

Національний технічний університет України
«КИЇВСЬКИЙ ПОЛІТЕХНІЧНИЙ ІНСТИТУТ
імені Ігоря Сікорського»
НАВЧАЛЬНО - НАУКОВИЙ МЕХАНІКО-МАШИНОБУДІВНИЙ
ІНСТИТУТ
Кафедра технології машинобудування

«На правах рукопису»
УДК 629.322.2:629.015

«До захисту допущено»

Завідувач кафедри
Олександр Охріменко
(підпис) (власне ім'я, прізвище)

“ ” 20__ р.

Магістерська дисертація

на здобуття ступеня магістра

за освітньо-науковою програмою «Технології машинобудування»

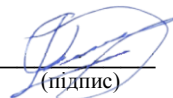
зі спеціальності 131 «Прикладна механіка»

на тему: Оптимізація конструкції рами гірського велосипеда

Виконав:

студент 2 курсу, групи МТ-21мп

Дрань Олег Петрович
(прізвище, ім'я, по батькові)


(підпис)

Науковий керівник доцент, к.т.н., доцент Лапковський С.В.
(посада, науковий ступінь, вчене звання, прізвище та ініціали)


(підпис)

Рецензент доцент, к.т.н., доцент Кравець О.М.
(посада, науковий ступінь, вчене звання, прізвище та ініціали)


(підпис)

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

Студент 
(підпис)

Київ – 2023 року

Національний технічний університет України
«Київський політехнічний інститут імені Ігоря Сікорського»
Навчально – науковий механіко-машинобудівний інститут
Кафедра технології машинобудування

Рівень вищої освіти – другий (магістерський)

Спеціальність – 131 «Прикладна механіка»

Освітньо-науковою програмою «Технології машинобудування»

ЗАТВЕРДЖУЮ

Завідувач кафедри

_____ Олександр Охріменко

«___» _____ 20__ року

ЗАВДАННЯ
на магістерську дисертацію студенту

_____ Дрань Олег Петрович
(прізвище, ім'я, по батькові)

1. Тема дисертації _____ Оптимізація конструкції рами гірського велосипеда

науковий керівник _____ Лапковський Сергій Вікторович, к.т.н., доцент
(прізвище, ім'я, по батькові, науковий ступінь, вчене звання)

затверджені наказом по університету від «21» березня 2023 року № 1293-с

2. Термін подання студентом дисертації «26» грудня 2023 року

3. Об'єкт дослідження _____ Рама гірського велосипеда

4. Вихідні дані _____ Кресленики та технічні характеристики рам гірських велосипедів

5. Перелік завдань, які потрібно розробити _____ Спроекувати конструкцію рами

гірського велосипеда. Провести дослідження характеристик рами.

6. Орієнтовний перелік ілюстративного матеріалу Аналіз існуючих конструкцій рам гірських велосипедів, їх переваги та недоліки. Проектування нової конструкції рами гірського велосипеда. Дослідження характеристик спроектованої конструкції.

7. Орієнтовний перелік публікацій

8. Дата видачі завдання 10 березня 2023 року

КАЛЕНДАРНИЙ ПЛАН

№ з/п	Назва етапів виконання магістерської дисертації	Термін виконання етапів магістерської дисертації	Примітка
1.	Аналіз поставленої задачі.	14 березня 2023 року	виконано
2.	Синтез конструкції рами гірського велосипеда.	15 липня 2023 року	виконано
3.	Дослідження характеристик спроектованої конструкції рами за допомогою відповідного програмно-математичного забезпечення.	21 вересня 2023 року	виконано
4.	Аналіз результатів досліджень.	12 жовтня 2023 року	виконано
5.	Оформлення текстової частини магістерської дисертації.	30 листопада 2023 року	виконано
6.	Оформлення презентації магістерської дисертації.	25 грудня 2023 року	виконано

Студент

Науковий керівник



Олег ДРАНЬ

Сергій ЛАПКОВСЬКИЙ

РЕФЕРАТ

Сучасні технології дозволяють постійно вдосконалювати конструкцію велосипедів, адаптуючи їх до різних умов та індивідуальних потреб користувачів.

Основою будь-якого велосипеда є його рама - це ключовий елемент, до якого приєднуються всі інші компоненти. Рама визначає призначення велосипеда, його здатність подолати рельєф місцевості та забезпечує комфорт і стабільність під час їзди. Інновації в геометрії коліс, типі сидла та інших елементах дозволяють створювати моделі велосипедів, що відповідають навіть найскладнішим умовам експлуатації.

Метою цього дослідження є проведення розрахунків на міцність та оптимізація рами високопродуктивного велосипеда для маунтенбайку. Маунтенбайкінг, або гірський велоспорт, вимагає від транспортного засобу особливих характеристик, таких як висока міцність, стійкість до ударів і здатність подолати важкі гірські умови. Оптимальна конструкція рами важлива для забезпечення комфортної та ефективної їзди, а також для запобігання пошкодженням велосипеда під час екстремальних обставин.

Під час дослідження будуть враховані фактори, такі як матеріал рами, геометрія, товщина та форма труб, що впливають на загальну міцність та вагу велосипеда. Розрахунки на міцність дозволять визначити оптимальні параметри конструкції рами, забезпечуючи необхідну стійкість та безпеку при екстремальних умовах маунтенбайку. Результати цього дослідження можуть внести вагомий внесок у вдосконалення конструкцій гірських велосипедів, сприяючи покращенню їх продуктивності та надійності під час маунтенбайкінгу.

Розрахунки будуть проведені за допомогою пакетів чисельного моделювання на основі методу скінченно-елементного аналізу. В рамках роботи буде обрано конструктивну форму існуючого рішення рами велосипеда. Потім буде побудована розрахункова модель і проведений аналіз зовнішнього навантаження. Результатом буде набір граничних умов, що визначають навантаження на раму під час високопродуктивної експлуатації. Такі визначені

граничні умови будуть застосовані до чисельної моделі. На основі результатів розрахунку буде визначено коректність конструктивного рішення аналізованої рами та проведено її оптимізацію. Кінцевим результатом буде створення оптимізованого попереднього проекту рами велосипеда МТВ.

Ключові слова: велосипедна рама, гірський велосипед, конструкція, симуляція, метод скінченних елементів

ABSTRACT

Modern technology allows us to constantly improve the design of bicycles, adapting them to different conditions and individual needs of users.

The basis of any bicycle is its frame - it is the key element to which all other components are attached. The frame determines the purpose of the bike, its ability to overcome terrain, and provides comfort and stability while riding. Innovations in wheel geometry, saddle type, and other elements allow for the creation of bicycle models that meet even the most challenging operating conditions.

The purpose of this study is to perform strength calculations and optimize the frame of a high-performance mountain bike. Mountain biking, or mountain biking, requires special characteristics from a vehicle, such as high strength, impact resistance, and the ability to overcome difficult mountain conditions. An optimal frame design is important to ensure a comfortable and efficient ride, as well as to prevent damage to the bike during extreme circumstances.

The study will take into account factors such as frame material, geometry, tube thickness and shape that affect the overall strength and weight of the bike. The strength calculations will allow us to determine the optimal frame design parameters, providing the necessary stability and safety under extreme mountain biking conditions. The results of this study can make a significant contribution to the improvement of mountain bike designs, contributing to the improvement of their performance and reliability during mountain biking.

Calculations will be performed using numerical modeling packages based on the finite element analysis method. As part of the work, the structural form of the existing bicycle frame solution will be selected. Then a computational model will be built and an external load analysis will be performed. The result will be a set of boundary conditions that define the load on the frame during high-performance operation. These defined boundary conditions will be applied to the numerical model. Based on the calculation results, the correctness of the design solution of the analyzed frame will be determined and its optimization will be carried out. The end result will be the creation of an

optimized preliminary design of an MTB bike frame.

Key words: **bicycle frame, mountain bike, design, simulation, finite element metho**

ЗМІСТ

1	АНАЛІЗ КОНСТРУКЦІЇ РАМИ ВЕЛОСИПЕДУ	10
1.1	КОНСТРУКЦІЯ ГІРСЬКИХ ВЕЛОСИПЕДІВ	10
1.2	ІСНУЮЧА КОНСТРУКЦІЯ РАМИ СПОРТИВНОГО ВЕЛОСИПЕДА	15
1.3	МАТЕРІАЛИ ВЕЛОСИПЕДНИХ РАМ	19
1.4	МЕТОД СКІНЧЕННИХ ЕЛЕМЕНТІВ	28
1.4.1	Принцип роботи	28
1.4.2	Застосування МСЕ	29
1.5	ВИКОРИСТАННЯ ПРОГРАМНЕ ЗАБЕЗПЕЧЕННЯ	30
2	ПРОЕКТУВАННЯ І МОДЕРНІЗАЦІЯ РАМИ	32
2.1	ВИБІР МАТЕРІАЛУ	32
2.2	ПОБУДОВА ГЕОМЕТРИЧНОЇ МОДЕЛІ	36
2.3	УМОВИ РОЗРАХУНКУ РАМИ	39
2.4	ПОБУДОВА ОБЧИСЛЮВАЛЬНОЇ МОДЕЛІ	40
2.4.1	Умови для моделювання	40
2.5	РЕЗУЛЬТАТИ ПРОВЕДЕНИХ СИМУЛЯЦІЙ	43
2.5.1	Випробування на витривалість №1 перед оптимізацією	44
2.5.2	Випробування на витривалість №2 перед оптимізацією	44
2.5.3	Випробування на витривалість №3 перед оптимізацією	45
2.5	СТРУКТУРНА ОПТИМІЗАЦІЯ	46
2.5.1	Критерій оптимізації дизайну	46
2.5.2	Тест на витривалість №1 після оптимізації	47
2.5.3	Тест на витривалість №2 після оптимізації	49
2.5.4	Тест на витривалість №3 після оптимізації	52
3	АПРОБАЦІЯ РЕЗУЛЬТАТІВ	55
4	РОЗРОБКА СТАРТАП-ПРОЕКТУ	57
4.1	Опис ідеї проекту	57
4.2	Технологічний аудит ідеї проекту	58
4.3	Аналіз ринкових можливостей запуску стартап-проекту	59
4.4	Аналіз пропозиції: визначаються загальні риси конкуренції на ринку	62
4.5	Розроблення ринкової стратегії проекту	66
4.6	Розроблення маркетингової програми стартап-проекту	68
	ПІДСУМКИ ТА ВИСНОВКИ	71
	СПИСОК ДЖЕРЕЛ	72

1 АНАЛІЗ КОНСТРУКЦІЇ РАМИ ВЕЛОСИПЕДУ

1.1 КОНСТРУКЦІЯ ГІРСЬКИХ ВЕЛОСИПЕДІВ

З роками дизайн і конструкція велосипедів кардинально змінилися порівняно з прототипом, зробленим з дерева, або велосипедами, популярними в другій половині 19-го століття. Вони пройшли дуже довгий шлях від простих конструкцій, що складалися з рами і педалей, прикріплених безпосередньо до переднього колеса, через розвиток ланцюгового приводу, що дозволяв розвивати більшу швидкість, до моделей велосипедів того часу. Сьогоднішні конструкції набагато складніші, а найдосконаліші навіть складаються з десятків частин, і це гірські велосипеди. Найважливішими частинами цього одноколісного транспортного засобу є колеса, рама, а також рульова, гальмівна та силова системи велосипеда [5].

Колеса складаються з обода, до якого кріпиться покришка, і внутрішньої трубки з вулканізованого еластомеру, виготовленого зі спеціальної гумової суміші. Шини гірських велосипедів значно ширші, ніж у шосейних, щоб забезпечити краще зчеплення при їзді по нерівній поверхні. Спиці з'єднуються з різьбовими отворами обода колеса, інший кінець яких входить у втулку, розташовану в центрі колеса, а точніше, там, де колесо кріпиться до вилки рами [5].

Рульова система складається з трьох основних компонентів. Грудина, кермо, на якому розташовані гальмівні важелі, і вилка, на якій встановлено переднє колесо. Натискання на них запускає процес гальмування. Гальмівні колодки з'єднані з важелем або за допомогою натягнутого троса, або шлангом з гідравлічною рідиною, вони притискаються і створюють силу тертя між гальмівними колодками і гальмівним диском, що впливає на швидкість руху транспортного засобу [5, 6].

Трансмісія складається з кривошипно-шатунного механізму, що приводиться в дію силою ніг велосипедиста, який натискає на педаль, і ланцюгової передачі, що складається з ланцюга і зірочки, які передають привід,

приводячи колеса в рух. Передавальне число можна легко змінювати та адаптувати до необхідних потреб. Перемикання здійснюється за допомогою перемикачів, управління якими базується на смиканні відповідних маневрів, розташованих на кермі [5, 6].

Завершальним і найважливішим компонентом конструкції велосипеда є його рама. Саме до неї кріпляться всі деталі, про які ми говорили раніше, тому вона буде основним аспектом цієї роботи.

Конструкція рами та вплив геометрії рами на їзду

Рама складається з головної труби, нижнього кронштейна-з'єднувача і семи труб, з'єднаних між собою. Можна сказати, що рама складається з двох трикутників: верхнього і нижнього. Нижній трикутник визначається підсідельною трубою та двома нижніми і двома верхніми трубами заднього трикутника. Верхній трикутник, з іншого боку, визначається головною трубою рами, верхньою трубою, нижньою трубою і підсідельною трубою. Розташування окремих компонентів і кути між з'єднаними трубами рами, а також індивідуальна довжина деталей мають значний вплив на поведінку велосипеда під час використання.

- Кут між віссю виносної труби та землею визначає поведінку переднього колеса при проходженні поворотів, а також впливає на стійкість велосипеда. Плоскі кути нахилу виносної труби, тобто ті, що менші або дорівнюють 65° , підвищують комфорт, стабільність і керованість велосипеда на спусках. З іншого боку, гострі кути дозволяють розвивати більшу швидкість, але ускладнюють проходження крутих поворотів при дуже швидкій їзді.
- Кут нахилу підсідельної труби, що вимірюється між її віссю та поверхнею землі. Величина цього кута визначає положення сидіння людини під час крутіння педалей. Чим більший кут, тим ближче сидло буде розташоване до осі. нижнього кронштейна, що робить педалювання більш ефективним і дозволяє більш ефективно

використовувати прикладену силу. Менший кут також призводить до зміщення центру ваги велосипеда в бік переднього колеса, внаслідок чого воно сильніше притискається до землі, що дуже важливо при підйомі крутими гірськими схилами. Найбільш бажаними є значення кута в межах діапазону: $73 - 76^{\circ}$.

- Довжина виносної труби - фактично визначає висоту посадки керма. Опускання керма за рахунок використання коротшої виносної труби покращує контроль велосипедиста над переднім колесом. Рекомендується використовувати ці деталі з найменшими можливими розмірами, а для менших кутів нахилу рульової труби довжина рульової труби, як правило, більша. Основні розміри виносної труби - від 96 до 130 мм, залежно від кута між її віссю та землею.
- Довжина верхньої труби, або, точніше, її ефективна довжина. Різниця полягає в тому, що основний розмір вимірюється вздовж труби, тоді як ефективний розмір - це горизонтальна відстань між центром головної труби та віссю підсідельної труби. Цей розмір визначає положення сидіння велосипедиста під час їзди, тому є одним з найважливіших параметрів при купівлі нового обладнання. Якщо довжина труби не відповідає зросту користувача, тіло буде занадто сильно тягнутися до керма, що значно зменшить задоволення від їзди.
- Reach and Stack, найважливіші розміри, що визначають положення користувача стоячи, в якому він проводить більшу частину часу під час їзди в горах, визначаються двома вимірами, які відповідно позначають горизонтальну і вертикальну відстань, виміряну від осі нижнього кронштейна до точки, де закінчується винос і починається грудина (компонент, що належить до рульової системи). Горизонтальна довжина визначає розмір кабіни велосипеда, коли ви стоїте на педалях, а також положення тіла і діапазон руху стегон та їх м'язів, що забезпечує відповідне, безпечне положення для спуску на

високій швидкості по пересіченій місцевості. Цей розмір не повинен бути занадто великим, оскільки це призведе до надмірного нахилу тіла, в той час як занадто короткий призведе до прийняття занадто вертикального положення, а правильне положення тіла дозволить набагато краще контролювати велосипед і розвивати більшу швидкість. Залежно від розміру, вона коливається від 400 до 490 мм. Вертикальний розмір, з іншого боку, в основному визначає комфорт їзди, оскільки впливає на вирівнювання хребта. Чим більший розмір, тим більш нахиленою є постава, а поперековий відділ є особливо вразливим. Тому при виборі відповідного велосипеда відстань по вертикалі між нижнім кронштейном і мостом повинна точно відповідати зросту велосипедиста і висоті керма і становити максимум близько 610 мм.

- Довжина нижньої труби - відстань між віссю нижнього кронштейна та віссю виносної труби. Дуже важливий параметр, коли йдеться про підбір ідеального розміру велосипеда для власного комфорту. Дас змогу найбільш точно порівняти розміри рам різних моделей велосипедів, якщо розмір колеса залишається незмінним. Це найдовша частина велосипеда.
- Висота опори рами - відстань, виміряна від землі до осі опори. Вона визначає положення центру ваги велосипеда. Нижнє положення нижнього кронштейна покращує стабільність і полегшує проходження крутих поворотів. Однак, опускання осі нижнього кронштейна призводить збільшення ймовірності зачепитися педалями або кривошипом за гілки, каміння або інші нерівності, що зустрічаються на гірських стежках. Важливо також пам'ятати, що якщо опустити нижній кронштейн занадто низько, а точніше, нижче осі колеса, це може призвести до утрудненого обертання педалей і перемикання передач що погіршує зчеплення. Висота нижнього кронштейна

повинна бути не менше 300 мм від землі.

- Колісна база - це відстань, що вимірюється від осі заднього колеса до осі переднього колеса. Її розмір впливає на стійкість, маневреність і динаміку їзди. Якщо колеса розташовані далі один від одного, велосипед автоматично подовжується, що підвищує стійкість. І навпаки, скорочення відстані між двома осями покращує керованість і полегшує маневрування в крутих поворотах. У велосипедів для ендуро колісна база зазвичай становить 1390 мм, у велосипедів для даунхілу вона трохи довша, а у крос-кантрі - набагато коротша, менше 1100 мм. Довжина колісної бази складається з двох складових - довжини між нижньою трубою та віссю переднього колеса і довжини заднього трикутника, і саме подовження цих відстаней, особливо другої, призводить до вищезгаданих змін у характеристиках їзди. Коротші нижні труби заднього трикутника покращують здатність до стрибків, але зменшують навантаження на переднє колесо, що впливає на здатність колеса легше відриватися від землі. На крутих підйомах це може бути суттєвою перешкодою. З цих причин рекомендується більша довжина труби для покращення розподілу ваги. Розміри нижнього трикутника з 29-дюймовими колесами повинні бути в межах 430-450 мм.
- Винос осі - це відстань між продовженням осі виносної труби до землі і лінією, що позначає висоту маточини переднього колеса над поверхнею землі. Чим більший цей показник, тим легше буде проходити круті повороти. Ви також отримаєте більший контроль над велосипедом на високих швидкостях. І навпаки, менший розмір забезпечить більш плавну їзду. Ця відстань сильно залежить від кута нахилу виносної труби, оскільки менший кут автоматично призводить до більшої кількості обгонів.

Окрім окремих компонентів рами велосипеда МТВ, інші деталі також

впливають на керованість велосипеда. Розмір колеса, висота керма над землею або довжина грудини також є важливими параметрами, необхідними для вибору правильного спорядження відповідно до зросту велосипедиста та типу використання.

1.2 ІСНУЮЧА КОНСТРУКЦІЯ РАМИ СПОРТИВНОГО ВЕЛОСИПЕДА

Велосипедні рами бувають різних типів залежно від їхнього призначення. Рами для туристичних велосипедів значно відрізняються за своєю геометрією від спортивних і гоночних рам через тип навантажень, що переносяться, і форму труб, що визначають положення під час їзди.

Найхарактерніша, але сьогодні рідко зустрічається рама - це рама одноколісного велосипеда, так званий моноцикл. Вона складається лише з підсідельної труби та вилки, а основним компонентом велосипеда є колесо підвищеної міцності.

Класичні двоколісні велосипеди мають багато типів конструкцій рам, і їхня геометрія та характеристики суттєво впливають на їхню роботу. Умовно їх можна поділити на безпружинну та пружинну рами.

Перша група в основному використовується для спокійного, неквапливого катання містом, де ви не зустрічаєтесь з нерівностями та викривленнями рельєфу. Найпопулярнішою серед безамортизаційних рам є трапецієподібна рама, показана на рисунку 1.1, яка є варіацією рами типу Diamond (рисунок 1.2), але відрізняється положенням верхньої вигляді тубика. Це робить його придатним для використання як чоловіками, так і жінками. Характеризується високою жорсткістю та міцністю. Варіації його геометрії дають змогу підібрати розмір рами відповідно до зросту користувача, а також адаптувати положення, керованість і стабільність до індивідуальних потреб.



Рисунок 1.1 Трапецієподібна велосипедна рама



Рисунок 1.2 Велосипедна рама алмазного типу

Іншим варіантом є рама міського велосипеда, показана на рисунку 1.3, яка набуває все більшої популярності. Вони мають сильно опущену і вигнуту верхню трубу рами, щоб полегшити посадку на велосипед. Характерна форма рами покликана утримувати велосипедиста у вертикальному положенні під час їзди.



Рисунок 1.3 Рама міського велосипеда

Рами типу Einrohr схожі за конструкцією на міські велосипеди (рис. 2.4). Вони мають одну основну трубу, сформовану таким чином, щоб було легше сідати на велосипед і сходити з нього, а також пересуватися з прямою спиною.



Рисунок 1.4 Велосипедна рама типу Einrohr

Другий тип велосипедних рам - це амортизаційні рами. Задній амортизатор має завдання поглинати вібрації, що виникають під час руху. Він також зменшує вплив гальмування на підвіску. Однак не існує ідеального рішення, яке б задовольняло всіх.

Саме тому ми зустрічаємо кілька типів підвісок, що відрізняються розташуванням амортизатора і кількістю з'єднань за допомогою шарнірів. Найпростіша система підвіски - це одношарнірна система. Вона базується на наявності лише одного шарніра, який є віссю повороту маятника. З її положення залежить від жорсткості підвіски та впливу її роботи на трансмісію.



Рисунок 1.5 Одношарнірна рама з поперечним перерізом.

Рама підвіски Twin-Link, показана на рисунку 1.6, характеризується наявністю чотирьох шарнірів. Задній трикутник з'єднаний з основною рамою двома поперечними важелями через шарніри на кожному кінці. Найпоширенішими варіантами є шарніри DW і VPP, які відрізняються тим, що в шарнірі DW важелі управління рухаються в одному напрямку, а в VPP - в протилежних. Гасіння вібрацій не на найвищому рівні, але вплив гальмівних зусиль і зусиль на педалі незначний.



Рисунок 1.6 Велосипедна рама з підключенням DW



Рисунок 1.7 Велосипедна рама з підключенням VPP.

Рама Horst-Link - це ще один тип велосипедів із задньою підвіскою. Вона характеризується з'єднаннями на двох кінцях заднього трикутника і відсутністю прямого з'єднання задньої осі з основною рамою. Вона добре поглинає вібрації і зменшує вплив гальмування на задню підвіску, але таке рішення є досить дорогим.



Рисунок 1.8 Рама із з'єднанням Horst-Link

1.3 МАТЕРІАЛИ ВЕЛОСИПЕДНИХ РАМ

Двісті років тому на світовому ринку з'явився перший велосипед, який став знаковою подією. За ці роки відбулося багато змін у матеріалах, з яких виготовлялися різні його частини. Перші велосипеди були повністю виготовлені з дерева, але така конструкція не відрізнялася довговічністю і піддавалася негативному впливу природи, наприклад, деревних черв'яків, які могли пошкоджувати дерев'яні деталі, сприяючи руйнуванню всього транспортного засобу [1].

Наступним кроком стало виробництво велосипедів, повністю виготовлених зі сталі, включно з колесами. Така конструкція не була ні зручною, ні комфортною для користувача. Крім того, такі велосипеди були дуже важкими і не забезпечували належної амортизації. Прорив стався, коли на ринку з'явилося перше гумове колесо, яке значно підвищило комфорт їзди, а також зменшило вагу велосипеда. Однак, з плином часу та подальшим технологічним розвитком почали шукати подальші рішення для заміни сталі на інші, більш легкі матеріали. У цій ситуації відповідним замінником став алюміній та його сплави, які досі залишаються найпопулярнішими матеріалами для виготовлення велосипедних рам завдяки своїй вазі та ціні. Такі матеріали, як звичайна конструкційна сталь або найдешевші алюмінієві сплави, добре підходять для звичайної міської їзди на

велосипеді. Однак, коли мова йде про високопродуктивні види спорту і, зокрема, про гірський велосипед, вимоги до матеріалів, з яких виготовляється спорядження, значно вищі. Цей вид велоспорту передбачає їзду по дуже складній місцевості з великою кількістю нерівностей, пагорбів, каміння на маршруті, з максимально можливою швидкістю. Щоб рама велосипеда, яка є центральною і найважливішою частиною конструкції, витримувала всі навантаження, вона повинна бути виготовлена з добре підбраного матеріалу. На початку 1970-х років, коли було запущено перше масове виробництво гірських велосипедів, єдиним доступним матеріалом для виготовлення рам була сталь, і вона повинна була задовольняти всіх користувачів за своїми механічними властивостями. Важливо зазначити, що міцність - це лише одна з низки найважливіших характеристик матеріалу, яким він повинен відповідати. До них відносяться вага, легкість з'єднання і формування, стійкість до погодних умов і ціна. Беручи до уваги всі ці фактори, і перш за все міцність, вагу і вартість, слід вибирати правильний матеріал. Тому з часом різні компанії та виробники намагалися розробити та виготовити максимально міцну, стійку до динамічних навантажень та водночас легку модель рами, щоб гарантувати найбільш сприятливі умови їзди.

Сьогодні найпоширенішими матеріалами є сталь, алюмінієві сплави, титан або вуглецеве волокно. Сталь відома і використовується століттями, але з розвитком технологій ми дізнаємося все більше і більше про її різновиди. Дешеві велосипедні рами виготовляють зі звичайної конструкційної сталі (hi-ten) з підвищеним вмістом вуглецю для збільшення міцності. Незважаючи на це, конструкційна сталь все ще характеризується низькими характеристиками міцності і має велику вагу. Якщо товщину стінок рами збільшити приблизно до одного сантиметра, необхідні параметри міцності будуть досягнуті, але вага деталей різко зросте, а здатність поглинати вібрації зменшиться. Рами МТВ потребують чогось більшого. Зазвичай їх виготовляють зі сталі, легованої хромом і молібденом, яку зазвичай називають "хромолі", позначають як сталь 4130, залежно від кількості інших добавок, які включають марганець, ніобій або

кремній. Хром покращує загартовуваність сталі, а молібден сприятливо впливає на її структуру. Найчастіше використовується сталь 4130, властивості та хімічний склад якої наведені в таблиці відповідно 1.1 і 1.2.

Таблиця 1.1 Властивості хромомолібденової сталі 4130

Хромомолібденова сталь 4130	
Модуль Юнга	205 ГПа
Міцність на розрив	731 Мпа
Напруга виходу	460 Мпа
Твердість	217 (Брінелл)
Розширення	25,10%
Щільність	7,85 [г/см] ³

Таблиця 1.2 Хімічний склад хромомолібденової сталі 4130

Хімічний склад матеріалу	
Вуглець C	0,28-0,33 %
Хром Cr	0,80-1,1 %
Залізо Fe	97,03-98,22 %
Mn магніт	0,40-0,60 %
Молібден Mo	0,15-0,25 %
Фосфор P	<= 0,035 %
Кремній Si	0,15-0,30 %
Сірка S	<= 0,040 %

Ця сталь має дуже хороше співвідношення міцності до ваги. Вона більш жорстка і має значно вищу міцність, ніж алюміній, а також відрізняється вищою умовною межею плинності. Завдяки цьому труби для рам можуть мати дуже малий діаметр і тонку товщину стінок, що сприятливо для поглинання вібрацій під час роботи. Ще однією перевагою сталевих рам є простота їх виготовлення та з'єднання. Рами складаються з декількох елементів кільцевого перерізу, з'єднаних між собою за допомогою зварювання. Однак, щоб отримати найкращі міцнісні властивості

конструкції при достатньо малій вазі, необхідна подальша обробка сталевих труб після зварювання або профілювання.

Алюмінієві сплави - ще один дуже поширений матеріал. Своєю високою популярністю на ринку виробників вони завдячують дуже малій вазі. Вони також відрізняються від сталі стійкістю до корозії і можливістю надання їм різних форм, що значно збільшило різноманітність форм рам, доступних на ринку. Важливим питанням, однак, є вибір використовуваного алюмінієвого сплаву. Кожен з них різний, і їхні властивості значно відрізняються. Невелика вага є важливим фактором, але в той же час необхідно забезпечити хороші міцнісні властивості, а також достатню жорсткість, щоб вібрації під час використання були більш гасимими. Не слід також забувати про можливість з'єднання труб, виготовлених з обраного сплаву, між собою. Необхідно подбати про те, щоб обраний матеріал можна було з'єднати за допомогою зварювання. Найчастіше використовуються алюмінієві сплави серії 6061, наприклад, сплав Al 6061 T6 (термічно оброблений, а потім штучно зістарений, властивості та склад наведені в таблицях 1.3 і 214), і 7075, де найчастіше використовується сплав Al 7075 T6 (властивості та відсотковий вміст введено в таблицях 1.5 та 1.6). Ці сплави переважно легуються магнієм і кремнієм для серії 6061 і цинком для серії 7075 відповідно.

Таблиця 1.3 - Властивості алюмінієвого сплаву 6061 T6

Алюмінієвий сплав 6061 T6	
Модуль Юнга	68,9 ГПа
Міцність на розрив	310 МПа
Напруга виходу	276 МПа
Втомна міцність	96,5 МПа
Твердість	95 (Брінелл)
Розширення	10,00%
Щільність	2,7 [г/см] ³

Таблиця 1.4 - Хімічний склад сплаву Al 6061 T6

Хімічний склад матеріалу	
Алюміній Al.	95,8-98,6 %
Хром Cr	0,04-0,35 %
Мідь Cu	0,15-0,40 %
Залізо Fe	<= 0,70 %
Mn магніт	0,80-1,20 %
Марганець Mn	<= 0,15 %
Інше	<= 0,15 %
Кремній Si	0,40-0,80 %
Титан Ti	<= 0,15 %
Цинк Zn	<= 0,25 %

Таблиця 1.5 Властивості алюмінієвого сплаву 7075 T6

Сплав Al 7075 T6	
Модуль Юнга	71,7 ГПа
Міцність на розрив	572 МПа
Напруга виходу	503 МПа
Втомна міцність	159 МПа
Твердість	150 (Брінелл)
Розширення	11,00%
Щільність	2,81 [г/см ³]. ³

Таблиця 1.6 Хімічний склад алюмінієвого сплаву 7075 T6

Хімічний склад матеріалу	
Алюміній Al.	87,1-91,4 %
Хром Cr	0,18-0,28 %
Мідь Cu	1,20-2,00 %
Залізо Fe	<= 0,50 %

Мп магніт	2,10-2,90 %
Марганець Mn	<= 0,30 %
Інше	<= 0,15 %
Кремній Si	<= 0,40 %
Титан Ti	<= 0,20 %
Цинк Zn	5,1-6,1%

Однак ті марки алюмінію, які демонструють хорошу зварюваність, на жаль, не відрізняються високою міцністю. Важливо також пам'ятати про напруження, що виникають під час зварювання, які необхідно компенсувати за допомогою додаткових процесів, таких як відпал або термічний відпуск. Для покращення кінцевих властивостей алюмінієві труби піддаються обробці. Щоб досягти достатньо малої товщини стінок, компоненти прокатують, витягують або механічно обробляють, зберігаючи великий діаметр, щоб забезпечити більшу жорсткість рами. Також шукають рішення, щоб позбутися зайвої ваги, тому трубки часто затінують, тобто фрезерують зсередини. Зараз також використовується технологія надання форми трубам шляхом механічного або гідравлічного пресування зсередини. Це дає змогу отримувати більші діаметри з меншою товщиною стінок. Недоліками рам з алюмінієвих сплавів є, головним чином, складність швидкого ремонту в разі пошкодження.

Іншим матеріалом, який часто використовується для виготовлення рам для велосипедів МТВ, є титан. Найпоширенішими його сплавами є Ti3Al2.5V та Ti6Al4V, властивості та відсоткове співвідношення яких наведено в таблицях 1.7 - 1.10. Сплави мають домішки алюмінію та ванадію. Представник групи легких металів, титан має дуже високе співвідношення міцності до ваги, а також хорошу втомну міцність, що вигідно відрізняє його від інших матеріалів. На жаль, він дуже дорогий сам по собі, що автоматично різко підвищує ціну готового виробу. До цього додається той факт, що титанові труби дуже складно обробляти і з'єднувати між собою, оскільки зварювання можливе лише в захисному середовищі інертного газу, що також впливає на кінцеву вартість рами.

Неможливо змінити форму, якщо створюється кривизна або вигини. Однак, незважаючи на свої недоліки, цей метал має деякі властивості, якими не може похвалитися жоден інший матеріал.

Таблиця 1.7 Властивості титанового сплаву Ti3Al-2.5V

Сплав Ti3Al-2.5V	
Модуль Юнга	100 ГПа
Міцність на розрив	620 МПа
Напруга виходу	530 МПа
Втомна міцність	170 МПа
Твердість	256 (Брінелл)
Розширення	15,00%
Щільність	4,48 [г/см ³]

Таблиця 1.8 Хімічний склад титанового сплаву Ti3Al-2.5V

Хімічний склад матеріалу	
Алюміній Al.	2,5-3.5 %
Вуглець C	<= 0,050 %
Водень H	<= 0,015 %
Залізо Fe	<= 0,20 %
Азот N	<= 0,030 %
Інше	<= 0,30 %
Кисень O	<= 0,15 %
Титан Ti	92,755-95,5 %
Ванадій V	2,0 -3,0 %

Таблиця 1.9 Властивості титанового сплаву Ti6Al-4V

Сплав Ti6Al-4V	
Модуль Юнга	114 ГПа
Міцність на розрив	900 МПа

Напруга виходу	830 МПа
Втомна міцність	510 МПа
Твердість	334 (Брінелл)
Розширення	10,00%
Щільність	4,43 [г/см ³]. ³

Таблиця 1.10- Хімічний склад титанового сплаву Ti6Al-4V

Хімічний склад матеріалу	
Алюміній Al.	5,5-6,75 %
Вуглець C	<= 0,080 %
Водень H	<= 0,015 %
Залізо Fe	<= 0,40 %
Азот N	<= 0,030 %
Інше	<= 0,30 %
Кисень O	<= 0,20 %
Титан Ti	87,725-91 %
Ванадій V	3,5-4,5 %

Він демонструє дуже хорошу стійкість до погодних умов, а це означає, що не потрібно використовувати додаткові засоби, наприклад, для захисту від корозії, як це слід робити зі сталлю. Титанові рами мають високу жорсткість, що забезпечує комфорт під час їзди, а також поглинання та демпфірування вібрацій. Однак цей матеріал не дуже популярний, незважаючи на його численні переваги. По-перше, титанові рами на сьогоднішній день є найдорожчими на ринку через високу ціну матеріалу та складність механічної обробки. Їх втомна міцність і довговічність також не заохочують виробників до їх масового виробництва. Основна мета - продати якомога більше рам, і якщо клієнт купує титанову раму, вона прослужить йому багато років нормальної їзди. Її не пошкодить ні старіння, ні погодні умови. Тому ціни на такі рами здебільшого настільки високі, що дозволити їх собі можуть лише одиниці.

Останнім матеріалом, який використовується для виготовлення рам, і який

має найкоротшу історію, є вуглецеве волокно, серед велосипедистів зване "карбон", створене з комбінації композитного і вуглецевого волокна.

Таблиця 1.11 - Властивості вуглецевих волокон.

Вуглецеве волокно	
Модуль Юнга	50-150 ГПа
Міцність на розрив	0,917 - 3790 МПа
Напруга виходу	4,62 - 3220 МПа
Твердість	60 - 65 (Barcol)
Розширення	0,43 - 11,00%
Щільність	1,15 - 2,25 [г/см ³]. ³

Кілька шарів вуглецевих волокон накладаються один на одного відповідно до передбачуваного напрямку навантажень під час експлуатації, а потім скріплюються між собою за допомогою сполучної речовини, якою в даному випадку зазвичай є епоксидна смола. Ще понад 50 років тому цей матеріал був доступний і використовувався лише американськими військовими та NASA. Однак він також знайшов своє застосування у виробництві велосипедних рам. Він характеризується хорошою міцністю і водночас дуже малою вагою. Він також має хороші показники з точки зору поглинання вібрації, а його жорсткість є задовільною. Також важливо, що рами з вуглецевого волокна дуже довговічні.

Однак слід пам'ятати, що наскільки хорошими будуть механічні властивості каркаса, залежить головним чином від самого процесу виготовлення, а точніше від якості, типу і кількості використаної смоли, а також від типу волокна і способу його розташування в процесі ламінування. Залежно від способу виготовлення, матеріал має дуже широкий діапазон міцності, що добре видно з таблиці 1.11. Каркас, незважаючи на свою легкість, може витримувати дуже високі навантаження, але тільки ті, які діють у напрямках, що відповідають напрямку розташування окремих шарів тканини. Це дає можливість створити раму, окремі частини якої спеціально підготовлені для інших типів навантажень,

відповідно до виникнення передбачуваних навантажень, яким рама буде найбільше піддаватися під час руху. Тому при виготовленні таких рам необхідно належним чином перевіряти поведінку рами під час експлуатації та вивчати напрямки сил і навантажень, що виникають, за допомогою комп'ютерних програм. Через труднощі, пов'язані з відповідним склеюванням волокон і необхідністю проведення відповідних випробувань і розрахунків за допомогою комп'ютерних програм, а також через високу вартість вуглецевого волокна, карбонові рами можуть бути виготовлені, але за високою ціною [15, 16, 17].

1.4 МЕТОД СКІНЧЕННИХ ЕЛЕМЕНТІВ

1.4.1 Принцип роботи

Метод скінченних елементів (МСЕ), від англ. Finite Element Method (FEM) - це один з методів проведення чисельних розрахунків за допомогою відповідного програмного забезпечення, що передбачає розв'язання диференціальних рівнянь, які зустрічаються в різних наукових галузях, таких як фізика, хімія або механіка. Основним принципом МСЕ є проведення так званої дискретизації, тобто апроксимації диференціальних рівнянь. Цей процес полягає в поділі розглянутого однорідного об'єкта на скінченну кількість менших фрагментів будь-якої форми, обраних відповідно до потреб, зумовлених геометрією аналізованого об'єкта. Створені таким чином геометричні елементи утворюють так звану дискретну модель. Таким чином, навіть дуже складні і великомасштабні структури можуть бути представлені за допомогою певної кількості підобластей, які називаються скінченними елементами. Ці елементи з'єднуються один з одним у кінцевій кількості точок, що варіюється від моделі до моделі, які знаходяться у їхніх вершинах або периметрах. Ці точки називаються вузлами, і саме їх визначення має вирішальне значення для правильних і повних розрахунків. Вузли - це місця, де дві або більше підобласті з'єднуються між собою, і саме там передбачається, що виникають концентровані сили, які мають на меті відобразити сили і напруження, що діють на об'єкт в реальності. Таке спрощення дозволяє аналізувати конструкції найскладніших форм, що було б неможливо за

допомогою лише найрозвиненішого людського розуму. Під час розрахунків методом скінченних елементів дискретизується не тільки сама конструкція, але й усі фізичні величини, що постають як безперервні функції. До них відносяться напруження і навантаження. За допомогою методів апроксимації метою є досягнення якомога більшої подібності між реальними, неперервними величинами та дискретною формою заданих величин.

На основі зібраних даних про поведінку та переміщення вузлів дискретної моделі створюються базові системи невідомих. Наступним кроком на шляху до повного розрахунку є визначення функцій, що визначають стани переміщень у кожному зі скінченних елементів, створених раніше. Це залежить від переміщень вузлів розглянутої скінченної підобласті, викликаних навантаженнями, що діють на об'єкт. Отримані функції переміщень визначають деформації, що відбуваються в кожному геометричному скінченному елементі. Властивості досліджуваного елемента разом з визначеним станом переміщень і деформацій, в поєднанні з початковими деформаціями, що виникають на досліджуваному об'єкті, дозволяють визначити повний напружений стан, як в скінченних елементах, так і в усьому об'єкті, включаючи його краї. Це дозволяє остаточно визначити зосереджені сили у вузлових точках моделі, значення яких врівноважують всі сили і напруження, що діють на однорідну структуру до дискретизації. На практиці розрахунок конструкції за допомогою МСЕ включає в себе моделювання об'єкта, що розглядається, а потім нанесення на елемент сітки, що складається з кінцевого числа підобластей. Наступним кроком є формулювання відповідних граничних умов, що відображають сили і навантаження, які діють на досліджуваний об'єкт, а також кількість отриманих ступенів свободи. Для підготовленої таким чином моделі можна проводити обчислювальний аналіз та оптимізацію для отримання моделі найкращими механічними властивостями.

1.4.2 Застосування МСЕ

Метод скінченних елементів здобув велику кількість прихильників і користувачів протягом багатьох років. Насправді, сьогодні важко знайти

компанію, яка б не використовувала МСЕ на етапах попереднього проектування або перевірки характеристик конструкції.

1.5 ВИКОРИСТАНЕ ПРОГРАМНЕ ЗАБЕЗПЕЧЕННЯ

Комп'ютерні програми, які дозволяють проводити розрахунки методом скінченних елементів, включають ANSYS, NASTRAN, ABAQUS, LS-DYNA, COSMOS або FEMAP. Найпопулярнішою з них, безумовно, є перша, а саме ANSYS. Програма, створена американською компанією ANSYS, Inc. і присутня на ринку з початку 1970-х років. Вона дозволяє виконувати як нелінійний, так і лінійний структурний аналіз. Вона може бути використана в розрахунках майже будь-якого аспекту механіки, включаючи механіку рідини, а також для аналізу температурних полів, що змінюються в часі, або зв'язаних полів, які зустрічаються в акустиці.

Іншим пакетом, який дозволяє проводити розрахунки за допомогою FEA, є франко-американське програмне забезпечення SIMULIA Abaqus FEA, яке виникло наприкінці 1970-х років. Це програмне забезпечення дозволяє розв'язувати задачі з механіки рідини, електромагнетизму, а також нелінійних структур. Siemens NX – ще одна з доступних програм для аналізу міцності. Додаток використовує американське обчислювальне програмне забезпечення NASTRAN, і саме за його допомогою буде виконуватися решта проекту, аналізуючи та оптимізуючи раму велосипеда для маунтенбайку. NASTRAN спочатку був розроблений для використання в NASA і був випущений для них наприкінці 1960-х років. Його основною метою була розробка максимально ефективних космічних апаратів. У 1970-х роках програмне забезпечення було випущено для громадськості, що сприяло його використанню в інших галузях, таких як автомобільна, аерокосмічна та будівельна. Його можливості використовуються для аналізу напружень і навантажень конструкцій, а також для нелінійного, теплового аналізу або аналізу механіки структурних рідин.

Siemens NX пропонує користувачам інтеграцію модулів CAD/CAM/CAE, відповідно "автоматизованого проектування", що передбачає створення технічної

документації, а також геометричних моделей

CAM розшифровується як "Computer Aided Manufacturing", що означає автоматизоване виробництво, тобто підготовку траєкторій руху інструментів та операцій для верстатів з числовим програмним управлінням [22].

Останнім модулем, що підтримується NX, є CAD - "Computer Aided Engineering", що має вирішальне значення для розрахунків за допомогою MCE, оскільки саме це програмне забезпечення допомагає аналізувати структуру та міцність проєктованих конструкцій .

Поєднуючи та інтегруючи ці функції разом, NX дозволяє користувачам як проєктувати, так і створювати 3D-модель конструкції, виконувати необхідні розрахунки, а потім проводити аналіз міцності та відповідну оптимізацію, щоб отримати інформацію про переваги та недоліки конкретної конструкції. дизайн, а також можливість створення ідеальної моделі, яка відповідає всім вимогам і готова до серійного виробництва [22].

2 ПРОЕКТУВАННЯ І МОДЕРНІЗАЦІЯ РАМИ

2.1 ВИБІР МАТЕРІАЛУ

У першій частині цієї роботи ми розглянули найпоширеніші матеріали для виготовлення велосипедної рами. Виникає питання, який з них слід використовувати, щоб його властивості були найбільш підходящими, а вартість дозволила б придбати його кожному. Для цього вибір матеріалу буде здійснюватися на основі трьох найважливіших критеріїв, а саме: міцність, вага та ціна матеріалу. Крім очевидних двох категорій - механічних властивостей і ціни - до аналізу також включено вагу матеріалу, оскільки вона має значний вплив як на комфорт їзди, так і на зручність транспортування, а якщо розглядати спортивне використання, то легша рама дає можливість розвивати вищі швидкості.

У порівняльному аналізі будуть розглянуті всі чотири розглянуті матеріали. Представником сталі буде хромомолібденова сталь AISI 4130. Найпопулярнішим матеріалом з групи алюмінієвих сплавів, що використовується у виробництві велосипедних рам, є алюмінієвий сплав 6061 T6. Представником титанових сплавів буде сплав Ti6Al-4V, а у випадку з вуглецевим волокном ми будемо використовувати для порівняння діапазони властивостей різних вуглецевих композитів. На основі даних таблиць 2.1-2.11 було створено порівняльну таблицю найважливіших властивостей, до якої додано середню вартість матеріалу на кілограм.

Таблиця 2.1 Порівняння властивостей матеріалів, що використовуються для виготовлення рам гірських велосипедів

	Сталь AISI4130	Al 6061 T6	Ti6Al-4V	Вуглеволокно
Модуль Юнга [ГПа]	205	68,9	114	50-150
Міцність на розрив [МПа].	731	310	900	Дуже диференційовано

Межа текучості [МПа]	460	276	830	Дуже диференційовано
Подовження [%]	25,1	12	10	0,43-11
Густина [г/см^3].	7,85	2,70	4,43	1,15-2,25
Вартість [грн/кг]	близько 675,3 грн	Приблизно 495,26 грн	приблизно 4052,16 грн	приблизно 22511 грн

Через те, що показники міцності вуглецевого волокна та його ціна дуже різняться, його важко порівнювати з іншими матеріалами, а також важко усереднити властивості, оскільки рами з вуглецевого волокна будуть сильно відрізнятися за міцністю, ціною та вагою залежно від напрямку розподілу та кількості вуглецевого волокна. Для подальшого аналізу найбільш підходящого матеріалу ми будемо використовувати сталь, а також сплави алюмінію і титану.

Для користувача велосипеда найважливішими характеристиками рами, якими він керується під час купівлі, є довговічність, вартість та вага. Для того, щоб оцінити важливість усіх критеріїв, кожному критерію було присвоєно вагу "k" в діапазоні від 1 до 3, де 1 - найменш важливий критерій порівняно з іншими, в залежності від вимог та важливості для потенційного покупця. Таким чином, категорії отримали наступні ваги:

- критерій міцності: $k_1 = 2$
- ціновий критерій: $k_2 = 3$
- критерій маси: $k_3 = 1$

Ціновий критерій враховує не тільки вартість отримання матеріалу, але й вартість механічної обробки або процесу з'єднання виготовлених труб між собою до кінцевого результату у вигляді готової велосипедної рами.

За кожним критерієм матеріалам було присвоєно клас відповідно до властивостей, представлених у Таблиці 2.1. відповідно до встановлених категорій. На цій основі металам буде присвоєно рейтинг "X" від 1 до 3, враховуючи відповідність трьох матеріалів кожному критерію. При цьому оцінка $X = 1$ означає, що матеріал має найгірші властивості для даної категорії, а коли матеріал

отримує оцінку $X = 3$, це означає, що він відповідає критерію в найбільшій мірі порівняно з двома іншими. Остаточний вибір матеріалу для рами, що розглядається, базуватиметься на підрахунку зваженої суми балів за всіма критеріями за формулою:

$$\sum X_i * k_i(\text{матеріал}) = X_1 * k_1 + X_2 * k_2 + X_3 * k_3 \quad (2.1)$$

Таблиця 2.2 - Оцінки за критеріями бенчмаркінгу, що розглядаються

	Сталь AISI 4130	Al6061 T6	Ti6Al-4V
Критерій міцності	2	1	3
Ціновий критерій	2	3	1
Критерій маси	1	3	2

На основі присвоєних ваг критеріїв і відповідних балів, отриманих в результаті порівняння матеріалів, як показано в таблиці 2.2, сума балів, набраних кожним металом, була підрахована відповідно до рівняння (2.1).

$$\sum X_i * k_i(AISI\ 4130) = 2 * 2 + 3 * 2 + 1 * 1 = 11 \quad (2.2)$$

$$\sum X_i * k_i(Al\ 6061\ T6) = 2 * 1 + 3 * 3 + 1 * 3 = 14 \quad (2.3)$$

$$\sum X_i * k_i(TiAl - 4V) = 2 * 3 + 3 * 1 + 1 * 2 = 11 \quad (2.4)$$

Аналізуючи отримані результати, можна зробити висновок, що найкращим матеріалом для рами велосипеда буде алюмінієвий сплав Al6061 T6 (термічно оброблений, а потім штучно зістарений), і саме тому модель буде виготовлена з вищезгаданого матеріалу. Всі результати, отримані в результаті аналізу міцності в Siemens NX, і подальша оптимізація будуть проводитися з урахуванням матеріалу, обраного для рами велосипеда.

Механічні властивості сплаву Al. 6061 T6 такі:

- Межа міцності на розрив $R_m = 310$ МПа
- Границя текучості $R_e = 276$ Мпа
- Втомна міцність $R_z = 97,5$ Мпа

Використовуючи формулу (2.2), були розраховані допустимі напруження для

вищевказаного матеріалу.

$$\sigma_{dop} = \frac{R_e}{X_e} \quad (2.2)$$

$$X_e = X_1 * X_2 * X_3 * X_4 \quad (2.3)$$

Значення коефіцієнтів запасу міцності були обрані та розраховані на основі таблиці 2.3.

Таблиця 2.3 - Числові значення часткових коефіцієнтів запасу міцності.

Назва коефіцієнта	Значення	Застосування
X ₁ визначеність припущень	1,1	випробування, проведені на міцність даного матеріалу, використовуючи суворий метод розрахунку
	1,2÷1,4	відома марка матеріалу та звичайні методи розрахунку
	1,5÷2,0	ударне навантаження
X ₂ термін дії товару	1,0÷1,1	коли дана частина пошкоджена: приведе до зупинки машини
	1,1÷1,2	спричиняє пошкодження машини
	1,3÷1,5	може спричинити аварію
X ₃ однорідність матеріалу	1,0÷1,05	строгий контроль однорідності після пластичної обробки (рентгенівськими, ультразвуковими методами та ін.)
	1,1	ковані, рулонні та тягнуті матеріали
	1,2	відцентрове лиття під тиском
	1,3	лиття під тиском, ретельна обробка, зварні з'єднання (зварені автоматично або зроблені першокласними зварниками з рентгенівським контролем)
	1,4÷1,7	піщане лиття, загартовані деталі, зварні з'єднання з правильним зовнішнім виглядом.

X ₄ збереження розмірів	1,0÷1,05	строгий контроль розмірів кожного предмета
	1,05÷1,1	звичайний вибірковий огляд після обробки
	1,1÷1,15	прутки, прокатні профілі, листи, точне лиття, штамповані елементи
	1,2	зварні конструкції, лиття, поковки

- X_e - коефіцієнт запасу міцності
- X₁ = 1.10 - Проведені тести на міцність (впевненість у припущеннях)
- X₂ = 1,30 - пошкодження може спричинити нещасний випадок (об'єктивність об'єкта)
- X₃ = 1.00 - ретельний контроль однорідності після обробки (однорідність матеріалу)
- X₄ = 1,20 - зварна конструкція (цілісність розмірів)

$$X_e = 1,1 * 1,3 * 1 * 1,2 = 1,716 \quad (3.4)$$

Для легких сплавів необхідно збільшити на 40%:

$$X_e = 1,716 * 1,4 = 2,4 \quad (3.5)$$

$$\sigma_{dop} = \frac{276}{2,4} = 115 \text{ МПа} \quad (3.6)$$

Допустимі напруження, які можуть виникнути в проектованій конструкції, не повинні перевищувати $\sigma_{dop} = 115 \text{ МПа}$.

Для того, щоб зразок не зазнав втомного руйнування, амплітуда напружень допускається в межах а.к. алюмінієвого сплаву 96,5 МПа протягом $5 \cdot 10^8$ циклів [18].

2.2 ПОБУДОВА ГЕОМЕТРИЧНОЇ МОДЕЛІ

Геометрична модель рами велосипеда МТВ була побудована в програмі Siemens NX на основі існуючого рішення моделі рами велосипеда Enduro. Вигляд використаної моделі рами показано на рисунках 2.1-2.3. Потім ця модель була

спрощена шляхом видалення надлишкових елементів та модифікації її геометрії.
Підготовлена геометрична модель показана на рисунках 2.4-2.6.

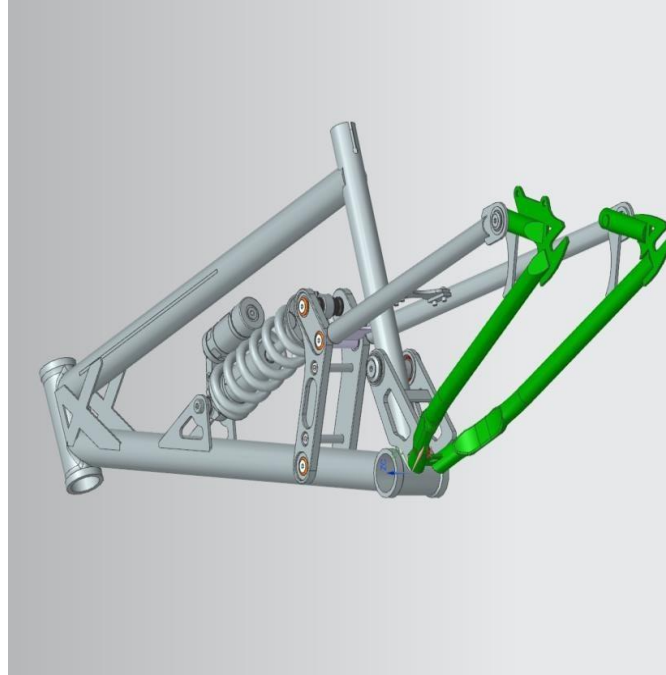


Рисунок 2.1 Існуюча модель рами, що використовується - ізометричний вигляд

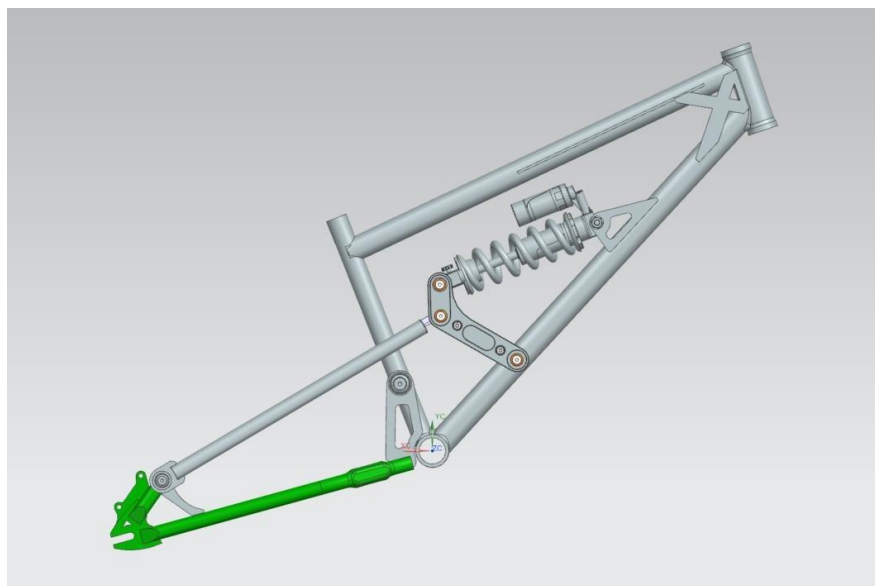


Рисунок 2.2 Існуюча модель рами, що використовується - вигляд спереду

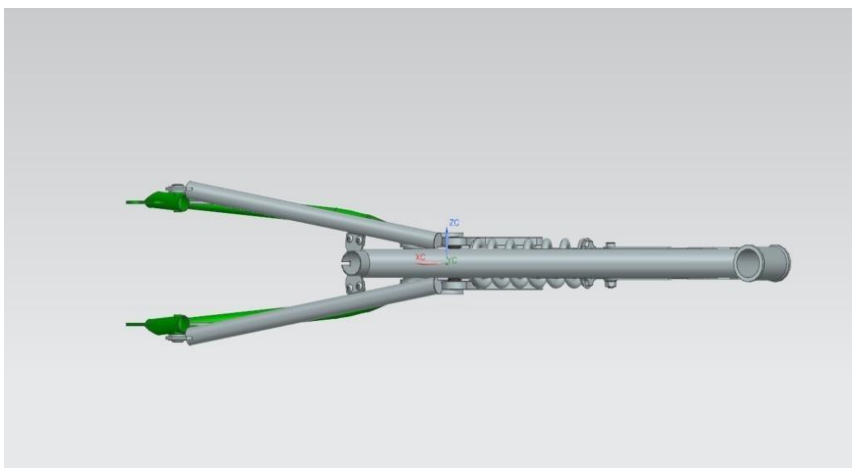
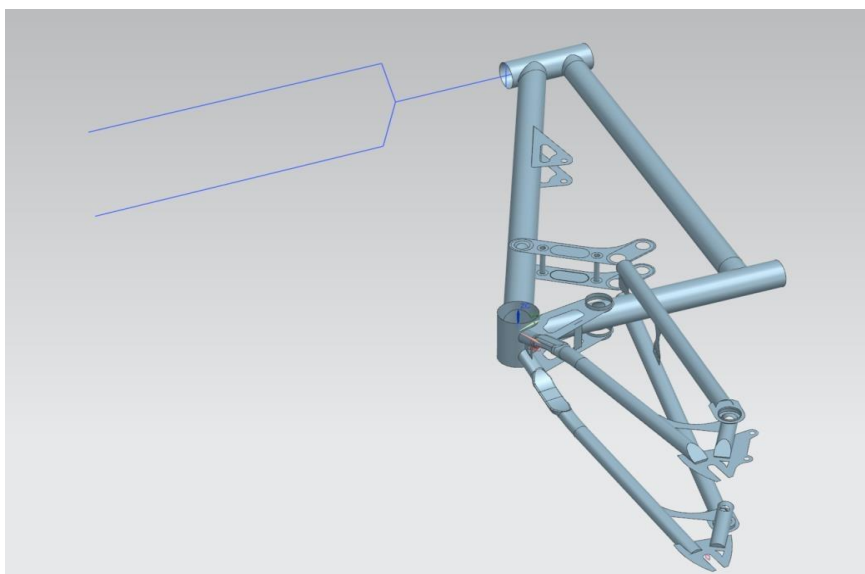


Рисунок 2.3 Існуюча модель рами, що використовується - вид зверху



*Рисунок 2.4 Геометрична модель готової до випробувань рами -
ізометричний вигляд*

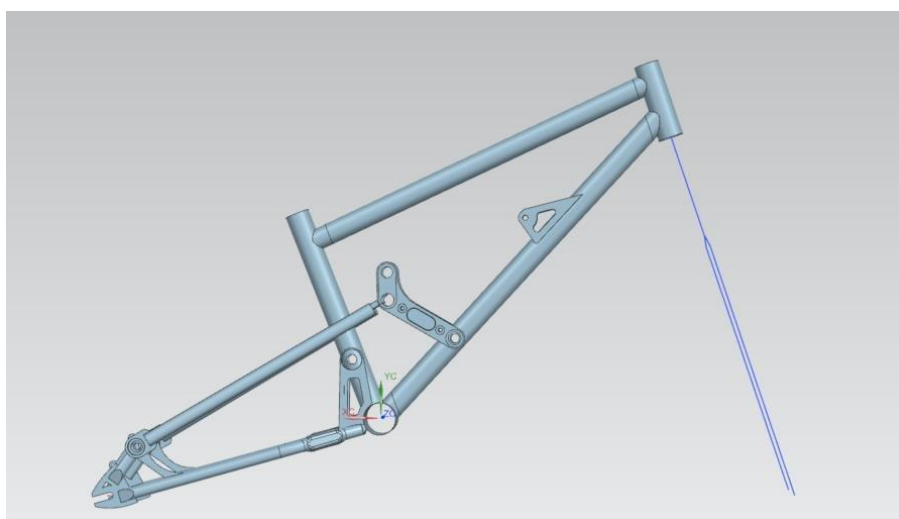


Рисунок 2.5 Геометрична модель готової до випробувань рами - вигляд

спереду

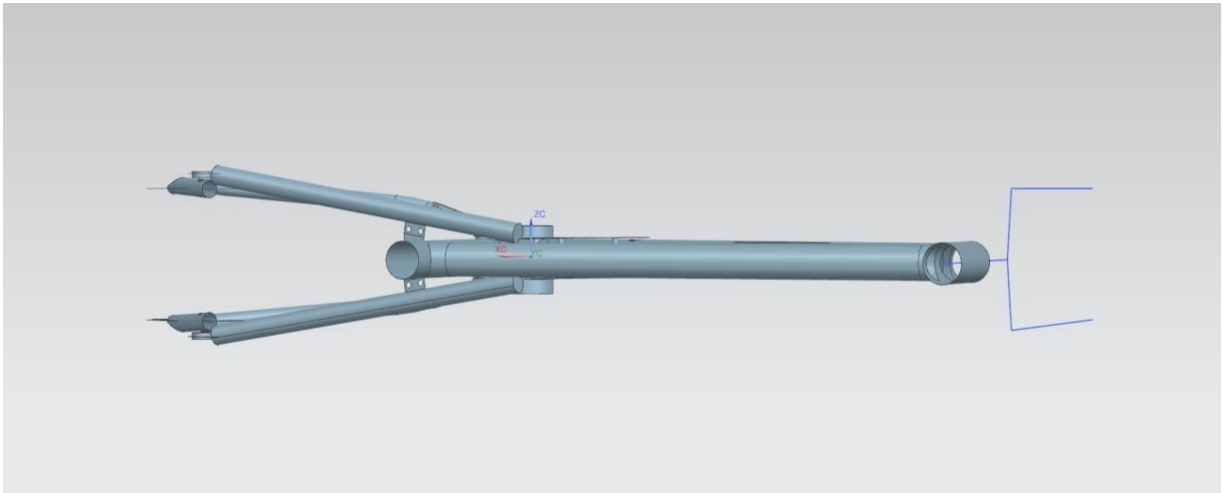


Рисунок 2.6 Геометрична модель готової до випробувань рами - вигляд зверху

Геометрична модель виконана з 2D елементів поверхні сірого кольору, що складаються з порожнистих труб з різною товщиною стінок. Синім кольором позначено передню вилку велосипеда, представлену елементом 1D балки.

2.3 УМОВИ РОЗРАХУНКУ РАМИ

Аналіз проводився відповідно до рекомендацій стандарту EN ISO 4210 Cycles - вимоги безпеки для велосипедів, частини 1-10:

- ISO 4210-1:2014 Частина 1: Терміни та визначення
- ISO 4210-2:2015 Частина 2: Вимоги до міських, трекінгових, молодіжних, гірських та гоночних велосипедів
- ISO 4210-3:2014 Частина 3: Загальні методи випробувань
- ISO 4210-4:2014 Частина 4: Методи випробування гальмування
- ISO 4210-5:2014 Частина 5: Методи випробувань рульового керування
- ISO 4210-6:2015 Частина 6: Методи випробування рами та вилки
- ISO 4210-7:2014 Частина 7: Методи випробування коліс та ободів
- ISO 4210-8:2014 Частина 8: Методи випробування педалей і приводних систем
- ISO 4210-9:2014 Частина 9: Методи випробування сидел та підсідельних штирів
- ISO 4210-10:2020 Частина 10: Вимоги безпеки для циклів з електричним приводом

Випробування, проведені на реальному об'єкті - рамі велосипеда, включають вимірювання жорсткості рами та наступні п'ять методів випробування на міцність:

1. Випробування на удар (падаюча маса)
2. Випробування на удар (падіння рами)
3. Випробування на втому з використанням зусилля педалювання
4. Випробування на втому з горизонтальними силами
5. Випробування на втому від вертикальної сили

Проведено випробування чисельні, від завдяки можливостей програмного забезпечення, включали проведення втомних випробувань № 1,2,3.

2.4 ПОБУДОВА ОБЧИСЛЮВАЛЬНОЇ МОДЕЛІ

2.4.1 Умови для моделювання

Таблиця 2.4 - Зведена інформація про умови тестування

Номер методу	Умови тестування
1	- Рама повинна бути встановлена таким чином, щоб її передня вісь була прикріплена до нерухомої опори. Задня вісь, з іншого боку, повинна бути закріплена так, щоб вона не могла рухатися тільки в напрямках осей Y і Z. Осі повинні знаходитися в одній горизонтальній площині, - Необхідно створити адаптацію педальної системи, що складається з двох важелів довжиною 175 мм і 75 мм, до кінців яких протягом 120000 циклів прикладати силу 1200 Н, спрямовану вертикально вниз (один цикл складається з прикладання і зняття обох сил). - Якщо рама відповідає вимогам, випробування слід провести повторно з переглянутим значенням сили 1300 Н для 100 000

	циклів.
2	- Кінець передньої вилки повинен бути зафіксований таким чином, щоб рух був можливий тільки в напрямку осі X. Задня вісь повинна бути встановлена в нековзну опору. - До передньої осі велосипеда в прямому і зворотному горизонтальному напрямках повинні бути прикладені зусилля 1200Н і 600Н відповідно протягом 60000 циклів. - Якщо рама відповідає вимогам, випробування слід повторити в ідентичній установці, за винятком того, що обидві сили повинні бути збільшені на 50 Н, а кількість циклів зменшено до 50 000.
3	- Задня вісь велосипеда повинна бути закріплена на нековзній опорі, а передня вісь велосипеда під дією сил повинна мати можливість рухатися тільки в горизонтальній площині. Також необхідно зафіксувати елементи підвіски велосипеда. - Адаптер підсідельного штиря потрібно встановити на глибині 75 мм від верхньої частини підсідельної труби, а горизонтальний задній подовжувач потрібно встановити на підсідельний штир в точці, де його довжина становитиме 250 мм. - Прикладіть силу 1200 Н, спрямовану вертикально вниз, до точки в 70 мм від перетину осі стійки і подовжувача. Піддайте раму 60000 циклів. - Якщо рама відповідає вимогам, проведіть повторне випробування в тому ж кріпленні, збільшивши зусилля до 1300 Н для 50000 циклів.

На основі умов, наведених у таблиці 2.3, були сформульовані відповідні граничні умови моделі, необхідні для конкретного випробування на втому. На рисунках 2.7 - 2.9 представлена розрахункова модель зі сформульованими граничними умовами для окремих випадків навантаження, що відповідають припущенням окремих випробувань рами.

Випадок 1

Аналіз № 1 включав тестування впливу зусиль, що виникають при натисканні на педалі. З використанням елементів RBE2 було створено імітацію приводного механізму, що складається з ланцюга та двох педалей, і до однієї з педалей було прикладено зусилля 1200Н та 1300Н, що діють вертикально вниз, протягом 120 000 та 100 000 циклів відповідно.

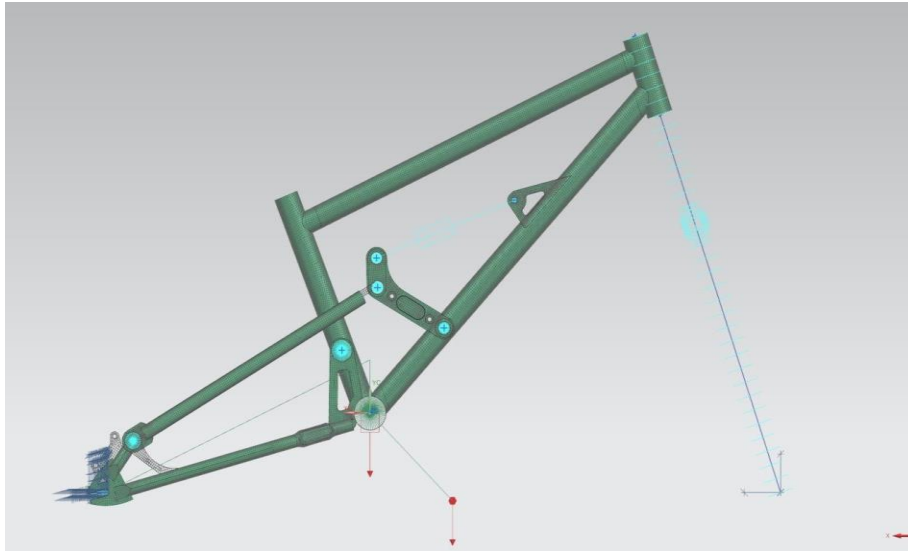


Рисунок 2.7 Розрахункова модель для тесту 1 - вигляд спереду

Випадок 2

Аналіз №2 включав в себе випробування рами велосипеда на розтягнення та стиснення силою 1200Н та 600Н відповідно, прикладені до кінця передньої вилки протягом 60000 циклів, а потім 1250Н та 650Н протягом 50000 циклів.

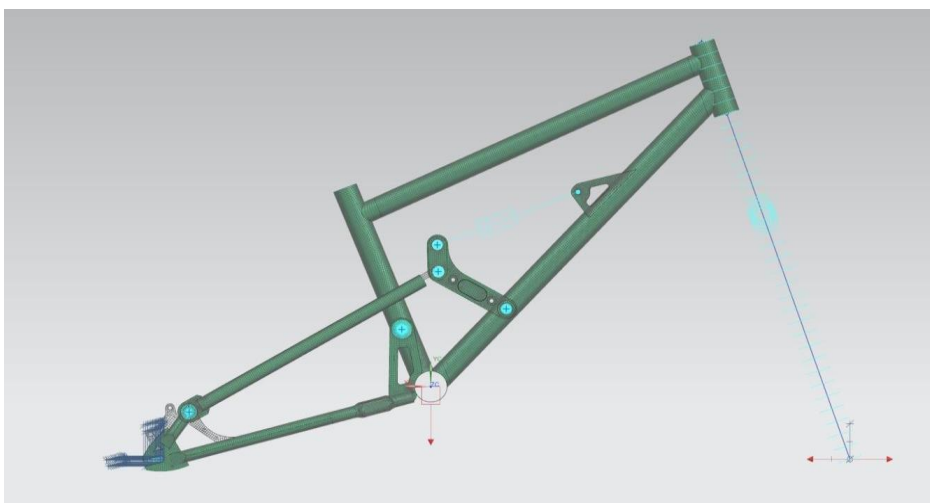


Рисунок 2.8 Розрахункова модель для тесту 2 - вигляд спереду

Випадок 3

Випробування №3 передбачало перевірку впливу вертикальних сил на міцність рами. Було створено адаптацію сидла і до кінця прикладено зусилля 1200Н для 60000 циклів і 1300Н для 50000 циклів.

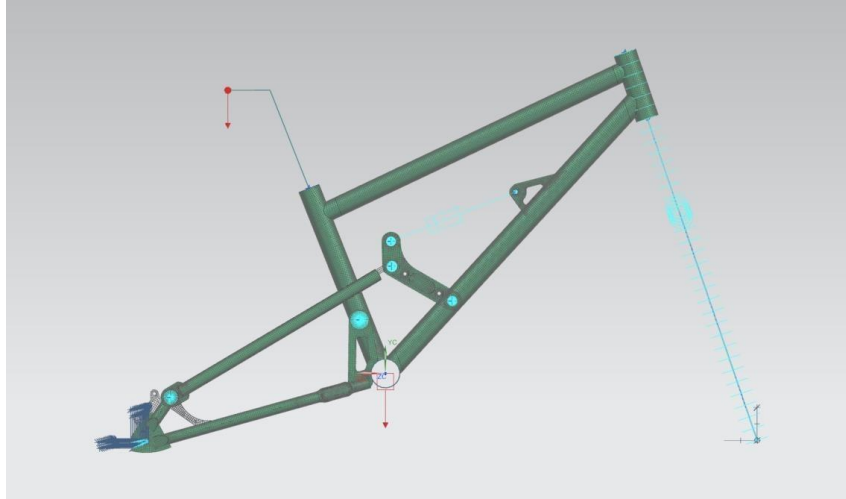


Рисунок 2.9 Розрахункова модель для тесту №3 - вигляд спереду

2.5 РЕЗУЛЬТАТИ ПРОВЕДЕНИХ СИМУЛЯЦІЙ

Товщина стінок тестових труб рами, використаних для початкового аналізу, показана на рисунку 2.10. Маса моделі, включаючи передню вилку, становила 4,14 кг, а сама рама важила 2,52 кг. Результати аналізу, отримані для початкових товщин труб рами, показані на рисунках 2.11- 2.16. Результати представлені для навантажень, отриманих при застосуванні найбільшої з сил, описаних у стандарті, для заданих конструктивних випадків.

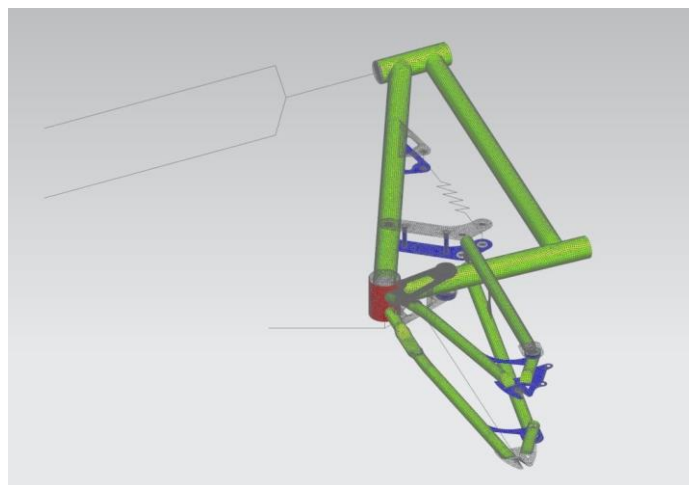


Рисунок 2.10 Товщина стінки вихідної моделі для розрахунку [мм]

2.5.1 Випробування на витривалість №1 перед оптимізацією

Піддослідний піддається дії сили педалювання 1300 Н, що діє вертикально вниз протягом 100 000 циклів.

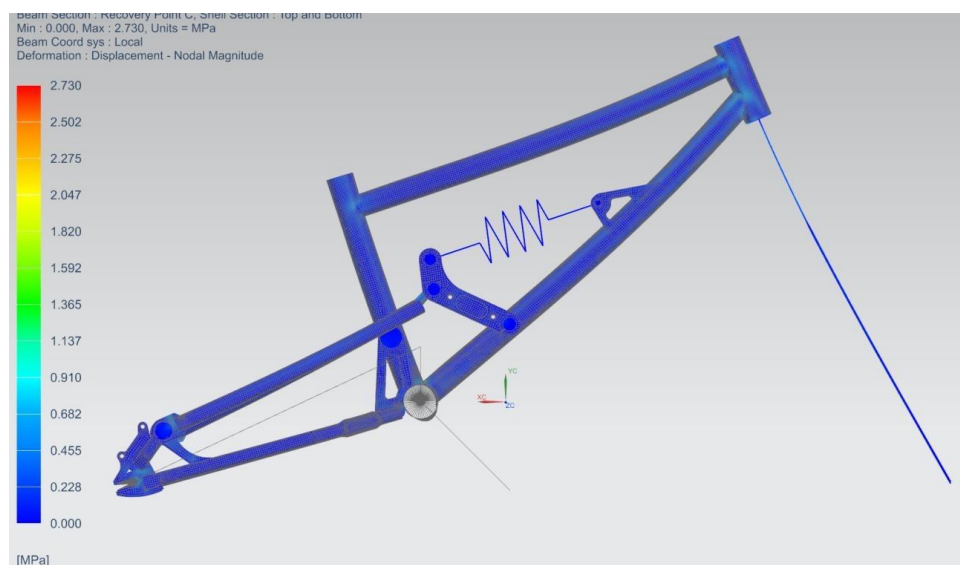


Рисунок 2.11 Шари зменшених напружень згідно з гіпотезою Губера-Мізеса до оптимізації [МПа]

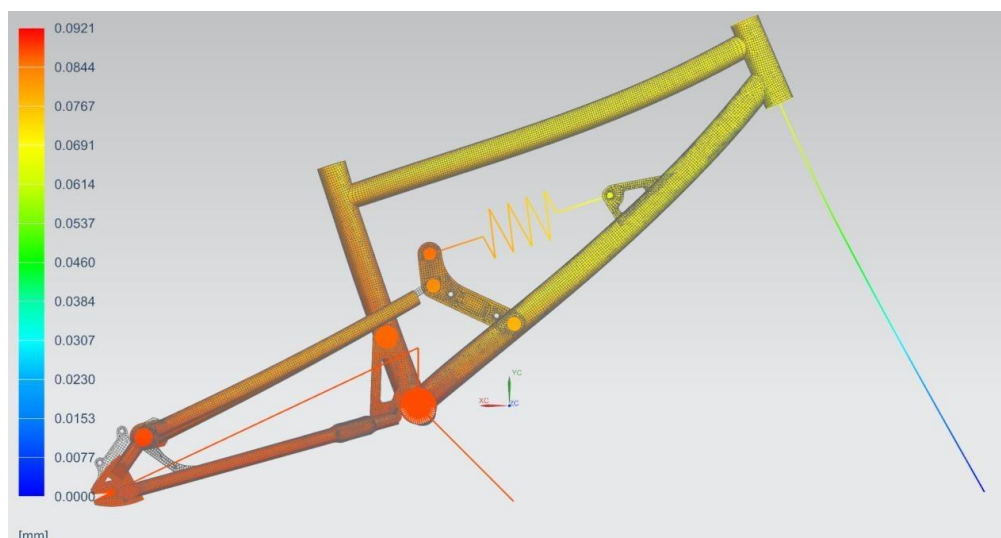


Рисунок 2.12 Шари переміщень, викликаних заданим навантаженням, перед оптимізації [мм]

2.5.2 Випробування на витривалість №2 перед оптимізацією

На об'єкт діють сили 1250Н і 650Н, що діють по горизонтальній осі, в прямому і зворотному напрямках відповідно, протягом 50000 циклів.

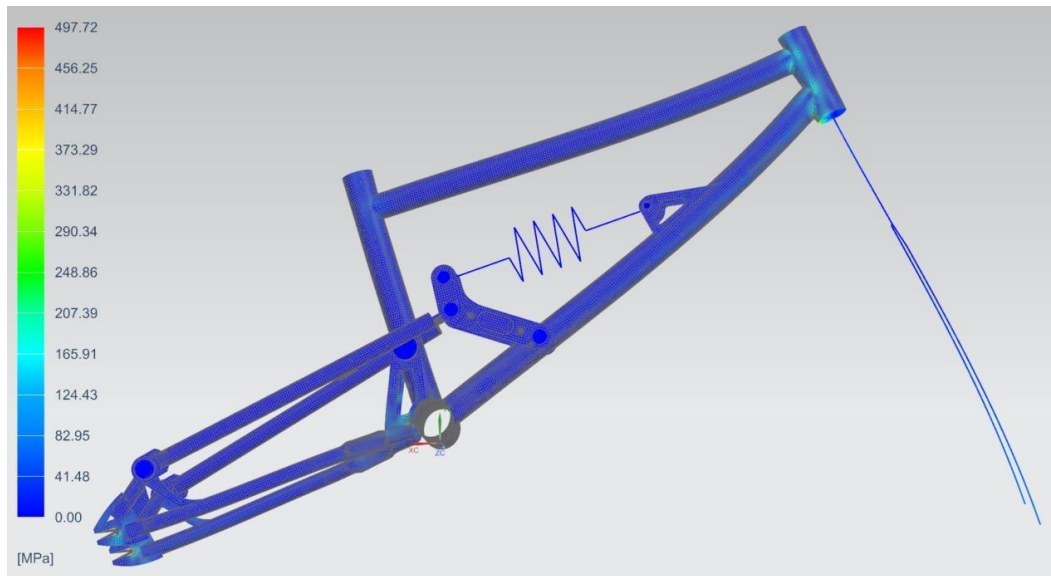


Рисунок 2.13 Зменшення стратифікації стресу відповідно до гіпотези Губера-Мізеса до оптимізація [МПа]

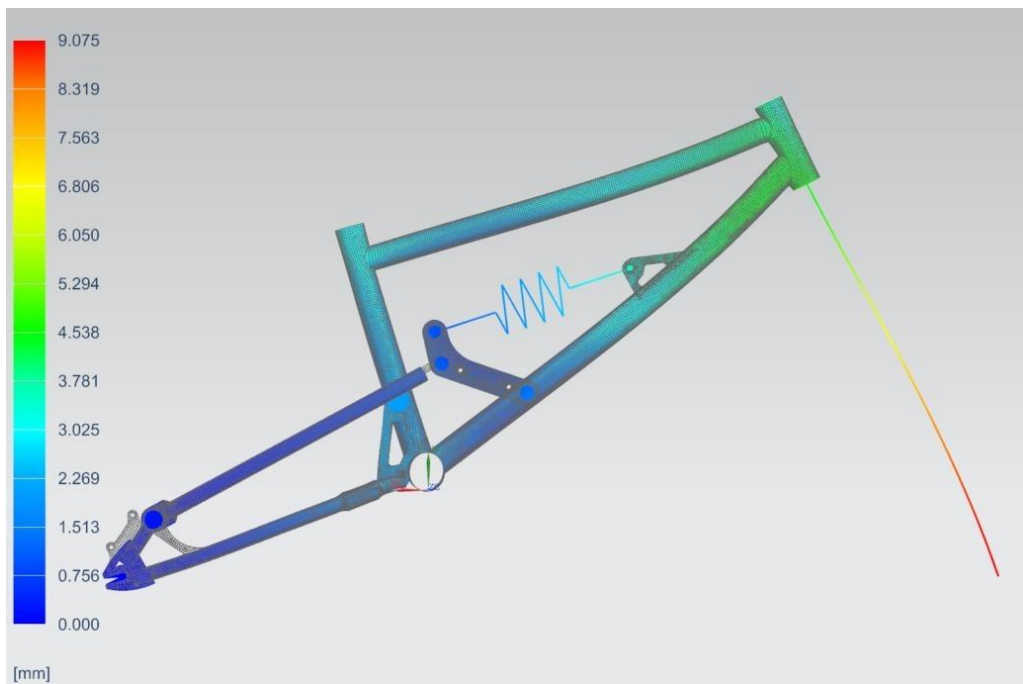


Рисунок 2.14 Шари переміщень, викликаних заданим навантаженням до оптимізації [мм].

2.5.3 Випробування на витривалість №3 перед оптимізацією

На об'єкт діє сила 1300 Н, що діє вертикально вниз, прикладена в точці, що імітує сидло, з амортизаційною системою, зафіксованою на місці. Кількість циклів навантаження - 50000.

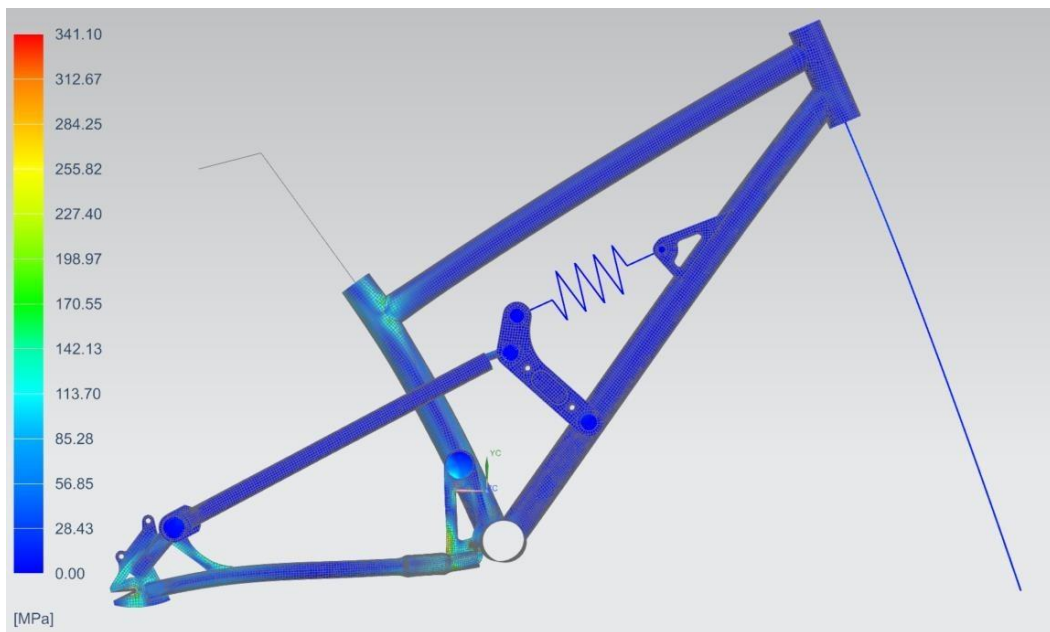


Рисунок 2.15 Зменшені шари напружень відповідно до гіпотези Губера-Мізеса до оптимізації

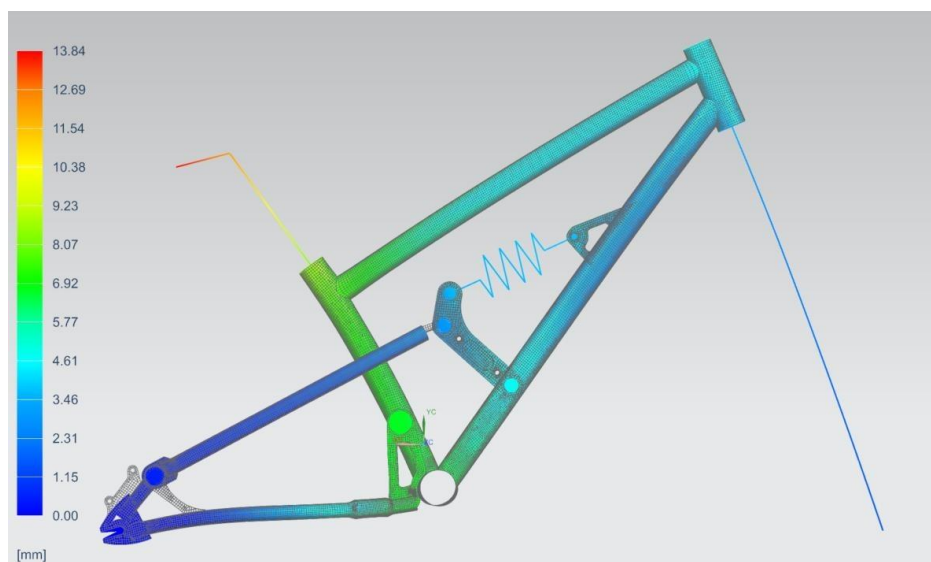


Рисунок 2.16 Шари переміщень, викликаних заданим навантаженням до оптимізації

2.5 СТРУКТУРНА ОПТИМІЗАЦІЯ

2.5.1 Критерій оптимізації дизайну

Оптимізація проводилася з метою отримання достатньої міцності, яка б відповідала вимогам до матеріалів і конструкцій, при мінімально можливій вазі моделі. Модифікації були зроблені шляхом зміни товщини стінок відповідних елементів моделі, що піддаються найбільш руйнівним навантаженням.

Вага моделі після оптимізації склала 3,36 кілограма разом з передньою вилкою, а вага самої рами - 1,74 кілограма. Товщина окремих стінок показана на рисунку 2.17.

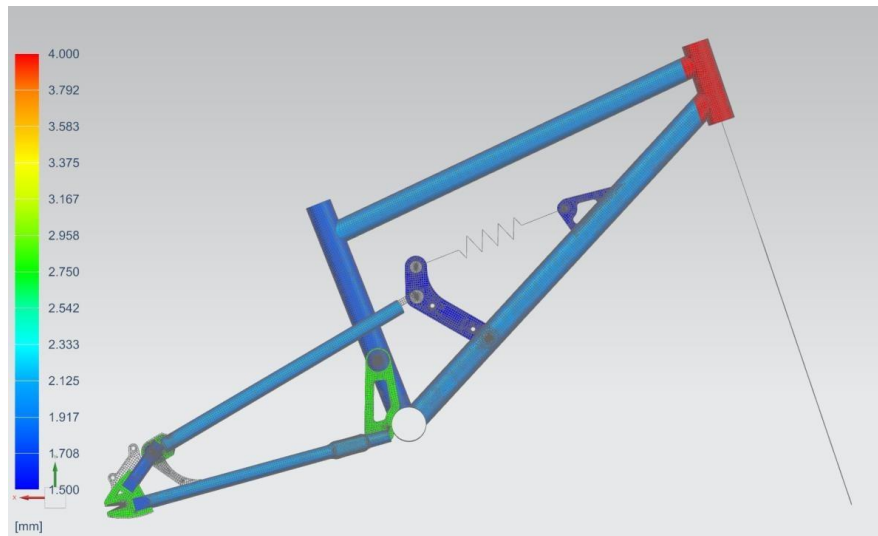


Рисунок 2.17 Товщина стінок моделі після оптимізації [мм].

2.5.2 Тест на витривалість №1 після оптимізації

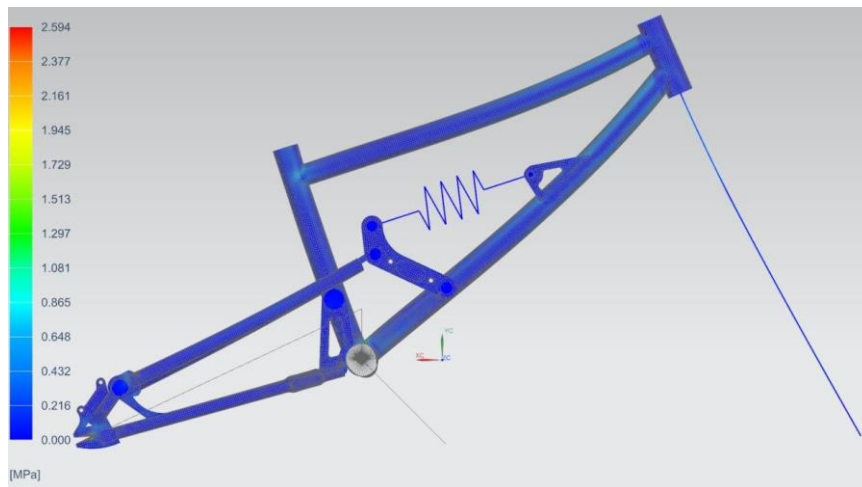


Рисунок 2.18 Зменшена стратифікація напруження відповідно до гіпотези Губера-Мізеса після оптимізації для навантаження 1300Н [МПа].

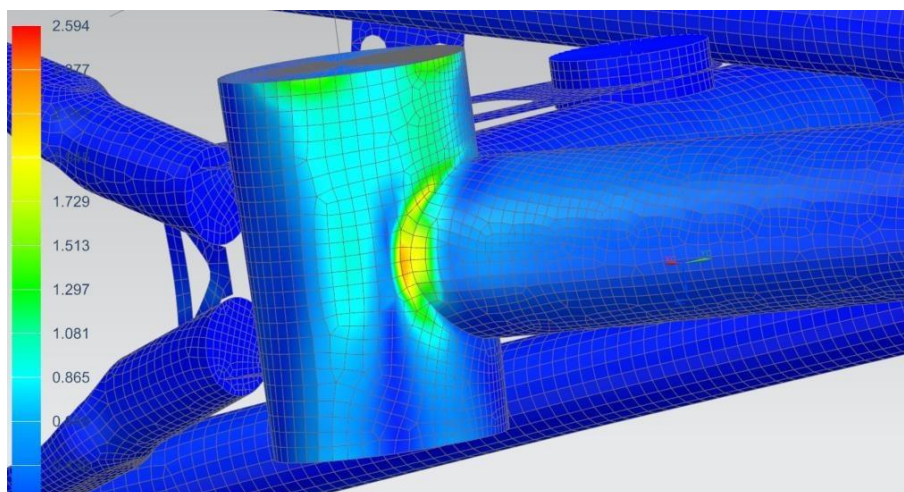


Рисунок 2.19 Крупним планом місце найбільшої концентрації напружень [МПа].

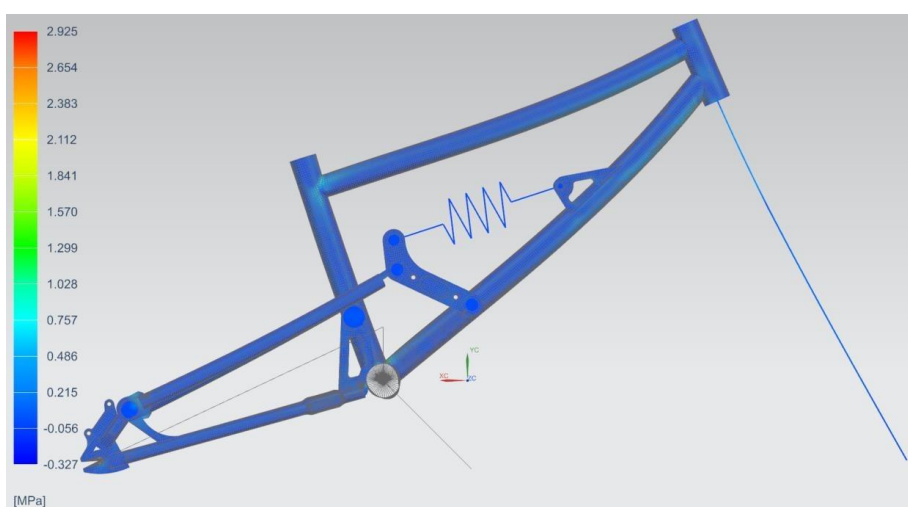


Рисунок 2.20 Розшиарування напружень, необхідне для розрахунку втомної міцності [МПа].

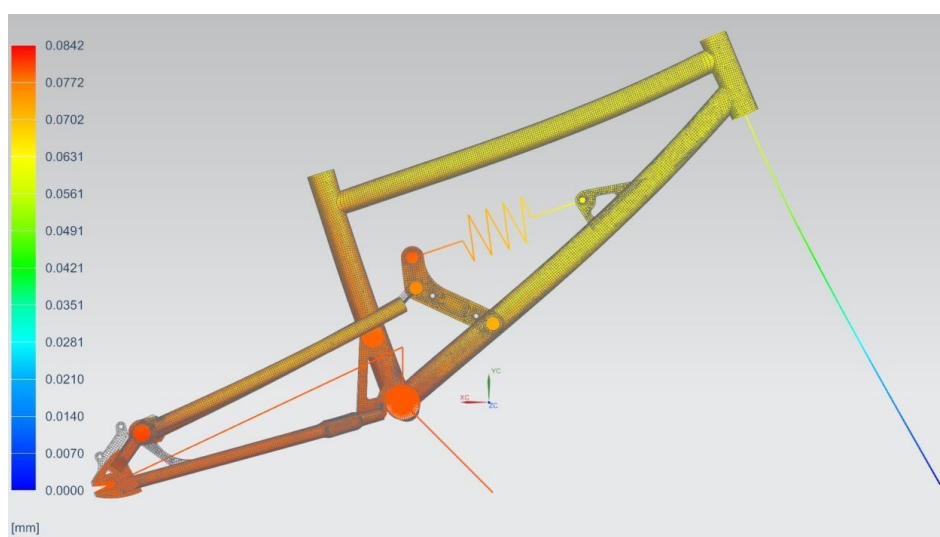


Рисунок 2.21 Шари переміщень, викликаних заданим навантаженням після оптимізації [мм].

2.5.3 Тест на витривалість №2 після оптимізації

2.5.3.1 Випадок 1 - Навантаження на передню вилку з силою 1250 Н, що діє вправо по горизонтальній осі

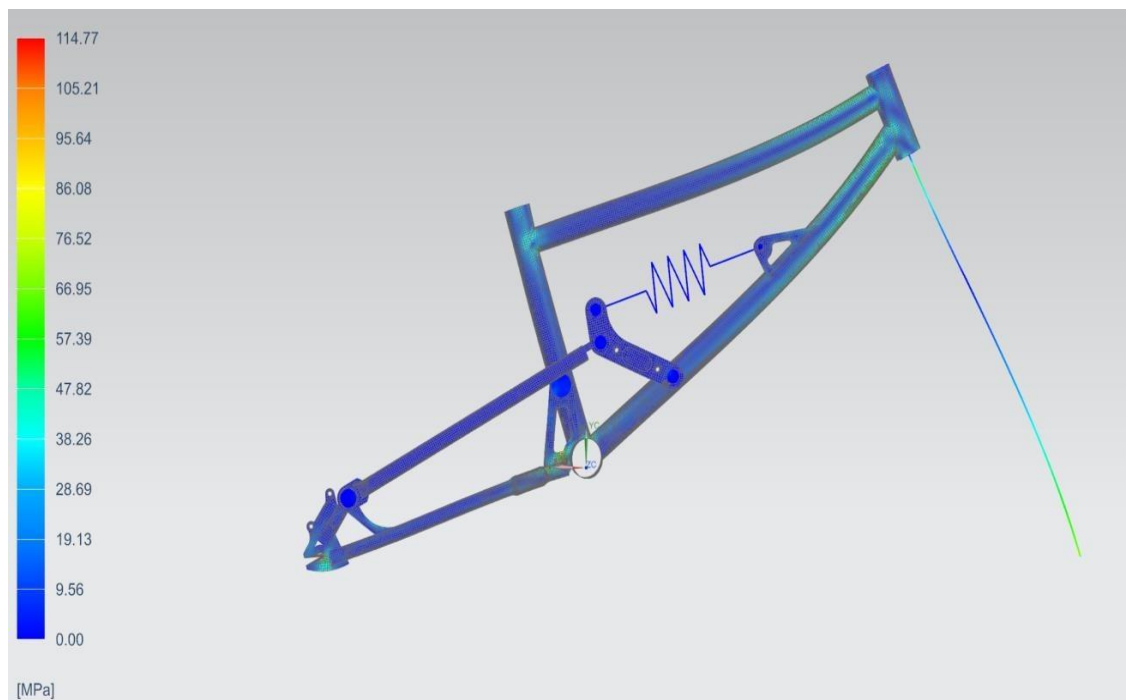


Рисунок 2.22 Зменшені шари напружень за гіпотезою Губера-Мізеса після оптимізації для навантаження 1250Н [МПа].

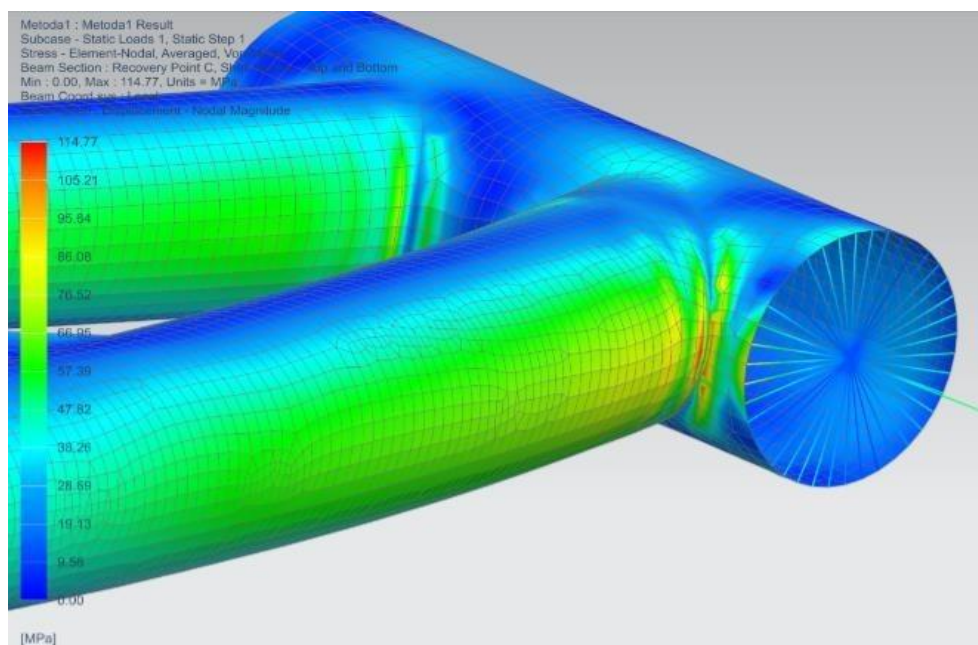


Рисунок 2.23 Крупним планом місце найбільшої концентрації напружень [МПа].

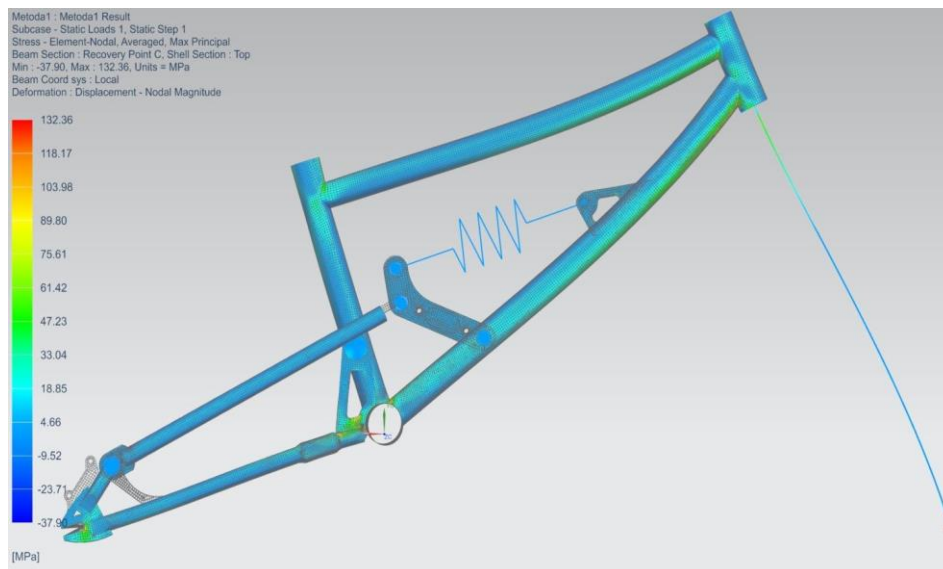


Рисунок 2.24 Стратифікація напружень, необхідна для визначення втомної міцності [МПа]

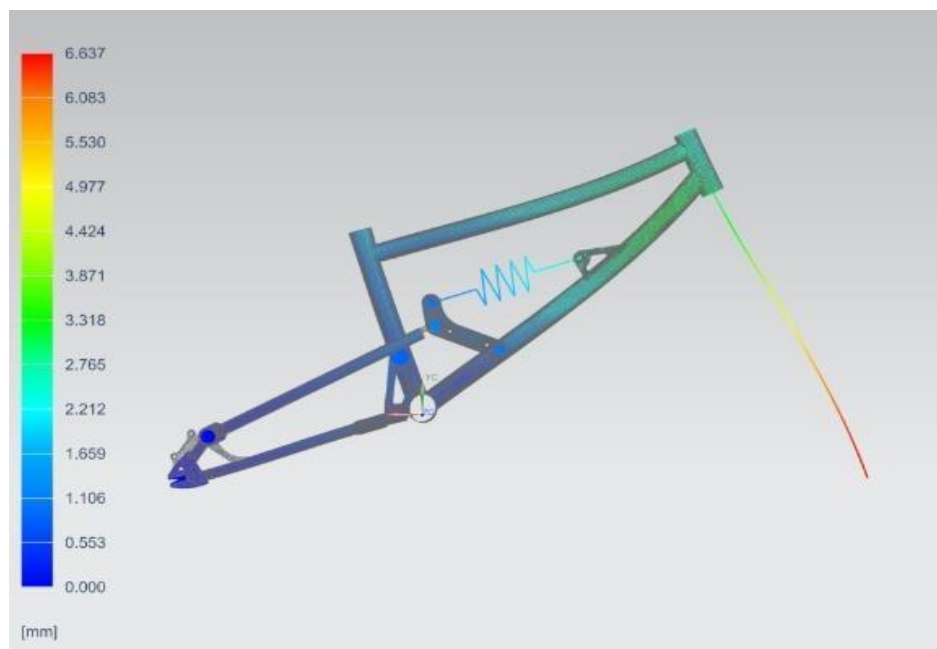


Рисунок 2.25 Шари переміщень, викликаних заданим навантаженням після оптимізації [мм].

2.5.3.2 Випадок 2 - Навантажите передню вилку силою 650 Н, що діє зліва по горизонтальній осі.

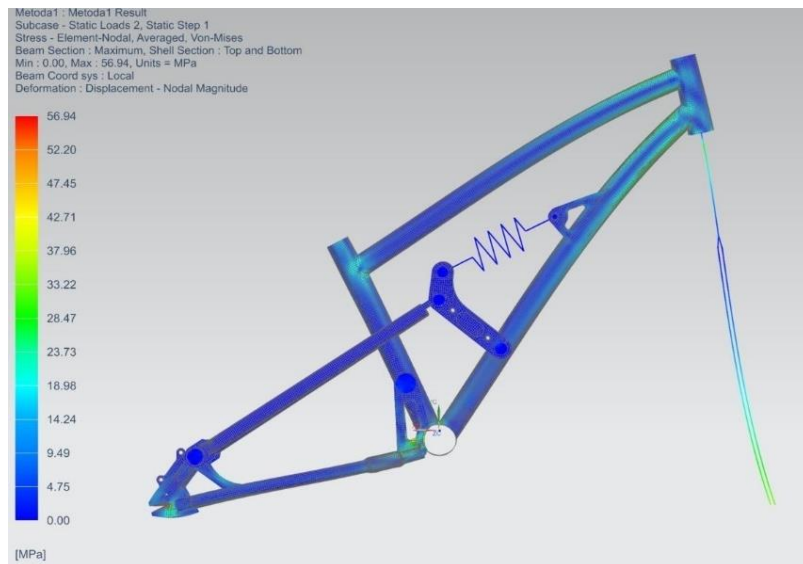


Рисунок 2.26 Зменшені шари напружень відповідно до гіпотези Губера-Мізеса для навантаження 650Н після оптимізації

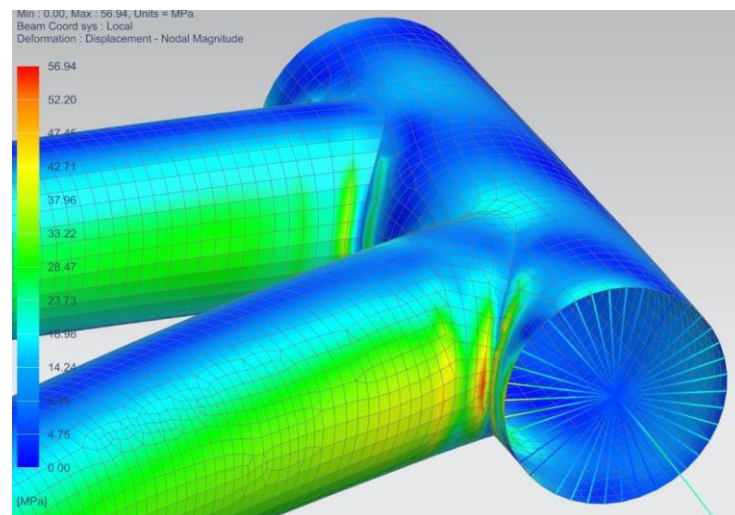


Рисунок 2.27 Крупним планом місце найбільшої концентрації напружень

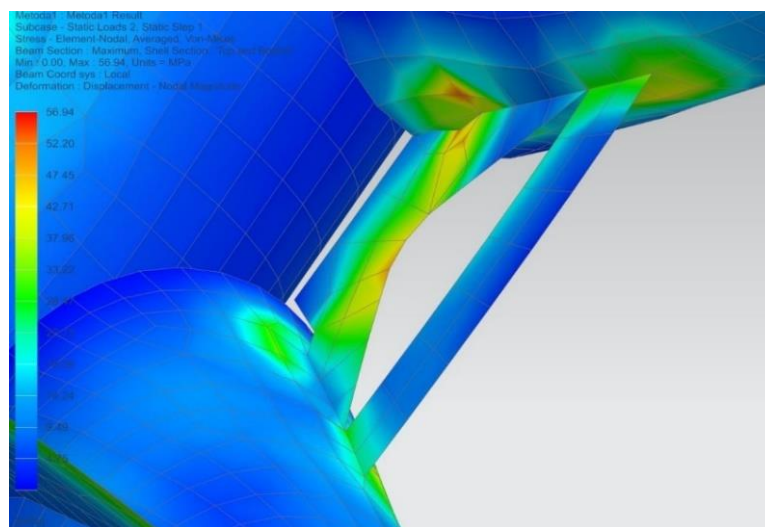


Рисунок 2.28 Місце найбільшої концентрації напружень крупним планом

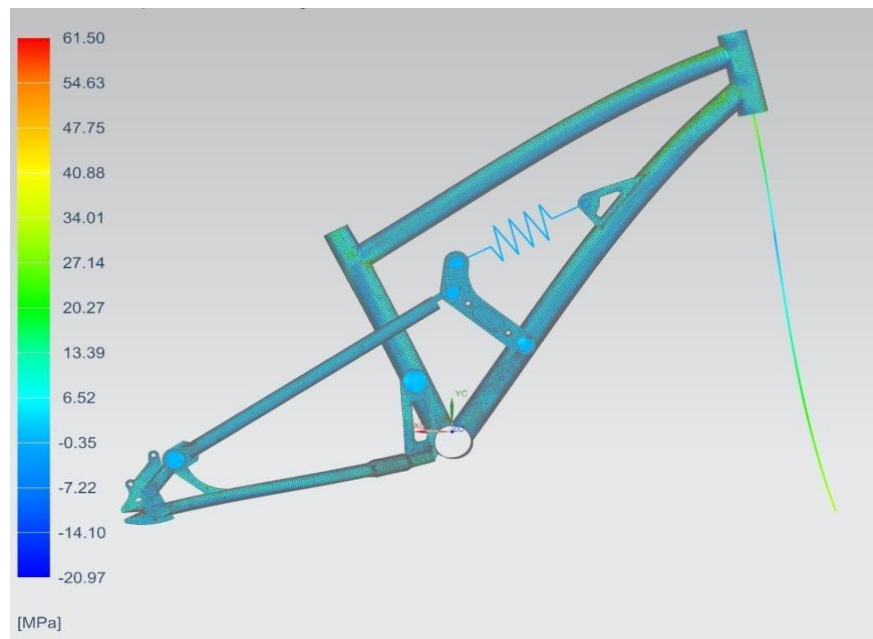


Рисунок 2.29 Стратифікація напружень, необхідна для визначення втомної міцності {МПа}

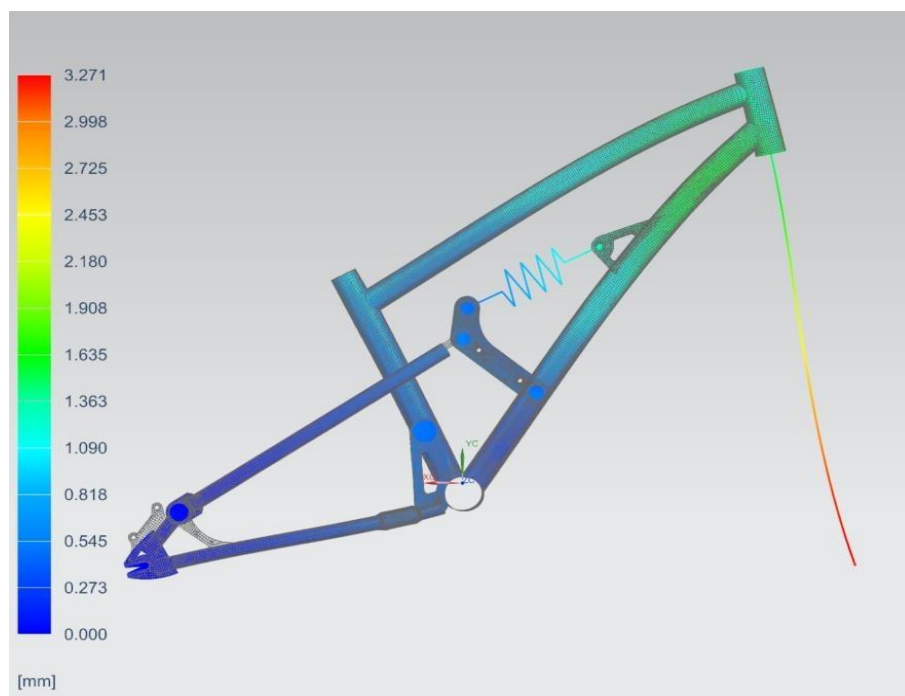


Рисунок 2.30 Шари переміщень, викликаних заданим навантаженням після оптимізації [мм].

2.5.4 Тест на витривалість №3 після оптимізації

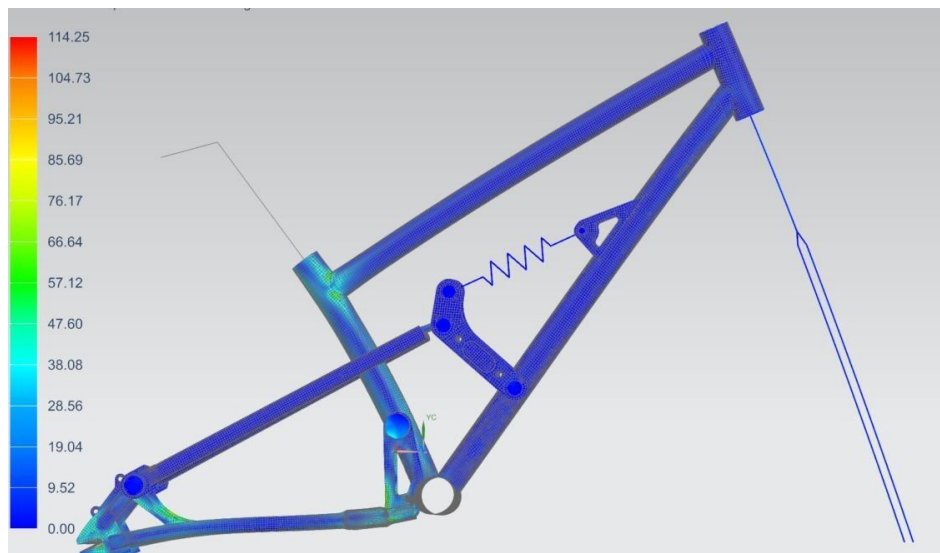


Рисунок 2.31 Зменшення стратифікації стресу відповідно до гіпотези Губера-Мізеса після оптимізації [МПа]

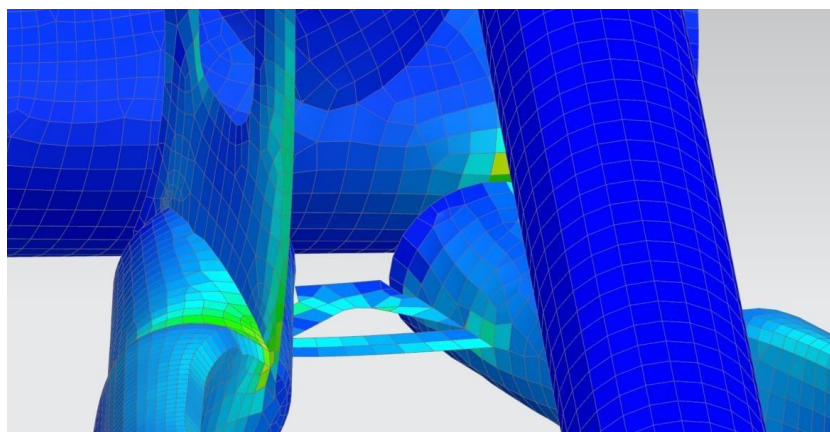


Рисунок 2.32 Місце найбільшої концентрації напружень [МПа]

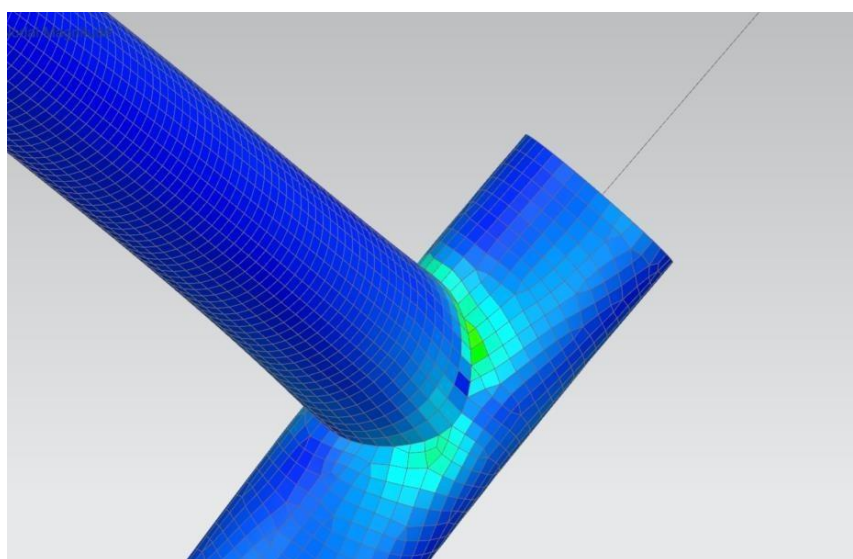


Рисунок 2.33 Місце найбільшої концентрації напружень [МПа]

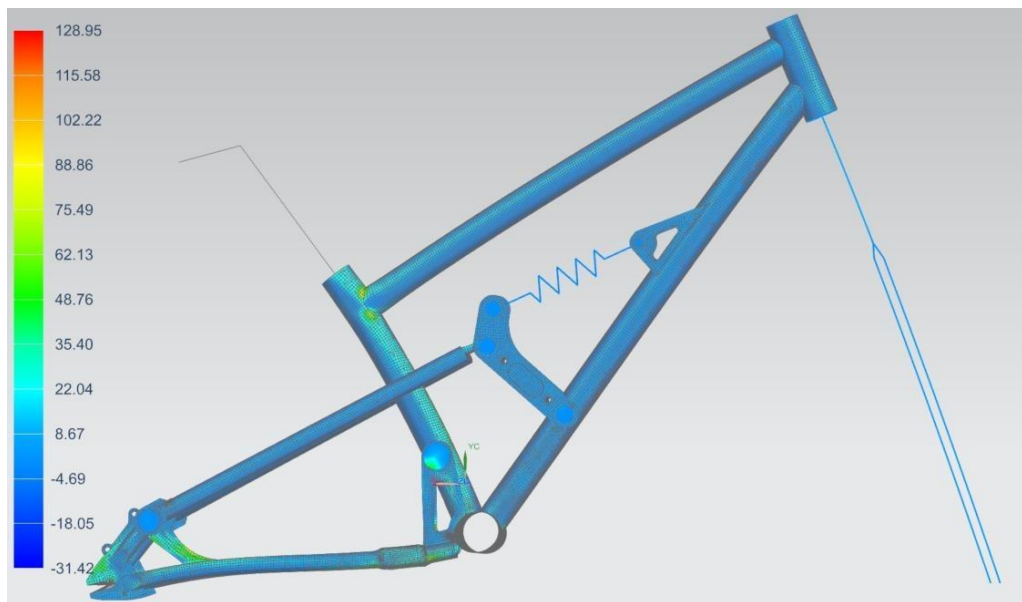


Рисунок 2.34 Стратифікація напружень, необхідна для визначення втомної міцності [МПа]

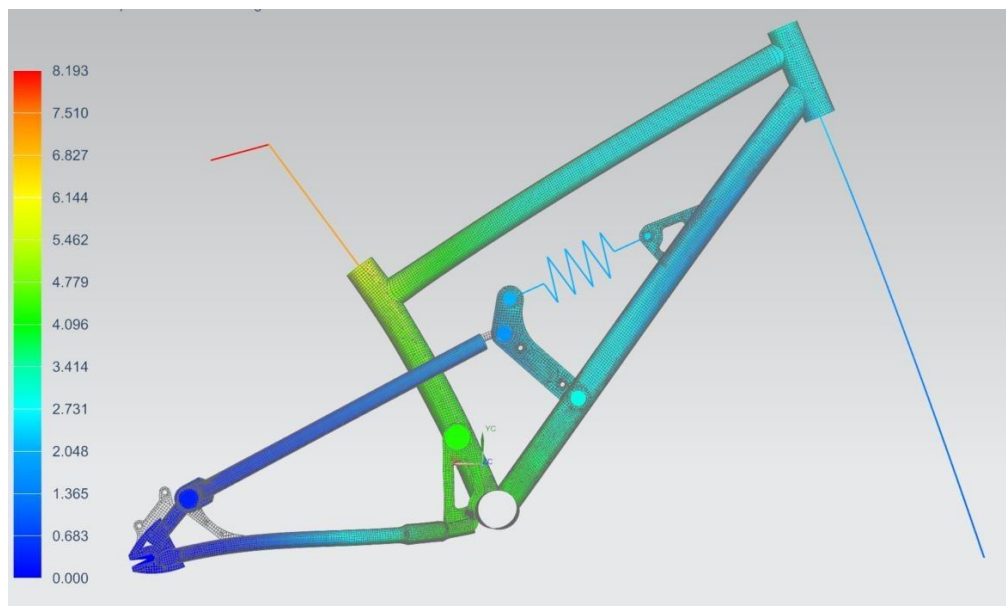


Рисунок 2.35 Шари переміщень, викликаних заданим навантаженням після оптимізації [мм].

3 АПРОБАЦІЯ РЕЗУЛЬТАТІВ

Таблиця 3.1 підсумовує результати аналізу всіх проведених випробувань на міцність, як до, так і після оптимізації

Таблиця 3.1 - Зведені результати аналізу МСЕ

Тип вантажу	До оптимізації		Після оптимізації	
	Напруга [МПа]	Переміщення [мм]	Напруга [МПа]	Переміщення [мм]
Дія сил напедалі	2,73	0,0921	2,594	0,0842
Дія горизонтальних сил	497,72	9,075	114,7	6,637
Дія вертикальної сили	341,10	13,94	114,25	8,193

Ми бачимо, що результати аналізу МСЕ, отримані в результаті оптимізації, є коректними і відповідають умовам міцності для використаного матеріалу, представленого в розділі 3.1, а саме сплаву Алюміній 6061 Т6. Ефект був отриманий за рахунок зміни товщини найбільш напружених стінок і зменшення товщини стінок, на які не впливають напруження і деформації, наскільки це можливо. Ця операція дозволила зменшити вагу моделі з 4,14 до 3,36 кілограмів, тобто на 760 грамів. В той же час, напруження були зменшені до чотирьох разів. Максимальні напруження рами в кожному з трьох випадків знаходяться в межах допустимих напружень для даного матеріалу. Найбільші напруження виникають у місцях з'єднання частин конструкції та в елементах, створених для сприйняття навантаження. З отриманих результатів можна зробити висновок, що напруження і деформації від сили педалювання значно нижчі, ніж для інших. Однак, для цього зусилля більш важливим є втомна міцність, оскільки ці зусилля виникають постійно під час експлуатації.

Допустиме значення амплітуди напружень для використовуваного матеріалу становить 96,5 МПа для кількості циклів, що дорівнює $5 \cdot 10^8$. У таблиці

3.2 наведено максимальні та мінімальні значення напружень, отримані в результаті моделювання в Siemens NX. Однак амплітуда напружень для кожного випадку навантаження була розрахована відповідно до рівняння:

$$\sigma_a = \frac{\sigma_{max} - \sigma_{min}}{2}$$

Таблиця 3.2 Зведені результати розрахунків амплітуди напружень

Тип вантажу	Стреси максимальна σ_{max} [МПа]	Стреси мінімальний σ_{min} [МПа]	Амплітуда Напруження σ_a [МПа].	Кількість циклів
Дія сил на педалі	2,925	-0,327	1,626	100000
Дія горизонтальних сил	132,36	-37,9	85,13	50000
Дія вертикальних сил	128,85	-31,42	80,135	50000

4 РОЗРОБКА СТАРТАП-ПРОЕКТУ

Цей розділ має на меті проведення маркетингового аналізу стартап-проекту для визначення його ключових можливостей на ринку та можливих шляхів впровадження. Проведення маркетингового аналізу включає в себе виконання нижченаведених кроків.

4.1 Опис ідеї проекту

Розробка та налагодження випуску рами високопродуктивного велосипеда для маунтенбайку. Маунтенбайкінг, або гірський велоспорт, вимагає від транспортного засобу особливих характеристик, таких як висока міцність, стійкість до ударів і здатність подолати важкі гірські умови.

Застосування такої конструкції спрямоване на зменшення маси виробу в порівнянні з продукцією аналогічного класу та рівня конкурентів, а також на відкриття нових можливостей у формоутворенні корпусу. Це стає особливо актуальним у сучасному велосипедобудуванні.

Таблиця 4.1 – Опис ідеї стартап-проекту

Зміст ідеї	Напрямки застосування	Вигоди для користувача
Розробка та налагодження випуску рами високопродуктивного велосипеда МТВ	Велоспорт, вело туризм.	Низька маса виробу, висока якість, високі ходові якості, широкий асортимент продукції та конкурентоспроможна цінова політика є ключовими перевагами даного продукту.

Аналіз потенційних техніко-економічних переваг ідеї, порівняно з існуючими аналогами та заміниками конкурентів, передбачає:

*Таблиця 4.2 - Визначення сильних, слабких та нейтральних характеристик
ідеї проекту*

№	Техніко- економічні характеристики ідеї	(потенційні) товари/концепції конкурентів				W (слабка сторона)	N (нейтральна сто- рона)	S (сильна сторона)
		Giant Bicycles	Cannondale	Yeti Cycles	Trek Bikes			
1	Довговічність	+	+	+	—	—	—	+
2	Низька вартість	+	—	+	—	—	—	+
3	Швидкість виготовлення	—	+	+	—	—	+	—
4	Вартість обладнання	—	+	—	—	—	+	—
5	Ходові якості	+	+	+	—	—	—	+
6	Маса	+			+	—	—	+
7	Наявність товару замінника	—	+	+	+	—	—	+
8	Складність налагодження виробництва	+	—	—	—	+	—	—

4.2 Технологічний аудит ідеї проекту

В рамках даного розділу необхідно провести аудит технології, якою можна реалізувати ідею проекту, тобто аудит технологій створення товару. Визначення технологічної здійсненності ідеї проекту включає аналіз таких аспектів (див. табл. 4.3):

- За якою технологією буде виготовлено товар відповідно до ідеї проекту?
- Чи існують наявні технології, чи потрібно розробляти/вдосконалювати нові?
- Чи доступні ці технології для авторів проекту?

Таблиця 4.3 - Технологічна здійсненність ідеї проекту

№ п/п	Ідея проекту	Технології її реалізації	Наявність технологій	Доступність технологій
1	Розробка та налагодження	Екструзія та гідроформінг	Наявні	Доступні
2	випуску рами до велосипеда МТВ	Зварювання алюмінієвих труб	Наявні	Доступні
Обрана технологія реалізації ідеї проекту: зварювання алюмінієвих труб				

За всіма показниками проект можливо запустити.

4.3 Аналіз ринкових можливостей запуску стартап-проекту

Визначення ринкових можливостей, які можна використати під час ринкового впровадження проекту, а також ринкових загроз, які можуть перешкодити реалізації проекту, дозволяє спланувати напрями розвитку проекту із урахуванням стану ринкового середовища, потреб потенційних клієнтів та пропозицій проектів-конкурентів. Спочатку проводиться аналіз попиту, включаючи наявність попиту, обсяг, динаміку розвитку ринку (Таблиця 4.4).

Таблиця 4.4 - Попередня характеристика потенційного ринку стартап-проекту

№ п/п	Показники стану ринку	Характеристика
1	Кількість головних гравців	Відзначається невелика кількість виробників, які займаються виготовленням аналогічної продукції.

2	Загальний обсяг продаж	не менше як 10 000 од. на рік
3	Динаміка ринку	Зростає
4	Наявність обмежень для входу (вказати характер обмежень)	Недовіра до продукції країн-виходців з СРСР
5	Специфічні вимоги до стандартизації та сертифікації	Немає
6	Середня норма рентабельності в галузі (або по ринку), %	85%

Далі визначаються потенційні клієнтські групи, їх характеристики, та створюється орієнтований перелік вимог до товару для кожної з них.

Таблиця 4.5 - Характеристика потенційних клієнтів стартап-проекту

№	Потреба, що формує ринок	Цільова аудиторія	Відмінності у поведінці різних потенційних цільових груп клієнтів	Вимоги споживачів до товару
1	Довговічність виробу	Велосипедисти – аматори	Здатність сприймати циклічні навантаження у різних погодних умовах без втрати ходових якостей	Якість Привабливий зовнішній вигляд Ремонтопридатність Доступність запчастин
2	Маса виробу	Велосипедисти – професіонали та напівпрофесіонали	Максимальна ефективність виробу	Легкість Міцність Низький супротив коченню

Після визначення потенційних груп клієнтів проводиться аналіз ринкового середовища. Створюються таблиці для факторів, які сприяють ринковому впровадженню проекту, та тих, які можуть йому заважати (табл. № 4.6-4.7). Фактори в таблиці впорядковані в порядку спадання їх значущості.

Таблиця 4.6 - Фактори загроз

№ п/п	Фактор	Зміст загрози	Можлива реакція
1	Недовіра новому	Недовіра до нового продукту на ринку	Вибір перевіреного товару конкурента в якості прототипу. Лабораторні тестування з відкритими результатами, Спонсорування відомих спортсменів
2	Не досконалість	Виявлення недосконалості в продукті порівняно з продуктом конкурента	Перегляд конструкції, усунення недоліків, заміна за гарантією
3	Підвищення конкуренції	Поява в асортименті конкурентів аналогічної продукції	Патентування конструкції, створення унікального дизайну, підвищення об'ємів виробництва

Таблиця 4.7 - Фактори можливостей

№ п/п	Фактор	Зміст можливості	Можлива реакція
1	Розширення асортименту	Виготовлення інших типів велосипедних компонентів	Розширення асортименту продукції за рахунок розробки та впровадження у серійне виробництво інших видів велосипедних компонентів
2	Стандартизація	Впровадження нових стандартів компонентів	Лабораторні дослідження та синтез нових конструкцій компонентів з оптимізованими властивостями, які перевершують характеристики

			попередніх поколінь
3	Виконання підрядних робіт	Постачання компонентів для компаній виробників велосипедів	Налагодження зв'язків з виробниками велосипедів, та впровадження у їх конструкцію компонентів компанії

4.4 Аналіз пропозиції: визначаються загальні риси конкуренції на ринку

Таблиця 4.8 - Ступеневий аналіз конкуренції на ринку

<i>Особливості конкурентного середовища</i>	<i>В чому проявляється дана характеристика</i>	<i>Вплив на діяльність підприємства</i>
1. Тип конкуренції	Олігополістична	Зацікавити новітнім оригінальним та якісним продуктом
2. Рівень конкурентної боротьби	Локальна	Вихід на міжнародний ринок
3. За галузевою ознакою	Внутрішньогалузева	Підтверджувати якість продукту
4. Конкуренція за видами товарів:	Товарно-видова	Підтверджувати якість продукту та оригінальність
5. За характером конкурентних переваг	Цінова	Доступність продукту
6. За інтенсивністю	Марочна	Розвиток марки/бренда

Після проведення аналізу конкуренції, виконується більш детальний аналіз умов конкуренції в даній галузі.

Таблиця 4.9 - Аналіз конкуренції в галузі за М. Портером

Складові аналізу	Прямі конкуренти в галузі	Потенційні конкуренти	Постачальники	Клієнти	Товаризамінники
	Trek Bikes Giant Bicycles Cannondale Yeti Cycles	Бар'єри входу на ринок є порівняно незначними	Існує чітка залежність від постачальників для ціни продукту	Споживачі мають широку географію	Товари замітники відсутні
Висновки:	Інтенсивність конкурентної боротьби на міжнародному рівні боротьби підвищена	Даний продукт є перспективним, має можливість виходу на ринок, потенційні конкурентів мало	Велика кількість постачальників сировини	Клієнти обирають з того що мають та не диктують умов	Обмежень через товари замітники відсутні

Отже, аналогічні товари відсутні, але на міжнародному рівні існує конкурентне середовище. Продукт визначається як перспективний та конкурентоздатний, володіє потенцією для виходу на ринок.

Обґрунтування факторів конкурентоспроможності включає наступні аспекти.

Таблиця 4.10 - Обґрунтування факторів конкурентоспроможності

№ п/п	Фактор конкурентоспроможності	Обґрунтування
1	Недовіра новому	Недовіра до нового продукту на ринку

2	Не досконалість	Виявлення недосконалості в продукті порівняно з продуктом конкурента
3	Підвищення конкуренції	Поява в асортименті конкурентів аналогічної продукції
4	Розширення асортименту	Виготовлення інших типів велосипедних компонентів
5	Стандартизація	Впровадження нових стандартів компонентів
6	Виконання підрядних робіт	Постачання компонентів для компаній виробників велосипедів

За визначеними факторами конкурентоспроможності проводиться аналіз сильних та слабких сторін стартап-проекту (табл. 4.11).

Таблиця 4.11 - Порівняльний аналіз сильних та слабких сторін

№ n/n	Фактор конкурентоспроможності	Бали 1-20	Рейтинг товарів-конкурентів у порівнянні з						
			-3	-2	-1	0	+1	+2	+3
1	Недовіра новому	15							+
2	Не досконалість	14	+						
3	Підвищення конкуренції	16		+					
4	Розширення асортименту	19							+
5	Стандартизація	17				+			
6	Виконання підрядних робіт	18							+

Фінальним етапом аналізу ринкових можливостей для впровадження проекту є формування SWOT-аналізу. Ця матриця включає аналіз сильних (Strength) та слабких (Weak) сторін, загроз (Troubles) та можливостей (Opportunities). Оцінка здійснюється на основі виділених ринкових загроз та можливостей, а також сильних і слабких сторін.

Перелік ринкових загроз і можливостей формується на основі аналізу факторів, що впливають на ринок. Ринкові загрози та можливості визначаються як

прогнозовані результати впливу цих факторів. Вони ще не є реалізованими на ринку, але мають певну ймовірність здійснення.

Наприклад, зниження доходів потенційних споживачів є фактором загрози, на основі якого можна зробити прогноз щодо збільшення значущості цінового фактору при виборі товару, що може призвести до цінової конкуренції – це вже ринкова загроза.

Таблиця 4.12 - SWOT- аналіз стартап-проекту

Сильні сторони продукту включають підвищену надійність та якість його функціонування, покращені ходові характеристики і непересічний зовнішній вигляд.	Слабкі сторони включають конкуренцію на міжнародному рівні та обмежений обсяг напрацювань та досвіду порівняно із конкурентами.
Можливості: Зменшення ціни, розширення асортименту	Загрози: недовіра до бренду

На основі SWOT-аналізу розробляються альтернативи ринкової поведінки, які включають перелік заходів для введення стартап-проекту на ринок. Також визначається орієнтований оптимальний час їх ринкової реалізації з урахуванням можливих проектів конкурентів, які також можуть бути введені на ринок.

Визначені альтернативи аналізуються з урахуванням термінів та ймовірності отримання необхідних ресурсів (див. табл. 4.13).

Таблиця 4.13 - Альтернативи ринкового впровадження стартап-проекту

№ п/п	Альтернатива ринкової поведінки	Ймовірність отримання ресурсів	Строки реалізації
1.	Доробка, усунення недоліків	+	Від 3х до 6ти місяців
2.	Публікація результатів лабораторних досліджень та тестів	+	Від 1го до 3х місяців

3.	Спонсорська підтримка спортсменів	+	Від 3х до 12ти місяців
4.	Організація заходів для популяризації велоспорту	+	Від 1го до 3х місяців

4.5 Розроблення ринкової стратегії проекту

Розроблення ринкової стратегії першим кроком передбачає визначення стратегії охоплення ринку: опис цільових груп потенційних споживачів.

Таблиця 4.14 - Вибір цільових груп потенційних споживачів

№ п/п	Опис профілю цільової групи потенційних клієнтів	Готовність споживачів сприйняти продукт	Орієнтовний попит в межах цільової групи	Інтенсивність конкуренції в сегменті	Просто-та входу у сегмент
1	Професійна група	±	+	+	±
2	Напівпроф. група	+	+	+	+
3	Аматорська група	+	±	-	+
Які цільові групи обрано: стратегія диференційованого маркетингу					

Для ефективної роботи в обраних сегментах ринку важливо сформулювати базову стратегію розвитку.

Таблиця 4.15 - Визначення базової стратегії розвитку

№ п/п	Вибрана стратегія розвитку проекту.	Стратегія охоплення ринку	Основні конкурентні переваги в рамках обраної альтернативи.	Базова стратегія розвитку
-------	-------------------------------------	---------------------------	---	---------------------------

		Стратегія диференційованого маркетингу	Розширення лінійки виробів	Стратегія диференціації
--	--	--	----------------------------	-------------------------

Наступним кроком є вибір стратегії конкурентної поведінки

Таблиця 4.16 - Визначення базової стратегії конкурентної поведінки

Чи є проект «першопрохідцем» на ринку?	Чи планує компанія привертати нових клієнтів, чи вибирати існуючих в умовах конкуренції?	Чи планує компанія реплікувати основні характеристики товару конкурента, і які саме?	Стратегія конкурентної поведінки
Ні	Забирати існуючих	Буде, стандартизовані характеристики	Наслідування лідера

На основі вимог споживачів у вибраних сегментах, які стосуються як постачальника (стартап-компанії), так і продукту, а також з урахуванням обраної базової стратегії розвитку та стратегії конкурентної поведінки, формується стратегія позиціонування. Ця стратегія включає в себе створення ринкової позиції, що представляє собою комплекс асоціацій, за допомогою якого споживачі повинні ідентифікувати торгівельну марку чи проект.

Таблиця 4.17 - Визначення стратегії позиціонування

№ п/п	Вимоги до товару цільової аудиторії	Базова стратегія розвитку	Основні конкурентні переваги власного стартап-проекту.	Обрання асоціацій, які становитимуть ключовий комплекс позиціонування власного проекту (три основні).
-------	-------------------------------------	---------------------------	--	---

1	Якість, характеристики, зовнішній вигляд	Стратегія диференціації	Масові характеристики	Новизна виробу, цінова політика, якість роботи продукту , виключні характеристики
---	---	----------------------------	--------------------------	--

4.6 Розроблення маркетингової програми стартап-проекту

Для розпочатку процесу розробки маркетингової програми стартап-проекту необхідно сформулювати маркетингову концепцію продукту, яка відповідає потребам споживача. Це вимагає узагальнення результатів попереднього аналізу конкурентоспроможності товару.

Таблиця 4.18 - Визначення ключових переваг концепції потенційного товару

№ п/п	Потреба	Вигода, яку пропонує товар	Ключові переваги перед конкурентами
1	Покращені характеристики	Знижена маса виробу	Легкість в транспортуванні, міцність
2	Низька вартість	Знижена собівартість виробу	Нижча ціна
3	Можливість вибору	Розширення лінійки	Ширший асортимент товару для всіх груп потенційних покупців

Далі проводиться розробка трьохрівневої маркетингової моделі продукту, що включає уточнення ідеї товару та/або послуги, його фізичних складових і особливостей процесу надання.

Таблиця 4.19 - Опис трьох рівнів моделі товару

Рівні товару	Сутність та складові	
I. Товар за задумом	Продукт являє собою раму велосипедну МТВ виготовлена із матеріалу Al6061 T6	
II. Товар у реальному виконанні	Властивості/характеристики	
	Маса	

	Якість виготовлення	
	Якість: відкриті тестування	
	Пакування : оригінальна упаковка	
	Марка: назва організації-розробника «Explorer» + назва товару «Lightning»	
III. Товар із підкріпленням	До продажу: тестування кожної партії	
	Після продажу: гарантійне обслуговування	
Яким чином може бути забезпечено захист потенційного товару від копіювання: реєстрацією торгової марки, промислового зразка, корисної моделі, винаходу та унікальним зовнішнім виглядом.		

Після формування маркетингової моделі товару особливу увагу слід приділити засобам захисту проекту від копіювання. Захист може бути забезпечений за рахунок охорони ідеї товару (захист інтелектуальної власності), використання ноу-хау або комплексного поєднання властивостей і характеристик, вбудованих на другому та третьому рівнях товару.

Наступним етапом є визначення цінових меж, якими слід керуватися при встановленні ціни на потенційний товар (остаточне визначення ціни відбувається під час фінансово-економічного аналізу проекту). Це передбачає аналіз цін на аналогічні або альтернативні товари, а також оцінку рівня доходів цільової групи споживачів (див. табл. 4.20). Аналіз проводиться експертним методом.

Таблиця 4.20 - Визначення меж встановлення ціни

№ п/п	Рівень цін на товари аналоги	Рівень доходів цільової групи споживачів	Верхня та нижня межі встановлення ціни на товар/послугу
1	Від 1500\$	Від 2000\$	1800-2300\$

Наступним етапом є визначення оптимальної системи збуту, в межах якої приймається рішення (див. табл. 4.21):

- Проведення збуту власними силами або залучення сторонніх посередників (власна або залучена система збуту);

- Вибір та обґрунтування оптимальної глибини каналу збуту;
- Вибір та обґрунтування виду посередників.

Таблиця 4.21 - Формування системи збуту

№ n/n	Специфіка закупівельної поведінки цільових клієнтів	Функції збуту, які має виконувати постачальник товару	Глибина каналу збуту	Оптимальна система збуту
1		Збут власними силами	міжнародний	структурована
2	Збут через дилерів	Зберігання, сортування, встановлення контакту, інформування	міжнародний	структурована

Останнім етапом у складі маркетингової програми є розроблення концепції маркетингових комунікацій, яка ґрунтується на раніше визначеній основі для позиціонування, що визначається специфікою поведінки клієнтів (див. табл. 4.22).

Таблиця 4.22 - Концепція маркетингових комунікацій

№ n/n	Поведінка цільових клієнтів	Канали комунікацій, клієнтів	Ключові позиції, обрані для позиціонування	Завдання рекламного повідомлення	Концепція рекламного звернення
1	Пошук аналогів	Інтернет мережа	Рама велосипеда МТВ	Новизна	Якість, характеристики та ціна

ПІДСУМКИ ТА ВИСНОВКИ

У представлений роботі було виконано покращення міцнісних характеристик рами велосипеда типу МТВ. Було змодельовано раму, потім проведено випробування на міцність та оптимізацію моделі рами велосипеда за допомогою методу скінченно-елементного аналізу.

Аналітичним методом було визначено оптимальний матеріал для виготовлення рами - Al6061 T6. Критеріями за яким був отриманий матеріал: міцність, ціна, маса. Значення напружень, що виникають у вузлі, отримані за допомогою методу скінченно-елементного аналізу, а також значення амплітуд напружень, розраховані на їх основі аналітичним методом для найбільш напружених випадків кожного виду випробувань на міцність, відповідають необхідним припущенням щодо матеріалу. Значення найбільших приведених напружень за гіпотезою Губера - Мізеса є меншими за допустимі напруження. Амплітуда напружень у кожному випадку також менша за граничне значення 96,5 МПа, а кількість циклів кожного навантаження не перевищує числа $5 \cdot 10^8$. Підготовлена модель готова до виробництва. Експлуатація спроектованої конструкції не повинна призводити до будь-яких пошкоджень і, головне, забезпечувати безпеку під час руху.

Аналіз стартапу вказує на його високий потенціал для становлення успішним проектом. Значну роль у цьому стартапі відіграє фактор новизни на ринку, що спричинить інтерес потенційних покупців і зменшить конкуренцію на етапах початкового розвитку. Основною небезпекою є можливе невиправдання очікувань споживачів, які розглядають новий продукт, що може призвести до маргіналізації всіх зусиль, вкладених у створення продукту. Тому проект вимагає ретельної підготовки та тестувань. У випадку успішного виходу на ринок відкриваються значні перспективи для розвитку проекту, такі як співпраця з відомими виробниками велосипедів та аксесуарів. Також, на основі наявних технологій та промислових потужностей можна розглядати можливості для випробування своїх сил у суміжних галузях.

СПИСОК ДЖЕРЕЛ

1. Дж. Черрінгтон, "До конструктивістської історії гірського велосипеда", в. щорічній конференції з вивчення дозвілля, Лідс, 2017
2. "Планета X", www.planetx.co.uk
3. "Bike Xchange", www.bikexchange.com.
4. "Evo", www.evo.com.
5. "Гірський велосипедист", www.mbr.co.uk.
6. "Мисливець на велосипедистів", www.bikehunter.pl.
7. "Enduro1", www.1enduro.pl.
8. "MHW Bike," <https://www.mhw-bike.com/winora-sinus-tria-10-500wh-graphit-2021-156994>
9. "Велосипедний радар", <https://www.bikeradar.com/features/the-ultimate-guide-to-mountain-bike-rear-suspension-systems/>.
10. "Фабрика Магазин". factorystore.si.
11. К. Przybyłowic, Металознавство, WNT, 2009.
12. "Велосипедний спорт", www.bicycling.com.
13. "Boomerang-boardshop", boomerang-boardshop.ua
14. "Дані про властивості матеріалів", www.matweb.com.
15. Вартість вуглецевих волокнистих труб, <http://m.ua.custom-composite.com/custom-carbon-fiber-tubes/carbon-fiber-square-tubes/square-carbon-fiber-tubes.html>
16. Вартість титанового сплаву Ti6Al-4V труба, <https://aluprofi.com.ua/ua/p51659021-truba-alyuminievaya-f90.html>
17. Вартість алюмінієвої труби 6061 T6, <https://ua.czyzindustry.com/titanium-alloys/ti-6al-4v-eli-titanium-pipe.html>

18. "Bike Board", www.katalog.bikeboard.pl.
19. Метод кінцевих елементів, С.В. Єршов.
20. А.Я. Карвацький, Метод скінченних елементів у задачах механіки суцільних середовищ, КПІ ім. Ігоря Сікорського, 2018.
21. О. С. Зенкевич, Метод скінченних елементів, 1972.
22. О. С. Zienkiewicz і R. L. Taylor, The Finite Element Method, Elsevier, 2005.
23. Шродка, Три уроки методу скінченних елементів.
24. Г.О. Раковський і Г. Качпик, Метод скінченних елементів у будівельній механіці.
25. С. Rontescu, D. T. Cicic і С. G. Amza, „Choosing the optimum material for making a bicycle frame,” Metalurgija -Sisak then Zagreb, tom 4, nr 54, pp. 679-682, 2015.
26. "Grabcad", www.grabcad.com.
27. "Ендуро", www.enduro-mtb.com.