



**ΠΟΛΥΤΕΧΝΕΙΟ ΚΡΗΤΗΣ**  
TECHNICAL UNIVERSITY OF CRETE

**ΣΧΟΛΗ ΜΗΧΑΝΙΚΩΝ ΠΑΡΑΓΩΓΗΣ ΚΑΙ ΔΙΟΙΚΗΣΗΣ**

**ΧΑΝΙΑ 2020**

## **ΔΙΠΛΩΜΑΤΙΚΗ ΕΡΓΑΣΙΑ**

Σχεδίαση Μεταλλικών Ελασμάτων για  
Εξαρτήματα Αεροσκαφών

Sheet Metal design for Aerospace Parts

**ΑΛΒΕΡΤΟΣ ΤΖΗΚΑΣ-ΔΕΛΛΙΟΣ**

ΕΠΙΒΛΕΠΩΝ ΚΑΘΗΓΗΤΗΣ: **ΝΙΚΟΛΑΟΣ ΜΠΙΛΑΛΗΣ**

ΜΕΛΗ ΕΞΕΤΑΣΤΙΚΗΣ ΕΠΙΤΡΟΠΗΣ: ΓΕΩΡΓΙΟΣ ΣΤΑΥΡΟΥΛΑΚΗΣ ΚΑΙ ΠΑΥΛΟΣ  
ΚΟΥΛΟΥΡΙΔΑΚΗΣ



## Ευχαριστίες

Θα ήθελα να ευχαριστήσω τον επιβλέπων καθηγητή κ. Νικόλαο Μπιλάλη για την πολύτιμη βοήθεια του και την οικογένεια μου που με στήριξε καθ' όλη την ακαδημαϊκή μου πορεία.

## Περιεχόμενα

<b>Ευχαριστίες.....</b>	<b>3</b>
<b>Περίληψη .....</b>	<b>7</b>
<b>Κεφάλαιο 1 – ΕΙΣΑΓΩΓΗ .....</b>	<b>8</b>
1.1. Αεροδυναμική .....	8
1.1.1.Ανατομία Αεροσκάφους.....	8
1.2. Ροή του αέρα .....	8
1.2.1.Ιδανική-Πραγματική ροή.....	9
1.2.2.Συμπίεστη-Ασυμπίεστη ροή .....	9
1.2.3.Τυρβώδη-Στρωτή ροή .....	9
1.3. Κινητήριες δυνάμεις.....	10
<b>Κεφάλαιο 2 - Ανάλυση Πτερύγων .....</b>	<b>11</b>
2.1. Αεροδυναμική δομή των πτερύγων .....	11
2.2. Γεωμετρία Αεροτομών .....	11
2.2.1.Σύστημα αρίθμησης αεροτομών NACA. ....	12
2.3. Γωνία Προσβολής και Γωνία Πρόσπτωσης.....	13
2.3.1.Σχετικός άνεμος.....	13
2.3.2.Γωνία προσβολής (Angle of attack) .....	13
2.3.3. Γωνία πρόσπτωσης (Angle of Incidence).....	13
2.4. Παράγοντες επιρροής της Άνωσης .....	13
2.5. Αριθμός Reynolds .....	14
<b>Κεφάλαιο 3 - Δομικά Υλικά .....</b>	<b>15</b>
3.1. Κράματα αλουμινίου (Aluminum Alloys) .....	15
3.2. Ντουραλουμίνιο .....	15
3.3.Κράμα αλουμινίου 2024-T4 και 6061-T6.....	16
<b>Κεφάλαιο 4 – Ανατομία των Πτερύγων .....</b>	<b>18</b>
4.1. Δοκός (Spar).....	19
4.2. Νευρώνες (Rib) .....	21
4.3. Δοχείο καυσίμου (wing tank).....	22
4.4. Εξωτερικός Φλοιός (Skin) .....	23
<b>Κεφάλαιο 5 – Κατεργασίες Μεταλλικών Ελασμάτων.....</b>	<b>24</b>
5.1. Βασικές αρχές .....	24

5.1.1. Τάσεις .....	25
5.1.2. Παραμορφώσεις.....	25
5.1.3. Ενδοτράχυνση.....	25
5.2. Κατεργασίες Παραμόρφωσης Ελατών Μετάλλων .....	26
5.3. Έλαση.....	26
5.3.1. Κατεργασία Έλασης .....	26
5.3.2. Θερμοκρασία Έλασης .....	27
5.4.Απότμηση .....	28
5.4.1. Μηχανισμός Απότμησης .....	29
5.5.Κάμψη .....	29
5.5.1.Συμπεριφορά ελάσματος στην κάμψη .....	30
5.5.2.Κρίσιμη τιμή.....	30
5.5.3.Εργαλειομηχανές κάμψης.....	32
5.5.4.Ελαστική Επαναφορά μετάλλου.....	32
5.5.5. Κατηγορίες κάμψης.....	33
5.6.Βαθεία Κοίλανση .....	34
5.6.1.Λόγος κοίλανσης .....	35
<b>Κεφάλαιο 6 - Σχεδίαση Πτέρυγας του Zenith 601 μέσω του Siemens NX .....</b>	<b>42</b>
6.1. Σχέδια Zodiac XL Zenith CH601.....	43
6.2.Ψηφιακός Σχεδιασμός Πτερυγίου του Αεροσκάφους Zenith601 μέσω του προγράμματος Nx Siemens 11.0 .....	44
6.2.1. Πίνακας Συντεταγμένων Αεροτομής Zodiac XL Zenith CH601. ....	46
6.3.Κύρια Δοκός Στήριξης-Main Spar .....	47
6.4.Κεντρικό Πλευρό Στήριξης-Rear Rib .....	47
6.5.Πίσω Δοκός Στήριξης-Rear Spar .....	49
6.6. Κάτω Εξωτερικός Φλοιός-Skin.....	49
6.7. Πάνω Εξωτερικός Φλοιός-Skin .....	50
6.8.Πλαϊνό Κάλυμμα.....	50
6.9.Εμπρόσθιος Εξωτερικός Φλοιός-Skin .....	50
6.10.Τρίγωνο Στήριξης.....	51
6.11.Κάλυμμα Κινούμενου Μέρους .....	51
6.12.Δοχείο Καυσίμου-Wing Fuel Tank .....	52
6.13.Εμπρόσθιο Πλευρό Στήριξης – Nose Rib .....	53
<b>Κεφάλαιο 7 - Συναρμολόγηση (Assembly) .....</b>	<b>54</b>

7.1. Συναρμολόγηση κύριας δοκού στήριξης (Κ.Δ.Σ.) .....	54
7.2. Συναρμολόγηση κεντρικών πλευρών στήριξης (Κ.Π.Σ.).....	55
7.3. Συναρμολόγηση πίσω δοκού στήριξης (Π.Δ.Σ.).....	56
7.4. Συναρμολόγηση εμπρόσθιων πλευρών στήριξης (Ε.Π.Σ.) .....	57
7.5. Συναρμολόγηση τριγώνων στήριξης (Τ.Σ.) .....	58
7.6. Συναρμολόγηση Δοχείου καυσίμου .....	59
7.7. Συναρμολόγηση Εξωτερικών φλοιών (Ε.Φ.) .....	59
7.7.1. Συναρμολόγηση Άνω φλοιού .....	60
7.7.2. Συναρμολόγηση Κάτω φλοιού .....	60
7.7.3. Συναρμολόγηση Εμπρόσθιου φλοιού.....	60
7.7.4. Συναρμολόγηση Οπίσθιου φλοιού .....	60
7.7.5. Συναρμολόγηση Καλύμματος κινούμενου μέρους .....	60
<b>Συμπεράσματα.....</b>	<b>61</b>
<b>Βιβλιογραφία .....</b>	<b>62</b>

## Περίληψη

Αντικείμενο της παρούσας διπλωματικής εργασίας είναι η μελέτη και η σχεδίαση των μεταλλικών ελασμάτων που απαρτίζουν το φτερό ενός αεροσκάφους. Πιο συγκεκριμένα, η εργασία είναι χωρισμένη σε τρία τμήματα στην θεωρία των πτερύγων των αεροσκαφών, στον τρόπο κατασκευής των πτερύγων και στην ψηφιακή σχεδίαση των μεταλλικών ελασμάτων της πτέρυγας του αεροσκάφους CH-601 ZODIAC της εταιρίας Zenith Aircraft Company μέσω του H/Y. Αρχικά στο πρώτο τμήμα περιλαμβάνονται τα δύο πρώτα κεφάλαια όπου γίνεται εισαγωγή στην αεροδυναμική και στους παράγοντες που επηρεάζουν την αιώρηση των αεροσκαφών. Στο ίδιο τμήμα επίσης αποτυπώνεται η γεωμετρία των αεροτομών όπως και η σημασία του αριθμού Reynolds στις αεροτομές. Στην συνέχεια, στο δεύτερο τμήμα της εργασίας δηλαδή στα κεφάλαια τρία, τέσσερα και πέντε διατυπώνεται η δομή και τα υλικά κατασκευής των πτερύγων. Ειδικότερα, δίνεται έμφαση στα δομικά υλικά με κυριότερο το κράμα αλουμινίου 2024-T4 για τις μηχανικές και χημικές του ιδιότητες. Επιπλέον, στο ίδιο τμήμα εντάσσεται ο τρόπος δημιουργίας των κομματιών που συντελούν το φτερό. Στον τρόπο αυτό συμπεριλαμβάνεται η πλήρης ανάλυση των κατεργασιών παραμόρφωσης των μετάλλων όπως για παράδειγμα η έλαση, η απότμηση, η κάμψη και η βαθεία κοίλανση. Στο τρίτο και τελευταίο τμήμα της εργασίας, το έκτο κεφάλαιο διατυπώνεται λεπτομερώς η διαδικασία σχεδίασης μεταλλικών ελασμάτων σε πραγματικές διαστάσεις καθώς και η συναρμολόγηση αυτών για την δημιουργία του φτερού του αεροσκάφους. Τέλος, όπως προαναφέρθηκε τα μεταλλικά ελάσματα σχεδιάστηκαν μέσω του CAD συστήματος Siemens NX 11 με χρήση της αντίστοιχης ενότητας Sheet Metal.

## Κεφάλαιο 1 – ΕΙΣΑΓΩΓΗ

### 1.1. Αεροδυναμική

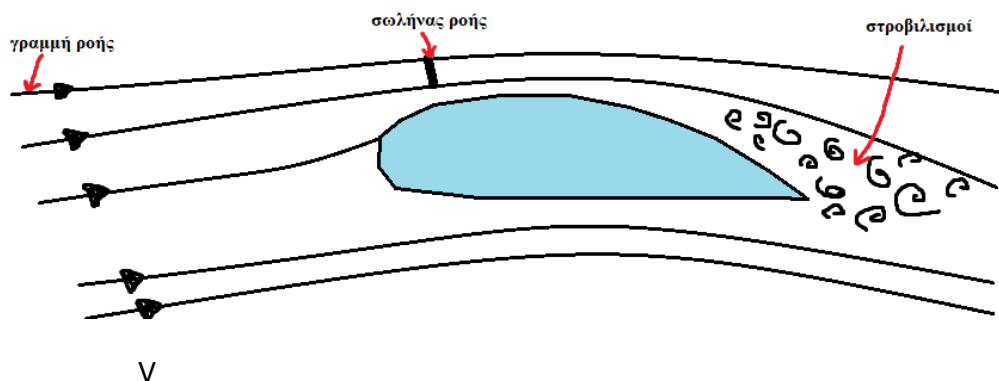
Αεροδυναμική ονομάζεται ο κλάδος της ρευστομηχανικής που καταπιάνεται με την αλληλεπίδραση του αέρα κυρίως, με ένα κινούμενο σώμα. Η σχεδίαση των σωμάτων αυτών γίνεται με τέτοιο τρόπο ώστε να αποφεύγεται όσο είναι επιτρεπτό το φαινόμενο αποκόλλησης ροής. Το αεροσκάφος είναι το μέσο το οποίο εκμεταλλεύεται τη σχετική του κίνηση με την ατμόσφαιρα και καταφέρνει να ίπταται, εμφανίζοντας άνωση από την πίεση του ρεύματος αέρα, το οποίο διαπερνά από την κάτω επιφάνεια των πτερύγων του.

#### 1.1.1. Ανατομία Αεροσκάφους

Τα δομικά μέρη ενός αεροσκάφους, ονομάζονται κύριο σώμα. Το κύριο σώμα αποτελείται από την άτρακτο, τους σταθεροποιητές, τα πτερύγια, την ουρά, τον κινητήρα, τους τροχούς προσγείωσης και, στα μικρά αεροσκάφη, ο έλικας. Πιο ειδικά, η άτρακτος είναι ο κορμός του αεροσκάφους συμπεριλαμβανομένης της καμπίνας πλοήγησης όπου εδραιώνονται πάνω της τα παραπάνω δομικά μέρη. Οι σταθεροποιητές χωρίζονται σε οριζόντιοι και κατακόρυφοι και λειτουργούν ως φρένο. Οι οριζόντιοι σταθεροποιητές βρίσκονται στα φτερά αλλά και στην ουρά του αεροσκάφους ενώ οι κατακόρυφοι μόνο στην ουρά.

### 1.2. Ροή του αέρα

Στην αεροδυναμική, ο όρος ροή ορίζει την κίνηση των μορίων ενός ρευστού από το αρχικό σημείο της παρατήρησης μας στο τελικό σε βάθος χρόνου.



Εικόνα 1.2. Η φάση ροής του αέρα στο φτερό.

Γραμμή ροής (streamline): η νοητή γραμμή η οποία σε κάθε σημείο έχει εφαπτόμενο το διάνυσμα της ταχύτητας.

Σωλήνας ροής (stream tube): ο αγωγός που σχηματίζεται από τις γραμμές ροής με οδηγό μια κλειστή καμπύλη.



Ταχύτητα ροής: το όριο του λόγου της απόστασης που διανύει ένα στοιχείο του ρευστού προς το χρόνο που απαιτείται .

Στροβιλισμοί: είναι συνάρτηση της κυκλοφορίας και εξασθενεί πίσω από την πτέρυγα λόγω της συνεκτικότητας και της τύρβης.

V: ταχύτητα ροής είναι το όριο του λόγου της απόστασης που διανύει ένα στοιχείο του ρευστού προς τον χρόνο που απαιτείται.

### 1.2.1.Ιδανική-Πραγματική ροή

Ιδανική ροή: δεν ασκούνται τριβές μεταξύ των τοιχωμάτων (των στερεών ορίων που την οριοθετούν) και των μορίων της

Πραγματική ροή: ασκούνται τριβές και διατμητικές τάσεις

### 1.2.2.Συμπίεστη-Ασυμπίεστη ροή

Συμπίεστη: όταν η πυκνότητα αλλάζει και ο αέρας λαμβάνεται συμπίεστος για ταχύτητες πιο μεγάλες από 0.3M.

Ασυμπίεστη: όταν δεν μεταβάλλεται η πυκνότητα οπότε είναι σταθερή και ο αέρας για περιθώριο ταχυτήτων μέχρι 0.3M

Για να καταλάβουμε εάν η ροή είναι συμπίεστη ή ασυμπίεστη ,χρησιμοποιούμε τον αριθμό Mach :  $M = V/a$ , όπου,

V: σχετική ταχύτητα του ρευστού μέσου με το αεροσκάφος

a: ταχύτητα του ήχου στο ρευστό μέσο

### 1.2.3.Τυρβώδη-Στρωτή ροή

Η ροή, ανεξαρτήτως αν είναι συμπίεστη ή όχι, μπορεί να διακριθεί σε στρωτή και τυρβώδης ανάλογα με το μοτίβο των ρευματικών γραμμών. Στρωτή ή παράλληλη ροή υπάρχει όταν το ρευστό ρέει παράλληλα με τα τοιχώματα του μέσου που το περιέχει και οι γραμμές ροής είναι παράλληλες μεταξύ τους. Στην κατάσταση τυρβώδους ή στροβιλώδους ροής, οι γραμμές ροής έχουν την μορφή ακανόνιστων καμπυλών που (σε δισδιάστατη προβολή) τέμνουν συνεχώς η μία την άλλη δίνοντας την εικόνα ροής με στροβιλισμούς

Το μοτίβο των ρευματικών γραμμών καθορίζει μια ροή ως τυρβώδη (στροβιλώδους) ή ως στρωτή (παράλληλη). Αναλυτικότερα, όταν το ρευστό ρέει παράλληλα με τα τοιχώματα του μέσου που το συμπεριλαμβάνει και ταυτόχρονα οι γραμμές ροής είναι παράλληλες μεταξύ τους τότε ονομάζεται στρωτή. Όταν οι γραμμές ροής έχουν

άναρχες καμπύλες που συγκρούονται μεταξύ τους αλλά δίνοντας την εικόνα ροής με στροβιλισμό, ονομάζονται τυρβώδης ροή.

### 1.3. Κινητήριες δυνάμεις

Το βάρος, η άνωση ή δυναμική άνωση, η ώση και η οπισθέλκουσα είναι οι κύριες και βασικές δυνάμεις που ασκούνται σ' ένα αεροσκάφος. Είναι καθολικά αποδεκτό ότι, για να ίπταται ένα αεροσκάφος κάποιες από αυτές τις δυνάμεις θα πρέπει (σύμφωνα με τον τρίτο νόμο του Νεύτωνα) να υπερνικήσουν και κάποιες να υπερνικηθούν. Το βάρος υπερνικείται από την άντωση και η οπισθέλκουσα από την ώση.

Ωση και Οπισθέλκουσα: Τα μόρια του αέρα εισέρχονται στον κινητήρα, αναμιγνύονται με καύσιμο και τελικά τα καυσαέρια εξέρχονται με μεγάλη ορμή προς τα πίσω(οπισθέλκουσα) ωθώντας το αεροσκάφος προς τα εμπρός (ώση).

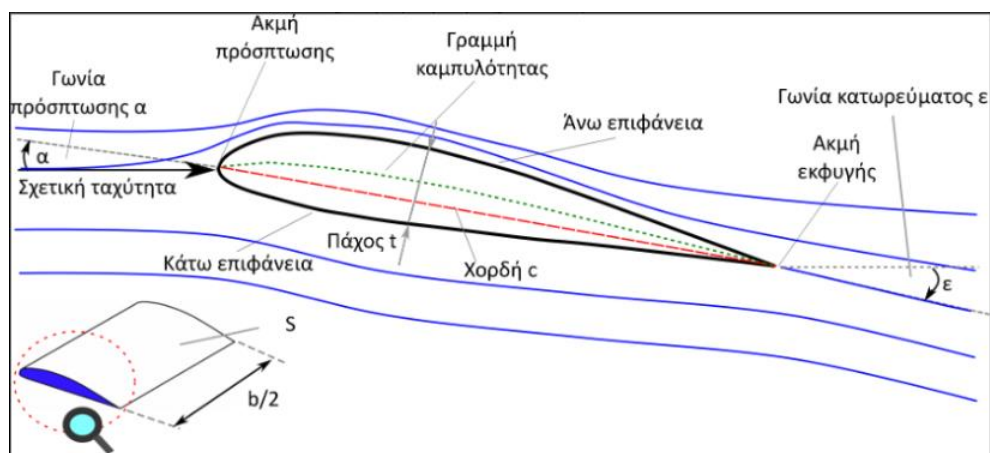
Βάρος και Δυναμική Άνωση: Το βάρος είναι η δύναμη έλξης που ασκεί η Γη στο αεροπλάνο. Η δυναμική άνωση δημιουργείται από τα πτερύγια αλλάζοντας την πίεση και την κατεύθυνση του αέρα που ασκείται πάνω τους. Εν ώρα πτήσης του αεροσκάφους δημιουργείται μια διαφορά πίεσης στην ροή του αέρα λόγω των πτερύγων. Ειδικότερα, η άνω επιφάνεια των πτερύγων δέχεται μικρότερη πίεση σε σύγκριση με την κάτω. Η διαφορά πίεσης αυτή κάνει το αεροσκάφος να ίπταται.

## Κεφάλαιο 2 - Ανάλυση Πτερύγων

### 2.1. Αεροδυναμική δομή των πτερύγων

Όπως προαναφέρθηκε στο προηγούμενο κεφάλαιο η αεροδυναμική δομή των πτερύγων έχει ως στόχο την δημιουργία μέγιστης δυναμικής άνωσης όταν αλληλεπιδρά με κινούμενο ρευστό (φαινόμενο Bernoulli). Η πτέρυγα του αεροσκάφους είναι ο φορέας εφαρμογής της άνωσης. Σύμφωνα με τα σχέδια του αεροσκάφους η πτέρυγα αποκτά διάφορες μορφές, τόσο ως προς την κάτοψη όσο και ως προς την τομή κατά την κατεύθυνση πτήσης.

### 2.2. Γεωμετρία Αεροτομών



**Εικόνα 2.2.1.** Γεωμετρικά χαρακτηριστικά αεροτομής. (Πηγή: Αντωνιάδης, Ι. (2015), «Δυναμική και Έλεγχος Πτήσης»)

**Γραμμή χορδής (Chord line):** η γραμμή χορδής  $c$  είναι μια θεωρητική ευθεία γραμμή που εκτείνεται από το μπροστινό άκρο της πτέρυγας έως το πίσω άκρο της. Η γωνία μεταξύ της γραμμής χορδής και του διαμήκους άξονα του αεροπλάνου είναι γνωστή ως η γωνία πρόσπτωσης.

**Μέση γραμμή καμπυλότητας (Mean Camber line):** η μέση γραμμή καμπυλότητας είναι η ισοδύναμη απόσταση των σημείων ενδιάμεσα στην άνω και στην κάτω επιφάνεια της αεροτομής. Στις συμμετρικές αεροτομές η χορδή και η μέση γραμμή καμπυλότητας είναι ίδιες.

**Χείλος προσβολής:** η αρχή της μέσης γραμμής καμπυλότητας και η περιοχή της αεροτομής που προσπίπτει ο αέρας.

**Ακμή προσβολής ή πρόσπτωσης:** το σημείο με τη μεγαλύτερη καμπυλότητα στο μπροστά μέρος της αεροτομής

**Ακμή εκφυγής:** είναι το σημείο με τη μεγαλύτερη καμπυλότητα στο πίσω μέρος της αεροτομής στο οποίο καταλήγει η μέση γραμμή καμπυλότητας.

**Πάχος (Thickness t):** η κατανομή του πάχους σε ολόκληρη την μέση γραμμή.

**Γωνία πρόσπτωσης ( $\alpha$ ):** η γωνία που σχηματίζει το διάνυσμα της ταχύτητας της ροής με τη χορδή.

**Γωνία κάτω ρεύματος ( $\epsilon$ ):** η γωνία μεταξύ της διεύθυνσης της ελεύθερης ροής και της διεύθυνσης της ροής στην ακμή εκφυγής.

**Άνω επιφάνεια ή επιφάνεια αναρρόφησης:** στην άνω επιφάνεια της αεροτομής, η μέση ταχύτητα είναι μεγαλύτερη από αυτή της ροής, ενώ η στατική πίεση είναι μικρότερη.

**Κάτω επιφάνεια ή επιφάνεια πίεσης:** στην κάτω επιφάνεια της αεροτομής η μέση ταχύτητα είναι μικρότερη από αυτή της ροής, ενώ η στατική πίεση είναι μεγαλύτερη.

**Πτερυγική επιφάνεια (S):** η ολική επιφάνεια όλης της αεροτομής.

**Εκπέτασμα (b):** πλάτος αεροτομής.

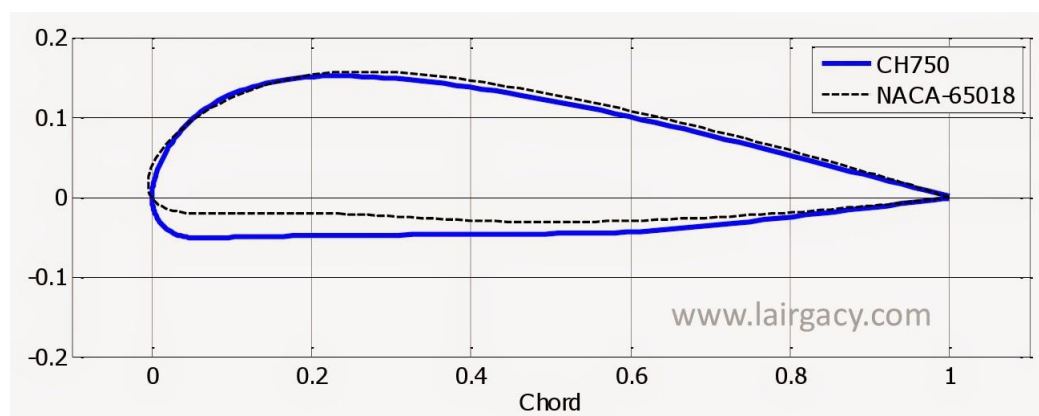
### 2.2.1. Σύστημα αρίθμησης αεροτομών NACA.

#### NACA MPXX

M= είναι η μέγιστη τιμή της κύρτωσης της μέσης γραμμής (mean line) επί τοις εκατό της χορδής.

P= είναι η θέση της μέγιστης κύρτωσης (camber) σε δέκατα της χορδής.

XX= είναι το μέγιστο πάχος, t/c ως ποσοστό χορδής επί τοις εκατό.



**Εικόνα 2.2.2.** Αεροτομή NACA-65018. (Πηγή: [www.lairgacy.com](http://www.lairgacy.com))

## 2.3. Γωνία Προσβολής και Γωνιά Πρόσπτωσης

### 2.3.1. Σχετικός άνεμος

Όποια και αν είναι η κατεύθυνση του αεροπλάνου, ο σχετικός άνεμος βρίσκεται στην αντίθετη κατεύθυνση. Εάν το αεροπλάνο πετάει προς τα βόρεια και κάποιος στο αεροπλάνο δεν προστατεύεται από αυτό, το άτομο θα αισθανθεί ότι ο άνεμος έρχεται κατευθείαν από το νότο.

### 2.3.2. Γωνία προσβολής (Angle of attack)

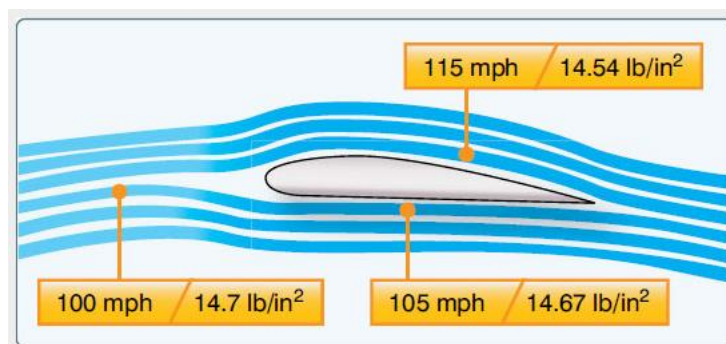
Η γωνία μεταξύ της χορδής και του σχετικού ανέμου είναι η γωνία προσβολής. Καθώς η γωνία προσβολής αυξάνεται, η ανύψωση στην πτέρυγα αυξάνεται. Εάν η γωνία προσβολής γίνει πολύ μεγάλη, η ροή του αέρα μπορεί να διαχωριστεί από το φτερό και να καταστραφεί.

### 2.3.3. Γωνία πρόσπτωσης (Angle of Incidence)

Η γωνία πρόσπτωσης μιας πτέρυγας είναι η γωνία που σχηματίζεται από τη διασταύρωση της γραμμής χορδής πτέρυγας και του οριζόντιου επιπέδου που διέρχεται μέσω του διαμήκους άξονα του αεροσκάφους. Πολλά αεροπλάνα έχουν σχεδιαστεί με μεγαλύτερη γωνία πρόσπτωσης στη ρίζα του φτερού από ό, τι στην άκρη. Αυτό το χαρακτηριστικό αναγκάζει το εσωτερικό τμήμα της πτέρυγας να σταματήσει πριν από το εξωλέμβιο τμήμα, το οποίο βοηθά στη διατήρηση του ελέγχου του αεροδρομίου κατά τα αρχικά στάδια ενός πτερυγίου.

## 2.4. Παράγοντες επιρροής της Άνωσης

Ένας από τους πιο σημαντικούς παράγοντες επιρροής της άνωσης είναι η γωνία προσβολής. Στο παρακάτω σχήμα, παρατηρείτε ότι η άνω επιφάνεια του προφίλ φτερού έχει μεγαλύτερη καμπυλότητα από την κάτω επιφάνεια.



**Εικόνα 2.4.** Η φάσεις των ταχυτήτων του αέρα ως προς το φτερό. (Πηγή: <http://www.flight-mechanic.com/>)

Η διαφορά στην καμπυλότητα των άνω και κάτω επιφανειών της πτέρυγας αυξάνει τη δύναμη ανύψωσης. Ο αέρας που ρέει πάνω από την άνω επιφάνεια της πτέρυγας

πρέπει να φτάσει στο πίσω άκρο της πτέρυγας στο ίδιο χρονικό διάστημα με τον αέρα που ρέει κάτω από την πτέρυγα. Για να γίνει αυτό, ο αέρας που περνά πάνω από την άνω επιφάνεια κινείται με μεγαλύτερη ταχύτητα από τον αέρα που περνά κάτω από την πτέρυγα λόγω της μεγαλύτερης απόστασης που πρέπει να ταξιδεύει κατά μήκος της άνω επιφάνειας. Αυτή η αυξημένη ταχύτητα, σύμφωνα με την Αρχή του Bernoulli, σημαίνει αντίστοιχη μείωση της πίεσης στην επιφάνεια. Έτσι, δημιουργείται μια διαφορά πίεσης μεταξύ της άνω και της κάτω επιφάνειας του πτερυγίου, αναγκάζοντας το φτερό προς τα πάνω προς την κατεύθυνση της χαμηλότερης πίεσης.

Εντός ορίων, η ανύψωση μπορεί να αυξηθεί αυξάνοντας τη γωνία προσβολής, την περιοχή πτερυγίων, την ταχύτητα, την πυκνότητα του αέρα ή αλλάζοντας το σχήμα της αεροτομής. Όταν η δύναμη ανύψωσης στην πτέρυγα ενός αεροσκάφους ισούται με τη δύναμη της βαρύτητας, το αεροσκάφος διατηρεί επίπεδη πτήση.

## 2.5. Αριθμός Reynolds

Ο αριθμός Reynolds (Re) είναι ένας αδιάστατος αριθμός, που τον καθιστά ανεξάρτητο από τα συστήματα μέτρησης. Το κινηματικό ιξώδες εξαρτάται σε κάποιο βαθμό από την πυκνότητα του αέρα, αλλά για τα αεροσκάφη όπως το CH601 (θα γίνει σχετική αναφορά στο επόμενο κεφάλαιο) που πετούν κάτω από 12.000 πόδια, μπορεί να θεωρηθεί σταθερό (ισοδύναμο με  $15 \times 10^6 \text{ sec} / \text{m}^2$  σε μετρικό).

Αριθμός Reynolds

$$Re = V \cdot \frac{L}{\nu}$$

Όπου:

**V**: Σχετική ταχύτητα (m / sec)

**L**: τυπικό "μήκος" ενός στερεού σώματος (M)

**$\nu$** : κινηματικό ιξώδες του αέρα ( $\text{sec} / \text{m}^2$ )

Η ταχύτητα μπορεί εύκολα να μετατραπεί:

$$1 \text{ mph} = 1.15 \text{ Kts} = 1.61 \cdot \text{km} / \text{h} = 1.61 / 3.6 \cdot \text{m} / \text{sec} = 0.45 \text{ m} / \text{sec}.$$

Το ίδιο ισχύει και για το μήκος:

$$1 \text{ πόδι} = 0.305 \text{ m}.$$

Τα μικρά αεροσκάφη έχουν μια χορδή πτέρυγας, που είναι το «μήκος» που χρησιμοποιείται όταν γίνεται αναφορά στα αεροπορικά αεροσκάφη, περίπου 5 πόδια είναι ισοδύναμο με 1.5 m.

## Κεφάλαιο 3 - Δομικά Υλικά

### 3.1. Κράματα αλουμινίου (Aluminum Alloys)

Το αλουμίνιο, μαζί με το μαγνήσιο και το τιτάνιο, ανήκει στην κατηγορία των ελαφρών μετάλλων με πυκνότητα  $2.7\text{g/cm}^3$  έναντι του σιδήρου που είναι  $7.8\text{g/cm}^3$  και του χαλκού  $8.9\text{g/cm}$ . Το αλουμίνιο και τα κράματά του εμφανίζουν μεγάλη αντοχή στη διάβρωση λόγω της αυθόρμητης δημιουργίας επιφανειακού στρώματος  $\text{Al}_2\text{O}_3$  που είναι λεπτό και αδιαπέραστο από το οξυγόνο, προστατεύοντας έτσι το υλικό από περαιτέρω οξείδωση και διάβρωση. Κρυσταλλώνεται στο κυβικό εδροκεντρωμένο κρυσταλλικό πλέγμα και λιώνει στους  $661^\circ\text{C}$ . Επιπλέον, λόγω της μεγάλης μηχανικής αντοχής που επιδεικνύει ως προς το βάρος του, καθίσταται βασικό δομικό στοιχείο σε κατασκευές, που απαιτείται υψηλή αντοχή και χαμηλό βάρος, όπως στην αυτοκινητοβιομηχανία και κυρίως την αεροναυπηγική.

Τα διάφορα κράματα αλουμινίου διακρίνονται σε κράματα διαμόρφωσης και κράματα χύτευσης και Τυποποιούνται σύμφωνα με την Α.Α. (Aluminium Association). Τα κράματα αλουμινίου διαμόρφωσης κατεργάζονται με έλαση, διέλαση ή άλλη κατεργασία διαμόρφωσης παράγοντας τελικά προϊόντα. Οι προσθήκες στο κράμα διαμόρφωσης ενισχύουν κυρίως την αντοχή σε θραύση. Αντίστοιχα, τα κράματα χώνευσης χρησιμοποιούνται κυρίως για την κατασκευή χυτών εξαρτημάτων σε χυτόπρεσες, όπως παραγωγή αντλιών, εμβόλων, βαλβίδων, ζαντών αυτοκινήτων και λοιπών στοιχείων που χρησιμοποιούνται στην αυτοκινητοβιομηχανία και την αεροναυπηγική. Οι προσθήκες στα κράματα χύτευσης επηρεάζουν ιδιαίτερα την ευκολία χύτευσης του κράματος. Τα στοιχεία που χρησιμοποιούνται για την παραγωγή των διαφόρων κραμάτων Αλουμινίου είναι ο Χαλκός (Cu), το Μαγγάνιο (Mn), το Πυρίτιο (Si), το Μαγνήσιο (Mg), ο Ψευδαργυρος (Zn) και ο Σίδηρος (Fe). Η τυποποίηση των κραμάτων αλουμινίου γίνεται σύμφωνα με την κύρια πρόσμιξη στις παρακάτω οκτώ σειρές, τόσο στα κράματα διαμόρφωσης όσο και χύτευσης με το πρώτο γράμμα της σειράς να είναι ίδιο και στις δύο περιπτώσεις:

1xxx: κράματα με περιεκτικότητα σε αλουμίνιο πάνω από 99%.

2xxx: κράματα αλουμινίου- χαλκού. 3xxx κράματα αλουμινίου-μαγγανίου.

4xxx: κράματα αλουμινίου-πυριτίου . 5xxx κράματα αλουμινίου-μαγνησίου.

6xxx: κράματα αλουμινίου-μαγνησίου-πυριτίου .

7xxx: κράματα αλουμινίου-ψευδαργύρου-μαγνησίου.

8xxx: Διάφορα κράματα αλουμινίου (λιθίου, σιδηρούχα, κ.λπ.)

### 3.2. Ντουραλουμίνιο

Ντουραλουμίνιο είναι κράμα Al- 4%Cu που ανήκει στη σειρά κραμάτων αλουμινίου διαμόρφωσης 2000 (π.χ. 2024). Η κατεργασία σκλήρυνσης που πραγματοποιείται σε



ένα τέτοιο κράμα ονομάζεται σκλήρυνση με κατακρήμνιση λόγω γήρανσης. Η συγκεκριμένη θερμική κατεργασία περιλαμβάνει τα ακόλουθα στάδια:

- Διαλυτοποίηση: Η αρχική δομή τέτοιων κραμάτων αποτελείται από δύο φάσεις: κόκκους της α-φάσης και χονδρά σωματίδια της θ-φάσης (CHAI<sub>2</sub>). Διαλυτοποίηση καλείται η θέρμανση σε θερμοκρασία 500-550°C, που πραγματοποιείται προκειμένου να διαλυθεί πλήρως ο χαλκός στη α-φάση και έτσι να δημιουργηθεί μονοφασικό κράμα α-φάσης.
- Υπερβαφή: Μετά τη διαλυτοποίηση ακολουθεί απότομη ψύξη, η οποία σκοπό έχει να διατηρήσει την φάση και σε θερμοκρασία περιβάλλοντος. Η δομή αυτή είναι υπέρκορη σε χαλκό.
- Γήρανση: Είναι η παραμονή του κράματος για μεγάλο χρονικό διάστημα (100-500 ώρες) είτε σε θερμοκρασία περιβάλλοντος (φυσική γήρανση), είτε σε κάποια χαμηλή σχετικά θερμοκρασία, 100-200°C (τεχνητή γήρανση). Σκοπός της γήρανσης είναι η δημιουργία μίας μεταβατικής φάσης-θ ( η οποία είναι πρόδρομος της θ) σε πολύ λεπτό διαμερισμό μέσα στην α-φάση τα λεπτά σωματίδια της θ-φάσης (διαμέτρου μόλις μερικά angstrom ή το πολύ nm διασκορπίζονται ομογενώς μέσα στην φάση μέσω μιας διεργασίας που ονομάζεται κατακρήμνιση και απαιτεί μεγάλο χρονικό διάστημα προκειμένου να επιτευχθεί. Η λεπτή αυτή διασπορά της θ-φάσης οδηγεί σε κατακόρυφη αύξηση της μηχανικής αντοχής του υλικού.

### 3.3.Κράμα αλουμινίου 2024-T4 και 6061-T6

Τα 2024-T4 και 6061-T6 είναι δύο από τα πιο κοινά κράματα που χρησιμοποιούνται στα αεροσκάφη σήμερα και είναι άμεσα διαθέσιμα. Το κράμα 6061-T6 είναι διαμόρφωσης 6xxx και το κράμα 2024-T4 είναι διαμόρφωσης 2xxx.

#### Σύνθεση Κραμάτων αλουμινίου

Κράμα	6061-T6	2024-T4
Χαλκός	0.25	4.50
Πυρίτιο	0.60	
Μαγγάνιο		0.60
Μαγνήσιο	1.00	1.50
Χρόμιο	0.25	

*Πίνακας 3.3.α : Το ποσοστό των στοιχείων κράματος εκτός από καθαρό αλουμίνιο.*

#### Πάχος Μεταλλικού Ελάσματος (-T)Temper

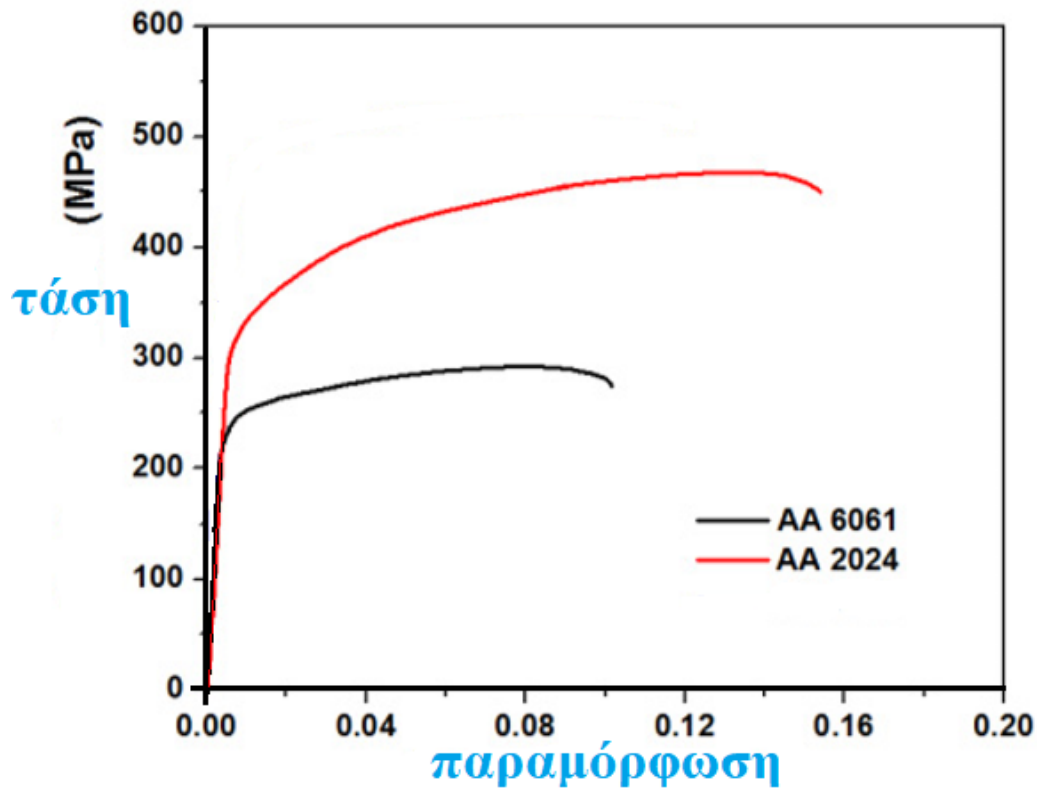
**-T6:** Το διάλυμα υπέστη θερμική επεξεργασία και τεχνητή παλαίωση.

**-T4:** Θερμικά επεξεργασμένο διάλυμα.

Το φύλλο αλουμινίου 6061-T6 είναι ένα κράμα που μπορεί να επεξεργαστεί με θερμότητα και έχει καλή διαμορφωμένη ικανότητα, ικανότητα συγκόλλησης, δυνατότητα κατεργασίας. Στην αεροπορική βιομηχανία για κατασκευές υψηλών αντοχών τα κράματα αλουμινίου που χρησιμοποιούνται είναι διαμόρφωσης 2014,



2014A, 2017A, 2024, 7010 και 7075. Ωστόσο, για κατασκευές μέσης αντοχής και υψηλής θερμοκρασίας τα κράματα αλουμινίου που χρησιμοποιούνται είναι διαμόρφωσης 6061 και 6082. (Στο Κεφάλαιο 5.1. αναλύονται όλοι οι παρακάτω όροι.)



**Εικόνα 3.3.** Διάγραμμα Τάσης/Παραμόρφωσης κραμάτων αλουμινίου 2024 και 6061.

Τέλος, από το διάγραμμα και προκύπτει ότι το κράμα αλουμινίου με τα πιο ανθεκτικά χαρακτηριστικά και καλύτερες μηχανικές ιδιότητες είναι το 2024. Βλέποντας το διάγραμμα το κράμα αλουμινίου 2024 για να φύγει από την ελαστική παραμόρφωση και να μπει στην πλαστική χρειάζεται μεγαλύτερη τάση σε σχέση με το 6061. Επίσης, από το μέγεθος της καμπύλης ότι το 2024 είναι πιο όλκιμο από το 6061 διότι την στιγμή που το 6061 σπάει, το 2024 συνεχίζει να παραμορφώνεται πλαστικά.

Κράμα αλουμινίου	$\sigma_{YS}$ Τάση Διαρροής	$\sigma_{UTS}$ Τάση Εφελκυσμού	%El Ολκιμότητα	(VHN) Σκληρότητα
2024	310±5	457±6	16.2±0.2	130±2
6061	250±3	294±4	11.3±0.4	107±4

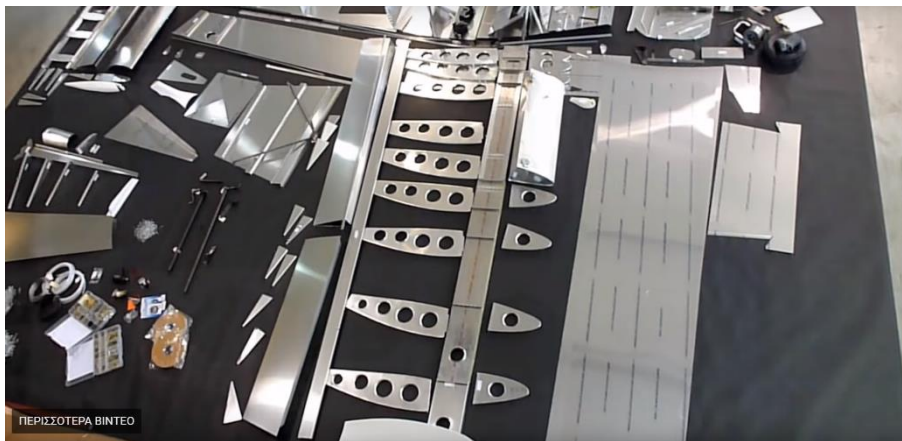
**Πίνακας 3.3.β.** Μηχανικές Ιδιότητες κραμάτων αλουμινίου 2024 και 6061.

## Κεφάλαιο 4 – Ανατομία των Πτερύγων

Είναι ευρέως γνωστό ότι, τα φτερά είναι αεροτομές ενσωματωμένες στην κάθε πλευρά της ατράκτου καθώς είναι οι κύριες επιφάνειες δυναμικής άνωσης που στηρίζουν το αεροσκάφος κατά την πτήση.

Υπάρχουν διάφορα μεγέθη, σχήματα και σχεδιασμοί πτερυγίων, που εξυπηρετούν συγκεκριμένες ανάγκες όπως αναφέρθηκε το μπροστινό μέρος ονομάζεται χείλος προσβολής της πτέρυγας εν το πίσω μέρος ονομάζεται πίσω άκρο ή χείλος εκφυγής. Τα πτερύγια μπορούν να συνδεθούν στο επάνω, το μεσαίο ή το κατώτερο σημείο της ατράκτου. Μπορούν να εκτείνονται κάθετα στο οριζόντιο επίπεδο της ατράκτου ή μπορεί να γέρνουν ελαφρώς. Η γωνία που δημιουργείται λόγω αυτής της κλίσης, ονομάζεται δίδρο της πτέρυγας. Η δίδρη γωνία επηρεάζει την πλευρική σταθερότητα του αεροσκάφους. Ο αριθμός των πτερυγίων μπορεί επίσης να ποικίλλει. Τα αεροσκάφη με ένα σετ πτερυγίων ονομάζονται μονοπλάνα, ενώ αυτά που διαθέτουν δύο σετ ονομάζονται διπλανά.

Πολλά αεροσκάφη με πτερύγια τοποθετημένα ψηλά, έχουν εξωτερικούς βραχίονες ή στύλους που μεταδίδουν τα φορτία πτήσης και προσγείωσης μέσω των στύλων, στην κύρια δομή της ατράκτου. Συνήθως αυτός ο τύπος κατασκευής ονομάζεται ημι-πρόβολο. Λίγα αεροσκάφη διαθέτουν πτερύγια πλήρους πρόσωσης, τα οποία έχουν σχεδιασθεί για να μεταφέρουν φορτία χωρίς εξωτερικά στηρίγματα. Τα κυριότερα δομικά τμήματα των πτερυγίων είναι οι ράβδοι, οι δοκοί και οι χορδές. Αυτά είναι ενισχυμένα με στηρίγματα, δοκούς, σωληνώσεις ή καλύπτονται από ύφασμα, αλουμίνιο ή κάποιο άλλο κέλυφος σύνθετου υλικού. Οι εγκάρσιες νευρώνες πτέρυγας καθορίζουν το σχήμα και το πάχος του πτερυγίου.



**Εικόνα 4.** Μεταλλικά κομμάτια της πτέρυγας του αεροσκάφους Zenith650 aircraft. (Πηγή: [www.zenithair.net](http://www.zenithair.net))

Όπως αναλύθηκε στα προηγούμενα κεφάλαια τα φτερά παίζουν πρωταγωνιστικό ρόλο στην πτήση ενός αεροσκάφους. Τα μέλη που αποτελείται η πτέρυγα ενός αεροσκάφους είναι:

- Οι δύο δοκοί, η κύρια (main spar) και η οπίσθια (rear spar)
- Τα πλευρά ή νεύρα, το εμπρόσθιο πλευρό ή μύτη (nose rib), το ενδιάμεσο πλευρό (rear rib) και το πτερύγιο κλίσης (aileron)
- Δοχείο καυσίμου-ντεπόζιτο (fuel tank)
- Εξωτερικοί φλοιοί (Skin) στο άνω και κάτω μέρος του φτερού και στο εμπρόσθιο αλλά και στο πτερύγιο κλίσης
- Πριτσίνια (rivet) για την συνδεσμολογία των κομματιών

#### 4.1. Δοκός (Spar)

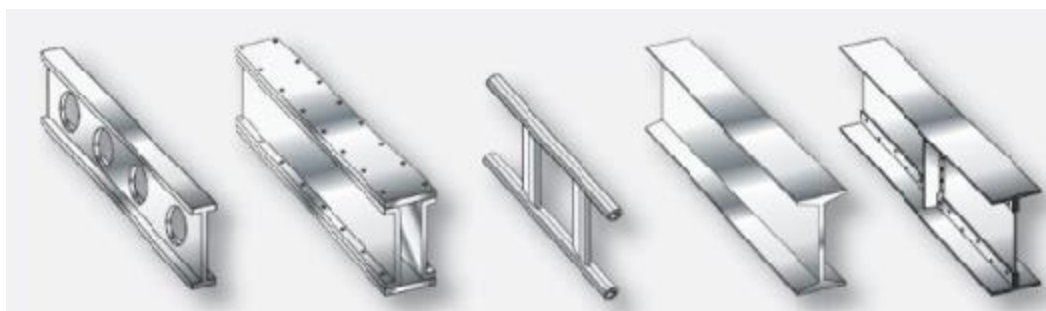
Η δοκός είναι η «σπονδυλική στήλη» μιας πτέρυγας καθώς πάνω σε αυτή σταθεροποιούνται οι νευρώνες και έτσι πλαισιώνεται το φτερό. Είναι από πιο τα κύρια δομικά μέλη της πτέρυγας. Τρέχουν παράλληλα με τον πλευρικό άξονα του αεροσκάφους, από την άτρακτο προς την άκρη της πτέρυγας, και συνήθως συνδέονται στην άτρακτο με εξαρτήματα πτερυγίων, απλές δοκούς ή δοκό. Στα περισσότερα αεροσκάφη υπάρχουν δυο δοκοί στήριξης, η κύρια και η οπίσθια. Η κατασκευή πτερυγίων βασίζεται σε ένα από τα παρακάτω τρία σχέδια όπου πολλοί κατασκευαστές μπορούν να τα τροποποιήσουν :

Monospar : όταν η πτέρυγα έχει μια αποκλειστική δοκό σε όλη την κατασκευή της.

Multispar: ενσωματώνει περισσότερα από μια δοκό διαμήκης της κατασκευής της πτέρυγας.

Box beam: χρησιμοποιεί δύο κύρια διαμήκη μέλη με συνδετικά διαφράγματα για να παρέχει επιπλέον αντοχή και να δίνει περίγραμμα στην πτέρυγα.

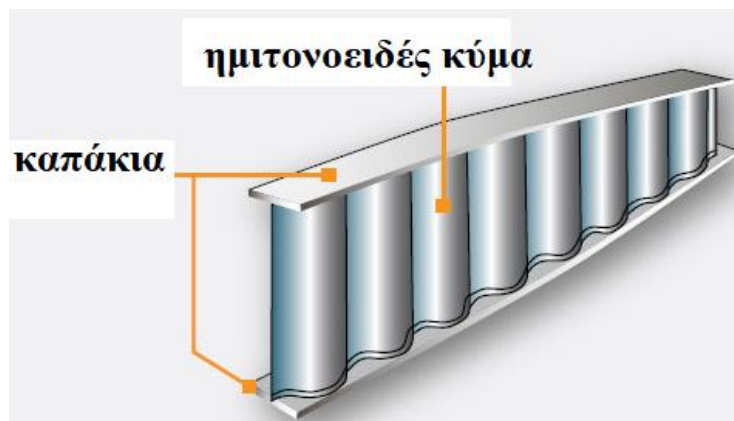
Τα ανταλλακτικά μπορούν να κατασκευαστούν από μέταλλο, ξύλο ή σύνθετα υλικά ανάλογα με τα κριτήρια σχεδιασμού ενός συγκεκριμένου αεροσκάφους. Οι ξύλινες δοκοί κατασκευάζονται συνήθως από έλατο. Επί του παρόντος, τα περισσότερα κατασκευασμένα αεροσκάφη έχουν δοκούς από εξωθημένο στερεό αλουμινίου για να σχηματίσουν τον άξονα. Η **Εικόνα 4.1.1.** δείχνει παραδείγματα διατομών δοκών μεταλλικών πτερυγίων.



**Εικόνα 4.1.1.** Σχήμα μεταλλικών δοκών. (Πηγή: <http://www.flight-mechanic.com/>)

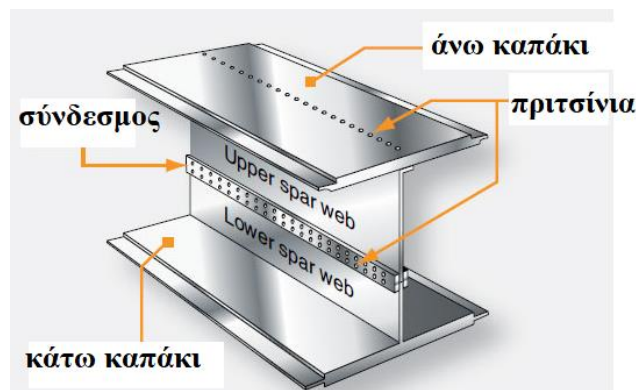
Σε μια δοκό τύπου I-beam, το πάνω και το κάτω μέρος της δέσμης I ονομάζονται καπάκια (caps) και η κάθετη ενότητα ονομάζεται ιστός. Επίσης, ολόκληρη η δοκός μπορεί να εξωθηθεί από ένα κομμάτι μετάλλου, αλλά συνήθως δημιουργείται από πολλαπλές εξωθήσεις ή σχηματισμένες γωνίες. Ο ιστός σχηματίζει το κύριο τμήμα βάθους του στύλου και τα καπάκια συνδέονται σε αυτό. Αυτά τα μέλη μαζί φέρουν τα φορτία που προκαλούνται από την κάμψη των πτερυγίων, με τα καπάκια να παρέχουν την βάση για την προσαρμογή των εξωτερικών φλοιών.

Θα μπορούσε επίσης να μην έχει ενισχυτικά αλλά μπορεί να περιέχει φλάντζες οπές για τη μείωση του βάρους αλλά τη διατήρηση της αντοχής. Μερικοί δοκοί διατηρούν το προφίλ I-beam, αλλά χρησιμοποιούν ένα ημιτονοειδές πλέγμα, όπως στην **Εικόνα 4.1.2.**



**Εικόνα 4.1.2.** Μεταλλικό προφίλ I-beam με ημιτονοειδές πλέγμα. (Πηγή: <http://www.flight-mechanic.com/>)

Επιπλέον, υπάρχει ένας σχεδιασμός δοκού που παρέχει ασφάλεια αστοχίας. Ασφάλεια αστοχίας σημαίνει ότι εάν ένα μέλος μιας σύνθετης δομής αποτύχει, κάποιο άλλο μέρος της δομής αναλαμβάνει το φορτίο του αποτυχημένου μέλους και επιτρέπει τη συνέχιση της λειτουργίας. Ένας άξονας με ασφαλή κατασκευή φαίνεται στην **Εικόνα 4.1.3.** Αυτός ο ορθοστάτης γίνεται σε δύο τμήματα. Το άνω τμήμα αποτελείται από ένα καπάκι που καρφώνεται στην πάνω πλάκα ιστού.

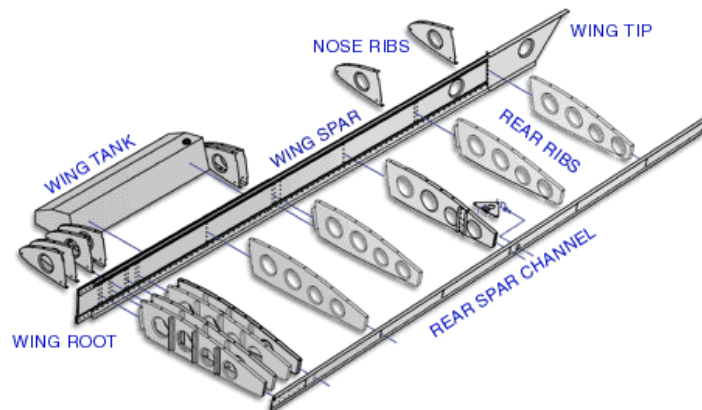


**Εικόνα 4.1.3.** Δοκός με ασφάλεια αστοχίας. (Πηγή: <http://www.flight-mechanic.com/>)

## 4.2. Νευρώνες (Rib)

Νευρώνες ή πλευρά μιας πτέρυγας είναι κυρίως μεταλλικά ελάσματα με φλάντζες και οπές που εκτείνονται από το μπροστινό άκρο της πτέρυγας έως τον πίσω άξονα ή μέχρι το πίσω άκρο της πτέρυγας. Το πλευρό χωρίζεται σε τρία μέρη το εμπρόσθιο, το κύριο και το πτερύγιο κλίσης. Οι νευρώνες επίσης, δίνουν στην πτέρυγα το καμπυλωτό της σχήμα και μεταδίδουν το φορτίο από τον εξωτερικό φλοιό στα άκρα. Πιο συγκεκριμένα, τα πτερύγια κατασκευάζονται συνήθως από ξύλο(έλατο) ή μέταλλο. Τα αεροσκάφη με ξύλινη δοκό μπορεί να έχουν είτε ξύλινα είτε μεταλλικά πλευρά. Από την άλλη μια πτέρυγα με μεταλλική δοκό μπορεί να έχει μόνο μεταλλικά πλευρά.

Οι νευρώνες που βρίσκονται εντελώς μπροστά από το μπροστινό άκρο που χρησιμοποιούνται για να διαμορφώσουν και να ενισχύσουν το μπροστινό άκρο του φτερού ονομάζονται εμπρόσθιες νευρώνες (nose ribs) ή ψευδείς νευρώνες. Οι ψευδείς νευρώνες είναι νευρώνες που δεν εκτείνονται σε ολόκληρη τη χορδή των πτερυγίων, η οποία είναι η απόσταση από το μπροστινό άκρο έως το πίσω άκρο της πτέρυγας.



**Εικόνα 4.2.** Τα εσωτερικά μέλη που απαρτίζουν την πτέρυγα. (Πηγή: [www.zenithair.net](http://www.zenithair.net))

Τα πλευρικά πτερύγια μπορούν να βρεθούν στο εσωτερικό άκρο της πτέρυγας όπου η πτέρυγα προσκολλάται στην άτρακτο. Ανάλογα με τη θέση και τη μέθοδο πρόσδεσής του, ένα πλευρικό πλευρό μπορεί επίσης να ονομαστεί πλευρικό διάφραγμα ή νεύρο συμπίεσης εάν έχει σχεδιαστεί για να δέχεται φορτία συμπίεσης.

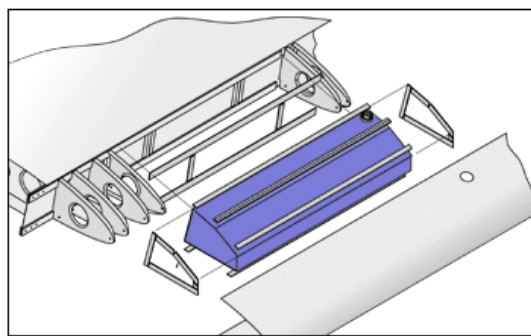
Δεδομένου ότι οι ξύλινες νευρώνες είναι πλευρικά αδύναμες, ενισχύονται πολλές φορές με ταινίες που είναι προσκολλημένες πάνω και κάτω από τα τμήματα των πλευρών για να αποτρέψουν την πλευρική κάμψη των πλευρών.

Το ακριανό καπάκι πτέρυγας είναι συχνά μια αφαιρούμενη μονάδα, βιδωμένη στο εξωτερικό άκρο του πτερυγίου. Ένας λόγος για αυτό είναι η ευπάθεια των άκρων των πτερυγίων σε ζημιές, ειδικά κατά τη διάρκεια του εδάφους και τη μεταφορά. Το ακριανό καπάκι είναι από κράμα αλουμινίου. Το καπάκι του πτερυγίου στερεώνεται

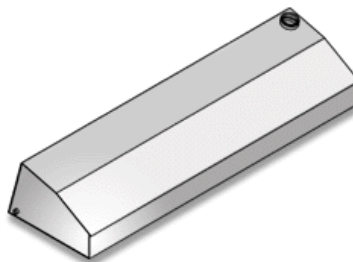
στην άκρη με βίδες μετρητή και ασφαρίζεται σε τέσσερα σημεία με μπουλόνια διαμέτρου ¼ ίντσα.

#### 4.3. Δοχείο καυσίμου (wing tank)

Είναι απαραίτητο να αναφερθεί ότι, στο μπροστά τμήμα του φτερού λαμβάνει χώρο και το δοχείο καυσίμου το οποίο είναι προϊόν βαθείας κοίλανσης. Σκοπός της βαθείας κοίλανσης είναι η μορφοποίηση επίπεδων ελασμάτων σε κυάθια. Για την επίτευξη αυτού χρειάζεται κράμα με μεγάλη ολκιμότητα, όπως λόγου χάριν ορείχαλκος ή χάλυβας. Ξεκινώντας, το ντεπόζιτο είναι ένα φύλλο χάλυβα, επικαλυμμένο με νικέλιο για να κάνει την δεξαμενή ανθεκτική στην σκουριά, όπου στο κάτω μέρος του φύλλου βρίσκεται η μήτρα ενώ στο πάνω το εμβολο πίεσης. Καθώς η υδραυλική πρέσα ασκεί πίεση οχτακοσίων τόνων συμπιέζει με αυτό τον τρόπο το υλικό και ρέει στα τοιχώματα της μήτρας παίρνοντας το επιθυμητό κοίλο σχήμα. Με την ίδια διαδικασία γίνεται και το άλλο μισό δοχείο καυσίμου. Τέλος, τα δυο αυτά κυάθια συγκολλούνται μέσω της οξυγονοκόλλησης και κόβονται τα περιμετρικά τα προεκταμένα συγκολλημένα κομμάτια.



Welded Aluminum Wing Tank:

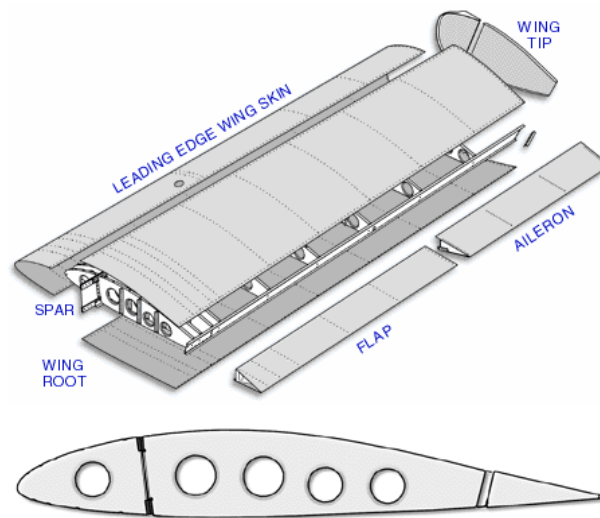


**Εικόνα 4.3.** Δοχείο καυσίμου πτέρυγας. (Πηγή: [www.zenithair.net](http://www.zenithair.net))



#### 4.4. Εξωτερικός Φλοιός (Skin)

Όπως και στο ανθρώπινο σώμα έτσι και στα αεροσκάφη ένας σκελετός δεν υφίσταται χωρίς το δέρμα του. Το δέρμα ή καλύτερα ο εξωτερικός φλοιός είναι τα ελάσματα που καλύπτουν τους νευρώνες του αεροσκάφους. Οι φλοιοί καρφώνονται με πριτσίνια πάνω στις δυο δοκούς δημιουργώντας το φτερό.



**Εικόνα 4.4.** Εξωτερικός φλοιός αεροσκαφών της Zenith Aircraft Company.  
(Πηγή: [www.zenithair.net](http://www.zenithair.net))

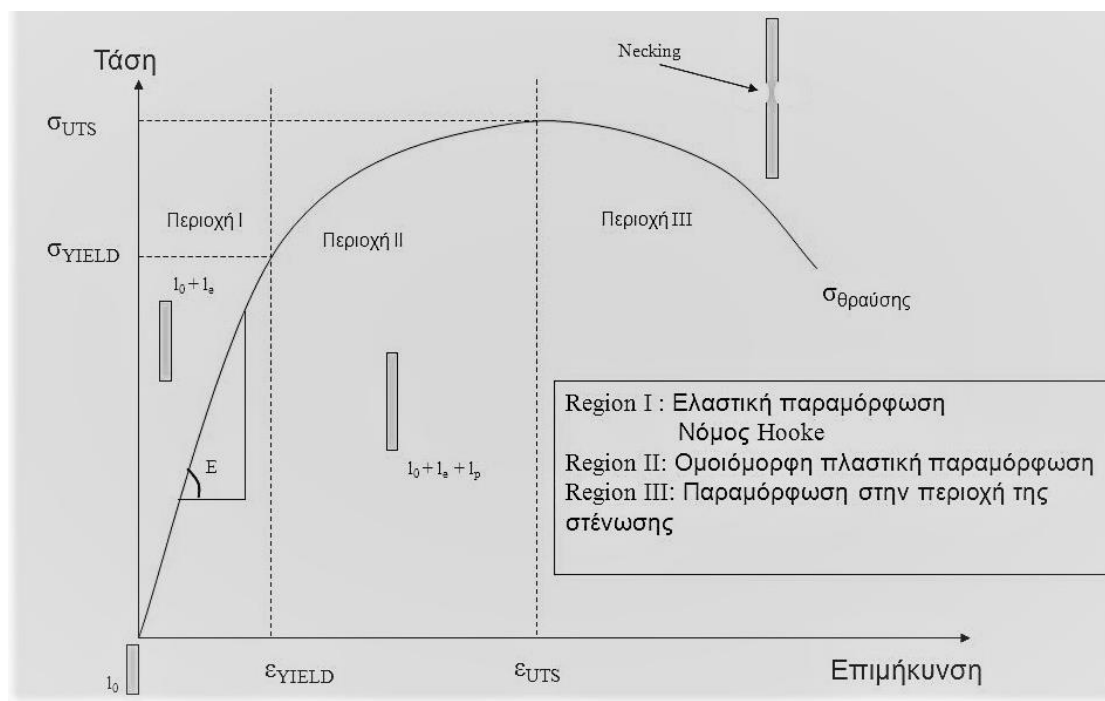
## Κεφάλαιο 5 – Κατεργασίες Μεταλλικών Ελασμάτων

### 5.1. Βασικές αρχές

Η ανάπτυξη της τεχνολογίας διαμορφώσεως των μετάλλων είχε ως αποτέλεσμα την έρευνα σε νέα υλικά στα οποία μπορούσαν να εφαρμοστούν οι νέες τεχνικές και αντίστοιχα η ανακάλυψη των νέων υλικών οδήγησε στην ανάπτυξη νέων μεθόδων διαμόρφωσης. Παρ' όλα αυτά, οι βασικές αρχές της θεωρίας των παραμορφώσεων των υλικών παραμένουν σταθερές, οριοθετώντας το τι συμβαίνει κατά την διάρκεια μιας τέτοιας κατεργασίας διαμόρφωσης.

Σε αυτές τις διαμορφώσεις το προς κατεργασία υλικό κάτω από μικρές τιμές φόρτισης παραμορφώνεται **ελαστικά** παίρνοντας μια νέα μορφή. Στην περίπτωση αυτή, μετά την απομάκρυνση της φόρτισης, το κατεργαζόμενο τεμάχιο ανακτά το αρχικό του σχήμα. Αυτή η αποφόρτιση και η επαναφορά του σχήματος στην ελαστική παραμόρφωση γίνεται σχεδόν ακαριαία. Αντίστοιχα, κάτω από υψηλότερες τιμές φόρτισης το κατεργαζόμενο τεμάχιο παραμορφώνεται **πλαστικά** και δεν ανακτά το αρχικό του σχήμα μετά από παύση της επιβολής της φόρτισης.

Στην περίπτωση που κατά τη διάρκεια της φόρτισης το κατεργαζόμενο τεμάχιο θραυτεί, τότε εφόσον η θραύση του έχει επέλθει μετά από μεγάλη πλαστική παραμόρφωση, το υλικό ονομάζεται συνεκτικό ή όλκιμο. Στην αντίθετη περίπτωση, όταν δηλαδή το τεμάχιο θραύεται μετά από καθόλου ή μετά από μικρή πλαστική παραμόρφωση, το υλικό ονομάζεται ψαθυρό. Η θραύση συνήθως παρουσιάζεται όταν η φόρτιση ξεπεράσει μια κρίσιμη τιμή. Υπάρχει όμως περίπτωση, επαναλαμβανόμενες, μικρότερης τιμής από την κρίσιμη τιμή φορτίσεις, να δημιουργήσουν επίσης θραύσεις οριοθετώντας το φαινόμενο της κόπωσης.



Εικόνα 5.1. Διάγραμμα τάσης-παραμόρφωσης.



### 5.1.1. Τάσεις

Κατά τη διαμόρφωση το μέταλλο παραμορφώνεται. Αυτό έχει ως αποτέλεσμα η ανάλυση της διαδικασίας της διαμόρφωσης να απαιτεί την ανάλυση των τάσεων και των παραμορφώσεων. Οι τιμές των τάσεων, ορθών ή διατμητικών, είναι καθοριστικές για την επιλογή του κατάλληλου υλικού σε κάθε μηχανολογική κατασκευή. Η μέγιστη ορθή τάση αποτελεί κριτήριο ελέγχου για τα ψαθυρά υλικά, μια και αυτά σπάνε κάθετα στη διεύθυνση της ορθής τάσης. Αντίθετα, η μέγιστη διατμητική τάση λαμβάνεται κριτήριο για τα όλκιμα υλικά που διαρρέουν πριν αστοχήσουν.

### 5.1.2. Παραμορφώσεις

Παραμόρφωση σε ένα στερεό σώμα είναι το σύνολο των μετατοπίσεων όλων των σημείων του που οδηγούν σε αλλαγή της γεωμετρίας του. Αντίστοιχα με τις τάσεις, στις παραμορφώσεις διακρίνονται οι ορθές παραμορφώσεις που συμβολίζονται με το γράμμα  $\epsilon$  και εκφράζουν την ανά μονάδα μήκους επιμήκυνση ή βράχυνση μιας στοιχειώδους ευθείας του σώματος και οι διατμητικές που συμβολίζονται με το γράμμα  $\gamma$  και εκφράζουν τη στρέβλωση της γωνίας που σχηματίζουν δύο αρχικά κάθετες μεταξύ ευθείες.

### 5.1.3. Ενδοτράχυνση

Η ενδοτράχυνση ή εργοσκλήρυνση είναι ένα χαρακτηριστικό φαινόμενο των υλικών κατά το οποίο η συνεχής αύξηση της παραμόρφωσης απαιτεί ολοένα και μεγαλύτερη αύξηση της τάσης. Το υλικό το οποίο αναγκάζεται σε παραμόρφωση αυξάνει την αντίστασή του σε κάθε προσπάθεια αύξησης του ποσού της παραμόρφωσης. Η εργοσκλήρυνση όπως παρουσιάστηκε, είναι μια διαδικασία η οποία αντιτίθεται στην παραμόρφωση. Υπάρχουν όμως άλλες διαδικασίες με τη βοήθεια των οποίων επιτυγχάνονται αντίθετα με την εργοσκλήρυνση αποτελέσματα. Η επίδραση της θερμοκρασίας στο όριο παραμόρφωσης ενός υλικού είναι πολύ σημαντική. Σε πολλά εξαρτήματα διαφόρων υλικών παρουσιάζεται ένα ανώτερο όριο παραμόρφωσης πέρα από το οποίο το εξάρτημα θα ραγίσει ή θα σπάσει. Με την αύξηση όμως της θερμοκρασίας, είναι δυνατό να ενεργοποιηθούν διεργασίες αποκατάστασης ή διευθέτησης των αταξιών του υλικού με αποτέλεσμα την δυνατότητα παραπέρα παραμόρφωσης. Συχνά το προς παραμόρφωση εξάρτημα θερμαίνεται μέχρι τη θερμοκρασία ανόπτησης, πιο πάνω από την θερμοκρασία ανακρυστάλλωσης και διατηρείται σε αυτήν για ορισμένο χρονικό διάστημα. Η ανόπτηση αυτή στην οποία υποβάλλεται έχει ως συνέπεια να σχηματίζονται νέοι απαράμορφωτοι κόκκοι στο υλικό και ταυτόχρονα εξαφανίζεται ή επαναδιευθετείται μεγάλος αριθμός αταξιών, ενώ δημιουργούνται καινούριες με μικρότερο ενεργειακό περιεχόμενο.

Ο αταξίες που αναφέρθηκαν δεν είναι τίποτε άλλο παρά σφάλματα του κρυστάλλου τα οποία, είτε υπάρχουν ως σφάλματα της δομής του υλικού, είτε δημιουργούνται όταν το υλικό βρεθεί κάτω από επενέργεια τάσεων. Στο τέλος της ανόπτησης και λόγω των παραπάνω, το εξάρτημα μπορεί να δεχθεί επιπλέον σοβαρή παραμόρφωση, εν όλη η διαδικασία μπορεί να επαναληφθεί και άλλες φορές. Στο σχήμα 6.15

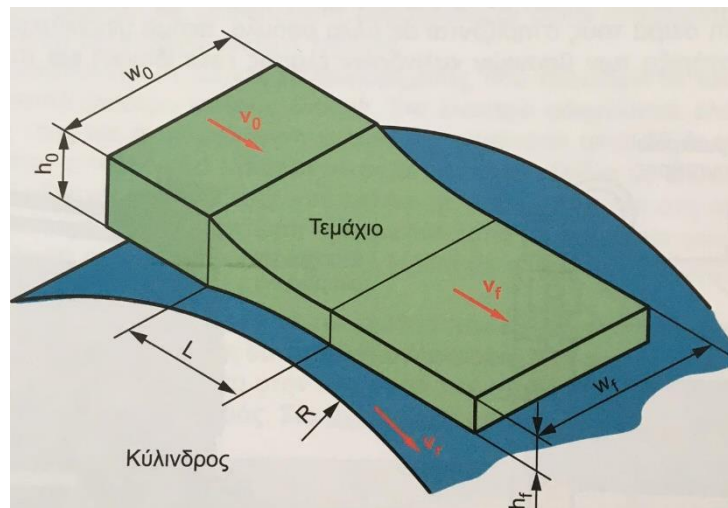
παρουσιάζεται αυτή η επίδραση της διαδικασίας της ανόπτησης στη δυνατότητα παραμόρφωσης.

## 5.2. Κατεργασίες Παραμόρφωσης Ελατών Μετάλλων

- Απότμηση
- Κάμψη
- Βαθεία κοίλωση
- Περιώθηση

## 5.3. Έλαση

Είναι από τις σημαντικότερες κατεργασίες μορφοποίησης με παραμόρφωση. Οι διαμορφώσεις με αυτή τη μέθοδο αποτελούν περίπου το 90 τοις εκατό των πραγματοποιούμενων διαμορφώσεων με πλαστική παραμόρφωση. Η κύρια χρήση της είναι για παραγωγή ελασμάτων, ταινιών, φύλλων ή ράβδων διαφόρων διαστάσεων, με μείωση της διατομής (metal plinth). Η μείωση της διατομής επιτυγχάνεται με διαδοχική διέλευση των πλινθωμάτων μέσα από ζεύγη αντίθετα περιστρεφόμενων μεταλλικών κυλίνδρων, που ονομάζονται **έλαστρα**.



**Εικόνα 5.3.1.** Επίπεδη έλαση. (Πηγή: Αντωνιάδης, Α. (2016), «Μηχανουργική Τεχνολογία», Εκδόσεις ΤΖΙΟΛΑ, Θεσσαλονίκη)

### 5.3.1. Κατεργασία Έλασης

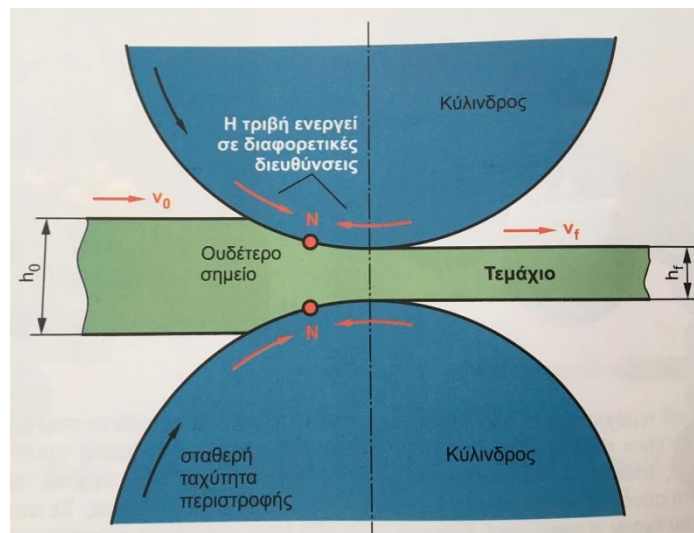
Στην έλαση το αρχικό τεμάχιο έχει προέλθει από χύτευση. Τα προϊόντα που προκύπτουν μετά την έλαση μπορεί να είναι ράβδοι, δοκοί με τετραγωνική διατομή ως ενδιάμεσα προϊόντα της έλασης τυποποιημένοι δοκοί, πλάκες, κ.λπ.. Η σχετική τυποποίηση περιλαμβάνει αρχικά προϊόντα, δηλαδή ημιτελή τα οποία στη συνέχεια θα κατεργαστούν με επόμενη διαδικασία έλασης. Σε αυτά περιλαμβάνονται πρίσματα που έχουν τετραγωνική διατομή 150x150 (mm x mm) και οι οποίες σε επόμενη φάση μπορεί να διαμορφωθούν σε δοκούς τετραγωνικής διατομής με διαστάσεις 40x40 (mm x mm) και σε πλάκες ορθογώνιας διατομής με εμβαδόν μεγαλύτερο από 100 cm και πλάτος τουλάχιστον διπλάσιο από το πάχος τους. Αντίστοιχα, τα τελικά προϊόντα

περιλαμβάνουν τυποποιημένες δοκούς, ήλους, δακτυλίους, αλλά και πλατιά προϊόντα όπως λεπτά και χονδρά ελάσματα και λωρίδες.

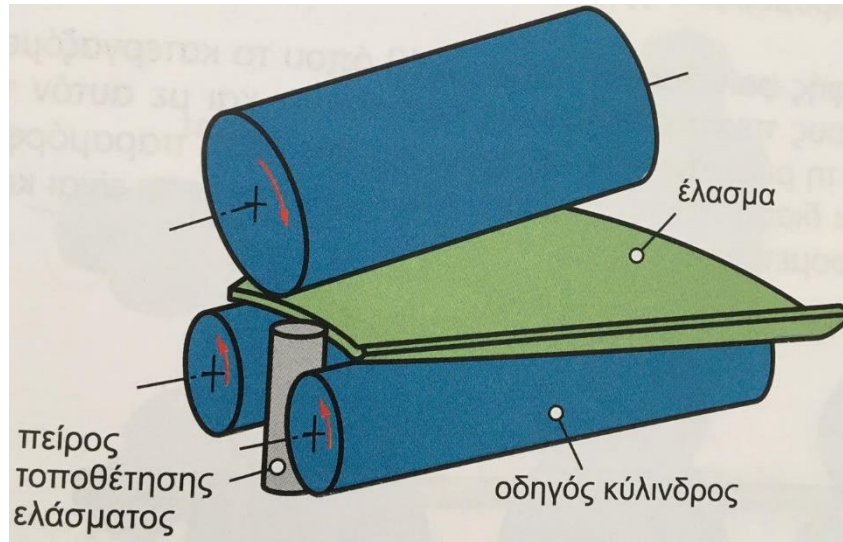
Τα κύρια προϊόντα της έλασης είναι μεταλλικές πλάκες και φύλλα μετάλλου. Το πάχος των πλακών είναι μεγαλύτερο των 6 mm, μέχρι μερικά εκατοστά, και χρησιμοποιούνται κυρίως για δομικές κατασκευές (πλοία, γέφυρες, μηχανές, λέβητες). Τα μεταλλικά φύλλα έχουν πάχος μικρότερο των 6 mm και χρησιμοποιούνται κατά κόρον για την κατασκευή τμημάτων αυτοκινήτων, της ατράκτου αεροσκαφών και πολλών άλλων.

### 5.3.2. Θερμοκρασία Έλασης

Ένας διαχωρισμός στα είδη Έλασης είναι ανάλογα τη θερμοκρασία. Στα αρχικά στάδια έχουμε Θερμή Έλαση, το μέταλλο γίνεται πιο μαλακό, με αποτέλεσμα να απαιτείται μικρότερη ισχύς για την πραγματοποίηση της πλαστικής παραμόρφωσης. Η Ψυχρή Έλαση περατώνεται στα τελευταία στάδια παραγωγής εφελκυστικών μετάλλων και διατομών καθώς η ποιότητα του τελικού υλικού είναι εξαιρετική. Τα ελλωτάματα των ελασμάτων μπορεί να είναι είτε επιφανειακά, λόγω ακαθαρσιών σκουριάς ή σκόνης, είτε δομικά και να εκτείνονται σε όλο το έλασμα.



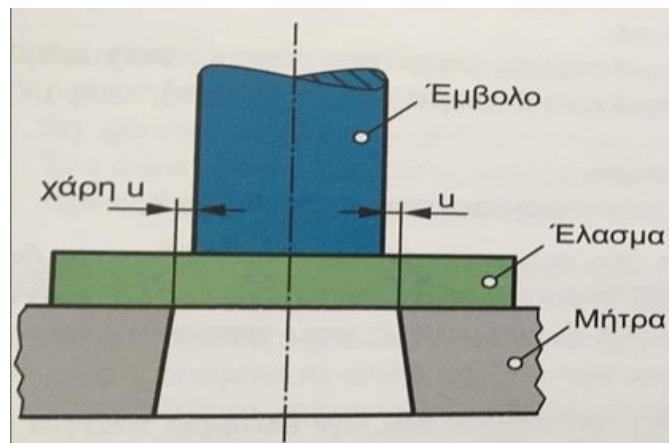
**Εικόνα 5.3.2.** Απεικόνιση διαδικασίας της έλασης. (Πηγή: Αντωνιάδης, Α. (2016), «Μηχανουργική Τεχνολογία», Εκδόσεις TZIOΛΑ, Θεσσαλονίκη)



**Εικόνα 5.3.3.** Σχηματική αναπαράσταση κωνικής διαμόρφωσης ελάσματος με χρήση ελάτων. (Πηγή: Αντωνιάδης, Α. (2016), «Μηχανουργική Τεχνολογία», Εκδόσεις ΤΖΙΟΛΑ, Θεσσαλονίκη)

## 5.4.Απότμηση

Κατά την απότμηση, τμήμα ενός ελάσματος αποχωρίζεται από το υπόλοιπο έλασμα με τη βοήθεια κατάλληλου κοπτικού εργαλείου το οποίο οδηγείται από πρέσα. Αποτελεί την πρώτη κατεργασία διαμόρφωσης ελάσματος. Τα στάδια της κατεργασίας του υλικού είναι με την ακόλουθη σειρά: ελαστική παραμόρφωση, πλαστική παραμόρφωση, διάτμηση, θραύση ελάσματος.

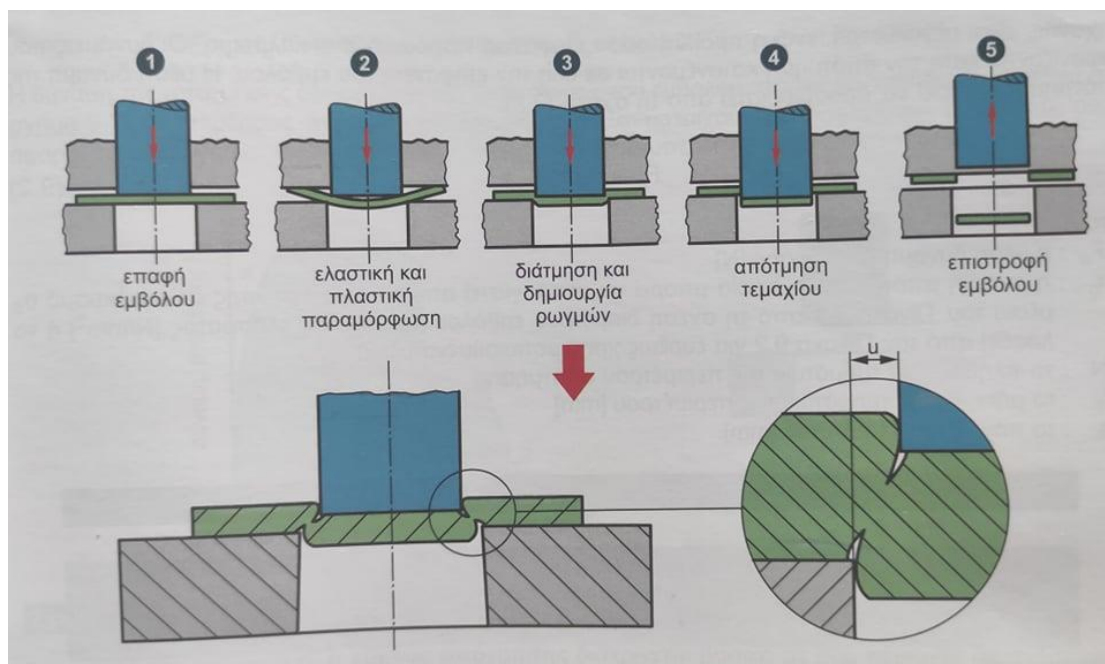


**Εικόνα 5.4.1.** Επαφή του εμβόλου με το έλασμα. (Πηγή: Αντωνιάδης, Α. (2016), «Μηχανουργική Τεχνολογία», Εκδόσεις ΤΖΙΟΛΑ, Θεσσαλονίκη)

### 5.4.1. Μηχανισμός Απότμησης

Ο μηχανισμός της απότμησης κατά την οποία το έμβολο εισέρχεται στο τεμάχιο το οποίο, λόγω της συγκράτησής του από τη μήτρα, παραμορφώνεται έως ότου αποκόπτεται. Η διαδικασία της απότμησης ακολουθεί πέντε στάδια, εκ των οποίων τα στάδια 2, 3 και 4 σχετίζονται με τα φαινόμενα που λαμβάνουν χώρα και αφορούν το έλασμα. Τα στάδια αυτά είναι:

1. επαφή του εμβόλου με το έλασμα,
2. ελαστική συμπίεση του υλικού ανάμεσα στο έμβολο και τη μήτρα και τη μήτρα και ελαφρά διείσδυση των κόψεων εμβόλου και μήτρας μέσα στο υλικό,
3. εισχώρηση του εμβόλου στο υλικό και αντίστοιχη, μικρότερη όμως, εισχώρηση της μήτρας. Εμφάνιση μιας ή δύο ρωγμών πάνω και κάτω στο έλασμα και επέκτασή τους μέχρι να συναντηθούν,
4. τελική απότμηση του τεμαχίου από το έλασμα,
5. επιστροφή του εμβόλου και απόρριψη του τεμαχίου που αποκόπηκε.



**Εικόνα 5.4.2. Μηχανισμός Απότμησης.** (Πηγή: Αντωνιάδης, Α. (2016), «Μηχανουργική Τεχνολογία», Εκδόσεις ΤΖΙΟΛΑ, Θεσσαλονίκη)

### 5.5. Κάμψη

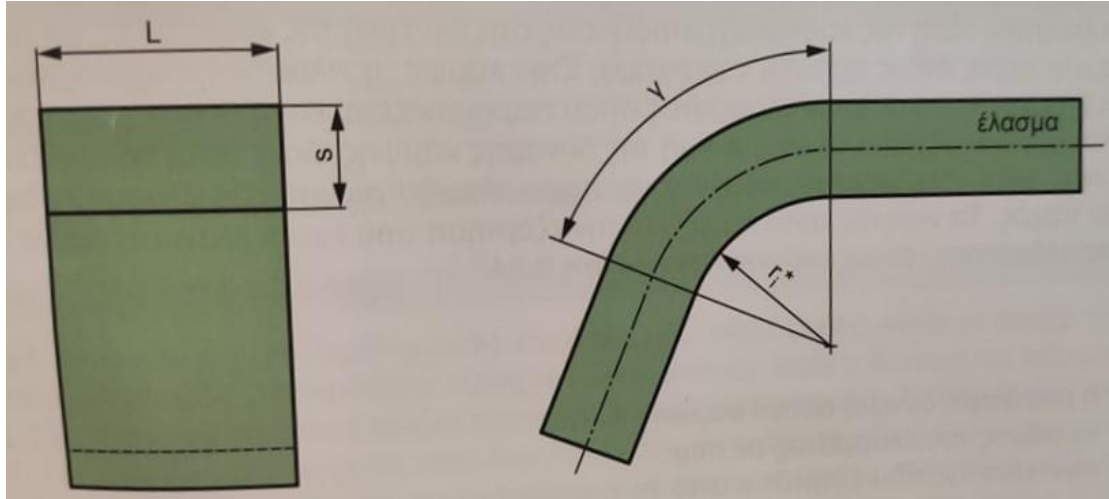
Η κάμψη είναι μια από τις πιο συνήθεις κατεργασίες διαμόρφωσης και λόγω της απλότητάς της έχει μη βιομηχανική χρήση. Κατά την κάμψη το διαμορφούμενο έλασμα παραμορφώνεται, είτε για να πάρει κατάλληλο σχήμα, είτε για να αυξηθεί η στιβαρότητά του μια και ένα επίπεδο έλασμα έχει μικρότερη στιβαρότητα από το



ίδιο ύφασμα λυγισμένο, για παράδειγμα σε τετράγωνη διατομή. Η κάμψη μπορεί να γίνεται είτε ελεύθερη, είτε με τη βοήθεια μηχανικών μέσων.

### 5.5.1. Συμπεριφορά ελάσματος στην κάμψη

Στην κάμψη, η ορολογία που χρησιμοποιείται φαίνεται στην παρακάτω εικόνα. Γωνία κάμψης  $\gamma$ , ακτίνα κάμψης  $r$ , το πάχος του ελάσματος  $s$  και το μήκος της κάμψης  $L$ .



**Εικόνα 5.5.1. Κάμψη.** (Πηγή: Αντωνιάδης, Α. (2016), «Μηχανουργική Τεχνολογία», Εκδόσεις ΤΖΙΟΛΑ, Θεσσαλονίκη)

Η συμπεριφορά του υλικού του ελάσματος του κάμπτεται κατά τη διάρκεια της κάμψης, εξαρτάται από την καμπύλη τάσης-παραμόρφωσης του υλικού. Έτσι η κάμψη μπορεί να πραγματοποιηθεί είτε ελαστικά, όπου το έλασμα επανέρχεται στην αρχική του κατάσταση μόλις αποσυρθεί η δύναμη, είτε πλαστικά. Στην ελαστική περιοχή η μετατόπιση των ατόμων του κρυσταλλικού πλέγματος είναι τόσο ασήμαντη, ώστε τα άτομα επανέρχονται στην αρχική τους κατάσταση αμέσως μετά την εκφόρτιση. Έτσι, στην ελαστική παραμόρφωση, το έλασμα παραμορφώνεται σύμφωνα με το νόμο του Hooke, όπου η προκύπτουσα παραμόρφωση εξαρτάται από το μέτρο ελαστικότητας του υλικού.

### 5.5.2. Κρίσιμη τιμή

Μετά από μια κρίσιμη τιμή της φόρτισης, το υλικό του ελάσματος που κάμπτεται παρουσιάζει πλαστική παραμόρφωση. Στην περίπτωση αυτή τα άτομα είναι αδύνατο να επιστρέψουν στην αρχική τους κατάσταση όταν η δύναμη αποσύρεται και έτσι παρουσιάζεται μόνιμη αλλαγή στην κρυσταλλική δομή του υλικού του ελάσματος. Κατά τη διάρκεια της κάμψης, το εξωτερικό τμήμα του ελάσματος καταπονείται σε εφελκυσμό, ενώ το εσωτερικό σε θλίψη. Θεωρητικά οι δύο αυτές τάσεις είναι ίσες σε μέγεθος και δίνονται από τη σχέση:

$$\sigma_{εξ} = \sigma_{εσ} = \frac{1}{(2\frac{r_i}{s} + 1)}$$

Όπου:

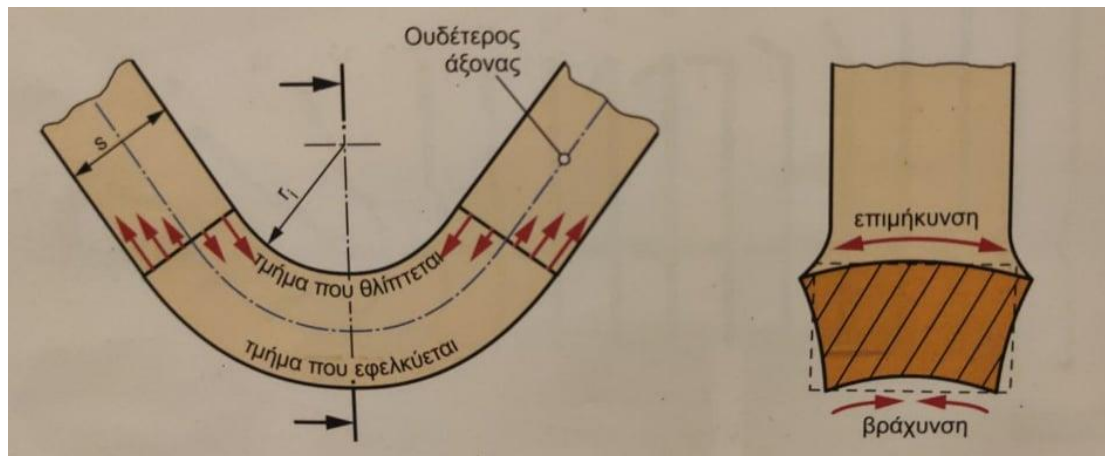
$\sigma_{εξ}$ : τάση εξωτερικά του τεμαχίου

$\sigma_{εσ}$ : τάση εσωτερικά του τεμαχίου

$r_i$ : ακτίνα κάμψης

$s$ : το πάχος του ελάσματος

Οι αναπτυσσόμενες εφελκυστικές και θλιπτικές τάσεις που προαναφέρθηκαν παρουσιάζονται στην εικόνα 5.5.2.. Ο άξονας ανάμεσα στην εσωτερικό τμήμα που θλίβεται και στο εξωτερικό τμήμα που εφελκύεται, ονομάζεται ουδέτερος άξονας της κάμψης. Η τάση πάνω στον άξονα αυτόν είναι μηδέν.



**Εικόνα 5.5.2.** Τάσεις (Πηγή: Αντωνιάδης, Α. (2016), «Μηχανουργική Τεχνολογία», Εκδόσεις ΤΖΙΟΛΑ, Θεσσαλονίκη)

Ουσιαστικά, στη διάρκεια της κάμψης κατά μήκος μιας διατομής του ελάσματος συμβαίνει μια μετάβαση από την εφελκυστική τάση της εξωτερικής επιφάνειας στη θλιπτική της εσωτερικής, με τις μέγιστες τιμές και των δύο στα άκρα, όπως φαίνεται στο σχήμα. Στην κάμψη, η πλαστική παραμόρφωση εμφανίζεται πρώτα στην εξωτερική πλευρά του ελάσματος όπου παρουσιάζεται και η μέγιστη τάση. Κατά την κάμψη πρέπει να λαμβάνεται σοβαρά υπόψη η τιμή της δύναμης κάμψης ώστε αυτή να μην ξεπερνά την επιτρεπόμενη τιμή, γιατί τότε υπάρχει κίνδυνος να παρουσιασθεί ρωγμή στο έλασμα, ειδικά σε έλασμα τα με μεγάλο πάχος. Το γεγονός αυτό εξηγεί και την εξάρτηση που έχει η ελάχιστη ακτίνα κάμψης η από το πάχος του ελάσματος.

### 5.5.3.Εργαλειομηχανές κάμψης

Οι εργαλειομηχανές στις οποίες εκτελείται κάμψη, είναι οι στράντζες και οι στραντζόπρεσες. Οι στράντζες, που απαντώνται χειροκίνητες και μηχανοκίνητες, χρησιμοποιούνται συνήθως για μεμονωμένα τεμάχια και μικρή παραγωγή. Σε αντίθεση με τις στράντζες, οι στραντζόπρεσες χρησιμοποιούνται για μεγάλη παραγωγή τεμαχίων.

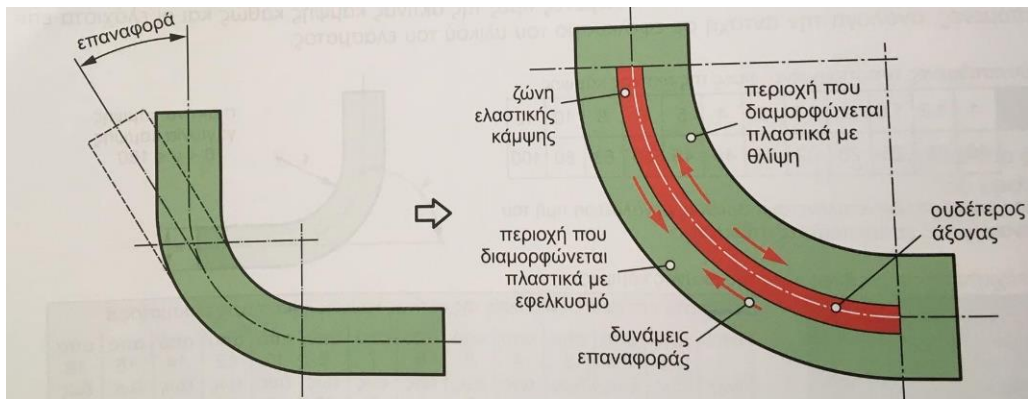


*Εικόνα 5.5.3. Υδραυλική μηχανή κάμψης (στράντζα).*

### 5.5.4.Ελαστική Επαναφορά μετάλλου.

Η επαναφορά κατά την κάμψη είναι το φαινόμενο εκείνο κατά το οποίο τα άκρα ενός ελάσματος που έχει καμφθεί επιστρέφουν προς την αρχική θέση, όταν η δύναμη της κάμψης αποσύρεται. Στην εικόνα 5.5.4. παρουσιάζεται έλασμα πριν και μετά την επαναφορά. Το φαινόμενο της επαναφοράς οφείλεται στο γεγονός ότι στη μέση περίπου του ελάσματος, όχι ακριβώς στο γεωμετρικό μέσο του πάχους του ελάσματος αλλά κοντά σε αυτό, υπάρχει μια ζώνη με μικρές τιμές τάσης. Οι τάσεις αυτές οδηγούν μόνο σε ελαστική παραμόρφωση της ζώνης αυτής. Το μέγεθος της επαναφοράς μετά από την κάμψη εξαρτάται από τα χαρακτηριστικά του υλικού του ελάσματος, από την ακτίνα και το είδος της κάμψης.



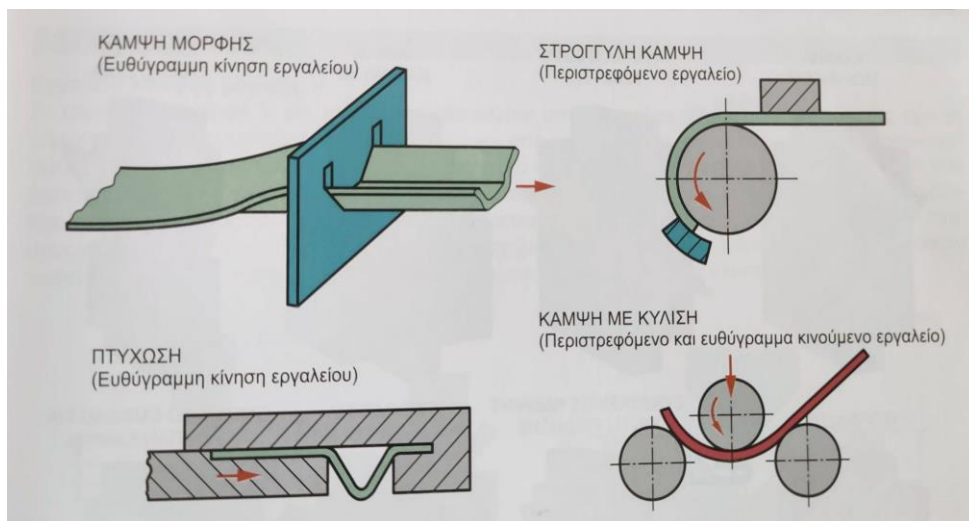


**Εικόνα 5.5.4.** Ελαστική Επαναφορά μετάλλου. (Πηγή: Αντωνιάδης, Α. (2016), «Μηχανουργική Τεχνολογία», Εκδόσεις TZIOΛΑ, Θεσσαλονίκη)

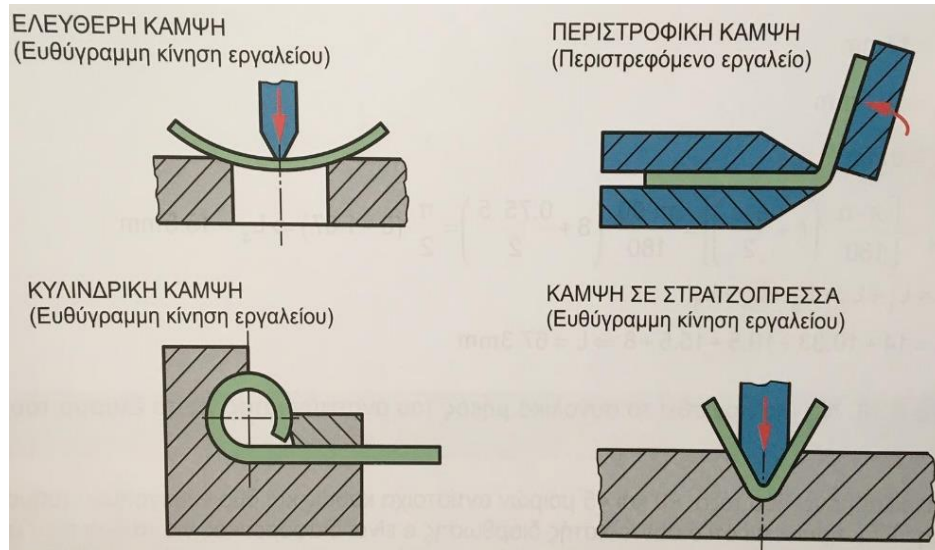
### 5.5.5. Κατηγορίες κάμψης

Η κάμψη, ανάλογα με τον τρόπο με τον οποίο πραγματοποιείται, διακρίνεται κυρίως:

- Ελεύθερη κάμψη
- Περιστροφική κάμψη
- Κυλινδρική κάμψη
- Κάμψη σε στραντζοπρέσσα
- Κάμψη μορφής
- Στρογγυλή κάμψη
- Πτύχωση
- Κάμψη με κύλιση



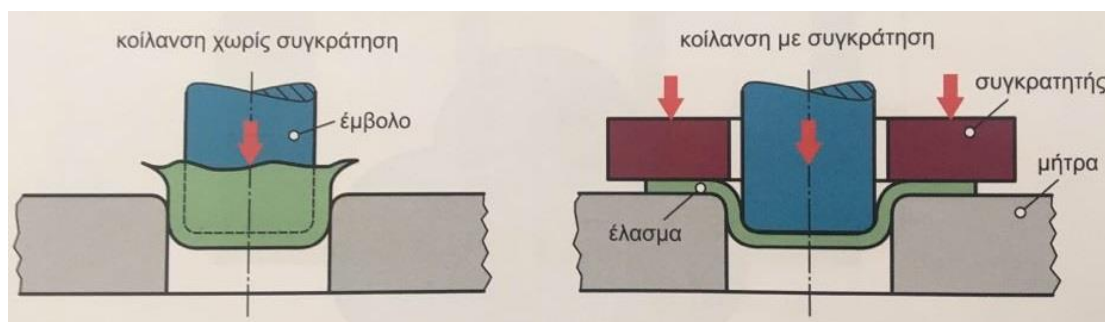
**Εικόνα 5.5.5α.** Είδη Κάμψης. (Πηγή: Αντωνιάδης, Α. (2016), «Μηχανουργική Τεχνολογία», Εκδόσεις TZIOΛΑ, Θεσσαλονίκη)



**Εικόνα 5.5.5β.Είδη Κάμψης.** (Πηγή: Αντωνιάδης, Α. (2016), «Μηχανουργική Τεχνολογία», Εκδόσεις ΤΖΙΟΛΑ, Θεσσαλονίκη)

## 5.6.Βαθεία Κοίλανση

Είναι η διαμόρφωση επίπεδου ελάσματος σε κοίλο τεμάχιο (κυάθιο) με τη βοήθεια συστήματος εμβόλου/μήτρας, με ή χωρίς τη χρήση δακτυλίου συγκράτησης, το υλικό ρέει στα τοιχώματα της μήτρας, παίρνοντας το επιθυμητό κοίλο σχήμα. Το αρχικό έλασμα έχει πάρει το επιθυμητό σχήμα συνήθως με διαδικασία απότμησης. Για την μείωση της τριβής μεταξύ της μήτρας και του δακτυλίου απαιτείται λίπανση, ώστε να μην παρουσιαστεί αστοχία του υλικού. Το κύριο χαρακτηριστικό της μεθόδου είναι η όσο το δυνατόν διατήρηση του αρχικού πάχους του ελάσματος.

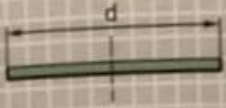
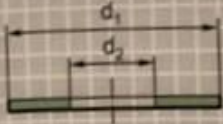
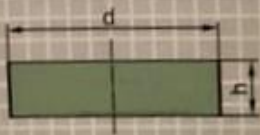



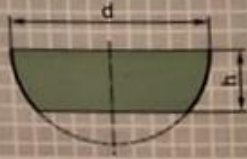



**Εικόνα 5.6. Απεικόνιση Βαθείας Κοίλανσης.** (Πηγή: Αντωνιάδης, Α. (2016), «Μηχανουργική Τεχνολογία», Εκδόσεις ΤΖΙΟΛΑ, Θεσσαλονίκη)

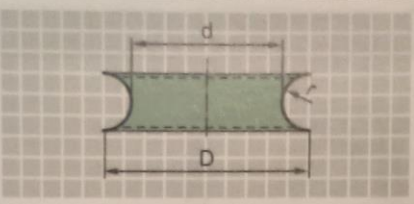
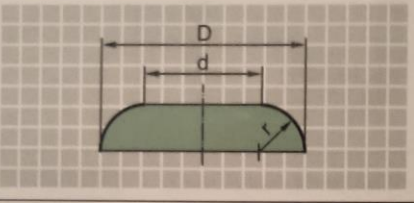
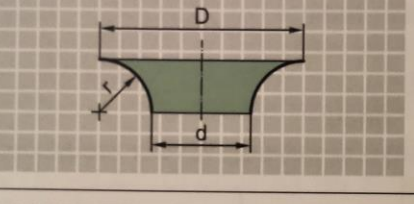
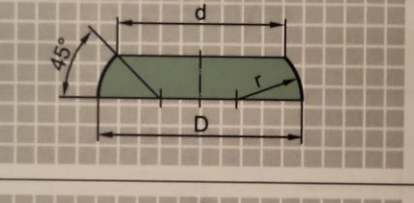
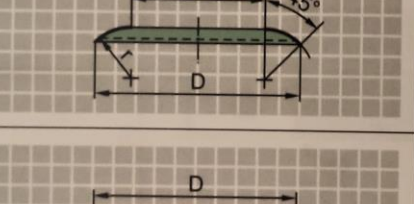

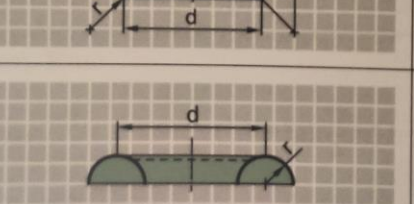
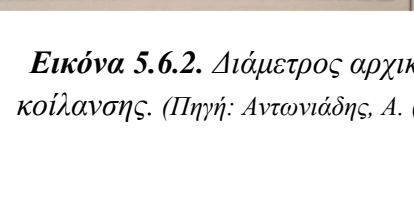
### 5.6.1. Λόγος κοίλανσης

Βασική παράμετρος της διαδικασίας είναι ο βαθμός κοίλανσης  $\beta$  που ορίζεται ως ο λόγος  $\frac{D_0}{D_P}$  που μπορούμε να εφαρμόσουμε χωρίς αστοχία του ελάσματος. Ο κύριος λόγος αστοχίας είναι η λέπτυνση του ελάσματος (λαιμός) λόγω εφελκυστικών τάσεων. Η μέγιστη τιμή του λόγου κοίλανσης ονομάζεται οριακός λόγος κοίλανσης, του οποίου η τιμή εξαρτάται από τη γεωμετρία του εργαλείου, από το υλικό, την πίεση συγκράτησης, την επιθυμητή τελική διάμετρο και από το πάχος του ελάσματος.

Επειδή πολλές φορές το επιθυμητό τελικό σχήμα του κυαθίου αντιστοιχεί σε λόγο κοίλανσης μεγαλύτερο του οριακού, η κατεργασία γίνεται με την εφαρμογή ανακοιλάνσεων. Θα πρέπει να δοθεί μεγάλη βάση στην δύναμη κοίλανσης του ελάσματος ώστε οι βαθμοί κοίλανσης και έκτασης να βρίσκονται εντός επιτρεπτών ορίων για να αποφευχθούν τυχόν αστοχίες υλικού. Η λίπανση κατά την διαδικασία της βαθείας κοίλανσης μειώνει τις τριβές, μειώνει τις αναγκαίες δυνάμεις και αποτρέπει τη δημιουργία συγκόλλησης μεταξύ ελάσματος και μήτρας ή ελάσματος και εμβόλου. Συνεπώς συντελεί στη μείωση της φθοράς των τμημάτων και στη μείωση των αστοχιών του ελάσματος.

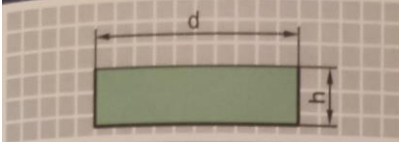
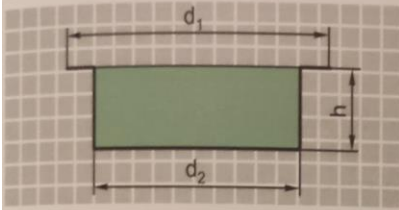
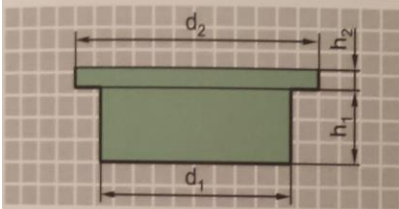
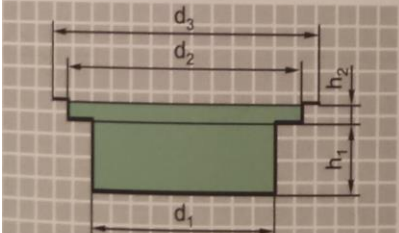
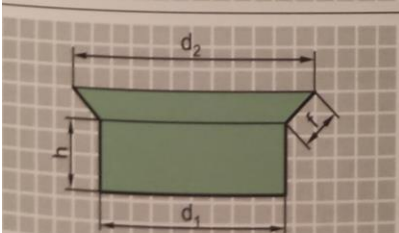
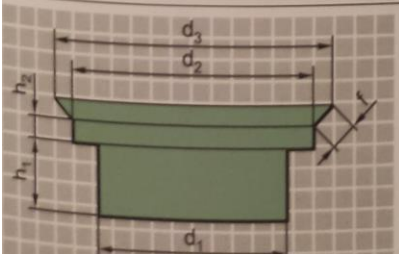
Επιφανειακό στοιχείο	Εμβαδό παράπλευρης επιφάνειας	
	$\frac{\pi}{4} \cdot d^2$	
	$\frac{\pi}{4} \cdot (d_1^2 - d_2^2)$	
	$\pi \cdot d \cdot h$	
	$\frac{\pi \cdot e}{2} \cdot (d_1 + d_2)$	όπου: $e = \sqrt{h^2 + \frac{(d_1 - d_2)^2}{4}}$
	$\frac{\pi \cdot d \cdot e}{2}$	όπου: $e = \sqrt{\frac{d^2}{4} + h^2}$
	$\frac{\pi \cdot d^2}{2}$	
	$\pi \cdot d \cdot h$	
	$\pi \cdot d \cdot h = \frac{\pi}{4} \cdot (s^2 + 4h^2)$	

**Εικόνα 5.6.1.** Διάμετρος αρχικού ελάσματος σε σχέση με το επιθυμητό σχήμα κοίλανσης. (Πηγή: Αντωνιάδης, Α. (2016), «Μηχανουργική Τεχνολογία», Εκδόσεις ΤΖΙΟΛΑ, Θεσσαλονίκη)

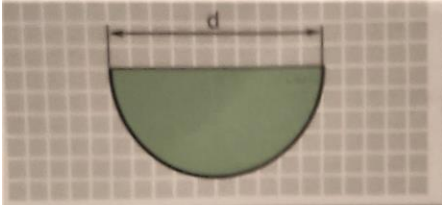
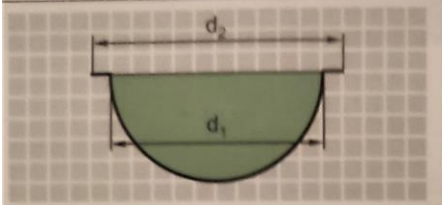
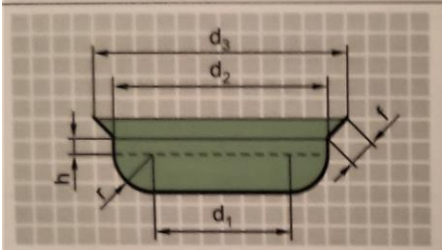
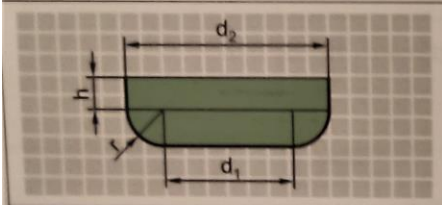
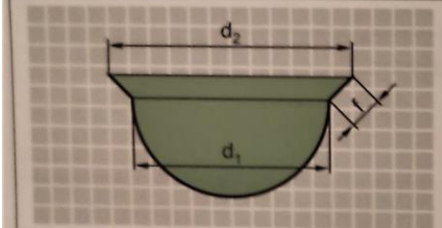
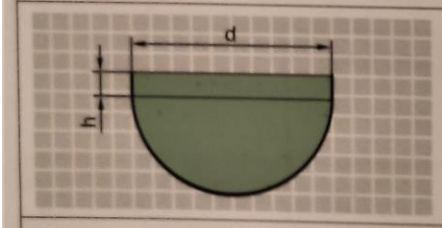
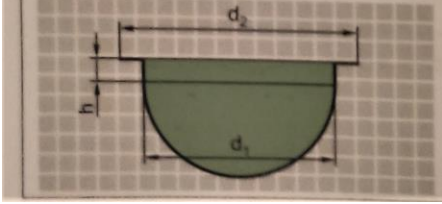
	$\pi^2 \cdot r \cdot (d + 0.73r) = \pi^2 \cdot r \cdot (D - 1.27r)$
	$\frac{\pi^2 \cdot r}{2} \cdot (d + 1.3r) = \frac{\pi^2 \cdot r}{2} \cdot (D - 0.7r)$
	$\frac{\pi^2 \cdot r}{2} \cdot (d + 0.7r) = \frac{\pi^2 \cdot r}{2} \cdot (D - 1.3r)$
	$\frac{\pi^2 \cdot r}{2} \cdot (d + 0.4r) = \frac{\pi^2 \cdot r}{2} \cdot (D - 0.2r)$
	$\frac{\pi^2 \cdot r}{2} \cdot (d + 0.74r) = \frac{\pi^2 \cdot r}{2} \cdot (D - 0.68r)$
	$\frac{\pi^2 \cdot r}{2} \cdot (d + 0.2r) = \frac{\pi^2 \cdot r}{2} \cdot (D - 0.4r)$
	$\frac{\pi^2 \cdot r}{2} \cdot (d + 0.68r) = \frac{\pi^2 \cdot r}{2} \cdot (D - 0.74r)$
	$\pi^2 \cdot r \cdot d$

**Εικόνα 5.6.2.** Διάμετρος αρχικού ελάσματος σε σχέση με το επιθυμητό σχήμα κοίλανσης. (Πηγή: Αντωνιάδης, Α. (2016), «Μηχανουργική Τεχνολογία», Εκδόσεις ΤΖΙΟΛΑ, Θεσσαλονίκη)

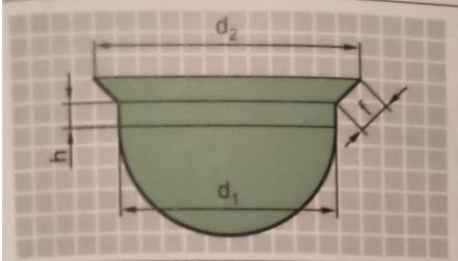
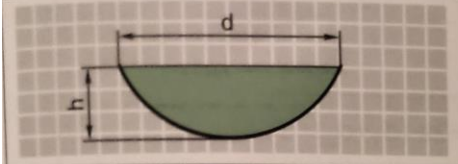
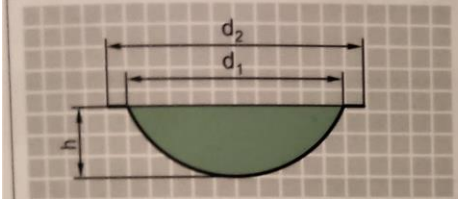
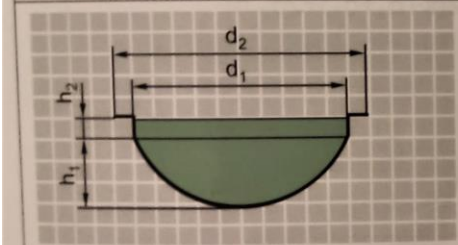
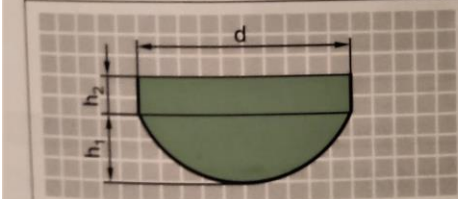
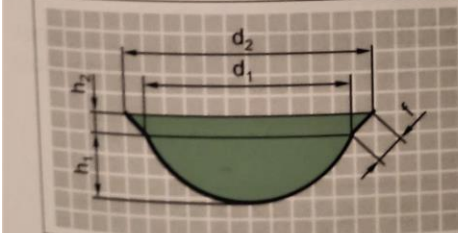
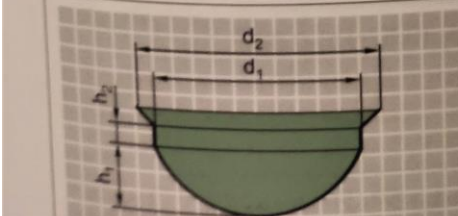


Σχήμα τεμαχίου προς κοίλανση	Αρχική διάμετρος ελάσματος
	$\sqrt{d^2 + 4d \cdot h}$
	$\sqrt{d_2^2 + 4d_1 \cdot h}$
	$\sqrt{d_2^2 + 4(d_1 \cdot h_1 + d_2 \cdot h_2)}$
	$\sqrt{d_3^2 + 4(d_1 \cdot h_1 + d_2 \cdot h_2)}$
	$\sqrt{d_1^2 + 4d_1 \cdot h + 2f \cdot (d_1 + d_2)}$
	$\sqrt{d_2^2 + 4(d_1 \cdot h_1 + d_2 \cdot h_2) + 2f \cdot (d_2 + d_3)}$

**Εικόνα 5.6.3.** Διάμετρος αρχικού ελάσματος σε σχέση με το επιθυμητό σχήμα κοίλανσης. (Πηγή: Αντωνιάδης, Α. (2016), «Μηχανουργική Τεχνολογία», Εκδόσεις ΤΖΙΟΛΑ, Θεσσαλονίκη)


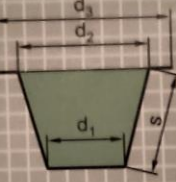
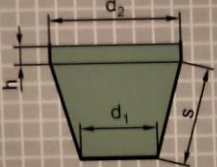
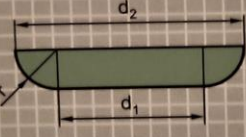
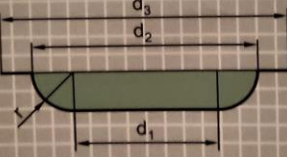
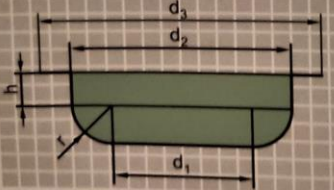
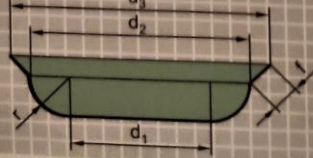
	$\sqrt{2d^2}=1.414d$
	$\sqrt{d_1^2+d_2^2}$
	$\sqrt{d_1^2+6.28r \cdot d_1+8r^2+4d_2 \cdot h+2f \cdot (d_2+d_3)}$ ή $\sqrt{d_2^2+4d_2 \cdot (0.57r+h+f)+2d_3 \cdot f-0.56r^2}$
	$\sqrt{4d_2 \cdot h+6.28r \cdot d_1+d_1^2+8r^2}$
	$1.414\sqrt{d_1^2+f \cdot (d_1+d_2)}$
	$1.414\sqrt{d^2+2d \cdot h}$
	$\sqrt{d_1^2+d_2^2+4d_1 \cdot h}$

**Εικόνα 5.6.4.** Διάμετρος αρχικού ελάσματος σε σχέση με το επιθυμητό σχήμα κοίλανσης. (Πηγή: Αντωνιάδης, Α. (2016), «Μηχανουργική Τεχνολογία», Εκδόσεις ΤΖΙΟΛΑ, Θεσσαλονίκη)

	$1.414 \sqrt{d_1^2 + 2d_1 \cdot h + f \cdot (d_1 + d_2)}$
	$\sqrt{d^2 + 4h^2}$
	$\sqrt{d_2^2 + 4h^2}$
	$\sqrt{d_2^2 + 4(h_1^2 + d_1 \cdot h_2)}$
	$\sqrt{d^2 + 4(h_1^2 + d \cdot h_2)}$
	$\sqrt{d_1^2 + 4h^2 + 2f \cdot (d_1 + d_2)}$
	$\sqrt{d_1^2 + 4[h_1^2 + d_1 \cdot h_2 + \frac{1}{2}(d_1 + d_2)]}$

**Εικόνα 5.6.5.** Διάμετρος αρχικού ελάσματος σε σχέση με το επιθυμητό σχήμα κοίλανσης. (Πηγή: Αντωνιάδης, Α. (2016), «Μηχανουργική Τεχνολογία», Εκδόσεις ΤΖΙΟΛΑ, Θεσσαλονίκη)



	$\sqrt{d_1^2 + 2s \cdot (d_1 + d_2)}$
	$\sqrt{d_1^2 + 2s \cdot (d_1 + d_2) + d_3^2 - d_2^2}$
	$\sqrt{d_1^2 + 2[s \cdot (d_1 + d_2) + 2d_2 \cdot h]}$
	$\sqrt{d_1^2 + 6.28r \cdot d_1 + 8r^2} \quad \text{ή} \quad \sqrt{d_2^2 + 2.28r \cdot d_2 - 0.56r^2}$
	$\sqrt{d_1^2 + 6.28r \cdot d_1 + 8r^2 + d_3^2 - d_2^2} \quad \text{ή} \quad \sqrt{d_3^2 + 2.28r \cdot d_2 - 0.56r^2}$
	$\sqrt{d_1^2 + 6.28r \cdot d_1 + 8r^2 + 4d_2 \cdot h + d_3^2 - d_2^2} \quad \text{ή} \quad \sqrt{d_3^2 + 4d_2 \cdot (0.57r + h) - 0.56r^2}$
	$\sqrt{d_1^2 + 6.28r \cdot d_1 + 8r^2 + 2f \cdot (d_2 + d_3)} \quad \text{ή} \quad \sqrt{d_2^2 + 2.28r \cdot d_2 + 2f \cdot (d_2 + d_3) - 0.56r^2}$

**Εικόνα 5.6.5.** Διάμετρος αρχικού ελάσματος σε σχέση με το επιθυμητό σχήμα κοίλανσης. (Πηγή: Αντωνιάδης, Α. (2016), «Μηχανουργική Τεχνολογία», Εκδόσεις ΤΖΙΟΛΑ, Θεσσαλονίκη)

## Κεφάλαιο 6 - Σχεδίαση Πτέρυγας του Zenith 601 μέσω του Siemens NX



*Εικόνα 6. Το αεροσκάφος Zodiac XL Zenith CH601 της Zenith Aircraft Company.  
(Πηγή: <http://www.zenithair.net/>)*

### Σχεδιασμός κομματιών Πτερύγιου στο Siemens NX

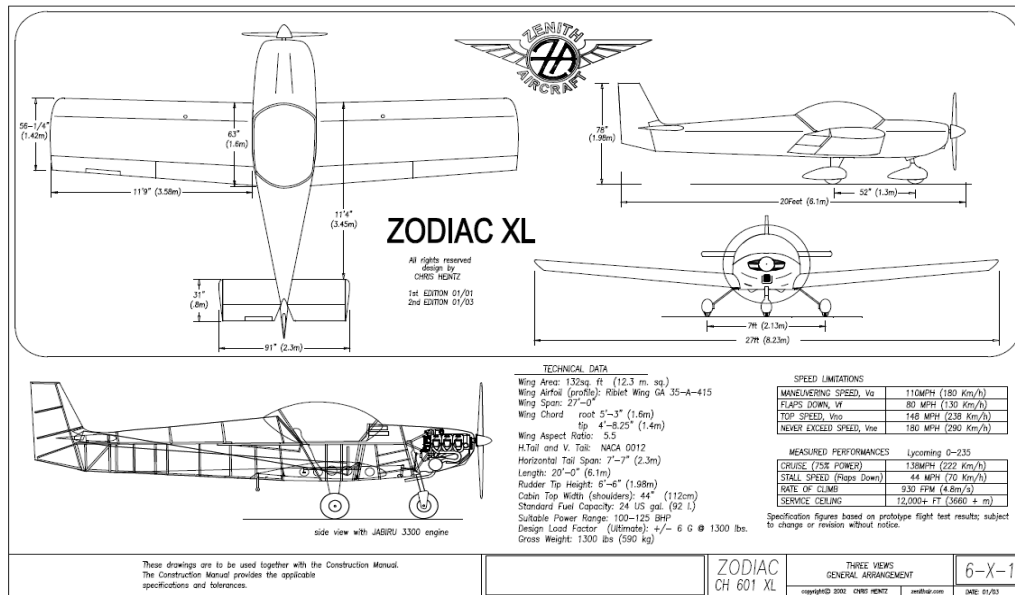
Στα πλαίσια σχεδιασμού της εργασίας, το Zenith CH601 της Zenith Aircraft αποτέλεσε πιλοτικό μοντέλο για τη κατανόηση της δομής, αλλά και της γεωμετρίας ενός πτερύγιου. Αποτελείται από 36 συναρμολογημένα εξαρτήματα από τα οποία τα 11 είναι διαφορετικά μοντέλα σχεδίασης:

- Κύρια Δοκός Στήριξης
- Κεντρικό Πλευρό Στήριξης
- Πίσω Δοκός Στήριξης
- Κάτω Εξωτερικός Φλοιός
- Άνω Εξωτερικός Φλοιός
- Πλαϊνό Κάλυμμα
- Εμπρόσθιος Εξωτερικός Φλοιός
- Τρίγωνο Στήριξης
- Κάλυμμα Κινούμενου Μέρους
- Δοχείο Καυσίμου
- Εμπρόσθιο Πλευρό Στήριξης

Παρακάτω βλέπουμε τα σκαριφήματα με βασικές διαστάσεις του Zenith CH601 που χρησιμοποιήθηκαν για το σχεδιασμό του πτερύγιου.

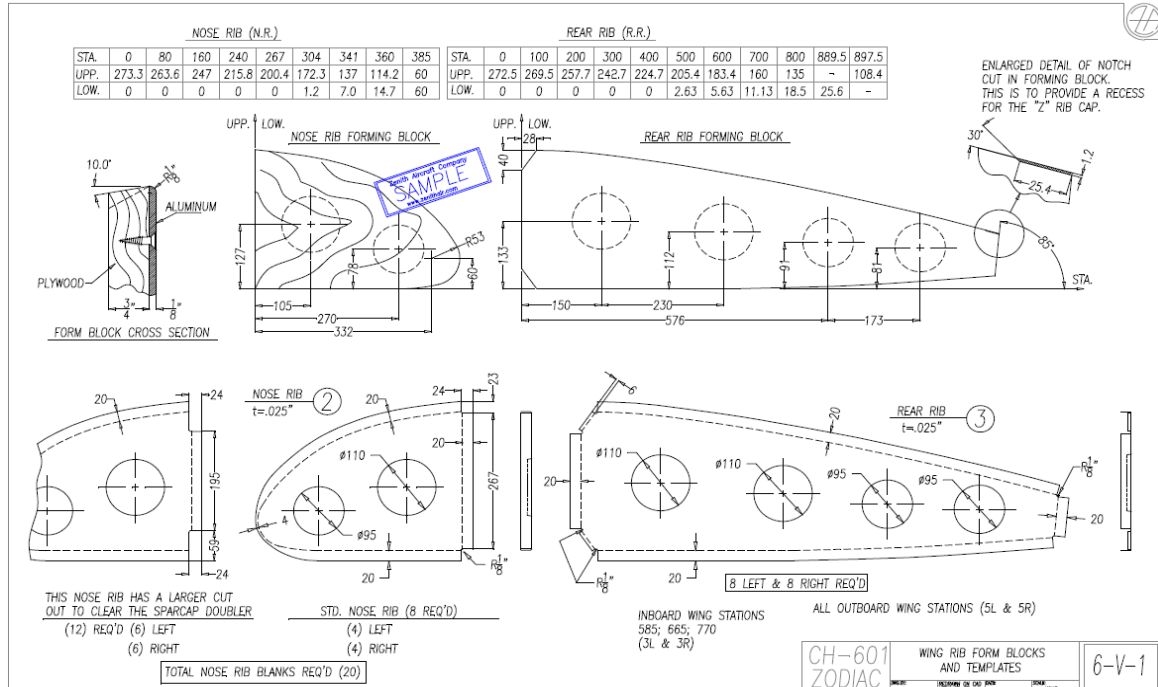
## 6.1. Σχέδια Zodiac XL Zenith CH601

### Κάτοψη, πλάγια όψη και πρόσοψη Zenith CH601



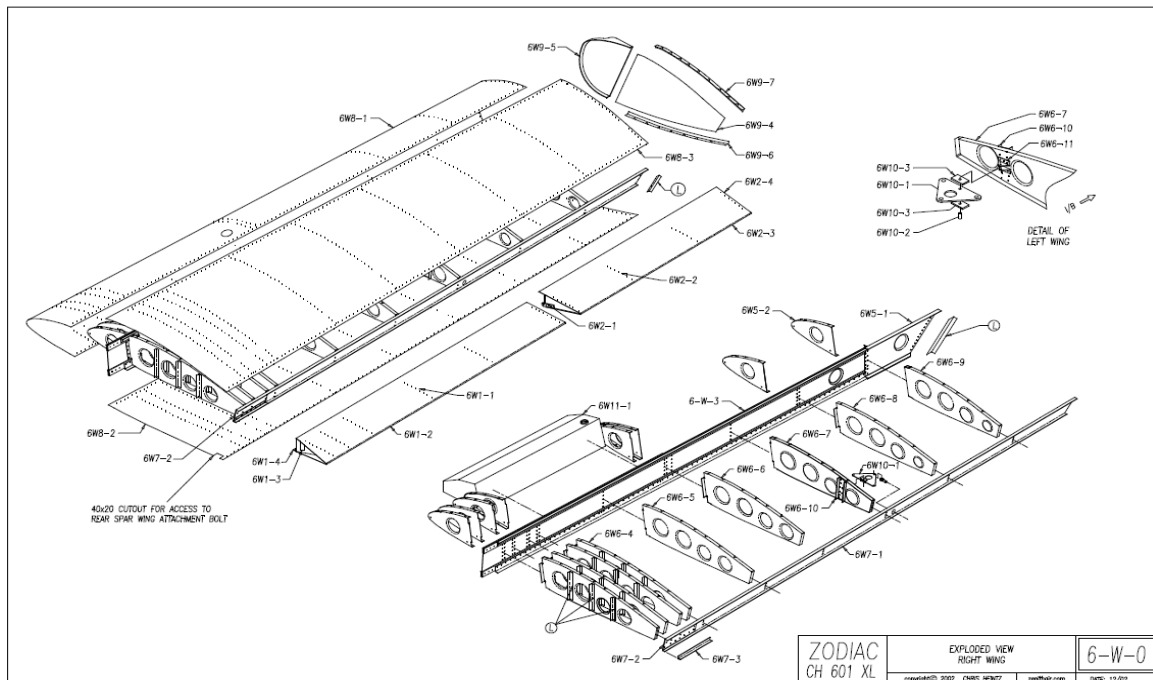
(Πηγή: <http://www.zenithair.net/>)

### Συντεταγμένες των σημείων της αεροτομής



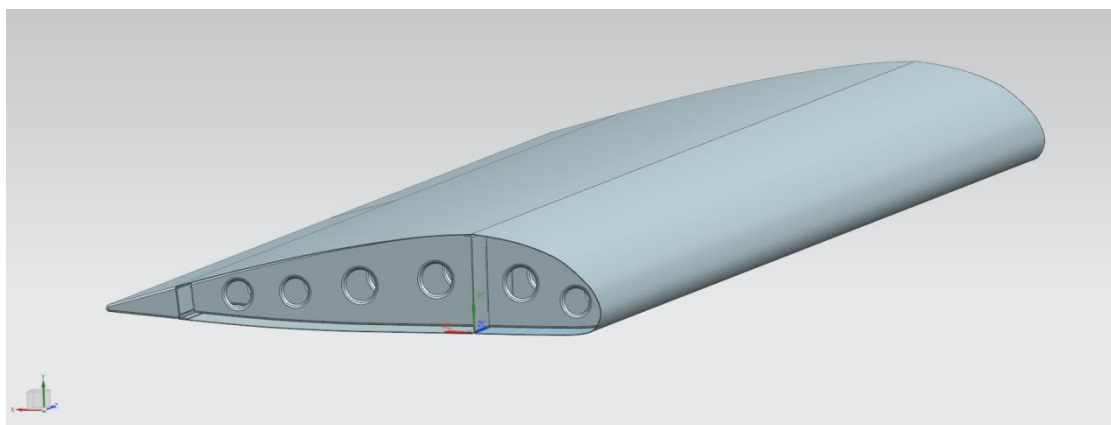
(Πηγή: <http://www.zenithair.net/>)

### Όλα τα κομμάτια του πτερυγίου

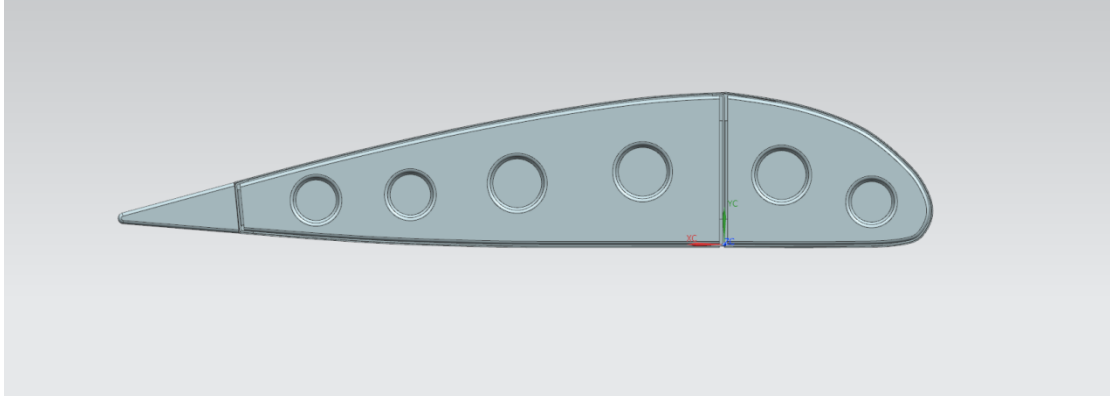


(Πηγή: <http://www.zenithair.net/>)

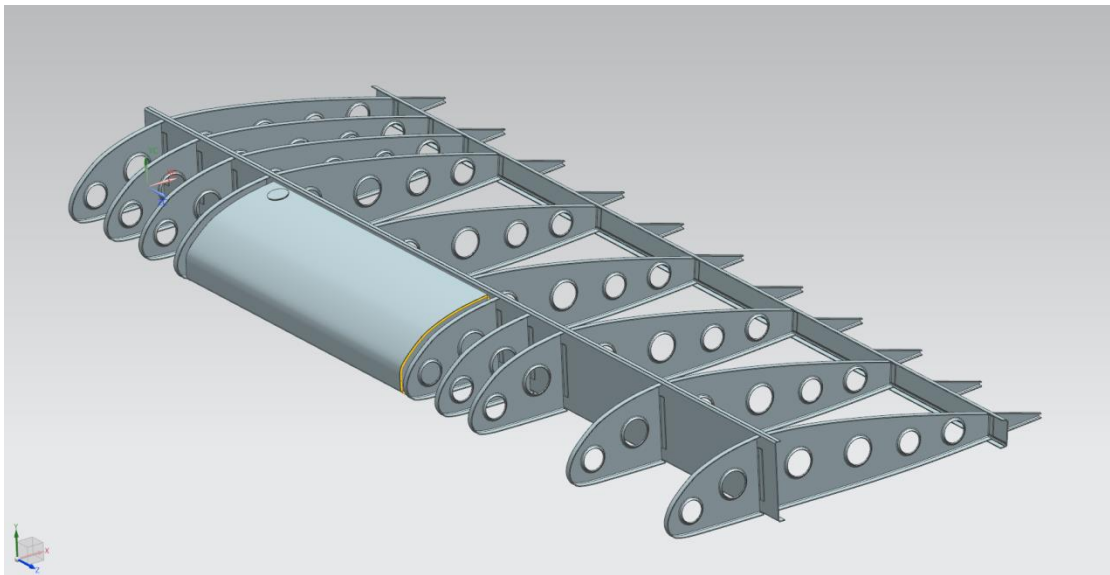
## 6.2. Ψηφιακός Σχεδιασμός Πτερυγίου του Αεροσκάφους Zenith601 μέσω του προγράμματος Nx Siemens 11.0 .



Εικόνα 6.2.1. Πτερύγιο.



**Εικόνα 6.2.2.** Πλάγια Όψη Πτερυγίου.



**Εικόνα 6.2.3.** Κορμός Πτερυγίου.

### 6.2.1. Πίνακας Συντεταγμένων Αεροτομής Zodiac XL Zenith CH601.

Το σημείο αναφοράς της ψηφιακής σχεδίασης της πτέρυγας είναι οι συντεταγμένες της αεροτομής της. Ο παρακάτω πίνακας αποτυπώνει όλα τις συντεταγμένες της αεροτομής του αεροσκάφους Zodiac XL Zenith CH601.

X	Y	Z
0	272.5	0
100	269.5	0
200	257.7	0
300	242.7	0
400	224.7	0
500	205.4	0
600	183.4	0
700	160	0
800	135	0
897.5	108.4	0
0	0	0
100	0	0
200	0	0
300	0	0
400	0	0
500	2.63	0
600	5.63	0
700	11.13	0
800	18.5	0
889.5	25.6	0
0	273.3	0
-80	263.6	0
-160	247	0
-240	215.8	0
-267	200.4	0
-304	172.3	0
-341	137.0	0
-360	114.2	0
-385	60	0
0	0	0
-80	0	0
-160	0	0
-240	0	0
-267	0	0
-304	1.2	0
-341	7	0
-360	14.7	0
-385	60	0

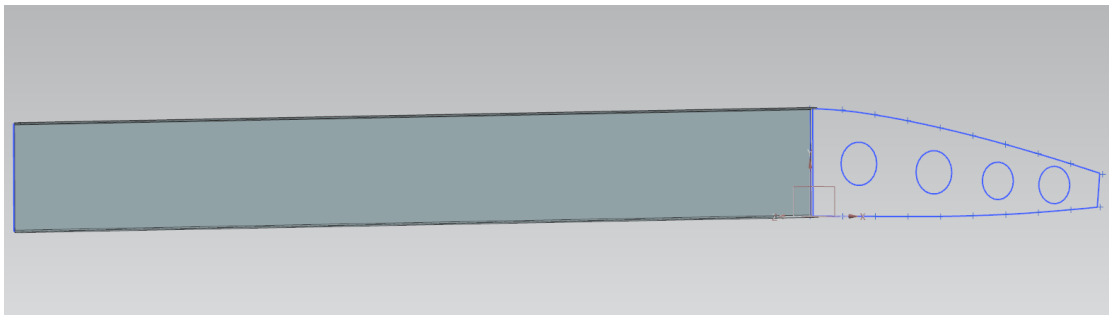
*Πίνακας 6.2.1. Συντεταγμένες της αεροτομής στους X-Y-Z άξονες.*





**Εικόνα 6.2.1.** Τα σημεία των συντεταγμένων της αεροτομής στο Nx Siemens 11.0.

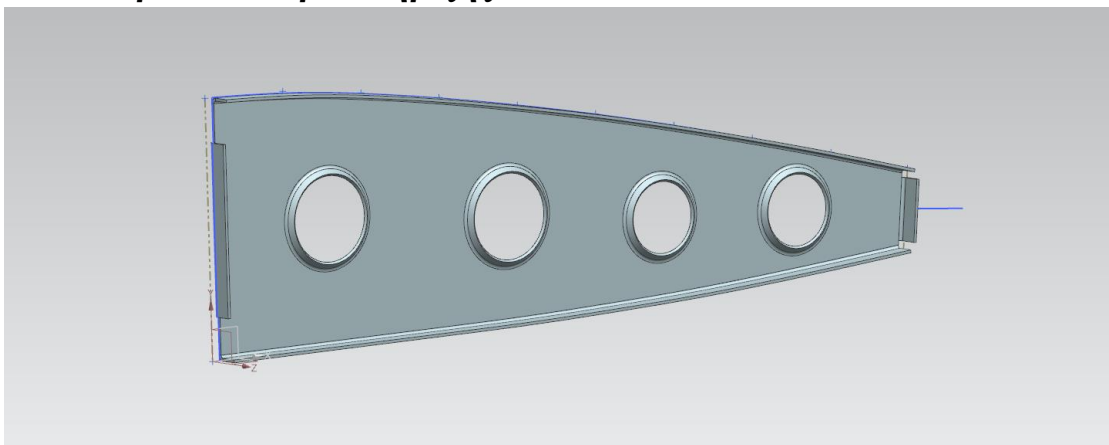
### 6.3.Κύρια Δοκός Στήριξης-Main Spar



Αρχικά Δημιουργούμε αρχείο txt, συμπληρώνοντας τις συντεταγμένες περιμετρικά του Κεντρικού Πλευρού Στήριξης και το εισάγουμε στο πρόγραμμα. Ενώνουμε τις κορυφές, που έχουν δημιουργηθεί, σε Sketch με Studio Spline.

Σχεδιάζουμε το κύριο σώμα του εξαρτήματος και χρησιμοποιούμε την εντολή Tab των μετάλλων εφελκυσμού (Sheet Metal) έχοντας ορίσει πάχος 3mm. Για σωστή σχεδίαση της πάνω πατούρας με κάμψη σε συνάρτηση με την συναρμολόγηση του τελικού μοντέλου συνεχίζουμε με την εντολή Countour Flange και με Flange ορίζοντας γωνία κάμψης 90°, ακτίνα κάμψης 3mm (όσο και το πάχος του μετάλλου ώστε ο λόγος R/T να πάρει τιμή εντός ορίων για σωστή Κάμψη) και για τις δύο.

### 6.4.Κεντρικό Πλευρό Στήριξης-Rear Rib





Εισάγουμε αρχείο txt, με τις συντεταγμένες περιμετρικά του Κεντρικού Πλευρού Στήριξης και το εισάγουμε στο πρόγραμμα. Οι παρακάτω πίνακες εκφράζουν τις συντεταγμένες των σημείων του κεντρικού πλευρού στήριξης στους άξονες X-Y-Z. Πιο συγκεκριμένα ο πίνακας 6.4.1. αποτυπώνει τα σημεία που βρίσκονται πάνω από την κύρια χορδή της αεροτομής και αντίστοιχα ο πίνακας 6.4.2. τα σημεία που βρίσκονται κάτω από αυτή.

X	Y	Z
0	272.5	0
100	269.5	0
200	257.7	0
300	242.7	0
400	224.7	0
500	205.4	0
600	183.4	0
700	160	0
800	135	0
897.5	108.4	0

**Πίνακας 6.4.1.** Άνω συντεταγμένες (αεροτομής) Κ.Π.Σ..

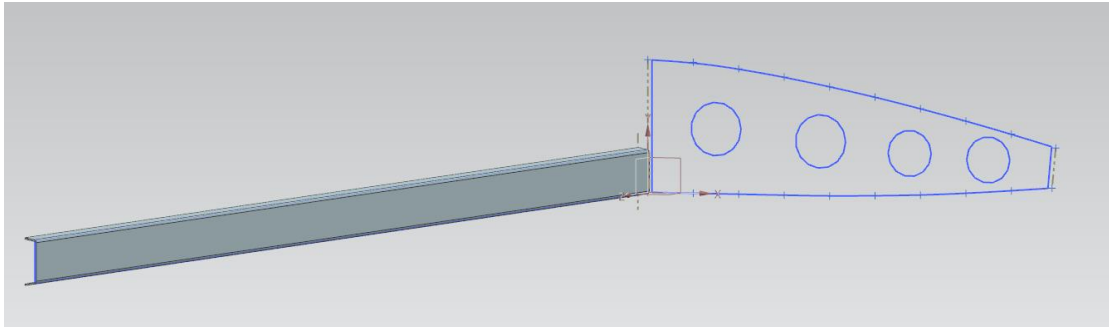
X	Y	Z
0	0	0
100	0	0
200	0	0
300	0	0
400	0	0
500	2.63	0
600	5.63	0
700	11.13	0
800	18.5	0
889.5	25.6	0

**Πίνακας 6.4.1.** Κάτω συντεταγμένες (αεροτομής) Κ.Π.Σ..

Ενώνουμε τις κορυφές, που έχουν δημιουργηθεί, σε Sketch με Studio Spline. Με την εντολή Tab προσθέτουμε υλικό για τη βάση του εξαρτήματος. Έχοντας σχεδιάσει κύκλους χρησιμοποιούμε την εντολή Lightening Cutout ορίζοντας κατάλληλες παραμέτρους 4 φορές.

Για να δημιουργήσουμε πατούρα με κάμψη μετάλλου στις πλευρές με καμπυλότητα χρησιμοποιούμε εντολή Advanced Flange ορίζοντας κατάλληλες παραμέτρους και γωνία κάμψης 90° 2 φορές. Έπειτα χρησιμοποιούμε εντολή Flange για τις λοιπές πατούρες όμοια και εδώ ορίζοντας κατάλληλες παραμέτρους.

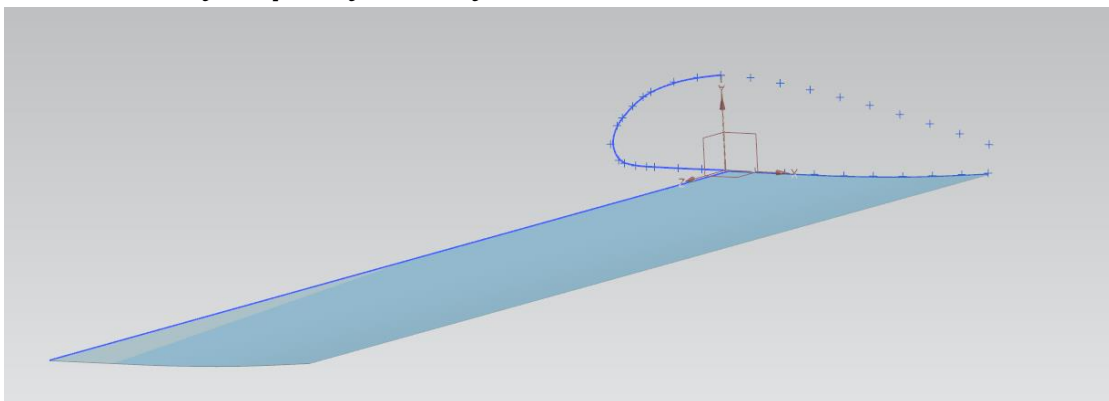
## 6.5. Πίσω Δοκός Στήριξης-Rear Spar



Όμοια εισάγουμε το αρχείο txt, με τις συντεταγμένες του Κεντρικού Πλευρού Στήριξης από και το εισάγουμε στο πρόγραμμα. Αντιγράφουμε Sketch ένωσης των κορυφών και μειώνουμε το μήκος από τις 2 μεριές ίσο με το πάχος του μετάλλου για σωστή συναρμολόγηση. Σχεδιάζουμε και μεταφέρουμε Γεωμετρία δοκού σε αρχή αξόνων με Move Curve.

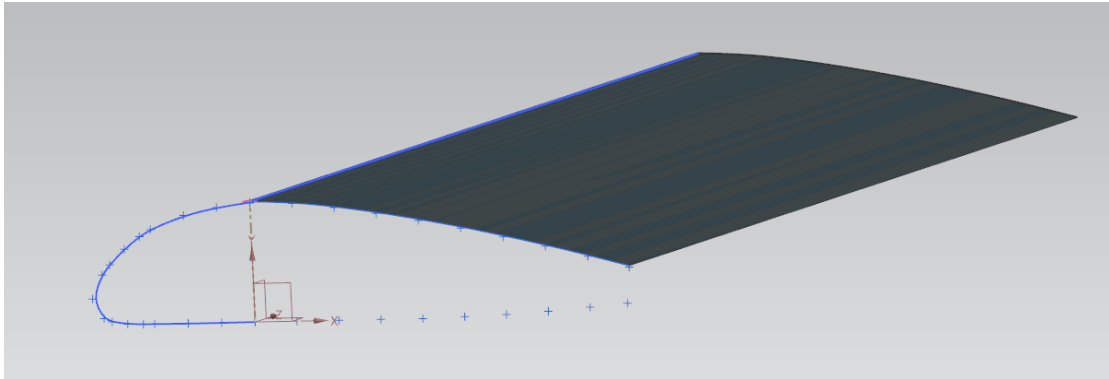
Με εντολή Tab προσθέτουμε υλικό για τη βάση του εξαρτήματος έχοντας ορίσει πάχος 3mm. Για σωστή σχεδίαση της πάνω και κάτω πατούρας με κάμψη σε συνάρτηση με την συναρμολόγηση του τελικού μοντέλου συνεχίζουμε με την εντολή Countour Flange 2 φορές και γωνία κάμψης 90°.

## 6.6. Κάτω Εξωτερικός Φλοιός-Skin



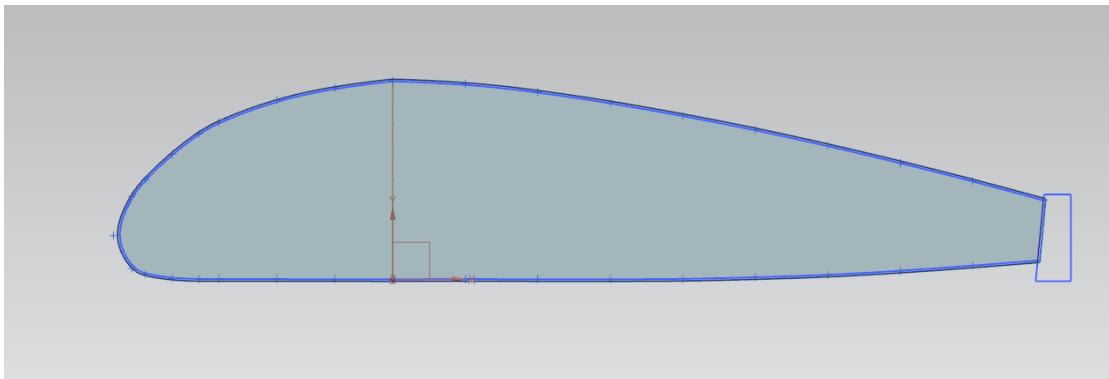
Ο φλοιός αποτελεί προϊόν Έλασης ώστε να δοθεί η κατάλληλη καμπυλότητα και κλίση. Εισάγουμε αρχείο txt, με τις συντεταγμένες περιμετρικά ολόκληρου του Πλευρού Στήριξης, και το εισάγουμε στο πρόγραμμα. Ενώνουμε τις κορυφές, που έχουν δημιουργηθεί, σε Sketch με Studio Spline και ορίζουμε Βοηθητικές τις γραμμές που δεν θα χρησιμοποιηθούν στις εντολές προσθήκης υλικού. Για σωστή Συναρμολόγηση “διαστέλλουμε” το Sketch κατά 3,5mm με εντολή Offset Curve. Με εντολή Swept Επιφανειών (Surface) σχεδιάζουμε ως επιφάνεια το εξάρτημα και εν συνεχεία προσθέτουμε πάχος με Thicken για να αποκτήσει όγκο.

### 6.7. Πάνω Εξωτερικός Φλοιός-Skin



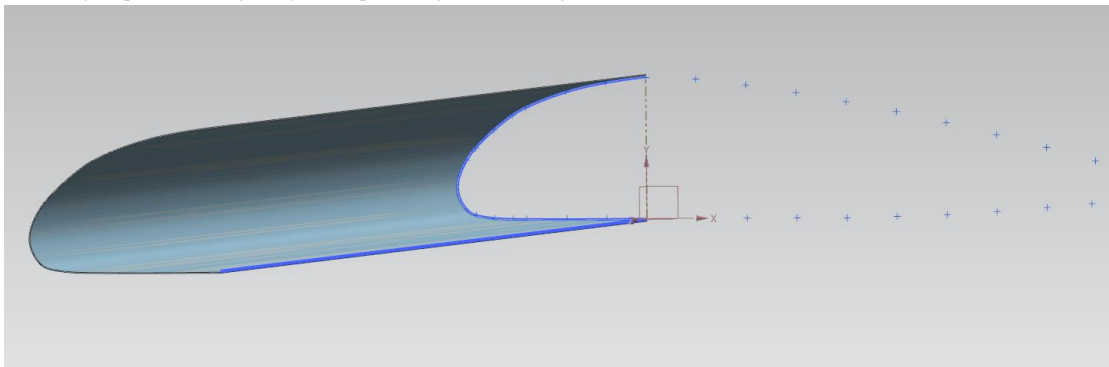
Όμοια και εδώ εισάγουμε αρχείο txt, με τις συντεταγμένες του Πλευρού Στήριξης, και το εισάγουμε στο πρόγραμμα. Εν συνεχεία ενώνουμε τις κορυφές, που έχουν δημιουργηθεί, σε Sketch με Studio Spline και ορίζουμε Βοηθητικές τις γραμμές. Για σωστή Συναρμολόγηση Offset Curve το Sketch. Με εντολή Swept Επιφανειών (Surface) σχεδιάζουμε ως επιφάνεια το εξάρτημα και προσθέτουμε πάχος με Thicken.

### 6.8. Πλαϊνό Κάλυμμα



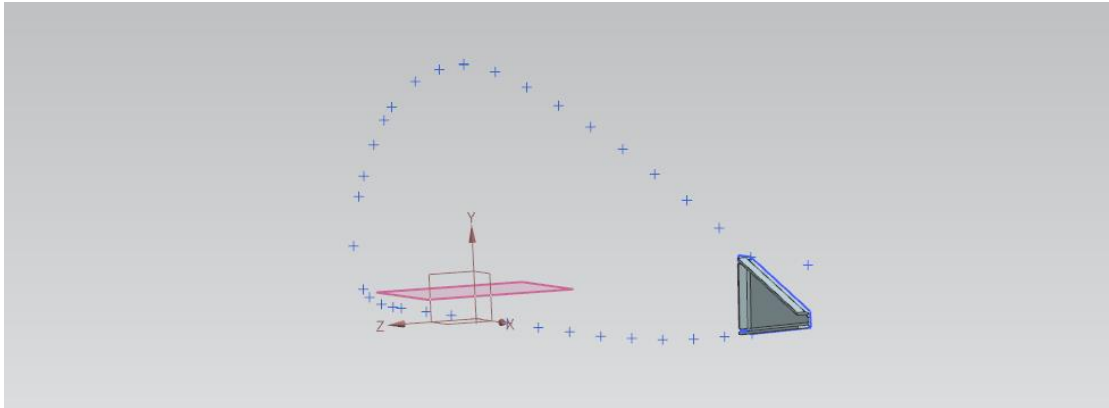
Το εξάρτημά είναι αποτέλεσμα διαδικασίας Απότμησης και κοπής με Φρέζα CNC. Ομοίως εισάγουμε αρχείο txt, με τις συντεταγμένες ολόκληρου του Πλευρού Στήριξης και ενώνουμε τις κορυφές, που έχουν δημιουργηθεί, σε Sketch με Studio Spline. Για σωστή Συναρμολόγηση του περυγίου κάνουμε Offset Curve το Sketch ώστε να “διασταλεί” κατά 3mm. Με εντολή Tab προσθέτουμε υλικό για τη δημιουργία του εξαρτήματος.

### 6.9. Εμπρόσθιος Εξωτερικός Φλοιός-Skin



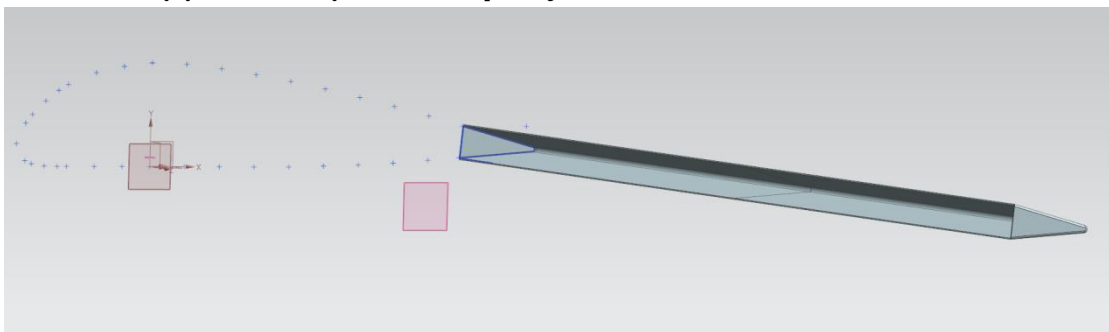
Αποτελεί προϊόν Έλασης και αυτό σε ειδική μηχανή μήκους μεγαλύτερη των 3.6m. Εισάγουμε κορυφές περιμετρικά του πτερυγίου από αρχείο txt με βάση Μηχανολογικά σχέδια του Zenith CH601. Ενώνουμε τα σημεία σε Sketch και χρησιμοποιούμε Offset Curve το Sketch ώστε να “διασταλεί”. Όμοια, σχεδιάζουμε τον οδηγό για την εντολή Swept επιφάνειας (Surface) και δίνουμε πάχος στο μοντέλο με εντολή Thicken.

## 6.10.Τρίγωνο Στήριξης



Έχοντας ως οδηγό τη γεωμετρία του πλευρού στήριξης του πτερυγίου εισάγουμε για άλλη μια φορά τις κορυφές περιμετρικά του πτερυγίου από αρχείο txt με βάση Μηχανολογικά σχέδια. Σχεδιάζουμε το εξάρτημα μας στην προέκταση των κορυφών και προβαίνουμε σε απαραίτητη επεξεργασία μείωσης του μήκους του ίση με το πάχος του μετάλλου εφελκυσμού για σωστή συναρμολόγηση. Με εντολή Tab προσθέτουμε υλικό για τη βάση. Χρησιμοποιούμε εντολή Flange 3 φορές για τις πατούρες με κάμψη των μετάλλων με γωνία κάμψης 90° και ορίζουμε λοιπές παραμέτρους για αποφυγή αστοχίας υλικού.

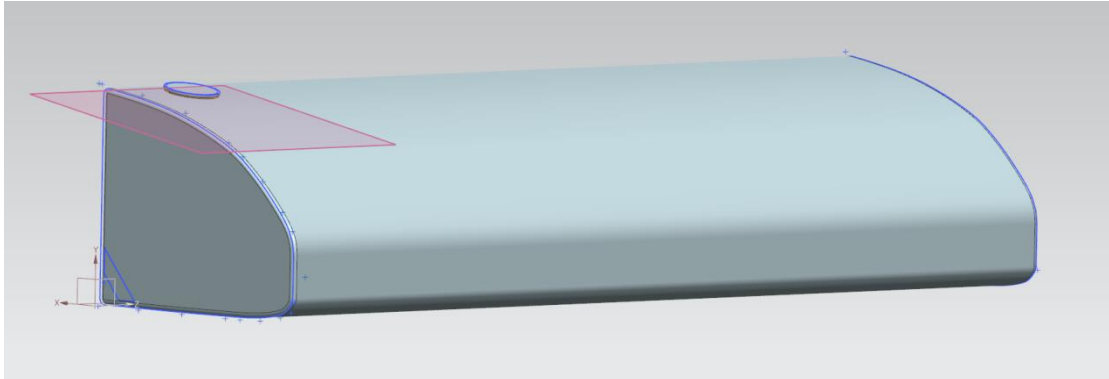
## 6.11.Κάλυμμα Κινούμενου Μέρους



Αποτελεί προϊόν Κάμψης μετάλλου εφελκυσμού. Αρχικά εισάγουμε αρχείο txt και αντιγράφουμε όπως και παραπάνω σχέδιο περιμετρικά του πλευρού στήριξης από τρίγωνο στήριξης. Τροποποιούμε τη γωνία κάμψης ώστε να είναι δυνατή η κατεργασία του μετάλλου και ο λόγος  $\frac{R}{T}$  να είναι εντός ορίων. “Διαστελλούμε” το Sketch για σωστή Γεωμετρία με Offset Curve και προσθέτουμε υλικό βάσης με Tab.

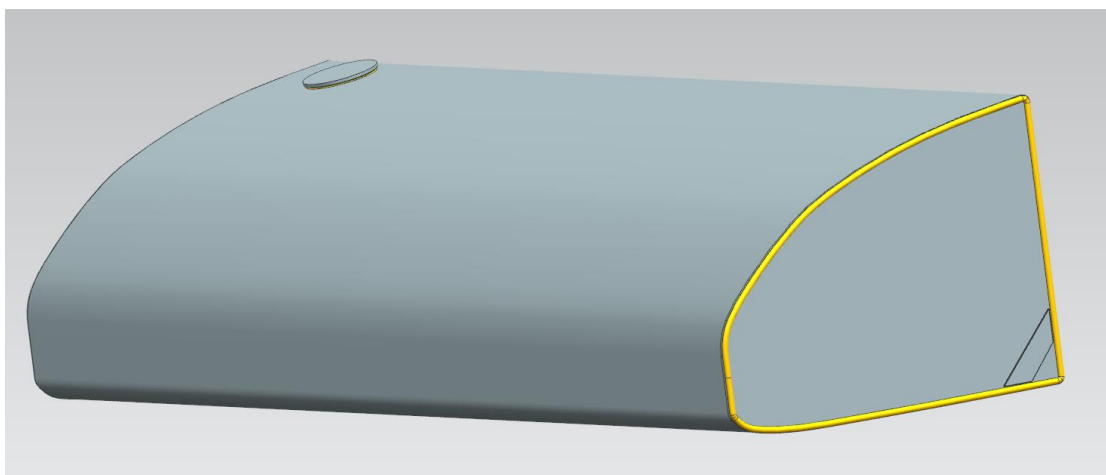
Με εντολή Advanced Flange ορίζουμε κατάλληλες παραμέτρους και γωνία κάμψης 90°.

## 6.12.Δοχείο Καυσίμου-Wing Fuel Tank

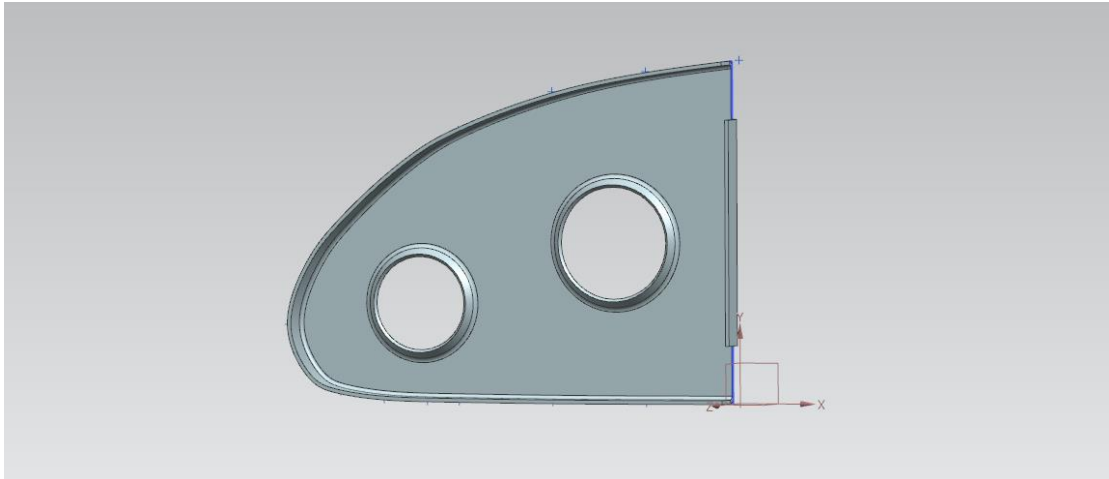


Έχοντας εισάγει ξανά αρχείο txt, με συντεταγμένες περιμετρικά του Εμπρόσθιου Πλευρού Στήριξης αντιγράφουμε και το Sketch από αυτό, “συστέλλοντας” κατά 3mm με χρήση εντολής Offset Move Curve και δημιουργούμε μέταλλο εφελκυσμού με εντολή Tab. Για πατούρα μετάλλου στις πλευρές με καμπυλότητα χρησιμοποιούμε εντολή Advanced Flange ορίζοντας κατάλληλες παραμέτρους ώστε η χωρητικότητα του δοχείου καυσίμου να αντιστοιχεί σε αυτό του Zenith CH601, προσομοιώνοντας έτσι τη Βαθεία Κοίλανση. Με την εντολή Body Measurement επιλέγουμε το δοχείο και ελέγχουμε έτσι την χωρητικότητά του. Δημιουργούμε την άλλη πλευρά με Mirror και σχεδιάζομαι απαραίτητα Sketch για το πώμα σε Επίπεδο (Datum) κατά μήκος αρχικού Sketch και έπειτα προσθέτουμε υλικό με Extrude. Όπως και στην πραγματικότητα συγκολλούμε στα απαραίτητα σημεία το μοντέλο μας με εντολές Fillet και Bead. Το συγκολλητικό υλικό έχει κίτρινο χρώμα όπως φαίνετε στην παρακάτω εικόνα.

### Συγκολλητικό Υλικό σε δοχείο καυσίμου



### 6.13.Εμπρόσθιο Πλευρό Στήριξης – Nose Rib



Εισάγουμε ξανά αρχείο txt, με τις συντεταγμένες περιμετρικά του Εμπρόσθιου Πλευρού Στήριξης.

X	Y	Z
-0	273.3	0
-80	263.6	0
-160	247	0
-240	215.8	0
-267	200.4	0
-304	172.3	0
-341	137	0
-360	114.2	0
-385	60	0

**Πίνακας 6.13.1.** Συντεταγμένες του Ε.Π.Σ. (άνω).

X	Y	Z
0	0	0
-80	0	0
-160	0	0
-240	0	0
-267	0	0
-304	1.2	0
-341	7	0
-360	14.7	0
-385	60	0

**Πίνακας 6.13.1.** Συντεταγμένες του Ε.Π.Σ. (κάτω).

Ενώνουμε τις κορυφές, που έχουν δημιουργηθεί, σε Sketch με Studio Spline. Με την εντολή Tab δημιουργούμε τη βάση του μετάλλου εφελκυσμού. Έχοντας σχεδιάσει κύκλους χρησιμοποιούμε την εντολή Lightening Cutout ορίζοντας κατάλληλες παραμέτρους 2 φορές προσομοιώνοντας διάτμηση μετάλλου εφελκυσμού με Κάμψη.

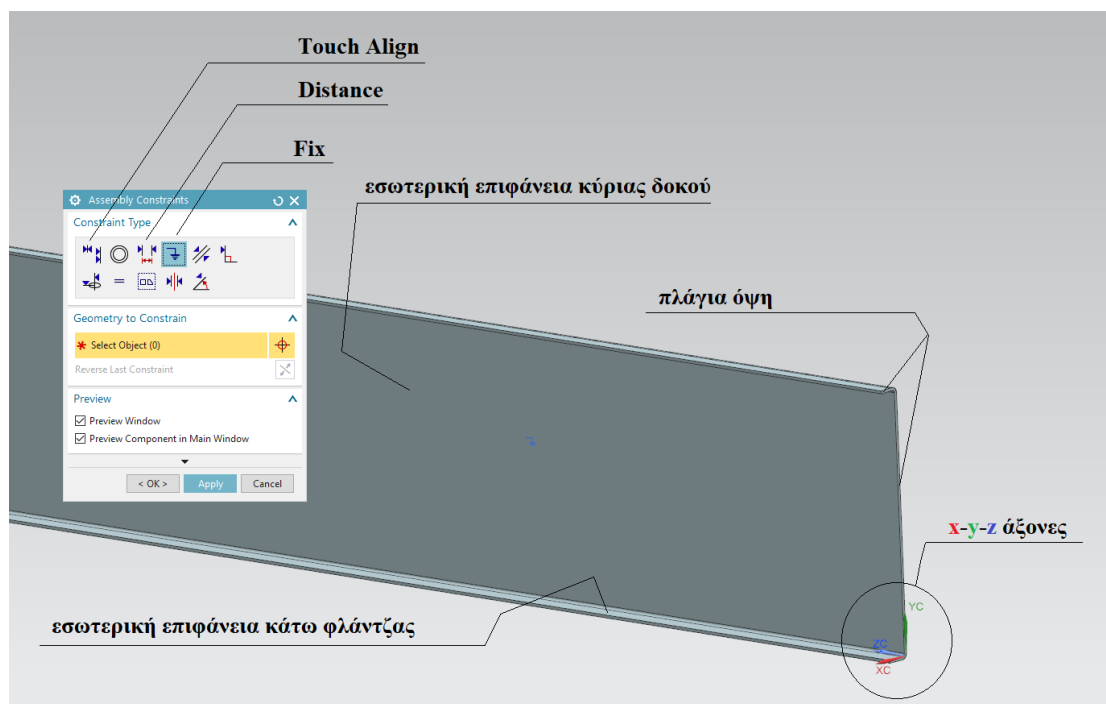
Όμοια με το Κεντρικό Πλευρό Στήριξης για να δημιουργήσουμε πατούρα μετάλλου στις πλευρές με καμπυλότητα χρησιμοποιούμε εντολή Advanced Flange ορίζοντας κατάλληλες παραμέτρους 2 φορές. Έπειτα χρησιμοποιούμε εντολή Flange.

## Κεφάλαιο 7 - Συναρμολόγηση (Assembly)

Το τελευταίο στάδιο της εργασίας είναι η συναρμολόγηση των μεταλλικών κομματιών που δημιουργήσαμε μέσω της ενότητας “sheet metal” του CAD προγράμματος Nx Siemens 11.0. Τα 36 κομμάτια που δημιουργήσαμε τα τοποθετούμε όλα με την σειρά βάση των πραγματικών συντεταγμένων της αεροτομής όπως υποδεικνύει ο σχεδιαστής-κατασκευαστής του αεροσκάφους Zenith CH-601 της Zenith Aircraft Company. Η συναρμολόγηση λοιπόν γίνεται σε νέα καρτέλα στην ενότητα “assembly” εμπεριέχοντας όλα τα κομμάτια που σχεδιάσαμε. Ως περιορισμούς θέσης (Constraints) χρησιμοποιούμε κυρίως τα εξαρτήματα Fix, Touch Align και Distance. Με την εντολή Fix σταθεροποιούμε τα κομμάτια, με την εντολή touch align ορίζουμε τις επιφάνειες που θέλουμε να εφάπτονται και με την εντολή Distance επιλέγουμε τις επιφάνειες που θέλουμε σε απόσταση και παράλληλες. Τέλος, όλες οι εικόνες του κεφαλαίου 7 αποτυπώνουν την συναρμολόγηση (Assembly) της πτέρυγας του αεροσκάφους Zenith CH-601 της Zenith Aircraft Company, μέσω του CAD συστήματος Nx Siemens 11.0.

### 7.1. Συναρμολόγηση κύριας δοκού στήριξης (Κ.Δ.Σ.)

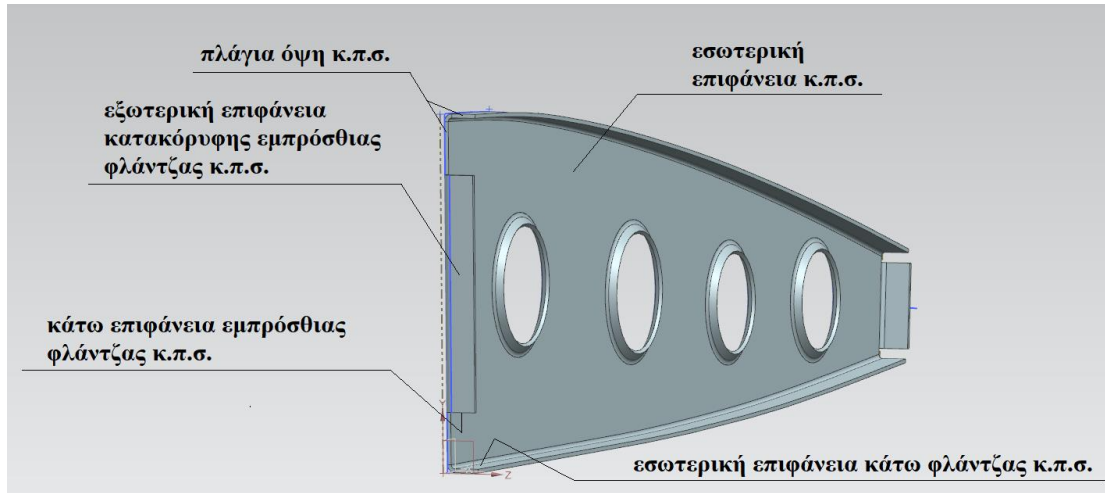
Δημιουργούμε αρχείο ενότητας “assembly” και με την εντολή Add Component προσθέτουμε το αρχείο που εμπεριέχει την κύρια δοκό στήριξης (Dokos\_brosta.prt) που προσχεδιάσαμε. Η κύρια δοκός στήριξης βρίσκεται στην αρχή των αξόνων ( $x=0, y=0, z=0$ ), για να την «κλειδώσουμε» σε αυτήν την θέση πατάμε το fix στο Assembly Constraints.



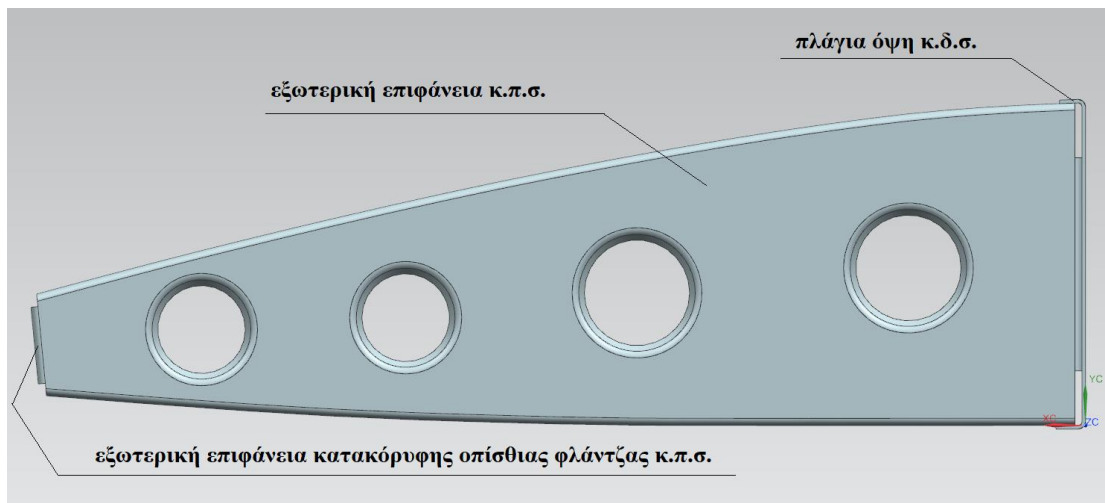


*Εικόνα 7.1. Σταθεροποίηση Κ.Δ.Σ. στην αρχή των αξόνων.*

## 7.2. Συναρμολόγηση κεντρικών πλευρών στήριξης (Κ.Π.Σ.)



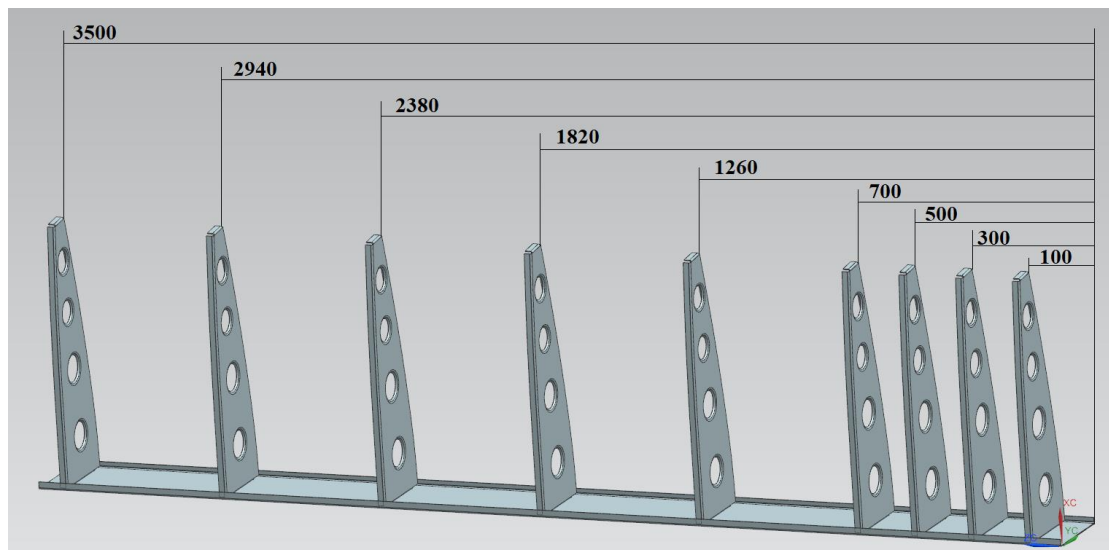
*Εικόνα 7.2.1. Ονοματολογία επιφανειών Κ.Π.Σ..*



*Εικόνα 7.2.2. Συναρμολόγηση του πρώτου Κ.Π.Σ. με την Κ.Δ.Σ..*

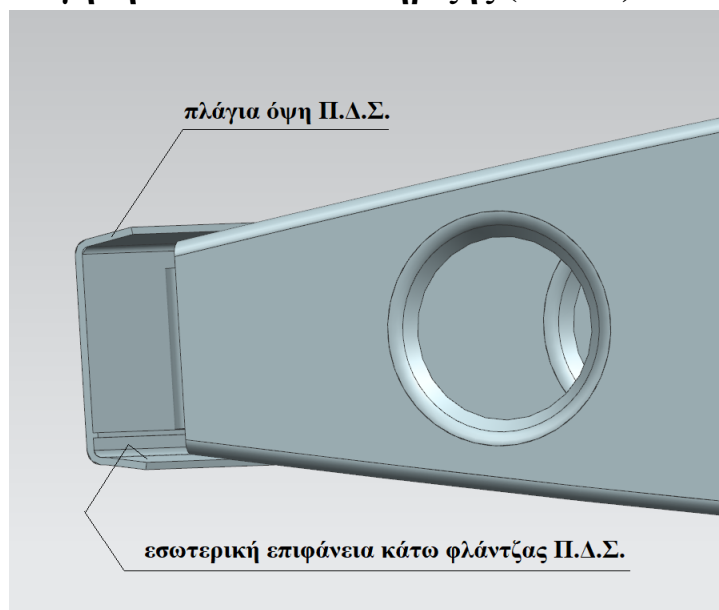
Σειρά έχουν τα κεντρικά πλευρά στήριξης (Rib-Pleuro.prt) και ο τρόπος τοποθέτησής τους στην κύρια δοκό. Με την εντολή Add Component προσθέτουμε το αρχείου που εμπεριέχει το κεντρικό πλευρό στήριξης στην αρχή των αξόνων (0,0,0). Θα πρέπει λοιπόν, να οριστικοποιήσουμε την θέση του πλευρού ως προς τους τρεις άξονες (x,y,z). Αυτό το επιτυγχάνουμε με τις εντολές Touch Align και Distance που βρίσκονται στο Assembly Constraints. Με την εντολή Touch Align κάνουμε την εσωτερική επιφάνεια της Κ.Δ.Σ. να εφάπτεται με την εξωτερική επιφάνεια της κατακόρυφης εμπρόσθιας φλάντζας Κ.Π.Σ.. Έπειτα, με την εντολή Distance επιλέγουμε την εξωτερική επιφάνεια του Κ.Π.Σ. καθώς και την παράλληλη επιφάνεια

«πλάγια όψη της Κ.Δ.Σ.». Το πρώτο πλευρό βάση των σχεδίων του κατασκευαστή ως προς τους x και y άξονες βρίσκεται στο σωστό σημείο ( $x=0, y=0, z=100$ ), ωστόσο στον z άξονα το πλευρό πρέπει να μετατοπιστεί 100mm. Έτσι, προτού ολοκληρώσουμε την εντολή Distance, αλλάζουμε την απόσταση από μηδέν εκατοστά σε εκατό και το πλευρό «κλειδώνει» ως προς του άξονες x και y. Για να ολοκληρωθεί η διαδικασία σταθεροποίησης του πρώτου Κ.Π.Σ. με την Κ.Δ.Σ. θα πρέπει με την εντολή Distance να επιλέξουμε άλλες δύο παράλληλες επιφάνειες. Η πρώτη είναι η κάτω επιφάνεια εμπρόσθιας φλάντζας του Κ.Π.Σ. και η δεύτερη είναι η εσωτερική επιφάνεια της κάτω φλάντζας της Κ.Δ.Σ.. Με αυτόν τον τρόπο το πλευρό σταθεροποιείται και ως προς τον z άξονα.



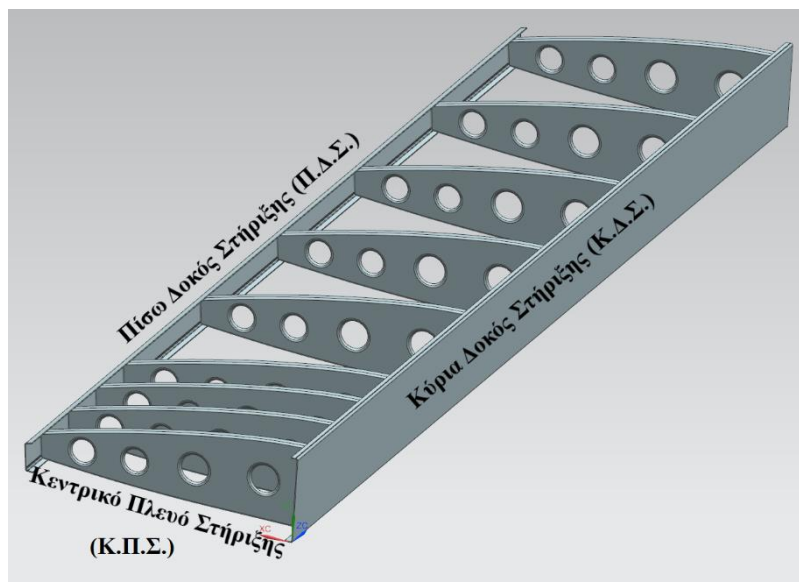
*Εικόνα 7.2.3. Η απόσταση σε χιλιοστά (mm) των Κ.Π.Σ. από την αρχή των αξόνων.*

### 7.3. Συναρμολόγηση πίσω δοκού στήριξης (Π.Δ.Σ.)



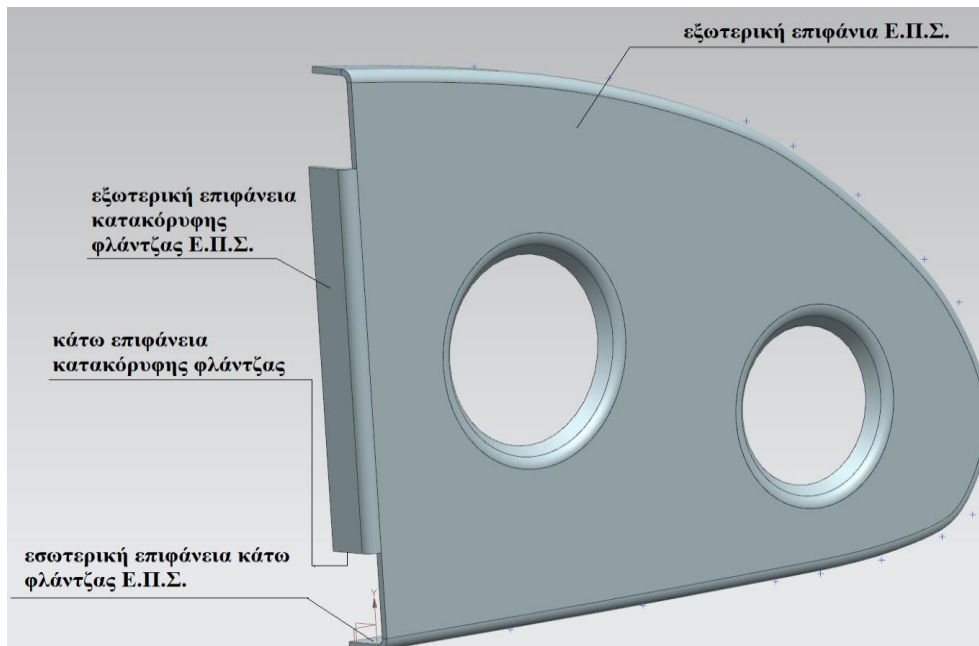
**Εικόνα 7.3.1.** Σύνδεση Π.Δ.Σ. με Κ.Π.Σ..

Τοποθετούμε την πίσω δοκό στήριξης (Dokos\_piso.prt) στην κατάλληλη θέση με τέτοιο τρόπο ώστε να είναι παράλληλη με την Κ.Δ.Σ. και οι φλάντζες της να «αγκαλιάζουν» τις φλάντζες του Κ.Π.Σ.. Για αρχή, κάνουμε χρήση της εντολής Add Component προσθέτοντας το αρχείο που εμπεριέχει την πίσω δοκό στήριξης και αυτή εμφανίζεται στην αρχή των αξόνων (0,0,0). Συνεχίζοντας, για να μετατοπιστεί η Π.Δ.Σ. στην θέση που έχει ορίσει ο σχεδιαστής της πτέρυγας θα κάνουμε χρήση των εντολών Touch Align και Distance που βρίσκονται στο Assembly Constraints. Συγκεκριμένα, Touch Align επιλέγοντας την εσωτερική επιφάνεια της Π.Δ.Σ. και την εξωτερική επιφάνεια κατακόρυφης οπίσθιας φλάντζας του Κ.Π.Σ., οριστικοποιώντας την θέση της πίσω δοκού στον άξονα x. Επιπλέον, με την εντολή Distance διαλέγουμε την εσωτερική επιφάνεια κάτω φλάντζας Π.Δ.Σ. να είναι παράλληλη με κάτω επιφάνεια οπίσθιας φλάντζας του Κ.Π.Σ., κατορθώνοντας την σταθεροποίηση της ως προς τον άξονα y. Τέλος, με την ίδια εντολή (Distance) επιλέγουμε την πλάγια όψη Π.Δ.Σ. και την εξωτερική επιφάνεια Κ.Π.Σ. ώστε να είναι παράλληλες, επιδιώκοντας την οριστικοποίηση της θέσης της στον άξονα z.



**Εικόνα 7.3.2.** Σταθεροποίηση της Π.Δ.Σ. με τον υπόλοιπο κορμό του περυγίου.

#### **7.4. Συναρμολόγηση εμπρόσθιων πλευρών στήριξης (Ε.Π.Σ.)**



**Εικόνα 7.4.** Ονοματολογία επιφανειών Ε.Π.Σ..

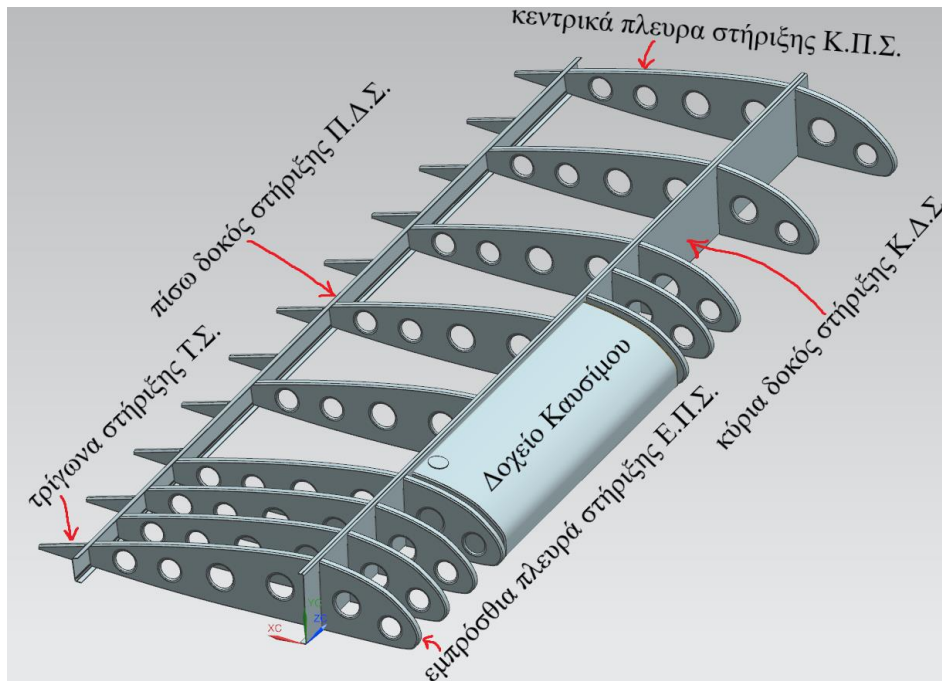
Σημαντικό ρόλο στην τοποθέτηση των εμπρόσθιων πλευρών στήριξης παίζει η δοκός στήριξης σε συνδυασμό των εντολών Touch Align και Distance που βρίσκονται στο Assembly Constraints. Ειδικότερα, για το πρώτο πλευρό κάνουμε χρήση της εντολής Add Component προσθέτοντας το αρχείο που περιέχει το εμπρόσθιο πλευρό στήριξης (Rib\_Ftero\_brosta.prt) όπου εμφανίζεται στην αρχή των αξόνων (0,0,0). Επιλέγουμε την εντολή Distance την εξωτερική επιφάνεια Ε.Π.Σ. καθώς και την εξωτερική επιφάνεια Κ.Δ.Σ. με απόσταση 100mm (στον άξονα z) σταθεροποιώντας το πλευρό ως προς τον z. Με την εντολή Touch Align επιλέγουμε την εξωτερική πλευρά Κ.Δ.Σ. και ταυτόχρονα την εξωτερική επιφάνεια κατακόρυφης φλάντζας Ε.Π.Σ.. Αυτό το κάνουμε για να σταθεροποιήσουμε το πλευρό ως προς τον άξονα x. Τελειοποιούμε την διαδικασία κάνοντας χρήση της εντολής Distance και για τον y άξονα αντίστοιχα με την ενότητα 7.2.

### 7.5. Συναρμολόγηση τριγώνων στήριξης (Τ.Σ.)

Είναι φανερό, πως τα τρίγωνα στήριξης σχετίζονται άμεσα με την πίσω δοκό σε συνδυασμό των εντολών Touch Align και Distance που βρίσκονται στο Assembly Constraints. Εισάγουμε το πρώτο τρίγωνο στήριξης (trigono\_stiriksis.prt) το οποίο και εμφανίζεται στην αρχή των αξόνων. Σκοπός της εντολής Touch Align όπως προαναφέραμε στις παραπάνω ενότητες 7.2, 7.3 και 7.4 είναι η προσκόλληση της εξωτερικής επιφάνειας κατακόρυφης φλάντζας Τ.Σ. με την εξωτερική επιφάνεια Π.Δ.Σ.. Οριστικοποιώντας έτσι την θέση του τριγώνου ως προς τον άξονα x. Για να σταθεροποιήσουμε ως προς τον y άξονα το τρίγωνο αρκεί να ανατρέξουμε στις ενότητες 7.2 και 7.4.

### 7.6. Συναρμολόγηση Δοχείου καυσίμου

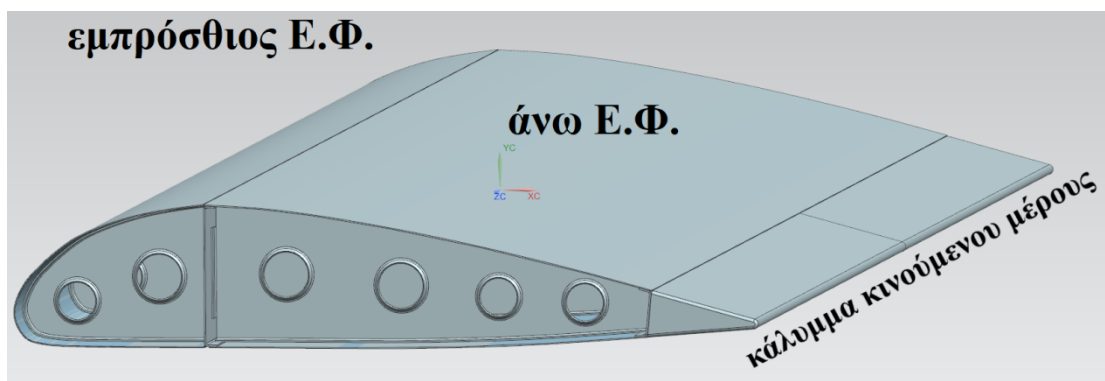
Εισάγοντας το δοχείο καυσίμου στο assembly επιδιώκουμε μόνο με την χρήση της εντολής Distance την πλήρη σταθεροποίηση του ως προς τους άξονες. Αρχικά, όπως και σε όλες τις προηγούμενες ενότητες αυτού του κεφαλαίου, προσθέτουμε το αντίστοιχο αρχείο (terozito.prt). Με την εντολή Distance παραλληλίζονται οι δύο επιλεγμένες επιφάνειες με την κύριο δοκό, βάζοντας την απόσταση  $z=-750\text{mm}$ . Επαναλαμβάνουμε την ίδια εντολή δύο φορές με τις κατάλληλες επιφάνειες ώστε να σταθεροποιήσουμε το δοχείο πάνω στην κύρια δοκό, «κλειδώνοντας» και τους άξονες  $x$  και  $y$ .



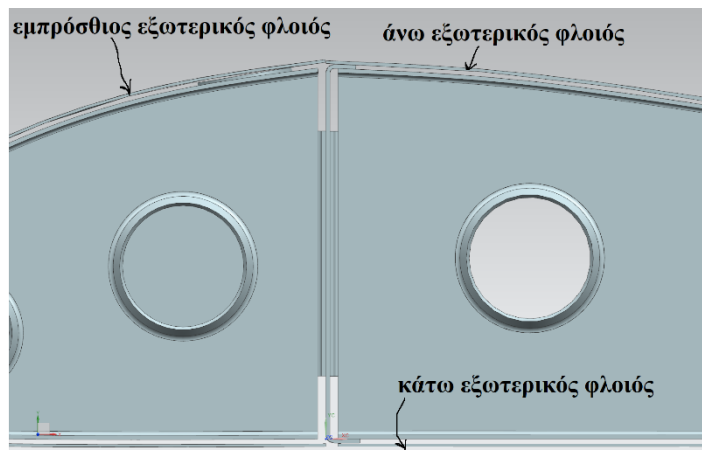
Εικόνα 7.6. Τελική συναρμολόγηση κορμού του πτερυγίου.

### 7.7. Συναρμολόγηση Εξωτερικών φλοιών (Ε.Φ.)

Με την εντολή Add Component προσθέτουμε τα αρχεία που εμπεριέχουν τους φλοιούς στην αρχή των αξόνων  $(0,0,0)$ . Θα πρέπει λοιπόν, να οριστικοποιήσουμε την θέση των φλοιών ως προς τους τρεις άξονες  $(x,y,z)$ . Αυτό το επιτυγχάνουμε με την εντολή Distance που βρίσκεται στο Assembly Constraints. Παραλληλίζουμε τις κατάλληλες επιφάνειες των φλοιών με την κύρια δοκό.



**Εικόνα 7.7.1. Συναρμολόγηση Ε.Φ..**



**Εικόνα 7.7.2. Σημεία τομής Ε.Φ. με την Κ.Δ.Σ..**

#### **7.7.1. Συναρμολόγηση Άνω φλοιού**

Όνομα Nx αρχείου(.prt): kalymma\_fterou\_mesh\_pano

Distance: y=276 mm

#### **7.7.2. Συναρμολόγηση Κάτω φλοιού**

Όνομα Nx αρχείου(.prt): kalymma\_fterou\_mesh\_kato

Distance: x=15.999 mm

#### **7.7.3. Συναρμολόγηση Εμπρόσθιου φλοιού**

Όνομα Nx αρχείου(.prt): Kalymma\_fterou\_brosta.

Distance: x=25mm y=24 mm

#### **7.7.4. Συναρμολόγηση Οπίσθιου φλοιού**

Όνομα Nx αρχείου(.prt): kalymma\_pterigion

Distance: x= 893.361380382887 mm

#### **7.7.5. Συναρμολόγηση Καλύμματος κινούμενου μέρους**

Όνομα Nx αρχείου(.prt): kalymma\_fterou\_plaino

Distance: x=0.00030303791 mm



## Συμπεράσματα

Η δημιουργία αεροτομών είναι μια χρονοβόρα και ιδιαίτερα σύνθετη διαδικασία αφού οι παράγοντες που την επηρεάζουν είναι αρκετοί. Ένας κατασκευαστής πτέρυγας αεροσκάφους θα πρέπει να προσέχει τους παρακάτω παράγοντες:

1. Γεωμετρία Αεροτομής
2. Δομικά υλικά
3. Κατεργασίες Παραμόρφωσης
4. Ψηφιακή Σχεδίαση
5. Συναρμολόγηση

Στη γεωμετρία της αεροτομής πρέπει να γίνει σχολαστικός υπολογισμός των παραμέτρων και των αριθμών διότι με μια μικρή αλλαγή αυτών η τελική αεροτομή δεν θα συνάδει με την άτρακτο του αεροσκάφους.

Τα δομικά υλικά θα πρέπει να είναι ακριβώς τα κράματα αλουμινίου που υποδεικνύει ο εκάστοτε κατασκευαστής. Η αντικατάσταση με παραπλήσιο δομικό υλικό μπορεί να διαβρωθεί σε λιγότερο χρόνο. Επίσης η νόθευση του υλικού επηρεάζει άμεσα και τις κατεργασίες παραμόρφωσης διότι κάθε υλικό έχει διαφορετική αντοχή και μέτρο ελαστικότητας.

Οι κατεργασίες παραμόρφωσης δεν θα πρέπει να ξεπερνούν τα μέτρα ελαστικότητας διότι μπορεί να δημιουργήσουν ρωγμές στο μέταλλο, ακόμα και θραύση. Το ίδιο ισχύει και για τα βαρυτικά φορτία ως προς τις γωνίες κάμψης.

Η ψηφιακή σχεδίαση θα πρέπει να γίνεται σε πραγματικές διαστάσεις σεβόμενη τους νόμους της φυσικής. Το ίδιο ισχύει και για τη συναρμολόγηση.

Από τα παραπάνω συμπεραίνεται ότι η δουλειά του αεροναυπηγού μηχανικού είναι πολύ σημαντική διότι ένα λάθος του μπορεί να αποβεί μοιραίο για μία ανθρώπινη ζωή.

Με βάση την εργασία αυτή στο μέλλον θα μπορούσε να χρησιμοποιηθεί για τον υπολογισμό των μεγεθών που αναφέρθηκαν στα πρώτα κεφάλαια και να υπολογιστούν οι παράγοντες άνωσης του αεροσκάφους.



## **Βιβλιογραφία**

Μπιλάλης, Ν και Μαραβελάκης, Ε, (2014), «Συστήματα CAD/CAM & Τρισδιάστατη Μοντελοποίηση», Εκδόσεις Κριτική, Αθήνα.

Αντωνιάδης, Α. (2016), «Μηχανουργική Τεχνολογία», Εκδόσεις ΤΖΙΟΛΑ, Θεσσαλονίκη

Αντωνιάδης, Ι. (2015), «Δυναμική και Έλεγχος Πτήσης», [www.kallipos.gr](http://www.kallipos.gr)

<http://www.flight-mechanic.com/>

<http://www.zenithair.net/>

<https://geomiq.com/sheet-metal-design-guide/>

Vukašinović, N. and Duhovnik J., (2019), “Advanced CAD Modeling\_ Explicit, Parametric, Free-Form CAD and Re-engineering”, Springer International Publishing, Berlin.