



**ΠΟΛΥΤΕΧΝΕΙΟ ΚΡΗΤΗΣ
ΤΜΗΜΑ ΜΗΧΑΝΙΚΩΝ ΠΑΡΑΓΩΓΗΣ & ΔΙΟΙΚΗΣΗΣ**

ΔΙΠΛΩΜΑΤΙΚΗ ΕΡΓΑΣΙΑ

**Θέμα: “Μελέτη και Σχεδίαση Πρόσθιας Αεροτομής
Formula 1 με Σύνθετα Υλικά στο Catia”**

ΚΟΜΠΟΤΗΣ Α. ΙΩΑΝΝΗΣ

Επιβλέπων Καθηγητής: Μπιλάλης Νικόλαος

ΧΑΝΙΑ, ΔΕΚΕΜΒΡΙΟΣ 2010

ΠΕΡΙΕΧΟΜΕΝΑ

ΠΕΡΙΛΗΨΗ.....	3
1. ΕΙΣΑΓΩΓΗ	
1.1 Θεωρία 3D CAD.....	4
1.2 Συστήματα CAD.....	5
1.3 Διασύνδεση με βιομηχανική παραγωγή βάσει του πλήθους και των κάθετων εφαρμογών που υποστηρίζουν.....	6
1.4 Προσομοίωση συμπεριφοράς μοντέλου.....	7
1.5 Στερεά Μοντέλα.....	7
1.6 Παραμετρική μοντελοποίηση με χαρακτηριστικά.....	9
2. ΣΥΝΘΕΤΑ ΥΛΙΚΑ	
2.1 Ορισμός σύνθετων υλικών.....	11
2.2 Βασικά είδη σύνθετων υλικών.....	12
2.3 Είδη υφασμάτων.....	14
2.4 Σύνθετα υλικά και η χρήση τους στη F1.....	19
3. ΤΟ ΣΥΣΤΗΜΑ CATIA	
3.1 CATIA.....	21
3.2 CATIA – Composite Design (CPD).....	22
3.3 Το περιβάλλον του CATIA.....	22
3.4 Το περιβάλλον των σύνθετων υλικών (composite design) στο Catia.....	26
4. ΕΦΑΡΜΟΓΗ ΣΕ ΕΜΠΡΟΣΘΙΑ ΠΤΕΡΥΓΑ ΜΟΝΟΘΕΣΙΟΥ ΤΗΣ FORMULA 1	
4.1 Ρόλος της εμπρόσθιας πτέρυγας.....	27
4.2 Περιορισμοί της FIA.....	28
4.3 Γεωμετρία της αεροτομής.....	29
4.4 Διευθέτηση σύνθετου υλικού.....	36
5. ΣΥΜΠΕΡΑΣΜΑΤΑ – ΕΠΕΚΤΑΣΕΙΣ ΚΑΙ ΜΕΛΛΟΝΤΙΚΗ ΕΡΓΑΣΙΑ	
5.1 Συμπεράσματα.....	57
5.2 Επεκτάσεις και μελλοντική εργασία.....	58
ΒΙΒΛΙΟΓΡΑΦΙΑ.....	59
ΠΑΡΑΡΤΗΜΑ.....	60

ΠΕΡΙΛΗΨΗ

Ο σκοπός αυτής της διπλωματικής εργασίας είναι η μελέτη και η σχεδίαση πρόσθιας αεροτομής της Formula 1 με σύνθετα υλικά χρησιμοποιώντας την εφαρμογή Catia V5R18 (Computer Aided Three-dimensional Interactive Application), που αποτελεί ένα σύγχρονο πακέτο ψηφιακού σχεδιασμού και προσομοίωσης προϊόντων.

Η διπλωματική εργασία περιλαμβάνει την παρουσίαση των συστημάτων CAD, τον ορισμό και τα είδη των σύνθετων υλικών, την περιγραφή του Catia και του εργαλείου Composite Design, την περιγραφή της πορείας σχεδιασμού καθώς και της διευθέτησης του σύνθετου υλικού στην πρόσθια πτέρυγα και τέλος την παρουσίαση των συμπερασμάτων που προέκυψαν.

ABSTRACT

The aim of this final year thesis is the design of an anterior aerofoil of Formula 1 with composite materials using the CAD System Catia V5R18 (Computer Aided Three-dimensional Interactive Application). The CATIA offers a fully interactive environment for the digital design and simulation of products.

This thesis includes the presentation of CAD systems, the definition and the types of composite materials, the description of CATIA working environment and in particular the tool for Composite Design, the flow of work for the design of the artifact and the application of the composite materials on the anterior.

1. ΕΙΣΑΓΩΓΗ

1.1 Θεωρία 3D CAD

- **Ορισμός σχεδιομελέτης με χρήση υπολογιστή – CAD**

Ως σχεδιομελέτη και παραγωγή με χρήση υπολογιστή ορίζεται η χρήση της τεχνολογίας των υπολογιστών σε όλα τα στάδια ανάπτυξης του προϊόντος και ιδιαίτερα στη δημιουργία, μεταβολή, ανάλυση, βελτιστοποίηση της μορφής και τον προγραμματισμό των παραγωγικών διαδικασιών του προϊόντος. Στηρίζεται κυρίως στην τεχνολογία των γραφικών, των βάσεων δεδομένων, της μαθηματικής μοντελοποίησης, της προσομοίωσης και του ελέγχου των δεδομένων, και αποσκοπεί στη δημιουργία ενός ψηφιακού μοντέλου του προϊόντος, που περιγράφει όλο τον κύκλο ανάπτυξης και εισαγωγής του προϊόντος στην αγορά. Βασικός παράγοντας στη διαδικασία της σχεδιομελέτης είναι η δημιουργία του γραφικού μοντέλου του προϊόντος, με τα συστήματα μοντελοποίησης με υπολογιστή (Computer Aided Design - CAD), που στη συνέχεια θα χρησιμοποιηθεί σε μια σειρά από κάθετες εφαρμογές, όπως:

- Παρουσίαση του προϊόντος στον πελάτη με χρήση τεχνικών φωτορεαλισμού.
- Προγραμματισμό των παραγωγικών διαδικασιών, κυρίως σε μηχανές ψηφιακής καθοδήγησης (Computer Numerical Control – CNC), με χρήση των συστημάτων σχεδιασμού παραγωγής με χρήση υπολογιστή (Computer Aided and Manufacture – CAM).
- Ανάλυση και βελτιστοποίηση μορφής και λειτουργίας με χρήση των συστημάτων μοντελοποίησης και ανάλυσης με πεπερασμένα στοιχεία (Computer Aided Engineering – CAE, Finite Elements Modeling – FEM) για μια πληθώρα εφαρμογών, όπως τον έλεγχο αντοχής, τη συμπεριφορά σε ροή, την κατεργασιμότητα, κ.λπ.
- Ταχεία παραγωγή πρωτοτύπου και παραγωγή του προϊόντος (Rapid Prototyping and Manufacturing).
- Ανάλυση της λειτουργικότητας του πρωτοτύπου με τη χρήση τεχνικών εικονικής πραγματικότητας (εικονικό ή πλασματικό πρωτότυπο – Virtual Prototype).
- Επικοινωνία μεταξύ των συνεργαζόμενων ομάδων σε τοπικό ή σε απομακρυσμένο δίκτυο.
- Ανάλυση της μεθόδου παραγωγής, με χρήση τεχνικών εικονικής πραγματικότητας (εικονική ή πλασματική παραγωγή και συναρμολόγηση, virtual manufacturing and virtual assembly), όπου μπορεί να γίνει προσομοίωση όλης της γραμμής παραγωγής ή της γραμμής συναρμολόγησης, για την αξιολόγηση της μεθόδου παραγωγής.

Βασικός σκοπός της χρήσης όλων των συστημάτων σχεδιομελέτης και παραγωγής με υπολογιστή είναι η ανάπτυξη των «σωστών» προϊόντων από την αρχή, στον ελάχιστο

δυνατό χρόνο ανάπτυξης. Η χρήση τους, σε συνδυασμό με τις συγγενείς προς αυτά τεχνολογίες και μεθοδολογίες για την ανάπτυξη του προϊόντος, μπορεί να μειώσει τον αριθμό των σφαλμάτων και των μη επιθυμητών διορθώσεων και επαναλήψεων σε όλη τη διαδικασία ανάπτυξης, να βελτιώσει τον έλεγχο του προϊόντος σε πρώιμο στάδιο ανάπτυξης, πριν από την εισαγωγή του στην αγορά και τη χρήση του από τον πελάτη, συνδυάζοντας μείωση του κόστους και του χρόνου ανάπτυξης. Αποτελούν ίσως την πιο σημαντική και απαραίτητη τεχνολογία για την ανάπτυξη κάθε προϊόντος.

1.2 Συστήματα CAD

Τα σύγχρονα συστήματα σχεδιομελέτης με χρήση Η/Υ στηρίζονται στη χρήση της τρισδιάστατης μοντελοποίησης. Η τρισδιάστατη απεικόνιση είναι απαραίτητη για τις περισσότερες από τις κάθετες εφαρμογές που θα ακολουθήσουν την τρισδιάστατη μοντελοποίηση, όπως είναι η ανάλυση της συμπεριφοράς του αντικειμένου, η παραγωγή του, κ.α..

Όλα τα αντικείμενα είναι 3 διαστάσεων και μπορούμε να τα χωρίσουμε σε δύο κατηγορίες, σε σχέση με τη γεωμετρική τους κατασκευή. Τα μοντέλα 2^{1/2} διαστάσεων (απλά ή σύνθετα) και τα αμιγώς 3 διαστάσεων. Τα 2^{1/2} διαστάσεων μοντέλα έχουν μια σταθερή διατομή και το πάχος τους, που ορίζεται κάθετα προς τη διατομή, είναι σταθερό. Τα αξονοσυμμετρικά αντικείμενα είναι επίσης 2^{1/2} διαστάσεων. Τα μοντέλα αυτά δημιουργούνται πολύ εύκολα με σε εντολές σάρωσης (extrude) ή περιστροφής (revolve). Τα σύνθετα μοντέλα 2^{1/2} διαστάσεων δημιουργούνται από περισσότερα του ενός στερεά 2^{1/2} διαστάσεων. Τα αμιγώς τριών διαστάσεων (3D) μοντέλα δεν έχουν ομοιόμορφη διατομή και/ή δεν έχουν σταθερό πάχος. Τα μοντέλα αυτά δημιουργούνται από το συνδυασμό διαφόρων λειτουργιών μοντελοποίησης.

Για την μοντελοποίηση των τρισδιάστατων αντικειμένων αναπτύχθηκαν διάφορες μεθοδολογίες, με διαφορετικές δυνατότητες μοντελοποίησης, ανάλυσης και ποικιλίας αντικειμένων που καλύπτουν. Αυτές είναι:

- **Μοντέλα ακμών ή σύρματος** – wire frame models, κατάλληλα για αντικείμενα 2^{1/2} διαστάσεων.
- **Μοντέλα επιφανειών** – surface models, για πολύπλοκες μορφές αντικειμένων.
- **Μοντέλα στερεών** – solid models, για πλήρη μοντέλα.
- **Στερεά παραμετρικά μοντέλα με μορφολογικά χαρακτηριστικά** – solid parametric and feature based models, για κάλυψη ομάδων αντικειμένων.

Σήμερα τα περισσότερα συστήματα τρισδιάστατης απεικόνισης βασίζονται στα στερεά μοντέλα, ή στα μοντέλα επιφανειών. Τα στερεά μοντέλα αποδίδουν μοναδιαία αναπαράσταση κατασκευάσιμων αντικειμένων, αλλά παρόλο που οι δυνατότητες των συστημάτων συνεχώς βελτιώνονται, οι μορφές που αποδίδονται μπορεί να είναι περιορισμένες. Τα μοντέλα των επιφανειών μπορούν να αποδώσουν σχεδόν κάθε

δυνατή μορφή του αντικειμένου ακόμα και οργανικές μορφές, αλλά το παραγόμενο μοντέλο μπορεί να έχει ατέλειες.

1.3 Διασύνδεση με βιομηχανική παραγωγή βάσει του πλήθους και των κάθετων εφαρμογών που υποστηρίζουν

Υπάρχει μεγάλη ποικιλία εργαλείων CAD που μπορούν να χρησιμοποιηθούν στη διαδικασία ανάπτυξης και παραγωγής του προϊόντος. Τα εργαλεία αυτά κατατάσσονται στις παρακάτω κύριες κατηγορίες.

- Εργαλεία σύλληψης του προϊόντος: **βιομηχανικός σχεδιασμός και αντίστροφη σχεδίαση** (CAID ή CAS). Εφαρμόζονται κυρίως για σχεδίαση, μοντελοποίηση και προσομοίωση χωρίς να μας ενδιαφέρει η ακρίβεια του δημιουργούμενου μοντέλου και χωρίς να υπάρχουν ιδιαίτερες απαιτήσεις για κάθετες εφαρμογές.
- Εργαλεία για **σχεδίαση, μοντελοποίηση με απόδοση της ακριβούς μορφής των αντικειμένων, δημιουργίας συναρμολογήσεων και προσομοίωσης**. Αποτελούν και τον κύριο κορμό των συστημάτων σχεδιομελέτης και είναι αυτά που ονομάζονται και συστήματα CAD. Η έμφαση στα συστήματα αυτά είναι στην ακρίβεια και στην πληρότητα του μοντέλου, γιατί το μοντέλο θα χρησιμοποιηθεί στη συνέχεια σε όλες τις κάθετες εφαρμογές.
- Εργαλεία για **ανάλυση συμπεριφοράς σε συνθήκες λειτουργίας**. Είναι τα συστήματα μοντελοποίησης και ανάλυσης με πεπερασμένα στοιχεία (FEM και FEA). Ονομάζονται και συστήματα ανάλυσης (Computer Aided Engineering – CAE).
- Εργαλεία για **μελέτη και προσομοίωση παραγωγής**. Οι κατεργασίες για την παραγωγή του προϊόντος προγραμματίζονται με τα συστήματα σχεδιασμού κατεργασιών με χρήση υπολογιστή (Computer Aided Process Planning – CAPP) και ο προγραμματισμός των εργαλειομηχανών ψηφιακής καθοδήγησης με τα συστήματα παραγωγής με χρήση υπολογιστή (CAM).
- Εργαλεία για **ειδικές εφαρμογές**, όπως μελέτη ανοχών, επικοινωνίας με άλλα συστήματα σχεδιασμού, συστήματα διαχείρισης του κύκλου ζωής και συστήματα συνεργατικής σχεδίασης.
- Εργαλεία δημιουργίας του **πλασματικού πρωτοτύπου** και της **πλασματικής παραγωγής** που συνδυάζουν τα συστήματα σχεδιομελέτης και παραγωγής με τα συστήματα εικονικής πραγματικότητας. Κάνουν χρήση ειδικού εξοπλισμού και λογισμικού, και χρησιμοποιούνται για την αλληλεπίδραση του χρήστη με το πρωτότυπο ή την παραγωγή και τη συναρμολόγηση του προϊόντος.

1.4 Προσομοίωση συμπεριφοράς μοντέλου

Τα συστήματα αυτά χρησιμοποιούνται κυρίως στη λεπτομερή μελέτη του προϊόντος που περιλαμβάνει τη δημιουργία της τελικής μορφής του προϊόντος σε ψηφιακή μορφή, τη συναρμολόγησή του και την κινηματική ανάλυση. Στο στάδιο αυτό απαιτείται να έχουμε ακριβή και έγκυρη μοντελοποίηση του προϊόντος. Η έμφαση εδώ είναι στην ακρίβεια των υπολογισμών και σε θέματα όπως ανοχές, πάχος τοιχωμάτων, γωνίες κλίσης, αποστάσεις ασφαλείας, κ.λπ. Η γεωμετρία πρέπει να είναι κλειστή στα περισσότερα αντικείμενα. Η απεικόνιση είναι συνήθως με στερεά και λιγότερο με επιφάνειες, με δυνατότητα δημιουργίας συναρμολόγησης, απόδοση της κίνησης, καλά γραφικά και σύνδεση με κάθετες εφαρμογές. Αποτελούν και την πλειοψηφία των εμπορικών εφαρμογών και στον τομέα αυτό έχουμε και τα περισσότερα συστήματα.

Το κάθε εξάρτημα ενός τελικού προϊόντος σχεδιάζεται ανεξάρτητα. Στη συνέχεια ορίζονται οι σχέσεις μεταξύ των διάφορων εξαρτημάτων. Οι σχέσεις αυτές μπορεί να είναι μεταξύ των διαστάσεων, των σχετικών θέσεων, των συνδέσμων που υπάρχουν μεταξύ τους, κ.λπ. Σήμερα όλα τα συστήματα είναι παραμετρικά και ο ορισμός αυτών των σχέσεων είναι εύκολος. Στη συνέχεια δημιουργείται η συναρμολόγηση των υποσυστημάτων και του τελικού προϊόντος. Τα σημερινά συστήματα έχουν τη δυνατότητα να διαχειριστούν πολύ μεγάλες συναρμολογήσεις (μερικές χιλιάδες εξαρτήματα). Το πλεονέκτημα χρήσης των συστημάτων CAD είναι ότι υλοποιείται εύκολα μια αλλαγή σε ένα εξάρτημα και αυτόματα η αλλαγή αυτή περνάει και σε όλα τα συνδεδεμένα (μέσω των σχέσεων που έχουν οριστεί) εξαρτήματα και σε όλη τη συναρμολόγηση.

1.5 Στερεά Μοντέλα

Τα στερεά μοντέλα – Solid Models, αποτελούν τη σύγχρονη τάση στα συστήματα σχεδιομελέτης με χρήση H/Y για μηχανολογικές εφαρμογές και είναι ιδιαίτερα απαραίτητα στη μελέτη συναρμολογήσεων. Μοντελοποιούν τα αντικείμενα με κλειστούς όγκους, τα στερεά, και όχι όπως γίνεται στα μοντέλα ακμών ως ένα σύνολο ακμών, ή στα μοντέλα επιφανειών ως ένα σύνολο επιφανειών. Σε ένα στερεό μοντέλο έχουμε την ταξινόμηση του χώρου, δηλαδή ένα σημείο του χώρου μπορεί να είναι εσωτερικό, εξωτερικό ή επάνω στο στερεό. Οι λειτουργίες δημιουργίας στερεού μοντέλου είναι διαφορετικές από αυτές που εφαρμόζονται στα μοντέλα ακμών, μοιάζουν αρκετά με τα μοντέλα επιφανειών, αλλά έχουν λιγότερες δυνατότητες από αυτά και συνήθως η χρήση και η εξοικείωση με ένα τέτοιο σύστημα είναι πιο εύκολη.

Τα στερεά μοντέλα παρέχουν πλήρη, έγκυρη και αναμφίβολη αναπαράσταση των αντικειμένων, που επιτυγχάνεται με την καταχώρηση τόσο των γεωμετρικών στοιχείων, όσο και στοιχείων της τοπολογίας. Τα γεωμετρικά στοιχεία είναι κοινά με τα συστήματα επιφανειών, δηλαδή σημεία, καμπύλες και επιφάνειες. Τα στοιχεία τοπολογίας ορίζονται από τα γεωμετρικά στοιχεία και είναι οι κορυφές, ακμές,

βρόχοι, έδρες, κελύφη και στερεά, που αποτελούν ένα μοντέλο. Η γεωμετρία είναι μια απτή έννοια ενώ η τοπολογία είναι πιο αφηρημένη και περιγράφει την πληροφορία της ένωσης και γειτνίασης των γεωμετρικών στοιχείων. Ο μηχανισμός δημιουργίας της τοπολογίας είναι πού απλός:

- ένα σημείο στο χώρο αντιστοιχεί σε μια κορυφή,
- μια γραμμή ή μια καμπύλη, στην οποία συνδέονται δύο γεωμετρικές επιφάνειες, αντιστοιχεί σε μια ακμή,
- ένα κλειστό όριο που αποτελείται από σειρά καμπυλών και σημείων αντιστοιχεί σε ένα βρόχο και
- μια επιφάνεια που περικλείεται από σειρά καμπυλών και σημείων αντιστοιχεί σε μια έδρα, δηλαδή μια έδρα περικλείεται από ένα βρόχο.

Στη βάση δεδομένων τοπολογίας καταχωρούνται οι πληροφορίες που αφορούν τις σχέσεις (σύνδεση και γειτνίαση) μεταξύ αυτών των στοιχείων, δηλαδή:

- οι κορυφές στις οποίες συντρέχουν διάφορες ακμές,
- οι ακμές στις οποίες τέμνονται γειτονικές έδρες,
- οι ακμές που ορίζουν ένα βρόχο,
- οι βρόχοι που περιβάλλει μια έδρα,
- οι βρόχοι που είναι εσωτερικοί σε μια έδρα,
- οι έδρες που περιβάλλουν ένα κέλυφος, κ.λπ.

Έχουν προταθεί διάφορα σχήματα δημιουργίας, επεξεργασίας και καταχώρησης των στοιχείων τοπολογίας. Διαφορετικά μοντέλα περιγράφονται από το ίδιο μοντέλο τοπολογίας εάν έχουν τον ίδιο αριθμό επιφανειών και καμπυλών τομής. Μια μετατροπή σε μια επιφάνεια ή σε μία καμπύλη συχνά απαιτεί και μετατροπές στις ακμές και στις επιφάνειες που γειτονεύουν με την καμπύλη ή επιφάνεια που μεταβάλλεται. Ο χρήστης δημιουργεί μόνο τη γεωμετρία του στερεού αλλά το σύστημα εσωτερικά δημιουργεί και την τοπολογία και ελέγχει πάντα εάν οι διάφορες λειτουργίες διαχείρισης του στερεού δίνουν ένα έγκυρο στερεό αντικείμενο από την άποψη τοπολογίας. Όλα όμως τα σημερινά εμπορικά συστήματα στηρίζονται σε έναν περιορισμένο αριθμό πυρήνων στερεάς μοντελοποίησης. Ο πυρήνας αυτός αποτελεί κυρίως ένα σύστημα διαχείρισης της βάσης δεδομένων (γεωμετρία και τοπολογία) και εκτελεί και τις περισσότερες από τις λειτουργίες της παραμετρικής στερεάς μοντελοποίησης. Συνεπώς, από τον προγραμματιστή μηχανικό απαιτείται μόνο να δημιουργήσει λειτουργίες ανωτέρου επιπέδου, επικοινωνία με το χρήστη, κ.λπ., για τη δημιουργία του τελικού συστήματος μοντελοποίησης. Οι πυρήνες αυτοί είναι: Acis από την Spartial Technology, Parasolid από την EDS, Granite/1 από την PTC.

1.6 Παραμετρική μοντελοποίηση με χαρακτηριστικά

Η παραμετρική μοντελοποίηση με χαρακτηριστικά – parametric and feature based modeling, έχει αλλάξει τον τρόπο με τον οποίο δημιουργείται ένα μοντέλο CAD και παρέχει απεριόριστες δυνατότητες δημιουργίας ομάδων αντικειμένων. Στην παραμετρική μοντελοποίηση οι διαστάσεις είναι παράμετροι του μοντέλου. Με τη δημιουργία του μοντέλου, σε κάθε διάσταση που απαιτείται για τον ορισμό του μοντέλου αντιστοιχεί και μια πραγματική τιμή (όπως μετριέται από την κλίμακα του σχεδίου στην οθόνη). Αυτή την τιμή της κάθε διάστασης μπορεί να αλλάξει ο χρήστης και αντίστοιχα μεταβάλλεται και η γεωμετρία του μοντέλου. Ο χρήστης μπορεί να ορίσει νέες τιμές στις διάφορες διαστάσεις και το σύστημα αναδημιουργεί τη νέα μορφή του αντικειμένου. Το σύστημα εσωτερικά ελέγχει τις νέες τιμές των διαστάσεων για να επαληθεύσει ότι οι τιμές είναι έγκυρες με την αρχική τοπολογία, ή ότι δεν αναιρούν άλλες τιμές, και στη συνέχεια αναδημιουργεί το μοντέλο. Η διόρθωση και η προσαρμογή ενός μοντέλου είναι πολύ πιο εύκολη. Συνεπώς, αλλαγές στη σχεδίαση ή προσαρμογή των σχεδίων για μια άλλη εφαρμογή είναι πιο άμεση.

Βασικό στοιχείο των συστημάτων παραμετρικής μοντελοποίησης είναι η σχεδίαση με μορφολογικά χαρακτηριστικά (features). Στη μοντελοποίηση με χαρακτηριστικά, τα μορφολογικά χαρακτηριστικά αντιπροσωπεύουν μια ανωτέρου επιπέδου απεικόνιση ομάδας γεωμετρικών στοιχείων και ιδιοτήτων του στερεού. Σήμερα, όλα τα συστήματα είναι του τύπου σχεδίασης με μορφολογικά χαρακτηριστικά και κάθε γεωμετρικό στοιχείο που θα προστεθεί στο μοντέλο ορίζεται ως ένα νέο μορφολογικό χαρακτηριστικό. Συνεπώς, κάθε λειτουργία έχει ως αποτέλεσμα τη δημιουργία ενός χαρακτηριστικού στο τελικό αντικείμενο. Με τη χρήση τους, επίσης, έχει γίνει και πιο εύκολη η αυτόματη απόδοση γεωμετρίας σε αρκετά σύνθετα στοιχεία, όπως είναι οι διαφόρου τύπου οπές, εσοχές, κ.λπ.

Η παραμετρική σχεδίαση υλοποιείται σε μια σειρά από βήματα που είναι ανεξάρτητα από το σύστημα που χρησιμοποιείται. Αυτά είναι:

- Δημιουργία διατομής (sketch) στο σχεδιαστικό (sketcher)
- Ορισμός παραμέτρων
- Απόδοση διαστάσεων στις παραμέτρους
- Καθορισμός και εφαρμογή των σχέσεων (relations)
- Καθορισμός και εφαρμογή των περιορισμών (constraints)
- Δημιουργία μορφολογικών χαρακτηριστικών

Η παραμετρική σχεδίαση βασίζεται στις σχέσεις και στους περιορισμούς που προσδιορίζονται μεταξύ των γεωμετρικών στοιχείων και των διαστάσεων. Μια σχέση είναι ο μαθηματικός τρόπος περιγραφής των σχέσεων μεταξύ των παραμέτρων της διατομής. Περιγράφονται με μεταβλητές, με απόδοση ονομάτων στις διαστάσεις

(κάθε διάσταση είναι και μια μεταβλητή), με εκφράσεις μεταξύ μεταβλητών και ονομάτων διαστάσεων και με αλγεβρικές εξισώσεις, όπου μια μεταβλητή ορίζεται με βάση άλλες μεταβλητές ή διαστάσεις. Μια σχέση ή μια εξίσωση δημιουργείται γραφικά ή μέσω ενός επεξεργαστή σχέσεων. Οι περιορισμοί προσθέτουν μια μορφή ευφυΐας σε ένα σχέδιο και αποσκοπούν να διατηρήσουν το σκοπό του σχεδίου ανεξάρτητα από τις αλλαγές που κάνει ο σχεδιαστής.

2. ΣΥΝΘΕΤΑ ΥΛΙΚΑ

2.1 Ορισμός Σύνθετων Υλικών

Τα Σύνθετα υλικά αποτελούν μια πολύ σημαντική κατηγορία των μηχανολογικών υλικών, δηλαδή των υλικών που έχει στην διάθεσή του ο σχεδιαστής μηχανικός. Τις τελευταίες δεκαετίες μάλιστα, παρατηρείται μια άνοδος του ποσοστού των υλικών αυτών σε διάφορες κατασκευές, διότι τα Σύνθετα Υλικά προσφέρουν ένα μοναδικό συνδυασμό ιδιοτήτων και περισσότερη ευελιξία στο σχεδιασμό σε σχέση με τα παραδοσιακά υλικά όπως τα μέταλλα.

Ως σύνθετο υλικό ορίζεται το υλικό που αποτελείται από δύο ή περισσότερα συστατικά, τα οποία συνδυάζονται, για να επιτευχθούν ειδικές ιδιότητες και χαρακτηριστικά, που κανένα από τα συμμετέχοντα συστατικά δεν μπορεί από μόνο του να επιτύχει. Τα σύνθετα υλικά χαρακτηρίζονται από τη συνύπαρξη δύο τουλάχιστον μακροσκοπικά διακρινόμενων συστατικών από τα οποία το ένα, χαρακτηριζόμενο ως **συστατικό ενίσχυσης**, προσδίδει στο σύνθετο βελτιωμένες μηχανικές, κυρίως, ιδιότητες. Το δεύτερο συστατικό, το οποίο καλείται **μήτρα**, εξασφαλίζει τη μέγιστη δυνατή εκμετάλλευση των ιδιοτήτων της ενίσχυσης.

Η ανάλυση αυτών των ιδιοτήτων δείχνει ότι εξαρτώνται από :

- Τις ιδιότητες των ανεξάρτητων συστατικών.
- Την ποσότητα των συστατικών.
- Το μέγεθος, το σχήμα και την κατανομή των συστατικών.
- Το βαθμό της σύνδεσης μεταξύ των συστατικών.
- Τον προσανατολισμό των συστατικών.

Τα διάφορα υλικά που παίζουν το ρόλο των συστατικών του σύνθετου υλικού μπορεί να είναι οργανικά υλικά, μέταλλα ή κεραμικά. Συνεπώς υπάρχει μια μεγάλη ελευθερία στη δημιουργία σύνθετων υλικών και συχνά σχεδιάζονται σύνθετα υλικά, ώστε να ικανοποιήσουν μια επιθυμητή μηχανική ιδιότητα ή χαρακτηριστικό.

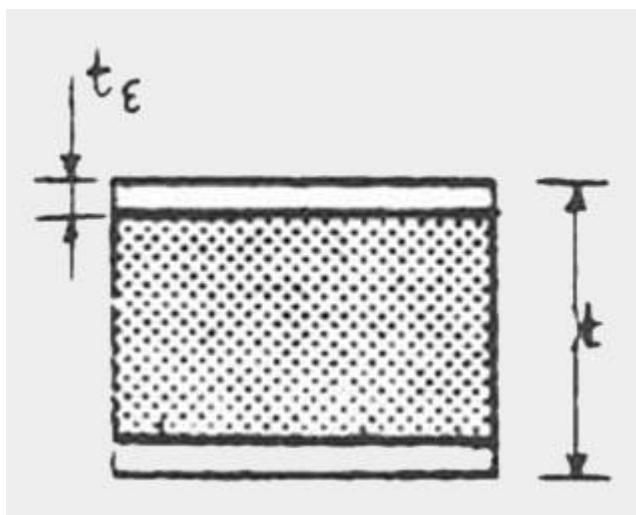
Οι εξαιρετικές τιμές των μηχανικών τους ιδιοτήτων ανά μονάδα βάρους, οδηγούν σε μεγάλη οικονομία στις κατασκευές. Επιπλέον πλεονέκτημα τους είναι η δυνατότητα ενίσχυσης συγκεκριμένων μόνο διευθύνσεων της κατασκευής οι οποίες παραλαμβάνουν το μεγαλύτερο μέρος των εξωτερικών φορτίων ή που η ανάλυση τάσεων έχει δείξει ότι είναι οι πιο επικίνδυνες να αστοχήσουν. Αυτή η δυνατότητα που απαντάται στα Σύνθετα Υλικά, προσφέρει εξαιρετική ευελιξία κατά το σχεδιασμό και την επιλογή των ιδιοτήτων. Η μηχανική συμπεριφορά των ενισχυμένων με συνεχείς, μακριές και παράλληλες ίνες συνθέτων, εξαρτάται από την ικανότητα του δεσμού που αναπτύσσεται μεταξύ τους, να μεταφέρει τα εξωτερικά φορτία. Η καλύτερη, πάντως, εκμετάλλευση των ιδιοτήτων των ινών γίνεται όταν αυτές είναι τοποθετημένες παράλληλα στη διεύθυνση του επιβαλλόμενου φορτίου. Καθοριστικό ρόλο, τέλος, στην εν γένει συμπεριφορά του συνθέτου παίζει, ασφαλώς, και η διαδικασία παραγωγής του.

2.2 Βασικά Είδη Σύνθετων Υλικών

Υπάρχουν πολλοί τύποι σύνθετων υλικών και διάφορες μέθοδοι κατάταξής τους. Μια τέτοια μέθοδος, βασιζόμενη στη γεωμετρία, αποτελείται από τρεις κατηγορίες σύνθετων υλικών :

- Τα σύνθετα υλικά που αποτελούνται από στρώσεις συστατικών (σάντουιτς).
- Τα σύνθετα υλικά που αποτελούνται από διασκορπισμένα σωματίδια ενός συστατικού μέσα σε ένα άλλο.
- Τα σύνθετα υλικά ενισχυμένα με ίνες.

Τα σύνθετα υλικά που αποτελούνται από στρώσεις συστατικών (σάντουιτς) έχουν αντοχή βελτιωμένη και γενικά ιδιότητες καλύτερες από εκείνες των μεμονωμένων συστατικών τους. Τα διάφορα κόντρα- πλακέ, τα διμεταλλικά ελάσματα, τα τζάμια ασφαλείας, τα αντιτριβικά μέταλλα τύπου-σάντουιτς είναι μερικά μόνο παραδείγματα τέτοιων σύνθετων υλικών με πολύ καλές ιδιότητες. Η συνηθισμένη πρακτική της κατασκευής τους είναι να τοποθετείται ένα παχύ στρώμα υλικού με χαμηλή πυκνότητα και αντοχή ανάμεσα σε δύο πολύ λεπτά στρώματα ενός άλλου υλικού υψηλής πυκνότητας και αντοχής. Το αποτέλεσμα που προκύπτει είναι ένα σώμα με χαμηλό βάρος, υψηλή αντοχή και ακαμψία.



Εικόνα 2.1. Σχηματική παράσταση σύνθετου - σάντουιτς t: πάχος σάντουιτς, t_e : πάχος επίστρωσης.

Πάχος	t	2t	4t
Ακαμψία	1,0	7,0	37,0
Αντοχή	1,0	3,5	9,2
Βάρος	1,0	1,03	1,06

Με αναφορά στην Εικόνα 2.1, συγκριτικός πίνακας όπου φαίνεται η επίδραση του πάχους t του σάντουιτς, ήτοι του πυρήνα, στα μηχανικά χαρακτηριστικά. Ας παρατηρηθεί η αντίστοιχη πολύ μικρή αύξηση του βάρους.

Τα σύνθετα υλικά με διασπορά σωματιδίων αποτελούνται από διασκορπισμένα σωματίδια (κόκκους) ενός υλικού (με διάμετρο 0.01 έως 1μm) μέσα σε ένα άλλο υλικό. Το σκυρόδεμα είναι ένα κλασσικό παράδειγμα αυτού του τύπου των υλικών. Έχουμε άμμο και χαλίκια περιβαλλόμενα και συνδεόμενα από τσιμέντο. Η συνηθισμένη πρακτική της κατασκευής τους περιλαμβάνει ένα μικρό ποσοστό σκληρών σωματιδίων (συνήθως οξείδια ή καρβίδια), το οποίο διασκορπίζεται σε ένα μαλακότερο και πιο εύπλαστο περιβάλλον υλικό (μήτρα). Ως παράδειγμα έχουμε το σύνθετο υλικό με βασικό υλικό το αλουμίνιο και κόκκους οξειδίου του αλουμινίου ή κόκκους καρβιδίου του πυριτίου σαν διασκορπισμένα σωματίδια. Η χρήση μιας τέτοιας τεχνικής πάντως, εκτός της αύξησης της αντοχής, γίνεται και για λόγους συνδυασμού ιδιοτήτων των επί μέρους συστατικών. Έτσι στους λειαντικούς και κοπτικούς τροχούς, για παράδειγμα, χρησιμοποιούμε κόκκους κορουνδίου ή ανθρακοπυριτίου συνδεμένους με πλαστικό ή κεραμικό ή μέταλλο και εκμεταλλευόμαστε απλά την σκληρότητα των κόκκων. Μετά τη φθορά τους νέοι κόκκοι εμφανίζονται με νέες επιφάνειες λείανσης /κοπής κ.ο.κ. Εδώ το συνδετικό υλικό προσφέρει απλά τη στήριξη στους κόκκους και τίποτα στην αύξηση της αντοχής του σύνθετου υλικού.

Τα σύνθετα υλικά ενισχυμένα με ίνες έχουν ως χαρακτηριστικό εκπρόσωπο τα πολυμερή (φαινολικά, πολυεστέρες, εποξικές ρητίνες) ενισχυμένα με ίνες γυαλιού, γνωστά ως φάιμπεργκλας (*fiberglass*). Ένα τέτοιο σύνθετο υλικό παρουσιάζει μεγάλη μηχανική αντοχή, χημική αντοχή, δυσθραυστότητα και χαμηλή πυκνότητα. Χρησιμοποιείται σε αεροναυπηγικές-ναυπηγικές εφαρμογές, στη χημική βιομηχανία, στην αυτοκινητοβιομηχανία κτλ. Στην κατηγορία αυτή των σύνθετων υλικών εντάσσονται και τα ελαστικά των αυτοκινήτων, όπου γίνεται χρήση ινών νάιλον, ρεγιόν, αραμιδίου (π.χ. Kevlar) ή και χάλυβα σε διάφορες ποσότητες και διευθύνσεις έτσι, ώστε να ενισχυθεί το καουτσούκ και να αυξηθεί η αντοχή και η διάρκεια ζωής. Το οπλισμένο σκυρόδεμα είναι ένα άλλο παράδειγμα, όπου στο σκυρόδεμα προστίθεται ο χάλυβας με τη μορφή 'ινών' με αποτέλεσμα τη γνωστή σε όλους αύξηση της αντοχής. Στην κατηγορία αυτή ανήκει και το πολύ γνωστό στην αεροναυπηγική και την πολεμική βιομηχανία σύνθετο αραμίδιο Kevlar (εμπορική ονομασία της κατασκευάστριας DuPont) με ιδιότητες υψηλής αντοχής, χαμηλής πυκνότητας (μισή από το αλουμίνιο), υψηλής σκληρότητας, κακής θερμικής αγωγιμότητας. Οι ιδιότητες των σύνθετων υλικών της κατηγορίας αυτής εξαρτώνται από τα εξής χαρακτηριστικά :

- Τις ιδιότητες του υλικού των ινών.
- Το ποσοστό των ινών στο σύνθετο υλικό.
- Από το λόγο: μήκος /διάμετρος των ινών.
- Τον προσανατολισμό των ινών.
- Το βαθμό σύνδεσης μεταξύ ινών και βασικού υλικού.
- Τις ιδιότητες του βασικού υλικού.

Αν όμως χρησιμοποιηθεί ως διαχωρισμού το υλικό της μήτρας, τότε έχουμε τα εξής είδη συνθέτων:

- Πολυμερικής Μήτρας
- Μεταλλικής Μήτρας
- Κεραμικής Μήτρας

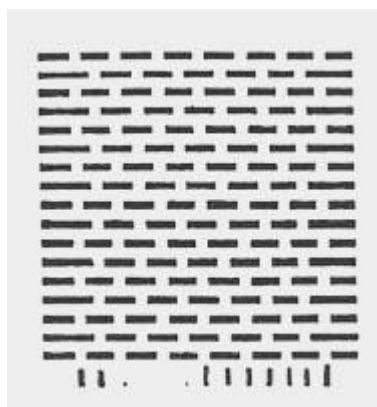
Οι ιδιότητες και η δομή τόσο της ενίσχυσης όσο και της μήτρας αποτελούν τις κύριες συνιστώσες ενός σύνθετου υλικού.

Στην αυτοκινητοβιομηχανία τα σύνθετα υλικά χρησιμοποιούνται στην κατασκευή αμαξωμάτων αγωνιστικών αυτοκινήτων, στους δίσκους φρένων, στα ελαστικά των τροχών, σε έδρανα, τριβείς, καμπίνες φορτηγών, άξονες, ελατήρια, προφυλακτήρες, δοχεία καυσίμων, ανεμιστήρες, πάνελ οργάνων, καλύμματα μηχανών κτλ. Η επιτυγχανόμενη μείωση βάρους από τη χρήση σύνθετων υλικών είναι της τάξης του 25%.

2.3 Είδη Υφασμάτων

E-Υαλοϋφασμα

Το υαλοϋφασμα είναι το συνηθέστερο υλικό (ανόργανο) που χρησιμοποιείται στις σύνθετες κατασκευές. Είναι υλικό που δεν καίγεται, δε σαπίζει, δεν απορροφά υγρασία και δεν αλλοιώνεται με το χρόνο. Επίσης, έχει γραμμική συμπεριφορά ελαστικότητας, η καμπύλη (σ-ε) είναι ευθεία γραμμή έως το σημείο θραύσης και παρουσιάζει εξαιρετικά υψηλή αντοχή στα φορτία. Ευρίσκεται στο εμπόριο σε μεγάλη ποικιλία πλέξεων και είναι σχετικά το φθηνότερο ύφασμα για σύνθετες κατασκευές. Χρησιμοποιείται στις αεροπορικές κατασκευές ως υλικό επικάλυψης, στην κατασκευή κύριων και δευτερευόντων δομικών στοιχείων, στην κατασκευή του ριναίου κώνου, κτλ.



Εικόνα 2.2. Αποτύπωμα πλέξης νημάτων 1 επάνω - 1 κάτω

S-Υαλοϋφασμα

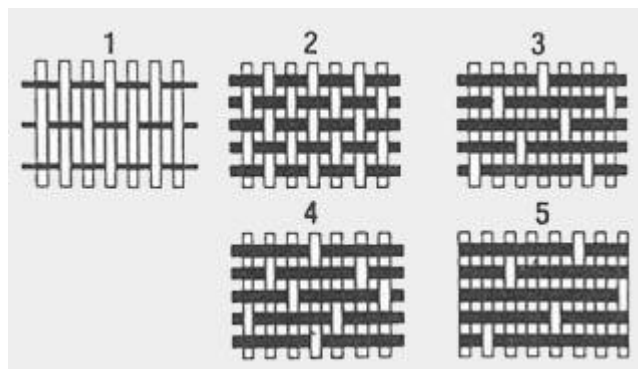
Έχει τις ίδιες περίπου ιδιότητες με το E-Υαλοϋφασμα (E: για Electrical, S: για Structural) αλλά υπερέχει αυτού κατά 20% περίπου στην αντοχή και 15% στο μέτρο ελαστικότητας. Ο τύπος S-YY (Υαλοϋφασμα) είναι ελαφρότερος από τον E-YY, παρουσιάζει μεγάλη αντοχή στην κρούση και κοστίζει περίπου τρεις φορές περισσότερο από τον E-YY. Χρησιμοποιείται για κρίσιμα δομικά στοιχεία και σε συνδυασμό με το E-YY για εξωτερικές δεξαμενές, για δοχεία καυσίμων, για δοχεία υψηλής πίεσης, για ριναίους κώνους κτλ.



Εικόνα 2.3. Αποτύπωμα πλέξης νημάτων 4 επάνω - 1 κάτω.

S2 - Υαλοϋφασμα

Είναι παραλλαγή του S-YY με τα ίδια μηχανικά χαρακτηριστικά αλλά είναι ποιοτικώς περισσότερο ευέλικτο και δεν ανταποκρίνεται ακριβώς στις προδιαγραφές MIL-SPEC., όπως αντιθέτως συμβαίνει με τον τύπο S-YY. Χρησιμοποιείται σε υβριδικές σύνθετες κατασκευές (συνδυασμός δύο ή περισσότερων διαφορετικών υφασμάτων), π.χ. (E-YY + S2-YY + Κέβλαρ) / Εποξειδική, για δομικά στοιχεία που απαιτούν υψηλό μέτρο ελαστικότητας, για δοχεία υψηλής πίεσης και για τμήματα που καταπονούνται σε υψηλές θερμοκρασίες, διότι το S2-YY διατηρεί τις μηχανικές του ιδιότητες και άνω των 800 C.

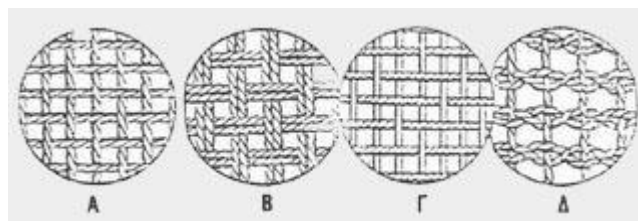


Εικόνα 2.4. Διάφοροι τύποι πλέξης νημάτων υαλοϋφάσματος: 1) Μονής διεύθυνσης, 2) Διπλής διεύθυνσης με απλή πλέξη 1 επάνω - 1 κάτω, 3) τύπου HS 1 επάνω - 4 κάτω, 4) τύπου CrowFoot 1 πάνω - 3 κάτω, 5) τύπου BMS.

Κέβλαρ

Είναι ένα αρωματικό πολυαμίδιο (Αραμίδιο), (ανόργανο υλικό) με πολύ στερεούς μοριακούς δεσμούς και έχει την υψηλότερη σχέση αντοχής προς Βάρος (σ/γ) από οποιοδήποτε άλλο ύφασμα. Διατίθεται από την εταιρεία Dupont σε δύο βασικούς τύπους. Τον τύπο Κέβλαρ 29 που έχει χαμηλή τιμή του μέτρου ελαστικότητας και τον τύπο 49 που έχει υψηλή τιμή του μέτρου ελαστικότητας. Το Κέβλαρ είναι κατά 35% - 40% περίπου ελαφρύτερο από το υαλοϋφασμα, έχει μεγαλύτερη ειδική τάση (σ/γ) και μεγαλύτερο ειδικό μέτρο ελαστικότητας (E/γ), από οποιοδήποτε υαλοϋφασμα, έχει περίπου τον αυτό συντελεστή θερμικής διαστολής με τον γραφίτη, επομένως μπορούν να συνεργαστούν σε υβριδικές συνθέσεις, δεν μεταβάλλονται οι ιδιότητες του και τα μηχανικά του χαρακτηριστικά με την πάροδο του χρόνου και τέλος έχει κατά δέκα φορές περίπου μεγαλύτερη ειδική τάση από το αλουμίνιο. Το Κέβλαρ εμποτίζεται όπως και το υαλοϋφασμα με εποξειδικές ρητίνες αλλά το σύνθετο υλικό που αποκτάται είναι κατά 20% περίπου ελαφρύτερο από το αντίστοιχο με υαλοϋφασμα. Όλες οι μηχανικές ιδιότητες του σύνθετου με Κέβλαρ είναι πολύ καλές εκτός από την αντοχή του σε φορτία θλίψης όπου παρουσιάζει μικρές τιμές.

Για τέτοιου είδους φορτία γίνονται υβριδικές συνθέσεις υφασμάτων Κέβλαρ και γραφίτη, ή υαλοϋφάσματος, με τις οποίες αποκτώνται οι επιθυμητές αντοχές. Το Κέβλαρ έχει μεγαλύτερη αντοχή στην κρούση από το υαλοϋφασμα, μεγάλη αντοχή στην κόπωση, καλή αντίσταση στην ανάπτυξη ρωγμών και καλή απόσβεση των κραδασμών. Το Κέβλαρ χρησιμοποιείται στις αεροπορικές κατασκευές για την κατασκευή δομικών στοιχείων, για την κατασκευή ελίκων οι οποίες γίνονται ελαφρύτερες από τις αντίστοιχες του αλουμινίου και έχουν μεγαλύτερη διάρκεια ζωής στην κόπωση. Επίσης το Κέβλαρ 49 χρησιμοποιείται στην κατασκευή πυραυλοκινητήρων με σημαντική μείωση του βάρους.

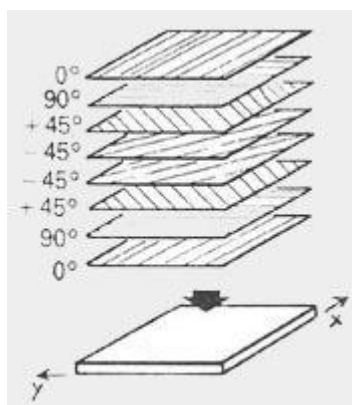


Εικόνα 2.5. Διάφοροι τύποι πλέξης υφάσματος κέβλαρ 49: α) Απλή πλέξη, β) Πλέξη μπάσκετ, γ) σατέν, δ) λινό

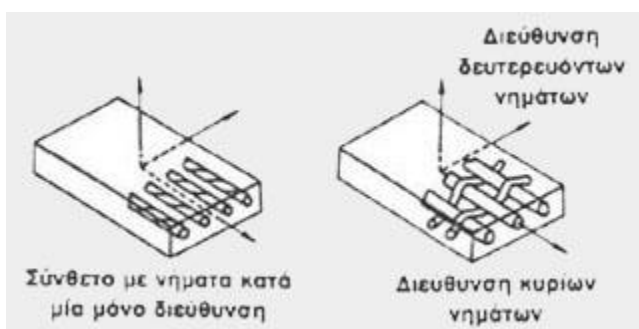
Ανθρακονήματα (ή Νήματα Γραφίτη)

Τα ανθρακονήματα καθώς και τα υφάσματα τους είναι υλικά (οργανικά) τα οποία χρησιμοποιούνται στις κατασκευές όπου απαιτείται υψηλή αντίσταση στην παραμόρφωση, δηλαδή υψηλή τιμή του ειδικού μέτρου ελαστικότητας (E/γ). Τα ανθρακονήματα έχουν περισσότερο από το διπλάσιο ειδικό μέτρο ελαστικότητας από εκείνο του Κέβλαρ 49 και πάνω από τέσσερις φορές των υαλοϋφασμάτων. Είναι το ακριβότερο υλικό για σύνθετα, εφ' όσον κοστίζει περίπου πέντε φορές

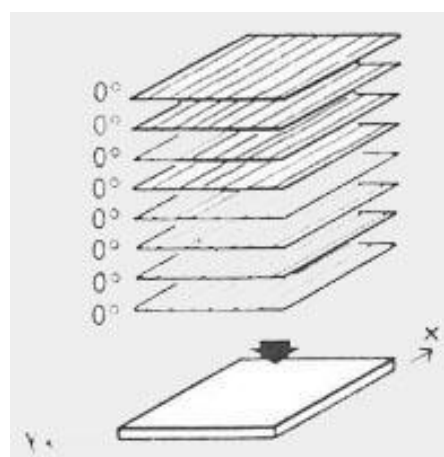
περισσότερο από το Κέβλαρ, το οποίο με τη σειρά του κοστίζει περίπου τρεις φορές περισσότερο από το υαλοϋφασμα. Τα σύνθετα υλικά που αποκτώνται με ανθρακονήματα παρουσιάζουν εξαιρετική αντίσταση στην παραμόρφωση, έχουν πολύ μεγάλη αντοχή στην κόπωση, αλλά είναι σχετικά εύθραυστα και δεν εμποδίζουν την ανάπτυξη ρωγμών. Η χρησιμοποίηση των ανθρακονημάτων και των υφασμάτων τους είναι πολύ δυσκολότερη από εκείνη των άλλων υφασμάτων, απαιτεί ειδικές μεθόδους εφαρμογής, μεγάλη εμπειρία, ειδικό τρόπο σχεδίασης ώστε να αποφεύγονται περιοχές συγκέντρωσης τάσεων και γνώσεις για υβριδικές συνθέσεις εφ' όσον θα χρειαστεί να συνδυαστούν οι ιδιότητες και τα μηχανικά τους χαρακτηριστικά μετά αντίστοιχα άλλων υφασμάτων. Τα ανθρακονήματα χρησιμοποιούνται στην κατασκευή ισχυρών δομικών στοιχείων, για την κατασκευή των δοκών της πτέρυγας, στα αεροδιαστημικά οχήματα, αλλά και σε πολλές άλλες βιομηχανικές εφαρμογές.



Εικόνα 2.6. Κατασκευή συνθέτου σχεδόν ισότροπου, με 8 στρώσεις νημάτων κατά διευθύνσεις 0° , 90° , $+45^\circ$, -45° .



Εικόνα 2.7



Εικόνα 2.8. Κατασκευή συνθέτου μιας διεύθυνσης με 8 στρώσεις νημάτων κατά την αυτή διεύθυνση

Πίνακας 1. Ενδεικτικός πίνακας εξέλιξης της χρήσης των υλικών στις αεροπορικές κατασκευές.

Κατασκευαστική Εταιρεία	Airbus Industrie	-	McDonnell-Douglas	-	Boeing	-
Υλικό / έτος	1985	2000	1985	2000	1985	2000
Αλουμίνιο	76%	35%	82%	-	80%	11%
Χάλυβας	8%	6%	13%	20%	14%	11%
Τιτάνιο	6%	9%	4%	3%	2%	12%
Σύνθετα	5%	46%	1%	13%	3%	65%
Αλουμίνιο/Λίθιο	-	-	-	34%	-	-
Αλουμίνιο/Λίθιο	-	-	-	30%	-	-
+Σύνθετα						
Διάφορα	5%	4%	-	-	1%	1%

Πίνακας 2. Πίνακας μηχανικών χαρακτηριστικών νημάτων και σύνθετων υλικών.

Υλικό	Μέτρο Ελαστικότητας E (Kg/mm ²)	Μέγιστη τάση εφελκυσμού σ (Kg/mm ²)	Ειδικό βάρος (Kg/m ³)	Ειδικό μέτρο E/γ (m) X10 ⁵	Ειδική τάση σ/γ (m) X10 ⁵
E- Υαλονήματα	7350	320	2550	2.9	1.25
S- Υαλονήματα	8400	380	2490	3.4	1.53
E-Υαλονήματα Εποξειδ.	5250	140	1940	2.7	0.72
S-Υαλονήματα Εποξειδ.	5250	210	1940	2.7	1.08
Κέβλαρ 29	6300	350	1440	4.4	2.43
Κέβλαρ 49	14000	350	1660	8.4	2.11
Κέβλαρ 49/Εποξειδ.	8400	200	1520	5.5	1.32
HM Νήματα Γραφίτη	38500	210	1910	20.2	1.10
HS Νήματα Γραφίτη	24500	245	1770	13.8	1.38
HM Γραφίτη Εποξειδ.	21000	95	1605	13.1	0.59
HS Γραφίτη Εποξειδ.	15400	145	1495	10.3	0.97
Νήματα Βορίου	42000	280	2630	16.0	1.06
Νήματα Βορίου/Εποξ.	21700	155	2075	10.5	0.75
Αλουμίνιο 7075-T6	7200	55	2685	2.7	0.20
Αλουμίνιο 6061-T6	7200	30	2685	2.7	0.11
Τιτανίο Ti-6Al-4V	11200	105	4430	2.5	0.24
Χρώμιο μολυβδενιούχος	20300	95	7830	2.6	0.12
Χάλυβας 4130					

2.4 Σύνθετα υλικά και η χρήση τους στη F1

Το εσωτερικό μιας σύγχρονης F1 είναι περίπου το ίδιο περίπλοκο με το ανθρώπινο σώμα. Κάτω από την ανθρακονηματική του επιδερμίδα, το μονοθέσιο κρύβει έναν απίστευτο αριθμό εξαρτημάτων, τοποθετημένα έτσι ώστε να εκμεταλλεύονται πλήρως αφενός τον διαθέσιμο χώρο και αφετέρου τους αυστηρούς κανονισμούς της Διεθνούς Ομοσπονδίας Αυτοκινήτου (FIA - Federation Internationale de l'Automobile).



Η μέθοδος κατασκευής ονομάζεται **monocoque** (μόνοκοκ) και σημαίνει «ενιαίο κοχύλι», η οποία αναφέρεται στη διαδικασία κατασκευής ενός ολόκληρου σώματος από ένα μόνο κομμάτι υλικού. Κάποτε, αυτό το υλικό ήταν το αργίλιο, αλλά σήμερα είναι ένα ισχυρό σύνθετο, όπως οι υφασμένες ίνες άνθρακα που τίθενται στις ίνες ρητίνης ή άνθρακα που τοποθετούνται σε στρώσεις πάνω από το πλέγμα αργιλίου. Αυτό έχει ως αποτέλεσμα να κατασκευάζεται ένα ελαφρύ αυτοκίνητο που μπορεί να αντισταθεί στις τεράστιες δυνάμεις που ενεργούν προς τα κάτω και που παράγονται καθώς το όχημα κινείται δια μέσω του αέρα.

Το monocoque ενσωματώνει το πιλοτήριο, ένα ισχυρό, παραγεμισμένο κελί που μπορεί να φιλοξενήσει έναν μόνο οδηγό. Αντίθετα από τα πιλοτήρια των αυτοκινήτων που είναι έτοιμα για τους δρόμους και τα οποία μπορούν να παρουσιάσουν μεγάλη διαφορά, τα πιλοτήρια των αυτοκινήτων της Formula 1 πρέπει να μείνουν πιστά στους πολύ αυστηρούς τεχνικούς κανονισμούς.

Ανθρακονήματα



Αν έπρεπε να διαλέξουμε μόνο μια επαναστατική ιδέα από όλες όσες έχουν εφαρμοστεί κατά καιρούς στη F1, τότε σίγουρα θα επιλέγαμε τη χρήση των

ανθρακονημάτων. Οντας όχι μόνο εξαιρετικά ανθεκτικά αλλά κι απίστευτα ελαφριά, τα ανθρακονήματα πρωτοχρησιμοποιήθηκαν στις διαστημικές έρευνες της NASA. Στη κατασκευή τους μοιάζουν με το fiberglass διότι και τα δυο φτιάχνονται από φύλλα νημάτων τοποθετημένα το ένα πάνω στο άλλο (επιστρώσεις). Συγκεκριμένα κατασκευάζεται από φύλλα άνθρακα και κυψέλες αλουμινίου, τοποθετημένα σε αντίθετη φορά για να εξασφαλιστεί μεγάλη αντοχή και προς τις 2 κατευθύνσεις. Το

πλεονέκτημα των ανθρακονημάτων είναι ότι παρά την μεγάλη τους ανθεκτικότητα μπορούν και δημιουργούν εξαιρετικά πολύπλοκα καλούπια, όπως αυτό της εικόνας. Ακόμα ένα σημαντικό πλεονέκτημα αποτελεί το γεγονός πως οι αναρτήσεις δεν επιβαρύνονται με αχρείαστο βάρος, αφού τα ανθρακονήματα καθιστούν το αμάξι ιδιαίτερα ελαφρύ. Το τελικό αποτέλεσμα είναι πως ενώ το μονοθέσιο δείχνει εξαιρετικά λεπτό κι εύθραυστο, εντούτοις είναι παραπάνω από ικανό να αντεπεξέλθει στις δυνάμεις που ασκούνται όταν κινείται με ταχύτητες που ξεπερνούν τα 300 χμ/ώρα.

Στα πλεονεκτήματα του καταπληκτικού αυτού υλικού συγκαταλέγεται και η ιδιότητά του να θρυμματίζεται όταν σπάσει, με αποτέλεσμα η ενέργεια της πρόσκρουσης να διασκορπίζεται σε πολλά σημεία. Αν η ενέργεια επικεντρωνόταν σε ένα ή δυο σημεία μόνο, τότε η σφοδρότητα της σύγκρουσης θα ήταν πολλαπλά μεγαλύτερη και σε πολλές περιπτώσεις ακόμα και θανατηφόρα. Για να είμαστε ακριβείς, η χρήση ανθρακονημάτων στη κατασκευή του αμαξώματος έχει ήδη σώσει πολλές ζωές αφού έχει συμβάλλει καθοριστικά στην υλοποίηση του αποκαλούμενου "θαλάμου επιβίωσης", ευρύτερα γνωστού ως cockpit. Είναι σχεδιασμένο να μένει ανέπαφο ακόμα κι αν το υπόλοιπο μονοθέσιο διαλυθεί.

	Αντοχή σε εφελκυσμό	Πυκνότητα	Ειδική Δύναμη
Ανθρακονήματα	3,50	1,75	2,00
Χάλυβας	1,30	7,90	0,17

Πίνακας 3

Αξιοσημείωτο είναι το γεγονός ότι υπάρχει μια μεγάλη δυσκολία εύρεσης τεχνικών πληροφοριών πάνω στο αντικείμενο της Formula 1 εξαιτίας του μεγάλου ανταγωνισμού των ομάδων με αποτέλεσμα την φύλαξη των πληροφοριών αυτών στο εσωτερικό της εκάστοτε ομάδας. Για αυτό το λόγο πολλές εργασίες δεν δημοσιεύονται και πολλές πληροφορίες που δημοσιεύονται είναι γενικές ή αποτελούν εργασίες παλαιών ετών που δεν μπορούν να δώσουν επαρκής πληροφορίες για το σήμερα, εξαιτίας των κανονισμών που αλλάζουν κάθε χρόνο καθώς και την συνεχή εξέλιξη της τεχνολογίας που χρησιμοποιείται.

Η Διεθνής Ομοσπονδία Αυτοκινήτου (FIA - Federation Internationale de l'Automobile) έχει θεσπίσει κάποιους κανόνες τους οποίους πρέπει να ακολουθούν όλες οι ομάδες της Formula 1. Στο παράρτημα παρατίθενται οι κανονισμοί για τα υλικά που επιτρέπεται να χρησιμοποιούνται στα μονοθέσια της F1 σύμφωνα με το άρθρο 15 των κανονισμών του 2010 όπως εκδόθηκε από την FIA (1.Κανονισμοί FIA για τα υλικά στην F1).

3. ΤΟ ΣΥΣΤΗΜΑ CATIA

3.1 CATIA



Το λογισμικό **Computer Aided Three-dimensional Interactive Application**, εν συντομία **CATIA**, αποτελεί μία ολοκληρωμένη πλατφόρμα για **CAD** (Computer Aided Design), **CAM** (Computer Aided Manufacturing) και **CAE** (Computer Aided Engineering) εφαρμογές ψηφιακού σχεδιασμού και προσομοίωσης προϊόντων. Αναπτύχθηκε στα τέλη της δεκαετίας του 70' από την γαλλική εταιρία **Dassault Systems**, θυγατρική εταιρία της Dassault Aviation με αρχικό στόχο την εσωτερική χρήση του

από την τελευταία και την δημιουργία του γνωστού μαχητικού Mirage. Το 1981 άρχισε να πωλείται και να διανέμεται από την IBM ενώ το 1984 επιλέχθηκε από την Boeing Company ως το βασικό σχεδιαστικό πρόγραμμα της εταιρίας. Το 1988 δημιουργήθηκε νέα έκδοση του λογισμικού το οποίο από τότε συνεχώς αναπτύσσεται και εξελίσσεται. Σήμερα, το CATIA είναι μία πλατφόρμα λογισμικού η οποία αναφέρεται στη διαχείριση πολλαπλών σταδίων του κύκλου ζωής ενός προϊόντος (π.χ. ο τρισδιάστατος σχεδιασμός του, η κατασκευή του και η ανάλυση και προσομοίωσή του).

Το τελευταίο αποτελεί και ένα από τα σημαντικότερα πλεονεκτήματά του αφού με αυτόν τον τρόπο δίνει ολοκληρωμένες λύσεις στον οποιοδήποτε χρήστη του. Ένα άλλο βασικό πλεονέκτημα είναι το ενιαίο υπόβαθρο πάνω στο οποίο είναι κατασκευασμένο το CATIA με αποτέλεσμα την εύκολη συνεργασία τμημάτων του που εξειδικεύονται σε διαφορετικά στάδια του κύκλου ζωής όπως μηχανολογικού σχεδιασμού, ψηφιακού ελέγχου, εκτέλεσης κατεργασιών, ανάλυσης και προσομοίωσης κ.λπ. Επίσης, η προσαρμογή του στις εκάστοτε ανάγκες της εφαρμογής μέσω προγραμματιστικών περιβαλλόντων ενσωματωμένων στο λογισμικό (Fortran και C στην έκδοση 4, Visual Basic στην έκδοση 5) καθιστά αποτελεσματικότερη τη χρήση του ενώ τέλος, η δυνατότητα επανάκτησης πληροφοριών και συμπερασμάτων που έχουν προκύψει από προηγούμενες εφαρμογές διευκολύνουν την χρήση του επιταχύνοντας ταυτόχρονα τη συνολική διαδικασία.

Η συμβολή του στην ανάπτυξη της παγκόσμιας βιομηχανίας αντικατοπτρίζεται από τη συνεχώς αυξανόμενη εκμετάλλευσή του από πολλές και μεγάλες εταιρίες διαφόρων κλάδων: αεροπορία (Boeing, Airbus, Bombardier Aerospace), αυτοκινητοβιομηχανία (BMW, Porsche, Daimler Chrysler, Audi, Volkswagen, Volvo, Fiat, Gestamp Automocion, Benteler AG, PSA Peugeot Citroen, Renault, Toyota, Honda, Ford, Scania, Hyundai, Proton, Tata motors and Mahindra), ναυσιπλοΐα (GD Electric Boat για σχεδιασμό υποβρυχίων και Northrop Grumman Newport News για τον σχεδιασμό αεροπλανοφόρων του αμερικανικού ναυτικού), κατασκευή βιομηχανικού εξοπλισμού, ηλεκτρικών και ηλεκτρονικών εφαρμογών, σχεδιασμού εργοστασιακών εγκαταστάσεων, καταναλωτικών αγαθών κ.α. Η συνεχής εξέλιξή του από την κατασκευάστρια εταιρία έχει σαν αποτέλεσμα μία πληθώρα εκδόσεων του προγράμματος.

ΟΝΟΜΑΣΙΑ	ΣΥΝΤΟΜΗ ΠΕΡΙΓΡΑΦΗ
Μηχανολογικός Σχεδιασμός (Mechanical Design)	Προσφέρει μοντελοποίηση βάσει προδιαγραφών για σχεδιασμό ενός τεμαχίου, πληθώρας αυτών σε συνεργασία (assembly) και μηχανολογικού σχεδίου.
Σχεδιασμός Μορφής και Σχήματος (Shape Design and Styling)	Επιτρέπει την δημιουργία και τροποποίηση πολύπλοκων επιφανειών
Σύνθεση Προϊόντων (Product Synthesis)	Προσφέρει αυτοματοποίηση και έλεγχο σχεδίων και κατασκευαστικών δεδομένων
Μηχανική Εξοπλισμού και Συστημάτων (Equipment and System Engineering)	Πραγματοποιεί σχεδιασμό και ολοκλήρωση ηλεκτρικών, υδραυλικών και μηχανολογικών συστημάτων
Ανάλυση (Analysis)	Επιτρέπει την κατασκευαστική ανάλυση και προσομοίωση προϊόντων

Πίνακας 4

3.2 CATIA - Composite Design (CPD)

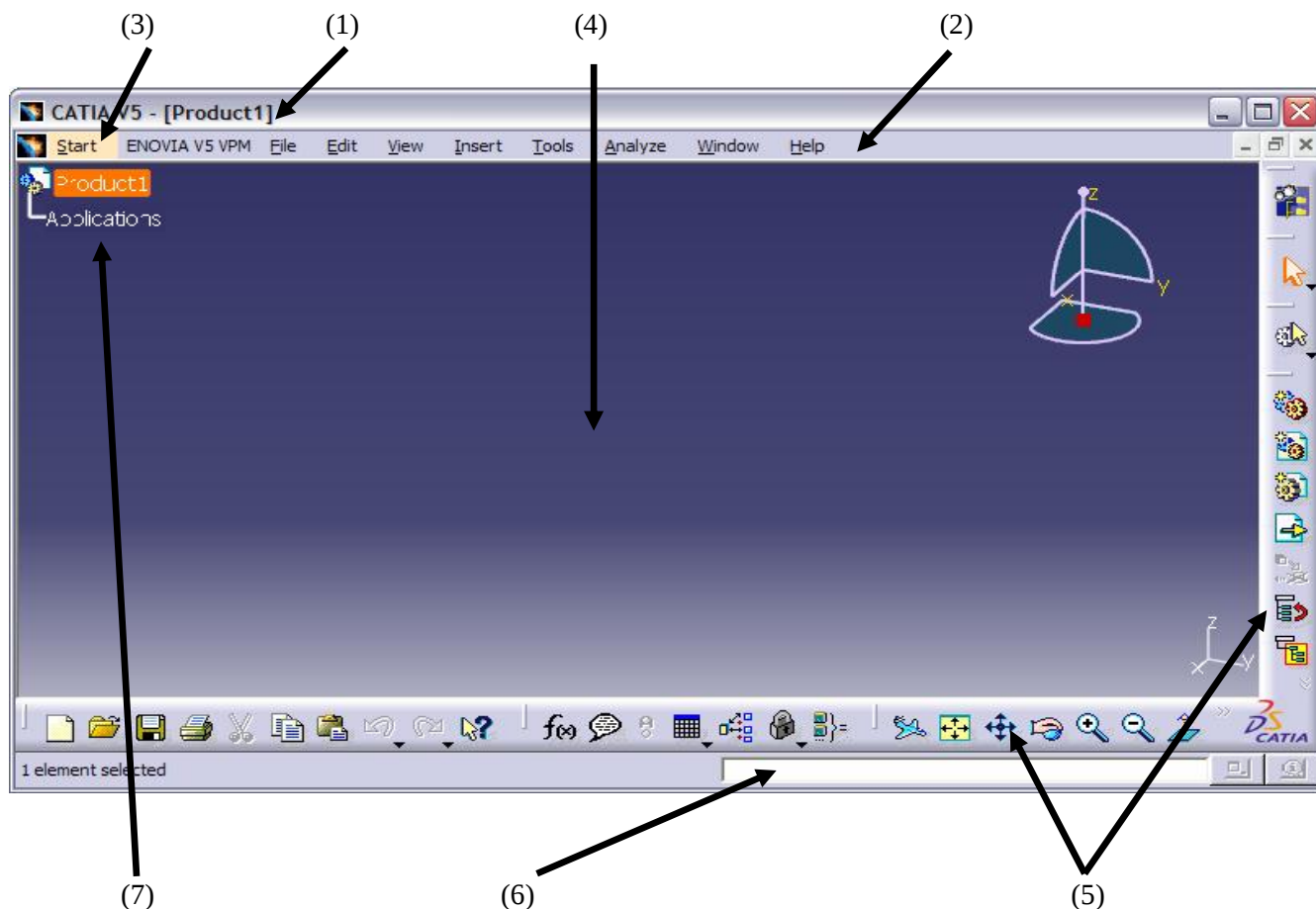
Το Composite Design είναι ένα προηγμένο εργαλείο, το οποίο επικεντρώνεται στη σχεδίαση πολύπλοκων μοντέλων και επιτρέπει στους κατασκευαστές, είτε αυτοί ανήκουν σε αεροβιομηχανίες, είτε σε αυτοκινητοβιομηχανίες, είτε σε βιομηχανίες παραγωγής καταναλωτικών αγαθών, να μειώνουν το χρόνο σχεδίασης πολύπλοκων μοντέλων. Παρέχει εργαλεία για την κάλυψη τόσο των πρωταρχικών σταδίων σχεδίασης, όσο και των αναγκών λεπτομερούς σχεδίασης, ενώ λαμβάνονται υπόψη, ακόμα και στα αρχικά στάδια, οι απαιτήσεις του προϊόντος και οι δυνατότητες παραγωγής. Το Composite Design είναι μία πανίσχυρη εφαρμογή, με όλες τις δυνατότητες και την ευκολία χρήσης που προσφέρει η αρχιτεκτονική του CATIA V5R18.

Κυριότερα σημεία

- Χρησιμοποιεί μια προσέγγιση βασισμένη στις προδιαγραφές του σχεδιασμού των σύνθετων υλικών
- Υποστηρίζει ειδικές γεωμετρικές συνθέσεις
- Διαχειρίζεται τις παραμέτρους παραγωγής στο αρχικό στάδιο του σχεδιασμού
- Εκμεταλλεύεται μοναδικά την υποδομή του CATIA V5 και την ενοποίησή της με άλλες εφαρμογές

3.3 Το περιβάλλον του CATIA

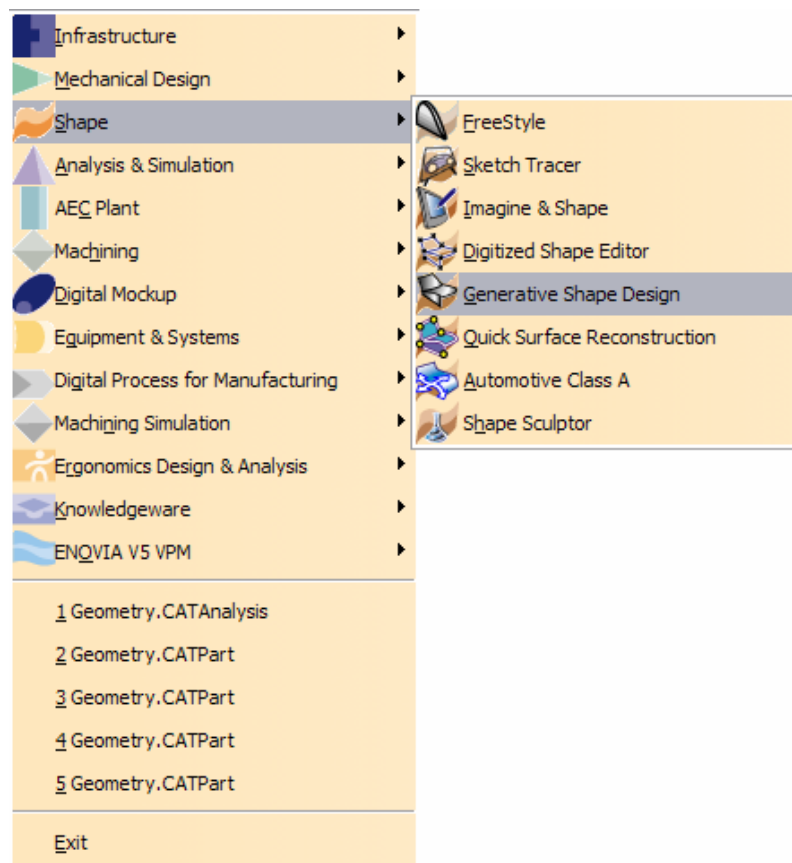
Η ανάγκη συνεργασίας των επιμέρους τμημάτων απαιτεί την ύπαρξη μίας βασικής δομής, πάνω στην οποία “χτίστηκε” το συγκεκριμένο λογισμικό. Σε αυτή την δομή ανήκει και το γραφικό περιβάλλον του CATIA (GUI – Graphics Users Interface) το οποίο επιτρέπει την επικοινωνία του λογισμικού με τον χρήστη και μέσω του οποίου εκτελούνται όλες οι λειτουργίες του. Κύριος εκφραστής του GUI είναι το κεντρικό παράθυρο του CATIA, το οποίο φέρει ορισμένα γενικά χαρακτηριστικά, ανεξαρτήτως επιμέρους περιβάλλοντος και παρουσιάζεται στο σχήμα 3.1.



Εικόνα 3.1: Κεντρικό παράθυρο CATIA

Πρόκειται για ένα κλασικό παράθυρο μορφής Windows στο πάνω μέρος του οποίου φαίνεται η ονομασία του προγράμματος στο οποίο ανήκει, δηλαδή αναφέρεται η ονομασία και η έκδοση του CATIA (1), ακολουθούμενη από την ονομασία και τον τύπο του προς επεξεργασία αρχείου. Ακριβώς κάτω από αυτό βρίσκεται η μπάρα των βασικών menu (2) μέσω της οποίας εκτελούνται λειτουργίες όπως άνοιγμα και αποθήκευση αρχείων, εκτύπωση, ρυθμίσεις που αφορούν το λογισμικό, καθορισμός προτιμήσεων κ.α. Η μπάρα αυτή χρησιμοποιείται σε όλα τα λογισμικά που λειτουργούν σε περιβάλλον Windows και θεωρείται αρκετά γνωστή, αν και εμπλουτισμένη με εξειδικευμένες λειτουργίες του CATIA.

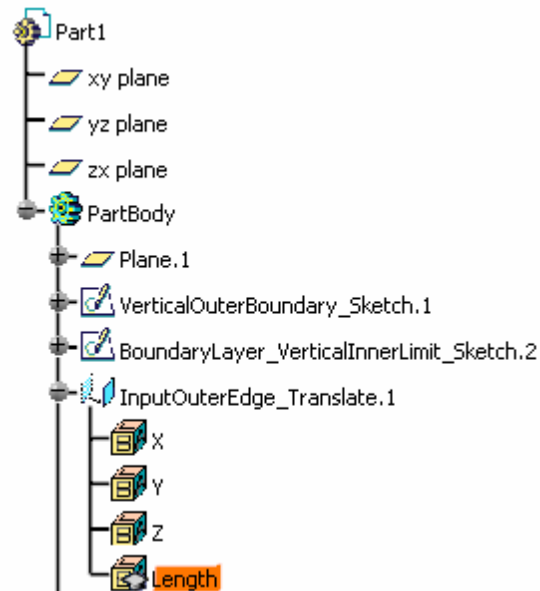
Στην αρχή της μπάρας αυτής εμφανίζεται ένα menu με την ονομασία Start (3). Μέσω αυτού έχουμε πρόσβαση στα διάφορα επιμέρους τμήματα του CATIA και είναι εφικτή η συνεργασία τους, χωρίς πολύπλοκες διαδικασίες, αφού η μεταφορά δεδομένων γίνεται αυτόματα. Στην ουσία το menu αυτό καταγράφει τα διάφορα περιβάλλοντα που ανήκουν στο κάθε τμήμα και επιτρέπει, μέσω της επιλογής τους, την μεταβίβαση από το ένα στο άλλο.



Εικόνα 3.2 :
Start Menu

Όπως είναι φυσικό, το μεγαλύτερο μέρος του παραθύρου καταλαμβάνεται από το ενεργό περιβάλλον του λογισμικού (4) το οποίο έχει επιλεγεί από το Start menu. Σε αυτό γίνεται η απεικόνιση των προς επεξεργασία προϊόντων – σχεδίων με, κατά προεπιλογή, μπλε φόντο. Περιμετρικά αυτού βρίσκονται οι γραμμές εργαλείων (5) οι οποίες μεταβάλλονται δυναμικά, ανάλογα με το ενεργό περιβάλλον, και περιέχουν τις συντομεύσεις για όλα τα εργαλεία και τις εντολές που ανήκουν στο τελευταίο. Στο κάτω μέρος του παραθύρου βρίσκεται η γραμμή εντολών (6) η οποία προσφέρει τη δυνατότητα καταγραφής εντολών σε μορφή κειμένου και εκτέλεσής τους.

Τέλος, βασικό γνώρισμα του GUI του CATIA είναι η εμφάνιση ενός δέντρου (7) συγκεκριμένης μορφής (σχήμα 3.3), το οποίο δημιουργείται κατά τον σχεδιασμό των προϊόντων. Σε αυτό καταγράφονται όλα τα χαρακτηριστικά που προκύπτουν από την εκτέλεση εντολών συμπεριλαμβανομένων οντοτήτων σχεδιασμού (επιφάνειες, γραμμές κ.λπ.) και αριθμητικών τιμών παραμέτρων (δυνάμεις, διαστάσεις κ.λπ.) καθώς και των σχέσεων και αλληλεξαρτήσεων αυτών. Αποτελεί πολύ χρήσιμο χαρακτηριστικό διότι επιτρέπει την αποτύπωση της λογικής που υιοθετήθηκε κατά το σχεδιασμό και την ανασκόπηση πληροφοριών κατά την περαιτέρω επεξεργασία του προϊόντος.

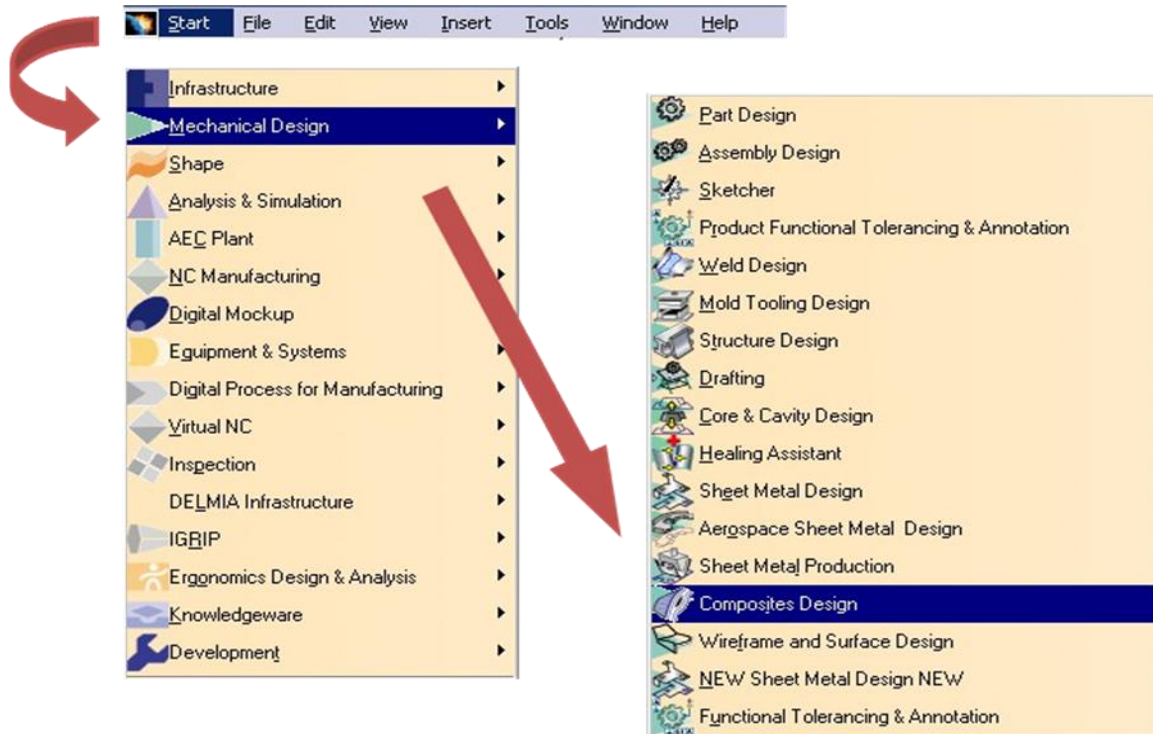


**Εικόνα 3.3: Τμήμα δέντρου
χαρακτηριστικών σχεδιασμού
για το προϊόν Part1**

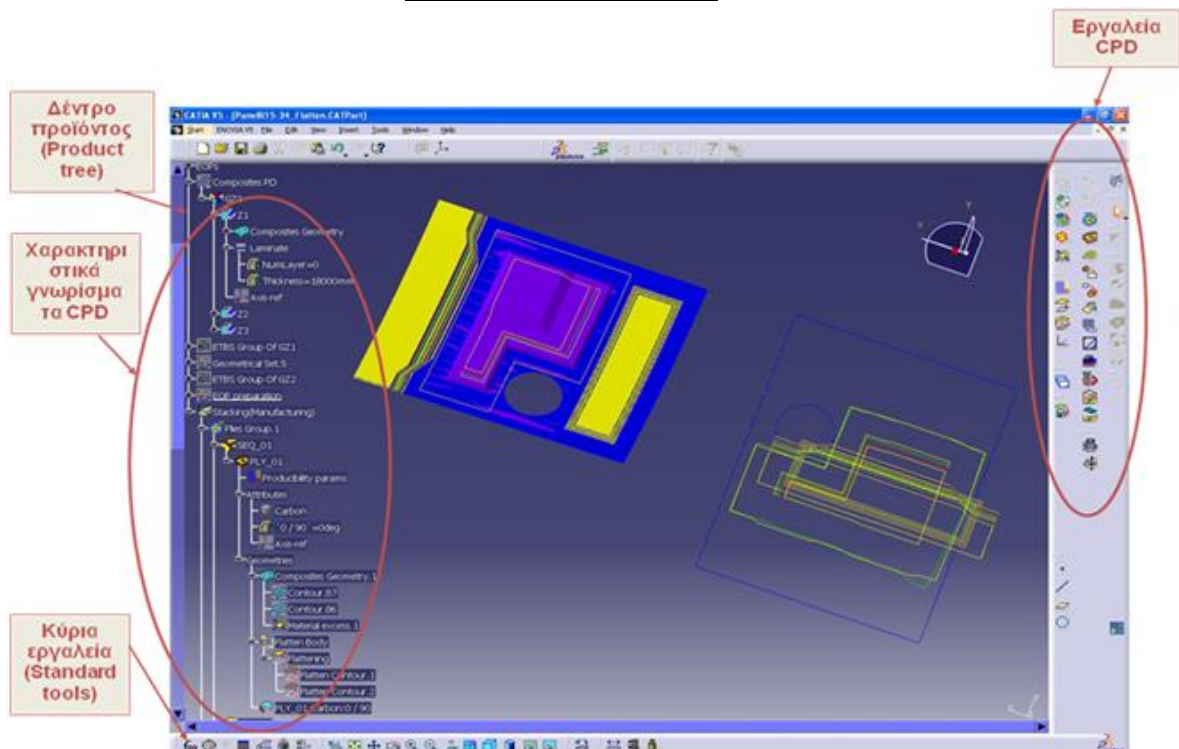
Προφανώς, η περιγραφή που προηγήθηκε αφορά τη μορφή του λογισμικού όπως αυτή έχει προκαθοριστεί από την κατασκευάστρια εταιρία. Παρόλα αυτά υπάρχει και η δυνατότητα επεξεργασίας και προσαρμογής στοιχείων αυτής στις προτιμήσεις του χρήστη, μέσω της εντολής *Tools >Options*.

3.4 Το περιβάλλον των Σύνθετων Υλικών (Composite Design) στο CATIA

Χρησιμοποίηση του πάγκου εργασίας (Workbench) στο CATIA



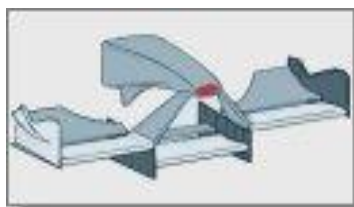
Γενική παρουσίαση



4. ΕΦΑΡΜΟΓΗ ΣΕ ΕΜΠΡΟΣΘΙΑ ΠΤΕΡΥΓΑ ΜΟΝΟΘΕΣΙΟΥ ΤΗΣ FORMULA 1

4.1 Ρόλος της εμπρόσθιας πτέρυγας

Οι **αεροτομές** αποτελούν ζωτικά μέρη μιας Formula 1, καθότι σε αυτές οφείλονται ουσιαστικά το “εξώκοσμο” κράτημα και οι τεράστιες πλευρικές επιταχύνσεις των σύγχρονων μονοθεσίων.



Πριν ασχοληθούμε με τις ρυθμίσεις των αεροτομών, ας ρίξουμε μια γρήγορη ματιά στο τι ακριβώς κάνουν. Με λίγα λόγια, κάνουν ότι και τα φτερά ενός αεροπλάνου αλλά αντίστροφα. Ενώ δηλαδή ο ρόλος των φτερών είναι να ανυψώνουν το αεροπλάνο, ο ρόλος των αεροτομών είναι να “σπρώχνουν” το μονοθέσιο προς τα κάτω, κολλώντας το στην άσφαλτο. Σχεδιάζονται

λοιπόν ακολουθώντας τις ίδιες αρχές της αεροναυπηγικής, αλλά στα μονοθέσια τοποθετούνται με αντεστραμμένη φορά. Και για να το κάνουμε πιο κατανοητό, φανταστείτε ότι (θεωρητικά) ένα μονοθέσιο Formula 1 μπορεί να κινηθεί ανάποδα σε ένα ταβάνι με 240 χλμ/ώρα, ενώ στα 320 χλμ/ώρα η παραγόμενη αεροδυναμική πίεση φτάνει τους τρεις τόνους! Και αναλογιστείτε ότι σε ακινησία το μονοθέσιο, μαζί με τον οδηγό, ζυγίζει 600 κιλά (σημείωση: οι παραπάνω τιμές είναι ενδεικτικές και εξαρτώνται από τις εκάστοτε ρυθμίσεις και καιρικές συνθήκες).

Είναι ευνόητο λοιπόν ότι η αεροδυναμική πίεση (που επιστημονικά ονομάζεται “άντωση” για τα αεροσκάφη και “αρνητική άντωση” για τα αυτοκίνητα) αυξάνεται με την ταχύτητα του μονοθεσίου, επειδή αυξάνεται η ποσότητα του αέρα που ρέει επάνω του. Αυξάνεται δηλαδή η δύναμη που σπρώχνει το μονοθέσιο στο δρόμο και το κάνει να “γαντζώνει” στις στροφές. Άρα, όσο μεγαλύτερη είναι η κλίση των πτερύγων, τόσο μεγαλύτερη είναι η αεροδυναμική πίεση που παράγεται.

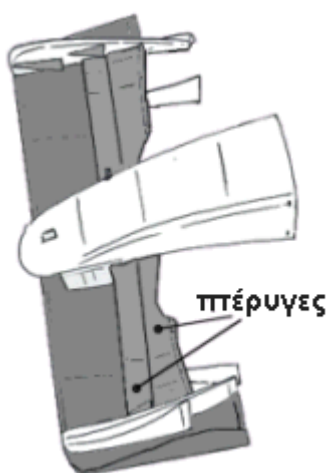
Αφού είναι έτσι λοιπόν, γιατί δε ρυθμίζονται οι αεροτομές με την μέγιστη δυνατή κλίση στις πτέρυγές τους, έτσι ώστε να παράγουν τη μέγιστη δυνατή αεροδυναμική πίεση συνεχώς και σε όλες τις πίστες; Απλά διότι όσο μεγαλώνει η κλίση των πτερύγων, τόσο μεγαλώνει η επιφάνεια επαφής τους με τον αέρα και άρα τόσο μεγαλώνει και ο συντελεστής οπισθέλκουσας (aerodynamic drag). Το μέγεθος αυτό εκφράζει την αντίσταση του αέρα, η οποία όπως είναι λογικό μειώνει δραστικά τόσο τις επιταχύνσεις όσο και τη τελική ταχύτητα του μονοθεσίου. Και αυτή είναι η πρώτη σπαζοκεφαλιά που αντιμετωπίζουν μηχανικοί και οδηγοί όταν καλούνται να στήσουν το μονοθέσιο. Ας το δούμε όμως πιο αναλυτικά.

Πρόσθια αεροτομή

Η πρόσθια (μπροστινή) αεροτομή θα λειτουργούσε ακριβώς με τον ίδιο τρόπο που λειτουργεί και η οπίσθια αν βρισκόταν ψηλότερα από το ρύγχος του μονοθεσίου. Εκεί που βρίσκεται όμως παράγει ελάχιστη οπισθέλκουσα (αντίσταση του αέρα). Το μέγεθος της οπισθέλκουσας αυξάνεται ανάλογα με το εμβαδόν της επιφάνειας που

έρχεται αντιμέτωπη με τον αέρα. Επειδή λοιπόν πίσω της απλώνεται όλο το μεσαίο μέρος του μονοθεσίου, ακόμα κι αν δεν υπήρχε η πρόσθια αεροτομή το εμβαδόν επαφής θα παρέμενε ίδιο. Με άλλα λόγια, είτε υπάρχει μπροστινή αεροτομή είτε όχι η συνολική οπισθέλκουσα παραμένει ουσιαστικά αναλλοίωτη (άρα και η τελική ταχύτητα του μονοθεσίου).

Έτσι, η ρύθμιση της πρόσθιας αεροτομής "περιορίζεται" στην επίτευξη της επιθυμητής οδηγικής συμπεριφοράς του μονοθεσίου, το γνωστό ζύγισμα. Σε αυτόν τον τομέα όμως αποτελεί ένα από τα καθοριστικότερα βοηθήματα. Μεγαλύτερη κλίση στις πτέρυγες της μπροστινής αεροτομής σημαίνει λιγότερη υποστροφή, αφού το ρύγχος και οι μπροστινοί τροχοί πατάνε καλύτερα λόγω της μεγαλύτερης αεροδυναμικής πίεσης που δέχονται. Πάντως, μεγάλο ρόλο στην οδηγική συμπεριφορά του μονοθεσίου παίζει και η ανάρτηση.



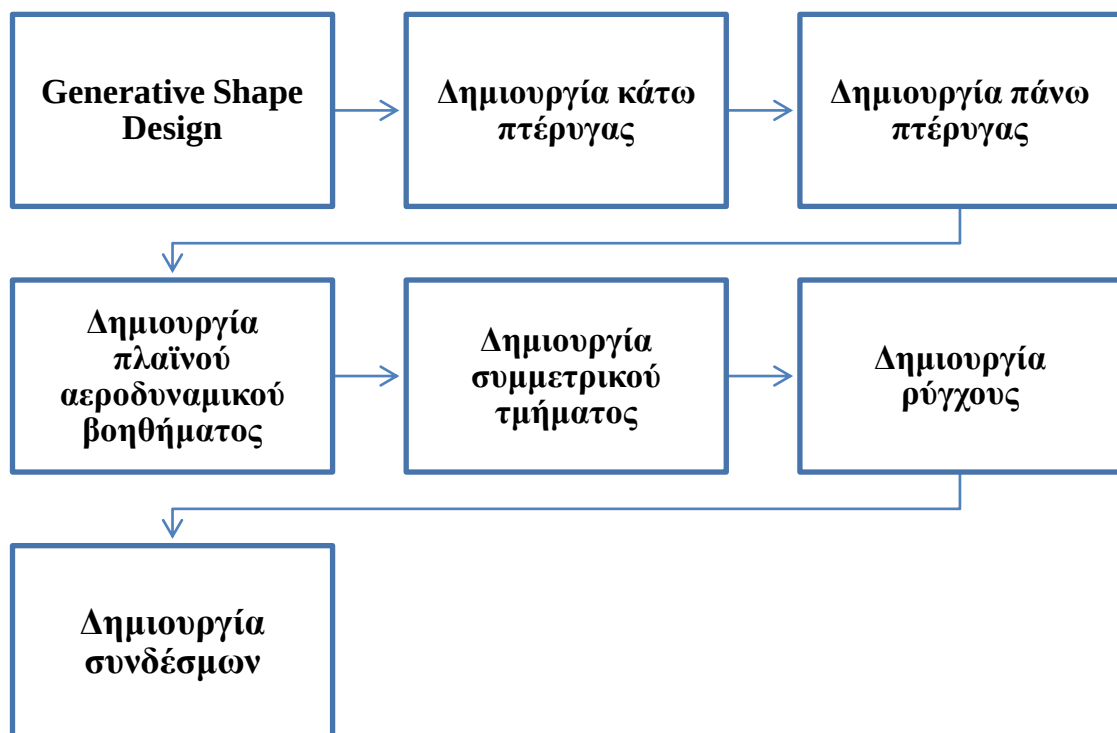
4.2 Περιορισμοί από τη FIA

Οι περιορισμοί σχετικά με τη γεωμετρία της εμπρόσθιας αεροτομής περιγράφονται στο άρθρο 3 των τεχνικών περιορισμών της FIA για το 2010 (ARTICLE 3: BODYWORK AND DIMENSIONS) και συγκεκριμένα στις παραγράφους 3.7 και 3.8. Οι περιορισμοί παρατίθενται αναλυτικά στο παράρτημα (2.Περιορισμοί FIA για την εμπρόσθια αεροτομή και drawings 3a και 4a).

4.3 Γεωμετρία της Αεροτομής

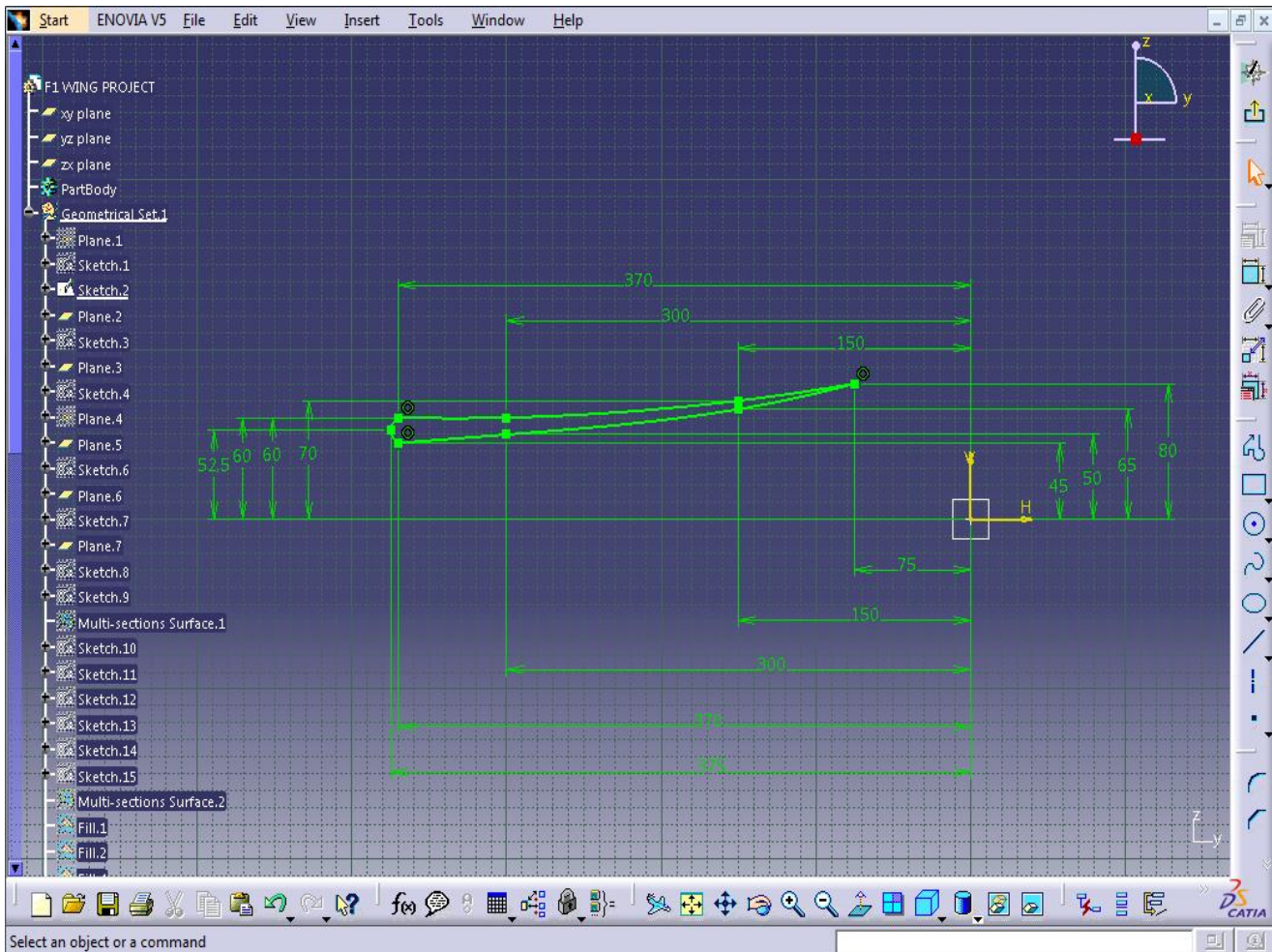
Στο κεφάλαιο αυτό περιγράφεται η διαδικασία σχεδιασμού της εμπρόσθιας αεροτομής της F1 με το σύστημα CATIA. Στοιχεία για τη γεωμετρία της αεροτομής χρησιμοποιήθηκαν από την αεροναυπηγική καθώς οι ομάδες της Formula 1 δεν δημοσιεύουν στοιχεία εξαιτίας του ανταγωνισμού μεταξύ τους. Επίσης έγινε εφαρμογή των κανονισμών της FIA κατά τη σχεδίαση της αεροτομής όπως αυτοί παρουσιάζονται και περιγράφονται στο παράρτημα.

Στο παρακάτω διάγραμμα απεικονίζεται η πορεία σχεδίασης της αεροτομής στο Catia.



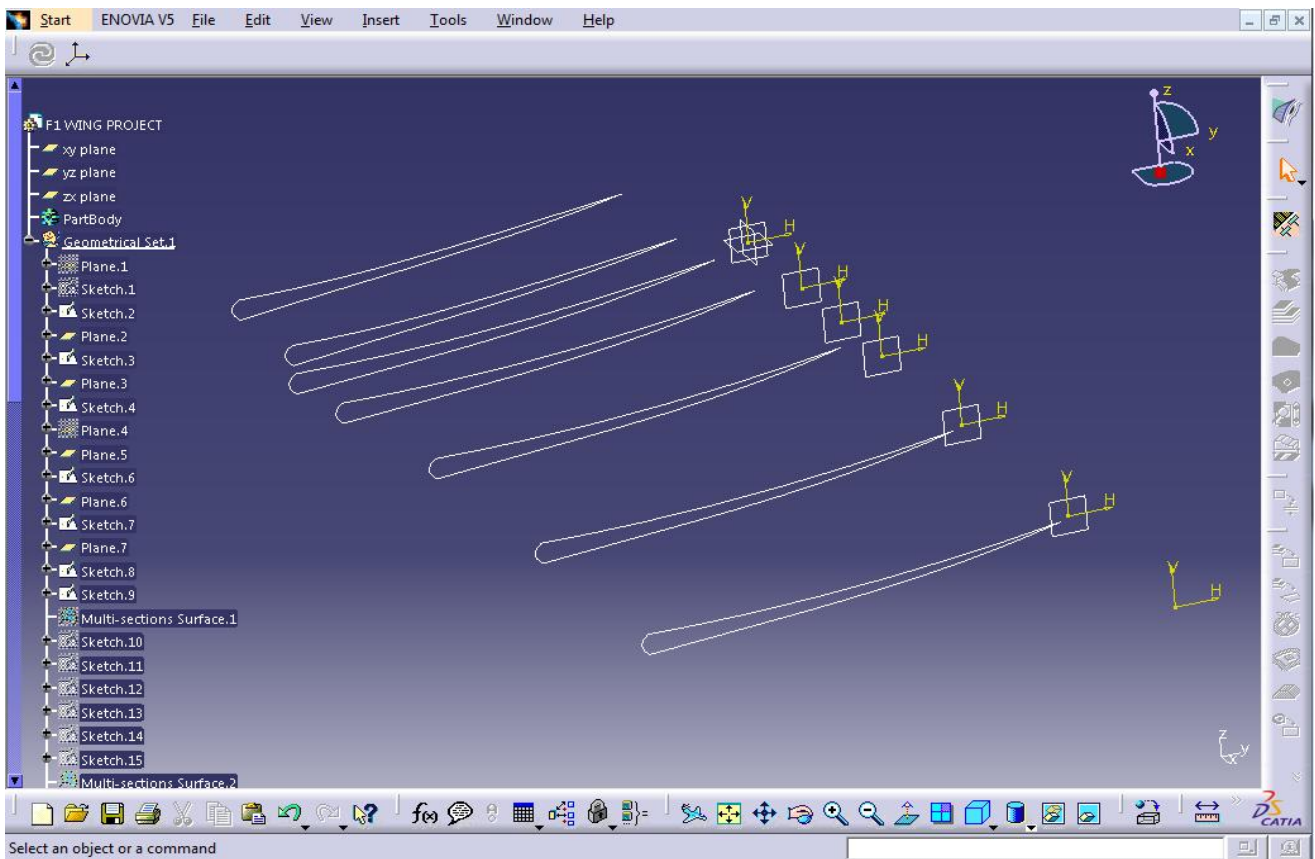
Διάγραμμα 1

Στην μπάρα menu επιλέγουμε **start – shape – generative shape design** για να μπούμε στο σχεδιαστικό περιβάλλον του CATIA. Στη συνέχεια επιλέγουμε σε ποιο επίπεδο (plane xy, xz, yz) θέλουμε να σχεδιάσουμε και κατόπιν πατάμε **sketch** στο δεξί μενού. Στο περιβάλλον του sketcher σχεδιάζουμε την παρακάτω διατομή για να δημιουργήσουμε την κάτω πτέρυγα της αεροτομής.



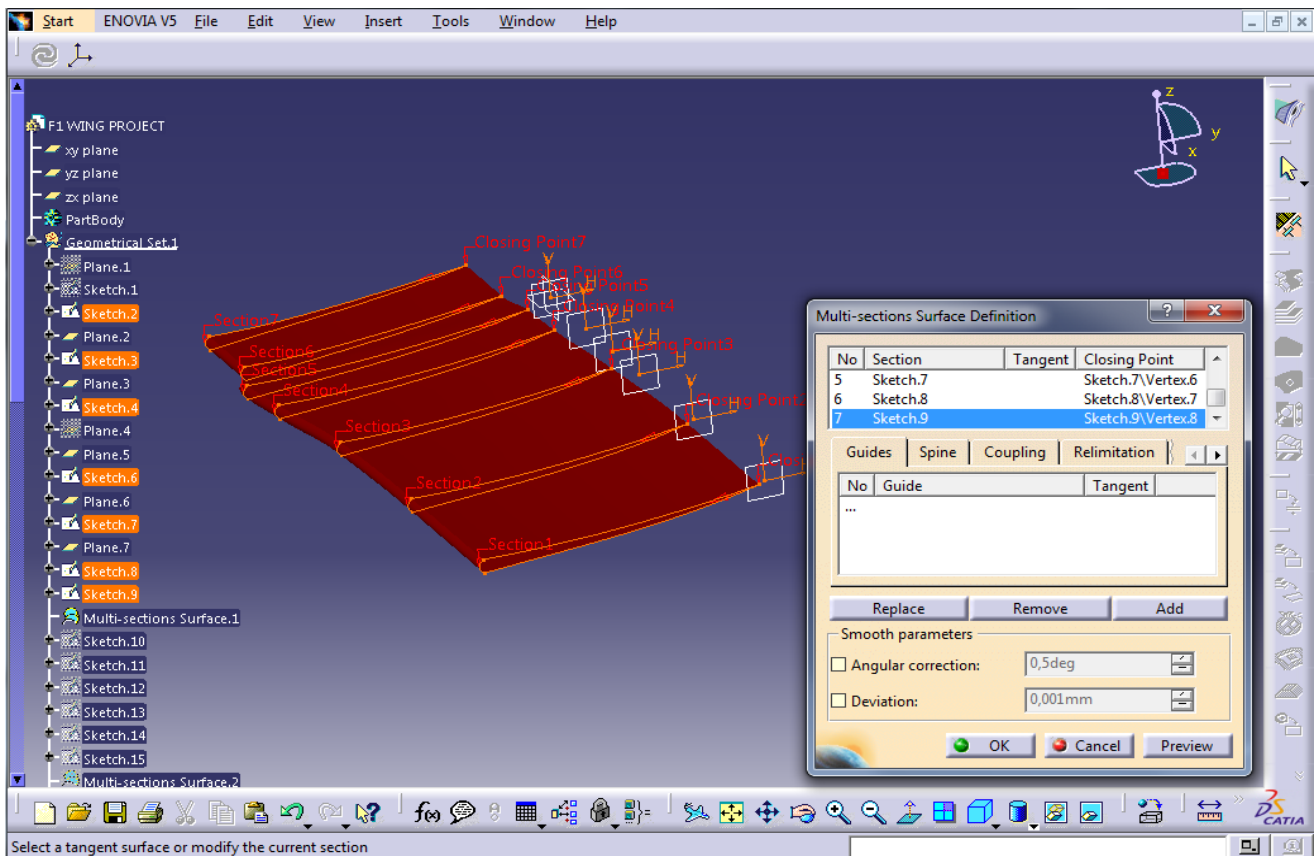
4.1: Παράθυρο sketcher στο CATIA

Στη συνέχεια δημιουργούμε καινούργια επίπεδα (plane) και σχεδιάζουμε αντίστοιχες διατομές με διαφορετικές παραμέτρους για να ολοκληρώσουμε την κάτω πτέρυγα όπως φαίνεται στο παρακάτω σχήμα.

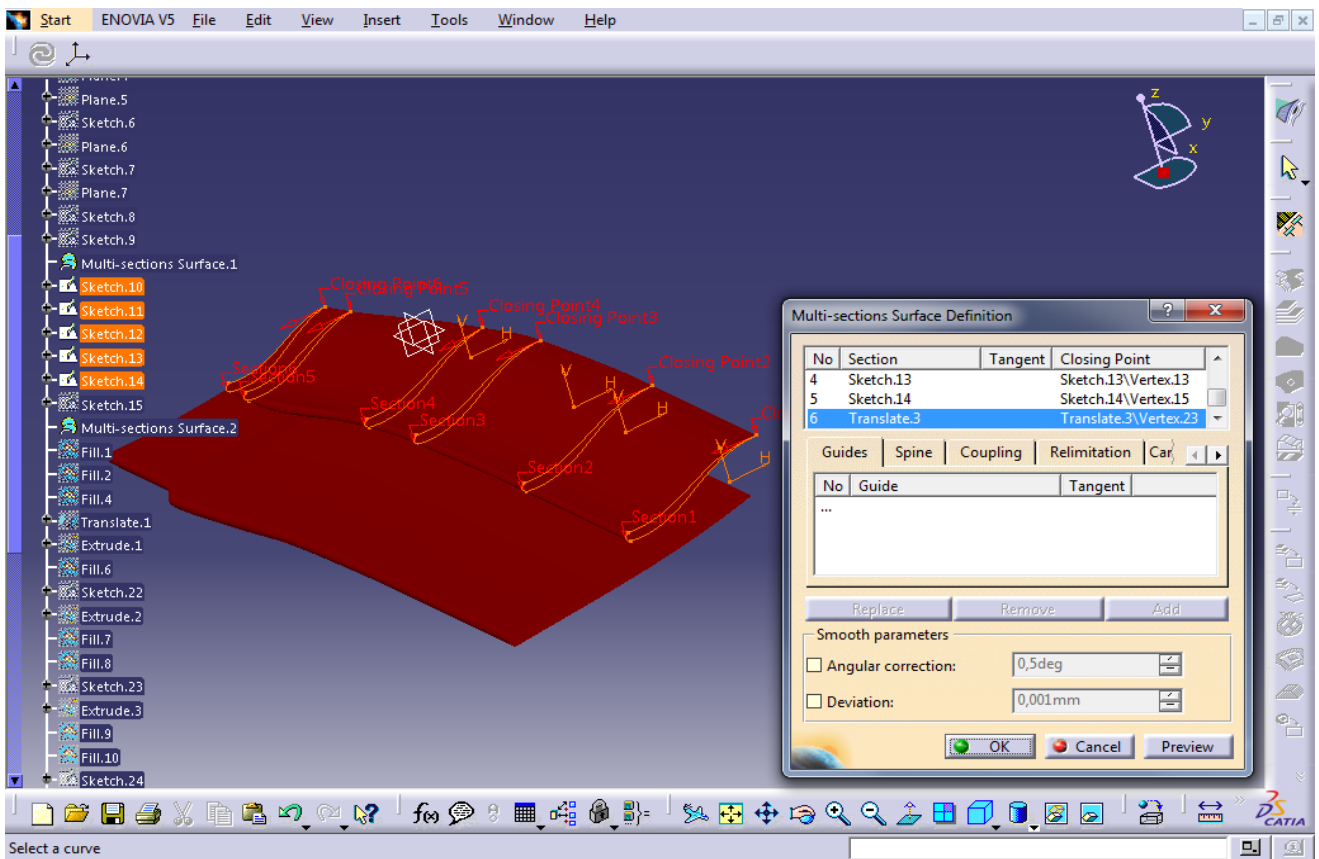


Εικόνα 4.2

Με την εντολή **Multi-sections Surface** δημιουργούμε την επιφάνεια της κάτω πτέρυγας ενώνοντας τις διατομές που σχεδιάσαμε προηγουμένως (εικόνα 4.3).

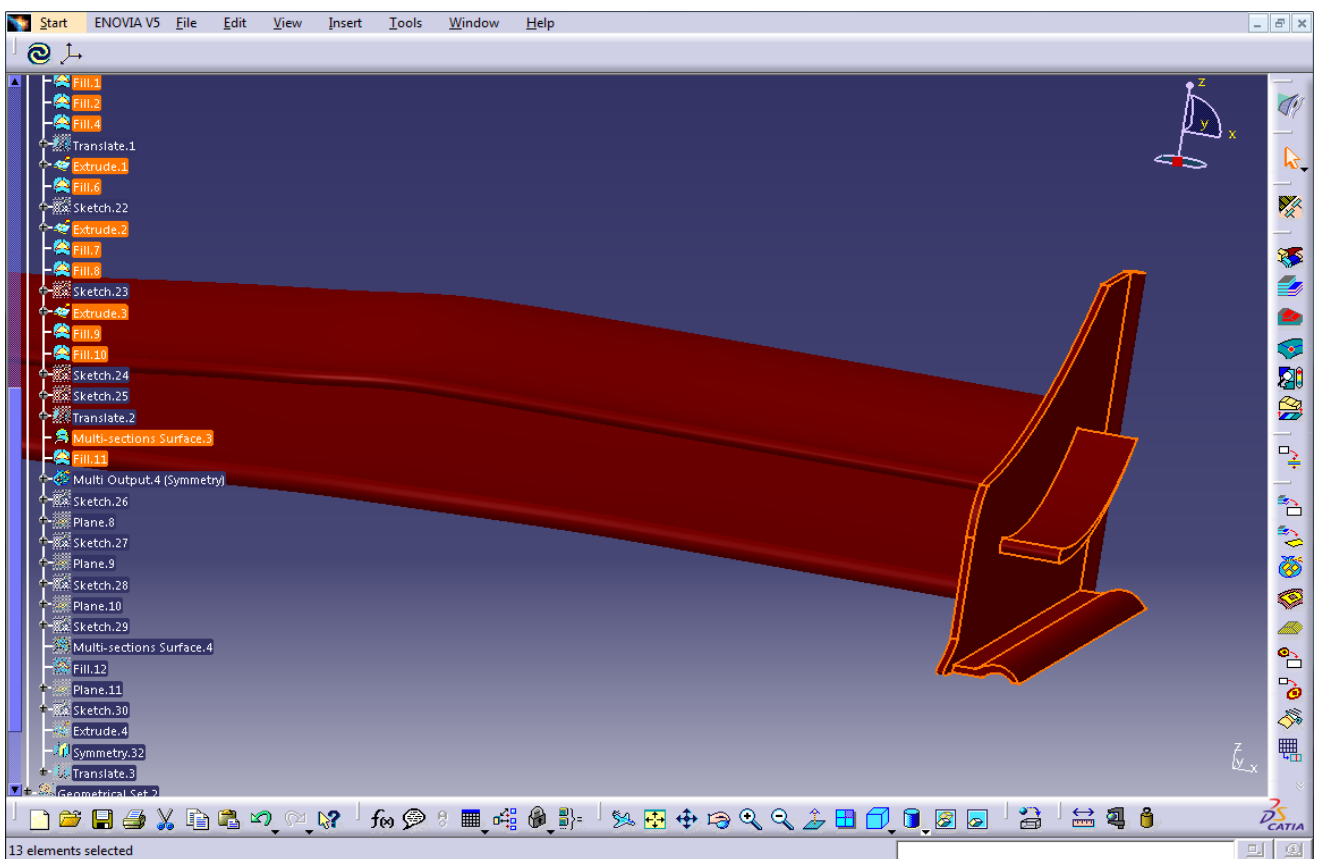


Εικόνα 4.3

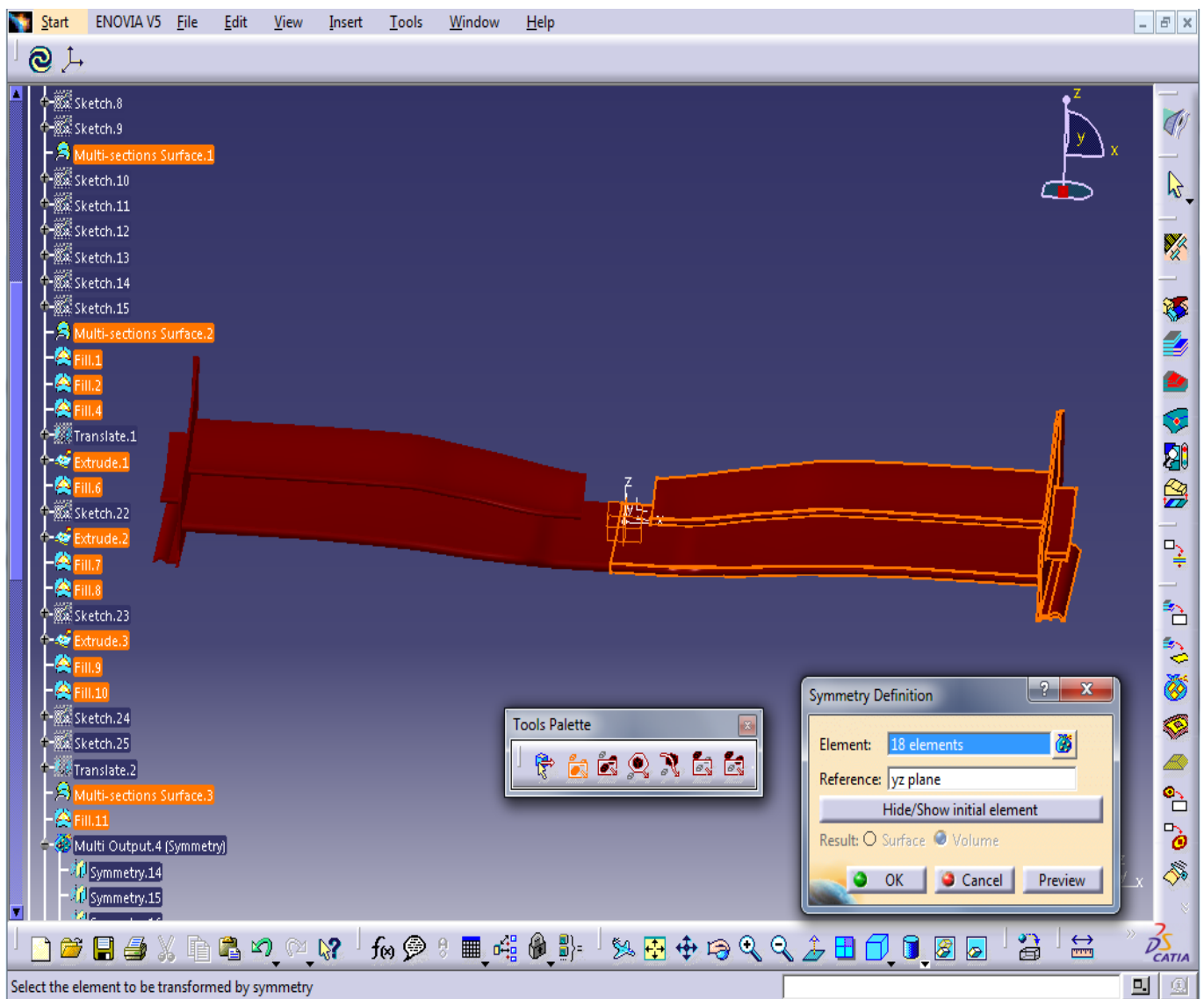


Εικόνα 4.4

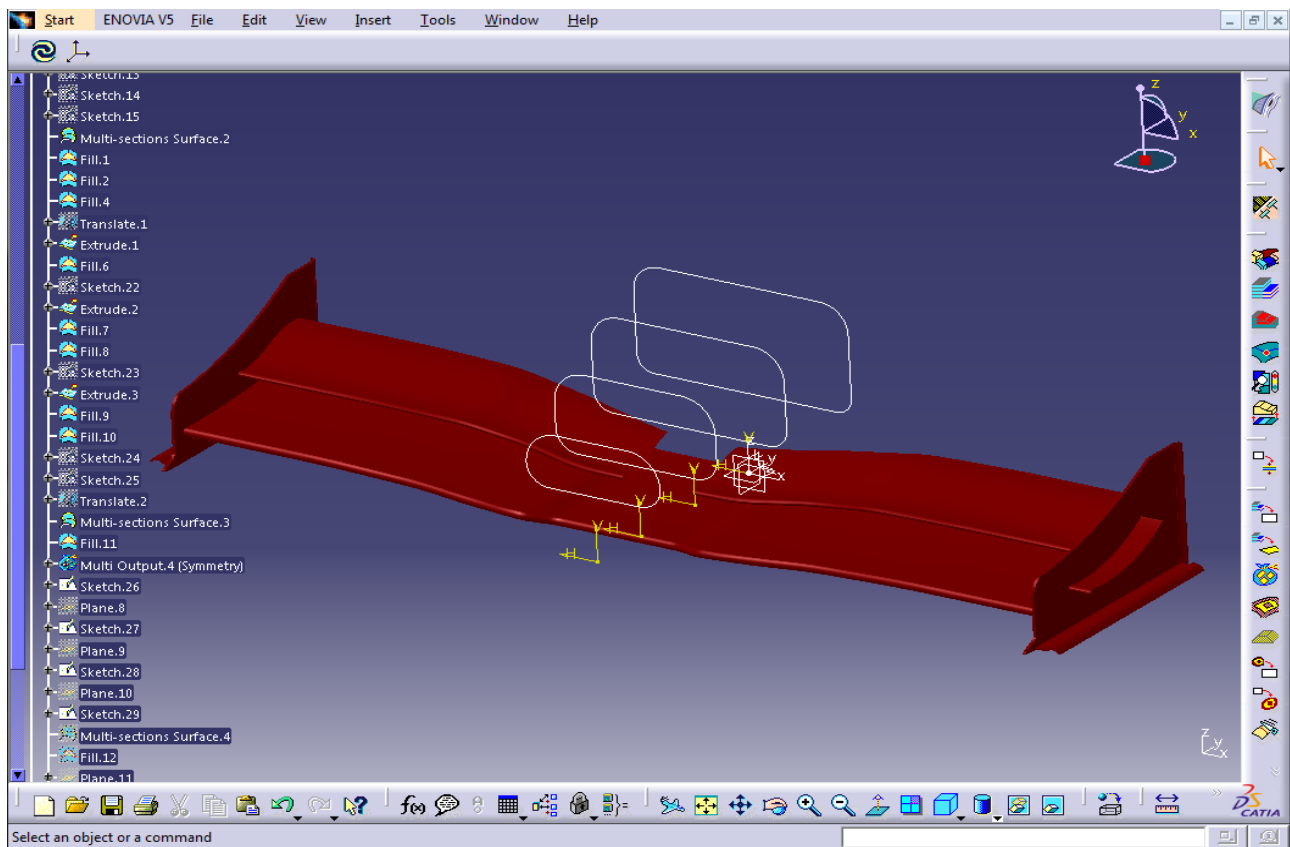
Στη συνέχεια ακολουθούμε την ίδια διαδικασία για να δημιουργήσουμε την πάνω πτέρυγα της αεροτομής (εικόνα 4.4). Έπειτα ακολουθεί ο σχεδιασμός του πλαϊνού αεροδυναμικού βοηθήματος με τη βοήθεια του sketcher (εικόνα 4.5).



Εικόνα 4.5

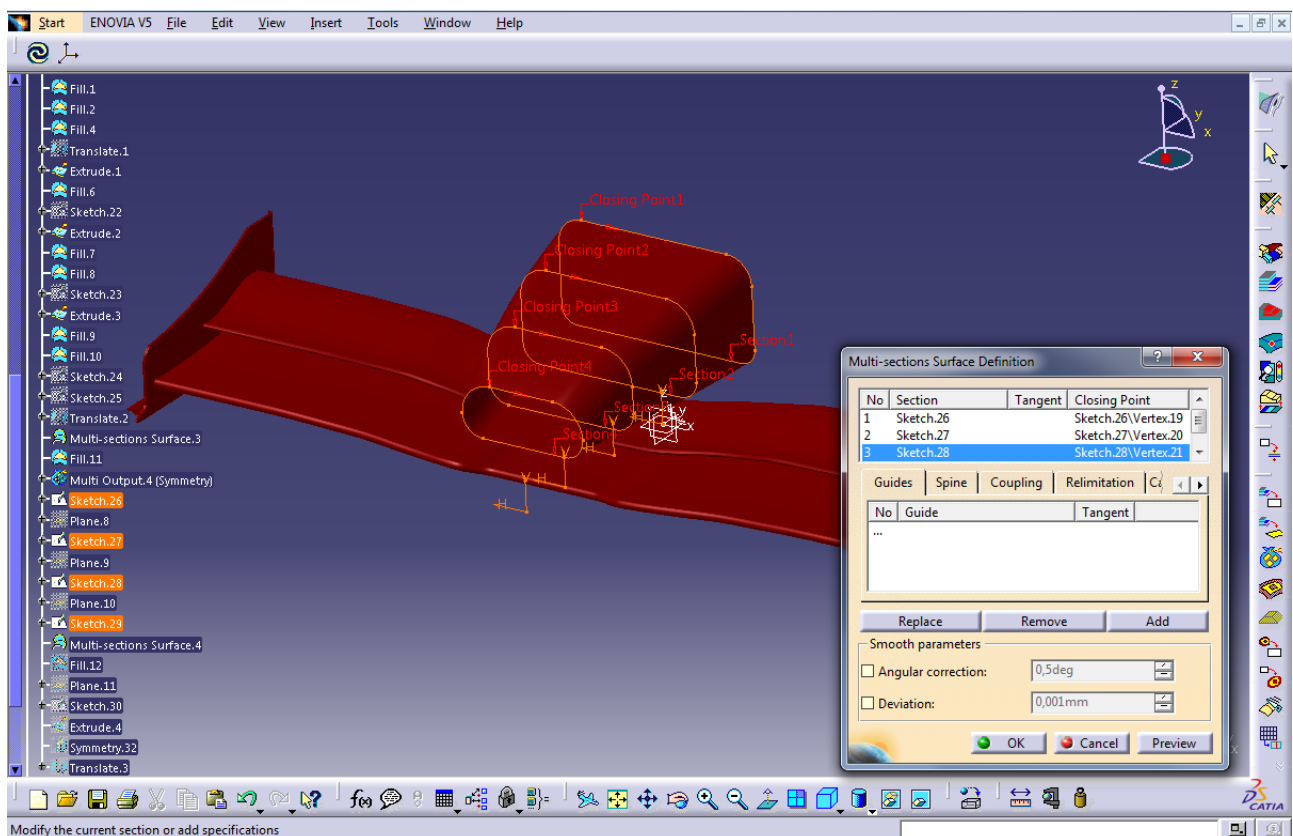


Εικόνα 4.6

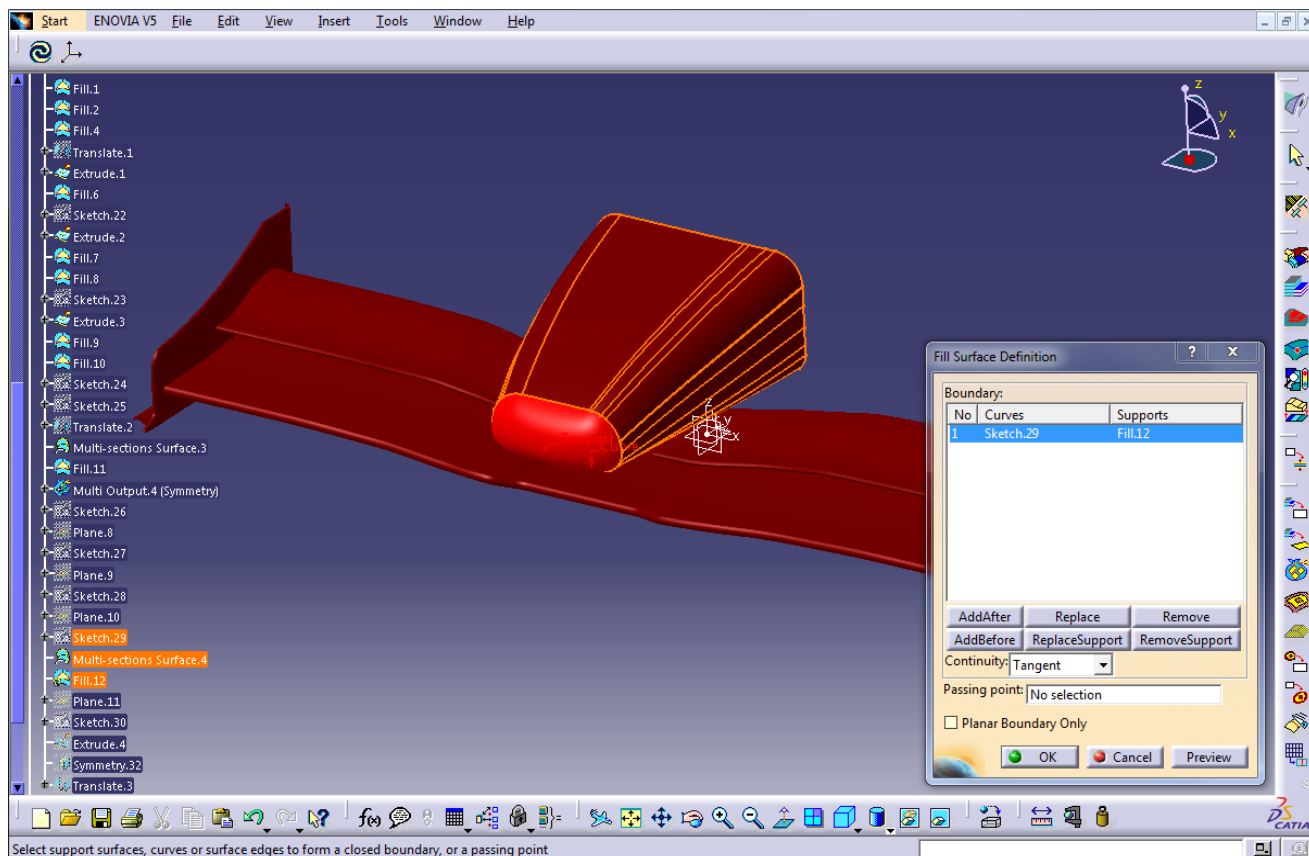


Εικόνα 4.7

Στις εικόνες 4.7 και 4.8 παρουσιάζεται ο σχεδιασμός του ρύγχους της αεροτομής με την ίδια μεθοδολογία που χρησιμοποιήθηκε για την δημιουργία των περυγών της αεροτομής.

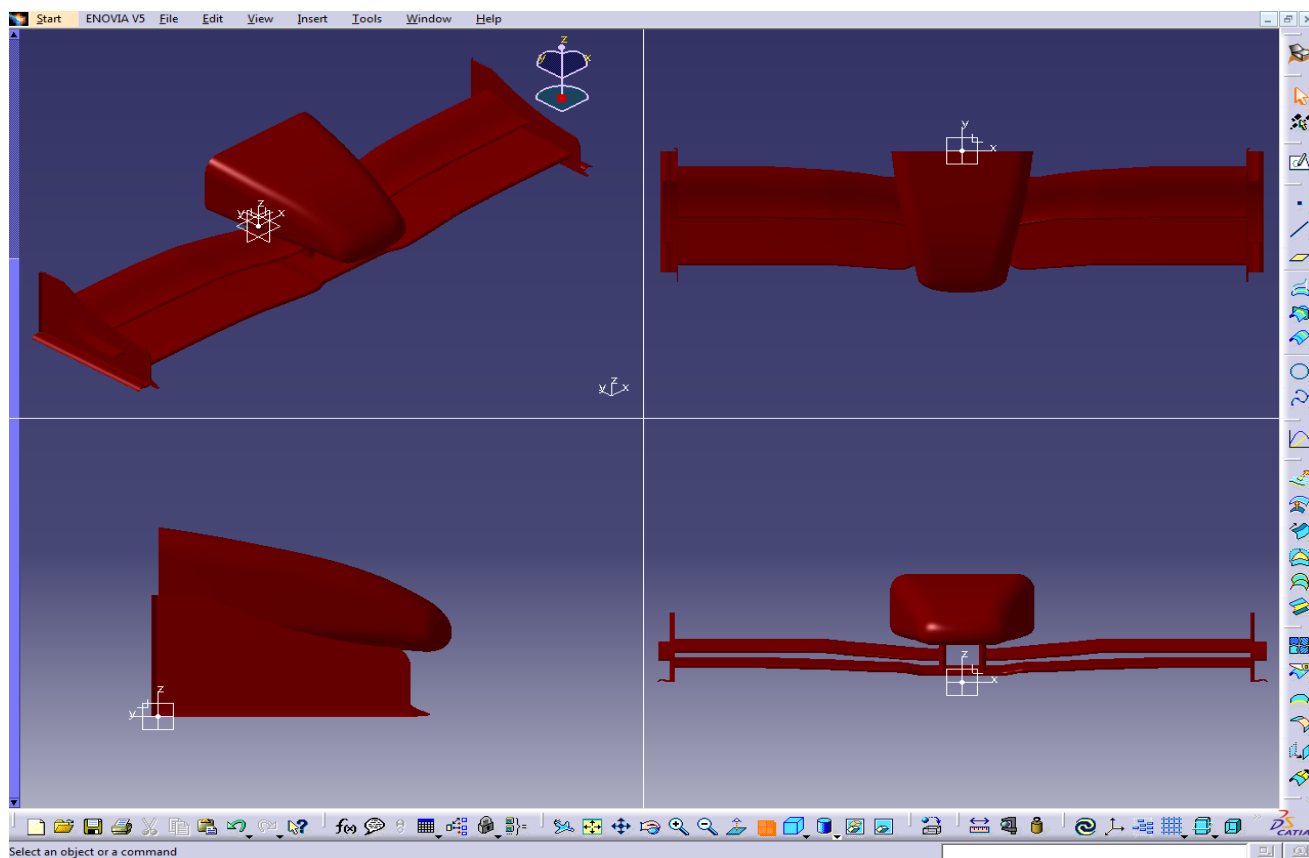


Εικόνα 4.8



Εικόνα 4.9

Με την εντολή **Fill Surface** δημιουργούμε το μπροστινό μέρος του ρύγχους (εικόνα 4.9). Στη συνέχεια σχεδιάζουμε τους συνδέσμους του ρύγχους με τις πτέρυγες και η αεροτομή είναι ολοκληρωμένη. Στην εικόνα 4.10 παρουσιάζονται διάφορες όψεις της αεροτομής.



Εικόνα 4.10

4.4 Διευθέτηση Σύνθετου Υλικού

Σε αυτό το κεφάλαιο γίνεται η περιγραφή της διαδικασίας διευθέτησης του σύνθετου υλικού στην πρόσθια αεροτομή που σχεδιάσαμε προηγουμένως με τη βοήθεια του CATIA. Το υλικό που θα χρησιμοποιήσουμε είναι το **UD Prepreg**, το οποίο χρησιμοποιείται στην αεροναυπηγική. Αυτό συμβαίνει γιατί η FIA στους περιορισμούς της δίνει ένα κατάλογο από σύνθετα υλικά που μπορούν να χρησιμοποιήσουν οι ομάδες και εξαιτίας του ανταγωνισμού οι ομάδες δεν δημοσιεύουν τι ακριβώς υλικά χρησιμοποιούν σε κάθε μέρος του μονοθεσίου τους.

Μέθοδος Παραγωγής: Αυτόματη Εναπόθεση Ινών
UD Prepreg material: 8552/AS4/194gsm/34% (Hexcel)

8552/AS4/194GSM/34%				
Density	1590	Kg/m3		
t _{ply}	0.184	mm		
V _f	58.5%			
	Room Temperature Dry		High Temperature Wet	
E _{t1}	135	GPa	135	GPa
E _{c1}	125	GPa	125	GPa
σ _{t1}	1800	MPa	1670	MPa
σ _{c1}	1200	MPa	900	MPa
ε _{t1}	0.0133	13333.3με	0.0124	12370.4 με
ε _{c1}	0.0096	9600 με	0.0072	7200 με
E _{t2}	9.6	GPa	7.5	GPa
E _{c2}	9.6	GPa	7.5	GPa
σ _{t2}	45	MPa	28	MPa
σ _{c2}	260	MPa	160	MPa
ε _{t2}	0.0047	4687.5με	0.0037	3733.3 με
ε _{c2}	0.0271	27083.33με	0.0213	21333.3 με
G ₁₂	4	GPa	3.6	GPa
τ ₁₂	95	MPa	75	MPa
γ ₁₂	0.0238	23750.0 με	0.0208	20833.3 με
ν ₁₂	0.3		0.3	
α ₁	2.80E-07	°C ⁻¹	2.80E-07	°C ⁻¹
α ₂	2.80E-05	°C ⁻¹	2.80E-05	°C ⁻¹

Πίνακας 5: Ιδιότητες σύνθετου υλικού για τα οριζόντια στοιχεία και τους στυλίσκους

Συμβολισμός	Ιδιότητα
Density	Πυκνότητα
t_ply	Πάχος φύλλου
E_{t1}	Μέτρο ελαστικότητας Young για εφελκυσμό στην πρώτη κατεύθυνση
E_{c1}	Μέτρο ελαστικότητας Young για θλίψη στην πρώτη κατεύθυνση
σ_{t1}	Εφελκυστική τάση στην πρώτη κατεύθυνση
σ_{c1}	Θλιπτική τάση στην πρώτη κατεύθυνση
ϵ_{t1}	Εφελκυστική ένταση στην πρώτη κατεύθυνση
ϵ_{c1}	Θλιπτική ένταση στην πρώτη κατεύθυνση
E_{t2}	Μέτρο ελαστικότητας Young για εφελκυσμό στη δεύτερη κατεύθυνση
E_{c2}	Μέτρο ελαστικότητας Young για θλίψη στη δεύτερη κατεύθυνση
σ_{t2}	Εφελκυστική τάση στη δεύτερη κατεύθυνση
σ_{c2}	Θλιπτική τάση στη δεύτερη κατεύθυνση
ϵ_{t2}	Εφελκυστική ένταση στη δεύτερη κατεύθυνση
ϵ_{c2}	Θλιπτική ένταση στη δεύτερη κατεύθυνση
G_{12}	Μέτρο διάτμησης
τ_{12}	Διατμητική τάση
γ_{12}	Διατμητική ένταση
ν_{12}	Λόγος Poisson

Πίνακας 6: Συμβολισμοί ιδιοτήτων των υλικών

Όπου, V_f το ποσοστό του όγκου των ινών, α_1 ο συντελεστής θερμικής διαστολής στην πρώτη κατεύθυνση και α_2 ο συντελεστής θερμικής διαστολής στη δεύτερη κατεύθυνση.

Prepreg Properties – Uncured

Outlife	
At -18C (months)	18
At 5C (months)	6
At 21C (days)	60

Prepreg Reinforcement	Carbon	Glass
Resin content (%)	35%	32%
Fibre weight (g/m ²)	up to 600	up to 1600
Backer Type	MDPE	MDPE
Maximum available Roll width (mm)	1260	1470



Εικόνα 4.11: UD Prepreg

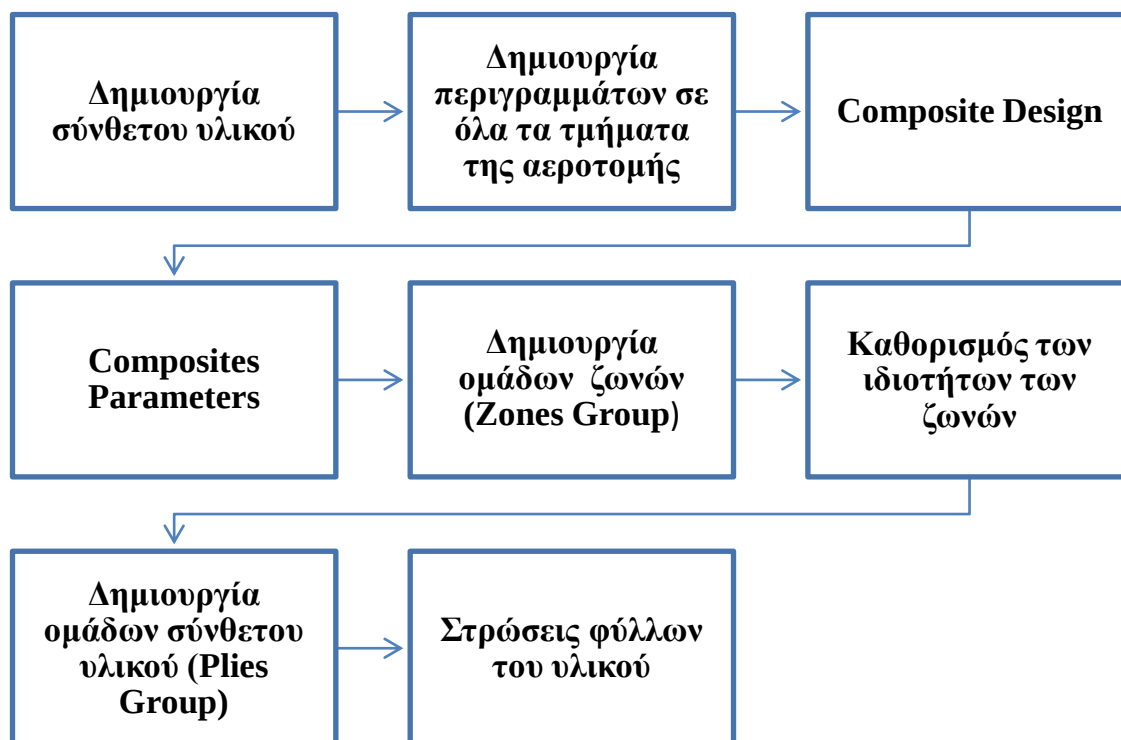


Εικόνα 4.12: UD Prepreg



Εικόνα 4.13: UD Prepreg

Στο παρακάτω διάγραμμα απεικονίζεται η πορεία διευθέτησης του σύνθετου υλικού στην αεροτομή με τη βοήθεια του Composite Design του Catia.

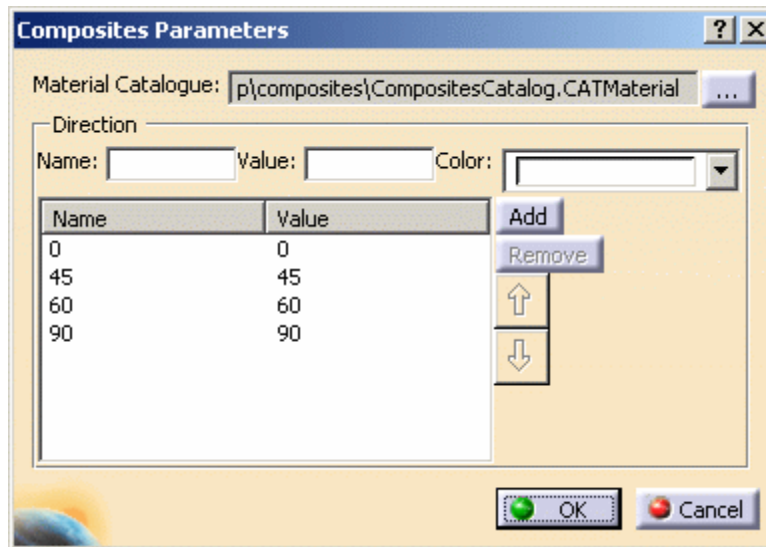


Διάγραμμα 2

- **Δημιουργία σύνθετου υλικού:** Στο περιβάλλον του CATIA δημιουργούμε το σύνθετο υλικό που θα χρησιμοποιήσουμε, ορίζοντας τις ιδιότητές του. Η διαδικασία αυτή παρουσιάζεται παρακάτω.
- **Δημιουργία περιγραμμάτων σε όλα τα τμήματα της αεροτομής:** Τα περιγράμματα σχεδιάζονται για να δημιουργήσουμε διάφορα τμήματα στο κάθε μέρος της αεροτομής και έτσι να δημιουργήσουμε διάφορες ζώνες (Zones group). Αυτό συμβαίνει επειδή σε κάθε τμήμα θα χρησιμοποιηθεί διαφορετικός αριθμός φύλλων από το σύνθετο υλικό, με διαφορετικούς προσανατολισμούς και σε αρκετές περιπτώσεις χρησιμοποιείται και διαφορετικό υλικό. Αίτιο είναι το γεγονός ότι έχουμε διαφορετικές φορτίσεις στα διάφορα σημεία της αεροτομής και με αυτό τον τρόπο προσπαθούμε να επιτύχουμε την αντοχή της αεροτομής στις διάφορες τάσεις που δέχεται. Τα περιγράμματα δημιουργούνται καθορίζοντας καινούργια γεωμετρικά σετ (Geometrical Sets) στο υπάρχον σχέδιο της αεροτομής.
- **Composite Design:** Είναι η εφαρμογή στο CATIA που θα μας βοηθήσει να διευθετήσουμε το σύνθετο υλικό στην αεροτομή.

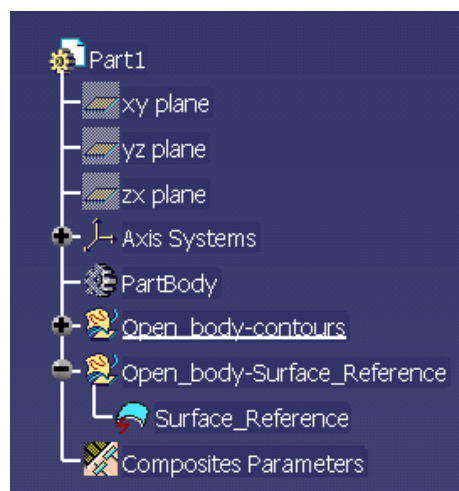
- **Composites Parameters:** Αποτελεί ένα εργαλείο του Composite Design στο οποίο ορίζουμε τον κατάλογο των υλικών που θα χρησιμοποιήσουμε, τις διευθύνσεις του υλικού κτλ. Στην συνέχεια παρουσιάζονται τα βήματα που ακολουθούμε:

Επιλέγουμε το εικονίδιο **Composites Parameters** 
Εμφανίζεται το παράθυρο του Composites Parameters.



1. Επιλέγουμε τον κατάλογο των υλικών που θα χρησιμοποιήσουμε.
2. Στο πεδίο Direction, μπορούμε να εισάγουμε μια νέα διεύθυνση των ινών για να προστεθεί στον υπάρχοντα κατάλογο.
3. Χρησιμοποιούμε τα βέλη πάνω και κάτω για να αλλάξουμε τη σειρά των τιμών ανά κατεύθυνση, και την εντολή Remove για να αφαιρέσουμε μια τιμή.
4. Πατάμε OK για να κατοχυρώσουμε τις παραμέτρους.

Το χαρακτηριστικό Composite Parameters προστίθεται στο δέντρο ορισμού.

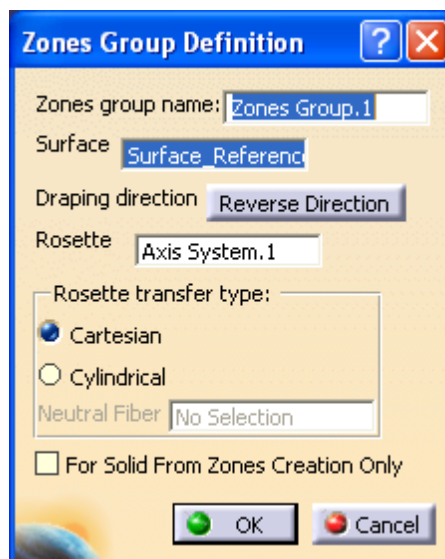


- **Δημιουργία ομάδων ζωνών (Zones Group) και καθορισμός των ιδιοτήτων τους:**
Οι ομάδες των ζωνών δημιουργούνται για να χωρίσουμε το αντικείμενο μας σε διάφορα τμήματα, στα οποία θα ορίσουμε διαφορετικό σύνθετο υλικό, διαφορετικό αριθμό φύλλων υλικού καθώς και διαφορετικούς προσανατολισμούς του υλικού. Τα zones group δημιουργούνται με τη βοήθεια των περιγραμμάτων που σχεδιάζουμε προηγουμένως. Παρακάτω παρουσιάζονται τα βήματα που ακολουθούμε:

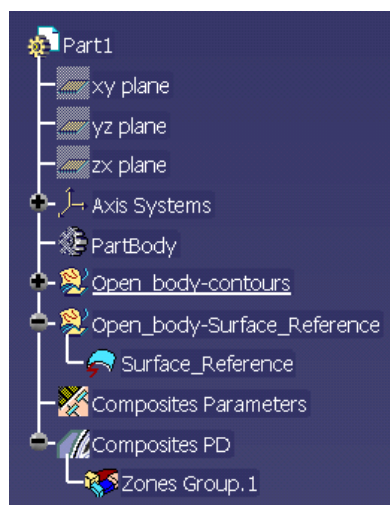
Επιλέγουμε το εικονίδιο **Zones Group**



και εμφανίζεται το παρακάτω παράθυρο:



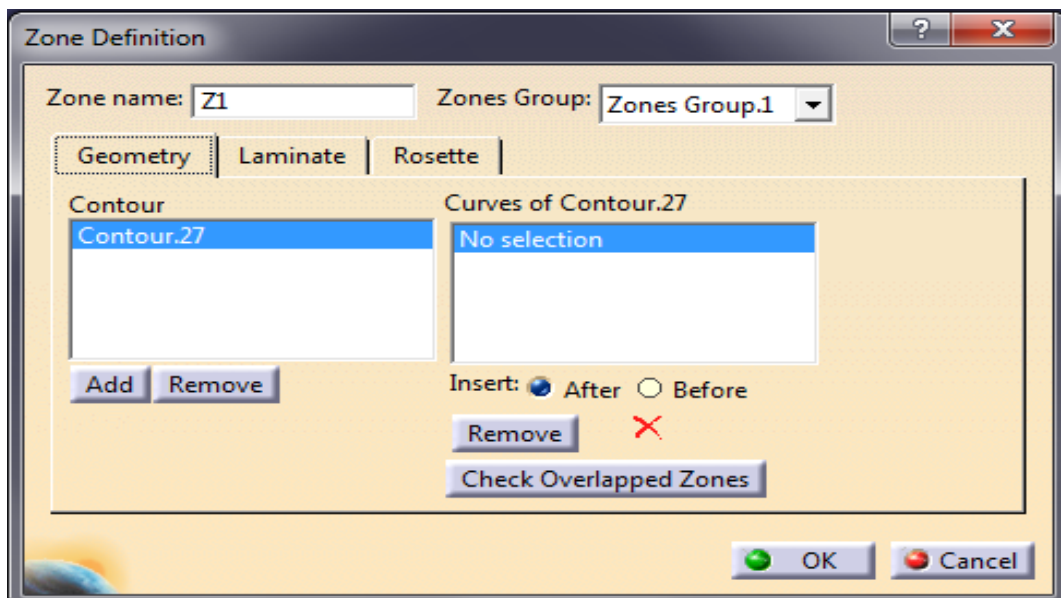
Επιλέγουμε την επιφάνεια αναφοράς και το σύστημα συντεταγμένων που επιθυμούμε και πατάμε OK.



Στο δέντρο ένα νέο χαρακτηριστικό εμφανίζεται: **Zones Group.1**

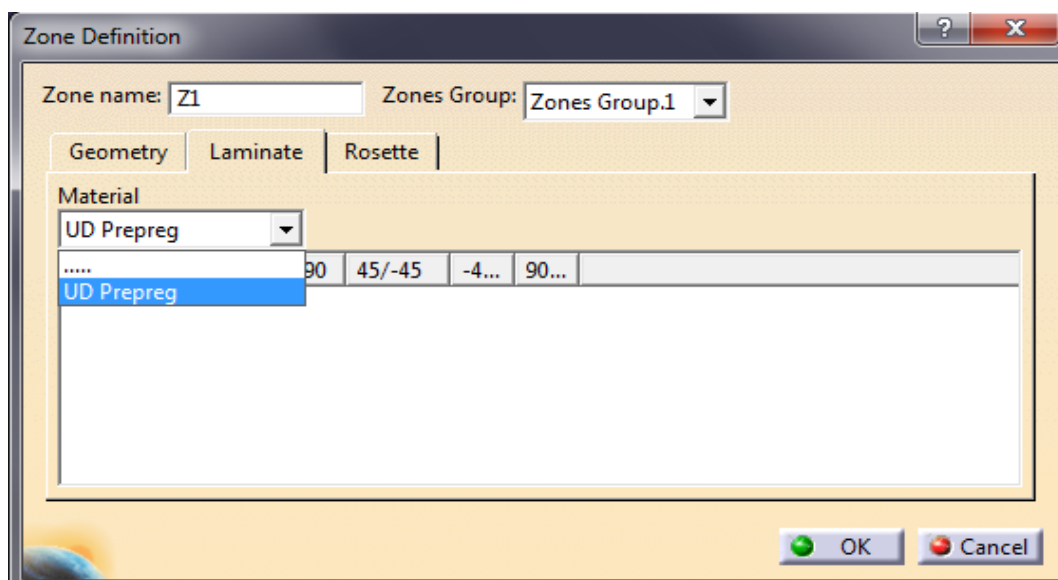
Στη συνέχεια ορίζουμε τις ζώνες του κάθε τμήματος. Κάθε ζώνη, η οποία δεν επικαλύπτει η μια την άλλη, περιέχει έναν ορισμένο αριθμό φύλλων ανά κατεύθυνση και υλικό.

Επιλέγουμε το εικονίδιο **Zones Group**  και εμφανίζεται το παρακάτω παράθυρο:



Στη συνέχεια επιλέγουμε την καρτέλα **Geometry** για να δημιουργήσουμε τη ζώνη που επιθυμούμε, επιλέγοντας τις διάφορες γραμμές από τα περιγράμματα που σχεδιάσαμε προηγουμένως.

Στη συνέχεια επιλέγουμε την καρτέλα **Laminate** για να επιλέξουμε το υλικό που θα χρησιμοποιήσουμε



Στη συνέχεια στην καρτέλα Laminate εισάγουμε τον αριθμό των φύλλων που θα χρησιμοποιήσουμε σε κάθε κατεύθυνση, για κάθε μια από τις ζώνες που θα δημιουργήσουμε, σύμφωνα με τον παρακάτω πίνακα:

ZONES	MATERIAL	0/90	45/-45	-45/45	90/0
Z1	UD Prepeg	3	3	3	3
Z2	UD Prepeg	3	3	3	3
Z3	UD Prepeg	3	3	3	3
Z4	UD Prepeg	3	3	3	3
Z5	UD Prepeg	5	5	5	5
Z6	UD Prepeg	5	5	5	5
Z7	UD Prepeg	5	5	5	5
Z8	UD Prepeg	5	5	5	5

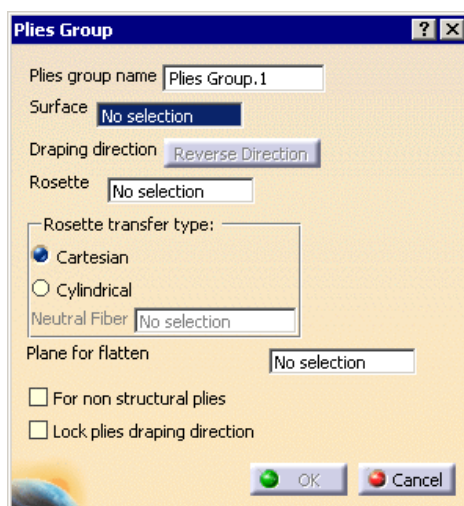
Πίνακας 7

- **Δημιουργία ομάδων σύνθετου υλικού (Plies Group):** Ένα φύλλο (ply) είναι ένα κομμάτι ύφασμα που κατασκευάστηκε από πολλές καμπύλες και το σύνολο των ζωνών. Με αυτή την εντολή δημιουργούμε τα φύλλα του υλικού σε τρισδιάστατη απεικόνιση.

Επιλέγουμε το εικονίδιο **Plies Group**



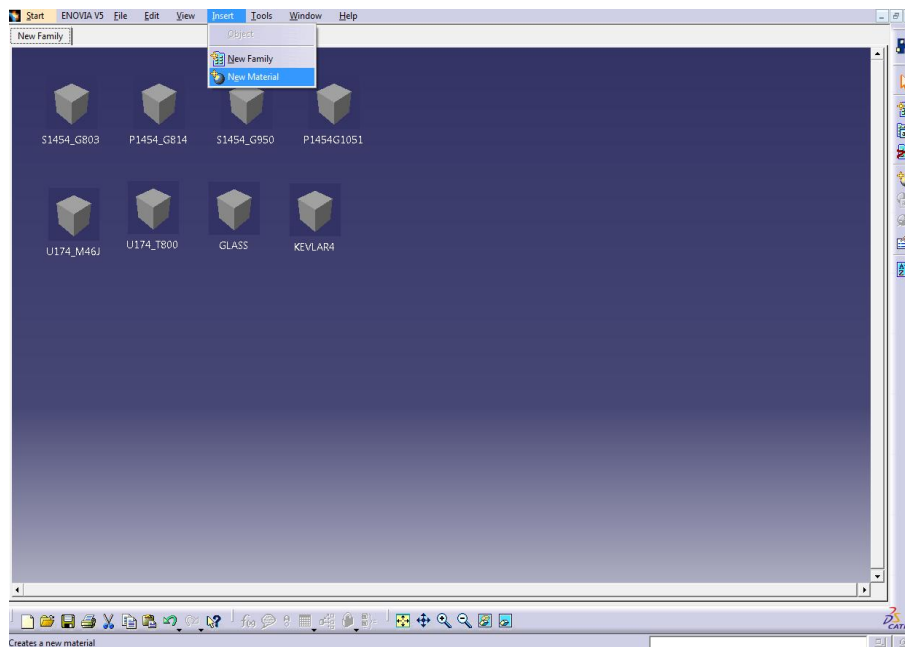
και εμφανίζεται το παρακάτω παράθυρο:



Επιλέγουμε την επιφάνεια στην οποία θα δημιουργηθούν τα φύλλα.

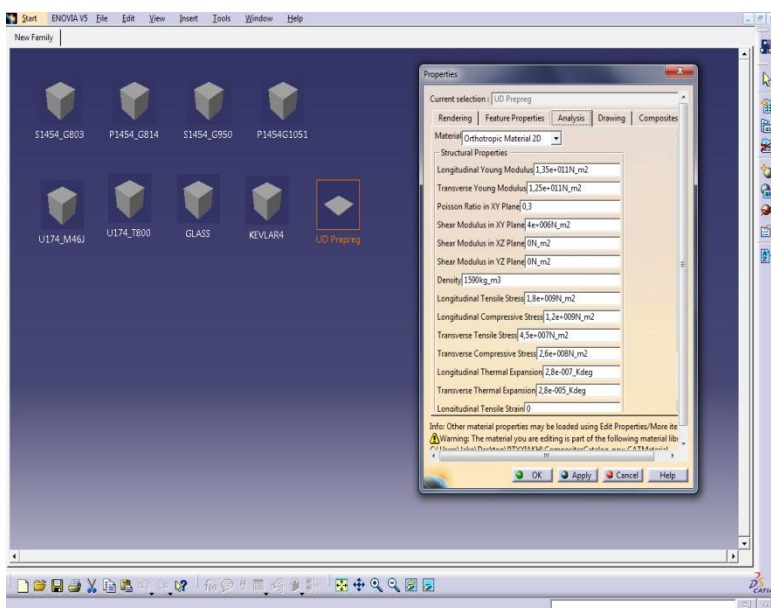
Στη συνέχεια πατάμε OK και έτσι δημιουργείται το πρώτο Plies Group.

Παρακάτω παρουσιάζεται αναλυτικά η διαδικασία που εφαρμόστηκε για την αεροτομή της εργασίας.

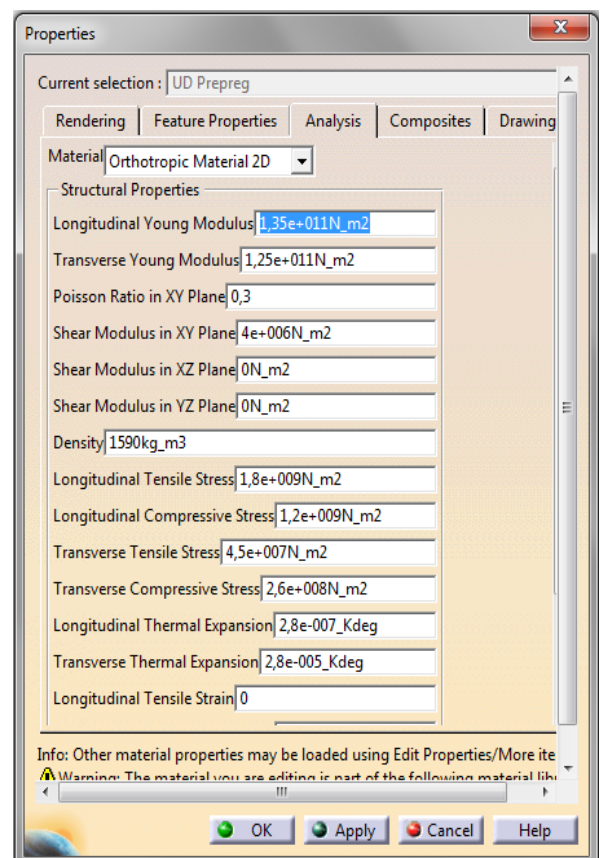


Εικόνα 4.14

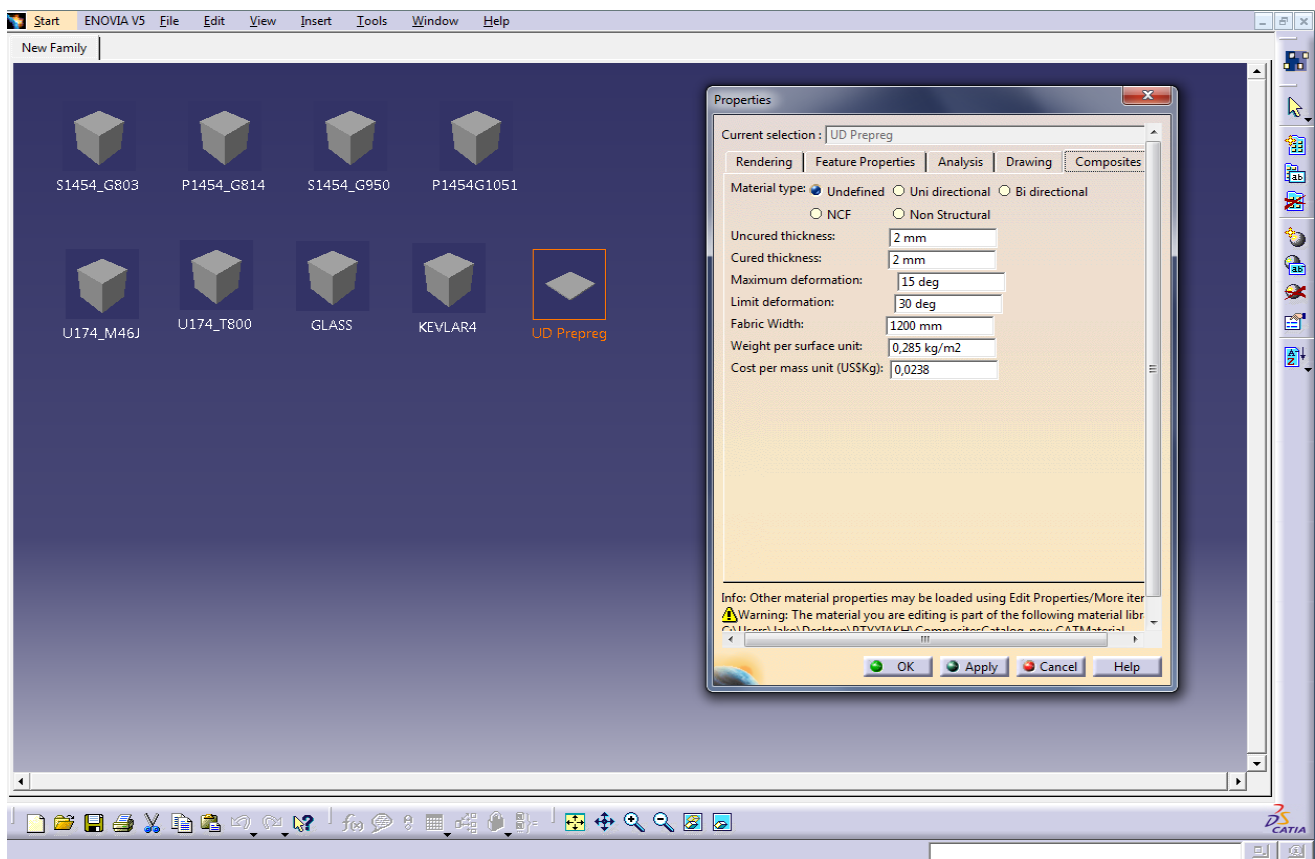
Πρώτα πρέπει να δημιουργήσουμε το σύνθετο υλικό που θα χρησιμοποιήσουμε στο CATIA. Ανοίγουμε το αρχείο **CompositesCatalog** και επιλέγουμε **New Material** όπως φαίνεται στην εικόνα 4.14. Στη συνέχεια πάμε στις ιδιότητες του υλικού που δημιουργήθηκε και χρησιμοποιούμε τα δεδομένα του πίνακα 5 στις επιλογές **Analysis** και **Composites** για να δημιουργήσουμε το σύνθετο υλικό **UD Prepreg** (εικόνες 4.15, 4.16 και 4.17).



Εικόνα 4.15

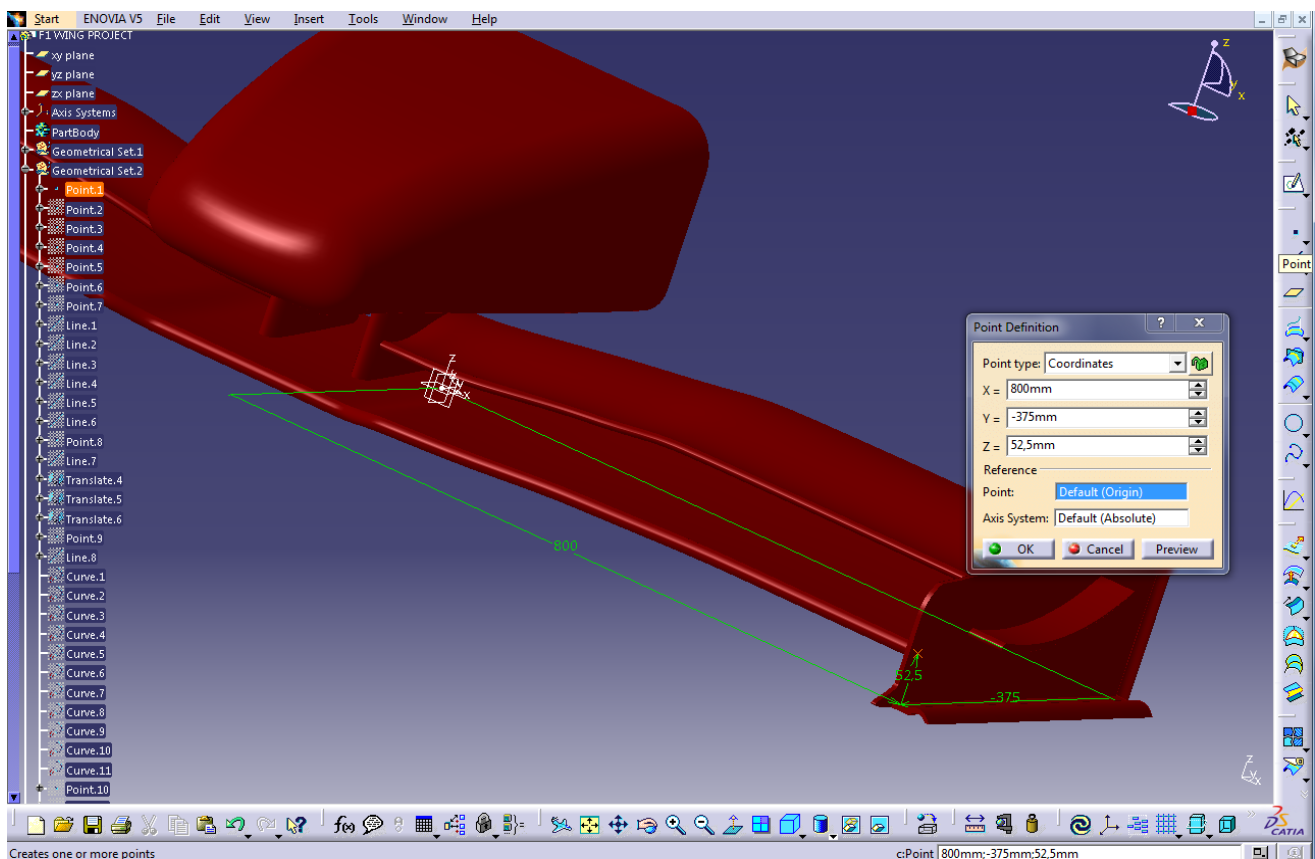


Εικόνα 4.16

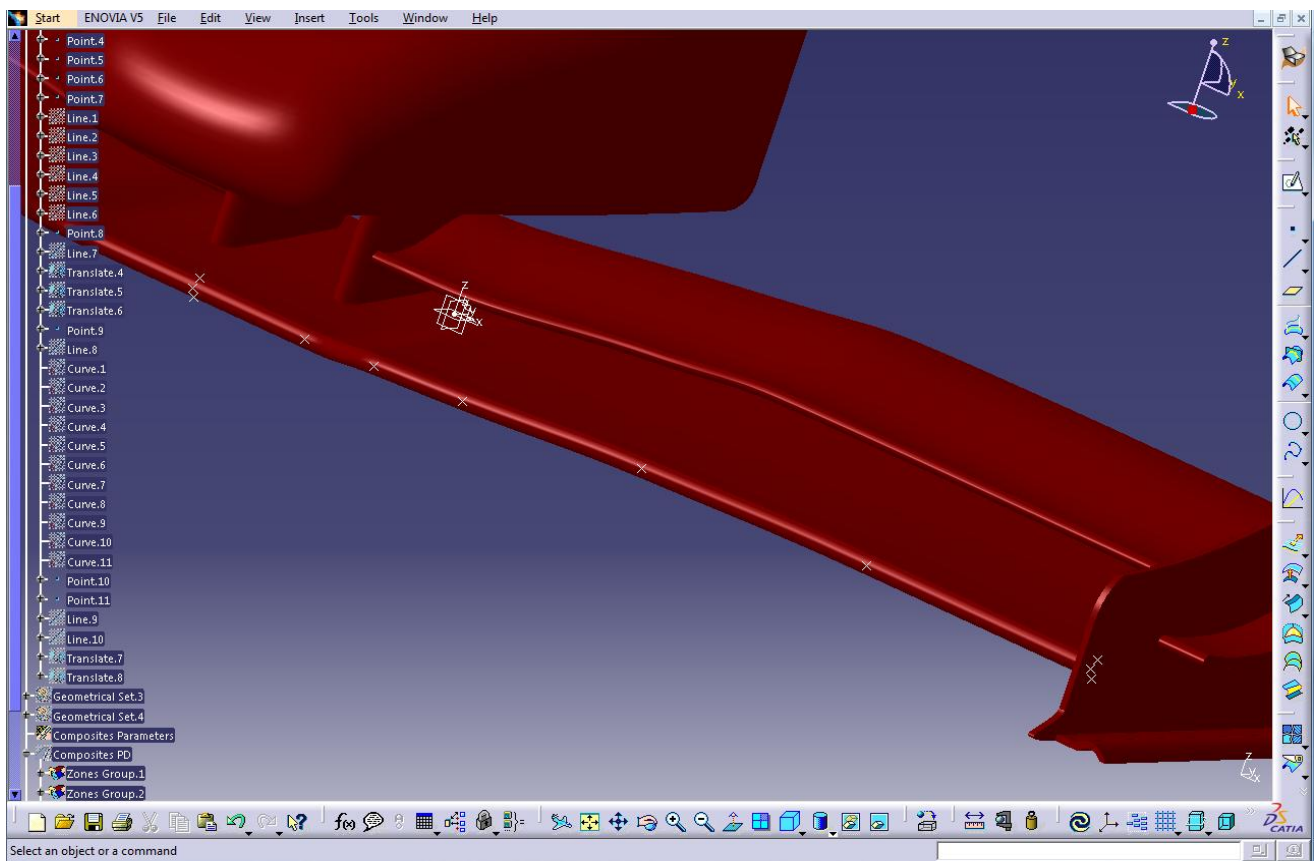


Εικόνα 4.17

Στη συνέχεια επιστρέφουμε στην αεροτομή. Για να μπορέσουμε να διευθετήσουμε το σύνθετο υλικό πρώτα πρέπει να σχεδιάσουμε τα περιγράμματα των πτερύγων και του ρύγχους για να δημιουργήσουμε τις ζώνες που θα τοποθετηθούν τα φύλλα του υλικού. Αρχικά ορίζουμε ένα καινούργιο **Geometrical Set** (ομάδα γεωμετρικών ιδιοτήτων) στην πτέρυγα και δημιουργούμε σημεία πάνω στην πτέρυγα με την εντολή **Point** και τη βοήθεια συντεταγμένων (εικόνες 4.18 και 4.19).

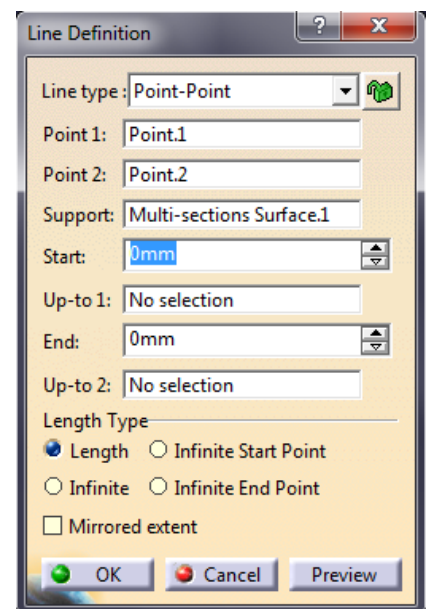
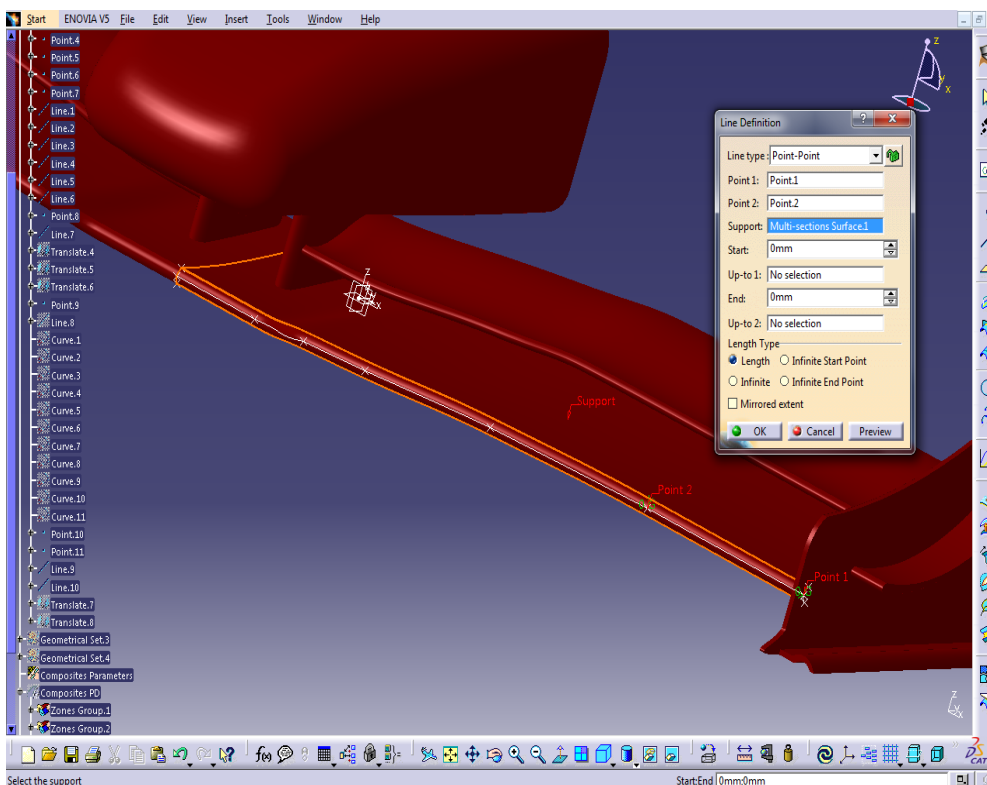


Εικόνα 4.18

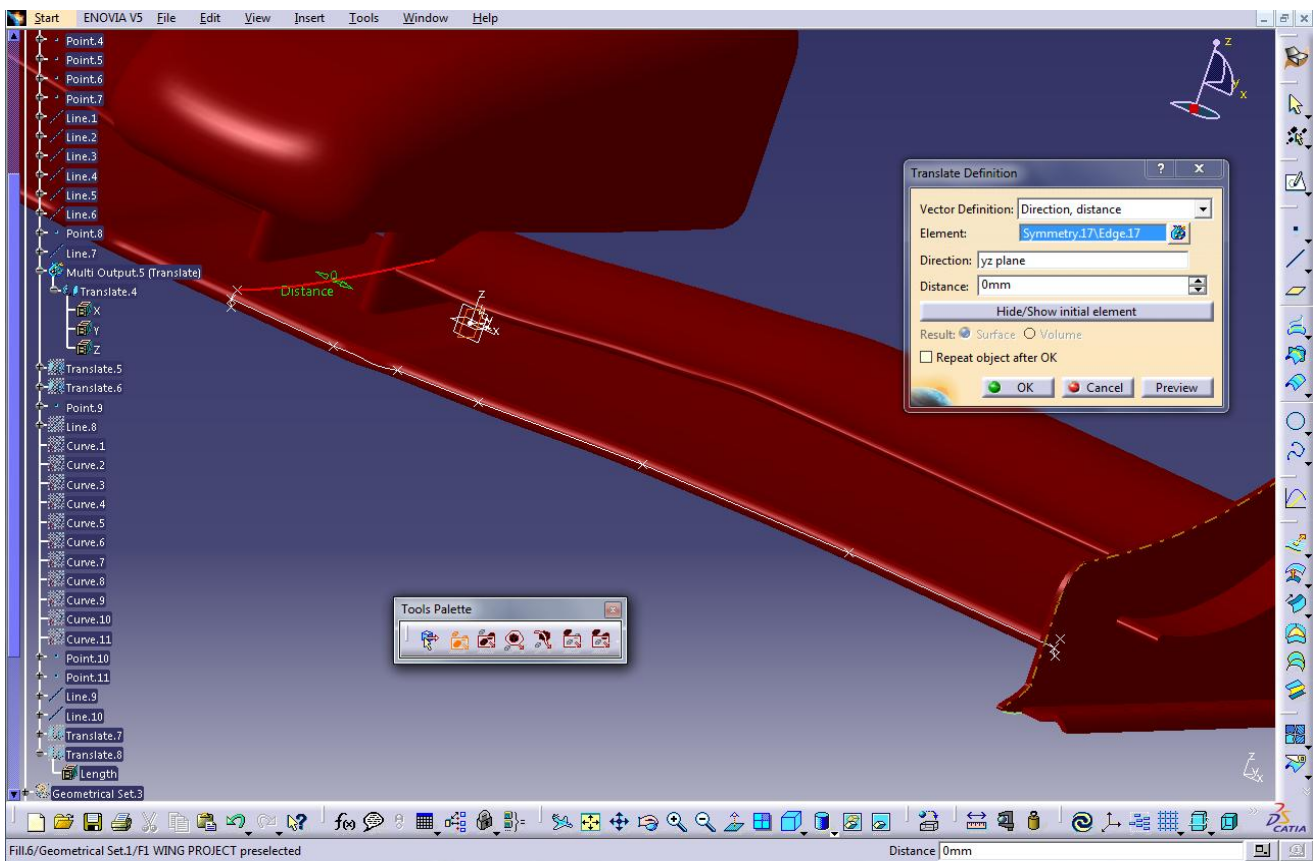


Εικόνα 4.19

Αφού δημιουργήσουμε όλα τα σημεία στην μπροστινή πλευρά της κάτω πτέρυγας, τα ενώνουμε μεταξύ τους με την εντολή **Line** (εικόνα 4.20). Στο παράθυρο που ανοίγει επιλέγουμε τα σημεία που θέλουμε να ενώσουμε και σαν **Support** (υποστήριξη) επιλέγουμε την επιφάνεια της πτέρυγας, για να διασφαλίσουμε ότι η γραμμή που θα δημιουργήσουμε θα εφάπτεται στην επιφάνεια της πτέρυγας και θα έχει την κλίση της.

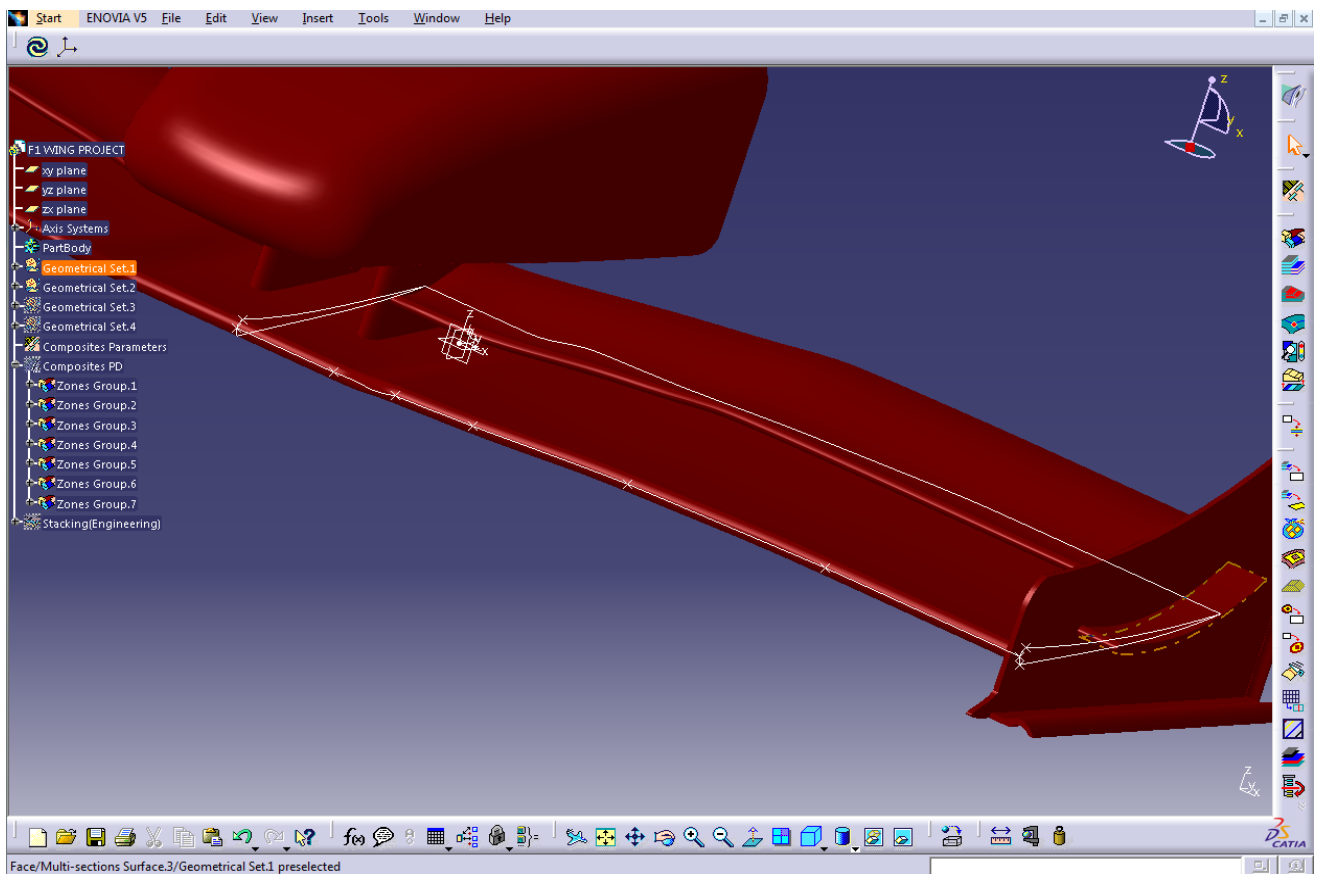


Εικόνα 4.20

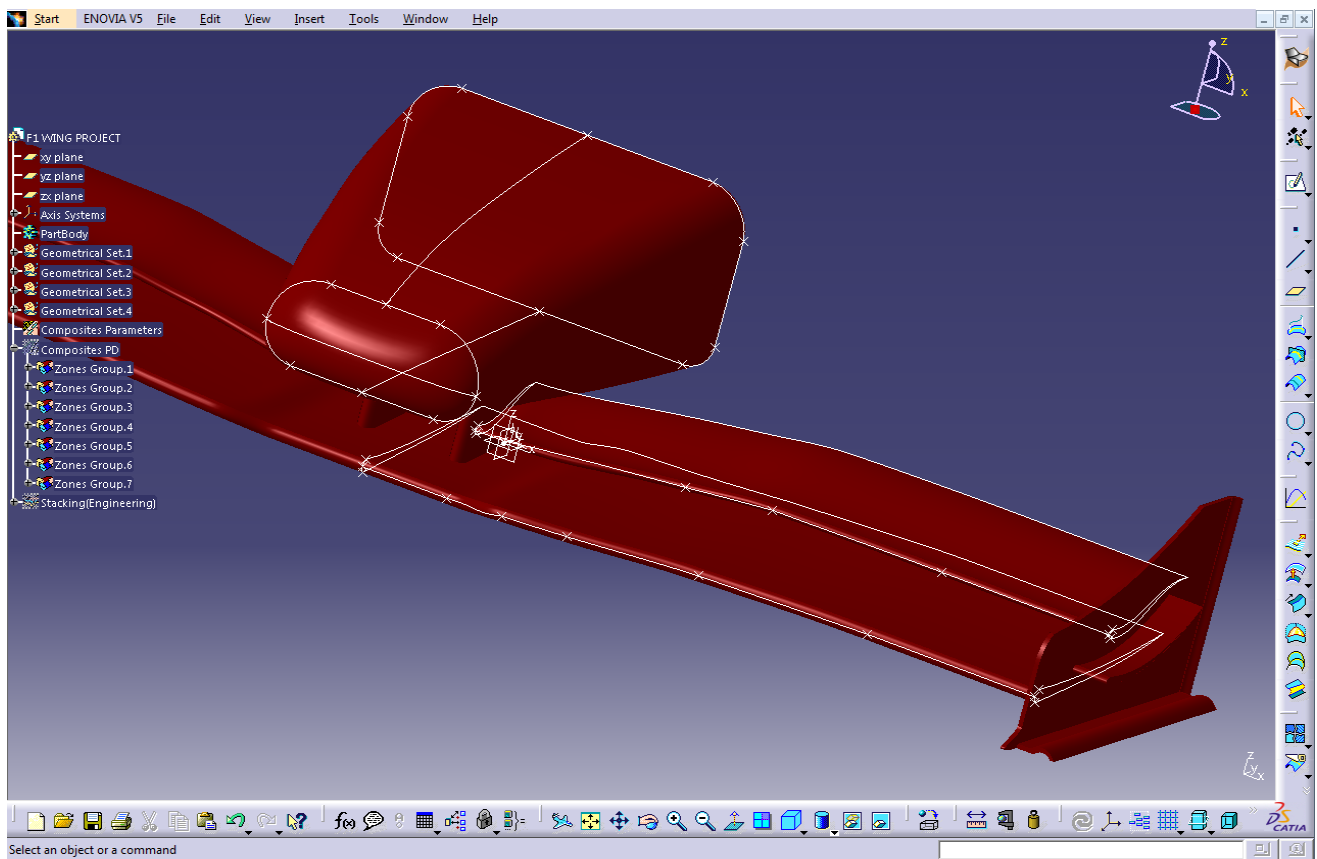


Εικόνα 4.21

Τις πλαϊνές γραμμές καθώς και την πίσω γραμμή της πτέρυγας, τις δημιουργούμε με τη βοήθεια της εντολής **Translate** (εικόνα 4.21). Στην εικόνα 4.22 βλέπουμε ολοκληρωμένο το περίγραμμα της κάτω πτέρυγας.

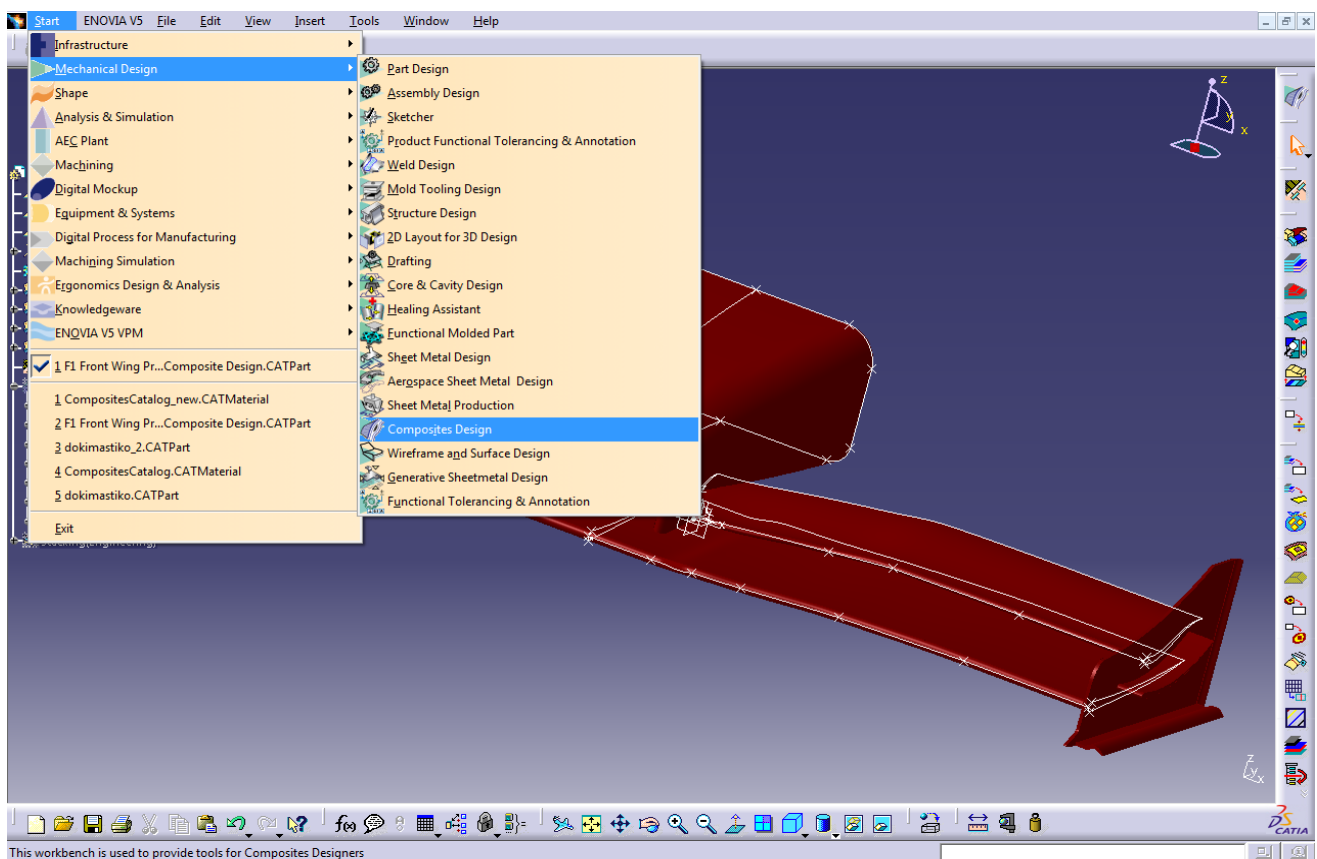


Εικόνα 4.22

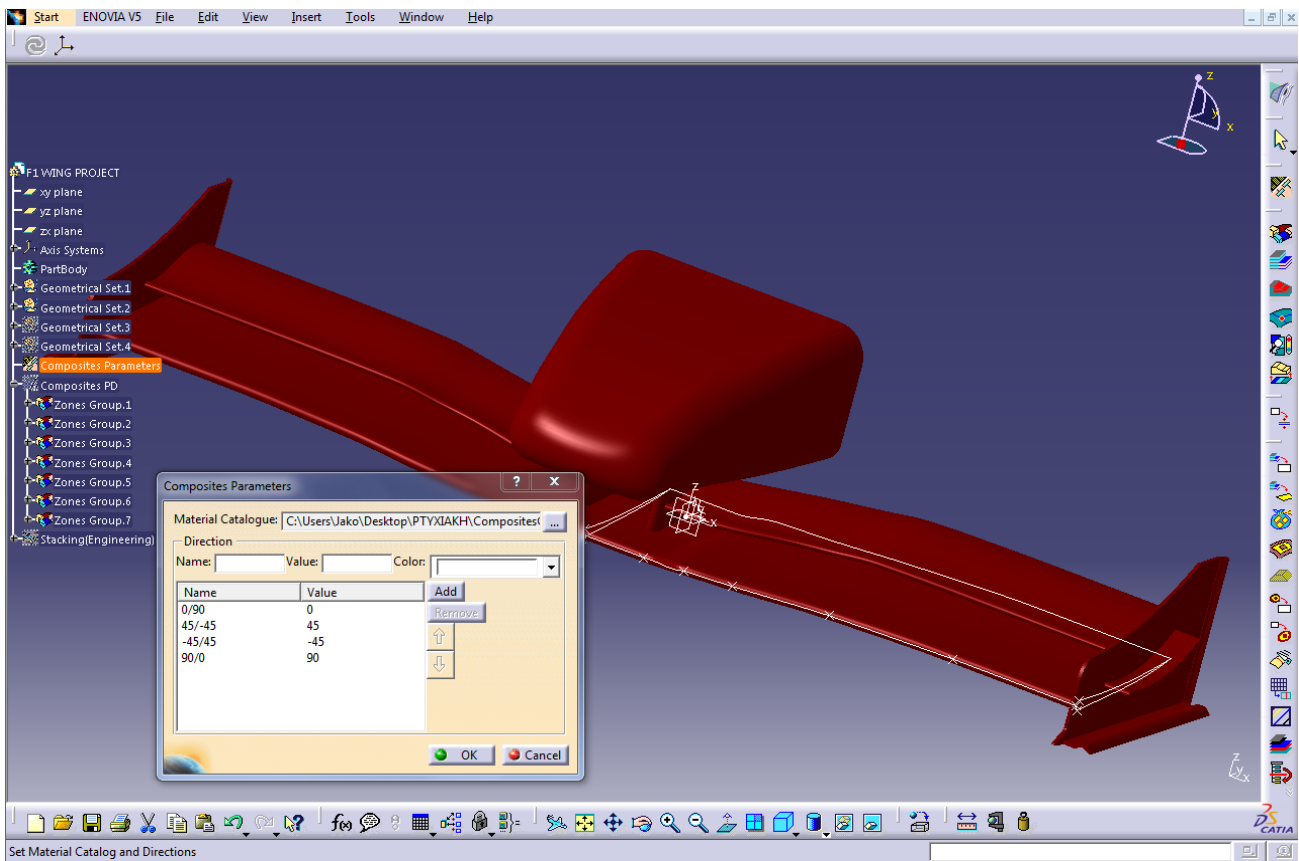


Εικόνα 4.23

Ακολουθώντας την ίδια διαδικασία που περιγράφηκε παραπάνω, δημιουργούμε τα περιγράμματα της πάνω πτέρυγας και του ρύγχους της αεροτομής. Το τελικό αποτέλεσμα παρουσιάζεται στην εικόνα 4.23. Στη συνέχεια από το μενού **start** επιλέγουμε **Mechanical design – Composite design** για να διευθετήσουμε το σύνθετο υλικό στην αεροτομή (εικόνα 4.24).



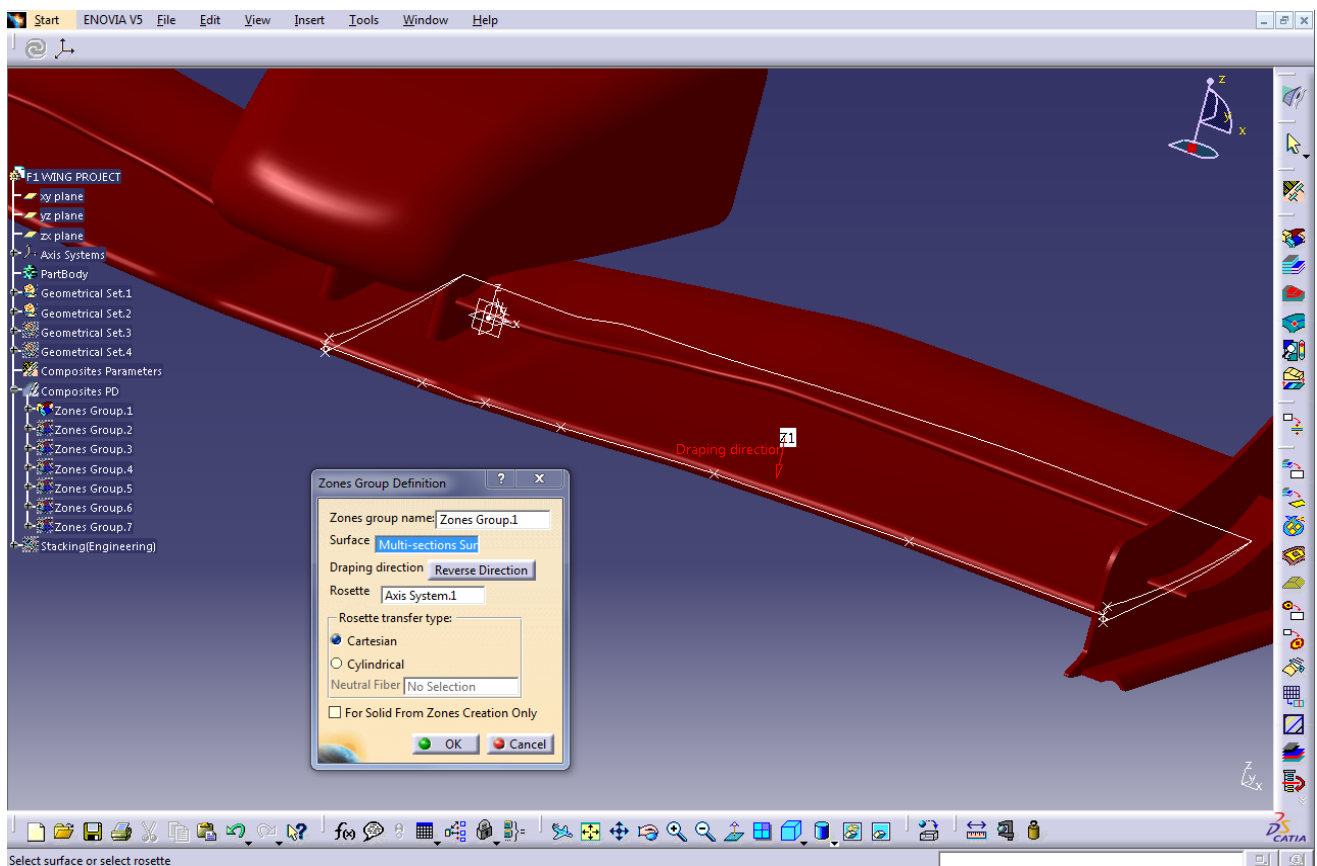
Εικόνα 4.24



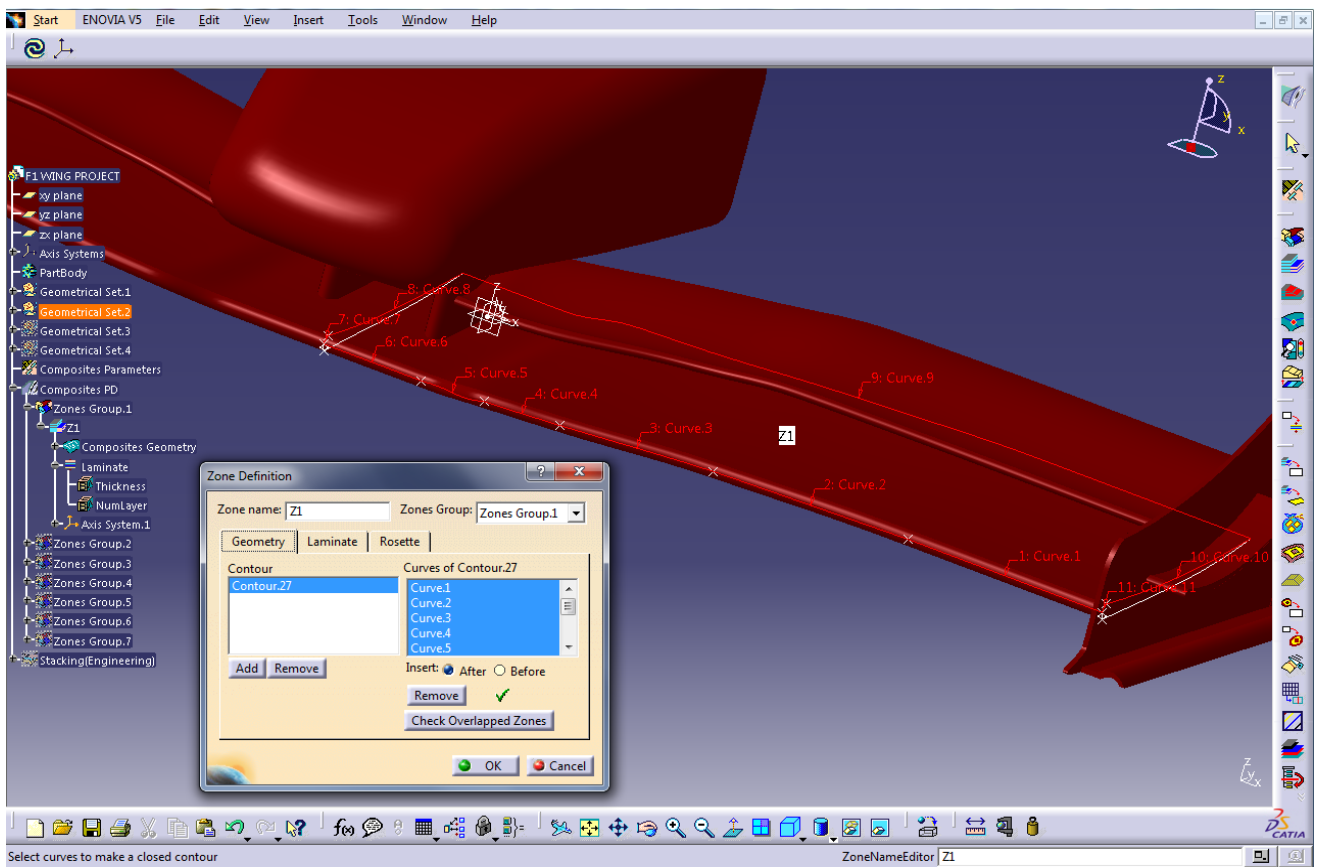
Εικόνα 4.25

Τώρα επιλέγουμε την εντολή **Composites Parameters**. Στο παράθυρο που ανοίγει σαν **Material Catalogue** επιλέγουμε το αρχείο **CompositesCatalog**. Στη συνέχεια αλλάζουμε το **Direction Name** όπως φαίνεται στον διπλανό πίνακα. Κατόπιν επιλέγουμε την εντολή **Zones Group** για να δημιουργήσουμε τις ζώνες τοποθέτησης του σύνθετου υλικού (δύο ζώνες στην κάτω πτέρυγα – μια στην πάνω πλευρά (**Zones Group.1**) και μια στην κάτω (**Zones Group.2**)).

Name	Color
0 / 90	Yellow
45 / -45	Red
-45 / 45	Green
90 / 0	Blue

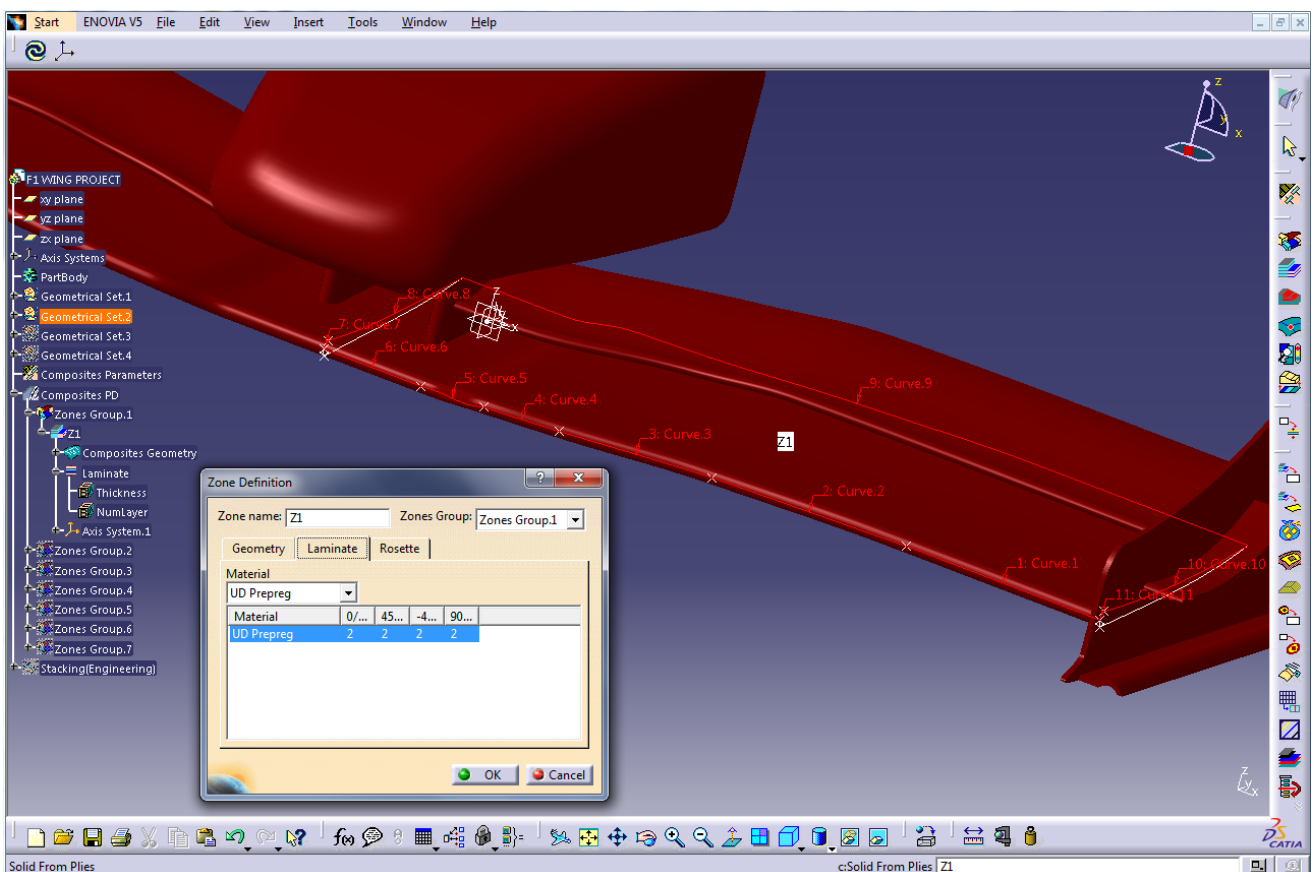


Εικόνα 4.26

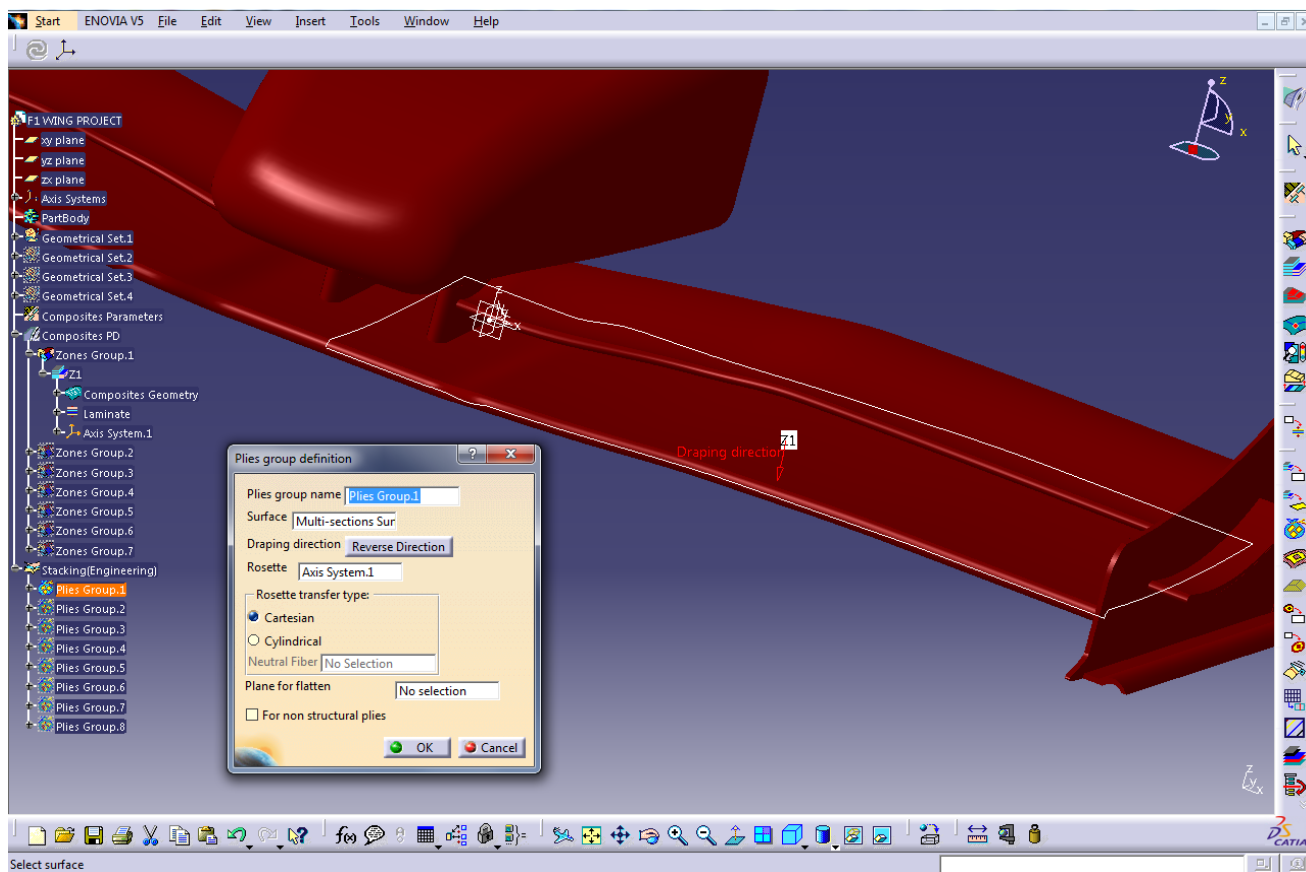


Εικόνα 4.27

Επιλέγοντας τώρα την εντολή **Zones** θα καθορίσουμε τις ιδιότητες των ζωνών που δημιουργήσαμε προηγουμένως. Στο παράθυρο **Zones Definition**, στην καρτέλα **Geometry**, δημιουργούμε το σχέδιο της ζώνης **Z1** με τη βοήθεια των γραμμών που δημιουργήσαμε παραπάνω (εικόνα 4.27). Στην καρτέλα **Laminate** επιλέγουμε το υλικό **UD Prepeg** και το σύνολο των φύλλων που θα υπάρχουν για κάθε κατεύθυνση (εικόνα 4.28).

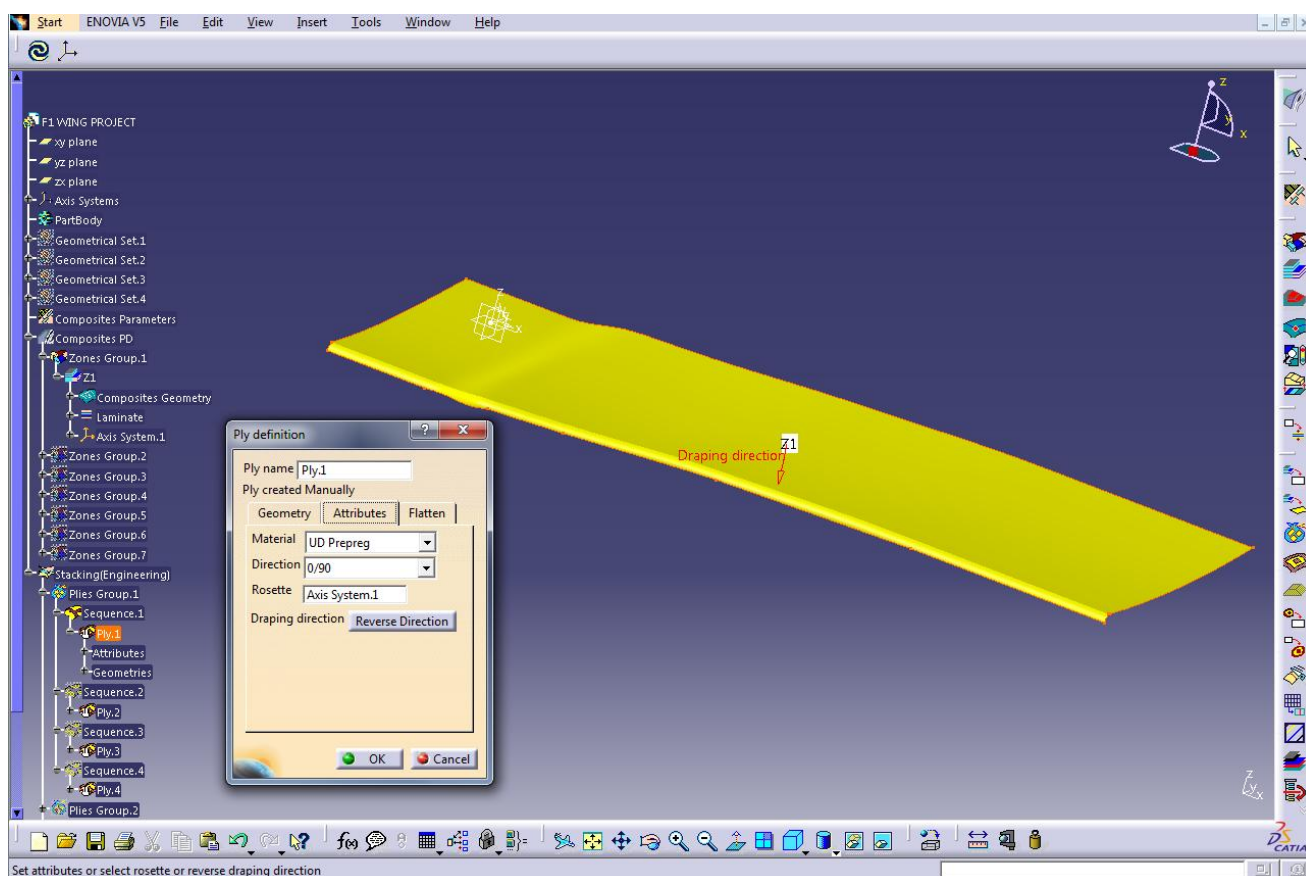


Εικόνα 4.28

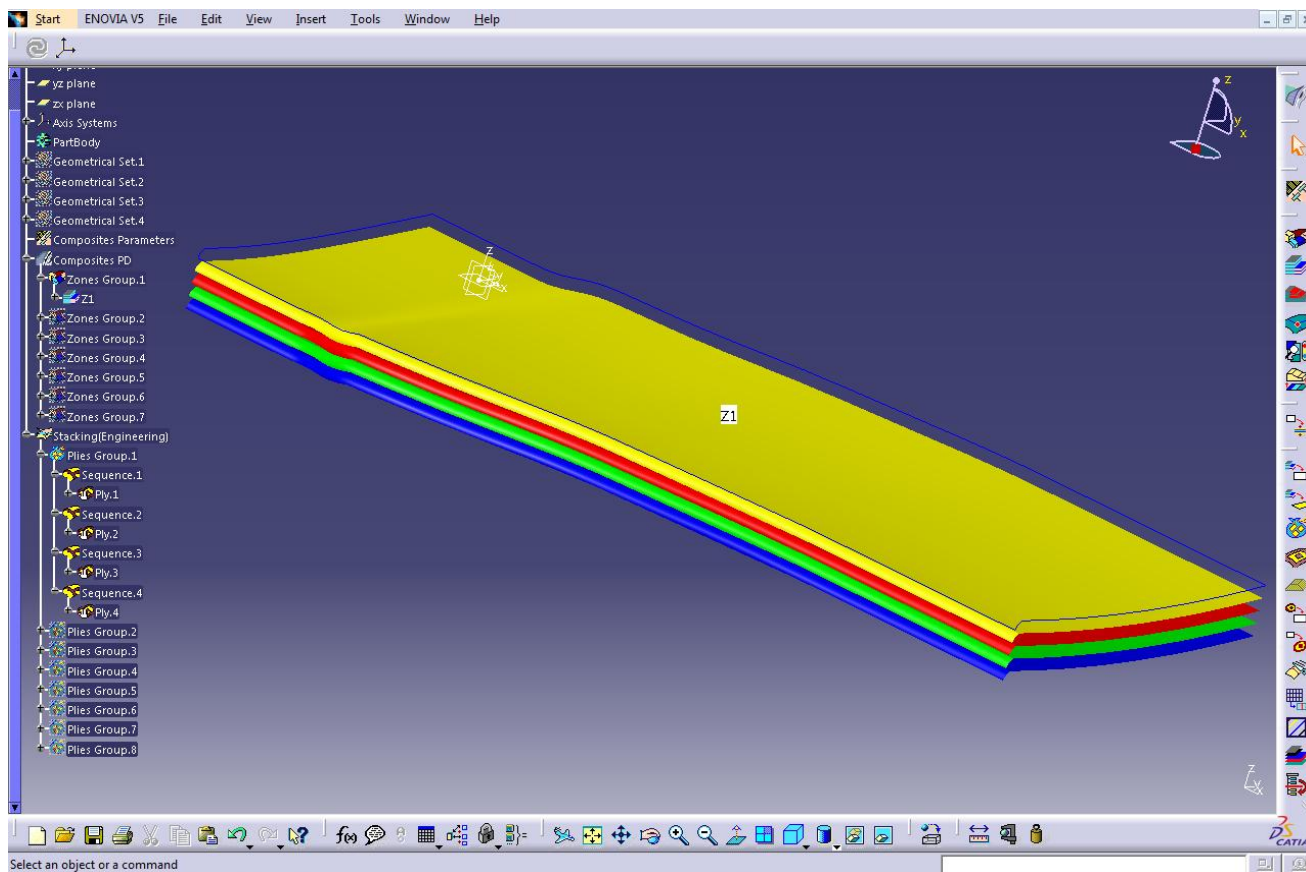


Εικόνα 4.29

Στη συνέχεια επιλέγουμε την εντολή **Plies Group** για να δημιουργήσουμε την ομάδα με τα φύλλα του σύνθετου υλικού (εικόνα 4.29) για την ζώνη Z1. Με την εντολή **Ply** επιλέγουμε το υλικό **UD Prepeg** καθώς και την διεύθυνση που επιθυμούμε, δηλαδή 0/90, 45/-45, -45/45 και 90/0. Στην εικόνα 4.30 φαίνεται το σύνθετο υλικό στην κατεύθυνση 0/90.

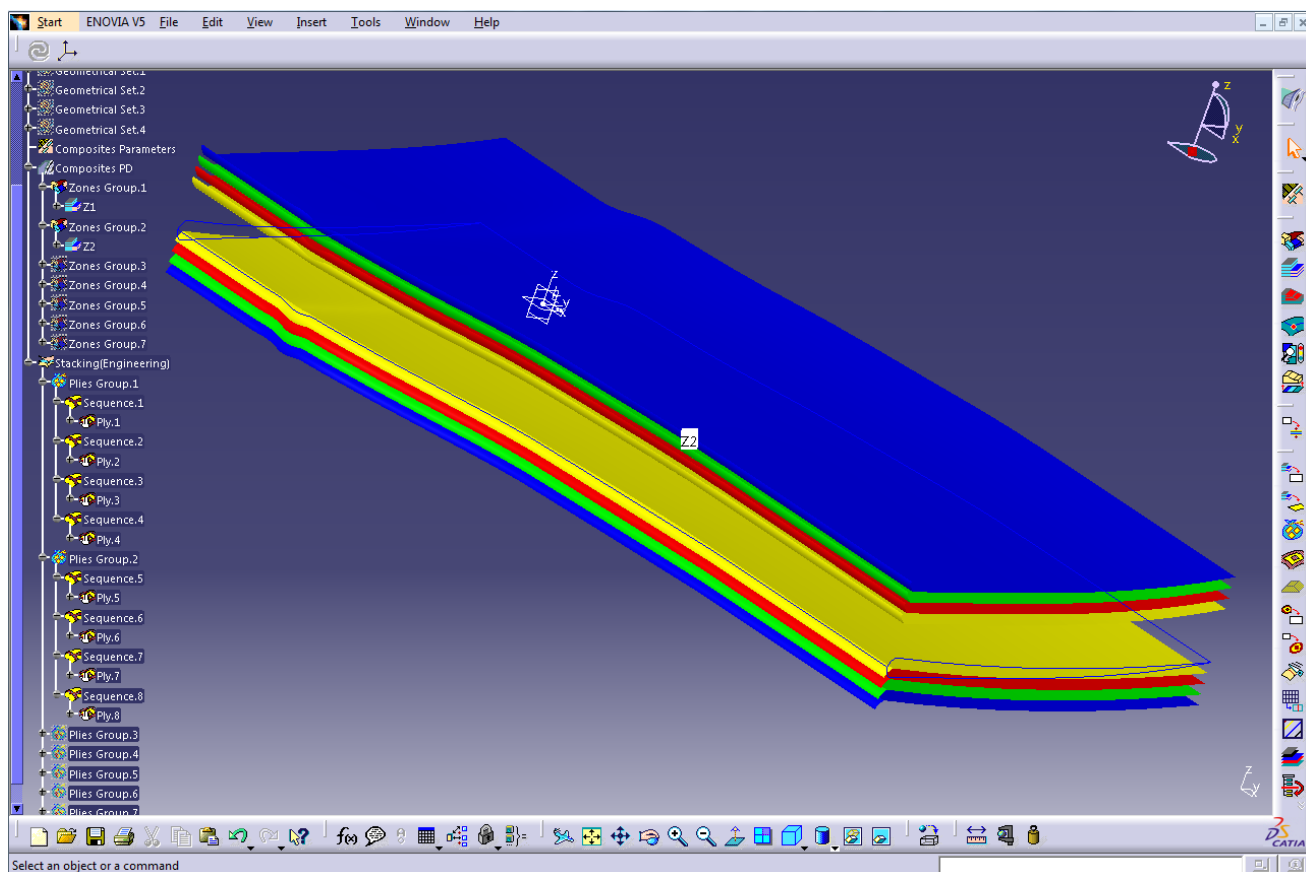


Εικόνα 4.30

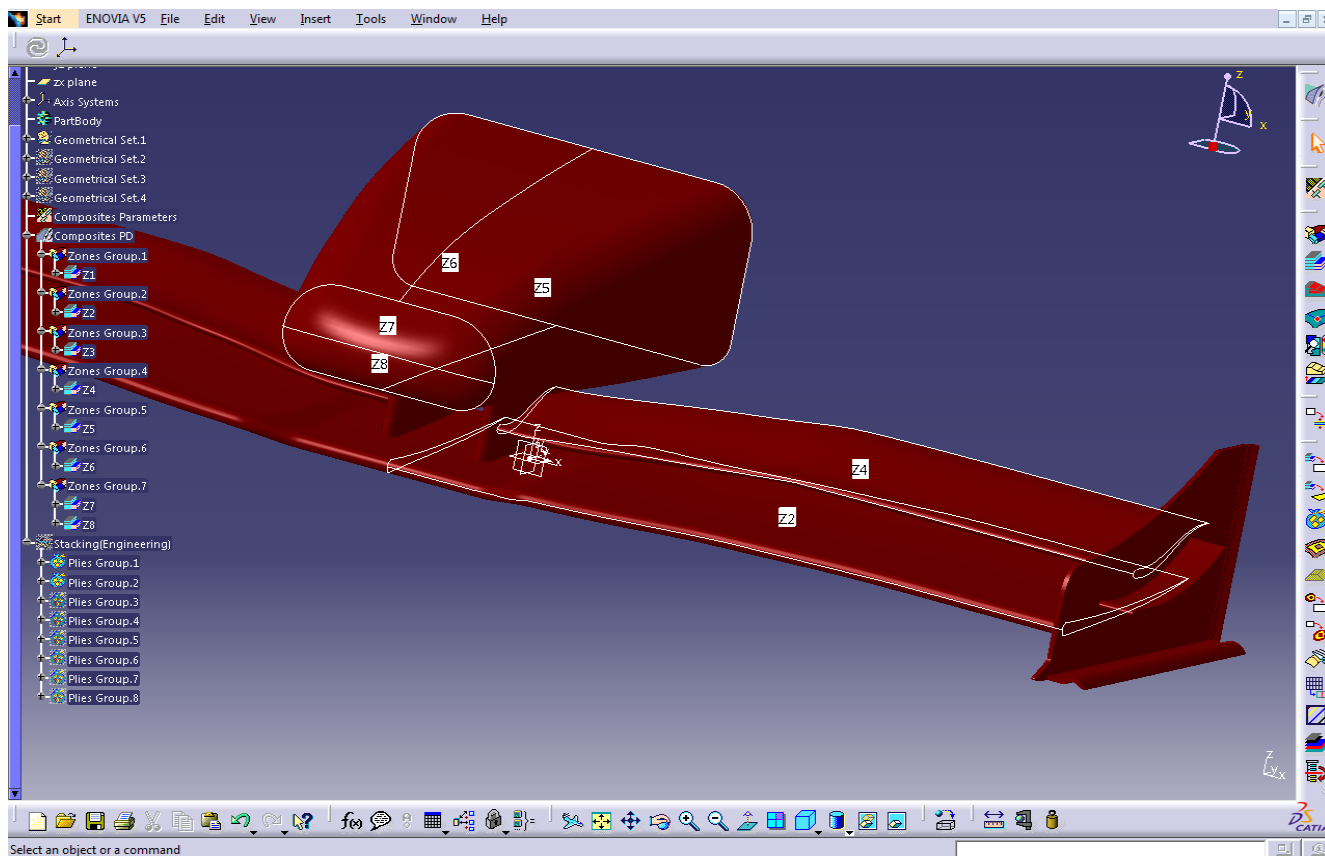


Εικόνα 4.31

Συνεχίζουμε να χρησιμοποιούμε την εντολή **Ply** και για τις υπόλοιπες διευθύνσεις της ζώνης Z1. Το αποτέλεσμα εμφανίζεται στην εικόνα 4.31. Ακολουθώντας την ίδια διαδικασία, τοποθετούμε το υλικό και στην ζώνη Z2 του **Zones Group.2**. Στην εικόνα 4.32 παρουσιάζονται όλα τα φύλλα, σε όλες τις διευθύνσεις, του υλικού στην κάτω πτέρυγα.

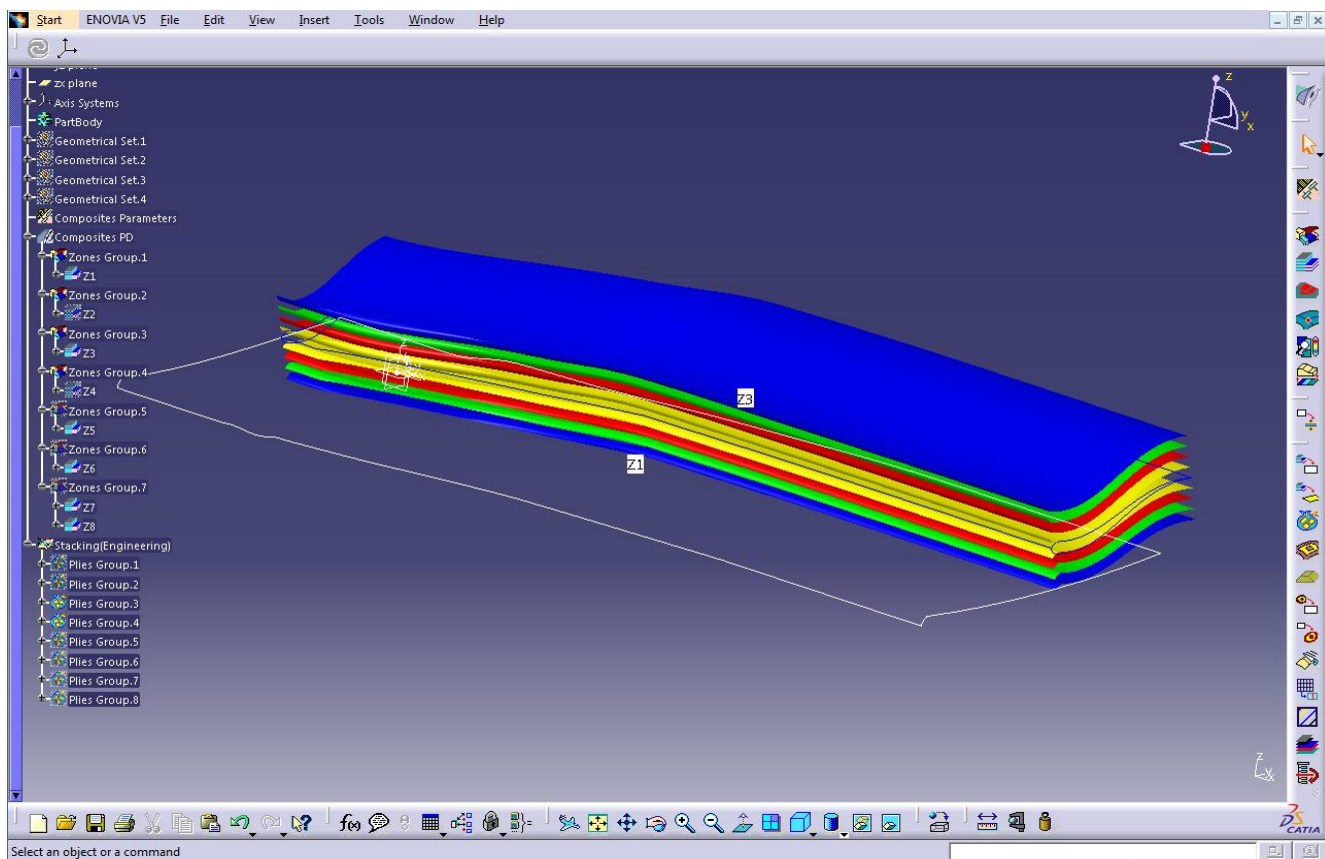


Εικόνα 4.32

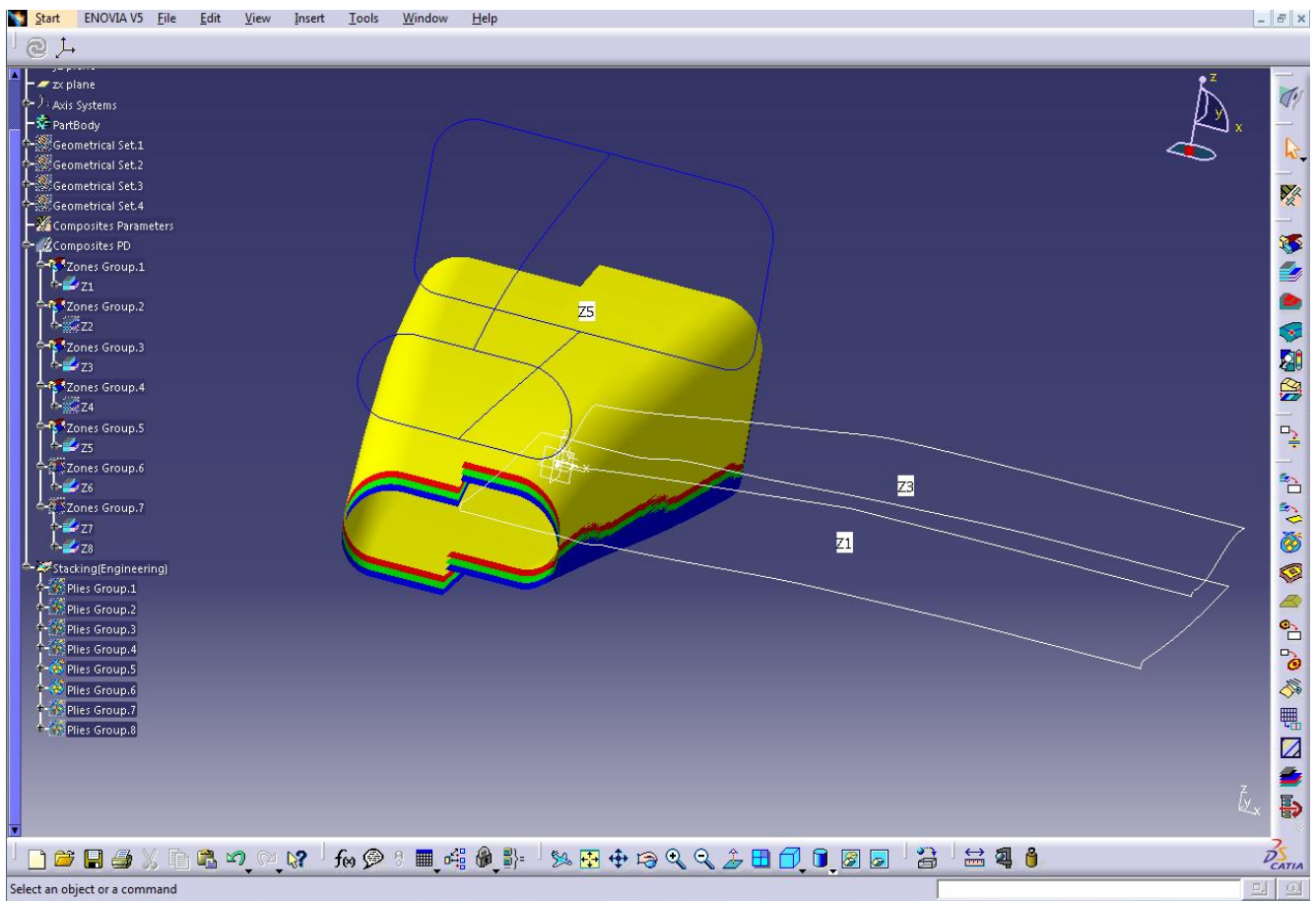


Εικόνα 4.33

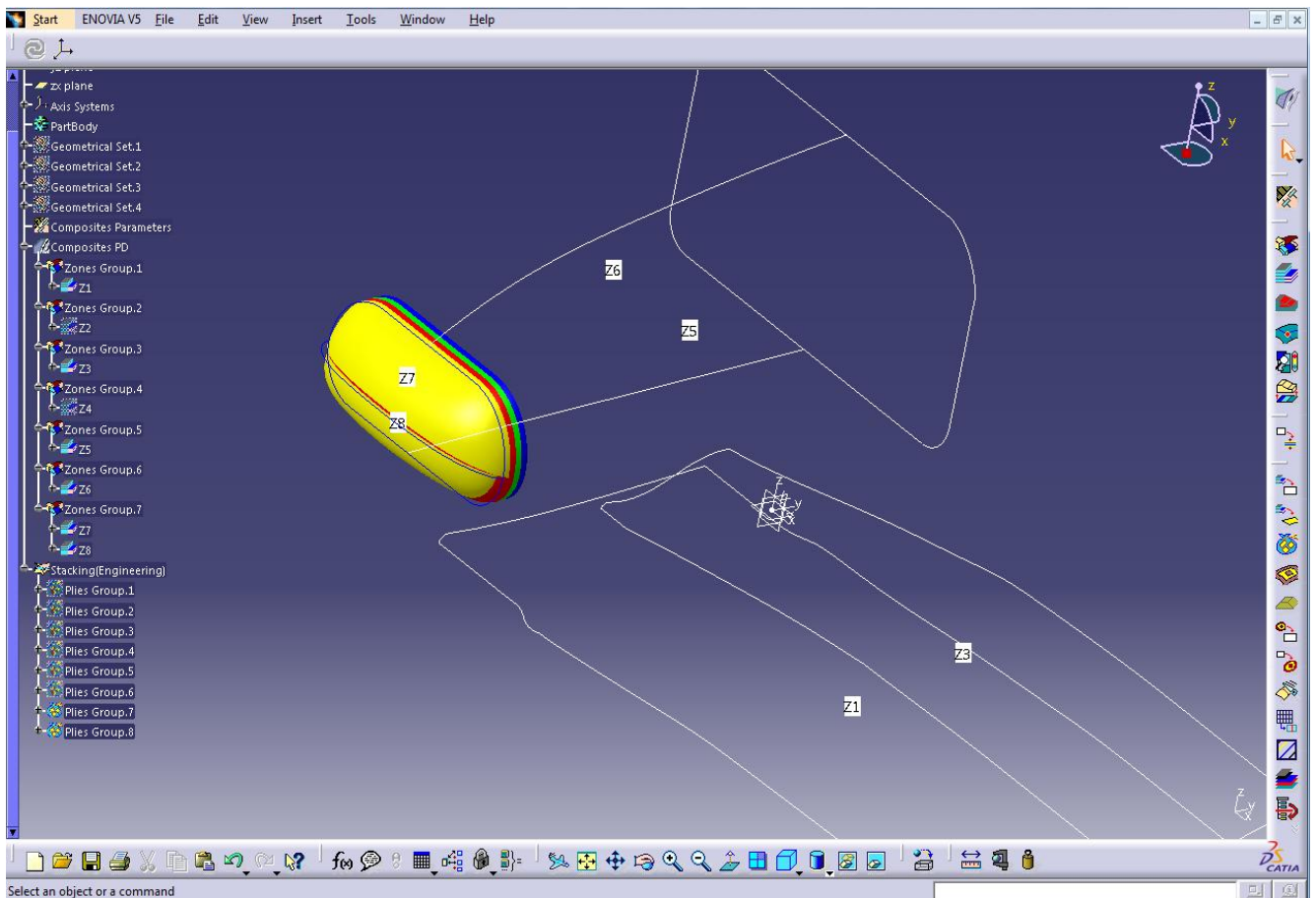
Με τις εντολές που χρησιμοποιήθηκαν για την δημιουργία των ζωνών στην κάτω πτέρυγα, δημιουργούμε τις ζώνες **Z3** και **Z4** στην πάνω πτέρυγα, **Z5** και **Z6** στο σώμα του ρύγχους και τέλος **Z7** και **Z8** στην μύτη του ρύγχους (εικόνα 4.33). Στις εικόνες 4.34 – 4.36 παρουσιάζονται όλα τα φύλλα, σε όλες τις διευθύνσεις, του υλικού στα υπόλοιπα τμήματα της αεροτομής.



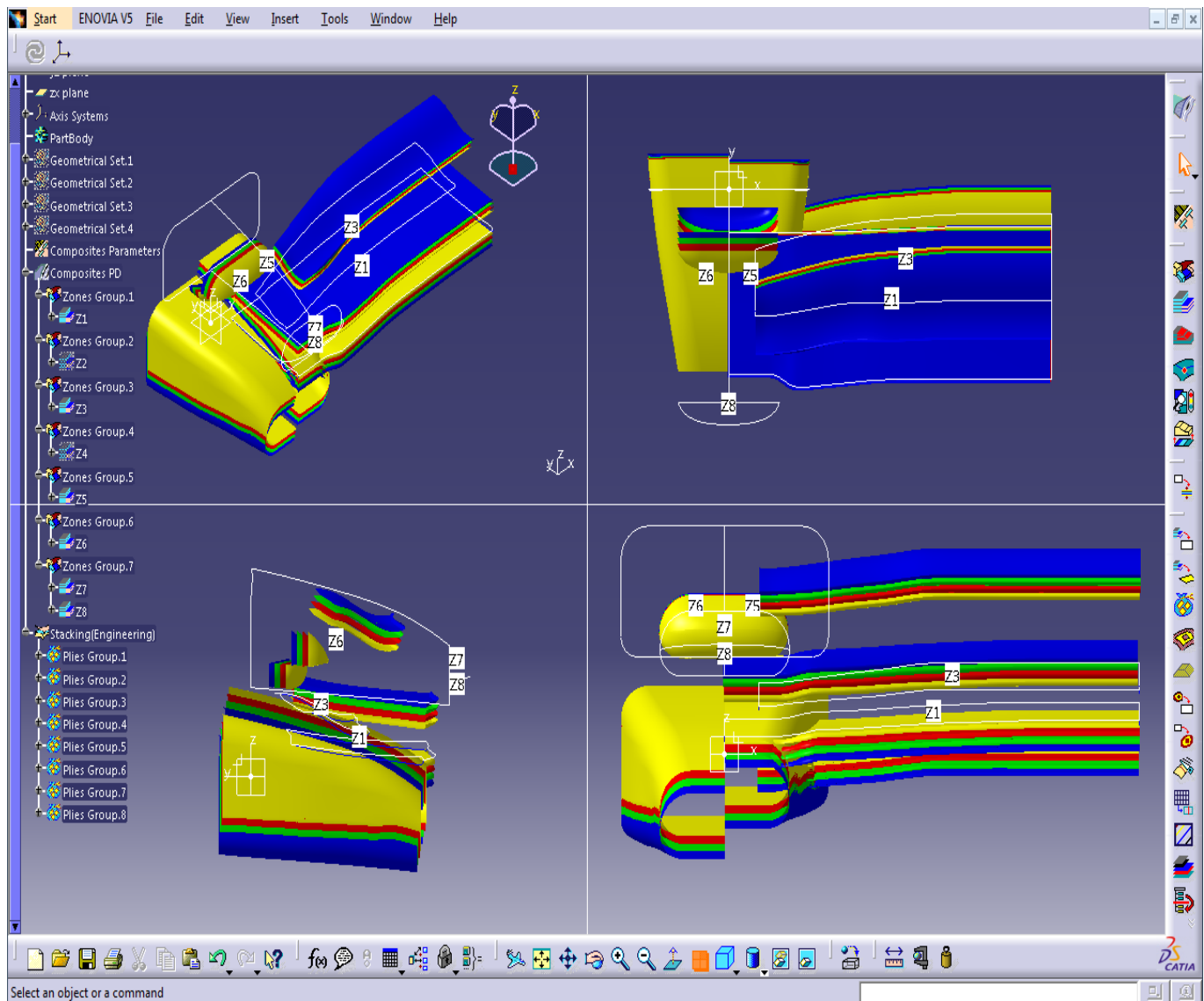
Εικόνα 4.34



Εικόνα 4.35



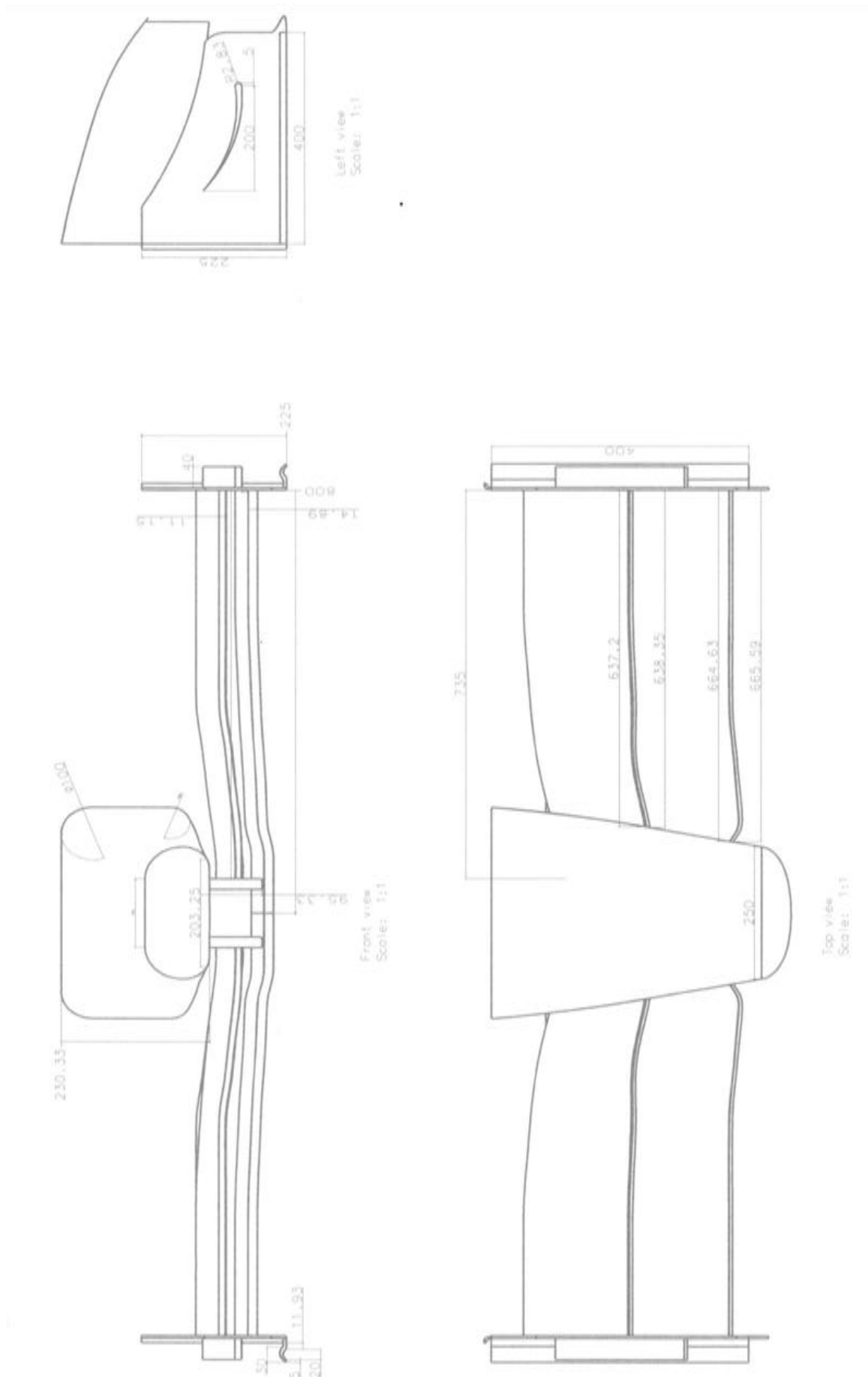
Εικόνα 4.36



Εικόνα 4.37

Στο παραπάνω σχήμα παρουσιάζεται το τελικό αποτέλεσμα της διευθέτησης του σύνθετου υλικού στην πρόσθια αεροτομή που σχεδιάστηκε. Φαίνονται καθαρά όλα τα φύλλα του υλικού, σε όλες τις διευθύνσεις, σε κάθε μέρος της πτέρυγας.

Μηχανολογικό Σχέδιο Πρόσθιας Αεροτομής



5. ΣΥΜΠΕΡΑΣΜΑΤΑ – ΕΠΕΚΤΑΣΕΙΣ ΚΑΙ ΜΕΛΛΟΝΤΙΚΗ ΕΡΓΑΣΙΑ

5.1 Συμπεράσματα

Σε αυτή την πτυχιακή εργασία πραγματοποιήθηκε η μελέτη και η σχεδίαση μιας πρόσθιας αεροτομής της Formula 1 με σύνθετα υλικά με τη βοήθεια του λογισμικού προγράμματος Catia V5R18. Ένα από τα κυριότερα προβλήματα που αντιμετωπίστηκαν στην παραπάνω μελέτη ήταν η δυσκολία ανάκτησης δεδομένων από τις ομάδες της Formula 1. Η δυσκολία αυτή οφείλεται στο γεγονός ότι οι ομάδες δεν δημοσιεύουν δεδομένα και τεχνικές πληροφορίες εξαιτίας του ανταγωνισμού μεταξύ τους. Οποιοσδήποτε δημοσιεύσεις ομάδων είναι αναρτημένες στο διαδίκτυο αφορούν δεδομένα παλαιότερων ετών εξαιτίας των συνεχών αλλαγών στους κανονισμούς της Διεθνούς Ομοσπονδίας Αυτοκινήτου (FIA - Federation Internationale de l' Automobile) και της συνεχούς τεχνολογικής εξέλιξης του αθλήματος.

Η χρήση νέων υλικών στη σύγχρονη τεχνολογία και συγκεκριμένα στη Formula 1 είναι πολύ σημαντική. Πιο συγκεκριμένα η χρήση των νέων υλικών έχει σαν αποτέλεσμα να κατασκευάζεται ένα ελαφρύ μονοθέσιο που μπορεί να αντισταθεί στις τεράστιες δυνάμεις που ενεργούν προς τα κάτω και που παράγονται καθώς το όχημα κινείται δια μέσω του αέρα. Επίσης, έχουν την ιδιότητά να θρυμματίζονται όταν σπάσουν, με αποτέλεσμα η ενέργεια της πρόσκρουσης να διασκορπίζεται σε πολλά σημεία και έτσι να εξασφαλίζεται η σωματική ακεραιότητα του οδηγού. Τέλος πρέπει να αναφερθεί ότι η μελέτη και η χρήση των νέων σύνθετων υλικών στην Formula 1 αποτελεί προάγγελο για τη χρήση τους και στα συμβατικά αυτοκίνητα.

Το λογισμικό Catia είναι ευρέως διαδεδομένο στο εμπόριο και συνδυάζει πληθώρα δυνατοτήτων. Η εκμάθησή του είναι ιδιαίτερα απαιτητική. Η χρήση του συνόλου και η προσαρμογή του σε κάθε εφαρμογή απαιτεί, εκτός από γνώσεις πάνω στο ίδιο το λογισμικό CATIA, και γνώσεις πάνω στο αντικείμενο που θα σχεδιαστεί και θα μελετηθεί. Η χρήση της έκδοσης CATIA V5R18 δεν είναι δεσμευτική για την λειτουργικότητα του συνόλου.

Ξεκινώντας από το λογισμικό, οι δυσκολίες που αντιμετωπίστηκαν αφορούσαν την έλλειψη εγχειριδίων μελέτης των σύνθετων υλικών με το εργαλείο του Composite Design. Επιπλέον, η σχεδίαση της αεροτομής έπρεπε να είναι σύμφωνη με τους κανονισμούς της FIA, αρκετοί από τους οποίους είναι περίπλοκοι στην ερμηνεία τους και απαιτούν εξειδίκευση στον τομέα της σχεδίασης μονοθέσιου της Formula 1. Όσον αφορά τις τεχνικές πληροφορίες, υπήρχε δυσκολία εύρεσής τους εξαιτίας των λιγοστών δημοσιεύσεων των ομάδων της Formula 1 λόγω του μεγάλου ανταγωνισμού τους στο παγκόσμιο πρωτάθλημα της F1. Εξαιτίας των λιγοστών δημοσιεύσεων, το σύνθετο υλικό που χρησιμοποιήθηκε στην αεροτομή της εργασίας αποτελεί υλικό που χρησιμοποιείται στην αεροναυπηγική και καλύπτει τους τεχνικούς περιορισμούς της FIA.

5.2 Επεκτάσεις και μελλοντική εργασία

Η μελέτη που έγινε στη συγκεκριμένη εργασία έχει πολλά περιθώρια συνέχισης. Συγκεκριμένα με τη χρήση της **μεθόδου πεπερασμένων στοιχείων** (FEM – Finite Element Method), μπορεί να γίνει θερμική και δομική ανάλυση. Η **μέθοδος πεπερασμένων στοιχείων** είναι μια αριθμητική μέθοδος (δηλαδή μέθοδος υπολογισμού με χρήση H/Y) για τον υπολογισμό προσεγγιστικών λύσεων μερικών διαφορικών εξισώσεων. Για να εφαρμοστεί η μέθοδος των πεπερασμένων στοιχείων απαιτούνται τα εξής στάδια:

- Εισάγεται η γεωμετρία της κατασκευής σε ένα πρόγραμμα CAD και δημιουργείται το τρισδιάστατο μοντέλο.
- Χωρίζεται το μοντέλο σε πεπερασμένα στοιχεία και αφού ετοιμαστεί το πλέγμα επιλέγεται το είδος της επίλυσης και εισάγονται τα επιπλέον δεδομένα που απαιτούνται. Παραδείγματος χάριν, αν επιλεγεί να λυθεί το μοντέλο σε στατική καταπόνηση θα πρέπει να δοθούν τα δεδομένα για τις δυνάμεις και τις στηρίξεις. Αυτή η διαδικασία γίνεται με προγράμματα που αποκαλούνται pre processor.
- Όταν ετοιμαστούν τα δεδομένα για επίλυση, εισάγονται σε ένα πρόγραμμα το οποίο θα πραγματοποιήσει την επίλυση του προβλήματος. Τέτοιου είδους προγράμματα λέγονται solver και χρησιμοποιούν για τις επιλύσεις αριθμητικές μεθόδους.
- Όταν τελειώσει η επίλυση των αποτελεσμάτων πρέπει να χρησιμοποιηθεί ένα πρόγραμμα, που αποκαλείται post processor, για να μπορέσει ο μελετητής να δει τα αποτελέσματα.

Επιπλέον, είναι δυνατή και η επέκταση της εργασίας και σε άλλα μέρη του μονοθεσίου, όπως την πίσω πτέρυγα, τα πλαϊνά spoilers, το σασί και τα διάφορα αεροδυναμικά βοηθήματα που υπάρχουν στο μονοθέσιο. Τέλος, είναι δυνατή και η αεροδυναμική ανάλυση που μπορεί να πραγματοποιηθεί με τη χρήση λογισμικού Υπολογιστικής Ρευστοδυναμικής (CFD – Computational Fluid Dynamics). Η συγκεκριμένη ανάλυση είναι δυνατό να συνδυαστεί με τη δομική και θερμική ανάλυση της πτέρυγας και έτσι να έχουμε ένα συνολικό αποτέλεσμα για τη συμπεριφορά της πτέρυγας σε όλα τα επίπεδα.

Εν κατακλείδι, συμπεραίνουμε ότι όσα παρουσιάστηκαν στην διπλωματική εργασία αποτελούν μια δουλειά που απασχολούνται δεκάδες μηχανικοί και σχεδιαστές και που πρέπει να την υλοποιήσουν μέσα σε διάστημα λίγων μηνών, καθώς ο ανταγωνισμός είναι μεγάλος και όλες οι ομάδες πρέπει να είναι έτοιμες όταν ξεκινήσει το πρωτάθλημα της Formula 1.

ΒΙΒΛΙΟΓΡΑΦΙΑ

Έντυπη Βιβλιογραφία

- 1) Νικόλαος Μπιλάλης και Εμμανουήλ Μαραβελάκης , “**Συστήματα CAM/CAD και τρισδιάστατη μοντελοποίηση**”, 2009
- 2) Βασίλης Σαμαράς, “**Τεχνολογία αμαξωμάτων**”, 2004
- 3) SP Systems, “**Guide to Composites**”
- 4) Dassault Systemes , “**Aerospace Composites, Part Design, Detailed Steps**”

Ψηφιακή Βιβλιογραφία

- 1) <http://www.fia.com/>
- 2) http://www.formula1.com/inside_f1/rules_and_regulations/technical_regulations
- 3) <http://www.redstar.gr>
- 4) <http://www.sofoscarbon.gr/public-html/composites.htm>
- 5) <http://www.f1technical.net>
- 6) <http://migf1.256.gr/index.htm>
- 7) http://www.worldlingo.com/ma/enwiki/el/Composite_material#Background
- 8) <http://www.inout.gr/showthread.php?t=36024>
- 9) http://15tee-thess.thess.sch.gr/Formula_1.htm
- 10) <http://www.ovision.gr/catiaV3.html>
- 11) <http://www.3ds.com/products/catia>
- 12) <http://e-pcmag.gr/forum/catia-plm-product>
- 13) <http://composites-by-design.com/>
- 14) <http://el.wikipedia.org/>
- 15) http://www.maruf.ca/files/catiahelp/CATIA_P3_default.htm

ΠΑΡΑΡΤΗΜΑ

1. ΚΑΝΟΝΙΣΜΟΙ FIA ΓΙΑ ΤΑ ΥΛΙΚΑ ΣΤΗΝ F1

ARTICLE 15 : CAR CONSTRUCTION

15.1 Permitted materials :

15.1.1 The following is the list of permitted materials. These are the only materials permitted to be used in the construction of the Formula One Car provided only that in all cases the material is available on a non-exclusive basis and under normal commercial terms to all competitors.

Permitted materials :

- 1) Aluminium alloys.
- 2) Silicon carbide particulate reinforced aluminium alloy matrix composites.
- 3) Steel alloys.
- 4) Cobalt alloys.
- 5) Copper alloys containing $\leq 2.5\%$ by weight of Beryllium.
- 6) Titanium alloys (but not for use in fasteners with $<15\text{mm}$ diameter male thread).
- 7) Magnesium alloys.
- 8) Nickel based alloys containing $50\% < \text{Ni} < 69\%$.
- 9) Tungsten alloy.
- 10) Thermoplastics: monolithic, particulate filled, short fibre reinforced.
- 11) Thermosets: monolithic, particulate filled, short fibre reinforced.
- 12) Carbon fibres manufactured from polyacrylonitrile (PAN) precursor. (*)
- 13) Carbon fibres manufactured from polyacrylonitrile (PAN) precursor which have :
 - a tensile modulus $\leq 550\text{GPa}$;
 - a density $\leq 1.92 \text{ g/cm}^3$;
 - unidirectional or planar reinforcement within their pre-impregnated form, not including three dimensional weaves or stitched fabrics (but fibre reinforcement using Z-pinning technology is permitted) ;
 - no carbon nanotubes incorporated within the fibre or its matrix ;
 - a permitted matrix, not including a carbon matrix.
- 14) Aramid fibres.
- 15) Poly (p-phenylene benzobisoxazole) fibres (e.g. “Zylon”).
- 16) Polyethylene fibres.
- 17) Polypropylene fibres.
- 18) E and S Glass fibres.

- 19) Sandwich panel cores: Aluminium, Nomex, polymer foams, syntactic foams, balsa wood, carbon foam.
- 20) The matrix system utilised in all pre-impregnated materials must be epoxy, cyanate ester, phenolic, bismaleimide, polyurethane, polyester or polyimide based. (*)
- 21) The matrix system utilised in all pre-impregnated materials must be epoxy, cyanate ester or bismaleimide based.
- 22) Monolithic ceramics.

[Materials marked (*) are permitted only for parts classified as either front, rear or side impact structures, side intrusion panels or suspension members as regulated by Articles 15.4.3, 15.5.3, 15.4.6, 15.4.7 and 10.3 of the Technical Regulations respectively.]

Exceptions :

- 1) All electrical components (e.g. control boxes, wiring looms, sensors).
- 2) All seals & rubbers (e.g. rubber boots, o-rings, gaskets, any fluid seals, bump rubbers).
- 3) Fluids (e.g. water, oils).
- 4) Tyres.
- 5) Coatings and platings (e.g. DLC, nitriding, chroming).
- 6) Paint.
- 7) Adhesives.
- 8) Thermal insulation (e.g. felts, gold tape, heat shields).
- 9) All currently regulated materials (e.g. fuel bladder, headrest, extinguishant, padding, skid block).
- 10) Brake and clutch friction materials.
- 11) All parts of engines homologated according to Appendix 4 of the Sporting Regulations.

15.1.2 No parts of the car may be made from metallic materials which have a specific modulus of elasticity greater than 40GPa / (g/cmP3P). Tests to establish conformity will be carried out in accordance with FIA Test Procedure 03/02, a copy of which may be found in the Appendix to these regulations.

2. ΚΑΝΟΝΙΣΜΟΙ FIA ΓΙΑ ΤΗΝ ΕΜΠΡΟΣΘΙΑ ΑΕΡΟΤΟΜΗ

ARTICLE 3 : BODYWORK AND DIMENSIONS

3.7 Front bodywork :

3.7.1 All bodywork situated forward of a point lying 330mm behind the front wheel centre line, and more than 250mm from the car centre line, must be no less than 75mm and no more than 275mm above the reference plane.

3.7.2 Any horizontal section taken through bodywork located forward of a point lying 450mm forward of the front wheel centre line, less than 250mm from the car centre line, and between 125mm and 200mm above the reference plane, may only contain two closed symmetrical sections with a maximum total area of 5000mm². The thickness of each section may not exceed 25mm when measured perpendicular to the car centre line

Once fully defined, the sections at 125mm above the reference plane must be projected vertically to join the profile required by Article 3.7.3. A radius no greater than 10mm may be used where these sections join.

3.7.3 Forward of a point lying 450mm ahead of the front wheel centre line and less than 250mm from the car centre line and less than 125mm above the reference plane, only one single section may be contained within any longitudinal vertical cross section parallel to the car centre line. Furthermore, with the exception of local changes of section where the bodywork defined in Article 3.7.2 attaches to this section, the profile, incidence and position of this section must conform to Drawing 7.

3.7.4 In the area bounded by lines between 450mm and 1000mm ahead of the front wheel centre line, 250mm and 400mm from the car centre line and between 75mm and 275mm above the reference plane, the projected area of all bodywork onto the longitudinal centre plane of the car must be no more than 20,000 mm².

3.7.5 Ahead of the front wheel centre line and between 750mm and 840mm from the car centre line there must be bodywork with a projected area of no less than 95,000 mm² in side view.

3.7.6 Ahead of the front wheel centre line and between 840mm and 900mm from the car centre line there must be bodywork with a projected area of no less than 28,000 mm² in plan view. Furthermore, when viewed from underneath, the bodywork in this area must form one continuous surface which may not be more than 100mm above the reference plane.

3.7.7 Any longitudinal vertical cross section taken through bodywork ahead of the front wheel centre line and between 840mm and 900mm from the car centre line must contain an area no greater than 15,000 mm².

3.7.8 Only a single section, which must be open, may be contained within any longitudinal vertical cross section taken parallel to the car centre line forward of a point 150mm ahead of the front wheel centre line, less than 250mm from the car centre line and more than 125mm above the reference plane.

Any cameras or camera housings approved by the FIA in addition to a single inlet aperture for the purpose of driver cooling (such aperture having a maximum projected surface area of 1500 mm² being situated forward of the

section referred to in Article 15.4.3) will be exempt from the above.

3.8 Bodywork in front of the rear wheels :

3.8.1 Other than the rear view mirrors (including their mountings), each with a maximum area of 12000mm² and 14000 mm² when viewed from directly above or directly from the side respectively, no bodywork situated more than 330mm behind the front wheel centre line and more than 330mm forward of the rear wheel centre line, which is more than 600mm above the reference plane, may be more than 300mm from the car centre line.

3.8.2 No bodywork between the rear wheel centre line and a line 800mm forward of the rear wheel centre line, which is more than 375mm from the car centre line, may be more than 500mm above the reference plane.

3.8.3 No bodywork between the rear wheel centre line and a line 400mm forward of the rear wheel centre line, which is more than 375mm from the car centre line, may be more than 300mm above the reference plane.

3.8.4 Any vertical cross section of bodywork normal to the car centre line situated in the volumes defined below must form one tangent continuous curve on its external surface. This tangent continuous curve may not contain any radius less than 75mm :

- a) the volume between 50mm forward of the rear wheel centre line and 300mm rearward of the rear face of the cockpit entry template, which is more than 25mm from the car centre line and more than 100mm above the reference plane ;
- b) the volume between 300mm rearward of the rear face of the cockpit entry template and the rear face of the cockpit entry template, which is more than 125mm from the car centre line and more than 100mm above the reference plane
- c) the volume between the rear face of the cockpit entry template and 450mm forward of the rear face of the cockpit entry template, which is more than 350mm from the car centre line and more than 100mm above the reference plane.
- d) the volume between the rear face of the cockpit entry template and 450mm forward of the rear face of the cockpit entry template, which is more than 125mm from the car centre line and more than 675mm above the reference plane.

The surfaces lying within these volumes, which are situated more than 55mm forward of the rear wheel centre line, must not contain any apertures (other than those permitted by Article 3.8.5) or contain any vertical surfaces which lie normal to the car centre line.

3.8.5 Once the relevant bodywork surfaces are defined in accordance with Article 3.8.4, apertures, any of which may adjoin or overlap each other, may be added for the following purposes only :S

- single apertures either side of the car centre line for the purpose of exhaust exits. These apertures may have a combined area of no more than 50,000 mm² when projected onto the surface itself. No point on an aperture may be

more than 350mm from any other point on the aperture.

- apertures either side of the car centre line for the purpose of allowing suspension members and driveshafts to protrude through the bodywork. No such aperture may have an area greater than $12,000 \text{ mm}^2$ when projected onto the surface itself. No point on an aperture may be more than 200mm from any other point on the aperture.

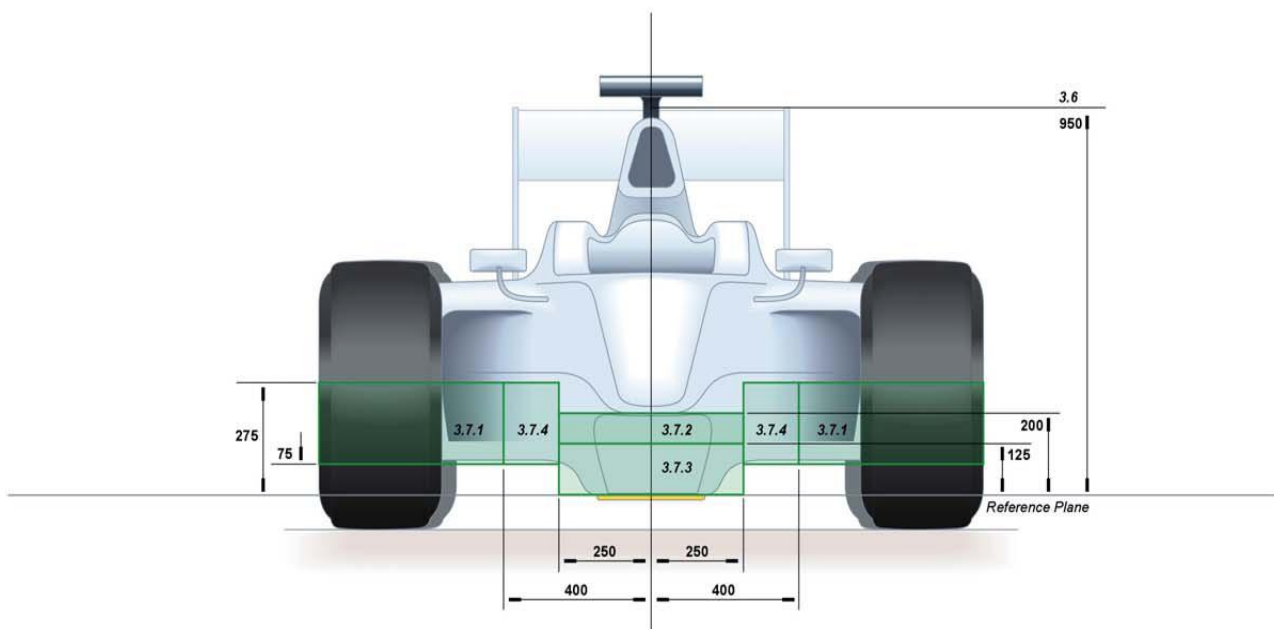
3.8.6 The impact absorbing structures defined by Article 15.5.2 must be fully enclosed by bodywork, such that no part of the impact structure is in contact with the external air flow. When cut by a longitudinal vertical plane, the bodywork enclosing these impact structures must not form closed sections in the region between 450mm and 875mm forward of the rear edge of the cockpit template.

3.8.7 With the exception of a transparent windscreen, antenna or pitot tubes, no bodywork higher than the top of the front roll structure will be permitted forward of it.

Drawing 3a



3.6: Overall Height - 3.7: Front Bodywork



3.6 Overall height :

No part of the bodywork may be more than 950mm above the reference plane.

3.7 Front bodywork :

3.7.1 All bodywork situated forward of a point lying 330mm behind the front wheel centre line, and more than 250mm from the car centre line, must be no less than 75mm and no more than 275mm above the reference plane.

3.7.2 Any horizontal section taken through bodywork located forward of a point lying 450mm forward of the front wheel centre line, less than 250mm from the car centre line, and between 125mm and 200mm above the reference plane, may only contain two closed symmetrical sections with a maximum total area of 5000 mm^2 . The thickness of each section may not exceed 25mm when measured perpendicular to the car centre line. Once fully defined, the sections at 125mm above the reference plane must be projected vertically to join the profile required by Article 3.7.3. A radius no greater than 10mm may be used where these sections join.

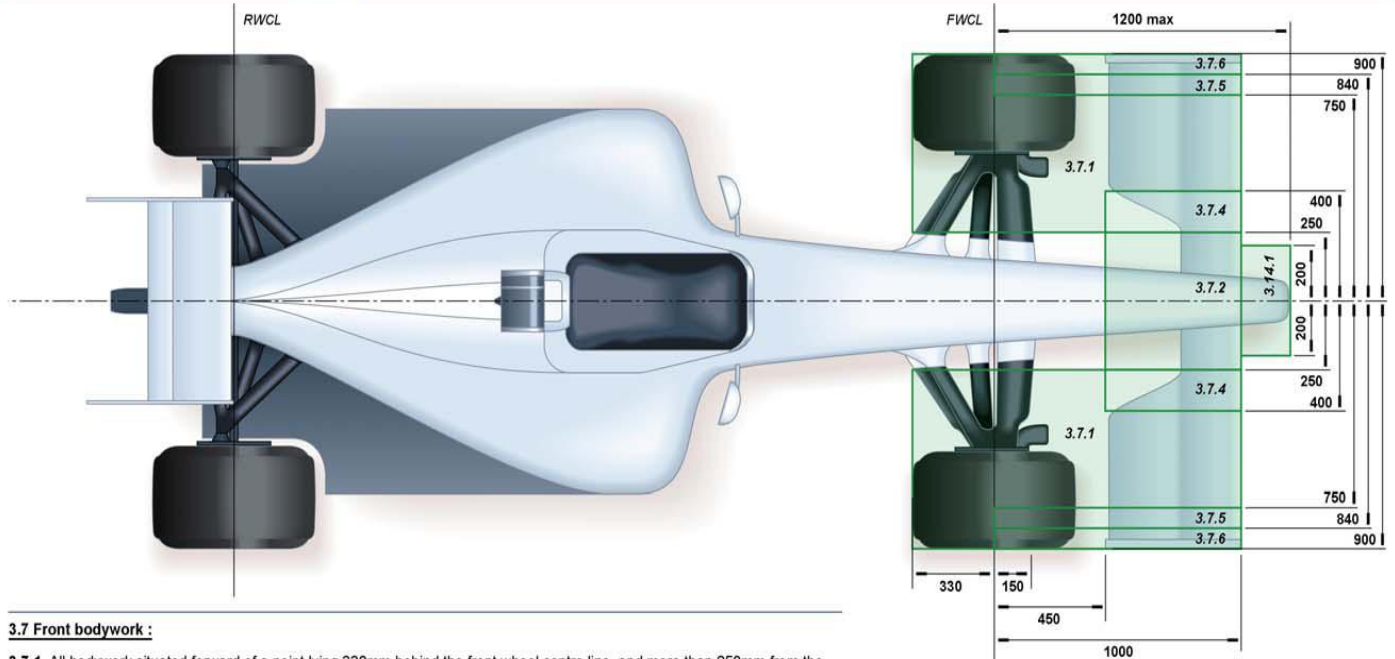
3.7.3 Forward of a point lying 450mm ahead of the front wheel centre line and less than 250mm from the car centre line and less than 125mm above the reference plane, only one single section may be contained within any longitudinal vertical cross section parallel to the car centre line. Furthermore, with the exception of local changes of section where the bodywork defined in Article 3.7.2 attaches to this section, the profile, incidence and position of this section must conform to Drawing 7.

3.7.4 In the area bounded by lines between 450mm and 1000mm ahead of the front wheel centre line, 250mm and 400mm from the car centre line and between 75mm and 275mm above the reference plane, the projected area of all bodywork onto the longitudinal centre plane of the car must be no more than $20,000 \text{ mm}^2$.

Drawing 4a



3.7: Front Bodywork - 3.14: Overhangs



3.7 Front bodywork :

3.7.1 All bodywork situated forward of a point lying 330mm behind the front wheel centre line, and more than 250mm from the car centre line, must be no less than 75mm and no more than 275mm above the reference plane.

3.7.2 Any horizontal section taken through bodywork located forward of a point lying 450mm forward of the front wheel centre line, less than 250mm from the car centre line, and between 125mm and 200mm above the reference plane, may only contain two closed symmetrical sections with a maximum total area of 5000mm². The thickness of each section may not exceed 25mm when measured perpendicular to the car centre line. Once fully defined, the sections at 125mm above the reference plane must be projected vertically to join the profile required by Article 3.7.3. A radius of 10mm may be used where these sections join.

3.7.4 In the area bounded by lines between 450mm and 1000mm ahead of the front wheel centre line, 250mm and 400mm from the car centre line and between 75mm and 275mm above the reference plane, the projected area of all bodywork onto the longitudinal centre plane of the car must be no more than 20,000mm².

3.7.5 Ahead of the front wheel centre line and between 750mm and 840mm from the car centre line there must be bodywork with a projected area of no less than 95,000mm² in side view.

3.7.6 Ahead of the front wheel centre line and between 840mm and 900mm from the car centre line there must be bodywork with a projected area of no less than 28,000mm² in plan view. Furthermore, when viewed from underneath, the bodywork in this area must form one continuous surface which may not be more than 100mm above the reference plane.

3.14 - Overhangs :

3.14.1 No part of the car may be more than 600mm behind the rear wheel centre line or more than 1200mm in front of the front wheel centre line.

3.14.2 No part of the bodywork more than 200mm from the car centre line may be more than 1000mm in front of the front wheel centre line.

3.14.3 All overhang measurements will be taken parallel to the reference plane.