

**НАЦІОНАЛЬНИЙ ТЕХНІЧНИЙ УНІВЕРСИТЕТ УКРАЇНИ
«КИЇВСЬКИЙ ПОЛІТЕХНІЧНИЙ ІНСТИТУТ
імені ІГОРЯ СІКОРСЬКОГО»**

Механіко-машинобудівний інститут

Кафедра конструювання машин

«На правах рукопису»
УДК 629.3.023:027

«До захисту допущено»
В.О. Завідувача кафедри
_____ О.А. Охріменко
(підпис)
“ ” _____ 2020 р.

Магістерська дисертація

на здобуття ступеня магістра

зі спеціальності 131 – Прикладна механіка

(код і назва)

на тему: Адаптивні аеродинамічні елементи гоночного боліду
класу «Formula SAE»
(магістерська дисертація)

Виконав (-ла): студент (-ка) 6 курсу, групи МІ-82мп
(шифр групи)

Пеліхов Сергій Сергійович

(прізвище, ім'я, по батькові)

(підпис)

Науковий керівник професор, д.т.н., проф., Пасічник В.А
(посада, науковий ступінь, вчене звання, прізвище та ініціали)

(підпис)

Рецензент _____
(посада, науковий ступінь, вчене звання, науковий ступінь, прізвище та ініціали)

(підпис)

Засвідчую, що у цій магістерській
дисертації немає запозичень з праць
інших авторів без відповідних посилань.
Студент _____

(підпис)

Київ – 2020

**Національний технічний університет України
«Київський політехнічний інститут
імені Ігоря Сікорського»**

Інститут (факультет) Механіко-машинобудівний інститут

Кафедра конструювання машин

Рівень вищої освіти – другий (магістерський)

Спеціальність 131 – Прикладна механіка

ЗАТВЕРДЖУЮ

В.О. Завідувача кафедри

_____ О.А. Охріменко
(підпис)

« ____ » _____ 2019 р.

**ЗАВДАННЯ
на магістерську дисертацію студенту
Пеліхов Сергій Сергійович
(прізвище, ім'я, по батькові)**

1. Тема дисертації на тему: Адаптивні аеродинамічні елементи гоночного
боліду класу «Formula SAE»
(магістерська дисертація) _____.

науковий керівник дисертації професор, д.т.н., проф., Пасічник В.А _____,
(прізвище, ім'я, по батькові, науковий ступінь, вчене звання)

затверджені наказом по університету від « ____ » _____ 20__ р. № _____

2. Термін подання студентом дисертації _____

3. Об'єкт дослідження Конструкція аеродинамічних елементів, що змінюють
свою форму

4. Предмет дослідження Конструювання адаптивних аеродинамічних крил
гоночного боліду, проектування елементів антикрила та технологічне
забезпечення їх виготовлення.

5. Перелік завдань, які потрібно розробити На основі аналізу конструкцій та
технічних рішень інших команд спроектувати конструкцію адаптивних
аеродинамічного крила та його елементів; підготувати пропозицію стартап-
проекту для ринку автоспорту.

6. Орієнтовний перелік ілюстративного матеріалу Виготовлення макету,
підготовка презентації.

7. Орієнтовний перелік публікацій Теза доповіді на науковій конференції за
темою дослідження _____

8. Консультанти розділів дисертації*

Розділ	Прізвище, ініціали та посада консультанта	Підпис, дата	
		завдання видав	завдання прийняв

9. Дата видачі завдання 1.09.2018 р.

Календарний план

№ з/п	Назва етапів виконання магістерської дисертації	Термін виконання етапів магістерської дисертації	Примітка
1	Загальні принципи аеродинамічних крил. Конструктивні особливості антикрил гоночного автомобіля	1.10.2018	
2	Проектування і розрахунок механізму антикрила	1.01.2018	
3	Технологічний розділ	1.04.2019	
4	Розроблення стартап-проекту	1.08.2019	
5	Підготовка презентації, оформлення роботи	10.12.2019	

Студент

(підпис)С.С. Пеліхов

(ініціали, прізвище)

Науковий керівник дисертації

(підпис)В.А. Пасічник

(ініціали, прізвище)

* Консультантом не може бути зазначено наукового керівника магістерської дисертації.

РЕФЕРАТ

Магістерська дисертація на тему «Адаптивні аеродинамічні елементи гоночного боліду класу «Formula SAE»», містить __ сторінок пояснювальної записки, рисунків - ..., таблиць - ..., використаних джерел – 20, ілюстрації, що включають 15 слайд презентації графічної частини, 1 макет.

Актуальність теми

Аеродинамічні крила покращують можливості автомобіля на високих швидкостях, а також можуть позитивно впливати на економічність автомобіля, за рахунок зменшення лобового опору та перенаправлення повітряних потоків

Зв'язок роботи з науковими програмами, планами, темами.

Магістерська дисертація виконана на кафедрі конструювання машин в Національному технічному університеті України «Київський політехнічний інститут імені Ігоря Сікорського» у відповідності з тематичним планом науково-дослідних робіт Міністерства освіти і науки України.

Мета дослідження: Підвищення ходових характеристик автомобіля із використанням адаптивних аеродинамічних крил.

Задачі дослідження:

- Огляд конструкцій та існуючих рішень, методів розрахунку основних параметрів.
- Розробка концепції, розрахунок параметрів, комп'ютерне моделювання аеродинамічних крил,
- Розробка технології виготовлення прототипу та проведення випробовувань.
- Розробка стартап проекту.

Об'єкт дослідження: конструювання адаптивних аеродинамічних крил боліду та конструкторсько-технологічних рішень для його виготовлення.

Предмет дослідження: Параметри конструкції аеродинамічних крил, проектування його складових та технологічної оснастки.

Методи дослідження: Аналіз інженерних рішень, методи активізації пошуку інженерних рішень (мозковий штурм), системний аналіз та відбір кращих рішень за системою критеріїв, моделювання структури, компонентів та загального дизайну рішення в цілому та його компонентів спираючись на сучасні системи автоматизованого проектування, моделювання, технологічного оснащення виробництва.

Наукова новизна отриманих результатів: основна ідея полягає у створенні адаптивного аеродинамічного крила боліду за критерієм мінімальної ваги та підвищенні динамічних характеристик боліду в цілому.

Практичне значення отриманих результатів: Використовуючи результати проектування було створено антикрило гоночного боліду команди «Формула Студент КПІ» сезону 2020.

Ключові слова. інженерний дизайн, проектування, аеродинаміка, антикрило, болід, адитивні технології, технологічне забезпечення.

АННОТАЦІЯ

Пеліхов С.С. Адаптивні аеродинамічні елементи гоночного боліду класу “Formula SAE”

Дисертація на здобуття наукового ступеня магістра за спеціальністю 131 – Прикладна механіка (інженерний дизайн). Національний технічний університет України «Київський політехнічний інститут імені Ігоря Сікорського». – Київ, 2019.

На основі аналізу конструкцій антикрил гоночних болідів команд «Formula SAE», визначено потребу в застосуванні прогресивних технологій виготовлення деталей аеродинамічного крила для покращення ходових характеристик автомобілю для участі в інженерно-спортивних змаганнях класу «Formula SAE». Такі технології є доступними для команд з середнім та високим рівнем достатку.

В процесі роботи було проаналізовано конструкції аеродинамічних крил болідів та спроектовано адаптивне антикрило, яке змінює форму в залежності від умов. Для перевірки правильності проектування було виконано кінематичний та технологічний аналіз всіх вузлів та елементів.

В результаті даної роботи було розроблено макет адаптивних антикрил з пластику та кріплення з металу. В дипломній роботі використовуються адитивні технології, а саме 3д друк скелету антикрила.

Ключові слова. інженерний дизайн, проектування, адаптивне антикрило, аеродинаміка, болід, притискна сила, технологічне забезпечення.

ANNOTATION

Pelikhov S. Adaptive aerodynamic elements of a race car of a class “Formula SAE”

The dissertation for obtaining a master's degree in specialty 131 – Applied Mechanics (engineering design). National Technical University of Ukraine "Igor Sikorsky Kyiv Polytechnic Institute". - Kiev, 2019.

On the basis of the analysis of the structures of the wing car racing Formula SAE teams, the need for the use of advanced technologies of manufacturing the parts of the aerodynamic wing to improve the running characteristics of the car for participation in engineering and sports competitions of the Formula SAE class was determined. Such technologies are available for mid- and high-level teams. In the process of the work, the car designs of previous seasons were analyzed and a new race car chassis and technological equipment for its production were designed. To verify the correct design, kinematic and technological analysis of all nodes and elements was performed.

In the course of the work, the aerodynamic wings of the car were analyzed and an adaptive wing was designed, which changes shape depending on the conditions. To verify the correct design, kinematic and technological analysis of all nodes and elements was performed.

Keywords: engineering design, design, suspension, transmission, chassis, car, suspension geometry, technological support.

ЗМІСТ

Зміст.....	2
Розділ 1. СУЧАСНІ РІШЕННЯ АЕРОДИНАМІЧНИХ ЕЛЕМЕНТІВ АВТОМОБІЛЕЙ АВТОМОБІЛЯ	6
1.1 Призначення і різновиди антикрил	9
1.2 Основні поняття автомобільної аеродинаміки	12
1.3. Специфічні вимоги та особливості регламенту Formula SAE	12
1.4 Програмне забезпечення для моделювання адаптивного аеродинамічного крила автомобіля	13
1.4.1. Системи автоматизованого проектування (САПР).....	13
1.4.2. Спеціальне програмне забезпечення	16
1.4.3. Обґрунтування вибору програмного забезпечення для задач проектування адаптивного антикрила	17
Розділ 2.ПРОЕКТУВАННЯ І РОЗРАХУНОК ЕЛЕМЕНТІВ АДАПТИВНОГО АНТИКРИЛА ГОНОЧНОГО БОЛІДУ КЛАСУ «FORMULA SAE»	19
2.1. Дослідження гоночного боліду без антикрил	19
2.2. Конструкція адаптивного антикрила	22
2.3. Базовий аналіз транспортних засобів	24
2.4. Продуктивність заднього антикрила	26
2.5. Прогнозування продуктивності автомобіля із заднім крилом.....	31
2.6. Параметри руху автомобіля	32
2.7. Проектування адаптивного антикрила	38
Розділ 3 ТЕХНОЛОГІЧНЕ ЗАБЕЗПЕЧЕННЯ ВИГОТОВЛЕННЯ ЕЛЕМЕНТІВ АДАПТИВНОГО АНТИКРИЛА	44
3.1.1 Виготовлення деталі « кріплення адаптивного антикрила».....	45
3.2. Застосування адитивних технологій у виготовленні деталей проекту адаптивного антикрила	50
3.2.2 Вибір механізму зміни форми крила	53
Розділ 4.СТАРТАП -ПРОЕКТ	56
4.1 Опис ідеї проекту	57
4.1.1 Аналіз потенційних техніко-економічних переваг ідеї	57

	9
4.2 Технологічний аудит ідеї проекту.....	59
4.3 Аналіз ринкових можливостей запуску стартап-проекту.....	60
4.4 Розроблення ринкової стратегії проекту.....	65
4.5 Розроблення маркетингової програми стартап-проекту.....	68
4.6 Висновки	71

ВСТУП

Formula SAE (Student) — Студентське змагання, яке було організоване спілкою автомобільних інженерів (Society of Automotive Engineers, SAE). Перші змагання відбулись 1978 року. Етапи змагань проводять в Європі, Америці, Індії, Китаї, Японії та вважаються найбільшими студентськими інженерно-спортивними змаганнями у світі. Суддями змагань виступають провідні інженери таких компаній як Porsche, Tesla, BMW, Audi, Mercedes, Skoda, які в свою чергу починали свій шлях з таких самих змагань.

Основним завданням змагань є побудова гоночного боліду, який має відповідати регламенту SAE. «Safety first» (безпека перш за все) – головний девіз змагань, тому до динамічної частини змагань допускається лише команда, яка пройшла всю технічну комісію, та змогла документально довести надійність свого автомобіля та його компонентів.

Нажаль, в Україні галузь автомобілебудування слабо розвинута, хоч і спеціалістів у даній галузі багато. Основною проблемою є те, що в нашій країні мало місць, де можна на практиці випробувати свої знання та уміння. З цих самих міркувань 2014 року на базі кафедри інтегрованих технологій машинобудування (зараз – кафедра конструювання машин) Механіко-машинобудівного Інституту КПІ ім. Ігоря Сікорського була створена інженерно-спортивна команда «Формула Студент КПІ».

Учасники команди — студенти різних факультетів, протягом кожного року самостійно проектують, виготовляють та випробовують новий гоночний болід для участі на Європейських етапах Formula Student. Позаду вже 4 етапи, а саме 2015 рік Чехія, 2016 рік Угорщина, 2017 та 2018 рік Нідерланди.

Постійне удосконалення машини потребує пошуку нових інженерних рішень, які б забезпечували досягнення все більш кращих результатів. Значна частина успіху автомобіля у динамічній частині змагань залежить від правильної аеродинаміки. Одним з елементів, який суттєво впливає на аеродинаміку машини, є антикрило. Через специфіку траси антикрила гоночного боліду як допомагають так і заважають під час перегонів, тож для того аби аеродинамічні

елементи були завжди корисні їх потрібно робити адаптивними. Зазначимо, що за попередні чотири сезони команда жодного разу не використовувала аеродинамічні антикрила, тож проектні та технологічні розрахунки виконуватимуться вперше для команди.

Мета роботи: Підвищення ходових характеристик автомобіля із використанням адаптивних аеродинамічних крил.

РОЗДІЛ 1. СУЧАСНІ РІШЕННЯ АЕРОДИНАМІЧНИХ ЕЛЕМЕНТІВ АВТОМОБІЛЕЙ АВТОМОБІЛЯ З ПІДВИЩЕНИМИ ВИМОГАМИ ДО ЕКОНОМІЧНОСТІ

Для того щоб вирішити завдання конструкторсько-технологічного забезпечення виготовлення адаптивних аеродинамічних елементів гоночного боліду класу «Formula SAE» передбачає низку завдань, основні з яких в моїй частини дипломної роботи будуть: аналіз існуючих конструкцій аеродинамічних крил який дасть можливість обрати найкращий варіант; виявлення вимог до аеродинамічних елементів згідно регламенту замахань «Formula SAE», без дотримання яких гоночний болід до змагань не допускається; проаналізувати наявні сучасні методи розрахунку аеродинаміки, а також програмне забезпечення для її симуляції, що дозволить спроектувати раціональну конструкцію.

1.1. Призначення і різновиди антикрил

Багато автомобілів, від драгових до спортивних машин мають різні види спойлерів. Деякі автомобілі, такі як автомобілі Ferrari F1, мають їх спереду та ззаду;

Автомобілі мають антикрила, щоб збільшити зчеплення з дорогою. Зазвичай вага автомобіля - це єдине, що змушує шини мати гарне зчеплення з дорогою. Без антикрил єдиним способом збільшення зчеплення було б збільшити вагу авто, а це в розріз розходиться з автоспортом, де кожен зайвий грам - це додатковий час.

Вся ця зайва вага має інерцію, яку доводиться долати, щоб повернути. Те, як працює спойлер, схоже на крило літака, але догори ногами. Спойлер насправді генерує те, що називається «притискною силою» автомобіля. Сучасні гоночні автомобілі використовують два типи антикрил: статичні (рис. 1.1) та адаптивні (рис. 1.2).



Рис. 1.1. Заднє антикрило статичне Subaru brz



Рис. 1.2. Заднє адаптивне антикрило суперкару Zenvo TSR-S

На рисунках 1.3-1.5 наведено приклади конструкцій аеродинамічних елементів для гоночних болідів, виконаних іншими командами, які є чудовими прикладами того що, не зважаючи на велику кількість обмежень в регламенті є достатньо простору для реалізації дизайнерських та конструкційних рішень:

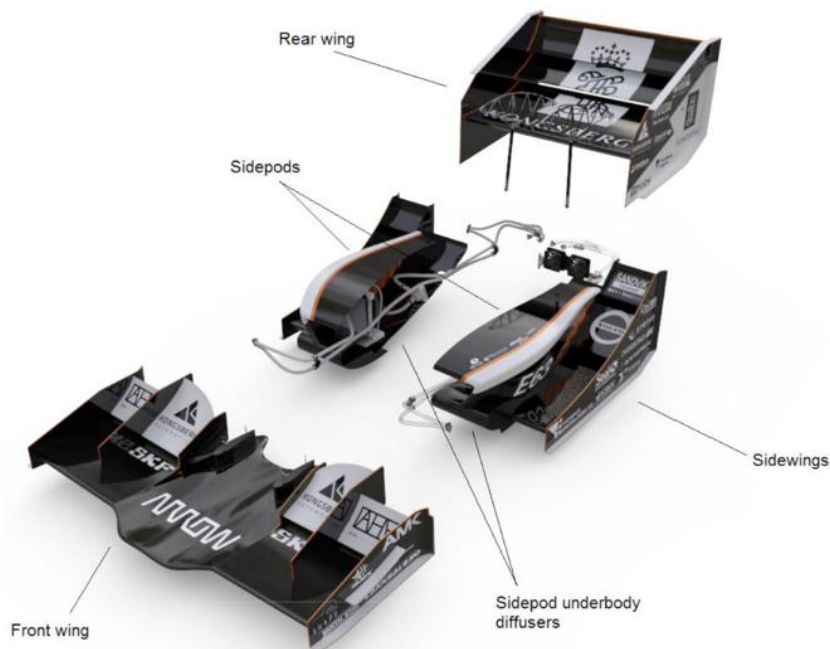


Рис. 1.3. Приклад аеродинамічної системи №1



Рис. 1.4. Приклад аеродинамічної системи №2

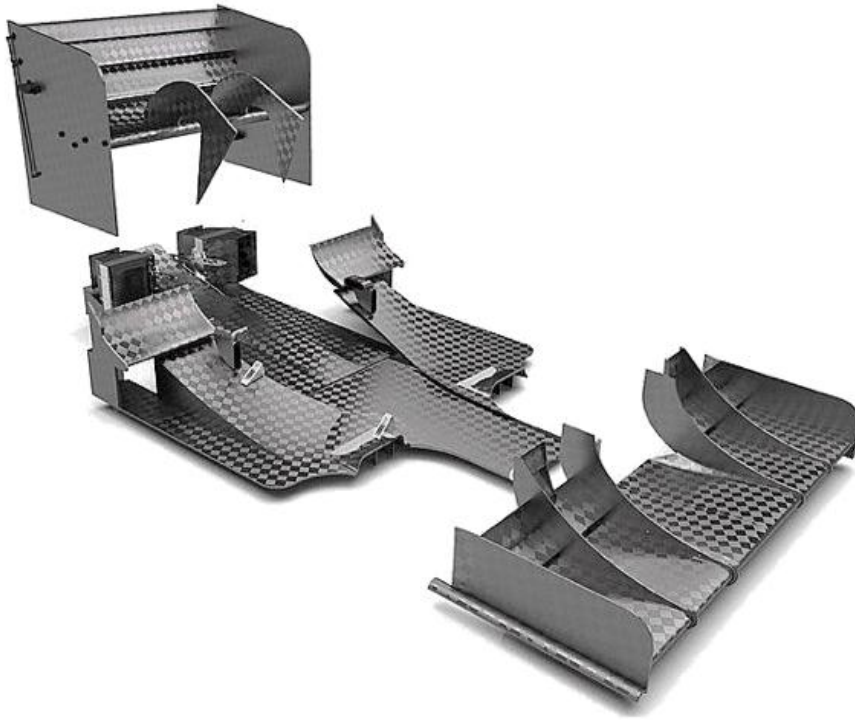


Рис. 1.5. Приклад аеродинамічної системи №2

1.2. Основні поняття автомобільної аеродинаміки

Перед тим, як компанія Ford Motor представила свою модель Т в 1908 році, яку створили Генрі Форд та його колеги, кілька винахідників також намагалися випустити дорожні транспортні засоби з різними механічними системами та навіть видами палива - але ніхто ніколи не наважувався спробувати масове виробництво. Сьогодні, за даними незалежних організацій, найшвидший автомобіль досягає 430 м/с [2]. На сьогоднішній день розробки в автомобільній галузі є досить вражаючими, що значною мірою завдяки технічним засобам високої потужності та суворим процесам досліджень.

Аеродинаміка - це поле, яке досліджує взаємозв'язок між рухомими твердими предметами та рідиною. Він суттєво впливає на споживання палива, швидкість та візуальний дизайн, що може бути виражене як пільгові теми для споживачів. Фізика аеродинаміки практично пов'язана з коефіцієнтом опору, який є безрозмірним числом, яке демонструє ступінь конфлікту між рухомим

тілом і навколишньою рідиною. Із зменшенням коефіцієнта тягання продуктивність дорожніх транспортних засобів збільшується на основі економії палива та швидкості [3]. Коефіцієнт перетягу може бути виражений наступним рівнянням:

$$C_d = 2 \cdot F / (\rho \cdot A \cdot V^2)$$

де C_d - коефіцієнт опору, F - сила тяги, ρ - густина повітря, A - фронтальна ділянка поперечного перерізу, а V - швидкість руху автомобіля. Хоча це експериментальне дослідження широко використовується для вивчення аеродинаміки, це все ще є складним процесом встановлення належної експериментальної установки, яка включає різні перешкоди, такі як механічні споруди, вартість експлуатації та гнучкість масштабу. Як результат обчислювальна гідро- та аеродинаміка, (CFD - computational fluid dynamics) була часто застосовуваним інструментом в аеродинаміці протягом більше півстоліття. Наприклад, перевірене дослідження CFD може зменшити загальну кількість експериментальних досліджень у чотири рази чи, можливо, більше.

Коефіцієнт притиску транспортного засобу типу «крила» (рис. 1.6) та зміна коефіцієнта притиску через роки, пропорційний кузову транспортного засобу (рис. 1.7).

Швидкість транспорту тісно пов'язана з формою тіла, що охоплюється повітрям. Куля, птахи, літальні апарати мають подібну будову, щоб максимально зменшити силу тяги. Крила - також називається аерофолом - це модель, яка забезпечує ефективне переміщення предмета всередині зони, де існує рідина. Щоб розробити швидкісний транспорт, виробники авто впродовж багатьох років змінювали корпус та допоміжні елементи на кузові.

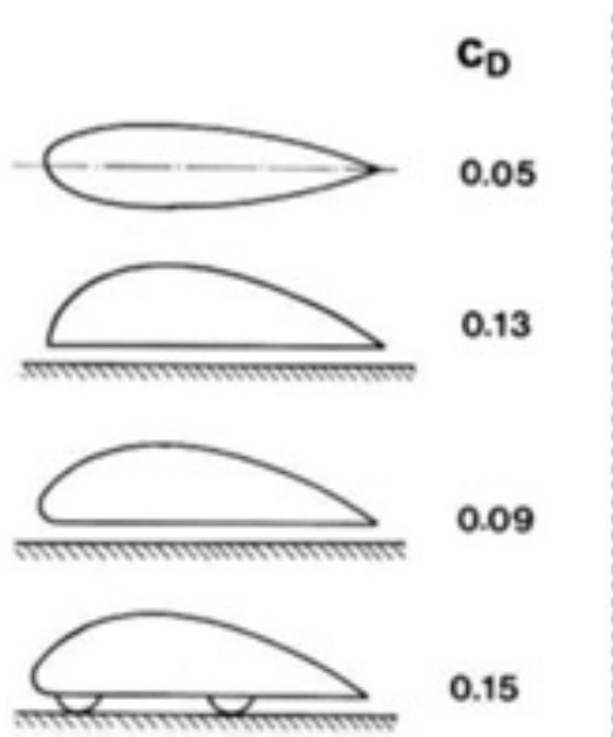


Рис.1.6. Коефіцієнт притиску транспортного засобу типу «крила»

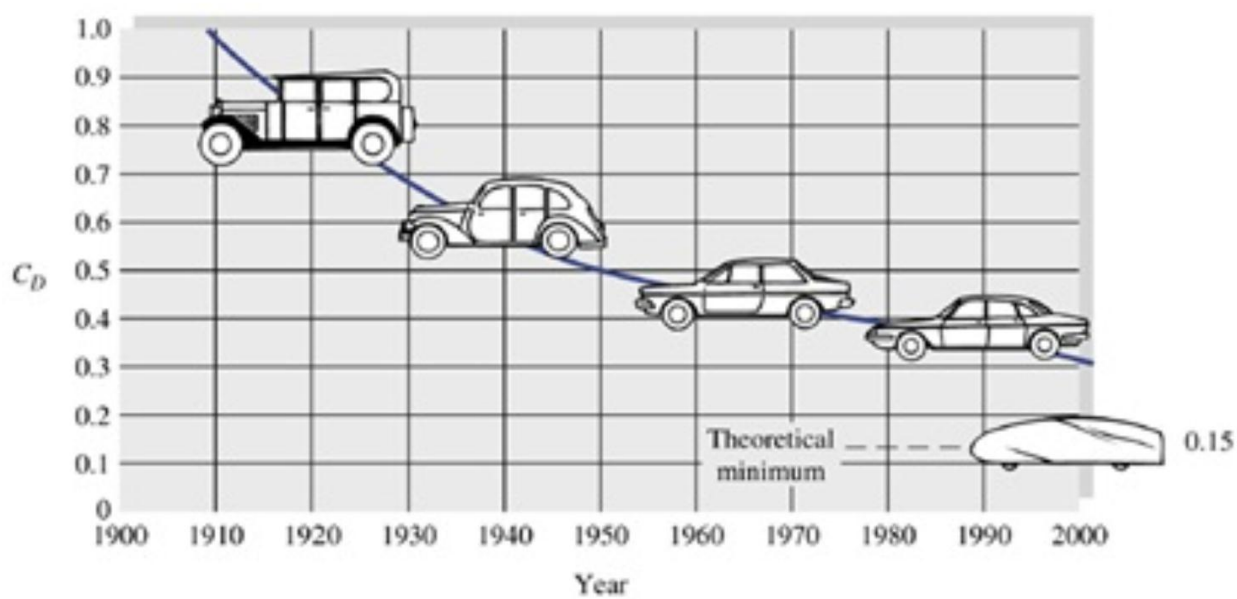


Рис.1.7. Зміна коефіцієнта притиску через роки

1.3. Специфічні вимоги та особливості регламенту Formula SAE

Визначення аеродинамічного пристрою

Спеціально розроблена конструкція, встановлена на транспортному засобі, щоб направляти потоки повітря навколо автотранспортного засобу, збільшуючи силу, що діє на транспортний засіб, та / або знижуючи його тягу.

Обмеження аеродинамічних пристроїв

Обмеження по висоті:

- усі аеродинамічні пристрої, спрямовані перед вертикальною площиною через задню частину
- передній бік опори підголівника водія. виключаючи будь-яку прокладку, встановлену на її найбільш задня позиція. повинна бути нижче 500 мм від землі.
- усі аеродинамічні пристрої, розташовані назад від вертикальної площини через крайню задню частину

Максимальні розміри та розміщення аеродинамічних пристроїв можна побачити на рис. 1.8.

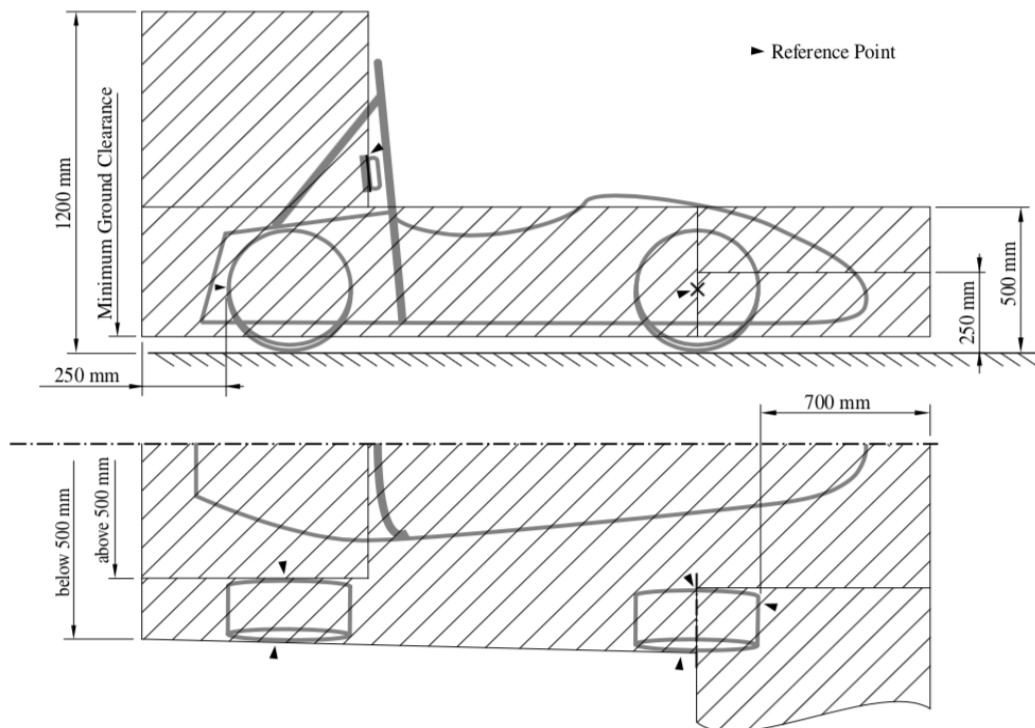


Рис.1.8. Дозволене місце розташування аеродинамічних елементів

1.4 Програмне забезпечення для моделювання адаптивного аеродинамічного крила автомобіля

Виготовлення адаптивного аеродинамічного крила автомобіля в умовах сьогодення завжди супроводжується використанням комп'ютерних технологій. Нажаль неможливо обійтися використанням одного продукту, так як процес включає в себе кінематичний аналіз, динамічний розрахунок механізмів, створення 3D моделі, перевірку на міцність спроектованих деталей, розробку робочих креслень

1.4.1. Системи автоматизованого проектування (САПР)

Перевірка кінематики, динаміки механізму, створення 3D моделі деталі, її перевірка на відповідність поставленим вимогам відбуваються в системах автоматизованого проектування (САПР). Відповідно до цільового призначення САПР можна розділити на групи:

- двовимірне креслення і тривимірне геометричне проектування – CAD
- інженерний аналіз – CAE
- технологічна підготовка виробництва – CAPP
- автоматизація виробництва – CAM
- керування даними про виріб – PDM
- керування життєвим циклом виробу – PLM

На сьогоднішній день все існуюче ПЗ автоматизованого конструювання для машинобудування прийнято класифікувати за функціональною повнотою, за цією ознакою воно ділиться умовно на три рівні:

До нижнього рівня (легкі САПР) відносяться програми для автоматизації розробки і супроводу технічної документації, які реалізують 2D моделі у вигляді креслень і специфікацій, технологічних карт та відомостей, наприклад [15]:

AutoCAD LT (Autodesk),
T-Flex CAD 2D (Топ Системы),
КОМПАС-График (Аскон),

CADMECH (Интермех)

На середньому (середні САПР) - розташовуються програмні комплекси, які дозволяють створити тривимірні параметричні моделі, методом твердотільного моделювання, виконувати перевірочні розрахунки деталей і збірок. До числа цих програмних комплексів можна віднести [15]:

Solid Works (SolidWorks Corp.)

Inventor (Autodesk)

Fusion 360 (Autodesk)

Ansys (ANSYS, Inc.)ф

Solid Edge (Siemens PLM Software)

T-FLEX CAD / CAM / CAE / CAPP / PDM (Топ Системы)

КОМПАС-3D (Аскон)

Програмні системи наскрізного проектування і виробництва колективного користування, розташовані на верхньому рівні (важкі САПР), всі вони є результатом злиття і поглинання провідними корпораціями дрібніших компаній. На сьогоднішній день до числа важких систем відносяться всього три [15]:

CATIA (Dassault Systemes)

UNIGRAPHICS NX (Siemens PLM Software)

Creo Parametric (Pro / ENGINEER) (PTC)

Залежно від завдань етапу проектування підбирається *програмне забезпечення* (ПЗ), що максимально відповідає поставленим вимогам [15].

Короткий опис основних програм, що використовуються сьогодні:

AutoCAD – одна з перших САПР, що використовується і сьогодні, створена компанією Autodesk. Має можливість створювати 2D/3D об'єкти і керуючі програми для 3D-принтерів. Через певну складність інтерфейсу та обмежений функціонал поступово втрачає популярність серед інженерів [16].

Компас 3D – програма, для роботи з 2D кресленнями і 3D моделями та збірками від компанії Аскон. Не містить в собі функцій САМ та CAE, має специфічний інтерфейс, зручний при роботі з оформлення технічної документації [17].

SolidWorks є продуктом компанії SolidWorks Corp., частини корпорації Dassault Systèmes, у версіях 2018-го року можна здійснювати всі види конструкторської та технологічної підготовки виробництва: від створення 3D моделей, їх аналізу (міцність, стійкість, теплопередача і т.і.), написання керуючих програм для верстатів з ЧПК до ведення документообігу [18].

Inventor – система автоматизованого проектування від компанії Autodesk, є близьким конкурентом SolidWorks на ринку, має схожий з ним функціонал, надає безкоштовні ліцензії для студентів [19].

CATIA – САПР високого рівня, що дозволяє проектувати виріб. включно з усіма етапами його життєвого циклу. Перша версія програми була створена ще у 1981 році і за період існування здобула визнання інженерів по всьому світі. Відрізняється високою точністю САЕ модуля і відносно низькими системними вимогами [20].

Creo Parametric – САПР високого рівня, що була створена на базі Pro/ENGINEER, яка в поєднанні з іншими продуктами компанії PTC створює індустріальну інноваційну платформу для управління компанією з виробництва і збуту продукції [21].

Ansys – універсальна програмна система кінцево-елементного аналізу, дозволяє здійснювати побудову 3D моделей і їх інженерний аналіз в сферах міцності, тепла, гідрогазодинаміки і електромагнетизму. Користується популярністю серед фахівців у сфері автоматизованих інженерних розрахунків [22].

Fusion 360 – САПР, що працює з використанням хмарних технологій, тим самим зменшуючи навантаження на комп'ютер. Поєднує в собі максимальну кількість доступних видів моделювання, містить в собі САЕ і САМ модулі [23].

Кінематичний аналіз механізму дозволяє нам визначити координати руху окремих точок механізму, їх траєкторії та швидкості, що дає можливість оцінити правильність математичних розрахунків. Для графічного кінематики аналізу можна використовувати ескізи і 3D ескізи в CAD програмах низького та середнього рівнів: SolidWorks, Inventor, Компас 3D, AutoCAD та інші.

Сучасне ПЗ дозволяє здійснювати створення 3D моделі, перевірку на міцність спроектованих деталей, розробку робочих креслень та написання керуючих програм для верстатів з ЧПК, використовуючи лише один продукт, що для сучасного виробництва дає можливість суттєво зменшити витрату на покупку додаткового ПЗ а інженерам не витрачати час на вивчення функціоналу нових програм. До систем, що включають в себе CAD, CAE і CAM відносяться: SolidWorks, Inventor, CATIA, Creo Parametric та Fusion 360.

1.4.2. Спеціальне програмне забезпечення

Динамічний розрахунок можна проводити в тих же системах, що і кінематичний, однак це буде супроводжуватися певними труднощами, адже вони для того не пристосовані.

EULER – програмний комплекс автоматизованого динамічного аналізу багатокomпонентних механічних систем. Програмний комплекс призначений для аналізу роботи механічних систем, що включають в себе складну кінематику, великі рухи, жорсткі і деформуємі елементи конструкції, гідравлічні, пневматичні та електричні системи, системи управління та інші компоненти [24].

Часто для того аби зробити презентацію продукту, якого ще не існує треба отримати його якісне зображення. Процес отримання реалістичного зображення виробу називається рендерингом. Часто модуль рендерингу вбудований в CAD систему, що дає можливість не встановлювати додаткове ПЗ але часто функціонал стандартного модуля не відповідає вимогам користувача, тому станом на сьогоднішній день існує більше сотні різних програм, де виконується рендеринг моделей. Для швидкого рендерінгу комп'ютер користувача повинен бути сучасним та пристосованим до цього.

KeyShot – це рендерер в режимі реального часу, що дозволяє створювати фотореалістичні рендери в рекордно короткі терміни [25].

1.4.3. Обґрунтування вибору програмного забезпечення для задач проектування адаптивного антикрила

Оцінюючи етапи проектування підвіски та можливості програмного забезпечення можна визначити доцільність використання тої чи іншої програми.

Для математичних розрахунків доцільно використовувати PTC Mathcad, що дозволить за короткий проміжок часу виконати всі необхідні обчислення і обробку результатів.

При виконанні кінематичного і динамічного аналізу конструкції аеродинамічного крила варто використовувати спеціально створене для цього програмне забезпечення, а саме EULER, завдяки чому, ми дізнаємося зусилля, що діють в елементах підвіски і перевіримо їх кінематику.

Безпосередньо проектування, включно з створенням 3D моделей, їх перевіркою, та написанням керуючих програм для верстатів з ЧПК, варто виконувати в одній системі, що виключає необхідність переводу моделей в універсальні формати (STEP і т.і.) а відповідно зменшує ймовірність виникнення помилок при конвертуванні. Серед систем, що об'єднують можливості CAD, CAE і CAM, зупиняємося на SolidWorks, через її простий інтерфейс, широкі можливості, відносно низькі системні вимоги і високу продуктивність.

Висновки по розділу

При проектуванні гоночних автомобілів питання їхньої аеродинаміки має величезне значення. Це повною мірою стосується і гоночних автомобілів класу «Formula SAE», який розробляється командою студентів КПІ ім. Ігоря Сікорського. Важливим аеродинамічним елементом є антикрило, яке вперше розроблятиметься для команди КПІ. Проведений аналіз аеродинамічних систем виявив варіанти виконання, якими можна користуватися, також у цьому розділі були наведені вимоги регламенту змагань, яких треба притримуватись.

РОЗДІЛ 2. ПРОЕКТУВАННЯ І РОЗРАХУНОК ЕЛЕМЕНТІВ АДАПТИВНОГО АНТИКРИЛА ГОНОЧНОГО БОЛІДУ КЛАСУ «FORMULA SAE»

2.1.. Дослідження гоночного боліду без антикрил

Метою даної роботи є покращення аеродинамічних характеристик автомобіля Формули Студент 2020 року за допомогою CFD та описати методологію для обчислення обмеженого прискорення. Основна мета, таким чином, полягає в тому, щоб розробити заднє крило з регульованими задніми елементами, яке могло б забезпечити високий рівень прискорення для підвищення швидкості руху на поворотах, а також зменшення просковзування коліс, що сприятиме прямолінійному прискоренню.

Оскільки транспортний засіб рухається з відносно низькою швидкістю стисненим потоком можна знехтувати, оскільки вплив на результати буде незначним (Versteeg & Malalasekera, 2007). Наслідки зміни температури вважається незначними, і тому проблема трактується як ізотермічна. Керівні рівняння RANS можна записати в декартових тензорних позначеннях таким чином:

$$\rho \left(\frac{\partial \bar{U}_i}{\partial t} + \bar{U}_j \frac{\partial \bar{U}_i}{\partial x_j} \right) = - \frac{\partial \bar{P}}{\partial x_i} + \frac{\partial}{\partial x_j} \left(\mu \frac{\partial \bar{U}_i}{\partial x_j} - \rho \overline{u'_i u'_j} \right) \quad (1)$$

де ρ - щільність, P - тиск, t - час, U - середня швидкість, μ - в'язкість і x - вектор положення. Останній термін з правого боку вимагає подальшого моделювання. Це відоме як проблема закриття і є предметом моделювання турбулентності [1]

Для перевірки працездатності заднього крила потрібно було визначити базові показники роботи транспортного засобу. Була створена спрощена комп'ютерна модель боліда «Формула Студент КПП 2020» року в масштабі 1:1.

Було зроблено припущення, що незначні деталі, такі як геометрія підвіски, не будуть сильно впливати на результати дослідження, і тому вони були вилучені з моделі для простоти та скорочення часу обчислення. Розмір доменного потоку був налаштований так, щоб відповідати масштабуванню, яке використовували (Franck, Nigro, & Storti, 2009) у своєму дослідженні моделі транспортного засобу Ахмеда. Вибрана швидкість входу в атмосферу 26,8 м/с (100 км/год), оскільки, як очікується, це буде максимальна швидкість. Застосовували статичний тиск на виході 0 Па. Модель, що є предметом аналізу, встановлюється у вигляді стінки із позначкою умова «Без ковзання» застосована. Це призведе до нульової швидкості рідини на поверхні. Ізотермічні умови передбачали, а температуру рідини встановлювали за замовчуванням 25° С. У кожному дослідженні була використана модель турбулентності k-ε з критеріями конвергенції, встановленими як залишкова ціль середнього квадрату кореня (RMS) 1.E-4

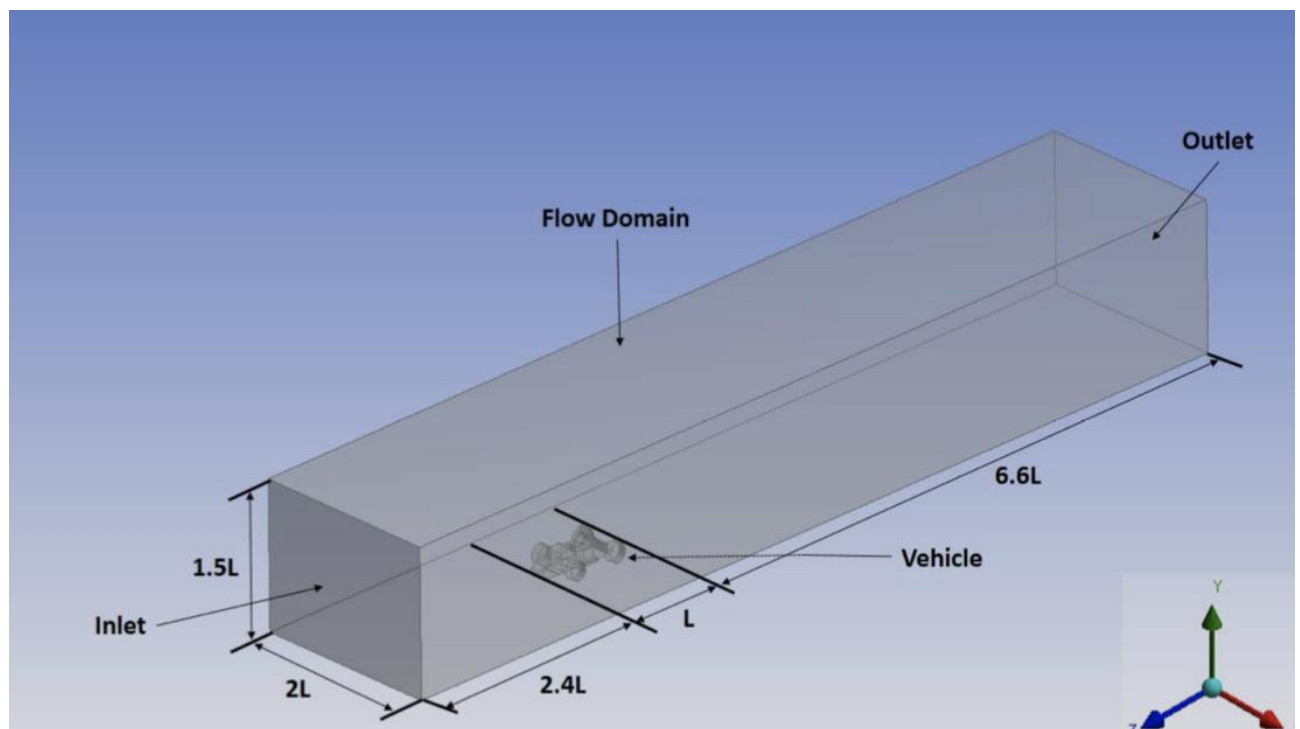


Рис. 2.1. Домен потоку та вибрані виділення, що використовуються у дослідженні CFD. Розміри потоку - 4,540, 3,027, 30,270 (X, Y, Z мм)

Сітка була сформована за допомогою інтегрованого інструменту з'єднання, доступного на ANSYS Workbench. Для підвищення обґрунтованості результатів CFD було проведено дослідження незалежності сітки. Кожен mesh-

файл використовував темп зростання за замовчуванням 1,20. Кінцевий сітчастий файл складається з 933 024 елементів з мінімальним розміром 4 мм для точного моделювання складної геометрії автомобіля (рис. 2.2).

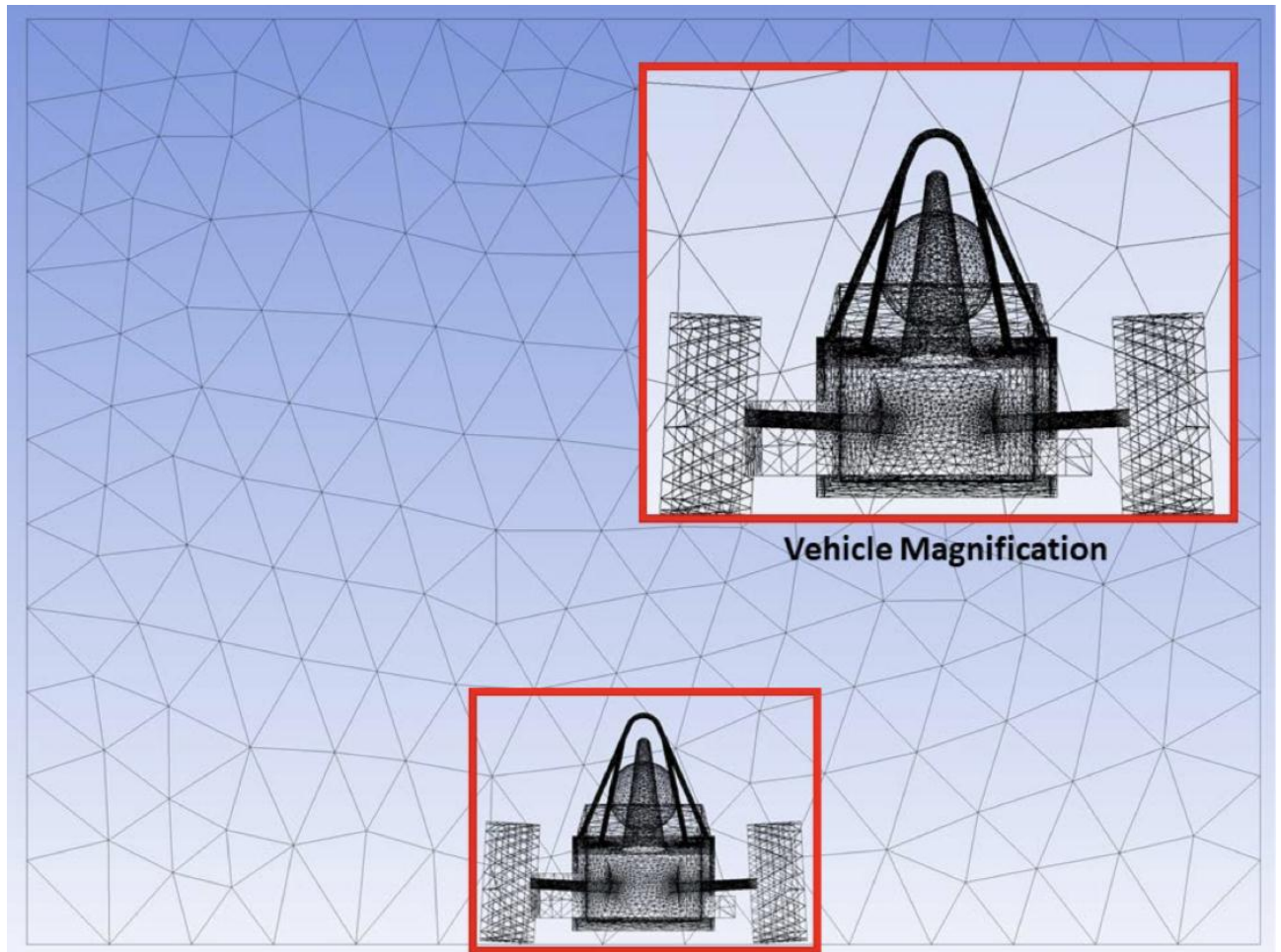


Рис. 2.2. Домен потоку та вибрані

Остаточна сітка, що відповідає дослідженню незалежності сітки № 6. Збільшене зображення транспортного засобу для ілюстрації застосування більш тонкої сітки навколо областей високої кривизни, таких як бруски кочення та осі колі

2.2. Конструкція адаптивного антикрила

Кількість крил, що створюються багатоелементним крилом, є фактором багатьох змінних, і тому існує безліч способів зміни конструкції, щоб найкраще відповідати бажаним умовам. Багатоелементне крило є вигідним, оскільки, на

відміну від одноелементних крил, воно може працювати під більшими кутами атаки і тим самим досягати більшої сили притиску.

Вибрано триелементну конструкцію, що складається з основного елемента та двох кришок, оскільки передбачалося, що вони пропонують переваги високої конструкції підйому, зберігаючи мінімальну складність конструкції (рис. 2.3). Це забезпечить найкращий компроміс високих характеристик підйому для простоти виготовлення.

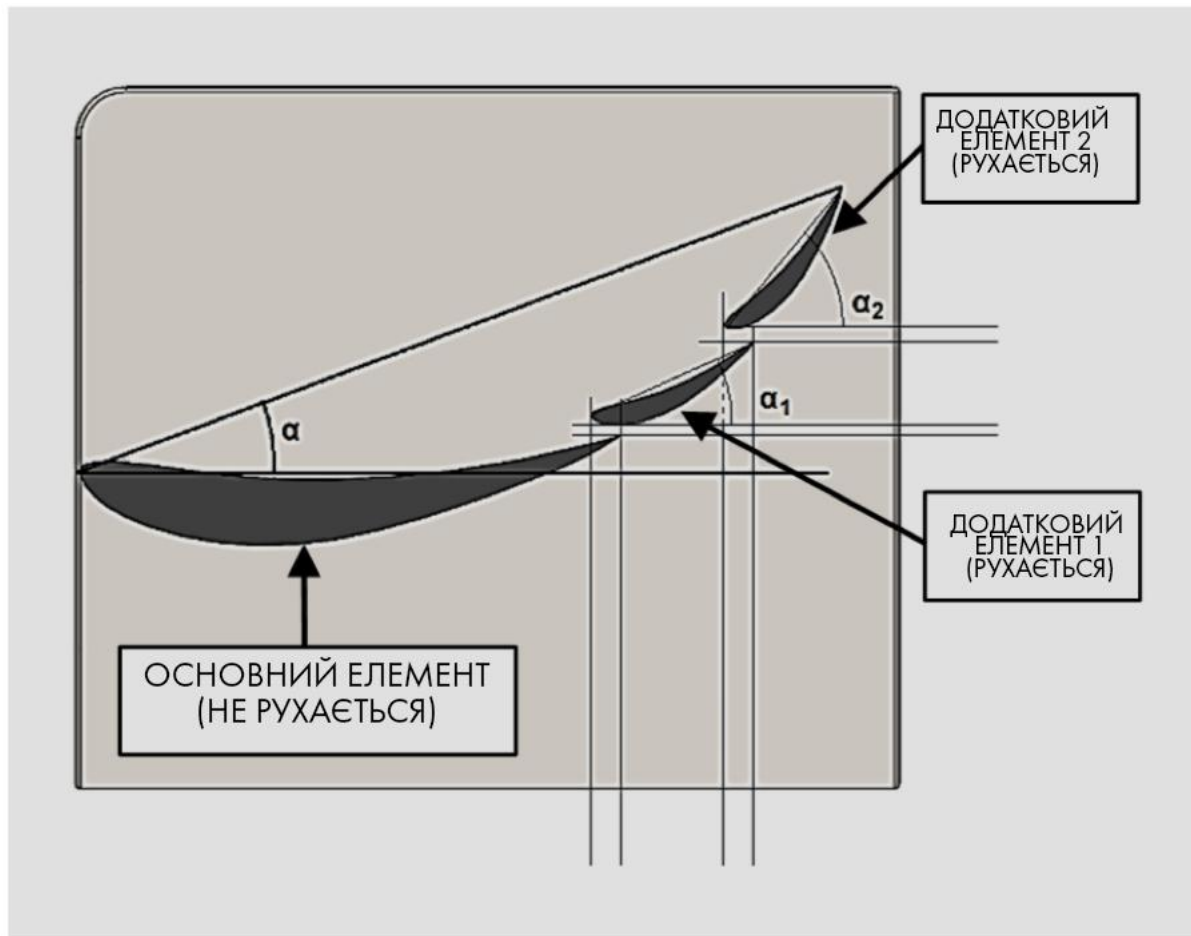


Рис. 2.3. Конфігурація крила з декількома елементами

Щоб досягти високоефективної багатоелементної конструкції, багато змінних, таких як кут атаки (АОА) кожного елемента, зазор і перекриття, повинні бути оптимізовані для конкретних вимог конструкції.

Були використані часові рамки, запропоновані значення зазору та перекриття відповідно 1–4% с та 1–6% с (McBeath, 2006) та оптимізація була зосереджена на АОА. Запропоновані значення АОА відривного елемента також

представлені McBeath (2006), при кутах 25–30 та 30–70 градусів для елементів 1 та 2 відповідно, як очікується, вийде найвищий рівень притиснення. Шість моделей було сформовано з діапазоном АОА (табл. 2.1). Крило випробовували в умовах вільного потоку з тими ж параметрами моделювання, які раніше використовувались в базовому аналізі транспортного засобу. Щоб зекономити час на обчислення, була використана симетрія, і, таким чином, значення притиску є половиною кінцевої моделі повного крила. Зроблено припущення, що найефективніша конфігурація в умовах вільного потоку буде також найбільш ефективною, коли буде використовуватись разом із автомобілем.

Таблиця 2.1. Конфігурація багатоелементного заднього крила, що складається з трьох елементів: основний елемент, елемент 1 і елемент 2

№	Аеродинамічний елемент 1 (градуси)	Аеродинамічний елемент 2 (градуси)	Основний елемент АОА (градуси)
1	20	20	13.80
2	25	30	16.65
3	26	40	18.73
4	27	50	20.80
5	28	60	22.81
6	29	70	24.71

2.3. Базовий аналіз транспортних засобів

Зміна сил підйому та перетягу фіксувалася у міру збільшення кількості елементів (рис. 2.4.). Порівняно груба домен забезпечує швидший час моделювання з прийнятною конвергенцією результатів (<5% для значень сили піднімання та перетягування).

Невідповідність зусиль підйому і тяги проти кількості елементів базової моделі транспортного засобу.

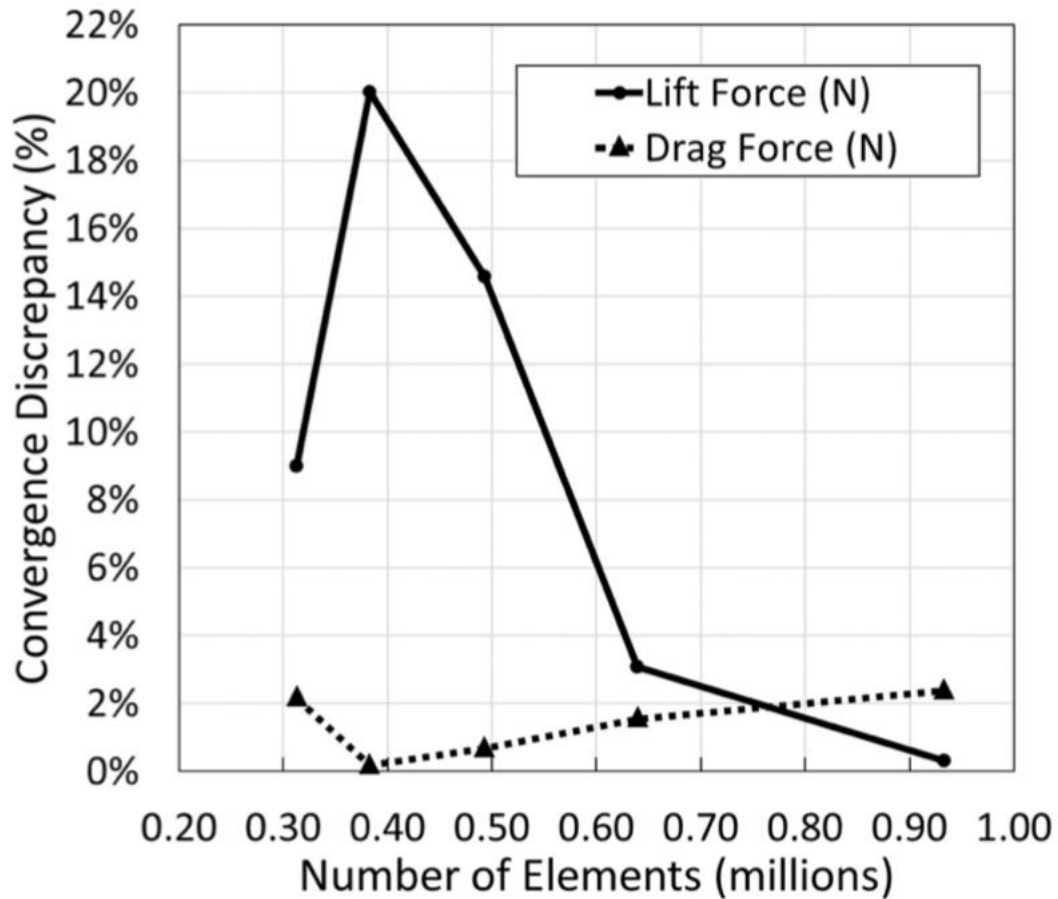


Рис. 2.4. Невідповідність зусиль підйому і тяги проти кількості елементів базової

Вбудований інструмент післяобробки ANSYS Workbench© був використаний для створення візуального відображення просторових розподілів тиску, що діють на поверхню транспортного засобу (рис. 2.5). Червоні ділянки на шинах, носі та голові водія ілюструють високий тиск, що сприяє тягучій силі. З дослідження було видно, що крило виграло б якби його встановити якомога вище, щоб уникнути порушеного потоку ззаду голови водія.

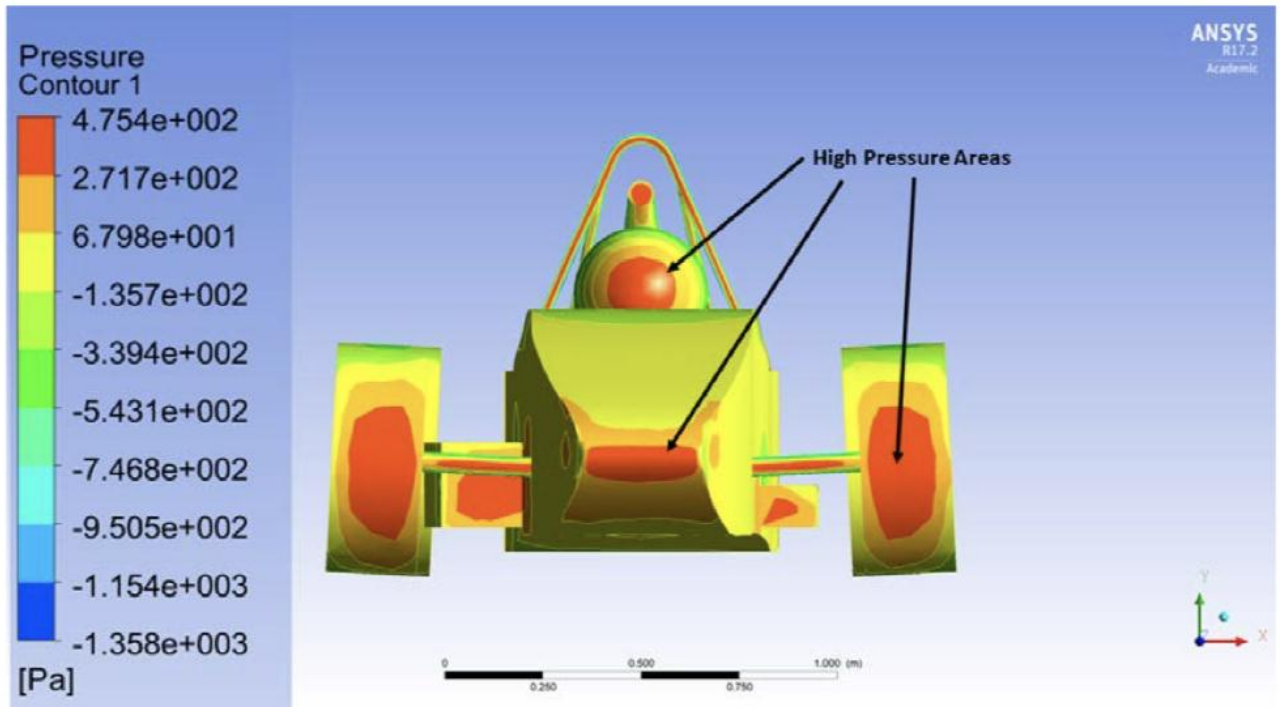


Рис. 2.5. Просторовий тиск (Па) контур по спрощеній поверхні транспортного засобу

Коефіцієнт підйому (C_L) і коефіцієнт тягання (C_D) - це безрозмірні значення, які використовуються як ознака аеродинамічних показників транспортного засобу. Використовуючи значення сили, що діє на транспортний засіб по осі Z 277,6 N, обчислювали отриманий C_D (рівн. 2).

$$C_D = \frac{2F}{\rho AV^2} \quad (2)$$

де F - сила, що діє на кузов транспортного засобу на вісь Z, ρ - густина текучого середовища, A - область лобової проекції, яка використовується для обчислення коефіцієнтів перетягування і підйому транспортних засобів (Katz, 1995), а V - швидкість руху транспортного засобу.

Базовий автомобіль Формули-Студент 2020 року без аеродинамічних пристроїв відображає коефіцієнт перетягу $C_D = 0,71$ і позитивний коефіцієнт підйому $C_L = 0,21$.

Для перевірки розрахований коефіцієнт перетягування, результат порівнювали з експериментально отриманим значенням автомобіля Monash University FSAE 2005, який дає значення $C_D = 0,83$ (Wordley & Saunders, 2006), подібність 86%. Незважаючи на те, що машини відрізняються дизайном, вони пропонують достатню схожість, щоб вказати на те, що отримані результати CFD знаходяться в достатній близькості, щоб виправдати конфігурацію аналізу.

Висновок: аналіз автомобіля показав, що створюється позитивний підйом, який для гоночного автомобіля згубно впливає на його продуктивність через зменшення стійкості на високих швидкостях, а також зменшення досяжної швидкості повороту. Отже, додавання аеродинамічних пристроїв, що створюють притискнення, повинно покращити продуктивність автомобіля, зробивши його більш конкурентоспроможним у динамічних подіях.

2.3. Продуктивність заднього антикрила

Збільшення АОА аерофолі збільшує як сили підйому, так і тягнення. Однак у міру збільшення АОА витрата відшаровується через несприятливі градієнти тиску (іменовані застій), що призводить до раптового зниження підйому. Сила, створена багатoeлементним крилом, була записана як функція загальної АОА (рис. 2.6). Зниження пригнічувальної сили, спричинене тим, що АОА досягає 25 градусів, свідчить про затримку і, як таке, було б нестабільним. Отже, була обрана конфігурація з АОА 22,81 градуса (дослідження № 4), оскільки, як очікується, забезпечить найбільшу кількість примусової сили, уникаючи затримок.

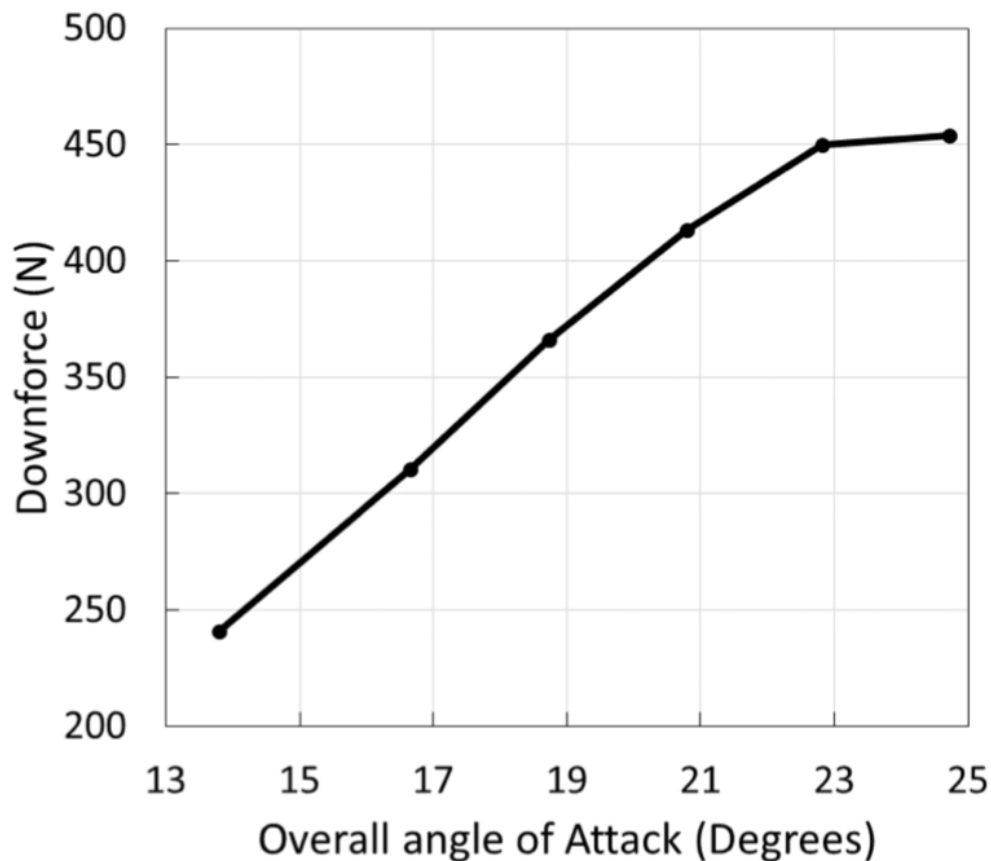


Рис. 2.6. Спрощена модель з реалізованим заднім крилом

Оптимізований вузол заднього крила поєднувався зі спрощеною моделлю автомобіля для оцінки продуктивності. Положення заднього крила визначали, встановлюючи верхню частину торцевих пластин на відстані 1200 мм від землі, а задня поверхня торцевих пластин - на 250 мм позаду задніх коліс, забезпечуючи відповідність регулюванню. Для врахування реалізованого заднього крила були проведені подальші дослідження незалежності сітки як із відкритим DRS (конфігурація з низьким перетягуванням), так і з закритим DRS (конфігурація з високою потужністю) (рис. 2.7). Моделювання було налаштоване з тими ж налаштуваннями, що і базова модель транспортного засобу. Розмір домену визначався довжиною нового автомобіля з реалізованим крилом 3 277 мм. Створена сітка використовувала керування розміром обличчя 0,02 м на автомобілі та 0,01 м на двох задніх елементах крила. Обличчя також було застосовано до двох задніх елементів.

Заднє крило, щоб уникнути деформації в задньому плані аерофолі через складну геометрію. Кінцевий файл сітки містив 1669 602 елементів.

Дослідження незалежності сітки транспортного засобу із реалізованим заднім крилом із закритим DRS (Рис. 2.7.) та відкритим DRS (Рис. 2.8.)

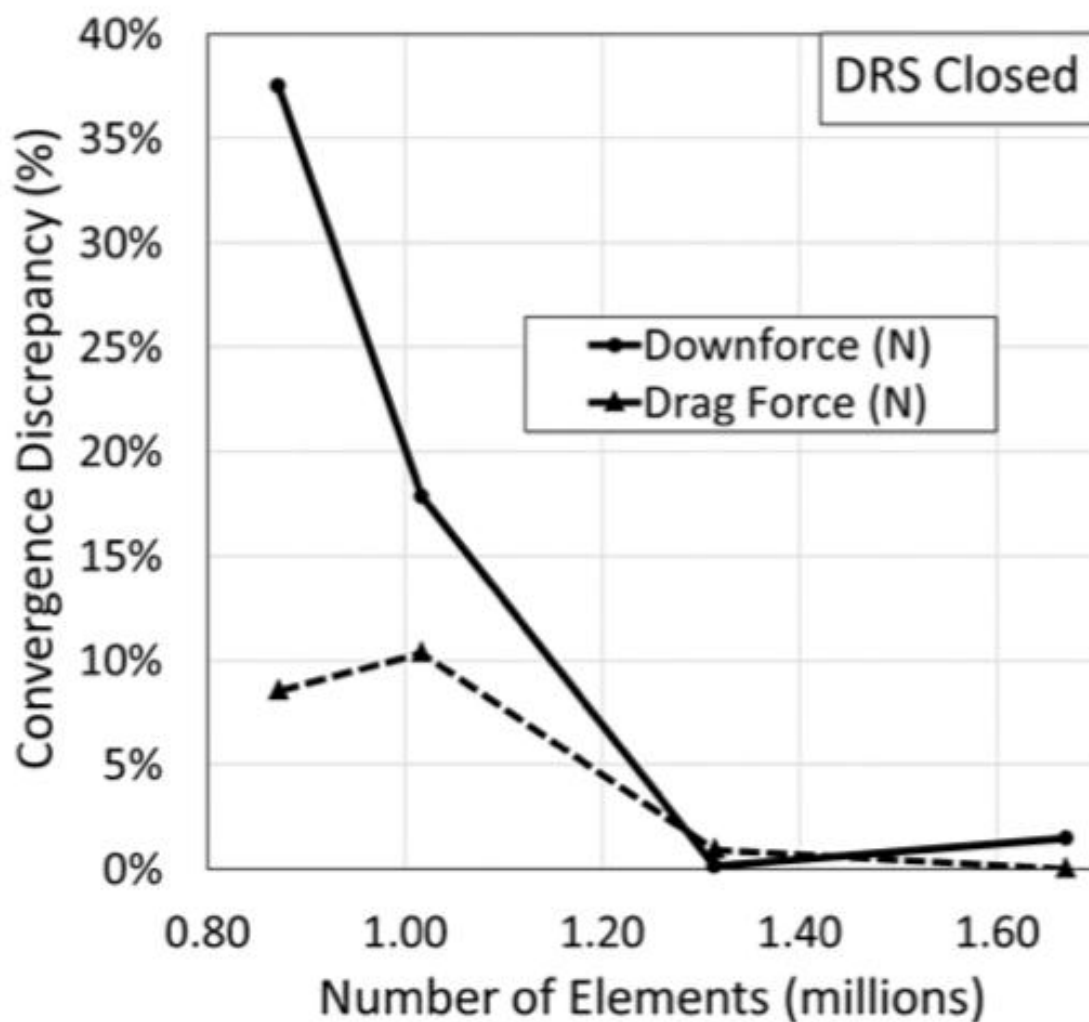


Рис. 2.7. Дослідження незалежності сітки транспортного засобу із закритим антикрилом

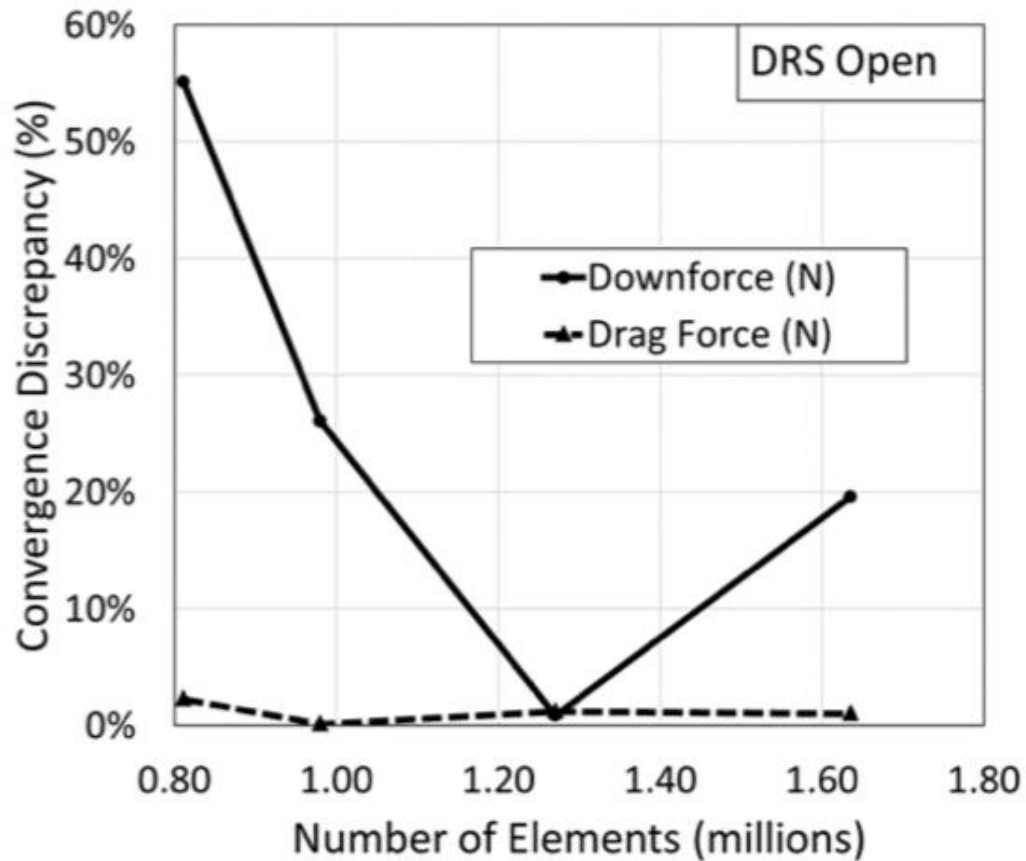


Рис. 2.8. Дослідження незалежності сітки транспортного засобу із відкритим антикрилом

Хоча більш високий рівень конвергенції був би кращим для прискореної сили з відкритим DRS, обмеження в обчислювальній потужності спричиняли надмірно довгий час обчислення. Однак, оскільки основою відкритої конфігурації DRS є сила перетягування, результати можна використовувати, оскільки для цього параметра була лише 1,0% розбіжність.

Площа лобової проекції із реалізованим заднім крилом у закритому положенні DRS була обчислена як 1,18 м², і, таким чином, за зафіксованими значеннями сили примусової сили та опору, значення C_L та C_D обчислювались як 1,15 (діючи в негативній осі Y) та 1,21 відповідно. Додавання заднього крила додає додаткових областей підвищеного тиску, що сприяють C_D автомобіля (мал. 9а). З відкритим DRS (мал. 9б), площа лобової проекції зменшується до 0,99 м². Використовуючи цю площу, для C_L та C_D було обчислено 0,26 (діючи на негативній осі Y) та 0,79 відповідно.

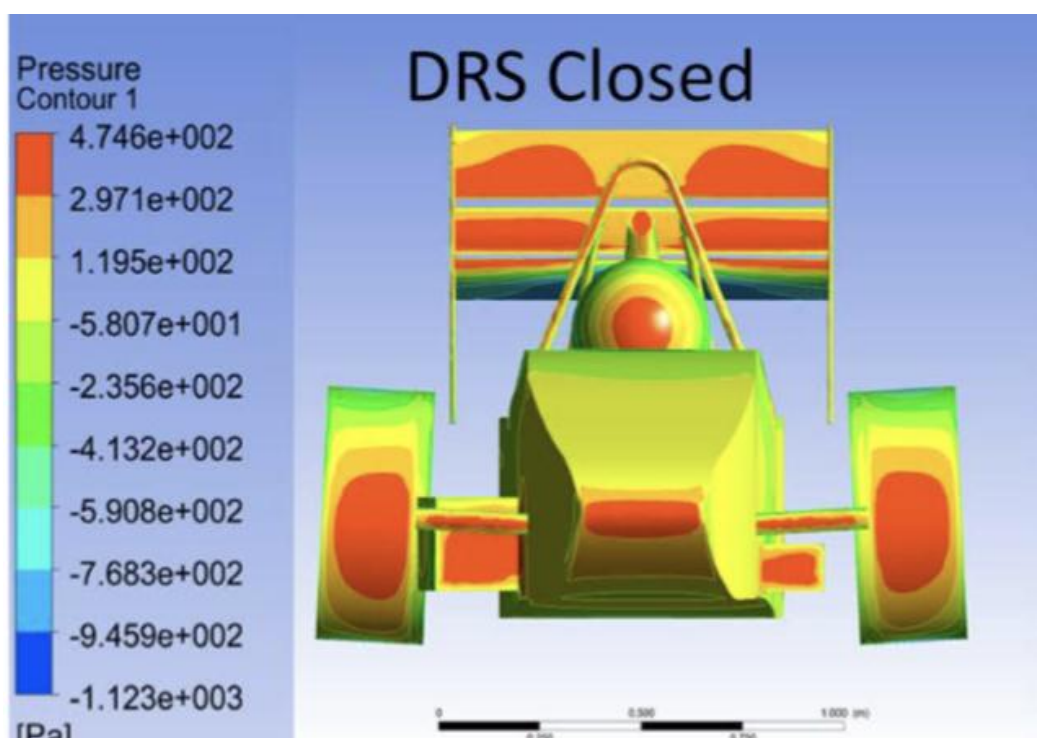


Рис. 2.9. Просторовий тиск з закритим антикрилом

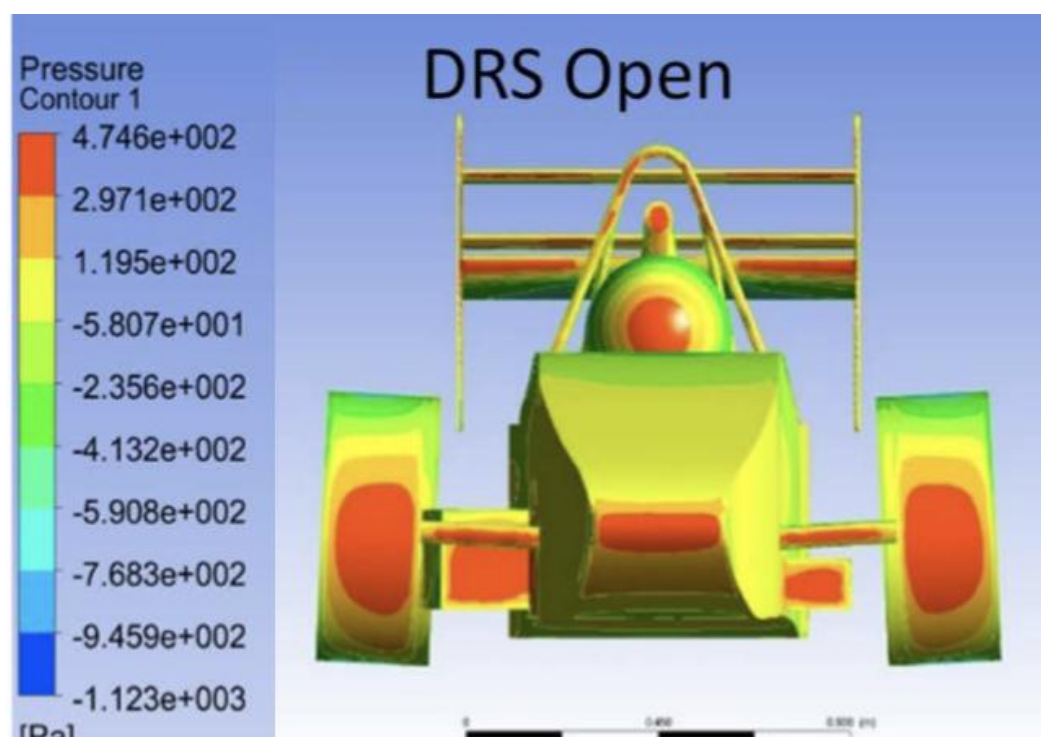


Рис. 2.10. Просторовий тиск з відкритим антикрилом

2.4. Прогнозування продуктивності автомобіля із заднім крилом

Для визначення ефективності впровадженого заднього крила використовували нові характеристики транспортного засобу для визначення продуктивності колії щодо подій Формули SAE. Для простоти на цьому етапі нехтували впливом аеродинамічного балансу на стійкість, оскільки переднє крило було розроблене незалежно від цього документу. Сила перетягування як функція швидкості руху автомобіля з крилом в обох положеннях (рис. 2.11)

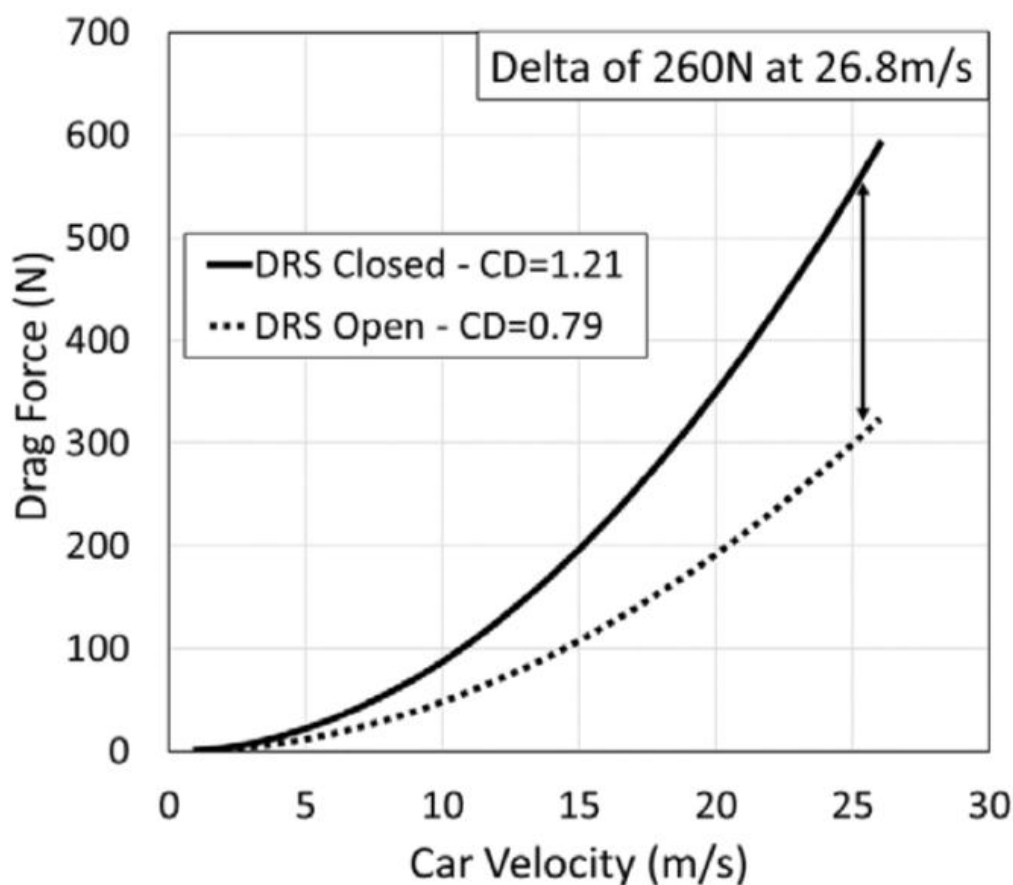


Рис. 2.11 Сила притиску як функціональна швидкість для автомобіля з відкритим і закритим антикрилом

Отримане зменшення сили тягування було розраховано на 35% при відкритій DRS (рівн. 3).

$$\Delta = \frac{F_{DRS-Open} - F_{DRS-Closed}}{F_{DRS-Open}} \quad (3)$$

2.5. Параметри руху автомобіля

Кутова швидкість

Обчислюється максимальна швидкість повороту (рівн. 4). Значення, отримане цим рівнянням, передбачає, що є достатня потужність для створення максимальної швидкості повороту. Обмежуючими факторами є чинник зчеплення шин і C_L .

$$v_{Max} = \sqrt{\frac{mg}{\frac{m}{\mu r} - 0.5\rho AC_L}} \quad (4)$$

де m - маса транспортного засобу, а r - радіус кута. Збільшена C_L автомобіля з реалізованим заднім крилом дозволила досягти більш швидкої швидкості руху повороту (рис. 2.12). Зі збільшенням радіуса кута максимальна швидкість, що досягається швидкості між двома конфігураціями, стає більш очевидною (рис. 2.13). Заднє крило покращило теоретичну максимальну швидкість повороту на 3,1% при радіусі кута в 13 м.

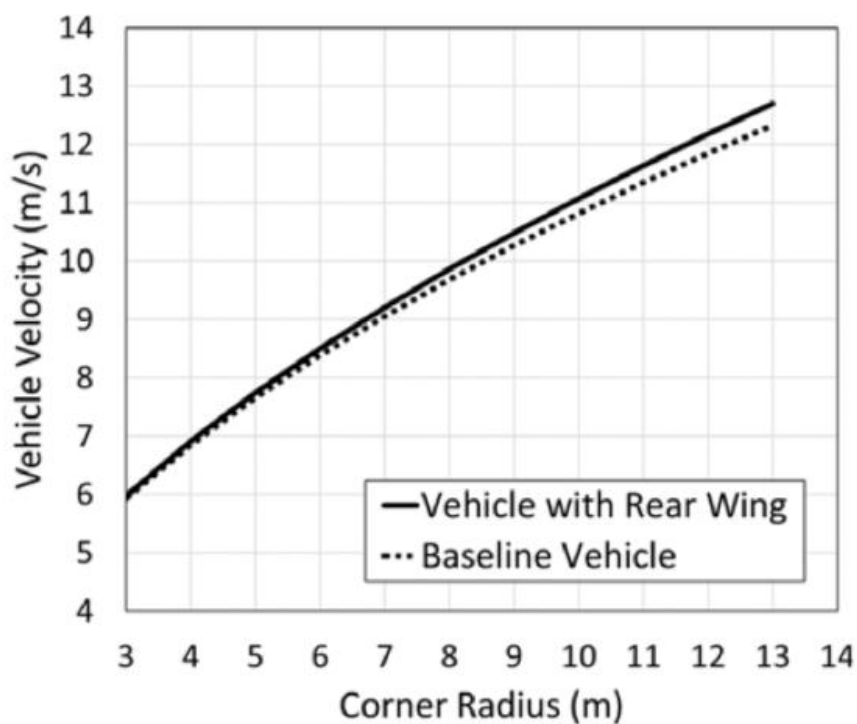


Рис. 2.12. Прогнозовані можливості швидкості руху на поворотах

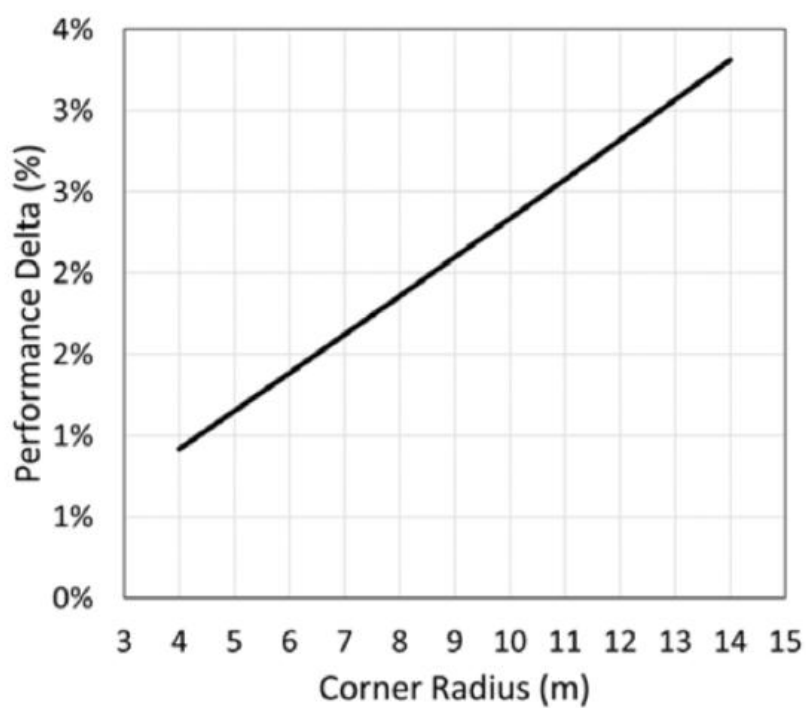


Рис. 2.13. різниця швидкостей між двома конфігураціями як функція радіуса кута збільшується

Максимальна швидкість

Використовуючи процедуру, описану McBeath (2006), теоретичну максимальну швидкість можна обчислити (рівняння 5). Рівняння було модифіковане таким чином, щоб воно включало одиниці СІ, що використовуються Wordley та Saunders (2006).

$$V_{Max(m/s)} = \sqrt[3]{\frac{P_{kW} \times 1633}{C_D A}} \quad (5)$$

де P_{kW} - максимальна потужність двигуна в кВт. Для базового автомобіля очікувана максимальна швидкість досягає 53,62 м/с. Для автомобіля із заднім крилом у відкритих та закритих положеннях DRS очікується, що максимальна швидкість складе 49,94 м/с та 40,86 м/с відповідно. Відкритий DRS дає 18,2% збільшення потенціалу прямолінійної швидкості порівняно із закритою конфігурацією. Однак максимальна швидкість обмежена регламентом на заходах SAE і, як така, не є ключовим фокусом аеродинамічного дизайну.

Прискорення

Дані динамометра від двигуна Honda transalp 700, який був придбаний у 2017 році командою Formula Student KPI, поєднувались із передаточними відношеннями для визначення рушійної сили, що діє на колеса (F_w). Початкова ведуча сила перевищує доступне зчеплення шин, і, таким чином, робиться припущення, що сила тертя (F_f) на задні колеса буде початковим обмежуючим фактором прискорення. При затримці $F_f - 0 = \mu N$, де μ - коефіцієнт тертя шини, а N - нормальне навантаження. Таким чином, прискорення з простою $\ddot{x}_0$ можна виразити як $\ddot{x}_0 = F_f - 0 / m$. Однак, коли машина починає розганятися, додаткове навантаження буде покладено на задні колеса, від перенесення маси (P_i) та downforce (F_L). P_i розраховується так:

$$P_i = \frac{m\ddot{x}_{i-1}h}{(a+b)} \quad (6)$$

де $(a + b)$ дорівнює колісній базі і h дорівнює відстані від землі до центру ваги транспортного засобу. Оскільки P_i використовується для обчислення прискорення, використовується попереднє значення прискорення $(\ddot{x}_{i-1})$. Зроблено припущення, що створена сила припливу діє лише на задні колеса і що розподіл ваги становить 35:65 спереду до тилу. Спрощується припущення, що ковзання зчеплення та опір коченню є незначними. Таким чином, формула для обчислення сили тертя

$$F_f = \mu \left(0.65mg \pm \frac{1}{2} \rho A C_L V^2 + \frac{m\ddot{x}_{i-1}h}{(a+b)} \right) \quad (7)$$

Задні шини такі:

Знову ж, використовуючи $\ddot{x}_i = F_f / m$, прискорення можна обчислити. Оскільки рушійна сила на колесах стає меншою, ніж сила тертя ($F_f > F_W$) завдяки збільшенню сили тяги F_D , автомобіль стає обмеженим у силі прискорення, а наслідки DRS стають очевидними. Обмежене потужність прискорення ($\ddot{x}_P$) можна виразити так:

$$\ddot{x}_P = \frac{(F_W - F_D)}{m} \quad (8)$$

Потенціал прискорення як функція швидкості генерувався (рис. 2.14). Коефіцієнти тертя в шинах (μ_k) 0,8–1,2 відображають ефекти прискореного тягового прискорення. Зі збільшенням швидкості транспортного засобу прискорення стає обмеженим потужністю, і, отже, наслідки DRS стають очевидними.

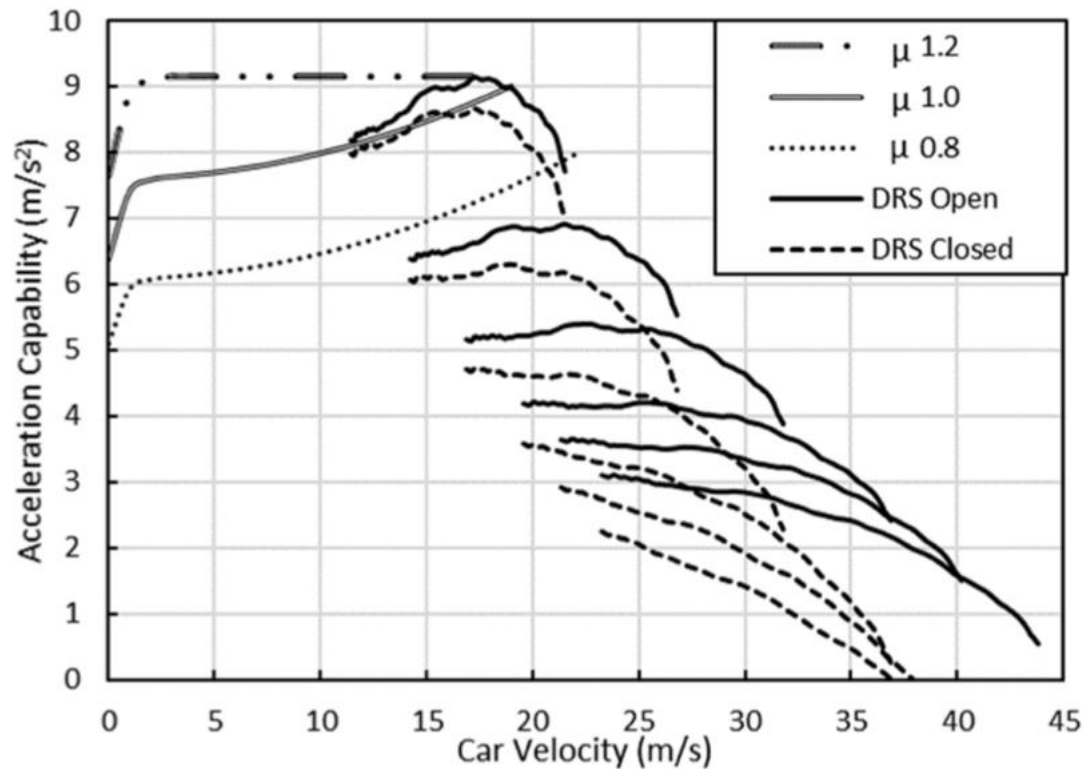


Рис. 2.14 Прискорення як функція швидкост

Потенціал прискорення зріс на 15,7% зі швидкістю 25 м / с при відкритій DRS. Намагаючись передбачити та порівняти продуктивність події на 75 м прискорення, був використаний онлайн-симулятор автомобіля FSAE (FSAESim.com) із введеними характеристиками транспортного засобу. Симулятор передбачив час у 5,31 с, а результат події в Угорщині 2017 року склав 5,49 с, подібність 96,7%.

Висновки

У цій роботі використано метод обчислювальної динаміки рідини для дослідження аеродинамічних характеристик транспортного засобу Формула Студентського університету 2017 року з реалізацією заднього крила із вбудованою DRS. Очікувалося, що додавання заднього крила повинно покращити продуктивність автомобіля під час динамічних подій, а також те, що система DRS повинна збільшити прискорення та максимальну швидкість руху автомобіля порівняно зі стандартною конфігурацією крила.

Спочатку було проведено попереднє дослідження базових показників роботи транспортного засобу для відображення значень C_L та C_D 0,21 та 0,71 відповідно. Заднє крило з декількома елементами було налаштовано та згодом оптимізовано для отримання максимальної сили при зниженні стійкості. Потім модель базового автомобіля була використана для створення двох окремих моделей, одна з вбудованим крилом у стандартній конфігурації, а друга з крилом у відкритій конфігурації DRS. Потім дві моделі оцінювались незалежно, щоб знайти аеродинамічні характеристики для кожної конфігурації. З крилом у закритому положенні DRS було виявлено, що C_L та C_D становлять 1,15 та 1,21 відповідно, тоді як автомобіль із крилом у відкритому положенні DRS мав C_L та C_D 0,26 та 0,79 відповідно.

Отримані характеристики потім використовувались для прогнозування динамічних показників під час динамічної частини змагань. Різниця сили притиску між відкритою та закритою конфігурацією DRS спочатку була розрахована на 35%. Максимальну швидкість повороту як функцію радіуса досліджували для транспортного засобу базової лінії та базового транспортного засобу з реалізованим заднім крилом у закритому положенні. Транспортний засіб з крилом приладу може здійснити розворот радіусом 13 м на 3,1% швидше, ніж автомобіль без антикрил. Теоретична максимальна пряма швидкість була розрахована для транспортного засобу базової лінії, автомобіля базової лінії із заднім крилом та автомобіля базової лінії із заднім крилом у відкритій конфігурації DRS, в результаті чого швидкість транспортного засобу становила 53,62 м/с, 40,86 м/с та 49,94 м/с. відповідно. Визначено можливості прискорення між автомобілем із заднім крилом у відкритому та закритому DRS.

Збільшення потенціалу прискорення на 15,7% спостерігалось зі швидкістю 25 м/с при відкритій DRS. Нарешті, передбачуваний час 75-метрового заходу прискорення було створено за допомогою онлайн-тренажеру та порівняно з результатами, отриманими командою в ході змагань угорщини 2017 року. Прогнозований час склав 5,31 с, тоді як записаний час становив 5,49 с, подібність 96,7%.

Траси, призначені для подій Формули SAE, як правило, короткі та містять багато кутів у спробі мінімізувати максимальну швидкість, яку можна досягти транспортними засобами. Отже, збільшена швидкість повороту за рахунок покращеної аеродинаміки на додаток до DRS для швидшого прискорення на коротких прямих дала б швидший час у колінах і згодом більше очок у змаганнях. Запропонований дизайн, як очікується, позитивно вплине на аеродинамічні характеристики автомобіля 2017 року, зробивши його більш конкурентоспроможним у динамічних подіях.

2.6. Проектування адаптивного антикрила

Процес проектування адаптивного аеродинамічного крила включає багато етапів, основними з яких є: аналіз загальних вимог регламенту Formula SAE до автомобіля і як наслідок формулювання вимог до окремих параметрів антикрила, визначення основних зусиль, що виникатимуть в процесі його експлуатації, вибір схеми зміни форми крила з урахуванням всіх поставлених вимог, перевірка основних деталей, що сприймають навантаження методом скінченних елементів за використанням CAE систем. Результатом проведених робіт стане повна модель адаптивного аеродинамічного крила та кріплення його до рами гоночного боліду.



Рис. 2.15. Переріз найоптимальнішого варіанту аеродинамічного крила

Після того як ми отримали модель антикрила, потрібно його розташувати згідно регламенту Formula SAE (Розділ 1.3).

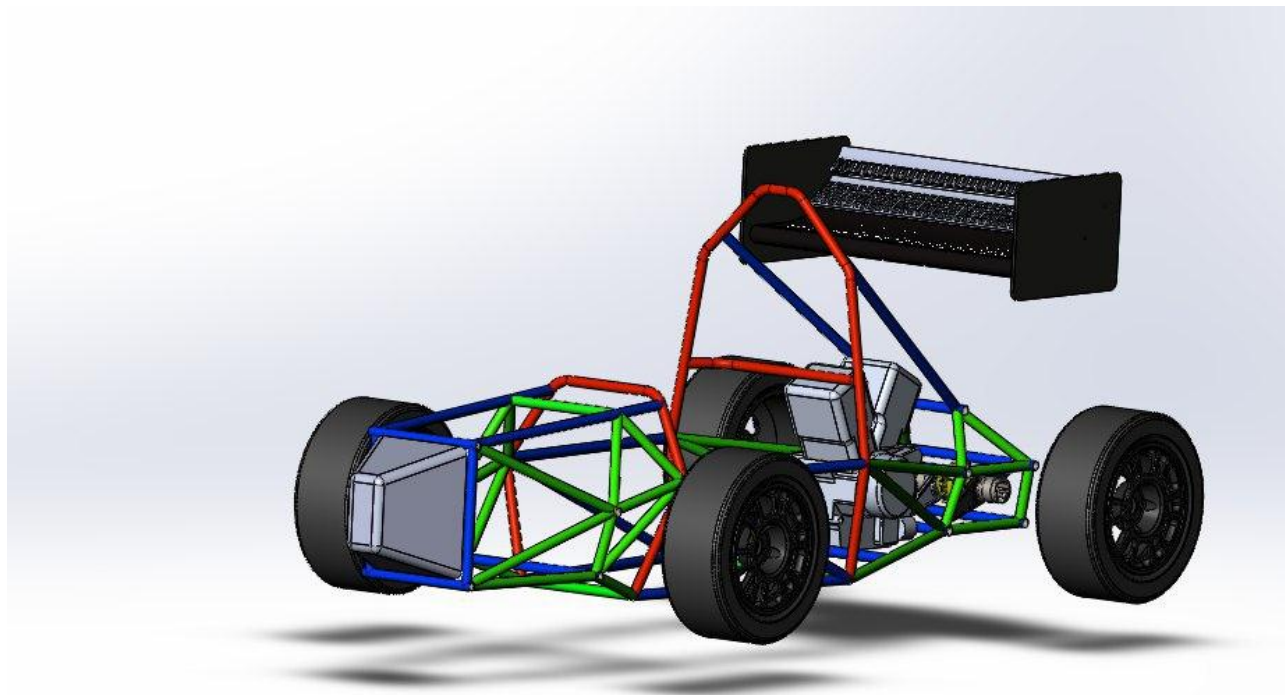


Рис. 2.16. Розташування антикрила в дозволеному місці, згідно регламенту

Наступним кроком була розроблена модель кріплень антикрила до рами, аби зменшити вагу кріплення в ньому були зроблені триангульовані отвори (рис. 2.17).

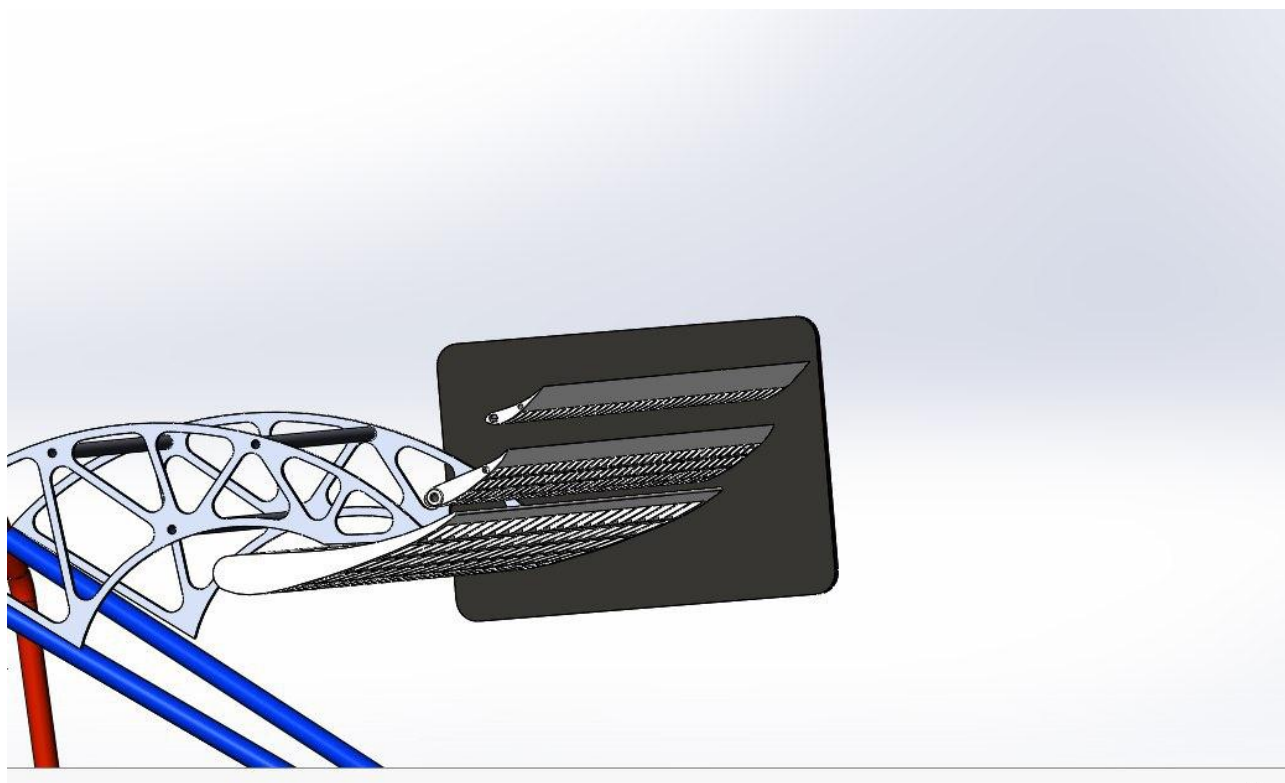


Рис. 2.17. Полегшене кріплення антикрила до рами

Аби переконатися в надійності конструкції, використовуючи Solidworks simulation кронштейну були задані точки кріплення (Рис. 2.18) та точки до яких прикладається сила (рис. 2.19).

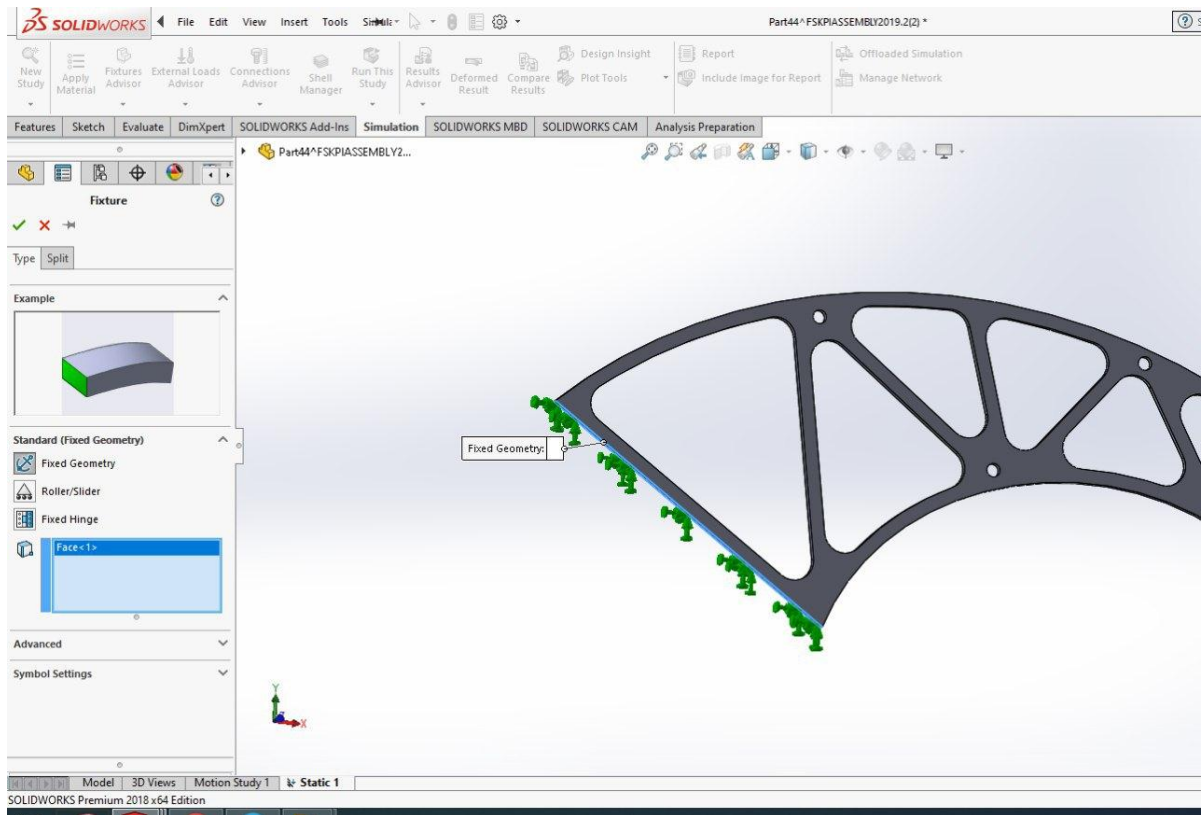


Рис. 2.18. Перевірка на міцність кронштейну антикрила

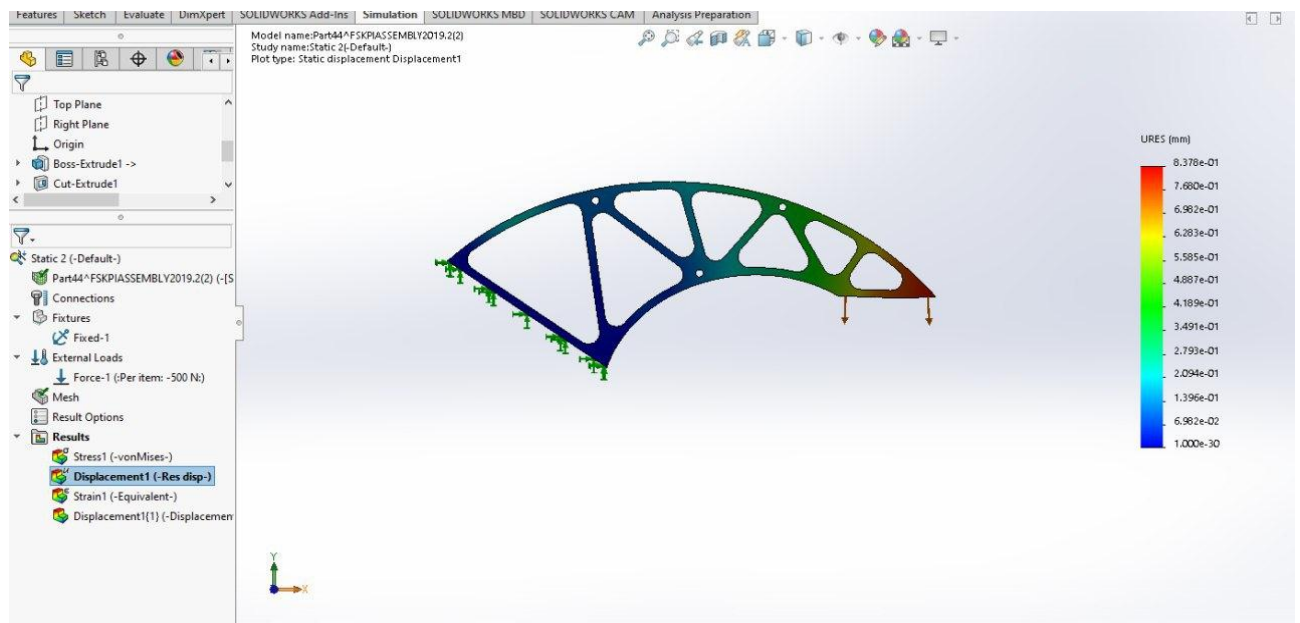


Рис. 2.19. Перевірка на міцність кронштейну антикрила

Після того як модель повністю зроблена, вона знову перевіряється в симуляторі (рис. 2.19, рис. 2.20).

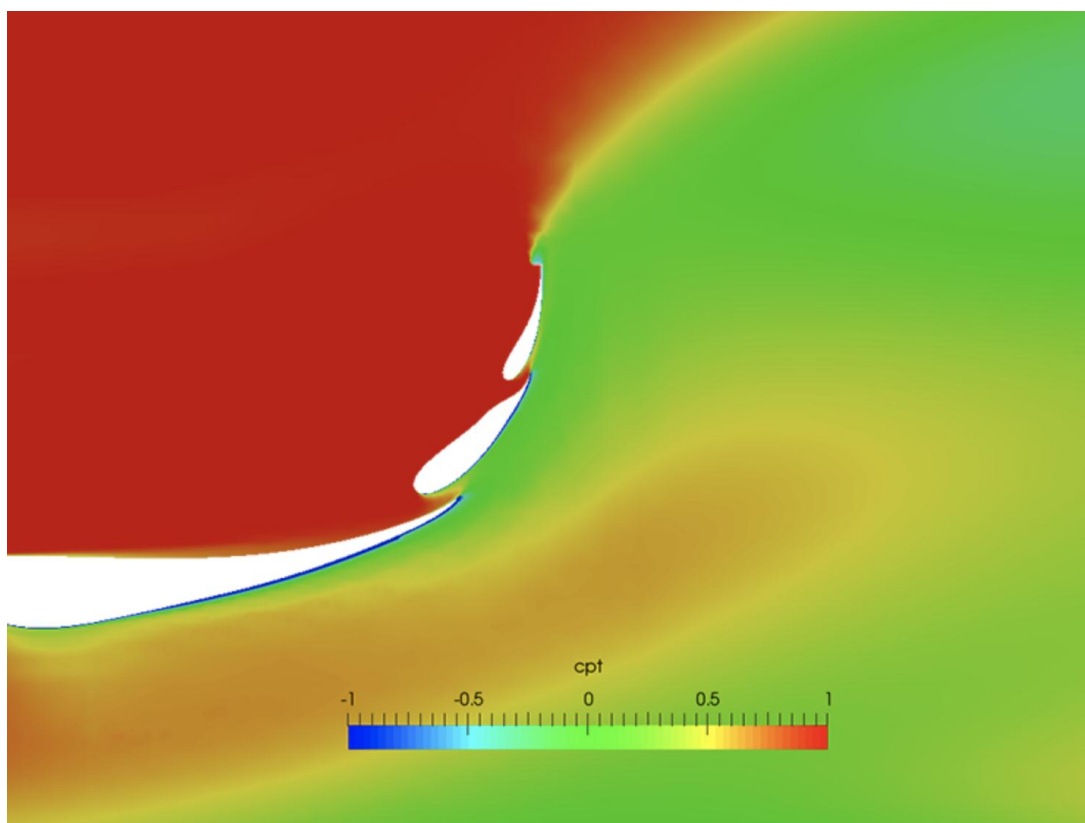


Рис. 2.19. Перевірка антикрила аеродинаміки в закритому стані

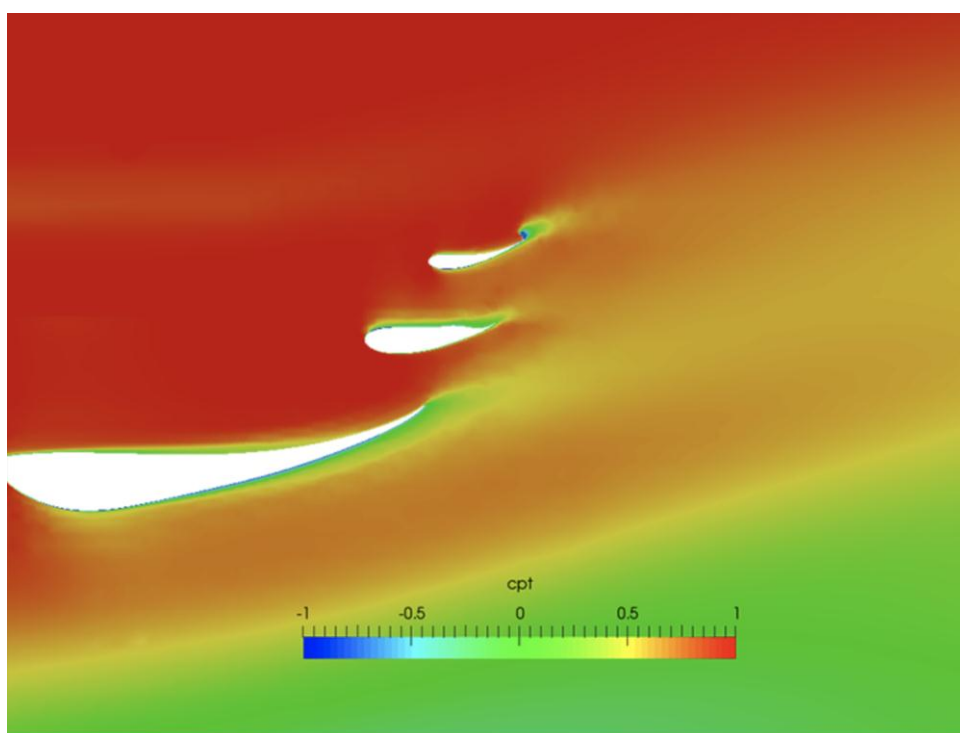


Рис. 2.20. Перевірка антикрила аеродинаміки в звідкритому стані

Висновки по розділу

В ході роботи над розділом було спроектоване і розраховане адаптивне аеродинамічне крило зі змінною геометрією, яке включає кріплення, каркас крила, втулки та з'єднувальні елементи

Всі елементи були спроектовані відповідно до основних вимог регламенту Formula SAE 2020.

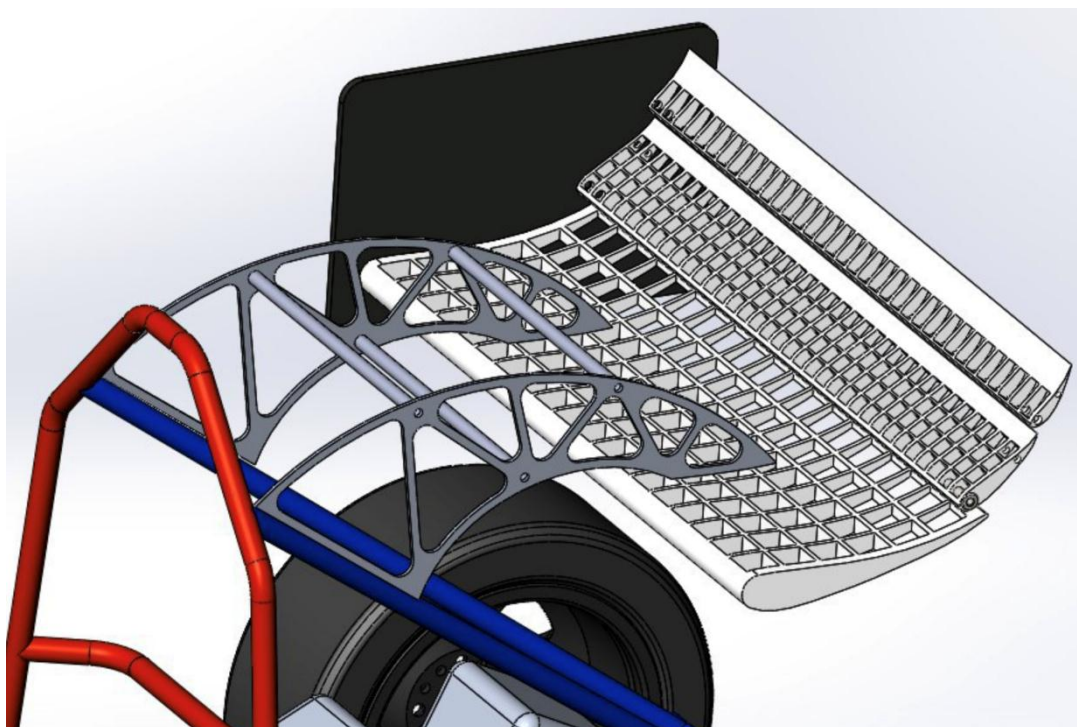


Рис. 2.21. 3D модель адаптивного антикрила без карбону

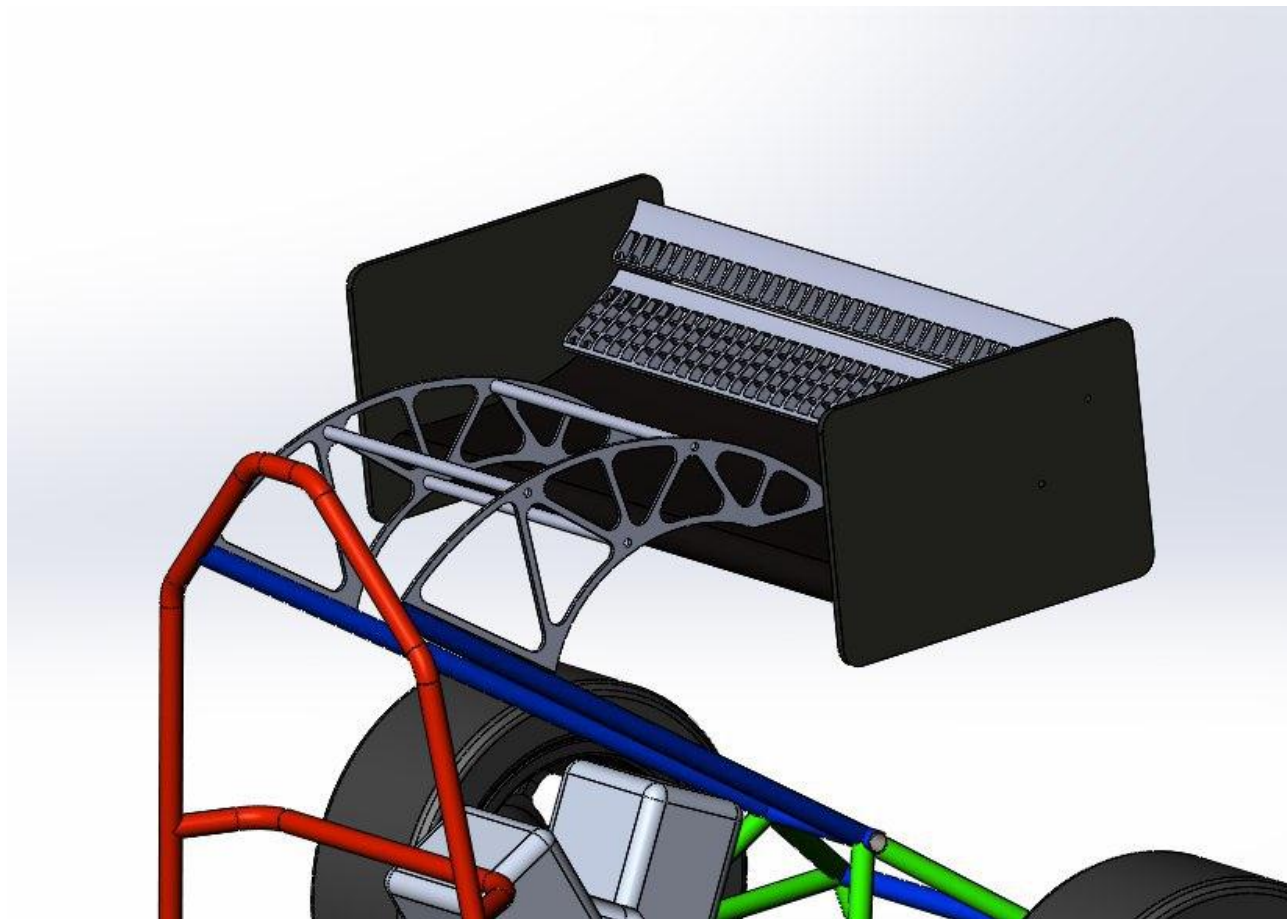


Рис. 2.22. 3D модель адаптивного антикрила в зборі

РОЗДІЛ 3 ТЕХНОЛОГІЧНЕ ЗАБЕЗПЕЧЕННЯ ВИГОТОВЛЕННЯ ЕЛЕМЕНТІВ АПТИВНОГО АНТИКРИЛА

Невід’ємною складовою проектування є забезпечення технологічності виготовлення спроектованих вузлів. Технологічне забезпечення дає змогу оцінити можливість і складність виготовлення деталі різними методами, призначити обладнання та інструмент, підібрати режими обробки та написати керуючу програму для верстату з ЧПК.

3.1. Технологія обробки складних деталей кріплення адаптивного антикрила на верстатах з ЧПК

3.1.1 Виготовлення деталі «кріплення адаптивного антикрила»

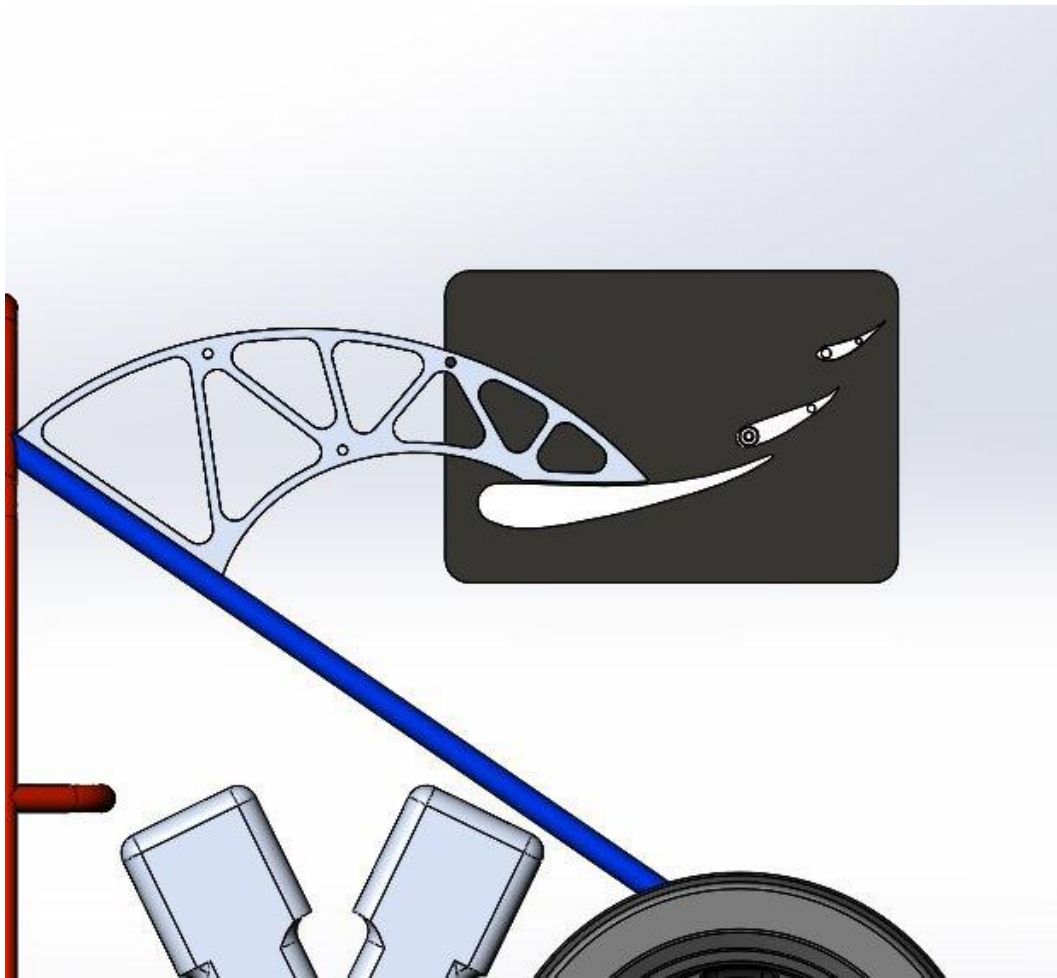


Рис. 3.1. 3D модель деталі «кріплення адаптивного антикрила»

Кріплення адаптивного антикрила з однієї сторони кріпиться за допомогою зварювання, а з іншої за допомогою метизів. (рис 3.2) Для зварювання було обрано аргонно-дуговий апарат *Jasic TIG-200P AC/DC* (рис 3.2) [19], який має наступні характеристики:

- Максимальний робочий струм: 200 А
- Робоча напруга: 220В (1 фаза)
- Діаметр вольфрамових електродів: 1.0 - 3.2 мм
- має двотактний і чотиритактний (2Т/4Т), точковий (SPOT), імпульсний (TIG Pulse) режими роботи [19].



Рис. 3.2. Зварювальний апарат Jasic TIG-200P AC/DC [19].

Для виготовлення кріплення використовувалась лазерна різка за допомогою лазерний комплекс LASERCWM 2500-1 (Рис. 3.3).



Рис. 3.3. Лазерний комплекс LASERCWM 2500-1

Даний комплекс призначений для лазерної обробки трубних і профільних заготовок, зварювання тонкостінних конструкцій, прецизійного розкрою листових металів і нанесення маркування на виготовлені деталі.

Технічні характеристики даного комплексу:

- Волоконний лазер YLR-1000-WC-Y14 з номінальною потужністю 1000 Вт;
- Система підготовки ріжучих газів;
- Ріжуча головка;
- Зварювальна головка;
- Комунікації;
- Маніпулятор з ЧПК з наступними основними характеристиками:

Площа обробки мм 1300 x 2500;

Хід по координаті Z, 100 мм;

Максимальна швидкість переміщення по координатах X, Y: 30000 мм / хв .;

Режим роботи лазера постійний, модульований;

Точність позиціонування за координатами X, Y: $\pm 0,1$ мм;

Повторна точність за координатами X, Y: $\pm 0,05$ мм;

Координата обертання W:

Кут повороту 360 град;

Максимальна швидкість обертання 50 об / хв .;

Максимальна довжина заготовки 1200 мм;

Максимальний діаметр заготовки 250 мм;

Габарити маніпулятора:

Довжина маніпулятора 3500 мм;

Ширина маніпулятора 2100 мм;

Висота маніпулятора 1400 мм.

- Автоматична система стеження за металевою поверхнею;
- Програмне забезпечення (майстер підготовки керуючих програм);
- Технологічний стіл для кріплення заготовки;
- Система видалення продуктів горіння. [19].

Втулки, навколо яких відбувається обертання рухомої частини крила (Рис.3.4)
виготовленні з такого матеріалу як капролон, за допомогою токарного
верстату 16к20 (рис.3.5)

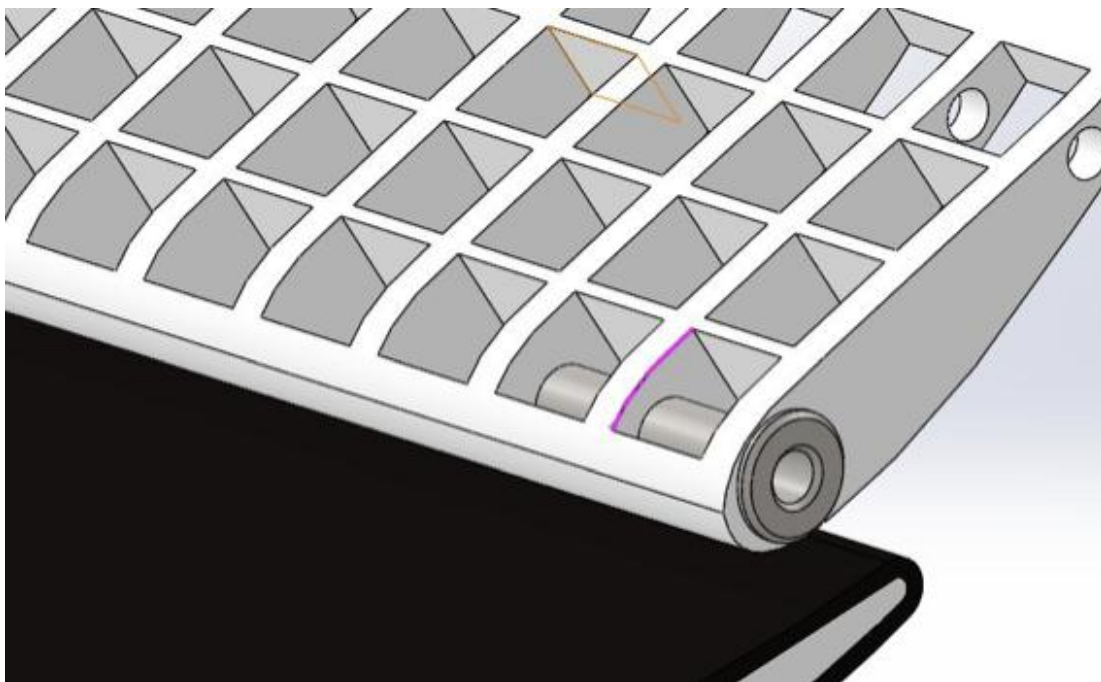


Рис. 3.4. Капролонові втулки, навколо яких відбувається обертання елементів антикрила



Рис. 3.5. Токарний верстат 16к20

3.2. Застосування адитивних технологій у виготовленні деталей проекту адаптивного антикрила

Адитивні технології дають можливість використовувати в конструкції деталі складної конфігурації, що допомагає зменшити загальну масу деталей та покращити їх жорсткість та експлуатаційні характеристики. В якості матеріалу для виготовлення відповідальних деталей необхідно PLA пластик, використання якого в адитивному виробництві є дешевим та при правильних налаштуваннях друку надійним. За роки існування «Формули Сутдент КП» 3д друк використовувався дуже часто, а саме накладки руля, корпус рульової рейки, впускний колектор, елементи сидінь, кріплення електросхем та проводів, корпус панелі приладів, корпуси приладів світлової індикації та інше.

3.2.1. Виготовлення скелету аеродинамічного крила

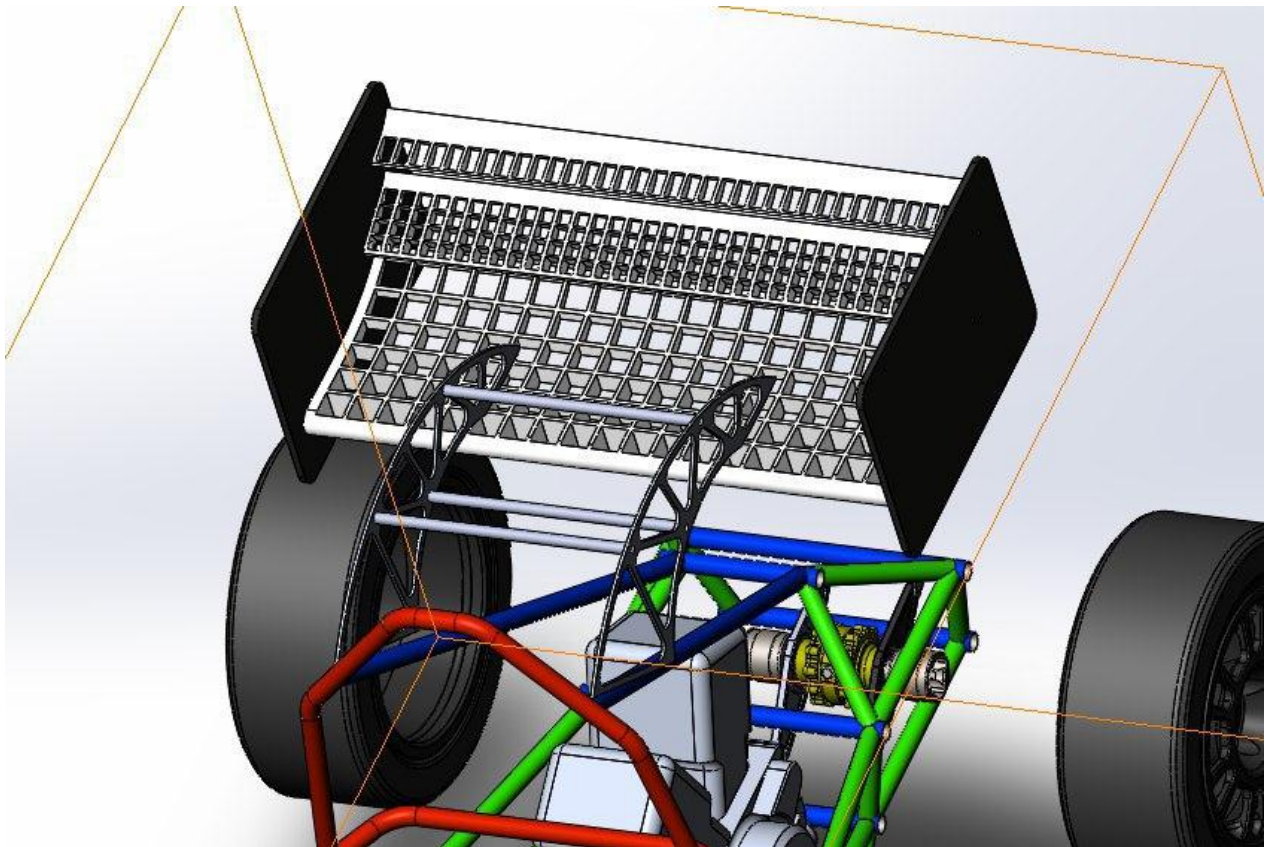


Рис. 3.14 3D модель скелету адаптивного антикрила

На рис 3.14 зображено скелет, надрукований на 3д принтері з PLA пластику. Така процедура допоможе відтворити бажану форму аеродинамічних

елементів, після друку порожні місця будуть заповнені м'яким фізично вспіненим поліетиленом, а зверху карбоном (рис 3.15)

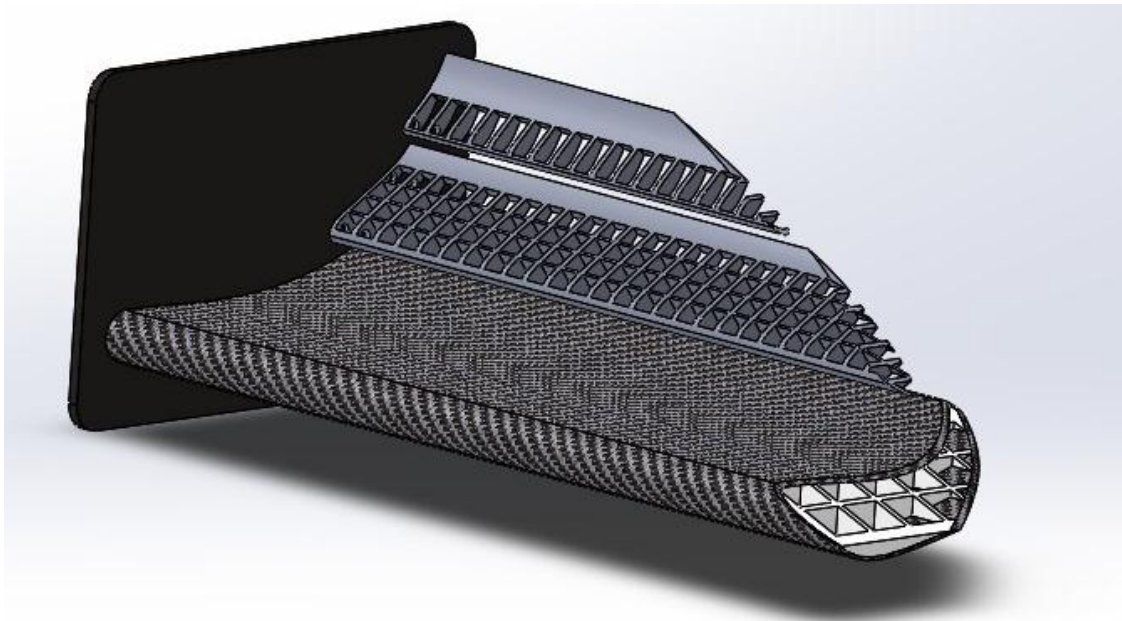


Рис. 3.15 Переріз адаптивного антикрила

Оскільки за основу взятий диференціал від існуючого автомобіля, немає необхідності виготовляти такі деталі як осьові шестерні, сателіти і вал сателітів. Для створення макету необхідно виготовити корпус диференціалу, кришки, зовнішню шестерню і втулки осьових шестерень, купити гвинти, штифт і підшипники.

Для економії на друці використаємо 3D принтер Ultimaker Original+ (рис. 3.16) і PLA пластик.

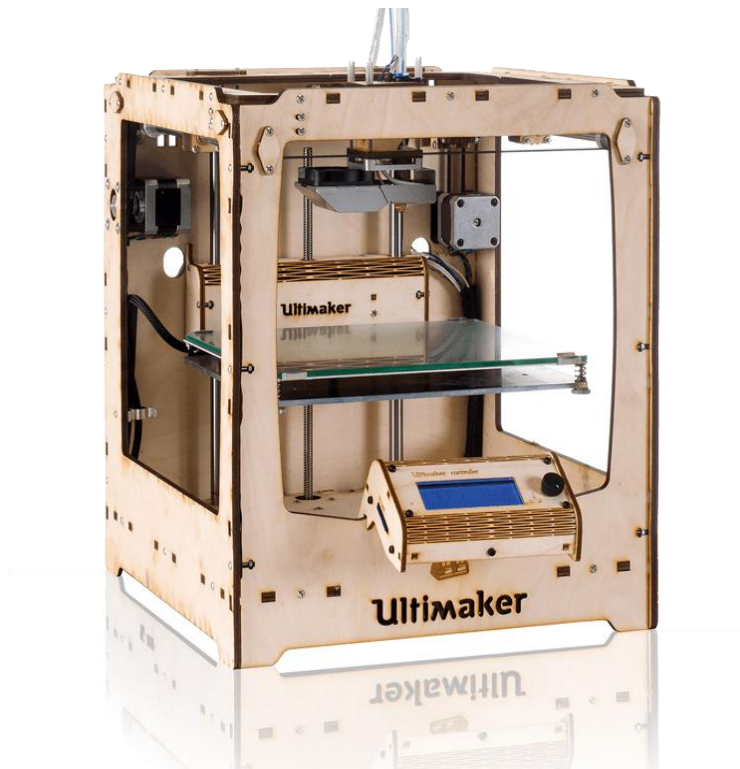


Рис. 3.16. 3D принтер Ultimaker Original+

Характеристики принтера [35]:

- Розміри принтера – 357x342x388 мм.
- Область побудови деталі – 210x210x205 мм.
- Діаметр сопла – 0,4 мм.
- К-ть друкуючих головок – 1
- Температура стола – 50...100°C
- Розширення друку – 20 мкм

Оскільки площа друку невелика наш скелет можна друкувати частинами

Керуючі програми для процесу друку створюються в САМ програмі Ultimaker Cura, де задаються основні параметри друку:

- Висота шару – 0,2 мм.
- Температура сопла – 200°C
- Товщини стінок – 0,4 мм.
- Заповнення – 40%

3.2.2 Вибір механізму зміни форми крила

Для того аби змінити кут нахилу антикрила треба прикласти силу направлену в сторону передньої частини автомобіля, найбільш розповсюдженим рішенням є такі варіанти як пневмо (рис 3.17), або гідро поршень (рис 3.18)



Рис. 3.17 Комплект пневмобалону



Рис. 3.18 Комплект гідропоршня

Одним із варіантом заміною поршнів є втягувальне, воно працює за рахунок електромагнітної індукції, а перевага помітна одразу.

По перше це вага та значна економія місця та фінансів



Рис. 3.19 втягувальне

Одним із електричних варіантів -це сервопривід від налаштування сидінь (рис. 3.20).



Рис 3.20 Сервопривід від налаштування сидінь

Висновки по розділу

В розділі було проаналізоване технологічне забезпечення виготовлення деталей: «скелет адаптивного антикрила». Результатом процесу друку став виготовлений скелет антикрила за допомогою адитивних технологій складна по формі деталь, яка не несе навантажень, але дуже спрощує виготовлення остаточної конструкції. Втягувальне, як сила, яка буде діяти на антикрило через свою доступність та простоту монтажу.

4. СТАРТАП - ПРОЕКТ

Стартап як форма малого підприємництва впродовж останнього десятиліття набула широкого розповсюдження у світі через зниження бар'єрів входу в ринок: із появою Інтернету як інструменту комунікацій та збуту стало простіше знаходити споживачів та інвесторів, займатись пошуком ресурсів, перетинати кордони між ринками різних країн. Стартап-проект вважається однією із наріжних складових інноваційної економіки, оскільки за рахунок мобільності, гнучкості та великої кількості стартап-проектів загальна маса інноваційних ідей зростає. Проте створення та ринкове впровадження стартап-проектів відзначається підвищеною мірою ризику, ринково успішними стає лише невелика частка, що за різними оцінками складає від 10% до 20%. Головне завдання стартап проекту - перетворення ідеї проекту у працюючу бізнес-модель, що починається із формування концепції товару (послуги) для визначеної клієнтської групи за наявних ринкових умов. Розроблення та виведення стартап-проекту на ринок передбачає здійснення низки кроків, в межах яких визначають ринкові перспективи проекту, графік та принципи організації виробництва, фінансовий аналіз та аналіз ризиків і заходи з просування пропозиції для інвесторів.

4.1 Опис ідеї проекту

Пропонується створити заднє адаптивне аеродинамічне крило для гоночного боліду класу Formula SAE та механізм його роботи, для того аби покращити ходові характеристики автомобіля та показати кращі результати на етапі Formula student 2020. Адаптивним антикрило потрібно для того, аби воно завжди було корисним, оскільки воно починає працювати лише після 80 км/год, а конфігурація траси складається в основному з поворотів. Також дану конструкцію можна використовувати на звичайних автомобілях із заднім приводом.

Таблиця 4.1

Опис ідеї стартап-проекту

Зміст ідеї	Напрямки застосування	Вигоди для користувача
Створення заднього адаптивного аеродинамічного крила	1. Суперкари	1. Покращення зчеплення коліс з дорогою
	2. Транспорт для змагань	2. Економічність транспорту
	3. Швидкісні автомобілі	3. Безпечність руху на великих швидкостях
		4. Аеродинамічність
		5. Економія тормозної системи

4.1.1 Аналіз потенційних техніко-економічних переваг ідеї.

Серед техніко-економічних властивостей адаптивного антикрила можна виділити чотири основних: збільшення швидкості проходження повороту; коефіцієнт аеродинамічного опору; універсальність силового механізму; матеріал корпусу.

В якості прямих конкурентів було розглянуто топ 3 команди які брали участь в Formula Student 2019 року

Таблиця 4.2

Прямі конкуренти [8]

Но мер №	Назва команди	Країна	Організація	Тип закладу	Вид енергії
1	Formula Student Team Delft	Франція	Delft University of Technology	Universiti	Battery-electric
2	Delft University of Technology	Німеччина	ETH Zurich	Universiti	Battery-electric
3	Bauman Racing Team	Росія	МГТУ им. Н. Э. Баумана	Університет	Бензин

Порівняльний аналіз показників є підґрунтям конкурентоспроможність нашого виробу перед товаром конкурентів. Наш проект має сильну сторону не тільки при швидкості руху більше ніж 80 км/год, а й на інших швидкостях, за рахунок зміни форми крила. Маємо також слабку сторону - це матеріал корпусу, а саме пластик.

Таблиця 4.3

Визначення сильних, слабких та нейтральних характеристик ідеї проекту

№ п/п	Техніко-економічні характеристики ідеї	(потенційні) товари/концепції конкурентів				W (слабка сторона)	N (нейтральна сторона)	S (сильна сторона)
		Наш проект	Конкурент1	Конкурент2	Конкурент3			
1.	Вартість матеріалу	300 \$	500\$	500\$	200 \$	-	-	+

№ п/п	Техніко- економічні характеристи ки ідеї	(потенційні) товари/концепції конкурентів				W (слабка сторона)	N (нейтра льна сторона)	S (сильна сторона)
		Наш проект	Конку рент1	Конкур ент2	Конку рент3			
2.	Вага антикрила	3 кг	2,1 кг	2,3 кг	3кг	-	+	-
3.	Робочі швидкості	0- 130км/го д	80-130 км/год	80-130 км/год	80-130 км/год	-	-	+
4.	Матеріал	карбон та пластик	Карбон	Карбон	Склов олокно		+	-

4.2 Технологічний аудит ідеї проекту

За допомогою проведення аудиту технології можна реалізувати ідею проекту (технології створення товару). Визначення технологічної здійсненності ідеї проекту:

При виготовленні екологічного автомобіля головною задачею виступає зниження викидів продуктів горіння в атмосферу. Проблема викидів у атмосферу вирішується шляхом заміни двигунів внутрішнього згорання на електричний двигун. Такі технології вже існують та доступні для реалізування.

При виготовленні адаптивного аеродинамічного крила головними задачами виступають зниження ваги, використання дешевих та довговічних матеріалів, збільшення притискної сили автомобіля. Основні проблеми можна вирішити шляхом оптимізації конструкції антикрила, та зменшення кількості деталей. Така технологія наявна і доступна, але потребує динамічних випробування та налагодження роботи.

При в адаптивного аеродинамічного крила проблемою є ціна, що знижує привабливість продукту, оскільки такі рішення використовують лише дорогі спорткари. Така проблема вирішується заміною матеріалів на більш дешеві, та

механізми на більш доступні та розповсюджені на ринку. Така технологія наявна та доступна, але потребує доопрацювання.

Таблиця 4.4

Технологічна здійсненність ідеї проекту

№ п/п	Ідея проекту	Технологія її реалізації	Наявність технологій	Доступність технологій
1.	Зробити адаптивне аеродинамічне крило	змінна геометрія крила	Наявні	Доступні
2.	Збільшити ефективність автомобіля на трасі	Збільшення притискної сили	Наявні	Доступні
3.	Налагодити роботу антикрил	Підлаштування під швидку зміну форми	Наявні, але необхідно проводити випробування	Доступні
Обрана технологія реалізації ідеї проекту: усі три технології доступні				

4.3 Аналіз ринкових можливостей запуску стартап-проекту

Наразі, в Україні, попит адаптивні аероелементи низький, через цінову політику, оскільки готові рішення розроблені лише під дорогі автомобілі. Але ключовим фактором привабливості даного продукту в автоспорті є значне покращення результатів змагань. З кожним роком автоспорт приваблює все більше людей. Обмеженнями для входу на ринок унеможливлення розроблення універсальної конструкції, але сам механізм та принцип роботи лишається той самий, матеріал самого антикрила легко дістати, а форму підлаштувати під конкретний автомобіль. Тож, ринок є доволі привабливим для входження за попереднім оцінюванням.

Таблиця 4.5.

Попередня характеристика потенційного ринку стартап-проекту

№ п/п	Показники стану ринку (найменування)	Характеристика
1	Динаміка ринку (якісна оцінка)	зростає
2	Наявність обмежень для входу (вказати характер обмежень)	відсутність універсальної конструкції
3	Специфічні вимоги до стандартизації та сертифікації	відсутні

4.3.1 Потенційні клієнти

Потенційними групами клієнтів є люди які піклуються про безпеку руху та люди, які обожнюють автоспорт, яка прагне досягти високих результатів на перегонах. Споживачі що потребують надійне зчеплення з дорогою, висувають такі вимоги, як якість продукту, дешевизна та легкість встановлення. Щодо ваги, то насамперед, вимогою є низька вага механізму та самого крила.

Таблиця 4.6

Характеристика потенційних клієнтів стартап-проекту

№ п/п	Потреба, що формує ринок	Цільова аудиторія (цільові сегменти ринку)	Відмінності у поведінці різних потенційних цільових груп клієнтів	Вимоги споживачів до товару
1	Легкість	Люди які люблять автоспорт	Прискіпливість до технічних показників	Якість, вага, дешевизна
2	Універсальність	Люди які люблять автоспорт	Бажання встановити продукт без перешкод	
3.	Економічність	Кожна людина, зацікавлена в збереженні коштів, особливо важливо на змаганнях	Різність у сприйнятті економічних показників як ефективних	Невисока вартість

4.3.2 Аналіз ринкового середовища

Маючи інформацію про потенційних груп клієнтів, визначаємо фактори, що можуть завадити ринковому впровадженню продукту. Загрозами цих факторів є досить клопітка робота по дооснащенню автомобіля, значних коштів у обслуговуванні автомобіля, скептичне відношення до правильної аеродинаміки автомобіля

Таблиця 4.7 Фактори загроз

№ п/п	Фактор	Зміст загрози	Можлива реакція компанії
1.	Встановлення додаткового аеродинамічного крила	Клопітка робота	Професійний підхід до встановлення антикрил
2.	скептичне відношення до правильної аеродинаміки автомобіля	Клієнт не вважає за потрібне встановлювати антикрило	Пояснення переваг автомобіля після встановлення
3.	Ціна	Реакція на ціну	Розроблення більш універсальної конструкції для зменшення ціни кінцевого продукту
4.	Дизайн антикрила	зовнішні форми антикрила не влаштовують клієнта	Аналіз вподобань клієнтів, врахування пропозицій, доопрацювання зовнішнього виду
5.	Конкуренція	Зростаючий ринок виробників антикрил	Підвищення якості товару, рекламна компанія на спортивних змаганнях та у соцмережах

Фактори що сприяють ринковому впровадженню продукту та їх можливості:

- збільшення продажів через популяризацію на змаганнях
- вихід на міжнародний ринок, та набуття брендом популярності

Кожен з факторів означає можливість забезпечити необхідні темпи обороту впізнаності товару на ринку та здатність впливати на інших агентів ринку, конкуруючи з ними за рахунок ціновлаштування

Таблиця 4.8

Фактори можливостей

№ п/п	Фактор	Зміст можливості	Можлива реакція компанії
1.	Збільшення продажів	Популяризація	Розгорнення рекламної компанії
2.	Міжнародний ринок	Можливість продажу конструкції за кордон	Збільшення обсягів виробництва, виробництво під замовлення, пошук партнерів за кордоном
3.	Популярність	Набуття брендом популярності в автоспорті	Розробка декількох варіантів механізму та вибір матеріалу, з якого буде зроблене антикрило, аби розширити коло потенційних покупців

4.3.3 Аналіз пропозиції

Риси загальної конкуренції на ринку: міжнаціональна внутрішньогалузева олігополія, з конкурентно-ціновими перевагами та не марочною інтенсивністю.

Таблиця 4.9

Ступеневий аналіз конкуренції на ринку

Особливості конкурентного середовища	В чому проявляється дана характеристика	Вплив на діяльність підприємства (можливі дії компанії, щоб бути конкурентоспроможною)
1. Вказати тип конкуренції - монополія/олігополія/монополістична/чиста	Олігополія. Проявляється у наявності великої кількості компаній-виробників.	Головним критерієм, що буде вдовольняти покупця – співвідношення ціни та якості. (Використання якісного матеріалу та точного обладнання)

Особливості конкурентного середовища	В чому проявляється дана характеристика	Вплив на діяльність підприємства (можливі дії компанії, щоб бути конкурентоспроможною)
2. За рівнем конкурентної боротьби - локальний/національний/...	Локальний та міжнародний	Створення потужної бази для виходу на міжнародний ринок. Посилення маркетингової та рекламної кампаній
3. За галузевою ознакою-міжгалузева/внутрішньогалузева	Внутрішньогалузева	Вдосконалення зовнішніх параметрів
4. Конкуренція за видами товарів: - товарно-родова - товарно-видова - між бажаннями	Між бажаннями	Закріплення товару на ринку як впевненої марки для покупця
5. За характером конкурентних переваг - цінова / нецінова	Цінова	Оптимізації конструкції, тим самим буде знижена вартість
6. За інтенсивністю - марочна/не марочна	Не марочна	-

4.3.4 Перелік факторів конкурентоспроможності

Таблиця 4.10

Обґрунтування факторів конкурентоспроможності

№ п/п	Фактор конкурентоспроможності	Обґрунтування (наведення чинників, що роблять фактор для порівняння конкурентних проектів значущим)
1.	Швидкісні характеристики	Більш легка конструкція автомобіля, прогресивна геометрія підвіски та достатня потужність двигуна
2.	Ергономічність	Обтікання форми корпусу
3.	Доступна ціна	Низька собівартість виготовлення

4.3.5 SWOT-аналіз стартап-проекту

Таблиця 4.11

SWOT-аналіз стартап-проекту

Сильні сторони	Слабкі сторони
- економічність; - доступність; - ергономічність	- обслуговування автомобіля; - енергоємність; - наявність тільки одного місця в машині
Можливості	Загрози
- вихід на міжнародний ринок; - подальша оптимізація автомобіля; - наявність шляхів популяризації техніки для перегонів	- зростаючий ринок електромобілів; - не вподобання зовнішніх форм.

4.3.8 Альтернативи ринкової поведінки

На основі SWOT-аналізу розроблені альтернативи ринкової поведінки для того щоб впровадити стартап-проект на ринок та орієнтовний оптимальний час їх ринкової реалізації з огляду на потенційні проекти конкурентів, що можуть бути виведені на ринок. Визначені альтернативи аналізуються з точки зору строків та ймовірності отримання ресурсів.

Таблиця 4.12

Альтернативи ринкового впровадження стартап-проекту

№ п/п	Альтернатива (орієнтовний комплекс заходів) ринкової поведінки	Ймовірність отримання ресурсів	Строки реалізації
1.	Олігополія	Висока	Короткі

Для виведення стартап-проекту на ринок автоспортивної техніки, пропонується альтернативна ринкова поведінка – олігополія. При такій

поведінці ймовірність отримати ресурси є високою, в умовах широкої конкуренції.

4.4 Розроблення ринкової стратегії проекту

4.4.1 Визначення стратегії та охоплення ринку

Цільовими групами, на які націлений наш болід для перегонів, виходячи з конструктивних параметрів, та аналізу попередніх розділів, можна вважати:

- Люди, що проживають у великих містах та мегаполісах;
- Люди з активним способом життя
- Люди з низьким рівнем доходів

Таблиця 4.13

Вибір цільових груп потенційних споживачів

№ п/п	Опис профілю цільової групи потенційних клієнтів	Готовність споживачів сприйняти продукт	Орієнтовний попит в межах цільової групи (сегменту)	Інтенсивність конкуренції в сегменті	Простота входу у сегмент
1.	Люди, що проживають у великих містах та мегаполісах	Повна готовність сприймати продукт	Зараз спостерігається зростаюча тенденція	Кількість конкурентів постійно зростає	Вихід у сегмент доволі складний але реальний
2.	Люди з активним способом життя	Часткова готовність сприймати продукт	Зараз спостерігається зростаюча тенденція	Кількість конкурентів зростає в невеликій кількості	Вихід у сегмент дуже складний
3.	Люди з низьким рівнем доходів	Недостатня готовність сприймати продукт	Зараз спостерігається спадаюча тенденція	Кількість конкурентів залишається стабільна	Вихід у сегмент доволі складний але реальний
Які цільові групи обрано: люди, що проживають у містах					

4.4.2 Формування базової стратегії розвитку

Базовою стратегією розвитку була вибрана стратегія диференціації, оскільки в даному проекті команда надає автомобілю відмінних властивостей та параметрів, відмінних від конкурентів та які задовольняють потреби цільових груп потенційних споживачів. Вибрана стратегія розвитку – ринкове позиціонування.

Таблиця 4.14

Визначення базової стратегії розвитку

№ п/п	Обрана альтернатива розвитку проекту	Стратегія охоплення ринку	Ключові конкурентоспроможні позиції відповідно до обраної альтернативи	Базова стратегія розвитку*
1.	Надання товару важливих з точки зору споживача відмінних властивостей, які роблять товар відмінним від товарів конкурентів	Ринкове позиціонування	Знижує ступінь замінності товару, посилює прихильність марці, зменшує чутливість до ціни і тим самим підвищує рентабельність	Стратегія диференціації

4.4.3 Вибір стратегії конкурентної поведінки

Вибрана стратегія пояснюється виходом на ринок продукту, який спроможний конкурувати з лідером. Теоретично можна прийняти два стратегічні рішення: атакувати лідера у боротьбі за частку ринку або ж йти за лідером. Рішення атакувати лідера є досить ризикованим. Для його реалізації потрібні значні фінансові витрати, know-how, краще співвідношення «ціна-якість», переваги в системі розподілу і просування і т. д. У разі не реалізації цієї стратегії, компанія може бути відкинута на аутсайдерські позиції на досить довгий час. Тому реалізація цієї стратегії вимагає детального опрацювання по наступних напрямках: аналіз сильних і слабких сил своїх і фірми-лідера; виявлення можливих напрямів атаки; ревізія власних сил і ресурсів; аналіз можливих дій конкурентів і розробка методів захисту.

Таблиця 4.15.

Визначення базової стратегії конкурентної поведінки

№ п/п	Чи є проект «першопрохідцем» на ринку?	Чи буде компанія шукати нових споживачів, або забирати існуючих у конкурентів?	Чи буде компанія копіювати основні характеристики товару конкурента, і які?	Стратегія конкурентної поведінки*
1.	Так	Пошук нових споживачів	Ні, компанія не буде копіювати	Стратегія виклику лідера

4.4.4 Стратегія позиціонування

На основі вимог споживачів з обраних сегментів до постачальника та до продукту, а також в залежності від обраної базової стратегії розвитку та стратегії конкурентної поведінки розробляється стратегія позиціонування, що полягає у формуванні ринкової позиції, за яким споживачі мають ідентифікувати торгівельну марку.

Таблиця 4.16

Визначення стратегії позиціонування

№ п/п	Вимоги до товару цільової аудиторії	Базова стратегія розвитку	Ключові конкурентоспроможні позиції власного стартап-проекту	Вибір асоціацій, які мають сформулювати комплексну позицію власного проекту (три ключових)
1.	Зручність	Стратегія диференціації	Ергономічність	
2.	Швидкість руху	Стратегія спеціалізації	Оптимальна швидкість руху	
3.	Ціна	Стратегія диференціації	Порівняно низька ціна на ринку електрокарів	

4.5 Розроблення маркетингової програми стартап-проекту

4.5.1 Формування маркетингової концепції товару

В цій таблиці формуємо першочергові потреби та вигоди товару. Основною потребою є створення швидкісного, компактного та функціонального автомобіля.

Таблиця 4.17

Визначення ключових переваг концепції потенційного товару

№ п/п	Потреба	Вигода, яку пропонує товар	Ключові переваги перед конкурентами (існуючі або такі, що потрібно створити)
1.	Швидкісний транспорт	Підвищення динамічних характеристик	Техніко-експлуатаційні характеристики
2.	Компактний транспорт	Компактність	
3.	Економічний транспорт	Дешевизна товару і експлуатації	
4.	Функціональний транспорт	Функціональність	

4.5.2 Трирівнева маркетингова модель товару

Ідея продукту у створенні доступного швидкісного, економічного та ергономічного автомобіля, доступного цільовим групам споживачів. Його фізичними складовими є корпус, рама, система шасі та двигун. Особливостями процесу його надання є пакування та гарантійні строки обслуговування автомобіля.

Таблиця 4.18.

Опис трьох рівнів моделей товару

Рівні товару	Сутність та складові		
1.Товар за задумом	Споживач потребує значних вигод у ціні та якості, вдовольняючи потреби у екологічному, економічному та ергономічному автомобілі.		
2.Товар у	Властивості/характеристики	М/Нм	Вр/Тх/Тл/Е/Ор

Рівні товару	Сутність та складові		
реальному виконанні	1.Економічні	Нм	Тл/Ор
	2.Технологічні	Нм	Тл/Ор
	3.Ергономічні	Нм	Тл/Ор
	4.Естетичні	Нм	Тл/Ор
	5.Транспортабельності	Нм	Тл/Ор
	6.Динамічні	Нм	Тл/Ор
	Якість: Загальні правила регламенту FIA , стандарти, нормативи, параметри тестування тощо		
	Пакується у дерев'яну коробку з пінопластом всередині для фіксації продукту.		
	Марка: Організація-розробник “FS KPI”.		
3.Товар із підкріпленням	До продажу - підкріплюється гарантією на 12 місяців Після продажу - обслуговується по гарантії на протязі 12 місяців		
За рахунок чого потенційний товар буде захищено від копіювання: буде захищено патентом на корисну модель, назву, на окремі вузли автомобіля, емблему.			

4.5.3 Визначення цінових меж

Цінові межі вартості товару – від 30 000 \$ до 35 600\$, що є приблизно однаковими для товарів аналогів, але дорожче за товари замітники.

Таблиця 4.19.
Визначення меж встановлення ціни

№ п/п	Рівень цін на товари замітники	Рівень цін на товари аналоги	Рівень доходів цільової групи споживачів	Верхня та нижня межі встановлення ціни на товар/послугу
1.	Товари замітники дешевше за ціною, але дорожче в експлуатації	Ціни є приблизно однакові	Рентабельність близько 8-15%	Ціна на товар мінімальна – 30 000 \$; максимальна - 35 600\$

Визначення оптимальної системи збуту, в межах якого приймається рішення 4.5.4

Визначення оптимальної системи збуту

Виконуючи такі функції збуту, як транспортування та зберігання товару, є доречним залучити сторонніх посередників (залучена система збуту). Ринок збуту включає в себе як і «e-commerce» так і окремі продовольчі точки, що дозволить отримати глибокий. Посередниками будуть вибрані компанії перевізники з арендованим місцем зберігання (склад, ангар, приміщення під зберігання).

Таблиця 4.20

Формування системи збуту

№ п/п	Специфіка поведінки цільових клієнтів	Функції збуту, які має виконувати постачальник товару	Глибина каналу збуту	Оптимальна система збуту
1.	Споживачі товарів широкого призначення	Транспортування, зберігання	Ринок збуту розташований на значній території	Багатоканальний розподіл

4.5.5 Розроблення концепції маркетингових комунікацій

Для позиціонування товару, ключовою позицією є ознайомлення споживача з товаром та будь-якими змінами в умовах його придбання.

Таблиця 4.21.

Концепція маркетингових комунікацій

№ п/п	Специфіка поведінки цільових клієнтів	Канали комунікацій, якими користуються цільові клієнти	Ключові позиції, обрані для Позиціонування	Завдання рекламного повідомлення	Концепція рекламного звернення
	Суворі техніко-експлуатаційні вимоги до товару на фоні різноманітності товарів-замінників	Інтернет - сайти, соціальні мережі, інтернет-магазини,	Нагадування	Поширити товар у маси	Реклама тільки через інтернет

Ринкова маркетингова програма товару:

Основною потребою цільових споживачів є створення доступного екологічного, екологічного компактного та функціонального автомобіля, що водночас є і ідеєю створення продукту. Його фізичними складовими є корпус, рама, система шасі та двигун.

Цінові межі вартості товару – від 30 000 \$ до 35 600\$, що є приблизно однаковими для товарів аналогів, але дорожче за товари замітники. Такі межі приймаємо лише за попереднім аналізом ціноутворення. Якість складових автомобіля, їх виготовлення та збут, прямо відображають вартість товару. Виконуючи такі функції збуту, як транспортування та зберігання товару, є доречним залучити сторонніх посередників (залучена система збуту).

4.6 Висновки

Провівши аналіз зроблено наступні висновки:

- наявні всі можливості комерціалізації проекту, наявність попиту на дану продукцію, ріст динаміки проекту;
- перспективність проекту в цілому, невисокі бар'єри входження, висока конкурентноспроможність проекту;
- олігополія – найбільш доцільний варіант для ринкової реалізації проекту;
- імплентація проекту в подальшому.

Список використаної літератури

1. European Broadcasting Union : web-site. URL: <https://www.ebu.ch/home> (accessed 03 September 2018).
2. Šarčević S. New Approach to Legal Translation. The Hague : Kluwer Law International, 1997. 308 p.
3. Johnsen E. Textbook knowledge: Introduction to genres and use // Lærebokkunnskap :Innføring i sjanger og bruk. Oslo : Tano Aschehoug, 1995. Pp. 45–65.
4. Ki, K. Lee, J. Cheon, and H. Ahn. Design and Implementation of a new Clamping force estimator in Electro-Mechanical Brake systems : J. Automotive Technology Internerional, 2013. Vol. 14. pp. 739–745.
5. Park, D. Hyun, and S. B. Choi. Development of Clamping Force Estimation Algorithm and Clamp-force Sensor Calibration on Electromechanical Brake Systems: Transactions of KSAE, 2016. Vol. 24, pp. 365-371
7. Saric, A. Bab-Hadiashar, and R. Hoseinnezhad, “Clamp-Force Estimation for a Brake-by-Wire System: A Sensor-Fusion Approach,” IEEE Trans. Veh. Technol., vol. 57, no. 2, pp. 778-786, 2008.
8. Rajamani, Vehicle Dynamics and control, New York, NY, USA: Springer-Verlag, 2006.
9. Karnopp, “Computer Simulation of Stick-Slip Friction in Mechanical Dynamic Systems,” J. Dyn. Sys. Meas. Control, vol. 107, no. 1, pp. 100-103, 1985.
10. Olsson, K. Astrom, C. Wit, M. Gafvert, and P. Lischinsky, “Friction models and friction compensation,” Eur. J. Control, vol. 4, no. 7, pp. 176-195, 1998.
11. Chang, J. Hedrick, W. Zhang, P. Varaiya, M. Tomizuka, and S. Shladover “Automated highway system experiments in the PATH program,” J. Intell. Transport. Syst., vol. 1, no. 1, pp. 63-87, 1993.

12. Versteeg, H. K., & Malalasekera, W. (2007). An Introduction to Computational Fluid Dynamics: The Finite Volume Method (2nd ed.). Harlow: Pearson Prentice Hall.
 ФОРМУЛА (1) у тебя в дипломе

13. Park, D. Hyun, and S. B. Choi. Development of Clamping Force Estimation Algorithm and Clamp-force Sensor Calibration on Electromechanical Brake Systems: Transactions of KSAE, 2016. Vol. 24, pp. 365-371

14. Saric, A. Bab-Hadiashar, and R. Hoseinnezhad, “Clamp-Force Estimation for a Brake-by-Wire System: A Sensor-Fusion Approach,” IEEE Trans. Veh. Technol., vol. 57, no. 2, pp. 778-786, 2008.

15. W.F.Milliken, D.L.Milliken. SAE. 1995. 893p. European Broadcasting Union : web-site. URL: <https://www.ebu.ch/home> (accessed 03 September 2018).

16. В.В. Муленко. Компьютерные технологии и автоматизированные системы в машиностроении / РГУ нефти и газа им. И.М. Губкина МОСКВА 2015 73с

17. Autodesk Autocad [Электронный ресурс]:[Веб-сайт]. – Режим доступа <https://www.autodesk.eu/products/autocad/overview> (дата звернения 10.09.2018) – Назва з екран

18. Компас 3D [Электронный ресурс]:[Веб-сайт]. – Режим доступа <https://kompas.ru/kompas-3d/about/> (дата звернения 10.09.2018) – Назва з екрана

19. Solidworks [Электронный ресурс]:[Веб-сайт]. – Режим доступа <https://www.solidworks.com/> (дата звернения 10.09.2018) – Назва з екран

20 Autodesk Inventor [Электронный ресурс]:[Веб-сайт]. – Режим доступа <https://www.autodesk.eu/products/inventor/overview> (дата звернения 10.09.2018) – Назва з екран

21. 3DS [Электронный ресурс]:[Веб-сайт]. – Режим доступа <https://www.3ds.com/ru/produkty-i-uslugi/catia/> (дата звернения 10.09.2018) – Назва з екрана

22. PTC Creo [Электронный ресурс]:[Веб-сайт]. – Режим доступа <https://www.ptc.com/en/products/cad/creo/> (дата звернення 10.09.2018) – Назва з екрана
23. Е.М. Морозов. ANSYS в руках инженера: Механика разрушения / Е.М. Морозов, А.Ю. Муйземнек, А.С. Шадский.. -М.: ЛЕНАНД, 2008. - 456 с.
24. Fusion 360 [Электронный ресурс]:[Веб-сайт]. – Режим доступа <http://fusion-360.ru/> (дата звернення 10.09.2018) – Назва з екрана
25. Euler [Электронный ресурс]:[Веб-сайт]. – Режим доступа <http://www.euler.ru/> (дата звернення 10.09.2018) – Назва з екрана
26. 3Дпара [Электронный ресурс]:[Веб-сайт]. – Режим доступа <https://3dpara.ru/render-with-keyshot/> (дата звернення 10.09.2018) – Назва з екрана

Додатки

Додаток А. Партнерська пропозиція

Для залучення інвесторів у проект “Formula Student”, необхідним елементом є партнерська пропозиція – презентація, що освітлює переваги та можливості проекту, у разі вкладення інвестором коштів. Так, представлені наступні слайди, що входять до партнерської пропозиції:





ХТО МИ?

Формула студент КПІ –
це студентський
освітній
проект Київського
Політехнічного
Інституту
ім. Ігоря
Сікорського.

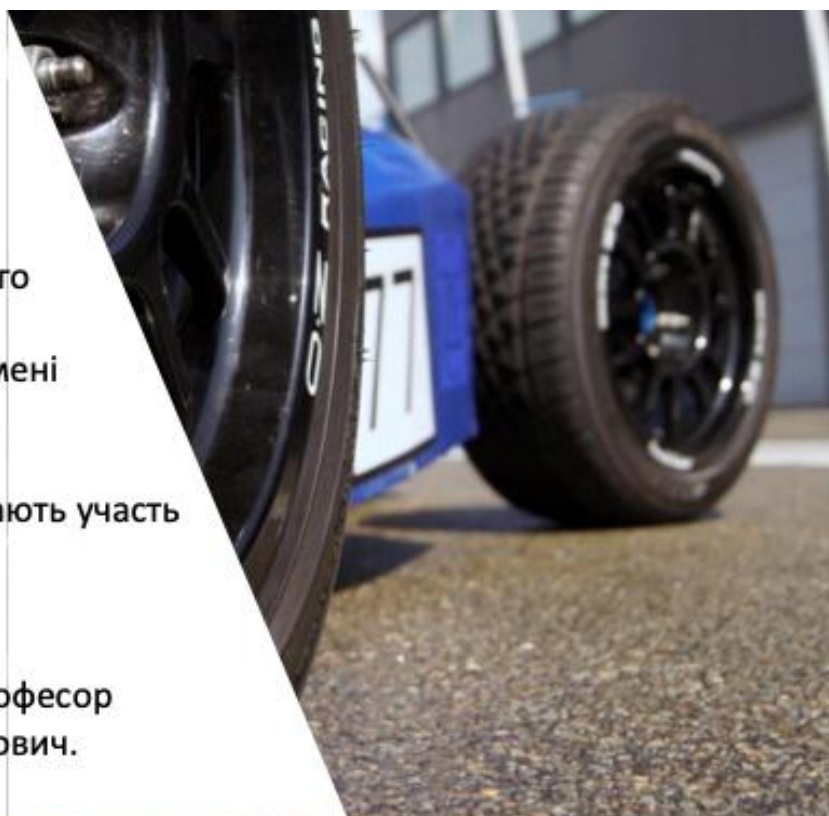


ПАРТНЕРСЬКА ПРОПОЗИЦІЯ
2019

Проект засновано в
2014 році на базі кафедри
інтегрованих технологій
машинобудування
Механіко-машинобудівного
Інституту Київського
політехнічного інституту імені
Ігоря Сікорського.

Сьогодні в проєкті приймають участь
студенти з **7 факультетів**.

Координатор проєкту –
доктор технічних наук, професор
Пасічник Віталій Анатолійович.



ПАРТНЕРСЬКА ПРОПОЗИЦІЯ
2019



МЕТА ПРОЕКТУ

Проект створений спеціально для навчання та популяризації інженерної справи серед студентства КПІ ім. Ігоря Сікорського.

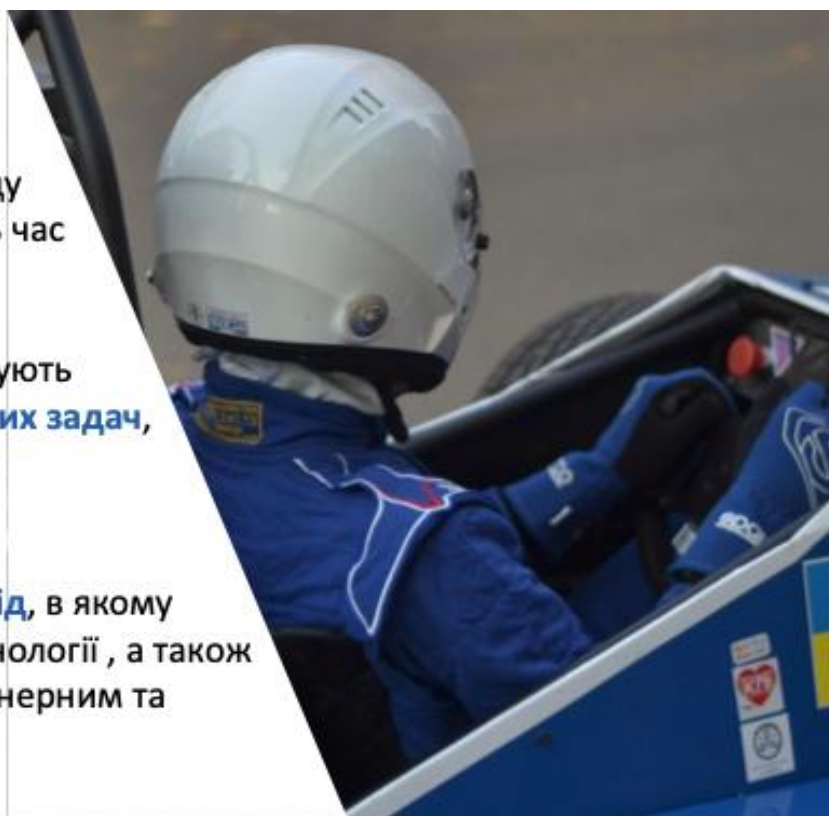


ПАРТНЕРСЬКА ПРОПОЗИЦІЯ
2019

Учасники проекту приймають участь в створенні гоночного боліду **від початку до кінця**, весь час працюючи в команді.

Таким чином, вони отримують **досвід вирішення реальних задач**, та вчаться втілювати свої дизайнерські рішення.

Результат – гоночний болід, в якому реалізовано передові технології, а також студенти з реальним інженерним та управлінським досвідом.

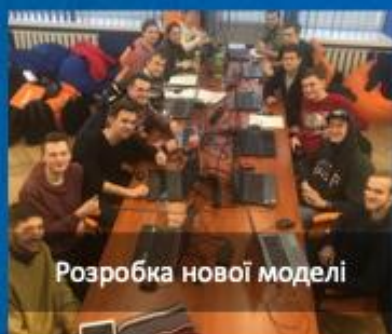


ПАРТНЕРСЬКА ПРОПОЗИЦІЯ
2019

Структура роботи команди



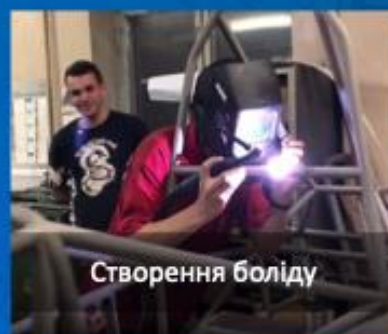
ПАРТНЕРСЬКА ПРОПОЗИЦІЯ
2019



Розробка нової моделі



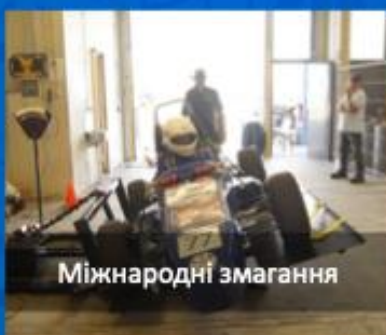
Виготовлення деталей



Створення боліду



Тестування та налаштування



Міжнародні змагання



Аналіз помилок



ПАРТНЕРСЬКА ПРОПОЗИЦІЯ
2019



Це **унікальна можливість** для навчання студентів.

Вони вчаться один у одного і старших членів команди, які вже працюють інженерами в різних компаніях.

Учасники проекту вчаться проектувати, моделювати, вирішувати проблеми структурного аналізу, статички і динаміки, оформлювати технічну документацію.



ПАРТНЕРСЬКА ПРОПОЗИЦІЯ
2019

В сезоні 2015 команда виготовила перший гоночний болід та представила його на Чеському етапі Formula Student — FS Czech



ПАРТНЕРСЬКА ПРОПОЗИЦІЯ
2019

Наш досвід

За 4 роки існування проекту, команда:

- Побудувала 4 боліди класу FSAE
- Прийняла участь у 4х етапах міжнародних змагань в 3 країнах Європи
- Відвідала більше 30 найбільших технічних та автомобільних виставок України
- Підготувала більше 60 висококваліфікованих інженерів



ПАРТНЕРСЬКА ПРОПОЗИЦІЯ
2019

В сезоні 2016 команда виготовила другий гоночний болід та представила його на Угорському етапі Formula Student — FS EAST

FORMULA STUDENT EAST



ПАРТНЕРСЬКА ПРОПОЗИЦІЯ
2019

В сезоні 2017 команда виготовила третій гоночний болід та представила його на етапі міжнародних змагань Formula Student — FS NETHERLANDS

FSN
Netherlands



ПАРТНЕРСЬКА ПРОПОЗИЦІЯ
2019

В сезоні 2018 команда виготовила четвертий гоночний
болід та представила його на етапі міжнародних змагань
Formula Student — FS NETHERLANDS вдруге

FSN
Netherlands



ПАРТНЕРСЬКА ПРОПОЗИЦІЯ
2019



ПАРТНЕРСЬКА ПРОПОЗИЦІЯ
2019

Найбільші з виставок, які ми відвідали в 2018 році:



ПАРТНЕРСЬКА ПРОПОЗИЦІЯ
2019

Плани на 2019



- Виготовлення нової моделі боліду.
- Участь у двох етапах FSAE.
- Використання композитних матеріалів для зменшення ваги боліду.
- Навчання нових спеціалістів роботі з сучасними системами інженерного проектування та новим обладнанням.
- Робота над відкритою лабораторією FabLab.



ПАРТНЕРСЬКА ПРОПОЗИЦІЯ
2019

Наша команда шукає нових **партнерів та спонсорів**, які готові підтримати проект.

Наші студенти для вашої компанії – це **майбутні співробітники**.

Просування бренду та ще один напрямок соціальної відповідальності – це лише кілька переваг для вас від партнерства.

Логотип вашої компанії буде на нашому боліді, друкованій продукції та інших матеріалах.



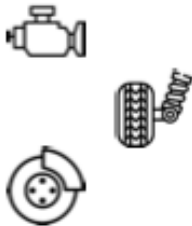
ПАРТНЕРСЬКА ПРОПОЗИЦІЯ 2019

ТИП РЕКЛАМИ	Партнер	Офіційний партнер	Генеральний партнер	Титульний партнер
Логотип на боліді / сайті / відеозвітах	+	+	+	+
Подяка на пресконференції, розміщення банеру та інформації про компанію на сайті команди, присутність у оффлайн активностях – виставках, конференціях тощо	-	+	+	+
Логотип на командній формі , розміщення логотипу на фото- і відео- матеріалах	-	-	+	+
Оформлення боліду у корпоративних кольорах компанії, брендування команди у корпоративному стилі компанії, логотип на шоломі пілота	-	-	-	+
Річний вклад на підтримку проекту, EUR	від 500	від 1000	від 2500	понад 5000

Всі умови обговорюються індивідуально. Можливе надання компанією товарів, продукції, послуг на еквівалентну суму. Ми з радістю розглянемо всі Ваші пропозиції щодо інших варіантів співробітництва.



ПАРТНЕРСЬКА ПРОПОЗИЦІЯ 2019

	ПРИЗНАЧЕННЯ	EUR
	Витрати на побудову машини: • Покупні деталі (двигун, диски, гума, елементи підвіски, підшипники тощо). • Виготовлення оригінальних деталей. • Витратні матеріали (змащувальні та лакофарбові матеріали, метвироби тощо).	9 200 3500 4800 900
	Витрати на засоби безпеки та екіпіровку пілота	2000
	Оплата участі в змаганнях	2 900
	Витрати на поїздку і проживання	3 200
	Витрати на модернізацію лабораторії	15 000
	ВСЬОГО	32 300



ПАРТНЕРСЬКА ПРОПОЗИЦІЯ
2019

Медіа про нас



Им удалось создать автомобиль в рекордные сроки, обладая несоизмеримо меньшим бюджетом, чем у их европейских коллег. – AIN.UA



УКРАЇНСЬКА ПРАВДА



ІНТЕР



Вісті
придніпров'я



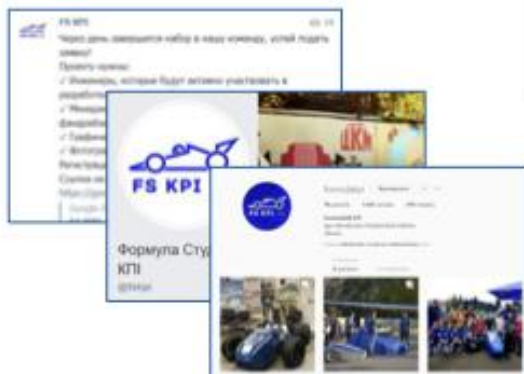
Проект в первую очередь инженерный, а не спортивный. Его цель - превратить студента в настоящего инженера. - Корреспондент



ПАРТНЕРСЬКА ПРОПОЗИЦІЯ
2019

Контакти

✉ formulakpi@gmail.com
 📘 facebook.com/fskpi
 📠 telegram.me/fs_kpi
 📷 instagram.com/formulakpi



КПІ ім. Ігоря Сікорського,
пр. Перемоги 37, корп.1, оф. 069
Київ, Україна
03056



Телефони:

+38 (099) 404 8806

Михайло Ковальов (капітан)

+38 (050) 234 5839

Віталій Пасічник (координатор)



ПАРТНЕРСЬКА ПРОПОЗИЦІЯ
2019

Спонсори проекту за 2018 рік

WINNER
 Group Ukraine
KOSTAL

