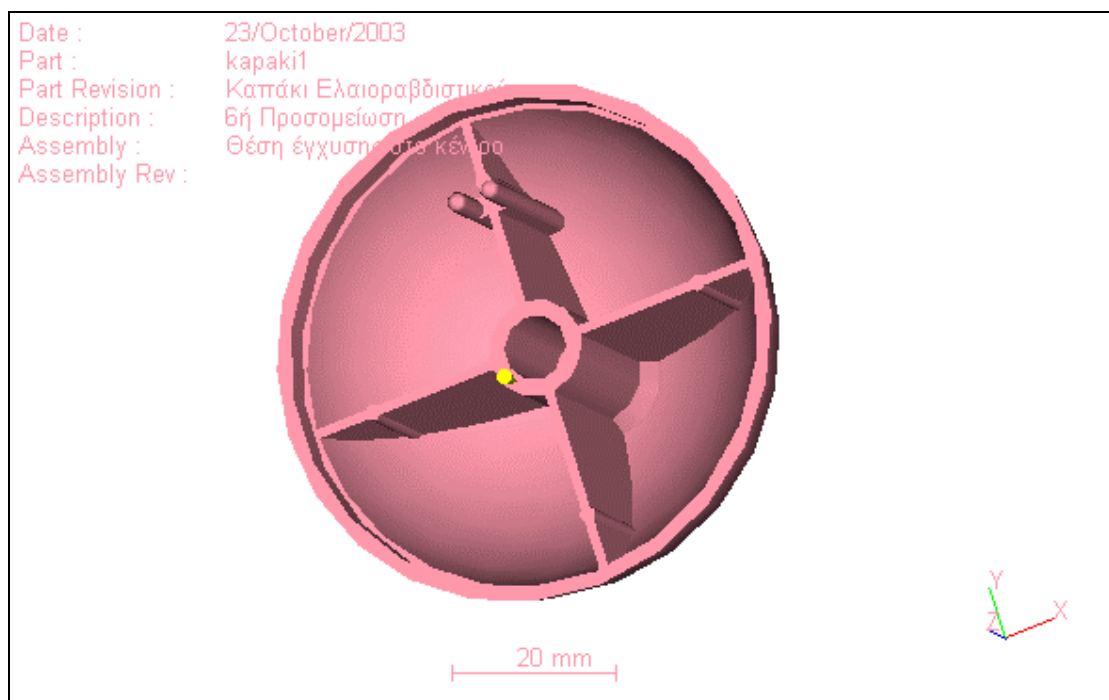
Στην τελευταία μας προσομοίωση τοποθετούμε τη θέση εγχύσεως στο κέντρο του σταυροειδούς. Θεωρητικά θα αποτελούσε μια πολύ καλή επιλογή, λόγω των ισορροπημένων μετώπων ροής που θα δημιουργούσε, αλλά, το γεγονός ότι βρίσκεται στο εσωτερικό του αντικειμένου, καθιστά δύσκολη τη δημιουργία της μήτρας της χύτευσης.

PLASTIC Advisor Release Level:	3.20
Part Name:	kapaki1
Description:	6ή Προσομείωση
Part Revision:	Καπάκι Ελαιοραβδιστικού
Assembly Name:	Θέση έγχυσης στο κέντρο
Material Supplier:	Borealis
Material Grade:	P430F
Mold Temperature:	40.00 deg.C
Melt Temperature:	245.00 deg.C
Max Injection Pressure:	70.00 MPa
Injection Time:	0.74 sec
Injection Pressure:	10.01 MPa
Weld Lines:	Yes
Air Traps:	Yes

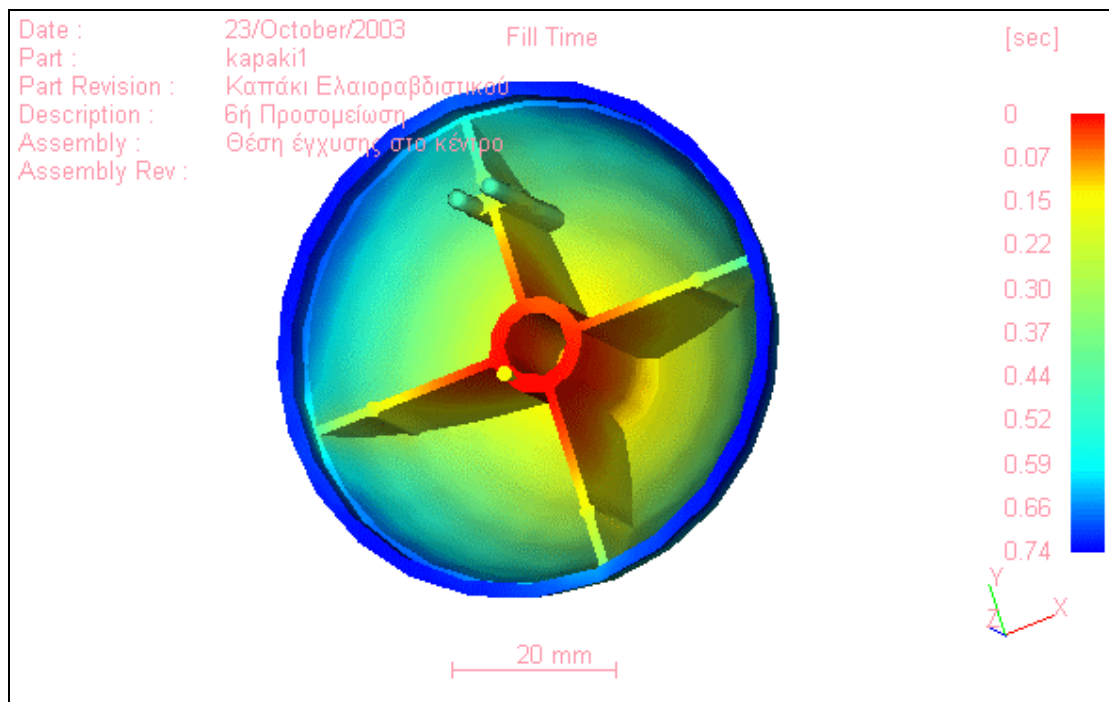
Πίνακας 4.6... Αναφορά παραμέτρων χύτευσης με αλλαγή θέσης εγχύσεως



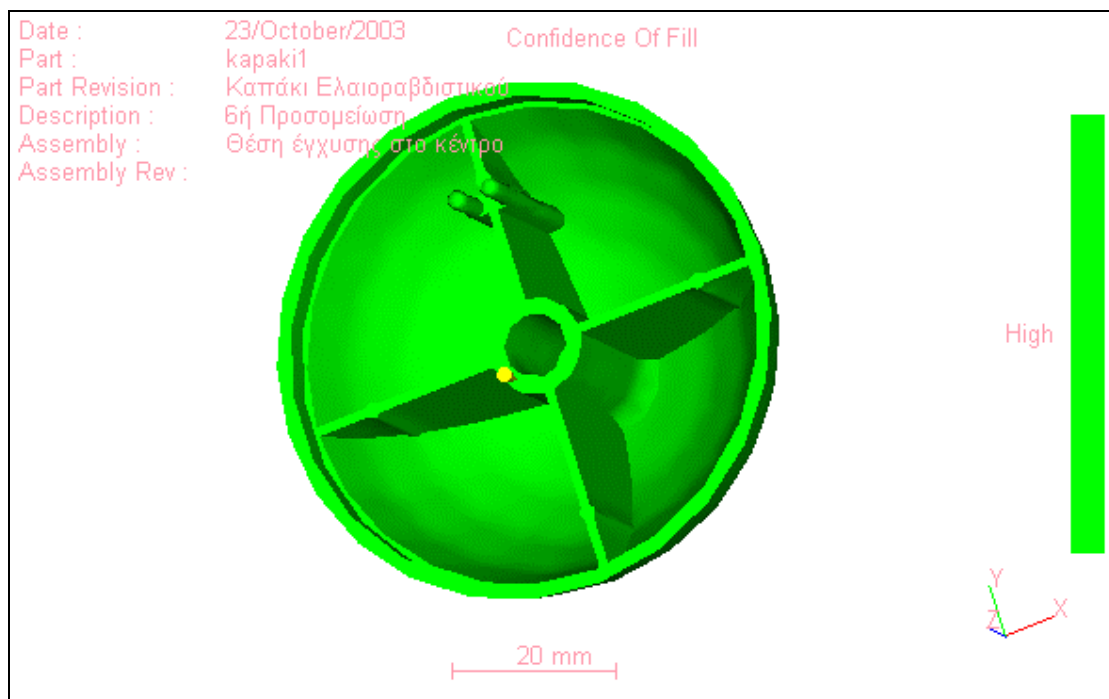
Εικόνα 4.55... Διαφανές μοντέλο – 6^η προσομοίωση



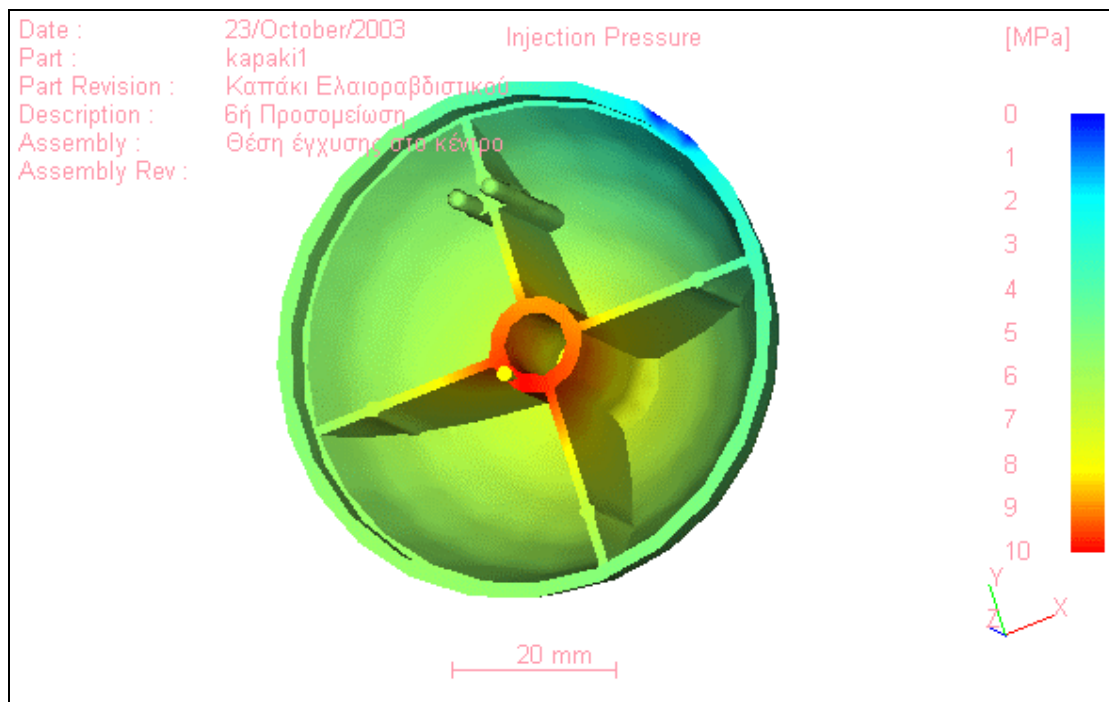
Εικόνα 4.56... Στερεό μοντέλο – 6^η προσομοίωση



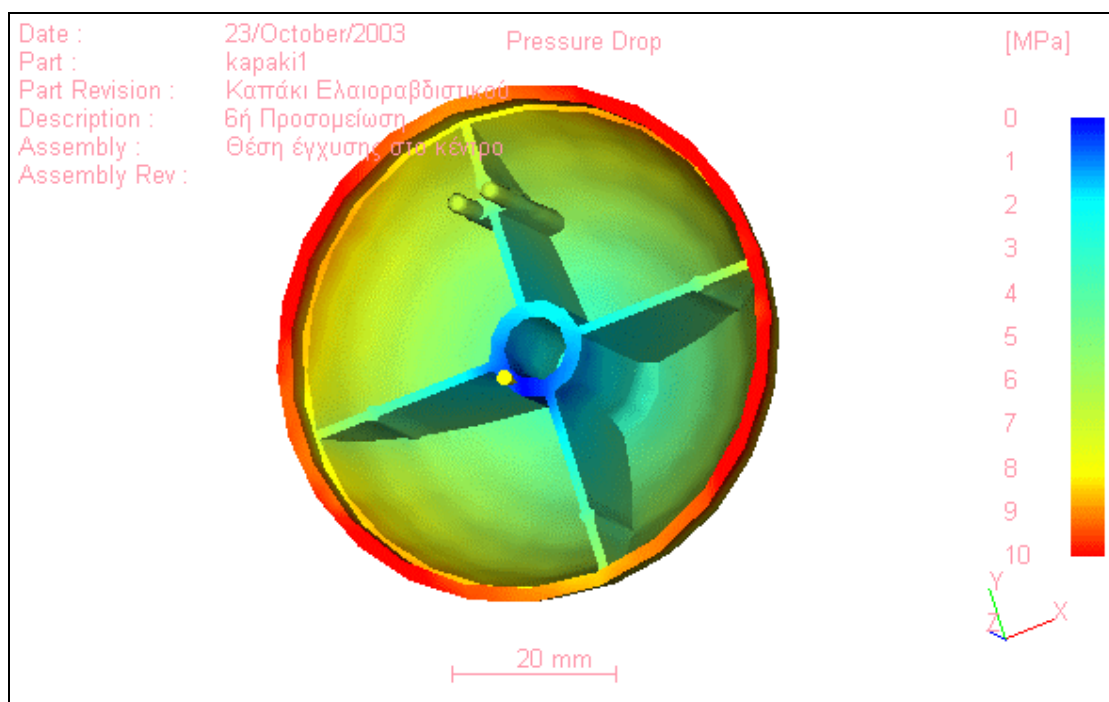
Εικόνα 4.57... Χρόνος Χύτευσης – 6^η προσομοίωση



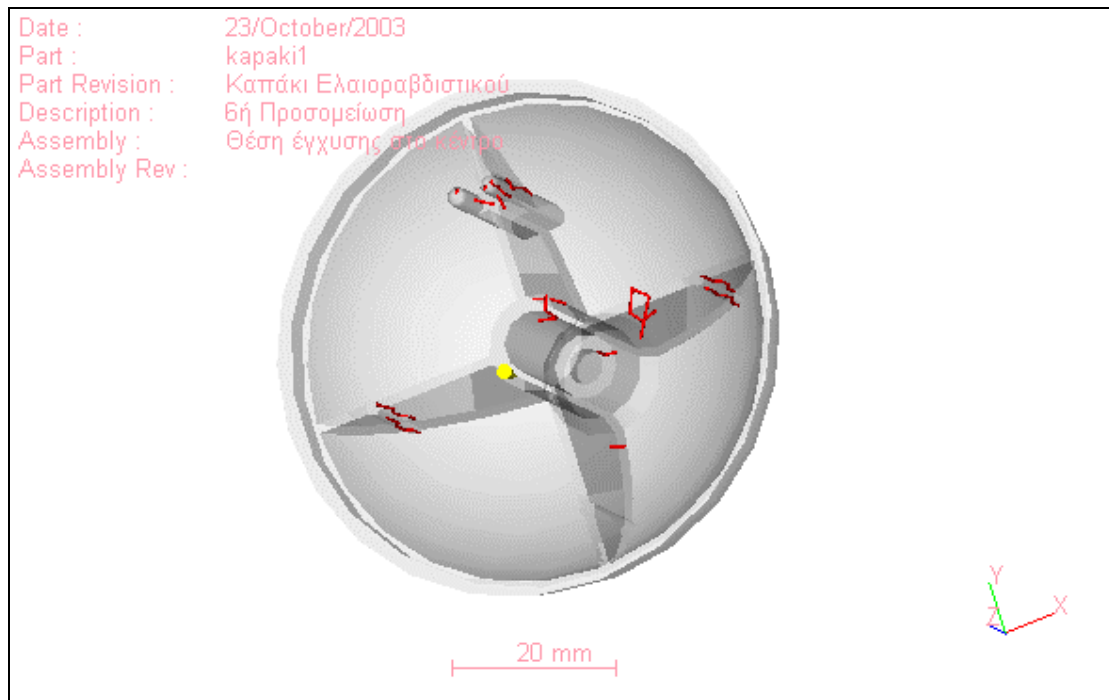
Εικόνα 4.58... Εμπιστοσύνη της πλήρωσης – 6^η προσομοίωση



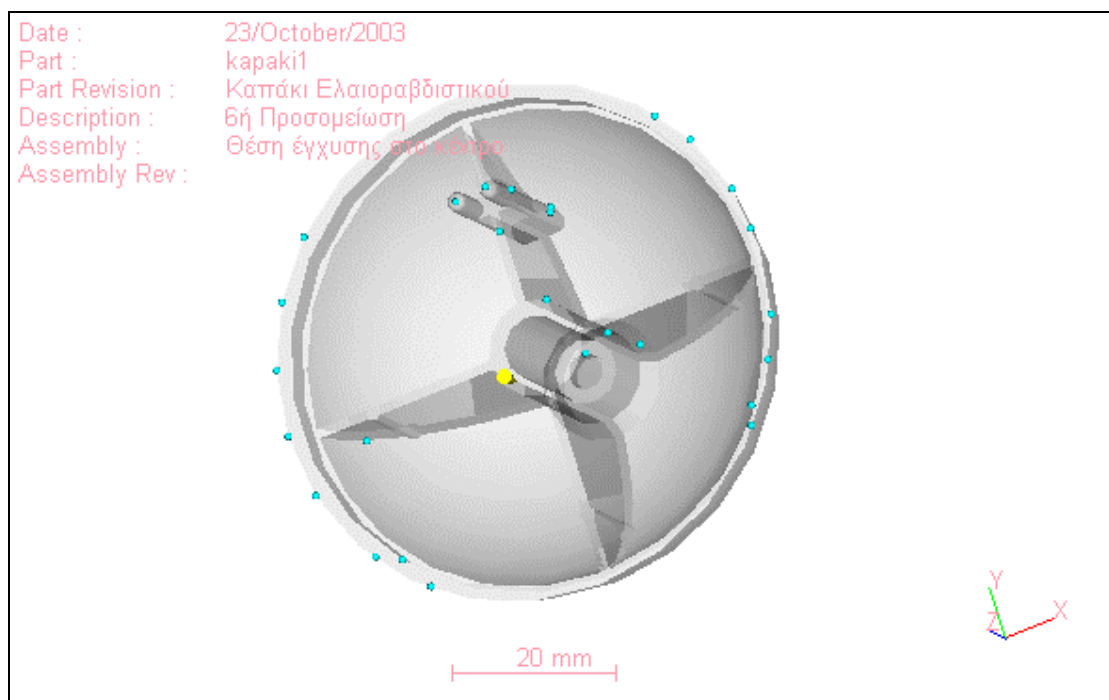
Εικόνα 4.59... Πίεση εγχύσεως – 6^η προσομοίωση



Εικόνα 4.60... Πτώση της πίεσης – 6^η προσομοίωση



Εικόνα 4.61... Γραμμές σύνδεσης – 6^η προσομοίωση



Εικόνα 4.62... Φυσαλίδες αέρα – 6^η προσομοίωση

Όπως φαίνεται από τα αποτελέσματα (εικόνες 4.57, 4.59), η χύτευση υπό πίεση είναι ομοιόμορφη και τα μέτωπα τις ροής μεταδίδονται ομαλά, όπως δηλαδή τα περιμέναμε. Παρατηρούμε βέβαια τη δημιουργία γραμμών σύνδεσης πάνω στο

σταυροειδές και στις προεξοχές, κάτι το οποίο μπορεί να οδηγήσει σε φθορά και αστοχία του αντικειμένου. Το παραπάνω γεγονός σε συνδυασμό με την θέση εγγύσεως στο εσωτερικό της μήτρας καθιστά μη αποδεκτή την επιλογή αυτή.

5. Συμπεράσματα

Όπως είδαμε από την ανάλυση των αποτελεσμάτων, η προσομοίωση της ροής πλαστικών με τη χρήση προγραμμάτων αριθμητικής ανάλυσης δίνει τη δυνατότητα στο μηχανικό παραγωγής να εξετάσει το κατά πόσο οι επιλεγμένες παράμετροι της χύτευσης υπό πίεση ενός αντικειμένου μπορούν να οδηγήσουν σε ποιοτικά αποδεκτό προϊόν χωρίς ατέλειες και εσωτερικές αστοχίες. Η ανάλυση στα πρώιμα στάδια της παραγωγικής διαδικασίας επιτρέπει τη μείωση του συνολικού κόστους παραγωγής, αφού μια μήτρα σε τιμές αγοράς μπορεί να φθάσει σε κόστος τα 600 ευρώ περίπου, ενώ παράλληλα δίνεται η δυνατότητα στο μηχανικό να δημιουργήσει όλο και πιο πολύπλοκα αντικείμενα, με μικρότερο βάρος και μεγαλύτερη αντοχή στο χρόνο και τη χρήση.

Οι προσομοιώσεις που έγιναν οδηγούν στο συμπέρασμα ότι η αρχικά επιλεγθείσα θέση εγχύσεως δεν είναι η καλύτερη δυνατή, λόγω της ανισόρροπης ροής που αυτή θα δημιουργήσει και της φυσαλίδας που θα εμφανιστεί στο εσωτερικό της μήτρας απ' όπου δεν μπορεί να διαφύγει. Αντίθετα η προσομοίωση με τη θέση εγχύσεως στην κορυφή του αντικειμένου προκαλεί ομαλή ροή του πλαστικού μέσα στο καλούπι, με αποτέλεσμα την καλύτερη δυνατή ποιότητα χύτευσης του αντικειμένου.

Το λογισμικό που χρησιμοποιήσαμε έχει ορισμένους περιορισμούς ως προς τις δυνατότητές του και έτσι θα ήταν χρήσιμη η ανάλυση του αντικειμένου με κάποιο πρόγραμμα που θα δίνει τη δυνατότητα προσθήκης πολλαπλών θέσεων εγχύσεως, καναλιών εγχύσεως υλικού, και κυκλωμάτων ψύξης για μια εις βάθος ανάλυση.

Συμπερασματικά, πολλά από τα προβλήματα που παρουσιάζονται κατά τη διαδικασία χύτευσης υπό πίεση μπορούν να αντιμετωπιστούν σε πρώιμο στάδιο, με τη χρήση των εν λόγω λογισμικών, γεγονός που καθιστά απαραίτητη τη χρήση τους κατά τη φάση ανάπτυξης ενός πλαστικού αντικειμένου και έτσι μειώνει το χρόνο παράδοσης στην αγορά του προϊόντος. Η συνεχής εξέλιξη των προγραμμάτων αυτών και των αλγορίθμων που χρησιμοποιούν, σε συνδυασμό με την εμπειρία και την κατάρτιση ενός μηχανικού, οδηγεί σε θεαματικά αποτελέσματα ως προς την ποικιλομορφία και την πολυπλοκότητα των παραγομένων προϊόντων, πολλά από τα οποία μπορούμε να τα συναντήσουμε γύρω μας, όπως τα περιβλήματα των κινητών τηλεφώνων, οθόνες υπολογιστών κ.λπ.

Βιβλιογραφικές Πηγές

- [1] *Plastic Advisor Help notes*, MoldFlow, 2002.
- [2] www.moldflow.com
- [3] I. Menges, G. Mohren, *How to make injection Molds*, Hanser Gardner, 2001.
- [4] Robert Malloy, *Plastic Part Design For Injection Molding*, Hanser Gardner ,1994.
- [5] Herbert Rees, *Understanding Injection Mold Design*, Hanser Gardner ,2001.
- [6] www.immnet.com
- [7] Anne Bernhardt, *How to perform the right part checkup*, IDES, 1999.
- [8] Σηφαλάκη Αντιγόνη , *Έλεγχος αντοχής φιαλών συσκευασίας με τη μέθοδο των πεπερασμένων στοιχείων*, Διπλωματική εργασία, Χανιά 2004.

Πίνακας περιεχομένων

1. ΠΡΟΛΟΓΟΣ	1
2. Η ΜΟΡΦΟΠΟΙΗΣΗ ΠΛΑΣΤΙΚΩΝ ΜΕ ΧΥΤΕΥΣΗ ΥΠΟ ΠΙΕΣΗ (INJECTION MOLDING)	3
2.1 Η ΔΙΑΔΙΚΑΣΙΑ ΠΛΗΡΩΣΗΣ ΕΝΟΣ ΚΑΛΟΥΠΙΟΥ ΜΕ ΠΟΛΥΜΕΡΕΣ ΚΑΙ ΟΙ ΠΑΡΑΜΕΤΡΟΙ ΠΟΥ ΤΗ ΔΙΕΠΟΥΝ	5
2.1.1 Θεωρία της Κρυσταλλικότητας	5
2.1.2 Τα στάδια της πλήρωσης ενός καλουπιού με πολυμερές	6
2.1.3 Επίδραση των τοιχωμάτων στη ροή του πλαστικού	8
2.1.4 Θέσεις Έγχυσης Πολυμερούς	9
2.1.5 Δημιουργία κεκλιμένων τοιχωμάτων στο καλούπι	10
2.2 ΠΡΟΒΛΗΜΑΤΑ ΚΑΤΑ ΤΗ ΧΥΤΕΥΣΗ ΠΛΑΣΤΙΚΩΝ ΚΑΙ ΤΡΟΠΟΙ ΑΝΤΙΜΕΤΩΠΙΣΗΣ ΤΟΥΣ	12
2.2.1 Υπερβολικό βάρος αντικειμένου	12
2.2.2 Υστέρηση ροής	13
2.2.3 Υπερπλήρωση	14
2.2.4 Το φαινόμενο του Ιπποδρόμου	16
2.2.5 Ανισόρροπη Ροή	17
2.2.6 Υποροή	18
2.2.7 Μονής διεύθυνσης Ροή	19
2.2.8 Έγχυση σε λεπτό τμήμα	20
2.2.9 Υλικό που υπόκειται σε στρέβλωση (Material Subject to Warp)	21
3. ΑΡΙΘΜΗΤΙΚΕΣ ΜΕΘΟΔΟΙ ΠΡΟΣΟΜΟΙΩΣΗΣ ΚΑΙ ΠΑΡΟΥΣΙΑΣΗ ΤΟΥ ΤΡΟΠΟΥ ΛΕΙΤΟΥΡΓΙΑΣ ΤΟΥ ΛΟΓΙΣΜΙΚΟΥ	23
3.1 ΑΡΙΘΜΗΤΙΚΕΣ ΜΕΘΟΔΟΙ ΠΡΟΣΟΜΟΙΩΣΗΣ 3.2 ΠΑΡΟΥΣΙΑΣΗ ΤΟΥ ΛΟΓΙΣΜΙΚΟΥ PLASTIC ADVISOR	23
3.2 ΠΑΡΟΥΣΙΑΣΗ ΤΟΥ ΛΟΓΙΣΜΙΚΟΥ PLASTIC ADVISOR	25
3.2.1 Τρόπος λειτουργίας του προγράμματος	26
3.2.2 Πώς προκύπτει η αναφορά ‘Έμπιστοσύνη της πλήρωσης’	27
3.2.3 Παραγωγή της αναφοράς Αποτελεσμάτων της Πίεσης	28
3.2.4 Αυτόματος Χρόνος Πλήρωσης	29
3.2.5 Αποδεκτή γεωμετρία μοντέλου	31
3.2.6 Σχεδιάγραμμα πραγματοποίησης μιας Ανάλυσης	33
3.3 ΤΑ ΑΠΟΤΕΛΕΣΜΑΤΑ ΤΗΣ ΑΝΑΛΥΣΗΣ	34
3.3.1 Γραμμές Σύνδεσης	34
3.3.2 Παγίδες Αέρα	36
3.3.3 Έμπιστοσύνη της πλήρωσης	37
3.3.4 Χρόνος πλήρωσης	39
3.3.5 Αναφορά ανάλυσης πτώσης της πίεσης	40
3.3.6 Πίεση εγχύσεως	41
3.3.7 Θερμοκρασία Μετώπων Ροής	43
3.4 ΣΥΝΕΡΓΑΣΙΑ ΚΑΙ ΣΥΜΒΑΤΟΤΗΤΑ ΤΟΥ PLASTIC ADVISOR ΜΕ ΆΛΛΑ ΛΟΓΙΣΜΙΚΑ	45
3.4.1 Εξάγοντας τα αποτελέσματα στο Moldflow Plastic Insight (MPI)	45
3.4.2 Υποστηριζόμενες διαδικασίες χύτευσης υπό πίεση και διαφορετικών τύπων πλεγμάτων	46
3.4.3 Διασύνδεση με άλλα συστήματα σχεδιομελέτης – MDL (Moldflow Design Link)	47
3.5 ΥΠΟΣΤΗΡΙΖΟΜΕΝΑ ΠΟΛΥΜΕΡΗ	49
3.5.1 Παράδειγμα αρχείου ASCII	51
4. ΕΦΑΡΜΟΓΗ ΚΑΙ ΠΕΡΙΓΡΑΦΗ ΤΟΥ INTERFACE ΤΟΥ ΛΟΓΙΣΜΙΚΟΥ	53
4.1 ΠΡΟΕΤΟΙΜΑΣΙΑ ΓΙΑ ΤΗΝ ΑΝΑΛΥΣΗ	53
4.1.1 Εισαγωγή της γεωμετρίας	53
4.1.2 Εργαλειοθήκη προσδιορισμού παραμέτρων της ανάλυσης	54
4.1.3 Θέση εγχύσεως και επιλογή πολυμερούς	54
4.1.4 Επιλογές εμφάνισης του αντικειμένου	57
4.2 ΠΡΟΒΟΛΗ ΤΩΝ ΑΠΟΤΕΛΕΣΜΑΤΩΝ	61
4.2.1 Παράθυρο Σύνοψης των αποτελεσμάτων	61

4.2.2 Εργαλειοθήκη αποτελεσμάτων.....	62
4.2.3 Αναφορά των αποτελεσμάτων.....	63
4.3 ΕΠΙΠΛΕΟΝ ΔΥΝΑΤΟΤΗΤΕΣ ΤΟΥ ΛΟΓΙΣΜΙΚΟΥ	65
4.3.1 Εργαλειοθήκη προβολών	65
4.3.2 Γραμμή προβολών.....	65
4.3.3 Παράμετροι εμφάνισης και λειτουργίας του ΜΡΑ.....	65
4.3.4 Παράθυρο Ιδιοτήτων Αντικειμένου.....	67
4.3.4 Χρησιμοποιώντας το HELP.....	68
4.4 ΑΠΟΤΕΛΕΣΜΑΤΑ ΕΦΑΡΜΟΓΗΣ ΚΑΙ ΑΝΑΛΥΣΗ ΤΟΥΣ.....	70
4.4.1 Αυτόματος χρόνος χύτευσης.....	70
4.4.2 Δεύτερη προσομοίωση με αλλαγή του χρόνου εγχύσεως	75
4.4.3 Τρίτη Προσομοίωση με χρόνο χύτευσης 10 sec	81
4.4.4 Τέταρτη Προσομοίωση με αλλαγή θέσης εγχύσεως.....	88
4.4.5 Πέμπτη προσομοίωση με τη θέση εγχύσεως στη κορυφή.....	93
4.4.6 Έκτη προσομοίωση με τη θέση εγχύσεως στη κορυφή.....	99
5. ΣΥΜΠΕΡΑΣΜΑΤΑ.....	106

Πίνακας εικόνων

ΕΙΚΟΝΑ 2.1... ΣΧΗΜΑΤΟΠΟΙΗΜΕΝΗ ΠΑΡΟΥΣΙΑΣΗ ΔΙΑΔΙΚΑΣΙΑΣ ΧΥΤΕΥΣΗΣ ΥΠΟ ΠΙΕΣΗ.....	3
ΕΙΚΟΝΑ 2.2... ΣΥΜΜΕΤΡΙΚΗ, ΑΜΟΡΦΗ ΚΑΙ ΗΜΙΚΡΥΣΤΑΛΛΙΚΗ ΔΙΑΤΑΞΗ ΜΑΚΡΟΜΟΡΙΩΝ ΠΛΑΣΤΙΚΟΥ	5
ΕΙΚΟΝΑ 2.3... ΡΟΗ ΠΛΑΣΤΙΚΟΥ ΚΑΤΑ ΤΗ ΦΑΣΗ ΤΗΣ ΠΛΗΡΩΣΗΣ	6
ΕΙΚΟΝΑ 2.4... ΦΑΣΗ ΠΙΕΣΗΣ ΠΛΑΣΤΙΚΟΥ ΥΛΙΚΟΥ	7
ΕΙΚΟΝΑ 2.5... ΟΛΗΓΟΙ ΚΑΙ ΑΝΑΚΛΑΣΤΗΡΕΣ ΡΟΗΣ.....	8
ΕΙΚΟΝΑ 2.6... ΑΛΛΑΓΗ ΘΕΣΗΣ ΕΓΧΥΣΕΩΣ.....	9
ΕΙΚΟΝΑ 2.7... ΠΟΛΛΑΠΛΕΣ ΘΕΣΕΙΣ ΕΓΧΥΣΕΩΣ.....	10
ΕΙΚΟΝΑ 2.8... ΚΑΛΟΥΠΙ ΧΩΡΙΣ ΚΕΚΛΙΜΕΝΑ ΤΟΙΧΩΜΑΤΑ	11
ΕΙΚΟΝΑ 2.9... ΚΑΛΟΥΠΙ ΜΕ ΚΕΚΛΙΜΕΝΑ ΤΟΙΧΩΜΑΤΑ	11
ΕΙΚΟΝΑ 2.10... ΥΣΤΕΡΗΣΗ ΤΗΣ ΡΟΗΣ	13
ΕΙΚΟΝΑ 2.11... ΥΠΕΡΠΛΗΡΩΣΗ ΠΛΑΣΤΙΚΟΥ	15
ΕΙΚΟΝΑ 2.12... ΦΑΙΝΟΜΕΝΟ ΤΟΥ ΙΠΠΟΔΡΟΜΟΥ.....	16
ΕΙΚΟΝΑ 2.13... ΑΝΙΣΟΡΡΟΠΗ ΡΟΗ ΚΑΙ ΤΟ ΦΑΙΝΟΜΕΝΟ ΤΟΥ ΙΠΠΟΔΡΟΜΟΥ	17
ΕΙΚΟΝΑ 2.14... ΑΝΙΣΟΡΡΟΠΗ ΡΟΗ	18
ΕΙΚΟΝΑ 2.15... ΔΗΜΙΟΥΡΓΙΑ ΥΠΟΡΟΗΣ	19
ΕΙΚΟΝΑ 2.16... ΔΙΕΥΘΥΝΣΗ ΡΟΗΣ ΣΕ ΑΝΤΙΚΕΙΜΕΝΟ ΜΕ ΟΜΟΙΟΜΟΡΦΟ ΠΑΧΟΣ....	20
ΕΙΚΟΝΑ 2.17... ΔΙΕΥΘΥΝΣΗ ΡΟΗΣ ΣΕ ΑΝΤΙΚΕΙΜΕΝΟ ΜΕ ΑΝΟΜΟΙΟΜΟΡΦΟ ΠΑΧΟΣ	20
ΕΙΚΟΝΑ 3.1... ΕΜΠΙΣΤΟΣΥΝΗ ΤΗΣ ΠΛΗΡΩΣΗΣ.....	25
ΕΙΚΟΝΑ 3.2... ΣΧΕΣΗ ΘΕΡΜΟΚΡΑΣΙΑΣ - ΠΙΕΣΗΣ ΣΤΗΝ ΑΝΑΦΟΡΑ ΄ΕΜΠΙΣΤΟΣΥΝΗΣ ΤΗΣ ΠΛΗΡΩΣΗΣ΄΄	28
ΕΙΚΟΝΑ 3.3... ΠΟΛΥΜΕΡΕΣ ΜΕ ΜΙΑ ΘΕΣΗ ΕΓΧΥΣΕΩΣ.....	28
ΕΙΚΟΝΑ 3.4... ΔΙΑΓΡΑΜΜΑ ΜΕΤΑΒΟΛΗΣ ΤΗΣ ΠΙΕΣΗΣ ΣΤΗ ΘΕΣΗ ΕΓΧΥΣΕΩΣ ΚΑΙ ΣΕ ΕΝΑ ΤΥΧΑΙΟ ΣΗΜΕΙΟ Χ.....	29
ΕΙΚΟΝΑ 3.5... ΔΙΑΓΡΑΜΜΑ ΠΙΕΣΗΣ ΕΓΧΥΣΕΩΣ-ΧΡΟΝΟΥ ΕΓΧΥΣΕΩΣ.....	30
ΕΙΚΟΝΑ 3.6...ΑΠΟΔΕΚΤΗ ΓΕΩΜΕΤΡΙΚΗ ΑΝΑΛΟΓΙΑ.....	31
ΕΙΚΟΝΑ 3.7... ΓΕΩΜΕΤΡΙΚΗ ΑΝΑΛΟΓΙΑ ΑΠΟΔΕΚΤΟΥ ΚΑΙ ΜΗ ΜΟΝΤΕΛΟΥ.....	32
ΕΙΚΟΝΑ 3.8... ΓΩΝΙΕΣ ΣΥΓΚΛΙΣΗΣ ΜΕΤΩΠΩΝ ΡΟΗΣ ΚΑΙ ΔΗΜΙΟΥΡΓΙΑ ΓΡΑΜΜΩΝ ΕΝΩΣΗΣ (WELD LINES).....	34
ΕΙΚΟΝΑ 3.9... ΔΗΜΙΟΥΡΓΙΑ ΓΡΑΜΜΩΝ ΣΥΓΚΟΛΛΗΣΗΣ	34
ΕΙΚΟΝΑ 3.10... ΔΗΜΙΟΥΡΓΙΑ ΦΥΣΑΛΙΔΑΣ ΑΕΡΑ ΣΤΗΝ ΑΚΜΗ ΕΝΟΣ ΑΝΤΙΚΕΙΜΕΝΟΥ	36
ΕΙΚΟΝΑ 3.11... ΔΗΜΙΟΥΡΓΙΑ ΦΥΣΑΛΙΔΑΣ ΑΕΡΑ ΛΟΓΩ ΑΝΙΣΟΡΡΟΠΗΣ ΡΟΗΣ	36
ΕΙΚΟΝΑ 3.12... ΧΡΩΜΑΤΙΚΗ ΑΠΕΙΚΟΝΙΣΗ ΕΜΠΙΣΤΟΣΥΝΗΣ ΤΗΣ ΠΛΗΡΩΣΗΣ.....	38
ΕΙΚΟΝΑ 3.13... ΧΡΩΜΑΤΙΚΗ ΑΝΑΠΑΡΑΣΤΑΣΗ ΤΟΥ ΧΡΟΝΟΥ ΠΛΗΡΩΣΗΣ	39
ΕΙΚΟΝΑ 3.14... ΧΡΩΜΑΤΙΚΗ ΑΝΑΠΑΡΑΣΤΑΣΗ ΤΗΣ ΠΤΩΣΗΣ ΠΙΕΣΗΣ.....	40
ΕΙΚΟΝΑ 3.15... ΧΡΩΜΑΤΙΚΗ ΑΝΑΠΑΡΑΣΤΑΣΗ ΤΗΣ ΠΙΕΣΗΣ ΕΓΧΥΣΕΩΣ.....	42
ΕΙΚΟΝΑ 3.16... ΧΡΩΜΑΤΙΚΗ ΑΝΑΠΑΡΑΣΤΑΣΗ ΘΕΡΜΟΚΡΑΣΙΩΝ ΜΕΤΩΠΟΥ ΡΟΗΣ..	43

ΕΙΚΟΝΑ 3.17... ΧΥΤΕΥΣΗ ΠΟΛΛΑΠΛΩΝ ΑΝΤΙΚΕΙΜΕΝΩΝ ΚΑΙ ΚΥΚΛΩΜΑ ΨΥΞΗΣ ΣΤΟ MPI.....	45
ΕΙΚΟΝΑ 3.18... ΑΠΟΔΟΣΗ ΠΟΛΥΜΕΡΩΝ ΥΛΙΚΩΝ ΣΕ ΧΥΤΕΥΣΗ ΥΠΟ ΠΙΕΣΗΣ.....	50
ΕΙΚΟΝΑ 4.1... ΤΟ ΠΑΡΑΘΥΡΟ ΤΟΥ PRO ENGINEER ΠΡΙΝ ΤΗΝ ΕΙΣΑΓΩΓΗ ΤΟΥ ΑΝΤΙΚΕΙΜΕΝΟΥ ΣΤΟ PLASTIC ADVISOR.....	53
ΕΙΚΟΝΑ 4.2... ΠΑΡΑΘΥΡΟ ΟΡΙΣΜΟΥ ΤΟΥ ΠΟΛΥΜΕΡΟΥΣ ΣΥΜΦΩΝΑ ΜΕ ΤΗΝ ΕΜΠΟΡΙΚΗ ΤΟΥ ΟΝΟΜΑΣΙΑ ΚΑΙ ΤΟΝ ΚΑΤΑΣΚΕΥΑΣΤΗ ΤΟΥ	55
ΕΙΚΟΝΑ 4.3... ΠΑΡΑΘΥΡΟ ΕΥΡΕΣΗΣ ΤΟΥ ΠΟΛΥΜΕΡΟΥΣ ΣΥΜΦΩΝΑ ΜΕ ΤΗΝ ΕΜΠΟΡΙΚΗ ΤΟΥ ΟΝΟΜΑΣΙΑ ΤΟΝ ΠΡΟΜΗΘΕΥΤΗ, ΤΟ ΣΥΝΤΕΛΕΣΤΗ ΡΟΗΣ Η ΤΗ ΜΟΡΦΗ ΤΟΥ ΠΟΛΥΜΕΡΟΥΣ	56
ΕΙΚΟΝΑ 4.4... ΠΑΡΑΘΥΡΟ ΕΙΣΑΓΩΓΗΣ ΤΩΝ ΠΑΡΑΜΕΤΡΩΝ ΤΗΣ ΧΥΤΕΥΣΗΣ.....	56
ΕΙΚΟΝΑ 4.5... ΜΕΤΡΗΣΗ ΑΠΟΣΤΑΣΗΣ ΣΤΟ PLASTIC ADVISOR	58
ΕΙΚΟΝΑ 4.6... ΤΟ ΑΝΤΙΚΕΙΜΕΝΟ ΣΕ “ΑΠΟΚΟΜΜΕΝΗ” ΠΡΟΒΟΛΗ	59
ΕΙΚΟΝΑ 4.7... ΠΑΡΑΘΥΡΟ ΟΡΙΣΜΟΥ ΤΗΣ ΕΜΦΑΝΙΣΗΣ ΤΟΥ ΑΝΤΙΚΕΙΜΕΝΟΥ	59
ΕΙΚΟΝΑ 4.8... ΣΥΝΟΨΗ ΤΩΝ ΑΠΟΤΕΛΕΣΜΑΤΩΝ ΤΗΣ ΑΝΑΛΥΣΗΣ.....	62
ΕΙΚΟΝΑ 4.9... ΠΑΡΑΘΥΡΟ ΟΡΙΣΜΟΥ ΤΩΝ ΠΑΡΑΜΕΤΡΩΝ ΤΗΣ ΑΝΑΦΟΡΑΣ ΤΩΝ ΑΠΟΤΕΛΕΣΜΑΤΩΝ	64
ΕΙΚΟΝΑ 4.10... ΠΑΡΑΘΥΡΟ ΕΙΣΑΓΩΓΗΣ ΠΑΡΑΜΕΤΡΩΝ ΛΕΙΤΟΥΡΓΙΑΣ ΚΑΙ ΕΜΦΑΝΙΣΗΣ ΤΟΥ PLASTIC ADVISOR.....	67
ΕΙΚΟΝΑ 4.11... ΠΑΡΑΘΥΡΟ ΠΛΗΡΟΦΟΡΙΩΝ ΤΟΥ ΑΝΤΙΚΕΙΜΕΝΟΥ	68
ΕΙΚΟΝΑ 4.13... ΣΤΕΡΕΟ ΜΟΝΤΕΛΟ - 1 ^Η ΠΡΟΣΟΜΟΙΩΣΗ	71
ΕΙΚΟΝΑ 4.14... ΧΡΟΝΟΣ ΠΛΗΡΩΣΗΣ - 1 ^Η ΠΡΟΣΟΜΟΙΩΣΗ	71
ΕΙΚΟΝΑ 4.15... ΕΜΠΙΣΤΟΣΥΝΗ ΤΗΣ ΠΛΗΡΩΣΗΣ – 1 ^Η ΠΡΟΣΟΜΟΙΩΣΗ	72
ΕΙΚΟΝΑ 4.16... ΠΙΕΣΗ ΕΓΧΥΣΕΩΣ – 1 ^Η ΠΡΟΣΟΜΟΙΩΣΗ	72
ΕΙΚΟΝΑ 4.17... ΠΤΩΣΗ ΠΙΕΣΗΣ - 1 ^Η ΠΡΟΣΟΜΟΙΩΣΗ.....	73
ΕΙΚΟΝΑ 4.18... ΘΕΡΜΟΚΡΑΣΙΑ ΜΕΤΩΠΟΥ ΡΟΗΣ – 1 ^Η ΠΡΟΣΟΜΟΙΩΣΗ.....	73
ΕΙΚΟΝΑ 4.19... ΓΡΑΜΜΕΣ ΣΥΝΔΕΣΗΣ – 1 ^Η ΠΡΟΣΟΜΟΙΩΣΗ	74
ΕΙΚΟΝΑ 4.20... ΦΥΣΑΛΙΔΕΣ ΕΓΚΛΩΒΙΣΜΕΝΟΥ ΑΕΡΑ – 1 ^Η ΠΡΟΣΟΜΟΙΩΣΗ.....	74
ΕΙΚΟΝΑ 4.21... ΔΙΑΦΑΝΗ ΚΑΙ ΚΑΝΟΝΙΚΗ ΠΡΟΒΟΛΗ - 2 ^Η ΠΡΟΣΟΜΟΙΩΣΗ.....	77
ΕΙΚΟΝΑ 4.22... ΧΡΟΝΟΣ ΠΛΗΡΩΣΗΣ – 2 ^Η ΠΡΟΣΟΜΟΙΩΣΗ.....	78
ΕΙΚΟΝΑ 4.23... ΕΜΠΙΣΤΟΣΥΝΗ ΤΗΣ ΠΛΗΡΩΣΗΣ – 2 ^Η ΠΡΟΣΟΜΟΙΩΣΗ	78
ΕΙΚΟΝΑ 4.24... ΠΙΕΣΗ ΧΥΤΕΥΣΗΣ – 2 ^Η ΠΡΟΣΟΜΟΙΩΣΗ	79
ΕΙΚΟΝΑ 4.25... ΠΤΩΣΗ ΠΙΕΣΗΣ – 2 ^Η ΠΡΟΣΟΜΟΙΩΣΗ	79
ΕΙΚΟΝΑ 4.26... ΘΕΡΜΟΚΡΑΣΙΑ ΜΕΤΩΠΟΥ ΡΟΗΣ – 2 ^Η ΠΡΟΣΟΜΟΙΩΣΗ.....	80
ΕΙΚΟΝΑ 4.27... ΓΡΑΜΜΕΣ ΣΥΝΔΕΣΗΣ – 2 ^Η ΠΡΟΣΟΜΟΙΩΣΗ	80
ΕΙΚΟΝΑ 4.28... ΦΥΣΑΛΙΔΕΣ ΑΕΡΑ – 2 ^Η ΠΡΟΣΟΜΟΙΩΣΗ.....	81
ΕΙΚΟΝΑ 4.29... ΔΙΑΦΑΝΗ ΠΡΟΒΟΛΗ – 3 ^Η ΠΡΟΣΟΜΟΙΩΣΗ	83
ΕΙΚΟΝΑ 4.30... ΣΤΕΡΕΟ ΜΟΝΤΕΛΟ - 3 ^Η ΠΡΟΣΟΜΟΙΩΣΗ	83
ΕΙΚΟΝΑ 4.31... ΧΡΟΝΟΣ ΠΛΗΡΩΣΗΣ - 3 ^Η ΠΡΟΣΟΜΟΙΩΣΗ	84
ΕΙΚΟΝΑ 4.32... ΕΜΠΙΣΤΟΣΥΝΗ ΤΗΣ ΠΛΗΡΩΣΗΣ – 3 ^Η ΠΡΟΣΟΜΟΙΩΣΗ	84
ΕΙΚΟΝΑ 4.33... ΠΙΕΣΗ ΕΓΧΥΣΕΩΣ – 3 ^Η ΠΡΟΣΟΜΟΙΩΣΗ	85
ΕΙΚΟΝΑ 4.34... ΠΤΩΣΗ ΤΗΣ ΠΙΕΣΗΣ – 3 ^Η ΠΡΟΣΟΜΟΙΩΣΗ.....	85

ΕΙΚΟΝΑ 4.35... ΘΕΡΜΟΚΡΑΣΙΑ ΜΕΤΩΠΟΥ ΡΟΗΣ – 3 ^Η ΠΡΟΣΟΜΟΙΩΣΗ.....	86
ΕΙΚΟΝΑ 4.36... ΓΡΑΜΜΕΣ ΣΥΝΔΕΣΗΣ – 3 ^Η ΠΡΟΣΟΜΟΙΩΣΗ	86
ΕΙΚΟΝΑ 4.37... ΦΥΣΑΛΙΔΕΣ ΑΕΡΑ – 3 ^Η ΠΡΟΣΟΜΟΙΩΣΗ.....	87
ΕΙΚΟΝΑ 4.38... ΠΡΟΤΕΙΝΟΜΕΝΕΣ ΘΕΡΜΟΚΡΑΣΙΕΣ ΜΟΡΦΟΠΟΙΗΣΗΣ ΥΠΟ ΠΙΕΣΗΣ..	88
ΕΙΚΟΝΑ 4.39... ΔΙΑΦΑΝΗΣ ΠΡΟΒΟΛΗ – 4 ^Η ΠΡΟΣΟΜΟΙΩΣΗ	89
ΕΙΚΟΝΑ 4.40... ΣΤΕΡΕΟ ΜΟΝΤΕΛΟ – 4 ^Η ΠΡΟΣΟΜΟΙΩΣΗ	90
ΕΙΚΟΝΑ 4.41... ΧΡΟΝΟΣ ΧΥΤΕΥΣΗΣ – 4 ^Η ΠΡΟΣΟΜΟΙΩΣΗ	90
ΕΙΚΟΝΑ 4.42... ΕΜΠΙΣΤΟΣΥΝΗ ΤΗΣ ΠΛΗΡΩΣΗΣ – 4 ^Η ΠΡΟΣΟΜΟΙΩΣΗ	91
ΕΙΚΟΝΑ 4.43... ΠΙΕΣΗ ΕΓΧΥΣΕΩΣ – 4 ^Η ΠΡΟΣΟΜΟΙΩΣΗ	91
ΕΙΚΟΝΑ 4.44... ΠΤΩΣΗ ΤΗΣ ΠΙΕΣΗΣ – 4 ^Η ΠΡΟΣΟΜΟΙΩΣΗ.....	92
ΕΙΚΟΝΑ 4.45... ΓΡΑΜΜΕΣ ΣΥΝΔΕΣΗΣ – 4 ^Η ΠΡΟΣΟΜΟΙΩΣΗ	92
ΕΙΚΟΝΑ 4.46... ΦΥΣΑΛΙΔΕΣ ΑΕΡΑ – 4 ^Η ΠΡΟΣΟΜΟΙΩΣΗ.....	93
ΕΙΚΟΝΑ 4.47... ΔΙΑΦΑΝΕΣ ΜΟΝΤΕΛΟ – 5 ^Η ΠΡΟΣΟΜΟΙΩΣΗ	95
ΕΙΚΟΝΑ 4.48... ΣΤΕΡΕΟ ΜΟΝΤΕΛΟ – 5 ^Η ΠΡΟΣΟΜΟΙΩΣΗ	95
ΕΙΚΟΝΑ 4.49... ΧΡΟΝΟΣ ΧΥΤΕΥΣΗΣ - 5 ^Η ΠΡΟΣΟΜΟΙΩΣΗ	95
ΕΙΚΟΝΑ 4.50... ΕΜΠΙΣΤΟΣΥΝΗ ΤΗΣ ΠΛΗΡΩΣΗΣ – 5 ^Η ΠΡΟΣΟΜΟΙΩΣΗ	96
ΕΙΚΟΝΑ 4.51... ΠΙΕΣΗ ΕΓΧΥΣΕΩΣ – 5 ^Η ΠΡΟΣΟΜΟΙΩΣΗ	97
ΕΙΚΟΝΑ 4.52... ΠΤΩΣΗ ΤΗΣ ΠΙΕΣΗΣ – 5 ^Η ΠΡΟΣΟΜΟΙΩΣΗ.....	97
ΕΙΚΟΝΑ 4.53... ΓΡΑΜΜΕΣ ΣΥΝΔΕΣΗΣ – 5 ^Η ΠΡΟΣΟΜΟΙΩΣΗ	98
ΕΙΚΟΝΑ 4.54... ΦΥΣΑΛΙΔΕΣ ΑΕΡΑ – 5 ^Η ΠΡΟΣΟΜΟΙΩΣΗ.....	98
ΕΙΚΟΝΑ 4.55... ΔΙΑΦΑΝΕΣ ΜΟΝΤΕΛΟ – 6 ^Η ΠΡΟΣΟΜΟΙΩΣΗ	101
ΕΙΚΟΝΑ 4.56... ΣΤΕΡΕΟ ΜΟΝΤΕΛΟ – 6 ^Η ΠΡΟΣΟΜΟΙΩΣΗ	101
ΕΙΚΟΝΑ 4.57... ΧΡΟΝΟΣ ΧΥΤΕΥΣΗΣ – 6 ^Η ΠΡΟΣΟΜΟΙΩΣΗ	102
ΕΙΚΟΝΑ 4.58... ΕΜΠΙΣΤΟΣΥΝΗ ΤΗΣ ΠΛΗΡΩΣΗΣ – 6 ^Η ΠΡΟΣΟΜΟΙΩΣΗ	102
ΕΙΚΟΝΑ 4.59... ΠΙΕΣΗ ΕΓΧΥΣΕΩΣ – 6 ^Η ΠΡΟΣΟΜΟΙΩΣΗ	103
ΕΙΚΟΝΑ 4.60... ΠΤΩΣΗ ΤΗΣ ΠΙΕΣΗΣ – 6 ^Η ΠΡΟΣΟΜΟΙΩΣΗ.....	103
ΕΙΚΟΝΑ 4.61... ΓΡΑΜΜΕΣ ΣΥΝΔΕΣΗΣ – 6 ^Η ΠΡΟΣΟΜΟΙΩΣΗ	104
ΕΙΚΟΝΑ 4.62... ΦΥΣΑΛΙΔΕΣ ΑΕΡΑ – 6 ^Η ΠΡΟΣΟΜΟΙΩΣΗ.....	104