

МІНІСТЕРСТВО ОСВІТИ І НАУКИ УКРАЇНИ  
НАЦІОНАЛЬНИЙ ТЕХНІЧНИЙ УНІВЕРСИТЕТ УКРАЇНИ  
«КИЇВСЬКИЙ ПОЛІТЕХНІЧНИЙ ІНСТИТУТ  
імені ІГОРЯ СІКОРСЬКОГО»

**Д. С. Гриценко**

# **ІНТЕГРОВАНІ ТЕХНОЛОГІЇ ТА РЕІНЖИНІРИНГ ЛАБОРАТОРНИЙ ПРАКТИКУМ**

**Навчальний посібник**

Рекомендовано Методичною радою КПІ ім. Ігоря Сікорського  
як навчальний посібник для здобувачів ступеня бакалавра  
за освітньою програмою «Комп'ютеризовані поліграфічні системи»  
спеціальності 133 «Галузеве машинобудування»

Електронне мережне навчальне видання

Київ  
КПІ ім. Ігоря Сікорського  
2023

Рецензент *Палюх О. О.*, д-р техн. наук, професор,  
професор кафедри репрографії

Відповідальний редактор *Зенкін М. А.*, д-р техн. наук, професор

*Гриф надано Методичною радою КПІ ім. Ігоря Сікорського  
(протокол № 1 від 07.09.2023 р.)  
за поданням Вченої ради НН ВПІ  
(протокол № 11 від 26.06.2023 р.)*

У навчальному посібнику наведено перелік та рекомендації до виконання лабораторних робіт з дисципліни «Інтегровані технології та реінжиніринг». Запропоновані завдання сприяють використанню набутих теоретичних знань на практиці, поглибленню та закріпленню набутих знань, умінь і навичок з використання сучасної методології, методів, прийомів, комп'ютерної техніки і інформаційних технологій (зокрема, використання комп'ютерної програми Autodesk Inventor) при впровадженні інтегрованих технологій та реінжинірингу у поліграфічне виробництво, ефективного використання широкого спектру інтегрованих технологій, матеріалів і технологічних можливостей, застосування сучасних світових концепцій проектування та реінжинірингу підприємств поліграфічного машинобудування.

Навчальний посібник призначений для здобувачів ступеня магістра, які навчаються за спеціальністю 133 «Галузеве машинобудування». Посібник також буде корисним для студентів інших спеціальностей та викладачів, які цікавляться питаннями використання реінтегрованих технологій та реінжинірингу у сучасному машинобудуванні засобами комп'ютерної програми Autodesk Inventor.

Реєстр. № НП 23/24-012. Обсяг 2,37 авт. арк.

Національний технічний університет України  
«Київський політехнічний інститут імені Ігоря Сікорського»  
проспект Перемоги, 37, м. Київ, 03056  
<https://kpi.ua>

Свідоцтво про внесення до Державного реєстру видавців, виготовлювачів  
і розповсюджувачів видавничої продукції ДК № 5354 від 25.05.2017 р.

© Д. С. Гриценко  
© КПІ ім. Ігоря Сікорського, 2023

## ЗМІСТ

ВСТУП .....	4
ЛАБОРАТОРНА РОБОТА №1 ЕКСПОРТ ФАЙЛІВ У PDF ТА DWF ДЛЯ СПІЛЬНОГО ПЕРЕГЛЯДУ ТА 3D ДРУКУ .....	6
ЛАБОРАТОРНА РОБОТА №2 СТВОРЕННЯ ТА ВИКОРИСТАННЯ БАГАТОТІЛЬНИХ ДЕТАЛЕЙ.....	13
ЛАБОРАТОРНА РОБОТА №3 СТВОРЕННЯ ТА РЕДАГУВАННЯ РАМ З ПРОФІЛІВ .....	21
ЛАБОРАТОРНА РОБОТА №4 ЗАСТОСУВАННЯ ТОПОЛОГІЧНИХ ПРИНЦИПІВ ОПТИМІЗАЦІЇ (ГЕНЕРАТОР ФОРМ).....	36
СПИСОК РЕКОМЕНДОВАНОЇ ЛІТЕРАТУРИ .....	43
ПЕРЕЛІК ПОСИЛАНЬ.....	47

## ВСТУП

Навчальна дисципліна «Цифрова обробка зображень» є вибірковою професійно-орієнтованою в підготовці бакалаврів за спеціальністю 133 Галузеве машинобудування освітньої програми «Комп'ютеризовані поліграфічні системи». Освітньою програмою передбачено виконання лабораторних робіт з метою застосування набутих теоретичних знань для вирішення практичних задач, а отже закріплення і поглиблення знань, отриманих студентами під час вивчення цієї дисципліни.

Запропонований цикл лабораторних робіт призначений сприяти поглибленню та закріпленню набутих знань, умінь і навичок з використання сучасної методології, методів, прийомів, комп'ютерної техніки і інформаційних технологій (зокрема, комп'ютерної програми Autodesk Inventor) при впровадженні інтегрованих технологій та реінжинірингу у поліграфічне виробництво, ефективного використання широкого спектру інтегрованих технологій, матеріалів і технологічних можливостей, застосування сучасних світових концепцій проектування та реінжинірингу підприємств поліграфічного машинобудування.

У процесі виконання завдань лабораторних робіт студенти отримають досвід самостійного застосування аналітичного підходу та прийняття рішень для виконання поставлених задач із використання інтегрованих технологій та реінжинірингу у поліграфії, зокрема:

- аналізу технологічних процесів;
- вибору та ефективного застосування сучасних інтегрованих технологій;
- визначення та обґрунтування шляхів розвитку підприємств поліграфічного машинобудування на основі системного аналізу їхньої діяльності;
- забезпечення максимально ефективного використання обладнання, площ, приміщень та персоналу;

- оптимізації матеріально-виробничих потоків;
- забезпечення високої гнучкості та багатоваріантності використання підприємств поліграфічного машинобудування;
- забезпечення високої привабливості та конкурентоспроможності підприємств поліграфічного машинобудування.

Отримані практичні навички та знання під час виконання циклу лабораторних робіт з дисципліни «Інтегровані технології та реінжиніринг» можна використовувати в подальшому під час проходження переддипломної практики та виконання дипломного проєкту, а також у професійній діяльності після завершення навчання.

# ЛАБОРАТОРНА РОБОТА №1

## ЕКСПОРТ ФАЙЛІВ У PDF ТА DWF ДЛЯ СПІЛЬНОГО ПЕРЕГЛЯДУ ТА 3D ДРУКУ

**Мета роботи:** навчитися використовувати різноманітні інструменти, щоб поділитись проектом для співпраці з іншими людьми.

### Завдання роботи:

- навчитись створювати 3D-файли PDF, DWG, A360, для перевірки, анотування та 3D-друку
- навчитись ділитись посиланням на файл проекту для спільної роботи.

**Обладнання для виконання роботи:** комп'ютер із встановленим на ньому програмним забезпеченням Autodesk Inventor.

### Порядок і рекомендації щодо виконання роботи:

1. Відкрийте файл *Clamp sub-assembly.iam* (рис. 1.1).

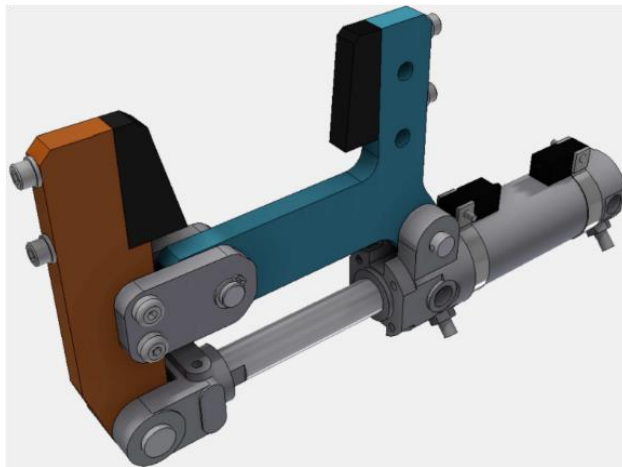


Рисунок 1.1 – Вміст файлу *Clamp sub-assembly.iam*

2. У меню *Файл (File)* виберіть *Експорт (Export)* та **3D PDF**.
3. Ознайомтесь з параметрами виведення PDF, виберіть папку для виводу файлу (рис. 1.2).

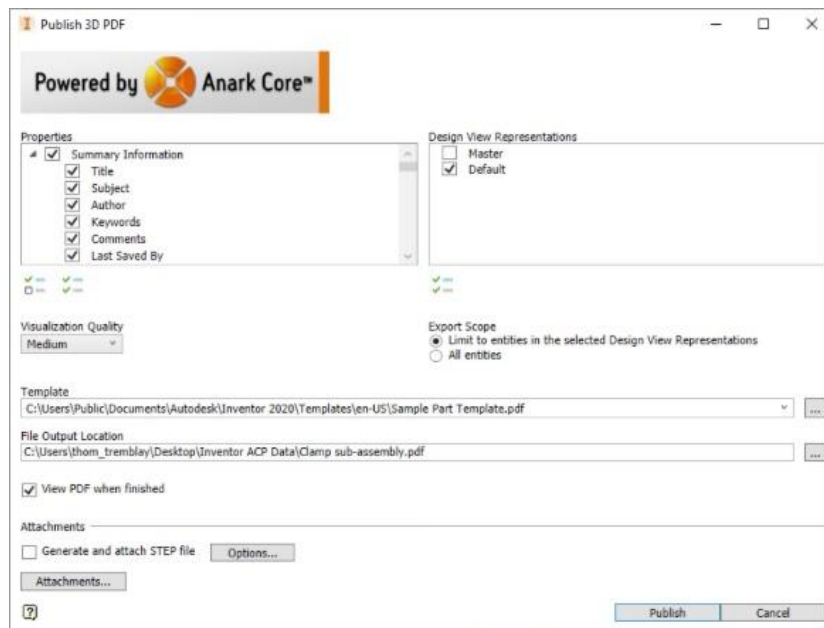


Рисунок 1.2 – Параметри виведення PDF

4. Натисніть **Публікація (Publish)**.
5. Відкриється PDF-файл, перегляньте та спробуйте використати параметри (відключення тіл, вимірювання розмірів і т.д.), які надаються засобом перегляду PDF (рис. 1.3).

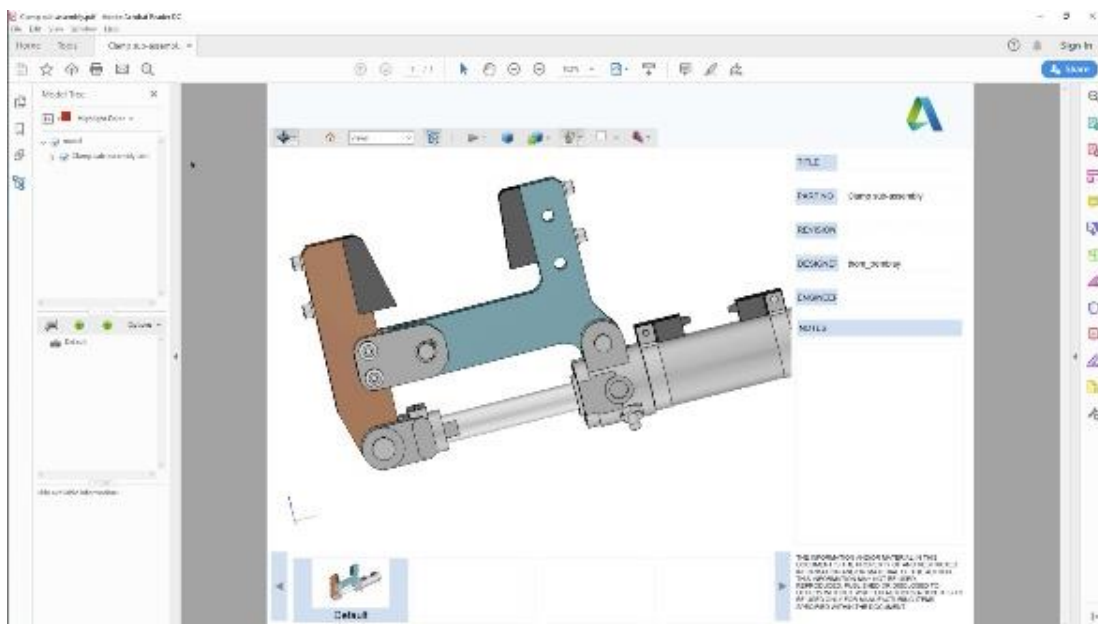


Рисунок 1.3 – Маніпулювання об'єктом у засобі перегляду PDF

6. Поверніться до збірки.
7. Зробіть новий експорт: **Файл (File) - Експорт (Export)**, а потім **Експорт в DWF (Export to DWF)**.

8. Ознайомтесь з параметрами захисту проекту, властивостями, які експортуються, вмісту файлу DWF, та натисніть **Опублікувати**, щоб створити DWF файл проекту (рис. 1.4).

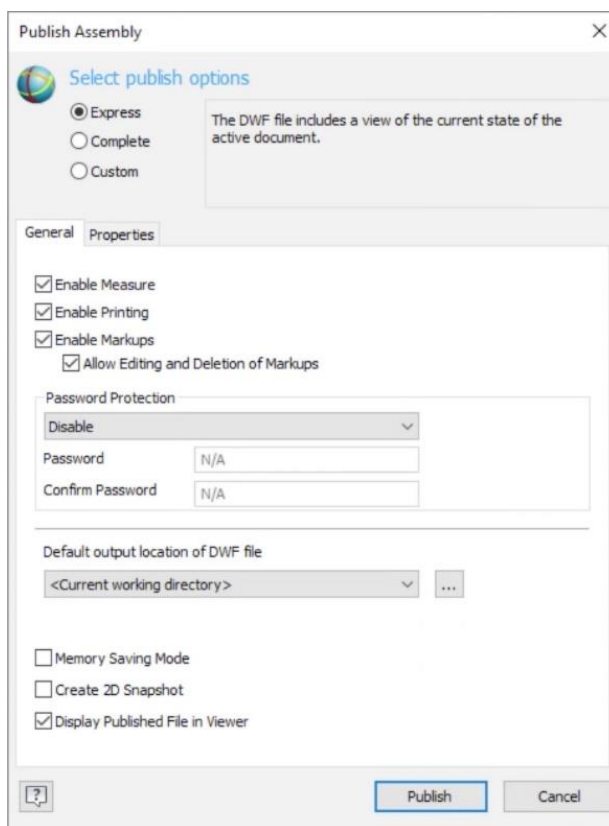


Рисунок 1.4 – Діалогове вікно *Публікація збірки*

Примітка: для перегляду файлу DWF можна скористатись безкоштовною програмою перегляду **Autodesk Design Review**, яка завантажується за посиланням: <https://www.autodesk.com/products/design-review/download>

Також є можливість переглядати створені DWF файли в онлайн **Viewer**, в якому можна ділитись посиланням на файл проекту. Він доступний за посиланням: <https://viewer.autodesk.com/designviews>

9. У програмі **Design Review** ви можете приховувати компоненти моделі, розрізати модель, залишати коментарі та робити вимірювання.

10. Проведіть вимірювання деяких елементів моделі (рис. 1.5).

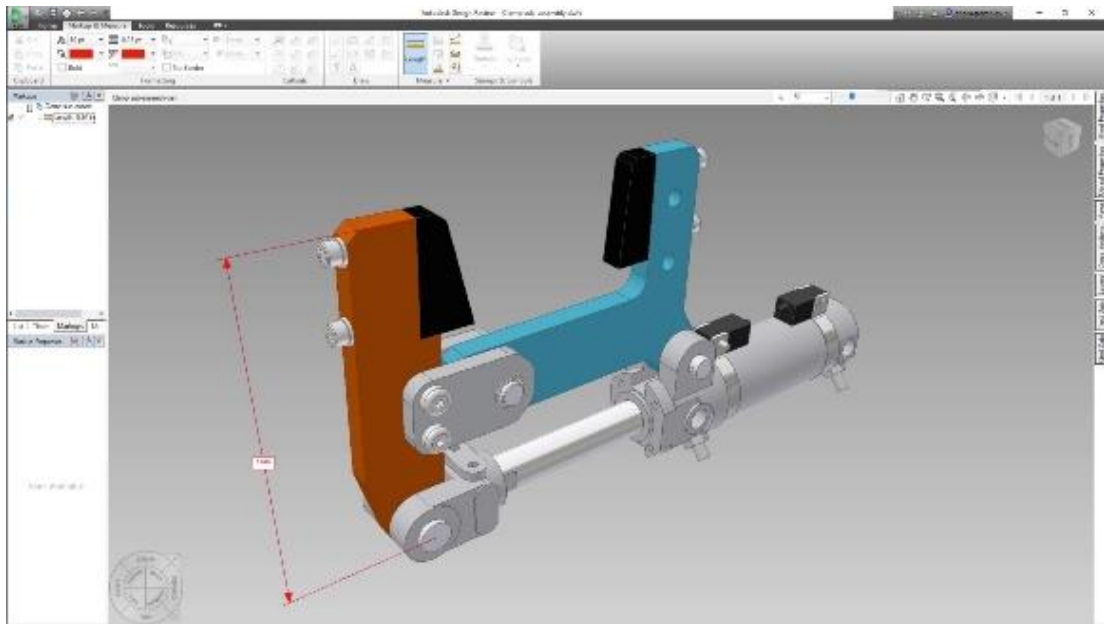


Рисунок 1.5 – Вимірювання елементів моделі у програмі *Design Review*

11. Відкрийте файл *Clamp sub-assembly.idw* (рис. 1.6).

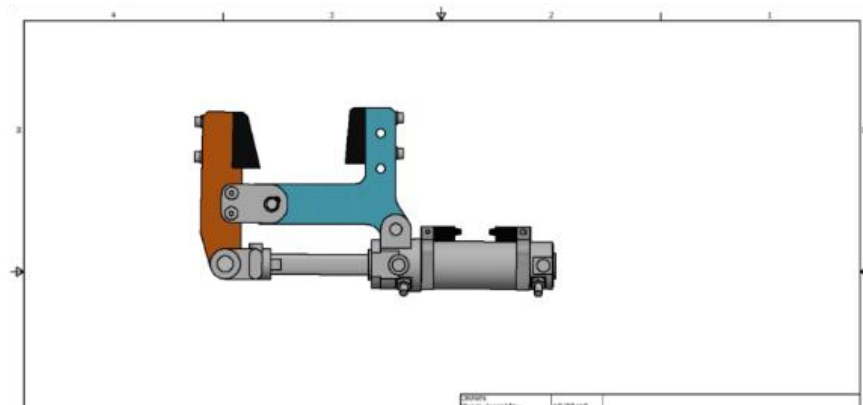


Рисунок 1.6 – Вміст файлу *Clamp sub-assembly.idw*

12. Натисніть *Файл (File)*, потім *Загальний доступ (Share)* і виберіть *Загальний доступ до виду (Share View)*.

13. Дайте файлу ім'я та натисніть *Поділитися (Share)*.

14. Після розміщення файлу на сервері з'явиться діалогове вікно (рис. 1.7), яке пропонує вам можливість переглянути файл у браузері (*View in browser*) або скопіювати посилання (*Copy link*) на проект (рис. 1.7).

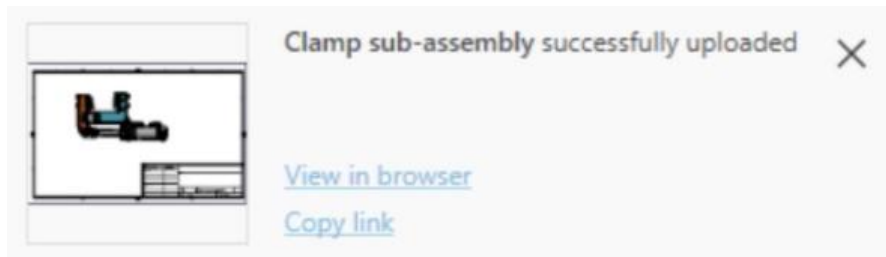


Рисунок 1.7 – Діалогове вікно після завантаження файлу на сервер

15. Натисніть **Переглянути у браузері (View in browser)**.

Примітка: Ця функція спрацює, якщо у програмі зроблено вхід до аккаунту Autodesk. У разі, якщо вхід не виконано, або функція не спрацювала, є можливість зберегти DWF файл проекту та завантажити його у під своїм аккаунтом у онлайн **Viewer**. Результат такий самий.

16. У онлайн **Viewer** ви можете вимірювати елементи, коментувати, розрізати та ділитись посиланням на проект.

17. Додайте примітку та коментар до виду креслення (рис. 1.8). Даний вид з позначками можна зберегти і поділитися з іншими.

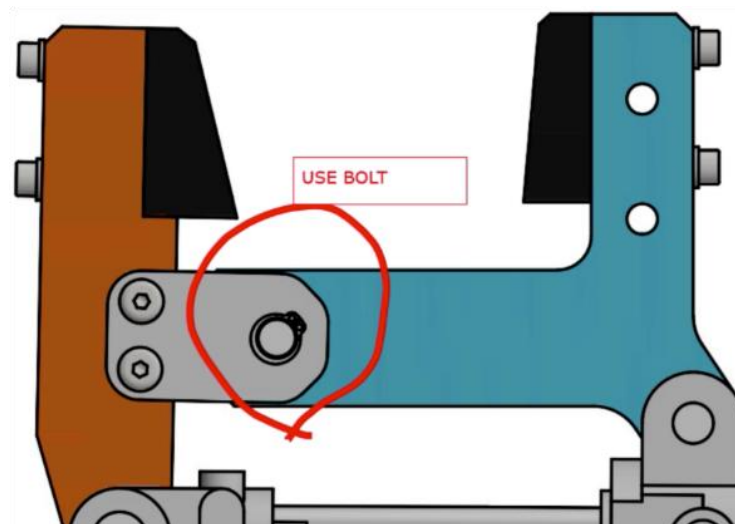


Рисунок 1.8 – Додавання примітки та коментаря до виду креслення

18. Поверніться до початкової збірки.

19. Встановіть фільтр вибір **Пріоритет деталей (Part Priority)**. Такий фільтр легко встановити клацаючи правою кнопкою миші і утримуючи клавішу Shift у вікні проектування.

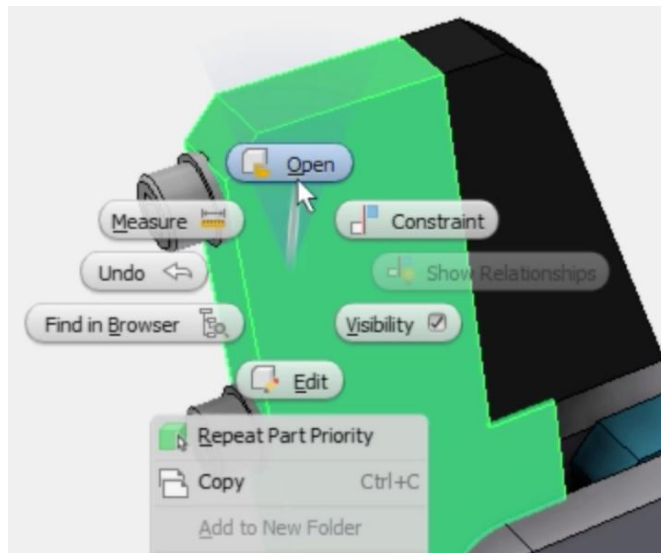


Рисунок 1.9 – Встановлення фільтру *Пріоритет деталей (Part Priority)*

20. Виділіть деталь 210-109с (вона знаходиться у збірці 210-110с:1), клацніть правою кнопкою миші по деталі і у меню, яке з'явилось, виберіть **Відкрити (Open)**.

21. Коли відкриється файл деталі, перейдіть меню *Файл (File)*, виберіть *Друк (Print)* і виберіть **Попередній перегляд для 3D (3D Print Preview)**.

22. Коли відкриється попередній перегляд, ввімкніть *Показати ребра грані (mesh display)*. Перейдіть в Параметри ознайомтесь можливими налаштуваннями та виберіть Роздільну здатність **Середнє** для збільшення якості відтворення деталі.

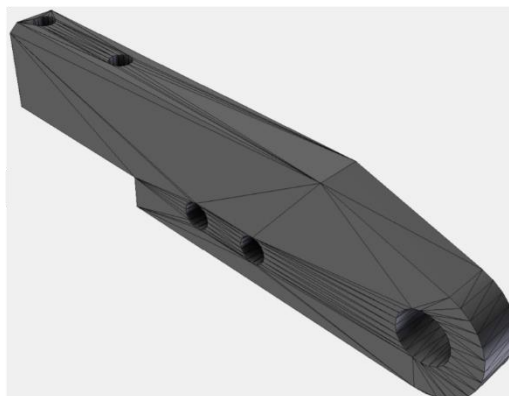


Рисунок 1.10 – Попередній перегляд для 3D (3D Print Preview)

### Контрольне завдання:

1. Відкрийте *3D Print Challenge.ipt*.

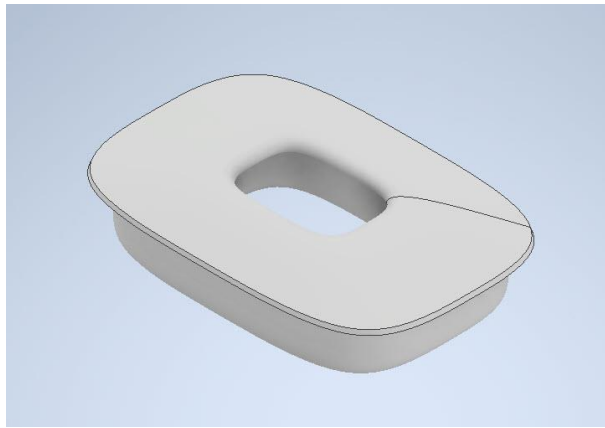


Рисунок 1.11 – Вміст файлу *3D Print Challenge.ipt*

2. Ознайомтесь з конструкцією деталі і налаштуйте параметри файлу STL для 3D друку. Збережіть STL файл деталі.

**Контрольні запитання:**

1. Яким чином створюють 3D-файли PDF, DWG, A360, для перевірки, анотування та 3D-друку?
2. Яким чином можна поділитись посиланням на файл проекту для спільної роботи.
3. Яким чином можна налаштувати параметри файлу STL для 3D друку?

## ЛАБОРАТОРНА РОБОТА №2 СТВОРЕННЯ ТА ВИКОРИСТАННЯ БАГАТОТІЛЬНИХ ДЕТАЛЕЙ

**Мета роботи:** навчитися створювати декілька тіл в одній деталі, після чого створювати з них збірку в програмі Autodesk Inventor.

### Завдання роботи:

- зрозуміти суть використання багатотільних деталей;
- зрозуміти переваги та недоліки багатотільних деталей;
- навчитися виконувати імпорт об'єктів як тіл із файлів STEP;
- навчитися комбінувати деталі з кількох тіл;
- навчитися розташовувати частин багатотільних деталей;
- навчитися створювати збірки з багатотільних деталей.

**Обладнання для виконання роботи:** комп'ютер із встановленим на ньому програмним забезпеченням Autodesk Inventor.

### Порядок і рекомендації щодо виконання роботи:

1. Відкрийте файл *V-Block Claimp.ipt* (рис. 2.1).

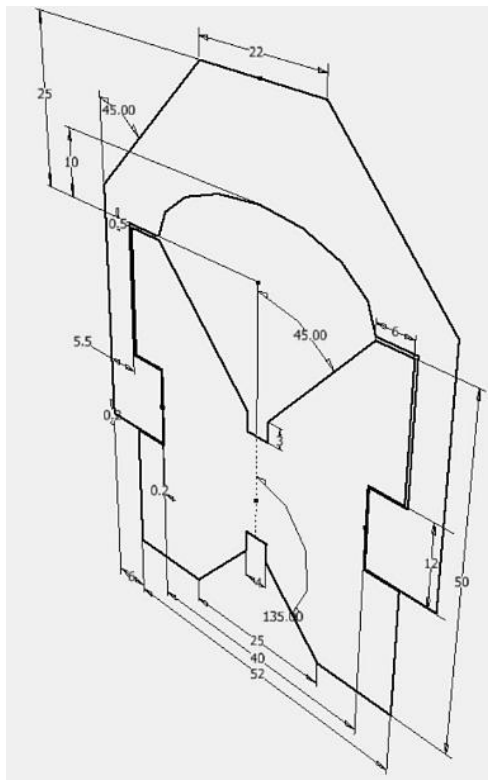


Рисунок 2.1 – Вигляд вмісту файлу *V-Block Claimp.ipt*

2. Запустіть інструмент *Видавлювання (Extrude)* і виберіть нижню частину профіля.
3. Встановіть Напрямок на *Симетрично* та відстань **60 мм** (рис. 2.2).

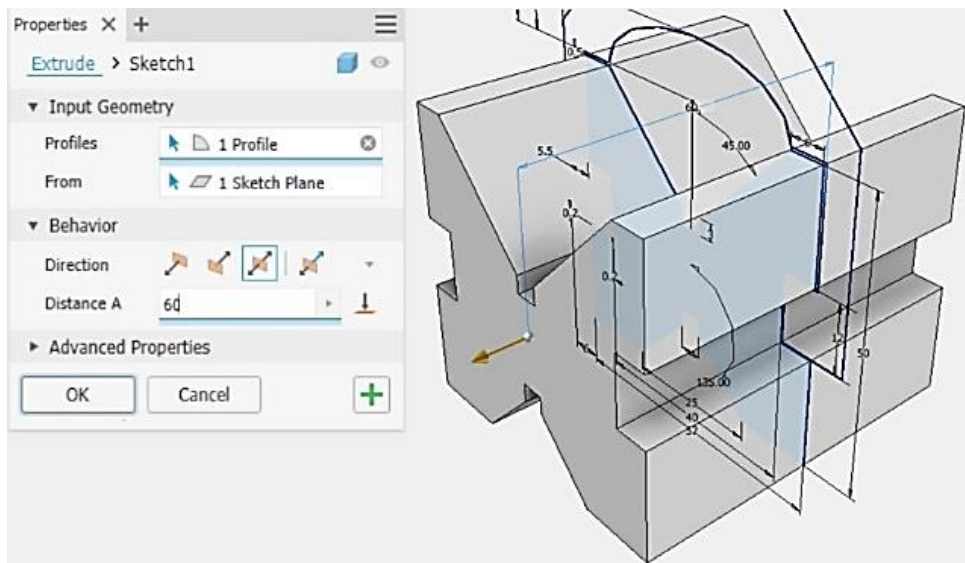


Рисунок 2.2 – Використання інструменту *Видавлювання (Extrude)*

4. Натисніть **ОК**, щоб створити тіло.
5. Розгорніть *Видавлювання1 (Extrusion1)* у браузері та клацніть правою кнопкою миші Sketch1 та зробіть Загальний доступ до ескизу.
6. Запустіть інструмент *Видавлювання (Extrude)* і виберіть верхній профіль.
7. Виберіть *Симетрично* видавити на відстань **22 мм**, і у полі вивід вкажіть *Створення тіла (New Solid)* (рис. 2.3).

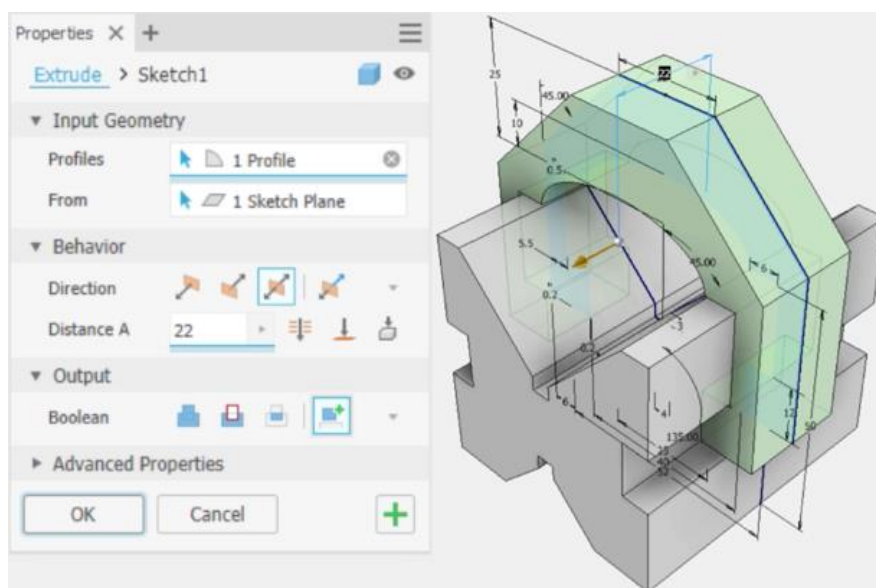


Рисунок 2.3 – Використання інструменту *Видавлювання (Extrude)*

8. Натисніть **ОК**, щоб створити нове тверде тіло.
9. Розгорніть папку *Solid Bodies* у браузері та змініть назву Solid1 на **Base** і Solid2 на **Yoke** рис. 2.4).

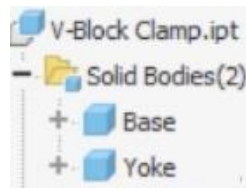


Рисунок 2.4 – Вигляд папки *Solid Bodies* у браузері після змін назв


10. Змініть колір ярма за допомогою спадного меню на панелі інструментів швидкого доступу.

11. Вимкніть видимість Sketch1.

12. Виберіть *Імпорт* (рис. 2.5) і виберіть файл *Clamp.stp* .



Рисунок 2.5 – Вигляд кнопки «Імпорт» на панелі інструментів

13. Використовуйте тип імпорту *Перетворити модель*, перевірте, щоб було встановлено вибір *Тіла (Solids)* та натисніть **ОК**, щоб імпортувати модель як тіло.
14. Запустіть *Безпосереднє редагування (Direct tool)*  у розділі «Змінити» та використовуйте параметр *Перемістити (Move)*, щоб перемістити нове тверде тіло ліворуч на **-60,75** і вниз на **-21,5**. Застосуйте зміни та відмініть інструмент (рис. 2.6).

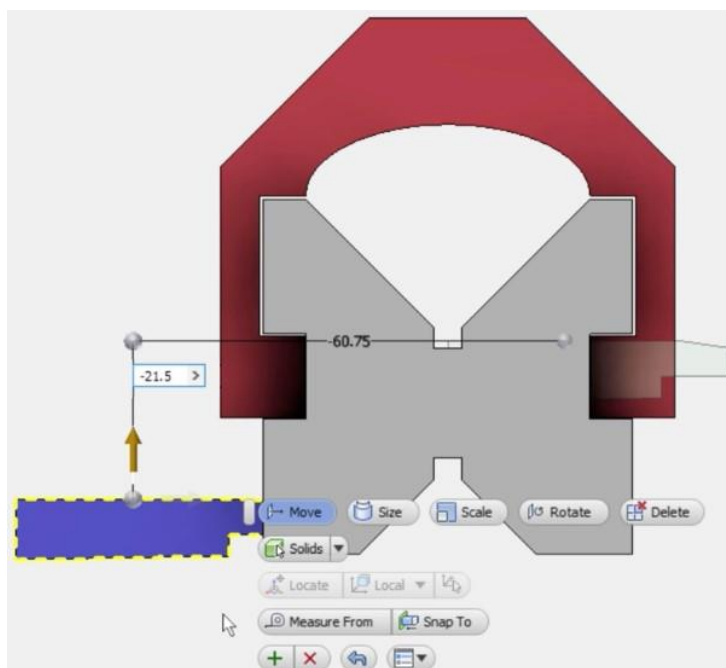


Рисунок 2.6 – Використання *Безпосереднє редагування (Direct tool)*

15. Запустіть інструмент *Комбінувати*, який знаходиться у частині панелі Змінити (рис. 2.7).

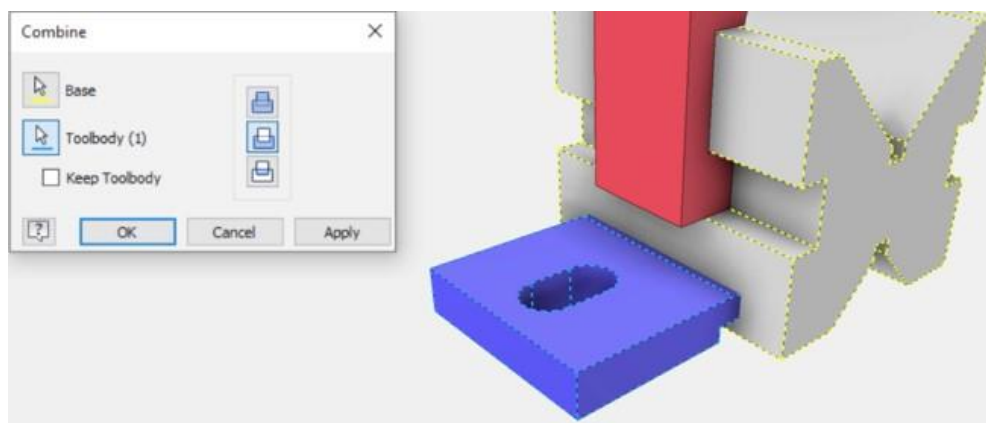


Рисунок 2.7 – Використання інструменту *Комбінувати*

16. Виберіть тіло Base як основу для комбінації та Solid3 як Форма-тіла.

17. Змініть дію на *Вирізати* та натисніть **ОК**.

18. Запустіть інструмент *Круговий масив* і виберіть елемент Комбінувати1 (рис. 2.8).

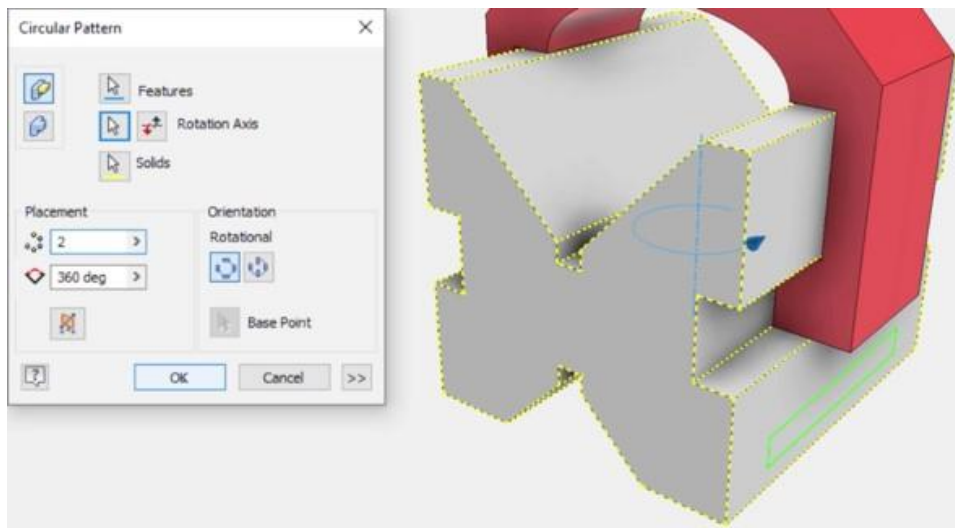


Рисунок 2.8 – Використання інструменту *Круговий масив*

19. Встановіть вісь **Y** моделі для осі *обертання*, вкажіть число входжень **2** екземпляри об'єкта.
20. Натисніть **ОК**, щоб створити другий виріз з іншого боку тіла **Base**.
21. Виберіть інструмент *Створення компонентів (Make Components)* у частині панелі Підснова вкладки *Управління*.
22. Коли з'явиться діалогове вікно *Створити компоненти: вибір* (рис. 2.9), виберіть у браузері тіла **Base** та **Yoke**.

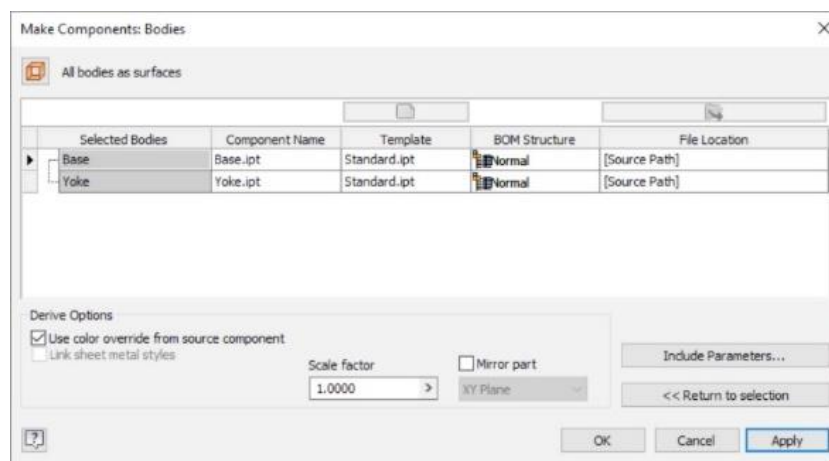


Рисунок 9 – Діалогове вікно *Створити компоненти: вибір*

23. Виберіть *Далі*, щоб перейти до діалогового вікна *Створити компоненти: Тіла*, а потім натисніть **ОК**.
24. Це створить файл збірки та відкриє його в новому вікні.
25. Активуйте компонент **Yoke** в збірці, два рази клацнувши по імені об'єкту.

26. Додайте наскрізний отвір під болт **M12** з центром на верхній грані хомута (рис. 2.10).

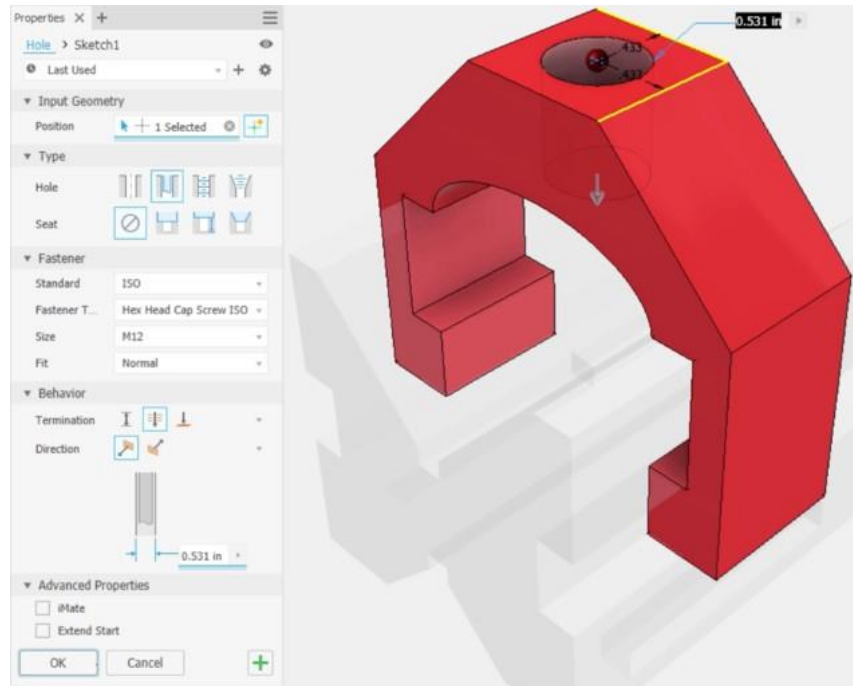


Рисунок 2.10 – Додавання наскрізного отвору

Примітка. Ця функція отвору існуватиме в *Yoke.ipt* (який створюється одночасно зі створенням файлу *.iam*), а не в оригінальному тілі вихідного файлу.

27. Активуйте верхній рівень збірки.

28. Поверніться до багатотільної твердотільної моделі.

29. Відкрийте ескіз *Sketch1* і змініть розмір висоти **50 мм** на **60 мм** (рис. 2.11).

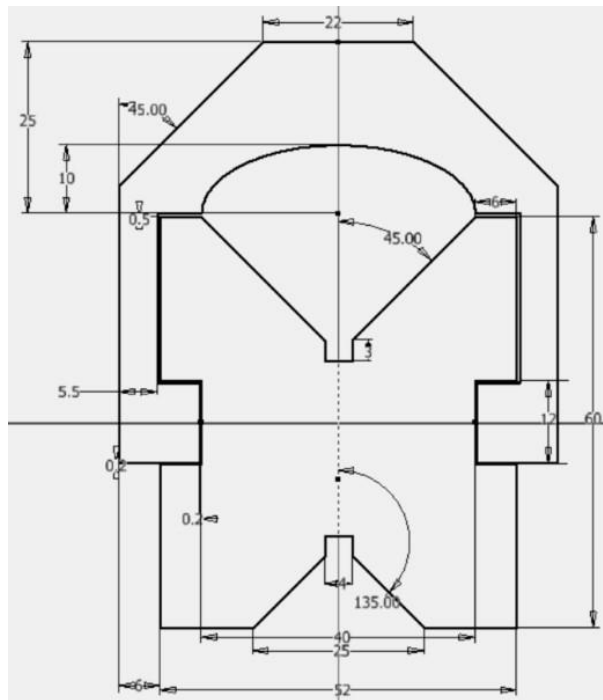


Рисунок 2.11 – Робота з ескізом

30. Завершіть ескіз і збережіть файл.

31. Поверніться до збірки та оновіть модель (рис. 2.12).

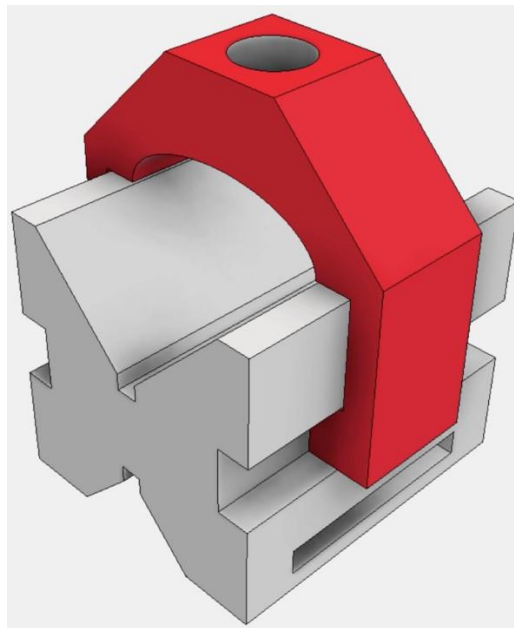


Рисунок 2.12 – Кінцевий вигляд моделі

Примітка. Компоненти **Base** та **Yoke** оновляться і зміниться розмір **Base**, а отвір залишиться в **Yoke.iprt**.

**Контрольні запитання:**

1. Суть використання багатотільних деталей.
2. Переваги та недоліки багатотільних деталей.

3. Як виконувати імпорт об'єктів як тіл із файлів STEP.
4. Як комбінувати деталі з кількох тіл.
5. Як розташовувати частин багатотільних деталей.
6. Як створювати збірки з багатотільних деталей.

## ЛАБОРАТОРНА РОБОТА №3 СТВОРЕННЯ ТА РЕДАГУВАННЯ РАМ З ПРОФІЛІВ

**Мета роботи:** навчитися створювати та редагувати металевий каркас у програмі Autodesk Inventor.

### **Завдання роботи:**

- навчитись створювати збірки рамних конструкцій;
- навчитись використовувати інструменти Вставити профіль (Insert Frame), Стик (Miter), Обрізка/подовження (Trim/Extend), Подовження/Скорочення (Lengthen/Shorten), Кутове поєднання (Trim To Frame), Врізка (Notch) та Повторне використання (Reuse).

**Обладнання для виконання роботи:** комп'ютер із встановленим на ньому програмним забезпеченням Autodesk Inventor.

### **Порядок і рекомендації щодо виконання роботи:**

1. Відкрийте файл *Frame.iam* (рис. 3.1).

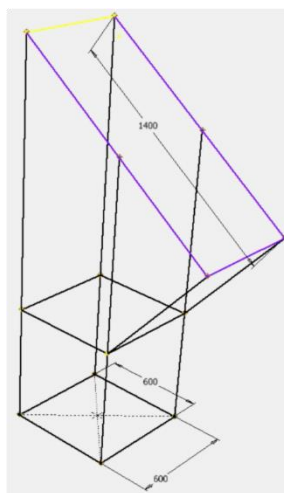


Рисунок 3.1 – Вміст файлу *Frame.iam*

2. Перейдіть на вкладку Проектування (*Design*).
3. Запустіть інструмент **Вставити профіль (Insert Frame)**, який знаходиться у частині панелі *Профіль (Frame)* (рис. 3.2).

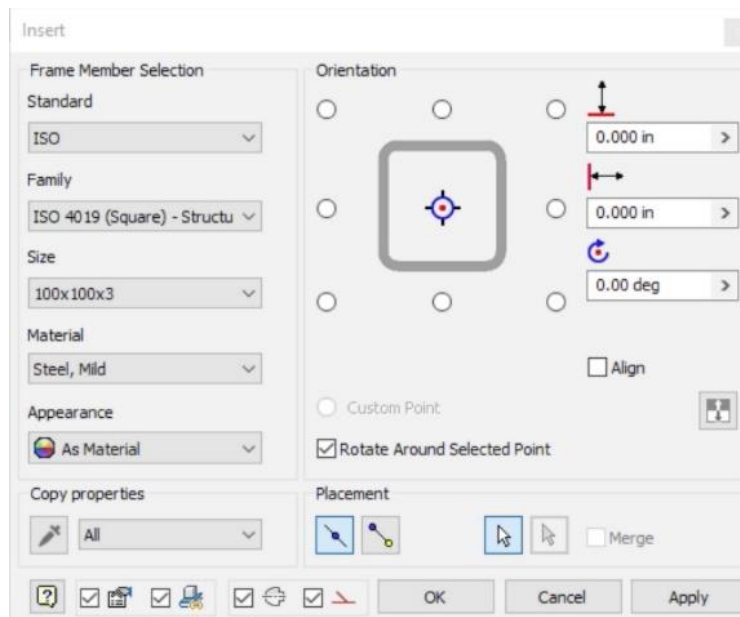


Рисунок 3.2 – Діалогове вікно інструменту **Вставити профіль (Insert Frame)**

4. Встановіть Стандарт **ISO**, Сімейство **ISO 4019**, Розмір **100x100x3** і встановіть *Розміщення – Вибрати лінію* для вибору геометрії ребра або ліній ескізу.

5. Виберіть вертикальні лінії та дві короткі горизонтальні лінії у центрі рами (рис. 3.3).

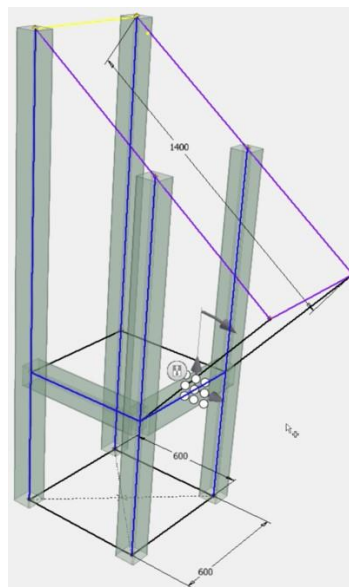


Рисунок 3.3 – Лінії, які потрібно обрати

6. Натисніть плюс у правому нижньому куту (застосувати (Apply)) діалогового вікна, та у вікні, яке з'явилось **ОК**, щоб встановити імена для файлів профілів конструкції рами.

7. Натисніть **ОК**, щоб підтвердити назви компонентів.

8. Не закриваючи вікно продовжуйте вибирати інші лінії для створення рами. Спочатку виділіть довгі лінії, які розміщені під кутом у верхній частині рами, а потім виберіть коротші лінії, які йдуть перпендикулярно їм, та коротші лінії, які розміщені під кутом (рис. 3.4).

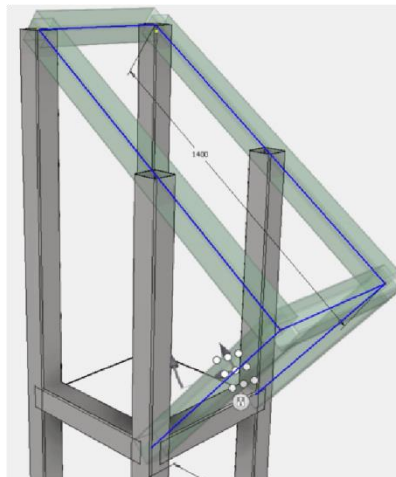


Рисунок 3.4 – Лінії, які потрібно обрати

9. Натисніть на плюс, щоб створити нові елементи рами.

10. Підтвердіть імена створюваних файли натиснувши **ОК**.

11. Виберіть чотири нижні лінії ескизу.

12. Встановіть орієнтацію елементів так, щоб лінії були посередині та внизу створюваних профілів (рис. 3.5).

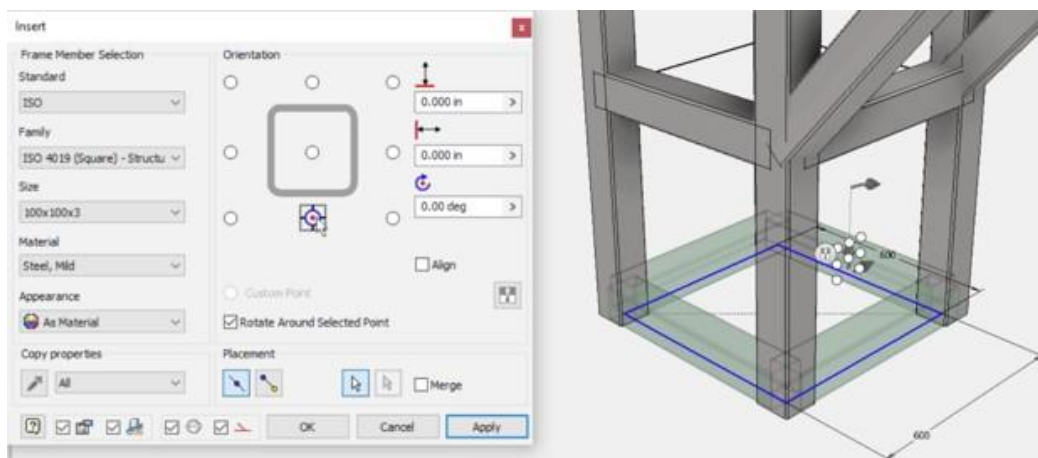


Рисунок 3.5 – Встановлення орієнтації елементів

13. Натисніть **ОК**, щоб створити нові елементи рами.

14. Запустіть інструмент *Повторне використання (Reuse)*, щоб дублювати існуючі компоненти (рис. 3.6). Ця команда використовується для зменшення кількості створюваних файлів профілів, якщо вони повністю ідентичні.

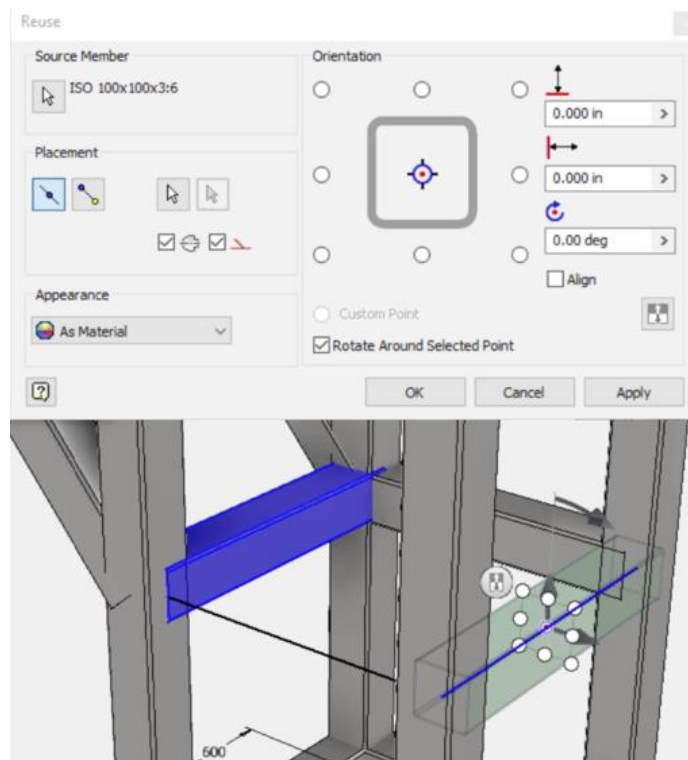


Рисунок 3.6 – Діалогове вікно інструменту *Повторне використання (Reuse)*

15. Виберіть горизонтальний профіль у середині рами у передній частині.

16. Виберіть лінію, паралельну вихідному елементу з іншого боку рами.

17. Натисніть на плюс у правому нижньому куті, щоб застосувати створення залежної копії існуючого елемента.

18. Тепер, таким самим чином, повторно використайте лівий елемент рами, щоб відтворити його копію з іншого боку рами (рис. 3.7).

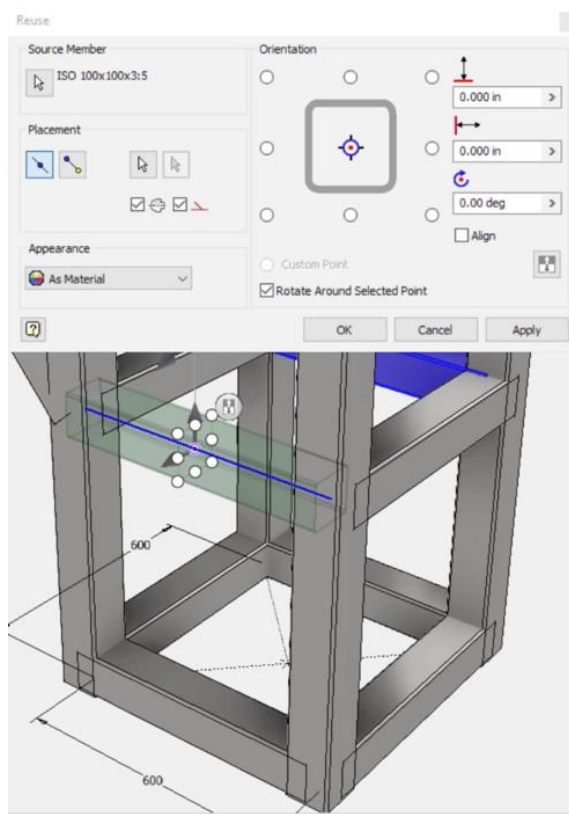


Рисунок 3.6 – Використання інструменту *Повторне використання (Reuse)*

19. Клацніть **ОК**, щоб створити елемент рами та вийти з інструменту.

20. Двічі клацніть розмір 1400 і змініть його на **1500** (рис. 3.7).

21. Також змініть передній розмір 600 на **800** (рис. 3.7).

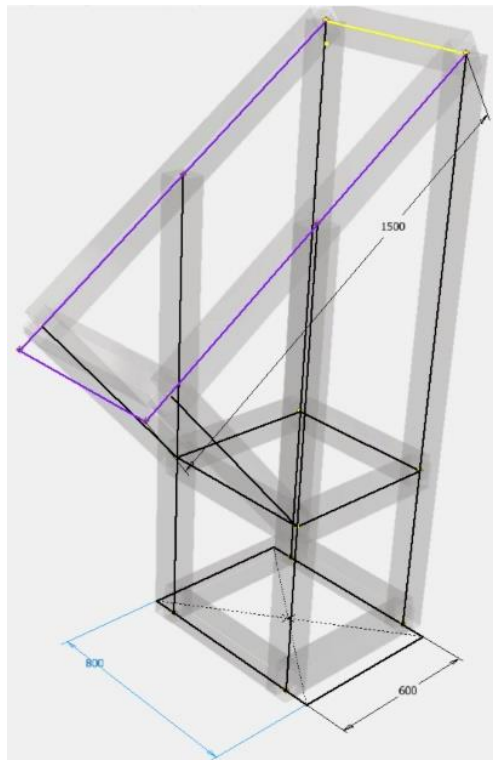


Рисунок 3.7 – Зміна розмірів елементів моделі

22. Поверніться на верхній рівень збірки для внесення у конструкцію рами змін (рис. 3.8).

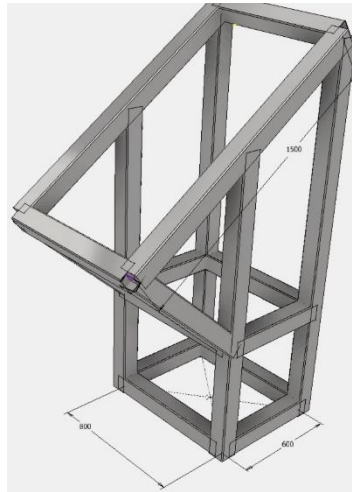


Рисунок 3.8 – Змінена конструкція рами

23. Відкрийте файл *Frame – Modify.iam* (рис. 3.9).

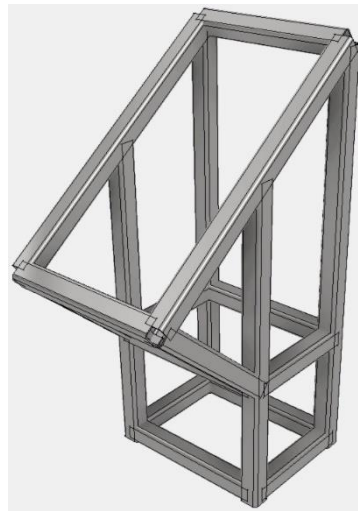


Рисунок 3.9 – Вміст файлу *Frame – Modify.iam*

24. Запустіть інструмент *Стук (Miter)* і виберіть нижні елементи рами та додайте зазор **0,13 in** (рис. 3.10).

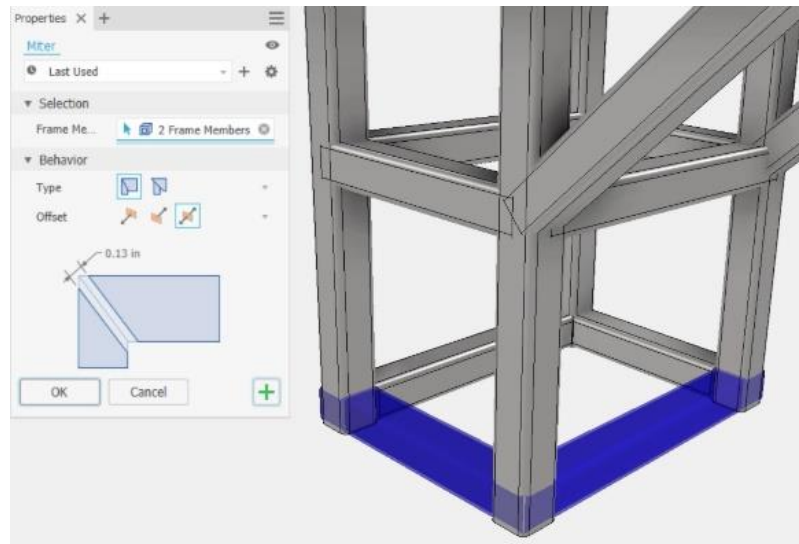


Рисунок 3.10 – Додавання зазору до нижніх елементів рами

25. Натисніть **ОК**, щоб застосувати змін у конструкцію.

26. Запустіть інструмент *Обрізка/подовження (Trim/Extend)*.

27. Вкажіть грань, яка буде границею обрізки (верхня грань нижніх горизонтальних профілів), виберіть чотири вертикальні елементи. Для застосування операції натисніть плюс у правому нижньому куті (рис. 3.11).

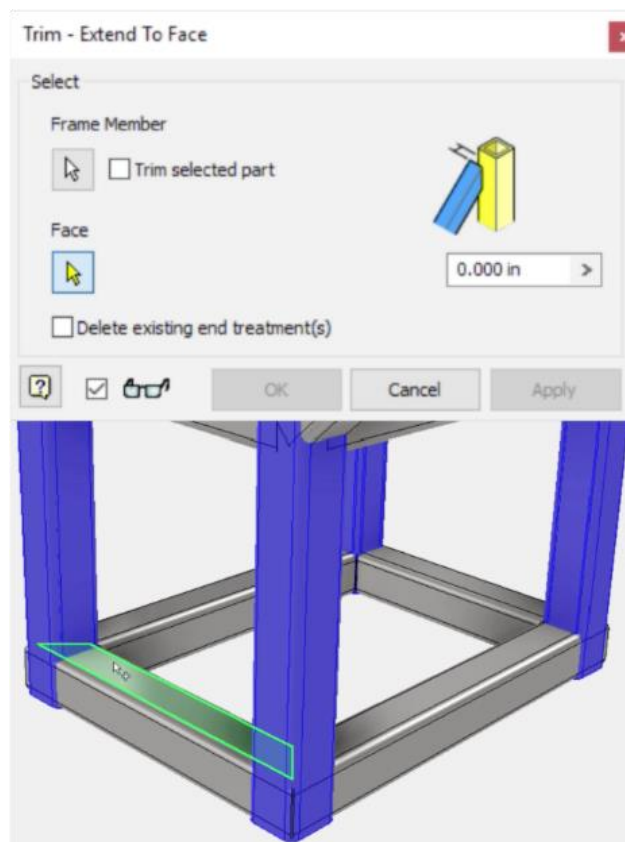


Рисунок 3.11 – Діалогове вікно інструменту *Обрізка/подовження (Trim/Extend)*

28. Продовжуйте застосовувати цей інструмент. Вкажіть на вертикальних стійках передню грань. Виберіть нижні похилі частини рами. Застосуйте зміни.

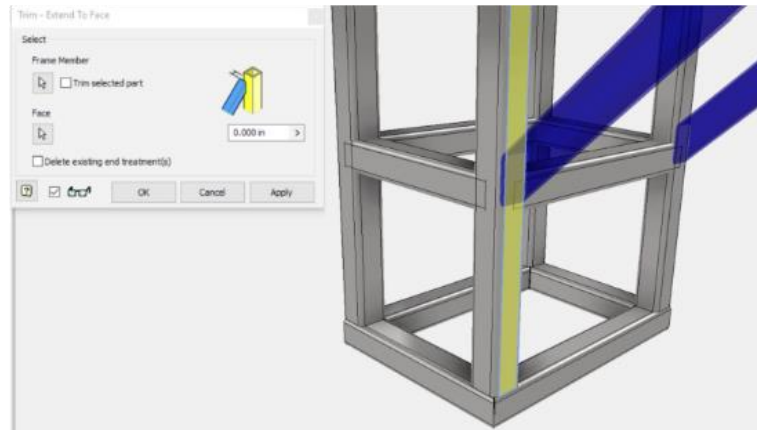


Рисунок 3.12 – Використання інструменту *Обрізка/подовження (Trim/Extend)*

29. Також виконайте обрізку горизонтальних середніх елементів рами з обох боків (рис. 3.13). Під час обрізки елементи, які були створені за допомогою інструменту *Повторне використання (Reuse)* будуть також змінюватись відповідно елементам копією яких вони є.

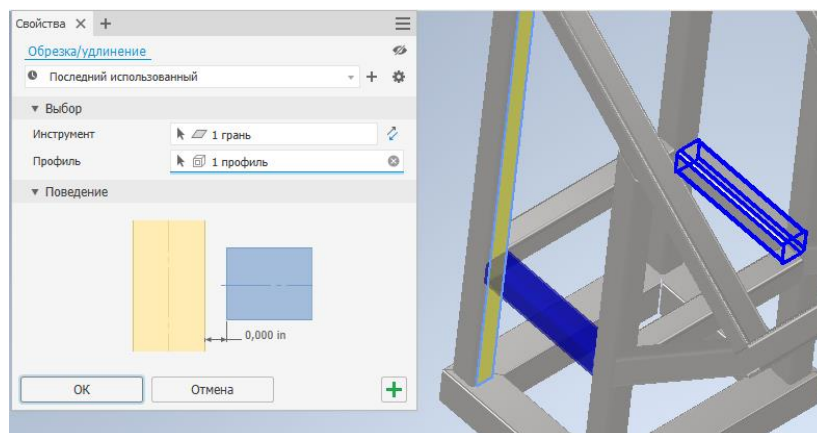


Рисунок 3.13 – Використання інструменту *Обрізка/подовження (Trim/Extend)*

30. Запустіть інструмент *Кутове поєднання (Trim To Frame)*.

31. Виберіть перший передній елемент рами, який у даному випадку буде подовжено та другий елемент який у даному випадку буде вкорочений для створення стикового з'єднання (рис. 3.14).

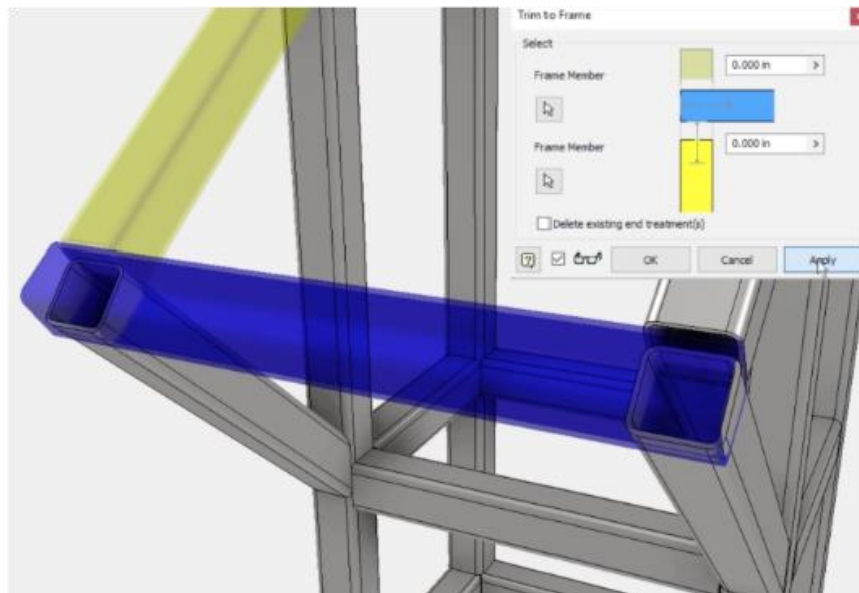


Рисунок 3.14 – Використання інструменту *Кутове поєднання (Trim To Frame)*

32. Застосуйте зміни.

33. Використайте інструмент *Подовження/Скорочення (Lengthen/Shorten)*, встановіть значення **4 in**, а потім клацніть один кінець самого верхнього елемента рами (рис. 3.15). Застосуйте зміну натиснувши плюс у правому нижньому куті діалогового вікна.

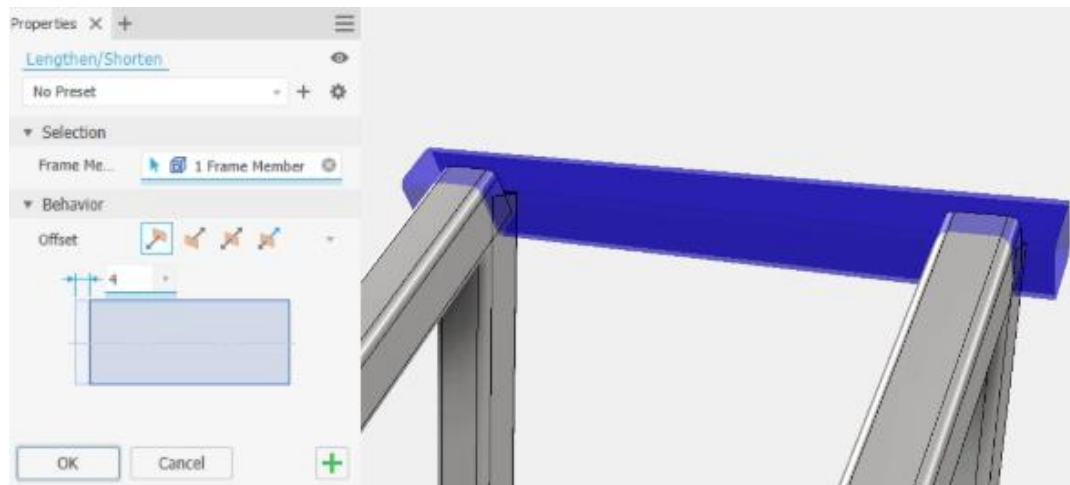


Рисунок 3.15 – Використання інструменту *Подовження/Скорочення (Lengthen/Shorten)*

34. Вкажіть протилежний кінець цього елемента, щоб також його подовжити з іншого боку. Натисніть **ОК**, щоб застосувати змін у конструкцію і завершити інструмент.

35. Запустіть інструмент *Змінити (Change)* та виберіть чотири елементи рами знизу (рис. 3.16).

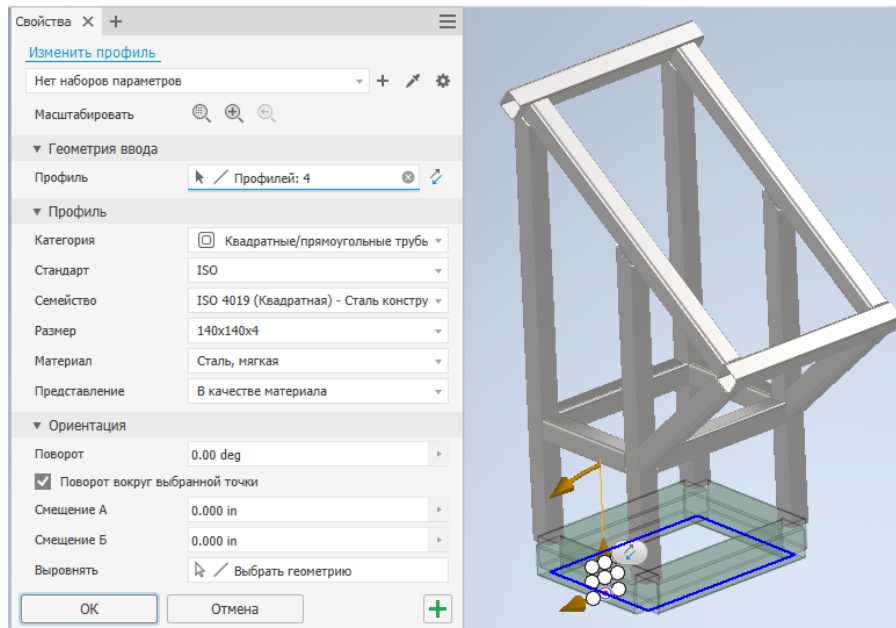


Рисунок 3.16 – Використання інструменту *Змінити (Change)*

36. Змініть розмір профілю у полі Розмір на **140×140×4** .

37. Натисніть **ОК**, щоб застосувати зміни у раму. Прийміть попередження, яке з'явиться.

38. Запустіть інструмент *Врізка (Notch)*.

39. Виберіть вертикальний передній елемент каркаса рами (рис. 3.17).

40. Вкажіть Інструмент врізки - верхній похилий елемент, і введіть зсув **0,5 in**.



Рисунок 3.17 – Результат використання інструменту *Врізка (Notch)*

41. Натисніть **ОК**, щоб створити форму врізки.

42. Зробіть самостійно додаткові коригування інших профілів рами та збережіть змінений файл (рис. 3.18).

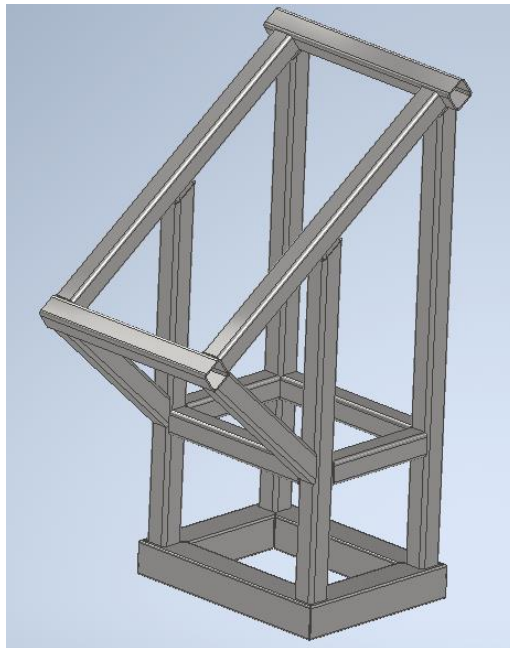


Рисунок 3.18 – Кінцевий вигляд моделі

**Контрольне завдання:**

Створити металоконструкцію за 3D ескізом. Для цього потрібно:

- 1) додати до збірки профілі рами;
- 2) відкоригувати стики профілів між собою.

Порядок виконання контрольного завдання:

1. Відкрийте заготовку файл *Practice Frame Assembly.iam* (рис. 3.19).

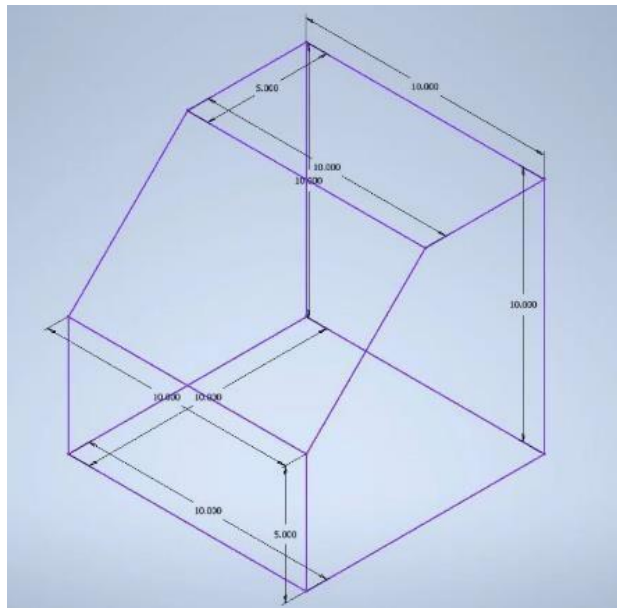


Рисунок 3.19 – Вміст файлу *Practice Frame Assembly.iam*

2. Перейдіть на вкладку *Проектування (Design)* і виберіть інструмент *Вставити профіль (Insert Frame)* (рис. 3.20).

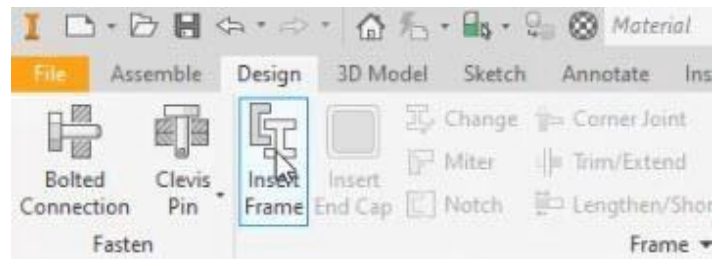


Рисунок 3.20 – Виклик інструменту *Вставити профіль (Insert Frame)*

3. Встановіть параметри профілю: Стандарт ANSI, Сімейство ANSI AISC (Квадратна) – Труба, Розмір  $2 \times 2 \times 1/8$ , Розміщення – Вибрати лінію, а потім виберіть кожен лінійний елемент 3D-ескізу (рис. 3.21). Розміщуйте профілі елементів рами відносно центральної точки.

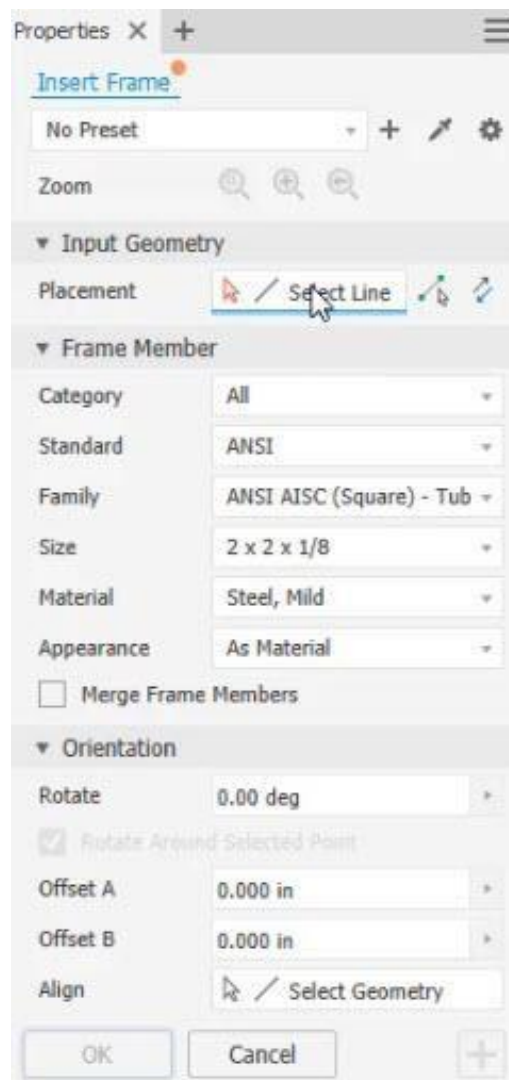


Рисунок 3.21 – Встановлення параметрів профілю

4. Для створення профілів рами натисніть ОК, та погодьтеся з усіма діалоговими вікнами, які з'являться, для генерації елементів 3D-рами (рис. 3.22).

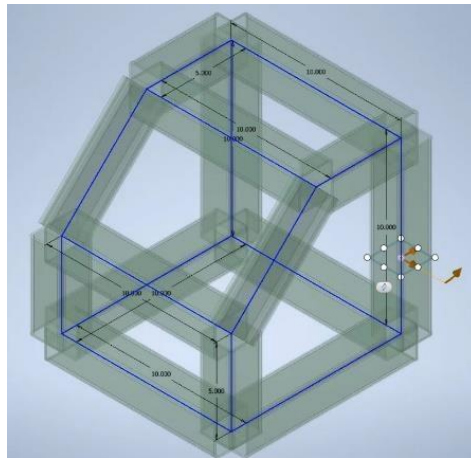


Рисунок 3.22 – Генерація елементів 3D-рами

5. Використовуйте інструменти коригування профілів, щоб надати необхідної форми стицям профілів між собою (рис. 3.23).

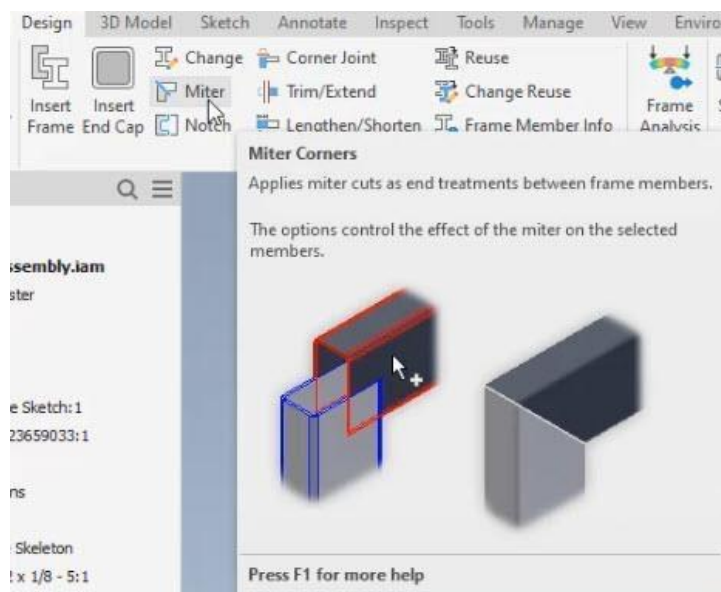


Рисунок 3.23 – Інструменти коригування профілів

6. Самостійно закінчіть коригування всіх інших елементів рами використавши різні інструменти коригування. Створіть свій дизайн конструкції рами.

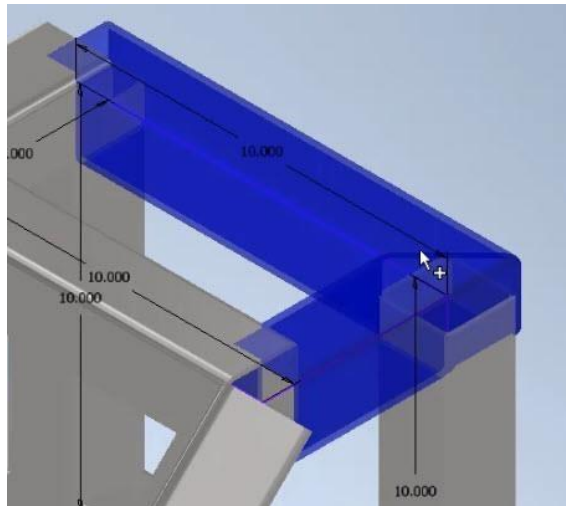


Рисунок 3.24 – Використання інструментів коригування

Примітка. У процесі вибору профілів, в залежності від послідовності створення можливе різне розташування елементів. Отже, ваша орієнтація профілів може відрізнитись від орієнтації профілів на зображенні.

7. Можливий варіант виконання завдання наведено на рис. 3.25.

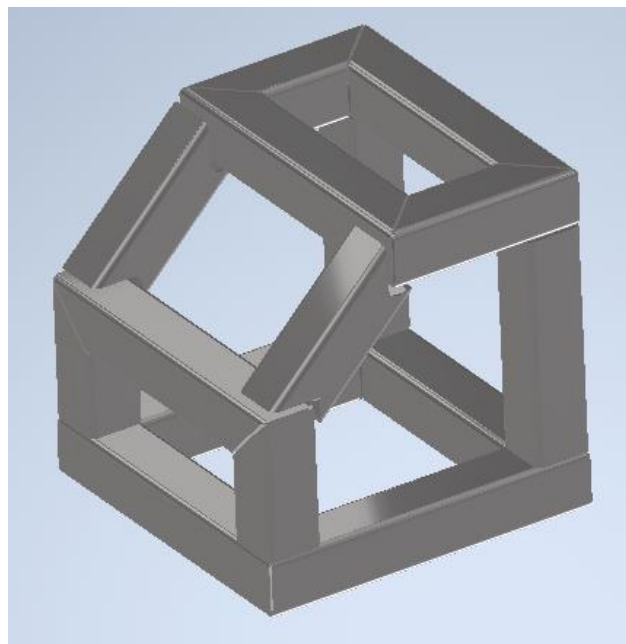


Рисунок 3.25 – Можливий варіант кінцевого вигляду моделі

**Контрольні запитання:**

1. Як можна створити збірки рамних конструкцій?
2. Яким чином використовується інструмент Вставити профіль (Insert Frame)?

3. Яким чином використовується інструмент Стик (Miter)?
4. Яким чином використовується інструмент Обрізка/подовження (Trim/Extend)?
5. Яким чином використовується інструмент Подовження/Скорочення (Lengthen/Shorten)?
6. Яким чином використовується інструмент Кутове поєднання (Trim To Frame)?
7. Яким чином використовується інструмент Врізка (Notch)?
8. Яким чином використовується інструмент Повторне використання (Reuse)?

## ЛАБОРАТОРНА РОБОТА №4 ЗАСТОСУВАННЯ ТОПОЛОГІЧНИХ ПРИНЦИПІВ ОПТИМІЗАЦІЇ (ГЕНЕРАТОР ФОРМ)

**Мета роботи:** навчитися застосовувати аналіз, щоб дізнатися, як можна змінити геометрію компоненту для зменшення ваги, але із збереженням характеристик міцності у програмі Autodesk Inventor.

### **Завдання роботи:**

- зрозуміти, яким чином генератор форм може оптимізувати конструкцію;
- навчитися встановлювати діючі на модель навантаження та обмеження, обирати матеріал, виключати області з аналізу.

**Обладнання для виконання роботи:** комп'ютер із встановленим на ньому програмним забезпеченням Autodesk Inventor.

### **Порядок і рекомендації щодо виконання роботи:**

1. Відкрийте файл *Bracket-optimization.ipt* (рис. 4.1).



Рисунок 4.1 – Вміст файлу *Bracket-optimization.ipt*

2. Запустіть *Генератор форм (Shape Generator)* у частині панелі Аналіз (рис. 4.2).



Рисунок 4.2 – Вигляд іконки інструменту *Генератор форм (Shape Generator)*

3. Натисніть **ОК**, щоб закрити діалогове вікно опису інструменту.
4. Виберіть інструмент *Назначити* та переконайтеся, що матеріалом компонента є *Алюміній 6061*.
5. Запустіть обмеження *Затиснення (Fixed)* і виберіть грань отвору на правому кінці деталі (рис. 4.3).

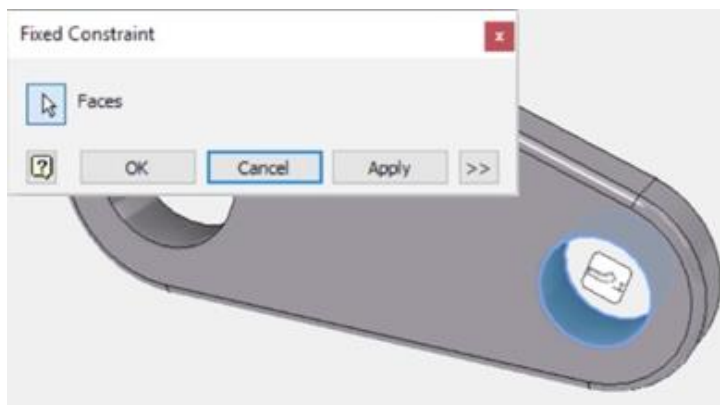


Рисунок 4.3 – Діалогове вікно інструменту *Затиснення (Fixed)*

6. Додайте обмеження *Шарнір (Pin)* до грані середнього отвору (рис. 4.4).

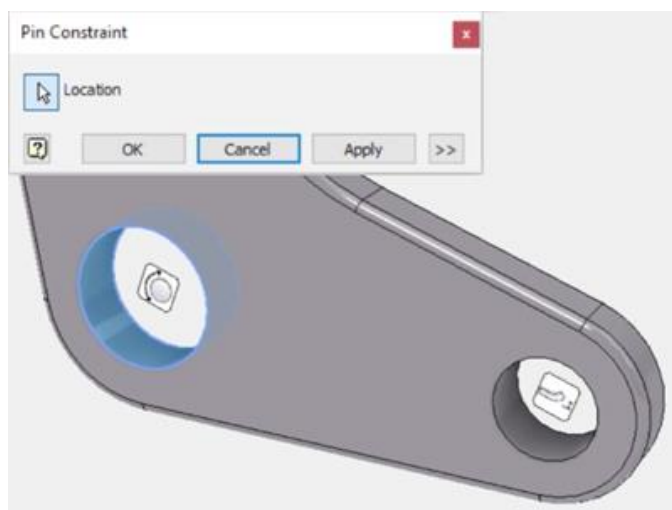


Рисунок 4.4 – Діалогове вікно інструменту *Шарнір (Pin)*

7. Запустіть інструмент *Підшипник (Bearing)* у розділі «Навантаження» та додайте навантаження на третій отвір (рис. 4.5). Задайте навантаження **500 фунтів**, вибравши червону стрілку задайте напрямок дії навантаження, вибираючи нижній край моделі. Змініть напрямок навантаження у сторону вигину деталі натиснувши перемикач *Напрямок*.

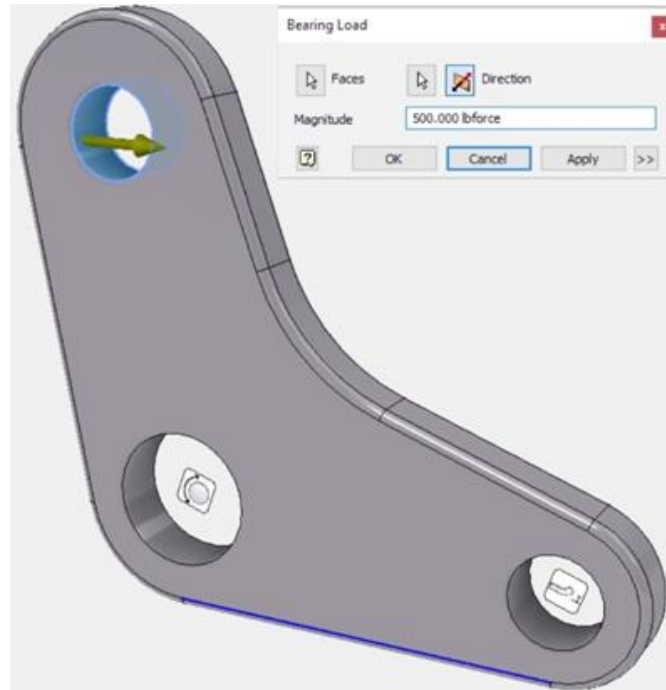


Рисунок 4.5 – Діалогове вікно інструменту *Зусилля в опори (Bearing Load)*

8. Натисніть на інструмент *Зберегти область (Preserve Region)* у частині панелі Цілі та критерії (рис. 4.6).

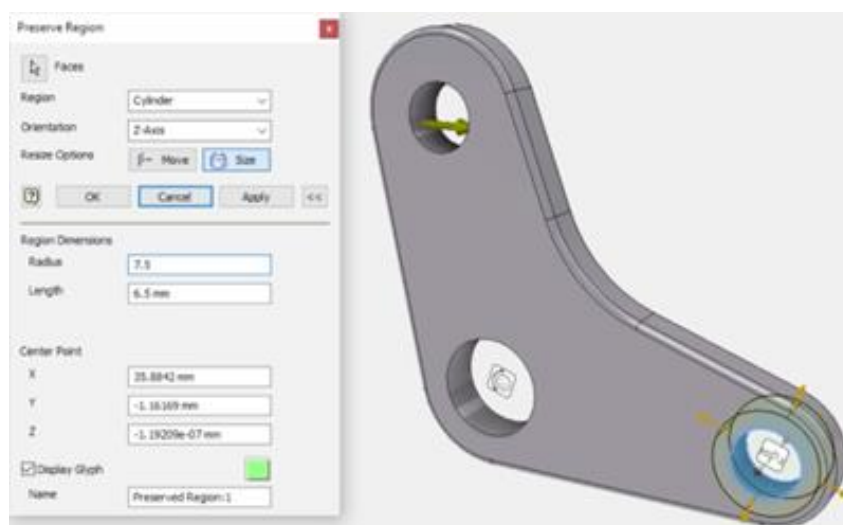


Рисунок 4.6 – Діалогове вікно інструменту *Зберегти область (Preserve Region)*

9. Виберіть грань, до якої було застосовано обмеження *Затиснення* (*Fixed*). Переконайтеся, що для параметра *Область* вибрано значення *Циліндр*, а для параметра *Орієнтація* — *Вісь Z*.

10. Перевірте, щоб для параметра *Зміна розмірів* було вказано значення *Розмір*. В правому нижньому куті розкрийте додаткові параметри налаштування.

11. Встановіть *Радіус* на **7,5 мм** і перевірте, щоб значення *Довжина* дорівнювало **6,5 мм**.

12. Використовуйте *Застосувати* (*Apply*), щоб створити перший регіон (рис. 4.7).

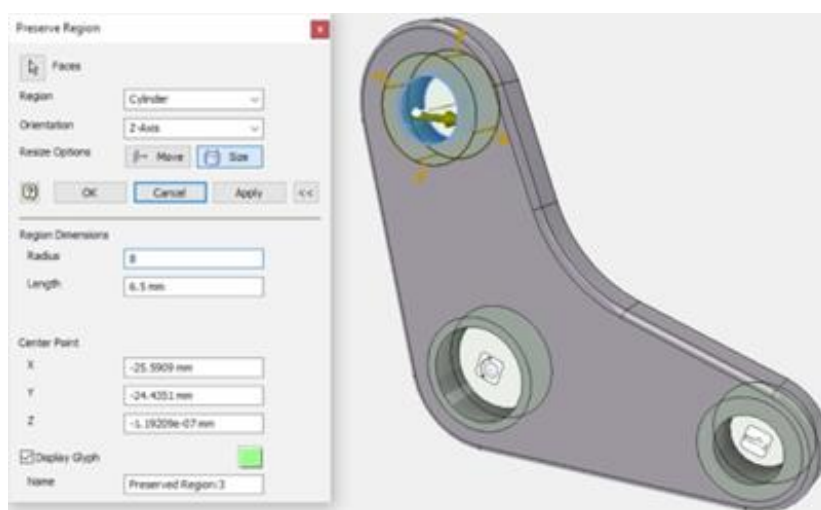


Рисунок 4.7 – Створення першого регіону за допомогою інструменту *Зберегти область* (*Preserve Region*)

13. Виберіть отвір із обмеженням *Шарнір* (*Pin*), залиште довжину без зміни та встановіть *Радіус* **9 мм**.

14. На третьому отворі встановіть збереження області радіусом **8 мм**.

15. Натисніть **ОК**, щоб завершити налаштування *Збереження області*.

16. Запустіть інструмент *Площина симетрії* (*Symmetry Plane*), в пункті *Активні площини* (*Active Planes*) повинна бути вибрана перша площина, яка проходить через всю модель по середині, і є паралельна площині XY (рис. 4.8). Натисніть ОК, щоб прийняти цей інструмент.

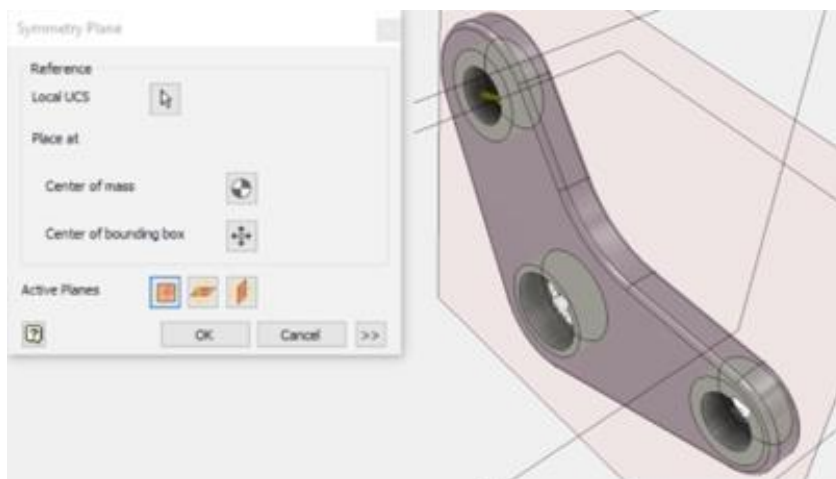


Рисунок 4.8 – Діалогове вікно інструменту *Площина симетрії (Symmetry Plane)*

17. Відкрийте *Параметри генератора форм (Shape Generator Settings)* (рис. 4.9).

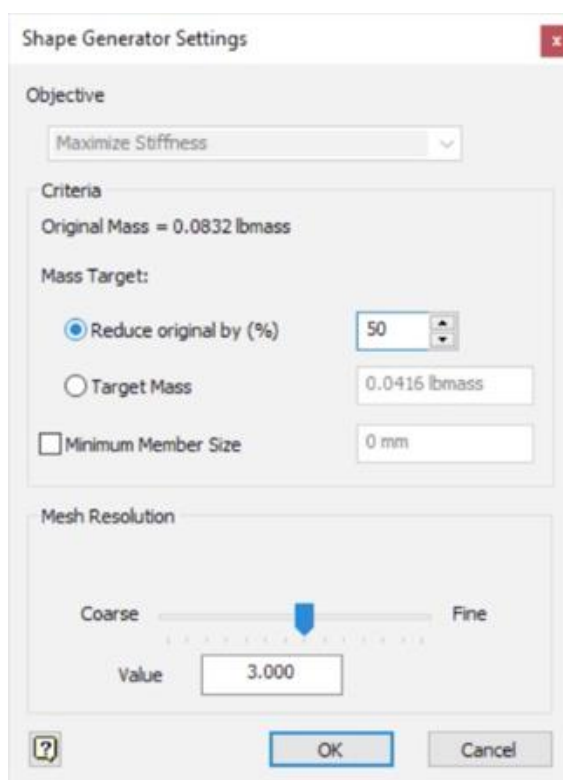


Рисунок 4.9 – Діалогове вікно *Параметри генератора форм (Shape Generator Settings)*

18. Встановіть параметр *Зменшити вихідну масу на 50%* . Натисніть *ОК*, щоб прийняти налаштування.

19. Натисніть *Створити форму (Generate Shape)*, а потім натисніть *Виконати (Run)*, щоб почати моделювання (рис. 4.10).

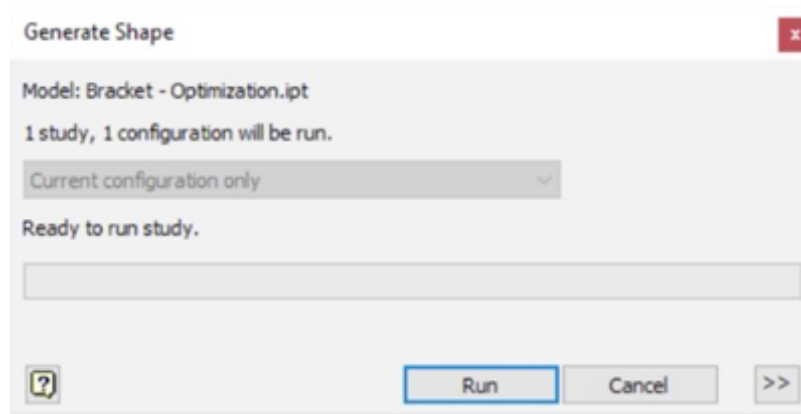


Рисунок 4.10 – Діалогове вікно *Створити форму (Generate Shape)*

20. Перегляньте результати після завершення моделювання (рис. 4.11).

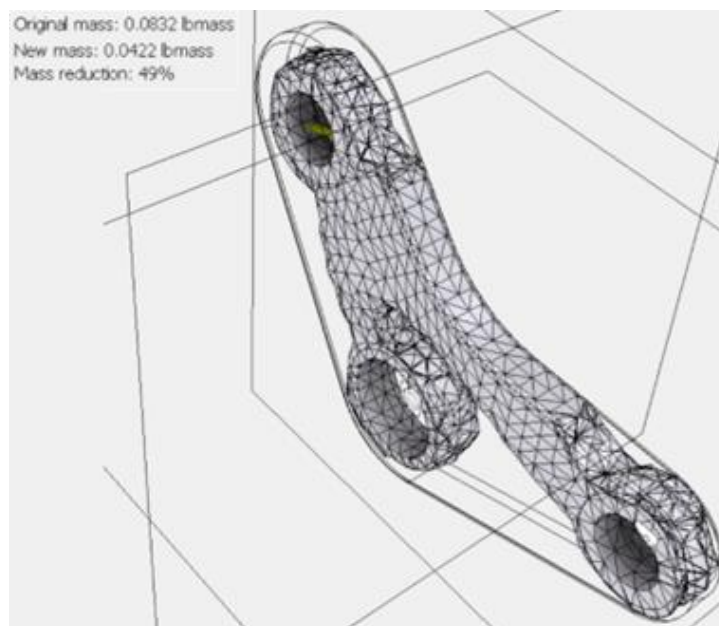


Рисунок 4.11 – Результати після завершення моделювання

21. Запустіть інструмент *Підвищити рівень форми (Promote Shape)* і вкажіть *Поточний файл деталі* (рис. 4.12).

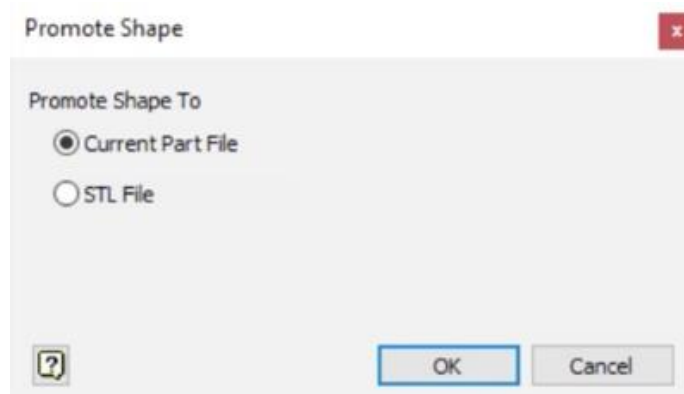


Рисунок 4.12 – Діалогове вікно інструменту *Підвищити рівень форми (Promote Shape)*

22. Натисніть ОК, щоб перенести згенеровану форму до поточної моделі (рис. 4.13).

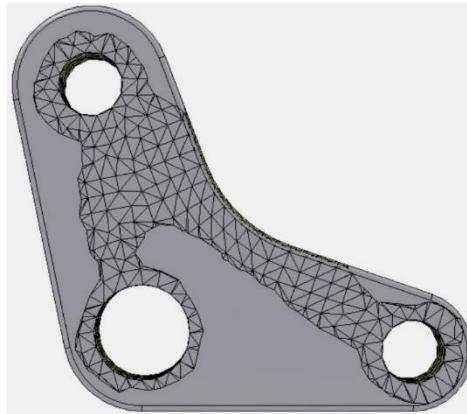


Рисунок 4.13 – Кінцевий вигляд моделі

**Контрольні запитання:**

1. Яким чином генератор форм може оптимізувати конструкцію деталі?
2. Як встановлювати діючі на модель навантаження?
3. Як встановлювати обмеження під час генерації форми?
4. Як обирати матеріал під час генерації форми?
5. Як виключати області з аналізу під час генерації форми?

## СПИСОК РЕКОМЕНДОВАНОЇ ЛІТЕРАТУРИ

1. Daniel T. Banach, Shawna Lockhart, Sheila Markazi. Autodesk Inventor 2024 Essentials Plus. SDC Publications, 2023. 550 p. ISBN 978-1-63057-589-2.
2. L. Scott Hansen. Autodesk Inventor 2023: A Tutorial Introduction. SDC Publications, 2022. 528 p. ISBN 978-1630575168.
3. CADArtifex, John Willis, Sandeep Dogra. Autodesk Inventor 2023: A Power Guide for Beginners and Intermediate Users. CADArtifex, 2022. 790 p. ISBN 978-9394074019.
4. Luke Jumper, Randy H. Shih. Parametric Modeling with Autodesk Inventor 2024. SDC Publications, 2023. 624 p. ISBN 978-1-63057-579-3.
5. T. Kishore, Tutorial Books. Autodesk Inventor 2023 Basics Tutorial: Sketching, Part Modeling, Assemblies, Drawing, Sheet Metal, Model-Based Dimensioning, and Frame Generator. Independently published, 2022. 240 p. ISBN 979-8839118270.
6. Autodesk Inventor 2023: iLogic (Mixed Units): Autodesk Authorized Publisher. ASCENT, Center for Technical Knowledge, 2022. 356 p. ISBN 978-1956032871.
7. Sham Tickoo, CAD/CIM Technologies. Autodesk Inventor Professional 2020 for Designers. CAD/CIM Technologies, 2019. 816 p. ISBN 978-1640570573.
8. Randy H. Shih. Autodesk Inventor 2024 and Engineering Graphics. An Integrated Approach. SDC Publications, 2023. 700 p. ISBN 978-1-63057-583-0.
9. Randy H. Shih. Tools for Design Using AutoCAD 2023 and Autodesk Inventor 2023. Hand Sketching, 2D Drawing and 3D Modeling. SDC Publications, 2022. 642 p. ISBN 978-1-63057-512-0.
10. Грабченко А.І., Доброскок В.Л. Сучасні технології матеріалізації комп'ютерних моделей: Навч. посібник. – Х.: НТУ "ХПІ", 2009. – 86 с.

11. Marak, Z. R., Tiwari, A., & Tiwari, S. (2019). Adoption of 3D printing technology: an innovation diffusion theory perspective. *International Journal of Innovation*, 7(1), 87-103.
12. Chee Kai Chua, Kah Fai Leong, and Chu Sing Lim. 3D Printing and Additive Manufacturing Principles and Applications. 2014. DOI:10.1142/9008. ISBN: 978-981-4571-40-1
13. Paulo Jorge Bártolo. Stereolithography: Materials, Processes, and Applications. 2011. DOI:10.1007/978-0-387-92904-0. ISBN: 978-0-387-92903-3
14. Pham, D. T., & Gault, R. S. (1998). A comparison of rapid prototyping technologies. *International Journal of machine tools and manufacture*, 38(10-11), 1257-1287.
15. Gebhardt, A. (2011). Understanding additive manufacturing.
16. Lipson, H., & Kurman, M. (2013). *Fabricated: The new world of 3D printing*. John Wiley & Sons.
17. Degnan, M. (2017). *3D Printing Techniques and Processes*. Cavendish Square Publishing, LLC.
18. Gibson, I., Rosen, D., Stucker, B., Khorasani, M., Gibson, I., Rosen, D., ... & Khorasani, M. (2021). Material jetting. *Additive Manufacturing Technologies*, 203-235.
19. Singla, G. (2016). 3D Printing: Innovative Technology towards New Horizons. *International Journal of Science, Engineering and Computer Technology*, 6(2), 158-160.
20. Prakash, K. S., Nancharaih, T., & Rao, V. S. (2018). Additive manufacturing techniques in manufacturing-an overview. *Materials Today: Proceedings*, 5(2), 3873-3882.
21. Zacharias, J. (2022, July). Comparison of Additive Manufacturing and Traditional Manufacturing. In *The 2nd Advanced Manufacturing Student Conference (AMSC22) Chemnitz, Germany 07–08 July 2022* (Vol. 7, p. 55).

22. Turner, M. (2015). The current state, outcome and vision of additive manufacturing. *Journal of Welding and Joining*, 33(6), 1-5.
23. Kruth, J. P., Levy, G., Schindel, R., Craeghs, T., & Yasa, E. (2008). Consolidation of polymer powders by selective laser sintering. In *Proceedings of the 3rd international conference on polymers and moulds innovations* (pp. 15-30).
24. Kumar, M. B., Sathiya, P., & Varatharajulu, M. (2021). Selective laser sintering. *Advances in additive manufacturing processes. China: Bentham Books*, 28-47.
25. Spencer, J. D., Dickens, P. M., & Wykes, C. M. (1998). Rapid prototyping of metal parts by three-dimensional welding. *Proceedings of the Institution of Mechanical Engineers, Part B: Journal of Engineering Manufacture*, 212(3), 175-182.
26. Pinkerton, A. J. (2015). Advances in the modeling of laser direct metal deposition. *Journal of laser applications*, 27(S1), S15001.
27. Lewis, G. K., & Schlienger, E. (2000). Practical considerations and capabilities for laser assisted direct metal deposition. *Materials & Design*, 21(4), 417-423.
28. Mohamed, O. A., Masood, S. H., & Bhowmik, J. L. (2015). Optimization of fused deposition modeling process parameters: a review of current research and future prospects. *Advances in manufacturing*, 3, 42-53.
29. Chennakesava, P., & Narayan, Y. S. (2014, December). Fused deposition modeling-insights. In *Proceedings of the international conference on advances in design and manufacturing ICAD&M* (Vol. 14, p. 1345).
30. Carneiro, O. S., Silva, A. F., & Gomes, R. (2015). Fused deposition modeling with polypropylene. *Materials & Design*, 83, 768-776.
31. Izadi, M., Farzaneh, A., Mohammed, M., Gibson, I., & Rolfe, B. (2020). A review of laser engineered net shaping (LENS) build and process parameters of metallic parts. *Rapid prototyping journal*, 26(6), 1059-1078.
32. Atwood, C., Griffith, M., Harwell, L., Schlienger, E., Ensz, M., Smugeresky, J., ... & Reckaway, D. (1998, November). Laser engineered net shaping (LENS™): A tool

for direct fabrication of metal parts. In *International congress on applications of lasers & electro-optics* (Vol. 1998, No. 1, pp. E1-E7). Laser Institute of America.

33. Hofmeister, W., Wert, M., Smugeresky, J., Philliber, J. A., Griffith, M., & Ensz, M. (1999). Investigating solidification with the laser-engineered net shaping (LENSTM) process. *Jom*, 51(7), 1-6.

34. Mohan Pandey, P., Venkata Reddy, N., & Dhande, S. G. (2003). Slicing procedures in layered manufacturing: a review. *Rapid prototyping journal*, 9(5), 274-288.

35. Kitsakis, K., Moza, Z., Iakovakis, V., Mastorakis, N., & Kechagias, J. (2015, October). An investigation of dimensional accuracy of multi-jet modeling parts. In *Proceedings of the International Conference in Applied Mathematics, Computational Science and Engineering, Crete, Greece* (pp. 17-19).

36. Kamble, P., Chavan, S., & Karunakaran, K. P. (2018). Multi-jet fluid deposition in 3D printing: a review.

37. Kupp, D., Eifert, H., Greul, M., & Kunstner, M. (1997). Rapid prototyping of functional metal and ceramic components by the multiphase jet solidification (MJS) process. In *1997 International Solid Freeform Fabrication Symposium*.

38. Greulich, M., Greul, M., & Pintat, T. (1995). Fast, functional prototypes via multiphase jet solidification. *Rapid Prototyping Journal*, 1(1), 20-25.

## ПЕРЕЛІК ПОСИЛАНЬ

1. L. Scott Hansen. Autodesk Inventor 2023: A Tutorial Introduction. SDC Publications, 2022. 528 p. ISBN 978-1630575168.
2. CADArtifex, John Willis, Sandeep Dogra. Autodesk Inventor 2023: A Power Guide for Beginners and Intermediate Users. CADArtifex, 2022. 790 p. ISBN 978-9394074019.
3. T. Kishore, Tutorial Books. Autodesk Inventor 2023 Basics Tutorial: Sketching, Part Modeling, Assemblies, Drawing, Sheet Metal, Model-Based Dimensioning, and Frame Generator. Independently published, 2022. 240 p. ISBN 979-8839118270.
4. Autodesk Inventor 2023: iLogic (Mixed Units): Autodesk Authorized Publisher. ASCENT, Center for Technical Knowledge, 2022. 356 p. ISBN 978-1956032871.
5. Sham Tickoo, CAD/CIM Technologies. Autodesk Inventor Professional 2020 for Designers. CAD/CIM Technologies, 2019. 816 p. ISBN 978-1640570573.
6. Randy H. Shih. Tools for Design Using AutoCAD 2023 and Autodesk Inventor 2023. Hand Sketching, 2D Drawing and 3D Modeling. SDC Publications, 2022. 642 p. ISBN 978-1-63057-512-0.