



Εθνικό Μετσόβιο Πολυτεχνείο
Σχολή Μηχανολόγων Μηχανικών

Τομέας Μηχανολογικών Κατασκευών και Αυτομάτου Ελέγχου
Εργαστήριο Στοιχείων Μηχανών

Ανάλυση και Σχεδιασμός Μηχανισμού Μορφοποίησης
Γεωμετρίας Πτερυγίων Μικρών Αεροσκαφών

Διπλωματική Εργασία

Επαμεινώνδας Ευστράτιος Βάγιας Κόνου

Επιβλέπων: Β. Σπιτάς Αναπληρωτής Καθηγητής Ε.Μ.Π.

Αθήνα, Ιούλιος 2022

Περιεχόμενα

Λίστα Εικόνων	3
Λίστα Διαγραμμάτων	5
Λίστα Πινάκων.....	5
Ευχαριστίες.....	6
Περίληψη	7
Abstract	8
Κεφάλαιο 1. Εισαγωγή	9
Κεφάλαιο 2. Αρχική Μελέτη	14
2.1 Παρουσίαση ‘Drone’ Εργαστηρίου	14
2.2 Μοντελοποίηση XFLR5	16
2.3 Αποτελέσματα Μελέτης XFLR5	18
Κεφάλαιο 3. Σχεδιασμός Πτερυγίων	21
3.1 Αρχικός Σχεδιασμός.....	21
3.1.1 Μοντελοποίηση Solidworks	22
3.1.2 FEA ANSYS και Αποτελέσματα.....	23
3.2 Μετατροπές στον Σχεδιασμό	26
3.3 Τελική Μορφή Πτέρυγας.....	32
Κεφάλαιο 4. Αεροδυναμική Μελέτη	34
4.1 Παρουσίαση Περιπτώσεων προς Μελέτη	34
4.2 Μοντέλα προς Μελέτη	36
4.3 Σύγκριση Μορφοποιημένης Πτέρυγας και Πηδαλίου Κλίσης	39
Κεφάλαιο 5. Σχεδιασμός του Μηχανισμού	43
5.1 ‘Brainstorming’	43
5.2 Μελέτη Ελαστικής Γραμμής.....	46
5.3 Μελέτη Λυγισμού με χρήση ‘Beam Elements’	47
5.4 Μονογραμμική Σχεδίαση Μηχανισμού.....	50
5.4.1 Αρχική Ιδέα.....	51
5.4.2 Εναλλακτικές στον Σχεδιασμό	52
5.4.3 Τελικός Σχεδιασμός	53

Κεφάλαιο 6. Αναλυτικός Σχεδιασμός.....	57
6.1 Εξήγηση Συνολικής Κίνησης του Μηχανισμού	57
6.2 Παρουσίαση Απαιτούμενων Τεμαχίων	58
6.3 Σχεδιασμός των Συνδετικών Μελών του Μηχανισμού	59
6.4 Επιλογές από καταλόγους Κατασκευαστών	68
6.4.1 Γραμμικοί Οδηγοί.....	68
6.4.2 Ρουλεμάν	71
6.4.3 Βηματικό Μοτέρ – Μπαταρία	74
6.4.4 Ένσφαιρος Κοχλίας Κίνησης – Σύνδεσμος	76
6.5 Τελικό 3D	79
Κεφάλαιο 7. Σύνοψη – Συμπεράσματα.....	82
Κεφάλαιο 8. Βιβλιογραφία	84
Κεφάλαιο 9. Παράρτημα.....	85

Λίστα Εικόνων

Εικόνα 1 Πηδάλιο κλίσης σύγχρονου αεροσκάφους.....	10
Εικόνα 2 Θεωρητικό Μοντέλο Μορφοποίησης Πτέρυγας	10
Εικόνα 3 Διάγραμμα της τεχνολογίας στρέβλωσης πτέρυγας των αδερφών Wright.....	11
Εικόνα 4 Μεταβαλλόμενη Πτέρυγα Parker.....	12
Εικόνα 5 'Drone' Εργαστηρίου Στοιχείων Μηχανών.....	13
Εικόνα 6 Αναπαράσταση κινήσεων Αεροσκάφους	13
Εικόνα 7 Πρόοψη 'Drone'	14
Εικόνα 8 Κάτοψη 'Drone'	15
Εικόνα 9 Πίσω Ισομετρική Όψη 'Drone'	15
Εικόνα 10 Πρόοψη 'Drone'	16
Εικόνα 11 Κάτοψη 'Drone'	16
Εικόνα 12 Ισομετρική Όψη 'Drone'.....	17
Εικόνα 13 Σκίτσο Πτέρυγας	22
Εικόνα 14 Τελικός Πρώτος Σχεδιασμός.....	22
Εικόνα 15 Μέση Επιφάνεια	23
Εικόνα 16 Πλέγμα Πτέρυγας	24
Εικόνα 17 1α Αποτελέσματα Αναπτυσσόμενων Τάσεων	25
Εικόνα 18 1η Αλλαγή στον Σχεδιασμό	26
Εικόνα 19 2α Αποτελέσματα Αναπτυσσόμενων Τάσεων	27
Εικόνα 20 2η Αλλαγή στο Σχεδιασμό	28
Εικόνα 21 3α Αποτελέσματα Αναπτυσσόμενων Τάσεων	28
Εικόνα 22 4α Αποτελέσματα Αναπτυσσόμενων Τάσεων	29
Εικόνα 23 5α Αποτελέσματα Αναπτυσσόμενων Τάσεων	30
Εικόνα 24 6α Αποτελέσματα Αναπτυσσόμενων Τάσεων	31
Εικόνα 25 Τελική Μορφή Πτέρυγας	32
Εικόνα 26 Αποτελέσματα Αναπτυσσόμενων Τάσεων Τελικής Μορφής Πτέρυγας	32
Εικόνα 27 Κλασική Περίπτωση Πτέρυγας	35
Εικόνα 28 Πηδάλιο κλίσης 5 μοιρών.....	35
Εικόνα 29 Μορφοποιημένη Πτέρυγα	36
Εικόνα 30 Περιοχή Μελέτης για προσομοίωση στο Fluent.....	37
Εικόνα 31 Πτέρυγα Στραμμένη γύρω από τον άξονα της.....	38
Εικόνα 32 Πτέρυγα με εφαρμοσμένο Πηδάλιο κλίσης.....	38
Εικόνα 33 Πτέρυγα Μορφοποιημένη προς τα πάνω κατά 3.5mm	39
Εικόνα 34 Απόλυτη Στατική Πίεση γύρω από μορφοποιημένη πτέρυγα.....	42
Εικόνα 35 1η Εναλλακτική Σχεδιασμού	43
Εικόνα 36 2η Εναλλακτική Σχεδιασμού	44
Εικόνα 37 3η Εναλλακτική Σχεδιασμού	45
Εικόνα 38 4η Εναλλακτική Σχεδιασμού	45

Εικόνα 39 Διακριτοποίηση Πτέρυγας με χρήση ‘Beam Elements’	48
Εικόνα 40 Γραμμικό Σώμα προς Μελέτη	48
Εικόνα 41 Οριακή Συνθήκη Προσομοίωσης.....	49
Εικόνα 42 Μελέτη Λυγισμού	49
Εικόνα 43 1η Εναλλακτική Σχεδίαση Μηχανισμού	51
Εικόνα 44 Κίνηση Μηχανισμού	51
Εικόνα 45 2η Εναλλακτική Σχεδίαση του Μηχανισμού	52
Εικόνα 46 3η Εναλλακτική Σχεδίαση του Μηχανισμού	53
Εικόνα 47 Τελική Σχεδίαση Μηχανισμού	53
Εικόνα 48 Κίνηση Τελικού Μηχανισμού	54
Εικόνα 49 1η Περίπτωση Εφαρμογής στην Πτέρυγα	55
Εικόνα 50 Τελική Εφαρμογή στην Πτέρυγα	55
Εικόνα 51 1ο Συνδετικό Μέλος του Μηχανισμού	59
Εικόνα 52 2ο Συνδετικό Μέλος του Μηχανισμού	60
Εικόνα 53 3ο Συνδετικό Μέλος του Μηχανισμού	60
Εικόνα 54 Πρόοψη Μηχανισμού	61
Εικόνα 55 Ισομετρική όψη Μηχανισμού	61
Εικόνα 56 Κίνηση προς τα πάνω του Μηχανισμού	62
Εικόνα 57 Ουδέτερη Θέση του Μηχανισμού	62
Εικόνα 58 Κίνηση προς τα κάτω του Μηχανισμού	62
Εικόνα 59 Εφαρμοζόμενη Οριακή Συνθήκη για 1ο Συνδετικό Μέλος.....	63
Εικόνα 60 Εφαρμοζόμενη Οριακή Συνθήκη για το 2ο Συνδετικό Μέλος	64
Εικόνα 61 Εφαρμοζόμενη Οριακή Συνθήκη για το 3ο Συνδετικό Μέλος	64
Εικόνα 62 Αναπτυσσόμενες Τάσεις 1ου Συνδετικού Μέλους	65
Εικόνα 63 Αναπτυσσόμενες Τάσεις 2ου Συνδετικού Μέλους	66
Εικόνα 64 Αναπτυσσόμενες Τάσεις 3ου Συνδετικού Μέλους	67
Εικόνα 65 Κάτοψη Συμμετρικών Οδηγών Μηχανισμού	69
Εικόνα 66 Ευθύγραμμο Πιάσιμο Οδηγού στην βάση του με χρήση Φλάντζας.....	70
Εικόνα 67 Πρόοψη Σύνδεσης Οδηγού με Βαγόνι.....	70
Εικόνα 68 Ισομετρική όψη σύνδεσης Οδηγού με Βαγόνι.....	70
Εικόνα 69 Ισομετρική Όψη συνδέσεων Ρουλεμάν.....	73
Εικόνα 70 Πρόοψη Συνδέσεων Ρουλεμάν	74
Εικόνα 71 Πρόοψη Τοποθέτησης Βηματικού Μοτέρ και Μπαταρίας	76
Εικόνα 72 Ισομετρική Όψη Τοποθέτησης Βηματικού Μοτέρ και Μπαταρίας	76
Εικόνα 73 Ισομετρική όψη Συνδέσμου – Ένσφαιρος Κοχλίας Κίνησης.....	78
Εικόνα 74 Πρόοψη Συνδέσμου – Ένσφαιρος Κοχλίας Κίνησης.....	79
Εικόνα 75 Πρόοψη Συναρμολογήματος.....	79
Εικόνα 76 Τροποποιημένη Πρόοψη Συναρμολογήματος.....	80
Εικόνα 77 Αριστερή Ισομετρική Όψη Συναρμολογήματος	80
Εικόνα 78 Δεξιά Ισομετρική Όψη Συναρμολογήματος.....	81
Εικόνα 79 Κάτοψη Μηχανισμού.....	81

Λίστα Διαγραμμάτων

Διάγραμμα 1 Συντελεστής Άνωσης συναρτήσει της Γωνίας Προσβολής	18
Διάγραμμα 2 Συντελεστής Αντίστασης συναρτήσει της Γωνίας Προσβολής	19
Διάγραμμα 3 Συντελεστής Ροπής συναρτήσει της Γωνίας Προσβολής	19
Διάγραμμα 4 Αεροτομή NACA64015	21
Διάγραμμα 5 Συντελεστής Άνωσης για Διάφορες Περιπτώσεις	40
Διάγραμμα 6 Συντελεστής Άνωσης προς Αντίστασης για διάφορες Περιπτώσεις	41
Διάγραμμα 7 Παρεμβολή στα σημεία του άνω μισού της πτέρυγας	46
Διάγραμμα 8 Παράγοντας a_{osc} συναρτήσει του β	72

Λίστα Πινάκων

Πίνακας 1 Παραδείγματα Πρόσφατων Εφαρμογών Μορφοποίησης Πτέρυγας	12
--	----

Ευχαριστίες

Καταρχάς, παρά το θεωρητικό «κλισέ», θα ήθελα να ευχαριστήσω τους γονείς μου για την υποστήριξη τους σε ότι χρειάστηκα κατά την διάρκεια των μαθητικών και φοιτητικών μου χρόνων. Στην συνέχεια, θα ήθελα να ευχαριστήσω τον Αναπληρωτή Καθηγητή της σχολής Μηχανολόγων Μηχανικών κ. Βασίλη Σπιτά για την δυνατότητα που μου έδωσε να εκπονήσω στο εργαστήριο του την διπλωματική μου εργασία καθώς και για την υποστήριξη του κατά την διάρκεια εκπόνησης της. Επιπλέον, θα ήθελα να ευχαριστήσω τον Υποψήφιο Διδάκτορα της σχολής Μηχανολόγων Μηχανικών κ. Κωνσταντίνο Τσιουμάνη για την συνεχή υποστήριξη του κατά την εκπόνηση της διπλωματικής μου εργασίας.

Περίληψη

Όπως αναφέρεται και στον τίτλο της, η παρούσα διπλωματική εργασία ασχολείται με την ανάλυση και τον σχεδιασμό ενός μηχανισμού μορφοποίησης της γεωμετρίας πτερυγίων μικρών αεροσκαφών. Η διπλωματική εργασία εκπονήθηκε στον Τομέα Μηχανολογικών Κατασκευών και Αυτομάτου Ελέγχου και συγκεκριμένα στο εργαστήριο Στοιχείων Μηχανών. Βάση για την εργασία δόθηκε από μοντέλο 'Drone' που είχε στην κατοχή του το εργαστήριο. Στόχος της μελέτης είναι, μέσω του σχεδιασμού του παραπάνω αναφερόμενου μηχανισμού μορφοποίησης της γεωμετρίας πτερυγίων να επιτευχθούν αντίστοιχα ή και καλύτερα αεροδυναμικά αποτελέσματα σε σύγκριση με τον κλασικό μηχανισμό των πηδαλίων κλίσης των αεροσκαφών, αυξάνοντας παράλληλα και την αντοχή των πτερυγίων λόγω της μη ύπαρξης εκτιθέμενων μηχανικών μερών στην επιφάνεια τους. Η συγκεκριμένη εργασία ασχολείται με υπολογισμούς σε έναν βαθμό ελευθερίας και συγκεκριμένα με αυτόν της κίνηση 'Roll' για την οποία είναι υπεύθυνα τα πηδάλια κλίσης. Επιγραμματικά, η μελέτη αποτελείται από μία αρχική μοντελοποίηση και δοκιμή σε περιβάλλον XFMR5 του γνωστού μοντέλου 'Drone' του εργαστηρίου, την μοντελοποίηση και δοκιμή διάφορων πιθανών σχεδιασμών πτερυγίων οι οποίες είναι βασισμένες σε γνωστή αεροτομή NACA, τον αεροδυναμικό τους έλεγχο και εν συνεχεία τον σχεδιασμό του επιθυμητού μηχανισμού μορφοποίησης της πτέρυγας καθώς και τον αναλυτικό σχεδιασμό του. Για την μοντελοποίηση και εκτέλεση όλων των παραπάνω έγινε χρήση λογισμικών τρισδιάστατης σχεδίασης και συγκεκριμένα κατά κύριο λόγο του Solidworks και του Ansys. Τέλος, ένας εν δυνάμει στόχος είναι η δυνατότητα κατασκευής μεγάλου μέρους του σχεδιασμού μέσω της τεχνολογίας 3D Εκτύπωσης.

Abstract

As mentioned in its title, this diploma thesis main subject is the analysis and design of a shape-morphing wing mechanism with application in small aircrafts. The diploma thesis was carried out in the Division of Mechanical Design and Automatic Control of the school of Mechanical Engineering of NTUA and specifically in the Machine Elements Laboratory. The basis for the work was given by a Drone model which was in the possession of the Laboratory. Our goal is to achieve, through the design of the above-mentioned mechanism, equivalent or better aerodynamic results compared to the classic operating ailerons of modern aircrafts, as well as improving its durability since there won't be any mechanical parts exposed on the surface of the morphing wing. This thesis, contains calculations in one degree of freedom and specifically for the one associated with the Roll motion, for which ailerons are responsible. Epigrammatically, our study consists of the modeling in an XFLR5 environment of the known Drone model of the laboratory, the modeling and testing of various possible wing designs based on a known NACA airfoil, their aerodynamic evaluation and then the conceptual design of the desired mechanism as well as its embodiment design. For the modeling and execution of all the above, CAD - CAE design software was used, mainly Solidworks and Ansys. Finally, a potential goal would be for the final design of this thesis to be largely 3D Printable.

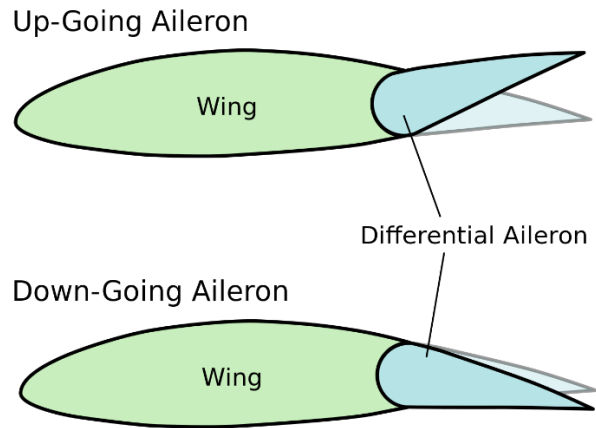
Κεφάλαιο 1. Εισαγωγή

Ξεκινώντας την μελέτη, γίνεται μια αναφορά στην τεχνολογία μορφοποίησης των πτερυγίων των αεροσκαφών. Καταρχάς, μία τέτοιου τύπου πτέρυγα είναι κατάλληλα φτιαγμένη ώστε να είναι «προσαρμόσιμη», δηλαδή να μπορεί να αλλάζει συνεχώς το σχήμα της κατά την διάρκεια της πτήσης χωρίς όμως την ύπαρξη υποδοχών και γενικά ασυνεχειών στην επιφάνεια της. Αυτό το γεγονός δίνει την δυνατότητα να λαμβάνονται θεωρητικά υψηλότεροι συντελεστές άνωσης και λόγοι συντελεστή άνωσης προς αντίστασης σε σχέση με την κλασική περίπτωση πηδάλιου κλήσης για τις ίδιες συνθήκες πτήσης. Επιπλέον, το γεγονός της μη ύπαρξης υποδοχών και ασυνεχειών πάνω στην πτέρυγα είναι πολύ σημαντικό για την αντοχή του αεροσκάφους.

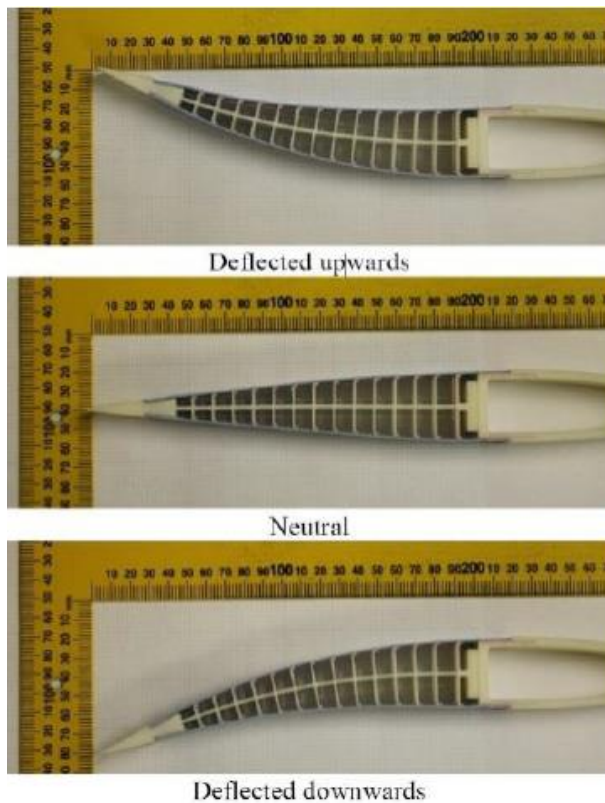
Εν συνεχεία, αξίζει να αναφερθεί πως η τεχνολογία μορφοποίησης μπορεί να αποτελέσει σύμμαχο και στην οικονομία των εταιρειών καθώς και στην βελτίωση των περιβαλλοντικών συνθηκών. Αυτό συμβαίνει καθώς όπως εξηγήθηκε και παραπάνω λαμβάνονται καλύτερες αεροδυναμικές επιδόσεις για την ίδια προσδιδόμενη ισχύ και επομένως μπορεί να λειτουργήσει το αεροσκάφος και με λιγότερη ισχύ, για την περίπτωση που οι ήδη υπάρχουσες αεροδυναμικές επιδόσεις πτήσης είναι αρκετές. Είναι προφανώς αντιληπτό πως μικρότερη ισχύ κινητήρων και άρα λιγότερο καύσιμο θα σημαίνει και λιγότερα καυσαέρια στην ατμόσφαιρα. Το παραπάνω γεγονός μπορεί να φανεί πολύ σημαντικό καθώς ειδικά για πτήσεις εσωτερικού η πρόβλεψη είναι πως θα υπάρξει μία αύξηση αυτών κατά ένα ποσοστό 6% το επόμενο διάστημα και επομένως θα αυξηθεί και η μόλυνση του περιβάλλοντος μέσω των καυσαερίων.

Η δυνατότητα επιπλέον της μορφοποίησης της πτέρυγας είναι πολύ σημαντική για μικρά αεροσκάφη που πρέπει να κάνουν γρήγορους ελιγμούς τύπου 'Drone', όπου και θα επικεντρωθεί η παρούσα εργασία, καθώς αυτά απαιτείται να πετάνε συχνά ανάμεσα σε μικρούς χώρους και επομένως όσο πιο «αποδοτική» είναι η πτήση τους τόσο το καλύτερο. Συνεχίζοντας, η τεχνολογία μορφοποίησης πτέρυγας είναι ακόμα πιο σημαντική στα 'Drone' και από την άποψη αντοχής που αναφέρθηκε παραπάνω. Συγκεκριμένα, όπως είναι γνωστό και από την καθημερινότητα, τα 'Drone' είναι συχνά επιρρεπή σε πτώσεις, οι οποίες σε κάποια άσχημη περίπτωση συνδυάζονται με πτώση στο νερό. Είναι εύκολα αντιληπτό πως εάν το αεροσκάφος έχει ανοιχτά μέρη, όπως σημεία σύνδεσης των πηδάλιων κλήσης, μετά από μία ενδεχόμενη πτώση σε νερό, οι πιθανότητες να έχει καταστραφεί είναι μακράν περισσότερες από ότι σε μία περίπτωση μορφοποιημένης πτέρυγας που αποτελείται παντού από κλειστά κομμάτια.

Παρατίθενται παρακάτω δύο εικόνες ως σύγκριση, μία από την κλασική περίπτωση πηδάλιου κλήσης και μία από ένα θεωρητικό σχεδιασμό μορφοποιημένης πτέρυγας.



Εικόνα 1 Πηδάλιο κλήσης σύγχρονου αεροσκάφους



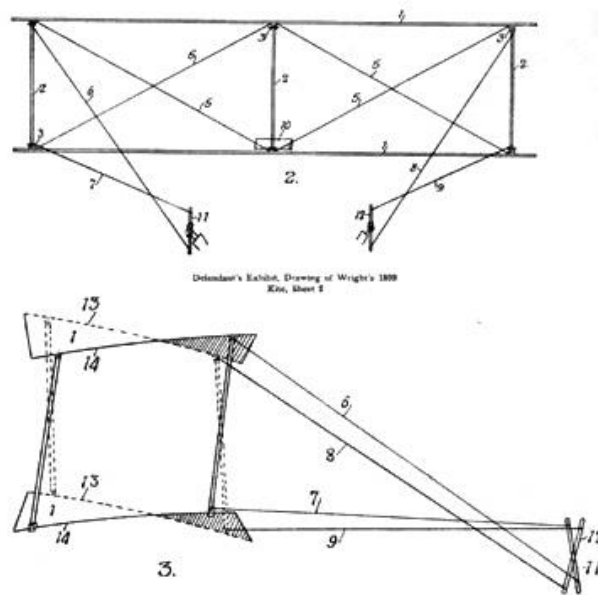
Εικόνα 2 Θεωρητικό Μοντέλο Μορφοποίησης Πτέρυγας

Εν συνεχεία, γίνεται μία μικρή ιστορική αναδρομή όσον αφορά την τεχνολογία μορφοποίησης. Η επιθυμία να μπορέσει ο άνθρωπος να δημιουργήσει πτέρυγες μορφοποιούμενης μορφής συμβαδίζει άμεσα με την πρώτη έρευνα πάνω στην δυνατότητα πτήσης, καθώς ο Leonardo da Vinci για να δημιουργήσει την «ιπτάμενη

μηχανή» μελετούσε τις διαφοροποιήσεις στα πτερύγια των πτηνών. Αυτό αναφέρεται καθώς η τεχνολογία μορφοποίησης πτέρυγας στην ουσία αντικατοπτρίζει πλήρως την λειτουργία των πτερυγίων των πτηνών τα οποία μεταβάλλουν συνεχώς το σχήμα τους για να μπορέσουν να ανταποκριθούν στις εκάστοτε συνθήκες πτήσης.

Ακολούθως, η πρώτη ιστορικά απόπειρα για μορφοποίηση πτέρυγας έγινε από τους ίδιους τους εφευρέτες του αεροπλάνου, τους αδερφούς Wright το 1903 με το 'Wright Flyer'. Η παραπάνω απόπειρα έγινε εξελίσσοντας την θεωρία της στρέβλωσης πτερυγίων, κατά την οποία χρησιμοποιώντας τροχαλίες και καλώδια επιχειρούσαν να αποκτήσουν έλεγχο της κίνησης 'Roll' του αεροσκάφους. Παρόλα αυτά η τεχνολογία αυτή εγκαταλείφθηκε μόλις τα μέταλλα αποτέλεσαν το βασικό υλικό για τα αεροπλάνα και εν συνεχεία η τεχνολογία στρέβλωσης της πτέρυγας αντικαταστάθηκε από τα σημερινά πηδάλια κλήσης.

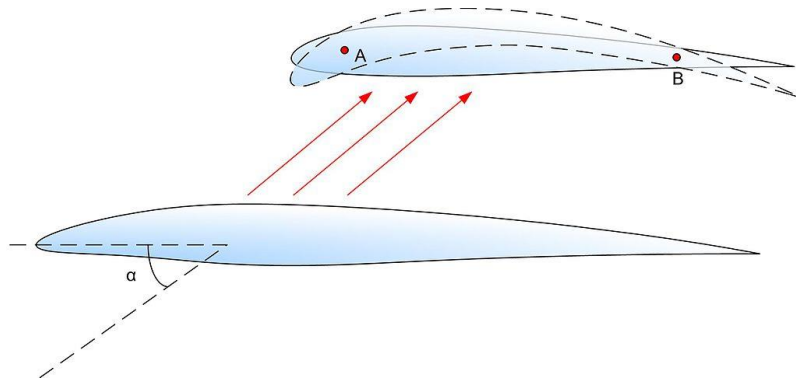
Παρατίθεται παρακάτω το διάγραμμα αυτής της τεχνολογίας



Εικόνα 3 Διάγραμμα της τεχνολογίας στρέβλωσης πτέρυγας των αδερφών Wright

Στην συνέχεια, η επόμενη εμφάνιση μορφοποιούμενης πτέρυγας είναι το 1920 με την «Μεταβαλλόμενη Πτέρυγα Parker» που σχεδίασε ο H.F.Parker. Η σχεδίαση του Parker ήταν κατασκευασμένη για να μπορεί να αυξάνει την άνωση κατά την απογείωση και την προσγείωση στα διπτέρυγα αεροπλάνα. Συγκεκριμένα η πάνω πτέρυγα ήταν εύκαμπτη και σε ψηλές γωνίες πρόσπτωσης δεχόμενη μία κάθετη δύναμη από την κάτω πτέρυγα μπορούσε να αλλάξει το σχήμα της αυξάνοντας κατά αυτό τον τρόπο την κυρτότητα της και ως εκ τούτου αύξανε και την άνωση που δημιουργούταν.

Παρατίθεται στην συνέχεια η απεικόνιση της προαναφερόμενης τεχνολογίας.



Εικόνα 4 Μεταβαλλόμενη Πτέρυγα Parker

Στην συνέχεια μέχρι και το σήμερα υπήρξαν και ορισμένες ακόμα απόπειρες σχεδιασμού πτερυγίων μεταβαλλόμενου σχήματος. Παρατίθενται επιγραμματικά ορισμένες στον παρακάτω πίνακα.

Χρονολογία	Ονομασία (Πρωτότυπη Μορφή)
1996 - 2001	Active Aeroelastic Wing
1999	Active Hydrofoil
2005	Morphing Inflatable Wing
2014	Compliant Adaptive Wing Leading Edge

Πίνακας 1 Παραδείγματα Πρόσφατων Εφαρμογών Μορφοποίησης Πτέρυγας

Έχοντας κάνει πλέον μία πλήρη εισαγωγή πάνω στο γενικό πλαίσιο του θέματος γίνεται πλέον προσδιορισμός του προβλήματος με το οποίο θα ασχοληθεί η συγκεκριμένη διπλωματική εργασία.

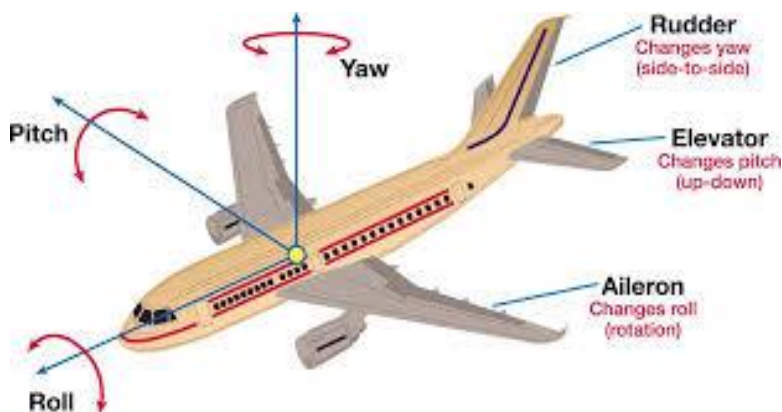
Καταρχάς παρουσιάζεται στην παρακάτω εικόνα το 'Drone' που είχε στην κατοχή του το εργαστήριο Στοιχείων Μηχανών, το οποίο κάνει χρήση της κλασικής τεχνολογίας πηδαλίων κλίσης, και αποτέλεσε την αφορμή για την εκτέλεση της συγκεκριμένης διπλωματικής εργασίας, δημιουργώντας το ερώτημα του πως θα μπορούσε να εφαρμοστεί σε ένα αεροσκάφος παρόμοιων διαστάσεων και αεροδυναμικών επιδόσεων η τεχνολογία μορφοποίησης γεωμετρίας πτερυγίων.



Εικόνα 5 'Drone' Εργαστηρίου Στοιχείων Μηχανών

Στην προκειμένη διπλωματική εργασία θα μελετηθεί ο σχεδιασμός ενός μηχανισμού που θα μορφοποιεί την γεωμετρία της πτέρυγας ως προς έναν βαθμό ελευθερίας. Η εφαρμογή και η μελέτη μπορεί να γενικευθεί σε διαφόρων τύπων μικρά αεροσκάφη ενώ η παρούσα μελέτη αναφέρεται κυρίως σε εφαρμογές τύπου 'Drone'. Η κίνηση που θα μελετηθεί είναι η εξαρτημένη από τα πηδάλια κλίση κίνηση, δηλαδή αυτή του 'Roll'. Τα ακριβή βήματα που ακολουθήθηκαν κατά την μελέτη καθώς και η σκέψη πίσω από επιλογές όπως η μορφή του μηχανισμού θα αναλυθούν στην συνέχεια στα διάφορα κεφάλαια της παρούσας εργασίας. Στόχος της μελέτης είναι μεταξύ άλλων το τελικό αποτέλεσμα της να μπορεί να είναι σε μεγάλο βαθμό κατασκευάσιμο χρησιμοποιώντας τεχνολογία 3D Εκτύπωσης.

Παρατίθεται παρακάτω ένα ενδεικτικό διάγραμμα των κινήσεων ενός αεροσκάφους για να γίνει αντιληπτή πιο εύκολα η αναφορά στην κίνηση 'Roll' που θα μελετηθεί στην συγκεκριμένη εργασία.



Εικόνα 6 Αναπαράσταση κινήσεων Αεροσκάφους

Κεφάλαιο 2. Αρχική Μελέτη

Ξεκινώντας πλέον την μελέτη ο πρώτος στόχος είναι να ληφθεί μία πρώτη εικόνα για την αεροδυναμική συμπεριφορά του 'Drone' του εργαστηρίου. Παρόλα αυτά, στην συνέχεια κατά τον σχεδιασμό θα μοντελοποιηθεί μια σχεδίαση πτέρυγας βασισμένη σε αεροτομή 'NACA'. Η συγκεκριμένη μελέτη θα χρησιμεύσει δίνοντας μία εικόνα για την τάξη μεγέθους που αναμένεται να έχουν τα αεροδυναμικά αποτελέσματα του μελλοντικού σχεδιασμού.

Για να πραγματοποιηθεί αυτή η πρώτη μελέτη θα χρησιμοποιηθεί το λογισμικό XFLR5.

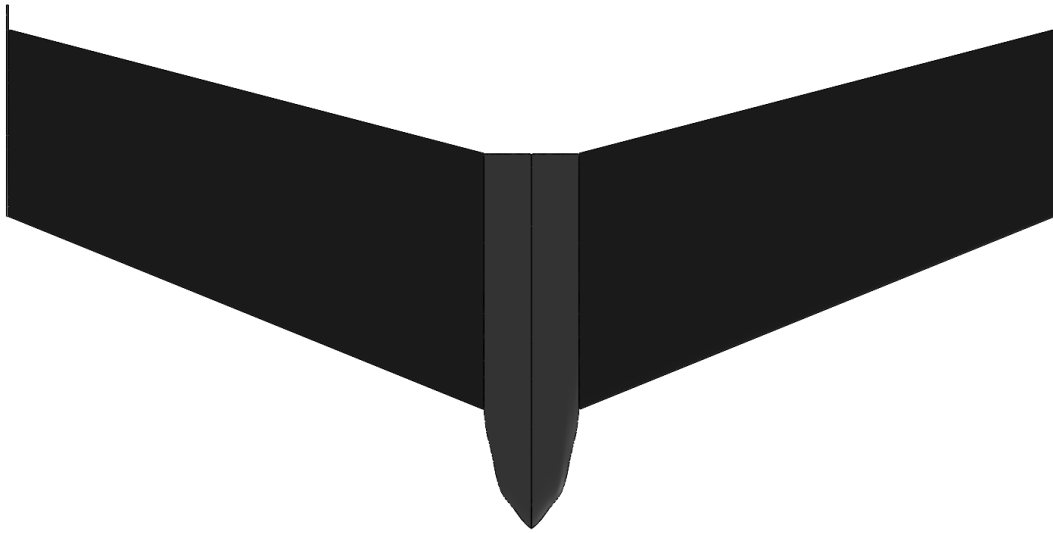
2.1 Παρουσίαση 'Drone' Εργαστηρίου

Το 'Drone' του εργαστηρίου προέλευσης από δουλειά εξωτερικής συνεργασίας αποτυπώθηκε με χρήση 'CMM' και προέκυψε στη συνέχεια η παρακάτω μοντελοποίηση στο Solidworks.

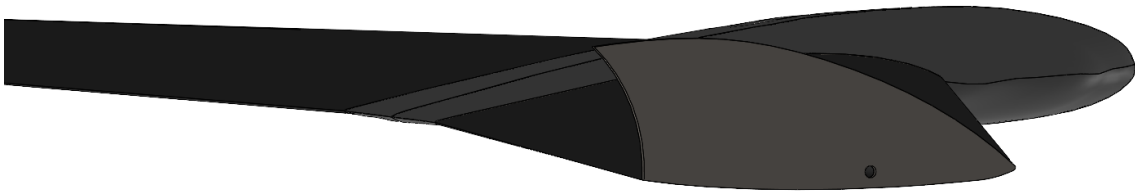
Σημειώνεται πως το συνολικό του άνοιγμα είναι στα 110cm, το μήκος από την κορυφή της ατράκτου έως το χείλος εκφυγής της πιο απομακρυσμένης από την άτρακτο χορδής είναι στα 52.5cm ενώ η μεγαλύτερη χορδή της πτέρυγας είναι στα 27.5cm. Τέλος το πλάτος της πτέρυγας στο ψηλότερο σημείο της είναι στα 2.8cm.



Εικόνα 7 Πρόοψη 'Drone'



Εικόνα 8 Κάτοψη 'Drone'



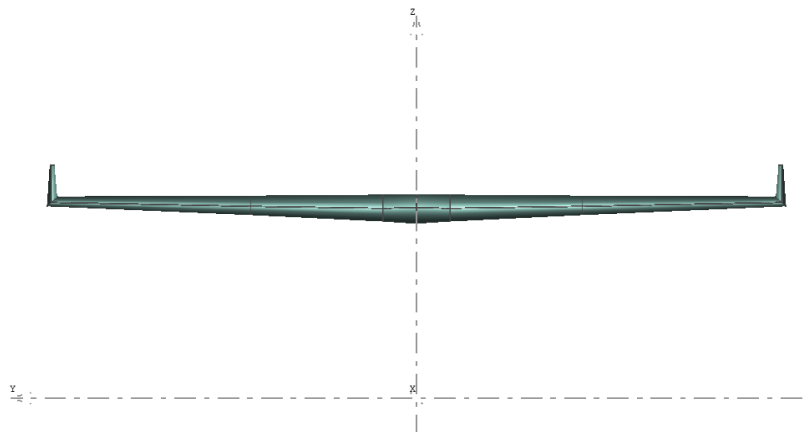
Εικόνα 9 Πίσω Ισομετρική Όψη 'Drone'

Βλέποντας τις παραπάνω εικόνες καθώς και συνυπολογίζοντας τις διαστάσεις που προαναφέρθηκαν γίνεται εύκολα αντιληπτός ο λόγος για τον οποίο στην συνέχεια πραγματοποιήθηκε η εξέλιξη ενός διαφορετικού σχεδιασμού πτέρυγας, καθώς με την διαμόρφωση του συγκεκριμένου 'Drone' θα υπήρχε πάρα πολύ έντονο χωροταξικό πρόβλημα που αποτελεί και ένα από τα μεγαλύτερα ζητήματα της κατασκευής.

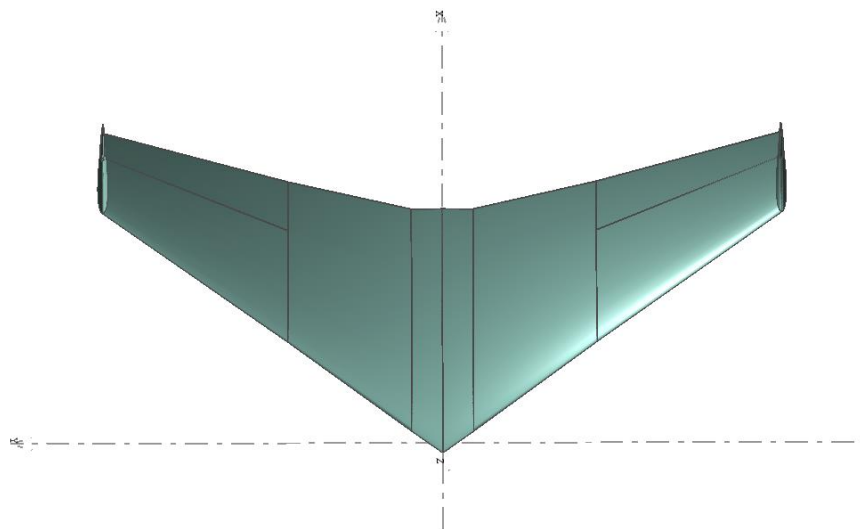
2.2 Μοντελοποίηση XF5

Η μελέτη τώρα συνεχίζεται με την μοντελοποίηση του παραπάνω μοντέλου στο XF5. Για να γίνει η μοντελοποίηση θα γίνει χρήση γνωστής συμμετρικής αεροτομής τύπου 'NACA' και συγκεκριμένα της NACA0012.

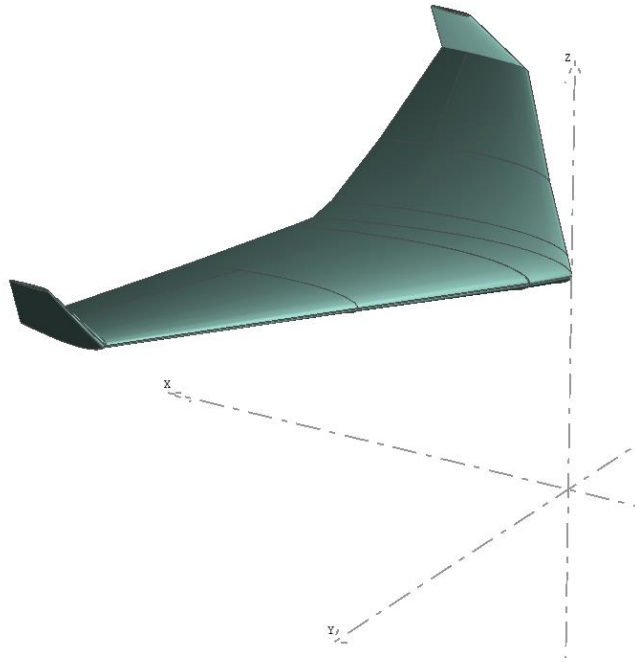
Ορίζοντας κατάλληλα μέσα στο πρόγραμμα της διαστάσεις που μετρήθηκαν όπως αναφέρθηκε πριν από την αποτύπωση 'CMM' προκύπτει το παρακάτω αποτέλεσμα.



Εικόνα 10 Πρόοψη 'Drone'



Εικόνα 11 Κάτοψη 'Drone'



Εικόνα 12 Ισομετρική Όψη 'Drone'

Σημειώνεται πως η μοντελοποίηση της ατράκτου δεν πραγματοποιήθηκε καθώς οδηγεί το πρόγραμμα σε αστάθεια ενώ επιπλέον το συνολικό βάρος θεωρήθηκε στα 2kg συγκεντρωμένο στο κέντρο βάρους του 'Drone'. Επιπλέον, για την μοντελοποίηση του πηδαλίου κλίσης, αφού πρώτα μετρήθηκε από τα δοσμένα σχέδια το μήκος του, χρησιμοποιήθηκε το λογισμικό XFOIL. Αυτό έδωσε την δυνατότητα να δημιουργηθεί στο επιθυμητό μήκος και στην ενδεχόμενη επιθυμητή γωνία το κατάλληλο πηδάλιο κλίσης κάνοντας χρήση της επιλεγμένης αεροτομής που είναι όπως προαναφέρθηκε η NACA0012.

Πραγματοποιείται πλέον η προσομοίωση έτσι ώστε να ληφθεί μία πρώτη εικόνα σχετικά με την τάξη μεγέθους των αεροδυναμικών μεγεθών. Αναφέρεται επιπλέον το γεγονός πως η προσομοίωση πραγματοποιήθηκε για εύρος γωνιών από -5° έως $+5^\circ$ δεδομένου πως σε αυτό το εύρος γωνιών αναμένεται να λειτουργεί το αεροσκάφος.

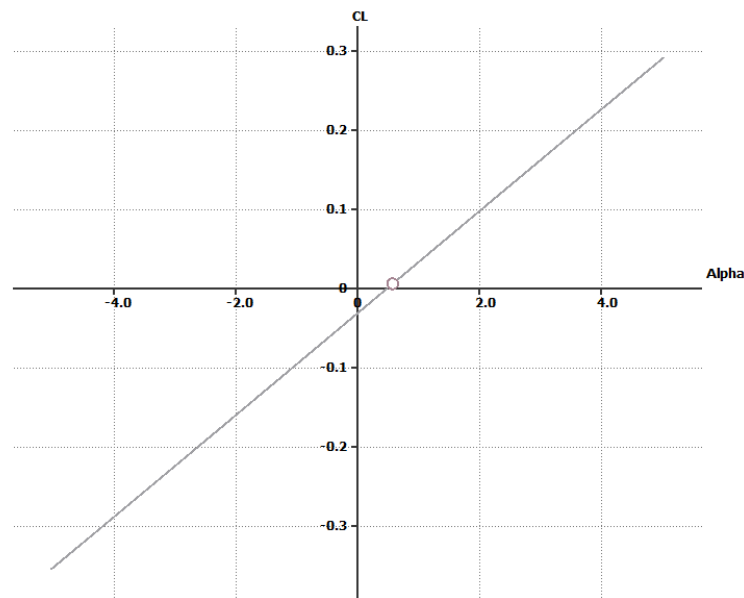
Τα αποτελέσματα της παραπάνω μελέτης παρουσιάζονται στο επόμενο υποκεφάλαιο της εργασίας.

2.3 Αποτελέσματα Μελέτης XF5

Τα αποτελέσματα τα οποία λαμβάνονται αφορούν τον συντελεστή άνωσης συναρτήσει της γωνίας προσβολής, τον συντελεστή αντίστασης συναρτήσει της γωνίας προσβολής καθώς και τον συντελεστή της ροπής συναρτήσει της γωνίας προσβολής. Ο τελευταίος αποτελεί πολύ σημαντικό μέρος των αποτελεσμάτων καθώς αποδεικνύει την ευστάθεια του μοντέλου.

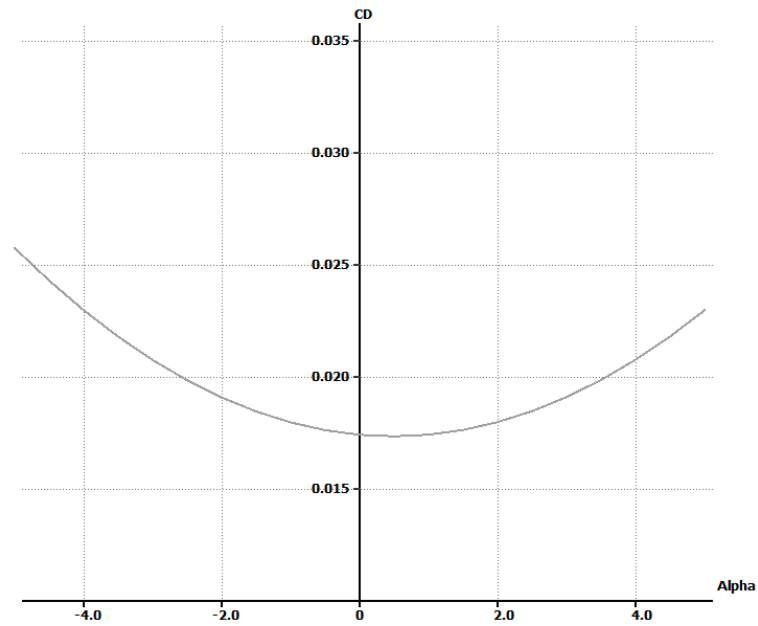
Παρουσιάζονται παρακάτω τα τελικά διαγράμματα από το XF5.

- Συντελεστής Άνωσης συναρτήσει γωνίας προσβολής



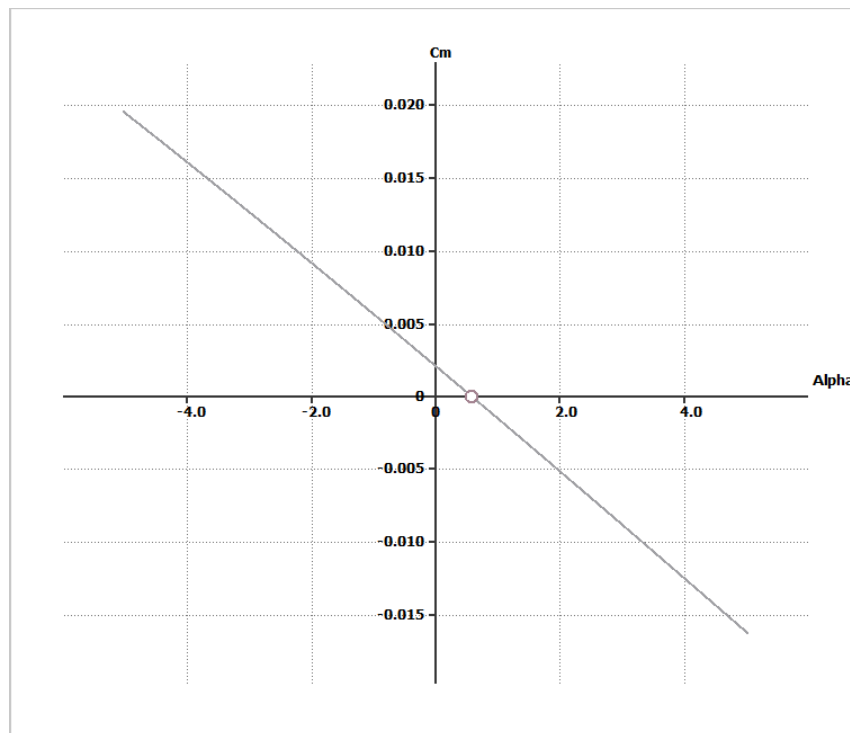
Διάγραμμα 1 Συντελεστής Άνωσης συναρτήσει της Γωνίας Προσβολής

- Συντελεστής Αντίστασης συναρτήσει γωνίας προσβολής



Διάγραμμα 2 Συντελεστής Αντίστασης συναρτήσει της Γωνίας Προσβολής

- Συντελεστής Ροπής συναρτήσει γωνίας προσβολής



Διάγραμμα 3 Συντελεστής Ροπής συναρτήσει της Γωνίας Προσβολής

Παρατηρώντας καταρχάς το διάγραμμα του συντελεστή ροπής ως προς την γωνία προσβολής παρατηρείται πως ακολουθεί μία πορεία αρνητικής κλίσης από θετικές τιμές του συντελεστή προς αρνητικές. Επομένως, γίνεται αντιληπτό πως το μοντέλο είναι ευσταθές και επομένως είναι έμπιστο ως προς τα αποτελέσματα του. Αναφέρεται πως η κουκίδα που εμφανίζεται στο διάγραμμα είναι η γωνία αντιστάθμισης που προέκυψε στην γωνία προσβολής $\alpha = 0.58^\circ$.

Εν συνεχεία, παρατηρείται πως το C_L κυμαίνεται σε τιμές μεταξύ περίπου του -0.3 και του $+0.3$ ενώ το C_D περίπου μεταξύ του 0.017 και του 0.026 . Οι παραπάνω τιμές είναι λογικές και στην τάξη μεγέθους που θα μπορούσε να χαρακτηριστεί αναμενόμενη για ένα αεροσκάφος αυτού του μεγέθους, βάρους και συνθηκών πτήσης.

Δεδομένου βέβαια πως η προσομοίωση στο XFLR5 γίνεται κάτω από ιδανικές συνθήκες πτήσης, ενώ επιπλέον ο μετέπειτα σχεδιασμός που πρόκειται να πραγματοποιηθεί θα αφορά ένα αεροσκάφος ελαφρώς μεγαλύτερων διαστάσεων και βάρους, λόγω των διαφόρων εσωτερικών κομματιών που απαιτούνται για την εφαρμογή της τεχνολογίας μορφοποίησης πτέρυγας, αναμένεται μία ελαφρώς χειρότερη αεροδυναμική συμπεριφορά σε σχέση με το συγκεκριμένο μοντέλο. Αυτό βέβαια είναι κάτι το οποίο δεν αποτελεί πρόβλημα καθώς ο κύριος στόχος της κατασκευής είναι για δύο αεροσκάφη ίδιων διαστάσεων και σχεδιασμού να λαμβάνεται για ίδιες συνθήκες πτήσης βελτιωμένη αεροδυναμική συμπεριφορά σε αυτό με την τεχνολογία μορφοποίησης πτέρυγας σε σχέση με αυτό που έχει την κλασική τεχνολογία των πηδαλίων κλίσης.

Το παραπάνω είναι κάτι που θα ελεγχθεί μετέπειτα σε επόμενο κεφάλαιο της εργασίας.

Κεφάλαιο 3. Σχεδιασμός Πτερυγίων

Συνεχίζοντας την μελέτη δημιουργείται πλέον ένας σχεδιασμός πτέρυγας ο οποίος θα μπορεί να δίνει μία παραμορφωσιμότητα στο σχήμα του χωρίς παράλληλα να εμφανίζονται σε αυτόν τάσεις οι οποίες να είναι απαγορευτικές ως προς την αντοχή του.

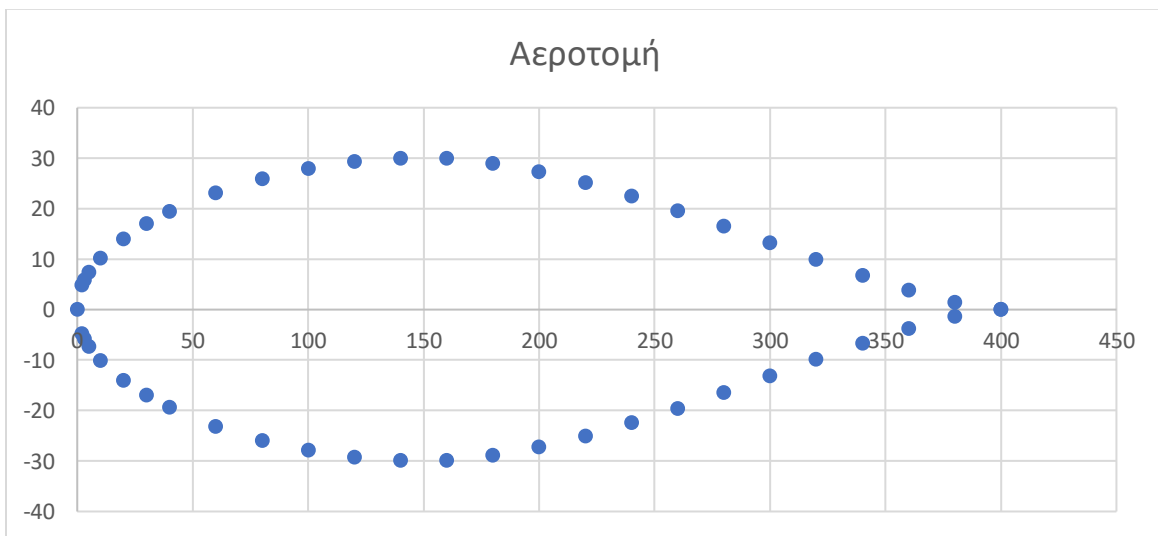
Ξεκινώντας επιλέγεται η αεροτομή NACA64015 η οποία κάνοντας χρήση διαδικτυακού λογισμικού μετατρέπεται σε μορφή με χορδή στα 400mm ενώ το μεγαλύτερο πάχος της ορίζεται στα 58mm. Ο λόγος που έγινε αυτό είναι για να διατηρηθεί ένας σχετικά μικρός σχεδιασμός δίνοντας όμως παράλληλα και την δυνατότητα να χωρέσει στο εσωτερικό της πτέρυγας ένας μηχανισμός που θα μπορεί να παραμορφώνει στον επιθυμητό βαθμό το σχήμα της.

Για την διαδικασία της πραγματοποίησης της μελέτης που αναφέρθηκε παραπάνω θα χρησιμοποιηθούν τα λογισμικά Solidworks και ANSYS.

3.1 Αρχικός Σχεδιασμός

Ξεκινώντας τον σχεδιασμό και αφού έγινε η επιλογή της παραπάνω αεροτομής δημιουργήθηκε ένα αρχείο όλων των σημείων της το οποίο εν συνεχεία εισάγεται στο Solidworks για να ξεκινήσει η μελέτη.

Σχηματικά η αεροτομή έχει την παρακάτω μορφή.



Διάγραμμα 4 Αεροτομή NACA64015

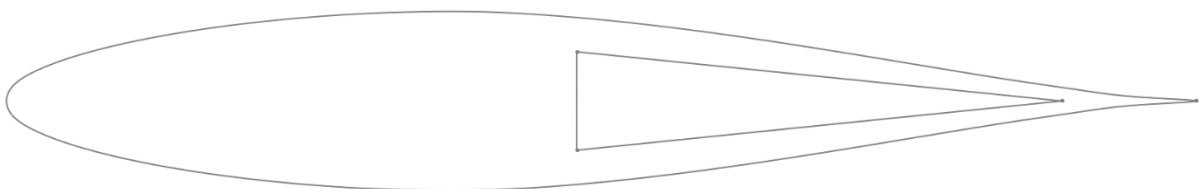
3.1.1 Μοντελοποίηση Solidworks

Καταρχάς, χρησιμοποιώντας κατάλληλη εντολή εισάχθηκαν οι συντεταγμένες της αεροτομής στο πρόγραμμα και εν συνεχεία δημιουργήθηκε από αυτές ένα σκίτσο της πτέρυγας. Η όλη διαδικασία δίνει το παρακάτω αποτέλεσμα.



Εικόνα 13 Σκίτσο Πτέρυγας

Στη συνέχεια, δεδομένου πως στο εσωτερικό της πτέρυγας θα τοποθετηθεί κάποιος μηχανισμός θα πρέπει να δημιουργηθεί μία κοίλη γεωμετρία καθώς κατά την παραμόρφωση θα δημιουργούνται εκεί τάσεις και επομένως θα πρέπει να ελεγχθεί πως και αυτές δεν υπερβαίνουν ορισμένα όρια.



Εικόνα 14 Τελικός Πρώτος Σχεδιασμός

Προφανώς, για αποφυγή των έντονα αιχμηρών σημείων όπου υπάρχει μεγαλύτερος κίνδυνος για συγκέντρωση τάσεων διενεργήθηκαν «φιλεταρίσματα» στο σημείο από όπου ξεκινάει η κοίλη γεωμετρία.

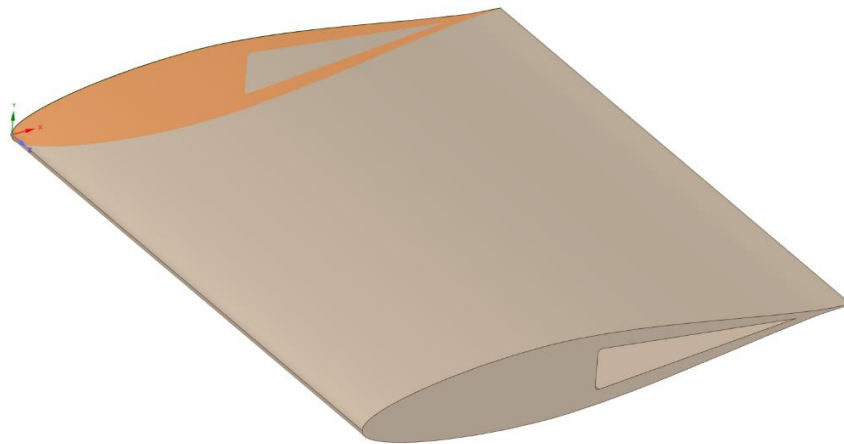
Σαν υλικό τέθηκε μία μορφή αλουμινίου ενώ πλέον έγινε μετάβαση στο περιβάλλον του ANSYS για να διενεργηθεί μία πρώτη προσομοίωση για να γίνει αντιληπτό πόσο μεγάλες τάσεις δημιουργούνται για συγκεκριμένο επίπεδο παραμόρφωσης με την συγκεκριμένη μορφή του σχεδιασμού.

3.1.2 FEA ANSYS και Αποτελέσματα

Περνώντας τώρα στο περιβάλλον του ANSYS αναφέρεται αρχικά πως ο στόχος είναι να πραγματοποιηθεί μια δισδιάστατη μελέτη. Για να πραγματοποιηθεί αυτό, το πρώτο βήμα, αφού φορτωθεί το αρχείο του Solidworks στο ANSYS, είναι αυτό να επεξεργαστεί έτσι ώστε να ληφθεί μία δισδιάστατη γεωμετρία η οποία θα πρέπει επιπλέον να βρίσκεται στην αρχή των αξόνων για να μπορέσει να λειτουργήσει σωστά το πρόγραμμα.

Για να γίνει αυτό χρησιμοποιήθηκε το σχεδιαστικό περιβάλλον του ANSYS ώστε να δημιουργηθεί μία μέση επιφάνεια της πτέρυγας, που θα χρησιμοποιηθεί μετά στην μελέτη.

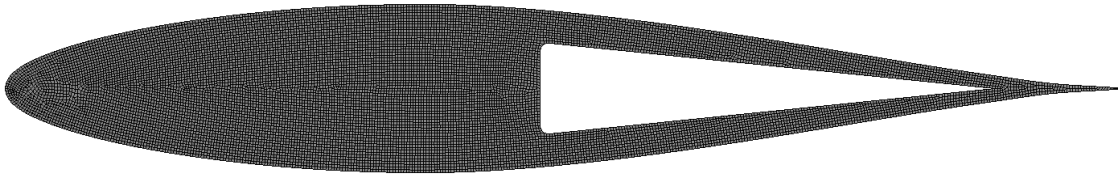
Στην παρακάτω εικόνα φαίνεται η παραπάνω επιφάνεια με πορτοκαλί χρώμα, αφού πρώτα έχει μεταφερθεί από το κέντρο του στερεού στην αρχή των αξόνων καθώς σε διαφορετική περίπτωση δεν θα λειτουργούσε στην συνέχεια η προσομοίωση, όπως αναφέρθηκε και παραπάνω.



Εικόνα 15 Μέση Επιφάνεια

Έχοντας πλέον το μοντέλο έτοιμο, φορτώθηκε στο περιβάλλον προσομοίωσης του ANSYS όπου ρυθμίστηκε κατάλληλα για να δώσει τα αποτελέσματα που χρειάζονται.

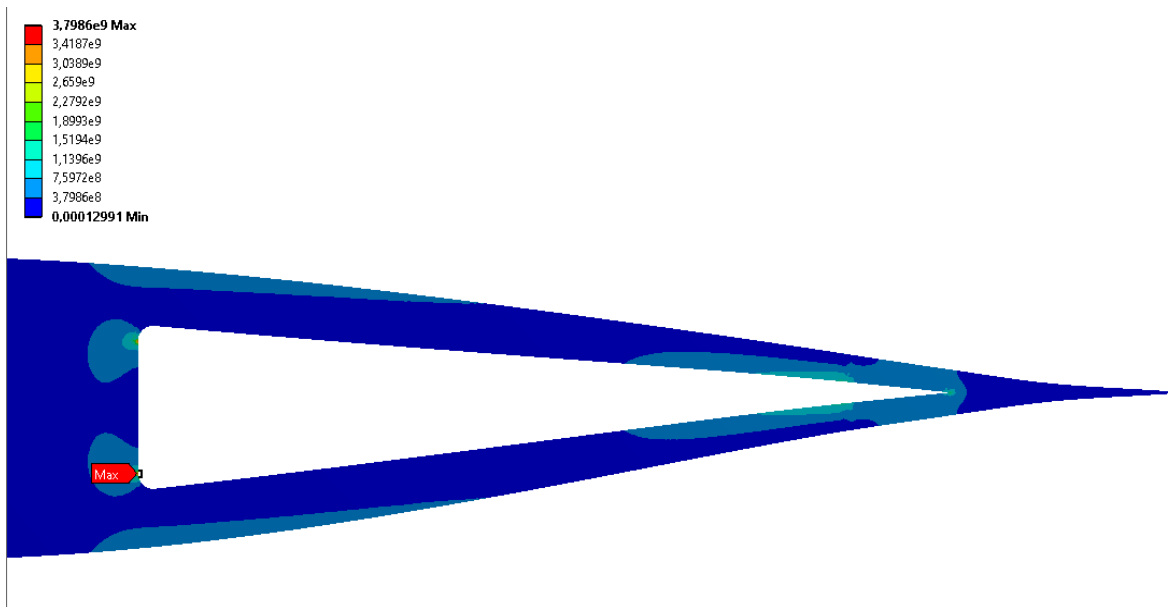
Καταρχάς, δημιουργείται το απαιτούμενο πλέγμα με μέγιστο μέγεθος στα 0.001m, το οποίο παρουσιάζεται στην παρακάτω εικόνα.



Εικόνα 16 Πλέγμα Πτέρυγας

Στην συνέχεια, εισάγονται οι οριακές συνθήκες πάκτωσης στην κάθετη επιφάνεια της αρχής της κοίλης γεωμετρίας έτσι ώστε η μετατόπιση της πτέρυγας κατά την μορφοποίηση να περιοριστεί στο πίσω τμήμα της πτέρυγας. Στην συνέχεια, επιλέγοντας τους κόμβους του πίσω τμήματος της πτέρυγας ως μετατοπίσιμο τμήμα ορίζεται η μετατόπιση που είναι επιθυμητό να υποστεί η πτέρυγα, η οποία αντιπροσωπεύει και την μορφοποίηση που θα επιβάλλει ο μελλοντικός μηχανισμός.

Στην πρώτη αυτή δοκιμή τέθηκε μία μετατόπιση της τάξης των 3mm κατά τον άξονα y με κατεύθυνση προς τα πάνω ενώ αντίθετα στον άξονα x η μετατόπιση αφέθηκε να είναι ελεύθερη.



Εικόνα 17 1α Αποτελέσματα Αναπτυσσόμενων Τάσεων

Βλέποντας τα αποτελέσματα παρατηρείται πως με τη συγκεκριμένη μορφή της πτέρυγας οι αναπτυσσόμενες τάσεις φτάνουν σε τάξη μεγέθους των GPa σε ένα πολύ μεγάλο τμήμα της πτέρυγας κάτι που δεν είναι καθόλου επιθυμητό.

Επιπλέον, παρατηρώντας το συγκεκριμένο σχεδιασμό γίνεται αντιληπτό πως μια μορφή χείλους εκφυγής όπως αυτή που παρουσιάζεται παραπάνω, δεν είναι επιθυμητή για τον σκοπό του σχεδιασμού, καθώς θα είναι πολύ δύσκολο να παραμορφωθεί με κατάλληλο τρόπο από έναν ενδεχόμενο μηχανισμό, ενώ επίσης λόγω του αιχμηρού σχήματος της εμφανίζει και ψηλότερες τάσεις από ότι θα εμφάνιζε μία πιο κυρτή μορφή χείλους εκφυγής.

Ακόμα παρατηρώντας πως η μεγαλύτερη συγκέντρωση τάσεων παρατηρείται στο αρχικό τμήμα της κοίλης γεωμετρίας, παρά το είδη εφαρμοσμένο «φιλετάρισμα», γίνεται αντιληπτή η ανάγκη προσαρμογής ενός διαφορετικού σχεδιασμού στο συγκεκριμένο τμήμα.

Επομένως, με βάση όλα τα παραπάνω διενεργήθηκαν διάφορες αλλαγές στον σχεδιασμό με στόχο να επιτευχθεί ένας σχεδιασμός ο οποίος για παραμορφώσεις μεταξύ των 3mm και των 4mm να δίνει αναπτυσσόμενες τάσεις οι οποίες να μην φτάνουν σε GPa και να περιορίζονται ιδανικά στα μεσαία προς υψηλής τάξης MPa (~500-800).

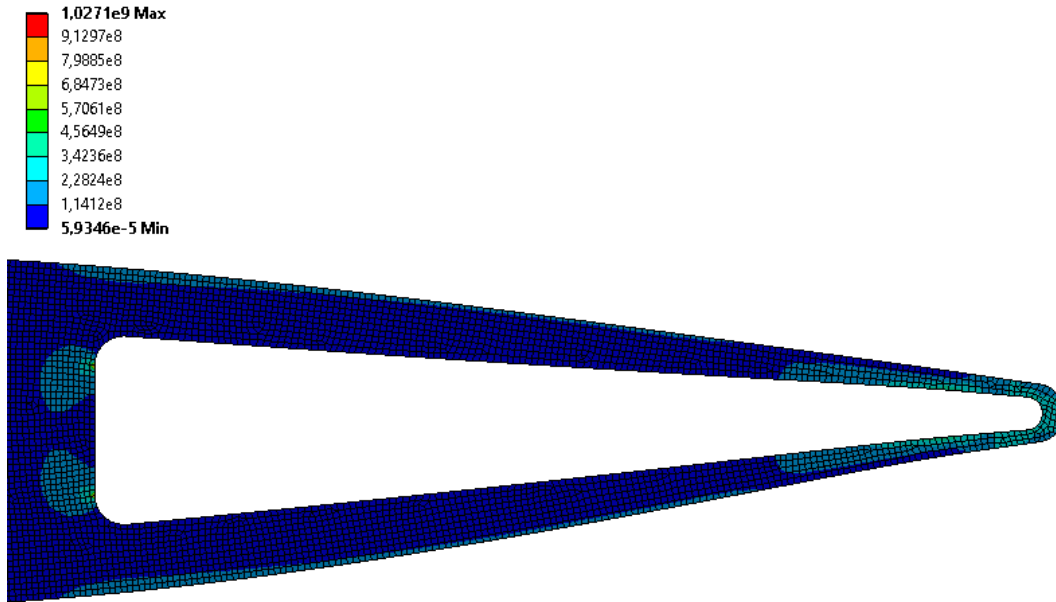
3.2 Μετατροπές στον Σχεδιασμό

Ξεκινώντας τις μετατροπές η πρώτη από αυτές είναι σχετικά με το χείλος εκφυγής το οποίο όπως φαίνεται και στην παρακάτω εικόνα μεταποιήθηκε σε μία πιο κυρτή κατάληξη για να μπορεί να εξυπηρετήσει με μεγαλύτερη ευκολία την τεχνολογία μορφοποίησης. Σε πρώτη φάση τα υπόλοιπα στοιχεία της πτέρυγας παραμένουν ως έχουν.



Εικόνα 18 1η Αλλαγή στον Σχεδιασμό

Ακολουθώντας αντίστοιχη διαδικασία με πριν όσον αφορά την μοντελοποίηση της προσομοίωσης λαμβάνεται το ακόλουθο αποτέλεσμα.



Εικόνα 19 2α Αποτελέσματα Αναπτυσσόμενων Τάσεων

Παρατηρώντας τα νέα αποτελέσματα παρατηρείται πως οι τάσεις στο χείλος εκφυγής και γενικά σε όλη την πτέρυγα έχουν μειωθεί εμφανώς, όμως παρόλα αυτά στο σημείο αρχής της κοίλης γεωμετρίας εξακολουθούν να εμφανίζονται τάσεις οι οποίες οριακά αγγίζουν την τάξη των GPa. Αυτό επιβεβαιώνει και την αρχική υπόθεση όσον αφορά την ανάγκη αλλαγής του σχεδιασμού και στο συγκεκριμένο τμήμα της πτέρυγας.

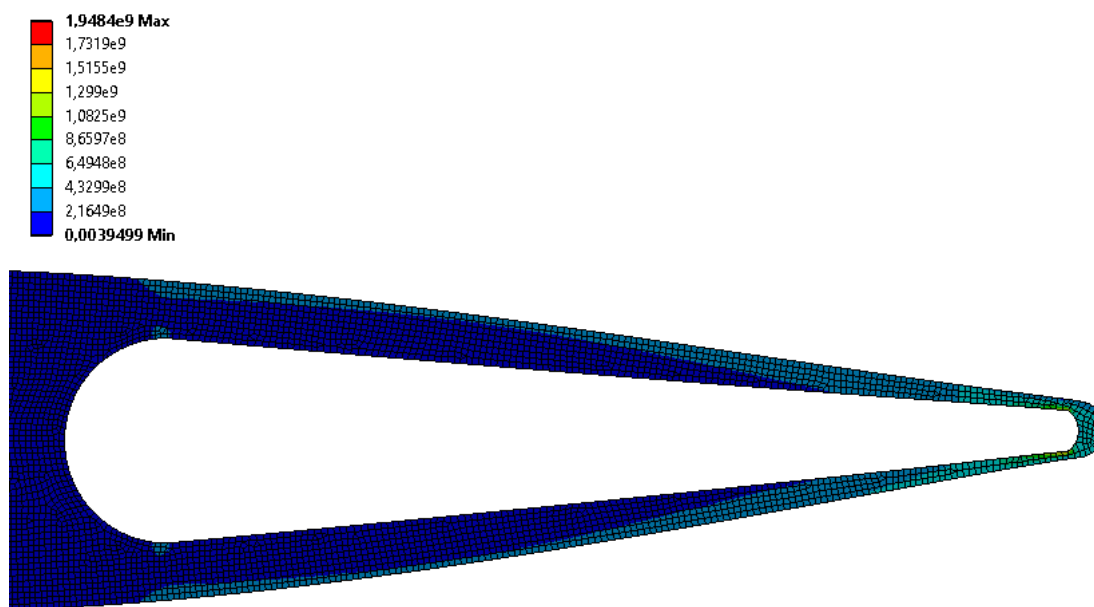
Στην επόμενη περίπτωση επιλέγεται να δοθεί κυκλικό σχήμα και στην αρχή της κοίλης γεωμετρίας ενώ επιπλέον επιλέγεται όσον αφορά το εσωτερικό χείλος εκφυγής αυτό να προσεγγίσει όσο το δυνατόν περισσότερο γίνεται την άκρη του εξωτερικού τμήματος της πτέρυγας.

Οι παραπάνω αλλαγές παρουσιάζονται στην παρακάτω εικόνα.



Εικόνα 20 2η Αλλαγή στο Σχεδιασμό

Στην συνέχεια, παρουσιάζονται τα αποτελέσματα της προσομοίωσης, της οποίας οι ρυθμίσεις εξακολουθούν να διατηρούνται σταθερές όπως περιεγράφηκαν σε προηγούμενο σημείο του συγκεκριμένου υποκεφαλαίου της εργασίας.



Εικόνα 21 3α Αποτελέσματα Αναπτυσσόμενων Τάσεων

Εδώ παρατηρείται πως ενώ επιτεύχθηκε να μειωθούν σε επιθυμητά επίπεδα οι αναπτυσσόμενες τάσεις στην αρχή της κοίλης γεωμετρίας, η επιλογή να προσεγγίσει σε πιο κοντινή θέση στο εξωτερικό χείλος εκφυγής η κατάληξη της κοίλης γεωμετρίας,

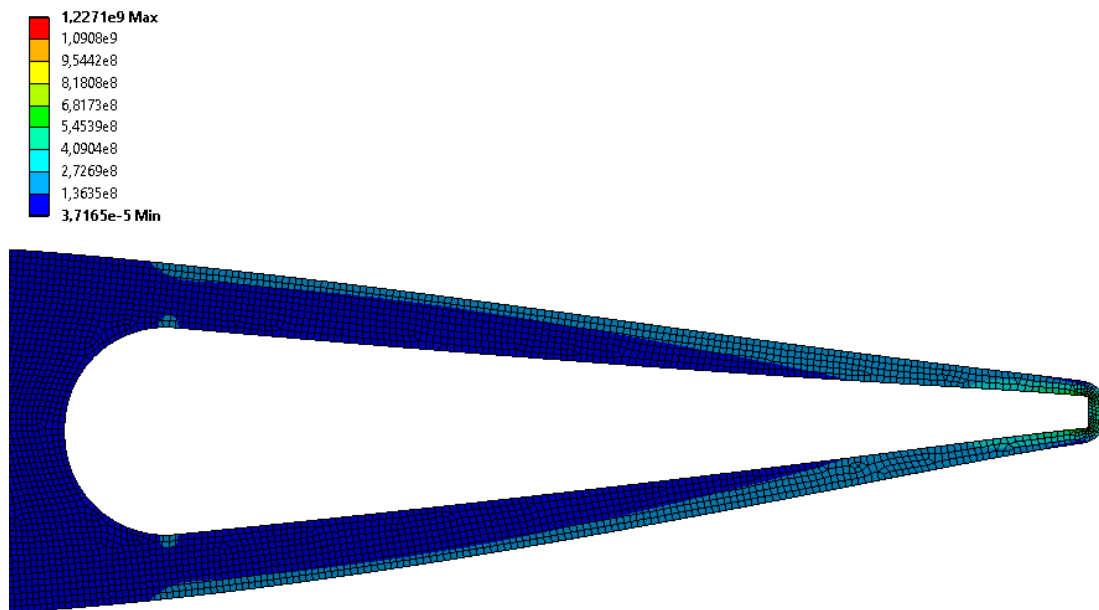
οδήγησε στην ανάπτυξη πολύ έντονων και μη επιθυμητών τάσεων στο συγκεκριμένο σημείο.

Είναι επομένως αντιληπτό πως πλέον πρέπει η μελέτη να επικεντρωθεί στην εύρεση ενός σχεδιασμού ο οποίος θα μειώνει τις τάσεις στην κατάληξη της κοίλης γεωμετρίας.

Για λόγους αποφυγής της μεγάλης επαναληψιμότητας αλλά παράλληλα για να διατηρηθεί η πληρότητα της εργασίας παρουσιάζονται παρακάτω επιγραμματικά τα αποτελέσματα των προσομοιώσεων των διαδοχικών αλλαγών στην γεωμετρία της πτέρυγας, πριν εν τέλη προκύψει η τελική της μορφή η οποία και θα παρουσιαστεί στο επόμενο υποκεφάλαιο της εργασίας.

Σημειώνεται πως οι ρυθμίσεις, προς το παρόν, εξακολουθούν να παραμένουν οι ίδιες κατά την διάρκεια των προσομοιώσεων.

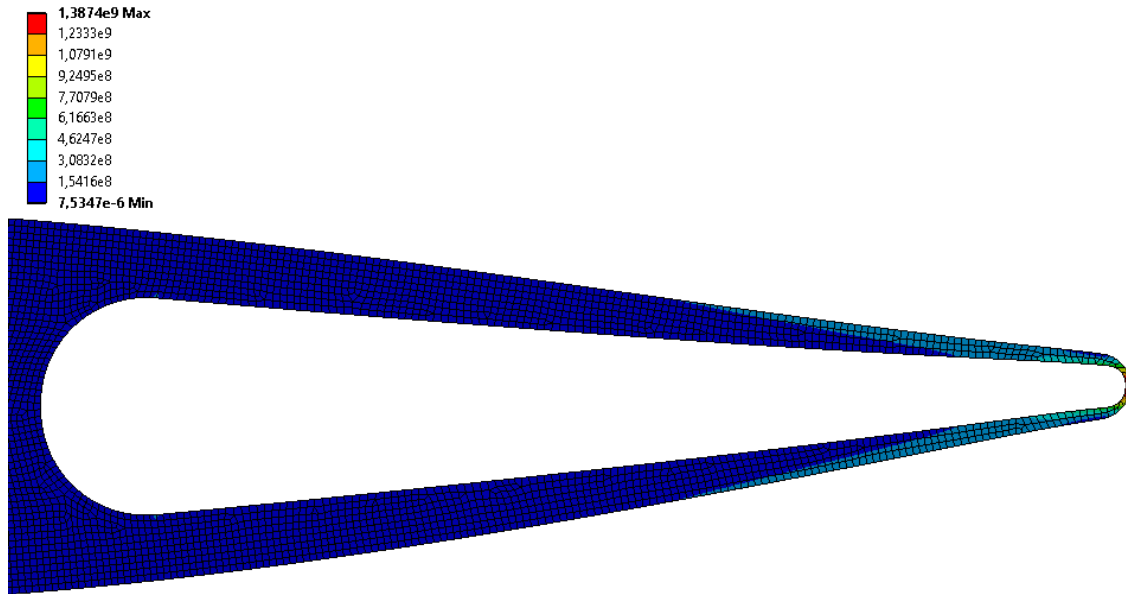
- Τετραγωνική Μορφή κατάληξης της κοίλης γεωμετρίας



Εικόνα 22 4α Αποτελέσματα Αναπτυσσόμενων Τάσεων

Παρατηρείται χειρότερη συμπεριφορά των τάσεων σε σχέση με πριν, οπότε η συγκεκριμένη σχεδίαση απορρίπτεται. Επίσης, όπως και η κατάληξη μορφής αιχμηρού χείλους εκφυγής, η τετραγωνική διατομή θα εμφάνιζε μεγαλύτερες δυσκολίες για την εφαρμογή στην συνέχεια του μηχανισμού μορφοποίησης γεωμετρίας.

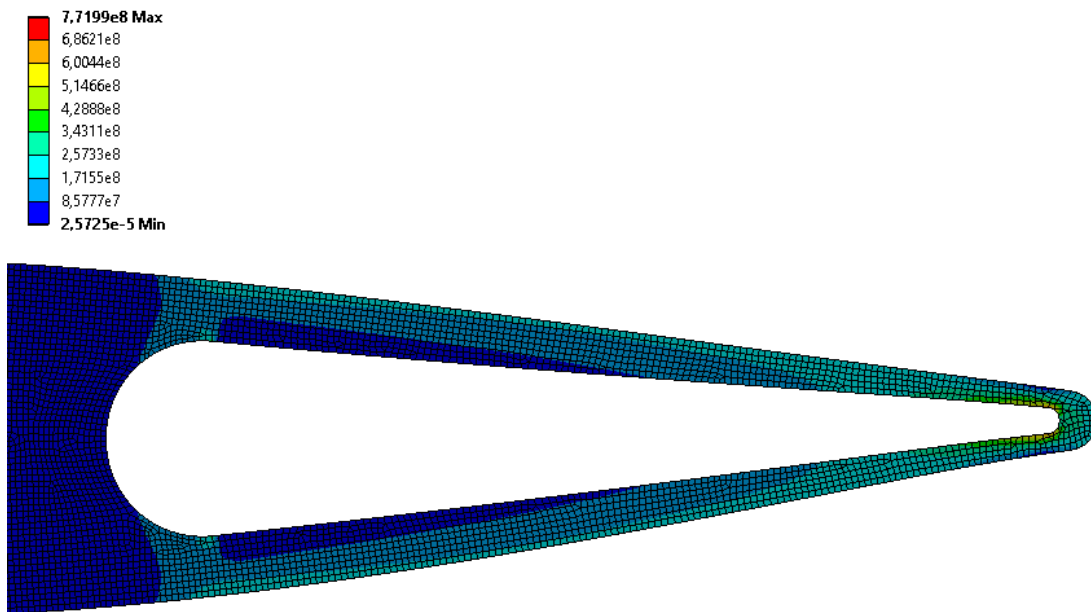
- Περαιτέρω σμίκρυνση της απόστασης μεταξύ κοίλης γεωμετρίας και εξωτερικής επιφάνειας



Εικόνα 23 5α Αποτελέσματα Αναπτυσσόμενων Τάσεων

Παρατηρείται ακόμα μεγαλύτερη αύξηση των τάσεων στην κατάληξη της πτέρυγας και επομένως και ο συγκεκριμένος σχεδιασμός απορρίπτεται. Επομένως, θα πρέπει διατηρώντας το συγκεκριμένο σχήμα να μελετηθεί πόσο θα χρειαστεί να αυξηθεί το πάχος μεταξύ της κοίλης γεωμετρίας και της εξωτερικής επιφάνειας διατηρώντας τις τάσεις σε επιθυμητά επίπεδα. Ο λόγος που είναι επιθυμητό να μικρύνει όσο το δυνατόν γίνεται η συγκεκριμένη απόσταση είναι πως θα διευκολυνθεί η διαδικασία της μορφοποίησης στην συνέχεια.

- Αύξηση πάχους στο τελικό τμήμα της πτέρυγας



Εικόνα 24 6α Αποτελέσματα Αναπτυσσόμενων Τάσεων

Παρατηρείται μεγάλη πλέον βελτίωση των τάσεων καθώς έχουν έρθει σε επιθυμητά και διαχειρίσιμα επίπεδα. Είναι επομένως κατανοητό, πως η παραπάνω σχεδίαση προσεγγίζει σε μεγάλο βαθμό τον τελικό σχεδιασμό και πλέον απομένουν ορισμένες ακόμα δοκιμές για να προκύψει η καλύτερη δυνατή λύση ως προς το προαναφερθέν πάχος, έτσι ώστε να λαμβάνεται ακόμα περισσότερη μετατόπιση χωρίς παρόλα αυτά να δημιουργούνται τάσεις επιπέδου GPa.

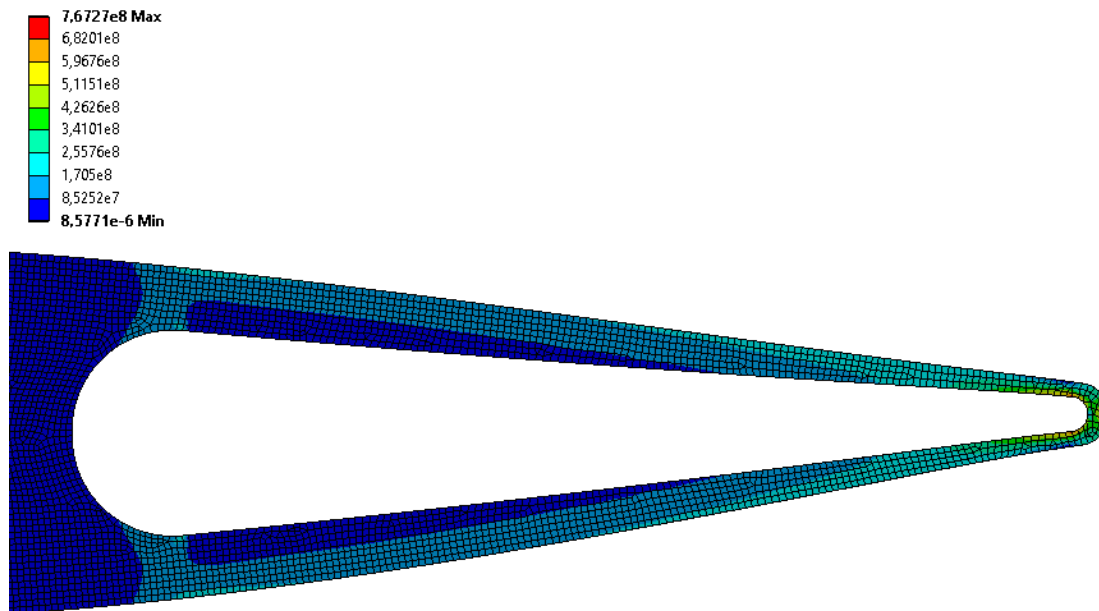
Μετά από ορισμένες ακόμα δοκιμές προκύπτει ο τελικός σχεδιασμός ο οποίος παρουσιάζεται στο επόμενο υποκεφάλαιο της εργασίας.

3.3 Τελική Μορφή Πτέρυγας

Προκύπτει μέσω κάποιων επιπλέον δοκιμών ο παρακάτω τελικός σχεδιασμός που αποτελεί την καλύτερη δυνατή λύση μεταξύ αναπτυσσόμενων τάσεων, πάχους υλικού μεταξύ κοίλης γεωμετρίας – εξωτερικής επιφάνειας και δυνατών μετατοπίσεων.



Εικόνα 25 Τελική Μορφή Πτέρυγας



Εικόνα 26 Αποτελέσματα Αναπτυσσόμενων Τάσεων Τελικής Μορφής Πτέρυγας

Ο συγκεκριμένος σχεδιασμός επιτρέπει να διατηρούνται κατά την παραμόρφωση οι τάσεις σε επιθυμητά επίπεδα, κάτω από GPa, ακόμα και για παραμορφώσεις οι οποίες ξεπερνούν τα 3mm και φτάνουν μέχρι τα 4mm, όπου σε αυτό το σημείο οι τάσεις προσεγγίζουν, χωρίς όμως να ξεπερνούν την τάξη μεγέθους των GPa. Επίσης, δεδομένου ότι κατά τις προσομοιώσεις η μετατόπιση μοντελοποιήθηκε σαν αναγκαστική μετατόπιση ενός τμήματος της πτέρυγας, κατά την διάρκεια της πραγματικής μορφοποίησης όπου η μετατόπιση θα γίνεται με πιο ομαλό και ομοιόμορφο τρόπο σε όλο το επιθυμητό τμήμα της πτέρυγας, οι τάσεις αναμένεται να είναι στην πραγματικότητα ελαφρώς μικρότερες από αυτές που προέκυψαν κατά τις προσομοιώσεις.

Οπότε, σε πρώτη φάση για την συνέχεια της μελέτης, θα χρησιμοποιηθεί παραμόρφωση της τάξης των 3.5mm για την αεροδυναμική επιβεβαίωση του μοντέλου, ότι δηλαδή μπορεί να καλύψει την αεροδυναμική απόδοση ενός κλασικού πηδαλίου κλίσης σε μία συνηθισμένη γωνία χρήσης αυτού. Επιπλέον, στην συνέχεια σε περίπτωση που αυτό επιβεβαιωθεί, ο μηχανισμός θα σχεδιαστεί για να δίνει μορφοποίηση της πτέρυγας μέχρι και 4mm προς τα πάνω και προς τα κάτω.

Σημειώνεται, πως κατά τον μετέπειτα σχεδιασμό του μηχανισμού η έκταση της κοίλης γεωμετρίας ως προς το μπροστά τμήμα της πτέρυγας ενδέχεται να αυξηθεί για να μπορέσει να ανταποκριθεί στα απαιτούμενα μεγέθη των τεμαχίων που θα χρειαστούν για την λειτουργία του.

Κεφάλαιο 4. Αεροδυναμική Μελέτη

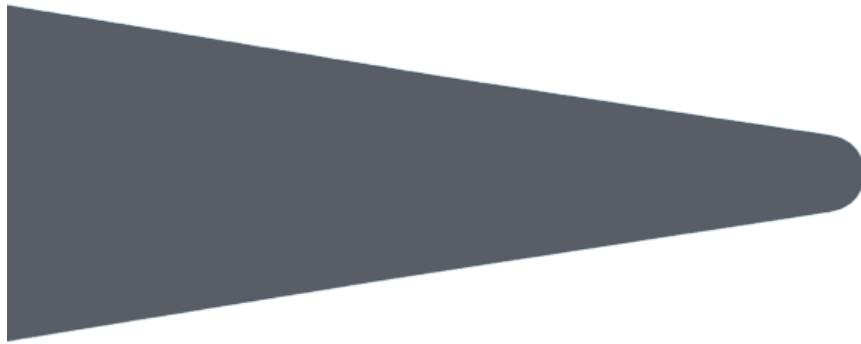
Περνώντας τώρα στο κομμάτι της αεροδυναμικής μελέτης, το συγκεκριμένο κομμάτι στο πλαίσιο της συγκεκριμένης εργασίας, που ασχολείται με την ανάλυση και τον σχεδιασμό ενός μηχανισμού μορφοποίησης πτέρυγας θα περιοριστεί στην απλή επιβεβαίωση πως το μοντέλο είναι σε θέση να καλύψει για ίδιες συνθήκες πτήσης τις αεροδυναμικές επιδόσεις ενός κλασικού πηδαλίου κλίσης .

4.1 Παρουσίαση Περιπτώσεων προς Μελέτη

Για την παραπάνω επιβεβαίωση χρησιμοποιείται καταρχάς το παραμορφωμένο μοντέλο της πτέρυγας που παρουσιάστηκε στην προηγούμενη ενότητα της εργασίας και αντιπροσωπεύει την μορφοποίηση που είναι επιθυμητό να πραγματοποιηθεί. Επιπλέον, χρησιμοποιείται μία πτέρυγα ίδιων διαστάσεων στην αρχική της μορφή, χωρίς δηλαδή την παραμόρφωση, βάζοντας σε αυτήν ένα κλασικού τύπου πηδάλιο κλίσης στις 5° και στα 20mm από το χείλος εκφυγής. Επιπλέον, χρησιμοποιείται και ένα μοντέλο της πτέρυγας χωρίς πηδάλιο κλίσης και χωρίς κάποια παραμόρφωση στραμμένο όμως κατά 5° ως προς τον άξονα του προς τα πάνω.

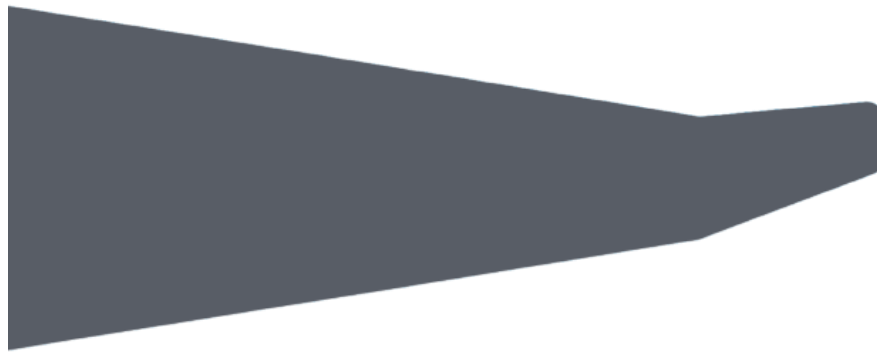
Γενικά αναμένεται πως την καλύτερη αεροδυναμική συμπεριφορά θα την παρουσιάσει η πλήρως στραμμένη πτέρυγα, ενώ είναι ζητούμενο το παραμορφωμένο μοντέλο να την ακολουθεί προσπερνώντας αυτό με το πηδάλιο κλίσης .

Τα παραπάνω μοντέλα στα οποία έγινε αναφορά παρουσιάζονται παρακάτω, στην επόμενη σελίδα της εργασίας.



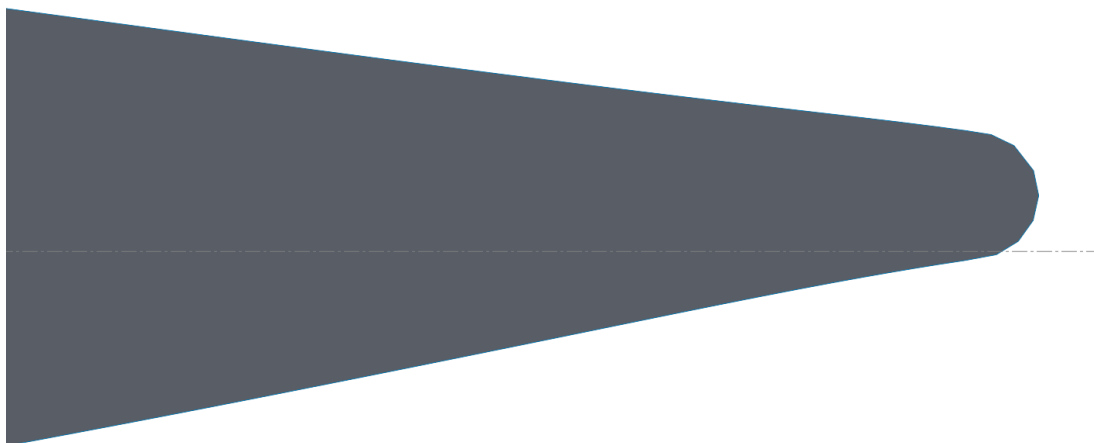
Εικόνα 27 Κλασική Περίπτωση Πτέρυγας

Στην παραπάνω εικόνα παρουσιάζεται η πτέρυγα στην αρχική της μορφή χωρίς παραμόρφωση, η οποία και θα στραφεί στην συνέχεια.



Εικόνα 28 Πηδάλιο κλίσης 5 μοιρών

Στην παραπάνω εικόνα παρουσιάζεται η πτέρυγα στην οποία έχει προσαρμοστεί ένα πηδάλιο κλίσης στα 20mm από το χείλος εκφυγής και με διεύθυνση στις 5° προς τα πάνω.



Εικόνα 29 Μορφοποιημένη Πτέρυγα

Στην παραπάνω εικόνα παρουσιάζεται η πτέρυγα αφού έχει υποστεί την μορφοποίηση των 3.5mm προς τα πάνω που παρουσιάστηκε στο κεφάλαιο 3 της εργασίας. Η μετατόπιση της αυτή είναι και εμφανής από την αξονική γραμμή που έχει προστεθεί στην παραπάνω εικόνα, όπου φαίνεται η κίνηση προς τα πάνω που έχει πραγματοποιήσει όλο το πίσω μέρος της πτέρυγας.

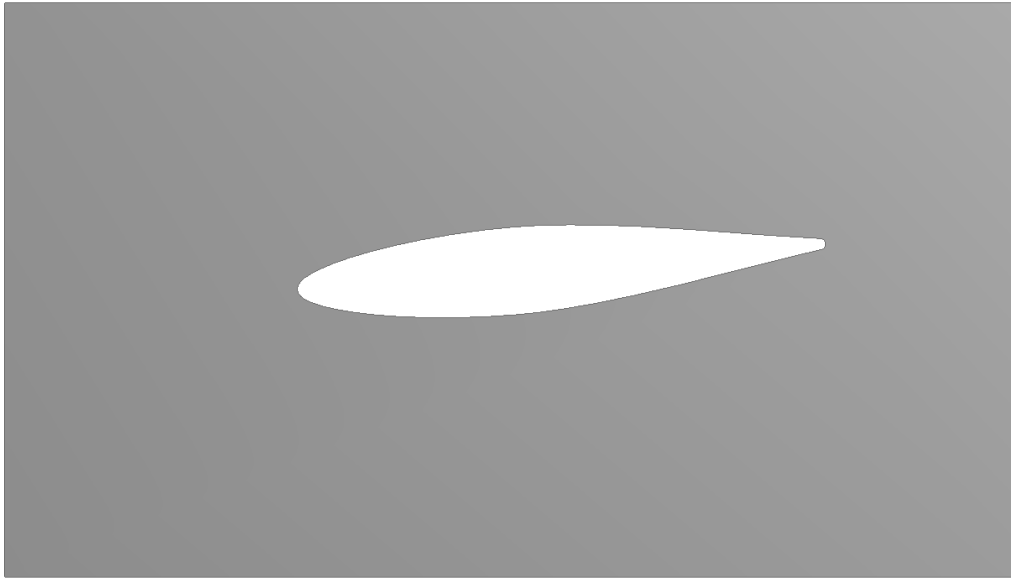
Έχοντας πλέον τα μοντέλα έτοιμα η μελέτη μεταφέρεται στο περιβάλλον του ANSYS Fluent για να πραγματοποιηθεί η προσομοίωση, αφού πρώτα οριστεί το πλέγμα και γενικά η περιοχή που θα πραγματοποιηθεί η μελέτη.

4.2 Μοντέλα προς Μελέτη

Μπαίνοντας τώρα στο περιβάλλον του ANSYS το πρώτο πράγμα που γίνεται είναι η επιλογή μιας 2D μελέτης στο ANSYS Fluent. Εν συνεχεία, πραγματοποιείται ο ορισμός της γεωμετρίας και του πλέγματος που χρησιμοποιούνται κατά την μελέτη.

Για την δημιουργία της απαιτούμενης γεωμετρίας που θα χρησιμοποιηθεί κατά τις προσομοιώσεις έγινε χρήση του σχεδιαστικού περιβάλλοντος του ANSYS, ώστε να δημιουργηθεί το κατάλληλης μορφής επιφανειακό σώμα για την μετέπειτα μελέτη.

Παρουσιάζεται ενδεικτικά ένα από αυτά, και συγκεκριμένα αυτό της στραμμένης κατά 5° γύρω από τον άξονα της πτέρυγα.

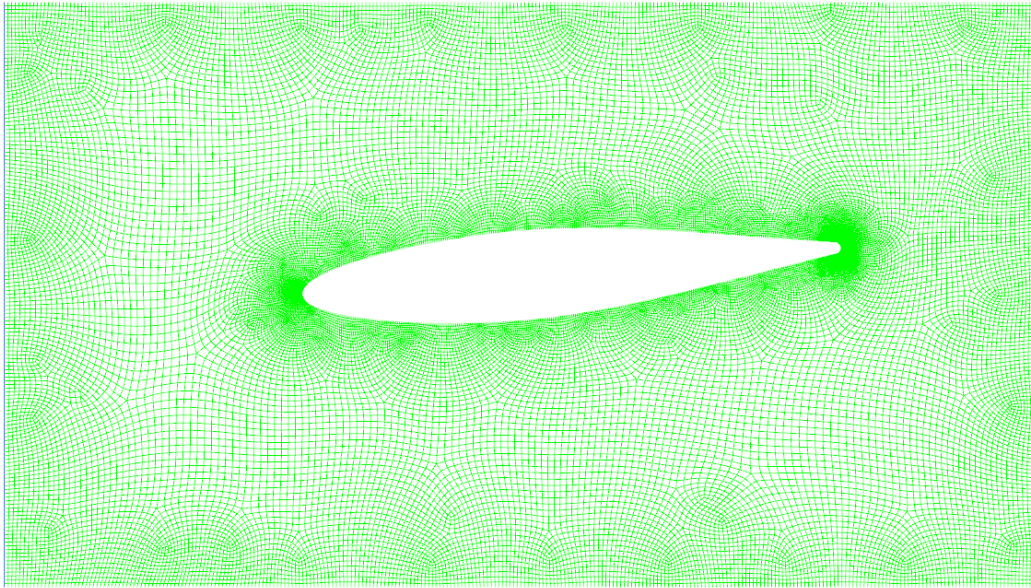


Εικόνα 30 Περιοχή Μελέτης για προσομοίωση στο Fluent

Εν συνεχεία, πραγματοποιείται η διαδικασία ορισμού του πλέγματος, η οποία πραγματοποιείται στο περιβάλλον προσομοίωσης του ANSYS. Κατά την διάρκεια αυτής, καταρχάς ορίζονται οι ονομαστικές επιλογές οι οποίες είναι κομβικές για την προσομοίωση έτσι ώστε να μπορεί να αντιληφθεί το πρόγραμμα το ποια είναι η πτέρυγα, ποιοι οι τοίχοι κατά την προσομοίωση και το από που εισέρχεται και εξέρχεται η ροή του αέρα.

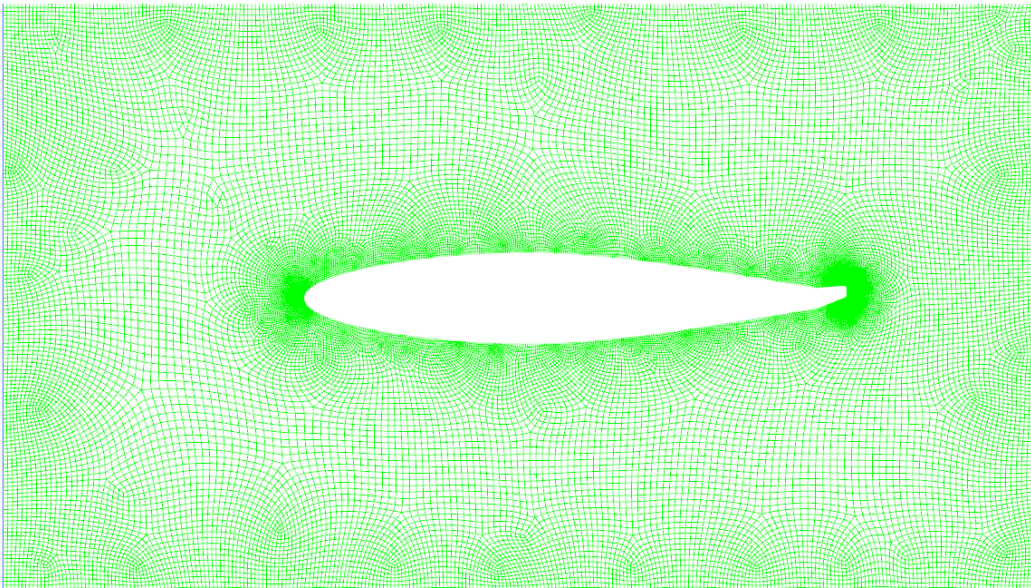
Όσον αφορά τώρα την πυκνότητα του πλέγματος, αυτή στην εξωτερική περιοχή στα όρια της περιοχής είναι πιο αραιή στα 0.01m ως μέγιστο μέγεθος, όμως πλησιάζοντας στην πτέρυγα, όπου είναι και η περιοχή κύριου ενδιαφέροντος, πυκνώνεται στα 0.005m μέγιστο μέγεθος, ενώ γίνεται ακόμα περισσότερη πύκνωση στα σημεία εισόδου και εξόδου της ροής στην πτέρυγα, δηλαδή στο τμήμα της πρόσπτωσης της ροής καθώς και στο τμήμα του χείλους εκφυγής.

Παρουσιάζονται παρακάτω οι τελικές περιοχές μελέτης που εισάγονται στο Fluent για τις προσομοιώσεις των τριών παραπάνω περιπτώσεων.

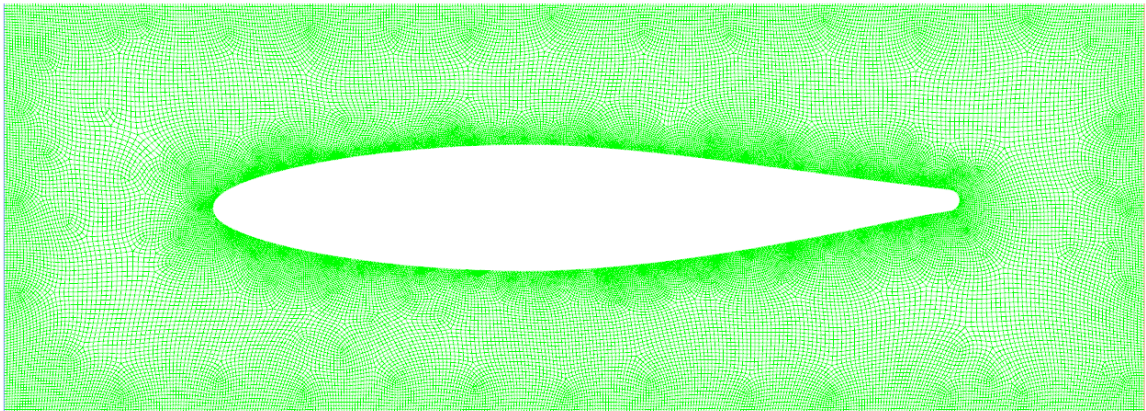


Εικόνα 31 Πτέρυγα Στραμμένη γύρω από τον άξονα της

Αναφέρεται επιπλέον, πως στην παραπάνω εικόνα αριστερά και δεξιά με μπλε και κόκκινο χρώμα αντίστοιχα φαίνονται οι ορισμοί εισόδου και εξόδου της ροής ενώ πάνω και κάτω με λευκή γραμμή οι τοίχοι που έχουν οριστεί.



Εικόνα 32 Πτέρυγα με εφαρμοσμένο Πηδάλιο κλίσης



Εικόνα 33 Πτέρυγα Μορφοποιημένη προς τα πάνω κατά 3.5mm

Έχοντας εισάγει πλέον όλες τις απαιτούμενες περιοχές μελέτης στο περιβάλλον του Fluent πραγματοποιούνται οι προσομοιώσεις ώστε από εκεί να ληφθούν τα αποτελέσματα ενδιαφέροντος.

Σημειώνεται πως είναι αναγκαίο να γίνουν πριν την προσομοίωση ορισμένες ρυθμίσεις στο πρόγραμμα, όπως για παράδειγμα η ταχύτητα του αέρα, η θερμοκρασία του περιβάλλοντος καθώς και ο ορισμός των εξερχόμενων διαγραμμάτων που είναι επιθυμητό να ληφθούν από την προσομοίωση.

4.3 Σύγκριση Μορφοποιημένης Πτέρυγας και Πηδαλίου Κλίσης

Προχωρώντας πλέον στο κομμάτι των αποτελεσμάτων, επειδή όπως αναφέρθηκε και στο αρχικό υποκεφάλαιο του συγκεκριμένου τμήματος της εργασίας η αεροδυναμική μελέτη δεν είναι το βασικό μέλημα αυτής της εργασίας, η συγκεκριμένη εργασία ασχολείται με τα αποτελέσματα του συντελεστή άνωσης καθώς και του λόγου συντελεστή άνωσης προς αντίστασης μεταξύ των διαφόρων διαμορφώσεων των πτερυγίων σε ίδιες συνθήκες πτήσης.

Εξάγοντας επομένως τα αποτελέσματα για τον συντελεστή άνωσης στην συγκεκριμένη κατάσταση πτήσης και μεταφέροντας τα στην συνέχεια σε ένα συγκεντρωτικό excel λαμβάνεται το παρακάτω αποτέλεσμα.



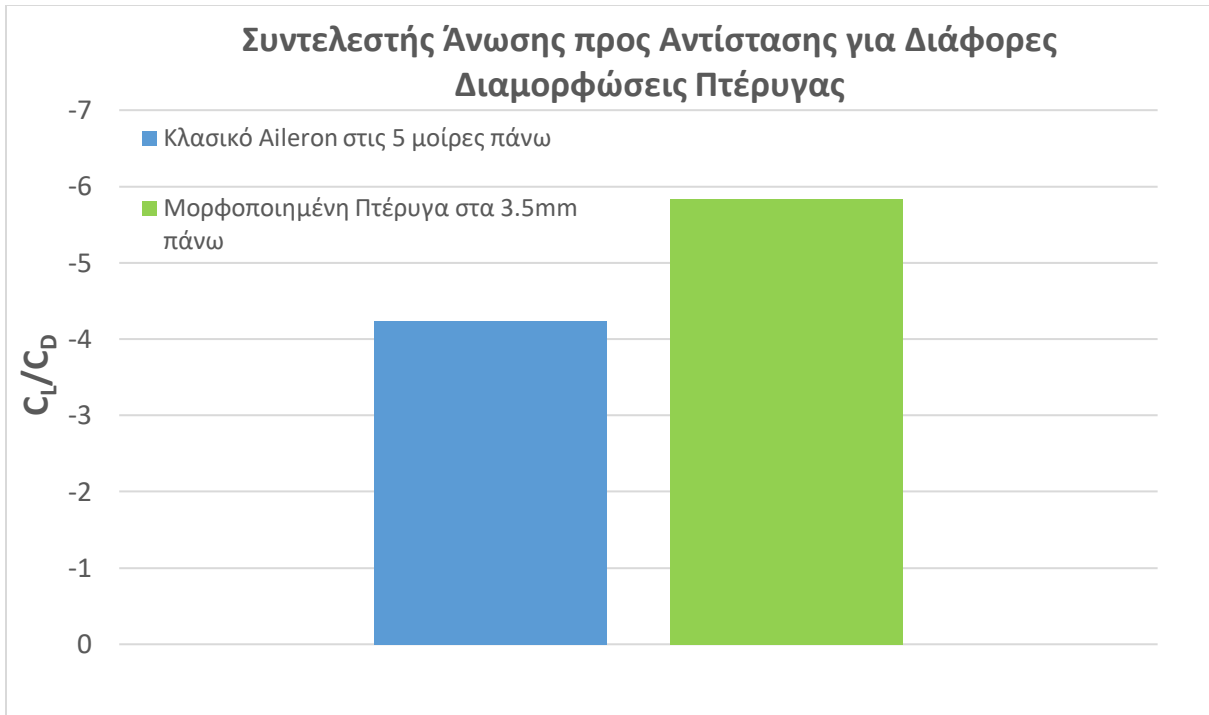
Διάγραμμα 5 Συντελεστής Άνωσης για Διάφορες Περιπτώσεις

Βλέποντας το συγκεκριμένο διάγραμμα επιβεβαιώνεται καταρχάς η εκτίμηση που έγινε στην αρχή του κεφαλαίου. Δηλαδή, ότι την καλύτερη αεροδυναμική απόδοση θα την έχει η πλήρως στραμμένη κατά 5° γύρω από τον άξονα της πτέρυγα. Παρόλα αυτά, αυτό δεν αποτελεί πρόβλημα καθώς όπως επίσης γίνεται αντιληπτό στο διάγραμμα η πράσινη ράβδος (μορφοποιημένη πτέρυγα) βρίσκεται πιο ψηλά από την μπλε (κλασικό πηδάλιο κλίσης), δίνοντας επομένως μια καλύτερη απόδοση για την πτέρυγα με την τεχνολογία μορφοποίησης σε σχέση με αυτή με το κλασικό πηδάλιο κλίσης.

Συγκεκριμένα βλέποντας και τα νούμερα παρατηρείται μία αύξηση στον συντελεστή άνωσης που αγγίζει την τάξη του 30%.

Στην συνέχεια συγκρίνεται ο λόγος συντελεστή άνωσης προς τον συντελεστή αντίστασης για την περίπτωση του κλασικού πηδαλίου κλίσης και της μορφοποιημένης πτέρυγας.

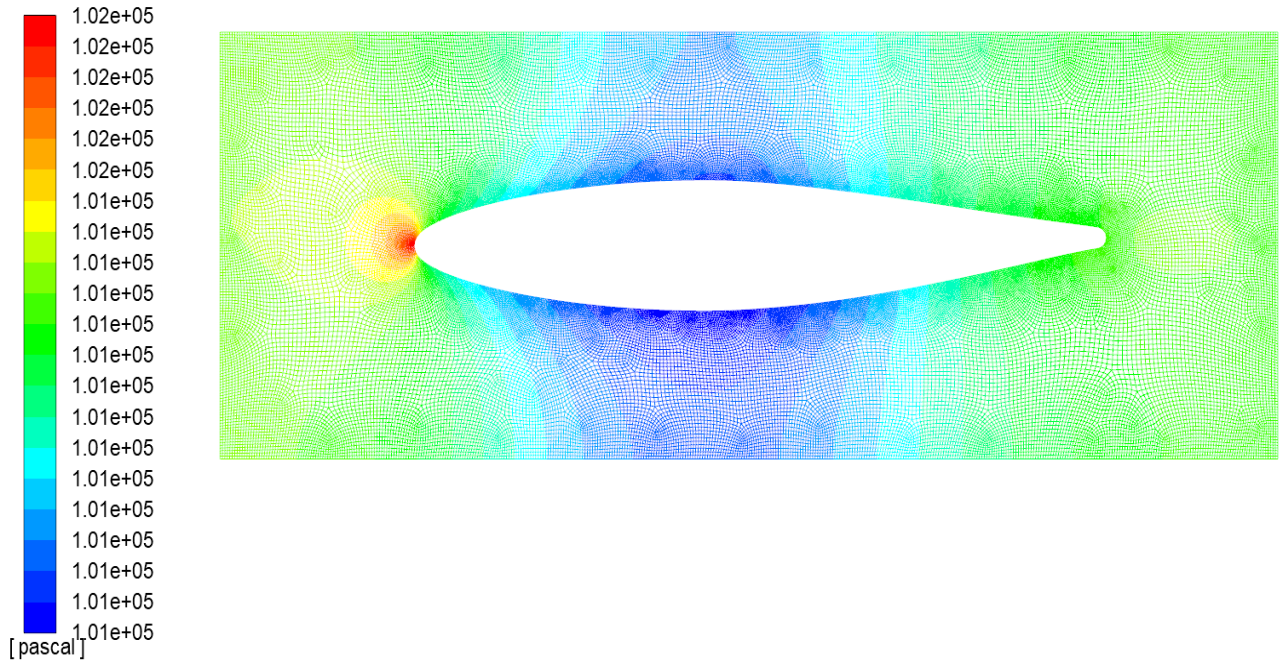
Με την ίδια διαδικασία όπως και πριν προκύπτει το παρακάτω διάγραμμα της επόμενης σελίδας.



Διάγραμμα 6 Συντελεστής Άνωσης προς Αντίσταση για διάφορες Περιπτώσεις

Παρατηρείται και σε αυτό το διάγραμμα η συνολική αεροδυναμική βελτίωση που προσφέρει ένα μοντέλο μορφοποιημένης πτέρυγας σε σχέση με αυτό ενός κλασικού πηδαλίου κλίσης. Όπως φαίνεται και από το διάγραμμα στην προκειμένη περίπτωση η βελτίωση αγγίζει ένα ποσοστό της τάξης του 38% κάτι που δείχνει και την βελτίωση της πτέρυγας όσον αφορά τον συντελεστή αντίστασης.

Σημειώνεται επιπλέον, πως μέσω του Fluent έγινε και έλεγχος στην μορφοποιημένη πτέρυγα ως προς τις πιέσεις που ασκούνται στην επιφάνεια της, από την ροή του αέρα, έτσι ώστε να επιβεβαιωθεί πως δεν θα εμφανιστούν ενδεχόμενες ανεπιθύμητες παραμορφώσεις λόγω των φορτίων του αέρα πάνω στην πτέρυγα. Αυτό φαίνεται και στην εικόνα της επόμενης σελίδας όπου παρουσιάζονται οι απόλυτες στατικές πιέσεις γύρω από την πτέρυγα.



Εικόνα 34 Απόλυτη Στατική Πίεση γύρω από μορφοποιημένη πτέρυγα

Παρατηρείται, κοιτάζοντας τις τιμές των πιέσεων στο αριστερό τμήμα της παραπάνω εικόνας, πως η απόλυτη στατική πίεση είναι σχεδόν σταθερή γύρω από την αεροτομή κάτι αναμενόμενο βάση του ομοιόμορφου σχήματος που έχει η αεροτομή καθώς και λόγω της κάθετης πρόσκρουσης σε αυτήν της ροής του αέρα. Επίσης όπως αναφέρθηκε και πριν, αναφέρεται πως μία απόλυτη πίεση της τάξης των 10^5 Pascal δεν αποτελεί κίνδυνο για την δομή της πτέρυγας.

Έχει πλέον επιβεβαιωθεί και η αεροδυναμική βελτίωση που προσφέρει η τεχνολογία μορφοποίησης γεωμετρίας, σε σχέση με την περίπτωση του κλασικού πηδαλίου κλίσης των 5° , οπότε στο επόμενο κεφάλαιο της εργασίας θα ξεκινήσει ο σχεδιασμός του μηχανισμού που πρόκειται να πραγματοποιήσει την ζητούμενη μορφοποίηση της πτέρυγας.

Κεφάλαιο 5. Σχεδιασμός του Μηχανισμού

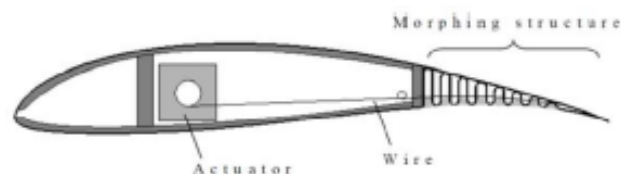
Συνεχίζοντας, η μελέτη βρίσκεται στο στάδιο όπου πρέπει να σχεδιαστεί ένας μηχανισμός ο οποίος να μπορεί να δίνει την επιθυμητή μορφοποίηση της πτέρυγας, τάξης μεγέθους 4mm όπως υπολογίστηκε στα προηγούμενα κεφάλαια της εργασίας.

Για να γίνει αυτό πρέπει αρχικά να πραγματοποιηθεί η απαραίτητη βιβλιογραφική μελέτη και το απαιτούμενο 'brainstorming' σχετικά με τις πιθανές εναλλακτικές σχεδιασμού του.

5.1 'Brainstorming'

Ξεκινώντας την αναζήτηση, σχετικά με πιθανές διαμορφώσεις όσον αφορά τον σχεδιασμό, προέκυψε αρχικά η περίπτωση μίας πτέρυγας όπου στο εσωτερικό της θα βρίσκονταν κατάλληλα σύρματα τα οποία μέσω ενός επενεργητή θα τραβιόντουσαν δίνοντας την επιθυμητή κίνηση, τύπου πηδαλίου κλίσης. Παρόλα αυτά μία τέτοιου τύπου διαμόρφωση θα δημιουργούσε αρκετά προβλήματα, όπως τα πάρα πολύ ακριβή μεγέθη που θα έπρεπε να έχουν τα σύρματα καθώς και οι πολύ συγκεκριμένες τιμές τάσεων που θα έπρεπε να τους ασκούνται, τις οποίες θα πρέπει να διασφαλιστεί ότι θα μπορούν και να αντέχουν. Επιπλέον, με βάση την βιβλιογραφία ένας τέτοιος σχεδιασμός δεν προσφέρεται για κατασκευή, ως προς την επιφάνεια της πτέρυγας, μέσω 3D Εκτύπωσης, κάτι που γενικά αποτελεί στόχο του σχεδιασμού.

Σχηματικά η παραπάνω διάταξη θα είχε την μορφή της παρακάτω εικόνας.



Εικόνα 35 1η Εναλλακτική Σχεδιασμού

Συνεχίζοντας την έρευνα, προέκυψε μία εκδοχή διαμόρφωσης μορφής ψαροκόκαλου στο εσωτερικό της πτέρυγας και της ύπαρξης δύο τενόντων στο χείλος εκφυγής οι οποίοι μέσω κατάλληλου μηχανισμού τραβιούνται και συμπιέζονται, κάθε φορά διαφορετικά ο

έναν από τον άλλον, δίνοντας μία κίνηση τύπου πηδαλίου κλίσης στο πίσω μέρος της πτέρυγας. Παρόλα αυτά μία διαμόρφωση αυτής της μορφής ενδέχεται να εμφανίσει κινδύνους πολύ υψηλών απαιτούμενων δυνάμεων από τον μηχανισμό για την επίτευξη της κίνησης και επομένως δεν αποτελεί μια επιθυμητή επιλογή.

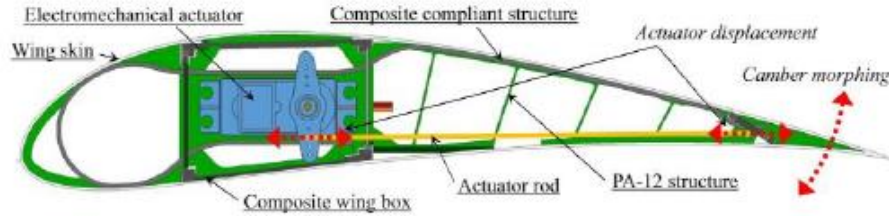
Παρουσιάζεται παρακάτω σε μορφή εικόνας ο παραπάνω αναφερόμενος μηχανισμός.



Εικόνα 36 2η Εναλλακτική Σχεδιασμού

Στην συνέχεια, προέκυψε η περίπτωση μιας πτέρυγας η οποία θα χρησιμοποιούσε την τεχνολογία των συμβατών μηχανισμών. Στην προκειμένη περίπτωση η πτέρυγα θα αποτελούταν από μία σειρά εσωτερικών δοκών οι οποίες σε συνδυασμό με τις διάφορες ασυνέχειες στον εσωτερικό μηχανισμό υποστήριξης της εξωτερικής επιφάνειας της πτέρυγας θα έδιναν μία διαμόρφωση ικανή να αντιμετωπίσει ανεπιθύμητα ενδεχόμενα λυγισμού κατά την μορφοποίηση. Επιπλέον, κάθε δοκός θα ήταν αναγκαίο να έχει τον δικό της σερβομηχανισμό. Αυτός τραβώντας ή σπρώχνοντας την εκάστοτε δοκό, θα την οδηγούσε στο να τραβήξει ή να σπρώξει αντίστοιχα μία εσωτερική ράβδο που θα παραμόρφωνε προς την κατάλληλη κατεύθυνση το χείλος εκφυγής. Ο συγκεκριμένος μηχανισμός εμφανίζει αρκετά πλεονεκτήματα, μεταξύ αυτών και το γεγονός ότι μπορεί να είναι πλήρως 3D Εκτυπώσιμος.

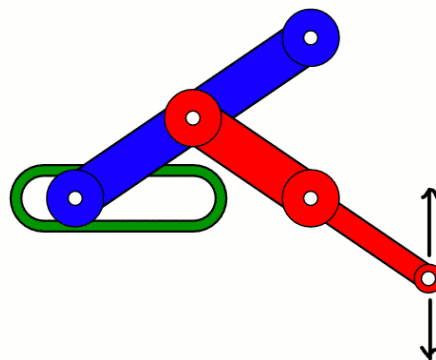
Παρουσιάζεται παρακάτω άλλο ένα σχηματικό διάγραμμα του μηχανισμού όπως και στις προηγούμενες περιπτώσεις.



Εικόνα 37 3η Εναλλακτική Σχεδιασμού

Τέλος, η επόμενη εναλλακτική είναι αυτή της δημιουργίας ενός κλασικού τύπου μηχανισμού στο εσωτερικό της πτέρυγας. Ο συγκεκριμένος μηχανισμός κινούμενους μέσω κατάλληλης επενέργειας και αφού θα έχει προσαρμοστεί ανάμεσα στο χείλος εκφυγής, σαν να δημιουργεί μια γεωμετρία τύπου «σάντουιτς», θα μπορεί καθώς θα πραγματοποιεί την κίνηση του να παρασύρει προς τα πάνω και προς τα κάτω το χείλος εκφυγής μορφοποιώντας το σχήμα της πτέρυγας. Για να πραγματοποιηθεί αυτή η κίνηση κατά πάσα πιθανότητα θα χρησιμοποιηθεί κάποιος συνδυασμός βηματικού μοτέρ και ένσφαιρου κοχλία κίνησης.

Σαν ενδεικτικό παράδειγμα, χωρίς να αποτελεί ακριβής αναπαράσταση του τελικού μηχανισμού, μπορεί να θεωρηθεί η κίνηση του κλασικού Scott Russel μηχανισμού που φαίνεται στην παρακάτω εικόνα.



Εικόνα 38 4η Εναλλακτική Σχεδιασμού

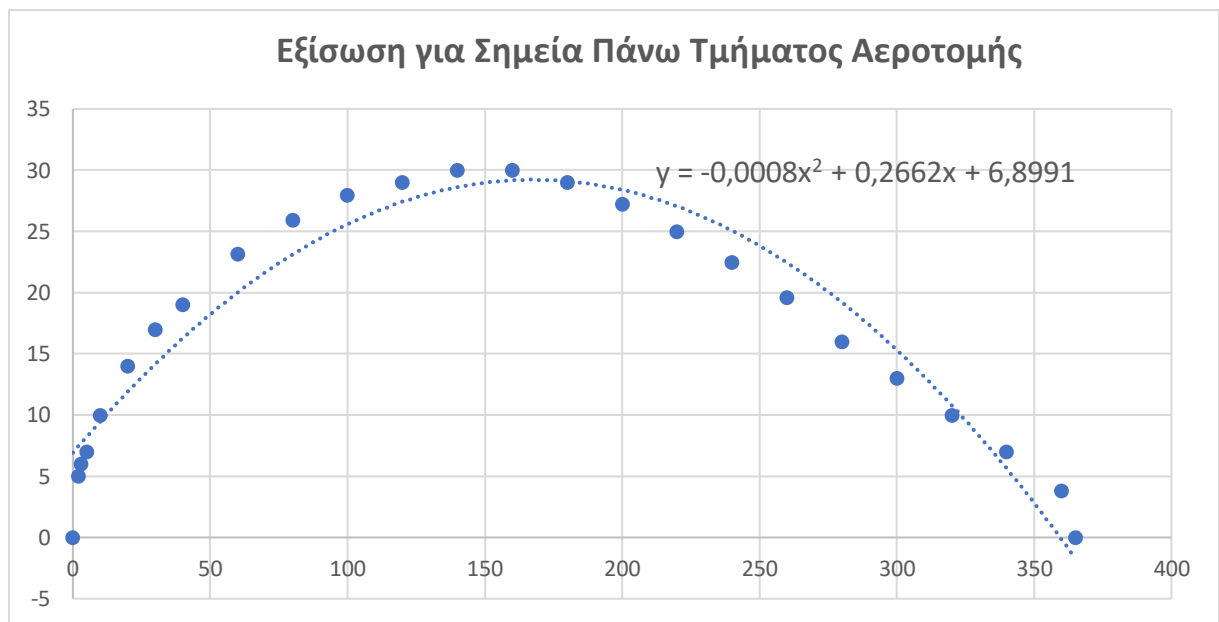
Προχωρώντας πλέον στο ξεκίνημα του σχεδιασμού έχει αποκτηθεί μία πρώτη εικόνα για τις διάφορες εναλλακτικές που μπορούν να εφαρμοστούν με επικρατέστερη αυτή του

σχεδιασμού ενός εσωτερικού μηχανισμού στην πτέρυγα ο οποίος κατά την κίνηση του θα την «παρασύρει» προς τα πάνω και προς τα κάτω αντίστοιχα.

5.2 Μελέτη Ελαστικής Γραμμής

Ξεκινώντας τον σχεδιασμό είναι καταρχάς αναγκαίο να υπολογιστεί η απαιτούμενη δύναμη η οποία θα πρέπει να εφαρμοστεί πάνω στο χείλος εκφυγής της πτέρυγας έτσι ώστε να πραγματοποιηθεί η ζητούμενη μορφοποίηση της. Για να επιτευχθεί αυτό γίνεται χρήση της θεωρίας της ελαστικής γραμμής.

Το πρώτο βήμα είναι να περαστεί από τα σημεία της πάνω μισής αεροτομής μία δευτεροβάθμια εξίσωση η οποία και θα χρησιμοποιηθεί μετέπειτα στην γνωστή εξίσωση της ελαστικής γραμμής.



Διάγραμμα 7 Παρεμβολή στα σημεία του άνω μισού της πτέρυγας

Η εξίσωση της ελαστικής γραμμής είναι η γνωστή:

$$EIw'' = -Fx \quad (5.1)$$

Όπου προφανώς έχει γίνει αντικατάσταση της ροπής M_y με την αντίστοιχη δύναμη που θα ασκηθεί στην πτέρυγα επί τον μοχλοβραχίονα της.

Εν συνεχεία γίνονται οι απαιτούμενες ολοκληρώσεις αφού πρώτα επιλυθεί η εξίσωση ως προς w'' . Επιπλέον, για να υπολογιστούν οι αναγκαίοι συντελεστές που προκύπτουν κατά την ολοκλήρωση τέθηκαν οι παρακάτω οριακές συνθήκες.

- Για $x = 0$ είναι $w = 0\text{mm}$ όπου θεωρείται δηλαδή ότι το αρχικό σημείο της πτέρυγας δεν θα υποστεί κάποια μετατόπιση.
- Για $x = L$ είναι $w = 4\text{mm}$ όπου L το τελευταίο σημείο της πτέρυγας και 4mm η επιθυμητή μετατόπιση του.

Σημειώνεται σε αυτό το σημείο πως η ροπή αδράνειας της πτέρυγας λήφθηκε από το σχεδιαστικό πρόγραμμα Solidworks ίση με $I = 0,35\text{kgm}^2$.

Επιπλέον το ειδικό μέτρο ελαστικότητας του υλικού τέθηκε ίσο με $E = 1.9\text{GPa}$.

Κάνοντας τώρα μία σειρά από πράξεις συνδυάζοντας την εξίσωση παρεμβολής των σημείων με την ολοκληρωμένη εξίσωση της ελαστικής γραμμής προκύπτει η τελική δύναμη που είναι και το ζητούμενο.

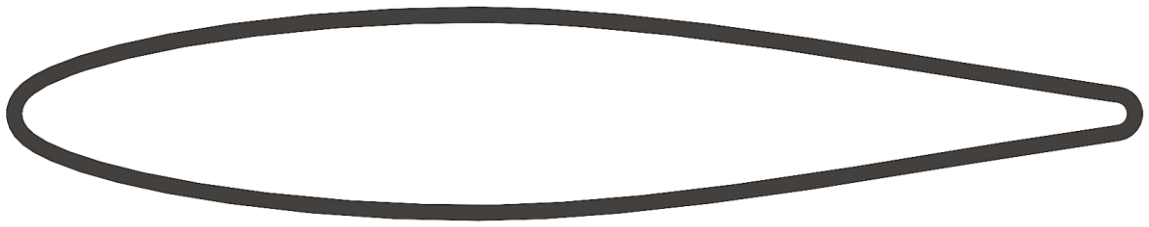
Στην προκειμένη περίπτωση αυτή προκύπτει ίση με: $F = 491\text{N}$.

5.3 Μελέτη Λυγισμού με χρήση 'Beam Elements'

Συνεχίζοντας την μελέτη πρέπει να ελεγχθεί η πτέρυγα ως προς το ποια τμήματα της είναι πιο επικίνδυνα για εμφάνιση του φαινομένου του λυγισμού κατά την διάρκεια της μορφοποίησης.

Έχοντας ήδη πραγματοποιήσει προσομοιώσεις στην πτέρυγα που παρουσιάστηκαν στο κεφάλαιο 3, είναι γνωστό πως με την συγκεκριμένη διαμόρφωση του πάχους της πτέρυγας μεταξύ εξωτερικής επιφάνειας και κοίλης γεωμετρίας, δεν εμφανίζονται θέματα λυγισμού. Παρόλα αυτά είναι μια μελέτη η οποία αξίζει να γίνει για να γίνει αντιληπτό εάν μελλοντικά υπάρχει η δυνατότητα της αφαίρεσης για χωροταξικούς λόγους επιπλέον υλικού από κάποια σημεία της πτέρυγας ενώ επιπλέον και από ποια σημεία αυτό δεν θα είναι εφικτό.

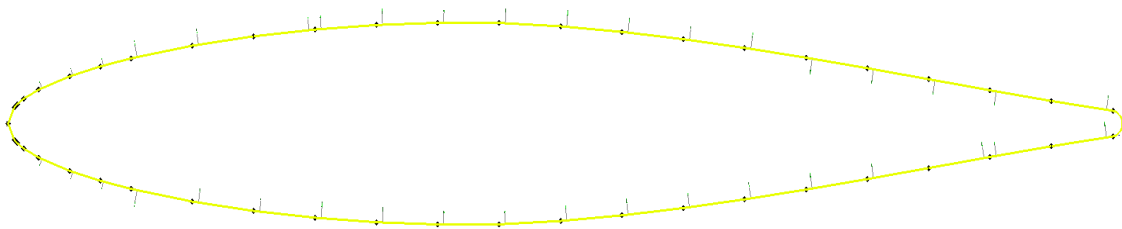
Σε πρώτη φάση δημιουργήθηκε ένα θεωρητικό μοντέλο στο Solidworks για να γίνει πιο εύκολα κατανοητή η γεωμετρία της πτέρυγας στην οποία γίνεται αναφορά και θα μελετηθεί στην συνέχεια. Αυτή παρουσιάζεται στην παρακάτω εικόνα.



Εικόνα 39 Διακριτοποίηση Πτέρυγας με χρήση 'Beam Elements'

Η μελέτη θα πραγματοποιηθεί στο περιβάλλον του προγράμματος Ansys. Ξεκινώντας φορτώνονται στο πρόγραμμα τα διάφορα σημεία της πτέρυγας και μέσω αυτών στο περιβάλλον σχεδίασης δημιουργείται ένα γραμμικό σώμα το οποίο και χρησιμοποιείται στην συνέχεια της μελέτη. Σημειώνεται πως για να λειτουργήσει η μελέτη των 1D 'Beam Elements' στο Ansys, θα πρέπει να γίνει η επιλογή της 3D ανάλυσης και όχι της 2D όπως κατά το 3^ο κεφάλαιο της εργασίας.

Το προαναφερθέν γραμμικό σώμα παρουσιάζεται στην παρακάτω εικόνα.

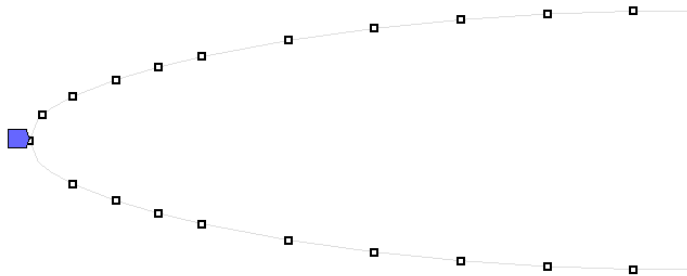


Εικόνα 40 Γραμμικό Σώμα προς Μελέτη

Περνώντας τώρα στο περιβάλλον προσομοίωσης του Ansys, μπορεί να ξεκινήσει η επιθυμητή προσομοίωση έχοντας ορίσει βέβαια και το αναγκαίο πλέγμα. Αυτή γίνεται με τις γνωστές συνθήκες μετατόπισης όπως αυτές έχουν περιγράψει εκτενώς σε προηγούμενα τμήματα της εργασίας.

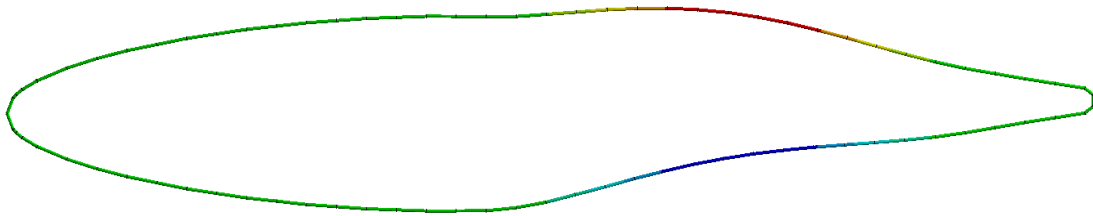
Ως οριακή συνθήκη, τέθηκε πάκτωση στο μπροστά τμήμα της πτέρυγας, καθώς εκεί δεν είναι επιθυμητό να υπάρξει μορφοποίηση της. Αυτή παρουσιάζεται και στην παρακάτω εικόνα.

■ Fixed Support



Εικόνα 41 Οριακή Συνθήκη Προσομοίωσης

Εκτελώντας την προσομοίωση προκύπτει το παρακάτω αποτέλεσμα.



Εικόνα 42 Μελέτη Λυγισμού

Στο παραπάνω αποτέλεσμα παρατηρείται πως το ενδεχόμενο λυγισμού κατά την μορφοποίηση της πτέρυγας εάν εμφανιστεί θα είναι στην περιοχή γύρω από περίπου το 70% της πτέρυγας. Επομένως, είναι κατανοητό πως σε αυτό το τμήμα πρέπει να διατηρηθούν τα πάχη της πτέρυγας όπως είχαν τεθεί και κατά την πραγματοποίηση των τεστ του κεφαλαίου 3 καθώς σε περίπτωση αφαίρεσης μεγάλου τμήματος υλικού από αυτό το τμήμα θα κινδυνεύσει η πτέρυγα από το φαινόμενο του λυγισμού. Για επιπλέον ασφάλεια ενδέχεται να τοποθετηθούν πάνω στην επιφάνεια της πτέρυγας ορισμένες διαμορφώσεις μορφής βάσης, οι οποίες εκτός από την λειτουργικότητα που θα δώσουν κατά τον αναλυτικό σχεδιασμό, καθώς θα στηρίζονται σε αυτές διάφορα κομμάτια του

μηχανισμού, θα βοηθάνε και στην εξασφάλιση του ότι η πτέρυγα θα είναι στιβαρή στα συγκεκριμένα σημεία και ανεπηρέαστη από την μορφοποίηση.

Επιπλέον όμως, είναι αντιληπτό πως στα υπόλοιπα τμήματα της πτέρυγας είναι δυνατό άφοβα να μεταβληθεί το πάχος ανάμεσα σε εξωτερική γεωμετρία και κοίλης γεωμετρίας όπως είναι αναγκαίο για να χωρέσουν όλα τα απαιτούμενα τεμάχια του μηχανισμού που θα προκύψει ότι χρειάζονται κατά την διαδικασία του αναλυτικού σχεδιασμού στην συνέχεια.

Η μελέτη τώρα θα συνεχιστεί με την πραγματοποίηση στο επόμενο υποκεφάλαιο μιας προκαταρκτικής μονογραμμικής σχεδίασης της μορφής που είναι επιθυμητό να έχει ο μηχανισμός.

5.4 Μονογραμμική Σχεδίαση Μηχανισμού

Έχοντας πλέον υπολογίσει την απαιτούμενη δύναμη για την πραγματοποίηση της επιθυμητής παραμόρφωσης καθώς και έχοντας ελέγξει το ενδεχόμενο λυγισμού της πτέρυγας, γίνεται πλέον μία προκαταρκτική μονογραμμική σχεδίαση της μορφής που θα έχει ο μηχανισμός.

Για να πραγματοποιηθεί αυτή θα γίνει χρήση αρχικά της τωρινής κοίλης γεωμετρίας. Αυτό το οποίο πρέπει καταρχάς να γίνει αντιληπτό είναι το έντονο χωροταξικό πρόβλημα το οποίο δεδομένα θα παρουσιαστεί σε μία κατασκευή αυτής της μορφής και ειδικά στο τμήμα του χείλους εκφυγής, όπου θα πρέπει να γίνεται η μορφοποίηση, καθώς η πτέρυγα στενεύει ακόμα και σε μεγέθη κάτω των 10mm . Είναι επομένως αναγκαίο να γίνει μία προκαταρκτική διαστασιολόγηση του μηχανισμού έτσι ώστε να τεθεί μία βάση για τον μετέπειτα αναλυτικό σχεδιασμό όπου πλέον θα πρέπει να χωρέσουν στην πτέρυγα όλα τα απαιτούμενα κομμάτια, όπως τα συνδεδεμένα μέλη του μηχανισμού μαζί με όλα τα απαιτούμενα ρουλεμάν και λοιπά στοιχεία που θα τον συνοδεύουν.

Για την πραγματοποίηση της προαναφερθείσας προκαταρκτικής σχεδίασης θα γίνει χρήση του Solidworks ενώ για να αναπαρασταθούν οι κινήσεις που θα δίνει η εκάστοτε σχεδίαση θα γίνει χρήση της λειτουργίας διάταξης στο περιβάλλον συναρμολογήματος του σχεδιαστικού προγράμματος Solidworks.

5.4.1 Αρχική Ιδέα

Ξεκινώντας την σχεδίαση η πρώτη προσέγγιση είναι ο μηχανισμός που παρουσιάζεται στην παρακάτω εικόνα.



Εικόνα 43 1η Εναλλακτική Σχεδίαση Μηχανισμού

Όσον αφορά την κίνηση του, αυτή θα γινόταν μέσω ενός βηματικού μοτέρ το οποίο και θα περιστρεφε για όσες μοίρες χρειαζόταν το 1° συνδετικό μέλος ώστε να τραβηχτεί και να σπρωχτεί αντίστοιχα το κάτω μέρος του κάθετου 3° συνδετικού μέλους για να δώσει την κίνηση προς τα κάτω και προς τα πάνω του τελευταίου κάθετου τμήματος του μηχανισμού. Επιπλέον, το τελευταίο τμήμα του μηχανισμού είναι προσαρμοσμένο έτσι ώστε να παραμένει μόνιμα κάθετο στο 3° συνδετικό μέλος ενώ επίσης για να γίνει η ζητούμενη κίνηση πρέπει να διασφαλιστεί πως το πάνω τμήμα του θα παραμένει μόνιμα στην ίδια θέση και η μόνη κίνηση που θα μπορεί να κάνει θα είναι αυτή της περιστροφής. Σημειώνεται επιπλέον πως το τελικό τμήμα του μηχανισμού θα είναι προσαρμοσμένο πάνω στο χείλος εκφυγής έτσι ώστε να δημιουργεί μια γεωμετρία τύπου «σάντουιτς» έτσι ώστε να παρασύρει κατά την κίνηση του το χείλος εκφυγής προς τα πάνω και προς τα κάτω.

Παρακάτω παρουσιάζεται και σε εικόνα η παραπάνω αναφερόμενη κίνηση.



Εικόνα 44 Κίνηση Μηχανισμού

Παρόλα αυτά, η συγκεκριμένη σχεδίαση του μηχανισμού παρουσίαζε κάποια αρνητικά τα οποία οδηγούν στην αναζήτηση μίας διαφορετικής σχεδίασης. Συγκεκριμένα, καταρχάς λόγω της απαιτούμενης περιστροφής του μηχανισμού ενδέχεται να παρουσιαστούν χωροταξικά προβλήματα στο εσωτερικό της πτέρυγας. Επιπλέον, όπως φαίνεται και στην παραπάνω εικόνα θα παρουσιαζόταν και το πρόβλημα εμφάνισης νεκρών σημείων κατά την κίνηση του μηχανισμού κάτι το οποίο δεν είναι επιθυμητό να συμβεί καθώς θα φέρει δυσκολίες κατά την κίνηση του μηχανισμού.

5.4.2 Εναλλακτικές στον Σχεδιασμό

Στην συνέχεια, θα παρουσιαστούν σύντομα κάποιες μετέπειτα προσπάθειες μετατροπής του σχεδιασμού οι οποίες όμως δεν έδιναν την ζητούμενη μορφή της κίνησης, είτε εφαρμόζοντας κίνηση τύπου περιστροφής είτε κίνηση τύπου τραβήγματος στο πρώτο συνδετικό μέλος.



Εικόνα 45 2η Εναλλακτική Σχεδίαση του Μηχανισμού

Η συγκεκριμένη σχεδίαση προφανώς δεν μπορούσε να λειτουργήσει με δυνατότητα περιστροφής λόγω της μορφής σύνδεσης του 1^{ου} συνδετικού μέλους με το επόμενο ενώ επιπλέον στην περίπτωση λειτουργίας με τράβηγμα, μέσω κάποιου ενδεχόμενου ένσφαιρου κοχλία κίνησης, ενώ επιπλέον η κίνηση του τελικού συνδετικού μέλους που δίνει την μορφοποίηση δεν πιάνει τις προδιαγραφές που τέθηκαν.

Η επόμενη εναλλακτική σχεδίαση είναι αυτή που παρουσιάζεται στην παρακάτω εικόνα.



Εικόνα 46 3η Εναλλακτική Σχεδίαση του Μηχανισμού

Ο συγκεκριμένος σχεδιασμός απορρίφτηκε άμεσα καθώς δεν έδινε με καμία μορφή εισόδου της κίνησης την απαιτούμενη τελική έξοδο για το τελευταίο, προσαρμοσμένο στο χείλος εκφυγής, συνδετικό μέλος του μηχανισμού.

5.4.3 Τελικός Σχεδιασμός

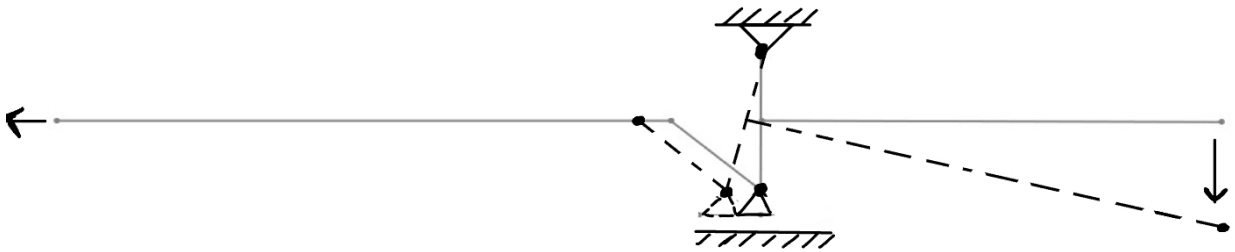
Μετά από τις διάφορες δοκιμές που περιεγράφηκαν στο προηγούμενο υποκεφάλαιο της εργασίας προκύπτει ο τελικός σχεδιασμός της παρακάτω μορφής.



Εικόνα 47 Τελική Σχεδίαση Μηχανισμού

Διατηρώντας την καθετότητα του τελευταίου τμήματος του 3^{ου} συνδετικού μέλους καθώς και τα υπόλοιπα στοιχεία συνδέσεων όπως αυτά παρουσιάστηκαν στο προηγούμενο υποκεφάλαιο αυτής της ενότητας, η συγκεκριμένη σχεδίαση δίνει την δυνατότητα, όπως θα παρουσιαστεί και στην συνέχεια μέσω εικόνας, να πραγματοποιηθεί η επιθυμητή κίνηση του τελικού συνδετικού μέλους με ένα τράβηγμα του 1^{ου} συνδετικού μέλους μέσω κάποιου ένσφαιρου κοχλίου κίνησης. Με αυτό τον τρόπο αποφεύγεται επιπλέον η εμφάνιση κινδύνων νεκρών σημείων όπως στην αρχή με την περιστροφική κίνηση του μηχανισμού.

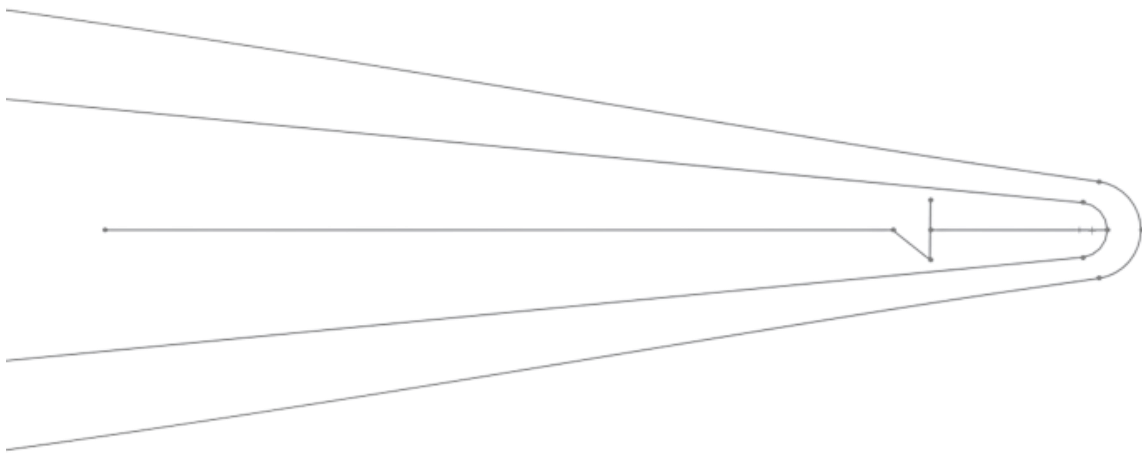
Η κίνηση του μηχανισμού παρουσιάζεται ενδεικτικά με μορφή σκαριφήματος στην παρακάτω εικόνα, κατά την κίνηση του τελευταίου συνδετικού μέλους προς τα κάτω. Επιπλέον, παρουσιάζονται και οι απαιτούμενες στηρίξεις που θα πρέπει να εφαρμοστούν για την λειτουργία του. Το διάστημα της κίνησης αυτής πρέπει να είναι 4mm, όσα δηλαδή αναφέρθηκε εξαρχής πως πρέπει να μετακινείται προς τα πάνω και προς τα κάτω η πτέρυγα.



Εικόνα 48 Κίνηση Τελικού Μηχανισμού

Στην συνέχεια αυτό που πραγματοποιείται είναι η εισαγωγή του παραπάνω μηχανισμού στο σχέδιο της πτέρυγας για να γίνουν αντιληπτές κάποιες ενδεχόμενες αναγκαίες τροποποιήσεις στα μήκη των συνδετικών μελών του μηχανισμού.

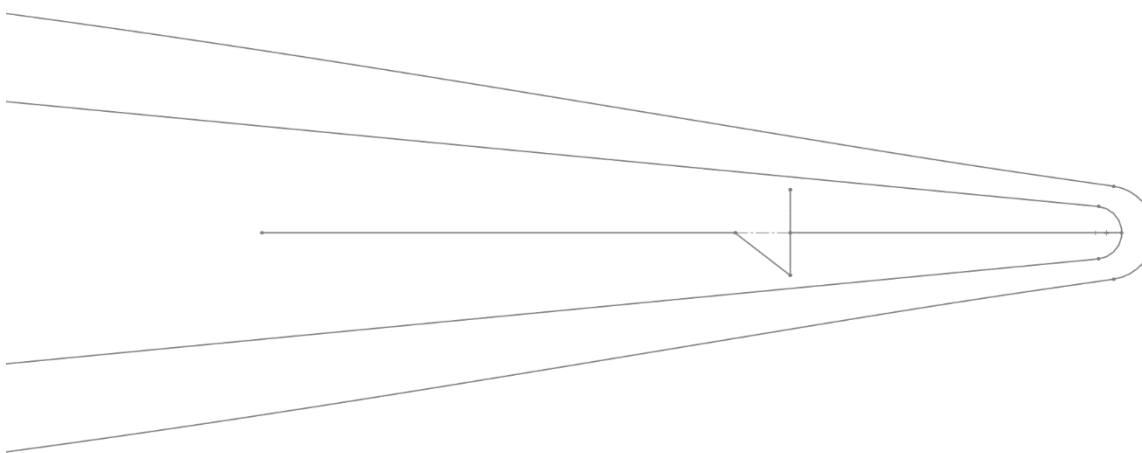
Αρχικά προκύπτει η παρακάτω εφαρμογή του μηχανισμού στην διαμόρφωση της πτέρυγας.



Εικόνα 49 1η Περίπτωση Εφαρμογής στην Πτέρυγα

Παρόλα αυτά, βλέποντας τον διαθέσιμο χώρο στο χείλος εκφυγής και συνυπολογίζοντας τον απαιτούμενο χώρο που θα χρειαστεί για τα κομμάτια του σχεδιασμού όπως ρουλεμάν, γραμμικοί οδηγοί, άξονες καθώς και το πάχος των ίδιων των συνδετικών μελών είναι εύκολα κατανοητή η ανάγκη της αύξησης του μήκους του τελευταίου συνδετικού μέλους του μηχανισμού έτσι ώστε να αυξηθεί ο διαθέσιμος χώρος εργασίας.

Η αλλαγή αυτή παρουσιάζεται στην παρακάτω εικόνα.



Εικόνα 50 Τελική Εφαρμογή στην Πτέρυγα

Με τα παραπάνω μήκη των συνδετικών μελών εξακολουθεί να υπάρχει το επιθυμητό αποτέλεσμα στην κίνηση του μηχανισμού ενώ επιπλέον υπάρχει και ο απαιτούμενος χώρος για να πραγματοποιηθεί ο μετέπειτα αναλυτικός σχεδιασμός του μηχανισμού. Συγκεκριμένα, αναφέρεται ενδεικτικά πως στον συγκεκριμένο διαθέσιμο χώρο μπορεί να χωρέσει ρουλεμάν μέχρι και εξωτερικών διαμέτρων 3.5mm – 4mm κάτι που πριν δεν θα ήταν εφικτό.

Σημειώνεται επιπλέον πως το μήκος του 1^{ου} συνδετικού μέλους στο οποίο και θα πιαστεί το «βαγόνι» του ένσφαιρου κοχλίου κίνησης ενδέχεται εάν κριθεί απαραίτητο να μεταβληθεί ελαφρώς ως προς το μήκος του για να συνεργάζονται σωστά όλα τα κομμάτια του μηχανισμού.

Ολοκληρώνοντας πλέον την προκαταρκτική σχεδίαση του μηχανισμού μπορεί να ξεκινήσει η διαδικασία του αναλυτικού του σχεδιασμού.

Κεφάλαιο 6. Αναλυτικός Σχεδιασμός

Περνώντας πλέον στο τελικό κομμάτι της εργασίας που αφορά τον αναλυτικό σχεδιασμό του μηχανισμού πρέπει καταρχάς να ελεγχθεί ο διαθέσιμος χώρος που υπάρχει στην κατασκευή για τα διάφορα κομμάτια και εν συνεχεία να αναζητηθούν σε καταλόγους κατασκευαστών προϊόντα τα οποία να πληρούν τις απαιτούμενες προδιαγραφές. Για να γίνει όμως αυτό, πρέπει μέσω του μοντέλου να ελεγχθούν και οι απαιτούμενες μετατοπίσεις των μελών του μηχανισμού για να προκύψουν τελικά τα ζητούμενα 4mm μορφοποίησης προς τα πάνω και προς τα κάτω αντίστοιχα.

6.1 Εξήγηση Συνολικής Κίνησης του Μηχανισμού

Η γενική μορφή της τελικής κίνησης του μηχανισμού παραμένει όπως έχει περιγραφεί στο προηγούμενο κεφάλαιο της εργασίας. Παρόλα αυτά για να πραγματοποιηθεί τελικά αυτή η κίνηση απαιτείται μία σειρά από υποστηρικτικά κομμάτια. Συγκεκριμένα η βάση όλης της κίνησης είναι ένα βηματικό μοτέρ το οποίο μέσω κατάλληλου συνδέσμου θα συνδέεται με έναν ένσφαιρο κοχλία κίνησης. Εν συνεχεία, μέσω κατάλληλης γεωμετρίας τύπου «βαγονιού» που θα προσαρμοστεί στην φλάντζα του ένσφαιρου κοχλία κίνησης και σε συνεργασία με κατάλληλο γραμμικό οδηγό, για την εξασφάλιση της αποφυγής της περιστροφής του περικοχλίου, θα προκύψει η ζητούμενη ευθύγραμμη κίνηση. Τέλος, το προσαρμοσμένο «βαγόνι» θα συνδεθεί, πιθανότατα με χρήση κοχλία, με το 1^ο συνδετικό μέλος του τελικού μηχανισμού για να μεταφέρει με αυτό τον τρόπο τελικά την ζητούμενη κίνηση μέχρι και το χείλος εκφυγής. Σημειώνεται πως βάση των μικρών μεγεθών καθώς και των μικρών ενεργειακών απαιτήσεων της κατασκευής, τα κομμάτια όπως το βηματικό μοτέρ θα τροφοδοτούνται από την κεντρική μπαταρία του αεροσκάφους η οποία θα είναι υπεύθυνη και για τις υπόλοιπες λειτουργίες του.

Τέλος, σχετικά με την απαιτούμενη κίνηση του μηχανισμού για να πραγματοποιηθεί η μετατόπιση των 4mm, ο ένσφαιρος κοχλίας κίνησης θα πρέπει να βιδώνεται κατά 2.5mm ενώ αντίστοιχο περιθώριο κίνησης θα πρέπει να επιτρέπει και η ράγα του γραμμικού οδηγού που θα προσαρμοστεί στο κάτω τμήμα του 3^{ου} συνδετικού μέλους του μηχανισμού, το οποίο θα πρέπει να μπορεί στο πάνω μέρος του να περιστρέφεται χωρίς να μετατοπίζεται ενώ στο κάτω τμήμα να κινείται προς τα μπροστά και προς τα πίσω κατά το σπρώξιμο ή το τράβηγμα που θα δημιουργεί αντίστοιχα ο ένσφαιρος κοχλίας κίνησης, εκτελώντας μία κίνηση η οποία προσομοιώνει την κίνηση ενός ανάποδου εκκρεμούς. Επιπλέον, όπου χρειαστεί θα τοποθετηθούν βάσεις για να τοποθετηθούν επάνω τα εξαρτήματα του μηχανισμού και αυτές στην συνέχεια θα κολληθούν πάνω στην πτέρυγα.

Σε επόμενο τμήμα της εργασίας θα γίνει ο υπολογισμός και η επιλογή των διάφορων τεμαχίων που αναφέρθηκαν παραπάνω από καταλόγους κατασκευαστών, ενώ τα συνδεδετικά μέλη του μηχανισμού θα είναι κατασκευής του εργαστηρίου.

6.2 Παρουσίαση Απαιτούμενων Τεμαχίων

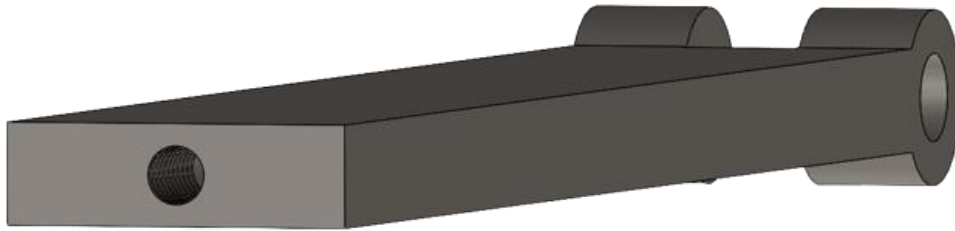
Στο παρών υποκεφάλαιο της εργασίας θα γίνει μία επιγραμματική παρουσίαση των απαιτούμενων τεμαχίων για τον σχεδιασμό του μηχανισμού.

- **Συνδεδετικά Μέλη Μηχανισμού**
Κατασκευής και σχεδίασης του εργαστηρίου κομμάτια που θα δημιουργήσουν τον μηχανισμό ο οποίος θα δώσει την ζητούμενη μορφοποίηση στην πτέρυγα.
- **Ρουλεμάν**
Χρησιμοποιούνται για την δημιουργία της απαιτούμενης κίνησης μεταξύ των συνδεδετικών μελών του μηχανισμού. Στην εσωτερική διάμετρο αυτών θα προσαρμοστούν άξονες για να εξασφαλιστεί η διατήρηση της σύνδεσης των συνδεδετικών μελών του μηχανισμού καθώς και για την σύνδεση με τους γραμμικούς οδηγούς.
- **Βηματικό Μοτέρ**
Υπεύθυνο για την κίνηση του ένσφαιρου κοχλίας κίνησης και κατά επέκταση του υπόλοιπου μηχανισμού.
- **Μπαταρία**
Υπεύθυνη για την τροφοδοσία του αεροσκάφους καθώς και των κομματιών του μηχανισμού που απαιτούν πρόσδοση ενέργειας.
- **Ένσφαιρος Κοχλίας Κίνησης**
Υπεύθυνος για την κίνηση του μηχανισμού μετατρέποντας την περιστροφική κίνηση του βηματικού μοτέρ σε ευθύγραμμη. Επιπλέον πάνω στην φλάντζα του θα προσαρμοστεί κατάλληλη διαμόρφωση μορφής «βαγονιού» για να επιτευχθεί η επιθυμητή κίνηση του μηχανισμού.
- **Σύνδεσμος μεταξύ Βηματικού Μοτέρ και Ένσφαιρου κοχλίας κίνησης**
Αναγκαίο για να μπορέσει το Βηματικού μοτέρ να λειτουργεί σωστά μαζί με τον ένσφαιρο κοχλίας κίνησης.
- **Γραμμικοί Οδηγοί**
Αναγκαίοι για την εξασφάλιση ευθύγραμμης κίνησης των συνδεδετικών μελών του μηχανισμού όπου αυτό απαιτείται. Επιπλέον, απαιτούνται για να διασφαλιστεί η ευθύγραμμη κίνηση του περικοχλίου του ένσφαιρου κοχλίας κίνησης μέσω του προσαρμοσμένου στην φλάντζα αυτού βαγονιού.

6.3 Σχεδιασμός των Συνδετικών Μελών του Μηχανισμού

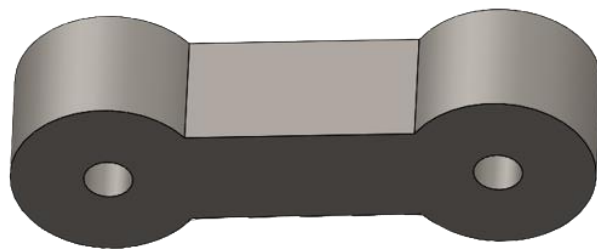
Η σχεδίαση των συνδετικών μελών του μηχανισμού θα πραγματοποιηθεί με χρήση του λογισμικού Solidworks. Η σχεδίαση θα βασιστεί στον παραπάνω αρχικό μονογραμμικό δισδιάστατο σχεδιασμό που έγινε στο προηγούμενο κεφάλαιο. Επιπλέον, όσον αφορά το πάχος και το πλάτος των συνδετικών μελών αυτό θα επηρεαστεί από χωροταξικά ζητήματα καθώς και από τα φορτία τα οποία πρέπει να επαληθευτεί πως μπορούν να αντέξουν. Οι αναλυτικές τους διαστάσεις θα παρουσιαστούν στα σχέδια τους που βρίσκονται στο παράρτημα στο τέλος της εργασίας.

Παρουσιάζονται παρακάτω κάποιες ενδεικτικές εικόνες του σχεδιασμού.



Εικόνα 51 1ο Συνδετικό Μέλος του Μηχανισμού

Στην παραπάνω διαμόρφωση φαίνεται η μορφή δίχαλου που δίνεται στο συνδετικό μέλος για καλύτερη κατανομή των φορτίων ενώ επιπλέον στο πίσω μέρος του παρουσιάζεται και η απαιτούμενη τρύπα όπου και θα πραγματοποιηθεί η σύνδεση του μηχανισμού με το βαγόνι του ένσφαιρου κοχλία κίνησης. Η βίδα αυτή θα είναι μεγέθους M2X8.



Εικόνα 52 2ο Συνδετικό Μέλος του Μηχανισμού

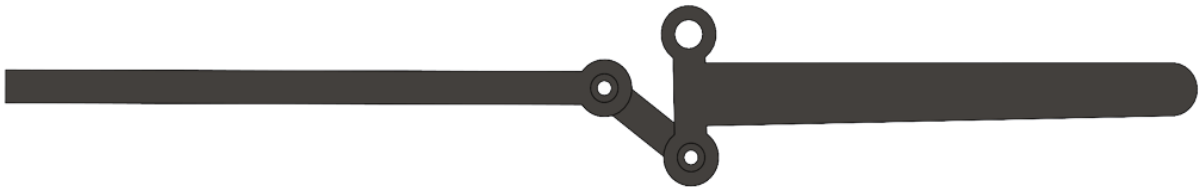
Το συγκεκριμένο συνδετικό μέλος θα τοποθετηθεί σε κατάλληλη γωνία στον μηχανισμό με στόχο να συνδέει ουσιαστικά τα άλλα δύο συνδετικά μέλη μεταξύ τους. Το κάτω τμήμα του, θα κινείται πάνω σε γραμμικό οδηγό μαζί με το τρίτο συνδετικό μέλος που θα παρουσιαστεί στην συνέχεια ενώ το πάνω τμήμα του θα κινείται προς τα μπροστά και προς τα πίσω, ανάλογα την κίνηση του ένσφαιρου κοχλία κίνησης, μαζί με το πρώτο συνδετικό μέλος που παρουσιάστηκε παραπάνω. Επιπλέον, η διάμετρος της τρύπας είναι ίση με 1.5mm και μικρότερη σε σχέση με τα άλλα τύπου δίχαλου συνδετικά μέλη καθώς σε αυτό δεν θα μπει ρουλεμάν αλλά θα προσαρμοστεί σφιχτά πάνω του ο άξονας.



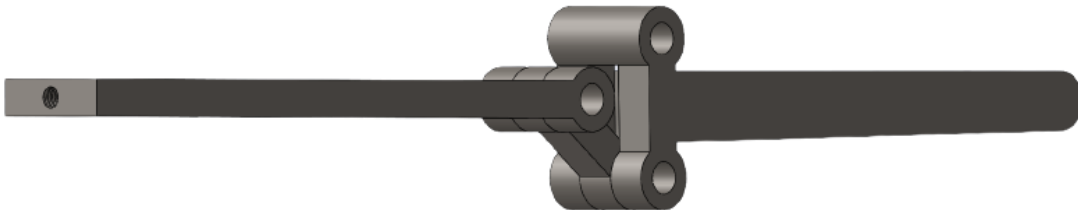
Εικόνα 53 3ο Συνδετικό Μέλος του Μηχανισμού

Το συγκεκριμένο συνδετικό μέλος θα τοποθετηθεί κατακόρυφα όπως φαίνεται και στην παραπάνω εικόνα. Παρόλα αυτά, το κάτω τμήμα του θα συνδεθεί κατάλληλα με γραμμικό οδηγό έτσι ώστε να μπορεί να κάνει μία κίνηση τύπου ανάποδου εκκρεμούς όπου το πάνω τμήμα θα μπορεί να κινηθεί μόνο περιστροφικά ενώ το κάτω θα κινείται προς τα μπροστά και προς τα πίσω ανάλογα με την κίνηση του έσφαιρου κοχλία κίνησης. Έτσι, η γεωμετρία του συνδετικού μέλους που καταλήγει στο τέλος της πτέρυγας, που είναι φτιαγμένη έτσι ώστε να είναι μόνιμα κάθετη στο συνδετικό μέλος, θα παρασύρει κατά την κίνηση του μηχανισμού την άκρη της πτέρυγας προς τα πάνω και προς τα κάτω αντίστοιχα για να δώσει την ζητούμενη μορφοποίηση της πτέρυγας.

Παρουσιάζεται στην συνέχεια η διαμόρφωση σύνδεσης των συνδετικών μελών μεταξύ τους χωρίς την παρουσία των αναγκαίων συνοδευτικών τεμαχίων, όπως ρουλεμάν και οδηγοί.



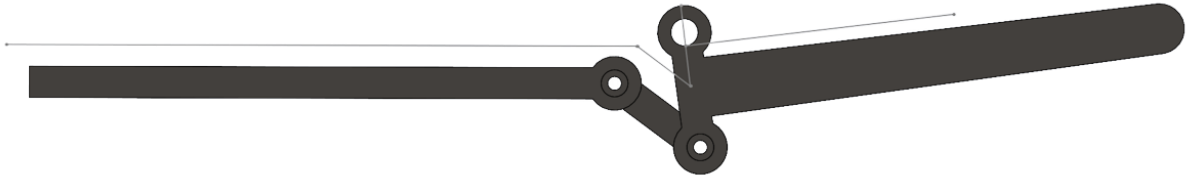
Εικόνα 54 Πρόοψη Μηχανισμού



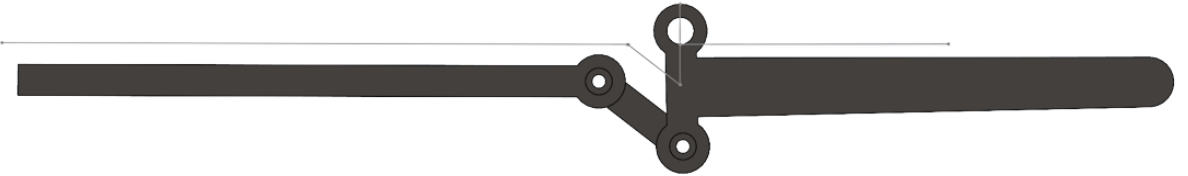
Εικόνα 55 Ισομετρική όψη Μηχανισμού

Στις παραπάνω εικόνες είναι εμφανή όσα περιεγράφηκαν προηγουμένως σχετικά με τον τρόπο σύνδεσης των συνδετικών μελών μεταξύ τους. Για να γίνουν αντιληπτά και όσα

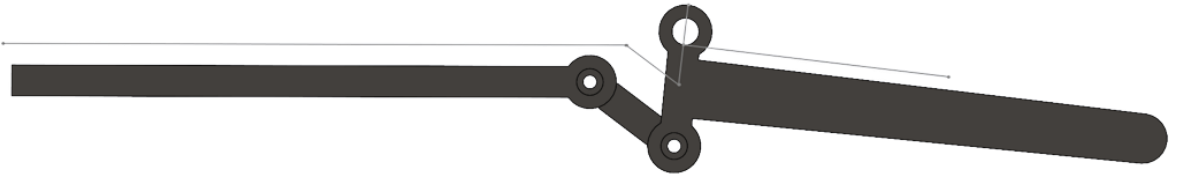
αναφέρθηκαν σχετικά με την κίνηση του, θα χρησιμοποιηθεί το περιβάλλον Διάταξης - Συναρμολογήματος του σχεδιαστικού προγράμματος Solidworks καθώς και η μονογραμμική σχεδίαση του μηχανισμού που πραγματοποιήθηκε στο προηγούμενο κεφάλαιο της εργασίας.



Εικόνα 56 Κίνηση προς τα πάνω του Μηχανισμού



Εικόνα 57 Ουδέτερη Θέση του Μηχανισμού



Εικόνα 58 Κίνηση προς τα κάτω του Μηχανισμού

Όπως φαίνεται λοιπόν στις παραπάνω εικόνες τραβώντας ή σπρώχνοντας το 1^ο συνδετικό μέλος του μηχανισμού και με το 3^ο συνδετικό μέλος να κάνει μία κίνηση τύπου ανάποδου εκκρεμούς όπως αναφέρθηκε και παραπάνω, προκύπτει η επιθυμητή τελική κίνηση η οποία δεδομένου ότι το 3^ο συνδετικό μέλος θα είναι προσαρμοσμένο στο χείλος εκφυγής της πτέρυγας, θα δίνει την επιθυμητή μορφοποίηση της.

Αυτό που πρέπει να γίνει πλέον είναι ο υπολογισμός των δυνάμεων που ασκούνται στα διάφορα συνδετικά μέλη και συγκεκριμένα στα σημεία σύνδεσης τους για να πραγματοποιηθούν ορισμένα στατικά τεστ σε καθένα από αυτά για να ελεγχθεί εάν όντως μπορούν να δεχτούν αυτά τα φορτία. Οι δυνάμεις αυτές θα φανούν χρήσιμες και στην συνέχεια καθώς είναι αναγκαίες για να επιλεγούν σωστά τα διάφορα απαιτούμενα κομμάτια από τους καταλόγους των κατασκευαστών.

Οι τιμές τους υπολογίστηκαν κατά την εφαρμογή στην άκρη του συνδετικού μέλους 3, που εφαρμόζεται στο χείλος εκφυγής, της απαιτούμενης δύναμης 491N που χρειάζεται για την μορφοποίηση. Για να μην προκύψουν αποτελέσματα που οδηγούν σε απειρίες κατά τον έναν άξονα, θεωρήθηκε πως η δύναμη εφαρμόζεται υπό την κλίση που δημιουργεί κατά την παραμόρφωση. Κατά αυτόν τον τρόπο προκύπτουν λογικά αποτελέσματα δυνάμεων και στους δύο άξονες των φορέων κάτι που δεν θα συνέβαινε αν για παράδειγμα θεωρούταν πως η δύναμη ασκείται απλώς κάθετα στο χείλος εκφυγής.

Κάνοντας όλες τις απαιτούμενες πράξεις λαμβάνονται τα αποτελέσματα που θα χρησιμοποιηθούν σε αυτή την φάση στα στατικά τεστ. Σημειώνεται πως όπου υπάρχει διαμόρφωση τύπου δίχαλου θεωρήθηκε πως η δύναμη ισομοιράζεται στις δύο πλευρές. Επίσης, ενδεικτικά αναφέρεται πως οι δυνάμεις σαν τάξη μεγέθους και στους δύο άξονες κυμαίνονται από περίπου τα 50N μέχρι και τα 260N.

Οι προσομοιώσεις έγιναν στο περιβάλλον του Solidworks με χρήση του περιβάλλοντος στατικής μελέτης. Επιπλέον, κατά τον υπολογισμό των φορέων χρειάζονται οριακές συνθήκες οι οποίες παρουσιάζονται παρακάτω.

Ως οριακή συνθήκη στο πρώτο συνδετικό μέλος εφαρμόζεται η σύνδεση του με το βαγόνι του ένσφαιρου κοχλία κίνησης. Παρατίθεται παρακάτω η σχετική εικόνα από το συγκεκριμένο τμήμα του 1^{ου} συνδετικού μέλους.

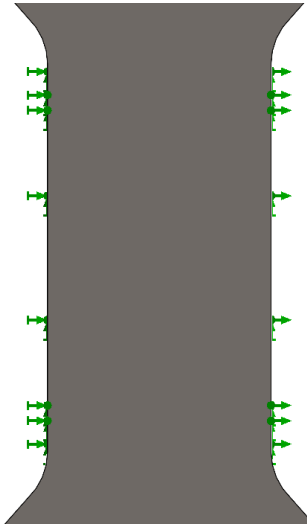


Εικόνα 59 Εφαρμοζόμενη Οριακή Συνθήκη για 1ο Συνδετικό Μέλος

Ως οριακή συνθήκη στο δεύτερο συνδετικό μέλος εφαρμόζεται η παραμονή σε σταθερή θέση του κεντρικού τμήματος του τεμαχίου ενώ παράλληλα τα τμήματα που θα συνδεθούν με τα

υπόλοιπα συνδετικά μέλη αφήνονται να «τραβηχτούν» ελεύθερα προς αντίθετες κατευθύνσεις όπως και θα συνέβαινε κατά την διάρκεια της κίνησης του μηχανισμού.

Παρατίθεται εκ νέου παρακάτω η σχετική εικόνα.



Εικόνα 60 Εφαρμοζόμενη Οριακή Συνθήκη για το 2ο Συνδετικό Μέλος

Παρόμοιας λογικής οριακή συνθήκη με το 2^ο συνδετικό μέλος του μηχανισμού εφαρμόζεται και στο 3^ο.

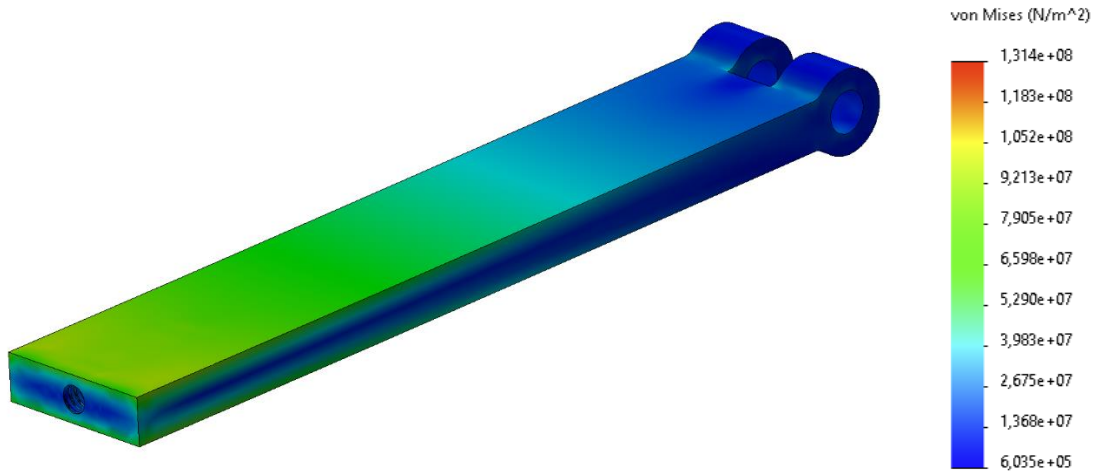
Παρατίθεται εκ νέου παρακάτω η σχετική εικόνα.



Εικόνα 61 Εφαρμοζόμενη Οριακή Συνθήκη για το 3ο Συνδετικό Μέλος

Εφαρμόζοντας πλέον τις υπολογισμένες δυνάμεις στα σημεία σύνδεσης των συνδετικών μελών του μηχανισμού προκύπτουν τα παρακάτω αποτελέσματα.

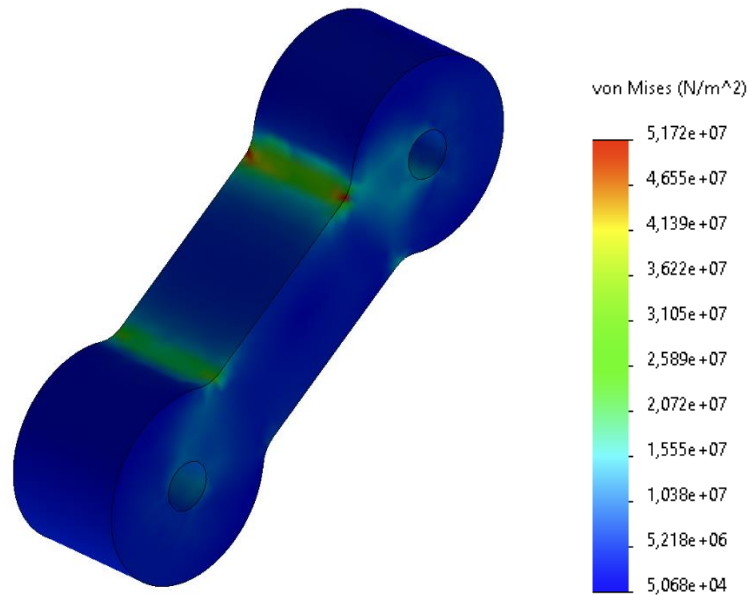
- 1^ο Συνδετικό Μέλος



Εικόνα 62 Αναπτυσσόμενες Τάσεις 1ου Συνδετικού Μέλους

Παρατηρείται καταρχάς πως οι μεγαλύτερες τάσεις αναπτύσσονται γύρω από το τμήμα του μηχανισμού όπου θα εφαρμοστεί άμεσα η δύναμη του έσφαιρου κοχλία κίνησης. Αυτό είναι κάτι αναμενόμενο ενώ επιπλέον παρατηρείται πως η επιλογή για διαμόρφωση τύπου δίχαλου, για να μοιραστεί η αναπτυσσόμενη δύναμη, βοηθάει το τεμάχιο ως προς το να μην αναπτυχθούν πολύ μεγάλες τάσεις στην περιοχή αυτή. Παρόλα αυτά, παντού οι τάσεις είναι τάξης μεγέθους χαμηλότερες των 150MPa και επομένως δεν υπάρχει κίνδυνος πλαστικής παραμόρφωσης του τεμαχίου.

- 2^ο Συνδετικό Μέλος



Εικόνα 63 Αναπτυσσόμενες Τάσεις 2ου Συνδετικού Μέλους

Παρατηρώντας τα αποτελέσματα γίνεται αντιληπτό πως ούτε στο συγκεκριμένο κομμάτι του μηχανισμού εμφανίζεται κίνδυνος πλαστικής παραμόρφωσης, ενώ επίσης οι αναπτυσσόμενες τάσεις είναι και μικρότερες σε σχέση με το 1^ο Συνδετικό μέλος κάτι στο οποίο πιθανόν και να συνεισφέρει η μικρότερη διάμετρος της τρύπας του τεμαχίου που δίνει μεγαλύτερο πάχος μεταξύ της εξωτερικής επιφάνειας της τρύπας και της εξωτερικής επιφάνειας του τεμαχίου.

- 3^ο Συνδετικό Μέλος



Εικόνα 64 Αναπτυσσόμενες Τάσεις 3ου Συνδετικού Μέλους

Προχωρώντας στο 3^ο συνδετικό μέλος θεωρείται ως αναμενόμενο αποτέλεσμα να εμφανιστούν μεγαλύτερες τάσεις σε αυτό σε σχέση με τα προηγούμενα δύο. Πράγματι, στα κρίσιμα σημεία σύνδεσης της τελικής προσαρμοζόμενης διαμόρφωσης στο άκρο του χείλους εκφυγής με το κατακόρυφο τμήμα του μηχανισμού παρατηρείται εμφάνιση κατά την φόρτιση δυνάμεων που πλησιάζουν τα 165Μρα. Επομένως, η παρουσία διαμόρφωσης τύπου δίχαλου κρίνεται επιθυμητή και αναγκαία έτσι ώστε να μπορούν να μοιράζονται καλύτερα οι φορτίσεις. Παρόλα αυτά, οι τιμές τάσεων βρίσκονται εκ νέου σε τάξη μεγέθους στην οποία δεν υπάρχει κίνδυνος πλαστικής παραμόρφωσης.

Τέλος, αναφέρεται ενδεικτικά πως βάση του πλάτους της πτέρυγας σε περίπτωση που κρίνεται επιθυμητό να μειωθεί περαιτέρω η καταπόνηση του μηχανισμού υπάρχει η δυνατότητα της τοποθέτησης ενός ακόμα αντίστοιχου μηχανισμού δίπλα σε αυτόν που σχεδιάζεται. Κατά αυτόν τον τρόπο θα μειωθούν τα φορτία καθώς κάθε μηχανισμός θα χρειάζεται να αναπτύσσει, μέσω του ένσφαιρου κοχλία κίνησης του, μικρότερη δύναμη αφού θα λειτουργούν συνδυαστικά και επομένως και τα τελικά φορτία που θα φτάνουν στον μηχανισμό θα είναι μικρότερα.

Ολοκληρώνοντας πλέον το τμήμα σχεδιασμού των συνδετικών μελών του μηχανισμού, η μελέτη προχωράει στον αναλυτικό του σχεδιασμό.

6.4 Επιλογές από καταλόγους Κατασκευαστών

Σε αυτό το υποκεφάλαιο θα αναλυθούν τα κομμάτια της κατασκευής τα οποία θα χρειαστεί να επιλεγούν από καταλόγους κατασκευαστών. Τα κομμάτια αυτά θα παρουσιαστούν αναλυτικά στην συνέχεια και αφορούν τεμάχια όπως ο ένσφαιρος κοχλίας κίνησης, τα ρουλεμάν, τους γραμμικούς οδηγούς κ.ο.κ.. Αναφέρεται, πως όπου χρειαζόταν έγινε ο απαιτούμενος έλεγχος των τεμαχίων αυτών σχετικά με την αντοχή τους. Αυτού του τύπου έλεγχοι αφορούν επί παραδείγματι τον έλεγχο του ένσφαιρου κοχλία κίνησης σε θέματα όπως ο λυγισμός και το απαιτούμενο βήμα του για την μεταφορά της δύναμη που απαιτείται καθώς και οι κύκλοι ζωής των ρουλεμάν.

Επιπλέον, για καθένα από τα επιλεγμένα τεμάχια θα προστεθεί στο παράρτημα αυτής της εργασίας το σχέδιο του, όπως αυτό δόθηκε από την σελίδα του κατασκευαστή.

6.4.1 Γραμμικοί Οδηγοί

Ξεκινώντας από τους γραμμικούς οδηγούς, αναφέρεται πως χρειάζονται τρεις, δύο που θα είναι υπεύθυνοι για την ευθύγραμμη κίνηση, προς τα μπροστά και προς τα πίσω, του κάτω τμήματος του κατακόρυφου συνδετικού μέλους του μηχανισμού και ένας που θα οδηγεί το «βαγόνι» που είναι συνδεδεμένο στον ένσφαιρο κοχλία κίνησης έτσι ώστε να μπορεί να κινηθεί σωστά το σύνολο του μηχανισμού. Ο λόγος που επιλέχθηκε να τοποθετηθούν δύο οδηγοί στην βάση του κατακόρυφου συνδετικού μέλους είναι για να είναι το μοντέλο συμμετρικό και έτσι να αποφευχθεί η δημιουργία ροπής επάνω στους οδηγούς, κάτι που θα συνέβαινε αν είχε τοποθετηθεί οδηγός μόνο από την μία πλευρά του δίχαλου.

Με βάση το δεδομένο χωροταξικό πρόβλημα στο οποίο έχει γίνει ήδη αναφορά και σε άλλα τμήματα της εργασίας, θα χρειαστεί η επιλογή να γίνει από την σειρά οδηγών μεγέθους μινιατούρας κάποιας εταιρείας. Κάνοντας μία έρευνα αγοράς επιλέγεται η εταιρεία hiwin η οποία εξειδικεύεται στην κατασκευή αυτών των μηχανισμών.

Το πρώτο πράγμα που πρέπει να γίνει είναι να ελεγχθεί το συνολικό ύψος των οδηγών καθώς και τα φορτία τα οποία μπορούν να δεχθούν.

Κάνοντας τους απαιτούμενους ελέγχους επιλέγεται η σειρά MGN της Hiwin. Συγκεκριμένα για το κατακόρυφο συνδετικό μέλος επιλέγεται το μοντέλο MGN02C ενώ για το βαγόνι το MGN03C. Γνωρίζοντας τώρα το πόσο θα πρέπει να μετατοπιστεί ο μηχανισμός, για να δώσει την τελική μορφοποίηση, καθώς και συνυπολογίζοντας το μήκος της ράγας που θα καλυφτεί από το βαγόνι του οδηγού, επιλέγονται τα μήκη των ραγών να είναι στα 30mm για το κατακόρυφο συνδετικό μέλος του μηχανισμού και

50mm για αυτό που θα τοποθετηθεί κάτω από το βαγόνι του ένσφαιρου κοχλία κίνησης για την οδήγηση του.

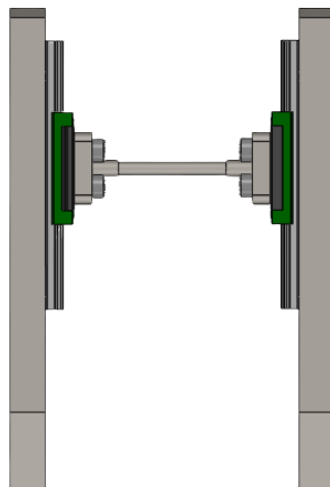
Επιπλέον, δημιουργούνται τρεις βάσεις για να εξασφαλιστεί κατά αυτόν τον τρόπο την ευθύγραμμη τοποθέτηση των οδηγών, ενώ επιπλέον είναι αναγκαίες ειδικά για το τελικό τμήμα του μηχανισμού, καθώς εκεί η πτέρυγα πλέον έχει μορφή με κλίση και δεν θα μπορούσε να τοποθετηθεί σωστά ο οδηγός χωρίς την ύπαρξη βάσης. Ακόμα, τοποθετούνται οι βάσεις για να αποφευχθεί η δημιουργία τρυπών στην επιφάνεια της πτέρυγας και για να διασφαλιστεί ότι η πτέρυγα θα είναι στιβαρή στο τμήμα που δεν πρέπει να γίνει μορφοποίηση, όπως αναφέρθηκε και στο κεφάλαιο 5 για να μην υπάρξει κίνδυνος από το φαινόμενο του λυγισμού. Τέλος, οι βάσεις αυτές θα τοποθετηθούν επάνω στην πτέρυγα με χρήση κόλλας. Τα σχέδια των βάσεων συμπεριλαμβάνονται επίσης στο παράρτημα.

Επιπρόσθετα, για την τοποθέτηση των οδηγών στο κατακόρυφο συνδετικό μέλος θα χρειαστεί να κατασκευαστεί και μία φλάντζα, στην οποία θα προσαρμόζεται σφιχτά ο άξονας που περνάει από τον μηχανισμό και εν συνεχεία αυτή θα βιδώνεται πάνω στους οδηγούς για να γίνεται η επιθυμητή κίνηση του μηχανισμού.

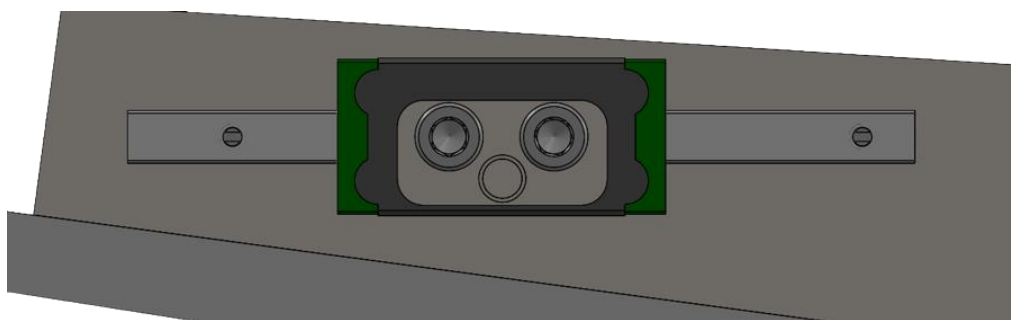
Τέλος, για να βιδωθούν οι παραπάνω οδηγοί θα γίνει χρήση βιδών της μορφής M1.4X4, M1X4 για τους οδηγούς του κατακόρυφου συνδετικού μέλους, ενώ για τον οδηγό του βαγονιού θα χρησιμοποιηθούν M1.6X4, το σχέδιο των οποίων βρίσκεται επίσης στο παράρτημα.

Παρακάτω παρουσιάζονται ενδεικτικά, σε εικόνα από το τελικό συναρμολόγημα, όσα αναφέρθηκαν παραπάνω.

- Οδηγοί Προσαρμοσμένοι στο Συνδετικό Μέλος του Μηχανισμού

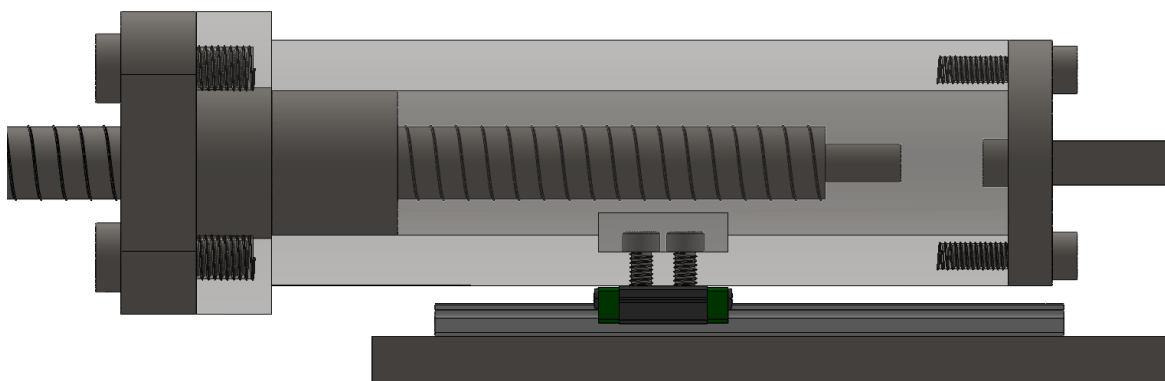


Εικόνα 65 Κάτοψη Συμμετρικών Οδηγών Μηχανισμού

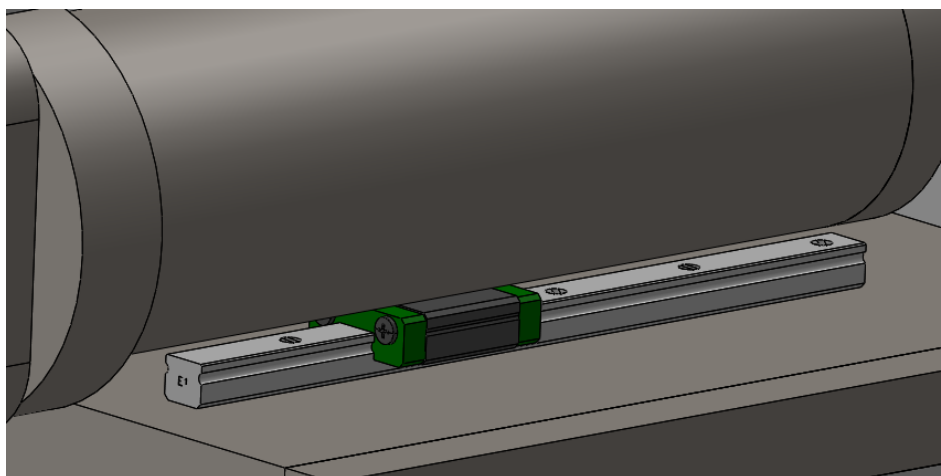


Εικόνα 66 Ευθύγραμμο Πιάσιμο Οδηγού στην βάση του με χρήση Φλάντζας

- Οδηγός Βαγονιού



Εικόνα 67 Πρόοψη Σύνδεσης Οδηγού με Βαγόνι



Εικόνα 68 Ισομετρική όψη σύνδεσης Οδηγού με Βαγόνι

6.4.2 Ρουλεμάν

Η μελέτη συνεχίζεται με την επιλογή που έγινε για τα ρουλεμάν. Λόγω του πολύ μικρού διαθέσιμου χώρου θα γίνει χρήση μη ένσφαιρων ρουλεμάν. Για να βρεθεί κάποιος ρουλεμάν το οποίο να ταιριάζει στην κατασκευή θα γίνει αναζήτηση στον κατάλογο τις εταιρείας Igus η οποία είναι παγκοσμίως γνωστή για τον εκτενή κατάλογο επιλογών που προσφέρει σε αυτόν τον τομέα.

Η επιλογή καταρχάς στηρίζεται στις διαμέτρους των ρουλεμάν και εν συνεχεία στους υπολογισμούς που θα γίνουν όσον αφορά τους κύκλους ζωής τους με βάση τα ασκούμενα φορτία. Τελική επιλογή αποτελεί το Iglide G300, Sleeve Bearing, με κωδικό GSM-0103-02, το οποίο έχει εξωτερική διάμετρο της τάξης των 3mm.

Αναφέρεται επιπλέον πως θα γίνει χρήση πέντε ρουλεμάν. Δύο για κάθε διαμόρφωση τύπου δίχαλου του μηχανισμού και ένα στο πάνω τμήμα του κατακόρυφου συνδετικού μέλους του μηχανισμού όπου θα γίνει σύνδεση του άξονα με την επιφάνεια της πτέρυγας.

Υπολογίζονται τώρα οι κύκλοι ζωής που μπορούν να δώσουν τα παραπάνω ρουλεμάν. Για να γίνει αυτό θα χρειαστούν από τον κατασκευαστή η μέγιστη καταπόνηση που μπορεί να δεχθεί το παραπάνω ρουλεμάν και η αντίστοιχη δύναμη που πρόκειται να ασκηθεί πάνω στην επιφάνεια του κατά την λειτουργία του μηχανισμού. Η παραπάνω ασκούμενη δύναμη υπολογίστηκε από την επίλυση των φορέων του μηχανισμού από το τελευταίο σημείο και κινούμενοι προς τα πίσω, όπως περιεγράφηκε στο προηγούμενο υποκεφάλαιο της εργασίας.

Λόγω του ότι κατά την λειτουργία του μηχανισμού τα ρουλεμάν δεν πραγματοποιούν πλήρη περιστροφή, θα γίνει χρήση τύπων για ταλαντευόμενα ρουλεμάν για τον υπολογισμό της διάρκειας ζωής τους.

Ο τύπος προς χρήση είναι ο παρακάτω:

$$L = a_{oscn} a_{oscp} \left(\frac{C}{P} \right)^p \quad (6.1)$$

Όπου:

Μέγιστη Δυνατή Καταπόνηση Ρουλεμάν: $C = 22.6\text{kN}$

Μέγιστη Ασκούμενη Δύναμη για το εκάστοτε Ρουλεμάν στην Επιφάνεια του:

- 1^ο Ρουλεμάν: $P = 0.256\text{kN}$
- 2^ο – 3^ο Ρουλεμάν: $P = 0.247\text{kN}$
- 4^ο – 5^ο Ρουλεμάν: $P = 0.261\text{kN}$

Εκθετικός όρος: $\rho = 10/3$

Πρέπει σε αυτό το σημείο να υπολογιστούν οι δύο συντελεστές α_{osc_n} και α_{osc_p} .

Από το μοντέλο του Solidworks παρατηρείται πως η γωνία που πραγματοποιούν τα συνδεδεμένα μέρη του μηχανισμού κατά την πραγματοποίηση της επιθυμητής κίνησης είναι της τάξης των 10° . Οπότε, αυτή πρέπει να πραγματοποιούν και τα ρουλεμάν.

Είναι επομένως $\phi = 10^\circ = 0.1745\text{rad}$.

Ο τύπος υπολογισμού του α_{osc_n} είναι ο παρακάτω:

$$\alpha_{osc_n} = \frac{\pi}{2\phi} \quad (6.2)$$

Από όπου προκύπτει: $\alpha_{osc_n} = 9$

Για τον υπολογισμό του α_{osc_p} θα χρειαστεί καταρχάς να υπολογιστεί η τιμή της παραμέτρου β που ισούται με:

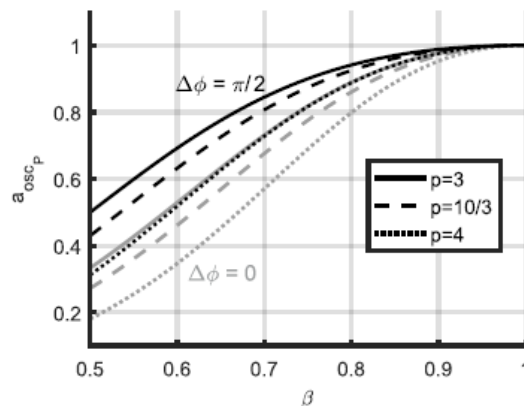
$$\beta = \frac{P_s}{P_s + P_d} \quad (6.3)$$

Όπου:

- $P_s = 256.8\text{N}$ η σταθερή δύναμη που δίνει ο ένσφαιρος κοχλίας κίνησης
- $P_d = 234.2\text{N}$ η επιπλέον δύναμη από τον μηχανισμό ώστε να φτάσει η δύναμη τα 491N που χρειάζονται για την παραμόρφωση της πτέρυγας.

Προκύπτει τελικά από την εξίσωση 6.3 πως $\beta = 0.52$.

Έχοντας την παράμετρο β , τον εκθέτη $\rho = 10/3$ και $\Delta\phi = 0$ (ίδια φάση για δύναμη και ταχύτητα) υπολογίζεται από το παρακάτω διάγραμμα πως $\alpha_{osc_p} = 0.31$.



Διάγραμμα 8 Παράγοντας α_{osc_p} συναρτήσει του β

Έχοντας πλέον όλους τους απαιτούμενους παράγοντες της εξίσωσης 6.1 προκύπτει τελικά μετά από πράξεις η διάρκεια ζωής για τα διάφορα ρουλεμάν.

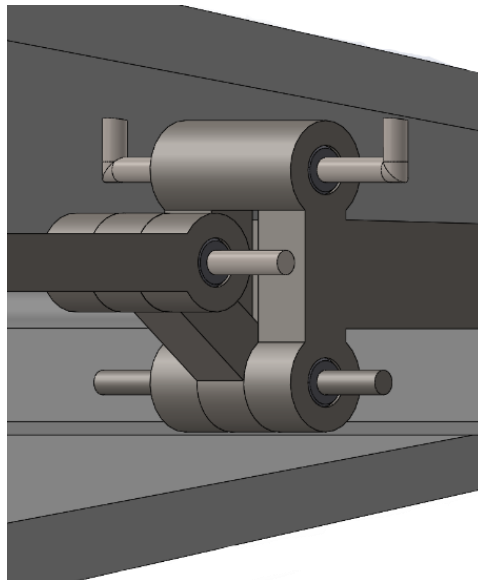
- $8.5 \cdot 10^6$ κύκλοι για το 1^ο Ρουλεμάν
- $9.6 \cdot 10^6$ κύκλοι για το 2^ο και το 3^ο Ρουλεμάν
- $8 \cdot 10^6$ κύκλοι για το 4^ο και το 5^ο Ρουλεμάν

Οι παραπάνω κύκλοι ζωής είναι υπέρ αρκετοί και για αυτό η επιλογή του ρουλεμάν κρίνεται ως αποδεκτή.

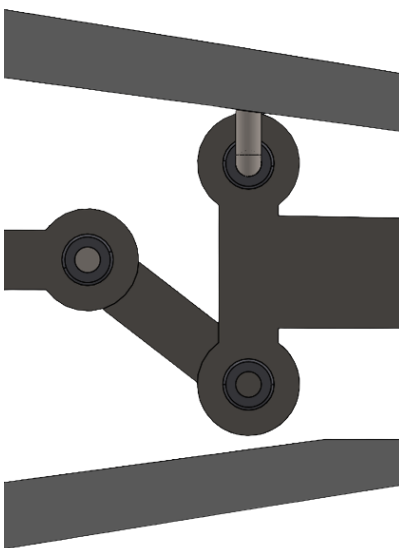
Στην εσωτερική διάμετρο των ρουλεμάν θα περάσουν κατάλληλα διαμορφωμένοι άξονες διαμέτρου 1.5mm. Οι άξονες αυτοί θα είναι εμπορίου και εν συνεχεία θα κοπούν στα επιθυμητά μήκη στο εργαστήριο. Ο ένας εξ αυτών θα πρέπει να έχει κατάλληλη διαμόρφωση, όπως θα παρουσιαστεί στις παρακάτω εικόνες, για να μπορεί να πιάνει το κατακόρυφο συνδετικό μέλος του μηχανισμού πάνω στην επιφάνεια της πτέρυγας. Παρόλα αυτά, η σύνδεση του κατακόρυφου συνδετικού μέλους μπορεί να γίνει και με τον άξονα να συνεχίζει πιάνοντας στα πλάγια άκρα της πτέρυγας εάν δεν κριθεί επιθυμητή αυτή η πιο σύνθετη γεωμετρία του άξονα για να πιάσει στην πάνω επιφάνεια της πτέρυγας.

Τα σχέδια όλων των παραπάνω περιλαμβάνονται στο παράρτημα.

Παρακάτω παρουσιάζονται ορισμένες εικόνες από το συναρμολόγημα σχετικά με τις θέσεις των προαναφερθέντων ρουλεμάν και των αξόνων που περνούν μέσα από αυτά.



Εικόνα 69 Ισομετρική Όψη συνδέσεων Ρουλεμάν



Εικόνα 70 Πρόοψη Συνδέσεων Ρουλεμάν

6.4.3 Βηματικό Μοτέρ – Μπαταρία

Η εργασία συνεχίζεται με την επιλογή που θα πρέπει να γίνει όσον αφορά το βηματικό μοτέρ στο οποίο εν συνεχεία θα συνδεθεί ο ένσφαιρος κοχλίας κίνησης μέσω του κατάλληλου συνδέσμου.

Για να ξεκινήσει η διαδικασία της επιλογής πρέπει όπως και στην περίπτωση των ρουλεμάν να υπολογιστεί η δύναμη που θα πρέπει να ασκεί ο ένσφαιρος κοχλίας κίνησης για την κίνηση του μηχανισμού. Αυτή υπολογίστηκε με τον ίδιο τρόπο που περιεγράφηκε στο προηγούμενο υποκεφάλαιο της εργασίας. Εκτελώντας όλες τις απαιτούμενες πράξεις αυτή η δύναμη προκύπτει ίση με $F_{Bal} = 256.8N$.

Ξέροντας πλέον την δύναμη που πρέπει να ασκηθεί πρέπει σε αυτό το σημείο να βρεθεί η ροπή που θα πρέπει να μπορεί να δώσει το βηματικό μοτέρ. Για να γίνει αυτό θα γίνει χρήση του παρακάτω τύπου:

$$T = \frac{Fl}{2\pi\nu} \quad (6.4)$$

Όπου:

- F : Ασκούμενη Δύναμη
- l : Βήμα Ένσφαιρου Κοχλίας Κίνησης
- ν : Βαθμός Απόδοσης

Έχοντας υπολογίσει την ασκούμενη δύναμη θεωρείται ένα βήμα 2mm, το οποίο σε περίπτωση που στην μετέπειτα επιλογή του ένσφαιρου κοχλίου κίνησης αποδειχθεί πως δεν είναι ικανό για να μεταφέρει την ζητούμενη δύναμη θα αλλαχθεί. Τέλος ο βαθμός απόδοσης είναι της τάξης του 95%.

Κάνοντας τις αντικαταστάσεις και εκτελώντας τις πράξεις η απαιτούμενη ροπή προκύπτει ίση με: $T = 8.6\text{Ncm}$.

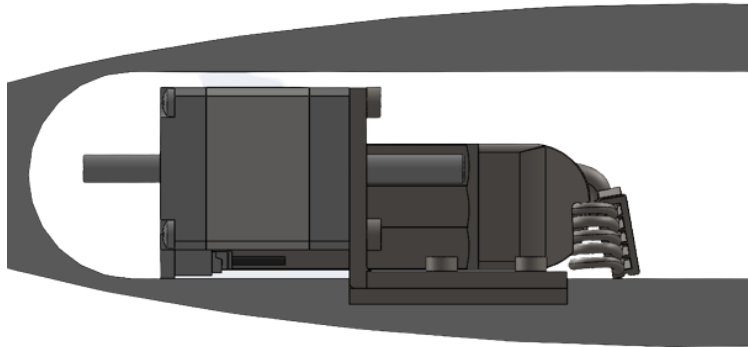
Επιλέγεται τελικά το Βηματικό Μοτέρ NEMA 11 SC2818S1504-B της εταιρείας Nanotech το οποίο έχει την δυνατότητα να δίνει σταθερή ροπή της τάξης των 9Ncm. Επιπλέον, ο λόγος που επιλέχθηκε μοτέρ της κατηγορίας NEMA 11 είναι και χωροταξικός καθώς μοτέρ μεγαλύτερης κατηγορίας πιθανότατα δεν θα κατάφερνε να χωρέσει στην πτέρυγα. Σε περίπτωση που χρειαζόντουσαν μεγαλύτερες αποδόσεις ροπής θα χρειαζόταν να γίνει χρήση κάποιου πλανητικού κιβωτίου ταχυτήτων προσαρμοσμένο πάνω στο NEMA 11 μοτέρ που επιλέχθηκε.

Επιπλέον, κατασκευάζεται όπως και στην περίπτωση των γραμμικών οδηγών μία βάση η οποία θα προσαρμοστεί με κόλλα στην επιφάνεια της πτέρυγας για να βιδωθεί επάνω το μοτέρ και για να μην χρειαστεί να βιδωθεί πάνω στην πτέρυγα. Τέλος για να γίνει η παραπάνω σύνδεση θα χρειαστεί και το κατάλληλο στήριγμα σύνδεσης για το μοτέρ το οποίο επιλέγεται και αυτό από την βιομηχανία. Επιλέχθηκε το, ειδικά για NEMA 11, Stepper Mounting Bracket (NEMA 11) 3337_0 της εταιρείας Phidgets. Για το βίδωμα όλων των παραπάνω θα χρησιμοποιηθούν βίδες της μορφής M2.5X5 για την μεριά του που συνδέεται στο μοτέρ και M3X5 για την πλευρά που συνδέεται στην βάση.

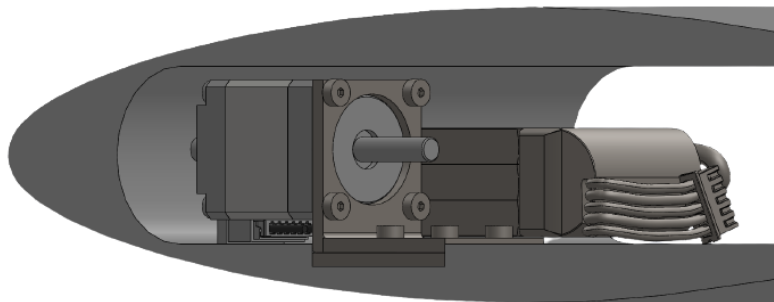
Τέλος, όσον αφορά την μπαταρία η οποία και θα τροφοδοτεί τις διάφορες λειτουργίες του 'Drone', και προφανώς τον μηχανισμό, επιλέγεται η R-Line 550mAh 22.2V 95C 6S1P Lipo Battery Pack της εταιρείας Tattu. Η παραπάνω μπαταρία ικανοποιεί τις απαιτήσεις ως προς το VDC που χρειάζεται το μοτέρ, είναι αρκετά δυνατή για να καλύψει τις υπόλοιπες ανάγκες του 'Drone' ενώ επιπλέον είναι και μικρών διαστάσεων για να μπορεί να χωράει στην κατασκευή.

Τα σχέδια όλων των παραπάνω περιλαμβάνονται στο παράρτημα.

Επιπλέον όπως και στα προηγούμενα κεφάλαια ακολουθούν εικόνες από το συναρμολόγημα που αφορούν το τμήμα του βηματικού μοτέρ και της μπαταρίας.



Εικόνα 71 Πρόοψη Τοποθέτησης Βηματικού Μοτέρ και Μπαταρίας



Εικόνα 72 Ισομετρική Όψη Τοποθέτησης Βηματικού Μοτέρ και Μπαταρίας

6.4.4 Ένσφαιρος Κοχλίας Κίνησης – Σύνδεσμος

Ολοκληρώνοντας πλέον το συγκεκριμένο υποκεφάλαιο πρέπει να γίνει και η απαιτούμενη επιλογή του ένσφαιρου κοχλίας κίνησης. Το πρώτο πράγμα που χρειάζεται να γίνει είναι να επιβεβαιωθεί πως η επιλογή του βήματος που έγινε κατά την επιλογή του βηματικού μοτέρ είναι αποδεκτή για το φορτίο που χρειάζεται να μεταφέρει. Αυτό θα γίνει χρησιμοποιώντας την υπολογισμένη απαιτούμενη δύναμη που αυτός πρέπει να δίνει για την παραμόρφωση και την σταθερή ροπή του μοτέρ που επιλέχθηκε.

Η σχέση είναι:

$$FP = M2\pi \quad (6.5)$$

Όπου:

- $F = 256.8\text{N}$
- $M = 0.09\text{Nm}$

Κάνοντας την παραπάνω πράξη προκύπτει $P = 0.002\text{m} = 2\text{mm}$ και επομένως η επιλογή που έχει γίνει κρίνεται αποδεκτή.

Αναζητώντας στην συνέχεια σε καταλόγους κατασκευαστών κάποιον ένσφαιρο κοχλία κίνησης που να έχει το ζητούμενο βήμα αλλά παράλληλα να έχει ένα αποδεκτό μήκος και διάμετρο ώστε να χωρέσει στην κατασκευή επιλέγεται η εταιρεία Steinmeyer και το μοντέλο 1412/2.6.90.110. Το μοντέλο αυτό έχει διάμετρο 6mm, συνολικό μήκος 110mm ενώ επίσης διαθέτει διαμόρφωση φλάντζας για να μπορεί να προσαρμοστεί σε αυτό το αναγκαίο βαγόνι για την μεταφορά της κίνησης από τον ένσφαιρο κοχλία κίνησης στον μηχανισμό.

Από τον κατασκευαστή δίνεται ο τύπος με τον οποίο θα προκύψει η μέγιστη δύναμη που μπορεί να αντέξει ο ένσφαιρος κοχλίας κίνησης χωρίς να εμφανίσει φαινόμενο λυγισμού.

$$P_B = \frac{m d_N 10^4}{l_s^2} \quad (6.6)$$

Όπου:

- $m = 1.4$ για πακτωμένη – ελεύθερη διαμόρφωση
- $d_N = 6\text{mm}$ η διάμετρος
- $l_s = 40\text{mm}$ το μη υποστηριζόμενο μήκος του ένσφαιρου κοχλίας κίνησης μέχρι την φλάντζα

Κάνοντας τις αντικαταστάσεις και τις πράξεις προκύπτει $P_B = 11340\text{N}$, πολύ πάνω από τα 'Newton' που θα του ασκηθούν στην κατασκευή. Στην συνέχεια σε αυτή την τιμή προσαρμόζεται και ένας συντελεστής ασφαλείας 0.5 με βάση την προτροπή από τον κατασκευαστή.

Άρα τελικά $P_B = 5670\text{N}$ που παραμένει πολύ μεγαλύτερη από την δύναμη που θα του ασκηθεί κατά την λειτουργία του μηχανισμού.

Στην συνέχεια ελέγχεται και η μέγιστη ταχύτητα περιστροφής που μπορεί να δεχθεί.

Πάλι δίνεται από τον κατασκευαστή η απαιτούμενη σχέση.

$$n_k = \frac{k d_N 10^7}{l_s^2} \quad (6.7)$$

Όπου:

- $k = 3.9$ για πακτωμένη – ελεύθερη διαμόρφωση
- $d_N = 6\text{mm}$ η διάμετρος
- $l_s = 96\text{mm}$ το μη υποστηριζόμενο μήκος του ένσφαιρου κοχλίας κίνησης αυτή την φορά από την αρχή του σπειρώματος μέχρι το τέλος του ένσφαιρου κοχλίας κίνησης.

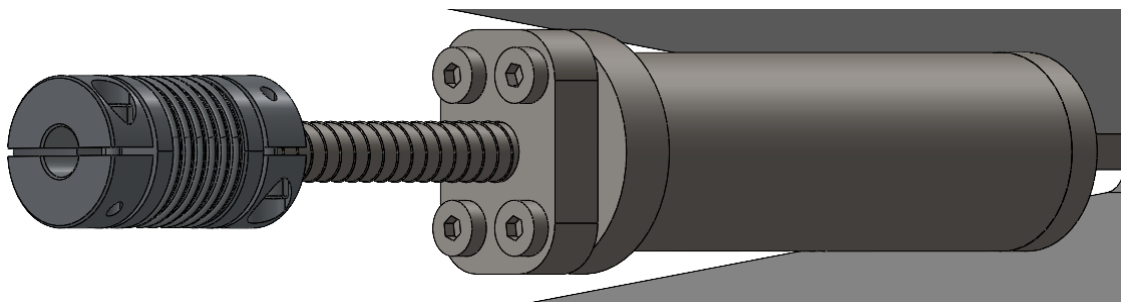
Κάνοντας τις πράξεις προκύπτει $n_k = 25390\text{rpm}$, η οποία είναι και αυτή μεγαλύτερη από αυτή την οποία θα δεχθεί ο ένσφαιρος κοχλίας κίνησης με βάση τις προδιαγραφές του μοτέρ.

Στην συνέχεια κατασκευάζεται το βαγόνι, τα σχέδια του οποίου παρουσιάζονται στο παράρτημα, το οποίο και θα προσαρμοστεί πάνω στην φλάντζα. Το βαγόνι αυτό, θα έχει κυκλική διατομή και θα είναι προσαρμοσμένη η εσωτερική διάμετρος της πάνω στο παξιμάδι για να μην κινδυνεύει από κάμψη κατά την εφαρμογή του φορτίου. Η σύνδεση με τον μηχανισμό θα γίνει με βίδα M2X8, όπως αναφέρθηκε και στο υποκεφάλαιο 6.3 του σχεδιασμού των συνδετικών μελών. Επιπλέον, η σύνδεση με τον οδηγό θα γίνει με βίδες M1.6X4 ενώ τέλος για την σύνδεση με την φλάντζα θα χρησιμοποιηθούν βίδες M3X8. Αναφέρεται επιπλέον, πως επιλέγονται βίδες με κεφάλι βιδώματος τύπου 'allen', λόγω της μεγαλύτερης ευκολίας που αυτό θα δώσει κατά το βίδωμα στην πολύ στενή πτέρυγα σε σχέση με ένα για παράδειγμα ίσιο κατσαβίδι.

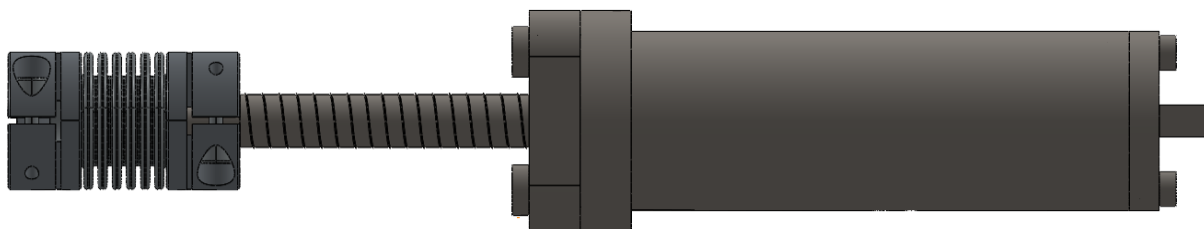
Τέλος, από κατάλογο κατασκευαστή επιλέγεται και ένας απαιτούμενος σύνδεσμος στον οποίο θα προσαρμοστεί ο άξονας του ένσφαιρου κοχλίας κίνησης και ο άξονας του μοτέρ για να μπορέσει αυτό να δώσει την ζητούμενη κίνηση στον ένσφαιρο κοχλίας κίνησης. Επιλέγεται το Motion Control Coupling 5X3 της εταιρείας Ruland Manufacturing. Το συγκεκριμένο μοντέλο έχει προδιαγραφές για χρήση μέχρι και τα 10000rpm και για ροπές μέχρι τα 250Ncm . Οι παραπάνω προδιαγραφές καλύπτουν τις προδιαγραφές του μηχανισμού και για αυτό επιλέγεται προς χρήση στον μηχανισμό.

Τα σχέδια όλων των παραπάνω τεμαχίων περιλαμβάνονται στο παράρτημα.

Παρακάτω παρουσιάζονται κάποιες εικόνες από τα προαναφερθέντα τεμάχια από το τελικό συναρμολόγημα.



Εικόνα 73 Ισομετρική όψη Συνδέσμου – Ένσφαιρος Κοχλίας Κίνησης

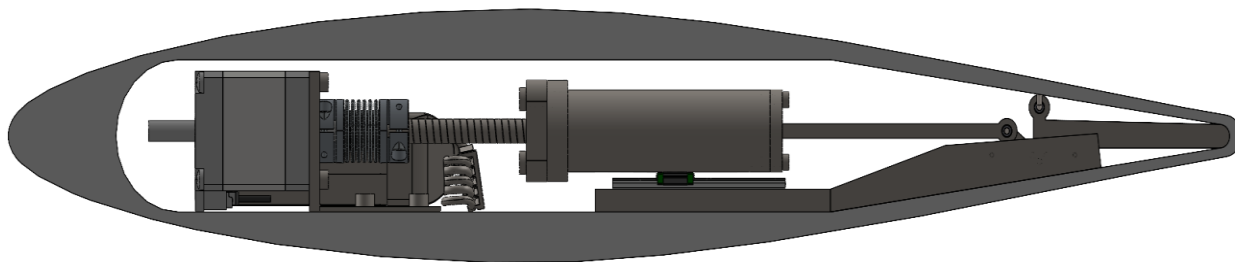


Εικόνα 74 Πρόοψη Συνδέσμου – Ενσφαιρος Κοχλίας Κίνησης

6.5 Τελικό 3D

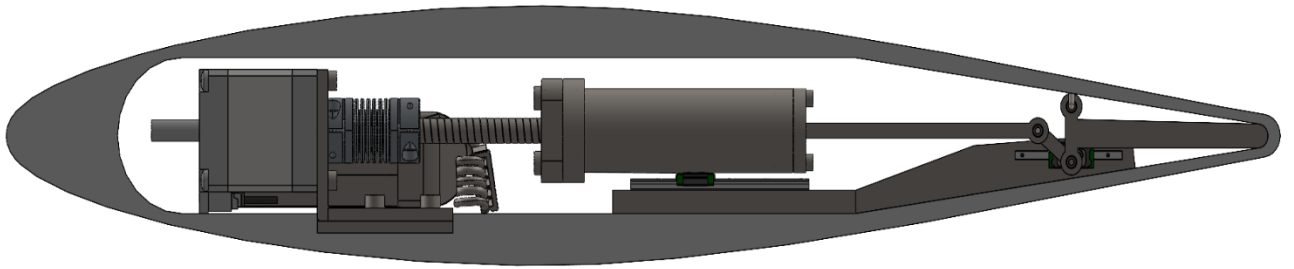
Έχοντας συγκεντρώσει πλέον όλα τα απαιτούμενα τεμάχια κατασκευάστηκε ένα τελικό συναρμολόγημα το οποίο αναπαριστά την τελική διάταξη που θα έχει ο μηχανισμός.

Παρουσιάζονται παρακάτω ορισμένες εικόνες αυτού.



Εικόνα 75 Πρόοψη Συναρμολογήματος

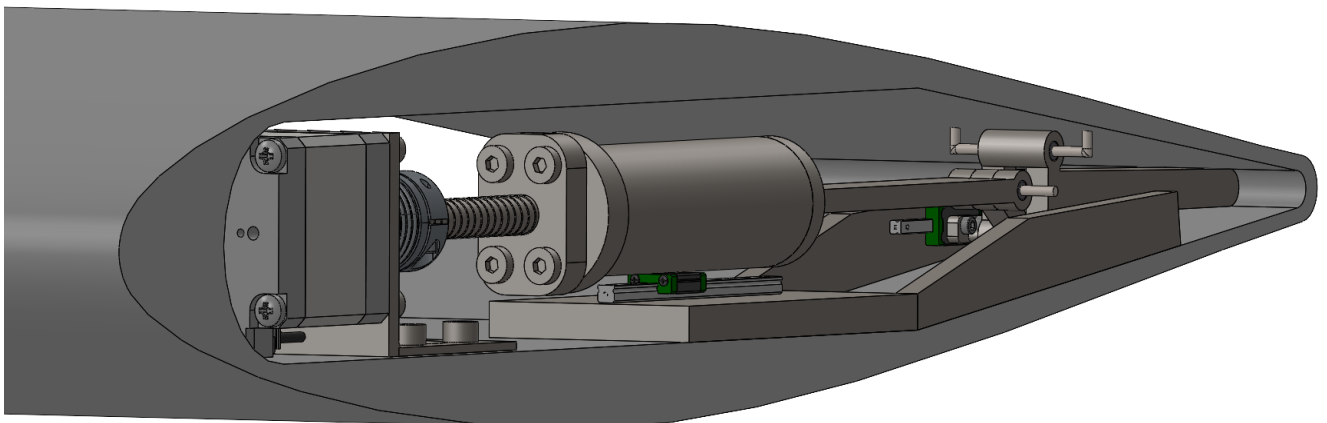
Στην παραπάνω εικόνα φαίνεται η τελική μορφή που θα έχει ο σχεδιασμός ενώ εφαρμόζονται όλες οι συνδέσεις και τοποθετήσεις όπως αυτές περιεγράφηκαν κατά την διάρκεια του κεφαλαίου 6 της εργασίας.



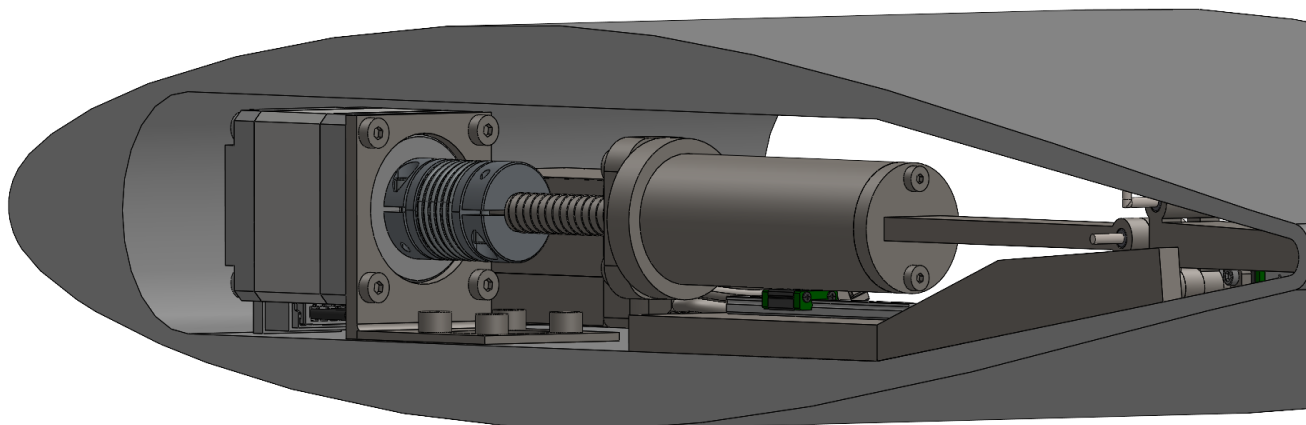
Εικόνα 76 Τροποποιημένη Πρόοψη Συναρμολογήματος

Στην παραπάνω εικόνα έχει γίνει απόκρυψη ορισμένων τεμαχίων του συναρμολογήματος. Συγκεκριμένα έχει αφαιρεθεί ένα τμήμα της πτέρυγας μπροστά από την βάση του βηματικού μοτέρ, έτσι ώστε να γίνει αντιληπτή η διαμόρφωση της πτέρυγας που έχει γίνει στο συγκεκριμένο σημείο για να εφαρμόσει σωστά η βάση του βηματικού μοτέρ. Επιπλέον, έχει αφαιρεθεί και η μία πλευρά της βάσης του οδηγού του κατακόρυφου συνδετικού μέλους του μηχανισμού έτσι ώστε να φανεί η συμμετρική της διαμόρφωση και να γίνει πιο εύκολα αντιληπτός ο τρόπος που γίνεται η σύνδεση του οδηγού στην βάση.

Στην συνέχεια παρουσιάζονται και οι δύο ισομετρικές όψεις του συναρμολογήματος.

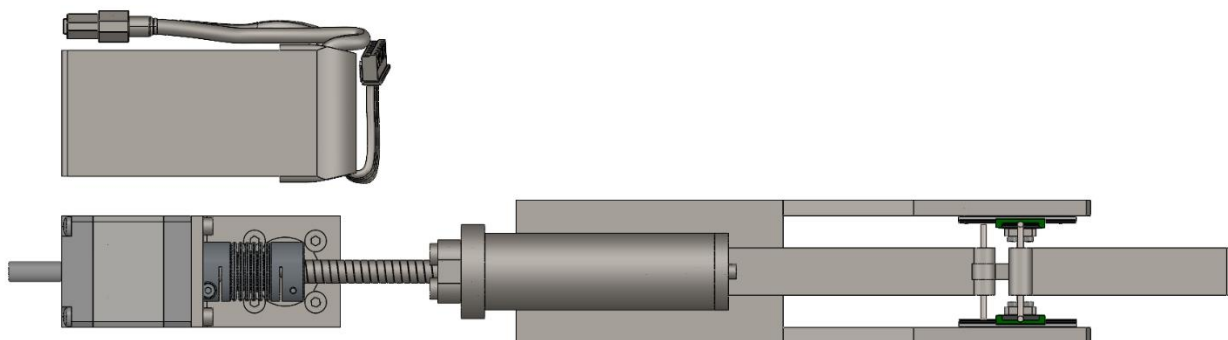


Εικόνα 77 Αριστερή Ισομετρική Όψη Συναρμολογήματος



Εικόνα 78 Δεξιά Ισομετρική Όψη Συναρμολογήματος

Τέλος, αποκρύπτεται συνολικά η επιφάνεια της πτέρυγας για να παρουσιαστεί και η κάτοψη μόνο του μηχανισμού.



Εικόνα 79 Κάτοψη Μηχανισμού

Έχοντας ολοκληρώσει πλέον και το τμήμα του αναλυτικού σχεδιασμού της εργασίας, στο επόμενο τελευταίο κεφάλαιο θα γίνει μία σύνοψη της εργασίας καθώς και μία παρουσίαση ορισμένων προτάσεων για περαιτέρω διερεύνηση πάνω στο θέμα της πτέρυγας μορφοποιούμενης γεωμετρίας.

Κεφάλαιο 7. Σύνοψη – Συμπεράσματα

Ξεκινώντας το τελευταίο κεφάλαιο της εργασίας, δεν θα γίνει πλέον κάποια νέα παρουσίαση αποτελεσμάτων ή δεδομένων αλλά κατά κύριο λόγο θα γίνει μία ανασκόπηση της πορείας της εργασίας και των αποτελεσμάτων που λήφθηκαν κατά την διάρκεια αυτής.

Καταρχάς, πριν ξεκινήσει αυτή αναφέρεται εκ νέου ο στόχος που τέθηκε εξαρχής στην εργασία που δεν είναι άλλος από την δημιουργία ενός μηχανισμού που θα μπορεί να προκαλεί την απαιτούμενη μορφοποίησης της γεωμετρίας της πτέρυγας ενός μικρού αεροσκάφους δίνοντας αεροδυναμικά αποτελέσματα τουλάχιστον αντίστοιχα με αυτά ενός κλασικού πηδαλίου κλίσης .

Περνώντας τώρα στην αρχή της προαναφερθείσας ανασκόπησης, αυτή ξεκινάει από το πρώτο τμήμα της εργασίας που είναι αυτό της ανάλυσης. Αρχικά, όπως παρουσιάστηκε στο κεφάλαιο 2, μοντελοποιήθηκε ένα βασικό μοντέλο μελέτης, βασισμένο στο 'Drone' του εργαστηρίου Στοιχείων Μηχανών, από το οποίο δόθηκαν ορισμένα αεροδυναμικά αποτελέσματα τα οποία και χρησιμοποιήθηκαν στην συνέχεια ως μέτρο σύγκρισης σχετικά με την τάξη μεγέθους για τα αεροδυναμικά αποτελέσματα που πρόκειται να δώσει ο μετέπειτα σχεδιασμός. Στην συνέχεια, πραγματοποιήθηκε ένας αρχικός σχεδιασμός της πτέρυγας με στόχο να υπολογιστεί η μέγιστη δυνατή παραμόρφωση που μπορεί να δώσει ο σχεδιασμός με εμφάνιση τάσεων λογικής τάξης μεγέθους στην πτέρυγα. Όπως παρουσιάστηκε στο κεφάλαιο 3 η παραμόρφωση αυτή υπολογίστηκε τελικά πως μπορεί να είναι μέχρι και τα 4mm. Στην συνέχεια, επιβεβαιώθηκε στο κεφάλαιο 4 ότι η παραπάνω παραμόρφωση είναι αρκετή για να δώσει την απαιτούμενη αεροδυναμική επίδοση έτσι ώστε να καλυφθούν οι επιδόσεις ενός κλασικού μηχανισμού πηδαλίου κλίσης, το οποίο τέθηκε σε γωνία 5 μοιρών. Τελικά, προέκυψαν αεροδυναμικά αποτελέσματα βελτιωμένα ως προς όλες τις παραμέτρους, δηλαδή στον συντελεστή άνωσης, στον συντελεστή αντίστασης και προφανώς στον λόγο αυτών.

Έχοντας ολοκληρώσει πλέον το κομμάτι της ανάλυσης η μελέτη συνεχίστηκε στο κομμάτι της εργασίας που αφορά τον σχεδιασμό του μηχανισμού. Καταρχάς, μέσα από την διαδικασία του 'brainstorming' έγινε η επιλογή σχεδιασμού ενός μηχανισμού κλασικής μορφής, όπως λόγω χάρι ο Scott Russel, ο οποίος μέσω κατάλληλης επενέργειας θα παρασύρει κατά την κίνηση του προς τα πάνω και προς τα κάτω την πτέρυγα. Ξεκινώντας, πραγματοποιήθηκε μία μονογραμμική σχεδίαση του μηχανισμού στο Solidworks για να γίνει κατανοητή η κίνηση την οποία πρέπει να πραγματοποιεί ο μηχανισμός ενώ επίσης για να οριστεί και από χωροταξικής πλευράς το που θα πρέπει να τοποθετηθεί αυτός καθώς και το κατά πόσο θα πρέπει να κινηθεί το κάθε συνδετικό του μέλος για να προκύψει η τελική παραμόρφωση των 4mm. Όλα όσα περιεγράφηκαν παραπάνω παρουσιάζονται αναλυτικά στο κεφάλαιο 5, καταλήγοντας στο ότι για την

πραγματοποίηση της επιθυμητής παραμόρφωσης χρειάζεται μία κίνηση του μηχανισμού της τάξης των 2.5mm ενώ η απαιτούμενη εφαρμοζόμενη δύναμη στο χείλος εκφυγής είναι στα 491N.

Προχωρώντας στην συνέχεια της εργασίας, ξεκίνησε η διαδικασία του αναλυτικού σχεδιασμού του μηχανισμού. Κατά την διάρκεια αυτής αποφασίστηκε αρχικά για την μεταφορά της επιθυμητής κίνησης στον μηχανισμό να γίνει χρήση κατάλληλα προσαρμοσμένου ένσφαιρου κοχλία κίνησης διαμέτρου 6mm ο οποίος θα πρέπει να μεταφέρει στον μηχανισμό δύναμη 256.8N. Στην συνέχεια, υπολογίστηκε πως για να προκύψει αυτή η δύναμη θα χρειαστεί βηματικό μοτέρ το οποίο να μπορεί να δίνει μία σταθερή ροπή μεγαλύτερη των 8.6Ncm. Επιπλέον, έγινε επιλογή, και όπου αυτό απαιτούνταν, υπολογισμός και σχεδιασμός διάφορων ακόμα αναγκαίων τεμαχίων όπως τα ρουλεμάν και οι γραμμικοί οδηγοί. Επιπλέον, σχεδιάστηκαν τα συνδεδετικά μέλη του μηχανισμού ενώ επίσης έγινε και ο στατικός έλεγχος τους έτσι ώστε τελικά να επιβεβαιωθεί πως αντέχουν τα αναπτυσσόμενα φορτία. Όλα τα παραπάνω που αφορούν τον έλεγχο και την επιλογή των τεμαχίων παρουσιάζονται αναλυτικά στο κεφάλαιο 6. Αυτό που μπορεί να γίνει ως επιπλέον σχόλιο όσον αφορά τα συμπεράσματα, είναι πως το σύνολο του μηχανισμού αποτελεί ένα αρκετά εύκολα κατασκευάσιμο σύνολο. Συγκεκριμένα κανένα από τα κατασκευαζόμενα στο εργαστήριο κομμάτια δεν απαιτεί σύνθετες κατεργασίες ενώ επιπλέον ένα σύνολο τεμαχίων λαμβάνεται κατευθείαν από καταλόγους κατασκευαστών. Τέλος αναφέρεται ξανά, αυτό που αναφέρθηκε και κατά τον σχεδιασμό του μηχανισμού, που είναι το γεγονός πως η παραπάνω σχεδίαση δίνει την δυνατότητα, εάν αυτό είναι επιθυμητό, της τοποθέτησης και παραπάνω από έναν ίδιους μηχανισμούς στην πτέρυγα με αποτέλεσμα να μειώνεται το απαιτούμενο φορτίο που πρέπει να μεταφέρει ο καθένας και ως αποτέλεσμα να μειωθούν και τα φορτία καταπόνησης των συνδεδετικών μελών του μηχανισμού.

Ολοκληρώνοντας πλέον, κάνοντας έναν τελικό απολογισμό του σχεδιασμού μπορεί να σχολιαστεί πως αυτός ικανοποιεί σε μεγάλο βαθμό τις παραμέτρους που τέθηκαν στην αρχή της εργασίας. Συγκεκριμένα, προσφέρει καλύτερες αεροδυναμικές επιδόσεις από ένα κλασικό πηδάλιο κλίσης και είναι εύκολα κατασκευάσιμος δίνοντας επιπλέον την δυνατότητα κατασκευής αρκετών τμημάτων του μέσω της τεχνολογίας 3D Εκτύπωσης. Επιπρόσθετα, σχετικά με κάποια ενδεχόμενη μελλοντική συνέχιση της παρούσας μελέτης, κάποιος θα μπορούσε να ασχοληθεί με τους άλλους βαθμούς ελευθερίας του αεροσκάφους και κατ'επέκταση με το περύγιο που είναι υπεύθυνο για την εκάστοτε κίνηση. Επιπλέον, μία άλλη ενδεχόμενη μελέτη θα μπορούσε να βασίζεται στην πτέρυγα του Parker, που παρουσιάστηκε στην εισαγωγή της εργασίας, και επομένως να ασχολείται με την αλλαγή μέσω μορφοποίησης κατά την πτήση της κυρτότητας της πτέρυγας. Τέλος, σε πιο προχωρημένο επίπεδο κάποιος θα μπορούσε να προχωρήσει στην πραγματική κατασκευή του μηχανισμού και εν συνεχεία σχεδιάζοντας ένα σύστημα πιλότου, που θα ελέγχει τον μηχανισμό, να κάνει δοκιμές με την πτέρυγα μορφοποιούμενης γεωμετρίας σε αεροδυναμική σήραγγα.

Κεφάλαιο 8. Βιβλιογραφία

1. Παπαδόπουλος Α. Χ. (2018 - 3η Έκδοση). *Στοιχεία Μηχανών*. Θεσσαλονίκη: Εκδόσεις Τζιόλα.
2. Αντωνιάδης Θ. Α. (2014 – 2η Έκδοση). *Μηχανολογικό Σχέδιο*. Θεσσαλονίκη: Εκδόσεις Τζιόλα.
3. Thomas Jones (2021). *Additively Manufactured Compliant Mechanism Design and Application for SUAS Control Surfaces*. The Pennsylvania State University.
4. Neil Schlater/ Nicholas P. Chironis (2007 – 4th Edition). *Mechanisms and Mechanical Devices Sourcebook*.
5. Προβατίδης Γ. Χ. (2017 – 2η Έκδοση). *Πεπερασμένα Στοιχεία στην Ανάλυση Κατασκευών*. Θεσσαλονίκη: Εκδόσεις Τζιόλα.
6. Βαδαλούκα Β. (2017). *Τεχνική Μηχανική*. Αθήνα: Εκδόσεις ΝΚ.
7. Beer F./ Johnston Jr. R./ DeWolf J./ Mazurek D. (2016). *Μηχανική των Υλικών*. Θεσσαλονίκη: Εκδόσεις Τζιόλα.
8. M. Di Luca/ S. Mintchev/ G. Heitz/ F. Noca/ D. Floreano (2007). *Bioinspired morphing wings for extended flight envelope and roll control of small 'Drone's*.
9. Clean-aviation.eu (2019). *Clean Sky's Morphing Wing project brings shapeshifting capabilities to European regional aircraft*.
10. L. Woell/ G. Jacobs/ A. Kramer (2018). Lifetime Calculation of Irregularly Oscillating Bearings in Offshore Winches. RWTH Aachen University.
11. Serope Kalpakjian, Steven R. Schmid (2019). *Μηχανουργική Επιστήμη & Τεχνολογία*. Θεσσαλονίκη: Εκδόσεις Τζιόλα.
12. Kristan K. Chawla (2021 – 4η Έκδοση). *Σύνθετα Υλικά Επιστήμη και Τεχνολογία*. Θεσσαλονίκη: Εκδόσεις Τζιόλα.
13. Yung Keong Yap (2013). *The Morphing Wing: Birds know best*.
14. Ashish B. Koli (2013). *A generalized approach for compliant mechanism design using the synthesis with compliance method, with experimental validation*. Missouri S&T University.
15. SKF Group (2021). *Railway Technical Handbook*.
16. Google Images
17. https://en.wikipedia.org/wiki/Wing_warping
18. https://en.wikipedia.org/wiki/Wright_Flyer
19. https://en.wikipedia.org/wiki/Parker_variable_wing
20. www.airfoiltools.com

Κεφάλαιο 9. Παράρτημα

Συναρμολόγημα Πτέρυγας – Μηχανισμού

ΑΑ	ΟΝΟΜΑ ΤΕΜΑΧΙΟΥ	ΤΥΠΟΠΟΙΗΣΗ	ΠΟΣ.
1	1ο Συνδ. Μέλος Μηχανισμού		1
2	2ο Συνδ. Μέλος Μηχανισμού		1
3	3ο Συνδ. Μέλος Μηχανισμού		1
4	Πτέρυγα		1
5	Βημιακό Μοτέρ	ΝΕΜΑ 11 SC281 8S1 504-B	1
6	Σύνδεσμος	MBC15-5-3-A	1
7	Ενσωματ. Κοχλίας Κίνησης	1412/2,6.90.110	1
8	Ρουλεμάν	GSM - 0103 - 02	5
9	Κιτταστραία	R-Line 22.2V Lipo Battery	1
10	Στήριγμα Βημιατικού Μοτέρ	3337_0 - S. M. Br. (ΝΕΜΑ11)	1
11	Βάση Βιξιάματος Στρω. Βημ. Μ.		1
12	Γραμμικός Οδηγός Βαγονιού	ΜGN03C	1
13	Βάση Γραμ. Οδηγού Βαγονιού		1
14	Άξονας 1ου - 2ου Συνδ. Μέλ.		1
15	Άξονας 3ου Συνδ. Μ. - Επιφ. Πτ.		1
16	Μ3 x 5mm	DIN 912	4
17	Μ3 x 10mm	DIN 912	4
18	Άξονας 2ου - 3ου Συνδ. Μέλ.		1
19	Φιάλιτσα Άξο. - Μηχ. - Γρ. Οδ.		2
20	Γραμμικός Οδηγ. Μηχανισμού	ΜGN02C	2
21	Δεξιά Βάση Γραμ. Οδ. - Μηχαν.		1
22	Αριστερή Βάση Γρ. Ο. - Μηχαν.		1
23	Βαγόνι Ενσωφ. Κοχλία Κίνησης		1
24	Τρυκ Σύνδεσης Βαγονιού - Μηχ.		1
25	Μ2 x 8mm	DIN 912	3
26	Μ1.6 x 4mm	SNS-M1 6-4-PP	4
27	Μ1 x 4mm	SNS-M1 4-PP	4
28	Μ1.4 x 4mm	SNS-M1 4-4	4
29	Μ2.5 x 5mm	DIN 912	4
30	Μ1.6 x 4mm	SNS-M1 6-4	2

Ονοματεπώνυμο : Βάνιας Κόνου Επαγγελματίας Ευστράτιος

ΓΕΝΙΚΕΣ ΑΝΟΧΕΣ : ISO 2768

ΒΑΡΟΣ : 1.2 kg ανά πτέρυγα, με τοποθέτηση ενός μηχανισμού

Ε.Μ.Π
ΣΥΝΘΗ ΜΗΧΑΝΙΣΜΑ, ΜΗΧ.
 Μηχανισμός Μορφοποίησης Γεωμετρίας Πτερυγικών Μικρών Αεροσκαφών

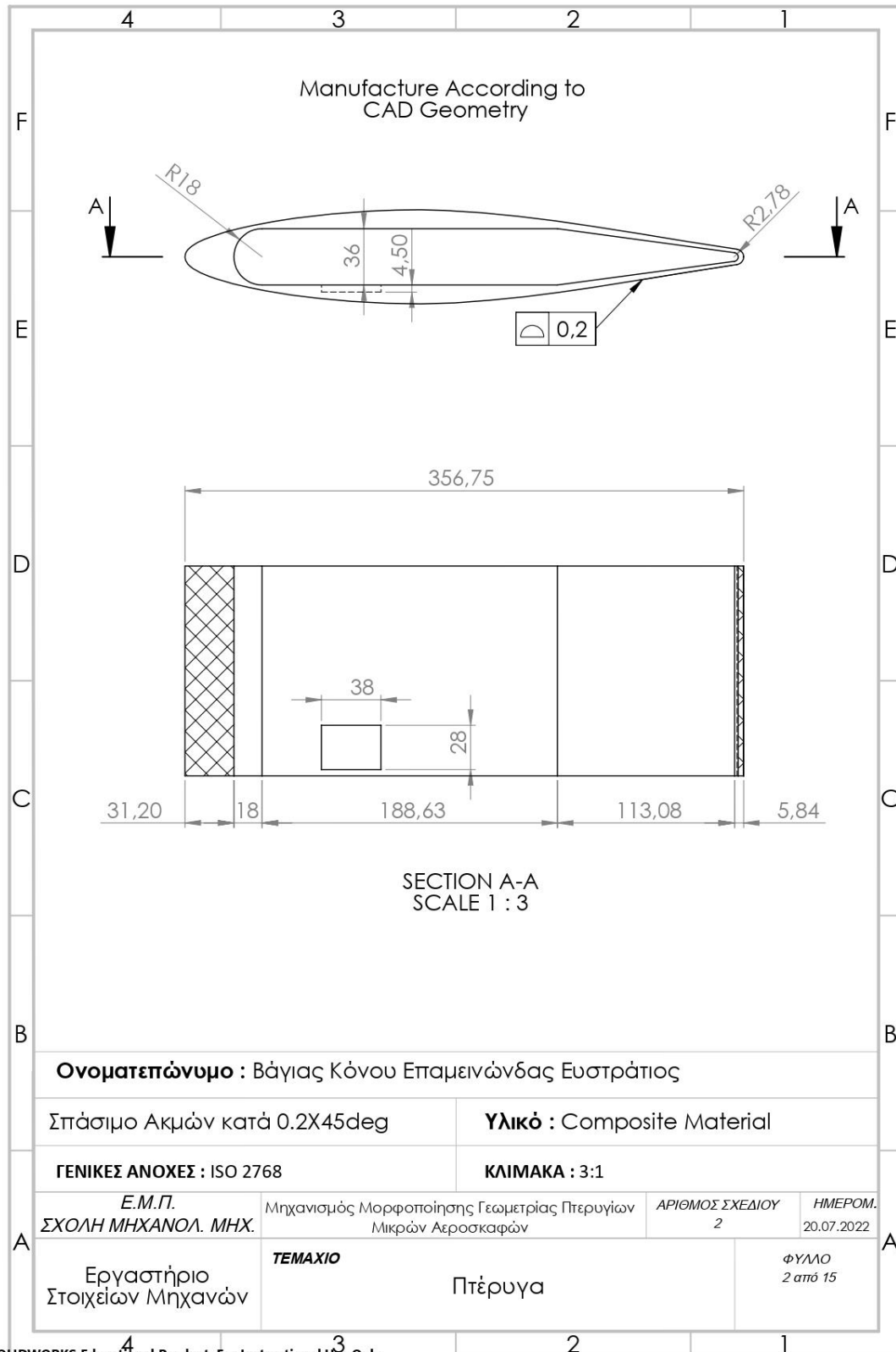
ΤΕΜΑΧΙΟ
 Συναρμολόγημα Πτέρυγας - Μηχανισμού

ΚΙΜΑΚΙΑ
 1.2

ΘΗΝΑΙΟ
 1 από 15

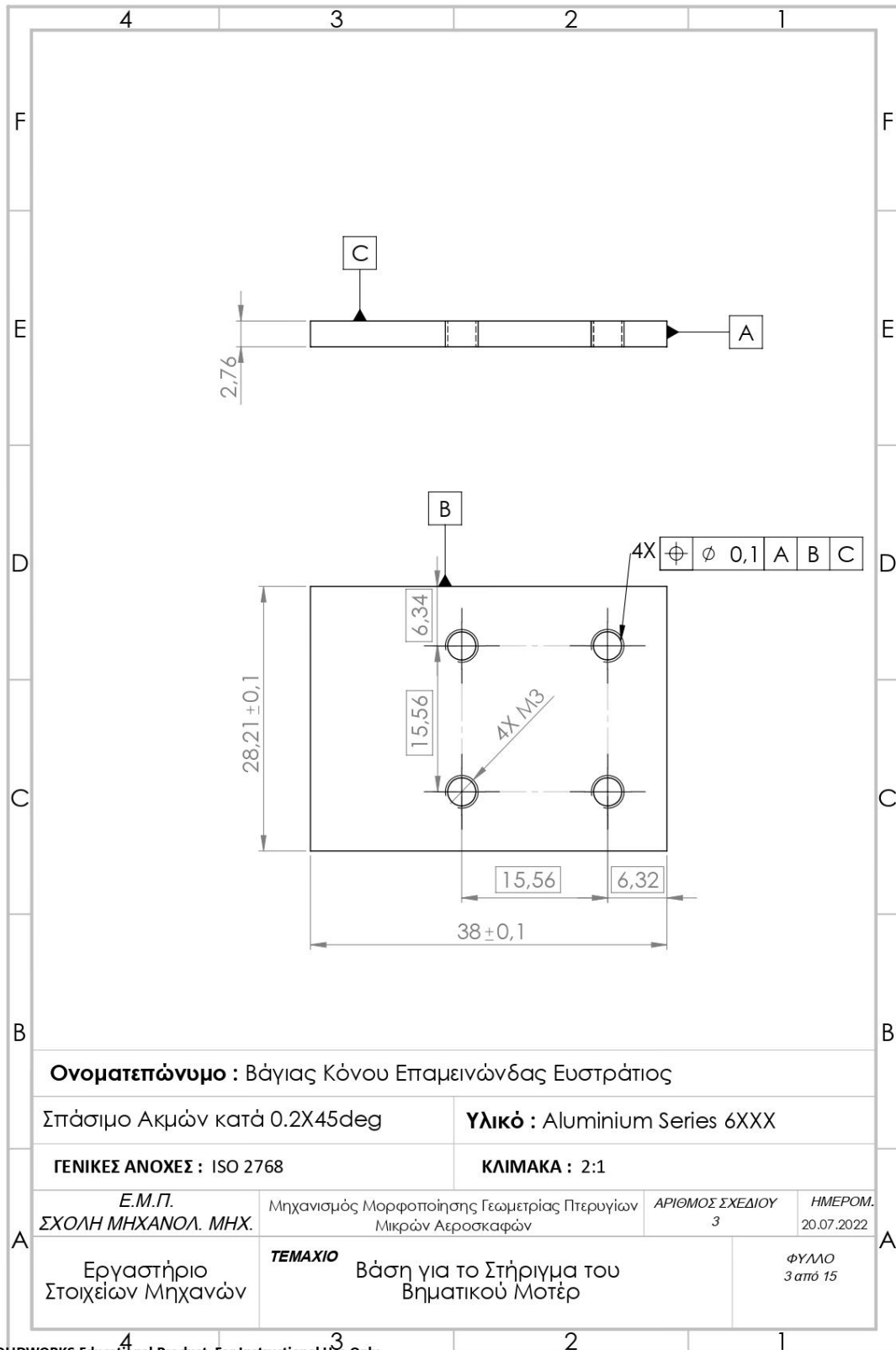
ΑΡΙΘΜΟΣ ΣΧΕΔΙΟΥ: 20.07.2022/A

Πτέρυγα

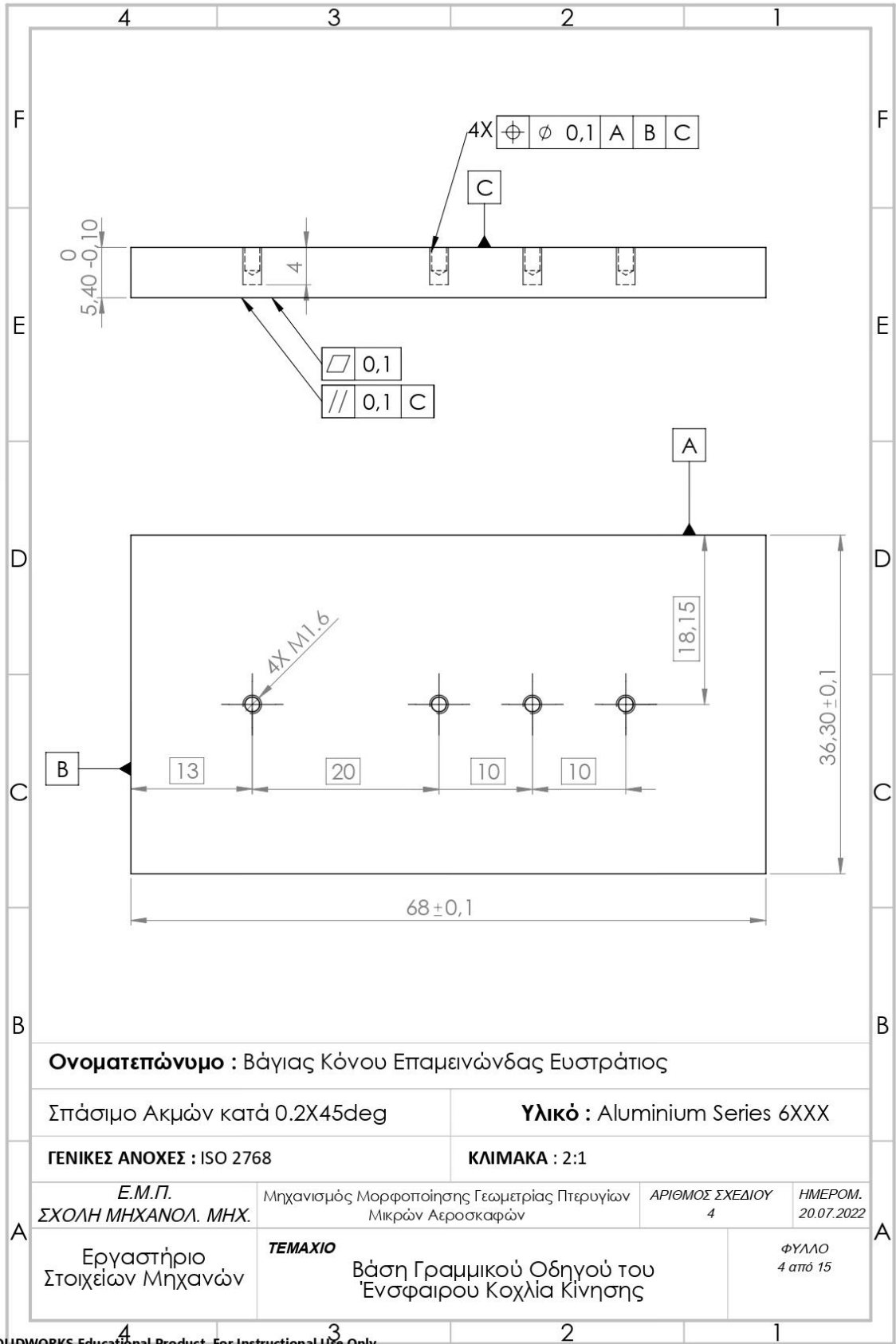


SOLIDWORKS Educational Product. For Instructional Use Only.

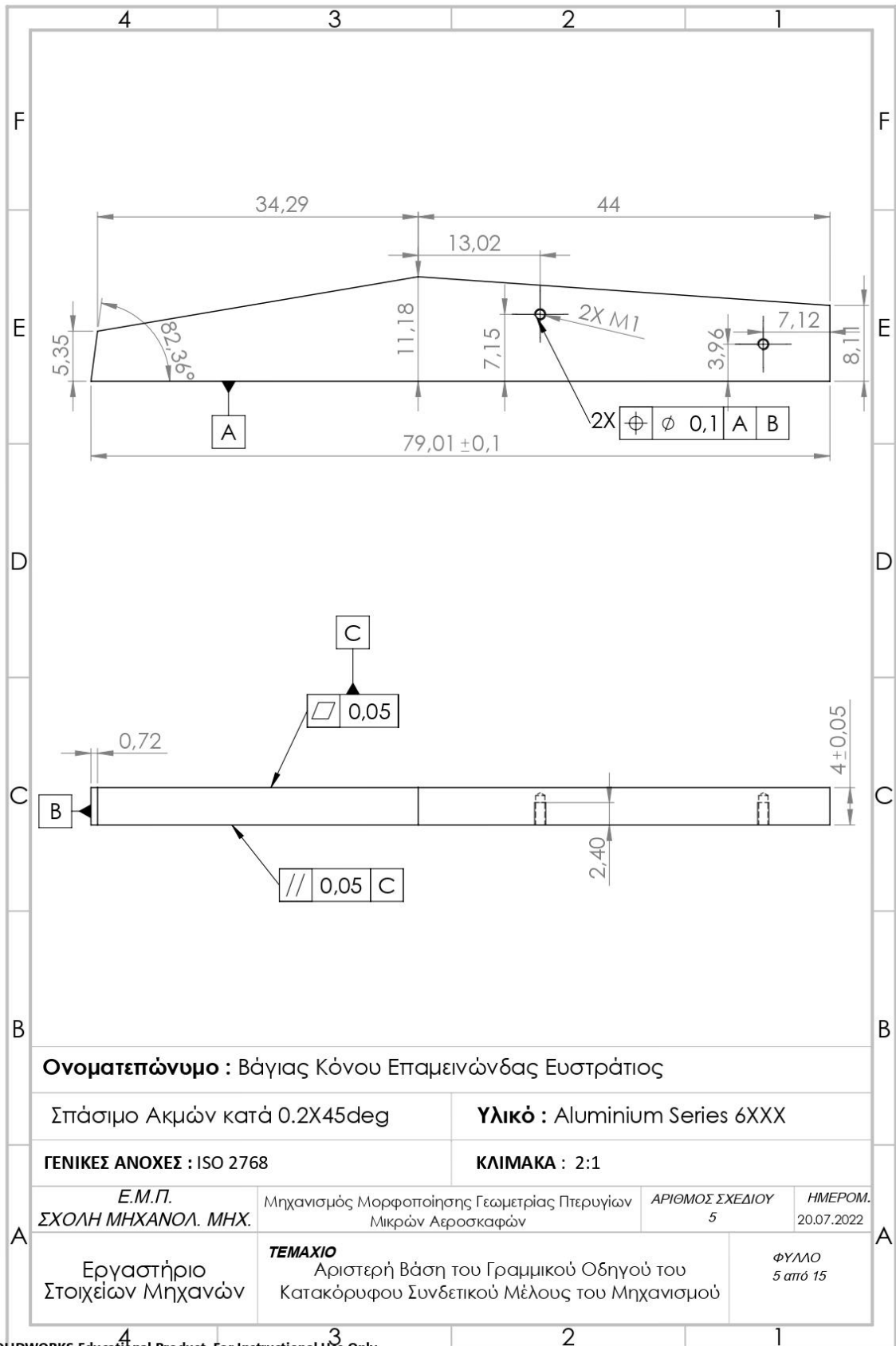
Βάσεις

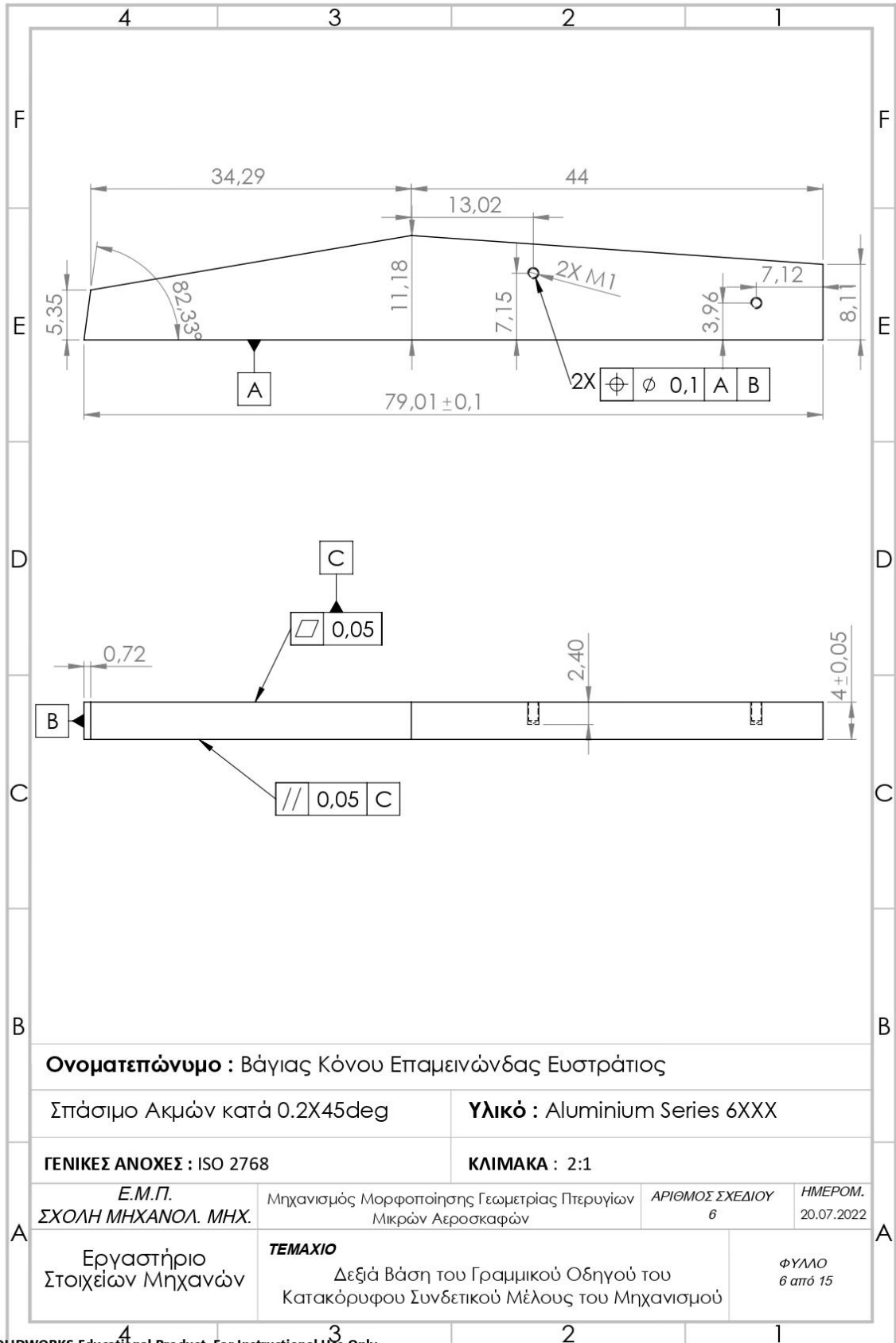


SOLIDWORKS Educational Product. For Instructional Use Only.



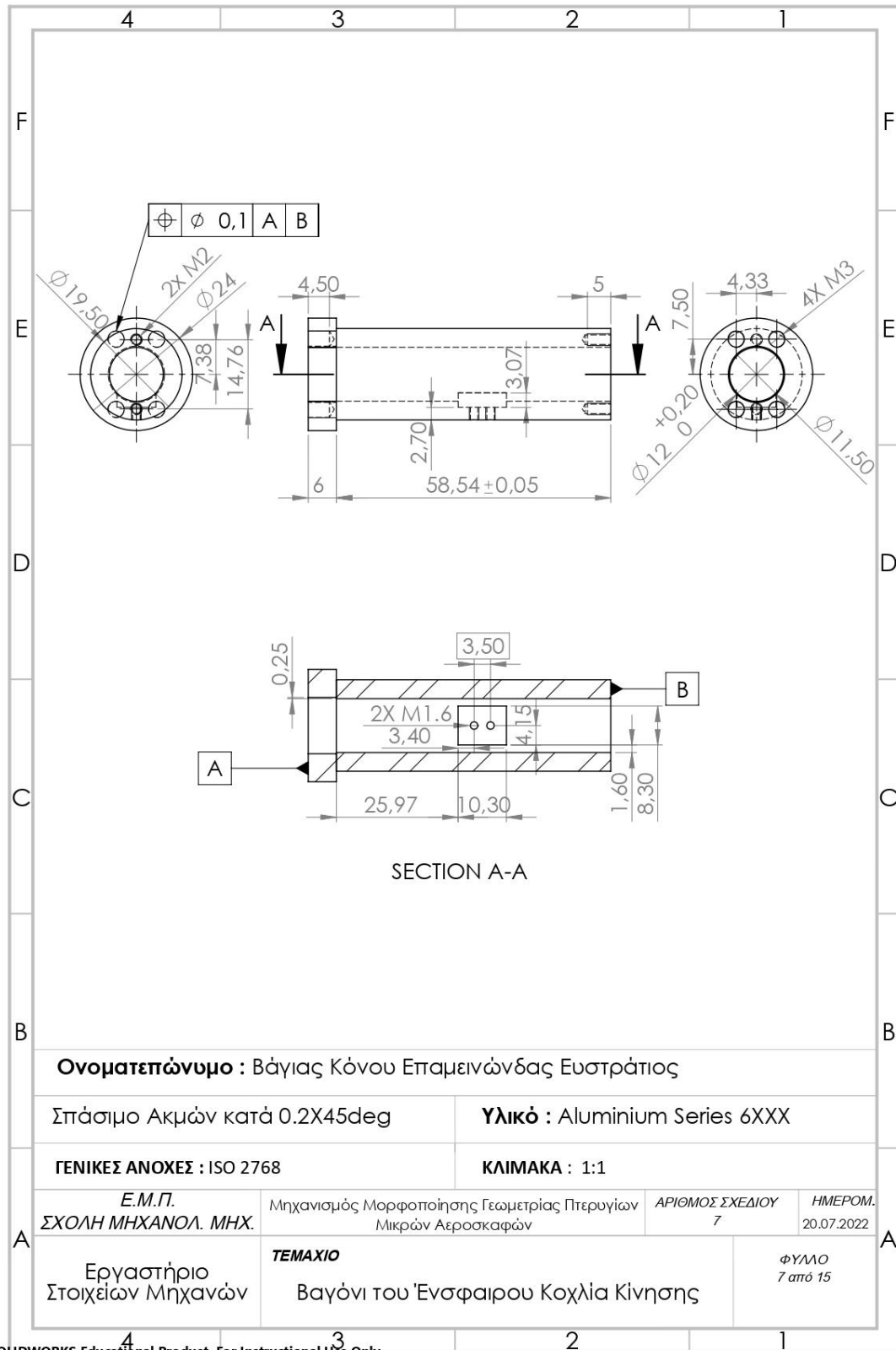
SOLIDWORKS Educational Product. For Instructional Use Only.





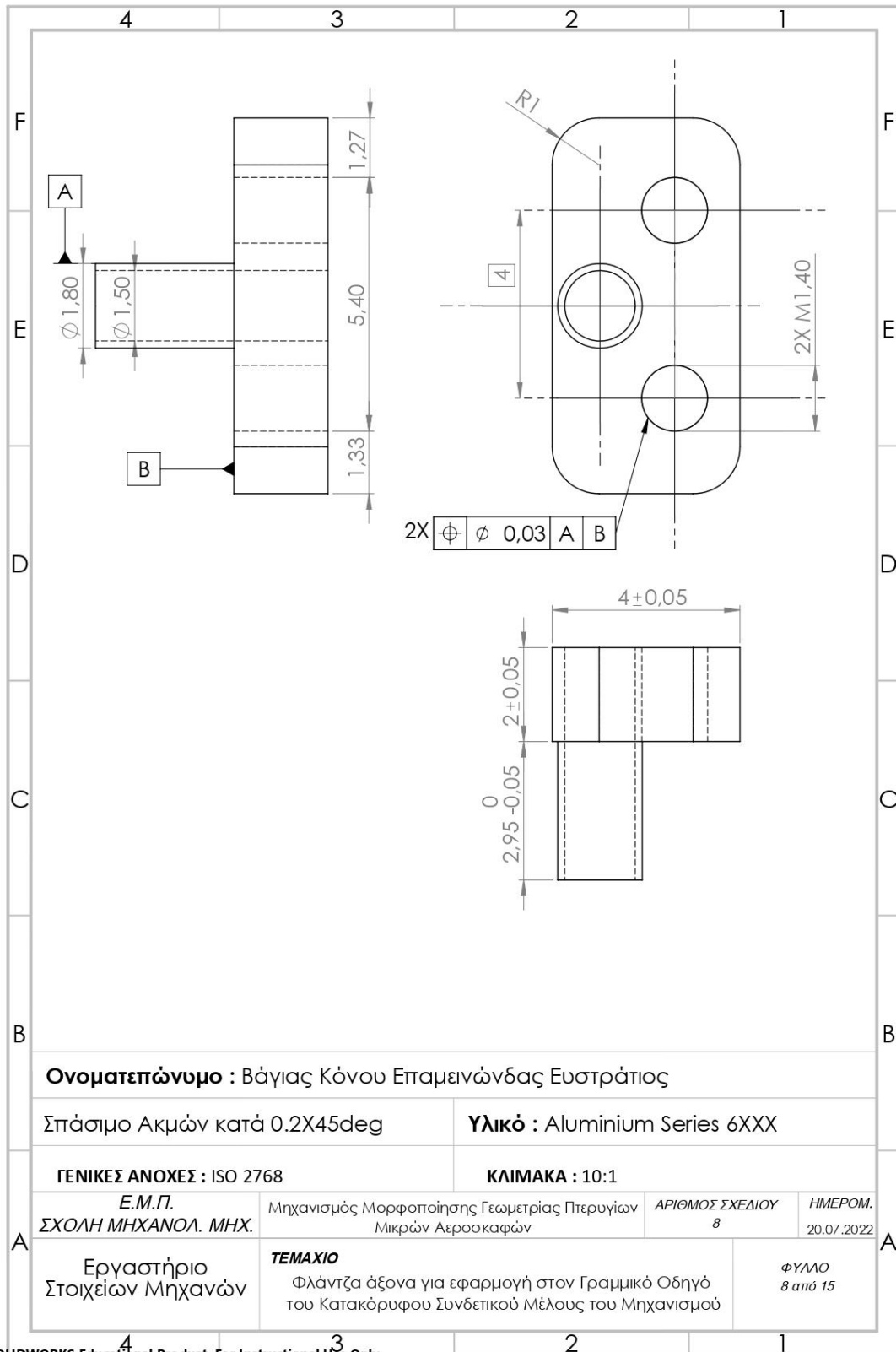
SOLIDWORKS Educational Product. For Instructional Use Only.

Βαγόνι Ένσφαιρου Κοχλία Κίνησης



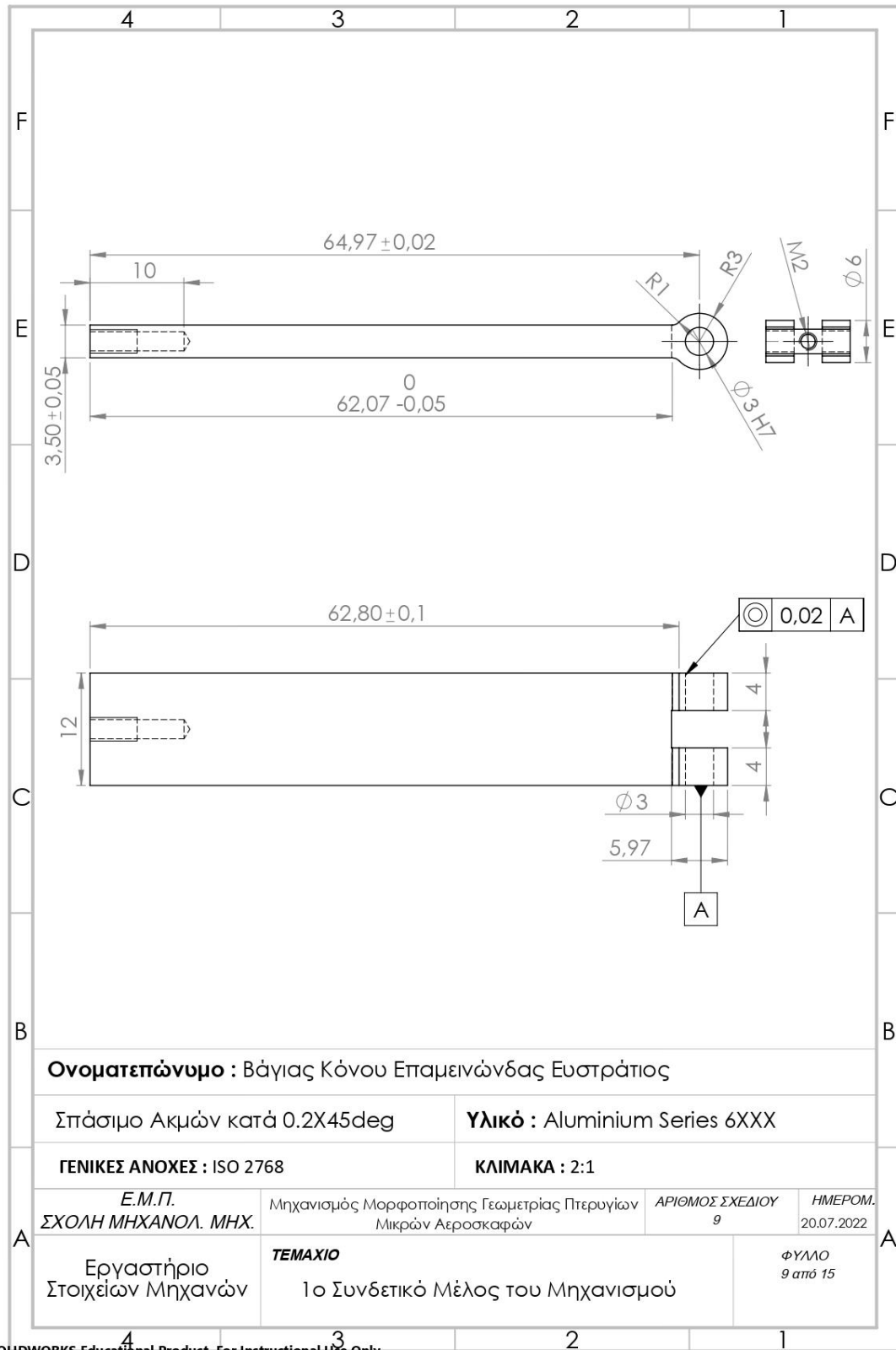
SOLIDWORKS Educational Product. For Instructional Use Only.

Φλάντζα

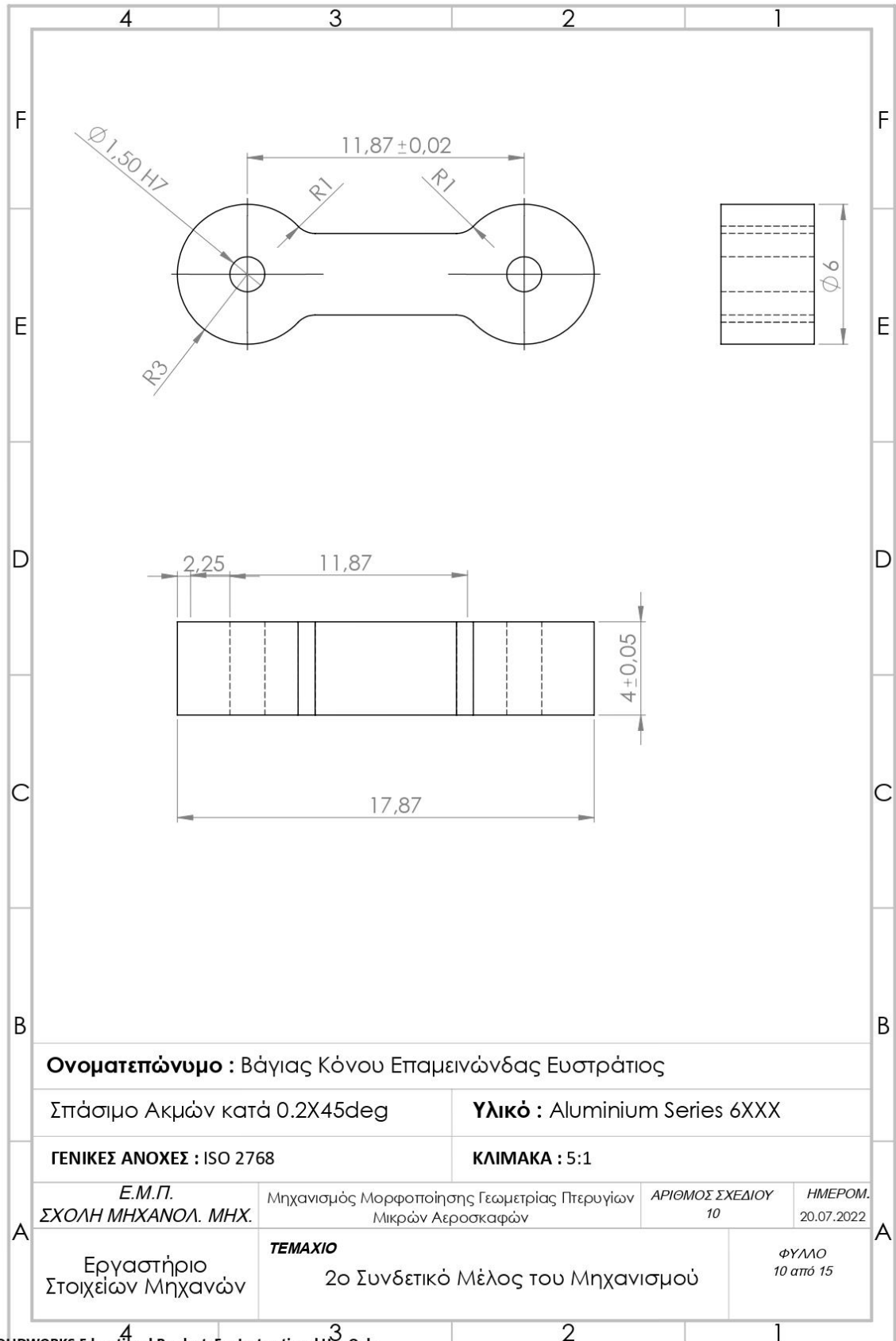


SOLIDWORKS Educational Product. For Instructional Use Only.

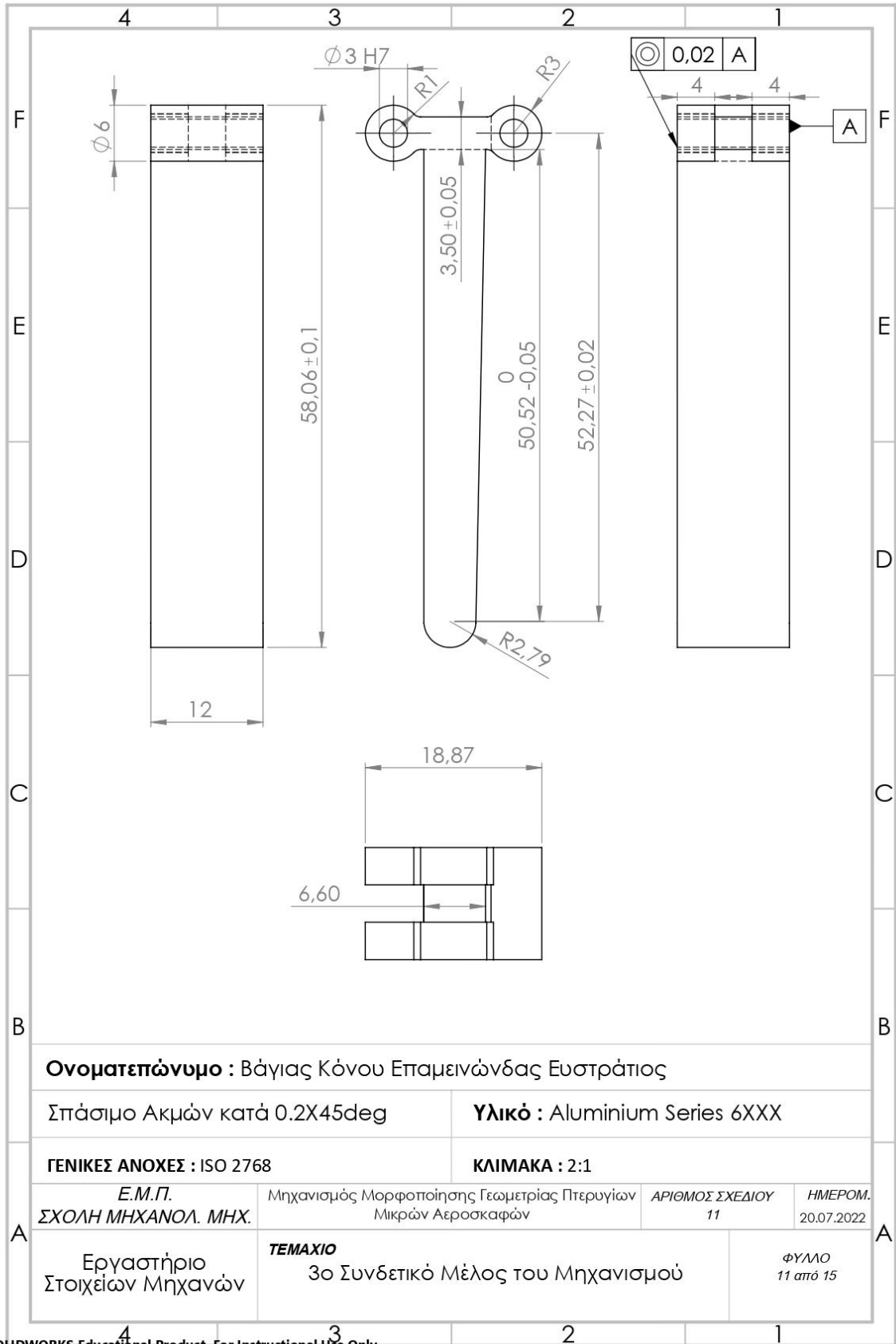
Συνδετικά Μέλη Μηχανισμού



SOLIDWORKS Educational Product. For Instructional Use Only.

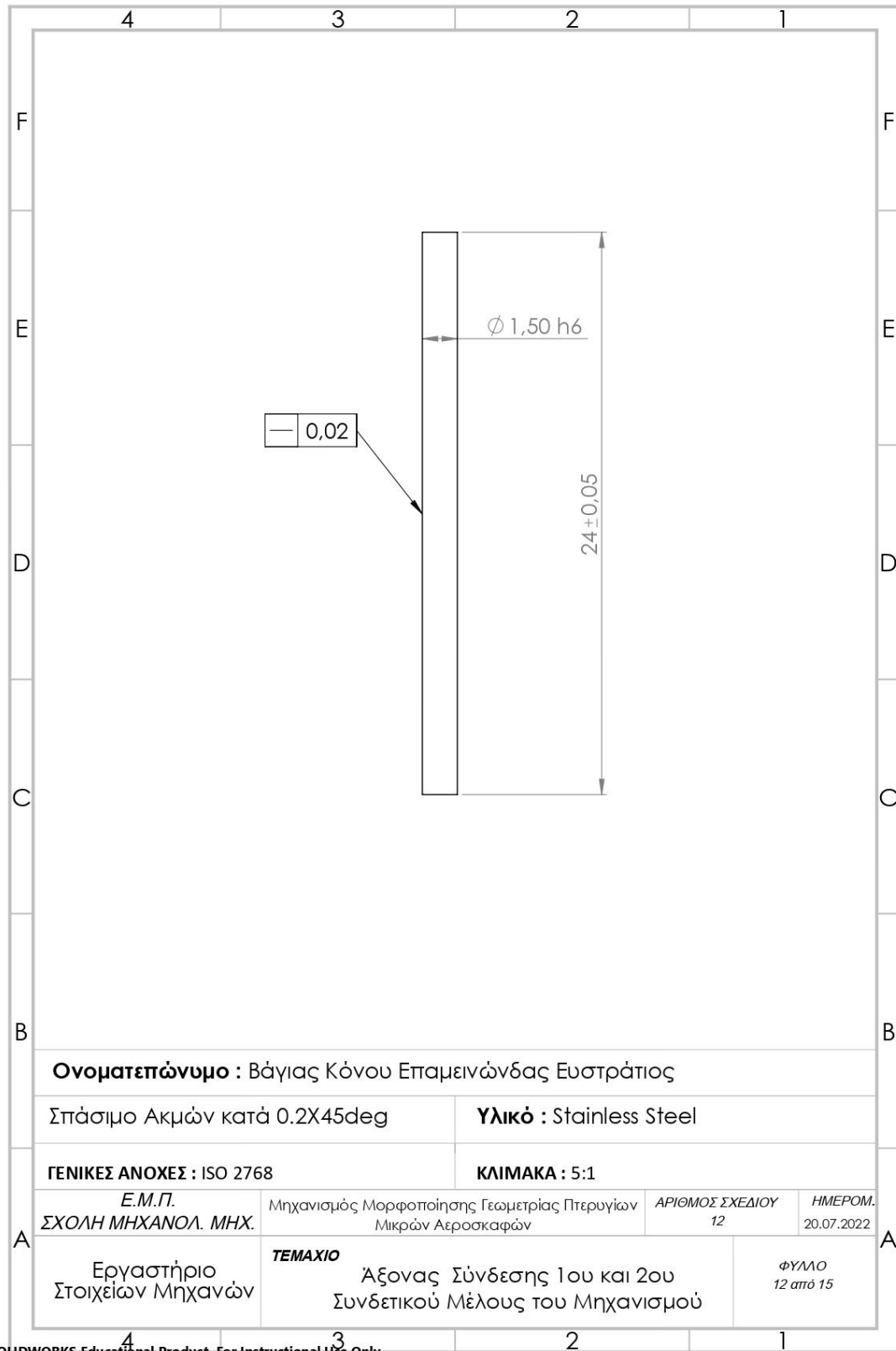


SOLIDWORKS Educational Product. For Instructional Use Only.

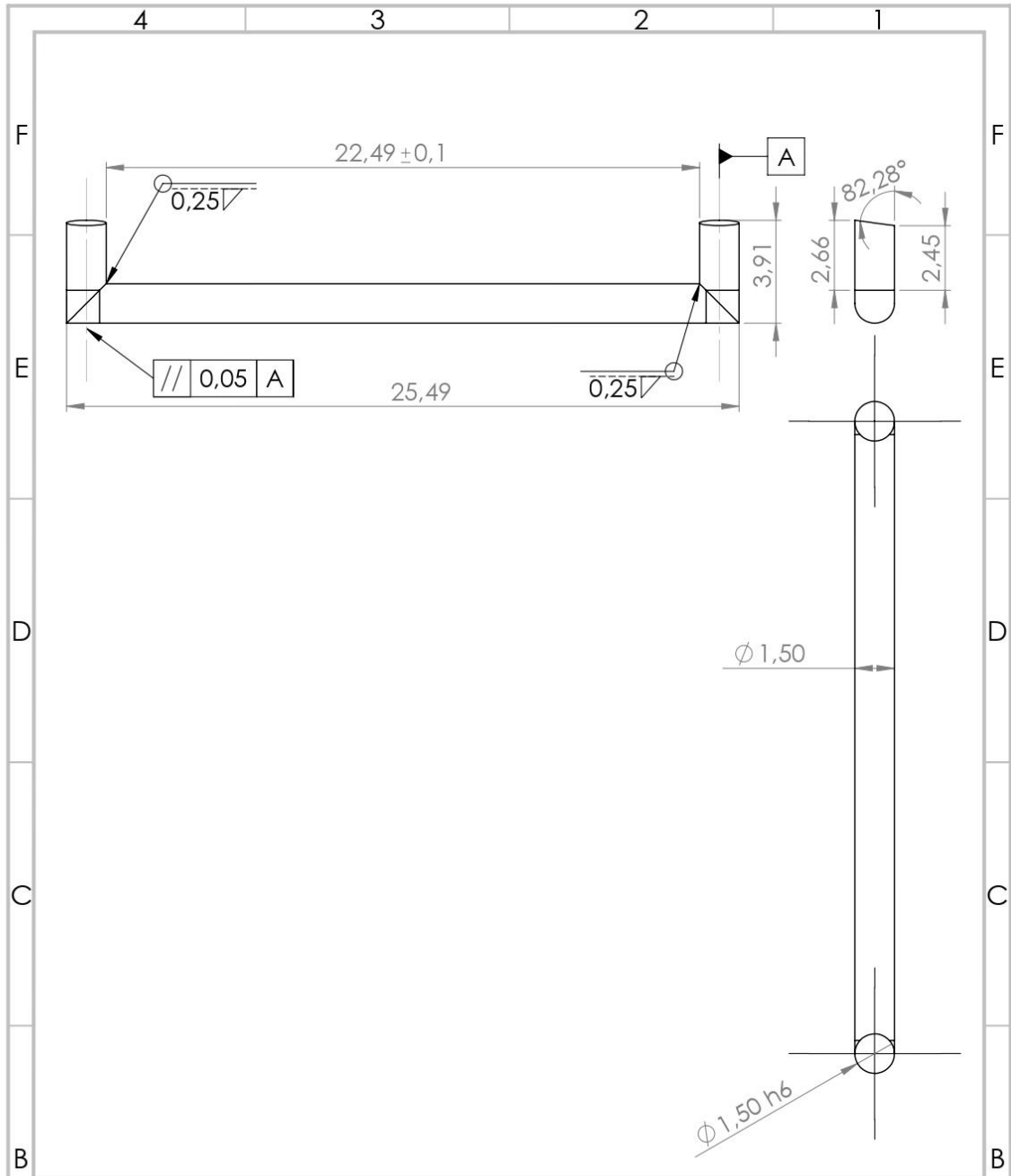


SOLIDWORKS Educational Product. For Instructional Use Only.

Άξονες



SOLIDWORKS Educational Product. For Instructional Use Only.



Όνοματεπώνυμο : Βάγιας Κόνου Επαμεινώνδας Ευστράτιος

Σπάσιμο Ακμών κατά 0.2X45deg

Υλικό : Stainless Steel

ΓΕΝΙΚΕΣ ΑΝΟΧΕΣ : ISO 2768

ΚΛΙΜΑΚΑ : 5:1

Ε.Μ.Π.
ΣΧΟΛΗ ΜΗΧΑΝΟΛ. ΜΗΧ.

Μηχανισμός Μορφοποίησης Γεωμετρίας Πτερυγίων
Μικρών Αεροσκαφών

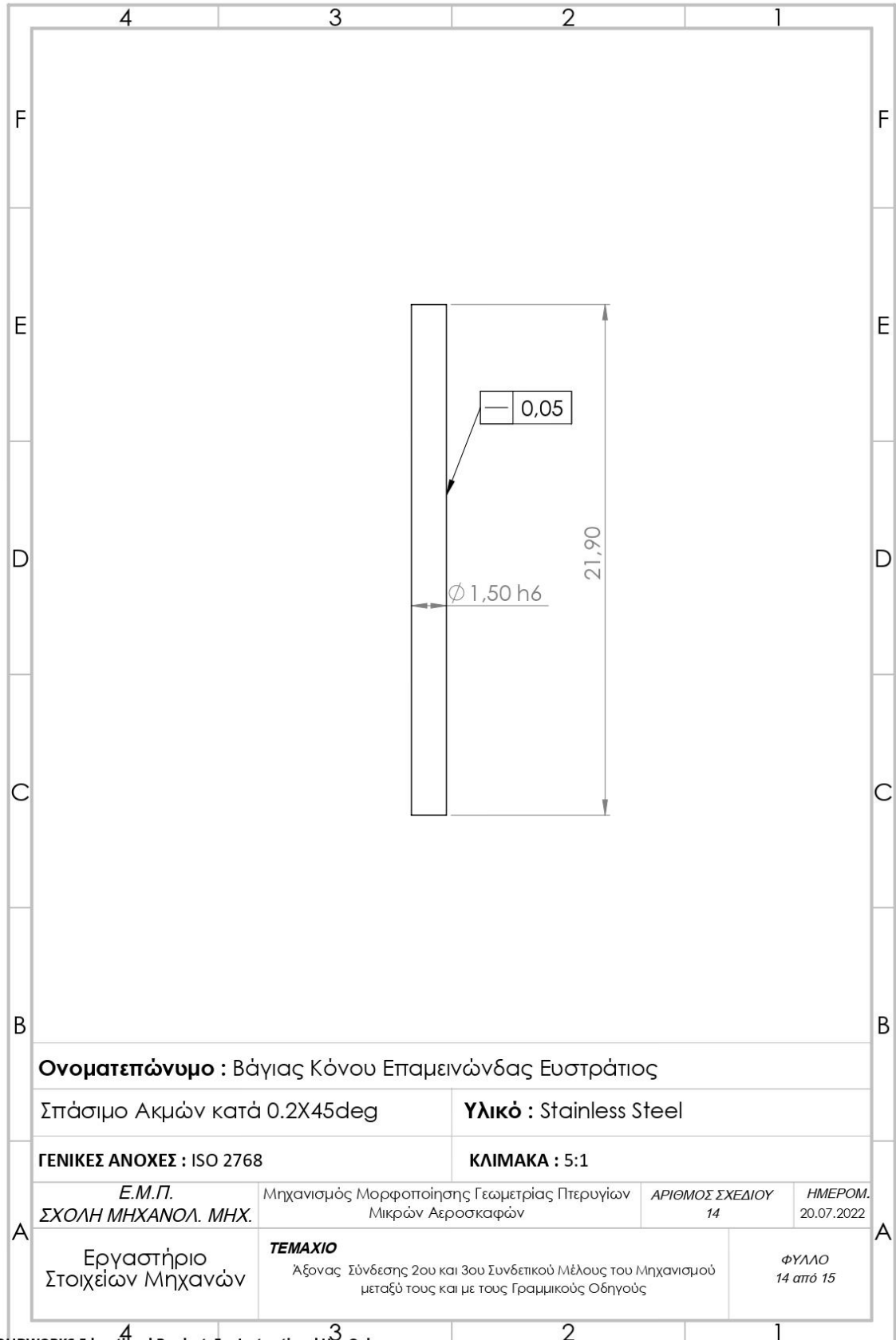
ΑΡΙΘΜΟΣ ΣΧΕΔΙΟΥ
13

ΗΜΕΡΟΜ.
20.07.2022

Εργαστήριο
Στοιχείων Μηχανών

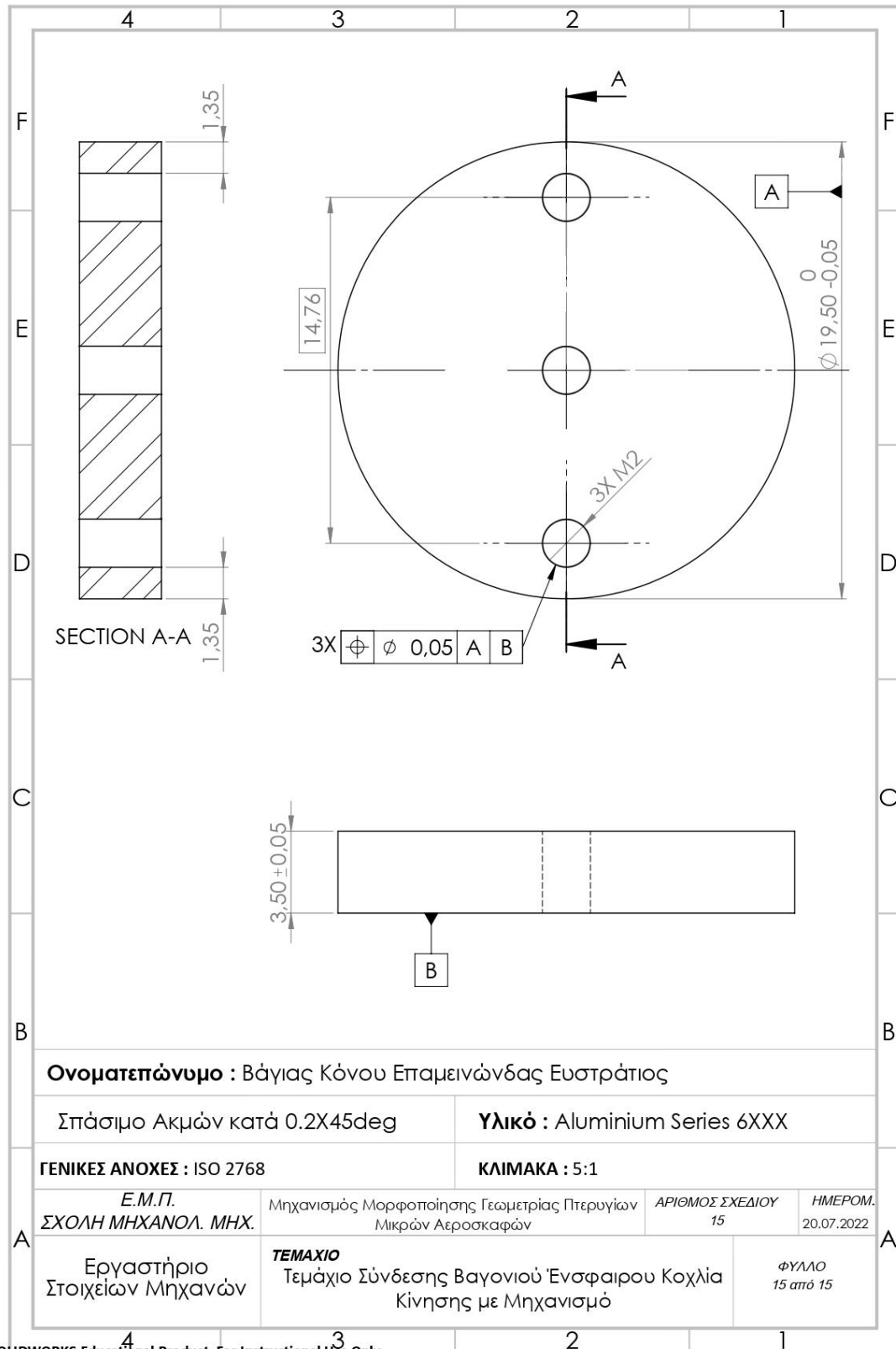
TEMAXIO
Άξονας Σύνδεσης 3ου Συνδετικού Μέλους
του Μηχανισμού με την επιφάνεια της πτέρυγας

ΦΥΛΛΟ
13 από 15



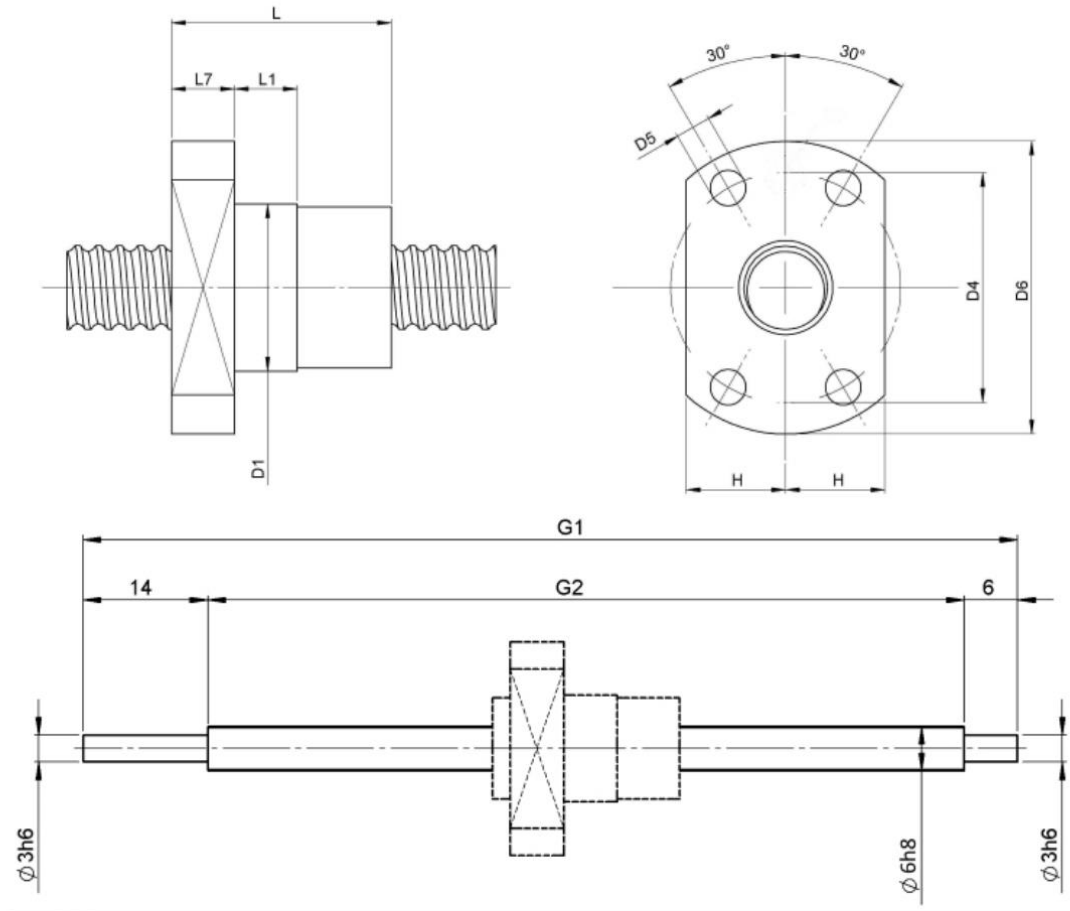
SOLIDWORKS Educational Product. For Instructional Use Only.

Τεμάχιο Σύνδεσης Βαγονιού Ένσφαιρου Κοχλία Κίνησης – Μηχανισμός



SOLIDWORKS Educational Product. For Instructional Use Only.

Ένσφαιρος Κοχλίας Κίνησης

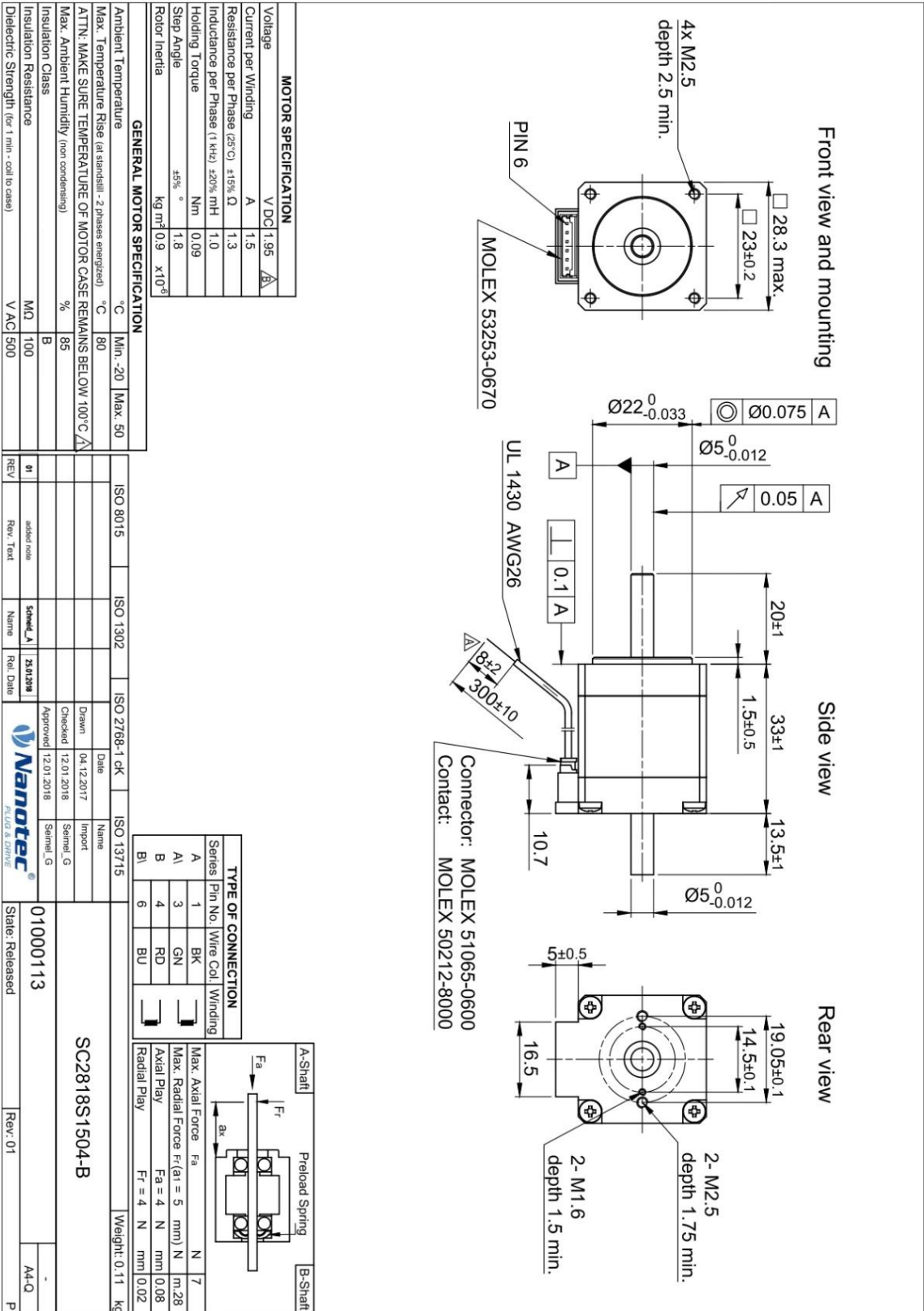


Series			1412	Accuracy		P	
Nominal diameter	[mm]	dN	6	Preload/backlash free/with backlash			backlash free
Lead	[mm]	P	2	Nut length	[mm]	L	22
Shaft style			A	Flange thickness	[mm]	L7	6
Nominal stroke	[mm]		60	Dynamic load capacity	[kN]	Ca	0,71
Overall length	[mm]	G1	110	Static load capacity	[kN]	C0a	1,08
Thread length	[mm]	G2	90	Pilot diameter	[mm]	D1	12
Ball circles		i	1x3	Pilot diameter tolerance	[mm]		g6
Ball diameter	[mm]	dW	1	Bolt circle diameter	[mm]	D4	18
DN-value			120000	Flange hole diameter		D5	3,4
No. of starts			1	Flange diameter	[mm]	D6	24
Friction torque FROM	[Ncm]		1,5	Flange flat dimension	[mm]	H	8
Friction torque TO	[Ncm]		1,5				

August Steinmeyer GmbH & Co. KG | Riedstraße 7 | 72458 Albstadt | Phone +49 (0) 7431 1288-0 | Fax +49 (0) 7431 1288-89 | info@steinmeyer.com

Drive Technology, Ball Screws, Precision Ball Screws, Miniature Ball Screws, Ultra Thrust Ball Screws, Rotating Nuts, Cooled Ball Screws, Precision Lead Screws, Differential Rolled Screws, Rolled Ball Screws

Βηματικό Μοτέρ



Μπαταρία



Specifications

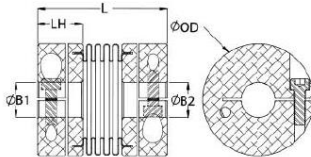
SKU	TAA5506S95XT3
ARTICLE CATEGORY	Tattu-FPV
ARTICLE NO.	TA-RL-95C-550-6S1P
NET WEIGHT (±10G)	86
BRAND	Tattu
CAPACITY	550 mAh
DISCHARGE RATE (C)	95C
PARALLEL (P)	1
VOLTAGE	6S (22.2V)
LENGTH (±5MM)	61
WIDTH (±5MM)	17
THICKNESS(±5MM)	40
WIRE GAUGE	18#
WIRE LENGTH (C/D)	25mm/45mm
CONNECTOR TYPE	XT-30
BALANCER CONNECTOR TYPE	JST-XHR

Σύνδεσμος



MBC15-5-3-A

Ruland MBC15-5-3-A, 5mm x 3mm Bellows Coupling, Aluminum, Clamp Style, 15.0mm OD, 27.2mm Length



Description

Ruland MBC15-5-3-A is a clamp bellows coupling with 5mm x 3mm bores, 15.0mm OD, and 27.2mm length. It is zero-backlash and has a balanced design for reduced vibration at high speeds. MBC15-5-3-A is comprised of two anodized aluminum hubs and a stainless steel bellows. The bellows are able to flex while remaining rigid under torsional loads allowing for all types of misalignment to be accommodated. This bellows coupling is lightweight and has low inertia making it suitable for applications with speeds up to 10,000 RPM. Hardware is metric and tests beyond DIN 912 12.9 standards for maximum torque capabilities. Ruland MBC15-5-3-A has six convolutions allowing for high torsional rigidity and making it an excellent fit for precise positioning stepper servo applications as well as encoders. It is machined from solid bar stock that is sourced exclusively from North American mills and RoHS3 and REACH compliant. MBC15-5-3-A is carefully manufactured in our Marlborough, MA factory under strict controls using proprietary processes.

Product Specifications

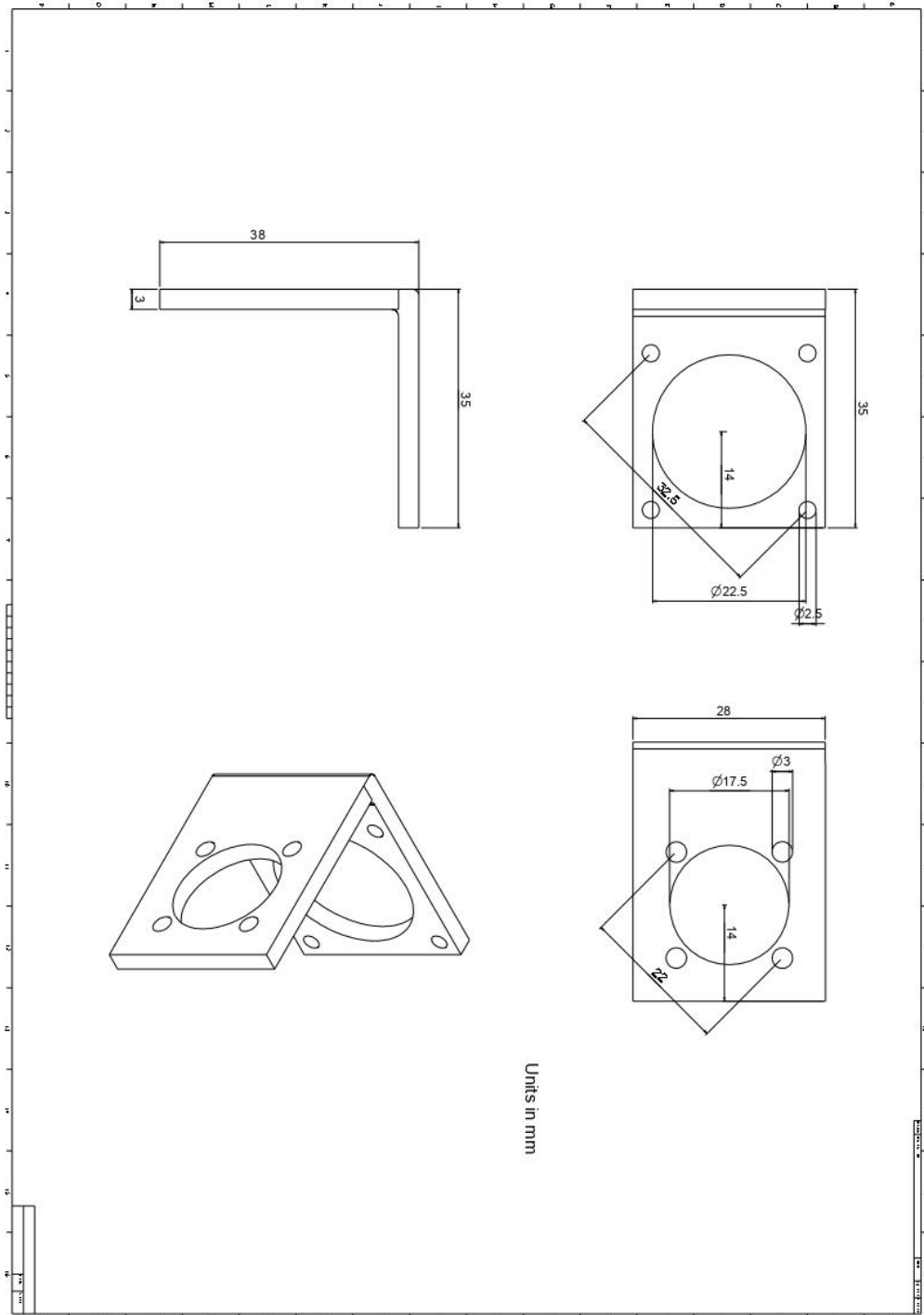
Bore (B1)	5 mm	Small Bore (B2)	3 mm
B1 Max Shaft Penetration	13.1 mm	B2 Max Shaft Penetration	13.1 mm
Outer Diameter (OD)	15.0 mm	Bore Tolerance	+0.03 mm / -0.00 mm
Length (L)	27.2 mm	Length Tolerance	+/- 0.76 mm
Hub Width (LH)	8.65 mm	Recommended Shaft Tolerance	+0.000 mm / -0.013 mm
Forged Clamp Screw	M2	Screw Material	Alloy Steel
Hex Wrench Size	1.5 mm	Screw Finish	Black Oxide
Seating Torque	0.6 Nm	Number of Screws	2 ea
Dynamic Torque Reversing	0.63 Nm	Angular Misalignment	1.5°
Dynamic Torque Non-Reversing	1.25 Nm	Parallel Misalignment	0.10 mm
Static Torque	2.5 Nm	Axial Motion	0.20 mm
Torsional Stiffness	8 Nm/Deg	Moment of Inertia	0.316 x10 ⁻⁶ kg-m ²
Maximum Speed	10,000 RPM	Full Bearing Support Required?	Yes
Zero-Backlash?	Yes	Balanced Design	Yes
Torque Wrench	TW:BT-1R-1/4-5.3	Recommended Hex Key	Metric Hex Keys
Material Specification	Hubs: 2024-T351 Aluminum Bar Bellows: Type 321 Stainless Steel	Temperature	-40°F to 200°F (-40°C to 93°C)
Finish Specification	Sulfuric Anodized MIL-A-8625 Type II, Class 2 and ASTM B580 Type B Black Anodize	Bellows Attachment Method	Epoxy
Manufacturer	Ruland Manufacturing	Country of Origin	USA
Weight (lbs)	0.019300	UPC	634529063569
Tariff Code	8483.60.8000	UNSPC	31163018
Note 1	Stainless steel hubs are available upon request.		
Note 2	Torque ratings are at maximum misalignment.		
Note 3	Performance ratings are for guidance only. The user must determine suitability for a particular application.		
Note 4	Torque ratings for the couplings are based on the physical limitations/failure point of the metal bellows. Under normal/typical conditions the hubs are capable of holding up to the rated torque of the metal bellows. In some cases, especially when the smallest standard bores are used or where shafts are undersized, slippage on the shaft is possible below the rated torque of the metal bellows. Keyways are available to provide additional torque capacity in the shaft/hub connection when required. Please consult technical support for more assistance.		
Prop 65	⚠️ WARNING This product can expose you to chemicals including Ethylene Thiourea and Nickel (metallic), known to the State of California to cause cancer, and Bisphenol A and Ethylene Thiourea, known to the State of California to		

cause birth defects or other reproductive harm. For more information go to www.P65Warnings.ca.gov.

Installation Instructions

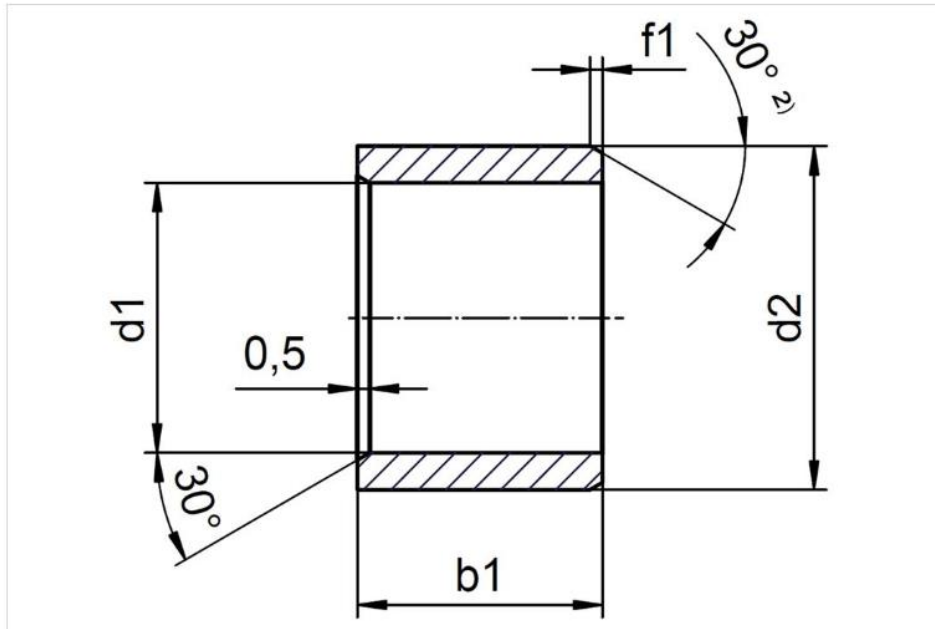
1. Align the bores of the MBC15-5-3-A bellows coupling on the shafts that are to be joined and determine if the misalignment parameters are within the limits of the coupling. (Angular Misalignment: 1.5°, Parallel Misalignment: 0.10 mm, Axial Motion: 0.20 mm)
 2. Fully tighten the M2 screw on the first hub to the recommended seating torque of 0.6 Nm using a 1.5 mm hex torque wrench.
 3. Before tightening the screw on the second hub, rotate the coupling by hand to allow it to reach its free length.
 4. Tighten the screw on the second hub to the recommended seating torque. Make sure the coupling remains axially relaxed and the misalignment angle remains centered along the length of the coupling.
 5. The shafts may extend into the relieved portion of the bore as long as it does not exceed the shaft penetration length of 13.1 mm.
-

Βάση Βηματικού Μοτέρ



Ρουλεμάν

iglide® G300, sleeve bearing, mm



2) Thickness < 1 mm: chamfer = 20°

Art.-Nr.	GSM-0103-02
$\varnothing d1$	1.5 mm
Outer diameter $d2$	3.0 mm
Bearing length $b1$	2.00 mm
Length of bevel (f)	0.3 mm

iglide® G300, sleeve bearing, mm



Dimensions

Ø d1	1.5 mm
Outer diameter d2	3.0 mm
Bearing length b1	2.00 mm
Length of bevel (f)	0.3 mm

Production and installation tolerances

▶ Testing methods	+0.014 +0.054 mm, E10
b1-Tolerance	h13
Housing bore tolerance	0 +0.010 mm, H7
Tolerance shaft	0 -0.025 mm. h9
d1 after press-fit (max.)	1.554 mm
d1 after press-fit (min.)	1.514 mm
Housing bore (max.)	3.010 mm
Housing bore (min.)	3.000 mm
Shaft size (max.)	1.500 mm
Shaft size (min.)	1.475 mm

General properties

Density	1.46 g/cm ³
Color	matt grey
Max. moisture absorption (at 23 °C/73 °F, 50% r.h.)	0.7 Wt.-%, test method DIN 53495
Max. water absorption	4.0 Wt.-%
Coefficient of sliding friction, dynamic, against steel	0.08 - 0.15 µ
pv value, max. (dry)	12,000 psi · fpm
Radioactive radiation max.	3 · 10 ² Gy

Mechanical properties

Modulus of elasticity	1,131,300 psi (7,800 MPa) test method DIN 53457
Flexural strength (at 20 °C/68 °F)	30,450 psi, test method DIN 53452
Pressure load	11,310 psi
Shore-D Hardness	81, test method DIN 53505
Max. recommended surface pressure (at +20 °C/68 °F)	11,603 psi (80 MPa)
Maximum running speed, oscillating, short-term	276 fpm (1.4 m/s)
Maximum running speed, rotating, continuous	197 fpm (1.0 m/s)
Maximum running speed, rotating, short-term	394 fpm (2.0 m/s)
Maximum running speed, oscillating, continuous	138 fpm (0.7 m/s)
Maximum running speed, linear, continuous	787 fpm (4.0 m/s)
Maximum running speed, linear, short-term	984 fpm (5.0 m/s)

Physical and thermal properties

Max. long-term application temperature	266.00 °F (130 °C)
Max. short-term application temperature	428.00 °F (220 °C)
Lower application temperature	-40.00 °F (-40 °C)
Heat conductivity	0.24 W/(m · K), test method ASTM C 177
Thermal expansion coefficient (at 23°C/73°F)	$9 \text{ K}^{-1} \cdot 10^{-5}$, test method DIN 53752

Electrical properties

Specific volume resistance	$> 10^{13} \Omega\text{cm}$, test method DIN IEC 93
Surface resistance	$> 10^{11} \Omega$, test method DIN 53482

Certificates



▶ more

According to 2011/65/EU (RoHS 2)

General Chemical resistance

Alcohol	+ to 0
Hydrocarbons	+
Greases, oils without additives	+
Fuels	+
Diluted acids	0 to -
Strong acids	-
Diluted alkalines	+
Strong alkalines	0

Γραμμικοί Οδηγοί

3.5.9 Preload

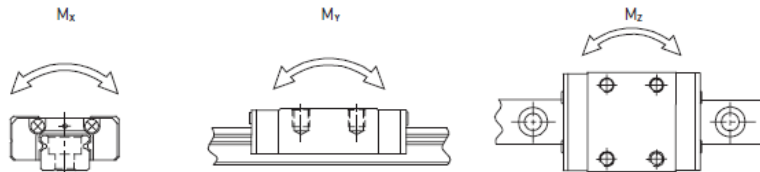
The MGN/MGW series of linear guideways offers three standard preload classes for different applications.

Identifier	Preload	Accuracy class
ZF ¹⁾	Slight backlash: 4 – 10 µm	C, H
Z0	Backlash-free: very light preload	C – P
Z1 ²⁾	Light preload: 0 – 0.02 C _{dyn}	C – P

¹⁾ Not available for size 5

²⁾ Not available for size 2 and 3

3.5.10 Load ratings and torques



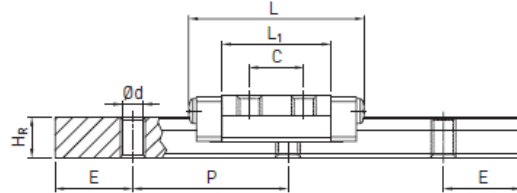
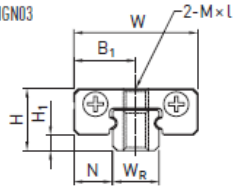
Series/Size	Dynamic load rating C _{dyn} [N] ¹⁾	Static load rating C ₀ [N]	Static moment [Nm]		
			M _{0x}	M _{0y}	M _{0z}
MGN02C	220	400	0.4	0.6	0.6
MGN03C	290	440	0.7	0.5	0.5
MGN03H	390	680	1.0	1.3	1.3
MGN05C	540	840	2.0	1.3	1.3
MGN05H	670	1,080	2.6	2.3	2.3
MGN07C	980	1,245	4.7	2.8	2.8
MGN07H	1,370	1,960	7.6	4.8	4.8
MGN09C	1,860	2,550	11.8	7.4	7.4
MGN09H	2,550	4,020	19.6	18.6	18.6
MGN12C	2,840	3,920	25.5	13.7	13.7
MGN12H	3,720	5,880	38.2	36.3	36.3
MGN15C	4,610	5,590	45.1	21.6	21.6
MGN15H	6,370	9,110	73.5	57.8	57.8
MGW02C	410	730	1.1	2.2	2.2
MGW03C	540	840	2.3	1.3	1.3
MGW03H	680	1180	3.3	2.7	2.7
MGW05C	680	1,180	5.5	2.7	2.7
MGW07C	1,370	2,060	15.7	7.1	7.1
MGW07H	1,770	3,140	23.5	15.5	15.5
MGW09C	2,750	4,120	40.1	18.0	18.0
MGW09H	3,430	5,890	54.5	34.0	34.0
MGW12C	3,920	5,590	70.3	27.8	27.8
MGW12H	5,100	8,240	102.7	57.4	57.4
MGW15C	6,770	9,220	199.3	56.7	56.7
MGW15H	8,930	13,380	299.0	122.6	122.6

¹⁾ Dynamic load rating for 50,000 m travel path

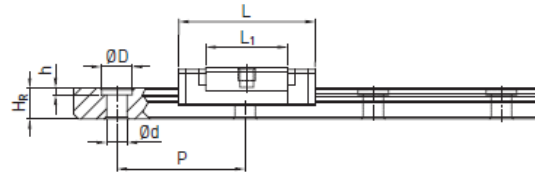
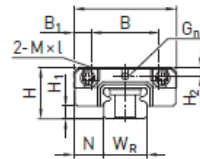
3.5.12 Dimensions of the MG blocks

3.5.12.1 MGN

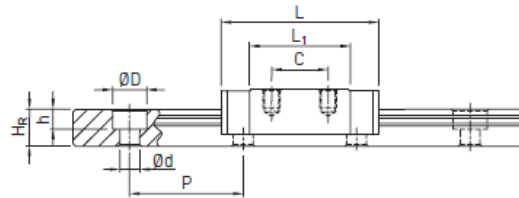
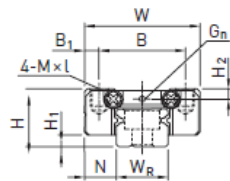
MGN02, MGN03



MGN05



MGN07, MGN09, MGN12



MGN15

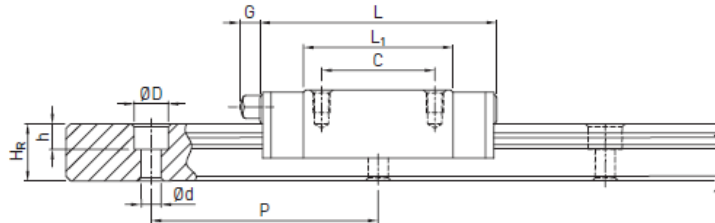
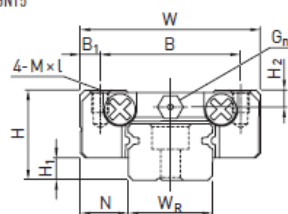


Table 3.79 Dimensions of the block

Series/size	Installation dimensions [mm]			Dimensions of the block [mm]										Load ratings [N]		Weight [kg]
	H	H ₁	N	W	B	B ₁	C	L ₁	L	G	G _n	M × l	H ₂	C _{dyn}	C ₀	
MGN02C	3,2	0,7	2,0	6	—	3	4,0	9,4	12,5	—	—	M1,4	—	220	400	0,001
MGN03C	4,0	1,0	2,5	8	—	4	3,5	7,0	11,3	—	—	M1,6	—	290	440	0,001
MGN03H	—	—	—	—	—	—	5,5	11	15,3	—	—	M2	—	390	680	0,002
MGN05C	6	1,5	3,5	12	8	2,0	—	9,6	16,0	—	Ø0,8	M2 × 1,0	1,0	540	840	0,008
MGN05H	—	—	—	—	—	—	—	12,6	19,0	—	—	1,5	—	670	1,080	0,010
MGN07C	8	1,5	5,0	17	12	2,5	8	13,5	22,5	—	Ø1,2	M2 × 2,5	1,5	980	1,245	0,010
MGN07H	—	—	—	—	—	—	13	21,8	30,8	—	—	—	—	1,372	1,960	0,020
MGN09C	10	2,0	5,5	20	15	2,5	10	18,9	28,9	—	Ø1,4	M3 × 3	1,8	1,860	2,550	0,020
MGN09H	—	—	—	—	—	—	16	29,9	39,9	—	—	—	—	2,550	4,020	0,030
MGN12C	13	3,0	7,5	27	20	3,5	15	21,7	34,7	—	Ø2	M3 × 3,5	2,5	2,840	3,920	0,030
MGN12H	—	—	—	—	—	—	20	32,4	45,4	—	—	—	—	3,720	5,880	0,050
MGN15C	16	4,0	8,5	32	25	3,5	20	26,7	42,1	4,5	M3	M3 × 4	3,0	4,610	5,590	0,060
MGN15H	—	—	—	—	—	—	25	43,4	58,8	—	—	—	—	6,370	9,110	0,090

3.5.13 Dimensions of the MG profile rail

3.5.13.1 Dimensions MGN_R

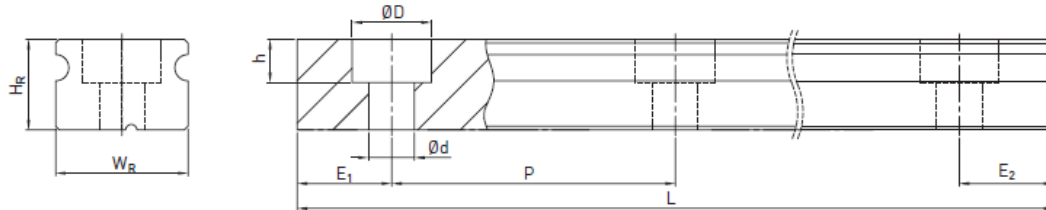


Table 3.81 Dimensions of profile rail MGN_R

Series/size	Assembly screw for rail [mm]	Dimensions of the rail [mm]						Max. length [mm]	Max. length $E_1 = E_2$ [mm]	Min. length [mm]	$E_{1/2}$ min [mm]	$E_{1/2}$ max [mm]	Weight [kg/m]
		W_R	H_R	D	H	d	P						
MGNR02R	M1	2	2.0		M1	8	250	240	12	2	6	0.03	
MGNR03R	M1,6	3	2,6		M1,6	10	250	240	14	2	8	0.05	
MGNR05R	M2 × 6 ¹⁾	5	3,6	3,6	0,8	2,4	15	250	225	23	4	11	0.15
MGNR07R	M2 × 8	7	4,8	4,2	2,3	2,4	15	600	585	25	5	12	0.22
MGNR09R	M3 × 10	9	6,5	6,0	3,5	3,5	20	1,200	1,180	30	5	15	0.38
MGNR12R	M3 × 10	12	8,0	6,0	4,5	3,5	25	2,000	1,975	35	5	20	0.65
MGNR15R	M3 × 12	15	10,0	6,0	4,5	3,5	40	2,000	1,960	52	6	34	1.06

¹⁾ Special screw (Art.No. 20-000004)

3.5.13.2 Dimensions MGW_R

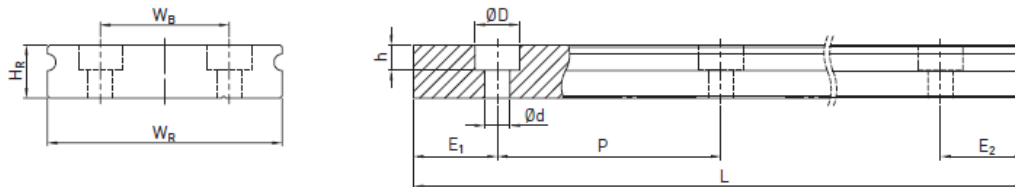


Table 3.82 Dimensions of profile rail MGW_R

Series/size	Assembly screw for rail [mm]	Dimensions of the rail [mm]							Max. length [mm]	Max. length $E_1 = E_2$ [mm]	Min. length [mm]	$E_{1/2}$ min [mm]	$E_{1/2}$ max [mm]	Weight [kg/m]
		W_R	H_R	W_B	D	H	d	P						
MGWR02R	M1,6 ³⁾	4	2,6	—	2,8	1,0	1,8	10	250	240	16	3	7	0.70
MGWR03R	M2	6	2,9	—	3,6	1,5	2,4	15	250	225	23	4	11	0.13
MGWR05R	M2,5 × 7 ²⁾	10	4,0	—	5,5	1,6	3,0	20	250	220	30	5	11	0.34
MGWR07R	M3 × 8	14	5,2	—	6,0	3,2	3,5	30	600	570	40	5	24	0.51
MGWR09R	M3 × 10	18	7,0	—	6,0	4,5	3,5	30	2,000	1,950	40	5	24	0.91
MGWR12R	M4 × 12	24	8,5	—	8,0	4,5	4,5	40	2,000	1,960	52	6	32	1.49
MGWR15R	M4 × 16	42	9,5	23	8,0	4,5	4,5	40	2,000	1,960	52	6	32	2.86

²⁾ Special screw (Art.No. 20-001741)

³⁾ Special screw

Note:

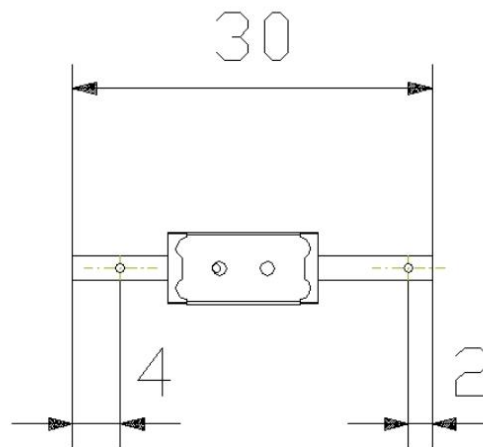
1. The tolerance for E is +0,5 to -1 mm for standard, for joint connections 0 to -0,3 mm.
2. If no information is provided on the $E_{1/2}$ dimensions, the maximum number of mounting holes is determined taking into account $E_{1/2}$ min.
3. The rails are shortened to the desired length. If no information on the $E_{1/2}$ dimensions is provided, then the rails are manufactured symmetrically.

Datasheet

Profiled rail guideway MGN02C1R30Z0HM



Dimensional drawing



Configuration attributes: MGN02C1R30Z0HM

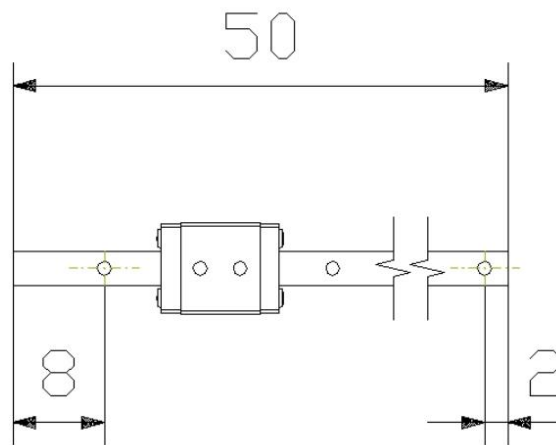
Series	MGN
Size	02
Load type	C heavy load
Blocks per rail	1
Rail mounting	R from above
Rail length	30
Block preload	Z0 light preload
Precision code	H
Rail material	M Stainless steel
Rails per axis	1
Self lube type	N Without oil lubrication unit
Coating	N ohne

Datasheet

Profiled rail guideway MGN03C1R50Z0HM



Dimensional drawing

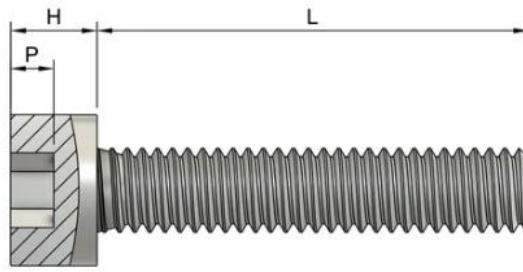
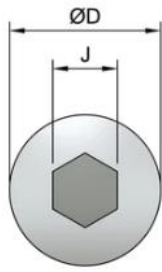


Configuration attributes:

MGN03C1R50Z0HM

Series	MGN
Size	03
Load type	C heavy load
Blocks per rail	1
Rail mounting	R from above
Rail length	50
Block preload	Z0 light preload
Precision code	H
Rail material	M Stainless steel
Rails per axis	1
Self lube type	N Without oil lubrication unit
Coating	N ohne

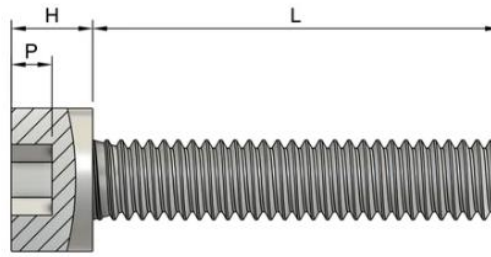
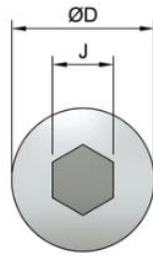
Βίδες



Technical Specification

SSCF-M2.5-5-A2

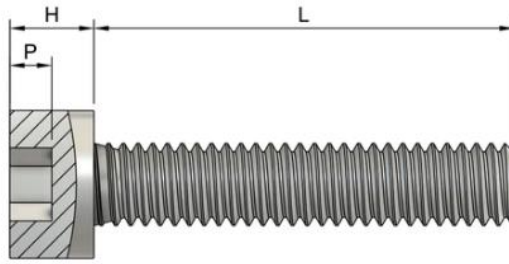
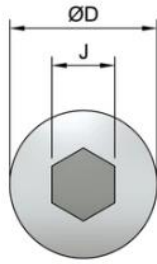
Finish	Natural
Fully Threaded	Yes
General Tolerances	+0/-0.13mm
Head Diameter (D) Tolerance	+0/-0.18mm
Head Diameter [Max] (D)	4.5mm
Head Length (H) Tolerance	+0/-0.14mm
Head Length [Max] (H)	2.5mm
Hexagon Depth (P)	1.1mm
Length (L)	5mm
Manufacturing Standard	DIN 912
Material	Stainless Steel (A2)
Material Specification	Stainless Steel (A2)
Screw Thread Pitch	0.45mm
Socket Size (J)	2mm
Thread Size	M2.5 (2.5mm)



Technical Specification

SSCF-M3-10-A2

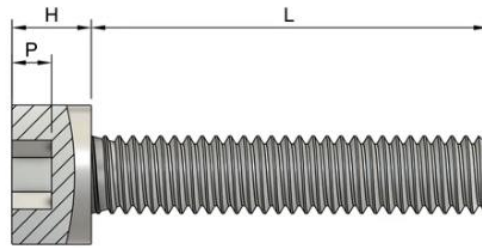
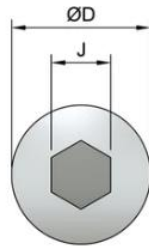
Finish	Natural
Fully Threaded	Yes
General Tolerances	+0/-0.13mm
Head Diameter (D) Tolerance	+0/-0.18mm
Head Diameter [Max] (D)	5.5mm
Head Length (H) Tolerance	+0/-0.14mm
Head Length [Max] (H)	3mm
Hexagon Depth (P)	1.3mm
Length (L)	10mm
Manufacturing Standard	DIN 912
Material	Stainless Steel (A2)
Material Specification	Stainless Steel (A2)
Screw Thread Pitch	0.5mm
Socket Size (J)	2.5mm
Thread Size	M3 (3mm)



Technical Specification

SSCF-M3-5-A2

Finish	Natural
Fully Threaded	Yes
General Tolerances	+0/-0.13mm
Head Diameter (D) Tolerance	+0/-0.18mm
Head Diameter [Max] (D)	5.5mm
Head Length (H) Tolerance	+0/-0.14mm
Head Length [Max] (H)	3mm
Hexagon Depth (P)	1.3mm
Length (L)	5mm
Manufacturing Standard	DIN 912
Material	Stainless Steel (A2)
Material Specification	Stainless Steel (A2)
Screw Thread Pitch	0.5mm
Socket Size (J)	2.5mm
Thread Size	M3 (3mm)



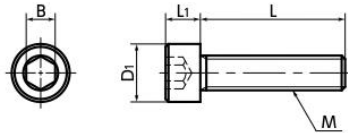
Technical Specification

SSCF-M2-8-A2

Finish	Natural
Fully Threaded	Yes
General Tolerances	+0/-0.13mm
Head Diameter (D) Tolerance	+0/-0.18mm
Head Diameter [Max] (D)	3.8mm
Head Length (H) Tolerance	+0/-0.14mm
Head Length [Max] (H)	2mm
Hexagon Depth (P)	1mm
Length (L)	8mm
Manufacturing Standard	DIN 912
Material	Stainless Steel (A2)
Material Specification	Stainless Steel (A2)
Screw Thread Pitch	0.4mm
Socket Size (J)	1.5mm
Thread Size	M2 (2mm)

SNS/SNSS Hex Socket Head Cap Screws for Precision Instruments

Miniature Size **SUS** Stainless steel



- M1 - M2.5.
Miniature screws for precision instruments.

• Application

Reducing the size of equipment and devices
Compact precision instruments

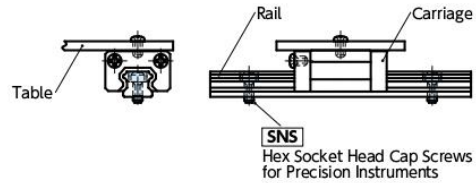
• Material/Finish



	SNS	SNSS
Main Body	SCM435 Ferroferric Oxide Coating (Black)	SUSXM7 (Equivalent to SUS304)

• Usage example

For fixing miniature linear guideway rails and tables.



Unit : mm

SNS Steel - Ferroferric Oxide Coating		SNSS Stainless steel		Common dimensions										Qty per Pack	
Part Number	Max. Torque (N·m)	Part Number	Max. Torque (N·m)	M (Coarse)		L				D1	L1	B	Mass (g)		
				Nominal	Pitch	2	3	4	5						6
		SNSS-M1	0.02	M1	0.25	2	3	4	5		2	1	0.9	0.025 - 0.039	10
		SNSS-M1.4	0.07	M1.4	0.3	2	3	4	5		2.6	1.4	1.3	0.062 - 0.085	10
SNS-M1.6	0.25	SNSS-M1.6	0.1	M1.6	0.35	3	4	5	6		3	1.6	1.5	0.09 - 0.12	10
SNS-M2	0.53	SNSS-M2	0.22	M2	0.4	3	4	5	6		3.8	2	1.5	0.16 - 0.22	10
SNS-M2.5	1.12	SNSS-M2.5	0.46	M2.5	0.45	4	5	6	8		4.5	2.5	2	0.35 - 0.47	10

• When purchasing less volume than one full bag, a separate handling fee is charged. For details, see the Sold Separately Service.

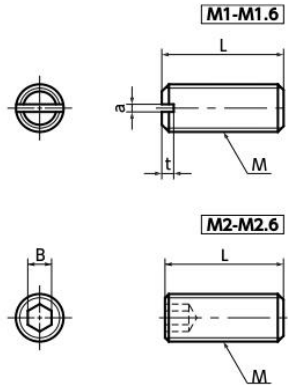
• Part number specification



Individual Sales → P.0000	Cleanroom Wash & Packaging → P.0000	Screw Length Adjustment → P.0000	Vibration Resistant → P.0000	Modification process for captive use → P.0000
Available / Add'l charge	S.S. only / Add'l charge	Available / Add'l charge	Available / Add'l charge	Not Available

SNTS Set Screws for Precision Instruments

Miniature Size **SUS** Stainless steel



- Miniature screws for precision instruments in sizes from M1 to M2.6.
- Set screws with flat point.

• Application

Reducing the size of equipment and devices
Compact precision instruments

• Material/Finish



	M1-M1.6	M2-M2.6
Main Body	Stainless Steel	SUSXM7 (Equivalent to SUS304)

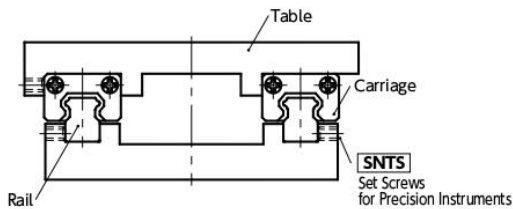
Unit : mm

Part Number	M (Coarse)		L	a	t	B	Max. Torque (N·m)	Mass (g)	Qty per Pack
	Nominal of Thread	Pitch							
SNTS-M1-FP	M1	0.25	3 4 5 6	0.35	0.35		0.003	0.012 - 0.023	10
SNTS-M1.4-FP	M1.4	0.3	3 4 5 6	0.4	0.45		0.02	0.022 - 0.049	10
SNTS-M1.6-FP	M1.6	0.35	3 4 5 6	0.4	0.5		0.03	0.029 - 0.062	10
SNTS-M2-FP	M2	0.4	3 4 5 6			0.9	0.2	0.041 - 0.092	10
SNTS-M2.5-FP	M2.5	0.45	4 5 6			1.3	0.4	0.055 - 0.13	10
SNTS-M2.6-FP	M2.6	0.45	4 5			1.3	0.4	0.094 - 0.13	10

• When purchasing less volume than one full bag, a separate handling fee is charged. For details, see the Sold Separately Service.

• Usage example

To locate and fix miniature linear guideway rails and tables.



• Part number specification

SNTS-M2-3-FP



1 Individual Sales → P.1000X	Cleanroom Wash & Packaging → P.1000X	Screw Length Adjustment → P.1000X	Vibration Resistant → P.1000X	Modification process for captive use → P.1000X
Available / Add'l charge	Available / Add'l charge	Not Available	Available / Add'l charge	Not Available

Άξονας που θα κοπεί στο εργαστήριο στα επιθυμητά μήκη με βάση τα κατασκευαστικά σχέδια που παρουσιάστηκαν παραπάνω.



For Motion Type	Rotary
End Type	Straight
Material	316 Stainless Steel
Diameter	1.5mm
Diameter Tolerance	-0.005mm to 0mm
Length	200mm
Length Tolerance	-0.25mm to 0.25mm
Straightness Tolerance	Not Rated
Edge Type	Chamfered
Hardness Rating	Medium
Hardness	Rockwell B83
Yield Strength	42,000 psi
Mechanical Finish	Precision Ground
System of Measurement	Metric
RoHS	RoHS 3 (2015/863/EU) Compliant
REACH	REACH (EC 1907/2006) (07/08/2021, 219 SVHC) Compliant
DFARS	Specialty Metals COTS-Exempt
Country of Origin	United States
USMCA Qualifying	No
Schedule B	722230.0000
ECCN	EAR99

