

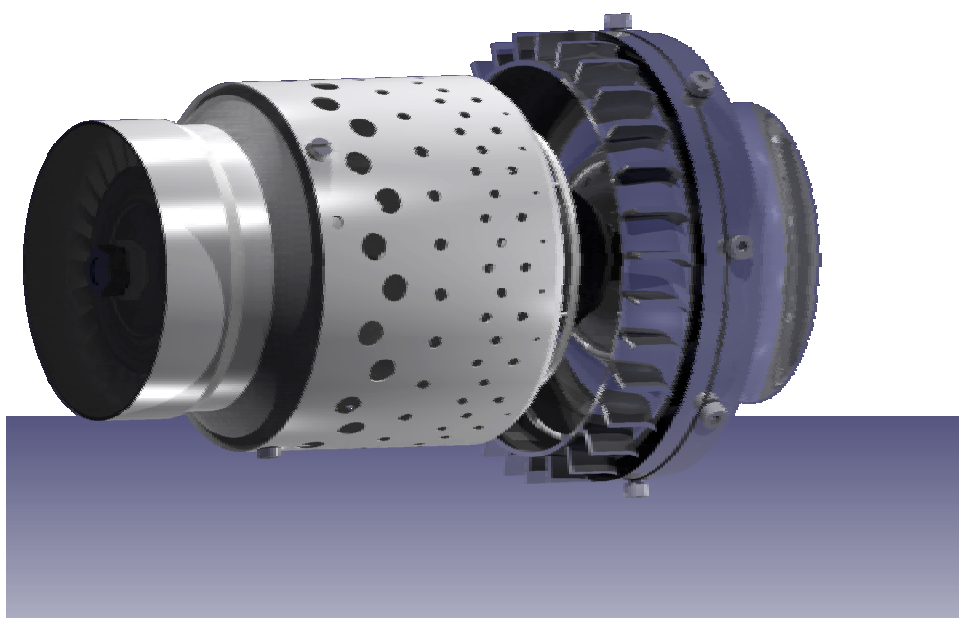


ΠΟΛΥΤΕΧΝΕΙΟ ΚΡΗΤΗΣ
ΤΜΗΜΑ ΜΗΧΑΝΙΚΩΝ ΠΑΡΑΓΩΓΗΣ ΚΑΙ ΔΙΟΙΚΗΣΗΣ

ΔΙΠΛΩΜΑΤΙΚΗ ΕΡΓΑΣΙΑ

ΔΗΜΙΟΥΡΓΙΑ ΨΗΦΙΑΚΟΥ ΠΑΡΑΜΕΤΡΙΚΟΥ ΠΡΟΤΥΠΟΥ
ΜΙΚΡΟΥ ΣΤΡΟΒΙΛΟΑΝΤΙΔΡΑΣΤΗΡΑ

ΚΟΥΤΣΟΥΚΟΣ ΚΩΝΣΤΑΝΤΙΝΟΣ



Επιβλέπων:
Νικολός Ιωάννης, Λέκτορας

Μέλη τριμελούς επιτροπής:
Κουϊκόγλου Βασίλειος, Αν. Καθ.
Τσουρβελούδης Νικόλαος, Επ. Καθ.

Χανιά 2003

Στους γονείς μου,
Στέφανο και Ακριβή

ΠΡΟΛΟΓΟΣ

Η εργασία αυτή πλαισιώνει την ενασχόλησή μου με τους μικρούς στροβιλοαντιδραστήρες καθώς και τα συστήματα σχεδίασης με χρήση ηλεκτρονικών υπολογιστών, στα πλαίσια της διπλωματικής εργασίας που εκπονήθηκε το δέκατο εξάμηνο της φοίτησής μου στο Πολυτεχνείο Κρήτης.

Πρώτα από όλους θα ήθελα να ευχαριστήσω τον καθηγητή μου Δρ. Ιωάννη Νικολό, που με την γνώση του, την εμπειρία του και την επιμονή του, με βοήθησε σε όλους τους τομείς, έτσι ώστε η εργασία αυτή να περατωθεί, παρουσιάζοντας το καλύτερο δυνατό αποτέλεσμα. Ευχαριστώ επίσης τον Αν. Καθ. Βασίλειο Κουϊκόγλου και τον Επ. Καθ. Νικόλαο Τσουρβελούδη, που μου έκαναν την τιμή να είναι μέλη της τριμελούς εξεταστικής επιτροπής.

Θερμά επίσης θέλω να ευχαριστήσω την εταιρία EADS – 3SIGMA A.E. με έδρα τα Χανιά. Χωρίς τη βοήθειά της η παρούσα εργασία δεν θα είχε φθάσει στο επίπεδο αυτό.

Τέλος θα ήθελα να ευχαριστήσω τους γονείς μου, για την συμπαράστασή τους τα χρόνια της φοίτησής μου στο Πολυτεχνείο Κρήτης.

ΠΕΡΙΕΧΟΜΕΝΑ

ΚΕΦΑΛΑΙΟ 1 : ΕΙΣΑΓΩΓΗ	5
ΚΕΦΑΛΑΙΟ 2 : ΣΤΡΟΒΙΛΟΑΝΤΙΔΡΑΣΤΗΡΕΣ	7
2.1 Ιστορική εξέλιξη	7
2.2 Αρχές λειτουργίας των στροβιλοαντιδραστήρων	8
2.3 Τύποι αεριοστροβίλων	9
2.4 Βασικά στοιχεία της γεωμετρίας και της ροής	12
2.4.1 Ο στρόβιλος	12
2.4.2 Ο Συμπιεστής	14
ΚΕΦΑΛΑΙΟ 3 : ΠΕΡΙΓΡΑΦΗ ΤΗΣ ΣΧΕΔΙΑΣΗΣ ΤΩΝ ΚΥΡΙΟΤΕΡΩΝ ΤΜΗΜΑΤΩΝ ΤΟΥ ΚΙΝΗΤΗΡΑ	17
3.1 Άξονας	17
3.2 Έδραση του άξονα	18
3.3 Διαχύτης	20
3.4 Πτερωτή του συμπιεστή	24
3.5 Ο Θάλαμος καύσης	30
3.6 Τα έδρανα κύλισης	36
3.7 Οδηγιά πτερύγια στροβίλου (στάτορας στροβίλου)	39
3.8 Πτερωτή στροβίλου	41
3.9 Κέλυφος διαχύτη	43
ΚΕΦΑΛΑΙΟ 4 : ΠΑΡΑΜΕΤΡΙΚΗ ΜΟΝΤΕΛΟΠΟΙΗΣΗ	45
4.1 Γενικά	45
4.2 Παραμετρική σχεδίαση	46
4.3 Η περίπτωση του συμπιεστή	47
4.4 Πτερωτή συμπιεστή μεταβλητού πάχους	54
4.5 Η περίπτωση του στροβίλου	57
ΚΕΦΑΛΑΙΟ 5 : ΣΥΜΠΕΡΑΣΜΑΤΑ	61
ΒΙΒΛΙΟΓΡΑΦΙΑ	63
ΠΑΡΑΡΤΗΜΑ 1 : ΕΝΤΟΛΕΣ ΣΧΕΔΙΑΣΗΣ	64
Π1.1 Γενικά	64
Π1.2 Το Επίπεδο Σχεδίασης (Sketcher WorkBench)	64
Π1.3 Τροποποίηση των σχεδιαζόμενων σχημάτων	75
Π1.4 Σχεδίαση Αντικειμένου (Part Design)	76
Π1.5 Generative Shape Design and Optimizer	84
Π1.6 Assembly Design	88
ΠΑΡΑΡΤΗΜΑ 2 : ΠΑΡΟΥΣΙΑΣΗ ΚΙΝΗΤΗΡΑ	92

ΚΕΦΑΛΑΙΟ 1

ΕΙΣΑΓΩΓΗ

Η παρούσα εργασία αναφέρεται στην κατασκευή του ψηφιακού προτύπου ενός μικρού στροβιλοαντιδραστήρα, ο οποίος χρησιμοποιείται για την πρόωση μη επανδρωμένων αεροσκαφών. Το ψηφιακό πρότυπο του κινητήρα κατασκευάστηκε με τη χρήση εξελιγμένου λογισμικού σχεδίασης με χρήση Η/Υ (CAD). Για την κατασκευή του ψηφιακού προτύπου χρησιμοποιήθηκε ένας πραγματικός κινητήρας, ο οποίος αποσυναρμολογήθηκε και μετρήθηκαν με προσοχή όλες οι απαιτούμενες για τη σχεδίαση διαστάσεις των επιμέρους τμημάτων του. Στη συνέχεια κατασκευάστηκαν τα τρισδιάστατα σχέδια του κάθε τμήματος, ενώ στο τέλος κατασκευάστηκε και το τελικό συναρμολογημένο αντικείμενο.

Σχεδόν από το ξεκίνημα της εργασίας αυτής, στόχος δεν ήταν απλώς η κατασκευή των σχεδίων του κινητήρα, αλλά επιπλέον η διερεύνηση των δυνατοτήτων διαφορετικών λογισμικών, καθώς και η εύρεση του τρόπου εφαρμογής στα συγκεκριμένα προγράμματα CAD της παραμετρικής σχεδίασης ενός πολύπλοκου αντικειμένου. Ήταν δηλαδή επιθυμητό να κατασκευαστεί το ψηφιακό πρότυπο του κινητήρα σε τέτοια μορφή (με χρήση παραμέτρων) ώστε να είναι εύκολη και γρήγορη η παραγωγή διαφορετικών γεωμετριών με απλή αλλαγή της τιμής κάποιων παραμέτρων (π.χ. πλήθος πτερυγίων πτερωτής συμπίεστη). Η αντιμετώπιση αυτή προσδίδει τη δυνατότητα της συνεργασίας του λογισμικού σχεδίασης με προγράμματα εξομίωσης και λογισμικό βελτιστοποίησης, όπως θα αναλυθεί εκτενέστερα σε επόμενο κεφάλαιο.

Το εργαλείο για την εργασία αυτή δεν θα μπορούσε να είναι άλλο από ένα σύγχρονο σύστημα CAD. Αρχικά έγινε προσπάθεια ώστε η ψηφιακή προτυποποίηση του στροβιλοαντιδραστήρα να γίνει με το λογισμικό Pro-Engineer 2000i² της Parametric Technology. Στην συνέχεια όμως της εργασίας (και με δεδομένο τις υψηλές δυνατότητες που προσφέρουν τα συστήματα αυτά στην ανάπτυξη προϊόντων), εξερευνήθηκε η δυνατότητα της παραμετροποιημένης μοντελοποίησης βασικών εξαρτημάτων του κινητήρα (στρόβιλος – συμπίεστης) για την αυτοματοποιημένη παραγωγή διαφορετικών σχεδιάσεων. Η απαίτηση αυτή έδωσε νέα τροχιά στην εργασία και στον τρόπο σκέψης για την παραγωγή της σχεδίασης του κάθε αντικειμένου, καθώς θα έπρεπε να υπήρχε η δυνατότητα για παραμετροποίηση συγκεκριμένων μεταβλητών της γεωμετρίας. Επίσης θα έπρεπε κάθε αντικείμενο να σχεδιάζεται εξ' αρχής με αυτή την προοπτική, κάτι που επιβάλλει διαφορετική φιλοσοφία στην απεικόνισή του.

Το σημείο αυτό ήταν καθοριστικό και για το σύστημα CAD που μέχρι τότε χρησιμοποιούσαμε, καθώς είχε αρχίσει να δείχνει την αδυναμία του στην μοντελοποίηση και παραμετροποίηση πολύπλοκων γεωμετριών, όπως πτερυγώσεις ακτινικών και αξονικών συμπίεστών καθώς και την αδυναμία του στο χειρισμό μεγάλου αριθμού σημείων ελέγχου (π.χ. αυτών που δημιουργούσαν τις γενέτειρες των πτερυγώσεων).

Λόγω των σημαντικών περιορισμών του συστήματος αυτού, εγκαταλείφθηκε η χρήση του και η σχεδίαση ξεκίνησε εξ' αρχής, χρησιμοποιώντας το λογισμικό CATIA V5R9 της Dassault Systemes, που θεωρείται το κορυφαίο σύστημα CAD, ειδικά για αεροδιαστημικές εφαρμογές. Η μετάβαση σε αυτό κρίθηκε αφενός επιβεβλημένη, αφετέρου δε αποτέλεσε και τον νέο στόχο της εργασίας, την εκμάθηση δηλαδή ενός πολύπλοκου συστήματος CAD, χωρίς να υπάρχει καμία προηγούμενη εμπειρία σε αυτό. Επιπλέον, απαιτούνταν η διερεύνηση των δυνατοτήτων του σε βάθος, ώστε να καταστεί δυνατή η παραμετρική μοντελοποίηση επιμέρους τμημάτων του κινητήρα. Η υιοθέτηση

του CATIA ήταν καθοριστική και απέτέλεσε πολύτιμο εργαλείο στην ολοκλήρωση της εργασίας.

Η εργασία αυτή ολοκληρώνεται με την πλήρη παρουσίαση του στροβιλοαντιδραστήρα σε μορφή συλλογής (Assembly) όλων των αντικειμένων που τον αποτελούν.

Η δομή της εργασίας έχει ως εξής. Στο δεύτερο κεφάλαιο γίνεται αναφορά στους στροβιλοαντιδραστήρες, στις αρχές λειτουργίας τους, στις εφαρμογές που βρίσκουν και αναλύεται χρονικά η εξέλιξη τους. Αναλύονται τα βασικά μέρη που τους αποτελούν και παρατίθεται κάποια βασική ορολογία, που θα χρειαστεί στη γεωμετρική αναπαράστασή τους.

Στο τρίτο κεφάλαιο γίνεται η παρουσίαση του τρόπου με τον οποίο σχεδιάστηκαν όλα τα κύρια εξαρτήματα του στροβιλοαντιδραστήρα, με αναλυτικές αναφορές στις δύσκολες γεωμετρίες και την χρήση πολλών εικόνων, για την πιο κατανοητή περιγραφή των επιμέρους γεωμετριών. Ο τρόπος με τον οποίο παρουσιάζεται το κεφάλαιο αυτό αντικατοπτρίζει και τον τρόπο που πρέπει να ακολουθηθεί για την σχεδίαση αντίστοιχων πολύπλοκων ή όχι αντικειμένων με την χρήση του CATIA. Αποτελεί δηλαδή ένα καλό εργαλείο για κάποιον που ασχολείται με την μοντελοποίηση στερεών.

Το τέταρτο κεφάλαιο περιέχει το ουσιαστικότερο τμήμα της εργασίας αυτής, τον τρόπο με τον οποίο υλοποιήθηκε η παραμετρική σχεδίαση των πτερωτών του συμπιεστή και του στροβίλου. Αφού γίνει μία εισαγωγή στην παραμετρική σχεδίαση, περιγράφεται, βήμα προς βήμα, η διαδικασία που ακολουθήθηκε, τόσο για το συμπιεστή, όσο και για το στροβίλο. Χωρίς η διαδικασία να είναι η μοναδική ή η καλύτερη, μπορεί να αποτελέσει ένα χρήσιμο βοήθημα για τους νεοεισερχόμενους στο χώρο.

Το πέμπτο κεφάλαιο περιλαμβάνει κάποια σύντομα συμπεράσματα και προτάσεις για τη συνέχιση της εργασίας.

Το Παράρτημα 1 αποτελεί ουσιαστικά ένα εύχρηστο εγχειρίδιο των σημαντικότερων εντολών του CATIA, που χρησιμοποιήθηκαν για τη σχεδίαση του στροβιλοαντιδραστήρα. Θεωρούμε ότι είναι χρήσιμη η παράθεσή τους, αφού το συγκεκριμένο λογισμικό δεν διδάσκεται στο Πολυτεχνείο Κρήτης (ούτε σε κάποιο άλλο Ελληνικό Πανεπιστήμιο). Σκοπός του κεφαλαίου αυτού είναι να διοχετεύσει τις γνώσεις και την εμπειρία που εμείς αποκτήσαμε από την χρήση αυτού του πακέτου, δίνοντας τη δυνατότητα στον αναγνώστη για εκμάθηση αυτού του πακέτου εύκολα και ευχάριστα.

Στο Παράρτημα 2 περιέχεται αναλυτική παρουσίαση μέσω εικόνων όλων των αντικειμένων του στροβιλοαντιδραστήρα, τη συναρμογή του κινητήρα, καθώς και τομές του κινητήρα σε διάφορα επίπεδα. Στο κεφάλαιο αυτό δίνεται στον καθένα η δυνατότητα να εκτιμήσει τις γραφικές δυνατότητες του συστήματος CATIA.

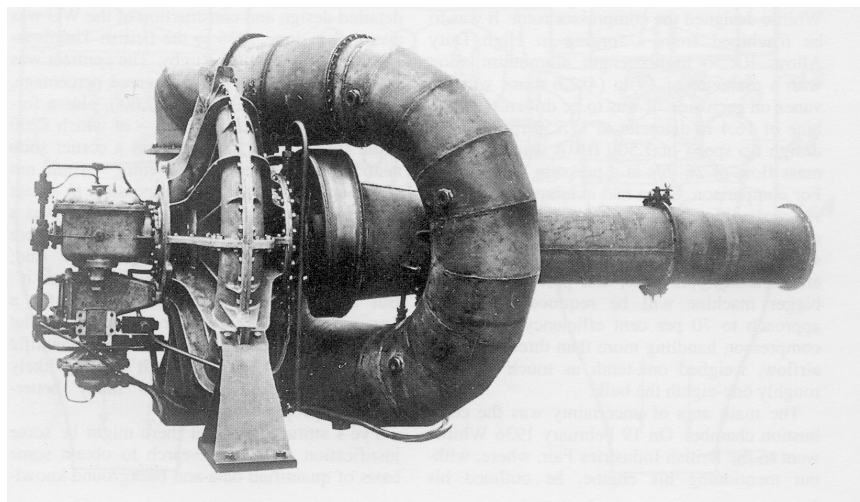
Θερμές ευχαριστίες πρέπει να δοθούν στην εταιρία EADS – 3SIGMA A.E. με έδρα τα Χανιά, η οποία κατασκευάζει μη επανδρωμένα αεροσκάφη και η οποία παρείχε τον κινητήρα που χρησιμοποιήθηκε για την κατασκευή του ψηφιακού προτύπου. Χωρίς τη βοήθειά της η παρούσα εργασία δεν θα είχε φθάσει στο επίπεδο αυτό.

ΚΕΦΑΛΑΙΟ 2

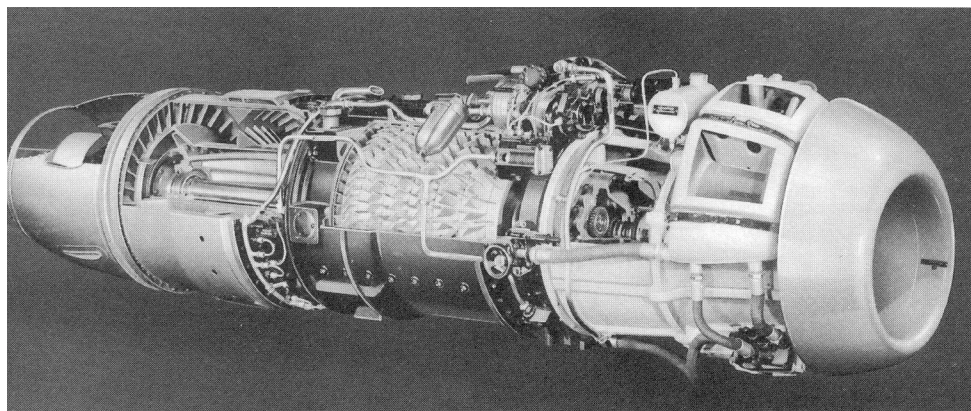
ΣΤΡΟΒΙΛΟΑΝΤΙΔΡΑΣΤΗΡΕΣ

2.1 Ιστορική εξέλιξη

Αναλογιζόμενοι ότι η μεγαλύτερη εφαρμογή των αεριοστροβίλων πλέον βρίσκεται στην αεροπορική βιομηχανία, μας είναι δύσκολο να κατανοήσουμε ότι για την εφαρμογή τους και καθιέρωση τους χρειάστηκαν σχεδόν διακόσια χρόνια εξέλιξης. Η πρώτη ευρεσιτεχνία αεριοστροβίλου αποκτήθηκε από τον John Barber το 1791, αλλά αμφισβητείται αν είχε καν δημιουργηθεί έστω και ένα πρωτότυπο. Χρειάστηκε περισσότερο από έναν αιώνα για την κατασκευή του πρώτου αεριοστροβίλου από τον Stolze το 1900 στην Γαλλία. Η δοκιμές που πραγματοποιήθηκαν στον αεριοστροβίλο αυτό λίγα χρόνια μετά, είχαν απογοητευτικά αποτελέσματα, λόγω του πολύ χαμηλού βαθμού απόδοσης. Το 1930 ο Whittle αποκτά δίπλωμα ευρεσιτεχνίας για αεριοστροβίλο πρόωσης αεροσκάφους (εικόνα 2.1). Η ουσιαστική εξέλιξη σε αυτόν τον τομέα όμως επιτυγχάνεται εννιά χρόνια αργότερα, όταν το υπουργείο αεροπορίας της Αγγλίας αναθέτει στην εταιρεία του Whittle την κατασκευή αεροπορικού αεριοστροβίλου. Αυτή ήταν και η ημερομηνία σταθμός για την γέννηση του αεροπορικού αεριοστροβίλου. Από τότε διάφορες ομάδες επιστημόνων πειραματίζονται με διαφορετικές παραμέτρους, ενώ διάφορες εταιρείες ιδρύονται και ειδικεύονται στην παραγωγή αεροπορικών αεριοστροβίλων. Η πρώτη πτήση με χρήση αεριοστροβίλου πραγματοποιείται στη Γερμανία, με το πρωτότυπο του von Ohain, στις 27 Αυγούστου 1939, ενώ αντίστοιχα στην Αγγλία στις 12 Απριλίου 1941 με τον κινητήρα του Whittle. Σε κάθε περίπτωση μεγάλες εταιρείες, η Junkers στην Γερμανία και η Rolls Royce στην Αγγλία, αναλαμβάνουν την μαζική παραγωγή των πρωτότυπων και έτσι ο κινητήρας Jumo (εικόνα 2.2) στην Γερμανία και κινητήρας Welland στην Αγγλία είναι οι μοναδικοί αεροπορικοί αεριοστροβίλοι που εισέρχονται σε παραγωγή μέχρι το τέλος του πολέμου. Από τότε μέχρι και σήμερα οι αεριοστροβίλοι δοκιμάζονται σε πάρα πολλές εφαρμογές, από την κίνηση τρένων και πλοίων, μέχρι την παραγωγή ενέργειας.



Εικόνα 2.1: Ο πρώτος στροβιλοαντιδραστήρας του Whittle.



Εικόνα 2.2: Ο κινητήρας Jumo της Junkers.

2.2 Αρχές λειτουργίας των στροβιλοαντιδραστήρων

Τα βασικά μέρη που απαρτίζουν έναν στροβιλοαντιδραστήρα είναι ο συμπίεστής, ο θάλαμος καύσης και ο στρόβιλος (εικόνα 2.3). Ανάλογα με τον τύπο των επιμέρους βασικών μερών, προκύπτουν διαφορετικοί τύποι στροβιλοαντιδραστήρων.

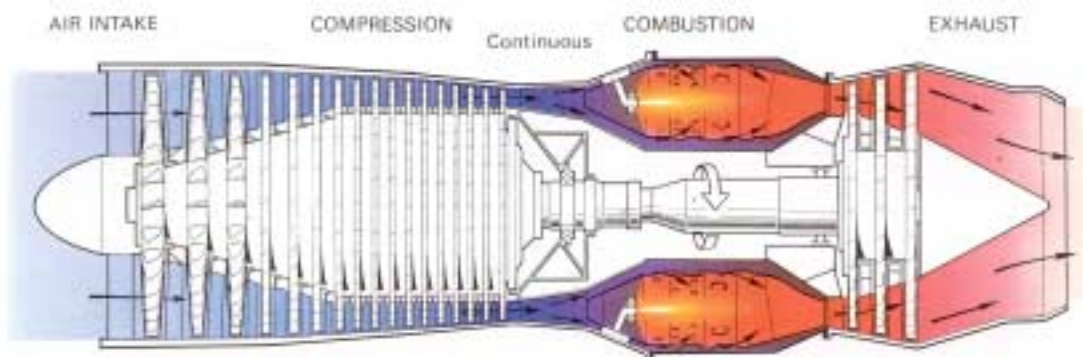
Η συναλλαγή ενέργειας μεταξύ του εργαζόμενου μέσου και της μηχανής πραγματοποιείται στο συμπίεστή και στο στρόβιλο, οι οποίοι συνδέονται μεταξύ τους με έναν ή περισσότερους άξονες. Αυτό εξαρτάται από το πλήθος των βαθμίδων τόσο του συμπίεστή όσο και του στρόβιλου. Στους πολυπλοκότερους αεροπορικούς κινητήρες μεγάλης ώσης συναντάμε πολυβάθμιους αξονικούς συμπίεστες οι οποίοι διαχωρίζονται στον συμπίεστή χαμηλής και υψηλής πίεσης οι οποίοι παίρνουν κίνηση από αντίστοιχα δύο στρόβιλους μέσω διαφορετικής ατράκτου για το κάθε ζεύγος. Ο αέρας εισέρχεται στον αεριοστρόβιλο μέσω του αγωγού εισόδου (Intake ή Inlet) συναντώντας την πρώτη βαθμίδα του συμπίεστή. Σε μικρούς αεριοστρόβιλους, όμοιους με αυτόν που θα αναλύσουμε στην παρούσα εργασία, γίνεται χρήση ακτινικών συμπίεστών. Ο λόγος που επιλέγεται αυτή η διάταξη είναι ο υψηλός λόγος συμπίεσης που επιτυγχάνεται σε μία βαθμίδα συμπίεσης, το χαμηλό κόστος τους, η μεγάλη στιβαρότητα και η μεγάλη ποικιλία έτοιμων συμπίεστών που κυκλοφορούν στο εμπόριο. Η ανάλυση στη συνέχεια αφορά κυρίως συμπίεστες ακτινικής ροής, μιας και αυτοί θα μας απασχολήσουν στη συνέχεια της εργασίας.

Ο αέρας, διερχόμενος μέσα από την πτερωτή του συμπίεστή, αναγκάζεται σε περιστροφή και αποκτά υψηλή κινητική ενέργεια, με την μορφή περιφερειακής ταχύτητας C_u , ενώ ταυτόχρονα αυξάνει η πίεσή του και η πυκνότητά του. Με την έξοδο από την πτερωτή του συμπίεστή, ο αέρας διέρχεται από διάταξη ακίνητων πτερυγίων (Διαχύτης - Diffuser) με σκοπό την αφαίρεση της συστροφής του και την ταυτόχρονη αύξηση της πίεσης. Η αύξηση της πίεσης λαμβάνει χώρα μέσω της επιβράδυνσης του ρευστού.

Στην συνέχεια ο αέρας εισέρχεται στον θάλαμο καύσης, όπου μειώνεται η ταχύτητά του, για να είναι δυνατή η πραγματοποίηση της καύσης. Το καύσιμο εισέρχεται από διάφορα σημεία στο θάλαμο καύσης και με κατάλληλες διατάξεις εξαχνώνεται και αναμιγνύεται με τον εισερχόμενο αέρα και καίγεται.

Με την έξοδο από τον θάλαμο καύσης τα καυσαέρια οδηγούνται στον στρόβιλο. Ο στρόβιλος, στις περισσότερες περιπτώσεις, είναι αξονικής ροής και αποτελείται από μία ή περισσότερες βαθμίδες. Κάθε βαθμίδα αποτελείται από μία σειρά ακίνητων

οδηγητικών πτερυγίων (στάτορας) και μια σειρά κινητών πτερυγίων (ρότορας). Τα οδηγία πτερύγια προσδίδουν συστροφή στα καυσάερια (δηλαδή τα στρέφουν κατά την περιφερειακή διεύθυνση. Η συστροφή αυτή αφαιρείται από τα κινητά πτερύγια, ενώ η αντίστοιχη κινητική τους ενέργεια μετατρέπεται σε μηχανική ενέργεια στον άξονα του στρόβιλου. Η ενέργεια αυτή μεταφέρεται στο συμπιεστή, για την περιστροφή του και την αύξηση της πίεσης του εισερχόμενου αέρα. Το ποσό της ενέργειας που αφαιρείται από τα καυσάερια στο στρόβιλο ισούται με αυτό που απαιτείται για την περιστροφή του συμπιεστή (εάν δεν ληφθούν υπόψη οι απώλειες). Το υπόλοιπο ποσό ενέργειας είναι αυτό που δημιουργεί την ώση στον στροβιλοαντιδραστήρα, μέσω της διαφοράς της ορμής μεταξύ εισόδου και εξόδου του στροβιλοαντιδραστήρα. Έτσι, τα καυσάερια, μετά το στρόβιλο, οδηγούνται στο ακροφύσιο, όπου επιταχύνονται και η ενέργειά τους μετατρέπεται σε κινητική ενέργεια και συνεπώς και ορμή.



Εικόνα 2.3: Αρχή λειτουργίας του στροβιλοαντιδραστήρα (απλής ροής μονού τυμπάνου) και τα βασικά τμήματα που τον απαρτίζουν.

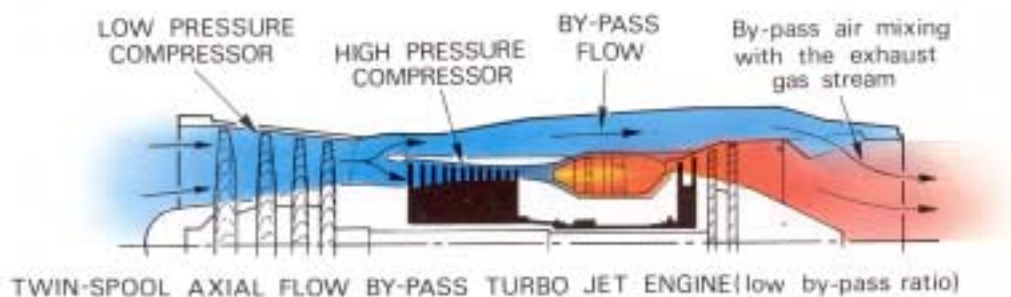
2.3 Τύποι αεριοστροβίλων

Ο πιο απλός τύπος αεριοστροβίλου είναι ο στροβιλοαντιδραστήρας απλής ροής απλού τυμπάνου (εικόνα 2.3). Τέτοιος είναι και ο αεριοστρόβιλος που περιγράφεται στην παρούσα εργασία. Οι κινητήρες αυτοί συνδέουν τον συμπιεστή με τον στρόβιλο μέσω μοναδικής ατράκτου. Ο στροβιλοαντιδραστήρας αυτός είναι κατάλληλος για υψηλές ταχύτητες πτήσης.

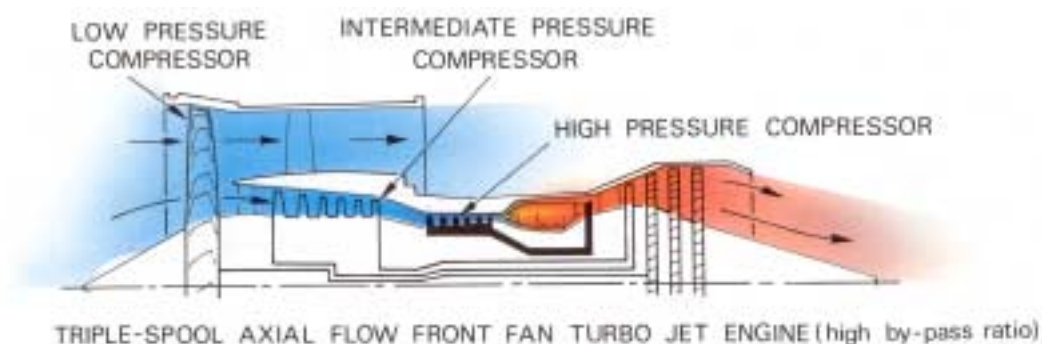
Ένα άλλο είδος στροβιλοαντιδραστήρα είναι ο διπλής ροής (εικόνα 2.4). Ο στροβιλοαντιδραστήρας αυτός διαθέτει συμπιεστή χαμηλής και υψηλής πίεσης οι οποίοι συνήθως συνδέονται αντίστοιχα με τον στρόβιλο χαμηλής και υψηλής πίεσης μέσω δύο ατράκτων (διπλού τυμπάνου). Το χαρακτηριστικό του είναι ότι ο συμπιεστής χαμηλής πίεσης έχει μεγαλύτερη διάμετρο από τον συμπιεστή υψηλής πίεσης. Ο λόγος των διαμέτρων τους ορίζει και τον λόγο παράκαμψης, μιας και μόνο ένα ποσοστό της μάζας του αέρα που διαχειρίζεται ο ανεμιστήρας διέρχεται μέσα από τον συμπιεστή υψηλής πίεσης και στην συνέχεια από τον θάλαμο καύσης. Η υπόλοιπη ποσότητα αέρα, την οποία διαχειρίζεται ο συμπιεστής χαμηλής πίεσης, αποκτά κινητική ενέργεια από την περιστροφή του και, λόγω της μεγάλης μάζας του, παράγει το μεγαλύτερο τμήμα της ώσης που κινεί το αεροσκάφος. Και τα δύο ρεύματα αέρα (αυτό που έρχεται από τον στρόβιλο και έχει υψηλή θερμοκρασία καθώς και το κρύο ρεύμα που προέρχεται από τον συμπιεστή χαμηλής πίεσης) ενώνονται πριν εξέλθουν στην ατμόσφαιρα, συνεισφέροντας στην ώση. Ο κινητήρας αυτός παρέχει υψηλή ώση με χαμηλή κατανάλωση καύσιμου, σε

υποηχητικές όμως ταχύτητες πτήσεως. Σε στρατιωτικές εφαρμογές χρησιμοποιούνται στροβιλοαντιδραστήρες χαμηλού λόγου παράκαμψης, ενώ στην εμπορική αεροπορία πολύ διαδεδομένοι είναι οι υψηλού λόγου παράκαμψης, γνωστοί και ως turbofan (εικόνα 2.5).

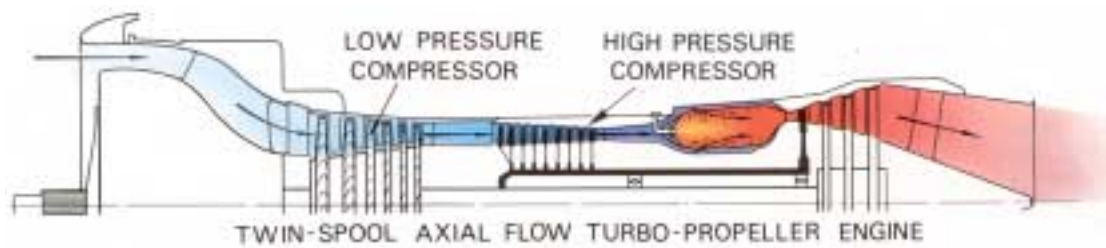
Το τρίτο είδος στροβιλοαντιδραστήρα που χρησιμοποιείται για την πρόωση αεροσκαφών είναι ο ελικοφόρος αεριοστρόβιλος (εικόνα 2.6). Σε αυτόν τον τύπο στροβιλοαντιδραστήρα ο στρόβιλος δεσμεύει σχεδόν όλη την ενέργεια των καυσαερίων, καθώς αυτά δεν προορίζονται για την δημιουργία της ωφέλιμης ώσης. Η ωφέλιμη ισχύς αυτού του στροβιλοαντιδραστήρα δίδεται στον άξονα, ο οποίος (μέσω μειωτήρα) κινεί την έλικα, η οποία παράγει όλη την ώση για την κίνηση. Τέτοιοι αεριοστρόβιλοι χρησιμοποιούνται σε στρατιωτικά και επιβατηγά αεροσκάφη, για πτήση με μικρότερες ταχύτητες και μεγάλη οικονομία. Όμοιοι κινητήρες χρησιμοποιούνται και στα ελικόπτερα. Σε αυτούς τους στροβιλοαντιδραστήρες είναι συνηθισμένη η χρήση ακτινικών συμπιεστών όμοιους με αυτόν που χρησιμοποιεί και ο στροβιλοαντιδραστήρας που περιγράφουμε στην παρούσα εργασία (εικόνα 2.7).



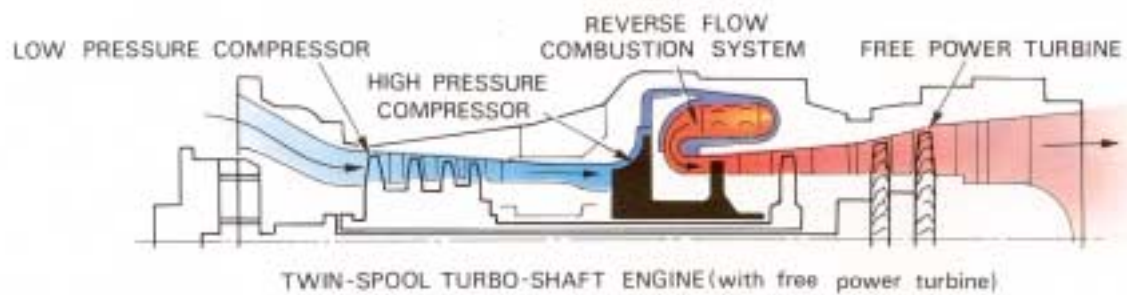
Εικόνα 2.4: Στροβιλοαντιδραστήρας διπλής ροής διπλού τυμπάνου.



Εικόνα 2.5: Στροβιλοαντιδραστήρας διπλής ροής, υψηλού λόγου παρακάμψεως (turbofan), τριπλού τυμπάνου.



Εικόνα 2.6: Ελικοφόρος στροβιλοκινητήρας διπλού τυμπάνου, με συμπιεστή αξονικής ροής.



Εικόνα 2.7: Στροβιλοκινητήρας turbo-shaft διπλού τυμπάνου, με ελεύθερο στρόβιλο καυσαερίων. Η τελευταία βαθμίδα του συμπιεστή είναι ακτινικής ροής.

2.4 Βασικά στοιχεία της γεωμετρίας και της ροής

Λόγω της αξονικής διαμόρφωσης των στροβιλοαντιδραστήρων και της αξονικής συμμετρίας τους χρησιμοποιείται ένα πολικό σύστημα συντεταγμένων περί τον άξονα περιστροφής, τόσο για την περιγραφή της γεωμετρίας όσο και για την ανάλυση της ροής. Έτσι, το διάνυσμα της απόλυτης ταχύτητας \mathbf{C} σε ένα σημείο του πεδίου, αναλύεται στις ακόλουθες συνιστώσες: την ακτινική C_r , την περιφερειακή C_u και την αξονική C_z . Το διάνυσμα της ταχύτητας \mathbf{U} συμβολίζει την περιφερειακή ταχύτητα με την οποία περιστρέφονται τα κινητά μέρη του στροβιλοαντιδραστήρα (στρόβιλος, συμπίεστης) και μεταβάλλεται με την ακτίνα (η περιφερειακή ταχύτητα είναι γραμμική ταχύτητα και όχι γωνιακή). Για την ανάλυση της ροής σε στρεφόμενη πτερύγωση απαιτείται η εισαγωγή της σχετικής ταχύτητας \mathbf{W} , δηλαδή της ταχύτητας της ροής που θα μέτραγε ένα μετρητικό όργανο που στρέφεται μαζί με την πτερωτή. Στην περίπτωση στρεφόμενης πτερωτής με γωνιακή ταχύτητα ω η ταχύτητα του στρεφόμενου συστήματος ως προς το απόλυτο σύστημα συντεταγμένων σε θέση με ακτίνα r είναι ίση προς:

$$\mathbf{C} = \mathbf{U} + \mathbf{W}$$

Σύμφωνα με τα προηγούμενα οι τρεις συνιστώσες της σχετικής ταχύτητας στο πολικό σύστημα συντεταγμένων συνδέονται ως εξής με τις αντίστοιχες της απόλυτης ταχύτητας:

$$W_r = C_r, W_z = C_z, W_u = C_u - u$$

2.4.1 Ο στρόβιλος

Ο στρόβιλος μπορεί να είναι αξονικής (εικόνα 2.8) ή ακτινικής ροής (εικόνα 2.9). Στους στροβίλους αξονικής ροής η ακτινική συνιστώσα της ροής είναι πολύ μικρή, σε σχέση με τις υπόλοιπες. Στην παρούσα εργασία ο στρόβιλος του κινητήρα που μελετάμε είναι αξονικής ροής και μάλιστα μίας βαθμίδας (μονοβάθμιος). Τα καυσαέρια στην είσοδο του στροβίλου εισέρχονται κατά την αξονική διεύθυνση (χωρίς δηλαδή συστροφή) και συναντούν τα (σταθερά) οδηγία πτερύγια του στάτορα. Αυτά στρέφουν την ροή κατά την περιφερειακή διεύθυνση, προσδίδοντας συστροφή στο ρευστό (δηλαδή δημιουργώντας μία C_u μεγαλύτερη του μηδενός).

Το ρευστό εισέρχεται στο ρότορα του στροβίλου με μεγάλη τιμή στην περιφερειακή συνιστώσα C_u . Η σχεδίαση των πτερυγίων του ρότορα (εικόνα 2.10) είναι τέτοια, ώστε να αφαιρείται αυτή η συστροφή και το ρευστό να εξέρχεται με όσο το δυνατόν μικρότερη συστροφή. Αυτό απαιτείται διότι η συστροφή του ρευστού περιέχει κινητική ενέργεια η οποία δεν παράγει ωφέλιμη ώση.

Η ροή μέσα από τον στρόβιλο πραγματοποιείται μεταξύ δύο (γενικευμένων) κωνικών επιφανειών. Η εσωτερική κωνική επιφάνεια (το εσωτερικό κέλυφος) καλείται «πόδι» (hub), ενώ η εξωτερική κωνική επιφάνεια καλείται «κέλυφος» (shroud). Τα κινητά πτερύγια, για να μπορούν να περιστρέφονται μέσα από το κέλυφος πρέπει να διαθέτουν εξωτερική ακτίνα μικρότερη από αυτή του κελύφους. Το εξωτερικό τους άκρο, ονομάζεται ακροπτερύγιο (tip) και ορίζει μία άλλη κωνική επιφάνεια, η οποία σχεδόν ταυτίζεται με αυτή του εξωτερικού κελύφους. Η απόσταση μεταξύ του ακροπτερυγίου και του κελύφους ονομάζεται ακτινικό διάκενο (tip clearance) και παίζει σημαντικό ρόλο στην καλή απόδοση του στροβίλου και του κινητήρα.

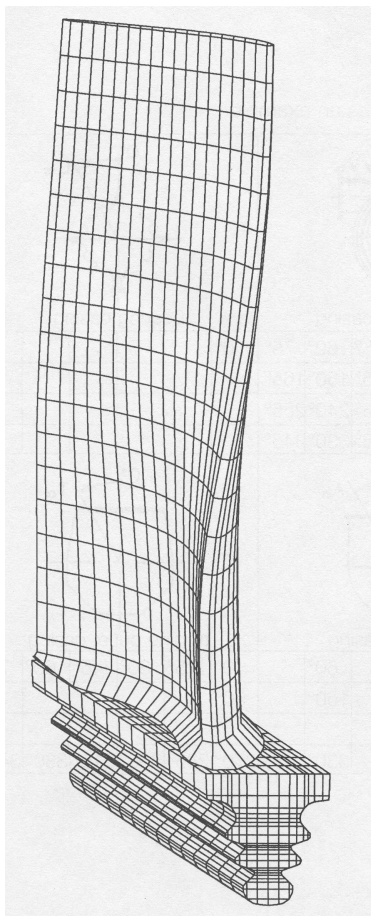
Οι καμπύλες κωνικές επιφάνειες του ποδιού (hub), του κελύφους (shroud) και του ακροπτερυγίου (tip) σχηματίζονται εκ περιστροφής, με γενέτειρες κατάλληλες καμπύλες, οι οποίες σχεδιάζονται στο λεγόμενο μεσημβρινό επίπεδο. Το μεσημβρινό επίπεδο είναι ένα επίπεδο που περιέχει τον άξονα της μηχανής (εν προκειμένω τον άξονα Z). Τα πτερύγια σχηματίζονται μεταξύ της επιφάνειας του hub και της επιφάνειας του tip.



Εικόνα 2.8: Τμήμα πτερωτής (ρότορα) στροβίλου αξονικής ροής.



Εικόνα 2.9: Συγκρότημα πτερωτών συμπιεστή (αριστερά) και στροβίλου (δεξιά) ακτινικής ροής.



Εικόνα 2. 10: Πτερύγιο στροβίλου αξονικής ροής.

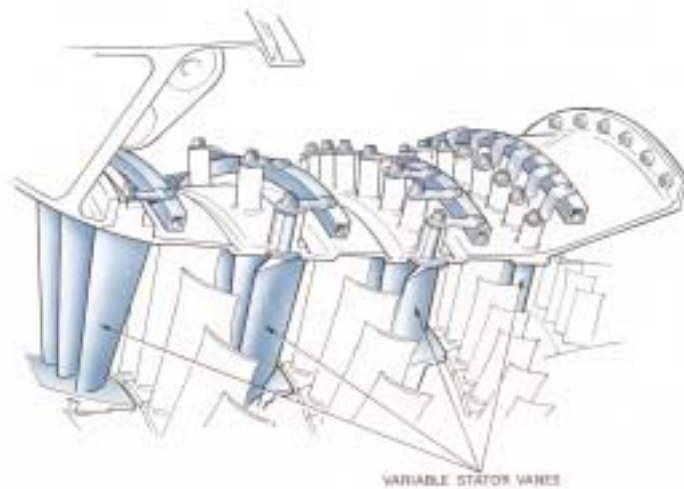
2.4.2 Ο Συμπιεστής

Ο συμπιεστής παραλαμβάνει την ροή του αέρα, η οποία εισέρχεται αξονικά, χωρίς δηλαδή συστροφή. Αποτελείται από μία ή περισσότερες βαθμίδες, κάθε μία από τις οποίες αποτελείται από μία σειρά κινητών (ρότορας) και μία σειρά σταθερών πτερυγίων (στάτορας) (εικόνα 2.11). Καθώς ο αέρας εισέρχεται στον περιστρεφόμενο ρότορα, αναγκάζεται και αυτός σε περιστροφή, οπότε το ρευστό στην έξοδό του από τον ρότορα έχει αποκτήσει περιφερειακή συνιστώσα της απόλυτης ταχύτητας. Στο στάτορα που ακολουθεί, αφαιρείται η συστροφή από το ρευστό, και η κινητική ενέργεια που συνδέεται με αυτή μετατρέπεται σε πίεση.

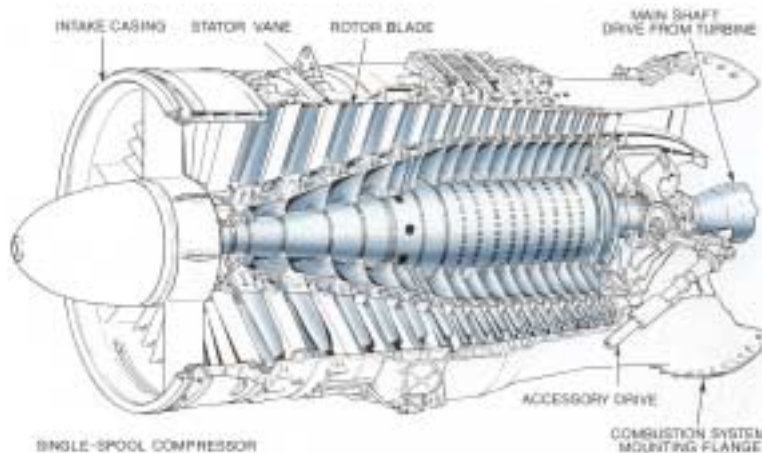
Στην περίπτωση που η ακτινική συνιστώσα της ροής είναι πολύ μικρή, έχουμε συμπιεστή αξονικής ροής (εικόνα 2.12). Εάν όμως το ρευστό αναγκάζεται να κινηθεί προς την ακτινική διεύθυνση και η αξονική συνιστώσα είναι μικρή, τότε ο συμπιεστής ονομάζεται ακτινικής ροής (εικόνα 2.13). Όταν η αξονική και η ακτινική συνιστώσα της ροής είναι συγκρίσιμες, τότε ο συμπιεστής ονομάζεται μεικτής ροής. Ο τύπος του συμπιεστή που χρησιμοποιείται σε στροβιλοαντιδραστήρες μικρού μεγέθους είναι ακτινικής ή μεικτής ροής, όπως και στον κινητήρα που θα μας απασχολήσει στα επόμενα κεφάλαια της παρούσας εργασίας.

Στους συμπιεστές ακτινικής ροής, η ροή εξέρχεται από την πτερωτή σε ακτινική διεύθυνση, έχοντας βέβαια και περιφερειακή συνιστώσα. Στη συνέχεια εισέρχεται στον

διαχύτη, ο οποίος αντιστοιχεί στο στάτορα των αξονικών συμπιεστών. Εκεί, με τη χρήση ακίνητων πτερυγίων, αφαιρείται σταδιακά η συστροφή του ρευστού, ενώ ταυτόχρονα το ρευστό στρέφεται από την ακτινική στην αξονική διεύθυνση, ώστε να εισέλθει στον θάλαμο καύσης που ακολουθεί. Λόγω της αύξησεως της ακτίνας εντός του διαχύτη, αυξάνεται η διατομή της ροής, οπότε μειώνεται η ταχύτητα (για δεδομένη παροχή μάζας). Η επιβράδυνση αυτή της ροής συνδέεται με αύξηση της πίεσεως, επιπλέον αυτής που πραγματοποιείται εντός της περιστρεφόμενης πτερωτής.



Εικόνα 2.11: Διαδοχικές πτερυγώσεις κινητών και σταθερών πτερυγίων αξονικού συμπιεστή. Τα πτερύγια του στάτορα είναι μεταβλητής γεωμετρίας (με την κίνηση της αντίστοιχης εξωτερικής στεφάνης).



Εικόνα 2.12: Πολυβάθμιος αξονικός συμπιεστής (μονού τυμπάνου - single spool) αεριοστροβίλου σε τομή.




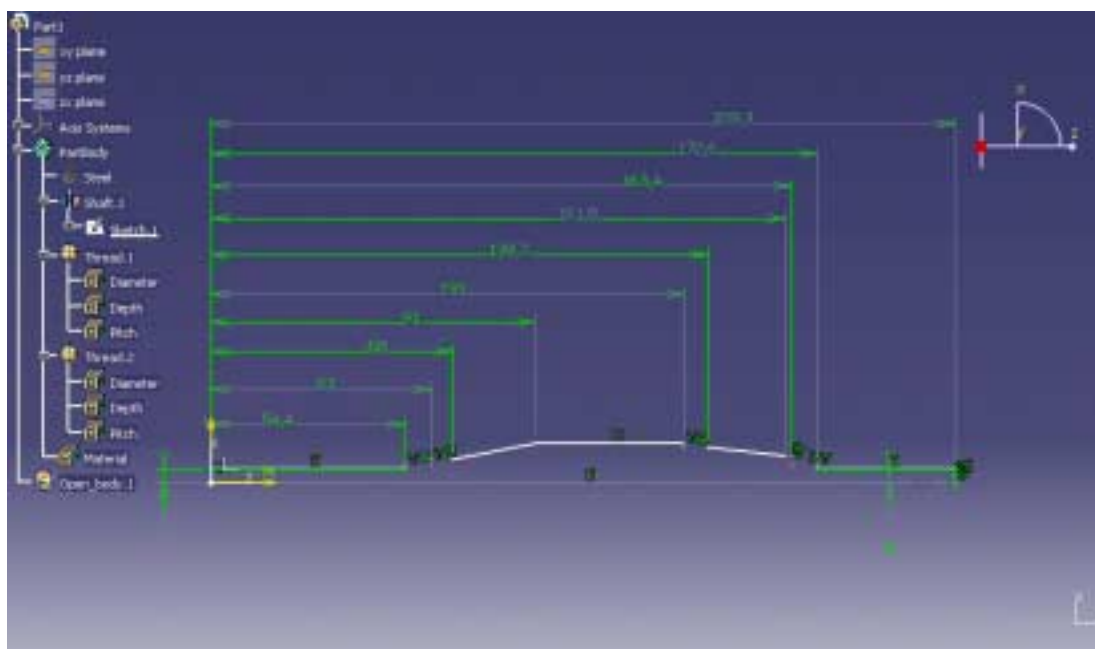
Εικόνα 2.13: Πτερωτή συμπιεστή ακτινικής ροής (φυγοκεντρικός).

ΚΕΦΑΛΑΙΟ 3

ΠΕΡΙΓΡΑΦΗ ΤΗΣ ΣΧΕΔΙΑΣΗΣ ΤΩΝ ΚΥΡΙΟΤΕΡΩΝ ΤΜΗΜΑΤΩΝ ΤΟΥ ΚΙΝΗΤΗΡΑ

3.1 Άξονας

Η τρισδιάστατη σχεδίαση του άξονα πραγματοποιείται με την εντολή  Shaft, ακολουθώντας τη διαδικασία που περιγράφεται στη συνέχεια. Ορίζοντας ως επίπεδο σχεδίασης (Sketcher) το επίπεδο XZ, σχεδιάζουμε το προφίλ της τομής του άξονα. Είναι απαραίτητο για τη διατήρηση της ομοιότητας του προσανατολισμού σχεδίασης κάθε αντικειμένου, να υιοθετήσουμε ως άξονα συμμετρίας όλων το συμμετρικών ως προς άξονα αντικειμένων, τον ίδιο άξονα. Στην προκειμένη περίπτωση αυτός είναι ο άξονας Z του Καρτεσιανού συστήματος συντεταγμένων. Αυτό θα φανεί ιδιαίτερα χρήσιμο κατά την διαδικασία της συναρμολόγησης, κατά την οποία από την αρχή τα αντικείμενα θα προσανατολίζονται σωστά μέσα στο χώρο.



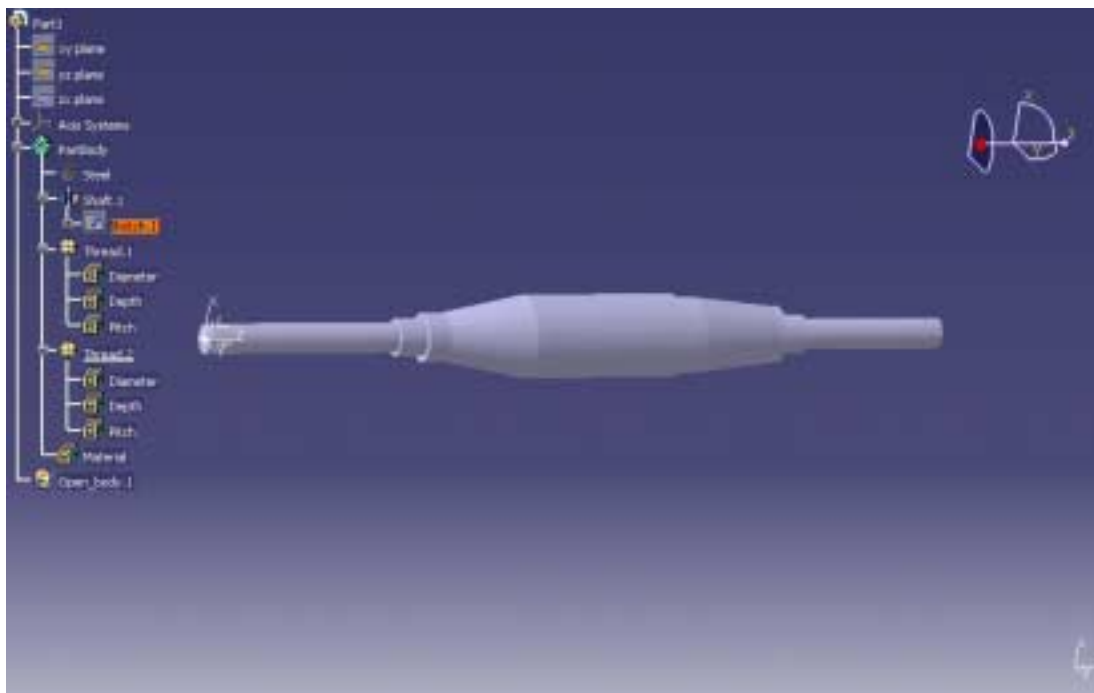
Εικόνα 3.1: Η γενέτειρα του άξονα στο επίπεδο σχεδίασης.

Τελειώνοντας με την σχεδίαση της γενέτειρας γραμμής του άξονα στο επίπεδο σχεδίασης (Εικόνα 3.1), ορίζουμε τις παραμέτρους για τη δημιουργία του τρισδιάστατου άξονα από το παράθυρο διαλόγου της εντολής **Shaft**. Επιλέγουμε δηλαδή το προφίλ που θα περιστραφεί (δηλ. τη γενέτειρα γραμμή), τον άξονα περιστροφής και τον αριθμό των μοιρών κατά τις οποίες θέλουμε να περιστραφεί η γενέτειρα γραμμή (για πλήρη περιστροφή επιλέγουμε 360°).

Στη συνέχεια δημιουργούμε τα σπειρώματα στις άκρες του άξονα. Σημειώνουμε εδώ ότι τόσο το σπείρωμα για τη σύσφιξη του συμπιεστή, όσο και για την σύσφιξη του

στροβίλου, έχουν αριστερόστροφη φορά, ώστε κατά τη δεξιόστροφη περιστροφή του άξονα να μην υπάρχει ενδεχόμενο να χαλαρώσουν τα περικόχλια.

Τα σπειρώματα κατασκευάζονται πολύ εύκολα με χρήση της εντολής Thread. Οι παράμετροι που ζητούνται από το πρόγραμμα για την δημιουργία τους είναι (στην περίπτωση των εξωτερικών σπειρωμάτων) η ονομαστική διάμετρος του άξονα που θα γίνει το σπείρωμα, το βήμα και το συνολικό μήκος του σπειρώματος. Η επιλογή του σημείου στον άξονα που θα κατασκευαστεί το σπείρωμα γίνεται με την χρήση του κέρσορα, ενώ η επιλογή για την φορά του γίνεται επίσης από το παράθυρο διαλόγου. Στην τελική του μορφή ο άξονας απεικονίζεται στην εικόνα 3.2.




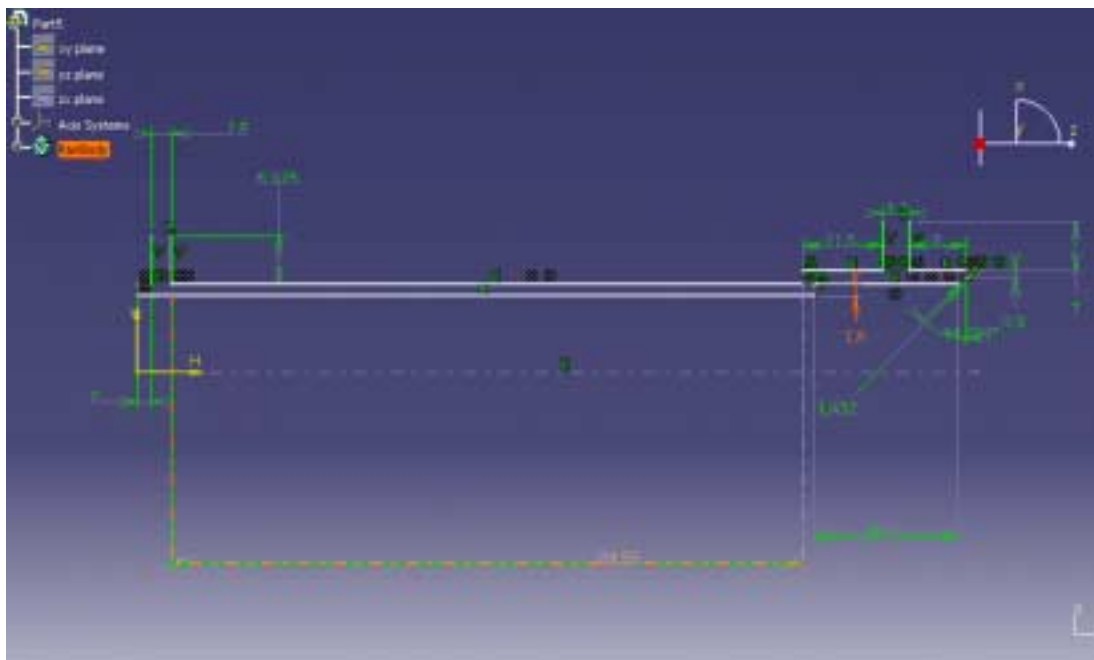
Εικόνα 3.2: Ο άξονας στην τελική μορφή του.

3.2 Έδραση του άξονα

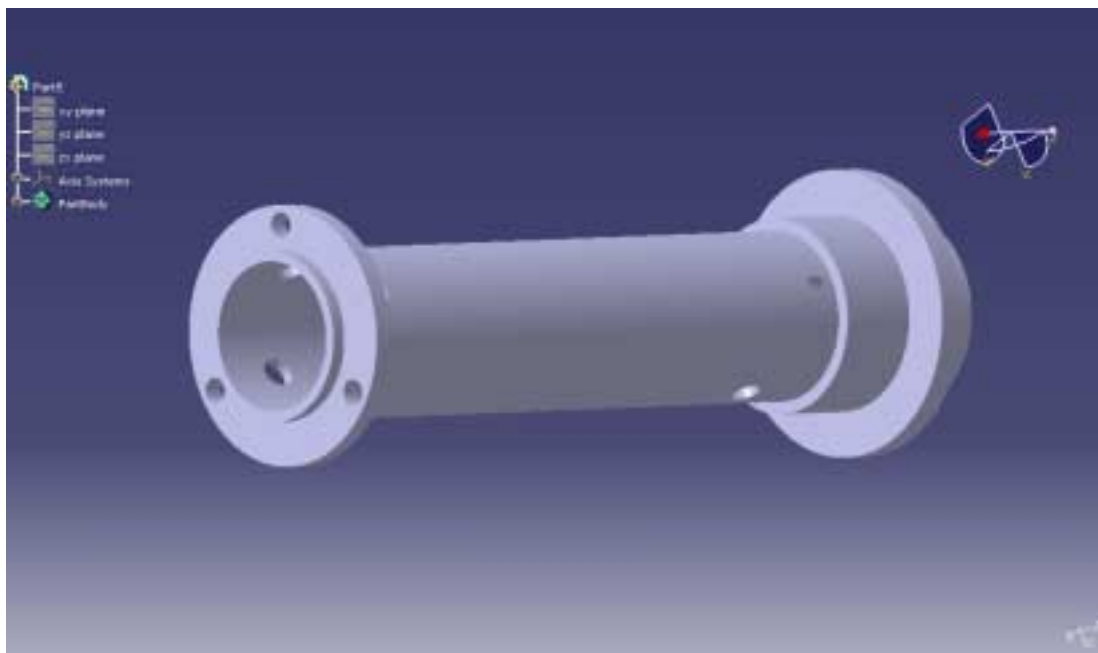
Η έδραση του άξονα είναι κομβικό τεμάχιο του κινητήρα, καθώς σε αυτό προσαρμόζονται τα έδρανα κύλισης (ρουλεμάν) για τη στήριξη του άξονα. Επιπλέον, πάνω σε αυτό στηρίζεται ο διαχύτης του συμπιεστή, καθώς επίσης και ο θάλαμος καύσης μέσω των ακίνητων οδηγών πτερυγίων του στροβίλου. Η γεωμετρία του σχετίζεται άμεσα με την γεωμετρία του άξονα.

Ο τύπος και η γεωμετρία της έδρασης (σύστημα άξονα – έδρασης – εδράνων) είναι σημαντικό τμήμα της σχεδίασης του κινητήρα, ενώ συχνά αποτελεί σημαντική πηγή προβλημάτων. Οι αιτίες των προβλημάτων σχετίζονται με τις υψηλές ταχύτητες περιστροφής του άξονα (στις μικρές μηχανές μπορεί να ξεπερνούν τις 100.000 rpm) τις υψηλές αναπτυσσόμενες θερμοκρασίες στην περιοχή του πίσω εδράνου, τις διαστολές του συγκροτήματος, την έλλειψη σωστής ζυγοστάθμισης, καθώς και με τις ισχυρές αδρανειακές δυνάμεις σε διάφορες φάσεις της πτήσης (πιθανή εκτόξευση με πυραυλοκινητήρα ή καταπέλτη, περισυλλογή με δίχτυ κ.λπ.).

Για την κατασκευή του συγκεκριμένου τεμαχίου στο CATIA χρησιμοποιείται η εντολή **Shaft**. Το προφίλ της τομής στο επίπεδο σχεδίασης απεικονίζεται στην εικόνα 3.3. Μετά την δημιουργία του κελύφους της έδρασης, κατασκευάζονται οι οπές στην εμπρός φλάντζα, μέσω της οποίας (με τη χρήση κοχλίων) συνδέεται η έδραση με το κέλυφος του διαχύτη του συμπιεστή. Οι οπές δημιουργούνται με την εντολή  **Hole**. Δημιουργούμε την πρώτη οπή διαμέτρου 4 mm με το κέντρο της να έχει απόσταση από τον άξονα συμμετρίας 16,97 mm. Η διάσταση αυτή είναι κρίσιμη διότι στην ίδια ακριβώς απόσταση θα πρέπει να γίνουν και οι οπές στον διαχύτη, ούτως ώστε να υπάρχει ταίριασμα των δύο τμημάτων. Με την χρήση της εντολής **Circular pattern** δημιουργούμε και τις άλλες δύο οπές (εικόνα 3.4). Άλλη μία οπή που αξίζει να περιγραφεί είναι η πλάγια οπή για την λίπανση του εδράνου κύλισης του στροβίλου. Η οπή αυτή ξεκινάει από την εξωτερική πλευρά και τελειώνει εσωτερικά ακριβώς δίπλα από το πίσω έδρανο κύλισης. Μέσω της οπής αυτής και της διάταξης των σωληνώσεων που οδηγούν το λιπαντικό πραγματοποιείται η λίπανση του συγκεκριμένου εδράνου κύλισης. Αντίστοιχη οπή υπάρχει και στον διαχύτη για την λίπανση του εδράνου του συμπιεστή.





Εικόνα 3.3: Η τομή της έδρασης του άξονα στο επίπεδο σχεδίασης. Με περιστροφή της εν λόγω γενέτειρας κατασκευάζεται το αντίστοιχο τρισδιάστατο αντικείμενο.





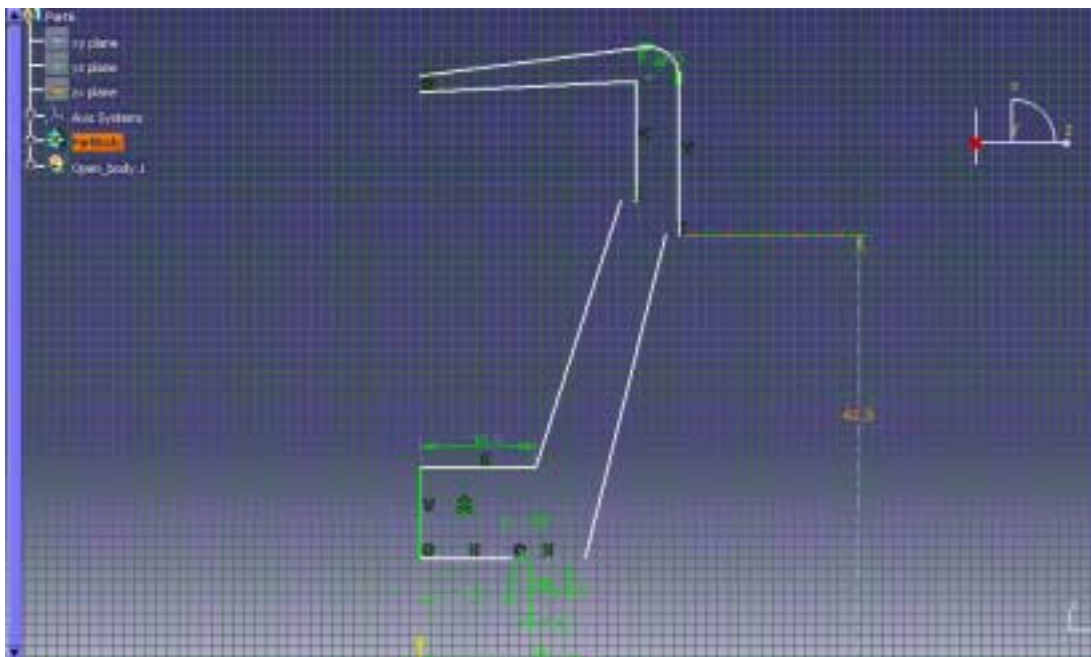
Εικόνα 3.4: Η τελική μορφή της έδρασης του άξονα, μαζί με τις αναγκαίες οπές. Διακρίνονται αριστερά οι τρεις οπές στην εμπρός φλάντζα, για τη σύνδεση με τον διαχύτη του συμπιεστή.

3.3 Διαχύτης

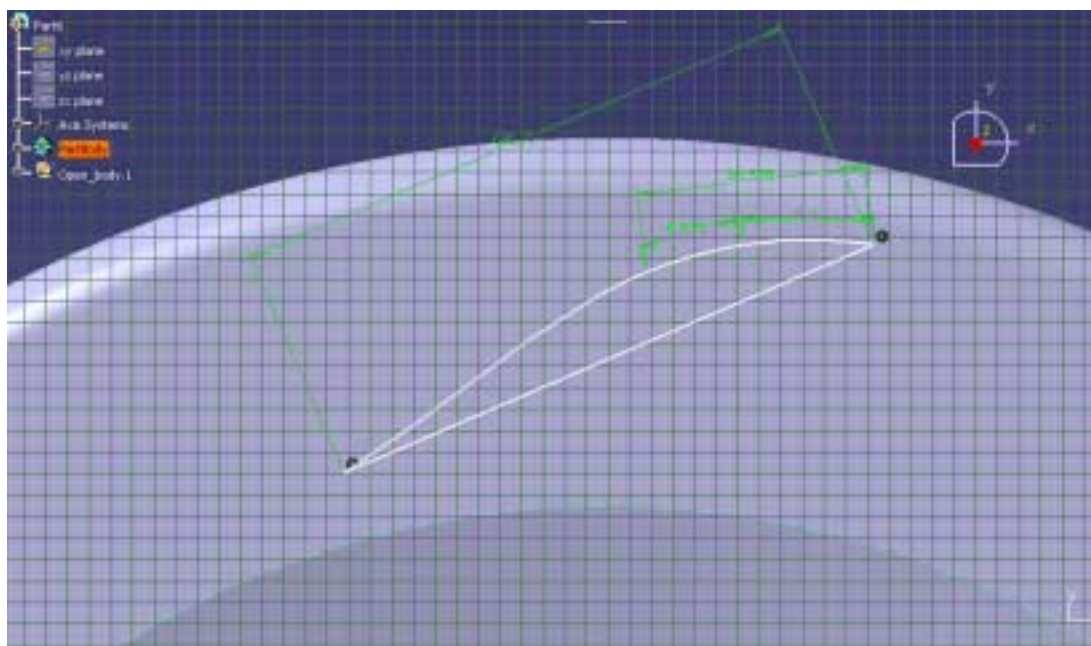
Ο διαχύτης του συμπιεστή αποτελεί ένα από τα πιο πολύπλοκα εξαρτήματα του συγκεκριμένου στροβιλοαντιδραστήρα. Για την σχεδίαση του απαιτείται η κλιμακωτή μοντελοποίηση αυτού μιας και συνεργάζεται με περισσότερα από πέντε γειτονικά εξαρτήματα. Για να γίνει πιο κατανοητό αυτό θα αναφέρουμε ότι επάνω του βιδώνουν 35 συνολικά κοχλίες διαφόρων διαμέτρων και τρεις ταχυσύνδεσμοι για την εισαγωγή καύσιμου, λιπαντικού και αερίου εκκίνησης.

Ξεκινώντας την σχεδίασή του στο CATIA αρχικά κατασκευάζουμε το σώμα του διαχύτη με χρήση της εντολής  Shaft. Επιλέγουμε σαν επίπεδο σχεδίασης το επίπεδο XZ με την σειρά εντολών  insert>sketcher. Στην συνέχεια, στο επίπεδο σχεδίασης σχεδιάζουμε το προφίλ της τομής του διαχύτη, το οποίο παρουσιάζεται στην εικόνα 3.5.

Αφού έχουμε κατασκευάσει το σώμα, ακολουθεί η κατασκευή των μετωπικών πτερυγίων του διαχύτη, τα οποία βρίσκονται ενσωματωμένα στο σώμα του. Με την σειρά εντολών  insert>sketcher δημιουργούμε ένα νέο επίπεδο σχεδίασης στην προστινή μετωπική επιφάνεια του σώματος. Το CATIA μας δίνει την δυνατότητα αυτόματης δημιουργίας επιπέδου σχεδίασης (μεταφορά δηλαδή στον Sketcher workbench), απλά με την επιλογή κάποιου επιπέδου επάνω στο ίδιο το αντικείμενο (εικόνα 3.6). Πάνω λοιπόν στο επίπεδο σχεδίασης που έχουμε επιλέξει (επί της μετωπικής επιφάνειας του διαχύτη) σχεδιάζεται το προφίλ ενός από τα μετωπικά του πτερύγια (εικόνα 3.6). Στη συνέχεια, χρησιμοποιούμε την εντολή  Pad για την πρόσδοση όγκου στο πτερύγιο. Στην προκειμένη περίπτωση το ύψος του πτερύγιου είναι 6 mm.



Εικόνα 3.5: Η γενέτειρα του σώματος του διαχύτη, στο επίπεδο σχεδίασης.



Εικόνα 3.6: Το προφίλ ενός μετωπικού πτερυγίου του διαχύτη στο αντίστοιχο επίπεδο σχεδίασης.


Με την εμφάνιση του παραθύρου διαλόγου για την εντολή **Pad** επιλέγουμε ως προφίλ το σχέδιο που μόλις τελειώσαμε (εικόνα 3.6) και ως μήκος (**length**) θέτουμε 6 (mm), ενώ δίνοντας **OK** προκύπτει το πρώτο πτερύγιο.

Τα υπόλοιπα πτερύγια προκύπτουν με την αντιγραφή του πτερυγίου που μόλις σχεδιάσαμε. Με την σειρά εντολών **insert>Transformation features>circular pattern**

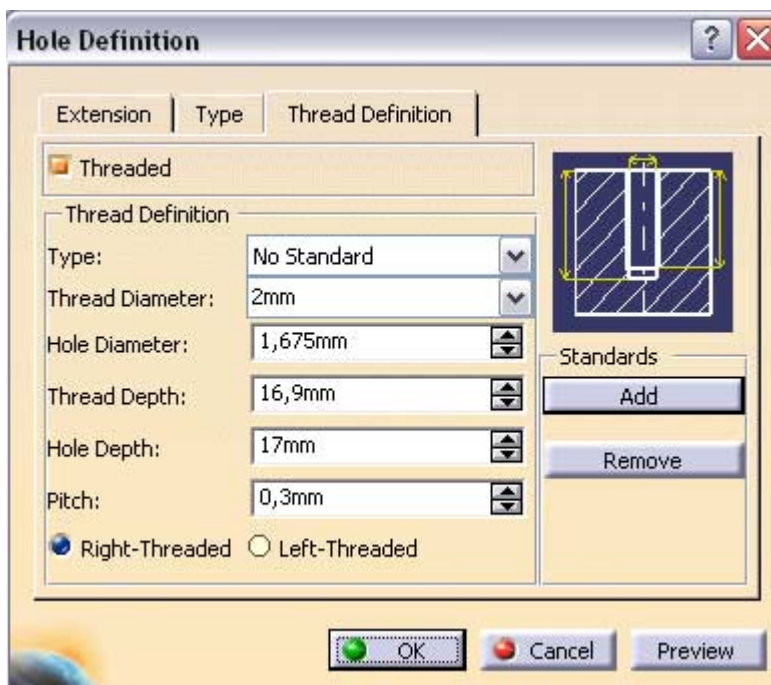
εμφανίζεται το παράθυρο διαλόγου της εντολής. Στην επιλογή **Instances** θέτουμε 15, **Angular spacing**: 24 , **Reference direction**: Z axis, **Object to pattern**: Pad.1 (το πτερύγιο που μόλις δημιουργήσαμε). Πατώντας OK παίρνουμε το αποτέλεσμα της περιφερειακής αντιγραφής του πτερυγίου σε 15 συνολικά πτερύγια

Πριν προχωρήσουμε στην δημιουργία των επόμενων πτερυγίων θα ασχοληθούμε με τις οπές στα πτερύγια που μόλις σχεδιάσαμε. Οι οπές αυτές παίζουν τους εξής δύο ρόλους:


1. Συνδέουν το σώμα του διαχύτη με το κέλυφος του διαχύτη.
2. Αποτελούν τις διόδους για την εισαγωγή στον κινητήρα του καυσίμου, του λιπαντικού και του αερίου εκκίνησης. Οι συγκεκριμένες οπές δεν φέρουν σπείρωμα σε όλο το μήκος τους όπως οι υπόλοιπες, αλλά εξωτερικά μόνο για την προσαρμογή ενός ταχυσύνδεσμου.

Για τη δημιουργία των οπών χρησιμοποιούμε την εντολή  **Hole**. Στο παράθυρο διαλόγου (εικόνα 3.7) επιλέγουμε την εντολή **Threaded hole**, ορίζοντας τη διάμετρο της οπής, τη διάμετρο του σπειρώματος, το βάθος της οπής, το βάθος του σπειρώματος και το βήμα.

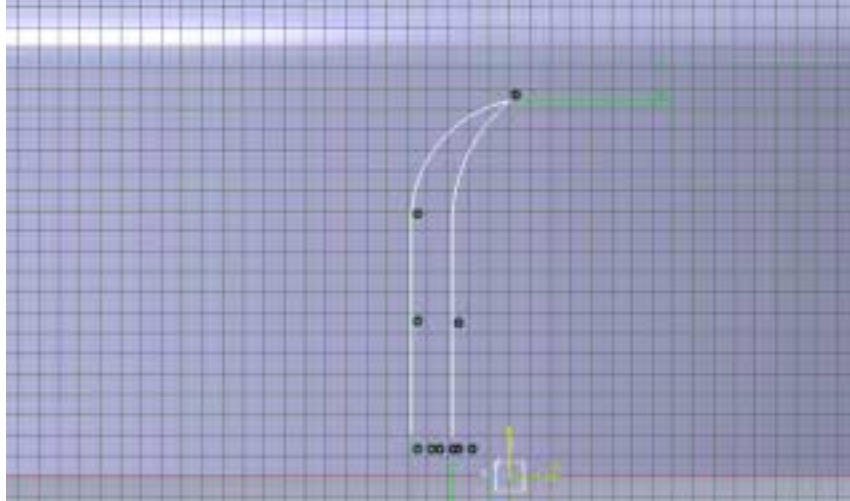
Η κρίσιμη διάσταση στην τοποθέτηση της οπής είναι η απόσταση του κέντρου της από την αρχή των αξόνων. Στην προκειμένη περίπτωση την θέτουμε ίση με 51,9 mm.



Εικόνα 3.7: Παράθυρο διαλόγου της εντολής Hole.


Στην συνέχεια δημιουργούμε τα πτερύγια του διαχύτη, τα οποία βρίσκονται στην περιφέρειά του. Το ύψος των πτερυγίων αυτών στην ουσία ορίζει και τη μέγιστη διάμετρο του στροβιλοαντιδραστήρα στον συγκεκριμένο τύπο μηχανής. Για τον σχεδιασμό τους χρησιμοποιείται ένα επίπεδο σχεδίασης το οποίο δημιουργούμε εμείς με χρήση της εντολής  **Plane**. Δημιουργούμε λοιπόν ένα επίπεδο σχεδίασης παράλληλο από το υπάρχον επίπεδο XZ σε απόσταση τέτοια όση και η συνολική (εξωτερική) ακτίνα του διαχύτη που επιθυμούμε να έχουμε τελικά. Ορίζουμε στη συνέχεια το συγκεκριμένο

επίπεδο ως επίπεδο σχεδίασης με την σειρά εντολών `insert>sketcher` όπου και το επιλέγουμε με τον κέρσορα. Αυτομάτως ερχόμαστε στο επίπεδο σχεδίασης και σχεδιάζουμε το πτερύγιο. Το προφίλ του πτερυγίου απεικονίζεται στο αντίστοιχο επίπεδο σχεδίασης στην εικόνα 3.8.



Εικόνα 3.8: Το προφίλ του πρώτου περιφερειακού πτερυγίου του διαχύτη, στο αντίστοιχο επίπεδο σχεδίασης.

Έχοντας τελειώσει με την σχεδίαση του προφίλ, χρησιμοποιούμε την εντολή `Pad` για την πρόσδοση όγκου στο πτερύγιο. Ως προφίλ επιλέγουμε το σκίτσο που μόλις σχεδιάσαμε στο επίπεδο σχεδίασης και ως όριο της προέκτασης δίνουμε `up to surface`. Με τον τρόπο αυτό το πτερύγιο προεκτείνεται εσωτερικά, έως ότου συναντήσει την εξωτερική επιφάνεια του σώματος του διαχύτη.

Στην συνέχεια με την εντολή  `Circular pattern` και με τρόπο όμοιο με αυτόν που περιγράφηκε προηγουμένως, δημιουργούμε το σύνολο των πτερυγίων. Η τελική μορφή του διαχύτη παρουσιάζεται στην εικόνα 3.9.



Εικόνα 3.9: Τελική μορφή του διαχύτη, όπου διακρίνονται τα μετωπικά και τα περιφερειακά πτερύγιά του.

3.4 Πτερωτή του συμπιεστή


Η πτερωτή του συμπιεστή σχεδιαστικά αποτελεί το δυσκολότερο τμήμα του στροβιλοαντιδραστήρα. Η δυσκολία του έγκειται στο γεγονός ότι οι πολύπλοκες γεωμετρίες (πτερύγια μεταβλητού πάχους, μήκους και συστροφής), δεν είναι δυνατόν να κατασκευαστούν ευθείς εξαρχής με το εργαλείο Mechanical design του CATIA ως στερεό. Για τον λόγο αυτό εργαζόμαστε με το εργαλείο Shape>Generative shape design του CATIA, το οποίο μας δίνει πολύ δυνατά εργαλεία διαχείρισης σημείων και επιφανειών ακόμα και στον τρισδιάστατο χώρο. Στην συνέχεια με εργαλεία που βασίζονται στην στερεοποίηση επιφανειών (Surface-based features) θα προκύψει ο συμπιεστής ως στερεό. Περισσότερες λεπτομέρειες για τον τρόπο εφαρμογής των εντολών αυτών παρουσιάζονται στο Παράρτημα 1.

Η όλη διαδικασία που ακολουθήθηκε για τη σχεδίαση του συμπιεστή θα παρουσιασθεί αναλυτικά, ώστε να γίνει πλήρως κατανοητός ο τρόπος κατασκευής του και να έχει έτσι την δυνατότητα ο αναγνώστης να κατανοήσει τη σημασία και τη χρησιμότητα των μεταβλητών σχεδίασης. Οι μεταβλητές αυτές στη συνέχεια θα χρησιμοποιηθούν για την παραμετρική μοντελοποίηση της πτερωτής του συμπιεστή. Οι μεταβλητές αυτές είναι οι συντεταγμένες των σημείων που παράγουν τις διάφορες γενέτειρες καμπύλες, από τις οποίες θα προκύψουν οι τρισδιάστατες επιφάνειες των πτερυγίων, του ποδιού (hub) και του κελύφους του συμπιεστή.


Αρχικά επιλέγουμε Start>Shape>Generative shape design. Δημιουργούμε τρεις ομάδες σημείων. Η πρώτη ομάδα σημείων θα δημιουργήσει τη γενέτειρα του ποδιού (hub) του συμπιεστή. Η δεύτερη ομάδα σημείων θα δημιουργήσει τη γενέτειρα του εξωτερικού κελύφους του συμπιεστή (Για την ακρίβεια θα δημιουργήσει μία νοητή επιφάνεια που θα ορίζει τα ακροπτερύγια του συμπιεστή). Η τρίτη ομάδα σημείων θα δημιουργήσει τη γενέτειρα των πτερυγίων του συμπιεστή. Η γενέτειρα αυτή δημιουργείται στο επίπεδο XY του Καρτεσιανού συστήματος συντεταγμένων.

Για τον συγκεκριμένο στροβιλοαντιδραστήρα χρησιμοποιείται ο συμπιεστής της εταιρείας Garrett με κωδική ονομασία TA45. Τα βασικότερα γεωμετρικά χαρακτηριστικά αυτού του συμπιεστή είναι τα εξής:


D1=60,35mm	D2=84mm	b1=19,8mm	b2=5,8mm
------------	---------	-----------	----------


Επιλέγοντας την εισαγωγή σημείων μέσω του πλήκτρου  και συγκεκριμένα την εισαγωγή σημείων σε επίπεδο (Points on plane), ορίζουμε ως επίπεδο το YZ και τοποθετούμε τα σημεία. Τα τέσσερα πρώτα σημεία στο επίπεδο YZ είναι τα εξής:

H:10,375 V:43,15 H:12,325 V:29,4 H:26,175 V:11,15 H:42 V:7,2

 =PTS.1-4

Με την χρήση της εντολής  Spline κατασκευάζω την καμπύλη Spline.1, η οποία διέρχεται από τα τέσσερα πρώτα σημεία.

 =Spline.1

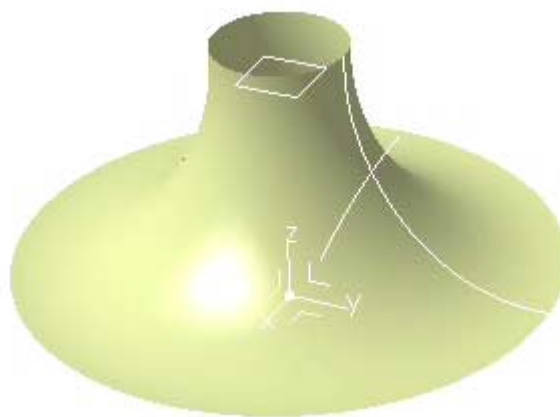
Με χρήση της εντολής  Revolute δημιουργώ την πρώτη επιφάνεια εκ περιστροφής revolute.1, με τις παρακάτω παραμέτρους να συμπληρώνουν την επιλογή στο παράθυρο διαλόγου (εικόνα 3.10).

Profile: Spline.1


Axis: Z

Angle 1: 360 (leave Angle 2 at 0)

 =Revolute.1

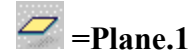


Εικόνα 3.10: Με γενέτειρα καμπύλη την Spline.1 δημιουργείται η επιφάνεια του ποδιού της περωτής, κάνοντας χρήση της εντολής REVOLUTE.

Στην συνέχεια δημιουργούμε επίπεδο παράλληλο στο επίπεδο XY και σε ύψος αντίστοιχο με το ύψος από το οποίο ξεκινούν τα πτερύγια του συμπιεστή. Με χρήση της εντολής  Plane και τις παρακάτω μεταβλητές δημιουργούμε το εν λόγω επίπεδο με όνομα Plane.1.

Plane type: Offset plane

Reference: XY Plane

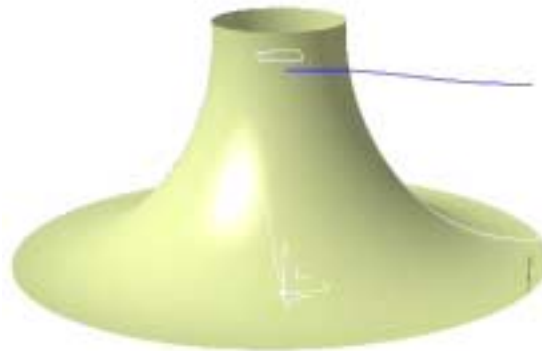
Offset: 37,7

Δημιουργούμε την επόμενη καμπύλη Spline επάνω στο επίπεδο Plane.1 που μόλις κατασκευάσαμε, μετά την εισαγωγή των ακόλουθων σημείων.


H:10,5 V:0 H:13,2 V:11,8 H:22 V:25,5 H:24,1 V:33,8

=PTS.6-9
=Spline.2

Το επίπεδο Plane.1 και η καμπύλη Spline.2, που δημιουργήθηκε στο εν λόγω επίπεδο, παρουσιάζονται στην εικόνα 3.11.



Εικόνα 3.11: Το επίπεδο Plane.1 καθώς και η καμπύλη Spline.2 με μπλε χρώμα.

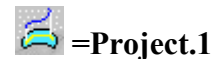
Στη συνέχεια προβάλλουμε την καμπύλη Spline.2 στην επιφάνεια Revolute.1, η οποία απεικονίζει την επιφάνεια του ποδιού της περωτής (hub). Για το σκοπό αυτό χρησιμοποιούμε την εντολή  **Project**. Στο παράθυρο διαλόγου της εντολής συμπληρώνουμε τις ακόλουθες παραμέτρους:

Projection Type: Along a direction

Projected: Spline.2

Support: Revolute.1

Direction: Z axis (Nearest Solution on)



Το αποτέλεσμα της προβολής είναι μία καμπύλη με όνομα Project.1 πάνω στην επιφάνεια Revolute.1. Στη συνέχεια κατασκευάζουμε μία τρίτη καμπύλη Spline στο YZ επίπεδο, με χρήση των παρακάτω σημείων ελέγχου:

H:30,175 V:43,15 H:36,6 V:15 H:42 V:13

=PTS.9-11
=Spline.3

Το όνομα της νέας καμπύλης Spline είναι Spline.3. Περιστρέφοντας στη συνέχεια την καμπύλη Spline.3 γύρω από τον άξονα Z, δημιουργούμε την επιφάνεια των ακροπερυγίων (Tip) της περωτής. Η περιστροφή πραγματοποιείται με γενέτειρα την Spline.3 και το αποτέλεσμα της περιστροφής είναι η επιφάνεια Revolute.2.

Προβάλλουμε στη συνέχεια την καμπύλη Project.1 στην επιφάνεια Revolute.2 με τις ακόλουθες παραμέτρους στο αντίστοιχο παράθυρο διαλόγου:

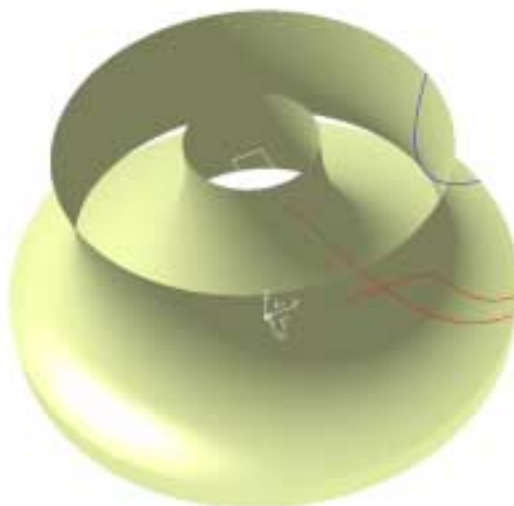
Projection Type: NORMAL

Projected: Project.1

Support: Revolute.2 (Nearest Solution on)


=Project.2

Έτσι προκύπτει η καμπύλη Project.2 η οποία περιγράφει το ακροπτερύγιο του κάθε πτερυγίου (εικόνα 3.12).



Εικόνα 3.12 Στο σχήμα διακρίνονται οι δύο επιφάνειες εκ περιστροφής του ποδιού (εσωτερική) και του ακροπτερυγίου (εξωτερική) της πτερωτής. Με γαλάζιο χρώμα διακρίνεται η καμπύλη Spline.3 (η γενέτειρα του tip), καθώς και οι προβολές της καμπύλης Spline.2, στο Hub και στο Tip, με κόκκινο χρώμα. Οι δύο τελευταίες θα δημιουργήσουν στη συνέχεια το πτερύγιο.

Σε αυτό το σημείο έχουμε σχεδόν τελειώσει με τη διαδικασία γέννησης του πτερυγίου. Στις δύο επιφάνειες του hub και του tip έχουμε τις δύο γενέτειρες καμπύλες (εικόνα 3.12), οι οποίες θα μας δώσουν το πρώτο πτερύγιο της πτερωτής του συμπιεστή. Είναι προφανές ότι το κάθε πτερύγιο δημιουργείται από ουσιαστικά μία καμπύλη, η οποία στη συνέχεια προβάλλεται διαδοχικά στις δύο επιφάνειες του hub και του tip.

Συνδέουμε τις δύο καμπύλες (project.1 και project.2) με την χρήση ευθείας γραμμής. Ακολουθώντας τις εντολές  **Insert>Wireframe>Line** δημιουργούμε την γραμμή Line.1, συμπληρώνοντας τις παραμέτρους στο παράθυρο διαλόγου ως εξής:

Type: Point To Point


Point 1: Project.1\Vertex

Point 2: Project.2\Vertex

Support: None



=Line.1

Στη συνέχεια, με χρήση της εντολής Loft, δημιουργούμε το πτερύγιο ως εξής: Με τις εντολές  **Insert>Surfaces>Loft** ανοίγουμε το παράθυρο διαλόγου και επιλέγουμε τις καμπύλες Project.1 και Project.2. Στο πεδίο διαλόγου με το όνομα Spine επιλέγω την γραμμή Line.1 και πατώντας OK προκύπτει η επιφάνεια του πτερυγίου με όνομα Loft.1 (εικόνα 3.13). Η επιφάνεια προκύπτει με γενέτειρα την ευθεία Line.1 η οποία κινείται πάνω στις καμπύλες Project.1 και Project.2.



Εικόνα 3.13: Δημιουργία της επιφάνειας του πτερυγίου με γενέτειρα την ευθεία Line.1, η οποία κινείται πάνω στις καμπύλες Project.1 και Project.2.

Τα υπόλοιπα πτερύγια του ίδιου μεγέθους δημιουργούνται με την εντολή **Circular Pattern** και με βάση το αρχικό πτερύγιο. Επιλέγοντας την εντολή, συμπληρώνουμε με τις ακόλουθες παραμέτρους το παράθυρο διαλόγου:

Parameters: Instance(s) and Angular Spacing

Instances: 6

Angular Spacing: 60

Reference Element: Z axis



=**CircPattern.1**

Η πτερωτή του συμπιεστή αποτελείται και από δευτερεύοντα πτερύγια μικρότερου μήκους. Για την δημιουργία τους αντιγράφουμε τις γενέτειρες του αρχικού πτερυγίου, περιστρέφοντας ταυτόχρονα κατά 30 μοίρες, με χρήση της εντολής **Rotate**. Στο παράθυρο διαλόγου της εντολής συμπληρώνουμε τα εξής για την αντιγραφή της καμπύλης Project.1:

Element: Project.1

Axis: Axis System.1\Edge.2

Angle: 30



=**Rotate.1**

Όμοια εργαζόμαστε και για την καμπύλη Project.2 η οποία μας δίνει την δεύτερη γενέτειρα καμπύλη με τα ίδια χαρακτηριστικά.



=**Rotate.2**

Για το κόψιμο του δεύτερου πτερυγίου σε μικρότερο μήκος από το αρχικό, θα ορίσουμε δύο σημεία, ένα σε κάθε καμπύλη. Με χρήση της εντολής **Points** συμπληρώνουμε στο αντίστοιχο παράθυρο διαλόγου τις απαιτούμενες μεταβλητές ως εξής (προκύπτοντας τα σημεία point.12 και point.13 πάνω στις καμπύλες Rotate.1 και Rotate.2):

Point type: On curve

Curve: Rotate.1

Distance On Curve (on)

Geodesic (on)


Point: Default

Length: 9,188(για την καμπύλη rotate.2 δίνουμε Length:20,932)

=point.12

=point.13

Τα παραπάνω σημεία ορίστηκαν σε συγκεκριμένη απόσταση (μήκος τόξου) από την αρχή των εν λόγω καμπυλών.

Με χρήση της εντολής  Split κόβουμε τις καμπύλες Rotate.1 και Rotate.2 στα σημεία point.12 και point.13. Στο παράθυρο διαλόγου συμπληρώνουμε τα εξής:

Point type: On Curve

Element to cut: Rotate.1

Cutting elements: Point.12(για την καμπύλη rotate.2 επιλέγουμε point.13)

Support: None




=Split.1

=Split.2


Δημιουργούμε γραμμή (Insert>Wireframe>Line) μεταξύ των κορυφών point.12 και point.13 με όνομα Line.2.


Στην συνέχεια εκτελούμε την εντολή Loft μεταξύ των καμπύλων split.1 και split.2 με γενέτειρα την γραμμή line.2. Η επιφάνεια που προκύπτει ονομάζεται Loft.2.

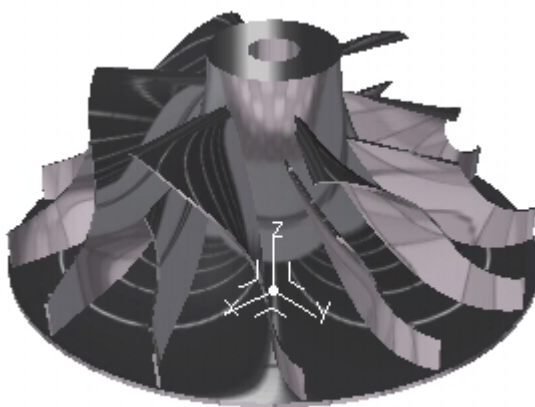
Δημιουργούμε  circular pattern της επιφάνειας Loft.2, με ακριβώς τις ίδιες παραμέτρους όπως προηγουμένως για την επιφάνεια Loft.1. Η τελική μορφή της πτερωτής του συμπιεστή (με μηδενικό πάχος πτερυγίων) απεικονίζεται στην εικόνα 3.14.



Εικόνα 3.14: Η τελική μορφή της πτερωτής του συμπιεστή (με μηδενικό πάχος πτερυγίων).

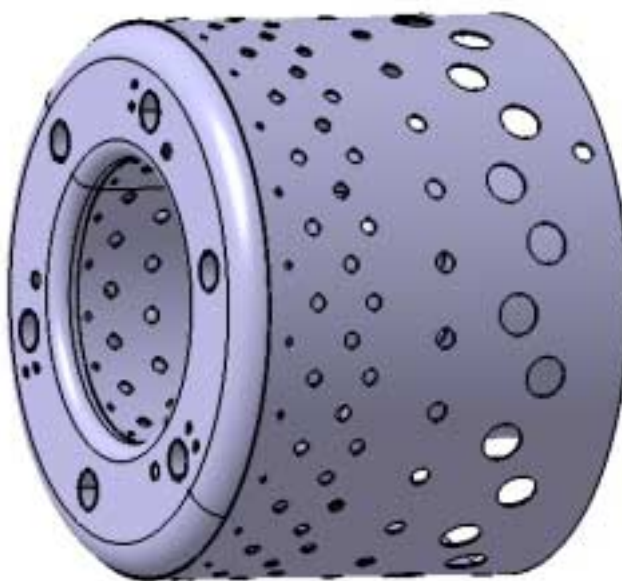
Στο σημείο αυτό έχουμε την προσέγγιση του συμπιεστή με επιφάνειες μηδενικού πάχους. Στην επόμενη φάση θα χρειαστεί να στερεοποιήσουμε όλες αυτές τις επιφάνειες και να έχουμε πλέον τον συμπιεστή ως στερεό. Οι εντολές που χρησιμοποιούνται για την διαδικασία αυτή είναι η ομάδα εντολών του CATIA που ονομάζεται Surface-based features, οι οποίες βρίσκονται υπό το πακέτο εντολών Mechanical design>Part design. Για την στερεοποίηση των πτερυγίων χρησιμοποιούμε την εντολή  Thick surface και ορίζουμε σταθερό πάχος στο περύγιο του συμπιεστή και ίσο με 0,5mm. Η

προσέγγιση αυτή δεν είναι και η ορθότερη, μιας και το προφίλ της τομής ενός πτερυγίου συμπίεστή είναι στην πραγματικότητα μία αεροτομή με μεταβλητό πάχος. Στην παρούσα φάση όμως αυτή η προσέγγιση μας το δίνει το πιο γρήγορο αποτέλεσμα, όσον αφορά την γεωμετρία και τις υπόλοιπες παραμέτρους (μάζα, κέντρο βάρους, κ.τ.λ). Σε επόμενο κεφάλαιο, όπου θα γίνει εκτενέστερη αναφορά στην παραμετροποίηση και σχεδίαση του συμπίεστή, θα αναλυθεί η γεωμετρία του ορθότερα. Για την στερεοποίηση του hub του συμπίεστή χρησιμοποιούμε την εντολή  **CloseSurface**. Η τελευταία εργασία που μένει είναι η διάνοιξη της οπής από την οποία διέρχεται ο άξονας. Η διάμετρος της οπής είναι 8mm και το βάθος της όσο το συνολικό βάθος του συμπίεστή. Η τελική μορφή της πτερωτής παρουσιάζεται στην εικόνα 3.15.



Εικόνα 3.15: Η τελική μορφή της πτερωτής του συμπίεστή μετά από Rendering (επιλογή υλικού: Αλουμίνιο).

3.5 Ο Θάλαμος καύσης



Εικόνα 3.16: Η τελική μορφή του θαλάμου καύσης.

Ο θάλαμος καύσης αποτελεί ένα σχετικά απλό στην κατασκευή κομμάτι του κινητήρα. Όσον αφορά όμως την μελέτη και ανάλυσή του, στο συγκεκριμένο μέγεθος, συναντάμε τα σημαντικότερα προβλήματα και τις μεγαλύτερες δυσκολίες. Κάθε δυσλειτουργία του θαλάμου καύσης μπορεί να οδηγήσει σε υπερθέρμανση του κινητήρα και την καταστροφή του.

Ο συγκεκριμένος κινητήρας χρησιμοποιεί δακτυλιοειδή θάλαμο καύσης, τον πιο διαδεδομένο τύπο στους αεροπορικούς κινητήρες. Η καύση πραγματοποιείται εντός του λεγόμενου φλογοσωλήνα (flame tube), η σχεδίαση του οποίου θα περιγραφεί στην παρούσα παράγραφο. Ο φλογοσωλήνας χονδρικά αποτελείται από δύο ομόκεντρους κυλίνδρους, οι οποίοι στην μία βάση τους ενώνονται με κυκλικό δακτύλιο (εικόνα 3.16). Τόσο οι κύλινδροι όσο και ο κυκλικός δακτύλιος είναι διάτρητοι για την είσοδο εντός του φλογοσωλήνα του απαραίτητου για την καύση αέρα. Η διάμετρος και η θέση των οπών είναι εξαιρετικά σημαντική για τη διατήρηση της φλόγας και την ψύξη του φλογοσωλήνα και των καυσαερίων.

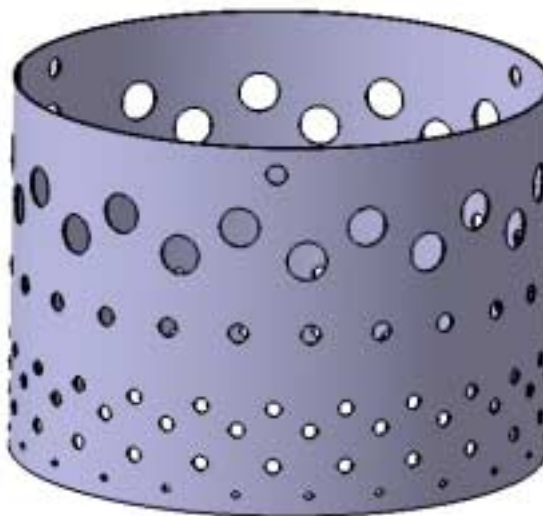
Στον συγκεκριμένο τύπο θαλάμου καύσης, η εξάχνωση του καυσίμου πραγματοποιείται με τη χρήση ειδικών σωλήνων, περιφερειακά διατεταγμένων στο εμπρός τμήμα του φλογοσωλήνα (δακτύλιος). Το καύσιμο εγχύεται σε υγρή μορφή εντός των σωλήνων. Εντός των σωλήνων εισέρχεται και αέρας, με τον οποίο αναμειγνύεται αρχικά το καύσιμο. Επειδή οι σωλήνες αυτοί έρχονται σε επαφή εξωτερικά με τη φλόγα, βρίσκονται σε πολύ υψηλή θερμοκρασία, οπότε το εγχυόμενο εντός τους καύσιμο εξατμίζεται και αναμειγνύεται μερικώς με το αέρα. Το καύσιμο εκείνη την στιγμή, αν και έχει αρκετά μεγάλη θερμοκρασία όπως και όλο το σύστημα, αδυνατεί να αναφλεγεί λόγω μειωμένης παροχής αέρα εντός των σωλήνων. Οι σωλήνες αναστρέφουν πορεία και εξάγουν το μείγμα αέρα – καυσίμου με διεύθυνση αντίθετη της κύριας ροής. Έτσι, όταν το μείγμα εξέρχεται εντός του θαλάμου καύσης, στροβιλίζεται εντονότερα και επιτυγχάνεται καλύτερη ανάμειξη με τον εισερχόμενο στον θάλαμο καύσης αέρα.

Η καύση του καυσίμου πραγματοποιείται στην λεγόμενη πρωτεύουσα ζώνη καύσεως. Εκεί, μόνο μέρος του αέρα έχει εισέλθει στο θάλαμο καύσης, ώστε το μείγμα αέρα – καυσίμου να είναι σχεδόν στοιχειομετρικό και να επιτυγχάνεται τέλεια καύση. Ο


υπόλοιπος αέρας εισέρχεται σε θέσεις κατάντη της πρωτεύουσας ζώνης καύσης, ψύχοντας τον φλογοσωλήνα, αλλά και τα καυσαέρια, ώστε να μην καταστραφεί ο στρόβιλος από την υψηλή θερμοκρασία που επιτυγχάνεται κατά την καύση.

Στη συνέχεια θα περιγραφεί η μεθοδολογία που ακολουθήθηκε για την κατασκευή του ψηφιακού μοντέλου του θαλάμου καύσης. Ο θάλαμος καύσης κατασκευάζεται εξ ολοκλήρου από λαμαρίνα πάχους 0,5mm. Για την σχεδίαση του χρησιμοποιήθηκε η εφαρμογή **Sheet metal design** του CATIA, η οποία μας δίνει την επιπλέον δυνατότητα να έχουμε το ανάπτυγμα της λαμαρίνας του αντικειμένου που σχεδιάσαμε. Μ τον τρόπο αυτό, κατασκευαστικά σχέδια και λοιπές διευκρινίσεις για την κατασκευή προκύπτουν αυτόματα, με το πάτημα ενός πλήκτρου. Ο θάλαμος καύσης (ουσιαστικά ο φλογοσωλήνας) αποτελείται από συνολικά τέσσερα υπομήματα:

1. Εξωτερικό κυλινδρικό τοίχωμα
2. Εσωτερικό κυλινδρικό τοίχωμα
3. Σωλήνες εξάχνωσης καυσίμου
4. Μετωπικός δακτύλιος σύνδεσης

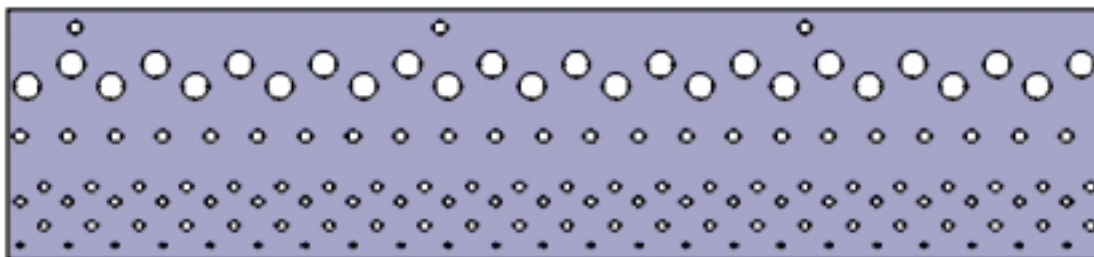


Εικόνα 3.17: Το εξωτερικό κυλινδρικό τοίχωμα του φλογοσωλήνα.

Για την κατασκευή του πρώτου (εικόνες 3.17 & 3.18) και του δεύτερου κομματιού (εικόνες 3.19 & 3.20) ακολουθείται ακριβώς η ίδια διαδικασία. Με την εντολή  **Extrusion (rolled wall)** δημιουργούμε με την βοήθεια ενός επιπέδου σχεδίασης τον κύκλο του οποίου η διάμετρος αποτελεί την διάμετρο του θαλάμου που θα κατασκευάσουμε. Στην συγκεκριμένη περίπτωση και για το εξωτερικό τοίχωμα η διάμετρος είναι 105mm. Επιλέγοντας την εντολή ορίζεις το μήκος στο οποίο θα εφαρμοστεί η εντολή **extrusion** (= 75,6mm) και στην συνέχεια ως οδηγό επιλέγουμε το σκίτσο που προηγήθηκε. Αμέσως έχουμε δημιουργήσει το τοίχωμα του πρώτου αντικειμένου, στο οποίο αξίζει να σημειωθεί η ραφή η οποία παρατηρείται και η οποία επιβεβαιώνει τις δυνατότητες αυτή της εφαρμογής.

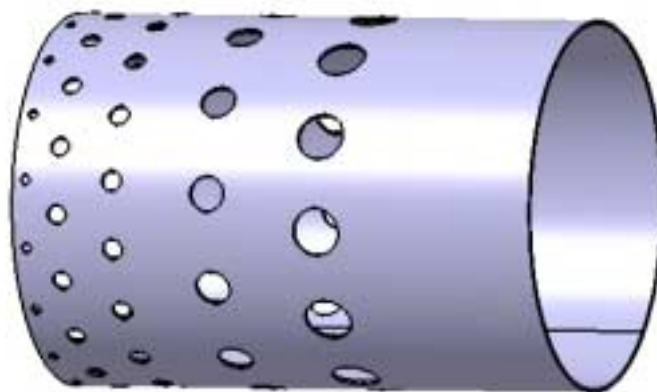
Στην συνέχεια, για την κατασκευή των οπών ακολουθείται η ίδια διαδικασία. Το χαρακτηριστικό των οπών είναι η διάμετρος τους, η απόστασή τους από την αρχή του τοιχώματος, το πλήθος τους και η σχετική τους θέση. Με αυτές λοιπόν τις παραμέτρους

δημιουργούμε την κάθε οπή οδηγό. Με εφαρμογή της εντολής **circular pattern** για κάθε οπή - οδηγό έχουμε όλο το πλήθος των επαναλαμβανόμενων οπών. Σαν παρατήρηση θα αναφέρουμε ότι με την κυκλική αντιγραφή των οπών, εάν κάποια από αυτές 'πέφτει' επάνω στην ραφή της λαμαρίνας, τότε το πρόγραμμα αδυνατεί να κάνει την αντιγραφή και το συμβάν αυτό είναι σύνηθες όταν προσπαθούμε να κατασκευάσουμε για παράδειγμα ένα **pattern** με τριάντα **instances** (επαναλήψεις της κάθε οπής – οδηγού).

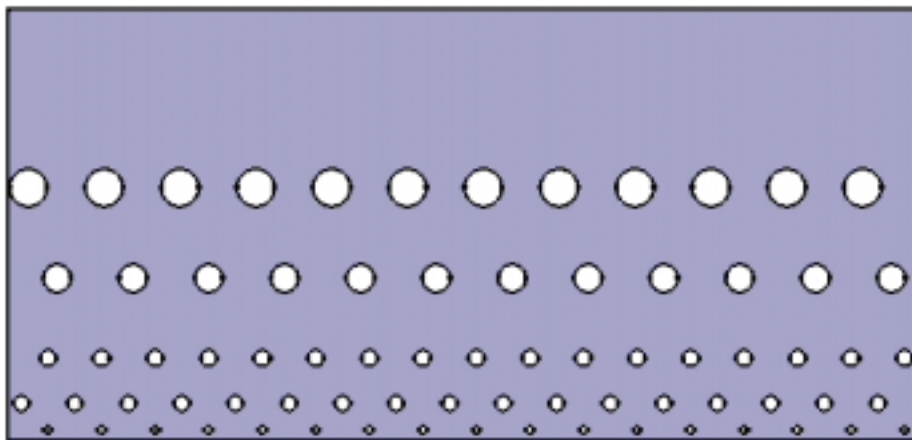


Εικόνα 3.18: Ανάπτυγμα του εξωτερικού κυλινδρικού τοίχματος, όπου διακρίνεται η περιοδικότητα των οπών.

Με τον ίδιο ακριβώς τρόπο κατασκευάζεται και το εσωτερικό τοίχωμα του θαλάμου καύσης. Προσοχή πρέπει να δοθεί στις διαφορετικές διαστάσεις, τόσο της διαμέτρου όσο και του μήκους, μιας και το εσωτερικό τοίχωμα είναι λίγο πιο μακρύ καθώς έρχεται και «θηλυκώνει» με το αντίστοιχο τμήμα του στάτορα του στροβίλου. Πιο συγκεκριμένα η διάμετρος εδώ είναι 54,7mm και το μήκος της προέκτασης 81mm (Εικόνες 3.19 & 3.20).

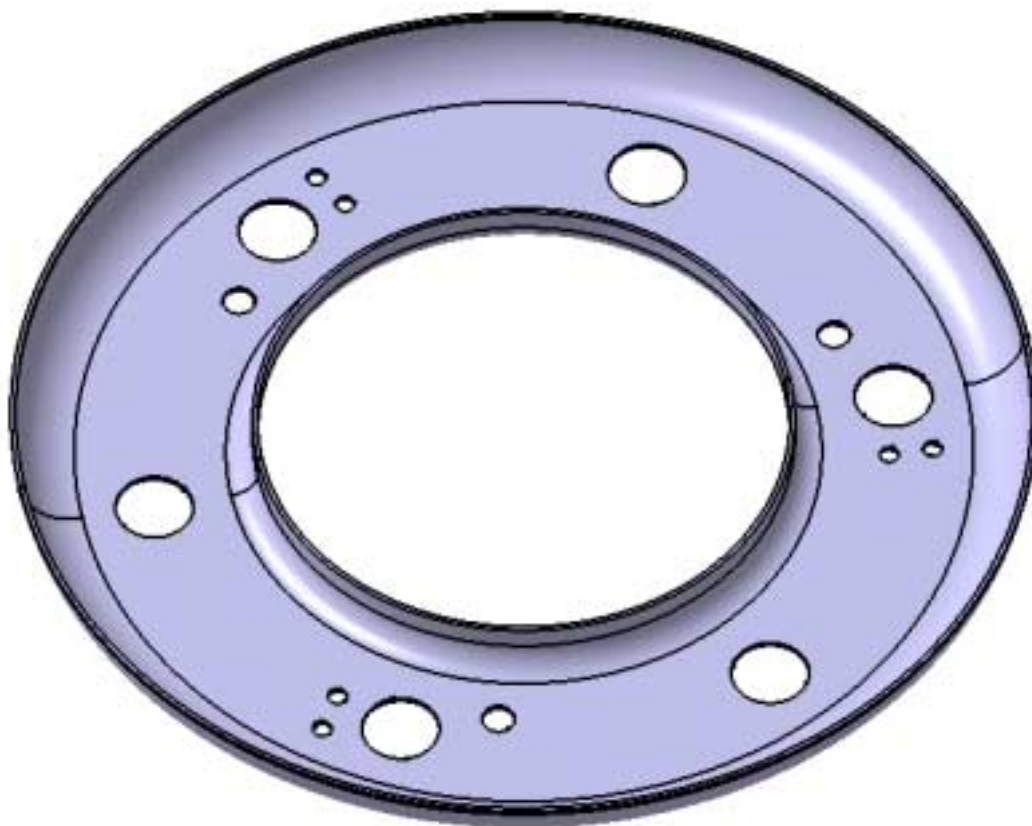


Εικόνα 3.19: Το εσωτερικό κυλινδρικό τοίχωμα του φλογοσωλήνα.





Εικόνα 3.20: Ανάπτυγμα του εσωτερικού κυλινδρικού τοιχώματος του φλογοσωλήνα.



Το τρίτο υποτμήμα του θαλάμου καύσης είναι εκείνο που συνδέει τα δύο κυλινδρικά τοιχώματα τοιχώματα, δηλαδή ο μετωπικός δακτύλιος σύνδεσης. Στο υποτμήμα αυτό συνδέονται και οι σωλήνες εξάχνωσης, καθώς και το σύστημα τροφοδοσίας του καύσιμου. Από κατασκευαστικής άποψης, το κομμάτι αυτό κατασκευάζεται από το ίδιο υλικό με τον υπόλοιπο θάλαμο καύσης. Σχεδιαστικά η κατασκευή του πραγματοποιείται από ένα δακτύλιο λαμαρίνας εσωτερικής διαμέτρου 45 mm και εξωτερικής 109mm. Ο δακτύλιος αυτός αποκτά κατάλληλη μορφή με εσωτερική και εξωτερική καμπύλωση, σε τελικές διαμέτρους ίδιες με τις διαμέτρους των κυλινδρικών τοιχωμάτων. (εικόνα 3.21).

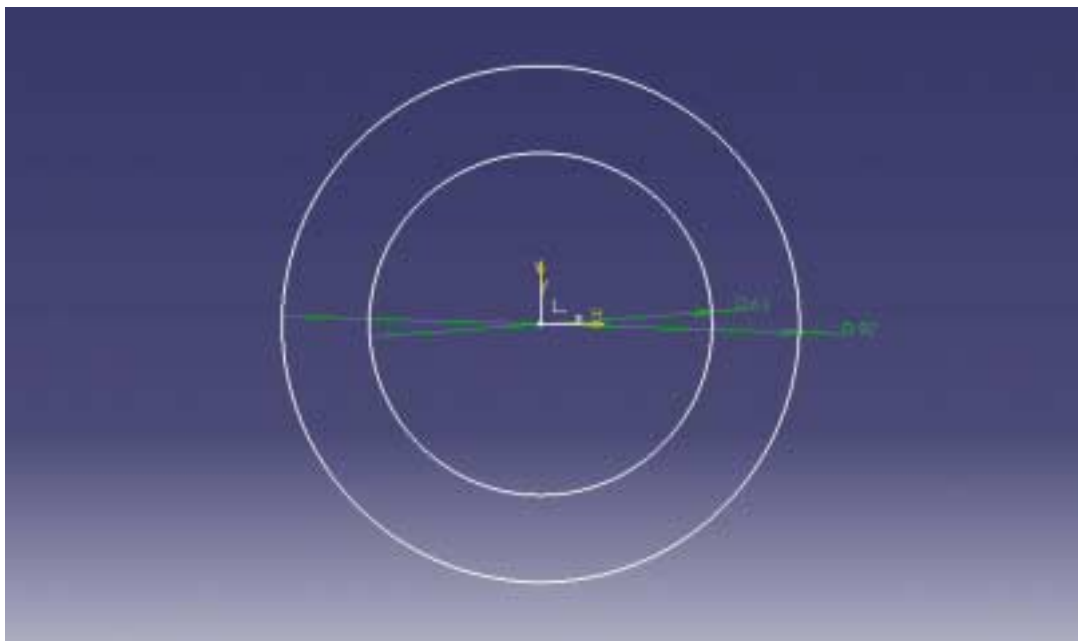


Εικόνα 3.21: Ο μετωπικός δακτύλιος σύνδεσης.

Για την δημιουργία αυτού του υποτιμήματος στο CATIA πρώτα δημιουργούμε τον δακτύλιο με χρήση της εντολής  **Wall**, στην οποία με την βοήθεια ενός επιπέδου σχεδίασης σκιστάρουμε τον δακτύλιο. Οι εσωτερική και εξωτερική διάμετρος του δακτυλίου είναι αντίστοιχα 61 και 91 mm. Το επίπεδο σχεδίασης απεικονίζεται στην εικόνα 3.22.

Μετά την δημιουργία του δακτυλίου και με χρήση της εντολής  **Flange** δημιουργούμε τις καμπυλώσεις της λαμαρίνας στην περιφέρεια των δύο κύκλων του δακτυλίου. Στο παράθυρο διαλόγου της εντολής μας ζητείτε η ακτίνα καμπυλότητας (**Radius=6mm**) το πάχος της λαμαρίνας η οποία θα καμπυλωθεί (**Length=0,5mm**) και η γωνία σε μοίρες που τελικά θα γυρίσει η λαμαρίνα (**Angle=90**). Στη συνέχεια, με χρήση του κέρσορα επιλέγουμε την άκρη (**Edge**) της λαμαρίνας που θα γίνει το γύρισμα. Στην περίπτωση μας η άκρη (**Edge**) δεν είναι μία ακμή αλλά ένα τόξο, υπάρχει επίσης η δυνατότητα επιλογής πολλών ακμών ταυτόχρονα, για γύρισμα με τις ίδιες παραμέτρους.

Για την δημιουργία των οπών χρησιμοποιείται η εντολή  **Hole**, εάν για τη διάτρηση επιθυμούμε κυκλικό προφίλ. Επίσης εναλλακτικά χρησιμοποιείται η εντολή  **Cutout**, στην οποία επιλέγουμε εμείς μέσω επιπέδου σχεδίασης το προφίλ της τομής. Οι οπές, στις οποίες θα συγκολληθούν οι σωλήνες εξάχνωσης του καυσίμου, έχουν διάμετρο 8mm, όσο δηλαδή και η εξωτερική διάμετρος των σωλήνων. Οι υπόλοιπες οπές είναι για την στήριξη της διάταξης παροχής του καυσίμου (σωλήνες προσαγωγής καυσίμου).

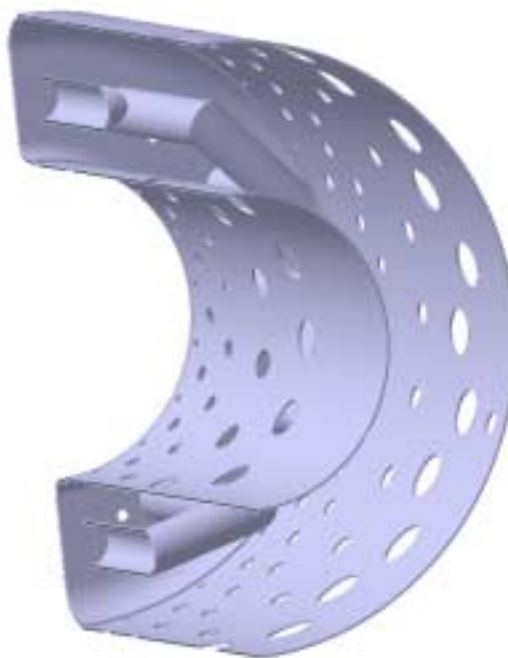


Εικόνα 3.22: Το επίπεδο σχεδίασης για τον μετωπικό δακτύλιο σύνδεσης.

Το τελευταίο υπομήμα του θαλάμου καύσης είναι οι σωλήνες εξάχνωσης (εικόνα 3.23). Παρόλο που σαν κατασκευή δεν είναι πολύπλοκη, η σημασία τους είναι ουσιώδης για την σωστή και ομοιογενή καύση. Η μέθοδος αυτή χρησιμοποιείται και σε μεγαλύτερους και τεχνολογικά πιο εξελιγμένους αεροπορικούς κινητήρες. Στην εικόνα 3.24 παρουσιάζεται η τελική μορφή του φλογοσωλήνα σε τομή.



Εικόνα 3.23: Σωλήνας εξάχνωσης του καυσίμου.




Εικόνα 3.24: Ο φλογοσωλήνας σε τομή.

3.6 Τα έδρανα κύλισης

Οι ταχύτητα περιστροφής που ξεπερνάει τις 100.000 RPM καθώς και οι πολύ υψηλές θερμοκρασίες που αναπτύσσονται, καθιστούν τα έδρανα κύλισης ένα από τα πιο κρίσιμα τμήματα του κινητήρα. Ένας άλλος παράγοντας που κάνει τα έδρανα υπερευαίσθητα είναι οι μεγάλες επιβραδύνσεις και επιταχύνσεις που αναπτύσσονται. Αναλογιζόμενοι ότι όλη η ώση που παράγει ο κινητήρας μεταφέρεται μέσω της διάταξης στήριξης στο σώμα του κινητήρα, στο εύρος στροφών που αναφέραμε, καταλαβαίνουμε την μεγάλη ανάγκη για αξιοπιστία τους. Η διάταξη που χρησιμοποιείται για την στήριξη του άξονα με έδρανα είναι μία τυπική διάταξη αντιστήριξης τύπου «Ο». Τα έδρανα που θα χρησιμοποιήσουμε για αυτήν την εφαρμογή είναι λοξά έδρανα απλής σειράς. Όλες οι μεγάλες εταιρείες κατασκευής εδράνων λανσάρουν ειδικές σειρές για χρήση σε τέτοιες εφαρμογές. Ειδικότερα μάλιστα χρησιμοποιούνται υβριδικά έδρανα με στεφάνια από ατσάλι και σφαίρες από κεραμικό υλικό (Νιτρίδια του πυριτίου), τα οποία εμφανίζουν καλύτερη συμπεριφορά στις συνθήκες που προαναφέραμε.

Για τη συγκεκριμένη εφαρμογή τα έδρανα που χρησιμοποιούμε έχουν τις εξής κύριες διαστάσεις: $d=10$ $D=26$ $B=8$. Όσον αφορά στη σχεδίαση των εδράνων στο CATIA, ακολουθήσαμε τα ακόλουθα βήματα. Σε πρώτη φάση, μιας και η σχεδίαση των εδράνων δεν ήταν ζωτική, αφού αγοράζονται έτοιμα από προμηθευτή, κάθε έδρανο σχεδιάστηκε σαν ένα ενιαίο τμήμα, με όφελος τον χρόνο ανάπτυξης (εικόνα 3.25). Στην συνέχεια όμως, και αφού απαιτήθηκε κινηματική ανάλυση του κινητήρα άρα και του εδράνου, αυτό κατασκευάστηκε με ακριβείς διαστάσεις, με υλικά όμοια με του πραγματικού και με δυνατότητα εξομοίωσης και προσομοίωσης της κίνησης του (εικόνα 3.26).

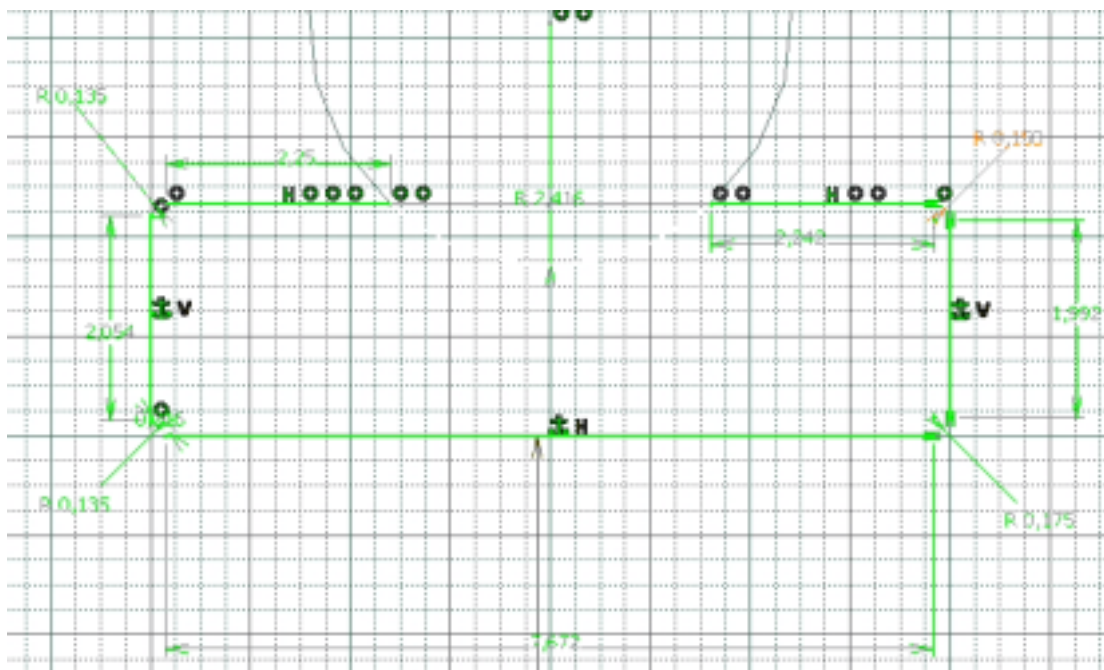
Η σχεδίαση του εδράνου στο CATIA απαιτεί την μοντελοποίηση κάθε ενός τμήματός του ξεχωριστά. Οι δύο δακτύλιοι του εδράνου μετρήθηκαν και σχεδιάστηκαν με χρήση της εντολής  Shaft. Τα προφίλ των τομών τους, τόσο για τον εσωτερικό όσο και για τον εξωτερικό δακτύλιο, δίνονται στις εικόνες 3.27 και 3.28 αντίστοιχα.



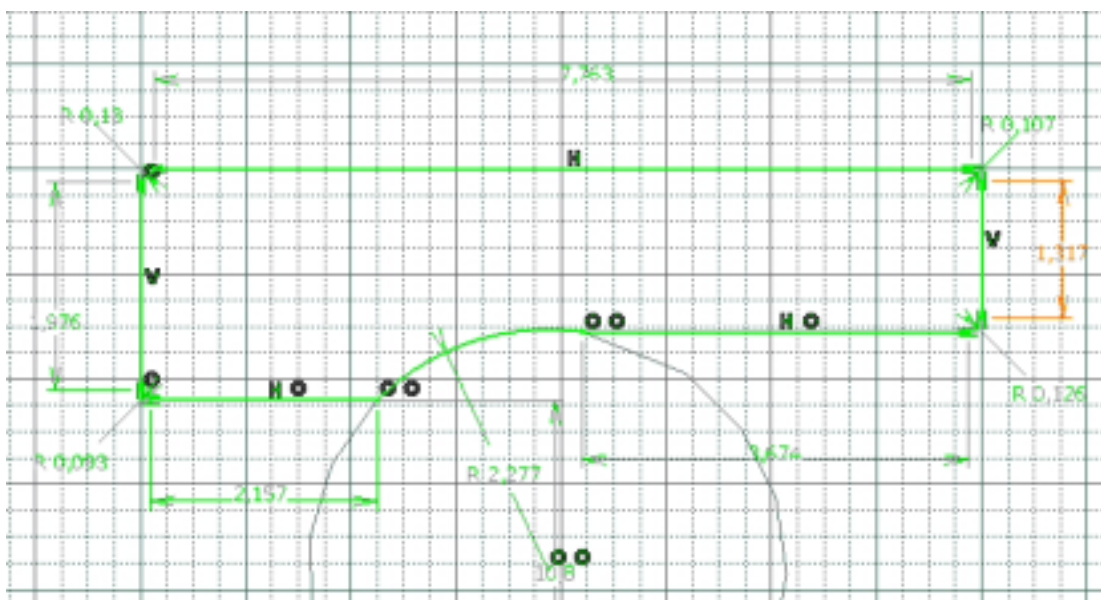
Εικόνα 3.25: Αρχική, απλοποιημένη μοντελοποίηση του εδράνου κύλισης.




Εικόνα 3.26: Τελική, πλήρης μοντελοποίηση του εδράνου κύλισης.




Εικόνα 3.27: Το προφίλ του εσωτερικού δακτυλίου στο επίπεδο σχεδίασης.




Εικόνα 3.28: Το προφίλ του εξωτερικού δακτυλίου στο επίπεδο σχεδίασης.

Στην συνέχεια, για την κατασκευή των σφαιρικών τριβέων ακολουθήθηκε μια πιο σύνθετη διαδικασία. Με χρήση της εφαρμογής Shape>Generative shape design του CATIA δημιουργούμε την σφαίρα σαν επιφάνεια με την εντολή  Sphere. Στο παράθυρο διαλόγου της εντολής που μας εμφανίζεται, μας ζητείται η διάμετρος της σφαίρας καθώς και το αν θα είναι πλήρης ή τμήμα αυτής, για ολόκληρη σφαίρα, στα πεδία που μας ζητείται, συμπληρώνουμε 360. Απαραίτητο επίσης για να ορίσουμε τον τόπο δημιουργίας της σφαίρας είναι το κέντρο της. Συνήθως δίνουμε το κέντρο του προεπιλεγμένου συστήματος συντεταγμένων. Η διάμετρος της σφαίρας του εδράνου μας είναι ίση με 2,375mm. Για την στερεοποίηση της σφαίρας μεταβαίνουμε στην εφαρμογή

Mechanical design>Part design. Επιλέγουμε την εντολή  Close Surface, με την οποία στερεοποιούμε την σφαίρα. Για την εφαρμογή της εντολής απλά αρκεί να επιλεγεί η προς στερεοποίηση γεωμετρία και η αποδοχή με OK.

Το τελευταίο τμήμα του εδράνου κύλισης είναι ο δακτύλιος που αγκαλιάζει τις σφαίρες και τις συγκρατεί σε σταθερή απόσταση μεταξύ τους. Η κατασκευή του στο CATIA δεν είναι κάτι διαφορετικό από τους δύο άλλους δακτυλίους, που ήδη σχεδιάσαμε. Η επιπλέον κατεργασία που υφίσταται είναι οι φωλιές για τους σφαιρικούς τριβείς που φέρει σε όλη την περιφέρεια του. Οι φωλιές αυτές είναι οπές διαμέτρου 5,2 mm. Οι διαστάσεις του δακτυλιδιού είναι οι εξής: $d=18,5$ $D=21,1$ $B=7,2$ και διάμετρο της κάθε οπής 5,2mm (εικόνα 3.29). Δημιουργώντας την μία οπή και ακολούθως με την

εντολή  Circular Pattern αντιγράφουμε συνολικά και τις δέκα.

Για την συναρμολόγηση του εδράνου κύλισης χρησιμοποιείται η εφαρμογή **Assembly design** του CATIA. Η επεξήγηση της λειτουργίας της εφαρμογής αυτής περιγράφεται σε άλλο κεφάλαιο αυτής της εργασίας.




Εικόνα 3.29: Τελική μορφή του δακτυλίου συγκράτησης των σφαιρικών τριβέων.

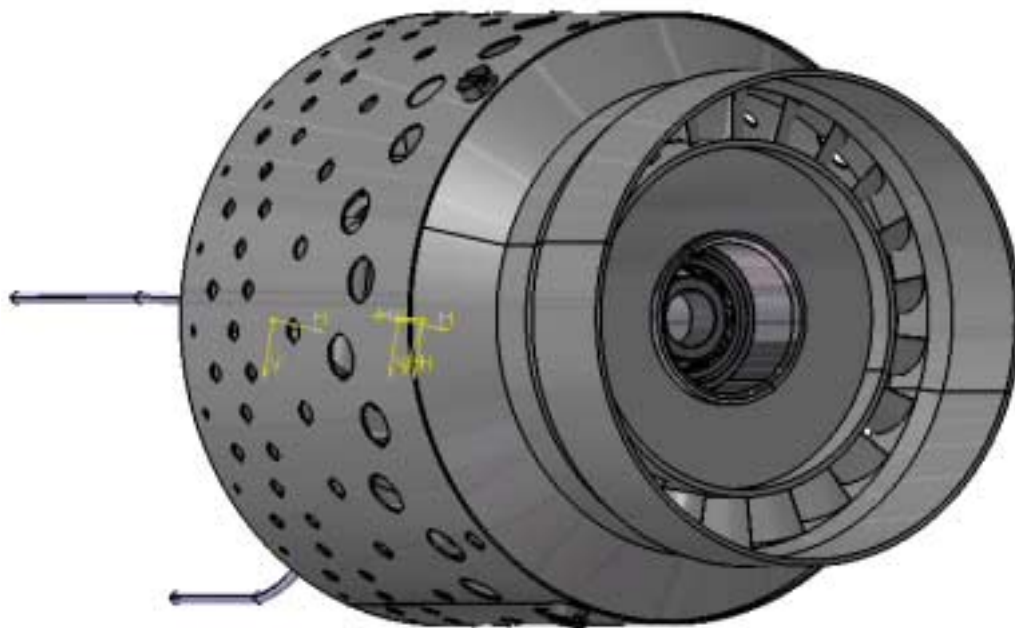
3.7 Οδηγά πτερύγια στροβίλου (στάτορας στροβίλου)

Ο στάτορας του στροβίλου, πέρα από την προκαθορισμένη λειτουργία του, η οποία είναι να δίνει συστροφή στα καυσάερια λίγο πριν αυτά συναντήσουν το ρότορα, (δίνοντας τους ενέργεια, την οποία ο στρόβιλος μπορεί να αφαιρέσει και να την μετατρέψει σε ροπή), παίζει και άλλους ρόλους, που σχετίζονται με τη γεωμετρία και τη στατική του κινητήρα. Ο στάτορας αποτελεί την βάση για τη στήριξη του θαλάμου καύσης. Οι γεωμετρίες αυτών των δύο τμημάτων σχετίζονται άμεσα. Ο θάλαμος καύσης βιδώνεται με κοχλίες επάνω στο στάτορα και μέσω αυτού στηρίζεται στην έδραση του άξονα. Μία άλλη λειτουργία του στάτορα είναι να σφραγίζει με το εξωτερικό κέλυφος του κινητήρα και να αναγκάζει όλον τον αέρα του συμπιεστή να εισέρχεται στον φλογοσωλήνα, μέσω των περιφερειακών οπών. Επίσης, η συναρμολόγηση του με τα κυλινδρικά τοιχώματα του φλογοσωλήνα, αναγκάζει όλη των παροχή των καυσαερίων να εισέλθει στη σταθερή πτερύγωση του στροβίλου. Για να γίνει περισσότερο κατανοητή η συναρμολόγηση των τριών αυτών εξαρτημάτων, απεικονίζεται στην εικόνα 3.30.

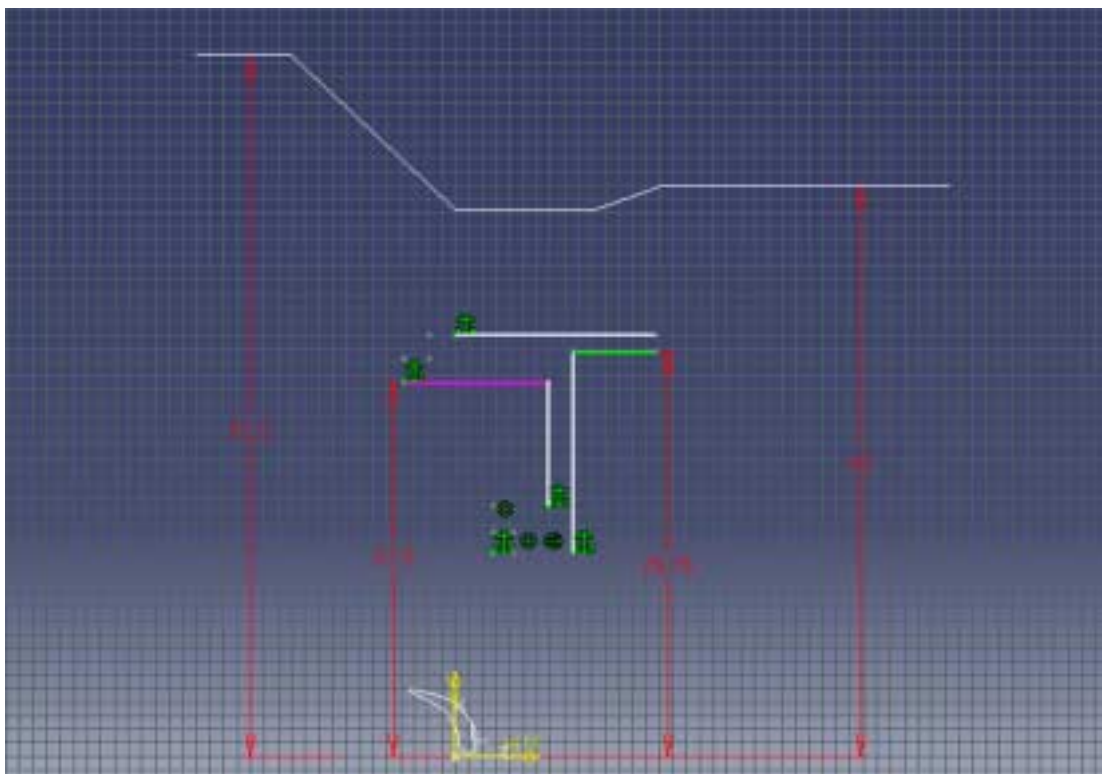
Αμέσως γίνεται κατανοητό ότι, όσον αφορά στη σχεδίαση του στάτορα υπάρχουν αυστηρές προαπαιτούμενες διαστάσεις, για την συνεργασία του με τον θάλαμο καύσης, την έδραση του άξονα και το εξωτερικό περίβλημα του κινητήρα. Πιο συγκεκριμένα, η εξωτερική διάμετρο του στάτορα σχετίζεται με την εξωτερική διάμετρο του θαλάμου καύσης. Αντίστοιχα, η διάμετρος ποδιού του στάτορα σχετίζεται με την εσωτερική διάμετρο του θαλάμου καύσης.

Για τη σχεδίαση του στάτορα στο CATIA μοντελοποιούμε πρώτα το εσωτερικό τμήμα, μετά το εξωτερικό και τέλος την περυγώση. Για τη δημιουργία τόσο του εσωτερικού όσο και του εξωτερικού τμήματος χρησιμοποιούμε την εντολή  Shaft. Το επίπεδο σχεδίασης για το εσωτερικό και το εξωτερικό τμήμα παρουσιάζεται στην εικόνα 3.31. Με κόκκινο σημειώνονται οι κρίσιμες διαστάσεις.

Για την περυγώση του στάτορα έχουμε την δυνατότητα να δουλέψουμε με αρκετούς τρόπους και εργαλεία του CATIA και να έχουμε το επιθυμητό αποτέλεσμα. Αυτό εξαρτάται πάντα από τον σκοπό τον οποίο εμείς έχουμε. Εάν σκοπεύουμε στην δημιουργία απλά ενός περυγίου με κάποια απλοποιημένη γεωμετρία, τότε αρκούν και οι μέθοδοι που περιγράφηκαν έως τώρα για να μας καλύψουν. Στην προκειμένη περίπτωση από την αρχή της μελέτης του θέματος μας ενδιέφερε μία ευελιξία στον τομέα των περυγώσεων τόσο του στάτορα όσο και του ρότορα. Θέσαμε σαν στόχο να μπορούμε να παράγουμε εναλλακτικές γεωμετρίες σχετικά εύκολα, με τη χρήση παραμετρική σχεδίασης. Έτσι το κάθε περύγιο περιγράφεται με δύο ή τρεις διαφορετικές αεροτομές, κάθε μία από τις οποίες απαρτίζεται από διαδοχικά σημεία, τα οποία ορίζουν μία καμπύλη Spline.






Εικόνα 3.30: Το συγκρότημα του θαλάμου καύσης συναρμολογημένο με το συγκρότημα του στάτορα του στροβίλου.



Εικόνα 3.31: Το επίπεδο σχεδίασης του εξωτερικού και εσωτερικού τμήματος του στάτορα του στροβίλου.

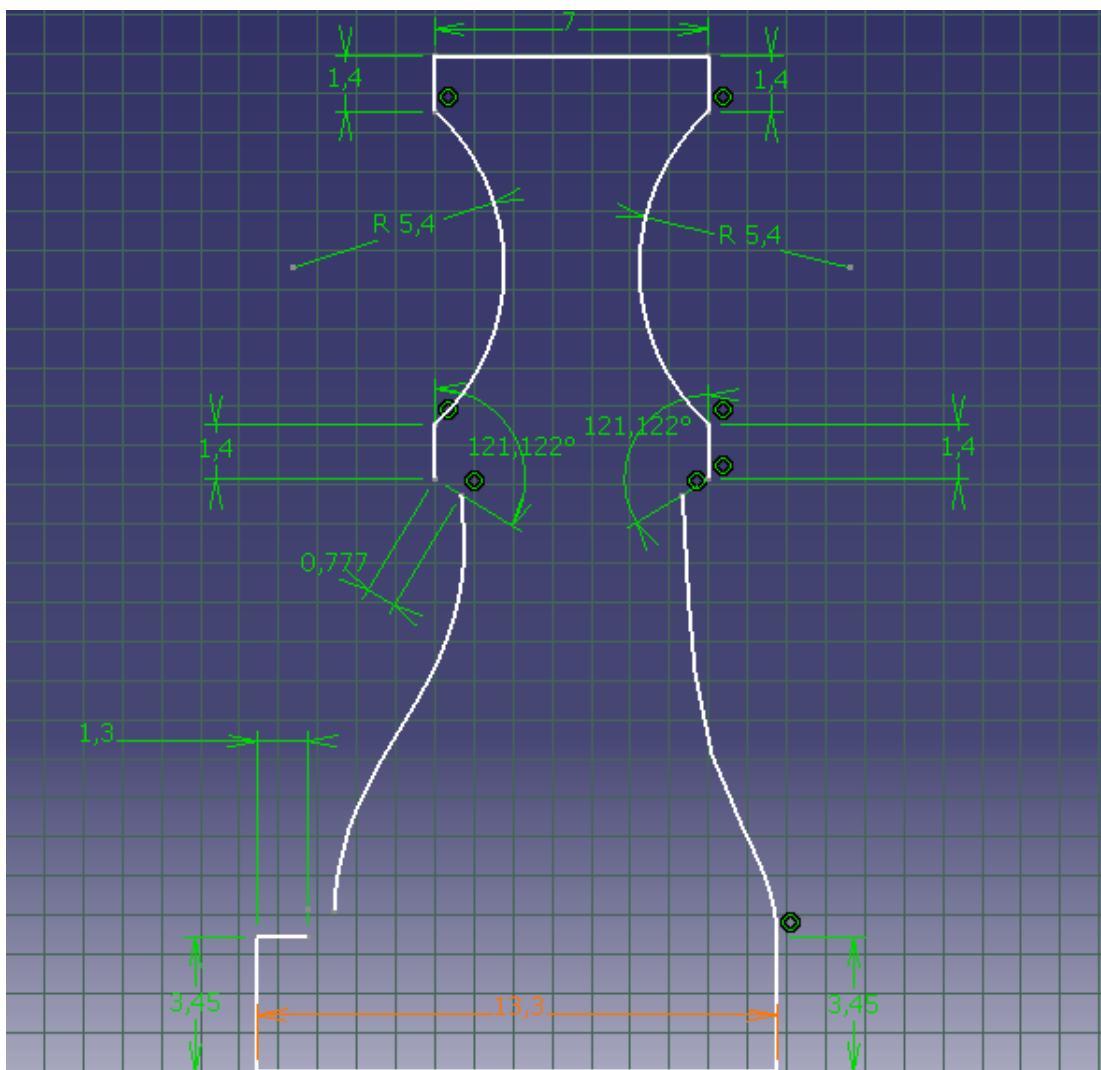
Τα σημεία ελέγχου κάθε αεροτομής περιγράφονται και με τις τρεις τους Καρτεσιανές συντεταγμένες XYZ με τον Y άξονα να ορίζει το ύψος του προφίλ που περιγράφεται από τις άλλες δύο συντεταγμένες. Για την δημιουργία των αεροτομών στο CATIA χρησιμοποιούμε την εφαρμογή **Generative shape design**. Με την εντολή

 **Point** και την επιλογή στο παράθυρο διαλόγου **Coordinates** ορίζουμε τα σημεία, δίνοντας της Καρτεσιανές συντεταγμένες τους. Αφού ορίσουμε τα σημεία ενός ή περισσότερων αεροτομών, με την εντολή  **Spline** επιλέγουμε τα σημεία του κάθε προφίλ και δημιουργούμε την αντίστοιχη καμπύλη. Εάν η καμπύλη που θα προκύψει είναι επίπεδη, δηλαδή όλα τα σημεία ελέγχου έχουν την ίδια συντεταγμένη Y, τότε θα πρέπει για τις δύο ακραίες αεροτομές, αυτές δηλαδή που εφάπτονται στο hub και στο tip, να προβληθούν επάνω σε αυτά έτσι ώστε οι καμπύλες Splines που αποτελούν τις γενέτειρες των πτερυγίων να είναι ορισμένες επάνω στη καμπύλες του κελύφους στο hub και στο tip αντίστοιχα. Στο κεφάλαιο αυτό αναφέραμε την μέθοδο αυτή, η οποία είναι γρήγορη, σαφής και εύκολη. Σε επόμενο κεφάλαιο, στο οποίο θα ασχοληθούμε με την παραμετροποίηση και την αυτόματη σχεδίαση, θα αναφέρουμε και άλλες πιο σύνθετες μεθόδους, που οδηγούν σε αντίστοιχα αποτελέσματα. Αφού δημιουργήσουμε τις αεροτομές, χρησιμοποιούμε την εντολή  **Loft** για να δημιουργήσουμε επιφάνεια από την ένωση των διαδοχικών αεροτομών. Στην συνέχεια με την εντολή **Circular pattern** δημιουργούμε και τα υπόλοιπα πτερύγια.

3.8 Πτερωτή στροβίλου

Η διαδικασία δημιουργίας της πτερωτής του στροβίλου είναι αντίστοιχη με αυτή του στάτορα. Η διατομή του δίσκου της πτερωτής του στροβίλου παρουσιάζεται στην

εικόνα 3.32, στο αντίστοιχο επίπεδο σχεδίασης. Παρατηρούμε ότι χαμηλά (στο σημείο ακριβώς πάνω από τον άξονα) συγκεντρώνεται μεγαλύτερη μάζα μετάλλου, καθιστώντας τον στρόβιλο στιβαρό ώστε να αντέχει τις ισχυρές φυγόκεντρες (εφελκυστικές) δυνάμεις, που αναπτύσσονται κατά την περιστροφή του. Ένα άλλο σημείο στην κατασκευή του προφίλ του σώματος του που χρήζει προσοχής είναι τα στεφάνια μετάλλου που υπάρχουν και στις δύο πλευρές του σώματος στο ύψος της μέσης διαμέτρου. Ο ρόλος που παίζουν αυτές οι δύο αποθήκες μετάλλου είναι για την διαδικασία της ζυγοστάθμισης όλης της κινητής διάταξης άξονα, ρουλεμάν, συμπιεστή και στρόβιλου. Είναι λογικό στις τόσο υψηλές ταχύτητες περιστροφής το σύστημα του ρότορα να απαιτείται να είναι απαλλαγμένο και από τους παραμικρούς κραδασμούς λόγω εκκεντρότητας μάζας. Για τον λόγο αυτό το σύστημα ζυγοσταθμίζεται, αφαιρώντας υλικό από τις δύο στεφάνες του στρόβιλου καθώς και από την πλάτη του συμπιεστή. Είναι γεγονός ότι ακόμα και το αυθαίρετο σφίξιμο ενός περικοχλίου μπορεί να προκαλέσει απουσία ζυγοστάθμισης και να απαιτείται ξανά ζυγοστάθμιση. Η περωτή του στρόβιλου παρουσιάζεται ολοκληρωμένη στην εικόνα 3.33.



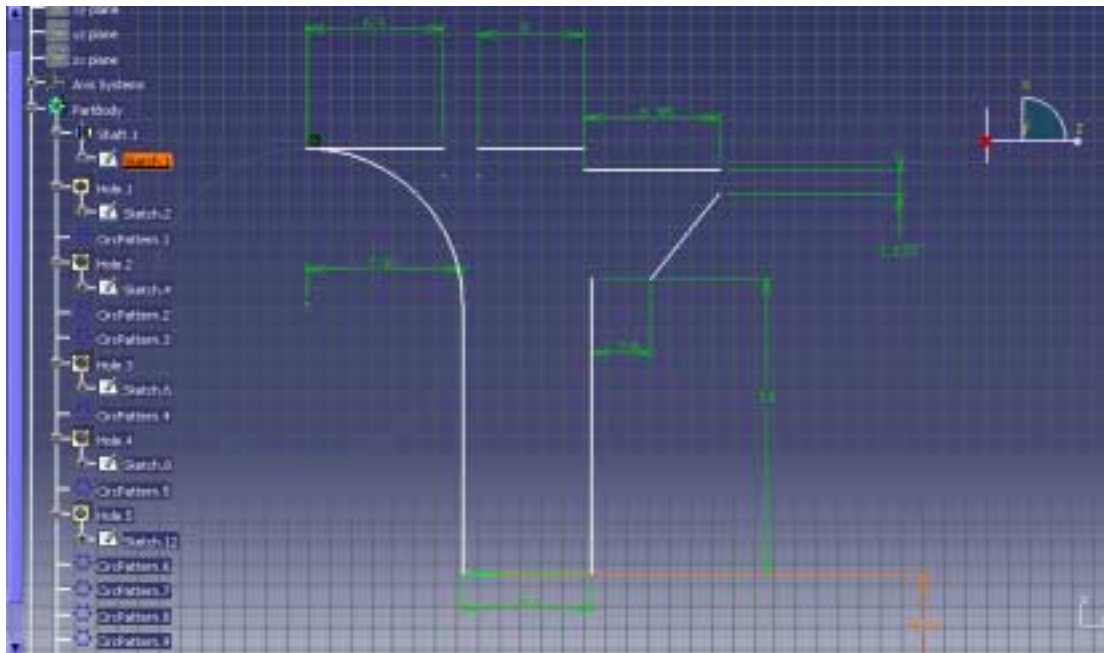
Εικόνα 3.32: Η διατομή του δίσκου της περωτής του στρόβιλου, στο αντίστοιχο επίπεδο σχεδίασης.



Εικόνα 3.33: Η ολοκληρωμένη μορφή της πτερωτής του στροβίλου.

3.9 Κέλυφος διαχύτη

Για την σχεδίαση του κελύφους του διαχύτη του συμπιεστή χρησιμοποιείται η εντολή **Shaft**, με το αντίστοιχο προφίλ να σχεδιάζεται στο επίπεδο σχεδίασης (εικόνα 3.34). Το σημείο που πρέπει να δοθεί προσοχή είναι στις κρίσιμες διαστάσεις των οπών που δημιουργούμε στην πορεία της σχεδίασης, για τη σύσφιξη του κελύφους με το κύριο σώμα του διαχύτη. Η τελική μορφή του κελύφους του διαχύτη απεικονίζεται στην εικόνα 3.35.



Εικόνα 3.34: Το προφίλ του κελύφους του διαχύτη στο αντίστοιχο επίπεδο σχεδίασης.



Εικόνα 3.35: Η τελική μορφή του κελύφους του διαχύτη, μαζί με όλες τις αναγκαίες οπές.

ΚΕΦΑΛΑΙΟ 4

ΠΑΡΑΜΕΤΡΙΚΗ ΜΟΝΤΕΛΟΠΟΙΗΣΗ

4.1 Γενικά

Η μεγάλη εξέλιξη των υπολογιστικών συστημάτων τα τελευταία χρόνια έδωσε την δυνατότητα στις εταιρείες ανάπτυξης σχεδιαστικού λογισμικού να εφαρμόσουν στα προγράμματα τους δυνατότητες, που μέχρι πρότινος δεν ήταν δυνατόν, λόγω χαμηλής υπολογιστικής ισχύος, να εφαρμόσουν. Τέτοιες εφαρμογές είχαν αρχίσει πολύ νωρίτερα να χρησιμοποιούνται αποκλειστικά και μόνο από πολύ μεγάλα και ισχυρά δίκτυα υπολογιστών, με τρομακτικές συνολικά για την εποχή δυνατότητες και υπερβολικά μεγάλο κόστος κτήσης. Τα συστήματα αυτά χρησιμοποιούνταν από μεγάλες εταιρείες σε πειραματικό αρχικά στάδιο, δίνοντας δυνατότητες στα τμήματα έρευνας και εξέλιξης, της μοντελοποίησης και βελτιστοποίησης κρίσιμων αντικειμένων που αποτελούσαν το τελικό προϊόν. Τα πλεονεκτήματα της χρήσης των ηλεκτρονικών υπολογιστών δεν άργησαν να φανούν και πλέον οι ηλεκτρονικοί υπολογιστές ενσωματώθηκαν σε κάθε στάδιο της παραγωγής ενός προϊόντος. Με την πάροδο του χρόνου και την ταυτόχρονη ανάπτυξη της γνώσης και της επιστήμης που απαιτείται σε κάθε κλάδο ανάπτυξης ενός προϊόντος, η ανάγκη για ισχυρότερους και πιο οικονομικούς υπολογιστές γίνεται ολοένα και μεγαλύτερη. Πλέον η χρήση του ηλεκτρονικού υπολογιστή ξεκινάει με την σύλληψη της ιδέας για την δημιουργία ενός προϊόντος, μέχρι και το τέλος της ζωής αυτού, καθώς μέσω του υπολογιστή και της αμφίδρομης σχέσης υπολογιστικής μονάδας και προϊόντος έχουμε την δυνατότητα για την παρακολούθηση των έλεγχου και την συντήρηση του κάθε προϊόντος, είτε αυτό πρόκειται για μια απλή οικιακή ηλεκτρική συσκευή, είτε για μία ολόκληρη μονάδα παραγωγής.

Στην συγκεκριμένη περίπτωση, το λογισμικό το οποίο τελικά χρησιμοποιήσαμε στη σχεδίαση αυτού του στροβιλοαντιδραστήρα είναι το CATIA version 5 Release 9 της Dassault Systemes, το οποίο δεν είναι απλά ένα πακέτο σχεδίασης αλλά ένα σύστημα βιομηχανικής ανάπτυξης προϊόντων. Η χρήση του πακέτου αυτού μπορεί να γίνει ταυτόχρονα από ένα μεγάλο πλήθος ατόμων, με σκοπό την ανάπτυξη όχι απλά ενός προϊόντος αλλά την δημιουργία του πλέον ανταγωνιστικού προϊόντος. Παράμετροι όπως χρόνος ανάπτυξης, κόστος παραγωγής, παραγωγή πρωτότυπου, προσομοίωση λειτουργίας, σχεδίαση εγκαταστάσεων παραγωγής, καλλιτεχνική απεικόνιση, παρουσίαση πρωτότυπου μέσω εικονικής πραγματικότητας, προσομοίωση και προγραμματισμός των εργαλειομηχανών και των μηχανών ταχείας προτυποποίησης, είναι μερικές μόνο από τις δυνατότητες αυτού του προγράμματος. Με ένα λογισμικό πακέτο όπως το CATIA και με τη χρήση από έναν απλό ηλεκτρονικό υπολογιστή μέχρι δίκτυα δεκάδων θέσεων εργασίας, έχουμε την δυνατότητα όχι απλά να δημιουργήσουμε ένα προϊόν, αλλά να το εξελίξουμε, χωρίς να υπάρχει η ανάγκη για την δημιουργία φυσικών πρωτοτύπων στα αρχικά στάδια, που μέχρι πρότινος έκαναν την ανάπτυξη προϊόντων χρονοβόρα και δαπανηρή διαδικασία.

Στα πλαίσια της παρούσας εργασίας κατασκευάστηκε το ψηφιακό μοντέλο ενός μικρού στροβιλοαντιδραστήρα, από ένα άτομο και με την χρήση ενός προσωπικού ηλεκτρονικού υπολογιστή, πράγμα που δείχνει τις δυνατότητες και την ευκολία χρήσης αυτών των συστημάτων. Το σημαντικότερο όμως που αποκομίστηκε από αυτήν την εργασία είναι η εμπειρία και η γνώση τόσο στο σύστημα σχεδίασης όσο και στους μικρούς στροβιλοαντιδραστήρες. Το τελευταίο κατέστη δυνατό διότι η όλη

αναπαράσταση του στροβιλοαντιδραστήρα και των εξαρτημάτων που τον απαρτίζουν γίνεται με τέτοιο τρόπο, έτσι ώστε η επικοινωνία του σχεδιαστή με το αντικείμενο είναι τόσο ρεαλιστική, που σου δίνει την δυνατότητα της αποκάλυψης και της επίλυσης των διαφορών προβλημάτων που αντιμετωπίζονται στην πορεία.

4.2 Παραμετρική σχεδίαση

Η σημαντικότερη εφαρμογή του προγράμματος, η οποία έδωσε την δυνατότητα να δημιουργήσουμε ένα δυναμικό ψηφιακό μοντέλο αυτού του στροβιλοαντιδραστήρα, είναι η παραμετρική μοντελοποίηση της σχεδίασης. Με τον όρο παραμετρική μοντελοποίηση εννοούμε το πλήθος των σχέσεων που κρύβονται πίσω από την σχεδίαση που αναπαριστούμε. Για να γίνει αυτό πιο κατανοητό το σύστημα μπορεί να προγραμματιστεί ώστε να συμπεριφέρεται «έξυπνα», όσον αφορά στη θέση των διαφορών γεωμετριών στον χώρο. Για να γίνει κάτι τέτοιο όμως αντιληπτό από τον υπολογιστή και γενικότερα από το σύστημα θα πρέπει οι αντίστοιχες σχέσεις και εντολές που δίνουμε για τις διάφορες γεωμετρίες να αποθηκεύονται στην ταυτότητα του κάθε αντικειμένου και ταυτόχρονα να υπάρχουν σε μορφή γενική, ώστε με μικρές αλλαγές (σε μερικές μόνο παραμέτρους) να μπορούν να πραγματοποιηθούν μεγάλες αλλαγές στη μορφή του προϊόντος.

Με απλά λόγια, πρέπει να επιλεγούν αρχικά οι κατάλληλες παράμετροι, ώστε αυτές να περιγράφουν πλήρως την εκάστοτε γεωμετρία, καθώς και οι μαθηματικές σχέσεις (Relations) μεταξύ των παραμέτρων ώστε να εξασφαλίζεται η σωστή σχετική θέση των επιμέρους γεωμετριών στον χώρο. Οι παράμετροι αποτελούν τα δυναμικά στοιχεία του ψηφιακού μοντέλου, τα οποία έχουμε την δυνατότητα να μεταβάλλουμε, όπως για παράδειγμα λόγοι μηκών, η πυκνότητα, το υλικό κ.τ.λ. και όλα αυτά συνδυαζόμενα να μας δίνουν ένα προϊόν με τις ιδιαιτερότητες που κάθε φορά εμείς έχουμε επιλέξει.

Μέσα από όλες τις πραγματικά αχανείς δυνατότητες του προγράμματος, στην παρούσα εργασία επικεντρωθήκαμε στην εκμετάλλευση των δυνατοτήτων παραμετρικής σχεδίασης πολύπλοκων γεωμετριών και αντικειμένων, όπως τα τμήματα ενός στροβιλοαντιδραστήρα. Για να γίνει δε καλύτερη αξιολόγηση των δυνατοτήτων του προγράμματος στο συγκεκριμένο πεδίο, η παραμετρική σχεδίαση εφαρμόστηκε στα πλέον πολύπλοκα γεωμετρικά αντικείμενα, στις πτερωτές του συμπιεστή και του στροβίλου, που αποτελούν και τα πιο κρίσιμα για την απόδοση του κινητήρα τμήματα. Στόχος από την αρχή ήταν να κατασκευαστεί ένα ψηφιακό μοντέλο των παραπάνω τμημάτων σε τέτοια μορφή, ώστε να είναι εύκολη η αυτόματη παραγωγή πολύ διαφορετικών γεωμετριών με την απλή επέμβαση στα περιεχόμενα ενός αρχείου μεταβλητών. Αυτό δίνει τη δυνατότητα παραγωγής ολόκληρων οικογενειών προϊόντων (π.χ. πτερωτών συμπιεστών) από το ίδιο ψηφιακό μοντέλο (που θα κατασκευαστεί μία μόνο φορά), με την απλή επέμβαση σε ένα αρχείο με τιμές παραμέτρων. Στο ίδιο αρχείο θα μπορούν να φυλάσσονται όλες οι διαφορετικές γεωμετρίες (π.χ. σε διαφορετικές στήλες τιμών) και να ανακαλείται η κάθε μία με κατάλληλη επιλογή μέσα από το σχεδιαστικό πακέτο. Η παραπάνω επιλογή δίνει επιπλέον τη δυνατότητα απλούστατης επικοινωνία του σχεδιαστικού πακέτου με άλλα προγράμματα, όπως προγράμματα βελτιστοποίησης, κάτι που εξ' αρχής αποτελούσε στόχο της παρούσας εργασίας.

Με τον όρο αυτόματη σχεδίαση εννοούμε την αυτόματη παραγωγή διαφορετικών σχεδιάσεων μέσω του ορισμού και τις τροποποίησης αυστηρά καθορισμένων παραμέτρων που αποτελούν το πλήθος των μεταβλητών παραμέτρων της σχεδίασης. Ο

τρόπος με τον οποίο γίνεται κάτι τέτοιο αφενός είναι απλός αφετέρου μπορεί να εφαρμοστεί σε κάθε μοντελοποιημένο εξάρτημα, αρκεί η διαδικασία της σχεδίασης του να συμφωνεί με την διαδικασία μοντελοποίησης του. Αυτό σε πρώτη φάση μπορεί να ακούγεται λίγο αόριστο, αλλά στη συνέχεια της ανάλυσης, με την περιγραφή της παραμετροποίησης των διαφόρων επιμέρους εξαρτημάτων, θα κατανοηθεί και θα φαίνεται τόσο λογικό όσο και αυτονόητο.

Όπως αναφέρθηκε προηγουμένως, στα πλαίσια της παρούσας εργασίας έγινε απόπειρα για την παραμετροποίηση των περωτών του στροβίλου και του συμπιεστή. Τα δύο αυτά εξαρτήματα είναι αφενός τα δυσκολότερα προς σχεδίαση αντικείμενα, μιας και περιέχουν ιδιαίτερα πολύπλοκες γεωμετρίες, ενώ αφετέρου είναι τα σημαντικότερα προς έρευνα και εξέλιξη αντικείμενα, μιας και στις γεωμετρίες τους διασταυρώνονται επιστήμες όπως η ρευστομηχανική, η θερμοδυναμική, η μετάδοση θερμότητας και η μηχανική. Αποκαλούμε την μέθοδό μας απόπειρα, διότι η σχεδίαση μιας γεωμετρίας μπορεί να γίνει θεωρητικά με άπειρους τρόπους, όπως επίσης και η διαδικασία της παραμετροποίησης. Μετά από αρκετές δοκιμές με τις διάφορες μεθόδους και ιδέες, καταλήξαμε στο συγκεκριμένο τρόπο αντιμετώπισης, ώστε η περιγραφή να είναι συμβατή με προγράμματα βελτιστοποίησης, ανάλυσης της ροής και μελέτης της αντοχής.

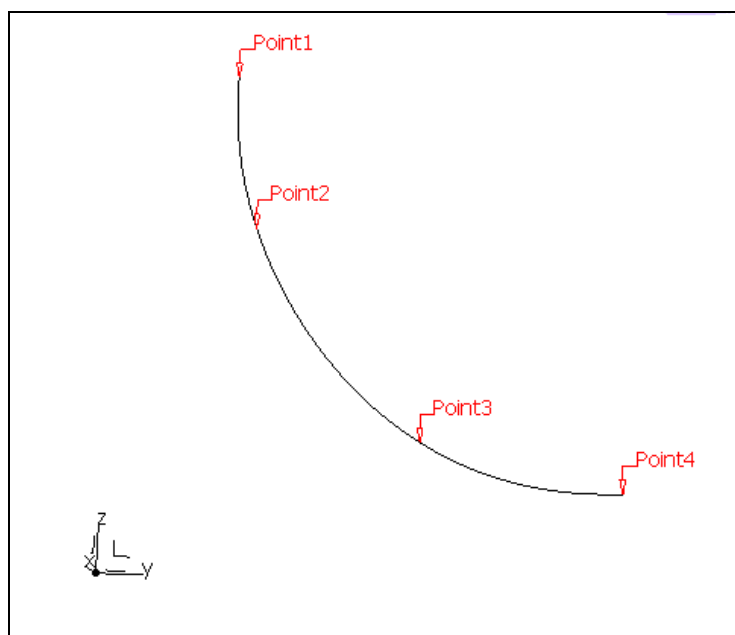
Απώτερος στόχος είναι η δημιουργία ενός αυτόνομου λογισμικού, μέσω του οποίου βελτιστοποιημένες σχεδιάσεις θα αναπτύσσονται, θα σχεδιάζονται και θα προσομοιώνονται, ενώ ως αποτέλεσμα θα προκύπτει τόσο η τελική γεωμετρία, όσο και τα αποτελέσματα της προσομοίωσης (ροής, αντοχής) στην τελική, όσο και στις ενδιάμεσες γεωμετρίες. Ειδικά στην περίπτωση πολυκριτήριων προβλημάτων βελτιστοποίησης, θα δίδεται η δυνατότητα στον χρήστη να επιλέγει διαφορετικές γεωμετρίες από το σύνολο βέλτιστων λύσεων (Pareto), οι οποίες θα μπορούν να αναπαραχθούν αυτομάτως, με την εισαγωγή απλώς των παραμέτρων σχεδίασης στο σχεδιαστικό πρόγραμμα.

4.3 Η περίπτωση του συμπιεστή

Ο συμπιεστής που αποτέλεσε την αφετηρία στην εφαρμογή αυτή είναι ο GARRETT με κωδική ονομασία TA45. Ο συμπιεστής θα χρησιμοποιηθεί αρχικά ως το προς σχεδίαση αντικείμενο και θα μοντελοποιηθεί με κάθε λεπτομέρεια, τόσο στην ακρίβεια των διαστάσεων, όσο και στην πιστότητα της γεωμετρίας των περυγίων. Στην συνέχεια θα περιγραφούν οι κυριότερες μεταβλητές, οι οποίες αποτελούν και τις κρίσιμες μεταβλητές της σχεδίασης και θα διερευνήσουμε τη δυνατότητα δημιουργίας διαφορετικών τύπων συμπιεστών, μέσω της εισαγωγής ενός μικρού αριθμού μεταβλητών - παραμέτρων. Η αναλυτική περιγραφή της διαδικασίας της σχεδίασης του συμπιεστή και οι επιμέρους εντολές που χρησιμοποιήθηκαν δεν είναι ο σκοπός αυτής της ενότητας, αφού περιγράφεται σε άλλο κεφάλαιο. Εδώ θα αναλύσουμε τα επιμέρους πλήθη των μεταβλητών, πώς αυτά συσχετίζονται με τις βασικές γεωμετρίες ενός συμπιεστή, πώς παραμετροποιούνται δημοσιεύοντας λίστα μεταβλητών και με ποια λογική τελικά θα ρυθμίζουμε την τιμή των μεταβλητών για να πάρουμε τον συμπιεστή που επιθυμούμε. Σημειώνουμε εδώ ότι η δυνατότητα της μοντελοποίησης είναι τέτοια ώστε είναι δυνατόν από το ίδιο ψηφιακό μοντέλο να προκύψουν εντελώς διαφορετικοί τύποι περωτών συμπιεστή, όπως αξονικής, ακτινικής ή μεικτής ροής.

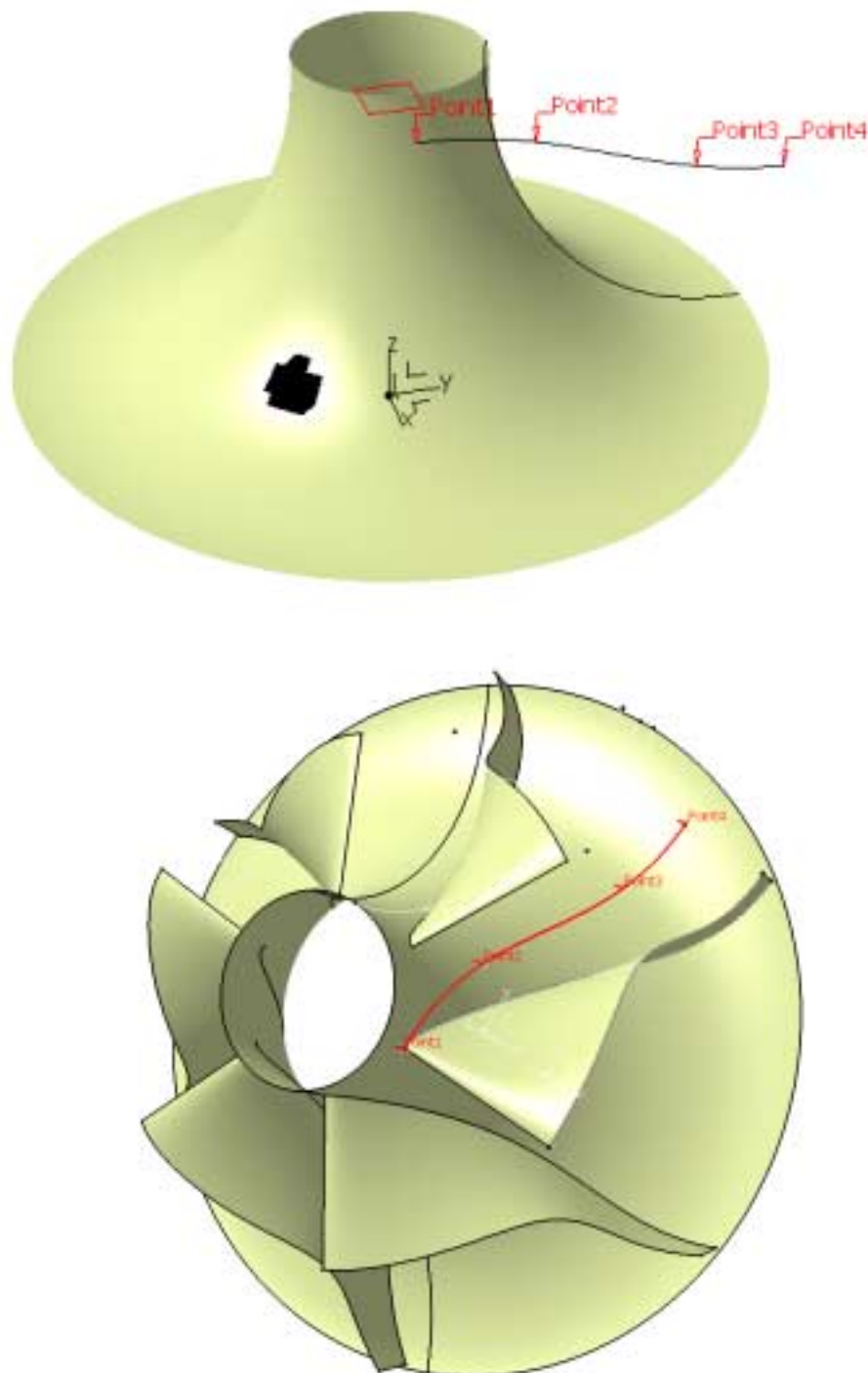
Τα βασικά γεωμετρικά στοιχεία ενός συμπιεστή προς μοντελοποίηση είναι τα ακόλουθα:

- Τα σημεία ελέγχου τα οποία θα δημιουργήσουν την γενέτειρα καμπύλη της κωνικής επιφάνειας του ποδιού (Hub) της πτερωτής του συμπιεστή. Τα σημεία αυτά στην εφαρμογή μας έχουν πλήθος 4 και τοποθετούνται στο επίπεδο Z-Y. Περιγράφονται με δύο συντεταγμένες το κάθε ένα (V και H). Η συντεταγμένη V είναι η συντεταγμένη κατά τη διεύθυνση του άξονα Z, ενώ η συντεταγμένη H είναι η συντεταγμένη κατά τον άξονα Y. Πιο συγκεκριμένα η τιμή H του σημείου 4 είναι η εξωτερική ακτίνα του συμπιεστή. Η διάσταση V παίρνει την τιμή 0 για ακτινικό συμπιεστή με επίπεδη πλάτη, η την απαραίτητη τιμή εάν ο συμπιεστής δεν έχει επίπεδη πλάτη. Η τιμή V του σημείου 4 μπορεί να έχει και αρνητική τιμή, εφόσον η τιμή V του σημείου 1 δεν αντικατοπτρίζει το συνολικό μήκος του συμπιεστή. Εναλλακτικός τρόπος για τον ορισμό του hub είναι με χρήση τόξου συγκεκριμένης καμπυλότητας επάνω στο ίδιο επίπεδο, στην περίπτωση ακτινικού συμπιεστή το τόξο είναι τεταρτοκύκλιο, ενώ στην περίπτωση συμπιεστή μικτής ροής το τόξο είναι μέρος τεταρτοκυκλίου. Για συμπιεστή καθαρά αξονική ροής το HUB δημιουργείται από ευθεία γραμμή παράλληλη στον άξονα Z, ή στη γενικότερη περίπτωση με ευθεία γραμμή συγκεκριμένης κλίσης ως προς τον Z. Είναι περιττό να αναφέρουμε ότι το σώμα του HUB παράγεται από περιστροφή κατά 360 μοίρες της οποιασδήποτε γενέτειρας γύρω από τον άξονα Z. Η ίδια ακριβώς διαδικασία ακολουθείται και στην δημιουργία πτερωτής στροβίλου. Στην χρήση του λογιστικού φύλλου EXCEL τα σημεία αυτά θα καλούνται Hub.Point.1 έως 4 (εικόνα 4.1).



Εικόνα 4.1: Τα σημεία δημιουργίας της γεωμετρίας του hub.

- Το επίπεδο πάνω στο οποίο προβάλλεται η γενέτειρα του πτερυγίου (η τομή δηλαδή του πτερυγίου με το hub του συμπιεστή). Το επίπεδο αυτό στην περίπτωση συμπιεστή ακτινικής ροής και συμπιεστή μεικτής ροής μεγάλης ακτινικής συνιστώσας διαπιστώθηκε ότι πρέπει να είναι ένα επίπεδο παράλληλο στο XY επίπεδο (κάθετο δηλαδή στον άξονα της μηχανής – άξονας Z), όπως φαίνεται στην εικόνα 4.2. Η απόσταση πάνω στον άξονα Z στην οποία το επίπεδο τέμνει τον άξονα είναι το σημείο από το οποίο ξεκινούν τα πτερύγια του συμπιεστή. Ως αρχή των αξόνων συνήθως θεωρούμε το τελευταίο σημείο της πλάτης του συμπιεστή ($Z=0$). Στην περίπτωση συμπιεστή αξονικής ροής ή μεικτής ροής με μικρή ακτινική συνιστώσα, το επίπεδο προβολής πρέπει να είναι παράλληλο με τον άξονα Z και να διέρχεται από το πιο απομακρυσμένο σημείο του tip του συμπιεστή (δηλαδή αυτό με τη μεγαλύτερη ακτίνα). Διαισθητικά θα πρέπει το επίπεδο αυτό να είναι κάθετο στο επίπεδο ZY (πάνω στο οποίο σχεδιάζεται η γενέτειρα καμπύλη του tip) και να διέρχεται από το πιο απομακρυσμένο σημείο, (ένα από τα σημεία 9 – 11 όπως θα δούμε) και μάλιστα αυτό με την μεγαλύτερη τιμή της συντεταγμένης H (συντεταγμένη κατά τον άξονα Y). Στην περίπτωση όμως που το πτερύγιο απαιτείται να έχει συστροφή κατά την ακτίνα θα πρέπει να περιγραφεί με δύο ή περισσότερες αεροτομές, έτσι ώστε το πτερύγιο να δημιουργείται από την ένωση αυτών των διαδοχικών αεροτομών (Sections). Με όμοιο λοιπόν τρόπο δημιουργούμε σε ένα δεύτερο επίπεδο σχεδίασης μια προβολή της εσωτερικής αεροτομής του πτερυγίου (αυτής στο hub). Αυτό το επίπεδο σχεδίασης διέρχεται τώρα από το πιο απομακρυσμένο σημείο του hub (αυτό με την μεγαλύτερη ακτίνα). Στην περίπτωση που το hub δεν έχει κωνικότητα και δημιουργείται από ευθεία παράλληλη στον άξονα Z οποιοδήποτε από τα σημεία του αρκεί. Στο λογιστικό φύλο τα σημεία του hub χαρακτηρίζονται με το πρόθεμα Tip.Point.



Εικόνα 4.2: Τα σημεία της προβολής του πτερυγίου (Blade Projection Point) σε επίπεδο παράλληλο με το XY. Διακρίνεται και η γενέτειρα του hub.

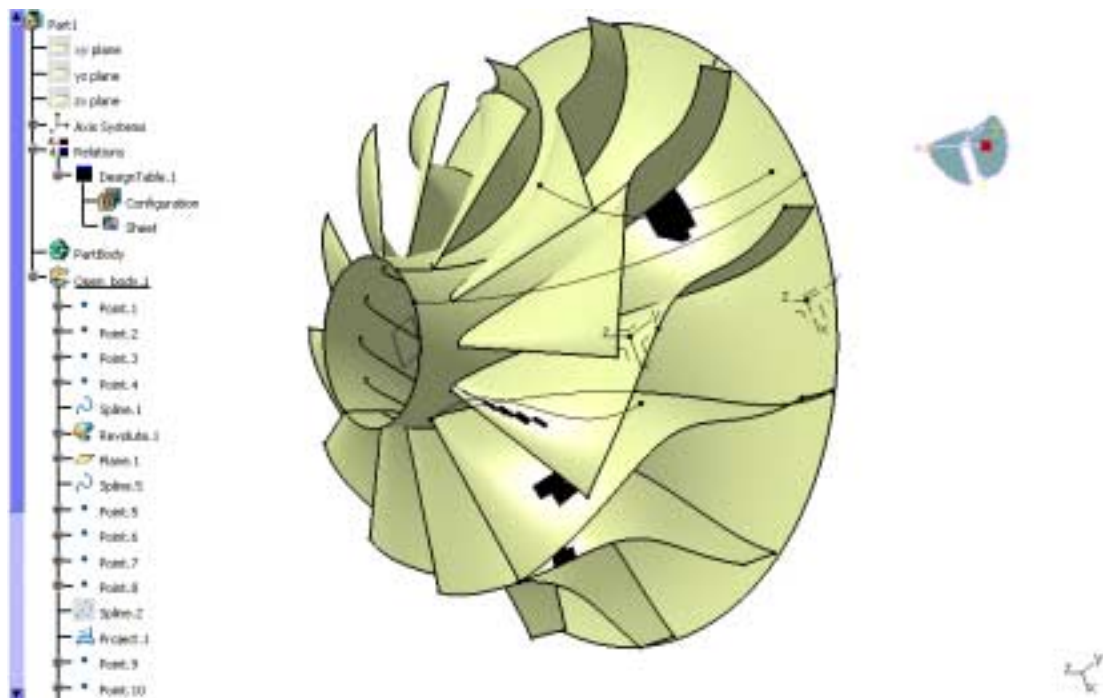
- Τα σημεία ελέγχου της γεωμετρίας του πτερυγίου (με αριθμό από 5 έως 8). Σε οποιαδήποτε και από τις δύο περιπτώσεις (ακτινικός ή αξονικός συμπίεστής), τα σημεία αυτά αποτελούν την προβολή της τομής του πτερυγίου με το hub. Τα σημεία αυτά περιγράφουν το πτερύγιο κατά μία αντίστροφη έννοια. Έστω ότι διαθέτουμε ένα πτερύγιο ενός συγκεκριμένου συμπίεστή. Προβάλλουμε την καμπύλη της τομής του πτερυγίου με το hub σε ένα από τα δύο επίπεδα που προαναφέραμε. Στη συνέχεια προσεγγίζουμε την καμπύλη αυτή με τέσσερα σημεία, προσέχοντας πάντα το πρώτο και το τελευταίο (5 και 8 αντίστοιχα) να οριοθετούν το μεν πρώτο την αρχή των πτερυγίων και το δε τελευταίο το τέλος αυτών (εικόνα 4.2). Με άλλα λόγια πάντα θα πρέπει η H συντεταγμένη του σημείου 5 να συμφωνεί σαν τιμή με την H συντεταγμένη του σημείου 1. Η V συντεταγμένη του σημείου 5 πρέπει να είναι 0. Όμοια το μήκος του τόξου που συνδέει την αρχή των αξόνων με το σημείο 8 πρέπει να συμφωνεί σε τιμή με την συντεταγμένη H του σημείου 4. Με άλλα λόγια πρέπει να ισχύει η σχέση: $H_4 = \sqrt{V_8^2 + H_8^2}$. Τα σημεία αυτά στο λογιστικό φύλλο της παραμετροποίησης καλούνται **Blade projection Point**.
- Τα σημεία ελέγχου της γενέτειρας καμπύλης που δημιουργεί το tip του συμπίεστή. Τα σημεία αυτά στη συγκεκριμένη παραμετροποίηση είναι τα σημεία 9 έως 11. Τα σημεία αυτά ανήκουν στο YZ επίπεδο, όμοια με τα σημεία 1 έως 4.

Με βάση την προηγούμενη ανάλυση είμαστε σε θέση να μπορούμε πλέον να έχουμε το πρώτο μοντέλο ενός πλήρως αυτοματοποιημένου προς σχεδίαση συμπίεστή. Αναφέρουμε το μοντέλο αυτό σαν πρώτο γιατί αποτελεί μια απλή προσέγγιση ενός συμπίεστή, χωρίς μεταβλητό πάχος πτερυγίων. Στην συνέχεια θα αναφέρουμε και ένα πιο εξειδικευμένο μοντέλο για την αυτοματοποιημένη πάντα σχεδίαση ενός ιδεατού μοντέλου συμπίεστή, με περισσότερες απαιτούμενες μεταβλητές. Μιας όμως και η ουσία αυτής της εργασίας δεν είναι απλά και μόνο η δημιουργία ενός συμπίεστή, αλλά η κατανόηση της διαδικασίας, παραθέτουμε το πρώτο πιο απλό μοντέλο και στην συνέχεια θα περιγράψουμε και την πιο εξελιγμένη μορφή του.

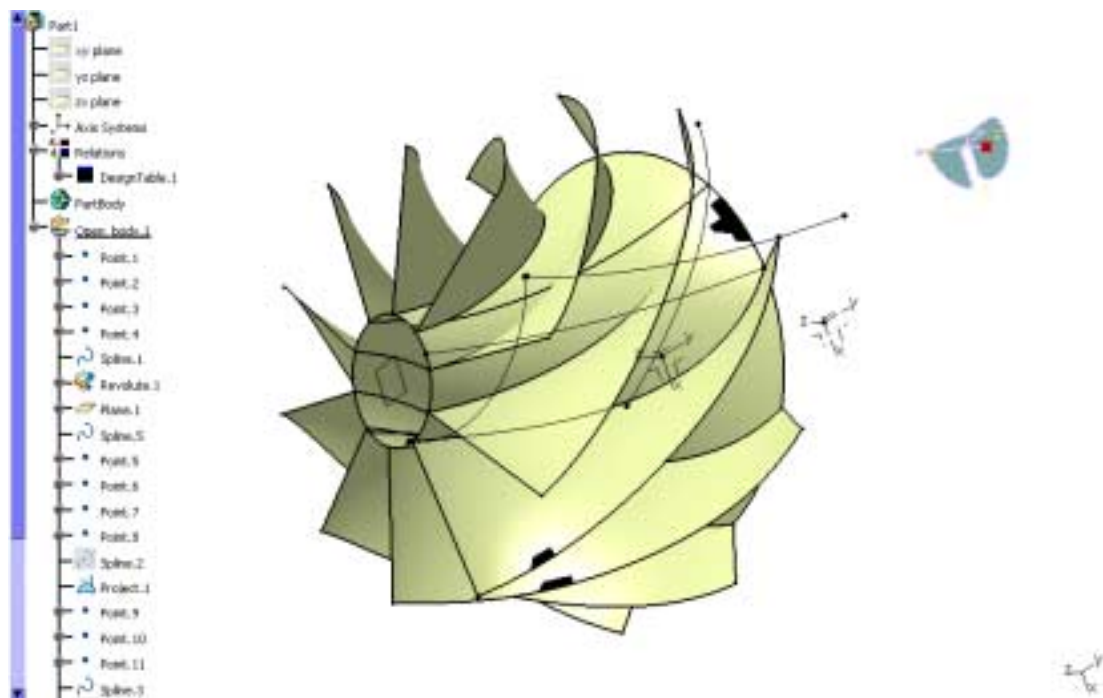
Στην εικόνα 4.3 περιέχεται ένα λογιστικό φύλλο, με τα ονόματα (στην πρώτη στήλη) και τις τιμές (στις δύο επόμενες) των μεταβλητών παραμετροποίησης, από τις οποίες προκύπτουν αντίστοιχα δύο διαφορετικοί, τόσο ως προς την γεωμετρία όσο και ως προς το είδος τους, συμπίεστές. Η δεύτερη στήλη δημιουργεί έναν συμπίεστή ακτινικής ροής (εικόνα 4.4) ενώ η Τρίτη στήλη μας δίνει ένα συμπίεστή μεικτής ροής με διαφορετικό πλήθος των πτερυγίων (εικόνα 4.5). Η μέθοδος αυτή, σύμφωνα με την οποία γίνεται δυνατή η ομαδοποίηση των παραμέτρων σε λογιστικά φύλλα υλοποιείται με τη διαδικασία **Design Table**. Μέσω της διαδικασίας αυτής, σε ένα λογιστικό φύλλο μπορούν να φυλάσσονται πάρα πολλές γεωμετρίες, οι οποίες αναπαράγονται αυτόματα, με την επιλογή της αντίστοιχης στήλης του λογιστικού φύλλου.

`Hub.Point.1\H` (mm)	10	10
`Hub.Point.1\V` (mm)	60	60
`Hub.Point.2\H` (mm)	14	14
`Hub.Point.2\V` (mm)	42,3	42,3
`Hub.Point.3\H` (mm)	24,5	24,5
`Hub.Point.3\V` (mm)	22,2	22,2
`Hub.Point.4\H` (mm)	36,5	36,5
`Hub.Point.4\V` (mm)	10	10
`Plane offset.1\Offset` (mm)	60	60
`Blade projection.Point.5\H` (mm)	10	10
`Blade projection.Point.5\V` (mm)	0	0
`Blade projection.Point.6\H` (mm)	13	13
`Blade projection.Point.6\V` (mm)	12	12
`Blade projection.Point.7\H` (mm)	18,5	10
`Blade projection.Point.7\V` (mm)	21	26
`Blade projection.Point.8\H` (mm)	29,3	0
`Blade projection.Point.8\V` (mm)	30	36,5
`Tip.Point.9\H` (mm)	36	36
`Tip.Point.9\V` (mm)	60	60
`Tip.Point.10\H` (mm)	43	43
`Tip.Point.10\V` (mm)	24	24
`Tip.Point.11\H` (mm)	54	54
`Tip.Point.11\V` (mm)	10	10
Number of blades	6	10
Open_body.1\CircPattern.3\AngularSpacing (deg)	60	36

Εικόνα 4.3: Ο πίνακας που αποτελεί το Design Table των δύο διαφορετικών συμπίεστών.



Εικόνα 4.4: Συμπιεστής ακτινικής ροής.



Εικόνα 4.5: Συμπιεστής μεικτής ροής.

4.4 Πτερωτή συμπιεστή μεταβλητού πάχους

Το μειονέκτημα της προηγούμενης μοντελοποίησης είναι το μηδενικό πάχος των πτερυγίων της πτερωτής, μιας και αυτά μοντελοποιούνται με μία καμπύλη επιφάνεια. Στην συνέχεια θα γίνει μια μοντελοποίηση πιο κοντά στην πραγματικότητα. Σε προηγούμενο κεφάλαιο αναφέραμε ότι μπορούμε να προσδώσουμε πάχος στο πτερύγιο με την εντολή **Thick Surface**, άλλα το πάχος αυτό θα είναι παντού σταθερό (το οποίο δεν μπορεί να γίνει αποδεκτό για την περίπτωση των πτερυγίων). Στην πραγματικότητα το πτερύγιο είναι μία αεροτομή με μικρό πάχος στην ακμή προσβολής και στην ακμή εκφυγής και μεγαλύτερο πάχος στην κεντρική περιοχή του για λόγους αντοχής.

Η διαδικασία που ακολουθείται στο CATIA ώστε να περιλαμβάνεται και αυτή η λεπτομέρεια στο ψηφιακό μοντέλο της πτερωτής, είναι η χρήση δύο καμπυλών για τη δημιουργία του πτερυγίου (δηλαδή η χρήση διπλής σειράς σημείων στο επίπεδο που προβάλλεται το πτερύγιο. Έτσι η τομή του πτερυγίου δεν περιγράφεται με 4 σημεία όπως πριν αλλά με 6, όπου το 1^ο και το 4^ο σημείο είναι κοινά και για τις δύο καμπύλες (στην ακμή προσβολής και εκφυγής). Στην εσωτερική περιοχή του πτερυγίου υπάρχουν 4 σημεία, ώστε να ρυθμίζουν το πάχος του πτερυγίου. Ο διαχωρισμός των σημείων θα γίνεται αναφερόμενοι στην μία από τις δύο πλευρές του πτερυγίου (στην πλευρά υποπίεσης και στην πλευρά υπερπίεσης). Έτσι το σημείο 6 για παράδειγμα θα αναφέρεται και σαν High Pressure Blade projection.Point.6 και σαν Low Pressure Blade projection.Point.6. Ο διαχωρισμός αυτός γίνεται για να είναι η ομαδοποίηση των σημείων πιο κατανοητή και ξεκάθαρη, καθώς το πλήθος των μεταβλητών θα αυξηθεί σημαντικά. Στην εικόνα 4.6 που ακολουθεί απεικονίζεται ακτινικός συμπιεστής με μεταβλητό πάχος πτερυγίων, ενώ στην εικόνα 4.7 παρουσιάζεται το αντίστοιχο Design Table.

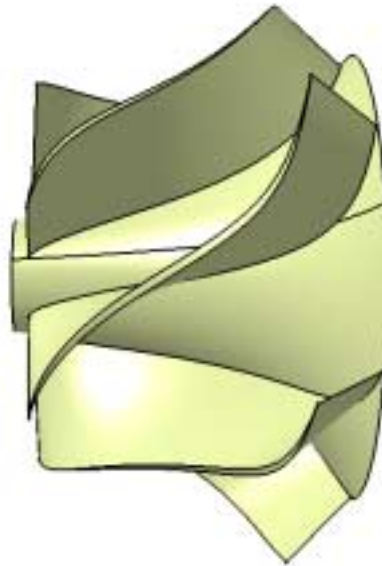


Εικόνα 4.6: Συμπιεστής με μεταβλητό πάχος πτερυγίων.

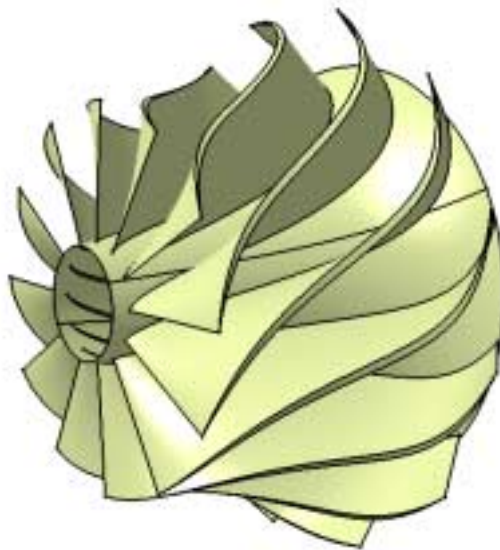
Hub.Point.1\H` (mm)	10.375	10.375
Hub.Point.1\V` (mm)	43.15	43.15
Hub.Point.2\H` (mm)	12.325	12.325
Hub.Point.2\V` (mm)	29.4	29.4
Hub.Point.3\H` (mm)	26.175	26.175
Hub.Point.3\V` (mm)	11.15	11.15
Hub.Point.4\H` (mm)	42	42
Hub.Point.4\V` (mm)	7.2	7.2
Plane offset.1\Offset` (mm)	37.7	37.7
Blade projection.Point.5\H` (mm)	10.5	10.5
Blade projection.Point.5\V` (mm)	0	0
Blade projection.Point.6\H` (mm)	13.2	13.2
Blade projection.Point.6\V` (mm)	11.8	11.8
Blade projection.Point.7\H` (mm)	22	22
Blade projection.Point.7\V` (mm)	25.5	25.5
Blade projection.Point.8\H` (mm)	24.1	24.1
Blade projection.Point.8\V` (mm)	33.8	33.8
Blade projection LOW pressure\Point.19\H` (mm)	12.8	12.8
Blade projection LOW pressure\Point.19\V` (mm)	12	12
Blade projection LOW pressure\Point.20\H` (mm)	21.5	21.5
Blade projection LOW pressure\Point.20\V` (mm)	25.5	25.5
`Tip.Point.9\H` (mm)	30.175	30.175
`Tip.Point.9\V` (mm)	43.15	43.15
`Tip.Point.10\H` (mm)	36.6	36.6
`Tip.Point.10\V` (mm)	15	15
`Tip.Point.11\H` (mm)	42	42
`Tip.Point.11\V` (mm)	13	13
Number of blades	12	15
Open_body.1\CircPattern.2\AngularSpacing (deg)	30	24

Εικόνα 4.7: Ο πίνακας που αποτελεί το Design Table δύο διαφορετικών συμπιεστών με μεταβλητό πάχος πτερυγίων.

Στις εικόνες 4.8 και 4.9 παρουσιάζονται δύο περωτές συμπιεστή μεικτής ροής, με πτερύγια μεταβλητού πάχους, που κατασκευάστηκαν με το ίδιο ψηφιακό μοντέλο όπως και ο συμπιεστής ακτινικής ροής της εικόνας 4.6. Τα εν λόγω σχήματα αποδεικνύουν την μεγάλη δυνατότητα της παραμετροποίησης των γεωμετριών. Στην εικόνα 4.10 περιέχεται το Design Table που χρησιμοποιήθηκε για την κατασκευή των περωτών μεικτής ροής.



Εικόνα 4.8: Πτερωτή συμπίεστη μεικτής ροής, που φημιουργήθηκε με το ίδιο ψηφιακό μοντέλο, όπως και η πτερωτή ακτινικής ροής της εικόνας 4.6.



Εικόνα 4.9: Πτερωτή συμπίεστη μεικτής ροής, που δημιουργήθηκε με το ίδιο ψηφιακό μοντέλο, όπως και η πτερωτή ακτινικής ροής της εικόνας 4.8, αλλά με μεγαλύτερο αριθμό πτερυγίων.

Hub.Point.1\H` (mm)	10.375	10	10
Hub.Point.1\V` (mm)	43.15	70	70
Hub.Point.2\H` (mm)	12.325	14	14
Hub.Point.2\V` (mm)	29.4	50	50
Hub.Point.3\H` (mm)	26.175	27	27
Hub.Point.3\V` (mm)	11.15	20	20
Hub.Point.4\H` (mm)	42	40	40
Hub.Point.4\V` (mm)	7.2	10	10
Plane offset.1\Offset` (mm)	37.7	70	70
Blade projection.Point.5\H` (mm)	10.5	10.5	10.5
Blade projection.Point.5\V` (mm)	0	0	0
Blade projection.Point.6\H` (mm)	13.2	13.2	13.2
Blade projection.Point.6\V` (mm)	11.8	11.8	11.8
Blade projection.Point.7\H` (mm)	22	22	16
Blade projection.Point.7\V` (mm)	25.5	25.5	25
Blade projection.Point.8\H` (mm)	24.1	13	7
Blade projection.Point.8\V` (mm)	33.8	48	39
Blade projection LOW pressure\Point.19\H` (mm)	12.8	12.8	12.5
Blade projection LOW pressure\Point.19\V` (mm)	12	12	11.8
Blade projection LOW pressure\Point.20\H` (mm)	21.5	21.5	15
Blade projection LOW pressure\Point.20\V` (mm)	25.5	25.5	25
`Tip.Point.9\H` (mm)	30.175	35	35
`Tip.Point.9\V` (mm)	43.15	70	70
`Tip.Point.10\H` (mm)	36.6	42	42
`Tip.Point.10\V` (mm)	15	33	33
`Tip.Point.11\H` (mm)	42	68	68
`Tip.Point.11\V` (mm)	13	10	10
Number of blades	7	7	7
Open_body.1\CircPattern.2\AngularSpacing (deg)	51.42857	51.42857	51.42857

Εικόνα 4.10: Το Design Table που χρησιμοποιήθηκε για την παραγωγή των περωτών μεικτής ροής των εικόνων 4.8 και 4.9.

4.5 Η περίπτωση του στροβίλου

Γενικά για την σχεδίαση συμπίεστών και στροβίλων, ακτινικής και μεικτής ροής με μεγάλη συνιστώσα ακτινικής ροής, η μέθοδος που παρουσιάστηκε προηγουμένως δεν φαίνεται να αντιμετωπίζει προβλήματα. Αντιθέτως, όπως ακριβώς έχουμε αναφέρει και πιο πριν, στην περίπτωση συμπίεστών ή στροβίλων αξονικής ροής ή μεικτής ροής μικρής ακτινικής συνιστώσας, η μέθοδος που παρουσιάσαμε αδυνατεί να δημιουργήσει, με την ευκολία που απαιτείται, τις απαραίτητες γεωμετρίες. Αυτό είναι λογικό, διότι αν σχεδιαστεί μία καμπύλη σε επίπεδο κάθετο στον άξονα Z, είναι αδύνατον αυτή να προβληθεί σε κυλινδρική επιφάνεια κάθετη σε αυτό το επίπεδο (για την περίπτωση τελείως αξονικής μηχανής).

Στην περίπτωση των αξονικών μηχανών, η λογική της σχεδίασης είναι η ίδια, όσον αφορά την δημιουργία των επιφανειών του hub και του tip. Θα λέγαμε μάλιστα ότι τα πράγματα απλοποιούνται, καθώς οι μικρότερες καμπυλότητες που συναντάμε, μας δημιουργούν την ανάγκη και για λιγότερα σημεία ελέγχου. Έτσι λοιπόν στην συγκεκριμένη περίπτωση το hub δημιουργείται από τρία σημεία ελέγχου, όπως και το tip.

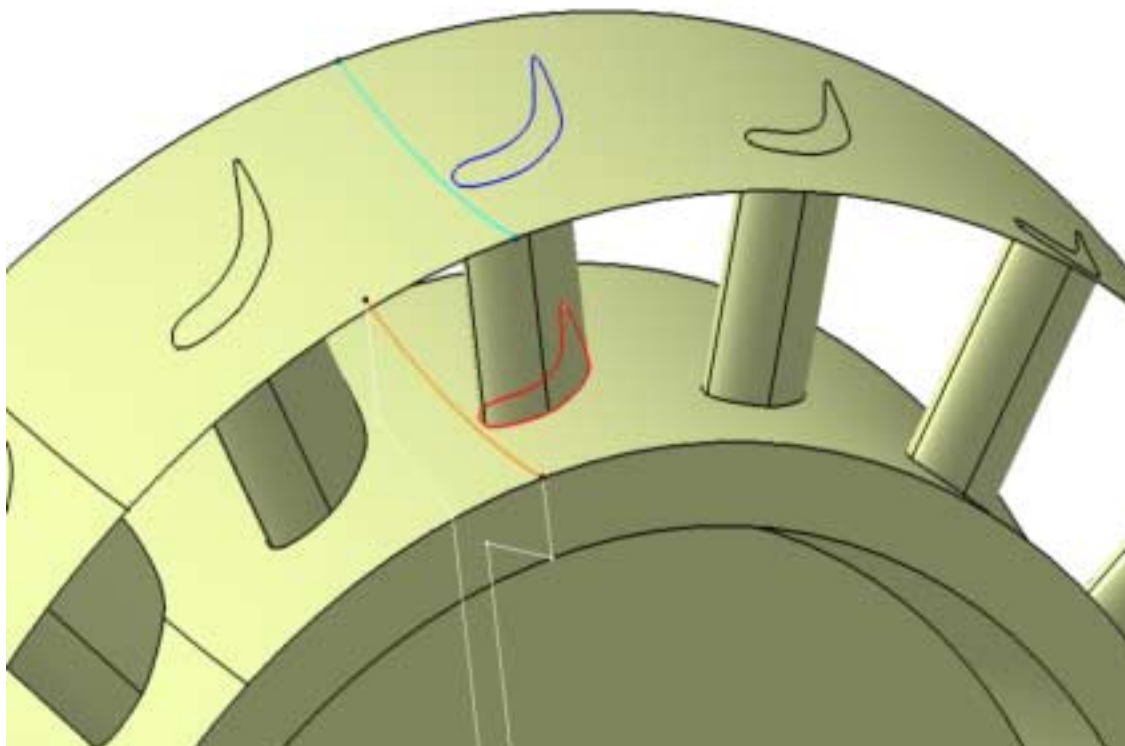
Αφού δημιουργήσουμε τις δύο (γενικευμένες) κυλινδρικές επιφάνειες στο hub και στο tip (με περιστροφή των αντίστοιχων γενετειρών), ακολουθεί η δημιουργία των πτερυγίων.

Ένας τρόπος δημιουργίας των πτερυγίων είναι αυτός που περιγράφηκε σε προηγούμενη παράγραφο. Παίρνουμε δηλαδή δύο επίπεδα παράλληλα στον άξονα Z, πάνω στα οποία σχεδιάζουμε δύο αεροτομές, μία για το hub και μια για το tip (εικόνα 4.11). Οι αεροτομές μπορεί να είναι βέβαια και περισσότερες (χρησιμοποιώντας και ενδιάμεσα επίπεδα. Εναλλακτικά, τα σημεία των αεροτομών μπορούν να δοθούν με Καρτεσιανές συντεταγμένες στο χώρο και όχι πάνω σε επίπεδα.

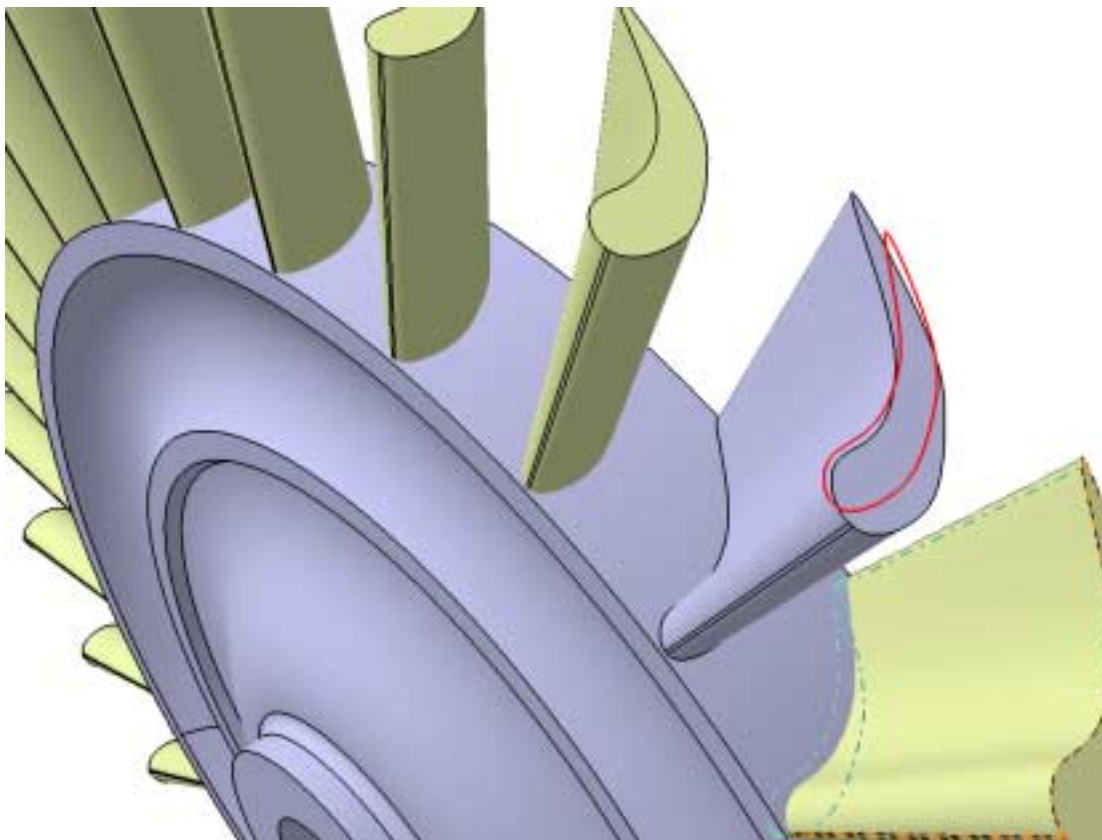
Στην περίπτωση του δικού μας στροβιλοαντιδραστήρα και ειδικότερα στην περίπτωση του στροβίλου, τα μήκη ήταν πολύ μικρά, με αποτέλεσμα να μην υπάρχει ακρίβεια στις μετρήσεις της γεωμετρίας των πτερυγίων. Πιο συγκεκριμένα, υπολογίσαμε ότι το ύψος των πτερυγίων της πτερωτής του στροβίλου είναι της τάξης των 11 mm και η χορδή τους μόλις 7 mm.

Για διευκόλυνση της σχεδίασης, χρησιμοποιήθηκε μία εναλλακτική μέθοδος σχεδίασης, με τη χρήση μίας μόνο αεροτομής. Έτσι δημιουργήθηκε η αεροτομή που αναφέρεται στο hub, πάνω σε επίπεδο εφαπτόμενο στο hub. Στη συνέχεια, η επίπεδη αεροτομή προβάλλεται στην κυλινδρική επιφάνεια του hub. Σε δεύτερη φάση προβάλλεται η αεροτομή του hub πάνω στην κυλινδρική επιφάνεια του tip.

Στην συνέχεια, με χρήση της εντολής **Rotate**, στρέφουμε την αεροτομή του tip, δίνοντας στο πτερύγιο την απαιτούμενη συστρόφη και προκύπτει η τελική μορφή της αεροτομής στο tip (εικόνα 4.12). Η επιφάνεια του πτερυγίου δημιουργείται με τη χρήση γραμμής που ενώνει τα δύο προφίλ και ολισθαίνει πάνω σε αυτά, ενώ στη συνέχεια ακολουθεί η στερεοποίηση της επιφάνειας, όπως έχει αναλυθεί σε προηγούμενες παραγράφους. Στην εικόνα 4.13 παρουσιάζεται η τελική μορφή του στροβίλου, ενώ στην εικόνα 4.14 απεικονίζεται ο στρόβιλος σε αξονική τομή.



Εικόνα 4.7: Δημιουργία του πτερυγίου με τη χρήση δύο διακριτών αεροτομών, μία στο hub και μια στο tip. Οι αεροτομές ορίζονται σε δύο διαφορετικά επίπεδα και προβάλλονται στη συνέχεια στις καμπύλες επιφάνειες του hub και του tip αντίστοιχα. Διακρίνονται επίσης οι καμπύλες γενέτειρες του hub και του tip.



Εικόνα 4.8: Στον εναλλακτικό τρόπο σχεδίασης του πτερυγίου, η αεροτομή του hub προβάλλεται στην επιφάνεια του tip και στη συνέχεια περιστρέφεται, για να δώσει την απαιτούμενη συστροφή. Η περιστροφή συνοδεύεται και από μεγέθυνση της αεροτομής.



Εικόνα 4.9: Τελική μορφή της περωτής του στροβίλου.



Εικόνα 4.10: Η περωτή του στροβίλου σε τομή.

ΚΕΦΑΛΑΙΟ 5

ΣΥΜΠΕΡΑΣΜΑΤΑ

Ολοκληρώνοντας την παρουσίαση αυτής της εργασίας θα αναφερθούμε στην χρησιμότητα του αντικειμένου που αναπτύσσεται καθώς και στις μελλοντικές προεκτάσεις που είναι εφικτό να πραγματοποιηθούν. Αναμφισβήτητο το σημαντικότερο εργαλείο στην ανάπτυξη αυτού του στροβιλοαντιδραστήρα δεν είναι άλλο από το CATIA, στις δυνατότητες του οποίου οφείλεται τόσο η ποιότητα του αποτελέσματος, όσο και το πλήθος από τις μελλοντικές προεκτάσεις που μπορεί να έχει η κατασκευή του ψηφιακού προτύπου.

Κατά τη διάρκεια της εργασίας γινόταν συνεχώς φανερό η ευχρηστία του προγράμματος, η ευκολία στην μάθησή του, και η αμεσότητα στη χρησιμοποίηση των εντολών του. Χωρίς να υπάρχει σημαντική εμπειρία στο πρόγραμμα, δίδεται η δυνατότητα γρήγορης σχεδίασης πολύπλοκων γεωμετριών. Όμως το πιο δυνατό σημείο του (όσον αφορά τη σχεδίαση) είναι η δυνατότητα παραμετρικής περιγραφής πολύπλοκων γεωμετριών, με εναλλακτικούς τρόπους και η απουσία ουσιαστικών περιορισμών στην εκμετάλλευση αυτών των δυνατοτήτων (σε αντίθεση με άλλα προγράμματα).

Μετά την κατασκευή των παραμετρικών μοντέλων του συμπιεστή και του στροβίλου έγιναν πραγματικά φανερά οι τρομερές δυνατότητες που παρέχονται για αυτόματη παραγωγή παρόμοιων γεωμετριών σε μηδενικό πρακτικά χρόνο. Η παραμετρική σχεδίαση ενός αντικειμένου παρέχει τη δυνατότητα παραγωγής οικογενειών του προϊόντος και της δημιουργίας των σχετικών σχεδίων (τρισδιάστατων ή γραμμικών) σε πρακτικό μηδενικό χρόνο. Η φύλαξη των παραμέτρων σε τυποποιημένα αρχεία (π.χ. αρχεία Excel) επιτρέπει την δημιουργία βάσεων δεδομένων για όμοια αντικείμενα. Αυτή τη δυνατότητα την εφαρμόζει και το ίδιο το πρόγραμμα, αφού τυποποιημένα στοιχεία μηχανών (όπως τα έδρανα και οι κοιλίες) φυλάσσονται σε παραμετρική μορφή υπό μορφή πινάκων, καταλαμβάνοντας ελάχιστο χώρο μνήμης. Ταυτόχρονα είναι πολύ εύκολη η προσπέλαση των στοιχείων τους και η χρησιμοποίηση των δεδομένων σε πολλαπλές εφαρμογές.

Στο ξεκίνημα της εργασίας, όταν έγιναν φανερά τα όρια του προηγούμενου σχεδιαστικού πακέτου που χρησιμοποιούνταν, φάνταζε τρομερά χρονοβόρα η επένδυση σε ένα άγνωστο και δύσκολο νέο σχεδιαστικό πακέτο. Στην πορεία φάνηκε ότι όχι μόνο δεν υπήρξε χάσιμο χρόνου στη μετάβαση στο νέο λογισμικό, αλλά η παραγωγικότητα αυξήθηκε θεαματικά, ενώ κατέστη δυνατή, τόσο η απλή σχεδίαση πολύπλοκων γεωμετριών, όσο και η παραμετρική μοντελοποίησή τους, κάτι που με το προηγούμενο λογισμικό φάνταζε αδιανόητη.

Όσον αφορά στην εξέλιξη της εργασίας, μία πρόταση αφορά στην παραμετροποίηση ολόκληρου του κινητήρα, με τη χρήση σχέσεων μεταξύ των διαφόρων αντικειμένων, ώστε να μπορεί να παραχθεί μία σειρά όμοιων κινητήρων με απλό τρόπο.

Η δεύτερη δυνατότητα, που ανοίγει η ύπαρξη του ψηφιακού προτύπου σε παραμετρική μορφή, είναι η δυνατότητα για αυτοματοποιημένη συνεργασία με προγράμματα εξομοίωσης (ροής, τάσεων) και με προγράμματα βελτιστοποίησης, ώστε να δοκιμάζονται διαφορετικές λύσεις αυτόματα και να παράγονται επίσης αυτόματα οι τρισδιάστατες γεωμετρίες τους.

Θα αποφύγουμε να αναφερθούμε σε αυτό το σημείο στις αυτούσιες δυνατότητες που μας δίνει το ίδιο το πρόγραμμα, όπως προσομοίωση στην κατασκευή καλουπιών και διάφορα άλλα πολύ χρήσιμα εργαλεία, τα οποία, ούτως ή άλλως, χρήζουν διερεύνησης.

Πρέπει εδώ να σημειωθεί ότι δεν διερευνήθηκαν οι δυνατότητες του προγράμματος πέρα από την απλή τρισδιάστατη σχεδίαση και οι οποίες επιτρέπουν την πλήρη ανάπτυξη του προϊόντος μέχρι τη σχεδίαση ακόμη και της γραμμής παραγωγής.

ΒΙΒΛΙΟΓΡΑΦΙΑ

1. N. A. Αθανασιάδης. *Μηχανική ρευστών*. Εκδόσεις Συμεών, 1989.
2. H. Cohen, G.F.C. Rogers, H.I.H. Saravanamutto. *Gas turbine theory*. Longman, 1996.
3. M. Henault, S. Sevrenc, M. Walraven. *Automating design in Pro/Engineer with Pro/Program*. On Word Press, 2000.
4. Α. Κλιάνης, Ι.Κ. Νικολός, Ι. Σιδέρης. *Μηχανές Εσωτερικής Καύσεως, Τόμοι Ι και ΙΙ*. Ευγενίδειο Ίδρυμα, 2003.
5. Ν. Μπιλάλης. *Μελέτη σχεδίαση με χρήση Η/Υ*. Πολυτεχνείο Κρήτης, Χανιά, 2002.
6. G. Niemann. *Στοιχεία μηχανών, τόμος Ι και ΙΙ*. Εκδόσεις Φούντας, 2000.
7. Δ. Ε. Παπαντώνης. *Υδροδυναμικές μηχανές, αντλίες υδροστροβίλοι*. Εκδόσεις Συμεών, 1994.
8. Rolls-Royce Plc. *The jet engine*. 1986.
9. K. Schreckling. *Gas turbine engines for model aircraft*. Traplet Publication Limited, 1994.
10. I. E. Treager. *Aircraft gas turbine engine technology*. Glencoe/McGraw-Hill, 2001.
11. B. Townsend, G. Schmidt. *Pro/Engineer Solutions, advanced techniques and workaround*. On Word Press, 1997.
12. I. Zeid. *CAD/CAM theory and practice*. McGraw Hill, 1997.


ΠΑΡΑΡΤΗΜΑ 1

ΕΝΤΟΛΕΣ ΣΧΕΔΙΑΣΗΣ

Π1.1 Γενικά


Στη συνέχεια θα γίνει παρουσίαση και ανάλυση των κυριότερων εντολών του CATIA, που χρησιμοποιήθηκαν για την κατασκευή των επιμέρους τμημάτων του στροβιλοαντιδραστήρα. Για την καλύτερη κατανόηση του τρόπου σχεδίασης, θα πρέπει πρώτα να οριοθετηθούν και να κατανοηθούν οι δυνατότητες, τα πλεονεκτήματα και τα μειονεκτήματα κάθε εφαρμογής του προγράμματος. Στην παρούσα φάση και για τις ανάγκες τις συγκεκριμένης εργασίας θα προχωρήσουμε στην δημιουργία ενός υπομνήματος μόνο για τις εντολές τις οποίες χρησιμοποιήσαμε και, προκειμένου να μην δημιουργηθεί σύγχυση στον αναγνώστη, οι εντολές θα ομαδοποιηθούν με βάση το πώς πλαισιώνονται από κάθε εφαρμογή του προγράμματος.

Π1.2 Το Επίπεδο Σχεδίασης (Sketcher WorkBench)

Η εντολή για το επίπεδο σχεδίασης (στο εξής αποκαλούμενο ως SW) είναι ίσως η πιο συχνά χρησιμοποιούμενη εντολή. Για τον λόγο αυτό στο πρόγραμμα εμφανίζεται τόσο ως εντολή μέσα στις περισσότερες (αν όχι σε όλες τις εφαρμογές) με το πλήκτρο  όσο και ως ανεξάρτητη εφαρμογή της ενότητας **Mechanical Design**. Αυτό που διαισθητικά εννοούμε όταν μιλάμε για επίπεδο σχεδίασης είναι μία επιφάνεια, στην οποία, με χρήση εργαλείων σχεδίασης γραμμών (ευθείες και καμπύλες), μπορούμε να απεικονίσουμε οποιαδήποτε δισδιάστατη γεωμετρία επιθυμούμε. Οι λόγοι για τους οποίους χρησιμοποιούμε το SW ποικίλουν ανάλογα με τις απαιτήσεις του σχεδιαστή και κυμαίνονται από τη δημιουργία του προφίλ μιας γεωμετρίας (η οποία στη συνέχεια με εντολές στερεάς μοντελοποίησης θα δώσει στερεό), έως και την απευθείας δημιουργία σκίτσου ή μηχανολογικού σχεδίου (**Drawing**) χωρίς την ανάγκη για δημιουργία στερεού.

Κατά την περιγραφή δημιουργίας των κυριότερων εξαρτημάτων του κινητήρα στο κεφάλαιο 3, συχνά αναφέρθηκε το επίπεδο σχεδίασης ως επιλογή, η οποία σχεδόν πάντα συνοδευόταν από την αντίστοιχη γεωμετρία σε σχήμα. Δεν γινόταν όμως περαιτέρω αναφορά στο πώς προέκυπτε η συγκεκριμένη διατομή. Στη συνέχεια θα γίνει αναλυτική αναφορά σε όλα αυτά τα σχετικά εργαλεία, με στόχο την ανάπτυξη της ικανότητας του αναγνώστη για κατανόηση των σκίτσων, των διατομών, καθώς και της διαδικασίας που ακολουθήθηκε για τη δημιουργία τους. Ως επίπεδο σχεδίασης μπορούμε να ορίσουμε οποιοδήποτε από τα τρία αρχικά επίπεδα αναφοράς που ορίζονται στο Καρτεσιανό σύστημα συντεταγμένων XYZ, οποιοδήποτε επίπεδο (Plane) εισάγουμε εμείς στο σχέδιο μας, ή οποιαδήποτε επίπεδη γεωμετρία εμφανίζει το στερεό, το οποίο τυχόν έχουμε ήδη δημιουργήσει.

Κατασκευή Ορθογωνίου

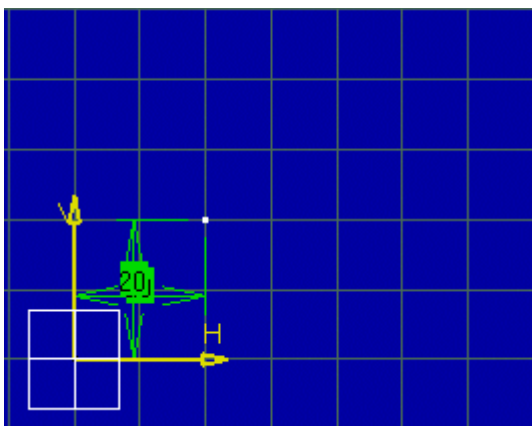
Για την δημιουργία ενός ορθογωνίου κάνουμε χρήση του εικονιδίου . Ενεργοποιώντας (με αριστερό κλικ στο ποντίκι) για πρώτη φορά επάνω στο επίπεδο σχεδίασης, οριοθετούμε την πρώτη γωνία του ορθογωνίου. Αυτό μπορεί να πραγματοποιηθεί και με εισαγωγή των συντεταγμένων του πρώτου σημείου (εικόνα Π1.1).

Με αντίστοιχο τρόπο οριοθετούμε το δεύτερο σημείο του ορθογωνίου (με αριστερό κλικ στο επίπεδο σχεδίασης ή με εισαγωγή των συντεταγμένων του δευτέρου σημείου, ή με εισαγωγή των διαστάσεων του παραλληλογράμμου) (εικόνα Π1.2).

Με διπλό κλικ επάνω σε οποιοδήποτε βέλος διαστάσεων του σχήματος είναι δυνατή η αλλαγή της αναγραφόμενης διάστασης, πληκτρολογώντας μία νέα τιμή.

First Point

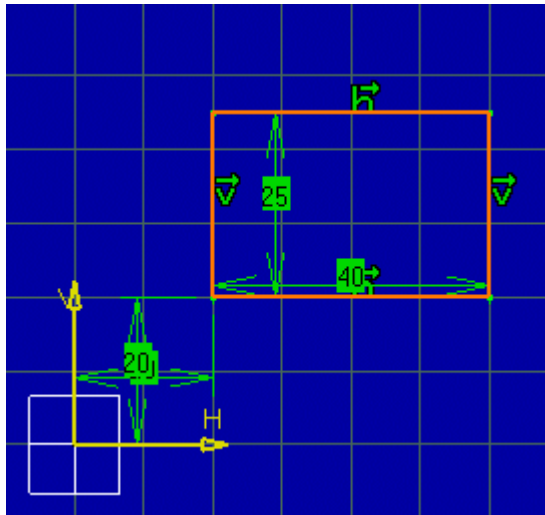
First Point: H: V:



Εικόνα Π1.1: Εισαγωγή της πρώτης ακμής ορθογωνίου παραλληλογράμμου στο επίπεδο σχεδίασης.

Second Point

Second Point: H: V: Width: Height:



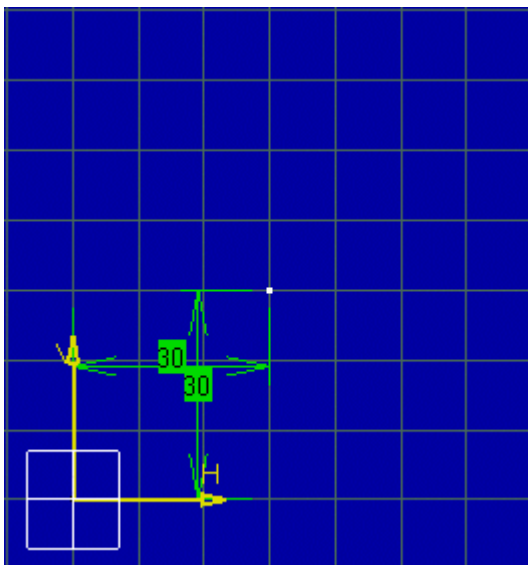
Εικόνα Π1.2: Δημιουργία του ορθογωνίου παραλληλογράμμου με εισαγωγή του πλάτους και του ύψους του.

Κατασκευή κύκλου CIRCLE

Για τη δημιουργία ενός κύκλου στην επιφάνεια σχεδίασης μπορεί να χρησιμοποιηθεί είτε ο κέρσορα είτε να εισαχθούν οι συντεταγμένες (εικόνα Π1.3). Αρχικά ορίζεται το κέντρο του κύκλου. Στην συνέχεια ορίζεται η ακτίνα ή η διάμετρός του, στην περίπτωση που χρησιμοποιηθεί το παράθυρο διαλόγου (εικόνα Π1.4). Εναλλακτικά, με τη χρήση του ποντικιού, σταθεροποιήσουμε με αριστερό κλικ τον κύκλο στην επιθυμητή διάμετρο. Κάνοντας αριστερό κλικ στο βέλος διάστασης της διαμέτρου, μπορούμε να επιλέξουμε μεταξύ της επιθυμητής διάστασης που θα εμφανίζεται, δηλ. είτε διάμετρος είτε ακτίνα (εικόνα Π1.5).

Circle Center

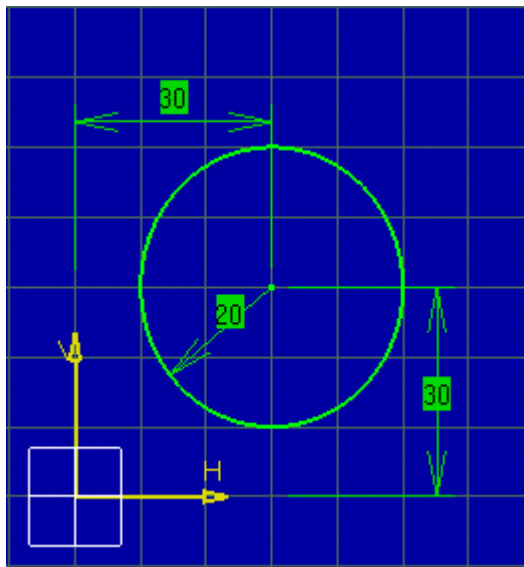
Circle Center : H:	<input type="text" value="30mm"/>	V:	<input type="text" value="30mm"/>	R:	<input type="text" value="0mm"/>
--------------------	-----------------------------------	----	-----------------------------------	----	----------------------------------



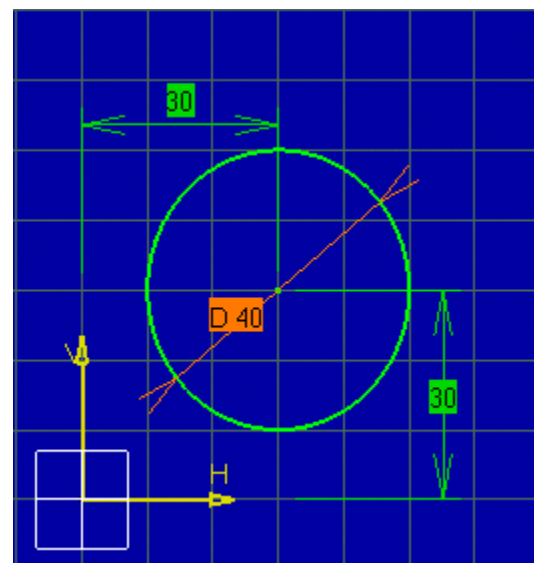
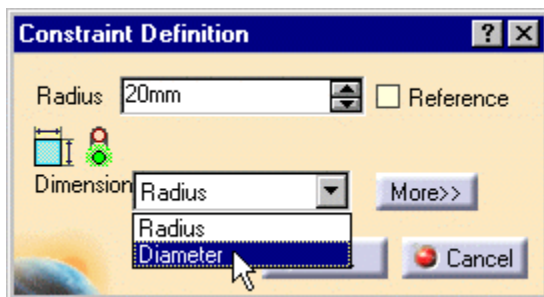
Εικόνα Π1.3: Ορισμός κέντρου κύκλου στο επίπεδο σχεδίασης.

Point on Circle

Point on Circle: H: 0mm V: 0mm R: 20mm



Εικόνα Π1.4: Δημιουργία του κύκλου με εισαγωγή της ακτίνας του.



Εικόνα Π1.5: Εναλλαγή μεταξύ ακτίνας και διαμέτρου.

Κατασκευή κυκλικού τόξου



Για την δημιουργία κυκλικού τόξου, πέρα από τη δυνατότητα δημιουργίας του απευθείας με το χέρι, μπορούμε να προσανατολίσουμε το τόξο στο επίπεδο σχεδίασης με εισαγωγή συντεταγμένων. Το πρώτο σημείο που απαιτείται είναι το κέντρο του αντίστοιχου κύκλου (εικόνα Π1.6). Στην συνέχεια ορίζεται το αρχικό σημείο του τόξου, είτε με την εισαγωγή των καρτεσιανών συντεταγμένων του (Horizontal – Vertical), είτε με τη χρήση πολικών συντεταγμένων (ακτίνα R και γωνία A) (εικόνα Π1.7). Με αντίστοιχο τρόπο ορίζεται και το τελικό σημείο του τόξου (εικόνα Π1.8).

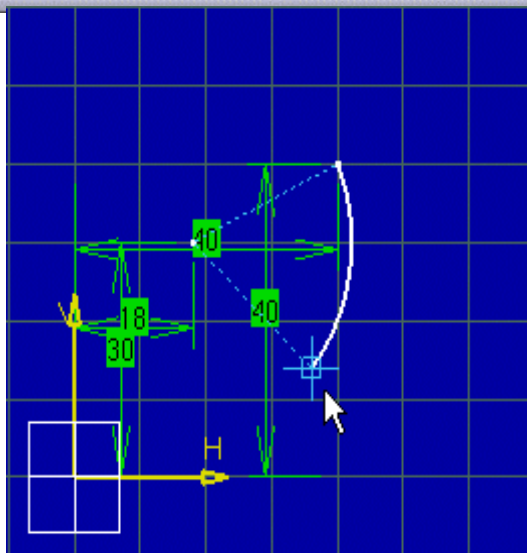
Arc Center

Arc Center: H:	18mm	V:	30mm	R:	0mm	A:	0deg	S:	0deg
----------------	------	----	------	----	-----	----	------	----	------

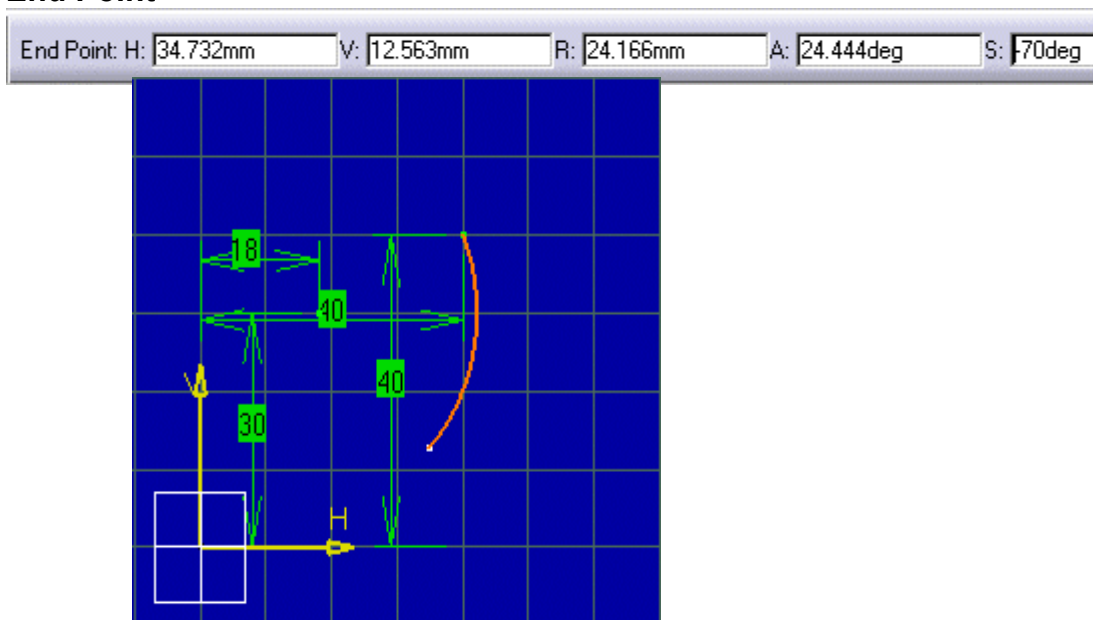
Εικόνα Π1.6: Παράθυρο εισαγωγής συντεταγμένων κέντρου κύκλου για την κατασκευή κυκλικού τόξου στο επίπεδο σχεδίασης.

Start Point

Start Point: H:	40mm	V:	40mm	R:	37.202mm	A:	306.254deg	S:	0deg
-----------------	------	----	------	----	----------	----	------------	----	------



Εικόνα Π1.7: Ορισμός του αρχικού σημείου του τόξου, εισάγοντας τις καρτεσιανές συντεταγμένες του.

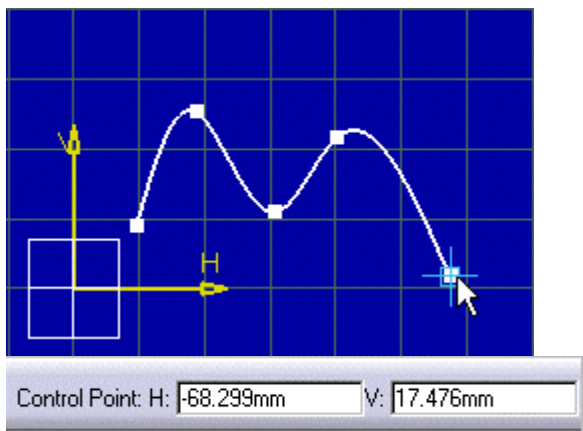
End Point

Εικόνα Π1.8: Ορισμός του τελικού σημείου του κυκλικού τόξου, εισάγοντας τις καρτεσιανές συντεταγμένες του.

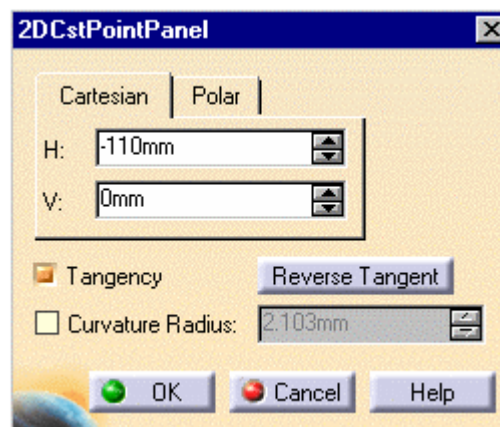
Κατασκευή καμπύλης Spline



Για την δημιουργία καμπύλης Spline, επιλέγουμε αρχικά το πλήθος των σημείων από τα οποία θα διέρχεται η καμπύλη. Με την επιλογή δύο τουλάχιστον σημείων έχουμε ως αποτέλεσμα τη δημιουργία καμπύλης (εικόνα Π1.9). Υπάρχει η δυνατότητα αλλαγής των παραμέτρων του κάθε σημείου. Με διπλό αριστερό κλικ πάνω σε κάθε ένα σημείο έχουμε την δυνατότητα να μεταβάλλουμε τις παραμέτρους του αντίστοιχου σημείου, όπως συντεταγμένες (καρτεσιανές ή πολικές), εφαπτομενικότητα (*tangency*) καθώς και ακτίνα καμπυλότητας (*Curvature Radius*) (εικόνα Π1.10).



Εικόνα Π1.9: Εισαγωγή σημείων για την κατασκευή καμπύλης Spline.



Εικόνα Π1.10: Παράθυρο αλλαγής των παραμέτρων κάθε σημείου της καμπύλης Spline.

Κατασκευή Έλλειψης



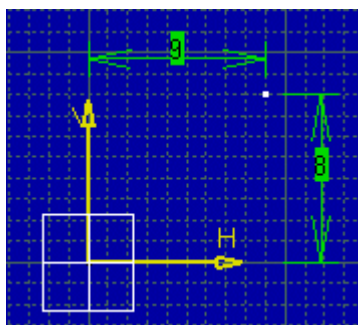
Για την δημιουργία και τον προσανατολισμό μιας έλλειψης, πρώτα ορίζεται το κέντρο της (εικόνα Π1.11). Η έννοια του κέντρου της έλλειψης σχετίζεται με το μέσο της εστιακής απόστασης. Το επόμενο σημείο που ορίζεται είναι η μία από τις δύο εστίες της (εικόνα Π1.12). Στην συνέχεια στο επίπεδο σχεδίασης εμφανίζονται και οι δύο εστίες της έλλειψης με τις κρισιμότερες διαστάσεις και την τελική έλλειψη (εικόνα Π1.13).

Center

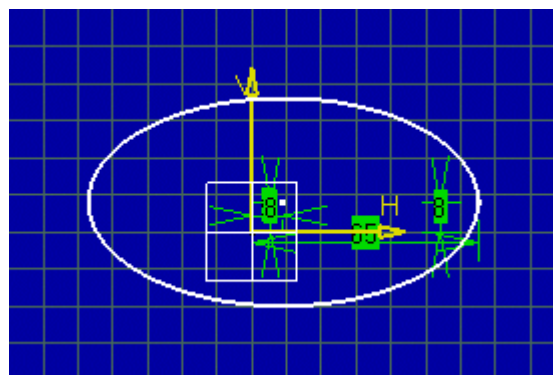
Center: H: V:

Major Semi-Axis Endpoint

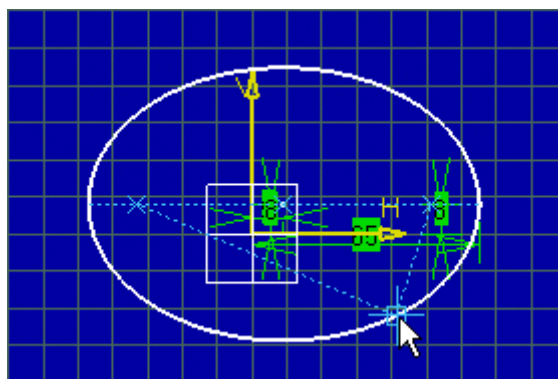
Major Semi-Axis Endpoint: H: V:



Εικόνα Π1.11: Ορισμός του κέντρου της έλλειψης στο επίπεδο σχεδίασης.



Εικόνα Π1.12: Ορισμός μίας εκ των δύο εστιών της έλλειψης στο επίπεδο σχεδίασης.




Εικόνα Π1.13: Εμφάνιση της έλλειψης με τις κυριότερες διαστάσεις της.

Κατασκευή ευθύγραμμου τμήματος


Για τον ορισμό του ευθύγραμμου τμήματος επάνω στο επίπεδο σχεδίασης απαιτούνται δύο σημεία, το αρχικό και το τελικό (εικόνες Π1.14 & Π1.15). Υπάρχει επίσης η δυνατότητα να οριστεί το μήκος του ευθύγραμμου τμήματος και η γωνία του ως προς κάποιο άξονα τις επιλογής μας (εικόνα Π1.16).

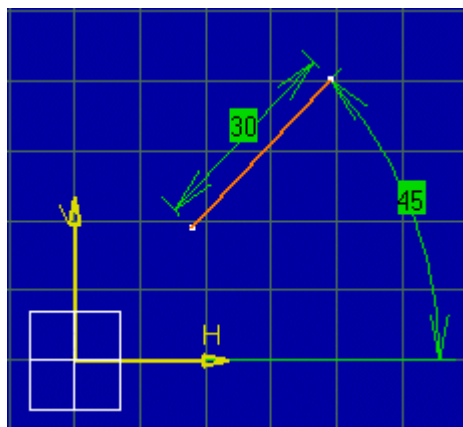
First Point

 First Point: H: V: L: A:

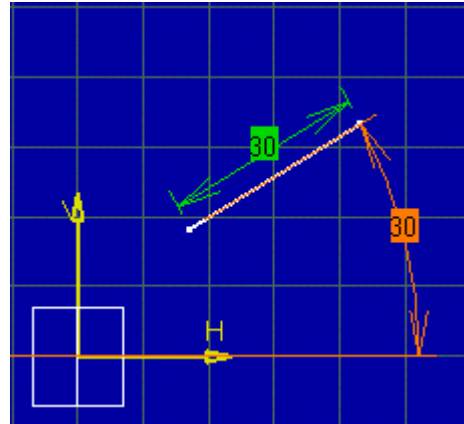
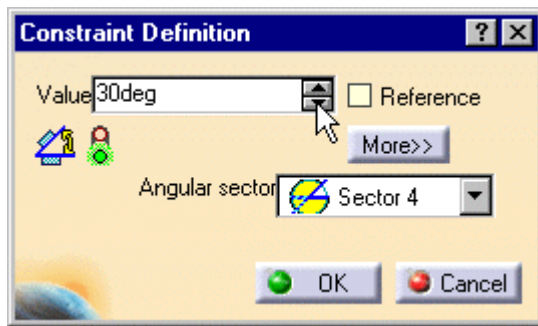
Εικόνα Π1.14: Παράθυρο διαλόγου για την εισαγωγή του αρχικού σημείου ευθύγραμμου τμήματος (Καρτεσιανές συντεταγμένες).

Second Point

 Second Point: H: V: L: A:



Εικόνα Π1.15: Παράθυρο διαλόγου για την εισαγωγή του τελικού σημείου ευθύγραμμου τμήματος.



Εικόνα Π1.16: Εναλλακτικός ορισμός του τελικού σημείου ευθυγράμμου τμήματος με την εισαγωγή της κλίσης του (σε μοίρες) ως προς συγκεκριμένο άξονα.

Π1.3 Τροποποίηση των σχεδιαζόμενων σχημάτων

Πέρα από τα εργαλεία που αναπτύχθηκαν προηγουμένως, για τη δημιουργία των διαφόρων σχημάτων και γεωμετριών, εξίσου σημαντικό ρόλο παίζουν και τα εργαλεία τροποποίησης. Τα εργαλεία αυτά παρέχουν την δυνατότητα να επεμβαίνουμε στα σχεδιαζόμενα σχήματα και να επιφέρουμε συγκεκριμένες τροποποιήσεις. Κάποιες από τις εντολές αυτές θα παρουσιαστούν στη συνέχεια.

Στρογγύλεμα γωνιών

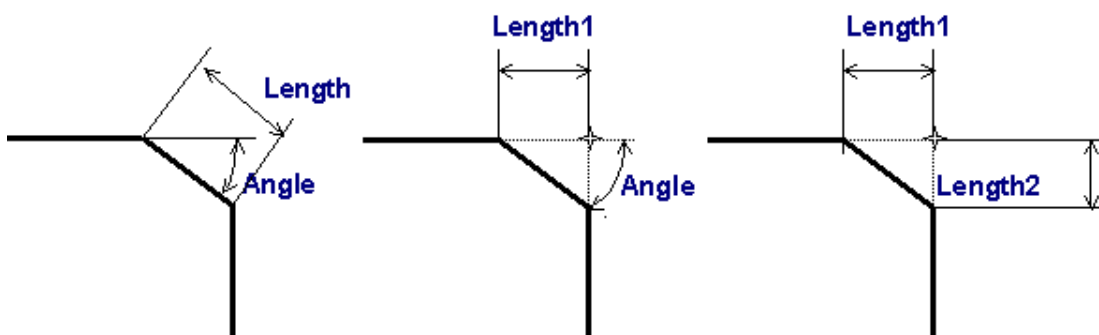


Με την εντολή αυτή προκαλούμε στρογγύλεμα δύο τεμνόμενων ευθειών. Ως επιλογή ορίζουμε την ακτίνα καμυλότητας του στρογγυλέματος.

Εντολή για σπάσιμο γωνιών (CHAMFER)



Αντίστοιχα με το στρογγύλεμα, η εντολή Chamfer προκαλεί σπάσιμο δύο τεμνομένων ευθειών. Για τον ορισμό του σπασίματος ορίζονται ένα από τα τρία ζεύγη μεταβλητές ένα από τα ζεύγη παραμέτρων που απεικονίζονται στο σχήμα Π1.17.



Εικόνα Π1.17: Εναλλακτικές επιλογές για τον ορισμό του σπασίματος μίας γωνίας με την εντολή Chamfer.

Διαστασιολόγηση (DIM)



Πολύ χρήσιμο εργαλείο για την δημιουργία γεωμετριών ακριβείας στον SW είναι η διαστασιολόγηση. Το εργαλείο αυτό παρέχει την δυνατότητα, να εμφανίζονται στο επίπεδο σχεδίασης και άλλες διαστάσεις πέρα από αυτές που εμφανίζονται αυτόματα. Υπάρχει η δυνατότητα για τη διαστασιολόγηση μεμονωμένων γεωμετριών στο σχήμα, είτε με βάση το προεπιλεγμένο σύστημα διαστασιολόγησης (που τις περισσότερες φορές είναι το αρχικό σύστημα συντεταγμένων), είτε με βάση οποιαδήποτε άλλη γεωμετρία εμείς επιλέξουμε. Στην περίπτωση αυτή ως αποτέλεσμα έχουμε την διάσταση της σχετικής θέσης των διαφόρων γεωμετριών της σχεδίασης, πράγμα το οποίο αρκετές φορές είναι απαραίτητο.

Π1.4 Σχεδίαση Αντικειμένου (Part Design)

Η εφαρμογή, «σχεδίαση αντικειμένου» (Part Design) του CATIA είναι το βασικό εργαλείο στερεάς μοντελοποίησης. Με το εργαλείο αυτό δημιουργήθηκαν όλα τα επιμέρους τμήματα που απαρτίζουν τον στροβιλοαντιδραστήρα. Θα μπορούσαμε να ισχυρισθούμε ότι η μισή εργασία πραγματοποιείται με τις εντολές της συγκεκριμένης εφαρμογής και η άλλη μισή με την σχεδίαση των προφίλ και γενικότερα της γεωμετρίας πάνω στο επίπεδο σχεδίασης. Οι βασικότερες εντολές της εφαρμογής αυτής παρουσιάζονται στη συνέχεια.

Εντολή PAD

Η εντολή Pad δημιουργεί την προέκταση καθ' ύψος μιας σχεδιασμένης επιφάνειας. Οι παράμετροι της εφαρμογής αυτής, πέρα από το προφίλ της επιφάνειας το οποίο προαπαιτείται, είναι το ύψος κατά το οποίο θα πραγματοποιηθεί η προέκταση. Το τελευταίο μπορεί να εισαχθεί χρησιμοποιώντας μία από τις ακόλουθες:

- Dimension
- Up to next
- Up to last
- Up to plane
- Up to surface

Με την επιλογή «Dimension» ορίζουμε το ύψος κατά το οποίο θα γίνει η προέκταση, δίνοντας την διάσταση, καθώς και τη φορά προς την οποία θα πραγματοποιηθεί η προέκταση (εικόνα Π1.18). Εναλλακτικά υπάρχει η δυνατότητα για μοίρασμα της προέκτασης εκατέρωθεν του επιπέδου σχεδίασης.

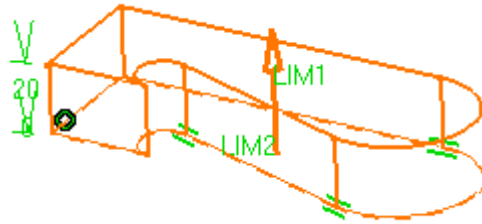
Με την επιλογή «Up to next» η προέκταση πραγματοποιείται μέχρι την πρώτη συναντώμενη γεωμετρία. Τη συγκεκριμένη γεωμετρία αναφοράς του στερεού την επιλέγουμε μέσα από αντίστοιχο παράθυρο διαλόγου (εικόνα Π1.19).

Με την επιλογή «Up to last» η προέκταση της γεωμετρίας πραγματοποιείται έως την τελευταία συναντώμενη επιφάνεια (εικόνα Π1.20).

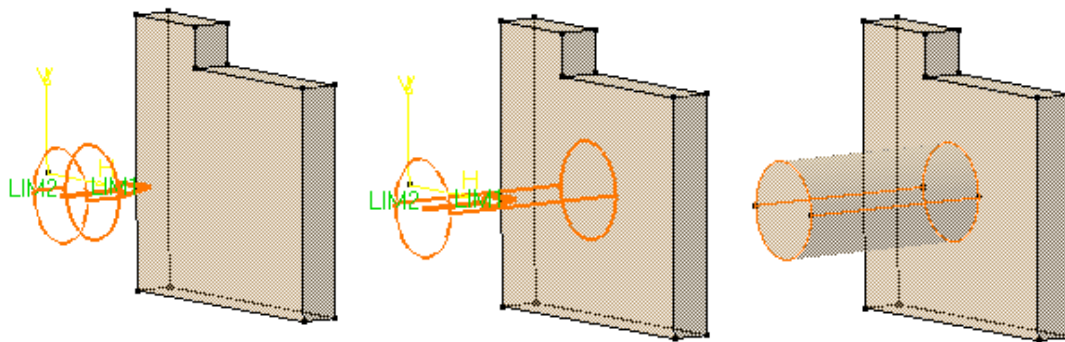
Με την επιλογή «Up to plane» η προέκταση πραγματοποιείται έως συγκεκριμένο επίπεδο (εικόνα Π1.21).

Με την επιλογή «Up to surface» η προέκταση πραγματοποιείται έως την συναντώμενη (τριδιάστατη) επιφάνεια, ανεξαρτήτως της γεωμετρίας στην οποία ανήκει (εικόνα Π1.22).

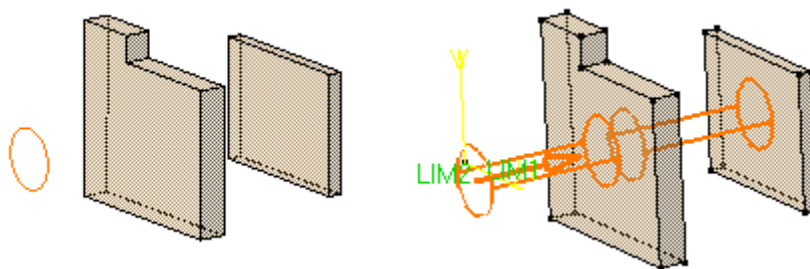
Υπάρχει επίσης η δυνατότητα για προέκταση σε συγκεκριμένη απόσταση από την επιφάνεια μέσω της επιλογής «Offset» (εικόνα Π1.23).



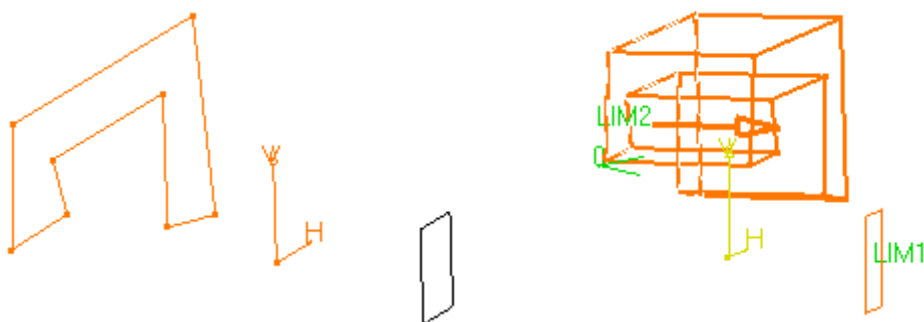
Εικόνα Π1.18: Εφαρμογή της επιλογής «Dimension».



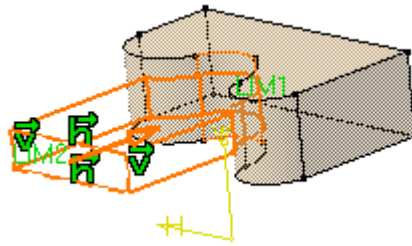
Εικόνα Π1.19: Εφαρμογή της επιλογής «Up to next».



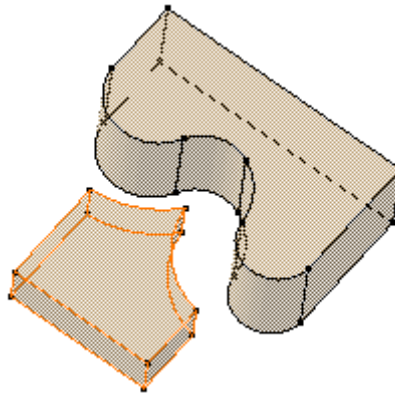
Εικόνα Π1.20: Εφαρμογή της επιλογής «Up to last».



Εικόνα Π1.21: Εφαρμογή της επιλογής «Up to plane».



Εικόνα Π1.22: Εφαρμογή της επιλογής «Up to surface».



Εικόνα Π1.23: Εφαρμογή της επιλογής «Up to surface – Offset 20mm».

Εντολή SHAFT

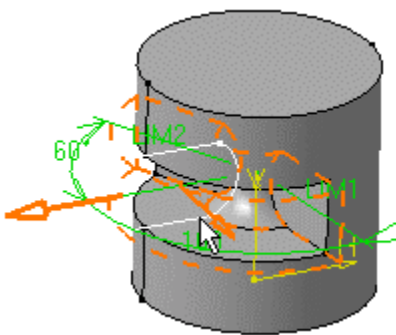
Με την επιλογή αυτή κατασκευάζονται στερεά εκ περιστροφής, παραγόμενα από την περιστροφή μιας γενέτειρας γραμμής (η οποία έχει σχεδιαστεί στο επίπεδο σχεδίασης) γύρω από άξονα. Απαιτείται η ύπαρξη μιας ανοικτής ή κλειστής γραμμής και ενός άξονα, γύρω από τον οποίο θα πραγματοποιηθεί η περιστροφή. Το ποσοστό της περιστροφής εισάγεται σε μοίρες (εικόνα Π1.24).



Εικόνα Π1.24: Παράθυρο διαλόγου, μέσω του οποίου πραγματοποιείται η εισαγωγή των μοιρών περιστροφής, της γενέτειρας γραμμής και του άξονα περιστροφής.

Εντολή GROOVE

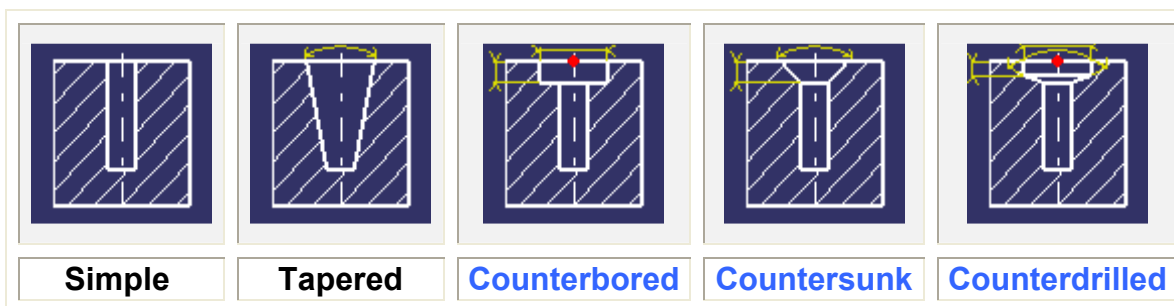
Με την εντολή αυτή πραγματοποιείται αφαίρεση υλικού, με περιστροφή γύρω από άξονα σε υπάρχοντα τρισδιάστατα αντικείμενα. Και η εντολή αυτή απαιτεί τις ίδιες παραμέτρους με την εντολή Shaft. Την εντολή αυτή την χρησιμοποιούμε κυρίως για αφαίρεση τμημάτων υλικού σε λιγότερο από 360 μοίρες και όχι αφαίρεση υλικού με πλήρη περιστροφή (εικόνα Π1.25).



Εικόνα Π1.25: Παράδειγμα εφαρμογής της εντολής GROOVE.

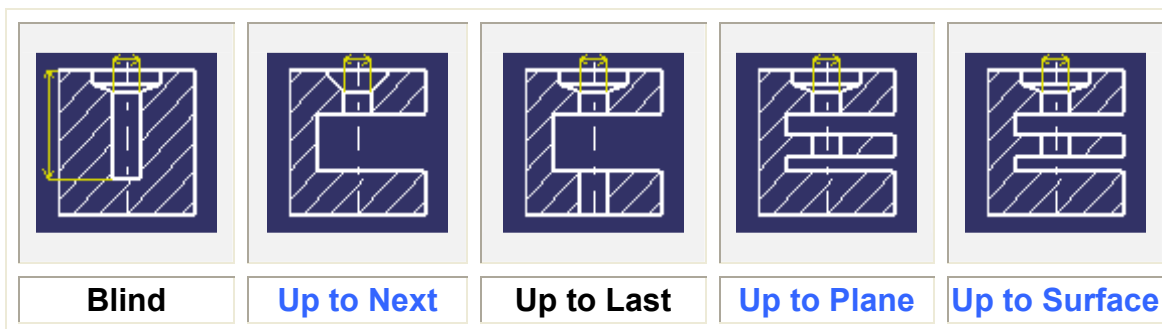
Εντολή HOLE

Με την εντολή αυτή κατασκευάζονται οπές σε υπάρχοντα αντικείμενα. Διατίθεται η δυνατότητα να παράγονται οπές όλων των ειδών, από απλές κυλινδρικές μέχρι κωνικές με χρήση «φρέζας». Τα είδη των οπών παρουσιάζονται συνοπτικά στην εικόνα Π1.26.



Εικόνα Π1.26: Τύποι διαφορετικών οπών που μπορούν να κατασκευαστούν με την εντολή HOLE.

Όπως και με την επιλογή επέκτασης υλικού PAD, έτσι και με την εντολή HOLE, κύρια παράμετρος είναι το βάθος της οπής. Και σε αυτήν την εντολή ακολουθούνται οι ίδιες επιλογές με την εντολή PAD, οι οποίες συνοψίζονται στην εικόνα Π1.27. Για την τοποθέτηση της οπής υπάρχει η δυνατότητα προσανατολισμού αυτής απευθείας με τη χρήση του κέρσορα και επιλογή της επιφάνειας, ή με τη χρήση επιπέδου σχεδίασης.



Εικόνα Π1.27: Εναλλακτικές επιλογές για τον ορισμό των διαστάσεων της κατασκευαζόμενης οπής.

Εντολή RIB

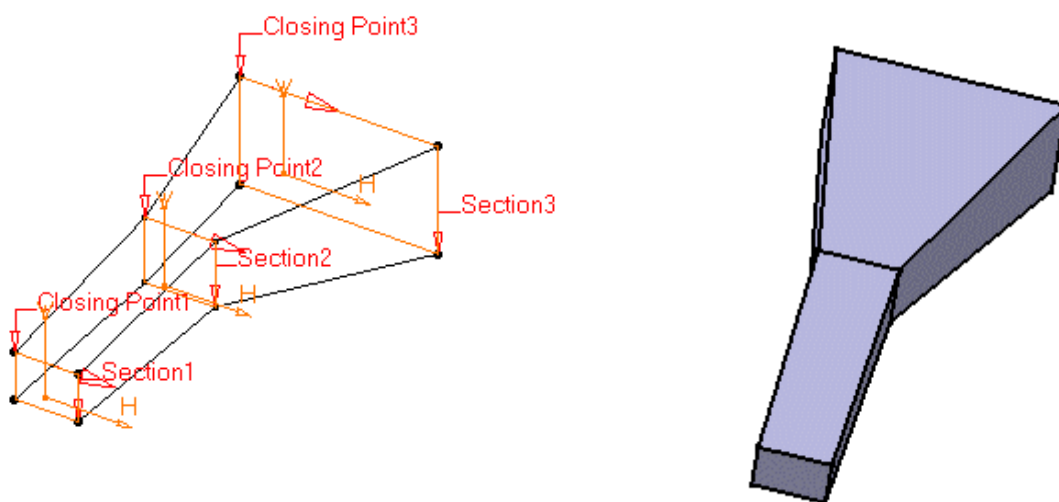
Με την εντολή RIB παράγεται αντικείμενο με τη σάρωση ενός προφίλ (κλειστό ή ανοιχτό) πάνω σε μία καμπύλη γραμμή (εικόνα.Π1.28). Τόσο το προφίλ όσο και η καμπύλη, που θα λειτουργήσει ως οδηγός, δημιουργούνται ξεχωριστά (συνήθως με τη χρήση δύο επιπέδων σχεδίασης).



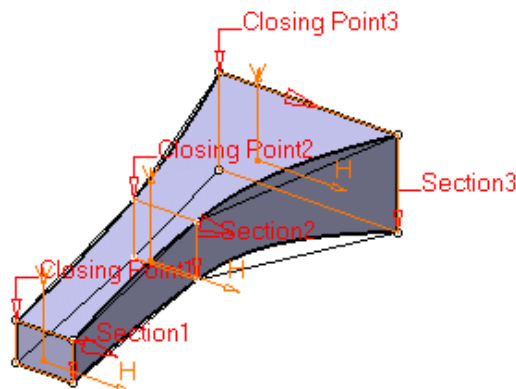
Εικόνα Π1..28: Παράδειγμα εφαρμογής της εντολής RIB.

Εντολή LOFT

Με την εντολή LOFT παράγονται αντικείμενα από την ένωση διαδοχικών προφίλ, μέσω πρόσθεσης υλικού. Τα προφίλ αυτά μπορεί να είναι της ίδιας ή και διαφορετικής γεωμετρίας και να έχουν οποιοδήποτε προσανατολισμό στον χώρο (εικόνα Π1.29). Υπάρχουν βέβαια επιπλέον δυνατότητες και επιλογές της εντολής, όπως για παράδειγμα προτεινόμενη τροχιά, αλλά η περιγραφή όλων αυτών ξεφεύγει από τον σκοπό αυτής της εργασίας. Άλλες βασικές επιλογές της εντολής είναι η εντολή «Smooth», αν δηλαδή η μετάβαση από το ένα προφίλ στο άλλο γίνει με ομαλή προσαρμογή στην νέα γεωμετρία (εικόνα Π1.30).



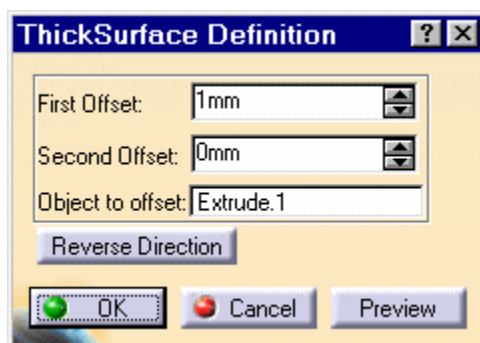
Εικόνα Π1..29: Παράδειγμα εφαρμογής της εντολής LOFT



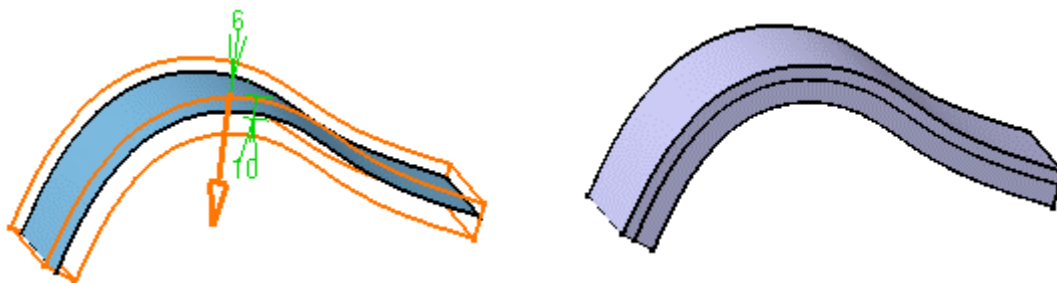
Εικόνα Π1.30: Παράδειγμα εφαρμογής της εντολής LOFT με επιλογή «Smooth».

Εντολή THICK SURFACE

Με την εντολή αυτή δίδεται η δυνατότητα από μία επιφάνεια να παραχθεί στερεό, μέσω πρόσθεσης πάχους στην επιφάνεια. Η εντολή αυτή είναι ιδιαίτερα χρήσιμη στην δημιουργία πολύπλοκων γεωμετριών, οι οποίες κατασκευάζονται με χρήση πολύπλοκων επιφανειών, όπως συμβαίνει με τον συμπιεστή. Η συγκεκριμένη οικογένεια εντολών κάνει το CATIA ένα πολύ δυνατό εργαλείο στη διαχείριση επιφανειών και στην συσχέτιση στερεών και επιφανειών. Ως μεταβλητή ορίζεται το πάχος που θα έχει τελικά η επιφάνεια (εικόνες Π1.31 & Π1.32).



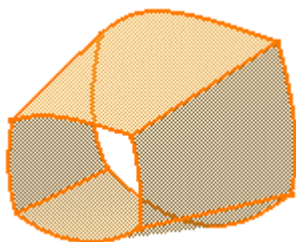
Εικόνα Π1.31: Παράθυρο διαλόγου της εντολής THICK SURFACE



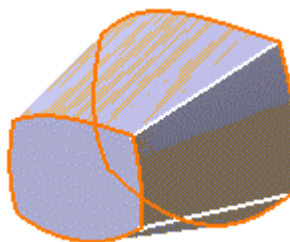
Εικόνα Π1.32: Αποτέλεσμα εφαρμογής της εντολής THICK SURFACE.

Εντολή CLOSE SURFACE

Με την εντολή αυτή δίδεται η δυνατότητα να στερεοποιούνται επιφάνειες περιμετρικά κλειστές. Η μοναδική παράμετρος της εντολής είναι η επιλογή της προς στερεοποίηση επιφάνειας (εικόνες Π1.33 & Π1.34).



Εικόνα Π1.33: Επιλεγμένη επιφάνεια προς στερεοποίηση

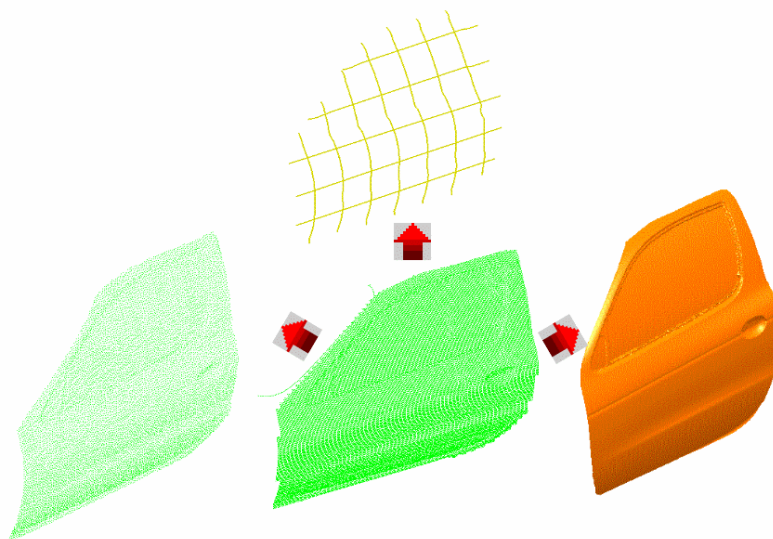


Εικόνα Π1.34: Αποτέλεσμα της εντολής CLOSE SURFACE.

Π1.5 Generative Shape Design and Optimizer

Η συγκεκριμένη εφαρμογή αποτελεί μία άλλη μεγάλη οικογένεια εργαλείων του CATIA. Η ενότητα αυτή ξεφεύγει από την καθαρά μηχανολογική σχεδίαση και ασχολείται με την ελεύθερη σχεδίαση, την ψηφιακή σχεδίαση με νέφη σημείων από μηχανές εισόδου, το σκιστάρισμα, και ειδικά εργαλεία για την καλλιτεχνική απεικόνιση αυτοκινήτων και γενικότερα πολύπλοκων προϊόντων (εικόνα Π1.35). Για τις δικές μας απαιτήσεις έγινε χρήση της εφαρμογής Generative Shape Design με την οποία έγινε δυνατή η δημιουργία πολύπλοκων γεωμετριών, όπως ακτινικοί συμπίεστές αλλά και γενικότερα μας βοήθησε στην γρήγορη μοντελοποίηση των αντικειμένων του στροβιλοαντιδραστήρα μέσω των πολύ δυνατών εργαλείων που διαθέτει.

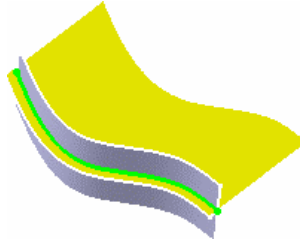
Στη συνέχεια θα γίνει αναφορά σε κάποιες από τις ιδιαίτερες εντολές, οι οποίες χρησιμοποιήθηκαν, αποφεύγοντας βέβαια την αναφορά σε εντολές οι οποίες αναλύθηκαν στα πλαίσια άλλης εφαρμογής του ίδιου προγράμματος. Πρέπει να σημειωθεί επίσης ότι με το εργαλείο αυτό είναι δυνατή η δημιουργία μόνο επιφανειών, τις οποίες βέβαια μπορούμε να στερεοποιήσουμε με την χρήση των εντολών στερεοποίησης που περιγράφηκαν παραπάνω.



Εικόνα Π1.35: Παραδείγματα εφαρμογών του Generative Shape Design and Optimizer.

Εντολή INTERSECTION

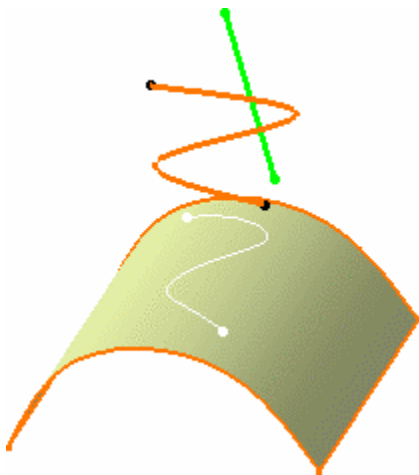
Με την εντολή αυτή μπορούμε να διασταυρώσουμε επιφάνειες και ακμές (Wireframe). Χρησιμοποιείται συνήθως όταν δύο επιφάνειες τέμνονται και απαιτείται ο διαχωρισμός της μίας από τις δύο, με οδηγό την άλλη. Συνήθως ακολουθείται από την εντολή Split, με την οποία αφαιρούμε το κομμάτι που δεν θέλουμε να εμφανίζεται (εικόνα Π1.36).



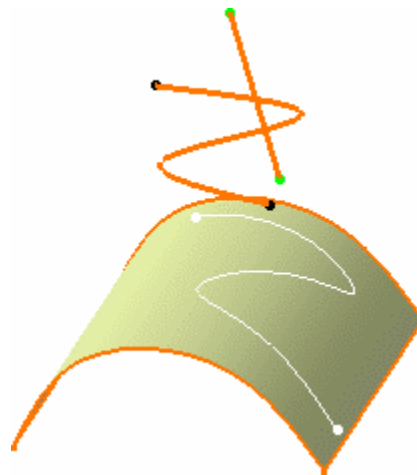
Εικόνα Π1.36: Παράδειγμα εφαρμογής της εντολής INTRESECTION.

Εντολή PROJECTIONS

Με την εντολή αυτή μας δίνεται η δυνατότητα να κάνουμε προβολή σημείων και καμπυλών επάνω σε επιφάνειες. Υπάρχει η δυνατότητα για μία απλή τυπική προβολή ή για προβολή κατά μήκος κατεύθυνσης στην οποία μπορούμε να ορίσουμε την ευθεία υποστήριξης, διαφορετικά μπορεί να είναι ένας από τους τρεις άξονες (εικόνες Π1.37 & Π1.38).



Εικόνα Π1.37: Εφαρμογή της εντολής PROJECTIONS για την προβολή καμπύλης πάνω σε επιφάνεια κατά μήκος του κατακόρυφου άξονα.



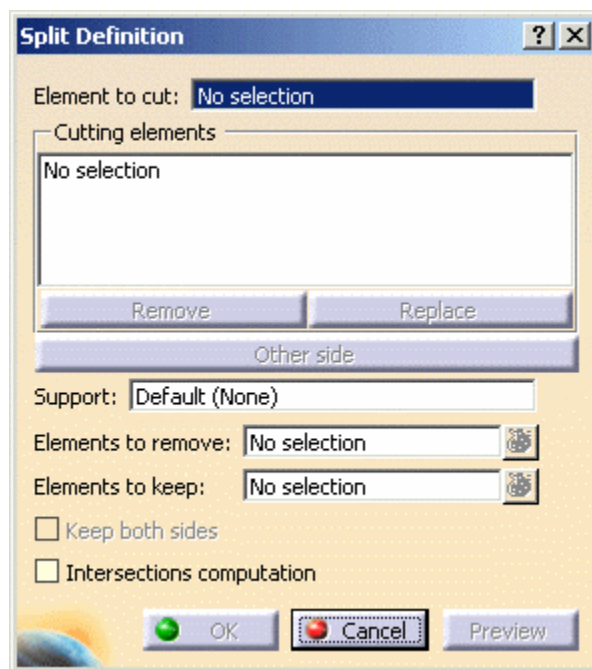
Εικόνα Π1.38: Εφαρμογή της εντολής PROJECTIONS για την προβολή καμπύλης πάνω σε επιφάνεια κατά μήκος συγκεκριμένης ευθείας.

Εντολή SPLIT

Με την εντολή αυτή δίδεται η δυνατότητα να χωρίζουμε καμπύλες ή επιφάνειες, ορίζοντας τα αντικείμενα που θα την κόψουν (**cutting elements**). Υπάρχει η δυνατότητα να ορίσουμε πολλά αντικείμενα που θα κόψουν μία επιφάνεια ταυτόχρονα και να επιλέξουμε αν θα κρατήσουμε και τις δύο από τις τεμνόμενες επιφάνειες (εικόνα Π1.39). Όλες οι παράμετροι της εντολής φαίνονται στο παράθυρο διαλόγου (εικόνα Π1.40).



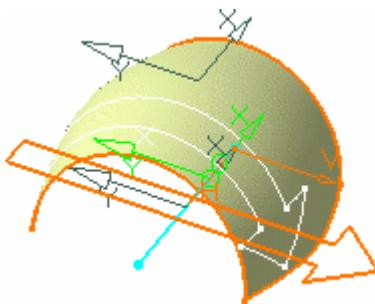
Εικόνα Π1.39: Παράδειγμα εφαρμογής της εντολής SPLIT.



Εικόνα Π1.40: Παράθυρο διαλόγου της εντολής SPLIT.

Εντολή DEVELOP

Η εντολή DEVELOP αποτελεί μία πιο εξειδικευμένη λειτουργία της εντολής PROJECT, καθώς δημιουργεί το τύλιγμα μιας οποιαδήποτε γεωμετρίας σε μία εκ περιστροφής δημιουργούμενη επιφάνεια. Η διαφορά της από την εντολή PROJECT έγκειται στο γεγονός ότι το τύλιγμα της αρχικής γεωμετρίας στην επιφάνεια μας δίνει τελική γεωμετρία ίδιων διαστάσεων με την αρχική. Ένα άλλο πλεονέκτημά της είναι ότι έχει την δυνατότητα μέσω επιλογής να καμπυλώνεται η προς τύλιγμα γεωμετρία και γύρω από εκ περιστροφή επιφάνεια του οποίου η καμπυλότητα γίνεται ως προς δύο άξονες όπως για παράδειγμα η σφαίρα ή έλλειψη και όχι κατά ανάγκη κύλινδρος (εικόνα Π1.41). Έτσι λαμβάνεται αυτομάτως υπόψη και το ποσοστό της εκχύλωσης της γεωμετρίας.



Εικόνα Π1.41: Παράδειγμα εφαρμογής της εντολής Develop.

Π1.6 Assembly Design

Η εφαρμογή assembly design αποτελεί άλλο ένα εργαλείο της οικογένειας Mechanical Design του CATIA. Με την εφαρμογή αυτή δίδεται η δυνατότητα δημιουργίας σχέσεων μεταξύ των αντικειμένων (parts), για την δημιουργία του ολοκληρωμένου προϊόντος. Οι εντολές που χρησιμοποιούνται σε αυτή την εφαρμογή δεν έχουν να κάνουν με την δημιουργία και τον σχεδιασμό αλλά σκοπεύουν στο να τοποθετήσουν τα αντικείμενα μεταξύ τους, δίδοντας τη δυνατότητα στο τελικό προϊόν να έχει όλες τις μηχανικές και γεωμετρικές ιδιότητες του πραγματικού αντικειμένου, ώστε να είναι εφικτή η προσομοίωση της λειτουργίας του.

Εντολή COINCIDENCE

Η εντολή αυτή χρησιμοποιείται για την ευθυγράμμιση δύο αντικειμένων. Η σχέση αυτή εφαρμόζεται στους άξονες του συστήματος συντεταγμένων όταν πρόκειται για συμμετρικά ως προς άξονα αντικείμενα ή για συμμετρικές γεωμετρίες, όπως στρογγυλές οπές.

Εντολή CONTACT

Η εντολή εφαρμόζεται όταν απαιτείται επαφή δύο αντικειμένων. Η επαφή αυτή μπορεί να είναι επιφανειακή, σφαιρική, κυλινδρική, κωνική ή κυκλική ή και συνδυασμός αυτών ανά δύο. Το CATIA αναγνωρίζει αυτόματα το είδος της επαφής.


Εντολή OFFSET

Με την εντολή αυτή ορίζουμε την τοποθέτηση δύο αντικειμένων σε σταθερή απόσταση μεταξύ τους.

Εντολή ANGLE

Με την εντολή αυτή ορίζουμε την τοποθέτηση δύο αντικειμένων σε γωνία. Τα αντικείμενα αυτά μπορεί να είναι ευθείες, επίπεδα, άξονες κυλίνδρων και άξονες κώνων. Παράμετρος της εντολής αποτελεί ο αριθμός των μοιρών της αντίστοιχης γωνίας.

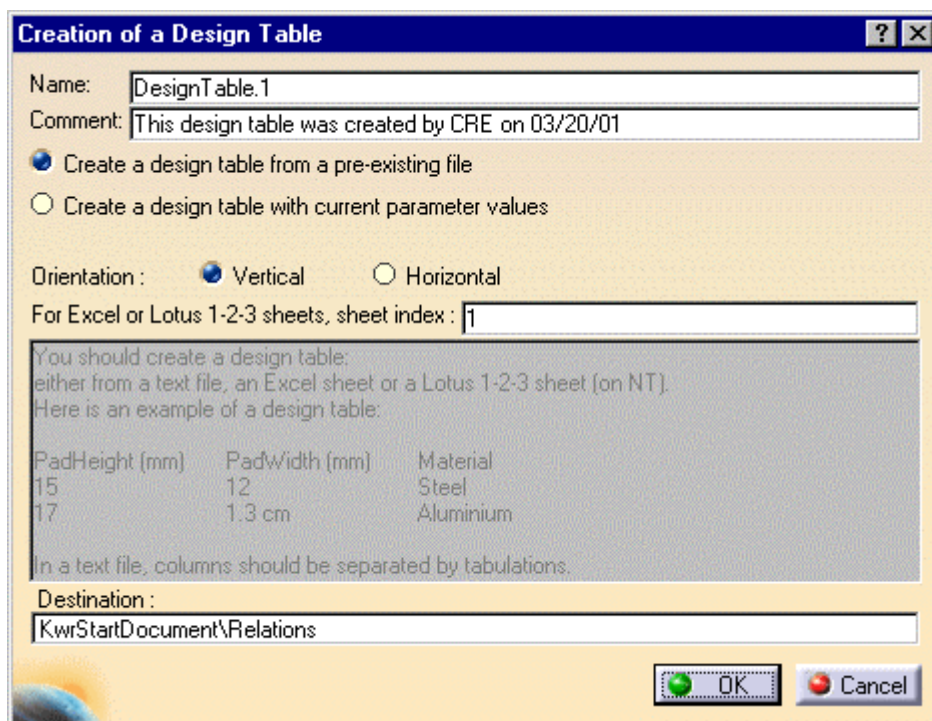
Εντολή DESIGN TABLE

Το σημαντικότερο εργαλείο που χρησιμοποιήσαμε για την δημιουργία του παραμετρικού ψηφιακού μοντέλου του στροβιλοαντιδραστήρα είναι τα Design Tables. Οι πίνακες σχεδίασης, όπως θα αποκαλούμε πλέον το εργαλείο αυτό, δεν είναι τίποτε άλλο παρά μία διαδικασία συγκέντρωσης των μεταβλητών της σχεδίασης. Στο CATIA ενεργοποιούμε τη δημιουργία ενός πίνακα σχεδίασης (εικόνα Π1.42) με το πλήκτρο . Μας δίνεται η δυνατότητα της δημιουργίας του πίνακα σχεδίασης είτε από αρχείο, το οποίο έχουμε ήδη προετοιμάσει και περιλαμβάνει τις τιμές των μεταβλητών, είτε τη δημιουργία πίνακα με τις υπάρχουσες τιμές των παραμέτρων της σχεδίασης. Υπάρχει η

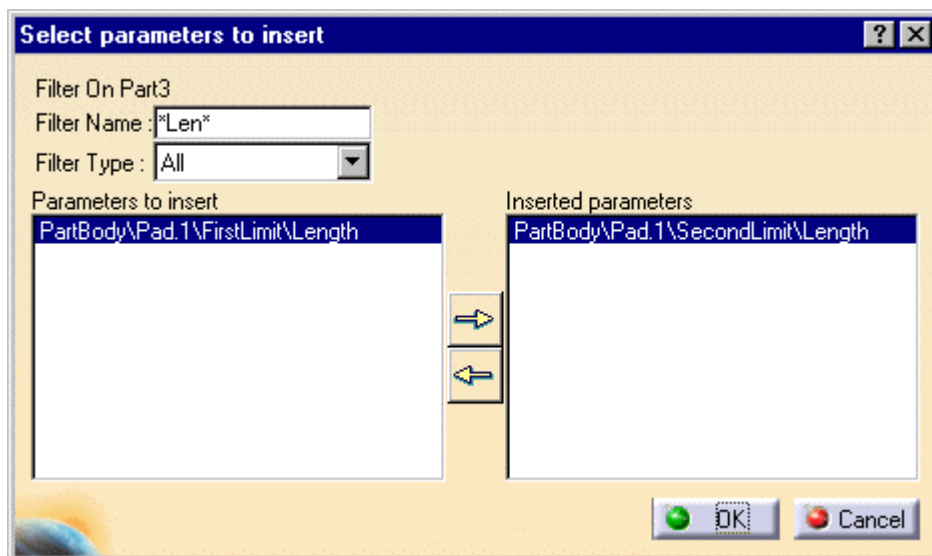
δυνατότητα για την οριζόντια ή την κάθετη δημοσίευση των μεταβλητών στο φύλο εργασίας (εικόνα Π1.42). Η πιο συνηθισμένη διαδικασία για την δημιουργία ενός πίνακα σχεδίασης και αυτή που εμείς αποκλειστικά χρησιμοποιήσαμε, είναι η δημιουργία πίνακα από τις υπάρχουσες παραμέτρους. Δίνοντας ΟΚ στο παράθυρο διαλόγου της εικόνας Π1.42, εμφανίζεται το παράθυρο διαλόγου (εικόνα Π1.43) στο οποίο επιλέγουμε τις μεταβλητές που θα εισαχθούν στον πίνακα σχεδίασης. Αφού εισάγουμε όλες τις απαραίτητες μεταβλητές, μας ζητείται από το πρόγραμμα ο προκαθορισμένος χώρος στον δίσκο, που θα αποθηκευθεί ο πίνακας σχεδίασης με την μορφή που έχουμε επιλέξει. Υπάρχει η δυνατότητα για την αποθήκευση του πίνακα σχεδίασης είτε ως λογιστικό φύλο του Excel, είτε ως φύλο του Lotus, είτε ως αρχείο Notepad.

Μία άλλη δυνατότητα των επιπέδων σχεδίασης είναι η μετονομασία των μεταβλητών και η κατανόηση τους από το πρόγραμμα με την νέα πλέον ονομασία. Κάτι τέτοιο είναι απαραίτητο όταν, μέσω του λογιστικού φύλου, γίνεται η εισαγωγή των δεδομένων για την σχεδίαση, πράγμα που σημαίνει ότι αυτό αποτελεί την επιφάνεια εργασίας (interface) και απαιτείται να χρησιμοποιούνται ευκολομνημόνευτοι όροι για τις μεταβλητές. Για τη μετονομασία των μεταβλητών υπάρχουν δύο μέθοδοι. Με την πρώτη μέθοδο μπορούμε να κινηθούμε μέσω του προγράμματος, αναζητώντας κάθε μία μεταβλητή από την συνολική λίστα, την οποία μετονομάζουμε, στη συνέχεια την αντιστοιχίζουμε με τη μεταβλητή του λογιστικού φύλου και τέλος μετονομάζουμε και τη μεταβλητή του λογιστικού φύλου. Η δεύτερη μέθοδος ακολουθεί την ακριβώς αντίστροφη διαδικασία. Έτσι μεταβαίνουμε στο λογιστικό φύλο, αλλάζουμε τα ονόματα των μεταβλητών με δικά μας και αποθηκεύουμε και κλείνουμε το αρχείο Excel. Αυτομάτως το πρόγραμμα αντιλαμβάνεται την αλλαγή ονομάτων των μεταβλητών και ζητά να προβεί στην αυτόματη αντιστοίχιση (Associate) των μεταβλητών που έχουν δημοσιευτεί με τις μεταβλητές στο φύλο, με βάση και μόνο την σειρά που είχαν. Αν η σειρά στο λογιστικό φύλο δεν έχει αλλάξει, δεν υπήρξε δηλαδή μετακίνηση και αλλαγή γραμμών τότε με την εντολή ASSOCIATE ALL αντιστοιχούμε εκ νέου τις μεταβλητές. Εάν για οποιονδήποτε λόγο έγινε αλλαγή γραμμών, το πρόγραμμα θα ζητήσει να αντιστοιχήσει λάθος μεταβλητές, οπότε πρέπει να αρνηθούμε και να εκτελέσουμε την διαδικασία χειροκίνητα μέσω του TAB Associate (εικόνα Π1.44). Εκεί αντιστοιχούμε τις εντολές και με χρήση του πλήκτρου Associate καταχωρούμε το νέο όνομα.

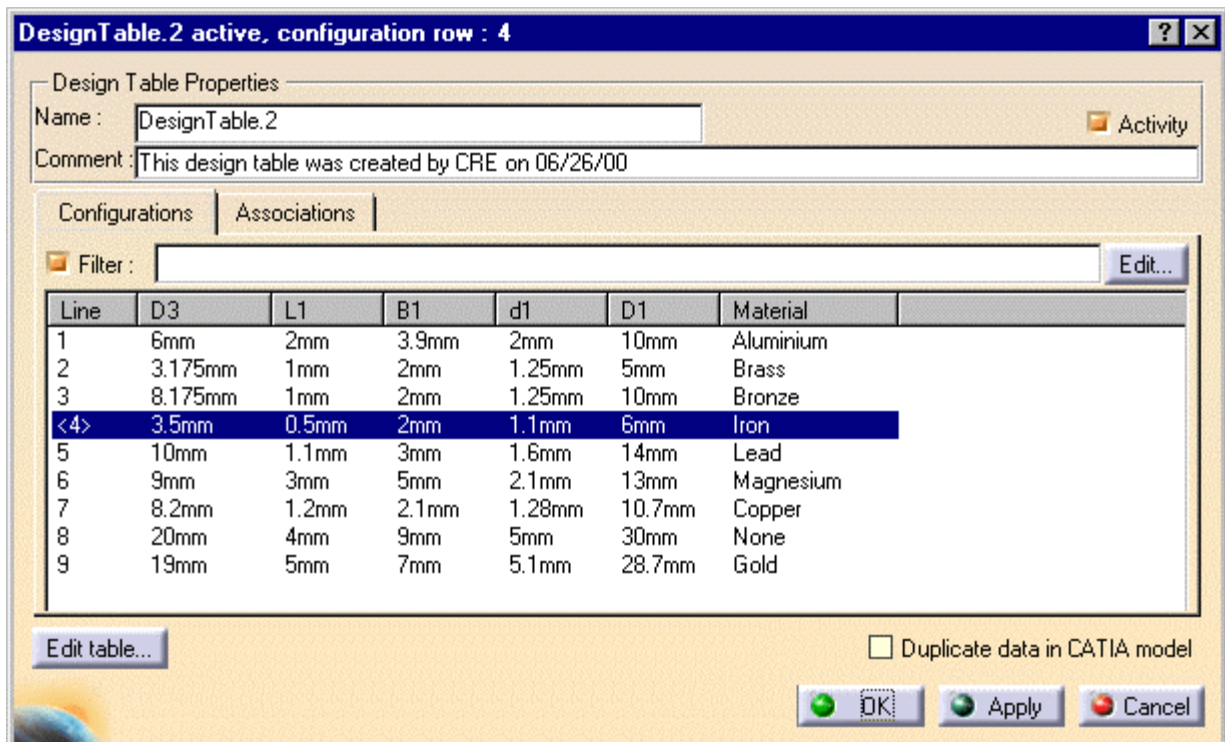
Ένα άλλο μεγάλο πλεονέκτημα των πινάκων σχεδίασης είναι η δυνατότητα για αποθήκευση πολλών στηλών παραμέτρων από τις οποίες, επιλέγοντας κάθε φορά τη ζητούμενη, προκύπτει διαφορετική σχεδίαση (εικόνα Π1.44). Έτσι, κάθε φορά που απαιτείται νέα σχεδίαση επεμβαίνουμε στο λογιστικό φύλλο, όχι σβήνοντας τις παλιές μεταβλητές αλλά συμπληρώνοντας σε νέα στήλη τις νέες τιμές των μεταβλητών. Κατ' αυτόν τον τρόπο έχουμε άμεσα στην διάθεση μας όλες τις σχεδιάσεις. Μεταβαίνουμε από την μία σχεδίαση στην άλλη μέσω του πίνακα της εικόνας Π1.44, με διπλό αριστερό κλικ στην ομάδα μεταβλητών που κάθε φορά επιλέγουμε.



Εικόνα Π1.42: Παράθυρο διαλόγου για τη δημιουργία πίνακα σχεδίασης.

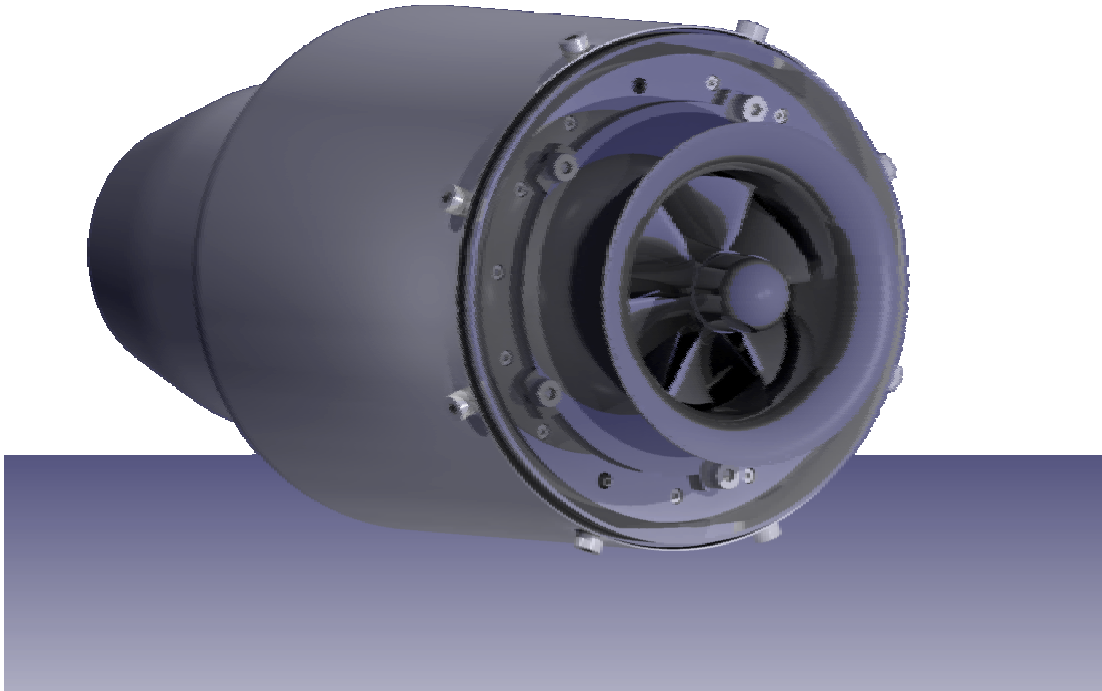


Εικόνα Π1.43: Παράθυρο διαλόγου για την εισαγωγή των μεταβλητών στον πίνακα σχεδίασης.

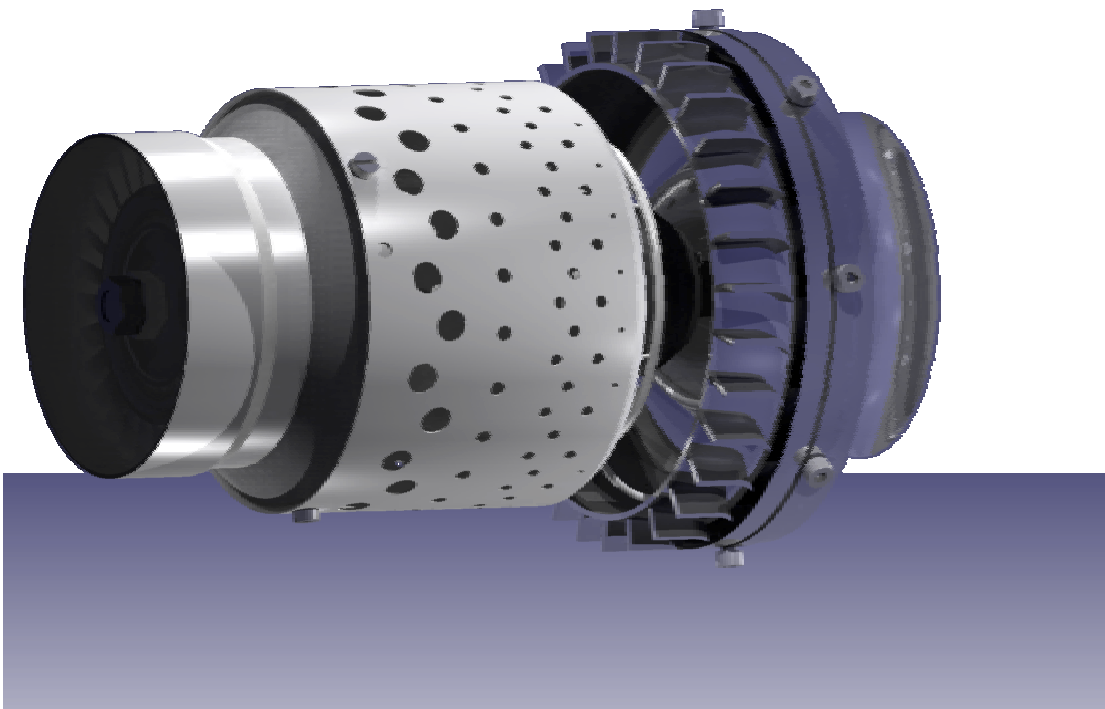


Εικόνα Π1.44: Παράθυρο διαλόγου για την επιλογή των διαφορετικών ομάδων μεταβλητών, καθώς και για την αντιστοίχιση και μετονομασία μεταβλητών (Tab-Associations).

ΠΑΡΑΡΤΗΜΑ 2 ΠΑΡΟΥΣΙΑΣΗ ΚΙΝΗΤΗΡΑ



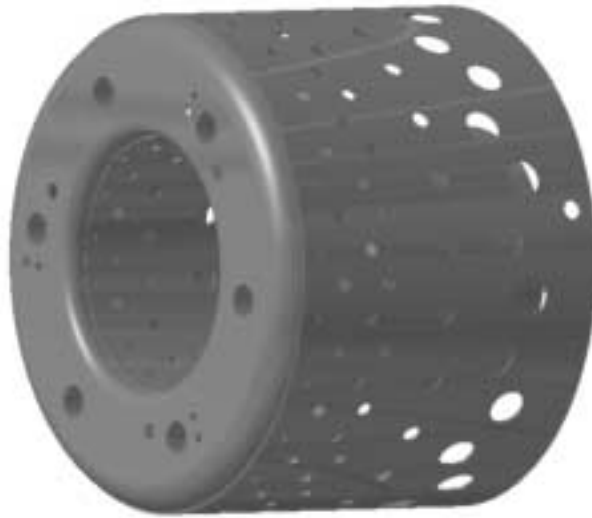
Εικόνα Π2.1: Ο κινητήρας πλήρως συναρμολογημένος.



Εικόνα Π2.2: Ο κινητήρας χωρίς το εξωτερικό του κέλυφος.



Εικόνα Π2.3: Το εξωτερικό κέλυφος του κινητήρα.



Εικόνα Π2.4: Το συγκρότημα του φλογοσωλήνα.



Εικόνα Π2.5: Το σώμα του διαχύτη του συμπιεστή.



Εικόνα Π2.6: Το συγκρότημα των σταθερών πτερυγίων του στροβίλου (όψη από το εμπρός τμήμα).



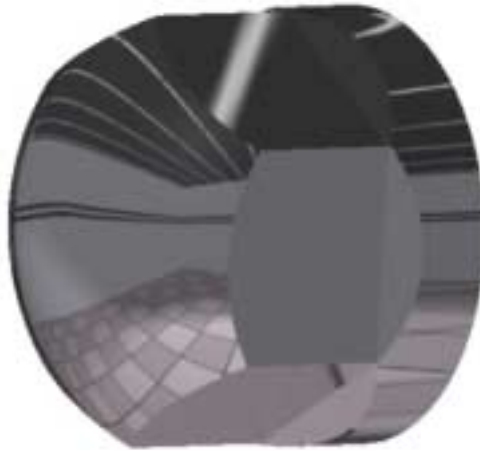
Εικόνα Π2.7: Το συγκρότημα των αγωγών προσαγωγής υγρού καυσίμου και αερίου εκκινήσεως.



Εικόνα Π2.8: Το στόμιο εισαγωγής αέρα.



Εικόνα Π2.9: Το κέλυφος του διαχύτη του συμπιεστή.



Εικόνα Π2.10: Το περικόχλιο σύσφιξης της πτερωτής του συμπιεστή.



Εικόνα Π2.11: Το αεροδυναμικό κάλυμμα του συμπιεστή.



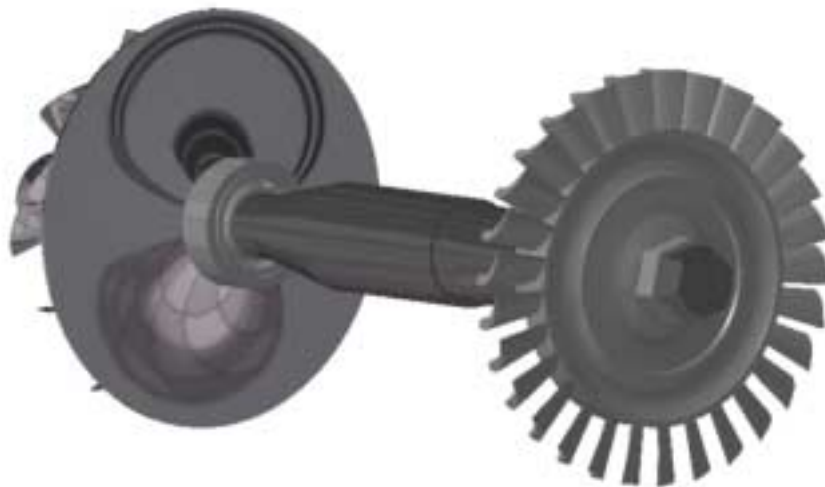
Εικόνα Π2.12: Δακτύλιος συσφίξεως μπροστινού εδράνου κυλίσεως.



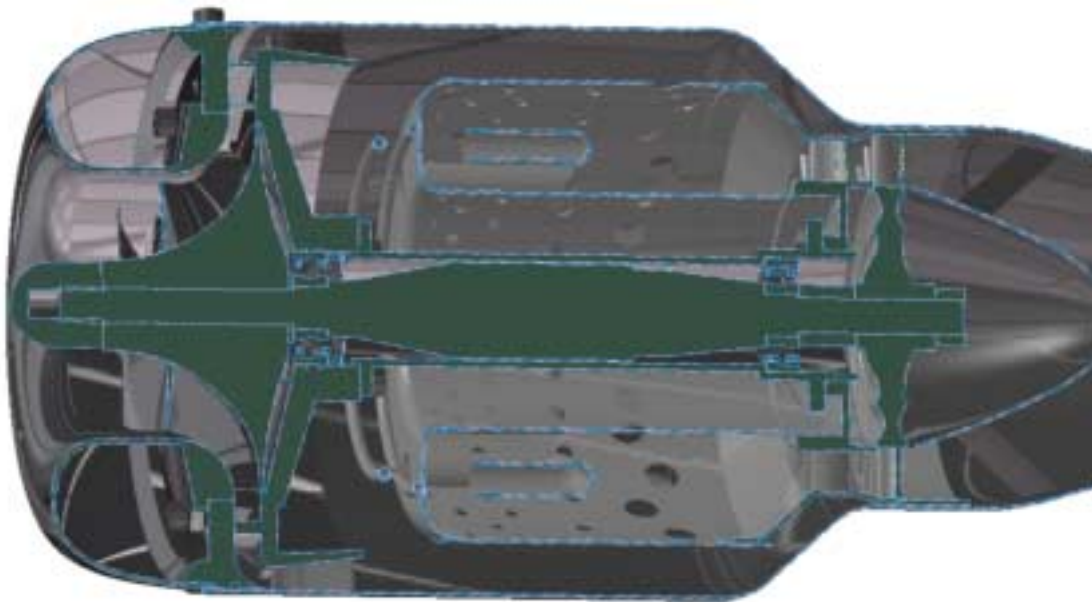
Εικόνα Π2.13: Αισθητήρας στροφών περιστροφής (εντός του περικογλίου της πτερωτής του συμπιεστή).



Εικόνα Π2.14: Το περιστρεφόμενο τμήμα του κινητήρα (πτερωτή συμπίεστή, πτερωτή στροβίλου, άξονας και έδρανα κύλισης).



Εικόνα Π2.15: Το περιστρεφόμενο τμήμα του κινητήρα (πτερωτή συμπίεστή, πτερωτή στροβίλου, άξονας και έδρανα κύλισης).



Εικόνα Π2.16: Ολόκληρος ο κινητήρας σε μεσημβρινή τομή.



Εικόνα Π2.17: Ανάπτυξη των εσωτερικών τμημάτων του κινητήρα.



Εικόνα Π2.18: Ανάπτυξη των εξωτερικών τμημάτων του κινητήρα.