

Лабораторна робота. Контактні умови збірок

Порядок виконання лабораторної роботи

[1. Перетворення файлу QUICK HITCH.stp у файл збірки SolidWorks](#)

[Короткі визначення STEP формату.](#)

[1.1. Відкриття файлу QUICK HITCH.](#)

[1.2. Збереження файлу QUICK HITCH як деталі SolidWorks.](#)

[1.3. Збереження тіл даної багатотільної деталі як окремих деталей](#)

[1.4. Створення нової збірки із згенерованих деталей.](#)

[2. Формування контактних умов збірки Quick Hitch у SolidWorks Simulation](#)

[Крок 1. Запуск Simulation і створення дослідження](#)

[Крок 2. Призначення матеріалів](#)

[Крок 3. Правило взаємодії за замовчуванням для всіх поверхонь збірки \(Global Interaction\).](#)

[Крок 4. Перегляд параметрів взаємодії за замовчуванням](#)

[Крок 5. Підготовка моделі до формування граничних умов](#)

[Крок 6. Формування граничних умов](#)

[Крок 7. Запуск дослідження](#)

[Список використаних джерел інформації](#)

1. Перетворення файлу QUICK HITCH.stp у файл збірки SolidWorks

Короткі визначення STEP формату.

STEP (Standard for the Exchange of Product model data) - це міжнародний стандарт ISO 10303 для обміну даними про 3D-моделі продуктів.

Він був розроблений у 1980-х роках для вирішення проблеми сумісності між різними CAD-системами. На відміну від власних форматів STEP є нейтральним і дозволяє передавати повну інформацію про модель без втрати даних.

Ключові факти про STEP:

- **Розширення файлів:** .stp, .step або .p21.
- **Файл є текстовим (ASCII)**, що дозволяє переглядати його в будь-якому текстовому редакторі (наприклад, в звичайному блокноті).
- **Він складається з секцій** HEADER - містить метадані (опис файлу, ім'я, схему); DATA - основна частина з описом геометрії, топології, матеріалів, допусків тощо;

інші секції файлу (ANCHOR, REFERENCE, SIGNATURE) - це для посилань, зовнішніх даних та цифрових підписів (з 2016 року).

- **Типи (Application Protocols):**

1. AP203: Для геометрії, топології та конфігурації механічних частин.
2. AP214: Додає кольори, шари, толеранси та наміри дизайну.
3. AP242: Сучасний, для повного управління даними продукту (включаючи PMI — Product and Manufacturing Information)

1.1. Відкриття файлу QUICK HITCH.

Після вибору файлу в папці, обрати опції відкриття і налаштувати їх як показано на рис.1 - обов'язково обрати опцію **Import assembly as multibody part**). Зображення відкритого файлу показано на рис.2

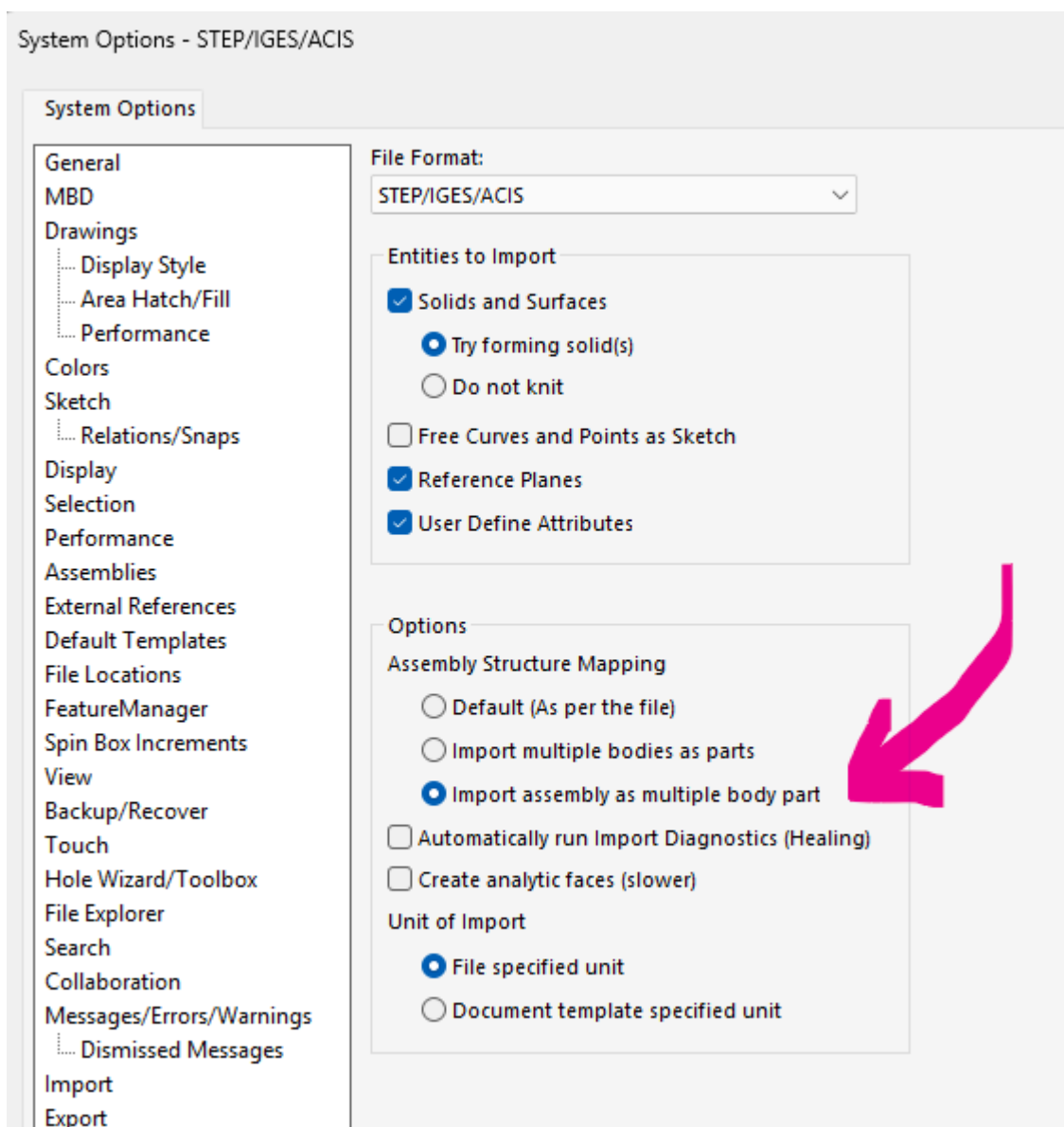


Рис.1. Опції відкриття файлу у форматі STEP

Після відкриття файл буде виглядати так, як це показано на рис.2

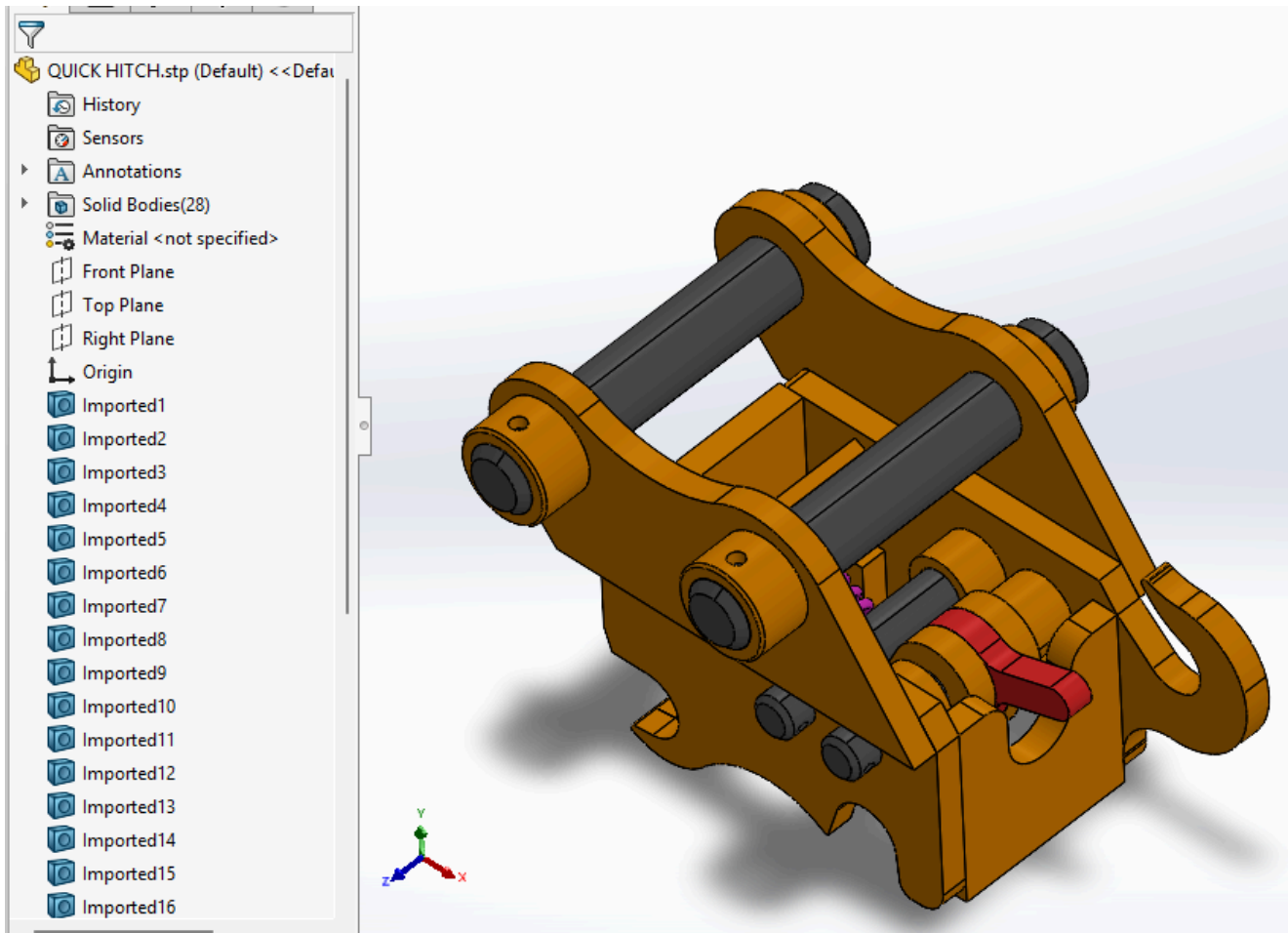


Рис.2. Відкритий STEP файл [1]

1.2. Збереження файлу QUICK HITCH як деталі SolidWorks.

Виконати збереження файлу в штатному режимі, або застосувати команду "зберегти як" з опцією **Save as copy and open**

1.3. Збереження тіл даної багатотільної деталі як окремих деталей

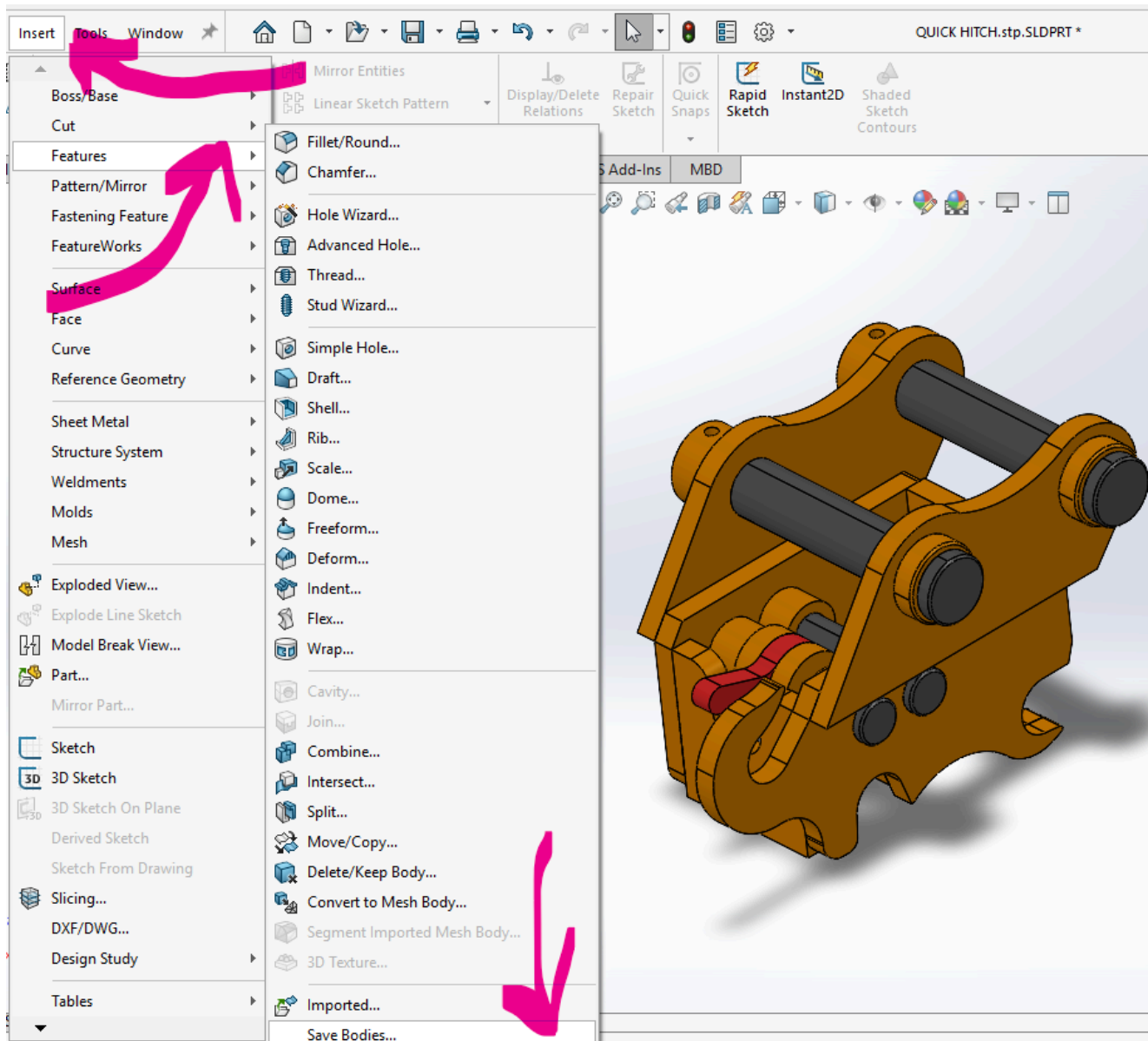
Послідовність дій для перетворення багатотільної деталі у окремі деталі.

Крок 1. Відкрийте меню **Insert** у верхній панелі меню SolidWorks (див. рис.3).

Крок 2. У меню, що відкрилось, виберіть **Features** - відкриється підменю з переліком функцій (див. рис.3).

Крок 3. У підменю **Features** оберіть **Save body** (позначено стрілкою на скріншоті рис.3).

Опція **Save Bodies** дозволяє зберегти кожне тіло як окремий файл .sldprt .

Рис.3. Використання опції **Save Bodies**

Крок 5. Виберіть всі необхідні тала багатотільної деталі (див. рис.4). Призначте **папку збереження** та за потреби перейменуйте кожне тіло індивідуально, можна активувати опцію створення збірки (Create Assambly), але це не обов'язково. бо автоматично створена збірка не буде містити спряжень.

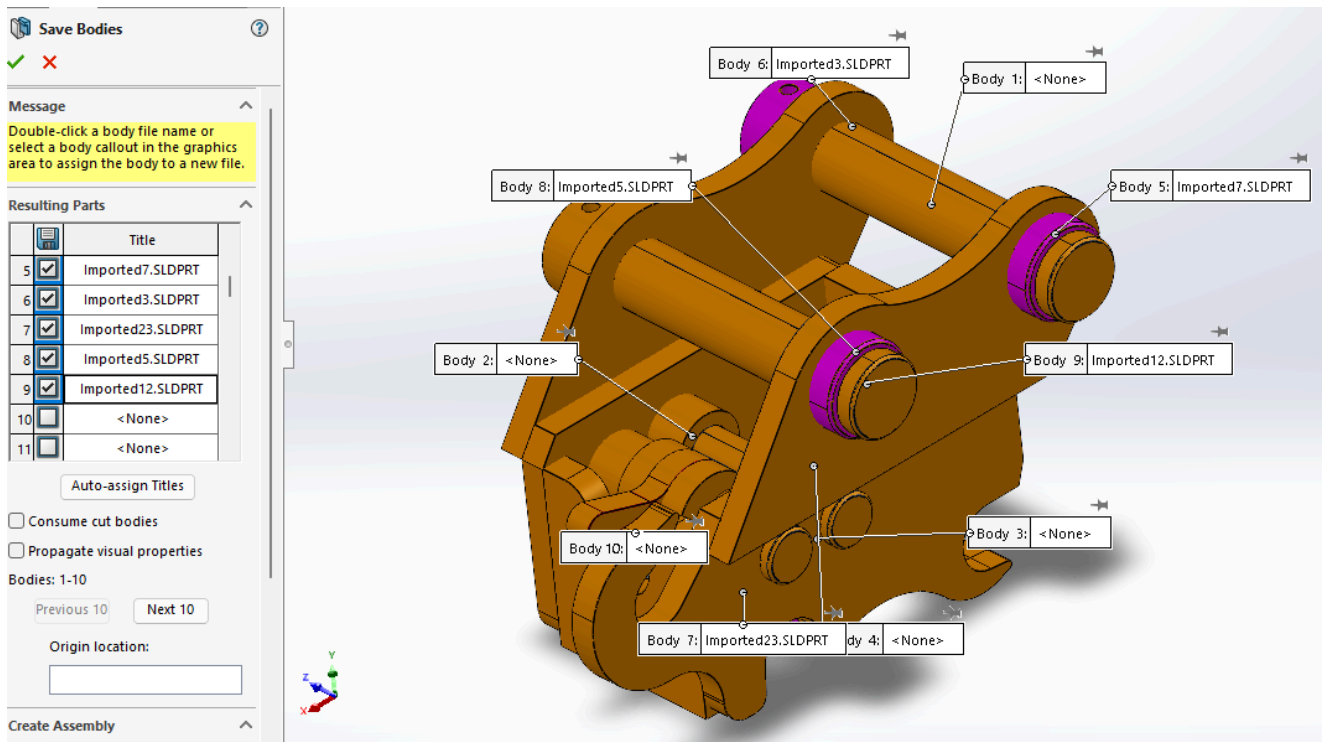


Рис.4. Вибір тіл для збереження

Крок 6. Натисніть **ОК** - SolidWorks автоматично створить окремі файли деталей. Тепер кожне тіло імпортованого STEP-файлу стає **самостійним файлом** .sldprt, придатним для подальшого редагування, специфікації та використання у збірках.

1.4. Створення нової збірки із згенерованих деталей.

Створити нову збірку, додати в неї всі деталі, що згенеровані в попередньому кроці, додати в збірку STEP-файлу (як інструкцію до складання, див. рис. 5 та рис.6), та виконати складання збірки.

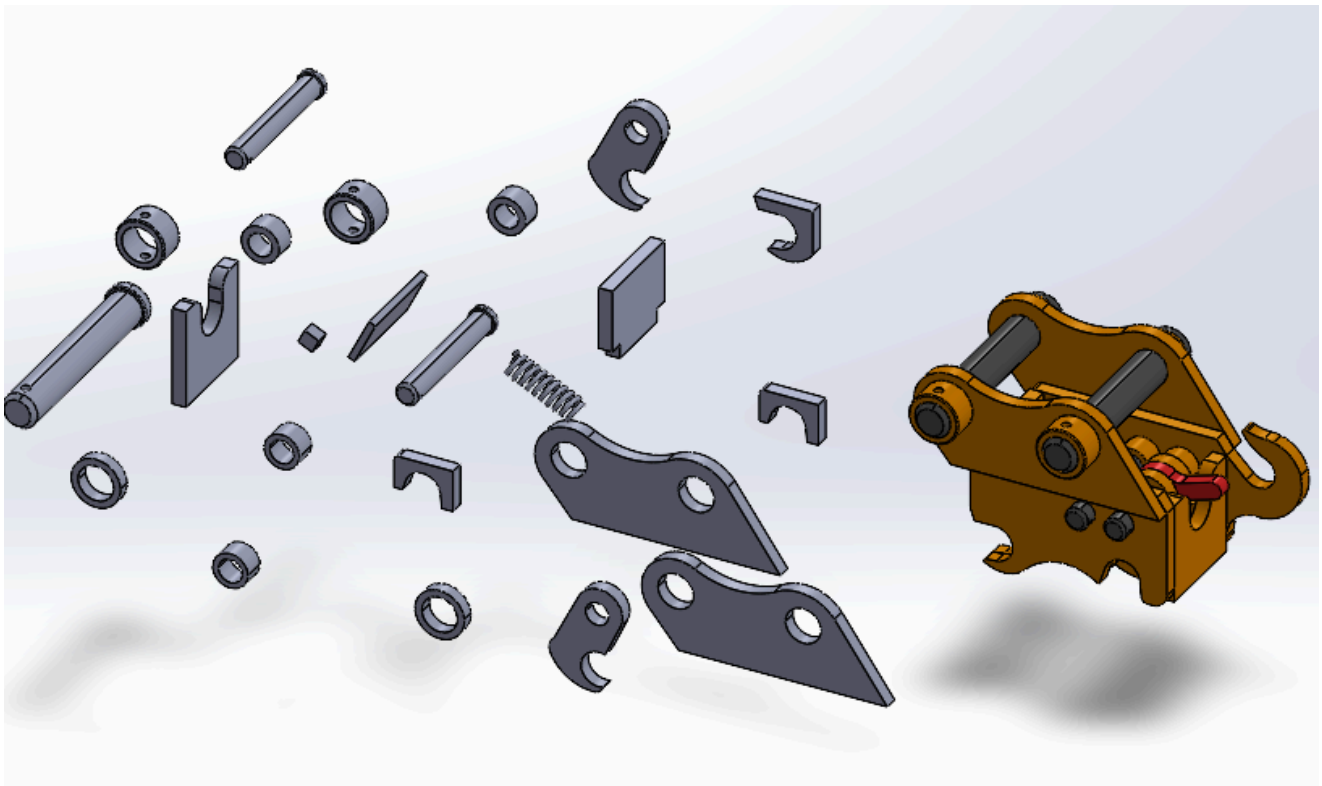


Рис.5. Створення збірки

З урахуванням того, що при призначенні контактних умов потрібно буде обирати циліндричні елементи, то краще редагувати сформовані деталі шляхом видалення "зайвих" граней, як це показано на рис. 7.

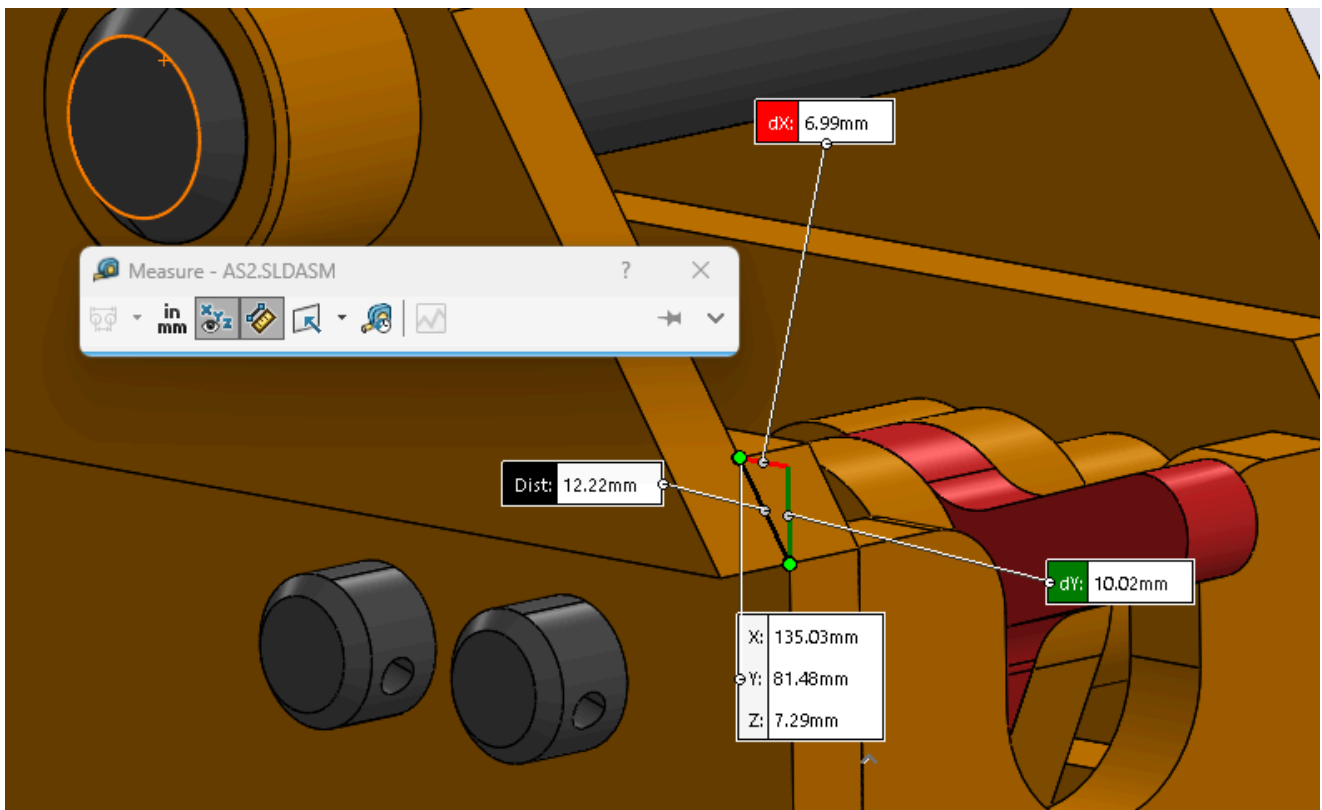


Рис.6. Використання STEP-файл для встановлення необхідних розмірів між елементами збірки

Послідовність дій для видалення грані

Крок 1. Відкрити кожну деталь, або редагувати кожну деталь в контексті збірки

Крок 2. Перейти на вкладку **Direct Editing** у верхній панелі вкладок

Крок 3. Обрати команду **Delete Face** на панелі інструментів

Крок 4. Клацнути по циліндричній грані на моделі (по верхній або нижній напівчастині) - вона підсвітиться блакитним, у полі **Selections** з'явиться **Face<2>** (див. рис.7)

Крок 5. У розділі **Options** обрати режим **Delete and Patch**

Крок 6. Перевірити попередній перегляд і натиснути **OK**

Режими видалення командою **Delete Face** наведені в таблиці нижче

 **Рекомендовано використовувати Delete and Patch -суміжні грані продовжуються автоматично до замкнутого тіла, як це показано на рис.7**

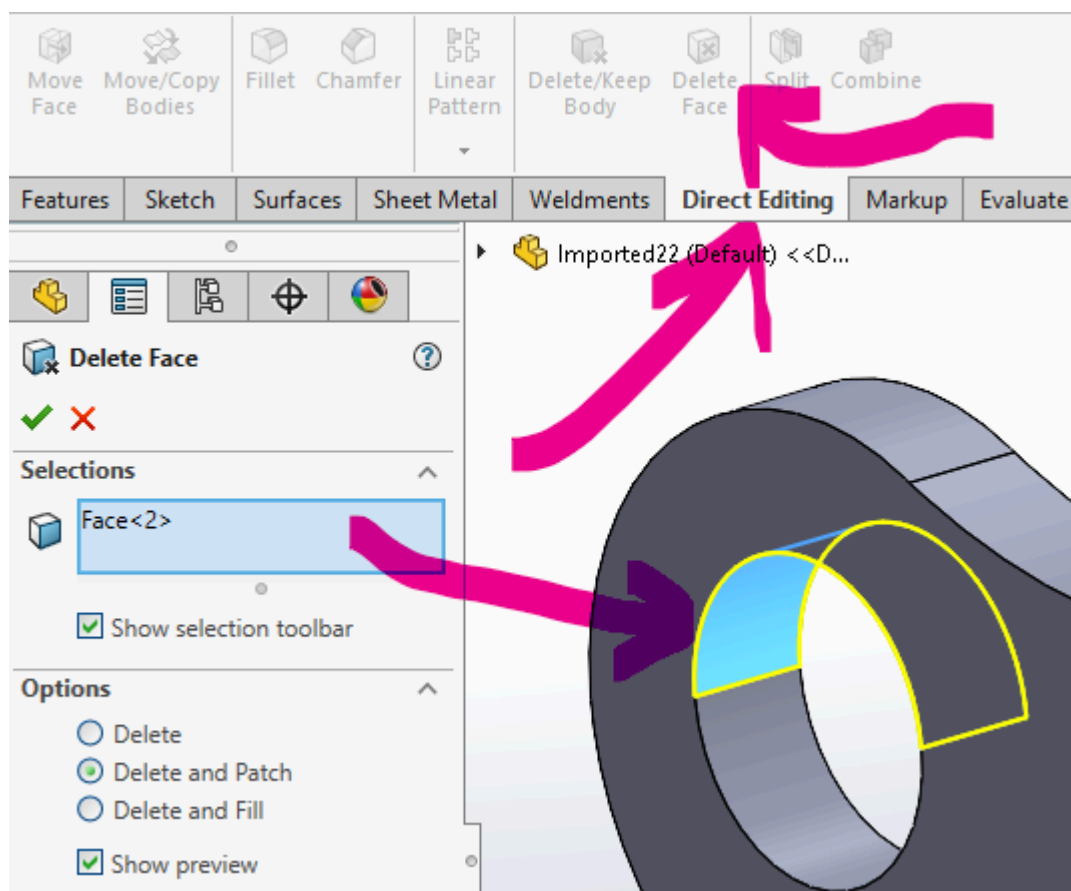
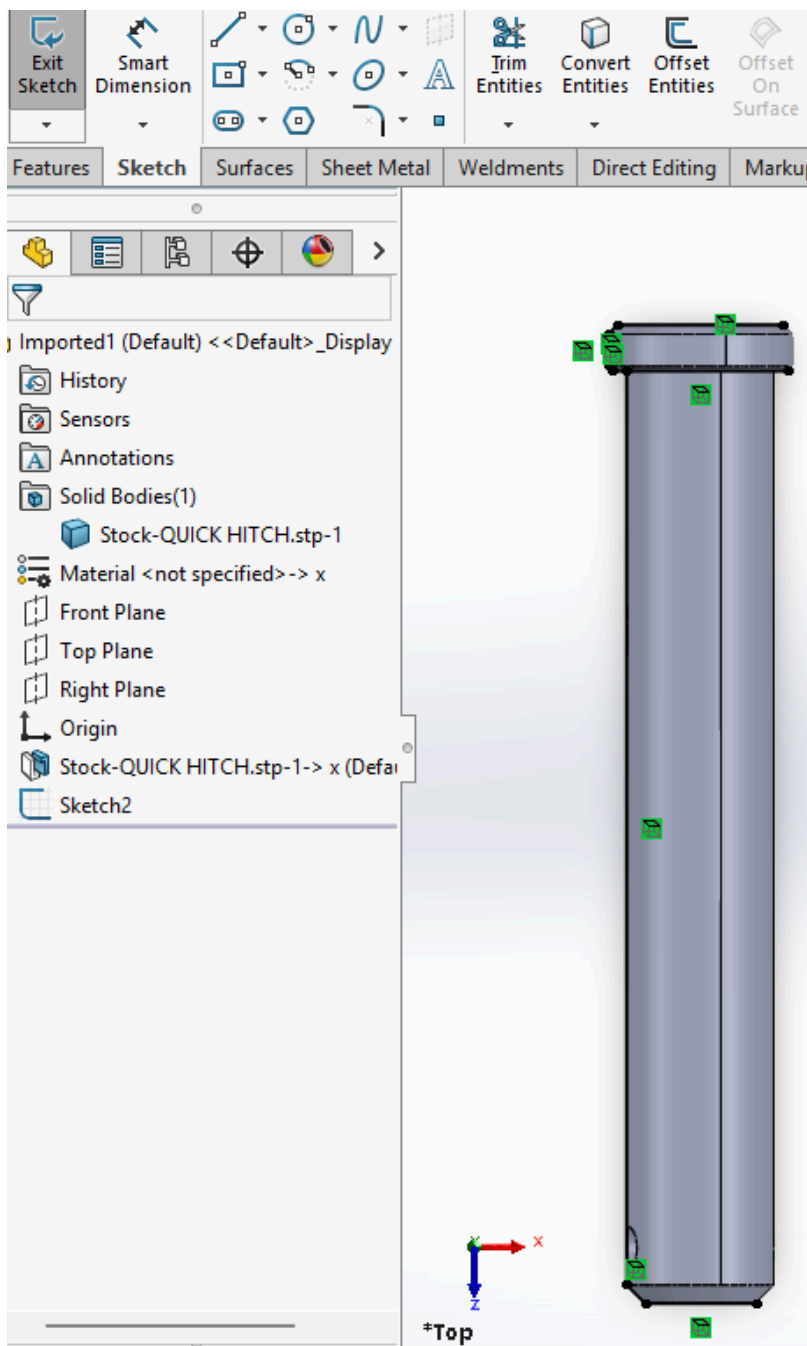
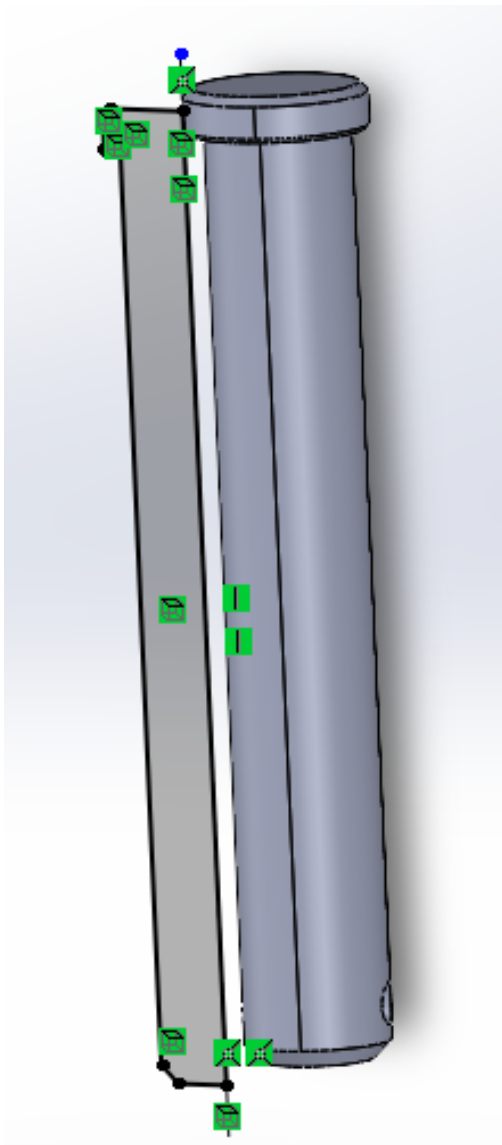


Рис. 7. Використання інструментів прямого редагування для видалення граней.

Якщо неможливо для окремих деталей виконати команду **Delete Face**, тоді потрібно окремі деталі або розпізнати, або сформувати нові. Для останнього можна скористатися командою **Convert Entities**, як це показано на рис.8





Режим	Результат
Delete	Видаляє грань, може утворити відкрите тіло
Delete and Patch	Видаляє + автоматично латає суміжні поверхні
Delete and Fill	Видаляє + заповнює отвір плоскою поверхнею

а	б
---	---

Послідовність дій для формування нової деталі може бути наступною

Крок 1. Відкрити деталь, для якої неможливо виконати **Delete Face**

Крок 2. Створити ескіз на одній з площин деталі, що дозволяє спроекціонувати контур деталі на площину (див. рис.8,а)

Крок 3. Копіювати утворений ескіз

Крок 4. Створити нову деталь, створити в ній ескіз і вставити з буферу обміну ескіз

Крок 5. Виконати деталь стандартними засобами SolidWorks

Складена збірка має виглядати так, як це показано на рис. 9. Пружину для збірки рекомендовано перебудувати штатними інструментами SolidWorks.

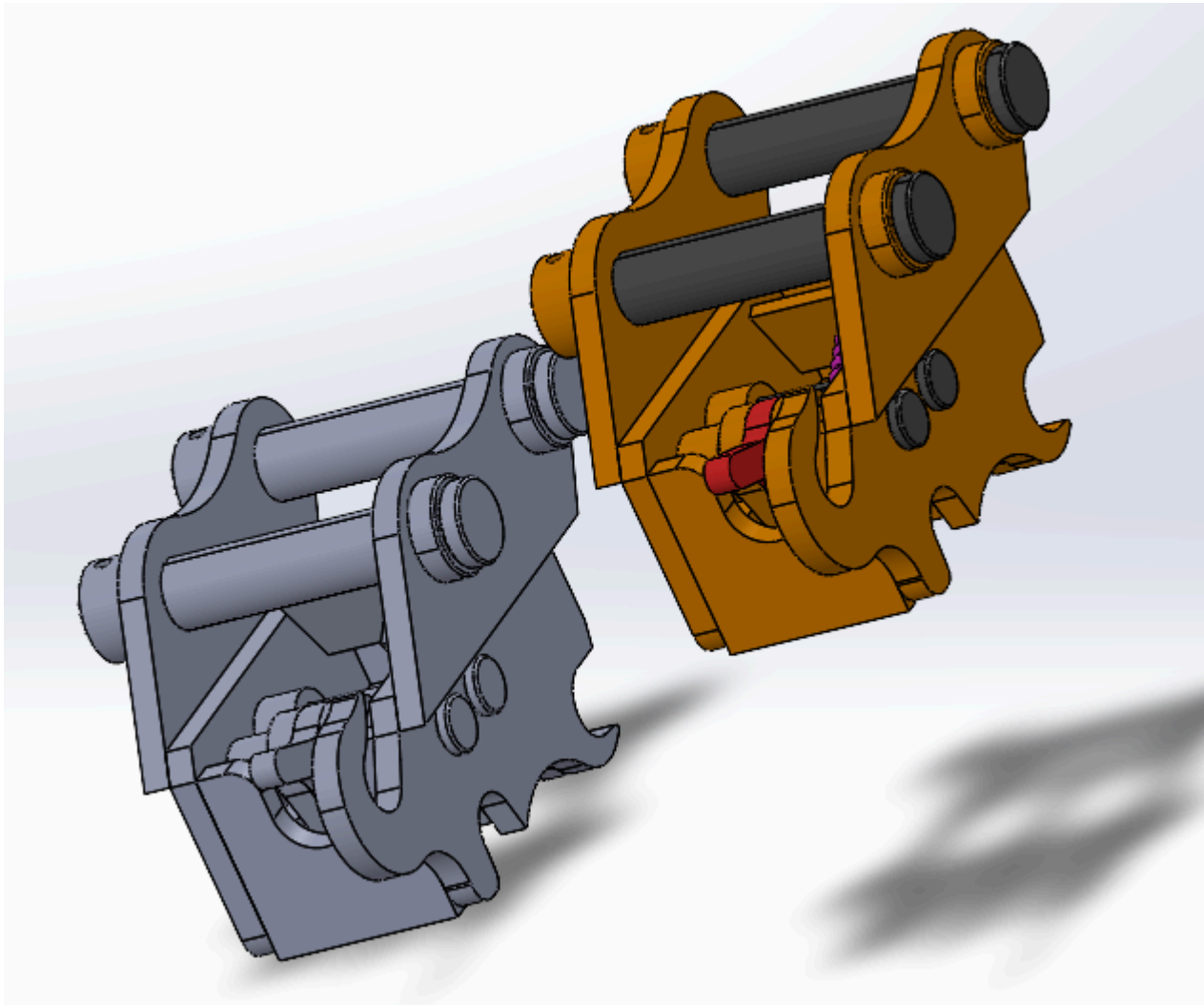


Рис. 9. Збірка Quick hitch (швидкозмінної муфти)

🔗 **QUICK HITCH** - це з'єднувальна деталь, яка кріпиться до **стріли (dipper arm)** екскаватора. Вона має точки кріплення, що збігаються з пальцями навісного обладнання, і замкову систему

Для покращення зовнішнього вигляду збірки натисни стрілку > у верхньому правому куті дерева **Feature Manage** і розгорнути панель **Display Pane** , як це показано на рис.10

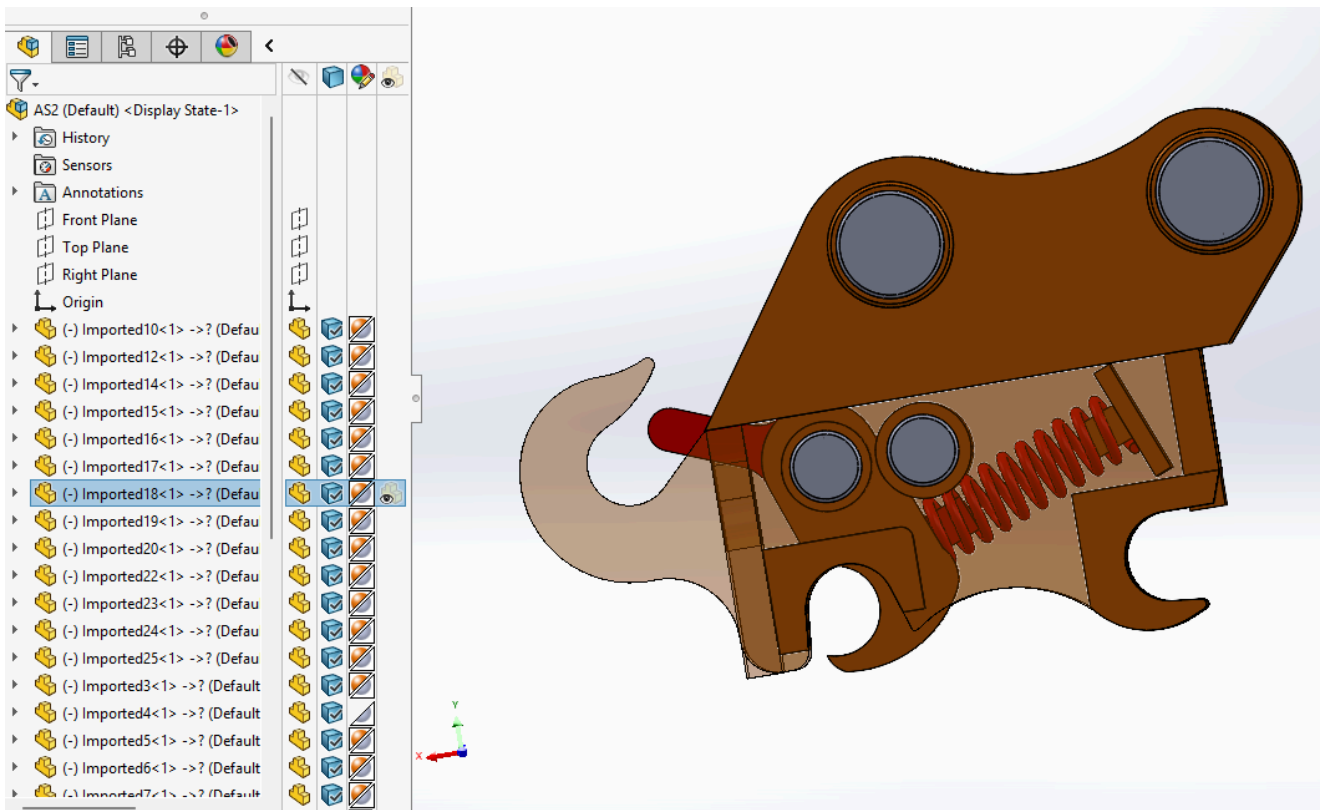


Рис.10. Зміна зовнішнього виду через панель **Display Pane**

2. Формування контактних умов збірки Quick Hitch у SolidWorks Simulation

⚡ Важливо зазначити наступне:

1. ціллю роботи є відпрацювання підходів до призначення умов взаємодії деталей і тільки це
2. параметри сітки в даній роботі не розглядаються і призначаються за замовчуванням, збіжність сітки не досліджується
3. характеристики розташування силових граничних умов та точність їхніх значень може не відображати дійсну напружену картину конструкції, бо в даній роботі це, а також ряд інших питань, свідомо спрощено для підсвічування головного питання - контактної взаємодії
4. характеристики кінематичних граничних умов можуть не відповідати дійсному стану конструкції з вищеописаної причини
5. значення напружень, у зв'язку із вищеописаними фактами спрощень моделі, можуть не відповідати дійсності

Що являє собою збірка Quick Hitch і як це впливає на контактні умови.

Quick Hitch, як було зазначено вище, це швидкозмінна муфта, яка кріпиться до стріли (dipper arm) екскаватора. Конструктивно вона містить:

- **Корпус** - основна несуча деталь

- **Пальці (pins)** - циліндричні деталі, що з'єднують корпус з навісним обладнанням
- **Втулки (bushings)** - посаджені у вушка корпусу, через які проходять пальці
- **Замкова система** - включає засувку та пружину
- **Кріпильні елементи** - болти, гайки, шайби

Це означає, що в збірці є принципово різні типи контактів:

- жорсткі (корпусні деталі між собою зварені)
- рухомі з зазором (палець у втулці)
- пружні (пружина)

Для кращого розуміння призначення даної збірки, наведено рис.13



Рис.13. Приклад швидкозмінної муфти [2]

Детальніше про будову та функціонал Quick Hitch можна дізнатися в джерелі [3]

Крок 1. Запуск Simulation і створення дослідження

1. У верхньому меню: **Simulation** → **New Study**
2. Обрати **Static**
3. Дослідження назвати Quick_Hitch_Contact

Крок 2. Призначення матеріалів

Для Quick Hitch типові матеріали конструкційна або легована сталь.

Для **корпусних деталей** виробники використовують матеріал S355JR.

Для пальців - 42CrMo4.

Втулки - 20MnCr5.

💡 **Важливе правило: втулка повинна бути на 5–10 HRC твердіша за палець, щоб уникнути задирання.**

1. У дереві симуляції розгорнути папку з компонентами (див рис.14)
2. Клікнути правою кнопкою на відповідних компонентах і обрати **Apply/Edit Material**
3. Призначити вище рекомендовані матеріали

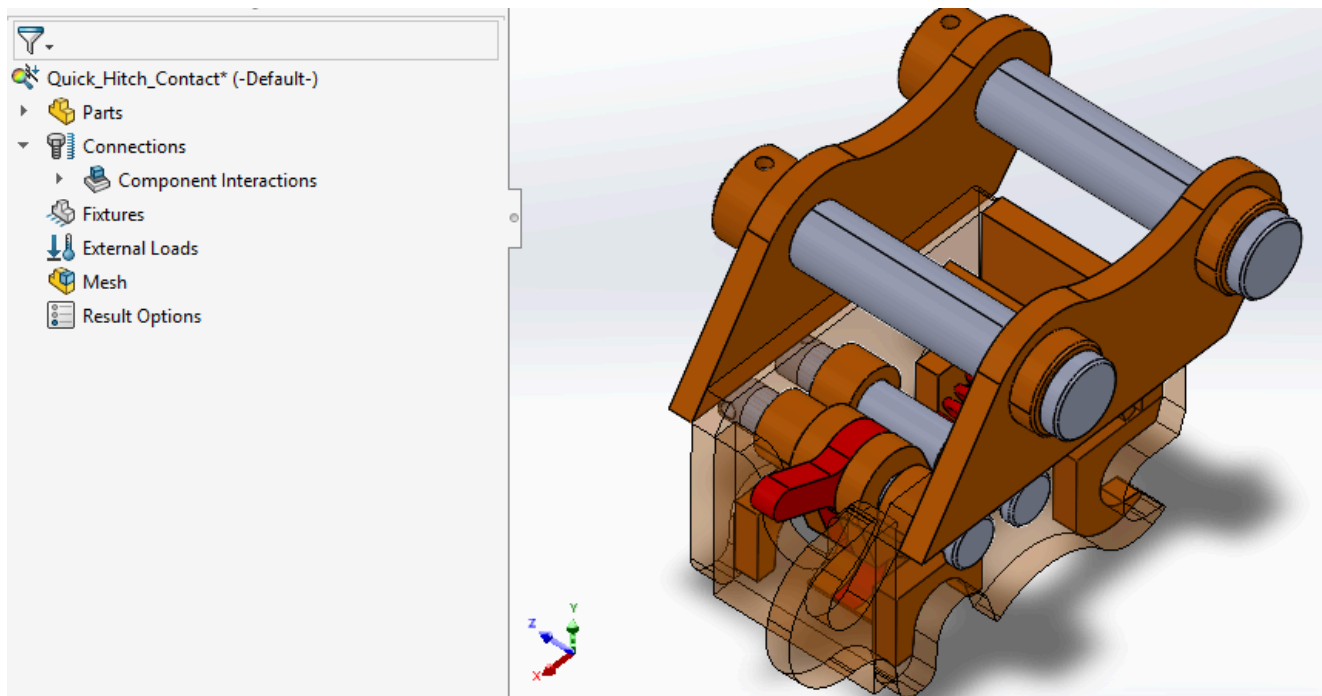


Рис.14. Дерево дослідження Simulation

Крок 3. Правило взаємодії за замовчуванням для всіх поверхонь збірки (Global Interaction)

Дане правило застосовується для всіх поверхонь збірки (або багатотільної деталі), де не задані більш конкретні умови. Правило (Global Interaction) діє там, де нічого не уточнено на нижчих рівнях (Component Interaction, Local Interaction).

Розкрити елемент гілки **Simulation Study Tree**, розкрити підгілку **Component Interaction**, ПКМ на елементі **Global Interaction** та перейти до **Edit Definition**, як це показано на рис.15.

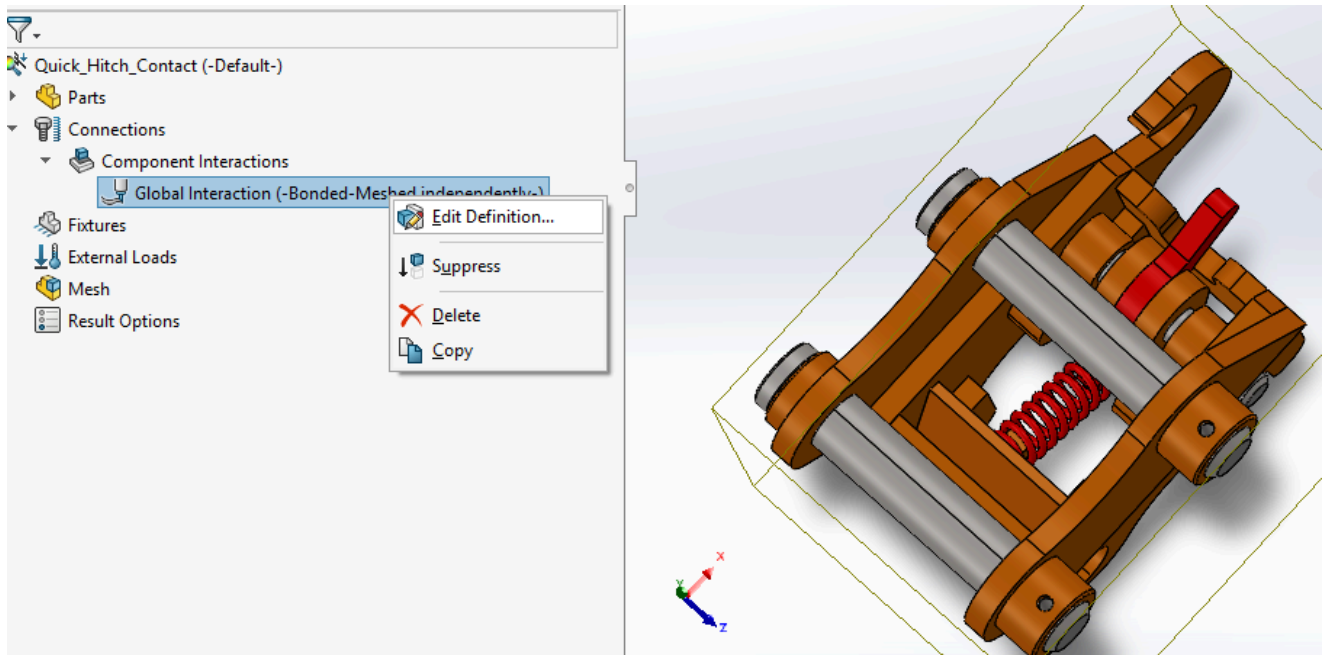


Рис. 15. Дерево Simulation Study Tree

✎ Детально ознайомитися із фактичними параметрами взаємодії, а в звіті до роботи детально розкрити (описати) всі параметри Global Interaction (ієрархічний рівень, типу взаємодії, формулювання взаємодії).

Крок 4. Перегляд параметрів взаємодії за замовчуванням

Перейти по шляху **Simulation** → **Options** → **Default Options** → **Interaction**.
Ознайомитися із параметрами взаємодії за замовчуванням (див. рис.16)

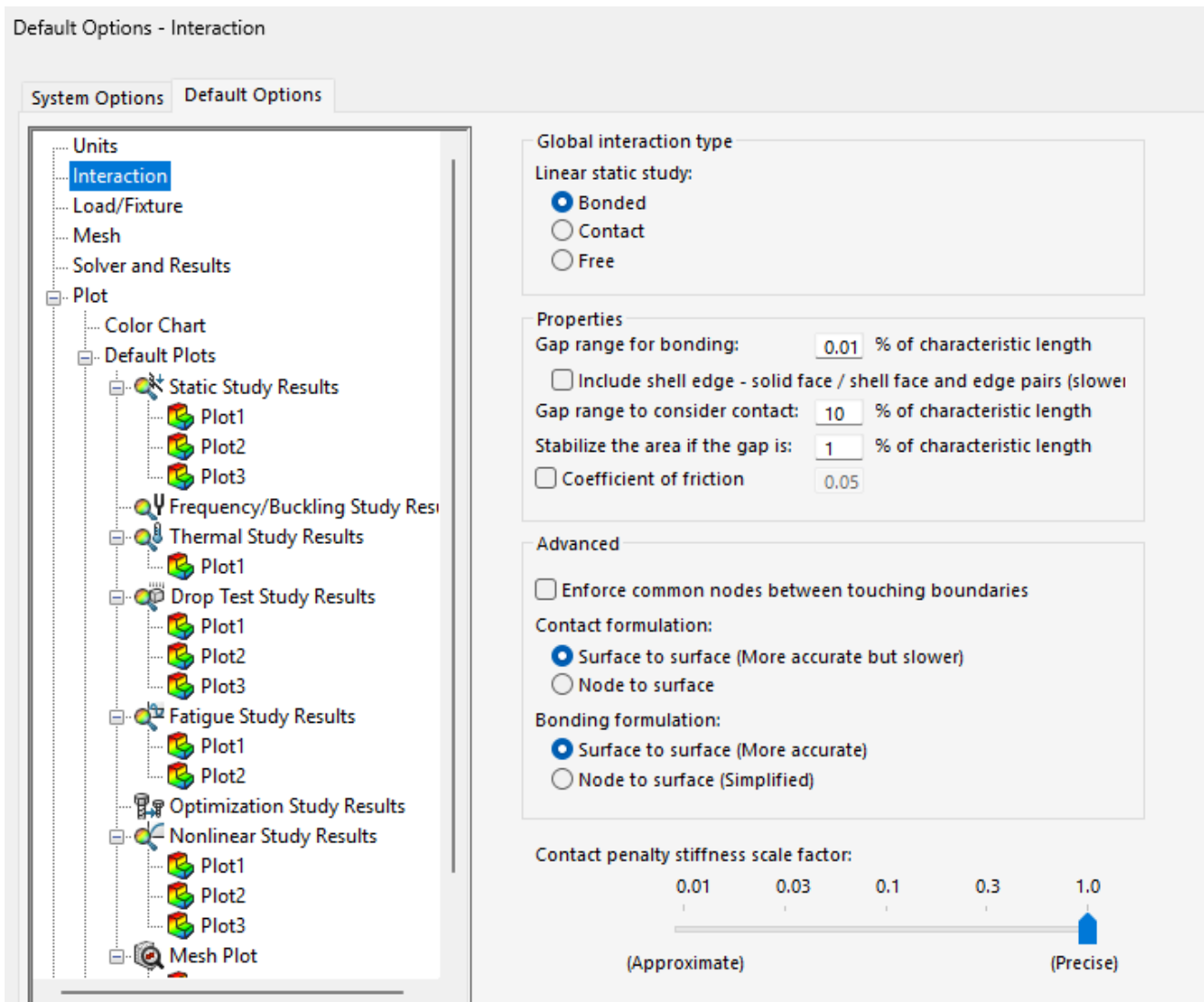


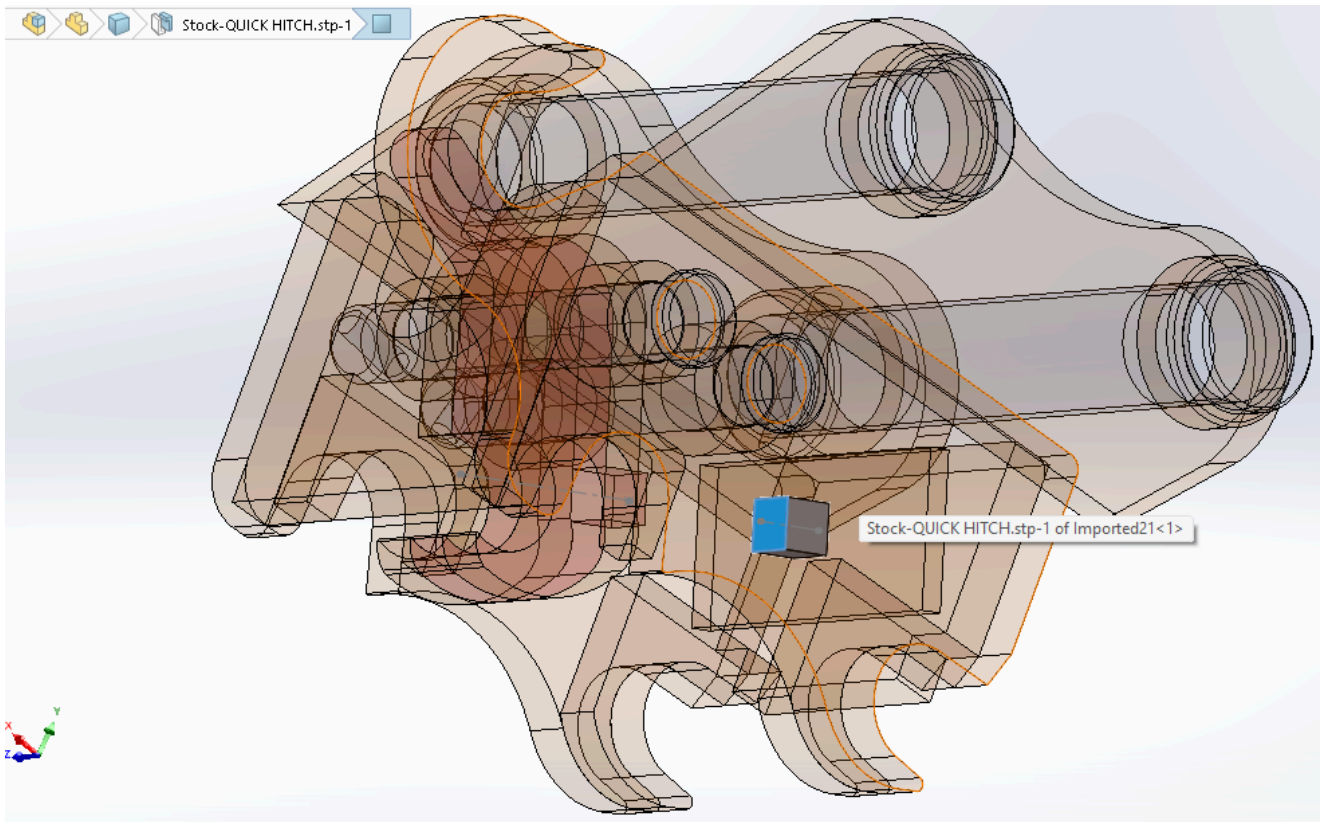
Рис.19. Параметрами взаємодії за замовчуванням

 Детально ознайомитися із параметрами взаємодії за замовчуванням, а в звіті до роботи детально обґрунтувати зміну або не зміну параметрів за замовчування

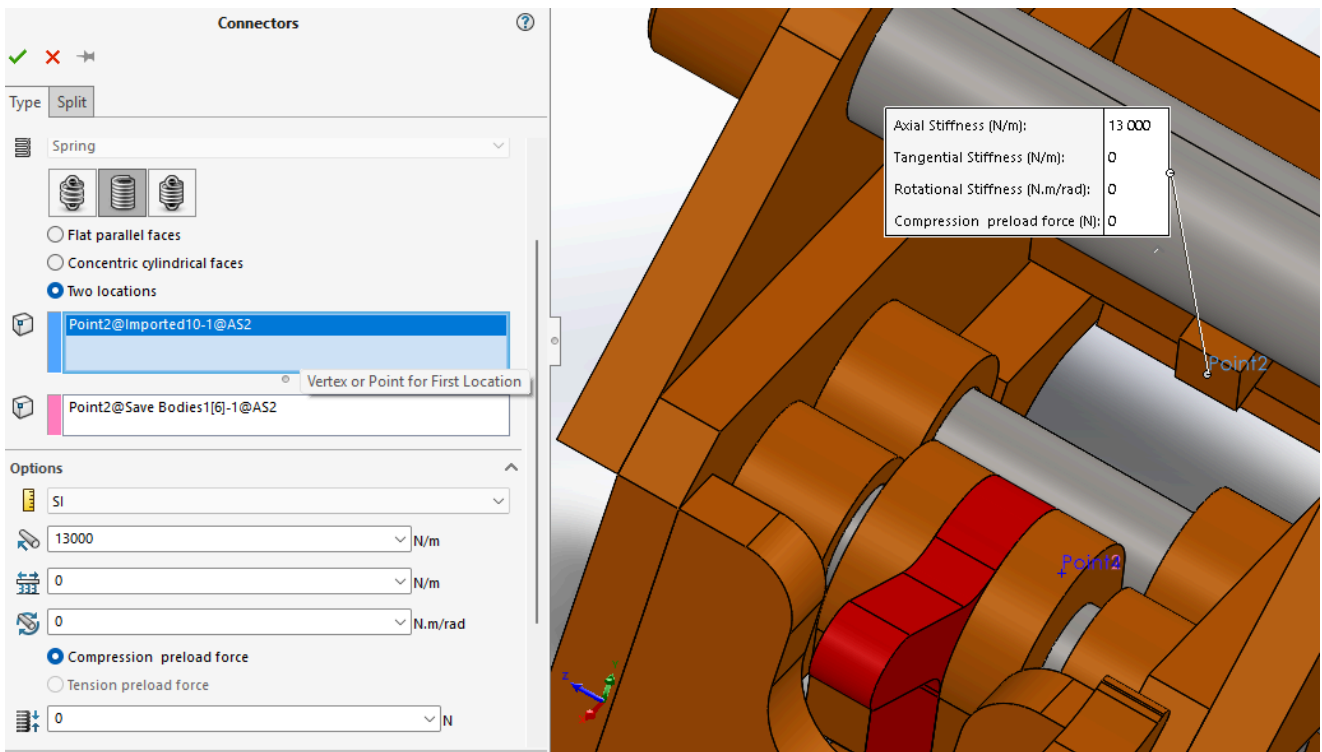
Крок 5. Підготовка моделі до формування граничних умов

Видалити деталь **Spring**, та замінити її на з'єднувач **Simulation Spring Connector-1**. Для цього потрібно підготувати на геометрії деталі 2 точки (відкрити деталі в новому вікні, створити на необхідних гранях ескізи та розмістити точки, вийти з ескізу і встановити точки із домоїжної геометрії, див. рис.20)

На рис. 20, а показано редагування деталі в контексті збірки для формування точки з метою застосування з'єднувача **Spring Connector-1**. На рис. 20, б показано формування **Spring Connector-1** в **Simulation**



а



б

Рис.20.Формування з'єднувача **Spring Connector-1**: а - підготовка геометрії; б - параметри з'єднувача

Після цього створити спряження дотичність між пальцем запобіжного пристрою та рухомими гаками, як це показано на рис. 21

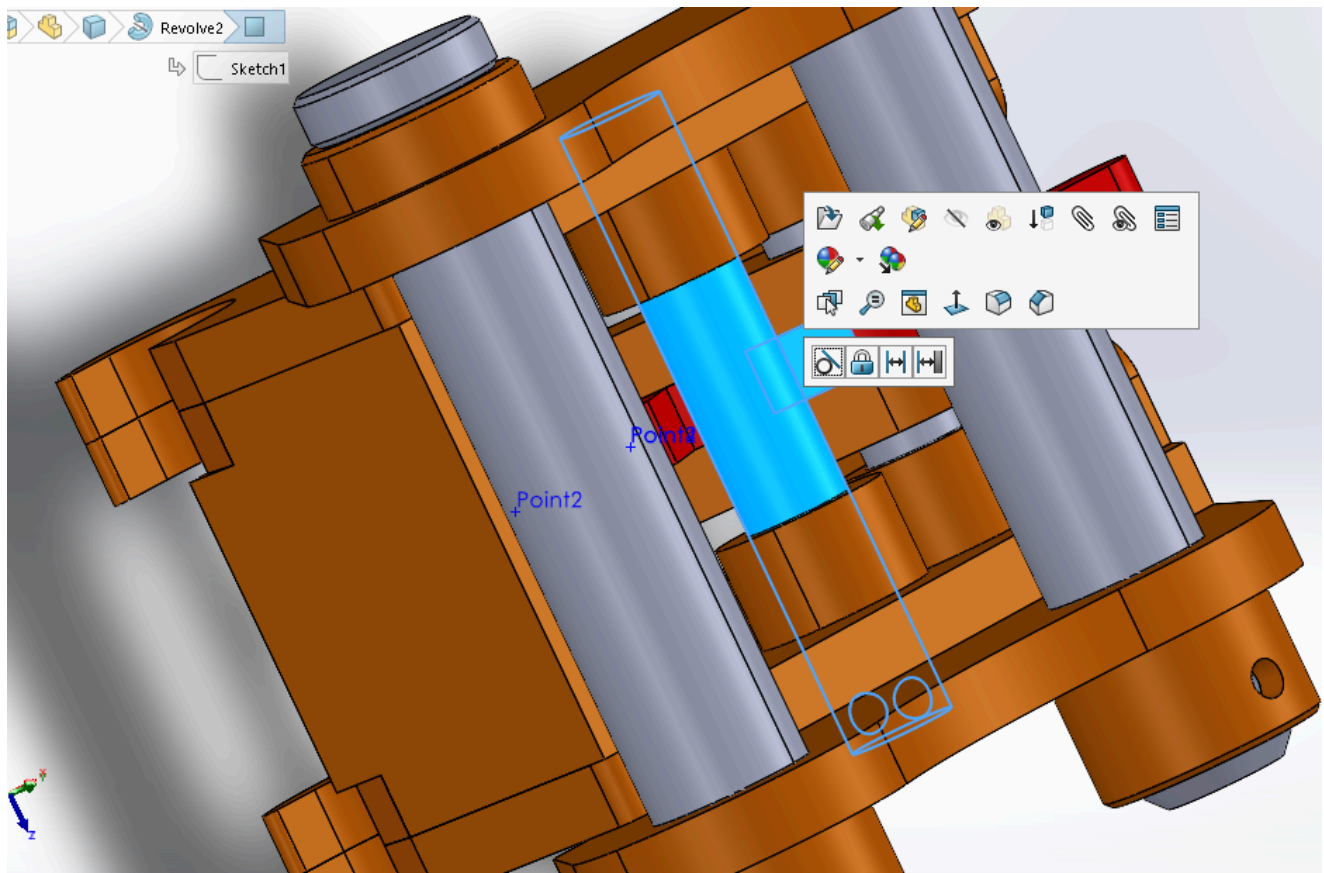


Рис. 21. Додаткове визначення взаємного положення компонентів збірки

Після цього створити нову деталь в контексті збірки (див. рис.22), яка імітує елементи навісних пристроїв екскаваторів, для формування граничних умов.

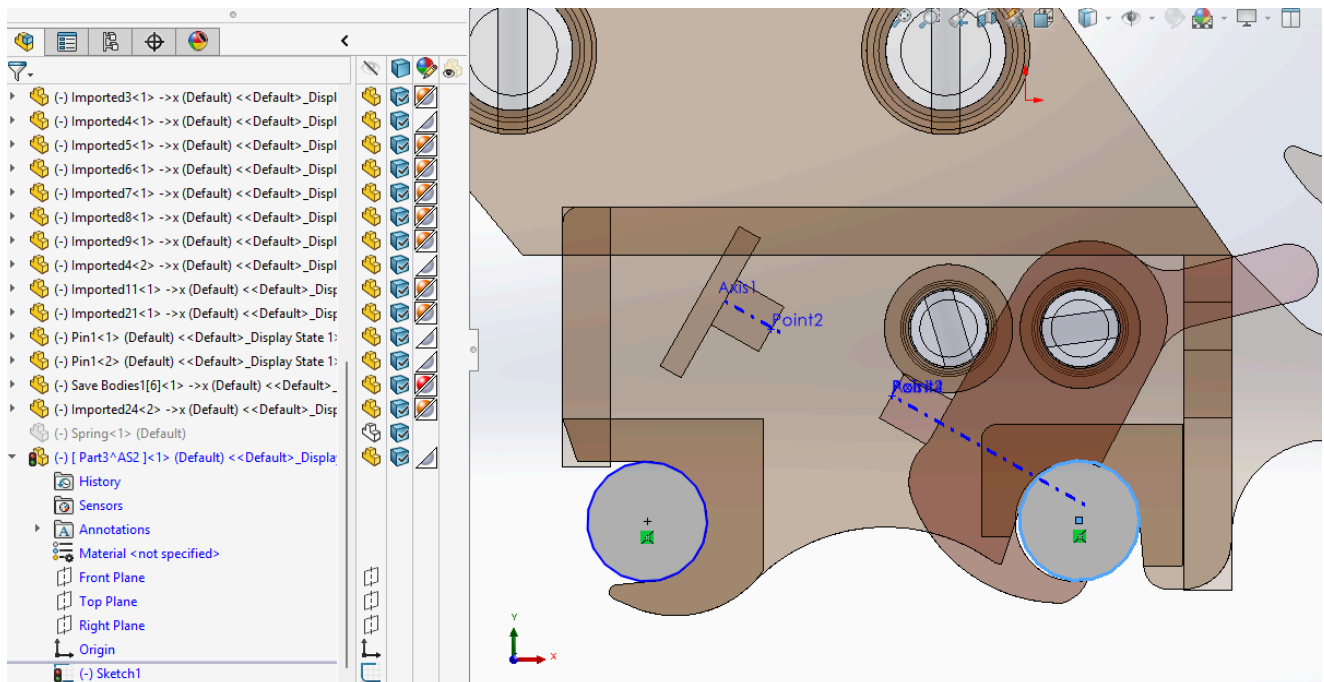


Рис. 22. Створення деталі в контексті збірки

Для створення деталі в контексті збірки потрібно виконати наступні дії :

- перейти на вкладку **Assembly**, обрати **Insert Components** → **New Part**
- клікнути на площину **Front Plane** і відбудеться буде прив'язка нової деталі

- нова деталь з'являється в дереві як Part^AS2<1> і **SolidWorks** автоматично **входить у режим редагування деталі** (див. рис.22)
- побудувати ескіз, як це показано на рис.22
- перейти на вкладку **Features** і обрати **Extruded Boss/Base** в 2-х напрямках на 120 і 30 мм (див. рис.23)
- вийти з режиму редагування нової деталі

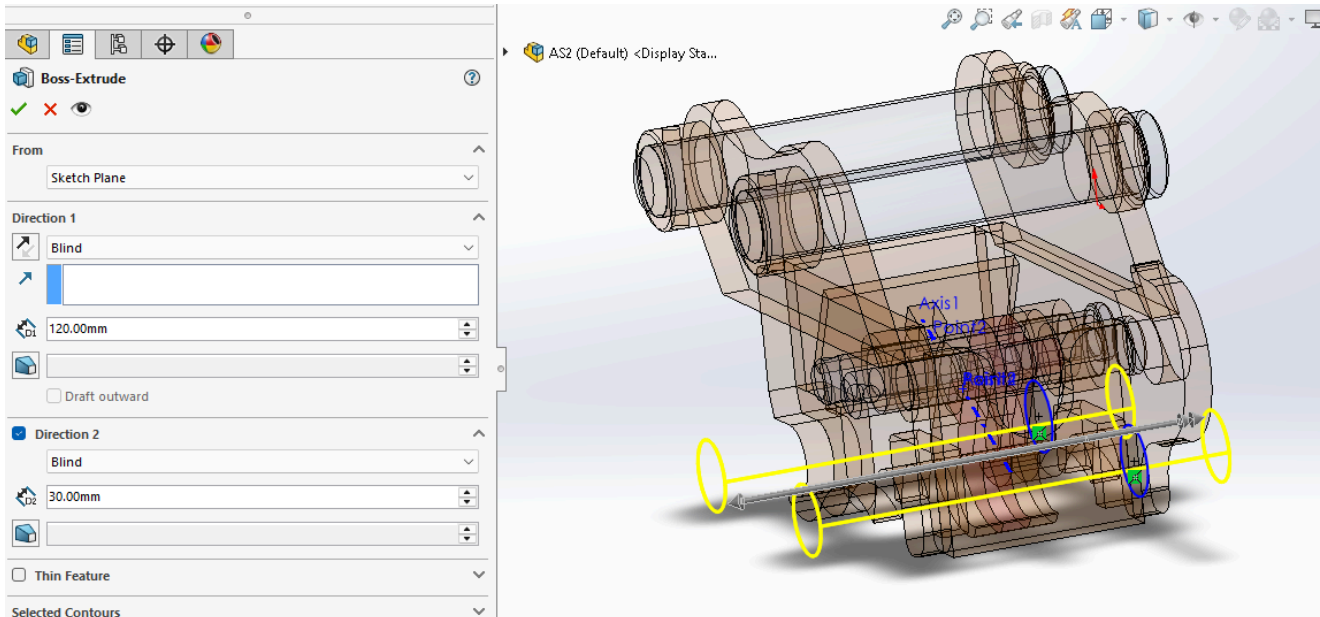


Рис.23. **Extruded Boss/Base** для формування деталі в контексті збірки

Після цього потрібно сформувати за допомогою лінії роз'єму визначені місця для призначення граничних умов. Для створення лінії роз'єму на деталі збірки потрібно виконати наступні дії:

- двічі клікнути на деталь у дереві побудови щоб увійти в режим редагування деталі
- перейти на вкладку **Sketch**, обрати **Sketch** та клікнути на площину, де буде проходити лінія роз'єму (див. рис.24)
- нарисувати контур лінії роз'єму та проставити розміри, як це показано на рис.24
- вийти з ескізу **Sketch** → **Exit Sketch**
- перейти на вкладку **Features**, обрати **Curves** → **Split Line**
- у вікні Split Line задати параметри:
 - **Type of Split** - обрати **Projection**
 - **Sketch to Project** - обрати щойно створений ескіз
 - **Faces to Split** - клікнути на поверхні деталі, яку потрібно розділити
- завершити команду
- вийти з режиму редагування деталі - правий клік у дереві → **Edit Assembly**

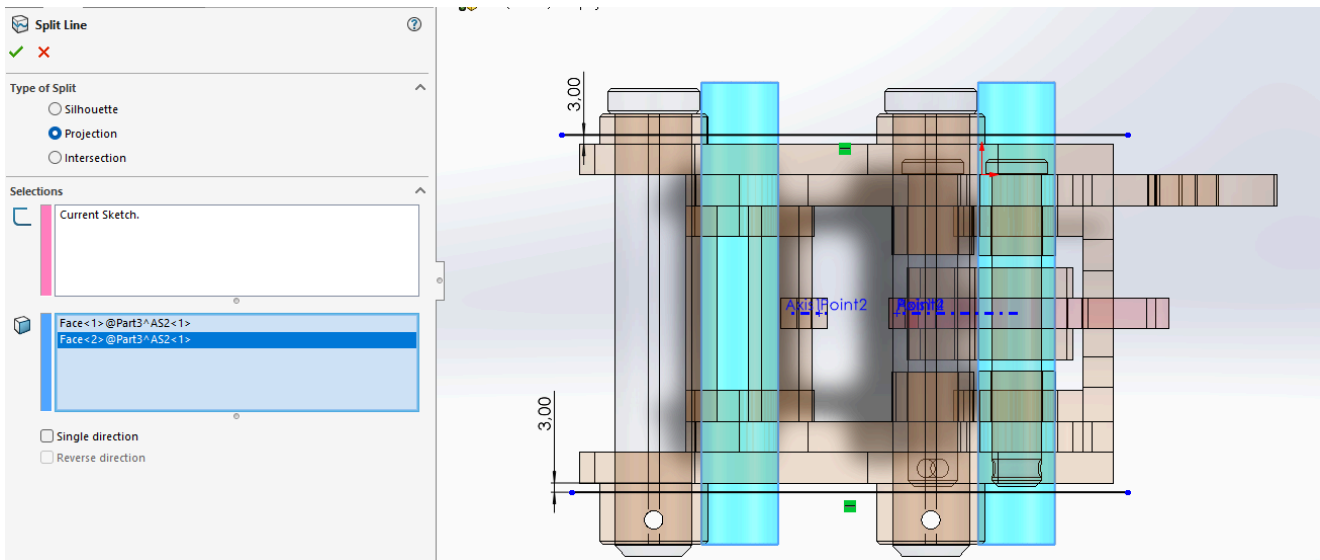


Рис. 24. Підготовка областей для призначення граничних умов

Аналогічним чином визначити місця під граничні умови верхніх пальців кріплення.я к це показано на рис 25

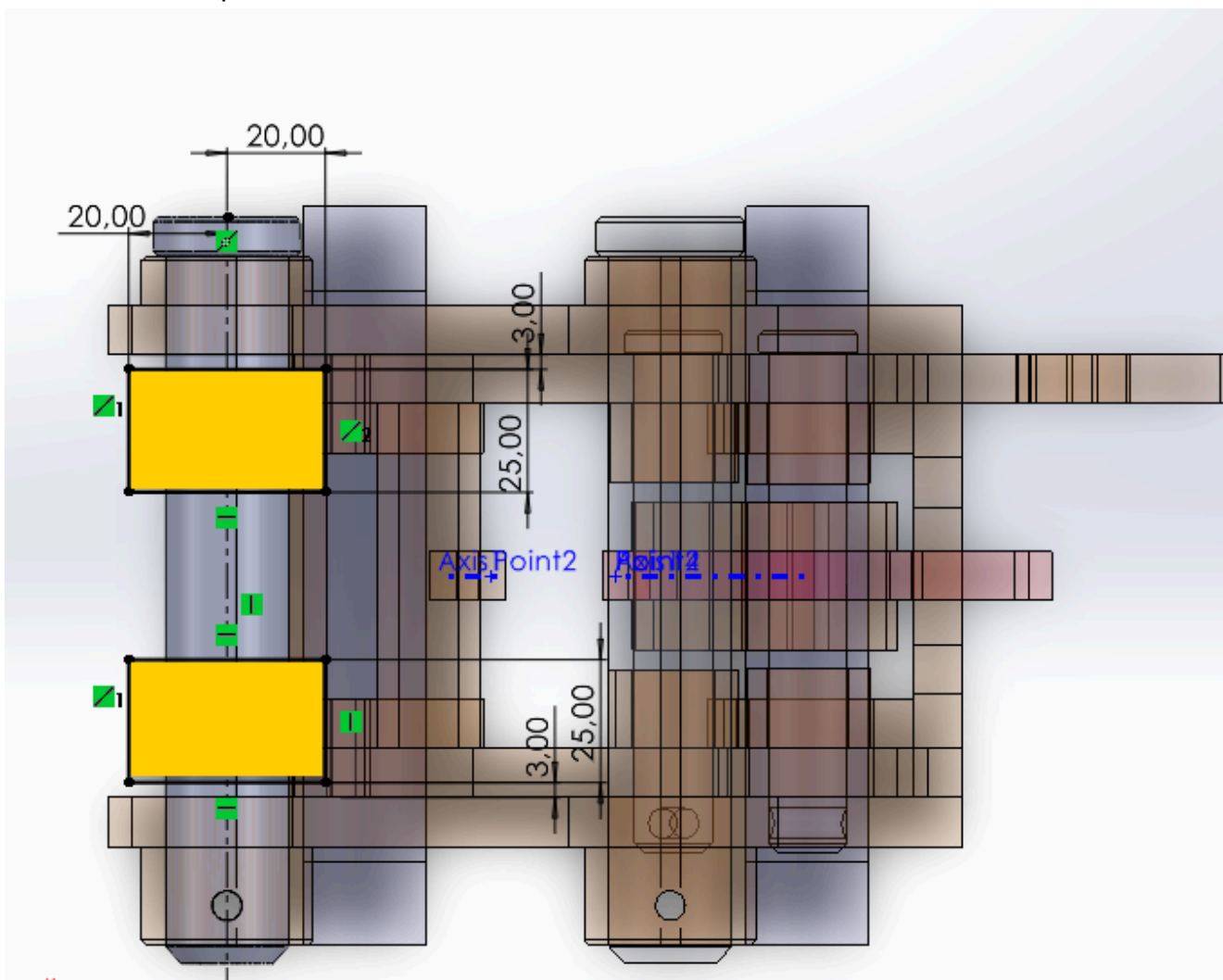


Рис. 25. Підготовка областей для призначення граничних умов на верхніх пальцях (жовтим підсвічено частини пальця, що потрібно відділити лінією роз'єму)

Крок 6. Формування граничних умов

Для задання силових граничних умов на визначених гранях потрібно виконати наступні дії:

- у дереві Simulation правий клік на **External Loads** → **Force**
- відкриється вікно **Force/Torque**, перейти на вкладку **Type**
- в полі вибору типу навантаження обрати **Force**
- у полі **Faces, Edges, Vertices** послідовно клікнути на циліндричні поверхні пальців, що відділені лінією роз'єму, як це показано на рис. 26
- для напрямку сили обрати **Selected direction** (не Normal)
- у полі напрямку клікнути на **Top Plane**
- встановити **Total**
- у полі **Force** ввести **3000 N**
- встановити прапорець **Reverse direction** якщо потрібно змінити напрямок сили
- завершити команду

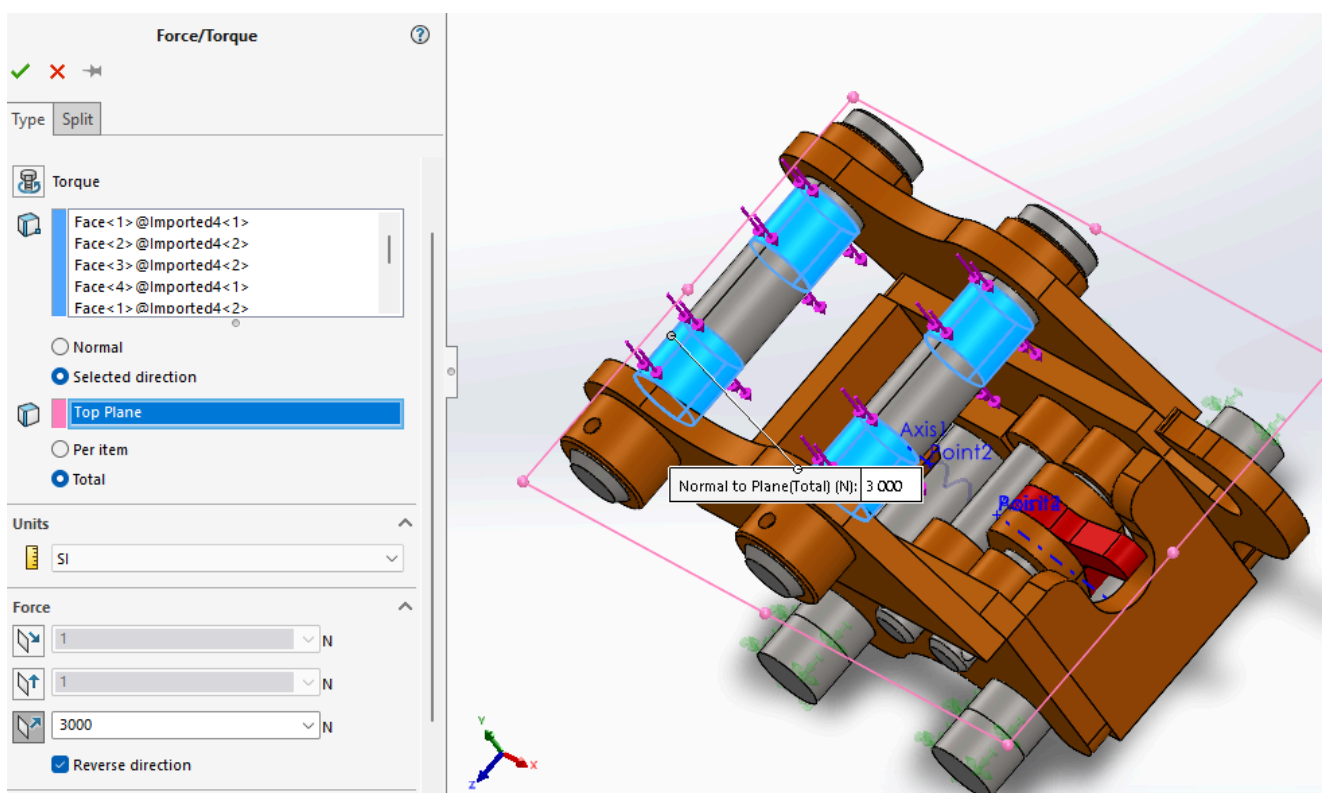


Рис.26. Визначення силових граничних умов

Призначити кінематичні граничні умови, як показано на рис. 27.

Для задання граничних умов кріплення на визначених гранях потрібно виконати наступні дії:

- у дереві Simulation правий клік на **Fixtures** → **Fixed Geometry**
- відкриється вікно **Fixture**, перейти на вкладку **Type**
- у розділі **Standard (Fixed Geometry)** обрати тип закріплення - **Fixed Geometry**
- у полі вибору граней послідовно клікнути на торцеві плоскі грані деталі, які показані на рис.27

- завершити команду

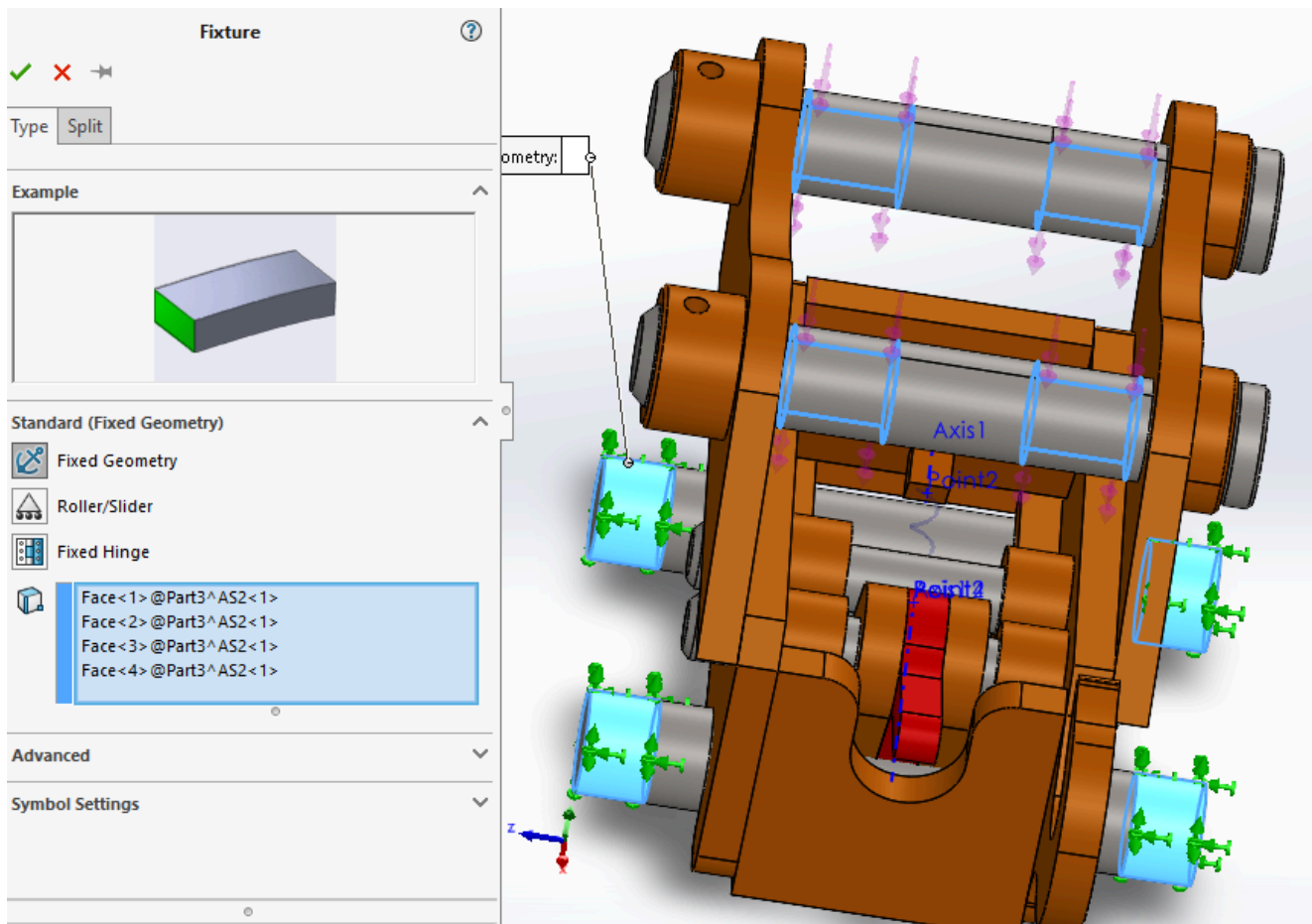


Рис.27. Призначення кінематичних граничних умов (частини)

Призначення контактних умов. Контакти між елементами корпусу поєднуються за рахунок **Global Contact** у варіанті контакту **Bonded**. Для задання контактних взаємодій між пальцями та корпусом, між рухомими гаками і корпусом тощо потрібно виконати наступні ітераційні дії:

- у дереві Simulation правий клік на **Connections** і обрати **Component Interaction** та/або **Local Interactions**
- відкриється вікно **Component Interaction** та/або **Local Interactions**
- у розділі **Type** з випадаючого списку обрати **Contact**
- якщо умови взаємодії формуються за допомогою **Local Interactions**, то потрібно обрати спочатку "джерело контакту", а потім "ціль"
- у розділі **Properties** перевірити значення:
 - **Gap range to consider contact** — 10.22%
 - **Stabilize the area if the gap is** — 1.02%
 - **Coefficient of friction** — 0.05
- натиснути ✓ **OK**

В результаті ітераційних дій по призначенню контактних умов має сформуватися наступна картина взаємодії, як це показано на рис.28. Для відображення та перевірки

контактів через Interaction Viewer потрібно виконати наступні дії:

- у дереві Simulation правий клік на **Connections** → **Interaction Viewer**
- відкриється вікно **Interaction Viewer**
- не встановлювати прапорець навпроти **Include solver generated interactions (mesh required)**
- натиснути кнопку **Calculate**
- у розділі **Results** з'являться дві вкладки:
 - **перша** (таблиця) - **Interaction List** - список всіх контактних пар у вигляді таблиці
 - **друга** (матриця) - графічне відображення взаємодій між деталями
- завершити команду

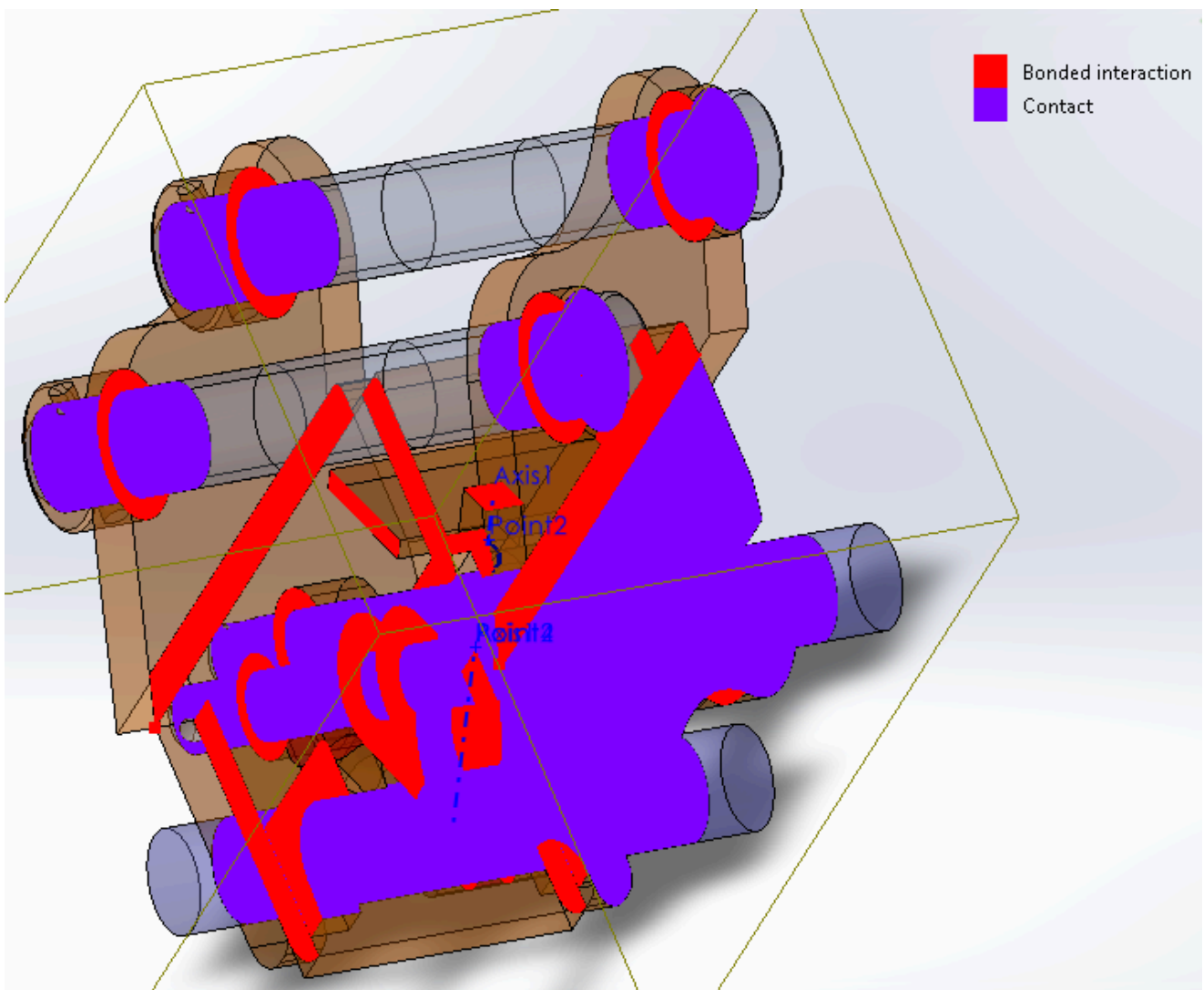


Рис. 28. Екран відображення контактних умов.

Крок 7. Запуск дослідження

Виконати запуск дослідження із параметрами сітки за замовчуванням, солвером та іншими налаштування за за замовчуванням.

Якщо під час розрахунку відбудеться збій - змінити солвер

Для зміни солвера потрібно виконати наступні дії:

- у дереві Simulation правий клік на назві дослідження і перейти до **Properties**
- відкриється вікно **Static Study Properties**
- у розділі **Solver** знайти випадаючий список і обрати потрібний солвер - обрати Direct Sparse або Intel Direct Sparse

Після завершення розрахунку має бути наступний результат

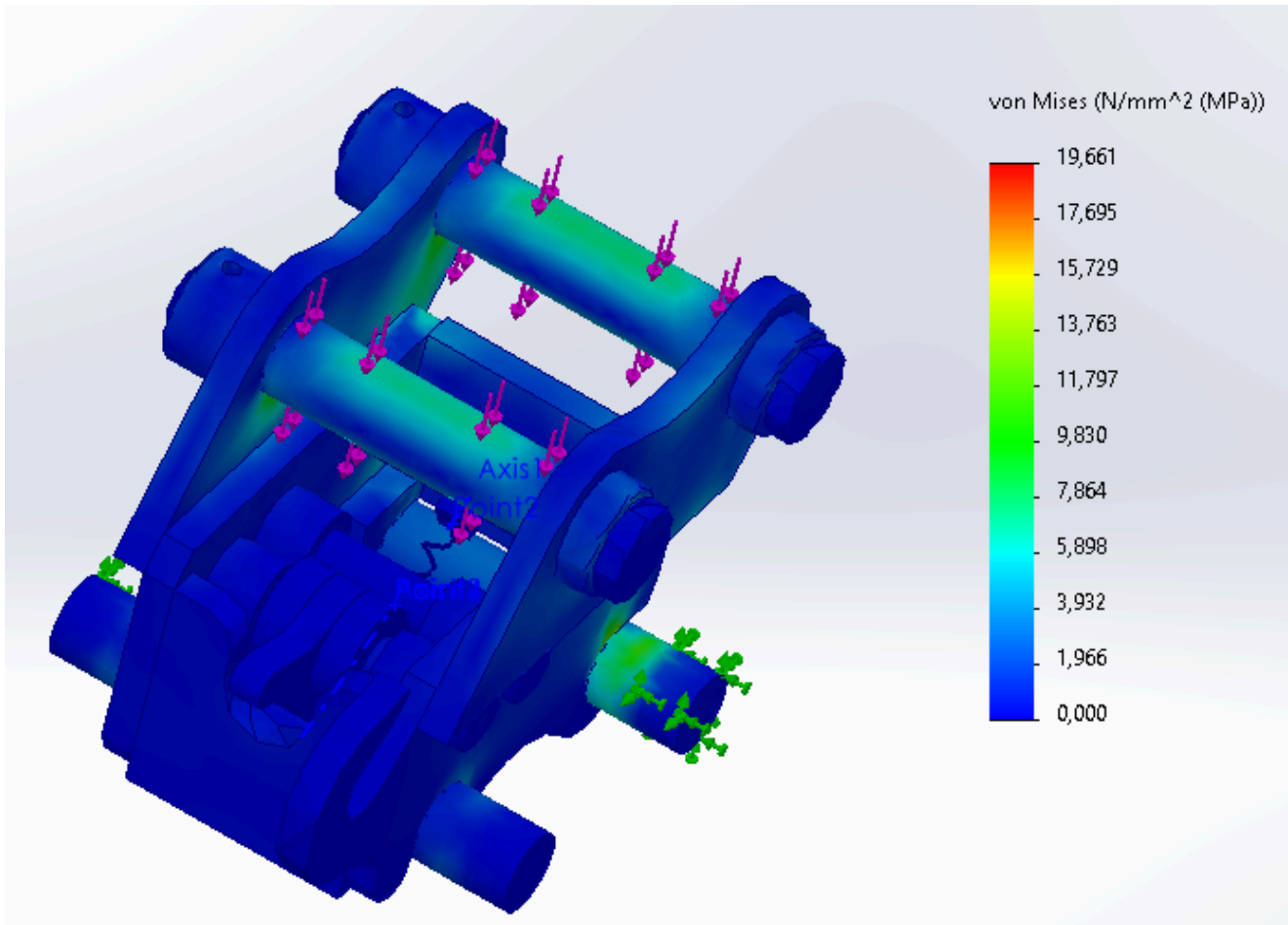


Рис. Епюра напруженого стану

ПРИМІТКА:

при виконанні даної роботи використовувався інструмент штучного інтелекту для консультацій та первинного формулювання окремих фрагментів тексту. Усі матеріали було перевірено, відредаговано та адаптовано автором

Список використаних джерел інформації

1. Marko Hriberšek. Quick Hitch Mini Excavator [Електронний ресурс] // GrabCAD Library. – Режим

доступу: <https://grabcad.com/library/quick-hitch-mini-excavator-1> ↩

2. Excavator attachments // HD Hyundai Construction Equipment India. URL: <https://in.hdyundaice.com/blogs/excavator-attachments> ↩
3. [Everdigm] RHQ Quick Coupler Maintenance [Відеозапис] / HYUNDAI EVERDIGM. — YouTube, 2013. — URL: https://www.youtube.com/watch?v=irfzbN6IZ_s ↩