

## Open Schools Journal for Open Science

Vol 3, No 1 (2020)



### Μελέτη, σχεδιασμός και κατασκευή πρωτότυπου μοντέλου τύπου Formula 1, με χρήση προγραμμάτων CAD/CAM/CAE

Μάριος Σπορίδης, Αρσένης-Κλέων Χρίσκος Χρίσκος, Αχιλλέας Αραμπατζής, Γιάννης Λαγανάς, Δημήτρης Κουτσικάκης, Θεανώ Λαμπούδη, Δημήτρης Οικονόμου, Δρ. Κλαίρη Αχιλλέως, Δρ. Σταύρος Παπαδόπουλος

doi: [10.12681/osj.22320](https://doi.org/10.12681/osj.22320)

Copyright © 2020, Μάριος Σπορίδης, Αρσένης-Κλέων Χρίσκος Χρίσκος, Αχιλλέας Αραμπατζής, Γιάννης Λαγανάς, Δημήτρης Κουτσικάκης, Θεανώ Λαμπούδη, Δημήτρης Οικονόμου, Δρ. Κλαίρη Αχιλλέως, Δρ. Σταύρος Παπαδόπουλος



This work is licensed under a [Creative Commons Attribution-NonCommercial-ShareAlike 4.0](https://creativecommons.org/licenses/by-nc-sa/4.0/).

### To cite this article:

Σπορίδης Μ., Χρίσκος Α.-Κ. Χ., Αραμπατζής Α., Λαγανάς Γ., Κουτσικάκης Δ., Λαμπούδη Θ., Οικονόμου Δ., Αχιλλέως Δ. Κ., & Παπαδόπουλος Δ. Σ. (2020). Μελέτη, σχεδιασμός και κατασκευή πρωτότυπου μοντέλου τύπου Formula 1, με χρήση προγραμμάτων CAD/CAM/CAE. *Open Schools Journal for Open Science*, 3(1). <https://doi.org/10.12681/osj.22320>

# Μελέτη, σχεδιασμός και κατασκευή πρωτότυπου μοντέλου τύπου Formula 1, με χρήση προγραμμάτων CAD/CAM/CAE

Μάριος Σπορίδης<sup>1</sup>, Αρσένης-Κλέων Χρίσκοι<sup>1</sup>, Αχιλλέας Αραμπατζής<sup>1</sup>, Γιάννης Λαγανάς,  
Δημήτρης Κουτσικάκης<sup>1</sup>, Θεανώ Λαμπούδη<sup>1</sup>, Δημήτρης Οικονόμου<sup>1</sup>, Δρ. Κλαίρη Αχιλλέως<sup>2</sup>,  
Δρ. Σταύρος Παπαδόπουλος<sup>2</sup>

<sup>1</sup> 1<sup>ο</sup> Πειραματικό Λύκειο Θεσσαλονίκης «Μανόλης Ανδρόνικος», Θεσσαλονίκη, Ελλάδα

<sup>2</sup> Φυσικός, 1<sup>ο</sup> Πειραματικό Λύκειο Θεσσαλονίκης «Μανόλης Ανδρόνικος», Θεσσαλονίκη, Ελλάδα

## Περίληψη

Το αντικείμενο αυτής της εργασίας είναι η μελέτη, ο σχεδιασμός και η τελική κατασκευή ενός πρωτότυπου αμαξιδίου συγκεκριμένων (μικρών) διαστάσεων τύπου Formula 1. Προς τον σκοπό αυτό, έπρεπε να μελετήσουμε και να εξοικειωθούμε με ποικίλα φυσικά φαινόμενα που σχετίζονται κυρίως με την Αεροδυναμική. Η Αεροδυναμική είναι κλάδος της Μηχανικής που έχει ως αντικείμενο έρευνας και μελέτης τους νόμους που διέπουν τη ροή του αέρα ή άλλων αερίων γύρω από σώματα διαφορετικής μορφής. Ο σύγχρονος τρόπος σχεδιασμού και μελέτης απλών ή σύνθετων κατασκευών γίνεται με εξειδικευμένα προγράμματα σε υπολογιστή. Το αντικείμενο μελέτης σχεδιάζεται σε τρισδιάστατη απεικόνιση, η συμπεριφορά του ερευνάται με προγράμματα προσομοίωσης, ανάλογα με τα αποτελέσματα γίνονται διορθώσεις και το τελικό μοντέλο προχωρά στο στάδιο της κατασκευής. Έτσι χρειάστηκε να μάθουμε να χρησιμοποιούμε προγράμματα CAD/CAM, δηλαδή λογισμικά τρισδιάστατου σχεδιασμού και κατασκευής αντικειμένων, καθώς και CFD, δηλαδή λογισμικά που εξετάζουν την επίδραση της κίνησης του αέρα γύρω από αντικείμενα. Γνωρίζοντας την σημασία που έχει η μορφή των οχημάτων στον τρόπο με τον οποίο «συμπεριφέρονται» στον δρόμο, σχεδιάσαμε το μοντέλο μας χρησιμοποιώντας τα προγράμματα Inventor, Solidworks, και Fusion 360. Βελτιώσαμε επανειλημμένα τον αρχικό μας σχεδιασμό χρησιμοποιώντας το FlowDesign και κατασκευάσαμε το αμαξίδιο μας με χρήση εργαλειομηχανής CNC. Το βασικό μας υλικό για το μοντέλο ήταν το ξύλο balsa, ενώ πρόσθετα εξαρτήματα, όπως ρόδες και φτερά σχεδιάστηκαν και εκτυπώθηκαν σε 3D printer.

## Λέξεις κλειδιά

Προγράμματα CAD/CAE/CAM, μοντέλα Formula 1, προσομοίωση, αεροδυναμική, θεώρημα Bernoulli

## ΕΙΣΑΓΩΓΗ

Ο σύγχρονος τρόπος σχεδιασμού και μελέτης απλών ή σύνθετων κατασκευών γίνεται με εξειδικευμένα προγράμματα σε υπολογιστή.

Τα λεγόμενα προγράμματα προσομοίωσης είναι μεγάλα προγράμματα software (κώδικες) που αναπαριστούν πραγματικά φαινόμενα. Εξομοιώνουν δηλαδή την πραγματικότητα με όσο το δυνατόν μεγαλύτερη ακρίβεια. Τα προγράμματα αυτά βοηθούν στην κατανόηση και ερμηνεία πολύπλοκων φυσικών φαινομένων, στον σχεδιασμό βιομηχανικών προϊόντων, στην επίλυση τυχόν προβλημάτων λειτουργίας και στην βελτιστοποίηση των προδιαγραφών.

Τα πεδία εφαρμογής τέτοιων προγραμμάτων CAD (Computer Aided Design), CAM (Computer Aided Manufacturing) και CAE (Computer Aided Engineering) είναι πολλά. Μπορούμε επιγραμματικά να αναφέρουμε στην εκπαίδευση το εικονικό εργαστήριο και τον εξομοιωτή πτήσεων, στην ιατρική την κατασκευή τεχνητής καρδιάς, στην βιομηχανία την μελέτη και κατασκευή αυτοκινήτων, αεροπλάνων και άλλων μηχανών, στην έρευνα τις εφαρμογές μετεωρολογίας και προβλέψεων, στις εφαρμογές πληροφορικής την εικονική πραγματικότητα και τις κινηματογραφικές ταινίες.

Η συνήθης πρακτική εφαρμογής μιας διαδικασίας μελέτης η οποία θα οδηγήσει στον σχεδιασμό και την υλοποίηση ενός πρωτότυπου μοντέλου είναι η ακόλουθη. Με την βοήθεια λογισμικού τρισδιάστατης απεικόνισης, σχεδιάζεται το αντικείμενο. Στη συνέχεια το αντικείμενο χωρίζεται σε ένα σύνολο από κόμβους πάνω στους οποίους επιλύονται οι κατάλληλες εξισώσεις και λαμβάνεται ένα σύνολο από νούμερα. Τις περισσότερες φορές χρησιμοποιούνται τα αποτελέσματα από ένα πρώτο «τρέξιμο» ενός προγράμματος σαν δεδομένα για το «τρέξιμο» ενός άλλου προγράμματος. Τέλος χρησιμοποιούμε προγράμματα post-processing για να οπτικοποιήσουμε τα αποτελέσματα, να αποκαλύψουμε τυχόν σχεδιαστικά προβλήματα, να επανασχεδιάσουμε και να επανελέγξουμε. Το τελικό, βέλτιστο μοντέλο θα προχωρήσει στο στάδιο της κατασκευής.

Η ομάδα μας χαρακτηρίζεται από την αγάπη της για την τεχνολογία και ο κόσμος της Formula 1 αποτελεί για εμάς πηγή έμπνευσης και ψυχαγωγίας. Έτσι χρησιμοποιώντας διαθέσιμα προγράμματα προσομοίωσης και δανειζόμενοι τις προδιαγραφές κατασκευής αμαξιδίου τύπου Formula 1 του Διαγωνιστικού Προγράμματος «Η Φόρμουλα 1 στα Σχολεία», υλοποιήσαμε την κατασκευή ενός τέτοιου μοντέλου. Με τον τρόπο αυτό εμβαθύναμε σε διάφορους κλάδους της Μηχανικής και ιδιαίτερα της Αεροδυναμικής, μελετήσαμε τα συσχετιζόμενα φυσικά φαινόμενα (downforce: κάθετη δύναμη, drag: οπισθέλκουσα κ.ά.), εξετάσαμε τις ιδιότητες διάφορων υλικών και επιλέξαμε αυτά που θεωρήσαμε καλύτερα για την κατασκευή του σκελετού.

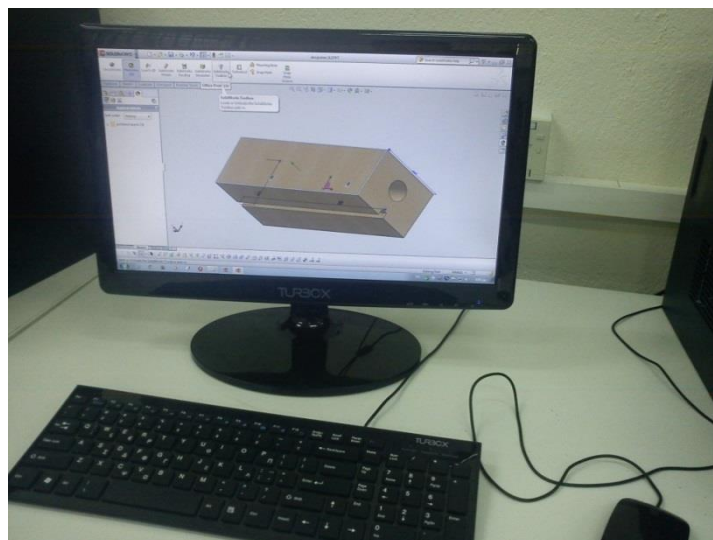
## Ο ΣΧΕΔΙΑΣΜΟΣ ΤΟΥ ΜΟΝΤΕΛΟΥ

Αφού λοιπόν μελετήσαμε τις κατάλληλες αρχές της Αεροδυναμικής και της Κινηματικής, καταλήξαμε σε συμπεράσματα σχετικά με την επίδραση που έχει η μορφή των οχημάτων στον

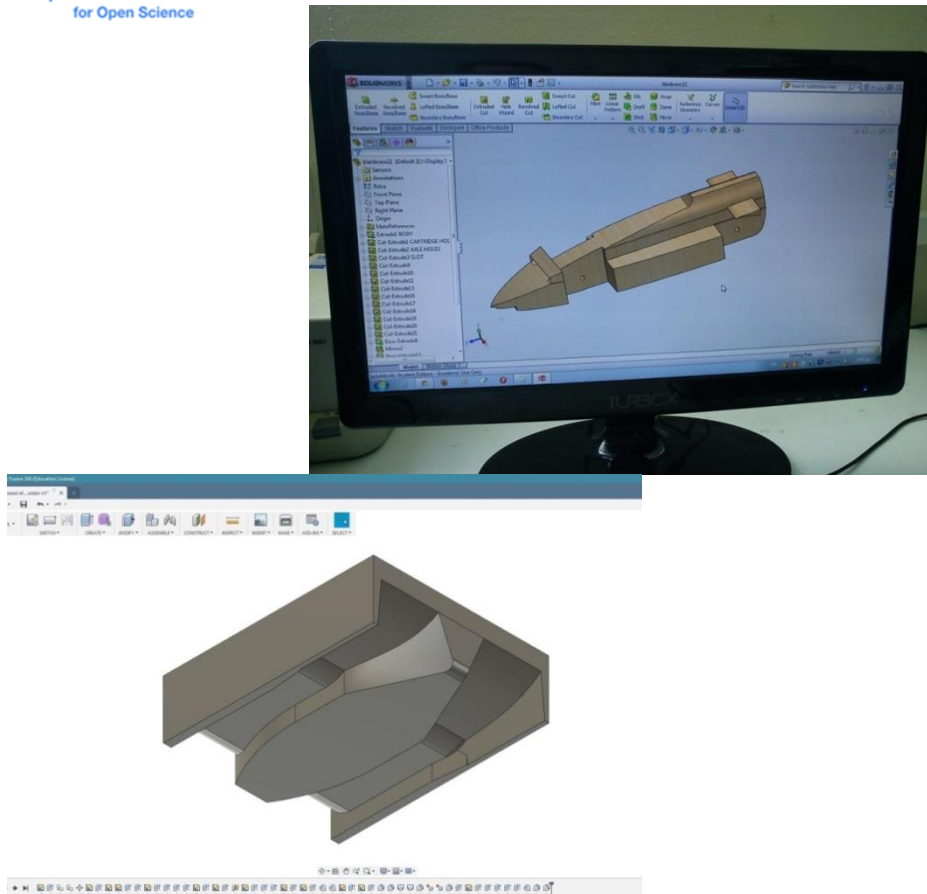
τρόπο με τον οποίο «συμπεριφέρονται». Όπως αναμέναμε, υπήρχε διαφορά στην ταχύτητα των σωμάτων, στην επιτάχυνσή τους αλλά και στην κατανάλωση των καυσίμων.

Χρησιμοποιώντας το σχεδιαστικό πρόγραμμα SolidWorks της Dassault Systèmes, αλλά και το Fusion 360 της Autodesk, δημιουργήσαμε βήμα-βήμα, το αρχικό μας μοντέλο.

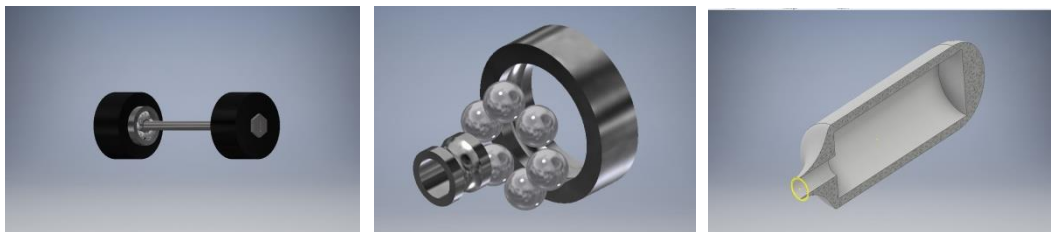
Αρχίσαμε από τον βασικό σκελετό, ένα παραλληλόγραμμο κομμάτι κατάλληλων αρχικών διαστάσεων και συνεχίσαμε με επιμέρους εξαρτήματα, όπως είναι τα μπροστά και πίσω φτερά, οι τροχοί, οι άξονες, η φιάλη CO<sub>2</sub> για την προώθηση του αμαξιδίου και τα ρουλεμάν. Με τον τρόπο αυτό κερδίσαμε εμπειρία στη χρήση προγραμμάτων CAD/CAM και εξοικειωθήκαμε με την εργασία σε τρεις (x,y,z) διαστάσεις καλλιεργώντας την χωρική μας αντίληψη, γεγονός που μας βοήθησε να «προσγειωθούμε» και να εξετάσουμε τις πιθανότητες πραγματοποίησης των αρχικών μας, «υπερβολικών» και μη υλοποιήσιμων μοντέλων.



**Εικόνα 1** Αρχή του σχεδιασμού του μοντέλου με το SolidWorks



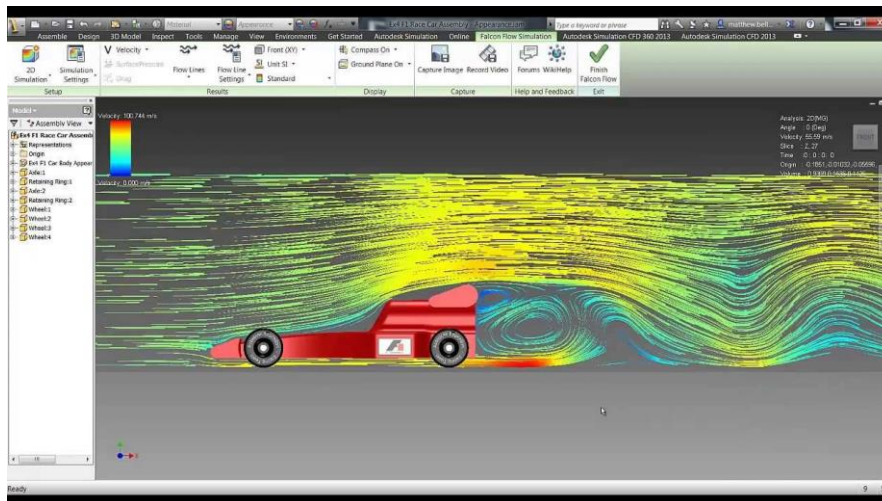
**Εικόνα 2:** Πειραματικό μοντέλο σκελετού και diffuser (κάτω) με το SolidWorks



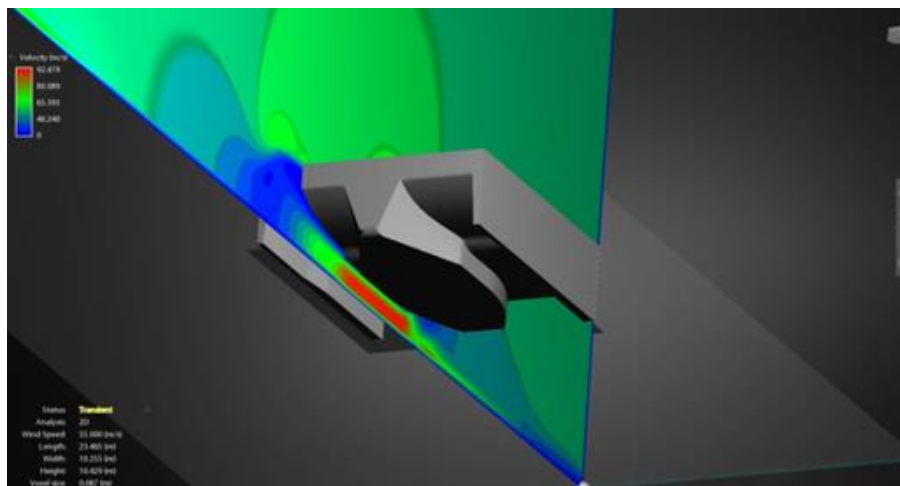
**Εικόνα 3:** Τροχοί και άξονας, Ρουλεμάν, Φιάλη CO<sub>2</sub> (τομή)

### ΔΟΚΙΜΕΣ ΚΑΙ ΒΕΛΤΙΩΣΕΙΣ

Χρησιμοποιήσαμε στη συνέχεια τον προσομοιωτή του SolidWorks και το Inventor της Autodesk για να πραγματοποιήσουμε τις αναλύσεις του αρχικού μας μοντέλου και να κάνουμε τις ενδεδειγμένες τροποποιήσεις και βελτιώσεις. Μάλιστα το κάθε κομμάτι «τεστάρεται» μεμονωμένα αλλά και ενσωματωμένο στο σύνολο του αμαξιδίου, ώστε να κατανοηθεί καλύτερα η «συμπεριφορά» του. Το πλήθος των πληροφοριών αυτών αναλύεται από την ομάδα, ώστε να γίνει η διόρθωση πιθανών ελαττωμάτων στο σχεδιασμό του μοντέλου, και η βελτίωση των ήδη υπάρχοντων χαρακτηριστικών του.



**Εικόνα 4** Αεροδυναμικές γραμμές. Προσομοίωση με το πρόγραμμα Flow Design.

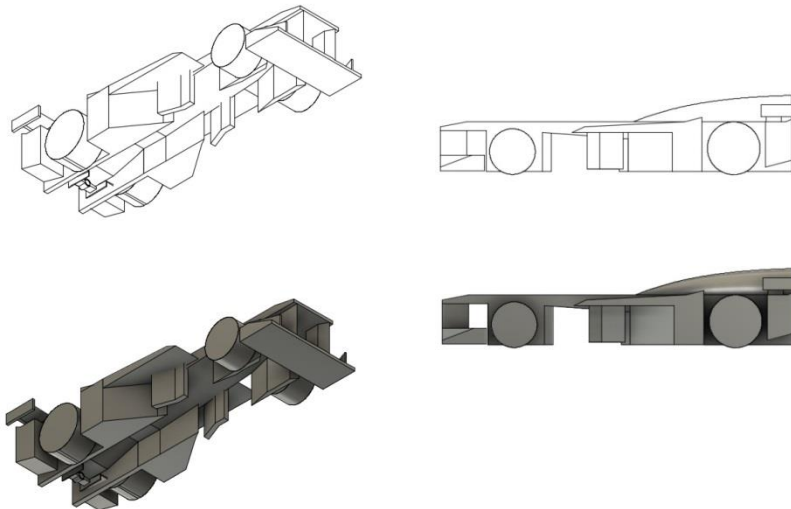


**Εικόνα 5** Υπολογισμός της ταχύτητας του αέρα κάτω από το όχημα (Flow Design).

Στα σχήματα 4 και 5, παρουσιάζονται στιγμιότυπα από την προσομοίωση κίνησης ενός μοντέλου σε αεροδυναμική σήραγγα (όλοι οι υπολογισμοί έγιναν με το FlowDesign της Autodesk). Κλειστά διαστήματα μεταξύ των αεροδυναμικών γραμμών σημαίνουν υψηλή ταχύτητα και συνεπώς χαμηλή στατική πίεση. Η διαφορά πίεσης μεταξύ των ανώτερων και χαμηλότερων επιφανειών ενός οχήματος δημιουργεί μια δύναμη, η οποία καλείται άντωση. Η άντωση τείνει να ανυψώσει το όχημα και επομένως μειώνει τα δραστικά φορτία επί των τροχών. Η αντίστροφη άντωση κάνει ακριβώς το αντίθετο. Σπρώχνει το αυτοκίνητο προς τα κάτω. Αυτό συμβαίνει διότι ο αέρας στο κάτω μέρος το αυτοκινήτου κινείται ταχύτερα (χαμηλή πίεση) από αυτόν στο πάνω μέρος (υψηλή πίεση), (Δεληπορανίδης Γ., 2010).

## ΤΟ ΤΕΛΙΚΟ ΜΟΝΤΕΛΟ

Το κυρίως σώμα (main body) του μοντέλου είναι εμπνευσμένο από τα μονοθέσια της F1 της σεζόν του 2013. Το κυριότερο χαρακτηριστικό του είναι ότι το μεγαλύτερο μέρος του λειτουργεί ως επέκταση της «μύτης» του αμαξιδίου. Έτσι είναι αρκετά ψηλά επιτρέποντας στον αέρα να περνάει από κάτω, εξασφαλίζοντας την μικρότερη δυνατή αντίσταση.



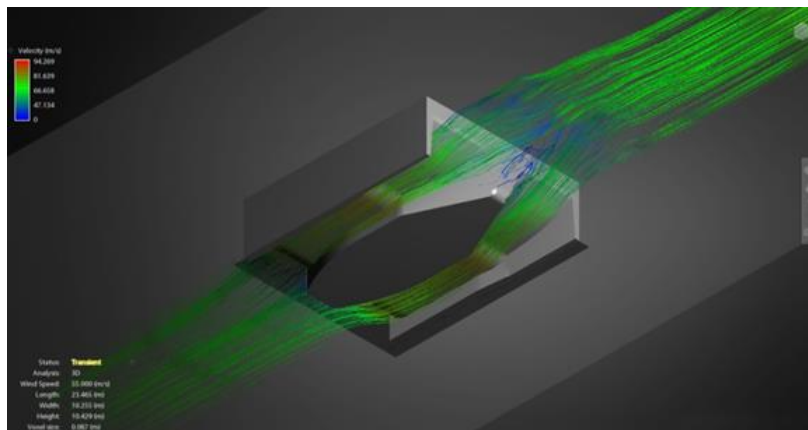
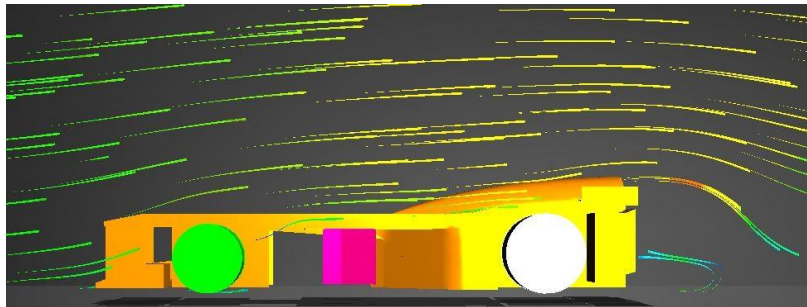
**Εικόνα 6** Κάτω δεξιά όψη και πλάγια όψη του τελικού μοντέλου

Ενώ το αρχικό μας μοντέλο είχε έναν πολύ υψηλό συντελεστή οπισθέλκουσας, επιτύχαμε να το μειώσουμε δραματικά, ανασηκώνοντας την «μύτη» (nose cone) του αμαξιδίου και επιτρέποντας στον αέρα να περάσει από κάτω. Αλλάξαμε το μπροστά φτερό με κύριο σκοπό την απομάκρυνση του αέρα από τις μπροστά ρόδες, ώστε να μειωθεί η αντίστασή του.



**Εικόνα :** Μύτη και μπροστά φτερό (αριστερά). Πίσω φτερά (δεξιά)

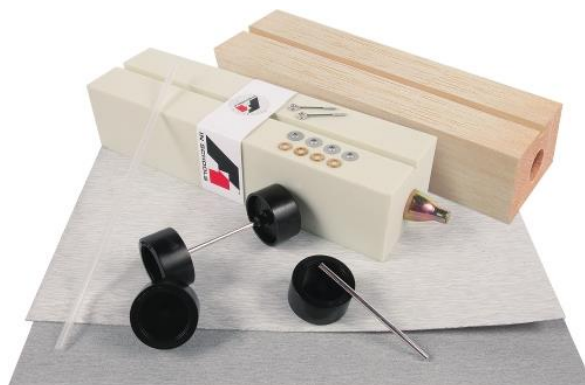
Επιπλέον, ο αέρας που περνάει δίπλα από το φτερό απομακρύνεται αρκετά ώστε να δημιουργεί ένα «τείχος» εμποδίζοντας τον αέρα δίπλα από το αμαξίδιο να παρεμβάλει στην ροή του αέρα γύρω από αυτό. Όσον αφορά στο πίσω φτερό, έχει σχεδιαστεί κατάλληλα ώστε να προσφέρει σταθερότητα στο αμαξίδιο και να το εμποδίζει από το να απογειωθεί.



Εικόνα 8: Στιγμιότυπα προσομοίωσης με το Flow Design της Autodesk

## Η ΚΑΤΑΣΚΕΥΗ ΤΟΥ ΤΕΛΙΚΟΥ ΜΟΝΤΕΛΟΥ

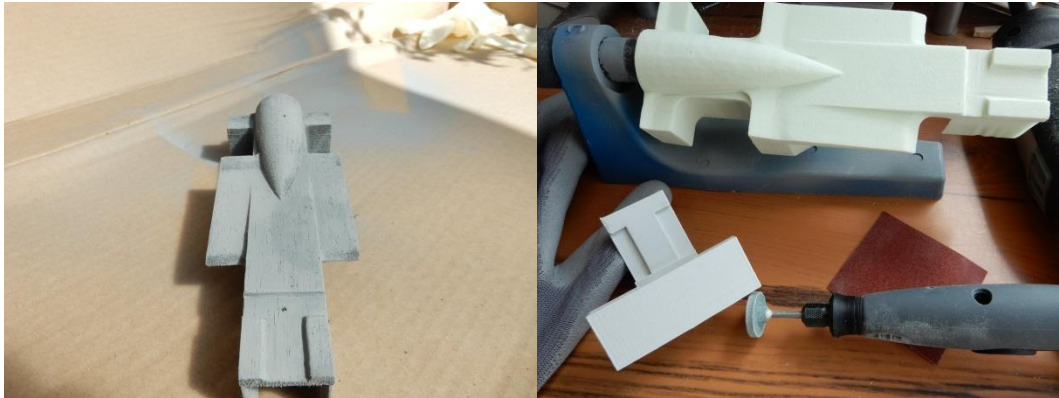
Για την κατασκευή του κυρίως σώματος του μοντέλου αρχικά χρησιμοποιήθηκε ένα βασικό κομμάτι (F1 in Schools model block) από ξύλο balsa. Έχει διαστάσεις 223mm x 65mm x 50mm και φέρει τρύπα για την τοποθέτηση του φυσιγγίου CO<sub>2</sub>. Ενώ η πρώτη μας προσπάθεια έγινε με το κομμάτι αυτό, στην συνέχεια χρησιμοποιήσαμε ένα νέο, εξελιγμένο, συνθετικό κομμάτι με καλύτερη συμπεριφορά στην κατασκευή, λείανση και βάψιμο.



Εικόνα 9 Το car kit F1 in Schools με το παλαιό και νεότερο model block



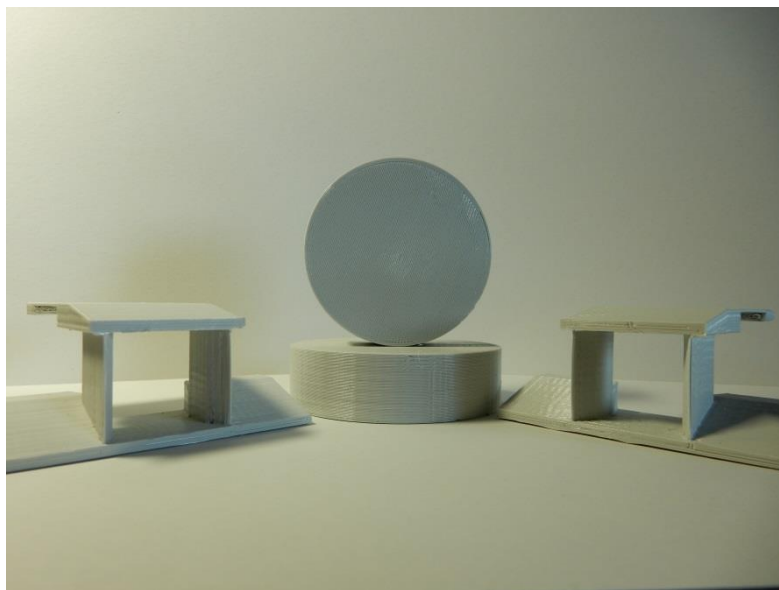
Το κυρίως σώμα «σκαλίστηκε» με CNC Machine. Κατά τον σχεδιασμό του μοντέλου προβλέφθηκαν όλα τα μέρη να έχουν επαρκές πάχος ώστε να μην σπάνουν κατά την χάραξη από την ψηφιακά ελεγχόμενη εργαλειομηχανή.



**Εικόνα 10:** Το κυρίως σώμα του μοντέλου μας από ξύλο balsa (αριστερά) και συνθετικό (δεξιά)

Το πρωτότυπο λειάνθηκε με διαφορετικής τραχύτητας γυαλόχαρτα και πέρασε από αυστηρό έλεγχο ποιότητας. Τέλος το αμαξίδιο βάρθηκε σε στρώσεις και βερνικώθηκε. Οι μπογιές και τα βερνίκια που χρησιμοποιήθηκαν πέρα από το αισθητικό κριτήριο επιλέχθηκαν και με βάση το βάρος τους ώστε το αμαξίδιο να παραμείνει όσο πιο ελαφρύ ήταν δυνατό.

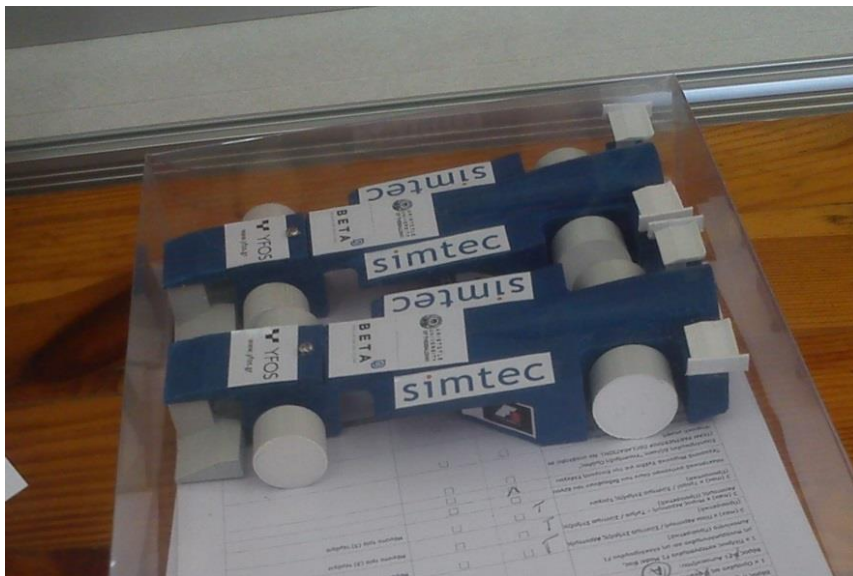
Όσον αφορά στα επί μέρους εξαρτήματα, όπως το πίσω φτερό, το κομμάτι της μύτης και το μπροστά φτερό κατασκευάστηκαν με 3D Printer και ενσωματώνονται στο βασικό κομμάτι μέσω συγκεκριμένων εγκοπών. Με τον τρόπο αυτό εξασφαλίζεται η δυνατότητα να αντικατασταθούν σε περίπτωση καταστροφής τους, ακριβώς όπως και στην Formula 1.



**Εικόνα 11** Εξαρτήματα του αμαξιδίου (μύτη, φτερά και ρόδες) τυπωμένα με 3D printer

Οι ρόδες που χρησιμοποιήθηκαν σχεδιάστηκαν από την ομάδα μας και κατασκευάστηκαν και αυτές με 3D Printer. Οι ρόδες ζυγοσταθμίστηκαν και λειάνθηκαν ώστε να παρουσιάζουν την μικρότερη δυνατή τριβή. Τέλος χρησιμοποιούνται ρουλεμάν της σειράς hybrid ceramic της BOCA bearings, τα οποία βρίσκονται μέσα στις ρόδες.

Στο σχήμα 12 παρουσιάζονται τα δυο πρωτότυπα αμαξίδια τύπου Formula 1 που τελικά συναρμολογήσαμε.



Εικόνα 12 Τα δύο αμαξίδια τύπου Formula 1 που κατασκευάσαμε

## ΣΥΜΠΕΡΑΣΜΑΤΑ

Ο σχεδιασμός του μοντέλου μας για την επίτευξη της καλύτερης δυνατής απόδοσης σε συνδυασμό με την τήρηση των προδιαγραφών είχε δυσκολίες, αλλά τελικά επετεύχθη. Παράλληλα ασχοληθήκαμε με τον σχεδιασμό επιμέρους τμημάτων και εξαρτημάτων, όπως είναι τα ρουλεμάν, οι ρόδες και η φιάλη CO<sub>2</sub> (διοξειδίου του άνθρακα).

Η εκμάθηση προγραμμάτων CAD/CAM/CAE αποτέλεσε ένα από τα πιο απαιτητικά, χρονοβόρα και δύσκολα επιτεύγματα της ομάδας μας. Ο σχεδιασμός του 3D μοντέλου, μας δυσκόλεψε ιδιαίτερα κατά την πρακτική εφαρμογή της θεωρίας. Με άλλα λόγια, η κατασκευή ενός μοντέλου το οποίο τηρεί κάποιες συγκεκριμένες προϋποθέσεις, όπως οι κλίσεις των φτερών, και η επιδίωξη της καλύτερης απόδοσης σε μια εικονική αεροσήραγγα, αποδείχθηκε πολύ απαιτητική. Στο μοντέλο μας, επίσης, τα μπροστά και πίσω φτερά κατασκευάστηκαν ξεχωριστά από 3D printers κυρίως λόγω του γεγονότος ότι υπήρχαν κάποια απότομα κοψίματα τα οποία η CNC εργαλειομηχανή πιθανόν να έσπαζε λόγω της ελαφρότητας και ευαισθησίας του ξύλου μπάλα (ακόμα και του συνθετικού κομματιού).

Ασχοληθήκαμε ιδιαίτερα με το συναρμολογικό κομμάτι της εργασίας (κυρίως σώμα και αντικαταστάσιμα μέρη). Το βάρος, η αναπτυσσόμενη τριβή και η εν γένει ανθεκτικότητα ήταν θέματα που έχριζαν διερεύνησης, με το θέμα της τριβής των τροχών να μας προβληματίζει ιδιαίτερα. Ο τρόπος σύνδεσης όλων των επιμέρους μερών του αμαξιδίου, επίσης αποτέλεσε βασικό στοιχείο προσοχής της ομάδας μας.

Η ενασχόλησή μας με όλη την διαδικασία μελέτης, σχεδιασμού, βελτίωσης και υλοποίησης μιας κατασκευής μας έφερε σε επαφή με ένα ιδιαίτερα απαιτητικό πεδίο της σύγχρονης Επιστήμης και Τεχνολογίας και μας πρόσφερε πλούσιες εμπειρίες.

### ΕΥΧΑΡΙΣΤΙΕΣ

Θα θέλαμε να ευχαριστήσουμε την ομάδα φοιτητών Aristurtle του ΑΠΘ για την πολύτιμη βοήθειά της και τις τεχνικές συμβουλές της, τις εταιρίες λογισμικού που μας παραχώρησαν την χρήση των προγραμμάτων τους και το Ίδρυμα Σταύρος Νιάρχος που μας παρείχε πολλά από τα απαραίτητα υλικά κατασκευής του αμαξιδίου. Επίσης οι θερμές μας ευχαριστίες απευθύνονται στην BETA CAE Systems η οποία μας συμπαρίσταται πάντα σε θέματα τεχνολογίας και στην Λαμπούδης Άγγελος & Σια Ο.Ε. για την βοήθειά τους στην χάραξη του μοντέλου με την CNC εργαλειομηχανή. Ευχαριστούμε επίσης τον κ. Χαρίτωνα Πολάτογλου, Καθηγητή του Τμήματος Φυσικής του ΑΠΘ και Πρόεδρο του ΕΠΕΣ, όπως και τον Δρ. Κων/νο Κεραμιδά, Διευθυντή του Σχολείου μας για την διαρκή υποστήριξη που μας προσφέρουν.

### ΒΙΒΛΙΟΓΡΑΦΙΑ

- [1] Δεληπορανίδης Γ., (Οκτώβριος 2010). Εργαστήριο Αεροδυναμικής, Τμήμα Οχημάτων. «Στοιχεία Αεροδυναμικής Οχημάτων», Τεύχος 1<sup>ο</sup>, σελ. 5-9 .
- [2] Wikipedia.org. Άρθρο «Αντίσταση (Μηχανική Ρευστών) »
- [3] Επίσημη ιστοσελίδα του οργανισμού Formula 1 «<https://www.formula1.com>»
- [4] Formula 1 Dictionary, έρευνα άγνωστου συγγραφέα επιβεβαιωμένη από παγκόσμια αναγνωρισμένες εταιρίες παραγωγής αυτοκινήτων «<http://www.formula1-dictionary.net>»
- [5] Joseph Katz, «*Race Car Aerodynamics: Designing for Speed (Engineering and Performance)* » ISBN-13: 978-0837601427, 2nd Edition, 1996, Bentley Publisher
- [5] Επίσημη ιστοσελίδα της Dassault Systèmes για το πρόγραμμα SolidWorks: <https://www.solidworks.com/>
- [6] Επίσημη ιστοσελίδα της Autodesk για τα προγράμματα Inventor, Fusion 360 και FlowDesign: <https://www.autodesk.com/products/>