

НАЦІОНАЛЬНИЙ ТЕХНІЧНИЙ УНІВЕРСИТЕТ УКРАЇНИ
«КИЇВСЬКИЙ ПОЛІТЕХНІЧНИЙ ІНСТИТУТ
ім. ІГОРЯ СІКОРСЬКОГО»
НАВЧАЛЬНО-НАУКОВИЙ МЕХАНІКО-МАШИНОБУДІВНИЙ ІНСТИТУТ
КАФЕДРА КОНСТРУЮВАННЯ МАШИН

До захисту допущено

Завідувач кафедри

Юрій ДАНИЛЬЧЕНКО

(підпис)

(ініціали, прізвище)

“ ” 2024 р.

Дипломний проект

на здобуття ступеня бакалавра

зі спеціальності 131 Прикладна механіка

на тему: «Еластичний елемент маніпулятора пневматичного орігамі-
дизайн Йошімура»

Виконав студент групи

IV курсу, групи МІ-02

Євстропова Катерина Олександрівна

(прізвище ім'я по батькові)

(підпис)

Керівник проекту

Доцент, к.т.н. Красновид Д.О.

(вчена ступінь та звання, прізвище, ініціали)

(підпис)

КОНСУЛЬТАНТИ:

РЕЦЕНЗЕНТ:

к.т.н., доцент кафедри ТМ, Кореньков В.М.

(посада, наукова ступінь, вчене звання, науковий ступінь, прізвище та ініціали)

(підпис)

Засвідчую, що у цьому дипломному проекті
немає запозичень з праць інших авторів без
відповідних посилань.

Студент

(підпис)

Національний технічний університет України
«Київський політехнічний інститут імені Ігоря Сікорського»
Навчально-науковий механіко-машинобудівний інститут
Кафедра конструювання машин

Рівень вищої освіти – перший (бакалаврський)

Спеціальність – 131 «Прикладна механіка»

ЗАТВЕРДЖУЮ

Завідувач кафедри

_____ Юрій ДАНИЛЬЧЕНКО

«__» _____ 20__ р.

ЗАВДАННЯ
на дипломний проєкт студенту
Євстропова Катерина Олександрівна

1. Тема проєкту «Еластичний елемент маніпулятора пневматичного орігамі-дизайн Йошімура», керівник проєкту Красновид Дмитро Олександрович, доцент, кандидат технічних наук, затверджені наказом по університету від «27» травня 2024 р. №2115-с
2. Термін подання студентом проєкту 12.06.2024р.
3. Вихідні дані до проєкту: діаметр еластичного елемента – 30 мм; висота орігамі дизайну у стані спокою – 56 мм; висота орігамі дизайну при подачі тиску – 12мм; висота еластичного елемента у стані спокою – 69мм; товщина стінок еластичного елемента – 1 мм; Матеріал – термопластичний поліуретан (TPU); матеріал для підтримок – PVA.
4. Зміст пояснювальної записки: аналіз видів та сфер застосування орігамі-дизайнів; розробка конструкції та принципу роботи виконавчого органу; проектування 3D моделей; визначення умов роботи, а саме розрахунок подачі тиску, пневмоциліндра та кута нахилу при подачі тиску; вибір матеріалів для виготовлення; симуляція 3D друку.
5. Перелік графічного матеріалу (із зазначенням обов'язкових креслеників, плакатів, презентацій тощо): 1. Огляд орігамі – дизайнів в інженерії; 2.

Конструкція та принцип роботи; 3. Проектування 3D моделей; 4. Визначення умов роботи; 5. Креслення всіх компонентів; 6. Симуляція 3D друку.

6. Дата видачі завдання: 12.02.2024р.

Календарний план

№ з/п	Назва етапів виконання дипломного проєкту	Термін виконання етапів проєкту	Примітка
1	Пошук видів та сфер застосування орігамі-дизайнів	20.02.2024	
2	Огляд конструкцій м'яких пневматичних маніпуляторів	12.03.2024	
3	Проектування еластичного елемента	10.04.2024	
4	Проектування виконавчого органу	25.04.2024	
5	Розрахунок подачі тиску, пневмоциліндра та кута нахилу при подачі тиску	08.05.2024	
6	Симуляція друку на 3D принтері	20.05.2024	
7	Оформлення пояснювальної записки та графічного матеріалу	04.06.2024	

Студент

Катерина ЄВСТРОПОВА

Керівник

Дмитро КРАСНОВИД

"ЗАТВЕРДЖУЮ"

Юрій ДАНИЛЬЧЕНКО
 "___" _____ "20__ р.

ТЕХНІЧНЕ ЗАВДАННЯ ДО ПРОЕКТУ	
Тема проекту	Еластичний елемент маніпулятора пневматичного орігамі-дизайн Йошимура
Зміст проекту	Розробка еластичного елемента й виконавчого органу з орігамі-дизайном Йошимура, для застосування у м'якому пневматичному маніпуляторі. Забезпечити рух виконавчого органу за допомогою подачі тиску у еластичні елементи.
Технічні умови до проекту	Матеріал – термопластичний поліуретан (TPU); матеріал для підтримок – PVA; діаметр еластичного елемента – 30 мм; висота орігамі дизайну у стані спокою – 56 мм; висота орігамі дизайну при подачі тиску – 12мм; висота еластичного елемента у стані спокою – 69мм; товщина стінок еластичного елемента – 1 мм;
Особливі вимоги	Розрахувати подачу тиску в еластичні елементи, провести розрахунок пневмоциліндра та кута нахилу при подачі тиску.
ЛИСТ	ЗМІСТ ІЛЮСТРАТИВНОГО МАТЕРІАЛУ
СП	Огляд орігамі – дизайнів в інженерії
ОП	Конструкція та принцип роботи
ТС	Проектування 3D моделей
КС	Визначення умов роботи
СС	Креслення всіх компонентів
ДС	Симуляція 3D друку;
Студент _____ Керівник _____	дата "___" _____ "20__ р дата "___" _____ "20__ р
Прийняті позначення: СП – стан питання ОП – об'єкт проектування ТС – технологічна складова	КС – конструкторська складова СС – спеціальна складова ДС – дослідницька складова

АНОТАЦІЯ

У даному дипломному проєкті досліджується розробка еластичного елемента на основі орігамі-дизайну Йошімура, для застосування у м'якому пневматичному маніпуляторі. Основною метою проєкту було створення виконавчого органу, здатного здійснювати гнучкі рухи для проникнення у важкодоступні місця, а також забезпечення візуального контролю за допомогою вбудованої камери. В ході дослідження було проведено детальний огляд літератури, що охоплює різні види м'яких пневматичних маніпуляторів і орігамі-дизайнів. Особлива увага приділялася орігамі-дизайну Йошімура.

Було спроектовано еластичний орігамі-дизайн та виконавчий орган який складається з дев'яти еластичних елементів, закріплених між дисками. Ці еластичні елементи змінюють свою форму під впливом поданого тиску, що забезпечує рух виконавчого органу. Крім того, була розроблена конструкція для фіксації відеокамери, що дозволяє здійснювати візуальний контроль у реальному часі. Також було проведено розрахунок пневмоциліндра, подачу необхідного тиску, та кут нахилу при подачі тиску. Раціонально використано технологію 3D друку для виробництва виконавчого органу.

Запропонована конструкція еластичного елемента та виконавчого органу значно підвищує можливості робототехнічних систем, завдяки своїй гнучкості та здатності до проникнення у важкодоступні місця.

Ключові слова: еластичний елемент, орігамі-дизайн, орігамі-дизайн Йошімура, м'який пневматичний маніпулятор, 3D друк.

ABSTRACT

This thesis project investigates the development of an elastic element based on Yoshimura's origami design for use in a soft pneumatic manipulator. The main goal of the project was to create an actuator capable of flexible movements to penetrate hard-to-reach places, as well as to provide visual control using a built-in camera. The research involved a detailed literature review covering various types of soft pneumatic manipulators and origami designs. Particular attention was paid to Yoshimura's origami design.

An elastic origami design and an actuator consisting of nine elastic elements fixed between disks were designed. These elastic elements change their shape under the influence of applied pressure, which ensures the movement of the actuator. In addition, a design was developed for fixing a video camera, which allows for real-time visual control. We also calculated the pneumatic cylinder, the required pressure, and the angle of inclination when applying pressure. The 3D printing technology was rationally used for the production of the actuator.

The proposed design of the elastic element and the actuator significantly increases the capabilities of robotic systems due to its flexibility and ability to penetrate hard-to-reach places.

Keywords: elastic element, origami design, Yoshimura origami design, soft pneumatic manipulator, 3D printing.

ЗМІСТ

ВСТУП.....	8
1 ОРІГАМІ-ДИЗАЙН В ІНЖЕНЕРІЇ	9
1.1 Види та сфери застосування орігамі-дизайнів.....	10
1.1.1 Орігамі-дизайн «Водяна бомба»	11
1.1.2 Орігамі-дизайн «Креслінг»	12
1.1.3 Орігамі-дизайн «Міура».....	13
1.1.4 Орігамі-дизайн «Йошимура».....	14
1.2 Сфера застосування та доцільність	16
1.3 Конструкція та принцип роботи.....	18
2 ПРОЕКТУВАННЯ 3D МОДЕЛЕЙ	21
2.1 Проектування еластичного елемента.....	21
2.2 Проектування з'єднувальних дисків.....	33
2.3 Проектування виконавчого органу.	38
2.4 Вибір камери.....	39
3 ВИЗНАЧЕННЯ УМОВ РОБОТИ.....	42
3.1 Розрахунок тиску	42
3.2 Розрахунок пневмоциліндра	44
3.3 Розрахунок кута нахилу при подачі тиску	46
4 ЕЛАСТИЧНІ МАТЕРІАЛИ	50
5 ВИГОТОВЛЕННЯ ЕЛАСТИЧНОГО ЕЛЕМЕНТА	53
5.1 Режими 3D друку	53
5.2 Симуляція 3D друку.....	54
ВИСНОВКИ	60
СПИСОК ВИКОРИСТАНИХ ДЖЕРЕЛ	61
ДОДАТКИ.....	63

ВСТУП

Орігамі - традиційне японське мистецтво складання паперу, знайшло своє застосування у багатьох сучасних інженерних розробках завдяки своїй унікальній здатності трансформувати двовимірні матеріали у тривимірні структури. Одним із найцікавіших напрямків є використання орігамі-дизайну для створення еластичних елементів пневматичних маніпуляторів. Цей підхід дозволяє проектувати гнучкі, адаптивні та функціональні конструкції, які можуть знайти своє застосування в різних сферах життя.

Орігамі-дизайн використовується в багатьох галузях, включаючи медицину, космічну інженерію, архітектуру, робототехніку та навіть у моді. У медицині, наприклад, орігамі-дизайн застосовується для створення складаних медичних інструментів і імплантатів, які можуть змінювати свою форму для мінімально інвазивних процедур. В космічній інженерії орігамі допомагає створювати компактні структури, які можуть розгортатися у просторі, такі як сонячні панелі або антени супутників. В архітектурі орігамі-дизайн надихає на створення інноваційних будівельних конструкцій та фасадів, які можуть змінювати свою форму відповідно до зовнішніх умов.

Проте, основний акцент цієї роботи робиться на інженерні застосування орігамі-дизайну, зокрема у створенні еластичних елементів для пневматичних м'яких маніпуляторів. Маніпулятори, що базуються на орігамі-дизайні, мають потенціал для значного покращення ефективності та функціональності робото технічних систем. Вони можуть адаптувати свою форму та жорсткість у відповідь на зміну навантаження, забезпечуючи більш точне і безпечну взаємодію з об'єктами різної форми.

1 ОРІГАМІ-ДИЗАЙН В ІНЖЕНЕРІЇ

Орігамі-дизайн, знаходить нові напрями використання в різних галузях науки і техніки завдяки своїй здатності створювати складні тривимірні структури з плоских матеріалів.

Класичним видом орігамі називають складання паперу без використання ножиць і клею для створення декоративних об'єктів. Використовується зазвичай для художніх та декоративних цілей, освітніх проєктів і розвитку дрібної моторики.

Стосовно технічного використання орігамі використовують інженерний підхід до складання матеріалів для створення функціональних об'єктів. Технічне використання орігамі знаходить застосування в різних галузях, таких як аерокосмічна промисловість, медична техніка, архітектура та інші, де потрібні інноваційні підходи до проєктування та виробництва функціональних об'єктів.

За останні кілька років м'які приводи з вакуумним живленням продемонстрували значний потенціал завдяки своїм багатообіцяючим механічним характеристикам (стійкість, швидка реакція, компактність, міцність тощо). Вони широко використовуються в м'яких роботах, наприклад, в маніпуляторах, роботах-локомотивах і т.д. Властивості матеріалів, з яких вони виготовлені, мають сильніший вплив на кінематичну траєкторію. [1]

М'які приводи все частіше викликають дослідницький інтерес завдяки їх широкому застосуванню. Їхньою невід'ємною перевагою є безпечна взаємодія із зовнішнім середовищем. М'які пневматичні приводи особливо вирізняються тим, що вони використовують гнучкі матеріали, мають невелику вагу і забезпечують спрацьовування при низькому тиску. [2]

Детальніше я розглянула саме еластичний вид орігамі який буду використовувати у своєму дипломному проєкті. Цей вид орігамі створюється за допомогою складання гнучких матеріалів, що можуть змінювати форму під дією зовнішніх сил. Який використовується у створенні адаптивних структур,

робототехніці, м'яких пневматичних маніпуляторах, гнучких сенсорів, гнучких екранів та інших інноваційних технологій.

1.1 Види та сфери застосування орігамі-дизайнів

Існує багато різновидів орігамі-дизайнів, кожен з яких має свої унікальні властивості та застосовується для вирішення різних інженерних завдань. Кожен тип орігамі має свої особливості, що робить його придатним для певних технічних і промислових застосувань. Завдяки цим властивостям, орігамі-дизайни знаходять застосування в різних галузях, від космічної інженерії до медичних пристроїв, забезпечуючи інноваційні рішення та ефективність у використанні матеріалів. [3]

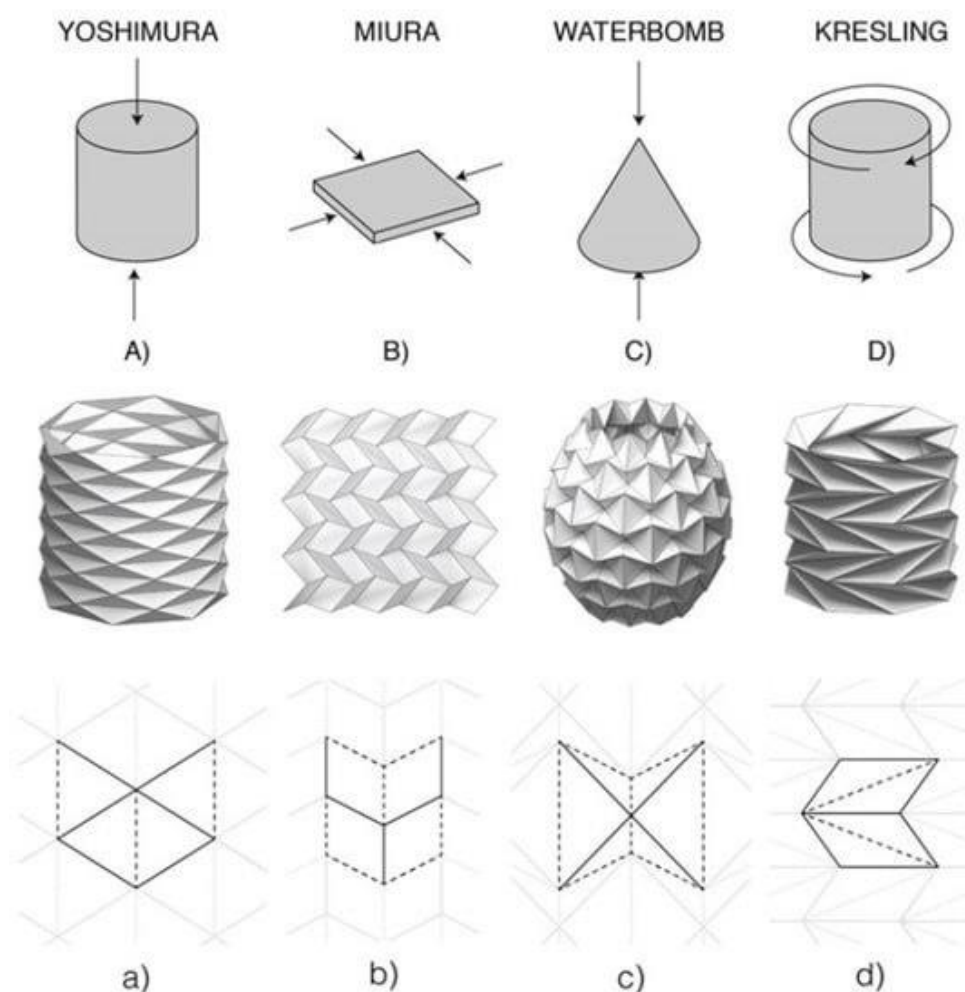


Рисунок 1.1 – Види орігамі [4]

1.1.1 Орігамі-дизайн «Водяна бомба»

Бажана функціональність досягається завдяки продуманому дизайну деталі, і в цьому випадку для досягнення конкретних цілей була розроблена спеціально створена модель кулі. Вибір матеріалу та процес виготовлення є вирішальними факторами, що впливають на властивості кінцевої структури орігамі. Залежно від обраного матеріалу та способу виготовлення визначаються характеристики структури орігамі. Таким чином, щоб реалізувати бажану функціональність кінцевої структури орігамі, важливо вибрати відповідні методи виготовлення і забезпечити належний дизайн схем орігамі. У випадку з цим роботом був використаний папір, покритий каптонною плівкою, а візерунок був створений за допомогою лазерного верстата. Крім того, третім аспектом є розробка механізму приведення в дію. Беручи до уваги обмеженість простору та необхідність обертального руху в конструкції колеса, для цього була використана спіральна пружина зі сплаву з пам'яттю форми з контактним кільцем.

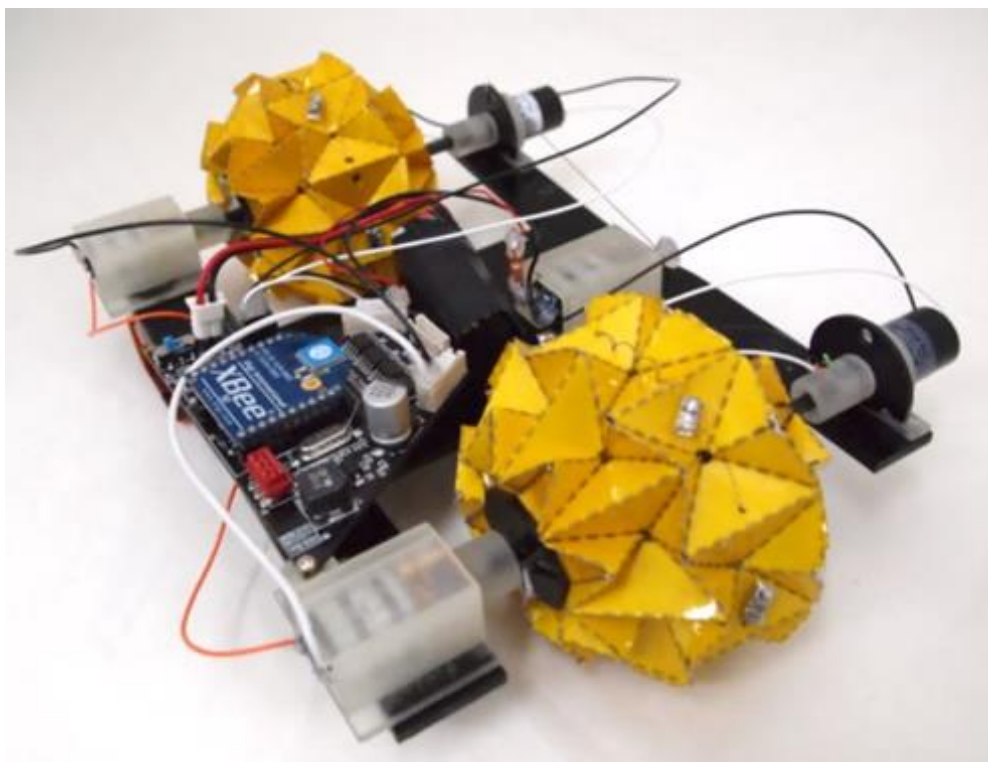


Рисунок 1.2 – Робот з деформованими колесами на основі структури орігамі [5].

Даний робот демонструє адаптивність до навколишнього середовища, оскільки діаметр колеса становить 70 мм у звичайному стані, але, деформуючи колесо, робот може проходити через 55-міліметрову щілину. В результаті дослідження показує можливість того, що структура орігамі може бути механічною системою. [5]

1.1.2 Орігамі-дизайн «Креслінг»

Одним із найпоширеніших видів складання є дизайн Креслінга, який може створювати як лінійні, так і крутильні рухи. Цей дизайн використовує конічні елементи, що забезпечують високу жорсткість у стиснутому стані та значну гнучкість у розгорнутому. Прикладом такої конструкції є м'який роботизований орігамі-гусеничник.

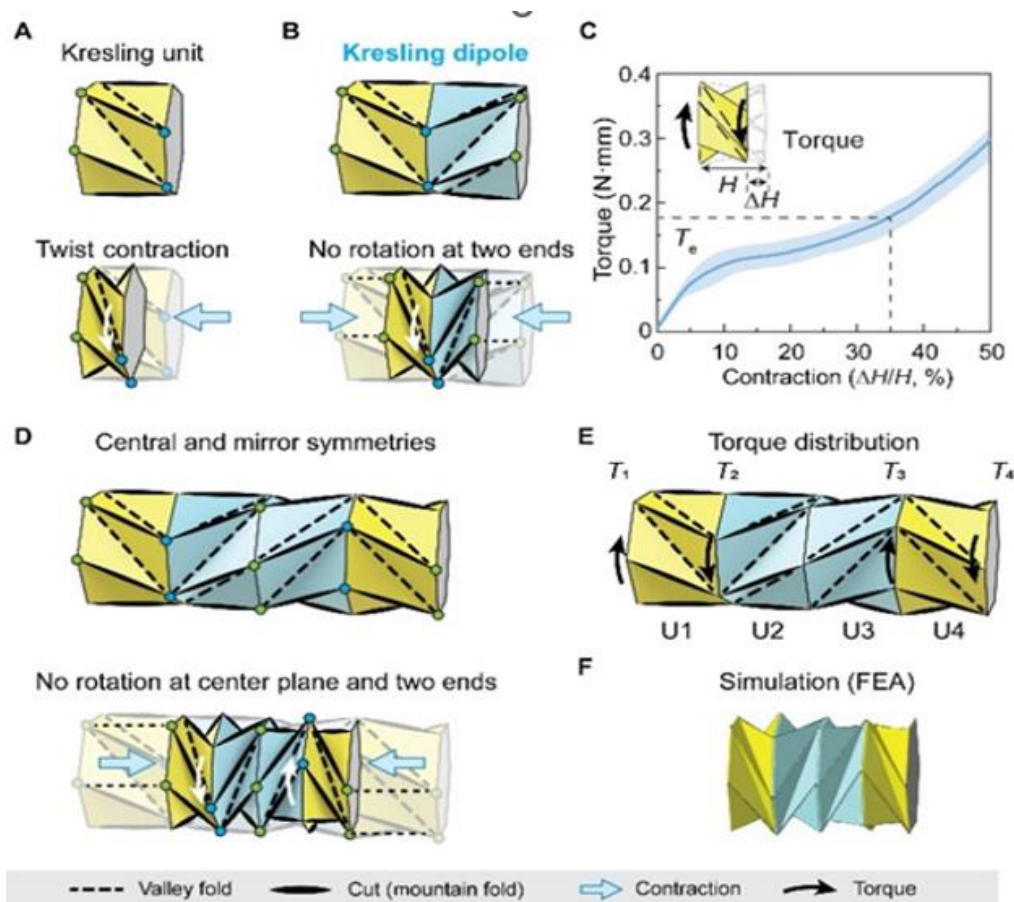


Рисунок 1.3 – Креслінг дизайн [6]

У цьому випадку демонструється малогабаритний гусеничний робот з магнітним приводом для ефективного повзання в площині в обмеженому просторі. Щоб уникнути відносного обертання між двома кінцями збірки і компенсувати внутрішнє обертання для ефективного руху в площині, була використана схема Креслінга. Вона складається з двох вузлів Креслінга (рисунок 1.3 А) зі зворотним напрямком згинання. Сам повзунок складається з двох диполів Креслінга таким чином, що конструкція має два кільця симетрії: центральне і дзеркальне (рисунок 1.3 D). В результаті повзунок не обертається ні в центрі, ні на двох кінцях під час скорочення. [6]

1.1.3 Орігамі-дизайн «Міура»

Орігамі дизайн Міура, названий на честь японського астрофізика Кіорі Міура, є інженерно досконалим методом складання, але на відміну від інших дизайнів застосовується рідше. Дизайн Міура складається з повторюваних модулів у вигляді паралелограмів, що забезпечує можливість згортання та розгортання у двох вимірах. Це дозволяє створювати плоскі поверхні, які можуть компактно складатися в невеликий об'єм і розгортатися знову без значних зусиль. Основною характеристикою дизайну Міура є його здатність до одночасного складання та розгортання в усіх напрямках. Цей метод складання забезпечує високий рівень жорсткості в складеному стані, що дозволяє зберігати конструкцію в компактному вигляді. При цьому розгортання здійснюється рівномірно і синхронно, що зменшує ймовірність пошкодження матеріалу і забезпечує стабільність форми.

Орігамі дизайн Міура застосовується у різних галузях, включаючи космічну інженерію, архітектуру, біомедицину та робототехніку. Одним із найбільш відомих застосувань є створення сонячних панелей для космічних апаратів. Завдяки своїй здатності компактно складатися, панелі можуть бути розгорнуті в космосі для забезпечення великої поверхні, необхідної для збору сонячної енергії.

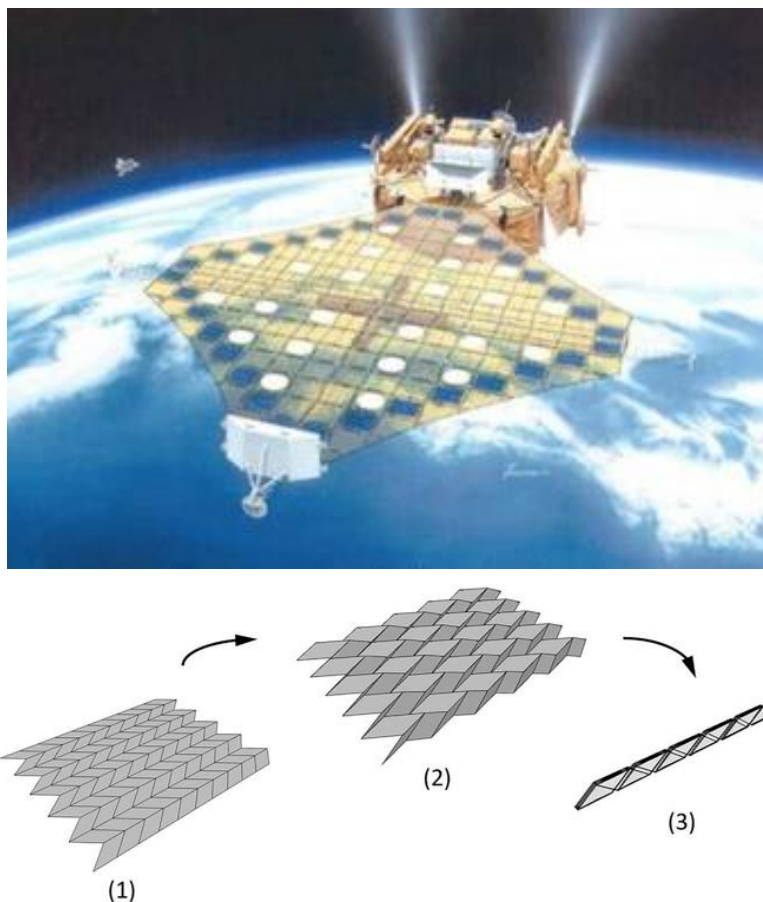


Рисунок 1.4 – Космічна панель [3]

1.1.4 Орігамі-дизайн «Йошімура»

Іншим відомим видом орігамі є Йошімура, який може створювати лінійний рух. Він широко використовується в м'яких пневматичних приводах і саме цей вид орігамі є ключовим у моїй роботі.

Орігамі-дизайн Йошімура названий на честь японського науковця Йошімури Зенона, який у 1951 році виявив характерні складки на поверхнях тонких циліндричних оболонок під навантаженням. Ці складки мають специфічний візерунок, що нагадує орігамі і забезпечують високу стабільність та міцність конструкції при деформації. Дизайн Йошімура застосовується для створення міцних і легких структур, що можуть витримувати значні навантаження.

- Переваги:

Міцність і стабільність: структури, створені за принципом Йошімури, демонструють високу стійкість до деформації завдяки складкам, які розподіляють навантаження рівномірно по всій поверхні.

Легкість: використання орігамі-дизайну дозволяє зменшити вагу конструкцій, що є критичним для аерокосмічної індустрії та інших галузей, де важлива економія ваги.

Гнучкість і адаптивність: дизайн Йошімура може адаптуватися до різних форм і розмірів, що робить його універсальним для різних застосувань.

- Недоліки:

Складність виробництва: виготовлення складних орігамі-структур вимагає високоточного обладнання та спеціальних технологій, що може підвищувати вартість виробництва.

Обмеження матеріалів: не всі матеріали підходять для створення орігамі-структур через їхню жорсткість або ламкість. Тому вибір матеріалу є критичним аспектом у проектуванні.

Чутливість до дефектів: невеликі дефекти або нерівності можуть суттєво впливати на механічні властивості орігамі-структур, що потребує високої точності в процесі виробництва.

- Виробництво у інженерній сфері:

Для виробництва орігамі-структур Йошімура використовуються сучасні технології, такі як лазерне різання, 3D друк, та хімічне травлення. Вибір методу залежить від матеріалу та необхідної точності. Основні етапи виробництва полягають у створенні 3D моделі структури з урахуванням усіх необхідних параметрів і властивостей матеріалу. Використання лазерного різання або інших методів для точного виготовлення елементів конструкції, після чого відбувається їх складання у відповідний візерунок.

Орігамі-дизайн Йошімура демонструє величезний потенціал у різних галузях завдяки своїм унікальним властивостям і можливостям адаптації до різних умов та вимог. [7]



Рисунок 1.5 – Маніпулятор з еластичним елементом [7]

1.2 Сфера застосування та доцільність

Розробка виконавчого органу з еластичного матеріалу орігамі дизайну є інноваційним підходом, що відкриває нові можливості у багатьох сферах. Завдяки своїм унікальним властивостям, такий виконавчий орган має значні переваги у порівнянні з традиційними жорсткими конструкціями. Еластичний орігамі дизайн дозволяє створювати виконавчі органи, здатні проникати у важкодоступні місця. Це особливо важливо у багатьох сферах життя, наприклад, технічне обслуговування машин та механізмів, а також у рятувальних операціях. Завдяки гнучкості та можливості змінювати форму, такий виконавчий орган може обійти перешкоди та виконувати завдання у складних умовах.

Виконавчий орган з еластичного матеріалу може змінювати свою форму та положення завдяки подачі тиску. Це дає можливість контролювати його рухи та положення, така гнучкість у керуванні забезпечує високу ефективність у виконанні різноманітних завдань.

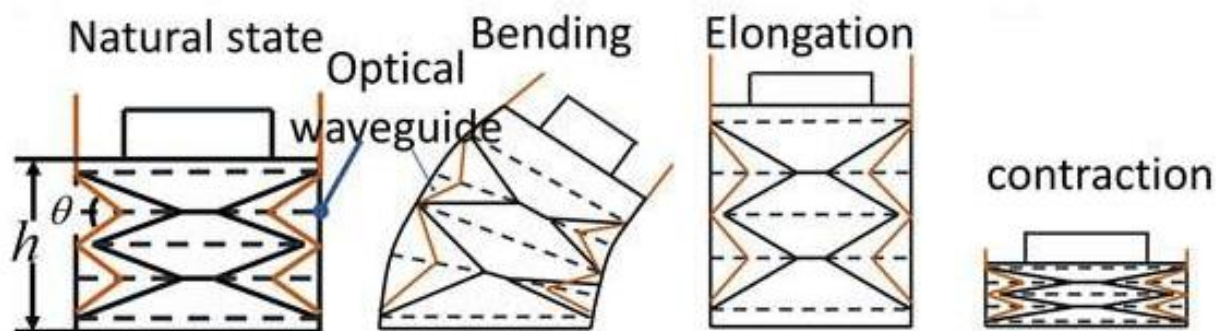


Рисунок 1.6 – Схема положень при деформації [8]

До виконавчого органу можна приєднати відеокамеру, що дозволяє виводити зображення на будь-який пристрій. Це значно підвищує можливості контролю та моніторингу в реальному часі, використання відеокамери забезпечує оператору візуальний контроль над процесом.

У рятувальних операціях виконавчий орган використовується для пошуку та рятування людей у завалах або в інших важкодоступних місцях. Гнучкість та здатність проникати в тісні простори роблять їх незамінними в таких ситуаціях. Відеокамера допомагає рятувальникам бачити ситуацію в реальному часі, що підвищує ефективність рятувальних дій.

Такий виконавчий орган має потенціал значно підвищити ефективність та точність виконання завдань, забезпечуючи при цьому високу безпеку та мінімальні витрати.

1.3 Конструкція та принцип роботи

Виконавчий орган складається з декількох основних частин: двох звичайних дисків, верхнього диска, нижнього диска і дев'яти циліндричних орігамі-дизайнів. Ці циліндричні орігамі-дизайни, за допомогою спеціальних кришок, надійно фіксуються у дисках, які мають відповідні пази. Кожен з цих орігамі-дизайнів виконує роль еластичного елемента, дозволяючи конструкції згинатися і розтягуватися, завдяки своїй здатності змінювати форму під впливом поданого тиску.

Дев'ять циліндричних орігамі-дизайнів утворюють структуру, яка забезпечує гнучкість і адаптивність виконавчого органу. Кожен з еластичних елементів має отвори для подачі тиску, що дозволяє контролювати зміну їхньої форми. Завдяки цьому виконавчий орган може здійснювати необхідні рухи, пристосовуючись до різних умов і завдань.

Диски, включаючи верхній і нижній, мають отвори для прокладання відеокамери. На нижньому диску розташований додатковий циліндр, спеціально призначений для фіксації відеокамери. Це забезпечує стабільність камери під час роботи виконавчого органу, що є критично важливим для точного візуального контролю.

Камера, встановлена через диски, дозволяє здійснювати візуальний моніторинг в реальному часі. Це значно підвищує точність і ефективність роботи виконавчого органу, оскільки оператор або автоматична система можуть отримувати візуальну інформацію про об'єкт або простір, де виконується робота. Таким чином, конструкція забезпечує не тільки механічну функціональність, але й інтегрує можливості для точного контролю і моніторингу, що робить її дуже корисною для застосувань у важкодоступних або критичних для точності середовищах.

На рисунку 1.7 зображено схему підключення виконавчого органу до пневмоциліндра. Пневмоциліндр є основним елементом, що забезпечує подачу стисненого повітря до маніпулятора. Він має вхід для подачі тиску, яке приводить в рух поршень, розташований всередині циліндра. До кожного

еластичного елемента під'єднано трубки через які подається тиск з пневмоциліндру.

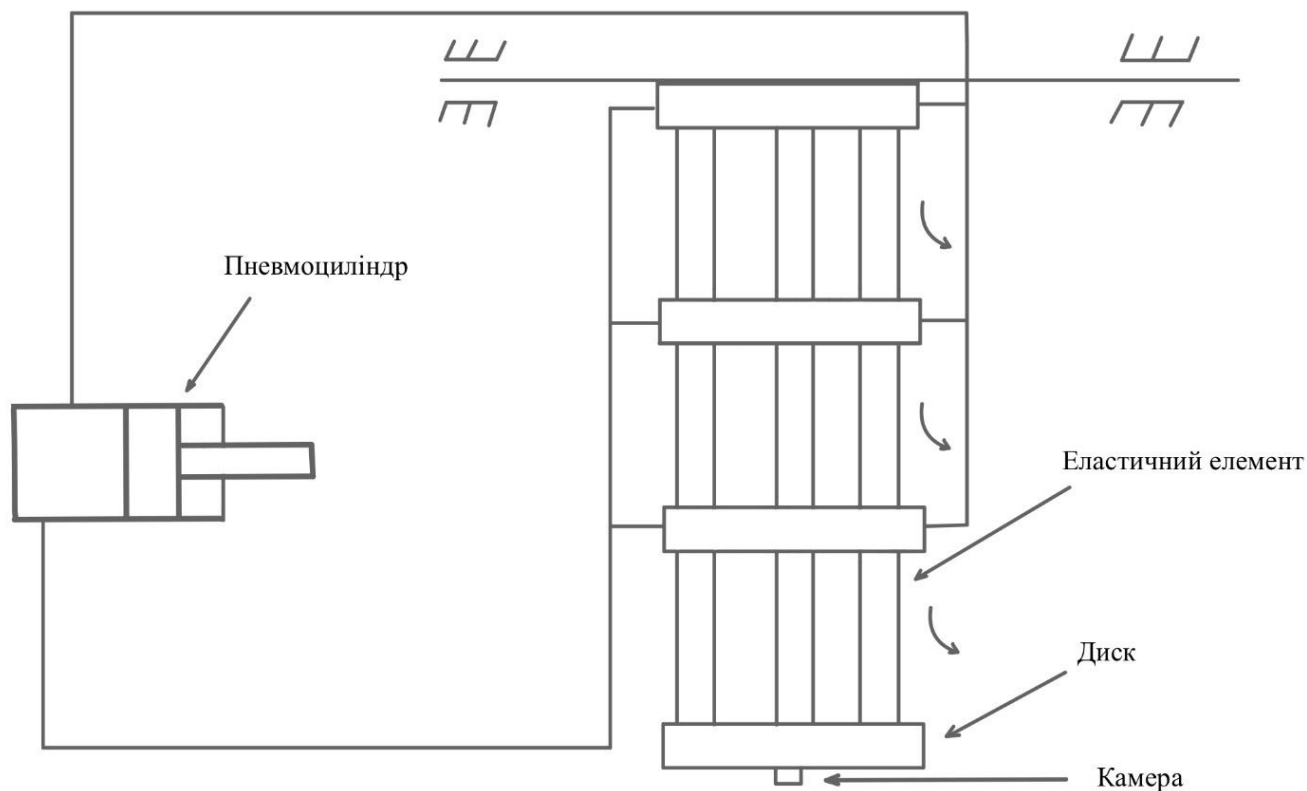


Рисунок 1.7 – Схема виконавчого органу під'єднаного до пневмоциліндра у
коли не подається тиск

На рисунку 1.8 зображено один з випадків руху виконавчого органу, коли у три еластичні елементи з одного боку подається максимальний тиск, а в інші тиск не подається. Виходячи з цього можемо бачити рух виконавчого органу в той бік де в еластичні елементи подавався максимальний тиск.

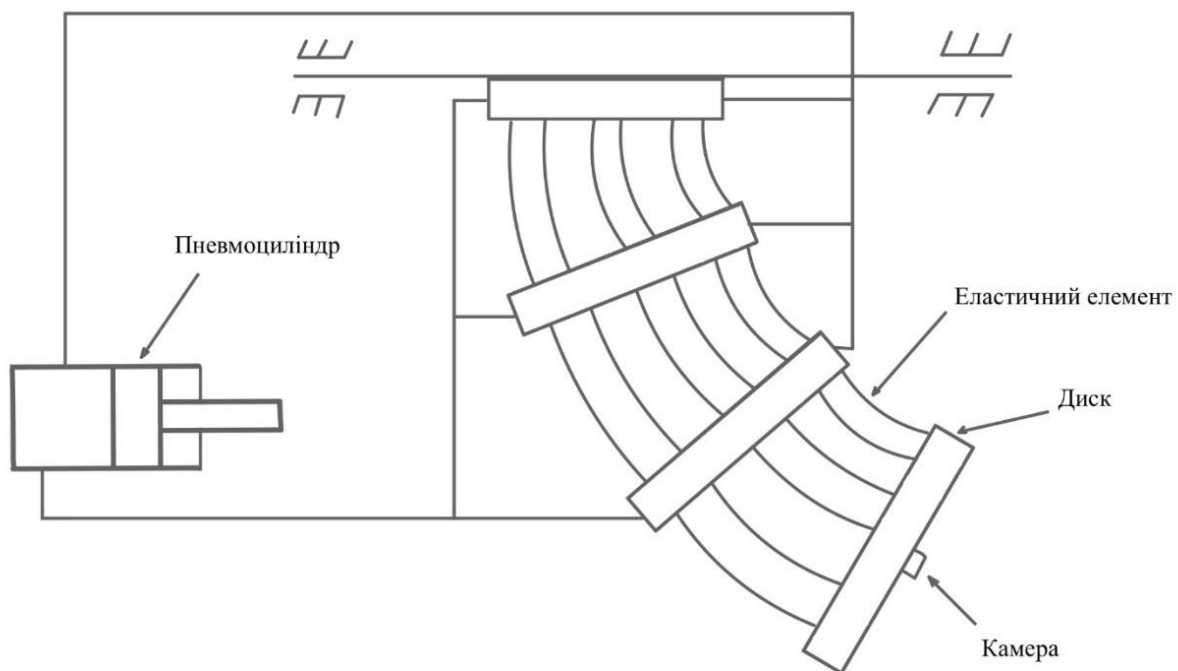


Рисунок 1.8 – Схема виконавчого органу під'єднаного до пневмоциліндра коли тиск подається у три крайні праві еластичні елементи

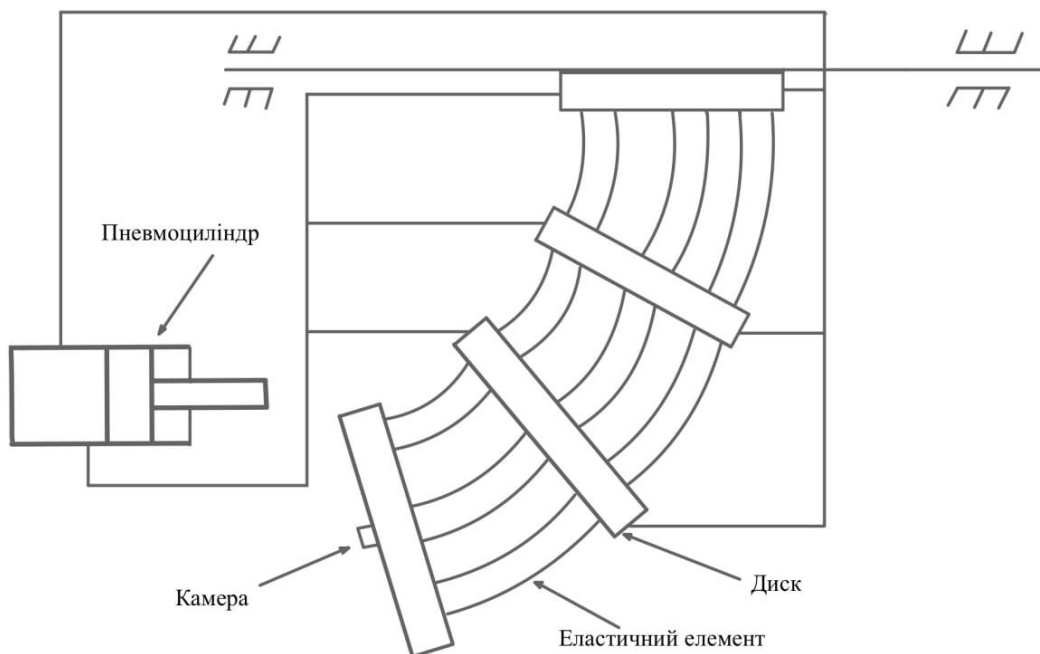


Рисунок 1.9 – Схема виконавчого органу під'єднаного до пневмоциліндра коли тиск подається у три крайні ліві еластичні елементи

2 ПРОЕКТУВАННЯ 3D МОДЕЛЕЙ

2.1 Проектування еластичного елемента

Створюємо вісь за допомогою «Insert» – «Features» – «Reference Geometry» – «Axis», обираємо Top Plane and Origin.

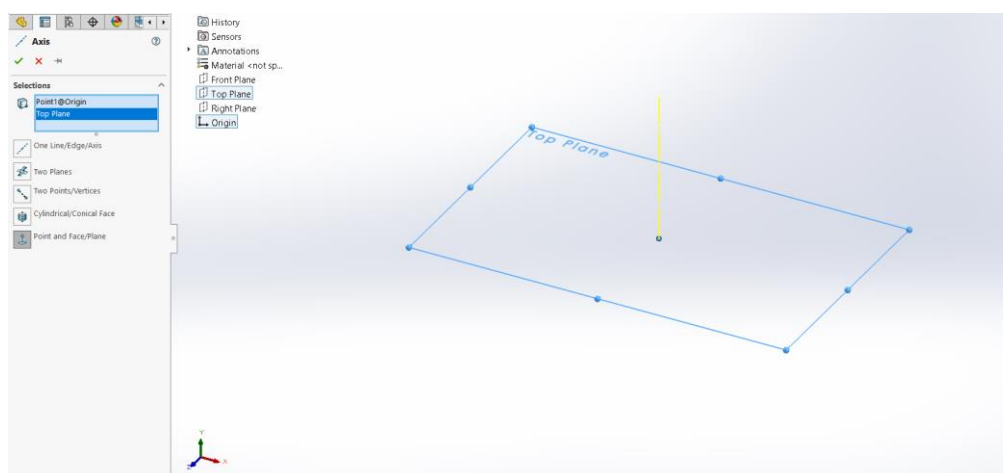


Рисунок 2.1 – Створення осі

Створюємо 3D ескіз за допомогою «Insert» - «3D Sketch», та будуємо коло діаметром 30 мм. Створюємо ще одне коло того ж діаметру, паралельне попередньому. Центри обох кіл лежать на осі Y. Встановлюємо міжцентрову відстань 7мм. Та обираємо кола як допоміжну геометрію. Додаємо лінії (радіус) вздовж осей X або Z, щоб повністю обмежити обидва кола.

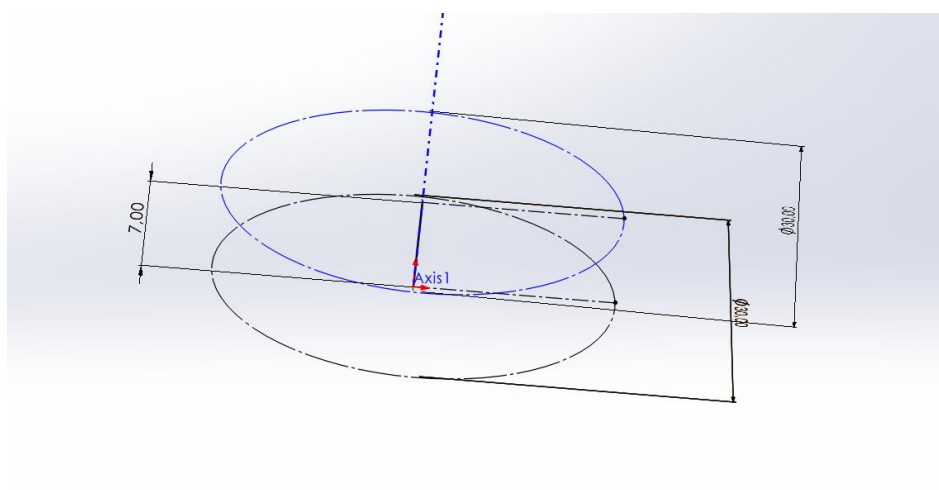


Рисунок 2.2 – Побудова кіл

Створюємо вписані багатокутники з двох кіл відповідно (беремо шестикутник). Встановлюємо довжину сторін багатокутників по черзі «коротка-довга-коротка-довга», причому всі короткі/довгі сторони мають однакову довжину. Встановлюємо одну з коротких сторін шестикутника паралельно довільній довгій стороні іншого.

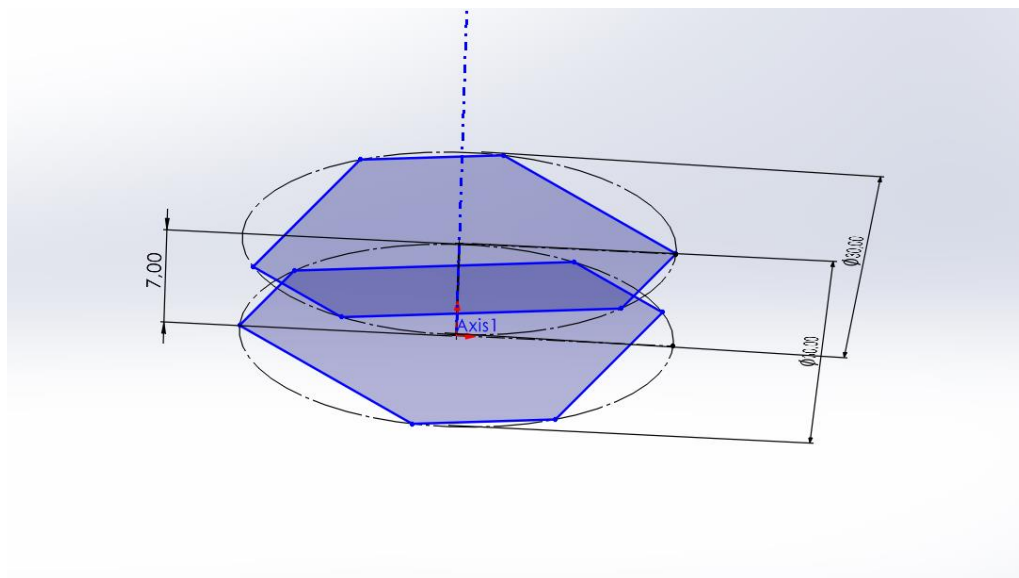


Рисунок 2.3 – Побудова шестикутників

Створюємо допоміжну геометрію а саме лінію яка з'єднає середину меншої сторони верхнього шестикутника с серединою довшої сторони нижнього шестикутника. Встановлюємо кут 60° між цією лінією та радіусом.

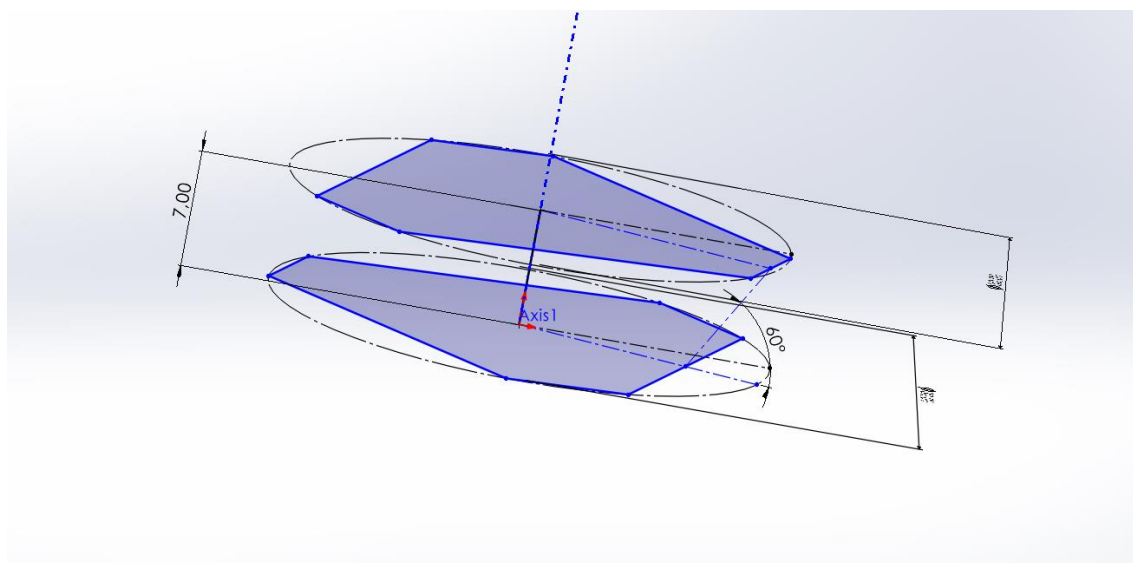


Рисунок 2.4 – Побудова кута

Обираємо функцію Lofted Boss/Base за допомогою «Insert» – «Boss/Base» – «Loft». Натискаємо правою кнопкою миші на полі вибору профілів і вибираємо SelectionManager. Натискаємо першу кнопку з описом Select Colored Loop. Вибираємо полігон, створений раніше. Повторюємо крок, щоб виділити обидва полігони.

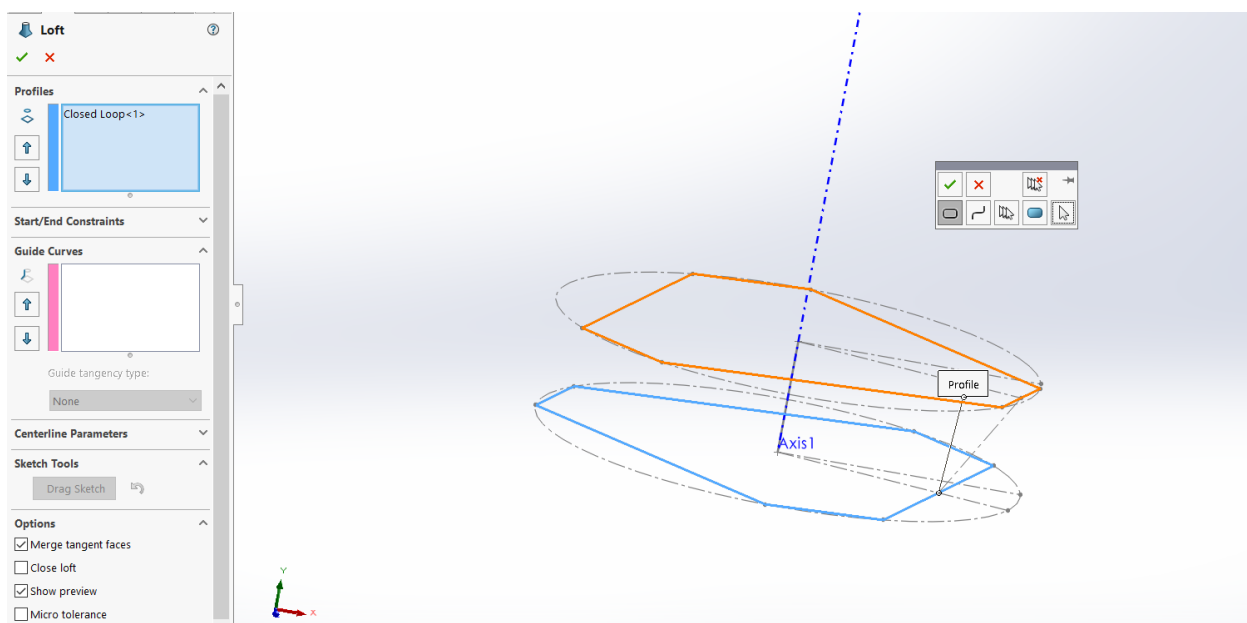


Рисунок 2.5 – Обираємо необхідні профілі

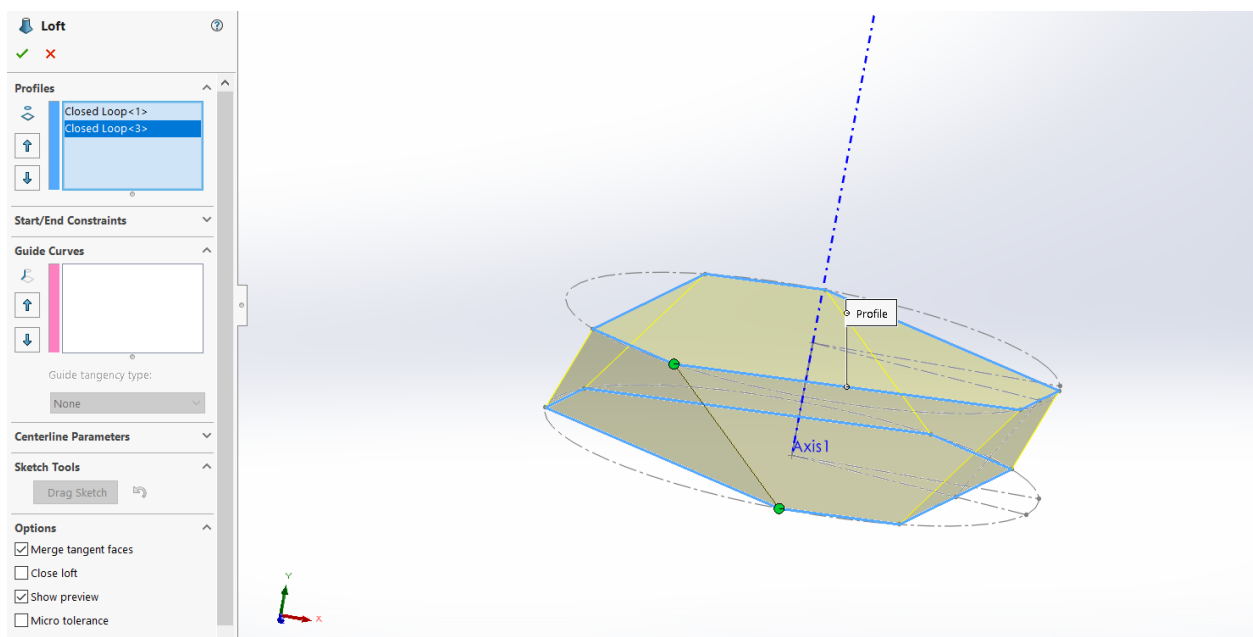


Рисунок 2.6 – Створення площин

Встановлюємо верхню грань як дзеркальну, а Loft, створений на попередньому кроці, як елемент для дзеркального відображення. «Insert» – «Pattern/Mirror» – «Mirror».

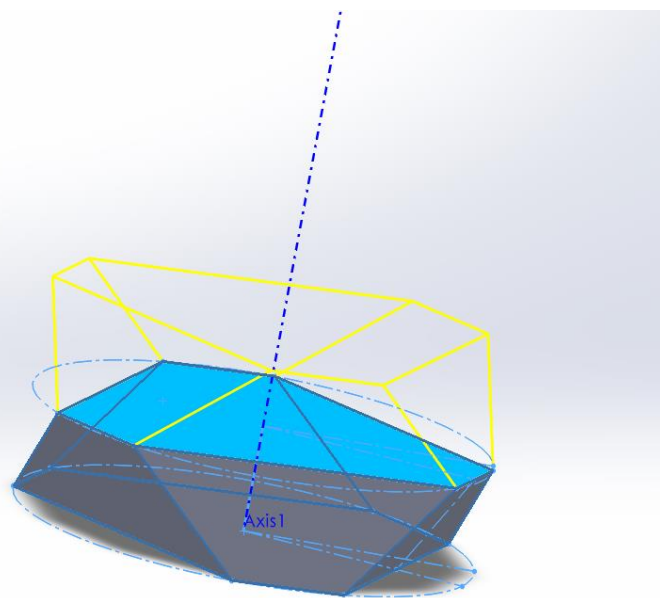
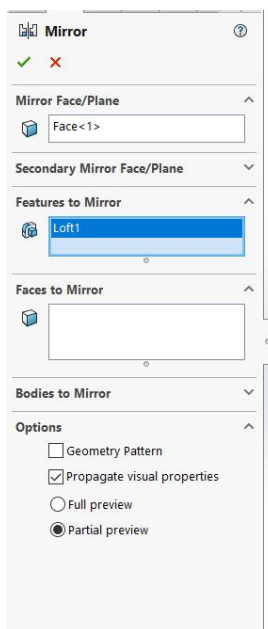


Рисунок 2.7 – Віддзеркалення

Обираємо верхню і нижню грані, для того щоб створити товщину стінки. «Insert» - «Features» - «Shell». Встановлюємо товщину 1мм.

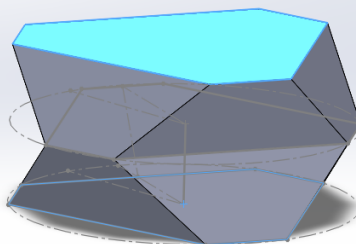
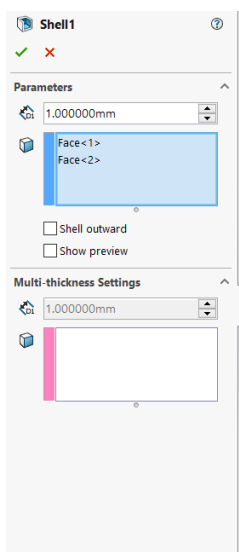


Рисунок 2.8 – Створення товщини стінок

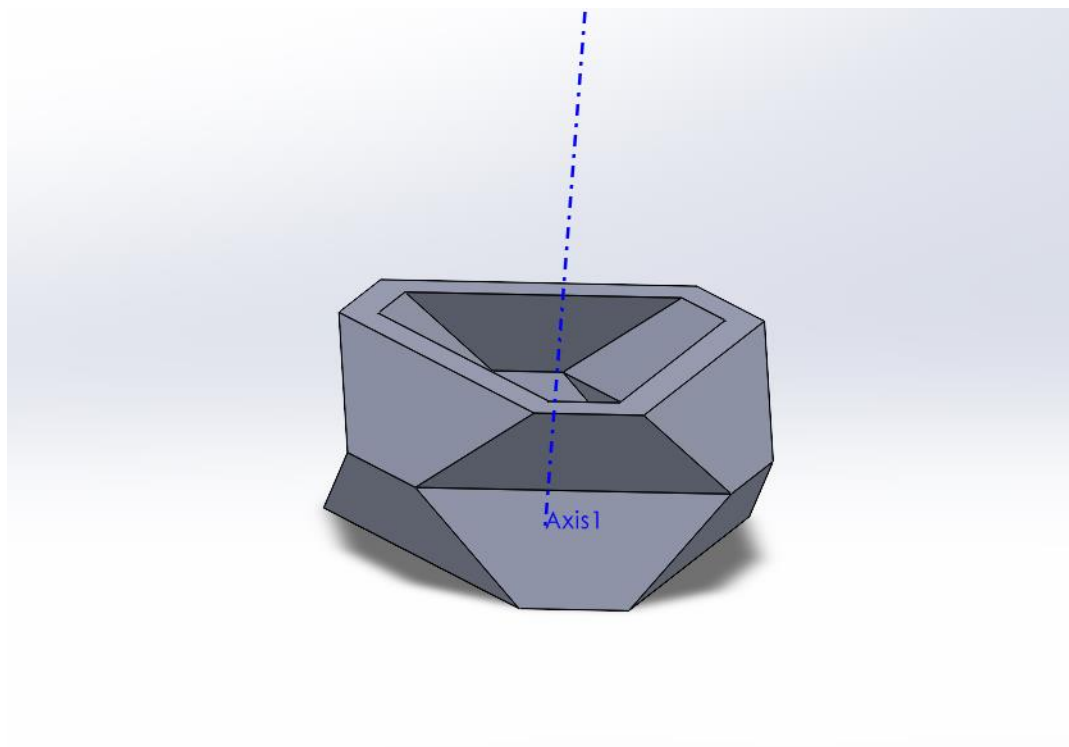


Рисунок 2.9 – Результат створення товщини стінок

Дублюємо дизайн 4 рази за допомогою віддзеркалення. Обираємо функцію «Linear Pattern».

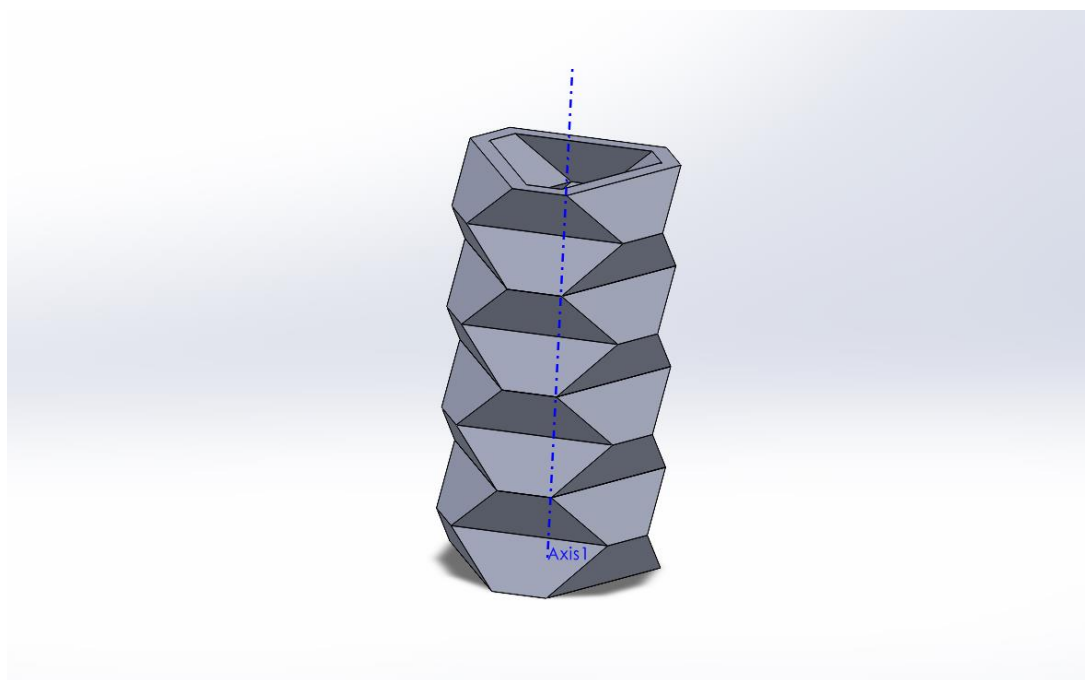


Рисунок 2.10 – Віддзеркалення

Починаємо побудову верхньої кришки з отвором, через який буде подаватися тиск. Створюємо 2D ескіз на верхній площині орігамі-дизайну та будуємо коло діаметром 36мм, центр якого збігається з центром орігамі-дизайну. Також будуємо велике коло діаметром 84мм, та встановлюємо дотичну залежність між колами.

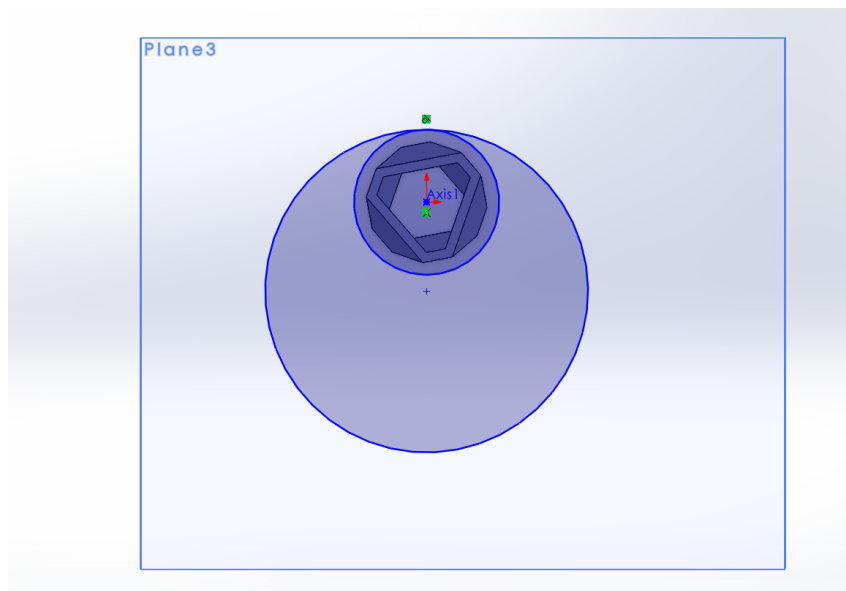


Рисунок 2.11 – Побудова кіл

Добудовуємо лінії на цьому ескізі пуд кутом 90° , також додаємо залежності дотичності.

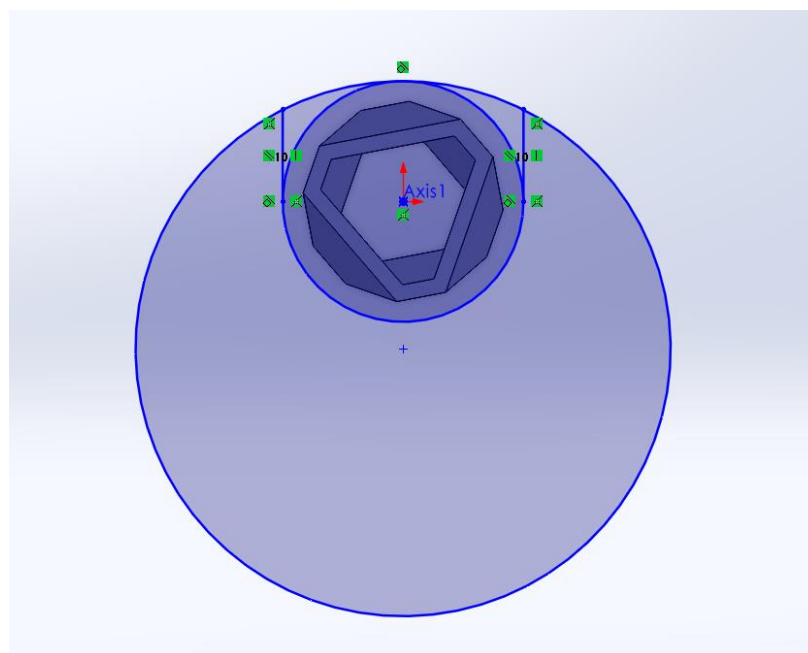


Рисунок 2.12 – Побудова дотичних

Вирізаємо зайві ліній як показано на скріншоті інструментом «Ножиці».

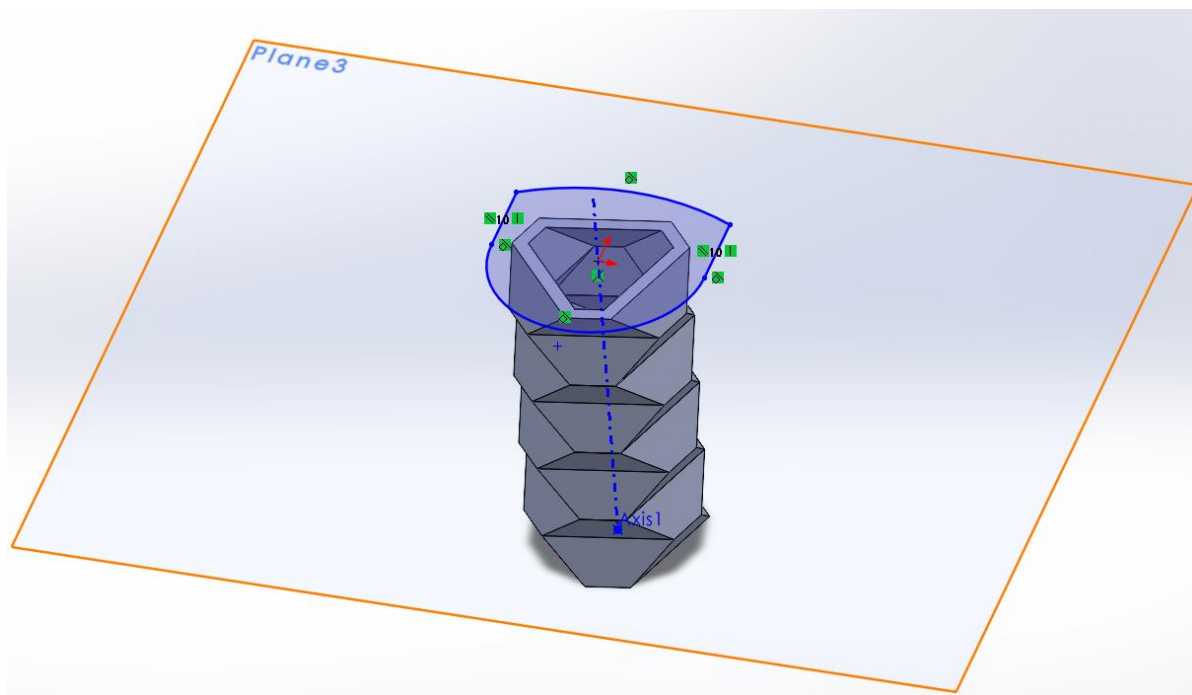


Рисунок 2.13 – Ескіз верхньої кришки

Видавлюємо ескіз на 10 мм вгору за допомогою «Boss-Extrude»

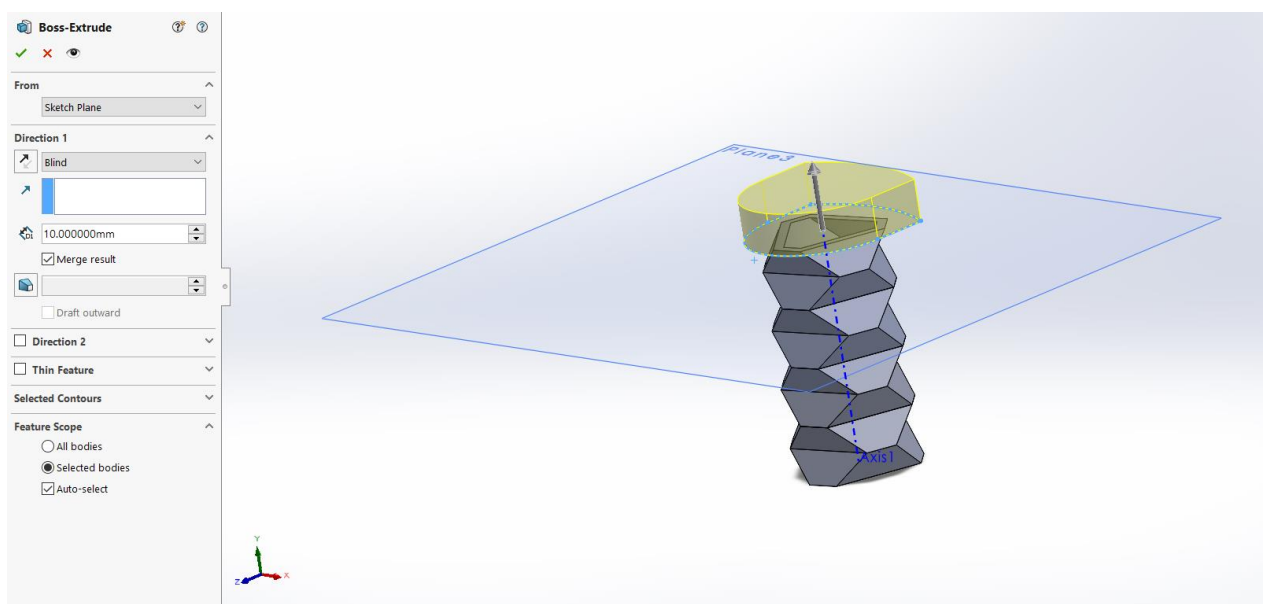


Рисунок 2.14 – Видавлювання верхньої кришки

Створюємо новий ескіз на тій самій площині та створюємо форму для подальшого видавлювання. Ширина видавлювальної області 2 мм.

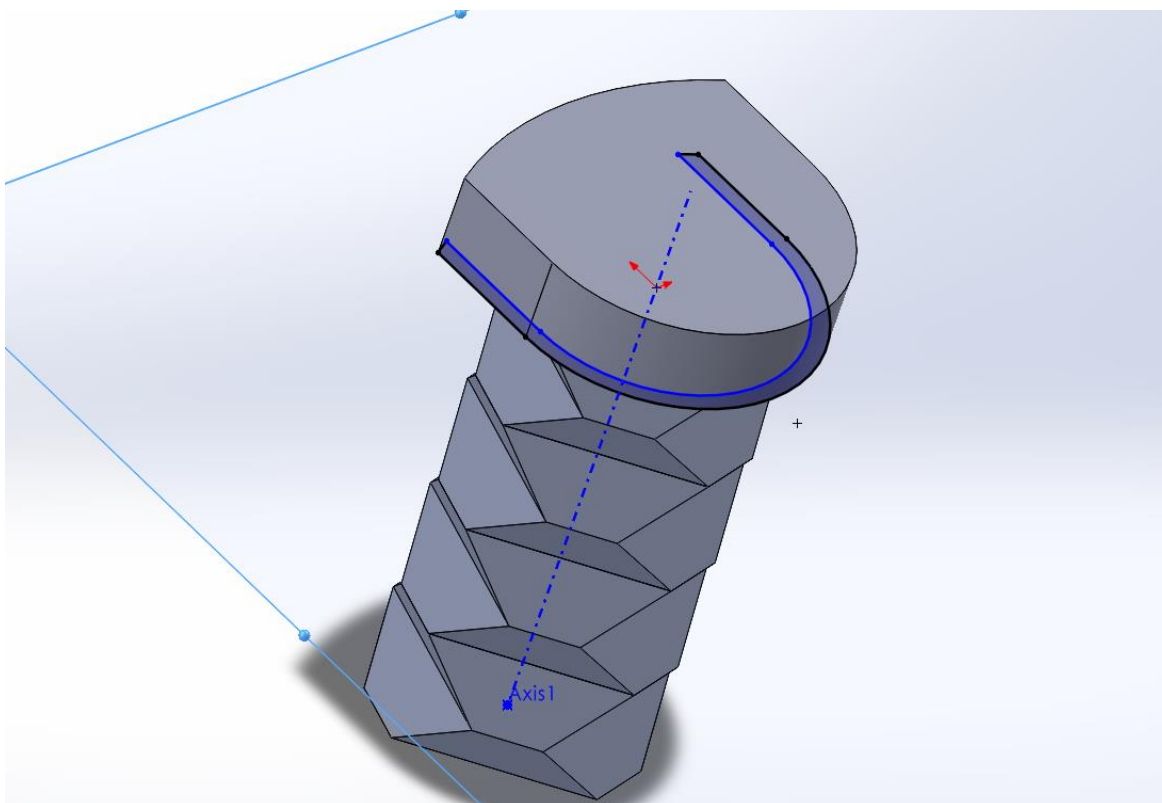


Рисунок 2.15 – Видавлювання

За допомогою «Cut-Extrude» вирізаємо ескіз на 2 мм вгору.

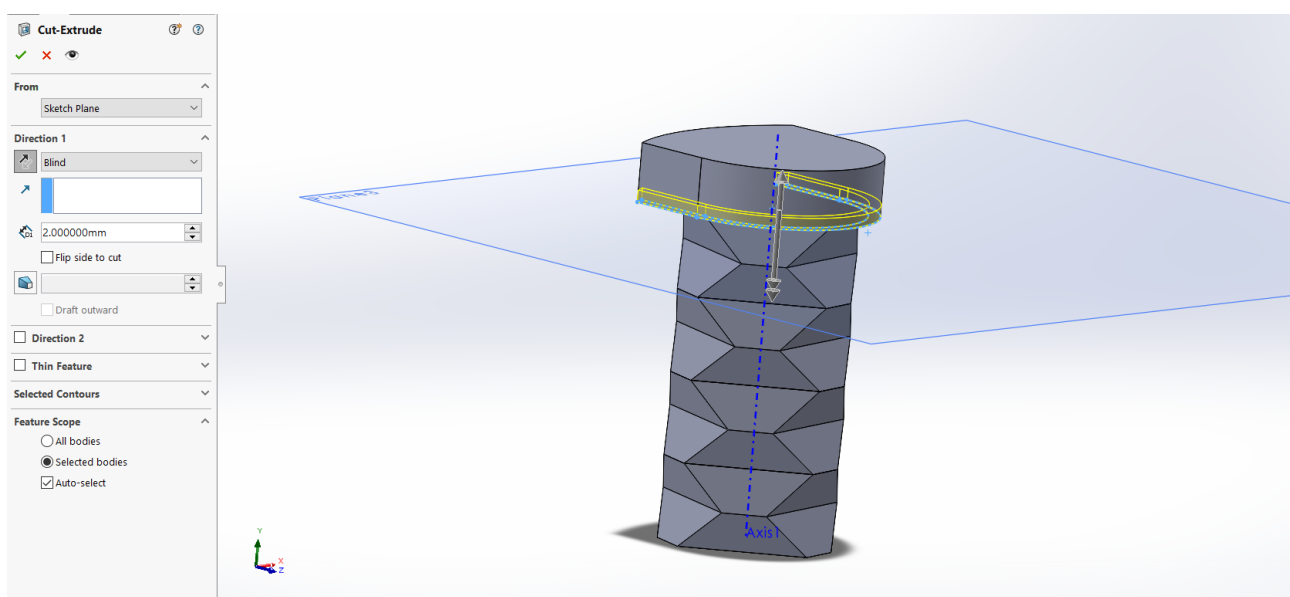


Рисунок 2.16 – Вирізання ескізу

Отримуємо готові пази, для того щоб еластичний елемент надійно тримався у диску.

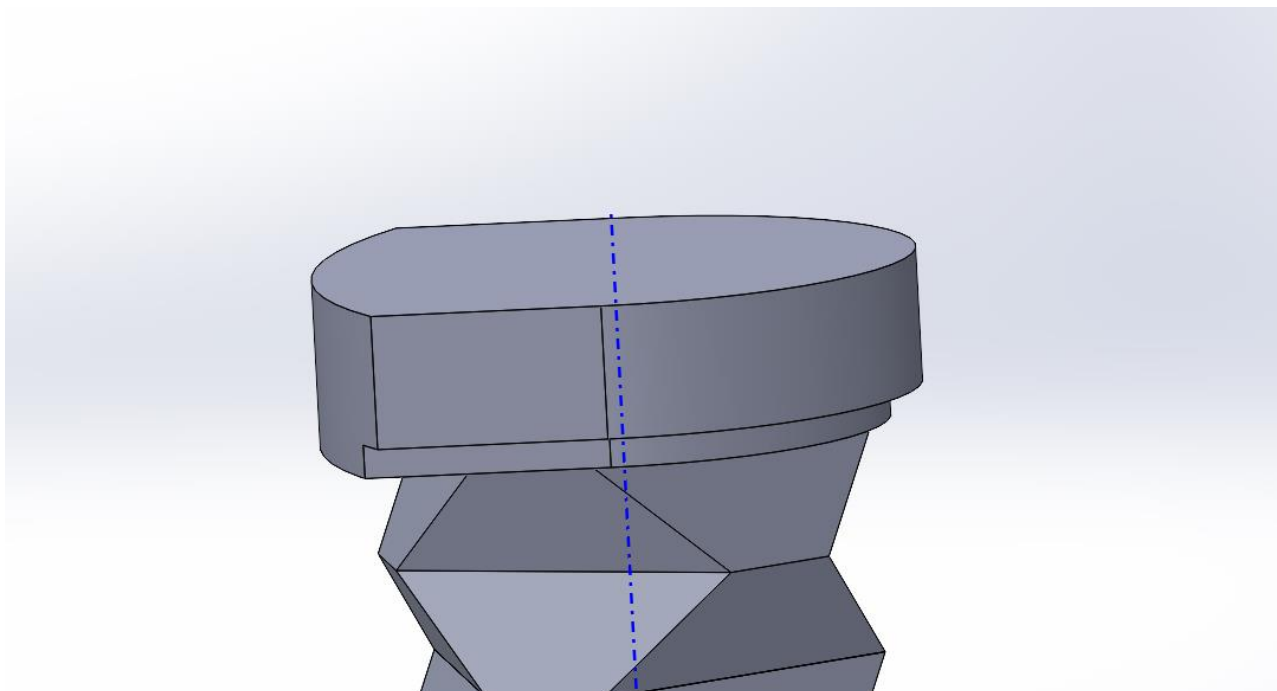


Рисунок 2.17 – Отримання пазу

Створюємо нову площину та ескіз, проектуючи коло діаметром 5мм для отвору. За допомогою «Cut-Extrude» видавлюємо коло на 18мм створюючи отвір всередині кришки.

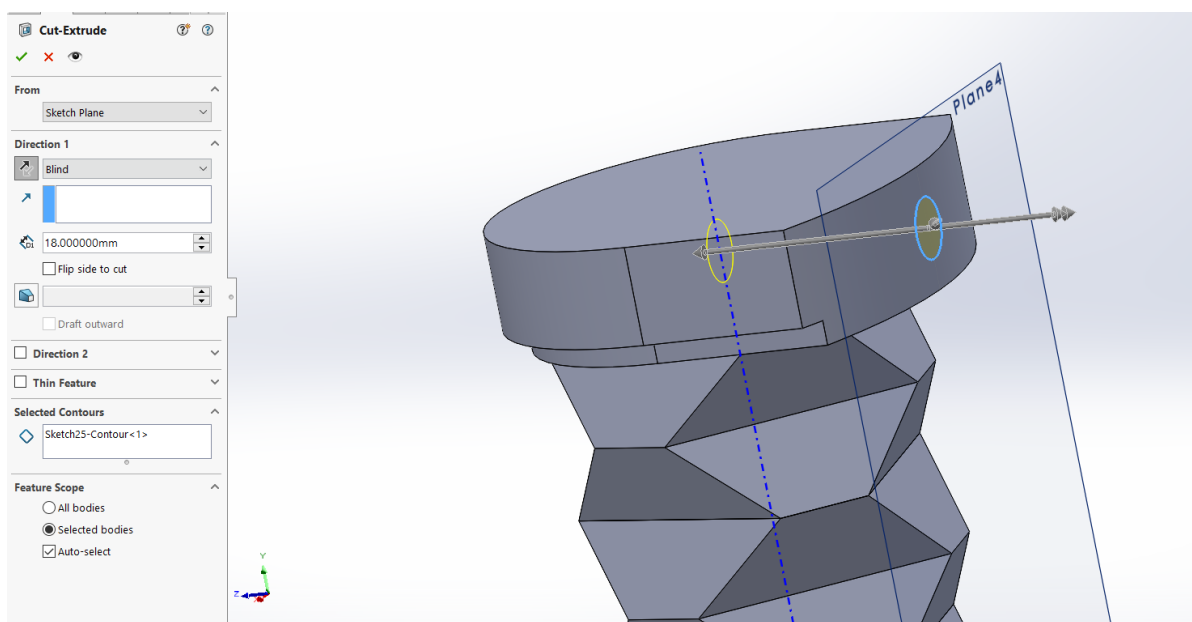


Рисунок 2.18 – Створення отвору

Повторюю попередні дії, але будуючи ескіз кола на верхній площині орігамі-дизайну, та видавлюємо коло на 7,50 мм вверх, роблячи отвір.

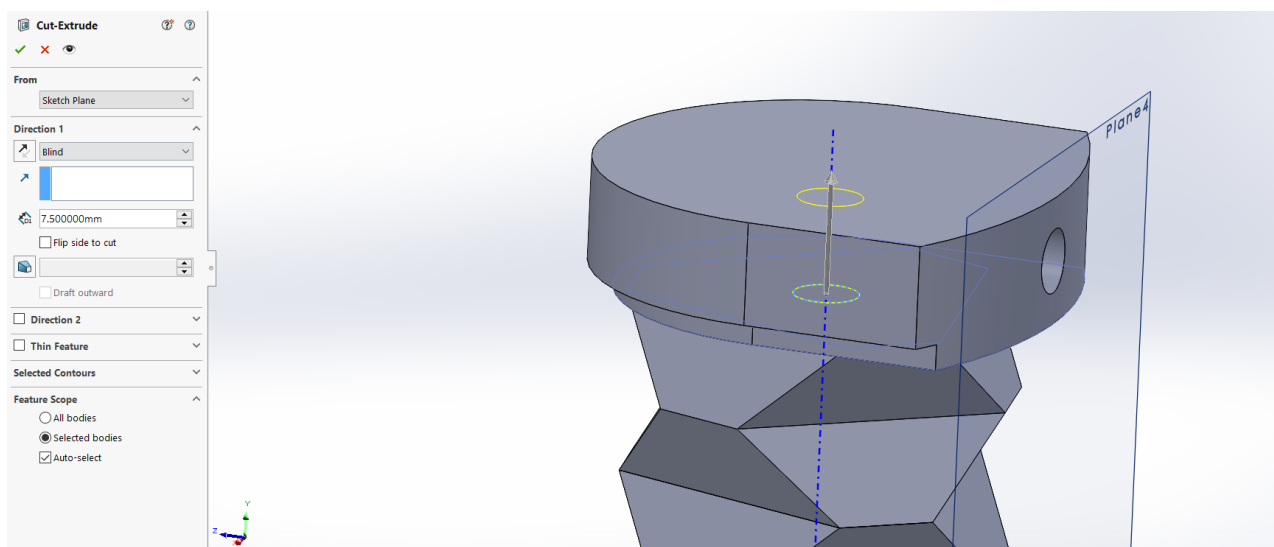


Рисунок 2.19 – Створення отвору

Створюємо новий ескіз на площині 4, та будуємо два кола, діаметрами 5 мм та 7 мм

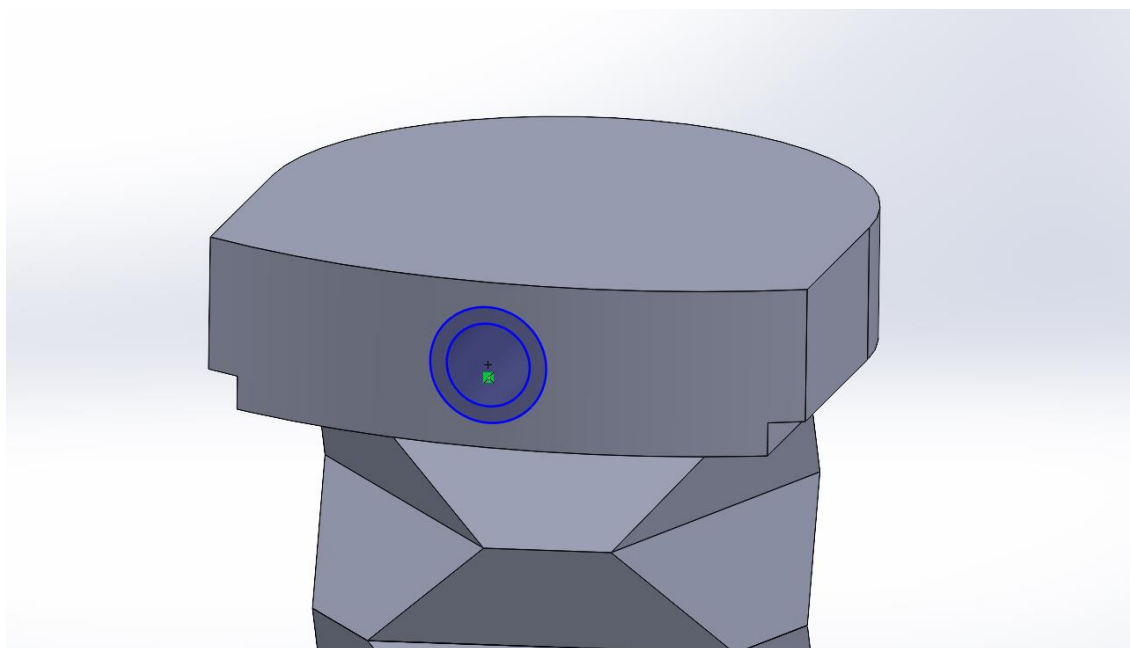


Рисунок 2.20 – Створення ескізу для видавлювання

За допомогою «Boss-Extrude» видавлюємо ескіз на 10мм. В утворений отвір буде вставлятися трубка, з штуцером яка буде закріплюватися хомутом і через яку буде подаватись тиск.

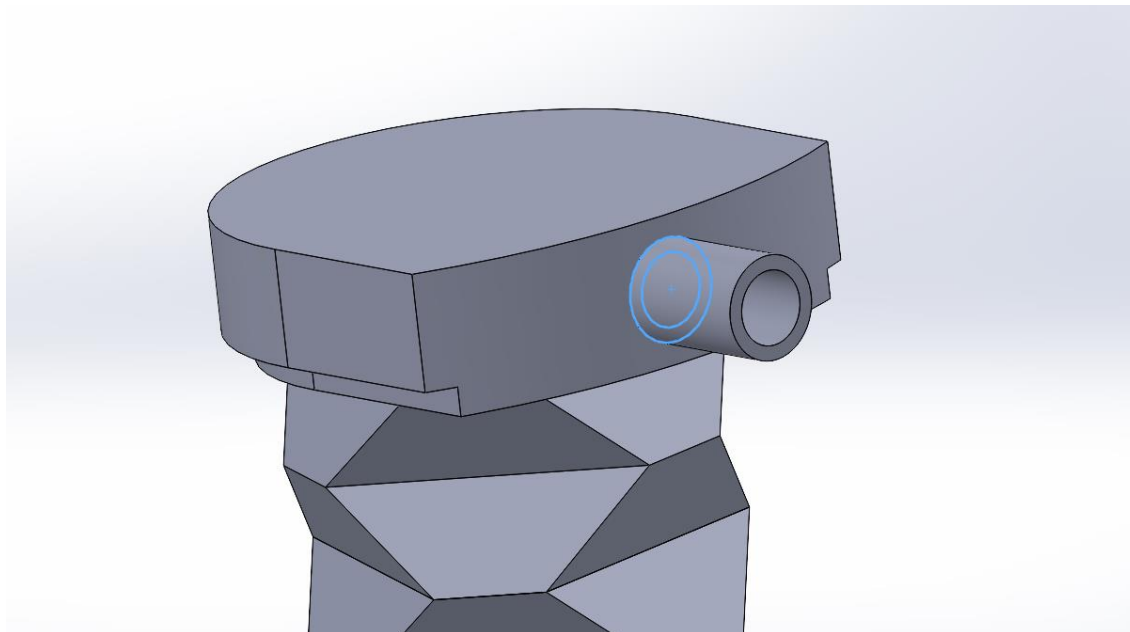


Рисунок 2.21 – Створення кріплення для штуцера

Створюємо новий ескіз на нижній площині орігамі-дизайну та повторюємо форму верхньої кришки.

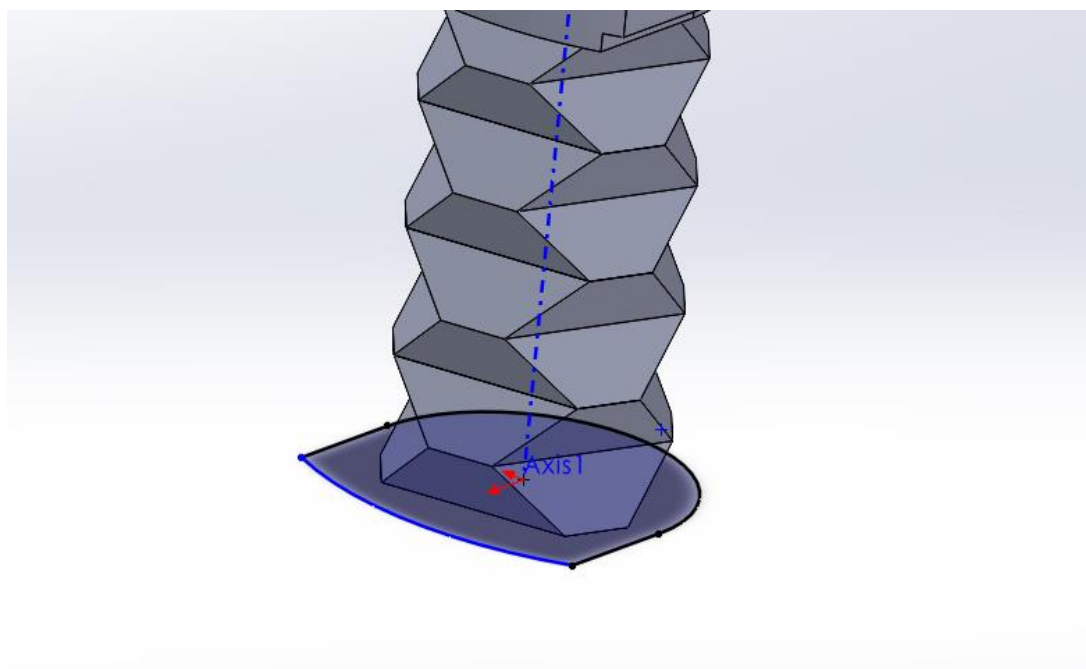


Рисунок 2.22 – Створення ескізу нижньої кришки

За допомогою «Boss-Extrude» видавлюємо ескіз на 3мм вниз.

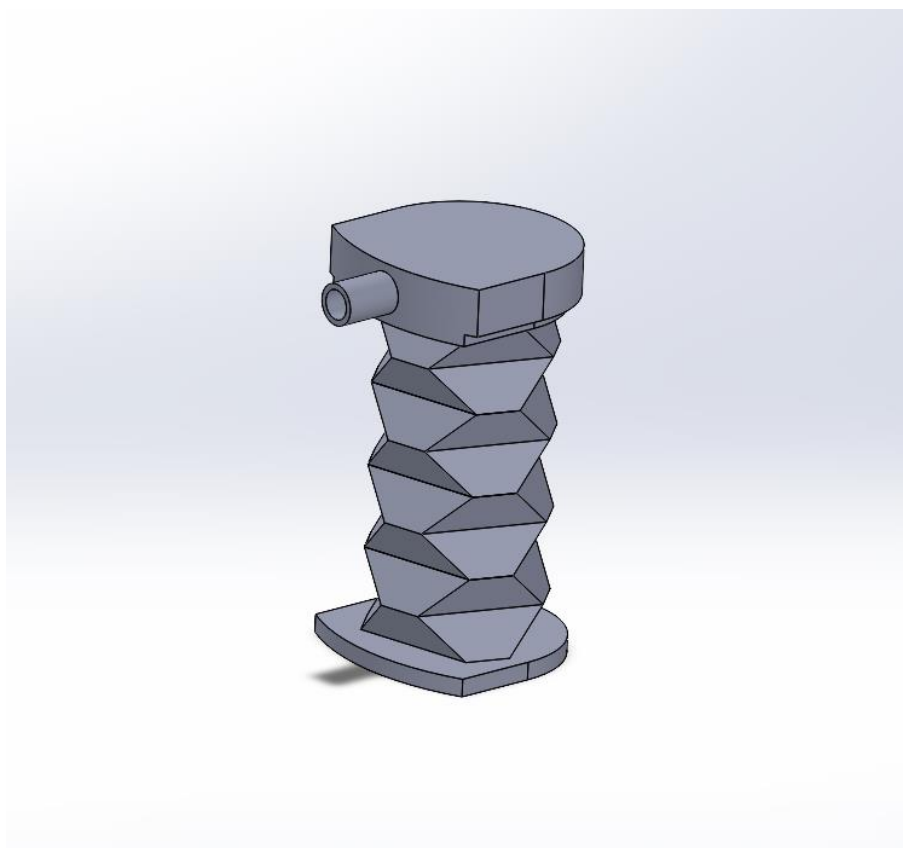


Рисунок 2.23 – Створення нижньої кришки

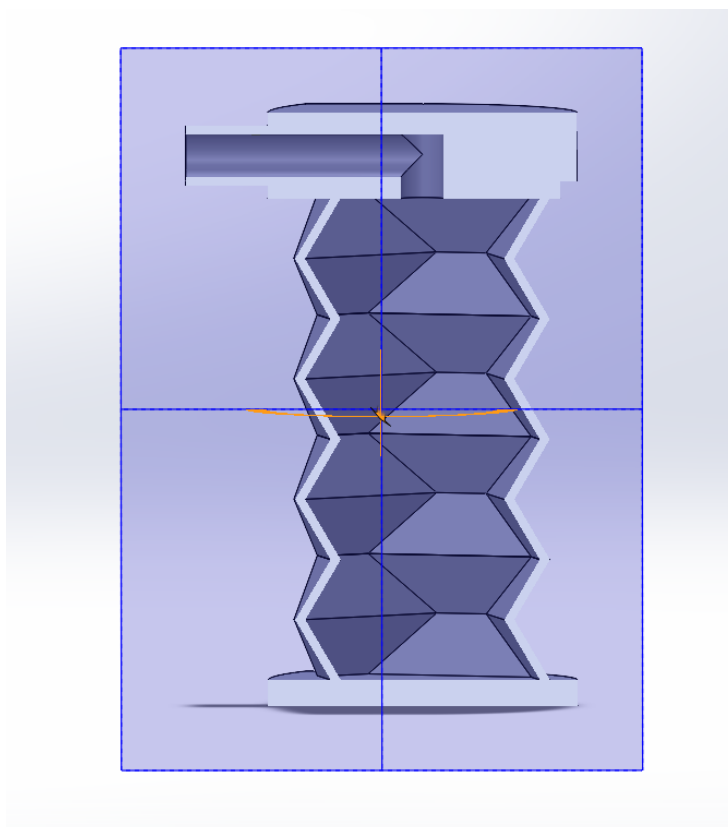


Рисунок 2.24 – Орігамі-дизайн у розрізі

2.2 Проектування з'єднувальних дисків.

Створюємо нову деталь. На 2D ескізі будуємо коло діаметром 84мм, та рівномірно розташовуємо ескізи кришок в колі як показано на рисунку 2.25 створюючи дотичні залежності.

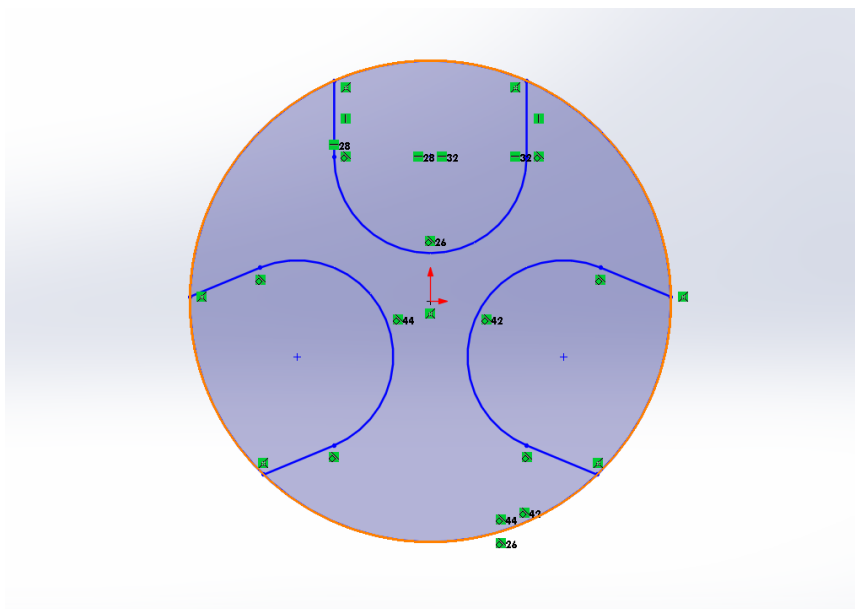


Рисунок 2.25 – Побудова ескізу диску

За допомогою інструмента «Ножиці» прибираємо зайві лінії, як показано на рисунку 2.26.



Рисунок 2.26 – Ескіз диску

За допомогою «Boss-Extrude» видавлюємо ескіз на 15мм.

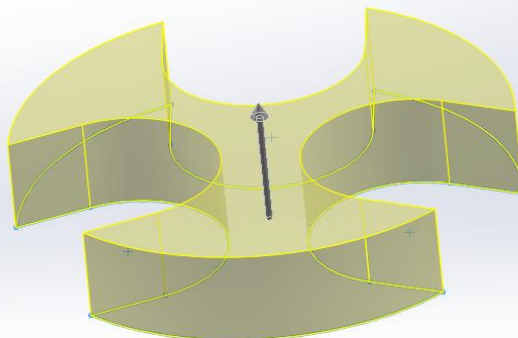
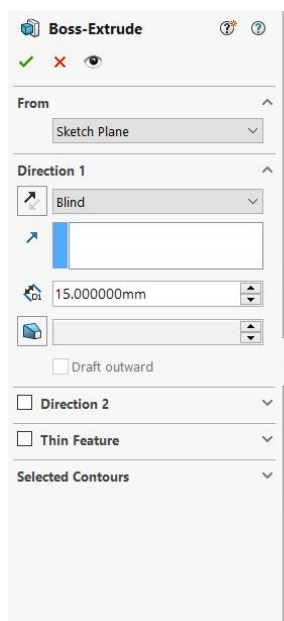


Рисунок 2.27 – Видавлюємо ескіз

Створюємо нову площину між верхньою та нижньою площинами, та створюємо новий ескіз на якому повторюємо тричі ескіз кришки як показано на рисунку 2.28. Враховуючи товщину 2мм.

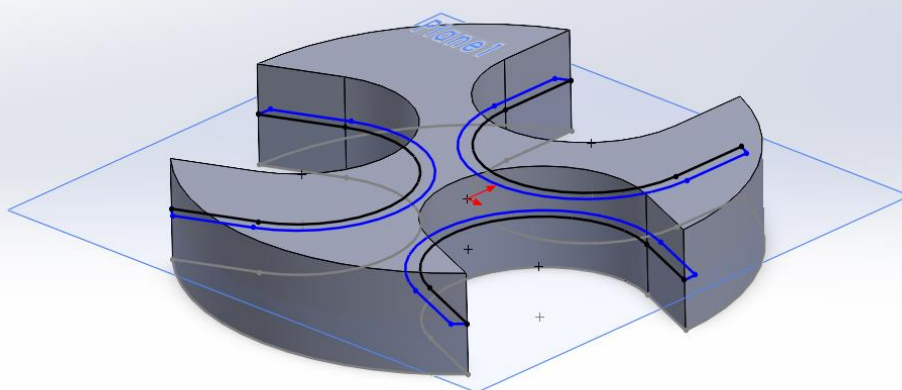


Рисунок 2.28 – Створюємо ескіз для вирізання

За допомогою «Cut-Extrude» вирізаємо цей ескіз в дві сторони враховуючи довжину вирізання по 5,5мм в кожную сторону.

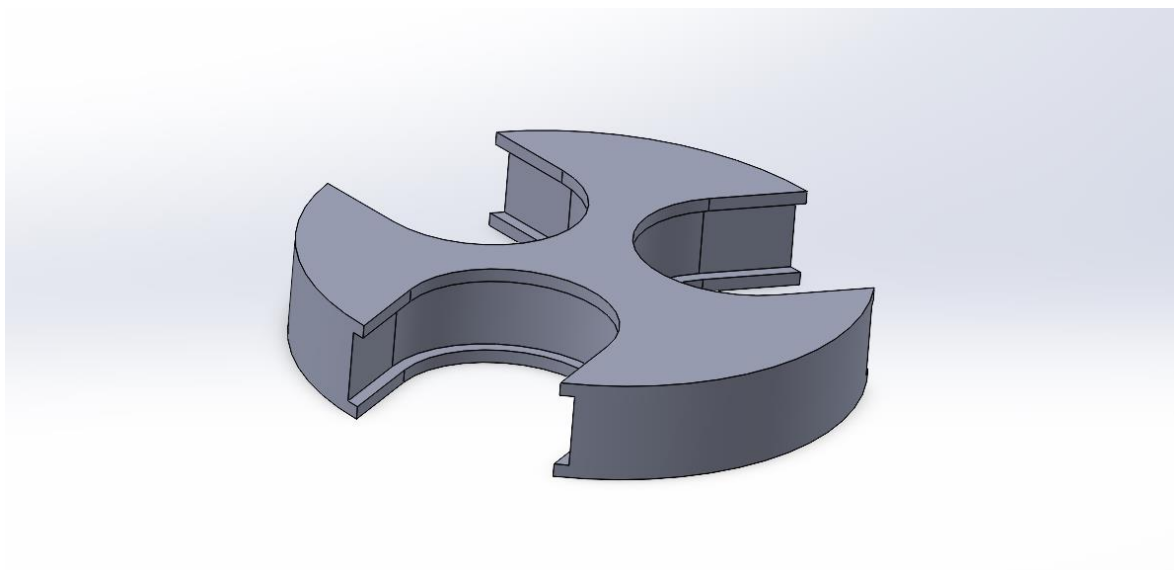


Рисунок 2.29 – Вирізання пазу

В центрі верхньої площини диску будуємо коло діаметром 7мм. За допомогою «Cut-Extrude» робимо наскрізний отвір. Зберігаємо диск як копію двічі.

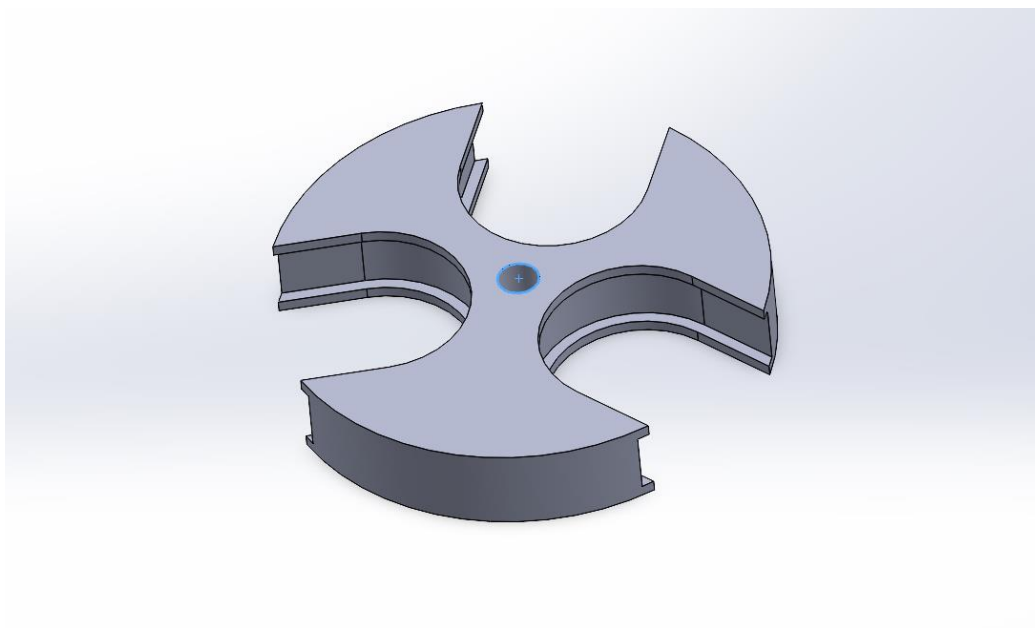


Рисунок 2.30 – Створення отвору

Створюємо нижній диск. Продовжуємо працювати з копією диску. За допомогою «Cut-Extrude» прибираємо 10мм нижньої частини диска залишаючи верхню поверхню.

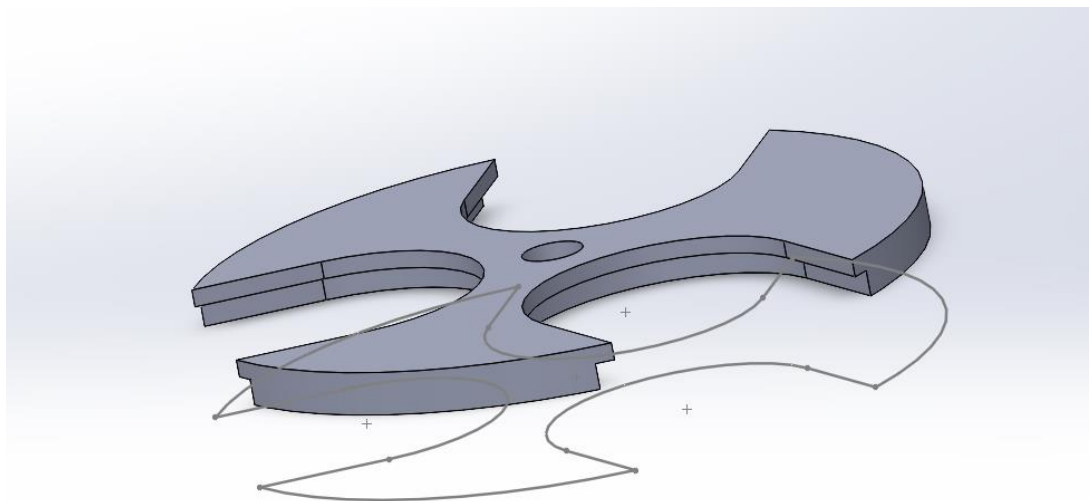


Рисунок 2.31 – Змінюємо ширину диску

Створюємо коло діаметром 84мм, та за допомогою «Boss-Extrude» видавлюємо товщину на 5 мм до верхньої поверхні.

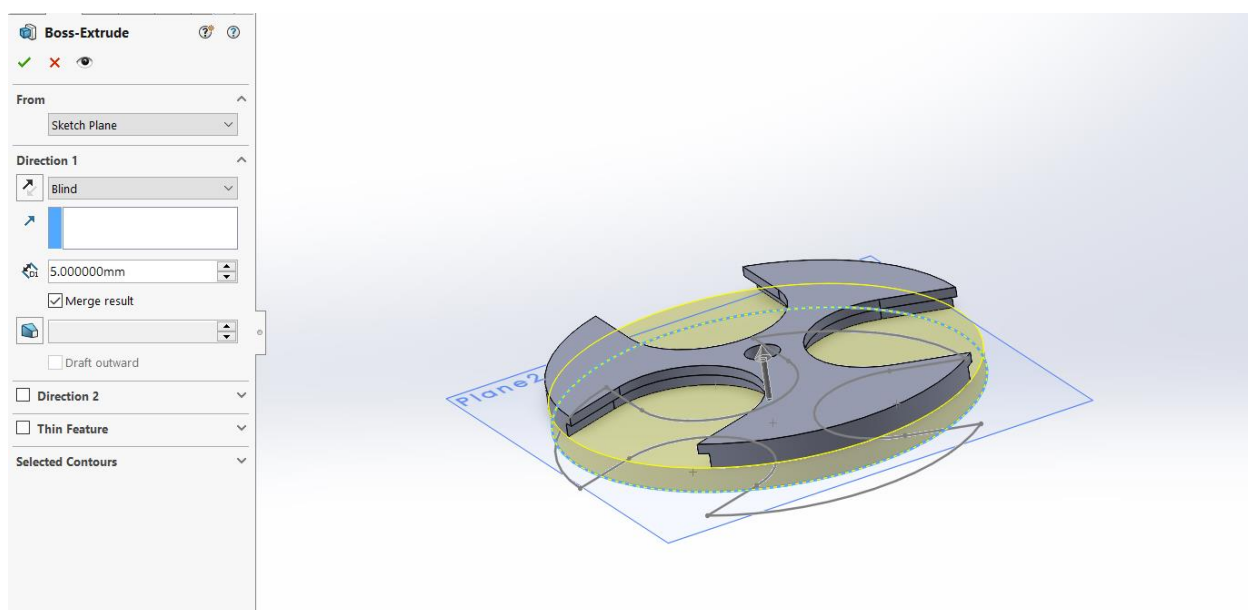


Рисунок 2.32 – Додаємо ширини

Створюємо новий ескіз та будуємо два кола діаметрами 7 мм та 9мм, так щоб центри кіл збігалися з центром диску, за допомогою «Boss-Extrude» видавлюємо площу що утворилась на 20 мм. Ця конструкція буде служити тримачем для камери.

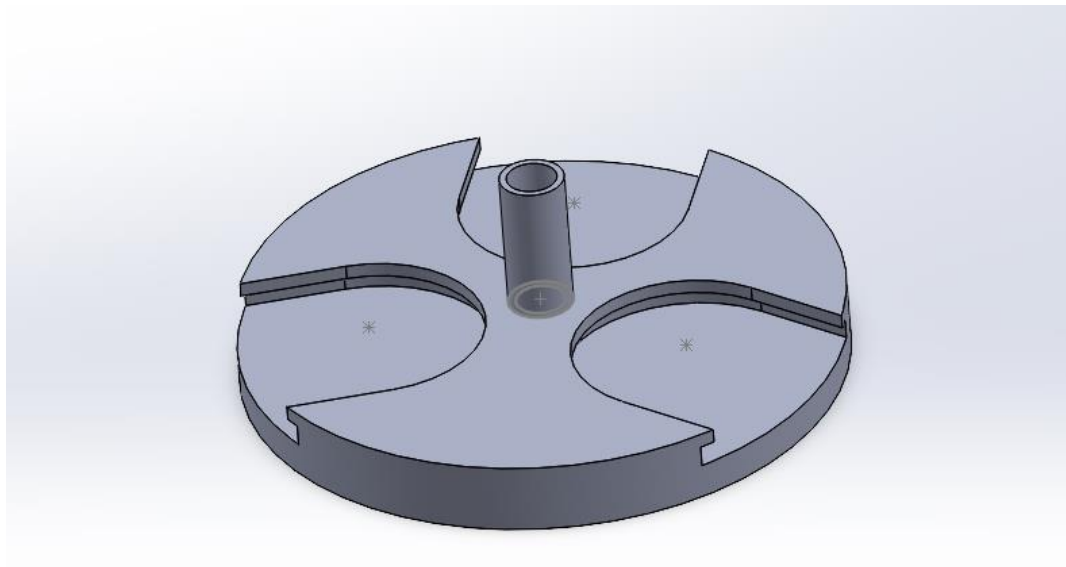


Рисунок 2.33 – Створюємо фіксатор для камери

Створюємо верхній диск, працюючи с другою копією. Повторюємо дії які описані на рисунку 2.31 та рисунку 2.32, але залишаємо 10мм нижньої частини.

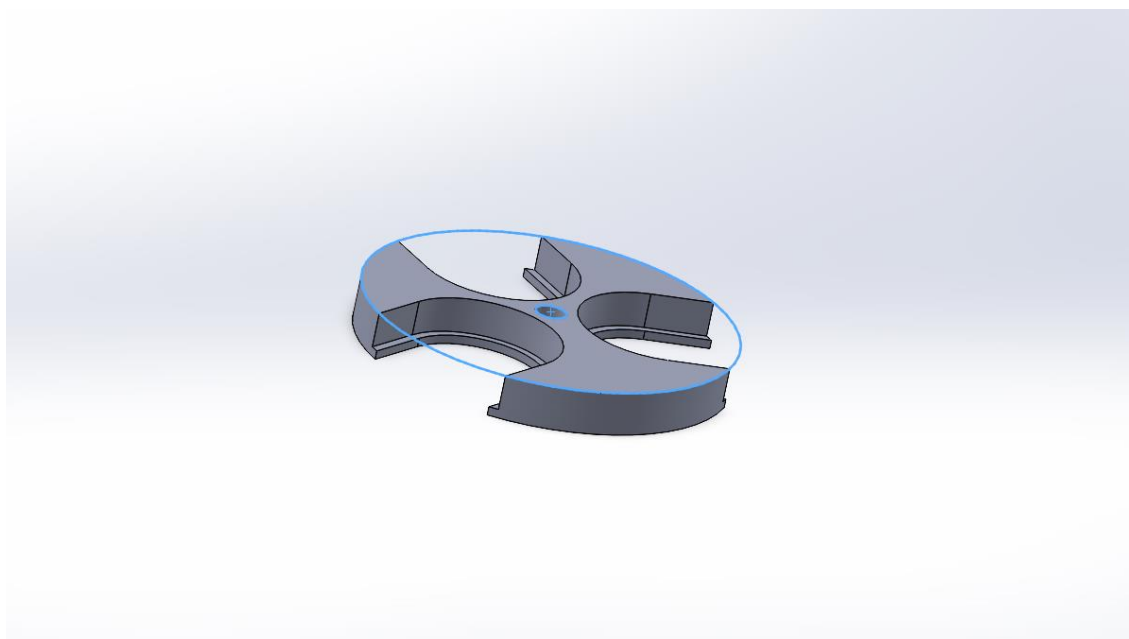


Рисунок 2.34 – Змінюємо ширину диску

За допомогою «Boss-Extrude» видавлюємо ескіз кола 5 мм в верхню частину.

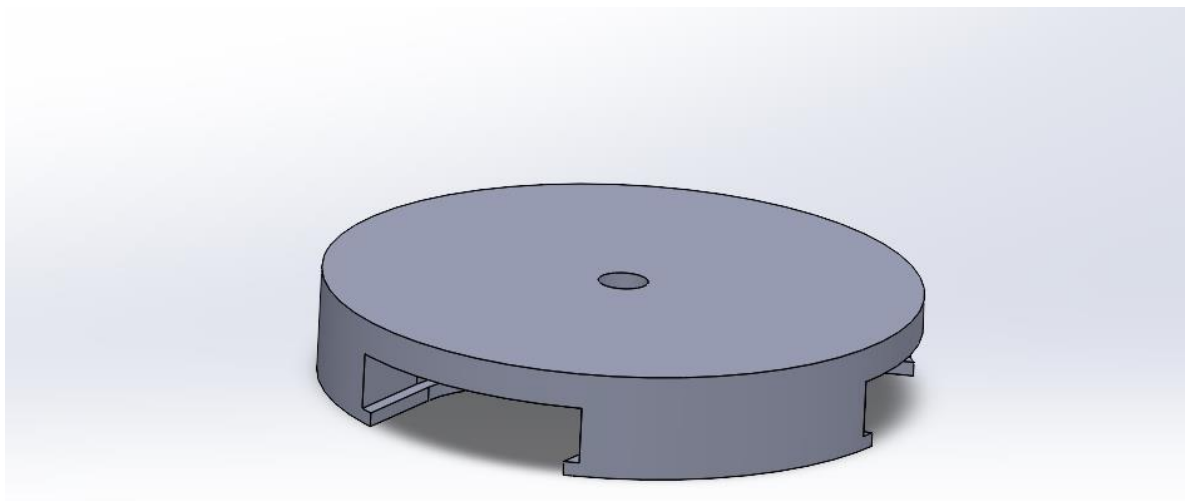


Рисунок 2.35 – Створення верхнього диску

2.3 Проектування виконавчого органу.

Для створення складального компонента необхідно зібрати всі деталі, такі як еластичні елементи у кількості 9 штук, верхній диск, два звичайних диски та нижній диск.

Для закріплення деталей, встановлюємо залежності між нижнім диском і нижніми кінцями еластичних елементів, щоб забезпечити їх міцне кріплення. Потім створюємо залежності між середніми частинами еластичних елементів та двома звичайними дисками, переконавшись, що диски залишаються рівними та паралельними. Далі з'єднуємо верхні кінці еластичних елементів з верхнім диском, забезпечуючи правильне вирівнювання всіх елементів. Після встановлення всіх залежностей перевіряємо, чи всі елементи правильно вирівняні і закріплені, а диски залишаються співвісними.

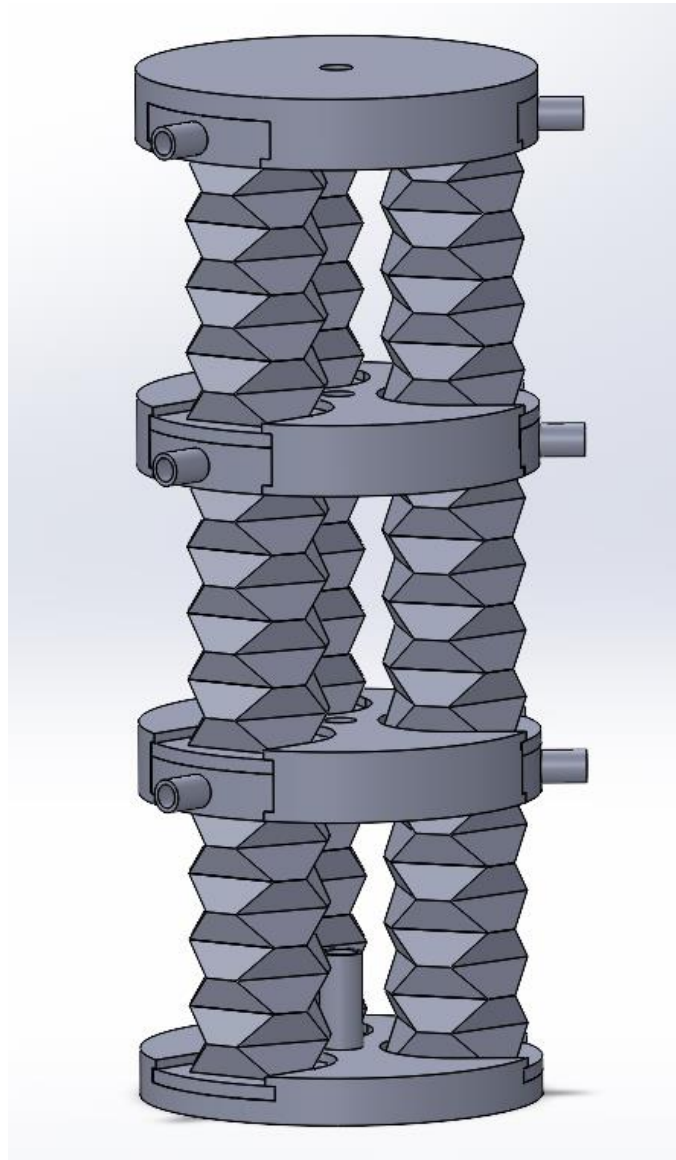


Рисунок 2.36 – Виконавчий орган

2.4 Вибір камери

Для розробленого виконавчого органу з еластичним орігамі-дизайном я пропоную використовувати цифровий ендоскоп Xiamen micro довжиною 1 м. Це рішення має кілька ключових переваг, які роблять його ідеальним для виконавчого органу.

Камера підтримує три типи інтерфейсів: micro USB, USB і Type-C. Це дозволяє легко підключити її до різних пристроїв, включаючи смартфони, планшети, ноутбуки та комп'ютери.

Діаметр камери становить всього 5 мм, що дозволяє легко інтегрувати її в конструкцію виконавчого органу без зайвих перешкод для руху. Довжина кабелю та його гнучкість дозволяють легко маневрувати камерою у важкодоступних місцях, що є важливим для застосування. Камера забезпечує високу якість зображення, що дозволяє отримати чітке і детальне зображення для діагностики та моніторингу. Вбудоване світлодіодне підсвічування дозволяє використовувати камеру в умовах низького освітлення, забезпечуючи гарну видимість об'єктів. Камера має водонепроникний корпус, що дозволяє використовувати її в різних умовах, включаючи вологі або забруднені середовища. Завдяки своїм компактним розмірам та гнучкості, камера легко інтегрується в виконавчий орган без значного впливу на його функціональність та рухливість.[9]



Рисунок 2.37 – Камера передавання зображення [9]

Характеристики камери:

Довжина кабелю камери – 1 м

Діаметр головки камери – 5 мм

Збільшення – $\times 1.3$

Зовнішній діаметр – 7мм

Країна-виробник товару – Китай

Отже, вибір цифрового ендоскопа Xiamen для виконавчого органу з еластичним орігамі-дизайном є оптимальним рішенням. Ця камера забезпечить легкість інтеграції та універсальність використання, що дозволить ефективно виконувати завдання діагностики та моніторингу у важкодоступних місцях.

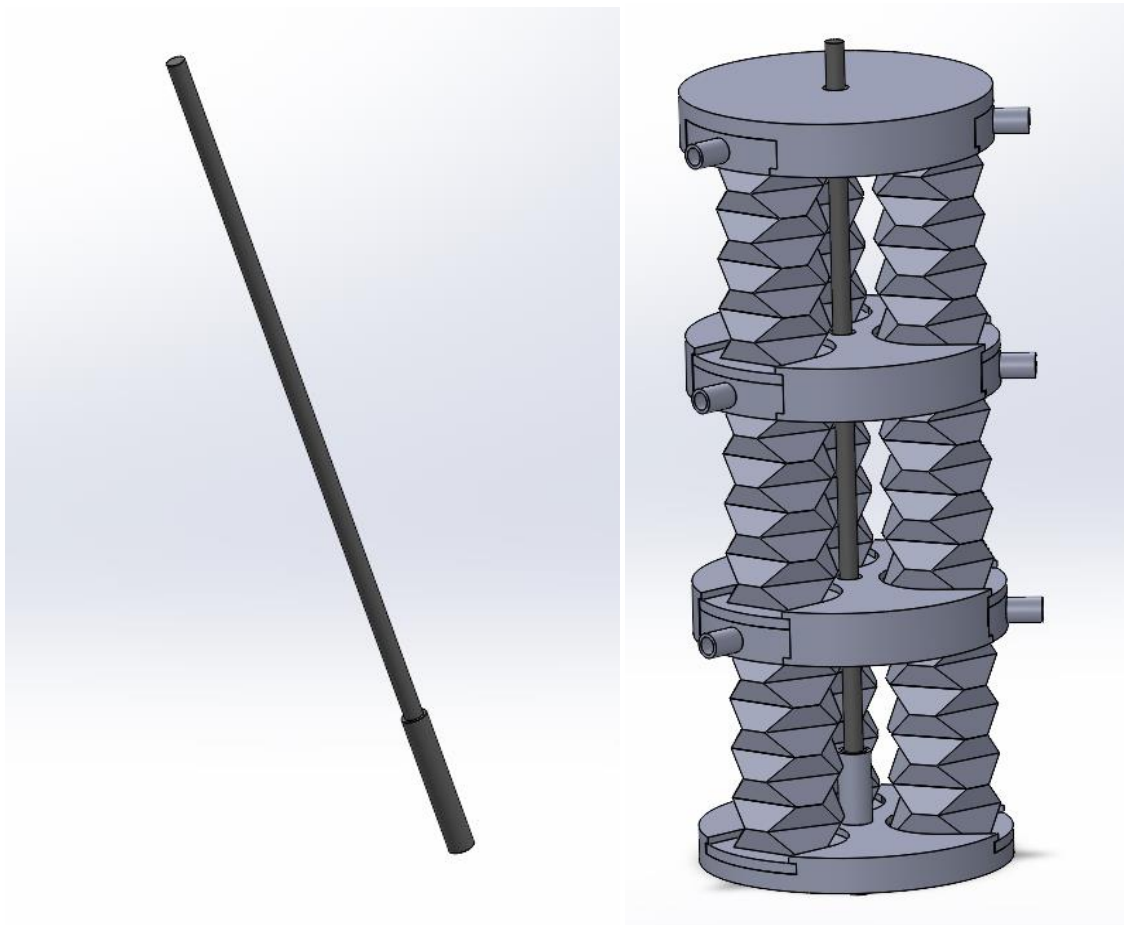


Рисунок 2.38 – Проектування камери у виконавчий орган

3 ВИЗНАЧЕННЯ УМОВ РОБОТИ

3.1 Розрахунок тиску

Для забезпечення руху виконавчого органу необхідно розрахувати, який вакуум потрібно подати в еластичні елементи. Виходячи з параметрів виконавчого органу, можна зробити висновок, що якщо в один з трьох еластичних елементів подати максимальне значення вакууму, яке може витримати еластичний елемент, а інші два елементи залишити в стані спокою, то виконавчий орган буде згинатися в бік стиснутого елемента.

Товщина стінки еластичного елемента 1 мм була обрана з кількох важливих причин. По-перше, цей параметр забезпечує оптимальний баланс між гнучкістю та жорсткістю, що необхідно для ефективної роботи під дією вакуумного тиску. Термопластичний поліуретан (TPU), який використовується для виготовлення елемента, має високу міцність на розтяг і здатність до значної деформації, а товщина 1 мм дозволяє цьому матеріалу витримувати потрібні механічні навантаження та тиск без ризику пошкодження. Крім того, така товщина сприяє простоті виготовлення елементів за допомогою стандартних виробничих методів.

Вихідні дані для розрахунку тиску:

- Початкова висота $h_0 = 56\text{мм}$
- Кінцева висота $h_f = 12\text{мм}$ (виходячи з того що товщина стінки елемента 1мм, можна зробити висновок, що при 8 шарах матеріалу та похибці 3 мм ми отримаємо мінімальну висоту 12 мм)
- Діаметр $d = 30\text{мм}$
- Товщина стінок $t = 1\text{мм}$
- Матеріал: TPU (термопластичний поліуретан) з модулем Юнга $E \approx 30\text{МПа}$

Спочатку потрібно визначити, на скільки зменшується висота елемента при стисненні. Це допомагає зрозуміти величину деформації, яку потрібно досягти.

$$\Delta h = h_0 - h_f$$

$$\Delta h = 56 \text{ мм} - 12 \text{ мм} = 44 \text{ мм}$$

Визначення площі поперечного перерізу необхідне для обчислення зусилля, яке діє на поверхню. Це значення використовується для подальших розрахунків сили і тиску.

$$A = \pi \left(\frac{d}{2} \right)^2$$

$$A = \pi \left(\frac{30 \text{ мм}}{2} \right)^2 = \pi (15 \text{ мм})^2 \approx 706,86 \text{ мм}^2$$

Визначення відносної деформації допомагає обчислити, наскільки матеріал розтягується чи стискається відносно своєї початкової довжини.

$$\epsilon = \frac{\Delta h}{h_0}$$

$$\epsilon = \frac{44 \text{ мм}}{56 \text{ мм}} \approx 0,7857$$

Використовуючи модуль Юнга і площу поперечного перерізу, можна визначити силу, яку потрібно прикласти, щоб стиснути елемент до бажаної висоти.

$$F = E \cdot A \cdot \epsilon$$

$$F = 30 \text{ МПа} \cdot 706,86 \text{ мм}^2 \cdot 0,7857$$

Переведемо МПа в $\frac{Н}{мм^2}$ для зручності:

$$F = 30 \frac{Н}{мм^2} \cdot 706,86 \text{ мм}^2 \cdot 0,7857 \approx 16685,27 \text{ Н}$$

Щоб дізнатися, який тиск створює ця сила, щоб досягти необхідної деформації, використовуємо площу поперечного перерізу.

$$P = \frac{F}{A}$$

$$P = \frac{16685,27 \text{ Н}}{706,86 \text{ мм}^2} \approx 23,6 \frac{Н}{мм^2} = 23,6 \text{ МПа}$$

Визначення вакуумного тиску, необхідного для створення потрібного тиску всередині елемента.

Атмосферний тиск становить близько 101.3 кПа. Вакуумний тиск визначається як різниця між атмосферним тиском і внутрішнім тиском, необхідним для стиснення.

$$P_{vac} = P_{atm} - P$$

$$P_{vac} = 101,3 \text{ кПа} - 23,6 \text{ кПа} = 77,7 \text{ кПа}$$

Для того, щоб зменшилась висота еластичного елемента маніпулятора з 56 мм до 12 мм, необхідно створити вакуумний тиск приблизно 77.7 кПа.

3.2 Розрахунок пневмоциліндра

Щоб розрахувати пневмоциліндр для подачі тиску 77,7 кПа, потрібно визначити необхідні параметри циліндра, такі як діаметр та хід, виходячи з сили, яку необхідно забезпечити для стиснення еластичного елемента.

Визначимо площу поперечного перерізу пневмоциліндра, виходячи з тиску 77,7 кПа та необхідної сили 16685,27 Н:

$$P = 77,7 \text{ кПа} = 77,7 \frac{\text{кПа}}{\text{м}^2} = 0,777 \frac{\text{Н}}{\text{мм}^2}$$

Необхідна площа поперечного перерізу:

$$A_{\text{пнев}} = \frac{F}{P}$$

$$A_{\text{пнев}} = \frac{16685,27 \text{ Н}}{0,777 \text{ Н/мм}^2} \approx 21485,15 \text{ мм}^2$$

Використовуємо площу для визначення діаметра циліндра:

$$A_{\text{пнев}} = \pi \left(\frac{d_{\text{пнев}}}{2} \right)^2$$

$$d_{\text{пнев}} = 2 \sqrt{\frac{A_{\text{пнев}}}{\pi}}$$

$$d_{\text{пнев}} = 2 \sqrt{\frac{21485,18 \text{ мм}^2}{\pi}} \approx 165,3 \text{ мм}$$

Отже, для подачі вакуумного тиску 77.7 кПа та створення необхідної сили 16685,27 Н, пневмоциліндр повинен мати діаметр 165 мм.

Хід пневмоциліндра повинен відповідати зміні висоти еластичного елемента:

$$\Delta h = h_0 - h_f$$

$$\Delta h = 56 \text{ мм} - 12 \text{ мм} = 44 \text{ мм}$$

Пневмоциліндр для подачі вакуумного тиску 77.7 кПа, щоб забезпечити необхідну силу для стиснення еластичного елемента з початкової висоти 56 мм до кінцевої висоти 12 мм, повинен мати діаметр 165 мм та хід 45 мм.

3.3 Розрахунок кута нахилу при подачі тиску.

Розрахуємо кут нахилу у випадку коли в один орігамі дизайн подається максимально допустимий тиск, а інші два знаходяться в стані спокою. Розрахунок проводимо стосовно центрів циліндричного орігамі.

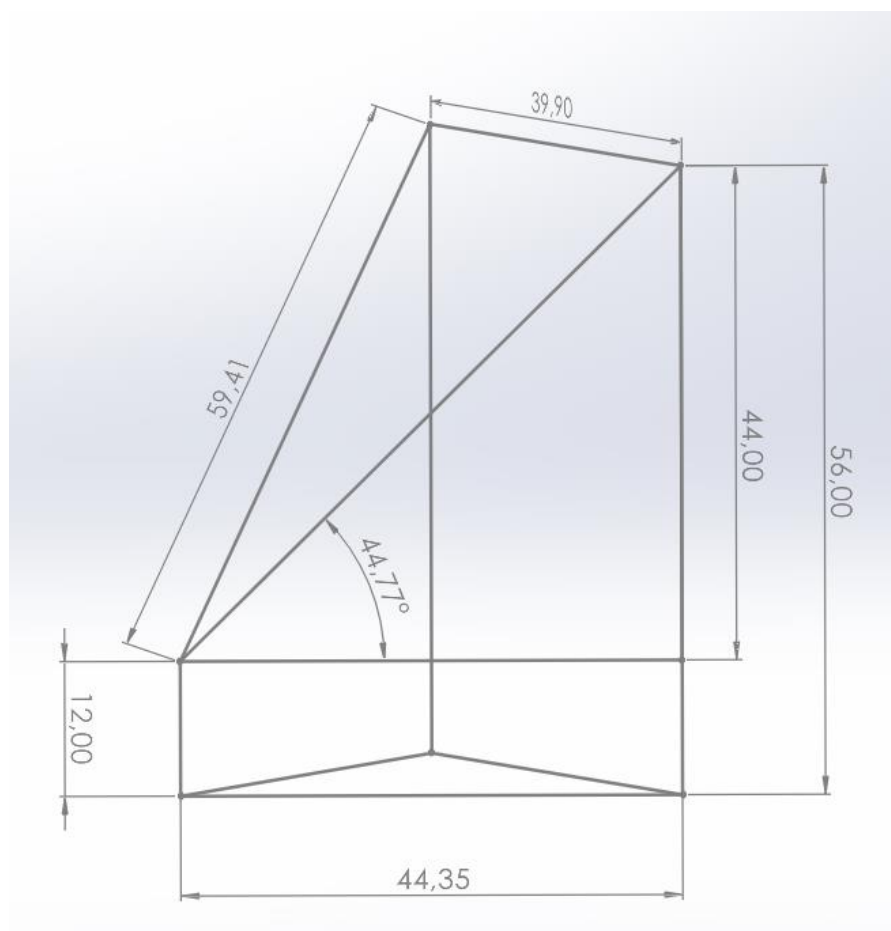


Рисунок 3.1 Схема нахилу при умові подачі максимального тиску в один з елементів

Вихідні дані:

$$H_{\text{повне}} = 56 \text{ мм}$$

$$H_{\text{здуте}} = 12 \text{ мм}$$

$$L(\text{бічна сторона трикутника}) = 44,35 \text{ мм}$$

Рівняння для знаходження кута нахилу:

$$\tan \alpha = \frac{H_{\text{повне}} - H_{\text{здуте}}}{L}$$

Розв'язуємо рівняння:

$$\tan \alpha = \frac{56 \text{ мм} - 12 \text{ мм}}{44,35 \text{ мм}} = \frac{44 \text{ мм}}{44,35 \text{ мм}}$$

Спростуємо вираз:

$$\tan \alpha = \frac{880}{887}$$

$$\alpha = \arctan\left(\frac{880}{887}\right) + 180^\circ$$

$$\alpha = 44,77^\circ + 180^\circ$$

Таким чином $\alpha = 44,77^\circ$, при умові надання максимального тиску в два циліндричних орігамі.

Розрахуємо кут нахилу у випадку коли два циліндричних орігамі знаходяться в стані спокою, а в інший подається максимально допустимий тиск. Розрахунок проводимо стосовно центрів циліндричного орігамі.

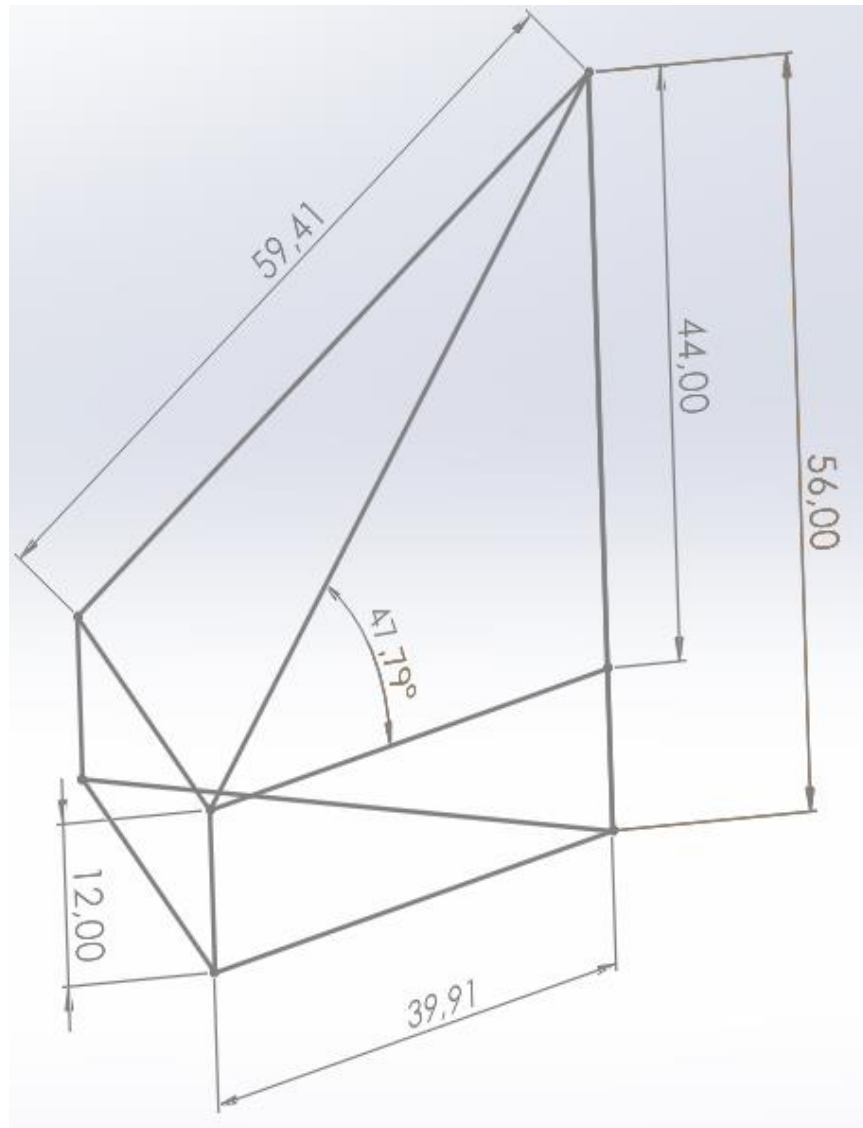


Рисунок 3.2 Схема нахилу при умові подачі максимального тиску у два елементи

Вихідні дані:

$$H_{\text{повне}} = 56 \text{ мм}$$

$$H_{\text{здує}} = 12 \text{ мм}$$

$$L(\text{бічна сторона трикутника}) = 39,91 \text{ мм}$$

Рівняння для знаходження кута нахилу:

$$\tan \beta = \frac{H_{\text{повне}} - H_{\text{здує}}}{L}$$

Розв'язуємо рівняння:

$$\tan \beta = \frac{56 \text{ мм} - 44 \text{ мм}}{39,91 \text{ мм}} = \frac{44 \text{ мм}}{39,91 \text{ мм}}$$

Спростуємо вираз:

$$\tan \beta = \frac{4400}{3991}$$

$$\beta = \arctan\left(\frac{4400}{3991}\right) + 180^\circ$$

$$\beta = 47,79^\circ + 180^\circ$$

Таким чином $\beta = 47,79^\circ$, при умові надання максимального тиску в два циліндричних орігамі.

4 ЕЛАСТИЧНІ МАТЕРІАЛИ

Правильний вибір матеріалу є одним із ключових аспектів успішної реалізації будь-якого інженерного проекту. Від нього залежить не лише функціональність та довговічність виробу, але й ефективність процесу виробництва, економічні витрати та екологічна безпека. У цьому розділі розглянемо матеріали, які можуть бути використані для створення еластичного елемента маніпулятора з орігамі-дизайном Йошімура, що дозволить забезпечити його здатність до складних рухів і гнучкість.

Розглянемо детально деякі з найпопулярніших матеріалів для 3D друку, таких як термопластичний поліуретан (TPU), термопластичний еластомер (TPE), силіконовий каучук та RTV силікон.

Термопластичний поліуретан (TPU) – це полімер, який поєднує в собі властивості пластмас і еластомерів. TPU відзначається високою еластичністю, міцністю та зносостійкістю. Він може витримувати великі деформації, зберігаючи свою форму після зняття навантаження. TPU також є стійким до впливу масел, жирів і різних хімічних речовин, що робить його універсальним матеріалом для широкого спектра застосувань. Крім того, TPU добре підходить для 3D друку завдяки своїй здатності до плавного екструдуювання і адгезії між шарами. [10]

Термопластичний еластомер (TPE) – це ще один популярний матеріал, який поєднує в собі властивості термопластів і еластомерів. TPE відомий своєю гнучкістю, м'якістю і легкою обробкою. Він часто використовується в галузях, де потрібна висока гнучкість і комфорт при контакті зі шкірою, наприклад, у виробництві медичних виробів і споживчих товарів. Однак TPE менш стійкий до хімічних впливів і зносу порівняно з TPU, що обмежує його використання у важких умовах експлуатації. [11]

Силіконовий каучук – це матеріал, відомий своєю високою термостійкістю, гнучкістю і біологічною сумісністю. Він часто використовується в медичній промисловості, харчовій промисловості та для виготовлення форм для лиття. Силіконовий каучук також є стійким до впливу ультрафіолетових променів і

озону. Проте, для 3D друку цей матеріал має обмежену застосовність через складність його обробки і необхідність спеціалізованого обладнання.

RTV (Room Temperature Vulcanizing) силікон – це тип силікону, який твердне при кімнатній температурі. Він часто використовується для створення форм і лиття через свою простоту використання і високі фізичні властивості. Однак, як і у випадку з силіконовим каучуком, RTV силікон має обмеження у використанні для 3D друку через необхідність у спеціалізованому обладнанні і складність процесу затвердіння.

Порівнюючи ці матеріали, можна зробити кілька важливих висновків. TPE має гарну гнучкість і м'якість, але поступається TPU у стійкості до зносу і хімічних впливів. Силіконовий каучук і RTV силікон мають відмінні властивості для специфічних застосувань, але їх обробка і використання у 3D друку значно складніші. TPU, з іншого боку, поєднує в собі високу еластичність, міцність, стійкість до зносу і хімічних впливів, а також простоту у використанні для 3D друку.

З огляду на всі вищенаведені властивості та характеристики матеріалів, термопластичний поліуретан (TPU) є найкращим вибором. TPU забезпечує необхідну еластичність та міцність для створення еластичного елементу маніпулятора з орігамі-дизайном Йошімура. Його здатність витримувати великі деформації і зберігати свою форму робить його ідеальним для використання у важкодоступних місцях, де необхідна висока гнучкість і міцність. Крім того, TPU добре підходить для 3D друку, що спрощує процес виготовлення і знижує виробничі витрати.

Таким чином, використання TPU дозволяє нам створити надійний і функціональний еластичний маніпулятор, здатний виконувати складні завдання у важких умовах експлуатації, забезпечуючи при цьому високу точність і довговічність роботи.

Характеристика матеріалу TPU 95A [12]:

Діаметр – $2,90 \pm 0,13$ мм

Максимальне відхилення круглості – 0,07 мм

Ударна в'язкість – 24 кДж/м²

Термостійкість – 116 °C

Модуль міцності на розрив – 30 Мпа

Також для 3D друку необхідно обрати матеріал з якого будуть створенні підтримки. Полівініловий спирт (PVA) є популярним матеріалом для створення підтримок у 3D друці завдяки своїм особливим властивостям і характеристикам. Це синтетичний полімер, який відомий своєю водорозчинністю, що робить його ідеальним для використання у якості підтримок, оскільки вони можуть бути легко видалені шляхом занурення в воду.

Цей матеріал є термопластичним і може бути екструзованим при порівняно низьких температурах, зазвичай близько 180-220°C. Це дозволяє використовувати його в більшості настільних 3D принтерів, які підтримують друк двома або більше матеріалами.

Механічні властивості PVA включають відносно низьку міцність і жорсткість у порівнянні з іншими матеріалами для 3D друку, такими як PLA чи ABS. Його водорозчинність забезпечується гідрофільними групами в його хімічній структурі, що дозволяє молекулам води проникати та руйнувати полімерну мережу. Ця характеристика також означає, що PVA не є стійким до впливу води і вологих умов, що обмежує його застосування у кінцевих продуктах, але ідеально підходить для тимчасових підтримок. [13]

5 ВИГОТОВЛЕННЯ ЕЛАСТИЧНОГО ЕЛЕМЕНТА

5.1 Режими 3D друку

Існують кілька методів виготовлення 3D моделі циліндричної форми у вигляді орігамі з силікону. Один із них полягає у використанні 3D друку. Спочатку необхідно розробити відповідну 3D модель у програмному середовищі CAD, яка точно відображатиме обраний орігамі-дизайн. Після завершення моделювання можна приступати до друку моделі за допомогою 3D принтера, використовуючи силіконовий матеріал. Цей метод дозволяє досягти високої точності і деталізації в отриманій структурі.

Інший спосіб виготовлення орігамі-структури з силікону полягає у використанні форм та плоских листів силікону. Спочатку необхідно підготувати форми, які допоможуть створити орігамі-подібні структури. Потім вирізаються листи силікону за відповідними шаблонами, які потім складаються у бажаний орігамі-стиль. Цей метод дозволяє досягти більшої гнучкості в процесі створення і може бути корисним для менш складних структур.

Третій спосіб полягає у литті силікону у спеціально виготовлені форми. Спочатку створюються форми з орігамі-подібними шаблонами. Потім у ці форми заливається рідкий силікон, який після затвердіння набуває бажаної форми. Цей метод є ефективним для виготовлення великих кількостей однакових деталей, але потребує більше часу на підготовку форм.

Кожен з цих методів має свої переваги і недоліки, що залежить від конкретних потреб і можливостей виробництва. Після детального аналізу всіх можливих методів було вирішено використати перший метод – 3D друк силіконом. Цей вибір був зроблений через його високу точність, можливість створення складних структур і ефективність у виготовленні індивідуальних деталей.

5.2 Симуляція 3D друку

Першим етапом підготовки до 3D друку було завантаження створених 3D моделей у програму UltiMaker Cura. Для цього я відкрила програму та завантажила файли моделей у форматі STL.

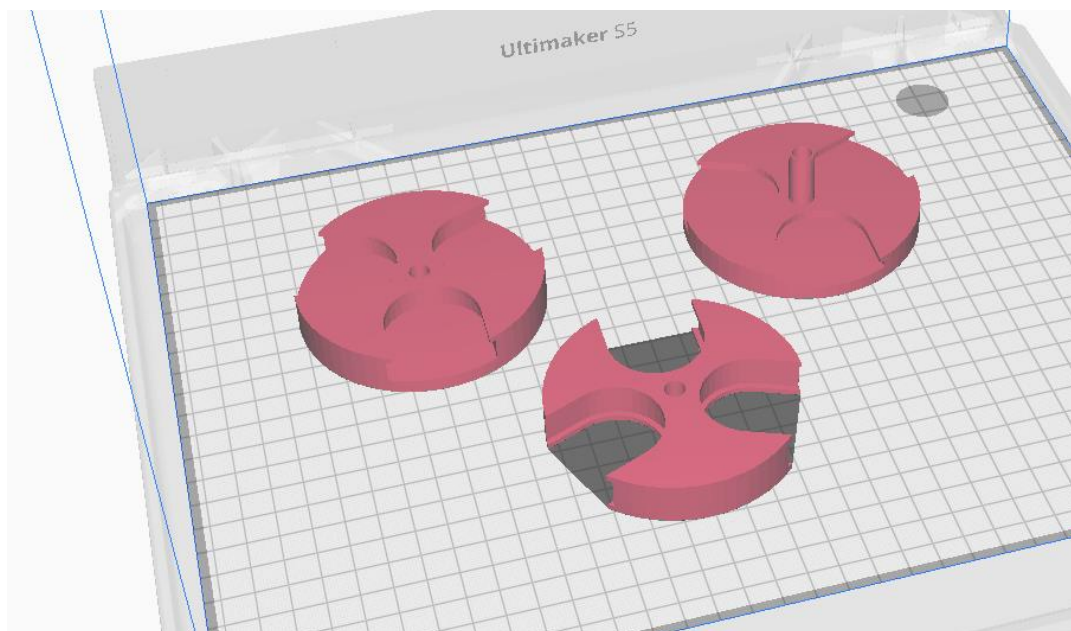


Рисунок 5.1 – Завантаження дисків на стіл 3D принтеру

Після завантаження моделей переходимо до вибору відповідного 3D принтера. UltiMaker Cura підтримує широкий спектр принтерів, тому обираємо модель, яка найкраще підходить для друку деталей із TPU, а саме UltiMaker S5. В меню налаштувань обираємо основним матеріалом TPU A95, а PVA у якості матеріалу для підтримок.



Рисунок 1.2 – Вибір матеріалу

Потім необхідно обрати потрібні налаштування для друку, які залежать від специфіки деталі. У даному випадку слід налаштувати 3D принтер таким чином, щоб забезпечити 100% заповнення, висоту шару 0,2 мм і друк з підтримками.

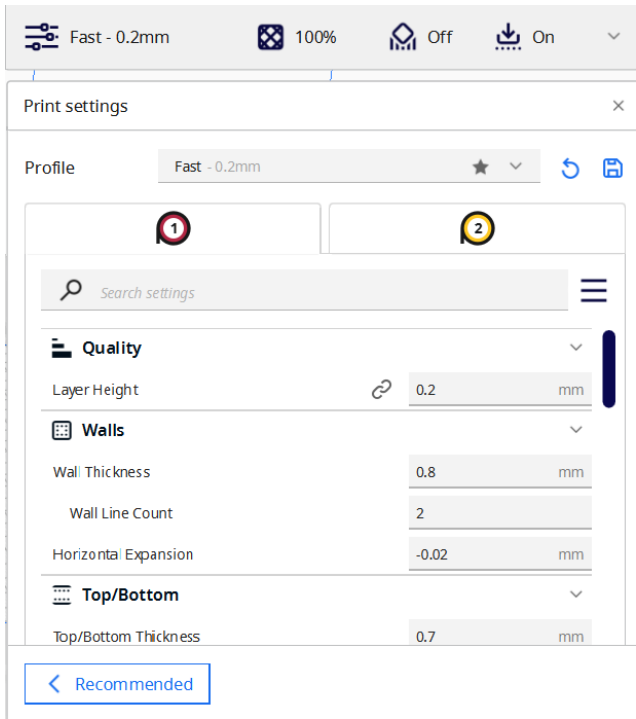


Рисунок 5.3 – Налаштування параметрів

Top/Bottom		
Top/Bottom Thickness	0.7	mm
Top Thickness	0.7	mm
Top Layers	4	
Bottom Thickness	0.7	mm
Bottom Layers	4	

Рисунок 5.4 – Налаштування «Top/Bottom»

Infill		
Infill Density	100.0	%
Infill Pattern	Zig Zag	
Material		
Printing Temperature	225.0	°C
Build Plate Temperature	60	°C

Рисунок 5.5 – Налаштування заповнення та матеріалу

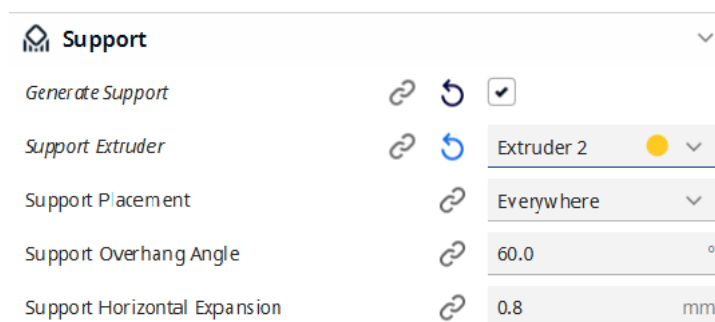


Рисунок 5.6 – Налаштування параметрів підтримок

Для того щоб побачити час друку, приблизну вагу витраченого матеріалу та масу, нарізаємо наші диски натиснувши на «Slise». Можемо зробити висновок, що печать дисків відбуватиметься 19 год. 9 хв., а вага дисків складе 164г.

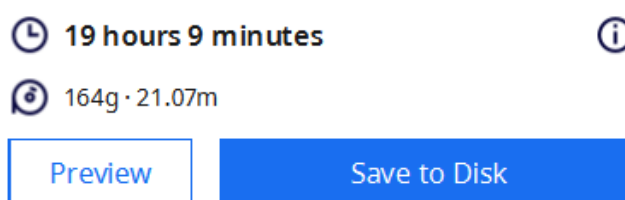


Рисунок 5.7 – Час друку дисків, маса і витрата матеріалу

Для того щоб побачити вигляд дисків з підтримками (рисунок 5.8) та щільність заповнення (рисунок 5.9) натискаємо «Preview».

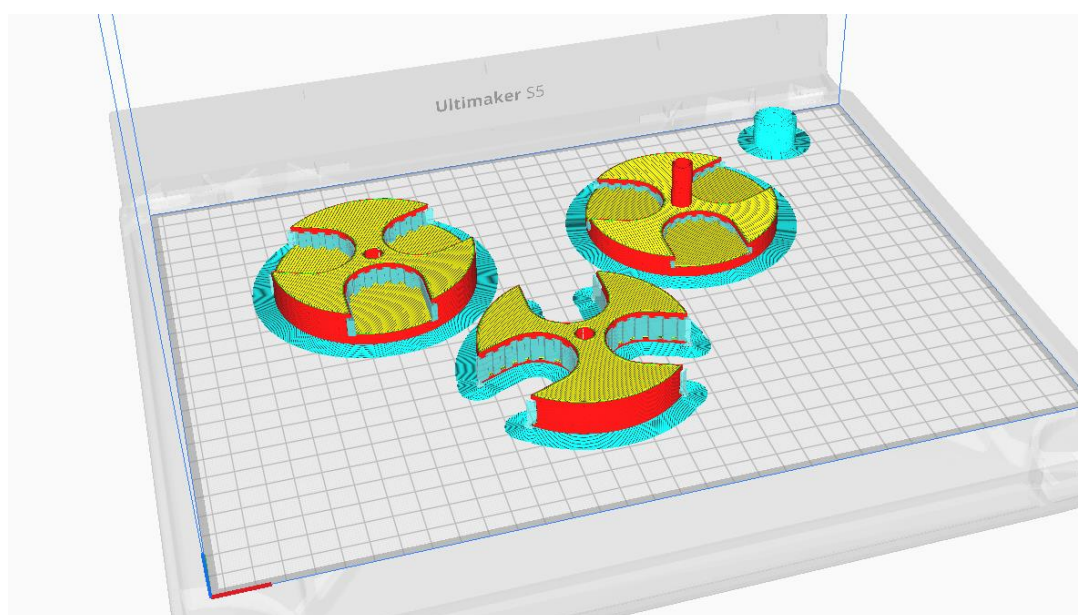


Рисунок 5.8 – Вигляд дисків з підтримками

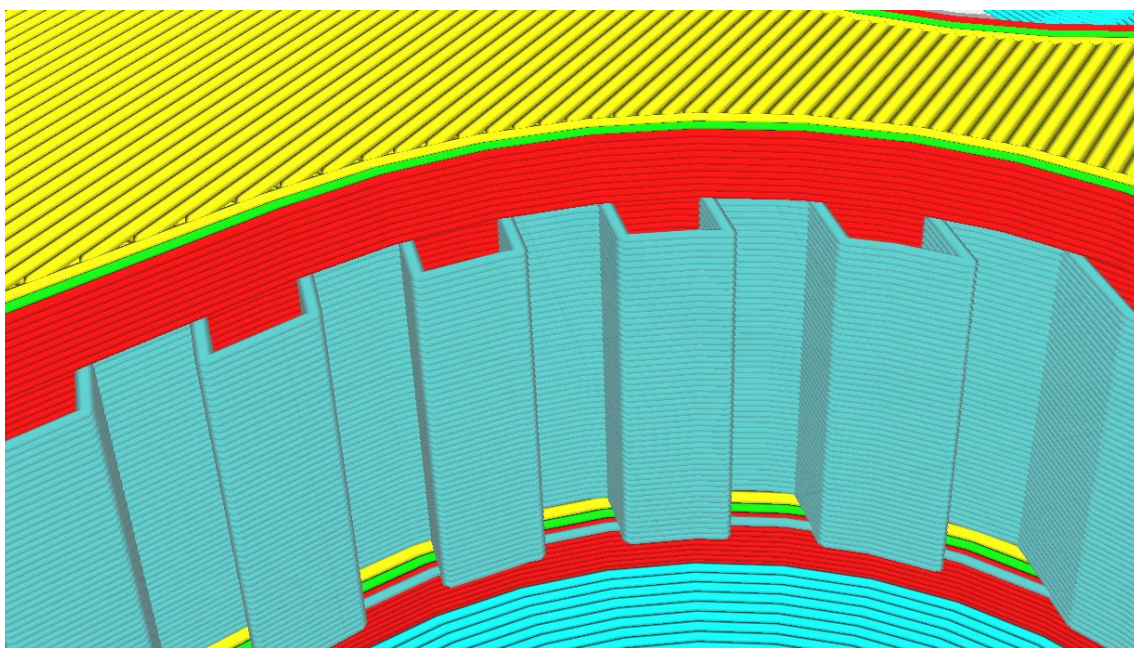


Рисунок 5.9 – Щільність заповнення дисків

Повторюємо попередні дії але вже з орігамі-дизайнами, та розташовуємо їх на полі 3D принтеру.

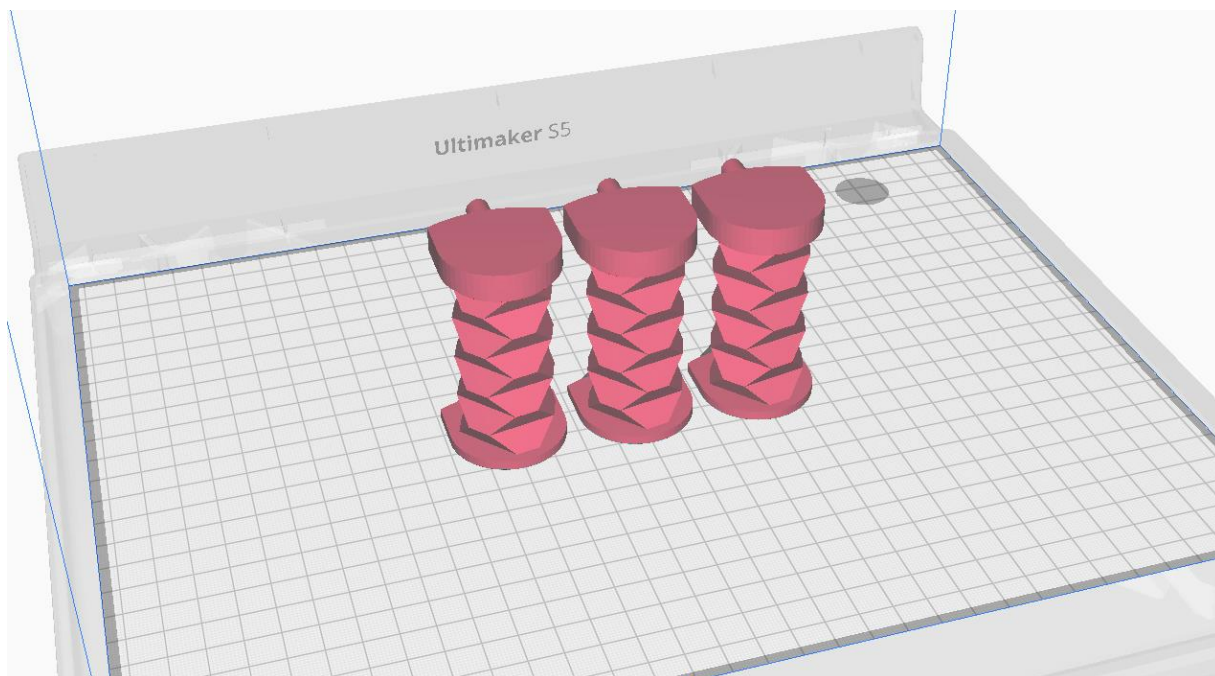


Рисунок 5.10 – Розташування еластичного елемента

Виставляємо такі самі налаштування які вказані на рисунках 5.3 – 5.6.

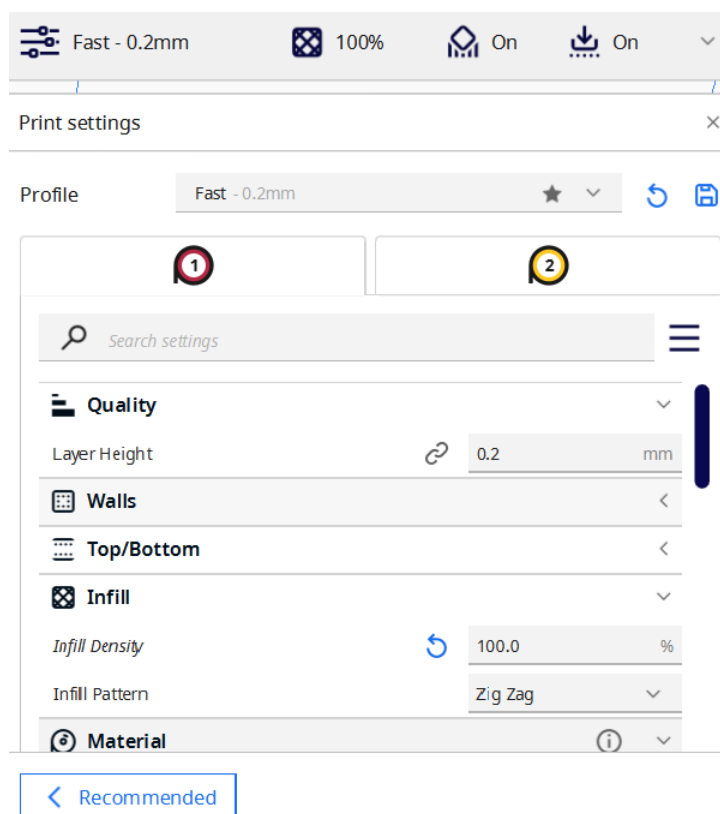


Рисунок 5.11 – Налаштування для еластичного елемента

Натискаємо «Slise» для того щоб побачити час друку, приблизну вагу витраченого матеріалу та масу. Можемо зробити висновок, що печать еластичних елементів відбуватиметься 13 год. 50 хв., а вага складе 130г.

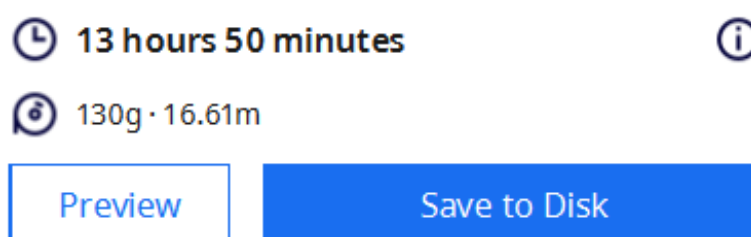


Рисунок 5.12 – Час друку еластичних елементів, маса і витрата матеріалу

Для того щоб побачити вигляд еластичних елементів з підтримками (рисунок 5.13) та щільність заповнення (рисунок 5.14) натискаємо «Preview».

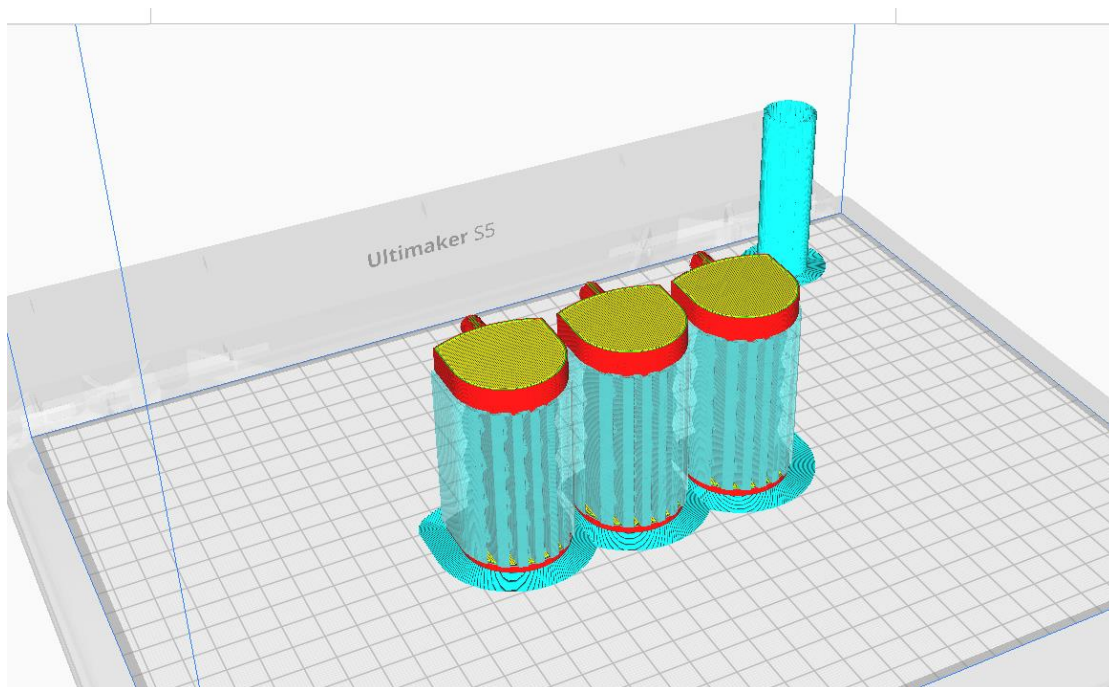


Рисунок 5.13 – Нарізання на шари для орігамі-дизайнів

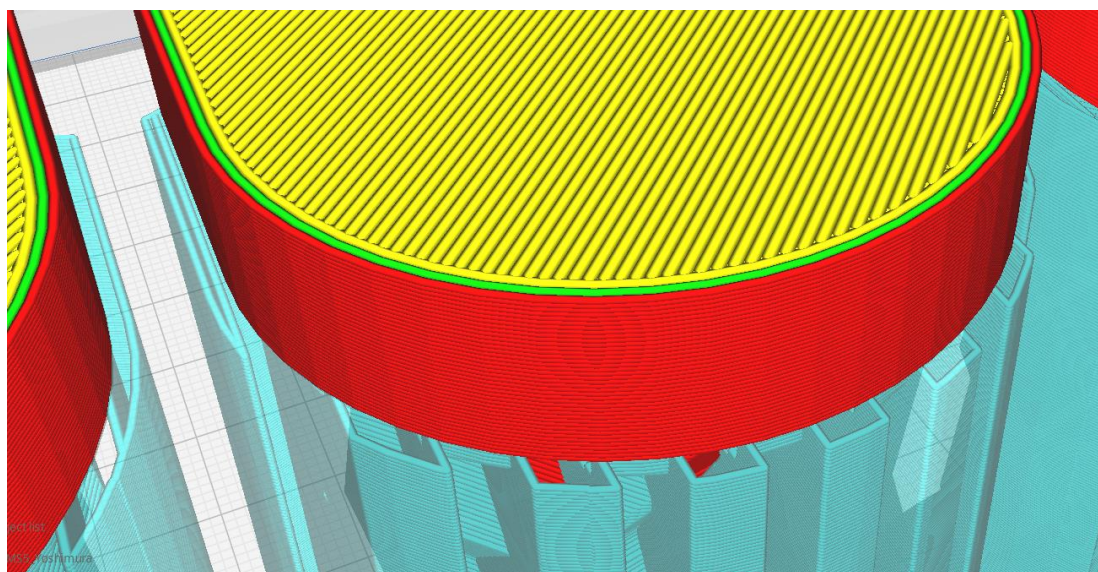


Рисунок 5.14 – Щільність заповнення еластичних елементів

ВИСНОВКИ

У цій дипломній роботі було проведено всебічний огляд літератури, присвяченої м'яким пневматичним маніпуляторам і різним видам орігамі. Особливу увагу було приділено дизайну еластичних структур, зокрема орігамі-дизайну Йошімура, який було ретельно спроектовано для потреб цієї роботи. У рамках дослідження було створено виконавчий орган, оснащений камерою для передавання зображення. Завдяки можливості подачі тиску в еластичні елементи, цей виконавчий орган може здійснювати керовані рухи, забезпечуючи високий рівень маневреності.

Процес проектування виконавчого органу включав не лише розробку еластичного орігамі-дизайну, а й практичні експерименти з 3D друком. У ході роботи я здобула важливі навички роботи в проектуванні та з 3D принтером, а також детально ознайомилася з різними видами матеріалів і їх характеристиками. Це дало можливість вибрати оптимальні матеріали для створення функціонального і надійного маніпулятора.

Запропонована конструкція м'якого пневматичного маніпулятора має значний потенціал для застосування в різних галузях. Її гнучкість і можливість проникнення в важкодоступні місця роблять її незамінною в ситуаціях, де необхідна висока точність і делікатність.

Результати цієї роботи демонструють, що правильно спроектований орігамі-дизайн може значно підвищити ефективність і функціональність м'яких пневматичних маніпуляторів. Запропонована конструкція не тільки розширює межі можливого у сфері робототехніки, але й робить вагомий внесок у розвиток нових технологій, які можуть полегшити життя людей і покращити якість виконання різноманітних завдань.

Підсумовуючи, ця дипломна робота продемонструвала, що поєднання інноваційних дизайнів, таких як орігамі Йошімура, з сучасними технологіями 3D друку може призвести до створення високоефективних і універсальних інструментів, здатних вирішувати складні інженерні задачі.

СПИСОК ВИКОРИСТАНИХ ДЖЕРЕЛ

1. Joe S., Bernabei F., Beccai L. A Review on Vacuum-Powered Fluidic Actuators in Soft Robotics. URL: <https://doi.org/10.5772/intechopen.104373> (дата звернення: 04.06.2024).
2. De Greef A., Lambert P., Delchambre A. Towards flexible medical instruments: Review of flexible fluidic actuators. URL: <https://doi.org/10.1016/j.precisioneng.2008.10.004> (дата звернення: 04.06.2024).
3. Meloni M., Cai J., Zhang Q. Engineering Origami: A Comprehensive Review of Recent Applications, Design Methods, and Tools. URL: <https://doi.org/10.1002/advs.202000636> (дата звернення: 04.06.2024).
4. Fold Mapping / M. Gardiner та ін. *Parametric House*. URL: <https://parametrichouse.com/fold-mapping/> (дата звернення: 04.06.2024).
5. Design of deformable-wheeled robot based on origami structure with shape memory alloy coil spring / D.-Y. Lee et al. URL: <https://doi.org/10.1109/URAI.2013.6677486> (дата звернення: 04.06.2024).
6. Soft robotic origami crawler / Q. Ze та ін. URL: <https://doi.org/10.1126/sciadv.abm7834> (дата звернення: 04.06.2024).
7. Wang M. An Origami-Based Soft Actuator and the Application as A Soft Gripper. URL: <https://scholarspace.library.gwu.edu/etd/hd76s070j> (дата звернення: 04.06.2024).
8. Shen Z., Zhao Y., Zhong H. Soft Origami Optical-Sensing Actuator for Underwater Manipulation. *Frontiers*. URL: <https://www.frontiersin.org/articles/10.3389/frobt.2020.616128/full> (дата звернення: 04.06.2024).

9. Цифровий ендоскоп Xiamen 3 в 1 камера micro USB/USB/Type-C 5 мм гнучкий 2 м (PH050517). URL: <https://rozetka.com.ua/ua/xiamen-ph050517/p369582507/> (дата звернення: 04.06.2024).
10. TPU (термопластичний поліуретан) для 3D-друку. *3D Printing Infomir*. URL: <https://3dprint.infomir.eu/tpu-termoplastichnyj-poliuretan-dlya-3d-pechati/> (дата звернення: 04.06.2024).
11. TPE | Види полімерів - Resinex. *Resinex - Дистрибуція*. URL: <https://www.resinex.com.ua/vidi-polmerv/tpe.html#:~:text=ТПЕ%20є%20загальною%20назвою%20термопластичних,тиском,%20мультикомпонентного%20формування%20або%20екструзії.> (дата звернення: 04.06.2024).
12. Ultimaker TPU 95A Технічний паспорт. URL: <https://um-support-files.ultimaker.com/materials/2.85mm/tds/TPU-95A/Ultimaker-TPU95A-TDS-v5.00.pdf> (дата звернення: 04.06.2024).
13. PVA для 3D-друку Raise3D Premium PVA+. *3DDevice*. URL: <https://3ddevice.com.ua/product/raise3d-pva-dlya-3d-druku-1-75mm-750g/> (дата звернення: 04.06.2024).

Огляд оригамі – дизайнів в інженерії

Оригамі-дизайн «Міура»

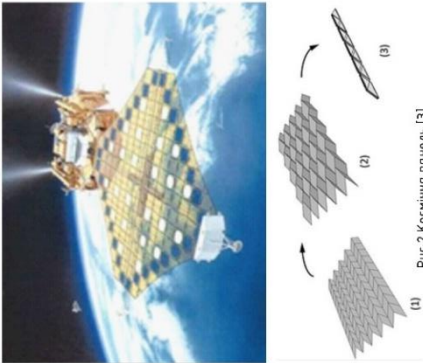


Рис.2 Космічна панель [3]

Види оригамі – дизайнів

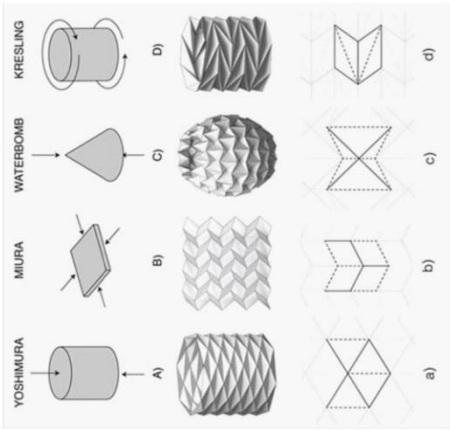


Рис.1 Види оригамі [4]

Оригамі-дизайн «Креслінг»

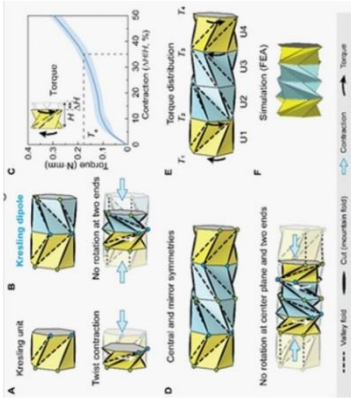


Рис.7 Креслінг дизайн [6]

Оригамі-дизайн «Йошимура»

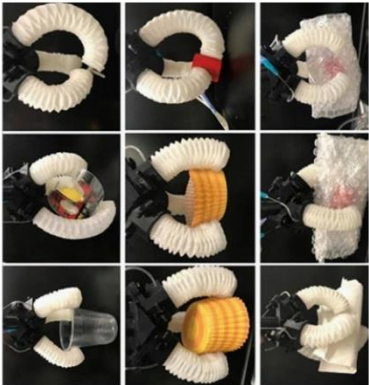


Рис.3 Маніпулятор з еластичним елементом [7]

Оригамі-дизайн «Водяна бомба»

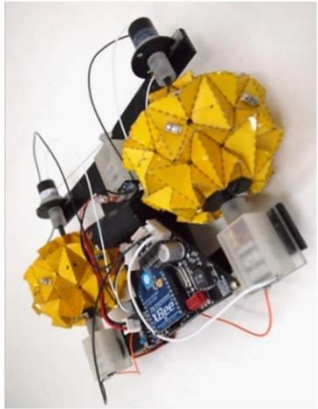


Рис.5 Робот з деформованими колесами на основі структури оригамі [5].

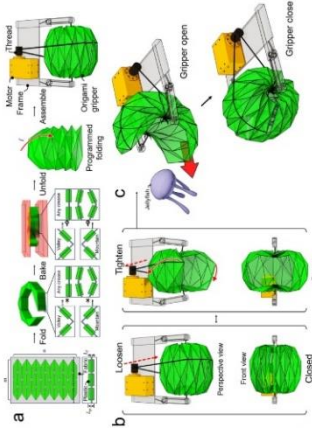


Рис.6 М'який пневматичний маніпулятор захвату [14]

Конструкція та принцип роботи

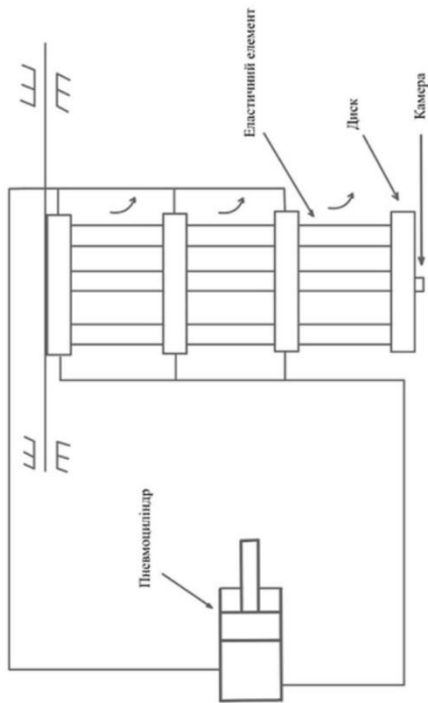


Рис.1 Схеми виконавчого органу під'єднаного до пневмоциліндра, коли не подається тиск

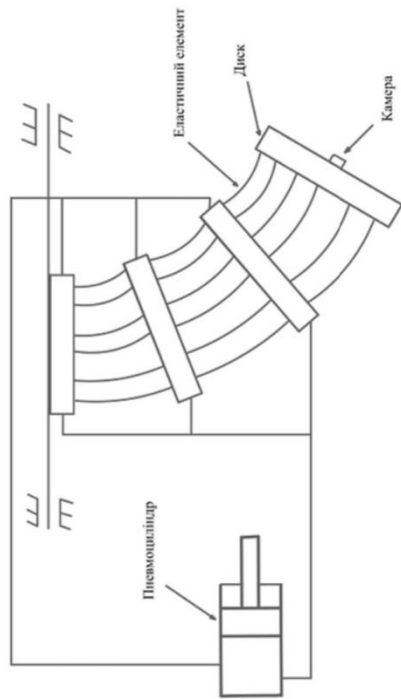


Рис.2 Схеми виконавчого органу під'єднаного до пневмоциліндра, коли тиск подається у три крайні прабі еластичні елементи

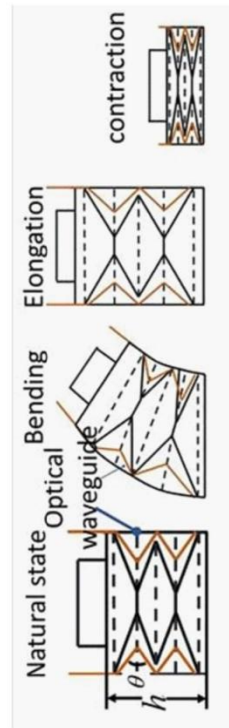


Рис.3 Схеми положень еластичного елемента при деформації [8]

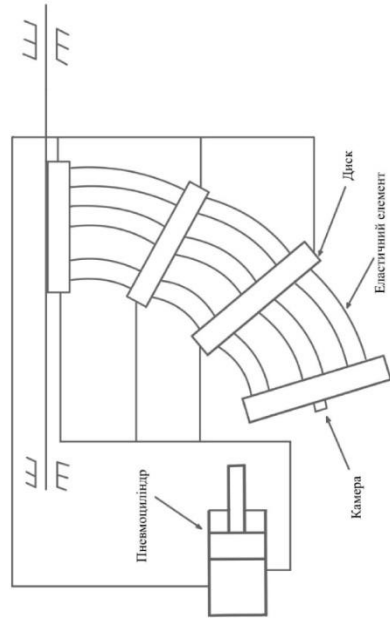
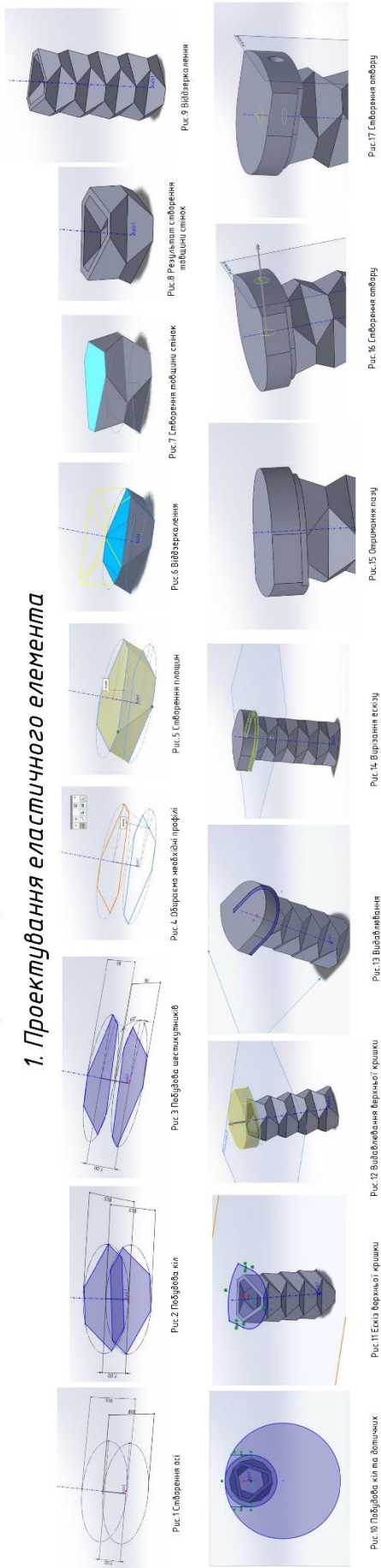


Рис.4 Схеми виконавчого органу під'єднаного до пневмоциліндра, коли тиск подається у три крайні ліві еластичні елементи

Проектування 3D моделей

1. Проектування еластичного елемента



3. Проектування виконавчого органу

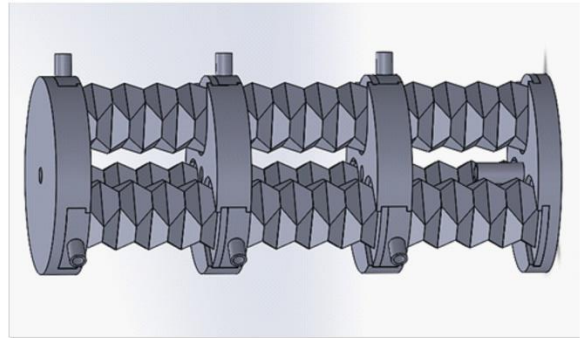
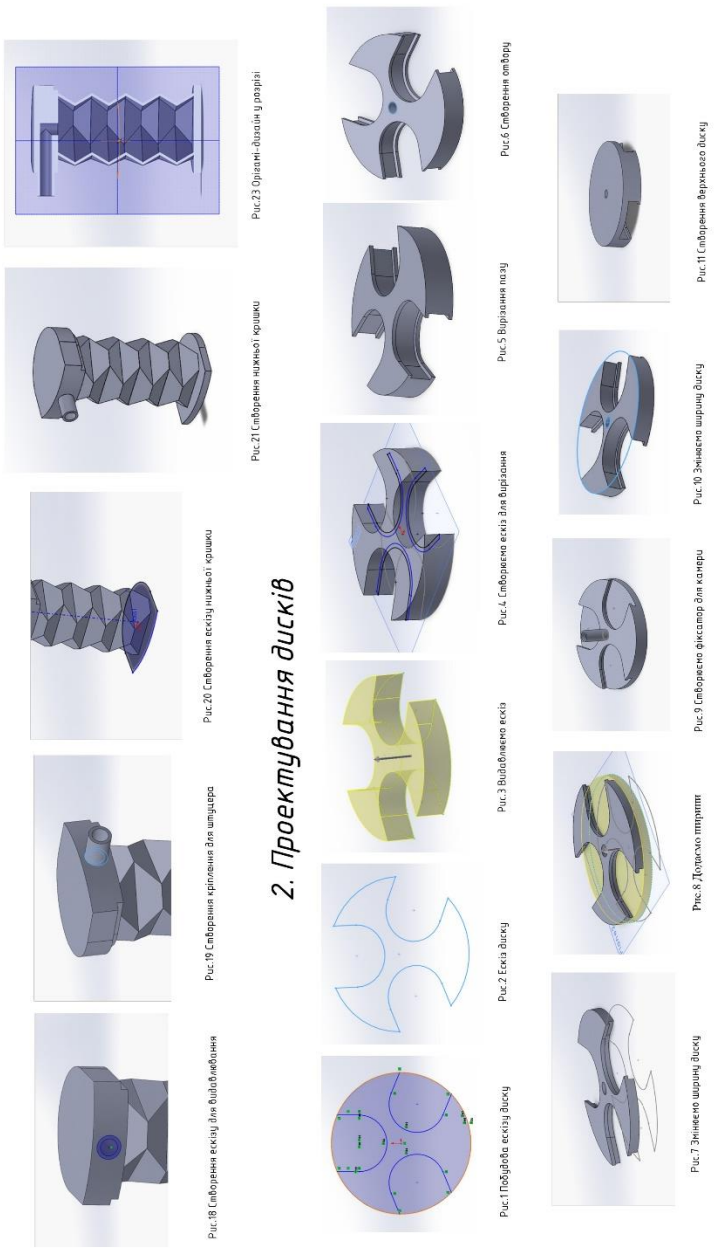


Рис.1 - Виконавчий орган

2. Проектування дисків



Визначення умов роботи

1. Розрахунок тиску

Величина деформації висоти

$$\Delta h = h_0 - h_f = 56 \text{ мм} - 12 \text{ мм} = 44 \text{ мм}$$

Визначення площі поперечного перерізу

$$A = \pi \left(\frac{d}{2} \right)^2 = \pi \left(\frac{30 \text{ мм}}{2} \right)^2 = \pi (15 \text{ мм})^2 \approx 706,86 \text{ мм}^2$$

Визначення відносної деформації

$$\epsilon = \frac{\Delta h}{h_0} = \frac{44 \text{ мм}}{56 \text{ мм}} \approx 0,7857$$

Визначення сили, яку потрібно прикласти, щоб стиснути елемент до бажаної висоти.

$$F = E \cdot A \cdot \epsilon = 30 \text{ МПа} \cdot 706,86 \text{ мм}^2 \cdot 0,7857$$

$$F = 30 \frac{\text{Н}}{\text{мм}^2} \cdot 706,86 \text{ мм}^2 \cdot 0,7857 \approx 16685,27 \text{ Н}$$

Розрахунок тиску

$$P = \frac{F}{A} = \frac{16685,27 \text{ Н}}{706,86 \text{ мм}^2} \approx 23,6 \frac{\text{Н}}{\text{мм}^2} = 23,6 \text{ МПа}$$

$$P_{\text{vac}} = P_{\text{atm}} - P = 101,3 \text{ кПа} - 23,6 \text{ кПа} = 77,7 \text{ кПа}$$

2. Розрахунок пневмоциліндра

Площа поперечного перерізу пневмоциліндра

$$A_{\text{пнев}} = \frac{F}{P} = \frac{16685,27 \text{ Н}}{0,777 \text{ Н/мм}^2} \approx 21485,15 \text{ мм}^2$$

Визначення діаметра циліндра

$$A_{\text{пнев}} = \pi \left(\frac{d_{\text{пнев}}}{2} \right)^2$$

$$d_{\text{пнев}} = 2 \sqrt{\frac{A_{\text{пнев}}}{\pi}}$$

$$d_{\text{пнев}} = 2 \sqrt{\frac{21485,15 \text{ мм}^2}{\pi}} \approx 165,3 \text{ мм}$$

Хід пневмоциліндра

$$\Delta h = h_0 - h_f = 56 \text{ мм} - 12 \text{ мм} = 44 \text{ мм}$$

3. Розрахунок кута нахилу при подачі тиску.

У випадку коли два циліндричних органи знаходяться в стані спокою, а в інший подається максимально допустимий тиск.

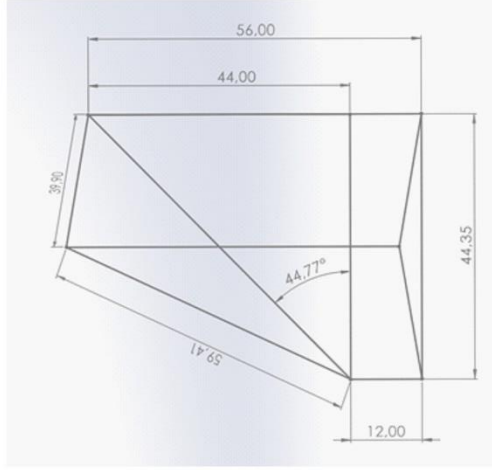


Схема нахилу при умові подачі максимального тиску в один з елементів

Рівняння для знаходження кута нахилу

$$\tan \alpha = \frac{H_{\text{повне}} - H_{\text{здуте}}}{L}$$

$$\tan \alpha = \frac{56 \text{ мм} - 12 \text{ мм}}{44,35 \text{ мм}} = \frac{44 \text{ мм}}{44,35 \text{ мм}}$$

$$\tan \alpha = \frac{880}{887}$$

$$\alpha = \arctan \left(\frac{880}{887} \right) + 180^\circ$$

$$\alpha = 44,77^\circ + 180^\circ$$

У випадку коли один циліндричний орган знаходиться в стані спокою, а в інший подається максимально допустимий тиск.

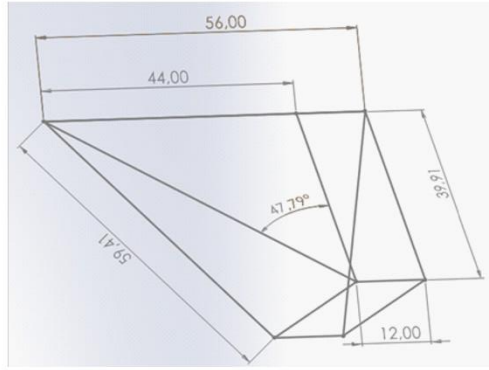


Схема нахилу при умові подачі максимального тиску в два елементи

Рівняння для знаходження кута нахилу

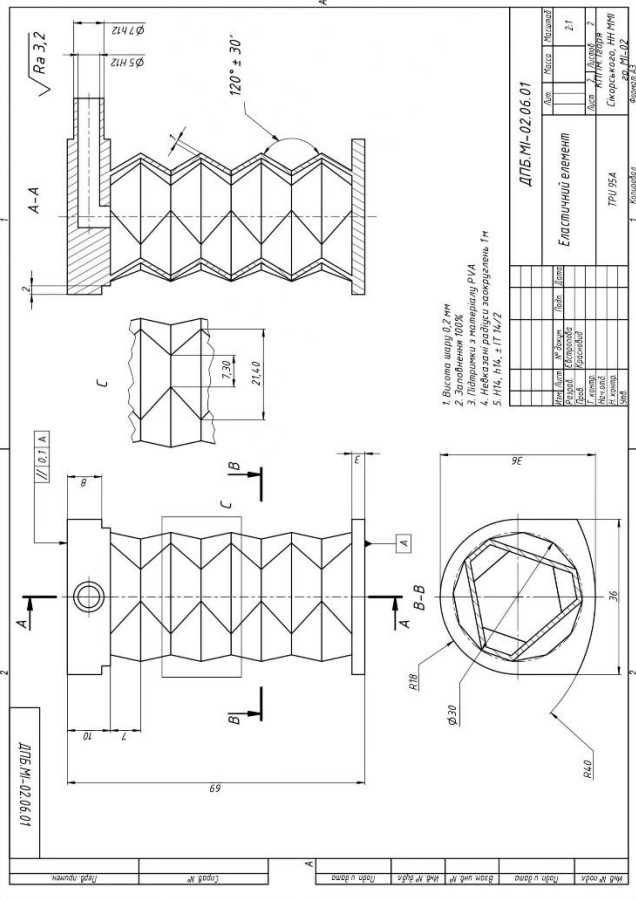
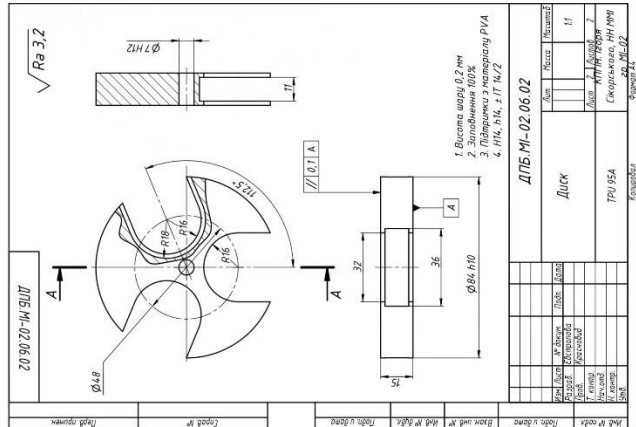
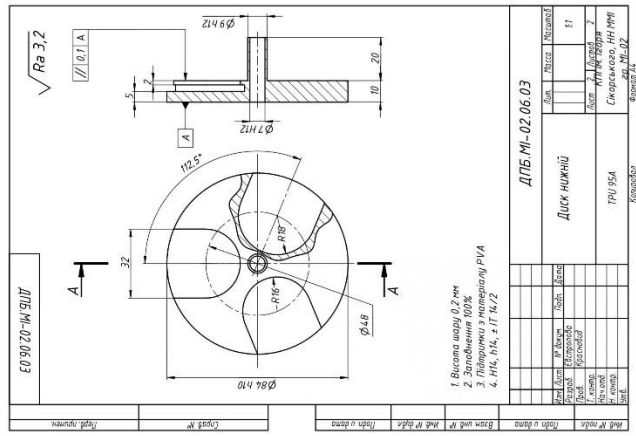
$$\tan \beta = \frac{H_{\text{повне}} - H_{\text{здуте}}}{L}$$

$$\tan \beta = \frac{56 \text{ мм} - 44 \text{ мм}}{39,91 \text{ мм}} = \frac{44 \text{ мм}}{39,91 \text{ мм}}$$

$$\tan \beta = \frac{4400}{3991}$$

$$\beta = \arctan \left(\frac{4400}{3991} \right) + 180^\circ$$

$$\beta = 47,79^\circ + 180^\circ$$

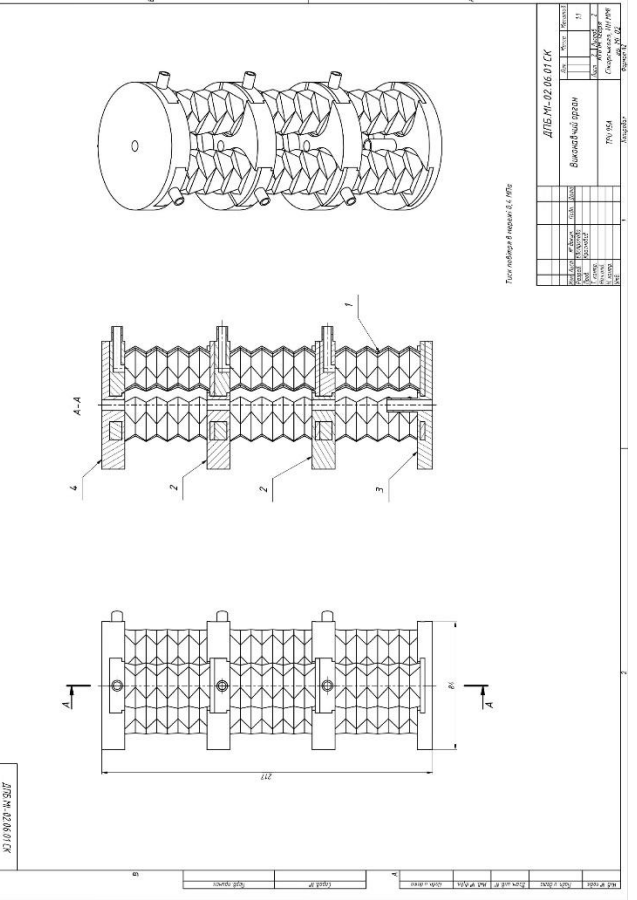
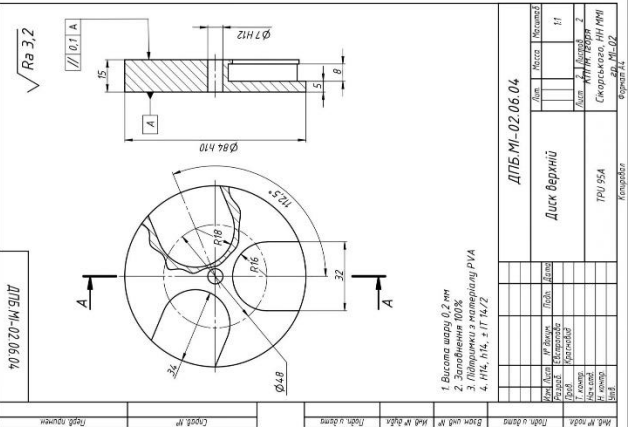


Примечание	Обозначение	Наименование
1	ДПБ М-02.06.01 СК	Диск нижний
2	ДПБ М-02.06.02	Диск
3	ДПБ М-02.06.03	Диск верхний
4	ДПБ М-02.06.04	Диск

ДПБ М-02.06.01 СК

Высокопрочный

ГОСТ 2019-90



Симуляція 3D друку

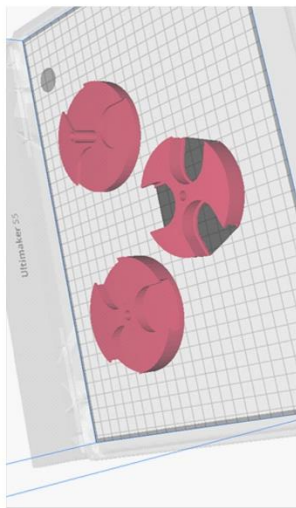


Рис.1 Завантаження дисків на стіл 3D принтеру



Рис.2 Вибір матеріалу



Рис.3 Налаштування параметрів



Рис.4 Налаштування «Top/Bottom»

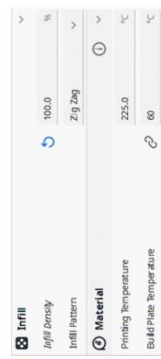


Рис.5 Налаштування заповнення па матеріалу

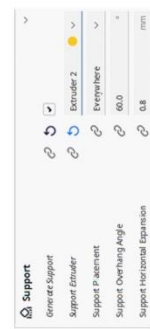


Рис.6 Налаштування параметрів підтримок



Рис.7 Час друку дисків, маса і витрата матеріалу

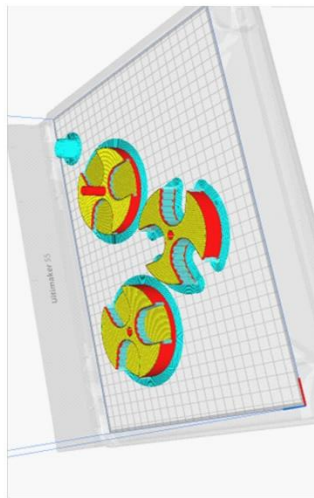


Рис.8 Вигляд дисків з підтримками

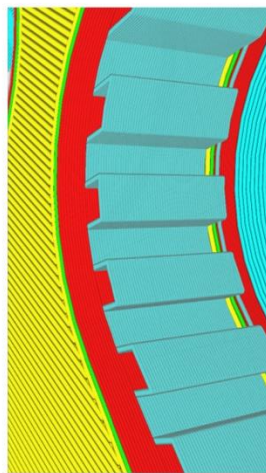


Рис.9 Щільність заповнення дисків

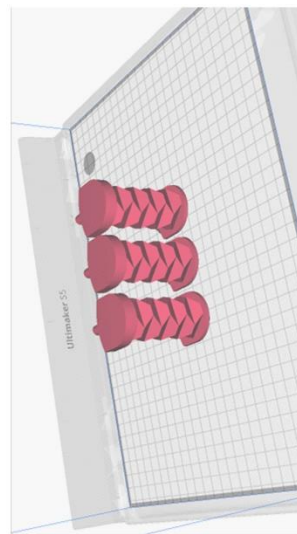


Рис.10 Розташування еластичного елемента



Рис.11 Налаштування для еластичного елемента



Рис.12 Час друку еластичних елементів, маса і витрата матеріалу

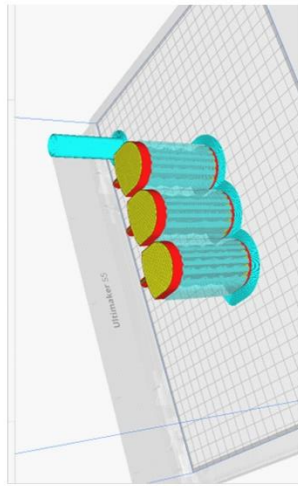


Рис.13 Нарізання на шари для орієнтації-дизайн

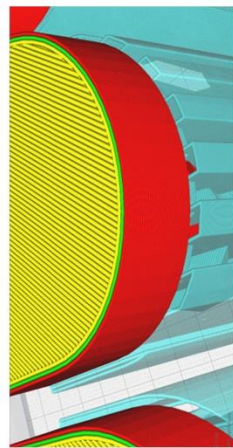


Рис.14 Щільність заповнення еластичних елементів